

ISSN 1880-0114
国総研プロジェクト研究報告第2号
平成17年12月

国土技術政策総合研究所 プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.2

December 2005

自然共生型流域圏・都市の再生

Watershed / Urban Regeneration in Accord with Nature

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

自然共生型流域圏・都市の再生

吉川 勝秀 (2002年4月～2003年7月) *
棚橋 通雄 (2003年7月～2004年3月) *
福田 晴耕 (2004年4月～) **

Watershed / Urban Regeneration in Accord with Nature

Katsuhide YOSHIKAWA (2002.4 ~ 2003.7)
Michio TANAHASHI (2003.7 ~ 2004.3)
Seiko FUKUDA (2004.4 ~)

概要

河川や湖沼等の水環境の悪化、動植物の減少、ヒートアイランド現象等様々な問題を根本的に解決し、持続可能な社会を構築するためには、流域圏の視野から水物質循環等の自然システムを再生し、人が自然の恩恵を享受できる自然共生型の都市・国土を形成する必要がある。

本報告書では、平成14年から16年の3カ年で実施したプロジェクト研究「自然共生型流域圏・都市の再生」において検討した 自然共生型国土形成政策検討ツールの開発、自然共生型国土形成技術の開発、及び 自然共生型国土形成のための政策シナリオについて、研究成果をとりまとめたものである。

キーワード : 自然共生型流域圏・都市の再生、水物質循環、生態系、政策シナリオ

Synopsis

To restore an urban environment so its residents can enjoy the beneficence of nature, it is essential to establish measures based on the perspective of an entire watershed to practice national land management to restore cities in a symbiotic relationship with nature through restoring the water cycle and the ecosystem.

This research was conducted to develop 3 technology researches; 1) development of city and watershed management model, 2) nature symbiosis technology development and 3) policy scenarios for reconstruction of land in accord with nature.

Key Words : Watershed / Urban Regeneration in Accord with Nature,
Water & Material Cycle, Ecosystem, Policy Scenarios

* 前環境研究部長 Former Director of Environment Department
** 環境研究部長 Director of Environment Department

はじめに

本報告書は、国土交通省国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究として、平成14年度に着手し、平成16年度に終了した「自然共生型流域圏・都市の再生」の研究開発成果をとりまとめたものである。

人間が生活を営む都市は、その都市を含む流域圏における水循環・物質循環系や生態系といった自然のシステムに依存し、これら自然システムから多大な恩恵を受けてきた。しかしながら、20世紀後半に生じた急激な都市化、経済発展、大量消費型へのライフスタイルの変化等は、水循環・物質循環系や生態系等に対する多大なインパクトとなり、自然のシステムは変調を来し、これにより河川や湖沼等の水環境の悪化、動植物の減少、ヒートアイランド現象等様々な問題が生じるに至っている。

このような問題を根本的に解決し、持続可能な社会を構築するためには、流域圏の視野から水循環・物質循環等の自然システムを再生し、人が自然の恩恵を享受できる自然共生型の都市・国土を形成する必要がある。

本プロジェクトでは、水循環・物質循環系の健全化、生態系の保全・再生、ヒートアイランドの解消等自然共生型国土（流域圏・都市）形成に向けたプロセスを提案するとともに、このようなプロセスや取り組みを支援するための、自然共生型国土形成政策検討ツールの開発、及び自然共生型国土形成技術の開発を行うとともに、ケーススタディ流域において、自然共生型国土形成のための政策シナリオの検討を行った。

本プロジェクトで開発された政策検討ツールについては、ケーススタディによる検討とあわせて、公表・配布することにより、様々な地域における国土管理への適用が図られる。また、自然共生化技術についても、現場の特性に応じた必要な改良等を行った上で、幅広く活用していくものである。国土交通省内での活用はもとより、自治体等においても本成果を活用することを期待する。

平成17年12月
環境研究部長
福田 晴耕

目次

研究の概要.....	1
1 自然共生型国土の形成に関する系譜.....	9
1.1 国土・社会の変遷と現状の課題.....	9
1.1.1 日本の人口の変遷.....	9
1.1.2 都市生活・社会システムにおける課題.....	12
1.1.3 流域環境における課題.....	14
1.2 自然共生型社会や流域圏に関わるこれまでの政策・実践の取り組み.....	20
1.2.1 国土計画の経過からの考察.....	20
1.2.2 都市地域計画としての流域圏計画.....	22
1.3 本研究と国家科学技術戦略（イニシアティブ）との関係.....	26
1.3.1 科学技術の国家戦略としての位置づけ.....	26
1.3.2 自然共生イニシアティブのアウトカムのイメージ例.....	26
1.3.3 自然共生イニシアティブでの研究開発内容.....	30
2 自然共生型国土形成に向けた施策展開の考え方.....	33
2.1 自然共生型国土を考える視点.....	33
2.2 自然共生型国土の再構築へのプロセス.....	36
2.3 自然共生型国土の実現に向けた本研究成果の活用.....	41
2.3.1 検討プロセスと個別研究成果の関係.....	41
2.3.2 ビジョンの検討におけるモデルの位置づけと留意点.....	42
2.3.3 ビジョン設定の基本方針、ビジョンの評価軸の設定.....	43
2.4 シナリオの評価のための基本条件についての将来イメージ.....	45
3 個別研究成果.....	61
3.1 情報基盤の整備と活用.....	61
3.1.1 国土共通基盤 GIS データベースの開発.....	61
3.1.2 流域圏診断技術の開発.....	87
3.2 流域圏・都市管理モデルの構築.....	139
3.2.1 流域圏を対象とした水物質循環モデル.....	139
3.2.2 合流式下水道の分布型汚濁負荷解析モデル.....	213
3.2.3 生態系予測モデルの開発.....	266
(A) 陸域生態系モデル.....	266

(B) 水域生態系モデル	286
3.3 環境再生技術の開発	307
3.3.1 環境ホルモン等の効率的なオゾン処理技術の開発	307
3.3.2 保水性舗装・雨水貯留技術の開発	327
3.3.3 エコロジカルネットワーク保全・回復の計画・設計技術の開発.....	349
3.4 政策シナリオの実践への支援技術の開発.....	375
3.4.1 社会一体型施策立案手法の提案.....	375
3.4.2 地域との協働による自然共生型社会の実践.....	393
3.4.3 都市再生における景観・制度の分析.....	409
4 自然共生型国土形成シナリオの検討	455
4.1 東京湾流域を対象にしたケーススタディ	455
4.1.1 課題の整理	455
4.1.2 東京湾流域圏再生シナリオの条件設定	465
4.1.3 シナリオの定量評価.....	467
4.1.4 実践に向けた方策の吟味・総合評価.....	485
4.1.5 まとめ.....	498
4.2 霞ヶ浦流域を対象にしたケーススタディ	500
4.2.1 課題の整理	500
4.2.2 霞ヶ浦流域圏再生シナリオの条件設定	510
4.2.3 シナリオの定量評価.....	512
4.2.4 実践に向けた施策の評価.....	532
4.2.5 モデル適用のあり方という観点からのまとめ	537
4.3 水と緑からの都市再生シナリオの検討.....	540
4.3.1 全体の概要	540
4.3.2 鎌倉市神戸川流域における流域圏プランニング	542
4.3.3 パレスゾーン（皇居）とその周辺地域の都市再生シナリオ	547
4.3.4 東京湾ウォーターフロントの再生	560
4.3.5 渋谷川の再生 都市内河川再生型まちづくり	576
5 まとめ.....	593

巻末資料

研究の概要

1. 研究の背景・目的

2001年5月、小泉総理大臣の所信表明において、「21世紀に生きる子孫へ、恵み豊かな環境を確実に引き継ぎ、自然との共生が可能となる社会を実現したい」という表現が盛り込まれ、これを受けて同7月、総理大臣主宰の「21世紀『環の国』づくり会議」報告において、「わが国の自然生態系を健全なものに蘇らせていくためには、環境の視点からこれまでの事業・施策を見直す一方、順応的管理の手法を取り入れて積極的に自然を再生する公共事業、すなわち『自然再生型公共事業』を、都市と農山漁村のそれぞれにて推進することが必要」と提言された。さらに同12月には、総合規制改革会議「規制改革の推進に関する第1次答申」において、「海岸・浅海域等の水系域や都市域など既に自然の消失、劣化が進んだ地域では自然の再生や修復が重要な課題である。自然の再生、修復の有力な手法の一つに、地域住民、NPO等多様な主体の参画による自然再生事業があり、各省庁間の連携・役割分担の調整や関係省庁による共同事業実施など、省庁の枠を超えて自然再生を効果的・効率的に推進するための条件整備が必要」とされた。このような環境問題の解決に向けた新たな動きの中で、「自然再生に関する施策を総合的に推進し、生物の多様性の確保を通じて自然と共生する社会の実現を図り、あわせて地球環境の保全に寄与する」ことを目的とする「自然再生推進法」が2002年12月に国会で成立した。

自然と共生した国土の形成を目指した実践を進めていく上で、そのために必要な技術開発やシステム研究を進めることの必要性が総合科学技術会議において分野別推進戦略(2001年9月)の中で謳われた。すなわち、第2期科学技術基本計画(H13~17)において「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ」が重点分野である環境分野の中の重点課題として位置づけられたのである。このような背景から、国土交通省は、自然と共生した国土を実現するための基盤技術を開発するために「自然共生型国土基盤技術の開発」を総合技術開発プロジェクトとして(以下、「自然共生総プロ」と表記)、また国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究として「自然共生型流域圏・都市の再生」を立ち上げ、関係各省と連携して研究開発を進めてきた。

本プロジェクトでは、水物質循環の健全化、生態系の保全・再生、ヒートアイランドの解消等自然共生型国土(流域圏・都市)形成に向けたプロセスを提案するとともに、このようなプロセスや取り組みを支援するための、自然共生型国土形成のための政策検討ツールの開発、及び自然共生型国土形成技術の開発を行い、ケーススタディ流域において、自然共生型国土形成のための政策シナリオの検討を行うこととした。

2 . 本研究に関する他の取り組みとの関係

本研究は、国土交通省が実施する総合技術研究開発プロジェクトの枠組みで実施した研究であるが、上述したように第2期科学技術基本計画における「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ」に関連する他の自然共生型国土形成に係わる取り組みと密接な関わり合いを持っている。ここに、本研究に係る他の取り組みを紹介する。

研究の実施にあたっては、「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ」と連携するという形で、農林水産省・環境省等他省や大学・民間及び関連する独立行政法人とも連携・協力・分担を図りながら研究を進めるとともに、各研究機関の研究代表者による「自然共生型流域圏・都市再生シナリオ検討ワーキング・グループ」を設置し、再生シナリオに関する議論を深めるとともに、各研究機関による研究成果を「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ報告書」としてとりまとめた。また、研究成果の情報交換・発信を行うために、本イニシアティブに関心を持つ多分野に跨る学識者等によるワークショップ「自然と共生した流域圏・都市の再生」を2001年以降毎年開催している。その他、大学との連携としては、慶應義塾大学と連携したシンポジウム、地球環境学研究所との意見交換会の開催、社会科学の研究者を交えた合意形成に関する検討会の設置等を行った。また広域生態系モデリング研究会、公開シンポジウム「自然共生型社会の実現に向けて～まちにいきものを呼び戻すには何をすべきか～」を開催した。NPOとの情報交換としては、NPO法人水環境交流会との討論会を開催した。地方整備局等との連携として、関東地方整備局や霞ヶ浦河川事務所等と情報交換し、具体的な対策を見据えた検討を行った。

3 . 研究内容

3 . 1 研究全体の枠組み

図 - 1 に示す全体構成の通り、本研究は、情報基盤の整備と活用、流域圏・都市管理モデルの構築、環境再生技術の開発、政策シナリオの実践への支援技術の開発、自然共生型国土形成シナリオの検討を5つの大きな柱としている。

・情報基盤の整備と活用

水物質循環モデル、生態系モデルの汎用化には、基盤情報をGIS化することが不可欠である。また、環境に関する情報基盤を整備するということは、流域圏・都市における実態の把握、診断そのものでもある。このため、国土共通基盤GISデータベースを開発し()、このGISデータベースで得られた流域圏の環境情報から、より現況の生物多様性や自然環境をわかりやすく評価する流域圏診断技術()を開発した。

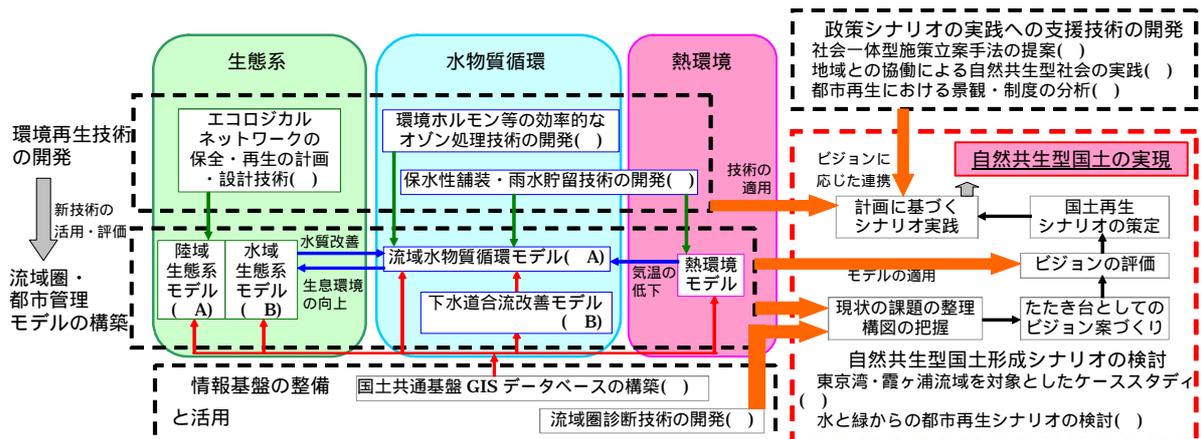


図 - 1 研究全体の枠組みと、個別研究とシナリオ検討との関係(丸数字は3.2の個別研究に対応)

・流域圏・都市管理モデルの構築

流域圏の住民等関係主体による環境に係わる問題の把握・理解、問題解決のための施策・取り組みに係わる検討・合意形成等を支援するため、流域水物質循環モデルの開発、生態系予測モデルの開発を行った。開発したモデルを用いてシナリオの検討において現状の把握に用いるほか、施策やビジョンに対する評価を定量化するために活用する。また評価において水物質循環モデルによる水質改善の度合いに応じて、水域生態系モデルによる生育生息場評価を向上させるなど、モデル間の相乗効果についても考慮した統合モデルを構築している。

・環境再生技術の開発

自然環境を効率的・効果的に再生するため、水環境を改善するための環境ホルモンの効率的なオゾン処理技術、保水性舗装・雨水貯留技術、エコロジカルネットワークの保全・再生の計画・設計技術の開発を行った。これら新技術は流域圏・都市管理モデルを用いたシナリオの評価に適用されると同時に、シナリオの実践の際に活用される。

・政策シナリオの実践への支援技術の開発

具体的な自然共生型国土形成シナリオの実践において、市民・企業やNPOの効果的・持続的な取り組みを提案、支援するため、社会一体型施策立案手法の提案、地域との協働による自然共生型社会の実践について検討し、都市環境再生の観点から都市再生における景観・制度について分析した。

・自然共生型国土形成シナリオの検討

シナリオの検討プロセスは図 - 1 の右下の部分である。人の生活という視点から、できる限り実感しやすい将来ビジョン案を複数作成し、関係主体が現在の生活とも比較しながら、国土・社会のあり方を模索するという過程を中心に置く。この中で

特に、様々な施策の効果モデルの活用により極力定量的かつ具体的に表現し、シナリオの策定につなげる。

具体的なシナリオの提案を行うため、大流域において 東京湾流域・霞ヶ浦流域を対象としたケーススタディ、中小流域や都市域において 水と緑からの都市再生シナリオの検討を行った。シナリオの評価および実践において、～ の個別研究の成果を活用する。

3.2 個別研究成果

3.2.1 情報基盤の整備と活用

国土共通基盤 GIS データベースの構築

どのような目的においても共通に利用される、地形図・土地利用図・人口データ等の基礎的な自然条件・社会条件データを「コモンデータ」、モデルの構築や政策の実施等、目的に応じて整備されるデータを「スペシフィックデータ」として整備し、ネットワークを通じたオンライン配信及び閲覧・検索システムを設計した。構築した GIS データベースによる流域診断の一例として、荒川の水質の変遷図や土地利用の変遷図が挙げられる。これらにより流域の水質の状況や水質が改善した河川域、及び土地利用の改変状況を把握することができる。

流域圏診断技術の開発

鎌倉市、横浜市帷子川流域、各務原市を対象に、保全等の必要性の高い緑地環境を抽出し重要度の段階的評価を行うため、基礎的環境情報を用いた生物多様性の評価モデルを構築し、GIS 技術を用いた小流域の設定、地形分類図、植生区分図等から生物多様性評価技術やエコトープマップの作成技術を開発し、小流域単位での環境診断技術を提示した。

3.2.2 流域圏・都市管理モデルの構築

流域水物質循環モデルの開発

A. 流域圏を対象とした水物質循環モデル

流域での水・物質循環を分析する、ユーザーインターフェイスの整備された政策ツールとしての汎用型水物質循環モデルを開発した。このモデルにより、現在や過去の現象を再現し、現象の内部構造や問題の所在の理解、施策の実施による施策効果を評価することができる。

B. 合流式下水道の分布型汚濁負荷解析モデル

健全な水循環に重大な影響を与える合流式下水道の雨天時越流水について、対策とその放流先水質への影響を評価する手法を検討した。従来の集中型モデルでは、貯留施設や浸透ますの設置等の合流式下水道の改善施策の評価が困難であり、また、大腸菌群数、窒素、リンなどの評価項目の増加に対応できないため、新たに分布型汚濁負荷モデルを開発した。

生態系予測モデルの開発

A．陸域生態系モデル

動物種の生態的特性を考慮して指標性を持つ種を選定し、その生息環境のモデル化により、指標種の生息適地を広域的に予測・評価する手法を構築した。事例地は関東地方とし、指標種は、事例地の奥山地域、農村・里山地域、都市地域において、アンブレラ種となる種や生息環境を代表する種、さらに移動能力等も考慮して選定した。

B．水域生態系モデル

水域生態系モデルの1つである HEP(Habitat Evaluation Procedures)モデルをもとに、閉鎖性水域(東京湾、霞ヶ浦)および河川(多摩川、荒川)を対象として広域的な生息生育場評価について検討した。検討した水域生態系予測モデルを政策シナリオの評価に活用する。

3.2.3 環境再生技術の開発

環境ホルモン等の効率的なオゾン処理技術の開発

内分泌かく乱作用を疑われている物質(いわゆる環境ホルモン)が下水道にも流入していることが報告されているが、この環境ホルモンが生態系に与える影響については不明な点が多く、下水処理過程でのより効果的な除去手法に関する知見が求められている。そのためオゾン処理に着目し、除去能力、運転管理手法に関する基礎的な検討を行った。その結果、環境ホルモンは、一般的に用いられている条件よりも低いオゾン注入率・短い接触時間においても殆ど検出下限値未満まで除去されることなど、オゾン処理における経済的かつ適切な運転方法について提案を行うための知見が得られた。

保水性舗装・雨水貯留技術の開発

都市のヒートアイランド現象の原因ともなっている地表面の高温の緩和を図るとともに、都市型豪雨災害の軽減に寄与することを目的とし、上層路盤などへ水分を供給する装置のある保水性温度低減舗装を開発し、効果を検証した結果、従来の保水性舗装に比べて、最高表面温度で 18℃ の低減効果が得られた。また従来の保水性舗装の低減効果の持続期間がおよそ 1～2 日であるのに対して、給水を行わなくても 7 日程度、給水を行えば 14 日以上、温度低減効果が持続することが確かめられた。

エコロジカルネットワークの保全・再生の計画・設計技術の開発

都市を含む流域圏における生態系の保全・再生等を実現するため、大域、中域、小域の 3 つのスケールを用い、それぞれのスケールにおいてエコロジカルネットワーク構造の現状を把握するため、コアエリア及びコリドーの抽出を行った。エコロジカルネットワーク計画を作成するにあたり、陸域生態系モデルを用いて生息適

地を抽出し、エコロジカルネットワーク構造の現状とエコロジカルネットワーク計画を実現するための費用対効果を踏まえたうえで、エコロジカルネットワーク計画図の素案を作成した。

3.2.4 政策シナリオの実践への支援技術の開発

社会一体型施策立案手法の提案

これからの環境問題解決のためには、市民・企業と目標を共有し、合意を図り、連携して取り組む社会一体型施策の実施が重要である。また、環境問題の影響・因果関係が不明瞭な状況の中で、いかに市民・企業と一体となって取り組みを行っていくか、そのための実施方策が必要である。このため、ヒートアイランド現象対策を一例として、社会心理学における行動変容プロセスに関する理論を踏まえ、検討した。その結果、環境配慮行動を普及させるには、行動前の心理的負担感を低下させること、持続時の心理的負担感を低下させることが重要であることが分かった。

地域との協働による自然共生型社会の実践

NPOによる地域活動について事例調査を行い、環境再生に向けての住民の持続的な取り組みを展開するための仕組みについて検討した。例えば、筑後川流域におけるエコツーリズムは、自然と触れあう機会を通じて、自然の価値や自然と触れ合うことによる恩恵を再認識し、自然を志向する社会への体質改善を図る。ボランティアにとどまらず、活動から得られる対価を活動に還元する仕組みを構築する等、持続的な取り組みがなされるための有効な仕組みが働いており、有益な示唆が得られた。

都市再生における景観・制度の分析

東京都心三区およびみなとみらい21における超高層ビル再開発事業の現状を調査し、1)現況の公開空地の都市への貢献度、2)超高層ビルの都市景観への影響、3)ウォーターフロント開発の都市環境への貢献の3つの観点より分析・考察を行い、特に法制度との関係性から問題点を指摘した。20世紀型のスクラップアンドビルド型都市開発から21世紀型のストック形成型都市開発への移行が最重要課題のひとつとしてクローズアップされつつある中で、都市環境整備、特に環境インフラの広域的整備を進めていくための長期的展望を前提とした計画、および計画を進めるための仕組み・制度を整備していくことが必要である。

3.2.5 自然共生型国土形成シナリオの検討

東京湾流域・霞ヶ浦流域等を対象としたケーススタディ

本プロジェクト研究で構築したモデルを活用して、水物質循環、生態系、熱環境の環境改善評価を再生ビジョンに応じて提示することにより、それぞれの環境問題

の解決に向けた合意形成に活用する。まず施策の組合せとして表 - 1 に示すとおり、施策群 1（インフラ整備主体型）、施策群 2（産業・生活スタイル転換型）、施策群 3（自然機能回復型）を設定した。

水物質循環、生態系、熱環境の環境改善施策による効果を図 - 2 に示す。水物質循環や生態系の健全化およびヒートアイランド現象の対策などの解決に向けて、個別に課題の解決の方策を検討するよりも、多くの課題を同時に改善する方法を選択することが効率的である。複数の環境問題に対する解決手法を施策パッケージとして提案し、シミュレーションモデルによる効果把握を試みたことは、具体的な政策決定へのプロセスに活用するという点で意味を持つ。例えば、緑地の増加が水物質循環や熱環境の改善、さらには陸域生態系の回復にも資するという複合的効果を持つ。これらを 1 つの政策シナリオに基づき、それぞれのシミュレーションモデルによって定量的評価が可能となった。

表 - 1 東京湾流域圏再生にかかわる施策群の設定内容

施策群	施策内容	モデルで設定する内容			
		水物質循環モデル	陸域生態系モデル	水域生態系モデル	熱環境モデル
施策群 0	現況	-	-	-	-
施策群 1	特に即効性の高いハード的な事業の実施	下水高度処理，合流改善（既整備地域+整備予定地域） 高度処理型合併浄化槽の設置（下水道整備予定外地域） 透水性・保水性舗装	-	水質の改善（水物質循環モデルの結果の反映）	保水性舗装
施策群 2	循環型社会の構築を目指した産業・生活スタイルの転換	環境保全型ライフスタイルの転換 環境保全型農業 下水処理水の再利用 家畜し尿の農地還元 雨水貯留浸透施設の整備(屋上緑化)	-	水質の改善（水物質循環モデルの結果の反映）	環境保全型ライフスタイルの転換 屋上緑化 保水性建材の利用 エコカーの普及
施策群 3	面的な土地利用の改変により緑地，干潟の回復	都市部および荒川，多摩川の両岸に緑地の確保 調整池の確保 干潟の造成 (幕張・いなげの浜の再生)	大規模民有地の敷地の20%を緑化 堤外地を両岸に250m拡大 新規高規格道路等にエコブリッジ、樹林帯の整備 公園の整備	水質の改善（水物質循環モデルの結果の反映） 底質，水深	緑地への転換（都市部および荒川，多摩川の両岸）

水と緑からの都市再生シナリオの検討

東京のパレスゾーン（皇居周辺）、ウォーターフロント、横浜市帷子川流域等を対象に、都市再生に向けた具体的な提案と実践プロセスを示すことにより、都市再生シナリオ作成の一助とするものである。例えば帷子川流域においては、現在までの土地利用の変遷を踏まえ、緑地の保全、整備の観点から、具体的な都市再生シナリオを立案、評価を行った。

	施策群 0	施策群 1	施策群 1 + 2	施策群 1 + 2 + 3
河川水質	江戸川：3.1(mg/L) 荒川：5.3 多摩川：8.0 鶴見川：10.0	江戸川：2.5(mg/L) 荒川：3.8 多摩川：6.3 鶴見川：8.2	江戸川：2.2(mg/L) 荒川：3.6 多摩川：5.1 鶴見川：6.7	江戸川：1.7(mg/L) 荒川：3.0 多摩川：4.8 鶴見川：6.4
水物質循環				
陸域生態系		(現況と同じ)	(現況と同じ)	
水域生態系				
熱環境				

図 - 2 東京湾とその流域における施策群の実施による環境改善効果
(河川水質は河口流入部の年間平均 COD 濃度、水物質循環は 7 月 15 日 12 時の COD 濃度分布、
陸域生態系は荒川流域のシジュウカラの生息確率、水域生態系はアマモの HSI (生息地選好指標)
熱環境については、現況は 14 時の気温の絶対値で、その他は現況との差分で表示)

4 . まとめ

以上の通り、自然と共生した国土の形成に向けた基盤技術を開発することができたと言えるが、本研究の最終目的である「都市を含む流域圏における水物質循環や生態系を保全・再生するための取り組みを総合的に展開する」ための課題が浮き上がるなど、いくつかの技術的課題も抽出され、今後、これらの課題を解決していく必要がある。また、開発した技術を実践に適用するには技術的課題の克服だけでなく、異なる行政機関、研究機関との密接な連携、さらに行政と地域との協働が不可欠であり、そのため、各機関の連携方策や制度上の枠組みの整備を進める必要がある。

1 自然共生型国土の形成に関する系譜

我が国は、戦後の荒廃した状況から、世界でも例を見ない急速な経済成長を遂げ、今日までに世界有数の経済大国となった。一方、この発展の過程で著しい都市化現象が生じ、都市域では人口や様々な資本・資産等が集中するとともに、小河川や湿地、緑地等が埋め立てられる等自然地の多くが失われ、地表面の大部分がコンクリートやアスファルトに覆われるに至っている。さらに、人々の生活スタイルや社会システムも、資源の少ない日本が伝統としてきた質素儉約によるものから、快適性・利便性を追求し、資源・エネルギー等を大量に生産・消費・廃棄するものに変貌している。このような国土構造・社会システムの変化は、経済成長を後押しするとともに、人の生活における物質的な豊かさや利便性・快適性の増大に貢献してきたが、その一方で、そもそも人や社会が存立基盤としてきた自然環境を縮小させるとともに、水循環系、物質循環系、生態系、都市気象系等の自然システムの変調を引き起こし、自らの生活環境の悪化を及ぼすに至っている。

身の回りの物質的な豊かさ、民間資本や社会資本の蓄積が提供する利便性・快適性の視点から見た場合、今日の人の生活は相当に豊かになったことは間違いないが、これまで人が享受してきた国土の美しさ、自然との触れ合いによる心地よさ・喜びといった恩恵が喪失されていることや、化学物質等による健康リスクが増大していること等を考えた場合、総合的な意味で人の生活は必ずしも豊かになったとは言えないし、国土構造や社会システムを変えることにより、自然システムと人為的・社会的システムの調和を図り、より豊かな生活を実現する余地は十分あると考える。さらに、今日では地球温暖化等の広域的かつ不可逆的な環境問題の進行、急激な人口減少、少子・高齢化等により、将来の社会や生活に対する危機感や漠然とした不安感も高まっており、国土と社会のあり方や改善方策について改めて考えることは意義深い。

このような背景のもと、「人と自然が共生する国土・社会（自然共生型国土・社会）」という視点から、真に豊かな生活を実現できる国土・社会のあり方について研究を行うにあたり、私たちの暮らす国土、社会の変遷や現状の課題を考察するとともに、流域圏や都市の自然との共生に関するこれまでの取り組みについて整理した。

1.1 国土・社会の変遷と現状の課題

1.1.1 日本の人口の変遷

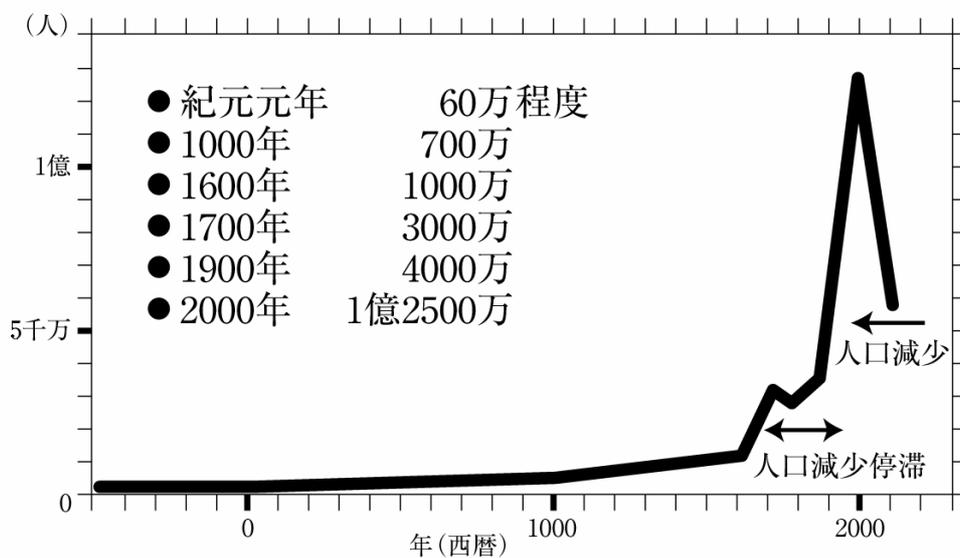
まず、流域環境の影響を及ぼす人間活動の大きさを規定する人口の変遷の把握を通じて国土のあり方を考えてみるにあたって、国土と暮らし、流域圏・都市に係わる経過を、少し時間軸を長くとって見ておきたい。

千年の時間スケールで日本の人口の推移を示したものが図- 1.1.1.1である。この400年をみると、江戸時代の初期に、人口が約1000万人から約3000万人に増加した（約3倍。1600年代）。その後約200年間、江戸時代を通じて約3千万人で推移し、明治時代（約140年前）となった。明治以降、人口は爆発的に増加し、約100年前には人口が約4000万人であったが、現在はその約3倍（明治初期の約4倍）の1億3000万人弱となった。そして、増加した人口の大半は山と海の間にある氾濫原や丘陵地等の平地に住むこととなった。

百年の時間スケールで日本の人口の推移を示したものが図- 1.1.1.2である。日本のたどってきた経過を相対化して見るため、フランスとイギリスの人口も示している。明治以降の日本の人口の増加は、フランスやイギリスと比較すると、爆発的な人口増加であった。人口の増加とともに都市化も進展し、都市や環境に係わる各種の問題を引き起こし、それに対処しつつ現在に至っている。

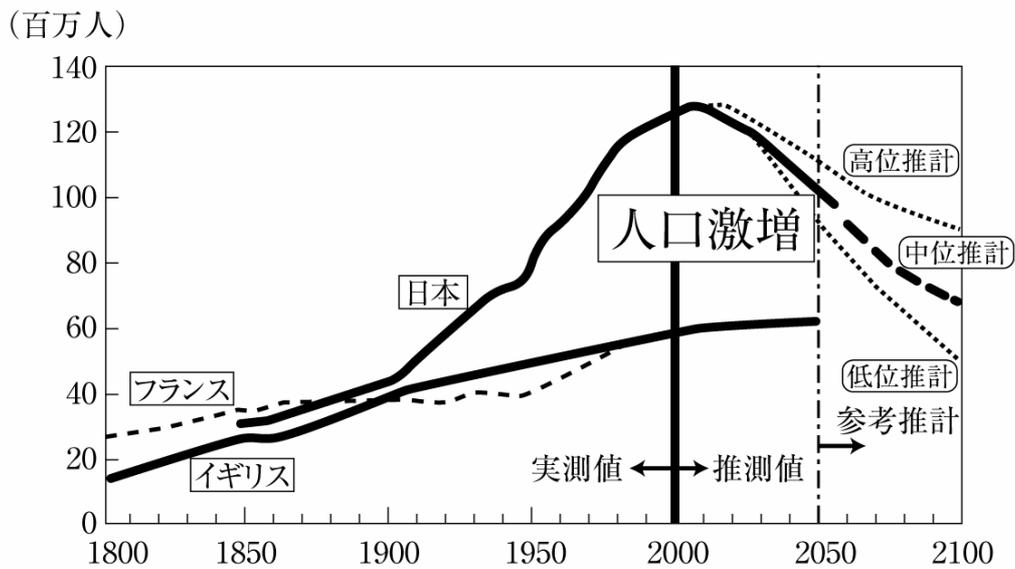
日本の人口増加は、図- 1.1.1.3に示す世界の人口予測を参照すると、”人口30億人の爆発”といわれ、人口が激増するアジアの国々など、現在の発展途上の国々に先立つ人口爆発であったと見ることもできる。

今後は、日本は他の先進国に先駆けて人口が急激に減少し、約100年で人口が半減すると推計されている（中位推計）。



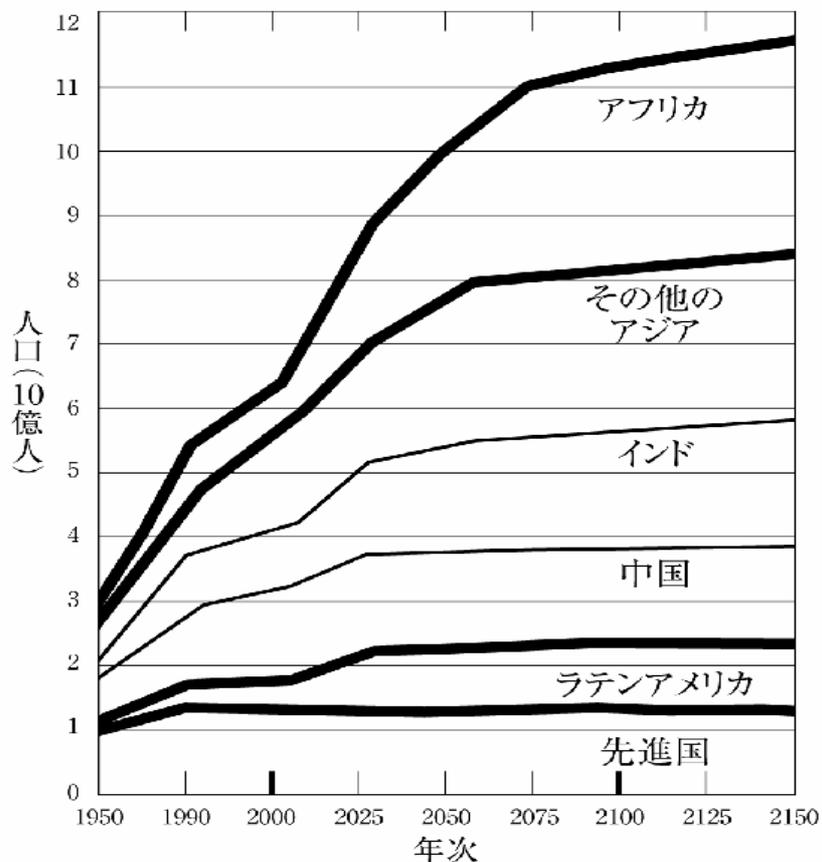
資料：古田隆彦「人口波動で将来を読む」より作図

図- 1.1.1.1 日本の人口その1：千年の時間スケール¹⁾



資料：国立社会保障・人口問題研究所「人口の動向」、「マクミラン世界歴史統計」、
国際連合「世界人口予測（1950→2050）」

図- 1.1.1.2 日本の人口その2：百年の時間スケール²⁾



データ出所：United Nations. 1992. 中位値

図- 1.1.1.3 世界の人口¹⁾

以上のような、人口と国土との関係を意識しつつ、これまでの時代、これからの時代の流域圏・都市についてみておきたい。

江戸時代には、人口約 3000 万人で、江戸等の都市を含めて、自然と共存する見事な水系社会、流域圏が形成されていた、といわれる。水系を単位としてまとめた地域に、約 300 の諸藩があった（現在の小選挙区の数程度）。水系を単位としたまとまりは、明治時代以降、戦前までの時代も続いた。江戸時代は完全な自給社会であった。人口が 7000 万人を超えた戦前の頃には、その時代の自給の限界に達したと考えられる。

約 60 年前、人口が 7200 万人程度であった終戦の頃も、その後、経済の高度成長期に入り、人口が 1 億に近づいても、水系社会、流域圏の面影は色濃くあった。それが急激に失われたのは、高度成長期からの半世紀程度の期間内であろう。

今後は、減少する人口の下で、そして少し長い時間スケールで取り組むとすると、経済効率、利便性等を追求してきたこれまでの時代とは違った国土、都市、流域圏の構築が求められる可能性が高い。約 50 年間で失われたものを回復することもテーマとなる。例えば、水系・流域圏に着目して自然と共生・共存する都市への再生や、自然としての災害との共存といった面で、水害等の災害の危険性の高い地域から安全な場所へ撤退するといった土地利用に転換すること、さらには川や東京湾等の沿岸域・海域や湖沼の水域の再生なども喫緊の課題と言えるだろう。

1.1.2 都市生活・社会システムにおける課題

都市域は宅地化や舗装等によって不浸透化しており、地下水の減少や大雨時の都市型洪水の増加を生じさせている。このことは、河川の平常流量の減少にも繋がっている。また、計画的開発事業を含む郊外部の住宅地の拡大や、市街化区域内農地の宅地化など、いわゆる都市化によって、都市域における生物生息域の縮小や、生物生態系ネットワークの機能低下が生じており、生物の多様性が低下している。このため、保水性・浸透性を有する舗装の開発、ネットワーク性を考慮した計画的な緑地等のオープンスペースの整備、都市域の土地利用のコントロール等が求められる。

さらに、都市生活は上下水道と不可分の関係にあり、大量な飲料水や工業用水の利用によって自然の水循環に大きな影響を与えている。取水量の削減に寄与する処理水の効率的利用も、あまり進んでいるとはいえない。

水利用の問題としては、河川等の水質の悪化等によって安全な水道水が確保できない状況が生じている場合がある。特に近年、まとまった水量を確保するため都市排水の影響を受けた下流域での取水も生じており、平常時における水質上の問題が多いのみならず、突発的な汚染事故リスクも高まっている。また、不法投棄による土壌汚染、地下水汚染が顕在化してきている。

都市からの排水の課題としては、まず、合流式下水道からの雨天時汚濁の流出が河川やその流達先の水域での問題となっている。また、下水道等の整備が進んでいない地域においては、生活排水による汚濁負荷が依然として大きい。さらに近年では、油分や土壌汚染など、都市に起因する微量の物質による影響も懸念されている。このため、合流式下水道

の改善や化学物質の評価・管理手法の確立などが求められている。

排水処理の課題としては、排水処理に伴う大量の汚泥が、資源とコストの両面で問題になっている。さらに生活スタイルの変化による家庭排水における汚濁量の増加や、家庭からの排水に含まれる汚濁物質の質的变化等が懸念される。これは、下水処理コストや浄化槽管理費の増大、浄化槽の管理不足による家庭排水の汚濁負荷の増大につながる可能性がある。また近年、微量有害物質や病原性微生物による水質リスクも問題となっており、水系としてのリスク管理、及び、確実に安価な高度処理技術の開発が求められている。

また、図-1.1.2.1 に示す水道取水地点および下水道排水地点の配置を見れば理解できるように、水質上の観点からは不合理な形態となっている³⁾。水道の普及、拡張、表流水依存などの急激な進展、さらに少し遅れて下水道が急ピッチで整備されていることを背景として、導水コスト、水資源開発の事情、行政区域界などの要素により取排水の地点が定まり、こうした形態となったものであろう。開発の効率性や行政区域による制約、旧来からの取排水に関する慣行などの課題はあるが、取排水地点の統廃合による水環境改善が必要であろう。

都市生活及び都市の産業に起因する環境問題には、エネルギーの大量消費もある。エネルギー消費は化石燃料の消費につながっており、クリーンエネルギーへの転換、省エネ型の機器開発が求められている。自動車によるエネルギー消費は、それに伴ってディーゼル車によるNO_x、SO_xの排出など排ガス汚染ももたらしており、燃料電池車等の開発とともに、交通抑制型の都市構造の構築が求められて

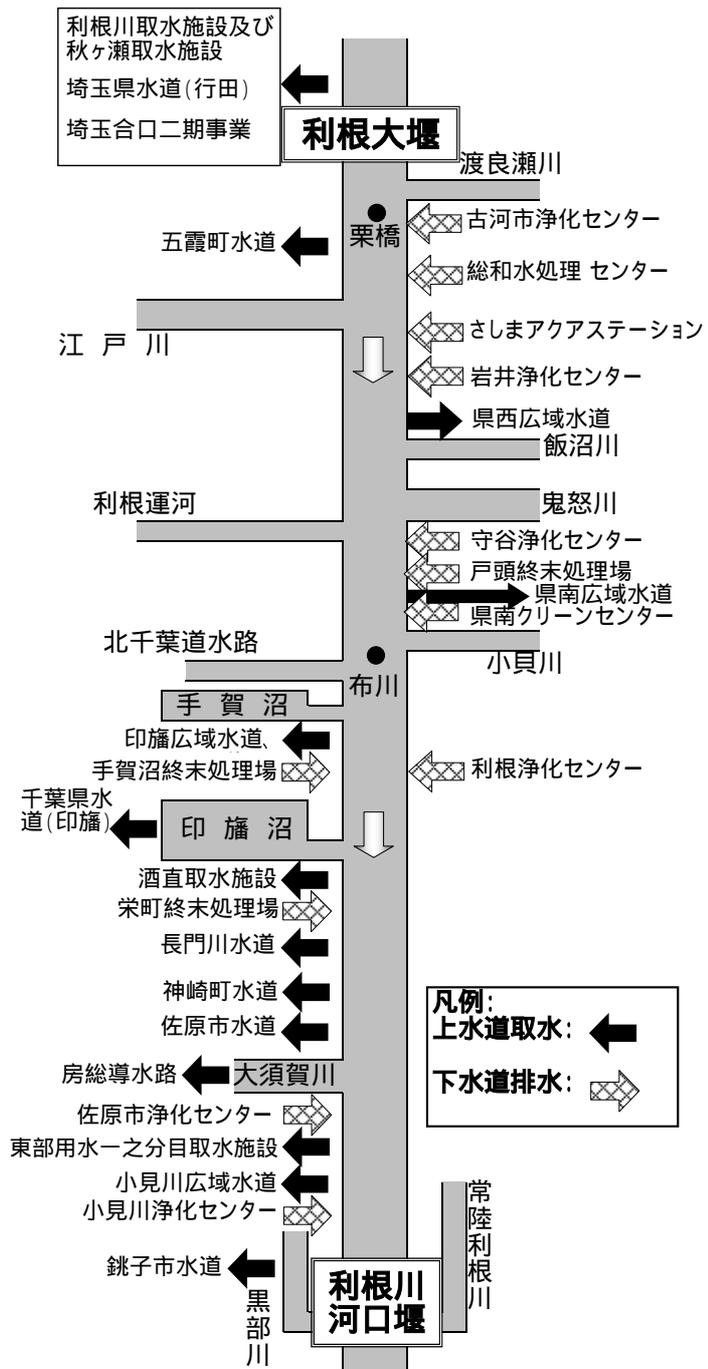


図- 1.1.2.1 利根川取排水系統模式図³⁾

いる。また、自動車や産業排熱、生活排熱等によって都市ヒートアイランド化が問題となっており、各種のエネルギー消費の抑制技術の開発、緑地やオープンスペースの確保、保水性・浸透性舗装の実施、風の道を確保する都市の構築などが求められている。

以上のような多種多様な課題の解決において重要となるのが、都市住民のライフスタイルの見直しである。節水や省エネの促進、排出する汚濁の低減、屋上緑化、省エネ型機器への転換など、住民のライフスタイルの見直しが上記のような都市の課題解決にはきわめて有効であるものが多い。このようなライフスタイルの転換を促すためにも、緑地や水辺の創造、自然の生態系の回復等を通じて、環境改善の効果と意義が実感できる機会や、子供の自然教育の場、高齢者への生きがいの場の提供が求められている。

1.1.3 流域環境における課題

流域は自然のシステムである水循環や物質循環を表現する基礎単位であり、国土管理を考える上での単位地域といえる。この流域圏においては、水循環、物質循環、生態系といったシステムと水利用、土地利用、生産・消費活動等の人為が相互に依存・作用しながら機能しており、それらにより形成された環境の中で人々が生活を営んでいる。

自然に対する人為影響の小さかった過去においては、自然のシステムは健全に作用し、快適な環境の中で人々は生活を営むことができたが、近年人為影響が大きくなり、自然システムが変調を来し、それに伴い人々の生活環境も悪化してきた。自然のシステムを修復するためには、システムの現況を把握し、修復すべき課題を抽出することが必要であるが、流域における自然システムは複雑であり、必ずしも容易ではない。また近年、これまでの流域との関わりに立ち帰り、水系を軸とした流域圏での取り組みが見直されてきている。今後、様々な計画や施策が流域圏を対象に展開されることが予測されるが、その前提として流域の状態を把握し、課題を抽出することが必要である。

そこで、水物質循環、生態系、熱環境の観点から流域圏・都市が抱える課題について整理した。また、巻末に森林・農地・湖沼・都市・沿岸域などのエリア別と水循環・物質循環・大気・エネルギーなどの視点別に現状の課題と解決の方策を整理したが、これは自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブ報告書編集会議において本イニシアティブに関連する研究機関との議論を踏まえてとりまとめられたものである。

(1) 水物質循環

1) 水循環系

国土において水は様々な経路を通過して循環しているが、それは降雨、蒸発散、貯留、表面流出、地下浸透等といった自然系の水循環と、都市活動を持続、発展させるために構築された上下水道や農業取排水路等の人工系の水循環から構成されている。自然的な流れと人工的な流れが交錯し、水は存在形態と存在場所を変えながら循環しているが、この流れのシステム全体を水循環系と呼んでいる。水は、この水循環の過程で、生態系を育むとともに、人の生活や社会活動に必要な水資源として、また時には洪水等災害として人類と深く関わってきたが、近年の急激な土地利用変化、社会・ライフスタイルの変化等は、a)

流域の保水・貯留・浸透機能の低下、b)水使用量の増加、c)洪水調節等による流量コントロールとして水循環に影響を及ぼしており、水循環系の健全性が損なわれ、河川等平常時水量の減少、都市洪水流量の増加、流量の平滑化、地下水位の低下等の問題を引き起こしている。

なお、水循環系は地下水の流出入や流域を越えた水使用等により、必ずしも河川流域で閉じているものではないが、河川流域は、水循環系を考える上での国土の単位となり得る。このため、以下流域を単位として、水循環の現状と課題について述べる。

水循環へのインパクト

水循環への主なインパクトとしては、以下のものが挙げられる。

a) 流域の保水・貯留・浸透機能の低下

都市化されていない本来の地表面は土壌や植生に覆われ、窪地等を有することにより、雨水を保持、貯留したり、地下に浸透させる機能を有している。しかし、高度経済成長期以降顕著となった都市化においては、森林や湿地、農地等が市街化されるとともに、地表面のコンクリート化、下水道等の雨水排水システムの整備等により、流域の有する保水・貯留・浸透機能が減少した。また、林業の衰退に伴う森林の荒廃・管理の低下、農業の効率化に伴う農業排水路の不浸透化等も、これら機能の低下に影響している。

b) 自然系水循環の減少

戦後の急激な人口増加、都市への人口の集中やトイレの水洗化等ライフスタイルの変化に伴う一人当たり水使用量の増加により、特に生活用水使用量が増加しており、回収率の向上等による工業用水使用量の減少にもかかわらず、水使用量全体は増加している。また、下水道の整備に伴い、使用後の都市用水は自然系の水循環に速やかに戻らず、バイパスされることにより、自然系水循環の水量が減少している。

c) 洪水・利水のための流量制御

治水のための洪水ピーク流量のカット、利水のための湧水流量の増加・維持がダム等流況調節施設により図られており、これにより、河川等流況の平滑が生じている。

水循環に係わる課題

上記による水循環に係わる課題としては、以下のものが挙げられる。

a) 河川等の平常時水量の減少

流域の保水・貯留・浸透機能の低下に伴う地下水涵養と地下水流出の減少、水使用量の増加等に伴う河川水の高度利用等により、河川等の平常時流量の減少や地下水位の低下、湧水の枯渇等が生じる。平常時水量の減少は、魚類や水生生物の生息環境の悪化、水辺景観・親水機能の低下、水質汚濁の助長、非常時用水の不足等の問題を生じており、地下水位の低下は地下水利用への支障、湧水の枯渇は地域観光資源の喪失や魚類産卵場の消失等生態系への影響を生じている。

b) 都市洪水流量の増加、到達時間の短縮化

都市化の著しい流域における保水・貯留・浸透機能の低下により、降雨の表面流出成分

の割合が増加しており、降雨の流出量の増加と流出時間の短縮化による、治水安全度の低下が問題となっている。

c) 流量の平滑化

河川水の高度利用や洪水調節のため、ダム等貯水池等により河川流量は平滑化される傾向にある。流況の平滑化については、流量のダイナミズムに依存した生物生息環境の劣化が懸念されている。

2) 水を媒介とした物質循環

ここでは、水循環の中で水の移動に伴う物質移動を「水を媒介とした物質循環」とする。水とともに移動する物質には大気や土壤に含まれる自然の物質の他、人間活動から生じる様々な物質が含まれる。水に混入する物質のうち、水質環境基準の健康項目に挙げられる人体に有害な物質については、高度経済成長期頃に問題となったが、その後の工場等における排水規制や排水処理技術の向上等により、達成率が99.6%まで改善しており、全国的にほぼ問題の無い水準に達している。一方、有機物による水質の環境基準の達成状況は2004年現在、河川で81.5%、湖沼で45.8%、海域で79.3%と依然として解決されていない。工場等における排水規制や、都市域への人口集中やライフスタイルの変化による一人当たりの汚濁負荷量の増加に伴う下水道の整備等が行われてきたが、依然汚濁排出量が高いレベルにある。特に、湖沼や海域等の閉鎖性水域においては、流入してきた有機物が蓄積されるだけでなく、窒素、リンの栄養塩類が過剰に流入した場合には、水域の一次生産量が異常に増大して水質が著しく悪化する富栄養化現象が生じる。これら水質汚濁は、異臭味、発ガン性物質であるトリハロメタンの生成等水道利用上の支障、貧酸素や濁りによる生態系への影響の問題を生じる。また、都市化に伴う国土の不浸透化、干潟や自然海岸の埋め立て・利用、治水対策としての河岸の人工化等による自然浄化機能の低下の影響もあると考えられる。また、近年では環境ホルモン等微量化学物質や病原性微生物による生態系や人の健康へのリスクが懸念されている。

水を媒介とした物質移動に対するインパクト

水を媒介とした物質移動に対する主なインパクトとしては以下のものが挙げられる、

a) 都市化や経済活動の拡大等に伴う汚濁負荷の増大

高度経済成長期以降、人口の増加、ライフスタイルの変化、社会・経済活動の拡大等に伴い家庭、事業所等からの汚濁負荷が増加しており、下水道の整備等が進められ減少傾向にあるものの、水域への汚濁負荷に対して依然高い比率を占めているほか、合流式下水道においては、雨天時における未処理排水の流出が問題となっている。また、農地における過剰施肥・肥料の不適切管理や家畜し尿の不適切管理に伴う汚濁負荷の流出や地下水への浸透、市街地からの雨天時流出負荷等面源負荷も比較的大きな割合を占めるとされている。

b) 土地利用変化等による国土の水質浄化機能の低下

土壤に浸潤した負荷は比較的長い時間をかけて土壤中を移動し、その過程で吸着、分解等の浄化作用を受けるが、都市化等に伴う流域の不浸透化は、このような機能の低下を招

いている。また、河川の直線化、河岸・湖岸の人工化、干潟の埋め立て等による国土の自然浄化機能の低下が問題となっている。

c) 閉鎖性水域の特性

河川のような流れの場では、常に汚濁負荷が通過しており、下水道等による汚濁負荷削減効果は表れやすいが、流れのない特に閉鎖性の水域では汚濁負荷が蓄積され、底泥等に貯蔵された汚濁負荷物質が水中に回帰するため、流域対策の効果は現われにくい。また、このような場では、植物プランクトンの増殖による赤潮等の水質問題や、成層の形成と低層における有機物の分解に伴う貧酸素化が発生しやすい。

d) 環境ホルモン等の微量化学物質やクリプトスポリジウム等病原性微生物の混入

さらに、近年では内分泌を攪乱作用が懸念される環境ホルモン物質や極めて微量でも発ガン性等の毒性を有するダイオキシン類等の微量化学物質による人の健康や生態系へのリスク、家畜糞尿の不適切処分による病原性大腸菌やクリプトスポリジウム等病原性微生物の地下水への浸潤や表流水への流出等に伴う水道原水の汚染が問題となっている。

e) 横断工作物等による物質移動の阻害

水は土砂を浸食・運搬し、国土を形成する。近年、土砂流出対策として講じられた砂防ダム等による土砂生産量の減少、森林の管理放棄等による流出土砂の増大、ダム・貯水池における堆砂・土砂移動の減少や港湾の建設等により、河川縦断方向及び沿岸方向に土砂収支の不均衡が生じている。また、近年ではシリカ、鉄等栄養塩物質の不足とそれに伴う沿岸海域の生態系の健全性の低下の関係が注目され出している。

水を媒介とした物質移動に係わる問題

a) 水利用への影響

水道原水の有機汚濁が著しい場合は、飲料水としての処理費用の高額化や発ガン性物質であるトリハロメタンが生成され、健康上のリスクを生じる。また、水源である湖沼やダム貯水池において藻類の異常増殖が生じた場合は、しばしば異臭味や毒性の問題を生じる。また、環境ホルモン等の微量化学物質や病原性微生物についても、一定の水準を超えて含まれる場合は、健康上のリスクとなる。

b) 生態系への影響

有機物や窒素、リン等の栄養塩類物質は生物にとって必須の物質であるが、過剰な場合には、閉鎖性水域において、藻類の著しい増殖や汚濁底質における消費によるDOの大幅な低下が生じ、魚類や底生動物の生息環境が著しく悪化する。また、藻類の増殖等による懸濁物質の増加は透明度を低下させ、沈水性の植物の生息環境を悪化させる恐れがある。

c) 親水利用への影響

水質の濁りは河川等水辺空間の景観を損なうとともに、水辺の親水機能を低下させる。また、大腸菌等による汚染がある場合は、親水活動に健康上のリスクを伴う。

d) 土砂の堆積・浸食

ダム・貯水池における堆砂によるダム・貯水池の寿命の短縮、河床の低下・アーマー化、海岸浸食等の影響が生じている場合がある。

(2) 生態系

人口の増加や産業活動の拡大に伴い、大規模な土地利用の改変が急激に進み、森林や草原などの自然環境の破壊が進んできた。近年は森林などの自然環境が占める割合の減少傾向は鈍くなっているものの、ひとつひとつ自然植生の面積は減少しており、生物の生息・生育場の縮小・分断化が生じており、生態系の多様性が低下している。また林業従事者の減少により、人工林などの手入れが不足し、荒廃することによって、生物の生育生息環境の質的な悪化が懸念されている。里山や草原においても人為的な利用のもとで管理されていたものが、利用の放棄によって遷移が進行し、生物の多様性を喪失しつつある。都市域においても自然環境が乏しいことから、近年ビオトープなどの生育生息場の整備による生物多様性の質を高める取り組みが進められている。

河川における生態系においては、河岸のコンクリート化、直線化等によって、動植物の生息環境の消失、分断化が生じるとともに、河川の自然浄化機能が損なわれている。さらにダム等の建設・運用に伴う流況の平滑化、土砂移動の減少や河道地形の変化が起こっている河川がある。その結果、河道内の生態系に変化（樹林化、外来植物の繁殖）が生じている。また特に河川を横断する工作物（ダム、堰）については、魚類等の遡上阻害なども問題となっている。

河川は、動植物の良好な生息・生育空間であり、また、多くの人々が河川空間における自然とのふれあいを通じ、心のうるおいややすらぎを得ようとしており、市民の自然保護活動や環境学習の鳩もなっている。このように、河川空間における生態系の保全・再生は極めて大きな課題である。

このため、地下水涵養や、蛇行の復元、瀬や淵の配置、河岸の自然の修復等の河川の再自然化や、魚類の生息・生育場の確保のための河川横断工作物対策など、河川流況のダイナミズムを回復する対策が行われている。

湖沼や海域においても、砂浜、干潟、瀬、洲、磯、ヨシ原などにみられるように、多様な要素によって構成された空間が多様な生態系を育んできたといえるが、埋立地の拡大や河川流出水からの汚濁負荷が増大し、生物の生息地が急速に減少した。近年は浅場や水生植物が持つ浄化能力や、生き物の住処としての役割が見直され、人工干潟などの整然再生の取り組みが進められている。

(3) 熱環境

大気中の熱に着目すると、都市域におけるヒートアイランド現象が著しくなっている(図-1.1.3.1)。これは、人の生活や交通・社会活動等に伴う排熱量の増加、緑地や水面等の喪失に伴う水分の蒸発散の減少と気化熱による地表面冷却効果の低下、アスファルトやコンクリート等による蓄熱、ビル等の人工構造物による風通しの阻害等によるものである。ヒートアイランド現象は、真夏日や熱帯夜の増加等生活環境を悪化させるほか、冷房エネルギー消費を増加させるといった悪循環を招いている。

ヒートアイランド現象の緩和のために、各種のエネルギー消費の抑制技術の開発、緑地やオープンスペースの確保、保水性・浸透性舗装の実施、風の道を確保する都市の構築な

どが求められている。

さらに、地球規模では CO₂ 等温暖化ガスの増加に伴う地球温暖化の進行が懸念されており、IPCC 第 3 次報告書(2001)では、シナリオにより気温の上昇幅に差があるものの、1990 年から 2100 年までの間に全球平均で 1.4 ~ 5.8 程度の気温上昇が見積もられている⁵⁾。

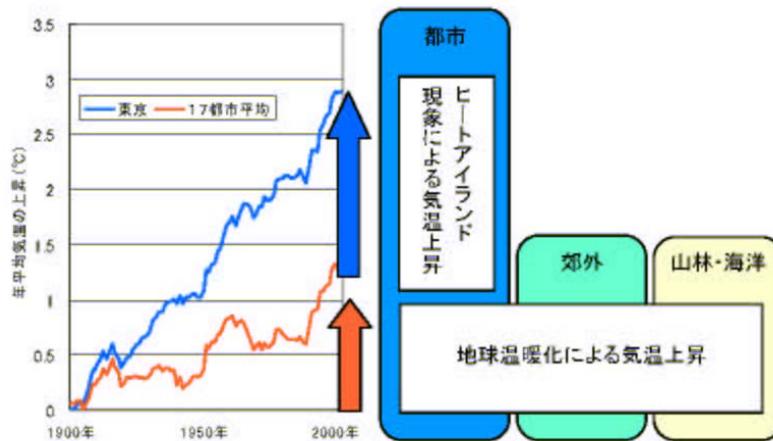


図- 1.1.3.1 ヒートアイランド現象と地球温暖化による気温上昇⁴⁾

参考文献

- 1)吉川勝秀：東南・東アジアの水環境，p.14～p.27，日本建築学会，2000．6 / 水，川と人，文明との係わりを眺める - 1 万年のスケールで見た経過 - ，土木技術，VOL.54，NO.12，p.96~107，1999.12
- 2)建設省：国土建設の現況，p.4，1999
- 3)棚橋通雄：環境と国土，ダム技術，NO.210，p.3~7，2004.3
- 4) ヒートアイランド現象による環境影響調査検討委員会：平成 15 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査業務報告書， p.3，2004.3
<http://www.env.go.jp/air/report/h16-04/index.html>
- 5)環境省資料：地球温暖化に関する最新の科学的知見について
www.env.go.jp/council/06earth/y061-01/mat02.pdf

1.2 自然共生型社会や流域圏に関わるこれまでの政策・実践の取り組み

1.2.1 国土計画の経過からの考察

今から約30年前、高度経済成長期から安定成長期に移行した頃、国土計画として第三次全国総合開発計画（以下、三全総と略称。1977年）が策定された。三全総は、ポスト列島改造の計画として、高度成長から安定成長へ、そして暮らしを強く意識した田園都市・定住圏構想がテーマとされた。定住圏構想は水系に着目するとされ、いわゆる流域圏構想であった。

流域圏構想は、乱開発・高度成長への歯止めも意識したものであったという。しかし、引き続いた経済発展と開発、交通・輸送や情報通信ネットワークの整備の下で、その構想は中部地方の矢作川流域や宮崎の五ヶ瀬川上流域といった一部の地域で具体的な活動が行われたにとどまった。

四全総（1987年）では、さらに進んだ都市化、東京圏への一極集中に対して、多極分散型の国土形成がテーマとされ、流域圏に係わる議論はなされなかった。最初の全総以降、国土計画（全総）ではいわゆる開発の計画が中心となってきた。

五全総では、バブルが崩壊し、人口が減少する時代を展望し、もはや総合開発計画ではないとして、「国土のランドデザイン」という名称の計画が策定された（1997年）。ランドデザインは、国土管理・経営の計画と見ることができ、参加と連携、大都市のリノベーション、多自然居住、地域連携軸の構想とともに、再び流域圏の構想が提示された¹⁾。

また、都市のリノベーションに係わる都市再生が経済活性化の緊急の課題として議論され、都市再生本部が内閣に設置されるとともに、都市再生特別措置法が2002年6月に施工されることにより、具体的な行動計画が「都市再生プロジェクト」などとして実践されている。

一方、1994年12月に策定された環境基本計画においては、「水環境については、水質、水量、水辺地等を一体としてとらえ、対策を総合的に推進すべきこと」と記述され、さらに平成12年12月に策定された「新環境基本計画」においては、戦略的プログラムの一つとして、「環境保全上健全な水循環の確保に向けた取組」を掲げ、環境保全上健全な水循環を構築するため、流域を単位とし、流域の水循環系の現状について診断し、その問題点を把握して、環境保全上健全な水循環計画を作成し、実行することの重要性が提唱されている。

これまでの国土計画では、その主眼は経済と国土との関係であった。これからの時代においても、経済は重要な要素であるが、それに加えて暮らしと国土、自然・環境と国土が考えられてよい。経済から環境に軸足を移した国土のマネジメント、自然と共生した流域圏・都市への再生という息の長い取り組みが必要である。

表- 1.2.1.1 これまでの「全国総合開発計画」²⁾

名称	全国総合開発計画 (全総)	新全国総合開発計画 (新全総)	第三次 全国総合開発計画 (三全総)	第四次 全国総合開発計画 (四全総)	21世紀の国土の グランドデザイン - 地域の自立の促進と 美しい国土の創造 -
閣議決定	1962年10月5日	1969年5月30日	1977年11月4日	1987年6月30日	1998年3月31日
背景	1 高度成長経済への移行 2 過大都市問題、所得格差の拡大 3 所得倍増計画(太平洋ベルト地帯構想)	1 高度成長経済 2 人口、産業の大都市集中 3 情報化、国際化、技術革新の進展	1 安定成長経済 2 人口、産業の地方分散の兆し 3 国土資源、エネルギー等の有限性の顕在化	1 人口、諸機能の東京一極集中 2 産業構造の急速な変化等により、地方圏での雇用問題の深刻化 3 本格的国際化の進展	1 地球時代(地球環境問題、大競争、アジア諸国との交流) 2 人口減少・高齢化時代 3 高度情報化時代
基本目標	<地域間の均衡ある発展> 都市の過大化による生産面・生活面の諸問題、地域による生産性の格差について、国民経済的視点からの総合的解決を図る。	<豊かな環境の創造> 基本的課題を調和しつつ、高福祉社会を目指して人間のための豊かな環境を創造する。	<人間居住の総合的環境の整備> 限られた国土資源を前提として、地域特性を生かしつつ、歴史的、伝統的文化に根ざし、人間と自然との調和のとれた安定感のある健康で文化的な人間居住の総合的環境を計画的に整備する。	<多極分散型国土の構築> 安全でうるおいのある国土の上に、特色ある機能を有する多くの極が成立し、特定の地域への人口や経済機能、行政機能等諸機能の過度の集中がなく地域間、国際間で相互に補充、触発しあいながら交流している国土を形成する。	<多軸型国土構造形成の基礎づくり> 多軸型国土構造の形成を目指す「21世紀の国土のグランドデザイン」実現の基礎を築く。地域の選択と責任に基づく地域づくりの重視
基本的課題	1 都市の過大化の防止と地域格差の是正 2 自然資源の有効利用 3 資本、労働、技術等の諸資源の適切な地域配分	1 長期にわたる人間と自然との調和、自然の恒久的保護、保存 2 開発の基礎条件整備による開発可能性の全国土への拡大均衡化 3 地域特性を活かした開発整備による国土利用の再編効率化 4 安全、快適、文化的環境条件の整備保全	1 居住環境の総合的整備 2 国土の保全と利用 3 経済社会の新しい変化への対応	1 定住と交流による地域の活性化 2 国際化と世界都市機能の再編成 3 安全で質の高い国土環境の整備	1 自立の促進と誇りの持てる地域の創造 2 国土の安全と暮らしの安心の確保 3 恵み豊かな自然の享受と継承 4 活力ある経済社会の構築 5 世界に開かれた国土の形成
開発方式	<拠点開発構想> 目標達成のため工業の分散を図ることが必要であり、東京等の既成大集積と関連させつつ開発拠点を配置し、交通通信施設によりこれを有機的に連絡させ相互に影響させると同時に、周辺地域の特性を生かしながら連鎖反应的に開発をすすめ、地域間の均衡ある発展を実現する。	<大規模プロジェクト構想> 新幹線、高速道路等のネットワークを整備し、大規模プロジェクトを推進することにより、国土利用の偏在を是正し、過密過疎、地域格差を解消する。	<定住構想> 大都市への人口と産業の集中を抑制する一方、地方を振興し、過密過疎問題に対処しながら、全国土の利用の均衡を図りつつ人間居住の総合的環境の形成を図る。	<交流ネットワーク構想> 多極分散型国土を構築するため、地域の特性を生かしつつ、創意と工夫により地域整備を推進、基幹的交通、情報・通信体系の整備を国自らあるいは国の先導的な指針に基づき全国にわたって推進、多様な交流の機会を国、地方、民間諸団体の連携により形成。	<参加と連携> - 多様な主体の参加と地域連携による国土づくり - (4つの戦略) 多自然居住地域(小都市、農山漁村、中山間地域等)の創造 大都市のリノベーション(大都市空間の修復、更新、有効活用) 地域連携軸(軸状に連なる地域連携のまとめ)の展開 広域国際交流圏(世界的な交流機能を有する圏域)の形成
投資規模	-	1966年から60年 約130～170兆円 累積政府固定資本形成 (1965年価格)	1976年から65年 約370兆円 累積政府固定資本形成 (1975年価格)	1986年度から2000年度 1,000兆円程度 公、民による累積国土 基盤投資 (1980年価格)	投資総額を示さず、投資の重点化、効率化の方向を示す。

1.2.2 都市地域計画としての流域圏計画

日本において、地域計画の理論と適用が、最初に実施に移されたのが、1932年から7年間の歳月をかけ、調査、立案が行われた「東京緑地計画」³⁾であった。この計画は、1932年に東京市が周辺 82 町村を合併し、500 万都市となったことを契機として策定された広域緑地計画である。1938年の計画書には、ボストン広域緑地計画図が、先例として掲載されている。しかし、ボストンが約 30km 圏を対象としたのに対し、東京緑地計画は、東京駅を中心とし 100km 圏を対象とする気宇壮大なものであった。この計画の中核となる東京区部における環状緑地帯計画は、流域圏プランニングの典型的事例であった(図-1.2.2.1)。すなわち、荒川、多摩川、江戸川の大河川のみならず、区部を流れる神田川、白子川、石神井川、善福寺川、妙正寺川、呑川、綾瀬川、中川、新川沿いは、放射環状緑地帯として位置づけられ、その要所、要所に大小の公園が計画された。水源林、遊水地、崖線の緑地や湧水地が保全の対象となった。すなわち石神井川の水源地として小金井公園が担保され、神田川については井の頭、善福寺、和田堀の各公園、東部の水郷地帯では小合溜一体が確保され今日の水元公園となっている。この計画の特色は、私権制限によるゾーニング型の緑地ではなく、公有地として確保していくというパークシステム本来の考え方を踏まえたものであった。財源は防空法にもとづく、防空緑地という名目で捻出された。1940年から1943年にかけて、確保された緑地は、東京で 1413ha、川崎で 222ha、横浜で 189ha にのぼった。これらの緑地は、第二次世界大戦後、農地解放により半減したが、今日なお、過密都市における貴重な緑地となっている。

第二次世界大戦の終了により、日本の被災都市では戦災復興計画への取り組みが始まった。戦災復興計画の特色は、都市計画区域を市街化区域、緑地地域、留保地域としたこと

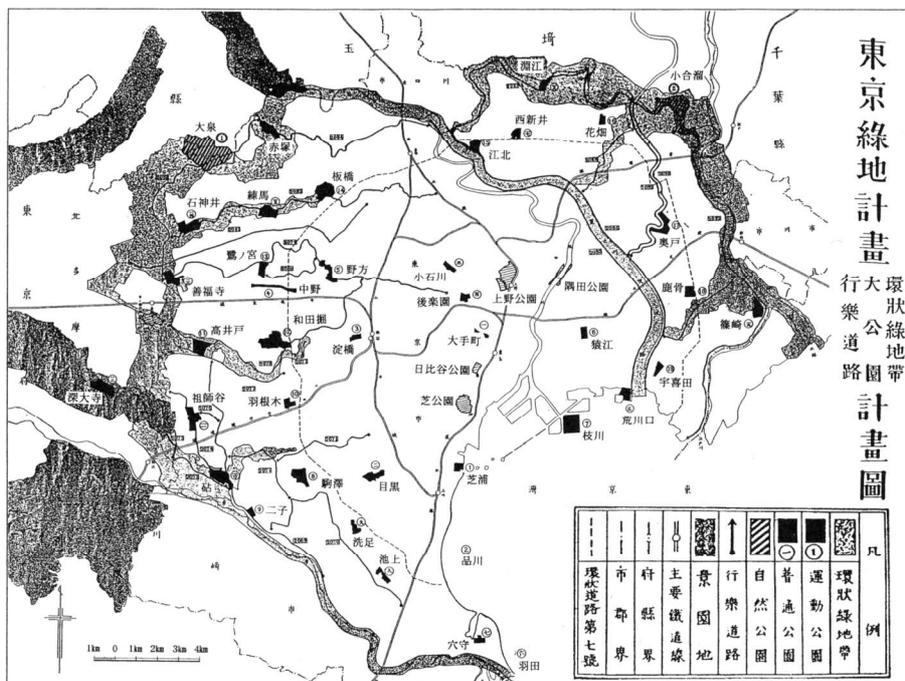


図- 1.2.2.1 東京緑地計画環状緑地帯・大公園・行楽道路計画図

にあり、人口分散政策を基本とする成長管理の思想を色濃く反映したものであった。緑地地域は、主として河川、湖沼、海浜、樹林地、農地など防空空地帯を根幹として指定されたが、法は建蔽率 10% という制限であったため、急速な市街化の圧力の前に、指定解除が相次ぎ、東京においては、実に 29 次に及ぶ改廃をへて、1969 年の新都市計画法の施行に伴い全廃された。

地域計画のレベルでは、1950 年首都建設法、1956 年に首都圏整備法が公布された。首都圏整備法は、グレーター・ロンドン・プランの影響を受けたものであり、近郊地帯というグリーンベルトに相当する地域が、都心から 10-15km の位置に、おおむね 10km の幅員で計画された。しかし、この近郊地帯は、開発規制による地権者への損失補償、買取り請求時の財源措置を欠いたものであったため、地元自治体と地権者から強い反対運動が起こり、1965 年、廃止となった。近郊地帯は近郊整備地帯と改められ、計画的市街地整備を行い、あわせて緑地を保全する地域とされた。保全する緑地の財源を担保するために、1966 年、首都圏近郊緑地保全法が制定されたが、指定区域の拡大は、ほとんど進んでいない。

20 世紀後半における日本の都市計画は、戦災復興という宿命を背負わざるをえないものであったが、経済発展、利便性、自動車交通のまえに、自然立地に根ざした流域圏プランニングは、大きな後退を遂げてきた。その中から、次第に力をつけてきたのが、地域の実情にあわせて、草の根的におこってきたのが、河川環境の保全や里山保全の運動であった。また、都市内にうるおいと安らぎを求める市民の後押しで、清流復活の広がり、全国的広がりをみせている。

都市計画において、法的にこれらの運動を支え、計画論の枠組みを提供しているのが、緑の基本計画、都市計画マスタープラン等である。これらの計画は、1994 年における都市緑地保全法、都市計画法の改正により、市民参加を前提として策定されるようになった。現在、約 10 年を経過し、都市ごとに特色のあるものに移行しつつあり、明確に流域圏プランニングの思想を有している、優れた計画も登場している。

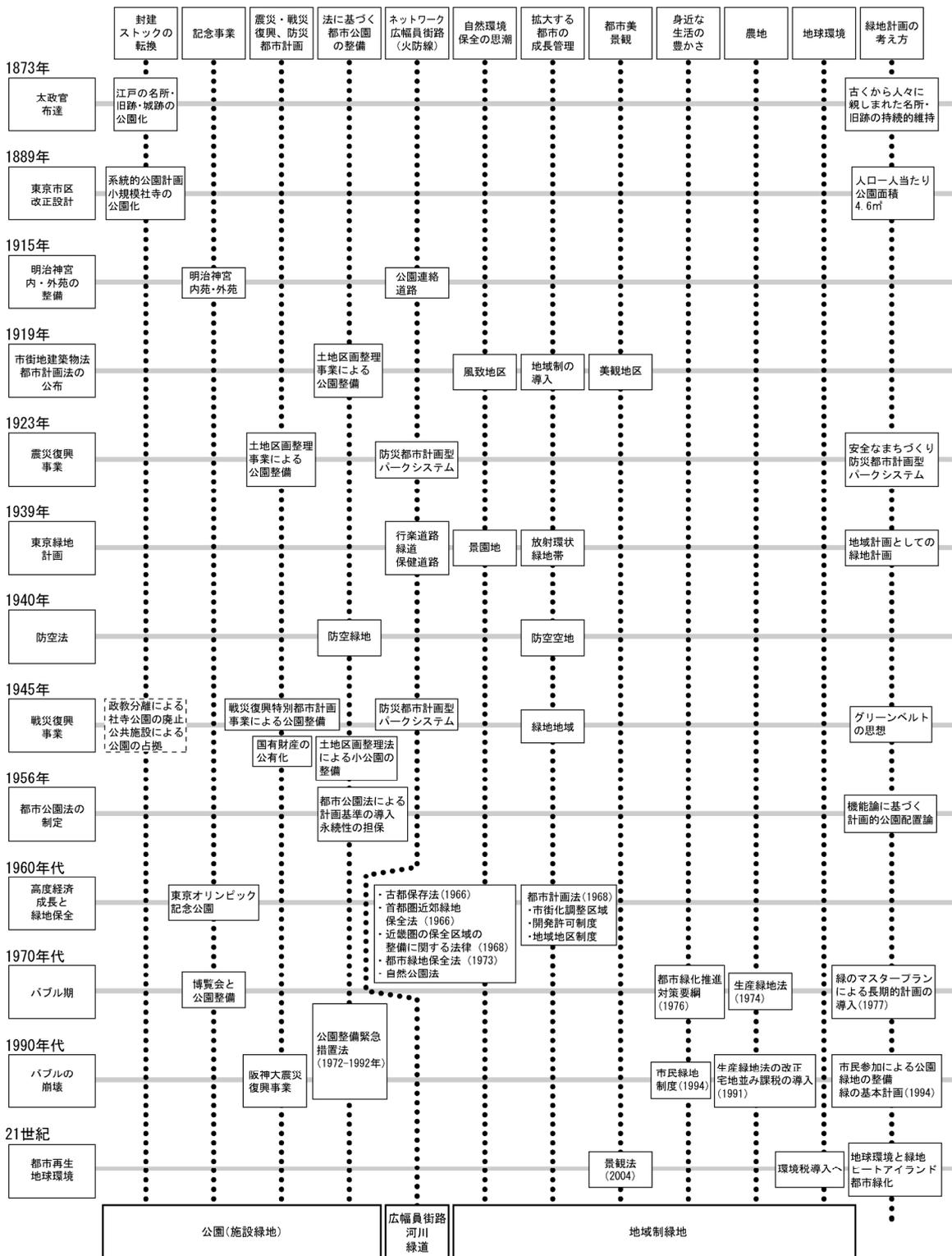
加えて、1997 年には河川法が改正されて、治水、利水と並び環境が、その目的に加えられたことから、戦後の空白期を経て、再び、流域圏プランニングの時代が到来しつつあると言える。しかしながら、実際の都市計画と河川の計画の距離は、思いのほか、遠いものがある。それは、河川の多くが、基礎自治体ではなく、国、県の所管であるため、自治体の責任において策定されるマスタープランとリンクすることが困難なためである。さまざまな階層、及び目的からなる流域圏の水循環の健全化を、誰が、どのような責任と意思決定により、遂行していくかは、21 世紀初頭において取り組むべき重要な課題となっている。

都市における緑地創出の経緯を、理念、法、計画論などを横系、時間軸を縦系としてまとめたものが表- 1.2.2.1 である。この表から、ネットワーク系の緑地網の形成が、政策として最も欠落していることが明らかとなった。

その一方で、1920-30 年代に東京をはじめとする巨大都市圏の萌芽に呼応し、世界の主要都市で時期を同じくして開発され、政策の適用が行われた地域計画は、河川軸及びその流域圏を地域形成の基盤としており、流域圏管理のシステムを土地利用の制御と活用の中で生み出したものであった。この時代に導入された水・緑・環境のインフラは、東京のよ

うに急速な都市化が進展した都市圏においてすら、今日の都市環境の骨格となっている。この意味で、流域圏プランニングは、都市計画の様々な計画論、手法の中でも、群を抜いてサステナビリティが高い手法であるといえることができる。

表- 1.2.2.1 都市における公共性の圏域としての公園・緑地の整備・保全に関する歴史の変遷



参考文献

- 1) 下河辺淳：戦後国土計画への証言，日本経済評論社 1994 / 国土審議会：第5次全国総合開発計画（「21世紀の国土のグランドデザイン - 地域の自立の促進と美しい国土の創造 - 」），1998
- 2) 国土交通省国土計画局：<http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/zs5/hikaku.html>
- 3) 石川幹子：都市と緑地，岩波書店，p.244-259, 2001.

1.3 本研究と国家科学技術戦略（イニシアティブ）との関係

1.3.1 科学技術の国家戦略としての位置づけ

国の科学技術開発政策は、総合科学技術会議（首相が議長、内閣府）で議論されている。2001年に政府が定めた第2期科学技術基本計画（2001-2005）に基づき、総合科学技術会議ではライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料を重点分野とし、それにエネルギー、製造業、社会基盤、フロンティアを加えた8分野での科学技術政策の戦略的重点化等が議論されてきた。

4つの重点分野の1つである「環境」分野では、平成14（2002）年度から、「地球温暖化研究」、「ゴミゼロ型・資源循環型技術研究」、そして、「自然共生型流域圏・都市再生技術研究」という分野横断的で、各省連携による3つの研究がスタートした。そして、平成15（2003）年度からは、さらに「化学物質リスク総合管理技術研究」と「地球規模水循環変動研究」が加わり、5つの研究が重点的に行われてきた¹⁾。

環境問題は、起こっている現象相互の関連が非常に複雑で多様であることから、個別の現象に関する研究を断片的に実施しても、問題の本質的な解決への有効な糸口とならないことが多く、従来の学問的枠組みを越えた総合的な研究の推進体制を取ることが必要である。環境分野の研究開発施策を遂行するにあたっては、国際的視野の下で府省間の連携や産学官の連携・協調を図ることが考慮されるべきである。これまでに、複数省庁によって実行される研究プログラムは存在してきたものの、実際の研究体制は各省あるいは研究機関ごとに独立して実施される傾向が強く、環境研究の総合化を阻んできたという実態がある。このようないわゆる「縦割り」の弊害を排除するには、各府省による環境研究及び技術開発のための戦略やプログラムを見直し、かつ統合し、政府全体として共通の政策目標とその解決に至る道筋を設定したシナリオ主導型の研究開発を推進する仕組みとなる「イニシアティブ」として研究が進められることとなった。

「自然共生型流域圏・都市再生技術研究イニシアティブ（以下、「自然共生イニシアティブ」と表記）」はその中の一つであり、都市を含む流域圏の国土マネジメントや、いわゆる社会資本分野とも密接に係わる集中的な研究開発イニシアティブである。本研究も自然共生イニシアティブに登録している研究課題の1つであり、研究成果がイニシアティブの推進に貢献するものである。

1.3.2 自然共生イニシアティブのアウトカムのイメージ例

このイニシアティブでは、都市を含む流域圏・流域構造の自然共生化、私たちの暮らしや経済の自然共生化をテーマとしている。その目標の設定やそれを実現するための政策シナリオ自体が研究開発のテーマであり、研究の推移とともに多様なアウトカムが設定されてよい。したがって、アウトカムのイメージは、シナリオ等に係わる研究の進展に伴い広がるものであるが、本イニシアティブの開始時点で関係5省の間で想定するイメージとしては以下の3つと整理した。

都市を含む流域圏での“自然、水・物質循環、自然とのふれあいの再生”

これは、流域のランドスケープ*に基づく生態系の保全や再生、洪水時における総合治水対応や平常時における河川水量や水質、湧水等の水・物質循環（系）の再生、都市に暮らす人々と自然とのふれあいの再生といったことを目指すというものである（図-1.3.2.1）。この面での先進的な議論と実践の萌芽は、例えばイギリスのマージ川流域キャンペーンや鶴見川流域の水マスタープランづくりに見られる^{2)、3)}。地方部の流域圏・都市では、流域連携・交流によるふれあいの再生、多様な地域づくりといったことも含まれる。

自然共生型流域圏・都市再生プログラムの例(1)
- 流域圏・都市での自然、水物質循環、ふれあいの再生 -

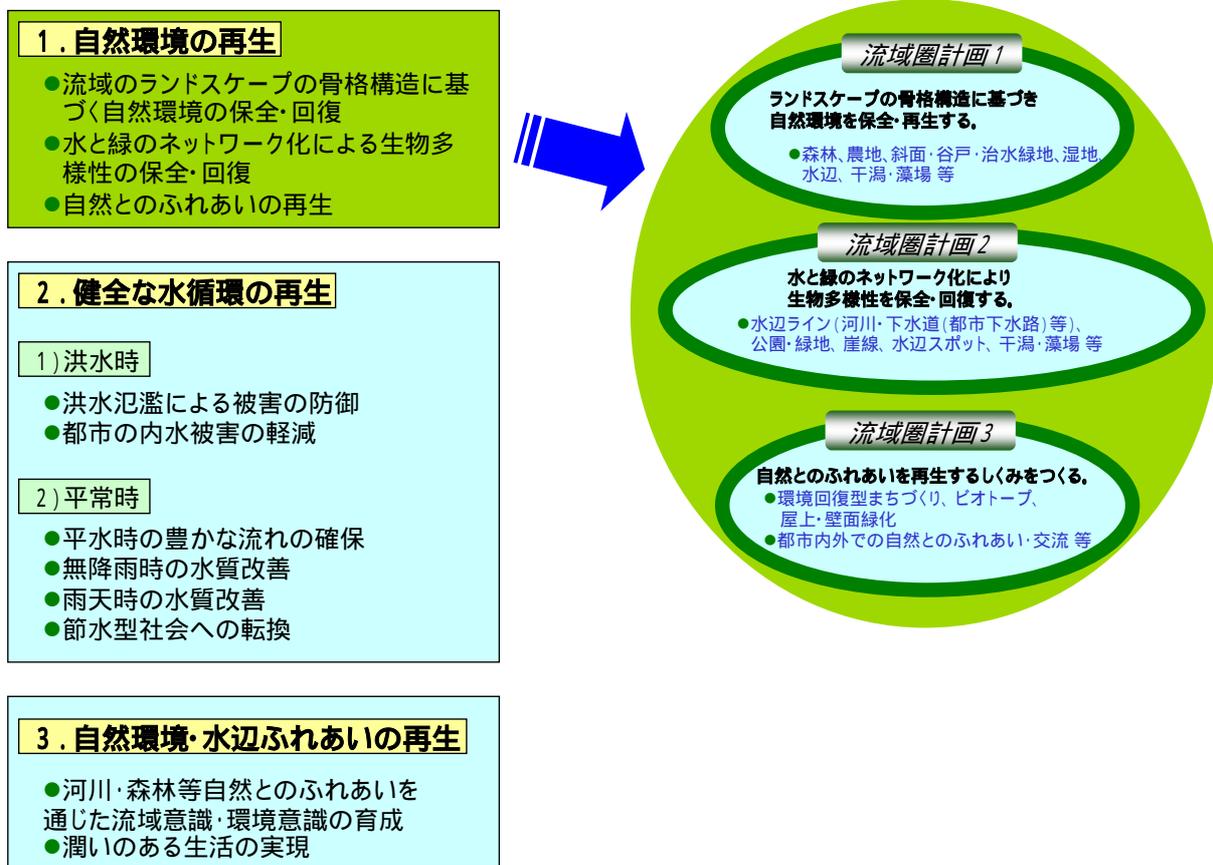


図- 1.3.2.1 アウトカムのイメージ(1)；「自然、水・物質循環、自然とのふれあいの再生」

*)ランドスケープ：地形を基本とした景観のこと。流域におけるランドスケープとして、具体的には緑地、農地、湿地、水辺などの自然物と、人為的な作用を受けた土地、建物やその他構造物から構成される。

沿岸域を含む流域圏・都市の“水域の水環境、生態系の保全・再生”

これは、流域内の身近な河川や水辺、および流域の下流に位置する沿岸域、湾域、湖沼等の閉鎖性水域の保全や再生を目指すというものである。流域圏・都市との係わりを明確にして、水質や生態系の再生を目指すというものである。水辺へのアクセスの改善等、人々と水辺との関係の再構築、子どもと水辺との係わりの増進、学習・教育といったことも重要な要素として含まれる（図- 1.3.2.2）。

自然共生型流域圏・都市再生プログラムの例(2)
- 水環境・生態系の保全・再生(河川・湖沼・海域) -

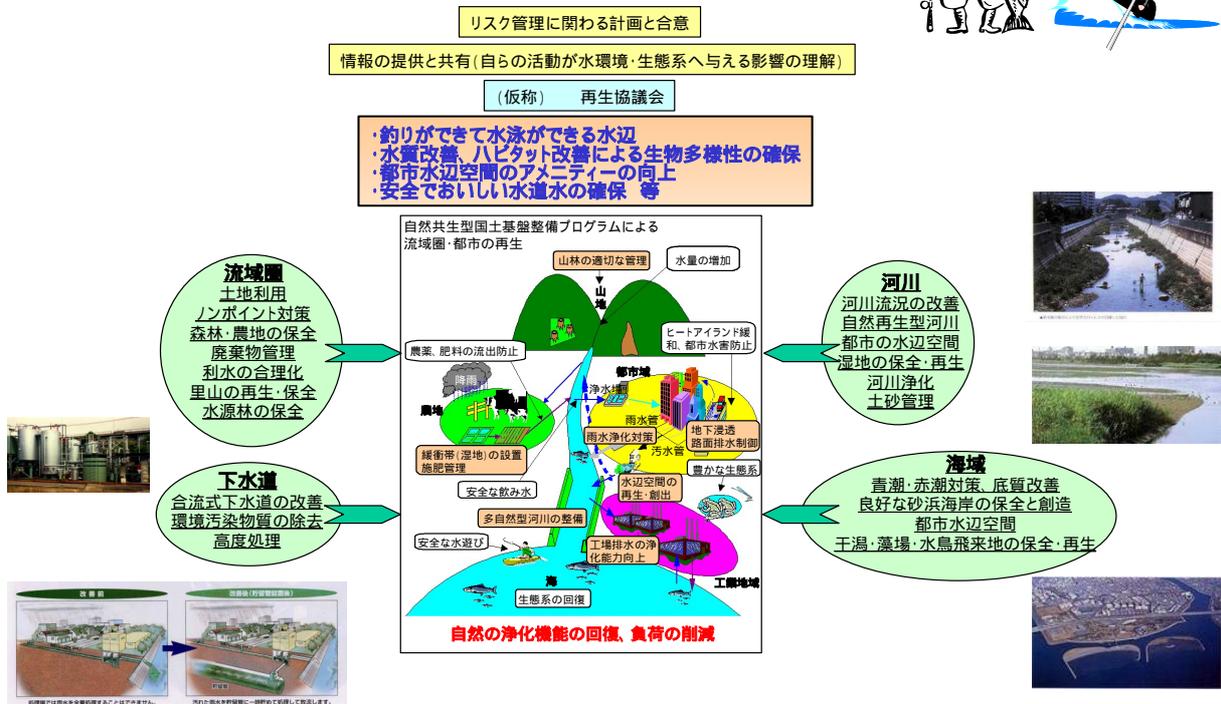


図- 1.3.2.2 アウトカムのイメージ(2) ; 「水域の水環境、生態系の保全・再生」

都市の水・緑・環境・美しさの再生

これは、都市の環境に係わる諸問題を、流域圏という視点をもちつつ自然共生化するというものである。都市の水・物質循環の改善、ヒートアイランドの緩和、美しさの再生・創造なども含まれる。人口減少社会でも起こりうる都市周辺のなし崩し的な土地利用を抑制し、インフラの集積の大きな都市的地域を上手に利用し、境界の管理も意識した、いわゆる”スマート・グロース・コントロール”などもテーマとなる(図- 1.3.2.3)。

既存の市街地を対象とした都市のリノベーション、再開発など、都市整備という足の重い事業で、かつ、政策手段が限られている現実の中で、都市の自然共生化を目指すというものである。

自然共生型流域圏・都市再生プログラムの例(3)

- 都市の水・緑・環境・美しさの再生 -

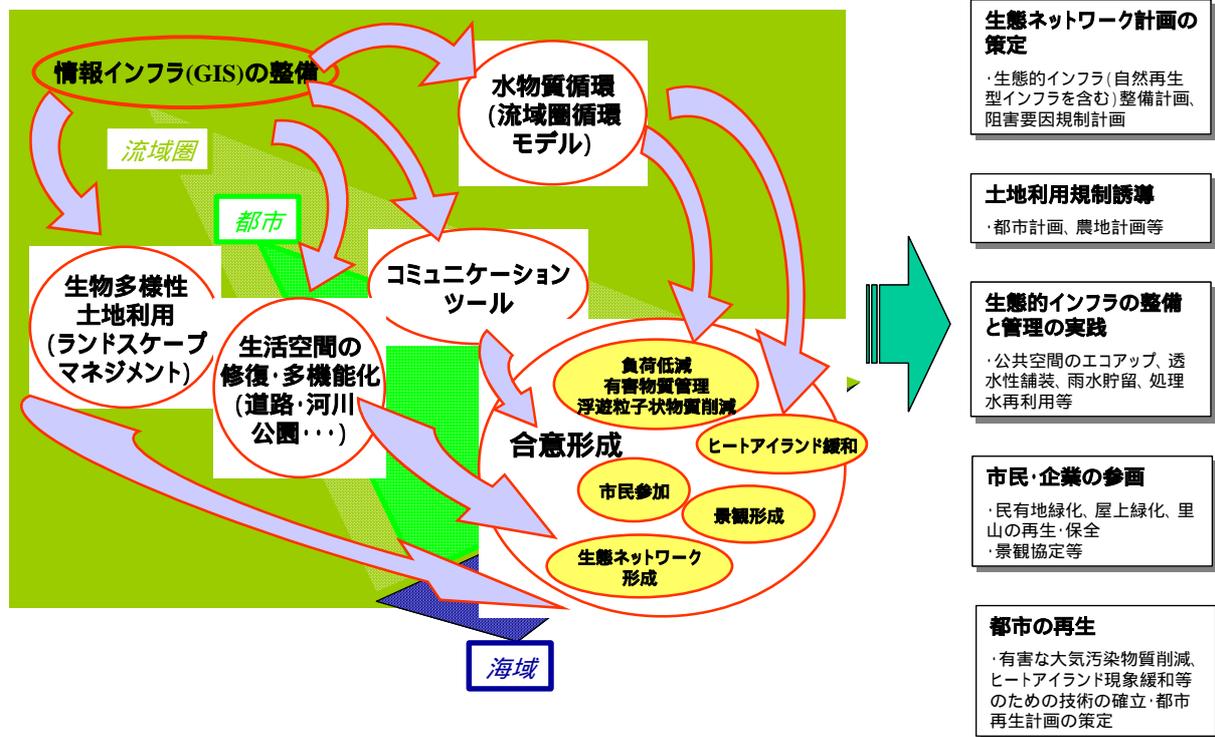


図- 1.3.2.3 アウトカムのイメージ(3) ; 「都市の水・緑・環境・美しさの再生」

1.3.3 自然共生イニシアティブでの研究開発内容

上に例示したような流域圏・都市再生のアウトカムを目指すため、政策ツール等の研究開発を行う。その内容を少し詳しく述べると以下の通りである。

現在の流域圏・都市、特に繁栄する都市圏で失われた自然環境、人為的な環境汚染、都市景観の問題等は、20世紀、特にその後半に起こった負の遺産ともいわれている

人口が減少し、少子高齢となる社会において、負の遺産を軽減・解消しつつ、国や地域の活力を維持することが、これからのテーマとなる。また、都市と自然との共生、あるいは自然に寄生する都市と考えた場合に、持続可能な形で自然と折り合いをつけることは、今後人口が激増し、都市化が進むことが予定されているアジア・モンスーン地域の国々等の世界を眺めると、地球的なテーマでもある。

環境に関わる地域活動は、日本国内はもとより、世界的にみても、流域（水系）アプローチにつながることが多い。先進的な事例としては、マージ川流域キャンペーンやライン川流域での国際的な活動²⁾、アメリカでの各種の流域アプローチによる活動、日本の鶴見川流域での活動³⁾など、行政、企業、市民団体、市民が連携した活動が挙げられる。

水や物質の循環系と生態系のまとまりとしての流域圏、また、都市を支える流域圏という視点を重視し、環境面から流域圏・都市の再生に取り組む研究開発が、「自然共生型流域圏・都市再生」イニシアティブと呼ばれるものである。

イニシアティブでは、その必要性として、日本では河川流域を単位とした自然基盤に都市が成立・発展してきたこと、その後人口・経済の集中で環境負荷を流域圏にもたらしたこと、都市が成立するための流域圏の自然基盤が崩壊しており、流域圏全体の自然環境の保全・修復が求められていること、を挙げている。また、都市と自然との折り合いのつけかた（例えば、都市の自立化、都市と周辺地域との秩序ある境界の構築等）についても言及している。イニシアティブの内容としては以下の4つのプログラムの研究開発を進めることとした（図-1.3.3.1）。

a) 都市・流域圏環境モニタリングプログラム

流域圏における生態系と都市の現状について、自然環境基盤（水循環、物質循環、生物多様性等）及び社会環境基盤（都市河川・沿岸等）の双方から観測・診断・評価する技術の開発。

（目標）モデル都市域内及び都市・農山漁村を含む流域圏の水・物質循環・生態系等環境状況を総合的に観測・診断するとともに、全国の過去～現在までの都市・流域圏の再生・管理に係るデータを収集し、これらの環境総合情報システムを構築する。

b) 都市・流域圏管理モデル開発プログラム

水循環モデルや生態系モデル等各要素モデルの開発と各要素モデルを統合した流域圏管理モデルの開発

（目標）都市・農山漁村を含む流域圏の水循環・物質循環・生態系等の変動に係るプロセスの解明とこれらの地域での人間活動の分析をもとに、環境変動予測や影響評価モデル並びにそれらを統合した都市・流域圏環境管理モデルを開発する。

c) 自然共生化技術開発プログラム

水循環に焦点を当て、良好な自然環境の保全と劣化した森林・農地・河川・沿岸等生態系及び生活空間の修復再生技術開発

(目標) 都市・農山漁村を含む流域圏の良好な自然環境の保全、劣化した生態系等の修復や悪化した生活空間の改善のため、要素技術の開発及びシステム開発を行う。

d) 自然共生型社会創造シナリオ作成・実践プログラム

上記 a) ~ c) の研究開発を総合的に推進するためのシナリオ構築とそれに基づく実践技術開発等

(目標) 都市・農山漁村を含む流域圏における自然共生型社会の構築に不可欠な人間活動 - 社会システムのあり方に関する基本的コンセプトの提示とその実現に必要な環境修復・再生に関する技術開発・政策シナリオの設計・提示を行う。

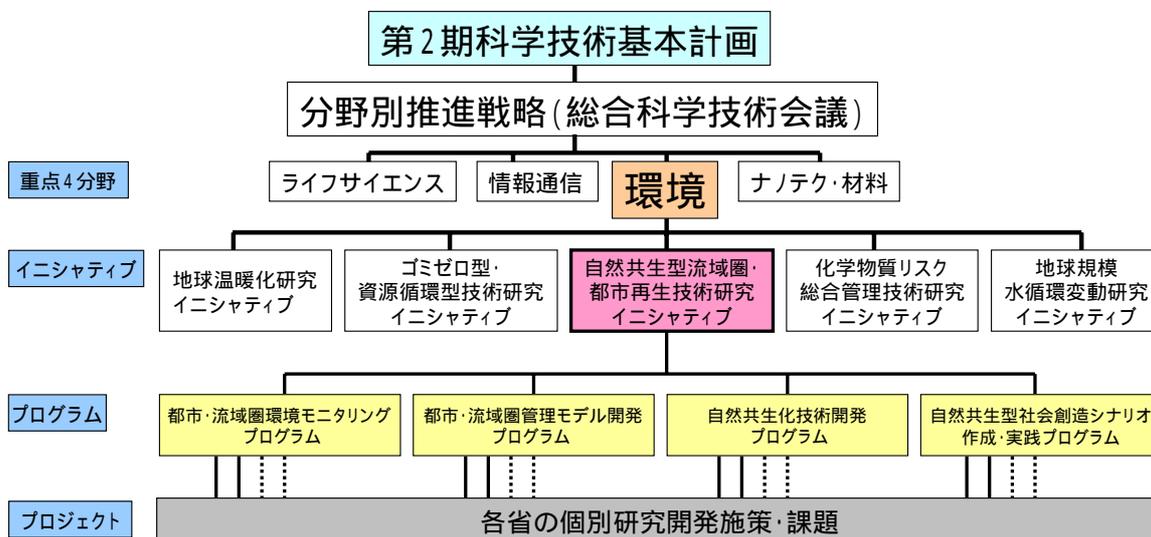


図- 1.3.3.1 自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブの位置づけ

イニシアティブの推進には、行政では環境省、農林水産省、厚生労働省、文部科学省、経済産業省、国土交通省等が連携して取組んでいる。流域圏と都市を対象とした国土マネジメントに関わるものであり、国土交通省はもとより、広く学識者、研究者、関係学会、NPO等が連携して主体的かつ積極的に取組むべきテーマである。

関係6省では、以下の研究開発内容および達成目標を想定している。

研究開発内容としては、前述の4プログラムをブレイクダウンして、モニタリングと現象解明、流域圏管理モデルの開発、人文社会科学的な分析・評価システム開発、自然修復技術の開発、情報基盤整備、再生プログラムの立案・実践の6プログラムを想定している(図- 1.3.3.2)。

流域圏・都市の構想は、三全総の経過でみたように、時代の趨勢に対応したものでないと実現しない。しかし、人口が減少し、高齢社会となるこれからの時代には、都市の再生を含めた新しく、より幅の広い流域圏・都市の構想が提起されてよい。

自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブは、緊急的・重点的な課題となっている都市の再生も背景となって、地球温暖化イニシアティブ等と並列される国家的なイニシアティブである。このイニシアティブでは、行政、企業、市民団体、市民等が身近な足もと（流域圏、水系）から、地球環境問題を含む環境問題に取り組むことができる。都市と自然との共存・共生、あるいは都市が自然と折り合いをつけることは、前述のように世界的なテーマであり、地球温暖化や地球規模水循環変動への対応にもつながるものである。

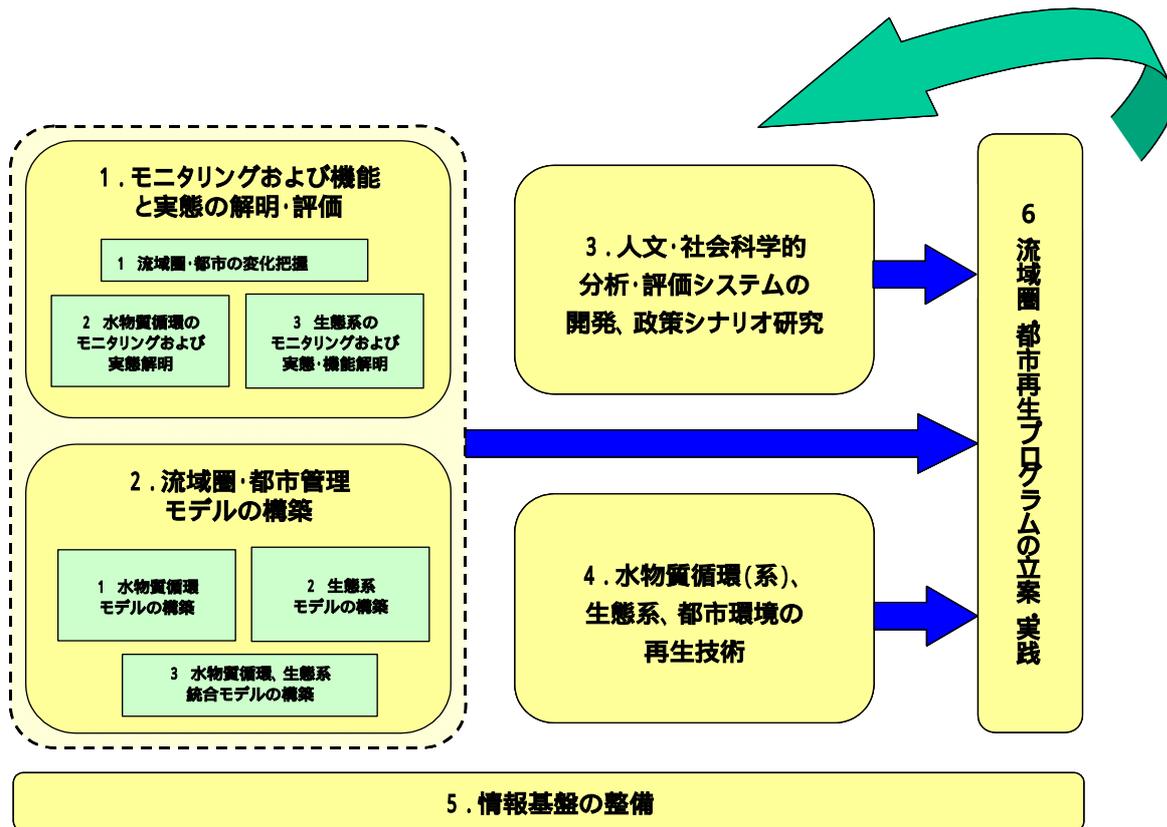


図- 1.3.3.2 自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブの内容

参考文献

- 1) 内閣府総合科学技術会議：分野別推進戦略，2001.9.
[http://www.meti.go.jp/policy/bio/LIFE-giren/soukai-17th/17th\(1-1\).html](http://www.meti.go.jp/policy/bio/LIFE-giren/soukai-17th/17th(1-1).html)
- 2) 吉川勝秀：イギリスの「マージ川流域キャンペーン」について，河川，NO.612，p.60~63，1997.7 / 地域連携がまち・くにを変える（共著），小学館，p.132~141，1998.11.
- 3) 国土交通省関東地方整備局京浜工事事務所監修：鶴見川とその流域の再生 - 流域水マスタープラン策定に向けた提言 - ，2002.3

2 自然共生型国土形成に向けた施策展開の考え方

2.1 自然共生型国土を考える視点

(1) 実現可能な国土像¹⁾

一般に、人間の社会経済活動のプラス因子は環境上のマイナス因子となり、環境上のプラス因子は社会経済活動のマイナス因子となるトレードオフの関係にあることが多い。環境を重視するあまり、社会経済活動に著しい阻害を与えることも問題があるし、一方において、環境のために行う要素が一次的には社会経済活動のマイナス因子となっても、新たなシステムの定着により二次的にはゼロまたはプラスとなることもある。

このようなことを十分に考慮し、バランスのとれた実現可能な国土像が求められている。しかしながら、それが何なのかを具体的に示すことは困難であり、最終的には人々の価値観がそのバランスを定めるものであろう。「このままでは大変なことになる。だから、こうしなければならない。」という脅迫型のシナリオでは、前述のようにその根拠が曖昧なこともあり、人々の価値観を変えるには至らないであろう。「現状を変えないで推移した場合」、「環境上の施策を最大限実施する場合」の両対比案に加え、中間型の「この程度の対応をすれば、このようになる(得失がある)」ものを示し、実現可能なものを模索し、可能な範囲で極力実践してその結果を示し、同時にそのことが価値観の変遷を促すような展開が必要である。また、価値観が変化すれば、それを受けた新たなビジョンを示し、同様の展開を図るという段階的な取り組みも行っていくべきである。

(2) 歴史的な重層性¹⁾

国土構造は、現在の社会経済活動を反映しているだけでなく、歴史的な重層構造の結果を反映したものである。土地利用や社会基盤などは、人々の本質的欲求と、秩序維持、全体効率性の追求などの支配者側が求めるものとのせめぎ合いの中で形成されてきたものである。例えば、東京の緑地が歴史的経緯の中で如何に保全され、また、喪失していったかなどは研究対象として重要なテーマであると同時に、今後の政策手法などを考える場合の参考となるものであろう。

歴史的な重層性を十分に理解・斟酌するものの、過度に歴史的なしがらみにとらわれず、国土のビジョンを考えるべきである。

(3) 時空間スケールの設定¹⁾

環境問題を取り扱う場合、時空間のスケールを適切に設定する必要がある。我々が求めることができるのは、全体解でなく部分解である。また、何かを数学的厳密さ・正しさをもって最適と判断すること自体が不可能であるから、最適解ではなく、選択することが望ましいと判断できる解を求めることしかできない。

時間スケールでいえば、太陽が燃え尽きる数十億年オーダーは論外としても、地球規模循環の中には数百万年オーダー(地質学的循環)や数万年オーダー(氷期)、10日オーダー(水循環:海洋流を除く)など様々である。人々が実感を持って受け入れることが可能な数十年から百年ぐらいが現実的であろう。

空間スケールについては、国土のあり方が対象であり、また、環境要素のみならず国際情勢など不確定要素もあることから国内に限定し、食料・エネルギーなど国外依存度の高い要素は与件とせざるを得ない。

(4) 可能な範囲での環境容量的な考え方の導入¹⁾

時空間スケールをかなり限定しても、多くの要素からなる複雑系を取り扱うことにはさして変わりはない。説得力のあるビジョンとするためには、可能な範囲で環境容量を設定し、これを目標の一部に組み入れることが望ましい。これにより、将来ビジョンの必要性がわかりやすくなり、具体的な取り組みが容易になると考えられる。ただし、環境容量の設定に当たっては、当該環境容量が経済効率性や他の環境容量とトレードオフの関係にあったり、時空間スケールが変化すると成り立たなくなったりすることもあること、さらには、あまり説得力のないものであったりすることもあり、十分考慮して行う必要がある。例えば、窒素、リンなどの栄養塩の水域に与える影響について、一部の閉鎖性水域では容量オーバーであるが、河川全体あるいは海域まで含めた場合は容量内であるという現象があるが、こうした場合には社会的な影響なども考慮し、どのようにスケールで容量設定をすべきか十分考慮する必要がある。

(5) 環境管理を考えるスケールとしての流域圏・都市の難しさとユニークさ

いわゆる地球規模の環境問題については、現象のスケールが大きすぎて、それを人々が実感することは非常に難しい。しかし、「地球」が丸ごと対象になるがゆえに、「持続可能性」や「容量限界」という言葉は、それが概念的なレベルにとどまっても受け入れられやすく、また、科学的知見を軸に、地球規模で整合のとれた施策展開を図ること以外に選択肢は無いと言うある種の単純さがある。また、小河川の水質汚濁やゴミ問題のように、スケールが小さくて、問題の所在や暮らしとの関係が明瞭な形で身近に見える場合も、問題の深刻さと取り組みとの間にそれなりの応答関係を保ちやすい。

しかし、ここで対象としている流域圏・都市という中間的スケールの現象については、前述の集合的現象、蓄積的現象、経路依存的現象が卓越するには十分なスケールであり、一方、「持続可能性」や「容量限界」を自明のこととして多数が理解、納得するには、そのスケールの地球規模との違いが課題となりうる。現在の人間活動は、意識も含め、流域というスケールをはるかに超えてしまっている場合が多く、ある流域圏で狭義の容量限界を越えることが、そこでのシステムを麻痺させることには必ずしもつながらない。流域圏・都市という中間的なスケールの場の環境管理を考える場合、小スケールで通用する危機の実感に頼ることもできず、一方、地球規模の問題と異なって、「持続可能性」や「容量限界」という概念と施策実行との間に少なからぬギャップが生じる場合も想定しておくべきであろう。

加えて、流域圏・都市という中間的スケールは、多くの人々の生活や仕事の基盤のスケールとも重なる。このことは、1.1から容易に理解される。そこでの環境システムを変えていくことは、実世界の利害対立の中に踏み込み、それを克服していくことを意味し、流域

圏・都市ごとに錯綜する利害対立を紐解いて行くことは、実践という面で、大きな仕事になる。

以上のような中間的スケールを扱うことの難しさは、しかし、それへの挑戦の重要性と価値を物語るものとも言える。簡単に実感できる環境問題と、概念的にインプットされる（少なくとも現段階では）環境問題との間をつなぎ、近代社会を支える生活や仕事の基盤と正面から向き合っ、環境問題の解決を長期的・継続的にはかっていくことは、21世紀の環境に関わる普遍的な課題であり、自然共生型流域圏・都市再生は、それに向けての最適の挑戦の場の1つであり、その波及性は絶大と言えるからである。

(6) トップダウンとボトムアップの組合せの重要性

このような挑戦においては、二つのことが重要と考えられる。1つは、前述のように、持続可能性や容量限界、さらにはそれ以外の概念も含めて、流域圏・都市というスケールにおける環境管理を司る一般的・普遍的・包括的な概念や原理と、それに対応した政策ツールを用意することである（トップダウン的アプローチ）。ここでは、もちろん、上記の中間的スケールを扱うという難しさ、具体的には1.1に示された課題に実務上耐えられるようなものという要請が十分考慮されなければならない。

しかし流域圏・都市の再生に関してトップダウン的アプローチが用意されたとしても、そうした理念的アプローチから“降りていく”だけでなく、顕在、潜在を問わず、その圏域の人々が抱えている問題意識についても大切にし、その圏域が感じている問題を幅広く掘り起こすこと（ボトムアップ的アプローチ）が、自然の再生を実践していくことに深く係わっている。ボトムアップ的アプローチはそれぞれ個別の目的を持って積み上げられており、それらを流域圏全体で集積させた時に、流域圏全体のトップダウン的評価軸との整合性がとれている必要がある。シナリオ誘導型のトップダウン的アプローチにボトムアップ的アプローチが巧みに組み合わせることの重要性が端的に現れる。

流域圏・都市を扱うことのもう一つの大きな特徴は、大きな人為的圧力に伴う急激な変化を既に経験していることであり、ここが問題のありようを科学的予測から想定するしかない地球環境問題との違いである。我が国においては、高度経済成長期における変化がその代表である。このため、「再生」がもう一つのキーワードとなる。このことは、圏域の中に、変化がもたらしたものを体感的に理解している人々が多くいることを意味する。このような経験は、必ずしも理論化・体系化できているとは限らないが、流域圏・都市の再生に向けての、有力なドライビングフォースとなりうる。

参考文献

- 1) 棚橋通雄：環境と国土，ダム技術，NO.210，p.3~7，2004.3

2.2 自然共生型国土の再構築へのプロセス

日々、物質的豊かさや利便性等を享受・実感する一方で、自然との触れ合いの機会が乏しくその恩恵を感じていない現代人に対して、実感の乏しい環境改善効果や、社会の持続性、環境倫理等に基づき、ライフスタイルの改変を訴えたとしても、物質的豊かさや利便性等をいくらか放棄して、自然システムを再生するという考え方に、多数の人が共感やモチベーションを形成することは困難と思われる。このため、自然共生型国土再生の実践においては、個々人が現在の社会やライフスタイルの中に自ら問題を発見し、より豊かな生活の実現に対するモチベーションを持って自発的に変わっていくための手続きや仕組みの整備が重要である。また、国土・地域や生活に係わる将来目標や将来像は自明ではなく、当該地域(流域圏)に係わる住民等様々な主体が議論し、現在の物質的な豊かさや利便性・快適性の減少と、自然環境の健全化に伴う生活環境改善や社会の持続性確保、健康リスクの減少等自然からの恩恵の増大との兼ね合いから、真に豊かな生活や社会に関する住民の合意を形成していくことが重要である。

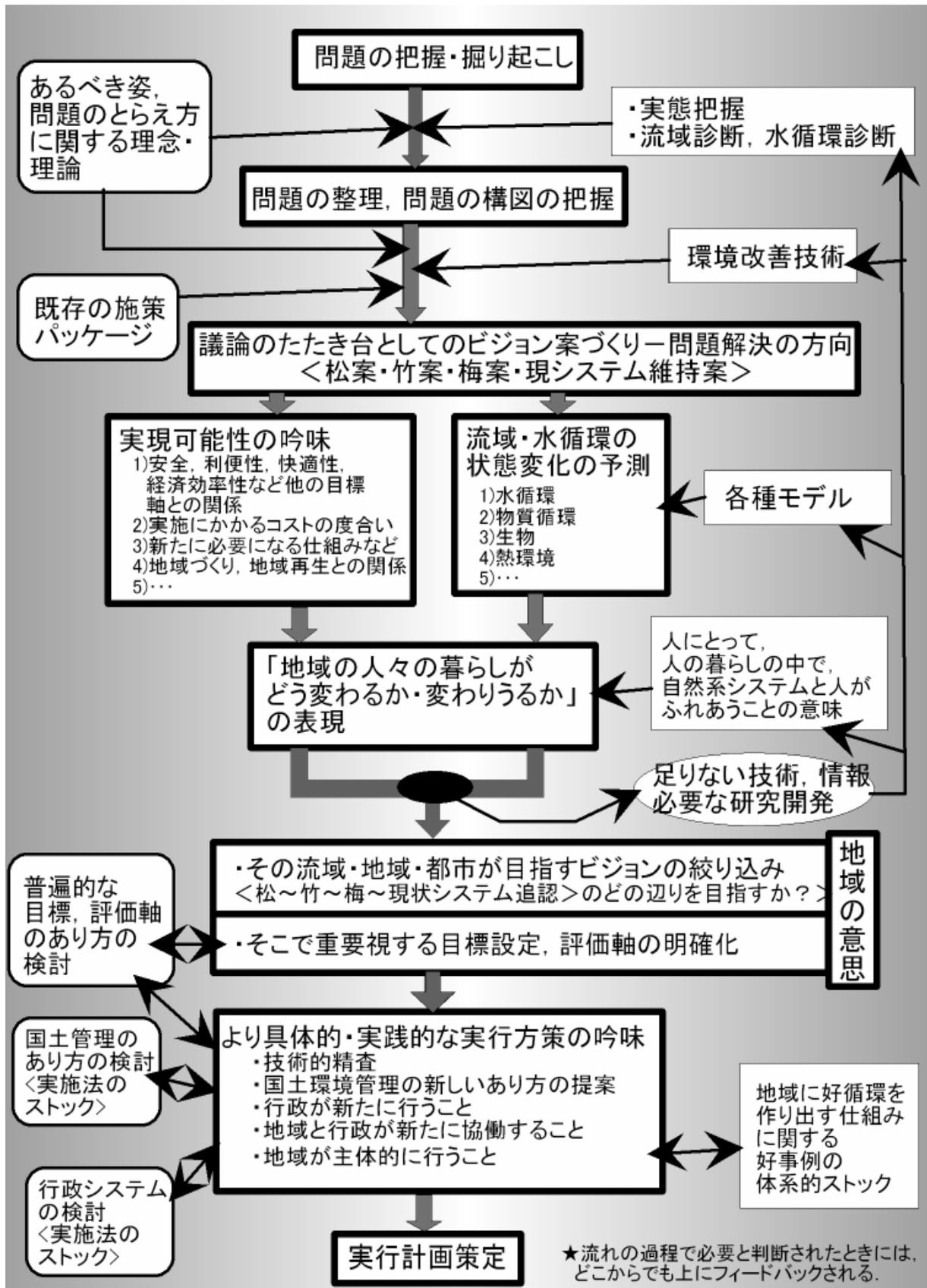
上記を踏まえ、ここでは、流域圏再生を実行する際の大まかな“手順”を、あえて図-2.2.1のように簡潔に描いてみた。そして、この“手順”をたどることで、一般的・普遍的な議論と具体の地域での再生の取り組み、研究開発が三位一体で進んでいく状況をイメージし、前述の「結集」のあり方を考えていく。この図の中央にあって太矢印により縦につながれた四角枠群が、対象とする地域について再生の実行計画を策定するまでの流れであり、幹の部分に当たる。幹の左にある枠群は、より一般的・普遍的な検討の成果からの支援と位置づけられ、右にある枠群は、研究開発の成果からの支援と位置づけられる(図-2.2.1の下端参照)。

問題の掘り起こしとその構図の把握

手順の出発点は、問題の掘り起こしとその構図の把握である(図-2.2.1の幹の上部)。流域圏の再生に関しては、「健全な水循環を再構築する」など、問題の捉え方について、重要な視軸がいくつも用意されている。しかし、具体の流域圏再生を議論する際には、そうした理念的アプローチから“降りていく”のではなく、顕在、潜在を問わず、その地域の人々が何を感じているか?を原点とすべきであろう。また「再生」へのエネルギーは、自然と人とのかかわり方への根本的問いから発するものであるから、狭い意味での水循環にこだわらず、より広い文脈の中で、身近な課題を含めて幅広く掘り起こすことが肝要である。

掘り起こしの鍵は、流域の取り組み・流域診断技術・再生理念の三点セット

最近では、地域がかかえる課題に着目した様々な活動が、各地域で主体的に行われる事例が増えている。沿川住民が行う環境調査、上下流や山と海との交流、グランドワーク的な動き、水を活かした環境教育、地域再生と流域再生をつなげた取り組み、水問題に関する知識と認識を広げ共有化するための催しなど、枚挙にいとまがない。これらには地域に根ざした問題意識が反映されているはずであり、貴重である。



一般・普遍 ← 地域ごと → 技術・研究開発

図-2.2.1 自然共生型国土の再構築へのプロセス¹⁾

同時に、体系的に集められきちんと分析された情報に基づく流域診断も重要な役割を担う。流域圏にかかわる現象は膨大かつ複雑であり、各地先での目に見える事象だけから全体像を見通すのは難しい。過去から現在にいたる流域の実態と課題をわかりやすく見せる診断技術（図-2.2.1の右上）が容易に手に入る状況を作ることが必要である。

再生のあるべき姿、問題のとらえ方に関する一般的な理念や理論は（図-2.2.1の左上）具体の地域における問題把握を行う過程で、その真価を発揮する。現場から得られる情報から問題の構図を整理するには、問題の本質や将来顕在化する問題を見通す“想像力”や“構想力”が必要であり、一般的な理念や理論を勉強し、“引き出し”を増やしておくことが大切である。最近では、いわゆる地球規模の環境問題をはじめ、現場情報だけでは出てこない新しい課題が次々と出てきており、これらと各地域の問題とをどのようにシンクロさせるかも、掘り起こしの大事な視点である。

議論のたたき台としてのビジョン案づくり

次のステップとして、問題を解決し、より良い地域を実現するためのビジョン案づくりを掲げている。ここでは、1つに絞られたビジョンを作ることよりも「“松”、“竹”、“梅”、現状維持」というように幅広い選択肢を案出することに主眼がある（松竹梅の違いは、例えば環境重視の違いなど）。ともすれば抽象的あるいは散漫になりがちな議論を引き締め、地域の今後の行き方について建設的な議論を行う状況をつくるために、「では、どうすれば良いか」を具体的に出し合うことが最も分かりやすい突破口になるはずである。

各種モデルによる環境変化の予測

色々なビジョン案が出されたら、ビジョン実現が地域に何をもたらすかを示さなくてはいけない。このためにまず、ビジョン実現が地域にもたらす変化を、様々な観点からできる限り定量的・客観的に評価することになる。水・物質循環だけでなく、生物の生息状況や都市の熱環境なども評価対象となろう。予測結果を政策に生かすためにはモデル上で扱う変数が政策上での検討に意味を持っていることが重要である。ここにおいて各種現象に関する予測モデルが重要な役割を持ち、またこうしたモデルの政策検討等に活用されることを通じて、新たなモデル開発のインセンティブを与える。また政策検討の上でモデルを構築した専門家だけでなく、実務的に行政関係者や流域住民が容易に施策の条件設定、モデルの実行、結果の表示を行うために、ユーザーインターフェイスの整備が合意形成等を目的としたモデルの積極的な活用に資すると考えられる。

評価結果は数値などの無味乾燥な情報で出てくることが多いので、それを“翻訳”し、問題がどう解決され、それによって地域や人々の暮らしがどうよくなるかを分かるやすく示すことも、計算と同等に大事である。この時、人が自然とふれあうことの本質的意味を少しでも深く理解しておくことが望まれる。

また、現在の国土・社会の有り様がおおよそ戦後の50年程度の時間スケールで形成されたことを振り返れば、自然と共生する国土再生も数十年の時間スケールで取り組むべきものであり、検討のベースも段階を踏みながら数十年先の将来条件も考慮に入れる必要が

ある。このような将来条件には、地球温暖化に伴う気象変化、人口減少と年齢構造の変化、経済規模・産業構造等現在直面しつつある問題が関わってくるであろうし、またこれらを将来シナリオに織り込むことにより、これらの問題に対して、国土マネジメントの面からどう対応していくかを具体的に検討することができる。

“オープン・アーキテクチャー”的な技術検討方式を試していく

モデルについては、その精度・信頼性やキャリブレーションデータの不足などが常に問題になり、とりわけ流域圏のように複雑な現象を多く抱える広い場を対象にする時、この点はより強調される。ここで、100点が取れないからと技術検討を断念したり、精度良くできる部分だけを掘り下げるのではなく、現状の技術レベルを十分理解した上で、粗くても全体的検討を行い、そこから得られる情報を適切に政策議論に活かすという姿勢を取る。そして、ビジョン実現がもたらす変化を評価する報告書は、技術検討の枠組みを示し、各パーツの構成・仕様を明示した上で、評価に使われた全ての技術的手法を詳細に説明するものとする。これにより、技術検討に関するまじめな改善提案が生きるようにして、政策議論とともに、技術的検討のレベルも皆で向上させていく状況をつくっていく。

ビジョンの選択

ビジョン案の評価を経て、各地域にあったビジョンを地域が主体的に選択する段階になる。実現の可能性の吟味を通じて地域が行うべきことの大枠をつかみ、獲得できる暮らしとの組合せを理解した上で選択ができるようにすることが必要である。環境重視だけから最良案を追求し、実社会を相手にするがゆえの難しさや歴史的重層性に正面から向き合わなければ、ビジョンに広がりが出ない。人々の生業の場としての国土という制約条件の中でビジョンを鍛えるプロセスも大事である。

ビジョンを絞り込んでいく中で、目標設定や評価軸の明確化を行うことも、この段階の大きな仕事である。図-2.2.1では、目標や評価軸を最初に決めて検討に入るのではなく、問題把握とビジョン案の検討を梃子に地域のあり方を様々に考えていくことを通して、その地域に合った目標と評価軸を見出していくという方式を想定している。このようにして固められるものと、より普遍的・一般的な立場からの目標、評価軸検討とが相互に刺激し合うことで、「目標設定のあり方」の中味が充実してくると期待される。

関係する全てのセクターによる実行方策の結集

その次の実行方策の吟味に入ると、ビジョン吟味の段階よりもあらゆる面で一段“精度の高い”検討が求められる。各セクターが既に持っている種々の実行方策のストックを最大限活用して最良の組み合わせを追求するとともに、必要ならそのビジョン実現のために新たな方策を積極的に考え出す。そして、その地域で必要になった「最良の組み合わせ」や「新たな方策」は、各セクターの実行方策のストックにフィードバックされ、ストックのレベル向上につながっていく。それは、国土管理方式であったり、水に関する行政システムであったり、人々の参画の“好循環”づくりであったりする。

より具体的な実行方策の検討

多くの場合、地域の人々の主体的な参画が広がるほど、ビジョン実現の可能性や選択肢が広がるであろう。参画のレベルとしては、例えば、税金を払う、理解を示す、積極的な関心を示す、能動的に活動する、地域でリーダーシップを発揮する、土地の改変を受け入れる、資金を提供するなど多様である。これらを序列化して上位のものを増やすというようなことではなくて、様々なレベルの参画がモザイクのようになって、全体として“好循環”を織りだしていくことを目指すべきであろう。このために、好循環をいかに生み出すかという仕組みの勉強を、好事例のストック、社会政策シナリオ研究という両方のアプローチから行っていくことが大事になる。

結集の仕組みとリーダーシップ

今までに見てきたように、各方面の取り組みが様々な形でうまくつながるだけで、流域圏再生の実行に向けた道筋がだいぶ明瞭になっていくと考えられる。図-2.2.1 はまだまだ不十分であるが、このような切り口からの議論もさらに深めながら、実行のためにそれぞれの取り組みを結集する仕組みやリーダーシップのあり方を見出していくことがますます重要になると考えられる。

一見切迫していないが、各セクターが協調しながら継続的により良い選択を積み重ねることで、何十年か後に、あるいは段階を追って、すばらしい国土やまちができていく、逆に、それを怠ると、取り返すのに非常に困難な差がついてしまうという性格を本課題は持っている。このような課題に対して必要となる“体質改善”型の取り組みを根づかせるために、様々なブレークスルーが求められている。

参考文献

- 1)藤田光一：自然共生型の流域圏再生 - その実行に向けて 雑誌「河川」,No.697 ,pp11-14 , 2004 .

2.3 自然共生型国土の実現に向けた本研究成果の活用

2.3.1 検討プロセスと個別研究成果の関係

2.2 で示した検討プロセスにおいて、本研究で行った個別研究成果が活用される。以下に検討プロセスと個別研究成果の活用との関係を整理する。

はじめに、現在の国土や流域の環境を評価したり、現状の課題を診断したりする際には、都市域の拡大や土地利用の変化を視覚的に理解できる国土基盤 GIS が有効であるとともに、ピオトープマップや小流域の環境の変化の分析を行う流域圏診断技術が活用できる。(以上、図-2.3.1.1の「情報基盤の整備と活用」)

議論のたたき台としてのビジョン案づくりを進める際には、流域圏単位での水物質循環や熱環境の改善、生態系の回復を包括的な施策としてシナリオ検討の方向性をプロトタイプとして提示した成果を援用できる。また都市の再生という観点からもモデル地域における具体的な提案と実践プロセスを提示したことにより、実践を積み重ねることで、各都市や流域圏の再生に寄与していくこととなる。(以上、図-2.3.1.1の「自然共生型国土形成シナリオの検討」)

作成したビジョン案を評価する段階においては、開発した水物質循環モデルや生態系モデルなどのシミュレーションモデルを活用して環境の変化を予測することで定量的な評価を行うことができる。モデルを一般の人でも使えるインターフェイスを備えていれば、よりビジョン案の絞り込みにおいてモデルを用いた議論が活発に行われることとなる。(以上、図-2.3.1.1の「流域圏・都市管理モデルの構築」)

ビジョンが選択され、実行に移す過程においては、地域との協働した環境改善を進める社会一体型施策立案手法やこれまで地域が取り組んできた環境を良くする活動の取り組みの知見が活用され、都市再生を進める上で求められる法制度の提案が施策に反映されることが望まれる。(以上、図-2.3.1.1の「政策シナリオの実践への支援技術の開発」)

最後に、選択したビジョンに基づき施策を遂行する上で、水物質循環や熱環境などを改善する技術が活用されることにより自然と共生した国土が実現し、さらに好循環となって新たな技術開発が進むことが期待される。(以上、図-2.3.1.1の「環境再生技術の開発」)

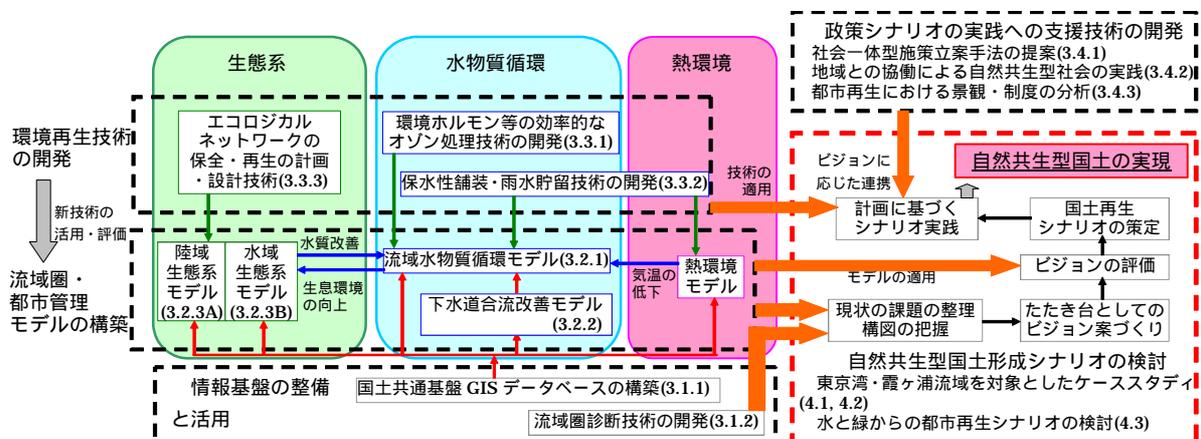


図- 2.3.1.1 研究全体の枠組みと、個別研究とシナリオ検討との関係（数字は3章の個別研究の節または項番号に対応）

2.3.2 ビジョンの検討におけるモデルの位置づけと留意点

2.2 で示した自然共生型国土形成へのプロセスの検討において、地域の抱えている問題に対する構造的な理解や、施策・活動等の組み合わせによる環境改善効果の評価等を行うため、シミュレーションモデル(以下「モデル」)が有効であり、このような政策立案に資するモデル群を体系的に提示することが、自然共生型流域圏・都市の再生を実行していく上での、研究開発からの中核的貢献になる。と同時に、1.3 で述べたように、本研究は、その研究開発成果が実践につながるものであるという目標を課しており、モデル群を中心とする施策立案ツールが実務に、そして1.1 に示した課題解決にどう役立っていくかという視点からの吟味が、ツール開発と同等に重要である。これについては、第4章において、開発されたツールを用いた政策検討の試行を通じて、具体的に議論される。

モデルは、既往の知見をベースに、現象を構成する因果関係を数式等で置き換え、これらを組み合わせて現象全体を表現したものである。モデル上で、現在や過去の現象を再現し互いに比較することにより、その現象の内部構造や問題の所在を理解したり、施策の実施等を考慮した入力データに対する環境条件の出力結果から、施策効果を推定することができる。特に、上記プロセスにおいては、何をどの程度実施すると、環境がどの程度良くなるか、生活がどのように変わるかをできるだけ分かりやすく提示し、議論することが重要であり、この点で大変有効である。

ただし、モデルは、あくまでも既存の知見の集積であり、対象とする現象に含まれる未解明部分や入力データの入手制約、モデルの離散化等に伴う誤差を内在するものであることを認識するとともに、使用において以下の点に留意する必要がある。

モデル構造の妥当性の確認

水物質循環のような自然現象は、様々な現象要素が組み合わさって全体の現象を構成しているが、モデルがこの現象要素全てをモデル化していることはありえず、モデル毎に主要な現象要素以外の多くの現象要素が捨象されているのが通常である。モデルを使用する場合には、把握・評価しようとしている現象に対応したモデル化がされているか、モデル化の方法が既往の研究等に照らし合わせて妥当か等の確認が必要である。

モデル精度の確認

モデル構造の妥当性が確認されれば、対象とする現象に対してのモデルの精度の確認が必要となるが、精度の確認は現象の再現を通じて行われる。特に、時空間的に境界条件の異なる現象を取り上げ、モデルパラメータが既往の調査結果等と整合した範囲で、それら境界条件の異なる現象について再現性を確認するとともに、特に把握・評価の対象としている条件の変化に対して、計算結果が適切に応答・再現することを確認する必要がある。また、上記について、例えば過去におけるモデル入力条件や検証データを入手できない場合等があるが、関係者の合意の上で、適切なデータを作成しその計算結果を評価することも有効である。

モデル使用に係わる信頼性と合意

モデルを、問題に対する関係者の理解を深め、解決に向けての合意形成を支援するツールとして考えた場合、関係者がモデルに一定の信頼を置き、そのモデルを適用することに合意することが重要である。モデルの構造、モデルパラメータの設定方法、再現結果等全てをオープンにした上で、関係者間の合意が得られれば、多少の誤差を有するモデルでも十分有効に機能する。

2.3.3 ビジョン設定の基本方針、ビジョンの評価軸の設定

2.2 で述べたように自然共生型国土再生の検討プロセスにおいて、モデルの活用による水物質循環、生態系、熱環境の環境改善評価を再生ビジョンに応じて提示することにより、それぞれの環境問題の解決に向けた合意形成に役立つものと考えられる。ビジョンの評価を行う上で、例えば、閉鎖性水域における水質改善効果の施策評価において、数多くある施策の効果を体系的に把握するために、同じ指向をもった施策同士でグルーピングし、各グループの中にある個々の施策の効果把握、次いで、同一グループに属する全ての施策(以後、施策群と呼ぶ)を実行した場合の効果把握、さらに、異なる施策群を組み合わせた場合の効果把握を順次行うというような階層的検討が有用と考えた。このグルーピングの指向軸として、本論では、図- 2.3.3.1に示すとおり、実施手法にかかわる質の違いに着目して、施策群1；社会資本整備による環境負荷の削減、施策群2；流域の住民等による自発的または誘導的な環境行動の実践、施策群3；面的な土地利用の改変や自然環境の保全・再生、の3つを設定し、各施策群について個別にその効果を評価するとともに、各施策群を組み合わせた場合の効果の検討を行う。言うまでもなく個々の施策毎の評価を行うことにより最適な施策選定の実行メニューの選択に役立つものである。本編での施策群の効果の定量化については、図- 2.3.3.1の丸に示す現状と3つの施策群についてモデルによる定量的評価を行う。

水物質循環の改善を想定した施策群を示すと、施策群1（インフラ整備主体型）は下水処理場での高度処理または高度合併浄化槽整備や透水性・保水性舗装などハード的な施策を集中して行うものである。施策群2（産業・生活スタイル転換型）は、汚濁負荷、熱源負荷の排出を抑制するように環境に配慮した生活行動・産業活動を実践する。施策群3（自然機能回復型）は都市内に緑地を確保し、湾岸に干潟を再生することなどによって、自然環境の回復を目指して土地利用の改変を行うものである。

また、自然共生型国土再生の検討プロセスの中で、2.2 で述べたとおりビジョン案の評価においては、評価結果をわかりやすく表現することが求められる。すなわち環境改善の定量的な評価においても、水質や水量、生態系の回復やヒートアイランド現象の緩和の程度について専門家ではない一般の人々でも理解できるような指標を提示する必要がある。さらに改善効果だけでなく、自然と共生した国土を実現するために、税金や自発的な施設の整備などの金銭的負担や環境負荷を削減するための利便性や快適性の減少を受容することによる負担の程度についても、あわせて評価の対象とする必要がある。

総合評価には様々な手法があると考えられるが、ここでは水環境、生態系、熱環境の3

つの切り口からの改善効果と、実践するために流域住民が背負うこととなる負担について定量化し、グラフによる表現を行うこととする。そのイメージを図- 2.3.3.2に示す。本研究では東京湾とその流域における自然共生型国土の形成に向けたシナリオ検討において試行する。

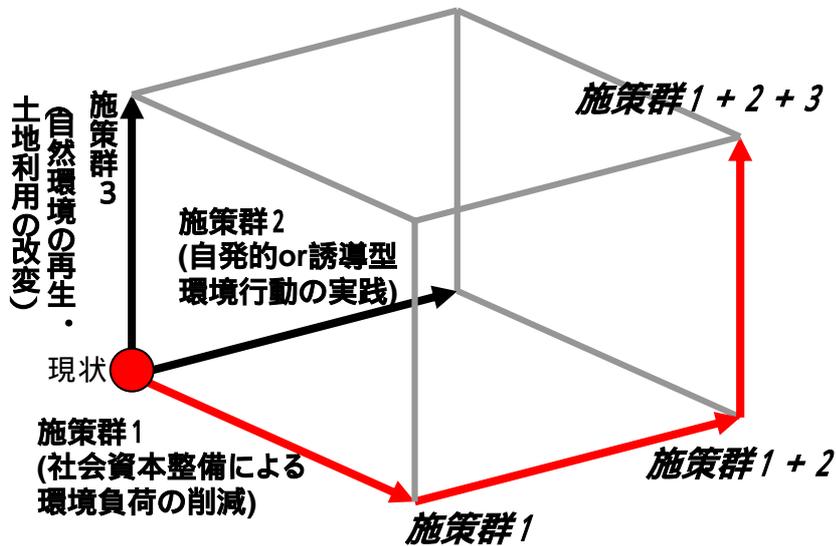


図- 2.3.3.1 施策群設定の概念図

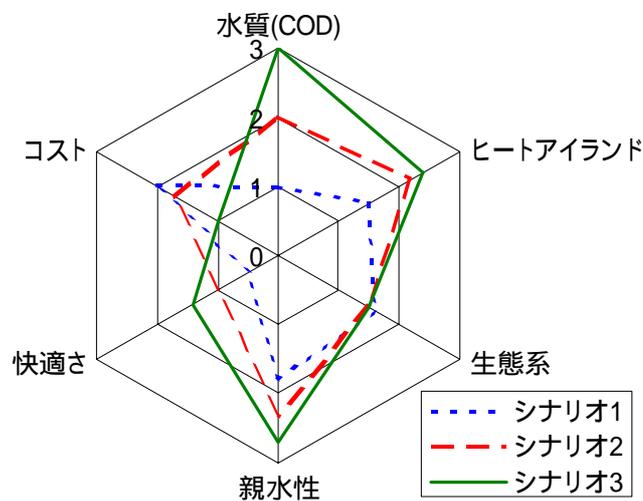


図- 2.3.3.2 自然共生型国土再生像の総合評価のイメージ図

2.4 シナリオの評価のための基本条件についての将来イメージ

自然と共生した流域圏や都市を再生するという研究が目指すところは、物質的豊かさや利便性・快適性の追求に偏重し、自然に過度な負荷をかけ、自然環境や生活環境を悪化させている現在の社会システムやライフスタイルを改変し、物質的な豊かさ、利便性、快適性のみならず健全な自然環境からの恩恵も享受できるより豊かな社会やライフスタイルのあり方やその変革のためのシナリオ（道筋）を求めるものである。

しかし、このような社会やライフスタイルの変化はその方向性が明確にされたとしても、実現のためにはおそらく数十年単位の長期間を要することが予想される。このため、将来の社会やライフスタイルのあり方を議論するには、その間に生じる自然環境や社会の制約条件等を展望し、シナリオに織り込んでおく必要がある。

ここでは、将来のライフスタイルや社会のあり方を議論するために考慮すべき条件を、人の生活や社会を取り巻く自然条件の変化、社会条件の変化、人の価値観の変化の観点から整理し、それらに係わる諸条件についてこれまでの変遷を踏まえた上で、種々の予測や研究の成果から将来変化イメージをまとめる。この将来イメージは、特段の自然共生のための施策を行わない、現在までの社会趨勢の延長をイメージしたものである。したがって、現状から大きく社会システムが変容した場合は、予測される自然条件や社会条件が変わりうるものであり、将来イメージを描くための基準と考えるべきである。

なお、将来展望における時間スケールとしては、今日の社会が差し迫っている問題が顕在化するまでの時間スケールや、人の寿命、ライフスタイルや社会の変化に要する時間等を考慮し、最大 100 年までとした。

(1) 自然条件

自然環境は種々の自然システムが折り重なって構成されているが、それらの中で最も広域的で支配的なものとして、大気・海洋循環や地殻運動が考えられる。これらは水循環、物質循環、生態系等の他の自然システムの境界条件として、地球上の自然現象全般に対する支配的条件になるとともに、人の生存や社会活動全般に深く関わっている。

地殻変動については、極めて大規模な地震が生じた場合、社会や人の生活に対するその影響は極めて甚大なものになることが予想される上、現下においては東海・関東周辺等における大地震の発生が切迫しているというのが共通認識ともなっている状況である。しかし、このようなカタストロフィックな地殻変動の予測技術については今なお研究の余地があり、地震の発生時期や発生規模等の将来予測に対する不確かさが大きいこと、また大規模地震の発生を将来予測に織り込んだとしても、その影響が支配的になりすぎ、本研究の前提が成立しなくなること等から、地殻変動は考慮しないこととする。

一方、大気・海洋循環については、現在、蓄積された気象データから地球規模での長期変化に気温上昇等の一定の傾向が確認されているとともに、それらの要因が温暖化ガスによるものとして、概ね世界的なコンセンサスが得られているところである。地球温暖化現象は人間活動の変化に伴い、その将来状況が変わるものであるが、国際的な取り組みを要するものであり、一国にとっては境界条件と見なせるため、ここでは地球温暖化による気

温、降雨、海面水準の変化等を将来条件に考慮する。なお、オゾン層破壊も地球温暖化と同様な性質を有する問題であるが、オゾン層の回復は確認されていないものの、フロンガスの廃止等により大気中のCFC(フロン的一种)濃度等はある程度安定してきていること等から¹⁾、将来条件としては考慮しない。

1) 気温

世界約1,200地点の年平均気温の平均値は1880年以降概ね単調に上昇し、1980年以降は急激な上昇傾向を示しており、100年間で約0.7の上昇となっている(図-2.4.1)。また、都市化等による環境の変化が比較的少なく、かつ観測データが長期間継続して得られている国内17地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、長野、水戸、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)から求めた日本の平均気温についても、同様な上昇傾向が見られるとともに、100年間で約1の気温上昇を示している(図-2.4.2)²⁾。このような気温上昇については、温暖化ガスの増加に伴う地球温暖化現象と考えられている。

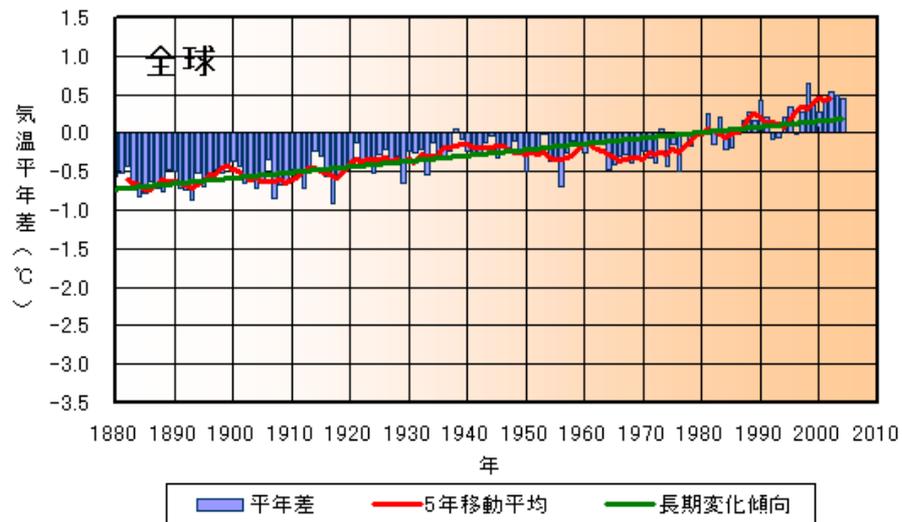


図-2.4.1 世界の年平均地上気温の長期的な変化(1880~2004年)²⁾

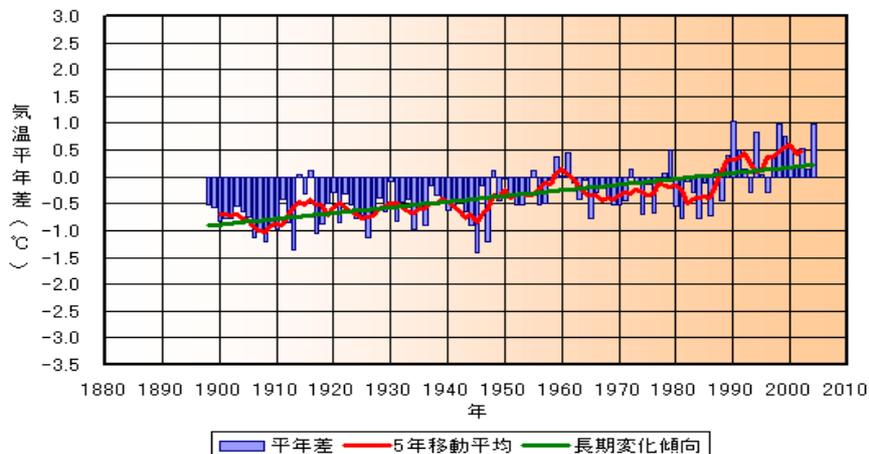


図-2.4.2 日本の年平均地上気温の長期的な変化(1898~2004年)²⁾

将来の気候予測については、環境省や気象研究所等が実施している。国立環境研究所等の合同研究チームが行った地球シミュレータによる将来予測³⁾では、将来の世界が経済重視で国際化が進むと仮定したシナリオ「A1B」(2100年の二酸化炭素濃度が720ppm)と環境重視で国際化が進むと仮定したシナリオ「B1」(2100年の二酸化炭素濃度が550ppm)のもと、2071年～2100年の世界の平均気温が、1971年～2000年の平均気温に対して、それぞれ4、3 上昇するという結果が得られている。特に日本においては、夏季(6、7、8月)ではシナリオ「A1B」で4.2、シナリオ「B1」で3 上昇の結果が得られている。また気象研究所では、日本周辺領域で地域気候モデルによるシミュレーションを行い²⁾、100年後の日本の年平均気温が2～3 程度上昇するとしている。一方、関東地方を包括する領域を対象とする都市気候モデルによる2100年頃の夏季の最高気温が1 程度(図-2.4.3)、最低気温が2 程度上昇し、最低気温が25 以上となる地域は、関東のほぼ全域に広がると予測されている。

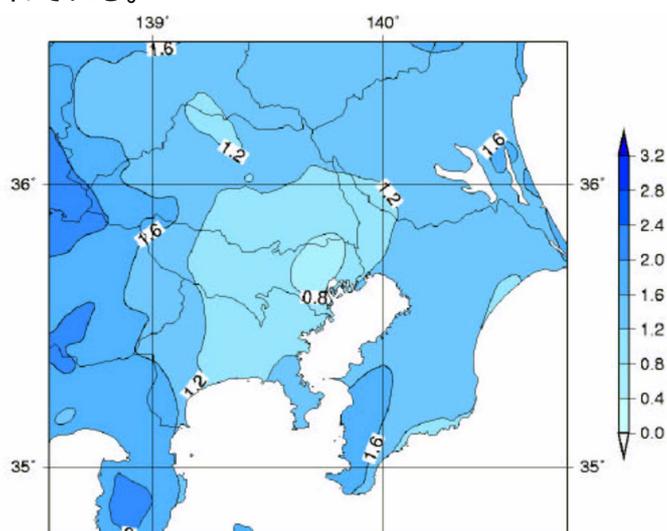


図-2.4.3 2100年頃の夏季の晴れて風の弱い日における日平均気温の現在からの上昇量
(地球温暖化に伴う大気の上昇を考慮)⁴⁾

2) 降雨

我が国の17観測地点の平均から得られた年降水量は、ここ100年間に於いて長期的には減少傾向を示しながらも、ここ40年間に於いては少雨の年が多発するとともに、多雨と少雨の変動幅が大きくなっている(図-2.4.4)²⁾。また、年別の大雨発生状況を見ると、統計的な有意性は認められないものの、ここ30年間では僅かながら増加する傾向が見られる(図-2.4.5)²⁾。

将来の降雨状況については環境省が地球シミュレータにより予測しており³⁾、世界の年降水量についてシナリオ「A1B」で6.4%、シナリオ「B1」で5.2%増加するという結果が得られている。日本の夏季については降雨量が19%増加し、100mm/h以上の豪雨の頻度も降雨量の増加に伴い平均的に増加するとしている。気象研究所の地域気候モデルによる降雨量予測³⁾では、冬季は太平洋側でやや増加、日本海側でやや減少の傾向で、夏季は北日本を除き、20%程度増加するとしている。また、温暖化に伴う台風の巨大化や台風に

伴う降雨の増加も指摘されている。このように、降雨については増加するという予測結果が多く、近年の少雨年の多発傾向については、その要因については明らかにはなっておらず、温暖化との関連性は不明である。

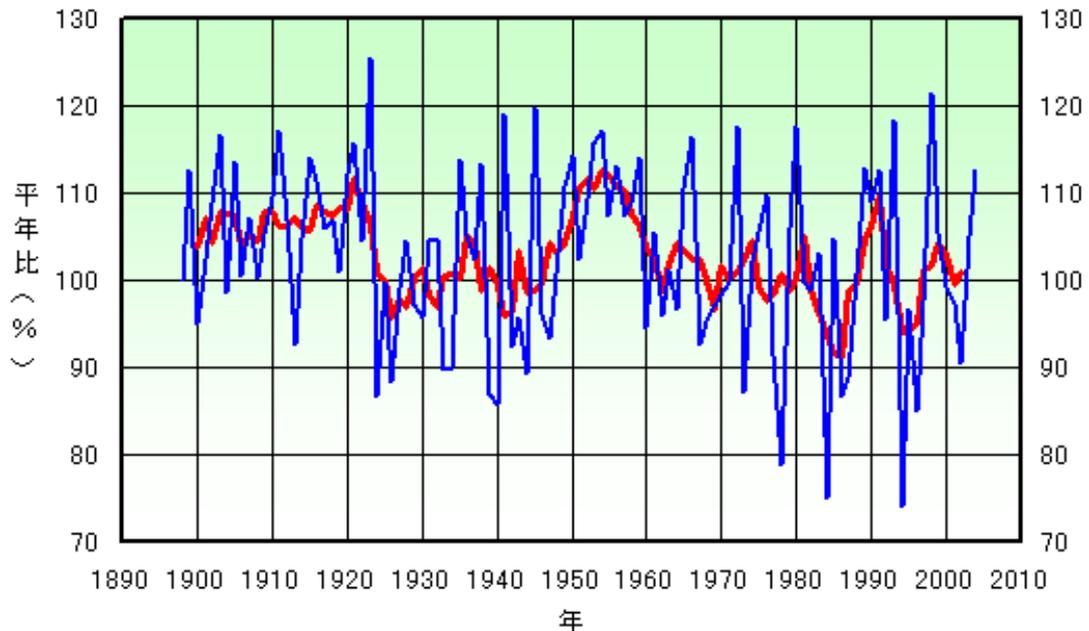


図-2.4.4 日本の年降水量平年比の経年変化（1898～2004年）²⁾

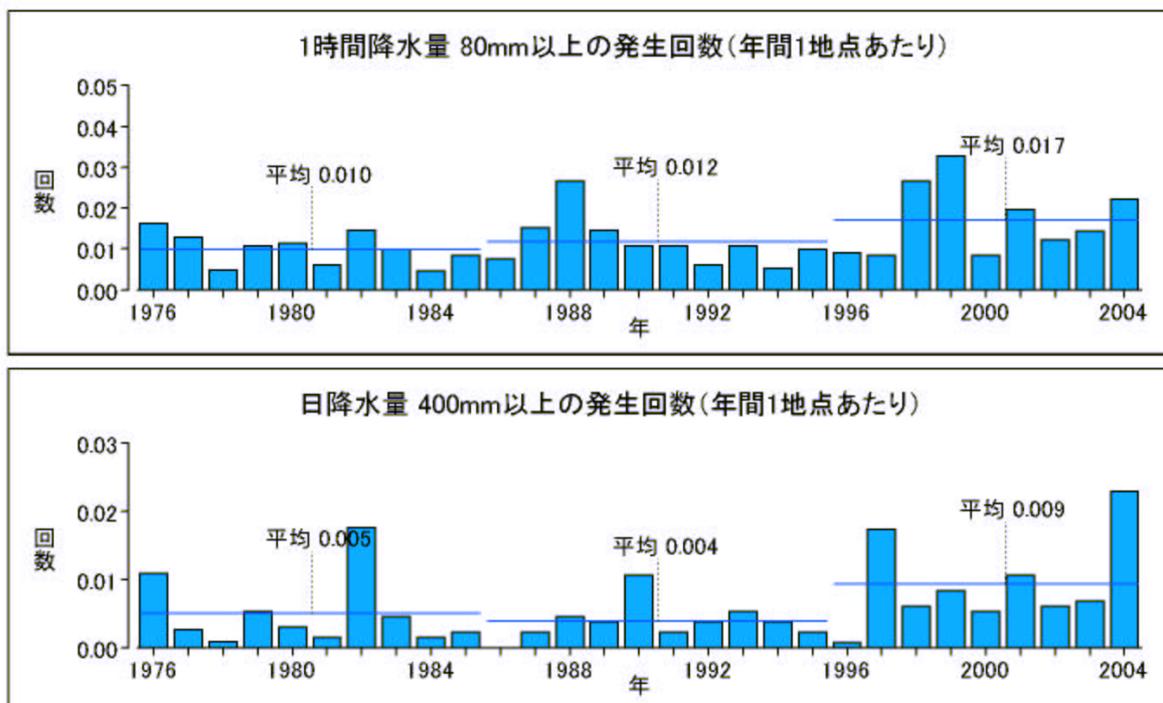


図-2.4.5 全国アメダス観測点の 80mm/h 以上の短時間強雨（上図）と、400mm/day 以上の大雨（下図）の年間 1 地点あたりの発生回数²⁾

3) 海面上昇

地球の平均海面水位は 20 世紀中に 0.1~0.2m 上昇しており、その原因は氷河の融解に伴う海水量の増加、海水の熱膨張とされている⁴⁾。

日本周辺については、東アジア・東南アジアを含む日本周辺の海水位には均一な傾向は見られないとしている⁵⁾。その他、気象庁が、100 年近くの記録を持つ 5 箇所の検潮所データから共通の変動成分を抽出することにより、日本周辺の海水位について考察しており、海洋現象には数十年の長い周期性があり、信頼できるデータが 100 年程度しかないため、明確な長期傾向が確認できないが、近年は気温や海水温が高めのことが多く、最近の水位上昇への地球温暖化の影響が示唆される、としている。

将来の海面変動については、IPCC では、CO₂ 排出量に関する中位のシナリオ（2100 年の CO₂ の排出量が 1990 年の 3 倍弱(CO₂ の大気中濃度は 1990 年レベルの 2 倍)）で、2100 年までに、シナリオの違いによる予測幅で 0.09~0.88m 上昇すると予測されている。日本周辺についての詳細予測はなく、「地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会」でも、影響評価のためのシナリオとして、IPCC に準じて +0.1、0.3、0.5、0.9m を設定している。⁶⁾

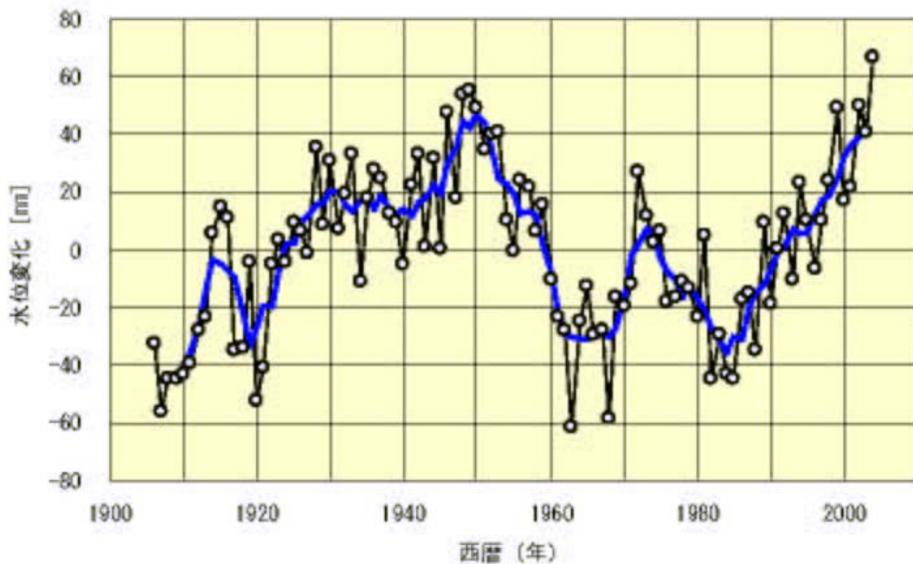


図-2.4.6 日本沿岸の平均的な海面水位の推移²⁾

(2) 社会条件

人は社会に属し社会の中で活動することによりその生活が成立している。このため社会の変化は人の生活に大きく影響するとともに、社会活動自体が環境負荷となっている。このため社会条件の変化は将来の環境条件を予測する上でも重要な要素となる。現在我が国の社会は、人口減少・少子高齢化問題、エネルギー・食料確保、経済・財政・社会保障の運営等様々な課題を有しており、これら諸問題の将来状況を想定することは、将来の人の生活を展望する上で重要なことである。ここでは、上記の観点から、社会条件の将来イメージを整理する。

1) 人口減少・少子高齢化

人口減少や少子高齢化に伴う様々な影響、例えば、経済活動や国力の減退、労働力人口に対する高齢者人口の増加による医療・年金等の社会保障費の増大、地方の過疎化に拍車がかかることによるコミュニティの崩壊、地域文化の喪失等様々な影響が懸念されている。また、人口減少に伴って環境負荷が減少し、大気環境、水環境、ゴミ問題等の環境問題が緩和されると考えられる一方で、人手不足や財政規模の縮小等により、森林や農地等の国土や社会資本の維持・管理が困難になり、生活環境の悪化要因となるとの考えもある。

我が国の人口は、有史以来、増加と停滞、あるいは減少を繰り返しながら大きな波を描くように増加してきた⁷⁾。明治以降は、農業生産力の増大、保健・医療等の公衆衛生水準の向上等により人口は急増し、約 3.7 倍（2003 年 / 1872 年）に増加している。しかし、その一方で、合計特殊出生率は 1947 年に 4.54 人であったものが 2003 年には 1.29 人にまで減少するとともに、その減少傾向は今後も続くと思われる。2006 年には総人口が減少傾向に転じ、少子高齢化が進むと予想されている。国立社会保障・人口問題研究所による人口の中位推計では、日本の人口は 2006 年にピークを迎えた後、2030 年には 1 億 1,758 万人、2050 年には 1 億 60 万人、2100 年（参考）には 6,414 万人まで減少するとしている⁸⁾。

首都圏の人口の推移を図-2.4.7 に示す。最も古い 1884(明治 17)年の首都圏の総人口は約 600 万人であり、現在(2002)は約 6.5 倍の人口を擁している。戦前は東京を中心として人口が増加しており、昭和 10 年代には首都圏の 40%以上の人々が東京で居住していた。戦争により特に東京で人口が減少したが、戦後復興期の 10 年足らずで戦前のレベルにまで回復し、その後も東京を中心に人口が増加する傾向にあった。しかし、高度成長期後半から東京での人口は頭打ちとなり、それに伴い神奈川、埼玉、千葉の周辺地域での人口増加が顕著となり、人口集中が外延化という形で拡大していったことが分かる。

国立社会保障・人口問題研究所による都道府県の将来推計人口の予測では、東京圏、首都圏については 2010～2015 年頃ピークを迎え、2030 年においても 2000 年と同程度の人口を維持するが、2050 年には 1970 年代後半の水準までの減少することが予想される（図-2.4.8）⁹⁾。全国的に見ても、東京圏、大阪圏、名古屋圏などを除いて、多くの都道府県で 2030 年には 2000 年より 1 割以上の大幅な人口減が先行して進んでいくと見られている（図-2.4.9）。また、図-2.4.10 に示すとおり、2030 年での老年人口が 2000 年と比べて東京都周辺の神奈川県、千葉県、埼玉県では 75%以上に急増する。また、東京圏で最も老年

人口比率が低い東京都でも 26.0%と、2000 年で最も高い島根県の 24.8%よりも高いという超高齢化社会がもう四半世紀もすれば到来するという予測がなされている⁹⁾。

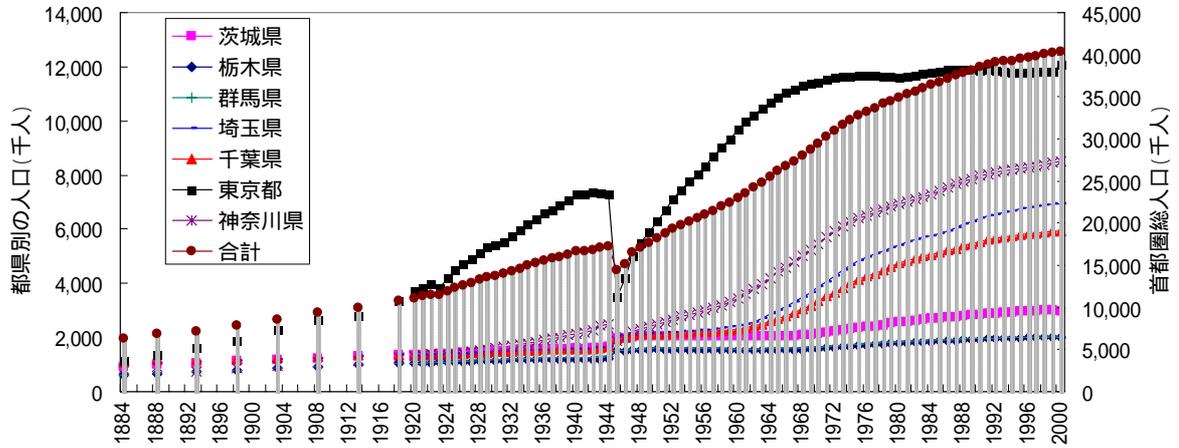


図-2.4.7 首都圏（1都6県）の人口の推移（1884～2000年）
（注：栃木県と群馬県はほぼ同人口でグラフが重なっている）

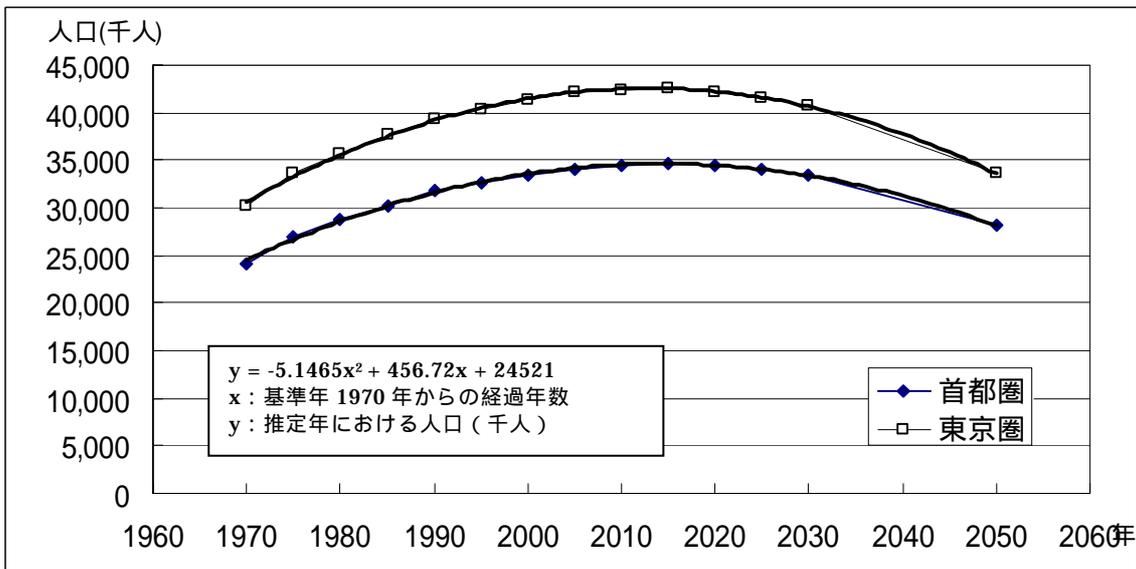


図-2.4.8 東京圏*、首都圏**の人口推移と将来予測

* 1都7県（東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県、栃木県、群馬県、山梨県）

** 1都3県（東京都、埼玉県、千葉県、神奈川県）

2005年～2030年推計値：国立社会保障・人口問題研究所「都道府県の将来推計人口（平成14年3月）」⁹⁾

2050年推計値：多項式近似による推定値（都道府県の推計人口が2030年までしかないため）

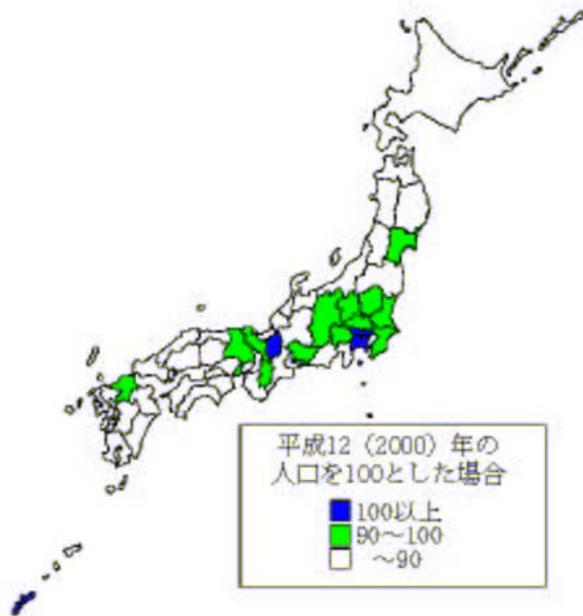


図-2.4.9 2030年の人口指数⁹⁾

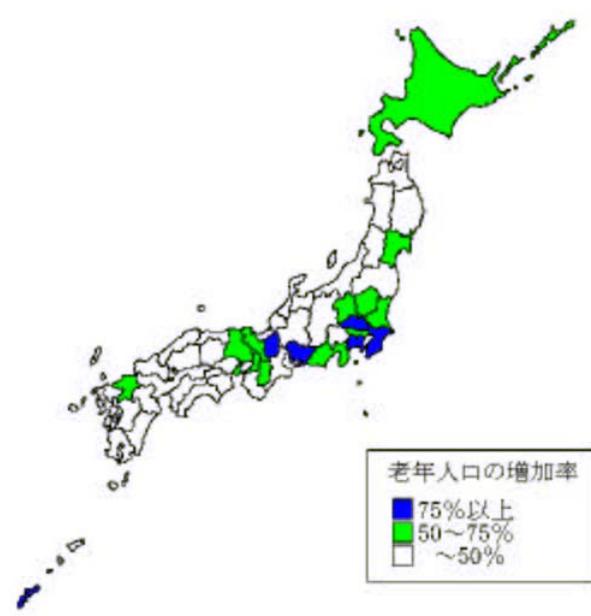


図-2.4.10 老年人口の増加率⁹⁾
(2000年~2030年)

2) エネルギー・食料

我が国の社会・経済活動は、化石エネルギー、食料等多くの物資を海外からの輸入に依存する形で成立しているが、将来的に生じると考えられる天然資源の枯渇、国際情勢の変化、発展途上国の経済成長等による需要の拡大等は、我が国のエネルギーや食料の確保に対して、重要な要因になると考えられる。

a) エネルギー

我が国のエネルギー消費は、1950年頃までは石炭と水力を中心に薪炭も利用しており、エネルギー供給量が約60億(kl:原油換算)程度であったが、その後石油依存度を高め1973年度には77%を石油に頼っていた。現在は石油が48.9%で、その他石炭20.3%、天然ガス14.7%、原子力9.6%となっており¹⁰⁾、また全体の供給量は1950年の約7倍程度となっている。このように我が国のエネルギー消費構造は、化石エネルギーに大きく依存しているが(石油、石炭、天然ガス計83.9%)、これらは枯渇性の資源であるとともに、ほとんど全てを海外に依存しており、将来のエネルギーの確保状況は社会に対して大きな影響を与える。

我が国のエネルギー需給の見通しやエネルギーを取り巻く国際状況の見通しについては¹¹⁾、2030年の我が国のエネルギー需要について、人口減少や少子・高齢化、経済成長の見通し、省エネ等の技術開発、ライフスタイルの変化、地球温暖化対策等について総合的に考慮した上で、実施済み施策を前提とし、経済社会や人口構造、マーケットや需要の志向、民間ベースの取り組みがこれまでの趨勢で推移したケースにおいて、2021年に約4.32億(kl:原油換算)でピークを迎えた後、ケースでは2030年に3.92億(kl)、新技術を含めた省エネ進展ケースではさらに3.77億(kl)まで減少すると想定されている。省エネ進展ケースの前提は、現行の省エネルギー取組の普及・進展(省エネ効果3,300万kl)、新規の省エネルギー技術の普及・進展(同1,600万kl)、ヒートポンプを利用した省エ

エネルギー技術の普及・進展(260万kl)、燃料電池・分散型エネルギーの普及・進展(2,950万kl)である。また、国内エネルギー需要に対する供給サイドについては、石油のシェアが減少し、原子力、天然ガスのシェアが増加するが、依然石油が最も重要なエネルギー源になるとしている。

また、首都圏のエネルギー需給の予測に関しては、エネルギー経済研究所などによる首都圏(1都5県)での長期エネルギー需要の2020年までの予測¹⁴⁾によると、家庭では世帯あたりのエネルギー需要が約10%増(9703千kcal/世帯(1998) 10,608千kcal/世帯(2020))、業務部門では延床面積あたりのエネルギー需要が約20%増(295千kcal/m²(1996)

349千kcal/m²(2020))となっているのに対し、産業部門ではエネルギー需要はほぼ横ばい(40,214×10¹⁰kcal(1998) 40,516×10¹⁰kcal(2020))となっている。

一方、エネルギー需給を巡る世界情勢としては、発展途上国の経済成長に伴い特にアジア地域における需要が急増し、2030年の世界のエネルギー需要は、2000年に対して約1.7倍まで増大するとしており、国内のエネルギー確保のため、国際エネルギー戦略、省エネルギー・環境対応努力、エネルギー供給の分散・多様化等が必要としている。

このような世界におけるエネルギー需給逼迫や化石エネルギーの枯渇に対する危機感、地球温暖化対策等により、我が国においては2030年以降もより一層の省エネ対策や温暖化ガスを排出せず、持続的に確保が可能な新エネルギーの開発が一層進むと考えられる。

b) 食料・農業

我が国の食料自給率は年々低下し続けており、1960年時点で79%あった食糧自給率(カロリーベース)は、2002年現在において40%まで低下している。この我が国の食糧自給率は主要先進国中最低の水準である¹³⁾。

我が国の食料自給率低下の主要因は、基本的に自給されている品目である米の消費が減少(ピーク時の約1/2)する一方、畜産物の消費(同約5倍)や油脂類の消費(同約3倍)が増加したという食生活の変化によるものである。食生活の変化に伴って消費が増大してきている畜産物や油脂類の生産に必要な、飼料穀物(とうもろこし等)、油糧原料(大豆、なたね等)については輸入に依存せざるを得ない状況にある。また、このような状況の中、最も基礎的な農業生産基盤である農地の減少や耕作放棄地の増大、耕地利用率の低下等がみられるようになってきている。

世界では、現在でも約8億人の人々が飢餓や栄養不足に直面しているが、今後とも、世界の総人口は増加を続け、これに伴い食料需要が大幅に増加すると見込まれているのに対し、農業生産については、既に水資源の枯渇や不安定化、過度な放牧や耕作による土壌の劣化や砂漠化といった資源・環境問題が顕在化しており、中長期的には世界の食料需給がひっ迫する可能性があることが指摘されている。

食料・農業・農村基本計画(2005.3閣議決定)で定める食料自給率の目標は、計画期間(2015年度まで)の関係者の取組の指針として、望ましい消費の姿や生産努力目標を前提に実現可能性を考慮して45%としている。しかし長期的には、世界の食糧需給が不安定な要素を有していることや、国民の多くが我が国の食糧事情に不安を抱いていることを踏ま

え、食料として国民に供給される熱量の5割以上を国内生産で賄うことを目指すことが適当であるとしている。

水産物の自給率については2003年度において、魚介類全体で50%、海藻類で62%であるが、食料・農業・農村基本計画における食料自給率の目標との調和を保ちつつ、漁業生産面、水産物消費面での課題が解決された場合に実現可能な持続的生産目標と望ましい水産物消費の姿をもとに、平成24年度(2012年度)の目標を、魚介類全体で66%、海藻類で70%としている¹⁴⁾。

また食料については、生産面だけでなく食生活や消費のあり方についても改善していく必要が指摘されている。特に、食生活の欧米化や食品の廃棄や食べ残しは、埋立処理場の確保、自然環境への影響が問題になるとともに、食糧自給率低下の原因となっている。日本の食料供給特性に応じた日本型の食生活により、栄養バランスの改善、食糧自給率の向上を図るとともに、地産地消により食の安心、地域文化の継承等が図られることが期待される。

3) 経済・財政

人の生活を考える上で、経済条件は最も重要な要素の一つであり、将来の経済情勢を展望しておく必要がある。我が国の経済情勢は、人口減少・少子高齢化による労働力や質の変化、社会保障制度のあり方、財政再建による影響、近隣諸国の経済発展等様々な諸条件の影響を受けることが予想され、将来の動向については不透明な点が多いが、既往の調査報告書等により推計されている将来条件を整理する。ただし、それぞれの前提条件は同じではなく、必ずしも整合はとれていない。

a) GDP

我が国のGDPは、実質経済成長率で60年代平均10%、70年代平均4.4%、80年代4.3%、90年代平均1.3%と着実に成長しつつも、次第に成長率が減少してきている。また、経済成長率の低下を要因別に見ると、労働時間の短縮、失業率上昇、生産年齢人口減少等により労働投入がマイナス寄与に転じているほか、資本投入、全要素生産性とも伸びが鈍化している。

内閣府の年次経済財政報告では、2011年～2040年について、引き続き現状が維持されたケース、経済が活性化されたケースについて、潜在的GDPのシミュレーションが行われているが、現状維持ケースについては、2011年～2040年の各10年の平均成長率0.2～0.4%、経済活性化ケースでは1.4～1.6%となっている。予測結果から、高齢化・人口減少の下では経済成長率に対する労働投入の寄与が大きくマイナスに転じることから、他の条件が一定である限り潜在的に達成し得る経済成長率も低下することを指摘している。一方で、高齢化・人口減少が進展するなかで労働力が減少していくとしても、構造改革や技術進歩の進展、教育投資を通じた人的資本の向上等を通じ、全要素生産性が80年代平均程度の伸びを回復すれば、そのマイナスの影響を大きく相殺する効果を持ち得る点も述べられている¹⁵⁾。

また、日本経済団体連合会では、財政再建を考慮した経済シミュレーションを行ってお

り、2004年～2025年について非改革（現状維持）ケースで1.8%、歳出削減と増税によりプライマリーバランスを2010年度に均衡させるケースでも1.8%としており、財政再建と経済成長を両立できる結果となっている¹⁶⁾。

中長期的には少子高齢化・人口減少が経済成長の制約要因となることが懸念されており、悲観論と楽観論の双方が唱えられている¹⁵⁾。楽観論の1つとして、人口の中位推計によると、生産年齢人口の総人口に占める割合は2050年頃最も落ち込み、その後上昇傾向となっていることから、民間投資や技術開発等による生産性の向上が同様に続けば、2050年以降2100年までの期間においても我が国のGDPは成長を期待できると考えられる。また、一人当たりのGDPは伸び続けることになり、物質的な生活水準は維持できると見られる。一方、悲観論としては、家計貯蓄率の低下が金利上昇による投資抑制を通じて資本ストックの蓄積を阻害し、経済成長率を押し下げる。また、高齢化に伴う社会保障費の増加が中央政府の貯蓄・投資バランスの悪化を招き、経済成長の阻害要因となるとの意見もあり、長期的にどの程度の経済成長を達成できるかは今後の政策努力によるところが大きいと考えられている¹⁵⁾。

b) 財政（社会保障）

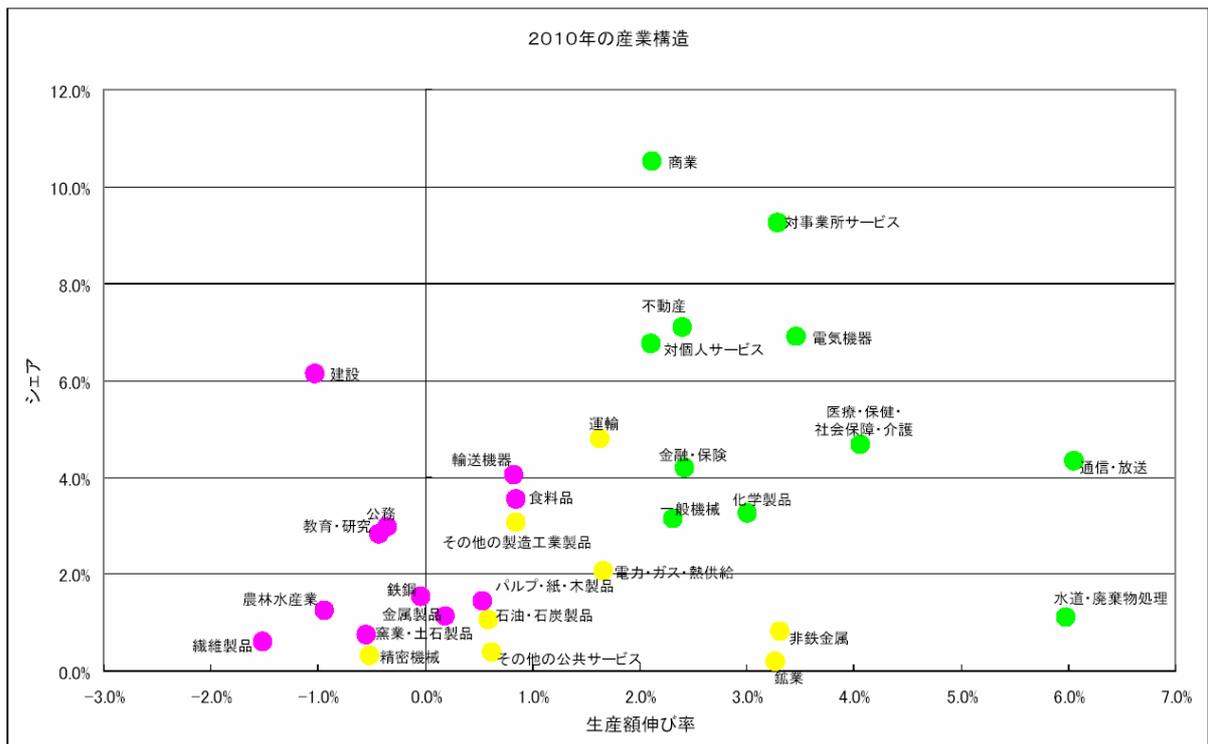
我が国では1990年のバブル崩壊後、長期にわたる景気低迷や減税実施などによって税収が低調に推移したうえ、度重なる経済対策費用や高齢化に伴う社会保障関係支出の増大等によって歳出が増加を続けたため、国と地方の財政収支が悪化を続けた。また、社会保障基金において、高齢化等を背景に医療関係費や年金支払といった支出が増加傾向にあることも、一般政府ベースの財政収支悪化（社会保障基金のみでは黒字幅の縮小）に寄与している。このため政府は、「2010年代初頭における基礎的財政収支の黒字化」を政策目標に掲げている¹⁷⁾。

また前記の日本経団連のシミュレーションでは、非改革（現状維持）ケースではプライマリーバランスは均衡せず、2025年度には政府債務残高がGDPの約5倍近くになっている。政府の政策目標に鑑みた、一定の歳出の削減と消費税率を引き上げるケースでは、プライマリーバランスが2013年度に均衡し、2025年度の債務残高が172%になっている。しかし、このシミュレーションも比較的順調な経済成長を前提としていることもあり、このような財政均衡のためには一層の増税や政府支出の大幅削減が必要となり、国土の管理や社会基盤の維持管理更新等に影響が出る恐れがある。

c) 産業構造

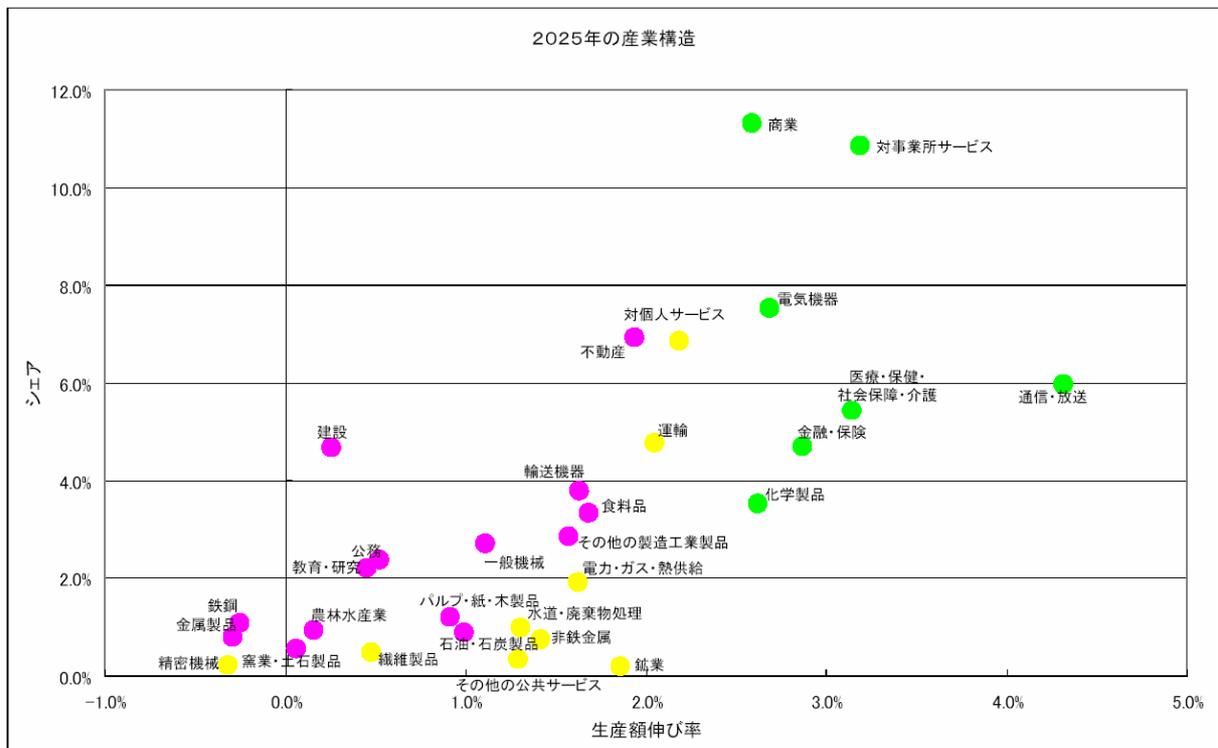
産業構造として、将来の予測、計画はないが、産業別就業者数、卸小売販売額、製造品出荷額については、過去の統計データ（国勢調査、商業統計、工業統計）が存在している。

また、予測や計画ではないが産業構造に関し、経済産業省がまとめた新産業創造戦略では、戦略的重点分野として7分野（燃料電池、情報家電、ロボット、コンテンツ、健康・医療、環境、ビジネス支援）を成長させ、この波及効果として関連産業が成長し、ひいては我が国の経済を牽引していくものとする展望が示されている¹⁸⁾。産業連関分析を行った



*2000年－2010年間の年平均生産額の伸び率

図-2.4.11 2000年から2010年までの産業部門毎の経済成長予測¹⁸⁾



*2010年－2025年間の年平均生産額の伸び率

図-2.4.12 2010年から2025年までの産業部門毎の経済成長予測¹⁸⁾

結果として、これら7分野に関連する産業の市場規模は2010年において約300兆円に成長するものと見積もられている。これは2010年の国内生産額合計の約3割に相当し、現在の日本経済における製造業に匹敵する。

予測の結果として、産業分類ごとに伸びる分野、そうでない分野が示されており、具体的には以下のとおりである。産業構造の変化として、次のように評価されている。

製造業は、先端産業（電気機器、輸送機器）や素材産業（化学製品）の成長により、引き続き日本経済を支えていく。グローバル競争の中で勝ち抜く製造業を一定規模確実に保持することができる。

サービス業、特に対事業所サービス、対個人サービス、医療・保健・社会保障・介護は、大きく成長し、雇用創造の場を提供する。

エネルギー多消費型の産業（鉄鋼、化学製品、窯業・土石製品、パルプ・紙・木製品）の合計の成長率は、全産業平均よりも低水準にとどまり、環境・エネルギー制約への対応を組み込んだ環境調和型の産業構造の姿となる。

公共投資に関連する産業（建設、鉄鋼、窯業・土石製品）の成長率は、全産業平均よりも低水準にとどまり、公共投資の効率化の要請に沿った姿となる。

4) 国土管理、社会資本の維持・管理・更新

a) 森林・農地

森林や里山農地においては豊かな自然環境と国土の多面的機能が維持されてきたが、近年の木材輸入自由化に伴う林業の衰退、減反政策、中山間地域における後継者不足等から、管理の不足や放棄が見られるようになっており、森林や農地の有する自然環境機能や国土機能が低下してきている。今後の人口減少・少子・高齢化に伴い、国土の維持・管理は一層深刻な問題になると考えられる。しかし一方で、近年、森林や農山村を対象とした環境保全に係わる市民活動や体験学習等も盛んに行われるようになったほか、農業への企業参入も見られるようになっており、民間ベースでの森林・農地等管理の発展も期待できる。

b) 社会資本

我が国では、戦後荒廃した国土を再生し、国民の生活水準を向上させるため、社会資本の整備が急速に進められた。これにより、1953年には社会資本ストック（政府資本）総額約14兆円であったのが、1998年には約603兆円にまで増加し¹⁹⁾、相当規模の社会基盤が整備されたことになる。

社会資本については、交通・生活環境・防災・生産等の観点から未だ不十分な面もある一方で、既存の社会資本の機能を十分に発揮するためには、適正な維持・管理を施すとともに、老朽化した施設については適宜新しいものに更新していく必要がある。今後、財政の健全化を目指した公共投資の縮減圧力が高まる中で、耐用年数を迎えて老朽化する社会資本の増加に伴い、維持・管理や更新の費用が増大することが予想されており、人口の減少や少子・高齢化による社会構造の変化に対応した、効率的な維持・管理・更新が求められる。

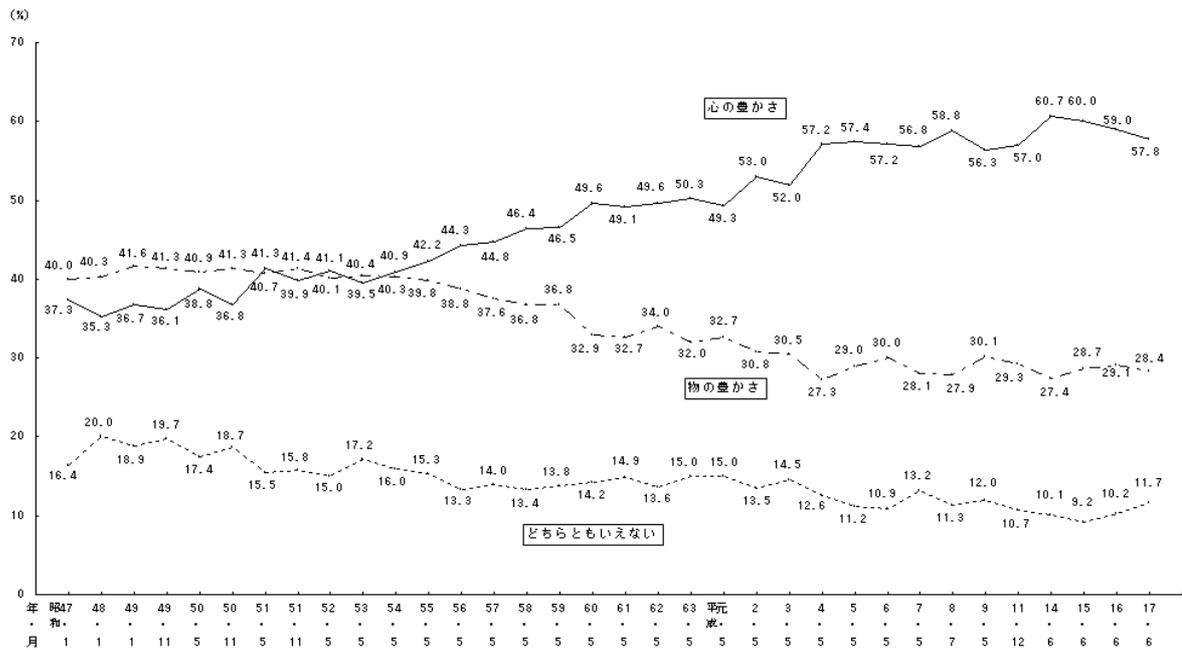
5) 国民の価値観・環境に対する意識

国土の将来像に関する世論調査²⁰⁾では、生活環境については、「満足している」とする者の割合が68.9%と前回を上回るとともに、都市規模別に見ると、「満足している」とする者の割合は町村で、「満足していない」とする者の割合は大都市で、それぞれ高くなる傾向が見られた。今後良くなって欲しい生活環境分野については、医療福祉が突出しているほか、生活環境施設、労働、治安、労働環境、自然、教育・文化、防災等がほぼ同じ割合で挙げられているが、前回に比べ治安が急激に上昇し、生活環境施設や自然が低下している。一方、理想の居住地については、地方圏でより自然豊かな環境を嗜好する傾向が見られるほか、老後の居住形態についても郊外や地方で家庭菜園や農業をしながら暮らしたいという回答が80%以上に及んでおり、自然嗜好が強いことが伺える。時節に応じて変動はあるものの、現在のような社会状況が続けば、国民生活における自然嗜好は今後も高く維持されると考えられる。

また、国民の社会参加やボランティア意識も高まっており、社会への貢献意識については、1987年頃から急激に上昇し、近年若干低下傾向にあるものの高い水準を維持しており、特に50歳代、60歳代において意識が高いこと、20歳代で意識が低いことが伺える。このような状況を反映してNPO団体は急増しており、一部では社会的な機能を補完するにいたっている。老後の生き甲斐としてボランティア活動等を志す人も多く、高齢社会に向けて国民の社会貢献・社会参加が強まると見られる。

また、定量的な予測ではないが、内閣府が未来生活懇談会の報告書に、2030年頃の国民の生活の変化未来の生活の変化が読み物的に示されている。具体的には、「職住近接でゆとりある生活」「週末田舎暮らしで自然を満喫する」「IT利用で快適、安心、高齢生活」など30のお話の形で提供されている。直接に環境配慮型の生活に触れた物はないものの、間接的には環境配慮のライフスタイルに関係するものが幾つか含まれている²¹⁾。

内閣府の「国民生活に関する世論調査」では、定期的に、心の豊かさ・物の豊かさなどに関するアンケートを実施しており、最新の調査は平成17年6月に実施されたものである²²⁾。これによると、今後の生活における、物の豊かさ、心の豊かさについては、「物質的にある程度豊かになったので、これからは心の豊かさやゆとりのある生活することに重きをおきたい」(以下、「心の豊かさ」という。)と答えた者の割合が57.8%、「まだまだ物質的な面で生活を豊かにすることに重きをおきたい」(以下、「物の豊かさ」という。)と答えた者の割合が28.4%となっており、前者は長期的に見ると増加傾向にあるものの、バブル崩壊以降ではその傾向に歯止めがかかっている(図-2.4.13参照)。



(注) 心の豊かさ → 「物質的にある程度豊かになったので、これからは心の豊かさやゆとりのある生活をするに重きをおきたい」
物の豊かさ → 「まだまだ物質的な面で生活を豊かにすることに重きをおきたい」

図-2.4.13 内閣府の世論調査での「心の豊かさか、物の豊かさ」の経年変化²²⁾

参考文献

- 1) 環境省：平成15年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書，2004
- 2) 気象庁 Web Site：異常気象レポート2005
(http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/)
- 3) 環境省 Web Site：地球シミュレータによる最新の地球温暖化予測計算が完了
(<http://www.env.go.jp/earth/earthsimulator/index.html>)
- 4) 気象庁報道発表資料：2100年頃の夏季における関東地方の気温の変化について，2005
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0406/07a/kion.pdf>
- 5) IPCC (気候変動に関する政府間パネル)：地球温暖化第3次評価報告書，2001
- 6) 国土交通省：地球温暖化に伴う海面上昇に対する国土保全研究会報告書，2002
- 7) 厚生労働省：少子化社会白書，2005
- 8) 国立社会保障・人口問題研究所 Web Site：<http://www.ipss.go.jp/>
- 9) 国立社会保障・人口問題研究所：都道府県の将来人口推計，2002
- 10) 資源エネルギー庁：2003年度エネルギー需給実績，2004
- 11) 総合資源エネルギー調査会：2030年のエネルギー需給展望(中間とりまとめ)，2004
- 12) 石坂匡史他：首都圏長期エネルギー需要モデルの研究，pp85-90，第16回エネルギーシステム経済・環境コンファレンス講演論文集，2000
- 13) 農林水産省：我が国の食糧自給率 平成15年度 食糧自給率レポート，2004
- 14) 農林水産省：水産基本計画，2002
- 15) 内閣府：年次経済財政報告，<http://www5.cao.go.jp/j-j/wp/>
- 16) 日本経済団体連合会：新ビジョン・シミュレーションの再計算結果，2004
- 17) 経済財政諮問会議：構造改革と経済財政の中期展望，2004
<http://www.kantei.go.jp/jp/kakugikettei/2002/0125tenbou.html>
- 18) 経済産業省：新産業創造戦略，2004

http://www.meti.go.jp/policy/economic_industrial/press/0005221/

19) 内閣府：日本の社会資本，2002

20) 内閣府：国土の将来像に関する世論調査，2002

<http://www8.cao.go.jp/survey/h13/h13-kokudo/>

21) 内閣府：生活大航海，未来生活の指針～未来生活懇談会報告書～，2002

http://www5.cao.go.jp/seikatsu/mirai_seikatsu/021029/1029handout-03-1.pdf

22) 内閣府：国民生活に関する世論調査，2005

<http://www8.cao.go.jp/survey/h17/h17-life/index.html>

3 個別研究成果

3.1 情報基盤の整備と活用

3.1.1 国土共通基盤 GIS データベースの開発

(1) 研究の背景

1.3 で触れたように、自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブにおいて「都市・流域圏環境モニタリング」は4つのプログラムの中で第1のプログラムと位置づけられている。この背景には都市・流域圏の再生・修復を図るためには、対象とする流域圏・都市における現状分析および過去からの変遷を辿ることにより問題の把握と課題の整理をすることが、流域圏・都市再生を実行する際の出発点となるからに他ならない。言い替えれば、複合的な構造要因で形成される環境問題の実態把握のためにはモニタリングデータの取得により、概念や哲学の枠を超えた、データに裏付けされた対象の構造把握による流域圏・都市の好ましい姿が見えてくる。

流域圏・都市における人口や土地利用の変化、各種社会資本や産業構造などの社会的変化などのような基盤情報の変遷を把握することは、自然との共生を考える上で最も基本的な事項である。都市・流域圏単位での過去から現在に至るまでの基礎的な情報をデータベース化する上において GIS 技術を活用することによって、モニタリングにより得られたデータとともにモデリングに活用されることとなる。その結果、情報基盤の整備が相乗効果をもって進められることとなる。こうした仕組みをつくることで、例えば一部の地域を対象に先行的に開発されたモデルを他の地域に拡張する際に、共通のデータプラットフォームによりスムーズに適用が行われるなど、様々なメリットが発生すると考えられる。

国土管理や社会基盤整備に関わる業務の効率化を目指した GIS データの基盤情報の共有化に関する検討は、これまでの国土交通省の総合技術研究開発プロジェクトの中でも例えば「先端技術を活用した国土管理技術の開発」や「GISを活用した次世代情報基盤の活用推進に関する研究」などにおいて取り組まれてきた^{1),2)}。具体的には、「先端技術を活用した国土管理技術の開発」においては、国土管理情報基盤データの概念モデル、スキーマ、メタデータなどの構成や運用システムの整備・管理方法の検討が行われ、「GISを活用した次世代情報基盤の活用推進に関する研究」においては、河川、道路、都市計画などで個々に整備されている基盤地図データを相互にデータ交換できる仕組みを策定し、モデル地区を対象に実証実験が行われた。またインターネット上に分散して提供されている GIS データを Web 環境上での情報共有を図る技術を開発し、現在電子国土 Web システムとして成果が活用されている。

本研究では、上記の活用理念に基づいた共通利用可能な情報基盤として GIS データベースを構築することを目的とする。このデータベースは、本プロジェクト及び自然共生イニシアティブにおける「情報基盤の整備」の具体的な項目として実施するものである。すなわち、本研究で実施される様々な要素研究を推進するために基盤となるデータベースを先行的に構築するとともに、それ以外の一般的な利用も含めて誰にでも利用できる情報基盤を目指して GIS データベースを整備するものである。

(2) 国土共通基盤 GIS データベースの整備方針

想定される情報基盤データベースの利用イメージを図-3.1.1.1 に示す。本研究では、前述したようにどのような目的においても共通に利用される、地形図・土地利用図・人口データ等の基礎的な自然条件・社会条件データを「コモンデータ」、モデルの構築や政策の実施等、目的に応じて整備されるデータを「スペシフィックデータ」と定義する。これらは統一されたプラットフォームで整備されるものであり、ベースとなるコモンデータの上に各種のスペシフィックデータが載るようなイメージである。

これらのデータはネットワークを通じてオンラインで利用者に配信され、利用者は必要な時に最新のデータの閲覧・検索等を行うことができる。利用者としては、行政関係者や研究者以外にも、地域住民や NPO、民間企業といった幅広い一般ユーザーを想定している。

コモンデータ整備の方針としては、まず既存のデジタル化された情報を収集して暫定的なデータベースを構築する。その後、現在紙ベースで整備されている情報についても、コモンデータベースに含む必要性の高いものをデジタル化してデータベースに収録する。一方スペシフィックデータについては、当面はデータ交換の形式だけを定めておき、それによって各主体が整備するという形をとる。交換形式を共通にしておくことにより、ある主体が整備したデータを別の主体が利用したい場合に、容易に交換・再利用が可能となる。これを蓄積することで、データベース全体がより充実し、利用価値の高いものとなることが期待できる。このような相互利用を促進するためにも、データのありかを整理したメタデータも同時に整備する必要がある。

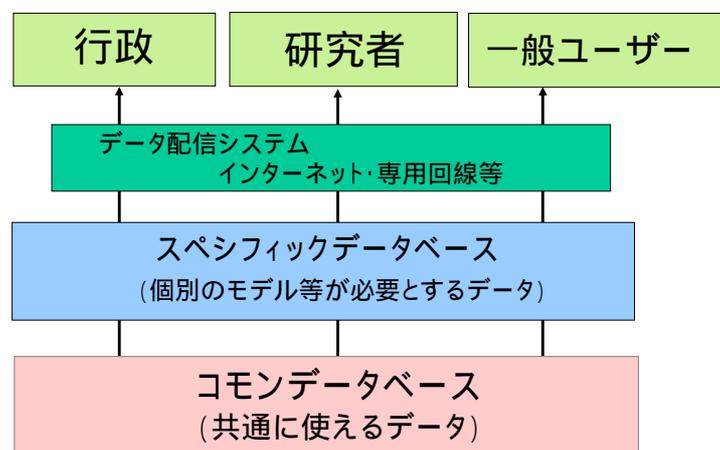


図-3.1.1.1 データベース利用のイメージ

(3) コモンデータの整備

モニタリングデータをモデリングに活用する際には、基盤情報の充実が求められる。情報基盤の整備においては、昨今の情報化の流れを受けて、環境分野に関連の深い地理的な情報も、従来の紙ベースのものから電子的なものも含め、様々な主体によって各種のデータが整備されている。しかし、それらは形式に互換性がなかったりその存在が一部にしか知られていなかったりするために、せっかく整備したのに十分に活用されているとは言い

がたいケースが多い。また、基本となる地形図等は本来どんなデータベースでも利用されるはずだが、共通に利用しやすいデータベースが存在しないために、基本図の部分からデータベースの構築が行われることもあり、結果として二重投資になっているケースもある。

こうした状況を改善するためには、誰もが共通に利用できる基本的な情報を集積した基礎情報のデータベースを整備し、それでは不足する情報を必要に応じて整備するという仕組みを構築するのが効率的である。さらに、この追加的に整備する情報も、外部との交換や再利用が可能な標準化された形式で準備することが望ましいことから関東甲信越地域について、多くの目的に共通に利用される、地形図・土地利用図・人口データ等の基礎的な自然条件・社会条件データを「コモンデータ」として整備した。コモンデータベースの一覧を表-3.1.1.1に、整備の対象範囲を図-3.1.1.2に示す。

また、GISデータベースの構築にあたっては、国土数値情報や数値地図等の既整備データを簡易に利用できるよう、座標系、フォーマット等を統一（測地成果2000対応、Shape形式）し、またメッシュデータについては経緯度座標を持つポリゴンデータに変換しデータベースを再構築した。

表-3.1.1.1 整備したコモンデータベース一覧

データの種類	内容	スケール	図化範囲
地球地図(ベクトルデータ)	交通網、境界、水系、人口集中地区	1:1,000,000	全世界
自然環境GIS	現存植生図・自然環境・保全の地域指定等	1:50,000	全国
国土数値情報・数値地図25000	地形図・水系・各種社会資本	1:25,000	全国
数値地図2500、国土基本図・都市計画図、街区レベル位置情報		1:2,500	都市計画区域
地球地図(ラスターデータ)	標高、植生、土地利用、土地被覆	1 km	全国
地域メッシュ統計	国勢調査、センサスデータ	1 km	全国
国土数値情報	土地利用ほか各種国土基盤情報	100m	全国
標高	標高データ	50m	全国
衛星画像	Landsat7/TM, Terra/Aster	30m, 15m	全国
細密数値情報	土地利用、行政地域、都市公園等	10m	首都圏等

(4) スペシフィックデータの整備

コモンデータベースだけでも流域環境に関する議論をある程度行うことは可能であり、基本的な地理情報が格納されているが、水物質循環や生態系の機構を把握する、またはシミュレーションモデルや評価モデルの入力データとして利用するには不十分である。また広域的に網羅したデータが収録されているが、過去の土地利用についてGISデータとして加工するには大きなコストがかかるため、限定した地域でデータ作成が国土地理院など研究目的で進められている。このようにコモンデータだけでは不足するデータについて試行的にスペシフィックデータとして組み込むことにより、共通基盤GISデータベースとしての活用の方向性を見いだすこととした。本研究では1)関東広域、2)荒川流域、3)霞ヶ浦流域を検討対象として、表-3.1.1.2に示すデータについてデータベース化を図ることとした。

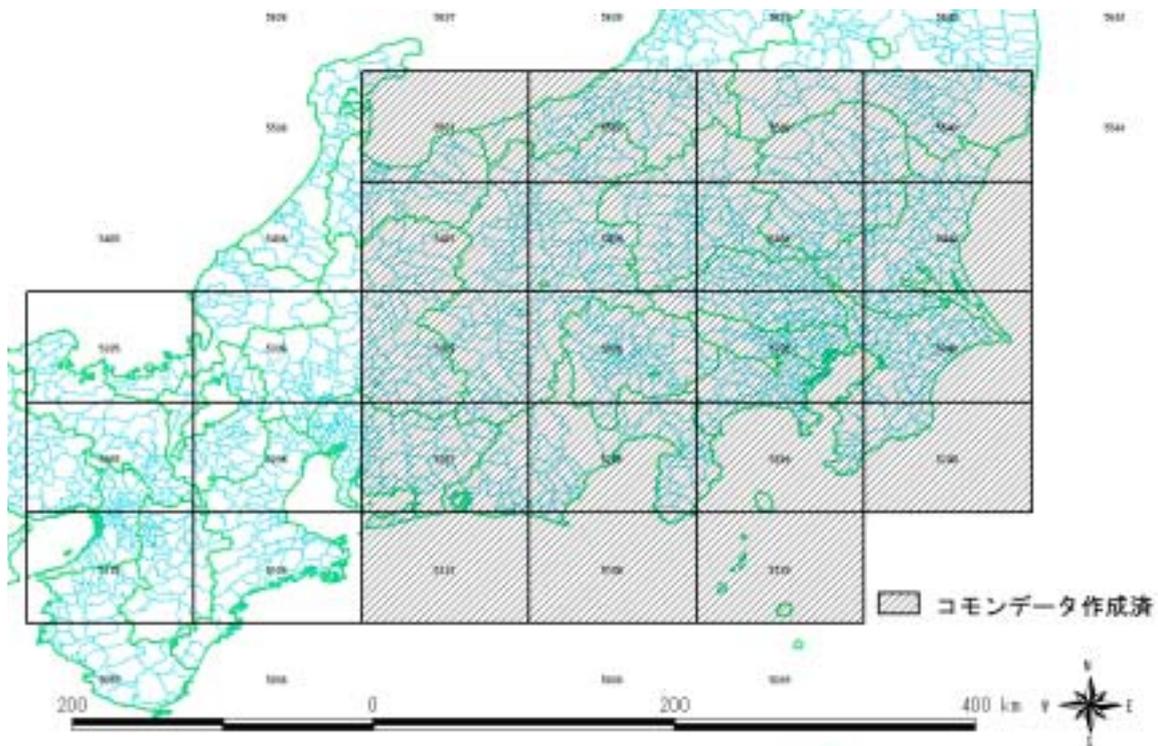


図-3.1.1.2 データ整備範囲

表-3.1.1.2 整備したスペシフィックデータ

作成データ	主な利用データ・資料	データ整備範囲
1 降水量	アメダスデータ(1961-2003)	関東広域
2 流況	流量年表(S28-H13)	関東広域
3 水資源施設	荒川上流河川事務所取水権資料	荒川
4 土地利用の変化	迅速図	霞ヶ浦
5 汚濁排水量	下水道処理人口(水質年鑑)	荒川
6 流量	荒川上流河川事務所流量資料	荒川
7 水道給水エリア	埼玉・千葉地域主要水系調査書(荒川・利根川・その他) 埼玉地域主要水系利水現況図	荒川
8 水質	公共用水域水質測定結果(S50-H13)	荒川
9 排出負荷量	東京湾流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書	荒川
10 流域界	東京湾流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書	荒川
11 沿岸環境	東京湾沿岸地形図(M40 頃、S25 頃)	首都圏
12 都市域・緑地の変化	細密数値情報(1974)	首都圏
13 大気質	大気汚染常時監視測定結果報告書(S49-H13)	荒川
14 過去の人口	国勢調査時系列表	関東広域
15 現在の人口	人口メッシュ(H12)	関東広域
16 将来の予測人口	市区町村将来推計人口	関東広域

(5) メタデータの作成

整備データは、一般公開用に編集している為、元データ及び編集データの作成経緯等を

明記する必要がある。そのため、整備データの情報を所定のフォーマットでメタデータ化し、それぞれ取りまとめた。

データフォーマットは、国土交通省国土地理院が作成した、地理情報メタデータ標準 JMP1,1a を使用している。

1) 作成データ

作成データと内容は、以下とする。

- ・ 作成対象は、整備項目ごととする。
- ・ 元データに付加されているメタ情報を反映する。
- ・ 今回はコモンデータに属するデータ項目について作成した。

2) データファイル名

- ・ データファイル名は、以下に設定。

CO - - META - .htm

CO : コモンデータ

 : 項目群

 : 整備項目ファイル名

(例) 国土数値情報：自然地形メッシュ

- ・ メタデータ名：CO-KS-META-G01-56M

```
<?xml version = " 1.0" encoding = "shift_jis" ?>
```

```
<catalogue>
```

```
<meta_file_id>CO - KS-META-G01-56M</meta_file_id>
<meta_parent_id>CO-KS-META</meta_parent_id>
<title>自然地形メッシュ</title>
```

メタデータ識別子
コモンデータ：CO
国土数値情報：KS
タイトル情報

```
<edition />
```

```
<series>関東地域コモンデータベース</series>
```

シリーズ名

```
<issue_id />
```

```
<initiative>
```

```
<init_type>事業</init_type>
<init_name>関東地域共通基盤GISデータベース整備事業</init_name>
```

事業名

```
</initiative>
<refdate>20030320</refdate>
```

```
<party>
```

```
<party_individual />
<party_org>国土交通省 国土計画局 総務課 国土情報整備室</party_org>
<resp_party_pos_name />
<party_role_code>009</party_role_code>
<resp_party_addr />
```

責任者情報

```
<country>JP</country>
<postal_code>305-0804</postal_code>
<admin_area>茨城県</admin_area>
<city>つくば市</city>
<address>旭1番地</address>
<phone>0298-64-2211</phone>
<tdd_phone />
<fax />
<email />
<addr_online_res />
```

```

    <hrs_of_service>平日 9:00 から 17:00</hrs_of_service>
    <contact_instr />
  </resp_party_addr>
</party>
=<extent>

```

```

  = <coordinates>
    <westbc>122.93</westbc>
    <eastbc>145.82</eastbc>
    <northbc>45.52</northbc>
    <southbc>24.03</southbc>
  </coordinates>

```

データセットの範囲

```

  = <geo_extent_desc>
    <geo_name />
    <geo_name_ref />
  </geo_extent_desc>
  <temp_extent_time />
  <min_elev />
  <max_elev />
</extent>

```

解像度

```

<resolution_code>003</resolution_code>
<lang_data_code>ja</lang_data_code>
<data_charset>N/A</data_charset>

```

データセットの言語

```

<abstract>自然共生型流域圏・都市再生に関する各種モデル作成やデータベース構築にあたり、共通して利用できる地理情報データ（コモンデータベース）を整備しています。</abstract>
<purpose>流域を単位とした国土管理の実施に向け、総合科学技術会議で採択された「自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブ」の基幹となる地理情報データベース（コモンデータベース）を整備し、プロジェクトで行われる各種のモデリング、評価ツールにおいて共通して使用するためのデータベースを構築することを目的としています。</purpose>

```

要約
目的

```

<progress_code>002</progress_code>

```

進捗状況コード 02:作成中

```

=<category>

```

```

  <theme>自然</theme>

```

主題

```

  = <keyword_info>

```

```

    <keywords>自然地形</keywords>
    <keyword_type_code>002</keyword_type_code>
    <keyword_thesaurus />
  </keyword_info>
  <keyword_info>
    <keywords>5339</keywords>
    <keyword_type_code>003</keyword_type_code>
    <keyword_thesaurus>標準地域メッシュコード</keyword_thesaurus>
  </keyword_info>
  <keyword_info>
    <keywords>コモンデータベース</keywords>
    <keyword_type_code>005</keyword_type_code>
    <keyword_thesaurus />
  </keyword_info>
</category>

```

キーワード

```

<access_constraints />

```

```

<use_constraints />

```

```

<lineage_info />

```

空間表現型コード

(001:テキスト、002:ベクタ、003:ラスタ、004:画像)

```

<spatial_rep_type_code>003</spatial_rep_type_code>

```

```

<spatial_reference_code>002</spatial_reference_code>

```

空間参照コード 002:座標

```

<distrib_id />

```

```

<format_name>ArcViewシェープファイル</format_name>

```

配布フォーマット

```
<media>インターネットによるダウンロード。郵送の場合は、MO、CD-R (ISO9660 フォーマット)、  
フロッピーディスク (1.44MB) から選択してください。</media>
```

配布メディア

```
<distrib_resource_url /> www.nilim.go.jp</distrib_resource_url>
```

```
<applic_schema_url />
```

配布データのオンライン情報原の URL

```
<conform_level_code>001</conform_level_code>
```

```
<lang_meta_code>ja</lang_meta_code>
```

```
<meta_charset>Shift_JIS</meta_charset>
```

```
<meta_date>20010331</meta_date>
```

```
</catalogue>
```

(6) データベースサーバの構築

次に、整備したデータを配信するデータベースサーバについて説明する。データはインターネットを通じて配信するための技術として WebGIS を利用する。利用者はインターネットのブラウザを通して、データを検索して表示し、画面上で拡大・縮小・移動・バッファ作成等の基本的な GIS 操作が可能である。

データベースサーバの整備・運用する方式としては、大きく 集中管理方式と 分散管理方式に分類される。本研究では研究開発の段階であるため1箇所にサーバを設置してそこにデータを集積した。これは、まずデータベースとして実際に利用できるものを作ること、利用しながら使い勝手や新たな利用の可能性等を探り、改良が必要であれば容易に改良できるようにするためである。しかし、今後の運用を考えた場合、時間が経過すればデータの更新が必要になってくるが、これは各データの整備主体が責任を持って行うべきものである。そこで将来的には、データは分散管理をするものとし、各データの提供主体が管理するデータを、利用者の要求に応じて参照する分散型データベースの形を目指すべきである。その場合でも利用者の側では、データは分散管理されていることを意識せずに画面上では一つのものとして扱うことができる。

(7) システム構成の検討

1) GIS エンジンの検討

GIS データベースサーバで使用する GIS エンジンについて検討した。本サーバで使用する GIS エンジンの要件は、以下のとおりである。

利用者がカスタマイズできること

ウェブで活用できること

利用するデータベースを開発者が選択できること

上記の条件を満たす GIS エンジンを選定するために、市販されているもの、フリーで配布されているものを含め、調査した。その結果を表-3.1.1.3 に示す。

検討した結果、サポート体制がしっかりしていること、欧米での導入実績が多いことなどから ArcIMS を GIS データベースサーバの GIS エンジンとして採用することとした。

表-3.1.1.3(1) Web環境で使用できるGISエンジンの比較(1)

名称	配信形式	カスタム	DB 選択	OS(サーバ)	価格
ArcIMS	画像 ベクトル	可能	可能	WinNT/2000/XP Linux Solaris	有料
ATOM WebGIS	画像 ベクトル	可能	可能	不明	有料
Geobase	ベクトル	可能	可能	WinNT/2000/XP	有料
GeoMation	-	可能	可能	WinNT/2000 Solaris	有料
GeoMedia Web Map GeoMedia Web Enterprise	画像 ベクトル	可能	可能	Win2000	有料
JaMaPs	ベクトル	可能	可能	不明	有料
Maplet	ベクトル	可能	可能	WinNT/2000	有料
Mapquest	ベクトル	可能	可能	Win98/ME/2000/NT/XP Linux Solaris	有料
MapScape	画像	可能	可能	WinNT/2000	有料
MapSurfing	画像	可能	可能	Win2000/NT/XP Solaris	有料
MapXtreme	画像	可能	可能	Win2000/NT/XP Solaris	有料
SIS ASC	画像	可能	可能	WinNT/2000	有料
プロアトラスエンター プライズサーバ	画像	不可能	不可能	Windows2000/XP Linux Solaris	有料
GRASS (GRASSLinks)	画像	可能	可能	Linux	無料

表-3.1.1.3(2) Web環境で使用できるGISエンジンの比較(2)

名称	特徴
ArcIMS	ArcGISのサーバアプリケーション、WebブラウザやArcGISクライアント・アプリケーションを用いて、ローカルGISデータとインターネットGISデータを統合し、表示・検索・解析等を行うことが可能。 http://www.esri.com/f_software.html
ATOM WebGIS	ATOMのC/S版、スタンドアロン版との完全なデータベース互換があり、ATOMのすべての空間解析機能を実装できる。 http://www.aeroasahi.co.jp/spatial/gis/
Geobase	ActiveX技術を活用し、従来型GISと同様のレスポンスとサービスの提供が可能。アップデートサーバと呼ばれるサービスで複数クライアントからの書き込み時の排他制御を可能としている。 http://www.dawn-corp.co.jp/
GeoMation	CORBAによる分散アーキテクチャによる相互運用性を高めたWebGISエンジン http://www.hitachi-sk.co.jp/Products/Gaiyo/geomation.html
GeoMedia Web Map GeoMedia Web Enterprise	インターネット、イントラネット環境でGIS構築が可能。ActiveCGM方式の採用によりラスタとベクトルの共存した環境を実現できる。上位製品であるGeoMedia Web Enterpriseでは、さまざまな空間解析およびネットワーク解析を行うことができる。 http://www.ajiko.co.jp/gyomu/gis/GMfamily/web.htm
JaMaPs	複数の独立したWebサイト上の画像やXML(SVG)等のグラフィック情報を重ね合わせて同時に利用できる。 http://www.jamaps.org/
Maplet	ActiveX技術を活用し分散アクセスも可能なWebGISエンジン。オプションとして画像圧縮ソフトウェアがある。 http://www.coboplan.co.jp/lineup/main.html
Mapquest	ActiveX技術を活用し、高速なレスポンスと高度な情報提供が可能。従来型GISとWebアプリケーションの連携、インターネット向け画像配信版との併用等、多彩なシステム構築が可能。 http://www.mapquest.co.jp/
MapScape	GISソフトウェアTacticianをコアとするWeb対応エンジン http://www.giken.co.jp/products/tactician/mapscape/index.html
MapSurfing	MapInfoあるいはMapXtremeをコアとしながらも、SiteBuilderと呼ばれるシステム構築ツールを用いて容易にWebGISサイトの構築を行うことが可能。 http://www.kimoto.co.jp/
MapXtreme	MapInfoファミリーのWeb対応版。空間管理ツールであるSpatialWare4.5 SQL Serverとの連携が可能。 http://www.mapinfo.co.jp/2_products/1_03.html
SIS ASC	多くの空間データ形式をサポート、豊富な機能の保有等を特徴とするSISのWeb対応版。 http://www.informatix-inc.com/sis/index.html
プロアトラス エンタープライズサーバ	アルプス社の電子地図プロアトラス2002専用のWebGISサーバ。WindowsNTとSolarisの2種のサーバをサポートしている。 http://www.alpsmap.jp/software/pes/
GRASS (GRASSLinks)	米国陸軍技術部隊の建築工学研究所)で開発されたオープンアーキテクチャのソフトウェアであり、基本的に無料で使用できる。WebインターフェイスであるGRASSLinksを利用することWeb上での利用することができる。 http://wgrass.media.osaka-cu.ac.jp/grassh/index2.html

2) システムの構成

システム構成を図-3.1.1.3 に示す。

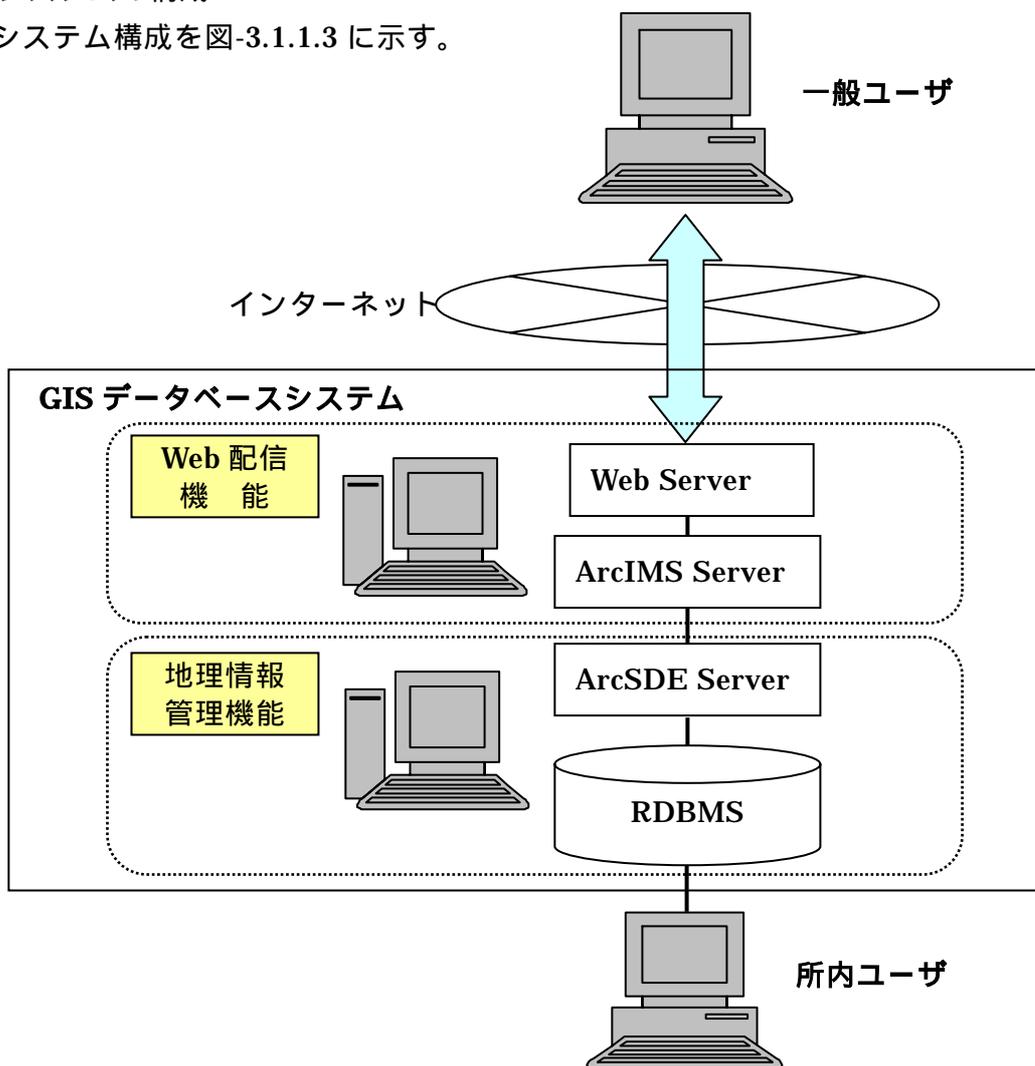


図-3.1.1.3 システム構成図

GIS データベースサーバが参照する GIS データは、ESRI 社の ArcSDE を使用して構築を行う。ArcSDE とは、Oracle、Microsoft SQL Server 等の RDBMS にシェープファイル、カバレッジ及び TIFF 等の地理情報を格納して管理する GIS データのゲートウェイである。GIS データのセットアップは、ArcSDE の管理コマンドを使用して、元データより変換を行ったシェープファイル及び TIFF ファイルを RDBMS へインポートすることによりセットアップを行った。本システムのサーバの動作環境を表-3.1.1.4 に示す。

表-3.1.1.4 動作環境

分類	名称	仕様
DBMS	DBMS ソフト	Microsoft SQL Server 2000
WWW サーバ	WWW サーバソフト	Apache 1.3.27
基本ソフトウェア	OS	Windows 2000 Advanced Server
	Servlet Engine	Tomcat 3.3.1
	JAVA 環境	J2SDK 1.3.1_02
	GIS ソフト	ESRI ArcIMS 9.0
	RDMS Gateway ソフト	ESRI ArcSDE 9.0

なお、DBMS へのインポートを行った際、一部データについては、ArcSDE のジオメトリとして許可されていないデータが含まれている等の理由により、国土数値情報の一部などインポートできないデータもあった。

(8) 国土共通基盤 GIS の詳細設計

1) 画面一覧

本システムが使用する画面の一覧を表-3.1.1.5 に示す。

表-3.1.1.5 GIS データベースシステムの機能

	機能	概要
1	基本機能	拡大縮小等の地図操作を行う。
2	レイヤ設定	レイヤの表示 / 非表示のレイヤ操作を行う。
3	メタデータ情報の表示	各レイヤのメタ情報を表示する。
4	市区町村検索	市町村名から該当箇所を表示する。
5	流域検索	流域名から該当箇所を表示する。
6	地図データ検索	メタデータ項目から地図データを検索する。
7	個別属性表示	個々の属性データを地図から選んで表示する。
8	属性検索	入力した属性データの条件に合致する地図データを表示する。
9	空間検索	ポリゴンの重ね合わせ検索を行う。 例) 流域含まれる市町村を検索し、地図上に表示する
10	バッファリング	ある点などからの距離に含まれる施設等を検索する。 例) 国会議事堂からの 0.5 キロ範囲の駅を地図上に。
11	主題図作成	属性データから色分けして表示する。 例) 標高から色分け表示する。
12	ラベル項目設定	地図上に表示する属性データを設定する。
13	距離・面積計測	距離や面積を測る。
14	印刷	画面に表示されている地図を印刷する。
15	ダウンロード	画面に表示されている地図データを Shape 形式でダウンロードする。

2) 画面構成

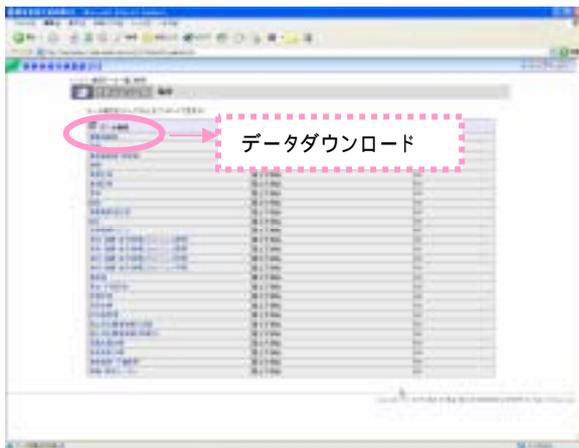
画面推移イメージを以下の図-3.1.1.4 に示す。

a) 初期画面



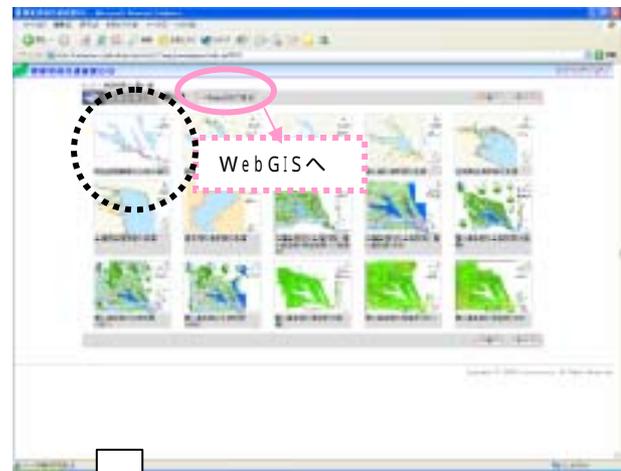
1. Webサイトの概要説明
2. 研究の目的
3. 地図を見る（地域を選ぶ）
4. 地図データをダウンロードする（カテゴリを選ぶ）

c) 地図データ一覧



- ◇ トップページでえらんだカテゴリに含まれるデータの一覧表を表示
1. データ項目
 2. 整備主体
 3. 資料年度

b) 地域ページ



初期画面でえらんだ地域に該当する主題図のサムネイルとタイトルを表形式で掲載

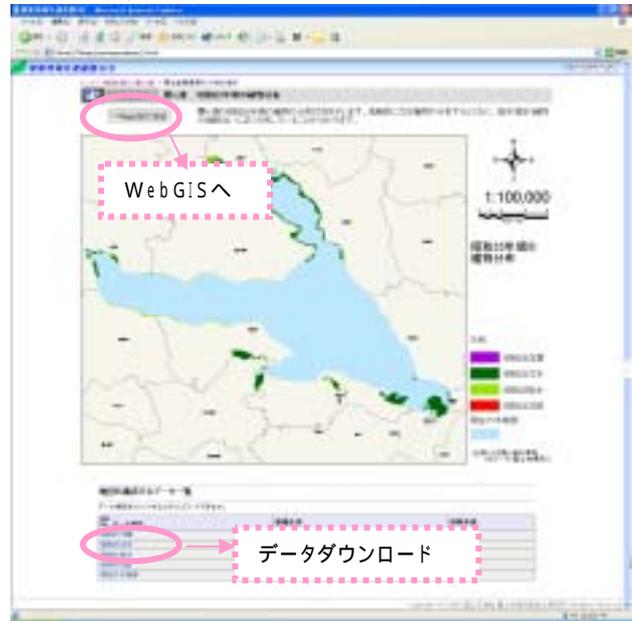
次ページへ

図-3.1.1.4(1) 画面推移イメージ(1)

d) 詳細表示ページ

- ◇ 地域ページでえらんだ主題図の詳細を表示
- 1. タイトル
- 2. 解説
- 3. 主題図画像 (デフォルトサイズ)
- 4. WebGIS へのリンクボタン
- 5. 地図を構成するデータ一覧 (ダウンロード可)

前ページから



e) WebGIS 表示ページ

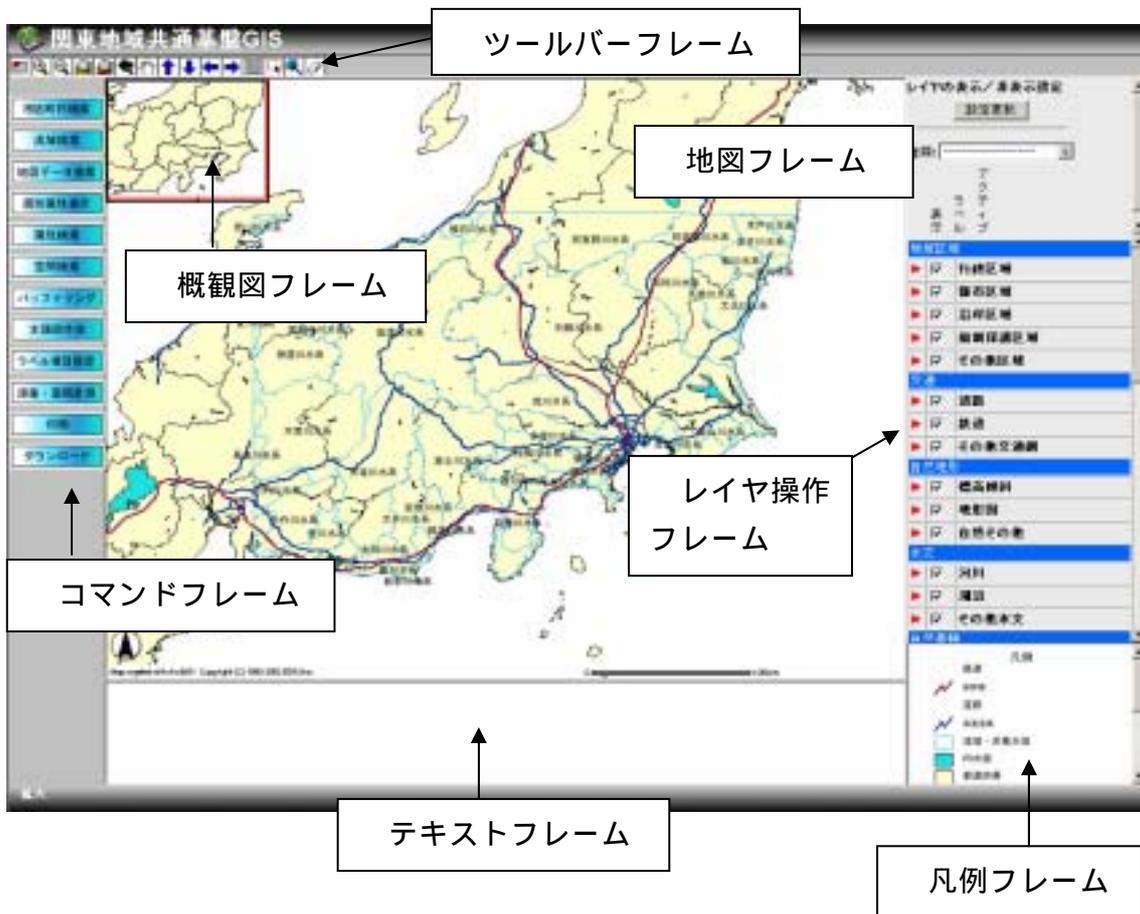


図-3.1.1.4(2) 画面推移イメージ(2)

ツールバーフレーム

拡大／縮小など GIS の基本的な操作を行うフレーム。

概観図フレーム

関東地域全体を表示するフレーム。

地図フレーム

地図情報を表示するフレーム。

レイヤ操作フレーム

レイヤの表示／非表示、ラベルの表示／非表示、レイヤのアクティブ化の設定を行うフレーム。

コマンドフレーム

市区町村検索等の機能のボタンのフレーム。

テキストフレーム

属性データ表示や検索条件等の文字情報を入力／表示するためのフレーム

凡例フレーム

凡例を表示するフレーム

(9) 環境分野における GIS の活用法

1) GIS を用いた環境把握手法の整理

河川環境情報図

河川においては、流水、土砂移動により多様で複雑な環境条件が形成されており、この多様な環境を利用して多様な生物が生息・生育し、河川固有の生態系が形成されている。河川改修等河川空間に人為を加える場合には、河川の何処にどのような環境要素が形成されているかを把握するとともに、環境要素間の関係を分析し、河川生態系のシステム構造を把握し、このシステムへの影響を極力回避・低減するような方法をとる必要がある。

河川環境情報図では、河川の瀬・淵の位置、底質条件、河道内の植生、生息生物と生息確認位置をあわせて載せることにより、対象エリア内のする環境条件の把握、瀬・淵と生息魚種、植生と鳥類等環境要素間の関係把握等環境特性の把握・分析を容易にする。

エコロジカルネットワーク

生態系の保全のためには、生物の生息・生育場の保全が必要であるが、パッチ状に分布する個々の生息場を保全するだけでなく、これら生息場の連結（エコネット）を強化、再生することにより、生態系の持続度を高めることができ、生息場の位置関係やそのつながり具合を把握することが重要となる。

例えば、GIS 上で野生生物の主要な生息場を検索・抽出すると、核となる生息場（コア）と核を結ぶ回廊・移動路（コリドー）が明らかとなり、保全上重要なコリドーの把握や、効果的な再生計画の立案が可能となる。

生息場の評価手法の開発

河川改修やダム建設等による生息生物への影響は、通常、人為的な影響が及ぶエリアにおける、指標種の生息・生育場としての選好度の変化として評価される。このような場合、

注目種がいかなる環境要素を利用し、いかなる環境要素を忌避しているといった選好度と環境条件の関係が必要となるが、GISにより比較的容易に解析が可能である。例えば、オオタカを指標種として、メッシュ毎に営巣密度と植生、地形、人口等の環境要素との相関関係を分析し、オオタカの生息場の選好度を環境要素から推定する関係式を導いている。このような手法は、生物調査が十分行われていないエリアでの概略の影響評価や、定量的な影響評価を可能とする。

野生生物の行動解析

近年、リアルタイムで野生動物の行動追跡を可能とする技術が開発され(テレメ)、野生生物の詳細な行動データの取得が可能となってきた。本事例は、河川工事に伴う騒音・震動とタヌキの行動軌跡を重ね合わせたもので、工事前は山から河岸まで広いエリアにわたっていたタヌキの行動圏が、工事の影響で山の中に押し込められている様子が分かる。テレメの計測データは、座標値で送信されるため、これをGISと接続することにより、地図上に容易に行動軌跡を描けるとともに、環境要素をあわせて表示することにより、行動解析が可能となる。

オープンスペースとアクセス

都市域の居住性を高めるためには、都市内の水辺、緑地、公園等の整備が重要となるが、これらの空間が十分その機能を発揮するためには、人々が容易にアクセスできることが重要であり、そのための公共用地が確保されていなければならない。

都内の公園・緑地空間と、公開空地の位置関係をGIS上に表示し、アクセスの観点から公開空地を評価することにより、公園・緑地等と公開空地の位置関係や隣接性からアクセスを評価することができる。

2) 流域環境診断への活用

情報基盤の活用法の1つとして、流域の現状や変遷などを把握・整理することから分かりやすく、かつ具体的に示す「流域環境診断」への利用である。流域環境診断には流域という広い空間場での多岐にわたる情報を時系列を含め把握することが基本になり、GISは有用な道具になる。このような、流域環境診断の利用を拡げていくことは、流域住民や行政など様々な主体が流域環境のことを日常的に考える状況を作るためにも、また流域情報基盤の内容を充実させていく上でも大事である。ここでは、人為的影響度合い、場の評価の観点からシステムを診断するための簡易的な手法について検討し、実流域に適用することにより、その適用性を評価する。

「流域管理のための総合調査マニュアル」によれば、流域環境診断には以下の事項が必要とされている。

a) 流域の健康状態をはかる指標

健全な水循環や、それに基づく生態系、経済・社会・文化システムの持続可能性を診断するにも、ものさし(指標)が必要である。流域環境診断においては、流域の状態を少数の指標に集約させる試みと同時に、自然環境、経済、社会システムごとに、目的に応じて、

さまざまなタイプの指標を作成し、階層化させたり、有機的に関連させたりすることが現実には有効である。

b) 調査項目の安定と環境情報の収集

流域の総合的な診断を行うには、まず、問題の特徴と地域の実情に応じて、調査項目の範囲や、調査の深さや細かさを決定する必要がある。次いで、その分野における重要な指標（群）を、その地域の実情などに応じて、既存の指標システムから選択、あるいは新たに作成し、必要な環境情報を収集していくこととなる。

c) 環境情報の集積・統合と環境診断

流域の総合的な診断結果を最後にとりまとめ、全体像を把握する必要がある。この段階では、さまざまな指標などの診断用ツールを効果的に組みあわせて流域環境診断を行うことが必要である。

d) 流域診断の向上

流域環境診断にあたっては、「指標群」が中心的な役割を果たす。これまで、日本の流域管理では、自然資源や負荷など、物理的・物質的な側面に偏った調査が行われてきた。しかし、流域管理は、経済的、社会的側面の管理抜きには達成できない。このため、経済・社会指標、あるいは指標に準ずる要因を抽出し、従来の指標群に付け加え、充実させていくことが必要である。

以上の観点から、下記の項目を中心に流域環境診断の手法を検討することとした。

水・物質循環

マクロな視点での水収支や飲み水の水質、汚濁負荷の分布などの把握を目的とする。

生態系

陸域の生息環境としての重要な場や水域の生息環境としての河川の瀬・淵、横断工作物や湖岸・沿岸の地形変遷の把握を目的とする。

都市環境

都市化の進展や自然とのふれあい環境の把握を目的とする。

上記の診断項目に沿って流域環境診断を実施するために、具体の解析項目を検討した。解析項目と診断内容について表-3.1.1.6に示した。

これらのうち、簡便で視覚的に分かりやすい流域環境診断事例について、下記の項目を紹介する。

- (a) 水物質循環・・・水資源関連施設と水質データのライン表示
- (b) 生態系・・・緑地分布の変化（湖岸植生について4.2で紹介）
- (c) 都市環境・・・土地利用の変遷

表-3.1.1.6 流域環境診断での解析項目と診断内容

解析項目		診断内容
1.水物質循環		
1.1 降水量	年間降水量の分布	水資源の豊富さ
	年間降水量の変化	過去と比較した降水量の変化を把握
	一人あたり降水量	一人あたりの降雨の豊富さ、流域の保水性の高さ
1.2 流況	濁水比流量	流域の水資源量の指標
1.3 水利用状況	目的別水利用	水道・工業・発電（水利権）、農業（水田）別に流域内水利用を把握
1.4 水資源関連施設	ダム、取水施設、下水処理施設等一覧	水資源施設の把握
1.5 浸透率	中流域界別浸透率の変化	明治、昭和、平成の浸透率の変化
1.6 マクロ水循環	水収支概観模式図	流域での水収支を概略的に把握
1.7 フレッシュ度	汚濁排水量 / 濁水流量	水質基準点ごとの排水量の占める割合
1.8 水道給水エリア	取水点毎の給水範囲	どこから取水した水を飲用しているか
1.9 水質	BOD 水質変化	河川縦断方向の水質の経年的把握
1.10 水道水源水質	水道取水位置の水質	飲み水の水質把握
1.11 水資源利用度	利用総量 / 水資源賦存量	賦存量のうち、利用されている水量
1.12 汚濁負荷分布図	人口、工業、家畜等	排出負荷の構造、水質関連条件の把握
2.生態系		
2.1 陸域生息環境評価	生態系指標種の生息場評価指標	重要となる生息地の表現
2.2 水域生息環境評価	河川環境（旧河道、堰・魚道、瀬・淵、護岸、生息環境等）	かつての河道の分布、瀬・淵や魚道、生物の生息空間の状況の把握
	湖沼環境（植生、アオコ、湖岸線等）	挺水・沈水・浮葉植物、湖岸線等の変化
	沿岸環境	沿岸地形変遷
	流量ダイナミズム	年最大流量 / 濁水流量
3.都市環境		
3.1 生息生物	身近な生物の生息分布	カテゴリー別の確認種数の多さ
3.2 自然との触れ合い度	身近な生物がいる地域の人口	身近な生物がいる地域の人口集計
3.3 都市化度	都市域・緑地の変化	都市的土地利用の表現
3.4 オープンスペース率	公園、緑地、水辺の占有率	公園、緑地利用地の表現
3.6 氾濫区域内土地利用	経年変化	氾濫区域内の土地利用の進展の表現
3.5 土地利用の変化	土地利用の変化	明治、昭和、平成の土地利用の変化
3.7 気温	気温の経年変化	過去と比較した気温の変化を把握
3.8 大気質	SO ₂ 、SPM、NO、NO ₂ 、NO+NO ₂ 、CO	道路沿線の大気環境の経年的把握

(a) 水物質循環

ア) 水資源関連施設

< 利用データ >

水資源関連施設を把握するため、下記資料を用い、整理した。

- ・ 荒川上流河川事務所取水権資料
- ・ 荒川上流河川事務所河川基盤地図データ（ダム位置）
- ・ 荒川上流河川事務所管内図
- ・ 日本河川水質年鑑（日本河川協会編,山海堂.）

< 解析方法 >

水資源に関連する施設として、取水施設と下水処理施設、またダムの位置を表現した。取水施設については、その取水目的別に色分けをし、表現した。

< 成果図 >

図-3.1.1.5 に、荒川水系におけるダムと取水施設、下水処理施設の位置を示す。この図から上中流域に下水処理場が点在する一方で、秋ヶ瀬取水堰で取水を行っているなど、荒川流域の取排水系統が水質の観点からは不合理な形態になっていることが伺える。



図-3.1.1.5 ダム・取水・下水処理場地点

1) 水質・水道原水質

< 利用データ >

BOD 等の水質の変化を示すため、下記資料を用い、整理した。

- ・埼玉県公共用水域水質測定結果 (S50-H13)

また飲み水の水質を把握するため、上記水質データに水道取水位置を加え、整理した。

- ・荒川上流河川事務所取水権資料

< 解析方法 >

・ポイントデータ：昭和 50 年代（昭和 50 年～昭和 59 年）と近年（平成 4 年～平成 13 年）の BOD 平均値をそれぞれ求め、水質ランク別に調査地点のポイントの大きさを換え、表示

・ラインデータ：調査地点より上流側は調査地点と同質の BOD 値であると仮定し、水質ランク別に河川の色を変え、表示

- ・さらに、上水道の取水位置データを重ね、表現した。

< 成果図 >

図-3.1.1.6 に荒川流域における S50 年代の BOD 平均値を、図-3.1.1.7 に H4～H13 の BOD 平均値を、上水道の取水位置とあわせて示す。これらの図から各河川の水質の健全性を把握できると同時に、過去と現在の比較からいくつかの河川で水質が改善している状況を面的に把握することができる。また、図-3.1.1.7 で上水道および下水処理場との位置を重ね合わせることにより、東京都水道局朝霞取水堰から取水される水質は現在でも環境基準の D 類型に属し、工業用水としても薬品注入などによる高度処理が必要であることが容易に理解できる。

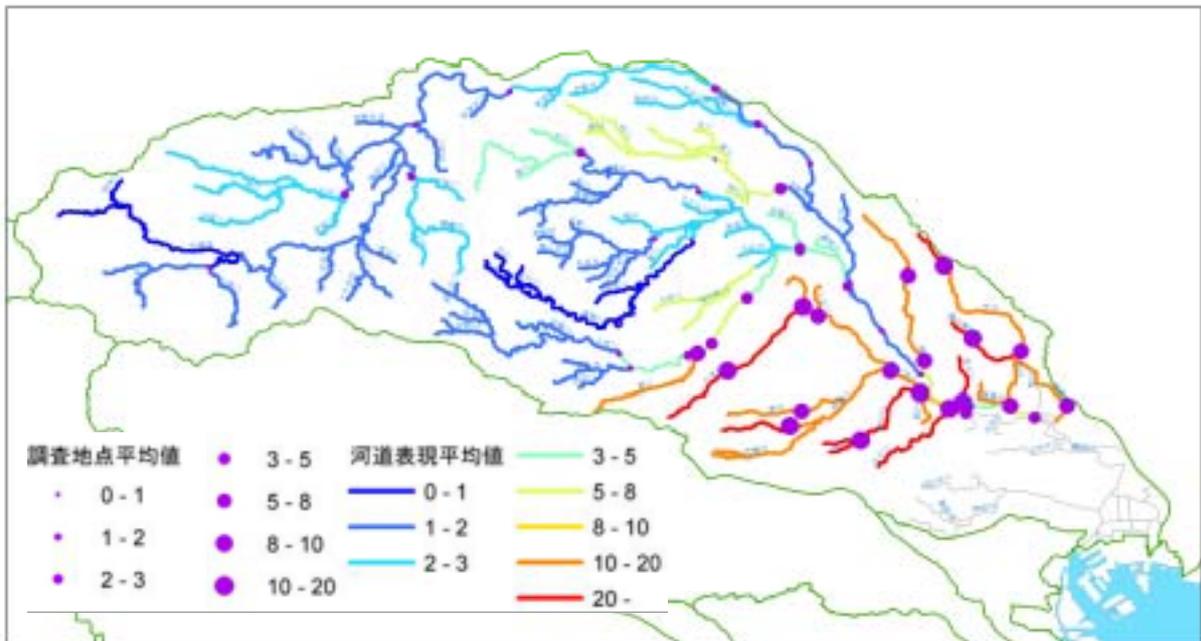


図-3.1.1.6 S50年代のBOD平均値(mg/l)



図-3.1.1.7 近年 10 年間 (H4 ~ H13) の BOD 平均値(mg/l) と上水道の取水位置

(b)生態系

・緑地分布の変化

< 利用データ >

コモンデータの衛星画像データ (1990 年 (秋期)、2002 年 (秋期)) を用いて緑地帯を抽出し、2 時点のデータを比較して緑地分布の変化を把握する。

- ・衛星画像データ (LANDSAT)
- ・荒川上流河川事務所河川基盤地図データ (ダム位置)

< 解析方法 >

衛星画像データから Band3 (可視域・赤色)、Band4 (近赤外域) の 2 つのバンドを切り出し、 $NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$ を計算し、NDVI 値のヒストグラムを参照して閾値を設定し、植生域と非植生域を区分した 2 値化ファイルを作成し、レベルスライス処理を施し、ランク毎に色彩を割り当てた緑被抽出画像を作成した。さらに、2 値化ファイル間に変化が生じている画素を変化画素として抽出すると、緑地変化箇所把握図を作成することができる。

< 成果図 >

図-3.1.1.8 ~ 10 に、荒川流域と霞ヶ浦流域における各年代の緑地分布図、緑地の変化箇所抽出図を示す。図-3.1.1.10 から霞ヶ浦流域ではつくば市周辺や新利根川流域で都市開発が進み、緑地面積が減少している状況が伺える。2 時点の間隔が短いため大きな相違はないものの、長期間の衛星画像の蓄積の進展により、緑地面積の増減の面的な変化を容易に把握することが可能となる。

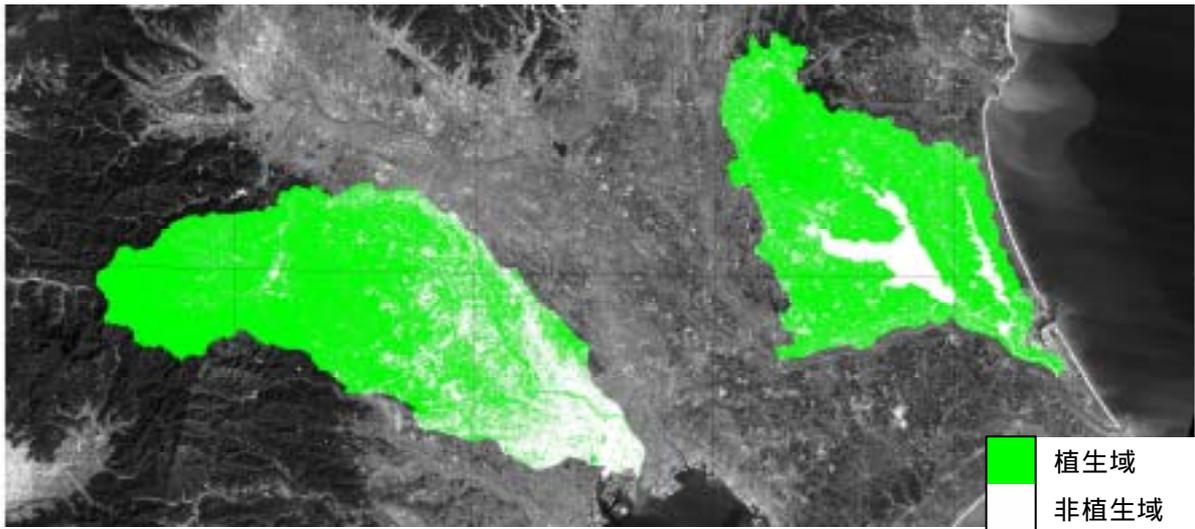


図-3.1.1.8 1990年（秋期）における緑地分布

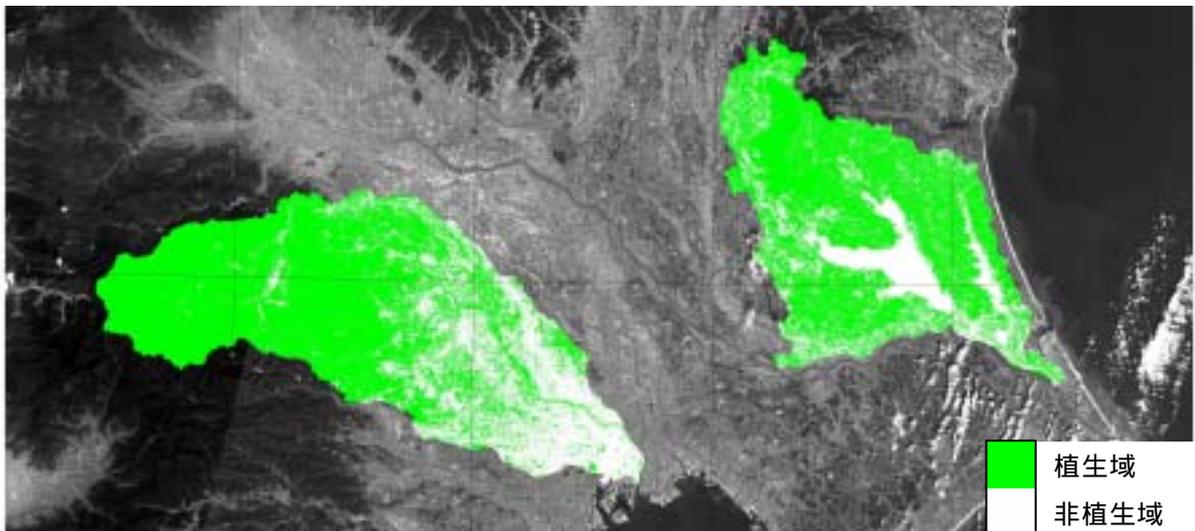


図-3.1.1.9 2002年（秋期）における緑地分布

画像の凡例	1990年の土地利用	2002年の土地利用
増加箇所	非植生域	植生域
変化なし	植生域	植生域
減少箇所	植生域	非植生域

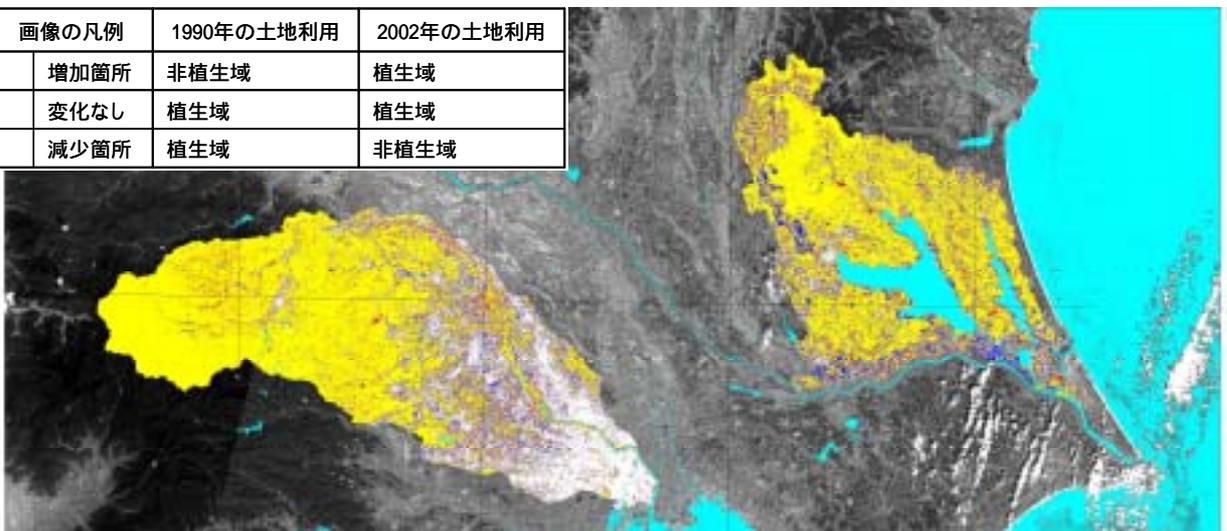


図-3.1.1.10 緑地の変化箇所抽出図

(c)都市環境

・土地利用の変遷

< 利用データ >

流域内の土地利用がどのように変遷してきたかを把握するため、下記データを用い、表現した。昭和 51 年以前と以降では利用データが異なるため、一概に経年的な比較はできないが、おおまかな変遷は把握可能である。

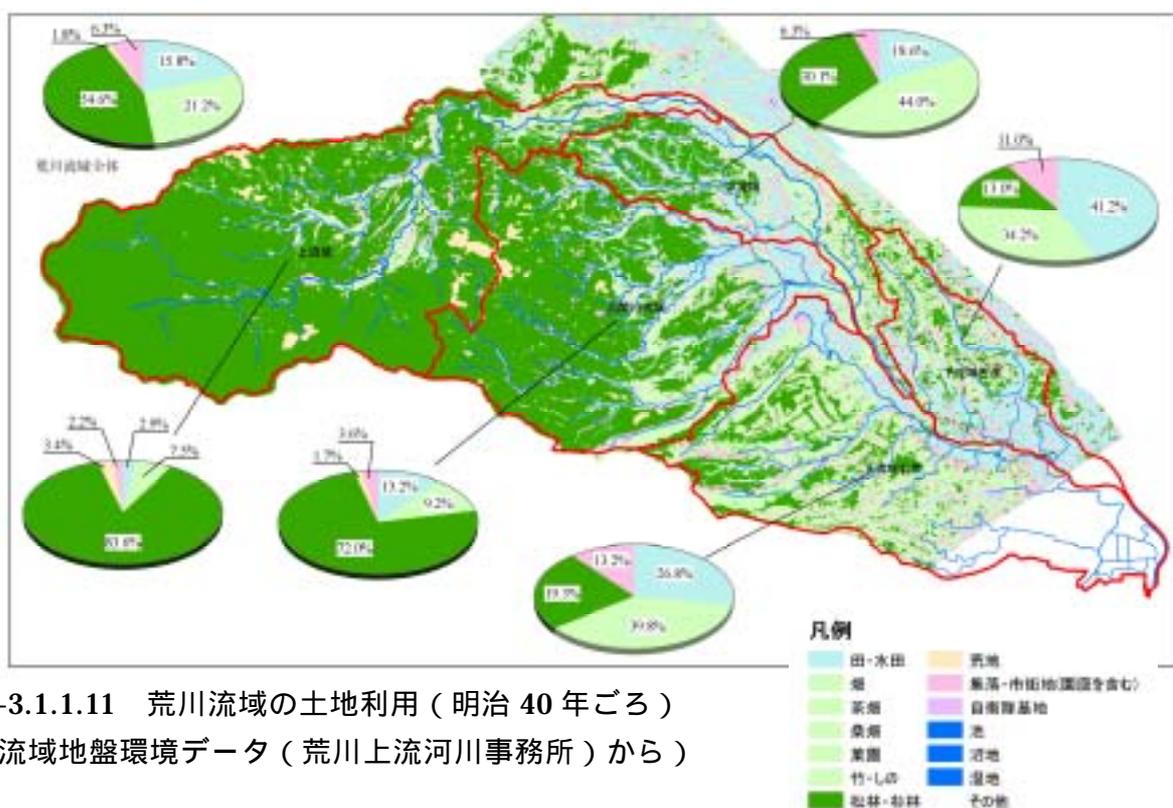
- ・荒川上流河川事務所流域地盤環境データ
(M40 年頃・S47 年土地利用データ)
- ・霞ヶ浦流域迅速図判読データ(今回作成、明治前期のデータ)
- ・土地利用データ(国土数値情報、H9 年データ・S51 年データ)

< 解析方法 >

各年代の土地利用データを凡例を統一して表現し、中流域界を重ねて表示

< 成果図 >

荒川流域における、明治40年頃、昭和47年、平成9年の土地利用状況を図-3.1.1.11～13に示す。各々の図を比較することにより、土地利用の変遷を理解できると同時に、GIS機能を活用することにより、中流域区分毎の土地利用割合を算出することができ、中流域単位での土地利用の変遷を把握することができる。



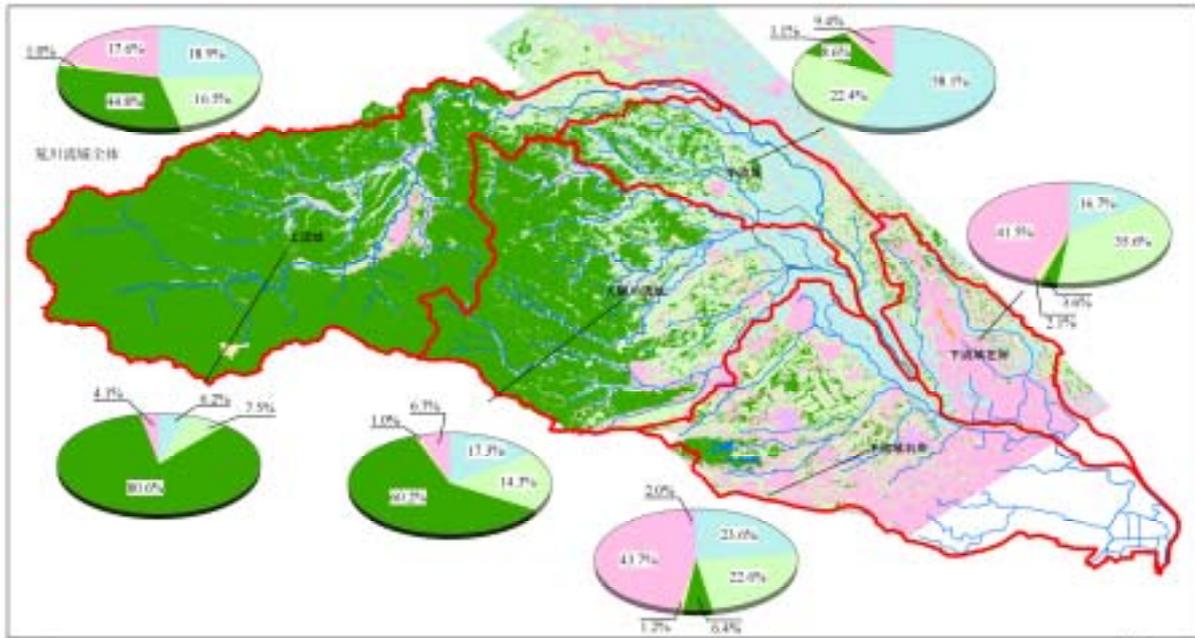


図-3.1.1.12 荒川流域の土地利用（昭和47年）
（流域地盤環境データ（荒川上流河川事務所）から）

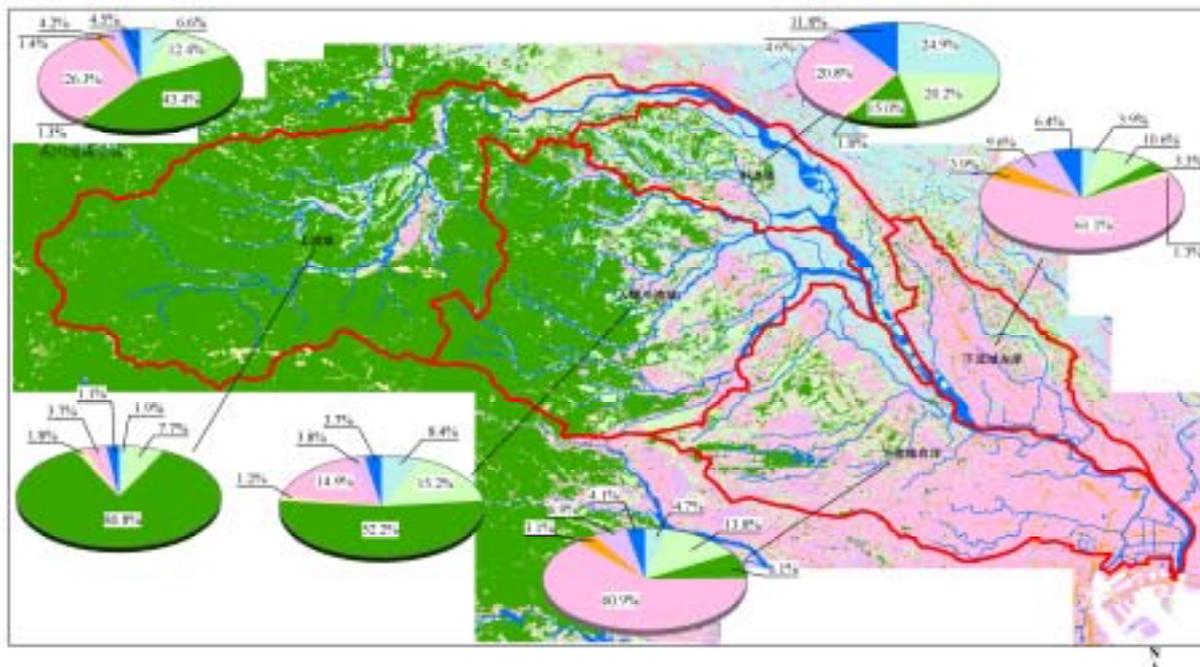


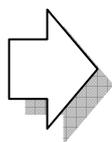
図-3.1.1.13 荒川流域の土地利用（平成9年）
（国土数値情報）

(10) 流域環境診断の有効性の評価

流域環境診断結果に基づき、各手法が有効といえるか、適用性があるのかについて、検討を行った。

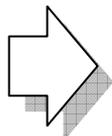
a) 過去と現在とを比較する手法について

わが国の社会構造が大きく転換したのは、明治期の近代化と戦後の高度成長期であるといえる。これらの時期と現在とが比較できるデータのうち、人為的な影響を強く受けているデータについてはその変遷がデータ上に歴然と現れている。このため、これらのデータを指標として利用する診断手法については、地域にもよるが、流域診断としての適用性が高いといえる。



土地利用の変遷、海岸線の変遷、人口密度の変遷、水質の変遷など、人為的な影響を反映しているデータは、診断の指標としての適用性が高い。

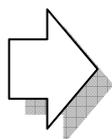
一方、過去との比較ができるデータであっても、自然的要因に大きく左右される降水量や流量のデータについては、流域・地域のあゆみが明確には現れにくい。今回の診断の中では、気温の変化については、関東・中部・北陸圏で広く気温の上昇が認められたが、ヒートアイランドなど都市圏での上昇については明確ではなかった。その他、流量についても指標がうまく設定できたとは言いがたく、流域診断としての適用性は低いと考えられる。



降水量の変遷や流量の変遷など、自然的な影響を反映しているデータは、診断の指標としての適用が比較的難しい。

b) 地域間の比較を行う手法について

一時期しかデータが存在しない場合には、過去と現在の比較は無理であり、単独での評価か地域間の比較となる。特に地域間の比較の場合は、地域区分が重要となる。例えば、荒川流域を5分割した場合には、上流から下流への違いが分かりやすく表現できたが、霞ヶ浦の場合はそのような違いが表現しにくい。また、一級水系の流域を比較するにあたっては、地形・地質・植生といった自然的特性よりも人口や土地利用のような人為的な特性による違いが表現される。



地域間の比較にあたっては、比較対象地域の設定が、診断の適用性へのキーポイントとなる。

(11) まとめ

本研究では、誰もが共通で利用できる基本的な情報を集積した基盤情報 GIS データを、ネットワークを通じてオンラインで利用者に配信するシステムを構築した。また、整備した共通情報基盤データベースの活用として、流域の現状や変遷などを把握・整理することを通じて、流域の特性や課題を分かりやすく、かつ具体的に示す簡易的な「流域環境診断」の検討を試み、流域という広い空間場での多岐に渡る情報を時系列も含め総合的に把握する上で、GIS は有力な道具となりうることを示した。

今後の課題としては、大きく技術的課題とデータの著作権などの帰属の問題に整理される。

1) 技術的課題

- ・ GIS を活用した環境分野における研究（以下、環境研究と記述）においては、良質なデータの確保が最も重要であり、貴重なデータを共有・共同利用できるシステムは必要である。しかし、全てのデータを 1 カ所、1 つのシステムで提供するのハード的に困難であり、多極分散型の共有システムが望ましい。
- ・ 環境研究では、過去の環境状況を表現するデータが極めて重要であり、最新のものだけでなく、過去のものについても GIS 化を図ることが必要である一方で、データの作成には多大なコストを要するという課題がある。関係者が共同して、過去データを収集し、GIS 化することをプロジェクトとして考えることも一案である。
- ・ GIS を用いた環境研究が進んでいると同時に GIS の技術も日進月歩の如く開発が進んでいる。GIS 技術を活用した環境研究におけるニーズを把握するために、環境分野の研究者と GIS の研究開発者との意見交換を積極的に図ることが必要である。
- ・ コモンデータをシェープデータに変換する際に、元データのラインが分断されているため、ポリゴン化が困難であったり、面構造になっていないなどの不具合のあるデータについては完全にはデータを変換できていないという問題がある。最近作成されたデータにはこのような問題が生じることは少ないが、データの利活用の際には留意する必要がある。
- ・ 東京圏の細密数値情報や霞ヶ浦の迅速図などについても GIS データベースへの登録を試みたが、数百 MB から数 GB ものデータ容量があるため Web 上での読み込みは現在のデータ通信技術においても限界がある。この点については技術革新に伴い近い将来には技術的課題が解決する可能性がある。

2) 著作権など帰属の問題

複数の省庁に跨る広域データを一元化することにより、広域での GIS データを重ね合わせる事が可能となったのは大きな意義があるが、細密数値情報や数値地図、工業統計メッシュなどは財団法人等が販売しているデータであるために、構築した GIS データシステムから外部公開することが現在のところ著作権の関係からできないのが実状である。また環境省の自然環境保全基礎調査データなどについても、利用希望者は申請により提供する

システムとなっているため、他機関からデータを配信することは許可されていない。情報の共有化にあたっては、上記に示した課題をクリアする必要がある。

また、本格的に国土共通基盤GISとして発展させていくには、データの整備・更新体制だけでなく、データベースの運用・管理体制についても、ネットワーク上の不正アクセスの防止や情報セキュリティポリシーについても留意して検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト 先端技術を活用した国土管理技術の開発 総合報告書，2003.
- 2) 国土交通省：国土交通省総合技術開発プロジェクト GISを活用した次世代情報基盤の活用推進に関する研究 総合報告書，2003.
- 3) 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 複合領域6：「アジア地域の環境保全」 和田プロジェクト編：流域管理のための総合調査マニュアル

3.1.2 流域圏診断技術の開発

(1) はじめに

1.2.2 で明らかにしたように、都市内に良好な水・緑の資源を持続的に維持している都市の多くは、経済効率優先の都市政策が展開された 1960 年代以前に、流域圏プランニングの考え方にに基づき、土地利用の制御システムを創り出しながら、都市経営を行ってきた。

本項では、地球環境問題、水循環の回復などが、21 世紀初頭におけるすべての都市の課題であることを踏まえて、流域圏プランニングを、都市環境計画における普遍的計画論として適用するために、その具体的手法の提示を行うことを目的とする。「都市環境計画」とは、現在の「都市計画マスタープラン」、「緑の基本計画」、「景観計画」など、身近な都市環境形成の基本となるさまざまなマスタープランの総称である。

流域圏計画のほとんどは、河川計画を中心とし、5-10 万分の 1 のレベルで策定されているが、身近な環境の回復の積み重ねにより、地球環境問題を解決していかなければならないことを考えるとき、都市環境計画の一環として流域圏プランニングを導入していくことが、いま、新たな領域として求められている。このためには、都市計画基礎調査のスケールで、流域圏の分析、計画が行われなければならない。本論は、このような問題意識を背景とし、2,500 分の 1 の精度に対応する小流域を都市環境計画における最小のプランニング・ユニットと位置づけ、計画論の提示を行うものである。

近年、都市計画基礎調査は、GIS による整備が行われており、地形、土地利用、水系、法制度などの基本的情報は入手できるようになった。しかしながら、自然環境のうち、植生や、水質、昆虫、鳥類、哺乳類など生物関係の情報は、都市によりデータの作成状況に大きな相違があり、自然環境の回復を目標とするためには、これらの基礎的データの整備が課題となっている。一般に入手できるデータは、次の通りである。

表- 3.1.2.1 流域圏診断に用いる基礎的情報

地 形	数値地図 50mメッシュ標高、都市計画基礎調査
土地利用	都市計画基礎調査土地利用現況
水 系	都市計画基礎調査、地形図、公共下水道計画図
植 生	現存植生図等（自治体により相違がある。）
法規制	各種地域制緑地、公園緑地、宅地造成等規制法、急傾斜崩壊危険区域等（自治体により相違がある。）

自然環境のデータベースとして、ここではビオトープマップを取り上げた。ビオトープとは、「特定の生物群集が生存できるような、特定の環境条件を備えた一定の地域」として定義される。本研究では、都市環境計画の精度に対応するビオトープマップの開発を行い、地形、植生、水環境、生物調査のデータを総合化し、鎌倉市を事例として作成を行った。ビオトープマップにより、多様な自然環境の情報を、生態系の一つのまとまりとして認識することが可能となり、流域圏における自然環境回復のシナリオと手法を考察する上で、有効な手がかりとなる。

次に、小流域をどのような手法により設定するかについては、この間、試行を繰り返し

てきたが、汎用性のある方法論の確立が可能となっている。具体的方法については、次節以降で実例を示し、説明を行う。

設定された小流域を、分析するためには、様々な手法の導入が可能である。ここでは、1960年代以降、流域圏において都市化に伴い、どのように環境ポテンシャルが変化したかを知ることが重要であるため、現在の土地利用と1960年代以前の土地利用を比較することにより小流域の類型化を行い、これに基づき、各種の評価指標を導入するものとした。すなわち、時間軸の概念を計画論に導入するものとした。

評価指標としては、自然環境の量、質、システム、施策・計画などを適用することが可能である。量の指標としては、樹林地率、農地率、市街化率、水源涵養機能、CO₂吸収量など、質の指標としては、植生の種類、緑地の分布など、システムの指標としては、緑地のネットワークや分散、水循環など、施策・計画の状況などがあげられる。

これらの指標を踏まえて類型化された小流域ごとに評価、課題の抽出を行う。特に、鎌倉では、これをふまえて、ビオトープマップと対照させることにより、具体的な水環境、自然環境のシナリオと手法の提示を行った。

以下、事例として、鎌倉市、横浜市帷子川流域、各務原市を対象として、流域圏診断技術について述べる。

(2) ビオトープマップとその活用手法

1) 背景と目的

市街地の開発圧と緑地保全がせめぎ合う都市近郊域では、実効性を有する緑地計画が焦点の課題である。そのためには、残された緑地を社会的資産として捉え積極的に保全・活用していくことが求められる¹⁾一方、それぞれの緑地の持つ生物生態的な機能についても計画的に保全・修復を図っていくことが重要となる。これが一般にビオトープ・ネットワークと呼ばれる生物生態的な機能を前面に打ち出した緑地計画が各地で進められる所以であるが、その計画策定においては基盤情報となるビオトープマップ（またはエコトープマップ）が不可欠となる^{2),3)}。その重要性にも関わらず、日本ではこれまで必ずしも統一的に規格化されたものとしてビオトープマップ作成が行なわれてきたわけではない。また、“ビオトープ”の用語が今日非常に多義的に用いられる日本（例えば「トンボ池づくり」等の創出型の小生態園池）では、その多義性故にビオトープマップに示される内容に誤解や混乱が生じやすい。このためその作成手法や表示内容について、個別の事例研究による概念整理や標準化の検討が必要と考える。

そこで鎌倉市を事例研究地とし、まず市域レベルでのビオトープマップの作成手法を事例提示し、その過程でビオトープ図化の基本的な考え方を明らかにするとともに、本手法の問題点や課題を把握することを目的に行った。すなわち、日本の自然特性に即して実際にビオトープ図化を行う中、具体的な作業内容や踏まえるべき条項を示すことで日本版の標準手法の確立に向けた一步を試みるものである。以って生物生態的な機能をより重視した緑地計画の展開に資するものである。

研究対象地の鎌倉市は、神奈川県南東部、三浦半島の基部に位置し、面積約 40km²である。1960 年代前後からの首都圏への人口集中の影響を受けて急激に都市化が進んだが、「古都鎌倉」に象徴されるよう歴史的資産とそれを取り巻く緑地が市域には多く残されている。市の策定した「緑の基本計画」でも、首都圏のオアシス的存在として緑の保全・創造を目指している。

しかしながら、既存の計画では、ビオトープ・ネットワークに関して必ずしも十分とは言えない。小規模な開発や宅地化による減少し続ける緑地への対策としても、個々の緑地の持つ生物生態的な機能の現況を踏まえた緑地保全計画の提示が求められている。このように、依然強い開発圧とそれに対する緑地保全政策が拮抗する郊外域特有の課題を有している。

a) ピオトープマップ作成に先立つ諸作業

ア) 現存植生図の作成

現存植生図は過去の植生調査報告および 1/2,500 カラー空中写真（1998年11月撮影）から予察図を作成し、現地調査（2002年実施）により完成させた。空中写真は周縁部の歪みが指摘されるため、写真上の用地輪郭をGISデータ化済の都市基礎調査土地利用現況図（2000年作成：鎌倉市都市整備部発行）の用地輪郭にPC画面上で適宜重ね合わせる事で歪みの影響を抑えるよう努めた。また、最小区分単位については、1/10,000 地図における肉眼での判読限界（概ね1mm四方）を考慮し、特に重要と考えられる植生区分は10m四方程度、その他は20m四方程度とした。

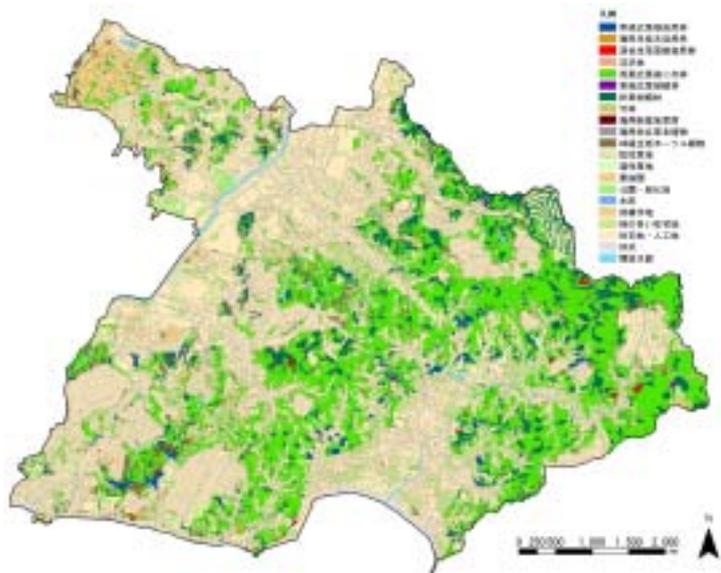


図- 3.1.2.1 現存植生図

イ) 微地形分類図の作成

微地形分類図は、鎌倉市所有の地形データ（1/2,500の等高線データ）を用いて作成した。等高線データから5mメッシュのラスターデータを作成し、ArcGISのSpatial Analystを用いて、傾斜度、谷筋からの比高、曲率を算出し、それぞれの組み合わせにより谷底面・沖積低地、下部谷壁斜面、上部谷壁斜面、頂部斜面、谷頭凹地を抽出した。また、都市的土地利用は造成地とした。



図- 3.1.2.2 微地形分類図

b) ピオトープマップの作成

ピオトープマップは、作成した現存植生図、微地形分類図に加え、土地利用現況図、カラー空中写真、1/2,500 地形図を用いて作成した。

まず、現存植生図および土地利用図より市域を自然的・半自然的立地と都市的立地に大別した。次に自然的・半自然的立地では、現存植生図の群落・群集区分を基に、相観的優占種（群落の最上層を構成する植物）の生活型や群落高、立地環境特性（過湿地・風衝地等）自然的・人為的攪乱

の内容や影響度合い等から立地的条件および生物相が比較的等質となる空間を一つのピオトープ・タイプとして設定した。

ピオトープ・タイプの抽出と体系化が確定したところで、それぞれのピオトープの図化を行った。「生態的に価値の高い地域」として水域系で 13、樹林地系で 14、草地系で 4、自然草原系で 4 の計 35 のピオトープ・タイプ、都市系で計 23 のピオトープ・タイプを得た。また、各ピオトープ・タイプで特性記述の個票を作成した。

表- 3.1.2.2 ピオトープ・タイプと植生・微地形区分の対応

	ピオトープ・タイプ	植生区分	微地形区分	
樹林地系	沢沼地の落葉樹自然林	ハンノキ群落		
	溪谷地の落葉樹自然林	イロハモミジ-ケヤキ群集	・	
	海岸風衝地の常緑樹自然林	マサキ-トベラ群集		
	丘陵麓地の常緑樹自然林	イノデ-タブノキ群集		
	中～乾性立地の常緑樹自然林	ヤブコウジ-スタジイ群集他	・ ・	
	中～乾性立地の落葉樹二次林	オニシバリ-コナラ群集	・ ・	
	中～乾性立地の伐採跡地二次林	カラスザンショウ-アカメガシワ群落		
	谷底地の針葉樹植林	スギ・ヒノキ植林	・	
	中～乾性立地の針葉樹植林		・	
	中～乾性立地のタケ植林	モウソウチク-マダケ植林	・	
草地系	中～乾性立地のマツ植林	クロマツ植林	・ ・	
	常緑広葉樹植林	クスノキ植林他	・ ・	
	果樹園・苗圃	果樹園・苗圃	・ ・	
	中性立地の冠水性草原	オギ群落		
	中～乾性立地の管理放棄型の草原	アズマネザサ群落	・ ・ ・	
	中～乾性立地の粗放管理型の草原	ススキ群落他	・ ・ ・	
	蔬菜畑等	畑地雑草群落	・	
	自然草原系	岩壁地の自然草原	(ミツデウラボシ-イワタバコ群集)*	-
		海岸断崖地の自然風衝草原	イソギク-ハチジョウススキ群集	・
		海浜地の自然草原	ハマグルマ-コウボウムギ群集	
海浜地の砂浜		裸地		
水域系		湿性立地の管理放棄型の草原	ヨシ群落・ガマ群落	
	休耕湿田の草原	ミゾハ群落他		
	湿田	スズメノテッポウ-タガラシ群集		
	池	ため池、自然的護岸の池、生態復元池、庭園石組護岸の池他、遊水池・調整池他	開放水面	
	水路	源流部樹林内の水路、谷戸部の水路	- (線状データのピオトープのため)	-
	河川	自然的護岸の小河川、人工護岸の小河川、同汽水域、人工護岸の中規模河川	開放水面	

微地形区分は、○：頂部斜面、△：谷壁斜面(上部)、◇：谷壁斜面(下部)、□：谷頭凹地、◇：谷底面・沖積低地、△：造成地、を示す。 *現存植生図上では図化されていない。



図- 3.1.2.3 ピオトープ・タイプ個表



図- 3.1.2.4 ピオトープ・タイプ個表



上位区分	ビオトープタイプ	凡例	上位区分	ビオトープタイプ	凡例	
水域系	復性立地の管理放棄型の草原	[Pattern]	草地系	中性立地の冠水性草原	[Pattern]	
	休耕溜田の草原	[Pattern]		中～乾性立地の管理放棄型の草原	[Pattern]	
	水田（溜田）	[Pattern]		中～乾性立地の粗放管理中の草原	[Pattern]	
	池	[Pattern]		蔬菜畑等	[Pattern]	
	ため池、自然的護岸の池、生態復元池、直護石組護岸の池、遊水池・調整池	[Pattern]		自然草原系	岩壁地の自然草原	[Pattern]
水筋	[Pattern]	海岸敷地地の自然風衝草原	[Pattern]			
湧流灌漑林内の水筋、谷戸筋の水筋	[Pattern]	海岸地の自然草原	[Pattern]			
樹林地系	河川	[Pattern]	海岸地の乾高帯	[Pattern]		
	自然的護岸の小河川、人工護岸の小河川、同汽水域、人工護岸の中規模河川	[Pattern]	都市系	緑被率の比較的高いもの： 公園等の植栽地、主要な街路並木、造成後の休耕地等、ゴルフ場の芝地、公園・学校等の芝地等、農家型の住居地、斜面樹林と一体的な緑の多い住宅地、緑の多い戸建て住宅地、駅前草地	[Pattern]	
	沼沢地の落葉樹自然林	[Pattern]		緑被率の低いもの： 大規模造成による戸建て住宅地、戸建て住宅用地、中心市街地、マンション・集合住宅用地、工場、学校・病院等、グラウンド等、社宅、墓地、駅、鉄道の軌道敷、主要道筋、工場敷地修景池・上水場、プール池、市街地の水路	[Pattern]	
	浅谷地の落葉樹自然林	[Pattern]			市街地生地であるが、強度の環境ストレスがあるため自然草原系に含めた。	[Pattern]
	海岸風衝地の常緑樹自然林	[Pattern]				[Pattern]
	丘陵地地の常緑樹自然林	[Pattern]				[Pattern]
	中～乾性立地の常緑樹自然林	[Pattern]				[Pattern]
	中～乾性立地の落葉樹二次林	[Pattern]				[Pattern]
	谷底地の針葉樹植林	[Pattern]				[Pattern]
	中～乾性立地の針葉樹植林	[Pattern]				[Pattern]
	タケ畑植林	[Pattern]				[Pattern]
	マツ畑植林	[Pattern]				[Pattern]
宮廷広葉樹植林	[Pattern]	[Pattern]				
果樹園・苗圃	[Pattern]	[Pattern]				

図- 3.1.2.5 作成された鎌倉市のビオトープマップ

2) 結果と考察

a) ビオトープ・タイプの体系化

ビオトープ・タイプの体系化は、ドイツのビオトープマップと同様に各ビオトープ・タイプを生態的特性の共通項を持つ上位区分に帰属させる方法によった。ドイツの選択的ビオトープマップ（1/50,000～1/25,000 スケール^{4),5)}の区分を参考に、日本の自然特性を加味した上位区分の設定を行った結果、水域系、樹林地系、草地系、自然草原系の4区分が頂立てされ、加えて都市的立地部分の都市系を設けた。

b) ビオトープの図化と特定記述

ビオトープマップは、既往の横浜市の2地区の事例⁶⁾に対しては市域全域で2種類の地図を合わせる手法を事例提示したこと、日本におけるビオトープとしての農村環境の位置付けを明確に打ち出したことに前進性があると考えられる。また、兵庫県の県土レベルの戦略図・指針図の事例^{7), 8)}に対し、立地環境や攪乱内容に対応した生態的な空間単位としてビオトープ・タイプを得たこと、市域の自然環境の実態の図化に止めるというビオトープマップの本来の性格を提示できたことが改良点としてあげられる。そして、「生態的に価値の高い地域」としてのビオトープ・タイプの抽出とその体系化、特性記述といったビオトープマップの基本的考え方を明確化し、それを踏まえつつも日本の自然特性を加味して地図作成を行ったことは、日本版のビオトープマップの一つの雛形として評価できるものと考えられる。

しかしながら、今回作成されたビオトープマップは、ドイツにおける創始的な意味でのビオトープマップとは表現形態が若干異なるものとなった。すなわち、ドイツでは「景域を構成する立地の小さな部分」の目録作成としての意味も重視されてきた⁸⁾のに対し、本研究ではそのような意味合いが落剥した形のビオトープマップとなっている。市域の広い範囲が「生態的に価値の高い地域」に該当すると予想されたために、ビオトープの各パッチの目録化を主目的としなかったためである。仮にドイツのような目録作成まで行うには、作成されたビオトープマップを基に希少なビオトープ・タイプもしくは個別のビオトープ・パッチを把握し、それぞれ現地調査により立地特性や出現生物種を記録する手順となる。これは、本研究でのビオトープマップ化後の次なる作業段階であり、その必要性や方法等については改めて議論が要る。

本手法によるビオトープマップは、結果として現存植生図に類似した表現形態となった。むしろ、近年ドイツで作製される包括的ビオトープマップ⁹⁾に近いといえる。現存植生図と比較した場合、植物の種組成等の情報が欠落する反面、植生との対応を持ちつつ立地条件や攪乱の内容、動物相が特性記述に加わることで、生物生態的な機能の情報を色濃く持つ自然環境地図に昇華していると考えられる。加えて、現存植生図では表示困難な線状・点状のビオトープを抽出・表示したことも、「景域を構成する立地の小さな部分」の把握という本来の意図を活かすものとなった。

一方、個票に記述する生物（特に動物種）については、今回必ずしも整理しきれていない。この個票には一般的な生態の知見に加え、生物相調査結果、市域の既存の生物資料、地域の生物調査活動者へのヒアリング、から筆者らが適当と思われる生物種を記載した。しかし、現地の生物相調査では同じビオトープ・タイプでも個別には確認生物の在/不在状況が様でない場合も多く、個票に記載する種の客観的な基準が設定できなかった。潜在的な生物群集が示されればよいと指摘⁸⁾はされるものの、今後ビオトープマップの汎用化を進めるにあたり、例えば対象ビオトープ・タイプに生活環上の結び付きが強い種、常在性の高い種、潜在的に生育・生息が見込めかつ地域生態系の指標となる種等、個票への記載種の基準や考え方の検討が課題といえる。

参考文献

- 1) 石川幹子:都市と緑地:岩波書店, pp398, 2001.
- 2) 日置佳之:オランダの生態ネットワーク:ランドスケープエコロジー(日本造園学会編):技報堂出版,東京, pp211-237, 1999.
- 3) 財)都市緑化技術開発機構編:都市のエコロジカルネットワーク:ぎょうせい, pp207, 2000.
- 4) 勝野武彦:緑のネットワークとビオトープづくりにおける日本の課題:環境情報科学 31(1), pp10-15, 2002.
- 5) Wenisch,E.:ドイツ・バイエルン州におけるビオトープ図化:バイオシティ 13, pp2-16, 1998.
- 6) Muller,N. and Fujiwara,K.:Biotope mapping and nature conservation in cities -part 2: Results of pilot study in the urban agglomeration of Tokyo (Yokohama city):横浜国立大学環境科学研究センター紀要 24(1), pp97-119, 1998.
- 7) 兵庫県:神戸・阪神地域ビオトープ地図・プラン, pp159, 2001.
- 8) 中瀬勲・服部保・田原直樹・八木剛・一ノ瀬友博:兵庫県におけるビオトープ地図・プラン作成について:造園技術報告 2, pp42-45, 2003.
- 9) 一ノ瀬友博・高橋俊守・川池芽美:ドイツにおける生物空間図化の現状とその日本への展開:保全生態学研究 6, pp123-142, 2001.

(3) 生物多様性評価手法の開発

1) 研究の概要

a) 背景と目的

緑の基本計画に位置づけられる緑地の保全に係わる制度の指定方針の立案では、その検討に先立ち、保全等の必要性の高い緑を抽出し、その重要度の段階的評価が行われる。この緑地の解析・評価の結果は、緑地保全の方針を大きく左右し、計画が策定されれば市の緑地保全行政にも大きな影響を与えるもので極めて重要な分析である。近年では特に、系統別の解析・評価¹⁾の中でも、生物多様性保全の観点からの分析に力点を置く必要性が高まっている。

しかし、緑地評価に用いるデータは、主に緑の現況量を把握するために用いる緑の現況図や現存植生図、都市計画基礎調査による現況土地利用図が主なものであり、自然環境に関する情報が不足する、もしくは縮尺精度が低い。現況データの質的情報が貧弱であることが、緑地の評価を行う上で大きな障害となっており、入手または構築が容易な環境情報から効果的に緑地の評価を行う手法の開発が課題となっている。

そこで本研究ではこうした課題に対し、市町村レベルの緑地保全計画の立案及び推進の支援を仮定し、市町村が所有する数値地理情報等を活用した詳細な基礎的環境情報の構築、緑地評価への小流域単位の導入、市域の基礎的環境情報と市内の一部緑地における生物生息記録を用いた回帰モデルの作成と谷戸レベルの小流域における多様な生物生息地の予測、の3点を目的とした。

実態の自然環境をエコトープといった概念に抽象化し地図化する研究には、地形分類やエコトープの抽出に関するものがある²⁾⁻⁴⁾。また、数値地理情報等を用いてある生物種とその生息に影響を及ぼす環境要因の関係を明らかにする研究や流域を評価単位として分析する研究がある⁵⁾⁻¹²⁾。

b) 研究の流れと手法

ア) 研究対象地

鎌倉市における緑地保全施策には、歴史的風土保存区域及び同特別保存地区、近郊緑地保全区域、風致地区等があり、概ね旧鎌倉地域を中心として市域東部に指定されている。鎌倉市緑の基本計画では、緑地の保全に係わる制度の指定方針において、これらの地域制緑地の指定区域の拡大等が位置づけられている。また、法的担保力の弱い緑地で適正な保全が必要な地区を対象として、緑地保全に係

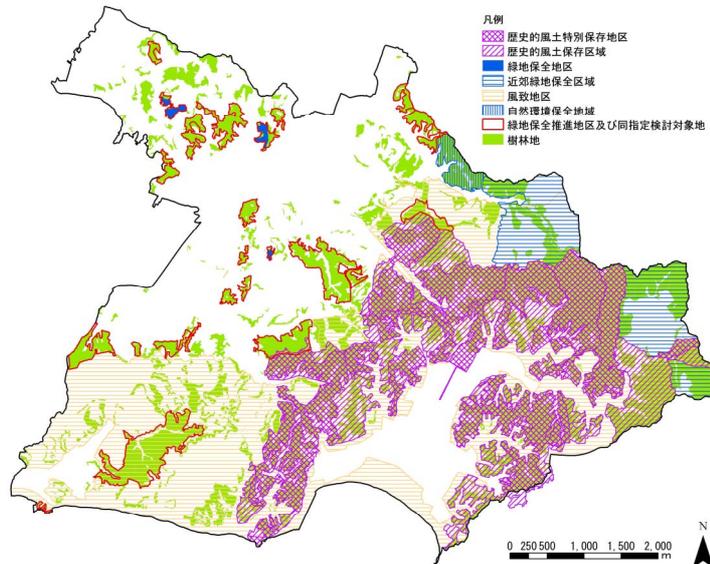


図- 3.1.2.6 研究対象地及び地域制緑地等の分布

わる法制度の適用までのつなぎ策として緑地保全地区が位置づけられ、概ね市域西部に分布する 22 地区の緑地が指定されている。

既存の計画では、ビオトープ・ネットワークに関して必ずしも十分とは言えない。小規模な開発や宅地化による減少し続ける緑地への対策としても、個々の緑地の持つ生物生態的な機能の現況を踏まえた緑地保全計画の提示が求められている。

1) 研究の流れ

地形データを基に作成した谷戸レベルの小流域を単位とし、緑地保全推進地区を対象とした鎌倉市自然環境調査における生物生息記録データと、市域の基礎的環境情報に基づいて生物多様性を示す指標として多様度得点を算出した。

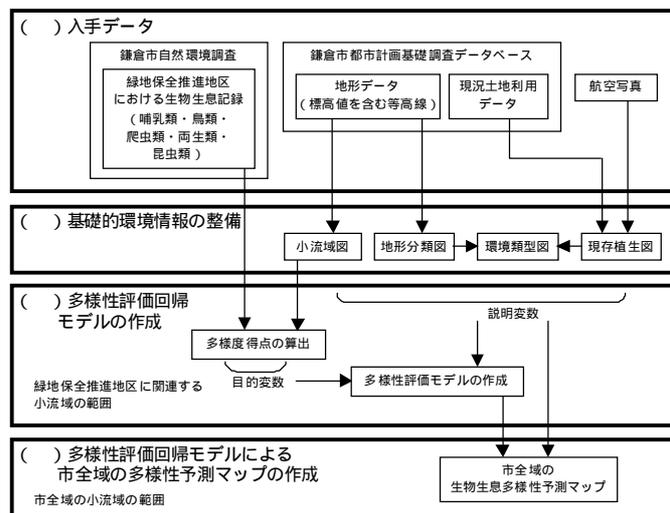


図- 3.1.2.7 研究フロー

2) 使用データ

市域の基礎的環境情報として、地形分類図と現存植生図等を整備するため、都市計画基礎調査データベース GIS に含まれる等高線と土地利用現況、平成 10 年 11 月撮影の航空写真を利用した。また、小流域の多様度得点を算出するため、緑地保全推進地区を対象に実施された鎌倉市自然環境調査の生物生息記録を利用した。

表- 3.1.2.3 使用データ

内容	精度	調査時点	種別
土地利用現況	1/2,500	2001 年 3 月	ポリゴン
等高線	1/2,500	2001 年 3 月	ライン
鎌倉市空中写真	1/2,500	1998 年 11 月	-
緑地保全推進地区等の生物生息記録	1/2,500	2001 ~ 2002 年度	ポイント

いずれも鎌倉市所有

2) 基礎データの整理

a) 生物データ：自然環境調査

小流域の多様度得点を算出するため、緑地保全推進地区を対象に実施された鎌倉市自然環境調査の生物生息記録を利用した。本研究では、全生物記録のうち指標種に関するポイントデータを使用した。

表- 3.1.2.4 生物生息記録(動物指標種)の内容

	内 容
貴重種	鳥類、昆虫類、鳥類昆虫類以外
哺乳類	アズマモグラ・ヒミズ、在来種
鳥 類	夏鳥/冬鳥、留鳥、キツツキ、 種子食/昆虫食、水鳥
爬虫類	帰化種を除く全種
両生類	帰化種を除く全種
昆虫類	チョウ類:樹林性/林縁性/草地性、 指標昆虫:樹林性/林縁性/草地性、 トンボ類:流水性/止水性、 ホタル類

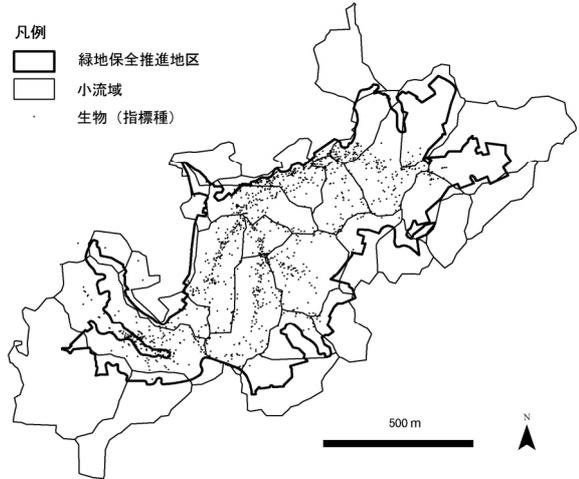


図- 3.1.2.8 緑地保全推進地区（広町緑地）関連小流域における生物生息記録

b) 谷戸レベルの小流域

鎌倉市の緑地のほとんどが複雑に入り組む丘陵地に分布しており、谷戸の単位性が明確である。緑地の解析評価を進めるにあたり、連坦する緑地を分割する単位として谷戸と同等の小流域を採用した。

抽出方法は、地形データから 5m メッシュの標高データを作成し、hydrology Modeling を用いて抽出された集水域を小流域としたものである。抽出された小流域は 155、平均小流域面積は約 4.2ha である。

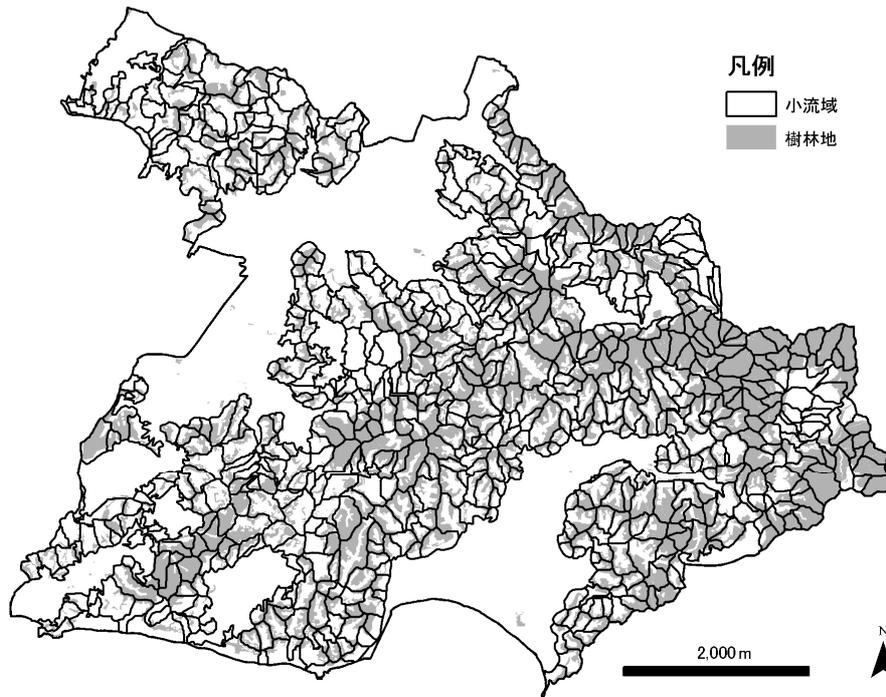


図- 3.1.2.9 鎌倉市域における小流域図

c) 環境類型図

市域の基礎的環境情報として、環境要素が均質な空間単位の抽出を図るため、地形分類図と植生区分図を掛け合わせた、ビオトープ・マップを利用した。

3) 小流域を単位とした生物生息多様性評価モデル

a) 緑地保全推進地区関連小流域における多様度得点の算出

緑地保全推進地区の生物生息記録を用いて、関連小流域における多様度得点を算出した。多様度得点は動物指標種の種数の合計値とした。

b) 多様性評価モデルの作成

多様度得点を従属変数、小流域における環境類型数や環境類型毎の面積などを独立変数としてステップワイズ法による分析を行い、回帰式を作成した。

多様度得点を従属変数、独立変数を「環境類型数」「環境類型面積:造成地・人工地等」「環境類型面積:谷底・高草丈湿生草地」「環境類型面積:頂部・高草丈乾生草地」「環境類型面積:谷底・常緑樹自然林」「環境類型面積:上部谷壁・落葉樹自然林」とした回帰分析を行いいずれも有意な値を得た。

- ・ 「環境類型数」：0.332 (両側検定 $t(155)=4.892, p<.001$)
- ・ 「造成地・人工地等」：-0.0001038 (両側検定 $t(155)=-4.133, p<.001$)
- ・ 「谷底・高草丈湿生草地」：0.002125 (両側検定 $t(155)=4.395, p<.001$)
- ・ 「頂部・高草丈乾生草地」：0.001906 (両側検定 $t(155)=3.278, p<.01$)
- ・ 「谷底・常緑樹自然林」：0.007461 (両側検定 $t(155)=3.159, p<.01$)
- ・ 「上部谷壁・落葉樹自然林」：0.001699 (両側検定 $t(155)=2.462, p<.05$)

また、回帰式全体の説明率は、調整済み $R^2 = 0.475$ 、 $F(6,148)=24.197, p<0.001$ であり有意であった。

この回帰式に基づき、緑地保全推進地区に関連する小流域の多様度を予測し地図化した。(図- 3.1.2.12)

小流域の多様度得点の回帰式

$$0.776 + 0.332 \times \text{環境類型数} - 0.0001038 \times (\text{造成地・人工地等}) + 0.002125 \times (\text{谷底・高草丈湿生草地}) + 0.001906 \times (\text{頂部・高草丈乾生草地}) + 0.007461 \times (\text{谷底・常緑樹自然林}) + 0.001699 \times (\text{上部谷壁・落葉樹自然林})$$

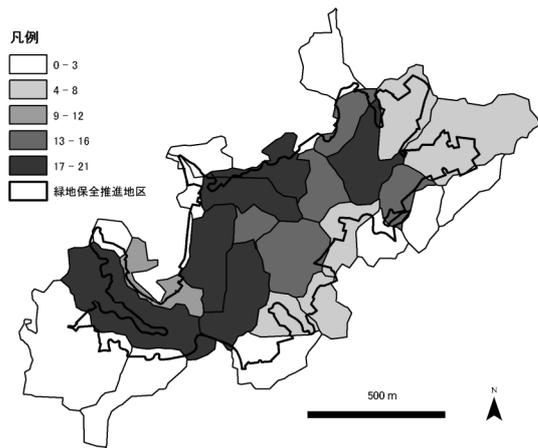


図- 3.1.2.10 緑地保全推進地区関連小流域における多様度得点図

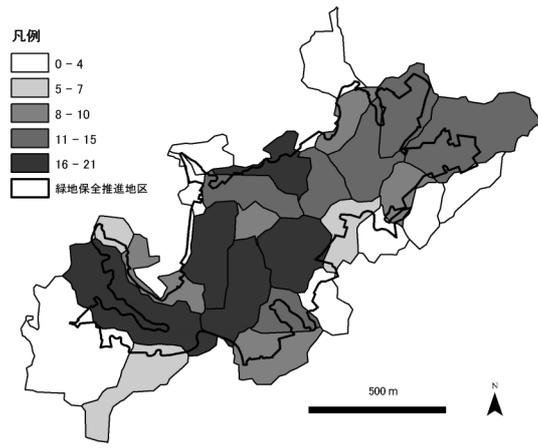


図- 3.1.2.11 回帰モデルによる緑地保全推進地区関連小流域の多様度得点予測図

c) 市域生物生息地多様性予測マップの作成

市全域の小流域を対象に、回帰式により多様度予測を試みた。



図- 3.1.2.12 回帰モデルによる市全域の小流域の多様度得点予測図

4) 総括

自然共生型流域圏を踏まえた都市再生の目標の一つが、生物多様性の持続的維持と回復である。この研究では、植生や地形、小流域、市内のいくつかの緑地の生物生息記録などの基礎的なデータを組み合わせることにより、生物多様性の評価モデルを作成することができることを明らかにした。

多様性評価モデルの結果からは、環境類型数、人工化率、谷底の湿地環境の有無、林縁の長さ、雑木林の有無といった要素が、谷戸の生物生息地としての多様性に大きく起因していることが明らかになった。

今後の課題としては、多様性評価モデルの活用により、自然共生型都市の形成に向けての政策の立案や環境教育の推進を図るための技術開発があげられる。

参考文献

- 1) 社団法人日本公園緑地協会：緑の基本計画ハンドブック改訂版，社団法人日本公園緑地協会，東京，pp.77-83，1996
- 2) 中越信和：景観生態学における森林群集のあり方，森林科学，No.10，pp.28-34，1994
- 3) 中越信和・日笠睦：環境アセスメント法における生態系評価手法，日緑工紙，24(3・4)，pp.130-136，1999
- 4) 近藤俊明・中越信和・谷本茂：広島大学キャンパス内の小河川におけるビオトープ計画の景観生態学的評価，ランドスケープ研究，62(5)，pp.603-606，1999
- 5) 大澤啓志・勝野武彦：都市域の公園・緑地保全におけるアカガエル類生息数の概数に影響を及ぼす環境条件，ランドスケープ研究，65(5)，pp.513-516，2002
- 6) 渋江桂子・大場信義・藤井英二郎：三浦半島野比地区におけるゲンジボタルの成虫個体数に影響を及ぼす生息環境要因の解析，ランドスケープ研究，58(5)，pp.121-124，1995
- 7) 日置佳之・田中隆・塚本吉雄・田中真澄・裏戸秀幸・養父志乃夫：湿地ビオトープ研究のための土地的環境ポテンシャル評価手法に関する研究，ランドスケープ研究，61(5)，pp.523-528，1998
- 8) 大澤啓志・勝野武彦：流域単位からみた谷戸の特性とカエル類保全に関する考察，ランドスケープ研究，61(5)，pp.529-532，1998
- 9) 松浦俊也・横張真・東淳樹：数値地理情報を用いた谷津の景観構造の把握によるサシバ生息適地の広域的推定，ランドスケープ研究，65(5)，pp.543-546，2002
- 10) 楠本良延・小池文人・藤原一恵：環境要因に基づく潜在自然植生の推定と地図化，ランドスケープ研究，65(5)，pp.563-568，2002
- 11) 玉尾和寿・鈴木雅和：国土数値情報による流域を単位とした土地利用変化の解析，ランドスケープ研究，65(5)，pp.861-864，2002
- 12) 一ノ瀬友博・加藤和弘：広域的な環境整備のための生物層の分析方法に関する研究，ランドスケープ研究，58(5)，pp.117-120，1995

(4) 小流域を単位とした分析手法の開発

1) 横浜市

a) 研究の概要

ア) 研究の目的

今日の緑地計画では、自然共生型の都市の実現に向け、水循環と生態系の保全、再生を視野に入れた取り組みが期待されている。特に、流域の水循環の回復に向けての総合的な方策がとられるようになったことで¹⁾、水と緑のつながりを捉えることへの重要性が増している。一方、GISのアプリケーションとデータの整備の充実に伴って、基礎的な環境情報の整備と公開、緑地、環境計画への展開に資する分析が一般に行われるようになった。

地域を様々な環境保全機能の視点から評価した研究には、掛川市の緑地を評価した山田ら²⁾、環境容量を集水域ごとに求めた大西ら³⁾原田ら⁴⁾の研究等がある。地域の環境特性の把握を目的とした研究には、多様な基礎情報を基に集水域の分析した王尾ら⁵⁾の研究がある他、里地と植物相の変容の相関を分析した山本⁶⁾ら、小流域単位で樹林地の分布状況の変容を分析した小林ら⁷⁾、流域単位で生物を指標に谷戸の特性と生態的ネットワーク形成を考察した大澤ら⁸⁾などが挙げられる。流域の概念を念頭においた環境計画は数多くあり、なかでも丘陵部の谷戸地形を特徴とする自治体では、比較的細い集水域に基づいた環境評価や保全計画策定が行われている⁹⁾。

本研究では、流域の枠組みを基礎とし、コモンデータに基づく、定量的かつ説明性の高い緑地環境評価のフローを整理すること、これを利用した、地域の緑地環境のマネジメントの計画立案のマネジメントの展開について検討する。

イ) 研究のフロー

はじめに 50mDEM を用いて、可能な限り小規模な集水域を再現可能な方法で抽出する方法を検討し小流域を抽出した。また、50mDEM から地形区分図、植生図と土地利用現況図から緑地環境分類図を作成し、流域環境の基礎データとした。次に評価の視点を設定し、地形区分図と緑地環境分類図を用いて小流域の評価を行い、小流域データベースを作成した。これをもとに小流域を枠組みとする緑地環境の分析を試み、その可能性について考察した。

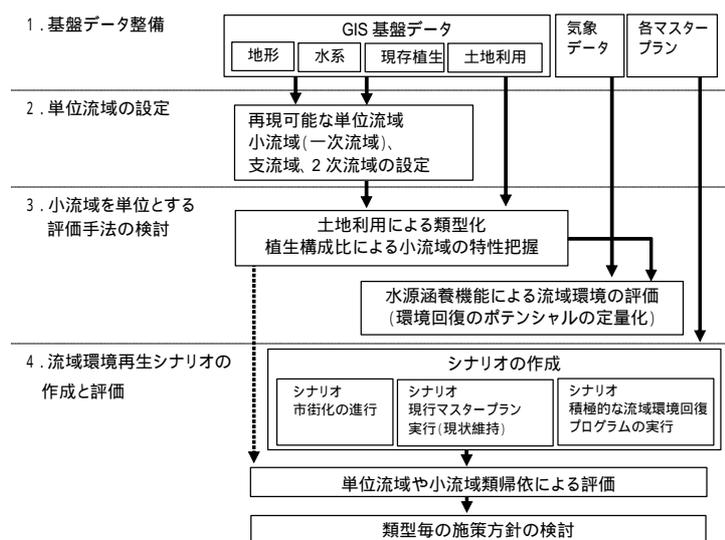


図- 3.1.2.13 研究のフロー

ウ) 対象地

基礎データの整備や単位流域の抽出に関しては、横浜市全域を対象とし、小流域に基づく評価手法の検討や分析に関しては、帷子川中・上流域を主な対象地とした。帷子川は、横浜市を東西に流れる 2 級河川で、市西部に端を発し、市中心部河口から東京湾へと注ぎ込む。対象範囲は、堀谷戸川、矢指川、二俣川、中堀川、菅田川、新井川、くぬぎ台川、市沢川などの支流流域から成り、市街化調整区域、農業振興区域を中心に、源流域の拠点的な緑や斜面の緑、農用地など多様な緑地環境が分布する一方、大規模な宅地開発や既成市街地からのスプロールなど開発の動向も様々であることから、分析の対象として適当と判断した。



図- 3.1.2.14 対象地（横浜市・帷子川中上流域）

イ) 使用データ

基礎データとして使用したデータは次のとおりである。横浜市では、GIS の利用が推進され、各部局で地図情報のデジタル化が行われているが、部局間での連携については、現時点で十分に行われているとはいえない面もある。

表- 3.1.2.5 使用データのリスト

内容		縮尺	年	作成所有
横浜市都市計画情報システム	地形図	1/2,500	1997	横浜市都市計画局
	土地利用現況	1/2,500	1997	
地形図		1/3,000	1955	横浜市
横浜市公共下水道計画図	河川流域排水区画割	1/10,000	2004	横浜市下水道局
横浜市現存植生図		1/10,000	1997	横浜市環境保全局
数値地図 50m メッシュ (標高)		1/25,000	1997	国土地理院

b) 小流域の設定

コモンデータに基づいた再現性のある小流域の抽出を可能とするため、GIS での水文解析や地形解析に関するプログラムの特徴や算出の精度と、対象地の地形的な特徴を比較し、抽出に必要な数値の設定や抽出の手順について検討した。対象地は、流域全体との関連を把握するため、国土数値情報の流域界・非集水域 (KS-273) で整備された鶴見川水系、境川水系、及び大岡川水系など横浜市に関連する水系域約 680km² の地域とした。

ア) 小流域設定に向けた諸条件の検討

i) 小流域のスケールの検討

水文解析のプログラムには、Spatial Analyst の拡張プログラム、Hydrology Modeling を使い、集水面積の最小値を 5ha から 100ha の間で変えて集水域を抽出した。それぞれを比較したところ、谷や尾根の起伏など明瞭な自然地形が残された箇所では、集水面積の最小値の設定が小さいほど流域の原単位に近づくが、低平な平坦面、台地、大規模造成地な

ど起伏が少ない地域では、集水域の過度な細分や異常線形が抽出され、信頼性が低い(表-3.1.2.6)。このことから、対象が丘陵地である場合、最小集水面積 10ha の条件で抽出される集水域が、50mDEM から抽出される単位流域として最適と判断した。



図- 3.1.2.15 対象地(鶴見川水系, 境川水系, その他)

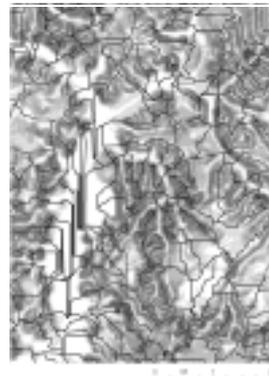


図- 3.1.2.16 小流域規模の検討(閾値:10ha)

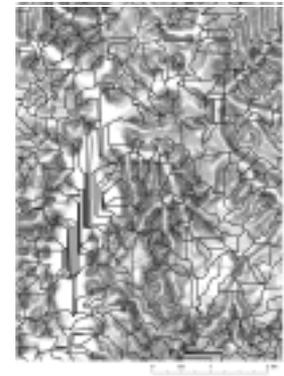


図- 3.1.2.17 小流域規模の検討(閾値:5ha)

表- 3.1.2.6 Hydrology Modeling と 50mDEM により抽出される集水域の精度と分析対象

閾値	平均面積	抽出可能な小流域	平坦面の抽出精度	対象
100ha	約182.0ha	国土数値情報では抽出されない小河川・支流域*	台地面が過度に細分されない	都市レベル (市町村)(台地面)
25ha	約50.8ha	おおよそ300m程度の谷筋をもつ小流域	丘陵の台地、大規模造成地が過度に細分されない	地区レベル (丘陵部)
10ha	約19.7ha	おおよそ200m程度の谷筋をもつ小流域	・やや過度に細分 ・異常形状あり	地区レベル (丘陵部・自然地形)
5ha	約11.4ha	おおよそ100m程度の谷筋をもつ小流域	・過度に細分 ・異常形状あり	地区レベル (丘陵部・谷戸部)

*河口・合流点からの流路延長が5km以下の河川の流域¹⁴⁾

ii) 非集水域の設定

水文解析により抽出される集水域は、まとまった平坦地、特に低地面における信頼性が低い。特に、丘陵地の 10～100ha 程度の集水域を対象とした設定では、氾濫平野等、平方キロメートル規模で広がる平坦面は不適切であった。本研究ではこのような地形を非集水域¹⁰⁾とし、小流域抽出の対象外とした。非集水域の条件は、傾斜度 3 度未満の平坦地、かつ主な河川を含み、谷底の横断距離が 250m 以上の低平な平地とした。また、流域単位で台地や盆地などの起伏が少なく緩やかな地形の場合、前述した非集水域と同様に、小流域は流域の緑地評価の原単位として妥当ではない。従って、柏尾川流域以外の相模台地の広がる境川水系の単位流域を小流域設定の対象外とした。

イ) 小流域抽出の手順の整理

50mDEM から抽出される集水域の規模と、その形状の信頼性について検討をもとに、コモンデータに基づく小流域抽出の手順を設定した。この手順に従って、主に多摩丘陵に属する地域の小流域図が作成された。小流域の総面積は 39,780ha で 2,258 個、非集水域は 13,480ha で全体の約 25%であった(平均:17.6ha、標準偏差:15.4)。

帷子川上中流部 (41.3k m²) に関しては、以上の手法で抽出した集水域を基本に、地形図と横浜市公共下水道計画図の流域界を用い、道路などの人口構造物によって実状と大きく異なる箇所を修正して作成した。対象地の小流域は全部で 173、面積の平均は 20.3ha (標準偏差 18.1) である。

また、Horton-Strahler による水流次式¹¹⁾を利用した流域区分により、高次水系の流域内部をより低次の流域に細分する手法で流域の区分を行い¹²⁾、小流域を 1 次流域と位置づけたときの 2 次流域区分を上位スケールの単位流域として設定した(以下 2 次流域)。対象地は、25 の 2 次流域に区分され、平均面積は 160.9ha で、それぞれ 6 から 11 の小流域によって構成された。

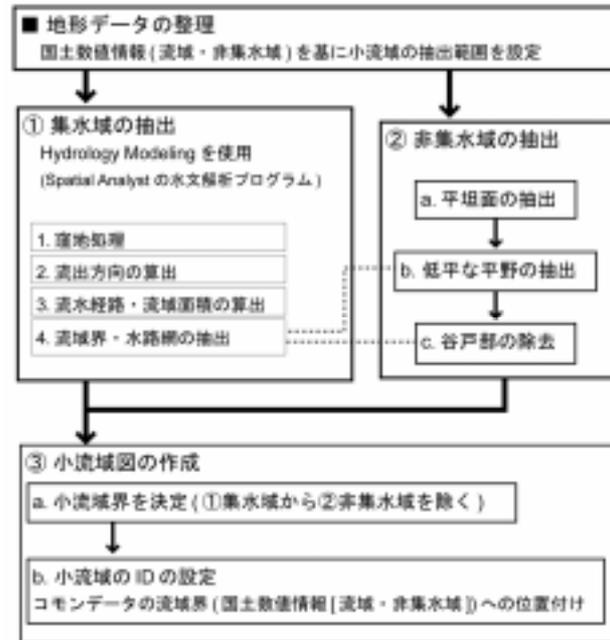


図- 3.1.2.18 コモンデータに基づく小流域抽出の手順



図- 3.1.2.19 横浜市における小流域図



図- 3.1.2.20 帷子川小流域図

c) 基礎データの整理

i) 土地利用

土地利用に関しては、樹林地や農地、河川、市街地の分布を把握する基礎データとして、2 時期の土地利用図を作成し、共通の凡例を設定した。現在の土地利用図は、調査時点が 1997 年である都市計画基礎調査の土地利用現況をベースとし、過去の土地利用図は、1955 年の地形図を基に作成した。

都市計画基礎調査の土地利用現況図は、1/2,500 で整備された有用なデータであるが、地目ごとに整理され、公園や防衛用地では、樹林地や草地、農地など緑の現況を把握することが出来ない。一方、横浜市の環境保全局で作成された現存植生図は、植物群落で分類され、緑地の質の把握に適した資料である。しかしながら、土地利用現況図に比べると精度が低いという問題がある。そこで本研究では、土地利用現況図に、緑被地に関する情報を、現存植生図から補った、土地利用図を作成した。形式はポリゴンを基本とし、緑、水と市街地に関するデータを整備した。

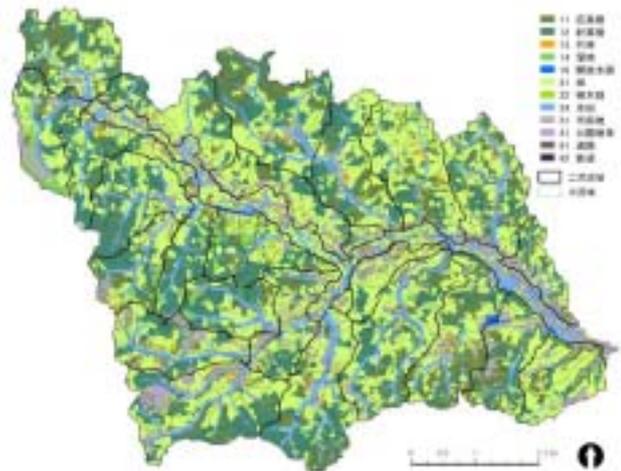


図- 3.1.2.21 1955 年土地利用

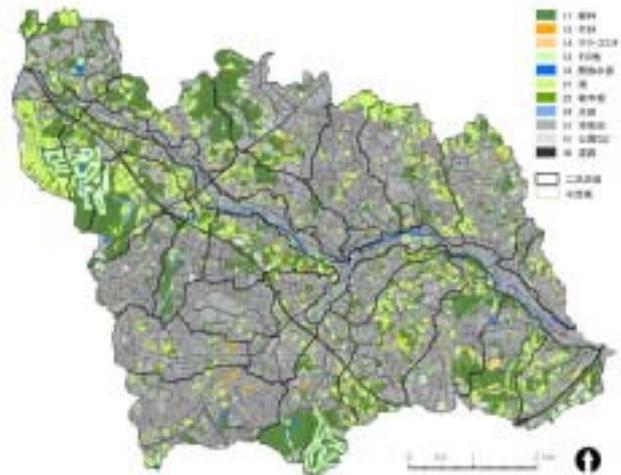


図- 3.1.2.22 1997 年土地利用

表- 3.1.2.7 緑地環境区分の設定

緑地環境分類	面積比(%)		凡例の内訳		
	1955年	1997年	1955年	1997年	
			地形図 (1:3000)	都市計画基礎調査 土地利用現況 (1:2,500)	現存植生 (1:10,000)
樹林地	36.5	18.3	針葉樹林、広葉樹林、竹林	広葉樹林、針葉樹林、竹林、普通樹林	常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、針葉樹林、竹林、林縁・伐跡植物、植栽地
荒地・その他	2.1	5.2	荒地、園地	荒地、園地、一般広場	乾性草地、湿性草地、芝地・雑草地
畑地	38.2	11.1	畑地、果樹園、桑畑、苗圃	畑地、果樹園	乾性耕地
水田	8.0	0.1	水田	水田	湿性耕地
市街地	宅地	10.5	住宅地、公共施設、社寺地、墓地、工場用地、鉄道用地	道路、一般広場、園地以外の都市的土地利用、工事中改変地、複合施設、農業施設	
	道路	3.7	道路用地	道路	
開放水面	1.0	1.0	水路、河川、水面、ため池	水面・水路・河川	
総面積(ha)	4133.8				

ii) 地形区分図の作成

地形的特徴を捉える基礎データとして、地形区分図を作成した。50mDEMから抽出した水路網、尾根線からの比高、小流域の平均標高、傾斜度の組合せを、コモンデータによる地形区分の基準としてまとめた。基データが標高のみであることと50mDEMの精度を考慮し、区分は谷底平地・頂部緩斜面・傾斜地の3つとした。土地条件図¹³⁾に比較すると、谷底平地は低地、緩斜の谷型斜面と低・下位面に、頂部緩斜面は尾根型斜面とこれに連続する中・高位面にほぼ相当する。大規模に改変された地域は、再現が難しく谷底平地や頂部緩斜面に区分された。



図- 3.1.2.23 地形区分図

d) 小流域の緑地環境の把握

ア) 現況の土地利用による類型化と流域環境の把握

帷子川上流域のみを対象に、現況の緑地環境をもとに小流域の分析を行った。

i) 環境評価指標の設定

環境評価の指標としては、緑の量の視点から樹林地と農地の各面積率、小流域の環境の多様性の視点から、水際延長率と谷底縁辺率、防災・環境保全の側面から、保水機能と急傾斜度、また、制度面として緑地保全施策の指定状況の8項目を設定した。

表- 3.1.2.8 環境評価の指標

目的	評価項目	算出式	帷子川上流域	
			計	%
緑の量と質	樹林地率	樹林地面積 ÷ 小流域面積	276.3ha	20.5%
	農地率	農地総面積 ÷ 小流域面積	161.8 ha	12.4%
	市街化率	市街地面積 ÷ 小流域面積	796.6ha	59.1%
環境の多様性	水際延長率	開放水面(ポリゴン)の周長 ÷ 小流域面積	580,183m	4.3%
	谷底縁辺率	谷底平地(ポリゴン)の周長 ÷ 小流域面積	48,911m	0.4%
環境の保全・防災	急傾斜地率	8度以上斜面の総面積 ÷ 小流域面積	286.7ha	21.3%
	保水機能	(年間降水量-600mm) × 樹林地・0.8 + (年間降水量-840mm) × (農地・0.7+草地・0.6+水面・0.2+市街地・0.1)	431,048.1 mm/y	319.7 /ha/y
		年間降水量: 1638mm(2002年、横浜地方気象台発表)		
		蒸散損失量: 山地系600m、平地系840mm		
	農地: 乾性耕地 草地: 乾性草地・雑草・芝地 水面: 開放水面・湿性耕地・湿性草地			
流域面積			1,348.3ha	100%

ii) 小流域の緑地環境の類型化

小流域の緑地環境を緑の量と質から分析し、評価の基盤となる緑地環境の構成についての類型の把握を試みた。分析には、植生、利用、法制度における基本的な分類として、緑地環境分類の中から樹林地と農地の2項目を指標として用いた。客観的な類型化を行うために、樹林地率と農地率の2変数によるクラスター分析を行なった。分析により、対象地

の小流域は7つに類型化された。

各類型は樹林地率と農地率の平均から、大きく樹林地型、農地型、樹林・農地混合型、市街地型の4つに分けられる。それぞれの類型の特徴は以下ようになった。

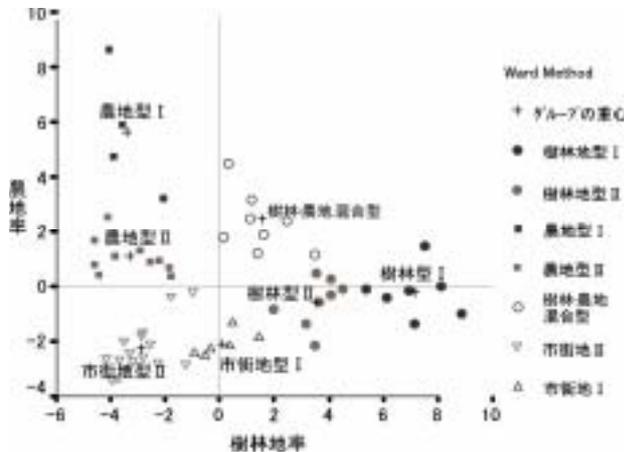


図- 3.1.2.24 農地率と樹林地率によるクラスタ分析の結果

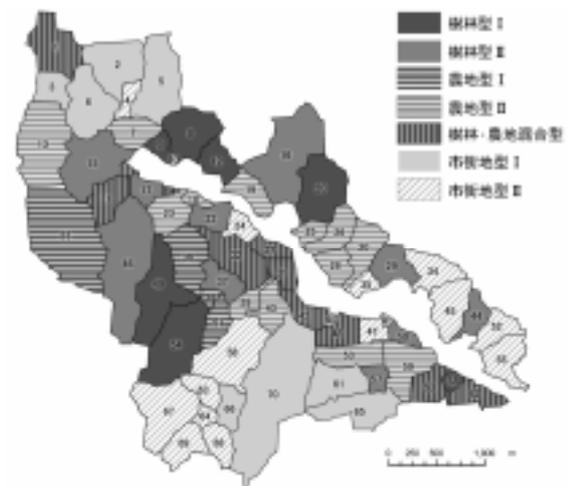


図- 3.1.2.25 農地率と樹林地率によるクラスタ分類

表- 3.1.2.9 各類型における農地、樹林地の比率

	グループ名	樹林地型		農地型		農地型		樹林・農地混合型		市街地		市街地		全体			
	ケース数	7	10	4	14	11	10	14	70								
緑地構成	分類	樹林	農地	樹林	農地	樹林	農地	樹林	農地	樹林	農地	樹林	農地	樹林	農地		
	平均%	54.5	9.2	38.8	8.2	8.9	48.7	7.7	20.4	27.9	29.6	19.9	1.1	3.8	2.5	21.0	13.6
	標準偏差	4.1	6.8	3.2	5.8	1.5	9.2	5.6	4.2	7.0	5.7	4.3	1.8	2.9	2.5	17.2	13.5

- ・樹林地型 I 都市化の影響が少なく小流域の大部分が樹林地に覆われる。樹林地は市民の森に指定されるなどして拠点的な緑地環境となっている。
- ・樹林地型 II 小流域に樹林地が比較的まとまって分布する。市街地は4～5割程度に進んでいるが、樹林地 I に比べて農地の占める範囲も多く見られる。
- ・農地型 I 都市化の影響が少なく、小流域の広い範囲を農地が占める。農用地区域など農業施策の拠点的な地域にほぼ対応し、樹林地もある程度分布している。
- ・農地型 II 小流域内で農地が比較的まとまって分布するが、6割以上が市街地化されている。法規制との関係からみると、農業振興地域に含まれる範囲が多い。
- ・樹林・農地混合型 流域内に樹林地と農地がほぼ同量程度分布している。市街地は4割程度。
- ・市街地型 I 小流域の7割以上が市街地だが、まとまりを持った樹林地が見られる。内訳は大規模開発の保全緑地や公園として残存する緑地、小流域内の市街化調整区域の緑である。
- ・市街地型 II まとまった緑が見られない市街地である。

iii) 緑地環境と緑地保全に関する法規制の適用について

源流域として重要な緑地環境である樹林地型 I は、市民の森や水源の森などの制度で樹林が保全されている。また、樹林・農地混合型の小流域での緑地保全地区の指定や(32)、樹林地型 II でまとまった緑が公園として担保されるなど(44)、最上流部の小流域では法規制の適用により樹林が保全されてきた。一方、帷子川右岸に連続する小流域は、農地と樹林地の自然立地的な秩序が保たれ、良好な緑地環境を残していると評価されたが、制度面からみると、十分な緑地保全施策が行われな

いまま残存してきたことがわかる。開発動向や環境の面から保全にむけた検討が必要な地域といえる。

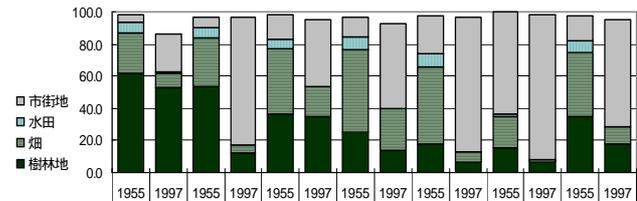
帷子川全体では、都市化により河川水量が年々減少し¹⁴⁾、現存する湧水地でも水量や水質の点で問題がみられる¹⁵⁾ことから、保水機能を育む環境の保全・修復が必要とされる。今後は、この水循環や生物多様性の視点から、樹林や農地に対するそれぞれの法規制に加え、小流域単位で把握された緑地環境に全体の特徴に対する施策が重要となる。

小流域の緑地環境の評価と緑地保全に関する法規制とを比較することで、現況の緑地保全施策への課題の抽出が可能であることがわかった。

iv) 土地利用の変遷に基づく小流域の環境の特性の把握

対象地における小流域の環境の特性を、土地利用の変遷も含めて把握することを目的に、1955年と1997年の2時期の土地利用をもとに小流域の類型化を行い、類型の環境の特性について、立地や現存植生の構成を踏まえて分析した。

類型化の変数は、小流域毎に算出した樹林地率、畑地率、水田率、市街地率の4種、2時期で計8つの値とし、クラスター分析を行ったところ、対象地の小流域は6つに類型化された。各類型は、土地利用の変化の内容から、類型1を谷戸維持、類型2を谷戸・宅地化、類型3を農地・集落・宅地化(小)、



年	類型	1	2	3	4	5	6	全体 (%)
		谷戸維持	谷戸・宅地化	農地・集落(小)・宅地化	農地・集落(中)・宅地化	農地・集落(大)・宅地化	既成市街地	
1955年	小流域数	18	44	23	28	55	5	173
	樹林地	61.6	53.9	36.5	25.2	18.3	15.6	35.3
	畑	25.4	29.5	40.6	51.5	47.9	19.2	39.7
	水田	6.7	6.6	5.4	7.5	7.6	1.3	6.8
	集落	4.7	6.3	15.7	12.4	24.2	63.5	15.7
1997年	樹林地	52.9	12.5	34.9	13.8	6.3	6.3	17.8
	畑	9.2	4.4	18.9	26.2	6.6	2.2	11.0
	水田	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
	市街地	23.5	79.5	41.5	52.7	84.0	90.3	66.0
平均傾斜		8.60	6.29	8.02	6.43	6.20	9.29	6.79

図- 3.1.2.26 小流域の類型毎の土地利用構成と平均傾斜

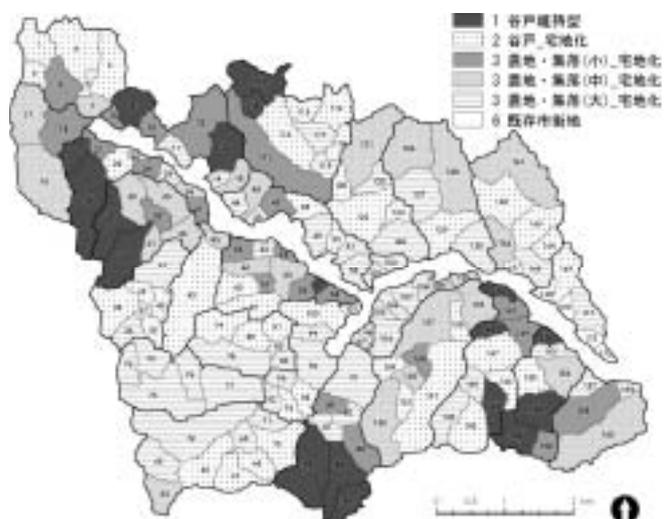


図- 3.1.2.27 帷子川上中流域 小流域類型

類型4を農地・集落-宅地化（中）類型5を農地・集落-宅地化（大）、類型6を既成市街地と便宜的に名称を付した。図-3.1.2.27は帷子川中上流における類型の分布である。

類型ごとに、立地や現存植生の構成に分析すると、特徴は次のようにいえる。

・類型1 谷戸維持:谷戸頭や河川上流部で、対象地での水田は、放棄されたものも含めて概ねこの類型内に分布する。農的土地利用は大部分が放棄されたものの樹林地面積が維持され、いくつかの小流域では増加傾向も見られる。他の類型に比べて針葉樹林が優占すること、ゴルフ場のシバ群落の面積が広いことが特徴となっている。

・類型2 谷戸-宅地化:かつては類型1と同様の谷戸地形¹⁶⁾であったが、大規模な宅地開発により自然面が激減し、造成により傾斜も緩やかとなっている。わずかに残された樹林地は、クヌギ-コナラの二次林と針葉樹植林に、里山の断片を見出すことができる。

・類型3 農地・集落-宅地化（小）:かつては樹林地と農地が同程度の面積を占めていたが、農地の過半が宅地化、樹林は維持、増加傾向にある。帷子川本流に沿った面積の比較的小面積の小流域が多く、平均の傾斜が大きく、シラカシ群集やヤブコウジ群集などの自然植生が分布することから、開発困難な斜面林の残存を讀取ることができる。

・類型4 農地・集落-宅地化（中）:河川上流部の小流域でかつては畑、水田耕作により農的な高度利用が行われていた。宅地化は進行した現在でも、他に比較して畑地が多く残存する。

・類型5 農地・集落-宅地化（大）:類型4と同様に農的な利用が主であったが、もともとの宅地の比率が多いことから市街化の圧力も強く、樹林地、畑地ともわずかに残存するのみとなっている。

・類型6 既成市街地:1955年時点ですでに市街化された区域である。対象区域内では少ない。

類型は過去と現在の土地利用の特徴を捉えたものであり、2時期の土地利用データを用いることで小流域の特性をより明確に表すことができる。

e) 小領域の緑地環境の評価

以上の小流域の緑地環境とその変化について、水循環の視点での地域環境の健全性として表すことを目標に、指標の設定と分析を試みた。

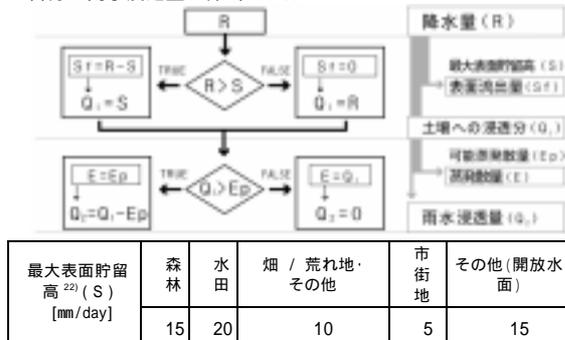
水循環に関連する指標としては、雨水浸透機能、地下水涵養機能、洪水防止機能などが挙げられ、関連要因のオーバーレイによる評点評価、または、水資源涵養量として代替法などを通じた経済的評価や環境容量の視点などにより評価されてきた¹⁷⁾。本研究では、流域の土地利用から求めた雨水浸透量¹⁸⁾を流域内の水路の平常時の流量として定量化したものを、流域の緑地環境の健全性を測る指標として設定した。平常時の流量の回復は、水質、生物生息、景観など、河川環境を健全に保つために必要とされる重要課題である¹⁹⁾と同時に、水の利用や水とのふれあいなど、人々の生活に直接関わる環境指標といえる。

f) 指標の設定

流出解析モデルに関しては、森林における降雨遮断や、土壌、植生、地形による貯留、

蒸発散の特性を考慮した研究が多数あるが²⁰⁾、小流域スケールで解析に必要なデータを、広範囲に整備することは困難である。そこで本研究では、簡易化したタンクモデル²¹⁾を用い、土地利用のデータをもとに、降雨量から表面流出、蒸発散による損失を除いたものとして雨水浸透量を求めた。年間の雨水浸透分は年間を通じて小流域内の河川・水路の一定量で流出すると仮定し、平常時流量ポテンシャルとして毎秒、10haあたりの流量を算出した。算出値について、横浜市環境保全局が行う年2回の評価地点調査の観測値と対照させたところ、1～2次の流域が対象であるとき、おおむね平水量から低水量として適切な値をとることがいえた。(地点1,2,3,5,6,7,8)。3次、4次など高次の流域を対象としたものは、より低く算出される傾向があり、観測値との乖離が見られる(地点4,9,10)。したがって、本検討で対象とした2次までの流域を評価する指標として妥当であると判断した。

一日分の雨水浸透量の算出モデル



$$\text{平常時流量ポテンシャル} = \frac{\text{年間雨水浸透量} (\sum_1^{365} Q_2)}{365 \times 24 \times 60 \times 60}$$

* 可能蒸発散量(Ep) : Thornthwaite 法による月ごとの可能蒸発散量を雨の日数で平均。
* 降雨量、平均気温に関するデータ : 横浜地方気象台 1997 年の観測データを用いた。

図- 3.1.1.2.28 雨水浸透量・平常時流量ポテンシャルの算出手法

対象地の小流域の平常時流量ポテンシャルは、1955 年の平均が 1.24(l/sec/10ha) (最大-最小 : 0.52-1.65) 、1997 年は 0.65(l/sec/10ha) (最大-最小 : 0.25-1.3) で、42 年間で 52%に減少している。



図- 3.1.1.2.29 帷子川中上流域における水環境評価地点

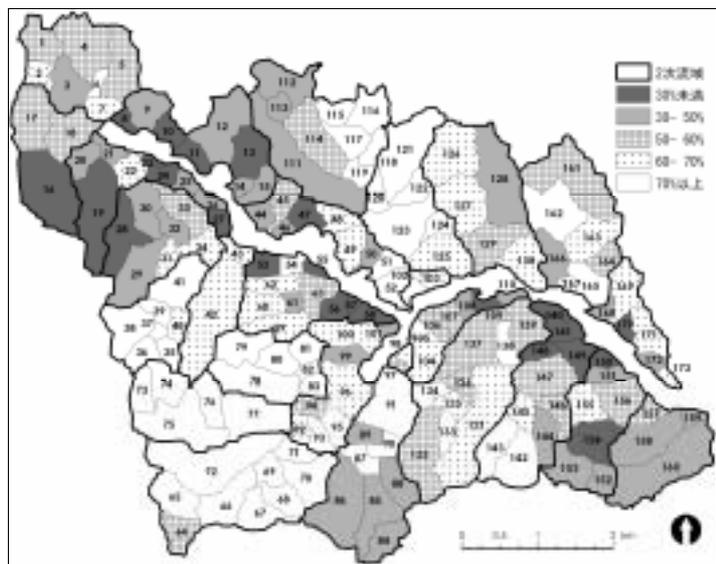


図- 3.1.1.2.30 小流域における雨水浸透量(平常時流量ポテンシャル)の変化率

イ) 小流域類型ごと現況と変化の傾向

i) 1955年

市街地が流域の15%未満以下であった1955年の土地利用から算出した平常時流量ポテンシャルは全体に高い値となるが、特に谷戸田の発達した源流部である類型1、類型2で1.19-1.65(l/sec/10ha)の高い値を示し、水源として高い機能を有していたことがわかる。集落と農地開発が進んだ類型3、類型4、類型5では0.69-1.36 (l/sec/10ha)となる。他の類型に比べて類型5の範囲が広いのは、水田率の幅が影響したものであった。既成市街地である類型6は0.52-0.71 (l/sec/10ha)となった。これらの数値は、水源涵養量を指標に小流域の緑地環境の回復を検討する際、目標となる値といえる。

ii) 1997年と変化の傾向

対象地では水田の多くが消失し、小流域の平常時流量のポテンシャルは樹林と畑地が担うこととなっている。谷戸の水田が消失した類型1は1.03-1.30 (l/sec/10ha)、類型3は0.8-1.09 (l/sec/10ha)あり、1955年からの変化が少ない。農的管理の放棄と針葉樹の植林により維持、増加した樹林地率が反映したものである。

類型3と類型4は、1955年の平常時流量のポテンシャルは同程度であったが、1997年では0.8-1.0 (l/sec/10ha)、0.43-0.84 (l/sec/10ha)と差が開いている。宅地への転換が容易な、自然立地に即した土地利用の大小が反映されたものといえる。また、宅地化の程度が大きい類型2、類型5の平常時流量のポテンシ

ャルは平均値には差がないが、値の範囲を見ると類型2の幅が広い。類型2は、源流部の谷戸であったことから開発難や大規模宅地開発時の保存林として樹林が残ることがあり、逆に類型5は小流域内での高い構成比率を占めていた農地が一様に宅地化するという開発の経緯が反映したと考えられる。

ウ) 2次流域における特性の把握

次に2次流域における、平常時流量のポテンシャルの変化率を求め、小流域類型の環境特性を用いて分析した。

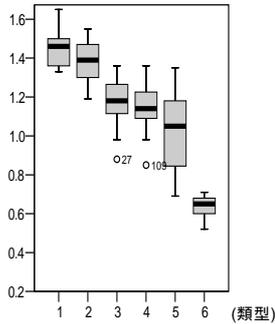


図- 3.1.2.31 類型毎の雨水浸透量の分布 (1955, l/sec/10ha)

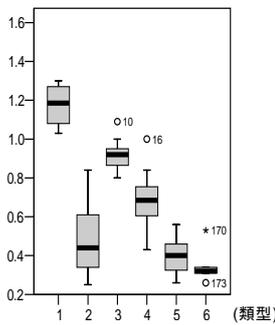


図- 3.1.2.32 類型毎の雨水浸透量の分布 (1997, l/sec/10ha)

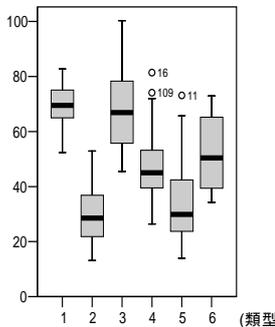


図- 3.1.2.33 類型毎の雨水浸透量の変化率 (%)

i) 変化率：40%未満

(01-2,01-3,01-4,02-1,04-4,09-2,09-3)

平常時流量のポテンシャルは 0.72-1.0 (l/sec/10ha)で、樹林地の卓越する類型1と類型3、農地の卓越する類型4と類型1の2つの雨水浸透機能の高い小流域の組み合わせにより流域の水循環が保持されている。前者の2次流域は01-2, 01-4, 02-1, 04-4、後者は01-3, 09-2, 09-3である。類型1の谷戸環境の回復、類型3の

樹林地と類型4の農地の維持が、本流域全体の水循環の回復の要であるといえる。

ii) 変化率:40-50%(01-1,03-2,06-1,09-1)

平常時流量のポテンシャルは 0.67-0.75 (l/sec/10ha)である。大規模の宅地開発された類型2、樹林地率の高い類型1と類型3の小流域が混在する。雨水浸透機能の維持は2次流域の宅地の環境を支えるものといえる。

iii) 変化率：50-60%

(02-3,05,04-5,03-1,07,08,10-2,10-3)

平常時流量のポテンシャルは、0.47-0.67(l/sec/10ha)で、上流・源流部に類型2、下流部への類型4の分布が主な傾向として読み取れる。この2次流域では、農地を維持しつつ、市街地からの環境負荷の軽減をはかる方策が必要とされる。

iv) 変化率：60% 以上

(02-2,04-1,04-2,04-3,06-2)

平常時流量のポテンシャルは 0.31-0.42 (l/sec/10ha)である。農地・集落が宅地化した類型5に類型2が隣接することから、かつて集落の後背地であった谷戸源流部が大規模に開発された流域であることがわかる。この2次流域では、市街地からの環境負荷の軽減をはかるための総合的な方策が必要とされる。

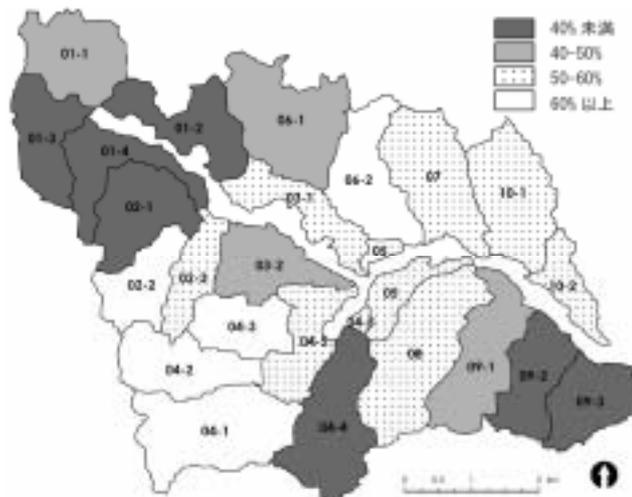


図- 3.1.2.34 2次流域における雨水浸透機能(平常時流量ポテンシャル)変化率

表- 3.1.2.10 2次流域における雨水浸透量(平常時流量ポテンシャル)と変化率

ID	流域名	二次流域名	面積 (ha)	雨水浸透量 (単位面積当) (l/sec/10ha)		雨水浸透量 (総量) (l/sec)		変化率 1-1997 /1955 (%)
				1955	1997	1955	1997	
01-1	帷子川1	若葉台	167.4	1.37	0.75	23.0	12.5	45.4
01-2	帷子川1	左岸	152.5	1.19	1.00	18.2	15.2	16.3
01-3	堀谷戸川	堀谷戸川	139.7	1.11	0.85	15.5	11.9	23.2
01-4	帷子川1	右岸	135.8	1.28	1.02	17.4	13.8	20.8
02-1	矢指川	矢指	166.5	1.38	0.99	23.0	16.5	28.4
02-2	矢指川	笹野台	118.5	1.26	0.39	15.0	4.6	69.2
02-3	矢指川	今宿	94.0	1.44	0.67	13.6	6.3	53.5
03-1	帷子川2	左岸	122.3	1.04	0.51	12.7	6.2	50.9
03-2	帷子川2	右岸	141.3	1.29	0.72	18.3	10.2	44.0
04-1	二俣川	善部	261.8	1.22	0.41	31.9	10.7	66.5
04-2	二俣川	希望が丘	158.3	1.11	0.36	17.5	5.7	67.3
04-3	二俣川	大池	118.7	1.39	0.32	16.5	3.8	77.2
04-4	二俣川	本宿	218.8	1.33	0.91	29.0	19.9	31.5
04-5	二俣川	二俣川	139.6	1.04	0.42	14.5	5.9	59.4
05	帷子川3	鶴ヶ峰	88.3	0.92	0.42	8.2	3.7	54.9
06-1	中堀川	上白根	242.7	1.39	0.72	33.7	17.4	48.3
06-2	中堀川	白根	177.8	1.34	0.42	23.8	7.4	68.8
07	新井川	新井川	213.8	1.18	0.56	25.2	11.9	52.6
08	くぬぎ台川	くぬぎ台川	264.7	1.27	0.64	33.7	16.8	50.1
09-1	帷子川4	市沢川	194.6	1.28	0.67	25.0	13.1	47.7
09-2	帷子川4	坂本	137.1	1.26	0.90	17.2	12.3	28.8
09-3	帷子川4	仏向星川	132.7	1.13	0.71	15.0	9.5	36.7
10-1	菅田川	菅田川	200.5	1.24	0.54	24.9	10.8	56.6
10-2	帷子川4	左岸	74.2	0.98	0.47	7.3	3.5	52.6

表- 3.1.2.11 類型ごとの特徴と水源涵養量の変化

類型	土地利用	特徴		水源涵養量 (l/sec/10ha)		
		植生	水源涵養機能	1955	2000	変化率 2000/ 1955
類型 1 谷戸維持		<p>谷戸頭や河川上流部に分布する類型で、放棄されたものも含め、湿性耕地の大部分は、このタイプの小流域内に分布する。</p> <p>農的土地利用は大部分が放棄されたものの樹林地面積が維持され、いくつかの小流域では増加傾向も見られる。他の類型に比べて針葉樹林が優占する点、ゴルフ場のシバ群落の面積が広い点が特徴となっている。</p>	<p>谷戸田の発達した源流部であることから、かつては水源として高い機能を有していた。</p> <p>水田はほぼ消滅したものの、他に比べて変化量が少ない。農的管理の放棄と針葉樹の植林により維持、増加した樹林地率が反映したものと考えられる。</p>	1.9	1.3	67.7%
類型 2 谷戸-宅地化		<p>かつては類型 1 と同様の谷戸地形であったが、大規模な宅地開発により自然面が激減し、造成により傾斜も緩やかとなっている。わずかに残された樹林地は、クヌギ-コナラの二次林と針葉樹植林に、里山の断片を見出すことができる。</p>	<p>谷戸田の発達した源流部であることから、かつては水源として高い機能を有していた。</p> <p>1997 年の平均値は類型 5 と差がないが、値の幅は広い。源流部の谷戸であったことから開発難や開発緑地として残った樹林が反映したと考えられる。</p>	1.7	0.5	30.7%
類型 3 農地・集落-宅地化小		<p>かつては樹林地と農地が同程度の面積を占めていたが、農地の過半が宅地化、樹林については維持、増加傾向にある。帷子川本流に沿った面積の比較的小面積の小流域が多く、平均の傾斜が大きく、シラカシ群集やヤブコウジ群集などの自然植生が分布することから、開発困難な斜面林の残存がよみとれる。</p>	<p>水田はほぼ消滅したものの、他に比べて変化量が少ない。農的管理の放棄と針葉樹の植林により維持、増加した樹林地率が反映したと考えられる。</p>	1.5	0.9	61.3%
類型 4 農地・集落-宅地化中		<p>河川上流部の小流域で、かつては畑、水田耕作により、農的な高度利用が行われていた。現在、宅地化は進んだものの、他に比較して畑地が多く残されている。</p>	<p>1955 年では、類型 3 同程度であったが、1997 年では差が開いている。宅地への転換が容易な自然立地の土地利用の大小が反映されたものといえる。</p>	1.4	0.7	46.5%
類型 5 農地・集落-宅地化大		<p>同様に農的な利用が主であったが、もともとの宅地の比率が多いことから、市街化の圧力も強く、樹林地、畑地ともにわずかに残存するのみとなっている。</p>	<p>1955 年では、集落と農地開発が進んだ類型 3、4、5 のうちで、水源涵養量の幅が広い。これには、水田耕作の有無が影響している。</p> <p>1997 年は、平均では類型 2 と同程度だが、値の範囲が狭い。小流域内での高い構成比率を占めていた農地が一樣に宅地化するという開発の経緯が反映したと考えられる。</p>	1.4	0.4	28.8%
類型 6 既成市街地		<p>1955 年時点ですでに大部分が市街化された地区、対象区域内には少ない。斜面林に関しては、1955 年当時の分布状況が比較的残されている。</p>	<p>かつて住宅に隣接して分布していた畑や水田が見られなくなったことにより、水源涵養量が半減している。</p>	0.7	0.4	53.3%

I) まとめ

本研究では、GISを用いて詳細なスケールにおける緑地環境の評価単位として小流域を設定し、時系列による土地利用の変遷を踏まえた類型化により小流域の環境特性を把握し、さらに雨水浸透機能を指標として定量化することで、水循環の視点から都市の緑地環境の現況と課題を明らかにした。

データについては、基本的にコモンデータを用いたが、過去の土地利用については、データが無いため、過去の地図より作成する必要があった。2時期の土地利用による類型化では、対象地の小流域を谷戸維持、谷戸-宅地化、農地・集落-宅地化（大、中、小）、既成市街地の6つに類型化した。この類型は過去と現在の土地利用の特徴を捉えたものであり、2時期の土地利用データを用いることで小流域の特性をより明確に表すことが可能となった。

水循環の視点による小流域の緑地環境の分析では、簡易な流出解析を用いることで、小流域内の平常時流量のポテンシャルとして水循環の視点による指標として表した。これにより、6つの類型によって示された小流域の緑地環境の変容が、平常時流量のポテンシャルの変化として具体的な数値で示され、小流域の緑地環境の健全性について、人の生活に関わりの強い指標によって量的に評価することが可能となった。

これまでの緑地環境計画では、緑地の量、質、連続性等に関する分析、評価手法の開発は行なわれてきたが、小流域に対応する精度で、緑地の質・量、歴史的変遷と水循環を結びつけた評価手法の開発は、不十分であった。本研究は、雨水浸透機能を導入することにより、この課題に対して、新たな方法論の提示を行なうことができた。これは、GISを活用した総合的な環境政策に適用可能なフレームを示すものである。

今後、本研究を発展させるうえでは、植生や土壌・地形などの影響を反映させるなど、平常時流量の算出モデルの精度の向上と指標の有効な活用法を検討することが必要である。また、緑、水、環境に関する計画や施策を踏まえた分析も、今後の課題として挙げられる。

2) 鎌倉市神戸川

a) 研究の概要

ア) 目的

緑地環境評価の単位として小流域を設定し、緑の基本計画等の詳細な緑地保全計画のスケール（おおむね 1/2,500）に対応する精度で、GIS を用い、緑地の質を含めた分析の手法を提案し、今後の都市環境計画への展開の有効性について論証することを目的とする。

イ) 対象地

研究対象地である神戸川は本流の延長は約 2.4km、流域面積は概ね 400ha の小河川である。河口から約 1km の地点で二叉川が分岐しており、都市林構想が推進される広町緑地が二俣川の上流域に位置する。対象地周辺は、多摩三浦丘陵の端に位置し、河川に沿った低地から延びる細かく入り組んだ谷が分布し、低地と丘陵地の境界を複雑にしている。流域は鎌倉市の西部に位置し、流域周辺は、依然強い開発圧とそれに対する緑地保全施策が拮抗する都市郊外特有の課題を有している。



図- 3.1.2.35 研究対象地

ウ) 研究の流れ

まず、分析に先立ち、小流域図、1954年と2000年の土地利用図、現存植生図といった基礎的な図面データの整備を行った。次に、1954年と2000年の土地利用図から樹林地の増減傾向を把握し、谷戸の環境特性との関係を考察した。また各地目の変化量から、小流域の都市化の傾向や緑地の分布特性について把握するため、クラスター分析により小流域を類型化した。次に、類型毎の植生比率を分析し、緑地の質について傾向を把握した。

b) データの整備

ア) 使用データ

緑の基本計画に対応するスケールで分析を行うため、鎌倉市作成の数値地理情報を用いた。分析単位となる小流域の抽出では、鎌倉市都市計画基礎調査データベース GIS に含まれる地形データ（標高値を持つ等高線、以降「地形データ」とする）に加えて、補足的に鎌倉市公共下水道計画図と1954年地形図を用いた。1954年の土地利用データは地形図より作成した。また、2000年の土地利用は、鎌倉市都市計画基礎調査データベース GIS に含まれる土地利用現況（以降「土地利用現況データ」とする）を用いている。現存植生図

は、過去の植生調査報告および 1/2,500 カラー空中写真（1998 年 11 月撮影）、土地利用データから予察図を作成し、現地調査（2002 年実施）により完成させたものである。

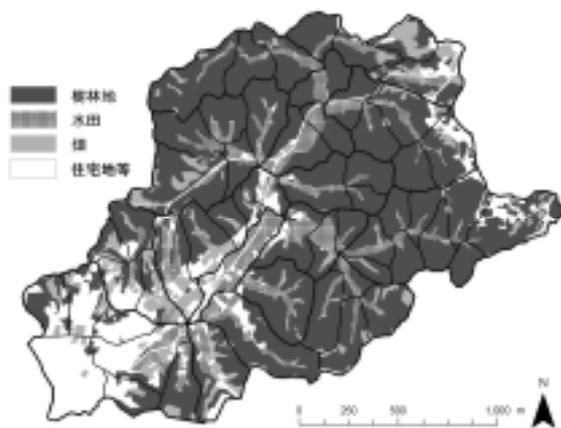


図- 3.1.2.36 1954 年土地利用



図- 3.1.2.37 2000 年土地利用

イ) 小流域の抽出

ArcGIS 及び Spatial Analyst を用いて、「地形データ」から 5m メッシュの標高ラスターデータを作成、Hydrology Modeling により小流域の分水界を抽出した。

この結果、59 の小流域が抽出され、小流域の平均面積は約 5.5ha であった。抽出された小流域は、地域の谷戸の名称に対応するようにグループ化し ID 番号をつけた。



図- 3.1.2.38 小流域図



図- 3.1.2.39 時期の土地利用による類型

シ) 土地利用変化による小流域の類型

神戸川流域の小流域環境を客観的に把握するため、クラスター分析を行い小流域の類型化を行った。このクラスター分析により、対象地の小流域は 6 つに類型化された。

各類型の特徴を明らかにするため、類型毎の各地目の比率を求め、それぞれの土地利用構成比の変遷と特徴をまとめた。

表- 3.1.2.12 類型別土地利用の比率の変遷と特徴

類型	土地利用構成比		小流域の都市化傾向・ 緑地の分布特性の把握
	1954年	2000年	
類型 1 農村集落/宅地化 流域数：9			主に腰越の市街地の縁辺部に位置する。森林・農地・住宅が混在する地域で多くが宅地化された小流域。かつては森林・農地・住宅地が混在する地域であったが、森林・農地の多くが宅地化された
類型 2 谷戸/小規模開発 流域数：12			主に鎌倉山（10-04）や室ガ谷（06-01）などの起伏のある地域に分布。宅地化が進んだもの、大規模な造成はなく、小流域の約半分は樹林地として残されている。
類型 3 農村集落 /小規模開発 流域数：6			類型 2 と同様に起伏のある地域に分布するが、古くから別荘地などとして開発されていたことから、緑豊かな住宅地が形成されてきたが、樹林地を浸食しながら、宅地化が進行している。
類型 4 旧市街地 流域数：2			腰越の旧市街地に位置し、1954年には宅地しており、その後市街地の比率は大きな変化がない地域。
類型 5 谷戸/大規模開発 流域数：22			かつては、緑豊かな谷戸が多く分布していたが、大規模な宅地造成が行われ、多くの樹林地が消失した小流域である。西鎌倉や御所ガ谷、丹後ガ谷などの住宅地域が該当する。
類型 6 谷戸/維持 流域数：8			竹ガ谷(09-x)や奥御所ガ谷(10-x の北向き谷戸)などの谷戸が該当する。谷戸の管理放棄により、樹林地面積が増加している。また、水田の名残として、乾性草地と湿性草地が分布する。

d) 小流域類型に基づく緑地環境の「量」「質」の分析

ア) 小流域を単位とした樹林地の変化

1954年から2000年までの樹林地の増減面積の小流域に占める割合を求めた。西鎌倉の新興住宅地など、宅地化が進んだ小流域では、樹林地の減少が顕著である(08-03、10-02、11-01、11-02、11-03、16-03、16-04、16-05、17-01、17-02、17-03)。一方、広町緑地内(09-01、09-02、09-03、09-04、10-07、10-08、10-09)の北向きの小流域においては、樹林地が増加している。1954年当時の竹ガ谷の谷戸(09-01、09-02、09-03、09-04)では、谷底面が水田として利用されていた。谷が北向きであることや谷幅が狭いことなど、谷底面の日照条件が悪いため、水田は放棄され、その後、谷壁部の樹林の繁茂や谷底面へ樹林が進入したことにより、結果的に樹林地面積が増えたものと推察される。奥御所ガ谷(10-07、10-08)の小流域においても、1954年当時は畑地等として利用されていたが、生産性の悪さから放棄され、その後樹林化したものと考えられる。樹林地の増加は、広町緑地において確認できる傾向であるが、長い年月の間、放棄された谷戸の環境が荒廃していることを象徴するものである。谷戸においては、谷底面の農的利用と谷壁部の林縁の管理は、日照確保のため管理行為が直結しているため、小流域における樹林地面積を分析することで、谷戸が荒廃しているかどうか、概ねの判断が可能であった。

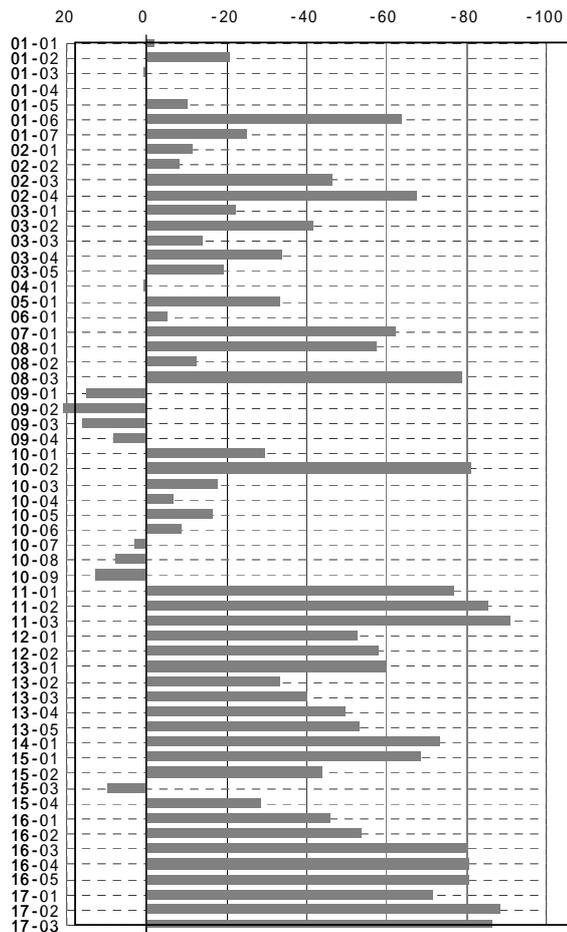


図- 3.1.2.40 1954年から2000年までの樹林地の増減面積の小流域に占める割合

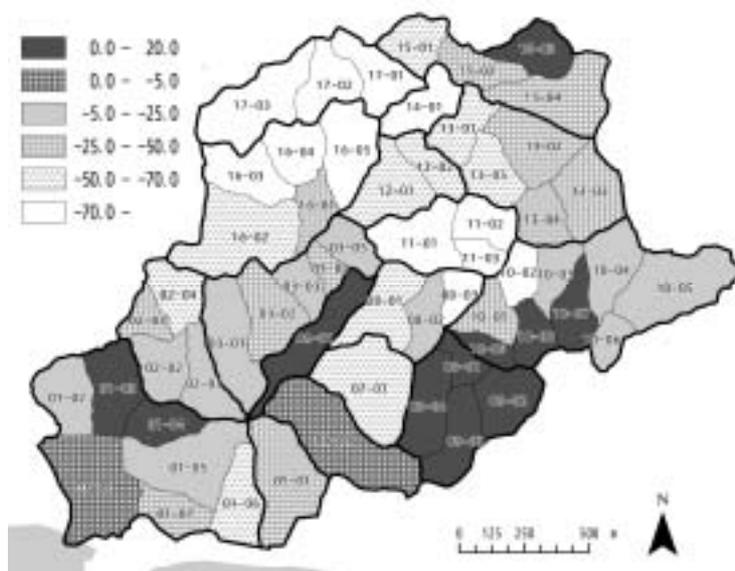


図- 3.1.2.41 1954年から2000年までの樹林地の増減面積の小流域に占める割合

イ) 小流域の類型毎の植生比率

小流域は、類型毎に緑地の残存状況が異なるため、緑地の植生にも特徴があると考えられる。そこで、表- 3.1.2.13に示す通り、類型毎の植生比率を把握した。

類型1の樹林地は、二次林の代表的植生である“オニシバリーコナラ群集”である。小流域に占める面積は少ないものの、かつて薪炭林として活用されてきた樹林が残されている。樹林地の規模は小さいと推察され、地域に残された身近な自然として保全への対応が必要と考えられる。また“緑の多い住宅地”が8.4%分布している。古くから集落が形成されている地域であることから、屋敷林の分布や残存斜面林が分布するものと推察される。

類型2では流域の約半分のまとまった樹林地が残された小流域である。樹林地を構成する植生は、“オニシバリーコナラ群集”が小流域面積の30.7%を占め、優占している。また“ヤブコウジースダジイ群集”が小流域面積の5.6%を占めている。薪炭林としての役割を終え、管理放棄した結果、植生遷移が進み本地域の潜在自然植生である“ヤブコウジースダジイ群集”へ遷移したものと推察される。

類型3は、類型2よりも開発が進んだ小流域で、鎌倉山や腰越に分布する。樹林地は“オニシバリーコナラ群集”が優占し竹林も認められる。古くから集落地や別荘地や丘陵地の緑と一体となった住宅地が形成されていることから“緑の多い住宅地”が、小流域面積の17.7%を占める。緑豊かで良好な住環境が分布しており、屋敷林の保全など民有地の緑の保全策の展開が必要であると考えられる。

類型4は、腰越の旧市街地に分布する小流域である。小流域の大部分が市街地で、樹林地は小流域面積の8%である。植生は、海に近い小流域であることから、“クロマツ植林”が優先している。

類型5は、西鎌倉や御所ガ谷、丹後ガ谷などの住宅地域に分布する小流域で、かつては豊かな樹林地が分布していたが、現在は7%にまで減少した。樹林地の植生は、“オニシバリーコナラ群集”が優占し、造成法面などに先駆的に進入する“カラスザンショウーアカメガシワ群集”が分布する。類型5の小流域は樹林地の面積も少なく、荒廃しているものと考えられる。

類型6は、広町緑地に分布する小流域で豊かな樹林地が残されている。樹林地を構成する小流域は、優占する順に、“オニシバリーコナラ群集”“スギ・ヒノキ植林”“カラスザンショウーアカメガシワ群集”“ヤブコウジースダジイ群集”“イロハモミジーケヤキ群集”

表- 3.1.2.13 類型ごとの小流域に占める各植生区分の割合

植生区分	タイプ	植生区分 (%)						全体
		類型1 農村集落/ 宅地化	類型2 谷戸/ 小規模開発	類型3 農村集落/ 小規模開発	類型4 旧市街地	類型5 谷戸/ 大規模開発	類型6 谷戸/ 維持	
	ヤブコウジースダジイ群集	0.8	5.6	2.0	0.0	0.3	5.1	2.2
	イロハモミジーケヤキ群集	0.0	0.7	0.6	0.0	0.0	4.2	0.8
	オニシバリーコナラ群集	8.2	30.7	14.9	1.3	3.6	34.6	14.7
	カラスザンショウーアカメガシワ群	1.1	2.1	1.4	1.9	1.7	6.0	2.3
	スギ・ヒノキ植林	0.1	3.2	0.2	0.0	0.0	6.2	1.5
	クロマツ植林	0.0	0.0	2.9	3.9	0.0	0.0	0.3
	クス植林	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	モクザナカマツ植林	0.6	7.0	4.9	0.0	0.2	1.1	2.1
	アサギ群	1.2	3.5	0.3	0.0	0.8	5.0	1.9
	スサキ群落他	0.6	0.9	1.8	0.0	0.5	1.3	0.8
	ササ群	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3
	ササ群落他	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2
	ミゾノハ群落(休耕田雑草群落)	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.2	0.3
	スサキ群落(湿田)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	樹園地	1.0	0.7	2.8	0.4	1.4	0.1	1.1
	畑地雑草群	3.4	3.5	2.6	0.7	1.8	0.1	2.1
	スサキ群落他	1.2	1.2	0.9	0.0	0.9	0.0	0.9
	芝地	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	スサキ群落(住宅地)	2.4	1.4	2.5	0.6	0.5	0.1	1.1
	緑の多い住宅地	8.4	10.2	17.7	10.6	1.1	0.5	5.5
	計	29.1	73.3	55.8	19.4	12.7	67.0	38.1

が分布する。“スギ・ヒノキ植林”は、かつて畑地や水田として利用されていた小規模な谷戸で農的管理放棄に伴い植林された箇所が土地利用と合わせて確認できる。“カラスザンショウアカメガシワ群集”が分布しているが、これは荒廃した樹林地において発生する倒木による土砂崩壊跡地に進入するためである。“ヤブコウジースダジイ群集”と“イロハモミジケヤキ群集”は、樹林の萌芽更新管理を放棄したことにより植生遷移が進んだ結果である。まとまった樹林地に多様な植生が立地しているが、見方を変えれば樹林地の管理放棄により、“オニシバリーコナラ群集”などから置き換わったためである。樹林以外の植生は、荒廃した緑地によく見られる“アズマネザサ群落”が分布する。広町緑地は都市林として保全が図られるが今後の緑地の質の回復に向けた維持管理の展開が重要であると考えられる。

e) まとめ

本研究では、今後の都市環境計画の基本となる「緑の基本計画」の精度に対応する詳細なスケールにおいて、緑地環境評価の単位として小流域を採用し、GISを用いて、小流域設定の手法の開発、小流域の類型化、類型化された小流域の環境特性の量的・質的把握を行った。これは今後の緑地保全計画の展開に対して、計画原単位の設定、データベースの作成、GISによる緑地の量・質の分析と時間軸を通じた評価という視点から、新しい方法論を提示したものである。

まず、計画原単位となる小流域については、都市計画基礎調査で整備される詳細な地形データを用い、公共下水道計画図（雨水）等で補足することで、谷戸に相当する小流域（平均面積 5.5ha）の抽出を行うことができた。横浜では、「数値地図 50m メッシュ(標高)」を用いて、平均面積が 17.6ha の小流域を抽出したが、詳細な地域分析では、都市計画基礎調査等で作成される 1/2,500 の地形データが有効と考えられる。データベースについては、市が所有するデータを基本的に採用したが、自然環境の現況を示す植生図については、都市計画基礎調査では不十分であり、独自の調査を行う必要があった。

GISを用いた緑地環境の分析は、時間軸（1954年、2000年）を導入することにより、緑地の量と質の両面から考察を行った。まず、抽出された小流域を単位として、二時期の土地利用図から樹林地の増減傾向を把握し、谷戸の環境特性との関係を分析した。また二つの時期の土地利用の変化からクラスター分析により小流域を類型化した。その結果 6つの類型が抽出され、小流域の特性を明らかにすることができた。続いて、緑地の質を分析するため、詳細な現存植生図の作成を行い、類型毎の植生比率を求めた。その結果、多くのタイプの樹林地において、かつて薪炭林として利用されていたオニシバリーコナラ群集が優占するものの、類型によって植生の構成に大きな相違があることが認められた。樹林地の植生の多様さや管理放棄によると思われる植生の変化が把握され、小流域毎の緑地環境の特性と質を把握することが可能であった。

以上、従来の緑地保全計画では、緑地の現況を踏まえた量、質に関する情報が、個別にだされ、かつ、時間軸を考慮した環境マネジメントとの連動の欠如が課題であった。本研究では、小流域の設定、GISの活用という新たな視点と手法の導入により、緑地環境の

量・質の維持向上そして環境マネジメントと連動する方法論の提示を行うことができた。

参考文献等

- 1) 例えば:鶴見川流域水協議会:「鶴見川流域水マスタープラン」, 2004.
- 2) 山田順之・上田純広・恒川篤史:GISを活用した緑地の環境保全機能の評価-静岡県掛川市を例として,GIS-理論と応用, 11(1), pp61-69, 2004.
- 3) 大西文秀・西脇国博・増田昇・安部大就・杉本三千雄・佐藤吉之:集水域を単位とした環境容量を求める新しい試み,環境情報科学, 24(1), pp55-71, 1995.
- 4) 原田茂樹, 山田護, 森野真理, 内藤正明, KIM J:琵琶湖集水域における環境評価手法に関する研究,環境システム研究論文集, 129, pp291-297, 2001.
- 5) 王尾和寿・鈴木雅和:国土数値情報による流域を単位とした土地利用の解析,ランドスケープ研究,65(5), pp861-964, 2002.
- 6) 山本勝利・加藤好武・大久保悟・ちょう賢一・大塚生美・福留晴子:比企丘陵における里山林の構造と変化が林床植物に及ぼす影響,ランドスケープ研究,63(5), pp765-770, 2000.
- 7) 小林優介・福井弘道・石川幹子:小流域を単位とした森林分布の評価手法とその適用,日本都市計画学会学術研究論文集, 36, pp271-276, 2001.
- 8) 大澤啓志・勝野武彦:流域単位からみた谷戸の特性とカエル類保全に関する考察,ランドスケープ研究,61(5), pp529-534, 1998.
- 9) 例えば:町田市都市緑政部公園緑地課:まちだエコプラン等, 2000.
- 10) 建設省国土地理院:数値地図ユーザーズガイド,(財)日本地図センター, pp281-283, 1998.
- 11) 高橋裕:河川工学,東京大学出版会,4, 1990.
- 12) n 次流域の流域内に生じる $n-1$ 次流域に区分されない領域については、山本ら同様に、独立した $n-1$ 次流域として扱った。:山本勝利・加藤好武・大久保悟:環境保全機能評価の総合評価のためのランドスケープ単位,農業環境技術研究所 資源・生態管理研究収録第16号, pp105-112, 2000.
- 13) 国土地理院:1:25,000 土地条件図 横浜、原町田、東京西南部, 1970.
- 14) 横浜市環境保全局:横浜の川と海の生物(第9報・河川編), pp59-61, 2001.
- 15) 横浜市環境科学研究所:エコシティーに関する研究,平成9年度報告書,35, 1996.
- 16) 横浜市環境科学研究所エコシティー研究室:横浜型エコシティー報告書花鳥風月のまちづくり, pp81-82, 2002.
- 17) 例えば:農林水産技術会議事務局:「農林水産業のもつ国土資源と環境保全およびその維持促進に関する総合研究」等, 1990.
- 18) Newson, Malcom: Land, Water and development, River basin systems and their sustainable management, Routledge National Environment, London and New York, pp53-64, 1992.

- 19) 玉井信行:河川環境計画－潜在自然概念の展開,東京大学出版会,260-272, 2004.
- 20) 例えば:塚本良則編: 森林水文学, 文永堂出版 pp319, 1992.
- 21) 菅原正巳:流出解析法,共立出版, pp254, 1973.
- 22) 吉野文雄・吉谷純一・堀内輝亮:分布型流出モデルの開発と実流域への適用,土木技術資料,32(10), pp54-59, 1990.

(5) 小流域を単位とした緑地環境分析

1) 研究の概要

a) 目的

本研究は、岐阜県各務原市を事例に、丘陵地における自然共生型の都市再生を展開するための分析・計画手法の検討を行った。

横浜市等において展開している小流域を基本単位とする地域分析手法について、広く応用可能なものとするため、各務原市を対象として、現行の緑の基本計画のアクションプログラムの検討を念頭においた、小流域設定、評価・分析を行い、手法の妥当性に関して検証するものである。

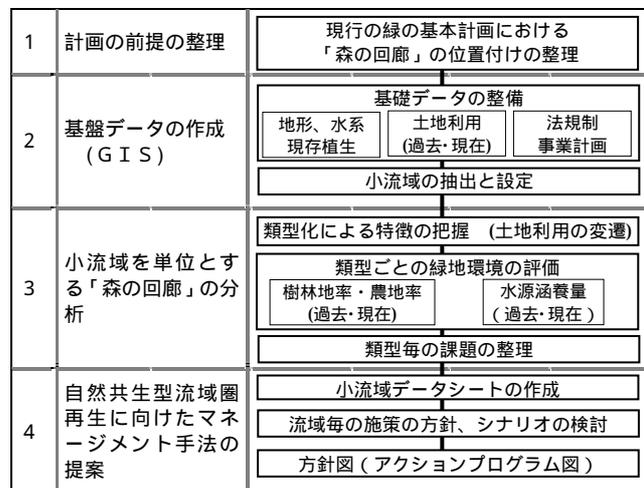


図- 3.1.2.42 研究の流れ

b) 対象地

各務原市は、市域面積が 79.75km²、濃尾平野北部にあって岐阜市に隣接し、名古屋市から 30km 圏の地方都市である。各務原台地、境川低位台地の平坦地が広がり、北部一帯に連なる美濃山地と南部県境を西流する木曽川は、骨格的な緑として豊かな自然環境を形成している。

各務原市の総合計画では、この骨格的な自然環境を「緑の回廊」として位置づけ、水と緑のネットワークの強化を図ることでより豊かな自然と共生した「公園都市」の創出を目指している。都市緑地保全法に基づく市町村の緑地の保全及び緑化の推進に関する基本計画である『水と緑の回廊計画』では、これを受け、「3つの回廊と7つの拠点」として位置付けている。

本研究は、水と緑の回廊計画において「森の回廊」に位置付けられる、北部丘陵部を対象とする。

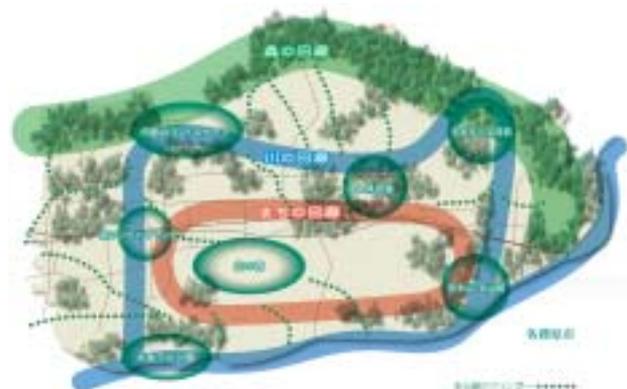


図- 3.1.2.43 緑の将来像 (3つの回廊と7つの拠点)

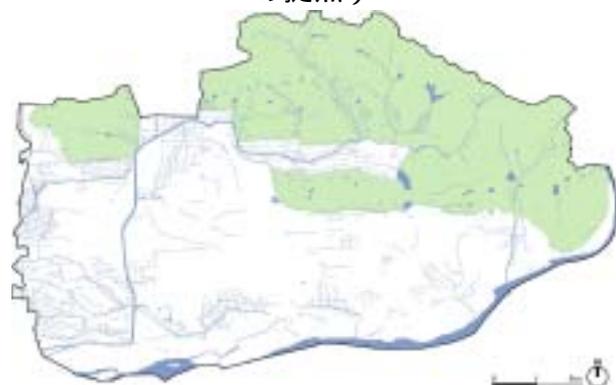


図- 3.1.2.44 対象地 (森の回廊)

各務原市の飲料水の供給源は地下水であることから、北部の山林、新境川周辺等の田園地帯など、まとまりのある緑地の保全是、水源涵養機能の保持の意味で重要な課題である。しかしながら、現状では、無秩序な土地利用の進行や森林の管理不足などが進み、環境の劣化が問題となっている。自然共生型の都市再生の展開を、小流域に基づき、水循環の回復を軸として検討する対象として、適していると考えられる。

2) データの整備

a) 小流域抽出

横浜市の手法を応用し、分析・評価の基本単位となる小流域の抽出を行った。横浜市を対象とした小流域の抽出と同じく、国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ(標高)のデータを使用した。また、非集水の除外については、国土数値情報の集水域・非集水域、各務原市公共下水道計画、都市計画基礎調査土地利用現況図を参考として使用した。

小流域の抽出において Hydrology Modeling を用い、数値地図の標高データに基づく集水域の自動抽出を行った。

北部の丘陵地では、谷筋、尾根筋をよく認識でき、集水域の抽出は容易である。横浜や鎌倉に比較すると、谷が細かく入組むことがないため、比較的単調で大きな谷が形成されていることがわかる。小流域の基準を谷地形の規模と同等として、抽出の基準を検討したところ、閾値 25ha で抽出した集水域が適切な規模・形状となった。

一方、木曾川、新境川、境川沿いの沖積平野、市中央部の台地では、Hydrology Modeling で平坦面を扱うのに適さないことに加え、現状の水路網が、放水路や排水路など人工的に開削され、微地形と整合ない区間が多いことから、地形モデルからの集水域の抽出が困難である。これらの地域は非集水域として扱った。

非集水域は、国土数値情報の「集水域・非集水域」を参考に設定した。Hydrology Modeling により抽出された小流域が、非集水域を含む場合、国土数値情報「集水域・非集水域」の非集水域界に一番近い雨水幹線、または主要な道路などで流域界を手動で修正した。また、

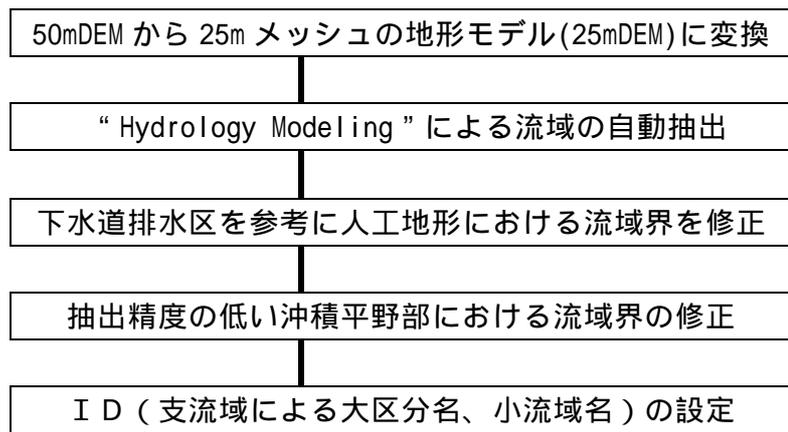


図- 3.1.2.45 小流域の抽出の流れ

表- 3.1.2.14 小流域抽出における使用データ・資料

データ・資料名	発行
数値地図 50mメッシュ(標高)	国土地理院
国土数値情報 集水域・非集水域	国土地理院
各務原市公共下水道計画図	各務原市
都市計画基礎調査土地利用現況図	各務原市

大規模な人工改変地についても、抽出された集水域と実際の流域界に大きな差異がみられたことから、公共下水道計画図における排水区域の境界を参考に修正を行った。

抽出された小流域の数は54、平均面積は55.5haであった。

作成した小流域図に、地域や河川等の名称を参考に、小流域名とID番号を付し、Horton-Strahleの水流次式を利用した流域区分により、小流域を1次流域と位置づけたときの2次流域区分を上位スケールの単位流域とした(以下大区分)。これにより、11の大区分が設定された。

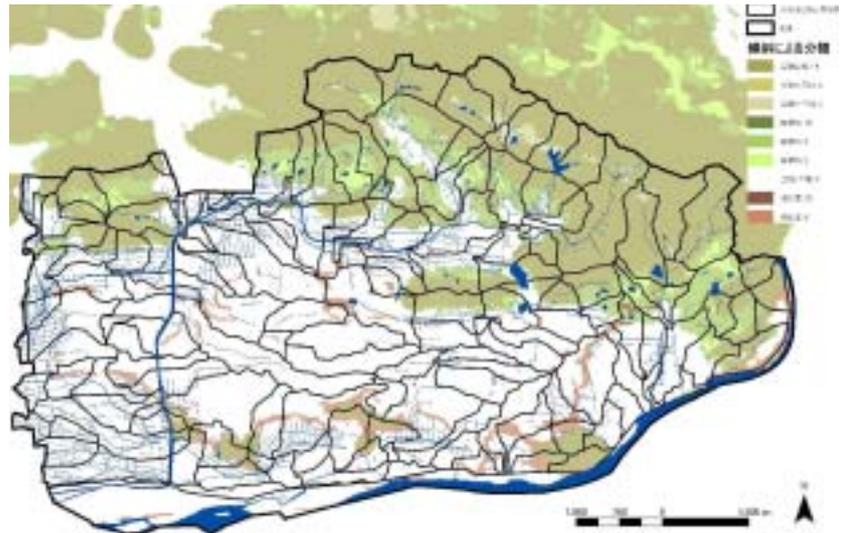


図- 3.1.2.46 Arc GIS を利用した小流域の自動生成

作成した小流域図に、地域や河川等の名称を参考に、小流域名とID番号を付し、Horton-Strahleの水流次式を利用した流域区分により、小流域を1次流域と位置づけたときの2次流域区分を上位スケールの単位流域とした(以下大区分)。これにより、11の大区分が設定された。



図- 3.1.2.47 基本単位として抽出された小流域

b) 基盤データの整備

i) 現存植生

現存植生図は過去の植生調査報告および市所有のカラー空中写真（平成 8 年 9 月撮影）から予察図を作成し、現地調査（2003 年 8 月実施）により完成させた。空中写真を用いる場合は周縁部での歪みが指摘されるため、写真上の用地輪郭を GIS データ化済の都市基礎調査土地利用現況図（各務原市都市建設部発行）の用地輪郭に PC 画面上で適宜重ね合わせる事で歪みの影響を抑えるよう努めた。また、最小区分単位については、1/10,000 地図における肉眼での判読限界（概ね 1mm 四方）を考慮し、特に重要と考えられる植生区分は 10m 四方程度、その他は 20m 四方程度とした。

新境川沿いの耕作地を挟み北部一帯には里山が東西に伸びている。対象地である北部丘陵地域の植生は、市の木に指定されているアカマツが尾根筋、谷筋が雑木林となっている。アカマツは痩せ地に適した植物であることから土壌の薄い尾根部分分布し、谷筋には腐植土が堆積することから雑木林が分布する。昭和 30 年代の前半頃までは、アカマツ林はエネルギーの素として市民生活と深く関わってきた。近年は、この関わりがなくなり、手入れされなくなったことに、松枯れの被害の拡大が加わり、次第に分布域を狭めている。

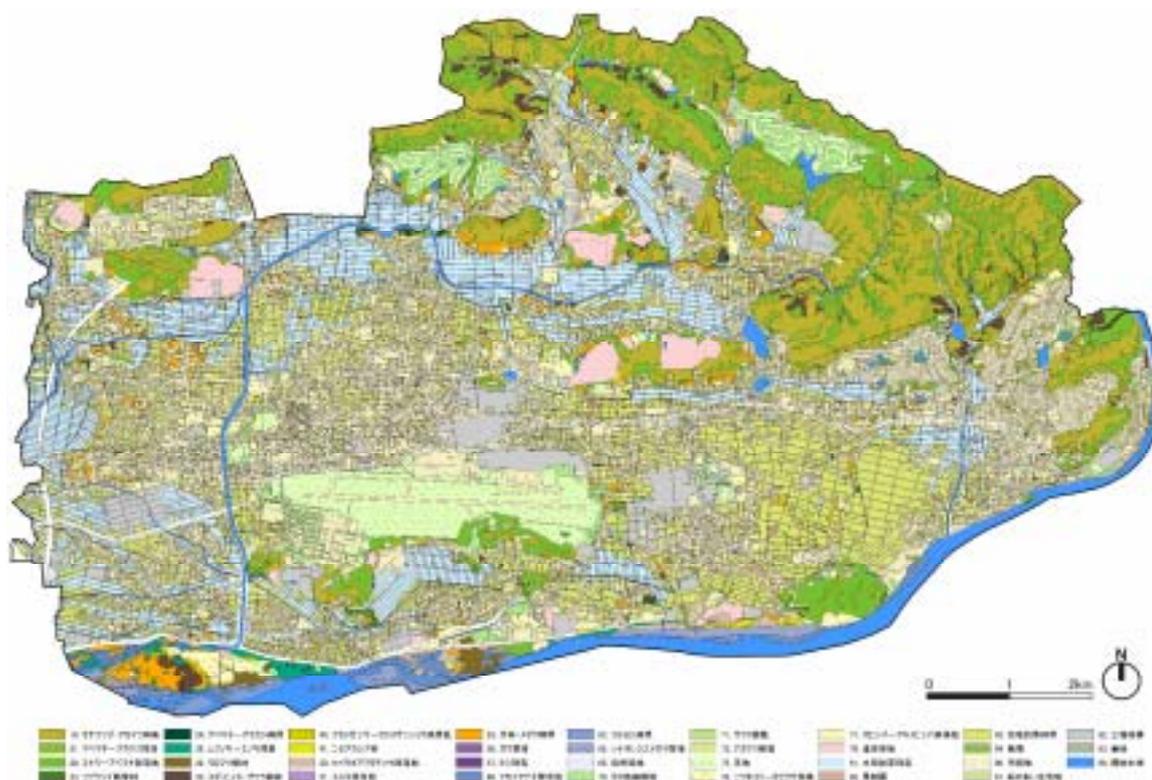


図- 3.1.2.48 各務原市現存植生図

ii) 経年的土地利用データ

各地域の特性を把握するため、過去から現代にかけての土地利用の変遷を把握した。1920 年（大正 9 年）、1970 年（昭和 45 年）の土地利用は、古地図をパソコン上でトレースし、GIS データとして作成している。凡例は地図に記載される地図記号をもとに区分した。2000 年（平成 12 年）の土地利用は、現存植生図をもとに用いた。

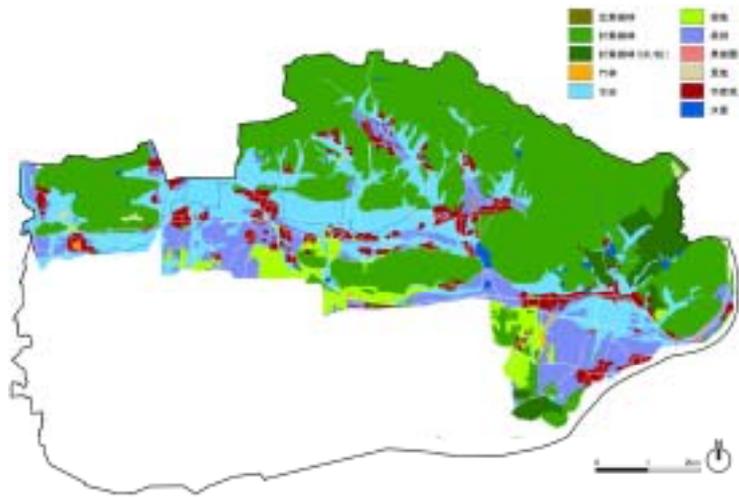


図- 3.1.2.49 1920(大正 9 年)土地利用図

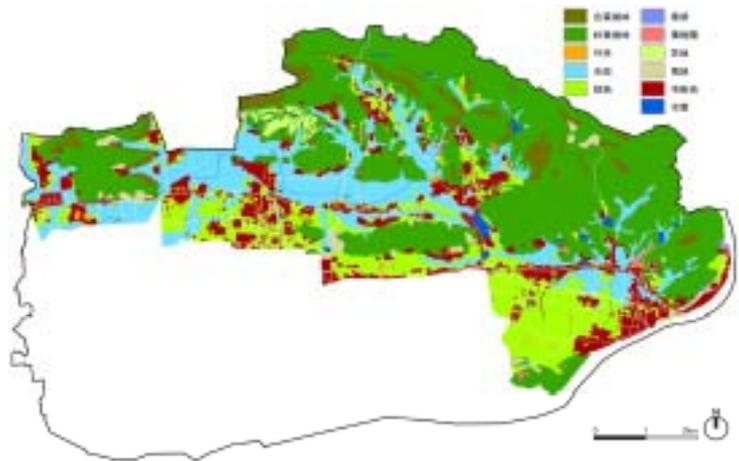


図- 3.1.2.50 1970 年(昭和 45 年)土地利用図

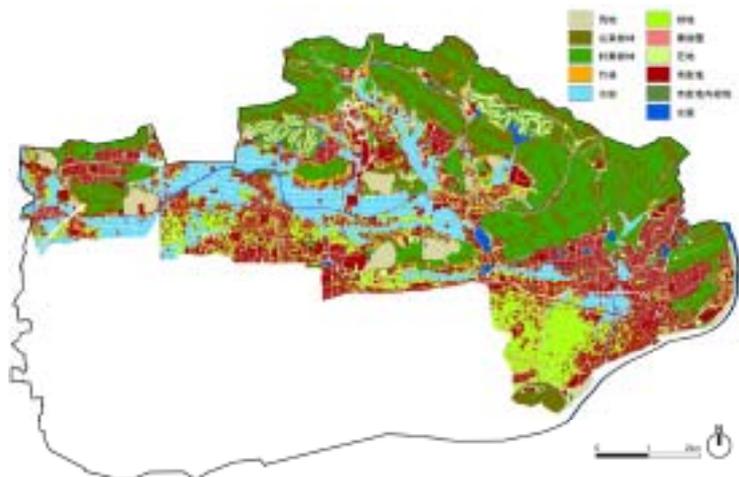


図- 3.1.2.51 2000 年 平成 12 年土地利用図

3) 小流域を単位とする「森の回廊」の評価・分析

a) 土地利用の変遷に基づく小流域の類型化

1920年、1970年、2000年における土地利用の分析に基づき、基本的な環境構成とその変遷から小流域の客観的な分類を行う。分類の手法としては、3時期の樹林地率と農地率の6変数によるクラスター分析を行った。この分析にはSPSS 12を使用し、平方ユークリッド距離によるward法を採用した。

分析により対象地の小流域は6つに類型化された。

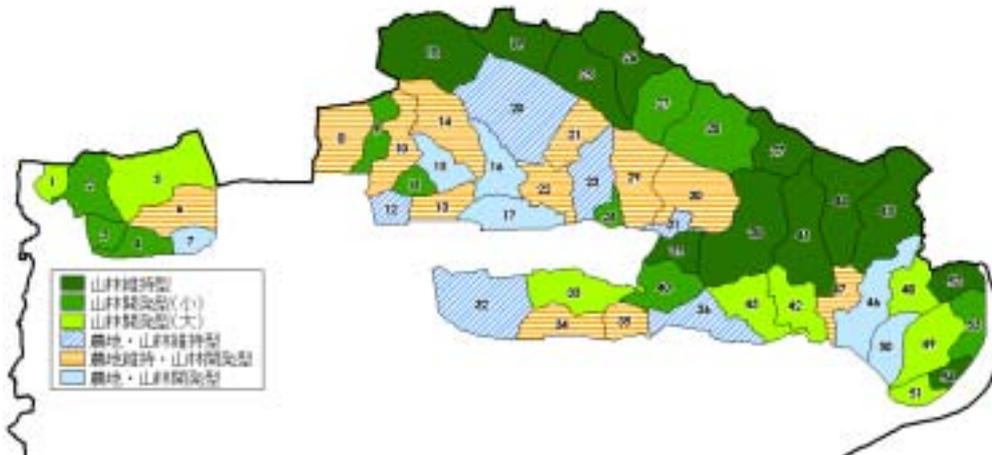


図- 3.1.2.52 3 時期の土地利用による小流域の分類

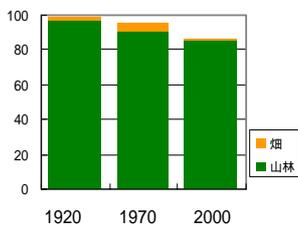


図- 3.1.2.53 山林維持型

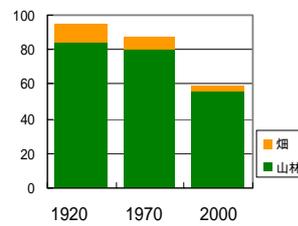


図- 3.1.2.54 山林開発(小)型

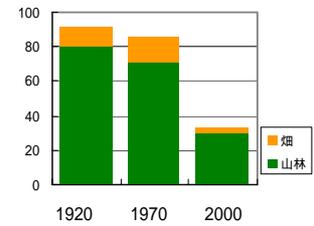


図- 3.1.2.55 山林開発(大)型

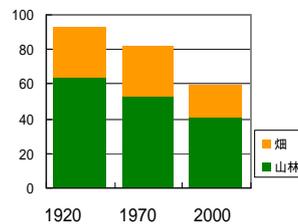


図- 3.1.2.56 農地・山林維持型

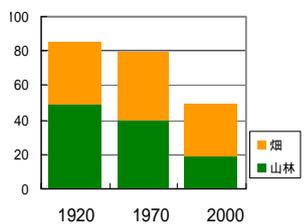


図- 3.1.2.57 農地開発型・山林開発型

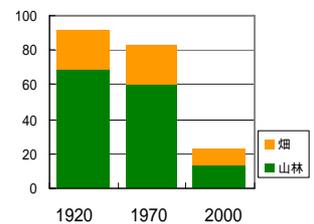


図- 3.1.2.58 農地・山林開発型

表- 3.1.2.15 小流域の環境類型

類型	小流域数	特徴
山林維持型	12	山林の環境が維持されてきた小流域
山林開発（小）型	10	山林環境が若干開発された小流域で、ゴルフ場による開発を含む
山林開発（大）型	8	大規模な宅地開発によって山林環境が大きく改変された小流域
農地・山林維持型	12	農地が比較的維持され、山林が若干開発された小流域
農地維持・山林開発型	6	農地が比較的維持され、山林が大きく開発された小流域
農地・山林開発型	6	農地・山林とも開発によって大きく減少した小流域

b) 水源涵養機能による評価

i) 水源涵養率の算出手法

小流域の評価指標として、水循環の視点を用いた。水道水の供給源をすべて地下水でまかなう、各務原市の緑地環境マネジメントにおいて、流域の水循環の維持・回復は重要性の高い項目である。また、ライフラインとして、日常生活に直結する事象であるため、市民への説明性も高い指標といえる。

各務原市では、この指標を水源涵養率とし、年間降雨量に占める雨水浸透量の割合として求めた。雨水浸透量の算出手法については、横浜で用いた手法を採用した。

降水の観測データの年については、土地利用現況の作成年である 2000 年の降雨が、過去 10 年の降雨状況と比べても平均的な値であったことから、これを採用した。

ii) 類型毎の水源涵養率とその変化

全体的に見ると、まず、1920 年から 1970 年にかけては、桑畑から水田へ農業の内容が変化したこと、細かな谷までに水田利用が行き渡ったことから、水田の面積が増加し、水源涵率も若干増加している。一方、市街地により近い箇所では、涵養率が減少を始めている。2000 年にかけては、市街地の後背地となる谷の源流部については、影響が少ないものの、全体的に機能が低下していることが読み取れる。

類型ごとにとみると、それぞれの小流域の水源涵養率に関して、1970 年までは、類型間での大きな差異や変化は見られない。大きな変化は、1970 年から 2000 年までの 30 年間で起こっている。特に、大規模な宅地開発や土砂採掘、宅地化の進行が行われた、山林開発（大）型、農地・山林開発型などでは、半分以下に低下している。また、現況で農地率の高い農地維持・山林開発型や農地・山林開発型の小流域についても、3 割近い涵養率の減少が見られる。蚕食的な市街化による、水田、畑地の減少や市街化の進行が水の循環に徐々に影響を与えていると捉えられる。

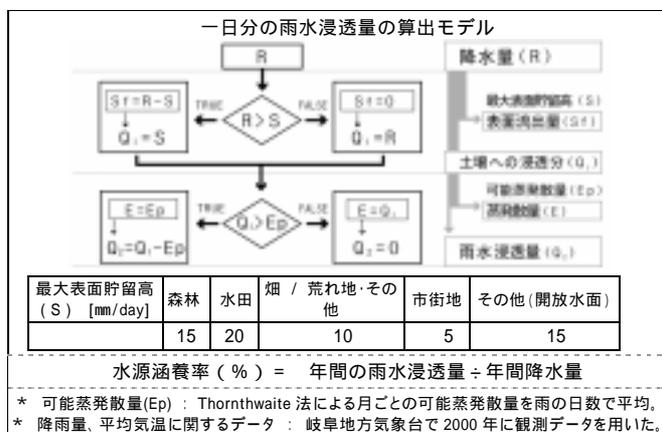


図- 3.1.2.59 水源涵養機能の算出手法

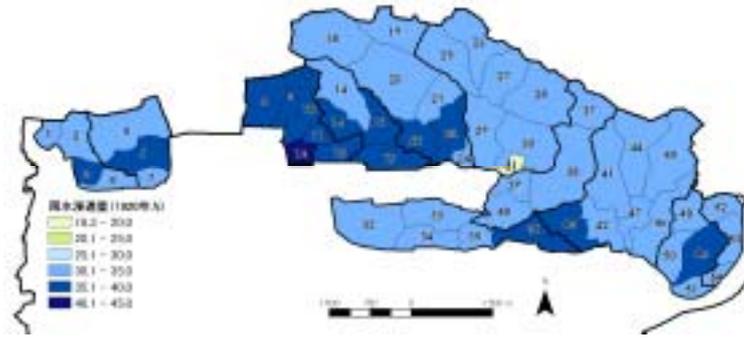


図- 3.1.2.60 1920年の年間水源涵養率

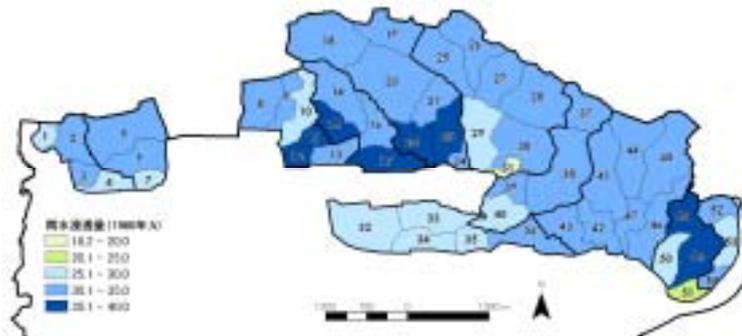


図- 3.1.2.61 1970年の年間水源涵養率

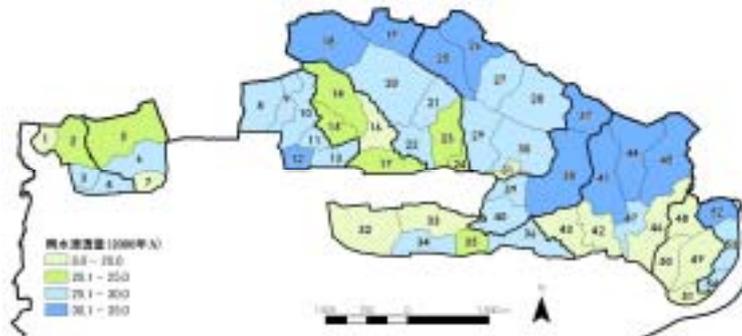


図- 3.1.2.62 2000年の年間水源涵養率

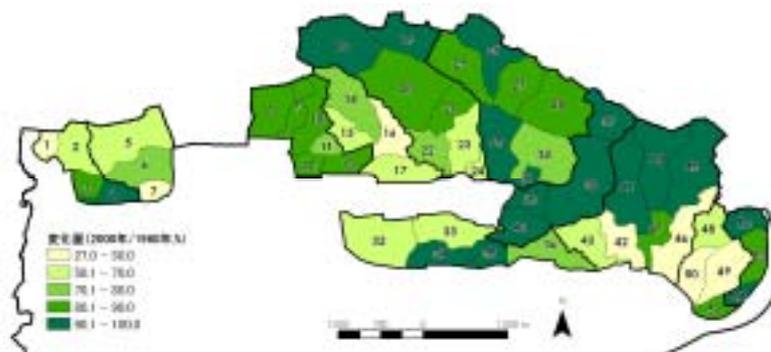


図- 3.1.2.63 水源涵養率の変化の割合 (2000年 / 1920年)

表- 3.1.2.16 小流域類型毎の水源涵養率の変遷 (%)

	1920	1970	2000
山林維持型	34.1	33.3	31.4
山林開発(小)型	34.2	32.1	26.1
山林開発(大)型	33.3	31.2	17.0
農地維持型	34.4	31.2	25.9
農地維持・山林開発型	32.8	30.2	22.6
農地・山林開発型	34.4	32.3	14.9
全体	34.0	31.8	24.3
水源涵養率(%) = 雨水浸透量/年間降雨量(1650.5 mm/y)			

表- 3.1.2.17 小流域類型毎の雨水浸透量の変遷(mm/y)

	1920	1970	2000
山林維持型	563.0	549.2	518.7
山林開発(小)型	564.2	529.4	430.7
山林開発(大)型	549.2	515.3	281.4
農地維持型	568.1	514.6	427.0
農地維持・山林開発型	542.0	498.5	373.7
農地・山林開発型	567.2	533.8	246.2
全体	560.4	525.5	400.5

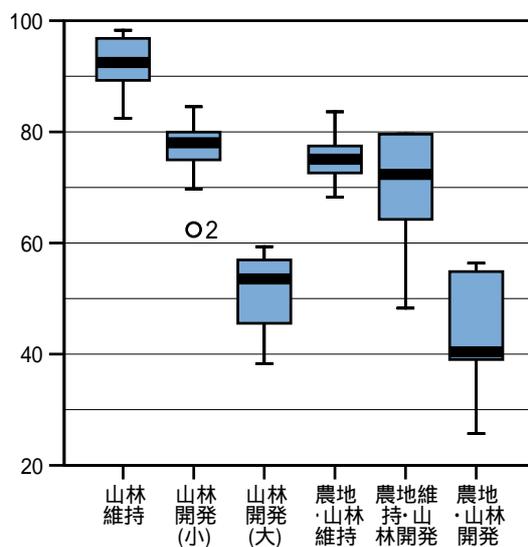


図- 3.1.2.64 類型ごとの水源涵養率の変化の割合(2000年/1920年)

c) 緑地保全に関する法規制・諸事業

対象地の緑地保全に関する法規制と、諸事業について、小流域ごとにまとめた。

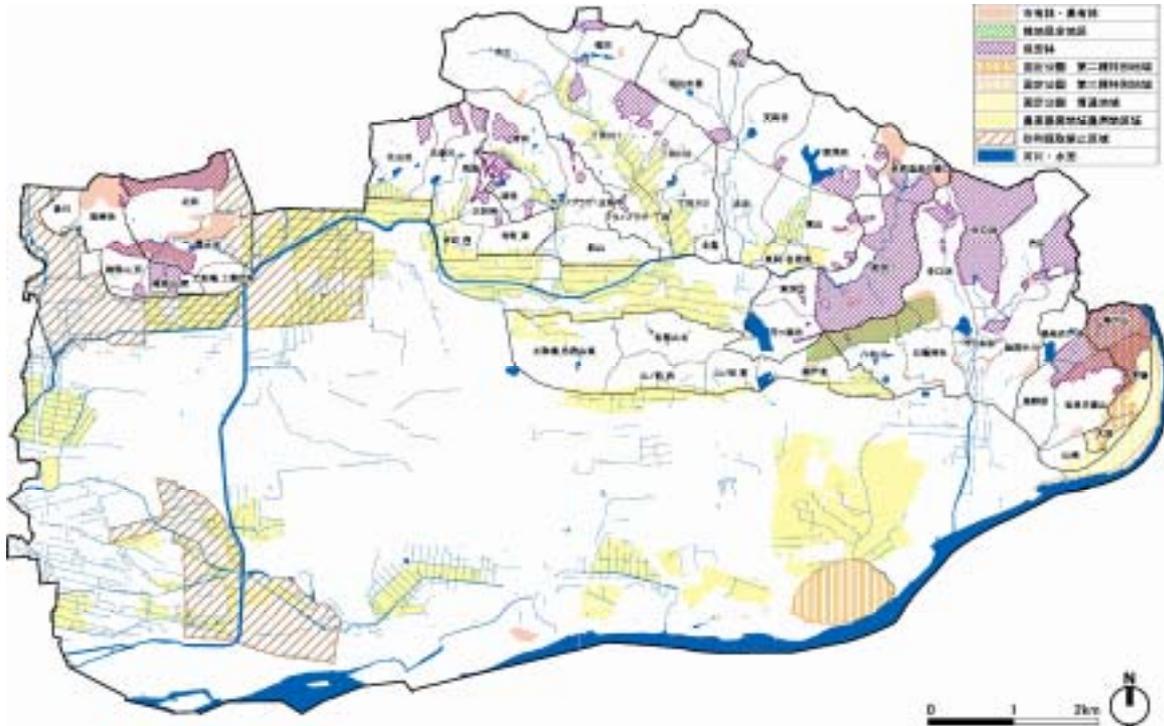


図- 3.1.2.65 法規制図

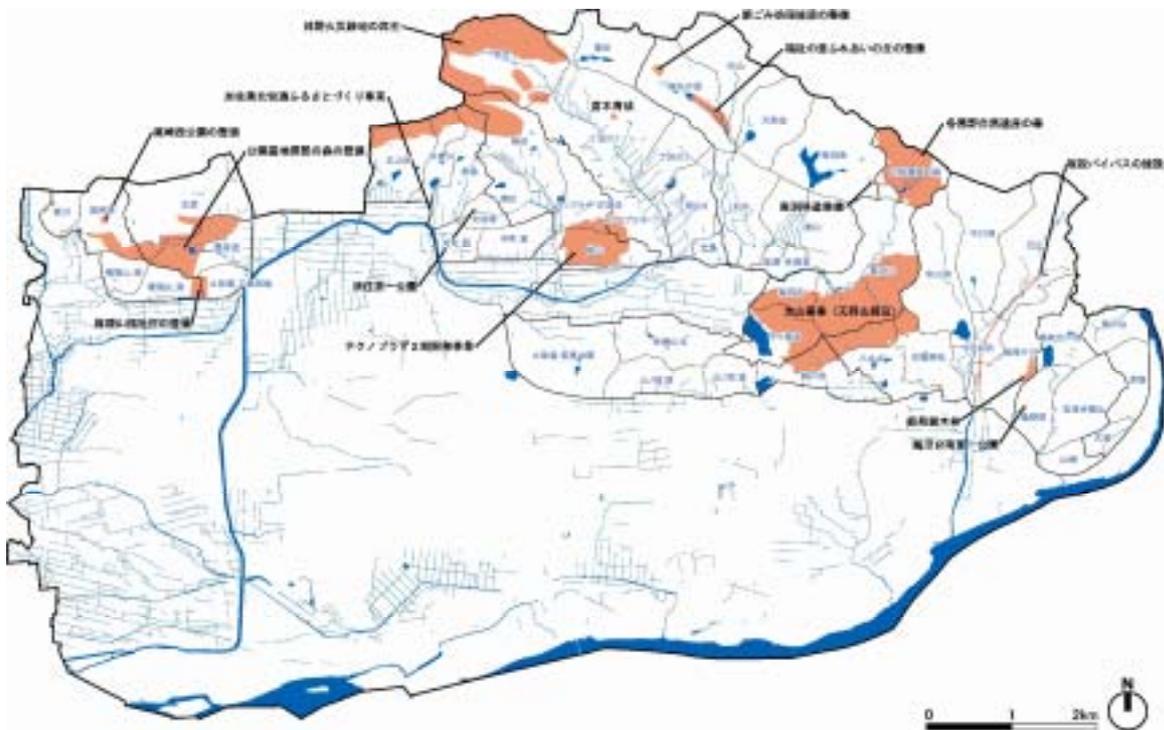


図- 3.1.2.66 事業分布図

4) 緑地環境のマネージメント方針の検討

a) 小流域の類型毎の緑地環境の特徴と主要な課題

小流域類型毎の主要な課題は次のようにまとめられる。

表- 3.1.2.18 小流域の類型毎の緑地環境の特徴と主要な課題

類型	特徴	課題
山林維持型 小流域数:12	<ul style="list-style-type: none"> ・各務原市における骨格的緑地軸を成し、環境保全や景観形成等の機能面から市民生活を支える重量な緑である。 ・良好な自然が分布するとともに、東海自然歩道や各務原パークウェイのルートがあり、自然公園的な役割を持っている。 ・河川源流部林間のため池が多く分布する。 ・東海丘陵要素の貴重な植物種が分布する。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 松枯れ病の被害や管理放棄に伴う樹林地荒廃への対策。 (2) 自然環境の保全、人工改変地の修景、周囲の環境に悪影響があると考えられる施設等の改善と自然景観の保全・回復
大規模な開発が無く、山林の環境がほぼ維持されてきた小流域		
山林開発（小）型 小流域数:8	<ul style="list-style-type: none"> ・やや改変が加えられているものの、各務原市における骨格的緑地軸を成し、環境保全や景観形成等の機能面から市民生活を支える重量な緑である。 ・良好な田園風景や地域の歴史文化的景観が分布している 	<ul style="list-style-type: none"> (3) 松枯れ病の被害や管理放棄に伴う樹林地荒廃への対策。 (4) 田園風景や歴史文化的資源の保全、市街地における緑化や集落景観の保全。
集落や市街地の拡大、ゴルフ場の建設により、山林が開発された小流域		
山林開発（大）型 小流域数:8	<ul style="list-style-type: none"> ・開発区域以外にまとまった緑が残されており、身近な緑として重要である。 ・開発事業で残された斜面緑地や造成による斜面緑化地が、身近な樹林地として分布している。 ・ため池は、市街化の過程で公園などとして整備されている。 	<ul style="list-style-type: none"> (5) 松枯れ病の被害や管理放棄に伴う樹林地荒廃への対策。 (6) 市街地における、公共施設の緑化、民有地の緑化の推進。 (7) 開発における人工改変地や土採り跡地において、自然の再生。
宅地開発等により、山林が大規模に開発された小流域		
農地維持型 小流域数:12	<ul style="list-style-type: none"> ・郷土の良好な田園景観が形成され、地下水涵養の要である水田が広く分布している。 ・宅地開発や土砂採取事業による地形改変が見られるが、まとまりのある緑も残されている。 	<ul style="list-style-type: none"> (8) 古くからの集落が拡大傾向にあることから、集落景観の保全や民有地緑化が必要。
集落や市街地の拡大の過程で、農地が若干減少し、山林が開発された小流域		
農地維持・山林開発型 小流域数:6	<ul style="list-style-type: none"> ・郷土の良好な田園景観が形成され、地下水涵養の要である水田が広く分布している。 ・開発区域以外に残されたまとまった緑は、身近な緑として重要となっている。 ・開発事業において残された斜面緑地や造成による斜面緑化地が、身近な樹林地として分布している。 	<ul style="list-style-type: none"> (9) 松枯れ病の被害や管理放棄に伴う樹林地荒廃への対策。 (10) 開発における人工改変地、土採り跡地での自然の再生。 (11) ため池や河川での自然の再生。 (12) 市街地における、公共施設の緑化、民有地の緑化の推進。
集落や市街地の拡大の過程で、農地が若干減少し、山林が大きく開発された小流域		
農地・山林開発型 小流域数:6	<ul style="list-style-type: none"> ・開発区域以外に残されたまとまった緑は、身近な緑として重要となっている。 ・開発事業で残された斜面緑地や造成による斜面緑化地が、身近な樹林地として分布している。 	<ul style="list-style-type: none"> (13) 松枯れ病の被害や管理放棄に伴う樹林地荒廃への対策。 (14) 開発における人工改変地、土採り跡地での自然の再生。 (15) ため池や河川での自然の再生。 (16) 市街地における、公共施設の緑化、民有地の緑化の推進。
大規模な宅地開発や土砂採取事業により、山林・農地共に大幅に開発された小流域		

b) データシートの作成

小流域における課題整理と方針の設定を行うため、データシートを作成した。

表- 3.1.2.19 データシートの構成

小流域ID	小流域名	土地利用の変遷	位置図
支流域名			
地形タイプ			
環境タイプ			
小流域面積			
水源涵養量(2000年/1920年)		昭和45年土地利用図	平成12年土地利用図
大正9年土地利用図		現行法規制・事業	
現存植生図		方針	
方針図			

表- 3.1.2.20 小流域データシート(山林開発型(大) 尾崎北)

小流域ID	No.5 尾崎北	土地利用の変遷				位置図
支流域	那加北洞	0% 20% 40% 60% 80% 100%				
地形タイプ	谷					
環境タイプ	山林開発型(大)					
小流域面積	104.30ha					
水源	1920 560.3 mm/y (33.9%)					
涵養量	2000 332.5 mm/y (20.1%)					
大正9年(1920年)		昭和45年(1970年)		平成12年(2000年)		
現存植生図			現行法規制・事業			
		<p>三峰山南麓、権現山には主にアカマツやアベマキの林が分布。</p> <p>尾崎団地の開発により、北洞の谷戸構造は破壊され、埋立てによる市街地が形成。造成法面にはアカマツなどの植栽が施される。</p>		<p>三峰山は市有林が分布し保安林の指定。</p> <p>権現山北麓はほぼ市有林であり、市営墓地の公園化に伴い都市公園化が進められる。</p> <p>低地には地下水保全のための土砂採取禁止区域が設けられる。</p>		
方針						
		<ul style="list-style-type: none"> 三峰山南麓は、北部丘陵の景観形成上重要な緑地であるため、風致地区の指定を図る。 市営墓地に隣接する市有林は、都市公園区域に指定し、既存の緑地の保全を図る。 造成法面の樹木の育成、街路樹の整備、民有地緑化により市街地の緑の回復を図る。 地下水保全のため、土砂の採取を禁止する。 里山ボランティアグループ「尾崎林政会」等の市民ボランティアと連携し、里山の保全を推進する。 				

表- 3.1.2.21 小流域データシート（農地維持・山地開発型 妙喜寺）

小流域 ID	No.20 妙喜寺	土地利用の変遷		位置図	
支流域	丁田川				
地形タイプ	両尾根				
環境タイプ	農地・山林維持型				
小流域面積	144.87ha				
水源 涵養量	1920	536.2 mm/y (32.5%)			
	2000	426.8 mm/y (25.9%)			
大正 9 年(1920 年)		昭和 45 年(1970 年)		平成 12 年(2000 年)	
現存植生図			現行法規制・事業		
		<p>稲田山南麓はアカマツやアベマキなどが優占する植生である。麓にはスギ植林地や竹林が分布する。</p> <p>沖積低地では、丁田川右岸に水田、左岸に畑地が分布する。</p>			
		<p>稲田山南麓の一部に保安林が指定。</p> <p>田川に沿って農地に農業振興地域農用地区域が指定。</p> <p>園緑化樹用の苗圃</p>			
方針					
		<ul style="list-style-type: none"> ・稲田山一帯は、本市における骨格的な緑であり、環境保全・景観形成等の機能から重要な緑地であるため、風致地区の指定を図る。 ・丁田川の中流部で、良好な田園景観を形成している。景観形成や水源涵養の視点から、農振農用地の指定継続を図る。 ・集落にのこる社寺林や屋敷林は、地域景観を形成する緑として重要であり、保全を図る。市民緑地（宝善寺、神明神社など） ・市街地では、公園リニューアル（蘇原東山ニュータウン）の推進と共に、街路樹の整備、民有地緑化を推進する。 			

表- 3.1.2.22 小流域データシート（山林維持型 大安寺川）

小流域 ID	No.45 東洞	土地利用の変遷		位置図	
支流域	大安寺川				
地形タイプ	谷				
環境タイプ	山林維持型				
小流域面積	104.75ha				
水源涵養量	1920	562.0mm/y (34.0%)			
	2000	528.2mm/y (32.0%)			
大正9年(1920年)		昭和45年(1970年)		平成12年(2000年)	
現存植生図			現行法規制・事業		
		<p>山林はアカマツ、アベマキが優占する植生である。 砂防ダムの上流部に湿地が形成されている。 下流の谷底面は水田が分布している。</p>		<p>大安寺川上流部左岸の山林に保安林が指定。 大安寺川に沿って坂祝バイパスのおお整備が進行中。</p>	
方針					
		<ul style="list-style-type: none"> ・金山から金比羅山の一带は、本市における骨格的な緑であり、環境保全・景観形成等の機能から重要な緑地であるため、風致地区の指定を図る。 ・市街化の過程で残された斜面林などは、小規模ながらも身近な緑として市民緑地の指定等により保全を図る。(緑苑団地の残存緑地) ・坂祝バイパスの建設では、大安寺川上流部の自然環境が破壊されることから、影響の軽減、生態的価値の代替措置など積極的なミティゲーションの実施を推進する。 ・緑苑環境共生検討地区では、緑豊かな市街地形成を推進する。 			

(6) まとめ

小流域に関連する研究は、横浜市、鎌倉市、各務原市を対象に行った。これらの対象地では、地形などの環境条件や GIS 分析を行う上での基礎的データとなるコモンデータベースの整備状況がそれぞれ異なる。それぞれの条件下における小流域図作成の成果と限界を整理し、流域圏プランニングにおける、基本単位の設定の手法について考察した。

1) 小流域の流域界の設定に関する比較

a) 横浜市

横浜市における小流域抽出では、多くの自治体における調査・計画への展開をふまえ、全国を網羅している国土地理院発行の数値地図 50m メッシュ(標高)を用いた手法の開発を行った。

小流域を抽出した結果、平均で約 17.6ha の小流域を抽出することができ、都市計画レベル(1:5,000 ~ 1:10,000)の分析に対応できる小流域が抽出可能であることが明らかとなった。

b) 鎌倉市

鎌倉市では、都市計画基礎調査で整備された縮尺 1:2,500 の等高線データを用いることで、5mDEM の詳細な標高データを得ることが出来た。詳細な標高データを用いることで、鎌倉市の丘陵部の特色である細かく入り組んだ谷を反映し、平均で 4ha 程度の小流域を抽出することが出来た。これにより、植生やビオトープ・マップ、エコトーンマップ、生物情報といった、生態的な視点での詳細な分析に対応できる小流域(1:1,000 ~ 1:2,500)の抽出が可能であった。

c) 各務原市

各務原市における小流域の抽出では、横浜市における小流域の抽出と同じく 50mDEM を用いた。抽出方法も、横浜市での手法とほぼ同様である。小流域界の設定の目的を、自然の水循環の回復の視点を取り込んだ、緑地マネジメントの基本単位の設定とし、この目的に即した対象地として、丘陵地域での小流域の設定を行った。分水嶺を境界に、流域をひとつの単位と捉える、かつての地域概念に対応した小流域の枠組みの提示を目標として、地元住民が“東洞”“中口洞”などと呼ぶ谷を抽出した。小流域の平均面積は約 55.5ha であった。これは、比較的単純な谷が形成される、各務原市の地形特性が反映されたものである。緑地保全計画の分析や立案に対応できるスケールであると考えられる。

2) 流域界設定手法に関するまとめ

本研究では、コモンデータを用いながら、対象地での流域図作成の目的と地形的な特徴を考慮し、再現可能な手法を用いた流域界の設定を検討し、一定の知見を得た。

まず、Hydrology modeling を用いた集水域の抽出手法では、自然地形が比較的残された丘陵部に関して、容易に小流域を抽出することができる。しかし、沖積平野、氾濫源、台地などの起伏の少ない地域に関しては、抽出の精度が低く、流域界として不適な形状となることが多い。また、大規模な開発により分水界が改変された地域においても、細かな流

域界の設定では、データ上の微地形が反映され、実際とは異なる流域界が抽出されることがわかった。

これらのことから、本研究では、丘陵部における抽出精度を確保することを優先し、不確実性の高い沖積平野や大規模な造成面については、一定のルールに基づいて、非集水域として小流域の抽出範囲より除外した。また、抽出された流域界が実際と異なることが明白な場合には、下水道の排水区域などを参考に補正を加え、流域図を作成している。

本研究では、非集水域として除いた、沖積平野や大規模な造成面に関して、流域圏プランニングの中での位置付けについて、十分な検討がなされていない。しかしながら、横浜の研究で示したように、小流域とその上位の単位流域とを、同じ平常時流量ポテンシャルに指標によって評価することで、2つのスケールの緑地環境の組み合わせによる、緑地環境の保全、回復の方針の検討を可能としている。これは、非集水域と小流域とを一体的に分析する枠組みに発展しうるといえる。

また、最近では、航空レーザースカナ計測による、都市圏の詳細な数値標高モデルデータ（数値地図 5m メッシュ(標高)）が刊行され始めており、刊行範囲が限られているものの、新たなコモンデータを用いた小流域抽出手法についても、今後の検討課題である。

3) 流域環境評価手法に関するまとめ

小流域における緑地環境の評価について、量、質、水循環システム、施策などの指標の導入を行い、評価モデルの作成を行った。なかでも、生物多様性評価は、今後の都市環境回復に向けた重要な要因であるため、鎌倉市を対象とし、都市環境計画の制度に対応するピオトープマップの作成を行い、生物多様性モデルの作成を行った。しかし、この評価は、生物関連の調査データが存在することが前提であるため、多くの自治体では、ほとんどデータが整備されていないのが現状であり、今後の大きな課題である。

水循環については、横浜市を対象とし、雨水浸透機能を指標とする流域環境の評価モデルの作成を行った。手法としては、簡易タンクモデルを応用した「雨水浸透評価モデル」の作成を行い、平常時流量ポテンシャルを算出した。この平常時流量ポテンシャルを、時間軸の導入により（1955年と1997年の比較）、変化率をもとめ、小流域の類型化を行った。

小流域を基礎とする都市環境計画の具体的展開については、鎌倉市神戸川流域を対象として研究を行った。時間軸（1954年、2000年）の導入により、緑地の質と量の変化をGISを用いて明らかにし、類型化を行い、ピオトープマップを活用することにより、具体的環境再生のための流域環境評価手法とその道筋を明らかにした。総じて、本項では、これまで、広域圏を中心とする研究が主体であった流域圏プランニングを、身近な都市環境計画と連動させていくための、方法論と具体的な適用の事例を示し、今後の展開の可能性の提示を行うことができた。

3.2 流域圏・都市管理モデルの構築

3.2.1 流域圏を対象とした水物質循環モデル

(1) 水物質循環とは

ここで、水物質循環とは、地表における巨視的な水移動のシステムを意味する「水循環」と、この水循環に伴って運ばれる物質の流れのシステムを意味する「物質循環」を合わせたものである。

水循環は、降雨、貯留（窪地、湿地、湖沼等）、表面流出（河川等）、地下浸透（地下水の流れ等）、蒸発散といった自然系の水の循環と人工的に構築された上水道（河川からの導水、地下水の汲み上げ等）や下水道による雨水排水、污水排水といった人工系の水の循環から構成されている。例えば、自然系と人工系の水循環系をそれぞれ模式化すると図-3.2.1.1、図-3.2.1.2のようになり、水が存在形態と存在場所を変えながら循環していることが分かる。また、この水循環に伴う汚濁負荷等の物質移動は、取水・排水等の人為的な現象と希釈、拡散、移流、沈殿、吸着・脱着、溶解・分解、浸透、掃流、生物による取り込み・排泄等の自然現象から構成されており、物質の移動過程で生物化学的な変化も生じている。

この水物質循環は、河川、湖沼等における水質、水量の問題を考えるに当たっての最も基本的かつ普遍的な工学的システムと言える。



図- 3.2.1.1 自然系の水循環系のイメージ¹⁾

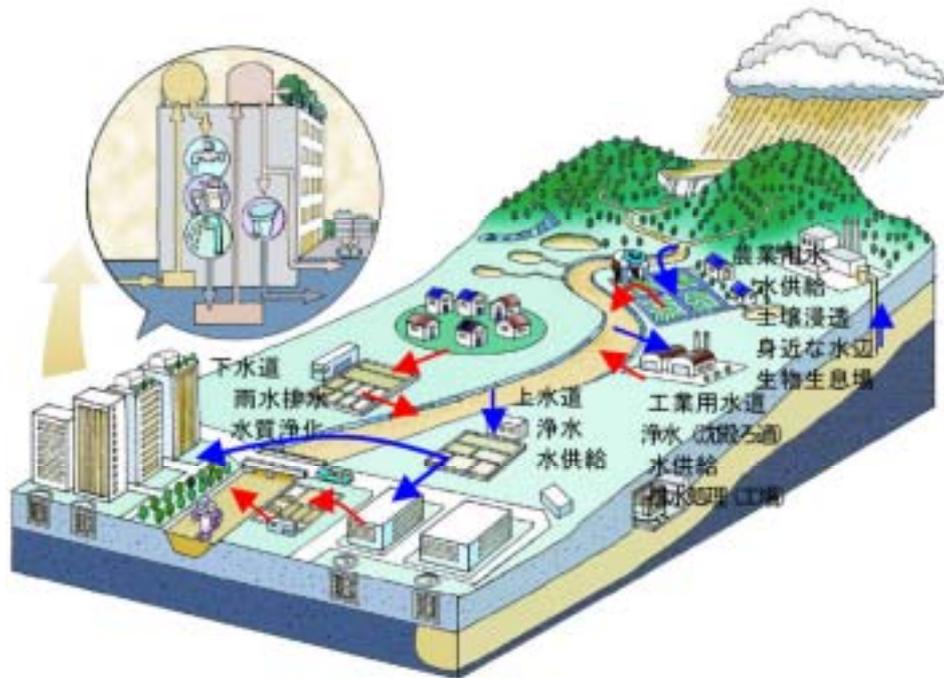


図- 3.2.1.2 人工系の水循環系のイメージ¹⁾

(2) 水物質循環モデルとは

流域における水物質循環は、流域の状態を捉え、流域の健全性を診断し、流域再生のあり方を探るための最も基本的な現象である。水物質循環モデルには「水循環モデル」と「物質循環モデル」に分類される。水量を推定する水循環モデルには、年間総量ベースの大まかな四則演算により静的な水収支を定量化する簡便な方法（年間水収支法）から、経路毎の水量の時系列変動を推定できる精度の高いものまで種々の方法がある。表- 3.2.1.1 に各方法の特徴を引用する。

モデルの主要なタイプの1つにシミュレーションモデルがある。シミュレーションモデルとは、ある入力値に対する出力値を与えるものであり、そのモデリングが物理的な基礎式に基づいているか否かで、物理モデルと概念モデルに分類される。水文学で提案されてきたモデルでは、単位図、タンクモデル、貯留関数法等が概念モデルに分類される。物理モデルは、各種提案されてきており、水循環系の解析で一般的となりつつある。概念モデルにおけるモデルパラメータの同定は、経験的であったり、試行錯誤的となる。一方、物理モデルのパラメータは、水循環については基本的には対象流域の物性値で与えることができる。このことは、水循環系の将来推定や対策の効果の評価においても、物理モデルのシミュレーション結果に一定の信頼性をおくことができる事を意味する。しかしながら、表- 3.2.1.1 で示されているように、物理モデル構築に必要なデータや費用は莫大なものとなり、実務上の課題となっている。

表- 3.2.1.1 水循環の定量化手法の特徴¹⁾

分類	年間水収支法	概念モデル	物理モデル
概要	降雨量、流量、人工系給排水量などの観測結果と地目別流出率などの経済的な係数により経路毎の循環量を概略推定するもの。計算は貯留量の時間変化を無視するため四則演算で実行される。 計算は極めて容易であるが、計算結果は年間値の目安程度の利用に留まる。	流出の各プロセスをタンクモデル、貯留関数などの概念的なモデルで表現したもの。モデル中のパラメータは観測流量と一致するように設定する。 年間水収支法、物理モデルの中間的な特徴を持つ。	流出の各プロセスを数理モデルで表現したもので、計算上の流向の仮定により1次元モデルから3次元モデルに分かれる。モデル中の定数は計測可能な物性値で設定することを前提とする。 精度の高い予測が期待されるが、演算に要するトータルコストが高い。
入力情報の多少	少	中	多
出力情報の多少	少	中	多
演算の難易度	低	中	高
結果の厳密性	低	中	高
計算時間単位	年	日	秒～時間
計算空間単位	流域一括	流域一括 あるいは小分割流域毎	計算格子点毎
入力条件 (計算空間単位毎)			
降雨量	年間値を入力	計算単位で入力	計算単位で入力
蒸発散量	実蒸発散量を入力	実蒸発散量を入力	可能実蒸発散量を入力
土地利用情報	浸透・不浸透の別を入力	浸透・不浸透の別を入力	浸透・不浸透の別、 等価精度係数を入力
人工系給排水量	年間値を入力	計算単位で入力	計算単位で入力
自然系保水特性	考慮せず	タンク孔定数、貯留量関数 等を入力	透水係数、不飽和帯特性 を入力
可動特性	考慮せず	考慮せず	形状、精度係数を入力
算定項目			
経路毎の年循環量	算定可	算定可	算定可
日流量・流況	算定不可	算定可	算定可
高水流量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可
地下水流出量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可
地下水位・かん養量	算定不可	一部のモデルで算定可	算定可

注)入力条件、算定項目は一般的な構成、内容を掲げたものであり、個別のモデルにより多少変化する。

水質を定量化するためのモデルには、流域全体を対象とした汚濁負荷量収支を算定し、水量との関係からこれを水質に変換するモデル、また、湖沼や河川における一定の領域を対象とした水質シミュレーションモデル等がある。前者は河川や湖沼の将来水質を予測したり、これらの水域に流出する汚濁物質の発生源を流域全体で把握する際に有効である。後者は河川や湖沼に排出された汚濁の集中や拡散等の状態を一定の領域内で把握する場合に有効である。

なお、水物質循環モデルの概論については、「都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明」研究会から出版されている「都市域における水循環系の定量化手法」に詳しく解説されているので参考にされたい²⁾。

(3) 水物質循環モデルの開発の意義

本研究で流域水物質循環モデルの検討対象としている東京湾、霞ヶ浦流域では、流域の高度な土地利用と閉鎖性水域における沿岸域の開発などにより水環境など悪化を招いている。これに対応するため様々な政策や事業が実施されてきているが、閉鎖性水域を抱える流域については未だ根本的な解決に至っていないケースが少なくない。このため、土地利用等流域条件や取排水条件の異なる様々な流域の水物質循環現象の再現が可能な分布型水物質循環モデルである「陸域モデル」と、流域からの外部負荷、底泥溶出等の内部負荷及び植物プランクトンの内部生産による水域の水質形成機構を表現できる「水域モデル」の統合モデルを構築することにより干潟などの自然再生や下水道整備などのインフラ整備をはじめとする様々な環境改善施策に対する検討を行うことが可能となる。また既存の知見の範囲内で過去の人口条件、土地利用状況、気象条件などを設定することにより、過去から現在に至る水環境の変遷を理解することができる。

(4) 研究における水物質循環モデルの開発目標

本研究では、以下の点に留意して水物質循環モデルを構築する。

水環境の改善に係わる政策検討を目的とした水物質循環モデル

本研究では、水問題の中でも特に平常時の水質・水量に係わる水環境問題の解決に資する「水物質循環モデル」を構築する。このため、流域の流出については、日平均流量のレベルで高水及び低水の再現を図るとともに、物質に関しては COD、N、P の汚濁負荷を対象の基本とする。

汎用型の水物質循環モデル

本研究で対象とする霞ヶ浦流域や東京湾流域のみならず、全国各地域・水域の水物質循環現象の再現や水環境問題への適用が可能な汎用型モデルとする。このため、土地利用等流域条件や取排水条件の異なる様々な流域の水物質循環現象の再現が可能な分布型水物質循環モデルである「陸域モデル」と、流域からの外部負荷、底泥溶出等の内部負荷及び植物プランクトンの内部生産による水域の水質形成機構を表現できる「水域モデル」を構築する。

操作性の高い水物質循環モデル

本研究で開発される水物質循環モデルについては、今後普及し、全国の水環境問題の解決に資することを開発目的としており、このためには、シミュレーション・モデルについて特別の知識を有しない現場管理者のレベルで、容易に使いこなせることが重要と考えている。このため、図-3.2.1.3に示すように GIS をベースとしたユーザーインターフェイスを整備し、土地利用の改変等流域条件の変化や水環境に係わる様々な施策の入力や計算結果の出力を容易にする。

理論構造や計算内容が分かりやすい水物質循環モデル

開発対象とする水物質循環モデルについては、当該流域の水物質循環現象を限りなく精緻に再現するというよりも、関係者による現象や課題の共通理解、合意形成等を支援することを目的としており、政策議論に必要な精度・信頼性は確保しつつも、モデルの構造や

計算の内容が分かりやすいモデルとすることとし、水物質循環の基本的現象に対応するモデルとする。なお、適用する流域や現象の特殊性により、本モデルの原理だけで対応できない場合に対して、その特殊性に対応する個別的・部分的モデルを作成し、本モデルに連結することによる適用性を確保する。

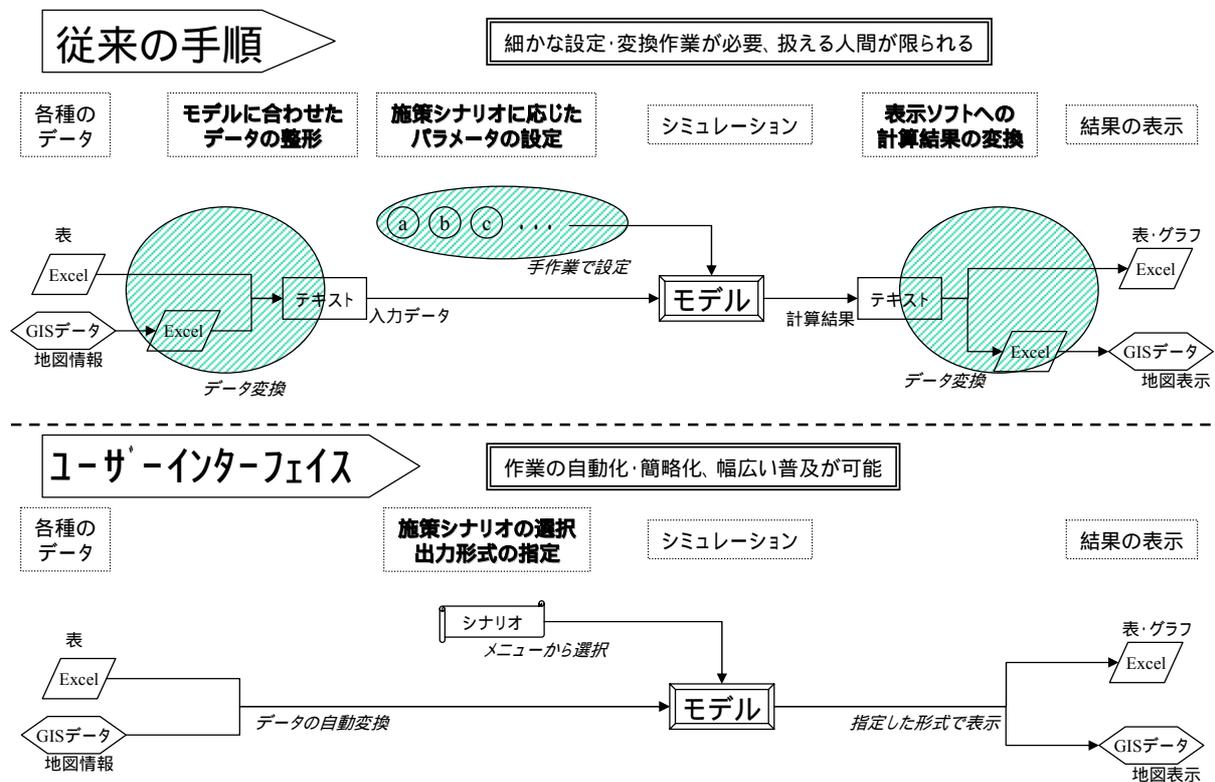


図- 3.2.1.3 ユーザーインターフェイスの意義

(5) 本研究における水物質循環モデルの特徴

本モデルの特徴としては、以下のことが挙げられる。

分布型モデル：流域をメッシュに分割し、メッシュ単位で解析を行うことから、任意地点（メッシュ）での水・物質の挙動の解析・出力が可能

非定常モデル：平常時、降雨時を含めた任意時間での解析が可能

水量・物質連成解析モデル：水の挙動および物質の挙動の同時解析が可能

要素モデル統合型モデル：流域内の諸現象（蒸発散・地下水・地表流・河道流・水域）に応じて、各要素モデルにより解析し、それらを連成することによって流域全体の現象を解析

GIS連成型モデル:GISを介しての流域データのモデルへのインプットデータ作成、解析結果の格納、可視化

施策指向型モデル：雨水浸透マス設置や生活排水対策等、様々な水循環健全化施策による改善効果を解析することが可能

(6) 流域水物質循環モデルの開発（概念モデル）

本研究で構築した水物質循環モデル（流域モデル及び水域モデル）について述べる。本検討での流域モデルは、タンクモデルを対象としその概念図を図- 3.2.1.4、図- 3.2.1.5 に示す。

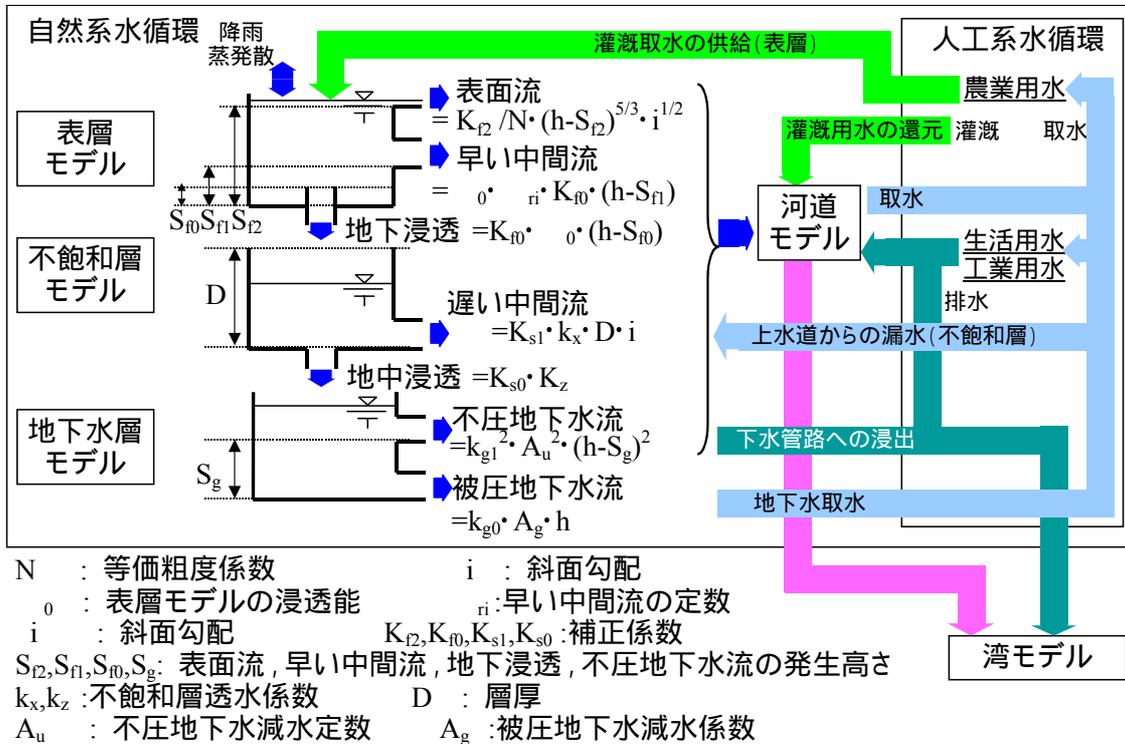


図- 3.2.1.4 流域水循環モデルの概念図

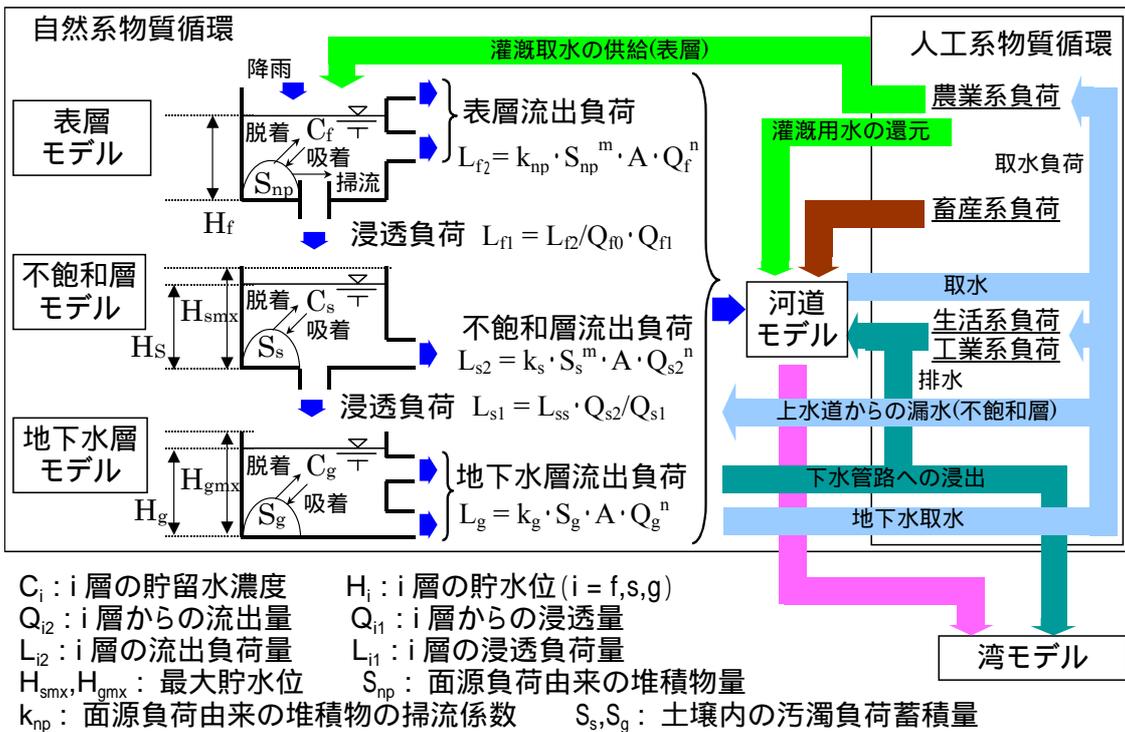


図- 3.2.1.5 流域物質循環モデルの概念図

1) 流域モデル

流域モデルについては、水循環部分とそれに伴う物質流動部分に分けられるため、水循環部分について述べた上で、物質流動部分について述べる。

a) 流域水循環モデル

流域モデルの水循環部分については、吉野等が開発した分布型流出モデル³⁾を若干改良するとともに、人工系水循環を組み込むことにより構築した⁴⁾。流出部分の基本構造は鉛直方向並べられた3層(表層、不飽和層、地下水層)のモデルと河道モデルから構成される。表層、不飽和層、地下水層の各層からの流出成分は落水線に沿った河道モデルに入力され、河道流量が kinematic wave 法により逐次計算されるモデルとなっている。また、人工系水循環については、別途資料やデータから各メッシュにおける生活系、工業系、農業系の取排水量及び下水処理水量を算定し、自然系水循環と接合させる。

ア) 蒸発散量

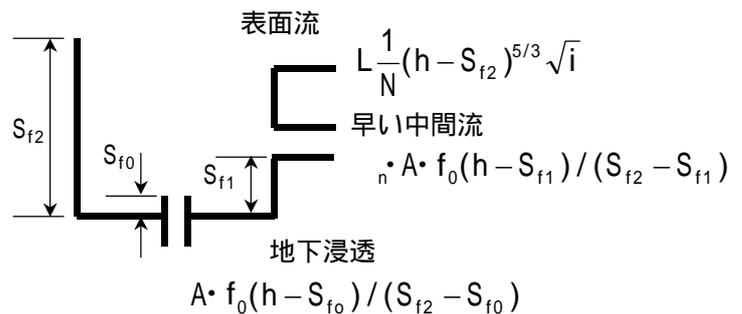
蒸発散量に関しては、Penman の方法により推定した可能蒸発散量に、補正係数を乗じることにより算定する。

Penman の算定式による可能蒸発散量： E_p 、係数： f

$$E_{ac} = f \cdot E_p$$

イ) 表層モデル

表層モデルは図- 3.2.1.6の構造をもち、雨量を表面流、早い中間流、地下浸透流に分離するモデルである。上から1番目の穴が表面流、2番目の穴が早い中間流、3番目の穴が地下浸透の穴である。



表面流量：Manning 側が成り立つものとする。

図- 3.2.1.6 表層モデル

$$q_{f2} = K_{f2} \times (1/N) \times (h - S_{f2})^{5/3} \times i^{1/2}$$

早い中間流：貯留高に比例するものとする。

$$q_{f1} = a_{f1} \times K_{f1} \times a_0 \times (h - S_{f1})$$

地下浸透流：Darcy 則に従うとともに、 $h = S_{f2}$ で飽和透水係数に等しくなるよう設定する。

$$q_{f0} = K_{f0} \times a_0 \times (h - S_{f0})$$

基礎式は、降雨・蒸発散量と上記3種類の流れの収支から構成される。

$h > S_{f2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} - q_{f0t} - q_{f1t} - q_{f2t} \quad (\text{式- 3.2.1.1})$$

$S_{f1} < h < S_{f2}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h - q_{f0t} - q_{f1t} \quad (\text{式- 3.2.1.2})$$

$S_{f0} < h < S_{f1}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h - q_{f0t} \quad (\text{式- 3.2.1.3})$$

$h < S_{f0}$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R - E_{ps} / S_{f2} \cdot h \quad (\text{式- 3.2.1.4})$$

ウ) 不飽和層モデル

不飽和層モデルは図- 3.2.1.7の構造を持ち、横の穴は遅い中間流、下の穴が地下浸透を表す。遅い中間流：水平方向の不飽和透水係数に比例し、動水勾配を地形勾配で近似することにより、算出する。

$$q_{s1} = K_{s1} \times K_x \times D \times i$$

水平方向の不飽和透水係数 K_x は、以下の式により、飽和透水係数 K_{sx} を水分量で補正することにより算出する。

$$K_x = K_{sx} / 100 \cdot \frac{\exp(b \cdot \theta) - \exp(b \cdot \theta_w)}{\exp(b \cdot \theta_s) - \exp(b \cdot \theta_w)}$$

地下浸透流：動水勾配を 1 とし、鉛直方向の不飽和透水係数 k_z に等しいとする。

$$q_{s0} = K_{s0} \times K_z$$

基礎式は、蒸発散量、上層からの浸透流入と上記 2 種類の流れの収支から構成される。

$h < S_{s2}$ の場合

飽和状態であるため上段の表面タンクから不飽和タンクへは浸透しないと考える。両タンク間の動的な結合は計算を複雑にすることから、不飽和タンク水分量相当高が S_{s2} を越える場合は表面タンクからの浸透量を落水線下流の表面タンクに流入させる。

$S_{s2} > h < S_{s1}$ の場合

$$s \frac{\partial h}{\partial t} = q_{int} - E_{ps} - q_{s0t} - q_{s1t} \quad (\text{式- 3.2.1.5})$$

$h < S_{s1}$ の場合

$$s \frac{h}{t} = q_{in} - E_{ps} / S_{s1} \cdot h \quad (\text{式- 3.2.1.6})$$

イ) 地下水モデル

地下水層モデルは、図- 3.2.1.8の構造を持ち、横の穴として不圧地下水の流出(上穴)と被圧地下水の流出(下穴)を与える。

不圧地下水流：水平方向の不圧地下水の流出係数と貯留高の 2 乗に比例

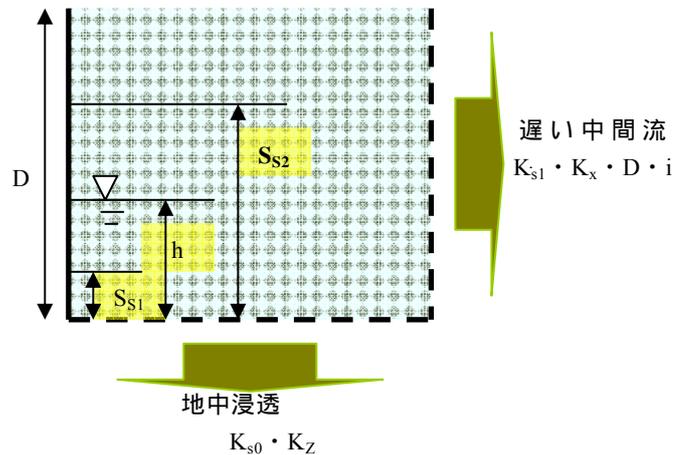


図- 3.2.1.7 不飽和層モデル

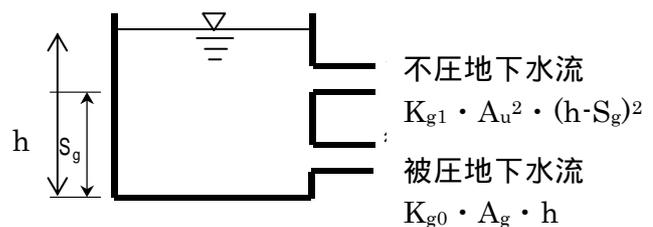


図- 3.2.1.8 地下水層モデル

$$q_{g1} = K_{g1} \times A_u^2 (h - S_g)^2 \quad (\text{式- 3.2.1.7})$$

被圧地下水流：水平方向の被圧地下水の流出係数と貯留高に比例

$$q_{g2} = K_{g0} \times A_g h \quad (\text{式- 3.2.1.8})$$

基礎式は、蒸発散量、上層からの浸透流入と上記 2 種類の流れの収支から構成される。

$h > S_g$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{int} - q_{g1t} - q_{g2t} \quad (\text{式- 3.2.1.9})$$

$h < S_g$ の場合

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{int} - q_{g2t} \quad (\text{式- 3.2.1.10})$$

オ) 河道モデル

本モデルでは全てのメッシュに標高データから水の流れる方向を示す河道（落水線）を設定し、各メッシュにおける各層モデルからの流出成分を当該メッシュ上流端に流入させ、以下の式により下流へ伝搬させる。

連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} = q_{in} - q_r \quad (\text{式- 3.2.1.11})$$

運動式

$$q_r = (1/n) h^{5/3} i^{1/2} \quad (\text{式- 3.2.1.12})$$

2) 陸域モデル（流域物質循環モデル）

陸域モデルの物質循環部分については、水環境を考える上で重要な水質指標となる BOD、COD、N、P を対象物質としている⁵⁾。各メッシュの各層においては、浮田・関根等が開発したモデルを一部簡略化して適用している。また、河道モデルについては、各メッシュにおいて各層からの流出負荷量を入力し、落水線に沿って堆積・掃流過程を解くことにより、次のメッシュへと負荷量を引き渡すモデルとしている。各メッシュ、各層毎にパラメータを設定することにより、土地利用、土壌、表層地質別の汚濁負荷の堆積・掃流過程、堆積物への吸脱着過程を表現することができる。流域に排出又は負荷される自然系の汚濁負荷（面源負荷）及び人工系の汚濁負荷（生活系・工業系・農業系・畜産系負荷）については、それぞれの物質負荷量を設定し、以下の点において陸域モデル（物質循環部分）と接続した。

表層モデルに面源負荷を排出させる。面源負荷は懸濁性の堆積物とする。

河道モデルに下水処理水等点源負荷及び下水道未整備区域の生活系・工業系負荷と畜産系負荷の全てを排出させる（近傍に河道メッシュがない場合は落水線に沿って河道モデルに排出）。

ア) 表層モデル

降雨負荷、面源負荷の地表面堆積・掃流、堆積物への吸脱着等を下記のモデルにより表現する。表層に堆積・吸着する汚濁負荷は表層流（表面流 + 早い中間流）の掃流力によって流出するものとする。堆積物の流出負荷量は流量のべき乗に比例するものとした。また、流出負荷量と同じ水質で地中浸透するものとした。

運動式

$$L_{f2} = k_{np} \cdot S_{np}^m \cdot A \cdot Q_{f2}^n \quad (\text{式- 3.2.1.13})$$

$$L_{f1} = L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.14})$$

連続式

$$A \cdot \frac{dS_{np}}{dt} = S_u \cdot (1 - e^{-K_s T}) + C_r \cdot R \cdot A - k_{np} \cdot S_{np}^m \cdot A \cdot Q_{f2}^n - L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.15})$$

イ) 不飽和層モデル

表層モデルより地中浸透した汚濁負荷は土壌内に蓄積し、蓄積物に吸脱着する過程を下記のモデルにより表現する。蓄積物から溶脱した汚濁負荷は中間流によって流出する。また、流出負荷量と同じ水質で地中浸透するものとした。

運動式

$$L_{s2} = k_s \cdot S_s^m \cdot A \cdot Q_{s2}^n \quad (\text{式- 3.2.1.16})$$

$$L_{s1} = L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} \quad (\text{式- 3.2.1.17})$$

連続式

$$A \cdot \frac{dS_s}{dt} = S_{su} \cdot (1 - e^{-K_{ss} T}) - k_s \cdot S_s^m \cdot A \cdot Q_{s2}^n - L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} + L_{f2} / Q_{f2} \cdot Q_{f1} \quad (\text{式- 3.2.1.18})$$

ウ) 地下水モデル

不飽和層モデルより地下浸透した汚濁負荷は土壌内に蓄積し、蓄積物に吸脱着する過程を下記のモデルにより表現する。蓄積物から溶脱した汚濁負荷は基底流によって流出する。

運動式

$$L_g = k_g \cdot S_g^m \cdot A \cdot Q_g^n \quad (\text{式- 3.2.1.19})$$

連続式

$$A \cdot \frac{dS_g}{dt} = S_{gu} \cdot (1 - e^{-K_{gs} T}) - k_g \cdot S_g^m \cdot A \cdot Q_g^n + L_{s2} / Q_{s2} \cdot Q_{s1} \quad (\text{式- 3.2.1.20})$$

I) 河道モデル

各層のタンクからの流出負荷の自浄作用による河床への吸着等を含む河床堆積物が流量に比例して次メッシュへ流出するものとする。また、点源負荷は河道に直接排出され(河道タンクがないメッシュについては落水線に排出され)、各層からの流出負荷と共に流量に応じて次メッシュへ流出するものとする。

運動式

$$L_{RO1} = C_R \cdot Q_{RO} \quad (\text{式- 3.2.1.21})$$

連続式

$$C_R = (L_{RI1} + L_{I1} + L_p) / Q_{RI} \cdot e^{-(k1+k2) \cdot xt / uu} + C_{ka} \cdot (1 - e^{-(k1+k2) \cdot xt / uu}) / (k1 + k2) \quad (\text{式- 3.2.1.22})$$

II) 人工系モデル

生活系排水、事業所系排水、工場系排水及び畜産系排水の污染源別に、それぞれ点源負荷系汚濁物質流動モデルを構築する。

i) 生活系排水モデル

生活系排水の汚濁負荷は、年間を通じて大きな変動のないものと考えられるため、時間的に一定の負荷量が近傍の落水線に流出するものとして、物質循環モデルを構築する。モデルに取り込む汚濁負荷源を下記に示す。

下水処理場

下水処理場のモデル化は、処理場の位置、処理人口実績及び1人当たりの負荷量原単位をもとにしてモデルに組み込むものとする。モデル上では、下水処理場の排水口が位置しているメッシュの河道(河道タンクがないメッシュでは落水線)に汚濁負荷が流出するものとする。

農業集落排水処理場

処理人口実績及び1人当たりの負荷量原単位をもとにして、モデルに組み込むものとする。モデル上では、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的に汚濁負荷を与え、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

合併浄化槽

各合併浄化槽について、市町村毎の処理人口実績および1人当たりの負荷量原単位をもとに、モデル化を行う。モデル上の考えはと同様とする。

し尿処理場

処理場の位置、稼働実績および市町村毎の処理人口実績をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の考えはと同様とする。

単独浄化槽

各単独浄化槽の市町村毎の処理人口実績、および1人当たりの負荷量原単位をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の考えはと同様とする。

自家処理

市町村毎の自家処理人口実績、および1人当たりの負荷量原単位をもとにモデルに組み込むものとする。モデル上の考えは と同様とする。

雑排水処理

流域で実施されている市町村毎の雑排水処理人口実績および1人当たりの負荷量原単位をもとに、モデルに組み込むものとする。モデル上の考えは と同様とする。

なお、し尿処理場、単独浄化槽及び自家処理は、し尿のみを対象としているため、別途家庭排水を対象に雑排水処理を行うこととなる。したがって、市町村毎のし尿処理場対象人口、単独浄化槽処理人口及び自家処理人口の和は、雑排水処理人口に等しくなる。

ii) 事業所系排水モデル

事業所系排水の汚濁物負荷についても生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別に排水量や汚濁負荷濃度が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

iii) 工業系排水モデル

工場系排水の汚濁負荷についても生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別、業種別に排水量や汚濁負荷濃度が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

iv) 畜産系排水モデル

畜産系排水の汚濁物負荷については、生活系排水と同様の方法で物質循環モデルを構築する。データとしては、市町村別、家畜別に汚濁負荷濃度が存在するので、それぞれの市町村を構成する全メッシュに平均的にこれらの負荷量を入力し、近傍の落水線に汚濁負荷が直接流出するものとする。

3) 水域（流動）モデル

a) 流れの基礎方程式

ア) 連続方程式

空間的に密度が変化する水域における連続方程式は、均質流体の質量保存式

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} U = 0 \quad (\text{式- 3.2.1.23})$$

に対して、溶質の拡散を考慮した以下の式が成立する。

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} U = K \nabla^2 C \quad (\text{式- 3.2.1.24})$$

また、濃度 C の保存式は以下ようになる。

$$\frac{DC}{Dt} + C \operatorname{div} U = K \nabla^2 C \quad (\text{式- 3.2.1.25})$$

ここで K : 拡散係数、 C : 溶質濃度

ここで、密度変化の原因となる温度及び濃度の変化がそれほど小さくなく、かつ水は非圧縮性を仮定し、圧力による変化を無視すると、式-3.2.1.24 と式-3.2.1.25 から式-3.2.1.26 が導かれる。

$$\operatorname{div}U = 0 \quad (\text{式- 3.2.1.26})$$

したがって、密度差が存在する流れの場においても密度が一様な非圧縮性流体と同様の連続式が適応可能となる。

1) 運動方程式

x, y 軸を水平方向、z 軸を鉛直方向に設定し、鉛直方向には速度変化及び加速度が小さく、静力学平衡が成り立つと仮定すると、x, y 方向の運動方程式 (flux form) は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(u^2) - \frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial z}(uw) + f_0 v - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_0}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.1.27})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uv) - \frac{\partial}{\partial y}(v^2) - \frac{\partial}{\partial z}(vw) - f_0 u - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p_0}{\partial y} \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.1.28})$$

ここで、

$$\begin{aligned} f_0 & : \text{コリオリパラメータ} \\ N_x, N_y, N_z & : x, y, z \text{ 方向の渦動粘性係数} \end{aligned}$$

2) 熱収支の式

熱についての移流拡散方程式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uT) - \frac{\partial}{\partial y}(vT) - \frac{\partial}{\partial z}(wT) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.1.29})$$

ここで、 k_x, k_y, k_z : x, y, z 方向の熱に関する乱流拡散係数

3) 塩素量収支の式

塩素量についての移流拡散方程式を用いる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial Cl}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(uCl) - \frac{\partial}{\partial y}(vCl) - \frac{\partial}{\partial z}(wCl) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial Cl}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial Cl}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Cl}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (\text{式- 3.2.1.30})$$

ここで、 K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の塩素量に関する乱流拡散係数

㊦) 状態方程式

塩素量と水温から密度を計算するための状態方程式として Knudsen の式を用いる。

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\sigma_t}{1000} + 1 \\ \sigma_t &= \Sigma_t + (\sigma_0 + 0.1324)\{1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0.1324)\} \\ \sigma_0 &= -0.069 + 1.4708Cl - 0.001570Cl^2 + 0.0000398Cl^3 \\ \Sigma_t &= -\frac{(T - 3.98)^2}{503.570} \cdot \frac{T + 28.30}{T + 67.26} \\ A_t &= T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3} \\ B_t &= T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}\end{aligned}$$

b) 拡散の基礎方程式

3次元の物質拡散の基礎方程式は、

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{hx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{hy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S_c \quad (\text{式- 3.2.1.31})$$

である。ここで、

S_c : 内部変化項 (大腸菌群数の計算ではゼロとする)

c : 物質濃度 (g/m³)

D_h, D_v : 水平、鉛直渦動拡散係数 (m²/s)

・境界条件は

水底 ($z = -h$) で、

$$-D_v \frac{\partial c}{\partial z} = R_b \quad (\text{式- 3.2.1.32})$$

ここで、 R_b : 底面からの溶出量 (g/m²/s)

境界層 ($z = -h_i$) で、

$$D_v \frac{\partial c}{\partial z} \Big|_{z=-h_i} = D_v \frac{c_i - c_{i+1}}{h_i} \quad (\text{式- 3.2.1.33})$$

水面 ($z = \zeta$) で、

$$D_v \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (\text{式- 3.2.1.34})$$

4) 生態系（富栄養化）モデルの考え方

本モデルで取り扱う水質項目は以下に示す 8 項目である。生態系モデルの概念図は、図 - 3.2.1.9のとおりである。

表- 3.2.1.2 水質項目及びその主成分、単位

項 目	主 成 分	変数名	単 位
植物プランクトン (Phytoplankton)	クロロフィル a (Chlorophyll-a)	P	$\mu\text{g} - \text{chla}/\text{l}$
動物プランクトン (Zooplankton)	動物炭素量 Zooplankton Carbon	Z	mgC/ℓ
無機態窒素 (IN Inorganic Nitrogen)	Ammonia Nitrogen、 Nitrite Nitrogen、 Nitrate Nitrogen	C_{IN}	mgN/ℓ
有機態窒素 (ON Organic Nitrogen)	非生物（命）体 Organic Nitrogen	C_{ON}	mgN/ℓ
無機態リン (IP Inorganic Phosphorus)	リン酸態リン Orthophosphate	C_{IP}	mgP/ℓ
有機態リン (OP Organic Phosphorus)	非生物（命）体 Organic Phosphorus	C_{OP}	mgP/ℓ
化学的酸素要求量 (COD)	非生物（命）体有機物 Chemical Oxygen Demand	C_{COD}	mgO_2/ℓ
溶存酸素 (DO)	Dissolved Oxygen	C_{DO}	mgO_2/ℓ

有機態の窒素及びリンの定式化には、生物（命）体を含める場合と含めない場合があるが、本モデルでは、プランクトンの死骸や排泄物などを非生物体の有機物とし、生物体の植物プランクトン・動物プランクトンと分離して計算する方法をとる。すなわち本モデルにおける有機態窒素、有機態リン及び COD の算出は、まず河川などから流入するのが非生物体であるとして、デトリタスなどによって生産される非生物体物質を微分方程式によって計算する。次に全有機態窒素、全有機態リン及び全 COD は、この非生物体と別途計算される植物プランクトン、動物プランクトンによって生産される生物体との合計で構成されるものとする。このようなモデル化により、有機態窒素、有機態リン及び有機物 COD が生物体と非生物体の両方を含むことによる物質生産を、合理的に計算することが可能である。何が有機物の生産や分解に関与するかが明確になる。

したがって、全有機態窒素 TON (Total Organic Nitrogen) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体有機態窒素と非生物体有機態窒素との加算となり、全有機態窒素 TON と無機態窒素との累加は全窒素 TN (Total Nitrogen)となる。同じく、全有機態リン TOP (Total Organic Phosphorus) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体有機態リンと非生物体有機態リンとを加算したものとなり、全有機態リン TOP と無機態リンとの累加は全リン TP (Total Phosphorus)となる。また、全 COD ($TCOD$ Total Chemical Oxygen Demand) は植物プランクトン及び動物プランクトンの生物体 COD と非生物体の有機物 COD との累加となる。

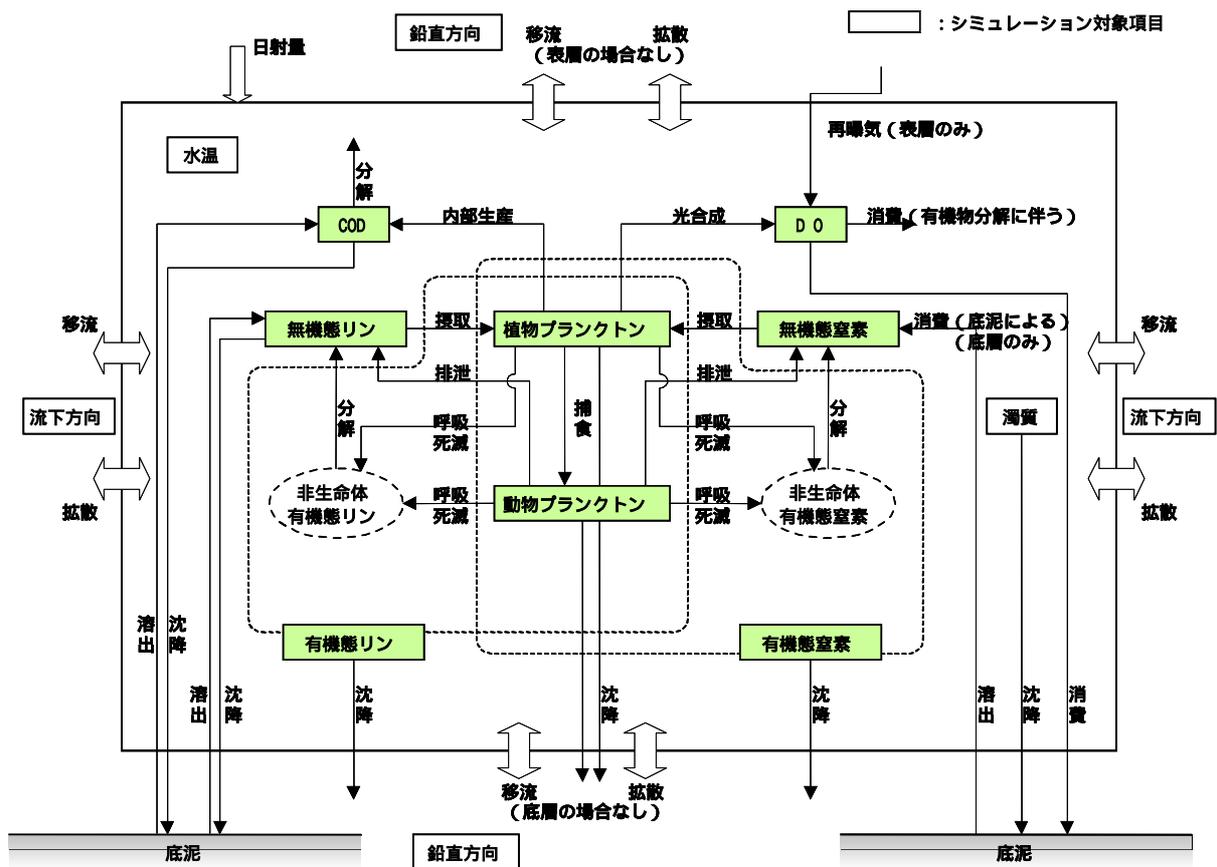


図- 3.2.1.9 生態系モデル概念図

生態系モデルによる内部領域における各水質の発生及び消滅濃度率は、濃度収支則式 (式-3.2.1.32) の右辺 S_c 項となる。各水質項目の変化速度の基礎式の概略を以下に示す。

(a)植物プランクトン

$$S_P = (\text{植物プランクトンの生成}) - (\text{植物プランクトンの自己分解}) - (\text{動物プランクトンによる摂取}) + (\text{沈降})$$

(b)動物プランクトン

$$S_Z = (\text{動物プランクトンの生成}) - (\text{動物プランクトンの自己分解}) - (\text{動物プランクトンの自然死滅})$$

(c)無機態窒素

$$S_{IN} = -(\text{植物プランクトンによる摂取}) + (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解}) + (\text{底泥からの溶出})$$

(d)有機態窒素

$$S_{ON} = (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンからの排泄}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自然死滅}) - (\text{非生物体有機態窒素のバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$$

(e)無機態リン

$S_{IP} = -(\text{植物プランクトンによる摂取}) + (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{非生物体有機態リンのバクテリアによる分解}) + (\text{底泥からの溶出}) + (\text{沈降})$

(f)有機体リン

$S_{OP} = (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンからの排泄}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自然死滅}) - (\text{非生物体有機態リンのバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$

(g)COD

$S_{COD} = (\text{植物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンからの排泄}) + (\text{動物プランクトンの自己分解による回帰}) + (\text{動物プランクトンの自然死滅}) - (\text{非生物体有機物のバクテリアによる分解}) + (\text{沈降})$

(h)DO

$S_{DO} = (\text{植物プランクトンによる生産}) - (\text{植物プランクトン呼吸}) - (\text{動物プランクトン呼吸}) - (\text{非生物体有機物のバクテリアによる分解}) + (\text{再曝気}) - (\text{底泥による消費})$

以上から得られる各物質の濃度から全 COD、全窒素、全リンは次式より求められる。

全 COD = (植物プランクトン態 COD) + (動物プランクトン態 COD) + (非生物体有機態 COD)

全窒素 = (植物プランクトン態窒素) + (動物プランクトン態窒素) + (非生物体有機態窒素) + (無機態窒素)

全リン = (植物プランクトン態リン) + (動物プランクトン態リン) + (非生物体有機態リン) + (無機態リン)

(7) 東京湾とその流域を対象にした現況再現

1) 資料の収集

東京湾とその流域において、流域水物質循環モデルを構築するにあたり、必要となる資料を収集し流域水物質循環モデルでの解析に必要なデータを、GISを用いて整理し、モデルへの入力条件を設定した。

検討の対象とする東京湾流域は、富津岬と観音崎を結ぶ線以北に囲まれる東京湾に流出する集水域を対象とし、利根川流域については江戸川分派点（関宿）より上流域について対象とする。下表に収集資料の一覧を示す。

表- 3.2.1.3 収集資料一覧

自然系データ一覧

作成データ	収集資料	出典
標高データ	50メートルメッシュ標高	数値地図
土地利用データ	土地利用メッシュ S51、S62、H3、H9	国土数値情報
土壌データ	自然地形メッシュ(土壌)S56	国土数値情報
表層地質データ	自然地形メッシュ(表層地質)S56	国土数値情報
気象データ	日雨量・日平均気温・日最低気温・日合計日照時間・日平均風速 S51～H14	アメダス観測年報
湿度データ	日平均湿度 S51～H14	地上気象観測時日別データ、気象庁年報
行政区域の分割	土地利用メッシュ H9 の 3 次メッシュに対する行政番号	国土数値情報
流域分割	3 次メッシュ標高データより作成	数値地図 50m メッシュ

人工系データ一覧

作成データ	収集資料	出典
農業用水取水データ	土地利用メッシュ H9 田 期別減水深 畑 期別減水深 県別作付面積 地表水、地下水利用割合 対象流域内水利権 かんがい用水受益地区範囲	国土数値情報 農業ハンドブック 新版農業水利学石橋豊 他 農林水産統計 H13 水資源白書 H15 関東地建水利権一覧 関東地建 H8 かんがい用水地域現況図 関東地建 S48、利水現況図 国土庁 S56
工業用水取水データ	県別 水源別用水量 製造品出荷額	工業統計表 H13 工業統計メッシュデータ H12
水道用水取水データ	県別水源別年間取水量 県別年間給水量 県別給水人口 メッシュ内人口 対象流域内水利権 水道用水給水区域	水道統計表 H13 水道統計表 H13 水道統計表 H13 国勢調査 H12 関東地建水利権一覧 関東地建 H8 各水道局 HP より
生活系排水データ	発生汚濁負荷原単位 除去率 県別処理形態別人口	流総指針 H11 東京湾流総 H9 H14 環境統計集
工場系排水データ	排水量原単位 排水水質原単位 製造品出荷額	流総指針 H11 流総指針 H11 工業メッシュ統計 H12
畜産系排水データ	市町村別の家畜頭数 汚濁負荷原単位	H14 農林水産統計 流総指針 H11

2) パラメータの設定

モデルの構造パラメータ設定においては、既往の基礎研究結果より下記の通り行う。なお、人工系モデルにおける原単位の設定などは巻末の DVD 資料を参考にされたい。

a) 陸域モデル

ア) メッシュ間隔及び流域分割

モデル解析のメッシュ間隔は、流域面積、入力データの精度、計算時間等を考慮し、1kmとした。また、国土数値情報の流域界データを使用して、東京湾流域範囲の規定及びその中の流入河川流域の分割を行うとともに、国土数値情報標高データから小流域について水の流れる方向を規定する落水線を作成した。

イ) 各層モデルのパラメータ設定

各メッシュにおける各層モデルのパラメータを規定するため、国土数値情報の土地利用分類、土壌、表層地質データより設定した。

土地利用分類については、国土数値情報では 12 区分されているが、これを表- 3.2.1.4 に示す通り 6 項目に再分類した。3 次メッシュの土地利用分類別面積を抽出し、以下区分で合計値を算出し、もっとも割合が高い区分をその 3 次メッシュの土地利用とする。

表- 3.2.1.4 本モデルと国土数値情報との土地利用の対応表

モデル区分	山地	水田	畑	荒地	市街地	その他
国土数値情報の土地利用分類	森林	田	その他農用地	荒地	建物用地	その他の用地
			ゴルフ場		幹線交通用地	河川地及び湖沼
						海浜
						海水域

土壌分類については、国土数値情報の土壌データと、中野による「森林水文学」から、浸透能大、浸透能中、浸透能小の 3 種類に大別した。

上記より、各層モデルのパラメータを、下記の通り設定した。

表- 3.2.1.5 表層のパラメータ

定数			山地	水田	畑	荒地	市街地	その他	備考
最終浸透能	f0	(cm/s)	0.00100	0.00010	0.00050	0.00050	0.00010	0.00010	「技術水文学」を参考に山地の基準値を設定し、その他は山地との比率により設定。
表面流の発生する高さ	Sf2	(m)	0.015	0.020	0.010	0.010	0.005	0.005	浸透能が大きいほど発生高さが高いものとして設定した。ただし、水田は表面流が発生するまでの貯留力を考慮し、表面流発生高さを高くした。
中間流の発生する高さ	Sf1	(m)	0.010	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002	
地下浸透の発生する高さ	Sf0	(m)	0.005	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	
地表面の粗度係数	N	($m^{-1/3} \cdot s^{-1}$)	0.70	2.00	0.30	0.30	0.03	0.03	水理公式集の等価粗度係数を基準値とした。
早い中間流の定数	ri	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	物理的な意味付けが困難なため一律とした。
初期水位	h	(m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

表- 3.2.1.6 不飽和層のパラメータ

定数			浸透能(大)	浸透能(中)	浸透能(小)	備考
鉛直方向の透水係数	Kz	(cm/s)	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-05	「水理公式集」より砂・混合砂の透水係数幅の範囲から基準値を設定した。
水平方向の透水係数	Kx	(cm/s)	1.00	0.10	0.01	鉛直方向透水係数の 10^3 倍とした。
層厚	D	(m)	1.00	1.00	1.00	A,B層の高さより設定
飽和水分量	s	-	0.60	0.60	0.60	
最小水分量	w	-	0.30	0.30	0.30	
遅い中間流の定数	b	-	15.00	15.00	15.00	物理的な意味付けが困難なため一律とした。
初期水分量	h	-	0.30	0.30	0.30	

表- 3.2.1.7 地下水層のパラメータ

定数			浸透能(大)	浸透能(中)	浸透能(小)	備考
不圧地下水の流出係数	Au	($\text{mm}^{-1/2}\text{day}^{-1/2}$)	0.100	0.050	0.025	
被圧地下水の流出係数	Ag	(1/day)	0.010	0.003	0.001	
不圧地下水の流出貯留高	Sg	(m)	0.70	0.50	0.30	
初期水位	h	(m)	0.70	0.50	0.30	
国土数値情報の表層地質分類			未固結堆積物砂 未固結堆積物泥 未固結堆積物砂・泥 固結堆積物泥岩 固結堆積物ローム	固結堆積物砂岩 変成岩類緑色片岩 変成岩類黒色片岩	未固結堆積物碎屑物 火山性岩石花崗岩 深成岩類斑岩質岩石	

なお、パラメータ調整に当たり補正係数を下記の通り設定した。

- ・ (表面タンクの鉛直方向補正係数 K_{f0} : 1/10)
- ・ (不飽和タンクの補正係数 (水平方向) K_{s1} : 10倍)
- ・ (不飽和タンクの補正係数 (鉛直方向) K_{s0} : 浸透能大 : 1/20、浸透能中 : 1/4、浸透能小 : 1/2)

また、物質循環に係わる各層モデルのパラメータおよび降雨水質については、以下の通り設定した。

表- 3.2.1.8 物質循環に関するパラメータ

定数	山地				水田				畑				荒地				市街地				その他				備考		
	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P			
堆積負荷係数1	m	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	基本式の一般定数として一律に設定	
堆積負荷流出係数	K	-	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	T-PはCOD、T-Nの1/5とした。
堆積負荷係数2	n	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	基本式の一般定数として一律に設定
樹層堆積量	Su	(g)	500	500	250	60	3000	3000	1250	400	240	240	5000	150	500	500	250	60	3000	3000	1250	550	500	500	250	60	年間総流出量が流域指針の面源負荷流出量に等しい。流域指針の面源負荷係数を参考に、土地利用別の値を設定し
堆積速度係数	Ks	(1/day)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	T-PはCOD、T-Nの1/5倍とした。
初期の堆積からの経過日数	T0	(日)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

定数	山地				水田				荒地				荒地				市街地				その他				備考		
	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P			
溶脱負荷係数1	m	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	基本式の一般定数として一律に設定
溶脱負荷流出係数	K	-	0.010	0.010	0.010	0.002	0.020	0.020	0.004	0.010	0.010	0.010	0.002	0.010	0.010	0.010	0.002	0.020	0.020	0.020	0.004	0.010	0.010	0.010	0.002	0.020	T-PはCOD、T-Nの1/5とした。
溶脱負荷係数2	n	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	基本式の一般定数として一律に設定
樹層溶脱量	Su	(g)	500	500	250	60	3000	3000	1250	400	240	240	5000	150	500	500	250	60	3000	3000	1250	550	500	500	250	60	年間総流出量が流域指針の面源負荷流出量に等しい。流域指針の面源負荷係数を参考に、土地利用別の値を設定し
溶脱速度係数	Ks	(1/day)	0.2	0.20	0.2	0.2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	T-PはCOD、T-Nの1/5倍とした。
初期の溶脱からの経過日数	T0	(日)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表- 3.2.1.9 降雨水質の設定条件

定数	COD	BOD	T-N	T-P	備考		
降雨水質負荷濃度	CR	(mg/l)	1.50	1.50	0.80	0.04	流域指針の平均的な値を用いた。

り) 河道モデルのパラメータ設定

河道モデルについては、レジューム理論を用いて、河道長、河道幅を設定し、河床勾配は地形勾配に等しいとした。なお、河道幅と流域面積の関係は、流域面積大(50km² < A)、流域面積中(5km² < A < 50km²)、流域面積小(A < 5km²)に区分し定数を設定した算定式で表現している。河道長(L) : L = A^{0.5}、河道幅(B) : B = cA^s

河道モデルの水物質循環に関するパラメータは下記の通り設定した。

表- 3.2.1.10 河道モデルの水循環に関するパラメータ

定数	上流	中流	下流	備考		
河道幅計算の定数1	c	-	6.0	7.0	8.0	対象河川の最大川幅から設定
河道幅計算の定数2	s	-	0.5	0.5	0.5	
粗度係数	n	(m ^{-1/3} ・s ⁻¹)	0.040	0.035	0.030	河川砂防技術基準調査編の自然河川の粗度から設定
初期水位	h	(m)	0.2	0.2	0.2	
地下浸透係数		(1/day)	0.0	0.0	0.0	

表- 3.2.1.11 河道モデルの物質循環に関するパラメータ

定数	COD	BOD	T-N	T-P	備考	
脱酸素定数	k1	(1/day)	0.200	0.300	0.200	0.200
沈降・吸着の除去速度定数	k3	(1/day)	0.100	0.200	0.100	0.100
底層再懸濁の負荷速度定数	xt	(1/day)	0.001	0.001	0.001	0.001
汚濁物質貯留濃度	CA	(mg/l)	1.000	1.000	1.000	0.100

b) 水域モデル

水域モデルの境界条件を表- 3.2.1.12に、流動モデルの条件を

表- 3.2.1.13に、低次生態系モデルの条件を表- 3.2.1.14、表- 3.2.1.15、図- 3.2.1.10の通り設定した。なお、三番瀬と盤洲干潟の浄化機能として I-N の溶出速度から各々100.4 mg/m²/day を差し引くとともに、アマモの浄化機能を I-N、I-P の溶出速度から差し引くことにより考慮している。

表- 3.2.1.12 水域モデルの境界条件

項 目		境界条件	
河口条件	流入河川	流量, 水質	流域モデルから算出される日平均流量と日平均水質から均等割して与える
		IN, IP	水質の実測値がある河川についてはIN/TN割合、IP/TP割合との関係を求め、流域モデルの全窒素,全リンからIN,IPに変換実績データがない河川については土地利用割合から変換式を求め、流域モデルの全窒素,全リンからIN,IPを計算
		Chl-a	流山橋地点の実測値からCOD ~ Chl-a関連式を作成し、全河川についてCOD計算値からChl-a値に変換
		DO	流入河川水温に対する飽和濃度で与える DO 飽和濃度 (mg / l) $= (10.291 - 0.2809 T + 0.006009 T^2 - 0.000063 T^3) \times 32/27.4$
		水温	水温の実測がある河川については流入河川の実績水温と気温の関連式を用いて気温(気象庁大手町)から水温を変換
	下水処理水直接排水	水量, 水質	処理場毎に実績値を一定で与える。日雨量が5mmを超過する場合は、超過分については未処理相当水質分が排出
		IN, IP	東京都下水道局による下水処理水質の測定値(月平均)と気象庁大手町の月平均気温から関連式を作成
		水温	東京都下水道局による下水処理水温の測定値(月平均)と気象庁大手町の月平均気温から関連式を作成
	開境界条件	潮汐	第1海堡の推算潮位(各再現年について設定)
		水質, 塩分, 水温	第3海堡の測定値(ただし、動物プランクトンは測定値がないため、0.1 mg/lを与える)
風速, 風向		気象庁東京測候所の日平均風速を日最多風向で与える	
気象条件(気温, 日射量)		気象庁千葉測候所	
初期条件	水質, 水温	湾中央の2000年11,12月の測定値の平均値を湾全体に与える	
底泥溶出速度(IN, IP) 底泥DO消費速度		千葉県の実地調査結果に基づき設定 浅場については干潟の浄化機能(脱窒, 堆積, 採餌, 漁獲による系外への移動)をINの溶出速度で考慮	

表- 3.2.1.13 流動モデルに関するパラメータ

諸条件	設定値
時間間隔	t = 5.0秒
格子間隔	S = 500 × 500 m(95格子 × 90格子)
層厚	最上層: 平均潮位下5m(層厚約5m、可変) 第2層: 層厚10m 第3層: 層厚15m 第4層: 平均潮位下30m以深
海底摩擦係数	2.6×10^{-3}
海面摩擦係数	なし
水平渦動粘性係数	$5.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
鉛直渦動粘性係数	$2.0 \text{ cm}^2/\text{sec}$
水平乱流拡散係数	$5.0 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
鉛直乱流拡散係数	$0.5 \text{ cm}^2/\text{sec}$
コリオリ係数	$f = 8.40 \times 10^{-5} \text{ rad /sec}$

表- 3.2.1.14 生態系モデルに関するパラメータ

各係数の説明		設定値	事例・文献値
共通の係数			
Ts	最適水温 ()	20	2) 20 (有機物分解速度項は15 で設定)
植物プランクトンで使用する係数			
g	植物プランクトンによる光の減衰係数	0.026	2) 0.026
h	その他の光の減衰係数	0.268	2) 0.268
Is	最適照度 (MJ/10min)	0.176	1), 2) 0.176
in	無機態窒素濃度のミカエリス定数 (mgN/l)	0.042	2) 0.042
ip	無機態リン濃度のミカエリス定数 (mgN/l)	0.003	2) 0.003
μ pmax	植物プランクトンの最大増殖速度 (1/day)	0.25	1) 1.0(20) 2) 1.0 3) 0.45 ~ 2.53
Rp	20 における植物プランクトン死滅率 (1/day)	0.08	1) 0.04(20) 2) 0.08
p	植物プランクトン死滅率の温度補正係数	1.05	2) 1.08
p	植物プランクトンの沈降速度 (cm/day)	0.28	1) 0.1 4) 0 ~ 1.35
pi	植物プランクトンの回帰率	0.5	2) 0.5
動物プランクトンで使用する係数			
pz	植物plankton量からの動物plankton炭素量への換算係数	40.5	1) 50.0 2) 40.5
z	植物プランクトン同化率	0.4	1) 0.7 2) 0.4 ~ 0.85
Rz	動物プランクトンの呼吸による分解速度定数	0.02	2) 0.02
z	動物プランクトンの呼吸による分解速度の温度補正係数	1.05	2) 1.045
Dz	動物プランクトンの自然死滅速度	0.1	1) 0.21(20) 2) 0.1
Cgmax	20 における最大濾過率 (l/mgC*day)	0.72	1) 0.76(20) 2) 0.72
pg	動物プランクトンの濾過率の温度補正係数	1.05	2) 1.066
pg	飽食効果に対するMichaelis定数	0.012	2) 12
azi	動物プランクトンの回帰率	0.5	2) 0.5
無機態窒素 (Inorganic Nitrogen)で使用する係数			
pn	植物プランクトン量からの窒素量への換算係数	5	1) 0.558 2) 9.6
n	有機態窒素の無機化分解速度 (1/day)	0.082	1) 0.08(20 ,DOMの分解速度) 2) 0.082
on	窒素分解速度の温度補正係数	1.05	2) 1.08
zn	動物プランクトン中の窒素炭素量比	0.21	2) 0.21
in	底泥からの無機態窒素溶出速度の温度補正係数	1.05	2) 1.05
Win	底泥からの無機態窒素溶出速度 (gN/m2/day)	エリア別	1) 0.00064 2) 0.02 5) 0 ~ 0.35
on	有機態窒素沈降速度 (m/day)	0.90	1) 0.432(POMの沈降速度) 2) 0.3 5) 1.0,3.5
無機態リン (Inorganic Phosphorus)で使用する係数			
pp	植物プランクトン量からの窒素量への換算係数	0.075	1) 0.038 2) 1.0
p	有機態リンの無機化分解速度 (20) (1/day)	0.062	1) 0.08(20 ,DOMの分解速度) 2) 0.062
op	有機態リンの無機化速度の温度補正係数	1.05	2) 1.05
zp	動物プランクトン中の窒素炭素量比	0.016	2) 0.016
ip	底泥からの無機態リン溶出速度の温度補正係数	1.05	2) 1.05
Wip	底泥からの無機態リン溶出速度 (gP/m2/day)	エリア別	1) 0.033(DO=0.0の場合), 5) 0 ~ 0.005
ip	無機態リン沈降速度 (m/day)	0	1) 0.432(POMの沈降速度) 2) 0.3 5) 1.2
op	有機態リン沈降速度 (m/day)	0.90	1) 0.432(POMの沈降速度) 2) 0.3 5) 1.2
化学的酸素要求量(Chemical Oxygen Demand)で使用する係数			
pc	植物プランクトンのCODへの換算係数	250	1) 13 2) 446
zc	動物プランクトンのCODへの換算係数	1.1	2) 1.1
c	有機物分解速度定数 (1/day)	0.07	1) 0.4(20) 2) 0.23 5) 0.1
c	有機物分解速度定数の温度補正係数	1.05	2) 1.05
cod	底泥からの溶出速度の温度補正係数	1.05	2) 1.05
Wcod	底泥からのCOD溶出速度 (mg/m2/day)	0.2	5) 0 ~ 0.25
cod	COD沈降速度 (m/day)	0.2	1) 0.432(POMの沈降速度) 2) 0.3 4) 0.24 ~ 2.32 5) 0.3,2
溶存酸素(Dissolved Oxygen)で使用する係数			
op	溶存酸素生産速度または植物planktonのDOへの換算係数	152.0	2) 152
zo	動物プランクトンのDOへの換算係数	1.83	2) 3.65
SOD	底泥による溶存酸素消費速度 (gO2/m2/day)	エリア別	1) 1.0(20) 2) 0.3
sod	底泥による溶存酸素消費速度温度補正係数	1.05	2) 1.05
os	再曝気係数 (1/day)	1.0	2) 0.6
os	再曝気係数温度補正係数	1.05	2) 1.05

- 1)鈴木、三村、塚田:「3次元生態系・水理モデルによる東京湾の水質改善予測」,海岸工学論文集,第46巻(1999)
- 2)平成14年度三番瀬青潮対策および環境修復に係る影響・効果予測調査H15.3、千葉県
- 3)水理公式集 H11年版、P599、表6-3.15
- 4)水理公式集 H11年版、P666、表6-7.1
- 5)「東京湾流域別下水道整備総合計画調査検討業務報告書 (H9.3関東地建)」で用いられた定数

表- 3.2.1.15 底泥溶出速度および底泥 DO 消費速度⁶⁾

番号	I-N (単位 : mg/m ² /day)	I-P (単位 : mg/m ² /day)	底泥 DO 消費速度 (mg/m ² /day)
**	-72.5	-7.0	967.8
**	-24.5	-3.5	1143.9
**	-120.0	-10.0	1143.9
**	15.0	-9.0	2129.0
	294.7	27.0	3643.7
	294.7	27.0	2129.0
	294.7	27.0	2129.0
	99.7	8.8	956.4
	407.3	39.4	3643.7
	294.7	27.0	4410.0
	182.0	14.6	5176.2
	294.7	27.0	4410.0
	20.0	11.1	956.4
	14.0	7.8	669.5
	10.0	5.6	478.2

** : 三番瀬の干潟浄化能力をもとにキャリブレーションした結果を入力

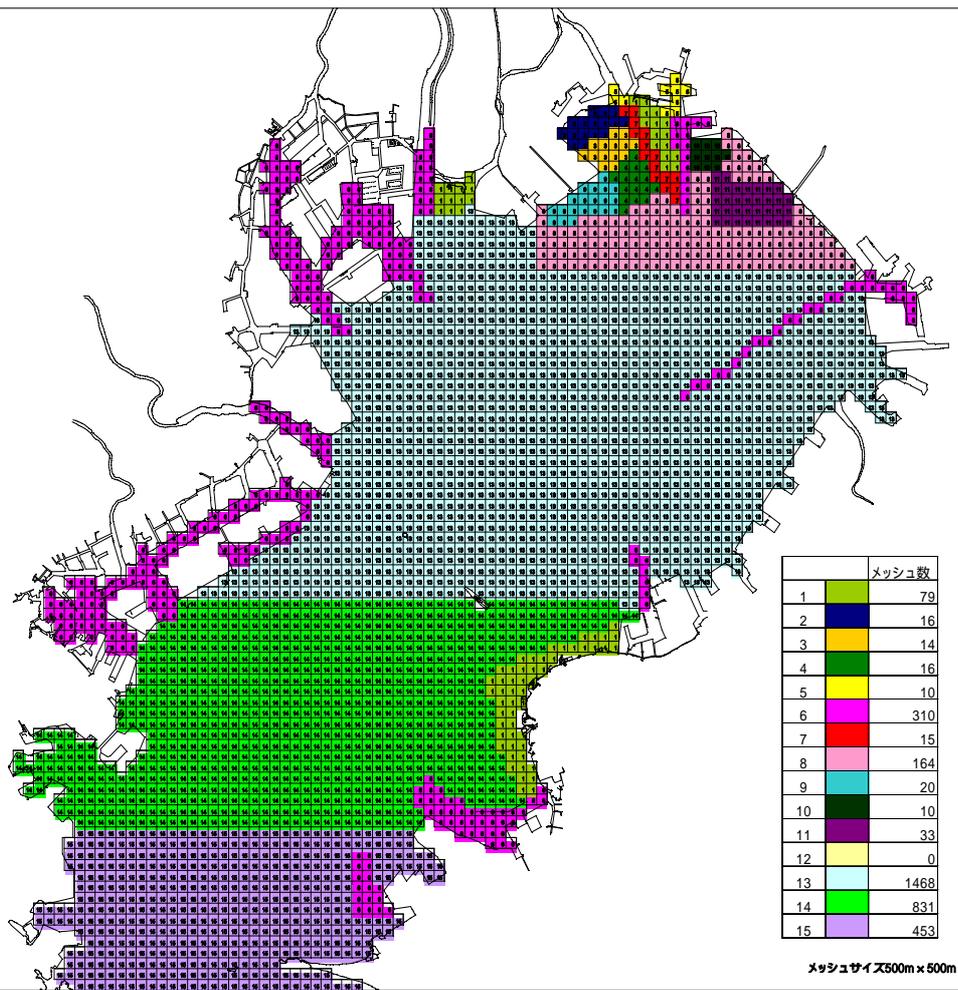


図- 3.2.1.10 栄養塩の溶出速度、底泥 DO 消費速度のブロック分割

3) 東京湾における現況の検証

a) 計算期間

現況再現を行う計算期間は、2001年とした。

b) 河川流量計算結果

検証地点は対象河川の中で水位流量観測が実施されている下記の地点とした。図-3.2.1.13、図-3.2.1.14に示す河川流量から、全河川において、計算値は実測値の変化の傾向を概ね良好に再現できていると考えられる。

表-3.2.1.16 流量、水質の検証地点

河川名	観測所名	所在地	観測項目
鶴見川	亀の子橋	神奈川県横浜市緑区川向町南耕地	水位・流量・水質
多摩川	石原	東京都調布市下石原	水位・流量・水質
	調布橋	東京都青梅市上長淵	水位・流量・水質
荒川	寄居	埼玉県大里郡寄居町字寄居	水位・流量
	大芦橋	埼玉県大里郡大里村小八林	水位・流量
	笹目橋	埼玉県戸田市早瀬	水位・水質
利根川	八斗島	群馬県伊勢崎市八斗島町	水位・流量
	栗橋	埼玉県北葛飾郡栗橋町大字栗橋	水位・流量・水質
	利根関宿	茨城県猿島郡境町塚崎	水位・流量
江戸川	野田	千葉県野田市中野台	水位・流量・水質
	流山	千葉県流山市流山	水位・流量・水質
中川	八条	埼玉県八潮市八条	水位・水質

c) 河川、東京湾水質計算結果

河川水質の検証地点は対象河川の中で水質観測が実施されている上表の地点とした。河川水質の図-3.2.1.15～図-3.2.1.18から、各河川において水質再現は概ね良好に再現できていると考えられる。

東京湾の水質については図-3.2.1.12に示す5地点において水質(COD、T-N、T-P、DO、Chl-a)の検証を行った。各地点の水質の年間変化を図-3.2.1.19～図-3.2.1.23に、それぞれ示す。計算結果と実績水質の整合状況は概ね良好であるが、T-Nについては実績水質よりやや計算水質が高く、湾奥部(東京湾3、東京湾5)ではChl-aの計算水質も実績水質より高いものの、COD濃度、T-P濃度が概ね良好に再現できている。

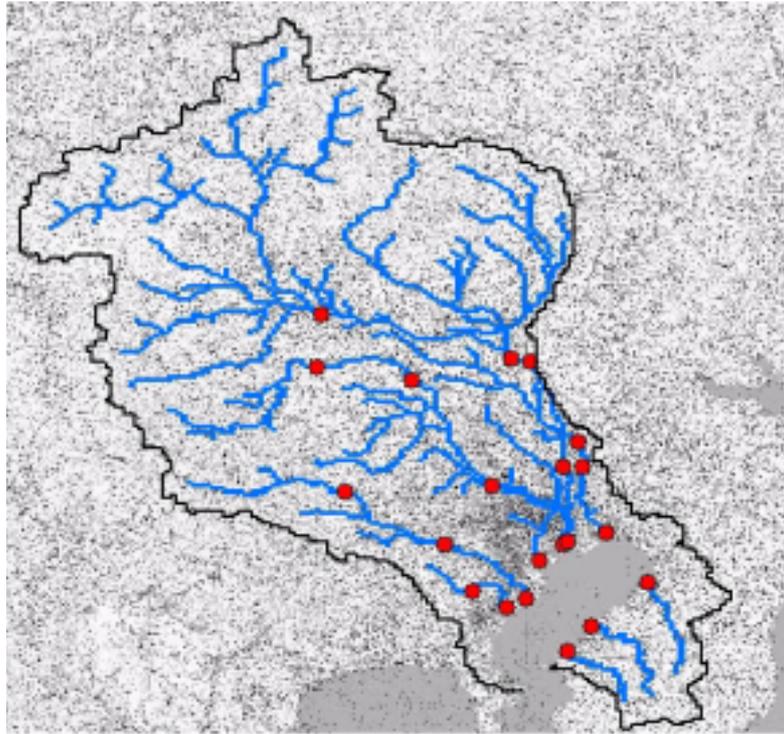


図- 3.2.1.11 東京湾流域圏と河川流量・水質の検証地点
(各河川の河口地点は除く)

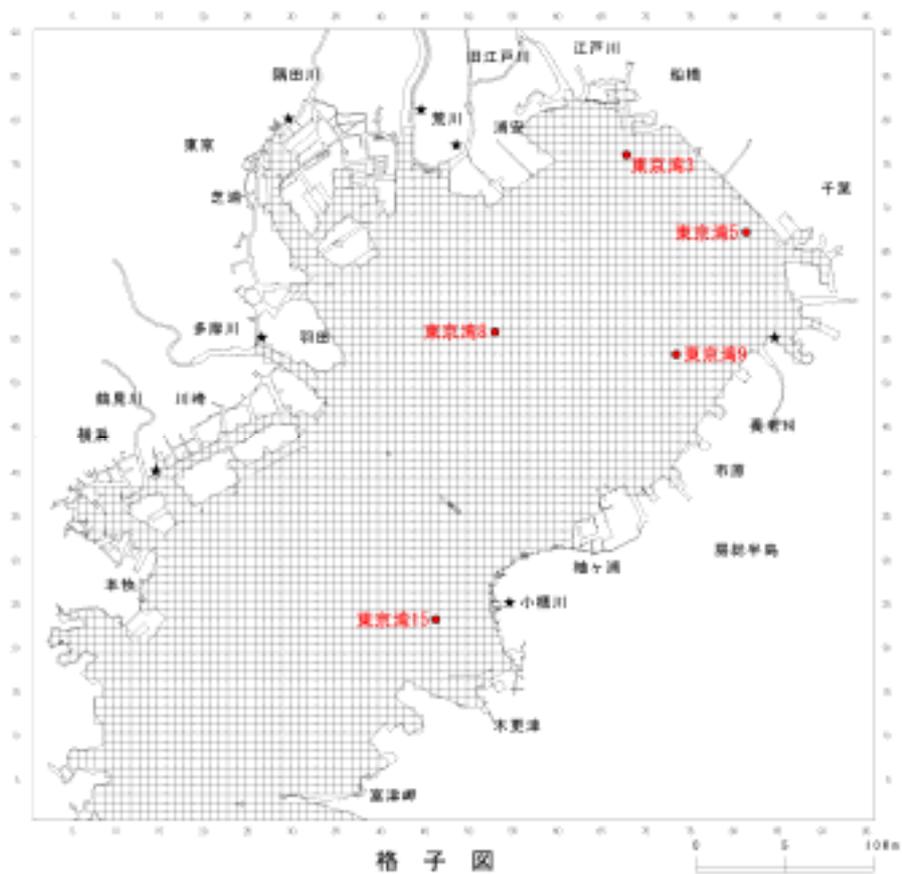


図- 3.2.1.12 検証地点図

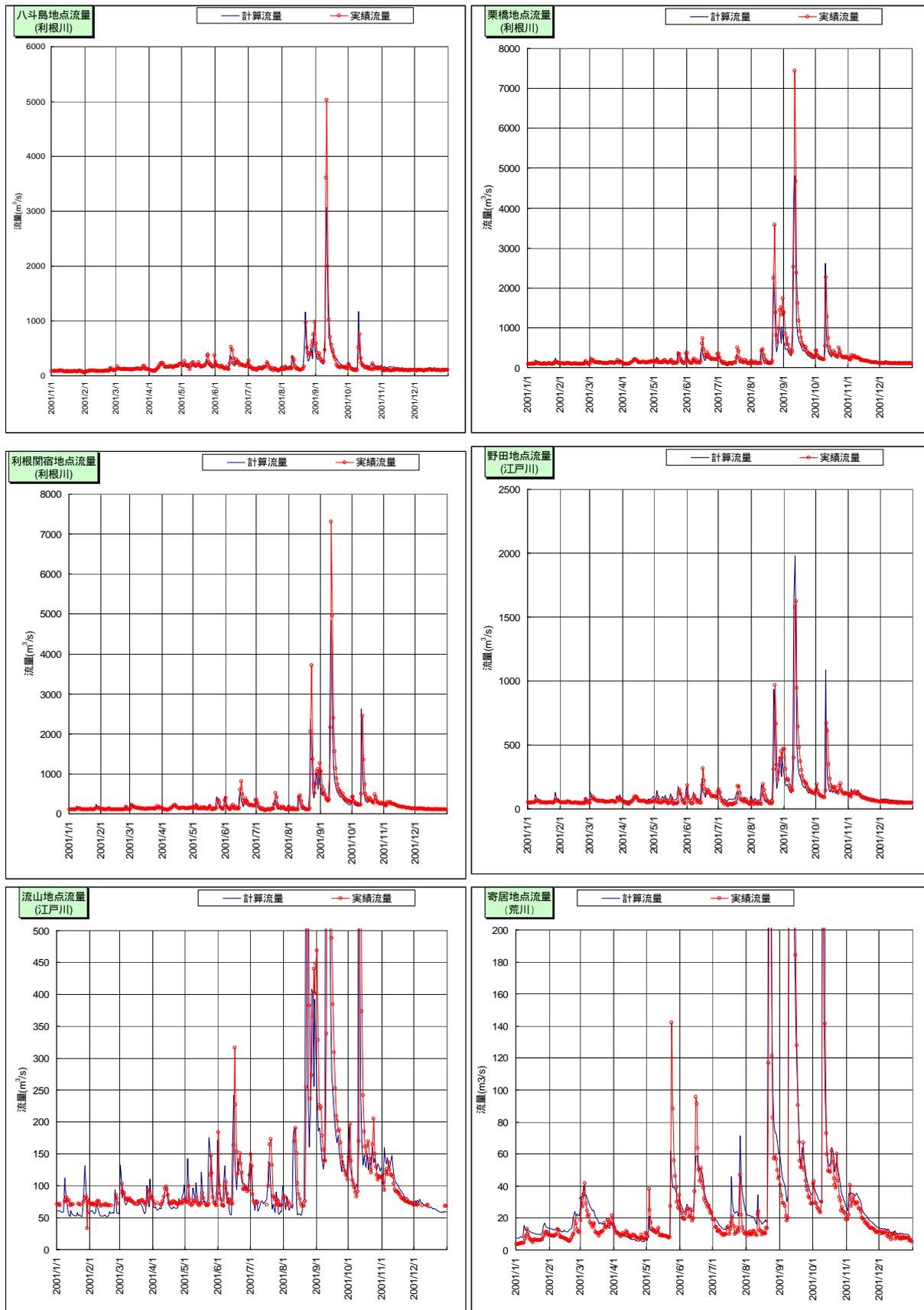


図-3.2.1.13 流量検証図

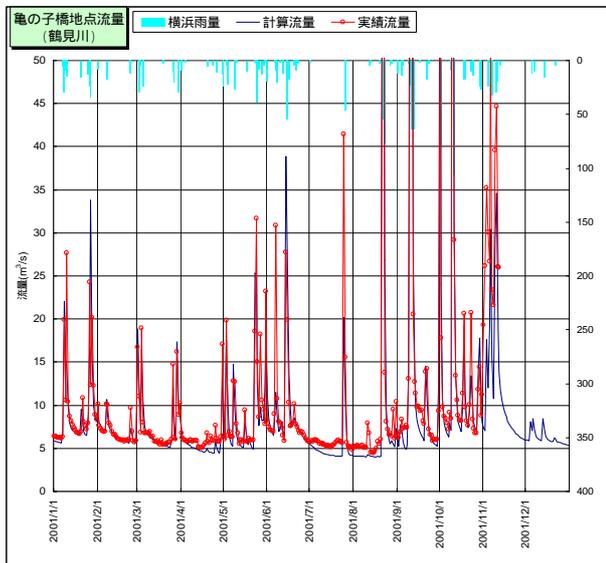
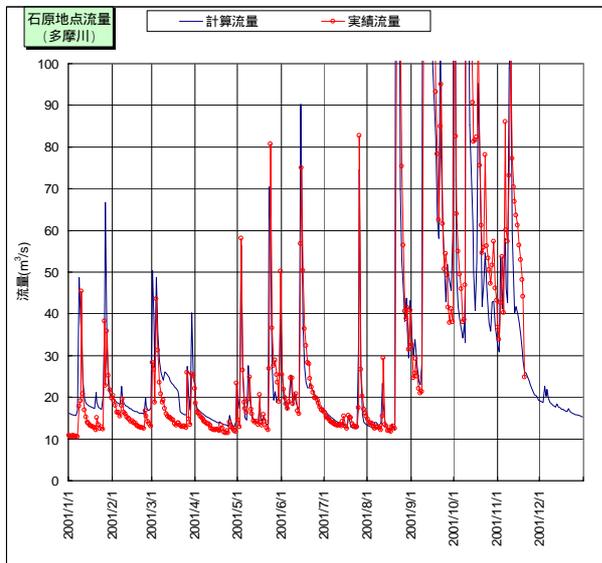
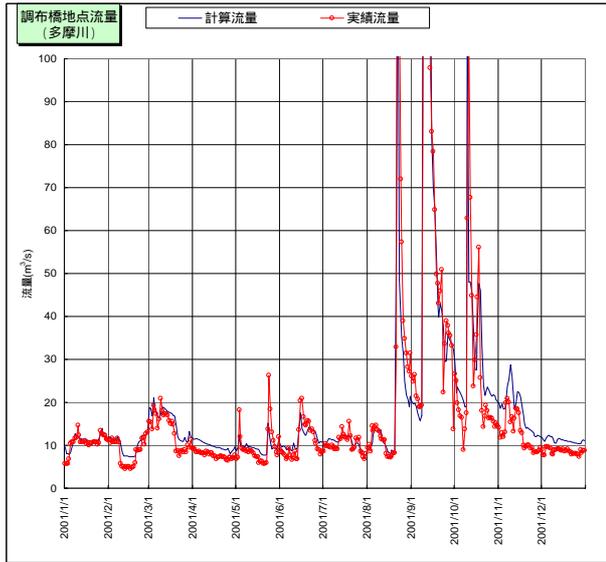
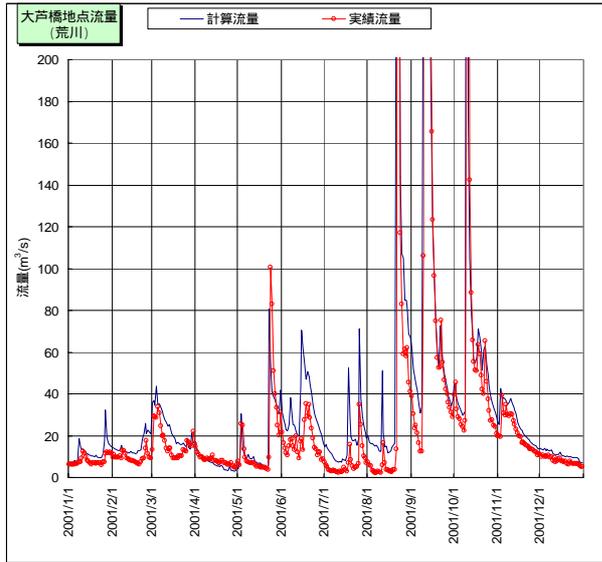


図-3.2.1.14 流量検証図

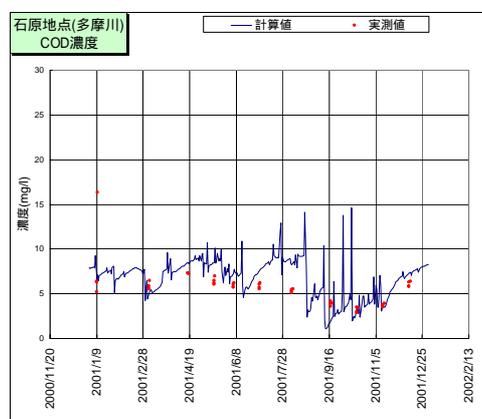
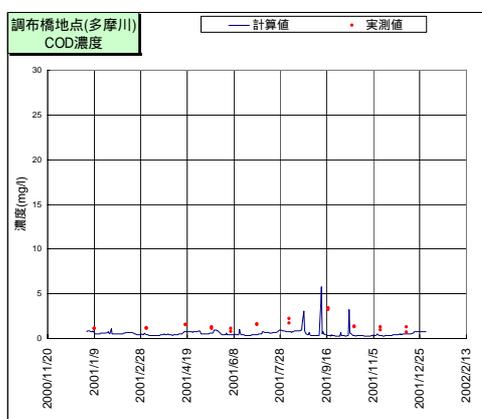
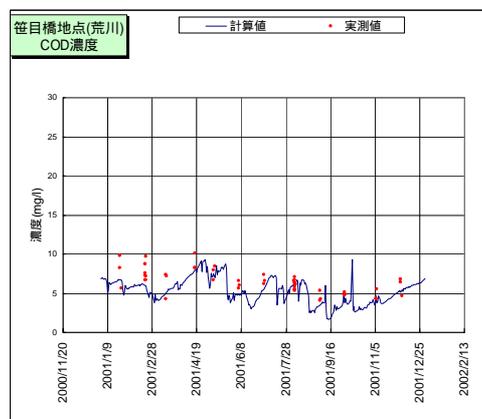
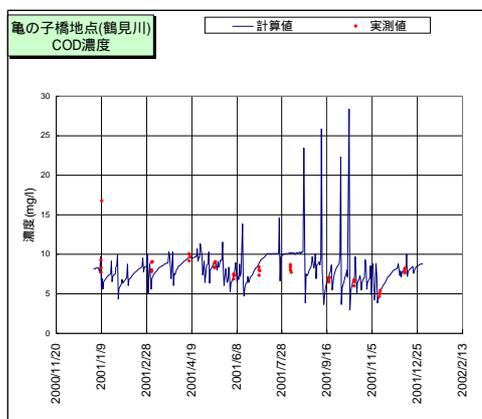
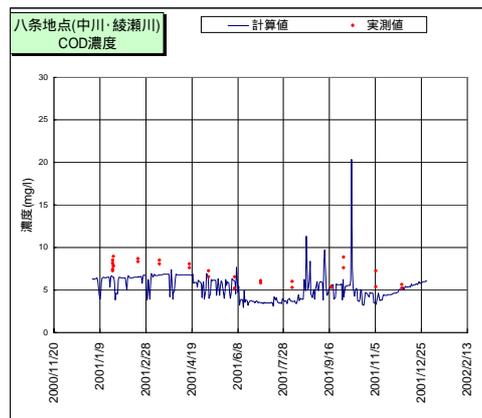
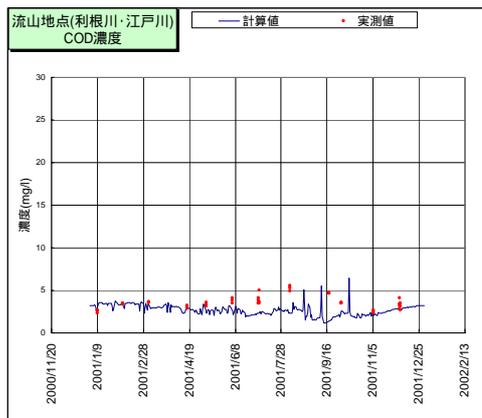
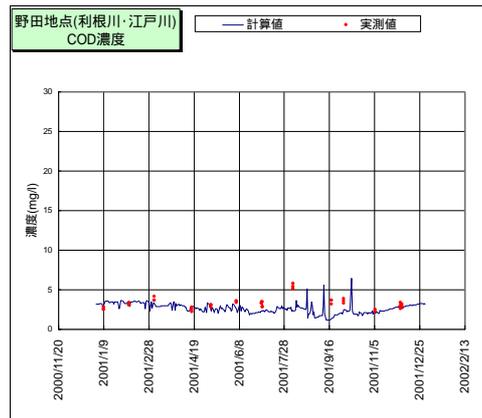
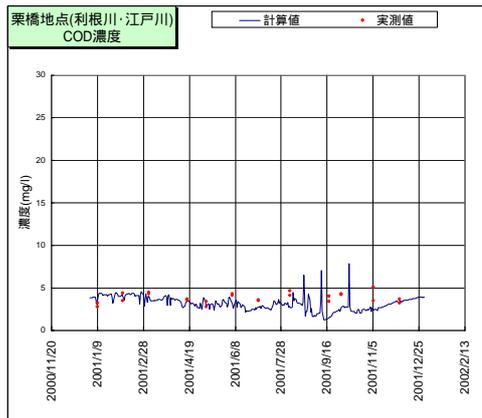


図- 3.2.1.15 水質 (COD) 検証図

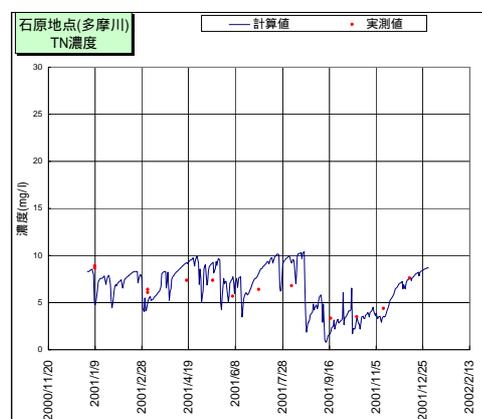
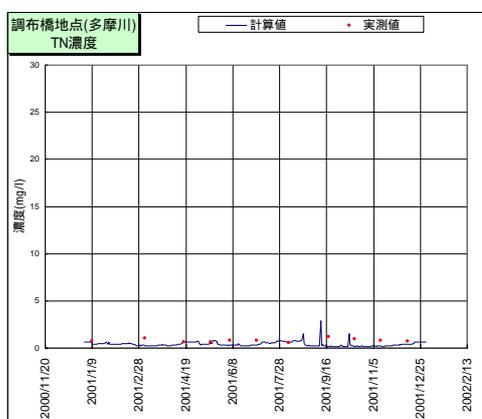
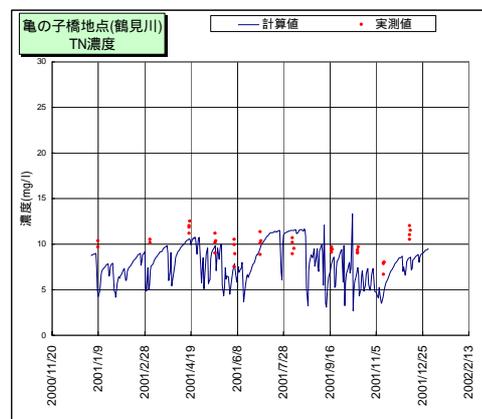
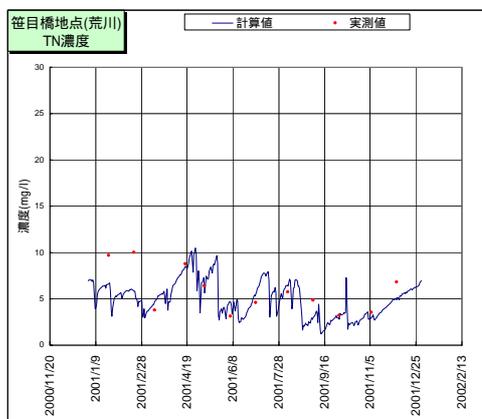
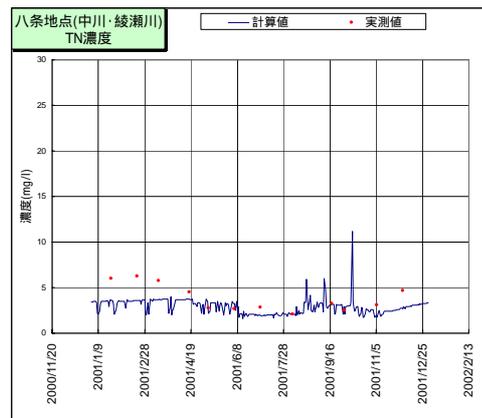
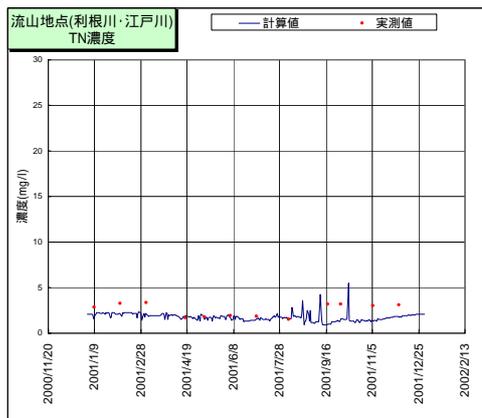
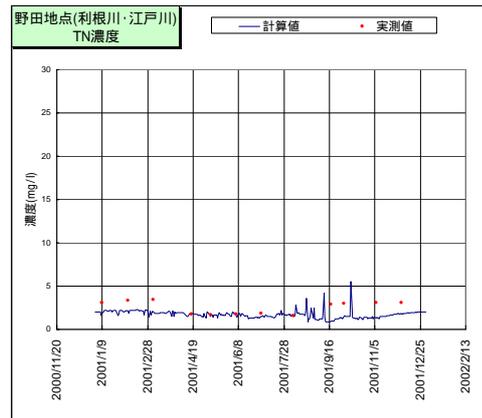
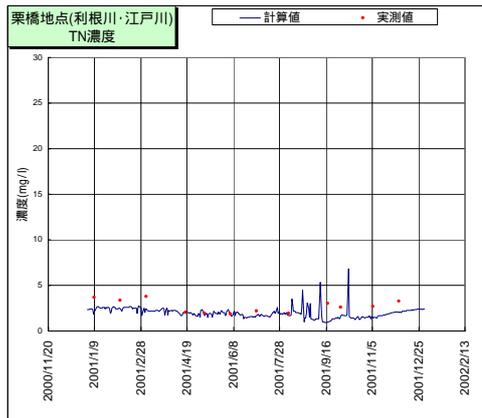


図- 3.2.1.16 水質 (T-N) 検証図

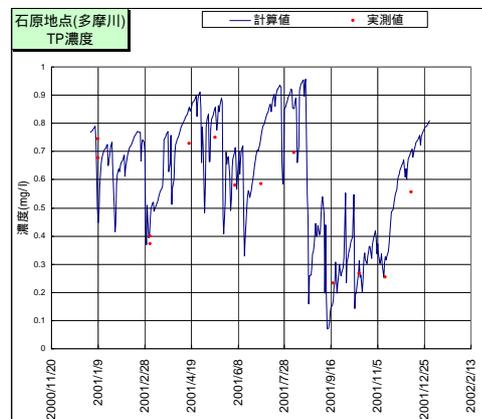
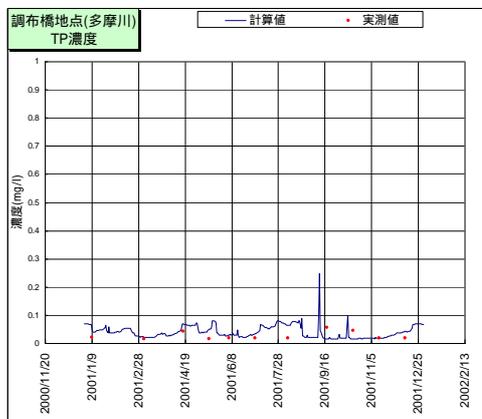
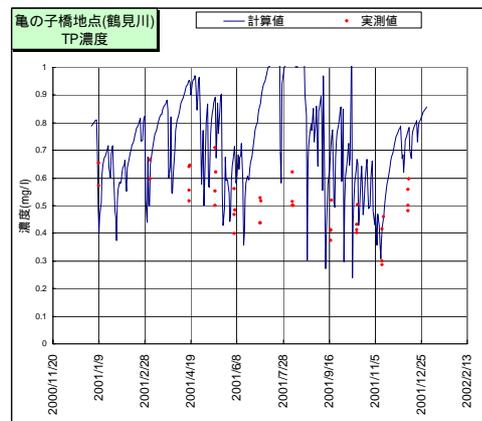
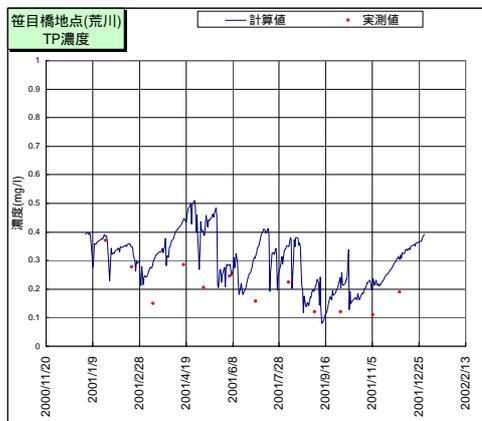
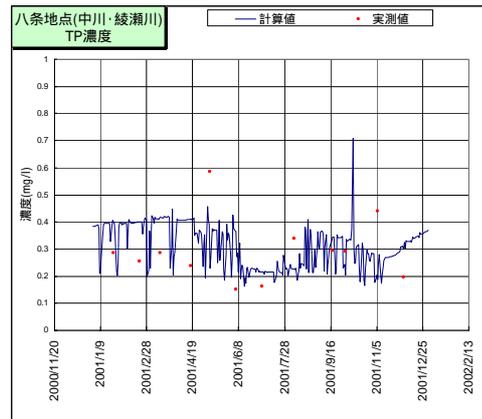
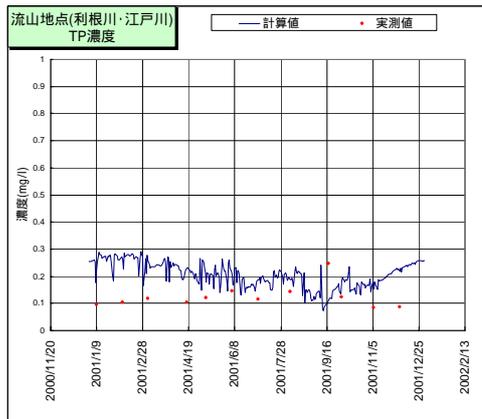
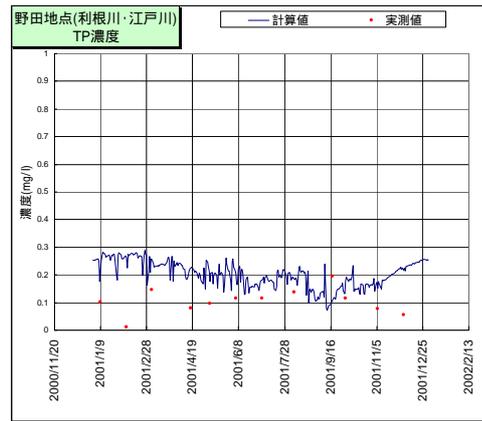
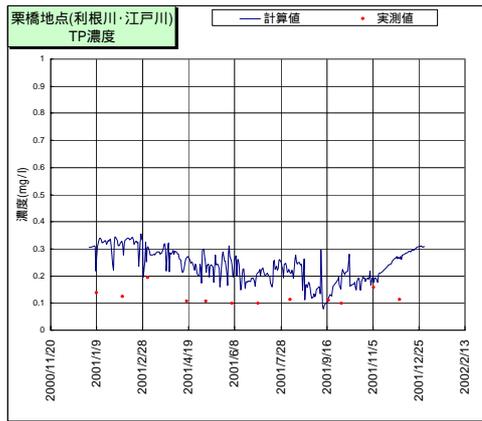


図- 3.2.1.17 水質 (T-P) 検証図

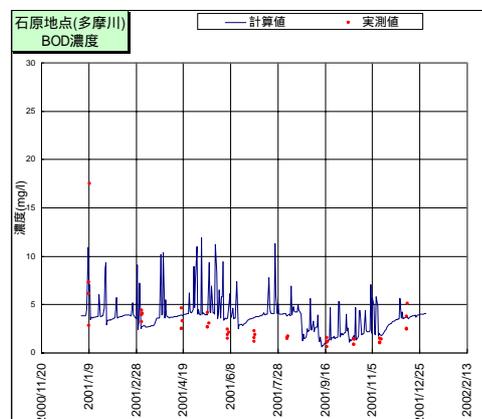
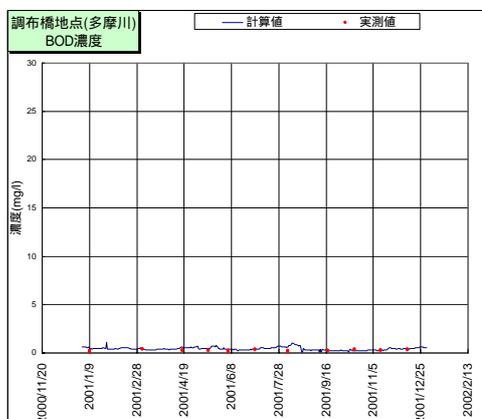
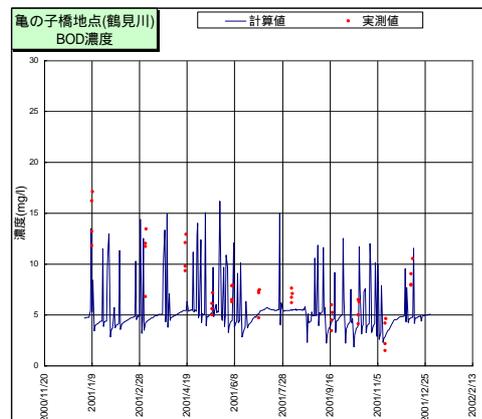
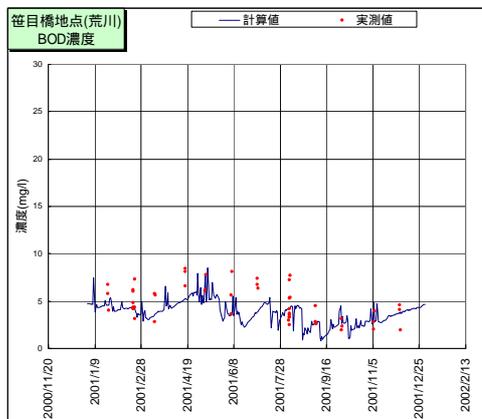
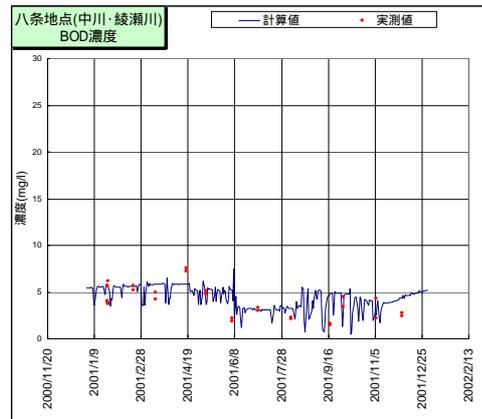
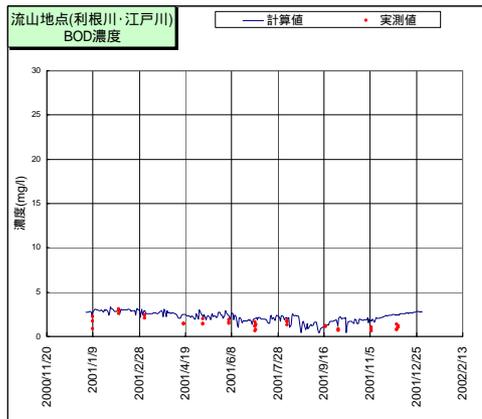
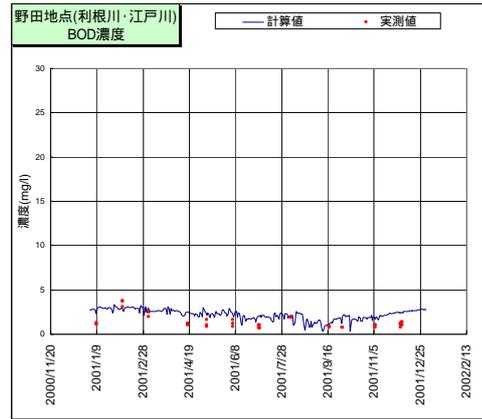
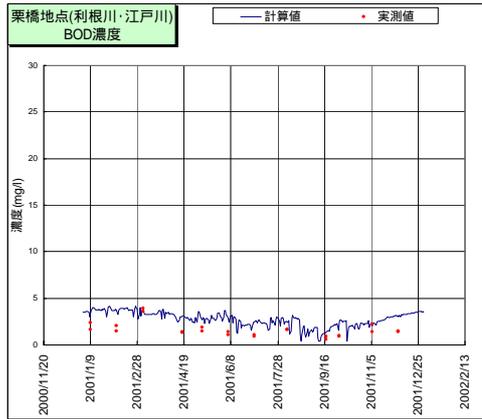
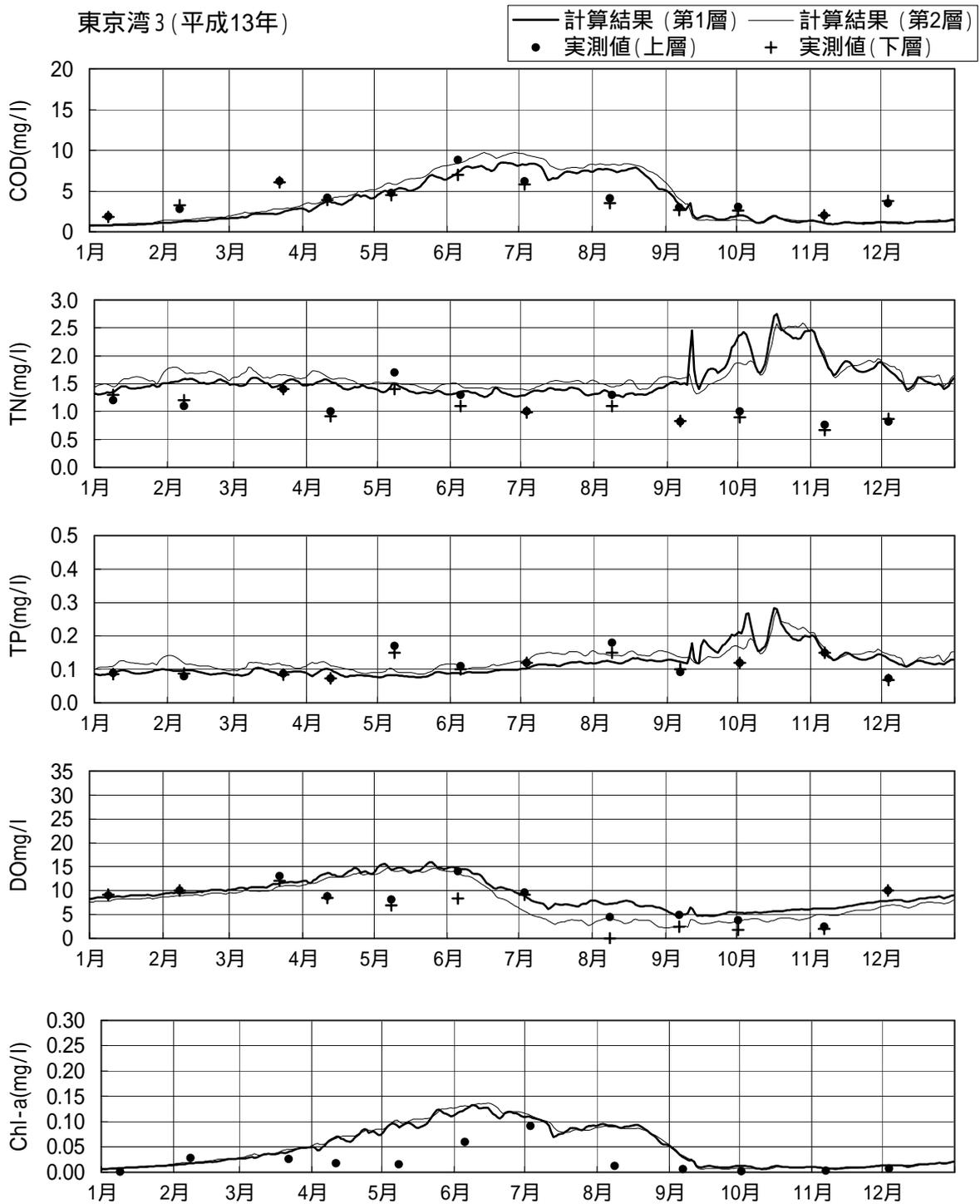


図-3.2.1.18 水質 (BOD) 検証図



年平均水質(mg/l)	COD	T-N	T-P	DO	Chl-a
実績 (上層)	4.217	1.117	0.112	8.175	0.023
計算 (第1層)	3.551	1.565	0.118	9.193	0.049

図- 3.2.1.19 検証グラフ

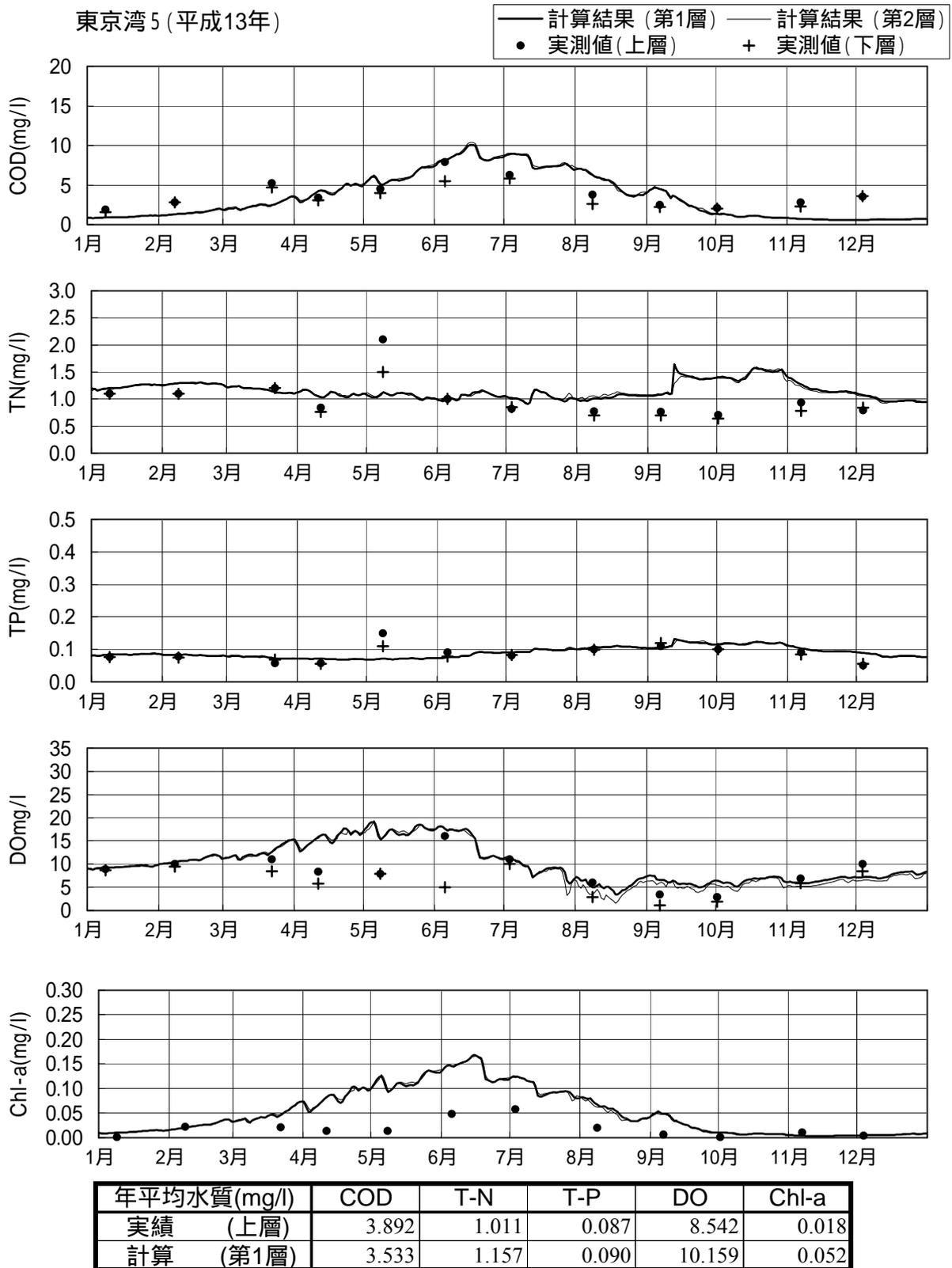


図- 3.2.1.20 検証グラフ

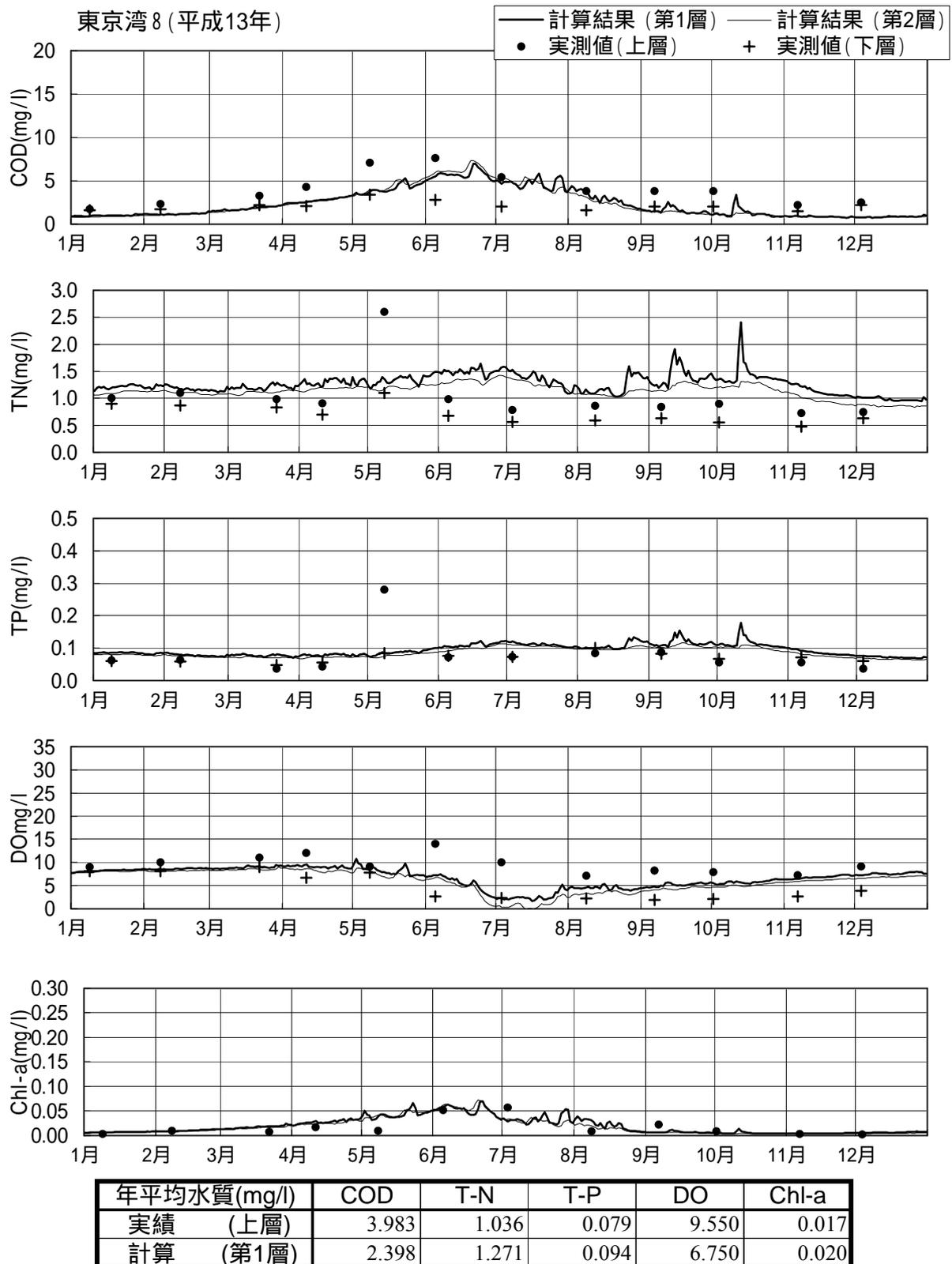


図- 3.2.1.21 検証グラフ

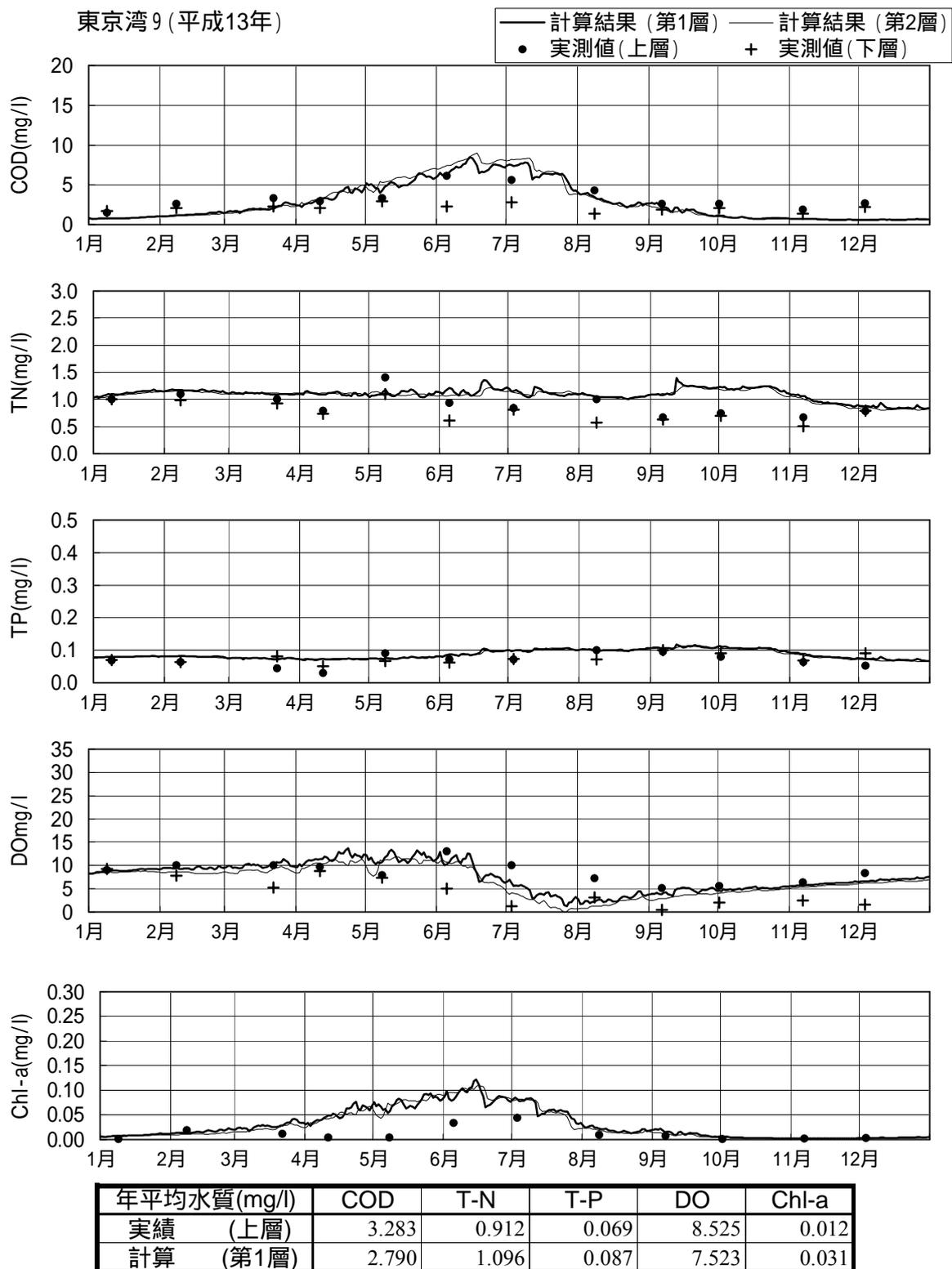


図- 3.2.1.22 検証グラフ

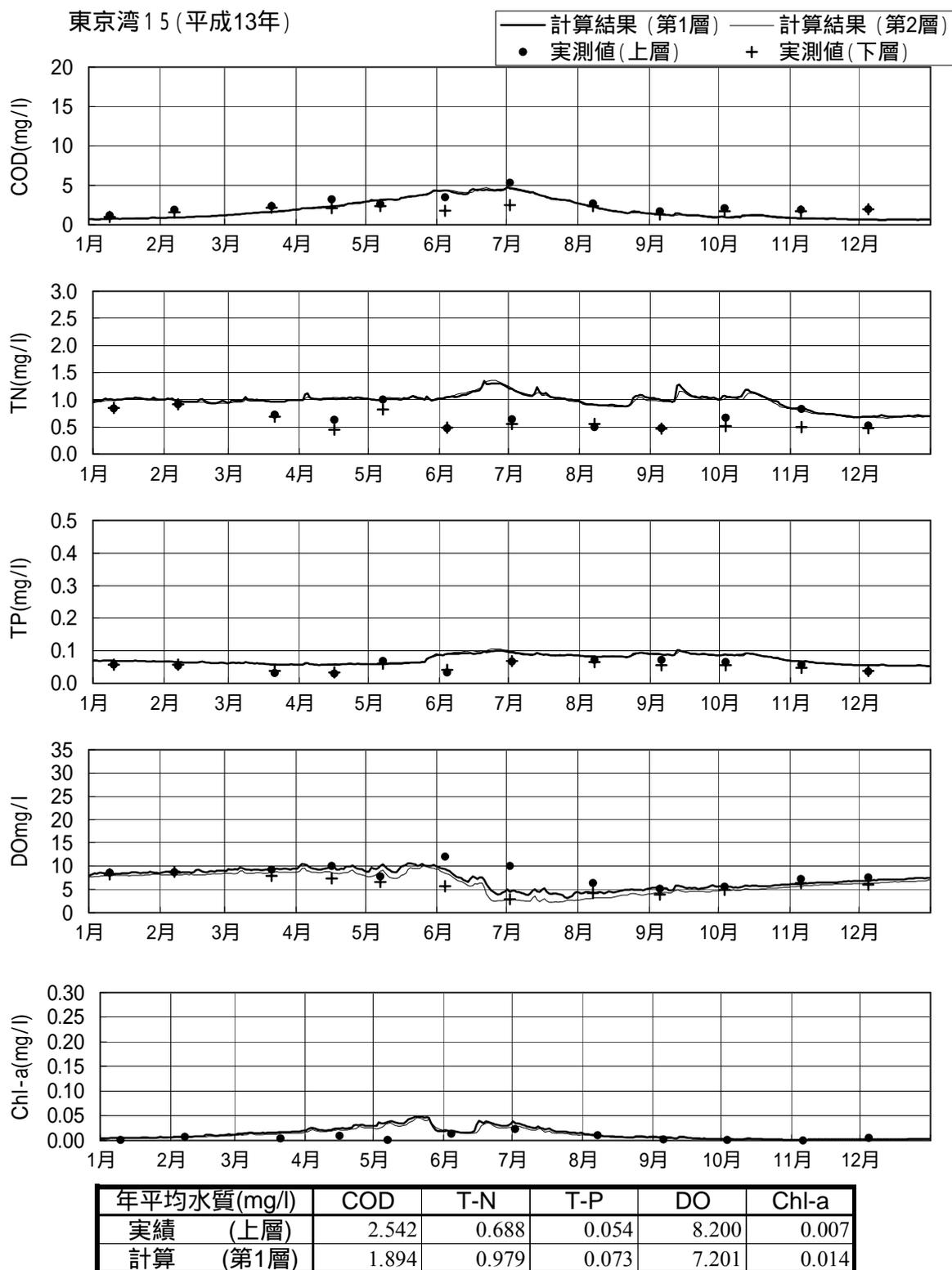


図- 3.2.1.23 検証グラフ

(8) 水物質循環モデルの開発（物理モデル）

本研究で構築した水物質循環モデル（流域モデル及び水域モデル）について述べる。

1) 流域モデル

この分布型物理モデルは、以下の6つの要素モデルから構成される。

蒸発散モデル：流域の降雨の分配（蒸発散、地下浸透、表面流出）を行う。

地下水モデル：地下での水・物質の挙動（水位、流速、物質移動・拡散）、および地表への湧出（湧水量・湧水水質）を解析する。

地表流モデル：地表面での水・物質の挙動（水位、流速、物質移動・拡散）、および河川・湖沼への流出を解析する。

河道モデル：河道での水・物質の挙動（水位、流速、物質移動・拡散）、および湖沼への流出を解析する。

人工系モデル：生活系・事業所系・畜産系からの排出負荷量を解析する。

水域モデル：閉鎖性水域（湖沼）での水・物質の挙動（BOX間流動、水質）を解析する。

以下に要素モデルの概略を示す。

a) 蒸発散モデル⁷⁾

蒸発散モデルは、流域に降った雨を、土地利用に応じて、蒸発散・地下浸透・表面流出に分配する要素モデルである。地表面に表層土壌層とその層にある土壌水分量を仮定し、土壌層への水の出入りを考えることによって、蒸発散量・地下浸透量・表面流出量を計算する。また、蒸発散モデルはメッシュを計算単位として計算する。なお、蒸発散モデルにより計算される地下浸透量は地下水モデルへ、表面流出量は地表流モデルへ受け渡される。

ア) 基礎式

表層土壌層の土壌水分量を θ とすると、 θ の収支式は以下のように表すことができる。

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \int_t^{t+\Delta t} g(t) dt - \int_t^{t+\Delta t} Et(t) dt - \int_t^{t+\Delta t} Fs(t) dt \quad (\text{式-3.2.1.35})$$

ここで、

$g(t)$: 時刻 t において土壌に浸入できる水分量: 土壌への浸入能 (mm/hr)、 $Et(t)$: 蒸発散量 (mm/hr)、 $Fs(t)$: 地下浸透量 (mm/hr)

以降に、式-3.2.1.35の右辺の各項の計算方法を記述する。

イ) 土壌層への浸入能 ($g(t)$) の計算

本モデルでは、実際の降雨による土壌への浸入能の時間変化を捉えるために、*Horton* の浸入能方程式での考え方を参考として、式-3.2.1.36について土壌水分量を媒介とした式形を用いて、土壌の浸入能を計算することとする。

Horton の浸入能方程式:

$$f(t) = f_{\infty} + (f_{\max} - f_{\infty}) \exp(-\alpha \times t) \quad (\text{式-3.2.1.36})$$

ここで、 $f(t)$: 浸入能 (mm/hr) f_{max} : 最大浸入能 (mm/hr) f_{∞} : 最終浸入能 (mm/hr)
 α : 逓減係数、 t : 降雨始め (*Horton* の実験開始) からの経過時間 (hr)

いま、実際の降雨のような連続した現象を表すために、本モデルでは、式-3.2.1.36 の式
 形を引用して、下式のように考えることとする。

$$f(t'+\Delta t') = f_{\infty} + (f(t') - f_{\infty}) \exp(-\alpha \times \Delta t') \quad (\text{式-3.2.1.37})$$

ここで、

$$H(\theta) = f(t')$$

とする。ただし、 t は以下の式を満たす値である。

$$\theta(t) = \int_0^{t'} f(t') dt' \quad 0 \leq t' \leq t'_{max}$$

なお、 θ と t の関係は下図のようになる。

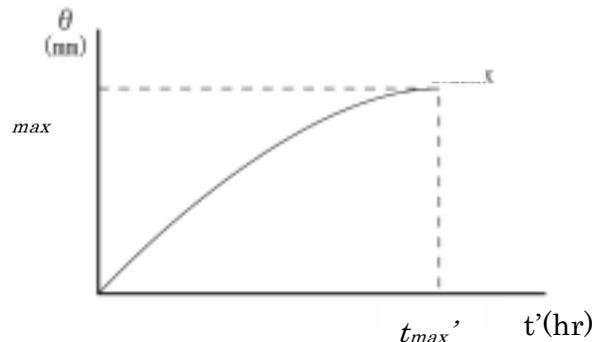


図- 3.2.1.24 土壤水分量 θ と t の関係

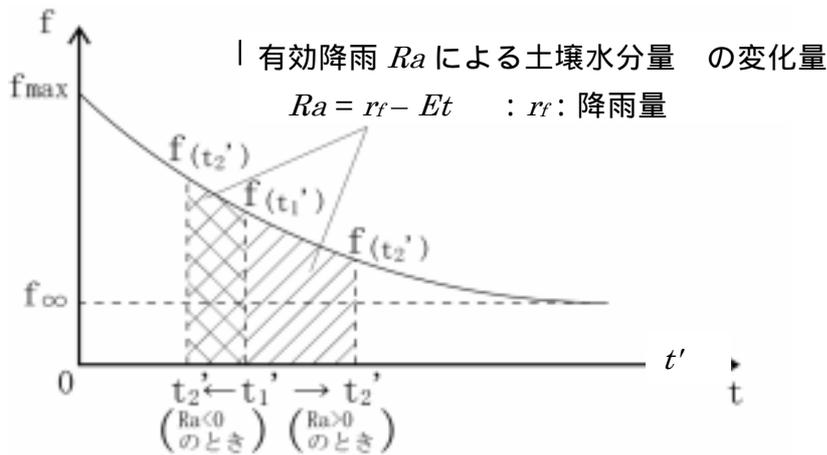


図- 3.2.1.25 t_1' t_2' の時の f の変化

いま、ある時刻 t_1 において、土壤水分量が θ_1 とすると、

$$g(t_1) = H(\theta_1) = f(t_1')$$

であり、 t_1 は、下式から求めることができる。

$$\theta_1 = \int_0^{t_1'} f(t') dt'$$

また、時刻 t_2 において、土壤水分量が θ_2 とすると、

$$g(t_2) = H(\theta_2) = f(t_2')$$

であり、 t_2' は、下式から求めることができる。

$$\theta_2 = \theta_1 + \int_{t_1'}^{t_2'} \min\{Ra(t), g(t)\} dt = \int_0^{t_2'} f(t') dt' = \theta_1 + \int_{t_1'}^{t_2'} f(t') dt'$$

Ra : 有効降雨量 (= $r_f - Et$: r_f : 降雨量)

よって、 $f(t_2') (= g(t_2))$ は、

$$\begin{aligned} f(t_2') &= f(t_1' + t_2' - t_1') = f_\infty + (f(t_1') - f_\infty) \exp(-\alpha(t_2' - t_1')) \\ &= f_\infty + (g(t_1) - f_\infty) \exp(-\alpha(t_2' - t_1')) \end{aligned}$$

となり、時刻 t_1 の浸入能である $g(t_1)$ から、 $t_2 - t_1$ 後 (t 後) の浸入能 $g(t_2)$ を、 $t_2 - t_1$ $t_2' - t_1'$ に変換することにより計算できる。

り) 蒸発散量 (E_t) の計算

蒸発および蒸散の機構は地被の状況や気象条件により複雑であり、研究者によって、ペンマンの式、ペンマン・モンテースの式、ソーンズウェイトの式、ハーモンの式等、種々の算出式が提案されている。

蒸発散量は、一般に、流域の土地利用や植生状態、土壌の水分状態、および気象条件に影響される。晴天が続くと土壌は乾燥し、蒸発散量は減少する。逆に降雨が続くと土壌は湿潤状態となり、蒸発散量は可能蒸発散量に漸近してくる。

そこで、本モデルでは、可能蒸発散能と土壌の水分条件等によって変化するパラメータである蒸発散比を用いて、蒸発散量を計算することとする。

可能蒸発散能の計算

可能蒸発散能の計算には、計算が容易で、かつ気象データの入手のしやすさから、ソーンズウェイトの式を採用することとする。ソーンズウェイトの式は、以下の通り定義される。

$$E_p = 0.533 \times D_0 \times \left(\frac{10t_j}{J}\right)^a$$

$$a = 0.000000675J^3 - 0.0000771J^2 + 0.01792J + 0.49293$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{t_j}{5}\right)^{1.514}$$

ここで、 E_p : j 月の日平均蒸発散能 (mm/日)

D_0 : 可照時間 (12 時/日を 1 とする)

t_j : j 月の月平均気温 ()

蒸発散比と蒸発散量の計算

蒸発散量は、下式により計算する。

蒸発散量 (mm/日) : $E_i(t) = ETR(t) \times E_p(t)$

ここで、

蒸発散比 : $ETR(t) = PET \left(1 - \frac{2}{1 + \exp(-k \times SW(t))} \right)$

PET : 蒸発散比の最大値、 k : 係数、 $E_p(t)$: 可能蒸発散能 (mm/日)

$SW(t)$: 最大土壌水分量 SM_{max} に対する土壌水分量の割合 (= t/SM_{max})

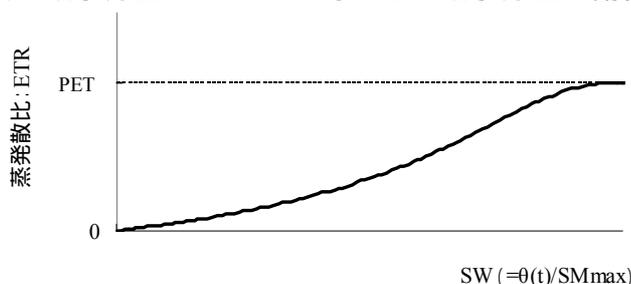


図- 3.2.1.26 蒸発散比と土壌水分量の関係の概念図

I) 表面流出量 (Q_s) の計算

表面流出量を Q_s とすると、 Q_s は以下の式により計算する。

$$Q_s = r_f - g(t) - Et(t) - Fs(t) \quad \text{ただし、} Q_s < 0 \text{ なら、} Q_s = 0$$

ここで、 Q_s : 表面流出量 (mm/hr)、 r_f : 降雨量 (mm/hr)、 $g(t)$: 時刻 t の土壌への浸入能、 $Et(t)$: 蒸発散量 (mm/hr)、 $Fs(t)$: 地下浸透量 (mm/hr)

II) 地下浸透量 (F_s) の計算

地下浸透量 $F_s(t)$ は以下の条件より計算する。

$$\left\{ \begin{array}{ll} g(t) \text{ が } g_{fs} \text{ を越える場合、} g(t) \geq g_{fs} & F_s(t) = 0 \\ g(t) \text{ が } g_{fs} \text{ を下回る場合、} g(t) < g_{fs} & F_s(t) = f_{\infty} \end{array} \right.$$

ここで、 g_{fs} : 地下浸透が生じるときの浸入能、 f_{∞} : 最終浸入能

b) 地下水モデル

ア) 水の流動

i) 基礎式

下図に示すように、土壌層の飽和側方浸透流と山体地層の地下水流動は、平面 2 次元多層浸透流により解析する。構成式は以下に示すとおりである (3 層の場合)。

第 1 層 (不圧帯水層) : $S_1 \frac{\partial h_1}{\partial t} = T_1 \times \frac{\partial^2 h_1}{\partial x^2} + T_1 y \frac{\partial^2 h_1}{\partial y^2} + q_p - q_1 - Q_1 - q_{sp}$ (式- 3.2.1.38)

$$\text{第 2 層 (難透水層)}: q_1 = K_2 \times D_2 \times A \times (h_1 - h_3) \quad (\text{式- 3.2.1.39})$$

$$\text{第 3 層 (被圧帯水層)}: S_3 \frac{\partial h_3}{\partial t} = T_3 x \frac{\partial^2 h_3}{\partial x^2} + T_2 y \frac{\partial^2 h_3}{\partial y^2} + q_1 - Q_2 \quad (\text{式- 3.2.1.40})$$

ここで、

T_1 : 第 1 層の透水量係数 (= $K_1 \times D_1$)	S_1 : 第 1 層の有効間隙率
T_3 : 第 3 層の透水係量数 (= $K_3 \times D_3$)	S_3 : 第 3 層の貯留係数
D_1 : 第 1 層の層厚	h_i : 各層の水頭
D_2 : 第 2 層の層厚	q_p : 降水からの涵養量 (地下浸透量)
D_3 : 第 3 層の層厚	q_1 : 難透水層への漏水層
K_1 : 第 1 層の透水係数	q_{sp} : 地表面への湧水量
K_2 : 第 2 層の透水係数	A : メッシュ面積
K_3 : 第 3 層の透水係数	Q_1 : 浅井戸揚水量 (第 1 層からの揚水)
	Q_2 : 深井戸揚水量 (第 3 層からの揚水)

ii) 湧水の湧出機構

湧水は、第 1 層の地下水位が地表面標高よりも高くなった場合に発生する。実現象では、地下水位は地表面標高よりも高くなることはないことから、湧水となって地表に湧出している。モデルでは、地下水位と地表面標高との水位差に透水係数 (漏水係数) を乗じて、湧水量を計算する。

$$q_{sp} = l_r (h - h_r) \times A / D \quad (\text{式- 3.2.1.41})$$

q_{sp} : 湧出 (漏水) 量 (m^3/s)、 h_B : 地表面標高 (m)、 h_I : 第 1 層の地下水位 (m)、
 l_r : 漏水係数 (m/s)、 A : メッシュ面積 (m^2)、 D : 層厚 (m)

i) 物質の挙動

i) 基礎式

地下水水質は、平面 2 次元移流拡散方程式を採用し、計算を行う。また、土壌内での水質変化として、土壌への吸着、分解等の項を方程式中に加える。

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + L_{in} - L_{sp} \quad (\text{式- 3.2.1.42})$$

ここで、

C : 物質濃度、 u 、 v : 地下水流速、 R_d : 吸着係数 (遅れ係数)、 L_{in} : 地表面からの供給負荷量 (農地および降雨からの負荷)、 L_{sp} : 湧水による地表面への湧

出負荷 (= $q_{sp} \times C$)

$D_{xx} = D_{xy} = D_{yx} = D_{yy} = D$: 分散係数 (等方性を仮定)

ii) 土壌の吸着

地下水に含まれる物質が土壌粒子に吸着される場合には、地下水濃度と土壌表面に吸着されている物質濃度との間に吸着等温式が成立する。ここでは、可逆的であり、両者の間で吸脱着過程があると仮定すると、吸着係数（遅れ係数）は以下の式で表現する。

$$R_d = 1 + \frac{(1-n)\rho_s}{\theta} k_d \quad (\text{式- 3.2.1.43})$$

ここで、

n : 土壌間隙率、 ρ_s : 土壌の真密度、 θ : 体積含水率、 k_d : 分配係数

c) 地表流モデル

ア) 水の挙動

正方メッシュで分割された流域メッシュにおいて、ダイナミックウェーブ・モデルを用いて、平面二次元不定流として計算する。

i) 基礎式

$$x\text{-方向の運動方程式: } \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uM + \frac{\partial}{\partial y} vM = -gH \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad (\text{式- 3.2.1.44})$$

$$y\text{-方向の運動方程式: } \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} uN + \frac{\partial}{\partial y} vN = -gH \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad (\text{式- 3.2.1.45})$$

$$\text{連続式: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e \quad (\text{式- 3.2.1.46})$$

ここで、

M 、 N : x 、 y 方向の流量フラックス

$M = uh$ 、 $N = vh$ u 、 v : x 、 y 方向の流速

H 、 h : 水深

r_e : メッシュ発生水量・・・表面流出量、地下水湧水量、人工系汚水量の合計値

τ_{xb} 、 τ_{yb} : 摩擦速度・・・ Manning式を用いて、次式から算出する。

$$\tau_{xb \text{ or } yb} = gn^2 (u \text{ or } v) \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad n : \text{粗度係数}$$

イ) 物質の挙動

i) 基礎式

地表面の汚濁負荷の流達は、地表面の水の流動により生じるメッシュ間移流負荷と、該当メッシュで発生する人工系排出負荷、自然系排出負荷、湧水負荷とを用いて、メッシュ単位での収支式により計算を行う。

メッシュごとの収支式を下式に示す。

$$\frac{\partial (c_{i,j} V_{i,j})}{\partial t} = \underbrace{(L_{u'} + L_{v'}) - (L_u + L_v)}_{\text{(メッシュ間移流負荷項)}} + \underbrace{L_i + L_q + L_{sp}}_{\text{(メッシュ発生負荷項)}} \quad (\text{式- 3.2.1.47})$$

人工系負荷 L_i 、地表面発生負荷 L_q の算出方法は後述する。湧水負荷 L_{sp} は b) 地下水モデルから算出される。

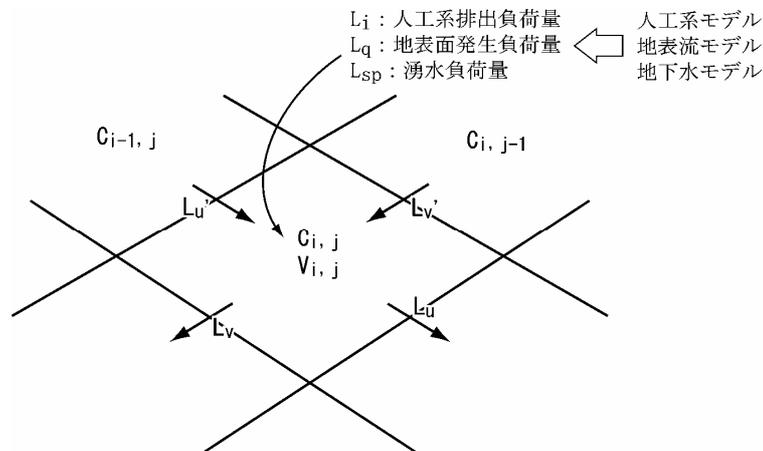


図- 3.2.1.27 地表面の物質の挙動

ii) 流域の浄化機能の基礎式

流域の浄化機能については、実際流域を流れる水は、山林等では水みち、市街地や宅地では側溝や排水路等を流下していることが多い。このため、浄化の機構としては河道での機構と類似していると考えられる。

従って、流域の浄化機能は河道の浄化機能と同様に、Streeter-Phelps 式によって評価する。

$$C = C_0 e^{-kt}$$

ここで、 C : メッシュ内の物質濃度 (mg/l)、 C_0 : $t = t_0$ のときの C 、 k : 浄化係数

iii) 地表面負荷の発生

降雨からの負荷

地下水水質の計算時と同様に、下式により算出する。

$$[\text{降雨負荷 (g/s)}] = [\text{降雨水質 (g/m}^3\text{)}] \times [\text{表面流出量 (m}^3\text{/s)}]$$

ここで、表面流出量は、蒸発散モデルにおいて算出された値を用いる。

降雨時表面流出による負荷の発生

降雨時の地表面から発生する負荷は、負荷堆積量を考慮した雨天時流出負荷量算定モデルを用いる。このモデルは下式により表現される。

$$L = k \times S^m \times (Q - Q_c) Q^n$$

$$S = S_0 - \int L$$

ここで、 L : 流出負荷量 (g/s)、 Q : 表面流出量 (m³/s)、 Q_c : 限界流量 (m³/s)、 S :

堆積負荷量 (g) S_0 : 初期堆積負荷量、 $k \cdot m \cdot n$: パラメータ

d) 河道モデル

ア) 水の挙動の基礎式

河道における流れは、1次元 kinematic-wave モデルにより計算する。

地表流モデルにより計算される流域メッシュからの地表流量、および地下水モデルにより計算される地下水の湧出量を入力条件として計算を行う。

基礎式は、以下のとおり。

$$\text{連続式} \quad : \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (\text{式- 3.2.1.48})$$

$$\text{運動量式} \quad : \quad Q = A \times \frac{R^{2/3} I^{1/2}}{n} \quad (\text{式- 3.2.1.49})$$

ここで、

Q : 流量、 A : 流水断面積、 q : 横流入量、 R : 径深、 n : 粗度係数、 I : 河床勾配

イ) 物質の挙動の基礎式

河道における物質の挙動 (流達) は、流域で計算された河道への流入負荷と河道に直接湧出する湧水の負荷を入力条件として、1次元移流方程式により計算する。

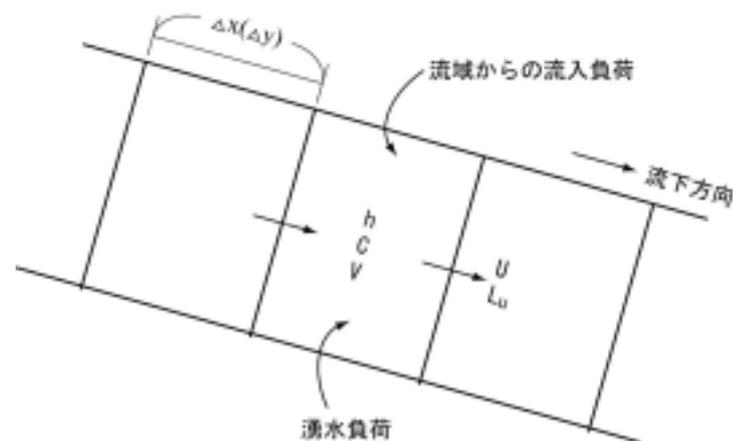


図- 3.2.1.28 河道の物質の挙動

$$\frac{\partial A \cdot C}{\partial t} + u \frac{\partial A \cdot C}{\partial x} = Li \quad (\text{式- 3.2.1.50})$$

ここで、

V : 河道メッシュ体積 ($A \times h$) (m^3)、 C : 河川水質濃度 (mg/L)、 u : 流速 (m/s)、

Li : 外部入負荷量 (流域からの流出負荷量、湧水負荷量) (g/s)

河川の浄化機能は、Streeter-Phelps 式によって評価する。

$$C = C_0 e^{-kt}$$

ここで、 C : 物質濃度 (mg/l)、 C_0 : $t = t_0$ のときの C 、 k : 自浄係数

e) 人工系モデル

生活系、畜産系、事業所系の排水量、排出負荷量はメッシュごとに GIS を用いて原単位法により計算し地表流モデルの入力条件とする。ただし、下水処理、し尿処理については処理場から地表流又は湖沼モデルに与える。

ア) 排出汚濁負荷・排水量の算出

i) 排出汚濁負荷・排水量（生活系）の算出

生活系汚濁負荷とは、人間の生活活動に由来して発生する負荷量を指す。下式により負荷量・排水量を算出する。

$$\begin{aligned} \text{各メッシュの負荷量} &= \text{メッシュの合併処理浄化槽人口} \times \text{合併処理浄化槽負荷原単位} \\ &+ \text{メッシュの単独浄化槽人口} \times \text{単独浄化槽負荷原単位} \\ &+ \quad \quad \quad : \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{各メッシュの排水量} &= \text{メッシュの合併処理浄化槽人口} \times \text{合併処理浄化槽排水量原単位} \\ &+ \text{メッシュの単独浄化槽人口} \times \text{単独浄化槽排水量原単位} \end{aligned}$$

ii) 排出汚濁負荷・排水量（畜産系）の算出

畜産系の排出負荷量の算出方法は、以下の通り。

- ・ 畜産頭数の分布データを該当するメッシュに振り分ける。
- ・ 分布データがない場合、字ごと、あるいは市町村ごとの家畜頭数を、字ごと、市町村ごとのメッシュに一律に振り分ける。
- ・ メッシュごとに、畜産頭数 × 畜産原単位により、排出負荷量を計算する。

iii) 排出汚濁負荷・排水量（事業所系）の算出

事業所からの排出負荷量の算出方法は、以下の通り。

- ・ 対象は、届け出義務のある特定事業所のみとする。
- ・ 特定事業所の住所から該当するメッシュを関連づける。
- ・ 排水量・排水水質は届け出排水量・排水水質とする。
- ・ 排水負荷量は、排水量 × 排水水質で算出する。
- ・ メッシュ内に複数事業所がある場合は、全て合算し、そのメッシュでの事業所系排出負荷量とする。

iv) 結果の合算

$$\text{排水量 (リットル/日)} = \text{生活系排水量} + \text{事業所系排水量}$$

$$\text{COD 負荷量 (kg/日)} = \text{生活系 COD 排出負荷量} + \text{畜産系 COD 排出負荷量} + \text{事業所系 COD 排出負荷量}$$

$$\text{T-N 負荷量 (kg/日)} = \text{生活系 T-N 排出負荷量} + \text{畜産系 T-N 排出負荷量} + \text{事業所系 T-N 排出負荷量}$$

$$\text{T-P 負荷量 (kg/日)} = \text{生活系 T-P 排出負荷量} + \text{畜産系 T-P 排出負荷量} + \text{事業所系 T-P 排出負荷量}$$

f) 水域モデル

水域モデルとしては、今回の検討対象が湖沼水域全体の空間的、時間的な平均水質であることから、閉鎖性水域の水質を再現できる最も簡潔なモデルとして、ボックスモデルを選定した。水域をその形状や流域条件から水質が概ね等しいと想定される、複数の水域ボックスに分割し、ボックス間の水の移動、物質の移流・拡散は考慮しつつも、ボックス内における水・物質の流動現象は考慮しないモデルである。なお、閉鎖性水域においては、富栄養化現象が重要となるため、植物プランクトンの増殖を組み込んでいる。

ア) ボックス分割とボックス間の水・物質の移動

霞ヶ浦の水域分割については、湖沼の形状特性や基本的な流れ方向に応じて、図-3.2.1.29に示す通り、西浦を4分割、北浦を2分割し、それぞれ外浪逆浦に接続した。各ボックスの水位は等しいとして出島における観測水位を与えるとともに、各ボックス毎に求められたH-V式（水位と容積の関係）を用いて、流域及び上流ボックスからの流入量、取水量を含めた各ボックスの水量を算定し、超過分を下流ボックスに流す（外浪逆浦ボックスに関しては系外へ排出する）ことにより調整する。

また、流出側のボックス内の水質とボックス間の移動水量及び濃度差に応じて、COD、N、Pの物質も移動・拡散するものとする。

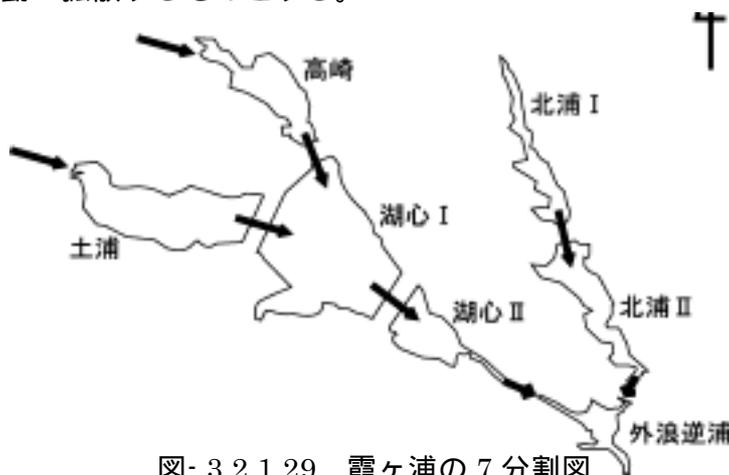


図- 3.2.1.29 霞ヶ浦の7分割図

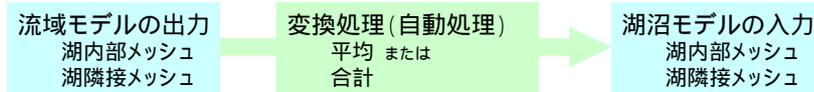
イ) 陸域モデルと水域モデルの接続

陸域モデルと水域モデルを接続し、流域からの流出水量、流出汚濁負荷量が水域の水質に反映されるよう、流域のメッシュ分割と水域ボックスを対応付け、陸域モデルの出力水域モデルの入力となるようプログラムの調整を行った。陸域モデルから水域モデルへ受け渡すデータの種類、変換方法等については、表- 3.2.1.17の通りである。

ウ) 溶出モデル

水域への汚濁負荷供給として重要な底質からの溶出については、既往の溶出実験に基づき求められた溶出速度式により与えた。これによると各物質の溶出速度は、底質中の当該物質濃度の関数となっている。

表- 3.2.1.17 流域水物質循環モデルからのデータの受け渡し



流域モデル出力	変換処理		湖沼モデル入力
	平均・合計	変換	
水位 (流域モデル入力条件)	全湖一定値	変換なし	水位
平均気温	内部メッシュ平均	気温 水温	水温
正味放射量	内部メッシュ平均	変換なし	日射量
降雨量	内部メッシュ合計		
河川流入量からの流入量	隣接メッシュ合計	3項目を合計	BOXへの流入量
下水処理水排水量	隣接メッシュ合計		
蒸発量	内部メッシュ合計		
生活・工業・農業用取水量	隣接メッシュ合計	3項目を合計	BOXからの流出量
常陸利根川水門放水量 (BOX7のみ)	隣接メッシュ合計		
降雨負荷量 (COD、窒素、リン)	内部メッシュ合計	3項目を合計	COD負荷量
流域からの負荷量 (COD、窒素、リン)	隣接メッシュ合計	懸濁・溶存分離	窒素負荷量 (Inorg-N, Org-N)
下水排水負荷量 (COD、窒素、リン)	隣接メッシュ合計		リン負荷量 (Inorg-P, Org-P)

I) 水域内の水質形成過程

各水域ボックス内では、汚濁負荷の流入・流出・溶出・沈降の他、懸濁態有機物の分解 (溶存栄養塩類化)、植物プランクトンの光合成・呼吸・枯死・沈降等による水質形成をモデル化する (図- 3.2.1.30参照)。また、基本方程式は以下に示す通りである。

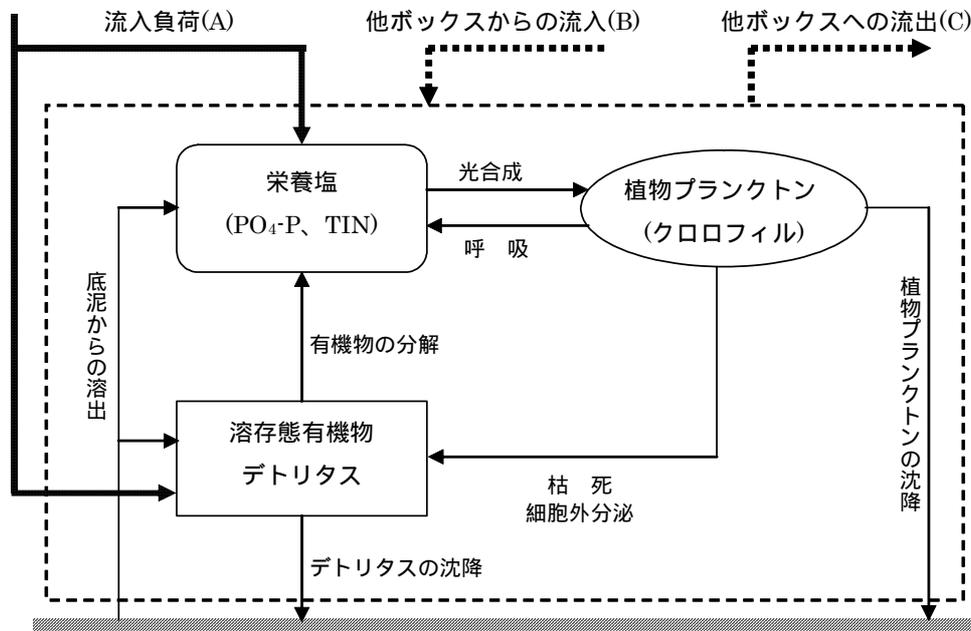


図- 3.2.1.30 水域モデルの構造

表- 3.2.1.18 モデル上で考慮する水質物質

項目	水質物質	単位	モデル変数名
植物プランクトン	藍藻類	mgChl.a/L	M1
	珪藻その他藻類	mgChl.a/L	M2
デトリタス	デトリタス	mgC/L	D
窒素	無機態窒素	mgN/L	IN
	溶存有機態窒素	mgN/L	ON
リン	無機態リン	mgN/L	IP
	溶存有機態リン	mgN/L	OP
COD	溶存態 COD	mgCOD/L	COD

【水域モデルの基礎方程式】

基礎方程式（流入・流出過程）

$$\frac{\partial}{\partial t} hSC = \underbrace{J_{IN} C_{IN}}_{\text{[流入項]}} - \underbrace{J_{OUT} C}_{\text{[流出項]}} + \underbrace{L}_{\text{[流入負荷]}} \quad (\text{式- 3.2.1.51})$$

- h : 各層の層厚
- S : 各ボックスの表面積
- C : 各水質項目の濃度 C_{IN} : 流入水の濃度
- J_{IN} : 流入水量（他ボックスからの流入）
- J_{OUT} : 流出水量（蒸発、取水も含む）
- L : 流入負荷量

水域モデルの基礎方程式（物質収支）

水質モデルにおける各水質物質の物質収支式は、下式の通り表現される。各ボックス毎に、全ての計算対象水質物質（表- 3.2.1.18）について本式を立式し、連立方程式として数値解析解を得る。

$$\underbrace{\frac{d}{dt}(V_i C_i)}_{\text{物質量変化}} = \underbrace{J_{in} C_{in} - J_{out} C_i}_{\text{移流}} + \underbrace{\sum_j \frac{DA_{ij}}{l_{ij}} (C_j - C_i)}_{\text{拡散}} + \underbrace{L_{in} - L_{out}}_{\text{負荷流出入}} + \underbrace{R_i}_{\text{反応}} \quad (\text{式- 3.2.1.52})$$

ここで、

- V : 当該ボックスの容量
- C_i : 当該ボックスの水質濃度
- J_{in} : 上流側ボックスから当該ボックスへの移流量
- C_{in} : 上流側ボックスの水質濃度
- J_{out} : 当該ボックスから下流側ボックスへの移流量
- D : 拡散係数
- A_{ij} : 当該ボックスと隣接ボックス間の断面積
- l_{ij} : 当該ボックスと隣接ボックス間の距離
- C_j : 隣接ボックスの水質濃度

- L_{in} : 当該ボックスに流入する負荷量 (河川流入等)
 L_{out} : 当該ボックスから流出する負荷量 (取水等)
 R_i : 当該ボックスにおける反応項 (生物増殖、分解、沈降、溶出等)
添え字 i, j : それぞれ当該ボックス、隣接ボックスを示す

また、各水質物質の反応項 R_i は以下のように表される。各式右辺は、水質モデルでの各反応経路に関わる項である。

i) 無機態窒素 (IN)

$$R_{IN} = N/M \cdot R_{11-} - N/M \cdot R_{12+} + N/M \cdot R_{21+} - N/M \cdot R_{22+} - N/Z \cdot R_{2Z+} + R_{4N}$$

ii) 無機態リン (IP)

$$R_{IP} = - P/M \cdot R_{11-} - P/M \cdot R_{12+} + P/M \cdot R_{21+} - P/M \cdot R_{22+} - P/Z \cdot R_{2Z+} + R_{4P}$$

iii) 藍藻類 (M1)

$$R_{M1} = (1 - \alpha_1) \cdot R_{11-} - R_{21-} - R_{31-} - R_{51} - R_{1ZM1}$$

iv) 珪藻類 (M2)

$$R_{M2} = (1 - \alpha_2) \cdot R_{12-} - R_{22-} - R_{32-} - R_{52} - R_{1ZM2}$$

v) 有機態窒素 (ON)

$$R_{ON} = N/M \cdot \alpha_1 \cdot R_{11+} - N/M \cdot \alpha_2 \cdot R_{12+} + N/M \cdot R_{31+} - N/M \cdot R_{32+} + N/D \cdot R_{4D-} - R_{4N} - R_{5N}$$

vi) 有機態リン (OP)

$$R_{OP} = P/M \cdot \alpha_1 \cdot R_{11+} - P/M \cdot \alpha_2 \cdot R_{12+} + P/M \cdot R_{31+} - P/M \cdot R_{32+} + P/D \cdot R_{4D-} - R_{4P} - R_{5P}$$

vii) 溶存態 COD (COD)

$$R_{COD} = C/M \cdot \alpha_1 \cdot R_{11+} - C/M \cdot \alpha_2 \cdot R_{12+} + C/M \cdot R_{31+} - C/M \cdot R_{32+} + C/D \cdot R_{4D-} - R_{4C} - R_{5C}$$

viii) 動物プランクトン (Z)

$$R_Z = Z/M \cdot \alpha_1 \cdot R_{1Z-} - R_{2Z-} - R_{3Z}$$

ix) デトリタス (P)

$$R_D = D/M \cdot (R_{31+} + R_{32+}) + D/M \cdot (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \cdot R_{1Z+} + D/Z \cdot R_{3Z-} - R_{4D-} - R_{5D}$$

ここで、

R_{1X} : 増殖速度 [g/m³/day]

R_{2X} : 呼吸速度 [g/m³/day]

R_{3X} : 枯死・死亡速度 [g/m³/day]

添え字 X は、1 : 藍藻、2 : 珪藻、Z : 動物プランクトン、D : デトリタス

R_{4X} : 分解速度 [g/m³/day]

R_{5X} : 沈降速度 [g/m³/day]

添え字 X は、1 : 藍藻、2 : 珪藻、D : デトリタス、N : 有機態窒素、P : 有機態リン

R_{6X} : 溶出速度 [g/m³/day] 添え字 X は、N : 無機態窒素、P : 無機態リン、C : COD

α_X : 細胞外分泌比 [-] 添え字 X は、1 : 藍藻、2 : 珪藻

α_{ZY} : 動物プランクトンによる植物プランクトン捕食時の同化率

α_{XY} : 物質換算係数 [-]

添え字 X、Y は、M : クロロフィル a、N : 窒素、P : リン、Z : 動物プランクトン、D : デトリタス

(9) 霞ヶ浦とその流域を対象にした現況再現

1) 資料の収集

霞ヶ浦とその流域において、流域水物質循環モデルを構築するにあたり、必要となる資料を収集し流域水物質循環モデルでの解析に必要なデータを、GISを用いて、霞ヶ浦流域GIS-DBとして整理し、モデルへの入力条件を設定した。下表に収集資料の一覧を示す。

表- 3.2.1.19 収集資料一覧

カテゴリ	項目	No.	資料名	媒体	作成年 データ収集期間	作成者
人口	人口	1	統計資料	電子ファイル		各市町村
地形・地質	土地利用	2	国土数値情報(100mメッシュ)	電子ファイル	平成9年	国土地理院
	標高	3	国土数値情報(50mメッシュ)	電子ファイル	平成9年	国土地理院
	表層地質	4	国土数値情報	電子ファイル		国土地理院
	土壌	5	国土数値情報	電子ファイル		国土地理院
	ボーリングデータ	6	茨城県地盤情報システム	CD	平成15年	茨城県土木部河川課
	湖沼地形	7	広域深浅測量	CD	平成13年度	霞ヶ浦河川事務所
	気象	降雨量	8	アメダスデータ	CD	平成11～15年
気温		9	アメダスデータ	CD	平成11～15年	気象庁
日射量		10	気象資料	資料	平成11～15年	気象庁
水量	河川水位	11	流入河川水位データ(7河川)	CD	平成11～15年	霞ヶ浦河川事務所
	河川流量	12	H-Q式	資料	平成11～15年	霞ヶ浦河川事務所
	湖沼水位	13	霞ヶ浦・水位データ(14地点)	CD	平成11～15年	霞ヶ浦河川事務所
	地下水位	14	地下水位データ(2地点)	電子ファイル	平成11～15年	霞ヶ浦河川事務所
水質	河川水質	15	公共用水域水質測定結果	資料	平成10～14年	茨城県霞ヶ浦対策課
	湖沼水質	16	霞ヶ浦水質分析業務報告書	CD一部資料	平成11～15年	霞ヶ浦河川事務所
	地下水水質	17	公共用水域水質測定結果	資料	平成10～14年	茨城県霞ヶ浦対策課
利水	上水	18	取水・浄水場位置、上水給水範囲	GIS		茨城県
	工水	19	水理資料整理業務 整理情報ファイル	CD	平成16年度	霞ヶ浦河川事務所
	農水					
農業	水田受益地・取排水	20	農業用水揚水機場および受益地	図面	(不明)	茨城県農村計画課
	農業カレンダー	21	茨城県栽培基準	資料	平成11年	茨城県
	施肥量	22	施肥量	資料	平成11年	茨城県
畜産	畜産頭数	23	農業センサス畜産(牛・豚)頭数データ(町丁目別)	資料		(財)農業統計協会
工業	特定事業所排水	24	事業所排水量(届出施設)	電子ファイル	(不明)	茨城県
漁業	漁獲量	25	内水面漁業生産統計調査	資料	平成14年	茨城県
	コイ養殖量	26	コイ養殖量データ	資料	平成14年	茨城県
排水処理	下水道整備区域	27	下水道整備済区域	GIS	平成14年	茨城県
	下水処理場	28	下水処理場位置	GIS	平成14年	茨城県
	農業集落排水整備区域	29	農業集落排水整備区域図	資料	(不明)	茨城県各土地改良事務所
	し尿処理場	30	し尿処理施設状況	資料	平成14年	茨城県
	汚水処理形態分布	31	汚水処理形態別の整備済区域	GIS	平成14年	茨城県
河道	河道諸元	32	利根川水系霞ヶ浦圏域河川整備計画	資料	(不明)	茨城県
		33	利根川水系花室川全体計画水理計算書	資料	昭和55年	茨城県
湖沼	底泥	38	霞ヶ浦底質調査業務報告書	CD	平成15年9月	霞ヶ浦河川事務所
		39	北浦、常陸利根川底質調査業務報告書	CD	平成15年9月	霞ヶ浦河川事務所
その他	湖沼計画関連	40	第4期湖沼計画策定に関わるデータ	電子ファイル	平成12年	茨城県霞ヶ浦対策課
		41	第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集	資料	平成16年	茨城県霞ヶ浦対策課
	その他	42	霞ヶ浦開発事業誌	書籍	平成8年3月	水資源開発公団霞ヶ浦開発事業建設部

2) パラメータの設定

モデルの構造パラメータ設定においては、既往の基礎研究結果より下記の通り行う。なお、人工系モデルの原単位などのパラメータ設定は巻末の DVD 資料を参考にされたい。

a) 陸域モデル

ア) メッシュ間隔及び流域分割

モデル解析のメッシュ間隔は、流域面積、入力データの精度、計算時間等を考慮し、0.5km とした。また、国土数値情報の流域界データを使用して、霞ヶ浦流域範囲の規定及びその中の流入河川流域の分割を行うとともに、霞ヶ浦流域図を参考に、主要河川について河川メッシュを作成した。

イ) 各モデルのパラメータ設定

i) 地表面モデル

土地利用は国土数値情報から 8 つの土地利用区分に再区分し、500m メッシュに含まれる約 25 個の 100m メッシュ土地利用データを集計し、土地利用区分毎の割合を計算し、面源発生負荷のパラメータは、くり返し計算により、以下の通り設定した。

表- 3.2.1.20 土地利用区分

100mメッシュ土地利用区分		霞ヶ浦流域での再区分	
1	田	1	田
2	畑	2	畑
3	果樹園		
4	その他の樹木畑		
5	森林	3	森林
6	荒地	6	荒地
7	ゴルフ場		
8	建物用地	4	市街地・宅地
9	幹線交通用地	5	道路
10	その他用地	7	その他
11	湖沼、河川	8	水面
12	海浜		
13	河水域		

表- 3.2.1.21 面源発生負荷の設定パラメータ

	地目名	田	畑	森林	市街地・宅地	道路	荒れ地等	その他
k (-)	COD	0.02	0.02	0.01	0.04	0.08	0.035	0.03
	T-N	0.01	0.01	0.005	0.02	0.04	0.015	0.01
	T-P	0.0002	0.0002	0.0001	0.0004	0.0008	0.0003	0.0003
m (-)	COD	0.6	0.6	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7
	T-N	0.6	0.6	0.5	0.7	0.8	0.6	0.6
	T-P	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.6	0.6
n (-)	COD	1	1	1	1	1	1	1
	T-N	1	1	1	1	1	1	1
	T-P	1	1	1	1	1	1	1
Smax (g/m ²)	COD	2	2	0.5	2.5	5	2	2
	T-N	2	2	0.1	1.5	3	1.4	1
	T-P	0.01	0.01	0.005	0.025	0.05	0.02	0.015
ΔS (g/m ² ・day)	COD	0.2	0.2	0.05	0.25	0.5	0.2	0.2
	T-N	0.2	0.2	0.01	0.15	0.3	0.14	0.1
	T-P	0.001	0.001	0.0005	0.0025	0.005	0.002	0.0015
qc (m ³ /s)	COD	0	0	0	0	0	0	0
	T-N	0	0	0	0	0	0	0
	T-P	0	0	0	0	0	0	0

粗度係数は、土地利用の地目ごとに設定した。

表- 3.2.1.22 粗度係数

地目名	田	畑	森林	市街地・宅地	道路	荒地等	その他	水面
粗度係数	3	0.4	0.8	0.1	0.1	0.4	0.4	0.02

降雨水質は、霞ヶ浦湖沼水質保全計画（第3期）の値を設定した。

表- 3.2.1.23 降雨水質

項目	COD	T-N	T-P
水質	1.538	0.826	0.0347

ii) 蒸発散モデル

蒸発散モデルに必要なパラメータは、くり返し計算により、以下の通り設定した。

表- 3.2.1.24 蒸発散モデル設定パラメータ

パラメータ	変数	単位	地目名							
			田	畑	森林	市街地・宅地	道路	荒地等	その他	水面
最大土壌水分量	SM_{max}	mm	350	350	450	30	20	70	50	20
土壌保水能	SM_{18}	-	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
逓減係数		-	0.8	0.8	1	0.1	0.1	0.5	0.3	0.3
最終浸透能	f	mm/hr	0.125	5	6	0.3	0.1	1	1	0.001
蒸発散比	PET	-	0.9	0.9	1.1	0.8	0.8	0.9	0.8	1
蒸発散比を求め るための係数	k	-	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	1

iii) 地下水モデル

地層はボーリング柱状図から、3層に分割し、透水係数などパラメータは、繰返し計算を行って、より再現性が良い値を設定した。また、土壌の吸着・分解のパラメータは「0」として設定した。

表- 3.2.1.25 地下水モデル設定パラメータ

	低地台地等分類	透水係数	漏水係数	有効間隙率	貯留係数
		m/s	m/s	-	-
第1帯水層	1 崖	1.0E-05	1.0E-02	0.3	-
	2 低地	1.0E-05	5.0E-03	0.3	-
	3 台地	1.0E-05	8.0E-03	0.3	-
	4 山地	1.0E-05	7.0E-05	0.3	-
	5 水面	1.0E-05	1.0E-02	0.3	-
難透水層	1 崖	-	1.0E-08	-	-
	2 低地	-	1.0E-08	-	-
	3 台地	-	1.0E-08	-	-
	4 山地	-	1.0E-08	-	-
	5 水面	-	1.0E-08	-	-
第2帯水層	1 崖	1.0E-05	-	-	0.01
	2 低地	1.0E-05	-	-	0.01
	3 台地	1.0E-05	-	-	0.01
	4 山地	1.0E-05	-	-	0.01
	5 水面	1.0E-05	-	-	0.01

iv) 水域モデル

水質モデルの定数は、既往検討⁸⁾を参考に現況再現性を鑑みながら下記のとおり設定した。

表- 3.2.1.26 水質モデル設定パラメータ

項目	変数		単位	値
光合成	最大比増殖速度	藍藻	1/日	1.2
		珪藻	1/日	1.8
	リン半飽和定数	藍藻	g/m ³	0.014
		珪藻	g/m ³	0.008
	窒素半飽和定数	藍藻	g/m ³	0.14
		珪藻	g/m ³	0.14
	藻類増殖最適日射量	藍藻	MJ/m ² /day	14.65
		珪藻	MJ/m ² /day	14.65
	藻類増殖最適水温	藍藻	degree	25
		珪藻	degree	15
温度指数	藍藻	-	2	
	珪藻	-	2	
	混雑効果定数		m ³ /g	2
動物プラ増殖	20度における最大ろ水速度		m ³ /gC/day	0.5
	飽食効果に関する半飽和定数		gChl.a/m ³	0.06
	動物プラによる植プラ捕食時同化率		-	0.6
呼吸	呼吸速度定数	藍藻	1/日	0.015
		珪藻	1/日	0.015
		動物プラ	1/日	0.01
	呼吸速度を求めるための温度定数	藍藻	-	1.06
		珪藻	-	1.06
枯死・死亡	藻類枯死速度定数	藍藻	1/日	0.015
		珪藻	1/日	0.015
	動物プラ死亡速度定数	動物プラ	1/日	0.03
	枯死速度を求めるための温度定数	藍藻	-	1.06
珪藻		-	1.06	
分解	分解速度定数	OP	1/日	0.008
		ON	1/日	0.01
		COD	1/日	0.005
		デトリタス	1/日 ³	0.1
	分解速度を求めるための温度定数	OP	-	1.05
		ON	-	1.05
		COD	-	1.05
		デトリタス	-	1.02
物質換算係数	リン/クロロフィルa		mgP/mgChla	0.5756
	窒素/クロロフィルa		mgN/mgChla	3.013
	COD/クロロフィルa		mgCOD/mgChla	24.12
	リン/動物プランクトン(炭素量)		mgP/mgC	0.026
	リン/デトリタス(炭素量)		mgP/mgC	0.026
	窒素/動物プランクトン(炭素量)		mgN/mgC	0.2
	窒素/デトリタス(炭素量)		mgN/mgC	0.2
	COD/動物プランクトン(炭素量)		mgCOD/mgC	2.96
	COD/デトリタス(炭素量)		mgCOD/mgC	2.96
	動物プランクトン(炭素量)/クロロフィルa		mgC/mgChla	50
	デトリタス(炭素量)/クロロフィルa		mgC/mgChla	50
デトリタス(炭素量)/動物プランクトン(炭素量)		mgC/mgC	1	
拡散速度			m ² /day	8,540

溶出速度の調査結果データ^{9),10)}を参考として、再現計算によるパラメータフィッティングを行い、再現性を見ながら溶出速度を設定した。

表- 3.2.1.27 溶出速度の設定パラメータ(mg/m²/day)

	BOX1	BOX2	BOX3	BOX4	BOX5	BOX6	BOX7
COD	41	87	30	47	84	84	28
T-N	25.8	49.6	46.3	8.10	48.8	45.7	8.05
T-P	1.07	1.13	1.10	1.09	1.90	2.51	1.09

沈降速度は、物質によって異なるものと考えられるため、ここでは、(a)物質によって沈降速度を変え、(b)BOX による沈降速度比率は現況再現性を考慮して設定した。下表に、水域別物質別の沈降速度設定値を示す。

表- 3.2.1.28 沈降速度の設定パラメータ(m/day)

項目	BOX1	BOX2	BOX3	BOX4	BOX5	BOX6	BOX7
藍藻	0	0	0	0	0	0	0
珪藻	0	0	0	0	0	0	0
懸濁態リン	0.032	0.036	0.044	0.018	0.035	0.050	0.050
懸濁態窒素	0.048	0.054	0.061	0.032	0.020	0.040	0.110
懸濁態 COD	0.037	0.023	0.041	0.014	0.025	0.035	0.020
デトリタス	0.032	0.036	0.031	0.014	0.020	0.020	0.020

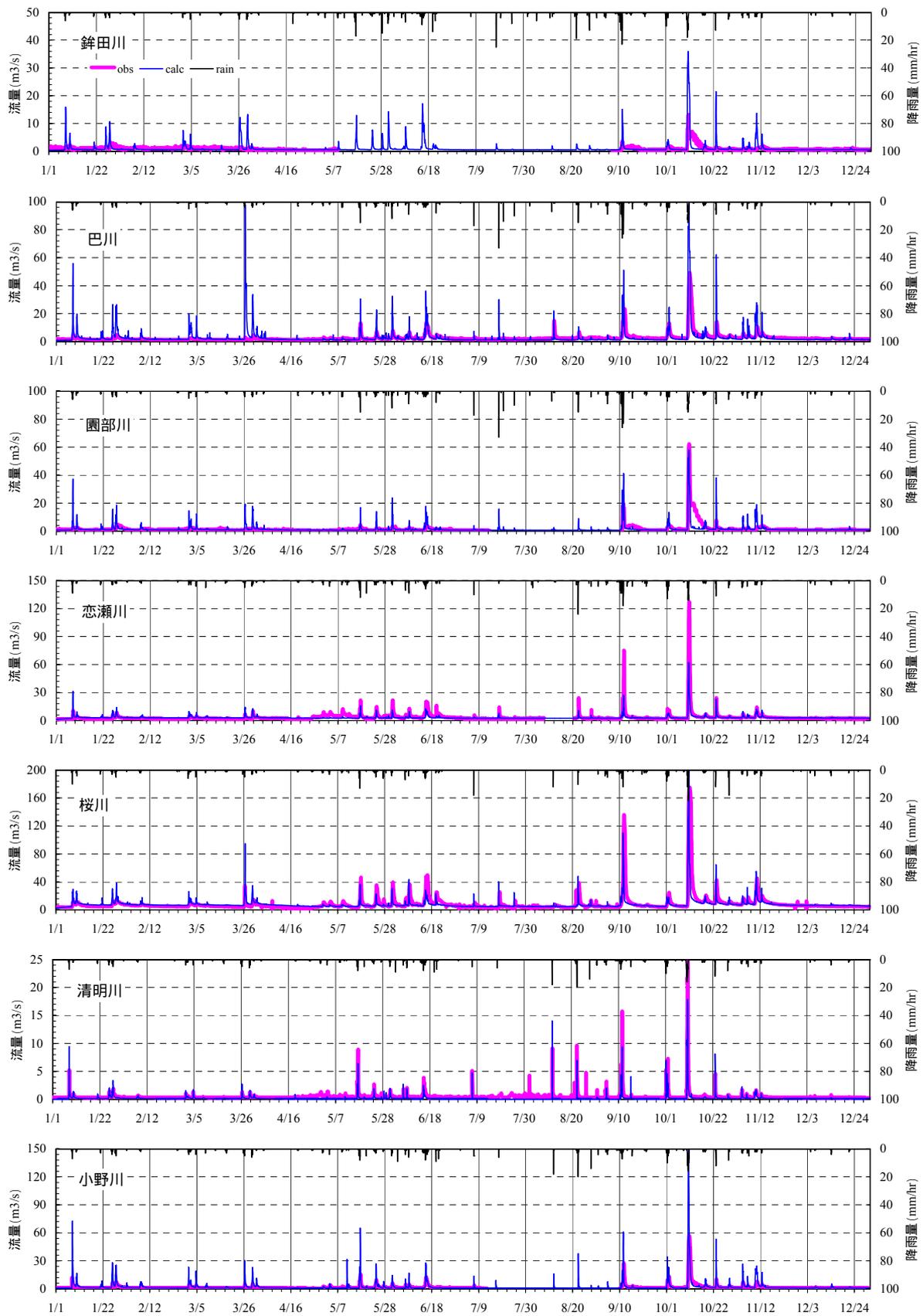


図- 3.2.1.32 河川流量 計算結果と実測値の比較(2001年)

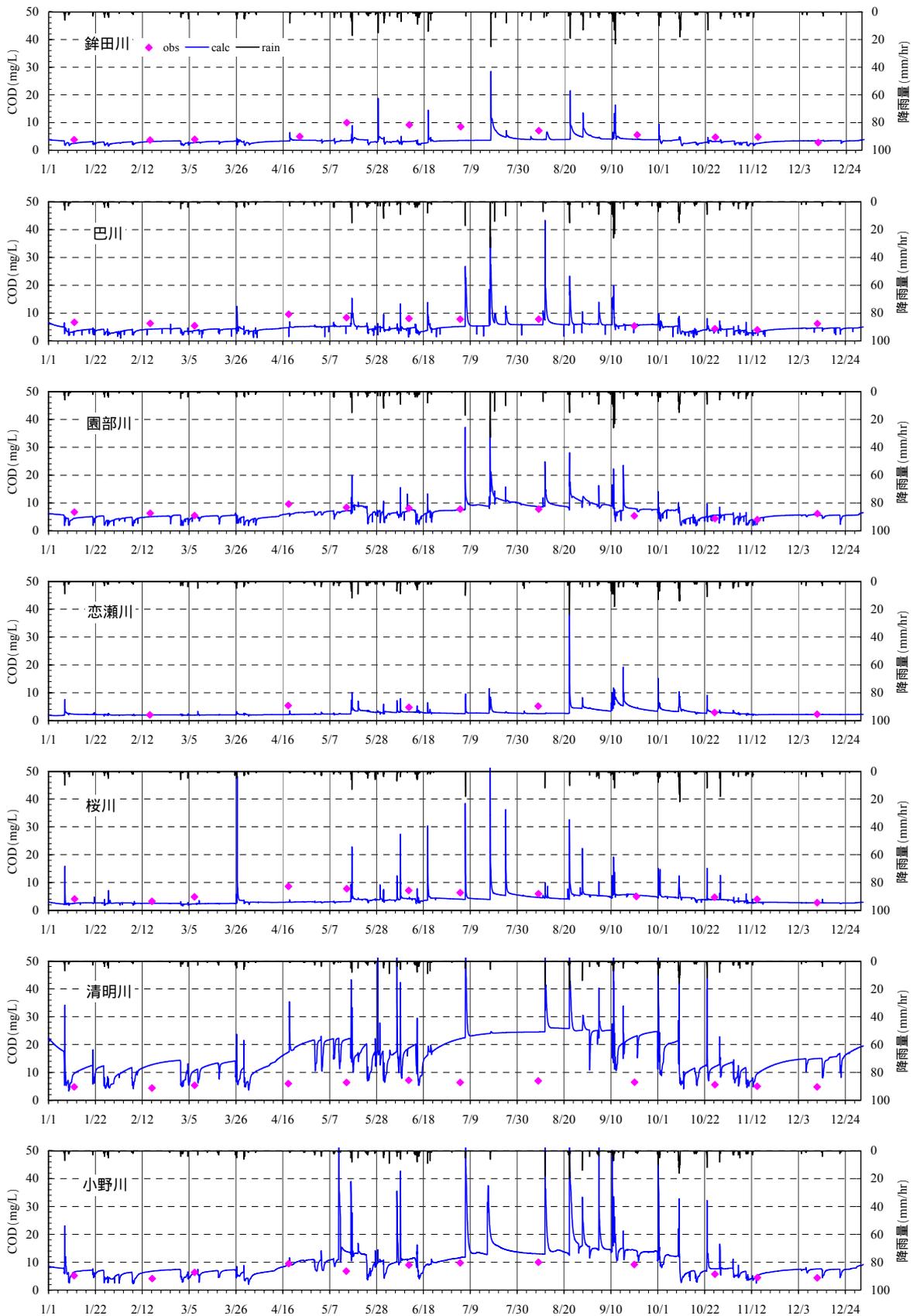


図- 3.2.1.33 河川 COD 濃度 計算結果と実測値の比較(2001 年)

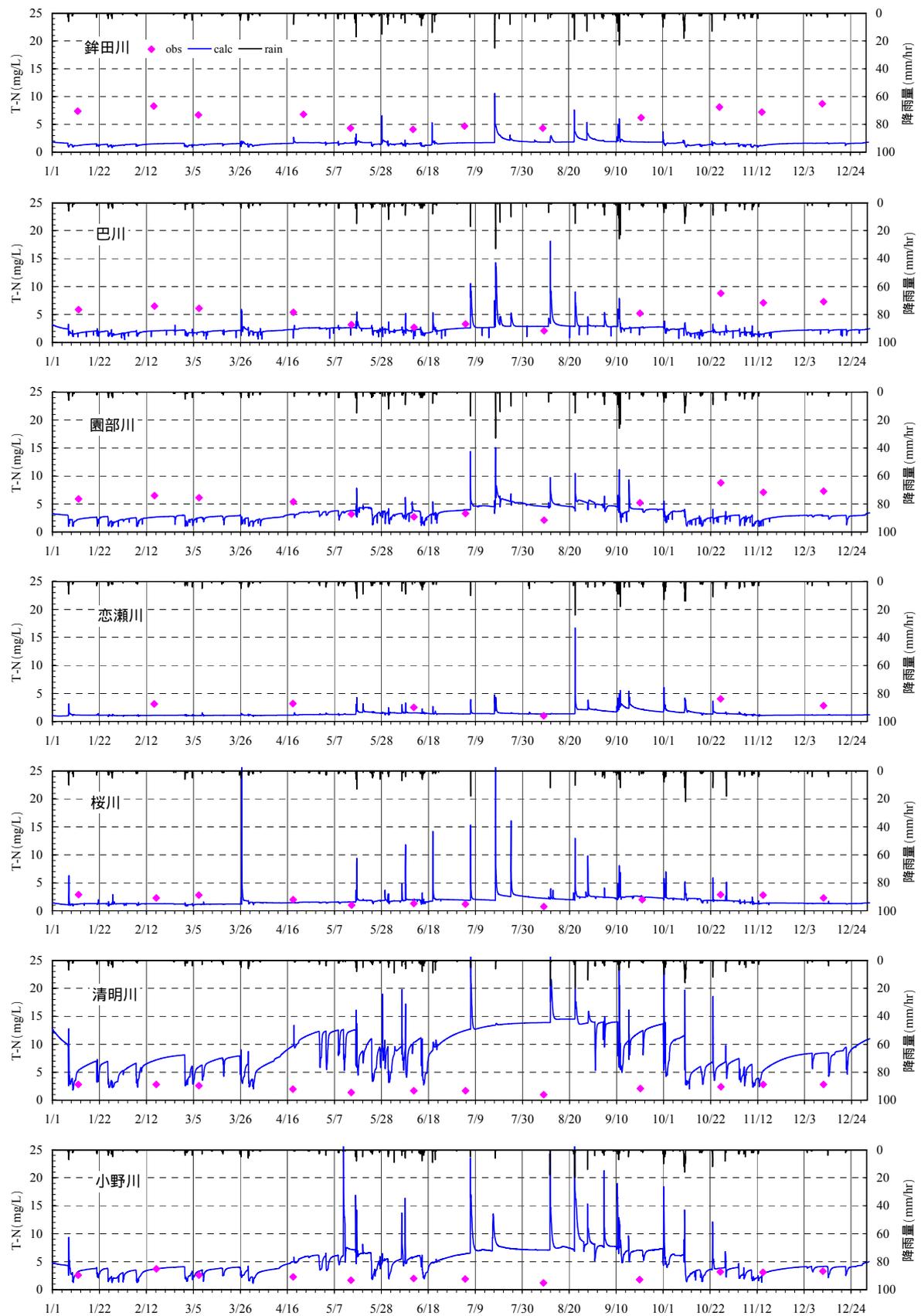


図- 3.2.1.34 河川 T-N 濃度 計算結果と実測値の比較(2001 年)

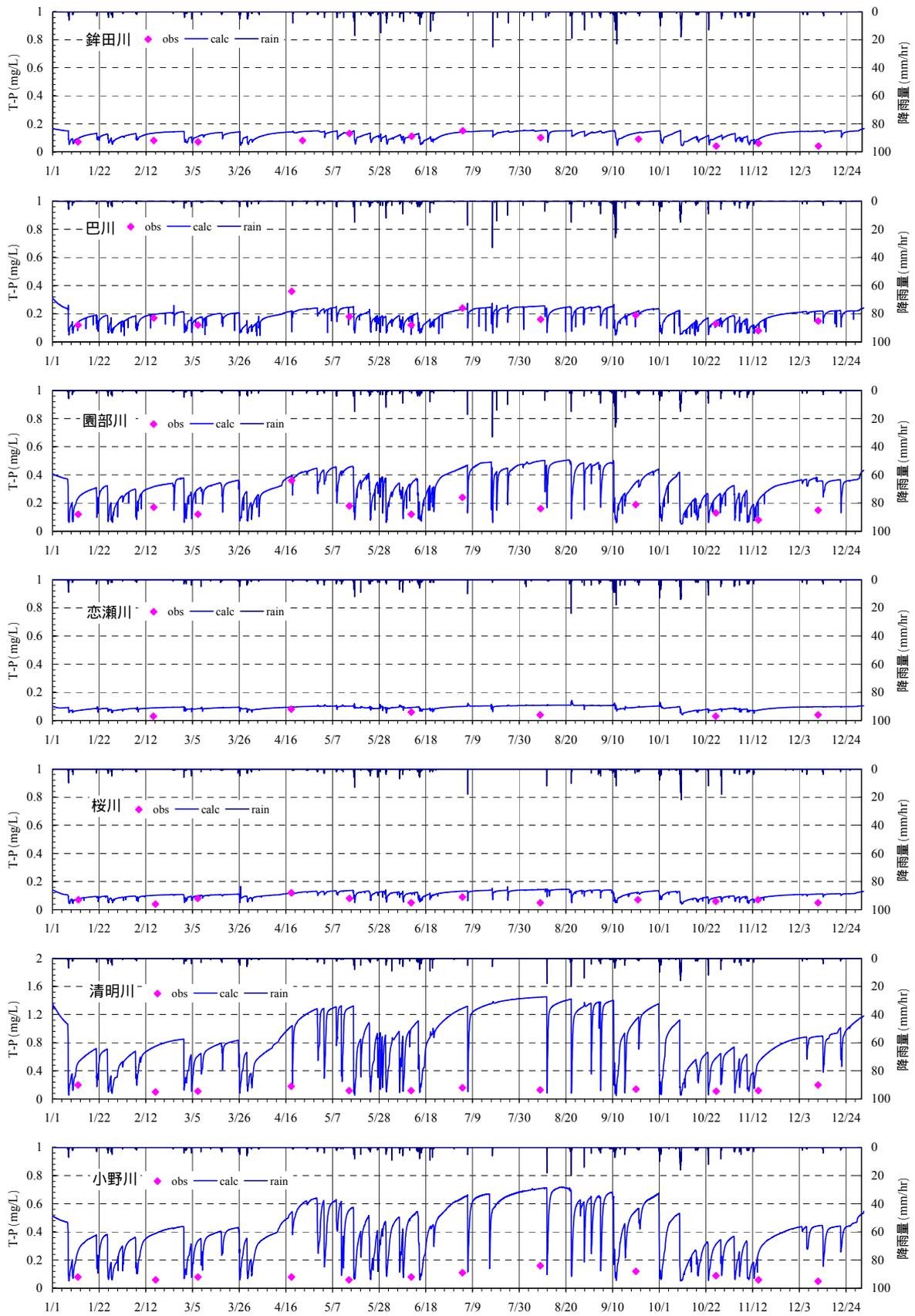
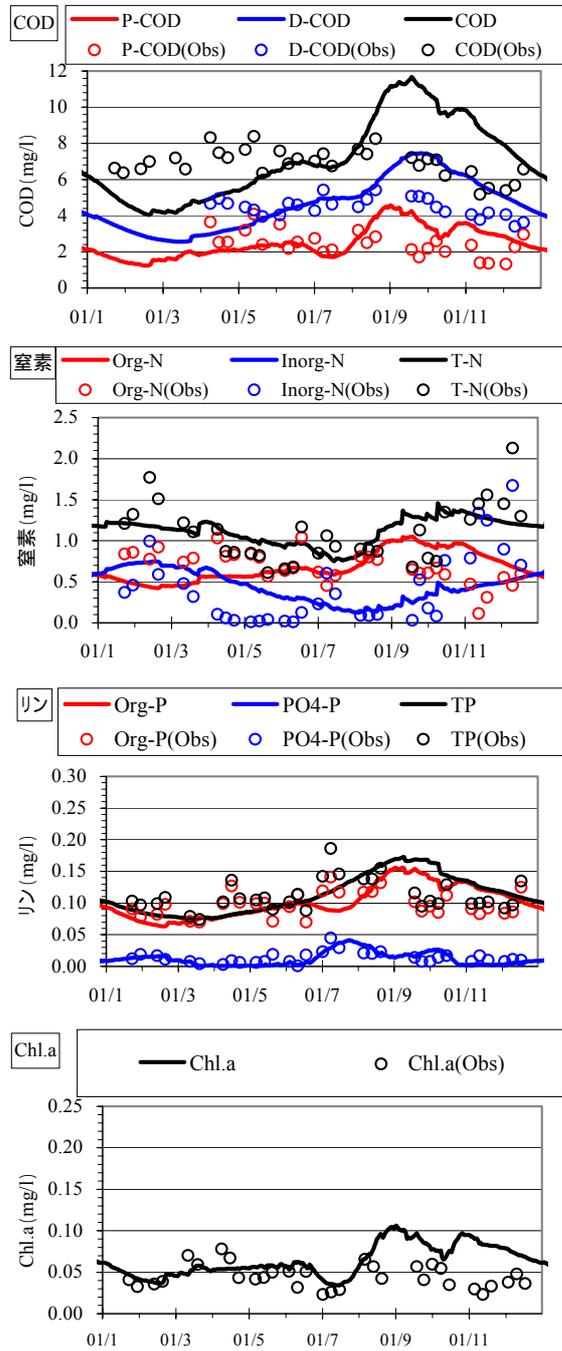


図- 3.2.1.35 河川 T-P 濃度 計算結果と実測値の比較(2001 年)

BOX1



BOX2

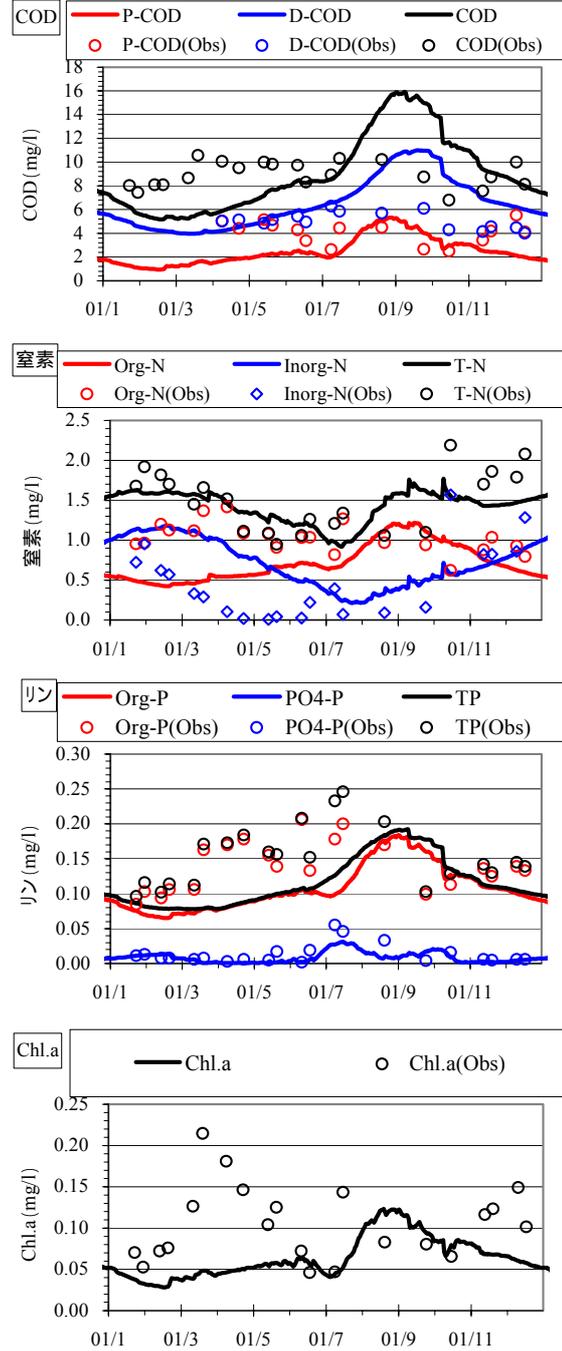
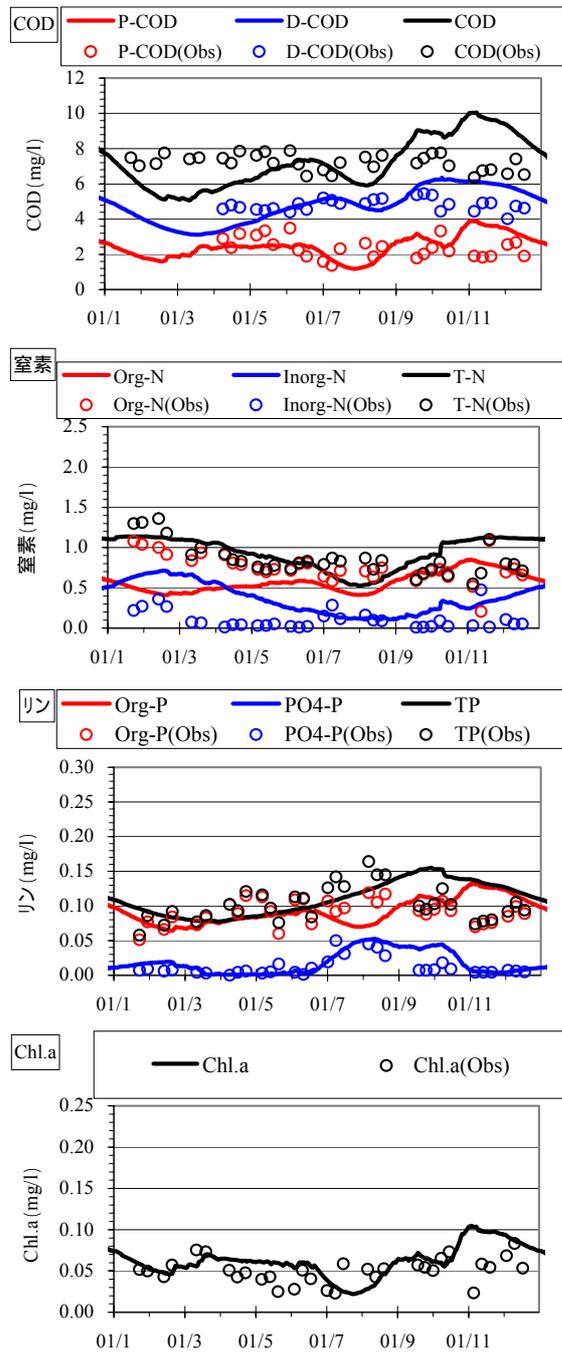


図- 3.2.1.36(1) 湖沼水質 計算結果と実測値の比較(BOX1、BOX2 : 2001 年)

BOX3



BOX4

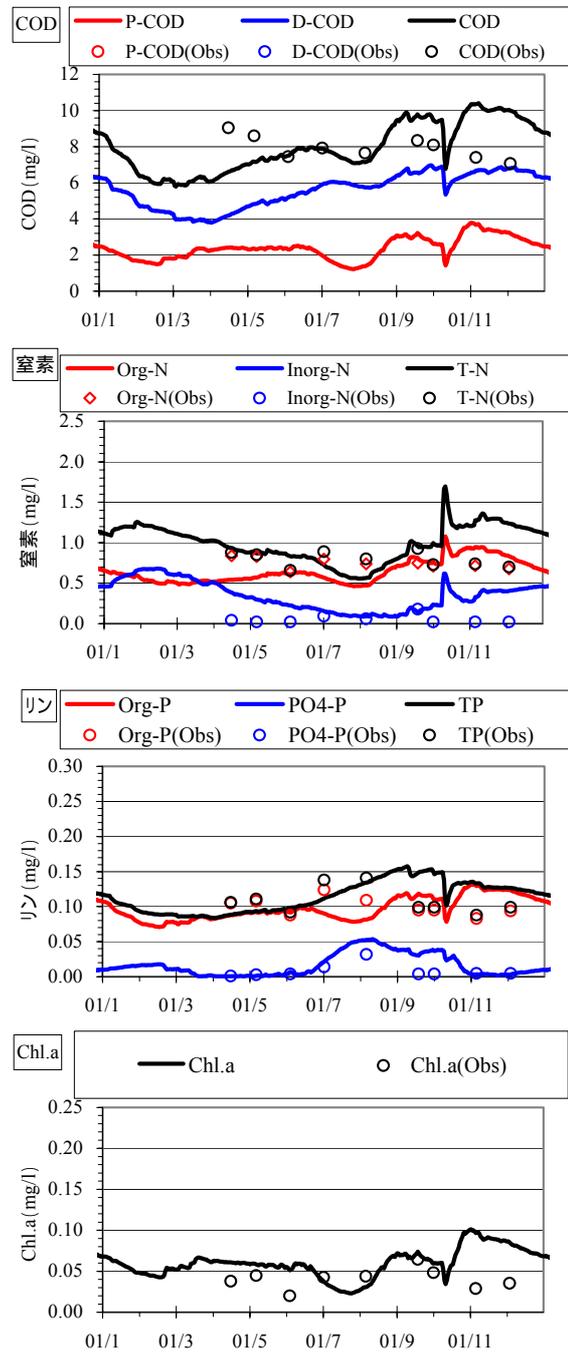
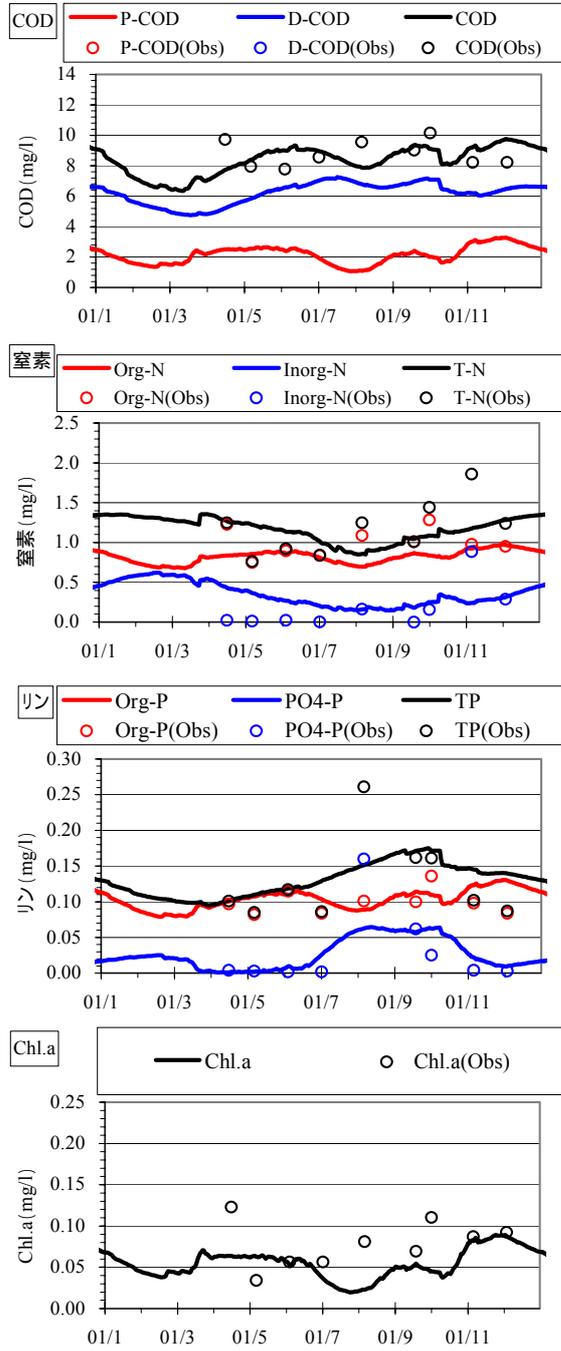


図- 3.2.1.36(2) 湖沼水質 計算結果と実測値の比較(BOX3、BOX4 : 2001 年)

BOX5



BOX6

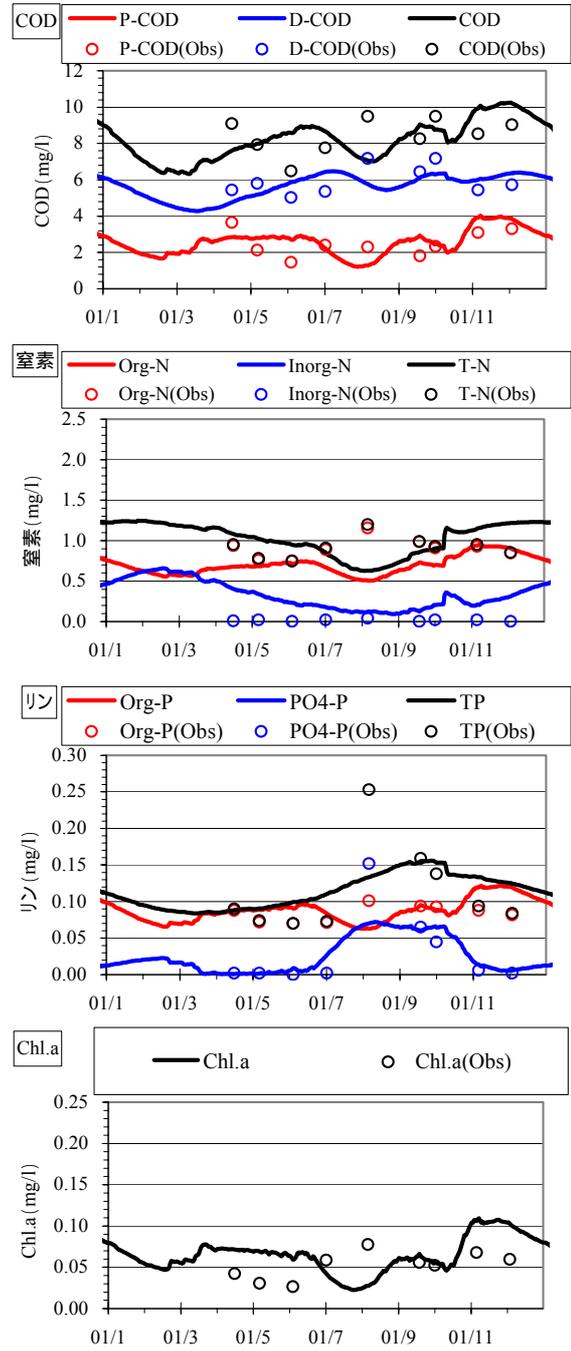


図- 3.2.1.36(3) 湖沼水質 計算結果と実測値の比較(BOX5、BOX6 : 2001 年)

BOX7

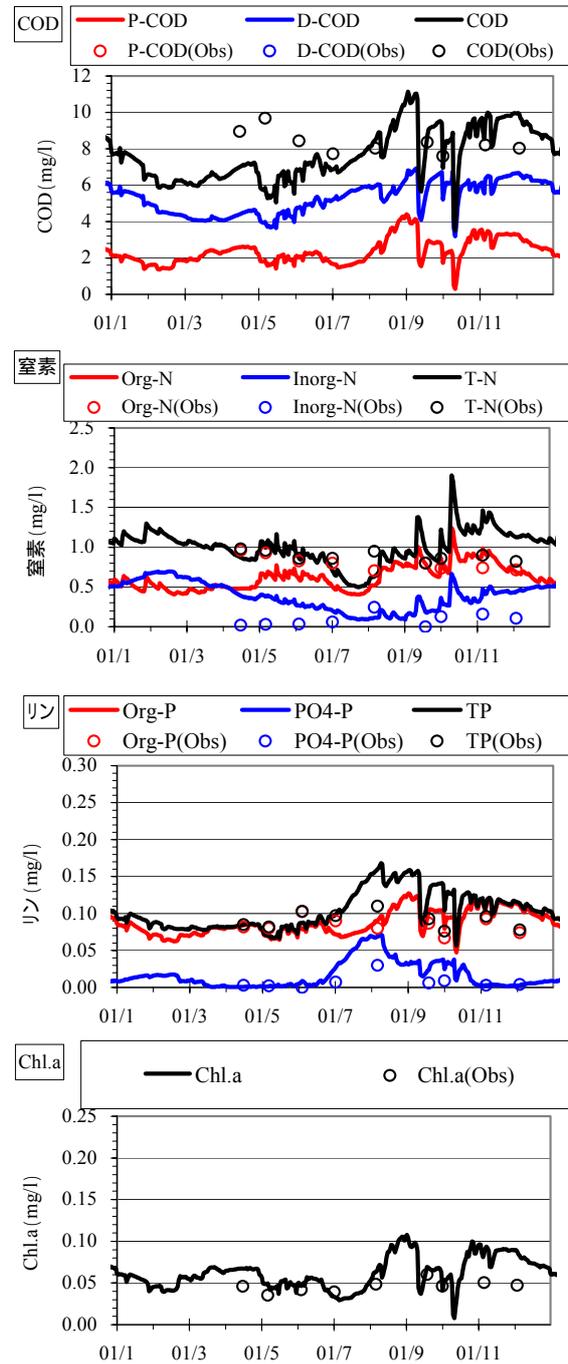


図- 3.2.1.36 (4) 湖沼水質 計算結果と実測値の比較(BOX7 : 2001 年)

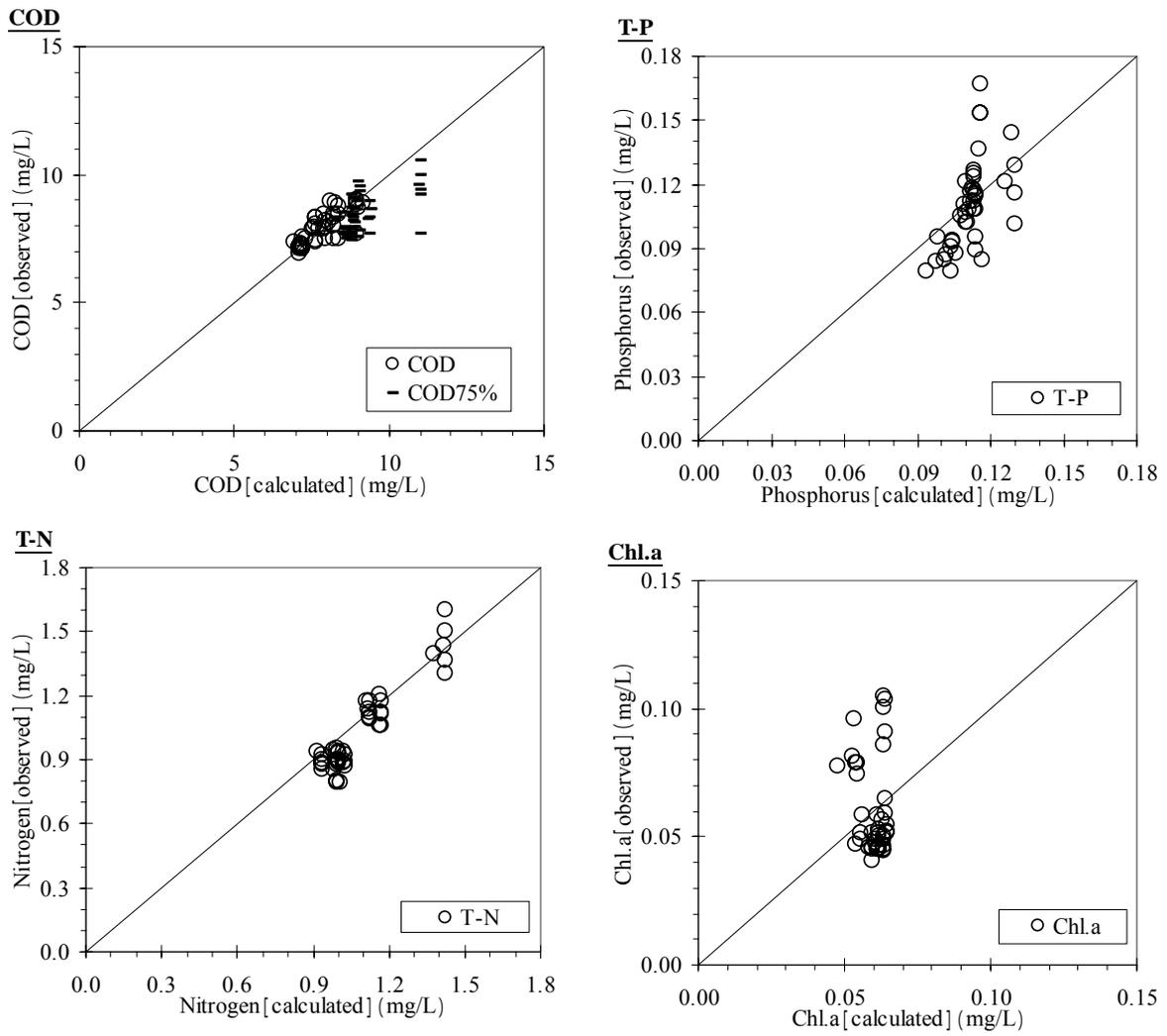


図- 3.2.1.37 湖沼水質年平均値の計算結果と実測値の比較(COD は 75%値も)

(10) ユーザーインターフェースの作成

1) GIS プラットフォームの概要

(4)で述べたように、水物質循環モデルの開発目標には GIS をベースとしたユーザーインターフェースを整備することを目指している。例えば霞ヶ浦流域に適用した水物質循環モデルでは図- 3.2.1.38に示すような GIS プラットフォームとして構築している。

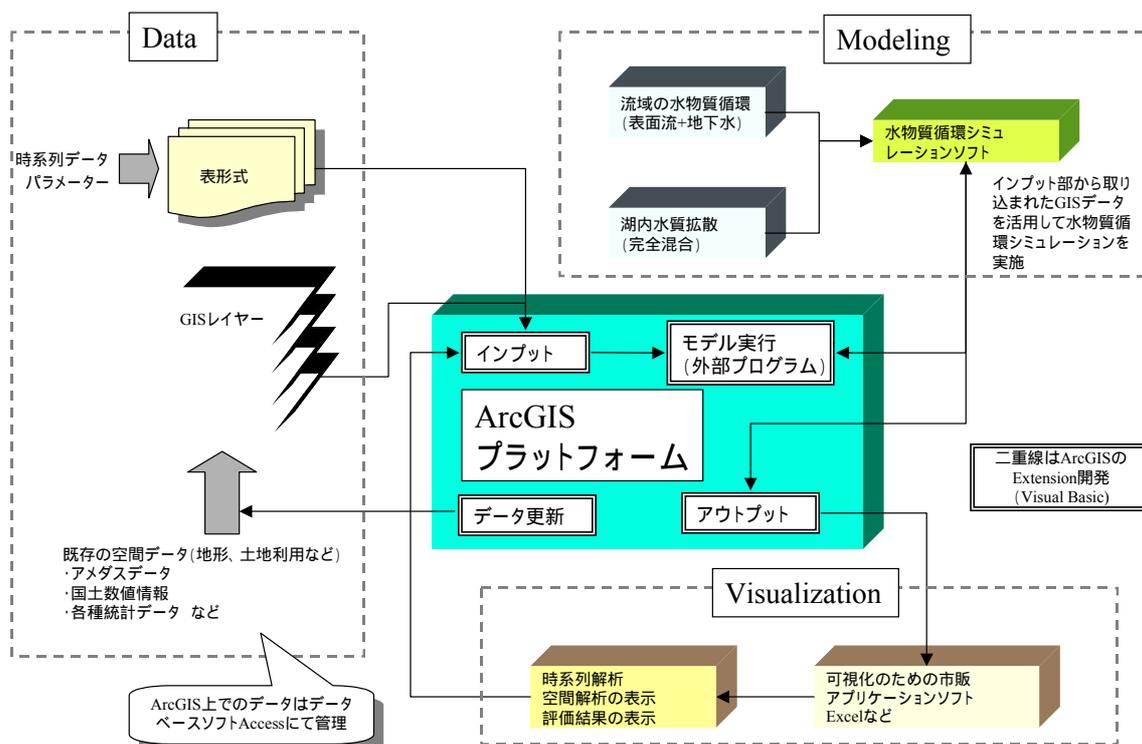


図- 3.2.1.38 霞ヶ浦流域での水物質循環モデル GIS プラットフォームの概要

GIS プラットフォームとは、モデル実行に必要なデータのインプットやモデルの実行あるいはモデルでの計算結果の表示（可視化）などの一連の操作を同一の画面上から実施するものである。本業務での GIS プラットフォームの特徴・利点としては以下の事項が挙げられる。

- ・ データインプット、実行、アウトプットなど操作ごとに他のアプリケーションを立ち上げる必要がなくプルダウンメニューの選択により行えるシームレスな操作環境となる
- ・ モデルへのインプットとなるさまざまな形式のデータ（例えばアメダスデータや国勢調査データなど）のモデルインプットデータへの変換が容易に行える
- ・ 流域での現況の状況把握としての GIS 表示と属性表示を適宜行うことができる
- ・ モデルや可視化ソフトなど外部のアプリケーションが GIS エンジンと切り離されているため、モデルやソフトの中身の精度向上（バージョンアップ）や他のモデルへの差し替え、あるいは追加などを行うことができる

- ・ モデルの実行のためのデータの更新作業にこれまで膨大な時間を要していたが、このユーザーインターフェイスではインプットデータのオリジナルの CD やファイル形式から直接変換するルーチンを備えている
 - ・ モデルに必要な様々なパラメータの確認と必要に応じて修正が可能である。
- 考えられる施策の実行とその結果を見ることができる

課題としては以下の事項があげられる。

- ・ GIS エンジンとして ESRI 社の ArcGIS (Arc View9.0) を使用しているため、このエンジンが必要となる。ただし、ArcGIS は GIS エンジンの中でも最も汎用的な GIS の一つであるので、ファイルの形式である shape はほとんどの GIS でインポートが可能である。
- ・ 可視化ソフトとして GIS の図示機能及びエクセルのグラフ機能などを採用しているが、より訴える力が強いわかりやすい可視化ソフトを検討する必要がある。
- ・ 政策評価には、モデルの計算結果から導かれる COD などの環境改善効果以外に、住民の合意や財政的な裏付けなどの要素を総合化させる必要があり、政策の総合的評価手法を新たに提案する必要がある。

a) インプットデータ (Data)

モデルに必要なデータには、土地利用など GIS のレイヤーとして整理できるタイプと河川流量など時系列のデータとして整理されるものがある。透水係数などの個々のパラメータなども後者に属する。これらのインプットデータは現況の表現として GIS 表示し確認する機能と水物質循環モデルのインプットデータを構築するための基データの機能を有している。

b) モデリング (Modeling)

GIS プラットフォームのプルダウンメニューから直接起動する外部のソフトとして、霞ヶ浦流域水物質循環モデルと霞ヶ浦湖沼モデルとの二つがあり、両者が融合することによって霞ヶ浦全流域のモデルが形成される。

c) 可視化 (Visualization)

モデルによって出力される結果は、河川流量、負荷量、海域の流況、海域の水質などテキスト形式での時系列データや空間解析の結果が中心となることから、これらのテキストを可視化する必要がある。可視化するためには、時系列データに関してはエクセルのグラフ機能を基本的には使用する。流域での分布状況などは GIS エンジンがデフォルトで保有する機能を使用する。

d) ArcGIS プラットフォーム

ArcGIS プラットフォームは、データ変換部、インプット部、モデル実行部、アウトプット部から構成される。それぞれの役割は上記に示したとおりである。データ変換部は、必要に応じて、すでに開発されている ArcView の Extension を採用する。

2) インターフェイスにおける操作の流れ

インターフェイス操作手順の流れは次ページの図- 3.2.1.40に示す通りである。

水物質循環モデルを立ち上げると、ユーザーはまず過去に保存した施策やシナリオを読み込むかどうかを選択する。過去に行った検討結果を閲覧したいときや、過去の検討に微細な修正を加えて再度計算を行いたいときには、保存データを読み込んでから起動する。そうでない場合は、現況データを読み込んで起動する。

ArcMap が立ち上がると、ユーザーは施策の選定を行う必要がある。フレーム設定、流域対策、湖内対策から単数あるいは複数の施策を選定し、それぞれの対策量を決定する。必要があれば、モデル入力パラメータや原単位についても変更することができる。

これでモデル実行のための準備は整っているが、構築した流域水物質循環モデルの実行には、1年間の計算で約1日を要する（CPU：Pentium4 3GHz、メモリ 2GHzの場合）。そこでインターフェイスではモデル実行前に施策効果の予測を立てるために、施策を行う前と後で排水量や排出負荷量、人口・土地利用などのフレーム値がどの程度変わるのを見ることができる。このためには、施策によるモデル入力条件の更新を行う必要がある。

条件設定前後の比較を行い、施策効果が見込めそうであれば、モデルの実行を行う。ここでは、モデルで計算させる年月を選択し、流域モデル、湖沼モデルのどちら（あるいは両方）を実行するのを選択する。ただし湖沼モデルについては、実行画面に移るのみで、自動的に計算の実行はなされない。従って、流域モデルの計算が終了し、湖沼モデルの画面に映れば、「計算実行」のボタンをクリックして湖沼モデルを動かす必要がある。

モデル計算が終了したら、結果の可視化を行って施策効果の検討を行う。また、モデルの入力条件、あるいは計算結果は、保存することができる。保存に当たっては検討したケースの名称の他、概要を入力して保存が可能である。

以上でインターフェイスを用いたモデル計算は終了であるが、引き続き他の施策計算を行う際や、途中で施策入力を間違えた場合には、データを全て現況に戻すことで再度初めから施策の選定を行うことが可能である。

a) システムの起動

システムを立ち上げることにより、図- 3.2.1.39の初期画面が現れる。上段は現況の設定での実行、下段は既に計算に使用し、保存したデータを用いて再計算を行うためのものである。

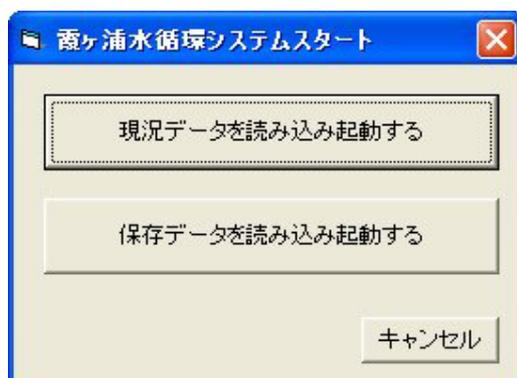


図- 3.2.1.39 水物質循環モデルのシステムの起動画面

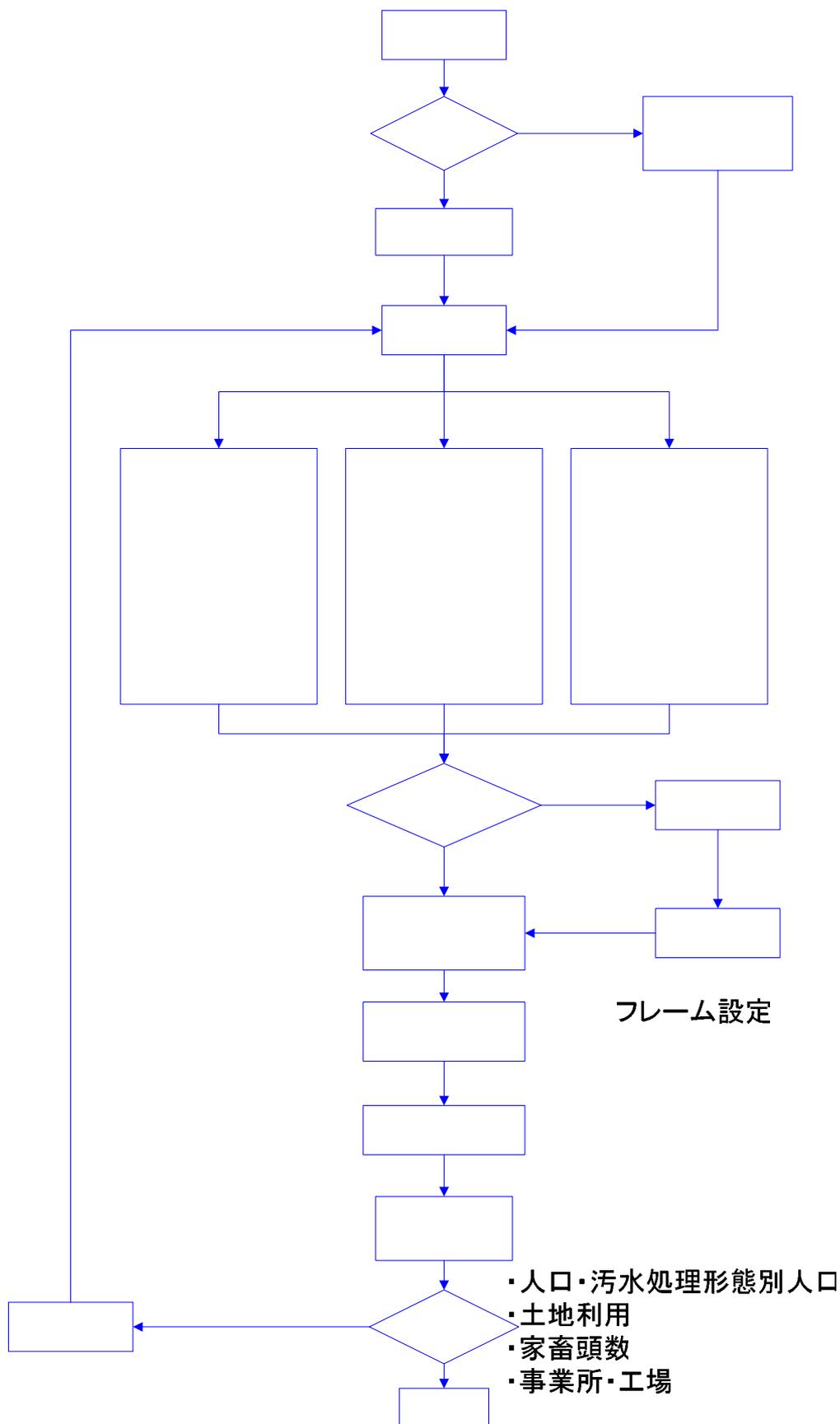


図- 3.2.1.40 インターフェース操作手順

b) 計算条件の設定

前画面で「現況のデータを読み込み起動する」を選択すると、図- 3.2.1.41の画面が現れる。基本条件設定（人口や土地利用のフレーム、原単位、計算定数の設定）、対策量の選定が可能となる。

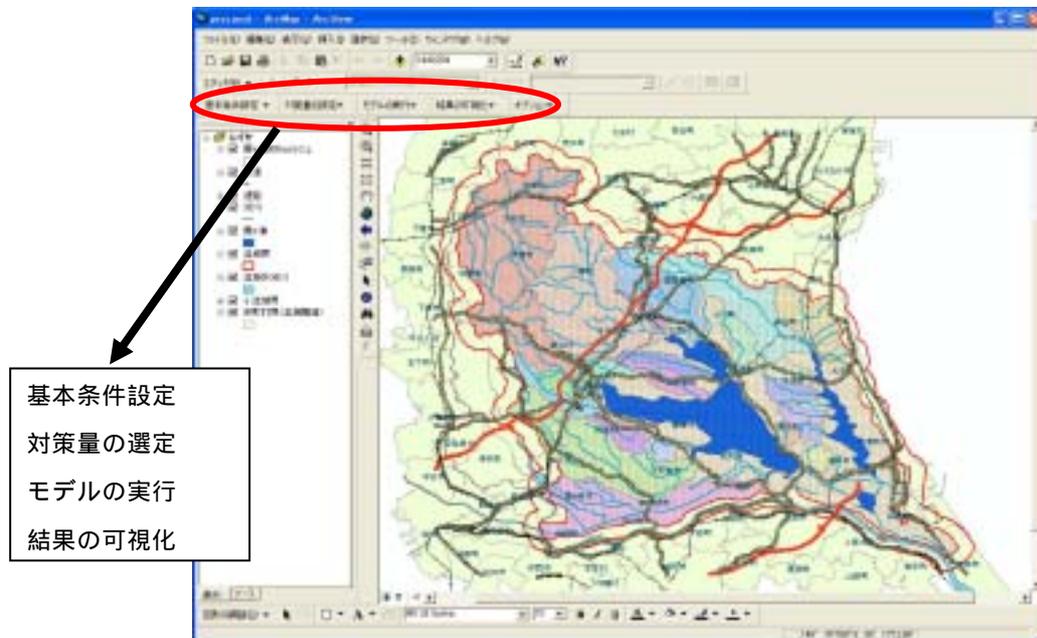


図- 3.2.1.41 計算条件の選択画面

基本条件設定：フレーム設定、原単位設定、計算定数設定を行う。気温、雨量等の境界条件となるデータの確認やモデル構造に係わるパラメータを確認するとともに、必要に応じて変更する場合に使用する。



図- 3.2.1.42 基本条件設定の選択画面

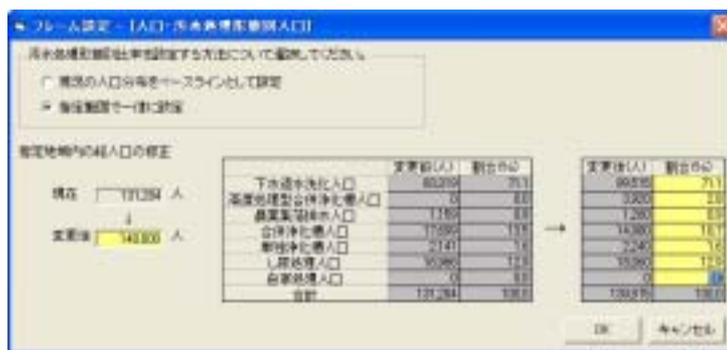


図- 3.2.1.43 汚水処理形態別人口の設定画面

対策量の選定：水環境改善のための施策として流域対策（下水道整備等）、湖内対策（浄化水の導入等）、重点再生エリアが準備されており、評価対象としての施策を選択するとともに、施策の程度を設定することができる。

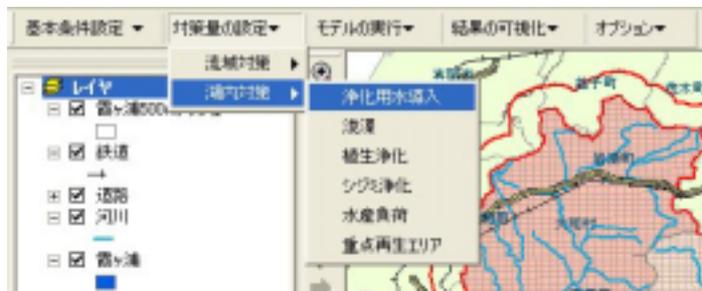


図- 3.2.1.44 対策量設定の選択画面



図- 3.2.1.45 導水の条件設定

3) モデルの実行

モデルの実行では、陸域モデル（水循環部分）（流域水循環モデル）、陸域モデル（物質循環部分）（流域物質流動モデル）、水域モデル（霞ヶ浦湖沼モデル）のいずれか又は全てを選択するとともに、計算期間を設定して計算を実行することができる。

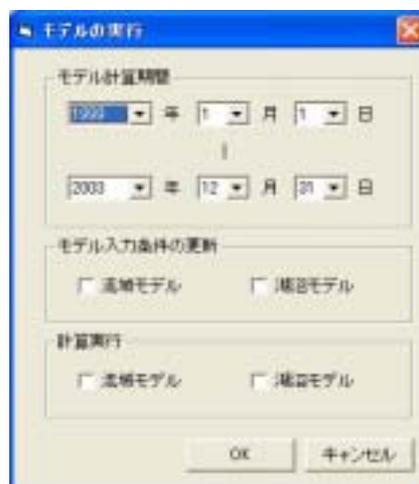


図- 3.2.1.46 モデルの実行条件の設定

4) 結果の可視化

結果の可視化では、陸域モデル（水循環部分）（流域水循環モデル）、陸域モデル（物質循環部分）（流域物質流動モデル）、水域モデル（霞ヶ浦湖沼モデル）のそれぞれに応じて、計算結果が図化され、表示される。表示項目としては、蒸発散量や発生負荷量などのコンター図、湖沼水質の時系列変動、年平均値等がある。また、負荷量の湖沼への年間流入量や主要河川の任意の地点の流量や水質の時系列変動については出力データから容易に作成することができる。

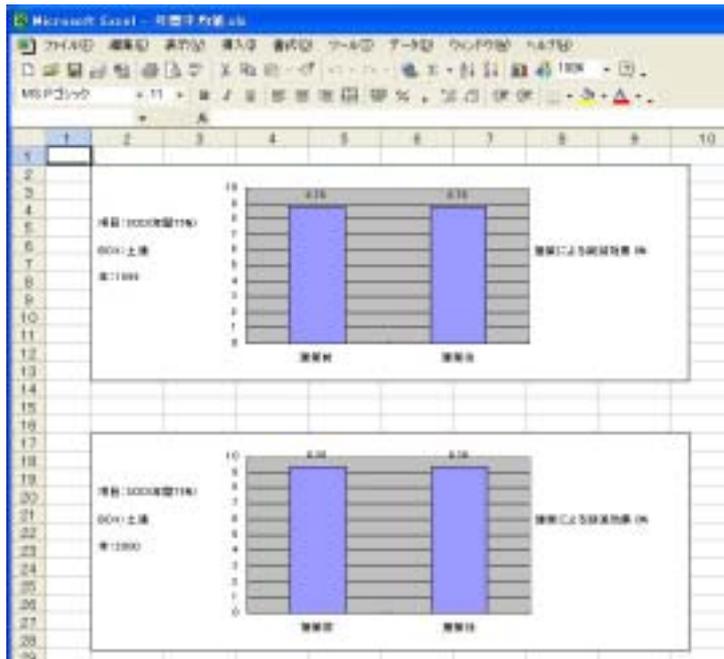


図- 3.2.1.47 施策実施による湖沼水質の変化

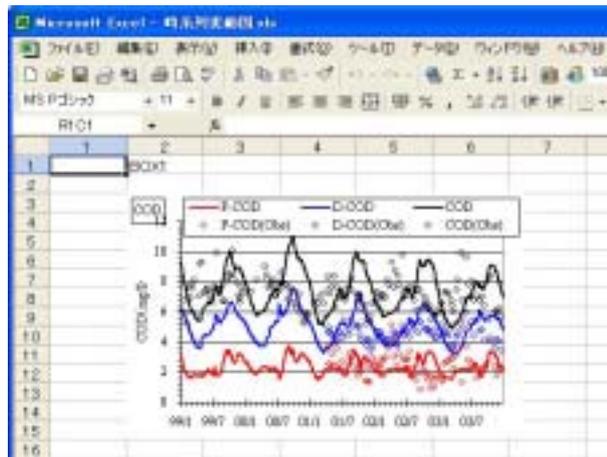


図- 3.2.1.48 湖沼水質の結果

(11) まとめと今後の課題

1) 流域と水域との統合水物質循環モデルの意義の確認

流域水物質循環モデルと閉鎖性水域の水質形成機構を表現する水域モデルの統合により、流域や水域における施策やビジョンに応じた結果の定量化を同時に行うことが可能になることにより、課題解決に向けての全体の構図の把握や施策の効果を横並びに評価でき、実現可能性の検討において施策の選定や地域住民との合意形成における重要な検討材料になる。陸域と水域の役割分担の検討も行える。流域条件の変更や種々の施策の設定が比較的やりやすいというモデルおよびソフトの特徴を活かすことで、様々な条件下での計算や表示、比較を機動的に行い、問題の構図や各施策の特長の理解増進に役立てるという使い方も可能である。

2) インターフェイスの活用の意義

流域にかかる水物質循環の状態把握は、きわめて専門性の高い事項であるが、一方で流域での環境の状態を身近な暮らしの中から改善する意識の向上など、専門性を有しない一般の方々の認識の範囲にも問題は存在している。このような身近な問題の解決を求める動きは、住民参加という形で、その社会的な位置づけがなされている。このような流れのなかで、これまで研究機関や建設コンサルタント等から一度も出ることのなかった、世間一般から見るとブラックボックス的な存在であった水物質循環モデルが、たとえば行政と住民との問題解決の議論の場で活用されることが期待される。

3) コミュニケーションツールとしての有用性

より適切な施策実行への支援という観点から、その時々で実用性のあるモデルを合理的に使いこなすというアプローチも同時に重視されるべきであろう。コミュニケーションツール（政策検討ツール）として活用する際には、専門家でない人でも容易に取り扱えることが求められる。その場合、インターフェイスが有効であると同時に、短時間で解析結果を出力できることも重要な条件である。その点で、現象論モデル（物理モデル）よりも、タンクモデルやBOXモデルのような概念モデルの方がコミュニケーションツールとして適切な場合もあり得ると考えられる。この点については演算処理能力が日進月歩で進んでいることから、近い将来には解決される可能性がある。

4) モデルの精度や信頼性に関する限界に対する課題

限られた観測データからモデルの同定を行う場合、パラメータの調整を行えば多くのモデルで良好な再現結果を得られるものの、他の流域で同じパラメータを与えると同じく良好な再現結果が得られるわけではない。将来予測や施策の評価を行う際には実測データにより検証を行うことはできない。したがって、モデルの信頼性を向上されるには様々な流域への適用を通じて、モデルの精度に影響を与えるパラメータの適切な設定値の知見を蓄積させることが必要である。また、水質の解析においても特に面源負荷の発生機構や物質の流下過程、閉鎖性水域の水質形成機構などについては現段階では未解明な部分が多く、

検討対象流域によって活用するモデルを見極める必要がある。

5) モニタリングへフィードバックさせることが重要

モデルの適用を通じて、今後必要となるモニタリングのターゲットをある程度客観的に絞っていき、関係各機関が連携したモニタリング戦略を絞ることができるとともに、新たな現象解明やモデル自体の精度向上を図ることができる。また、自然共生化技術の開発において要求される仕様の抽出を通じて、政策議論とともに、技術的検討のレベルも皆で向上させる状況を作っていくことが重要である。

参考文献

- 1) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：健全な水循環系構築のための計画づくりに向けて，pp37-45，2003。
<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/keikakudukuri.html>
- 2) 「都市小流域における雨水浸透、流出機構の定量的解明」研究会：都市域における水循環系の定量化手法-水循環系の再生に向けて-，pp.44-82，2000.
- 3) 吉野文雄，吉谷純一，堀内輝亮：分布型流出モデルの開発と実流域への適用，土木技術資料，Vol.32-10，pp54-59，1990.
- 4) 安陪和雄，大八木豊，辻倉裕喜，安田佳哉：分布型流出モデルの広域的適用，水工学論文集，第46巻，pp247-252，2002.
- 5) 辻倉裕喜，安陪和雄，大八木豊，田中伸治：湖沼流域管理のための総合的な水循環・物質流動モデルの構築，水工学論文集，第47巻，pp217-222，2003.
- 6) 千葉県：平成14年度三番瀬青潮対策および環境修復に係る影響・効果予測調査報告書，2003.
- 7) 竹下伸一，高瀬恵次，蒸発散サブモデルを導入した長期間流出モデルの開発，水文・水資源学会誌第16巻1号，pp.23-32，2003
- 8) 例えば、茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集，2004.
- 9) 国土交通省 霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦底質調査業務報告書，2003．
- 10) 国土交通省 霞ヶ浦河川事務所：北浦、常陸利根川底質調査業務報告書，2003．

3.2.2 合流式下水道の分布型汚濁負荷解析モデル

(1) はじめに

近年、お台場へのオイルボールの漂着に端を発し、合流式下水道からの未処理放流水等による公共用水域の水質汚濁の問題が顕著化してきている。また、栄養塩類の閉鎖性水域への影響が深刻となっており、赤潮等の被害が毎年発生している。これらのことをうけ、合流式下水道緊急改善計画の策定が義務付けられ、当面の目標として「汚濁負荷量の削減」「公衆衛生上の安全確保」「きょう雑物の削減」が掲げられた¹⁾。

合流式下水道改善計画策定のためには、流量や汚濁負荷量を推定する必要があり、日本では雨水流出量・汚濁負荷量モデルの1つとしてとして「修正RRL法+土研モデル」が広く用いられてきた。しかし、従来の土研モデル²⁾の対象水質項目はBOD、COD、SSであり、富栄養化の原因の1つである窒素、リンなどの栄養塩類については推定できない。また、同モデルは懸案地点のみの雨水流出量および汚濁負荷量の算出を目的とする集中型モデルであり、対策効果の評価も負荷量算定地点のみを基本としている。そのため、流域中流部等におけるオフサイト貯留(滞水池)、貯留管や部分的な浸透施設等の合理流式下水道雨天時越流水対策の効果を懸案地点で適切に評価し難いという問題があった。

国内で利用されている雨水流出量・汚濁負荷量モデルは、土研モデルの他に海外で開発されたInfo Works、MOUSE、XP-SWMMといったものがある³⁾。これらは分布型モデルであり、任意地点の雨水流出量および汚濁負荷量を同時に把握することができる。しかし、各モデルとも雨水流出量に関しては良好な再現性を示しているものの、パラメータ設定の考え方が明確でなく、汚濁負荷量に関しては推定手法により再現性も異なるのが現状である。そのため、合流式下水道からの汚濁負荷流出状況の実態調査を行い、流出特性の把握と土研モデルへの適用性について検討し、さらに様々な合流式下水道改善対策の適正な評価が行える分布型モデルへの改良が必要であった。

このような背景から、放流先を包含する流域圏と都市を対象として、これまで土研モデルにおいて対象としていなかった窒素、リン、大腸菌群数についてモデル化を行うと共に、合流式下水道越流水の与える影響をよりの確に評価するため、分布型汚濁負荷モデルの開発を行った。

(2) 窒素、リン、大腸菌群数のモデル化

1) 合流式下水道における実態調査

合流式下水道からの雨天時越流水質および負荷量の実態を把握するために全国 16 箇所
で晴天時、雨天時の水量・水質調査が実施され、汚濁負荷の流出特性の把握および解析モ
デルの提案がなされている²⁾。しかし、対象とされた水質項目は BOD、COD、SS であり、
窒素、リン、大腸菌群の流出特性については把握されていない。窒素、リン、大腸菌群数
のモデル構築のためには負荷の流出特性について把握する必要があるが、合流式下水道に
おける実態調査の事例は少ない。そこで、合流式下水道を有する地区にて降雨量、管路内
流量および窒素、リン、大腸菌群数の実態調査を行った。

実態調査は、合流式下水道で整備されており、自然流下にて収集している 3 都市の 3 地
区を対象に行った。調査を行った各市、各地区の概要は以下のとおりである。

< A 市 >

A 市の下水道普及率は約 90%、全処理区面積のうち約 7% が合流式下水道で整備されて
いる都市である。調査は面積が約 168ha、
処理人口が約 13,000 人の地区にて行っ
た。本地区の雨天時下水の排水系統は最
下流部で晴天時時間最大汚水量分を遮集
し処理場へ流下させ、残りの雨水量分を
雨水吐き室より Y 川へ越流させており、
地区内には浸水対策用の雨水貯留池
(9,000m³) が設置されている(図
-3.2.2.1)。地区内の土地利用状況は一般
低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住
宅地の住居用地が 4 割、商業・業務用地
が 1 割、道路用地 1 割と、住居用地、商
業用地の割合が大きく、山地・荒地等が
ほとんど無い、市街化の進展した地区で
あった。調査地区内の土地利用面積割合
を表-3.2.2.1 に示す。

採水および管路内流量調査は調査地区
のほとんどの下水が流入する下流地点
(A-1)と幹線の中流地点(A-2)の 2 箇所
にて行った。降雨量観測は調査地区内の 1 箇所(雨量計 A)で行った。

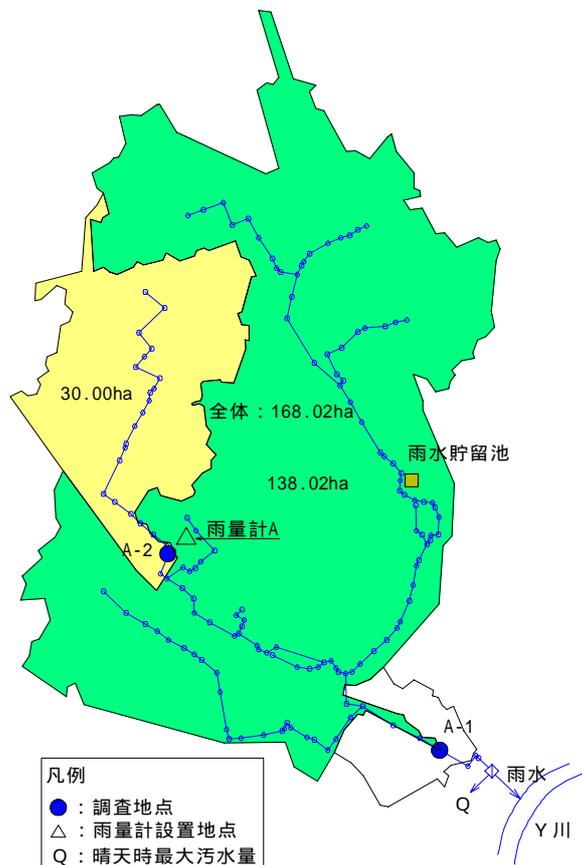


図- 3.2.2.1 調査地区概要図 (A 市)

< B 市 >

B 市の下水道普及率は約 100%、全処理区面積のうち約 82% が合流式下水道で整備され
ている都市である。調査は面積が約 646ha、処理人口が約 83,400 人の地区にて行っ
た。本地区の雨天時下水の排水系統は、幹線の途中の 2 箇所と雨水吐き室の直上流側で 1 箇所の

計3箇所で各々晴天時時間最大汚水量の約3倍量を遮集し処理場へ流下させ、残りの雨水量を雨水吐き室よりK川へ越流させている(図-3.2.2.2)。

地区内の土地利用は一般低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住宅地の住居用地が6割、商業・業務用地が1割、道路用地1割と調査を実施した3地区中で最も市街化率が高い地区であった。調査地区内土地利用割合を表-3.2.2.1に示す。

採水および管路内流量は最下流の雨水吐き室から約600m上流(B-1)と最上流部の分水地点の直上流側(B-2)の2箇所で行った。降雨量観測は調査地区内の3箇所(雨量計B1、B2、B3)で行った。

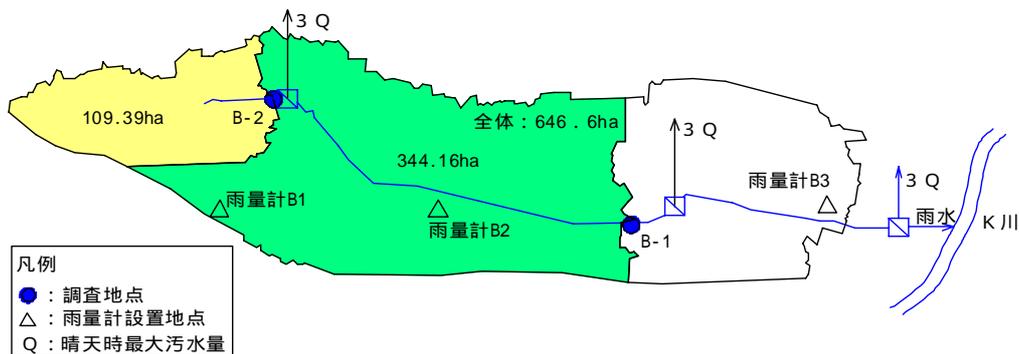


図-3.2.2.2 調査地区概要図(B市)

< C市 >

C市の下水道普及率は約96%、全処理区面積のうち約12%が合流式下水道で整備されている都市である。調査は面積が約345ha、処理人口が約80,500人の地区にて行った。

本地区の雨天時下水の排除系統は晴天時時間最大汚水量を浄化センターへ流下させ、数箇所でH川へ雨水量分を放流させていた(図-3.2.2.3)。地区内の土地利用状況は山地・荒地等が2割、一般低層住宅地、密集低層住宅地、中高層住宅地の住居用地が4割、道路用地1割とであり、他の2地区と比較すると山地・荒地等が多い地区であった。調査地区内土地利用割合を表-3.2.2.1に示す。

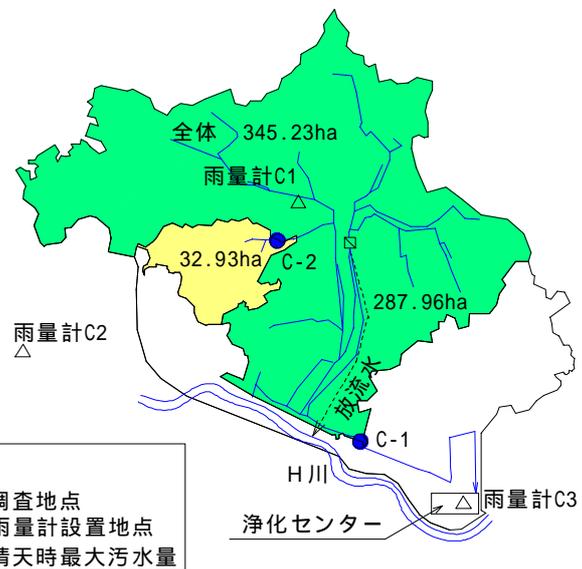


図-3.2.2.3 調査地区概要図(C市)

採水および管路内流量調査は浄化センターから約700m上流側で、浄化センター内ポンプ井からの背水の影響が無いと考えられる地点(C-1)と幹線の上流側地点(C-2)の2箇所で行った。降雨量観測は調査地区内の3箇所(雨量計C1、C2、C3)で行った。

表- 3.2.2.1 流域内の土地利用割合⁴⁾

code	土地利用状況	面積率(%)					
		A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
1	山林・荒地等	0.3	0.2	1.2	2.1	19.2	19.5
2	田	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
3	畑・その他の用地	1.0	0.1	0.0	0.0	0.6	0.6
4	造成中地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	空地	4.2	0.6	2.2	2.4	2.2	1.3
6	工業用地	0.4	1.0	0.2	0.0	0.5	0.2
7	一般低層住宅地	28.9	28.9	53.5	55.4	42.8	32.6
8	密集低層住宅地	3.9	10.1	4.7	10.6	0.0	0.0
9	中高層住宅地	8.4	8.7	3.5	3.6	4.9	14.0
10	商業・業務用地	11.0	12.3	11.0	7.6	5.0	2.3
11	道路用地	15.7	21.6	13.3	10.7	19.3	23.9
12	公園・緑地等	13.2	1.6	2.2	1.0	3.4	4.2
13	その他の公共公益施設	12.8	14.7	8.3	6.6	1.5	1.0
14	河川・湖沼等	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2
15	その他(基地、皇室関係)	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
16	海	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	対象地域外	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	コード18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	コード19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	合計	100	100	100	100	100	100

2) 合流式下水道における汚濁負荷流出特性の解析方法²⁾

窒素、リンの汚濁負荷流出特性を把握することは、これらの水質項目の土研モデルへの適用性について検討を行うために必要である。そのため、流出特性として管内や地表面からの流出負荷の雨天時流出負荷量に対する影響度を把握する必要あり、実態調査の結果を用いて負荷量を算出し負荷量収支および流量と負荷量の関係について解析を行った。

a) 負荷量収支

負荷量収支の解析方法は各分析項目を図-3.2.2.4 のように晴天時負荷量と雨天時負荷量の時系列変化をエリア分割し、各々の分割エリア内の負荷量にて行った。分割は雨天時負荷量が晴天時負荷量を下回る時刻を負荷量低下時刻、晴天時負荷量を下回った雨天時負荷量が再び晴天時並みに回復する時刻を負荷量回復時刻とし、降雨開始時刻から負荷低下時刻までで雨天時負荷量が晴天時負荷量を上回っている量をA、晴天時負荷量をBとし、負荷量低下時刻から負荷量回復時刻までで晴天時負荷量が雨天時負荷量を上回っている量をC、雨天時負荷量をDとした。これらの負荷量よりA/B、A/C、(雨天時総負荷量)/(晴天時総負荷量)の各々の比率を算出し、流出特性の知られているBOD、COD、Sも含め定量的な負荷量収支の解析を行った。

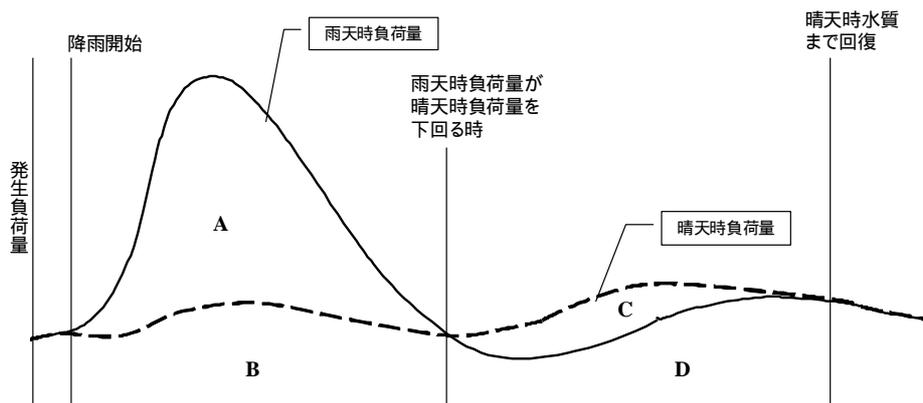


図- 3.2.2.4 エリア分割模式図

b) 流量と負荷量の関係

算出した窒素、リン、大腸菌群の負荷量と観測した流量を用い、流量と負荷量の関係について解析を行った。負荷量、流量は対数にて表し、時間経過とともに変化していた値を連結した履歴曲線として表した。

一般に雨天時における流出水量と汚濁負荷量の関係は、図-3.2.2.5 に示すように時計回りのループを描くといわれている。また、SS のループは、BOD や COD のそれと比較して直線的であり、流出特性が異なることが知られている。

時計回りのループを描くということは、雨天時流出水量が同じでも前半の流量による流出負荷量の方が後半の流量による流出負荷量よりも多いことを示す。

SS のループが BOD や COD のループと比べ直線的であるのは、路面等からの供給負荷量が相対的に多く、流出後半においても流出負荷量がある程度維持されているためと考えられている。

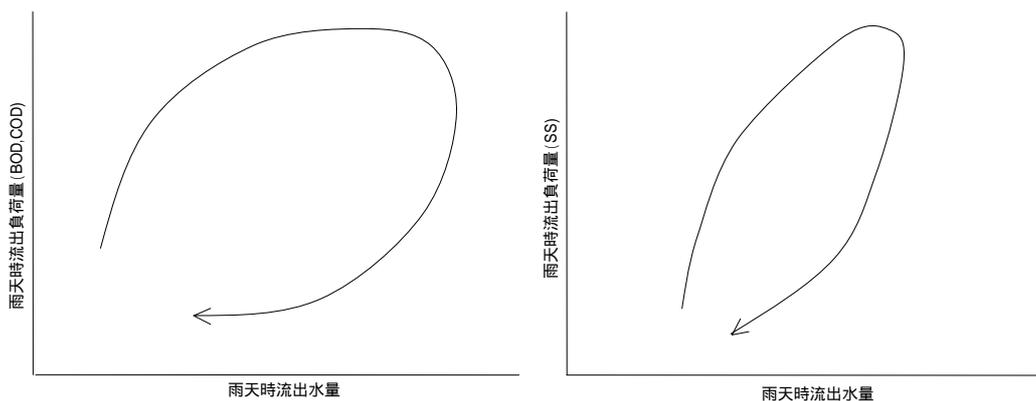


図- 3.2.2.5 雨天時流出水量と流出負荷量の関係

3) 窒素、リンの汚濁負荷流出特性

a) 負荷量収支

ア) 堆積物流出の雨天時流出負荷量への影響

雨天時流出負荷には管路内や地表面の堆積物の流出による負荷があるので、雨天時負荷

量が晴天時負荷量を上回った量、即ちAの値は管路内や地表面の堆積物由来の流出負荷であると考えられる。同時刻内の晴天時流出負荷量（B）との比、A/Bの値が大きいほど雨天時流出負荷における堆積物流出の影響度が大きいと考えられる。

A/Bの値は図-3.2.2.6~3.2.2.11 に示すとおりであり、SSの値は各地区（C市C-1地点を除く）で最も大きく、雨天時負荷の増加は堆積物由来であると考えられる。

またA/Bの値はSS > COD > BOD > リン > 窒素の順であり、窒素、リンでは他の水質項目に比べ低く、雨天時流出負荷量における堆積物の流出負荷量は少ないと考えられる。

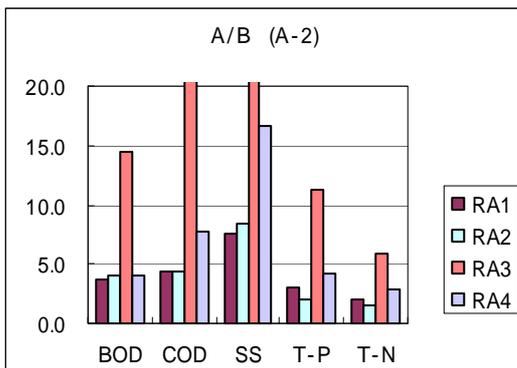


図- 3.2.2.6 A / B (A-1)

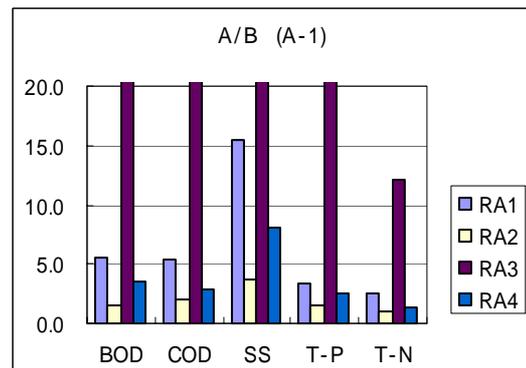


図- 3.2.2.7 A / B (A-2)

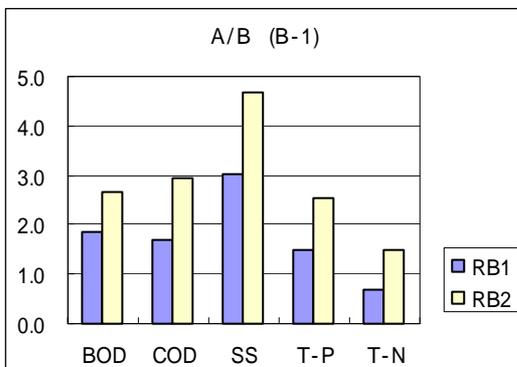


図- 3.2.2.8 A / B (B-1)

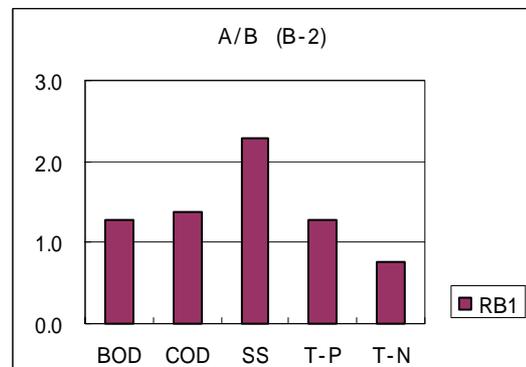


図- 3.2.2.9 A / B (B-2)

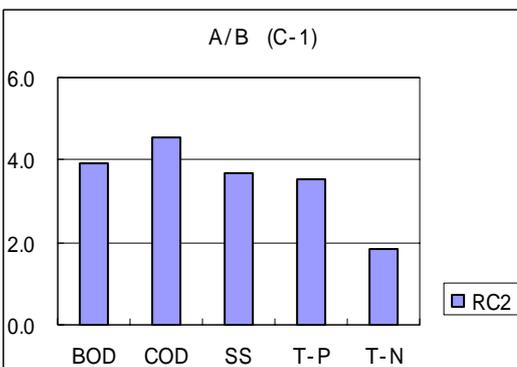


図- 3.2.2.10 A / B (C-1)

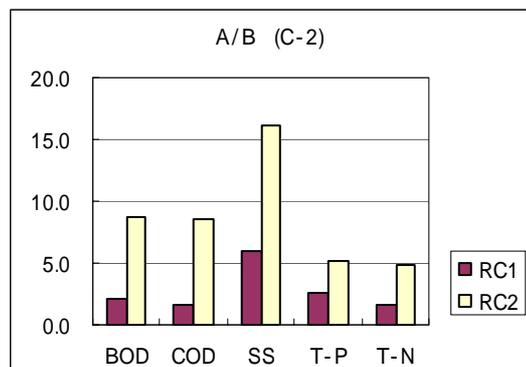


図- 3.2.2.11 A / B (C-2)

イ) 地表面からの流出負荷の雨天時負荷量への影響

雨天時汚濁負荷の流出現象を負荷量低下時刻以前が堆積物の流出、負荷量低下時刻以降が管路内への再堆積の開始と仮定した場合に(雨天時総負荷量)/(晴天時総負荷量)の値が1.0であれば降雨によって流出した負荷量と管路内へ再堆積した負荷量が同量であるということであり、雨天時の流出負荷は管路内堆積物のみであると考えられる。また、地表面からの流出負荷が少ないと仮定した場合(雨天時総負荷量)/(晴天時総負荷量)1.0であるが、即ちこれはA=Cである。よって、地表面からの流出負荷の雨天時流集負荷への影響については(雨天時総負荷量)/(晴天時総負荷量)とA/Cの結果と合わせ解析を行った。

(雨天時総負荷量)/(晴天時総負荷量)の値は図-3.2.2.12~3.2.2.17に示すとおりである。

地表面からの流出負荷が考えられるSS、CODでは1.0を大きく上回っており、BODは1.0を上回る結果もあったが1.0に近い値が多かった。窒素、リンでは1.0もしくはBODと同程度の値であり地表面からの流出負荷の雨天時流出負荷への影響度は低いと考えられる。しかし、C市の結果では僅かではあるがBODより大きく、1.0を上回っており地表面からの流出負荷があると考えられた。

A/Cの値は図-3.2.2.18~3.2.2.23に示すとおりである。

降雨ごとに値のバラツキは大きいですが、これは地域特性、降雨状況等によって異なっているものと考えられる。また、BOD、COD、SSでは10日間連続観測結果からBODではA=C、CODではA>C、SSではA<Cの関係が成り立つとされており、BODは地表面からの流出負荷量は少なく、無視し得るものとされている²⁾。即ち、これは地表面からの流出負荷量が少ない場合にはA/C<1となり、多い場合にはA/C>1もしくはA/C=1となることを表している。

3地区でのBODの結果ではA/C<1であるとは言いがたいが、A/Cの値はSS>COD>BODとなっており地表面からの流出負荷の多いとされる順であった。これらと窒素、リンを比較した場合、A、B市での値はBODに近似しており、流出特性はBODに類似していると考えられる。しかし、C市の調査結果では窒素、リンの値は大きく、地表面からの汚濁負荷の流入が考えられる。これはC市の土地利用を他の2市と比較すると山地・荒地等、田、畑・その他の用地の土地利用割合がA、B市では0.3~2.1%であったのに対しC市では20%程度と大きく、山地等からの窒素、リンの流出があり、C市でも山地等からの流出があったのではないかと考えられる。これらのことから、窒素、リンの地表面からの汚濁負荷の流出は土地利用形態によって異なり、山地等がほとんど無く市街化の進展した地区では少なく山地等がある場合には、これらから流出し、下水管路へ流入していると考えられる。

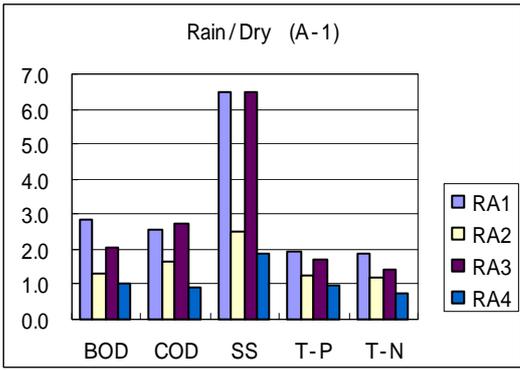


圖- 3.2.2.12 雨天時 / 晴天時 (A-1)

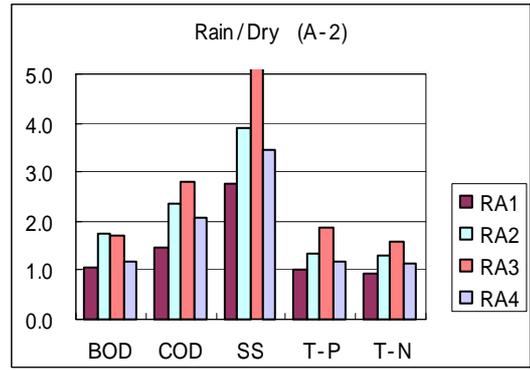


圖- 3.2.2.13 雨天時 / 晴天時 (A-2)

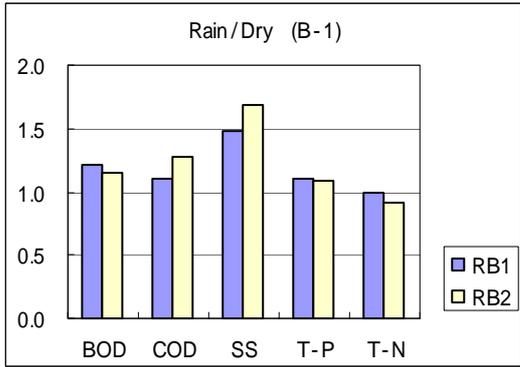


圖- 3.2.2.14 雨天時 / 晴天時 (B-1)

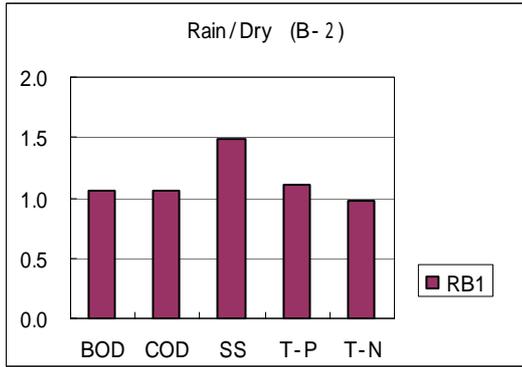


圖- 3.2.2.15 雨天時 / 晴天時 (B-2)

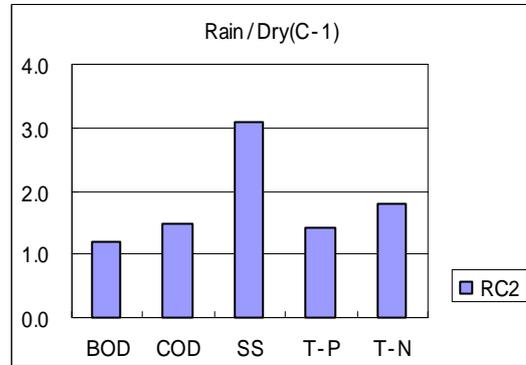


圖- 3.2.2.16 雨天時 / 晴天時 (C-1)

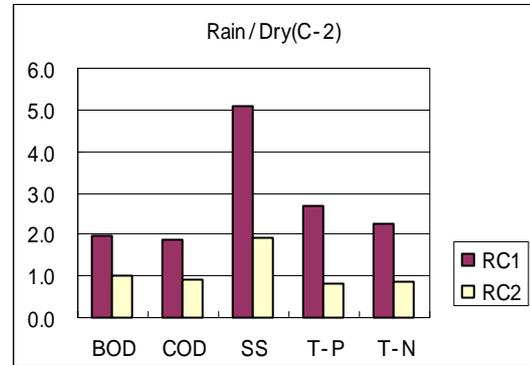


圖- 3.2.2.17 雨天時 / 晴天時 (C-2)

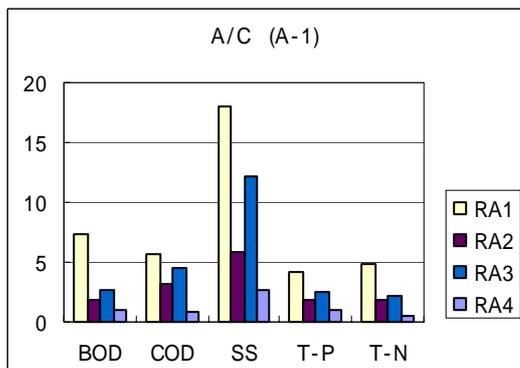


圖- 3.2.2.18 A / C (A-1)

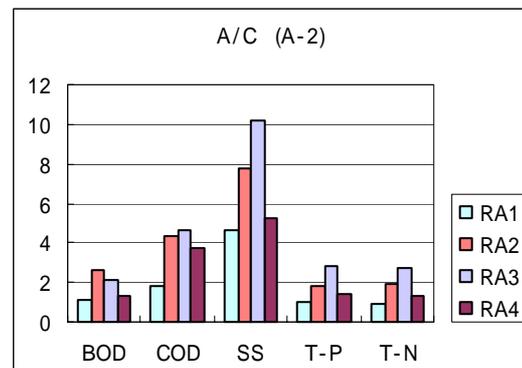


圖- 3.2.2.19 A / C (A-2)

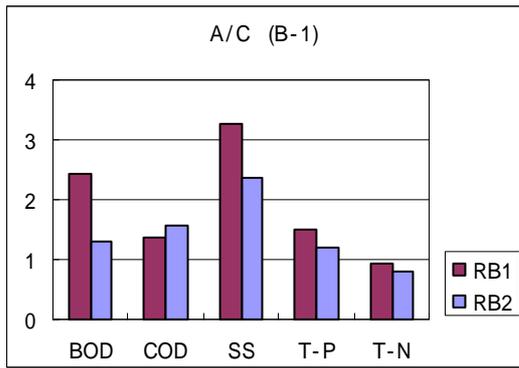


図- 3.2.2.20 A / C (B-1)

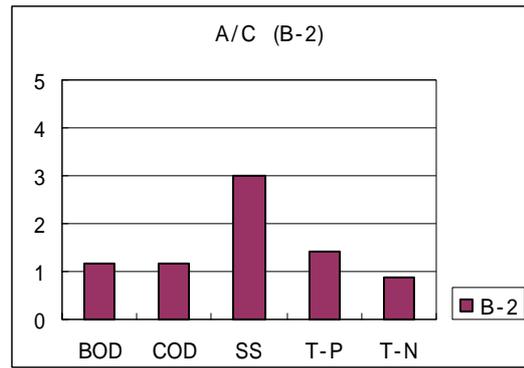


図- 3.2.2.21 A / C (B-2)

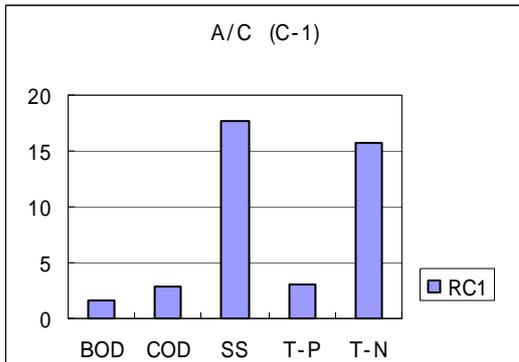


図- 3.2.2.22 A / C (C-1)

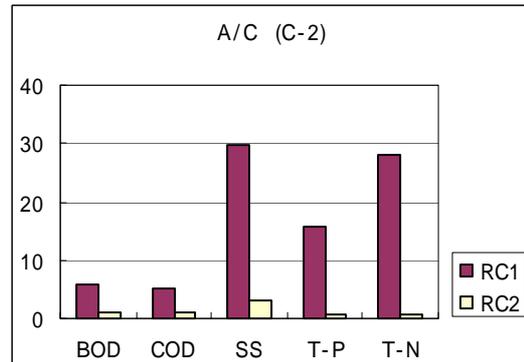


図- 3.2.2.23 A / C (C-2)

b) 流量と負荷量の関係

BOD、COD、SSの流量と負荷量の関係を表した際の時系列の履歴曲線は時計回りのループ特性があり、この関係の第一次近似として $L = C'Q^n$ が成り立つとされている²⁾。流量と負荷量の関係は次に示すとおりである。

ア) 窒素

履歴曲線を図-3.2.2.24 ~ 3.2.2.29 に示す。

履歴曲線はBOD等と同様なループ特性がみられ、指数nは1.0程度であったのでBOD、CODと同様な流出特性であると考えられる。

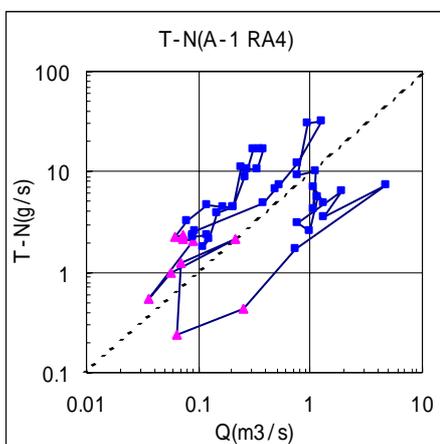


図- 3.2.2.24 窒素 (A-1 4 回目降雨)

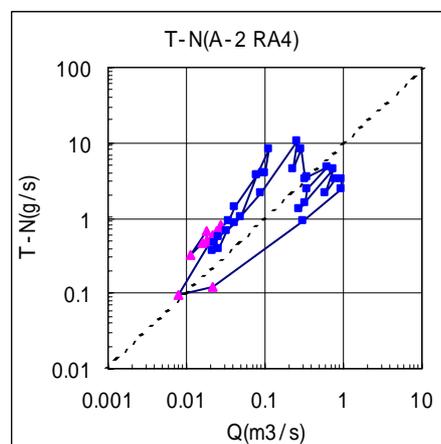


図- 3.2.2.25 窒素 (A-1 2 回目降雨)

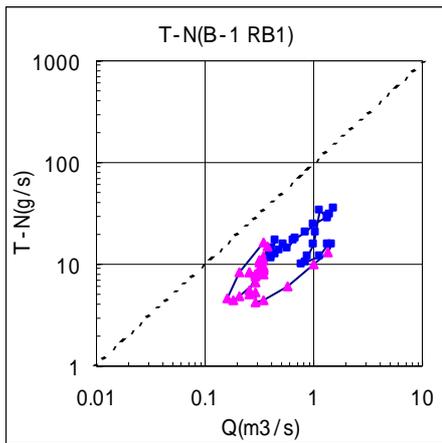


図- 3.2.2.26 窒素 (B-1 1 回目降雨)

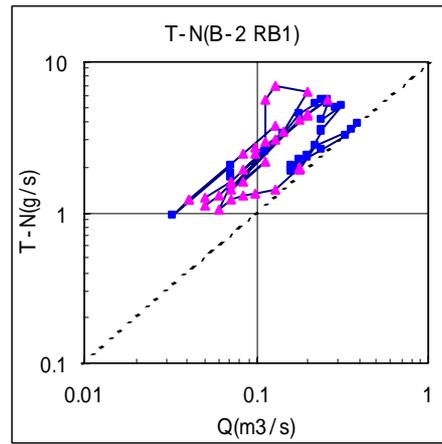


図- 3.2.2.27 窒素 (B-2 1 回目降雨)

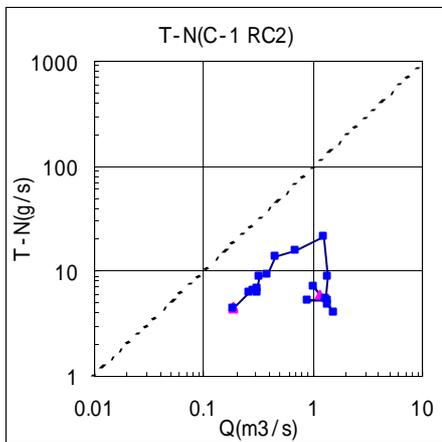


図- 3.2.2.28 窒素 (C-1 2 回目降雨)

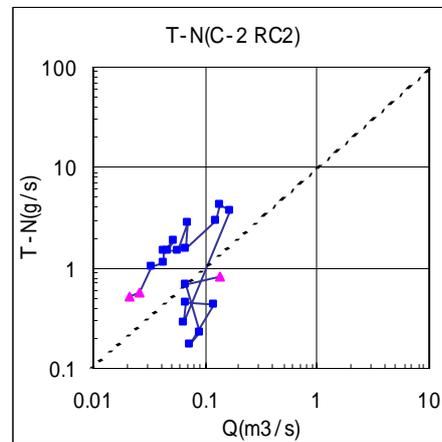


図- 3.2.2.29 窒素 (C-2 2 回目降雨)

イ) リン

履歴曲線を図-3.2.2.30～3.2.2.35 に示す。履歴曲線は B O D 等と同様なループ特性がみられ、指数 n は 1.0 程度であったので B O D、C O D と同様な流出特性であると考えられる。

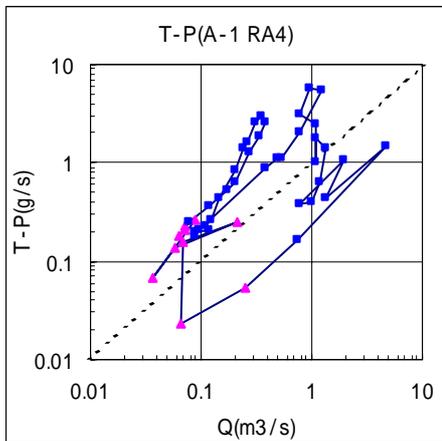


図- 3.2.2.30 リン (A-1 4 回目降雨)

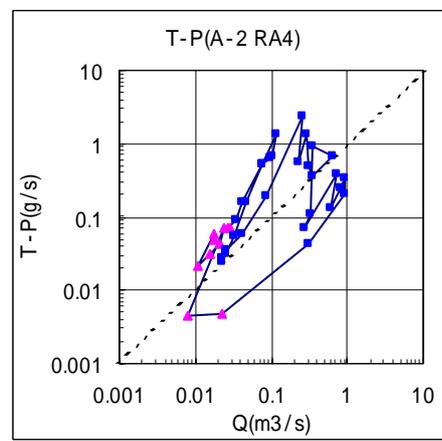


図- 3.2.2.31 リン (A-2 2 回目降雨)

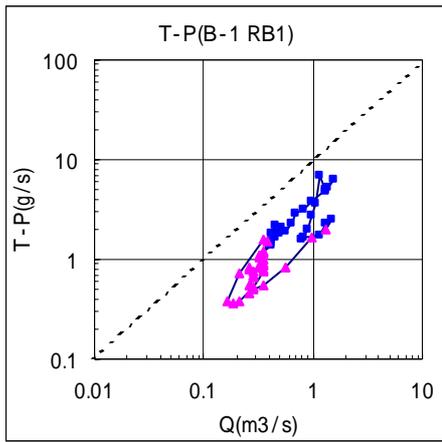


図- 3.2.2.32 リン (B-1 1 回目降雨)

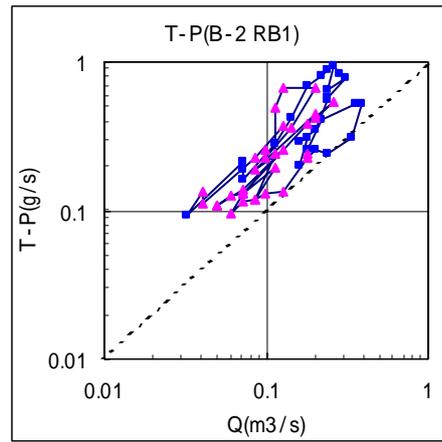


図- 3.2.2.33 リン (B-2 1 回目降雨)

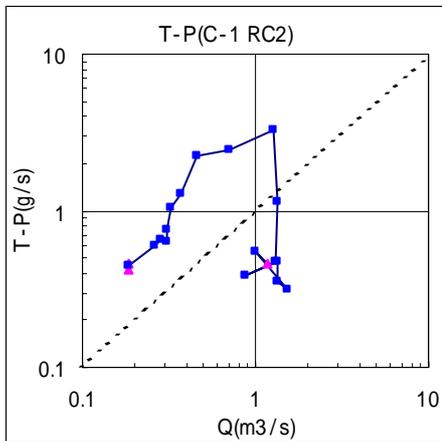


図- 3.2.2.34 リン (C-1 2 回目降雨)

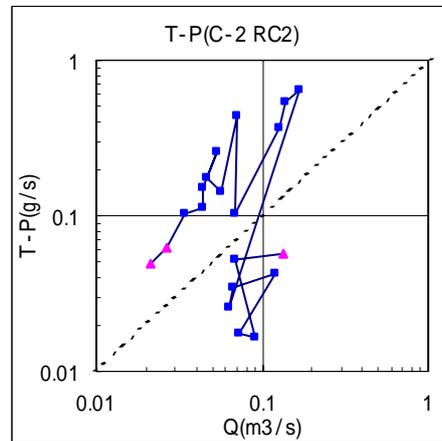


図- 3.2.2.35 リン (C-2 2 回目降雨)

4) 大腸菌群の汚濁負荷流出特性

a) A / C の関係

A 市における大腸菌群の場合、A / C は 2 地点共に 20 倍程度と、他の汚濁負荷項目よりも大きな値となっていた (図-3.2.2.36)。一方、B 市における大腸菌群は、2 降雨共に SS の A / C と同程度の値となっていた (図-3.2.2.37)。

A 市の降雨は比較的大きな降雨であり、B 市の降雨は 2 降雨共に小規模な降雨であるといった違いはあるが、A / C の値は SS と同等もしくはそれ以上の値となっており、路面等からの負荷供給が少なくないと考えられる。

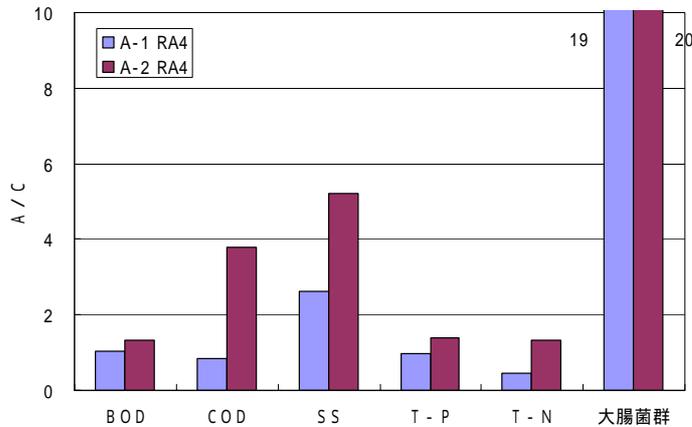


図- 3.2.2.36 A市における A/C

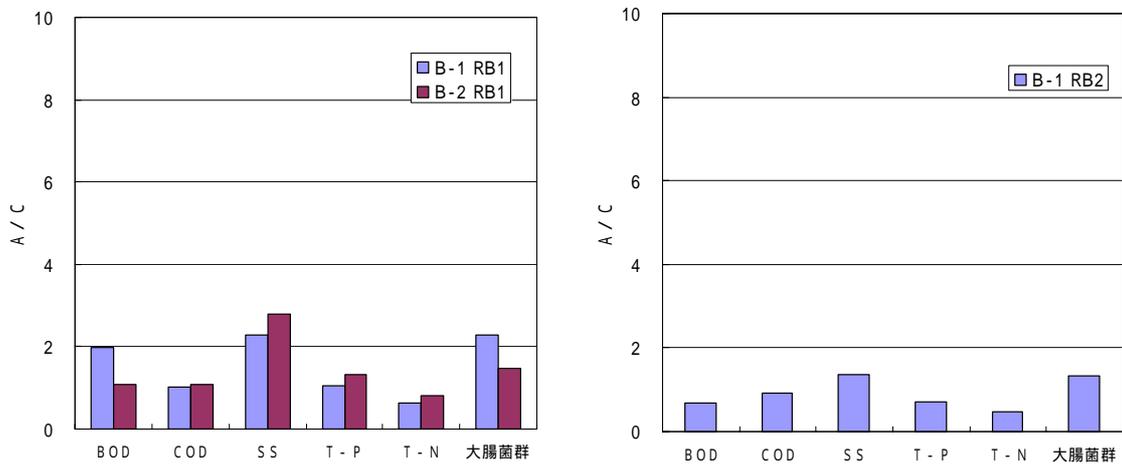


図- 3.2.2.37 B市における A/C

b) $D / (C + D)$ の関係

晴天時流出負荷量が雨天時流出負荷量を上回ってからの晴天時流出負荷量と雨天時流出負荷量の比「 $D / (C + D)$ 」が 1.0 以下となる場合は、管渠内等で負荷の再堆積が進んでいることを示す。

一般に SS 等の雨天時に路面等からの供給される割合が大きい汚濁負荷の場合、「 $D / (C + D)$ 」は他の汚濁よりも大きく、1.0 に近い値となると考えられるが、その現象を読みとることができない。大腸菌群についても同様であり、A 市では大きい、B 市では小さい。

本調査では、大腸菌群に類似した水質項目を判断できなかった。(図-3.2.2.38 ~ 3.2.2.39)

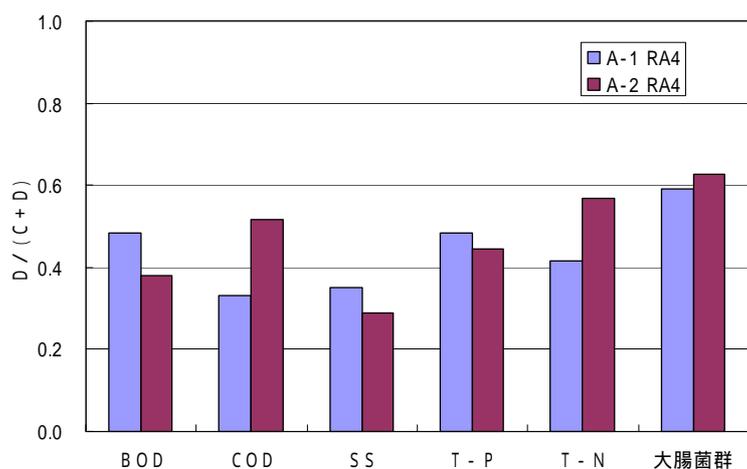


図- 3.2.2.38 A 市における D/(C+D)

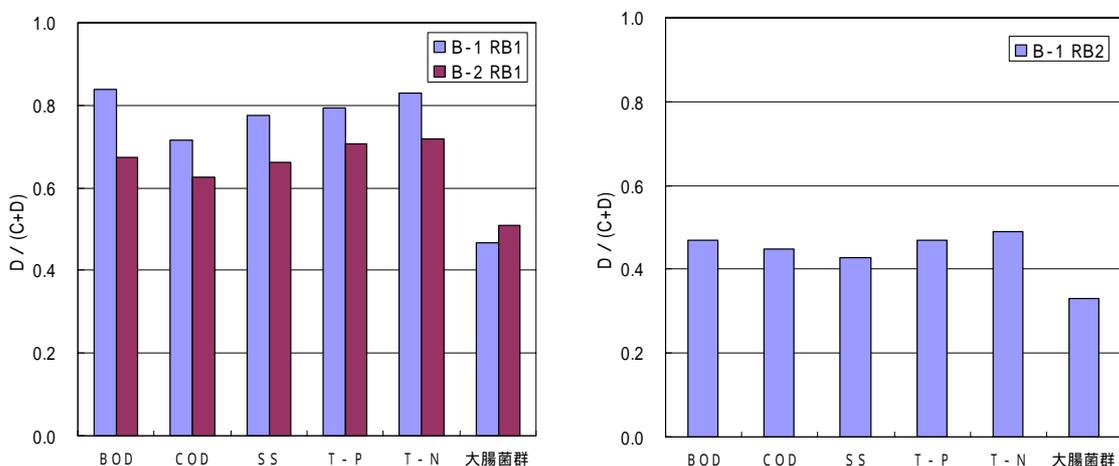


図- 3.2.2.39 B 市における D/(C+D)

c) 雨天時負荷量と晴天時負荷量 : $(A + B + D) / (B + C + D)$

雨天時流出負荷量 (A + B + D) と晴天時流出負荷量 (B + C + D) の比や、雨天時流出負荷量 (A) と晴天時流出負荷量 (B) の比 (A / B) が大きいと、降雨による路面等からの供給負荷量が大きいことを意味する。

大腸菌群の雨天時流出負荷量と晴天時流出負荷量の比は、A市とB市で値に違いはあるものの共に、SSと同程度であり、SSと同様に路面等からの供給を考慮する必要があると考えられる (図-3.2.2.40 ~ 3.2.2.41)。

雨天時の負荷量が晴天時の負荷量を上回る部分に限定し、A/Bについてみると、SSは傾向が顕著となるが、大腸菌群ではバラツキが見られる。(図-3.2.2.42 ~ 3.2.2.43)

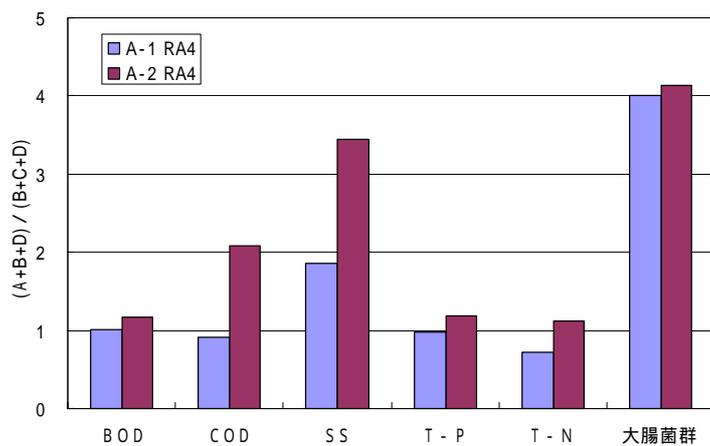


図- 3.2.2.40 A 市における $(A+B+D)/(B+C+D)$

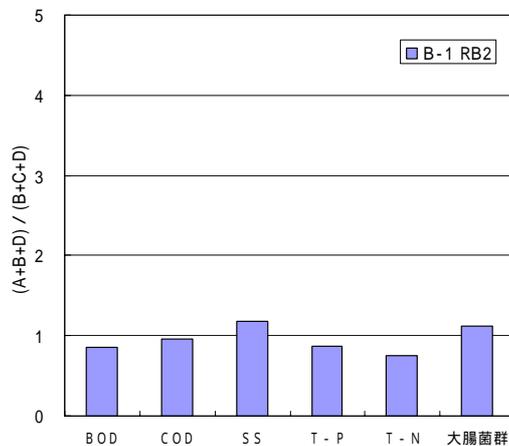
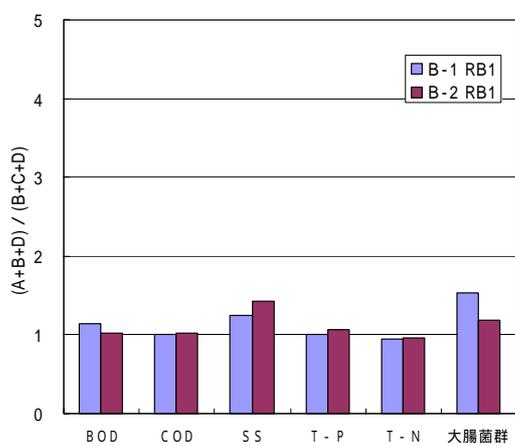


図- 3.2.2.41 B 市における $(A+B+D)/(B+C+D)$

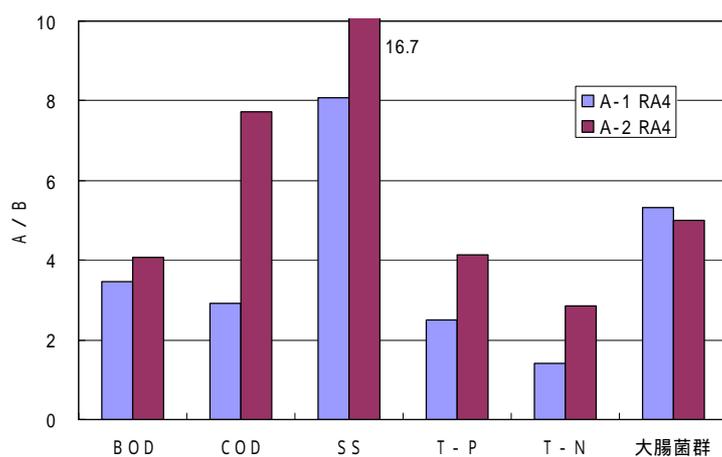


図- 3.2.2.42 A 市における A/B

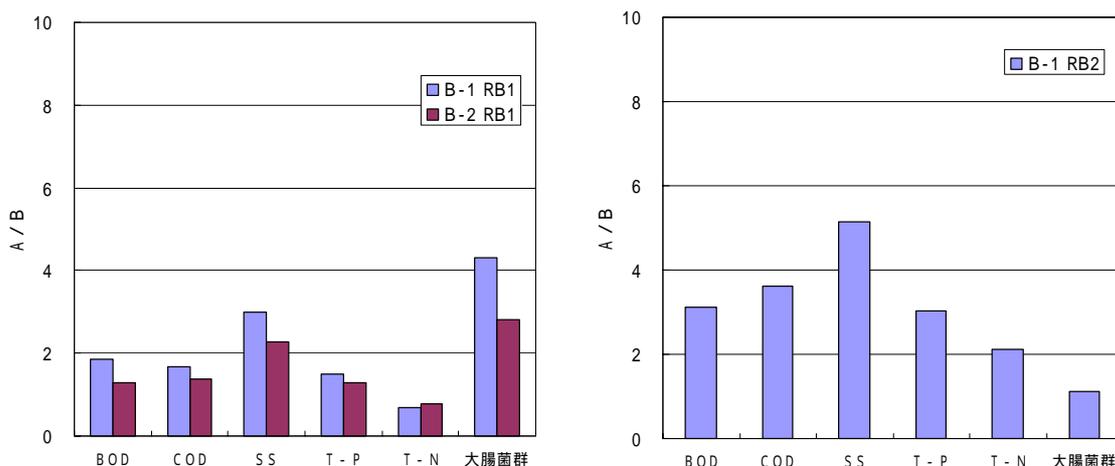


図- 3.2.2.43 B市における A/B

5) 窒素、リン、大腸菌群の土研モデルへの適用

a) 集中型土研モデル²⁾

集中型土研モデルは山口、中村らにより開発された汚濁負荷流出解析モデルであり、指針等²⁾³⁾にも記載されている。本モデルは雨水流出量解析モデルの1つである修正RRL法と組み合わせて利用され、次のような式で表されている。ただし、雨天時汚濁負荷の流出解析ではBODは地表面等からの汚濁負荷の流出は少ないと考えられており、COD、SSとは式が異なっている。これらの式は式-3.2.2.1~3.2.2.7に示すとおりである。

晴天時の推定式は管渠内の堆積物の流出現象を表され、浮遊砂量公式と同式形であり、そこに流砂量理論という限界掃流力の概念が導入されたものである。雨天時の推定式は晴天時の推定式と地表面等の堆積物の流出現象を表した推定式から構成されており、地表面等からの負荷量の推定式は「流出負荷量は残存負荷量と降雨強度に比例する」という仮定に基づいている。また、限界降雨強度以下では堆積物は掃流、流出しないと仮定している。この際のBOD、COD、SSの定数m、nの値は表-3.2.2.2のとおりとされている²⁾。

<晴天時>

$$L_D = C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_C) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.1)$$

$$\frac{dp_p}{dt} = D_L - L_D \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.2)$$

- L_D : 晴天時流出負荷量 (g/s) C : 管内負荷流出係数
- P_p : 管内残存負荷量 (g) Q : 流量 (m³/s) Q_C : 限界流量 (m³/s)
- D_L : 汚水負荷量 (g/s) m, n : 定数 (表-3.2.2.2 参照)

<雨天時：BOD>

$$L_w = C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_c) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.3)$$

$$\frac{dp_p}{dt} = D_L - C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_c) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.4)$$

<雨天時：COD、SS>

$$L_w = C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_c) + \frac{1}{3.6} K \cdot P_s (r_e - r_c) A \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.5)$$

$$\frac{dp_p}{dt} = D_L - C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_c) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.6)$$

$$\frac{dp_s}{dt} = a - \frac{1}{3.6} K \cdot P_s (r_e - r_c) A \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.7)$$

- L_w : 雨天時流出負荷量 (g/s) C : 管内負荷流出係数
 P_p : 管内残存負荷量 (g) Q : 流量 (m³/s)
 Q_c : 限界流量 (m³/s) D_L : 汚水負荷量 (g/s)
 K : 路面, 管内等の残存負荷流出係数 (1/mm)
 P_s : 路面, 管内等の残存負荷量 (kg/ha)
 r_e : 有効降雨強度 (mm/hr) r_c : 限界降雨強度 (mm/hr)
 A : 排水区域面積 (ha) a : 補給負荷量 (g/s)
 m, n : 定数 (表- 3.2.2.2参照)

表- 3.2.2.2 定数(m,n)

	BOD	COD	SS
m	2	2	1
n	0	0	1

実態調査に基づく汚濁負荷流出特性から考えられる窒素、リン、大腸菌群数の定数m、nを表-3.2.2.3に示す。

表- 3.2.2.3 定数(m,n)

	BOD	COD	SS	T-P	T-N	大腸菌群
m	2	2	1	2	2	1
n	0	0	1	0	0	1

b) シミュレーションによる検証

ア) 窒素、リン

窒素、リンでは地表面等から汚濁負荷量を推定する際のパラメータについて十分な研究がされていないため、C市で行った分流式雨水での調査を基に路面等のパラメータを設定した。その値は表-3.2.2.4に示すとおりであった。

表- 3.2.2.4 C市分流雨水から求まる路面等のパラメータ（窒素、リン）

		T-P	T-N
総負荷量 (kg)		5.74	48.06
初期路面等残存負荷量 Ps0 (kg/ha)	総負荷量 / (81.98ha × 0.20)	0.350	2.931
路面等残存負荷流出係 数 K (1/mm)	K=最大負荷 × 3.6/ (Ps・ (最大降雨 - rc)・A・imp)	0.011	0.010
補給係数 a (kg/s/ha)	Ps0 / 48hr / (81.98ha × 0.20)	2.026×10 ⁻⁶	1.696×10 ⁻⁵

シミュレーション結果は図-3.2.2.44～3.2.2.46に示すとおりである。

負荷量あるいは水質のピークに対して、シミュレーションが追従し切れていないところがあるものの、全体としては雨天時の波形を表現できているものといえる。

これにより、従来からシミュレーションが確立されていた BOD、COD、SS と同様に、T-P および T-N のシミュレーションも可能になったといえる。

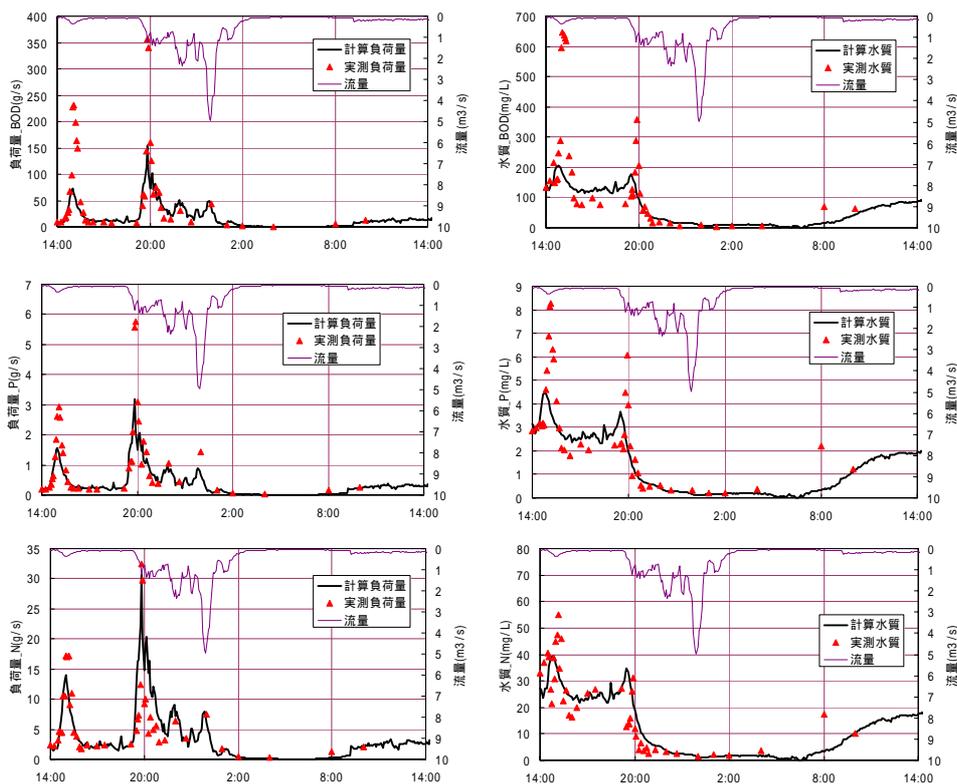


図- 3.2.2.44 雨天時シミュレーション A市A-1地点 降雨RA4

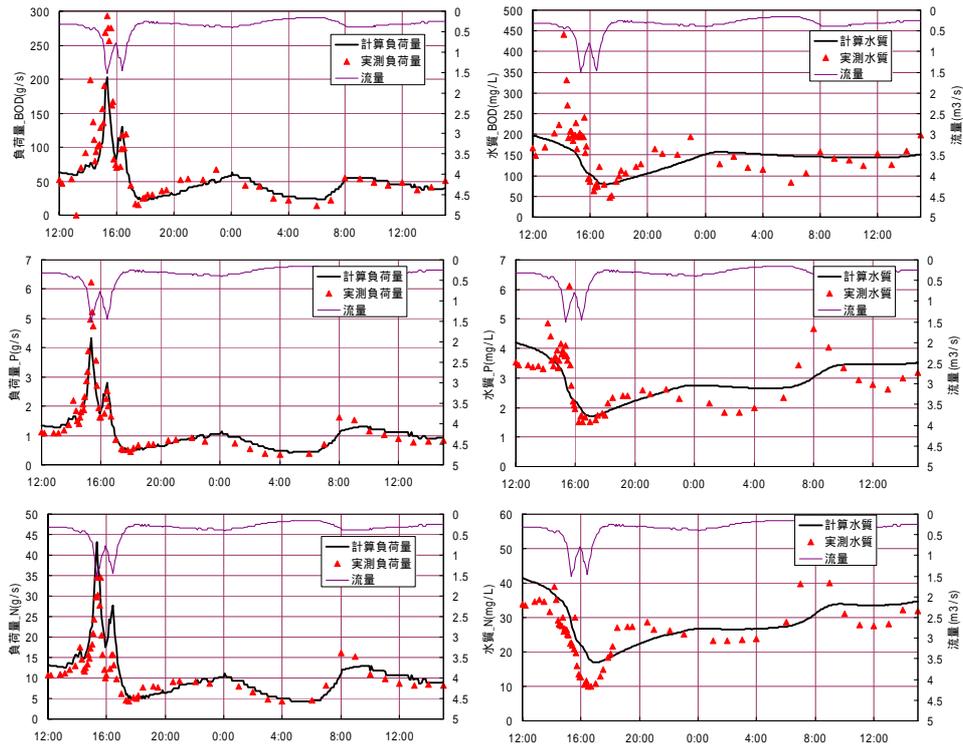


図- 3.2.2.45 雨天時シミュレーション B市 B-1地点 降雨RB1

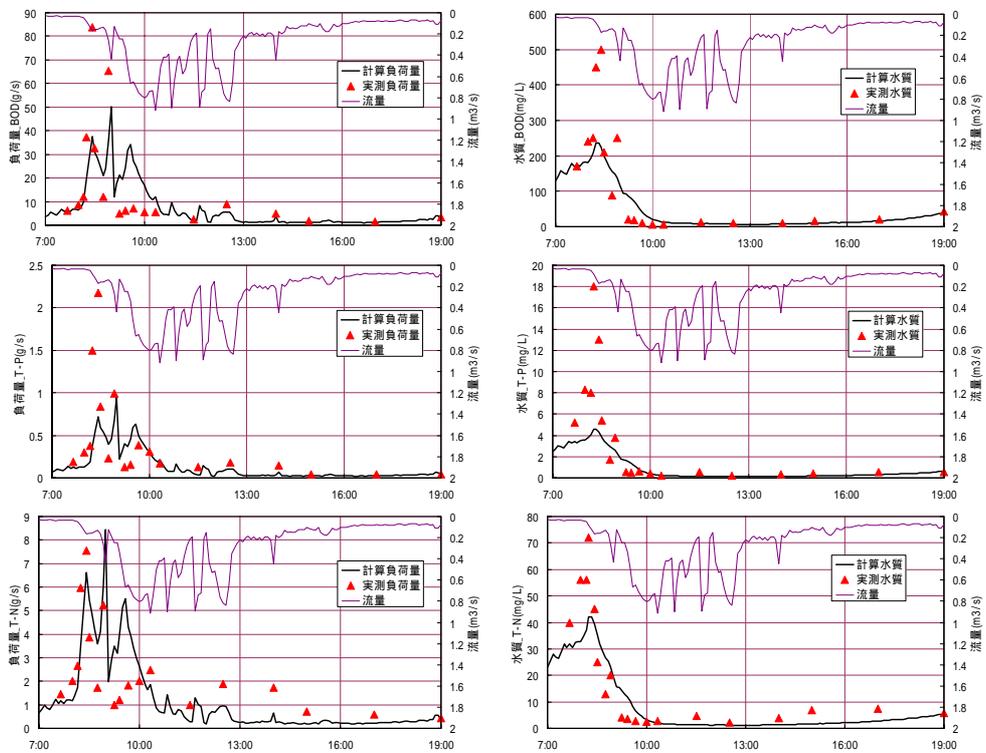


図- 3.2.2.46 雨天時シミュレーション C市 C-2地点 降雨RC1

イ) 大腸菌群

大腸菌群についても地表面等から汚濁負荷量を推定する際のパラメータについて十分な研究がされていないため、C市で行った分流式雨水での調査を基に路面等のパラメータを設定した。その値は表-3.2.2.5に示すとおりであった。

表- 3.2.2.5 C市分流雨水から求まる路面等のパラメータ（大腸菌群）

		大腸菌群
総負荷量 ($\times 10^6$ 個)		251,500,805
初期路面等残存負荷量 Ps0 (個/ha)	総負荷量 / (81.98ha \times 0.20)	15.34×10^{12}
路面等残存負荷流出係 数 K (1/mm)	K=最大負荷 \times 3.6/ (Ps \cdot (最大降雨 - rc) \cdot A \cdot imp)	6.173×10^6
補給係数 a (個/s/ha)	Ps0 / 16hr / (81.98ha \times 0.20)	8.877×10^7

シミュレーション結果は図-3.2.2.47～3.2.2.48に示すとおりである。

窒素、リンと同様に、負荷量あるいは水質のピークに対して、シミュレーションが追従し切れていないところがあるものの、全体としては雨天時の波形を表現できているものといえる。

これにより、窒素、リンと同様に、大腸菌群のシミュレーションが有る程度可能になったと考えられる。

しかしながら、大腸菌群に関しては、他の水質項目に比べ、環境の変化等においてその値が大きく変化することも考えられ、地域によっては、必ずしも今回のようにシミュレーション結果と実態が一致するものとは言えない。

このことから、特に地表面からの流出実態についてデータの蓄積を行い、地域性や気候の変化による影響などについてさらに検討すると共に、管内堆積物（堆積汚泥や管内付着汚泥）における大腸菌群の挙動についても検討を行う必要があると考える。

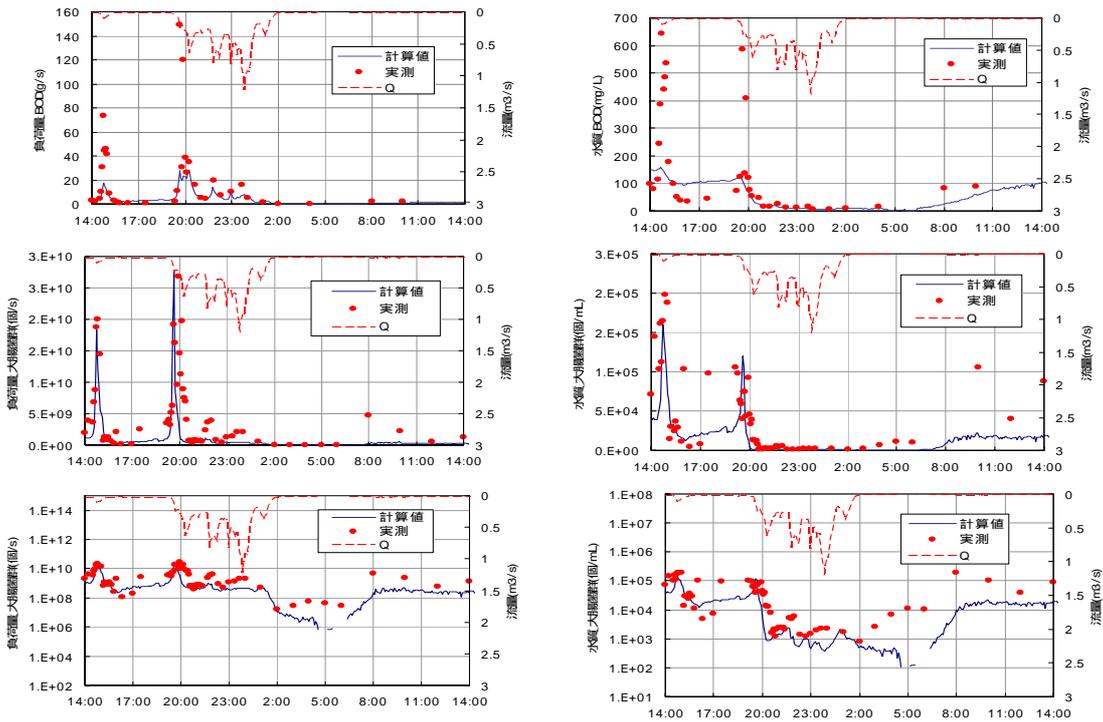


図- 3.2.2.47 雨天時シミュレーション A市A-2地点 降雨RA4
 (上段：BOD，中段：大腸菌群(真数)，下段：大腸菌群(対数))

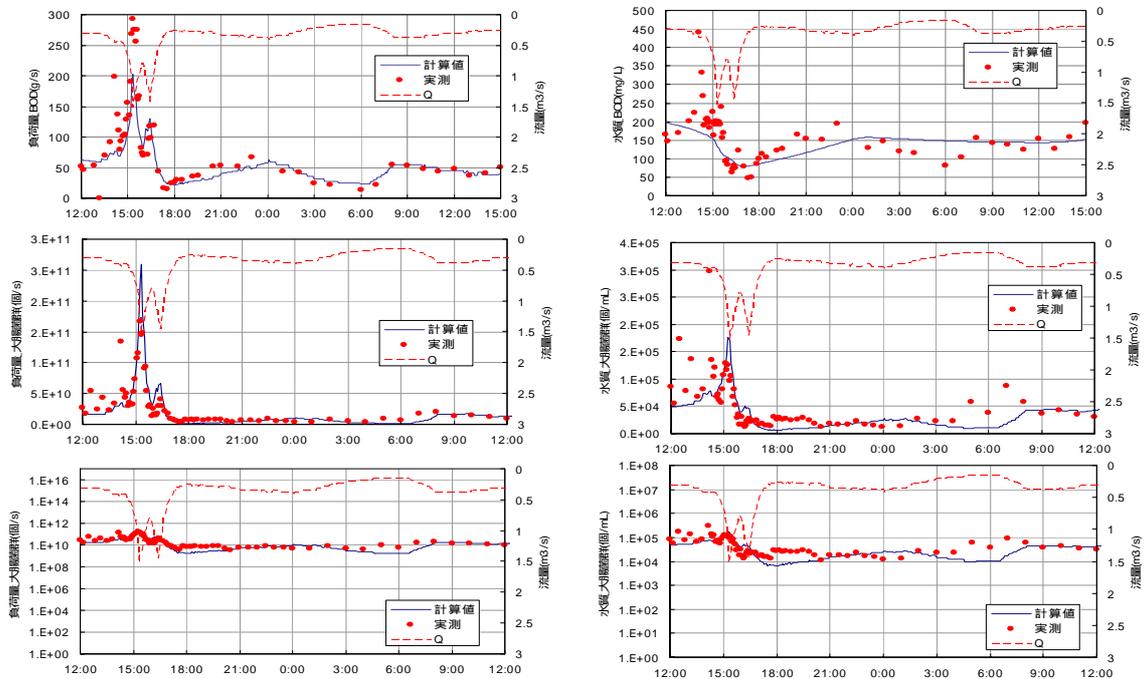


図- 3.2.2.48 雨天時シミュレーション B市B-1地点 降雨RB1
 (上段：BOD，中段：大腸菌群(真数)，下段：大腸菌群(対数))

(3) 分布型汚濁負荷流出解析モデルの開発

1) 集中型モデルと分布型モデルの相違点

図-3.2.2.49 中の A 地点を懸案地点とした場合、集中型モデルでは A 地点の上流側地区を一地区として負荷量の推定を行うため、図中の斜線部のような部分的な対策効果は地区全体で按分され、懸案地点での負荷量が推定される。

一方、分布型モデルでは排水区域内をいくつかの地区に分割して負荷量を推定し、懸案地点まで負荷量追跡が行えるため対策効果は懸案地点の推定負荷量に適正に反映されるものである。

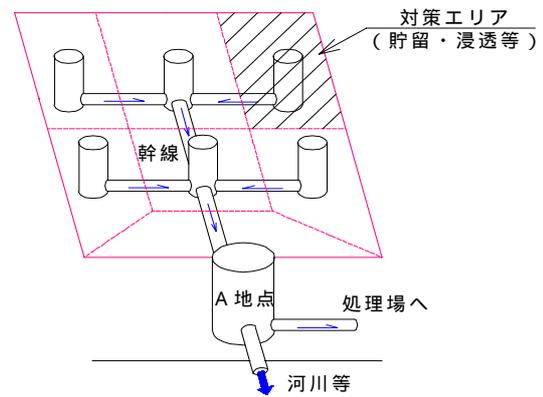


図- 3.2.2.49 模式図

全国で行われる合流式下水道改善対策は、その管路施設の状況や地域性などから各地点にあった施策を選択し、事業を実施する必要があることから、集中型モデルに比べ、分布型モデルでの負荷量算出の方がより適用性が高いと言える。

2) 分布型汚濁負荷流出解析モデルの考え方

分布型の汚濁負荷解析モデルの開発に当たっては、「合流式下水道越流水対策と暫定指針，1982 年版，日本下水道協会」に示されるところの(集中型)土研モデル²⁾を用いた。

分布型の汚濁負荷流出解析モデルは図-3.2.2.50 に示すように「流域モデル」と「管路モデル」とで構成した。「流域モデル」は路面や屋根などの堆積物の流出を地表面モデルとし、管内堆積物の流出を管内モデルとした。

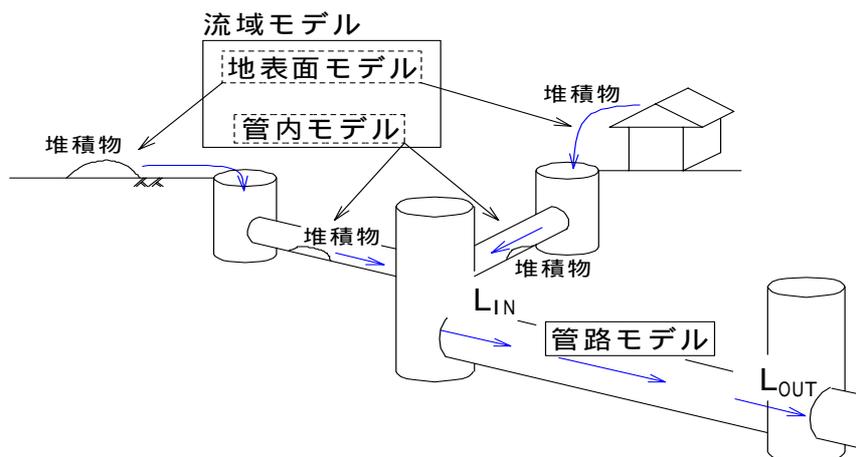


図- 3.2.2.50 分布型モデル

「流域モデル」は、従来の集中型汚濁負荷モデル(土研モデル)として計算を行うことができる。

a) 流域モデル

流域モデルの基本式形を式-3.2.2.1～3.2.2.4に示す。

集中型土研モデルの考え方と同様に管内モデル(式-3.2.2.1)は集中型土研モデルの管内流出の項と、地表面モデル(式-3.2.2.3)は地表面からの流出の項と同形式とした。ただし以下のことから、流域モデルの汚濁負荷量を算定する基本式では地表面等からの流出負荷量は管内堆積負荷量に寄与すると仮定した(式-3.2.2.2)。

[管内モデル]

$$L_D = C \cdot P_p^m \cdot Q^n (Q - Q_c) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.1)$$

$$\frac{dp_p}{dt} = D + L_s - L_p \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.2)$$

[地表面モデル]

$$L_s = \frac{1}{3.6} K \cdot P_s \cdot (r_e - r_c) \cdot A \cdot Imp \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.3)$$

$$\frac{dp_s}{dt} = a - \frac{1}{3.6} \cdot K \cdot P_s \cdot (r_e - r_c) \quad \dots \dots \dots (式-3.2.2.4)$$

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| L_D : 管内流出負荷量 (g/s) | C : 負荷流出係数 |
| P_D : 管内残存負荷量 (g) | Q : 流量 (m ³ /s) |
| Q_c : 限界流量 (m ³ /s) | D : 汚水負荷量 (g/s) |
| L_s : 地表面流出負荷量 (g/s) | m, n : 定数 (水質項目により異なる) |
| K : 地表面残存負荷流出量 | P_s : 地表面残存負荷量 (g) |
| r_e : 有効降雨強度 (mm/hr) | r_c : 限界降雨強度 (mm/hr) |
| A : 排水区域面積 (ha) | Imp : 不浸透面積率 |
| a : 補給係数 | |

従来の集中型の土研モデルの場合、流出負荷量は「管路からの流出負荷量」に「路面からの流出負荷量」を加えて、流出負荷量としている。つまり、路面からの流出負荷量は管内堆積負荷量(Pp)に寄与しないものとなっている。

しかし、このまま「従来の集中型の土研モデル」を適用した場合、上流端の「流域モデル」では、路面からの流出負荷量は管内堆積負荷量(Pp)に寄与しないが、その下流の流域の流出負荷量は、管内堆積負荷量(Pp)のみでなく路面からの流出負荷量に影響を受けることとなる。

このように一つのモデル内で、供給負荷について異なる考え方をを用いることは不合理と考えられる。

このことから、分布型モデルにおける「流域モデル」では「路面からの流出負荷量は管内堆積負荷量(Pp)に寄与する供給型の流域モデルとした。

< 従来の集中型土研モデル >

$$L_s = K \cdot P_s \cdot (r_e - r_c) \cdot A \cdot \text{Imp} / 3.6$$

$$\frac{dP_s}{dt} = a - \frac{1}{3.6} K \cdot P_s \cdot (r_e - r_c)$$

$$L_i = C \cdot P_p^m \cdot Q^n \cdot (Q - Q_c)$$

$$\frac{dP_p}{dt} = D - L_i$$

$$L = L_i + L_s$$

b) 管路モデル

管路モデルの基本式形を式-3.2.2.5 ~ 3.2.2.6 に示す。

管路モデルは完全混合モデルとし、管路内の水質と管路から流出する水質は同等であると仮定した。

ここでいう完全混合とは、ある時間において、管路内に存在する水量 Q_1 に対し、汚濁負荷 L_1 が流入した時、この管路内の水質は L_1/Q_1 で表現され、管路の上流端も下流端も同一の水質 L_1/Q_1 であることを意味する。

$$L_{out} = C_c \cdot Q_{(B)} \dots \dots \dots \text{(式-3.2.2.5)}$$

$$\frac{d(S \cdot C_c)}{dt} = \sum L_{in} + L_p - L_{out} \dots \dots \text{(式-3.2.2.6)}$$

L_{out} : 流出負荷量 (管路モデル下流端) (g/s)

C_c : 管路内水質 (g/m³)

$Q_{(B)}$: 流量 (管路モデル下流端) (m³/s)

S : 管路内流量 (m³/s)

L_{in} : 上流側管路からの流入負荷量 (g/s)

(4) 分布型汚濁負荷モデルの活用事例

ここでは、分布型汚濁負荷モデルの活用事例として、下記の仮想モデル地区に合流改善対策（浸透，貯留，分流化）対策を行い、分布型汚濁負荷モデルで評価した場合の例を示す。

1) 仮想モデル地区

a) 流域諸元

仮想モデル地区は分水人孔までを一流域（図-3.2.2.51，全体約70ha）とし、流域中には非対策地区のA地区（約20ha）と対策地区のB地区（約50ha）を想定した。

また、現状では合流式で流域全体が表-3.2.2.6の諸元で整備済みであるとする。

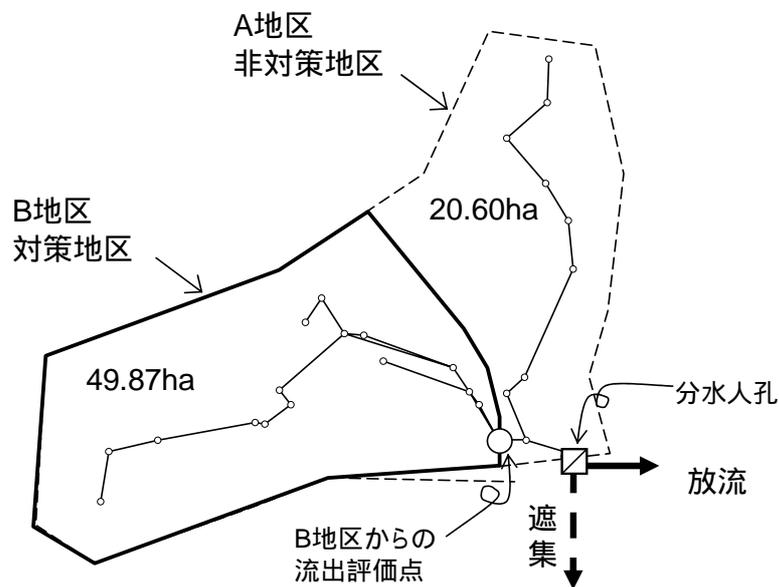


図- 3.2.2.51 仮想モデル地区（対策地区 / 全域：49.87ha/70.47ha）

表- 3.2.2.6 モデル地区想定整備水準

整備率	100%
降雨強度	50mm/hr 相当
流出係数	0.45
遮集量	0.200m ³ /s (分水人孔位置)

b) 晴天時流量および水質

ア) 晴天時流量

晴天時流量は分水人孔位置で図-3.2.2.52 に示す流量が得られているものとし、この流量を面積配分したものを各地点時における流量とした。

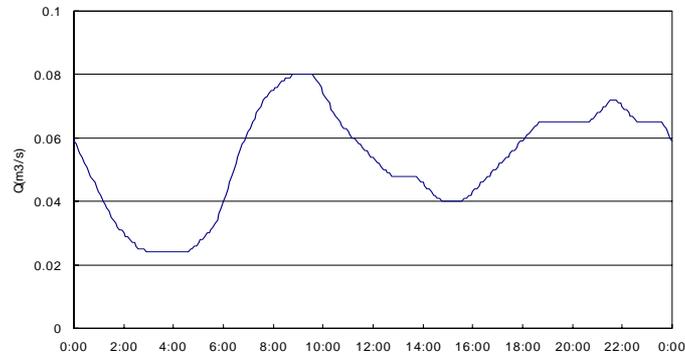


図- 3.2.2.52 既知の晴天時流量（分水人孔位置）

イ) 晴天時水質

晴天時水質は分水人孔位置で図-3.2.2.53a,b に示す水質が得られているものとし、晴天時にはこの水質変動を対象地区全域に適用するものとした。

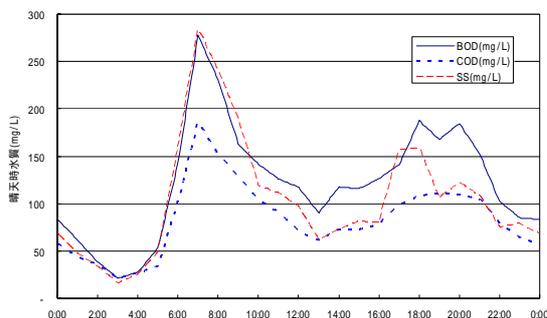


図- 3.2.2.53a 晴天時水質 1（既知）

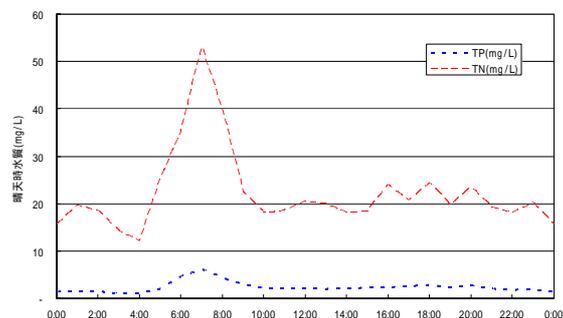


図- 3.2.2.53b 晴天時水質 2（既知）

2) 浸透施設の整備

ここでは、対策地区 B に浸透施設の整備を行った場合の例を示す。

一般に雨水浸透施設は、側面や底面に浸透孔を有する浸透ますや浸透トレンチ、空隙率の高いブロック等からなる透水性舗装等がある（図-3.2.2.54）⁵⁾。

一般に浸透施設を整備することにより、整備した地区からの流出量は図-3.2.2.55 に示すように、浸透能力分が差し引かれたものとなる。

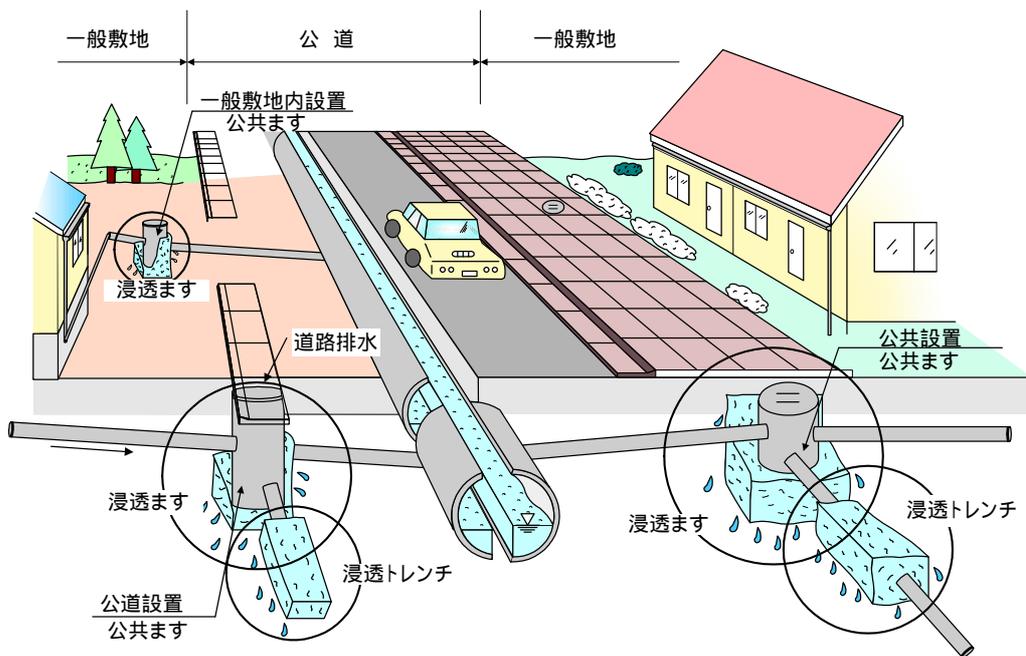


図- 3.2.2.54 浸透施設の整備イメージ

(下水道雨水浸透技術マニュアル 2001年6月, (財)下水道新技術推進機構)

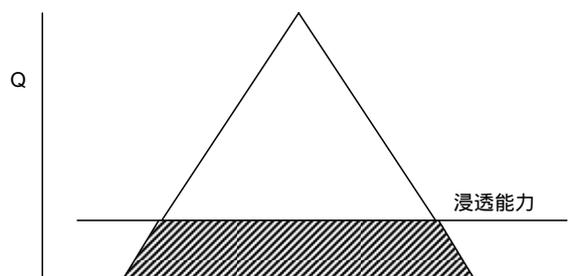


図- 3.2.2.55 浸透による効果のイメージ

a) 流量設定

仮想モデル地区における各管路の流量を設定するにあたり、市販の分布型流出解析ソフトを利用した。

検討対象降雨は図-3.2.2.56 に示す降雨（総降雨量 22.5mm）とし、浸透施設の整備による効果は 5mm/hr 相当得られるものとして、浸透整備地区における有効降雨を修正した。

上記の有効降雨で、浸透を考慮した流出計算を行うと、浸透施設を整備した B 地区からの流出は図-3.2.2.57 に示すように減少し、その下流にある分水人孔への流入量および放流量も減少することとなる（図-3.2.2.58,3.2.2.59 表-3.2.2.7）。

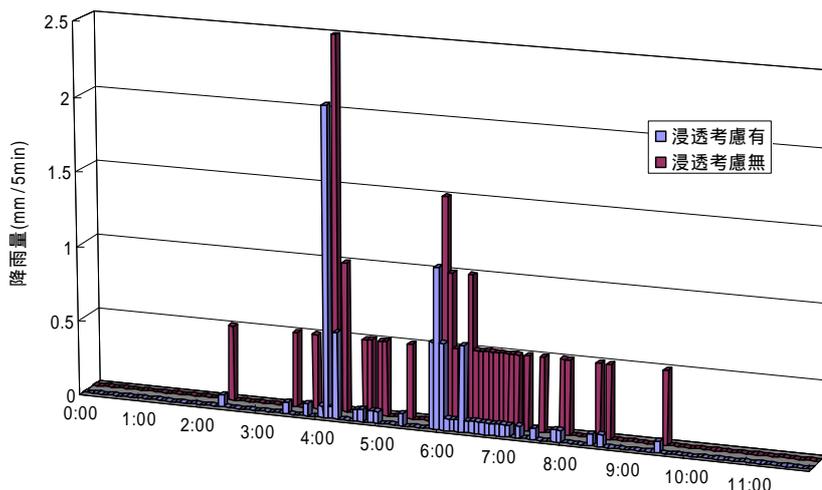


図- 3.2.2.56 浸透効果を考慮した有効降雨

表- 3.2.2.7 浸透による放流量の削減効果

	B 地区からの 流出量(m3)	分水人孔への 流入量(m3)	分水人孔における 放流量(m3)
対策前	6,090	8,599	4,246
浸透整備する場合	2,789	5,304	1,575
削減率	54%	38%	63%

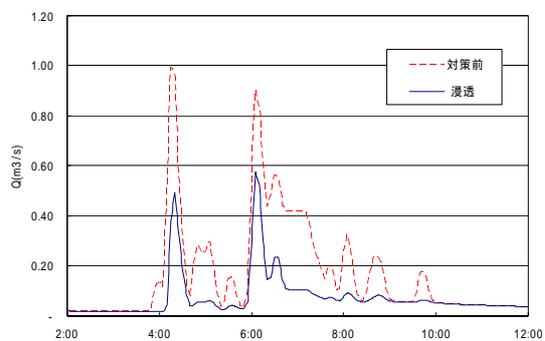


図- 3.2.2.57 対策地区からの流出量

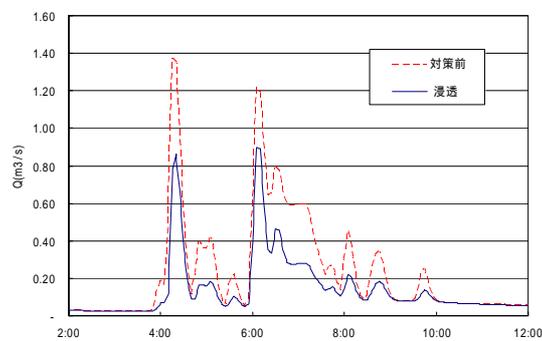


図- 3.2.2.58 分水人孔への流入量

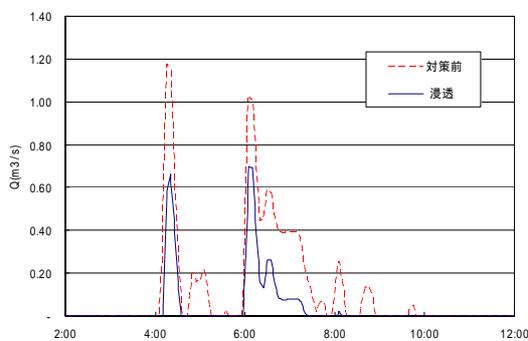


図- 3.2.2.59 吐口における放流量

b) 汚濁負荷シミュレーションのパラメータ

シミュレーションに必要なパラメータを表-3.2.2.8、3.2.2.9 に示す。

表- 3.2.2.8 日発生負荷量

	BOD	COD	SS	T-P	T-N
日発生負荷量 (kg/day/ha)	8.86	6.02	7.67	0.165	1.51
初期管路内堆積負荷量 Pp0(kg/ha)	4.43	3.01	3.84	0.083	0.76

表- 3.2.2.9 路面モデルパラメータ

	BOD	COD	SS	T-P	T-N
初期路面等残存負荷量 Ps0 (kg/ha)	0.0	2.847	4.804	0.0	0.0
路面等残存負荷流出係数 K (1/mm)	0.0	0.156	0.3970	0.0	0.0
補給係数 a (g/s/ha)	0.0	0.01648	0.0278	0.0	0.0
限界降雨強度 rc (mm)	0.0	2.0	2.0	0.0	0.0

c) 汚濁負荷シミュレーションによる浸透効果の評価

分布型汚濁負荷シミュレーションの結果を図-3.2.2.60～3.2.2.62 及び表-3.2.2.10 に示す。

B 地区からの負荷量等の計算結果をみると（図-3.2.2.60）は、いずれの汚濁負荷も負荷量の流出ピークが遅れていることが分かる。しかし、B 地区から流出した汚濁負荷の総量には大きな違いは見られない（表-3.2.2.10）。

これは、浸透の効果により流量が減少したため、負荷量のグラフで初めのピーク負荷量が減少し、その分、二つ目のピークで負荷量が増加しているためである。これにより全体の負荷流出量には大きな違いが表れなかった。

また、下流の分水人孔への流入(図-3.2.2.61)も B 地区からの流出と同様に大きな違いは見られないが、分水人孔からの放流負荷量(図-3.2.2.62)は、浸透の効果により減少した流量の影響が大きく表れている。

浸透により減少した B 地区からの流量（ベースカット）の分、遮集管へ送られる負荷量が増え、河川へ放流される負荷量が 4 割程度となっていることがわかる(表-3.2.2.10)。

表- 3.2.2.10 浸透による放流量の削減効果

		B 地区からの 流出負荷量 (kg)	分水人孔への 流入負荷量(kg)	分水人孔における 放流負荷量(kg)
BOD	対策前	253	350	155
	対策後	222	319	91
	削減率	12%	9%	41%
COD	対策前	203	280	128
	対策後	164	241	70
	削減率	19%	14%	45%
SS	対策前	367	515	263
	対策後	293	441	179
	削減率	20%	14%	32%
T-P	対策前	5.16	7.09	3.21
	対策後	4.55	6.47	1.88
	削減率	12%	9%	41%
T-N	対策前	48	65	30
	対策後	42	60	18
	削減率	12%	8%	39%

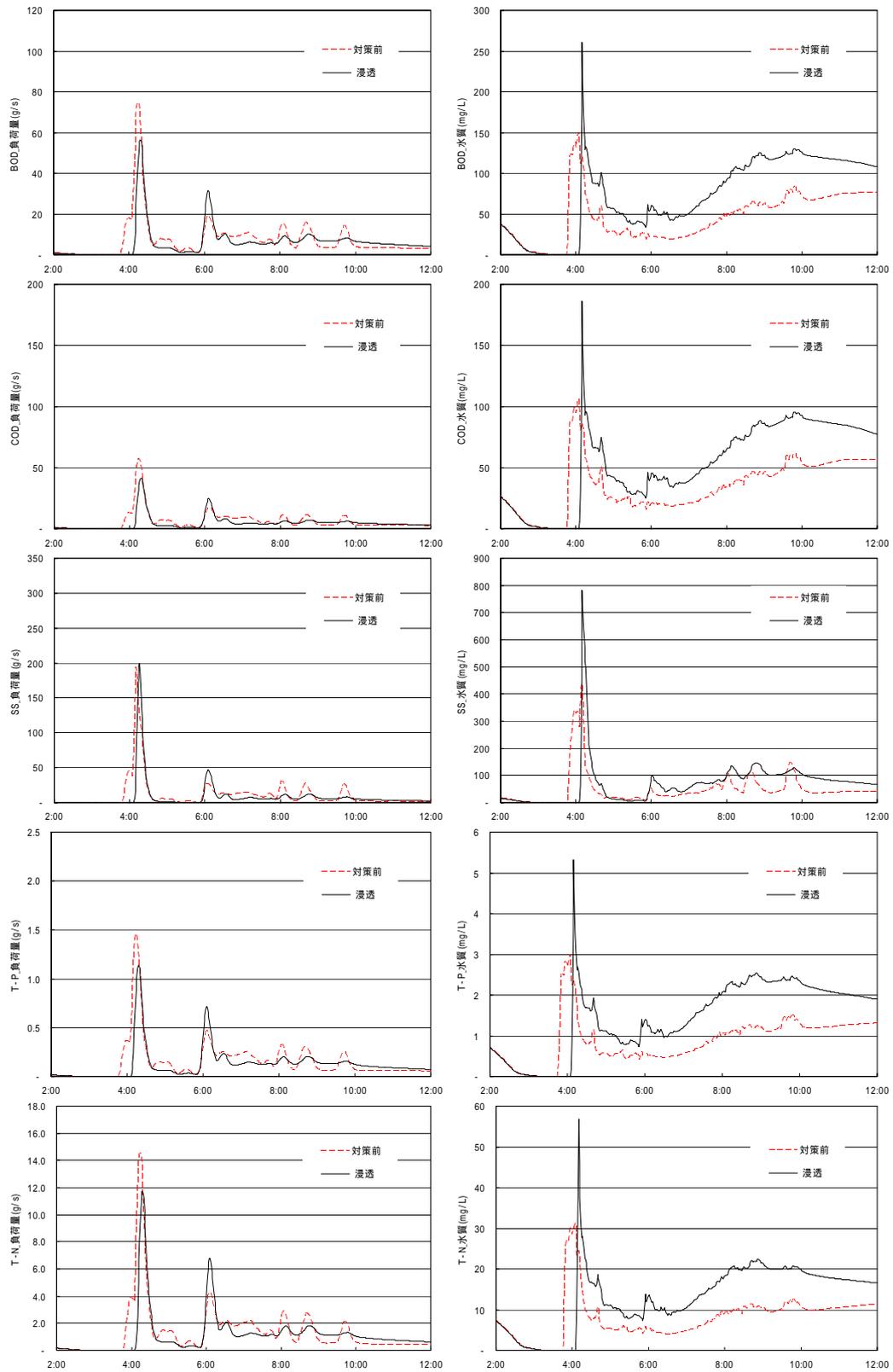


図- 3.2.2.60 B地区からの流出汚濁負荷

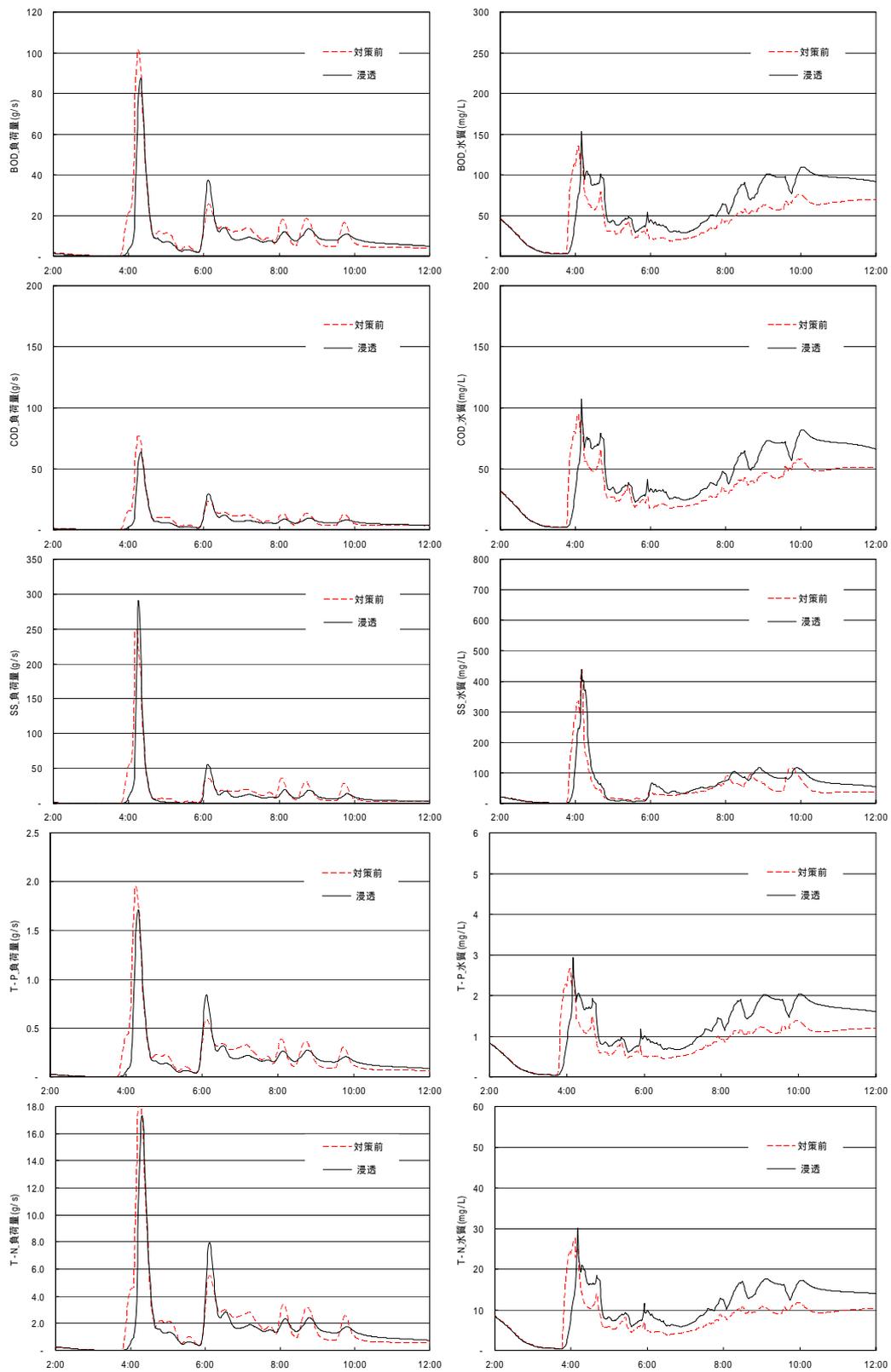


図- 3.2.2.61 分水人孔への流入汚濁負荷

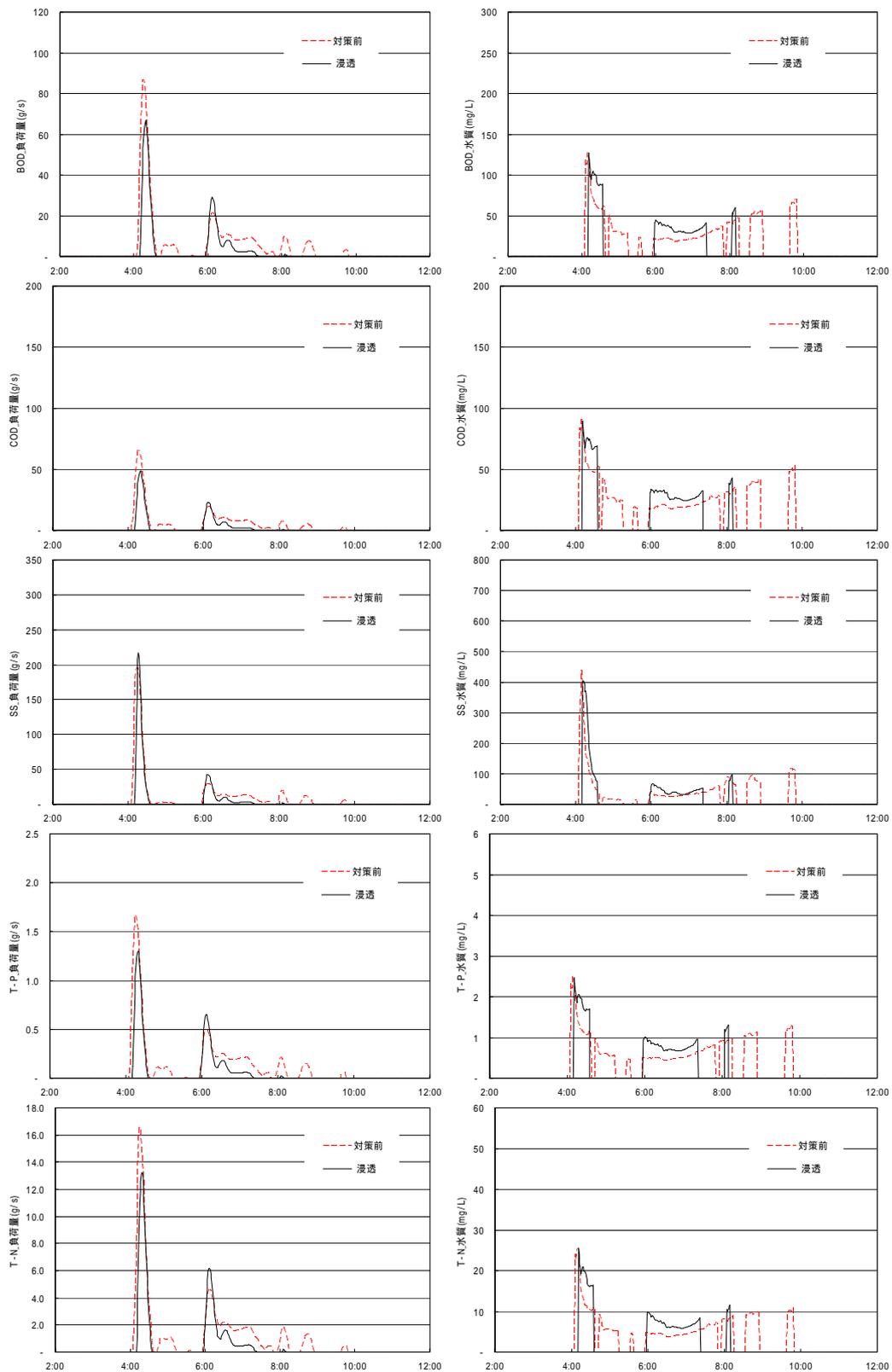


図- 3.2.2.62 分水人孔における放流汚濁負荷

3) 滞水池の整備

ここでは、対策地区 B の流出点に滞水池を設置した場合の例を示す。

雨水滞水池は、雨水吐き室、ポンプ場からの未処理下水あるいは遮集雨水の一部を貯留または沈殿し、貯留した雨天時下水を降雨終了後、処理場等に送水して処理を行うことにより、公共用水域等へ排水される雨天時負荷量等の削減を図る施設である（合流式下水道改善対策指針と解説 2002 年版、(社)下水道協会）。

一般に雨水滞水池の形式は、流入開始条件と放流条件の違いにより分類される。

ここでは、図-3.2.2.63 に示すタイプの滞水池を想定する。

この滞水池では、下水流入量が遮集管渠能力を上回ると雨水滞水池に流入し、雨水滞水池が満水になるとそれ以後の流入下水は、公共用水域に直接放流されるものである。

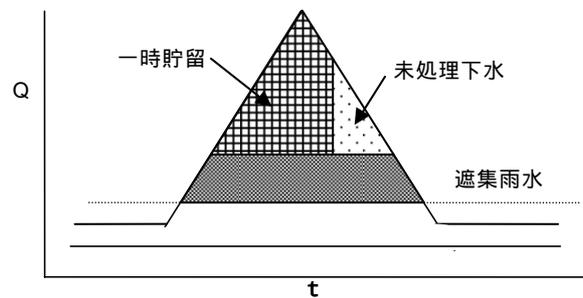


図- 3.2.2.63 ハイドログラフとの関係

a) 流量設定

降雨及び各管路の流量は浸透施設の場合と同じとした。

対策施設の滞水池の設定にあって、ここでは、B 地点における流量が晴天時最大流量 (0.06m³/s) の約 3 倍となった時 (0.18m³/s) に越流が始まる堰を設定し、滞水池には越流した分、貯留できる設定とした。滞水池を考慮した流出計算を行うと、滞水池を設置した B 地区からの流出量はピークカットにより、図-3.2.2.64 に示すように減少し、その影響を受けて下流の分水人孔での放流量も減少することとなる（図-3.2.2.65,3.2.2.66,表-3.2.2.11）。

なお、この降雨の場合、滞水池への流入量は 880m³ であった。

表- 3.2.2.11 浸透による放流量の削減効果

	B 地区からの 流出量(m ³)	分水人孔への 流入量(m ³)	分水人孔における 放流量(m ³)
対策前	6,090	8,599	4,246
滞水池を設置した場合	5,209	7,719	3,367
削減率	14%	10%	21%

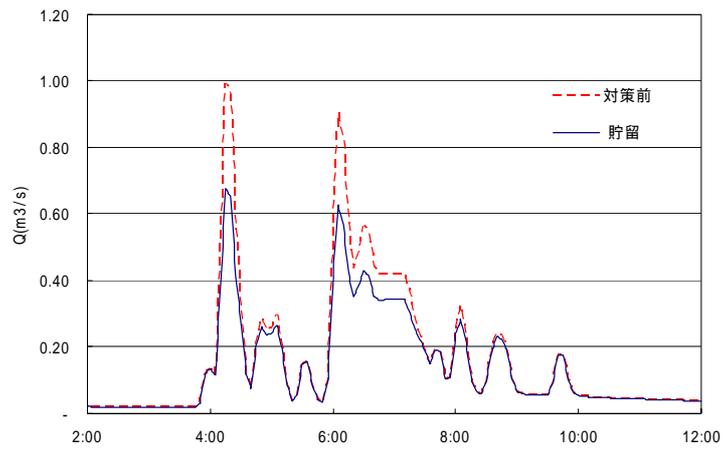


図- 3.2.2.64 対策地区からの流出量

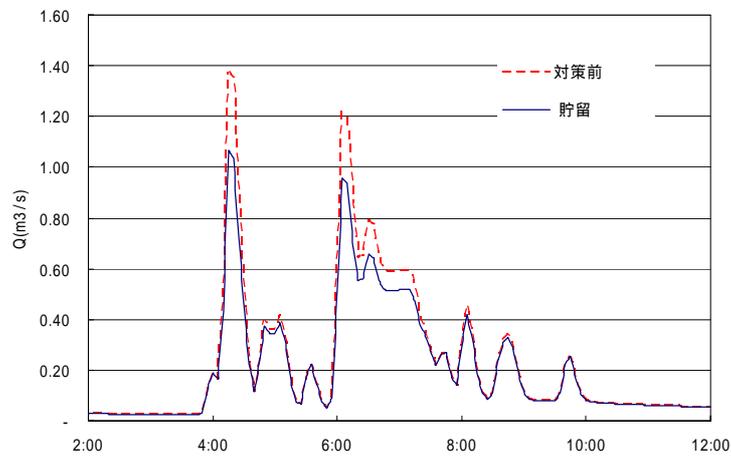


図- 3.2.2.65 分水入孔への流入量

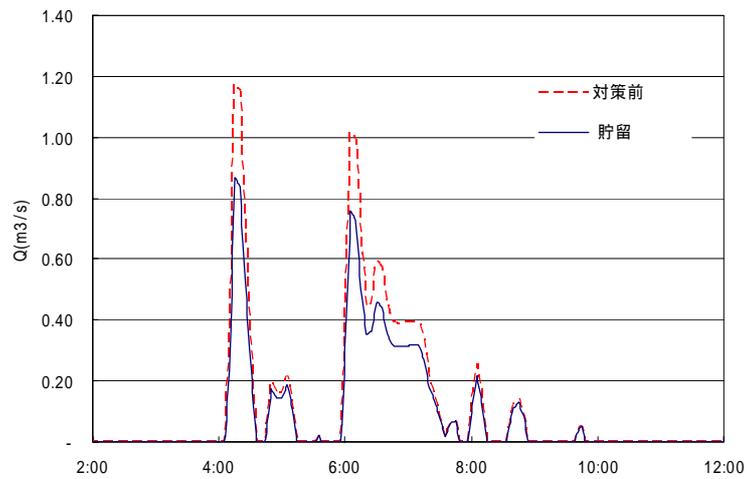


図- 3.2.2.66 吐口における放流量

b) 汚濁負荷シミュレーションによる浸透効果の評価

汚濁負荷シミュレーションのパラメータは、先に示した浸透の場合と同様とし、分布型汚濁負荷シミュレーションを行った。

その結果を表-3.2.2.12 及び図-3.2.2.67～3.2.2.69 に示す。

B 地区の計算結果をみると（図-3.2.2.67，表-3.2.2.12）B 地区から流出する負荷量は約 8 割減少していることがわかる。特にファーストフラッシュの減少が顕著である。

分水人孔へ流入する汚濁負荷と放流される汚濁負荷をみると（図-3.2.2.68，3.2.2.69）B 地区からの流出負荷とは異なり、非対策地区からの汚濁負荷ピークの影響により、ファーストフラッシュが顕著であることがわかる。

ピークカットを行う滞水池の設置により、河川へ放流される負荷量が 6 割程度となっていることがわかる(表-3.2.2.12)。

なお、滞水池を設置しピークカットを行う場合、浸透の場合と異なり、ピークのズレは見られない。

表- 3.2.2.12 貯留による放流量の削減効果

		B 地区からの 流出負荷量 (kg)	分水人孔への 流入負荷量(kg)	分水人孔における 放流負荷量(kg)
BOD	対策前	253	350	155
	対策後	48	145	55
	削減率	81%	59%	64%
COD	対策前	203	280	128
	対策後	55	144	59
	削減率	73%	49%	54%
SS	対策前	367	515	263
	対策後	87	277	138
	削減率	76%	46%	47%
T-P	対策前	5.16	7.09	3.21
	対策後	0.96	2.89	1.12
	削減率	81%	59%	65%
T-N	対策前	48	65	30
	対策後	9	27	10
	削減率	82%	59%	65%

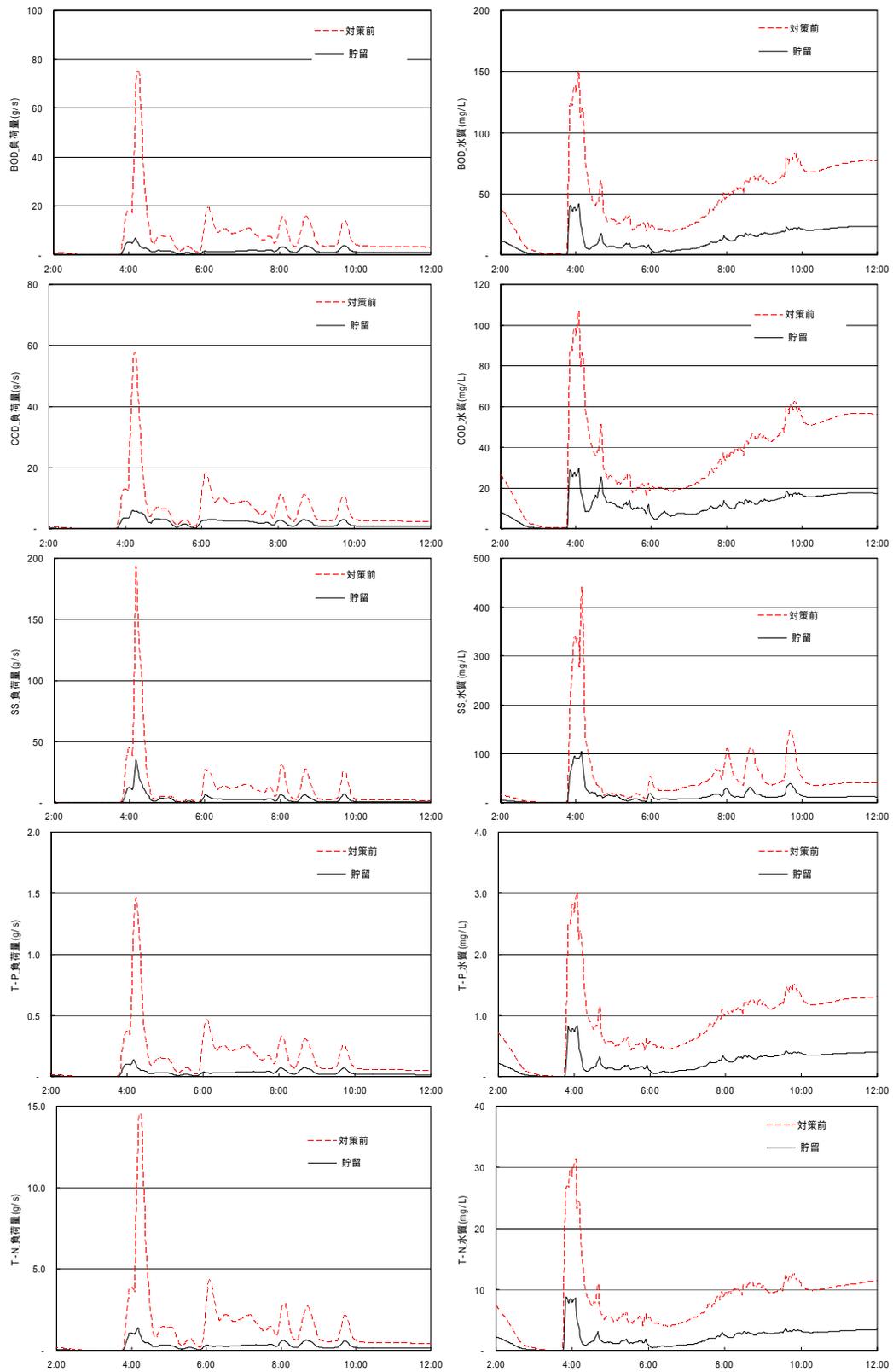


図- 3.2.2.67 B地区からの流出汚濁負荷

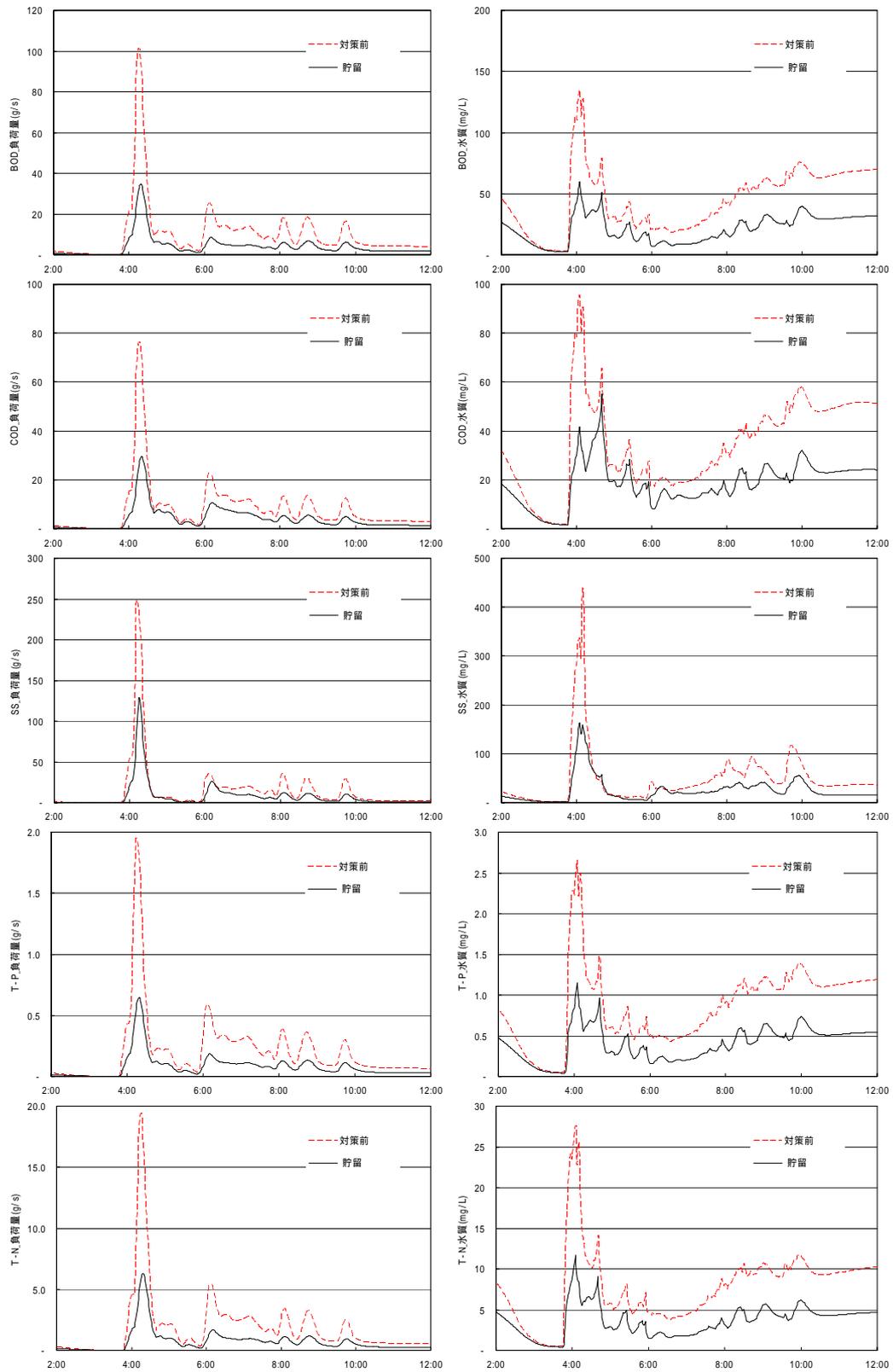


図- 3.2.2.68 分水人孔への流入汚濁負荷

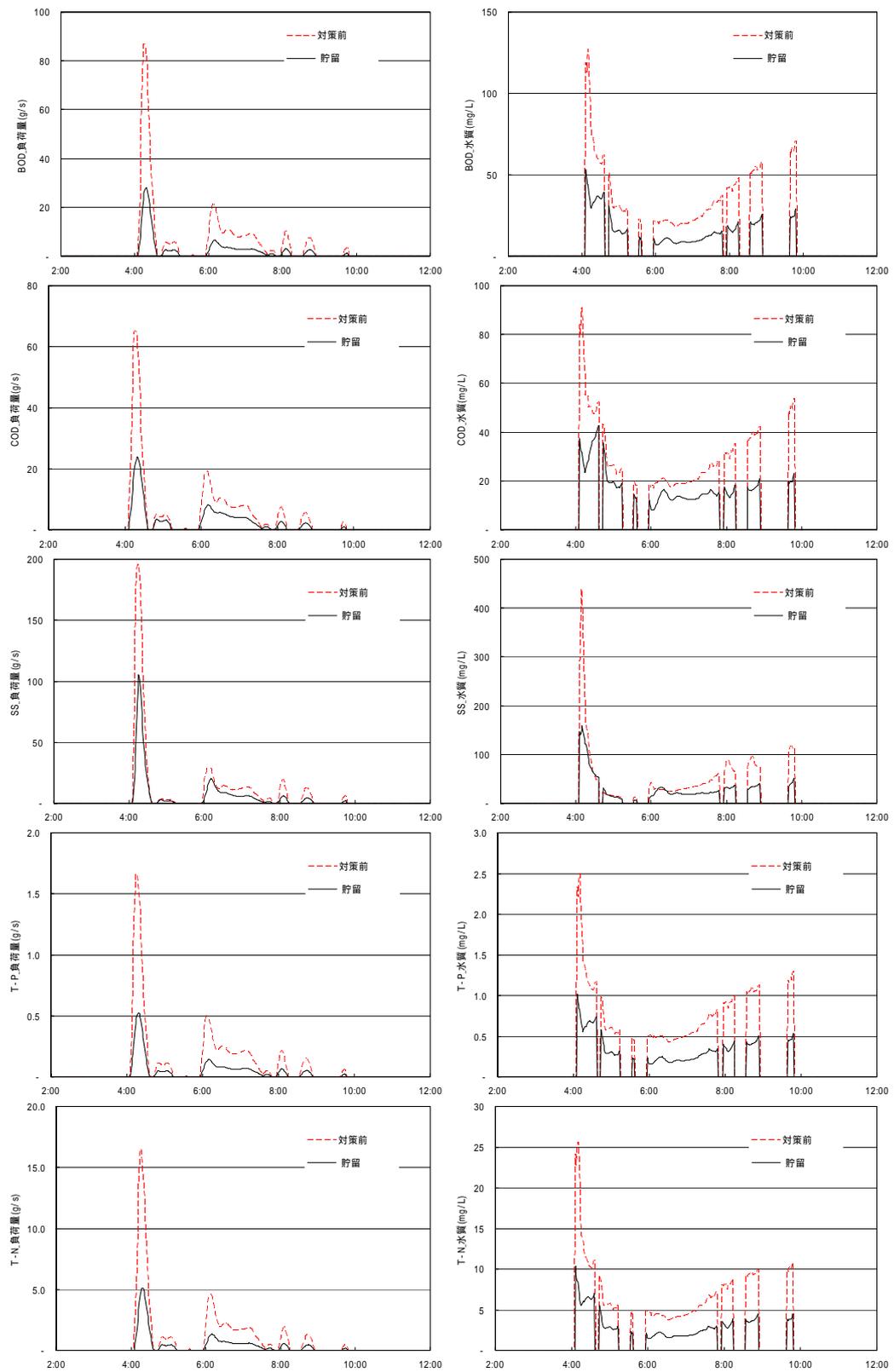


図- 3.2.2.69 分水人孔における放流汚濁負荷

4) 分流化

ここでは、現状合流で整備されている対策地区 B を分流化した場合の例を示す。

分流化は、合流式下水道を污水管路と雨水管路に分離するもので、公共用水域等に未処理放流等が放流されることを防止するものであり、合流区域全域を分流化する完全分流化と区域の一部を分流化する部分分流化がある（合流式下水道改善対策指針と解説 2002年版、(社)下水道協会）。

また、分流化の手法として、污水管を新設し、既存の合流管を雨水管として利用する場合と、雨水管を新設し、既存の合流管を污水管として利用する場合がある。

ここでは対策地区 B に雨水管を新設する部分分流を想定する。

a) 流量設定

降雨及び各管路の流量は浸透施設の場合と同じとした。

分流化は現状合流式で整備されている下水管を污水管として利用し、雨水は新設する別系統で排水することを想定した。

したがって、分流で整備した場合の B 地点における雨天時流量は污水のみとなり、晴天時流量と同様となる（図-3.2.2.70、表-3.2.2.13）。

また、その下流の分水人孔では、非対策地区からの雨天時流量のみによる越流が生じることとなる（図-3.2.2.71、3.2.2.72、表-3.2.2.13）。

表- 3.2.2.13 部分分流による放流量の削減効果

	B 地区からの 流出量(m3)	分水人孔への 流入量(m3)	分水人孔における 放流量(m3)
対策前	6,090	8,599	4,246
部分分流で整備した場合	1,301	3,815	371
削減率	79%	56%	91%

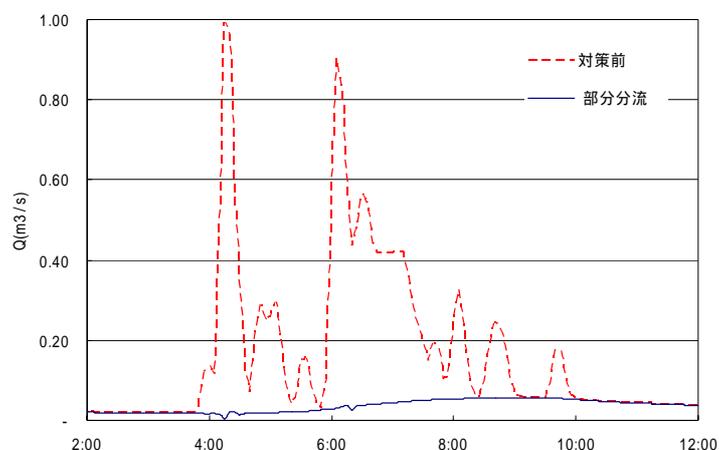


図- 3.2.2.70 対策地区からの流出量

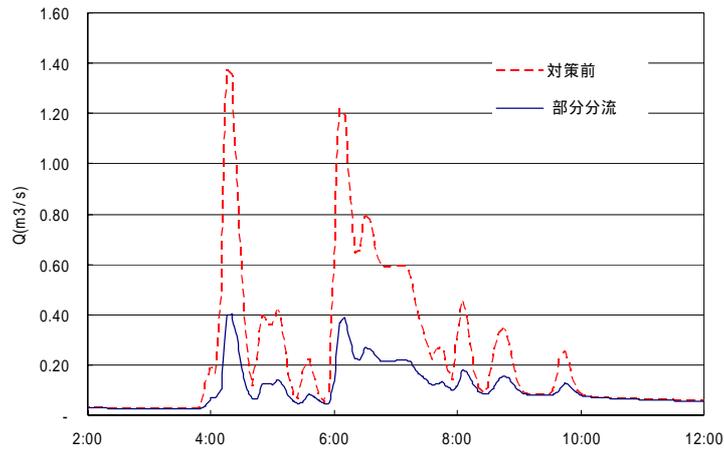


図- 3.2.2.71 分水人孔への流入量

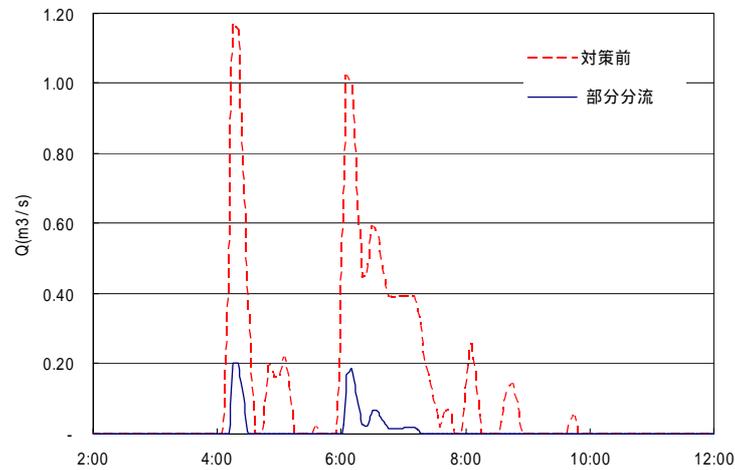


図- 3.2.2.72 吐口における放流量

b) 汚濁負荷シミュレーションによる分流化効果の評価

汚濁負荷シミュレーションのパラメータは、先に示した浸透の場合と同様とし、分布型汚濁負荷シミュレーションを行った。

B地区の計算結果をみると(図-3.2.2.73, 表-3.2.2.14) B地区から流出する負荷量は3割程度減少していることがわかる。これは、雨天時流量に伴う負荷流出の増加が無くなったためである。

分水人孔へ流入する汚濁負荷と放流される汚濁負荷をみると(図-3.2.2.74, 3.2.2.75) 非対策地区(A地区)からのファーストフラッシュの影響が見られるが、対策地区からの流量減少により負荷流出量は減少していることがわかる。

なお、滞水池を設置した場合と比較すると、滞水池を設置した場合、対策地区からの汚濁負荷は滞水池に入る汚濁と分水人孔に入る汚濁負荷に分けられるが、部分分流の場合、対策地区からの汚濁負荷はすべて分水人孔へ流入することになる。

このため、分水人孔へ流入する汚濁負荷の絶対量は部分分流の場合の方が多くなるが、

部分分流では雨天時流量自体が減少し、越流水自体が減少することから、放流される汚濁負荷の絶対量は部分分流の方が低くなる。

表- 3.2.2.14 部分分流による放流量の削減効果

		B 地区からの 流出負荷量 (kg)	分水人孔への 流入負荷量(kg)	分水人孔における 放流負荷量(kg)
BOD	対策前	253	350	155
	対策後	193	290	18
	削減率	24%	17%	88%
COD	対策前	203	280	128
	対策後	136	225	15
	削減率	33%	20%	88%
SS	対策前	367	515	263
	対策後	181	371	43
	削減率	51%	28%	84%
T-P	対策前	5.16	7.09	3.21
	対策後	4.01	5.93	0.37
	削減率	22%	16%	89%
T-N	対策前	48	65	30
	対策後	37	55	4
	削減率	22%	16%	88%

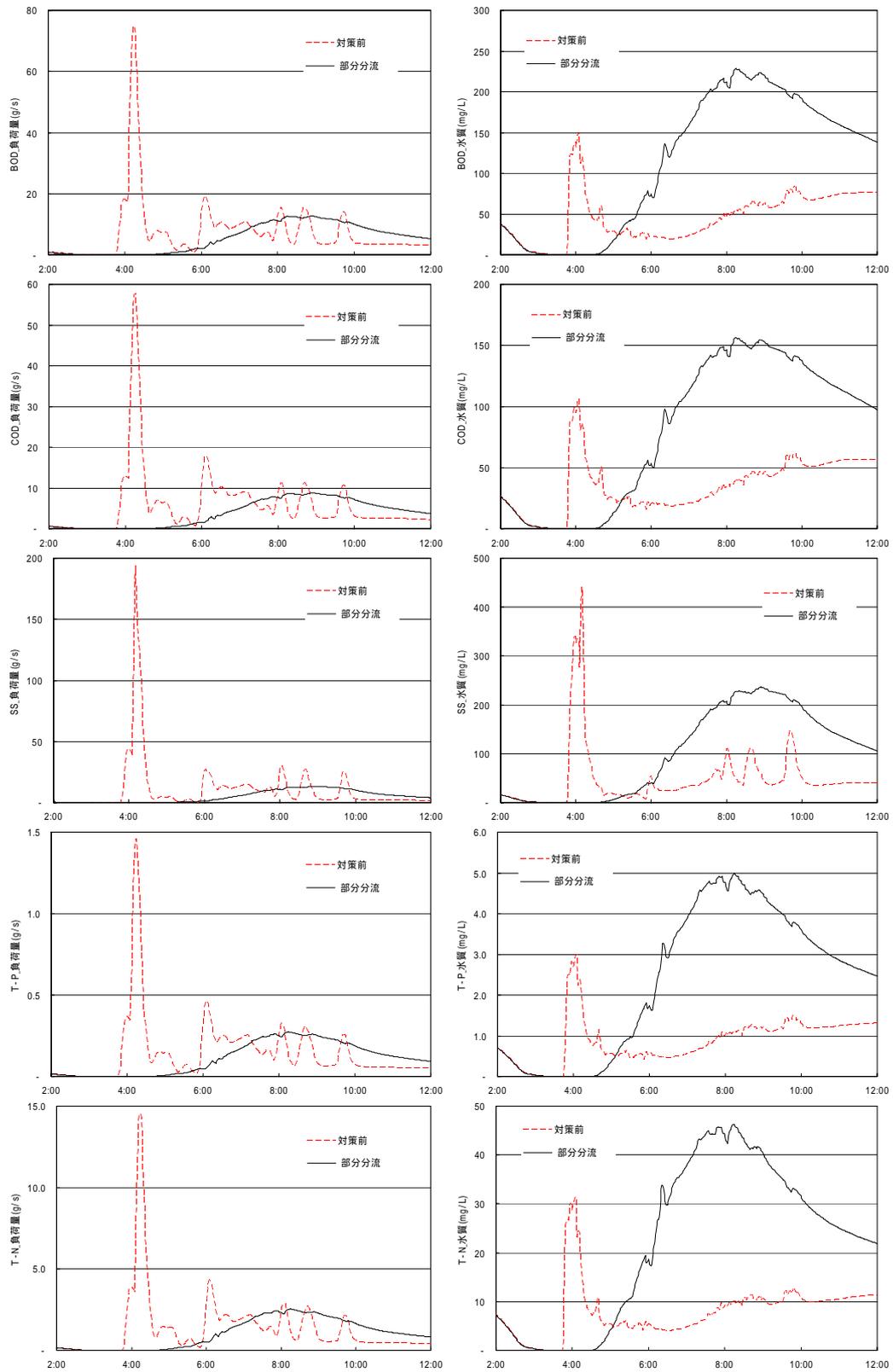


図- 3.2.2.73 B地区からの流出汚濁負荷

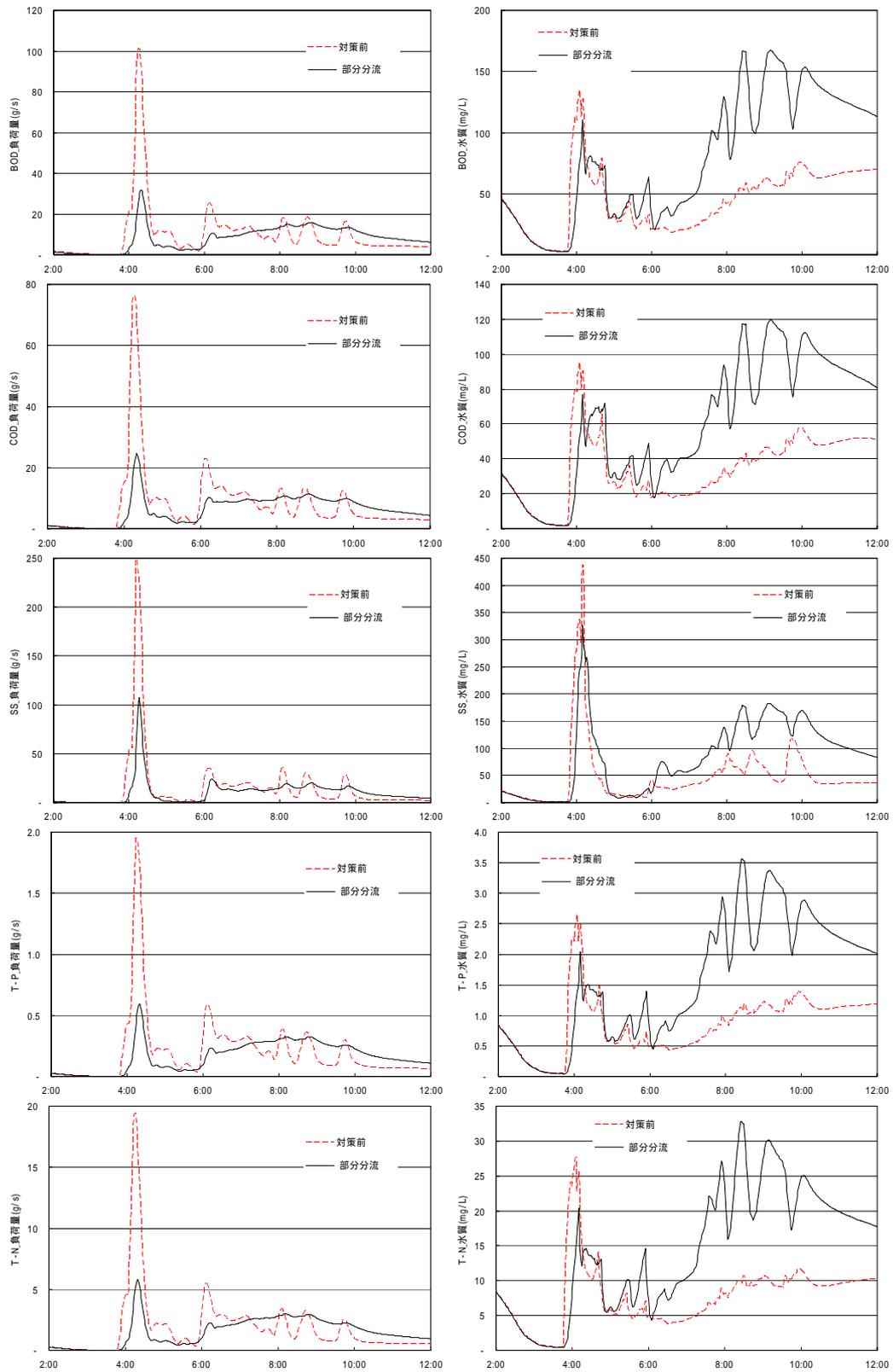


図- 3.2.2.74 分水人孔への流入汚濁負荷

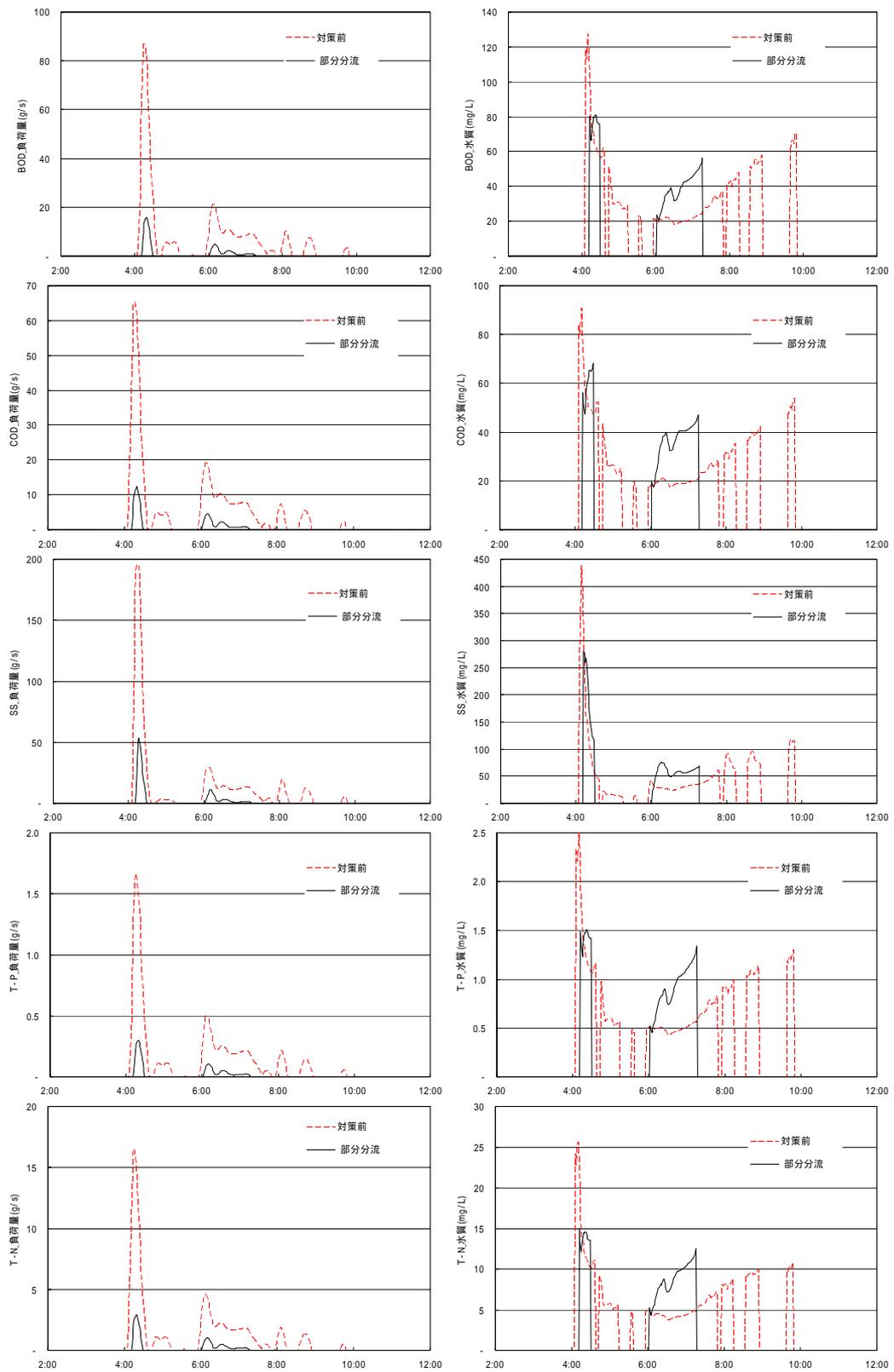


図- 3.2.2.75 分水人孔における放流汚濁負荷

(5) 統合解析モデルによる流出汚濁負荷量の予測

ここでは、合流式下水道からの汚濁負荷解析モデルでの解析結果利用の応用例として、東京湾内水質モデルとの統合について検討を行い、合流式下水道からの汚濁負荷の海域における状況について検討した。

本検討で使用する東京湾内のモデルは、「3.2.1 流域圏を対象とした水物質循環モデル」で東京湾に適用した流動・水質モデルの移流拡散計算部分を使用した。なお、本検討においては、移流拡散のみの計算とするため、生態系モデルで用いる内部変化項（生産、分解および沈降に係わる項）を使用しないこととし、水質項目は、大腸菌群数を対象とし、濃度変数は整数化を行うこととした。

1) 東京湾周辺における合流式下水道の状況

表-3.2.2.15 に東京湾周辺において、合流式下水道を採用する都市の状況を示す。東京湾周辺にある 14 の都市の内、分流式を採用しているのは千葉県のパ安市、袖ヶ浦市の 2 都市のみであり、12 の都市で合流式下水道が採用されている。

詳細な汚濁負荷量を算出するには、各合流式下水道流域の汚濁負荷量を算出する必要があるが、ここでは、東京湾周辺の合流域から流出する汚濁負荷は、横須賀市の合流域から流出する汚濁負荷量を計算した値と同等の汚濁負荷が東京湾に流入するものし、各合流域の面積を基に算出した。

表- 3.2.2.15 東京湾周辺における合流式下水道採用都市と処理場 6)

流入地点	放流先	流入合流面積(ha)	集水都市	対象処理場	各集水面積(ha)
C-1	東京湾	298	富津市	君津富津終末処理場	298
C-2	東京湾	67	木更津市	木更津下水道処理場	67
C-3	東京湾	941	千葉市	中央浄化センター	941
C-4	東京湾	133	習志野市+船橋市	高瀬下水道処理場	133
C-5	東京湾	741	習志野市	津田沼浄化センター	741
C-6	東京湾	1,257	船橋市+市川市	西浦下水処理場	1,257
C-7	真間川	282	市川市	菅野終末処理場	282
T-1	荒川 東京湾	22,206	東京都	中川処理場	539
			東京都	小菅処理場	1,633
			東京都	葛西処理場	4,893
			東京都	新河岸処理場	10,474
			東京都	砂町処理場	4,667
T-2	隅田川	9,129	東京都	三河島処理場	3,936
			東京都	小台処理場	1,687
			東京都	落合処理場	3,506
T-3	東京湾	3,000	東京都	芝浦処理場	3,000
T-4	東京湾	12,000	東京都	森ヶ崎処理場	12,000
Y-1	東京湾	1,995	川崎市	入江崎環境センタ	1,995
Y-2	鶴見川	5,736	横浜市	港北下水処理場	2,000
			川崎市	加瀬環境センター	1,586
			横浜市	北部第一下水処理場	2,150
Y-3	東京湾	4,705	横浜市	神奈川下水処理場	4,705
Y-4	東京湾	300	横浜市	中部下水処理場	300
Y-5	東京湾	2,119	横浜市	南部下水処理場	2,119
Y-6	東京湾	1,500	横浜市	金沢下水処理場	1,500
Y-7	東京湾	651	横須賀市	下町浄化センター	651
Y-8	東京湾	159	横須賀市	追浜浄化センタ	159
Y-9	平作川	345	横須賀市	上町浄化センター	345
計		67,563			67,563

2) 計算ケース

計算対象とする降雨は、Y市のA浄化センターにおける2003年1月1日から2003年1月31日までの降雨データ(2003年10月9日~2004年1月31日は欠損)を日降雨量として集計し、降雨全体の80%に相当する20~30mmの降雨より1降雨、降雨全体の95%に相当する80~70mmの降雨より1降雨、の大小2降雨を選定した(図-3.2.2.76 3.2.2.77)。

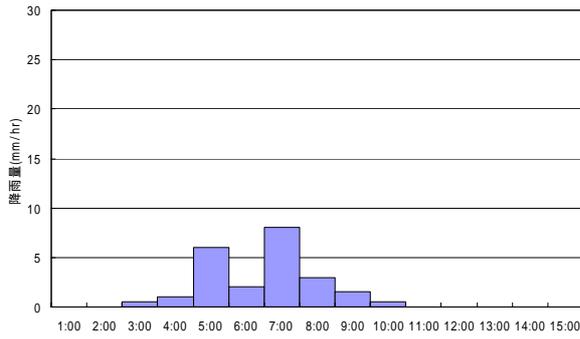


図- 3.2.2.76 降雨 1

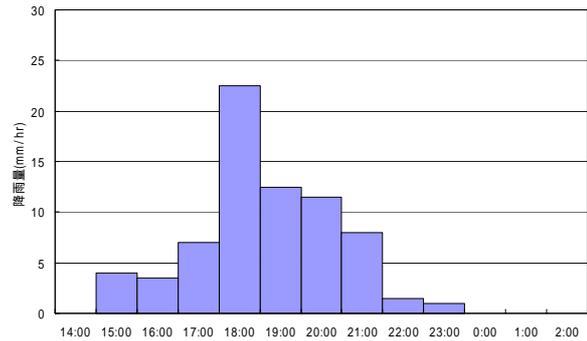


図- 3.2.2.77 降雨 2

流出量の違い及び潮位と流出のタイミングの違いによる移流拡散を比較するため、計算ケースを次のとおりに設定した。

〔計算ケース〕

- ・ case1-1：降雨 1（総降雨量 22.5mm）大潮日合流
- ・ case1-2：降雨 1（総降雨量 22.5mm）小潮日合流
- ・ case2-1：降雨 2（総降雨量 71.5mm）大潮日合流
- ・ case2-2：降雨 2（総降雨量 71.5mm）小潮日合流

3) 計算結果

a) 湾内の拡散

case2-1 の東京湾内での移流拡散状況を図-3.2.2.78 に示す。

case1-1 及び case1-2（総降雨量 23mm）の合流ケースでは、河口部や埋立地周辺の閉鎖的な水域では、沖合への拡散が弱く、比較的長い時間この水域にとどまっているが、開放的な水域では比較的速く拡散するという特徴がある。また、大潮日の合流（case1-1）と小潮日の合流（case1-2）で比較すると、前者の方が初期の拡散速度が大きい、合流後約 13 日経過後（半月周潮後）の拡散範囲は両者とも同程度である。

case2-1 及び case2-2（総降雨量 71.5mm）についても、閉鎖的水域と開放的水域の拡散の相対的な傾向は case1-1 及び case1-2 と同様であるが、拡散範囲は case1-1 および case1-2 に比べて広い。

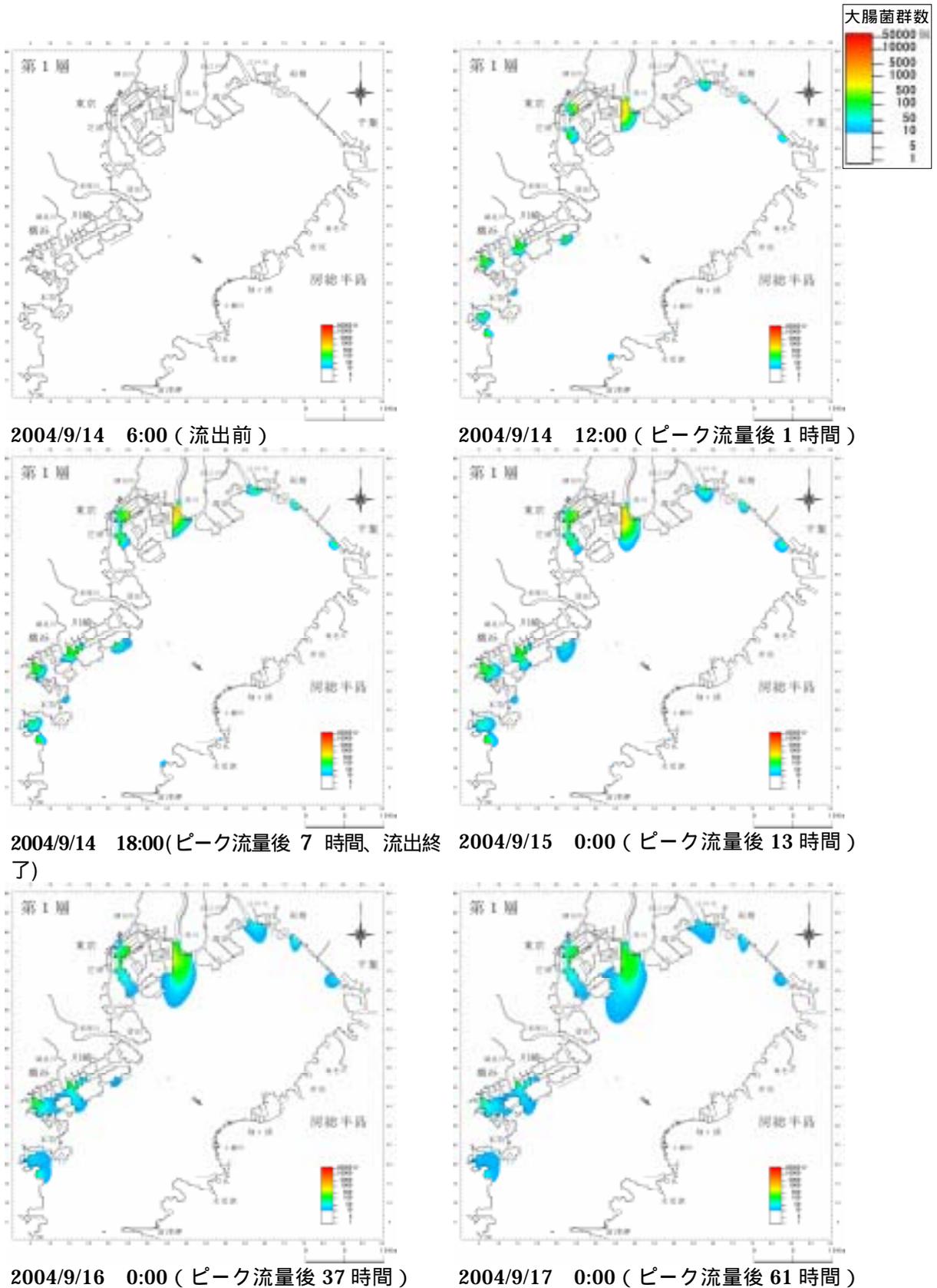


図- 3.2.2.78 (1) 大腸菌群数計算結果 (case2-1 : 降雨 2【71.5mm】 大潮日合流)

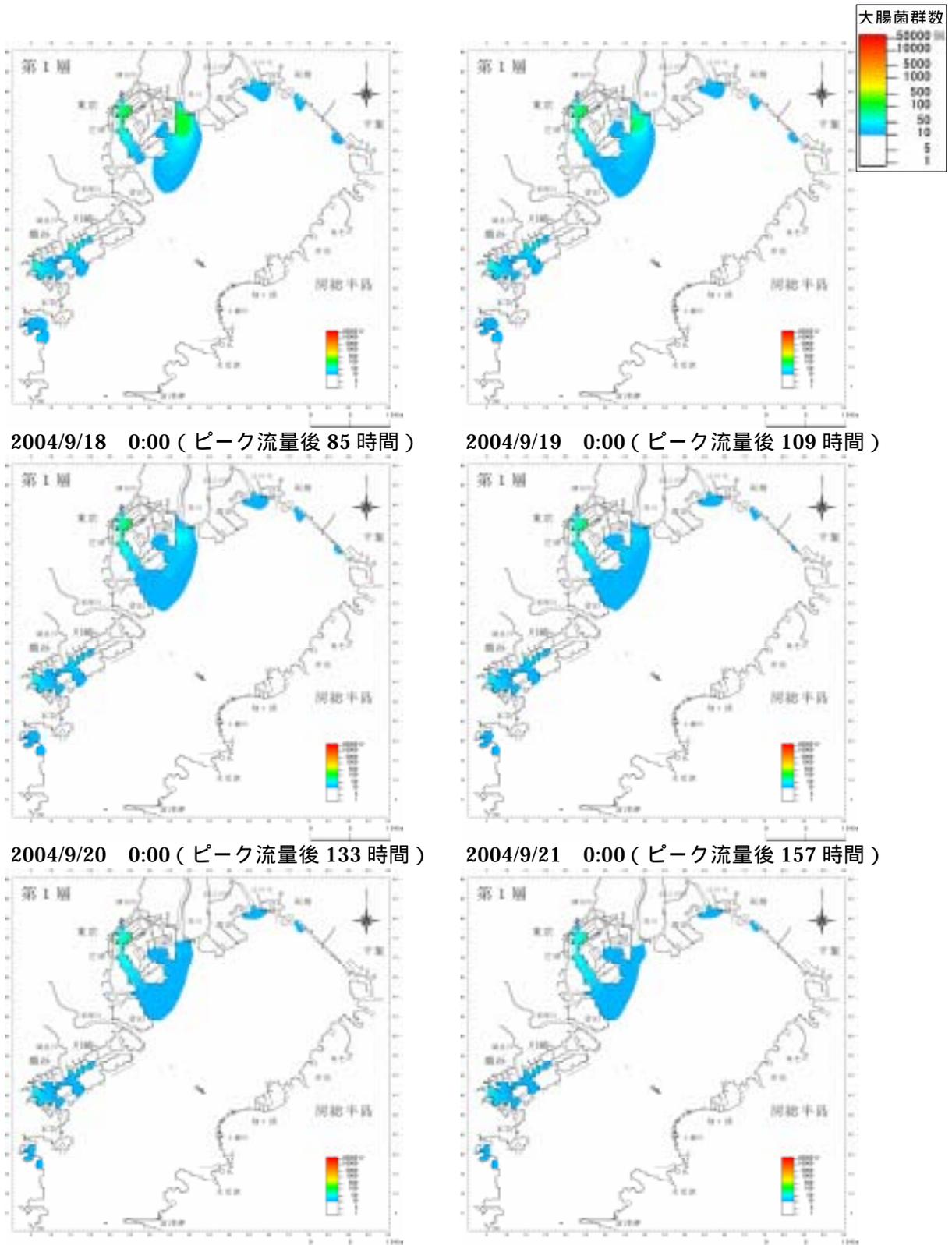


図- 3.2.2.78 (2) 大腸菌群数計算結果 (case2-1: 降雨 2【71.5mm】 大潮日合流)

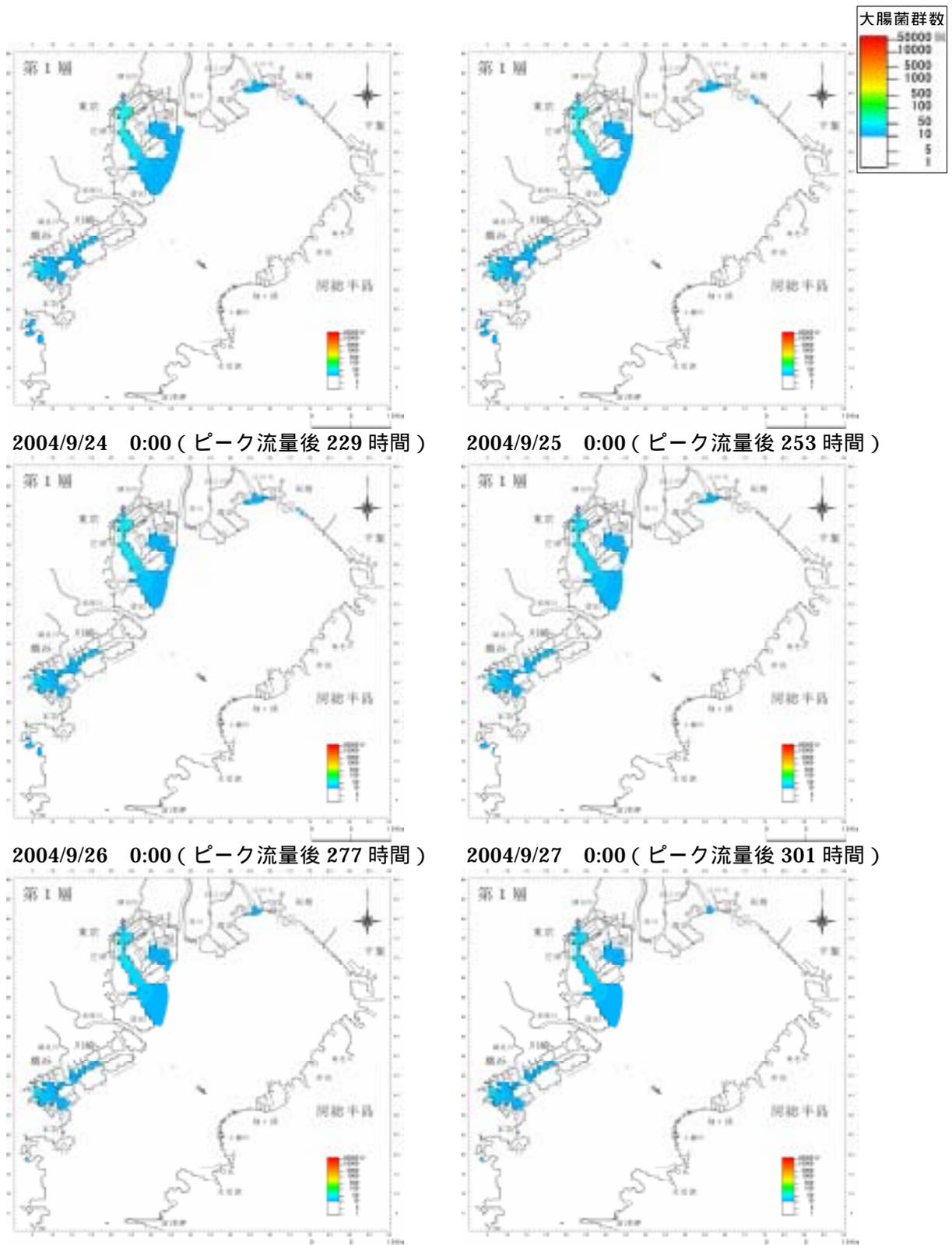


図- 3.2.2.78(3) 大腸菌群数計算結果 (case2-1: 降雨 2【71.5mm】 大潮日合流)

b) 河口部（荒川、隅田川）での時系列変化

case1-1 における St-5（隅田川河口部）、St-8（荒川河口部）、東京湾 3（三番瀬沖）及び東京湾 5（いなげの浜沖）での大腸菌群数の時系列変化を図-3.2.2.80、3.2.2.81 に示す。

case1-1 及び case1-2 では、大腸菌群数は河口部付近において潮位振幅に応じて徐々に減衰していく。また、case1-1 の場合、東京湾 3（三番瀬沖）や東京湾 5（いなげの浜沖）の地点までは流出水は到達していない。

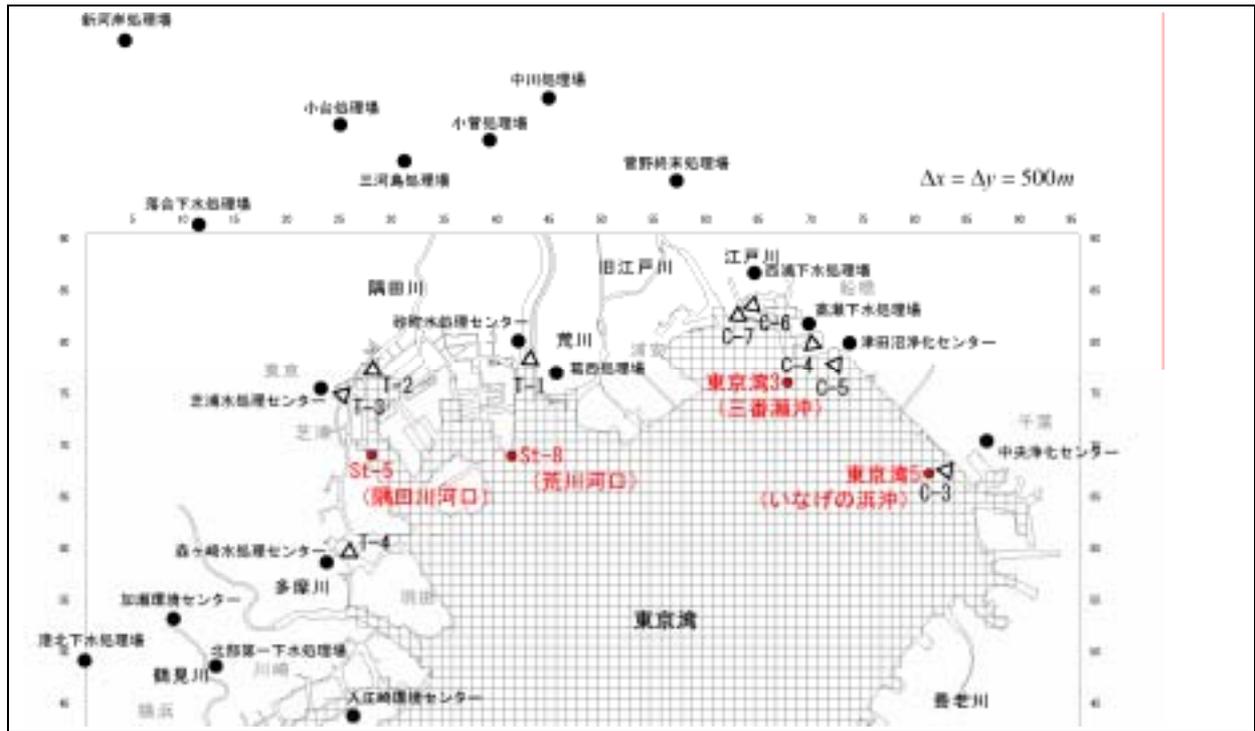


図- 3.2.2.79 時系列変化表示地点

case1-1: 降雨 1 [23mm] 大潮日合流

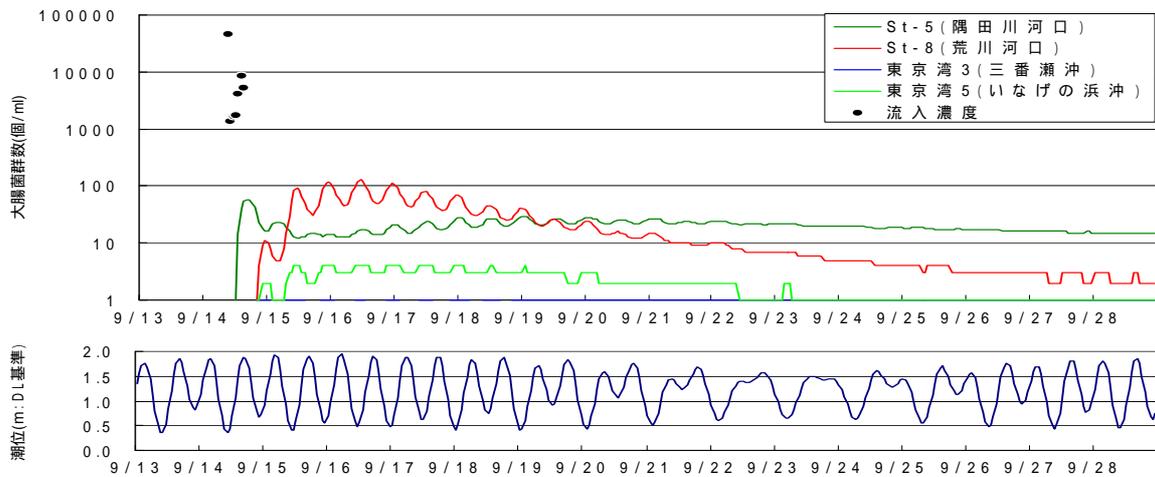


図- 3.2.2.80 大腸菌群数の時系列変化



case1-1 2004/9/18 0:00 (ピーク流量後 85 時間)



case2-1 2004/9/18 0:00 (ピーク流量後 85 時間)

図- 3.2.2.81 東京湾北岸における拡散領域

(6) おわりに

近年、合流式下水道からの未処理放流水等による公共用水域の水質汚濁の問題が顕著化してきている。また、栄養塩類の閉鎖性水域への影響が深刻となっており、赤潮等の被害が毎年発生している。しかしながら、合流式下水道からの汚濁負荷流出についてこれまで使用されてきた解析モデルである土研モデルは、栄養塩類を対象としていなかった。また、合流式下水道の雨天時越流水に関する個々の対策効果を評価しようとしても、従来のモデルでは的確に解析結果を得ることは困難であった。

このような背景から、これまで解析できなかった窒素、リン、大腸菌群数について、モデル化を行い、合流式下水道からの汚濁負荷流出量の解析が可能になった。

また、合流式下水道越流水の与える影響及び個々の施策をよりの確に評価する分布型汚濁負荷モデルを開発し、その活用事例を具体的に紹介すると共に、他のモデルとの統合により流域圏での広い汚濁負荷の解析が可能となることを示した。

しかしながら、今回開発した分布型土研モデルは、既存の集中型の土研モデルをベースにしているため、全ての現象を同一の定数で表現することは困難であり、現在の管渠モデルは完全混合型モデルで、完全混合の条件が適用できない環境下での評価は困難である。また、エンジン部分の開発を優先しているため、入出力などの面において市販ソフトに比較し見劣りするといった課題も残っている。

これら課題の解決については、プログラムソースの公開に伴い、今後利用者による解析プログラム改良が可能となり、より多くの方々に本モデルが利用されることによりさらに良いモデルへ進化することを期待するものである。

参考文献

- 1) 「下水道事業の手引き 平成16年版」,(財)全国建設研修センター
- 2) 「合流式下水道越流水対策と暫定指針」,1982年版,日本下水道協会
- 3) 「流出解析モデル利活用マニュアル」,1999年3月,(財)下水道新技術推進機構
- 4) 「細密数値情報(10mメッシュ土地利用)1994年版」(国土地理院)
- 5) 下水道雨水浸透技術マニュアル 2001年6月,(財)下水道新技術推進機構
- 6) 「下水道統計 平成15年版」,日本下水道協会

3.2.3 生態系予測モデルの開発

(A)陸域生態系モデル

(1)はじめに

戦後の経済発展により、日本の都市やその近郊では、人口の集中や産業の発展による急速な市街化が進められてきた。例えば、東京都心から半径 60km の範囲では、昭和 51 年から平成元年までの 13 年間に、東京 23 区に匹敵する面積の森林や農耕地が、市街地やゴルフ場等へ改変された¹⁾。市街化により住宅地や道路などのインフラが充実し、人々の生活の利便性は向上したが、それと引き替えに、野生動物が生息地としていた自然林や二次林、湿地などは消失や縮小または分断化が進行していった。そのため、かつて人々の身近に暮らしていた野生動物の多くの種は次第に姿を消し、生き残った種や個体群もその生存が脅かされる状態となっている。

今後、失われた自然環境や野生動物の生息地を回復し、人間と野生動物が共存できる自然共生型の社会を築くためには、生態系の保全や創出を盛り込んだインフラ整備の実施が必要である。それを効率的に実施するためには、まず、現状の野生動物の生息地の分布を把握することが重要である。しかし、広範囲における野生動物の生息分布を現地調査で把握することは大変な費用と時間がかかり、現実的には困難である。

本研究では、現状の野生動物の生息地の分布を、広範囲かつ面的に把握する手法を構築することを目的として、GIS (地理情報システム) を活用した陸域生態系モデルの構築を行った。

(2)陸域生態系モデル

1)陸域生態系モデルの概要

ここでいう陸域生態系とは、哺乳類、鳥類などの、主に陸上で生活している種を対象としている。本研究で構築した陸域生態系モデル (以下「モデル」という) とは、種の生息空間に関する既存知見や、植生・地形等の環境要素を組み合わせ、生息可能な環境を備えた生息適地 (以下「潜在生息地」という) を抽出・図化し、現状の潜在生息地の面的な分布や、潜在生息地としての質が高い地域を把握するモデルのことである。本研究では、広範囲かつ面的に潜在生息地を把握するため、モデルの構築から潜在生息地の抽出・図化までの一連の作業はすべて GIS²⁾ を用いて実施した。

2)事例地とモデルを構築する種の選定

本研究における事例地は、長野県と山梨県を含む関東地方を対象とした。モデルを構築する種は、奥山地域、農村・里山地域、都市地域などさまざまな特徴を持った地域に生息する種のうち、これらの地域 (生息環境) を代表する種、生息環境や行動圏などの生態特性が既に把握されている種から検討して、哺乳類 2 種、鳥類 2 種を選定した (表-3.2.3.1)。

表-3.2.3.1 モデルを構築した種

主な生息範囲	モデルを構築した種
奥山地域	ツキノワグマ
里地・里山地域	ニホンリス、サシバ
都市地域	シジュウカラ

(3)モデルの構築と潜在生息地の抽出

1)ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*)

a)ツキノワグマの生態

ツキノワグマは、頭胴長 110～130cm、体高 50～60cm、体重 40～130kg の哺乳類であり、植物食傾向の強い雑食で、春は各種の草本の新芽、木本の新芽や花、夏は各種の草本、ササ類のタケノコ、イチゴやサクラの液果、秋はブナ科の堅果を重要な植物としている³⁾。本州、四国の冷温帯落葉広葉樹(ブナ林)を中心に生息しているが、九州では絶滅した可能性が高く、四国でも絶滅が危惧されている⁴⁾。そのため環境省では、下北半島、紀伊半島、九州地方、四国山地、西中国地域のツキノワグマを絶滅の恐れのある地域個体群として指定している⁵⁾。また、本研究の事例地である関東地方の各自治体においても、埼玉県で絶滅危惧類⁶⁾、東京都で地域限定種(西)⁷⁾、山梨県で要注目種⁸⁾、長野県で絶滅のおそれのある地域個体群(中信高原・八ヶ岳の個体群)⁹⁾として指定され、各地で保護の対象としている。

b)潜在生息地に関する既存知見

モデルの構築には、ツキノワグマの潜在生息地に関する既存知見を用いた¹⁰⁾¹¹⁾。これらの研究では、植生とツキノワグマの生息確率について調べられており、ブナ林、ブナ・ミズナラ林、自然低木林(ミヤマナラ林)、コナラ林、スギ植林において、生息確率が高い結果が示されている。ただし、コナラ林、スギ植林については、季節的出現域であることが述べられている。また、ツキノワグマを保護するために必要な生息地の面積として、好適な環境におけるツキノワグマの生息密度(0.1～0.2頭/km²)から、個体群 50～100 頭分の生息地を確保するための生息地面積として、250～1,000km²が算出されている。

c)モデルの構築

モデルの構築と潜在生息地の抽出範囲は、ツキノワグマの生息環境や行動圏などの生態特性を考慮して、広域スケール(1/20 万相当の基盤情報を主に利用)と、中域スケール(1/5 万相当の基盤情報を主に利用)とした。なお、広域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、長野県と山梨県の一部を含む関東地方全域とし、中域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、関東地方の荒川流域とした。

図-3.2.3.1 に広域スケールにおけるツキノワグマのモデル構築手順を示す。初めに、現存植生図(1/50,000)から、潜在生息地となりうるブナ林やブナ・ミズナラ林などの植生タイプを抽出し、既存知見¹¹⁾で示された植生タイプの生息確認率を適合度(SI₁)として設定した(表-3.2.3.2)。なお、ここに示されていない植生タイプについては、類似の植生タイプの適合度(SI₁)を当てはめた。次に、現存植生図(1/50,000)と道路データ(1/25,000)から生息評価基盤図を作成して樹林面積を算出した。さらに、既存知見¹¹⁾を参考に、樹林面積が 250 km² 以上の場合は適合度(SI₂) 1.0、250 km²～0 km²の場合は適合度(SI₂) 1.0～0 を設定して、樹林面積ごとの適合度を算出した(図-3.2.3.2)。最後に、植生タイプに関する適合度(SI₁)と樹林面積に関する適合度(SI₂)を統合し(SI₁×SI₂)、100m×100m メッシュごとに適合度を算出して、潜在生息地を抽出する手順とした。

中域スケールにおけるモデルの構築手順では、生息評価基盤図を作成するにあたり、現存植生

図(1/50,000)では表現できない対象種の生息適地となり得る樹林地を補うため、衛星画像(ASTER:15m解像度)から樹林地を抽出して小規模な緑地を補完したこと、潜在生息地を50m×50mメッシュごとに適合度を算出したこと以外は、広域スケールのモデル構築と同様の手順とした(図-3.2.3.3)。

d)潜在生息地の抽出結果

構築したモデルを用いて、広域スケールおよび中域スケールの2種類の潜在生息地を抽出した。その結果、広域スケールでは、群馬県や栃木県の北部、埼玉県西部といった、事例地の山間部に適合度が0.4~0.6となる潜在生息地が分布していることがわかった。また、関東地方南部などの都心部やその近郊には、そのような潜在生息地が分布していないことがわかった(図-3.2.3.4)。また、中域スケールでは、荒川流域西部である、秩父山地周辺に適合度が0.4~0.6となる潜在生息地が分布し、荒川流域の東側にはそのような潜在生息地が分布していないことがわかった(図-3.2.3.5)。

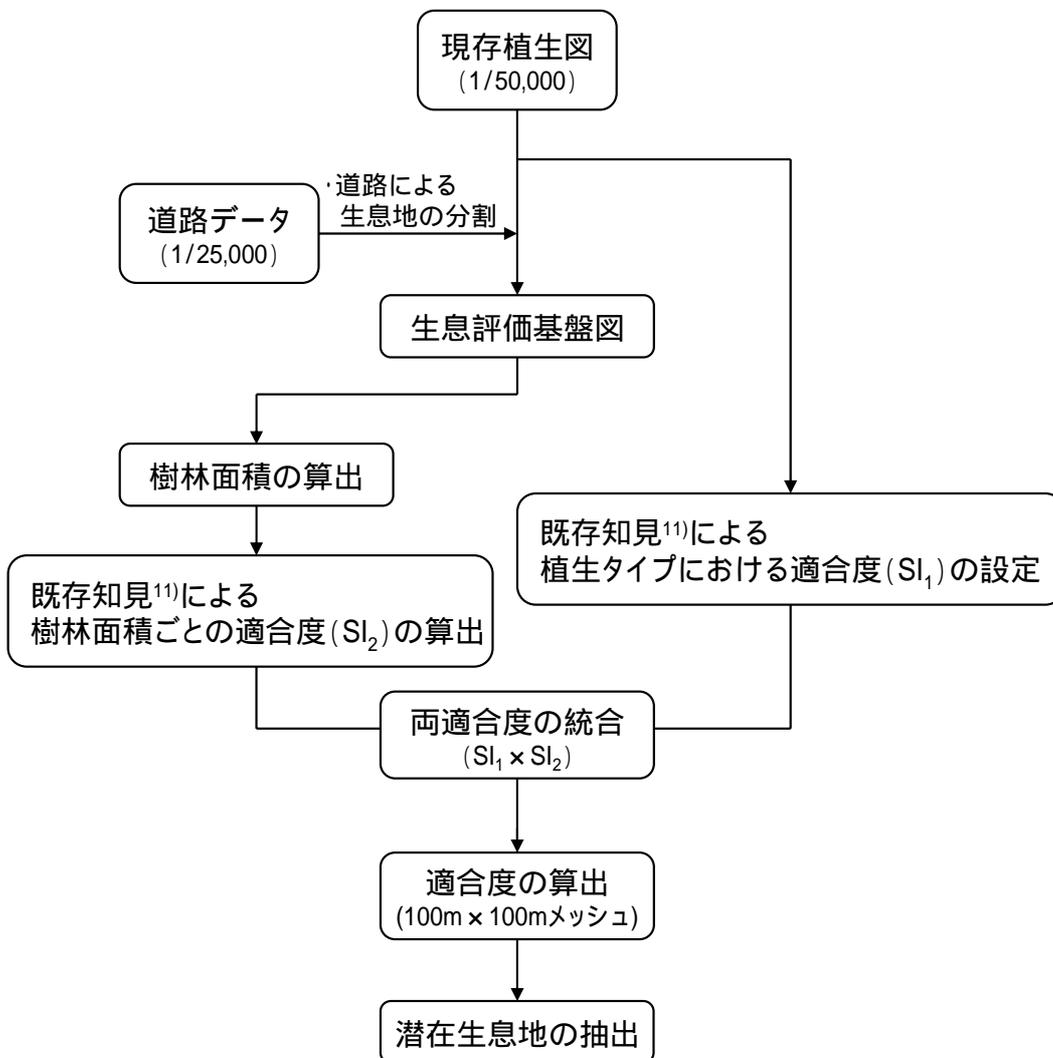


図-3.2.3.1 ツキノワグマの生息地予測モデル構築手順(広域スケール)

表-3.2.3.2 植生タイプの適合度例

植生タイプ	適合度
ブナ林	0.6
ブナ・ミズナラ林	0.4
自然低木林	0.5
コナラ林	0.2
スギ植林	0.1
ササ自然草地	0.1
竹林	0.0

注) 既存知見¹¹⁾の生息確認率を適合度 (SI_1) として設定

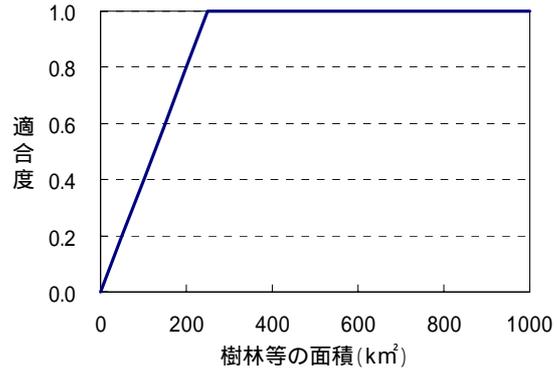


図-3.2.3.2 既存知見¹¹⁾から作成した樹林等の面積に関する適合度 (SI_2)

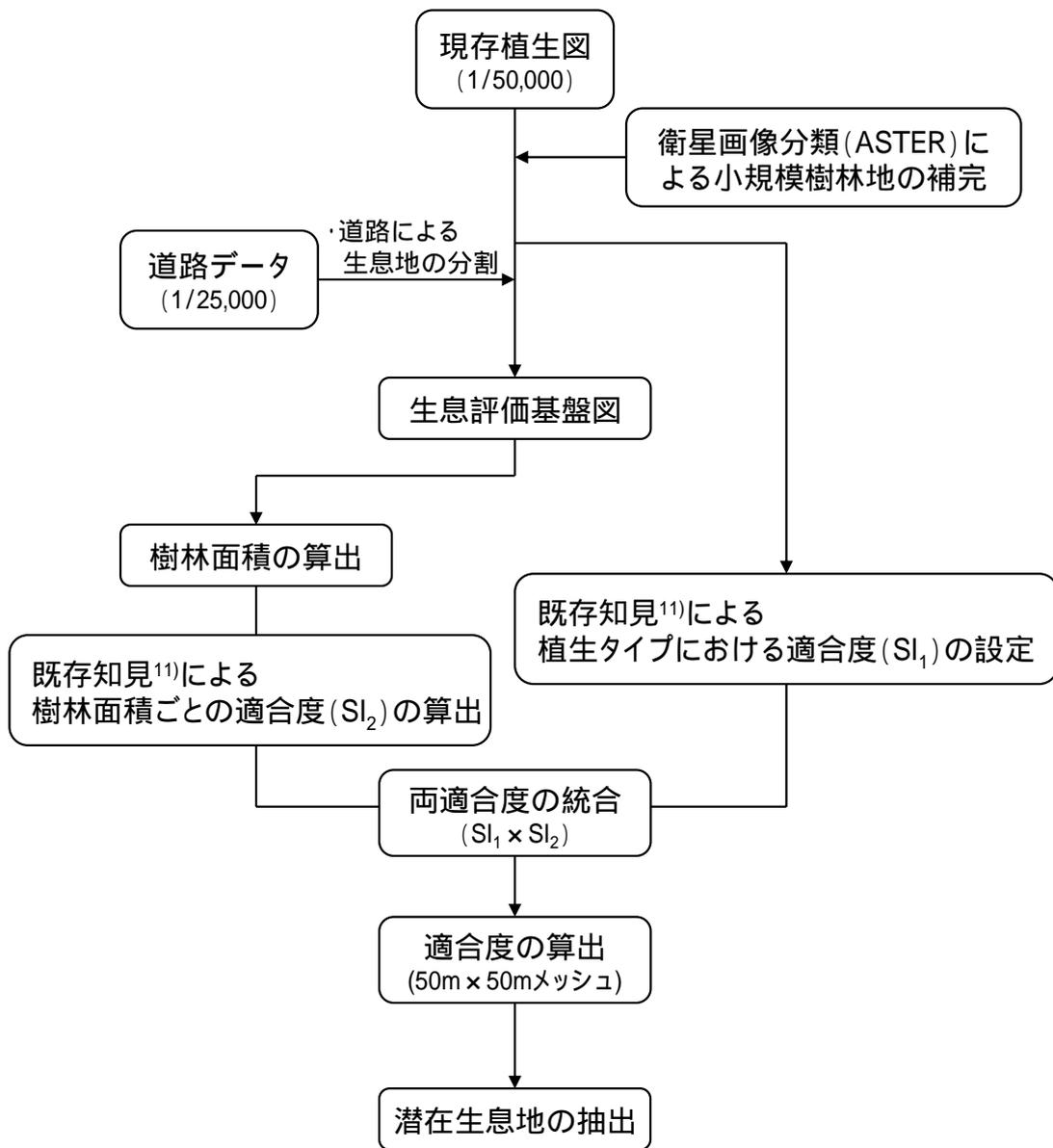


図-3.2.3.3 ツキノワグマの生息地予測モデル構築手順 (中域スケール)

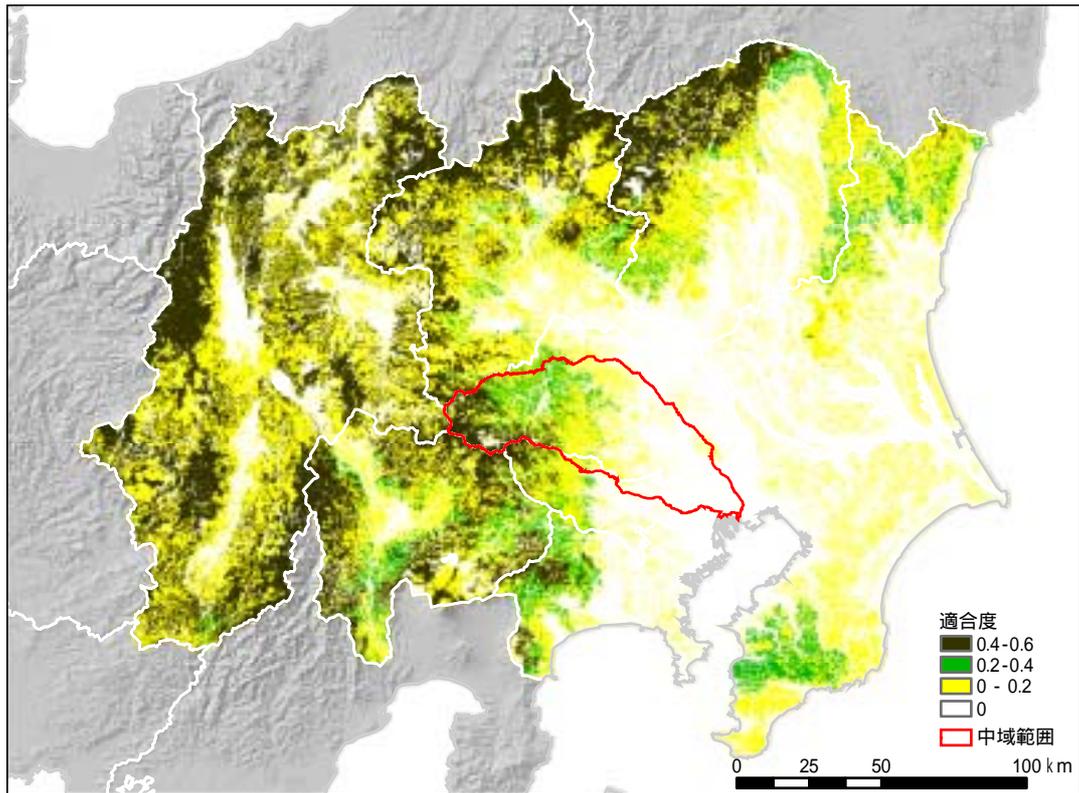


図-3.2.3.4 広域スケールにおけるツキノワグマの潜在生息地。なお、赤枠は中域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲を示す

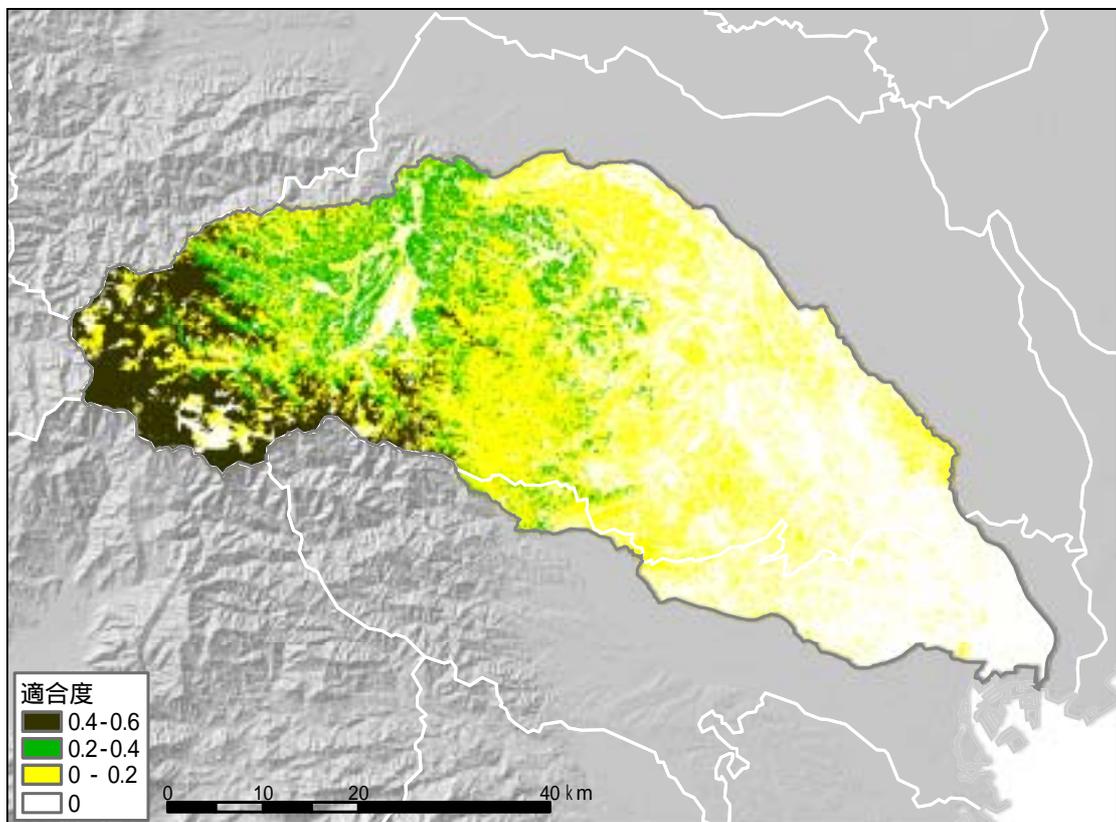


図-3.2.3.5 中域スケールにおけるツキノワグマの潜在生息地

2)ニホンリス (*Sciurus lis*)

a)ニホンリスの生態

日本の固有種であるニホンリスは、頭胴長 18～22cm、尾長 15～17cm、耳長 25～28mm、体重 210～310g の哺乳類である¹²⁾。平野部から亜高山帯までの森林に生息するが、低山帯のマツ林に多く、おもに樹上で活動し、種子、果実、キノコ、昆虫、小鳥の卵などを採食する¹³⁾。本州以南に生息するが、本州の中国地方以西には少なく、九州における近年の確実な生息情報はないため、環境省では、四国地方を除く中国地方以西では絶滅の恐れのある地域個体群として指定している⁵⁾。また、本研究の事例地における各自治体でも、茨城県で希少種¹⁴⁾、千葉県で要保護生物¹⁵⁾、埼玉県で地帯別危惧⁶⁾、東京都で地域限定種(南)および希少種(西)⁷⁾として指定し、保護の対象としている。

b)潜在生息地に関する既存知見

モデル構築には、ニホンリスの潜在生息地に関する既存知見を用いた¹⁶⁾。この研究では、茨城県水戸市とその郊外においてニホンリスの生息環境の調査とその解析が行なわれており、「孤立林の面積」、「最も近いソースエリアからの距離」、「孤立林内の常緑樹林面積」、「ソースエリアとの間の幹線道路の本数」、「ソースエリアとの連続性」といった生息地の分断化に関する指標を用い、ロジスティック回帰式(表-3.2.3.3)によりニホンリスの生息確率を算出している。

本研究では、以下に示した既存知見¹⁶⁾のロジスティック回帰式を用いて潜在生息地を抽出した。

既存知見¹⁶⁾で示されているロジスティック回帰式

$$\cdot \text{生息確率 } P = \exp(y) / [1 + \exp(y)]$$

P は y をパラメータとする生息確率 (y については表-3.2.3.3 を参照)

c)モデルの構築

モデルの構築と潜在生息地の抽出範囲は、生息環境や行動圏などの生態特性を考慮して、中域スケール(1/5万相当の基盤情報を主に利用)と、小域スケール(1/1万相当の基盤情報を主に利用)とした。なお、中域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、関東地方の荒川流域とし、小域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、荒川支川の小平川、芝川流域の2種類とした。

図-3.2.3.6 に中域スケールにおけるニホンリスの生息地予測モデルの構築手順を示す。初めに現存植生図(1/50,000)と衛星画像(ASTER:15m解像度)および道路データ(1/10,000)から生息評価基盤図を作成し、樹林地およびソースエリアとなる樹林地(20ha以上)を抽出する。次に、既存知見¹⁶⁾で重要な環境要素であった樹林地の面積と、その樹林に最も近いソースエリアからの距離を算出する。さらに、抽出した樹林に対して、とに関するロジスティック回帰式を用い、50m×50mメッシュごとに各環境要素における生息確率を算出する。最後に、環境要素ごとに算出した生息確率を平均して、ニホンリスの潜在生息地を抽出する手順とした。なお、既存知見¹⁶⁾では、質的および空間スケールにおいて、本研究のモデル構築と異なるベースマップ(現存植生図など)を用いていること、環境要素ごとにロジスティック回帰式による生息確率を推定し、生息確率が統合されていないことから、本研究では、環境要素ごとに算出

した生息確率を平均して潜在生息地を抽出するモデルとした。

また、小域スケールにおけるモデルの構築手順では、生息評価基盤図を作成するにあたり、航空写真の判読によりGIS化した相観植生図(1/10,000)と、道路データ(1/10,000)を使用する。次に、既存知見¹⁶⁾より、とに加え、「最も近いソースエリアとの間にある幹線道路の本数」と「ソースエリアとの連続性」を重要な環境要素とし、それぞれの環境要素におけるロジスティック回帰式を用いて10m×10mメッシュごとの生息確率を算出して平均値を出し、ニホンリスの潜在生息地を抽出する手順とした(図-3.2.3.7)。

表-3.2.3.3 環境要素ごとにおけるロジスティック回帰式¹⁶⁾を用いた生息確率の算出

環境要素	環境要素記号	y	Waldの ²	危険率
孤立林の面積(ha)	AREA	$-1.317 + 0.116 \times \text{AREA}$	9.84	0.0017
ソースエリアからの距離(m)	DIST.SOURCE	$0.971 - 0.003 \times \text{DIST.SOURCE}$	12.35	0.0004
孤立林内の常緑樹林面積(ha)	EVERGREEN	$-0.818 + 0.132 \times \text{EVERGREEN}$	5.37	0.0205
最も近いソースエリアとの間にある幹線道路の本数(本)	ROAD	$0.352 - 0.461 \times \text{ROAD}$	7.34	0.0066
ソースエリアとの連続性(0 or 1)	CONTINUITY	$-2.015 + 2.626 \times \text{CONTINUITY}$	18.91	<0.0001

出典:「村田(2001)水戸市周辺域の孤立化した森林におけるニホンリス *Sciurus lis* の生息分布」を改変

表-3.2.3.4 環境要素ごとにおけるロジスティック回帰式¹⁶⁾のモデルへの適用方法

環境要素	適用方法	取得方法
樹林地の面積 ^{注1)} (ha)	40ha未満の樹林を対象とする。なお、40ha以上の樹林は生息確率1.0を適用する。	40ha未満の樹林地のパッチの面積を算出する。
ソースエリアからの距離(m)	20ha以上の樹林地については、距離0mを適用する。	20ha未満の樹林地から最も近いソースエリアまでの距離を算出する。
孤立林内の常緑樹林面積(ha)	土地状況図ではアカマツ林が識別されないため、当該式は使用しない。	
最も近いソースエリアとの間にある幹線道路の本数(本)	幅員13m以上の道路を対象とする。中域スケールでは、解析処理が困難であるため、使用しない。	当該孤立林に最も近いソースエリアとの間にある道路の本数を算出する。
ソースエリアとの連続性(0 or 1)	距離が40m未満では1、それ以上では0を適用する。中域スケールでは、40mの距離を把握できない解析精度のため、使用しない。	樹林地からの40mバッファと、孤立林とをオーバーレイ解析することで判別する。

注1) 既存知見では、孤立林と記載されているが、本研究のモデルでは、樹林とみなし、樹林パッチを孤立林とする

注2) ロジスティック回帰式は表-3.2.3.3を参照

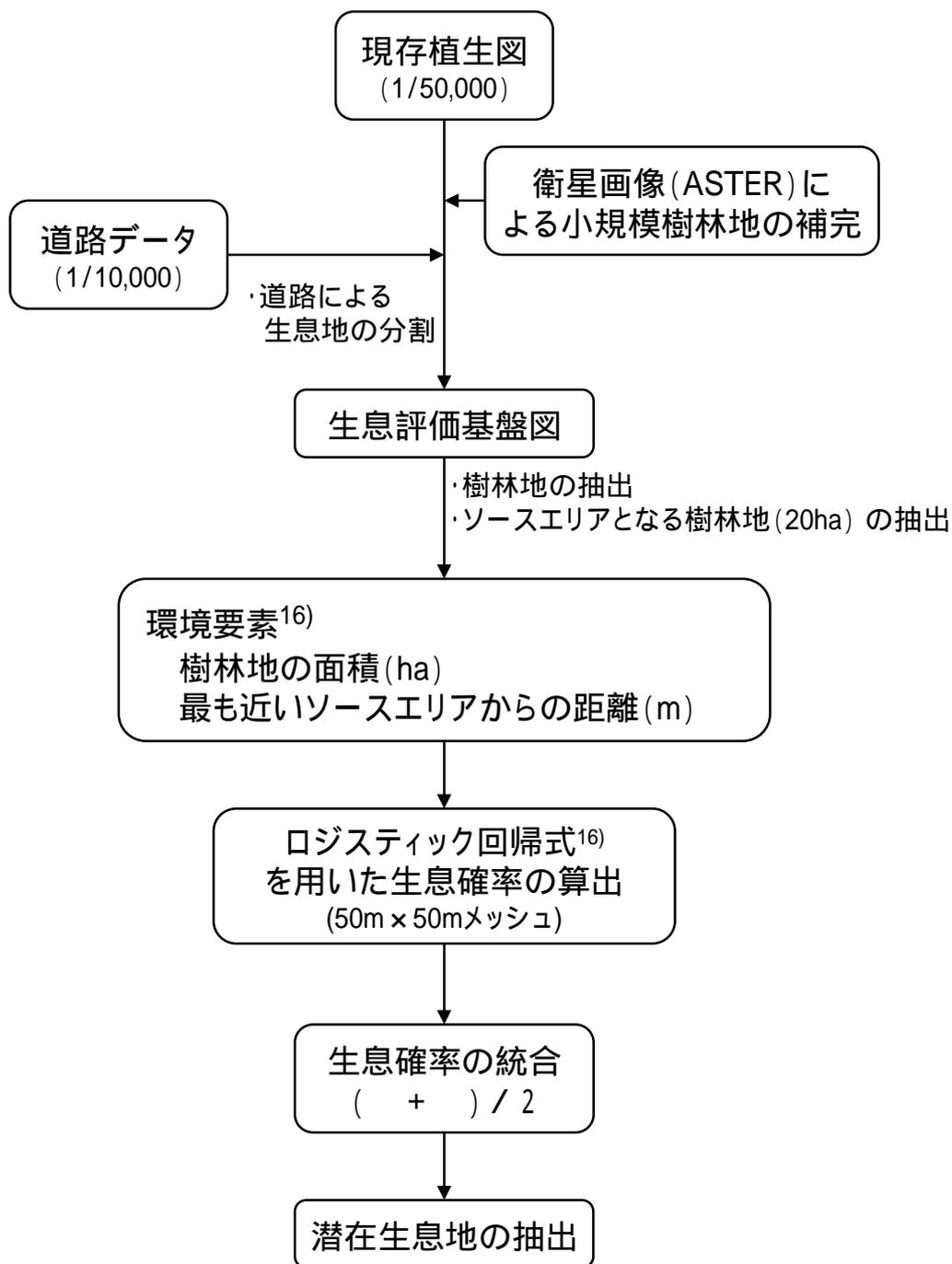


図-3.2.3.6 ニホンリスの生息地予測モデル構築手順（中域スケール）

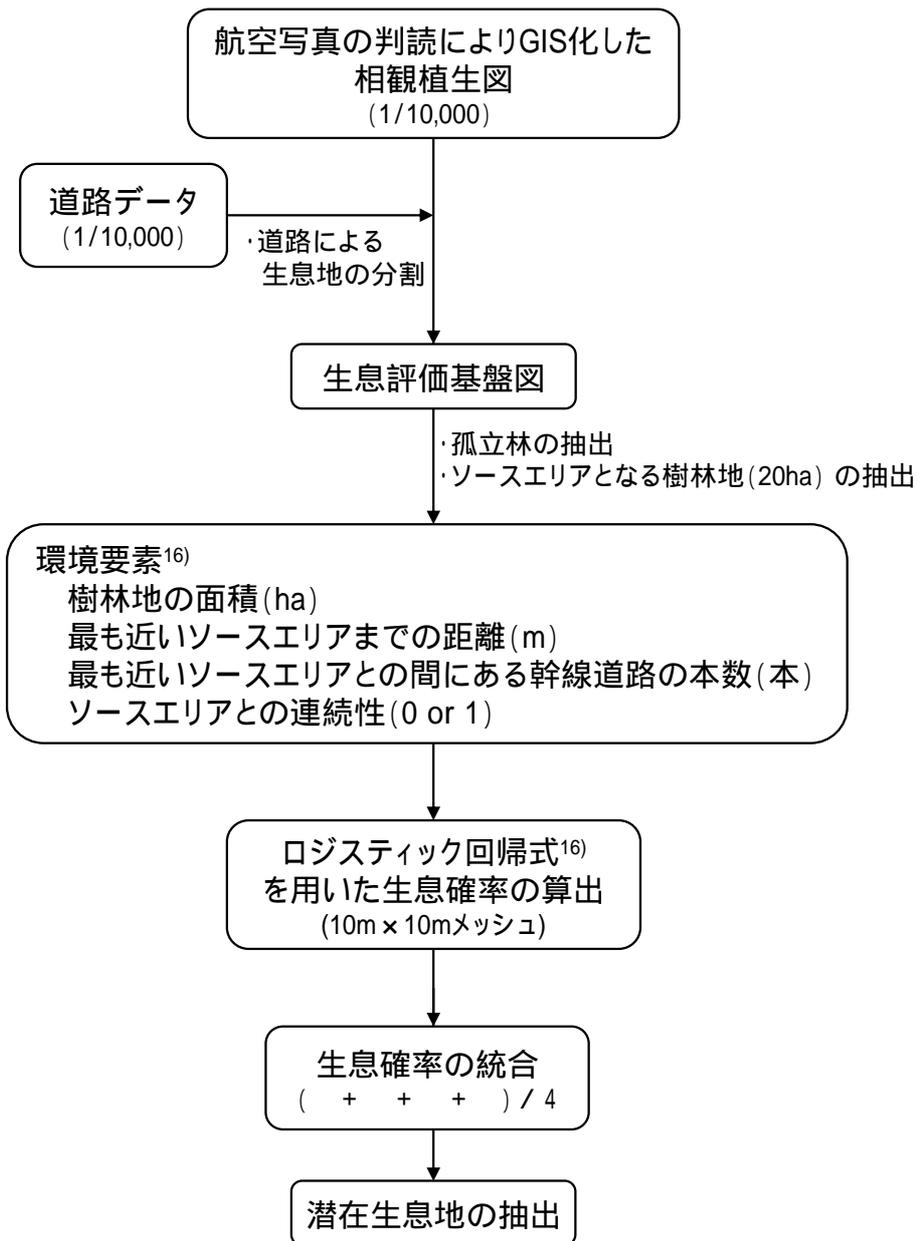


図-3.2.3.7 ニホンリスの生息地予測モデル構築手順（小域スケール）

d) 潜在生息地の抽出結果

構築したモデルを用いて潜在生息地を抽出した。中域スケールでは、荒川流域の西側に生息確率が0.75以上となる潜在生息地が分布し、荒川流域の東側には、そのような潜在生息地は少ないことがわかった（図-3.2.3.8）。また、小域スケールでは、小畔川流域の西側に生息確率が0.75以上となる潜在生息地が分布しているが、芝川流域にはそのような潜在生息地はほとんど分布していないことがわかった（図-3.2.3.9）。

小畔川流域と芝川流域における潜在生息地について、図-3.2.3.8（中域スケール）と図-3.2.3.9（小域スケール）で比較したところ、両スケールで生息確率に違いが見られた。これは、両スケールで構築したモデルが違うことや、生息確率を算出するメッシュサイズが違うことなどが理由として考えられた。

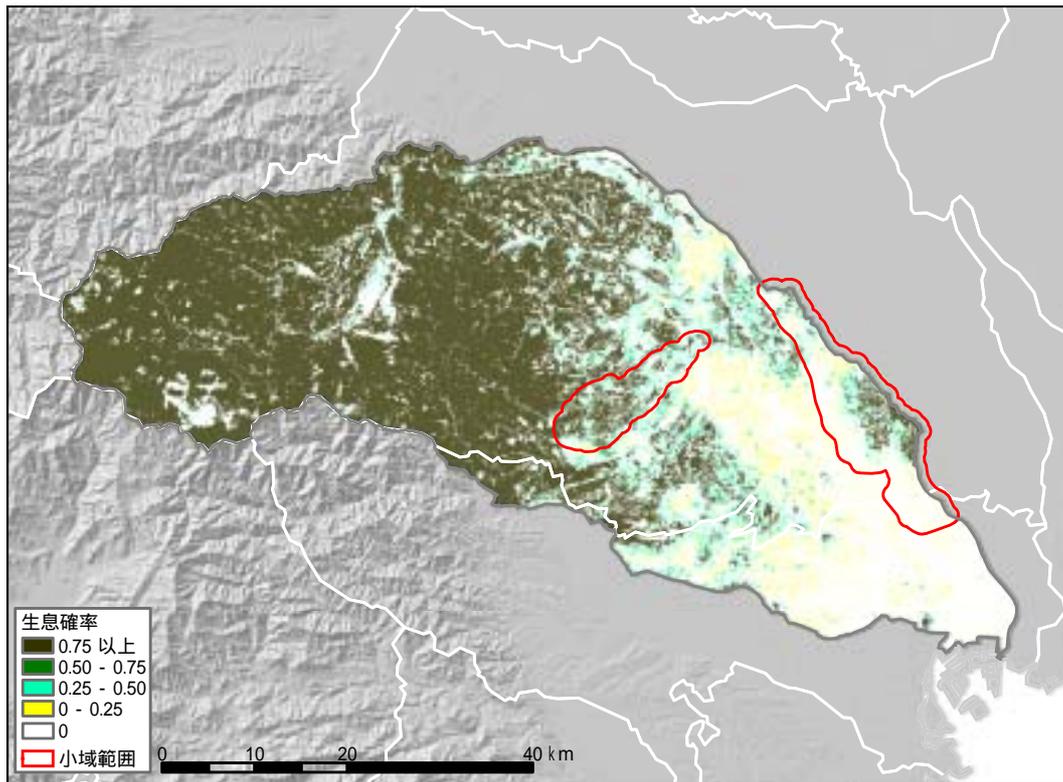


図-3.2.3.8 中域スケールにおけるニホンリスの潜在生息地。なお、赤枠は小域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲を示す（赤枠左：小畔川流域、赤枠右：芝川流域）

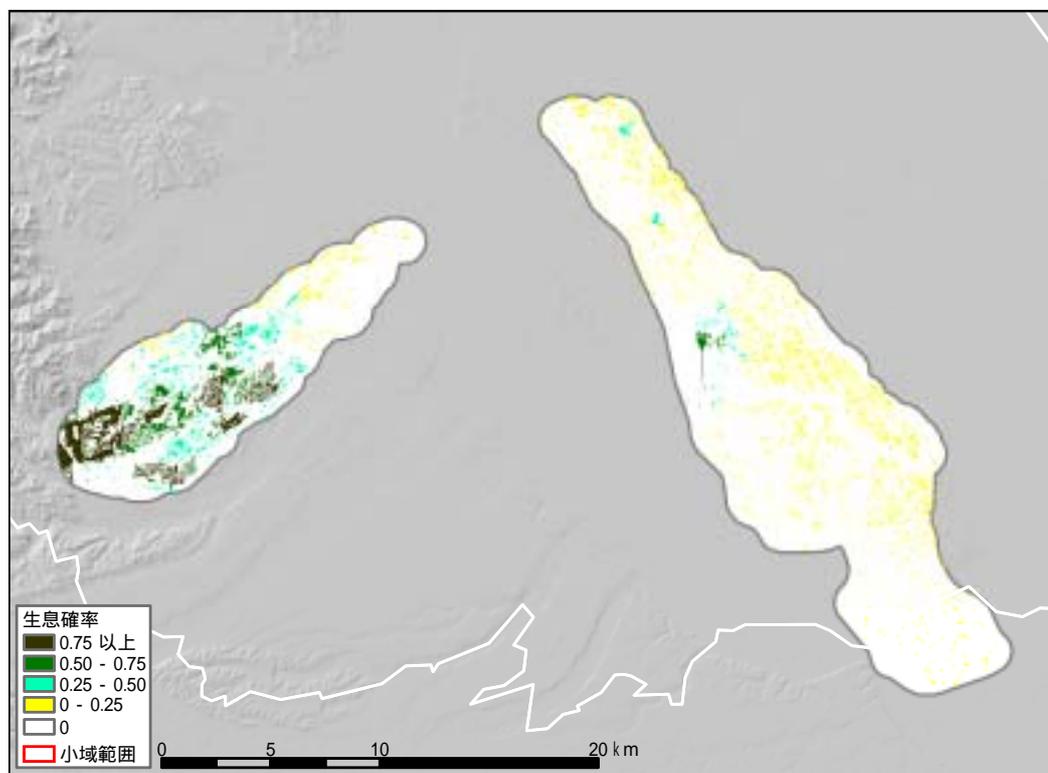


図-3.2.3.9 小域スケールにおけるニホンリスの潜在生息地（左：小畔川流域、右：芝川流域）

3) サシバ (*Butastur indicus*)

a) サシバの生態

サシバは、全長が雄 47cm、雌 51cm、翼開長が 115cm の猛禽類であり¹⁷⁾、東北地方（青森県を除く）以南の平地および低山の林で繁殖し、東南アジアで越冬する¹⁸⁾。おもな生息地は、丘陵地から標高 800m くらいの山地であり、山の斜面にアカマツ林、雑木林、スギ・ヒノキ林、伐採地などがあり、谷に水田や畑などが入り込んだ場所に好んですむ¹⁹⁾。カエル類、ヘビ類といった両生類・爬虫類や昆虫類をおもな食物とし、里地に代表される二次的自然における生態系の頂点に位置する動物である²⁰⁾。しかし、近年個体数の減少が指摘され²¹⁾、本研究の事例地における各自治体では、群馬県で絶滅危惧種²²⁾、埼玉県で絶滅危惧 B 類⁶⁾、千葉県で重要保護生物¹⁵⁾、東京都で C ランク（区、北南）および B ランク（西）⁷⁾、山梨県で準絶滅危惧⁸⁾、長野県で絶滅危惧類⁹⁾として指定し、各地で保護の対象としている。

b) 潜在生息地に関する既存知見

モデル構築には、サシバの潜在生息地に関する 2 つの既存知見を用いた²³⁾²⁴⁾。

1 つめの既存知見は²³⁾、大阪府河内長野市および栃木県馬頭町の 2 地域において、サシバの営巣環境、テリトリー、食性、繁殖行動、繁殖成功率について調査したものである。調査は、河内長野市で 1997 年から 1998 年にかけて確認した 52 カ所の営巣地、馬頭町で 1989 年から 2001 年にかけて確認した 48 カ所の営巣地について行われている。営巣木の樹種は、大阪府河内長野市の調査地では、アカマツが 50% を占め、残りはアカマツ、クロマツ、ゴヨウマツ、スギ、ヒノキ、モミであった。一方、栃木県馬頭町の調査地では、84% がアカマツであり、残りはスギであった。調査地の植生タイプとしては、両調査地ともに、スギ・ヒノキ人工林、アカマツ林、落葉広葉樹林が挙げられている。営巣地の標高およびテリトリー内の標高については、両調査地区において差違がみられ、河内長野市では、平均 256m（標高 155m～520m）、馬頭町では、平均 231m（標高 130m～340m）であった。また、営巣地から水田までの距離についても示されており、長野河内市では 81%、馬頭町では 94% が 300m 以内に営巣地があり、営巣地と水田との間で密接な関係があることが示されている。隣接ペアの巣間距離については、各調査地における差異が認められ、河内長野市で平均 1,083m、馬頭町では、1,645m と、テリトリーの大きさによる相違（河内長野市で平均 122ha、馬頭町で平均 234ha）であることが指摘されている。

2 つめの既存知見²⁴⁾は、千葉県手賀沼流域の谷津田においてサシバの分布と谷津田の環境要因の調査を行ったものである。環境要因としては、谷津田の面積、谷津田の周囲長、谷津田に接する斜面林の面積、谷津田に接する斜面林の周囲長、谷津田の耕作面積、谷津田の非稲作面積とサシバの生息の有無についての関連性についての解析を行っている。その結果、生息確認地点では非生息確認地点に比べ、谷津田の面積、谷津田に接する斜面林の面積、稲作面積が大きく、谷津田の周囲長、斜面林に接する谷津田の周囲長が長いことが示されている。

サシバは、繁殖期に渡来する夏鳥であり、アカマツやスギなどの大径木に営巣し、水田などの開けた環境で、両生・は虫類や大型の昆虫類を採餌するといった生態特性をもっている。そこで本研究では、サシバの潜在生息地として、営巣地となりうる樹林（潜在的営巣場所）および営巣地に近い水田（潜在的採餌場所）を抽出するモデルを構築した。

c) モデルの構築

潜在生息地の抽出対象範囲は、生息環境や行動圏などの生態特性を考慮して、関東地方の千葉県周辺と設定した。

本研究で構築したサシバの生息地予測モデルの構築手順を図-3.2.3.10 に示す。潜在的営巣場所の抽出では、サシバの営巣地は主に低山の樹林で確認されていることから、標高が 340m 以下で、かつ面積が 22ha 以上の樹林を抽出した。なお、標高については既存知見²³⁾で示されている、馬頭町の営巣地の最高標高 340m を抽出基準とし、樹林の面積については、既存知見²⁴⁾で示されているサシバが確認された地点での最小の斜面林面積である 22ha を抽出基準とした。次に、面積が 22ha 以上の抽出した樹林のうち、水田から近い距離にある樹林を潜在的営巣場所（評価 2 とする）として抽出した。なお、水田からの距離については、既存知見²³⁾で示されている、81%以上の営巣地が含まれた 300m を抽出基準とした。

潜在的採餌場所の抽出については、潜在的営巣地として評価した樹林地の近傍にある水田を潜在的採餌場所（評価 1 とする）として抽出した。潜在的営巣地から水田までの距離については、既存知見²³⁾における、馬頭町の調査地で示された巣間距離の半分（800m）に含まれる水田とした。

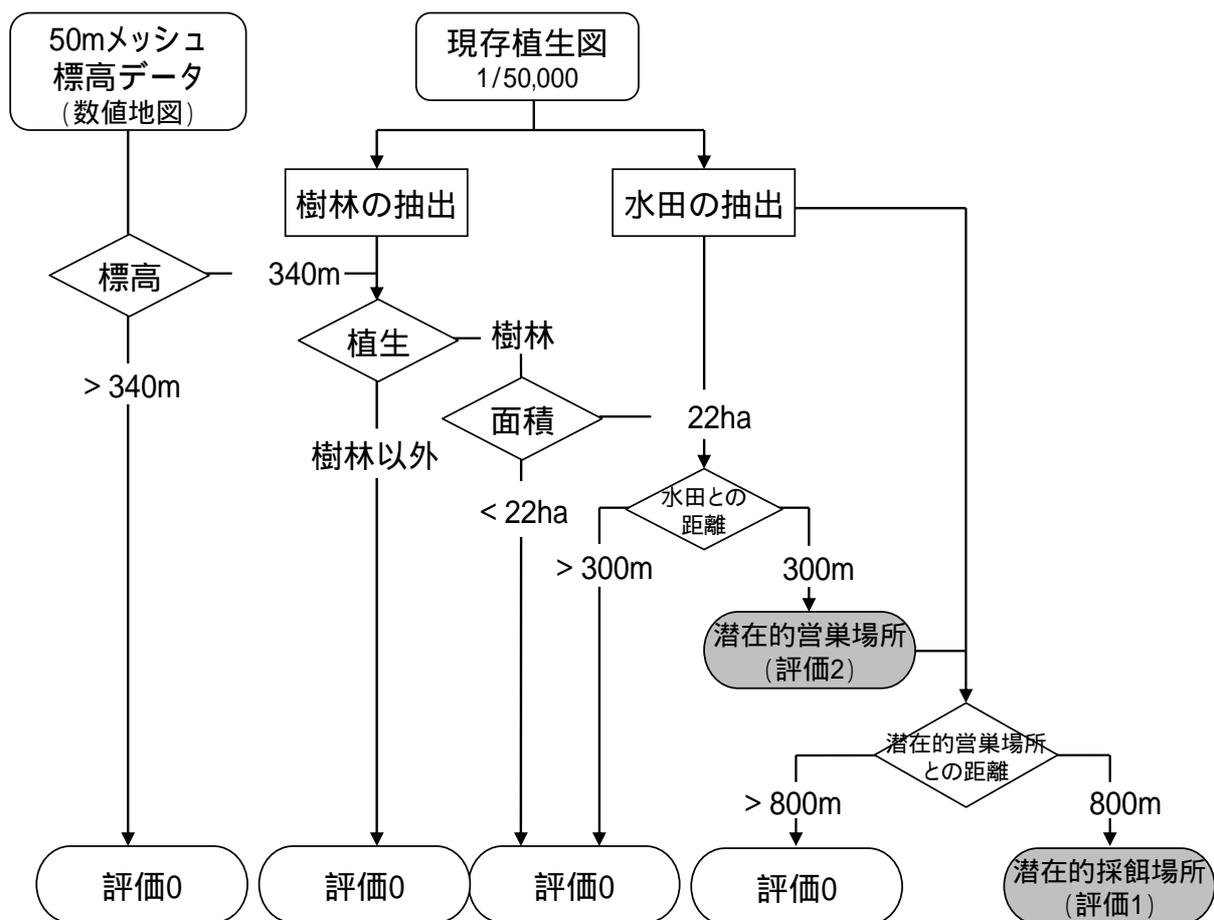


図-3.2.3.10 サシバの生息地予測モデル構築手順

d) 潜在生息地の抽出結果

構築したモデルを用いて潜在生息地を抽出した。その結果、潜在生息地の抽出対象範囲において、谷戸地形が現存する可能性の高い場所に潜在生息地として評価された潜在的営巣場所および潜在的採餌場所が分布していることが明らかとなった。(図-3.2.3.11)。

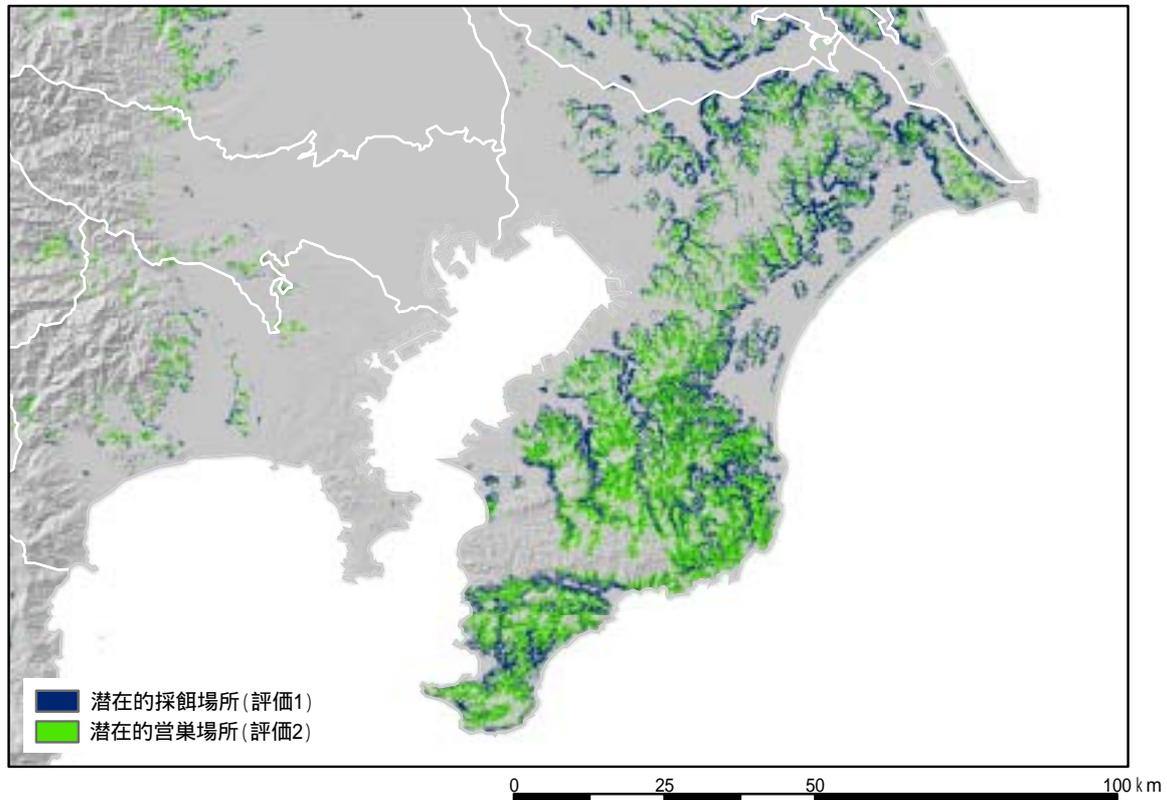


図-3.2.3.11 サシバの潜在生息地

4) シジュウカラ (*Parus major*)

a) シジュウカラの生態

シジュウカラは、全長 14.5cm、翼開長 22cm の小鳥であり²⁵⁾、低地から低山帯の落葉広葉樹林、常緑広葉樹林、針葉樹林、針広混交林にすみ、ブナ原生林から山地の二次林、樹木の多い公園や人家にまで幅広く生息する²⁶⁾。そのため、人々に馴染み深い種といえる。現在、環境省や本研究の事例地における各自治体では、保護の対象には指定されていない。

b) 潜在生息地に関する既存知見

モデル構築には、シジュウカラの潜在生息地に関する既存知見を用いた²⁷⁾。この研究では、空中写真から作成した緑地(読み取り精度 0.5m)を用いたファインスケールでシジュウカラの生息について解析を行ったものである。解析では、緑地および周辺の土地利用等から得られる変数から、シジュウカラの生息確率に影響を与えると考えられる変数を分析したうえで、もっとも当てはまりが良いモデルとして、樹冠面積、形状指数を独立変数としたロジスティック回帰でモデル化している。

本研究では、以下に示した既存知見²⁷⁾のロジスティック回帰モデル(緑地のみ)を用いて潜在生息地を抽出した。

既存知見²⁷⁾で示されたロジスティック回帰モデル(緑地のみ)

・生息確率 $P = \exp(y) / [1 + \exp(y)]$

$y = -9.554 + [3.097 \times \text{樹冠面積の常用対数} (\text{m}^2)] + [-3.844 \times \text{形状指数} (K)]$

形状指数 $(K) = L / 2\sqrt{S}$ L : 周囲長、 S : 面積

c) モデルの構築

モデルの構築と潜在生息地の抽出範囲は、生息環境や行動圏などの生態特性を考慮して、中域スケール(1/5万相当の基盤情報を主に利用)と、小域スケール(1/1万相当の基盤情報を主に利用)とした。なお、中域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、関東地方の荒川流域とし、小域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲は、荒川支川の小平川、芝川流域の2種類とした。

図-3.2.3.12に中域スケールにおけるシジュウカラの生息地予測モデルの構築手順を示す。初めに現存植生図(1/50,000)と衛星画像(ASTER: 15m解像度)および道路データ(1/10,000)から生息評価基盤図を作成し、樹林地や緑地を抽出する。そして、それらの面積や辺長から形状指数を算出する。ただし、形状指数が概ね3以上になると、どんなに大きな樹林地でも、生息確率が0に近い値になってしまうため、面積10ha以上の樹林地・緑地に関しては「形状指数」を加味せず、生息確率を1.0とした。これは、樋口ほか(1982)において、10ha以上の樹林地の生息確率が1.0と報告されており²⁸⁾、本モデルにおいても、10ha以上の樹林地については、形状指数1.0(円形)の場合で生息確率0.994、形状指数1.2(1:2の長方形)の場合で生息確率0.988と、ほぼ1.0に近い値が得られたことから、10ha以上の樹林地の生息確率は1.0とした。最後に、既存知見²⁶⁾における緑地のみをロジスティック回帰モデルを適用して、50m×50mメッシュごとの生息確率を算出し、シジュウカラの潜在生息地を抽出する手順とした。

また、小域スケールにおけるモデルの構築手順では、生息評価基盤図を作成するにあたり、航空写真の判読によりGIS化した相観植生図(1/10,000)と道路データ(1/10,000)のみを使用したこと、潜在生息地を10m×10mメッシュで抽出したこと以外は、中域スケールのモデルと同様の手順とした(図-3.2.3.13)。

d) 潜在生息地の抽出結果

構築したモデルを用いて潜在生息地を抽出した。中域スケールでは、荒川の上流である流域の西側に生息確率が0.75以上となる潜在生息地が広く分布しており、荒川の中流から下流となる流域の東側にも、そのような潜在生息地が点在していることがわかった(図-3.2.3.14)。また、小域スケールでは、小平川流域の西側に、生息確率が0.75以上となる潜在生息地が分布しているが、芝川流域にはそのような潜在生息地はほとんど分布していないことがわかった(図-3.2.3.15)。

小平川流域と芝川流域における潜在生息地について、図-3.2.3.14(中域スケール)と図-3.2.3.15(小域スケール)で比較したところ、両スケールで生息確率に違いが見られた。これ

は、両スケールで生息確率を算出するメッシュサイズが違うことが理由として考えられた。

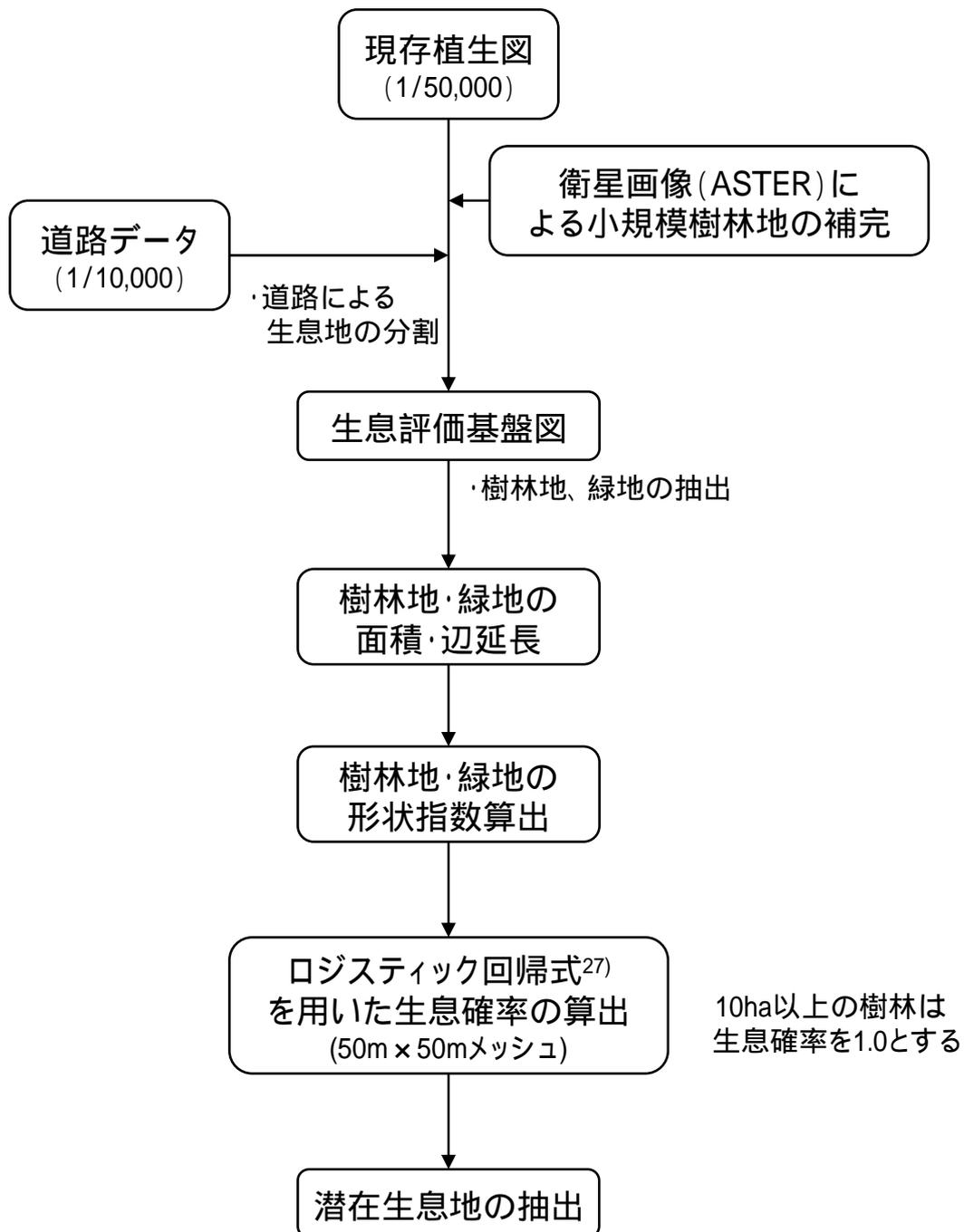


図-3.2.3.12 シジュウカラの生息地予測モデル構築手順（中域スケール）

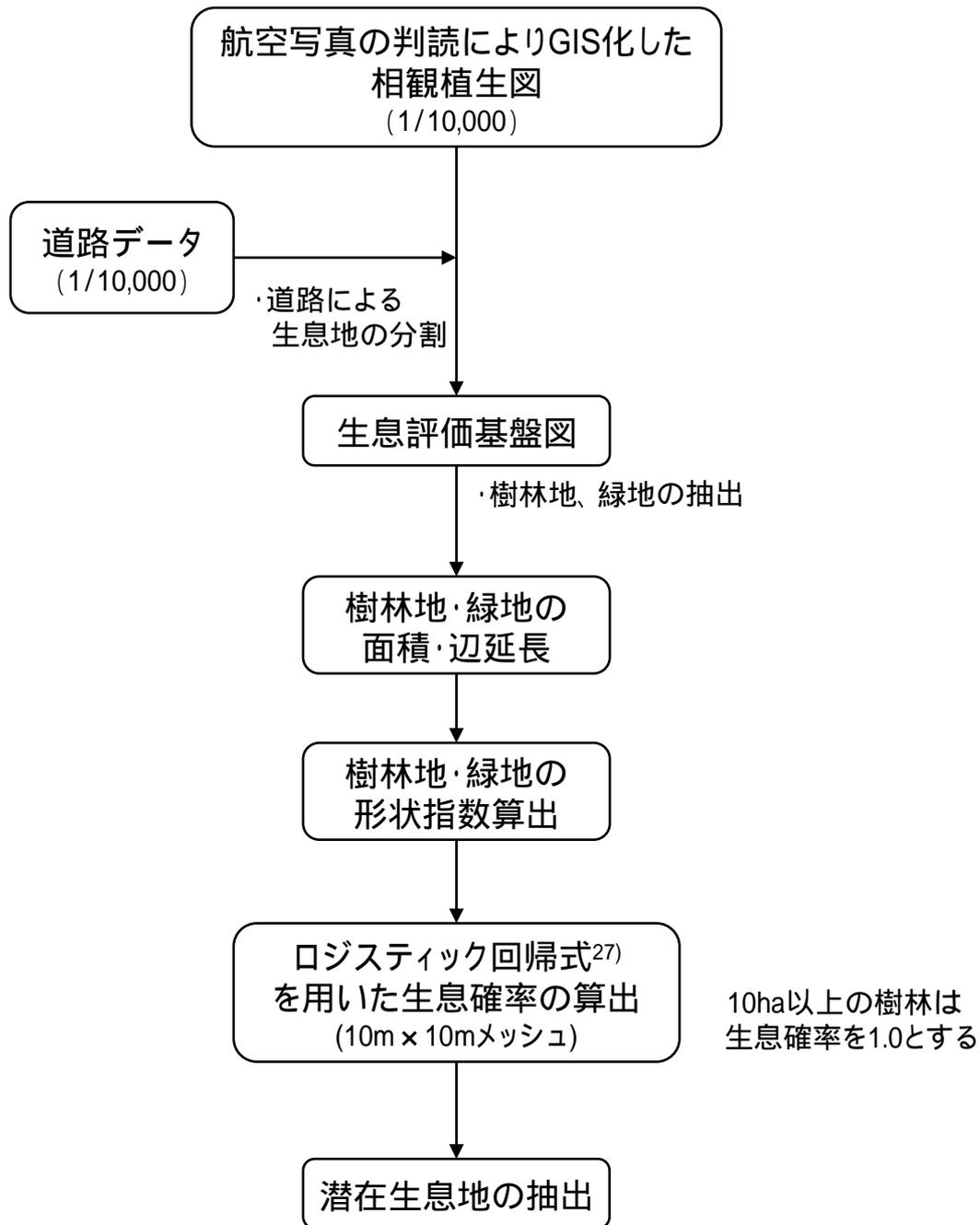


図-3.2.3.13 シジュウカラの生息地予測モデル構築手順（小域スケール）

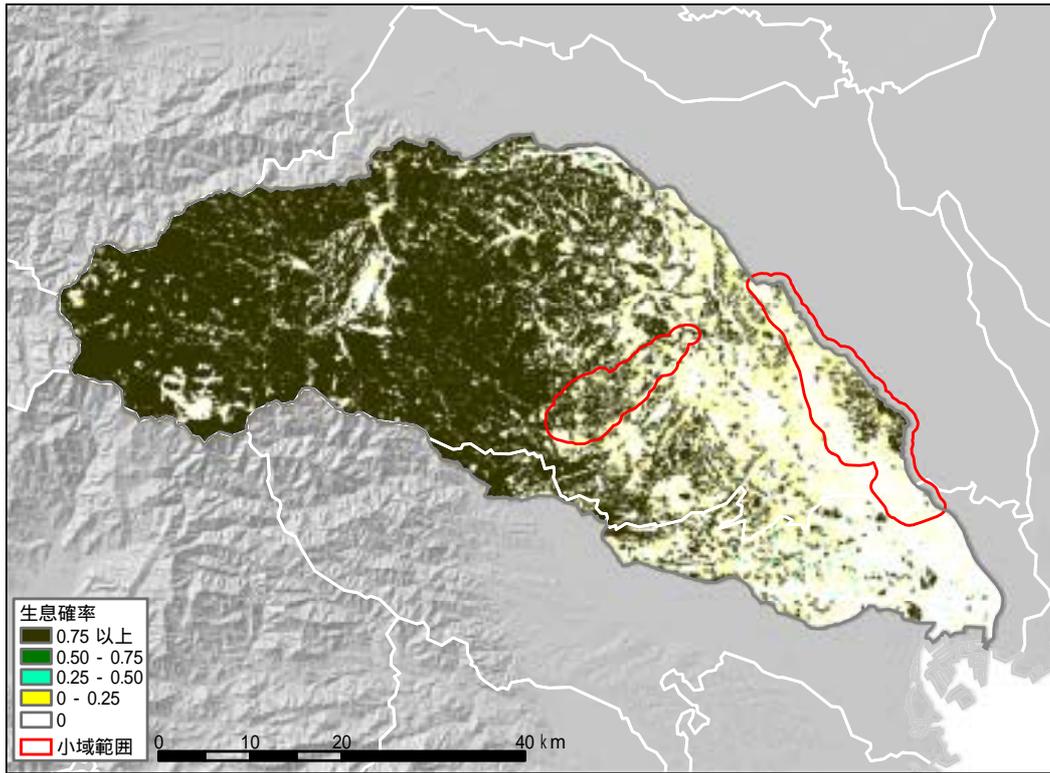


図-3.2.3.14 中域スケールにおけるシジウカラの潜在生息地。赤枠は小域スケールにおける潜在生息地の抽出範囲を示す(赤枠左：小畔川流域、赤枠右：芝川流域)

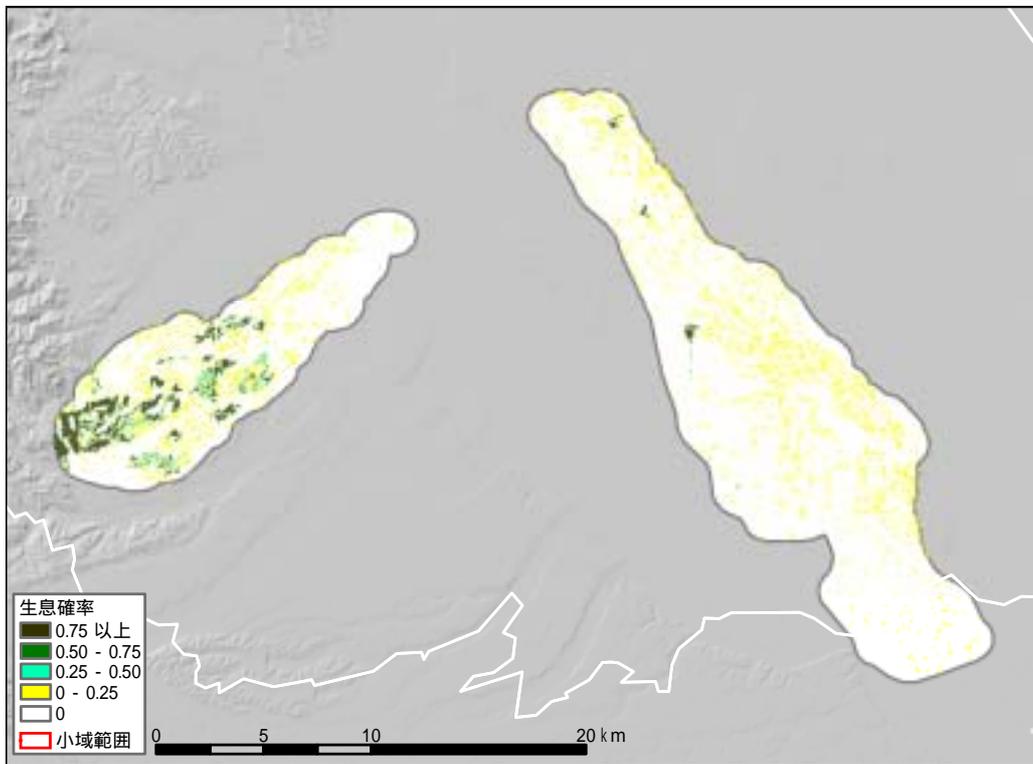


図-3.2.3.15 小域スケールにおけるシジウカラの潜在生息地(左：小畔川流域、右：芝川流域)

(4)まとめ

本研究では、ツキノワグマ、ニホンリス、サシバ、シジュウカラの4種類の野生動物について、種の生息空間に関する既存知見や、植生・地形等の環境要素を組み合わせることで生息地予測モデルを構築し、潜在生息地を抽出した。その結果、広範囲における潜在生息地の面的な分布や、質の高い地域の抽出が可能であることを示すことができた。また、環境省によってツキノワグマ、ニホンリス、シジュウカラの生息が確認された地域²⁹⁾(3次メッシュデータ)を、本研究で抽出した潜在生息地と重ね合わせたところ、広域スケールや中域スケールでは、適合度0.4以上または生息確率0.75以上の潜在生息地で9割程度の重なりが確認できた。本研究で構築したモデルは、現時点で得られた既存知見に基づいて構築しているため、完成されたモデルには至っていない。今後は、モデルの適合度や生息確率の統合の方法などについて、生息状況の現地調査により再検討し、モデルの改良やその検証を重ねることが必要である。

野生動物の生息地をモデル化して評価する手法については、近年、各種の学術研究が蓄積されつつあり、多様な手法が試みられている。本研究で構築したモデルのタイプは、知見から得られた生息必要条件を、模式化して設定した対象種のSI(適性指数)を組み合わせ、好適な生息地をHSI³⁰⁾などで評価する手法(本研究で構築した、ツキノワグマの生息地予測モデル)

生息情報と環境因子の関係を統計的手法により解析し、その結果得られた回帰式等を適用する手法(本研究で構築した、ニホンリス、シジュウカラ、サシバの生息地予測モデル)に大きく区分することができる。さらに、具体的なモデルの構築手法で分類すると、HSIモデル、ロジスティック回帰モデル、ツリーモデルに分類される(表-3.2.3.5)。モデルの構築手法によって、それぞれ長所、短所があるため、モデルの利用目的や得られるデータに適したものを選択する必要がある。今後、より詳しい生態情報が得られることでモデルがより実状に則したものになること、また、モデル構築の研究が進展することで、より精度の高いモデルの構築手法が築かれることが期待される。

表-3.2.3.5 生息地予測モデル構築手法別の長所、短所

モデルの構築手法	本研究でモデルを構築した種	長所	短所
HSIモデル	・ツキノワグマ	・モデルの修正が容易	・広域スケールでの事例が少ない
ロジスティック回帰モデル	・ニホンリス ・シジュウカラ	・確率値で示されるため結果の解釈が容易	・モデル式の修正が困難 ・ラスタデータでの適用が困難
ツリーモデル	・サシバ	・モデルの修正が容易 ・ラスタベースでの適用が容易 ・対象種の生息地の評価過程がわかりやすい	・客観的な閾値が必要 ・広域スケールでの知見が少ない

参考文献

- 1)環境庁編：平成5年版環境白書総説，大蔵省印刷局，1995．
- 2)ESRI ArcView3.2，8.3 (Spatial Analyst)
- 3)羽澄俊裕：ツキノワグマ，日本動物大百科第1巻哺乳類，株式会社平凡社，pp.144～147，1996．
- 4)米田政明：ツキノワグマ，日本の哺乳類，東海大学出版会，pp.113，1994．
- 5)環境省自然環境局生物多様性センター：生物多様性情報システム，(<http://www.biodic.go.jp/>)，平成17年11月現在．
- 6)埼玉県：改訂埼玉県レッドデータブック2002 動物編，(<http://www.pref.saitama.lg.jp/>)(平成17年11月現在)
- 7)東京都環境局：都版レッドデータブック(東京都の保護上重要な野生生物種 - 1998年版 -)，(<http://www.metro.tokyo.jp/>)，(平成17年11月現在)
- 8)山梨県：山梨県レッドデータ，(<http://www.pref.yamanashi.jp/pref/index.jsp>)，(平成17年11月現在)．
- 9)長野県：長野県版レッドリスト(脊椎動物編)，(<http://www.pref.nagano.jp/index.htm>)，(平成17年11月現在)．
- 10)日本野生動物保護センター：昭和58年度環境審査調査(動物調査)，1983．
- 11)石井信夫・由井正敏：林業と野生鳥獣の共存に向けて，(株)日本林業調査会，1994．
- 12)西垣正男・川道武男：ニホンリス，日本動物大百科第1巻哺乳類，株式会社平凡社，pp.70～73，1996．
- 13)石井信夫：ニホンリス，日本の哺乳類，東海大学出版会，pp.84，1994．
- 14)茨城県：茨城県版レッドデータブック<動物編>，(<http://www.pref.ibaraki.jp/>)，(平成17年11月現在)．
- 15)千葉県：千葉県の保護上重要な野生生物-千葉県レッドデータブック-動物編，(<http://www.pref.chiba.jp/index.html>)，(平成17年11月現在)．
- 16)村田晴子：水戸市周辺域の孤立した森林におけるニホンリス *Sciurus lis* の生息分布，東京農工大学2000年度修士論文，2001．
- 17)財団法人日本鳥類保護連盟：鳥630 図鑑，pp.62，1994．
- 18)森岡照明・叶内拓哉・川田隆・山形則男：サシバ，図鑑日本のワシタカ類，文一総合出版，pp.172～183，1995．
- 19)小島幸彦：サシバ，日本動物大百科第3巻鳥類，株式会社平凡社，pp.157～162，1996．
- 20)武内和彦・鷲谷いづみ・恒川篤史：里山の生態学，東京大学出版会，2001．
- 21)森下英美子・樋口広芳：文献調査にもとづく夏鳥の減少，夏鳥の減少実態調査報告，pp.1～10，東京大学渡り鳥研究グループ，1999．
- 22)群馬県：群馬県の動物レッドリスト (<http://www.pref.gunma.jp/>)(平成17年11月現在)．
- 23)小島幸彦：サシバの生態，サシバの生態等に関する勉強会資料(未発表)，2003．
- 24)東淳樹、時田賢一、武内和彦、恒川篤史：千葉県手賀沼流域におけるサシバの生息地の土地環境条件，農村計画論文集，18(別冊)：pp.253-258．1999．

- 25)財団法人日本鳥類保護連盟：鳥 630 図鑑，pp.272，1994．
- 26)中村登流：シジュウカラ，原色日本野鳥生態図鑑陸鳥編，株式会社保育社，pp.126，1995．
- 27)橋本啓史・夏原由博：ロジスティック回帰を用いた都市におけるシジュウカラの生息環境適合度モデル，ランドスケープ研究，Vol65,No5，pp.539-542，2002．
- 28)樋口広芳・塚本洋三・花輪伸一・武田宗也：森林面積と鳥の種数との関係，Strix 1，pp.70-78，1982．(<http://www.wing-wbsj.or.jp/strix/strix001/index.html> でダウンロード可能，平成 17 年 11 月現在)．
- 29)環境省：第 5 回自然環境保全基礎調査（生物多様性調査，種の多様性調査第 1 期，平成 9，平成 10 年度）．
- 30)U.S. Fish and Wildlife Service. Standards for the development of habitat suitability index models. 103 ESM. U.S. Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Service, 1981．(<http://www.fws.gov/policy/ESMindex.html> でダウンロード可能，平成 17 年 11 月現在)．

(B) 水域生態系モデル

(1) 研究の背景

高度成長期以降、各地の干潟や河川で埋め立てや護岸工事などが進められてきたことにより、水質や環境の悪化、生物やその生息・生育場の減少などの問題が生じてきた。例えば、東京湾を例にとると、埋め立てにより干潟の90%以上、東京湾の総面積の20%が消失したとされ、かつてはごく普通に見られていたアサリやアマモも、現在は限られた地域でしか確認されていない¹⁾。

こうした経緯をふまえ、干潟や河川本来の姿を取り戻すため、1997、1999年に河川法、海岸法が改正され、「環境や生態系への配慮」という視点が加えられた。また、各地で干潟の造成や従来生息・生育していた種の植え付けなど様々な取り組みも行われている^{2)・3)}。

このような取り組みの効果をより高め、本来の生態系を回復させ、自然共生型の社会を築いていくためには、さまざまな取り組みによる水域生態系への影響を予測、評価し、さらなる取り組みへ反映させていくことが重要である。

本研究においては、流域・都市再生施策による水域生態系への影響、効果を評価できる水域生態系モデルの作成を行った。

(2) 本研究における水域生態系モデルの開発目標

本研究において作成する水域生態系モデル(以下「モデル」という)は、生物の数量的変化を予測するものではなく、施策による水域の物理環境の変化、及び生物の生息・生育場としての適性の変化を評価できるものとした。そこで、ハビタット評価手続き(HEP: Habitat Evaluation Procedures)で用いられているハビタット適性指数(HSI: Habitat Suitability Index)をベースにモデルを作成した。HEPの概要については、次項に記す。また、モデルの構築から検討結果の図化までの一連の作業はGISを用いて実施した。

なお、本研究においては、閉鎖性水域である東京湾と霞ヶ浦、及び東京湾に流入する大川である多摩川、荒川を対象とした。ここでは、このうち東京湾、霞ヶ浦、多摩川について示す。

(3) 水域生態系モデルの概要

1) HEPとは⁴⁾

本研究では、HEPで用いられているHSIをベースとし、生活史ごとの生息・生育場の条件、餌条件、産卵場条件等の知見、過去から現在までの生息・生育状況の変化等のデータをもとにモデルを作成した。

HEPは、指標種にとっての生息・生育場の価値を、場の質、量(面積)、時間によって定量化する手法である。ここで場の質を表すものがHSIであり、指標種の生息・生育に大きく影響する環境要因を抽出し、その要因ごとに適性指数(SI: Suitability Index)を推定し、それらを結合させることによって算出する(図-3.2.3.16)。SIとは、対象とする種の生息・生育状況を左右する環境要因について、生息・生育環境としての適性さの程度を0.0から1.0までの幅で示したもので、SI=0.0は全くふさわしくない環境であることを、SI=1.0

は好ましい環境であることを示す。

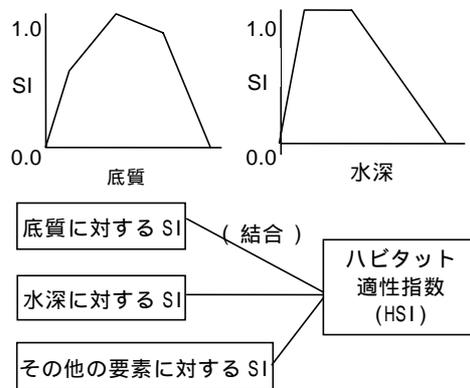


図- 3.2.3.16 生息・生育場のハビタット適性指数作成概念

生息・生育場の質については HSI で表現できるが、事業実施予定地と代替地とを比較する場合などには、HSI の値に対象地の面積を乗じて、対象地全体の生息・生育場としての価値を定量化する。

この手法は、アメリカにおいて 1976 年に第 1 版が作成された。当時アメリカでは、魚類野生動物調整法の改正(1958 年)、国家環境政策法の施行(1970 年)を受け、開発事業が野生生物に与える影響や保全措置の効果を評価する手法が強く求められていた。そこで、生物学者や州政府機関職員等から成る委員会の勧告を受け、下記の 4 点を満たす影響評価手法であることを目指して作成が進められた。

アメリカ全土の様々なプロジェクトに適用できる、標準的な手法であること
事業等による影響の度合や、必要とされる代償量を測定し、代替案を比較、評価するための定量的な方法であること

自然という市場に馴染みにくい資源を評価するため、非金銭的な観点から評価できる方法であること

生物個体群の変動ではなく、その土地全体が持つ個体群を支える力を評価できる方法であること

こうして開発された初期の HEP は、ハビタットの質について主観的に測定されるなどの課題があったが、その後ハビタットの質の定義の明確化や、再現性の向上を目指した改良が進められた。現在利用されているのは、1980 年に完成した第 3 版である。

日本においても、環境保全策の効果を定量的に示すことができ、事業実施の際の合意形成ツールとしての活用が期待できることなどから近年注目されている手法であり、本研究においてもこの手法に基づいたモデルの作成を行った。

2) 指標種選定の考え方

生態系モデルにおける指標種は、表- 3.2.3.6 に示す観点から選定した。

表- 3.2.3.6 生態系モデルにおける指標種選定の観点

カテゴリー	観 点
環境代表性	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの生物種が生息・生育する場所(エコトーン)を代表できること ・分布が極めて狭い範囲に特定されないこと
環境要求性の幅と情報量	<ul style="list-style-type: none"> ・生息・生育場の基盤(底質)と直接的な関連性をもつこと ・ハビタットに対する特有の選択性があること ・生息・生育条件に関する多くの情報があること
将来的な利用適性	<ul style="list-style-type: none"> ・在来種であること、あるいは、固有性があること ・一般の人々になじみが深く、自然再生のシンボルとなり得ること ・生息・生育状況が比較的容易に確認できること

3) 環境因子の抽出

生物にとって必要となる環境因子は複数であることが多く、それら複数に渡る環境因子のうち生息・生育状況を左右すると考えられる代表的なものを抽出してモデル化した。これらの代表的な各環境要因の選定については、学術論文収集や専門家ヒアリングなどを実施し、指標種に対する影響が大きいと考えられる環境要因を選定した。

4) 環境現況データの作成

任意の場(地理的に区切られた範囲)において、その「場」が対象生物にとってどれだけ好適であるかを評価するためには、その場が持つ環境特性をあらかじめ把握しておく必要がある。そこで、対象となる水域ごとに環境特性にかかるデータを表- 3.2.3.7に示す通り整理し、GIS データベースとして整理した。

表- 3.2.3.7 環境現況データの整理方法

東京湾		湾内の水深データをベースとして 250m メッシュデータを作成し、そのメッシュ規格にあうよう各環境測定データをメッシュデータとして作成した。なお、各環境現況データはほとんどがポイントデータであるため、IDW(Inverse Distance Weighting)法によって補間し、メッシュ展開の計算を行うことで、水質・底質のメッシュデータを作成した。
霞ヶ浦	ヨシ群落、沈水植物、浮葉植物、オオヨシキリ	湖岸を距離標で区切る形で作製したラインデータとして整理した。また、環境現況データはほとんどがポイントデータであるため、各点の間は補間計算を行い、ラインデータに展開した。
	ヤマトシジミ、シラウオ、ワカサギ	250m メッシュデータを作成し、そのメッシュ規格にあうよう各環境測定データをメッシュデータとして作成した。
多摩川、荒川		河川を距離標で区切る形で作製したラインデータとして整理した。また、環境現況データはほとんどがポイントデータであるため、各点の間は補間計算を行い、ラインデータに展開した。

5) HSI の算出

整備した環境特性にかかるデータを SI モデルに入力することで、任意の場における各環境因子に対する SI を算出し、それらを総合的に結合することで HSI を算出する。SI の結合は通常、各 SI の積、最小値選択、幾何平均、算術平均などの手法をとる。そこで、それら 4 つの手法によるそれぞれの HSI 値と実測値とを比較検討することにより、最も高い再現性を持つ手法について検討した。

(4) インターフェイスの整備

1) 開発方針

作成したモデルを用い、各環境要因を変化させた場合等の生息・生育環境の変化の程度を把握するための解析インターフェイスを開発することとした。プラットフォームとしては Arc GIS 9.0 を想定した。その他必要な環境として、Microsoft Windows XP、Microsoft Excel(2002 以上)、HD 空き容量 500MB 以上、メモリ 512MB 以上を想定した。

2) インターフェイス

解析インターフェイスは、東京湾、霞ヶ浦、多摩川、荒川の水系ごとに用意されており、GIS をプラットフォームとしている(図- 3.2.3.17)。

インターフェイス上では、「モデル選択」及び「シミュレーション」を行うことができ、各 SI モデルを変更した場合の HSI の変化、対象水域全体もしくは選択範囲における環境現況データを変更した場合の HSI の変化が検討できる。

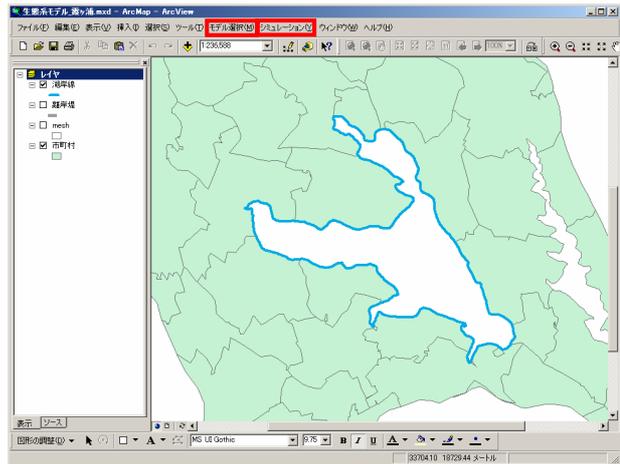


図- 3.2.3.17 インターフェイスの表示例

3) 入力データ

モデルへの入力データは、環境要因の実測値をもとに作成された環境データと、SI モデルのパラメータがある。環境データは、それぞれメッシュデータやラインデータとしてエクセルに整備されており、それらを GIS 上に読み込むことによって計算を行っている。これらのデータについては、GIS インターフェイス上で範囲を指定し(図- 3.2.3.18左)、変更することが可能である(図- 3.2.3.18右)。また、各環境要因の SI モデルについてもエクセル上で整理されており、容易に変更することが可能である。



図- 3.2.3.18 環境データの変更方法(左：変更範囲選択画面、右：条件設定画面)

4) 可視化

GIS プラットフォームからは、変更後の環境データを、現況データとともに表示することができる(図- 3.2.3.19)。また、変更後の環境データを用いて SI、HSI を計算し、その結果を表示することができる。シミュレーション結果の表示は、変更前と変更後の HSI が比較できるように並べて表示される(図- 3.2.3.20)。

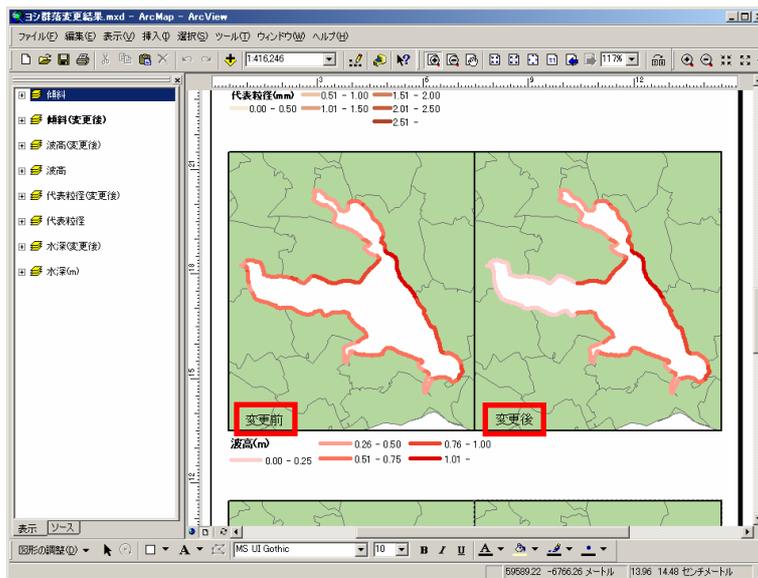


図- 3.2.3.19 変更後の環境データの表示例

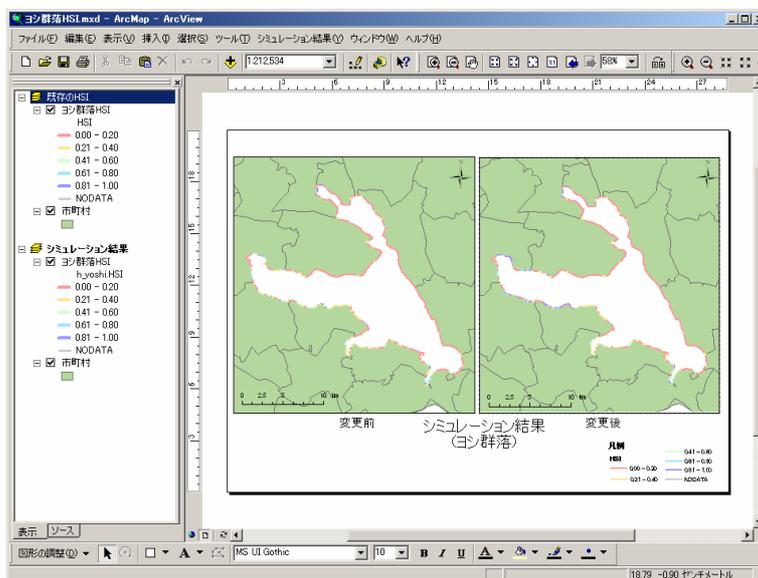


図- 3.2.3.20 環境データ変更後の HSI 算出結果の表示例

5) GIS 上での具体的な操作

GIS 上での具体的な操作手順は、巻末の DVD 資料に示す通りである。

(5) 東京湾を対象にした検討

1) 指標種の選定

東京湾における生物の生態と生息・生育環境の特徴を踏まえ、以下のように水域生態系予測モデルの指標種の選定を行った。表- 3.2.3.8に、東京湾において選定した指標種と、その代表する環境類型区分について示した。

表- 3.2.3.8 東京湾において選定した指標種

指標種	環境類型区分	環境類型区分との関係
アマモ	干潟とそこに連続する浅場	波の穏やかな砂泥地の漸深帯で、光量が十分に届く内湾に生育する。
ワカメ	護岸構造物で囲まれた海	本来、岩礁に生育するが、護岸構造物の直立壁にも群落を形成する。
イシガレイ	干潟とそこに連続する浅場 河口にみられる干潟 人工的な干潟	着底稚魚は、河口域や波打ち際の水深1m以浅の砂泥海底で生活する。
チゴガニ	干潟とそこに連続する浅場 河口にみられる干潟 人工的な干潟	河口、干潟の砂泥底の高潮付近に生息する本種は、開放的な泥底干潟部に生息する代表的な動物である。
アサリ	干潟とそこに連続する浅場	干潟と漸深帯にかけて生息する代表的な種である。
ダイシャクシギ	干潟とそこに連続する浅場	規模の大きい干潟を指標するとともに、各干潟の最大範囲までを指標する鳥類である。

以下に、アマモとアサリについて結果を示す。

2) アマモ

a) 環境要因の選定

表- 3.2.3.9に東京湾のアマモについて検討した環境要因の一覧を示す。

表- 3.2.3.9 東京湾のアマモについて検討した環境要因一覧

環境要因	選定・非選定	要因を表現する因子	人為的改変やダイナミズムとの関係
砂面変動	非選定	シールズ数	・土砂供給の変化 ・港湾施設による流況変化
水深	選定	水深	・埋め立てによる砂泥浅場の縮小
水質	水温	水温	-
	水中光量	水中光量	・汚濁負荷の流入
	塩分	塩分	・河川水の流入
底質	粒度組成	泥分率	・土砂供給の変化・港湾施設による流況変化
	栄養塩	無機態窒素	・汚濁負荷の流入 富栄養化
	生育阻害物質	全硫化物	・汚濁負荷の流入 富栄養化 貧酸素水塊

b) 適性指数(SI)の検討

表- 3.2.3.10に各環境要因の適性指数(SI)の決定理由を、図- 3.2.3.21にその結果を示す。

表- 3.2.3.10 適性指数の決定理由

環境要因	適性指数(SI)の決定理由
水深	干出の観点からは、干出していない場所が適していることから、干出しない朔望平均干潮位相当水深が限度と思われる。生育水深は、内湾では浅く、外洋では深くなる傾向があり、波浪、砂面変動の観点から安定的に群落が存在するのは、概ね平均潮位下 2m 以深と判断される。既往報告 ^{5)・6)} を踏まえ、ここでは、干出と砂面変動の観点から周年に渡り干出しないと考えられる水深 1.2m を適性値 0.0 とし、平均潮位下 2m 以深を適性値 1.0 とした。
水中光量	アマモの生育環境因子として水中光量を検討する際の対象時期は、青潮が発生し始め透明度が最も低い 6～7 月時期とした。また文献情報 ^{5)・7)} に基づき、2.1 E/m ² /day 以下を適性値 0.0、3.0 E/m ² /day 以上を適性値 1.0 とした
塩分	文献情報 ^{5)・8)} に基づき、ここでは、成長が抑制される 11‰以下、及び生育に不適とされる 40‰以上を適性値 0.0 とし、発芽率が良好であるとされる 17～34‰を適性値 1.0 とした。
泥分率 (シルト・粘土分率)	文献情報 ⁹⁾ に基づき、ここでは、泥分率 30%以下を適性値 1.0、30%以上を適性値 0.0、砂泥分が 80%以下を適性値 0.0、80%以上を適性値 1.0 とした。なお、東京湾沿岸では、ほぼ全域で砂泥分率が 90%以上であることから、本モデルでは泥分率を採用して検討するものとし、生育因子として差異を示しにくい砂泥分率については扱わないこととする。

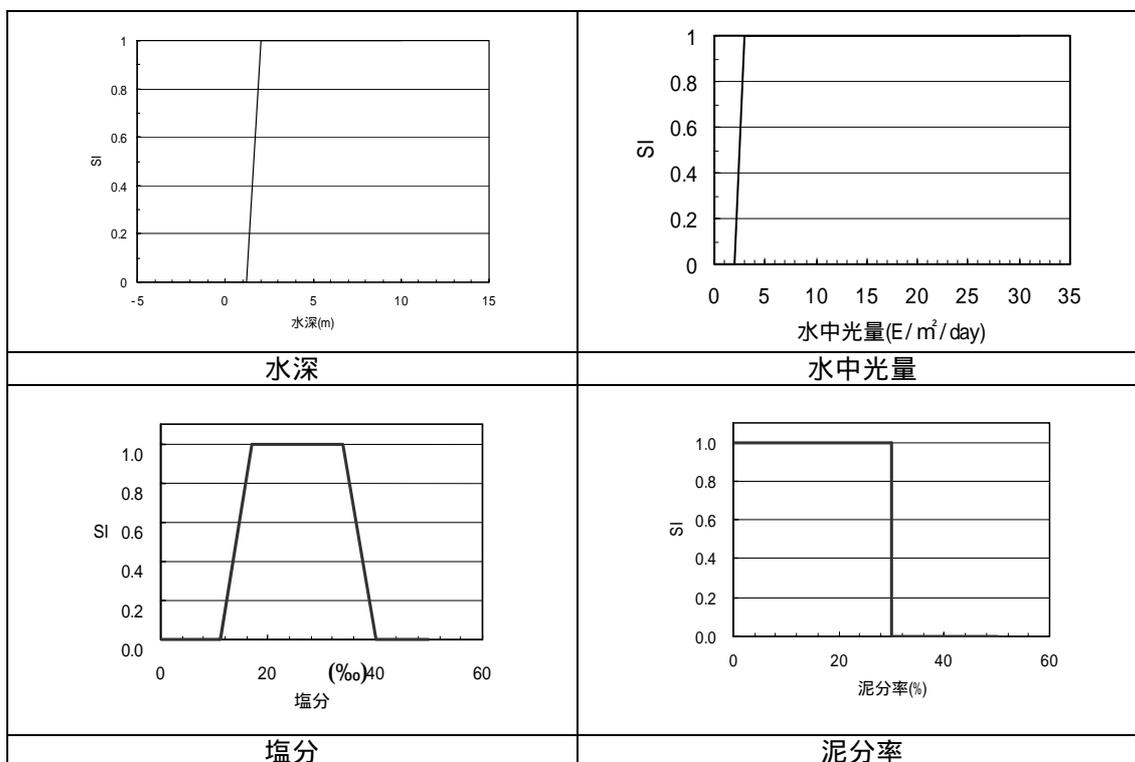


図- 3.2.3.21 適性指数の検討結果

c) ハビタット適性指数(H S I)の検討

各環境要因の適性値は、実海域における水温、塩分等の他の環境要因も含めた生育実態に基づくものであるが、実測データが不足しているため、どの環境要因がアマモの生育環境として支配的であるのか判断するには至っていない。よって、ここではアマモの生育に対する各因子の影響が同等と仮定してSIの積をHSIとした。

$$HSI = SI_{\text{水深}} \times SI_{\text{水中光量}} \times SI_{\text{塩分}} \times SI_{\text{泥分率}}$$

アマモの現況分布と、本モデルによるHSI分布の比較を図-3.2.3.22に示す。これらを比較すると、三番瀬等の東京湾奥の浅場における再現性は概ね良いと考えられる。ただし、良好なアマモ場として知られている盤州干潟については、HSIは低いままであり、十分な再現性を確保できていないと考えられる。

これは、底質の現存データの密度が粗いため、特に良好な環境である浅場の底質を十分に再現出来ていない故に生じる現象であると推察される。

今後、再現性を更に向上させることを考えた場合には、水深データと同様、浅海部において観測密度の濃い底質データを用い、環境現況の再現性の向上を図る必要があるものと推察される。

特に浅場は東京湾内においてスポット的に好適な環境を呈していると考えられることから、湾内をマクロの視点で捉えたデータでは再現性に疑問がある場合がある。よって、干潟環境に着目して調査した際のデータなどにより、底質データの補完を行うことが望ましい。

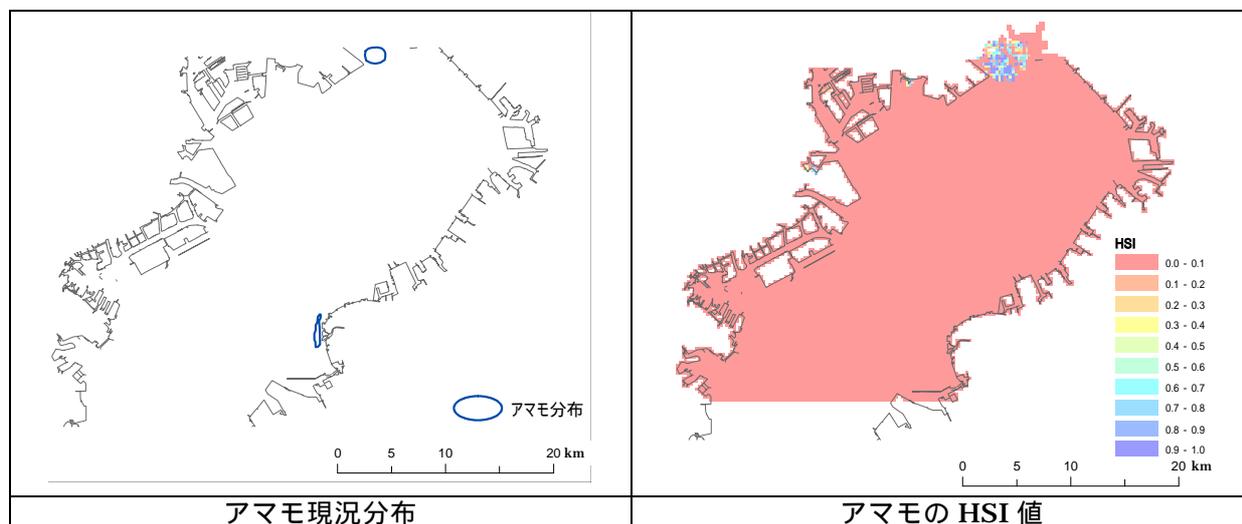


図-3.2.3.22 アマモの現況分布と HSI 値の比較

3) アサリ

a) 環境要因の選定

表- 3.2.3.11に東京湾のアサリについて検討した環境要因の一覧を示す。

表- 3.2.3.11 東京湾のアサリについて検討した環境要因一覧

環境要因		選定・非選定	要因を表現する因子	人為的改変やダイナミズムとの関係
水深		選定	水深	・埋め立てによる砂泥浅場の縮小
水質	水温	非選定	水温	-
	DO	選定	青潮発生時(7~9月)のDO最低値	・汚濁負荷の流入 富栄養化 貧酸素水塊
	塩分	非選定	最降雨月(9月)の塩分	・河川水の流入
底質	有機物量	選定	強熱減量	・汚濁負荷の流入
	生息阻害物質	選定	全硫化物	・汚濁負荷の流入 富栄養化 貧酸素水塊
	好気性	非選定	酸化還元電位	・汚濁負荷の流入 富栄養化 貧酸素水塊
	粒度	非選定	泥分率(シルト・粘土分率)	・土砂供給の変化・埋め立てによる砂泥浅場の縮小・港湾施設による流況変化
選定		中央粒径		

b) 適性指数(SI)の検討

表- 3.2.3.12に各環境要因の適性指数(SI)の決定理由を、図- 3.2.3.23にその結果を示す。

表- 3.2.3.12 適性指数の決定理由

環境要因	適性指数(SI)の決定理由
水深	文献情報 ¹⁰⁾ より、まず干出に弱いことが大きく寄与するとされることから、干出しない朔望平均干潮位相当水深付近の水深 1.2m を、また調査結果の平均値から水深 3.0m を適性値 1.0 とした。三番瀬の調査結果において生息水深が+1.5m ~ 10.2m(A.P.)の範囲であったと報告されていることから ¹¹⁾ 、このデータを生息範囲の上下限として設定することとした。なお、ここで A.P.は T.P.に変換し、+0.4m(T.P.)を上限、水深 11.3m(T.P.)を下限とし、それぞれ適性値 0.0 とした。
DO	実験により求められた致死酸素量より、1mg/L を適性値 0.0 として設定した ¹²⁾ 。また、水産用水基準において、海域の望ましい水質条件として示されている 6mg/L 以上を、適性値 1.0 とした。
強熱減量	文献情報 ^{11)・13)} より、0.5%以下、9%以上を適性値 0.0 とし、また 2.1~3.4%を適性値 1.0 とした。
全硫化物	水産用水基準で示されている阻害的影響がではじめる濃度である 0.9mg/g までを適性値 1.0 とした。また、実験結果 ¹⁴⁾ で示されたアサリの生存限界より、2.4 mg/g(乾泥)以上を適性値 0.0 とした。
中央粒径	文献情報 ^{11)・14)} より、ここでは、三番瀬において生息密度が極大を示した 0.202mm から、実験において全数が潜砂する(生存できることを意味する)0.55mm までの間を適性値 1.0 とした。また、三番瀬における実測値から、0.016mm 以下で生息が確認されなかったこと、また実験において潜砂時間が長期化することが報告されている(長時間潜砂出来ないことは、斃死を意味する)ことから、0.016mm の近似値として 0.0mm を、また 4.2mm 以上を適性値 0.0 とした。

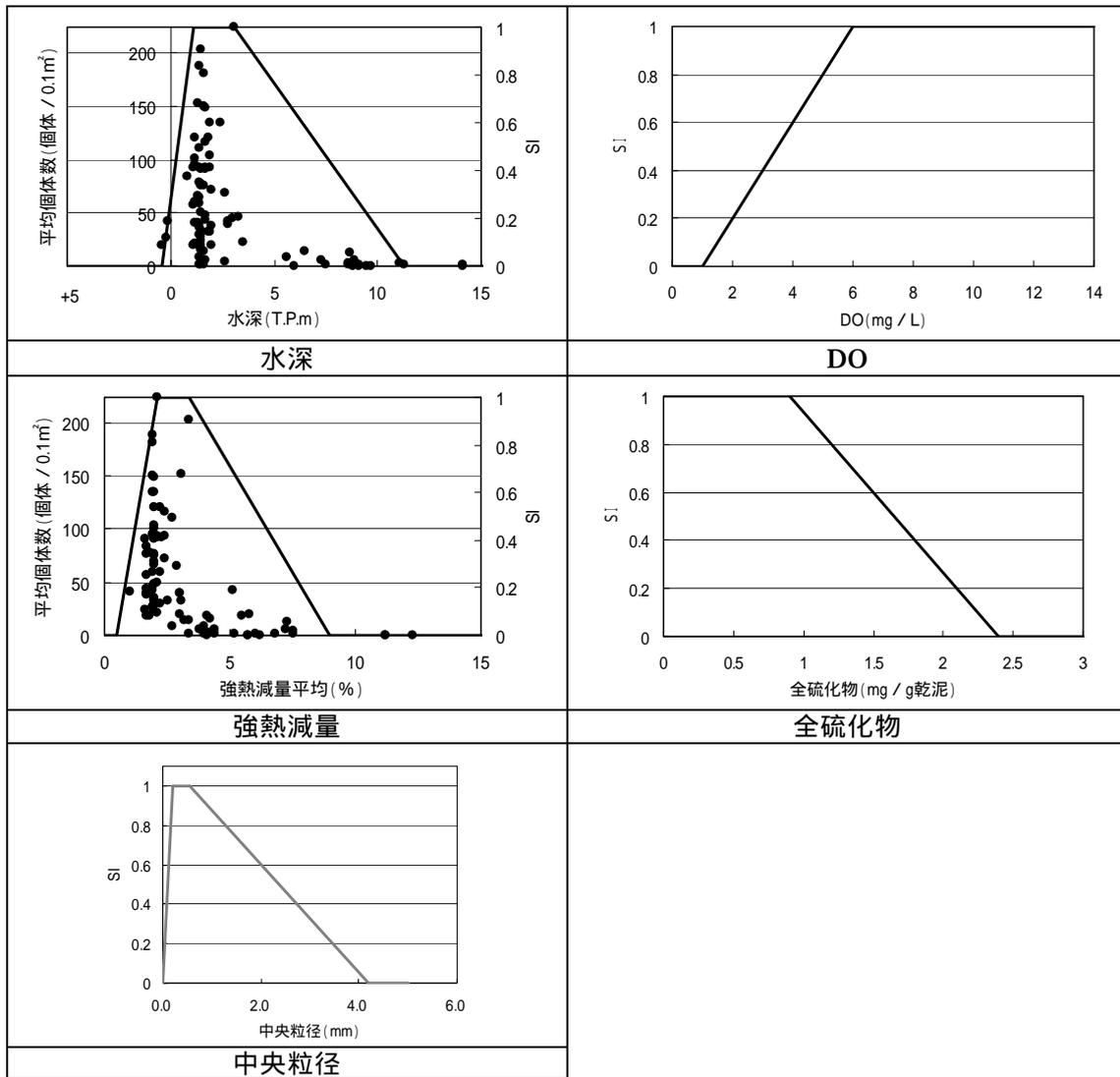


図- 3.2.3.23 適性指数の検討結果

c) ハビタット適性指数(H S I)の検討

積、最小値選択、幾何平均、算術平均の4手法により、すべてのSIを用いた場合のHSI値算出を試行した結果、本データについては算術平均による算出値がもっとも説明率が高かった。しかし、算術平均によるHSI値はアサリの生息場として適さないところについても高い値を示した。本モデルの使用目的が主に場の評価であることを考えると、説明率の高さと共に、現況の再現性の高さが評価されるべきであると考えられる。従って、東京湾におけるアサリのHSIモデルとして算術平均の次に説明率が高く、現況再現性も高かった積を用いることとした。

$$HSI = SI_{\text{水深}} \times SI_{\text{DO}} \times SI_{\text{強熱減量}} \times SI_{\text{全硫化物}} \times SI_{\text{中央粒径}}$$

アサリの現況分布と、本モデルによるHSI分布の比較を図- 3.2.3.24に示す。これらを比較すると、三番瀬等の東京湾奥の浅場における再現性は概ね良い。一方、盤州干潟のHSIは、多少高くは示されるものの三番瀬等湾奥部に比較して低く、再現性に乏しい。こ

これは、底質の現況データの精度に起因するものと推察される。今後、更にモデルを改良して再現性を更に向上させることを考えた場合、アサリの生息地である浅海部における環境現況の再現性の向上を図る必要があるものと推察される。特に浅場は東京湾内においてスポット的に好適な環境を呈していると考えられることから、湾内をマクロの視点で捉えたデータでは再現性に疑問がある場合がある。よって、干潟環境に着目して調査した際のデータなどによるデータ補完を行うことが望ましい。

また、横浜付近にみられる HSI の高いエリアは、データの信頼性を除いて考えた場合、アサリ生息場としてのポテンシャルを有するものと考えられる。東京湾西岸に張り巡らされた水路脇の小面積の干潟ではアサリ等が生息することが知られており、臨海部の公園とあいまって市民の憩いの場として機能している。横浜付近の HSI が高いエリアにおいても、干潟としての整備を行うことで市民の憩いの場となる可能性が示唆される。

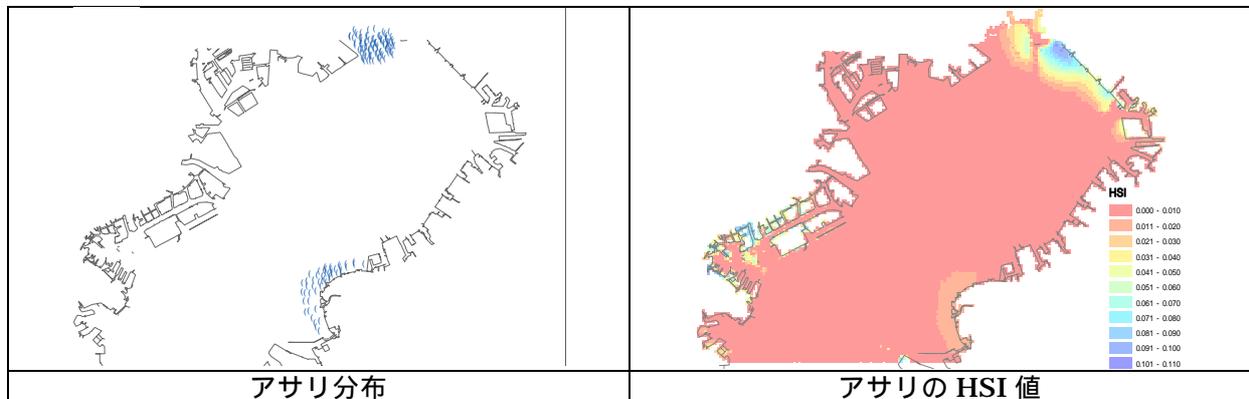


図- 3.2.3.24 アサリの現況分布と HSI 値の比較

(6) 霞ヶ浦を対象にした検討

1) 指標種の選定

霞ヶ浦における生物の生態と生息・生育環境の特徴を踏まえ、以下のように水域生態系予測モデルの指標種の選定を行った。表- 3.2.3.13に、霞ヶ浦において選定した指標種と、その代表する環境類型区分について示した。

表- 3.2.3.13 霞ヶ浦において選定した指標種

指標種	環境類型区分	環境類型区分との関係
ヨシ群落	水辺移行帯の植生	水辺移行帯に生育する代表的な群落である。
ヤマトシジミ	浅場の泥底	河川下流域などの泥底干潟部に生息する代表的な動物であり、かつての霞ヶ浦には多く生息していた種である。
シラウオ	浅場の砂地	浅場の砂地に産卵する。
ワカサギ	浅場の砂礫地	浅場の砂礫地に産卵する。
オオヨシキリ	水辺植生により供給される生息地	水辺に近いヨシ群落を主な営巣地とする。
浮葉植物	水辺移行帯の植生	水辺移行帯に生育する代表的な植生である。
沈水植物	水辺移行帯の植生	水辺移行帯に生育する代表的な植生である。

以下に、ヨシ群落について結果を示す。

2) ヨシ群落

a) 環境要因の選定

表- 3.2.3.14に霞ヶ浦のヨシ群落について検討した環境要因の一覧を示す。

表- 3.2.3.14 霞ヶ浦のヨシ群落について検討した環境要因一覧

環境要因	選定	要因を表現する因子	人為的改変やダイナミズムとの関係
水深	選定	水深	・浚渫や護岸工事などによる浅場の減少
水際	非選定	水際線からの距離	・浚渫や護岸工事などによる浅場の減少
傾斜角	選定	傾斜角度	・浚渫や護岸工事などによる遠浅な水辺環境の減少
底質	選定	代表粒径	・堆積、侵食作用による生育基盤となる底質の変化
波浪	選定	春季最大有義波高	・沈水植物などの減少に伴う波浪の影響の増大
流水	非選定	河川流入点からの距離	・フラッシュによる土壌の流出

b) 適性指数(SI)の検討

表- 3.2.3.15に各環境要因の適性指数(SI)の決定理由を、図- 3.2.3.25にその結果を示す。

表- 3.2.3.15 適性指数の決定理由

環境要因	適性指数(SI)の決定理由
水深	観測データ ¹⁵⁾ を元に、水深 2.0m 以深は適性値 0.0 とし、水深 1.2m から標高 0.2m までは適性値 1.0、標高 0.5m 以上は適性値 0.0 とした。
湖岸勾配	文献情報 ¹⁶⁾ からは定量的な記述が得られなかったが、なだらかな湖岸に発達し急深な地域には少ないこと、抽水植物帯の幅と湖岸勾配の間に有意な相関が確認されていることを基に、観測データ ¹⁵⁾ から検討した結果、ヨシ群落幅が大きい傾向を示した湖岸勾配 0.00 ~ 0.01 の間を適性値 1.0 とし、半減する値である 0.03 では適性値 0.5、また最高値付近の 0.15 以上を適性値 0.0 とした。
代表粒径	文献情報 ¹⁷⁾ から、細砂(0.2mm)以下の細かい粒子において良好な活着率を示すとされている。また観測データ ¹⁵⁾ から読み取ったヨシ群落幅と代表粒径との関連性からも、細砂(0.2mm)付近においてヨシ群落幅が大きいことがみとれる。よって、代表粒径 0.0 ~ 0.2mm までを適性値 1.0 とした。0.2mm 以上の粒径については、観測データから、ヨシ群落幅と代表粒径との関連をみると、1.0mm までの間でほぼ半減することから、1.0mm を適性値 0.5、それ以上については 2mm を適性値 0.2、5.0mm を適性値 0.1 とし、最高値に近い 9.0mm において適性値 0.0 とした。
波高	文献情報 ¹⁸⁾ からは定量的な値は得られなかったものの、抽水植物帯幅と波高には有意な関係があるとされた。よって、観測データ ¹⁵⁾ より、春季最大波高 0.0 ~ 0.3m までを適性値 1.0 とし、0.8m を適性値 0.8、1.2m を適性値 0.0 とした。

c) ハビタット適性指数(HSI)の検討

積、最小値選択、幾何平均、算術平均の 4 手法により、すべての SI を用いた場合の HSI 値算出を試行した結果、本データについては積による算出値がもっとも説明率が高かった。従って、霞ヶ浦におけるヨシ群落の HSI モデルとして次の式を用いることとした。

$$HSI = SI_{\text{水深}} \times SI_{\text{湖岸勾配}} \times SI_{\text{代表粒径}} \times SI_{\text{波高}}$$

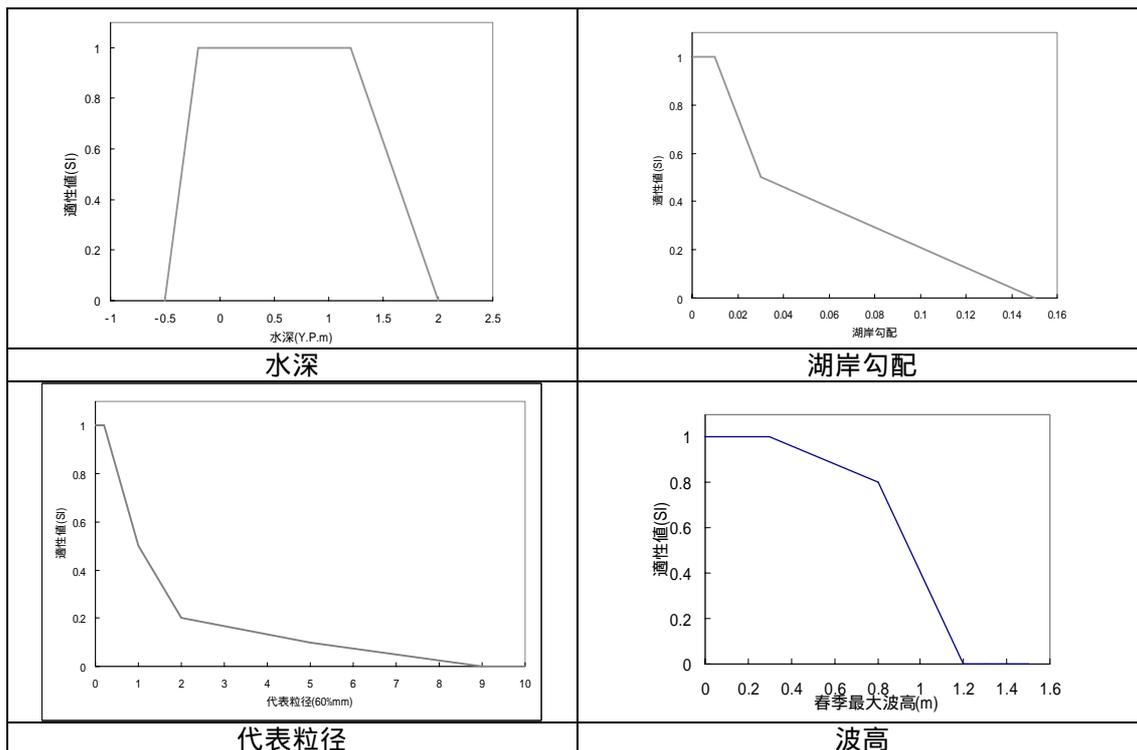


図- 3.2.3.25 適性指数の検討結果

本モデルによる HSI 分布状況と現況分布データ(ここではヨシ群落幅を現況データとして考察する)との比較を行うと、ほぼ全域において再現性は概ね良いと考えられる(図-3.2.3.26)。これは観測データが多く、かつデータの持つばらつきが相対的に少なかったことが要因として挙げられる。

なお、今後、更にモデルの再現性の向上を目指すためには、たとえば現在湖岸勾配と群落幅から水深値を求めているものを、深浅測量図面から読みとった実測値を用いる、底質調査を実施して代表粒径を実測する等によりラインごとの環境データをより現実的なものに置き換える等の策が考えられる。

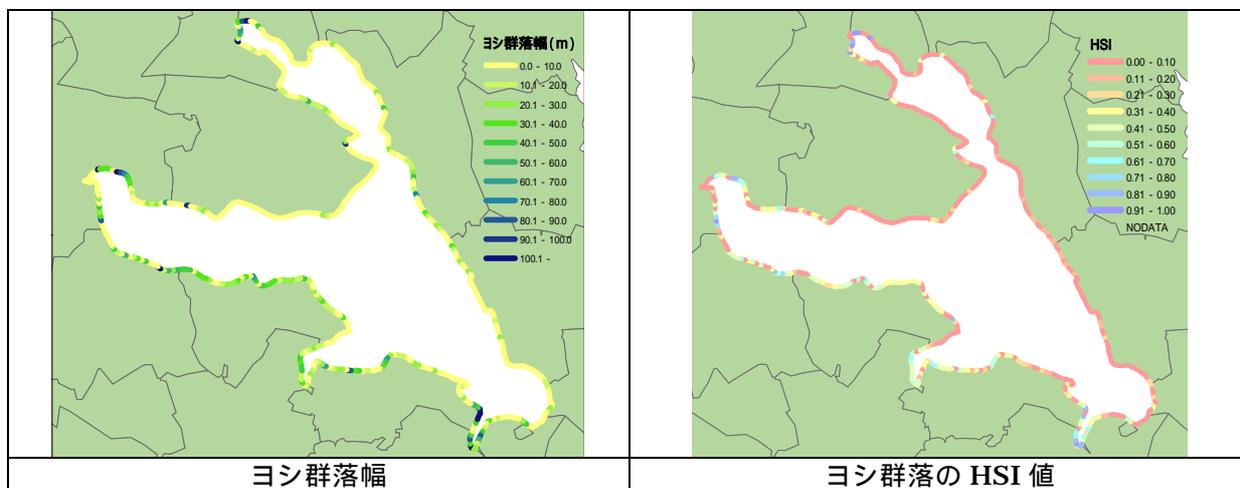


図- 3.2.3.26 ヨシ群落の現況分布と HSI 値の比較

(7) 多摩川を対象にした検討

1) 指標種の選定

多摩川における生物の生態と生息・生育環境の特徴を踏まえ、以下のように水域生態系予測モデルの指標種の選定を行った。表- 3.2.3.16に、多摩川において選定した指標種と、その代表する環境類型区分について示した。

表- 3.2.3.16 多摩川において選定した指標種

指標種	環境類型区分	指標種と環境類型区分との関係
モクズガニ	海との生態的つながり	通し回遊種であり、成体の生息場所(河川域)と繁殖場所(汽水・海域)がつながっている必要がある。また、アユのように放流が盛んではないため、本種の生息は河川と海との連続性を反映していると考えられる。
チゴガニ	河口干潟	河川下流域の泥底干潟部に生息する代表的な動物であり、河口付近の水辺移行帯を反映する種と考えられる。
メダカ	下流域の周辺水域とのつながりをもつ止水域	河川の止水域や水たまり、水田とその小水路、浅い池沼などに生息しており、河川下流域の環境を反映する種と考えられる。
カワラノギク	中流域の礫河原	中流域の氾濫原礫河原を反映する種だと考えられる。
ホトケドジョウ	上流域の冷水性環境	冷水性で湧水のあるような環境に生息する代表的な動物であり、河川上流域を反映する種と考えられる。
ヤマメ	上流域	河川上流に生息する代表的な冷水性魚類であり、河川上流域の環境条件を反映する種と考えられる。
カジカ	中流域	河川中流域に生息する代表的な底生魚であり、河川中流域の環境条件を反映する種と考えられる。
マハゼ	下流域	河川下流域～河口部に生息する代表的な底生魚であり、河川下流域～河口部の環境条件を反映する種と考えられる。

以下に、ヤマメについて結果を示す。

2) ヤマメ

a) 環境要因の選定

表- 3.2.3.17に多摩川の子ヤマメについて検討した環境要因の一覧を示す。

表- 3.2.3.17 多摩川の子ヤマメについて検討した環境要因一覧

環境要因	選定	要因を表現する因子	人為的改変やダイナミズムとの関係
水温	選定	水温	-
水質	非選定	BOD	・人為的な有機物量の増加
底質	選定	代表粒径	・ダム下流河川における河床のアーマー化
水深	選定	水深	・土砂流出や流況の平滑化に伴う瀬淵構造の単調化に伴う水深の減少
流速	選定	流速	・瀬淵構造の単調化の進行による流況の単調化

b) 適性指数(SI)の検討

表- 3.2.3.18に各環境要因の適性指数(SI)の決定理由を、図- 3.2.3.27にその結果を示す。

表- 3.2.3.18 適性指数の決定理由及び検討結果

環境要因	適性指数(SI)の決定理由
水温	文献情報 ¹⁹⁾ から、生息限界値として、多摩川での既往採取歴の最低水温である0.8 を下限として、また生存が危うくなる水温である25 以上を適性値0.0とした。また、好適範囲として、摂餌が活発となる15~20 までを適性値1.0とした。
底質	文献情報 ^{20), 21)} から、成魚は底質が礫、石及び岩盤床の場所で生息可能と思われるが、産卵場所における礫の大きさが1~3cm であることから粒径1cm 以上の礫及び石を適性値1.0 とし、シルト(泥)の粒径を適性値0.0とした。なお、底質型と粒径の対応関係は河川水辺の国勢調査マニュアル ²²⁾ によった。
水深	文献情報 ²⁰⁾ から、0.2m 以下を適性値0.0とした。また、産卵期に限定せず一般的な成魚の生息水深の記載がある情報 ²³⁾ として、鬼怒川上流唐滝沢における報告値である0.4m 及び成魚の生息水深の最深値であるとされる2.0m の情報を採用し、0.4m 以深を適性値1.0とした。
流速	文献情報のうち、産卵に関するもの以外の成魚の一般的な流速に関する情報としては、中村 ²⁰⁾ による情報が最も詳しい。よって、本モデルでは、中村により検討された結果を用いるものとする。成魚が生息する流速として0.6~1.7m/s を適性値1.0とした。また、同様に、成魚の生息範囲外となる0.0m/s 及び1.9m/s を適性値0.0とした。

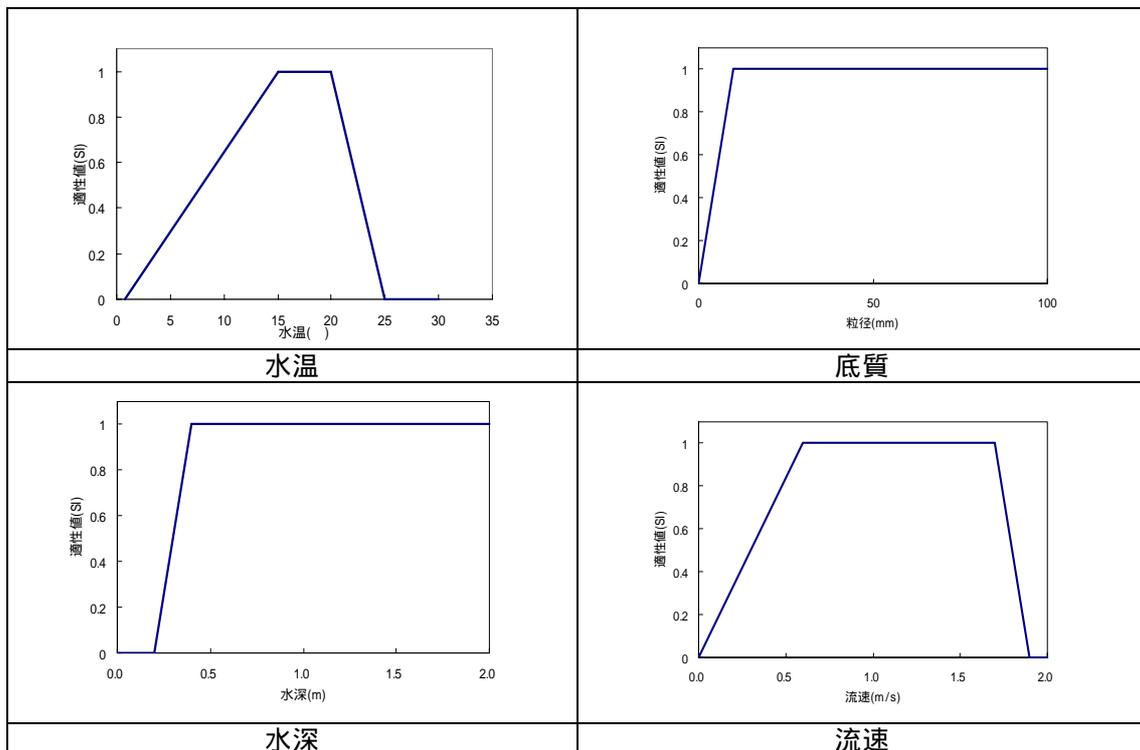


図- 3.2.3.27 適性指数の検討結果

c) ハビタット適性指数(H S I)の検討

積、最小値選択、幾何平均、算術平均の4手法により、すべてのSIを用いた場合のHSI値算出を試行した結果、本データについてはどの手法を用いても、説明率が低いことが推察された。HSIモデルは評価に用いられることを考慮すると、説明率が異ならないのであれば、考えうるすべての環境要因(SI)をとりこむよりも、より少ないSIを用いたHSIモデルの方が効率的であると考えられる。そこで、今回考慮したSIの全ての組合せについて、積によるHSI値を算出して比較した。その結果、本データにおいては、水温・底質・水深の3つの環境要因を用いたHSIモデルの説明率が、相対的には高いことが推察された。従って、多摩川におけるヤマメのHSIモデルとして次の式を用いることとした。

$$HSI = SI_{\text{水温}} \times SI_{\text{底質}} \times SI_{\text{水深}}$$

ただし、モデル構築検討に用いたデータ(河川水辺の国勢調査等)に対する説明率は0.0531と低い。この理由として、文献情報から得られた各環境因子のSIに比べ、現地調査の際に観測された周辺環境の観測値のばらつきが大きいことが挙げられる。この理由としては、観測データ母数が十分でないこと、また多摩川の環境の変動が相対的に大きいという特性を持つ可能性があること等が考えられる。なお、本モデルによるHSI分布状況と現況分布データを比較すると、HSIの高い地域を中心とし、低い地域にまで分布帯状に分布している様子が見てとれるが(図-3.2.3.28)、これも説明率の低さを現しているものである。今後は、更に現地観測データの母数を十分に多くしたうえでの集計を行い、説明率を上げていくことが重要である。

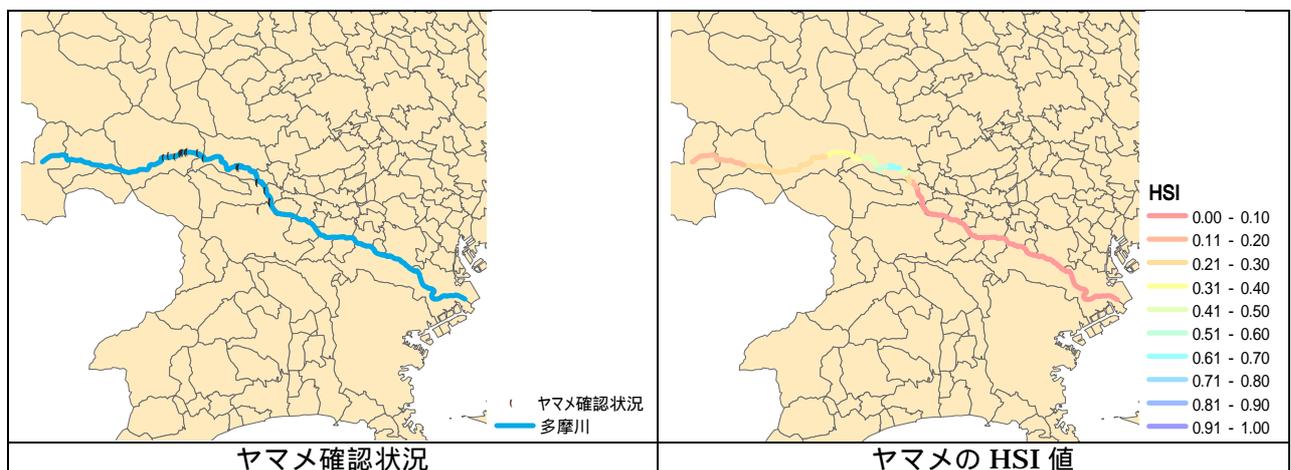


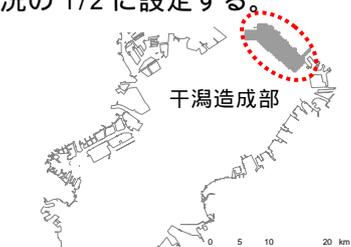
図- 3.2.3.28 ヤマメの現況分布と HSI 値の比較

(8) 施策への適用法

1) 東京湾

東京湾における環境改善施策とそのモデル上での設定方法を表- 3.2.3.19に、施策実施によるアマモ、アサリの HSI 値の変化を図- 3.2.3.29、図- 3.2.3.30に示す。

表- 3.2.3.19 東京湾における施策とその設定方法

	施策	設定方法	結果
アマモ	干潟造成	図に示す干潟部(花見川河口沿岸域)の水深を現況の 1/2 に設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・盤州干潟で広範囲にわたり高い値を示した他、葛西臨海公園前面海域においても高い値を示した。 ・三番瀬の HSI が更に高くなる傾向を示した。 ・干潟造成部の HSI の上昇は一部のみにとどまった。
	底質改善	全域の底質を SI = 1.0 相当に設定する。	
	水中光量回復	全域の水中光量を現況の 2 倍に設定する。	
アサリ	干潟造成	アマモと同様に干潟を設定する。	干潟造成部、特に浅水部において HSI が高くなった。

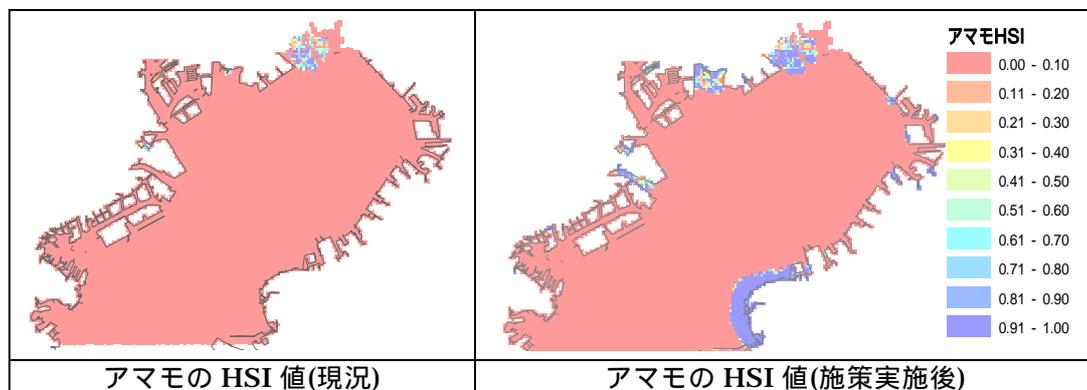


図- 3.2.3.29 施策実施前後におけるアマモの HSI 値の比較

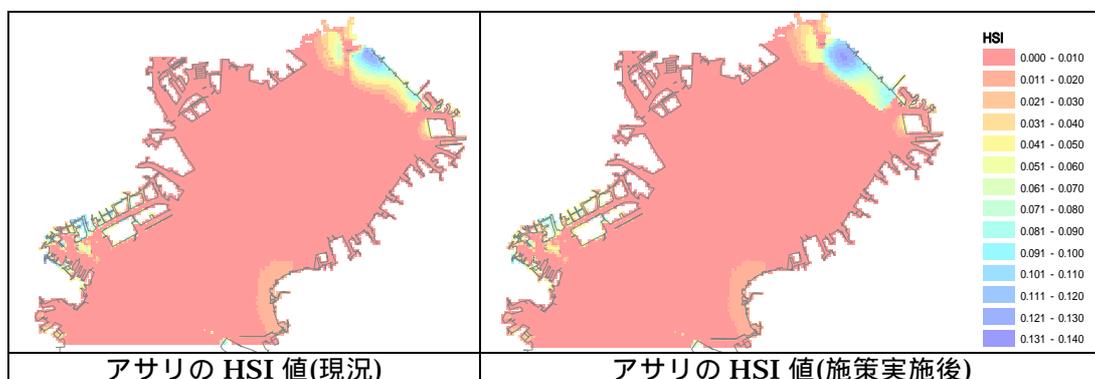


図- 3.2.3.30 施策実施前後におけるアサリの HSI 値の比較

2) 霞ヶ浦

霞ヶ浦における環境改善施策とそのモデル上での設定方法を表- 3.2.3.20に、各施策実施によるヨシ群落の HSI 値の変化を図- 3.2.3.31に示す。

表- 3.2.3.20 霞ヶ浦における施策とその設定方法

施策	設定方法	結果
湖岸の緩傾斜化	湖岸全域で湖岸勾配を現況の 1/2 に設定する。	全体的に HSI が高くなる傾向を示すが、その効果は湖西側で特に顕著である。
波高の減少策	離岸堤既設箇所(図中の黒線)の波高を 0m に設定する。	設置箇所の HSI が高くなる傾向を示す。
	湖岸全域で波高を 0m に設定する。	現在では波高が高く生育環境として適さない東岸において、広範囲にわたり生育環境改善効果がみられる。

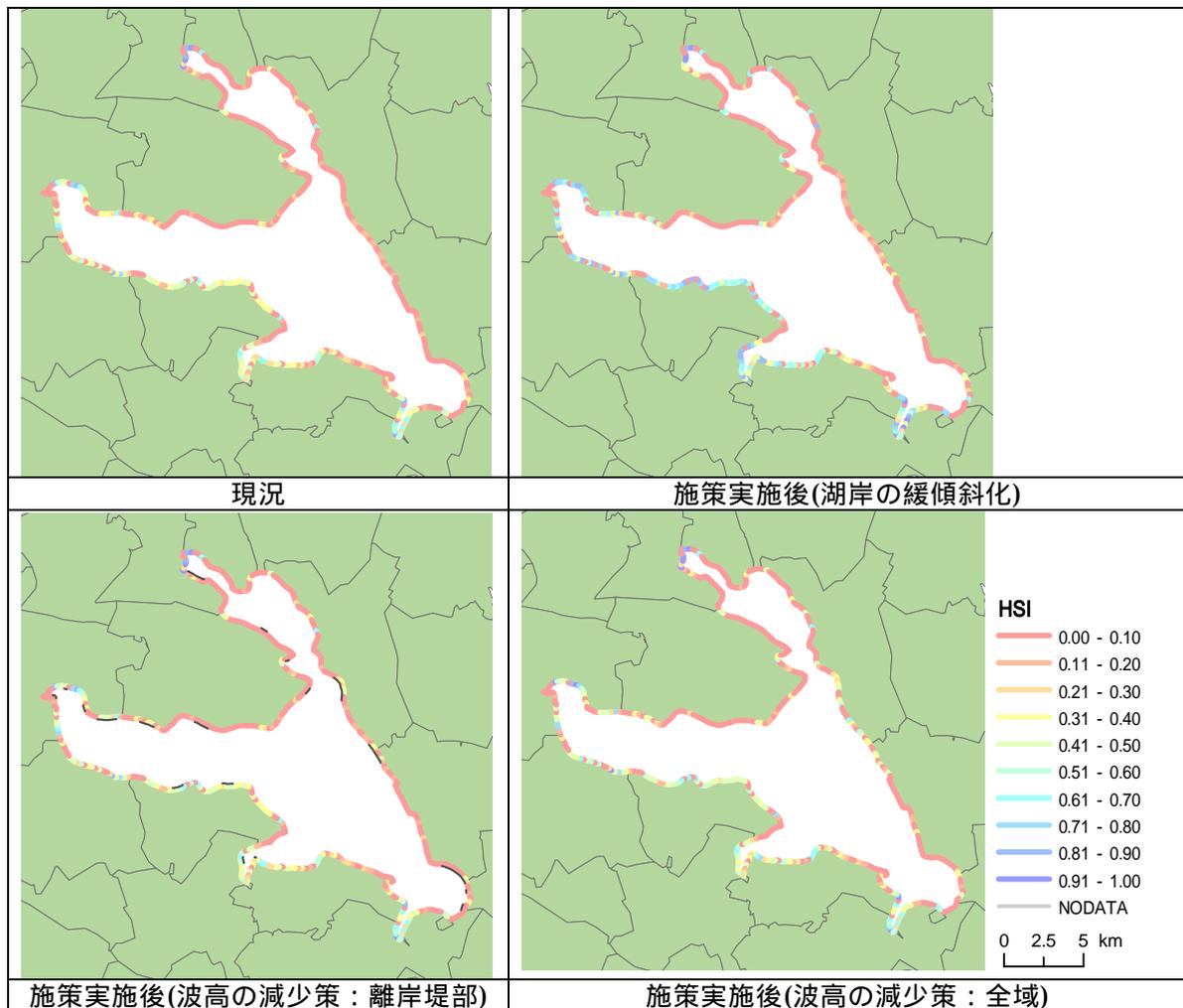


図- 3.2.3.31 施策実施前後におけるヨシ群落の HSI 値の比較

(9) まとめ、今後の課題

本研究では、東京湾、霞ヶ浦、多摩川、荒川を対象として、HEP で用いられている HSI をベースとした水域生態系モデルを作成し、水域毎に数種ずつ選定した指標種に適用を試みた。その結果、大まかながら対象水域の各指標種に対する生息・生育場としての適性が評価できた。

また、計算のプラットフォームとして GIS を用いることで、面データ、ラインデータ、ポイントデータといった様々な形態の環境情報データについて HSI の計算に用いることを容易にした。計算に用いた各種データを GIS データベースとして整備し、インターフェース上で容易に各種設定(検討対象エリアの選択、物理環境などの変更)ができるようにすることで、今後新たな調査結果、知見等が得られたときのモデル改良を容易にした。また、検討結果を GIS のインターフェース上で表示することにより、生息・生育場としての適性の変化などが一目でわかりやすくなっていることから、合意形成ツールとしての活用が期待できる。

また、東京湾、霞ヶ浦については、干潟の造成や湖岸勾配の緩傾斜化など環境改善施策の実施による効果を生息・生育場としての適性の変化として表現することができ、施策評価ツールとしての可能性を示すことができた。

今後の課題としては、モデルの精度の向上があげられる。現時点では、生物分布や物理環境に関する実測データや、環境要因と生息・生育条件との関係に関する知見などが少なく、再現性が低い種やエリアがあった。また、魚類などの移動距離が大きい生物の場合、分布状況の実測データと物理環境データとの相関が低くなる可能性がある。モデルの予測精度の向上を図るためには、こうしたデータを充実させることが必要と考えられる。これらのデータを収集することで、環境要因と生物の生息・生育との関係がより明確になり、また、それらの関係を用いた生息・生育場の評価についても精度を高めることが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 風呂田利夫：東京湾の干潟の過去と現状，東京湾の水質管理と環境ホルモン - 東京湾の干潟・浅場・アマモ場の維持と保全 - (第 4 回東京湾統合沿岸域管理研究シンポジウム講演要旨集)，pp5-7，2004.
- 2) 東京湾河口干潟保全検討会：東京湾河口干潟保全再生検討報告書(平成 16 年 3 月)，pp4，283，291，2004.
- 3) NPO 三番瀬：HP(<http://www.sanbanze.com/npo/>)，「アマモすくすくプロジェクト」
- 4) (財)日本生態系協会：環境アセスメントはヘップ(HEP)でいきる - その考え方と具体例 - ，pp30-38，2004.
- 5) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎：アマモ場造成法に関する研究，電中研研報総合報告 U14，1988.

- 6) 道家章生・井谷匡志・葭矢護：舞鶴湾におけるアマモ群落の特徴-II，京都府立海洋センター研究報告第 22 号，pp29-35，2000.
- 7) 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹：アマモ場造成の適地選定法，沿岸海洋研究ノート 27，pp136-145，1990.
- 8) Phillips, R.C. : Planting guidelines for seagrasses. : Coastal Engineering Technical Aid No. 80-2 : U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Virginia, pp.28，1980a.
- 9) 日本水産資源保護協会：アマモ類，環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」，pp38-47，1992.
- 10) 網尾勝：アサリの環境について，水産資源保護協会月報 217，pp4-11，1992.
- 11) 千葉県土木部・企業庁：市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書，現況編 III(海生生物)，1999
- 12) 柿野純：青潮によるアサリへい死原因について 酸素水および硫化物の影響，千葉水試研報 49，pp1-6，1982.
- 13) 新保裕美・田中昌宏・池谷毅・越川義功：アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル，海岸工学論文集 47，pp1111-1115，2000.
- 14) 高橋清孝・佐藤陽一・渡辺競：アサリの生存限界に関する実験的検討，宮城県水産試験場研究報告 11，pp44-58，1986.
- 15) 藤原宣夫・西廣淳・中村圭吾・宮脇成生：霞ヶ浦湖岸植生帯の変遷とその地点間変動要因，国土技術政策総合研究所資料第 136 号，2003.
- 16) 立花吉茂：琵琶湖の湖岸に分布するヨシとその特性について，関西自然保護機構会報 21，pp125-131，1999.
- 17) 桜井善雄・芋木新一郎・上野直也・渡辺義人：ヨシ植栽地の土壌条件に関する実験的検討，水草研究会会報 38，pp2-5，1989.
- 18) 宮脇成生，西廣淳，中村圭吾，藤原宣夫：霞ヶ浦湖岸植生帯の衰退とその地点間変動要因，保全生態学研究，Vol.9, No.1，pp45-56，2004.
- 19) 加藤憲司：ヤマメ・アマゴその生態と釣り，つり人社，pp130-133，1990.
- 20) 中村俊六：河川魚類の「生息場適性基準」データベースのための調査研究報告書，河川整備基金助成事業，2001.
- 21) 丸山隆：ヤマメとイワナの比較生態学的研究 I.由良川上谷における産卵床の形状と立地条件，日本生態学会誌 31，日本生態学会，pp269-284，1981.
- 22) 建設省河川局河川環境課監修：平成 9 年度版 河川水辺の国勢調査マニュアル [河川版]，1997.
- 23) 久保田仁志・中村智幸・丸山隆・渡邊精一：小支流におけるイワナ、ヤマメ当歳魚の生息数、移動分散および成長，日本水産学会誌 67(4)，日本水産学会，pp703-709，2001.

3.3 環境再生技術の開発

3.3.1 環境ホルモン等の効率的なオゾン処理技術の開発

(1) はじめに

近年、水環境における内分泌かく乱物質や有機塩素化合物等をはじめとする微量環境汚染物質の問題が大きくなってきている。これらの物質は主に都市活動により排出されるものであり、微量ではあっても自然環境や生態系、人体への影響が懸念されるものである。例えば内分泌かく乱物質については、生殖機能異常や生殖行動異常、雄の雌性化、孵化能力の低下、免疫系や神経系への影響など水系生態系への悪影響が懸念されており、有機塩素化合物についても、発ガン性が指摘されているトリハロメタン等、生物への高い毒性が問題視されている。水環境の改善を図るためには下水放流水中におけるこれらの物質濃度の低減が重要となる。

内分泌かく乱物質については、国土交通省より出された下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査結果¹⁾によると、流入下水中の内分泌かく乱物質が下水処理の過程で低減し、放流水中では調査対象物質のほとんどが90%以上減少しているとされているが、内分泌かく乱物質が生態系に与える影響等については、調査研究が進められている段階であり、依然明らかにし得る知見が十分ではなく、今後更なる削減が求められる可能性もある。

下水処理においてこれら微量環境汚染物質を更に低減するためには様々な手法が考えられるが、オゾン処理については内分泌かく乱物質等の低減に対する有効性が多数指摘されている²⁾。しかしながら、日本の下水処理場における導入実績は少ない状況にあり、かつオゾン処理の導入目的は消毒や脱色が中心となっており、内分泌かく乱物質等の低減を考慮したオゾン処理の運転管理がなされていないのが現状である。

そこで、下水処理水中の微量環境汚染物質のうち、特に内分泌かく乱物質に焦点を当て、内分泌かく乱物質の低減を効率的に行うためのオゾン処理運転方法の確立を目的として、神戸市玉津下水処理場内及び国土技術政策総合研究所湖北総合実験施設（茨城県霞ヶ浦浄化センター内）におけるパイロットプラント実験により、オゾン処理条件による低減効果の違いについて検討を行った。

(2) 神戸市玉津下水処理場内におけるパイロットプラント実験

下水処理水中の微量環境汚染物質の低減を効率的に行うためのオゾン処理運転方法の確立を目的として、神戸市玉津下水処理場内のパイロットプラント実験により、有機物、内分泌かく乱物質、有機ハロゲン化合物及び細菌類を低減対象物質として、オゾン処理条件による低減効果の違いについての基礎的な検討を行った。なお、内分泌かく乱物質としては、17 エストラジオール（以下 E2 と記す）、ノニルフェノール（以下 NP と記す）、ビスフェノール A（以下 BPA と記す）、ベンゾフェノン（以下 BP と記す）、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルの5物質を対象とした。また、オゾン処理では、運転管理費用が高いという問題があることから、オゾン処理条件によるパイロットプラントの消費電力量の違いについても簡単な検討を行った。

1) 実験方法

a) 実験装置

神戸市玉津下水処理場内に実験装置を設置し、最終沈殿池越流水及び砂ろ過水を原水槽(容量約 1m³)に貯留し、内分泌かく乱物質標準試薬を原水槽へ添加後、原水槽よりオゾン反応塔へ、原水槽内の試験水がなくなるまで試験水を連続通水し、b) に示す実験条件によりオゾン処理を行った。実験装置の概要を図-3.3.1.1 に、実験装置の設備仕様を表-3.3.1.1 に示す。なお、最終沈殿池越流水は標準活性汚泥法による処理水であり、砂ろ過水は、標準活性汚泥法と循環式硝化脱窒法による処理水を混合し、砂ろ過して得られたものである。

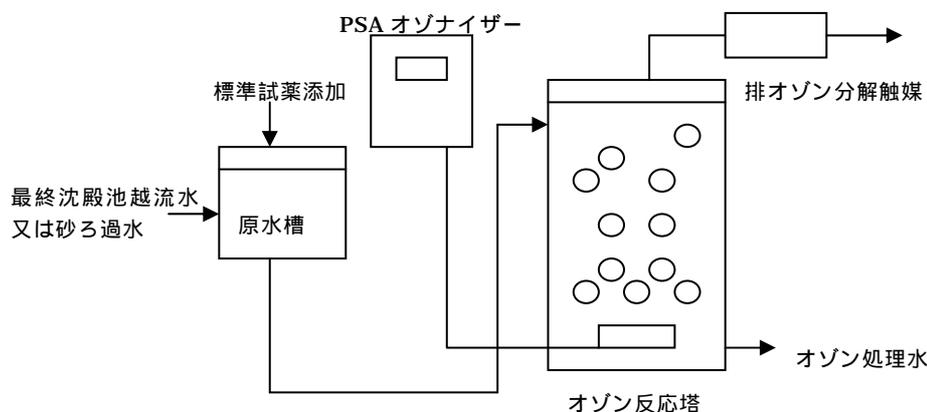


図- 3.3.1.1 実験装置概要

表- 3.3.1.1 実験装置主仕様

項目	仕様
オゾン発生装置	PSA オゾナイザー 発生量: 20gO ₃ /h 又は 30gO ₃ /h
反応塔サイズ	200mm × 2,900mmH
反応塔有効容量	約 90L
反応塔材質	SUS304
オゾン注入方式	散気方式

b) 実験条件

ア) 試験水

試験水には、玉津下水処理場の砂ろ過水に、概ね NP = 1 μg/L、E2 = 0.05 μg/L、BPA = 0.5 μg/L、BP = 1 μg/L、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル = 5 μg/L の濃度となるように標準試薬を添加調整したものを用いた。なお、添加する内分泌かく乱物質は、国土交通省より出された下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査結果¹⁾において、下水道で留意すべき物質として選定された物質のうち処理水で検出された 5 物質を対象とした。設定濃度は、平成 10~12 年度の国土交通省調査における下水処理水中の内分泌かく乱物質

の最大濃度を目安としたものである。

また、試験水として最終沈殿池越流水も併せて用い、オゾン処理による細菌類の除去効果の把握を行った。最終沈殿池越流水については、基本的には標準試薬の添加は行わないが、最終沈殿池越流水と砂ろ過水における内分泌かく乱物質の低減効果の違いを確認するために、いくつかの実験ケースで標準試薬の添加を行った。

なお、実験に用いた最終沈殿池越流水及び砂ろ過水の水質は、表-3.3.1.2の通りである。NH₄及びNO₂-N濃度については処理場からの放流水において共に0.1mg/L以下となっており、硝化反応が十分に進行していた。

表- 3.3.1.2 実験に用いた原水の水質

水質項目	砂ろ過水	終沈越流水
pH	6.7～7.3	6.6～6.8
SS (mg/L)	1以下	2～3
BOD (mg/L)	2以下～2.9	2.3～3.9
COD _{Mn} (mg/L)	7.1～9.6	8.8～10.8
TOC (mg/L)	5.3～7.5	5.5～6.7

イ) 接触時間

「二次処理水を対象としたオゾン処理システム技術マニュアル」³⁾では、オゾン処理に必要な接触時間は一般に10～20分程度を標準とする、とされており、本実験では5～20分の範囲で3段階に設定した。

ウ) オゾン注入率

「二次処理水を対象としたオゾン処理システム技術マニュアル」³⁾では、オゾン注入率は、一般的には5～10mg/L程度とする、とされており、本実験では5～20mg/Lの範囲で段階的に設定した。なお、その際のオゾンガス濃度は14.7～93.6g/Nm³、オゾンガス流量は1.2～5.1L/minの範囲で設定した。また、オゾンガス濃度とオゾン吸収効率の関係を検討するため、オゾン注入率10mg/Lにおいてオゾンガス濃度を16.9～65.4g/Nm³の範囲で3段階に設定した。

b) 試料の採取及び分析項目

オゾン処理前及びオゾン処理後の試験水を、処理開始より約30分毎に3回採取し、混合したものを分析試料とした。砂ろ過水を試験水とした場合の水質分析項目は、pH、SS、BOD、COD_{Mn}、E₂₆₀、TOC、TOX、NP、E2、BPA、BP、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルとし、最終沈殿池越流水を試験水とした場合の水質分析項目は、pH、SS、BOD、COD_{Mn}、TOC、大腸菌群、糞便性大腸菌群とした(内分泌かく乱物質標準試薬を添加するケースでは内分泌攪乱物質も測定)。なお、NP、BPA、BP及びフタル酸ジ-2-エチルヘキシルはGC/MS法により、E2は

ELISA 法により分析を行った。

また、実験条件の違いによる消費電力量の違いを把握するため、各実験条件における消費電力量を測定するとともに、オゾン吸収効率を把握するため、排気中オゾン濃度を測定した。

2) 結果と考察

a) オゾン注入率が対象物質低減効果に与える影響

オゾン注入率が TOC 及び COD の低減に与える影響を図-3.3.1.2 に示す。オゾン注入率 5 ~ 20mg/L の範囲内では、TOC は殆ど低減できないが、COD については、オゾン注入率が増加するにつれ残存率が若干低下することが分かった。このことは、オゾン処理により有機物が酸化されるため COD が低減するものの、有機物が完全に無機化されるに至っていないことを示している。

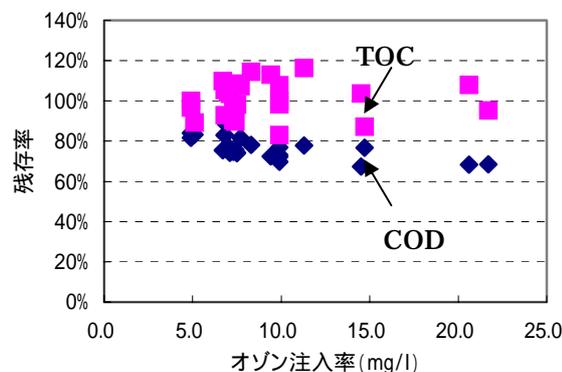


図- 3.3.1.2 オゾン注入率と TOC、COD 残存率の関係

次に、オゾン注入率が内分泌かく乱物質 (E2、BPA、NP、BP、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル) の低減に与える影響を図-3.3.1.3 ~ 6 に示す。E2、BPA、NP については、オゾン注入率 5 ~ 20mg/L の範囲内では、オゾン注入率に関わらず、ほとんどのケースで検出限界以下にまで低減されたが、BP については、オゾン注入率 10mg/L 以上で検出限界以下にまで低減されることが分かった。なお、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルについては、オゾン処理前の試料について全ての条件で検出限界以下となったが、その理由は不明である。

次に、オゾン注入率が TOX の低減に与える影響を図-3.3.1.7 に示す。オゾン注入率が増加するにつれ TOX の残存率は低下し、オゾン注入率を 5mg/L から 20mg/L に増加させることにより、TOX 残存率は 80% から 40% にまで低下することが分かった。

また、オゾン注入率が大腸菌群及び糞便性大腸菌群の低減に与える影響を図-3.3.1.8 に示す。ばらつきが見られるものの、オゾン注入により概ね 1.5log ~ 2.5log 程度除去され、オゾン注入率 5 ~ 20mg/L の範囲内では、オゾン注入率による低減効果の違いは見られなかった。

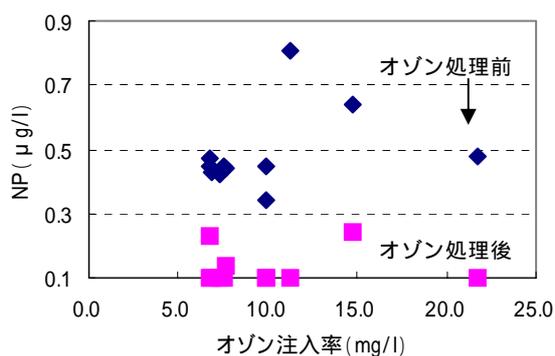


図- 3.3.1.3 オゾン注入率と NP 低減効果の関係

(NP 検出下限値 = 0.1 μg/l)

図中 NP=0.1 μg/l の点は全て検出下限値以下を示す

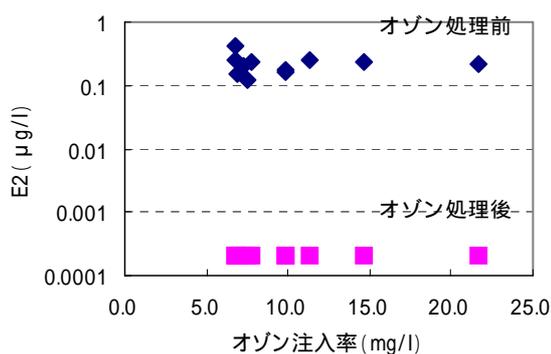


図- 3.3.1.4 オゾン注入率と E2 低減効果の関係

(E2 検出下限値 = 0.0002 μg/l)

図中オゾン処理後の点は全て検出下限値以下を示す

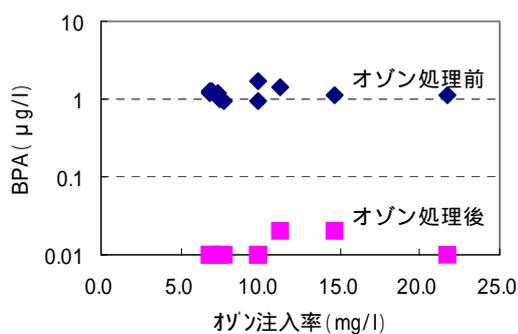


図- 3.3.1.5 オゾン注入率と BPA 低減効果の関係

(BPA 検出下限値 = 0.01 μg/l)

図中 BPA=0.01 μg/l の点は全て検出下限値以下を示す

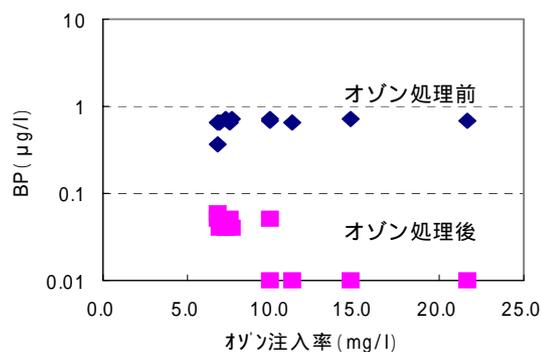


図- 3.3.1.6 オゾン注入率と BP 低減効果の関係

(BP 検出下限値 = 0.01 μg/l)

図中の BP=0.01 μg/l の点は全て検出下限値以下を示す

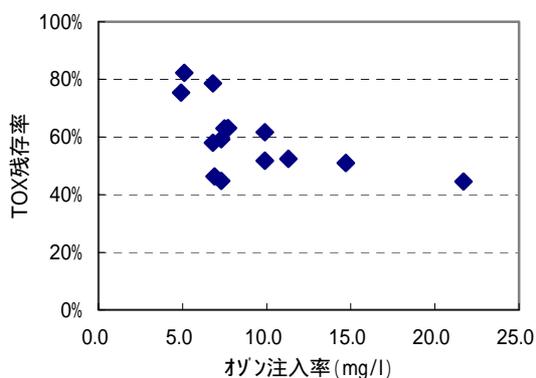


図- 3.3.1.7 オゾン注入率と TOX 残存率の関係

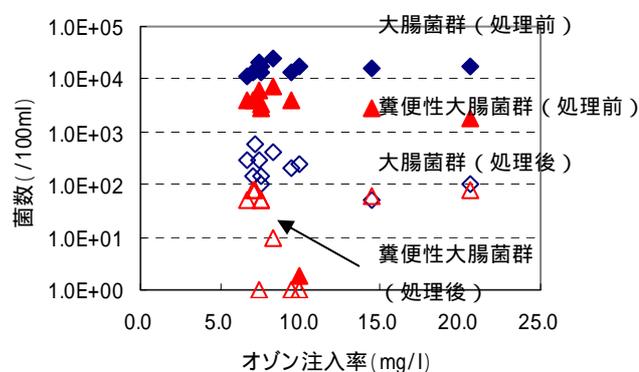


図- 3.3.1.8 オゾン注入率と大腸菌群・糞便性大腸菌群低減効果の関係

b) 接触時間が対象物質低減効果に与える影響

内分泌かく乱物質のうち、検出限界以下にまで低減できないケースが多く見られた BP について、接触時間が BP の低減に与える影響を図-3.3.1.9 に示す。接触時間が 7~20min の範囲内では、BP の低減効果に違いは見られなかった。

その他、TOX、大腸菌群数及び糞便性大腸菌群数についても同様に、接触時間が 7~20min の範囲内では、接触時間による低減効果の違いは見られなかった。

オゾンの酸化力は非常に強く、低減対象物質との反応は短時間で終了することから、接触時間による低減効果の違いが見られなかったものと考えられる。接触時間が大きくなる程オゾン反応槽の規模が大きくなることから、上記の結果を踏まえ、接触時間はできるだけ小さくすることが望ましいと言える。

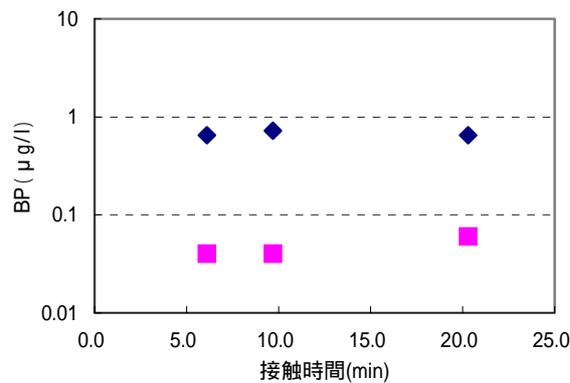


図- 3.3.1.8 オゾン接触時間と BP 低減効果の関係

c) オゾン処理による有機物組成の変化

オゾン処理前後の E_{260} ⁴⁾ と COD の関係を図-3.3.1.10 に示す。オゾン処理により、COD に比べ E_{260} の方が大きく低減した。不飽和結合を有する有機物質は紫外外部(波長 250~260nm)に吸収を示すことから、図-3.3.1.10 は、有機物のうち、特に不飽和結合を有する有機物がオゾンにより酸化されやすいことを示しているものと考えられる。

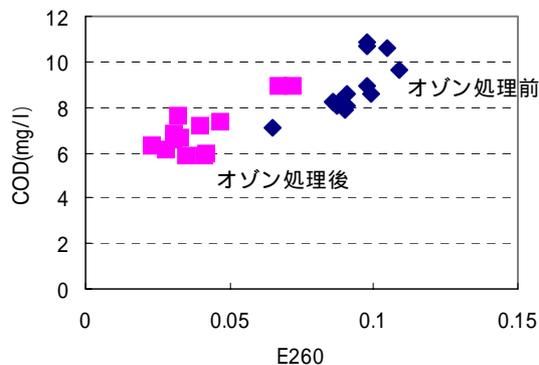


図- 3.3.1.9 オゾン処理による COD 及び E_{260} の変化

d) 競合物質が内分泌かく乱物質低減に与える影響

c) における考察より、オゾンは E₂₆₀ で代表される有機物質との反応性に富んでいることが分かった。そこで、処理水中に含まれる競合物質として E₂₆₀ に着目し、オゾン注入率 7mg/L の条件におけるオゾン処理前後の E₂₆₀ とベンゾフェノンの低減効果の関係を示したものが図-3.3.1.11 である。原水の E₂₆₀ が 0.065 ~ 0.109 の範囲内では、オゾン処理後の BP 濃度は同程度であり、E₂₆₀ がベンゾフェノンの低減効果に与える影響は特に見られなかった。また、競合物質として COD に着目した場合にも COD がベンゾフェノンの低減効果に与える影響は特に見られなかった。しかしながら、今回の実験では E₂₆₀ 及び COD の分布幅が小さかったことから、E₂₆₀ 及び COD が内分泌かく乱物質低減に与える影響を把握するためには、より広範囲の E₂₆₀ 及び COD を対象に検討を進める必要がある。

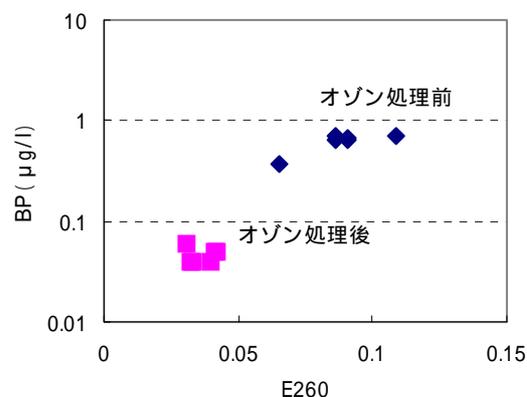


図- 3.3.1.10 原水 E₂₆₀ が BP 低減効果に与える影響
(オゾン注入率 = 7mg/l)

e) 発生オゾンガス濃度とオゾン吸収効率の関係

オゾン注入率一定 (約 10mg/L) 条件における、発生オゾンガス濃度とオゾン吸収効率の関係を示したものが図-3.3.1.12 であり、発生オゾンガス濃度が高いほどオゾン吸収効率が向上することが分かった。これは、オゾンガス濃度を高濃度にすることによって、液相での濃度勾配が大きくなり、水へのオゾンの溶解が効率的に行われることによるものと考えられる。

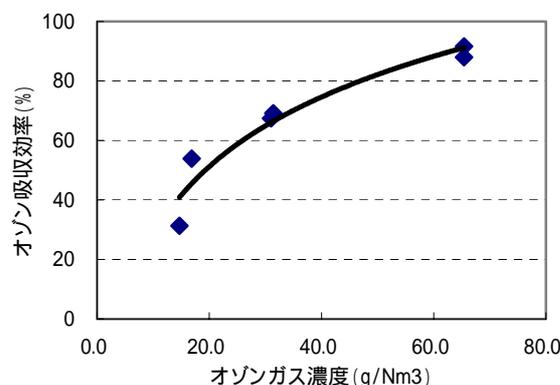


図- 3.3.1.11 発生オゾンガス濃度とオゾン吸収効率の関係

f) オゾン注入率と単位処理量当たり消費電力量の関係

オゾン処理において問題となるのは運転管理費用であり、そのうち、オゾン製造に係る電力費が最も大きいと考えられる。以上のことから、オゾン注入率と実験施設における単位処理量当たりのオゾナイザー消費電力量の関係を示したものが図-3.3.1.13 である。図-3.3.1.13 は、オゾン注入率 5~20mg/L の範囲では、オゾン注入率と単位処理量当たりの消費電力量が比例関係にあることを示しており、運転管理費用低減の為に、低減対象物質に応じた適切なオゾン注入率により、オゾン処理を行うことが重要であることが分かった。臭素酸イオンをはじめとするオゾン処理による消毒副生成物の生成をできるだけ抑制する観点からも、適切なオゾン注入率の設定は重要であると考えられる。

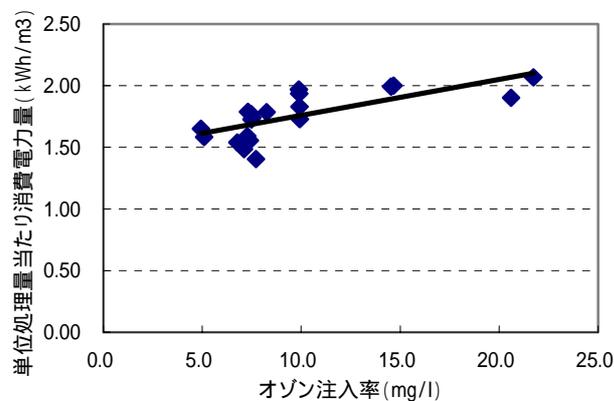


図- 3.3.1.12 オゾン注入率と処理量当たり消費電力量の関係

3) まとめ

以上の実験結果を以下に整理する。

内分泌かく乱物質のうち、E2、NP、BPAについては、オゾン注入率 5~20mg/L の範囲では、全ての条件で検出限界以下まで低減された。一方、BP については、オゾン注入率 10mg/L 以上で検出限界以下にまで低減された。

TOX の残存率は、オゾン注入率の増加とともに低下し、オゾン注入率 20mg/L では約 40%であった。

大腸菌群及び糞便性大腸菌群の低減効果は 1.5log ~ 2.5log 程度であり、オゾン注入率による違いは見られなかった。

接触時間 7~20min の範囲では、接触時間による低減効果の違いは見られなかった。

オゾン処理により E₂₆₀ は 50~70%程度低減したが、COD 低減率は 20~30%であり、TOC は殆ど低減されないことから、オゾン処理により特に不飽和結合を有する有機物が酸化されやすいが、無機化には至らないことが分かった。

オゾン注入率一定の条件では、発生オゾンガス濃度が高くなるほどオゾン吸収効率は向上する。

オゾン注入率と単位処理量当たりオゾナイザー消費電力量は比例関係にあり、運転

管理費用低減のためには必要最小限のオゾン注入率とすることが重要である。

(3) 湖北総合実験施設におけるパイロットプラント実験

オゾン注入率を更に低減させた場合や接触時間を更に短くした場合の低減効果の確認を行うとともに、原水の性状が内分泌かく乱物質をはじめとした微量環境汚染物質の低減効果に与える影響について検討を進めるため、国土技術政策総合研究所湖北総合実験施設にパイロットプラントを建設し、実験を行った。

1) 実験方法

a) 実験装置

国土技術政策総合研究所湖北総合実験施設（茨城県霞ヶ浦浄化センター内）に実験装置を設置し、実下水を用いた反応槽容量 10m³ の標準活性汚泥法パイロットプラントから得られた二次処理水（以下、「二次処理水」とする）及び霞ヶ浦浄化センターの砂ろ過水（以下、「砂ろ過水」とする）を原水槽（容量約 1.3m³）に貯留し、内分泌かく乱物質標準試薬を原水槽へ添加後、原水槽よりオゾン反応塔へ、原水槽内の試験水がなくなるまで試験水を連続通水し、c) に示す実験条件によりオゾン処理を行った。実験装置の概要を図-3.3.1.14 に、実験装置の主な仕様を表-3.3.1.3 に示す。

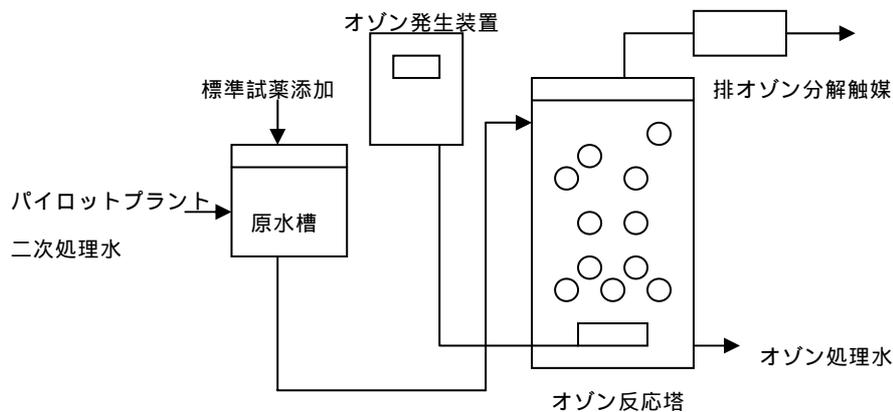


図- 3.3.1.13 実験装置の概要

表- 3.3.1.3 実験装置の主な仕様

項目	仕様
オゾン発生装置	オゾン発生量：12gO ₃ /h オゾン濃度：40g/Nm ³ オゾン化空気量：0.3Nm ³ /h
オゾン反応塔	SUS 反応塔： 200mm × 4,480mmH 但し、H = 1,600mm、2,350mm、3,100mm、4,100mm（有効容量約 50L、75L、95L、130L）で可変式 オゾン注入方式：散気方式

b) 低減対象物質

内分泌かく乱物質としては、「平成12年度下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書」¹⁾において下水道で留意すべき物質として選定されたものとして挙げられた、エストロン(以下「E1」とする)、17-エストラジオール(以下、「E2」とする)、ノニルフェノール(以下、「NP」とする)、4t-オクチルフェノール、ビスフェノールA(以下、「BPA」とする)、ベンゾフェノン、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルの中から低減対象物質を抽出する。NPとBPAは環境省調査^{5)、6)}により魚類に対し内分泌攪乱作用を有することが推察されたこと、人畜由来ホルモンであるE1及びE2は他の物質に比べエストロゲン活性が大きいことから、これらの物質を低減対象物質とした。ベンゾフェノンとフタル酸ジ-2-エチルヘキシルは、環境省調査⁷⁾では魚類に対し明らかな内分泌攪乱作用が認められなかったことから、低減対象物質とはしないこととした。4t-オクチルフェノールは、環境省調査⁸⁾では魚類に対し内分泌攪乱作用を有すること推察されたが、下水処理水中にはほとんど検出されていない¹⁾ことから、低減対象物質とはしないこととした。

また、オゾン処理の重要な役割として消毒があり、オゾン処理の実施に当たっては、適切な内分泌かく乱物質の低減効果及び病原微生物の不活化効果を達成できるように留意する必要がある。そのため、病原微生物の低減効果を併せて確認するため、病原細菌の指標菌である大腸菌群、大腸菌、嫌気性芽胞を低減対象物質とした。

c) 実験条件

ア) 試験水

実験には、二次処理水及び砂ろ過水を用いた。今回用いた試験水には、実験条件として想定した濃度の低減対象物質が存在していなかったため、二次処理水及び砂ろ過水に、概ねNP = 1.0 µg/L、BPA = 0.5 µg/L、E2 = 0.003 µg/L、E1 = 0.06 µg/Lの濃度となるように標準試薬を添加したものをを用いた。この濃度は「平成12年度下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書」¹⁾における下水処理場放流水の最大濃度を目安にして設定した。

実験に用いた試験水の水質は、表-3.3.1.4の通りである。なお、砂ろ過水は、霞ヶ浦浄化センターにおける生物処理法(凝集剤添加活性汚泥法、嫌気無酸素好気法、担体投入型修正バーデンフォ法及び凝集剤併用型循環式硝化脱窒法)による処理水を混合し、砂ろ過して得られたものである。

表- 3.3.1.4 試験水の水質

水質項目	二次処理水	砂ろ過水
pH	7.3 ~ 8.0	7.5 ~ 8.1
SS(mg/L)	0.3 ~ 3.7	0.2 ~ 1.1
BOD(mg/L)	3.8 ~ 17	5.1 ~ 9.1
TOC(mg/L)	4.5 ~ 8.2	4.5 ~ 7.7
E ₂₆₀	0.07 ~ 0.1	0.08 ~ 0.1

イ) オゾン注入率・接触時間

「二次処理水を対象としたオゾン処理システム技術マニュアル」³⁾では、「オゾン注入率は、一般的には5~10mg/L程度とする」、「オゾン処理に必要な接触時間は一般に10~20分程度を標準とする」とされている。オゾン注入率5~20mg/L及び接触時間7~20minとした神戸市玉津下水処理場内におけるパイロットプラント実験では、NP、E2、BPAが検出限界以下にまで低減されたとの結果が得られている。また、オゾン注入率と単位処理量当たりオゾン発生装置消費電力量は比例関係にあり、運転管理費用低減のためには必要最小限のオゾン注入率とすることが重要であることが分かっている。また、接触時間を短くすることができれば、オゾン反応塔の容量を小さくすることが可能となる。よって、本実験ではオゾン注入率1.5~5mg/L及び接触時間3~15minの範囲で3段階に設定した。なお、オゾンガス流量はオゾン化空気量として約0.34 Nm³/hourとし、オゾンガス濃度は1.8~14.7g/Nm³の範囲で設定した。

ウ) 反応塔高さ

オゾン反応塔において、水深は溶解効率と発生効率を考慮して4~6m程度とするのが適切であるとされている³⁾。そこで、水深が対象物質の低減効果に与える影響も把握できるように、反応塔の有効高さを2段階(1.6m、4.1m、有効容量約50L、130L)に設定した。なお、反応塔高さ2段階それぞれにおいて、オゾン注入率は3段階に設定したが、反応塔高さ1.6mにおいては、接触時間を約3minと約8minの2段階に設定し、反応塔高さ4.1mにおいては、接触時間を約8minと約15minの2段階に設定した。

d) 試料の採取及び分析項目

オゾン反応塔への流入直前の試験水及びオゾン反応塔からの流出直後の試験水を、処理開始より約15~45分毎に3回採取し、混合したものを分析試料とした。水質分析項目は、内分泌かく乱物質であるNP、BPA、E2、E1の他に、pH、SS、BOD、TOC、E₂₆₀、大腸菌群、大腸菌、嫌気性芽胞とした。なお、NP、BPA、E2、E1、pH、SS、BOD及びTOCは、下水試験方法に準拠し、NP、BPAの分析はGC/MS法により、E2及びE1の分析はLC/MS/MS法により実施した。また、E₂₆₀、大腸菌群、大腸菌及び嫌気性芽胞は、上水試験方法に準拠し、大腸菌群及び大腸菌の分析は特定酵素基質培地法により、嫌気性芽胞の分析はハンドフ

オード改良培地法により実施した。

2) 結果と考察

a) オゾン注入率が内分泌かく乱物質低減効果に与える影響

オゾン注入率が低減効果に及ぼす影響を明らかにするため、オゾン注入率を 1.5 ~ 5mg/L の範囲で設定し、実験を行った。

本実験で得られたデータ全てについて、オゾン注入率のみに着目して、BOD 及び TOC の低減に与える影響を図-3.3.1.15 に示す。オゾン注入率が増加するにつれ、各オゾン注入率(すなわち約 1.5、約 3 及び約 5 mg/L)での BOD 及び TOC 残存率の最小値が低下した。オゾン注入率約 1.5mg/L で最大で BOD が約 10%、TOC が約 5%低減され、オゾン注入率約 5mg/L で最大で BOD が約 30%、TOC が約 20%低減された。

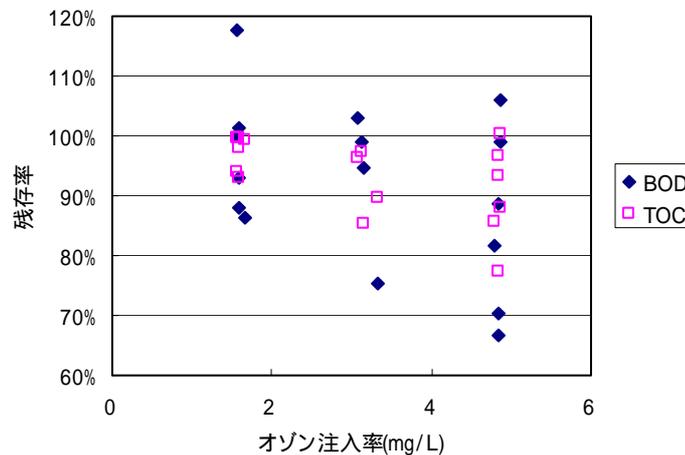


図- 3.3.1.14 オゾン注入率と COD 、 TOC 残存率の関係

次に、本実験で得られたデータ全てについて、オゾン注入率のみに着目して、NP、BPA、E2、E1 の低減に与える影響を図-3.3.1.16 ~ 19 に示す。BPA についてはオゾン注入率約 5mg/L の全てのケースで、NP と E2 についてはオゾン注入率約 3mg/L 以上でほとんどのケースにおいて検出下限値未満まで低減された。E1 についてはオゾン注入率約 5mg/L の全てのケースで定量下限値未満まで低減され、オゾン注入率が低下するにつれ、各オゾン注入率でのオゾン処理後の E1 濃度の最大値が上昇した。

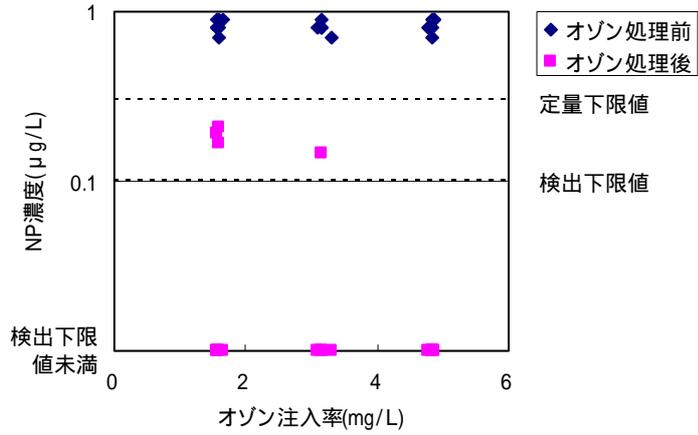


図- 3.3.1.15 オゾン注入率と NP 低減効果の関係

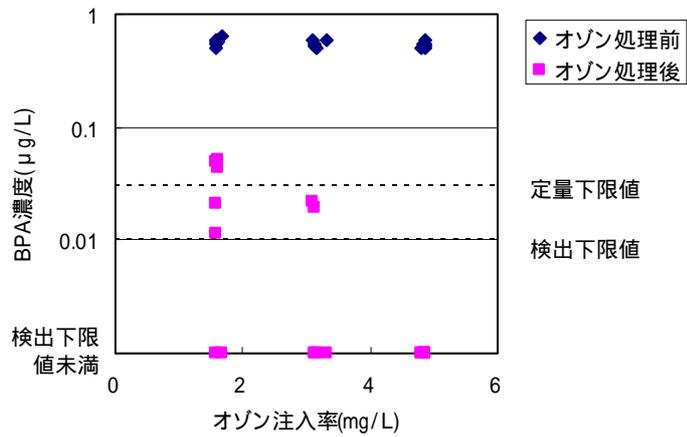


図- 3.3.1.16 オゾン注入率と BPA 低減効果の関係

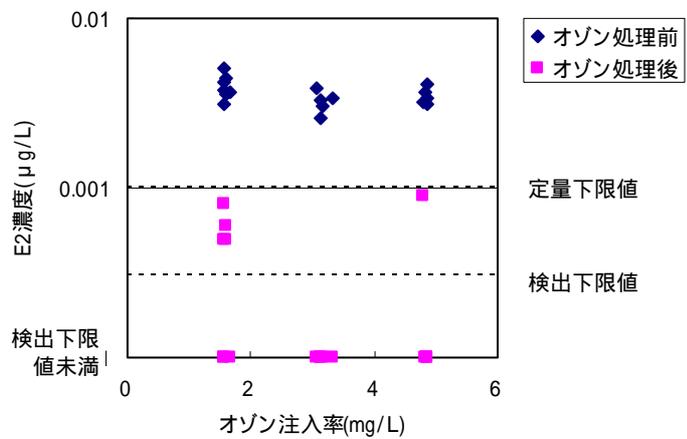


図- 3.3.1.17 オゾン注入率と E2 低減効果の関係

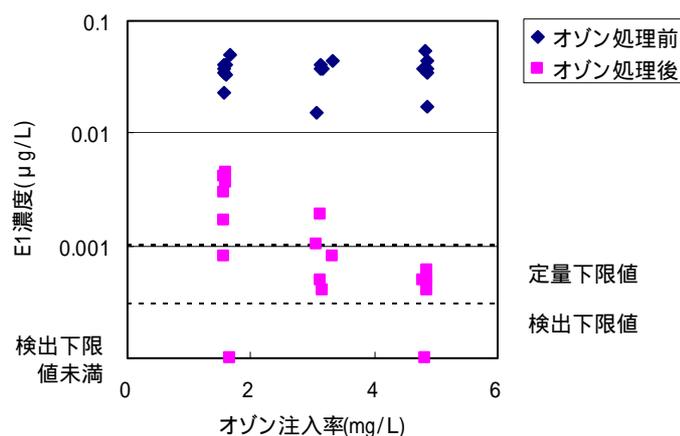


図- 3.3.1.18 オゾン注入率と E1 低減効果の関係

b) 接触時間が内分泌かく乱物質低減効果に与える影響

a) において、定量下限値以下にまで低減できないケースが多く見られたオゾン注入率約 1.5mg/L の条件における E1 について、接触時間がその低減に与える影響を図-3.3.1.20 に示す。接触時間が約 3～15min の範囲内では、E1 の低減効果に明確な違いは見られなかった。また、NP、BPA、E2 についても同様に、接触時間が約 3～15min の範囲内では、接触時間による低減効果の明確な違いは見られなかった。

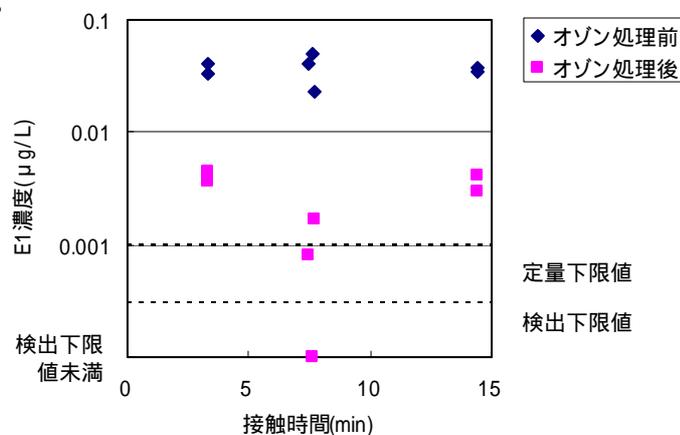


図- 3.3.1.19 オゾン接触時間と E1 低減効果の関係
(オゾン注入率；約 1.5mg/L)

オゾンの酸化力は非常に強いため、内分泌かく乱物質との反応が短時間で終了すると考えられることから、今回の条件では接触時間による低減効果の違いが見られなかったものと考えられる。接触時間が大きくなる程オゾン反応槽の規模が大きくなるので、接触時間はできるだけ小さくすることが望ましいと言える。

a) の結果から、NP と BPA を検出下限値未満まで、E1 を定量下限値未満まで低減するためには、オゾン注入率約 5mg/L であれば、今回の条件では接触時間を約 3min にできると言える。

c) 不飽和結合を有する有機物の影響

神戸市玉津下水処理場内におけるパイロットプラント実験では、オゾンは不飽和結合を有する有機物との反応性に富んでいることがわかっている。本実験でも、オゾン処理により BOD に比べ不飽和結合を有する有機物の指標である E₂₆₀ の方が大きく低減しており（図-3.3.1.21）、オゾンが不飽和結合を有する有機物との反応に消費されていることが示唆された。

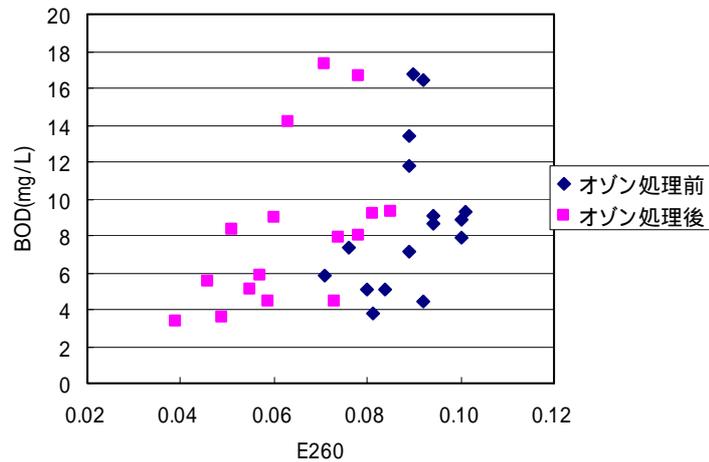


図- 3.3.1.20 オゾン処理による BOD 及び E₂₆₀ の変化

そこで、処理水中に含まれ、オゾンとの反応における競合物質の指標としての E₂₆₀ に着目し、オゾン注入率約 1.5mg/L の条件におけるオゾン処理前の E₂₆₀ と内分泌かく乱物質の低減効果の関係を整理し、図-3.3.1.22 ~ 25 に示す。オゾン処理前の E₂₆₀ が 0.09 以下では、NP、BPA 及び E2 は検出下限値未満に、E1 は定量下限値以下に低減されていた。オゾン注入率が低く、オゾンにより酸化されやすい不飽和結合を有する有機物が多く存在する場合には、内分泌かく乱物質の低減が阻害される可能性があると考えられる。

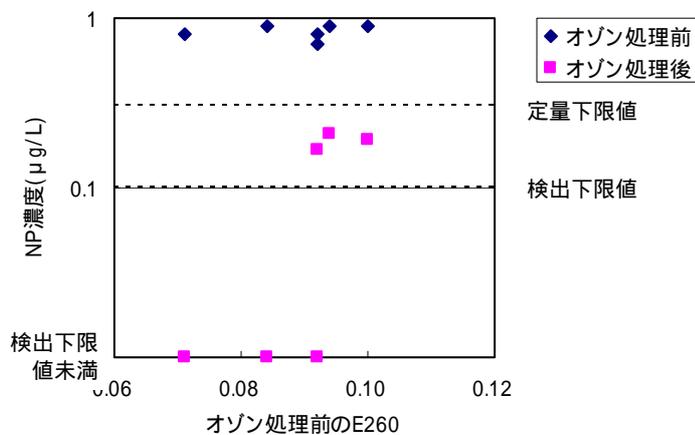


図- 3.3.1.21 オゾン処理前の E₂₆₀ と NP 低減効果の関係
(オゾン注入率 ; 約 1.5mg/L)

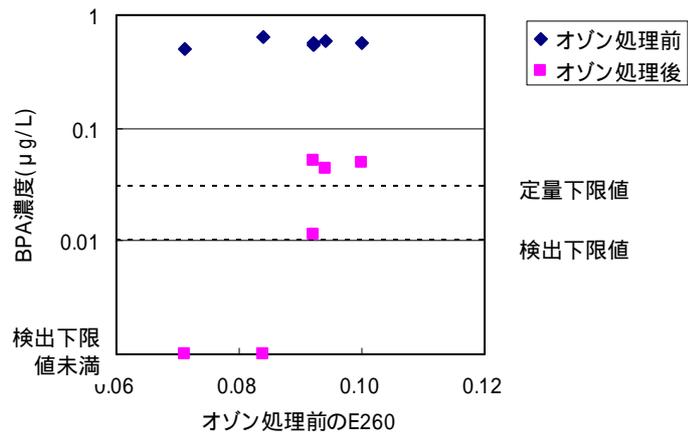


図- 3.3.1.22 オゾン処理前の E₂₆₀ と BPA 低減効果の関係 (オゾン注入率 ; 約 1.5mg/L)

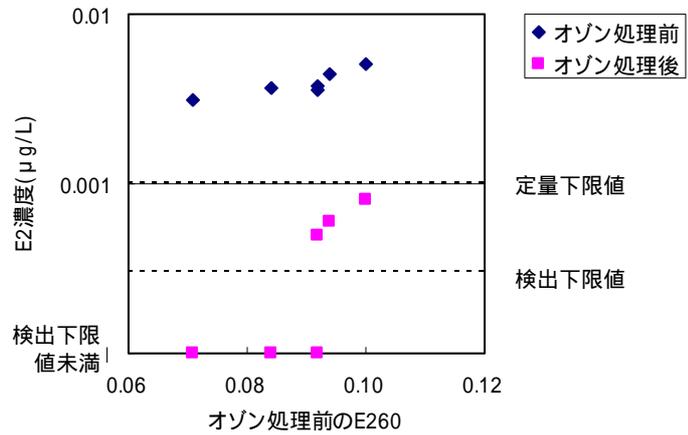


図- 3.3.1.23 オゾン処理前の E₂₆₀ と E₂ 低減効果の関係 (オゾン注入率 ; 約 1.5mg/L)

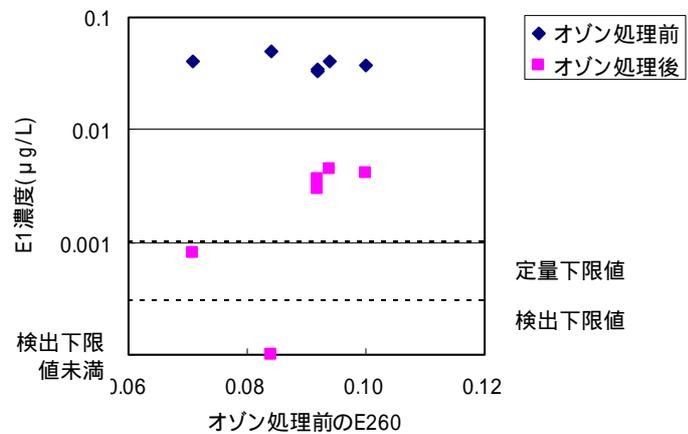


図- 3.3.1.24 オゾン処理前の E₂₆₀ と E₁ 低減効果の関係 (オゾン注入率 ; 約 1.5mg/L)

d) オゾン反応塔高さが内分泌かく乱物質低減効果に与える影響

オゾン注入率約 1.5mg/L 及びオゾン処理前の E₂₆₀ が 0.09 以上の条件におけるオゾン反応塔高さと E1 の低減効果の関係を図-3.3.1.26 に示す。反応塔高さが 1.6m と 4.1m では、E1 の低減効果に明確な違いは見られなかった。また、NP、BPA、E2 についても同様に、反応塔高さによる低減効果の明確な違いは見られなかった。

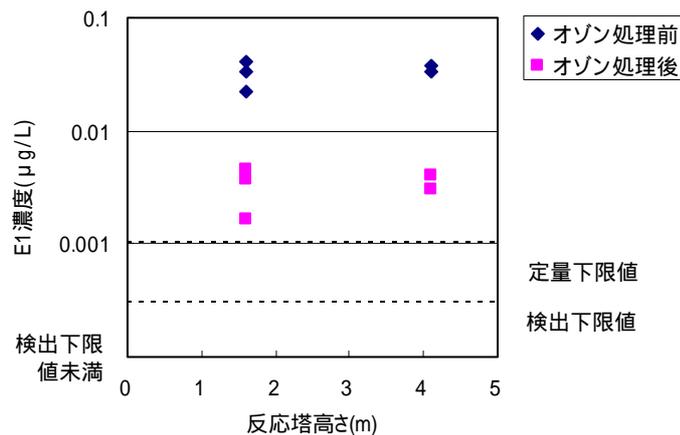


図- 3.3.1.25 反応塔高さと E1 低減効果の関係
(オゾン注入率 ; 約 1.5mg/L、オゾン処理前 E₂₆₀ ; 0.09 以上)

e) オゾン処理条件が大腸菌群、大腸菌及び嫌気性芽胞の低減効果に与える影響

本実験で得られたデータ全てについて、オゾン注入率のみに着目して、大腸菌群、大腸菌及び嫌気性芽胞の低減に与える影響を図-3.3.1.27 ~ 29 に示す。大腸菌群については、オゾン注入率が約 1.5、約 3 及び約 5 mg/L の場合に、それぞれ最大で約 1、約 2 及び 4log 低減された。しかしながら、各オゾン注入率において、大腸菌群が低減されなかったケースがあり、それらのケース全てにおいて同一となる条件は、接触時間 (約 3min) と反応塔高さ (1.6m) であった。

大腸菌については、オゾン注入率が約 3 mg/L、約 5 mg/L の場合には、それぞれ最大で約 2log、約 3log 低減されたが、オゾン注入率約 3 mg/L かつ接触時間約 8 min かつ反応塔高さ 1.6m の条件の 1 ケースで低減されなかった。オゾン注入率約 1.5mg/L ではほとんどのケースで大腸菌が低減されなかった。

嫌気性芽胞については、オゾン注入率約 5 mg/L で約 1log 低減され、オゾン注入率約 1.5 ~ 3mg/L では 0.5 ~ 1log 低減されたが、オゾン注入率約 1.5 mg/L でほとんど低減されないケースがあった。

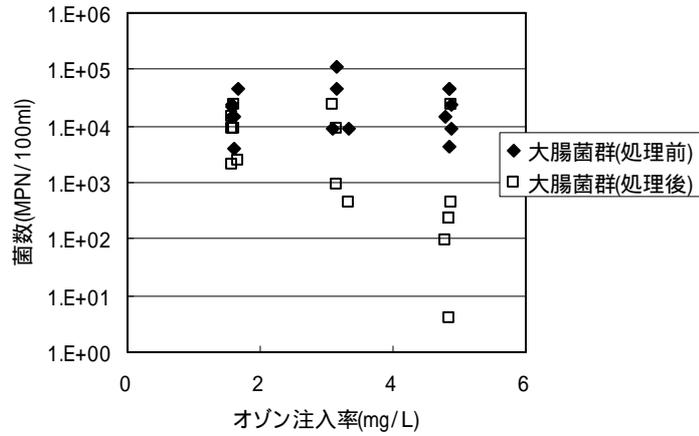


図- 3.3.1.26 オゾン注入率と大腸菌群低減効果の関係

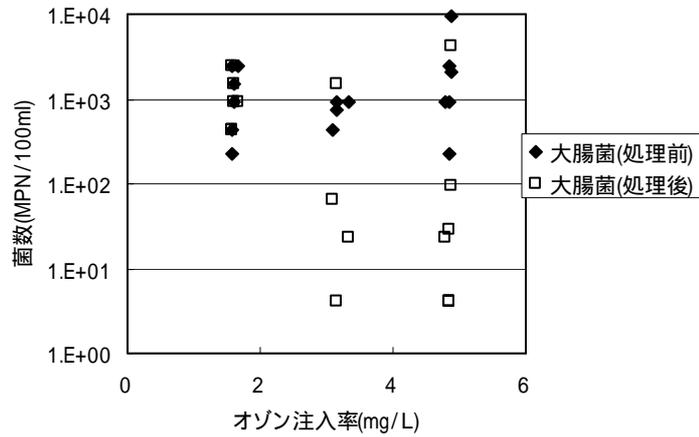


図- 3.3.1.27 オゾン注入率と大腸菌低減効果の関係

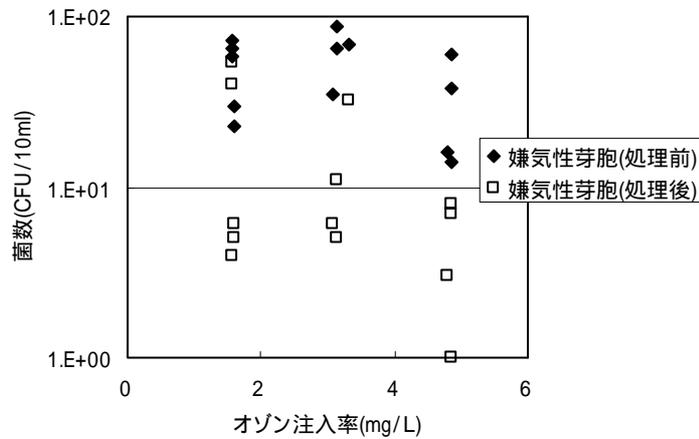


図- 3.3.1.28 オゾン注入率と嫌気性芽胞低減効果の関係

本実験においてオゾン注入率が約 1.5 mg/L の場合とオゾン注入率が約 3.5 ~ 5mg/L かつ反応塔高さが 1.6m の場合に、大腸菌群または大腸菌が低減されないケースがあったため、これらの条件を採用あるいは適用する場合には、消毒効果が期待できない可能性が高いことが示唆された。

3) まとめ

内分泌かく乱物質の低減を効率的に行うためのオゾン処理運転方法を確立するため、湖北総合実験施設においてパイロットプラント実験を実施した。結果を以下に整理する。

接触時間約 3 ~ 15min、反応塔高さ 1.6 ~ 4.1m の範囲で、オゾン注入率が約 1.5 ~ 5mg/L の範囲では、BPA についてはオゾン注入率約 5mg/L で、NP と E2 についてはオゾン注入率約 3mg/L 以上でほとんど検出下限値未満まで低減された。一方、E1 についてはオゾン注入率約 5mg/L で定量下限値未満まで低減された。

NP、BPA、E2、E1 の低減効果に違いが見られたオゾン注入率が約 1.5mg/L の条件において、オゾン接触時間約 3 ~ 15min の範囲では、接触時間によるそれらの低減効果の明確な違いは見られなかった

オゾン注入率約 1.5mg/L の条件において、オゾンにより酸化されやすい不飽和結合を有する有機物の指標である E₂₆₀ が 0.09 以下では、NP、BPA 及び E2 は検出下限値未満に、E1 は定量下限値以下に低減されており、オゾンとの反応における競合物質の簡便な指標として E₂₆₀ を用いることの可能性が示唆された

オゾン注入率が約 1.5 mg/L の場合とオゾン注入率が約 3.5 ~ 5mg/L かつ反応塔高さが 1.6m の場合に、大腸菌群または大腸菌が低減されないケースがあったため、これらの条件を採用あるいは適用する場合には、消毒効果が期待できない可能性が高いことが示唆された。

(4) おわりに

二つのパイロットプラント実験により、オゾン処理による内分泌かく乱物質等の低減を効率的かつ適切に行うための知見が得られた。下水処理において内分泌かく乱物質等を更に低減するためには様々な手法が考えられるが、既に導入されているオゾン処理施設を有効に活用する、あるいは、今後他の目的もあわせてオゾン処理施設を導入する場合には、この知見を参考に運転管理・施設設計することにより、下水処理において内分泌かく乱物質等の更なる低減を適切な運転方法で、なおかつ経済的に進めることができる。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部：平成 12 年度下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査報告書，2001.3
- 2) 例えば、能勢ら：オゾンによる下水二次処理水の内分泌攪乱化学物質の分解，第 37 回下水道研究発表会講演集，pp.710-712，200.7
- 3) (財)下水道新技術推進機構：二次処理水を対象としたオゾン処理システム技術マニュアル、1997.6
- 4) (社)日本水道協会：上水試験方法 2001，p.155，2001
- 5) 環境省総合環境政策局環境保険部：ノニルフェノールが魚類に与える内分泌攪乱作用の試験結果に関する報告(案)、2001.8
- 6) 環境省内分泌攪乱化学物質問題検討会：平成 16 年度第 1 回資料 5 - 2 魚類を用いた生態系への内分泌攪乱作用に関する試験結果について(案)、2004.7
- 7) 環境省内分泌攪乱化学物質問題検討会：平成 15 年度第 1 回資料 5 - 2 魚類を用いた生態系への内分泌攪乱作用に関する試験結果について(案)、2003.6
- 8) 環境省内分泌攪乱化学物質問題検討会：平成 14 年度第 1 回資料 5 魚類を用いた生態系への内分泌攪乱作用に関する試験結果について(案)、2002.6

3.3.2 保水性舗装・雨水貯留技術の開発

(1) 開発のねらい

都市部における水循環の改善を図るとともに、近年、都市に見られる短時間の降雨強度の強い集中豪雨（以下、都市型豪雨という）への対応およびヒートアイランド現象の原因ともなっている地表面の高温化の緩和を目的に、雨水の貯留・蒸発機能を有した舗装を開発した。

雨水の貯留場所は、歩道下、車道下、隣接敷地が考えられるが、すべての道路において、共通に確保できるスペースは車道下の路盤内である。その他のスペースについては、周辺の立地条件に左右されるため、道路管理者の判断で設置が可能となる車道下路盤内の貯留を選択した。なお、歩道下や隣接敷地についても、立地条件や他の管理者との調整が満たされれば、設置できるため、その設置を考慮しないものではない。路盤内貯留材の選定においては、一般的に路盤材として使用されている材料を貯留性能に加えて経済比較をして選定を行った。

また、地表面温度の低減効果が高いと考えられる舗装技術の仕様を決定する際には、室内試験を実施し、地表面温度の低減効果が高かった保水性舗装を採用することとした。

さらに、保水性表層に水を供給する技術については、無動力での供給を前提としているので、毛細管現象による給水を採用することとした。

(2) 機能の設定

都市部における水循環と熱環境を同時に改善することを目指した舗装に求められる機能として、

ア．地表面が舗装されているために、降雨が河川に短時間の内に流入する状況を改善すること

イ．都市の熱環境のうち、特に、夏季の日射により地表面温度が高くなる状況を改善すること

を条件として、本舗装の開発に当たっては、舗装の下部若しくは近傍に雨水を貯留し、その水を活用して路面から蒸発させることにより上記2つの条件に対応することとした。なお、貯留した雨水は次の降雨に備えて、蒸発に必要な量を確保した後に徐々に放流する必要がある。また、管理を容易にすること及び他の環境への配慮から自然の力で貯水した水を舗装表面から蒸発できる仕組みを持つことを目標とした。さらに、近年の都市における降雨強度に対応するため、降った雨を素早く貯留できることも条件とした。以下に設定した条件、材料の選定及び設計について記述する。

1) 貯水機能

a) ヒートアイランド対策

活動が集中する都市においては、人工排熱の増加、地表面被覆の状況の変化等の影響によって都市中心部の気温が周辺より高くなるヒートアイランド現象が発生し、特に、地球温暖化とも相まって夏の高温化は大きな社会問題となっている。これに対応する施策の一つに、舗装面の温度の低減をねらった技術が開発されつつある。ここでは、水循環の観点

からも有効な舗装面から水分を蒸発させる機能を有する舗装を採択し、降雨間隔と1日あたりの蒸発量から貯留すべき水量を設定した。すなわち、既往の研究成果から蒸発量を $6 \text{ l/m}^2 \cdot \text{日}$ とし、夏場の連続無降雨日数データを参考に、12日間の持続性を持つこと、つまり 72 l/m^2 をヒートアイランド対策の観点から目指すべき性能の目安とした。

b) 洪水対策

都市部において、近年、短期集中豪雨、いわゆる都市型豪雨によって、しばしば洪水が発生している。このような状況に対応するため、平成16年に特定都市河川浸水被害対策法が制定されたところである。この法律に対応できることを開発目標として以下のように設定した。すなわち、

変更前の流出係数：0.3

変更後の流出係数：0.9

とした場合、河川局の資料によると、図-3.3.2.1に示す標準的な1/10確率降雨に対しては、最低限 330 l/ha の対策量が必要となることが示されている。一方、この対策量をすべて貯留することになると $1,260 \text{ l/ha}$ の対策が必要となる。しかし、今回の設計では、オフィスの排水を想定しており、設計の目標として、 500 l/ha (500 l/m^2) を1/10確率の基準降雨に対応する地表面流出の削減(都市型豪雨対応)の対策として設定した。

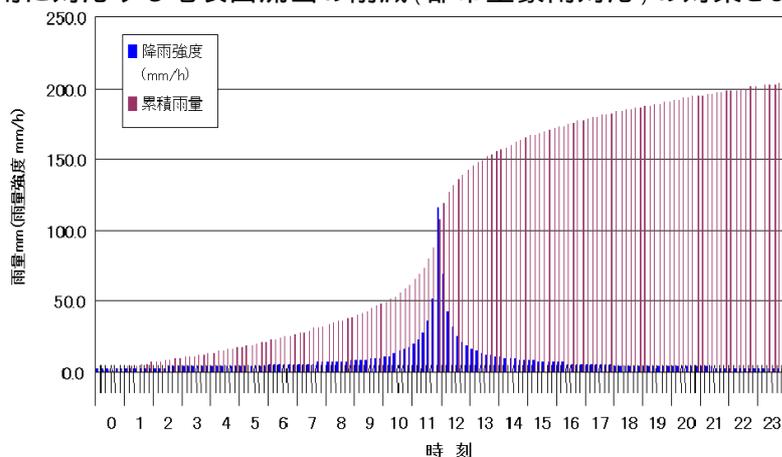


図 - 3.3.2.1 10年確率の標準的な降雨パターン

2) 地表面温度の低減機能

地表面温度を低減させる表面構造には、水の蒸発により温度を低減させるもの、赤外線を反射させることにより温度の低減を図るもの、表面のアルベドを大きくし温度の低減を図るもの、熱伝導率を高くして温度の低減を図るものなどが提案されているが、本開発では、水循環の改善をも目標としているため、水分の蒸発により温度を低減する形式を選択した。

(3) 材料の選定

材料の選定に当たっては、開発目標を満足する材料を選定することは、勿論であるが、入手の容易さ、経済性、施工性を考慮して選考した。

1) 貯水部

雨水の貯留場所は、すべての道路において共通に確保できる車道下の路盤内とした。歩道下のスペース、隣接地等のスペースを活用する場合、強度条件が緩くなるが、同様の仕様で対応することが可能である。

路盤内貯留材の選定においては、一般的に路盤材として使用されている材料を貯留性能に加えて経済比較をして選定を行った。路盤厚さが同じ場合には材料の空隙率の大きなものほど流出抑制効果も大きくなることから、路盤材料の空隙率が重要となる。表-3.3.2.1に示すように、各材料の空隙1m³あたりの単価を比較し、経済的に有利な単粒度5号砕石を選定した。

表-3.3.2.1 路盤材の評価

材料名		検討項目	空隙率 (%)	1m ³ 当たりの材料単価	空隙1m ³ 当たりの材料単価	評価	摘要	
1	C-40	下方粒度	18.6	3,200	17,204	○	H14年度試験結果	
2	C-40	上方粒度	8.2	3,200	39,024	△	〃	
3	M-30	下方粒度	10.1	3,900	38,614	△	〃	
4	透水性アスファルト安定処理		14.2	14,400	101,408	△	〃	
5	保水性ブロック		19.9	75,900	381,408	△	〃	
6	5号砕石		42.0	4,000	9,524	◎	H15年度試験結果	
7	プラスチック製貯留材		ポリプロピレン	90%以上	20,000	22,222	△	

評価基準

空隙1m ³ 当たり材料単価	10,000円/m ³ 以下	◎
	10,000～20,000円/m ³	○
	20,000円/m ³ 以上	△

車道下での流出削減効果について、以下に試算する。

$$\text{集水面積 } A = 10000\text{m}^2 = 1\text{ha}$$

$$\text{路盤厚 } H = 15\text{cm}, \text{空隙率 (単粒度砕石 5号)} 42\%$$

$$\text{可能貯留量 } V = A \times H \times 0.42 = 630\text{m}^3$$

$$\text{対策量 } V / A = 630\text{m}^3/\text{ha}$$

となり、十分な貯留容量が車道下に確保することが可能である。

2) 舗装部

舗装材を選定するに当たっては、実験室内で人工太陽を用いた実験を行い、蒸発量と表面温度の時間変化から温度低減効果を評価した。実験には、開粒度アスファルト舗装に保水剤を充填した保水性舗装、排水性舗装(表層下面に水位を固定)、透水性舗装、保水性ブロック舗装、河川道

(グレーチング、その下面に水位を固定)を試験区とし、対照区として密粒度アスファルト舗装を設定した。なお、保水性舗装については、国内の民間舗装会社で構成されている「保水性舗装技術研究会」会員会社25社に対してアンケート調査を行い、これに保水性舗装用ブロックのメーカー1社の商品一つを加え合計24の商品について保水性舗装の現状について検討を行った。

実験結果を図-3.3.2.2に示す。実験の結果から、最もよい成績をおさめたのは河川道であり、続いて保水性舗装の温度が低い。排水性舗装は、実験開始から暫くは比較的よい成績であるが、時間の経過とともに温度が徐々に上昇し、6時間後には、密粒度アスファルト舗装と同じ温度となっている。この結果から、ここでの設計では保水性舗装を採用することとした。

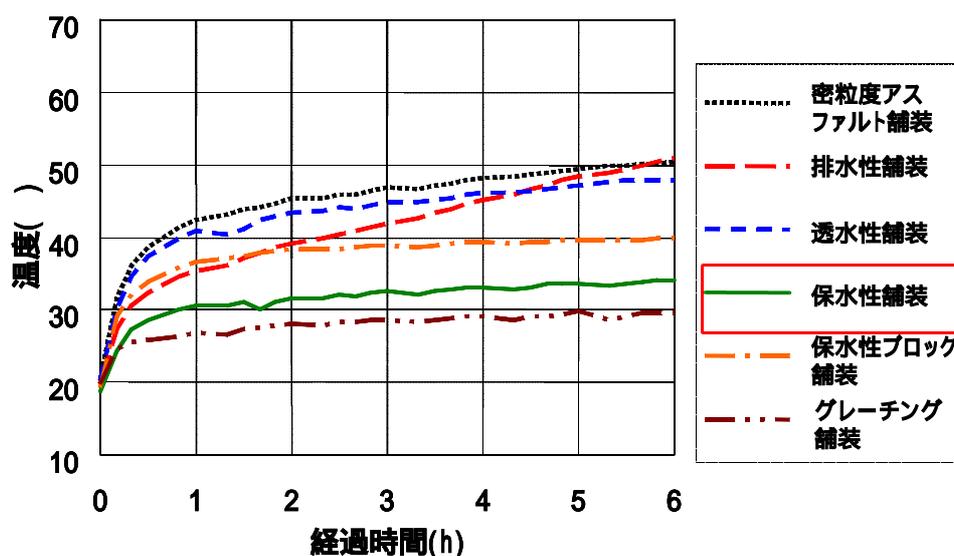


図-3.3.2.2 人工太陽下における舗装温度の変化

3) 吸水部

貯留した雨水を舗装の表面に移動させる手段はさまざまなものが想定されるが、本開発では外部からのエネルギー供給なしで舗装の表面に給水できることを前提に手段を検討しており、貯留した雨水を毛管現象を活用し、舗装表面に移動させる方法を採用することとした。この方法を実現させるためには、舗装の表面から蒸発する推量を補充するのに必要な吸水速度を確保する必要がある。必要吸水速度は、蒸発速度から1平方メートル・1時間当たり0.6リットル(0.6 l/m²/hr)に設定した。

毛管現象を活用して給水する方法として、繊維状の材料あるいは粒状の材料を用いる方法が考えられるが、本開発では粒状の材料を用いることにした。材料の選定に当たっては、設定吸水量を満足する吸水特性を有することを前提に実験により行った。図-3.3.2.3は、入手が容易で吸水性能の高い4つの材料で高さ30cmのコアを作成し、その底面を水面に触れさせて吸水高さの時間変化を見たものである。この結果から、珪藻土の吸水性能がフライアッシュ、ガレオナイト及び鹿沼土と比較して優れていることを確認した。

さらに、吸水性能以外に充填性、経済性の観点を加え総合的に評価した結果(表-3.3.2.2)、材料価格は高いものの、充填性、吸水性に優れた珪藻土を吸水材として採用す

ることとした。

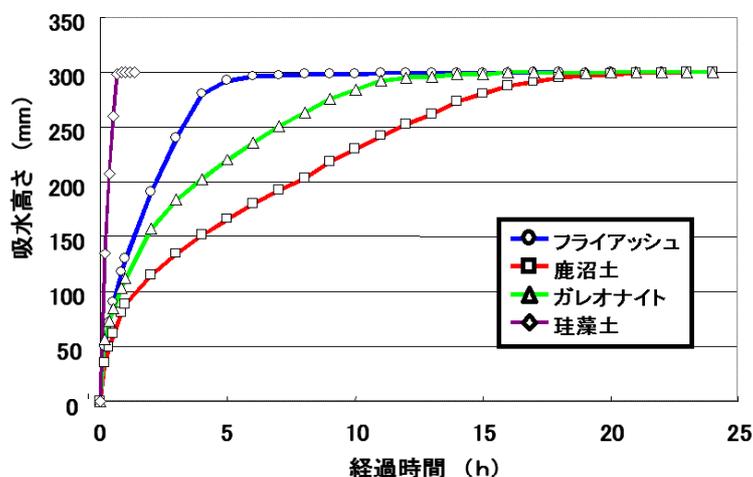


図-3.3.2.3 吸水性能の比較実験結果

表-3.3.2.2 毛管材の比較評価

毛管材	充填性(水と混合攪拌して、浸透充填)	コスト		評価
		材料単価 (円/kg)	充填材 (円 / L)	
ガレオナイト		30 (74 μ 以下の粒度調整要)	30	必要保水量0.6L/m ² /hrを十分満足。ただし、毛管材と水面が接している時間を長くとの必要がある。
フライアッシュ	沈降分離して体積収縮が起りやすい	25 (74 μ 以下の粒度調整要)	30	必要保水量の約50倍の保水力を有する。但し、充填性に問題があり、改善を要する。毛管材と水面が接している十分な時間が必要。
鹿沼土		50 (74 μ 以下の粒度調整要)	40	必要保水量0.6L/m ² /hrを十分満足。ただし、毛管材と水面が接している時間を長くとの必要がある
珪藻土		200	80	必要保水量の約50倍の保水力を有する。さらに、毛管材と水面が接している必要時間が最も短い。但し、コストが高い。

(4) 舗装の設計

室内実験の結果から、舗装のパーツごとの材料を決定したが、ここではそれらのパーツを構成部材とした舗装全体の設計について記述する。

1) 舗装構成

①表層－保水性舗装 層厚 = 5cm

保水材として、(株)NIPPONコーポレーションの「クールポリシール」を採用。

②基層－開粒度アスコン+毛管材(珪藻土) 層厚 = 5cm

B交通に対応する一般的な舗装構造は、表層+基層 = 10cmであり、基層は開粒度アスコン $t = 5\text{cm}$ とした。なお、室内試験の結果から、この構造で表層への吸水に支障のないことを確認している。

③上層路盤－単粒度5号砕石+毛管材(珪藻土) 層厚 = 15cm

④下層路盤－単粒度5号砕石 層厚 = 15cm

上記厚さの内、表層へ水を供給するため下層路盤内に貯留する水深を 5cm した。これは、単粒度5号砕石の空隙率を約 40%として、 1 m^2 当たりの貯留量を計算するならば、 200 l/m^2 となり、1日当たりの蒸発量を 60 l/m^2 に対し約3日分の貯留量となる。

⑤吸水部－単粒度5号砕石+吸水材(珪藻土) $W = 20\text{cm}$

下層路盤内に貯留した水を上層路盤～基層～表層まで吸水させるために、端部に吸水部を設ける設計とし、吸水部の必要幅(W)を以下の手順で検討した。なお、この幅は、図-3.3.2.4に示す規模で実施した屋外実験のためのものであり、舗装の規模により調整する必要がある。

- ・ 保水性舗装 1 m^2 当たりの蒸発量を 6000 g/日 (60 l/日) とすると、舗装面積 10.8 m^2 では、 $6000\text{ g/日} \times 10.8\text{ m}^2 = 64800\text{ g/日}$ となる。
- ・ 室内試験で得られた測定結果によれば、吸水高さ 25.4cm に要する時間は 28.9分 (52.7cm/hr) で、 1 m^2 当たりの吸水量は 43362 g/m^2 である。
- ・ 室内試験では、水平吸水速度を測定していないため、水平吸水速度 = 垂直吸水速度と安全側で仮定すると吸水長さ 5.4m の移動に要する時間は、 $540\text{cm} \div 52.7\text{cm/hr} = 10.3\text{hr}$ となる。
- ・ 10.3時間 で 64800 g の吸水をおこなうとすれば、1時間当たりの吸水量は 6291 g/hr となる。
- ・ 珪藻土単体での必要厚さは、吸水部の幅を 2.0m とすると、 $W_a = 6291 \div 43362 \div 2 = 0.073\text{m} = 7.3\text{cm}$ となり、空隙率 42% の単粒度5号砕石に充填することから、吸水部の必要幅(W)は $W = 7.3 \div 0.42 = 17.3\text{cm}$ となり、 $W = 20\text{cm}$ とした。

これらを図-3.3.2.5に示す。

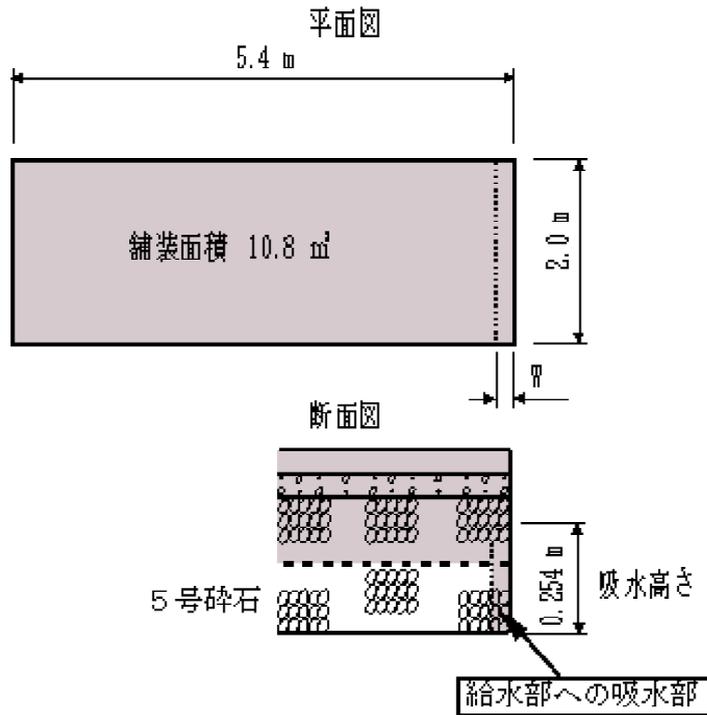


図- 3.3.2.4 屋外実験における給水部の設計

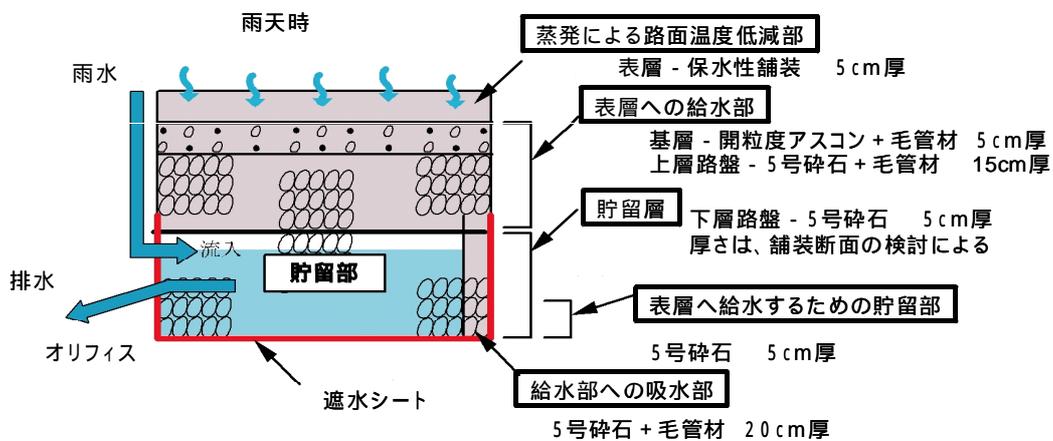


図-3.3.2.5 実験施設の舗装技術の仕様

設計した舗装全体の貯留量を下記の仮定の下に試算した。

碎石は、吸水しない

珪藻土の吸水率：76%

保水材の吸水率：58%

路盤の空隙率：30%

開粒度舗装の空隙率：20%

$$\begin{aligned}
 & \text{舗装体全体での貯水可能体積} = 5 \times 0.2 \times 0.58 + 5 \times 0.2 \times 0.76 + 15 \times 0.33 \times 0.76 \\
 & \quad (\text{給水部: 表層} + \text{基層} \quad \text{上層路盤}) \\
 & \quad + 5 \times 0.33 \\
 & \quad (\text{貯留部: 下層路盤}) \\
 & \quad \approx 5.1 \text{cm (給水部)} + 1.7 \text{cm (貯留部)} \\
 & \quad = 6.8 \text{cm} = 68 \text{ l/m}^2
 \end{aligned}$$

試算の結果、68 l/m²となった。

(5) 舗装の性能確認

設計した舗装の性能確認のための屋外実験を以下のとおり実施した。

1) 実験施設

実験施設の平面図と立面図をそれぞれ図-3.3.2.6、図-3.3.2.7に示す。また、敷設の状況を写真-3.3.2.1に示す。

実験は、本開発で設計した舗装と比較工区として、通常の保水性舗装と保水性舗装の下面から常時給水する舗装の2つを敷設した。以後、開発した舗装をタイプ2、通常の保水性舗装をタイプ1、常時給水された保水性舗装をタイプ3として、記述する。

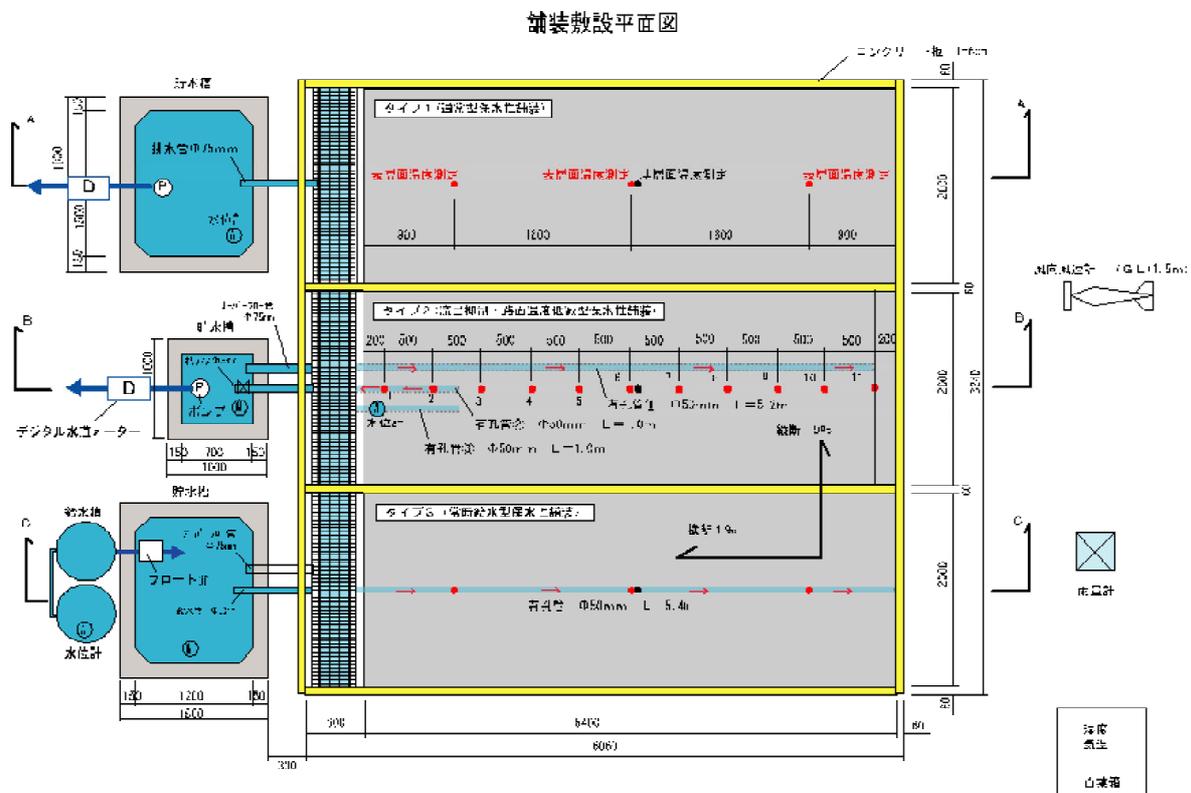


図-3.3.2.6 屋外実験施設の平面図

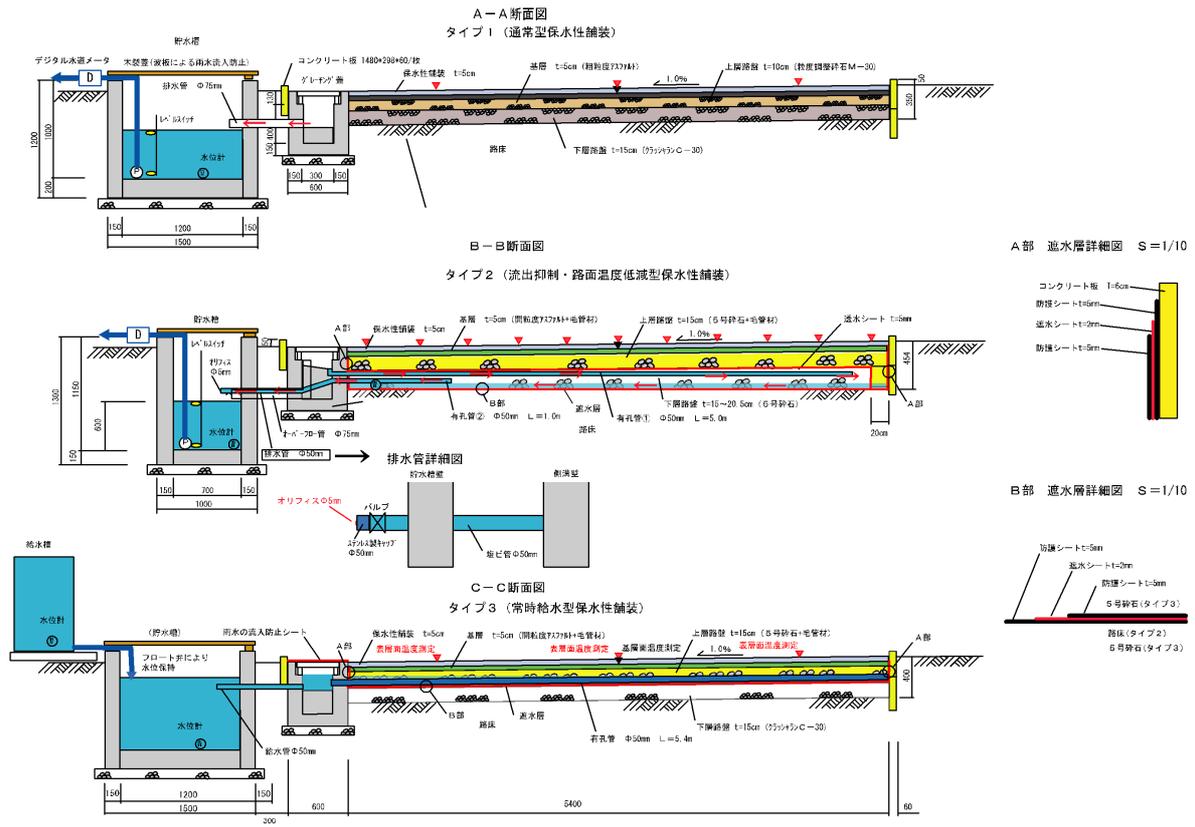


図-3.3.2.7 屋外実験施設の立面図



写真-3.3.2.1 屋外実験施設の全体写真 (左からタイプ1, タイプ2, タイプ3)

2) 実験の期間と手順

計測は、平成**16**年**7**月**20**日から**9**月**6**日まで実施した。

実験の初期条件として以下のとおりの手順を踏んだ。

①タイプ1（通常の保水性舗装）

舗装工事完了から計測開始まで、シートで養生を行っており、計測開始前には路面に十分散水を行った。

②タイプ2（今回開発した舗装）

舗装工事完了から計測開始まで、シートで養生を行っており、防水シートからの漏水確認のため路盤内には一定水位に保持していた。計測開始前に、オリフィスから排水して下層路盤に**5cm**の水位で貯留されている状態とし、路面に十分散水を行った。

③タイプ3（常時給水型保水性舗装）

舗装工事完了から計測開始まで、シートで養生を行っており、防水シートからの漏水確認のため路盤内には一定水位を保持していた。計測開始前に排水して上層路盤の給水材には十分に保水された状態とし、路面に十分散水を行った。なお、実験において**8**月**5**日**9:00**までは、雨水が上層路盤に入らないように側溝部をシートで覆って、外部からの給水のない状態としていた。また、給水は**8**月**5**日の午前中に一定給水装置から開始し、それ以降は常時一定水位を保ちながら給水されている状態とした。

実験では、気温、湿度、平均風速、**10**分間雨量、タイプ**1**・タイプ**2**の貯留槽水位、ポンプ排水量、タイプ**3**の給水槽水位および各舗装の表面温度を測定した。密粒舗装・タイプ**1**・タイプ**3**の表面温度はそれぞれの舗装における**3**測点の平均値である。タイプ**2**は吸水部から舗装全面に給水されているか確認するために**11**測点設置したが、No. **1**およびNo. **11**はコンクリート製品から**20cm**と近くに設置しているため、その温度の影響を受けやすいことが判明したことから、この**2**点を除く**9**測点の平均値とした。

今後示すグラフにおいて**7**月**25**日**8:30**から**7**月**26**日**8:20**までの欠測は、落雷に伴う停電によるものである。また、**7**月**31**日**10:00**から**8**月**1**日**8:50**までの欠測は、**7**月**31**日に行われた構内での停電作業によるものである。

3) 計測結果

a) 表層（保水性舗装）の温度

図-3.3.2.8に**7**月**20**日**18:30**から**8**月**15**日**9:00**までの気温、各舗装の路面温度、降雨量およびタイプ**2**の路盤内水位の測定結果を示す。評価を簡明にするため、日最高温度を評価の尺度とした。図-3.3.2.9に**7**月**20**日から**8**月**14**日間の密粒舗装を含めた各舗装タイプの最高地表面温度の経日変化を示す。

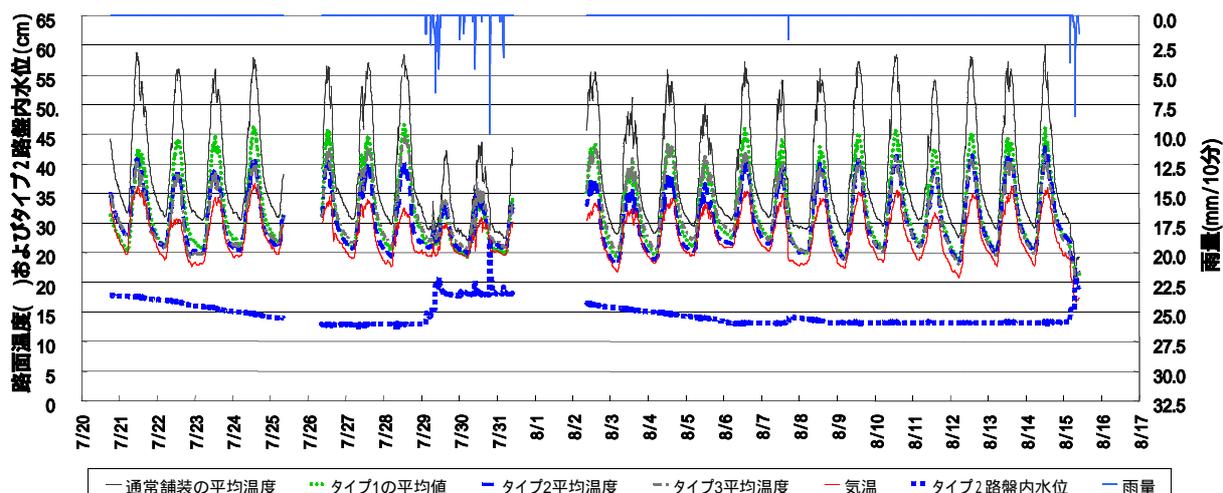


図-3.3.2.8 測定結果

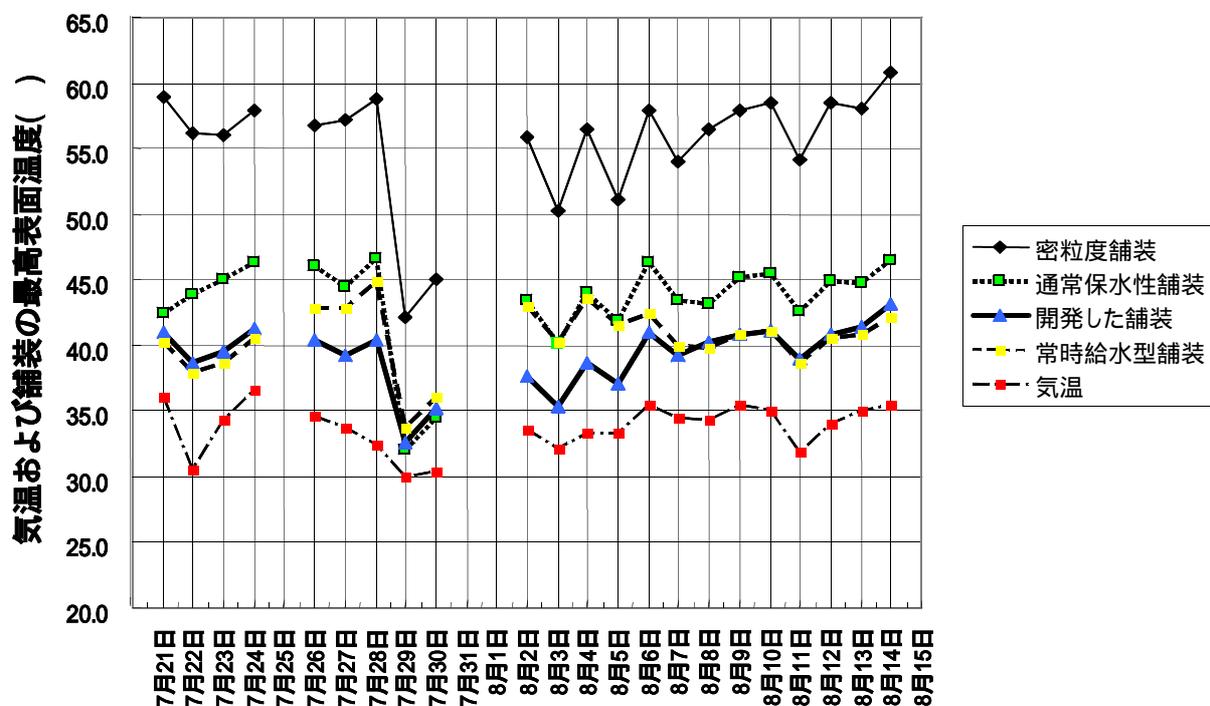


図-3.3.2.9 気温および各舗装の最高表面温度の継日変化

さらに、保水性舗装の効果の持続性を明らかにする試みとして、各舗装タイプの最高温度と密粒度舗装の最高温度との比を「温度比」と定義してグラフ化したものが図 3.3.8.10 である。

図-3.3.2.9 及び図-3.3.2.10 から、降雨後の影響のない 8 月 9 日～8 月 14 日までのデータにおいて下記のことが確認された。なお、前述のとおりタイプ 3 は 8 月 5 日 13 時より常時給水を開始しており、8 月 6 日以降は舗装表面から水分の蒸発により表面温度低減効果が発揮される状態となった。

ア 蒸発機能を有している状態での、密粒度舗装との温度差は平均 17.3 °C あった。

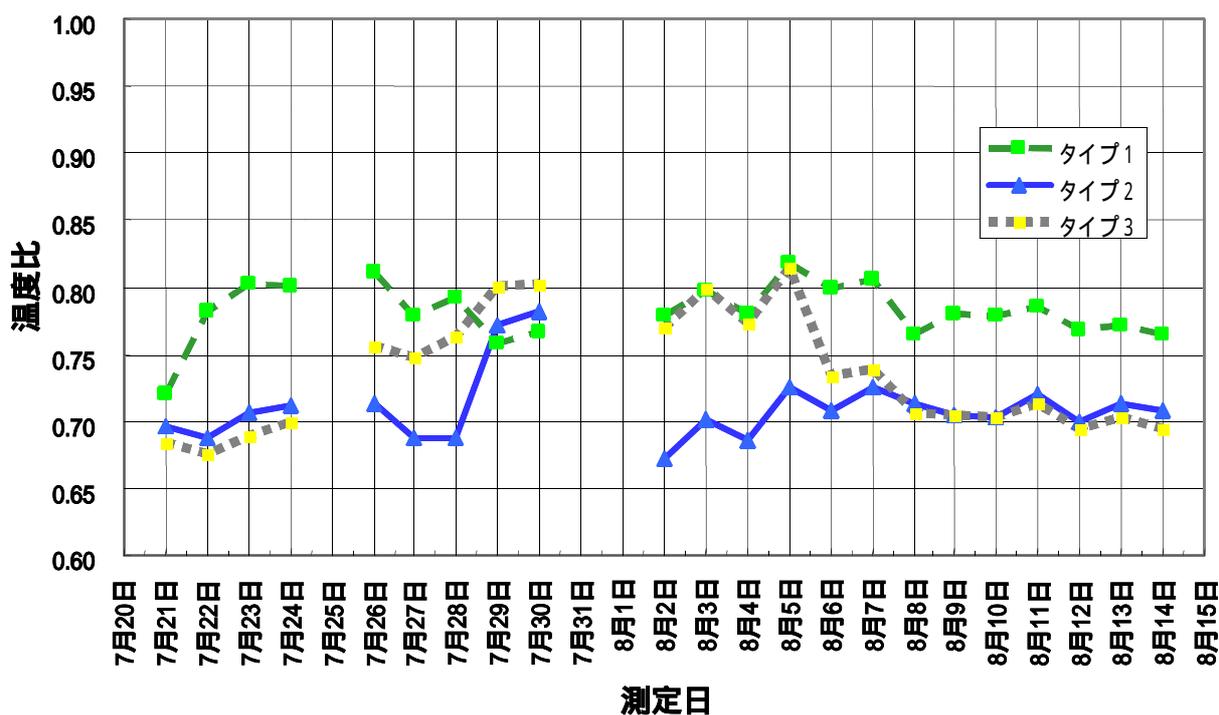


図-3.3.2.10 密粒度舗装との温度比

イ この期間は、タイプ1の蒸発量は殆ど無いと推定されることから、蒸発が無い状態での密粒度舗装との温度差は平均 **13.1℃**であった。この温度差が生じる大きな原因は、舗装表面のアルベトの差によるものといえる。

ウ ア、イより、蒸発機能による温度低減効果は、平均 **4.2℃**といえる。

エ タイプ1は**1日経過(7月21日)**までは、タイプ2およびタイプ3と数度の温度差であるが徐々に温度差が大きくなっていることから、タイプ1の持続性は**1～2日程度**と考えられる。

オ タイプ2は、図-3.3.2.8より路盤内貯留水が吸水されていることが確認できる。この吸水により、晴天時の温度比が**0.7**前後であり、**8月7日16時50分から17時10分**までに**3.5mm**の降雨があったが、**8月31日午前3時50分の降雨後から8月15日**の降雨までの**14日間**に亘り温度低減効果の持続性があったと考えられる。

また、図-3.3.2.11は、タイプ2の舗装表面に**50cm**間隔に計測した**9測点**の表面温度において、吸水部より最も近いNo. **10**と各測点との温度差を示している。この図より、時間が経過しても吸水部から遠い位置と近い位置の温度差が大きくなっていく傾向が見えないことから、タイプ2の地表面温度低減効果は舗装全面で発揮されていると判断できる。

カ タイプ3は、**3日目(7月24日)**以降から徐々にタイプ2との差が生じてきており、その間給水が行われていないため温度低減効果がなくなり**7日目**には、タイプ1と同じ状況となっている。

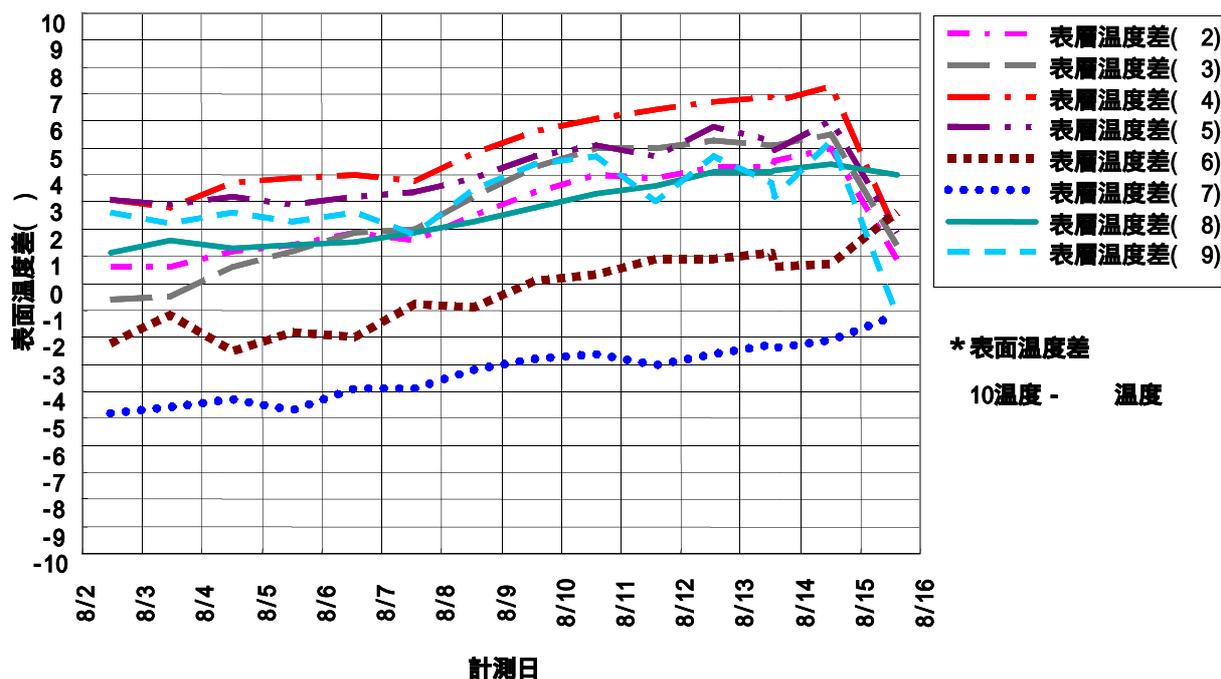


図-3.3.2.11 下層路盤からの給水部近傍（測点 No.10）と各測点の表面温度の差

b) 各舗装タイプの蒸発量の算定

① タイプ3の蒸発量

タイプ3は、8月5日13時より常時給水を開始した。その時点から、8月15日03時50分にまとまった雨（8月7日に3.5mmの降雨あり）が降るまでの期間のデータからタイプ3の日蒸発量を算定する。図3.3.8.12に時間雨量、給水速度および累加給水量を示す。初期の給水速度が大きな値を示す理由は、タイプ3の舗装が乾燥していたために、一気に保水材や毛管材により吸水されたためであると考えられる。また、累加給水量の曲線において、その勾配が一定になっている直線部（回帰部）においては、給水速度と蒸発速度は同値であると考えられ、その回帰式の傾きから、この期間に2mm／日程度の蒸発量があったことが分かる。

② 地表面温度の重回帰式

前項1)の直線部（回帰部）におけるタイプ3の地表面温度 $Ts3$ と蒸発（給水）速度 E (mm/day)、気温 Ta (°C)、湿度 Mo (%）、平均風速 Ve (m/s) との重回帰式を、実測データを用いて作成する。その結果を式①および表-3.3.2.3に示す。

$$Ts3 = -0.19E + 1.02Ta - 0.049Mo + 0.60Ve + 5.70 \quad \text{—①式}$$

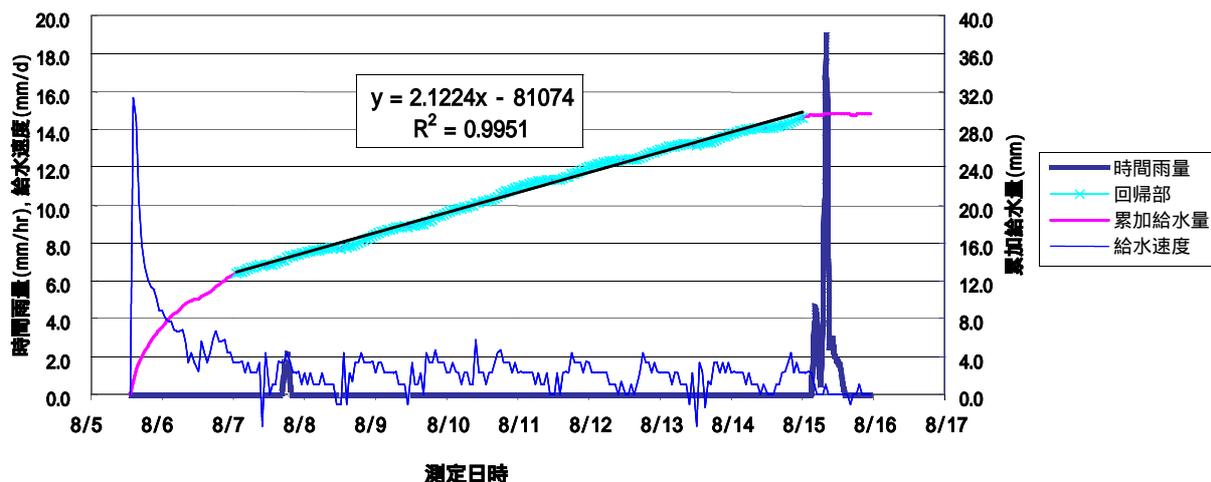


図-3.3.2.12 時間雨量、給水速度、累加給水量の計測結果

表-3.3.2.3 重回帰式の統計解析結果

回帰統計	
重相関 R	0.983469
重決定 R2	0.967212
補正 R2	0.966275
標準誤差	0.976885
観測数	145

分散分析表

	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	4	3941.113	985.2782	1032.457008	8.7E-103
残差	140	133.6026	0.954304		
合計	144	4074.716			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	5.7004	2.638317	2.16062	0.032426457	0.484302	10.9165	0.484302	10.9165
蒸発速度	-0.18968	0.066299	-2.86105	0.004870217	-0.32076	-0.05861	-0.32076	-0.05861
気温	1.021488	0.058357	17.5041	4.54083E-37	0.906112	1.136863	0.906112	1.136863
湿度	-0.04851	0.014482	-3.34946	0.00104067	-0.07714	-0.01988	-0.07714	-0.01988
平均風速	0.601841	0.222525	2.704592	0.007687709	0.161895	1.041786	0.161895	1.041786

また、①式を用いてタイプ3の地表面温度の予測値と実測値を比較したものを、図-3.3.2.13に示す。表-3.3.2.3の重相関係数や図 3.3.8.13から、精度よく予測できることがわかる。

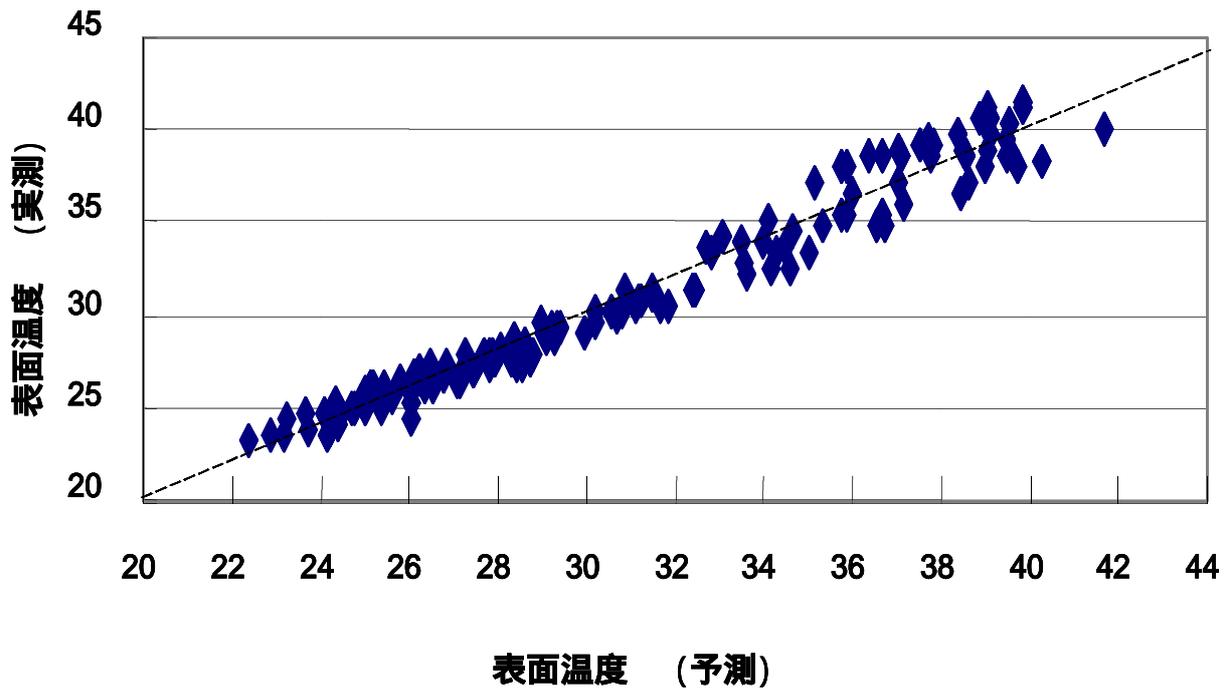


図-3.3.2.13 表面温度の予測値と実測値の比較(タイプ3)

③ タイプ2およびタイプ3の蒸発量の算定

前項の①式を E について解き、蒸発速度 (mm/day) を求めたものが②式である。

$$E = - 5.27 T_{si} + 5.39 T_a - 0.26 M_o + 3.17 V_e + 30.05 \quad \dots\dots \text{②式}$$

タイプ2とタイプ3は、表面の舗装は同等であるので、②式を用いてタイプ2およびタイプ3の蒸発速度 (mm/day) を求めることができる。その結果を図-3.3.2.14に示す。この結果から、タイプ2の給水量は必要量を満足していたと判断される。

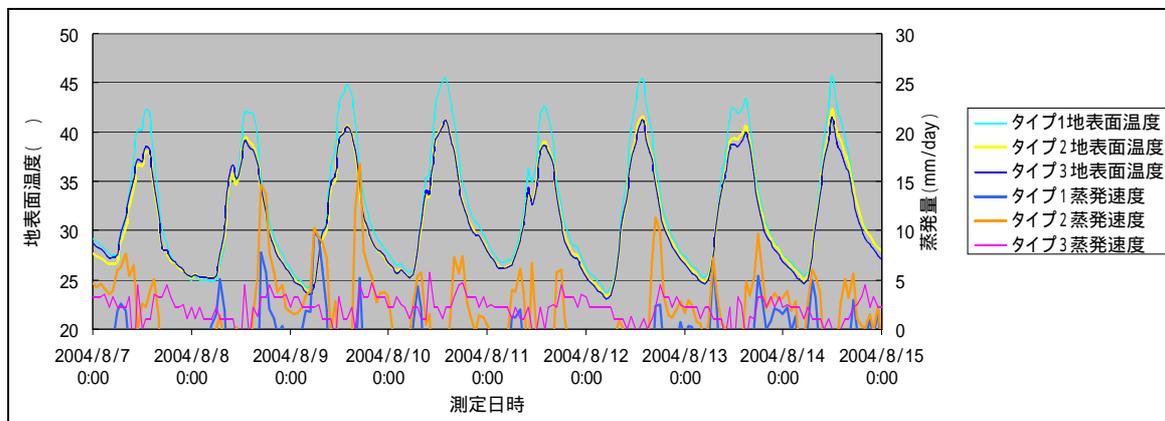


図-3.3.2.14 各舗装タイプの蒸発速度の算定結果

c) 地表面流出削減効果の整理・分析

① 実測データに基づく流出抑制効果の評価

開発した舗装の薄い流出削減効果を確認するため、測定開始日から9月20日までの期間の降雨から検証を行った。図-3.3.2.15は、測定開始より9月20日までの10分間降雨量を示している。ここで、降雨量の大きかった7月29日、8月15日および9月4日の降雨に対するタイプ1およびタイプ2の流出抑制効果を整理した。その結果を図-3.3.2.16、図-3.3.2.17および図-3.3.2.18に示す。

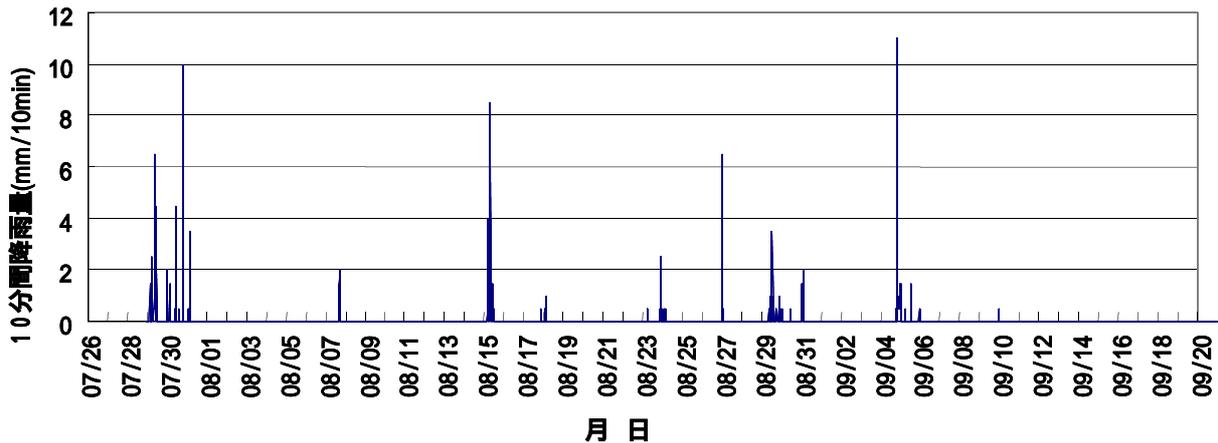


図-3.3.2.15 10分間降雨量の実績

流出抑制効果 (7月29日 5:30 ~ 15:30)

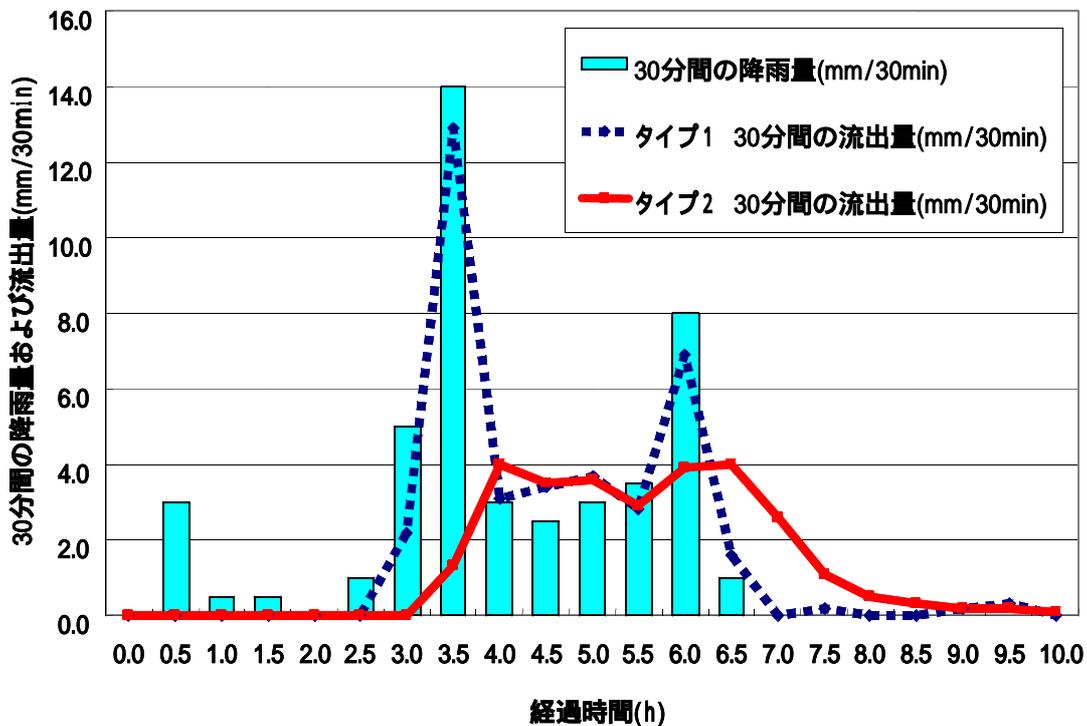


図-3.3.2.16 流出抑制効果(7月29日 5:30 ~ 15:30)

流出抑制効果 (8月15日 3:30 ~ 14:00)

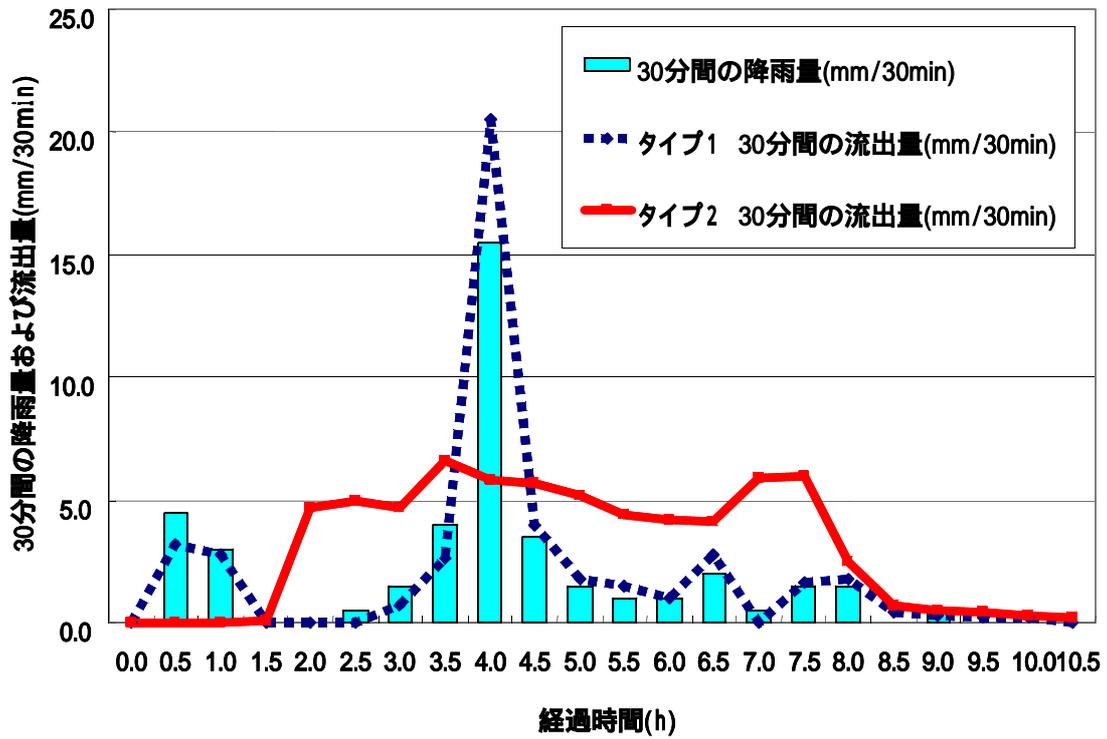


図-3.3.2.17 流出抑制効果(8月15日 3:30 ~ 14:00)

流出抑制効果 (9月4日 17:30 ~ 9月5日 4:00)

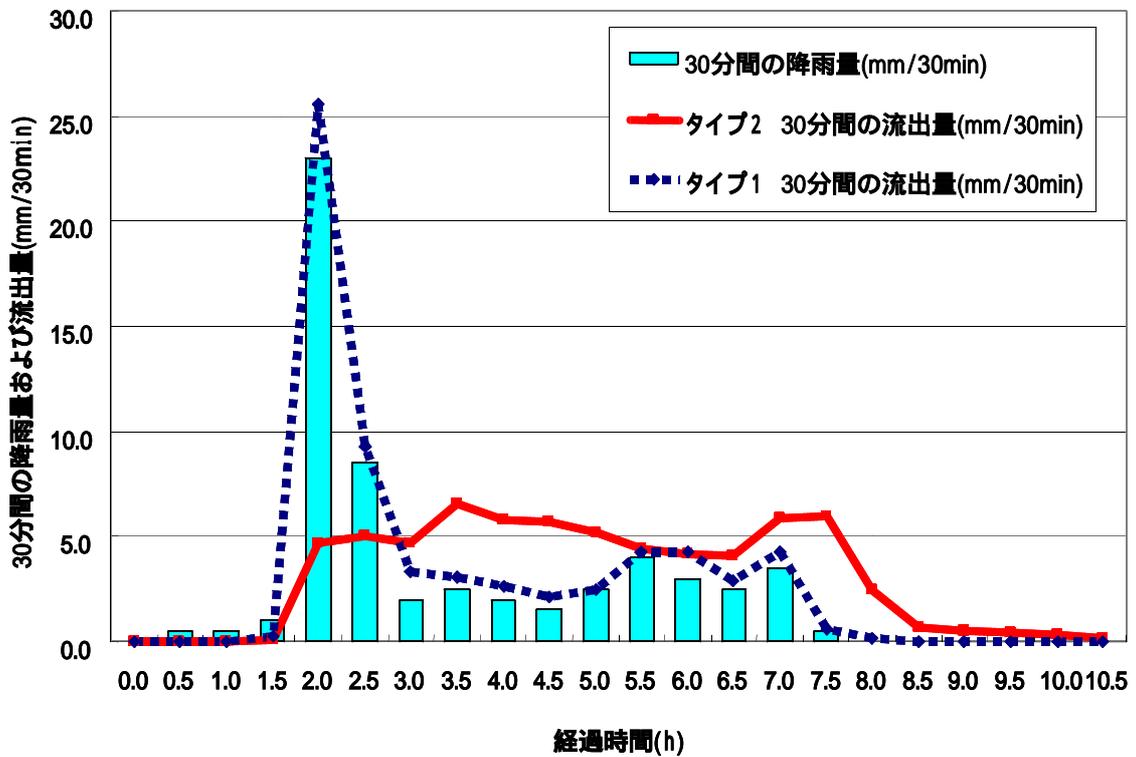


図-3.3.2.18 流出抑制効果(9月4日 17:30 ~ 5日 4:00)

これらの結果から、タイプ2のピーク流出量は、タイプ1と比較して小さく、顕著なピークがなくなっていることがわかる。また、タイプ2について「最大流出量」の「最大降雨量」に対する比をピーク流出率としてまとめると表-3.3.2.4に示すとおりであり、ピーク流出率は、約29%に抑えられている。したがって、観測された降雨規模においては、約70%程度の流出抑制率（流出抑制効果）が得られていることが分かった。

表-3.3.2.4 タイプ2における実績流出抑制率の算定結果

降雨日	最大降雨量 (mm/30min)	最大排水量 (mm/30min)	流出抑制率 (%)
7月29日	14.0	4.0	28.6
8月15日	15.5	4.4	28.4
9月4日	23.0	6.6	28.7

② 実験施設における砕石空隙率の算定

流出抑制効果を分析するためには、下層路盤の砕石空隙貯留による流出抑制の効果を明らかにする必要がある、そのために、まず、単粒度5号砕石の実空隙率を確認する必要がある。そこで、実験施設において注水実験を実施し、注水量と水位上昇の関係から路盤砕石の実空隙率を求めた。その結果を図-3.3.2.19に示す。

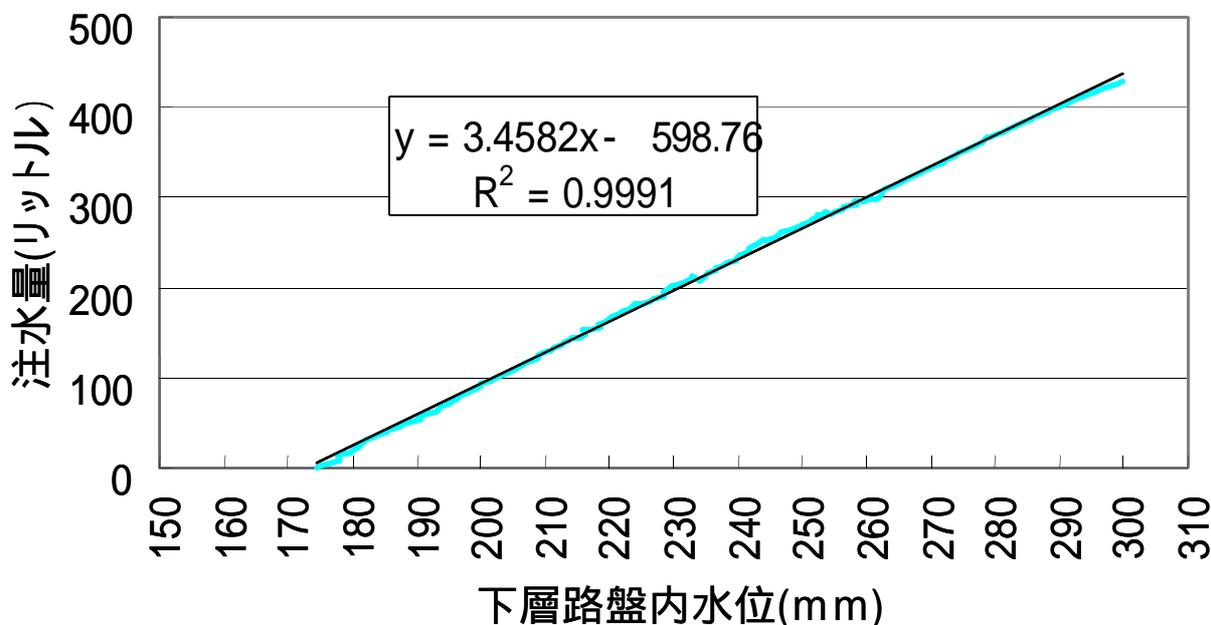


図-3.3.2.19 下層路盤内水位と注水量との関係

路盤内水位 175 mm～300 mmの水位 (X) と貯留量 (Y) の関係を回帰により求め

ると、その式は

$$Y = 3.46 X - 598$$

となる。

路盤水位 1 mm 当たりの貯留量は 3.46 リットルであり、路盤面積は 10.4 平方メートルであることから、砕石内部の有効空隙も含めた路盤砕石の空隙率は、

$$3.46 \div 10.4 = 0.333 \rightarrow 33.3 \%$$

であることを確認した。

d) 本舗装実施に伴う流出抑制効果の検証

① 貯留施設の設置面積率と流出抑制効果の検証

本舗装を道路面積 1 ha に対し 30%、50%、70% 設置した場合の流出抑制効果を下記の条件で検証する。

ア. 雨水流出のハイドログラフは下記の合理式により算定する。

$$Q_p = 1/360 \cdot f \cdot r \cdot A$$

ここに、 Q_p : ピーク流量 (m³/s)

f : 平均流出係数 = 1.0

r : 到達時間内 (t) の平均降雨強度 (mm/hr)

A : 排水面積 (ha) = 1.0ha

イ. 計画降雨波形は、東京都の 50 mm 式を用いた中央集中型とする。

$$r = 1,100 / (t^2/3 + 6.5)$$

$$t = 10 \text{ min.} \rightarrow r = 98.8 \text{ mm/hr}$$

ウ. 路盤砕石空隙貯留の仕様は表-3.3.2.5 のとおりとする。また、路盤採石貯留の概略構造を図-3.3.2.20 に示す。

上記ア、イ、ウの条件におけるピーク流出量および流出抑制低減率の算定結果を図-3.3.2.21、表-3.3.2.6 および図-3.3.2.22 に示す。

表-3.3.2.5 路盤砕石空隙貯留の仕様

貯留施設設置面積	空隙率	貯留厚さ	貯留量
3,000 (30%)	33.3%	0.15m	149.9 m ³
5,000 (50%)			249.8 m ³
7,000 (70%)			349.7 m ³

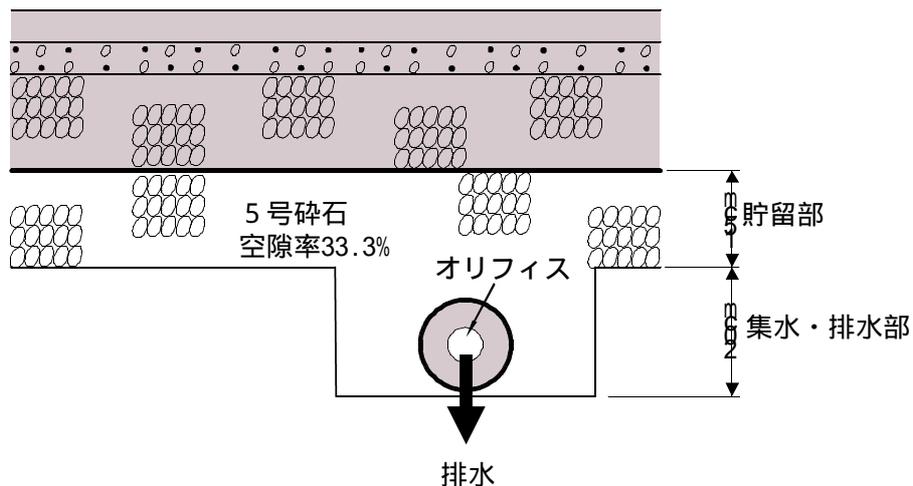


図-3.3.2.20 路盤採石貯留の概要

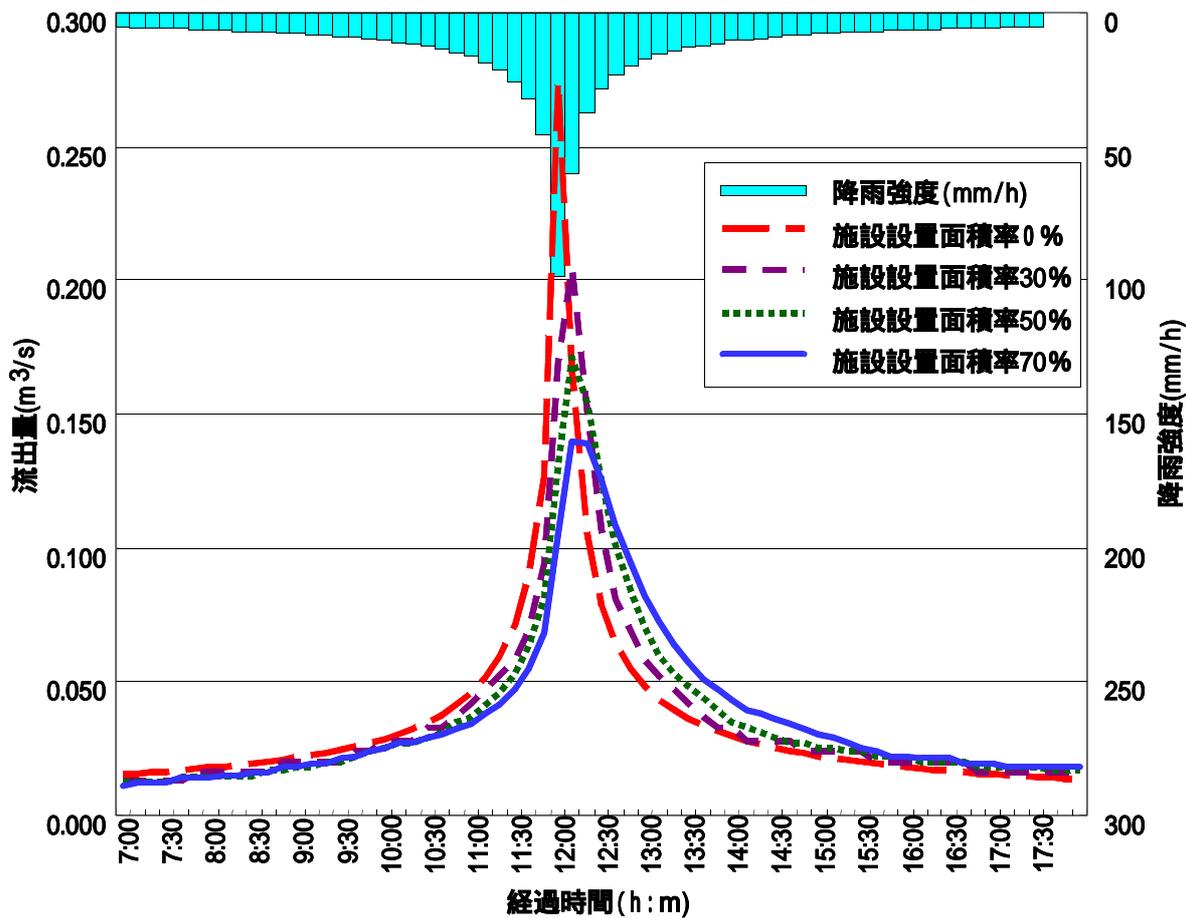


図-3.3.2.21 施設設置面積率とピーク流出量

表-3.3.2.6 施設設置面積率とピーク流出量・流出抑制低減率

道路面積 (m^2)	貯留施設設置面積 (m^2)	設置面積率 (%)	ピーク流出量 (m^3/s)	流出抑制低減率 (%)
10,000	0	0	0.274	0.0
	3,000	30	0.205	25.2
	5,000	50	0.171	37.6
	7,000	70	0.140	48.9
	9,000	90	0.117	57.3

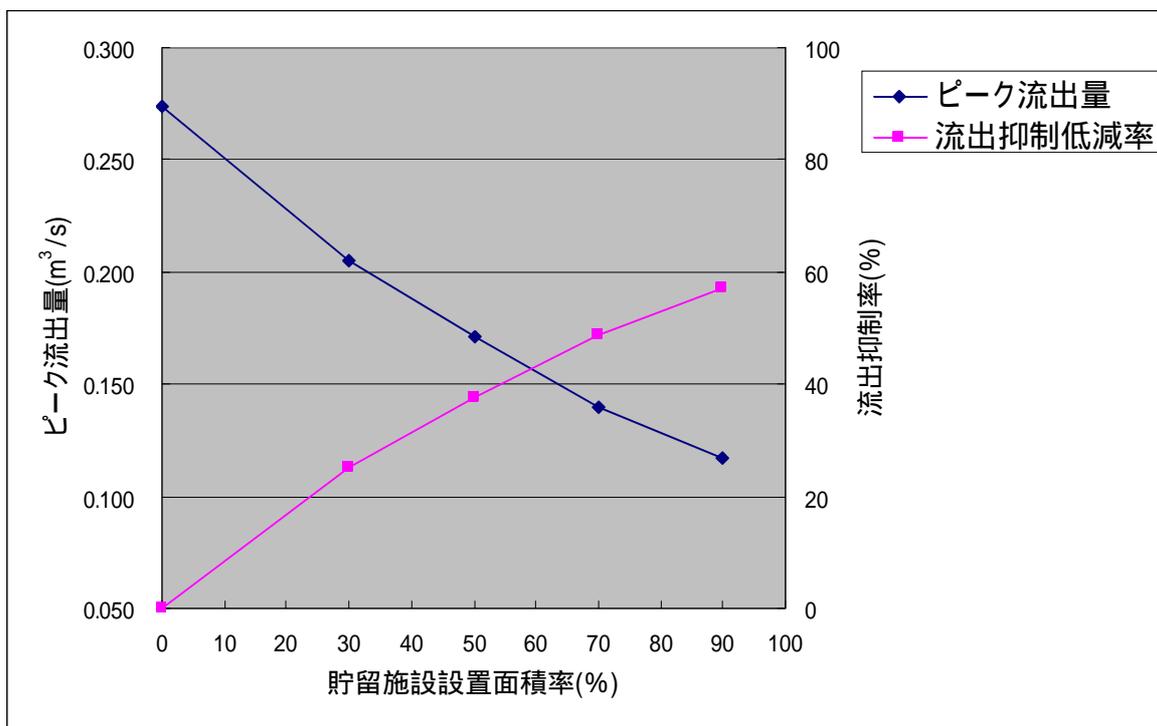


図-3.3.2.22 施設設置面積率とピーク流出量・流出抑制低減率

図-3.3.2.22 より、路盤貯留で 50 %の流出抑制率を達成するためには貯留施設設置面積率が 72.6 % (7,260 m^2) 必要となる。

e) 提案した舗装技術の評価

下層路盤内に路面排水の水を貯水して、雨水の流出抑制を図るとともに、貯水した水の一部を、毛管力を利用して表層の保水性舗装に給水するタイプ2の舗装技術に関し、その性能を評価すると以下のとおりまとめられる。

① 地表面温度の削減効果について

ア. 提案した舗装技術は、通常の密粒舗装に比べ、約 17℃程度の温度低減効果があっ

た。その温度低減効果の内訳は、舗装表面の色相によるものが **13℃**程度で、残り **4℃**が蒸発によるものと考えられる。

- イ. 提案した舗装技術(タイプ2)の地表面温度低減効果の持続性に関して、晴天が7日間続いた時点でも、常時給水を行っていた舗装(タイプ3)と同等な地表面温度となっており、また、算定した蒸発量も同等と見なされたことから、下層路盤内に貯留した水が表層に給水されることにより、地表面温度低減効果が持続して発揮されていることが確認された。
- ウ. 上記の観測期間の日蒸発量は、約 **2mm**程度であり、毛管材の吸水能力(毛管上昇能力)から見て、かなり低い数値である。これは表層の保水性舗装の蒸発特性によって律された結果と推測される。今後蒸発量を促進するためには、表層保水材の改良等が必要であると考えられる。

②地表面流出削減効果について

- ア. 下層路盤内の単粒度 **5号**砕石(空隙率 **33.3%**)の空隙に路面排水を一時貯留して、流出抑制を図る本法の効果は、観測された実降雨に対し、概ね **70%**減のピーク流出抑制効果があった。
- イ. 東京都 **50mm**降雨強度式に対して、道路面積 **10000m²**の **30%**(**3000m²**)、**50%**(**5000m²**)および **70%**(**7000m²**)に本舗装技術を適用した場合、それぞれのピーク流出量は約 **25%**減、約 **38%**減および約 **49%**減であると試算された。

f) 今後の課題について

- ア. 今回の実験においては、問題とならなかったが、上層路盤に毛管材を充填した層の水平方向の水の導水速度について、室内試験も含め定量的な検討を行っておらず、実施設への適用にあたって検討が必要である。
- イ. 路盤材料に単粒度 **5号**砕石を用いる場合、機械施工時のトラフィカビリティを考慮すると粒度調整材の使用が望ましく、空隙率が小さい時の毛管材の性能を確認しておく必要がある。
- ウ. 冬季の路面温度、凍結に対する挙動について、今後検証する必要がある。
- エ. 提案した舗装技術の強度や耐久性に対する検討が必要であり、実際の道路での試験・検証が不可欠である。

3.3.3 エコロジカルネットワーク保全・回復の計画・設計技術の開発

(1)はじめに

人口の増加に伴う開発による生息地の喪失、縮小および分断化が、世界中で野生動植物種と生物多様性にとっての最大の脅威となっている¹⁾。日本でも、特に開発の進んだ都市およびその近郊では、早急の対策が求められている²⁾。失われた自然環境や野生動物の生息地を回復し、人間と野生動物が共存できる自然共生型の社会を築くためには、生態系の保全や創出を盛り込んだインフラ整備を実施することが重要である。それを効率的に実施する計画として、エコロジカルネットワーク計画(生態系ネットワーク計画とも言う)が挙げられ、ここでは、日置(1999)より、エコロジカルネットワーク計画を「動植物の生育・生息環境の分断化を防ぎ、生態系の水平的なつながりを回復させて、生物多様性の保全を図るためのランドスケープ計画」と定義した³⁾。新・生物多様性国家戦略でも、生態系ネットワーク形成を主要テーマとして取り上げている。しかし、日本国内において、エコロジカルネットワーク計画は先進的な一部の自治体で策定されつつあるが、まだその緒についたばかりであり、その推進が求められている⁴⁾。

エコロジカルネットワーク計画手法を策定するためには、開発によって自然環境や野生動物の生息地が将来どのような影響を受けるのか、また保全や創出策によってどのような効果が得られるのかを事前に把握することが重要である。そのためには、生息地予測モデルを用いた種の潜在生息地の把握や、施策シナリオによる潜在生息地の将来予測を用いることが有効であると考えられる。しかし、現在のところこれらを用いた効果的なエコロジカルネットワーク計画の策定手法の確立までは至っていない。

そこで本研究では、エコロジカルネットワーク計画への生息地予測モデルとシナリオ分析の適用について、エコロジカルネットワーク計画の策定例を用いて検討した。

(2)計画対象地域の設定

本研究における、エコロジカルネットワーク計画の計画対象地域を図-3.3.3.1 および図-3.3.3.2 に示す。現在、エコロジカルネットワーク計画は行政区域を単位として策定される例が多いが、日本の多くの都市は水系の下流域に形成・発達し、水循環系や生態系に影響を及ぼしてきた経緯を有しているため、生態系の保全・回復には、都市を含む流域を単位とした計画が重要である⁵⁾。そこで、本研究におけるエコロジカルネットワーク計画の計画対象地域は、関東地方の埼玉県と東京都を流れる荒川流域とした(これを中域スケールと呼ぶ)。荒川は、埼玉県西部の秩父山地の源流から東京湾へ流れる、幹川流路延長 173.0km、流域面積 2,940km²の河川である⁶⁾。流域には多くの野生動物が生息する自然環境が豊かな奥山地域から、開発の進んだ都市地域まで、さまざまな特色を持った地域を含んでいる。

また、中域スケールの計画対象地域と、隣接する地域の自然環境や野生動物の生息分布などの関連を把握するため、広域スケールとして長野県や山梨県を含む関東地方を設定した。さらに、中域スケールよりも詳細な計画を策定するため、小域スケールとして荒川支川である小畔川流域と芝川流域を設定した。

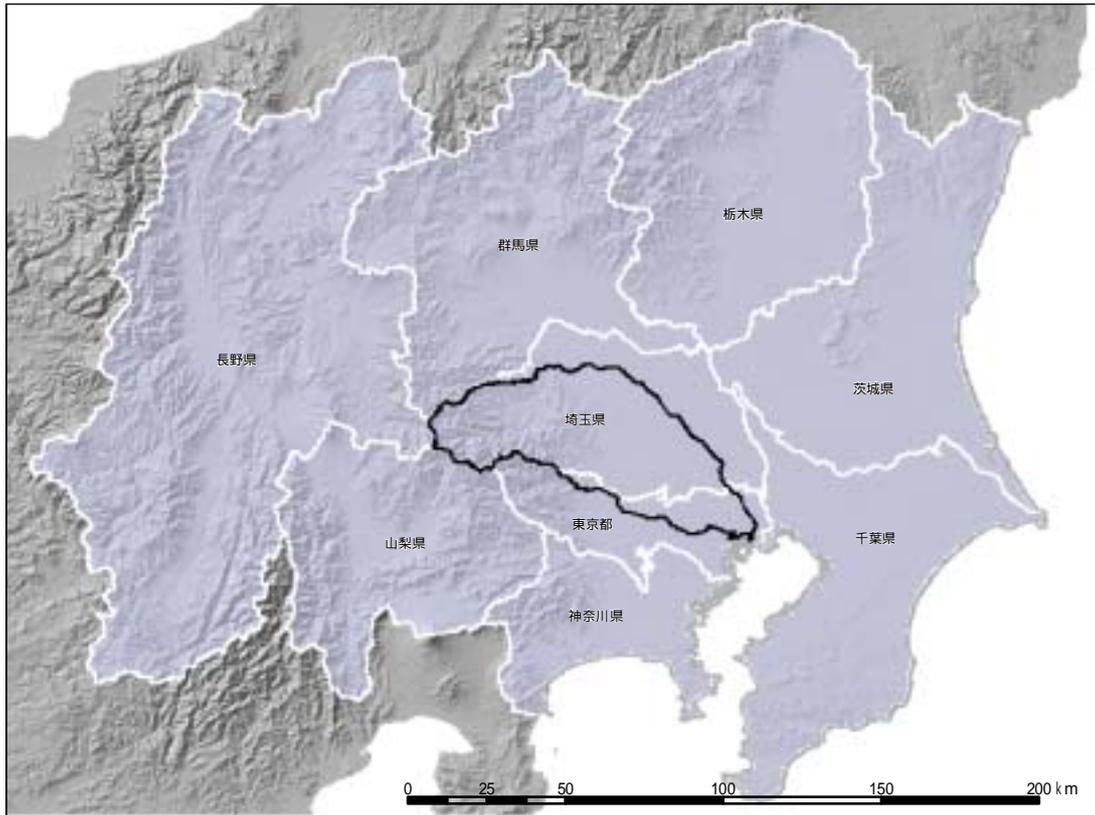


図-3.3.3.1 エコロジカルネットワーク計画対象地域（広域スケールおよび中域スケール）
 （広域スケール：長野県と山梨県を含む関東地方、中域スケール：黒枠で囲まれた荒川流域）

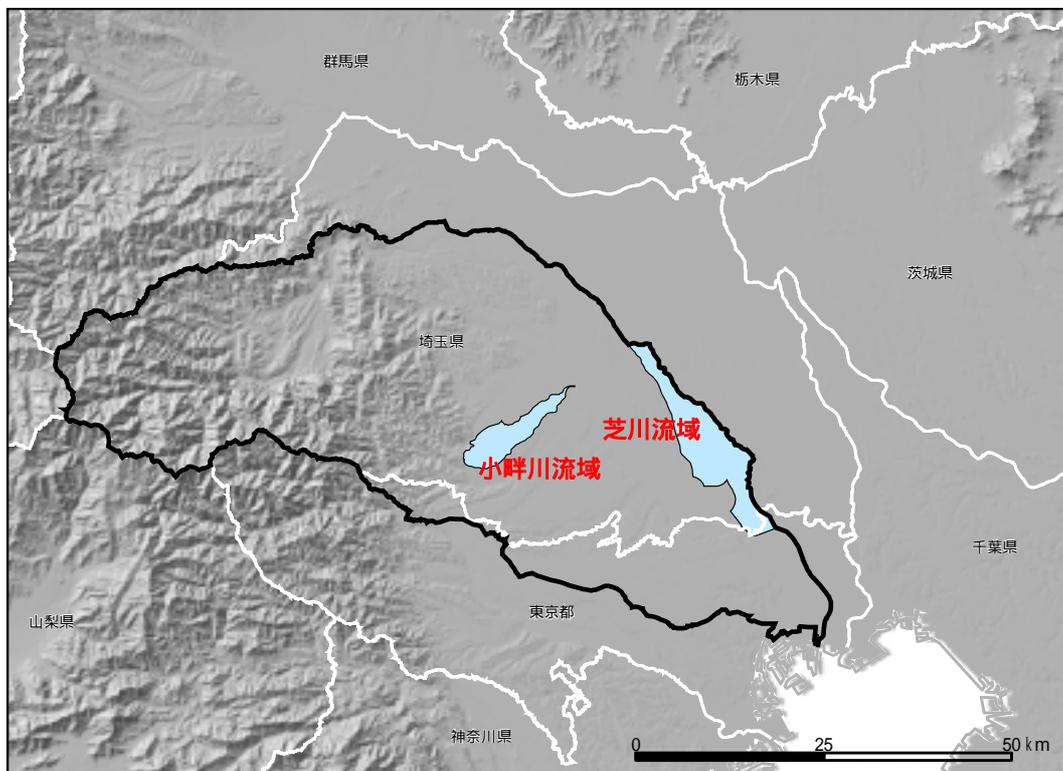


図-3.3.3.2 エコロジカルネットワーク計画対象地域（中域スケールおよび小域スケール）
 （中域スケール：黒枠で囲まれた荒川流域、小域スケール：水色で囲まれた小畔川流域および芝川流域）

(3) 計画策定手順

図-3.3.3.3 にエコロジカルネットワーク計画の策定手順の概略を示す。本研究の一連の作業は GIS⁷⁾を用いて実施するため、その準備段階として、計画対象地域における各種環境情報を GIS データとして整備した(表-3.3.3.1)。次に、エコロジカルネットワークを評価する指標種を設定し、その指標種の生息地予測モデルを構築して生息可能な環境を備えた生息適地(以下「潜在生息地」という)を抽出し、現況の潜在生息地を評価した。さらに、開発と自然環境の保全に関する施策のシナリオ(以下「施策シナリオ」という)に基づいた土地利用の将来変化から、潜在生息地の将来変化を予測した。最後に各施策シナリオの実行に要する費用と、予測後の潜在生息地の面積や分布等を比較し、費用と潜在生息地の面積変化を検討したうえでエコロジカルネットワーク計画を策定する手順とした。

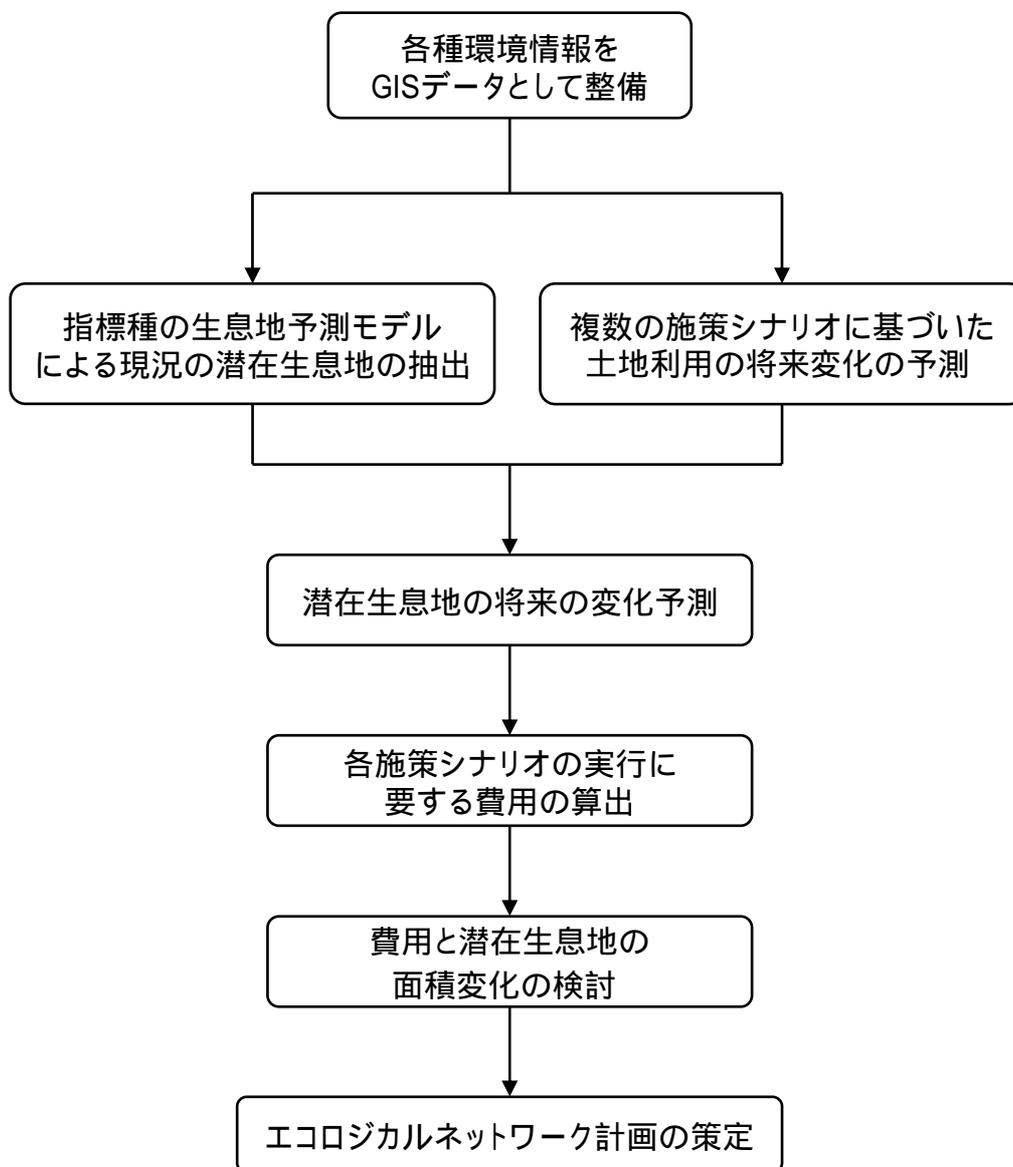


図-3.3.3.3 エコロジカルネットワーク計画策定手順

表-3.3.3.1 整備したGISデータ

	GISデータ	整備に使用したデータ
1	植生区分図	環境省自然環境GIS
2	地形区分図	国土庁土地分類図
3	社会条件図	環境保全や農林・都市計画関係の法規制

(4)指標種の生息地予測モデルの構築と潜在生息地の抽出

1)指標種の設定

エコロジカルネットワークを評価する指標種は、計画対象地域における生息環境を代表する種、生息環境や行動圏などの生態特性が既に把握されている種、さらに計画対象地域の大きさや、種の移動能力なども考慮し、表-3.3.3.2に示した種を設定した。

エコロジカルネットワーク計画を策定するにあたり、設定した指標種の生息環境や、その生息分布の現状を把握する必要がある。計画対象地域が広範囲な場合、現地調査によって種の生息分布を把握することは大変な費用と時間がかかり、現実的には困難である。そこで本研究では、「3.2.3 生態系予測モデルの開発」で構築した生息地予測モデルから潜在生息地を抽出する手法を用いた。生息地予測モデルを用いた潜在生息地を抽出することで、将来の土地利用の変化予測に伴う生息地の変化を予測することが可能となり、複数の施策シナリオの効果を比較することが可能となる。

生息地予測モデル（以下「モデル」という）とは、「3.2.3 生態系予測モデルの開発」でも述べたが、種の生息空間に関する既存知見や、植生・地形等の環境要素を組み合わせ、生息可能な環境を備えた生息適地（以下「潜在生息地」という）を抽出・図化し、現況の潜在生息地の面的な分布や、潜在生息地としての質が高い地域を把握するモデルのことである。生息地予測モデルの構築から潜在生息地の抽出・図化までの一連の作業をGIS上で行うことによって、広範囲かつ面的に潜在生息地を把握することが可能になるだけでなく、直接インフラ整備の計画に結びつけることができる。

表-3.3.3.2 設定した指標種

	計画対象地域	図化レベル	指標種
1	広域スケール	1/200,000	ツキノワグマ
2	中域スケール	1/50,000	ツキノワグマ、ニホンリス、シジュウカラ
3	小域スケール	1/10,000	ニホンリス、シジュウカラ

2)指標種の生息地予測モデルの構築と潜在生息地の抽出

「3.2.3 生態系予測モデルの開発」で構築したモデルを用いて抽出した指標種の潜在生息地を、図-3.3.3.4～図-3.3.3.6に示す。

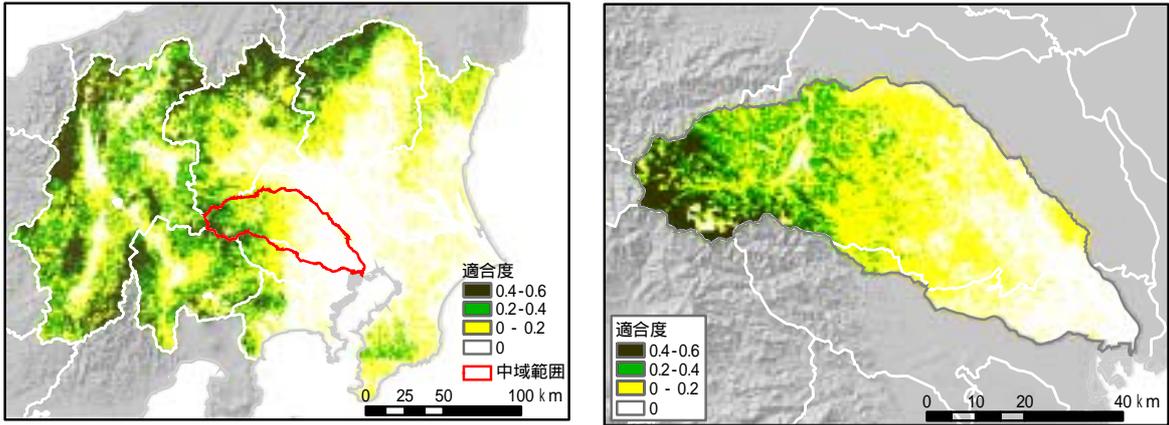


図-3.3.3.4 ツキノワグマの潜在生息地（左：広域スケール、右：中域スケール）

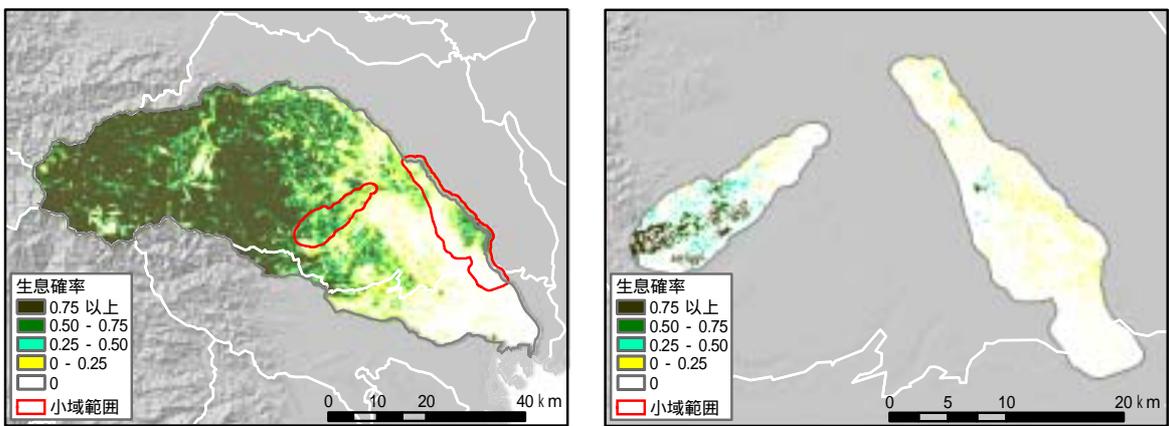


図-3.3.3.5 ニホンリスの潜在生息地（左：中域スケール、右：小域スケール）

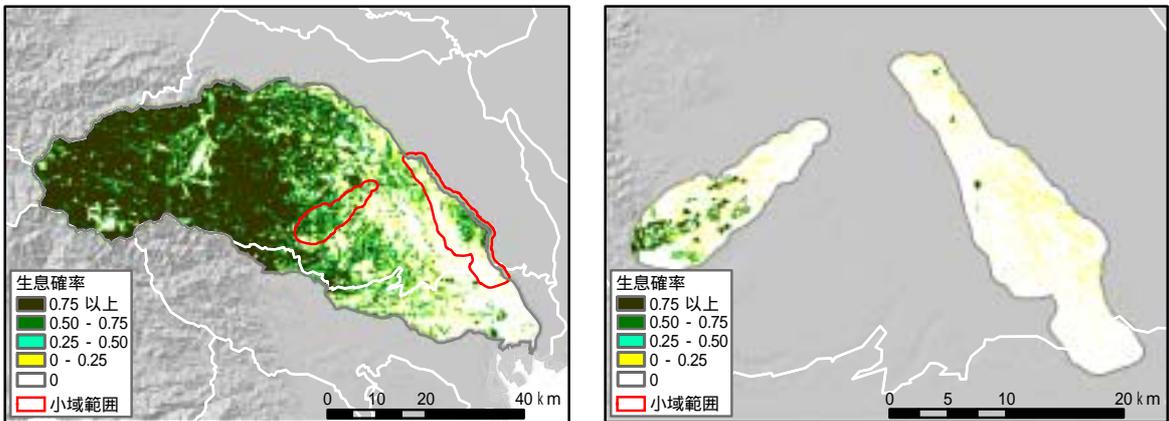


図-3.3.3.6 シジュウカラの潜在生息地（左：中域スケール、右：小域スケール）

(3) 施策シナリオに基づいた潜在生息地の将来変化

1) 施策シナリオの設定

開発や自然環境の保全による土地利用の転換により、指標種の潜在生息地の変化が予測可能であるかを確認するため、自然環境の保全度合いの異なる3種類の土地利用計画を想定した施策シナリオを独自に作成し、計画対象地域における30年後の土地利用の将来変化を予測した。

作成した3種類の施策シナリオは、環境改善施策を盛り込まず、現行の土地利用計画のみを実施した場合（シナリオ1）、現行の土地利用計画に樹林環境に配慮した環境改善施策を盛り込んだ場合（シナリオ2）、シナリオ2よりも、樹林環境に配慮した環境保全・改善施策を盛り込む範囲を広げた場合（シナリオ3）の3種類とし、シナリオを構成する具体的な施策項目として、公園の整備、道路の整備、河川沿いの整備、大規模民有地の利用、緑地の担保性、市街地の開発を挙げ、シナリオの具体的な内容を設定した（表-3.3.3.3）。

表-3.3.3.3 施策シナリオ（シナリオの具体的な内容は独自に設定）

	【シナリオ1】	【シナリオ2】	【シナリオ3】
	樹林環境に配慮した環境改善施策を盛り込まず、現行の土地利用計画のみを実施した場合	現行の土地利用計画に樹林環境に配慮した環境改善施策を盛り込んだ場合	シナリオ2に加え、さらに高い環境改善施策を盛り込んだ場合 (シナリオ2+シナリオ3)
公園の整備	現状のまま	計画公園を含めた公園敷地の緑化(樹林地化)	構想段階の公園敷地の緑化 今回の作業では扱わない
道路の整備	通常の道路整備	(1) 新規に整備する高規格道路や一般国道沿いに、エコブリッジを設置	(1) 既設の高規格道路や一般国道沿いに、エコブリッジを設置
		(2) 新規に整備する高規格道路や一定以上の幅員の一般国道沿いに樹林帯を設置	(2) 既設の一定以上の幅員の一般国道等に樹冠の連続した街路樹や樹林帯を設置 (3) 市街地等で主要な箇所の高規格道路、一般国道を地下化
河川沿いの整備	現状のまま	堤外地の緑化 (自然に近い河川管理の実施)	河川区域 ^{注1)} の緑化 (自然に近い河川管理の実施)
大規模民有地の利用	現状のまま	10ha以上の工場等の民有地の敷地を対象に、敷地の20%を緑化(樹林地化)	1ha以上の工場等の民有地の敷地を対象に、敷地の20%を緑化(樹林地化)
緑地の担保性	現状のまま	担保性の弱い地域の法規制	緑地をすべて法規制して保全
市街地の開発 ^{注2)}	担保性の強いエリア以外は、開発される可能性あり	スプロール禁止(市街化調整区域内等の開発は禁止)	新たな市街地の拡大を禁止

注1：河川区域とは、河川法が適用または準用される土地区域のこと⁸⁾

注2：土地利用や傾斜区分、人口の成長率などを用いて、将来の市街地の変遷を予測（市街化シミュレーションと呼ぶこととする）

2) 施策シナリオの実行による30年後の土地利用予測

本研究で独自に設定した施策シナリオに基づく土地利用の変化を予測するため、3つのスケールで取り扱う情報の詳細（公園や道路等の種別・規模など）を整理し、これらをGISデータとして整備した（表-3.3.3.4）。データは、数値地図25000や数値地図2500、細密数値情報（土

地利用)を使用して整備したが、必要に応じて都県等の都市計画図や市販の地図帳も使用した。そして、GISを用いて6つの具体的な施策項目(公園の整備、道路の整備、河川沿いの整備、大規模民有地の利用、緑地の担保性、市街地の開発)に関する30年後の土地利用を予測・図化した(図-3.3.3.7~図-3.3.3.9)。

表-3.3.3.4 スケールごとのデータ整備レベル

		広域スケール (解析セルサイズ:100×100m)	中域スケール (解析セルサイズ:50×50m)	小域スケール (解析セルサイズ:10×10m)
公園の整備	現況	・国営公園レベルおよび、都県の広域公園レベル(50ha程度) 【使用データ】 都市計画図や市販の地図帳からデータ化	・広域スケールでデータ化した公園 ・地区公園レベル(4ha程度) 【使用データ】 都市計画図や都市計画公園緑地等配置図からデータ化	・広域および中域スケールでデータ化した公園 ・近隣公園レベル(2ha程度) 【使用データ】 都市計画図や公園緑地計画図からデータ化
	計画	同上	同上	同上
道路の整備	現況	高速道路および幅員13m以上の道路- 【使用データ】 数値地図25000	高速道路および幅員13m以上の道路 【使用データ】 数値地図25000	高速道路および幅員13m以上の道路 【使用データ】 数値地図25000
	計画	高規格幹線道路等の計画路線 【使用データ】 管内図からデータ化	高規格道路、有料道路の計画、一般国道、主要地方道、一般県道の多車線の計画 【使用データ】 都市計画図などからデータ化	幅員16m以上の未整備の都市計画道路 【使用データ】 都市計画図からデータ化
河川沿いの整備		一級河川を対象 【シナリオ2】 河川中心線から250mバッファ 【シナリオ3】 河川中心線から500mバッファ 【使用データ】 数値地図25000 バッファが市街化区域にかかる場合は、その範囲のバッファを除外	一級河川を対象 【シナリオ2】 河川中心線から250mバッファ 【シナリオ3】 河川区域(河川情報図のある範囲) 上記以外は500mバッファ 【使用データ】 数値地図25000 バッファが市街化区域にかかる場合は、その範囲のバッファを除外	一級河川を対象 【シナリオ2】 河川中心線から50mバッファ 【シナリオ3】 河川中心線から50mバッファ(シナリオ2と同じ) 【使用データ】 数値地図2500 バッファが市街化区域にかかる場合は、その範囲のバッファを除外
大規模民有地の利用		【シナリオ2】 10ha以上の工業、商業、業務用地 【シナリオ3】 1ha以上の工業、商業、業務用地 【使用データ】 細密数値情報(土地利用) ただし、整備されている都心部のみ対象	【シナリオ2】 10ha以上の工業、商業、業務用地 【シナリオ3】 1ha以上の工業、商業、業務用地 【使用データ】 細密数値情報(土地利用) ただし、整備されている都心部のみ対象	【シナリオ2】 10ha以上の工業、商業、業務用地 【シナリオ3】 1ha以上の工業、商業、業務用地 【使用データ】 細密数値情報(土地利用) ただし、整備されている都心部のみ対象

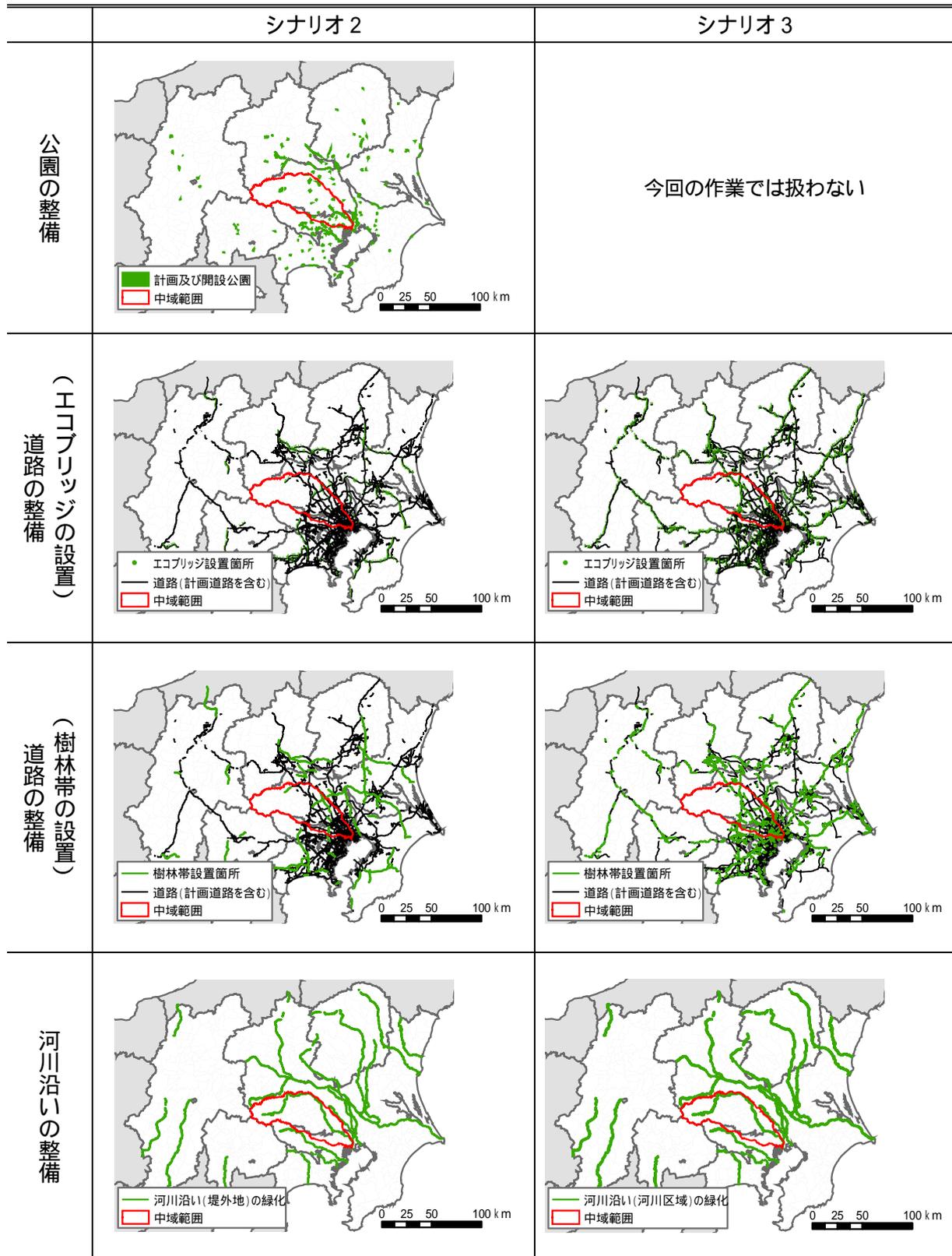
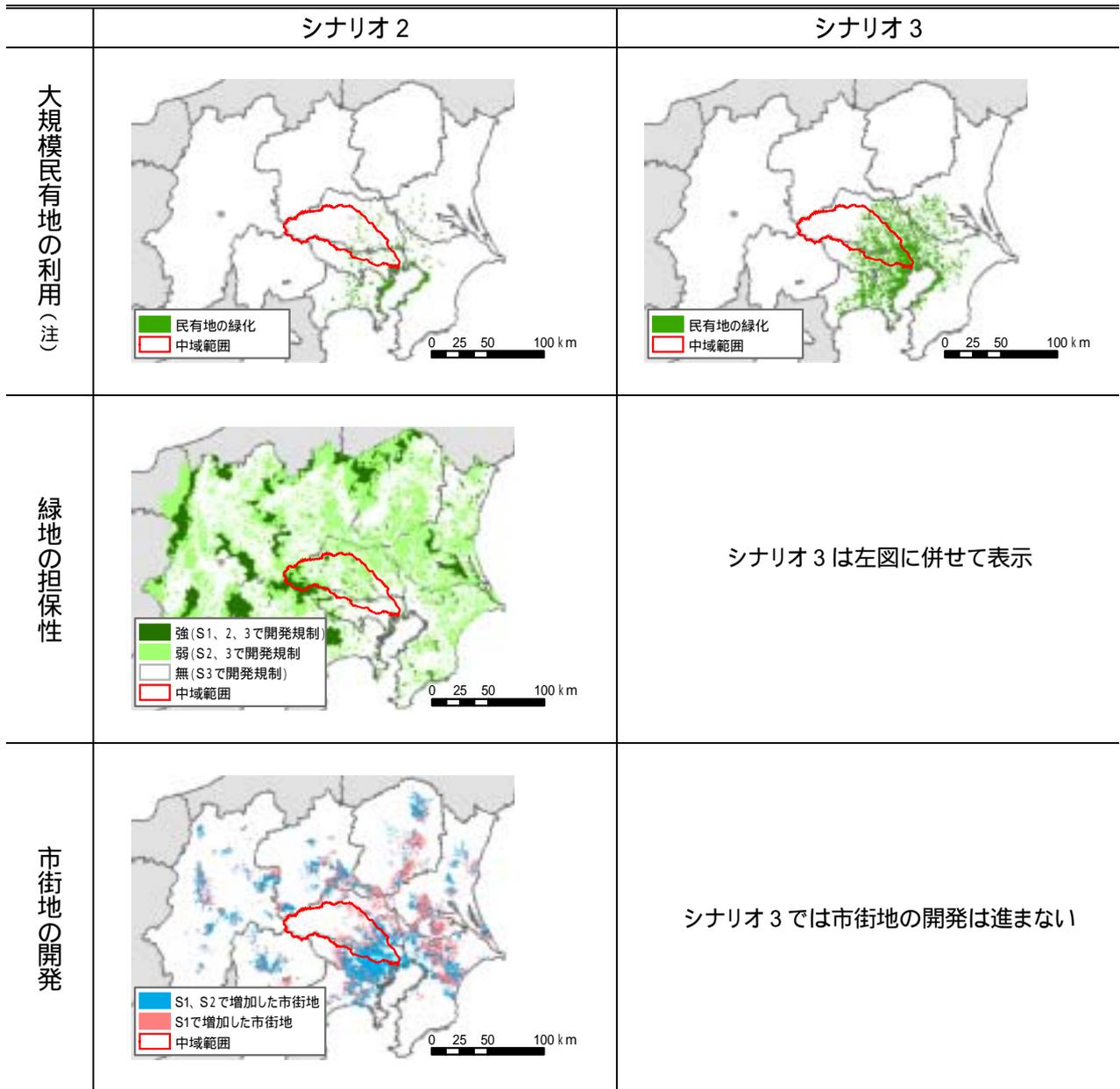


図-3.3.3.7(1) 広域スケールにおける施策シナリオ実行後の30年後の土地利用の予測結果



注) 大規模民有地の利用については、データが整備されている都心部のみ対象

図-3.3.3.7 (2) 広域スケールにおける施策シナリオ実行後の 30 年後の土地利用の変化

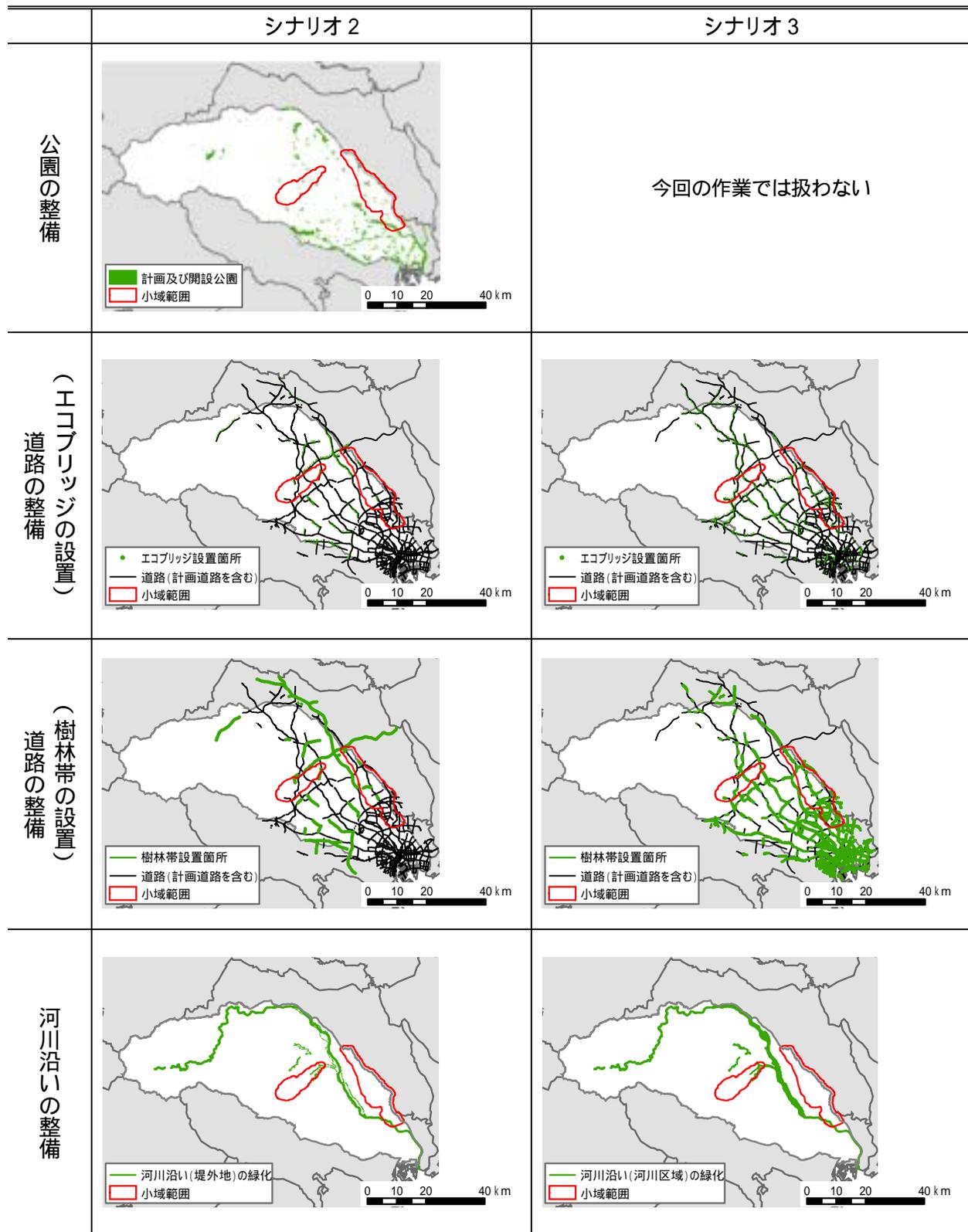
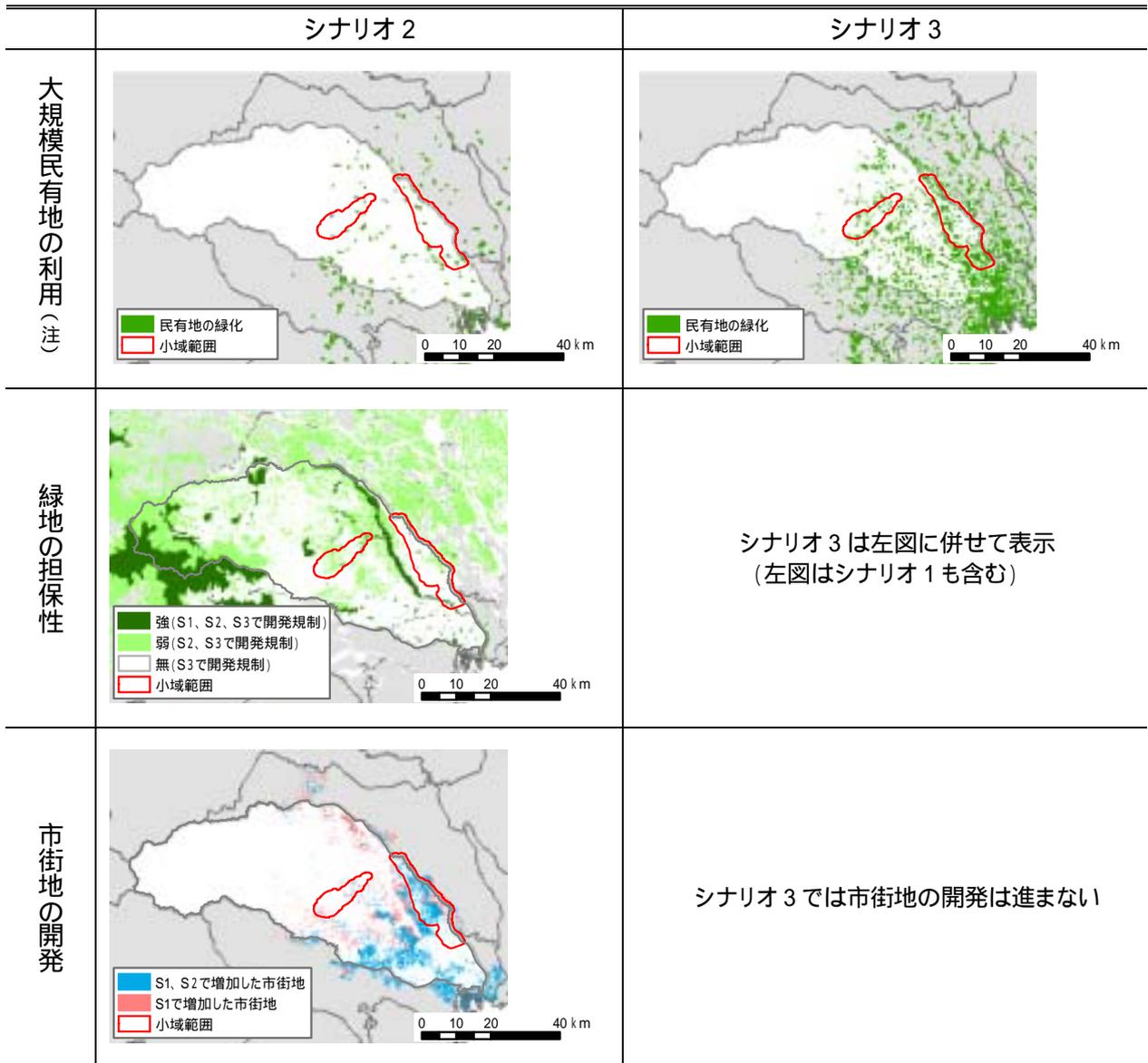


図-3.3.3.8 (1) 中域スケールにおける施策シナリオ実行後の30年後の土地利用の変化



注)大規模民有地の利用については、データが整備されている都心部のみ対象

図-3.3.3.8 (2) 中域スケールにおける施策シナリオ実行後の30年後の土地利用の変化

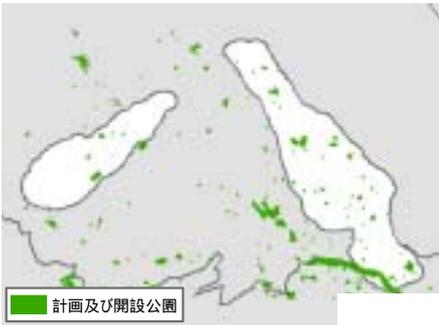
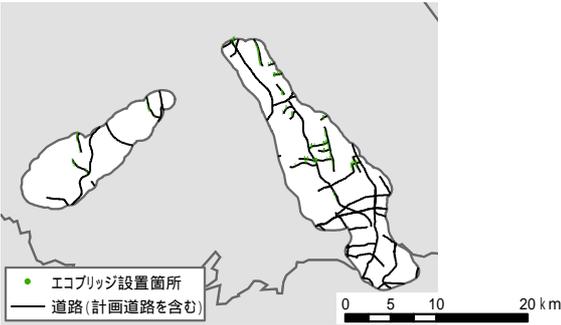
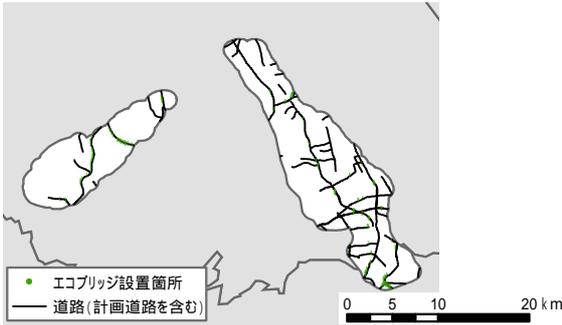
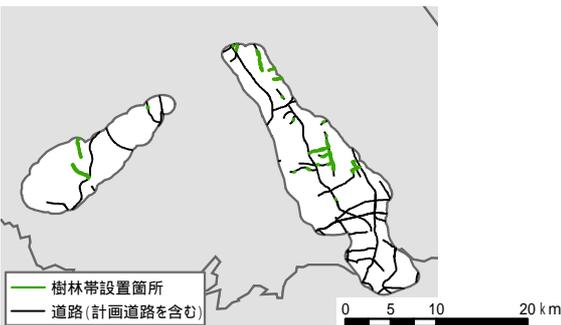
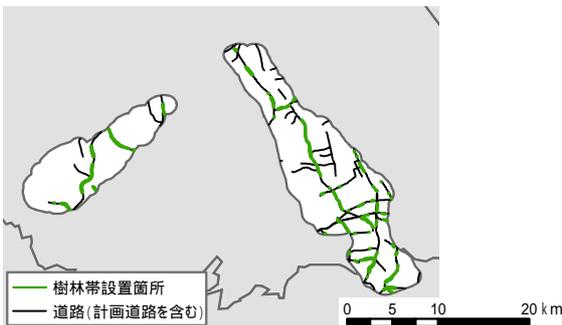
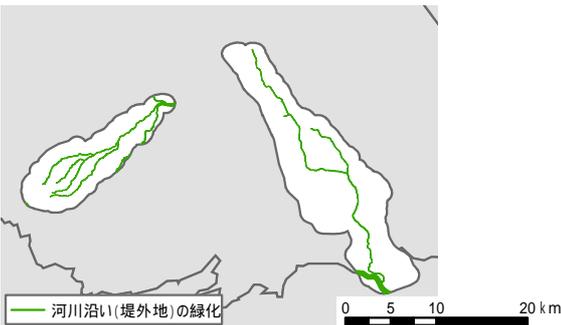
	シナリオ 2	シナリオ 3
公園の整備	 <p>計画及び開設公園</p>	今回の作業では扱わない
(エコブリッジの設置) 道路の整備	 <p>エコブリッジ設置箇所 道路(計画道路を含む)</p>	 <p>エコブリッジ設置箇所 道路(計画道路を含む)</p>
(樹林帯の設置) 道路の整備	 <p>樹林帯設置箇所 道路(計画道路を含む)</p>	 <p>樹林帯設置箇所 道路(計画道路を含む)</p>
河川沿いの整備	 <p>河川沿い(堤外地)の緑化</p>	シナリオ 3 はシナリオ 2 と同じ

図-3.3.3.9 (1) 小域スケールにおける施策シナリオ実行後の30年後の土地利用の変化

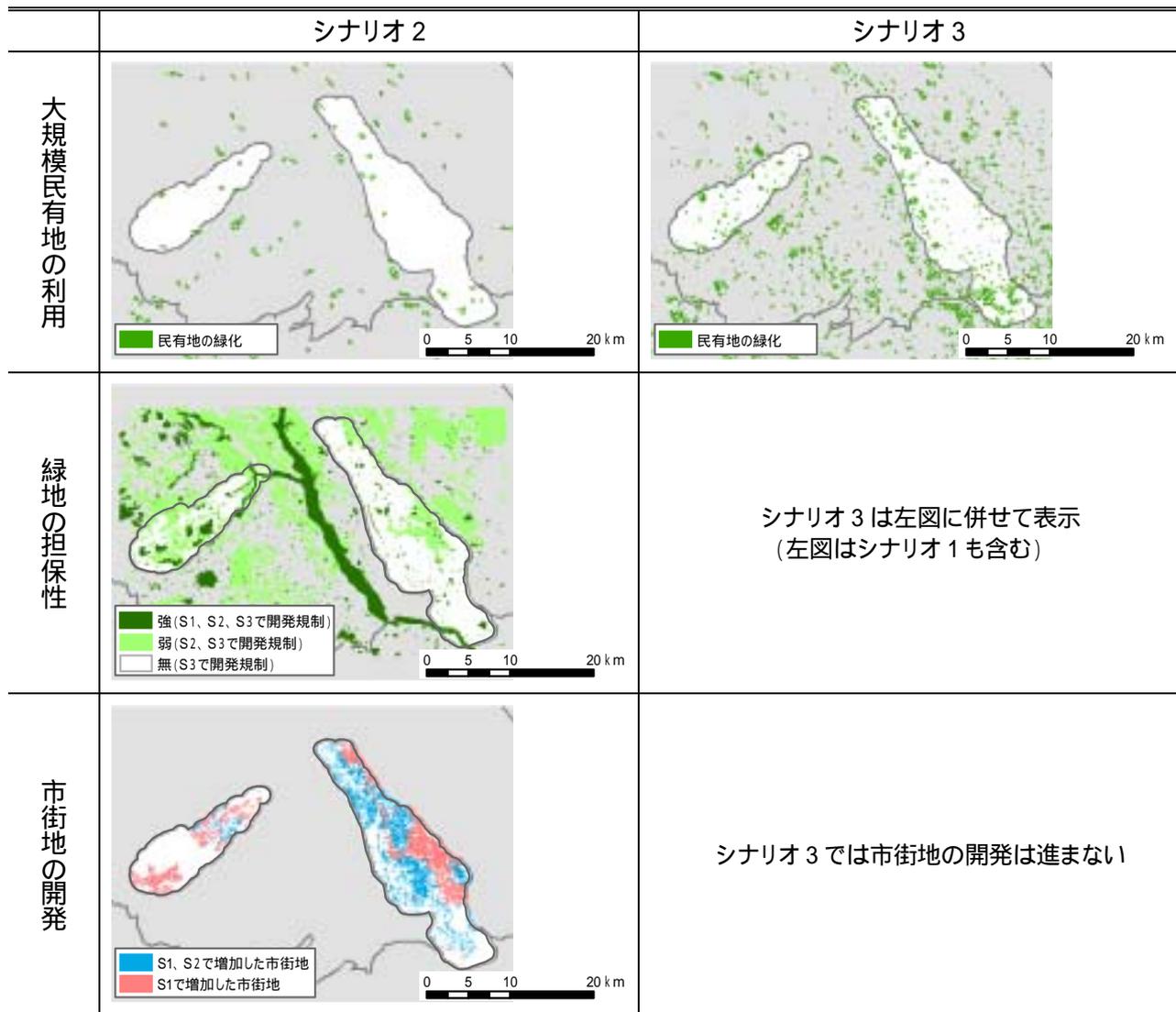


図-3.3.3.9 (2) 小域スケールにおける施策シナリオ実行後の30年後の土地利用の変化

3) 施策シナリオ別の土地利用の変化状況

施策シナリオの実行結果に基づき、30年後の土地利用の変化を算出し、現況の土地利用と施策シナリオ実行後の土地利用について比較した(図-3.3.3.10)。広域スケールでは、シナリオ1の実行によって緑地面積(現状の樹林地や環境改善施策により増加した樹林地、草地・水田などの合計面積)は0.5%減少したが、シナリオ2で0%(変動なし)、シナリオ3で0.6%増加した。中域スケールでは、シナリオ1の実行によって緑地面積は0.5%減少したが、シナリオ2で0.2%増加、シナリオ3で2.8%増加した。小域スケールでは、シナリオ1の実行によって緑地面積は4.5%減少し、シナリオ2では環境改善施策による樹林地が増加したが、緑地全体では0.6%減少した。シナリオ3では3.1%増加した。

次に、市区町村ごとの樹林面積(現状の樹林地や、環境改善施策により増加した樹林地の合計面積)の変化割合を図化し、土地利用の変化を把握した(図-3.3.3.11~図-3.3.3.13)。広域スケールでは、シナリオ1の実行によって都心部で樹林地が減少したが、都心近郊では樹林地が

増加した。シナリオ2においても、シナリオ1と同じ傾向であったが、荒川周辺部における樹林地の増加が顕著であった。シナリオ3では、河川沿いや東京湾周辺を中心に樹林地の増加が見られた。

中域スケールでは、シナリオ1の実行によって都心部で樹林地が減少し、都心近郊では樹林地が増加した。シナリオ2では、一部を除き全体的に樹林地が増加した。シナリオ3では、樹林地が増加する地域は無くなり、都心部を中心に樹林地の増加が見られた。

小域スケールでは、シナリオ1の実行によって、浦和市、大宮市、与野市（現さいたま市）や川越市で樹林地が減少し、他の地域では樹林地の面積変化はなかった。シナリオ2では、浦和市や伊奈町を除き、全体的に樹林地が増加した。シナリオ3では、樹林地が増加する地域は無くなった。

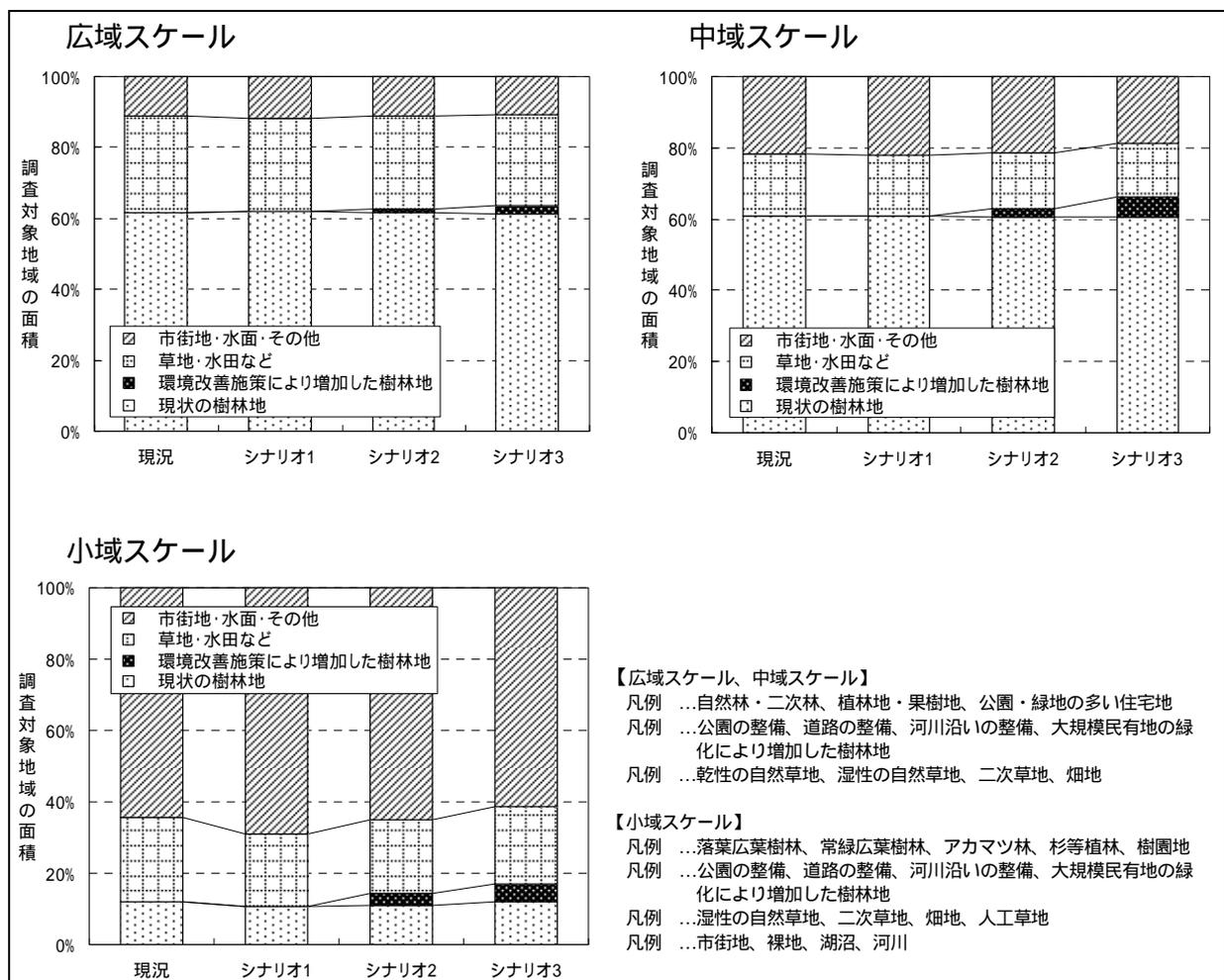


図-3.3.3.10 各スケールにおける30年後の土地利用の変化

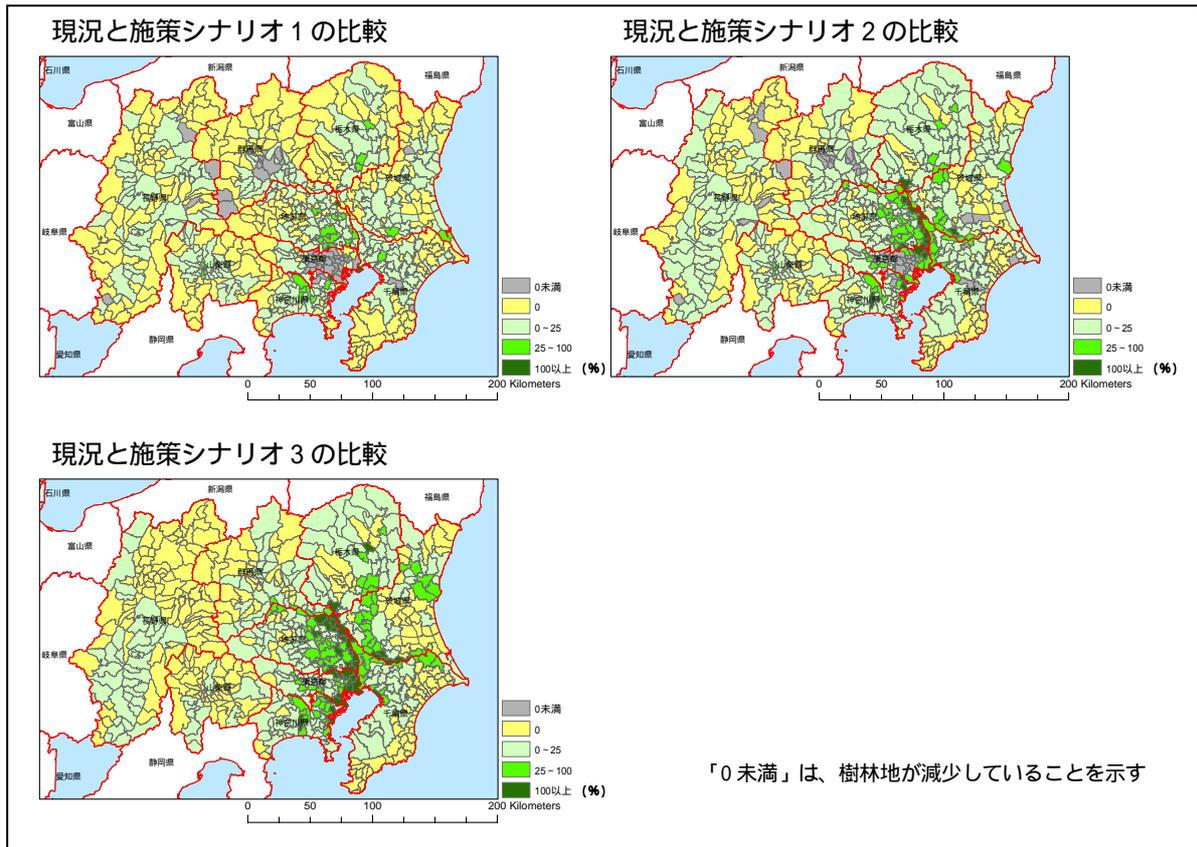


図-3.3.3.11 広域スケールにおける市町村ごとの樹林面積の変化割合

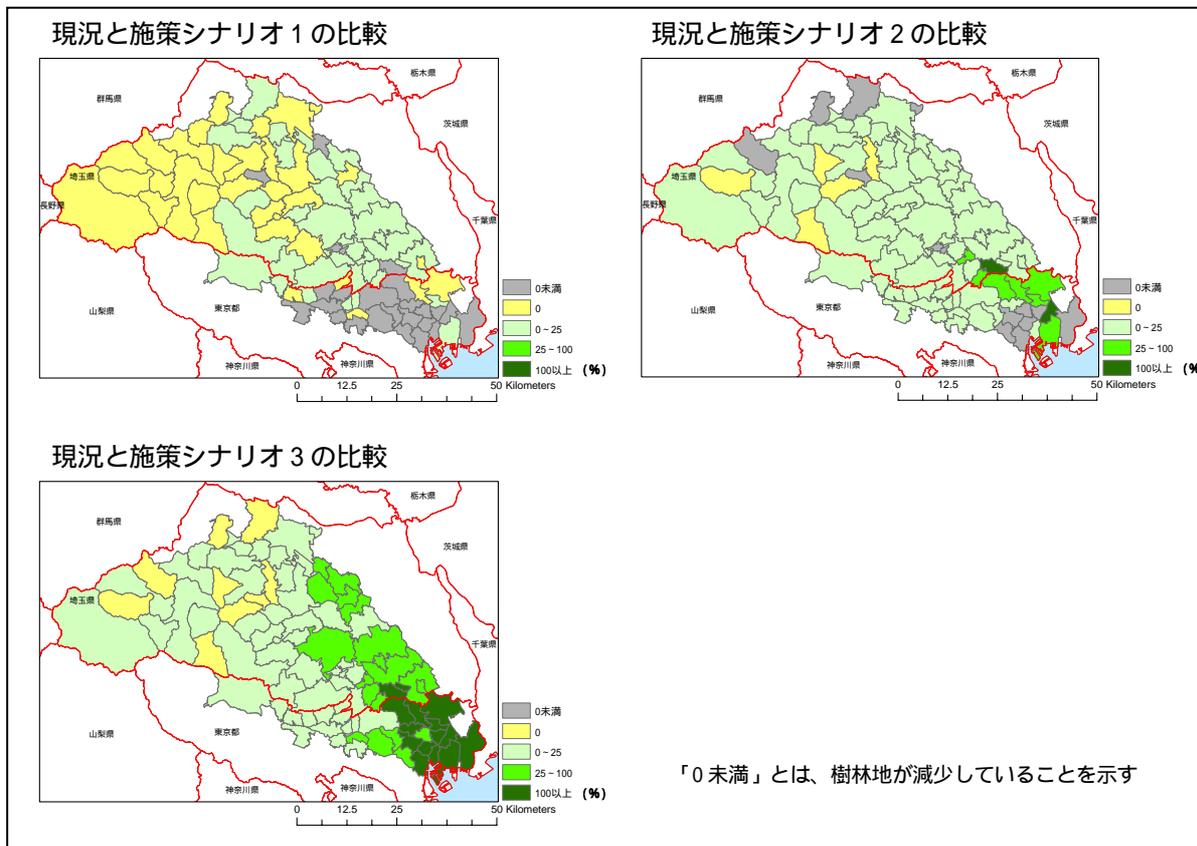


図-3.3.3.12 中域スケールにおける市町村ごとの樹林面積の変化割合

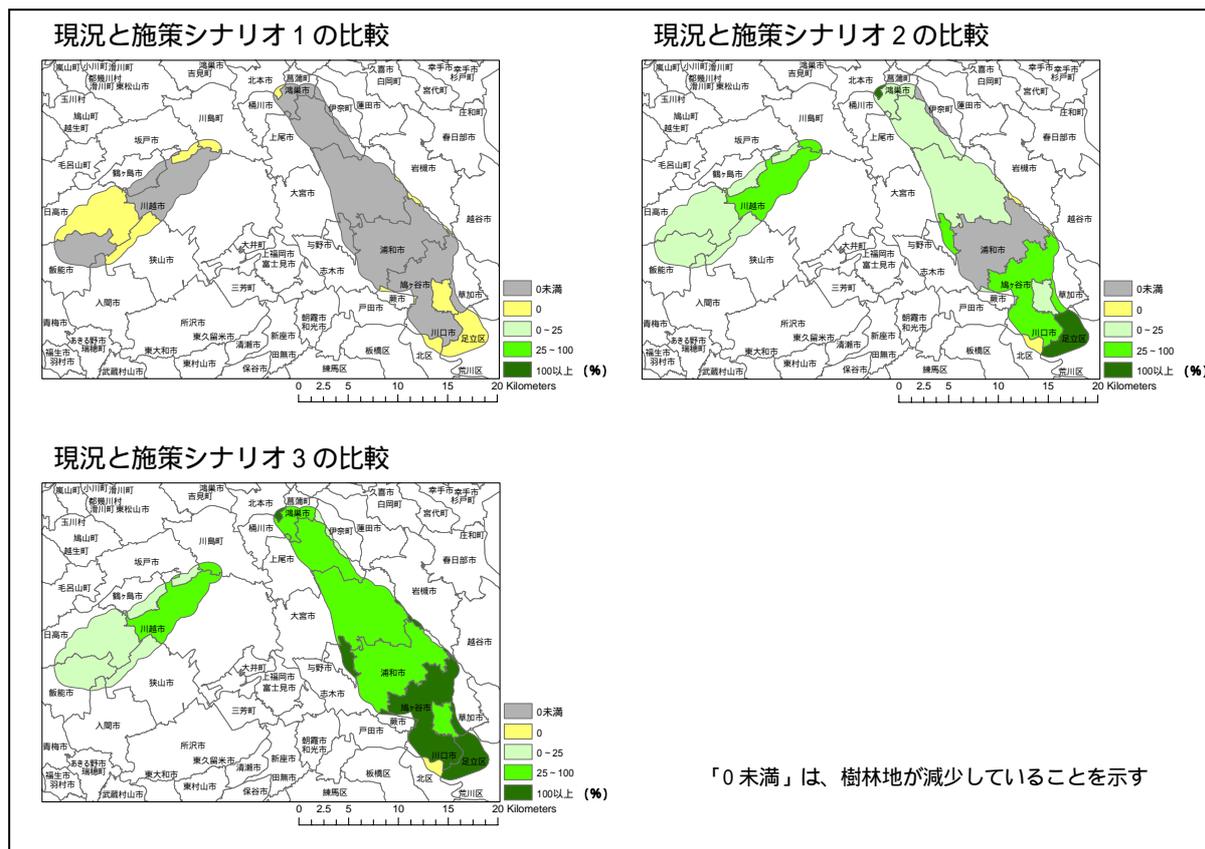


図-3.3.3.13 小域スケールにおける市町村ごとの樹林面積の変化割合

4) 施策シナリオに基づいた潜在生息地の将来変化

施策シナリオで予測した30年後の土地利用の結果へ、「3.2.3 生態系予測モデルの開発」で構築したツキノワグマ、ニホンリス、シジュウカラの生息地予測モデルを組み込み、30年後の潜在生息地を予測した(図-3.3.3.14～図-3.3.3.16)。そして、現況の潜在生息地と、施策シナリオ実行後の質の高い潜在生息地を比較した。なお、質の高い潜在生息地は、ツキノワグマで適合度0.4以上、ニホンリスやシジュウカラで生息確率0.75以上とした。

現況の潜在生息地と、施策シナリオ実行後の質の高い潜在生息地の面積を比較した結果、ツキノワグマの広域スケールでは、シナリオ1およびシナリオ2で若干減少し、シナリオ3では若干増加したが、全体では質の高い潜在生息地の面積に大きな変化はなかった(図-3.3.3.17:左)。中域スケールでは、質の高い潜在生息地の面積は変動しなかった(図-3.3.3.17:右)。一方、ニホンリスやシジュウカラでは、中域スケールおよび小域スケールともに、シナリオ1で若干減少したが、シナリオ2やシナリオ3では増加し、特にシナリオ3では、現況の質の高い潜在生息地の2倍前後にまで増加した(図-3.3.3.18、図-3.3.3.19)。

以上のことから、樹林環境に配慮した環境改善策を盛り込むことにより、ニホンリスとシジュウカラの質の高い潜在生息地面積は増加し、さらに、樹林環境に配慮した環境改善策を強化した施策シナリオほど、面積の増加量も大きくなることが明らかとなった。ただし、ツキノワグマの質の高い潜在生息地を増加させるためには、本研究で設定した施策シナリオよりも、さらに樹林環境に配慮した環境改善策を盛り込む必要があることが明らかとなった。

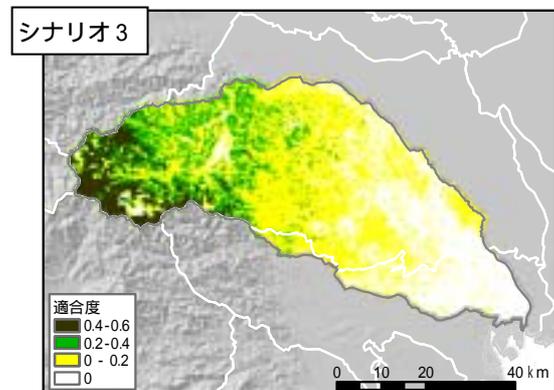
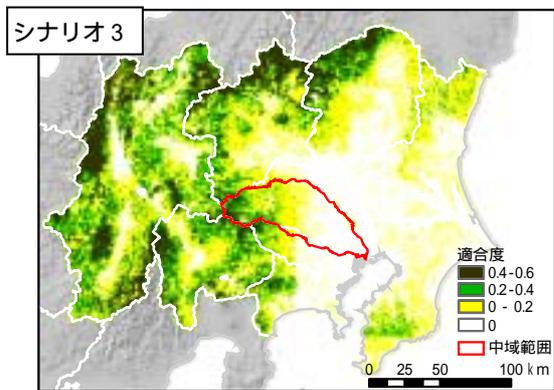
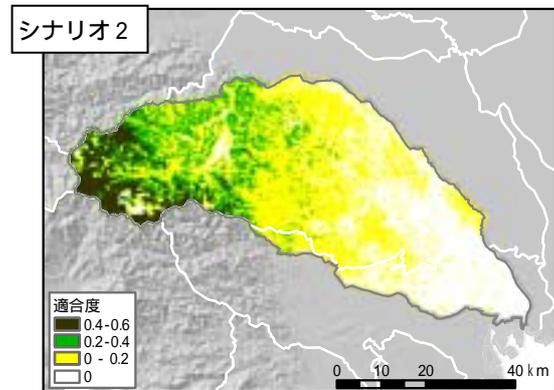
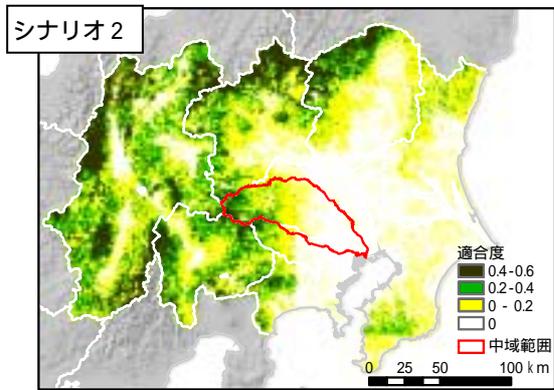
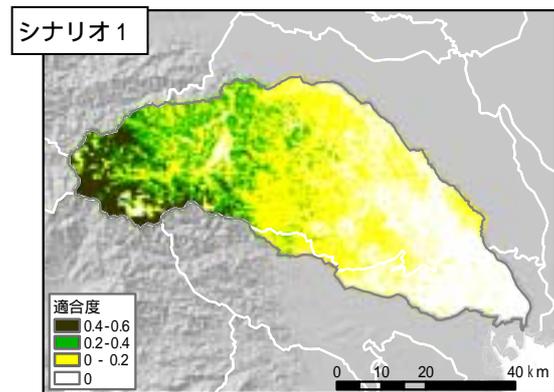
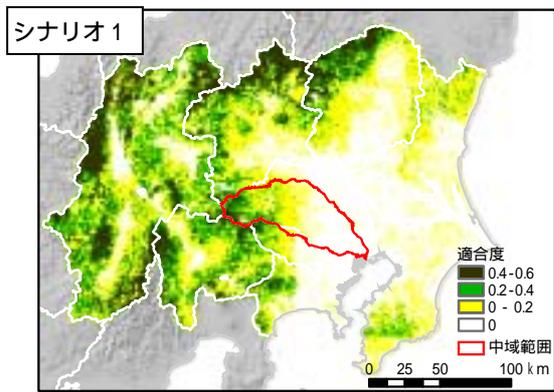
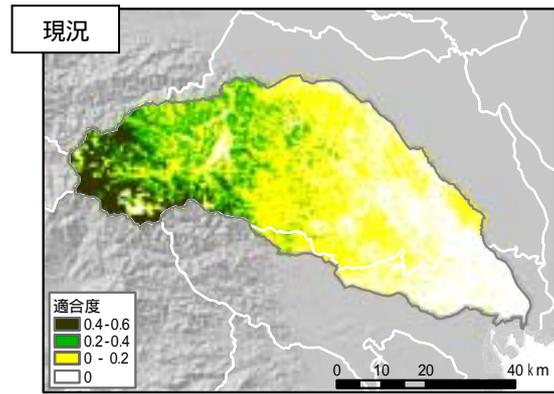
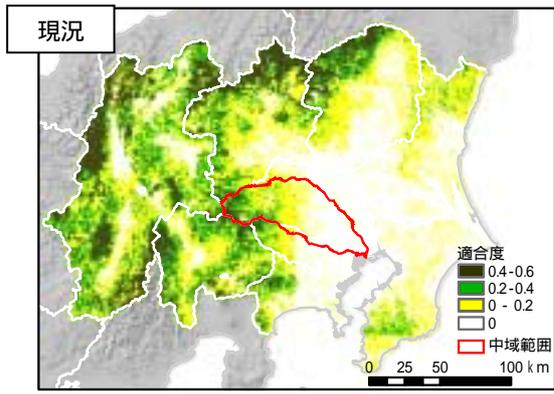


図-3.3.3.14 30年後のツキノワグマの潜在生息地予測（左：広域スケール、右：中域スケール）

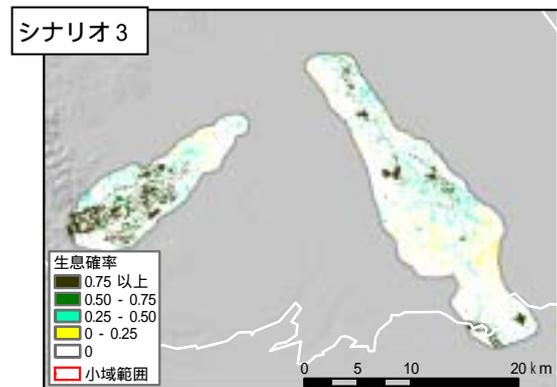
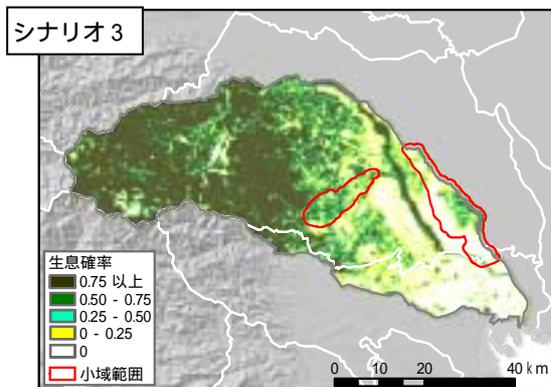
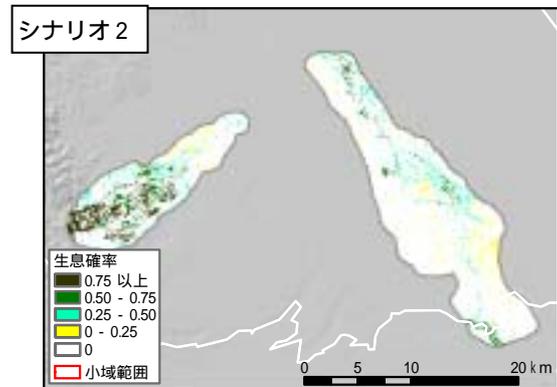
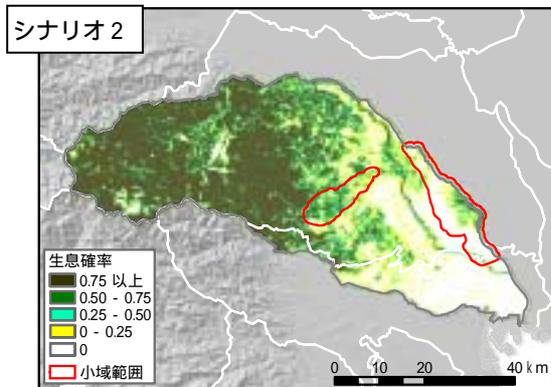
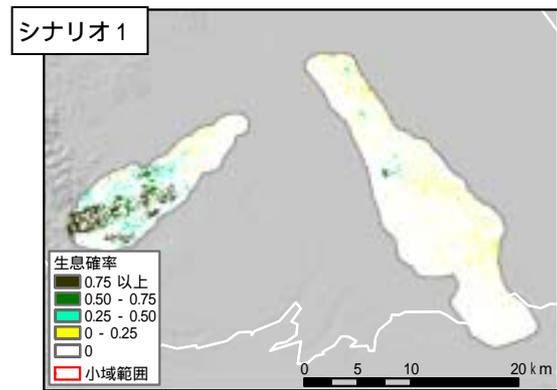
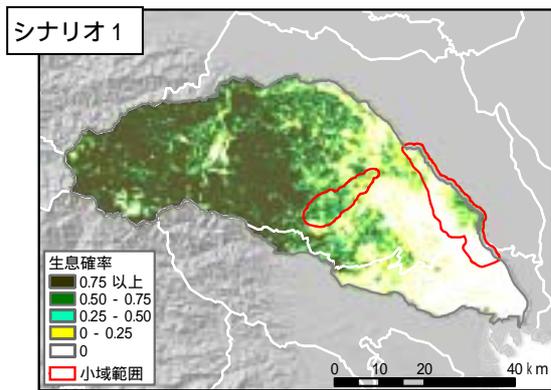
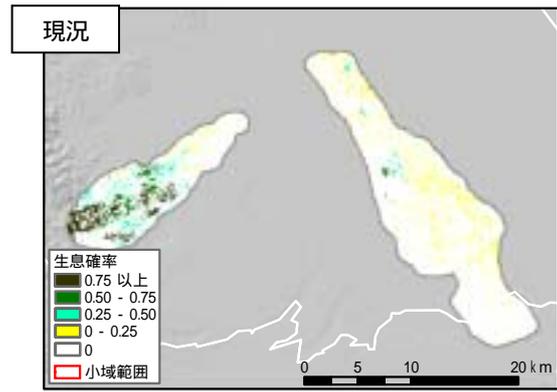
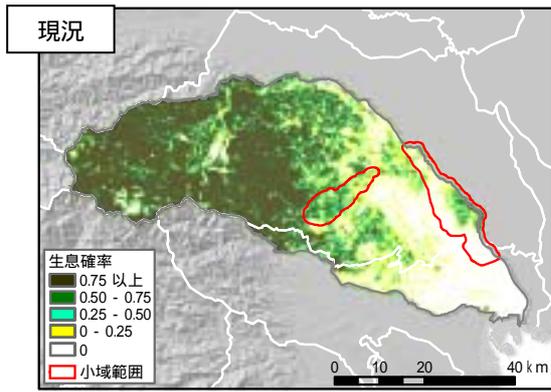


図-3.3.3.15 30年後のニホンリスの潜在生息地予測（左：中域スケール、右：小域スケール）

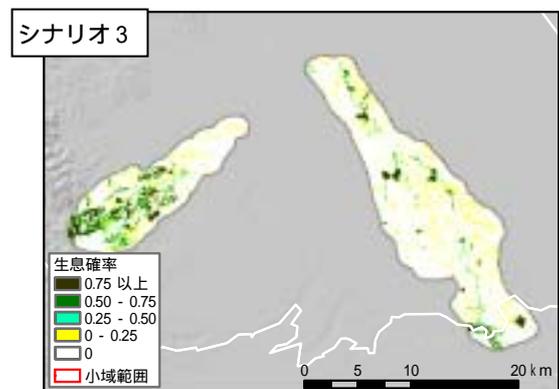
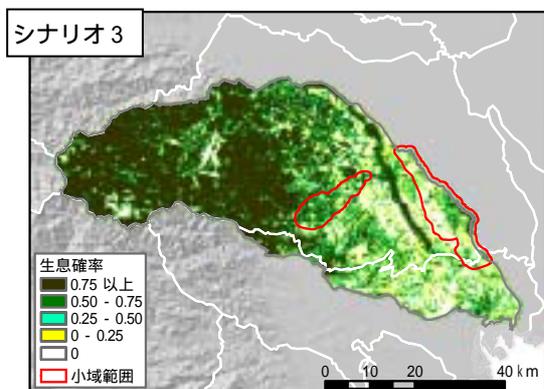
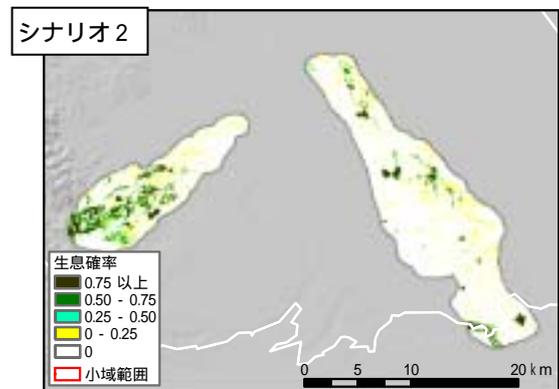
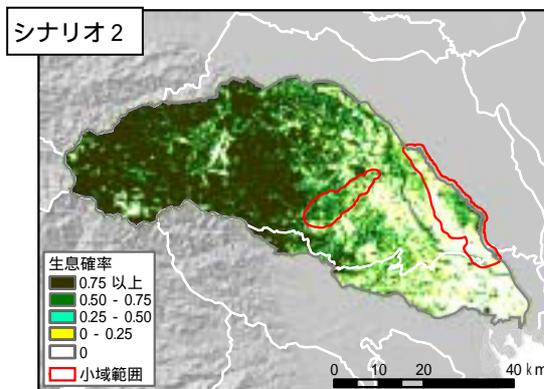
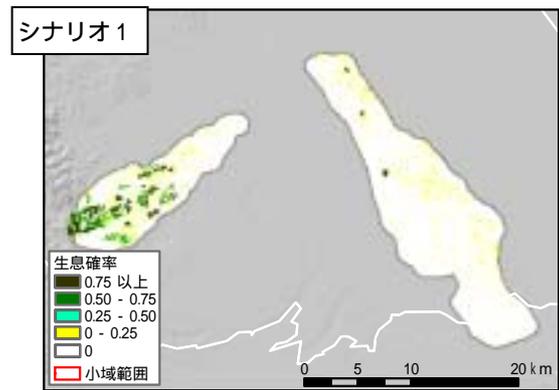
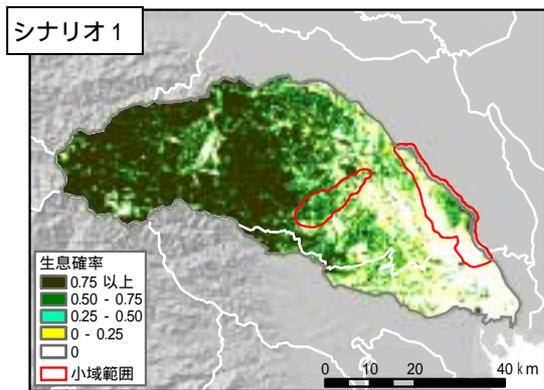
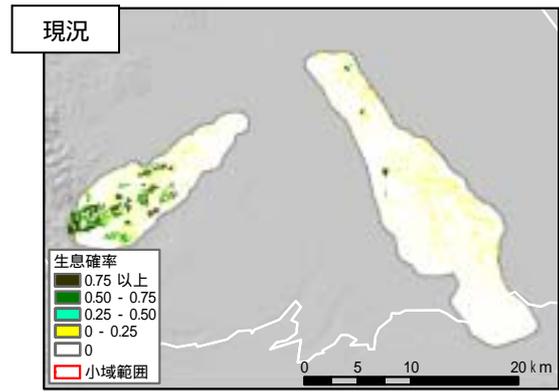
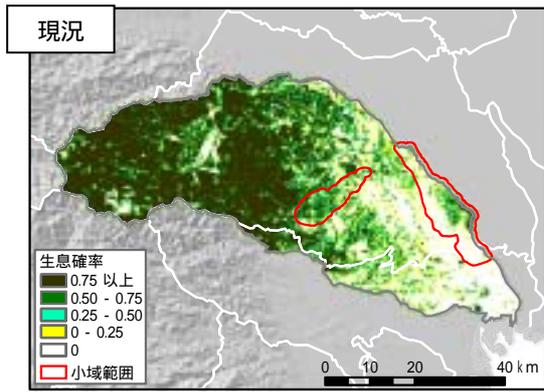


図-3.3.3.16 30年後のシジュウカラの潜在生息地予測（左：中域スケール、右：小域スケール）

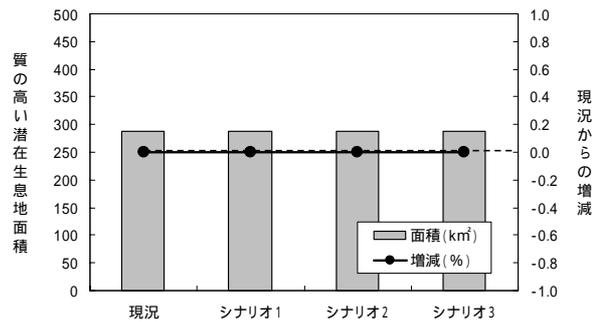
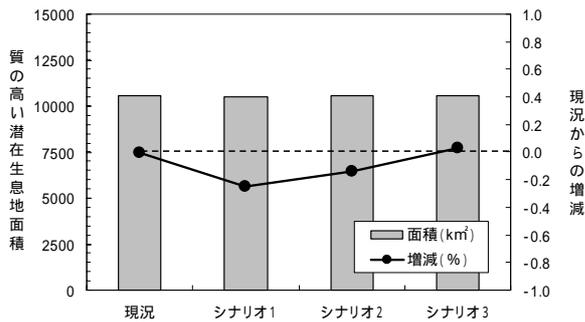


図-3.3.3.17 ツキノワグマの潜在生息地面積 (左：広域スケール、右：中域スケール)

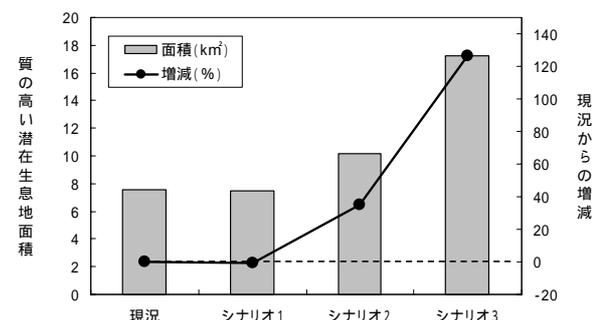
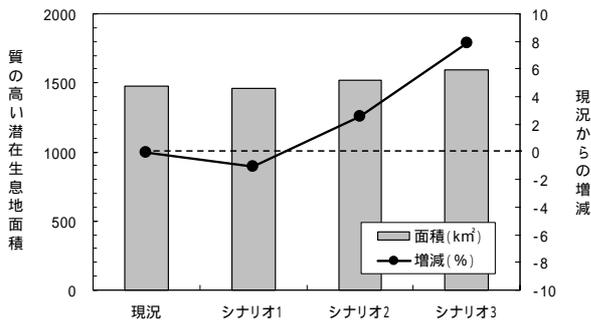


図-3.3.3.18 ニホンリスの潜在生息地面積 (左：中域スケール、右：小域スケール)

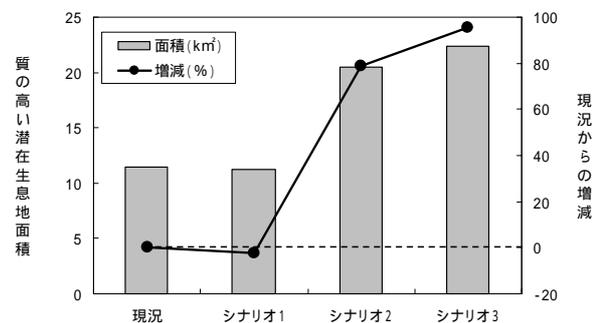
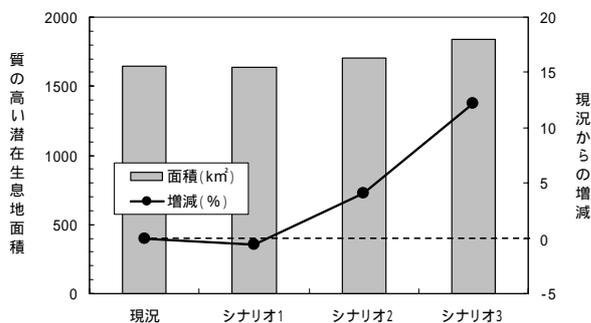


図-3.3.3.19 シジウカラの潜在生息地面積 (左：中域スケール、右：小域スケール)

(4) 施策シナリオ実行のための費用と潜在生息地の面積変化の検討

効率的・効果的なエコロジカルネットワーク計画の策定のため、施策シナリオを実行した場合の費用と、質の高い潜在生息地の面積変化を比較した。初めに、施策シナリオの各項目の実行に必要な単価を独自に設定し(表-3.3.3.5) 樹林環境に配慮した環境改善施策を盛り込んだ施策シナリオを実行するために必要な30年間の総費用を算出した。その結果、広域スケールでは、シナリオ2で4,549億円/30年、シナリオ3で7,492億円/30年、中域スケールでは、シナリオ2で1,044億円/30年、シナリオ3で3,450億円/30年、小域スケールでは、シナリオ2で167億円/30年、シナリオ3で339億円/30年となった。なお、樹林環境に配慮した環境改善施策を盛り込んでいないシナリオ1の費用は0と設定した。

そして、前項で予測した質の高い潜在生息地の面積変動と比較した結果、広域スケールのツ

キノワグマでは、シナリオ2において、費用は4,549億円/30年(151.6億円/年)、面積は0.1%(15km²)減少した。シナリオ3において、費用は7,492億円/30年(249.7億円/年)、面積は0.03%(3km²)増加した。したがって、潜在生息地1km²を保全や創出するために必要な費用は、シナリオ2では面積が減少するために算出不可、シナリオ3では2497.3億円/30年/km²となった(図-3.3.3.20)。

中域スケールのニホンリスでは、シナリオ2において、費用は1,044億円/30年(34.8億円/年)、面積は2.6%(38km²)増加した。シナリオ3において、費用は3,450億円/30年(115億円/年)、面積は7.9%(116km²)増加した。したがって、潜在生息地1km²を保全や創出するために必要な費用は、シナリオ2で27.5億円/km²/30年、シナリオ3で29.7億円/km²/30年となった。中域スケールのシジュウカラでは、シナリオ2において、費用は1,044億円/30年(34.8億円/年)、面積は4.1%(67km²)増加した。シナリオ3において、費用は3,450億円/30年(115億円/年)、面積は12.2%(201km²)増加した。したがって、潜在生息地1km²を保全や創出するために必要な費用は、シナリオ2で15.6億円/30年/km²、シナリオ3で17.2億円/30年/km²となった(図-3.3.3.21)。

小域スケールのニホンリスでは、シナリオ2において、費用は167億円/30年(5.6億円/年)、面積は35.1%(2.6km²)増加した。シナリオ3において、費用は339億円/30年(11.3億円/年)、面積は126.5%(9.6km²)増加した。潜在生息地1km²を保全や創出するために必要な費用は、シナリオ2で64.2億円/30年/km²、シナリオ3で35.3億円/30年/km²となった。小域スケールのシジュウカラでは、シナリオ2において、費用は167億円/30年(5.6億円/年)、面積は78.9%(9km²)増加した。シナリオ3において、費用は339億円/30年(11.3億円/年)、面積は95.6%(10.9km²)増加した。したがって、潜在生息地1km²を保全や創出するために必要な費用は、18.6億円/30年/km²、シナリオ3で31.1億円/30年/km²となった(図-3.3.3.22)。

以上のことから、ニホンリスやシジュウカラでは、本研究で設定した施策シナリオを実行すると、質の高い潜在生息地が増加するため、費用を掛けた分の効果が現われるが、ツキノワグマでは、費用を掛けても効果が現われないことが明らかとなった。

表-3.3.3.5 施策シナリオを実行するために必要な単価の設定

シナリオの項目	単価
公園の整備	342千円/100m ²
道路の整備(エコブリッジ設置)	21,750千円/箇所
道路の整備(樹林帯の設置)	375千円/100m
河川沿いの整備	0円(自然な樹林化)
大規模民有地の利用	342千円/100m ²

注) 用地取得費用は考慮しない

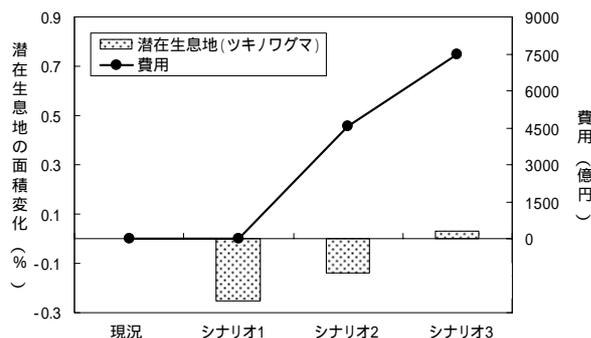


図-3.3.3.20 広域スケールにおける費用と質の高い潜在生息地面積の変化

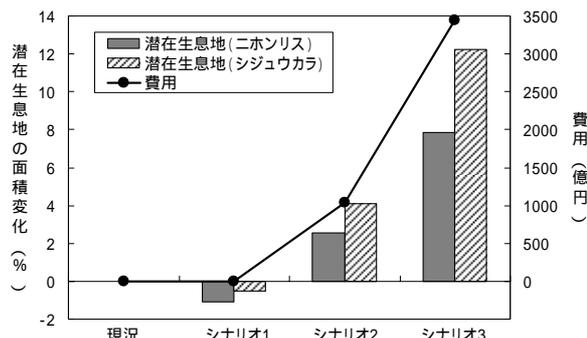


図-3.3.3.21 中域スケールにおける費用と質の高い潜在生息地面積の変化

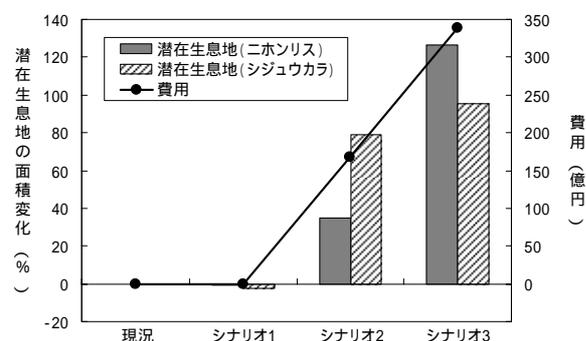


図-3.3.3.22 小域スケールにおける費用と質の高い潜在生息地面積の変化

(5) エコロジカルネットワーク計画図の策定と、策定手順の整理

潜在生息地の将来予測や、費用と潜在生息地の面積変化の結果を踏まえ、コアエリアやコリドーとして保全、創出すべき場所を検討し、シナリオ3を実行した場合における、ニホンリスを対象とした中域スケールのエコロジカルネットワーク計画と、シジュウカラを対象とした小域スケールのエコロジカルネットワーク計画を策定した(図-3.3.3.23、図-3.3.3.24)。

また、本研究で検討した、生息予測モデルと施策シナリオ分析を取り入れたエコロジカルネットワーク計画の策定手順を整理した(表-3.3.3.6)。まず、エコロジカルネットワーク計画の対象範囲に合わせ空間スケールを選び、地形図や土地利用図など必要な情報を整理し収集する。次に、得られた情報の解析をできればGIS上で行い、必要な情報を図化し、課題を整理して目標設定にフィードバックする。そして、指標種(目標種)を位置づけ、具体的な数値目標を設けて明確な計画目標を設定する。ここから、エコロジカルネットワーク計画を策定するために、指標種の生息分布域と保護区域の状況を比較し、2つの間に隔たり(ギャップ)が無いかを判断するGAP分析^{9) 10)}を行う場合もあるが、本研究では生息地予測モデルと保全を考慮した施策シナリオを用い、保全すべき地域や再生するのに適した地域を抽出する手法を検討する。エコロジカルネットワーク形成に向けたインフラの整備や保全対策・緑地の創出を盛り込んだシナリオを設定し、各シナリオを現行の土地利用計画に基づく将来予測と比較し、指標種の生息地予測モデルにより算出した潜在生息地変化により評価する。最後に、潜在生息地の変化を定量的に把握し、独自に算出した保全施策に掛かる費用と比較することで、各シナリオにおける費

用と、潜在生息地の面積の変化を比較する。



図-3.3.3.23 中域スケールにおけるエコロジカルネットワーク計画図

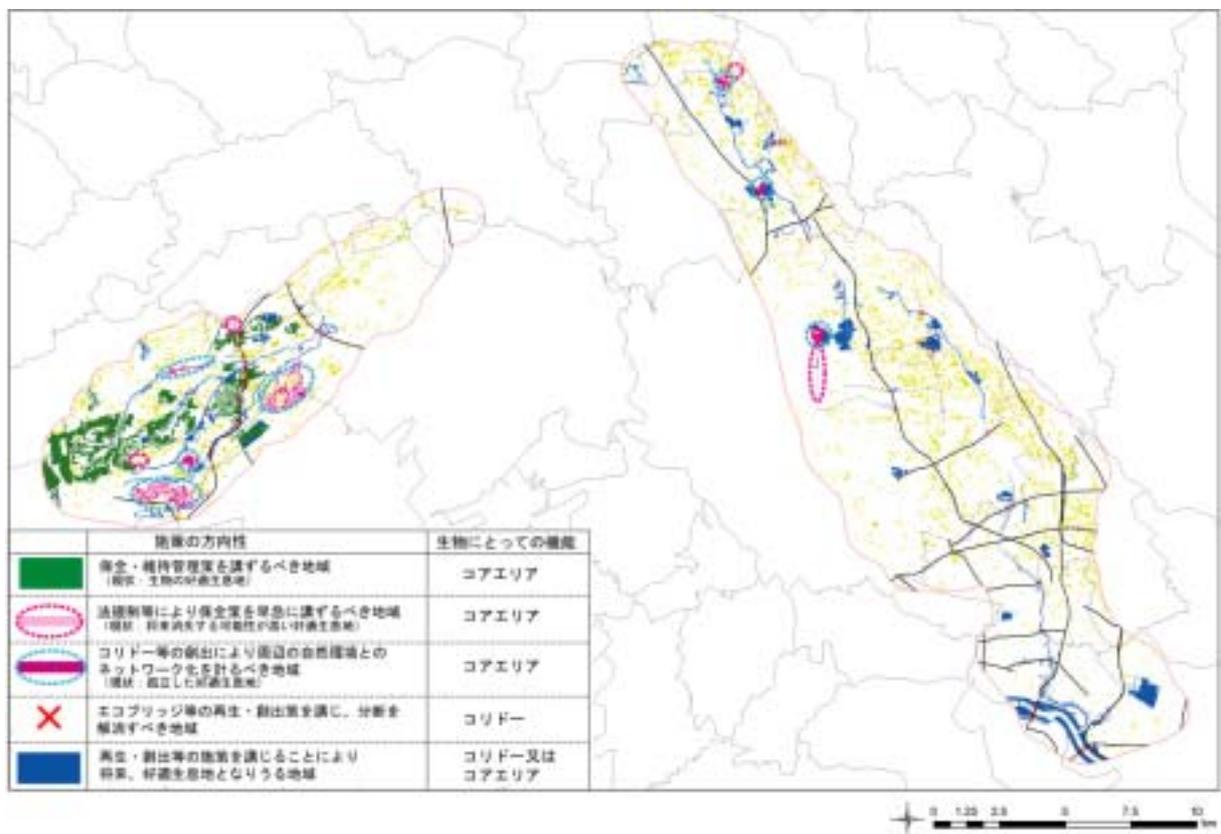


図-3.3.3.24 小域スケールにおけるエコロジカルネットワーク計画図

表-3.3.3.6 エコロジカルネットワーク計画策定に活用できる資料と策定手順

	広域スケール	中域スケール	小域スケール
情報の収集	計画の区分と対象範囲 ・関東全域 ・図化スケールは1/10万～1/20万 ・対象の広さの目安は数千km ² 以上	・大規模河川流域、広域の都市計画区域など ・図化スケールは1/1万～1/5万 ・対象の広さの目安は数十～数百km ²	・小流域、市町村など ・地図精度は1/2500～1/10,000 ・対象の広さの目安は数km ²
情報の整理・解析 (地域概況把握)	収集整理する主な情報(図面等)の例 ・地形図(1/5万精度) ・土地分類図(1/20万程度) ・環境省現存植生図(1/5万精度) ・環境省動物分布情報(文字情報・5kmメッシュ情報・1/20万精度) ・河川水辺の国勢調査 ・環境省野生生物目録 ・各種動物生態情報(各種図鑑、論文等) ・環境省藻場・干潟・海岸情報(1/5万精度) ・各種法規制図 ・社会環境資料(人口推計、都市化関連データ) ・各種事業・大規模施設情報	「広域の資料に加え」 ・地形図(1/1万～1/5万精度) ・土地分類図(1/5万精度) ・市町村等作成現存植生図(1/1万～1/2.5万程度の精度) ・市町村等作成動物分布情報(1/1万～1/5万程度の精度) ・NGO等の生物情報 ・都県・市町村野生生物目録 ・各種都市域法規制図 ・各種都市域事業・大規模施設情報 ・都市計画図 ・社会環境資料(人口推計、都市化関連データ:スケール相応) ・衛星データ	「広域・中域の資料に加え」 ・個別測量に基づく地形図 ・個別調査に基づく現存植生図 ・個別調査に基づく動物分布情報 ・地元住民・NGO等の生物情報 ・個別調査に基づく野生生物目録 ・各種動物生態情報(各種図鑑、論文等) ・各種施設設計図・管理図 ・都市計画図 ・社会環境資料(人口推計、都市化関連データ:スケール相応) ・航空写真 ・衛星データ
課題の整理 (ボトルネックの推定)	解析し作成する主な図面の例 ・地形区分図(地形図から) ・植生図(環境省現存植生図から) ・エコトープ図(上記地形区分図と植生図から) ・動物分布図 ・指標種選定に用いる動物情報(環境省野生生物目録、各種動物生態情報から) ・沿岸域状況図 ・社会条件図(各種法規制図から) ・事業・大規模施設位置図(各種事業・施設情報から)	・地形区分図(地形図から) ・植生図 ・エコトープ図(上記地形区分図と植生図から) ・動物分布図 ・指標種選定に用いる動物情報 ・沿岸域状況図 ・社会条件図(各種都市域法規制図から) ・事業・大規模施設位置図(各種都市域事業・大規模施設情報、都市計画図から)	・地形区分図(地形図から) ・植生図 ・エコトープ図(上記地形区分図、植生図から) ・動物分布図(動物分布情報やNGO等の情報から) ・指標種選定に用いる動物情報(野生生物目録、各種動物生態情報から) ・社会条件図 ・施設配置図(各種施設設計図・管理図、都市計画図から)
目標設定へのフィードバック	原則既存資料による	既存資料によるが衛星データ等の活用も検討	既存資料で不十分な場合が想定され、衛星画像や航空写真を活用する。
計画の目標設定	計画の目標設定 指標種(目標種)を位置づける。 ・具体的な数値目標を示す。 ・計画対象地の山地、丘陵地、低地などの大きな生態系区分を行い、そのめざす姿を描く(課題を解決する方向を示す)	指標種(目標種)を位置づける。 ・具体的な数値目標を示す。 ・計画対象地の里地里山、河川、市街地周辺モザイク環境などの生態系区分を行いめざす姿を描く(課題を解決する方向を示す)	指標種(目標種)を位置づける。 ・具体的な数値目標を示す。 ・計画対象地の自然・社会環境の特性を踏まえ、生物の生息空間確保の課題を解決する方向を示す。
指標種の好適生息域推定	指標種による好適な生息域の抽出(現況) ・生息地予測モデルを用いた指標種(目標種)の好適な生息域(潜在生息地)の抽出(現況)		
保全策(施策シナリオ)の検討	計画の下敷きとなる複数の施策シナリオの設定 ・エコロジカルネットワーク形成に役立つインフラの整理(公共事業、民地の活用など) ・担保性の見直し(法規制強化) ・目標を達成するためのインフラ整備、緑地等の確保、担保性の見直しなどによる複数のシナリオ設定		
施策シナリオの実施による指標種好適生息域の分析	施策シナリオの実施による指標種好適生息域の分析 ・施策シナリオのGISデータ化 ・指標種(目標種)の潜在生息地の将来予測 担保性の把握・市街化シミュレーション ・潜在生息地の変化量把握、分断箇所の解消 など		
保全策(施策シナリオ)の比較	施策シナリオによる効果の比較 ・コスト比較 ・目標達成度合い比較 採用するシナリオ(保全策)の整理 整備内容の選択 (潜在生息地の増加、分断箇所の解消数など)		
エコロジカルネットワーク計画図の作成	・採用したシナリオにもとづく指標種の好適生息域の図化・現状の好適生息域の図化(背景図:コア要素) ・担保性の強化により保全された環境の図化・分断解消箇所の図化・その他コリドー要素の図化 ・シナリオの図化(採用するシナリオ:ネットワークの軸)		

GISによらない
検討・整理等

GISによる検討・解析等

(6)まとめ

本研究により、生息予測モデルと施策シナリオを用いたエコロジカルネットワーク計画の策定手法を示すことができた。この手法で用いている生息地予測モデルは、種の生息空間に関する既存知見や、植生・地形等の環境要素を組み合わせて構築しているため、今後、種の生息空間に関する新たな知見が得られた場合には、その知見をモデルへ組み込むことによって、より精度の高い潜在生息地の抽出や将来予測、エコロジカルネットワーク計画の策定が可能になると考えられる。また、エコロジカルネットワーク計画を策定するにあたり、開発による自然環境や野生動物の生息地への影響、保全や創出策による効果を定量的に予測するため、計画対象地域の实情に合わせた施策内容や費用を設定することで、行政関係者や地域住民がエコロジカルネットワーク計画の策定イメージについて議論し、合意形成を図ることが可能になると考えられる。

参考文献

- 1)WRI, IUCN, UNEP: Global Biodiversity Strategy. 1993.(邦訳あり:佐藤大七郎 監訳. 生物の多様性保全戦略 地球の豊かな生命を未来につなげる行動方針. 中央法規出版)
- 2)日本生態系保護協会:ピオトープネットワーク 都市・農村・自然の新秩序,ぎょうせい, 1994.
- 3)日置佳之:オランダの生態系ネットワーク, 社団法人日本造園学会編ランドスケープ体系第5巻ランドスケープエコロジー, pp.211~237, 1999.
- 4)国土交通省:国土交通省総合技術開発プロジェクト,生態系の保全・生息空間の創造技術の開発報告書, 2002.
- 5)石曾根敦子・百瀬浩・藤原宣夫:流域におけるエコロジカルネットワークの保全・回復技術の開発, 土木技術資料, Vol45(5), pp.50~51, 2003.
- 6)国土交通省河川局:日本の川,(<http://www.ml.it.go.jp/>)(平成17年11月現在).
- 7)ESRI社製 ArcView3.2, 8.3, 9.0(Spatial Analyst).
- 8)社団法人土木学会編:土木用語大辞典, 技報堂出版株式会社, 183pp, 1999.
- 9)吉田剛司・田中和博:ギャップ分析(Gap Analysis):生態系管理のためのGIS, 森林科学24, 1998.
- 10)USGS Gap Analysis Program. 2000. A Handbook for Conducting Gap Analysis:(<http://www.gap.uidaho.edu/handbook/>)(平成17年11月現在).

3.4 政策シナリオの実践への支援技術の開発

3.4.1 社会一体型施策立案手法の提案

(1) はじめに

これからの環境問題解決のためには、市民・企業と目標を共有し、合意を図り、連携して取り組みを実施していく社会一体型の施策を実施していくことが重要である。また、環境問題の影響・因果関係が不明瞭な状況の中で、いかに市民・企業と一体となって取り組みを行っていくか、そのための実施方策が必要である。

これまで、環境問題は主に大気汚染や水質汚濁などの公害問題であった。そのため、汚染物質の出所を取りしめるエンド・オブ・パイプ型の対策が有効であり、規制などの行政主体の対策で効果を上げることが可能であった。しかし、近年問題となってきた地球温暖化問題やヒートアイランド現象などの環境問題は、利便性や快適性を重視してきた社会のあり方そのものに起因している問題であり、これまでの規制・助成による行政主体による対策では対応できなくなってきたのが現状である（図-3.4.1.1）。

また、足尾銅山やイタイイタイ病などの公害問題をはじめとしたこれまでの環境問題では、因果関係を把握するまで何も対策を行ってこなかったため、被害の拡大・深刻化を招いてきた経験を踏まえると、地球温暖化問題やヒートアイランド現象が、その影響や因果関係についてはいまだ解明中であるとはいえ、その影響・因果関係の調査結果をただ待っていたのでは、対策が後手に回ってしまい、取り返しのつかない危機的状況に陥ることも十分考えられる。そのため、影響・因果関係が不明瞭であってもなんらかの対策を進めていくことが必要である。

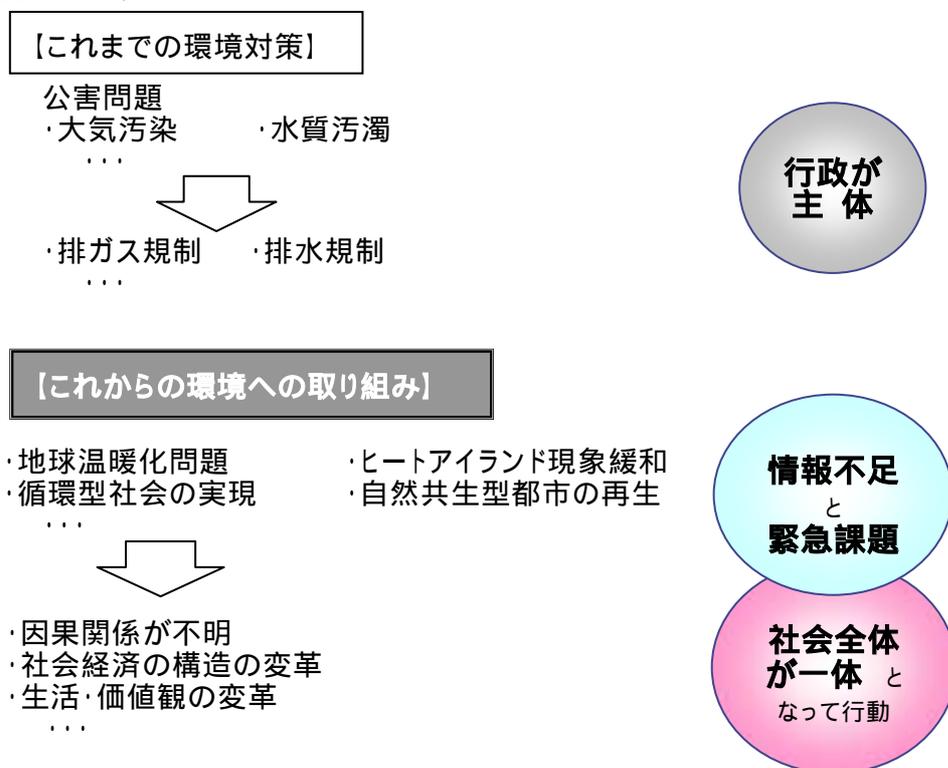


図- 3.4.1.1 環境施策の問題意識

(2) ヒートアイランド現象の現状と検討

近年、都市部で特に問題となってきたヒートアイランド現象（以下HI）対策を一例として、その影響と因果関係が不明瞭な状況の中で市民・企業と一体となって取り組みを行っていったための実施方策について検討を行った。

これまでに考えられていたHI対策を図-3.4.1.2に示す。HIの原因や因果関係については現在調査中であるが、対策としては「人工排熱量の低減」「地表面被覆の改善」「都市形態の改善」などが考えられており、平成16年3月のHI大綱では「ライフスタイルの改善」も追加された。また、報告書を読めば、具体的な対策が列挙されている。しかしながらその対策について、施策のプライオリティが示されていないため、実際に対策を実行し

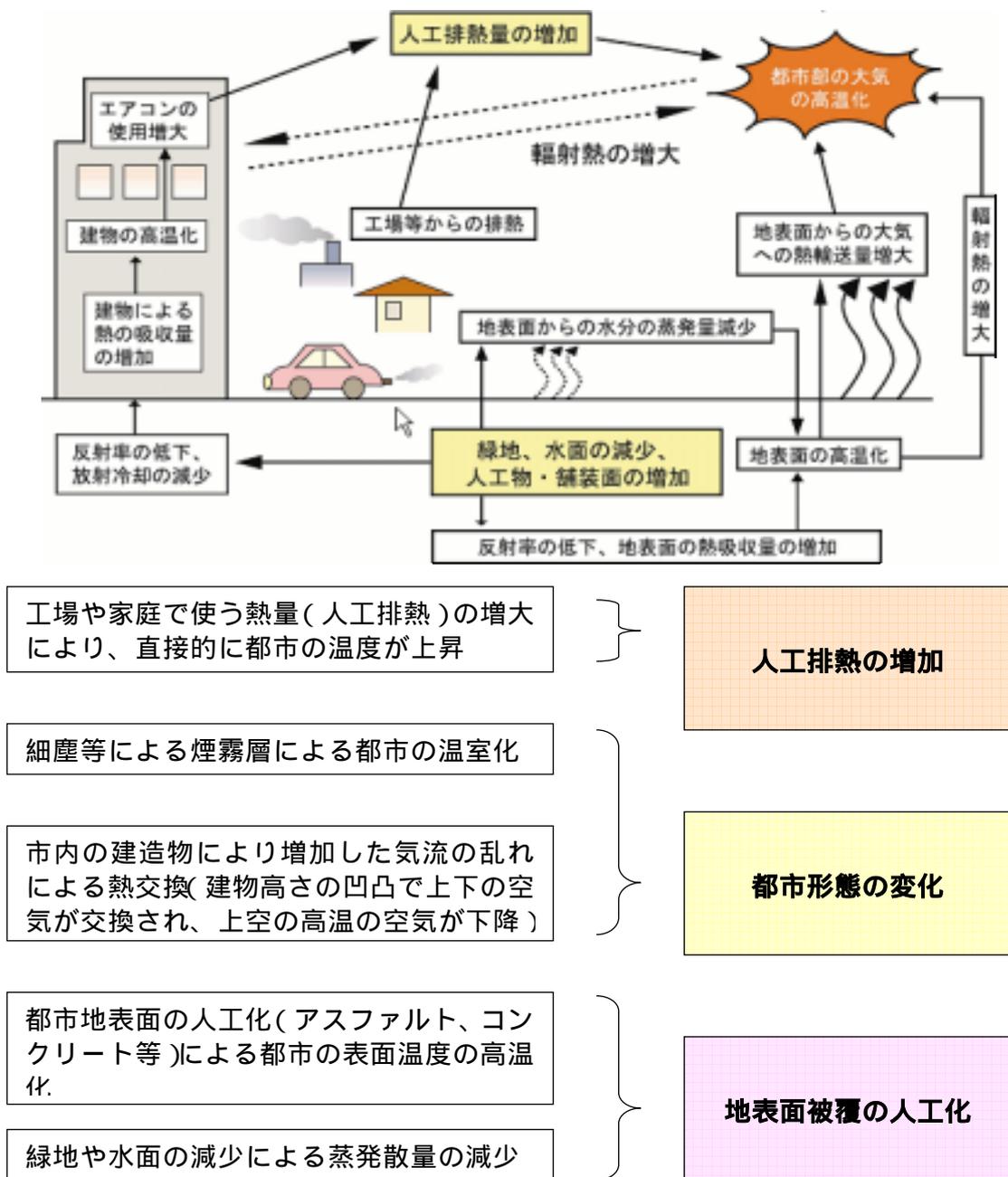


図- 3.4.1.2 従来のヒートアイランド対策

ていくためにはどの対策から実施してゆけばよいのか判断できないのが実状である。この原因の一つに、H Iの影響・因果関係が明確にされていないため対策のプライオリティ付けを行うことができないことが挙げられる。

広く公開を目的とした資料中では具体策が提示されていないことは問題である。つまり、原因「人工排熱量の増加」に対して、対策「人工排熱量の低減」となっている点である。全体として原因と対策は、「・・・の増加」に対して「・・・の減少」、「・・・の人工化」に対して「・・・の改善」、「・・・の変化」に対して「・・・の改善」という関係になっており、何ら問題解決の具体的提案が行われていない。

「人工被覆の改善」、「都市形態の改善」については、行政が主体となって取り組むのであれば、具体策を提示しなくとも行政が自ら実施することは可能かもしれない。しかし、「人工排熱の低減」については、ライフスタイルの改善つまり個々の市民・企業の能動的な取り組みが求められており、可能な限り具体的な対策案を提示することが必要である。

(3) 研究方法

1) 幅広い学識経験者からなる検討会による検討

人文社会学系の視点を踏まえた幅広い検討を行うため、自然科学の学識者に加えて、経営戦略学・経営コミュニケーション学・市民参加手法等の学識経験者、市民・NPO代表者から構成される「ヒートアイランド施策の合意形成に関する検討会」(座長：北矢行男多摩大学教授)を設置して検討を行った。

2) ヒートアイランド現象・対策の整理

H I現象の影響と対策、調査の進捗状況について把握しておく必要があるため、既存資料等により現状の把握を行った。その結果を上述の視点に立ち改めて眺めると、H I対策の全体像は図-3.4.1.3 に示すように整理される。地表面被覆の改善や都市構造の改善に分類される対策は、規制等のこれまでの行政主体の対策によって対応可能であるが、人工排熱の低減に分類される対策は市民・企業の価値観・ライフスタイルの変革なしには対応できない対策であることが改めて確認できた。

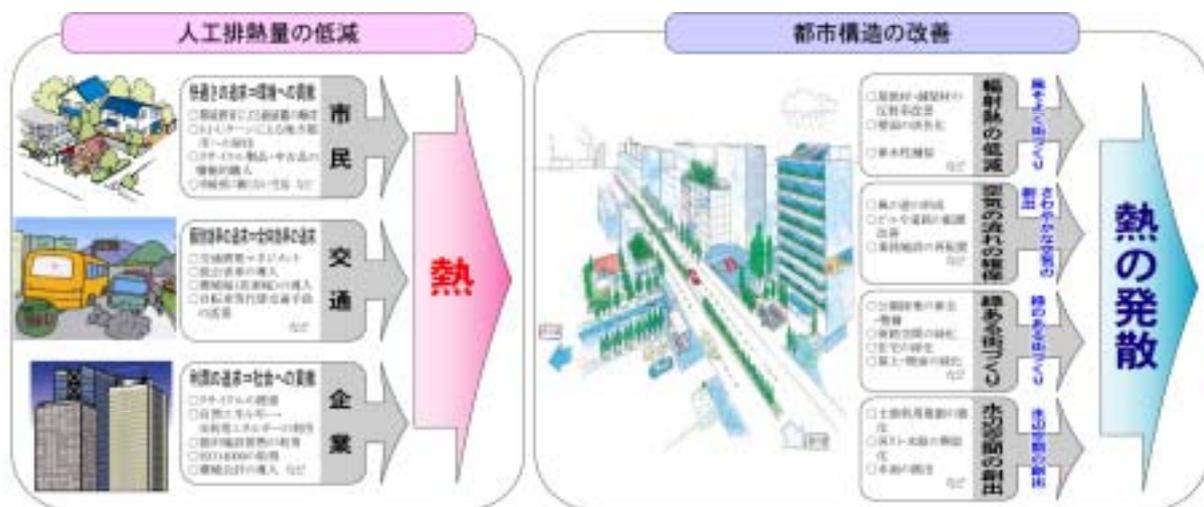


図- 3.4.1.3 ヒートアイランド対策の全体像

3) 事例収集・ヒアリング

市民・企業の取り組みを動機付けるために必要な情報を把握することを目的に、企業や地方自治体の情報提供状況のヒアリング調査、市民・企業の取り組みの動機付けに成功した事例収集等を実施し、その結果を踏まえて学識経験者へのヒアリング、検討会における議論を通して市民・企業の取り組みを動機付ける情報について検討した。

(4) ヒートアイランド対策の新たな視点

1) 市民の視点の導入

これまでの行政の考える対策は、科学的・技術的価値観や評価基準から何をすべきであるかが考えられている。しかし、実際に行動する市民が何をすべきであるかと考える対策とは視点が異なっている。市民の視点に立てば、「何ができるか」、「やる気になるか」という視点が重要になる。そのため、行政の打ち出す対策が、行動主体である市民にはわかりにくく、効果的な実行の促進には至らない。

ごみ減量化に短期的に成功した名古屋市の事例においても、行政・専門家の考える循環型社会（図-3.4.1.4 上）では、『天然資源の消費やゴミがどれだけ減量されるか』という物質の出入り量を抑制することが懸案事項であるのに対し、市民の考える循環型社会（図-3.4.1.4 下）では、行政の最も重要視する天然資源の消費量やゴミの低減量には関心がなく、『一生懸命努力した人が報われるか』という公平性を重視している。市民は「ものを無駄にしない」、「限りなくごみゼロに」といった『身近なところで』環境との関わりを考えている。

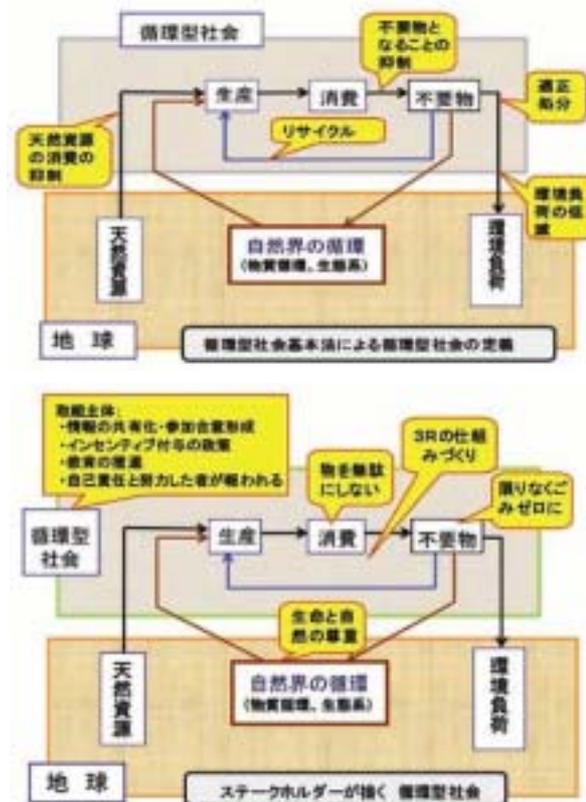


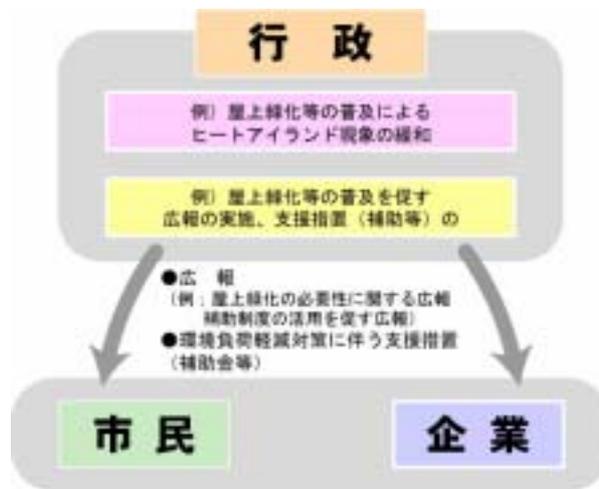
図- 3.4.1.4 行政の考える循環型社会（上）と市民の考える循環型社会（下）(出典：柳下²⁾)

2) 施策モデルの転換

ヒートアイランド現象の大きな要因である人工排熱量の削減に関する取り組みについては、取り組みによる経済合理性や省エネ効果等の観点で動機となり、市民・企業・行政の能動的な取り組みが期待できるものと考えられる。このとき、市民や企業との十分な対話の過程を踏み、各取り組みについて市民・企業・行政間で合意が図られないこれまでの上位下達型のモデルでは、市民や企業等の能動的な取り組みを促進することは難しい。

このため、ヒートアイランド現象の緩和という目標を共有し、かつヒートアイランド対策に係る取り組みについて合意を図り、その上で市民・企業・行政が連携して取り組みを実施していく“社会一体型モデル”により取りまとめられた社会一体型施策を展開していくことが必要である。(図-3.4.1.5)

<従来の行政主体の施策モデル>



<社会一体型のヒートアイランド対策モデル>

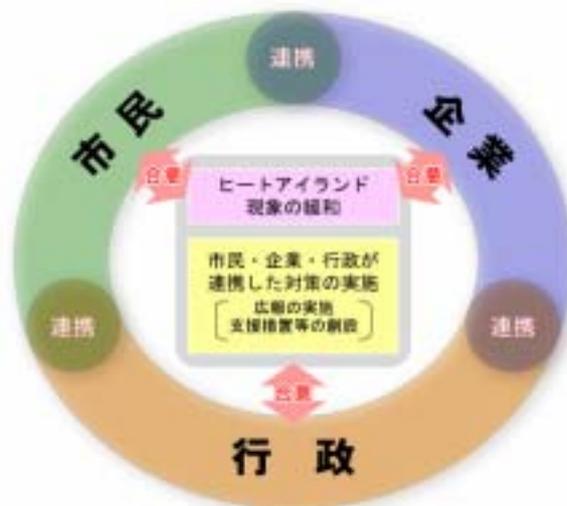


図- 3.4.1.5 社会一体型施策モデル

3) 社会心理学的考察

a) 環境配慮行動の実行に至る要因

市民・企業の取り組み促進方策を検討するにあたっては、社会心理学における行動変容プロセスに関する理論を踏まえることは効果的であると考えられる。環境配慮行動に関する心理学モデル³⁾に、ヒートアイランド現象を当てはめたのが図-3.4.1.6である。

このモデルに即した意識変化が起これば、その行動は持続性が高いと考えられる。つまり、HIがどのくらい悪影響を及ぼすのか、何が原因なのか、何をしたらどれくらい効果があるのか、といった環境に関する知識を理解することで「HI対策を実行したほうがよい」という目標意図が形成され、その後、自分にできるか、コストはどれくらいか、社会から求められているか、といった行動をしようかどうかの判断材料が得られることで「行動をしよう」という行動意図が形成され、環境配慮行動が実行される。しかし、個人的コストがかかる行動では、意識変化が起きても行動が起こるとはかぎらない。逆に環境配慮とは関係ない手がかりによって行動につながることも多いにある。環境配慮とは関係ない手がかりとしては、「人気タレントや身近な人が行動している」などの「他者が環境配慮行動をとっている」との認知などが挙げられる。そのような認知は、やろうと思えばできる状況にあるという実行可能性評価と社会の中で受け入れられている行為であるという社会規範評価に繋がる。こうした影響はとりわけ個人にとって心理的に重要な地位にいる他者から受けやすく、また、個人の持つ社会的ネットワーク内の他者の行動は個人の行動を大きく左右すると考えられる。したがって、ネットワーク内に当該行動を実行している仲間がいれば、それを受け入れやすくなることが示されている。

さらに、一度何らかの環境保全行為が実行されれば、その行動をとるうちに環境情報に接する機会が増え、意識が変化する可能性も示されている。

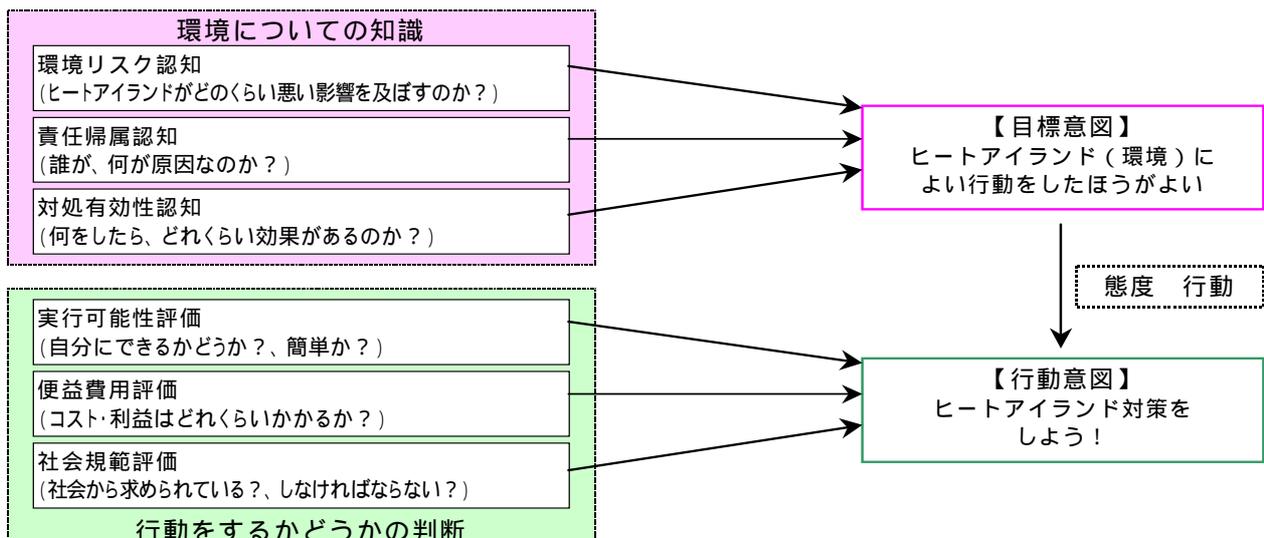


図- 3.4.1.6 環境配慮行動の心理学モデル

b) 環境配慮行動の継続の要因

環境配慮行動が継続されるかどうかについては、行動が実行されるかどうか、とは区別して考える必要がある。当然のことながら、環境配慮行動には実行されやすい行動と実行しにくい行動の種類がある。環境だけを目的に行動している人はごく少数であり、まずは個人的な利益につながるものが実行されやすい。また、意識的・規制的にやることにより、しなければルール違反になるなどの「負の強化」ではなく、社会的利益への貢献が実感できるといった「正の強化」に発展していくことも考えられている。

環境配慮行動に関する取り組みの「開始」と「継続」にはそれぞれ抵抗感が存在している。(図-3.4.1.7(1))この図の縦軸の指標である抵抗感とは、費用面や環境配慮行動のためにどれだけの作業が生じるか、また環境配慮行動への理解度や周囲の人々が行動しているかどうかの心理面などによって形成される。

環境配慮行動に対する取り組みへの抵抗感には大きく分けて2つのタイプがあり、省エネ家電の購入や屋上緑化の実施などのように行動開始時には大きな抵抗感があるが、一度環境配慮行動を行ってしまえばその後は特に環境に対して意識をしていなくても効果が持続していくもの(図-3.4.1.7(2)上)と、冷暖房に頼らない生活を行うことや公共交通を利用するなどのように行動開始時にも大きな抵抗感があるが、その後環境配慮行動を継続していく際にもかなりの抵抗感が生じるもの(図-3.4.1.7(2)下)がある。つまり、環境配慮行動を普及させるには、行動前の心理的負担感を低下させること、持続時の心理的負担感を低下させることが重要となってくる。前者については光熱費の節約効果や地球環境負荷軽減への貢献度をアピールするなど取り組みによるメリットを情報提供していくことなどが考えられる。また、後者についてはそれに加えて、環境配慮行動の理解度を高める広報の実施やシンポジウムやイベントの開催を通して環境に関する教育・啓発の実施や、幼児期での環境教育、環境をテーマにしたドラマ・アニメの制作・放映等を通して環境に対する価値観の変革を促す情報を提供を継続して行っていくことが必要となる。

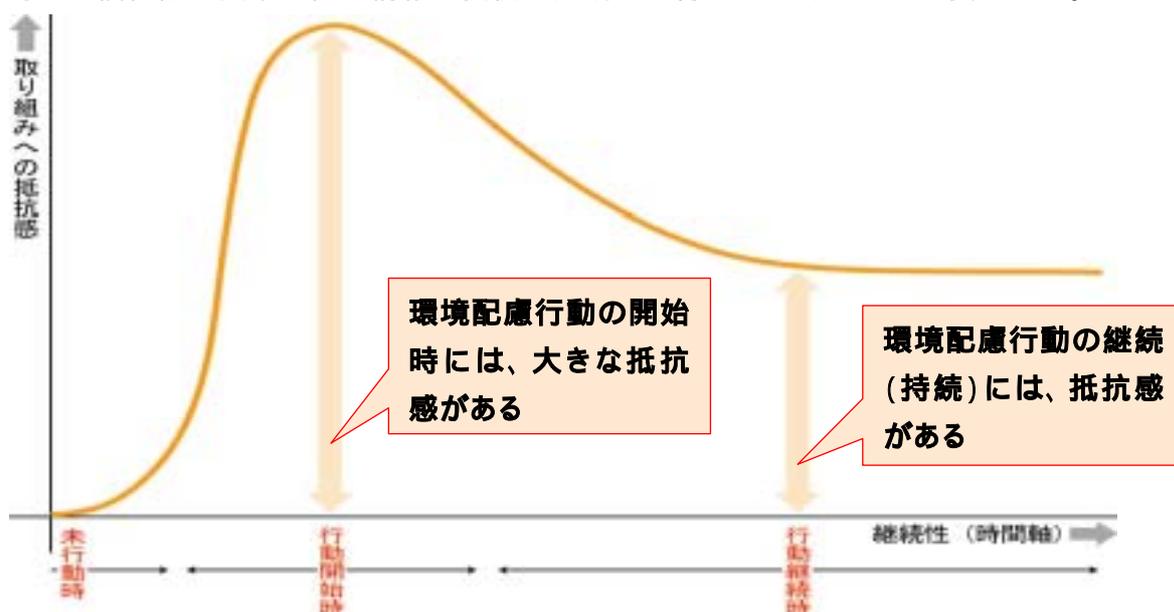


図- 3.4.1.7(1) 環境配慮行動に対する抵抗感

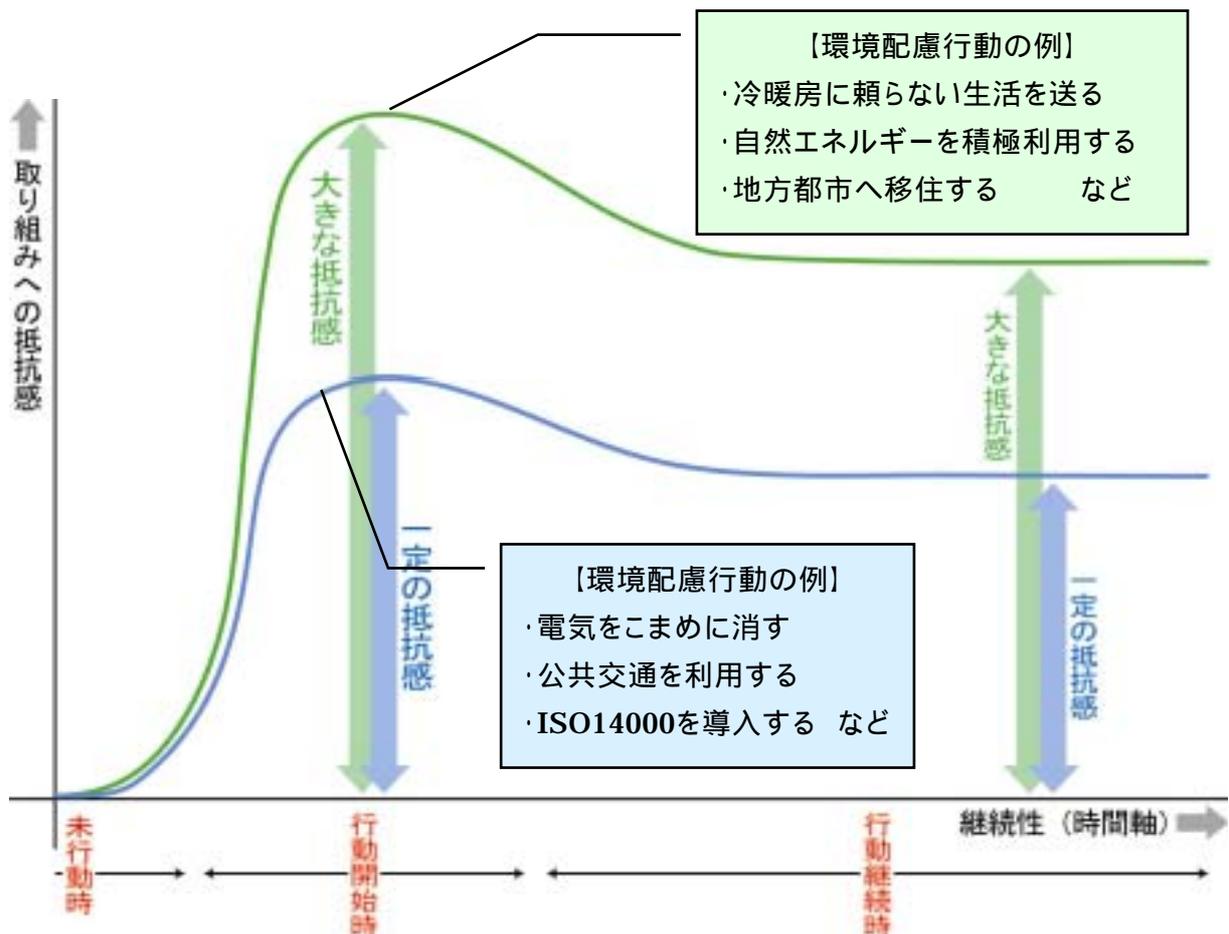
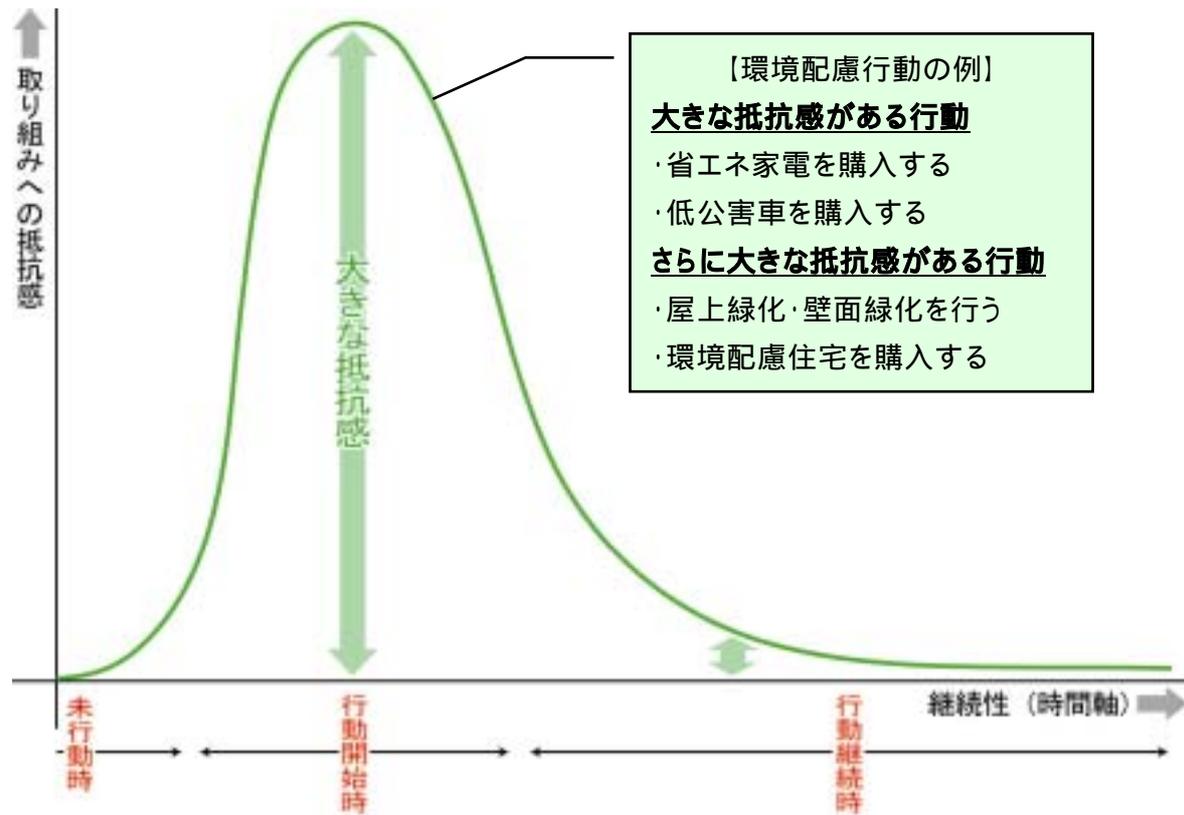


図- 3.4.1.7(2) 行動開始時に大きな抵抗感がある環境配慮行動 (上) と行動継続時に大きな抵抗感がある環境配慮行動 (下)

(5) 促進方策の提案

以上までの留意点を踏まえると、HI対策の促進方策の考え方としては、HIそのもの、対策による効果・因果関係が情報不足により不明確であること、人々が環境配慮行動を「面倒」と感じていることなどを考慮し、HI対策への市民・企業・行政が一体となった取り組みを推進していくことを前提とした環境配慮行動の協力要請を行っていくことが必要である。よって、「A. 人々の環境に対する理解度を考慮する」、「B. 「人々の関心・興味(ニーズ)のある取り組み」に着目する」、「C. 人々の普段の生活で、無意識に取り組んでいることを応援(支援)する」という3つの観点より環境配慮行動を促す効果的な協力要請手法について検討を行う。(図-3.4.1.8)

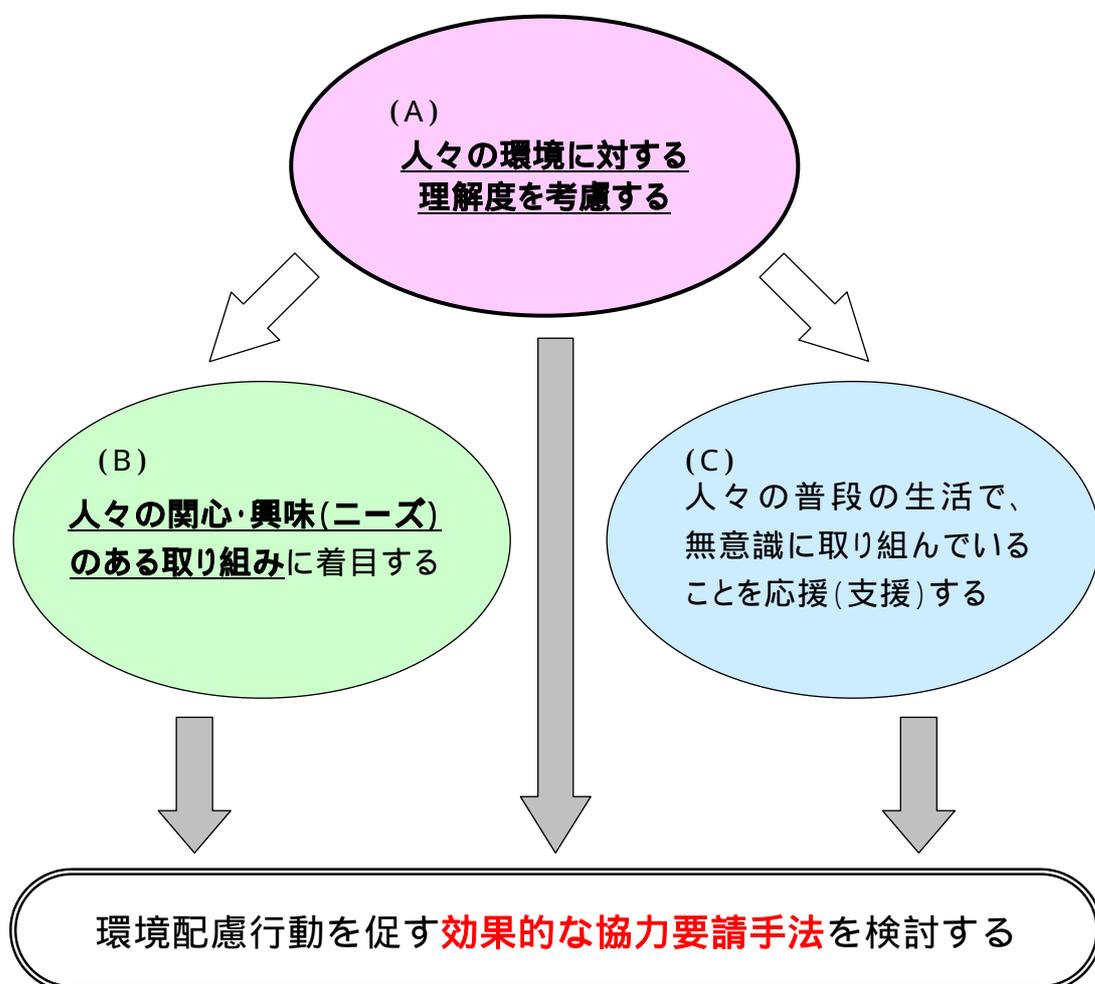


図- 3.4.1.8 ヒートアイランド対策の協力要請の検討方法

1) 人々の環境に対する理解度を考慮する

現在環境配慮行動として一般的に、「電気はこまめに消しましょう」、「冷暖房の温度設定を適正にしましょう」、「アイドリングストップを心がけましょう」などについて、パンフレット・インターネット等を通じて統一的・画一的に広く情報提供がされている。これらの行動は一度だけ行うのであれば簡単な行動である。しかし、その後も継続して行うとなると大変面倒である。一方社会には「環境配慮行動の重要性を理解し、率先して行動している人」、「環境配慮行動の重要性を理解しつつも、何をしたらいいのか分からない人」、「環境に対する意識の低い人」など環境配慮に対する意識レベル・行動レベルに大きな違いがある人々がいるため、このような「面倒な」行為は常に環境配慮の意識を持っている人でなければ継続は期待できない。

したがって、このような統一的・画一的な情報提供では、環境に意識のある人にしか伝わらず、他の意識レベルの人に行動を促すためには、明確に対象者を意識し、対象者に敬意を表したコミュニケーションを行わなければならない。

そこで、前述の社会心理学の観点を考慮し、ヒートアイランド現象における環境配慮行動を継続するときに求められる「行動前の心理的負担」を「環境配慮行動の理解度」とし、「持続時の心理的負担感」を「環境配慮行動を持続するために要する努力」として解釈してHI対策を図-3.4.1.9のように分類した。人々の環境に対する意識には理解度の低い人から高い人まで差がある。環境配慮行動に関する協力要請を行っていく際には、その意識差に応じて行うことが効果的であると考えられる。

例えば、省エネ機器等の環境に配慮した製品の購入は、「購入」という行動自体は一過性のものであるが、購入時に長期的な経済的メリット・短期的デメリットや環境への影響等の簡単な説明を受けることで環境に対する理解度が低い人でも行動を実行する可能性があり、一度購入（決断）すれば、環境への意識を常に意識することなく、その後の環境負荷低減効果は持続するものである。また、「環境によいものを購入した」という意識は、環境配慮の価値観醸成に貢献すると考えられ、環境配慮の価値観がなければ実行できない行動の実行にも繋がっていくと考えられる。

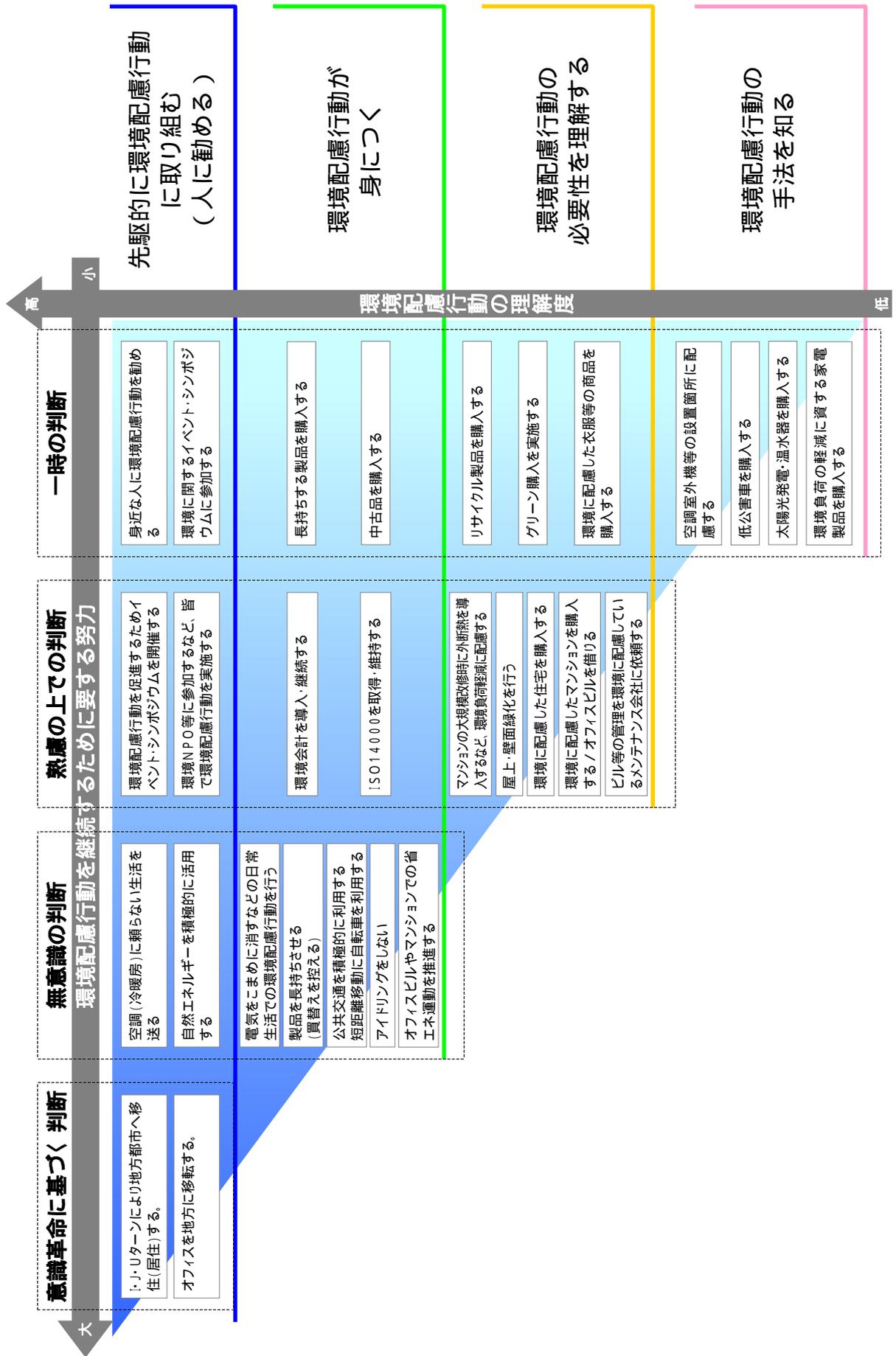


図- 3.4.1.9 ヒートアイランド対策における意識・理解度による取り組みの分類

2) 他者からの評価による環境配慮行動の促進

H I 対策には、市民一人ひとりの行動が必要な取り組みが多いものの、「面倒である」とされ、持続的な取り組みに結びつきにくいのが現状である。しかし、環境配慮を意識しているわけではないが普段行っている行動、あるいは行いたいと思っている行動の中には環境保全につながる行動が多く含まれている。そのような日常行動を「環境保全に役立つ行動である」と評価・認識することで、環境意識を醸成し、その行動の継続、さらには他の環境配慮行動の実行へと期待できる。

a) 人々の関心・興味（ニーズ）のある取り組みに着目する

効果的なH I 対策として取り上げられている「屋上緑化」、「低公害車の導入」、「地方都市への居住」などは、言い換えれば「ガーデニングを楽しみたい」、「車の維持費を節約したい」、「自然の中で快適に暮らしたい」など、そもそもH I 対策とは無関係の次元で人々が欲しているニーズとして存在している。（図-3.4.1.10）

こうした、取り組み主体である人々の素朴な関心・興味（ニーズ）にフィットした取り組みをH I 対策として取り上げることで、人々のニーズを満足し、H I 現象緩和にも寄与することができる。

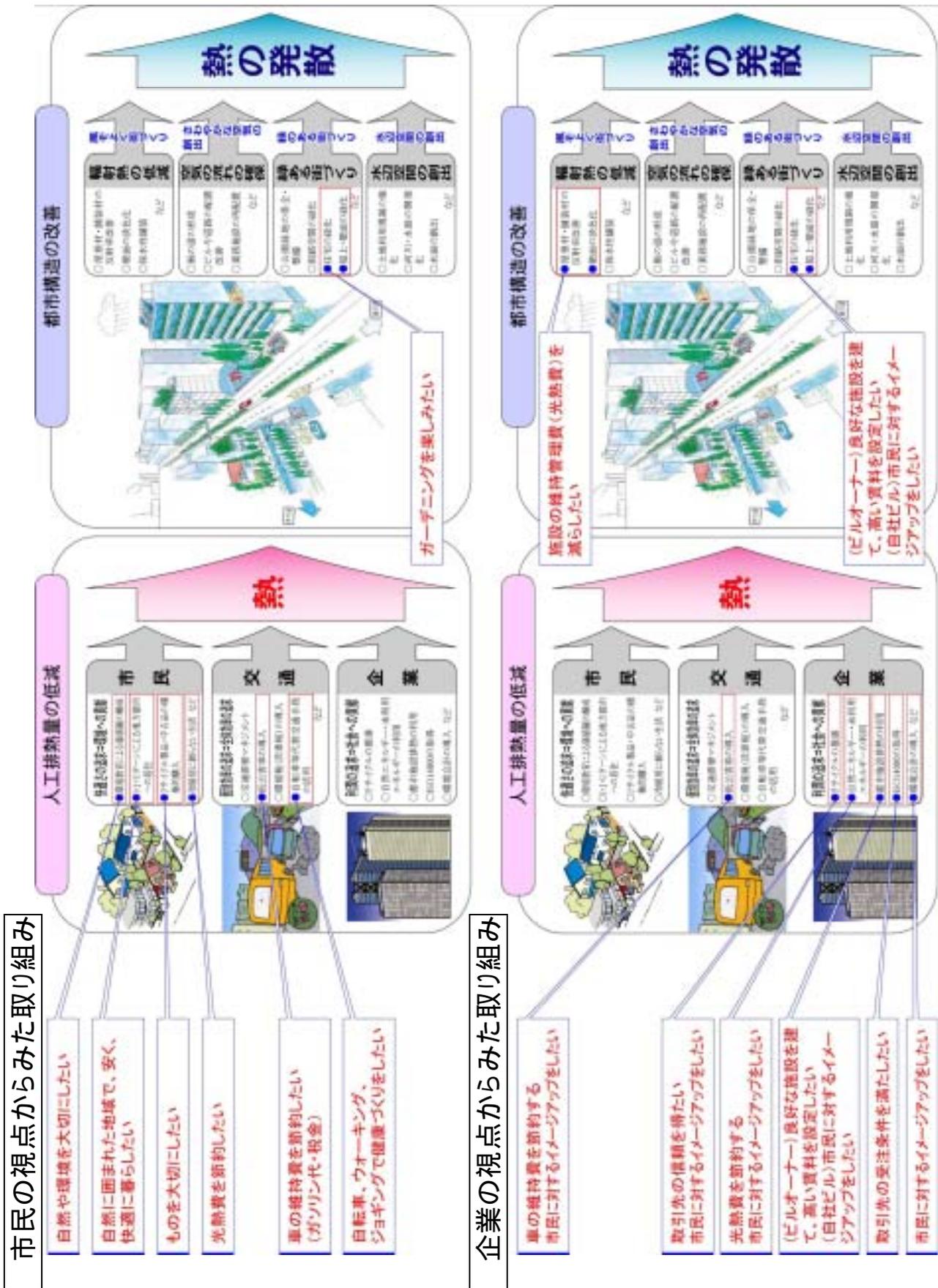


図- 3.4.1.10 市民・企業の関心・興味(ニーズ)のある取り組み例

a) 人々の普段の生活で、無意識に取り組んでいることを応援（支援）する

「すだれやよしずを利用する」、「植木に水をやる」、「気に入ったものを長く使う」などは、取り組み主体である人々が日常生活の中で、環境に対する意識とは関係なく習慣化している行動であるが、環境の側面から捉えれば、環境負荷を低減する取り組みでもある。しかし、市民自身は、何気ない行動が環境保全に役立つことに気づいていないことが多い。そのため、日常の行動が環境保全に資するという認識を形成することが重要である。

ここでは、普段の生活に定着している行動の中から「環境によい取り組み」を抽出し、整理を行った。

ア) 文化～風土にあった暮らし方～

地域の気候や風土に根ざした文化には、環境負荷が少なく、快適に過ごすことができる先人の知恵が受け継がれている。温故知新の精神で、新しいスタイルとして生活に取り入れていくことが普及の鍵となる。（図-3.4.1.11）

【取り組みの例】

- ・ 簾やよしずを利用する
- ・ 軒先に蔓（かずら）や朝顔を植える
- ・ 打ち水をする
- ・ 和装（浴衣、甚平）を着る
- ・ むしろやござ、風鈴等で清涼感を得る
- ・ ブロック塀を生け垣に変える

【環境保全効果】

夏の暑さが和らぎ、冷房の利用が減ることによる省エネルギー化



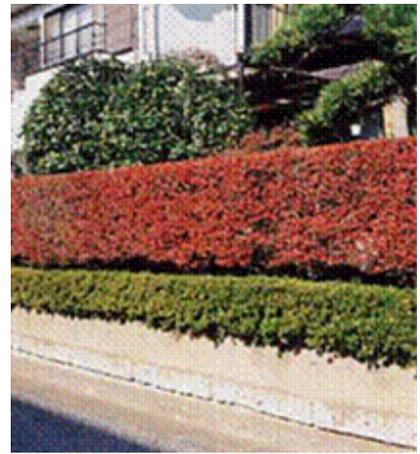
よしず

（出典：「京都まにあ」ホームページ）



昭和 50 年代の路地裏の園芸と打ち水風景

（出典：もう取り戻せない昭和風景「布川秀雄」）



生け垣

（出典：（財）柏市みどりの基金ホームページ）

ージ）

【認識・継続支援策の例】

- ・ テレビ番組、地域イベントを通じた、取り組み方法・環境保全効果の紹介
- ・ 多数の市民の参加により環境保全効果を検証する、ゲーム性のあるイベント開催
（事例：大江戸打ち水大作戦）

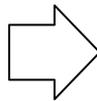
図- 3.4.1.11 人々の日常行動における環境配慮行動例（その 1）

イ) 趣味～楽しくできる継続性の高い取り組み～

趣味は、環境によいかどうかに関わりなく、継続できる取り組みである。環境によいという認識の形成は、より活発な取り組みや、取り組みの輪の拡大につながると考えられる。
(図-3.4.1.12)

【取り組みの例】

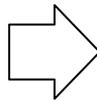
・ガーデニング・家庭菜園で植物を育てる



【環境保全効果】

緑化がもたらす気温低下効果で冷房の利用が減ることによる省エネルギー化

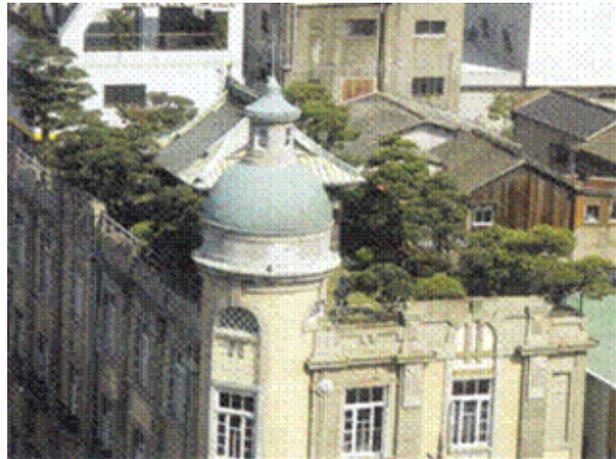
・ジョギング、散歩



ガソリンや電力を消費しないことによる大気汚染防止、省エネルギー化



マンションのバルコニーガーデン
(出典:東邦レオホームページ)



旧・秋田商会屋上庭園全景
(出展:「Landscape & Greenery 2005」(インタラクティブ・環境緑化新聞))

【認識・継続支援策の例】

- ・趣味(=環境配慮行動)がもたらす効果を定量的に示した情報の提供
- ・「ガーデニングコンテスト」など、社会的評価によるやる気・やりがいの増進
- ・市民農園、歩行者専用道など、趣味に取り組むことができる施設・設備の整備

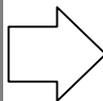
図- 3.4.1.12 人々の日常行動における環境配慮行動例(その2)

り) シンプルライフ～無駄をなくした、ゆとりある生活～

シンプルライフは、時間や空間にゆとりを持って洗練された心豊かな生活を送ることを追求するものである。お金のために我慢して節約するのではなく、最小限のものですっきり暮らし、自分の好きなことに時間やお金を割くことで身の丈に合った居心地の良さを作り出していく生活スタイルは、結果として無駄な消費を減らし、環境負荷軽減につながる。
(図-3.4.1.13(1)、 図-3.4.1.13(2))

【取り組みの例】

- ・気に入った良質のものを長く使う
- ・マイ (マイバッグ、マイカップ等) を買い物・飲食に持参する
- ・近場の外出に自転車を利用する



【環境保全効果】

無駄をなくし、リユース、リサイクルすることによる資源・省エネルギー化

取り組みのきっかけづくりと継続を支援するツールの例



マイバッグ持参を推進するポイントカード
(出典: 杉並区 HP)

無駄のない生活を支援するツールの例



スーパー独自の
エコロジーバッグ
(出典: 紀ノ国屋 HP)



長く使える良いものを提供する
(出典: Patagonia 2004 Spring カタログ)



カップ持参による割引サービスがある
コーヒー店のオリジナルタンブラー
(出典: スターバックスプレス vol.04)

環境にやさしく、長持ちする衣服の例

図- 3.4.1.13(1) 人々の日常行動における環境配慮行動例 (その 3)

積極的な公共交通の利用を支援するツールの例



折り畳み自転車「ストライダ」
主要スペック

組み立てた状態：
1030(h) × 1240 × 500mm
たたんだ状態：
1080(h) × 590 × 360mm
ホイールベース：883mm
(12インチホイール)
重量：約 10.0kg

高いデザイン性と機能を持つ折り畳み自転車(出典:「ストライダ」HP)

田舎暮らしを支援する情報提供の例



田舎暮らしを始める際の住まいや
農業の技術等の情報を提供
(出典:ダイワハウスホームページ)

田舎暮らし魅力を伝える情報提供
(出典:日本テレビホームページ)



【認識・継続支援策の例】

- ・メディア等を通じた、シンプルライフの取り組み紹介
- ・高いクオリティとファッション性、低環境負荷を併せ持つ製品のPR
- ・マイ 持参によるポイント制・割引など、達成感を得られる仕組みの導入
- ・自転車や徒歩で外出しやすい道路空間の整備

図- 3.4.1.13(2) 人々の日常行動における環境配慮行動例(その3)

(6) まとめと今後の課題

社会（市民・企業）と一体となって環境問題に取り組んでいくためには、（１）市民の視点を考慮した施策モデル、（２）社会心理学を応用した取り組み促進方策を考えていくことが効果的であることがわかった。

今後は、市民等の取り組み促進方策の実施主体である地方自治体と協力し、今回提案した促進方策の効果について、検証を行っていく。

参考文献

- 1) 環境省：ヒートアイランド対策の推進のために、2000.
- 2) 柳下正治、石川雅紀、廣瀬幸雄、杉浦淳吉、西村一彦、涌田幸宏、岡山朋子、水野洋子、前田洋枝、松野正太郎：市民参加による循環型社会の創生をめざしたステークホルダー会議の評価，社会技術研究論文集，Vol.2，pp.49-58,2002.
- 3) 広瀬幸雄：環境配慮的行動の規定因について，社会心理学研究，Vol.10，pp.44-55,1994.
- 4) 広瀬幸雄：環境と消費の社会心理学 - 共益と私益のジレンマ，名古屋大学出版会，1995.
- 5) 杉浦淳吉：環境配慮の社会心理学，ナカニシヤ出版，2003.
- 6) 藤井聡：社会的ジレンマの処方箋 都市・交通・環境問題のための心理学，ナカニシヤ出版，2003.
- 7) 曾根真理，並河良治，水野太史：ヒートアイランド現象対策をケーススタディとした社会一体型施策に関する研究：平成16年度土木学会全国大会 第59回年次学術講演会概要集； -191，2004.
- 8) 曾根真理，並河良治，水野太史：ヒートアイランド現象緩和を対象とした社会一体型施策実現に向けた研究：土木計画学研究・講演集；29，No.201,2004.
- 9) 桑原正明，曾根真理，並河良治：都市熱環境改善施策の社会受容性向上へ向けて：土木技術資料；45(5)：56-59,2003.

3.4.2 地域との協働による自然共生型社会の実践

(1) はじめに

我が国では、戦後急激な人口増加や社会経済の発展、生活様式の変化等が生じたことにより、水循環、物質循環、生態系といった自然のシステムが損なわれ、水環境の悪化や生物多様性の低下等様々な環境問題が生じ、人の生活環境も劣化してきた。このような国土環境の問題を解決し、自然の恵みが感じられる豊かな生活環境を形成するためには、行政主体の取り組みだけでは不十分であり、その地域の特性に応じて、効率的な施策を総合化するとともに、地域住民の積極的な参画を受け、官民一体となって施策や活動を長期的視野のもと推進していくことが不可欠と考えられる。このため本調査では、行政と市民を国土環境再生のための両輪と捉え、行政と市民が主体性を維持しつつも、連携しながら国土環境を改善していく社会システムについて検討する。

近年においては、各地で民間団体を中心とした自然再生、地域再生等の活動が盛んに行われており、優れた成果を挙げている活動事例も見られる。そこで、民間団体を多くの市民の社会参加を促すシステムの一形態と見なし、その機能について調査し、「自然と共生する国土(自然共生型流域圏・都市)」という視点から、真に豊かな生活を実現できる国土・社会のあり方について検討する。

(2) NPO による地域活動による環境再生の実態調査

1) 民間団体が市民の社会参加を支援する仕組み

民間団体が市民の地域活動への参加を促し、効果的な活動を可能とするためには、(a) 住民・関係者の地域活動参加への動機付け、(b) 民間団体による継続的活動を支える仕組みづくり、(c) 民間団体と行政、企業、他団体等との交流・連携等を適切に行う必要がある。

これらについては、個々の団体がそれぞれ独自の工夫をしており、これらノウハウを把握することは、官民の連携による国土管理のあり方を検討する上でも有用と考えられる。

このため、活動実績等から活発に活動が展開されている 8 団体を対象として取り上げ、それら団体について WEB 等による情報収集や聞き取り調査を行うことにより、上記の視点から独自の工夫を整理した。対象とした団体は表- 3.4.2.1のとおりである。

2) 市民参加における民間団体の機能・ノウハウの整理

a) 住民・関係者の動機付け

分かりやすく、共感しやすいスローガンの提示

市民の参加を促すためには、多くの市民の関心・興味を引きつけることが重要であり、その活動が何を目指しているのかを分かりやすく、実感しやすい形で提示することが効果的である。

表- 3.4.2.1 調査対象とした民間団体とその活動概要

団体名称（略称）	主な活動概要
(NPO)水環境北海道 (北海道)	石狩川や千歳川において、「北海道Eポート大会」(交流事業)、「千歳川・かわ塾」(環境学習、人材育成)、「千歳川ウェルカムサーモンクリーンリバー」(河川清掃)、「石狩川 300 万本植樹」(交流活動、自然再生)などの多様な取り組みがなされている。また、オイル汚染の吸着マットの開発やカミネッコン(バイオブロック工法)などの環境関連商品の開発や活用にも積極的である。
(NPO)アサザ基金 (アサザ)	「100 年後の霞ヶ浦にトキを甦らせよう！」をキャッチフレーズとして、水生植物であるアサザの育成を図る「アサザプロジェクト」に取り組んでいる。プロジェクトでは、流域の学校児童の参加を促し、アサザの里親や植栽活動の展開を図っている。また、粗朶材の活用を通して、流域の里山管理を進めている。その他、学校ピオトープや地域ピオトープでの育成を図り、環境学習にも力を入れている。
(財)トトロのふるさと財団(トトロ)	狭山丘陵の保全・再生のためにNPOが中心となって、ナショナルトラスト運動を展開している。また、キャンペーンのキャラクターやイメージが誰にも分かりやすく、幅広い層から募金が集まるとともに、行政も呼応した事業を展開している。また、狭山丘陵全体をエコミュージアムとするための調査研究も実施している。さらに、企業との共同企画として、丘陵周辺のウォーキングイベントも行っている。
(NPO)荒川流域ネットワーク (荒川)	荒川流域の約 60 団体が加盟している連携型の団体であり、「荒川流域一斉調査」(水質調査)や「リバーレンジャー研修会」(人材育成)、三つ又沼ピオトープにおける市民主体の維持管理、環境保全のための施策提言、エコ商材の販売による活動資金の捻出など、多様な取り組みを行っている。
(NPO)全国水環境交流会 (交流会)	水辺に関わる「産・官・学・野(市民)」の幅広い人たちが交流し、ノウハウや情報の交換を行い、人と情報のネットワークを形成するために、全国「川の日」ワークショップやシンポジウム、交流会等の企画運営を行っている。
(NPO)鶴見川流域ネットワーク (鶴見川)	鶴見川流域で活動する市民団体のネットワークであり、流域の環境保全・再生のための流域各地で環境保全や管理の諸活動の取り組みを促進させている。主な活動としては、「鶴見川いき・いきセミナー」(市民講座)の開催や「鶴見川流域クリーンアップ作戦」などの取り組みが挙げられる。また、流域各地の環境改善の提言を行いながら、水循環の健全化等を目的とした諸計画の策定にも参画している。
(NPO)新町川を守る会 (新町川)	会所有の船を活用した川の清掃活動や、遊覧船(クーン川-号)の運航など船を中心とした活動が活発である。また、その他にも吉野川フェスティバルといったイベント活動や水源地域における森林維持管理活動なども行っている。
(NPO)筑後川流域連携倶楽部 (筑後川)	筑後川流域圏における地域連携を図るため、主な活動として「筑後川フォーラム 集まれ SOHO 筑後川」(情報交換、人材育成)の開催や「筑後川フェスティバル」等のイベント活動、「カップマネー」(地域通貨)や「筑後川カード」(クレジットカード)の発行などが挙げられる。

(NPO): NPO 法人、(財): 財団法人

・「100年後トキが舞う霞ヶ浦、北浦を！」という夢のある目標を打ち出すとともに、生態学の裏付けを有する段階計画を示すことにより、目標に対する現在の活動の位置づけを明示し、市民の参加意欲を高めている（アサザ）。

・アニメの中の情景やキャラクターのイメージが、丘陵の保全・再生のイメージと重なり、市民による活動への共感を生み出す（トトロ）。

環境教育等による市民の啓発

持続可能な社会の形成のためには、社会全体がこれまでの価値観を見直し、自然の恵みを重視する社会へ体質改善することが必要となる。このような働きかけとして、環境教育を通じて、児童に環境保全の重要性を体感させることも重要である。

・小学校等との連携によるアサザの移植を通じた環境教育（アサザ）。

・無料遊覧船の運行、ゴミ拾い等のボランティアを粘り強く継続することにより、地域の意識が変化し、地域のマナーの改善や参加者の増加が見られている（新町川）。

市民が参加できる機会の提供と活動のPR

多様な活動、イベント等を多数展開することにより、多様な志向をもった市民が参加しやすい機会を提供する。また、活動趣旨や参加機会を常時情報発信することにより、市民との接触機会を増やすことも重要である。

・ゴミ拾い、植樹、環境学習等活動、Eポート大会、シンポジウム等イベントを開催（全団体）。

・HP、会報、出版物等による広報（全団体）。

市民の参加を容易にするツールや施設の整備

活動を支援する技術の開発や施設を整備することにより、市民の参加を促進する。

・学識者等との連携によりカミネッコ（写真- 3.4.2.1参照）を開発・普及することにより、植樹作業が容易になり、植樹参加者の幅が広がるとともに、植樹効果も高まった（北海道）。

・自然学習、治水、市民活動等を総合的に学べる「鶴見川流域センター」が設立され、市民参加や環境学習の促進が図られている（鶴見川）。

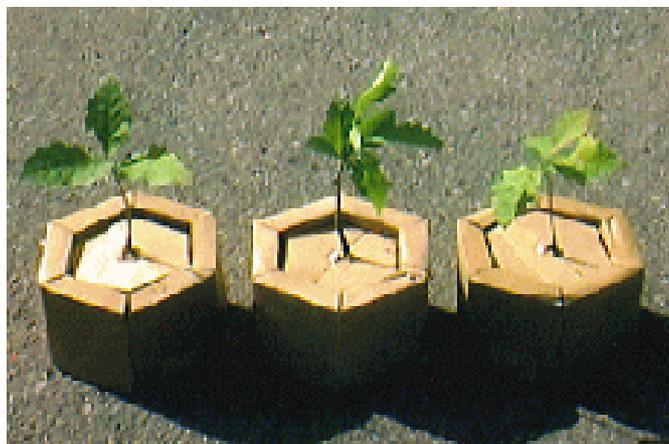


写真- 3.4.2.1 カミネッコ

b) 継続的活動を支える仕組み

資金の確保

過度にボランティアに依存したものとせず、継続的な活動を可能とするためには、一定の資金の確保が必要となる。基本的には会費で確保されているが、行政からの支援や商品販売等による資金確保がなされている。

- ・行政、基金等からの資金助成（全団体）。
- ・水グリーン、水質検査キット、生分解プラスチック等環境保全商品の販売による活動の展開と活動資金の捻出（荒川）。

- ・作者の協力のもと、キャラクターグッズの販売による活動資金の補充（トトロ）。

経済原理の導入による活動の活性化

経済原理を活動に導入し、商品やサービスの循環の中で活動を展開する方法も試みられている。

- ・粗朶材の流通を通じた、森林管理、粗朶材の流通、湖岸再生活動の循環を形成(アサザ)。
- ・ボランティアの対価を地域の産品やサービス等に結びつけ、環境保全活動と地域活性化を有機的につなぎ、相互発展させるための地域通貨（写真- 3.4.2.2）の導入の試み（筑後川）。



写真- 3.4.2.2 カップママネー

労働を楽しみに変える発想の転換

苦痛を伴う作業も、取り組み方や心持ち次第では、市民が進んで行う楽しい活動になり、参加者の増加や活動の継続性の強化が期待できる。

- ・会費（個人3千円、法人3万円）を支払った者には、河川清掃に参加する権利を与えるという逆の発想で多くの参加者を集めている（新町川）。

人材の確保・育成

継続的かつ発展的な活動を可能にするためには若い世代の参加が必要であり、セミナー、講習会等を通じた人材の育成、参加機会の提供が重要。

- ・「千歳川かわ塾」による川を守り育てる人材育成（北海道）、「リバーレンジャー養成講座」による川の指導者養成（荒川）、「鶴見川流域人大学」による市民活動のリーダー養成（鶴見川）等

c) 行政・企業・他団体等との連携

行政との連携・交流・対話

行政との交流・連携は、有益な情報や意見の交換ができ、活動の相乗的な効果を生み出すことが可能となる。また、市民の窓口として行政と対話することにより、市民による円滑な政策議論への参加が可能になる場合がある。

- ・関係市町村、行政機関との共同によるイベント開催、調査、活動の実施等（全団体）。
- ・丘陵開発について行政に対して、市民側の意見を取りまとめ提示する市民窓口の役割を果たしている（トトロ）。
- ・生物多様性モデル地域計画、流域水マスタープラン策定、都市計画マスタープラン等の政策検討への参加（鶴見川）。

企業等との連携

企業等との連携は、企業等が有する人手、技術力や資金力による活動の発展・展開が期待できるとともに、一方企業等にとっても、環境の改善による便益や環境活動に携わることによるイメージアップ効果等が得られるため、相互補間による活動の活性化が期待できる。

i)技術開発

- ・森林組合とオイル汚染吸着マットを開発し、売り上げ資金を活動に利用（北海道）。
- ・民間企業とモニタリングシステムを共同開発し、環境監視や環境教育に活用（アサザ）。

ii)互いの利得の相互補間

- ・漁協、農協、石材組合、森林組合、学校等による活動の支援と、活動に伴う環境改善効果、環境教育の場の提供（アサザ）。
- ・鉄道会社の広報・輸送力による市民への働きかけと移動手段の確保、鉄道会社は丘陵地の誘因力を集客に利用（トトロ）。

iii)他団体との交流・連携

他の民間団体等と交流・連携を図ることにより、互いの活動の効率性や効果が相乗的に高まったり、情報・意見交換、技術支援、切磋琢磨を通じて、互いの能力を高めることができる。

- ・活動、イベント等の共同実施（全団体）。
- ・川の日ワークショップでは、官民を問わず全国から川づくりに関心をもつ参加者が多数集まり、それぞれのアイデアや取り組みを競い合うとともに、ノウハウの共有化を図る（交流会）。
- ・組織そのものが複数の団体で構成されており、互いの協力、意見交換等が図れる（北海道、荒川、鶴見川、筑後川）。

3) 民間団体の課題

表- 3.4.2.2に示す、水環境北海道、荒川流域ネットワーク、全国水環境交流会、新町川を守る会を含む全国 19 の民間団体の代表者との意見交換の場において、民間団体側より以下の論点が示された。

表- 3.4.2.2 意見交換を行った民間団体

全国水環境交流会、(NPO)新町川を守る会、緑川の清流を取り戻す流域連絡会、エコロジー研究会広島、(NPO)豊前の国建設倶楽部、五ヶ瀬川流域ネットワーク、旭川流域ネットワーク、江の川流域総合研究所、(NPO)水環境北海道、北上川流域ガイア展勝の会、(NPO)帯広 NPO28 サロン、(NPO)北上川流域連携交流会、(NPO)水環境ネット東北、(NPO)新潟水辺の会、(NPO)荒川流域ネットワーク、多摩川源流研究所、九州流域連携会議、久茂地川フェスティバル実行委員会、(NPO)近畿水の塾

現在のような会費収入だけでは運営に限界があり、受託事業等を行い資金を確保する必要がある。このため、民間団体として技術的信頼性の確保、責任体制の充実、実績の積み重ねを図る必要がある。また、活動についてビジネス化を図るという考えもある。

民間団体創成期には、強力なリーダーシップと魅力をもったトリックスターが献身的に活動を引っ張ったが、世代交代の時期を迎え、新たなリーダーの要請又は特定のリーダーがいなくとも活動が進められる仕組みが求められている。

官設民営型の施設が見られるが、民間団体理念や行政との費用負担、役割分担を明確にしておかないと、下請け団体と見なされる恐れがある。

活発に活動を展開している NPO 団体としても、資金面、人材面からの活動の継続性、社会的な位置づけ・アイデンティティーの確立について潜在的な課題を感じていることが明らかとなった。

4) 今後の課題

NPO による地域活動について事例調査を行い、多くの市民による主体的な社会参加を促すための、民間団体の機能や運営上のノウハウ等について整理し、環境再生に向けての住民の持続的な取り組みを展開するための仕組みについて検討した。例えば、筑後川流域におけるエコツーリズムは、自然と触れあう機会を通じて、自然の価値や自然と触れ合うことによる恩恵を再認識し、自然を志向する社会への体質改善を図る。ボランティアにとどまらず、活動から得られる対価を活動に還元する仕組みを構築する等、持続的な取り組みがなされるための有効な仕組みが働いており、有益な示唆が得られた。また、民間団体として、運営資金の確保や運営体制の強化、民間団体としてのアイデンティティーや社会的認知の確保について課題を抱えていることも明らかとなった。

行政として、民間団体の社会的役割や行政との役割分担、民間団体の社会的責任のあり方とその担保方法等について整理し、適切な連携を推進すべきと考える。

(3) 自然共生型国土の実践に向けて

今日、都市における水環境、生物生息生育環境、都市熱環境等環境の悪化は、特定の活動や汚濁源によるものというよりも、個々人の生活や企業活動等社会総体による水、エネルギー、資源等の大量消費・排出や、市街化に伴う植生分布や地表面構造の変化等都市や社会の存在自体に起因するものが大きな割合を占めるようになり、根本的な問題解決のためには、行政や市民団体等による国土・都市構造の再生とともに、人々のライフスタイル

や社会システムについても改善していく必要がある。

そこで、自然と共生する国土の再生を進めるためのビジョンやプロセスの提示によって、各地域にあったビジョンが地域の主体により実行されることが必要である。これにより多大な環境負荷となっている人の生活や社会システムが、物質的な豊かさ、利便性・快適性等を享受しつつ環境負荷を軽減し、自然システムが健全化されることで、自然が人や社会にもたらす様々な機能・恩恵を増進させることができる。またそのような自然との触れ合いに、安らぎ、喜び、生き甲斐等の新たな価値を見出すことにより、さらに満足度の高い生活の実現を図るとともに、そのための社会的な好循環が形成されていくこととなる。

自然共生型国土再生の実現に向けた具体的な取り組みとしては、表- 3.4.2.3に示すような(1)都市構造の改変、(2)里山・水田等の管理の適正化・強化、(3)生活・社会活動から生じる環境負荷の緩和・削減等を、自然システムの健全化の視点から、総合的・効率的に実施する必要がある。一方、個々人に対して、(a)費用負担、(b)環境改善活動への参加、(c)利便性・快適性の減少の容認、(d)自然現象との共存等を負担することも必要となるため、これらの取り組みを持続的に実施するためには、社会的負担に勝る豊かな生活ビジョンの提示や、ビジネス化等の社会的好循環を形成するための、仕組みづくりが必要となる。

表- 3.4.2.3 自然共生型流域圏・都市再生のための取り組みとその負担

取り組み内容	取り組みに伴う負担等
(1)都市構造の改変 ・市街地における緑地、オープンスペース、河川・水辺の再生及びこれらのネットワーク化 ・雨水貯留浸透施設の整備 ・都市のコンパクト化 (2)里山・水田等の管理の適正化・強化 (3)生活・社会活動から生じる環境負荷の緩和・削減 ・下水道、浄化槽等の汚濁処理システムの整備 ・家庭における節水・節電・家庭雑排水対策等 ・公共交通機関の利用（マイカー利用の自粛） ・環境保全型農業の実施	(a)費用負担 ・都市構造の改変、インフラ整備、里山・水田管理・環境保全型農業等に係わる助成費用 (b)環境改善活動への参加 ・都市内の自然再生等に係わる労力 ・里山・水田管理等に係わる労力 (c)利便性・快適性の減少の容認 ・マイカー利用自粛による利便性減少 ・冷暖房の利用自粛による快適性減少 (d)自然現象との共存 ・自然変動の許容（災害の一部受認） ・雑草や虫等の自然物との共存

(4) 自然共生型社会の実践に向けた仕組み作りの方向性

自然共生型流域圏・都市再生においては、関係主体間で地域や生活の将来ビジョンについて合意が得られた上で、自然環境を再生する一方で、個々人の行動の転換を促す取り組みを実施していく必要がある。これらは、短期間では関係主体の高いモチベーションに依存することも可能かもしれないが、持続的な取り組みを展開するためには、インセンティブを形成したり、取り組みを支援するような仕組みづくりが重要になる。以下、そのような仕組みづくりの視点について、既往事例等を参考にしながら提案する。

自然の価値の再認識

都市における自然がほとんど失われてしまった現代において、自然との触れ合いから得ら

れる喜び、心地よさ等を知らない都市住民が増えており、そのことが物質的な豊かさや利便性等を志向するという社会の悪循環ともなっている（図- 3.4.2.1参照）。

このため、子供のみならず大人も自然と触れあう機会を通じて、自然の価値と健全な自然と触れ合うことによる恩恵を再認識し、自然を志向する社会への体質改善を図ることが重要である。このため、水辺、里山等における自然教育の場の整備、優れた指導員の育成、エコツーリズム等プログラムの充実等による自然教育の普及・強化が効果的である。

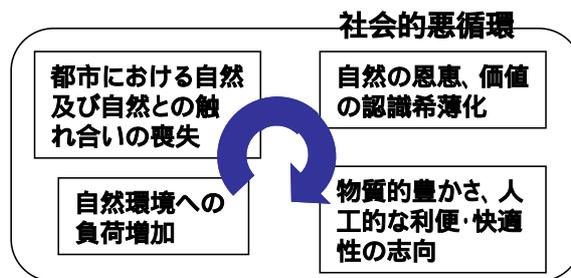


図- 3.4.2.1 現代社会の悪循環

活動対価による民間活動の持続性強化

自然環境の保全・再生等は従来行政によるものや民間のボランティア活動によるものがほとんどであったが、資金面や労力確保から活動の持続性を強化したり、参画主体の底上げ等を図っていくため、活動の特性に応じて、活動から得られる対価を活動に還元する仕組みづくりをすることも有効である。例えば、エコビジネスとして体験学習に参加する参加者から参加費を徴収する方法が考えられる。すなわち、河川再生や里山管理等自体を体験学習の教材にすることにより、特段のボランティア意識を有しない幅広い主体の活動参加が可能になるとともに、収益を確保できれば運営主体の持続性も強化されることとなる。また、過疎等の問題を抱える地域において、その地域の資源を活かした取り組みは、都市住民に対して効率的に自然サービスを提供するとともに、都市から地方への資金・人手の導入を促進し、地域の活性化や過疎対策にも資するものであり、過疎化に係わる悪循環を、好循環に転換し得るものである。

行政による国土マネジメントの強化

上記のように、活動対価の還元による民間公益活動の持続性強化を展望する一方で、国土管理のうち特に公益性や外部経済効果が高いものについては、活動対価が期待できないものも多くあり、これらについては、行政が強力に推進していくことが必要である。このためには、国土の公益機能の適切な理解と評価、国民のコンセンサスが必要となる。

実施体制の充実

これまでは、国土管理等の人の生活に最低限欠かせない公益的サービスの提供や施策は、行政が中心となって提供してきたが、特に自然共生型流域圏・都市の形成においては、行政分野や行政区域を越えた取り組みや、行政、市民、企業等との合意形成や連携が重要性を増してくる。このため、地域による環境改善のための取り組みを促進することができるよう、地域に対して人材の育成、活動の場や仕組みづくりをサポートするシステムの構築や関係する行政機関の連携が必要であると同時に、自然共生型流域圏・都市の実現のた

めに複雑な過程と要因が入り組んだ環境問題に対する現象解明のための調査研究の持続的取り組みが不可欠である。

活動効果を高め、社会的負担を軽減する技術の開発

環境再生活動の効果高めたり、活動に要する負担を受容する技術の開発も重要である。例えば、省エネ機器の開発等は生活者の忍耐を要せずに確実にヒートアイランド抑制等の効果をあげる。また、カミネッコンのような植樹活動を支援する技術は、通常は比較的高度な技術を要する植樹活動について、参加者の底上げや、植樹効果の向上等をもたらす。

防災体制の充実・強化

自然共生型流域圏・都市を形成するということは、人の思い通りにならない自然を受け止めるということでもあり、日頃より防災意識を高め、自然災害に対して万全の体制を整備しておくという意味もある。このため、行政による防災体制の充実・強化を進めるだけでなく、地域活動を通して住民が自発的に防災学習、危機管理意識、回避技術を習得するとともに、災害時の現場即時対応や市民団体の情報ネットワークを活用した地域コミュニティの再構築を図ることが重要である。

(5) 自然共生型社会の実践に向けたガバナンス

自然共生型流域圏・都市の再生の実践においては、先進的な実践や社会実験等を考慮しつつ、そのための仕組み、流域圏・都市の管理の形態、主体等、いわゆるガバナンスの検討が必要である。

これまでの時代は、国土計画として全国総合開発計画（全総）があり、全総のテーマを国や地方の行政（ガバメント）がそれを具体化し、実践することに努めてきた。しかし、これからの時代においては、例えば流域圏（水系）管理をどのような仕組み、形態、多様な主体の参画で実現するかという課題がある。

世界を眺めると、例えばイギリスの産業革命発祥の地、マンチェスターやリバプールを流れるマーヅ川流域での水系を再生し経済を再興するという取り組み（「マーヅ川流域キャンペーン」）¹⁾、アメリカのボストンにおける川・水路とボストン湾の浄化や水辺を都市に解放することも目的とした高速道路の地下化への取り組みなど、先進的と思われる長期的な実践もある。

また、フランスでは、流域管理を国と地方の各種行政関係者、利害関係者等からなる流域委員会でものごとを決め、実施するという、いわゆる参加主体を広げたガバメント方式がとられている。国家が形成される以前から、市民・住民が水組合をつくって水を管理してきたオランダでは、行政と住民組織が密接に連携して洪水対応も含めた水管理が行われている。イギリスのマーヅ川流域キャンペーンでは、3つのNPO、600以上のNGO、行政、企業が参画して、官民連携スタイルでの実践が行われている¹⁾（表-3.4.2.4）。

表- 3.4.2.4 流域圏・都市再生のイメージに近い国内外の事例

	概要	主な再生活動	その他
マ ー ジ 川 流 域 キ ャ ン ペ ー ン (英 国 地 域)	産業革命発祥の地を流れるマージ川流域の再生。(産業革命以降ヨーロッパで最も汚された水系) 公共セクター、民間セクター、ボランティアセクターの連携。 3つのNPO、600以上のNGO、民間企業のパートナーシップ。 水系の再生、経済の再興。	魚が獲れる川、水路、運河への水質改善、下水道の改善等。 人々が水辺の環境価値を認識する支援、水辺の体験・環境学習、各種イベント、清掃等。支川の流域単位のイニシアティブも活発。 ビジネス、住宅・建築、観光、歴史的資産、レクリエーション、野生動物等のための水辺環境の再生、再開発、水辺整備等。	既に18年が経過した、世界の先進事例。 3つのNPO、600以上のNGO、水関係・銀行・石油等の民間企業が参画したパートナーシップが特徴。 立ち上げ段階での環境大臣、副首相等の政治的リーダーシップ。 25年間継続する活動計画。延長議論も。 下水道改善は5カ年毎のアセットマネジメント計画で実施。 150年ぶりにサケが回復。水泳・トライアスロン大会が開催できるまでに水質が回復。 明確な目標、強力なパートナーシップ、投資の最大化が成功のポイントとのこと。
再 生 チ ェ サ ビ ー ク 湾 ・ 流 域 (米 国 地 域)	湾の環境復元のための関係各州、連邦等の連携。 6主体(3州、ワシントンDC、連邦、湾協議会)の合意。水質については湾に接しない上流3州も参加。 再生に係わるチェサピーク2000合意。 市民、NGO・NPO、大学等の広範な参加。	生物資源(牡蠣など)の保護と回復、生物生息地の保護と回復、水質保全と回復、健全な土地利用、ステュワードシップとコミュニティシップ(市民や地域の積極的な参加) 上記に係わる約300のゴールについての合意。具体的数値目標も設定。	複数の州(連邦制の下での国)、自治体、大学、市民団体の広範なパートナーシップ。 有力な市民団体、チェサピーク財団(ロビー活動等)とチェサピーク湾同盟(市民理解等の活動)。 当初の関係各州、連邦等でのパートナーシップ(チェサピーク湾プログラム)からの積み上げ。 1983年、1987年合意、(1992年に改訂)そして2000年の合意。2010年までの7年間の行動計画。必要経費から収入を引いた資金ギャップの解決が大きな課題。 湾の健康教書では27(将来的には70~80を展望)。
タ カ リ フ 再 生 フ ォ ル ニ ア ・ ペ イ デ ル タ (米 国 地 域)	ベイデルタを含む流域全体の管理計画。州、連邦で構成する共同体が推進役。 州知事、大統領から任命された諮問委員会が長期的な解決に向けて中心的な役割。 再生計画策定での各種調整、市民参加。	主要テーマ:水の安定供給、水質の確保、エコシステムの生産性の回復、デルタ内の堤防整備・改修。 11のプログラム:水管理、貯水、導水、効率的な水利用、水交換、環境用水の確保、飲料水の水質確保、流域管理、堤防整備・改修、環境の回復、科学的調査。 生態系の健全性の回復と有益な水利用・管理との両立が計画の目的。	州と連邦の共同体(カルフレッド・エージェンシー)と政治任命の諮問委員会。 環境、水供給、水利用の複合的な目標。 ベイデルタおよびサンホアキン川とサクラメント川流域全体の流域管理計画。 フェーズ :事業目標、指針となる原則策定等、フェーズ :プログラムの検討と環境影響評価。現在はフェーズ のステージ で、各プログラムを策定予定。 2030年を展望し、2000年から2008年までの計画。 レッスン:伝統的関係者と新しい関係者、関係者のところに向く、科学コンソーシアムの基盤、バランスとれた投資(87億ドル)。
ボ ス ト ン 湾 (港)・ 流 域 再 生 (米 国 地 域)	連邦法裁判で湾(港)の水質改善命令。下水道改善による湾(港)の浄化。 市民は下水料金的大幅な値上げに合意。 先立つ長い歴史のマッディ川、チャール川、海岸の水辺再生。さらには、水辺とダウンタウンを分断する高架の高速道路の地下化。 流域イニシアティブ(27流域)	下水道の汚水処理施設およびそこまでの送水施設の整備(二次処理)、湾(港)外のマセチューセッツ湾への放水施設整備。 豪雨時に未処理水の湾(港)への放流負荷を削減するための処理施設への送水能力向上、放流口での簡易処理。 流域イニシアティブでは、多様なセクターの人々が参加、水質目標は釣りができる川等。	マセチューセッツ州水資源公社が事業主体でCM会社と契約。CM会社は建設会社およびPIチームと契約。 施設計画に対する市民諮問委員会。 投資の80%は下水道料金で回収。料金の大幅な値上げ(100 800ドル/4人家族)。 これに至るまでの川や水辺の再生・再開発の歴史があり、高架の高速道路の地下化とも運動していることにも注目。 下水処理場関係は2000年に完成。 高架高速道路の地下化(BIG DIG)は1991年から建設開始、2003年3月には地下部は完成、地上のオープンスペース整備のコンペが終わり、市民討論中。
鶴 見 川 流 域 再 生 (日 本 地 域)	行政の連携による総合治水対策実施の経験。その後の市民団体の活動の活性化。 市民参加のもとでも水に係わるマスタープランの策定へ。 鶴見川流域ネットワークが市民活動による流域再生の参画・リード。	河川や流域の洪水時の水、平常時の水、自然環境、震災・火災時、水辺ふれあいに係るマネジメントの計画づくり(水マスタープランと呼んでいる計画)。 マスタープランを策定している段階。(20~30年を展望したプランづくり)	総合治水対策の経験、強力な市民団体の活動が重なった。現時点では稀少な流域。 約50の市民団体が連携した鶴見川流域ネットワークの活動。
洞 海 湾 の 再 生 (日 本 地 域)	「二度とよみがえらない死の海」と呼ばれた極めて劣悪な水質からの回復 産官民による対策の実施	「水質保全法」等による企業の排水規制 企業による廃水処理、水の循環使用の努力 下水道の整備 有害物質を含んだ底泥の浚渫	市民の声が行政を動かした公害対策の先進事例 閉鎖性水域の再生に関する先進事例
興 四 万 十 川 流 域 の 保 全 と 振 興 (日 本 地 域)	我が国最後の清流と呼ばれる四万十川及びその流域の保全と振興 産官学民による制度、計画を含めた多様な取り組み	四万十川条例、清流四万十川総合プラン21の作成と推進 清流四万十川プランは数値目標が示してあり、定期的に達成度の評価と計画見直しを行う。 四万十川財団による流域保全活動の財政的支援 流域市町村の連携、市民グループの様々な活動	四万十川の保全だけでなく四万十川の保全にベースをおいた流域の振興
ア サ ザ の 湖 岸 再 生 (日 本 地 域)	アサザによる麗ヶ浦の自然湖岸の再生 子供の環境教育の場 湖沼水質保全計画 / 麗ヶ浦総合開発事業	市民の協力を得て、アサザの栽培・移植、森林の間伐、粗朶沈床づくり等一連の活動を行っている。 子供を対象とした環境教育(170校以上の小学校が参加、流域の9割以上)	100年後のビジョンと10年ごとの目標を示す。

我が国でも、NPO、NGOが行政という第1セクター（ガバメント）に対して、第2セクターである企業とともに、第3のセクターとして再生構想の実践においてどの程度の役割を担い得るかといったことも重要なテーマである。その萌芽的な動きは、鶴見川流域ネットワーク、霞ヶ浦のアサザ基金、NPO水環境北海道などの勇気の湧く先進的な活動などに見られる。

シナリオの設計と実践に向けて、これまでの国土計画・国土マネジメントの歴史や我が国の法・制度、市民活動の実態等を考慮したガバナンスの検討は重要なテーマである。

(6) ビジョン選択の際の目標の設定

1) 目標設定の2つの用途

4.1 および 4.2 での東京湾流域及び霞ヶ浦流域の再生シナリオの検討において、特に水物質循環、生態系の健全化に関する目標を設定するにあたり、まず、目標設定には以下の大きく2つの用途があることを念頭に置く必要がある。

計画策定の間過程において意見集約のために目標設定を行う（計画時の目標設定）

計画にもとづき具体施策の実行指標とするために目標設定を行う（施策実施の目標設定）

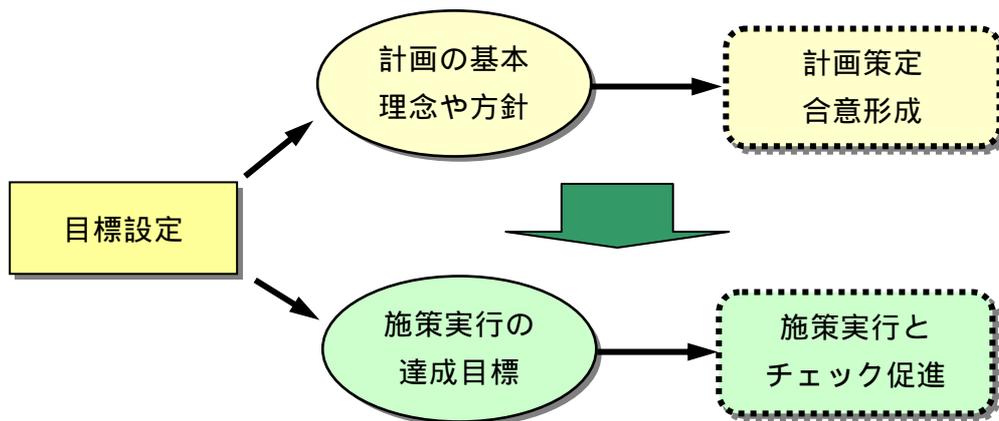


図- 3.4.2.2 目標設定の2つの用途

< 目標設定の2つの用途 >

もちろん、計画時の目標設定と 施策実施の目標設定は同一の場合もあれば、計画時の目標設定を受けて、さらに詳細な 施策実施の目標設定が設定される場合もある。例えば、東京湾流域の先駆的な計画策定事例である鶴見川、柳瀬川、多摩川については 計画時の目標が設定されている。

これらの事例では、計画時の目標設定は、合意形成作業のプロセスの一つとして用いられており、どちらかと言えば、基本理念や基本方針などに様々な問題・課題点を総論的に表現したものや、目指すべきイメージ目標を抽象的に表現したものになっている場合もある。このような総論的な表現や抽象的な表現は合意形成には有効である一方、施策実施段階においては有効でないものも少なくないと考えられる。

また、施策実施の目標設定の事例は霞ヶ浦では導水事業や浚渫事業において、施策実施に対する達成目標として、数値によるアウトカム指標が使用されており施策の実行とチェックを促している。

2) 目標設定において考慮すべきモデル流域の特徴

ここでは上記に整理した目標設定の2つの用途を念頭に置き、東京湾流域及び霞ヶ浦流域の水物質循環、生態系の健全化に関する目標設定を検討するにあたり、先に示した東京湾流域及び霞ヶ浦流域の特徴をもとに両流域で考慮すべき特徴を以下に整理した。

< 両流域に共通する特徴 >

- ・閉鎖性水域に流下する流域であり、流域の負荷の影響が集積・累積して富栄養化が進行していること
- ・閉鎖性水域の水質汚濁の主な要因として、流域の産業排水や生活排水の負荷、面源負荷の影響が大きいこと
- ・流域面積が大きく、高密度な市街化により流域人口も多いこと（特に東京湾流域は大規模で都市化が顕著）
- ・流域内の自治体境界は細分化され、多数の流域自治体が存在すること
- ・湾岸または湖岸の干潟や湿地的環境が人工化され、岸辺の浄化機能や、生態環境、景観、レクリエーション空間などが損なわれていること
- ・閉鎖性水域に対する流域住民の関わりが乏しいこと
- ・閉鎖性水域の環境悪化には様々な要因が複層的に影響していること

< 東京湾流域に固有の特徴 >

- ・後背流域が広大であるため、東京湾の環境に対してその流域自治体や流域住民の関心が低いこと
- ・「東京湾再生推進会議」という関係省庁及び関係自治体の行動計画策定のためのテーブルが設置されていること
- ・上記の「東京湾再生推進会議」の中間とりまとめにおいて、“快適に水遊びができ、多くの生物が生息する、親しみやすく美しい「海」を取り戻し、首都圏にふさわしい「東京湾」を創出する”という全体目標が設定されていること
- ・東京湾流域の主要河川である荒川、隅田川、多摩川、鶴見川の各構成流域単位では、環境保全・改善に対するNPO活動や、行政と市民の連携による取組みも活発化しつつあること

< 霞ヶ浦流域に固有の特徴 >

- ・利水・治水・環境に関する利害対立が大きいこと（例えば、湖水位操作と湖岸湿地環境のトレードオフなど）
- ・湖岸環境保全・再生のためのNPO活動や、行政と市民の連携による流域単位の取組みが活発化しつつあること（アサザ基金、霞ヶ浦市民協会など）
- ・上記の環境教育的活動や世界湖沼会議などの開催などもあり、「泳げる霞ヶ浦」を目標とした湖環境再生への意識も高まっていること

3) 目標設定のあり方

以上を考慮するとともに、本業務で行った事例分析の結果や類似事例における目標設定等を参考に、両流域における目標設定のあり方に関し以下の点が重要であると考えられる。

a) 誰もがイメージしやすい具体的な目標設定が必要

目標設定によって、関係者の問題認識や意識の共有化を図るとともに、対象流域の環境保全・改善に対する流域住民や流域自治体、企業、利害関係者等の具体的な取組み、行動の喚起を促す必要性がある。そのため、流域住民や流域自治体、企業のいずれにも分かりやすく、また、各自の具体行動につながる実感があるものとする必要がある。これは、計画時の目標設定と 施策実施の目標設定のいずれにも有益である。

既に、霞ヶ浦のNPO活動である「アサザプロジェクト」では、“アサザを植えて、100年後の霞ヶ浦にトキを呼び戻そう”という児童にも分かりやすく夢のあるアウトカム目標を設定し、環境改善活動への参加を促すことに成功している²⁾。

さらに、本業務の分析対象事例ではないが、米国フロリダ州のタンパ湾では、湾内の藻場の面積を“1950年代頃の状態”まで回復させることを長期的なアウトカム目標にしている。このようなことから、代表生物を活用したり、人との関りのイメージを表現する、目標とする環境の姿を年代で設定することなども有効である³⁾。

b) 流域の抱えている課題点や活動を土台とした目標設定が必要

目標は、流域が抱える問題・課題点を網羅的に把握し、それらを土台として統合的に設定されていることが必要である。このため、関係流域のNPOネットワークの代表者や、流域自治体、利害関係者の参画により対話のテーブルを設置することが必要である。これは、計画時の目標設定と 施策実施の目標設定のいずれにも有益な点である。

利害対立が強い霞ヶ浦流域では、全ての利害関係者の参画が要請される。また、そのテーブルの中では、関係者に流域が抱えている状況の情報提供を効果的に行って、問題認識を共有化するとともに、ワークショップや分科会などを活用して問題・課題点を網羅的に集めることが有効である。柳瀬川流域では、連続的なワークショップの開催によって市民の声を収集し、それを土台として流域の水循環健全化の目標設定を行っている。

また、霞ヶ浦流域と東京湾流域の既往目標との整合性も考慮することが必要である（霞ヶ浦ではアサザプロジェクトの目標「100年後の霞ヶ浦にトキを呼び戻そう」や「泳げる霞ヶ浦」など、東京湾では「東京湾再生推進会議」の中間とりまとめの目標像“快適に水遊びができ、多くの生物が生息する、親しみやすく美しい「海」を取り戻し、首都圏にふさわしい「東京湾」を創出する”）。

英国のマージ川流域の環境保全の取組みである「マージ川流域キャンペーン」では、以下のような流域の抱える様々な問題・課題点を土台として、誰にも分かりやすい行動目標の設定を行い、様々な施策展開や活動に結びつけている²⁾。

水質を改善し、すべての川、運河に魚が棲めるようにする。1985年から2010年の25年

間にその目的を達成する。

ビジネスや住宅開発、ツーリズム、文化遺産、レクリレーション、野生生物などに適した魅力的な水辺環境を形成する。

地域住民が身近な水辺の環境の価値をしっかりと認識でき、しかもそれを大切にしようとする意識を高める。

c) 構成流域との合意形成とフィードバックが必要

東京湾流域の構成流域では NPO や行政によって様々な取組みがみられ、水循環や環境保全のための計画策定も行われつつある。また、霞ヶ浦流域でも流域各地で様々な取組みが官民双方でみられる。

このため、これらの動きを“東京湾”もしくは“霞ヶ浦”という共通要素からつなぎ合わせて、各構成流域と合意形成を図るとともに、その目標を各構成流域にフィードバックすることが重要である。そのためには、各構成流域の主要な関係者の参画により、東京湾や霞ヶ浦の問題点を共有化し、目標像をともに設定していくプロセスが重要である。これは、特に 計画時の目標設定に有益である。

d) 数値を活用した総合的なアウトカム目標の設定が有効

数値目標や点数評価などを取り入れることも有効である。具体的な定量評価により、現状の位置や目指すべき到達点を確認・検討できるとともに、それに対する施策や活動を検討することができ、その効果をシミュレーションモデルを用いて評価したり、モニタリングすることも可能となる。これは、特に 施策実施の目標設定において有益である。

瀬戸内海や東京湾でも既に、水質の総量規制目標値が設定され、各自治体や事業所への割り振りも行われている。今後は、水質以外の環境要素（例えば、景観やレクリエーションなど）についても数値目標や点数評価を取り入れることが考えられる。「清流四万十川総合プラン21」では様々な環境改善項目を数値によるアウトカム目標を設定し、モニタリングしながら計画の実行に反映させている。

例えば、米国のチェサピーク湾流域で環境保全活動に取り組む NGO は、チェサピーク湾の環境の状態を様々な環境要素を考慮して湾の環境を総合的に点数評価し、目標を設定して改善活動に取り組んでいる⁴⁾。また、チェサピーク湾では、湾に流入する窒素やリンの負荷量の削減目標が流域単位で割り振られており、モニタリングによる地域の達成度を GIS やインターネットで確認することができるようにしている³⁾。

このようなことから、総合的な数値目標を設定し、それを各構成流域にフィードバックさせるとともに、IT 技術を活用するなどして各構成流域の取組みとの応答に活用することも有効性が高いと考えられる。

e) 海や湖と各自がつながっているという認識を高める目標設定が必要

東京湾及び霞ヶ浦という閉鎖性水域の環境問題が、流域各地の社会活動から集積・累積して生じているという側面を、流域住民や複数の流域自治体、企業等が共通認識できるよ

うな目標設定が必要である。これは、特に 施策実施の目標設定において有益である。そのためには、各自が東京湾もしくは霞ヶ浦につながっているというキャンペーンが必要であり、また、そのような目標設定が必要である。身近な川と海の環境がつながっているという認知を高めることは、環境保全への関心を喚起することに有効である。

また、鶴見川流域の水マスタープランでは、流域 NPO が提案した「鶴見川流域はバクの形」という親しみやすいキャッチフレーズで、流域住民や自治体に流域を意識してもらうキャンペーンを展開している。このように、東京湾や霞ヶ浦が身近なものと感じるような目標イメージの使用も有効である²⁾。

f) 都市住民の関心喚起にもつなげる目標設定が必要

特に、東京湾流域は都市化の進んだ流域であるため、都市住民や企業の関心や行動を喚起することが重要である。これは、特に 施策実施の目標設定において有益である。そのため、「泳げる東京湾の再生」など、都市住民の誰もが環境改善のイメージを共有化できるようなアウトカム目標の設定、もしくは、「東京湾再生推進会議」の中間とりまとめの目標像である“快適に水遊びができ、多くの生物が生息する、親しみやすく美しい「海」を取り戻し、首都圏にふさわしい「東京湾」を創出する”にみるように、「レクリエーション」、「生物」、「景観」などの諸要素を含んだ目標の設定により、多様な都市住民の価値観を表現するように工夫することも有効である。

(7) まとめ

自然共生型流域圏・都市の形成という視点から、現代における人の生活をより豊かにし、社会の持続性の強化を進めていくための仕組みづくりの方向性を提示した。将来の国土・地域や生活の将来像に係わる指標、表現方法等細かな手法については、今後確立していく必要があるが、実践を通じて試行錯誤を重ね、プロセスや個々の手法について熟度を向上させていくことが重要と考える。

既に都市域の自然が乏しくなり、自然の恩恵を知らない人々が増加している今日においては、自然の恩恵を軽視、地方の衰退、都市環境の悪化といった悪循環が形成されており、これを好循環に逆転させるためには、国土や都市構造の改変のみならず社会の体質改善が必要であり、また急務となっている。

持続性の高い社会を構築するために、多くの国民が、環境保全のための取り組みに参加できるシステムが整備されることが望ましい。ただし、このようなシステムが持続的に機能するためには、参加者が取り組みを通じて利得を得ながら、環境の保全に繋がっていくようなシステムが合理的と考えられる。今後は、近年各地で芽生えつつあるエコビジネス（観光と里山管理のタイアップ等）やグランドワークを踏まえ、自然と共生した国土・社会の形成に向けた実践に資するシステム構築の検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 吉川勝秀：イギリスの「マージ川流域キャンペーン」について，河川，NO.612，p.60~63，1997.7 / 地域連携がまち・くにを変える（共著），小学館，p.132~141，1998.11
- 2) 財団法人リバーフロント整備センター：流域圏における施策の総合化に向けた体制整備についての事例調査報告書，2000．
- 3) 中田英昭：内湾の環境再生：海外の事例に学ぶ，水環境学会誌，vol.25 No.10,2002．
- 4) 財団法人国土技術研究センター：国際フォーラム「流域の総合的管理と住民とのパートナーシップ、合意形成～海外と我が国の取組み～」レジュメ，2003．

3.4.3 都市再生における景観・制度の分析

(1) 研究の概要

本項では、東京都心三区およびみなとみらい21を対象として、民間による超高層ビル再開発事業の現状を調査し、景観・制度等からの分析と評価を試み、都市再生の観点からより有効な再開発のあり方・シナリオを提案する。

まず、都心三区を対象として、超高層ビル再開発プロジェクトと連動して生み出されてきた各種の公開空地について、その実態を調査しそのデータをクラスタおよびGISによって分析することでその問題点を明らかにし、現在の総合設計制度に対して大きく分けて現状の総合設計制度を改善する案、新たな誘導制度を導入する案の二つの提言を行った。現状の総合設計制度の改善に関する提言においては、開発敷地における公開空地そのものの質の改善をすることにより、より環境への寄与度の高い公開空地の創出を試みた。また、新たな誘導制度の導入し、公開空地にかわるインセンティブの補償を提言することにより、開発敷地に限定されない広域的な環境インフラの再生を目指した。さらに、これら二つの目標、良質な公開空地創出および環境インフラ再生を達成すべく、広域的な都市計画や地区計画に準拠した「エリア別総合設計制度」のシナリオを提案する。

次に、江戸時代からの旧市街地、明治時代以降の埋立地の両方を含み、市街地型の再開発とウォーターフロント側の再開発の両方の都市形態・都市景観を検証することができる東京都中央区全体を対象として、超高層ビルの都市景観に与える影響を、3Dモデルを利用したコンピュータグラフィックにより分析した。ここではウォーターフロントと都心部既存市街地の二つのエリアを設定し、それぞれについて、超高層ビルの都市景観に対しての遠景と近景への影響を検証し、その問題の提起と都市景観に配慮した超高層ビルのデザイン・スケールコントロールの提言を行った。

最後に東京都中央区の「大川端リバーシティ21」と横浜市の「みなとみらい21」を対象とし、東京湾におけるウォーターフロントの大規模開発事業の水際空間の創られ方と周辺環境に及ぼす影響を調査・分析し、ウォーターフロント開発事業の都市環境への貢献の仕方と法制度の関係性の考察を行い、高次の都市計画の重要性を指摘し、そのあり方に対する提言を行った。

(2) 公開空地の課題と改善策の検討

1) 研究の目的・概要

a) 背景と目的

近年、東京の既存市街地や東京湾を中心としたウォーターフロントにおいて、超高層ビルによる再開発事業が頻繁に行われている。その社会的背景として1)霞ヶ関ビル以来の超高層建築物の技術の進歩、2)高度経済成長期の東京一極集中による極度の床不足、3)バブル期における地価の高騰に伴う収益型土地開発の必要性、4)街区内部における老朽した既存不適格建築物の土地統合による一体開発の必要性、5)産業構造の変革による湾岸の工場跡地の多量な供給、そして6)バブル崩壊後、都心部の地価下落に伴う都心居住用マンションの需要の増大などを挙げるができる。

一方、制度面においても60年以前の建築基準法制度では許容することができなかった超高層建築物の建設を可能とするため次々に整備が行われてきた。昭和38年の建築基準法改正により、31メートルの絶対高さ制限が撤廃され容積地区制度が導入された。また、昭和36年(1961年)の建築基準法改正時に制定された特定街区制度により基準法による形態規制の撤廃と容積の上乗せが認められ、これまでは法的に認められていなかった超高層建築の建設が可能となった。続いて、特定街区制度と並んで超高層建築を法的に支援した制度である総合区計画等も認められるようになり、更には「特区構想」による緊急整備地区の指定による指定容積率の上乗設計制度が昭和50年(1975年)に制定されている。近年総合設計と一団地指定制度をあわせたような再開発などにより、東京における超高層建築の建設は加速されている状況にある。

これらの計画では建築基準法における形態規制が免除されているため、敷地内に公開空地を提供することで付加的な容積率を得ることができる。これらの民間事業により、量的な居住床と公共空地は増大したが、その「質」についての検証はまだ十分行われているとはいえない。特に緑のネットワークや都市河川沿いの親水空間など、公開空地の持つ環境インフラとしての可能性が十分に生かされているとはいいがたい。

本段では現況における公開空地を伴う高層ビルを東京都のデータおよび現地を調査し、そのデータを分析することで「質」による公開空地の分類を試み、法規との関連を調べるとともに、GISによって実際の都市空間に対する分散(分布)状況を把握し、戦略的に環境インフラとしての公開空地のあり方に関する改善策を提言する。

b) 研究の流れと手法

ア) 研究の対象地

対象地は、江戸時代からの旧市街地、明治時代以降の埋立地の両方を含み、東京都23区の中でも総合設計制度および特定街区制度による開発の件数の集中する千代田区、中央区、港区の三区とした。

イ) 研究の流れ

まず、(イ)千代田・中央・港三区の基礎的建物情報として、東京都都市計画基礎調査データベース GIS (平成9年度版)を用い、土地建物の2Dのデジタルマップを作成した。この2Dデジタルマップを2003年度版のゼンリン住宅地図データをもとにデータの更新を行った。(ロ)次に、敷地面積、建物用途、公開空地面積、建蔽率等の建築規模データを行政による公開情報から、また、緑地状況、オブジェ、利用状況などの空地データを、現地における踏査により情報を収集しデータシートにまとめた。(ハ)建築規模データ、空地データそれぞれにクラスタ分析をかけ、それぞれの特徴を分析・考察した。また、建築規模、空地機能双方のクラスタのクロス分析を行い、さらに詳細に現状の公開空地の分析・考察を行った。(ニ)さらに、クロス分析によって問題があると判断された公開空地の位置を(イ)で作成したGISデジタルマップへと入力し、それらの事例の分散状況を検証・分析した。(ホ)最後に公開空地の質、および政策に対する提言を行った。

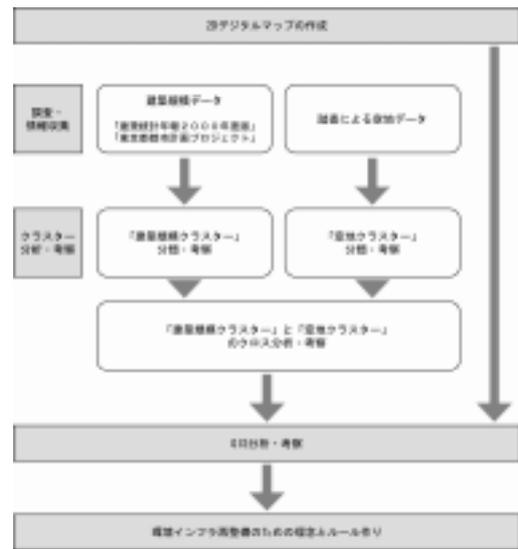


図- 3.4.3.1 研究の流れ

ウ) 調査方法

イ) 調査方法

本研究は、東京都都市整備局の運営するウェブサイト、「東京都都市計画プロジェクト」(<http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/cpproject>)および「建築統計年報2000年度版」に公開・掲載されている「特定街区プロジェクト一覧」「総合設計プロジェクト一覧」「高度利用地区プロジェクト一覧」より対象地区における敷地面積、延床面積、建蔽率、空地率といった開発に関する数値データを抜粋した。また、空地の形状、緑化状況、空地の設えといった公開空地そのものの情報は踏査によって収集しデータシートにまとめた。これらのデータを建築情報・情報データ解析の二段階に分けて行った。また、現地調査で位置の確認ができなかったものと工事中のプロジェクトは対象外とした。

「建築統計年報2000年度版」および「東京都都市計画プロジェクト」のデータは許可時のデータであるため、名称、住所(住居表示)など、竣工後の事例との不整合が見られる。名称に関しては可能な限り竣工後のものへと変更したが、その他の開発に関する情報に関しては、許可時から竣工にかけて計画の変更があったとしても軽微であり、本研究の目的である「『質』による公開空地の分類を試み、法規との関連を調べる」ことへの影響は、微細と判断し、これらの公開情報の数値をそのまま採用した。

港区再開発事業分布図



港区 総合設計制度一覧		港区 特定街区一覧	
187	ジュールA116の増築	478	高七町一丁目プロジェクト
194	赤坂8丁目計画	479	虎門等平塔リ・企画
199	神宮町プロジェクト	480	赤坂一丁目計画
200	日本楽器インキ本社ビル	485	(仮)進善1丁目プロジェクト
208	芝浦ハイスクエアの増築	490	(仮)高輪一丁目開発計画
213	三田ビル	494	(仮)グレスト・フォレスト増築三丁目
217	麻布2丁目ビル	499	(仮)赤坂2丁目ビル
223	芝浦サウジアールビル	502	(仮)麻布十番2丁目計画
238	新田ビル	503	(仮)麩倉ウエストビル
250	芝浦1丁目ビル	524	(株)ホク・メディアビル本社ビル
259	K一1高層ビル	530	(仮)赤坂8丁目ビル
248	高栄ビル	486	(仮)青島第一マンション建設
254	麻呂町南側ハイサイド計画	491	六本木三丁目計画
261	芝浦サウス	492	(仮)青島ライズスクエア
262	新田町プロジェクト	493	(仮)南青島2丁目プロジェクト
264	住友18号ビル	484	(仮)進善西丁目共同住宅
268	西麻呂ビル	485	(仮)高輪1丁目マンション計画
299	西麻呂ビル	489	(仮)芝浦2丁目計画
340	進善ビル	475	南青島2丁目計画
341	(仮)日本生薬一丁目ビル	476	高七町一丁目プロジェクト
344	(仮)芝浦センタービル	479	虎門等平塔リ・企画
352	(仮)赤坂8丁目マンション	480	赤坂一丁目計画
368	(仮)新田町南側ビル	485	高七町一丁目プロジェクト
369	赤坂一丁目高層計画赤坂スクエア	486	(仮)赤坂2丁目ビル
369	赤坂15階ビル地下鉄出入口上層等建設	492	(仮)麻布十番2丁目計画
380	赤坂2丁目ビル	493	(仮)麩倉ウエストビル
390	(仮)赤坂2丁目共同ビル		
398	(仮)六本木1丁目YM計画		
404	(仮)新田町南側ビル		
409	(仮)高七町一丁目ビル	501	プロジェクト名
410	(仮)スターゼン新芝浦ビル	8	進善製菓センタービル
411	(仮)SPビル計画	13	森本エンゼル・プラザ
414	NTTドコモ赤坂ビル	19	三田開発ビル
415	麻布1丁目計画	23	南青島ビル
416	(仮)芝浦三丁目共同ビル	26	新田ビル
417	(仮)元麻布一丁目計画	31	進善ビル
420	(仮)サンホウビル	32	東京ビル
423	(仮)ホク・メディアビル本社ビル	38	日本電気
438	(仮)赤坂8丁目ビル	43	シーパンス
446	(仮)青島第一マンション建設	56	日産自動車、日本生薬
447	六本木三丁目計画		
452	(仮)青島ライズスクエア		
453	(仮)南青島2丁目プロジェクト		
464	(仮)進善1丁目共同住宅	50	プロジェクト名
493	(仮)高輪1丁目マンション計画	18	アークビルス
494	(仮)芝浦2丁目計画	33	高層センタービル
497	南青島2丁目計画	74	進善デザインビルタワー

図- 3.4.3.2 調査対象再開発事業一覧 (港区)

中央区再開発事業分布図



●総合設計制度 ●特定街区制度 ●高度利用地区制度

中央区 総合設計制度一覧		中央区 特定街区一覧	
136	アシスター大田町ビル	272	仮称どき3丁目集合住宅
141	三井倉庫跡地(旧)の増築	276	仮日本橋町(株)ビル
150	新田美同ビル増設増築	285	(仮)仮称どき3丁目計画
180	日本橋西ビル	421	(仮)東京証券取引所ビル移転改良計画
3	東京銀行	423	(仮)丸の内3丁目マンション
4	MT計画	424	(仮)旭通ビルビル
16	NSビル	194	大土庫上・サブ共同ビル
22	東京証券取引所	187	新田日輪ビル
25	新和ビル	169	二軒町K1
28	東京温泉	178	仮称どき3丁目地C36の増築
34	住友倉庫跡地増築ビル	207	仮ハルブ会館
47	三井倉庫跡地(旧)増築	211	仮新和ビル
58	日本橋プラザビル	215	YS新築4丁目ビル
57	大田町ビルC21東ブロック	229	大田町跡地ビル
58	大田町ビルC21西ブロック	232	新和丸ビル
68	ニチレイ町南ビル	344	新田一丁目新ビル
76	新和東八条ビル	296	仮倉庫跡地C124の増築
77	三井倉庫跡地(旧)再開発	291	新田一丁目ビル
83	仮日輪町ビル	381	三井新日本橋ビル
85	新田ビル(Aブロック)	367	ニチレイ新館ビル
88	新田ビル(Bブロック)	388	八丁堀三丁目共同ビル
89	日本交通新ビル計画	276	住友新3丁目ビル
92	新田美同ビル	277	仮新和ビル
93	住友丸ビル	285	新和丸ビル一ビル
96	MTビル	294	銀座F・銀座アイタワー
108	三幸・新田ビル	297	日本橋新館ビル
109	へんてる本社ビル	315	仮本・大成入道共同ビル
111	住友銀行大田町ビル	325	新田2丁目再開発計画(仮)増築1棟増築
112	ニチレイ新館ビル	332	大田町ビル(仮)C21北ブロック建設計画
117	三井倉庫跡地(旧)47の増築	338	仮(株)第一丁目プロジェクト
118	大田町3-2ビル	343	(仮)丸の内3丁目新築住宅計画
122	仮新和ビル	347	仮(株)ビル(仮)増築増設
124	日本倉庫跡地(旧)3丁目	348	東京工業品取引所
126	日通丸ビル	351	(仮)サンファイナルビル
130	住友丸ビル(旧)増築	365	(仮)大田町大日本橋ビル
		419	日本橋新館ビル・シティビル
		64	新館アイランドビル・ソフィア

図- 3.4.3.3 調査対象再開発事業一覧(中央区)

2) 建築規模と空地についてのクラスタ分析

本章では、調査によって得られたデータの相互関係を顕在化するため、建物規模、空地機能からクラスタ分析を行い、公開空地の類型化を行った。

クラスタ分析とは、複数の変量因子から構成されるサンプルの集合を、互いに似たものを集めて塊（クラスタ）をつくることによってサンプルを分類・類型化する分析手法である。今回の場合、各公開空地を擁するプロジェクトがサンプルとなり、敷地面積、建物規模、空地機能情報等が変量因子となる。

多変量解析には、他に判別分析や、数量化理論 類などがあるが、これは分類するための基準が必要とする。本研究においては、空地の利用のされ方に評価を与えるが、空地を分類する上での外的基準として採用するには客観性に乏しく、また、空地の物理的データとの関連性を考察する上で不具合を生じる危険性がある。このことから、今回は、分類するための外的基準を必要としないクラスタ分析を採用した。

クラスタ分析に当たり、建築統計年報および東京都都市計画プロジェクト一覧より抽出したデータの考査を行い、次の項目に当てはまる事例を除く 194 例にてクラスタ分析を行った。

- ・ 増築等重複するもの
- ・ 平成 16 年 12 月時点で工事中のもの
- ・ データが不備のもの（特定街区、高度利用地区）
- ・ 明らかに誤データを含むもの（高さが 200m を越える、建蔽率が 100% を越える等）

なお、本研究でのクラスタ分析には、ユークリッド距離を用い、対象事例が多いため、大規模ファイルのクラスタ分析を、クラスタ数を調整して用いた。

a) 建物規模クラスタ

建物の物理的因子による類型化を目的として、建築情報に関するデータを用いたクラスタ分析を行った。指標は、「敷地面積」「建築面積」「延べ床面積」「建物の高さ」「建物の階数」「建物の地階階数」「駐車場面積」「公開空地面積」「有効空地面積」「公開空地率」「有効空地率」「建蔽率」を採用した。また、これらの指標は異なる単位を持つことから、標準化した値（Z 値）を用いて分析を行った。

分析の結果、クラスタは 6 つに分類され、第 1 クラスタが 57 例、第 2 クラスタが 5 例、第 3 クラスタが 77 例、第 4 クラスタが 1 例、第 5 クラスタが 16 例、第 6 クラスタが 38 例となった。

各指標の平均値を折れ線グラフとして示した（図- 3.4.3.5）。指標ごとのクラスタ値のばらつきが大きいものほど、クラスタ決定に対して大きな影響力を与えているといえる。この場合、折れ線図の距離の大きい「敷地面積」「建築面積」「延べ床面積」「駐車場面積」「公開空地面積」「有効空地面積」が建物規模のクラスタ決定に強い影響力をもっていると判断できる。一方、距離の小さい「高さ」「階数」「地下階」「公開空地率」「有効空地率」「建蔽率」はクラスタ決定に与える影響が小さいと考えられる。

表- 3.4.3.1 建築規模クラス

クラス 番号	特徴	事例 数
1	小・中規模敷地・低建蔽率・高空地率	57
2	群建築（一団地認定）型・特殊例	5
3	小規模敷地・高建蔽率・低空地率	77
4	群建築（一団地認定）型・特殊例	1
5	大規模敷地・高建蔽率・標準空地率	16
6	標準敷地・低建蔽率・高空地率	38

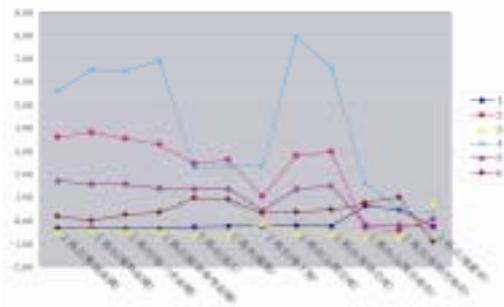


図- 3.4.3.5 建築規模クラス統計後情報比較

b) 空地クラス

空地の物理的因子による類型化を目的として、空地情報に関するデータを用いたクラスタ分析を行った。指標は、「空地形状」「建物用途」「利用を促進する要素」「利用を規制する要素」「付設設備」「緑化状況」「空地内行動」「法制度」「用途地域」「親水空間」「広場上空地設置状況」「通路形状」の12指標で、それぞれ、1（ある）か0（ない）でデータが統一されている。

分析の結果、8つのクラスに分類された。194例中有効が193例、欠損値1例となり、第1クラスが64例、第2クラスが19例、第3クラスが7例、第4クラスが7例、第5クラスが32例、第6クラスが24例、第7クラスが35例、第8クラスが5例であった。

表- 3.4.3.2 空地クラス内訳

クラス	事例数
1	64
2	19
3	7
4	7
5	32
6	24
7	35
8	5
有効	193
欠損値	1

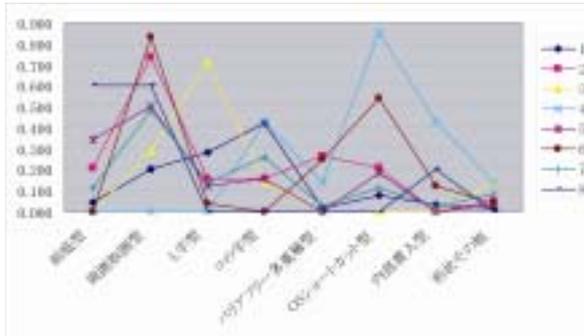


図- 3.4.3.6 空地形状比較

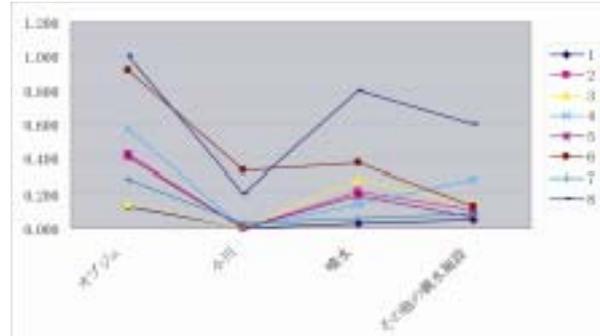


図- 3.4.3.7 親水空間比較

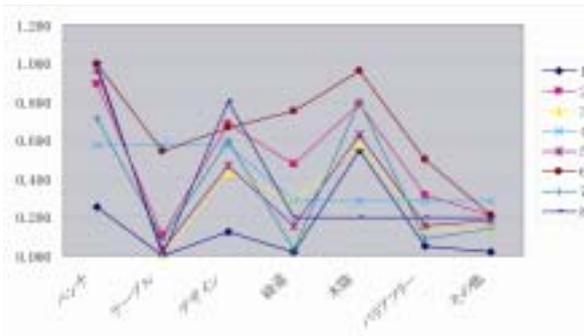


図- 3.4.3.8 利用を促進する要素比較

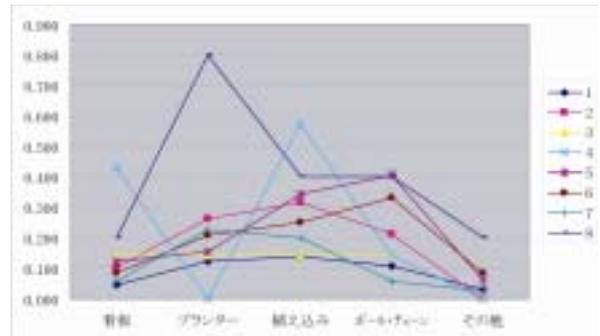


図- 3.4.3.9 利用を規制する要素比較

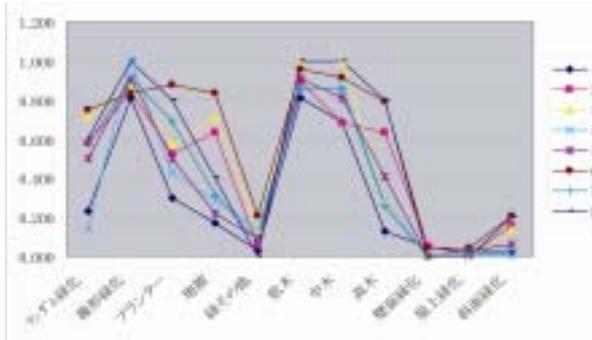


図- 3.4.3.10 緑化状況比較

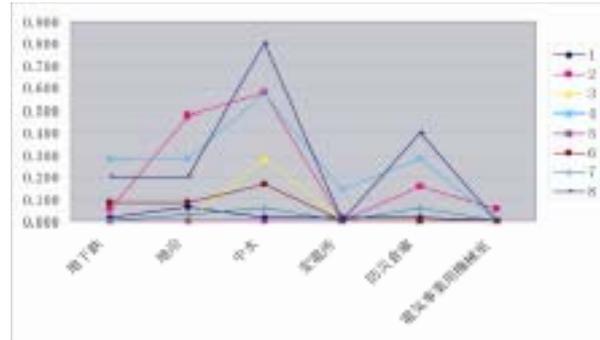


図- 3.4.3.11 付設施設比較

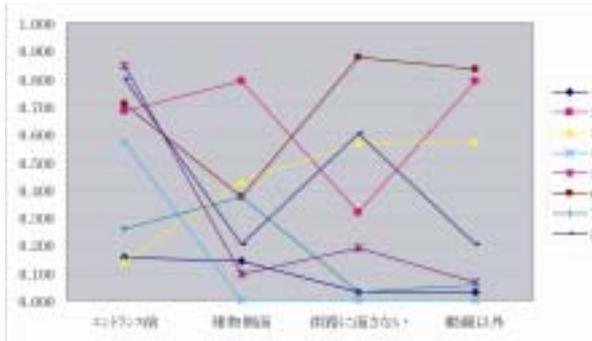


図- 3.4.3.12 広場状空地設置状況比較

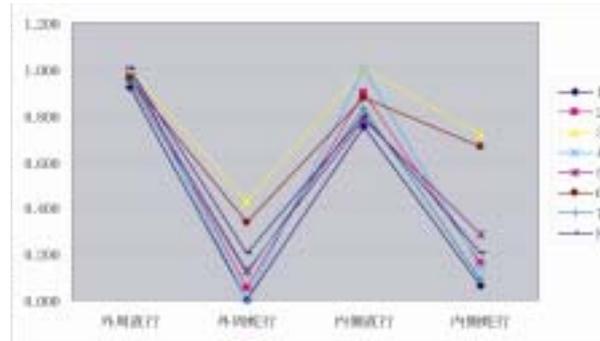


図- 3.4.3.13 通路形状比較

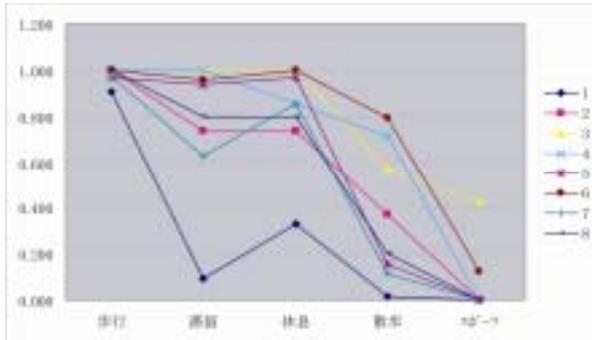


図- 3.4.3.14 空地内行動比較

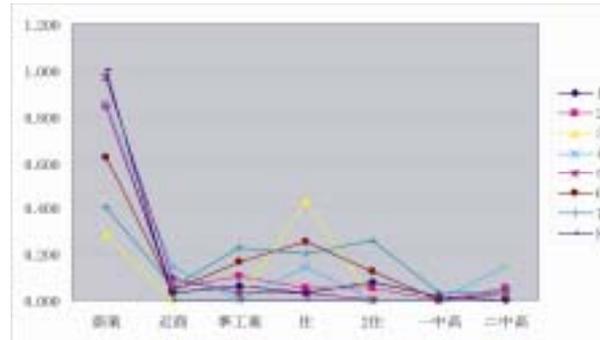


図- 3.4.3.15 用途地域比較

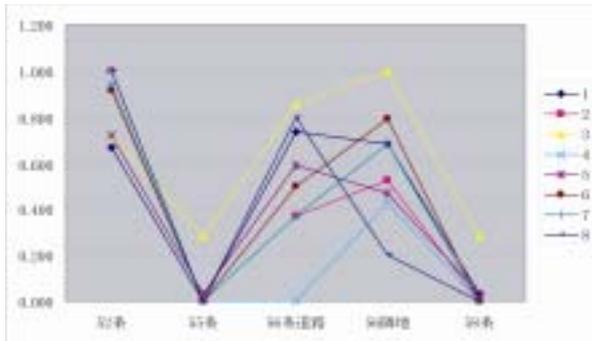


図- 3.4.3.16 法制度比較

表- 3.4.3.3 空地クラスタ

クラスタ番号	特徴	事例数
1	デザイン性小・小規模広場型	64
2	デザイン性大・中小規模広場型	19
3	住居系用途混合・プライバシー性重視・未接道広場型	7
4	動線重視・ショートカット型	7
5	中規模前庭広場型	32
6	形状多様・アメニティ重視・多種緑化広場型	24
7	形状多様・デザイン性小・多種緑化広場型	35
8	デザイン性大・アメニティ重視型	5

c) 建築規模クラスと空地クラスとのクロス分析および考察

建築規模情報の 12 の指標。踏査によって収集された 12 の指標による、2つのクラス分析から得られた類型について、クロス集計を行った。事例の存在する組合せは 48 中 34 であった。このうち、「建築 3 × 空地 1」という組み合わせが 46 例と最も多く。次が「建築 1 × 空地 7」の 16 例となっているので、「建築 3 × 空地 1」は全体の中で突出して事例の多い類型となっていることがわかる。

分類された 34 類型のうち、8 事例以上が該当する 9 類型(「空地 1 × 建築 1」「空地 1 × 建築 3」「空地 2 × 建築 6」「空地 5 × 建築 1」「空地 5 × 建築 3」「空地 5 × 建築 6」「空地 6 × 建築 1」「空地 7 × 建築 1」「空地 7 × 建築 3」)についてより詳細な検証を行った。

表- 3.4.3.4 建築規模と空地機能クラスによるマトリックス

		空地機能クラス							
		1	2	3	4	5	6	7	8
建築規模 クラス	1	12	6	2	1	10	8	16	2
	2				1		3	1	
	3	46	1	1		12	5	11	
	4						1		
	5	1	3	3	4	1	1	1	2
	6	5	9	1	1	9	6	6	1

ア) 空地クラス 1 (デザイン性小・小規模広場型) に属する類型

空地クラス 1 ではオフィス、共同住宅の用途が多い。空地の設えとしては、中・低木の植栽は見られるものの、都市アメニティとしてはあまり充実していない。

i) 空地 1 デザイン性小・小規模広場型 × 建築 1 小・中規模敷地・低建蔽率・高空地率 12 例

建築規模クラス 1 では、敷地の規模が中～小規模で、空地率が比較的高いことが特徴として挙げられる。建物周囲の狭い空地である事例が多く、道路に接した部分でのみ、広場状となる。

緑地に関しては、中・低木は見られるが、特に低木に関しては、使用を規制する形で配置されている事例が多い。従って、都市景観としては若干の寄与はしているが、都市アメニティとしての寄与度は小さい。

広場状空地はある程度確保され開放性も高いが、空地の利用者に配慮した空地計画はほとんどされず緑地を中心とした設えに多少問題がある。空地の設えに対するルール設定等の工夫が必要である。



写真- 3.4.3.1 明治生命青山ビル



写真- 3.4.3.2 秀和新川第一ビル

ii) 空地 1 デザイン性小・小規模広場型 × 建築 3 小規模敷地・高建蔽率・低空地率 4
6 例

ここに含まれる事例数は 46 例と突出して多い。建築規模クラス 3 の特徴として、建築規模に関する数値が最も低いことがあげられる。空地自体も狭く、形状も道路に沿った部分の歩道状空地がほとんどとなっている。また、このため、ベンチやテーブルといったアメニティ要素もあまり見られない。

緑地面積も、接道距離が短い場合、人の動線と車の動線との取り合いから、緑地に割り当てられる面積が必然的に小さくなり、景観上、都市アメニティ上で、寄与しているとはいえない事例が多い。小規模敷地における高層建築の計画では、その配置に制約が多くなるため、空地の面積が十分に取れず、空地面積算出上の係数の高い歩道状空地で計画する傾向が強い。また、空地規模自体も狭小であるため、広場状空地の確保が難しく、アメニティ要素を設置することが難しい。周囲の環境を鑑みても空地が有効に環境に寄与しているとはいいがたく、地域によっては違う形でのインセンティブも必要になる。



写真- 3.4.3.3 前川ビル



写真- 3.4.3.4 神田須田町ビル

i) 空地クラス 2 (デザイン性大・中小規模広場型) に属する類型

空地クラス 2 については店舗もいくつか見られ、動線以外の広場状空地の設置率も比較的高い。また、大掛かりな親水空間は見られないものの、バラエティに富んだ緑化計画が施されている事例が多い。



写真- 3.4.3.5 芝浦スクエア

i) 空地 2 デザイン性大・中小規模広場型 × 建築 6 標準敷地・低建蔽率・高空地率 9 例

建築規模クラス 6 の特徴として、建蔽率が最も低く、それに伴い、高い「公開空地率」「有効空地率」を示していることがあげられる。敷地規模は標準であるため、実際の事例を見てみて



写真- 3.4.3.6 ヨコソーレインボータワー

も、比較的広い空地を周囲に擁したタワー状の建物が多くなっている。空地自体の面積も敷地規模に比較して大きく取られ、広場としてデザインされたものが多く見られる。

緑地に関しては、植栽で高木もランダム配置も見られ、バラエティに富んでいる。敷地形状によっては、利用を規制する形で植栽される例もあるが、全体的に良好な緑化環境を提供するものが多い。

り) 空地クラスタ5(中規模前庭広場型)に属する類型

空地クラスタ5についてはオフィス、共同住宅の用途が多く、周囲取囲型の空地形状が多い。広場状空地も見られるが、その多くはエントランス前に配置されている。

i) 空地5 中規模前庭広場型 × 建築1
小・中規模敷地・低建蔽率・高空地率
10例

建築規模クラスタ1の敷地の規模としては中～小規模が多いが、エントランス前には比較的まとまった広場状空地が取られる事例が多い。それ以外でもポケットパーク程度の広場状空地が備わっている事例が見られる。アメニティ要素は空地の規模は大きくないためベンチ程度のものが多い。



写真- 3.4.3.7 芝超高層ビル

緑地に関しては、低木を中心として、中木が線上に配置されている事例が多い。



写真- 3.4.3.8 杏雲堂ビル

低木による接道緑化により、使用が規制されているものの、開放性は高くなっている。規模が小さいわりに、空地の設えに対しデザイン的配慮がなされる例が多い。

ii) 空地5 中規模前庭広場型 × 建築3 小規模敷地・高建蔽率・低空地率 12例

建築規模クラスタ3の敷地は小規模であるため、空地面積自体は比較的狭小であるが、配置によりある程度の広さを確保し、ピロティや敷地内貫通路との組み合わせにより、広がり演出している事例が見受けられる。そのため、広場のデザインに配慮した事例、ベンチ等のアメニティ要素を取り入れた事例が多い。



写真- 3.4.3.9 港蒲グループ港南ビル

緑地に関しては、ランダムに樹木を配置するスペースは確保できないものの、中・低木を中心として植栽が施され、線状ではあるが高木を配置している事例も見られる。「空地1 × 建築3」の類型に属する事例と比較すると、狭い敷地ではあるが、比較的都市環境に配慮した空地を提供しているといえる。

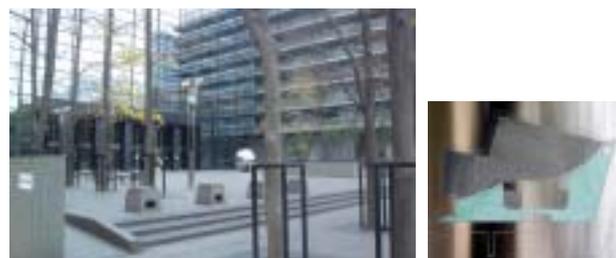


写真- 3.4.3.10 飯田橋都民住宅

iii) 空地 5 中規模前庭広場型 × 建築 6 標準敷地・低建蔽率・高空地率 9 例

「空地 2 × 建築 6」クラスタ同様、建蔽率の低いタワー状の建物が多数。敷地の規模は中規模クラスが多いが、空地率が高く、比較的まとまった規模の広場状空地が確保される例が多い。

緑地に関しては、散策路にそってさまざまな樹木を配置するなど、バラエティに富んだ緑化計画を施しているものが多い。数は少ないものの、塀自体に緑化を施した事例も見られる。このように空地の利用者に配慮したランドスケープが計画されている事例が多い。ただし、特に共同住宅系の建物で多いのであるが、空地の開放性は極めて低い。



写真- 3.4.3.11 プルデンシャルタワー



写真- 3.4.3.12 芝三丁目共同ビル

外部からの来訪者をシャットアウトしてはいないものの、散策路や森林状の公開空地は道路より奥に配置されている例が多く、空地のプライバシーは極めて高い。開放性には建物用途に関わるセキュリティの問題が絡むため、一概に開放性を高くすることはできないが、都市環境へ積極的に寄与する、若しくは都市居住者の共有オープンスペースとして利用価値の高いものとする工夫や配置計画が望まれる。

I) 空地クラスタ 6 (形状多様・アメニティ重視・多種緑化広場型) に属する類型

空地クラスタ 6 については、周囲取囲型の空地が多く、内部貫入型やオープンスペースショートカット型も多く見られ、空地形状としてのバラエティに富んでいる。また、緑地も親水空間も備わっている事例、建物の用途としては商業施設を含んだ複合施設が多い。



写真- 3.4.3.13 虎ノ門三井ビル別館

i) 空地 6 形状多様・アメニティ重視・多種緑化広場型 × 建築 1 小・中規模敷地・低建蔽率・高空地率 8 例

敷地規模としては中規模程度のものが多いが、比較的まとまった広場状空地を有している事例が多い。敷地面積によって違いは見られるものの、デザインや空地利用者を配慮したランドスケープが施されている事例が多い。



写真- 3.4.3.14 四番町共同ビル

緑地に関しても、さまざまな種類の植栽が計画的に配置されており、他のアメニティ要

素と一体的に計画されている事例が多い。都市景観にも都市環境にも高く寄与している。

このクラスタに属する事例の最大の特徴はその敷地形状にある。住友芝浦ビルを除き、その他はすべて不整形となっている。使い勝手のよい建物を建てるためには配置に規制が多く、建物としては効率の良い配置計画が難しい条件となり、結果的に余剰空間としての空地の面積が大きくなる。ここに、都市オープンスペースとしてのポテンシャルを生かすようなデザインが施されているのが特徴である。

カ) 空地クラスタ7(形状多様・デザイン性小・多種緑化広場型)に属する類型

空地クラスタ7については、周囲取囲型の空地が多いが、その幅員は比較的大きい。緑化状況も良好で、親水空間も他のクラスタと比較すると付設率がやや高い。

i) 空地7 形状多様・デザイン性小・多種緑化広場型 × 建築1 小・中規模敷地・低建蔽率・高空地率 16例

このクラスタに属する事例は16例あり、最も多い「空地1×建築3」の46例には及ばないものの、全体で2番目に大きな数字となっている。敷地規模としては中規模程度のものが多いが、比較的まとまった広場状空地を有している事例が多い。なかには、建物の1層目がすべてピロティとなり、その部分が公開空地となっている例もみられた。デザイン要素や、親水空間もいくつか見られ、比較的都市アメニティとして機能している。緑地に関しても、ランダムな樹木の配置はあまり見られないが、ランドスケープとして、中・低木の配置がデザインされている。ベンチを中心としたアメニティ要素も見られ、比較的利用のしやすい空地が多い。

空地の設えは、全体的に良好である。空地自体の形状は敷地形状の大きく左右され、敷地形状が整形のものは広い歩道状空地、不整形のものは余剰空間を利用したの広場状空地としている事例が多い。



写真- 3.4.3.15 住友不動産猿楽町ビル



写真- 3.4.3.16 芝浦4丁目マンション

ii) 空地 7 形状多様・デザイン性小・多種緑化広場型 × 建築 3 小規模敷地・高建蔽率・
低空地率 1 1 例

敷地規模としては建築規模クラス
が第 3 であるため小規模の事例が多い。
このため、広場状空地を有している事
例はほとんど見られず、歩道状空地が
中心である。ただし、「空地 1 × 建築
3」クラスと比較すると、空地に対
してデザイン的な配慮が見られ、いく
つかの事例ではベンチが配備されてい
る。

緑地に関しても、空地の面積・形状
からの規制により、ランダムな植栽配
置はほぼ見られないが、中・低木を中
心とした緑化が歩道状空地に施されて
いる事例が多い。都市広場的な機能は
有さないが、都市景観にはある程度の寄与があるといえる。全体として、同じ建築規模ク
ラス 3 に属する「空地 1 × 建築 3」クラスと比較して設えに対してデザイン的な配慮
がなされている。



写真- 3.4.3.17 芝浦ホテル



写真- 3.4.3.18 新川共同ビル

3) GIS による実際の都市空間における空地の分散状況の分析

建物規模によるクラスタ分析と、空地によるクラスタ分析に基づいて 34 通りに類型化した公開空地のうち、特に都市環境上問題があると思われるクラスタについて、GIS を用いて、実際の都市空間における公開空地の分布状況を顕在化、分析を行い、マクロ的な視野からの問題点を提起する。

対象は、前段で空地の質を考慮した場合に問題があると判断された、「空地 1 × 建築 1」と「空地 1 × 建築 3」の二つのクラスタに属する空地とし、「建築規模クラスタ 1」と「建築規模クラスタ 3」に属する空地の、類似した物理的条件下での公開空地の分布状況も調査した。

a) 建築規模クラスタ 1

都心 3 区全体でみると、「建築規模クラスタ 1」に属する公開空地は、密集市街地、山手エリア、幹線道路沿い、ウォーターフロントとおおよそ全体的に散在していることがわかる。ただし、密集市街地に関しては、比較的敷地規模の大きなエリアとなる、皇居と丸の内、港区の六本木・高輪を中心とした山手エリア、また、敷地規模が小さい神田・日本橋・銀座・新橋と中央通沿いの密集市街地にはほとんどみられない。

丸の内は、徳川家側近の大名屋敷があったため、敷地が広大である。超高層開発は、特定街区制度を適用し、緊急整備地区の特区として行われる。丸の内エリアは独自のデザインガイドラインを持っており、公開空地を含めた街路空間全体として、街路景観および歩行者への配慮したデザインが施されている。

港区の山手は、大名の江戸屋敷として区画されたエリアが多く、敷地の規模も比較的大きく、現在は、高輪など、緑豊かな良好な住環境を維持した高級住宅街となっている。また、六本木周辺は、都心三区の中でもオフィス需要の最も高い地域のひとつであり、六本木ヒルズやアークヒルズといった大規模開発が目立つ。港区の山手エリアは、緑化状況を見る限り、全体として良好な都市環境を維持しているといえる。

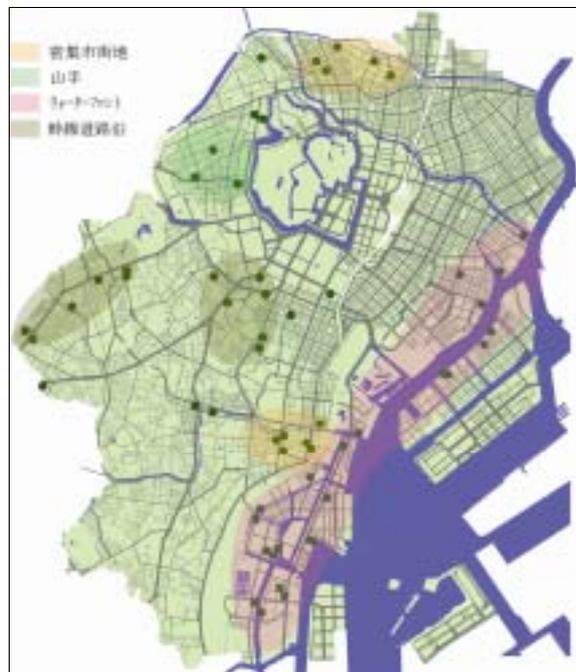


図- 3.4.3.17 都心三区における「建築規模クラスタ 1」に属する公開空地の分布状況

b) 「建築規模クラスタ3」

「建築規模クラスタ3」に属する公開空地は、神田・日本橋・銀座・新橋周辺の中央通沿いの密集市街地に集中し、番町・麹町周辺の千代田区の山手エリアにも集中がみられる。そのほかのエリアにもいくつか分布するが認められるもの、まとまりはない。また、「建築規模クラスタ1」に属する公開空地とほとんど重ならないことがわかる。東京の、特に都心部においては江戸時代に施工された町割による街区構成が現在でも色濃く残されており、再開発等で街区構成が大きく変わる場合を除いては、開発の場所や大きさに影響を与えている。

都心三区に存在する「建築規模クラスタ3」に属する事例は全部で77例ある。そのうち、公開空地として、最も都市環境への寄与度が低いと判断された、「空地1×建築3」クラスタに属する事例は46例と、約6割を占める。分布状況では、特に密集市街地に集中している。

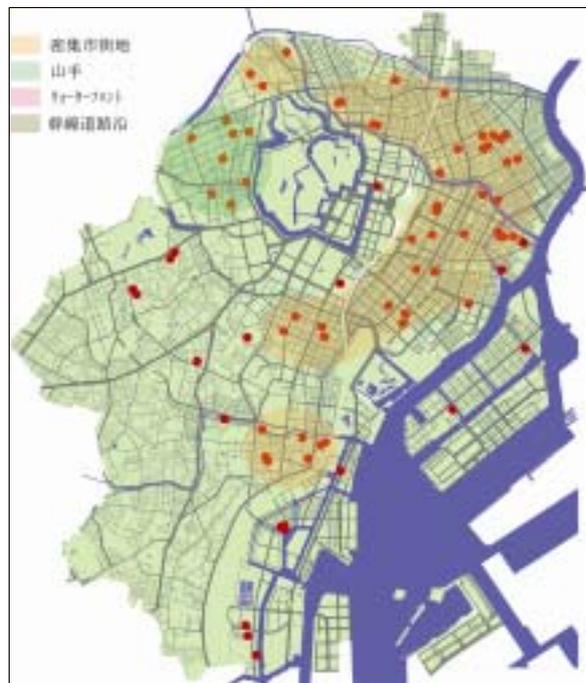


図- 3.4.3.18 都心三区における「建築規模クラスタ3」に属する公開空地の分布状況

c) 「空地1×建築1」

「空地1×建築1」クラスタに属する公開空地は質としては良好なものではないが、「空地1×建築3」クラスタに属する公開空地と比較して、敷地の規模が大きいため、まとまった広場上の空地が確保されている事例が多い(図- 3.4.3.19)。従って、空地の設えに対してガイドラインのようなルール設定を行うことによって、ある程度の空地の質の向上が期待できる。

図- 3.4.3.20に、潜在的に質のよい空地を提供できる可能性を有した「建築規模クラスタ1」と、「建築規模クラスタ3」の中で比較的良質の空地を提供している事例をあわせて示したものである。広場とまではいかないまでも、ポケットパーク程度のオープンスペースを提供している、あるいは空地の設えの改善で提供できる公開空地の分布である。分布は、密集市街地、山手エリア、幹線道路沿い、ウォーターフロントと、広範囲にわたって点在していることがわかる。塊として集中しているのではなく、線上の広がりを見せていることから、ネットワークが構築されているとも捉えられる。従って、空地の設えにルールを設定し、空地の質を向上させることで、都市環境への寄与度の高いポケットパーク的オープンスペースのネットワークを都心部に生み出すことが可能である。さらに、十分な緑化を行うことができれば、緑のネットワークとして都市環境に寄与すると考えられる。

一方、神田・日本橋・銀座・新橋周辺の中央通沿いの密集市街地には、ほとんど事例が

見当たらない。この地域の敷地は小規模なものが多く、地上部で公開空地进行を付設しても、都市環境に十分寄与できるものを提供することが難しい。現行の総合設計制度のみでは、「東京都総合設計許可要綱とその解説(改定4版)」の中で謳われているような「市街地環境の改善を実現する」という目標を達成することは困難と思われる。

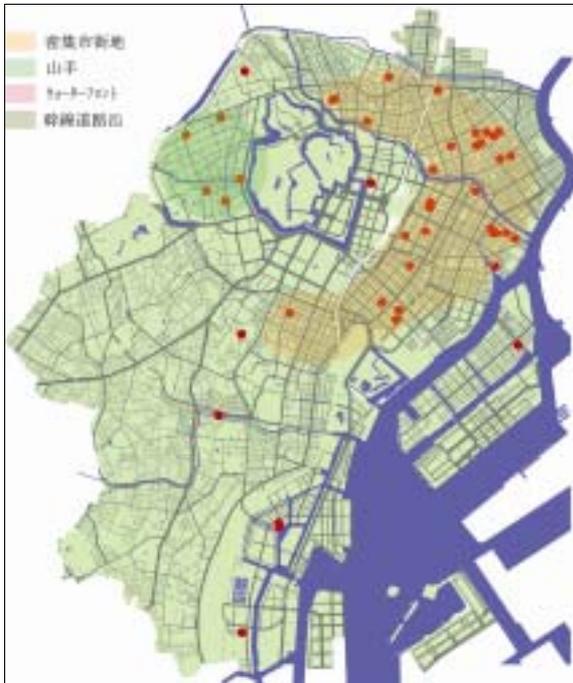


図- 3.4.3.19 都心三区における「空地1×建築3」クラスターに属する公開空地の分布状況

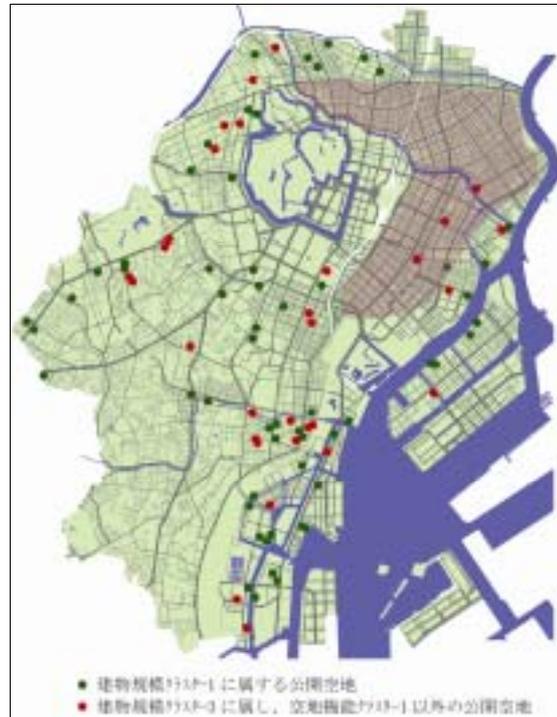


図- 3.4.3.20 公開空地によるポケットパーク・ネットワーク

4) 環境インフラ再整備のための理念とルール作り

a) 現況における公開空地の問題点

本研究では、行政の公開した情報および踏査により収集したデータを、クラスター分析にかけ、さらに GIS を用いて公開空地の質に問題があると思われる事例の分布状況を検証した。以下で、現況の公開空地における課題をまとめる。

ア) 空地の「設え」に関して

クラスターのクロス分析により、空地の設え上比較的問題があると判断されたのは「空地1×建築1」および「空地1×建築3」クラスターに属する事例である。この二つの類型には合計で58例が属しており、全体の約3割を占める。これらの事例においては、公開空地に緑や座具、親水空間といったアメニティとしての施設があまり整備されておらず、ただの空き地的なオープンスペースとなっている。

この理由として、総合設計制度では、空地の設えに対しての規制あるいはルール設定が行われておらず、開発主の自主性に依存していることがあげられる。開発主にとっては建物用途によっては公開空地の設えを整備することに強いインセンティブを持ち得ない場合が多い。上記の二つの類型に属する事例では、特にそれが顕著に見られる。緑化条例によって、緑化が義務付けられてはいるものの、空地自体への規制ではない。さらに商業地域等緩和規制も設けられているため、公開空地の質を向上させるのに十分な緑を、整備させるに至らない。

しかしながら、「空地1×建築1」クラスタに属する空地の中には広場状の比較的広がりをもった空地を有している事例も多い。たとえば、特にオフィスビルにおいてよく見られる事例として、エントランスの前にある程度の規模の広場状公開空地を擁するものの、設えはほとんど整備されていない状態の空地がある（写真- 3.4.3.19）。また、前面道路に対してセットバック型の公開空地も多く見られる。こういった、公開空地の設えをコントロールすることができれば、ポケットパーク的なオープンスペースなど、都市環境に寄与する空間を作り出すことが可能である



写真- 3.4.3.19 空地の設えに配慮が少ない事例

1) 空地の「規模・形状」について

建築規模クラスタを類型化する上で敷地規模は比較的大きな影響力を有している。空地の質に問題があると判断された公開空地の事例が属する建築クラスタ1および3は、建築規模クラスタ3が最

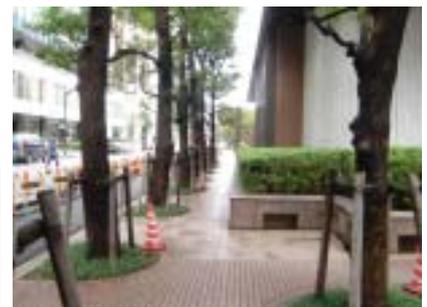


写真- 3.4.3.20 狭い歩道状空地の事例

も敷地規模が小さく、次いで、建築規模クラスタ1が小規模である。従って、敷地規模、すなわち公開空地の規模が空地の質を決定するのに大きな影響力を有していると判断できる。

「空地1×建築1」と「空地1×建築3」クラスタに属する事例の敷地規模の分布をグラフ化したのが、図- 3.4.3.21、図- 3.4.3.22である。「空地1×建築1」および「空地1×建築3」クラスタに属する事例の敷地規模のうち2000㎡以下の事例は「空地1×建築1」で42%、「空地1×建築3」で69%を占めることがわかる。さらに3000㎡以下とすると「空地1×建築1」で67%、「空地1×建築3」では92%まで比率が上昇することがわか

る。敷地の形状や建物の配置によってはある程度まとまった広場状公開空地を取ることも可能と思われるが、敷地規模が小さいときには空地の形状に対する規制要因として、より強固なものとなる。このような状況において、空地の有効係数の高い歩道状公開空地を採用することは、非空地率を大きくし、建物の計画にそれだけの自由度を与えることとなる。従って、敷地規模が小さいものは接道部分に幅の狭い歩道状空地が設置される傾向が強い。

空地の規模・形状に対して規制を設けることや、物理的にまとまった空地を取ることが不可能な場合の、新たな手法、法的な仕組みを考慮する必要がある。

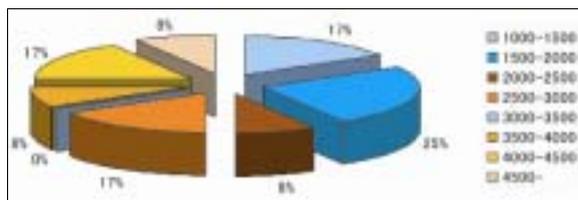


図- 3.4.3.21 「空地 1 × 建築 1」クラスターに属する事例の敷地規模の分布状況

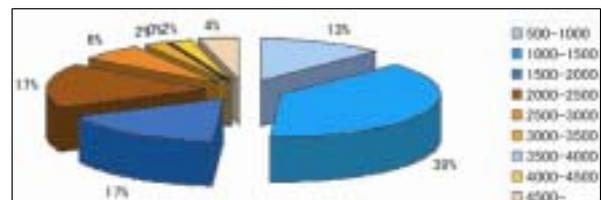


図- 3.4.3.22 「空地 1 × 建築 3」クラスターに属する事例の敷地規模の分布状況

り) 空地の「開放性」に関して

東京都総合設計許可要綱によると、本来、公開空地設置の目的は「市街地環境の改善を実現するもの」であり、管理は開発主に依存するものの、公共財としての性格が強い。そのため、原則として不特定多数の人が利用可能となる。しかし、実際の公開空地を調査すると、植栽やポール・チェーンといった障害物によって利用が規制されていたり、接道部の植栽により視界的な開放性が妨げられたり、奥に公開空地を配置することによってプライバシーの高い空地になる事例が多いことがわかった。

また、東京都や各区で制定している緑化条例では、敷地の規模による違いはあるものの、空地形状や周辺環境への配慮を欠いた一律な接道緑化基準が設けられている。これは、植栽による物理的・視認的障害を招く原因になっている。一方、プライバシーの高い公開空地は、ホテルや共同住宅に多く見られ、セキュリティの問題と強く関連していることから、一概に一般への開放を義務付けるとことは出来ない。敷地の規模や形状の影響も考慮した上で、段階的な公開空地の設定を行うことが必要である。



写真- 3.4.3.21 植栽による利用規制



写真- 3.4.3.22 敷地の奥に配置された空地

b) 公開空地制度に対する提言

現況における公開空地の課題を踏まえ、これを改善するため、公開空地制度に対して、歩道状公開空地の有効係数の見直し、空地の設えの規制、段階的公開空地の導入、の3つの提言を行う。それぞれが独立して検証されるものではなく、統括的に空地の質を向上させることを目的とした具体的な指標作りが望まれる。

ア) 歩道状公開空地の有効係数の見直し

- ・都市環境への寄与度の低い歩道状空地の軽減を図るとともに、ポケットパーク的なオープンスペースを創出することを目的に、原則として歩道状空地の有効係数を1もしくはそれに近いものまで低減する。

- ・オープンスペースとして機能する、奥行きのある歩道状空地について、を具体的な数値として定め、高い係数を与える。

- ・歩行者にとって有効に機能する歩道状空地に対しても、歩行者ネットワークのような高次のマスタープランによってエリアを制定し、現行の係数を採用する。

現状では、歩道状空地に対しての係数が最も大きいため、非空地率を高め、建物の計画に自由度を持たせる手段として、歩道状公開空地が活用されている。歩道状空地は、道路境界線より4mまでの空地と規定されており、本来の歩道状空地の目的である細街路の環境改善には貢献するものの、街路景観や都市オープンスペースとしての寄与度は小さい。実際の歩道状空地を調査すると、幅の比較的狭い、歩道の付設されていない道路に対しては、歩行者に有効である箇所もあるが、建物がセットバックしたのみの事例も多かった。

イ) 空地の設えの規制について

- ・緑地率、ベンチの数(または長さ)、ペイプメントの仕上げ、樹木の種類、障害物の制限等によって設えをコントロールし、公開空地の質を高める。

- ・周囲環境への影響を考慮した上で、公開空地での商業的アクティビティも認可し、公開空地の利用を促すことで、ソフト面からも公開空地の質の向上を図る。

現状では、「空地1×建築1」クラスタに属する事例に見られるように、空地自体は小さいながらも広場状空地が確保されているにも拘らず、利用者に配慮した計画が施されていないため、単なる空き地的オープンスペースになってしまっている公開空地が存在する。

ウ) 段階的公開空地の導入

- ・敷地の規模・形状も考慮しながら、まとまりをもった開放性の高い広場状空地の設置を義務付ける。

- ・空地の係数は、歩道状空地の見直しで提言した奥行きのある歩道状空地と同程度に高くする。

- ・奥へと配置される公開空地に関しては、時間や曜日などによる一部閉鎖を認めるものとする。

(セキュリティの高さを確保しながら、環境に寄与する公開空地を量的に創出することが出来る)

現状では、ホテルや共同住宅のように、不特定多数の人の侵入を好まない用途の場合、公開空地が敷地の奥へと配置され、高いプライバシーを有する場合が多い。公開空地の原

則として、利用者を制限するものではないが、実際は、気軽に利用することは困難である。セキュリティの問題は、特に近年重要な社会問題であり、公開空地の開放性と閉鎖性をいかにバランスよく混在させるかが重要なポイントとなる。

c) 将来の課題

これまで、公開空地の目的である「市街地環境の改善を実現するもの」という評価基準をもとに、現況の公開空地を事後評価することで、事前の法規制の期待効果と事後の現況公開空地の実質的效果の比較を行った。特に総合設計制度の動学的不整合について分析・考察を行い、それを是正するための提言を行ってきた。本段ではその提言を都市環境の向上という目的に対して、より有効な提言とするために必要と思われる事項を将来の課題として提示する。

ア) 公開空地の評価と空地の有効係数見直しの検討・検証

公開空地の質を向上していくために、現在の総合設計制度の見直しが必要と思われるが、それに先立ち、以下の事項の検討が必要である。ただし、これらの事項は独立して検討されるものではなく、公開空地の「質」を評価基準とし、統括的に検討・検証されなくてはならない。

i) 公開空地の「設え」に対する規定

公開空地の設置基準において設えをコントロールすることで、ある程度の公開空地の質の改善が期待でき、GIS分析で示したようなポケットパーク・ネットワークの実現も期待できる。本研究で調査した空地の形状・広さ・緑地率・植栽形状・ペイプメントのデザイン・座具等・親水空間など、空地の設えに対しての具体的な制約事項を、実例を詳細に調査しながら検討していく必要がある。

ii) 有効係数の見直しと自由裁量による係数調整

現況の歩道状公開空地の効果を検証し、新たな有効係数を検討する。また、周辺環境を考慮した自由裁量型による係数調整の可能性の検討も必要と思われる。その場合、評価・判断を行政が行うのか、民間が行うのか、エージェントのインセンティブをどのように設定したらよいかを検討する。

iii) 緑化条例との整合

総合設計における公開空地に対する、緑化条例の接道緑化基準の特別処置を検討する。現況では一律に接道距離に対しての比率で接道緑化が規定されているが、奥行きのない歩道状空地と奥行きのある広場状空地に対しては、それぞれ接道緑化と同等の効果が得られる代替案を検討する。

iv) 建物内公開空地の有効係数設定

建物内公開空地を定義するとともに、その有効係数を検討する。開放性とセキュリティの問題が生じるので、係数は低減しなくても利用時間の制限ができるような緩和処置も検討する。その他の事項としては、空間のボリューム・空間の設え・空間の設置階・空間へのアクセス方法など、詳細な検討が必要である。

イ) 高次のマスタープランの策定

公開空地に代替する容積緩和に対しての代償案は、その開発敷地周辺だけでなく、広域的な環境インフラの整備目標が必要である。それを遂行するための高次のマスタープランの事前策定が必要である。

i) 緑のネットワーク

ポケットパーク・ネットワークを含めた、広域的な緑のネットワークを検討し、プライオリティの高い評価基準として、緑化条例と公開空地の設えの整合を図る。私有地の緑化との積極的な連携も期待される。

ii) 都市河川再生マスタープラン

広域的な都市河川再生のための整備事業計画のマスタープランを検討・策定する際に、最終的な目標とともに、環境インフラ再生補助制度を運用するためのタイムスケープを考慮した事業規模・工程を検討する。

iii) 歩行者ネットワーク

主に現在生活道路として機能している細街路で歩車の分離が十分に行われておらず、歩道状空地の設置によりその改善が期待されるエリアを設定するとともに、広域的な歩行者のネットワーク形成を目的とする。また、緑や河川のネットワークとの連携が望ましい。

ウ) 公開空地に代替する代償制度の適用基準の設定

本研究で、現況の公開空地に代替する代償制度として、建物内公開空地の提案を行ったが、開発主によっては、より広いフロアを計画したいためにこれら提案された制度が、逆のインセンティブとして働く可能性がある。すなわち、地盤レベルで質の高い公開空地が設置できるにも拘らず、開発負担金制度を適用するというケースである。そのため、広域的都市環境を考慮した上での公開空地に代替する代償制度の適用基準を設定する必要がある。

i) 街並誘導型地区計画地域における最高高さの再検討

総合設計制度で容積緩和を受けた場合、その大部分において建物の高さは高くなる。そのため、多くの場合、街並誘導型地区計画で規定された最高高さを超越することとなる。従って、最高高さ（軒線）の再検討および、建物内公開空地の設置可能エリアを検討する必要がある。

ii) 周辺地域へのインパクトの検証

これまでの環境アセスメント的なインパクトの検証に加えて、都市防災的な観点からの周辺環境へのインパクトの検証が必要である。総合設計制度によって建物の規模が大きくなればそれだけ収容人員も増える。公開空地には、災害時に一度に大人数の一時的滞留を可能とし、周辺地域へのインパクトを低減する機能がある。したがって、代替案を選択する上で、公開空地と同等の防災機能を周辺環境が備えているかどうかを検証する必要がある。

iii) オルタナティブ・エリアマップの策定

公開空地に代替する代償制度（オルタナティブ）が適用できるエリアを示した地図の策定が必要である。ここではこの地図をオルタナティブ・エリアマップと呼ぶ。マップにしたがって代替代償制度の適用地域が設定され、その地域内の開発主はオルタナティブを選択する権利を有する。このオルタナティブ・エリアマップを策定する上で、上記二項による検証のほかに、高次のマスタープランとの整合も図る。

I) 割増容積に代替するインセンティブの検討

これまでは代償の代替に焦点を当てて調査・研究を進めてきた。一方、インセンティブとしては、既存のものでは、基準法の斜線制限の緩和や容積緩和等、建物の上乗せ容積が挙げられるが、土地価格の上昇問題も絡み、インセンティブとしての効果を持ち続けるとは考えがたい。より効果的な都市環境の改善を目指す上で、代替となるインセンティブを検討する必要がある。

i) 税優遇処置および補助金制度の検討

金銭的優遇処置は公開空地のインセンティブとして最も有効なツールといえる。しかし、本来の環境向上という目的に対して、十分に機能するかどうかは実際には事後的に評価していく必要がある。柔軟性の高い適用基準の検討が必要である。

ii) 都市環境に対しての意識の向上

都市環境そのものがインセンティブになるのが理想的である。歴史的な街並みを維持している市町村では、都市環境自体が不動産価値に結びついている事例も存在する。このように都市環境が不動産価値に影響を与えるようになれば、開発主の資産価値もあがるため、直接的なインセンティブとしての効果が期待できる。そのためには都市環境に対しての行政・住民双方の意識の向上が必要である。

カ) 超高層ビルゾーニング法の検討

これまでは、主に地盤レベルについて議論を行ってきたが、超高層ビルの建設の進行するにつれ、乱立する超高層ビルが都市環境のみならず、都市景観に与える影響も看過できないものとなりつつある。通風や採光、日影といった環境工学的視点とは違い、都市景観においてはその評価基準の設定が困難であるが、ボストンで見られるように超高層ビルに対してのゾーニング規制を行うことによって、地域全体の価値を向上させるような都市環境を創出することも可能と思われる。また、今後、公開空地のあり方と併せた超高層ビルゾーニングの可能性について検討・検証する必要がある。

以上を、将来の課題として挙げるが、前述したように事前にルール策定のための検証を綿密に行ってもその性質上、動学的不整合性を排除することは困難である。このような継続的な事後評価・検証をおこなうことにより、それらを軽減していく努力が必要である。

5) (参考資料) 既存の法規制について

a) 公開空地の有効係数

次の各号の一に該当する一の公開空地の有効係数は、当該各号に掲げる数値とし、各号の二以上に該当するものにあつては、これらの数値を乗じたものとする。ただし、敷地の同一部分の上下にわたってそれぞれ別の公開空地を設ける場合において、当該公開空地のいずれかが歩道状空地であるときは、これらの数値を乗じた係数に 0.5 を加えた数値を、いずれも歩道状空地でないときは、1.5 をそれぞれ限度とする。

ア) 歩道状空地

歩道状空地(幅員が4m以下で道路との高低差が1.5m以下のものに限る)の有効係数は、計画する地域ごとに、連続(二辺以上の連続を含め、出入口等による分断は必要と認められる範囲で連続とみなす)する歩道状空地の長さに応じて下表の当該各欄に掲げる数値とする。

	L < 20	20 ≤ L < 40	40 ≤ L < 60	60 ≤ L < 80	80 ≤ L < 100	100 ≤ L
都心部・副都心	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5
環状7号線の内側	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3
その他の区域	1.3	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1

L : 長さ
 都心部 : 区部中心部整備指針で定める「都心部」の区域
 副都心 : 副都心整備計画及び臨海部副都心まちづくり推進計画に定める区域 その他の部分 : 1.0

イ) 広場状空地(ピロティ等及び人工地盤等の部分を除く)

- ピロティ等及び人工地盤等の部分をのぞいた面積が 300 m²以上の一の広場状空地で、幅員が6m以上の道路、歩道状空地又は貫通通路に接するもの

a. 道路等に面するもの : 1.2 b. 道路等に面しない部分 : 0.6

- これ以外のもの

a. 道路等に面するもの : 1.0 b. 道路等に面しない部分 : 0.6

ウ) 貫通通路

- 屋外貫通通路 : 1.0
 - 屋内貫通通路 : 0.4 ~ 1.0 (その規模、形態に応じて)
- イ) アトリウム : 0.4 ~ 1.0 (その規模、形態に応じて)

エ) ピロティ等

- 天井の高さが5m以上で、かつ、奥行きが当該高さの2倍以内の部分 : 0.8
- 天井の高さが5m未満で、かつ、奥行きが当該高さの2倍以内の部分 : 0.6
- その他の部分 : 0.4

カ) 人工地盤等(次の(ア)~(オ)の二以上に該当する場合はその最大値とする。)

人工地盤等とこれに有効に通じる道路等の公共施設又は他の公開空地との関係が

- 高低差1.5m以下 : 1.0
- 人工地盤等が低い位置にあり、その高低差が1.5mを超え3m以下 : 0.8
- 人工地盤等が低い位置にあり、その高低差が3mを超える : 0.6
- 人工地盤等が高い位置にあり、その高低差が3m以下 : 0.6
- 人工地盤等が高い位置にあり、その高低差が3mを超える : 0.4

b) 東京都および港区、中央区、千代田区における緑化条例一覧

ア) 東京都と都心3区の緑化基準

東京都（敷地面積 1,000 m ² 以上、公共施設は 250 m ² 以上で都に提出）				
千代田区（敷地面積 500 m ² 以上、1,000 m ² 以上は都にも提出）				
中央区（敷地面積 300 m ² 以上 1,000 m ² 未満のみ区に提出）				
基準緑化	地上部	面積		規制緩和
		総合設計制度等の規定の適用		地上部での緑化が困難な特段の理由がある場合は、建築物上で樹木による緑化面積（固定式植栽基盤に限る）に振り替えることができる。
ある	ない			
（敷地面積 - 建築面積）× 0.3		、のうち小さい方 （敷地面積 - 建築面積）× 0.2 （敷地面積 - （敷地面積 × 建坪率 × 0.8））× 0.2		
基準緑化	建築物上	面積		規制緩和
		総合設計制度等の規定の適用		建築物上の緑化が困難な特段の理由がある場合は、地上部における樹木による緑化に振り替えることができる。
ある	ない			
屋上の面積 × 0.3		屋上の面積 × 0.2		
基準緑化	港区（敷地面積 250 m ² 以上は全て区に提出、都と一元化）			
	面積		規制緩和	
	A+B: A=敷地面積 × 緑化率 a B=延べ床面積 × 緑化率 b		・屋上、ベランダ、壁面等を緑化する場合は、緑化するそれぞれの面積の 3/4 を建築物の緑化面積に算入する。（屋上・ベランダ 土壌厚が 30cm 以上確保されている場合、壁面 地上部に植栽し登はんさせるもの）	
	緑化率 a		緑化率 b	
	敷地面積	緑化率	建物用途	緑化率
	1,000 m ² 未満	3%	事務所、店舗 工場、学校、庁舎等、その他	2.5%
	1,000 m ² 以上 3,000 m ² 未満	4%		
	3,000 m ² 以上 5,000 m ² 未満	5%		
	5,000 m ² 以上 10,000 m ² 未満	6%		
	10,000 m ² 以上 30,000 m ² 未満	7%	住宅、共用部	1%
30,000 m ² 以上	8%			
				・次の条件を満たす、既存の樹木を残す場合は、基準緑化面積の 50% を上限として、その面積に 2 を乗じた面積を算入することができる。（地上 1.2m の高さにおける幹の周囲が 1.0m 以上の樹木・面積が 100 m ² 以上の一群の樹木・長さ 20m 以上の生垣）
				・特段の理由により基準の達成が困難認められる場合はこの限りでない

イ) 接道部緑化基準

・ 基準接道部緑化延長 = 接道部長さ × 接道部緑化率

施設	敷地面積	接道部緑化率						
		300 m ² 未満	300 m ² 以上 500 m ² 未満	500 m ² 以上 1,000 m ² 未満	1,000 m ² 以上 3,000 m ² 未満	3,000 m ² 以上 10,000 m ² 未満	10,000 m ² 以上 30,000 m ² 未満	30,000 m ² 以上
住宅・ 宿泊施設	東京都			6/10			7/10	8/10
	千代田区		4/10		6/10		7/10	8/10
	中央区		5/10	6/10				
	港区			6/10		7/10		8/10
事務所・ 店舗・工場	東京都		3/10		5/10	6/10	7/10	
	千代田区		2/10	3/10	5/10	6/10	7/10	
	中央区		2/10	3/10				
	港区		3/10		5/10	6/10	7/10	
学校 ・庁舎等	東京都		6/10			7/10		8/10
	千代田区		5/10	6/10		7/10		8/10
	中央区		5/10	6/10				
	港区		6/10			7/10		8/10
屋外運動・ 競技施設・ 処理場	東京都			7/10				8/10
	千代田区		6/10		7/10			8/10
	中央区		6/10	7/10				
	港区			7/10				8/10
その他	東京都		3/10			6/10		7/10
	千代田区		2/10	3/10		6/10		7/10
	中央区		2/10	3/10				
	港区		3/10			6/10		7/10

(3) 超高層建築群の都市形態および景観

1) 背景と目的

近年、東京の既存市街地や東京湾を中心としたウォーターフロントにおいて、超高層ビルによる再開発事業が頻繁に行われている。前段では超高層ビル再開発の副産物ともいえる公開空地について調査・分析を行ったが、本段では超高層ビルそのものの都市景観へ与える影響について調査・分析を行う。

これまでも超高層ビルの都市や環境への影響について議論はされてきているが、主に超高層ビルの気流への影響をシミュレーションする模型を使った風洞実験や、ビルが作り出す日影に対しての検討等、環境工学的な観点からのものが多い。これらの環境工学的影響に対しては、結果を数量として把握することが可能であるため、評価のための判断基準が設定しやすい。一方、景観に対しては、その評価は概念的であるという認識が一般的であり、定量化することが難しく、その判断基準を提示することがきわめて困難である。既存市街地のような歴史的背景を有した街並みに対しては比較的共有概念として景観を文章や図によって評価しやすいのであるが、超高層ビルは歴史的にも新しく、その影響範囲もきわめて広いこともあり、超高層ビルの景観への影響が議論されることはほとんどなかった。

本段では超高層建築群による都市景観や既存コンテクストに対する影響を 3D モデルを使用したコンピュータグラフィックにより検証し、その問題点を指摘し、都市景観に配慮した超高層ビルのデザイン・スケールコントロールを提言する。

2) 研究の対象地

研究の対象地としては、江戸時代からの旧市街地、明治時代以降の埋立地の両方を含み、市街地型の再開発とウォーターフロント側の再開発の両方の都市形態・都市景観を検証することができる東京都中央区全体とした。

3) 研究の流れと手法

まず、(イ)中央区の基礎的建物情報として、東京都都市計画基礎調査データベース GIS (平成9年度版)を用い、中央区の土地建物の 2D のデジタルマップを作成した。この 2D デジタルマップを 2003 年度版のゼンリン住宅地図データをもとにデータの更新を行った。(ロ)さらにデータベース GIS、ゼンリン住宅地図および現地調査に基づき、すべての建物に高さ情報を与え、土地の起伏も含めた 3D デジタルマップを作成した。同時に東京都および中央区の行政データをもとに各開発の種別の特定を行い、法制度と超高層建築との関連性も調査した。(ハ)本研究において 15 層以上を高層建築物、30 層以上を超高層建築物と定義し、その種別を色分けにより 3D デジタルマップに反映させた。また、法制度については、特に中央区においては既存市街地に広大なまとまった土地を確保することは難しく、特定街区制度と総合設計制度の二つの制度の適用による高層建築物がほとんどなので、この二つの制度のうちどちらによって建設されたかを色分けにより 3D デジタルマップに反映させた。(ニ)この 3D デジタルマップをもとに鳥瞰的視点による都市形態と俯瞰的視点による都市景観の双方に関する現況の検証と分析を行った。鳥瞰的視点は GIS の建

物データに高さを与えたもので検証・分析を行い、俯瞰的視点の方は、その GIS の 3D 土地建物データを 3D デジタルデータを扱うアプリケーションにてカメラを設置し、その中で現況における都市景観を検証・分析した。

4) 高層建築物と法規の関係性

a) 東京 23 区における高層建築物数

東京 23 区内における高層建築物（高さ 45m 以上）の数を各区ごとに示したのが図-3.4.3.23 である。これを見ると、都心 3 区である千代田、中央、港区がほかと比べて高層建築物の数が多いのがわかる。ついで、副都心であり、移転した都庁の存在する新宿区が中央区に迫る勢いである。その他では渋谷区、品川区等、利便性の高い地域に高層建築物が多い。逆に練馬、北、足立区など周縁部の区は比較的広大な土地があるにもかかわらず、利便性の面で高層建築物への依存度が低い。今後の展望としては、近年のウォーターフロント開発を鑑みると、江戸川区、江東区の高層建築物の数が増えていくものと予想される。また、都心 3 区においても比較的広大な土地の多い、千代田、港区はもちろんのこと、個々の土地の小さい中央区においても、地区計画により高層への誘導を行っているので、将来的に更に高層建築物が増えていくことが予想される。

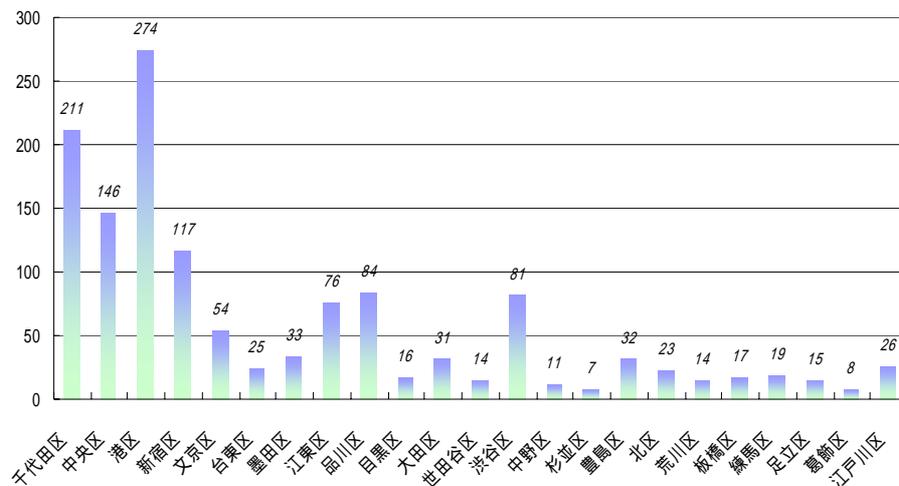


図- 3.4.3.23 東京 23 区における区別高層建築物数（高さ 45m 以上）

b) 都心 3 区における高層建築物と法制度の関係性

次に、都心 3 区における高層建築物と法制度の関係性について検証してみる。図-3.4.3.24 は都心 3 区における 60m を超える高層建築物と、建設時に適用された法制度の関連を示したグラフであり、図- 3.4.3.25 はその特定街区制度と総合設計制度による建物分布を 3D デジタルマップ上で示したものである。『市住総』とは市街地住宅型総合設計のことと、住居用途中心の高層建築物に適用される総合設計制度である。このグラフを見ると、千代田、港区に比べ、中央区内の高層建築物が特定街区制度よりも、総合設計制度に依存している割合が高いことがわかる。実際、図- 3.4.3.25 を見てみても、総合設計制度を適用して開発された高層建築物が多いのがわかる。

これは総合設計制度が適用されるのが500㎡以上の敷地で特定街区よりも小さな敷地に適用されるため、個々の敷地面積の小さい中央区ではほかの2区に比べ総合設計制度への依存度が高くなっており、特に都心部側の江戸時代より続く既存市街地部分においてその傾向が著しい。将来的にも中央区においては総合設計

- 総合設計
- 特定街区
- 市住総
- 再開発地区計画
- 土地区画整備事業
- 再開発事業
- 地区計画

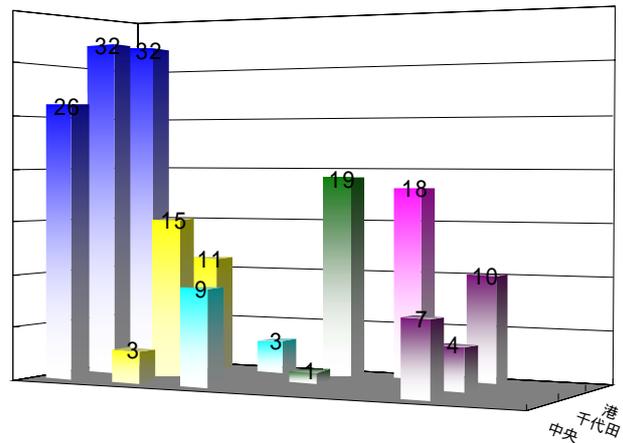


図- 3.4.3.24 適用制度 高層建築物（60m を超えるもの）

計制度への高い依存度は維持されていくと考えられる。もう一つの特徴としては、中央区では昼夜間人口の差が大きく、夜間人口の確保が都市政策の大きな課題となっているため、市街地住宅型総合設計が適用されることが多い。この制度の適用により、一般型の総合設計制度を適用して高層建築物を計画した場合よりも多くの床面積を確保することができる。このため、都心部側の既存市街地部分だけでなく、隅田川沿いのウォーターフロント地域の比較的広大な敷地においても、総合設計制度を適用するケースが多い。

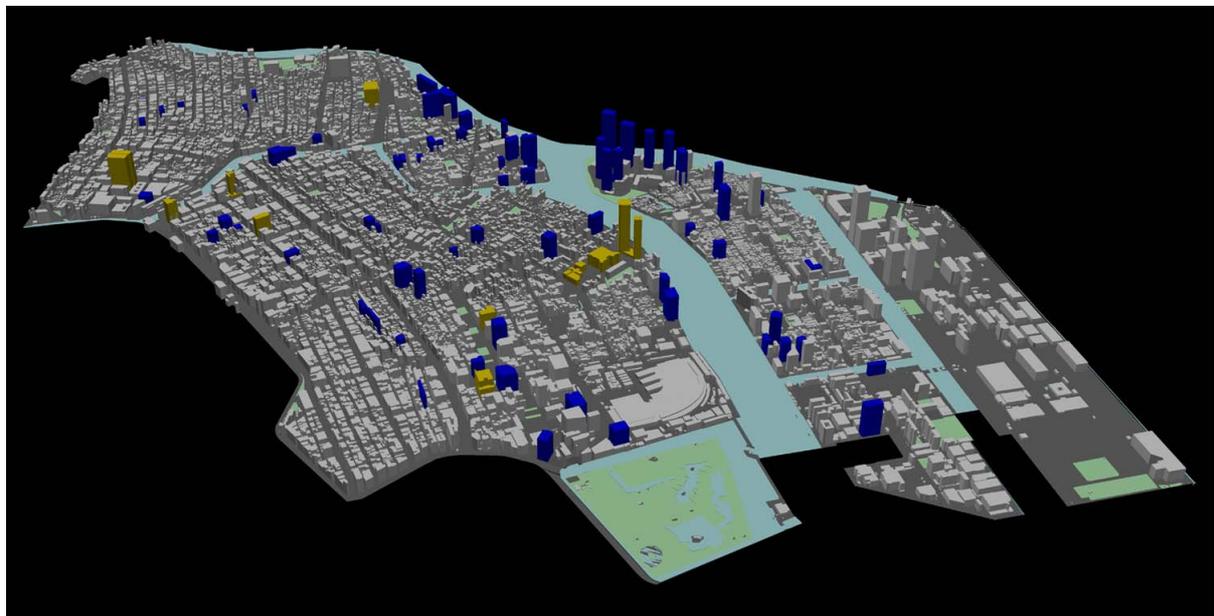


図- 3.4.3.25 中央区適用制度別高層建築物分布図

黄色の建物は特定街区制度適用高層建築物を、青色の建物は総合設計制度適用高層建築物を示す。

この総合設計制度とは別に、銀座や日本橋など、中央区の制定する地区計画によって高層化が誘導されている地区においては、手続きのわずらわしい総合設計制度よりも比較的容易な申請確認手続きによって高層建築を建設することが可能である地区計画適用による高層化が進むものと予想される。ただし、旧市街地では個々の敷地面積が小さいため、総合設計制度を適用するにせよ、地区計画を適用するにせよ、土地を統合しある程度の敷地面積を確保していく必要があるため、統合が可能になった敷地から順次高層化していくものと思われ、無計画に高層建築物が乱立していくものと予想される。

5) 中央区における都市形態の検証・分析

図-3.4.3.26は中央区における土地建物の3Dデジタルマップ上に高層および超高層建築物の分布状況を落とし込んだものである。中央区はもともと埋立地で江戸時代に町人地として利用された土地が多い。そのため、山の手の武家屋敷街と比較すると、一つ一つの土地が比較的小さく、街区もグリッド状に整備されている。従って、大規模なまとまった土地を既存市街地内で確保することが難しくなっている。この影響は図-3.4.3.26においても、認めることができる。江戸時代から人の住んでいた既存市街地（都心部側）において、15階建て以上の高層建築はいくつか認めることができるが、30階以上の超高層建築物はほとんどない。一方で、近代まで工場地として利用されていたウォーターフロントには移転した工場跡地や、新たな埋立地など比較的広大なまとまった土地を確保することが可能となり、超高層建築物による都市再開発が行われている。一部築地や豊洲あたりに低層建築物が認められるが、これらは古くからの市場や現在も稼働している工場である。従って、中央区の都市形態については、比較的高さの押さえられた都心部側の既存市街地と、局所的に超高層建築群が乱立するウォーターフロント地域に二極化されていることがわかる。

この二つの領域を細かく見てみると、都心部側の既存市街地の中でも、より皇居に近い中心部ではほとんど高層建築物は認められない。ほとんどの高層建築が海方向の周縁部、特に隅田川沿いに集結しているのがわかる。ただし、中央区は地区計画によって土地の統合や住宅附置を条件に、日本橋および銀座地区における高層建築物の建設を可能としているので、将来的には中心部においても高層建築が建設される可能性は大きい。

一方、ウォーターフロント地区においては、東京の中心部という利便性の高い場所であるため、ほとんどの広大な土地は床面積を最大限確保できる超高層建築物によって開発されている。また、現状では老朽化した木造住宅密集地域である月島地区も、既存不適格建築物や基準法上建て替え時に床面積の減少する建物が多いため、個別の建物更新はなかなか進まず、土地統合による高層建築物の建設が無計画に行われ、高層建築物によって虫食い状態的に既存市街地部分が侵食されているのがわかる。いずれにしても、土地の利用状況、形態、基準法による建築規制などによって高層建築物が建設される土地が決められており、都心部側の既存市街地とウォーターフロントという大きな区域分けは見られるが、広域的には超高層建築物の建設は統制されていない。将来的な予想としては、前述したように本土側の既存市街地においても高層建築が乱立していくことが予想され、ますます混沌とした都市形態を形成していくものと予想される。

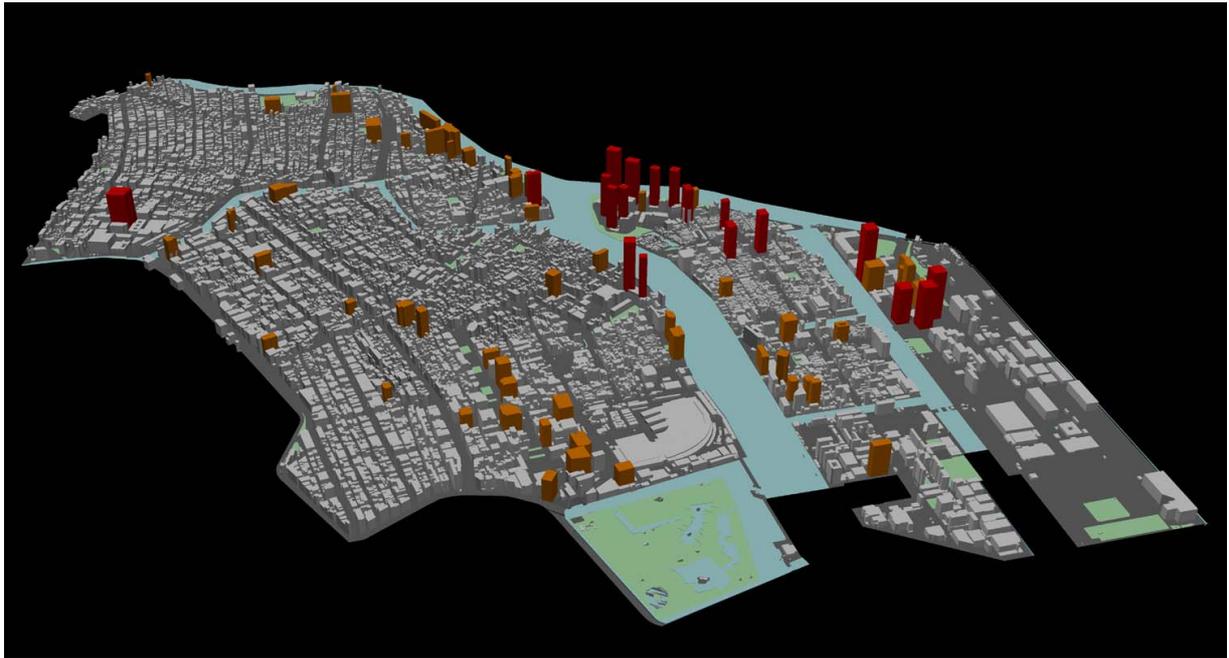


図- 3.4.3.26 中央区高層・超高層建築物分布図

オレンジの建物は15階以上の高層、赤い建物は30階以上の超高層建築物を示す

6) 中央区における都市景観の検証・分析

ウォーターフロントの超高層建築群のアイレベルにおける俯瞰的視点から見た都市景観が図- 3.4.3.28である。この図は隅田川から大川端リバーシティ 21を望んだものである。隅田川の両側に超高層建築物が建っているのであるが、川が超高層の巨大なスケールに十分耐えうるほどの広さを有しているため、ほとんど圧迫感を感じられない。また、川の両側にバランスよく超高層建築物が建てられているため、アイレベルの景観としてもとくに劣悪なものとなっていない。

また、角度を変えて、リバーシティ 21を月島から望んだのが図- 3.4.3.27である。このパースから、近景としての月島の町並みが狭い道路に密集している低層建築物によって構成されているため、その街路景観が景観要素として強く影響し、遠景としての超高層建築

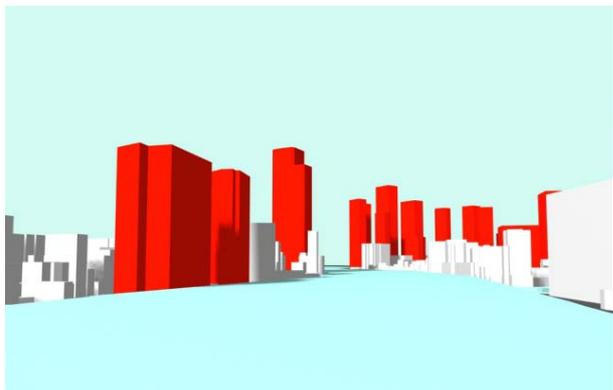


図- 3.4.3.28 隅田川よりリバーシティ 21を望む



図- 3.4.3.27 月島よりリバーシティ 21を望む

群はほとんど都市景観上、影響を与えていないことがわかる。実際の月島では、植木や自転車等、歩行者空間におけるヒューマンスケールをさらに強調するアイテムが雑然と存在しているため、このシミュレーションによるパースよりも、もっと近景に意識が集中するものと思われる。

一方、都心部側の既存市街地であるが、現在のところ、高層建築群に



図- 3.4.3.29 銀座中央通の街路景観

よる景観の変化はほとんど見られな

い。図- 3.4.3.29は銀座の中央通りの街路景観である。これを見ると、現在、すでに中層建築物によって街路空間が囲まれているため、遠景としての超高層建築物が都市景観に与える影響は少ない。従って、都心部側既存市街地において高層建築物の都市景観への影響を考える場合は、遠景ではなく近景に対しての影響が重要となってくる。銀座の場合、中央区の地区計画により、最高高さ 56m まで許容されており、現在の建物のおよそ 1.5 倍の高さまで建設することが可能となった。従って、街路の両側の建築物の高さが高くなることにより、街路空間の閉塞感が増大し、都市環境上、現在よりも劣悪なものとなる恐れがある。更には前述したように、高層化するには土地の統合が必要となるケースが多く、すべての建物が高層化するのは難しいと考えられる。従って、低層から高層まで、さまざまな高さの建物で形成されたばらばらなスカイラインによる街路景観の劣悪化も懸念される。

7) 考察

中央区における都市形態は、高層・超高層建築群の建ち並ぶウォーターフロントと、既存の中層建築物が密集する都心部側既存市街地とで大きな違いを見せている。将来的には地区計画により本土側既存市街地においても高層建築物の建設が増加するものと予想されるが、60mを超える超高層建築物の建設にはまとまった広大な敷地が必要となってくるため、超高層建築物は将来的にもウォーターフロントに集中的に建設されていくものと予想される。

都心部側既存市街地における将来的な高層建築による都市形態への影響を考察すると、土地の統合が幹線道路に面した土地を含んで行われるため、幹線道路沿いに高層建築物が建設される可能性が高い。現基準法の結果もたらされた道路幅員による建物高さの格差は、地区計画においても全体的に建物高さは高くはなるが、その関係は踏襲されることが予想される。更に、地区計画の地区の決め方が基本的に行政区によるものであり、現況の都市形態を尊重するものではないため、地区計画指定地域内と地域外との建築物の高さの格差はより大きくなると考えられる。

次に、日常生活上体感することのできるアイレベルでの俯瞰的都市景観に関して考察し

てみると、まず、ウォーターフロントにおける超高層建築物群はスケールの的にも景観的にも適合しているものと評価できる。ウォーターフロントの都市景観に対してマイナスのイメージを超高層建築物群が持たないとすると、都市環境上水際空間が重要な要素となってくる。超高層建築物の足元の空地と水際の持つ特性を考慮した都市環境上有効な空間を提案していく必要がある。

また、月島からの景観でわかるように、ウォーターフロントの超高層建築物群が既存の町並みを都市景観上破壊することは少ない。逆に月島地区内に建てられる高層建築物群が近景として月島の都市景観に与える影響の方が深刻である。従って、ウォーターフロントにおいても月島のような強い地域特性を保持している既存の市街地を避けて超高層建築物を建設していくことが望まれる。そのためには広域的視点による超高層建築物の建築規制が有効と思われる。

一方、旧市街地においては、遠景における超高層建築物群の影響はほとんどないものの、近景における影響、特に高さと壁面線に対しての影響が大きい。前述したようにすべての建物が高層化されることは考えにくいいため、建物の高さがそろわず、また高層建築物の足元の公開空地により、壁面線も不ぞろいとなることが予想される。さらに将来的にすべての建物が高層建築物となったとしても、日当たりは悪く、ビル風は強くなると予想され、都市環境としては劣悪なものとなる恐れがある。従って、緑のオープンスペースや並木、歩車分離といった、高層建築物の足元における歩行者空間の環境向上がよりいっそう重要となってくる。

ウォーターフロントと旧市街地の両方の都市景観を検証してみると、川や道路など、十分なオープンスペースが存在する場合には近景においても都市景観に超高層建築物群は悪い影響を与えないことがわかる。また、現基準法によって、広い道路沿いには高層の建物が、狭い道路沿いには低層の建物が建てられているため、中央区に限らず、東京においては遠景としての超高層建築物群が都市景観に与える景況はさほど大きなものではない。逆に都市景観の観点では、近景となる建物の低層部におけるヒューマンスケールの維持が重要な要素となっている。従って、平面的なゾーンによる超高層建築物の建築規制と垂直的なゾーンによる建築物のスケールコントロールが良好な都市景観を維持していくために有効な手段となる。まとめると、これからの超高層建築物に対しての都市政策として、既存市街地を尊重したゾーンによる超高層建築物の建築規制の検討が必要で、高層建築物の街並みにおいては足元の空間、すなわちウォーターフロントであれば水際空間、既存市街地であれば都市環境上有効なオープンスペースや緑のネットワークなどを考慮した広域的法制度を模索するとともに、歩行者レベルにおけるヒューマンスケールを確保するためのこれらオープンスペースや水際空間のしつらえや、建築物の低層部分のデザインコードを研究・検討していくことが必要であると思われる。

(4) 東京ウォーターフロントにおける水際空間と周辺環境

1) 背景と目的

近世から日本が近代化過程において、水の交通の拠点となるウォーターフロントの土地は、広大な埋め立て地が手に入れやすいこと、住宅地から工場を隔離できること、水運により材料・加工品の輸出入に便利なことなどの理由により、主として工業地帯として利用されてきた。近年、産業構造の変革に伴い、都市計画の一環として身近な水辺をコミュニティの中に取り入れるという構想のもと、従来の産業や運輸に特化されていた港湾地域を人間の住環境として作り変えて行く動きが盛んになってきている。

東京ベイエリアと呼ばれる地域は、大都市東京を中心とする首都圏の人々の生活と産業活動に必要不可欠な物資を受け入れ、また首都圏で生産される様々な製品などを生み出している一大物流拠点である。しかし、国際化が叫ばれる今日、東京の物流機能が持つ国際競争力に加え、陸・海・空の交通の結節点である東京ベイエリアは、人・モノ・情報の集まる場所として都市の活動を支え、新しい活力や魅力を創造し発信する様々な可能性をもつ空間である。その可能性を最大限に生かすために特色ある豊かな都市空間を創出し、都市全体のクオリティを高めていくことがこれからのウォーターフロント開発の大きな意義であると考えられる。

現在の日本のウォーターフロント開発は、開発地区内で見れば、水際にアクセスできる空間や超高層建築物の足元の空地・緑地など、人々に大きなアメニティを供給していると言える。しかしその一方で、周辺環境を含むマクロ的な視点から見ると、都市再開発に対する制度の整備は十分ではなく、超高層建築物がもたらす都市の景観や既存コンテクストに対しての影響などが再開発時に考慮されることがない。さらに、開発によって生み出された公開空地のしつらえまでは規定されていないため、公開空地の持つ環境インフラとしての可能性が十分にいかされていない事例が多い。

これらの問題点は、80年代以降の日本のウォーターフロント開発が、臨海部の工業地域の衰退という条件をきっかけに、活発な欧米のウォーターフロント開発に触発されて促進された感があり、海外のウォーターフロント開発に比べて明らかに計画年数が短いまま開発が進行した結果生じたと考えられる。そして、ウォーターフロント開発が行われて十数年が経った今、その再評価を行う時期を迎えており、これから行われる開発にとって、その評価が重大な役割を果たすと言えるであろう。日本独自のウォーターフロントの特徴を見出し、新たな可能性を生み出すことで、これからの開発を成功に導くことが重要である。豊かな都市環境を創造していく上で、都市再開発プロジェクトの持つ影響力とその可能性は大きいことは明白であるので、都市再開発プロジェクトの中心を担うウォーターフロント開発の現況を把握し、その可能性を探り、現状の政策に対して提言を行っていくことが重要であると考えられる。

このような背景から本段では、現況のウォーターフロント開発がどのように都市に貢献し、どのような役割を果たしているのかを把握する為に、各開発の水際空間の創られ方と周辺環境に及ぼす影響、さらには法制度と開発の関係性という視点からウォーターフロント開発を分析する。

2) 研究の対象地

研究の対象地としては、中央区の大規模ウォーターフロント開発である“大川端リバーシティ 21”と行政・民間の共同事業による大規模ウォーターフロント開発の初期事例である横浜の“みなとみらい 21”を取り上げ、検証・分析する。

3) 研究の流れと手法

まず、(イ)東京都に保管されている東京湾の航空写真と、各プロジェクトにおける周辺環境を含むアーバンフォーム(都市形態)を、開発前後とその後の3段階の断面(「時系列断面」)を作成することにより、周辺環境へ及ぼす影響を考察する。次に、(ロ)水際空間の創られ方と周辺環境に与える影響の関係性を探る為、各プロジェクトにおいて水際と水際に面する建物低層部の創られ方を断面(「水際詳細断面」)で表し分析する。「水際詳細断面」は、水際から建物低層部空間の創られ方を縮尺300分の1で表すこととした。尚、各建物、水際空間の情報や開発手法等を簡単にまとめた表を併せて作成した。その表の項目を以下で説明しておく。

主用途：水際建築物の主用途

緩和型地区計画：適用されている緩和型地区計画

緩和型制度：建築基準法や都市計画法により適用されている緩和制度

護岸形態：横内憲久が「ウォーターフロント計画ノート」で分類したタイプ

低層部用途：水際建築物低層部の用途

方位：水際空間がある方向

容積率・建蔽率：緩和後(基準)を表す

建物高さ：実際に建設された建物高さ

最高高さ・壁面後退・デザイン制限：地区計画等で決定された事項

水際歩行空間・ボードウォーク：歩行者が歩ける水際の空間の幅

水面までの高さ：歩行面から水面までの距離

樹木高さ：歩行空間に面する樹木の高さ

ベンチ：歩行空間や敷地内にあるベンチの有無

(ハ)最後に、各プロジェクトの分析と開発成立過程(特に地区計画等の種類と適用容積緩和制度を中心として)を照らし合わせながら、開発手法とウォーターフロント開発の特性の分析、考察を行う。

尚、開発成立過程に関する情報を11のカテゴリーに分け、データシートとして見やすく表すこととする。そのカテゴリーの内容は以下に示す。

地区計画	緩和型制度	事業形態	事業主体	平面計画	開発プロジェクト	開発主用途	水域接面	空地率	開発期間	開発年数	規模	開発協議会
再開発	総合設計 (市住総)	市街地 再開発	官民公共同型	自由型	土地利用 転換型	住宅	2面	50%	1985～2001	16年間	28.7ha	有

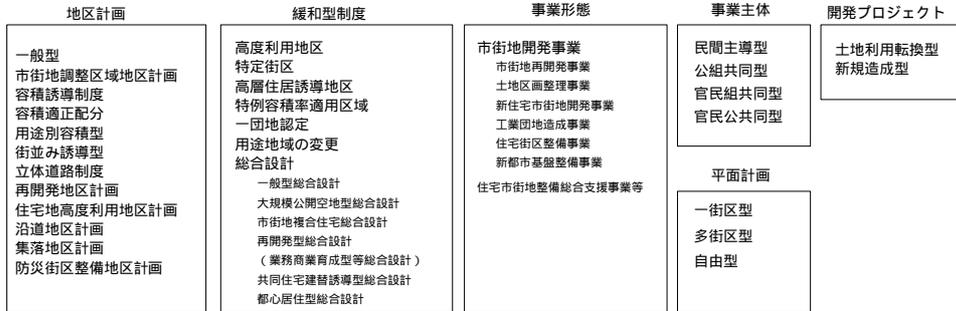


図- 3.4.3.30 開発成立過程データシート凡例

4) 大川端リバーシティ 21

a) 大川端リバーシティ 21 の概要

大川端は、江戸時代から隅田川の河口にあった中州につくられた石川島播磨重工業株式会社（以下 IHI）の発祥地である。その周辺の佃・月島では、IHI の下請け工場や、関連企業などが立地し、築地市場で働く人々が古くから住む木造密集地が存在していた。この IHI の移転に伴い、中央区の問題点である夜間人口の減少を解決する為に、住宅団地として大川端地区の開発をしていくという方針が地権者により決定した。しかしその後、住宅だけでは事業収支が合わず、業務・商業系と住宅系を共存させた「複合市街地」として開発を行うこととなったが、初期方針に従い、住宅の割合が多い再開発事業となった。住宅型の開発の為、超高層建築物の足元のアメニティ空間の質を十分配慮し、比較的親水性の高い空間を創造している。更に緑も足元のオープンスペースに適度に施され、住環境の向上とともに、超高層建築物によって失われた足元のヒューマンスケールを補完している。また、東京都が示すベイエリア全体の計画「東京ベイエリア 21」では大川端地区は都心と臨海部の結節点となるような位置づけをしている。その為、交通インフラの整備を行うことにも力を入れて開発されている。



図- 3.4.3.31 大川端リバーシティ 21

b) 大川端リバーシティ 21 の周辺地域への影響

図- 3.4.3.32は大川端リバーシティ 21 の開発前、直後、現在の周辺を含めた航空写真と断面である。開発される前は隅田川の両岸は低層の工場と住宅とに囲まれていた。まだ開発自体、新しいものであるため、開発直後と現在とではほとんど変化は見られない。

開発前と開発直後を比較してみると、大川端リバーシティ 21 と対称形をなすように隅田川の反対側の川沿いにも超高層建築物が建設されている。これにより、現在見られるようなウォーターフロントに並ぶ超高層建築群という都市形態が形成された。この川を挟んでの対称性は都市形態だけでなく、水際空間にも及んでいる。リバーシティの開発による水際歩行空間が整備されたことにより、対岸の隅田川テラスと対になり、水際空間に一体性が生まれている。この一体となった水際空間と川が超高層建築群に対して適度なスケールのオープンスペースとなっているため、景観としてみても破綻していない。

隅田川両岸に比べ、その後背地については佃を除いて、全体的に建物の高さが高くなっている。この現象とリバーシティ開発とを関連付けることはできないが、佃を除いた全体で建物の更新が行われたことがわかる。その際、敷地の面積の狭い後背地は基準法の範囲内で1層か2層くらいずつ高く建て替えられ、水際の埋立地や、工場地跡の広大な敷地が確保できる場所では超高層建築物が建設されたものと思われる。そのため、リバーシティとそれに近接している佃とでは建物のボリュームに大きなギャップが見られる。ただし、前章で分析したように、十分なスケールのオープンスペースが超高層建築群の足元に確保されているため、超高層建築群は遠景となり、都市景観としてはそれほど劣悪なものとはなっていない。

c) 大川端リバーシティ 21 の水際空間

図- 3.4.3.33は大川端リバーシティ 21 の水際空間の断面図である。水際の歩行空間はほとんど隅田川の水面との差がないので親水性の高い空間となっているが、隅田川の水量が増加したときのために河岸の親水レベルよりも実際の建物のグラウンドレベルの歩行空間は持ち上げられてはいる。

超高層の1階部分にレストランをはじめとする店舗が設けられている場所では、建物側に植栽は設けられておらず、歩行空間と親水空間の境界に9m程度の樹木が植え込まれ、視界的にも空間的にも親水空間と歩行空間を分断してしまっている。ただし、かみそり堤防のように物理的に水際空間を生活空間から隔離するものではない。一方、1階から住宅用との建物は住宅部分のプライバシーを確保するために建物側に植栽が配されており、水際レベルから建物レベルまでが一体の空間として視覚的にも認識することができる。

更に、いずれの場合においても、水際レベルと建物レベルの間にもう一つの歩行空間が設けられており、水際空間と建物の足元空間をつなぐ役割を果たしている。従って全体としては、良好な親水空間として整備されているといえる。

d) 法制度からの検証

大川端リバーシティ 21 は特定住宅市街地総合整備計画（現住宅市街地整備総合支援事

業)によって承認された事業であり、駐車施設、児童遊園、緑地、広場などの公共施設や土地整備事業に対して、国からの補助を受けている。この特定住宅市街地総合整備計画の目的は主要都心部における快適な居住環境の創出や、都市機能の更新、美しい市街地景観の形成等を図りながら、都心居住や職住近接型の良質な市街地住宅の供給を推進であり、大都市地域など既成市街地の工場跡地等において、住宅供給と市街地整備を総合的に行うことである。従って、公開空地において細かい規定はないものの、質については都市環境向上に寄与すべく、一定の判断基準が設けられている。

また、建築物に対しては総合設計制度が適用されており、最大で270%の容積の上乗せが認可されている代わりに、75%の空地率を確保している。更に、この開発地域全体を一敷地とした一団地認定を受けているため、比較的建物の配置に自由度があり、オープンスペースのランドスケープも考慮した一体的な計画が可能となっている。

事業主は民間(三井不動産)主体で、一部住宅公団が関与しているので、事業収支上、低層部に商業施設を設けてはいるが、現在の事業収支計算上、賃貸部分でないオープンスペースなどの共用部分はイニシャルコストとして考慮されることはあっても、そのしつらえについては一切影響を及ぼすことはない。従って、今回のように国から空地を含む公共施設に補助が出ている場合、採算性を度外視した良好なランドスケープが形成されやすいと考えられる。

まとめると、総合設計制度により物理的に空地が確保され、一団地認定により比較的自由どの高い平面計画が可能となった。さらには特定住宅市街地総合整備計画の承認を受け、良質な公共空間を提供することで国からの補助を受けることができたので、歩行者や環境に配慮された水際空間が大川端リバーシティ 21 では創出されたと考えられる。平面計画の自由度、ランドスケープのイニシャルコストの問題が法制度によってある程度解決された事例である。

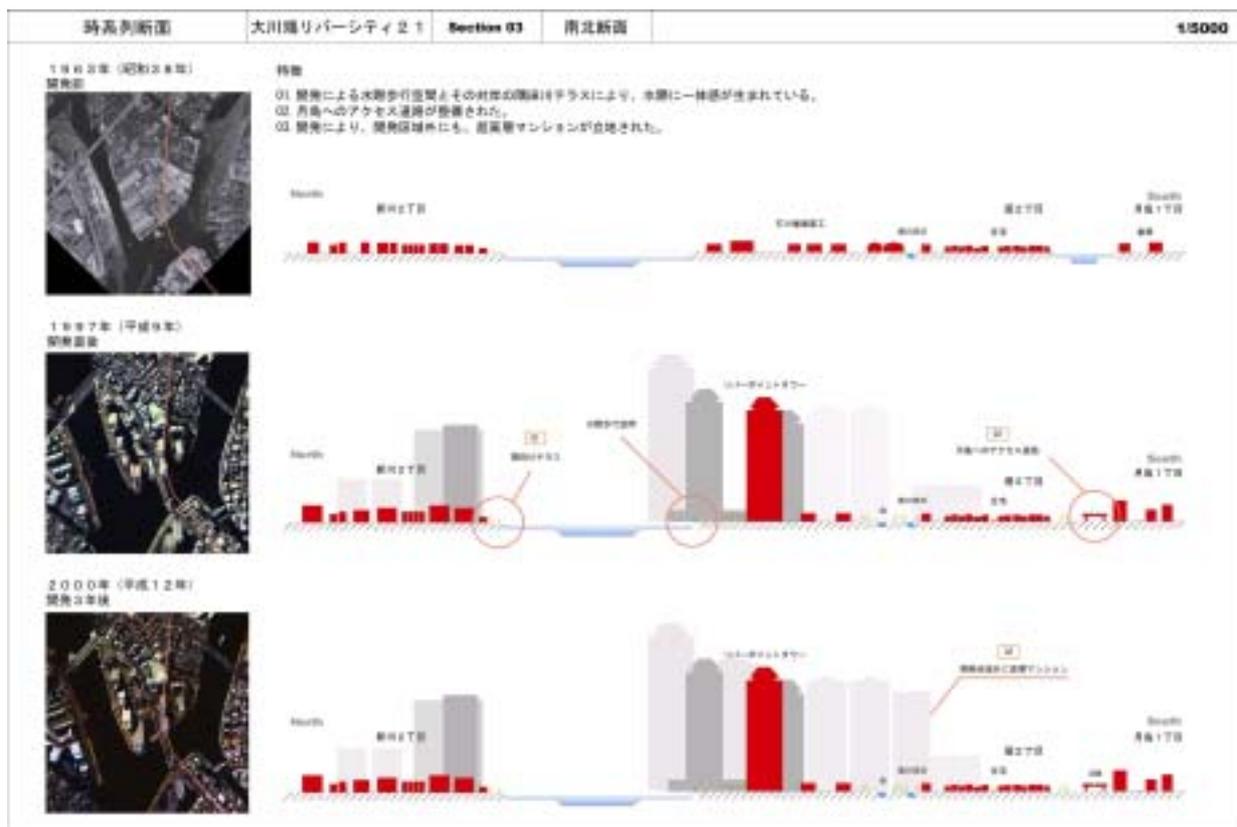


図- 3.4.3.32 大川端リバーシティ21 時系列断面図



図- 3.4.3.33 大川端リバーシティ21 水際空間断面図（商業施設）



図- 3.4.3.34 大川端リバーシティ 21 水際空間断面図 (住居施設)

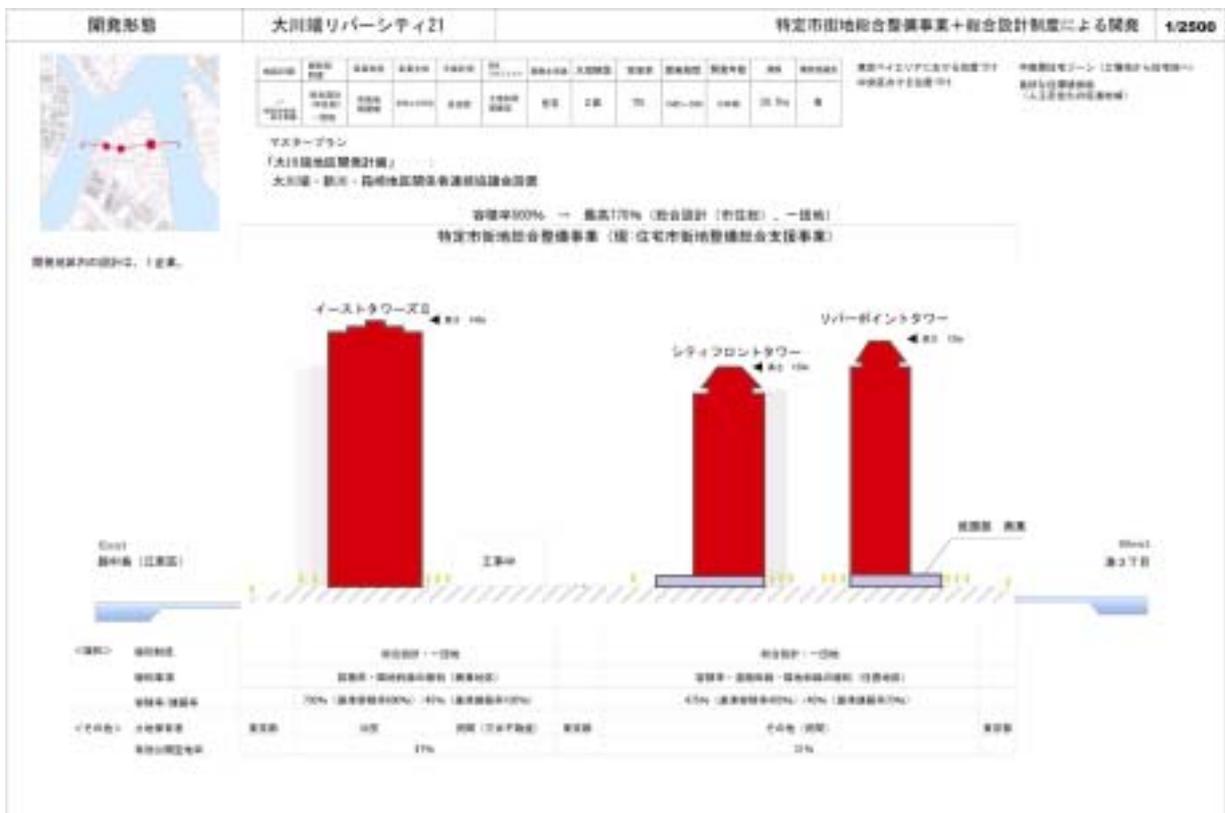


図- 3.4.3.35 大川端リバーシティ 21 法制度の検証

5) みなとみらい 21

a) みなとみらい 21

横浜は、1923（大正 12）年の関東大震災、横浜大空襲、戦後の米軍による接収などいくつもの苦難に遭遇しながら大都市として、またその立地を活かし世界への窓口として、日本の近代化に重要な役割を果たしてきた。しかし、高度経済成長以降、東京のベッドタウンと化した横浜は、急激な人口増加により、道路、公園、文化施設などの都市基盤整備が遅れ、様々な都市構造上の問題を発生した。その問題を解決し、活気ある世界の中の横浜を目指す為、1965 年、横浜市はベイブリッジなどを含む「6 大事業」を発表した。その一つで「都心部強化事業」として開発が進められたのがみなとみらい 21 である。

みなとみらい 21 地区は他のウォーターフロント開発と同じように、新規造成型の開発であるが、敷地が広大なため、一プロジェクトの開発というよりは、新たな街を開発していく方に近い。そのためベッドタウン化による乱開発を防止し、全体の建築や用途をコントロールし、より良い市街地開発を進めるために、マスタープラン、地区計画等が盛り込まれた横浜市市街地環境設計制度(1973 年に制定)制度が横浜市によって制定されている。



スカイライン



開発区域内



ランドマークタワー

図- 3.4.3.36 みなとみらい 2 1

b) みなとみらい 21 の周辺地域への影響

みなとみらい 21 地区は、中央地区の東側半分と新港地区の一部しかまだ完成していないので、横浜ランドマーク、クイーンズスクエア、パシフィコ横浜が立地している街区の断面を参考断面とした(図- 3.4.3.37)。「参考断面」からもわかるように、横浜港に向かってきれいなスカイラインを描き出している。これはマスタープラン、地区計画で定められたスカイライン形成の確保に沿って建設されているためである。しかし、開発地区内であるみなとみらい 21 地区に超高層建築群が集約され、開発地区外である桜木町では中層の建築物が密集している。更に海から桜木町に向けてみなとみらい 21 地区内の超高層建築物の高さが高くなっているため、ランドマークタワーを除き、開発地区の境界線沿いに高い建物が建設され、開発地区内外の建物のボリュームの差をより一層大きなものとしている。従って、境界線上にある交通インフラが大きな都市のエッジとなっている。

水際空間へのアクセスについては、マスタープランによって水際まで 2 層レベルで建物内を通過するアクセス通路が確保されているため、比較的、水際へのアクセシビリティは良好である。また、ヒューマンスケールを逸脱する広大な公開空地を超高層建築物の足元に配置する代わりに、建物内にアトリウムなどの公開空地を設けることによって、水際へ

アクセスする歩行者空間のヒューマンスケールが維持されている。これにより、超高層建築物それ自体が謹啓として意識されることが少なくなり、超高層建築郡の歩行者への心理的圧迫感というものが軽減されている。従って、遠景においても近景においても都市景観に配慮された計画であるといえる。

c) みなとみらい 21 の水際空間

みなとみらい 21 地区の水際空間の断面図が図- 3.4.3.37である。みなとみらい 21 地区では未整備の場所を含め、何種類かの水際空間が存在するが、ここではすでに開発の済んでいる中央地区東側の水際空間を検証してみる。

図- 3.4.3.38を見てみると、海沿いの親水レベルにおける歩行空間面と水面までの高さの差は 0.5m と小さいため、干満の差がある海に対しては高い親水性を生み出している。この断面には現れていないが、開発された市街地ではなく、公園の部分においては潮を内部へ引き入れた実際に海水に触れることのできる親水空間も設けられている。また、海岸線から建物まで十分な引きが確保されているために、急な段差を設けることなく、緩やかに親水レベルから建築レベルまでレベルが持ち上げられている。従って、水際レベルにいる人から建物レベルにいる人を認識することができ、水際から建物までの空間に一体感を生み出している。

水際空間のしつらえとしては、低層部に設けられた商業施設への配慮から、商業施設から海への眺望が最重要視されている。そのため、水際の各建物は海に向かって開かれ、ベンチではなく踏面幅が大きい階段へ人を座らせることにより、商業施設からの海への視界を遮らないように工夫されている。また、海への眺望の妨げとならぬよう、植栽は最小限に抑えられ、照明灯も背の低いものが使用されている。

このように、低層部分の商業施設からの海への視線を遮蔽するものを最小限に抑えているため、階段を除くと、樹木やストリートファニチャー等、ヒューマンスケールを演出する装置はあまり設けられていない。そのため、ややヒューマンスケールを逸脱している感はあるが、親水性の高さが辛うじて歩行者空間としての質の高さを維持している。

d) 法制度からの検証

みなとみらい 21 は、首都圏における核都市として首都機能を分担する先導的プロジェクトとして、21 世紀にふさわしいヨコハマの新しい都心を造る壮大な事業であり、広大なエリアにおいて、多様な用途をもつ都心を長期にわたって開発する事業と位置づけられている。従って、地権者でもある横浜市と民間地権者の共同により設立された(株)横浜みなとみらい 21 の監修のもと、開発区域全体の将来ビジョンを示す地区計画として昭和 63 年、「みなとみらい 21 街づくり基本協定」が締結された。この基本協定によって(1)建物用途、(2)建物形態(スカイラインおよび壁面後退)、(3)敷地規模、そして(4)公共空間・施設(ペDESTリアンネットワーク、駐車施設、屋外広告物)が規定されている。

一方、建築物に対しては、横浜市市街地環境設計制度によって、細かく形態が規制されている。この横浜市市街地環境設計制度は総合設計制度に類似したもので、有効公開空地面積に応じ

た容積率の上乗せを認可している。

事業主は民間であるが、「みなとみらい 21 街づくり基本協定」を遵守することを条件に土地を買い上げ、開発するという形態をとっている。従って、民間主体の開発ではあるが、良好な都市環境を創造するべく締結された基本協定のもと開発が進められている。しかし、バブル崩壊後の日本経済の沈静化による民間開発の減少と、基本協定による建築規制により、みなとみらい 21 地区の西側はほとんど更地のまま残されている状況である。この状況は、経済が復興し、さらにみなとみらい 21 の開発によって生み出された都市アメニティへの評価が上がれば、将来的には改善されるものと期待される。

まとめると、大川端リバーシティ 21 と同様に、物理的には横浜市市街地環境設計制度により物理的な空地が確保され、行政が主体となって民間地権者との共同により締結された地区計画「みなとみらい 21 街づくり基本協定」により、民間事業でありながら良好な都市環境や水際空間を創出する開発となっている。

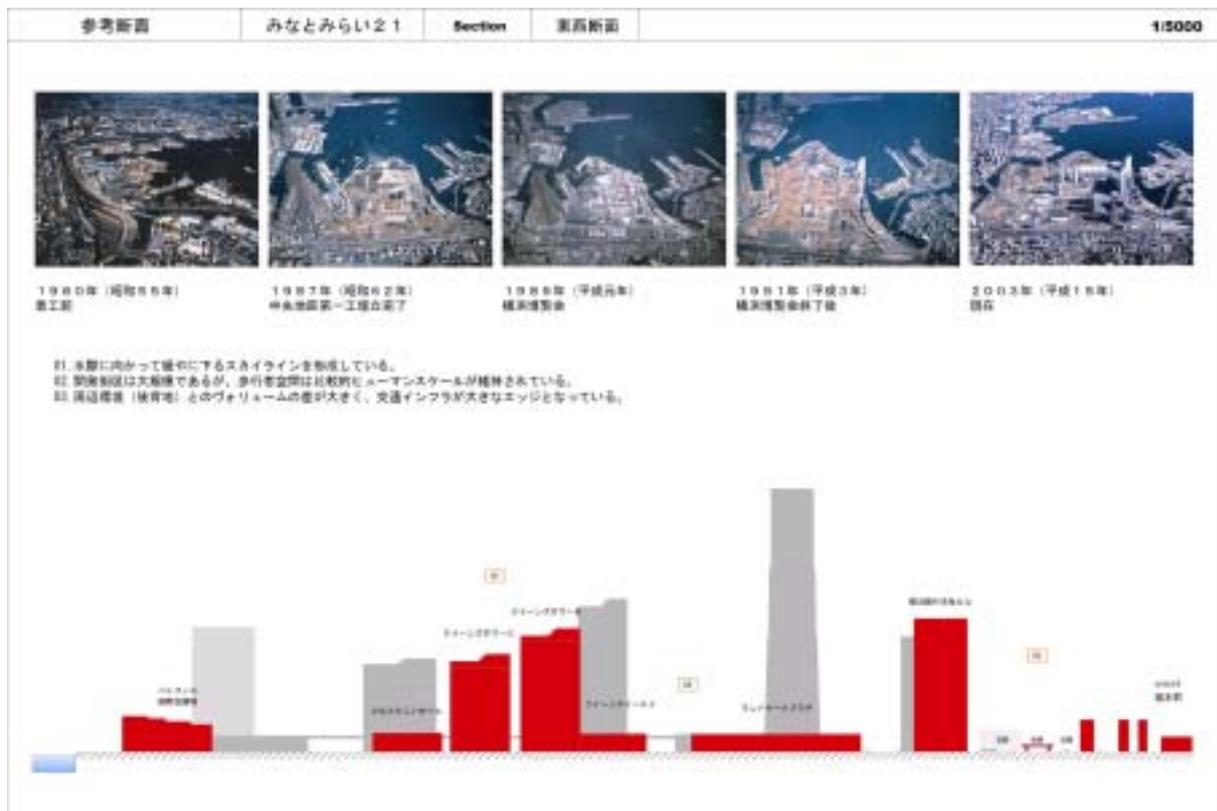


図- 3.4.3.37 みなとみらい 21 時系列航空写真と鑽孔断面図



図- 3.4.3.38 みなとみらい21 水際空間断面図

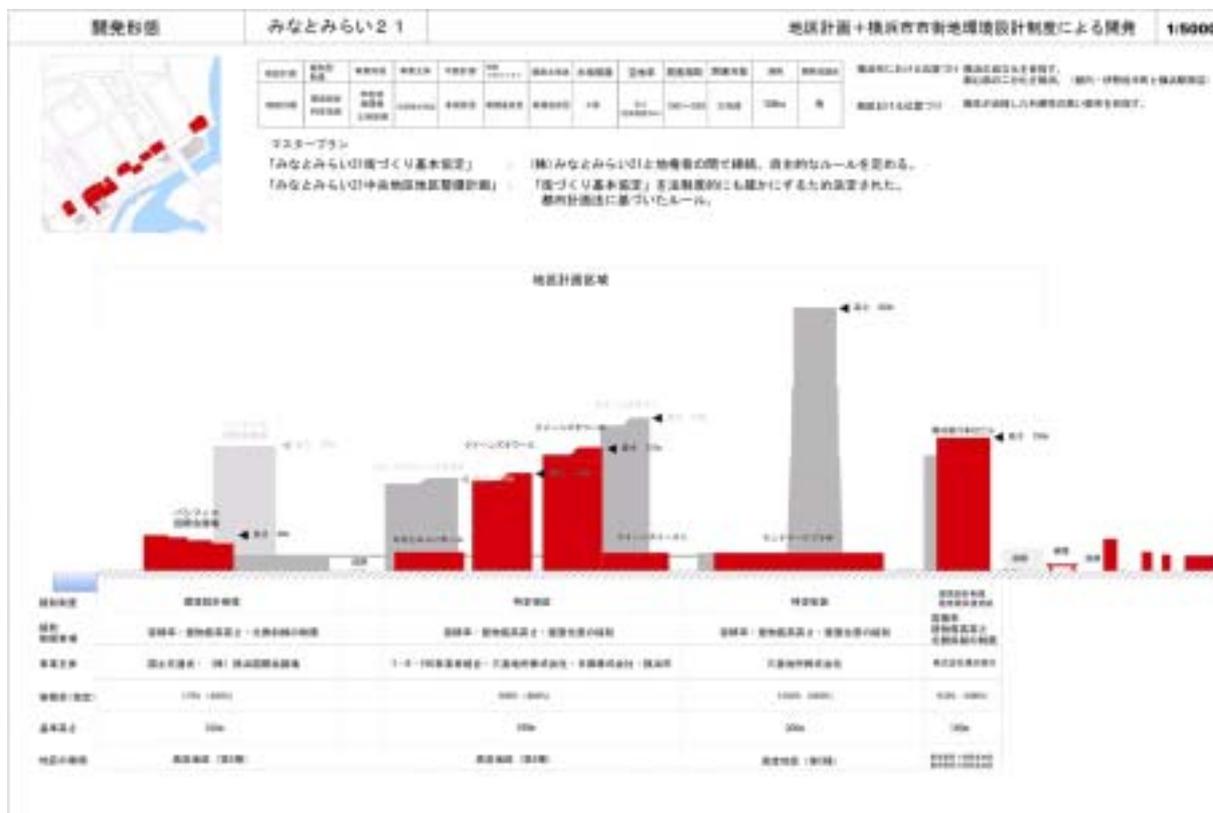


図- 3.4.3.39 みなとみらい21 法制度の検証

6) 考察

今回、大川端リバーシティ 21 とみなとみらい 21 の二つの事例しか検証してはいないが、ウォーターフロント開発における水際空間を含めたオープンスペースの作られ方は市街地開発型の公開空地に比べ、歩行者への配慮がなされており、環境向上に貢献しているといえる。これは近年、国際都市化が進むにつれ、生活の質（Quality of Life）への関心が高まり、都市アメニティをいかに創出していくかが事業を成功させるためにも重要なファクターとなってきたことが背景としてあげられる。そのため、都市アメニティとしての高いポテンシャルを保持する水際空間が積極的に利用されたと考えられる。

もうひとつの理由として、通常の特定期限制度や総合設計制度より高次に位置するマスタープラン、すなわち大川端リバーシティ 21 における「特定住宅市街地総合整備計画」とみなとみらい 21 における「みなとみらい 21 街づくり基本協定」の存在をあげることができる。ウォーターフロントには国や地方行政体が所有する土地が多く、海という公共性の強いアメニティを享受できるため、既存市街地に比較してかなり強制力の強いものとするのが可能である。このマスタープランは建築基準法のような数値による規定ではないので実際の空間の形態を規定するものではないが、大きな枠で空間の質をコントロールすることに成功している。また、地権者、事業主体によって、インセンティブの提示内容が検討され、これらマスタープランの効用性を強めていることにも注目したい。

一方で、ウォーターフロント開発は既存市街地開発に比較して強い規制によってコントロールされるため、これまでの収益法による収益の査定では採算が合わないと判断される危険を孕んでいる。そのためみなとみらい 21 では西側の地区では民間への街区の売却がなかなか進まない状況となっており、現在、暫定的に仮説的な商業施設が建設されている状態である。しかし、大川端リバーシティ 21 やみなとみらい 21 といった都市アメニティ型ウォーターフロント開発の集客能力を鑑みた場合、これまでの収益還元法では重要視されていなかった都市アメニティの、環境だけでなく不動産価値へのプラス因子としての効用も検討されるようになるものと期待される。

既存市街地型開発に比較し、ウォーターフロント型開発がある程度、都市環境向上へ寄与していることは認められたが、水際空間や歩行者レベルにおけるオープンスペースのしつらえについては改善の余地がある。リバーシティのような住宅型開発においては歩行者優先の外構計画がなされているが、みなとみらい 21 のように商業型の場合、外部空間が低層部の用途により計画されている。そのため、外部空間を利用する人の視点でこのオープンスペースを検証した場合、必ずしも水際空間の都市アメニティとしてのポテンシャルを十分に引き出しているとはいえない。

また、大川端リバーシティ 21 とみなとみらい 21 は面的な開発ではあるが、東京湾や首都圏といった広域的な視点によるウォーターフロント開発の位置づけを今よりも明確に示すことが必要である。現在、マスタープランによって、比較的良好な水際空間が形成されているが、いずれも個々の開発の枠組みを超えたものではなく、相互間の補完効果や、環境インフラのネットワークといったものの将来的なビジョンが明示されていないことから、環境インフラの広域的整備も将来的な課題である。

(5) まとめ

本研究では東京都心部における超高層ビル再開発事業の現状を調査し、1) 現況公開空地の都市への貢献度、2) 超高層ビルの都市景観への影響、3) ウォーターフロント開発の都市環境への貢献の3つの観点より分析・考察を行い、特に法制度との関係性から問題点を指摘し、都市環境再生への提案・提言を行った。

一連の研究の最終目的は都市における統括的な価値 (Comprehensive Value) の向上による生活の「質」(Quality of Life) の改善である。戦後、経済的後進国として西欧の先進諸国に追いつくべく、経済優先主義による都市開発が繰り返されて来たが、21世紀に入り、成長期から成熟期を迎えた東京において、従来の20世紀型のスクラップアンドビルド型都市開発からストック形成型都市開発への移行が最重要課題のひとつとしてクローズアップされつつある。そのためには、都市環境整備、特に環境インフラの再生へと誘導していくためのマスター・プログラムを検討していくことが必要であると思われる。

環境インフラ再生のためのマスター・プログラムは1) 環境整備地区を指定し、2) タイムスケープを考慮した整備事業計画を策定し、3) 実現のための仕組みを提示する。環境インフラの再生事業はコストから見ても、その規模から見ても、長期的展望を前提とした計画が必要と思われる。このマスター・プログラムを事前に策定することで、評価基準としての最終目標が設定され、仕組みが確立されるので、タイムスケープ(時間経過)の中でさまざまなプレイヤーの参加を可能とし、最終的に地域全体の価値の向上を可能にするものと考えられる。

本研究では環境インフラ再生に貢献する要素の中で特に公開空地に焦点を当て、新たな政策提言を行ったが、最終的には環境工学、都市防災、都市交通など、都市の全体的な質を向上するための統括的なマスター・プログラムの事前策定に寄与していくものと考えている。

4 自然共生型国土形成シナリオの検討

4.1 東京湾流域を対象にしたケーススタディ

4.1.1 課題の整理

(1) 水物質循環の観点から

東京湾流域圏においては、高度経済成長期以降、首都郊外の土地開発が活発に進められることにより、生物の生息生育環境が大きく変質してきた。水環境については、図-4.1.1.1に示すとおり、東京湾の水質悪化が河川と同様に1950年代後半から顕著になり、1970年頃にピークに達した。東京湾に対しては、流域からのインパクトに加えて、干潟の埋め立てを中心とする直接改変のインパクトも作用しているが、東京湾の水質改善には流域から発生する負荷量の削減の取り組みが不可欠である。

そこで流域からの汚濁負荷量の削減を目指して、1978年にはCODの総量規制制度が導入された。現在は、2009年度を目標とする第6次総量規制のための汚濁負荷量の総量の削減に関する基本的な事項を定める総量削減基本方針の策定が環境省により進められている¹⁾。また公共用水域の水質環境基準を達成維持するための下水道整備を効果的に実施することを目的として、東京湾流域下水道整備総合計画が平成24年を目標年次として平成9年に策定されている²⁾。このような法的な規制や計画は水質改善に大きな役割を果たしてきたが、栄養塩である窒素、リンの流入による植物プランクトンの増殖による有機物の増加による赤潮や青潮の発生が定常化する状況が続いている。

このように、東京湾流域圏には、流域の自然システムに負担をかけながら都市的活動様式を拡大させていくという流域圏に関わる問題の構図が端的に現れており、自然共生型流域圏の形成に向けた施策検討に最も適した対象の1つである。

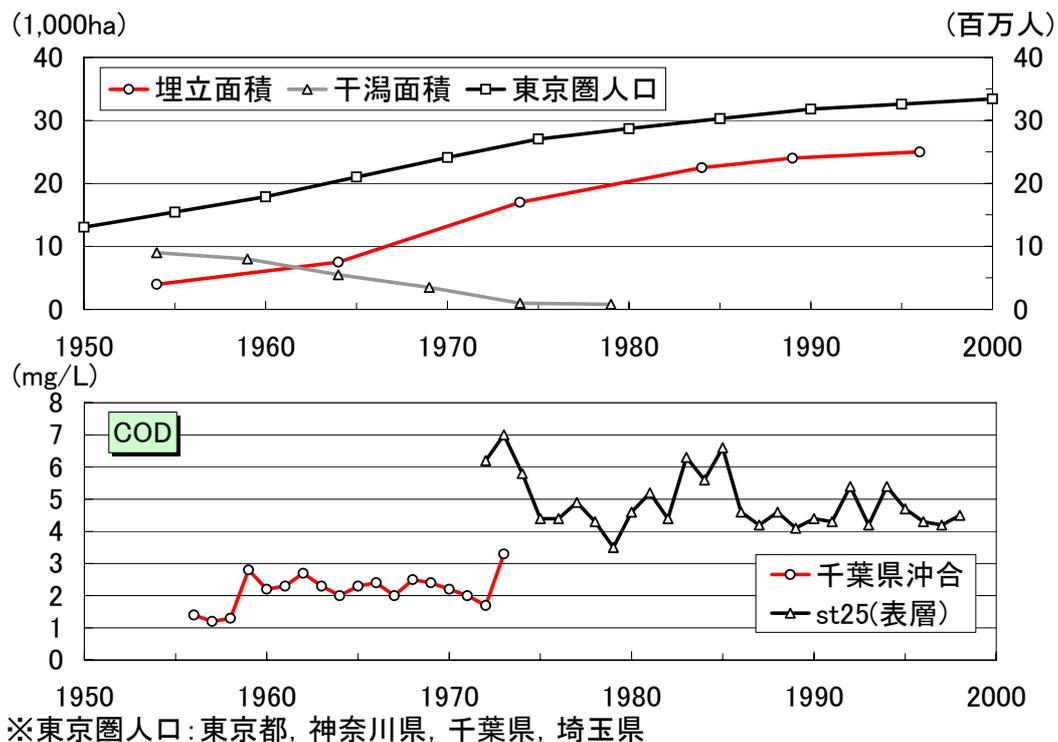


図-4.1.1.1 東京湾流域の人口、干潟面積、埋立及び水質の経年変化³⁾

(2) 陸域生態系の観点から

明治以降、首都圏をはじめとする大都市圏では、人口の急増とともに土地利用の開発が進み、山林や田畑など農地が減少し、都市の中心部だけでなく都市郊外まで都市化が進んだ。このような土地利用の変化により、農地、山間地が育んできた多様な生物のすみかは減少あるいは劣化している。また現在残存している農林地についても宅地や舗装された道路により分断が進み、そこに生息する生物の往来を妨げる状況が見られる。また、農林業の衰退と相まって、山林や農地の管理放棄が進むことにより、景観や生物多様性の劣化が懸念されている。

したがって、生物の生育生息環境を確保するためには、森林および里地里山の管理体制を整備するとともに、生物生息場を考慮した農地・公園などの適正配置を行うなどエコロジカルネットワークの保全・再生技術を開発、適用していくことが求められる。

(3) 水域生態系の観点から

河川においては、河岸のコンクリート化、直線化により動植物の生息環境の消失、分断化が生じ、横断工作物等の設置に伴う魚類等の遡上が阻害され、河川と水田・用排水路等の分離に伴い、生息・生育環境が悪化している。また、ダム等の建設・運用に伴う流況の平滑化及びそれに伴う土砂移動、河道地形の変化より、河道内の生態系に変化が生じている場合がある。

一方、沿岸域の埋立の進行により、藻場・干潟や浅場が消失し、水生植物の生育適地が減少するとともに、富栄養化の進展により藻類の著しい増殖や汚濁底質における酸素消費による DO の大幅な低下が生じ、魚類や底生動物の生息環境が悪化している。また、藻類の増殖等による懸濁物質の増加は透明度を低下させ、沈水性の植物の生息環境を悪化させる恐れがある。1990 年代以降、埋立等、場の変化量は小さくなったものの、海域水質は横ばいであり、アサリ等の水産生物の漁獲量が低下している。



図- 4.1.1.2 東京湾の海岸線の変遷

(4) 熱環境の観点から

ヒートアイランド現象は 100 年以上前から観測されてきた現象であり、近年ますます深

刻な問題となっている。気象庁によれば、東京都の年平均気温はこの100年で約3度上昇したと言われている。しかし空気中の二酸化炭素やメタンといった温室効果ガスの増加による地球温暖化に起因する気温上昇量は100年間で約1度と考えられており、いかに東京の気温上昇が深刻であるか伺える(図-4.1.1.3)。こうした現象は都市によく起こるもので、周辺地域に比べて数度気温が高くなり、等温線を描くと地図上の等高線に似ていることからヒートアイランド(熱の島)と呼ばれる。

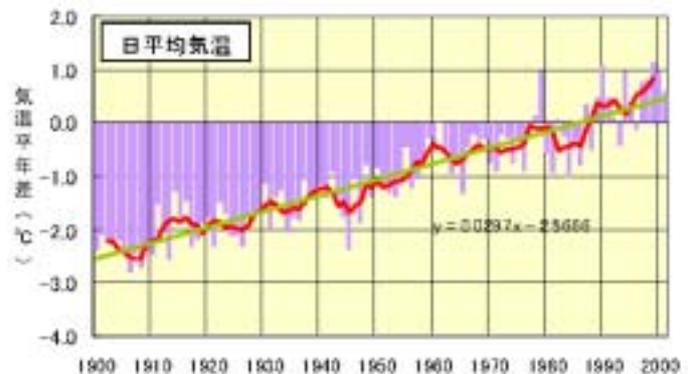


図-4.1.1.3 東京の年平均最低気温の経年変化⁴⁾
(1901~2000年)

この都市気候を支配する主なものとしては、次のことが考えられる。

- ◆ アスファルトの道路は昼間の太陽の熱で深層まで高温となり、夜間に蓄積された熱が放出される。
- ◆ 人工被覆の増加により緑地面積等が縮小されることで、植物や地表面からの水分蒸発量が減少し、蒸発潜熱が減少する。
- ◆ 都市への人口集中により各種のエネルギーの使用量が増え、人口排熱量が増加する。高層建築物などの壁面で多重反射するため、都市の構造物が加熱されやすくなる。

(5) 水物質循環に関する過去再現の試み

1) 過去再現の試みの意義

閉鎖性水域の水環境の変化は長期にわたることが一般的である。大局的な政策検討の方向性を検討する上で、水環境が良好であった時期から悪化に至るまでの変遷過程を再現することは重要であり、これまでも過去から現在までの水質再現の試みが行われている⁵⁾⁸⁾。

これらの検討において、流域からの流入負荷量は①原単位法、②流入河川のL-Q式と流量、③平均流量と平均水質、などの方法により算定される。これらの手法の問題点としては、面源負荷や合流式下水道越流水のような雨天時汚濁負荷の流出形態を十分に考慮していないこと、全ての流入河川については評価していないこと、②の方法については、L-Q式を平水時の実測値に基づき作成しているために、降雨時の流入負荷を過小に評価されている可能性があること等が挙げられる。分布型の流域水物質循環モデルは上記の事項をある程度考慮でき、また、流域の土地利用形態や産業構造、人口分布の変化を考慮した流域から閉鎖性水域までの長期的な環境変遷を総合的に分析する上で有用である。

今後の政策検討に向けた方向性の議論を深める上で、大局的に水環境の変遷を理解することが必要であると考え、本論では3.2.1で構築した東京湾に適用した流域水物質循環モデルを用いた過去から現在までの東京湾と流入河川の水質再現を試みた。この結果をふまえて、水環境悪化の原因の理解に資する情報を得る。

2) 東京湾流入河川における過去再現

過去の再現計算を行う年度は東京湾の水質がまだ良好であった 1950 年、水質悪化が著しかった 1970 年および水質汚濁防止法制定後の 1976 年とし、表- 4.1.1.1 に示す流域条件および原単位のもとで各設定年度の年間計算を行った。なお、過去再現計算時の条件設定に際しては、極力、再現年当時のデータ収集に努めたが、当時の知見がない条件については、近傍の年の情報がある項目については内挿あるいはトレンドから求め、また、それらの知見も無く、水物質循環へ与える影響が大きいと考えられる項目については現況と同じ値を設定した。

はじめに、東京湾への流入負荷量の変遷について、運輸省港湾技術研究所等による⁹⁾ 既往調査結果を集約した値(図中の灰棒)とモデルによる計算結果(図中の丸)を比較したものを図- 4.1.1.4 に示す。流入負荷量は、全体として既往調査結果とほぼ同程度の値が得られたと言える。

次に、モデルによる過去の河川水量および河川水質の再現性を調べるため、河川流量 10 地点、河川水質 4 地点について計算値と実測値の比較を行った(観測実績がない地点、項目を含む)。その例として、利根川・栗橋地点における河川流量について 1976 年および 1950 年の再現計算結果の年間変動を図- 4.1.1.5 に示す。1976 年については良好に再現できているが、1950 年は低水時の再現性が不十分である。この理由としては当時の雨量観測地点数が疎であり、利根川上流域の山間部は降雨量の少ない前橋地点のデータを用いているために、春の融雪期及び夏の出水後において流量の再現性があまり良好でないことが考えられる。このことは現象のモデリングの解像度向上とモニタリングデータの充実が不可分であることを示唆するものである。この他、1950 年については 1976 年の土地利用データを用いて計算していることの影響も考えられる。

次に荒川・寄居地点、大芦橋地点における河川流量について 1976 年の再現計算結果の年間変動を図- 4.1.1.6 に、荒川・笹目橋地点における河川水質について 1976 年および 1950 年の再現計算結果の年間変動を図- 4.1.1.7 に示す。COD 値については、1976 年 6、7 月に実測と異なる傾向を示す部分がみられた。その他の流量および水質については、現況再現と同様に過去再現についてもモデル計算によって河川流量・水質の時間変化特性を概ね再現できている。実測データが得られた他の地点、年次においても概ね同様の結果が得られた。1950 年では流量は栗橋地点のみで、水質については観測地点が全くないために検証を行うことはできないことから、改めて観測データの重要性が浮き彫りになったといえる。以上から、過去から現在までの東京湾における水環境の変遷の理解に資する情報を得られるものと判断した。

表- 4.1.1.1 現況および過去の設定条件

	現況(2001年)	1976年, 1970年	1950年
流域地形等	50mメッシュ標高データ, 国土数値情報(1981)		
河川流路	50mメッシュ標高データより落水線計算		
流域分割	流総(1997)をベースに50mメッシュ標高データより作成		
気象データ	アメダス観測所・測候所日データ(各年)		
人口	地域メッシュ統計(2000)	国勢調査(調査年以外は線形補間)分布は現況のメッシュ人口に比例	
上水道			
取水量	水道統計(2001)の県別一人あたり水道取水量から, 地下・地表別取水量を算出し, メッシュ人口を乗じて算定	一人あたり使用量経年変化(水資源白書)から現況との比率を求め, 県別一人あたり取水量を算出し, メッシュ人口を乗じて算定 地下・地表別取水割合は現況と同じとするが, 1950年の埼玉, 群馬, 茨城, 栃木は全量を地下取水	
大規模取水	関東地建水利権一覧(1996)の水利権5m ³ 以上の堰を対象	東京, 神奈川, 千葉の大口取水は現況と同様	
処理形態別人口			
下水道	下水道統計(2003)(人口集中メッシュに割り振る)	現況との線形補間により推定(処理場の有無は下水道統計の稼働開始年より)	
下水道以外	県別処理形態別人口割合(H14環境統計集)を下水道以外人口に乗ずる	全国ベースの処理形態別人口割合の経年変化(世界水フォーラム資料2003 ¹⁰)を, 下水道以外の市町村人口に乗ずる	
下水処理場			
処理水量	市町村別人口に下水道普及率および一人あたり水道使用量を乗じて算出		
処理水質	実測放流水質(2001)		
土地利用	国土数値情報(1997)	国土数値情報(1976)	
農業用水			
取水量	田・畑面積に期別減水深を乗じて算出, 水資源白書(2003)から地表水・地下水利用割合を算定		
大規模取水 給水範囲	関東地建水利権一覧(1996)の水利権5m ³ 以上の堰を対象 かんがい用水地域現況図(1973), 利水現況図(1981)		
工業用水取水量	工業統計表(2001)をもとに, 都県別の地下水取水, 地表水取水を算出し, 工業統計メッシュ(2000)のメッシュ毎製造品出荷額に比例するとしてメッシュに分配	工業統計の出荷額の現況との比率から算出したメッシュ毎製造品出荷額と淡水使用量から算出 地下水取水. 地上水取水比率は現況と同様	
家畜頭数	農林業センサス(2001)	農林業センサス(1950~)の県別頭数を現況割合で割り振る	
負荷量原単位			
生活系	流総指針(1999)	流総指針(1974)	
工業系	細分類別排水量原単位および排水水質原単位(流総指針(1999)), 淡水使用量および工業出荷額(工業統計)をもとに算出し, 水質規制値(東京都上乘せ基準等), 除去率等を考慮して決定		
家畜	BOD: 流総指針(1999), COD, N, P: 東京湾流総(1997)		

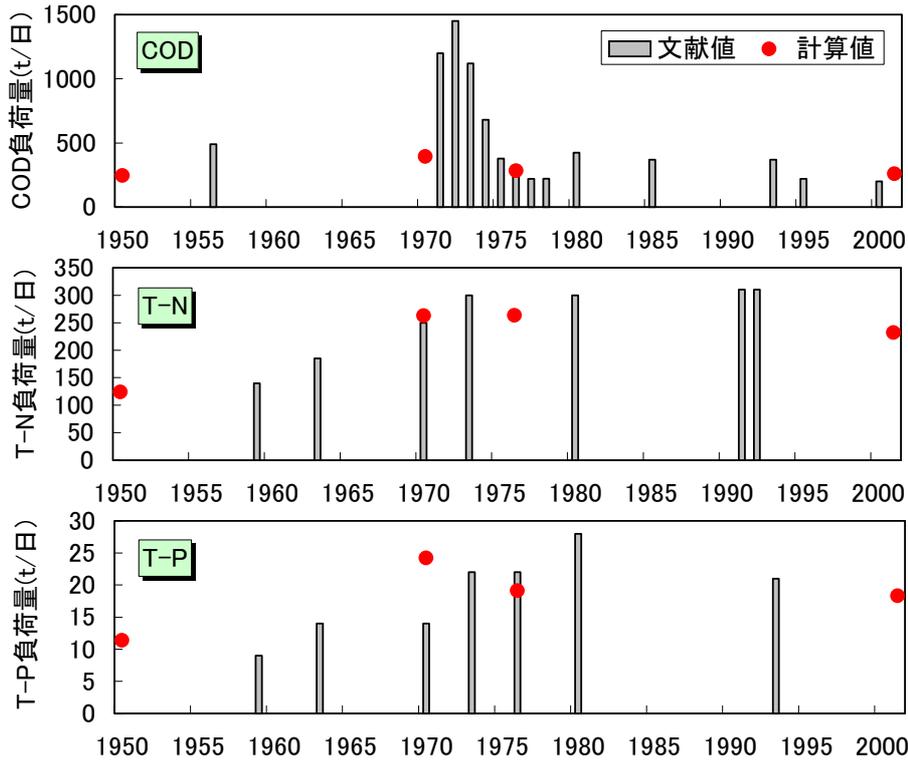


図- 4.1.1.4 東京湾への流入負荷量の変遷(棒グラフの値は文献9) による)

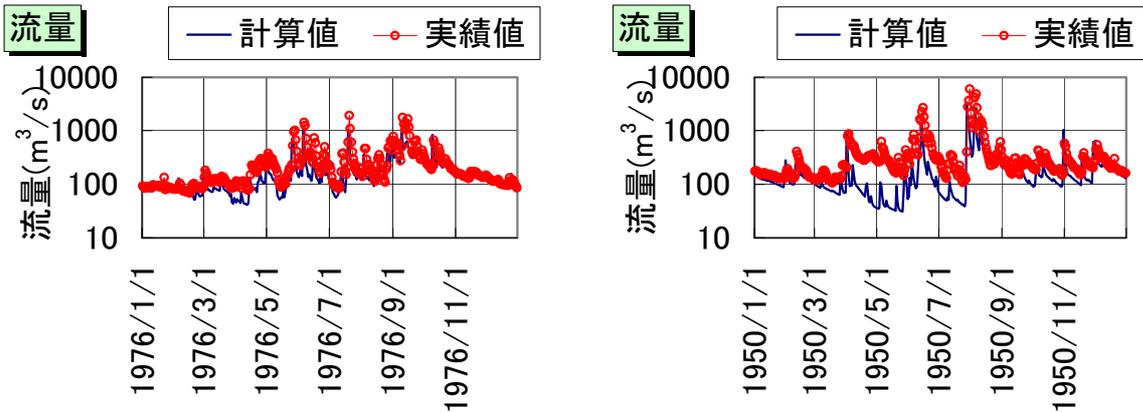


図- 4.1.1.5 河川流量の実測値と計算値(利根川・栗橋地点)
(左：1976年、右：1950年)

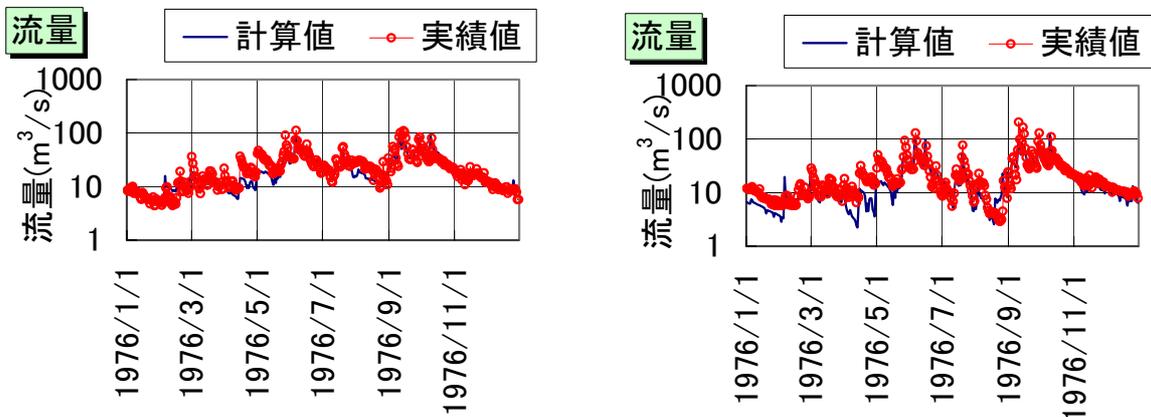


図- 4.1.1.6 河川流量の実測値と計算値(荒川・1976年)(左：寄居地点，右：大芦橋地点)

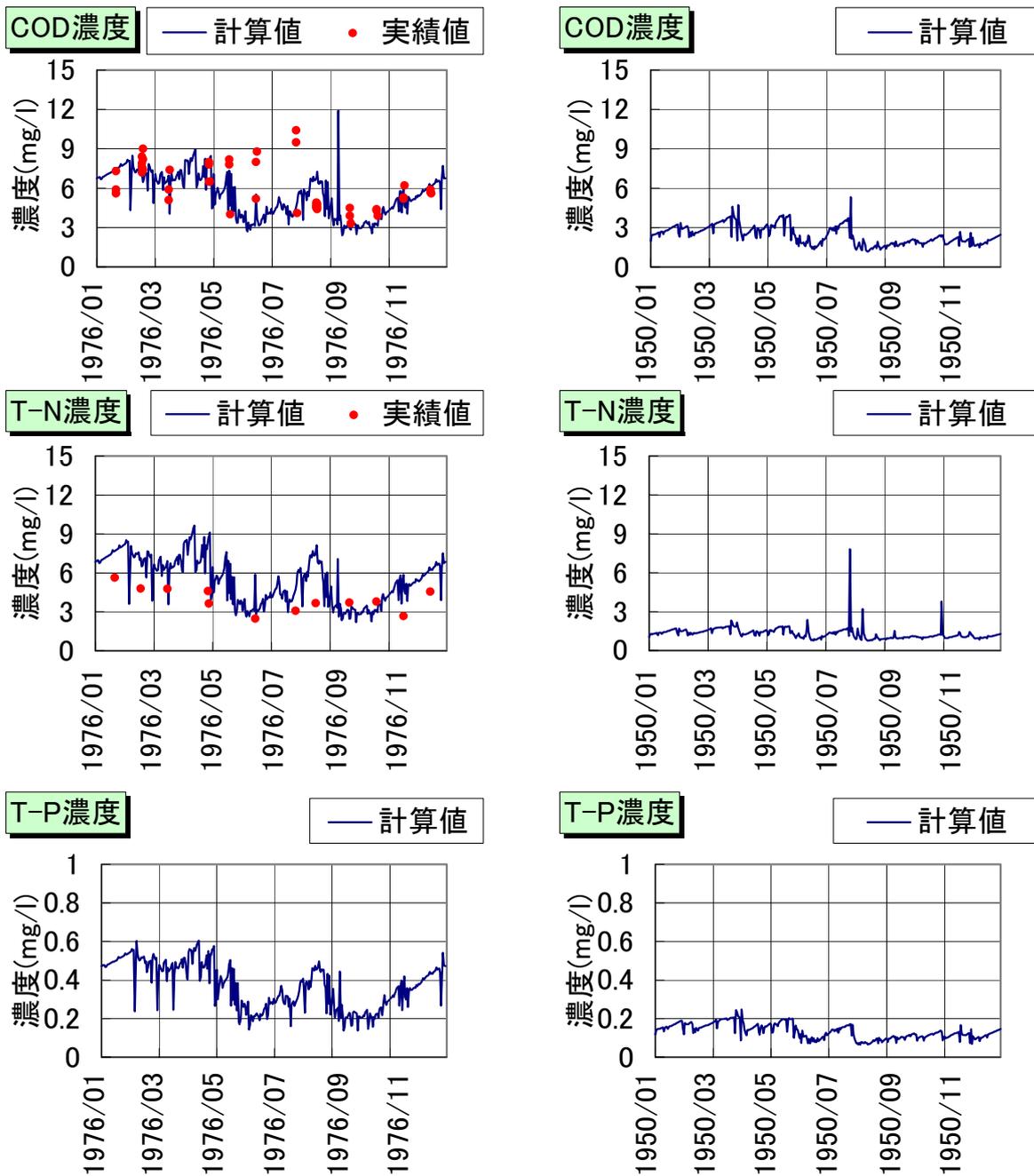


図- 4.1.1.7 河川水質の実測値と計算値(荒川・笹目橋地点)(左：1976年、右：1950年)

また、主要河川の水質測定地点における河川水質の経年変化について、図- 4.1.1.8に実測値(図中の実線)と計算値(図中のプロット)の比較を示す。実測値は年間の測定値の平均値、計算値は1年間の日平均水質の平均値である。CODについては計算結果は高水時における水質も含めた平均値で評価していることもあり、鶴見川などでは実測値よりも高めに出ているものの、計算結果は実測値と同様のトレンドを示している。T-Nについては実測値が全体的に増加傾向にあるのに対して、計算結果は1970年をピークにゆるやかな減少傾向をみせており、過去からのトレンドと再現性については課題が残されている。なお、T-Pについては、現況の計算結果は概ね実測値と一致している。

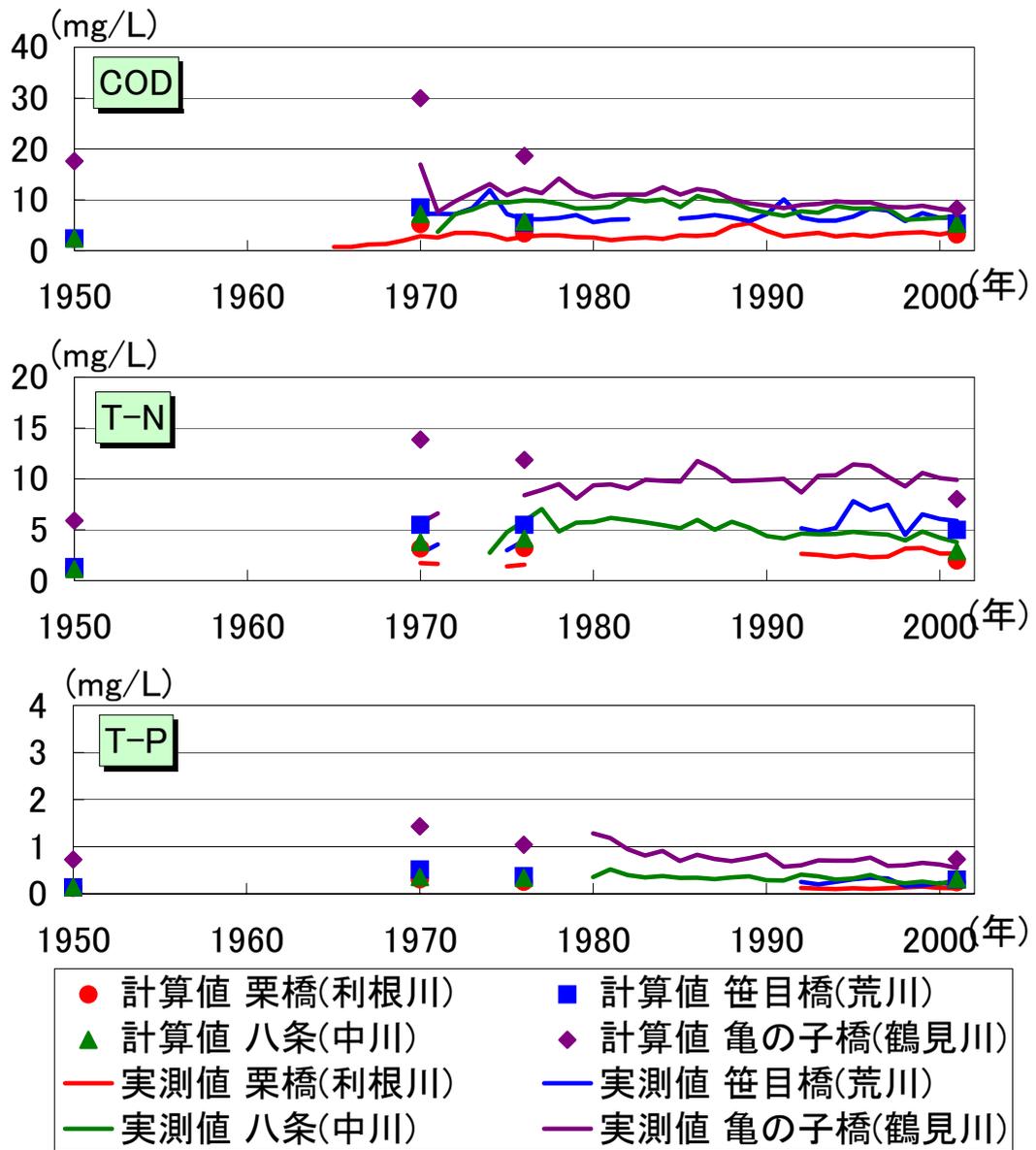


図- 4.1.1.8 東京湾流入河川の流入水質の変遷

3) 東京湾における水環境悪化の変遷の把握

流域の水環境の変遷による東京湾の水質変化を再現するために、流域モデルによる流入量、流入負荷量の計算結果を用いた東京湾の水質再現計算を行った。過去再現を行う際の境界条件は、沿岸地形は東京湾における埋め立ての変遷データ⁹⁾をもとに、潮位は海上保安庁 HP の潮汐推算をもとにそれぞれ当時の条件を設定し、その他の条件については現況と同じ設定で計算を行った。なお、文献⁹⁾から当時干潟があったと考えられる沿岸域については干潟の浄化機能を現況と同様に無機態窒素の溶出速度に反映させている。図-4.1.1.9に湾内の公共用水域水質調査地点における COD 実測値(年平均値)の経年変化(図中の実線)とモデル計算による年平均値(図中のプロット)の比較を示す。また、図-4.1.1.10に COD が最も高い値を示す7月における COD の計算結果の平面分布を示す。水質が良かった過去から 1970 年代前半に水質が悪化し、その後改善し現在に至るといふ水環境の大局的な変遷については、概ね再現できたと考えられる。

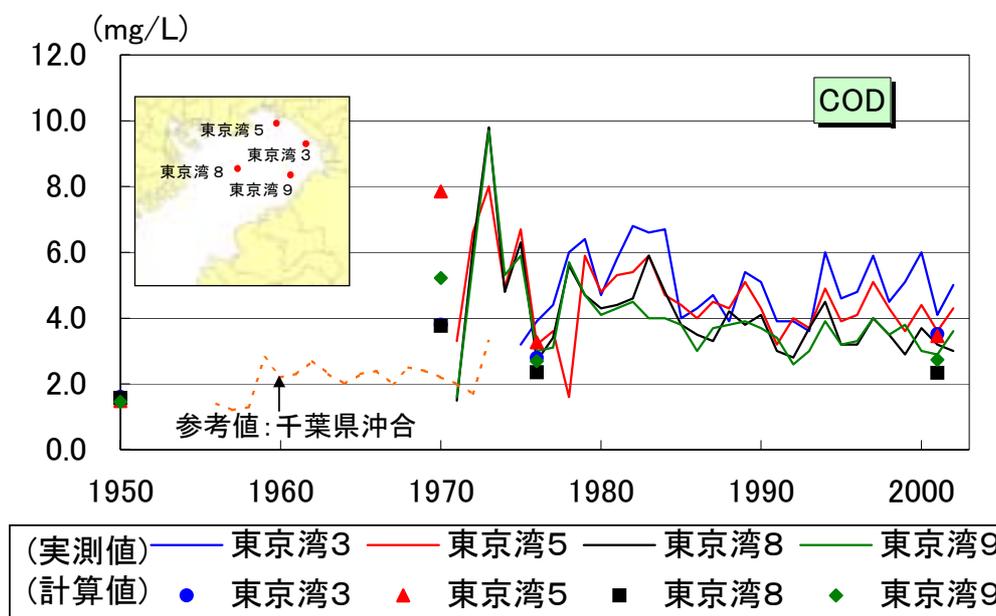


図- 4.1.1.9 東京湾の実測水質の変遷と計算結果との比較(COD)

(参考値は文献 3)による)

4) 水環境の悪化要因の理解

以上の過去および現在の再現結果を用いて、東京湾において水質が悪化した原因について、過去と現在の負荷量比較から検討する。東京湾流域における発生負荷量を内訳別に示し、その変遷を整理したものを図-4.1.1.11に示す。各水質項目ともに 1970 年の工業系負荷が非常に大きな値を示しており、同時期の東京湾流入負荷が増大した原因が工業系の発生負荷にあることが分かる。また、水質汚濁防止法による COD の排出基準が定められたことにより、1970 年から 1976 年にかけて東京湾流域における発生負荷量は減少しているが、それ以降はあまり改善がみられていない。1976 年から現況までに、下水道整備率は約 30%から約 80%へと増加しているが、一方で流域人口も約 2,400 万人から約 2,900 万人と増加しており、1976 年と 2001 年の生活系全体の発生負荷量 (図-4.1.1.11の「下水道処理」

と「下水道以外」の和)を比較すると、下水道による除去率が大きいCODでは減少しているが、T-NやT-Pでは増加している。以上のように、東京湾流域における発生負荷量が減少しない原因は生活系負荷がその一端を担っていると考えられ、これらの負荷の削減が求められる。

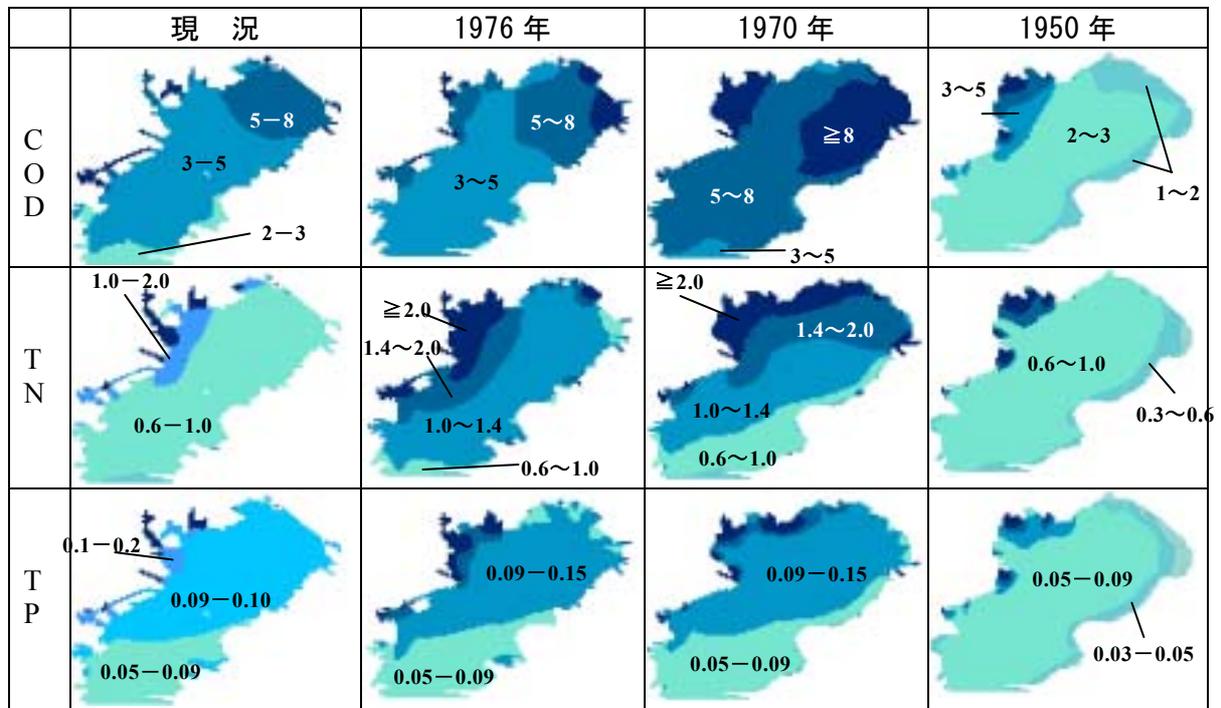


図- 4.1.1.10 東京湾の水質の再現計算 (表示している日時は各年の7月15日12時)

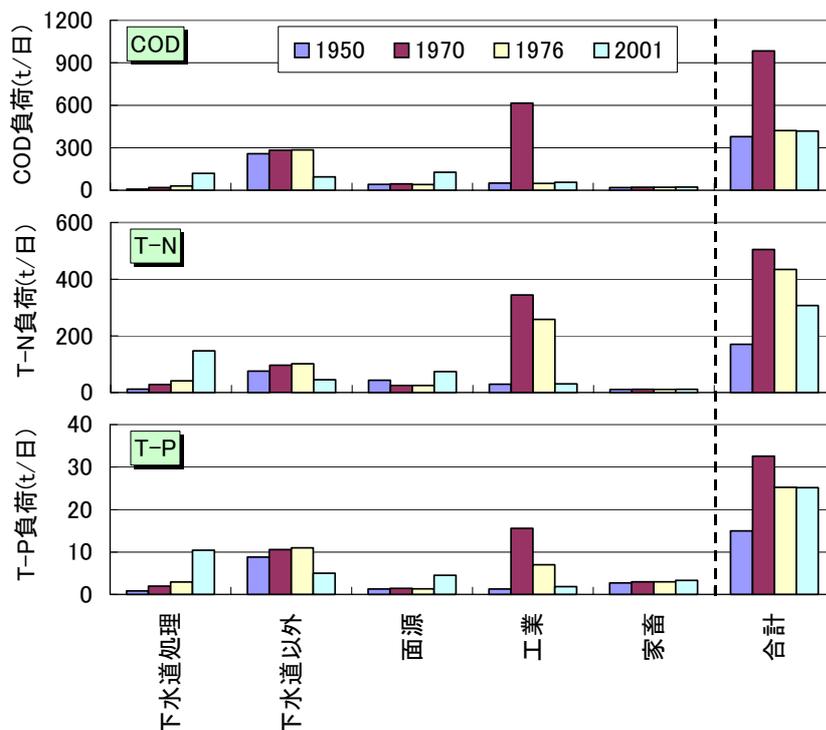


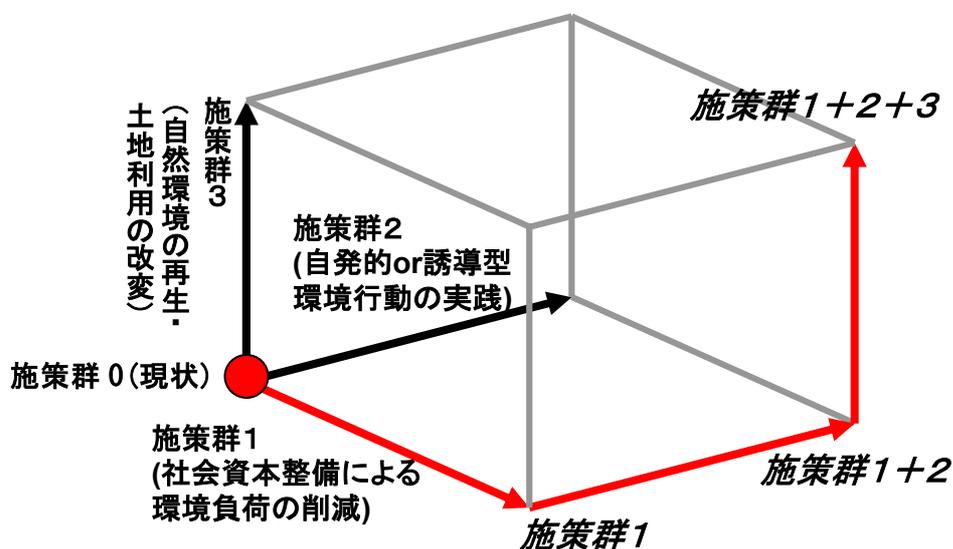
図- 4.1.1.11 東京湾流域における発生負荷量の変遷

4.1.2 東京湾流域圏再生シナリオの条件設定

(1) シナリオ検討の基本方針

3.2 で構築したモデルを活用して、水物質循環、生態系、熱環境の環境改善効果を再生ビジョンに応じて提示することにより、それぞれの環境問題の解決に向けた合意形成に活用する。2.3.3 で述べたように、数多くある施策の効果を体系的に把握するために、同じ指向をもった施策同士でグルーピングし、各グループの中にある個々の施策の効果把握、次いで、同一グループに属する全ての施策（以後、施策群と呼ぶ）を実行した場合の効果把握、さらに、異なる施策群を組み合わせた場合の効果把握を順次行うというような階層的検討が有用と考えた。このグルーピングの指向軸として、本論では、図・4.1.2.1に示すとおり、実施手法にかかわる質の違いに着目して、施策群1；社会資本整備による環境負荷の削減、施策群2；流域の住民等による自発的または誘導的な環境行動の実践、施策群3；面的な土地利用の改変や自然環境の保全・再生、の3つを設定し、各施策群について個別にその効果を評価するとともに、各施策群を組み合わせた場合の効果の検討を行った。

各施策をモデル上で表現するための条件やパラメータ設定に際しては、既往の文献を極力参考にした。ただし、明確な根拠を持って与えることが現時点では難しく、割り切って設定しているものもある。また、前述のように、モデルの実現象再現能力に関しても向上させるべき点を残している。これらの意味で、以下に述べる結果は、種々の環境改善施策に概ね対応するようにパラメータや条件を変えて、モデルの感度分析を行ったものであり、したがって個々の施策の評価に直接資する熟度はまだ有していない。



図・4.1.2.1 施策群設定の概念図

(2) 計算の前提条件

再生のターゲットとなる年次を概ね20～30年後とおいた。これに合わせ、施策効果の計算は、将来の数値がある程度公式に推計されているものについては、その推計値を与えて行った。具体的には、人口について、市町村ごとに算定された国立社会保障・人口問題研

究所による2030年の中位推計値を与えた。これにより、図-3.2.1.11のエリアでの東京湾流域圏における現況人口の設定値を2897万人(2000年国勢調査)、ターゲット年次の将来人口の設定値を2816万人(2.8%減少)とした。

気象(気温、降水、潮位変動など)については、現在(2004年)と同一の条件を与えた。土地利用、産業などの社会経済活動に関わる条件については、施策と連動させて与えることとし、対象とする施策がその条件の制御を直接含んでいない場合は、現況(2001年時点)を与えて計算した。また、施策が機能するまでの経過時間(事業期間)は考慮していない。

(3) 本検討で用いるモデル

1) 水物質循環モデル

3.2.1で構築した東京湾流域に適用した水物質循環モデルにより評価する。分布型のモデルであることから地先レベルでの雨水貯留効果や点源汚濁負荷対策、面源汚濁負荷対策などの施策効果を評価することが可能である。

2) 陸域生態系モデル

3.2.3(A)で構築した陸域生態系モデルと3.3.3のエコロジカルネットワーク保全・回復の計画・設計技術を活用する。ここでは荒川流域(中域)レベルにおけるニホンリスを指標種として評価を行う。面的に広く生息環境を向上させるためには、図-4.1.2.1において施策群3における土地利用の改変に伴う、自然環境の再生を行う必要がある。

3) 水域生態系モデル

3.2.3(B)で作成した東京湾におけるアマモの生息評価モデルを活用する。(4)でも述べるように水物質循環モデルで評価される水質改善度を水域生態系モデルに反映することができる。また、大きく生育場評価を向上させるには地形や地質条件を適した条件に改善することが必要である。

4) 熱環境モデル

ここでは首都圏全体を包含する半径50km圏内のスケールでヒートアイランド対策の効果を推定するために、吉谷・木内のモデル¹¹⁾を用いる。これは、米国ペンシルバニア大学で汎用の気象計算モデルとして開発され、NCAR(米国大気研究センター)において改良されたMM5(The fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model)を基本とし、新たに地表面の状態を表す情報として細密数値情報を用い、地表面における水熱移動過程、人工排熱の時空間変動などを組み込んだメソスケールモデルである。

1995年8月23日21時~26日5時の気象条件を与えた計算の結果から、晴天であった25日14時の東京都心を中心とする領域の地上気温と地面からの高さ10mにおける風速ベクトルを図-4.1.2.2に示す。この時点を含む計算結果が概ね実測を再現することは、吉谷・木内により確認されている¹¹⁾。同時に彼らは、代表的な施策の効果について、既存の研究^{12)・13)}と同様の結果が本モデルの計算により得られていることも確認している。

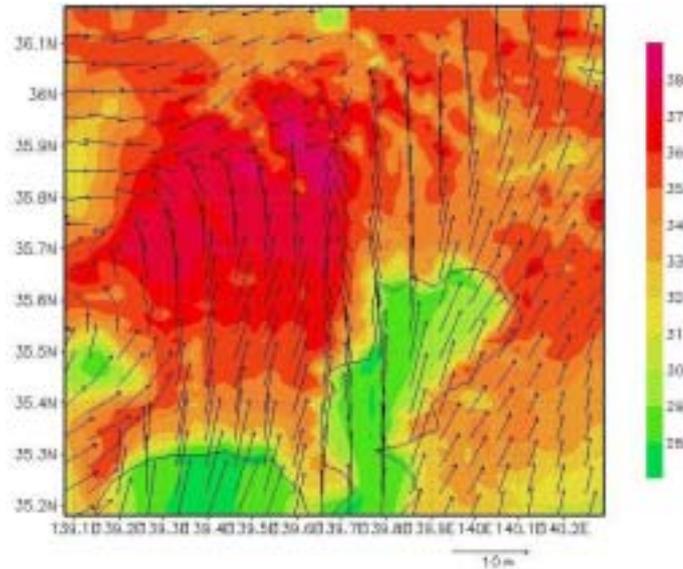


図- 4.1.2.2 首都圏の気温、風速の再現計算結果（1995年8月25日14時）

(4) 各モデルが扱う現象間の相互作用の考慮について

各モデルが扱う現象の間には大なり小なり相互作用がある。それを考慮することは、施策間の相乗効果の評価につながり、施策群のあり方を考える上で重要な情報をもたらす可能性がある。現時点で、そのすべてを考慮し完全な統合化をはかることは難しいが、ここでは、図- 4.1.2.3に示すように、水物質循環モデルから出てくる水質改善効果と水域生態系モデルから出てくる生育場改善効果の間の相互作用の計算を試みた。設定方法の詳細は次項にて説明する。

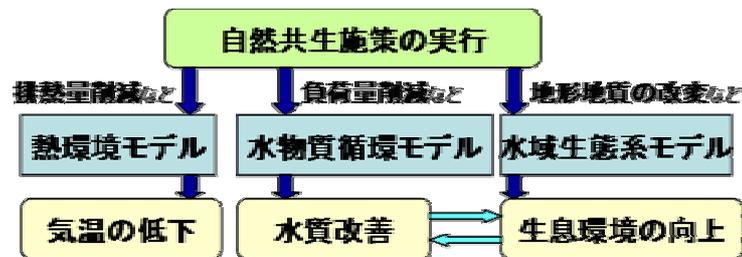


図- 4.1.2.3 モデルで扱う現象間の相互作用について

4.1.3 シナリオの定量評価

(1) 施策群の実施効果の評価方法

4.1.2(3)で示したモデルを用いて環境改善施策を行った場合の効果を定量的に評価する。各モデルにおける評価方法を以下に示す。具体的な設定値については(2)にて記述する。

1) 水環境政策評価のためのモデルの設定条件

水環境政策として、①下水道整備、②合流改善、③下水の高度処理化、④単独浄化槽の合併処理化、⑤高度処理合併浄化槽の整備、⑥透水性・保水性舗装の整備、⑦環境保全型ライフスタイルの転換、⑧環境保全型農業、⑨下水処理水の再利用（中水道の整備）、⑩家畜し尿の農地還元、⑪各戸雨水貯留・浸透施設の設置（屋上緑化）、⑫市街地の緑地化、⑬

堤外地も含めた河川沿いの緑地化、⑭調整池の整備、⑮干潟・アマモ場の造成（東京湾）を評価することとする。それぞれの施策について水物質循環モデル上での評価方法のポイントについて下記に示す。

①下水道整備

下水道整備率を市町村単位で任意に設定することにより、下水道の整備が進んだ場合の水質改善効果を算定する。各メッシュには、生活排水処理形態毎の人口が設定されているが、下水道整備率の上昇に伴いメッシュ内の下水道整備人口を増加させるとともに、その増加分だけ浄化槽やし尿処理場等による下水道未整備人口を、処理形態毎の按分によって減少させた。

また、下水道処理水量の算定にあたっては、下水道整備区域内の水道使用量と下水処理水量の差分である不明水量（下水道管への地下水滲入）が問題となるが、不明水量が下水道整備区域内の水道使用量に比例すると仮定し、下水道整備に伴い不明水量も増加するものとした。

なお、各メッシュから発生する下水は、当該メッシュに対応する処理場で処理・排水されるものとし、処理場からの放流水質は変化しないものとする。

②合流改善

東京湾流入流域では、下水道整備率が高い一方で、その多くが汚水と雨水を同一管渠で水域に排出する合流式下水道であるため、一定以上の降雨時には処理場の容量を超えた分の生活系汚濁負荷が越流水として未処理のまま流出している。閉鎖性の高い東京湾の水質形成機構を検討する上で、流入する汚濁負荷の総量を再現することは重要であるため、本モデルでは合流式下水道における雨天時汚濁負荷流出を簡便な方法でモデル化している。

本モデルでの現況再現では日降雨量が 5mm 以下については下水処理場からの排水水質は通常の処理後の排水水質を与えているが、日降雨量が 5mm を超過する場合は、汚水が処理場を経由せずに直接公共水域に排出されるという設定とした。すなわち、日降雨量 5mm 超過分については無処理相当水質分が排出される。合流改善においては貯留施設による対応やポンプ所などの施設運用（RTC）により初期雨水貯留の機能を拡大させるものである。また、雨水排水と汚水排水は異なる場所で行われているケースが多いが、ここでは同一地点で排出されるものとする。

③下水の高度処理化

本モデルで対象とする 119 箇所の下処理場からの排水水質の平均値を表 4.1.3.1 に示す。多くの下水処理場の 2 次処理においては曝気による有機物質の好氣的な酸化分解が中心であったが、T-N、T-P の除去については不十分である。そこで高度処理により排水水質を削減するための技術が開発されている。主な技術として凝集沈殿法、生物学的脱リン法、膜分離法などがあるが、3.3.1 で検討したオゾン酸化法も活用される技術の 1 つである。

表- 4.1.3.1 東京湾流域の下水処理場における放流水質原単位（単純平均）

	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
平均値	4.87	9.72	12.31	1.07

④単独浄化槽の合併処理化

し尿のみが処理される単独処理浄化槽では、台所や風呂から排出される生活雑排水が無処理のまま排出されるので公共用水域の水質改善において重大な問題となっている。そこで既設の単独処理浄化槽を合併浄化槽に転換することとし、各メッシュには、生活排水処理形態毎の人口が設定されているので、転換率に応じて単独処理浄化槽人口を合併浄化槽人口に転換するようにした。

⑤高度処理合併浄化槽の整備

下水道整備区域外の地域において、高度処理合併浄化槽が整備された場合の水質改善効果を算定する。現況においては高度処理合併浄化槽は広く普及していないことから、整備率は0%と設定し、整備率に応じて各メッシュ毎に高度処理合併浄化槽処理人口を設定するとともに、その増加分を高度処理合併処理浄化層の未整備人口から、処理形態毎に按分することによって減少させた。

「高度処理合併浄化槽の除去率」は特に定められたものはないが、例えば茨城県では助成対象となる高度処理合併浄化槽の処理基準が定められており、これに一人あたりの実際の水消費量（250L/日）を考慮して負荷原単位(表- 4.1.3.2)を設定した。

表- 4.1.3.2 高度処理合併浄化槽の負荷原単位

項目	負荷原単位 (g/人・日)
COD (BOD)	2.5
T-N	2.5
T-P	0.25

⑥透水性・保水性舗装の整備

道路面の透水性および保水性を改善し、降雨流出の抑制に伴う路面濁負荷流出抑制による水質改善効果を算定する。道路面の透水性・保水性改善は流域内の市街地一律に行われるものとする。このため、市街地の道路面積割合を6%と設定し、この道路部分について表層モデルの最終浸透能と表面発生高さを荒地と同等と設定し、透水性・保水性舗装の整備率に応じた市街地エリアの最終浸透能および表面発生高さを(式- 4.1.3.1) (式- 4.1.3.2)により設定する。ここに、 x は整備率($0 \leq x \leq 1$)を表す。

$$1.0 \times 10^{-5} \times (1-0.06x) + 5.0 \times 10^{-5} \times 0.06x \quad (\text{cm/s}) \quad (\text{式- 4.1.3.1})$$

$$5.0 \times 10^{-3} \times (1-0.06x) + 1.0 \times 10^{-2} \times 0.06x \quad (\text{m}) \quad (\text{式- 4.1.3.2})$$

⑦環境保全型ライフスタイルの転換

流域の住民が水の使用量や排出する汚濁負荷を極力削減する「環境保全型ライフスタイル」への転換に取り組んだ場合の水質改善効果を算定する。ここではライフスタイルの転換により人口一人あたりの水道使用量が減るものと仮定し、水使用量原単位を一定率減じる。同時に、単独浄化槽・し尿処置・自家処理・未処理の世帯からの排出負荷量が減るものと仮定し、雑排水の除去率を一定率減じる。

⑧環境保全型農業

施肥に伴う面源汚濁負荷流出を削減する環境保全型農業が実施された場合の水質改善効果を算定する。モデル上では水田・畑のメッシュを対象に、表層タンクの極限堆積負荷量および不飽和タンクの極限溶脱量を設定割合に応じて減少させた。

⑨下水処理水の再利用（中水道の整備）

下水処理水をそのまま水域に放流せず流域で再利用した場合の水質改善効果を算定する。本モデルにおいては、下水処理水を再利用する割合を設定し、再利用した割合だけ使用量および下水処理水の放流量を減少させる。排水水質については変化させない。

⑩家畜し尿の農地還元

家畜し尿を肥料としての農地還元した場合の水質改善を評価する。本モデルでは、家畜し尿の農地還元量に応じて従来の化学肥料等が減少するとして、農地還元した分だけ家畜し尿による汚水排出負荷が減少するとした。

⑪各戸雨水貯留・浸透施設の設置

流域内の家屋が敷地内に雨水貯留施設を設置した場合の水循環への影響及びそれに伴う水質改善効果を算定する。ここでは雨水貯留施設の中に屋上緑化による貯留機能を含むものとする。水物質循環モデルにおける設定方法は、市街地の土地利用メッシュを対象に、設置面積分の表層タンクの最終浸透能が荒地地の最終浸透能になるものとする。設置面積は市街地における建物用地面積の割合と雨水貯留浸透施設を設置する割合（整備率）の積により与えられる。貯留も考慮する必要があるため発生高さも全て荒地地の値を用いる。

このため、市街地の建物用地面積割合を94%と設定し、この部分について表層モデルの最終浸透能と表面発生高さを荒地と同等と設定し、整備率に応じた市街地エリアの最終浸透能および表面発生高さを(式- 4.1.3.3) (式- 4.1.3.4)により設定する。ここに、 x は整備率 ($0 \leq x \leq 1$)、 y は建坪率 ($0 \leq y \leq 1$) を表す。

$$1.0 \times 10^{-5} \times (1-0.94xy) + 5.0 \times 10^{-5} \times 0.94xy \quad (\text{cm/s}) \quad (\text{式- 4.1.3.3})$$

$$5.0 \times 10^{-3} \times (1-0.94xy) + 1.0 \times 10^{-2} \times 0.94xy \quad (\text{m}) \quad (\text{式- 4.1.3.4})$$

⑫市街地の緑地化

建物用地、道路用地の規模を問わず、建物の周辺や道路の分離帯などに緑化空間を確保

することにより、浸透性の向上とともに都市内の自然性の確保を図るものである。モデル上では、各メッシュについて土地利用区分における「市街地」のうち、任意の割合で「森林」区分に変更する。

⑬堤外地も含めた河川沿いの緑地化

河川沿いに任意の距離のバッファを発生させ、緑地帯を確保することにより都市における浸透性の向上に資するだけでなく、エコロジカルネットワークの形成や氾濫原に居住する人口を少なくなるよう誘導することで浸水被害に遭う人口を減少させることができる。

⑭調整池の整備

市街地メッシュを対象に、表層タンクの表面流・早い中間流の発生高さを調整池のポリューム相当分に応じて高くする。

⑮干潟・アマモ場の造成（東京湾）

3.2.1 で水物質循環モデルの東京湾への適用条件に示した通り、三番瀬、盤洲干潟については I-N、I-P の溶出速度の設定において干潟の浄化機能を考慮している。東京湾の沿岸に干潟を再生することにより、同様の設定をすることで浄化機能の効果を評価することができる。また「東京湾干潟等の生態系再生研究会」³⁾などでも注目されているアマモの浄化機能も考慮している、評価方法については 3) の水域生態系モデルでの評価方法にて説明する。

2) 陸域生態系に関する政策評価のためのモデルの設定条件

陸域生態系の保全・再生施策として 3.3.3 において整理されている①公園の整備③道路の整備（エコブリッジ、樹林帯の設置）④河川沿いの緑化⑤大規模民有地の周縁の緑化⑥法規制による緑地の担保（市街地拡大の規制）を用いる。設定方法の詳細は 3.3.3 を参照されたい。

3) 水域生態系に関する政策評価のためのモデルの設定条件

3.2.3(B) で作成したアマモの生息場評価において環境要因として①水深、②水中光量、③塩分、④泥分率を設定している。塩分は全域で SI が 1 であることから、残る 3 つが施策評価の対象となる。水深、泥分率については干潟再生適地に SI を向上させるように設定することにより HSI の評価値を上げることができる。水中光量については水質と関連づけることにより水物質循環モデルとの相乗効果を評価することができる。

具体的には、まず、水物質循環モデルにより求めた東京湾の COD 値の改善度（アマモの生育特性から 6 月の数値を用いる）を、実測値から求めた COD と透明度の関係式より透明度の改善度合いに変換し、その透明度と全天日射量から環境要因である水中光量を求め、アマモの HSI に及ぼす COD 値改善の影響を算出する。

次に、求めたアマモの HSI 値(0~1)の変化を被度(0~100%)の変化に線形換算すること

で、アマモの変化が今度は湾内の水質浄化に新たに寄与する度合いの算定を以下のように行う。アマモの HSI が 1 の時(被度 100%)の 1m²あたりの窒素浄化量を、屋外の水槽実験結果より 20mgN/g plant N/day と設定し¹⁴⁾、被度と株数の関係¹⁵⁾、単位株あたりのアマモの重量¹⁶⁾、アマモ体中の窒素重量割合¹⁷⁾から 90mgN/m²/day とおく。また、リンについては、アマモ体中の窒素とリンの重量割合が 4.8 : 1 であることから¹⁷⁾、その浄化量を 18 mgP/m²/day と設定する。これらの浄化量を HSI が高くなった箇所に相当するブロックの窒素・リンの底泥溶出速度から差し引いた条件で、湾内水質の年間計算を再度行う。

以上は、流域の施策群による湾内の水質改善効果がアマモの生育場改善に及ぼす作用、さらにそれが湾内の水質改善に及ぼす作用を 1 サイクル計算したことになる。これらの相互作用は連動させて計算することが望ましいが、まずはこのような簡略化した方法により、相互作用の重要度を議論できる情報を得ることとした。

4) 熱環境に関する政策評価のためのモデルの設定条件

熱環境政策の方向性として、大きく以下の 3 つの方法に整理される。

- (a)人工排熱の低減（省エネ機器、ライフスタイルの改善）
- (b)表面被覆の改善（路面や建築物の表面温度の高温化抑制）
- (c)冷却作用の利活用（風、水、緑）

ここでは①保水性舗装、②保水性建材、③環境保全型ライフスタイルの転換、④エコカーの普及、⑤屋上緑化、⑥市街地の緑地化、⑦堤外地も含めた河川沿いの緑地化について、評価することとする。それぞれの施策について熱環境モデル上での評価方法について下記に示す。

①保水性舗装

3.3.2 で開発した持続性のある保水性舗装技術の開発により、熱環境モデルのパラメータである保水率を現状のゼロからある値（0 から 1 まで）を与えることにより、水分蒸発による冷却作用により路面温度を低減させることができる。今回は保水率を 0.1 と設定した。

②保水性建材

上記と同様に持続性のある保水性建材の開発により、熱環境モデルのパラメータである保水率を現状のゼロからある値（0 から 1 まで）を与える。単位面積当たりのヒートアイランド現象の改善効果が保水性舗装より小さい場合でも、都市における建物面積率が高いために気温低減効果が期待できる。今回は保水率を 0.05 と設定した。

また、現在、歩道やバルコニー、屋上などでブロック型の保水性舗装・建材が実用化されているがコストは 10,000 円/m² 前後である¹⁸⁾。

③環境保全型ライフスタイルの転換

省エネルギーの普及および省エネルギー行動の実践により、人工排熱の低減を目指す必要がある。夏季の電力需要の 4 割は冷房需要であり、気温が 1℃上昇すると我が国の電力需要は約 500 万 kW（一般家庭約 160 万世帯相当）増加すると言われている。本検討では、

冷房設定温度を 30℃と設定した場合の冷熱削減効果を各建物における人工顕熱の原単位の減少に反映させた。

④エコカーの普及

エネルギー消費量が依然として増加している中で、近年、運輸部門における排熱量の割合が増加する傾向にあり、ハイブリッドカーや電気自動車の普及が期待されている。今回は道路からの人工排熱量を1割削減することとした。

⑤屋上緑化

都市において緑地率の向上を図る上で、屋上緑化は効果的な手段の1つであり、副次的なものも含めて下記のような効果がある。

(a) 都市環境の改善効果

- ・ ヒートアイランド現象の緩和（都市気象の改善）
- ・ 空気の浄化や騒音の低減
- ・ 都市の自然性の向上
- ・ 都市のアメニティの向上
- ・ 都市景観の形成

(b) 人間に対する生理的・心理的效果

- ・ やすらぎ空間の創出（鎮静効果）
- ・ 身近な情操教育・環境学習の場の創出

(c) 建物に対する経済効果

- ・ 省エネルギー（夏期の温度上昇の軽減・冬期の保温）
- ・ 建物のイメージアップや集客力向上
- ・ 温度変化の緩和による耐久性の向上
- ・ 輻射熱の減少による防火

既存の検討事例¹¹⁾に基づき、建物用地の緑地率（各土地利用面積に占める緑地面積の割合）が現状の23.6%から、屋上緑化により29.1%に向上した場合の熱環境改善効果を評価した。

⑥市街地の緑地化

市街地の高層化を進め、オープンスペースを確保することにより、道路や建物用地を緑地や公園に転換することとした。熱環境モデルでは市街地（道路、建物用地）の3割が緑地に転換されるとした場合の熱環境改善効果を評価した。

⑦堤外地も含めた河川沿いの緑地化

都市において河川空間は風の通り道としてヒートアイランド現象の緩和効果があることが現地実験やシミュレーション結果から示されている¹¹⁾。本検討では、多摩川と荒川の両岸に緑地帯を整備し、熱環境の改善効果を評価した。

(2) モデルによる環境改善政策の評価

(1)で示した水環境、生態系、熱環境の個々の施策について、その効果とコスト及び社会への影響について評価する。ここでは、施策の特性を把握することを目的とするため、施策条件については、想定される最大限の条件で設定した。

1) 水物質循環モデルによる施策評価

以下の水物質循環モデルによる個々の施策評価については、東京湾に流入する全河川（東京湾に直接排出する下水処理水を含む）を対象に流量で重み付け平均した COD 水質により行う。また個別の施策実施に要するコストについて定量可能な範囲での概算を試みるとともに、施策の実施に伴う負担についてもあわせて整理する。コストの算定においては可能な限り、既存の資料や実績に基づいているが、全てを網羅できているわけではないことから、単純に施策毎にコストの比較をするには知見はまだ不十分である。

① 下水道整備

下水道の整備は、生活系の汚濁負荷を削減する最も基本的な施策である。東京湾流域においては、東京湾およびその流域を排水域とするものとして、現在 119 の下水処理場がある。全ての下水処理計画区域の全域に対して整備されたと設定して計算を行ったところ、COD の低下は 0.3mg/l となる。現在、河川や下水処理場から東京湾に流出する COD 水質が 7mg/l 近くあることを考えると、既に東京湾流域圏では下水道整備が相当程度進んでいることもあり、必ずしも新規の下水道整備だけでは東京湾の大幅な水質改善に繋がらないことを示している。

東京湾流域の下水道整備計画人口の内、未整備人口は約 200 万人であることから、流域下水道整備計画をもとに概算を行った結果、各世帯について下水道管への接続費用として約 31.5 万円を要すると仮定すると、さらに敷設費として 6300 億円、下水道接続人口の増加による二次処理施設の維持管理費の増分として年間 55 億円が必要である。また、下水道の運営・維持・管理のための下水道料金が徴収される。生活への影響としては、水洗化による衛生条件の向上、し尿処理の効率化等の生活環境の改善が見込まれる。また、下水道整備により、水質管理が一元的、確実に行われ、高度処理技術の導入等が効率的に進められる利点がある。

② 合流改善

東京湾流域の 119 の下水処理場の内、合流式の下水道は約 6 割の 70 箇所を上る。モデル上では合流式の下水道では日雨量が 5mm を超過した場合は、超過分は汚水がそのまま排出されるとしているが、合流改善により全ての合流式の下水道が日雨量 25mm まで処理場で処理されるものとする、COD の改善効果は 0.5mg/l となる。雨水貯留池の増強とリアルタイムコントロール（RTC）の導入にあわせて 1 兆 7280 億円を要するなど多額の経費を要するが、下水道整備率が 100%に近いものの、合流式下水道が多数を占める東京圏周辺の水環境改善には一定の効果があると言える。

③下水の高度処理化

古くから稼働している下水処理場では排水水質が高い傾向にある。全ての処理場からの排水水質を BOD、COD、T-N は 8.0mg/l、T-P は 0.4mg/l とした場合（これを下回る水質で下水処理水が排出されている場合は現況のままとする）、COD の改善効果は 0.8mg/l となる。国土交通省都市・地域整備局下水道部によると東京湾流域で平成 16 年度末で高度処理施設が供用されていない下水処理場（85 箇所）の整備費として約 7270 億円、更に高度処理施設の維持管理費として年間約 260 億円が必要であると概算している。

④単独浄化槽の合併処理化

既設の単独処理浄化槽を合併浄化槽に転換した場合、生活雑排水が処理されて排出されるために、COD は 0.4mg/l 低下する。東京湾流域で単独浄化槽人口は約 300 万人であり、合併浄化槽（16～20 人槽）の設置費は約 326 万円であることから、全域に整備した場合約 4900 億円の費用が必要である。また単独処理浄化槽の撤去費として 300 億円が必要である（次の高度処理合併浄化槽の整備についても同様）。維持管理費として 1 基につき年間 6 万円することから、全体では年間約 90 億円の維持コストが発生する。

⑤高度処理合併浄化槽の整備

高度処理合併浄化槽は、COD の他、特にリンについて浄化機能の乏しかった合併処理浄化槽の浄化機能を向上させたものであり、下水道を補完するものとして期待されている。東京湾流域下水道整備総合計画に関する資料²⁾から排出負荷量は BOD、COD、T-N は 2.5g/人日、T-P は 0.25g/人日と設定する。下水道整備区域外の人口全てに対して高度処理合併浄化槽が整備されたとして計算を行ったところ、COD の低下は 0.5mg/l となった。整備費用としては、約 130 万円（5 人槽）の浄化槽を整備するとして、流域全体では 1 兆 3780 億円となり、また浄化機能の維持のためには、固形物の除去等の定期的な維持管理作業が必要となり、1 基当たり毎年 12 万円程度が必要になることから、全体では年間約 1270 億円のコストが発生すると想定される。下水道整備と比べより水質改善効果が期待されるものの、整備費用もより高価である。

⑥透水性・保水性舗装の整備

透水性舗装は、路面上の降雨の地中浸透を促し、雨天時汚濁負荷の流出を抑制するものである。流域内の道路面が全て透水性舗装にされたとして計算を行ったところ、COD の低下は 0.1mg/l であり、水質改善効果に大きな期待はできない。透水性舗装は都市洪水の緩和やヒートアイランド現象の抑制効果を有するが、整備単価については、1m²当たり約 9000 円とした場合、流域内の道路用地 160km²を整備するには約 1 兆 4000 億円とかなり高額のコストが必要となる。

⑦環境保全型ライフスタイルの転換

厨房管理による生活排水・汚濁の除去（静岡県生活環境部、1985）、および、東京都水

道局(2004)や東京都千代田区(2004)が提案している水使用量削減対策から、台所排水、トイレや風呂及び洗濯排水への配慮を行った場合の「環境保全型ライフスタイルへの転換による生活排水負荷の削減」として、水使用量では約36%、負荷量としてはBOD,COD:28%、T-N:30%、T-P:20%の削減がされると設定する。なお、下水道が整備されている場合は、モデル上で反映されるのは排水量の削減のみであり、処理施設への負担の軽減という副次的効果が得られる。

流域住民の生活から発生する汚濁負荷そのものの削減を図るものであり、流域全住民が水使用量、および負荷量の削減を行うと仮定したところ、CODの削減効果は0.9mg/lとなった。生活系の汚濁負荷量が大きい東京湾流域では水質改善効果は高く、また対策費用が不要であり、省資源や下水処理場や浄化槽における処理費用の削減にも寄与する他、東京湾の水環境改善に対する啓発的な取り組みとなることも考えられる。

⑧環境保全型農業

面源対策として過剰施肥を削減し、肥料の水域への流出を抑制するものである。流域内の全ての農地で完全に汚濁負荷の流出が抑止されると仮定したところ、CODの低下は0.2mg/lと評価された。この施肥量の設定は極端な設定であるが、施策の実行においては農作物の質や産出量に影響が生じるリスクや、施肥における作業増加や農作物の質の低下や収量の減少等のリスクを伴う。この施策は特定の分野に負担を生じさせるため、公平性の観点から助成制度や不作時の収入補填等の制度を設ける必要がある。また、農業系も含め面源負荷の流出過程については時間的・空間的な変動が大きいことから現地モニタリングも含めた調査研究が必要である。

⑨下水処理水の再利用（中水道の整備）

下水処理水の排水水質は放流水域の水質より通常劣るため、下水処理水を再利用し、水域への排出量を削減すれば、水域の水質改善が図られる。現在の処理水の10%が再利用されると仮定して計算を行ったところ、CODの低下は0.2mg/lとなる。処理水の系統的な利用を図るためには中水道の整備等が必要となるが、多摩市の中水道整備事業の例から単価を170万円/m³・日と設定し、東京湾流域での整備費用を概算したところ、およそ15兆4700億円となり、相当の費用が必要になると考えられる。

⑩家畜し尿の農地還元

家畜の不適切な処置による水域への流出を防止するものであり、流域内の畜産全てについて対策を講じた場合、CODの低下は0.2mg/lとなった。家畜し尿のコンポスト化に要する費用は、100箇所の施設を整備するとした場合、施設購入費として約5240億円、運用費として年間約185億円が必要となる。また、家畜し尿の再利用には、流通システム等の整備や畜産業者への助成制度等も必要になると考えられる。また、家畜し尿の再利用に伴う、悪臭、再利用システムの採算性等も検討課題となると考えられる。

⑪各戸雨水貯留・浸透施設の設置（屋上緑化）

雨水貯留施設は雨水を貯留し都市洪水を緩和することを目的とするが、雨水流出の抑制に伴い汚濁負荷流出の抑制を期待できる。全ての家屋（建坪率 50%）が施設整備を行ったと仮定して計算を行ったところ、COD の低下は 0.4mg/l である。一方、雨水貯留施設の一般的な整備単価は 1 戸につき 6 万円であることより費用を概算すると約 5800 億円となる。また、屋上緑化（地被植物）の場合約 1 万円/m² のコストを要することから、東京湾流域圏ではおよそ 12 兆 8000 億円の費用が必要である。

⑫市街地の緑地化

市街地の 3 割と多摩川と荒川の両岸 500m を緑地化した場合、COD は 0.2mg/l 低下する。民地において法的に緑化を行うこととした場合には用地買収費は発生しないが、社会的なコンセンサスが得られるかが課題となる。また、都市構造の改変を想定して、低層密集住宅から高層住宅への転換を図る場合、その転居費用など見積もるのは容易ではないが、リノベーションと一体となって効率的に進めるよう、施策誘導により市街地の緑地化が効率的に図られることが期待される。植樹に要する費用は 1m² につき 3,000 円であることから、市街地の 3 割を緑化する場合のコストは約 2 兆 4500 億円と巨額となる。

⑬調整池の整備

調整池は不浸透化した市街地に初期降雨を貯留することにより都市洪水を緩和すると同時に降雨時の汚濁負荷流出の抑制も目指すものである。調整池を公共施設および中高層住宅について 600m³/ha 確保することとし、これらが市街地に占める面積が 1 割と仮定して、パラメータを設定したところ、COD は 0.1mg/l 改善した。本検討のモデルでは東京湾流域圏に市街地メッシュが 2,741 あることから、約 1600 万 m³ 分の調整池を確保する必要がある。調整池の一般的な整備単価が 1m² あたり 5 万円(深さ 3m の場合)であることから費用を概算すると約 2700 億円となる。用地費を含んでいないので居住地の高層化や公共施設の建て替え等の機会に応じて調整池が確保されていくよう、法整備を進めることも 1 つの方向性である。

⑭干潟・アマモ場の造成（東京湾）

東京湾沿岸の中からいなげの浜、幕張の浜を人工干潟として再生した場合について検討した。水質の改善効果については、後述する水域生態系モデルでの評価と合わせて説明する。人工干潟の一般的な整備単価が 1m² あたり 14,000 円であることから、再生するエリアは 7.5km² としているので、造成費は 1050 億円が必要である。

以上の施策の概要を表 4.1.3.3 にまとめて示す。東京湾に流入する全河川を対象に流量で重み付け平均した水質（以後、「平均水質」と呼ぶから）、各施策（群）の実施による現況からの改善効果として COD だけでなく BOD, T-N, T-P も含めて図 4.1.3.1 にまとめた。

まず、図 4.1.3.1 から、施策群 0、すなわち人口に 2030 年推計値を用いたこと以外、現

況と変わらない条件では、河川水質に現況とほとんど差が出ていないことがわかる。これは、この圏域の現況から2030年にかけての人口変化が微減と推定されているため、施策(群)の効果に比べ人口変化の影響が大幅に小さいと計算されるためである。このことを踏まえ、以後は、施策(群)の実施効果を現況値との比較で見えていく。

次に、図- 4.1.3.1から、排出負荷量の6割を生活排水で占める東京湾流域では、合流改善や下水の高度処理化、高度処理合併浄化槽の整備など生活排水対策の効果が相対的に大きい傾向にあることが把握できる。生活排水対策につながる非ハード的対策(下水処理場への負担を減らすことを含む)、すなわち排水量や排出負荷量の削減を流域住民自らが実践することの重要性も計算結果に現れている。

施策(群)の組合せ効果(各施策を包含する施策群単位の棒グラフにより表示)を見ると、複数の施策の実施により、効果が着実に増大することが確認できる。このことは、異なる施策群を重ねることについても言える(図- 4.1.3.1では、施策群1と2を合わせて実施した場合、施策群1、2、3を合わせて実施した場合も効果の計算値が示されている)。以上のことは、単独の施策(群)では目的に達しない場合に、施策(群)の組み合わせ実施を進めることの重要性を改めて示すものである。

表- 4.1.3.3 東京湾水物質循環モデルでの設定内容

水環境政策	
施策群1	下水道の整備: 下水処理計画区域の全域に下水道整備を行う
	合流改善: 日雨量25mm(現況5mm)以下までは処理排水を排出
	下水の高度処理化: 処理場からの排出負荷量をBOD,COD,TNは8.0(mg/l), TPは0.4(mg/l)と設定
	単独浄化槽の合併処理化: 下水道整備予定外の地域全体について、単独浄化人口を全て合併浄化人口に転換
	高度処理合併浄化槽整備: 下水道整備予定外の地域全域に高度処理合併浄化槽を整備(排出負荷量はBOD,COD,TNは2.5g/人日, TPは0.25g/人日)
施策群2	透水性・保水性舗装整備: 市街地メッシュのうち幹線道路面積について表層タンクのパラメータを畑・荒地の値を設定する
	環境保全型ライフスタイルの実践: 全住民が環境保全型ライフスタイルを実行することにより排水量が36%削減されると設定。また生活雑排水未処理人口の生活雑排水からBOD,CODは28%, TNは30%, TPは20%の削減
	環境保全型農業: 環境保全型農業の推進により田畑への施肥量を削減し、作物の生長に必要な分以外を100%削減すると設定
	下水処理水の再利用: 全下水処理水の10%を生活用水として再利用することで生活用水取水量と排水量を削減
	家畜し尿の農地還元: 全家畜し尿を農地に還元することで家畜由来の負荷量を100%削減すると設定
施策群3	各戸雨水貯留・浸透: 全家庭の屋根全体(建坪率)に貯留浸透施設を設置し表面流出を抑制(市街地メッシュのうち宅地用地面積について表層タンクのパラメータを畑・荒地の値を設定)
	市街地の緑地化: 市街地メッシュの3割と荒川, 多摩川の河道メッシュを緑地化(土地利用を「森林」に設定)
	調整池の整備: 市街地メッシュのうち公共施設, 中高層住宅地について雨水の流出を一時貯留させる調整池を設定(600m ³ /ha)

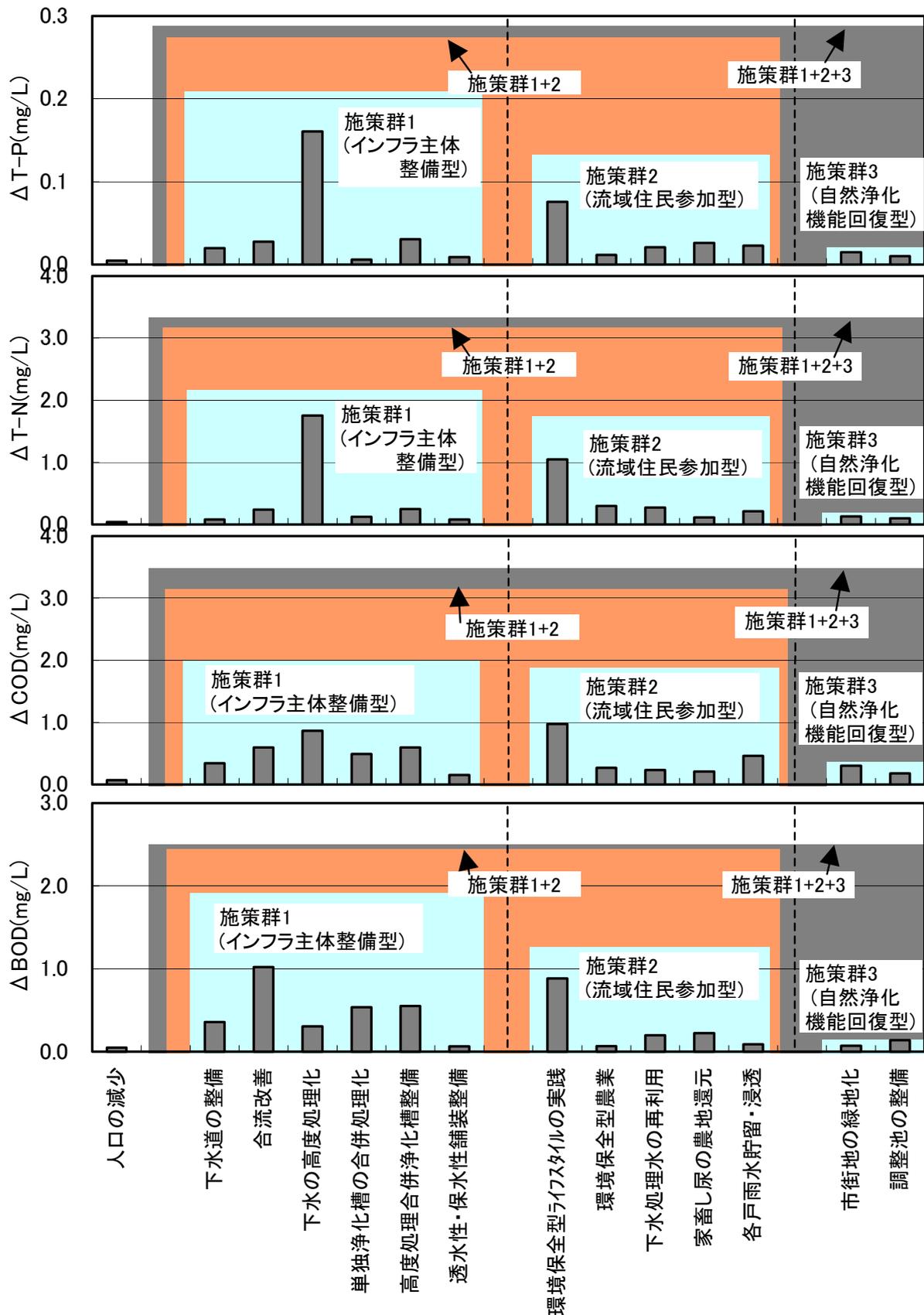


図- 4.1.3.1 東京湾流入河川の平均水質に関する施策(群)の実施効果 (現況との差分)
 (現況(計算値) : BOD 4.3 mg/l、 COD 6.9 mg/l、 T-N 5.8 mg/l、 T-P 0.46 mg/l)

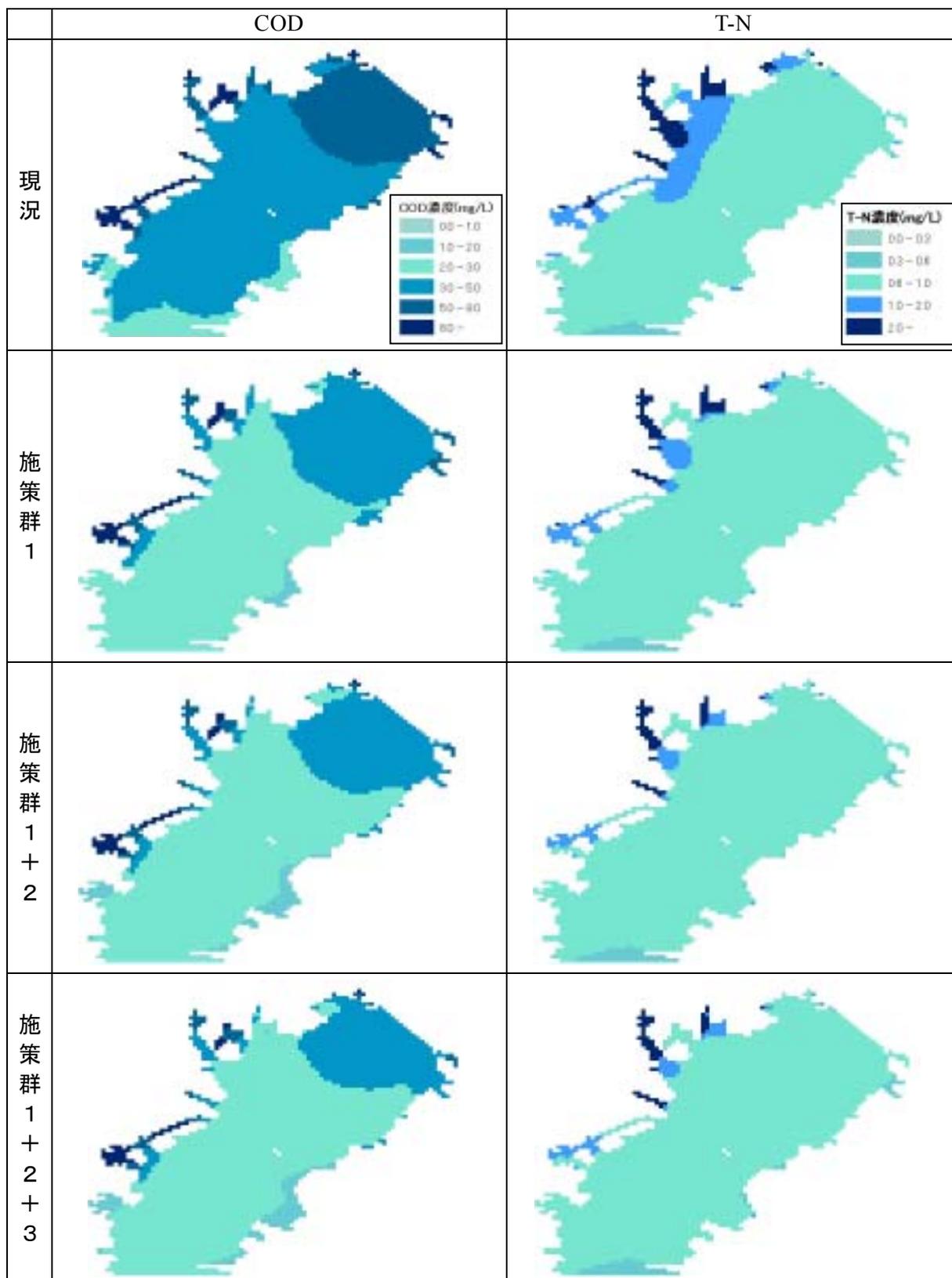


図- 4.1.3.2(1) 東京湾とその流域における施策群の実施による環境改善効果
 (東京湾の水質は7月15日12時の濃度分布を表示)

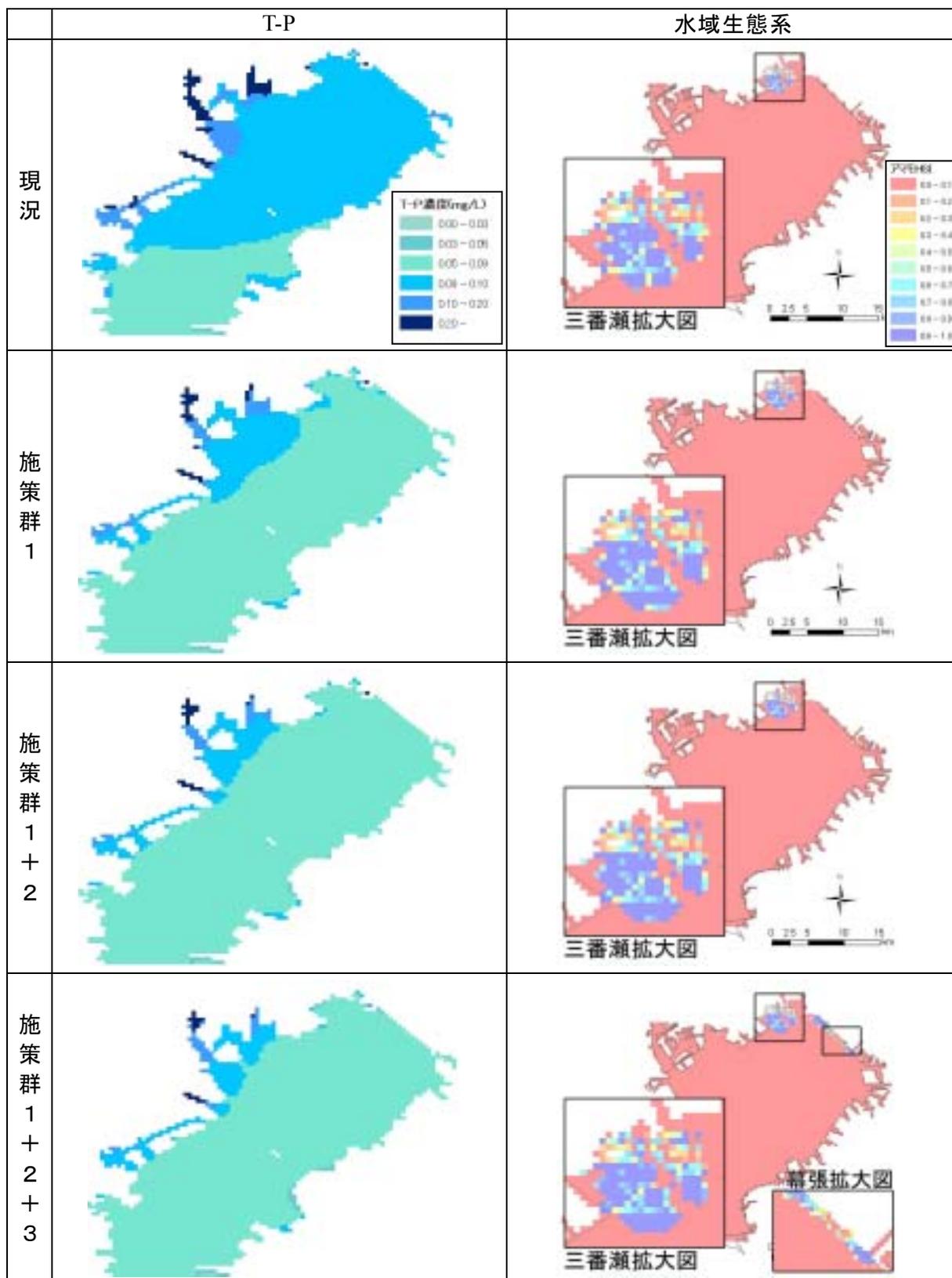


図- 4.1.3.2(2) 東京湾とその流域における施策群の実施による環境改善効果
 (東京湾の水質は7月15日12時の濃度分布、水域生態系はアマモのHSIを絶対値で表示)

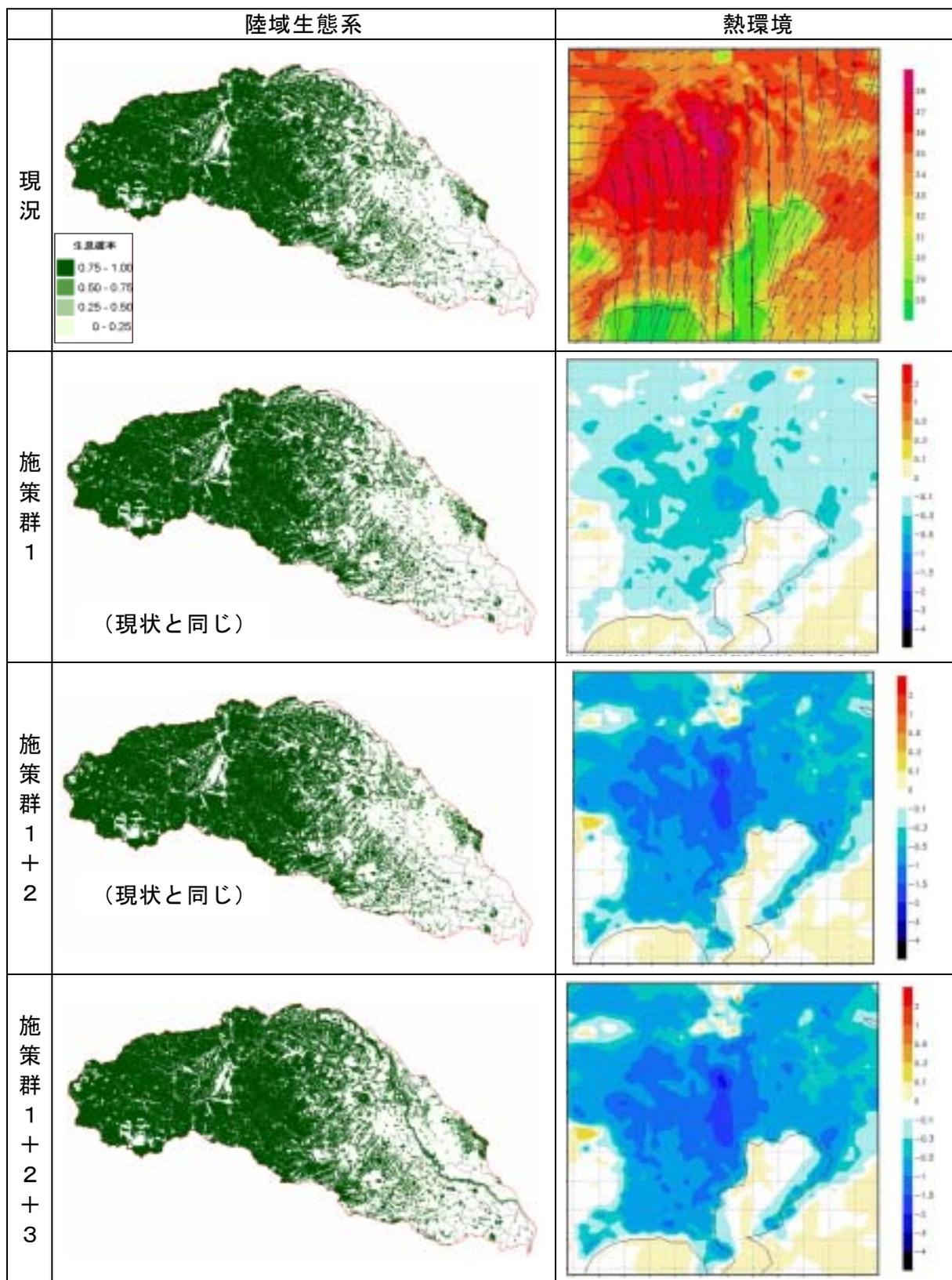


図- 4.1.3.2(3) 東京湾とその流域における施策群の実施による環境改善効果
 (陸域生態系は荒川流域のシジュウカラの生息確率を絶対値で、
 熱環境については、現況は14時の気温を絶対値で、その他は現況との差分を表示)

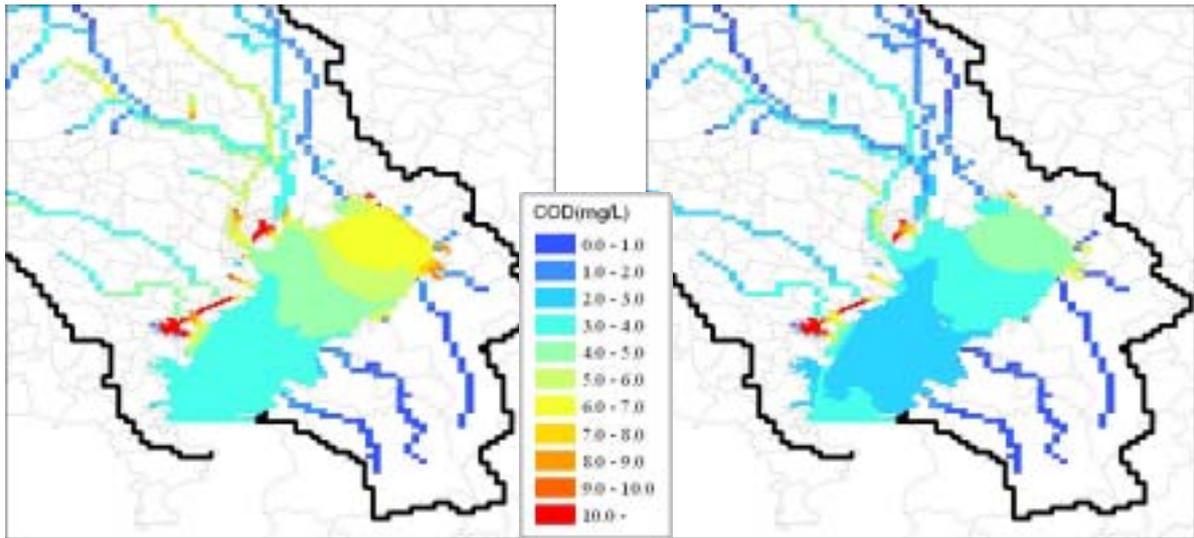


図- 4.1.3.3(1) 現況の水域の COD 分布

図- 4.1.3.3(2) 施策群 1 の水域の COD 分布

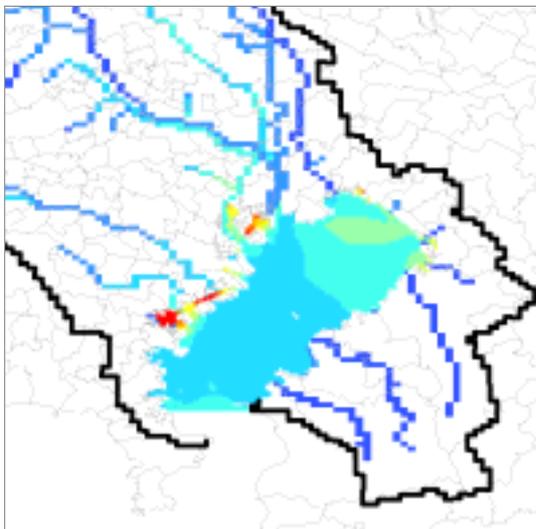


図- 4.1.3.3 (3) 施策群 1 + 2 の水域
の COD 分布

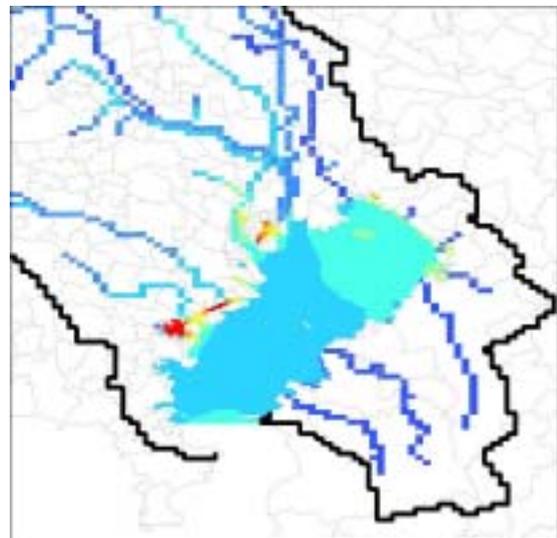


図- 4.1.3.3(4) 施策群 1 + 2 + 3 の
COD の水質分布

図- 4.1.3.2は、施策群を1、1 + 2、1 + 2 + 3と重ね合わせていく毎に東京湾の水質分布がどうなっていくかを示したものである。前述のように、アマモ生育場の改善効果との相互作用を1サイクル考慮して算出している。COD、TN、TPのいずれについても、施策群の重ね合わせが進むと効果が増していき、濃度の高いエリアが湾全体にわたって縮小していく計算結果になっていることがわかる。

図- 4.1.3.1は、流域での施策(群)のいわば地先(施策が実施された場所の近く)での効果を現すもの、図- 4.1.3.2はその遠隔地での集積的效果を現すものと言える。そこで施策(群)の地先での効果と、遠隔地であるが流域で広く問題を共有すべきエリア(ここでは東京湾)への効果を視覚的に理解するために河川水質と東京湾の水質の改善効果を同時に示したのを図- 4.1.3.3に示す。これは河川は年平均水質を示し、東京湾は7月15日12時における水質分布を表している。本図からも、流域と流域からの汚濁負荷の影響を受ける水域とをつな

げて考えていくことの重要性、有用性を示唆するものと言える。

2) 陸域生態系モデルによる施策評価

ここでは荒川流域（中域）におけるシジュウカラの生息確率を評価する。図- 4.1.3.2(3)に示すように施策群1、1+2では土地利用の改変を伴わないため、現状と同じ結果となる。施策群1+2+3で3.3.3におけるシナリオ3の施策を行った場合の評価結果を示す。図- 4.1.3.2(3)、図-3.3.3.19に示すとおり、質の高い潜在的な生息地面積が12%増加している。また、30年間で必要な経費が荒川流域で3,450億円と見積もられた。荒川流域の1人当たりの負担額に換算すると、約3,200円/人・年の負担が求められる。

3) 水域生態系モデルによる施策評価

施策群の実施のやり方とアマモ生育場HSIとの関係を、やはり図- 4.1.3.2(2)に示す。また図- 4.1.3.4は、三番瀬と幕張・いなげエリアの各メッシュのHSI値を合計した値を示したものである。施策群1や施策群1+2のような施設整備を中心とする取り組みや産業・生活スタイルの転換による水質改善だけでも、透明度の改善を介して、三番瀬ではHSIが少し向上する結果となっている。一方、その他の地域では改善効果は現れていない。これは、他の環境要因の状況が悪すぎて、水質改善効果だけでは効果をもたらさないためと推定される。

施策群1+2+3の段階になると、施策群3における幕張・いなげの浜の再生や底質環境の改善という直接的な取り組みが加わるため、図- 4.1.3.2(2)や図- 4.1.3.4に示すように、干潟再生地域を中心に生育場の評価値が大きく向上する結果となっている。

以上から、湾内生物の生息生育状況を改善するために、干潟再生などの直接的な再生策とともに、流域における施策がもたらす効果も合わせて考慮することの重要性がうかがえる。なお、施策群1+2+3がもたらすアマモのHSI値の向上が湾内水質の改善に寄与する量は、東京湾への流入負荷に対して、窒素、リンをそれぞれ0.05%、0.16%除去するのと同量と計算された。この量は小さいものであるが、東京湾沿岸各地で藻場再生の取り組みが広がることによって、アマモ等のエリアがさらに増大していくことを想定すれば、生物状況の変化が湾の水質に与える影響を考慮することの重要性は引き続き留意されるべきであろう。

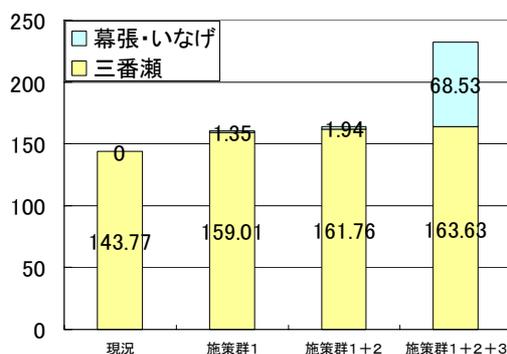


図- 4.1.3.4 アマモ HSI 値に与える施策群の重合せ効果

4) 熱環境モデルによる施策評価

熱環境の改善施策に関する具体的な設定条件を表- 4.1.3.4に、施策群を重ね合わせていく毎の熱環境の改善効果の計算結果を図- 4.1.3.2(3)に示す。保水性舗装を整備した場合(施策群1)、都心部を中心に現況と比較して最大0.5℃程度の気温が低下する結果となる。保水性舗装に加えて、環境に配慮した生活スタイルの実践等による排熱量の削減や屋上緑化や保水性建材の利用を加えることで(施策群1+2)、都心では最高気温が現況から最大2℃弱まで低下する結果となっている。さらに市街地の3割と荒川と多摩川の河川沿い500m幅を緑地に転換した場合(施策群1+2+3)、若干の気温低減効果が働き、最高気温に現況に比べ最大2℃強の低下が生じるとの結果となった。なお、図- 4.1.3.2(3)からは、両岸に緑地帯を設置した河川沿いでの気温低減効果は明確でない。これは、河川沿いの緑地増分がメッシュ単位と比較して量的に少ないため、2kmメッシュの本計算ではその効果が見えにくいと考えられる。

表- 4.1.3.4 熱環境モデルでの設定内容

熱環境政策	
施策群1	保水性舗装：「道路」の保水率を変更
施策群2	環境保全型ライフスタイルの転換：全「建物用地」について冷熱を50%削減
	エコカーの普及：「道路」の排熱量を1割削減
	屋上緑化：全「建物用地」に屋上緑化を行い、緑被率を向上 保水性建材の利用：全「建物用地」の保水率を変更
施策群3	緑地への転換：市街地の30%と荒川、多摩川の河川沿い500mを緑地に転換

4.1.4 実践に向けた方策の吟味・総合評価

(1) 流域再生のための施策の実施によるコスト

前節での各施策での検討結果に基づき、施策ごとのコストを表- 4.1.4.1に示す。単純には各施策のコストを比較するには、収集した知見ではまだ不十分であり、費用概算の精度の向上が必要であるが、参考資料の1つとなる。

施策群1では、透水性・保水性舗装の整備以外の施策については水物質循環の健全化に目的を特化しているため、水質改善の効果は相対的に高いと考えられる。各施策の比較においては、下水処理場での高度処理施設の導入の費用対効果が相対的に高いという結果が得られた。

施策群2では、ソフト的な対策を主としているが、中水道の整備と屋上緑化整備に要するコストが極めて高く、広域的に実践するには障害となるものと考えられる。また環境保全型ライフスタイルの実践には金銭的成本が極めて小さいものになると考えられる一方で、いかに社会的に受け入れられるかが大きな課題となる。

また、施策群3では、生態系の対策が主であるため、水物質循環の改善効果は施策群1、施策群2と比較して小さい。しかしながら、目に見える生態系の改善効果により環境行動の実践に結びつくという相乗効果が期待されることから、生態系の改善に繋がる自然再生事業の必要性は小さくないと言える。

表- 4.1.4.1 施策群の実施に係わるコスト（水環境政策に限る）

※本表に示す施策の実施によるコストは、既存の資料を用いて概算したものであり、全てのコストを網羅して評価できていないことから、実践に活用するには精査が必要である。

施策群	対策	コスト	備考
施策群 1 （社会資本整備による環境負荷の削減）	下水道整備(整備率 100%)	① 下水管渠の建設費：6,300 億円 ② 二次処理施設等の維持管理費の増分：55 億円／年	
	合流改善（雨天時汚濁排水対策）	雨水貯留池の設置、RTC の整備： 1 兆 7280 億円	雨水貯留池の整備のための用地費が別途想定される。
	下水処理場での高度処理導入	建設費：7270 億円 維持管理費：260 億円／年	施設整備のために用地買収費が必要な場合も考えられる
	単独浄化槽の合併処理化	合併浄化槽の整備費：4900 億円 単独浄化槽の撤去費：300 億円	
	高度処理型合併浄化槽の設置	高度合併処理浄化槽の整備費： 1 兆 3780 億円 高度合併処理浄化槽の維持管理費： 1270 億円／年	
	透水性・保水性舗装(整備率：道路面積の 100%)	透水性・保水性舗装の整備費： 1 兆 4000 億円	
合計		5 兆 8630 億円（維持管理費除く）	「合併浄化槽の整備費」は控除（重複するため）
施策群 2 （自発的または誘導的な環境行動の実践）	環境保全型ライフスタイルへの転換(100%の人が実行)	—	流域住民の協力が必要
	環境保全型農業(施肥削減率 100%)	—	環境保全型作物の認定制度や、不作時の補償制度等の仕組みの整備が必要
	下水処理水の再利用(再利用率 10%)	中水道整備費：15 兆 4700 億円	
	家畜し尿の農地還元(還元率 100%)	施設購入費：5240 億円 運用費：185 億円／年	コンポスト化のみで完全に家畜し尿の農地還元を達成できるわけではない
	雨水貯留浸透施設の整備(設置率：全家庭の 100%)	雨水貯留施設整備費：5800 億円 屋上緑化整備費：12 兆 8000 億円	
合計		29 兆 3700 億円（運用費等除く）	
施策群 3 （自然環境の再生・土地利用の改変）	市街地・河川沿いの緑地化	市街地の植樹費：2 兆 4500 億円	用地買収費が必要な場合も考えられる
	調整池の確保	調整池の整備費：2700 億円	用地買収費が必要な場合も考えられる
	干潟・アマモ場の造成	人工干潟の造成費：1050 億円	
合計		2 兆 8250 億円	

*一人当たりの一年当たりの負担額を維持管理費を考慮すると（減価償却を 50 年と仮定）

施策群 1：3540 億円／年（1 人あたり 約 12,000 円／年）

施策群 2：6060 億円／年（1 人あたり 約 21,000 円／年）

施策群 3：565 億円／年（1 人あたり 約 1,900 円／年）

となる。（施策群 3 は陸域生態系の施策を含めると約 5,100 円／年）

(2) 総合評価の試み

図- 4.1.3.2で水物質循環、生態系（陸域、水域）、熱環境の施策群の実施による改善効果を広域的に示したものの、あくまでもモデルによる環境変化を予測するアウトプットに過ぎず、流域や地域が主体的に選択する目標を設定するための総合的な定量評価を提示することが求められる。そこで総合評価の試みとして項目を指標化することにより、レーダーチャートを作成して検討を行う。対象とする項目は①透明度、②陸域生態系、③水域生態系、④気温、⑤金銭的負担、⑥生活上の負担感の6項目とする。始めに、各項目の評価方法を示す。

1) 透明度

水質の改善効果は数値だけではイメージすることが難しい。そこで COD と透明度との相関が比較的高いことに着目して、透明度を水物質循環に関する評価項目として採用する。図- 4.1.4.1は千葉県公共用水域測定地点の東京湾 8 地点（湾央）の COD と透明度の関係である。評価においては東京湾 8 地点の COD 年平均水質により評価する。

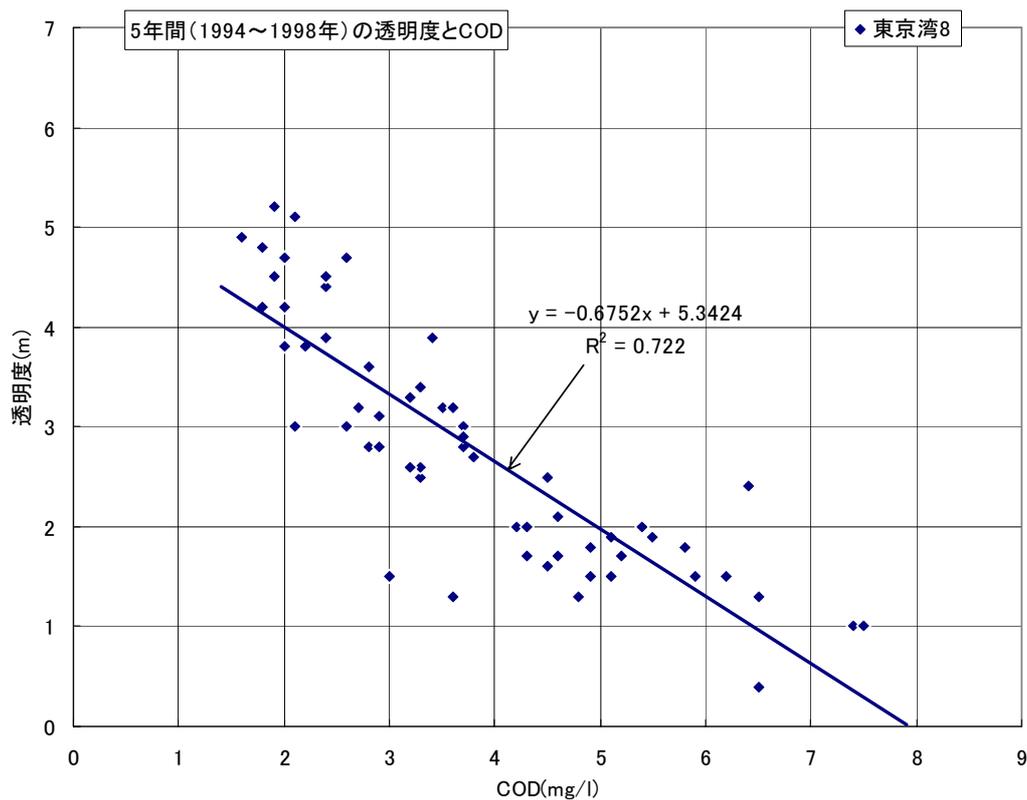


図- 4.1.4.1 COD と透明度の関係

2) 陸域生態系

施策の実施によりニホンリスやシジュウカラの潜在生息地の面積変化を定量化することができる。ここでは生息確率が 0.75 以上の質の高い潜在生息地の面積の増加率で評価を行うこととする。

3) 水域生態系

施策の実施による東京湾におけるアマモの生育場評価により定量的な評価を行う。ここでは図- 4.1.3.4に示す各メッシュの HSI の合計値の増加率により評価する。

4) 気温

ここでは、現況のシミュレーションで最も高温になる練馬における最高気温（14時）の現況からの改善効果（差分）により評価する。

5) 金銭的負担

表- 4.1.4.1で整理した施策群毎の1人あたりの年間の追加負担額により評価する。

6) 生活上の負担感

流域住民の生活様式に関わることで定量的な評価は容易でないが、施策群2では環境行動を行うための不便や負担を受容することが必要であること、施策群3で土地利用の改変に伴う一部住民の転居などの実行という負担の大きさを考慮して、概念的に評価する。生息生育場の改善により動植物に身近に触れ合える環境が創出されるなどの効用は1)~4)で、金銭的な負担の増加は5)で評価を行っているので対象外とする。

以上の項目の評価基準を表- 4.1.4.2に示し、この基準に基づいて施策群1、1+2、1+2+3について、個別の評価を表- 4.1.4.3に、レーダーチャートにより総合的に評価した結果を図- 4.1.4.2に示す。各項目について数値が大きいほど、人々にとって望ましい状態であることを示し、施策群を組み合わせる毎に六角形が右に寄っていくことが伺える。

表- 4.1.4.2 各評価項目の評価基準

レベル	1	2	3
透明度	2.5m	3.5m	4.5m
陸域生態系	現況比 100%	現況比 105%	現況比 110%
水域生態系	現況比 100%	現況比 150%	現況比 200%
気温	現況と同じ	1度低下	2度低下
金銭的負担	追加負担年 4万円	追加負担年 2万円	追加負担年 0円（現況）
生活上の負担感	さらに不便・負担を強いられる	不便・負担を強いられる	現状

表- 4.1.4.3 施策群毎の評価結果

レベル	現況	施策群 1	施策群 1+2	施策群 1+2+3
透明度(湾央)	2.6m	3.8m	4.2m	4.3m
陸域生態系	現状	変化なし	変化なし	ニホリス: 116km ² 増(7.9%増) ジギョウカラ: 201km ² 増(12.2%増)
水域生態系	143.8	160.4 (11.5%増)	163.7 (13.9%増)	232.1 (61.4%増)
気温	現状	0.6度低下	1.3度低下	1.9度低下
金銭的負担	現状	12000円増	33000円増	38000円増
生活上の負担感	現状	変化なし	不便・負担を強いられる	住民の移転など、さらに不便・負担を強いられる

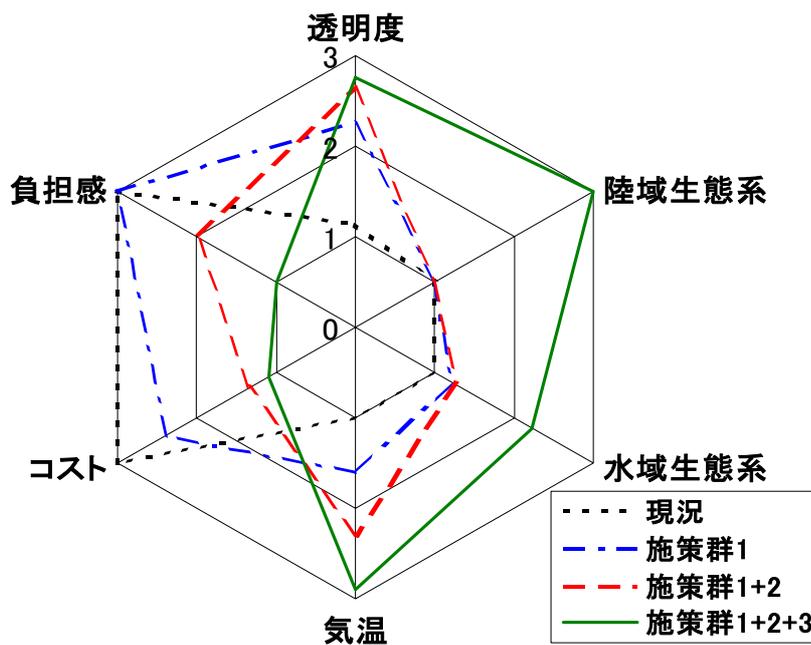


図- 4.1.4.2 施策群の実施による総合評価

評価項目によって重要度が異なり、指標化の方法についてもまだ不完全であるために、どのような施策群を選択することが望ましいかについて、簡単に結論を導くことは現時点では困難であるが、各施策を実施することによるプラス面とマイナス面についてある程度わかりやすく提示することができたのではないかと考える。

(3) 自然共生社会のイメージ

以上のように、4.1.3(2)で水物質循環、生態系（陸域、水域）、熱環境に関する統合的な施策の実施による施策群について、東京湾およびその流域という広域的な評価を行った。また、4.1.4(2)ではコストや社会的負担を含めた総合的評価を施策群ごとに比較することにより、ビジョン案の選択の材料の提供方法のたたき台を示した。

しかしながら、社会環境の変化など数字だけでは表現しきれない評価対象が依然として残されているだけでなく、生態系の改善により実生活にどのような変化が起こるのかなど、実現する社会のイメージ像を専門家でない一般の人々がこれらの結果だけから感覚的に理解することは依然として容易ではない。

そこで、まず現状と自然と共生した国土の再生したイメージ図を概念的ではあるが、図・4.1.4.3、図・4.1.4.4に示した。さらに水物質循環や生態系の健全化などによる流域圏の再生像を具体的に提示するために、水環境に焦点を当てて日常的に触れ合える郊外河川や都市河川、さらには家族連れで水生生物と戯れることができる湾岸における干潟について現状と将来像について表現を試みた。



図- 4.1.4.3 現状の国土イメージ



図- 4.1.4.4 自然と共生した国土の再生イメージ

流域圏 再生

水循環の変化がもたらす生活と社会

郊外の風景

郊外河川では川の水が汚れていると、川に対して人が無関心になります。川の水がきれいになることという意識が多くの人に芽生えます。その要望に対し、川に親しめるように様々な空間整備が実施とが触れ合えるようになり、さらに植物や生物にとって多様な生息環境が再生されます。

市民と社会の価値観によって生活空間がこんなに変わる

●下水処理の高度化や各家庭での排水対策などの努力により、川の水がきれいになります（水質の改善）。

●切り立った堤防を緩やかな斜面にし、川に近づけるので、川遊びができます。

●川への関心が高まり、ごみがなくなります。

●水がきれいになり、川への関心が高まると、多様な動植物の生息環境の再生が促進されます。



■調整池と他の地域との境界を緩やかにし、緑を増やすことにより、調整池の周りで人が憩うことのできる場が多くなります。

景

で、川と触れ合いた
施されると、川と人



- 空間整備の実施により、低層住宅が高層化され、緑が増加します。
- 川の周りで人が憩うことのできる場が多くなります。



流域圏 再生

水循環の変化がもたらす生活と社会

都市の風

都市河川では多くの場合、川の周辺整備がされていますが、川の水は汚く人の憩える場ではありません。そのため様々な施策と都市の再開発を促進することにより、川の水がきれいになり、水辺空間が創出されます。さらに、これらの変化により、人の水環境に対する関心が高まり、動植物の多様な生息環境の再生が促進されます。

都市の質的な再開発を促進する水環境

●下水処理場の整備などの施策や上流域での努力により、水がきれいになります(水質の改善)。

●水環境の改善と都市再開発を連携させることで、快適な水辺空間が創出されます。

●快適な水辺空間ができると、人が多く集まります。

●川への関心が高まり、ごみがなくなります。

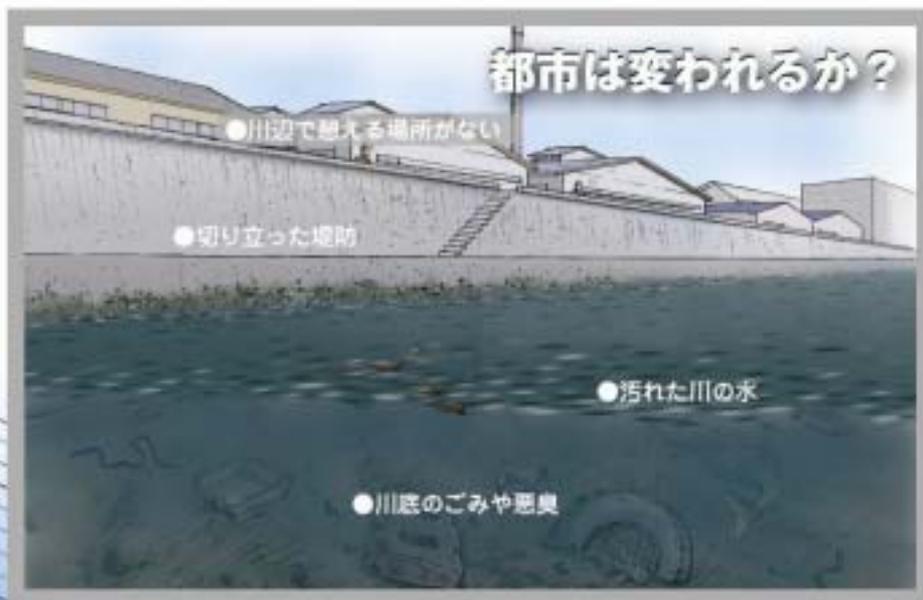
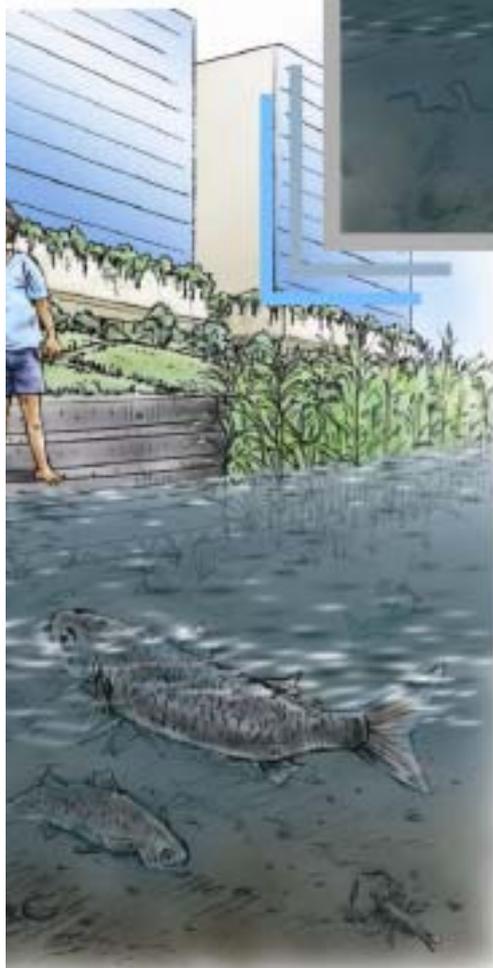
●水がきれいになり、川への関心が高まると、多様な動植物の生息環境の再生が促進されます。



■快適な水辺空間ができ、多くの人が集まるとともに、水中生物だけでなく、水鳥などの生息環境も再生されます。

景

ん。川の水をきれい
人の集まる場となり
主が促進されます。



■低層住宅や工場の高層化などの再開発により、緑が増加し、快適な水辺空間が整備されます。このため、川の近くで休息できるようになる場が多くなります。



流域圏 再生

水循環の変化をもたらす生活と社会

湾岸の風

海岸部では浅瀬がないと人が海と触れ合うことができません。海へ流入する川の水がきれいになり、流れる汚水に対する様々な施策を実施するとともに、浅瀬(干潟)を再生することにより、海岸部の水がります。また干潟の再生に加え海岸部の空間整備を行うことにより、海と人が触れ合えるようになる植物や生物にとって多様な生息環境が再生されます。

水循環と生態系が人間の行動と市民生活の質を変える



●合流改善などの施策や流入河川での努力により、水がきれいになります。

●浅瀬(干潟)の再生でさらに水がきれいになります。(他の施策との連携で、透明度が向上)

●浅瀬ができ、水がきれいになると、海で遊ぶことができます。

●海岸沿いの堤防を整備することで、海へ近づきやすくなります。

景

海へ排出さ
きれいな
り、さらに



●浅瀬ができ、水がきれいになることで、動植物の生息環境の再生が促進されます。



■空間整備の実施により、低層住宅や工場が高層化され、緑が増加します。また、浅瀬の再生により人が海と触れ合えるとともに、動植物の多様な生息環境の再生が促進されます。



4.1.5 まとめ

このように東京湾とその流域圏を対象に、政策シナリオの検討につながる施策群を具体的に設定し、水物質循環モデル・陸域生態系モデル・水域生態系モデル・熱環境モデルを適用して、施策群に応じた環境改善度合いを把握した。水質、生息確率、生育場評価値、気温が各モデルの出力値として定量化されることにより、施策群実施後の流域環境がある程度描かれることは、自然共生型流域圏の構築に向けて有用な情報になるものと考えられる。また、施策効果を表現しうる複数のシミュレーションモデルを用いた総合的な政策検討から得られる重要な観点として以下の点が挙げられる。

a) 多岐にわたる環境問題を解決するための対策を施策パッケージとして評価すること

水物質循環、生態系の健全化およびヒートアイランド現象の対策などの解決に向けては、個別に課題の解決の方策を検討するよりも、多くの課題を同時に改善する方法を選択することが効率的である。複数の環境問題に対する解決手法を施策パッケージとして提案し、シミュレーションモデルによる効果把握を試みたことは、具体的な政策決定へのプロセスに活用するという点で意味を持とう。

例えば、緑地の増加が水物質循環や熱環境の改善、陸域生態系の回復にも資するという複合的効果を持つ。これらを1つの政策シナリオに基づき、それぞれのシミュレーションモデルによって定量的評価が可能になる。

b) 複数の系に及ぼす相乗効果を考慮した施策検討

上記とも関連するが、複数のモデルから解を出す場合、モデル間で相互作用が働く事象については、それを計算に反映させることが重要である。

水質改善と水域生息場の改善が相互にフィードバックする関係は、この必要性を理解するためのわかりやすい例であり、今回簡略化した表現ではあったが、その効果を一部定量化した結果、これについての具体的な検討を行うことができた。

c) 施策による地先の水質改善効果と閉鎖性水域の水質改善効果の関係性を提示

東京湾の水環境の現状を知る機会は、多くの人にとって極めて少ないと言えよう。本検討において流域水物質循環モデルと東京湾流動・水質モデルを接続したことにより、流域の水質改善効果と東京湾の水質改善効果との連動性を示した。地先の努力が東京湾の水環境の回復にも資することを実感することにより、環境改善行動の実践を促す状況づくりにつなげていくことも、シミュレーションモデルに期待される効用の1つであろう。

d) 多面的な施策評価を忘れてはならない

モデルの結果を評価に用いる際には、各施策の効果やコスト（初期と維持管理段階）の比較とともに、数字だけでは表現できない質の違いにも留意すべきである。これには、施策実行面での確実性・信頼性・迅速性、地域住民への波及・浸透効果と好循環創出効果、自然とのふれ合い増進や教育の効果、地域づくりにかかわる効果など様々なものが考えられ、これらを含めた多面的な評価も施策やその組み合わせの選択において欠かすことができない。

参考文献

- 1) 中央環境審議会：第6次水質総量規制の在り方について(答申)， 2005.
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t097-h1703.html>
- 2) 建設省関東地方建設局，東京湾流域別下水道整備総合計画検討委員会：東京湾流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書， 1997.
- 3) 国土交通省港湾局，環境省自然環境局編：干潟ネットワークの再生に向けて～東京湾の干潟等の生態系再生研究会報告書～，pp22-23， 2004.
- 4) 環境省：平成14年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書，pp2. <http://www.env.go.jp/air/report/h15-02/index.html>
- 5) 川島博之：東京湾とその流域における窒素収支の歴史的変遷，沿岸海洋研究，33-2，p147-155， 1996.
- 6) 北澤大輔，多和田茂，藤野正隆：陸域からの物質負荷量に対する東京湾の水質の応答，沿岸海洋研究，40-2，p159-169， 2003.
- 7) 浮田正夫，山原康嗣，中西弘：大阪湾における流入負荷量の推移と内部生産，沿岸海洋研究ノート，29-1，p51-59， 1991.
- 8) 中辻啓二，寺辻貴康，山根伸之：近年70年の大阪湾水質の時間変化と環境事後評価の試み，海岸工学論文集，Vol.45，pp1011-15， 1998.
- 9) 運輸省港湾技術研究所，(財)港湾空間高度化センター，港湾・海域環境研究所：平成9年度東京湾の環境管理に関する調査-その2-報告書， 1998.
- 10) 眞柄泰基：日本における浄化槽の歴史と現状，第3回世界水フォーラム浄化槽分科会要旨集， 2003. <http://www.jeces.or.jp/e/news/images/proceedingsJ.pdf>
- 11) 吉谷純一，木内豪：都市空間におけるヒートアイランド現象の軽減に関する研究(その2)，土木研究所資料，第3783号， 2001.
- 12) 環境省：平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務， pp127-130， 2002.
- 13) 森山正和編：ヒートアイランドの対策と技術，学芸出版社，pp96-110，pp121-131， 2004.
- 14) 飯泉仁：海草類の栄養塩取り込みについて，月刊海洋，Vol.21，No.6，pp317-321， 1989.
- 15) 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会：生物の多様性分野の環境影響評価技術(Ⅱ)生態系アセスメントの進め方について 生物の多様性分野の環境影響評価技術検討会中間報告書， <http://assess.eic.or.jp/houkokusho/tayousei0008/>， 2000.
- 16) 輪島毅，有松健，伊東永徳，豊原哲彦，吉澤忍，福島朋彦：東京湾藻場分布調査ーアマモ場調査のまとめー，日本海洋生物研究所 年報，pp31-37， 2004.
- 17) 平塚純一，山室真澄，石飛裕：アマモ場利用法の再発見から見直される沿岸海草藻場の機能と修復・創生，土木学会誌，vol.88，no.9，pp79-82， 2003.
- 18) セキスイエクステリア WebSite：<http://www.sekisui-exterior.co.jp/shizai07.html>

4.2 霞ヶ浦流域を対象にしたケーススタディ

4.2.1 課題の整理

(1) 霞ヶ浦における水環境の課題

霞ヶ浦は、湖面積に比べて水深が浅く、また湖水の滞留日数が長い(約 200 日)など、その自然・水理条件から水質が汚濁しやすい湖である。また、流域の大部分が市街地や農地などに利用されており、そこでの生活活動の影響を受け、高濃度の窒素やリンを含んだ河川水の流入により、水質が悪化している¹⁾。

1) 霞ヶ浦の水質の変遷

霞ヶ浦では、昭和 30 年代始めまでは概ね良好な水環境が保たれていたが²⁾、昭和 40 年代に水質悪化が明確になり、昭和 50 年代半ばに湖心の COD が 10mg/L を超えた。そのため、夏になると植物プランクトン的一种であるアオコの異常発生も見られた。アオコ発生以降、茨城県では、1974 年(昭和 49 年)に全国で最も厳しい事業所に対する排水規制を行うとともに、下水道に窒素・リンの 3 次処理を導入するなど、富栄養化対策に取り組んでいる³⁾。昭和 60 年 12 月には、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼に指定され、3 期 15 年間にわたって湖沼水質保全計画が策定されてきた。現在も、第 4 期湖沼水質保全計画(平成 13~17 年度)⁴⁾に基づき、流域および、湖沼内における各種の水質保全対策が行われているが、昭和 60 年代以降、目立った水質の改善は全体的には見られておらず、COD、T-N は横這いで、T-P は増加傾向にある(図- 4.2.1.1)⁵⁾。

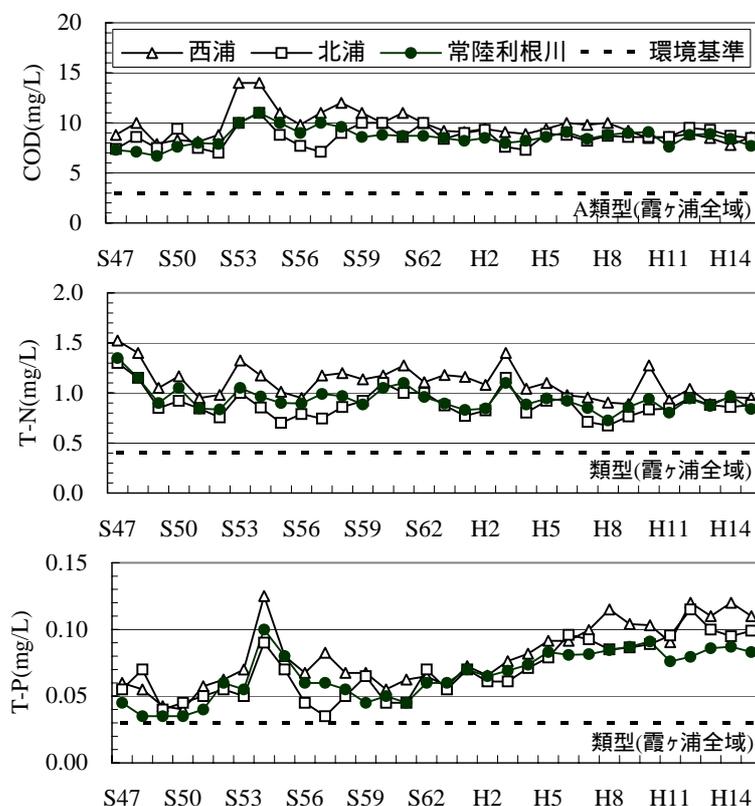


図- 4.2.1.1 霞ヶ浦の水質経年変化(COD(75%値)、T-N、T-P(年平均値))⁵⁾

2) 霞ヶ浦の汚濁要因¹⁾

霞ヶ浦の汚濁要因は、図- 4.2.1.2 に示す通り、外部要因と内部要因に大きく二分することができる。霞ヶ浦流域における、外部要因の特性としては、養豚やハス田及びコイ養殖等があげられる。これらの外部要因は、自然汚濁と人為汚濁に分けることができ、現況(平成 12 年度)の霞ヶ浦における内訳を発生ベースで見ると図- 4.2.1.3に示す通りである。COD、T-N については面源系の負荷が最も大きく、次いで生活系、畜産系の順となっており、T-P については、生活系の負荷が最も大きく、次いで面源系、水産系の順となっている。また、内部要因は、底泥からの溶出負荷とそれをもとにした内部生産(プランクトンの増殖)からなる。



図- 4.2.1.2 霞ヶ浦の汚濁要因の分類¹⁾

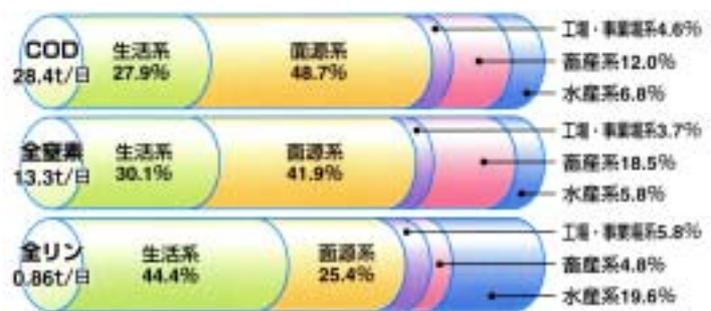


図- 4.2.1.3 COD、窒素、リンの一日の排出負荷量(平成 12 年度現在)¹⁾

さらに、湖内負荷量は図- 4.2.1.4 に示す通りとなっており、COD と T-P では溶出負荷量が流入負荷量を上回り、全体の負荷量の半分以上を占めているのに対して、T-N では、その関係が逆転し、流入負荷量が負荷量全体の半分以上を占めている。



図- 4.2.1.4 COD、窒素、リンの湖内負荷量(平成 12 年度現在)¹⁾

3) 水質汚濁による水質障害

霞ヶ浦の水は、古くから様々な形で利用され、周辺住民の生活に無くてはならないものであった。現在も、表- 4.2.1.1に示すように、水道用水、工業用水、農業用水などとして最大 126.98m³/秒の湖水が利用されている。

霞ヶ浦などの湖沼は、大量の水を確保するには適しているが、富栄養化による水質悪化に注意する必要がある。

霞ヶ浦では、1965年頃から富栄養化の進行により、アオコの発生が見られるようになった。特に1973年の大発生では、湖内で養殖しているコイが酸素の欠乏により1,300t以上と大量にへい死するなど、大きな被害をもたらした。また、アオコの発生とカビ臭によって、異臭味障害や凝集障害、濾過閉塞等の利水被害もたびたび発生しており、その都度対策として浄水場で使用する粒状活性炭の再生までの期間の短縮や生物処理施設の稼働を行った。また、1986年以降は、植物プランクトン組成の変化により、アオコは高浜入り・土浦入りなどごく限られた水域にしか発生しなくなったが、霞ヶ浦水道のカビ臭による被害は毎年のように発生している⁶⁾。

(2) 底泥の堆積

霞ヶ浦沖合部には、過去数万年にわたる流入土砂等が堆積しており、その上に約200年前の浅間噴火による火山灰が堆積している。さらにその上には、最近沈殿した底泥が平均0.3mの厚さで堆積している⁷⁾。これらの底泥から溶出する負荷量は窒素で3割以上、リンでは5割以上を占めるといわれており¹⁾、霞ヶ浦の水質に大きな影響を与えている。

一般に、湖沼の堆積速度は年間1～数mm程度と言われているが、最近の霞ヶ浦における堆積速度は年に数mmから10mmの割合であると推定されている⁷⁾。

表- 4.2.1.1 霞ヶ浦における水利用の状況¹⁾

事 項		最大取水量 (m ³ /s)
農業用水	慣行	3.96
	許可	106.61
上水道用水	慣行	3.21
工業用水	慣行	12.24
雑用水	慣行	0.96
合 計		126.98

(平成15年3月31日現在)

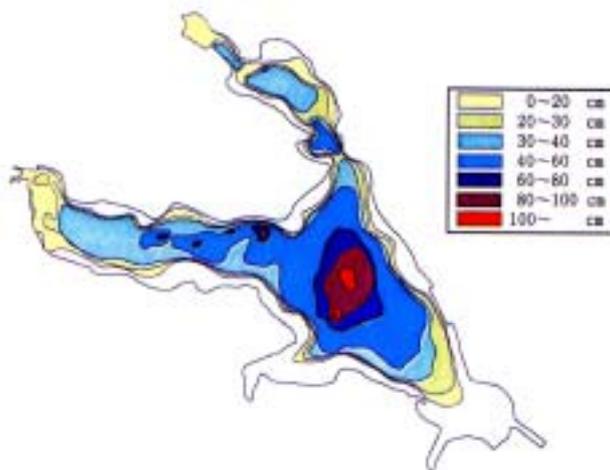


図- 4.2.1.5 底泥厚の分布状況⁷⁾

(3) 湖岸植生の変化

明治前期から現在までの湖岸線の植生帯分布の変遷を図- 4.2.1.6～図- 4.2.1.8に示す⁸⁾。明治前期には、主にヨシ原から構成される植生帯が合計で 36km² にも及んでいた。昭和 35 年推定の植生帯は 14km² とされているので、単純な比較で約 2.6 倍の広さであった。また、36km² は迅速図のなかで明らかにヨシ原として図示されている部分であり、沖合いに向けての浮葉植物、沈水植物はこれらの面積に含まれていないので、実際の水生植物の面積は広大な範囲を占めていたものと考えられる。現在では、植生帯の多くは消失し、現存量は約 12.8ha(0.128km²)と考えられている。

このように、霞ヶ浦の湖岸植生帯が消失した理由としては、湖の富栄養化によるアオコの発生によって日光が遮られることで沈水植物が消滅したこと、水資源開発に伴って実施された護岸工事そのものによるヨシ原の消滅や、堤防からの返し波や湖流の変化による影響などが考えられる。また、水資源開発に伴って行われた水位制御によって冬期の水位が上昇したことで、ヨシの発芽が阻害されているともいわれている⁹⁾。これらの湖岸植生帯は、自然景観を構成する重要な要素であるとともに、魚類や鳥類など様々な生き物を育成する場でもあり、その消失は生物の多様性を貧弱にしたり、漁獲の減少にもつながる。さらに、湖岸植生帯がもつ水質浄化機能が喪失されることにより、さらなる水質悪化にもつながることになる。

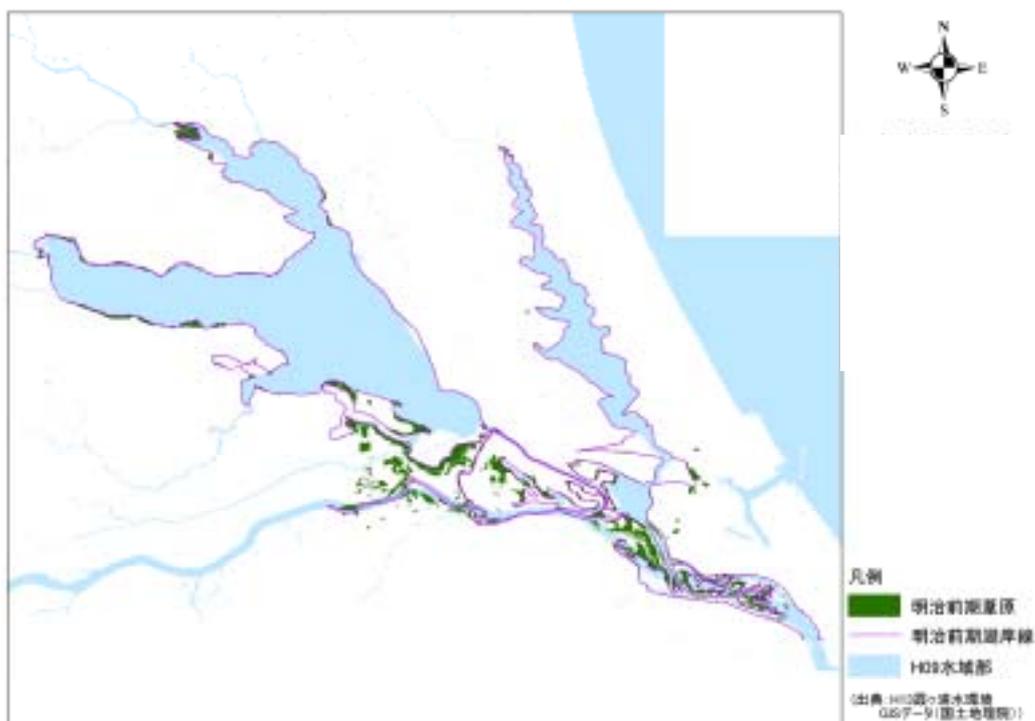


図- 4.2.1.6 明治前期の葦原の分布の様子⁸⁾

迅速図において明らかにヨシ原として分かる部分のみを図示しており、沈水植物や浮葉植物については示されていない。



図- 4.2.1.7 昭和 35 年当時の植生分布⁸⁾

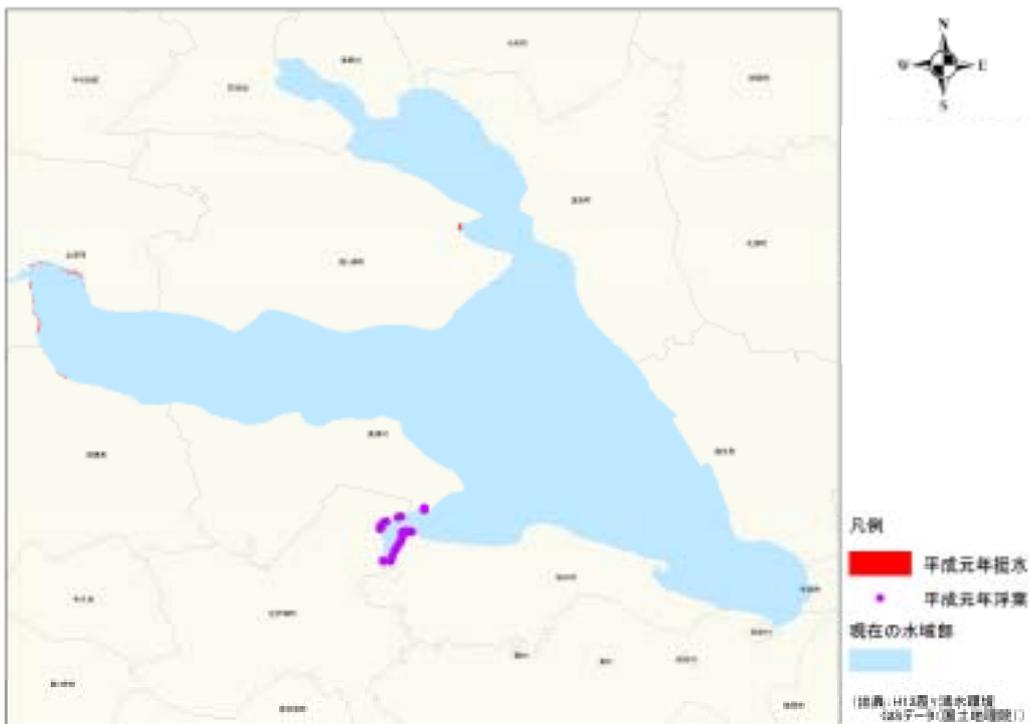


図- 4.2.1.8 平成元年の植生分布⁸⁾

(4) 新たな問題

従来からの問題の他に、近年では、COD の季節変動の喪失や湖水の白濁化といった新たな問題も発生している⁹⁾、¹⁰⁾。

かつて、霞ヶ浦の植物プランクトンは夏季に異常増殖するミクロキスティスという藍藻類が優占していたが、最近では年間を通じて増殖するオシラトリアやフォルミディウムといった種が優占するようになった。これにより、夏季の爆発的なアオコの増殖と緑色化、悪臭の発生はなくなったものの、冬季においても COD 濃度が高く、透明度も悪くなっている⁹⁾。さらに、懸濁態ではない溶存態の COD が増加し、その割合が 50%を超えることも起きるようになったことで、植物プランクトンの増殖と関わりのない有機物が大量に存在するようになり、COD の季節変動が喪失される原因の一つとなっている。溶存態の COD 増加については、霞ヶ浦だけではなく、琵琶湖や印旛沼などでも見られている。これは、従来の富栄養化対策を大きく変える可能性もあり、早急な対策が必要である⁹⁾。

また、最近では、湖面が白く濁る現象(白濁化)が見られるようになった。茨城県の調査結果によると、その原因は植物プランクトンではなく、粘土のような無機質な物質である。これについても原因は特定できておらず、白濁化による透明度の減少等の問題も考えられることから、早急な解明が必要である⁹⁾。

(5) 過去再現計算

1) 過去再現の試みの意義

水環境改善の取り組みの将来への方向性を描く場合、過去の良好な水質が保たれていた時代から水質が悪化して固定化した現在までの変遷を、大局的に理解することが重要である。本検討では、霞ヶ浦とその流域を対象とし、水質が良好であった過去から現在までの水質再現について、水物質循環モデルを通じた検討を行うことで、霞ヶ浦とその流域の環境変遷の構図の理解を試みる。

2) 過去再現の条件設定

過去再現の対象年は、まだ霞ヶ浦の汚濁が進んでいなかった昭和 35 年頃、汚濁が最もひどかった昭和 55 年頃、第 2 期湖沼計画が策定された平成 2 年頃、第 3 期湖沼計画が策定された平成 7 年頃の 4 時点とする。

表- 4.2.1.2に示す流域条件及び水域条件のもと¹¹⁾、第 4 期湖沼水質保全計画⁴⁾の汚濁負荷原単位を用いて計算を行った。なお、過去再現計算時の条件設定に際しては、極力、再現年当時のデータ収集に努めたが、当時の知見がない条件については、近傍の年の情報がある項目については前後の情報から内挿して求め、また、それらの知見も無く、水物質循環へ与える影響が大きいと考えられる項目については現況と同じ値を与える等の方法で設定した。また、底質条件(溶出速度)については、底質濃度の実測値を参考に、現況との濃度の割合で設定した。計算は、3.2.1 で構築したモデルを用いて行い、陸域モデルは平成 13 年の 1 年間の気象条件での単年計算を、それをうけた湖沼モデルは平成 13 年の 1 年間の気象条件で 5 年分の繰り返し計算を行い、5 年目の計算値を用いて評価した。

表- 4.2.1.2 過去の条件設定一覧

項目		昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
1	地形条件 (地形、標高、地質)	現況と同じとする。				
2	土地利用	トレンドから推定	国土数値情報 (S51) を用いる。	国土数値情報 (H3) を用いる。	国土数値情報 (H9) を用いる。	国土数値情報 (H9) を用いる。
3	人口	参考資料から設定 分布は現況の分布を踏襲する。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
4	汚水処理形態	参考資料から設定		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
5	家畜頭数	トレンドから推定 分布は現況の分布を踏襲する。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
6	原単位	生活系	第 4 期湖沼計画での原単位			
		家畜系				
7	工業系負荷	第 2 期湖沼計画のフレーム値と同じとする。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	工業統計 3 次メッシュデータ
8	植生帯	トレンドから推定				
9	コイ養殖	トレンドから推定				
10	シジミ漁獲量	トレンドから推定				
11	底質条件	観測データを参考に設定				
12	各種モデルパラメータ	現況と同じパラメータを用いる。				

3) 過去再現計算結果

a) 排出負荷量

流域からの排出負荷量の過去再現結果を表- 4.2.1.3に示す。ここでは、メッシュから排出される生活系、事業所・工場系、畜産系の排出および、下水処理場・し尿処理場からの排出を合計している。汚水量については、人口の増加、ライフスタイルの変化による水使用量の増加により、現況は昭和 35 年の約 2.5 倍となっている。また、負荷量については、COD は平成 2 年で最も多く、その後は減少している。また、昭和 35 年に比べ現況の方が少ない。これは、下水道の整備が進んだことによると考えられる。T-N、T-P については、平成 7 年で最も多く、現況においても、あまり排出負荷量が減少していない。

表- 4.2.1.3 流域からの排出負荷量の変遷

	汚水量 (m ³ /日)	排出負荷量(kg/日)		
		COD	T-N	T-P
昭和 35 年	128,439	10,417	2,471	311
昭和 55 年	229,290	11,968	3,556	412
平成 2 年	294,990	12,240	4,376	480
平成 7 年	315,999	10,898	5,087	521
現 況	323,745	9,086	5,013	494

b) 霞ヶ浦流入量・流入負荷量

陸域から霞ヶ浦へ流入する水量・負荷量の過去再現結果を表- 4.2.1.4に示す。ここでは、河道等から流入する水量・負荷量と、下水処理場等からの直接流入を合計している。水量は、蒸発散量が多く、汚水量が少ない昭和 35 年で最も少ない。また、COD、T-P の流入負荷量は昭和 35 年より増加し続けてきたが、近年の対策の進捗等により、減少傾向にある。しかし、T-N の流入負荷量については、わずかではあるが、近年も増加傾向を示す計算結果となった。

表- 4.2.1.4 霞ヶ浦への流入水量・流入負荷量の変遷

	流入水量 (m ³ /s)	流入負荷量(kg/日)		
		COD	T-N	T-P
昭和 35 年	41.7	20,323	7,635	332
昭和 55 年	42.6	21,472	8,414	408
平成 2 年	43.1	21,666	9,058	458
平成 7 年	43.2	20,349	9,565	487
現 況	43.1	19,034	9,624	469

c) 霞ヶ浦水質

霞ヶ浦(湖心)における水質変遷を図- 4.2.1.9に示す。昭和 35 年の水質をみると、グラフより、西浦湖心(湖心)の COD は 3.1mg/L である。また、その他水域についても 3~6mg/L 程度の値となっており、霞ヶ浦の汚濁が進んでいなかった頃の水質を概ね表現できている。また、その後の水質の変遷について実測データと比較すると、昭和 55 年、平成 2 年の T-P については実測値より高い値を示しているが、COD、T-N の経年変化については、実測値と同程度の値を示しており、計算値は概ね過去の水質状況を良く再現できていると考えられる。

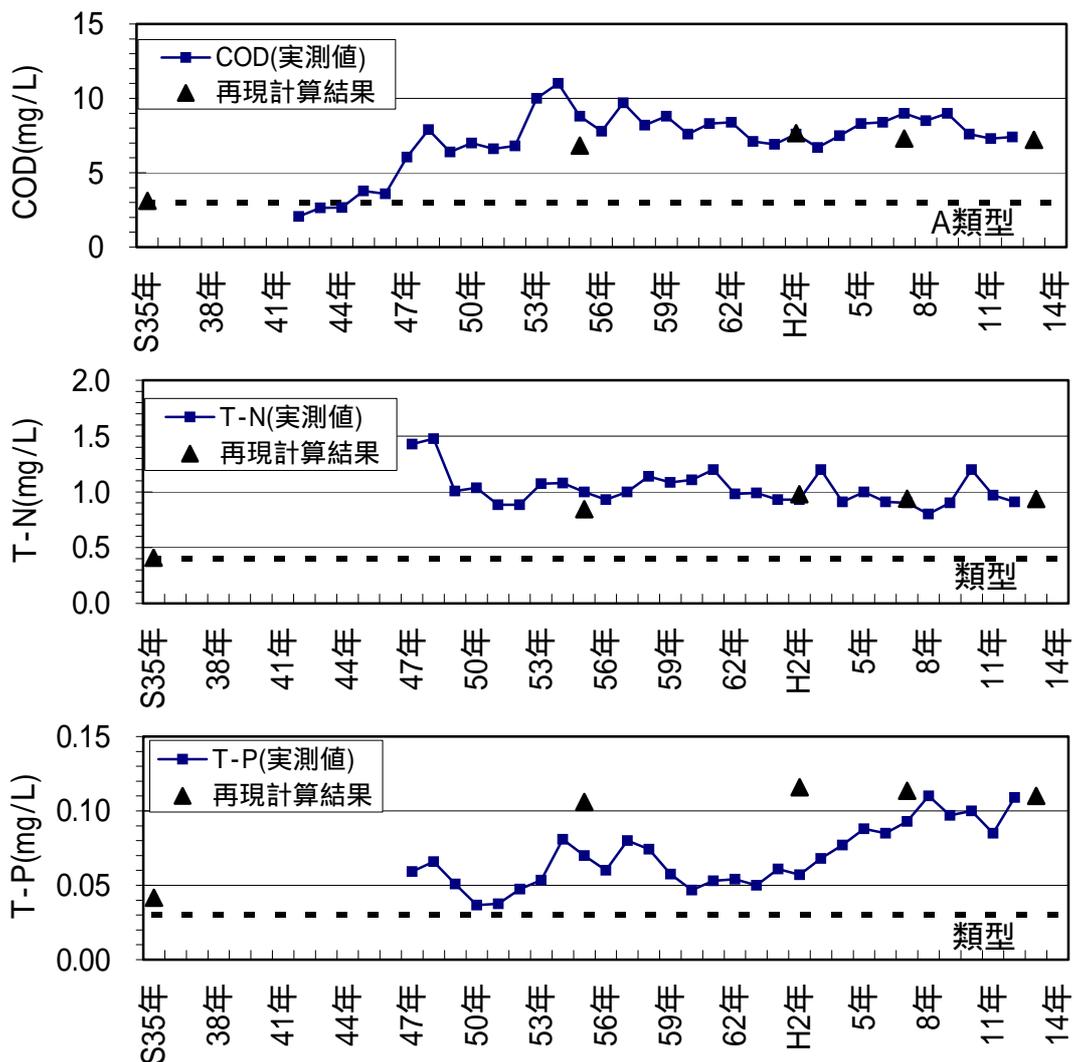


図- 4.2.1.9 霞ヶ浦(湖心)における水質変遷の計算結果と実測値の比較(年平均値)

(6) モデル適用結果から見た水質悪化要因

以上の現況及び過去の再現結果を用いて、昔は健全な水環境を保っていた霞ヶ浦で水質が悪化した原因を現況と過去の負荷量比較により検討する。流域における発生負荷量(外部負荷)と底泥からの溶出量(内部負荷)について、現況、及び、各過去再現年について整理した(図- 4.2.1.10)。外部負荷については、その内訳も示した。なお、水産以外の外部負荷については発生ベースであり、流達率を考慮していないため、ある程度割り引いて考える必要がある。図- 4.2.1.10から、COD の負荷量は面源由来が最も多く、続いて、生活系、溶出由来の順であり、T-N の負荷量については、面源由来、溶出由来、生活系の順、T-P の負荷量については、生活系、溶出由来、面源由来の順であるとの計算結果となっている。また、健全な水環境を保っていた昭和 35 年当時から、水質が悪化した現在までにかけての負荷量の増分についてみると、外部負荷の増分は、COD については面源由来が主であるのに対して、T-N については面源由来の他に生活系の増分が占める割合も大きくなり、T-P については主に生活系の増分の寄与が大きい。

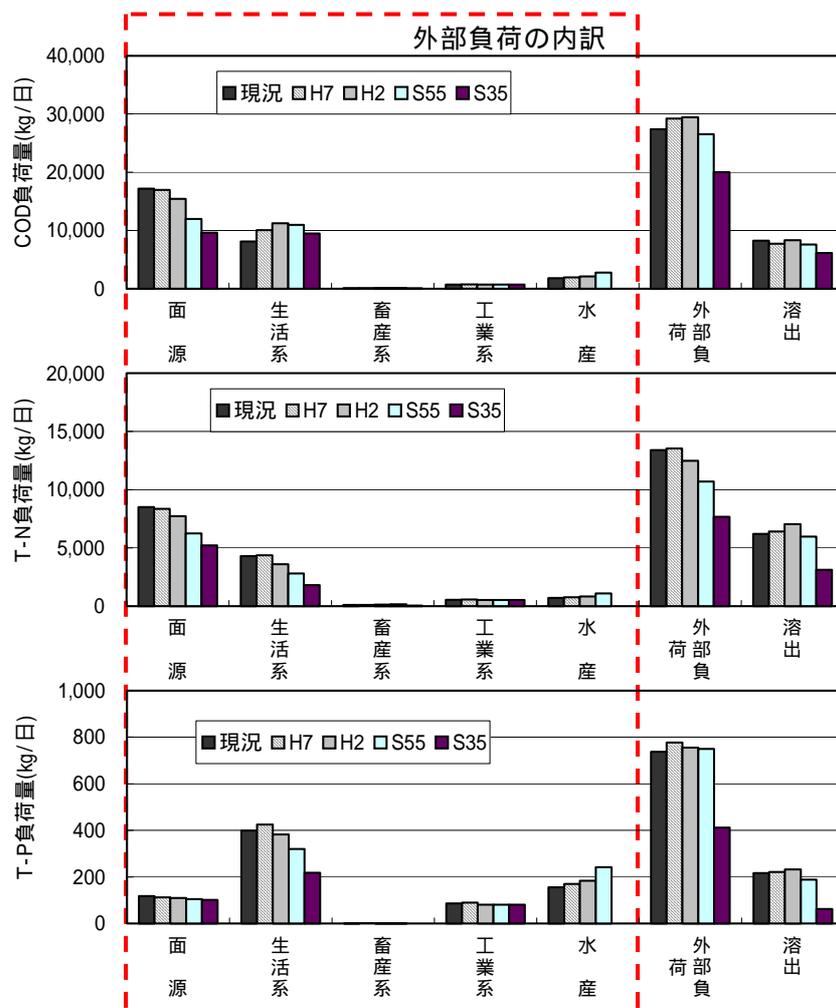


図- 4.2.1.10 霞ヶ浦における負荷量変化のモデルによる計算値

内部負荷と外部負荷のそれぞれが湖沼水質に与える影響について考察するため、内部負荷、外部負荷、及び両者の組み合わせについて、現況の75%、50%、25%、0%としたケースのCOD計算結果を比較した(図-4.2.1.11)。

なお、ここでの外部負荷は図-4.2.1.10の整理と異なり、湖沼への流入ベースの値で計算している。この図から、本モデルでは内部負荷の削減が外部負荷の削減よりも少しだけ水質改善効果が大きいのが、ほぼ同程度の水質改善効果を示しており、水域と陸域の対策のバランスや組み合わせを考えることの重要性が確認されたと言える。

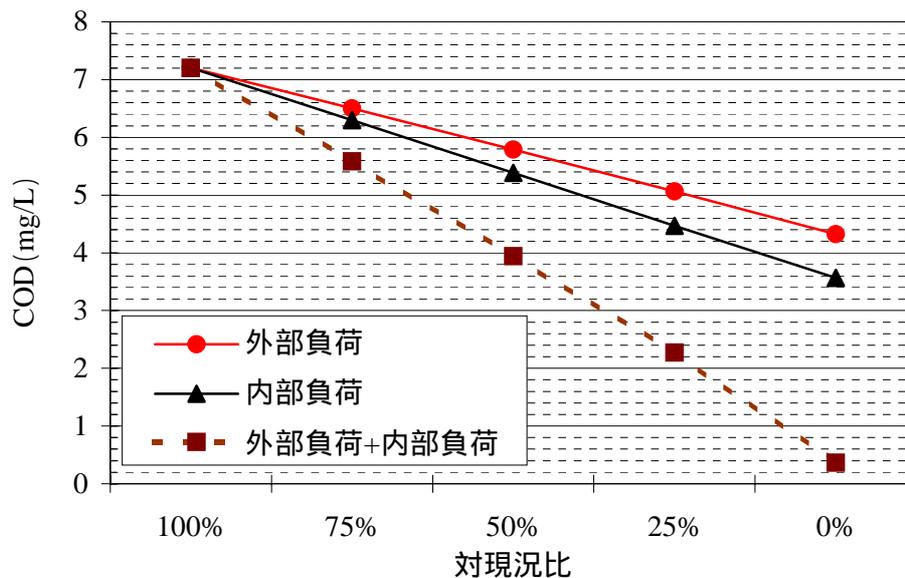


図-4.2.1.11 外部負荷と内部負荷の削減効果の比較(湖心)

4.2.2 霞ヶ浦流域圏再生シナリオの条件設定

(1) シナリオ検討の基本方針

3.2.1で構築したモデルを活用して、水物質循環、生態系の環境改善評価を再生ビジョンに応じて提示することにより、それぞれの環境問題の解決に向けた合意形成に活用する。

ここでは、数多くある施策の効果を体系的に把握するために、それぞれの施策による効果に加えて、複数の施策の組み合わせ(以後、施策群と呼ぶ)についても評価を行うこととした。評価は、以下に示す3つの施策群について行った。

施策群 1：下水道の整備や浄化水の導入等、公共事業によるインフラ整備を主体とした、汚濁負荷削減のためのハード的な施策を集中的に組み合わせたもの

施策群 2：各戸雨水貯留浸透施設の整備、環境保全型ライフスタイルの推進等、住民の生活スタイルの転換をはかるソフト的な施策を組み合わせたもの

施策群 3：湖岸植生帯の再生、湿地浄化等、自然の浄化機能を回復することで汚濁負荷を削減する施策を組み合わせたもの

なお、施策に関わる各種設定については、既往の文献を極力参考にしたが、明確な根拠を持って与えることが現時点では難しく、割り切って設定しているものもある。したがって、以下に述べる結果は、種々の環境改善施策に概ね対応するようにパラメータや条件を

変えて、モデルの感度分析を行ったものとして見るべきものであり、したがって個々の施策の評価に直接資する熟度はまだ有していない。

(2) 計算の前提条件の設定

施策群の検討については、2030年頃を対象として設定することとし、以下に示す条件設定のもとで検討を行う。なお、本検討では、施策が機能するまでの経過時間(事業期間)は考慮していない。

1) 気象条件

気温、降水量等の気象条件については、現況計算(2001年)と同一の条件を与える。

2) 社会条件

人口については、2000年(平成12年)の人口と市町村毎に算定された国立社会保障・人口問題研究所による2030年(平成42年)の中位推計人口の比率を市町村毎に算出し、それを現況計算(2001年)における市町村人口に乗じることで、2030年人口を推定した。これによって、対象年の霞ヶ浦流域人口は、現況の94.7万人から0.9%増加の95.2万人と計算された。

土地利用、産業等については、現況計算(2001年)と同一の条件を与える。

(3) 本検討で用いるモデル

1) 水物質循環モデル

3.2.1で構築し、霞ヶ浦流域に適用した水物質循環モデルにより評価する。本モデルの陸域モデルは、分布型のモデルであることから、地先レベルでの雨水貯留効果や点源汚濁負荷対策、面源汚濁負荷対策などの施策評価を行うことができる。

なお、陸域モデルは2001年(平成13年)の1年間の気象条件での単年計算を、それをうけた湖沼モデルは2001年(平成13年)の1年間の気象条件で5年分の繰り返し計算を行い、5年目の計算値を用いて評価した。

2) 水域生態系モデル

3.2.3(B)で作成した、霞ヶ浦における沈水植物の生育場評価モデルを活用する。これによって、水物質循環モデルで評価される水質改善度を水域生態系モデルに反映することができる。

(4) 各モデルが扱う現象間の相互作用の考慮について

各モデルが扱う現象の間には大なり小なり相互作用がある。それを考慮することは、施策群のあり方を考える上で重要な情報をもたらす可能性がある。ここでは、水物質循環モデルによって計算された施策群の実施による水質改善効果と、水域生態系モデルによる生育場改善効果の間の相互作用について計算を試みた。設定方法の詳細は4.2.3(6)に示す。

4.2.3 シナリオの定量評価

(1) 各種施策の概要

霞ヶ浦およびその流域における水環境改善施策として、浄化用水の導入、浚渫、植生浄化、シジミ浄化、水産負荷対策、重点再生エリア、下水道整備、高度処理合併処理浄化槽、雨水貯留、透水性舗装、下水処理水の再生、湿地浄化、環境保全型ライフスタイル、環境保全型農業、家畜し尿の農地還元、について、単独施策とその組合せについて評価することとした。以下に、各種施策の概要とモデルにおける設定方法を示す。

1) 湖沼内対策

a) 浄化用水の導入

霞ヶ浦に流域外から良好な水質を導水し、希釈効果で水質改善を図る方法で、現在施工中の霞ヶ浦導水による浄化用水の導入を考える。図- 4.2.3.1に示す通り、那珂導水路から最大 $15\text{m}^3/\text{s}$ が高浜、土浦放流口に、利根導水路から最大 $25\text{m}^3/\text{s}$ が湖心に、それぞれ導水される¹²⁾。モデル上では、それぞれの導水量を設定する。



図- 4.2.3.1 霞ヶ浦導水概要図

那珂導水路からの導水は湖沼モデルにおける BOX1(土浦)、BOX2(高浜)の、利根導水路からの導水は BOX4 の入力条件とした。また、公共用水域水質測定結果より、導水水質を表- 4.2.3.1の通り設定した。

表- 4.2.3.1 浄化用水の水質(mg/L)

	COD	T-N	T-P	公共用水域水質測定地点
那珂導水路	2.0	1.44(0.1)	0.038(0.5)	那珂川 下国井地点
利根導水路	4.1	2.73(0.2)	0.100(0.6)	利根川 水郷大橋地点

T-N、T-P の()内の値は懸濁態の比率

b) 浚渫

水域の底部に堆積した有機物を多量に含む底泥を浚渫し、系外に排出することで底泥からの溶出速度の低減を図る方法で、モデル上では各 BOX の浚渫エリア面積を設定する。

霞ヶ浦の全底泥量は、堆積調査により 4,000 万 m³ であると推定され、湖底の底泥から溶出する負荷量は窒素で 3 割以上、リンでは 5 割以上を占めている¹⁾。霞ヶ浦の底泥浚渫事業については、昭和 50 年度に事業を開始し、計画浚渫量は約 800 万 m³ で、平成 13 年度までに、その 72% の約 576 万 m³ が浚渫されている¹⁾。

霞ヶ浦においては、処分地確保など工事全般の経済性、浚渫船開発技術等から浚渫深は 30cm を目標にしている。また、図- 4.2.3.2、図- 4.2.3.3 に示す、表層から 30cm までを除去した場合の溶出速度の調査結果より、浚渫による溶出速度(mg/m²・日)の削減効果を COD で 75%、T-N で 50%、T-P で 60% と設定した。

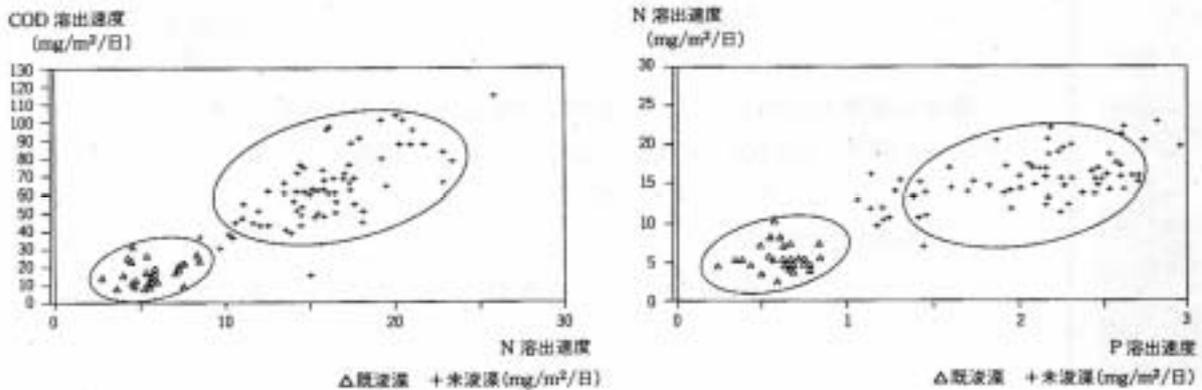


図- 4.2.3.2 浚渫による溶出速度の変化¹³⁾

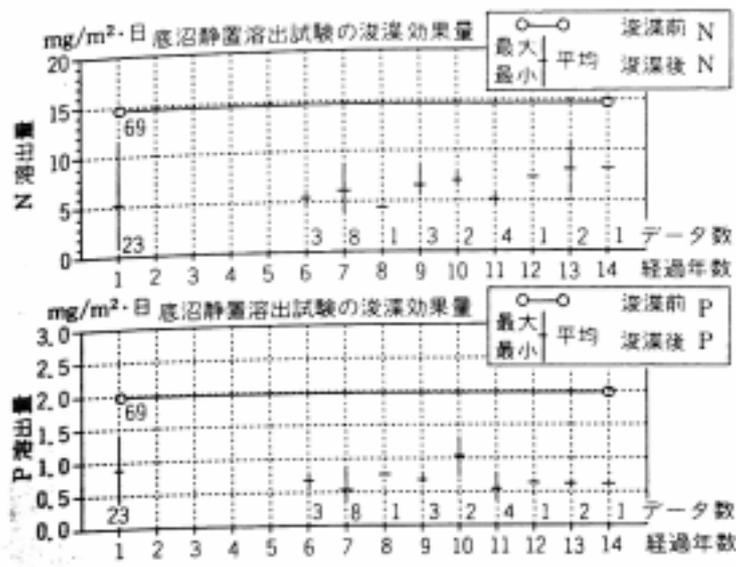


図- 4.2.3.3 浚渫による溶出速度の経年変化¹³⁾

c) 植生浄化

水生植物などの植生帯を再生し、植生の浄化機能により水質の改善を図る方法で、モデル上では各 BOX における植生帯面積を設定する。なお、現在も植生は一部存在するため、現況計算ではこの植生による浄化分を考慮する。

植生の浄化機能としては、主に、図- 4.2.3.4に示す 3 つが考えられる。

- ・ 植生自体の栄養塩類吸収
- ・ 植生の茎や根に付着する藻類・細菌類等による栄養塩類吸収、分解
- ・ 流速の低減や茎等の物理障害作用による、懸濁物質の沈降促進

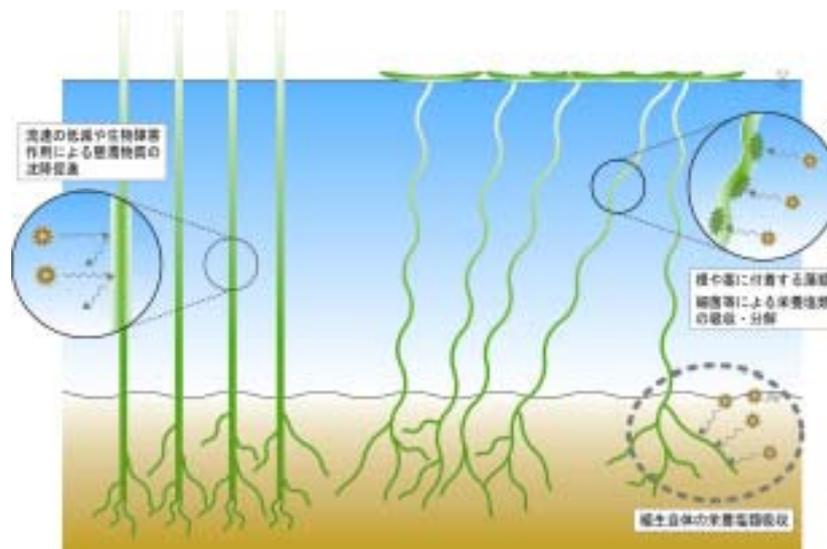


図- 4.2.3.4 植生による浄化機能

本検討においては、水の浄化に人工的に利用するには非常に有望であるといわれるヨシによる植生浄化を対象とし、植生浄化能の測定実験結果^{14)、15)}、および、数理モデルによる自然浄化機能のシミュレーション結果¹⁶⁾について検討を行った。その結果、田畑らが東京都の公園にあるヨシ植栽水路における水質浄化効果を調査した結果¹⁴⁾を用いて表- 4.2.3.2 に示す浄化能を設定し、浄化能と植生帯面積の積で求めた浄化量を各 BOX の水質計算の過程で減じる。

表- 4.2.3.2 植生浄化における浄化能(g/m²/日)

COD	T-N	T-P
0.08	0.07(0.7)	0.006(0.3)

T-N、T-P の()内の値は浄化効果に占める懸濁態の比率

d) シジミ浄化

シジミを養殖することで、湖水の浄化を図ると共に、生態系構造の安定化、漁業資源としての活用などを図る方法で、モデル上では各 BOX のシジミ漁獲量を設定する。なお、現在はシジミの漁獲量が 0 であることから、現況計算ではシジミによる浄化分を考慮しない。

シジミ(汽水種のヤマトシジミ)はろ過摂食により植物プランクトンを湖水から直接餌として取り込んでおり、湖内でシジミを養殖し、漁獲することで、植物プランクトン等の懸濁物を湖水から系外に取り除くことができる。シジミ漁獲による物質除去量の計算方法を以下に示す¹⁷⁾。

- ・二枚貝は、重量の 25%が軟体部で、そのうち窒素は 1.7%、貝殻部分が 75%で、そのうち窒素は 0.2%である。したがって、二枚貝が含有する窒素比率は $(0.25 \times 0.017 + 0.75 \times 0.002) \times 100 = 0.575\%$ となる。
- ・レッドフィールド比(炭素：窒素：リン = 106：16：1)と前述の窒素の割合より、二枚貝が含有するリンの割合は 0.0359%となる。
- ・レッドフィールド比(炭素：窒素：リン = 106：16：1)および炭素と酸素の重量比 32/12 = 2.66 より、COD のレッドフィールド比を 282.7 と設定し、これと前述の窒素の割合より、二枚貝が含有する COD の割合は 10.158%となる。

以上より、シジミ湿重量に対する物質重量比率を表- 4.2.3.3の通り設定し、この比率と漁獲量の積で算出した浄化量を各 BOX の水質計算の過程で減じる。

表- 4.2.3.3 シジミ湿重量に対する物質重量比率(%)

COD	窒素(有機態窒素)	リン(有機態リン)
10.1583	0.5750	0.0359

e) 水産負荷対策

コイ養殖負荷の削減を行うことで水質の改善を図る方法で、モデル上では各 BOX のコイ生産量を設定する。なお、現況計算では、現在の養殖コイ現存量を考慮する。

コイ養殖による負荷は、コイが排泄する栄養塩類、未摂取飼料などから生じるものである。松岡¹⁸⁾は、霞ヶ浦におけるコイ養殖負荷を、霞ヶ浦における地域性、季節変化などに注目して検討した相崎ら¹⁹⁾の検討成果に基づき、次式で表現した。

$$L = e \cdot P_G$$

L : 養殖負荷量(COD、N、P) [kg] P_G : コイ生産量 [トン]

e : 養殖負荷原単位(COD : 133.8、N : 82.4、P : 15.8) [kg/コイ生産トン]

f) 重点再生エリア

特定水域において、図- 4.2.3.5に示すような囲い込み水域を設定し、各種の施策を集中的に実施することで、施策の効果が理解しやすくなる。また併せて、近隣の公園等との一体整備により、市民の憩いの場となる親水空間の場を創出することも可能である。

重点再生エリアにおいて実施が可能な施策を以下に示す。これらの施策を組み合わせせて実施し、効果的にエリア内外の水質を改善する。

なお、本検討においては土浦重点エリアにおいて 300m × 300m の囲い込みエリアを設定し、囲い込み内への浄化用水の導入を行ったケースについて検討を行う(図- 4.2.3.5の右)。

- 水質悪化要因を封じ込める施策
- ・ 汚濁負荷の封じ込め(汚濁河川を重点エリアに流入させる)
 - ・ 下水処理水の封じ込め(下水処理場放流水を重点エリアに流入させる)
- 封じ込めた水質悪化要因に対する対策を重点的に進める施策
- ・ 汚濁河川流域における重点的流域対策
 - ・ 浚渫
- 水質浄化に資する対策を重点的に進める施策
- ・ 植生浄化
 - ・ シジミ浄化
 - ・ 浄化用水の導入

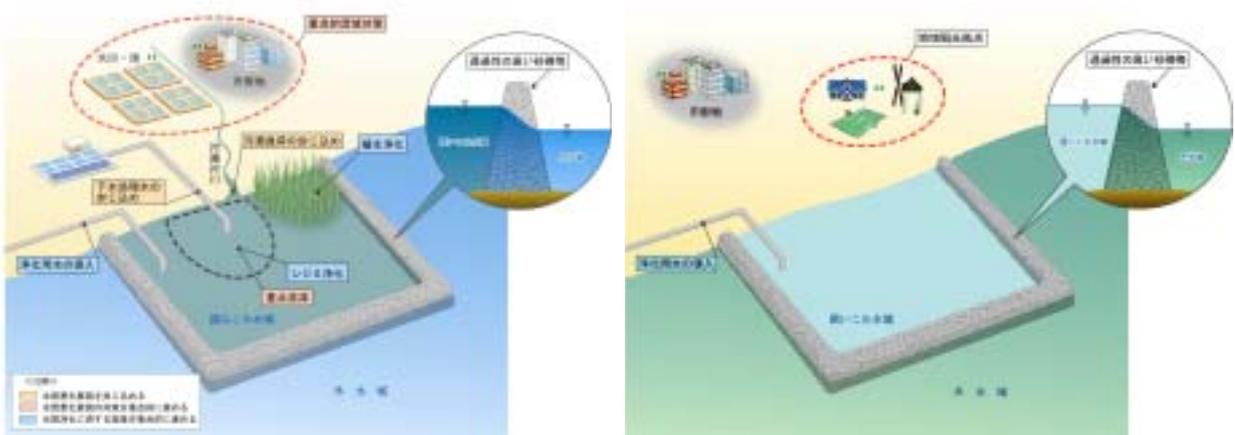


図- 4.2.3.5 重点エリア対策のイメージ(左：検討可能な施策、右：本検討で設定した施策)

重点エリアの設置箇所は、土浦入りの霞ヶ浦浄水場地先と、高浜入りの2箇所を想定しており、モデル上ではそれぞれの再生エリアの有無を自由に選択できる。重点再生エリアについて、モデル上で設定可能な施策及びその諸元を表- 4.2.3.4に示す。

表- 4.2.3.4 モデル上で設定可能な重点エリアにおける施策とその諸元

諸元	土浦重点エリア	高浜重点エリア
設置箇所	土浦入り 霞ヶ浦浄水場地先	高浜入り
面積	100m×100m(変更可)	3.54km ² (変更不可)
水域設置方式	三方が囲み堤、一方が湖岸の方形エリア。100×100mであれば、囲み堤延長は100×3=300mとなる。	高浜入り狭さく部を直線堤で結ぶ(L=600m)。堤内部が囲み水域となる。
浄化用水導入	霞導水土浦放流口からの導水が可能。導水量は任意値設定可。	霞導水高浜放流口からの導水は全てエリアに導水される。
浚渫	再生エリアにおける浚渫面積が設定可。	
植生浄化	再生エリアにおける植生面積が設定可。	
シジミ浄化	再生エリアにおけるシジミ漁獲高が設定可。	
下水処理場の封じ込め	霞ヶ浦流域下水道処理場(土浦市湖北)の放流水を封じ込めることが可能(ただし直線距離約3kmの放流管敷設の必要がある)。	近隣に下水処理場がないため選択不可。
汚濁負荷封じ込め	エリア付近に流入する水路(流域モデル上は集水面積1km ²)の負荷の封じ込めの有無を選択可。	恋瀬川・山王川の負荷を常に封じ込める。
水道等取水	霞ヶ浦浄水場の取水の有無を選択可	エリア内に水道等取水はないため選択不可。
付帯機能	霞ヶ浦総合公園(国民宿舎、ネイチャーセンターなど付設)と隣接するため、親水公園としての一体整備を図ることが可能。	

エリア囲み堤は、透過性の素材(砂礫等)からなるとし、水は浸透流により移動する。水が砂礫部を通過する際には、砂礫が持つ下記の機能による浄化効果を受ける。

- ・ 流速の低減や砂礫の物理障害作用による、懸濁物質の沈降促進
- ・ 砂礫に付着する藻類・細菌類等による栄養塩類吸収、分解

また、エリア内外どちらかの水位が堤天端高を超える場合、越流による水移動が生じる。

囲み堤に関する定数は自由に設定することができるが、デフォルト値として表- 4.2.3.5の通り設定する。

表- 4.2.3.5 囲み堤の定数

項目	設定値
堤天端高	平均水位+0.5m
堤巾	5m
透水係数	5cm/s
浄化係数	2 /日

2) 霞ヶ浦流域対策

a) 下水道整備

下水道を流域全体に整備し、生活および工業系の負荷の抑制を図る施策で、現状の人口分布をベースラインとして、将来の下水道整備率を設定し、変更された污水处理形態別人口に応じて、排出汚水量、排出負荷量を再計算する。モデル上では、下水道水洗化以外の人口について、その下水道水洗化人口への変化割合を設定する。なお、現況については、第4期の湖沼計画に基づいて設定した。

霞ヶ浦流域の下水処理場と下水道整備域を図- 4.2.3.6に示す。

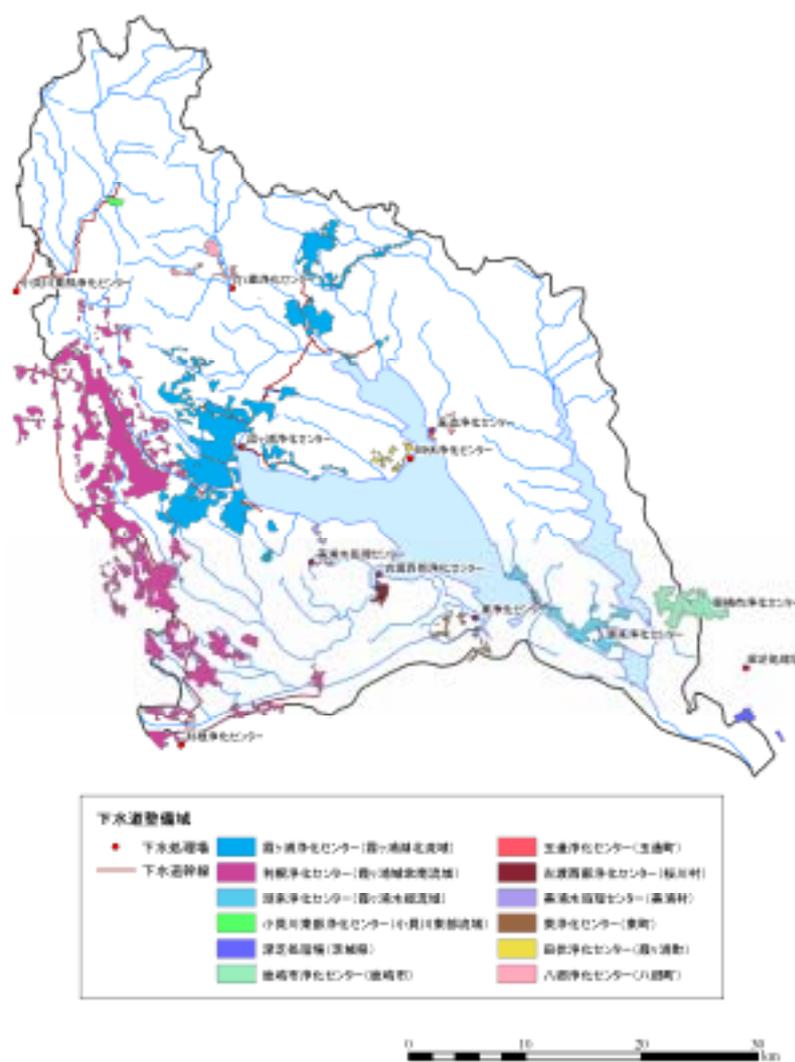


図- 4.2.3.6 霞ヶ浦流域の下水処理場

下水処理場からの汚濁負荷量は、下水処理場からの放流量に放流水質原単位をかけて算出した。また、下水処理場からの放流量は、下水処理人口に排水量原単位をかけて算出した。霞ヶ浦流域の下水処理場と、その放流水質および排水量の原単位を表- 4.2.3.6に、現況の整備域をベースに範囲を拡大し、仮想的に設定した将来における下水道整備予定域を図- 4.2.3.7に示す。

表- 4.2.3.6 下水処理場とその原単位^{4)、20)}

No.	処理場名	排出先	放流水質原単位(mg/L)			排水量原単位 (L/人/日)
			COD	T-N	T-P	
1	霞ヶ浦浄化センター	湖沼	6.4	8.17	0.16	348
2	潮来浄化センター	湖沼	5.2	6.28	0.08	292
3	田伏浄化センター	湖沼	6.2	3.87	0.6	199
4	玉造浄化センター	湖沼	5.9	3.78	1.06	138
5	小貝川東部浄化センター	流域外	6.4	22.2	2.43	244
6	利根浄化センター	流域外	9.3	12.9	1.1	244
7	深芝処理場	流域外	28	90.3	1.64	244
8	鹿嶋市浄化センター	流域外	10.5	14.9	0.18	244
9	古渡西部浄化センター	流域内	7.4	2.1	0.96	244
10	美浦水処理センター	流域内	7.4	2.1	0.96	244
11	東浄化センター	流域内	7.4	2.1	0.96	244
12	八郷浄化センター	流域内	12.3	13.2	0.5	244

No.5～12の排水量原単位はNo.1～4の平均値を用いた。

No.9、10の放流水質原単位はNo.11のデータを用いた。

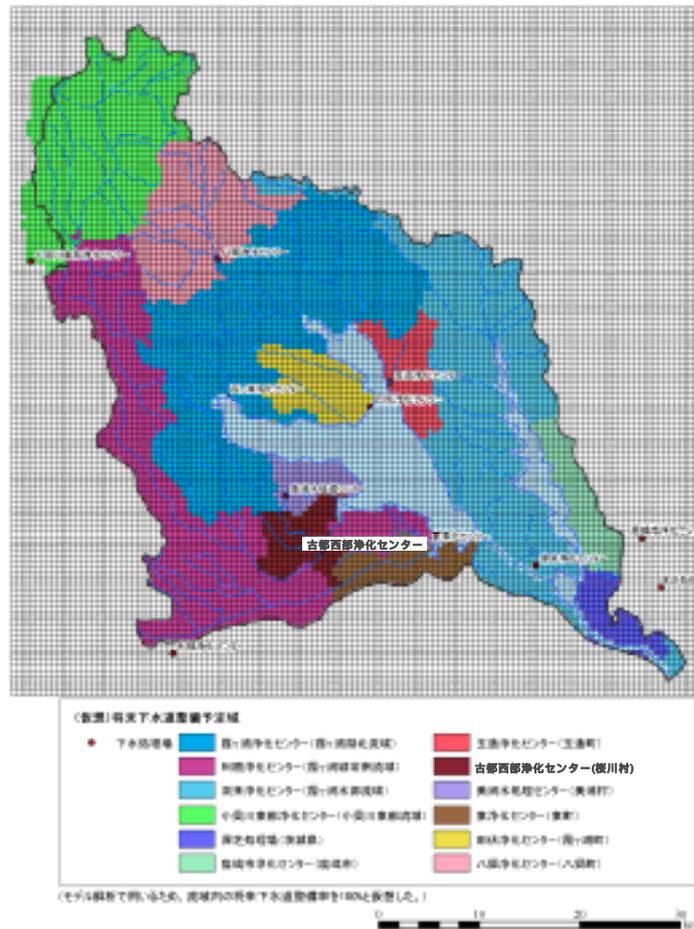


図- 4.2.3.7 将来における下水道整備予定域(仮想)

b) 高度処理合併処理浄化槽

高度処理合併処理浄化槽は、下水道整備区域外の流域住民を対象として、現在の単独処理浄化槽、汲み取り処理などから処理能力が高い高度処理合併処理浄化槽に転換することで生活系負荷の抑制を図る施策で、現状の人口分布をベースラインとして、将来の高度処理合併浄化槽の整備率を設定し、変更された汚水処理形態別人口に応じて、排出汚水量、排出負荷量を再計算する。この際、すでに下水道が整備されている人口に対しては高度処理合併浄化槽の整備は行わない。モデル上では下水道水洗化以外の人口について、その高度処理合併浄化槽整備人口への変化割合を設定する。なお、現況における高度処理合併浄化槽の整備人口が不明であることから、現況計算では高度処理合併浄化槽の整備率を考慮しない。

高度処理合併浄化槽について、平均的な除去率のようなものは決められていないが、茨城県で新しく浄化槽を設置する場合は、高度処理合併浄化槽の設置が義務づけられており、その性能仕様は表- 4.2.3.7に示すとおりである。

表- 4.2.3.7 高度処理合併処理浄化槽の排水基準(茨城県)

項目	COD	T-N	T-P
排水濃度(mg/L)	10	10	1

高度処理合併処理浄化槽の負荷原単位は、表- 4.2.3.7に示す排水基準に、一人あたりの排水量(270L/日)を考慮して表- 4.2.3.8に示す通り設定した。

表- 4.2.3.8 高度処理合併処理浄化槽の負荷原単位

項目	COD	T-N	T-P
負荷原単位 (g/人・日)	2.7	2.7	0.27

c) 雨水貯留

雨水貯留施設は、建物の屋根や壁面に降った雨を貯留するもので、雨水貯留施設を整備することで、治水対策、地下水涵養・雨水資源利用、雨天時流出汚濁負荷対策の3つの機能を果たす。モデル上では、施設整備の対象とする土地利用(市街地宅地以外も選択可能)、指定地域の建坪率(%)、浸透施設の浸透能(m³/hr/m²)、貯留槽の高さ(mm)、雨水貯留浸透を導入する割合(屋根全体に施設を整備するとしたときの、導入する家庭の割合：%)を設定する。計算方法を以下に示す。

- ・指定したメッシュにおいて、貯留浸透施設の設置面積および雨水貯留量を計算する。
設置面積 = 指定地域の宅地面積 × 導入する割合 × 建坪率
雨水貯留量 = 設置面積 × 貯留槽高さ
- ・降雨(蒸発散量を引いた後)を土壌層に達する前に雨水貯留浸透施設で受け止め 貯留する。オーバーフロー分はそのまま土壌層に入れる。
- ・貯留した水は、貯留がなくなるまで、一定量で土壌層に徐々に入れていく。

また、デフォルト値については下記の通り設定した。

- ・指定地域の建坪率(%)：他都道府県の状況を参考に、50%をデフォルト値とする。
- ・浸透施設の浸透能($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$)：浸水トレンチに関する定水位試験の結果、自然地盤の終末浸透速度は約90mm/hrとなった²¹⁾。これを参考に、浸透施設の浸透能 $100\text{mm}/\text{hr} = 0.1\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ をデフォルト値とする。
- ・貯留槽の高さ(mm)：建設省が行った全国の下水道事業による浸水対策用雨水貯留施設を対象としたアンケート調査において、貯留施設規模が降雨量換算で50mm以下の施設数が約90%を占め、5～20mm規模の貯留施設が40%と半数近くであることが分かっている²²⁾。従ってデフォルト値として、貯留施設規模の容量を10mmとする。

d) 透水性舗装

降雨時における路面からの雨水の排除、舗装体中での雨水の一時貯留または地中への還元を目的に $10^{-4}\text{m}/\text{s}$ 程度の高い透水性をもつアスファルト混合物で表面を構成して、透水性を持たせたアスファルト舗装が透水性舗装である²³⁾。これにより、舗装面上に降った雨水を、間隙が多い舗装材の特質を利用して地中に浸透させ、健全な水循環の回復を狙う。モデル上では、施設整備の対象とする土地利用(道路以外も選択可能)、透水性舗装整備率(%)、透水性舗装の浸透能($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$)を設定する。計算方法を以下に示す。

- ・指定したメッシュにおいて、整備率に基づく整備面積を計算する。
整備面積(m^2) = 対象土地利用面積(m^2) × 透水性舗装整備率(%)
- ・指定したメッシュにおいて、整備による増加浸透量を計算する。
増加浸透量(mm/hr) = 整備面積(m^2) × 浸透能($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$)/メッシュ面積(m^2)
- ・降雨時において、増加浸透量分(mm/hr)を降雨量(mm/hr)から差し引く。増加浸透量分を、地下浸透量に付加する。(表層土壌層を介さず、直接地下浸透させる。)

また、デフォルト値については下記の通り設定した。

- ・透水性舗装の浸透能($\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$)： $10^{-4}\text{m}/\text{s} = 0.36\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ をデフォルト値とする。

e) 下水処理水の再生(生活用水利用)

下水処理水を生活用水として再利用することで、下水処理水放流量の減少による負荷削減を図る手法である。処理水を再利用する下水処理場を選択し、生活用水として処理水の再利用を行う。モデル上では、処理水再利用の対象とする下水処理場を選択し、選択した下水処理場ごとに、放流水のうち生活用水として再利用する割合を設定する。

下水処理水を再利用する割合に応じて下水処理水排水量を減少させ、下水処理水排水量の減少に応じて、汚濁負荷量を減少させて計算する。

f) 湿地浄化

河川沿いに湿地を造成することで流入負荷の削減が期待される施策で、湿地を設定するメッシュ(河川メッシュ)を選択し、湿地のもつ植生・土壌・生態系などの機能を活用して

浄化を行う。モデル上では、湿地を設定する河川メッシュを任意に選択するほか、湿地面積(m²)、湿地水深(m)、間隙率(%）、浄化流量(m³/s)を設定する。植生浄化と同様に、以下に示すような機能による水質浄化が期待される。

- ・ 湿地に生育する植生の栄養塩類吸収
- ・ 植生の茎や根に付着する藻類・細菌類等による栄養塩類吸収、分解
- ・ 流速の低減や植生茎等の物理障害作用による懸濁物質の沈降促進

デフォルト値は、湿地水深(m)については Sherwood C. Reed et al.²⁴⁾などを参考に、一般的な値 0.3m を、間隙率(%)についても、一般的な値 70%を設定した。

霞ヶ浦流入河川のうち、流域面積の大きい代表的な河川として桜川、恋瀬川、小野川、巴川の4河川を、また表-4.2.3.9に示す汚濁河川のうちCOD、全窒素、全リンの汚濁状況がそれぞれワースト1、2の河川、計10河川を湿地浄化の対象河川として選定した(表-4.2.3.10)。

表-4.2.3.9 霞ヶ浦に流入する代表的な汚濁河川²⁵⁾

項目	代表汚濁河川と水質(平成14年度、単位 mg/L)
COD	新利根川(9.1)、新川(8.7)、前川(8.6)、山王川(8.2)
全窒素	鉦田川(7.0)、大洋川(5.9)、武田川(5.8)、巴川(5.3)
全リン	山王川(0.37)、園部川(0.31)、滝川(0.22)、花室川(0.20)

表-4.2.3.10 湿地浄化実施河川

河川	選定根拠
桜川	霞ヶ浦最大の流入河川、流域面積 350.3km ²
恋瀬川	霞ヶ浦第2の流入河川、流域面積 212.6km ²
小野川	西浦の主要流入河川、流域面積 175.7km ²
巴川	北浦最大の流入河川、流域面積 131.8km ²
新利根川	平成14年度CODワースト1
新川	" ワースト2
鉦田川	平成14年度全窒素ワースト1
武田川	" ワースト3
山王川	平成14年度全リンワースト1
園部川	" ワースト2

全窒素のワースト2は大洋川であるが、流域面積が小さく、モデルにおいて河川を設定していないことから、ワースト3の武田川を選定した。

g) 環境保全型ライフスタイルへの転換

節水を心がける、汚濁物質をできるだけ出さないようにするなど、流域住民に環境への負荷が低減できるライフスタイルを浸透させることで、排水量や汚濁負荷原単位を削減する施策である。モデル上では、環境保全型ライフスタイルへの「取り組み率(%)」、ライフスタイル転換による「排水量削減率(%)」、ライフスタイル転換による「汚濁負荷原単位削減率(%)」を設定する。排水量、汚濁負荷量は以下の通り算出する。

ア) 排水量

ライフスタイル転換による排水量の削減率をもとに、排水量・下水処理放流量を再計算する(モデル実行時)。転換後の排水量は処理形態別に算出し、それらをメッシュ毎に集計する。

i) 下水道整備域の場合

処理場毎に計算する。モデル上で設定した「排水量削減率(%)」、「取り組み率(%)」から転換による削減量を算出し、現況の排水量から減じる。

$$\text{転換後の排水量(L/日)} = \text{現況の排水量(L/日)} - \text{転換による削減量(L/日)}$$

$$\text{転換による削減量(L/日)}$$

$$= \text{処理場の排水量原単位(L/人・日)} \times \text{「排水量削減率」} \times (\text{対象人口} \times \text{「取り組み率」})$$

ii) 下水道整備域外の場合

処理形態毎に計算する。モデル上で設定した「排水量削減率(%)」、「取り組み率(%)」から、処理形態別の転換による排水量原単位の削減量(L/人・日)を算出する。求めた削減量を現況の排水量原単位(L/人・日)から減じ、処理形態別人口を乗じることで、転換後の排水量を算出する。ただし、し尿処理場からの排水量は排水量の削減の影響を受けないと考えられるため、転換によって変化させないこととした。

$$\text{転換後の排水量(L/日)} = (\text{現況の排水量原単位} - \text{転換による削減量}) \times \text{処理形態別人口}$$

$$\text{転換による削減量} = \text{排水量原単位} \times (1 - \text{「排水量削減率」} \times \text{「取り組み率」})$$

イ) 汚濁負荷量

ライフスタイル転換によって削減される汚濁負荷原単位をもとに、COD、T-N、T-Pの排出負荷量を再計算する(モデル実行時)。転換後の排出負荷量は処理形態別に算出し、それらをメッシュ毎に集計する。なお、ライフスタイル転換によって削減されるのは雑排水未処理の負荷量のみであり、処理されてから放流される負荷量や未処理でもし尿による負荷量は変化しない。

i) 下水道・合併処理浄化槽・農業集落排水の場合

処理されてから放流される負荷量は転換によっても削減されないことから、メッシュ・処理場からの負荷量は変化しない。

ii) 単独浄化槽・し尿自家処理の場合

処理形態毎に計算する。モデル上で設定した「汚濁負荷原単位削減率(%)」、「取り組み率(%)」から、転換による雑排水未処理に関する汚濁負荷原単位の削減量(g/人・日)を算出し、現況の汚濁負荷原単位(g/人・日)から減じる。転換後の汚濁負荷原単位(=雑排水分)に、各処理形態別の汚濁負荷原単位(=し尿分)を加え、処理形態別人口を乗じることで転換後の汚濁負荷量を算出する。

$$\text{転換後の負荷量(g/日)} =$$

$$(\text{転換後の汚濁負荷原単位} + \text{処理形態別原単位}) \times \text{処理形態別人口}$$

$$\text{転換後の汚濁負荷原単位(g/人・日)} = \text{雑排水未処理原単位} - \text{転換による削減量}$$

$$\text{転換による削減量(g/人・日)} = \text{「汚濁負荷原単位削減率」} \times \text{「取り組み率」}$$

iii) し尿処理の場合

モデル上で設定した「汚濁負荷原単位削減率(%)」、「取り組み率(%)」から、転換による雑排水未処理に関する汚濁負荷原単位の削減量(g/人・日)を算出し、現況の汚濁負荷原単位(g/人・日)から減じる。転換後の汚濁負荷原単位(=雑排水分)にし尿処理人口を乗じることによって転換後の汚濁負荷量を算出する。なお、し尿による負荷量は転換によっても削減されないことから、メッシュからの汚濁負荷量のみが削減され、し尿処理場からの負荷量は変化しない。

$$\begin{aligned} \text{転換後の負荷量(g/日)} &= \text{転換後の汚濁負荷原単位} \times \text{し尿処理人口} \\ \text{転換後の汚濁負荷原単位(g/人・日)} &= \text{雑排水未処理原単位} - \text{転換による削減量} \\ \text{転換による削減量(g/人・日)} &= \text{「汚濁負荷原単位削減率」} \times \text{「取り組み率」} \end{aligned}$$

また、デフォルト値については、排水量と汚濁負荷原単位のそれぞれについて、文献等の取り組み事例を参考に、以下の通り設定した。

排水量削減率

表- 4.2.3.11に示す東京都千代田区の排水量削減目標²⁶⁾において、ライフスタイルの転換により、最大 $72.7 / 200.4 = 0.36 = 36\%$ の排水量の削減が見込まれていることから、この割合をライフスタイル転換による排水量削減率のデフォルト値として設定する。

表- 4.2.3.11 東京都千代田区の家庭用水負荷削減目標²⁶⁾

世帯あたり年間水使用量は200.4m³/世帯(東京・3人世帯の標準値一半)で、アクションプログラム②目標1で掲げられた削減率目標1% (年間目標2%) を実践するには、以下のような行動が必要となります。

●水使用量削減のための行動事例

行動目標	環境保全行動	1世帯あたりの年間水使用削減量	設定条件等	
一歩削減のための水使用量を5%削減する	①洗面・シャワーのこぼれをためず、洗面・シャワーのこぼれをためず、洗面・シャワーのこぼれをためず	1.8m ³	洗面・シャワーのこぼれをためず(6) / コップ3杯(0.6) / コップ使用で約5分の節約 / 1世帯で1人が実行した場合は	
	②洗濯でのためすすぎを実行する	9.9m ³	すすぎ(165) / ためすすぎ(110) / ためすすぎ実行で1回5分の節約 / 年に180回洗濯した場合は	
	③週に1回風呂の水の入れ替えを節約する	9.4m ³	180回の浴槽を使用した場合は	
	④シャワーを1回の使用で1分短くする	2.1m ³	1回12分の節約 / 週2日に1回、1世帯で1人が実行した場合は	
	⑤食器洗いは容器を使ってため洗いする	38.5m ³	洗い流し約10分(120) / すすぎ約6杯(24) / ため洗いで100分の節約 / 1日1回実行した場合は	
	⑥洗濯はバケツに浸して行う	2.2m ³	1-2分で洗い流し約20分(240) / バケツ6杯(60) / バケツ使用で180分の節約 / 月に1回実行した場合は	
	●水の再利用	7.2m ³	標準型洗濯機(110) / 水使用量の1/3(約40) / 洗った水を再利用して180回洗濯した場合は	
	⑦雑水や雑排水等に米のとぎ汁、野菜洗いの水、風呂の残り湯などを再利用する	3.6m ³	バケツ2杯分(20) / 雑水 / 1日おきに節水	
	目標達成のための削減	①～⑦を全て実行した場合は	72.7m ³	
	削減率	1世帯あたり標準年間水使用量 200.4m ³ × 削減(4%目標) × 4m ³ (①～⑦の約6%)	削減率 10m ³ (①～⑦の約14%)	

※26) 1997年度実績値(調査) / 東京都水道局
 参考資料: 「もしもの時の防災マニュアル」社 | 東京都防災委員会
 ; 東京都水道局データ (一) 家庭における節水方法例

汚濁負荷原単位削減率

静岡県生活環境部の調査により、厨房管理によってどの程度生活排水・汚濁が除去されるかが示されている(表- 4.2.3.12)²⁷⁾。これは、調理くずや食べ残しを流さない、食器や鍋は洗う前に拭き取る、洗剤の適正な使用、といった対策によるものである。

表- 4.2.3.12 厨房管理による削減効果²⁷⁾

区分 項目	し尿 浄化槽 排水	台所排水			風呂 排水	洗濯 排水	その他	合計		
		無対策	対策	効果(%)				無対策	対策	効果(%)
排水量 (ℓ/日)	212	180	154	14.7	252	244	36	** 924 (712)	** 898 (686)	** 2.8 (3.7)
BOD (g/日)	19.1	54.0	18.7	65.4	39.9	28.6	3.7	145.3 (126.2)	110.0 (90.9)	24.3 (28.0)
SS (+)	13.8	38.5	13.6	64.8	15.2	15.5	4.9	87.9 (74.1)	630 (49.2)	28.3 (33.6)
T-P (+)	6.6	0.5	0.2	60.8	0.1	0.7	0.2	8.1 (1.5)	7.8 (1.2)	3.7 (20.0)
T-N (+)	40.5	2.2	0.8	62.7	1.2	0.9	0.3	45.1 (4.6)	43.7 (3.2)	3.1 (30.4)

備考1 婦人リーダーの協力を得て56年度に実施した生活排水の実態調査結果を4人当りに換算し、今回厨房排水対策を実施した削減効果から全体的な改善効果を試算した。
備考2 し尿浄化槽の汚濁負荷原単位は、建設省下水道調査資料より4人当りに換算したものである。
** () 内の数字は、し尿浄化槽排水を除いた場合の数字。

本検討においては、負荷量の削減率が雑排水未処理にかかってくるので、表- 4.2.3.12の中でし尿浄化槽排水を除いたもの(赤枠部分)で削減率を評価する。

BOD 削減率 : $(54.0-18.7) / (54.0+39.9+28.6+3.7) = 0.280 = 28\%$

T-N 削減率 : $(2.2-0.8) / (2.2+1.2+0.9+0.3) = 0.304 = 30\%$

T-P 削減率 : $(0.5-0.2) / (0.5+0.1+0.7+0.2) = 0.200 = 20\%$

BOD と COD の削減率が同じであると仮定すると、ライフスタイル転換により、COD は 28%、T-N は 30%、T-P は 20%の削減が見込まれる。本検討でも、この割合をライフスタイル転換による排水量削減率のデフォルト値として設定する。

以上より、環境保全型ライフスタイルへの転換による水量・負荷量の削減割合のデフォルト値は表- 4.2.3.13に示す通り設定する。

表- 4.2.3.13 環境保全型ライフスタイルへの転換による
水量・負荷量削減割合のデフォルト値(%)

	排水量	COD 負荷量	T-N 負荷量	T-P 負荷量
削減割合(%)	36	28	30	20

h) 環境保全型農業

農地への施肥量を削減することで、農業地域からのノンポイント汚染源負荷の削減を行う環境保全型農業により排水の改善を図る施策で、環境保全型農業の実施により、排水量や汚濁負荷量の削減による水質改善をはかる。モデル上では、施肥量を削減する土地利用(田か畑か)をチェックし、それぞれ施肥量の削減割合(%)を設定する。

i) 家畜し尿の農地還元

流域で発生する家畜し尿を流出させず、コンポスト化などによって農地に還元させることで、畜産系の排出負荷を削減することができる。したがって施策としては、し尿を堆肥にする施設の設置やそれを利用するシステム作りを行うことで、家畜し尿の農地還元を推進し、畜産系負荷を減少させる。モデル上では、豚および牛のし尿で現在農地還元されていないもののうち、何%を農地還元させるかを設定する。し尿を農地還元させる割合に応じて、牛・豚から発生する負荷原単位を割り引き、割り引かれた畜産系負荷原単位を用いて、汚濁負荷排出量を再計算する(モデル実行時)。

(2) 再生シナリオの設定

本検討においては、インフラ整備を主体とした「施策群 1」、流域住民参加型の「施策群 2」、自然浄化機能回復型の「施策群 3」、の 3 つの施策群と、さらにその施策群を組み合わせたケースについてモデルによる評価を行う。各施策群に含まれる施策メニューについて表- 4.2.3.14に示す。

表- 4.2.3.14 各施策群の概要と施策メニュー

	施策群の概要	施策メニュー
施策群 0	-	(2030 年人口)
施策群 1 (インフラ整備 主体)	下水道の整備や浄化用水の導入など、公共事業を中心とした汚濁負荷削減のためのハード的な施策を集中的に組み合わせたもの。	下水道整備率 100% 透水性舗装の整備 100% 下水処理水の再生利用 100% 浚渫の実施(湖内全域) 浄化導水の導入 (那珂導水 15m ³ /s を土浦へ)
施策群 2 (流域住民参加)	各戸雨水貯留浸透施設の整備、環境保全型ライフスタイルの推進等、住民の生活スタイルの転換をはかるソフト的な施策を組み合わせたもの。	各戸雨水貯留浸透 100% 環境保全型農業による施肥削減 100% 環境保全型ライフスタイル実行者 100% 家畜し尿の農地還元 100% 下水処理水の再利用 100%
施策群 3 (自然浄化機能 回復型)	湖岸植生帯の再生、湿地浄化等、自然の浄化機能を回復することで汚濁負荷を削減する施策を組み合わせたもの。	昭和 35 年当時の植生帯面積(14.9km ²) シジミ漁獲高 3,000 トン(最盛時漁獲高) 主要 10 河川での湿地浄化(面積 1km ² 、浄化水量 5 万トン/日)
その他	水産負荷対策 重点再生エリア	コイ養殖からの水産負荷を 0 にする 透過堤によって、土浦エリアに 0.09km ² を囲い込み、那珂川から 0.1m ³ /s を導水する

(3) 霞ヶ浦流入負荷量の変化

図- 4.2.3.8に、陸域からの流入負荷の削減率を示す。ここでは、河道等から流入する水量・負荷量と、下水処理場等から直接流入する水量・負荷量を合計し、それぞれ現況からの削減率で評価している。まず、施策群 0、すなわち人口に 2030 年推計値を用いたこと以外、現況と変わらない条件では、陸域から流入する水量・負荷量が現況とほとんど差が出ていないことが分かる。これは、この圏域の現況から 2030 年にかけての人口が約 1%の増加とほとんど変化しないため、施策(群)の効果に比べ、人口変化の影響が大幅に小さいと計算されるためである。このことを踏まえ、以後は、施策(群)の実施効果を現況値との比較でみていく。なお、施策 0 において、人口が増加しているにもかかわらず流入負荷量が削減しているのは、下水道整備区域の人口が増加し、未整備区域の人口が減少していることによると考えられる。

次に、各施策群の実施による削減効果を見ると、施策群 1 および 2 については、COD、T-N の負荷量を 40%近く削減している。その一方で、T-P の削減率をみると、施策群 1 では 60%以上を削減しているのに対して、施策群 2 では 10%程度の削減にとどまっている。これは、図- 4.2.1.10の現況を見ると分かる通り、霞ヶ浦流域における負荷の発生が、COD、T-N については面源由来が占める割合が大きいものに対して、T-P については生活系の割合が大きいことによると考えられる。また、施策群 3 は、湖沼内での施策が多く、陸域での施策が湿地浄化の 1 項目のみであるため、負荷量の削減率は 10～15%程度である。さらに、複数のシナリオを組み合わせることで、流入負荷量の削減率がさらに高くなっており、施策群 1、2、3 の全てを組み合わせると流入負荷が 70%以上削減できる。

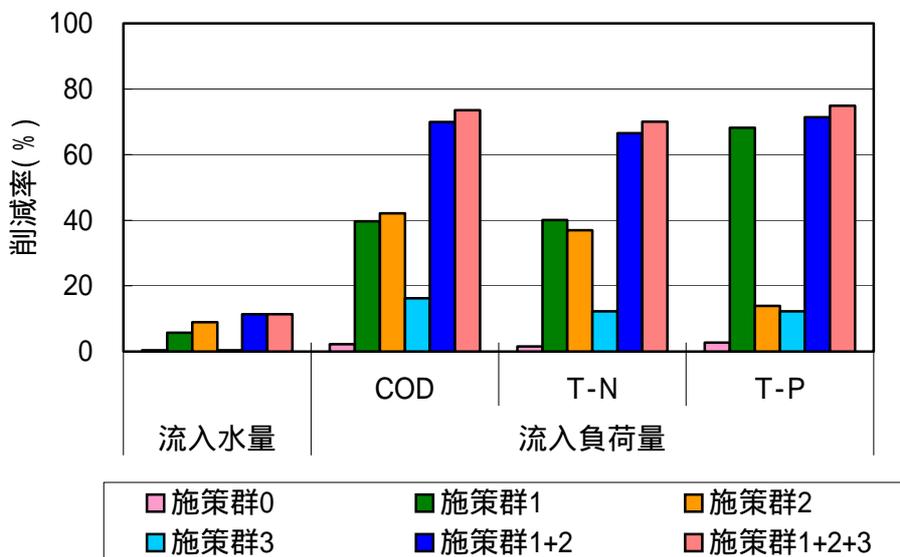


図- 4.2.3.8 陸域からの流入負荷量に関する施策群の実施効果(現況からの削減率)

(4) 霞ヶ浦流入河川水質の変化

施策群実施による霞ヶ浦流入河川の水質変化を、図- 4.2.3.9に示す。施策群 1+2+3 の実施前後について、流入河川の水質が高い傾向を示す 8月のうち、降雨の影響を受けていな

い日時(2001年8月1日0時)の流入河川水質(COD、T-N、T-P)を整理した。これを見ると、施策群1+2+3を実施することによって、霞ヶ浦の流入河川の水質がCOD、T-N、T-Pともに改善していることが分かる。一方で、西浦の高浜入りに流入する山王川等では、施策群の実施後においても他の河川ほどの改善がみられていない。その理由としては、これらの河川においては、今回設定した施策で削減されない工場・事業所系の負荷が平水時の河川水質に及ぼす影響が、他の河川と比較して大きいことが考えられる。

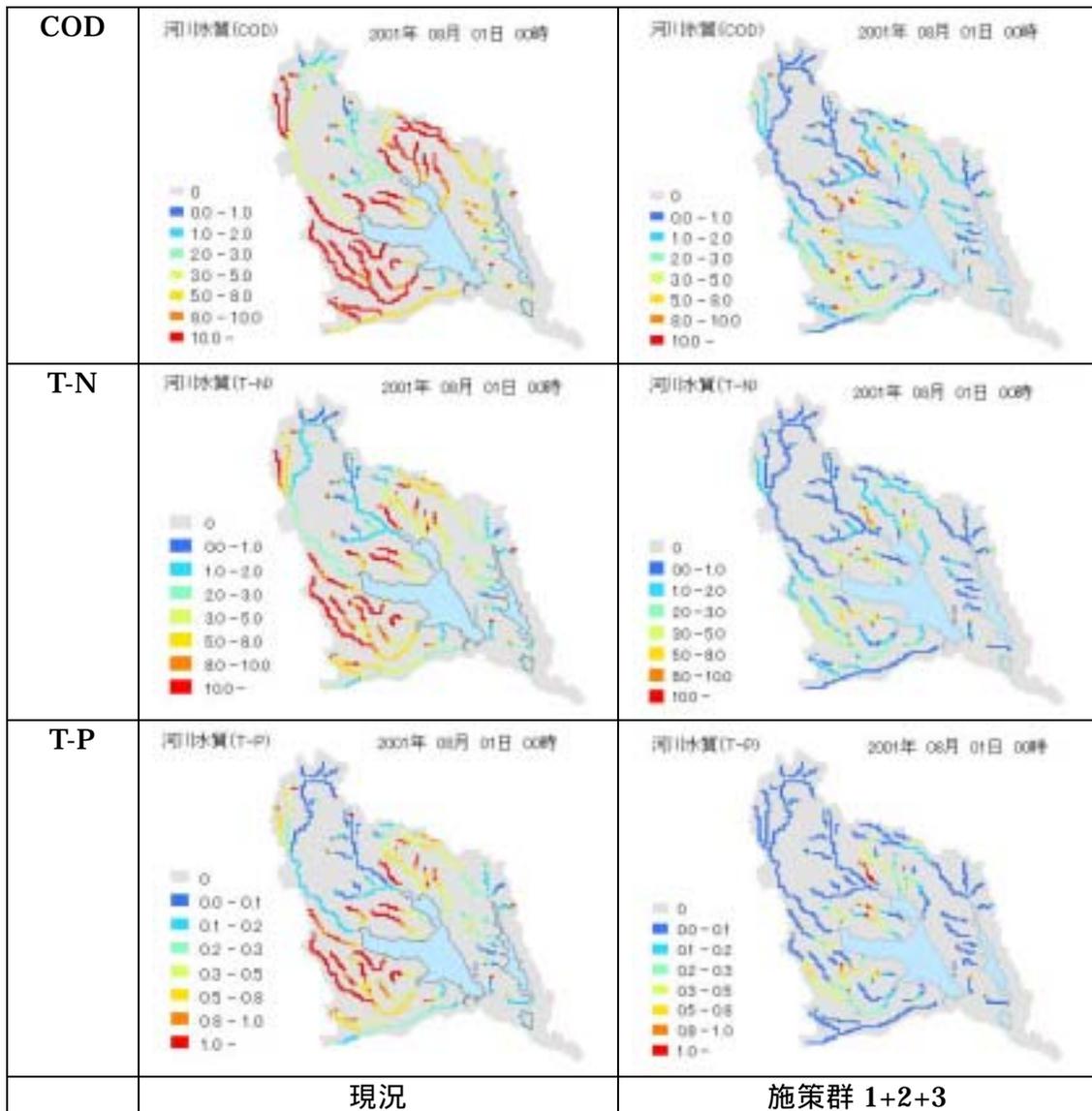


図- 4.2.3.9 再生シナリオによる流入河川水質の変化(2001年8月1日0時)
(左：施策実施前、右：施策群1+2+3実践後：ともに2030年人口)

(5) 霞ヶ浦水質の変化

霞ヶ浦湖心における年平均水質の変化を図- 4.2.3.10に示す。ここでは、COD、T-N、T-Pのそれぞれについて、現況の水質と施策(群)実施後の水質の差分を求め、棒グラフとして図示した。図から、流域対策(黒棒)、湖内対策(青棒)のそれぞれが、一定の水質改善の効果

を示しており、流域対策、湖内対策を総合的に行っていくことの重要性がうかがえる。さらに図- 4.2.3.10には、施策の組合せ効果についても示している(各施策を包含する施策群単位の棒グラフにより表示)。ハード的な施策の集中実施、ソフト的施策を含めた循環型社会の構築、自然機能の回復のいずれについても、各施策単独よりも相当程度効果が増大すること、また、さらに施策群を組み合わせることで効果が増大することがわかる。このことは、複数の施策群を融合させることの重要性を示している。その際には、各組合せの効果やコスト(初期と維持管理段階)の比較とともに、数字だけでは表現できない質の違いにも留意すべきであろう。これには、施策実行面での確実性・信頼性・迅速性、地域住民への波及・浸透効果と好循環創出効果、自然とのふれ合い増進や教育の効果、地域づくりにかかわる効果など様々なものが考えられ、これらを含めた多面的な評価も施策やその組合せの選択において欠かすことができない。

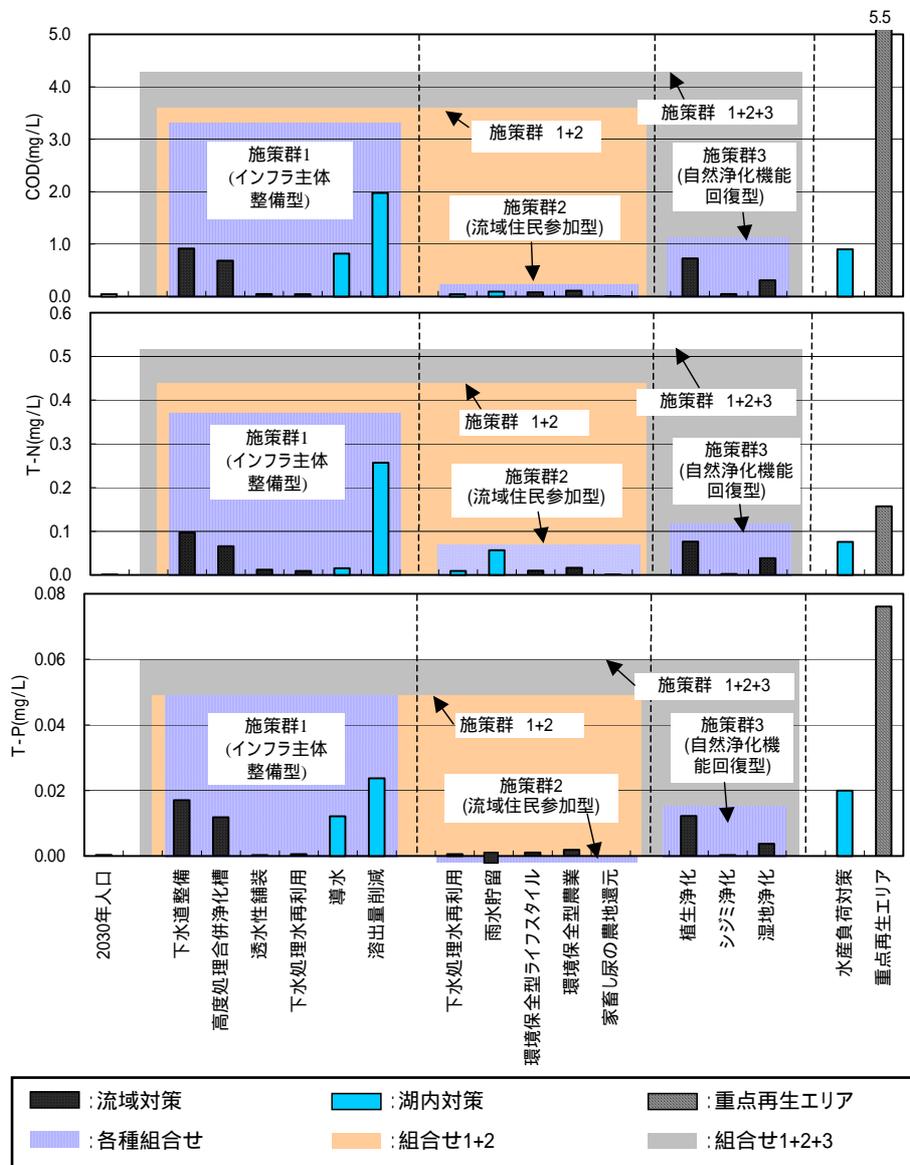


図- 4.2.3.10 霞ヶ浦湖心の年平均水質に関する施策(群)の実施効果(現況との差分)
(上段：COD、中段：T-N、下段：T-P)

(6) 水域生態系モデルによる施策評価

1) 生態系への効果

a) 施策評価のためのモデルの設定条件

3.2.3(B)で作成した霞ヶ浦における沈水植物の生息場評価においては、環境要因(環境因子)として傾斜角(湖岸勾配)、底質(代表粒径)、波浪(春季最大有義波高)、透明度を選定している。ここでは、施策の実施によって水質が改善することで、霞ヶ浦の沈水植物の生育環境がどのように変化するかを評価する。

沈水植物の生育環境に影響を与える水質項目は透明度であり、水物質循環モデルでは扱っていない。したがって、ここでは水物質循環モデルによって求めた湖沼内各BOXのCODを用い、式-4.2.3.1に示す相関式²⁸⁾から透明度の改善度に換算し、沈水植物のHSI算出に用いることとする。

$$\ln(\text{COD}) = 4.395 - 0.511(\ln(\text{Tr})) \quad (1979 \sim 1989 \text{ 年}, n = 160) \quad (\text{式- 4.2.3.1})$$

ここで Tr は透明度(cm)

b) 施策実施による沈水植物の生息適地の変化

施策群 1+2+3 実施前後における沈水植物の HSI 値について図- 4.2.3.11に示す。施策群の実施により、透明度(COD)が改善したことで、土浦入り、高浜入りにおいて沈水植物の HSI 値が増加した。しかし、湖の東岸などでは水質が改善したにもかかわらず HSI 値の増加はみられなかった。これは、この付近はもともと透明度が高く、HSI 値が低い理由が透明度ではなく波高の影響によっていたためである。したがって、今後、これらの場所において沈水植物群落の HSI 値をあげる場合には、消波施設をもうけるなど、波高を低くする施策を行うことが考えられる。

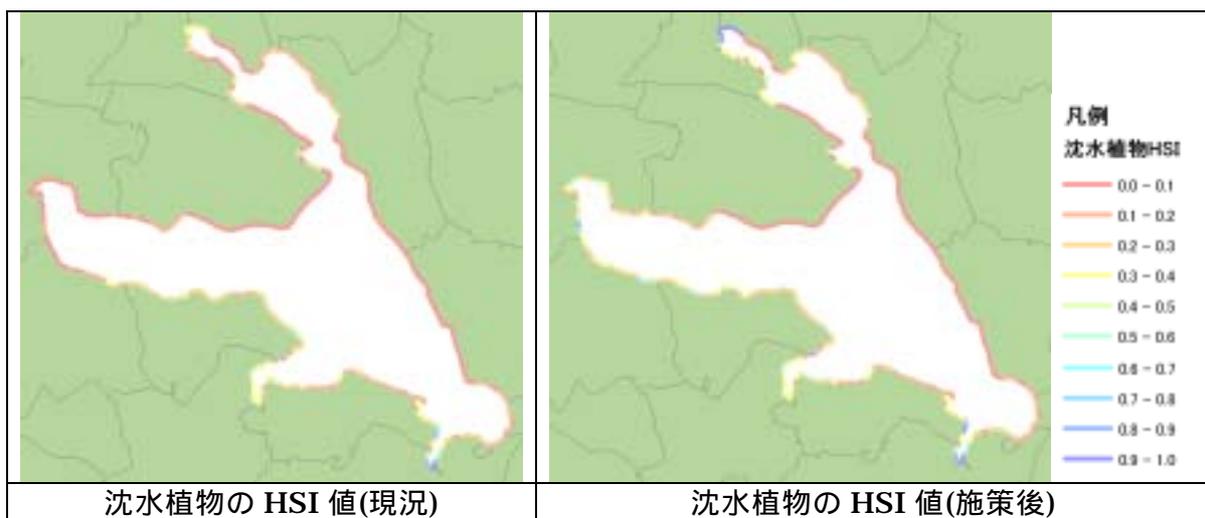


図- 4.2.3.11 施策実施前後における沈水植物の HSI 値の比較
(施策群 1+2+3 を実施した場合)

2) 生態系からのフィードバック

a) 施策実施による沈水植物群落の面積変化

ここでは、施策群の実施によって増加した HSI 値を沈水植物群落の面積変化として表すこととする。実施した施策群 1+2+3 の中には植生浄化が含まれているが、施策としての植生浄化はヨシを用いた浄化を対象として考えているので、ここでは、湖沼水質が改善することによって、ヨシ群落の沖に沈水植物の群落が生育すると考える。

1972 年頃の霞ヶ浦において、抽水植物群落、浮葉植物群落の沖側に、沈水植物の幅 100m を超える群落がとりまいていたという報告があることから²⁹⁾、HSI = 1 のときに、沈水植物群落の幅 100m で抽水植物群落の沖に存在すると設定する。また、水域生態系モデルでは西浦の周囲が 250m ごとのラインで区切られていることから、ライン毎に求まる HSI 値を沈水植物の幅に換算し、250m に乗ずることで面積を算出する。現況では沈水植物群落の存在は確認されていないため、現況の HSI における沈水植物群落の面積を 0(ha)とし、HSI 値の増分から沈水植物群落の面積変化を算出する。

施策群 1+2+3 の実施に伴う水質改善による沈水植物群落の増加面積を表- 4.2.3.15に示す。このように、施策群 1+2+3 の実施によって、西浦全体で 93.7ha の沈水植物群落が増加する。

表- 4.2.3.15 施策群 1+2+3 の実施による沈水植物群落の増加面積(西浦)

BOX	1(土浦入り)	2(高浜入り)	3(湖心)	4(湖心)
増加面積(ha)	52.3	36.2	3.1	2.1

b) 沈水植物群落面積の増加による水質への効果

前項で算出した沈水植物群落の増加に伴い、霞ヶ浦の水質がさらに改善されることが予測される。

算出した沈水植物群落の増加面積を、施策群 1+2+3 を計算した湖沼モデルへ入力する。この際、沈水植物による水質浄化効果は、植生浄化におけるヨシ群落と同等であると仮定し、各 BOX におけるヨシ群落面積と沈水植物群落面積の合計値をモデルに入力して計算を行う。計算結果を表- 4.2.3.16に示す。施策群 1+2+3 を実施したことにより、水質がかなり改善されていることから、劇的な水質改善効果は見られないが、沈水植物群落の増加面積が大きかった BOX2 においては、0.1mg/L の水質改善効果が見られ、その他の BOX についても、0.05mg/L 程度の水質改善効果が見られた。

表- 4.2.3.16 施策群 1+2+3 の実施を受けた沈水植物の増加による水質浄化効果(COD)

BOX	1	2	3	4
施策群 1+2+3(mg/L)	3.15	3.29	2.88	3.03
沈水植物群落の増加も考慮(mg/L)	3.10	3.17	2.83	2.98
沈水植物の増加による水質浄化効果(mg/L)	0.05	0.11	0.05	0.05

4.2.4 実践に向けた施策の評価

(1) 流域再生シナリオに係わるコスト

施策群ごとのコストと、施策群の実施による霞ヶ浦水質の改善効果との比較を図-4.2.4.1に示す。施策群ごとのコストは、表-4.2.4.1に示す各施策のコストを積算して求めた。各施策のコストについては、単純に単価を掛け合わせたものや、公表されている事業費に基づいて算出したものが多く、あくまでも目安として見る必要がある。また、霞ヶ浦水質の改善効果については、霞ヶ浦湖心における年平均水質の計算値を施策群実施の前後で比較し、その改善割合を図示する。

施策群1は水質改善効果も大きいですが、ハード的な対策を行うことから、コストについても他の施策群より高くなる。施策群3は施策群1に次いで水質改善効果が大きく、また、生態系の対策が主であるためコストが最も安い。ただし、ここでのコストをみると、例えば植生帯の再生においては植栽のコストのみを考慮しており、植栽を行うために必要な土地の造成等については考慮されていないことから、実際はこの積算値よりもコストが高くなると考えられる。また、ソフト的な対策を主としている施策群2は、水質改善効果は大きくないが、単位コストあたりの水質改善効果で比較すると、COD、T-Nについては、ハード的な対策を行う施策群1と同程度の改善効果が得られている。

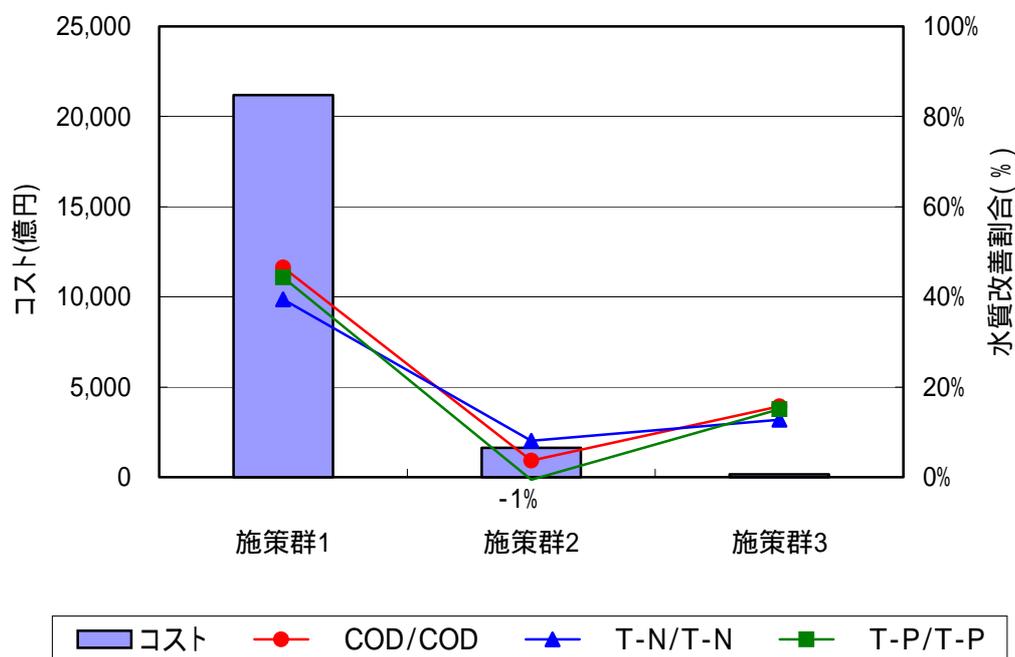


図-4.2.4.1 施策群の実践による霞ヶ浦水質(西浦湖心)と実践に必要なコスト

表- 4.2.4.1 施策群の実施に係わるコスト

(単価や予算から単純に算出したものが多く、今後さらに精査が必要である)

	対策	コスト	備考
施策群 1	下水道整備 (整備率 100%)	現在 46% 100%(54%の増加) 120 万円/人 × 52.4 万人=6,300 億円 (H12 流域人口：97 万人 × 54% = 52.4 万人)	単価は、茨城県における下水道に関する事業費と処理人口の推移から推定したものである。
	透水性舗装整備 (道路面積の 100%に整備)	流域の道路面積の 100%：11.16km ² 、 9,000 円/m ² とすると、 11.16km ² × 9,000 円/m ² =1,004.4 億円	
	下水処理水の 再利用 (再利用率 100%)	他事例から 170 万円/m ³ 、H12 の下水処理量 75,000m ³ 全てを再利用 170 万円/m ³ × 75,000m ³ =1,275 億円	
	浚渫(全域：6,600 万 m ³)	事業費から 16,250 円/m ³ 16,250 円 × 6,600 万 m ³ =10,725 億円	事業費は、約 1,300 億円 (浚渫量：約 800 万 m ³)
	浄化用水(那珂導水 15m ³ /s)	総事業費 1,900 億円	事業費は利根導水路も含んだ値である。
合計		21,192 億円	
施策群 2	各戸雨水貯留浸透(設置率：全家庭の 100%)	家庭用約 6 万円/基、流域内の住居数を 30 万戸、1 戸あたり 1 基の設置とすると、 6 万円/基 × 30 万戸=180 億円	
	環境保全型農業 (施肥削減率 100%)	-	環境保全型作物の認定制度や不作時の補償制度等の仕組みの整備が必要
	環境保全型 ライフスタイル (100%の人が実行)	-	流域住民の協力が必要
	家畜し尿の 農地還元 (還元率 100%)	家畜頭数 40 万頭、1 頭あたりの排泄量 5kg/day と仮定すると、 初期投資費用：約 180 億円	施設購入費(円)=128.76 × 1,000,000 × 設計処理量(t/日) ^{0.6528} 30)
	下水処理水の 再利用 (再利用率 100%)	他事例から 170 万円/m ³ 、H12 の下水処理量 75,000m ³ 全てを再利用 170 万円/m ³ × 75,000m ³ =1,275 億円	
合計		1,635 億円	
施策群 3	植生帯の再生 (14.9km ²)	植生 50 万円/ha とすると、 5000 万円/km ² × (14.9 km ² -0.12km ²) =7.4 億円	
	シジミ漁獲量 (3,000 トン)	-	漁業として成り立てばコストは生じないとした。
	湿地浄化 (10 河川各 1km ²)	事例から約 1,500 万円/ha とすると、 1,500 万円/ha × 1km ² × 10=150 億円	
合計		157 億円	

(2) 各施策の実施に向けた方策と課題

各施策を実施するにあたっての方策、および、実現のためにクリアすべき課題について表- 4.2.4.2に示す。

表- 4.2.4.2(1) 施策実施に向けた方策と課題(霞ヶ浦流域対策)

施策	方策と課題
下水道の整備	下水道が普及していない地域では、現在、合併浄化槽や汲み取り処理などが実施されており、今後下水道に置き換えられていく計画となっている。しかし、下水道の整備には時間がかかる他、費用負担の問題等によって、下水道が整備されても住民が必ずしも接続されていないという現実もあり、広報により住民の理解を得る必要がある ⁹⁾ 。
高度処理合併処理浄化槽の設置	合併浄化槽を高度処理合併浄化槽に転換することは、どちらも同じ合併処理浄化槽であることから困難が予想されるので、手順として、単独浄化槽、し尿処理場、自家処理から優先的に高度処理合併浄化槽に転換し、その後、現在の施設の老朽化等を待って、順次、合併処理浄化槽、農業集落排水施設に関しても転換を進めていく。普及には費用面の問題もあるが、茨城県では、下水道認可区域以外の地域の一部に対して、高度処理型(窒素及びりん)浄化槽の設置に対する補助事業を行い、その普及をはかっている ³¹⁾ 。
各戸雨水貯留浸透施設の設置	雨水貯留施設は、建物の屋根や壁面に降った雨を貯留するものであるが、導入時のコストなどにより、一般家庭ではほとんど普及していない。今後は、新規住宅には雨水貯留施設の設置を義務づけ、現在ある住居には補助金により設置を進めることなどにより、普及を図ることが考えられる。
道路の透水性舗装の整備	透水性の高いアスファルト混合物で表面を構成して透水性をもたせた透水性舗装は、空隙が多く耐久性に劣るため、現在ではごく一部の歩道や駐車場に用いられているにすぎない。したがって施策の概略設計としては、まず全道路面積のうち歩道や駐車場への適用を行い、同時に車道への適用が可能な透水性舗装の技術開発を進め、それが完成次第、車道の透水性舗装化に取り組むことが考えられる。
下水処理水の再利用(生活用水)	下水処理水の生活用水(水洗便所用水等)としての再利用は、既に都市圏のビルで実用化が始まっている。今後は、下水処理場の高度処理化を進めることで、より再利用しやすくするとともに、新しく建てる建造物においては下水処理水の再利用を義務づける等、これらをより普及させる方策を検討することが考えられる。
湿地浄化	まとまった湿地の確保が必要となる。また、流入した泥の堆積等が考えられ、湿地の維持のために、定期的な浚渫などを実施することが考えられる。
環境保全型ライフスタイルの実行	現状のままではこの取り組みを行う人が大幅に増える見込みは少ない。積極的な啓発活動の実施や補助金制度による節水機器の普及 ³²⁾ 、水道料金の引き上げなどにより、推進していくことが考えられる。
環境保全型農業の実施	情報の発信や技術の普及などの啓発活動、補助金等を行うことで、環境保全型農業の促進をはかる。
家畜し尿の農地への還元	近年の畜産経営の専業化・大型化が進展する一方、規模拡大に応じた農地の集積が進まず、個別経営内における家畜糞尿の循環利用に支障が生じている。また堆肥の需要が主に春期と秋期に集中するので、生産された堆肥のだぶつきが生じ、保管施設の確保が困難となることや、価格が化学肥料よりも高くなる場合があることなどが堆肥化による家畜糞尿の有効利用を妨げる原因といわれている ³³⁾ 。

表- 4.2.4.2(2) 施策実施に向けた方策と課題(湖内対策)

施策	方策と課題
浄化用水の導入	国土交通省霞ヶ浦導水工事事務所によって現在施工中の、霞ヶ浦導水による浄化用水の導入を考える施策であり、水資源確保の目的と併せて既に事業が進んでいる。
浚渫の実施	平成 13 年度までに、事業計画における浚渫量である約 800 万 m ³ の 72% にあたる約 576 万 m ³ が浚渫されており ¹⁾ 、計画浚渫量については平成 22 年度までに終了の予定である ³⁴⁾ 。
植生浄化	湖岸植生帯の保全・復元を目指した検討会を設置して、11 地区の緊急対策地区において植生の復元の試みが行われており ¹⁾ 、消波施設の設置等の植生保全対策をあわせて行うことで効果が得られている。
シジミ浄化	塩分濃度低下の問題はあるが、種苗生産による養殖試験も行われており ³⁵⁾ 、漁業振興との相乗効果も期待できる。しかし、シジミの維持管理とシジミ漁の担い手、放流場所の選定などが問題となる。
水産負荷対策	霞ヶ浦においては、コイヘルペスウイルスによるコイの斃死問題から、2004 年 3 月に全ての養殖コイの処分が完了した ³⁶⁾ 。しかし、給餌がなくなっても、今までに底泥に蓄積したものからの溶出があるため、直ちに効果が出るわけではないという意見もあり ³⁷⁾ 、この効果を定量的に把握する必要がある。

(3) 施策の年次計画を踏まえたシナリオの評価

本節では、施策群 1+2+3 の目標年次を 2030 年に設定し、各施策を実施するための年次計画を設定した上で施策群を実施し、現在から目標年次までの水質の変化を 10 年ごとにとらえることとする。

各施策とも、2030 年に 100%実施されることとして年次計画を設定した。浄化用水の導入については、最短で平成 23 年からの通水が可能であるため、2020 年には 100%完了するとした。環境保全型農業、環境保全型ライフスタイル、家畜し尿の農地還元については、住民への啓蒙によって普及をはかることが出来るため、2010 年までに 50%、2020 年までには 100%完了するとした。また、透水性舗装は、現状の技術では強度の問題から車道への適用が困難なことから、強度を高める開発を進めつつ、歩道・駐車場といった車の通行量が少ない箇所から普及をはかり、その後、車道へと適用することとした。その他の施策については 10 年ごとに約 1/3 ずつ進捗し、2030 年で 100%完了するとした。各施策を実施するための年次計画を表- 4.2.4.3に示す。

表- 4.2.4.3 各施策実施のための年次計画

		2001	2010	2020	2030
流域 施策	下水道の整備	現 況	60%	80%	100%
	道路の透水性舗装の整備		20%	60%	100%
	下水処理水の再利用(生活用水)		30%	70%	100%
	各戸雨水貯留浸透施設の設置		30%	70%	100%
	環境保全型農業の実施		50%	100%	100%
	環境保全型ライフスタイルの実行		50%	100%	100%
	家畜し尿の農地への還元		50%	100%	100%
	湿地浄化		30%	70%	100%
湖沼 内 施策	浚渫の実施	30%	70%	100%	
	浄化用水の導入	0m ³ /s	15m ³ /s	15m ³ /s	
	植生浄化	30%	70%	100%	
	シジミ浄化	1,000t	2,000t	3,000t	

表- 4.2.4.3に示す施策条件を設定し、2010年、2020年について計算を行った。計算は、3.2.1で構築したモデルを用いて行い、陸域モデルは平成13年の1年間の気象条件での単年計算を、それをうけた湖沼モデルは平成13年の1年間の気象条件で5年分の繰り返し計算を行い、5年目の計算値を用いて評価した。流域人口については、市町村毎に算定された国立社会保障・人口問題研究所による中位推計人口を用いて求めた。また、その他のパラメータ等については、現況と同様に与えることで計算を行った。計画に従って再生シナリオを実施した際の霞ヶ浦の水質変化を土浦入り(BOX1)、高浜入り(BOX2)、湖心(BOX3)、北浦北(BOX5)について図- 4.2.4.2に示す。計画の進行にともなって、湖沼内の水質が良くなる過程を示すことが出来た。この計算結果をみると、2030年時点でも霞ヶ浦のCODの環境基準値である3.0mg/Lは満たすことが出来ないが、第4期湖沼計画における中期的な目標である昭和40年代前半の水質(COD5mg/L)については、2020年には全BOXで達成可能であるという計算結果となった。

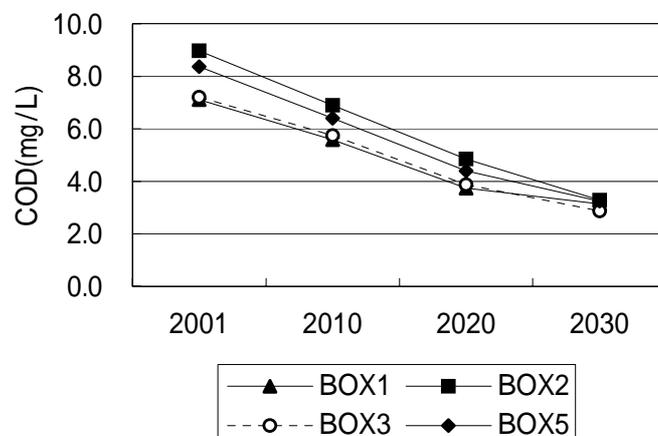


図- 4.2.4.2 再生シナリオの実施による霞ヶ浦の水質変化

4.2.5 モデル適用のあり方という観点からのまとめ

陸域(流域)と水域を一体化した水物質循環モデルの効用として、全体状況が見やすくなることはやはり大きい。その代表例は図-4.2.3.10であり、感度分析の段階とは言え、それぞれの施策やそれらの組み合わせの効果を横並びで検討できることから、目標達成の観点からの各施策の位置づけを議論しやすくなる。

また、流域条件の変更や種々の施策の設定が比較的やりやすいという本モデルおよびソフトの特徴を活かすことで、様々な条件下での計算や表示、比較を機動的に行い、問題の構図や各施策の特長の理解増進に役立てるという使い方も可能である。このことは、冒頭に述べた多様な主体による総合的な取り組みに向けた合意形成や結集を促す際の支援になると期待される。

一方、モデルの精度や信頼性に関する限界をどう扱うかが大きな課題として依然残る。湖沼の水質形成機構は大変複雑であり、霞ヶ浦についても、湖水の白濁化と水質の関係や底泥溶出メカニズムなど、新たな現象が注目されている^{10)、38)}。現象解明に基づくモデル自体の精度向上を図ることの重要性は言うまでもないが、ここで扱っているような多くの過程と支配要因が入り組んだ環境問題特有の複雑な現象については、より適切な施策実行への支援という観点から、その時々で実用性のあるモデルを合理的に使いこなすというアプローチも同時に重視されるべきであろう。

たとえば、チューニングの際に優先的に設定するパラメータを変えて、さらには構造の異なるモデルを用いて施策効果を計算し比較しておくことが考えられる。これを、施策効果のとりうる幅を織り込んだ(大きなはずれのない)施策選択という現実的な戦略に役立てることがまず考えられる。また、施策効果の計算結果に大きな違いをもたらすパラメータや条件を見出すことで、目標達成戦略を立てる上で、特に重要な現象解明やモデル化、モニタリングのターゲットをある程度客観的に絞ることができる。

さらに、モデルから算出される結果の意味を表現する部分も今後重要になっていく。本論のモデルで言えば、CODといった水質改善効果が評価に用いる代表的な出力であるが、水環境の改善や生物多様性の回復、流域水物質循環系の改善は、それだけで評価できるものではない。また、それは地域住民にとっても必ずしも理解しやすい指標とは言えない。モデル出力の持つ意味を翻訳する部分を付加し向上させていくことが重要と考えられる。

最後に、長期にわたる環境変遷をモデルでどのように表現していくかも重要な課題であろう。湖沼の水環境変化は、その“蓄積性”から、改善プロセスも含め長期にわたることが一般的である。大局的に大きな誤りのないよう施策群を方向付けしていくという観点からは、水環境の悪化以前から悪化した現在に至るまでの変化についての再現性を使用するモデルで得ておきたいところである。しかし、現状の水物質循環モデルは比較的短期の事象を対象にしており、物質のストックについて十分表現できるものになっていない。また、水質-低次生態系モデルについても数十年前の現象が扱えるのかという議論がある。本論では便宜的なやり方で過去と現在を比較したが、その妥当性も含め、長期的な環境変化の分析・予測に対するモデル適用のあり方を検討することも大事と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省霞ヶ浦河川事務所：事業のあらまし，2003.
- 2) 水資源開発公団霞ヶ浦開発事業建設部：霞ヶ浦開発事業誌，pp73-74，1996.
- 3) 茨城県議会 柴沼弘道：霞ヶ浦の富栄養化対策の現状と課題について，2003.
<http://www.pref.shiga.jp/gikai/welcome/kosyoukaigi/report-pdf/jireiibaragi1.pdf>
- 4) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集，2004.
- 5) 茨城県霞ヶ浦環境科学センターHP：霞ヶ浦・濁沼・牛久沼の概要と浄化施設 - 霞ヶ浦 - 水質状況，<http://www.kasumigaura.pref.ibaraki.jp/index.cfm/8,0,14,12.html>
- 6) 茨城県科学技術振興財団：霞ヶ浦水質浄化プロジェクト HP，霞ヶ浦関係資料
<http://www.i-step.org/kasumi/data/index.htm>
- 7) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：霞ヶ浦学入門，pp85，138，2001.
- 8) 国土地理院：H13 霞ヶ浦水環境 GIS データ，2001.
- 9) 田淵俊雄：湖の水質保全を考える 霞ヶ浦からの発信，2005.
- 10) 関智弥・福島武彦・今井章雄・松重一夫：霞ヶ浦における濁度上昇要因，第39回日本水環境学会年会講演集，pp466，2005.
- 11) 藤田光一・伊藤弘之・小路剛志・安間智之：GIS、流域水物質循環モデルを活用した水政策検討，土木技術資料，46(7)，pp20-25，2004.
- 12) 国土交通省霞ヶ浦導水工事事務所 HP：事業の概要，<http://www.ktr.mlit.go.jp/dousui/>
- 13) 飛田忠一：霞ヶ浦大規模底泥浚渫事業 - 泳げる霞ヶ浦をめざして - ，土木技術，56(1)，2001.
- 14) 田畑真佐子ら：ヨシ植栽水路における河川水中の窒素・リンの除去効果，水環境学会誌，19(4)，pp331-338，1996.
- 15) 細見正明・須藤隆一：湿地による生活排水の浄化，水質汚濁研究，14(10)，pp674-681，1991.
- 16) 日本水産資源保護協会：1995.
- 17) 田中弥太郎：内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究：5年間の研究成果、東海区水研、南西海区水研、養殖研、水産大学校、pp299、1983.
- 18) 松岡譲：霞ヶ浦の富栄養化モデル，国立公害研究所報告，54，1984.
- 19) 相崎守弘・大槻晃・海老瀬潜一・阿部喜也・岩熊敏夫・福島武彦：霞ヶ浦高浜入における栄養塩収支，国立公害研究所報告，22，pp281-307，1981.
- 20) 下水道統計
- 21) 日本地下水学会編：雨水浸透・地下水涵養，理工図書，2001.
- 22) 榊原隆：雨水貯留施設に関する実態調査、第32回下水道研究発表会講演集，1995.
- 23) 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版，pp161，1990.
- 24) Sherwood C. Reed et al.著・石崎勝義ら訳：自然システムを利用した水質浄化，技報堂出版，2001.

- 25)茨城県：茨城県環境白書(平成 15 年度版)，2003.
- 26)東京都千代田区：千代田区環境配慮指針，2000.
<http://www.city.chiyoda.tokyo.jp/service/sumai/kankyo/hairyo/hairyo.htm>
- 27)環境庁水質保全局水質規制課：生活雑排水対策マニュアル，1985.
- 28)富山暢：よみがえる霞ヶ浦 生成 過去 現在 将来，pp97，1994.
- 29)桜井善雄・国土交通省霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦の水生植物 1972～1993、変遷の記録、pp7、2004.
- 30)那須良：有機残渣の循環系構築に向けた再資源化技術と収集システムの最適設計手法，京都大学修士学位論文，2001.
- 31)茨城県 HP：平成 16 年度市町村等に対する助成制度の概要，
<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/soumu/chiho/zaisei/joseiseido/h16/34.pdf>，2004.
- 32)松山市 HP：節水機器の補助金制度について
<http://www.city.matsuyama.ehime.jp/mizushigen/hojyoseido/index.html>
- 33)大垣眞一郎・吉川秀夫：流域マネジメント，技報堂出版，2002.
- 34)霞ヶ浦河川事務所資料
- 35)高島葉二・坂本正義：霞ヶ浦湖水によるヤマトシジミの飼育，茨城県内水面水産試験場調査研究報告第 38 号，pp42-55，2003.
- 36)茨城県 HP：茨城県記者提供資料 養殖コイの処分完了について，
http://www.pref.ibaraki.jp/news/04news/n040330_01.htm，2004.
- 37)環境省 HP：中央環境審議会水環境部会湖沼環境保全専門委員会(第 3 回)議事録，
<http://www.env.go.jp/council/09water/y098-03a.html>，2004.
- 38)松重一夫・今井章雄・小松一弘：霞ヶ浦長期モニタリングにおける水質変動，第 39 回日本水環境学会年会講演集，pp469，2005.

4.3 水と緑からの都市再生シナリオの検討

4.3.1 全体の概要

3.1.2 では、都市環境計画（都市計画マスタープラン、緑の基本計画、景観計画等）と連動する流域圏計画として、基本ユニットとなる『小流域圏』の設定についての仮説を提示し、GISにより、再現可能な普遍的な方法論の開発を行い、規模、市街化特性の異なる複数都市で、その有効性の検証を行った。また、評価モデルについては、ピオトープ・マップの作成と小流域圏の重層的活用による生物多様性評価モデルの作成、緑の量・質及び土地利用の変化による小流域の類型化にもとづく、政策評価モデルの作成などを行った。

本節では、これらの基礎的研究と併行して進めてきた『水と緑からの都市再生シナリオ』に関する研究概要である。基本的な学術研究とならび、政策シナリオの作成が重要であるのは、この両者を同時進行で行うことにより、一定の時間的枠組みの中で実行していかなければならない政策提言に向けた有効で、効率的なアウトプットを期待することが可能となるからに他ならない。

本節では、はじめに 3.1.2 で行った緑地環境分析を基に、鎌倉市神戸川流域の自然環境の再生の観点からシナリオを提示する。

次に、大都市問題の象徴としての東京区部を事例として取り上げ、水と緑を軸とする都市再生のシナリオについて述べる。図-4.3.1.1、図-4.3.1.2 は、東京区部における河川の分



図-4.3.1.1 江戸水網図 (1856年、安政3年)



図-4.3.1.2 現代東京水網図 (2003年)

布状況の歴史の変遷を示したものである。19世紀中葉に存在した毛細血管のような水路網が、近代化の中で消滅していった事実が端的に示されている。

本研究では、過去に存在した河川、水路のネットワークを一つの手がかりとし、ここを基点とし、近代化のプロセスの中で、どこが、どのようにして失われ、かつ残されてきたかについて、詳細な分析を行った。対象地は、歴史的背景を考慮し、図-4.3.1.3 に示す皇居（パレスゾーン）周辺地区、江戸から現代に到る多様なストックを有する東京湾ベイエリア、そして江戸のフリンジであった渋谷川・古川流域とした。



図-4.3.1.3 検討対象地域

4.3.2 鎌倉市神戸川流域における流域圏プランニング

3.1.2(2)の神戸川流域の小流域を単位とした緑地環境の分析をもとに、鎌倉市ビオトープ・マップを用いて、残された自然環境の質を評価し、自然環境再生のシナリオを作成した。

ここで活用したビオトープ・マップは、水系、樹林地、都市域に飛び石状に点在する緑地の3つの視点で要素を抽出した、図-4.3.2.1 に示すセレクトティブ・ビオトープ・マップである。3.1.2(2)での2 時期の土地利用より分類した6つの類型に基づいて、本項では図-4.3.2.1 のビオトープ・マップを活用した類型別の流域圏再生の将来像を提示する。ここでは特に、谷戸維持型、谷戸・小規模開発型、集落・宅地化型、旧市街地型の4つの類型について将来像を図-4.3.2.2～図-4.3.2.5 に示す。

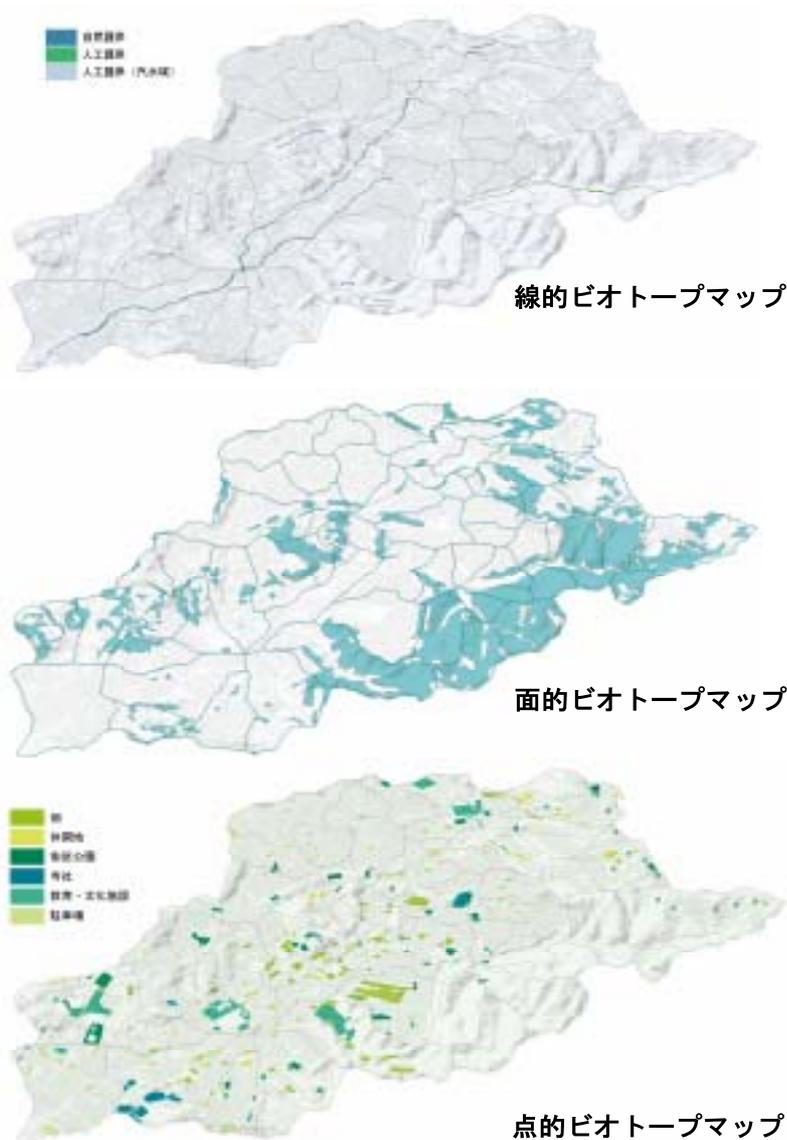


図- 4.3.2.1 セレクトティブ・ビオトープ・マップ

(1) 谷戸維持型



図- 4.3.2.2 小流域の立地診断と自然環境回復のための方針（谷戸維持型:御所ガ谷）

(2) 谷戸小規模開発型

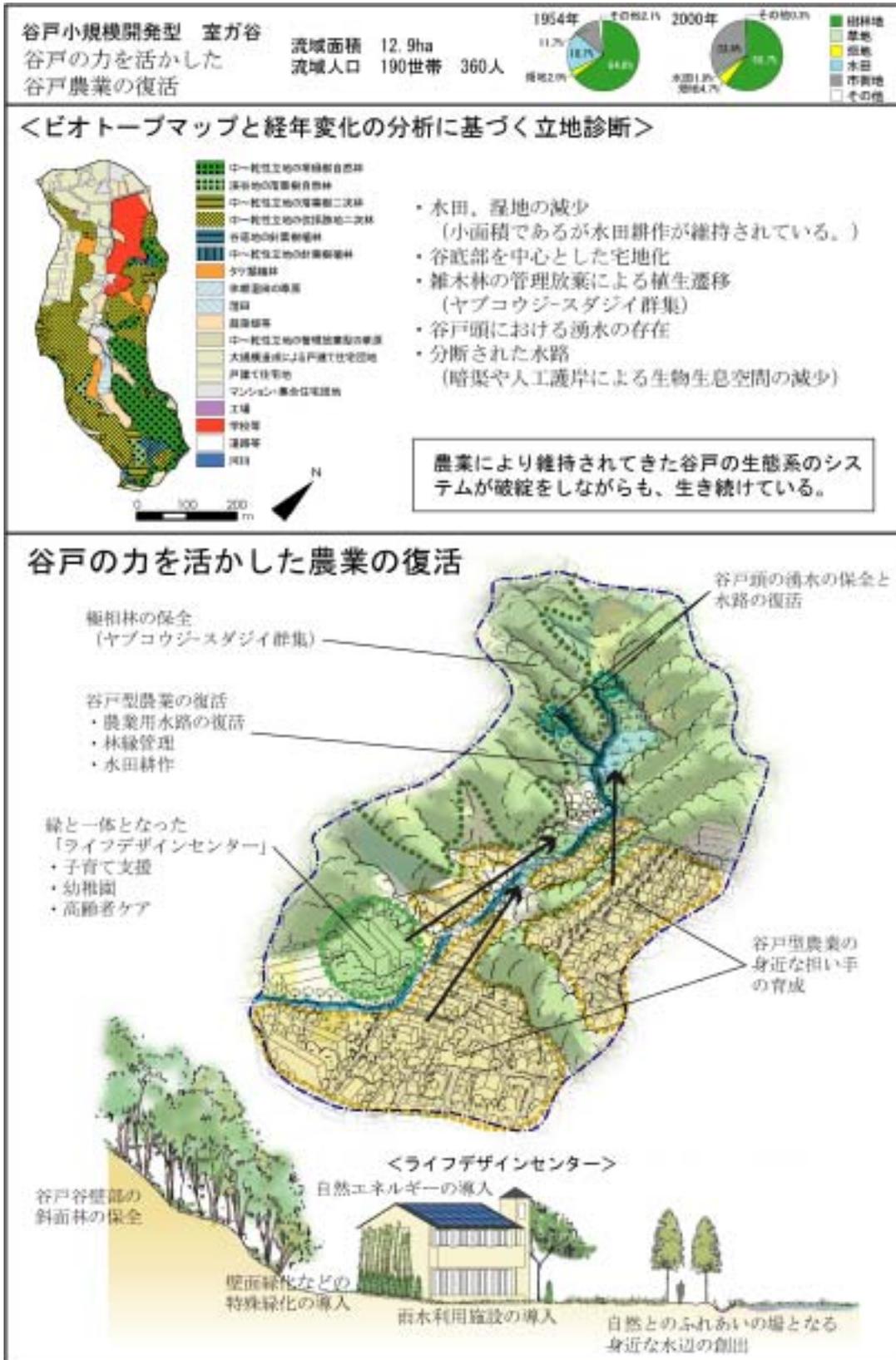


図- 4.3.2.3 小流域の立地診断と自然環境回復のための方針（谷戸小規模開発型:室ガ谷）

(3) 宅地化型



図- 4.3.2.4 小流域の立地診断と自然環境回復のための方針（集落・宅地化型:加持谷）

(4) 旧市街地型

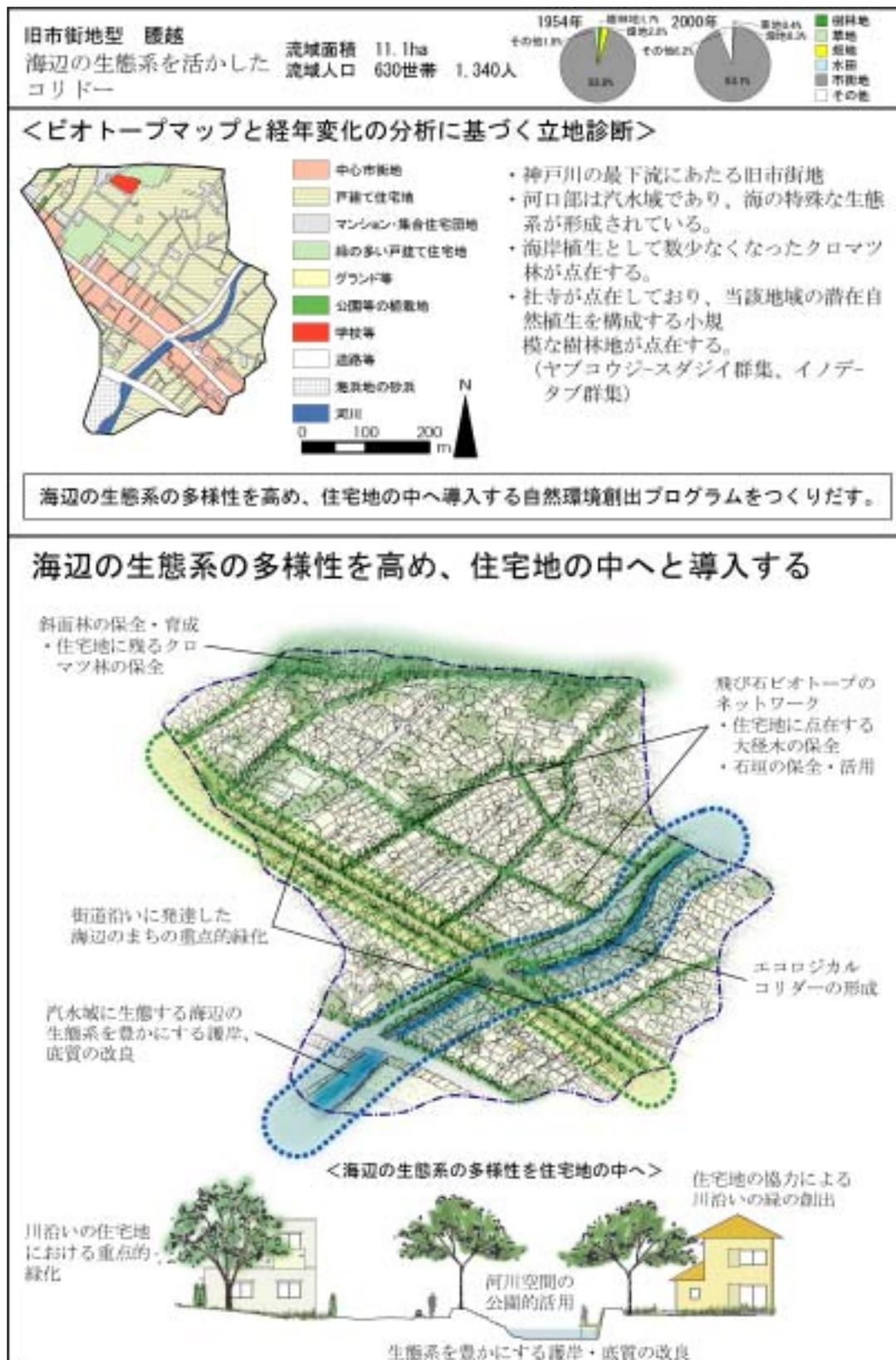


図- 4.3.2.5 小流域の立地診断と自然環境回復のための方針（旧市街地型:腰越）

4.3.3 パレスゾーン（皇居）とその周辺地域の都市再生シナリオ

(1) 東京都心における河川流域の歴史の変遷

1) 江戸から東京へいたる変遷の過程で都市の骨格を形成する契機

東京は江戸の開府から 400 年の間、数多くの都市改変を経験し、発展してきた。天災や経済成長などの時々の歴史的場面において、東京の様々な地域で都市環境が変容した。これらの地域毎の変容の繰り返しを通して、東京には幾重にも重ねられた異なる形状の都市の記憶が層状に刻印され、それらが東京の地域毎の多様性を生み出したといえる。「東京は多くの村の集まりである」という表現はこの都市の移り変わりから自然に出現した東京の姿を言い表している。今日、東京の各地域が固有に持つ空間的特徴も、都市の記憶の積み重ねの結果であると考えられる。過去に江戸・東京に起こった主要な都市改変を拾い上げ、それらが影響を及ぼした範囲を東京の地形上に重ね合わせる作業を行うことにより、都市変容の積層された歴史を以下にみる。

2) 歴史的事実の重ね合わせによる地域性の発生

東京の地域性を醸成するベースとなるものとして、土地の地形が挙げられる。東京の西側に位置するいわゆる山の手と呼ばれる地域は、武蔵野台地の末端に位置し、海拔 30m ほどの起伏ある山、谷を有している。一方東京の東に位置する下町とよばれる地域は、海拔 0-1m 付近の平坦な地形である。

この二つの異なる地形をベースとして、その上に様々な歴史的事象が重なりあい、都市東京は形成されていった。それぞれの歴史事象が起こったところと、起こらなかったところで場所性が異なることから、歴史が積み重ねられるにつれ、地域ごとに歴史事象のレイヤーの重なり合わせが異なっていき、その結果、東京には様々な特徴を持つ地域性が創出され、いくつもの性格の異なる街ができあがっていったと考えられる。江戸時代に商業地域として高密度の人口を抱えていた東京東部では、火災を主な要因として都市が更新されていった。都市更新の最も大きな要因として関東大震災が挙げられるが、この震災を契機に都市の近代化が図られ、整然とした街並みが形成された。広大で平坦な土地の広がりという地域的特徴から、東京における工業の集積が起こり、現代に至るまで軽重工業の中心的地域であった。近年これらの工場跡地を利用した都市再開発事業が多く起こり、都市形態の変容の激しい地域となっている。



図- 4.3.3.1 都市の記憶の積み重ね



図- 4.3.3.2 明暦の大火(1657)

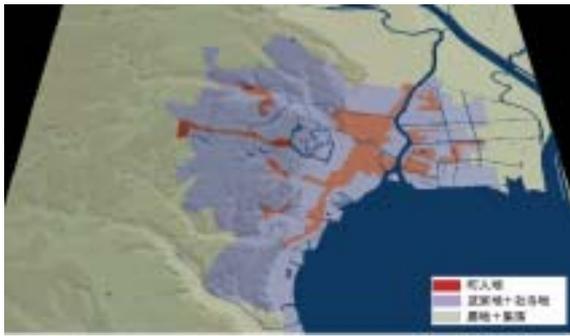


図- 4.3.3.3 明治維新後の東京



図- 4.3.3.4 関東大震災後の東京



図- 4.3.3.5 終戦後の東京



図- 4.3.3.6 バブル経済後の東京

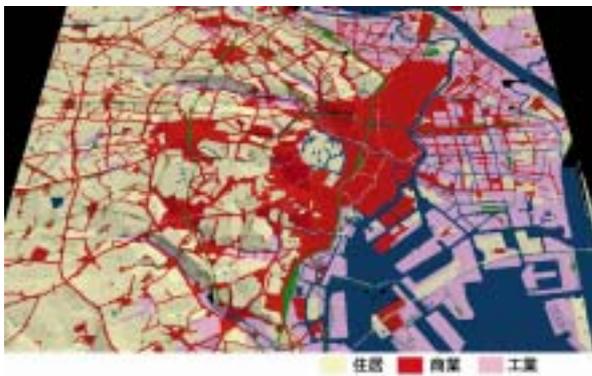


図- 4.3.3.7 現在の東京



図- 4.3.3.8 歴史的事象の重ね合わせ

一方、起伏を持つ地形に特徴を持つ山の手では、地形に沿った峰道・谷道を基本とした道路形成の歴史から、道の形態は有機的である。また江戸時代の武家屋敷を中心とした住宅地としての性格が現代にも引き継がれている。しかし同時に、第二次世界大戦における空襲による地域の焼失を契機に、民間鉄道のターミナル駅としての新宿、池袋、渋谷などの駅周辺が整備され、山の手における第二の商業地が形成された。これらが現代における繁華街として定着した。下町における全体的な広がりを持つ街の形態に対して、山の手における都市形態は、それとは異なり、私鉄駅を中心とした塊として都市形態を有する。

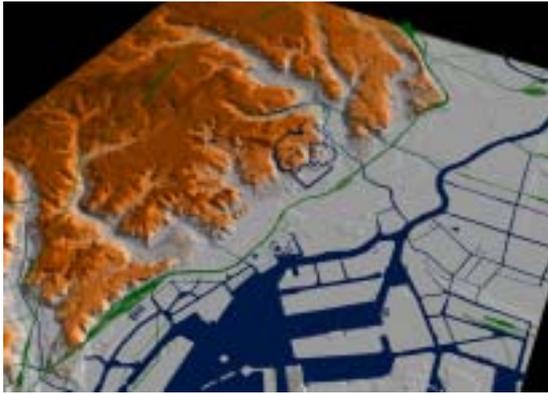


図- 4.3.3.9 東京の地形



図- 4.3.3.10 東京の道の形態

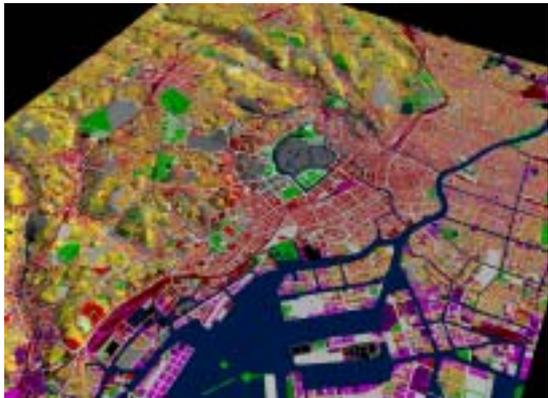


図- 4.3.3.11 商業地の形成

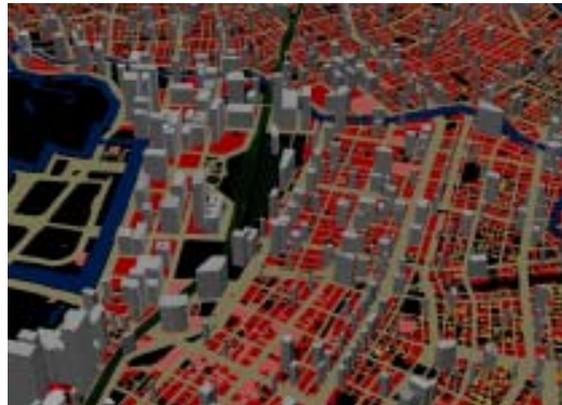


図- 4.3.3.12 下町的な広がりを持つ街（日本橋）

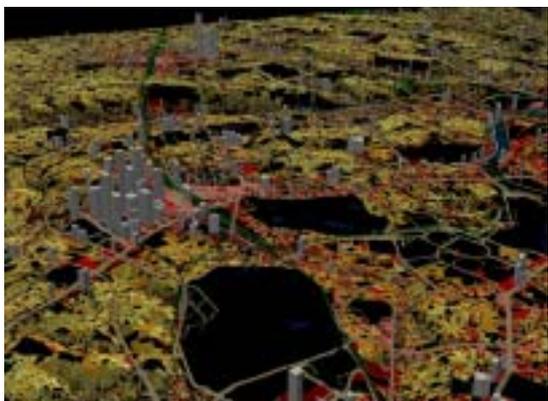


図- 4.3.3.13 山の手的な広がりを持つ街（新宿周辺）



図- 4.3.3.14 山の手的な広がりを持つ街

3) 下町・山の手の河川流域圏の都市形成

東京の都市形態は、下町における海浜の埋め立てにより、都市域を拡大する方向で変化していった。河川下流部の水際空間の利用形態も、江戸・明治期の河岸を中心とした公共的利用から、戦後の土地の民間への払い下げによる土地占有の形態へと変化した。同時に物資の運搬手段が船舶から鉄道、自動車へと移行するにつれ、河川の交通インフラストラクチャーとしての機能が薄れた。これらの要因により、現代では、河川は都市の中で公の場所としての公開性を失い、都市空間の背後に隠れた過去の遺物となりつつある。

また、山の手における河川流域は、江戸時代に田畑、また武家屋敷に取り込まれたところ、あるいは火除地を含んだ道路からなっていた。概して、武蔵野台地の自然を多く残した土地利用がなされていた。

東京における低地、高地の地形の違いは、江戸時代以来都市の発展に大きく影響し、それぞれに適した土地利用がその時代時代にされてきた。広大な平地を有する下町では水運を生かした街づくりが歴史的になされ、それが地域の都市構造の骨格を形成してきた。舟運は廃れたものの商業地の集積としての河川流域の土地利用形態が今後の街づくりに再検討されよう。

平地の少ない山の手では、居住を主とした土地利用が江戸時代以来続いてきた。局所的に商業が集積する駅周辺の核が存在するが、山の手の河川流域を包含する低地部分は、開発の波から取り残された分、歴史的な土地の形態、様相を残す。これらを歴史的資源として将来の街づくりのために有効利用することが、これからの山の手の都市更新に求められる課題である。

4) まとめ

東京は江戸開府以来 400 年の歴史の中で、様々な変容を局所的に繰り返しながら発展してきた。その結果としての地域性の醸成は、都市に異なる様相を生み出し、都市生活者に豊かな地域文化を体験させてきた。下町に見られる商業・工業を中心とした土地利用形態と、それらを裏付ける土地形態、そしてそれらをつなげてきた交通インフラストラクチャーとしての河川が、都市の骨格を形成してきた。山の手では武家地を出発点とした居住を主な機能とした土地利用形態が今でも継承され、起伏のある自然に満ちた地形がそれぞれの地域に特有の風景を作ってきた。河川流域にも自然が豊富にあり、都市生活者にゆとりを与えてきた。

河川は東京における産業構造をささえる動脈であったし、日常生活を織り成すアメニティをも提供してきたが、近代化の進行する過程で、それらの河川のもつ魅力は減退し、現代では、山の手・下町で河川がそれぞれ有していた機能も魅力も見受けられなくなってしまった。しかし変容から取り残された形である現代の河川およびその流域の土地は、それが故に多くのポテンシャルを有しているとも言える。裏である河川を表に転換することによって、江戸時代以来有していた河川のもつ可能性をもう一度引き出すことが、これからの都市更新に真に求められることなのではないか。

(2) パレスゾーン及び周辺地区

1) 背景

皇居周辺地域は、江戸城を核とする都市構造を基盤とし、日本における近代化の歩みと共に、年輪を重ねてきた(図-4.3.3.15、図-4.3.3.16)。大正8年(1919)に公布された都市計画法と市街地建物法では、景観の維持、向上のために風致地区と美観地区が制度化され、これを踏まえて、皇居周辺地区は、昭和8年(1933)、日本における美観地区の第1号として指定された。しかしながら、東京においては、建築基準法に基づく美観地区建築条例は未制定のままであり、爾来70余年の星霜を重ねながら、都市計画図にも美観地区は図示されず、実質的運用がなされないまま今日に到っている。京都市が、風致地区と美観地区の双方の特色を生かしながら、きめ細かな緑の保全と景観政策を実行してきたことを顧みるとき、都市政策の視点と理念そして国民共有の資産の維持・継承という責務の認識において、大きな落差が今日なお存在していることを、如実に物語るものである。

一方、千代田区においては、このような歴史的経緯を踏まえて、「千代田区景観まちづくり条例」を制定し、平成10年(1994)「千代田区景観形成マスタープラン」を策定し、更に平成14年(2002)には、特に美観地区に焦点を

しぼった「千代田区美観地区ガイドプラン」が策定された。条例に定める一定規模及び要件の対象となる建築物について、当該事業者「景観まちづくり審議会」へ出席、説明を要請し、ガイドプランに示された景観形成にむけての建築計画の配慮と協力を求めたものである。「まちづくり審議会」での意見は、事前協議における誘導指針として活用されており、美観地区としての矜持を区独自の創意と努力により堅持しようとするものである。

しかしながら、21世紀に入り、首都東京は、都市再生による規制緩和を梃子とする超高層化の流れの中で大きな変貌を遂げつつある。国民共有の財産であるはずの皇居周辺地区の将来を導くものが、事業者への配慮と協力をお願いするガイドプランのみでは、後世への責務を果たすことはできず、法に基づく景観計画及び景観地区の指定が必要である。



図- 4.3.3.15 江戸のまち割り



図- 4.3.3.16 水の庭園都市(江戸時代)

2) 対象地の概要

皇居を中心とする地区には、皇居東御苑、北の丸公園、皇居外苑、日比谷公園、国会前庭、千鳥ヶ淵公園、千鳥ヶ淵戦没者墓苑、内濠など、その一つ一つが、長い歴史と優れた景観を有する公園緑地が存在する。これらは、都市計画中央公園として位置づけられているが、実際には、幹線街路や高速道路により分断されており、行政的にも宮内庁、環境省、国土交通省、厚生労働省、衆議院、東京都、千代田区など様々な行政機関にまたがっているため、一つのまとまった緑地として認識されることがないまま今日に到っている(図-4.3.3.17)。



図- 4.3.3.17 パレスゾーンの位置

図-4.3.3.18 は、世界の大都市におけるそれぞれの都市を代表する中央公園を同じ縮尺で比較したものである。皇居を中心とする緑地は、ニューヨークのセントラルパーク(330ha)に並ぶ規模であり、大きなポテンシャルをもっていることがわかる。今後の東京を考えると、その中心に存在する巨大な緑地の存在は、極めて重要といえる。個別の細切れの緑地ではなく、「パレスゾーン」として光を照射し、横断的連携をすすめ、市民に愛されるものに育てていくことにより、風格のある都市形成にむけた緑と景観の形成の基盤とすることが可能となる。また、過去のストックの継承にとどまらず、今後の再開発における緑地創出のためのルールを、社会的合意形成にもとづき明確にすることにより、21世紀の新しい緑地を生み出し東京のパークシステムの展開に向けた震源地となる可能性を有している。

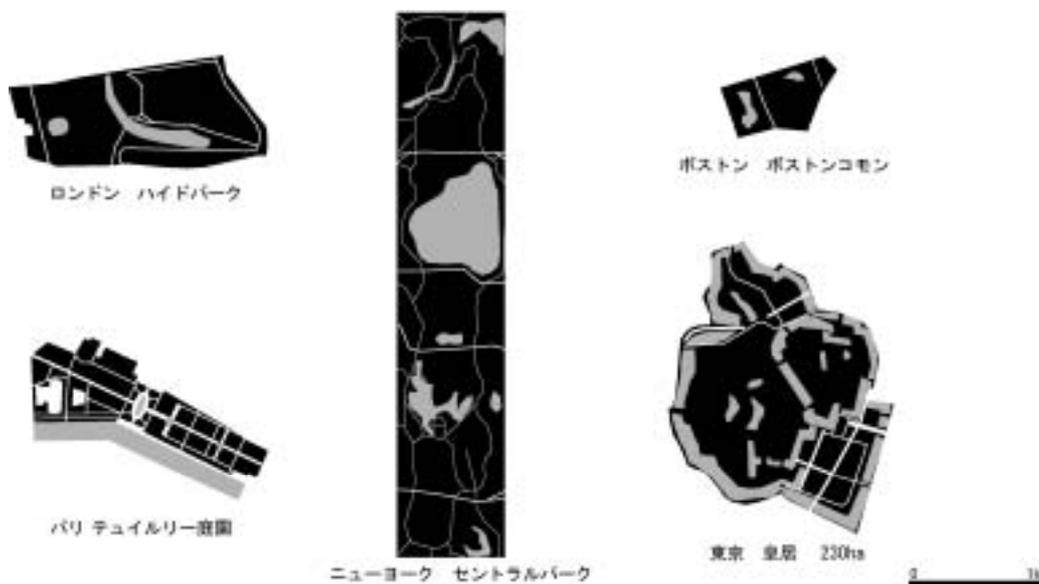


図- 4.3.3.18 世界の都市における都心の公園の比較

(3) パレスゾーン及び周辺地区の特徴

1) 「緑」

皇居周辺の現在の植生についてみると、吹上御所では、武蔵野の自然環境が適切な管理の中で、維持・継承されている(図-4.3.3.19)。また、皇居前広場を特色づけるクロマツは、大正年間に植栽され、震災、戦災、そして自動車による排気ガスの被害をくぐり抜け、品格のある景観を今日に伝えている。都心に、これだけの自然を内包している都市は、世界でも稀といえる。

内濠と外濠に囲まれた地域における戦後の緑被地の変遷を、航空写真をもとに調査した(図-4.3.3.20)。

昭和20年(1945)に米軍が撮影した写真では、戦後の状況を理解することができる。

現在の北の丸公園は、軍の施設があり緑は全くなかった。対して、番町・麴町地区にはお屋敷の緑が大きく存在している。昭和51年(1976)、平成13年(2001)、戦後60年の緑被地の変化を調べると、内濠に囲まれた地区の緑は、公園整備や皇居東御苑の整備により増大したが、番町・麴町・平河町では大きな緑が細分化され、激減してきたことがわかる。これらは、緑の保全と創出に対する施策の相違が、時間の経緯と共に地域環境に大きな影響を与えていく経過と読み取ることができる。

緑を支える母体となる主要なオープンスペース(公園、社寺、濠、公開空地)などの歴史の変遷をみると、江戸のオープンスペースは、火除け地としての空地、濠、河岸、見附周り、そして、屋敷内の庭園だったが、次第に、公園緑地や風致地区(外濠公園から弁慶橋)に裏打ちされたものへと変化を遂げたことがわかる(図-4.3.3.21)。近年は、都市再開発に伴う公開空地が急速に増大している。今後の緑の創出に向けた鍵となるものといえる。

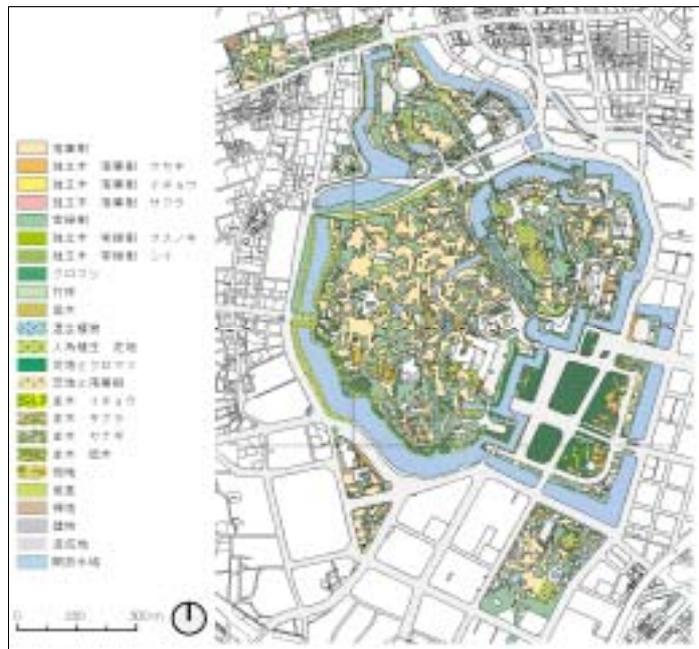


図- 4.3.3.19 皇居周辺地区の植生図

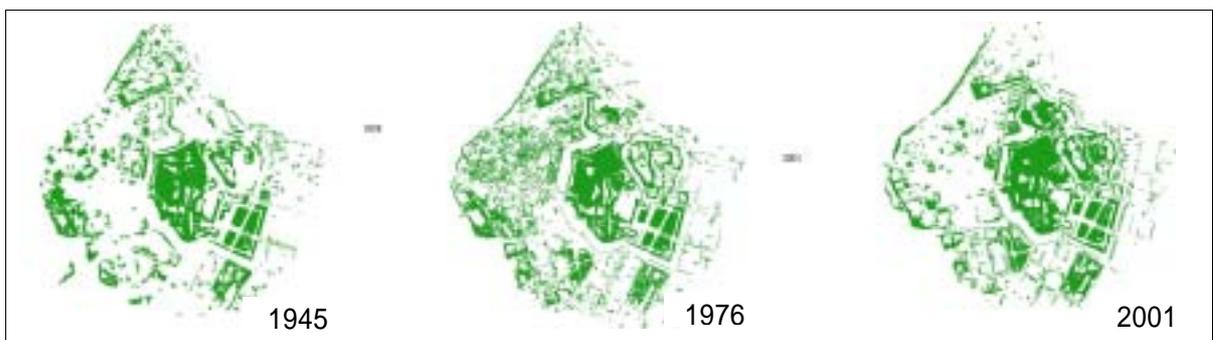


図- 4.3.3.20 緑被地の変遷

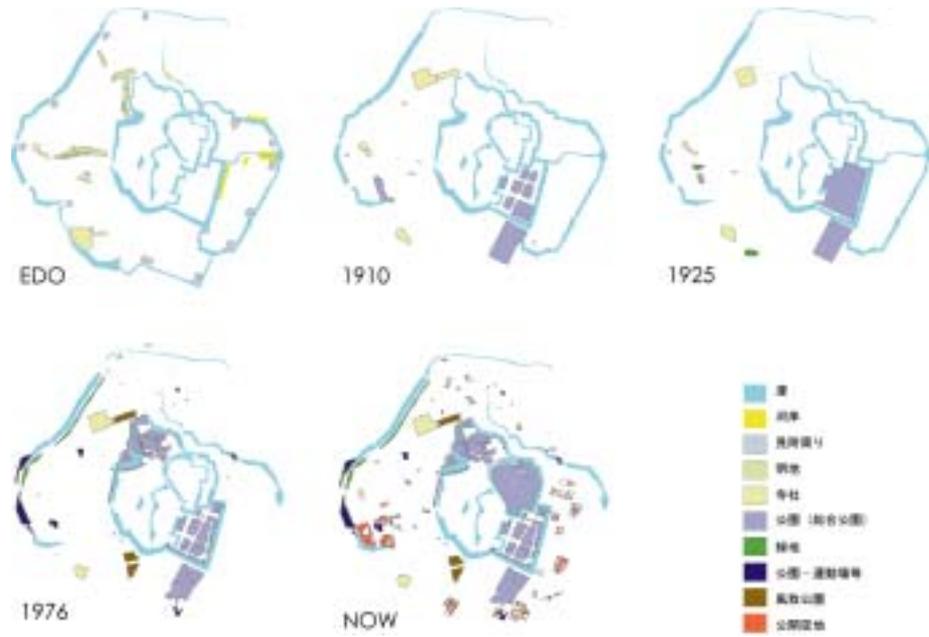


図- 4.3.3.21 オープンスペースの変遷

2) 「水」

江戸時代、四谷大木戸で江戸市中に取り入れられた玉川上水は、四谷見附、半蔵門をへて江戸城内に給水されたほか、赤坂溜池のルートから下町に分水されていた。近代化の歩みと共に、皇居をめぐる内濠、外濠、及び水路は埋め立てられたが、内濠の構造は基本的に継承され今日に到っている。内濠には、昭和 40 年(1965)までは、新宿にあった淀橋浄水場から玉川上水管路を通じて余剰水の供給が行われていたが、浄水場の廃止に伴い給水も停止された後は、一時的に地下鉄工事に伴う湧水の供給も行われたが、現在は雨水に頼らざるをえない状況にあり、水質の悪化、アオコの発生などが問題となっている。環境省では、水質改善のために皇居外苑に濠水浄化施設を設けているが、お濠や地域環境の維持の抜本的な解決にはかつての玉川上水にかわる給水源の発掘が不可欠である。



図- 4.3.3.22 江戸における玉川上水・神田上水の給水システム



図- 4.3.3.23 皇居外苑濠水浄化システム (環境省皇居外苑管理事務所資料より作図)

3) 「街路」

明治の市区改正事業、大正から昭和にかけての中央官衙計画、震災復興事業、戦災復興事業などの重層化により、街路網が江戸の町割りを基礎に形成されてきた(図-4.3.3.24)。

戦前は街路と緑が、一体的な公園道路として都市美を創出する軸線として位置づけられ、優れた整備が行われた。行幸通りの銀杏並木などは、その計画の考え方を今日に伝えるものといえる。昭和17年(1942)には、皇居外苑を横断している内通りを地下化する構想が発表されたが(図-4.3.3.25)、戦争への道を歩む中で実現されることはなく今日に到り、また、1960年代の高速道路網の整備がパレスゾーンに大きな影響を与えている。国会前庭や、北の丸公園の高速道路は一部地中化されたものの、日本橋川の上部、清水濠から北の丸公園、更には千鳥ヶ淵の美しい水面を横断する高速道路については、再検討の時期に差し掛かっているといえる。

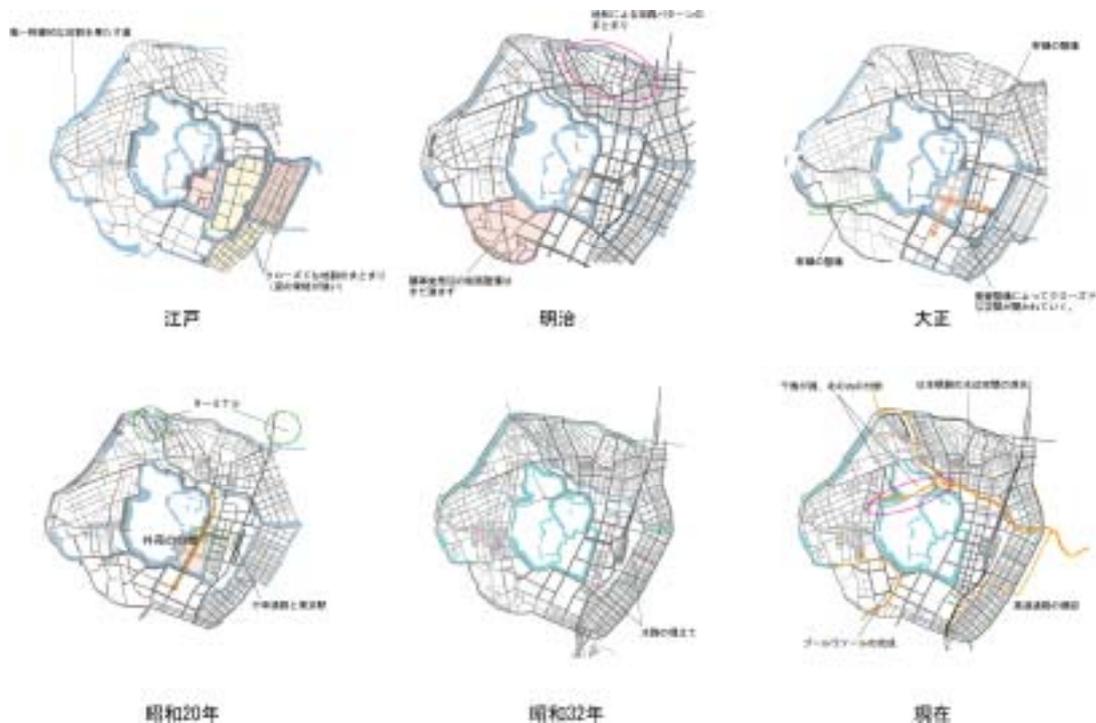


図- 4.3.3.24 街路の変遷



図- 4.3.3.25 皇居外苑地下化計画図(昭和17年)

(4) パレスゾーン及び周辺地区における検討の視点

1) 「緑」の観点から

- ・ 武蔵野の原風景を留める優れた自然環境を核とし、緑の質に着目した自然環境の再生にむけた戦略と、生態系の回廊を形成。
- ・ 都市再生プロジェクトにより創出される緑の規模と質、およびネットワークについて、原理・原則を明らかにし、地区の将来ビジョンに基づく戦略的な緑の創出。
- ・ 緑の基本計画の見直しを行い、新しく制定された都市緑地法に示されている「緑化地域制度」、「地区計画による緑化率規制制度」、「立体公園制度」などの導入。
- ・ 緑を守り、育てる市民、NPO、事業者など、新しい担い手と、行政、事業者の連携。

2) 「水」の観点から

- ・ 都市構造の基盤である内濠・外濠を、景観法に基づく景観重要公共施設として位置づけ、その再生に向けた具体的戦略について検討する。
- ・ 新たな水源の発掘を重要な課題とし、都市再開発や地下鉄工事に伴う余剰水、下水の高度処理水の導入などの検討を行う。
- ・ 埋め立てられた外濠、及び高速道路の高架下となっている地区の環境の回復が長期的には必要であり、そのために市民の合意形成に向けた取り組みが必要（飯田橋地区における東京都の再開発ビル、上智大学グラウンド等）。

3) 「街路」の観点から

- ・ 都市構造の軸となる公園道路の景観の回復と再生。
（行幸通り、馬場先通り、国会議事堂前、新宿通り等）
- ・ 昭和17年の計画である、皇居外苑における内濠通りの地下化の再検討
- ・ パレスゾーンを貫通する高速道路の将来像について、隣接する市街地の更新と連動した検討を行う（大手町地区合同庁舎跡再開発など）。
- ・ 再開発により人にやさしい歩きたくなる街路網をつくりだし、パレスゾーンとネットワーク化を行い、公園を身近なものとする。

4) 「景観」の観点から

- ・ 行政が景観行政団体として、景観計画区域の指定、景観区域の指定に積極的に取り組む。特にパレスゾーンとその周辺地区については、美観地区ガイドラインをふまえて、景観地区として指定することが急務である。
- ・ 当該地区の具体的な景観の質、デザインについては、景観協議会の立ち上げ、景観整備機構などの指定を行い、NPOや市民の合意形成が行われる仕組みをつくりだすべきである。

(5) パレスゾーンの再生に向けた提案

パレスゾーンの緑地は、日本を代表する文化的ランドスケープであり、かつ、多様で豊かな生命の宝庫である。この緑地を 21 世紀の社会的共通資本として持続的に維持し、かつ、美しく、生き生きとした空間としていくために、次の 8 事項を提案する。

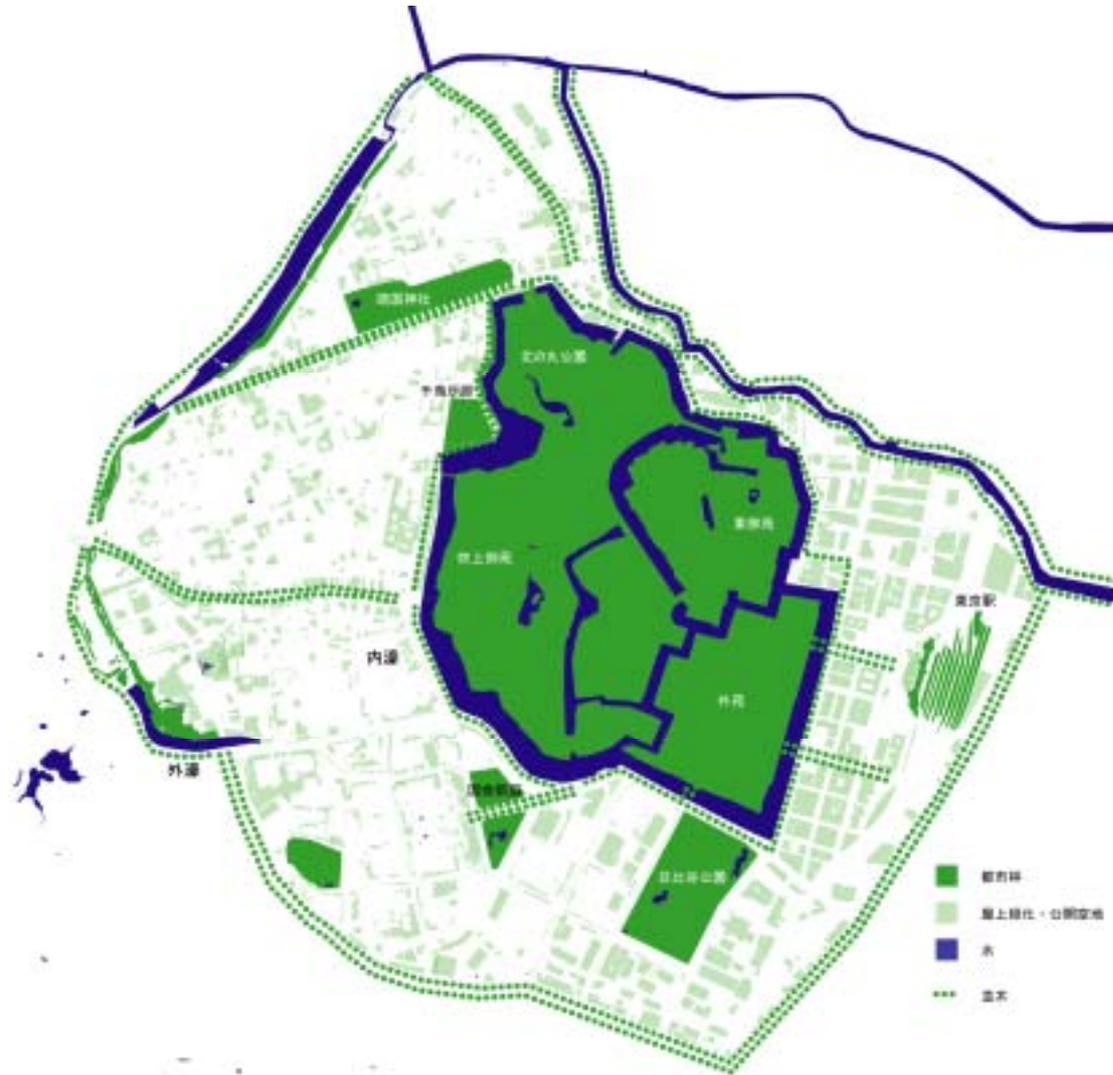


図- 4.3.3.26 水と緑からのパレスゾーンの再生

提案 1：吹上御苑、皇居外苑、皇居東御苑、北の丸公園、国会前庭、日比谷公園、千鳥が淵公園、千鳥が淵戦没者墓苑、靖国神社を、一つのまとまりのある公園（東京セントラルパーク）とする。

提案 2：吹上御苑を緑地保全地区とする。これにより、現在、人々に知られていない吹上の自然環境が、武蔵野の原風景を回復ための、昭和初期からの持続的取り組みにより、保全、創出されてきたことを、メッセージとして発信していくことができる。

提案 3：皇居外苑を横断している内堀通りを地下化する。これにより、黒松とお濠の水景を基調とする気品のある、日本を代表するランドスケープの回復が可能となり、かつ 21 世紀の活力のある広場空間への展開が可能となる（図-4.3.3.27）。

提案 4：北の丸、千鳥が淵を横断している首都高速 4 号線、放射第 2 号線の地下化を行なう。これにより吹上御苑、東御苑、北の丸公園が一体的な都市林となり、人々の利用、景観、生物多様性の回復など様々な観点から、巨大なストックの有効な活用を促すことができる。

提案 5：千鳥ヶ淵戦没者墓苑と千鳥ヶ淵公園間の車道を、現在の都市計画公園の区域指定に沿って廃止する。これにより現在の閉鎖的な千鳥ヶ淵戦没者墓苑が、雄大な千鳥ヶ淵の景観と連続する空間となる。ここに、すべての戦没者の慰霊と祈りの場としての墓苑を、新たな発想からつくりだす。

提案 6：新しい発想で、「外濠公園」の保全・創出を行う。現在、外濠は、一部を残し、現存しない。しかしながらかつての外濠エリアには、多くの歴史的資源、自然環境、東京を代表する都市施設が集積している。営造物公園、地域制緑地、公開空地、河川をリンクさせた新しいネットワーク型公園の制度と、ガイドラインを創り出し、断片としての外濠公園ではなく、環状構造の外濠公園を、21 世紀の水・緑・環境のインフラとする。

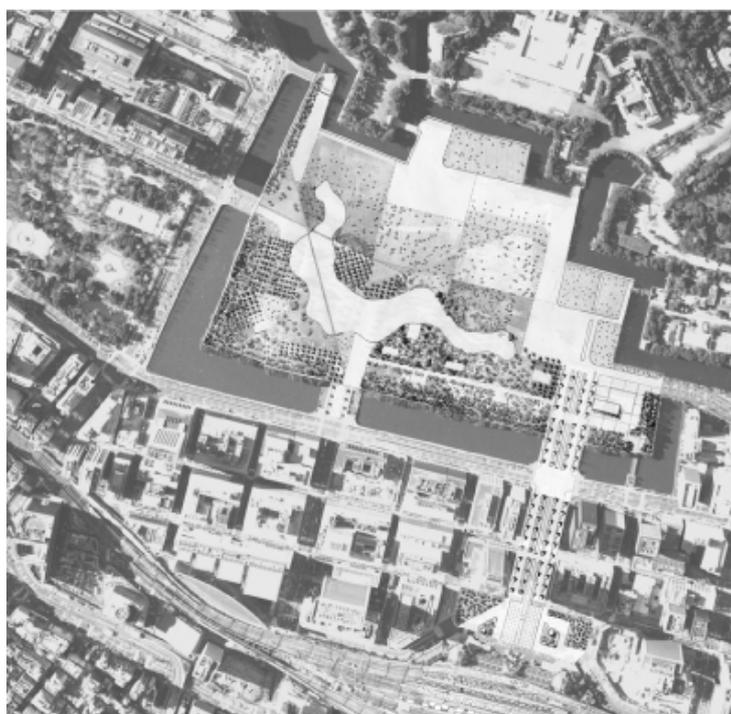


図- 4.3.3.27 内堀通りの地下化による皇居外苑の再生

提案7：東京駅プラットフォーム屋上、丸の内、大手町地区の建築空間の屋上に「空の森」をつくりだす。都市再開発に伴う公開空地、容積移転、屋上緑化などの、現在、既に存在している制度を活用、充実させ、第二の大地としての「空の森」を創出する。これは、ヒートアイランド現象を緩和するとともに、東京湾と皇居を結ぶ、広大なエコロジカル・コリダーとなる。

提案8：伸びやかな緑陰の広がる美しいブルヴァールをつくりだす。日本の他都市の事例にない、これを公園として位置づけ、風致を重視した並木道としていく。このブルヴァールにそって、赤坂離宮、青山墓地、神宮内・外苑、新宿御苑、浜離宮等と結び、21世紀のパークシステムを創り出していく（図-4.3.3.28、図-4.3.3.29）。



図- 4.3.3.28 行幸通りの公園道路



図- 4.3.3.29 国会議事堂前の公園道路

4.3.4 東京湾ウォーターフロントの再生

(1) 目的と研究の概要

緩やかに弧を描く東京湾。東京はその最奥部に位置し、広大な海に育まれてきた都市である。海は生活の糧を与え、物流の拠点となり、独特の水辺の文化を生み出してきた。明治以降の近代化、工業化の進展により海と共にあった生活は失われたが、水辺における都市再生に向けて近年様々の取り組みが行われている。

海の自然を回復し、水辺に沿った新しい都心居住の姿を描くことは、今後の国際都市・東京を考える上で、極めて重要であるとの認識から、東京湾岸沿いの歴史の変遷について、16世紀から現代までの土地利用、水路網、社会的・文化的背景の調査・分析を行った。

(2) 研究の背景 水辺空間の変容 江戸から東京へ

東京の水辺空間を考えると、その歴史的な成り立ちを認識することなしに、現状の問題点を捉え、将来の可能性を模索することはできない。現代都市東京の骨格の形成は16世紀に遡るが、江戸が現代の東京に至るまでの間に、都市の様相は様々な出来事によって、時に大々的に、時に微小な変化を遂げていった。それぞれの時代時代に起こった都市を取り巻く社会的、文化的、そして物理的変化の重ね合わせにより、現在の東京の姿が形づくられてきた。

江戸・東京の水辺空間は、都市全体が変化する過程の中で、その時々時代の要請に応じながら、都市の発展という過程の中で、最も激しく変化を遂げた場所である。物流の拠点という機能だけではなく、文化の最前線としての役割を果たしてきた水辺空間は、時代

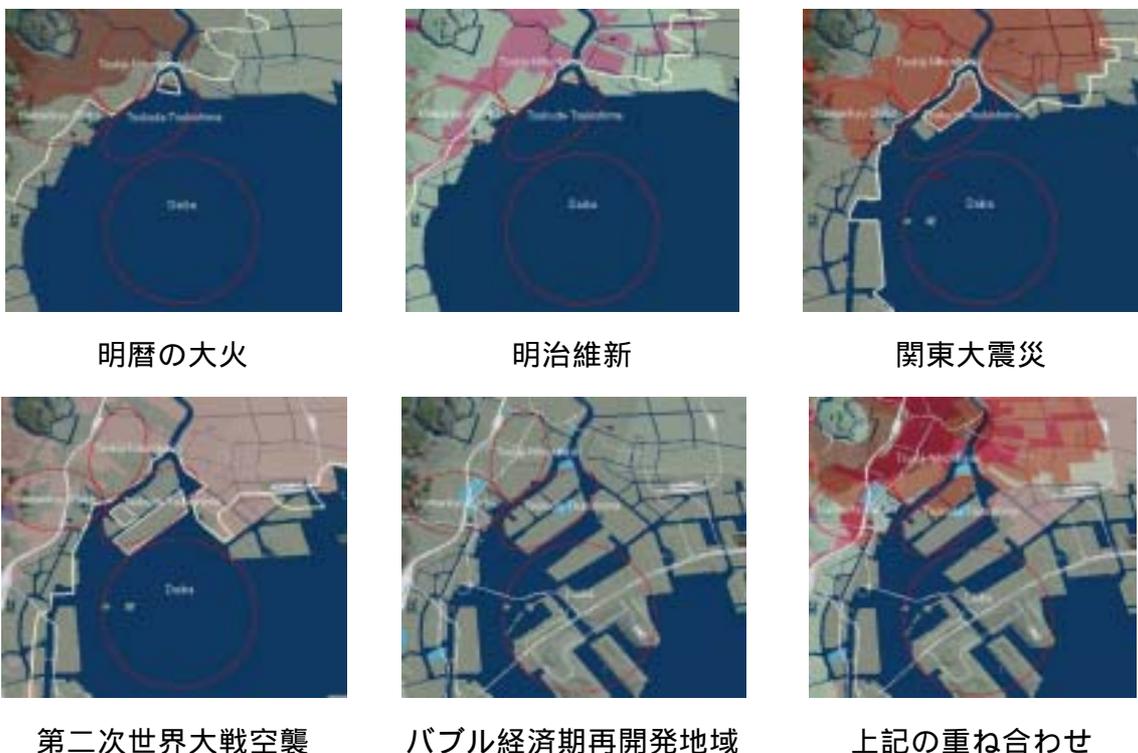


図- 4.3.4.1 東京湾岸の水際線の変遷

の変化とともに土地の形を大きく変容させていった。水辺空間の変容に大きな影響を及ぼした出来事を江戸時代初期から順に、明暦の大火(1657年)、明治維新(1868年)、関東大震災(1923年)、第二次世界大戦による空襲(1945年)、そしてバブル経済期の大規模再開発プロジェクト(1990年)としてあげて、その影響範囲となる部分を表しながら形状の変容を見ると、同じ東京の水辺地域でも、各地域が経験してきた都市変遷には大きな違いがあることを見て取ることができる(図-4.3.4.1)。

日本橋を中心とする16世紀来の最も古い商業地域と、お台場に代表される現代の埋め立てによって創造された土地では、その土地に重ねられた都市変遷のレイヤーの構成が大きく異なり、それにより、それぞれの場所が有する固有の性格は大きく異なる。これらの土地のもつ固有性を的確に捉え、正確に理解することによって、それらの土地に託されるこれからの土地利用のあり方を考える土台が築かれるのである。

江戸時代、水辺に形成されたユニークな場所性は、そこに生活する人々の姿を如実に表していた。しかし明治維新以来、東京の水辺は都市の近代化とともに、徐々に人々の生活から離れていってしまった。お台場に代表される現代の水辺空間を考えると、都心のウォーターフロント地域は東京という大都市の先端的機能を担う場所として新たな都市発展の可能性を秘めており、そこには江戸時代以来人々が描いてきた理想的な都市の姿が映し出される。そこは、単に非日常的な盛り場としての商業的発展の場ではなく、人々の豊かな日常生活が営まれる、自然と生活観に満ちたヒューマンな場所として復活しなければならないであろう。そして、水辺をもう一度人の手に戻し、江戸・東京が本来有していた都市の魅力を回復することは、これからの東京が量的成長から質的成熟へと都市発展の方向を変えていくことを導く手立てとなるのではないだろうか。

(3) 東京湾岸エリアのオープンスペース

1) オープンスペースの分類と立地、時代区分

オープンスペースの種別は、表-4.3.4.1 に示すように、都市公園や港湾緑地、総合設計制度等に基づく公開空地、整備された護岸、その他から成っている。

図-4.3.4.2 は、オープンスペースの分類毎の立地の状況であり、河口付近に主な都市公園が分布し、東京湾岸の埋立地に海上公園が立地している。

また、それぞれのオープンスペースが整備された時代区分をみると、1970年代にその多くが整備されていることがわかる(図-4.3.4.3)。

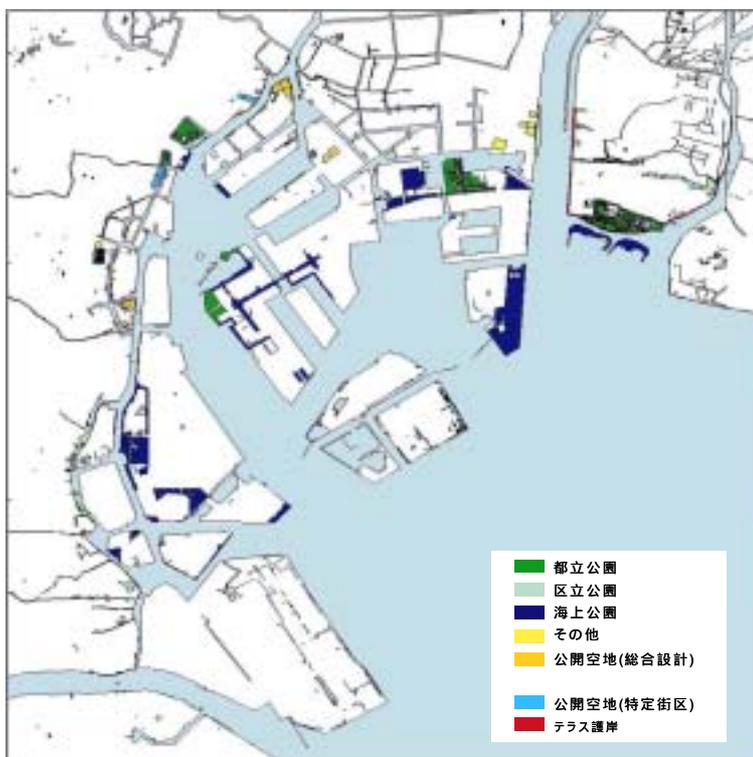


図- 4.3.4.2 オープンスペースの立地¹⁾

表- 4.3.4.1

オープンスペースの分類

分類		件数
公園	都立公園	6
	区立公園	97
	海上公園	30
公開空地	総合設計制度に基づく公開空地	37
	特定街区制度に基づく公開空地	4
テラス護岸	浸水対策により整備された護岸	55
その他	原野・森林・田畑・樹林地など	43
合計		272

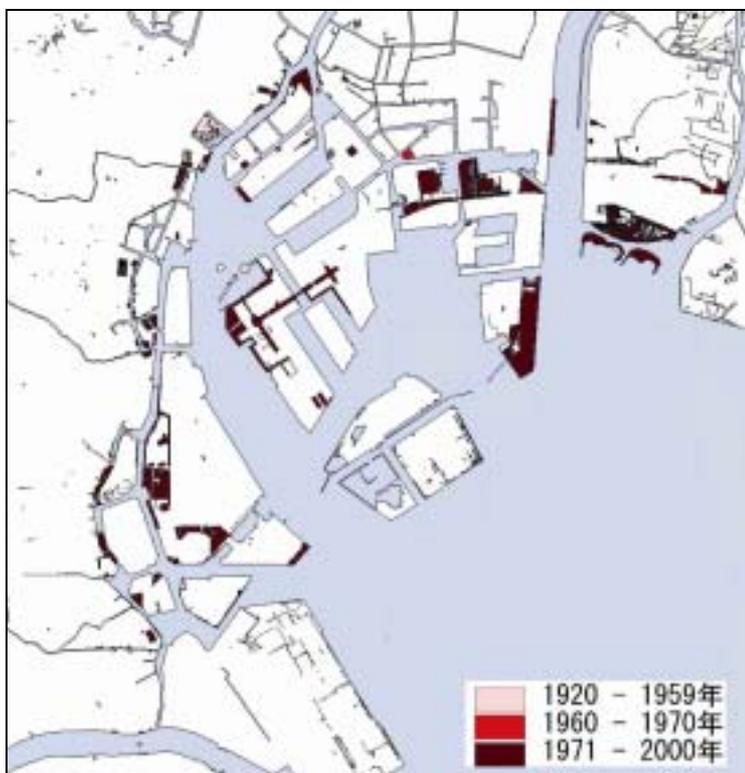


図- 4.3.4.3 オープンスペース整備の時代区分¹⁾

2) オープンスペースにおける水辺の構造

対象とするオープンスペースについて陸域から水域への形態を調査し、表-4.3.4.2 に示すような分類を行った。水に触れることが可能なものには、砂浜、磯浜、階段護岸がある。水に触れることは出来ないが水面を望むことが出来るものとして、テラス状護岸、堤防がある。これ以外の類型には、堤防や柵などにより水辺へのアクセスが不可能なもの他、オープンスペースと水面との間に建物敷地などの他の土地利用がある類型に区分される。

市民が水にさわることのできるオープンスペースは 10%のみであり、建築物により水に触ることが不可能なオープンスペースが 36%となっている。

表- 4.3.4.2 オープンスペースにおける水際の断面構造と分類¹⁾

ウォーターフロントの類型		件数	%
水に触れることが可能	砂浜	6	1.9
	磯浜	20	6.3
	階段	9	2.8
水を見ることが可能	テラス	120	27.9
	堤防	9	2.8
堤防によって近づくことが不可能		17	5.4
植物・柵によって近づくことが不可能		22	6.9
水辺以外		114	36.0
総計		317	100.0

3) ネットワーク化されたオープンスペースの配置の現状

図-4.3.4.4 は、東京湾岸エリアのネットワーク化されたオープンスペースの配置状況である。それぞれのオープンスペースは孤立しているように見えるが、ウォーターフロントのネットワークを創出しようとする試みが読み取れる。

特に、荒川葛西系統、八潮系統、臨海副都心系統は、ネットワークの規模も大きく地域の骨格的な緑地系統となっている。また大川端系統や隅田川築地系統などは、ウォーターフロントの再整備により生まれたオープンスペースのネットワークで都心地域における重要な緑地となっている。

4) 東京湾岸域のオープンスペースの課題

東京湾岸地域のオープンスペースの調査・分析を通じ次の2つの特質と課題が明らかになった。

- ・東京湾岸エリアのウォーターフロントの特徴は、400年以上の物質的・社会的な事象の集積によって発達してきたモザイク構造にある。湾岸エリアの将来像を検討するにあたっては、歴史的な脈絡を常に根底におく必要がある。
- ・急激な都市化や高密度の開発にも関わらず、東京湾岸地域には250以上ものオープンスペースが保全・創造されてきた。しかし、そのほとんどは舗装された広場・公園など都市的な利用であり、直接水に触れることができるものは10%程度となっている。

人の利用と生物生息環境の保全・回復を両立するため、多くの試みが行われている。庭園や台場の修復は自然の森や海洋生物の生息環境を豊かにするものであり、人工的に創出した海岸や湿地も、現在ではアジア太平洋地域の渡り鳥のための豊かな生息域となっている。東京湾岸エリアに分布するオープンスペースは、現在は小さなネットワークが築かれているにすぎない。しかしながら、東京湾岸エリアの生物多様性を高めるためには、これらのオープンスペースとそのネットワークの形成が重要である。

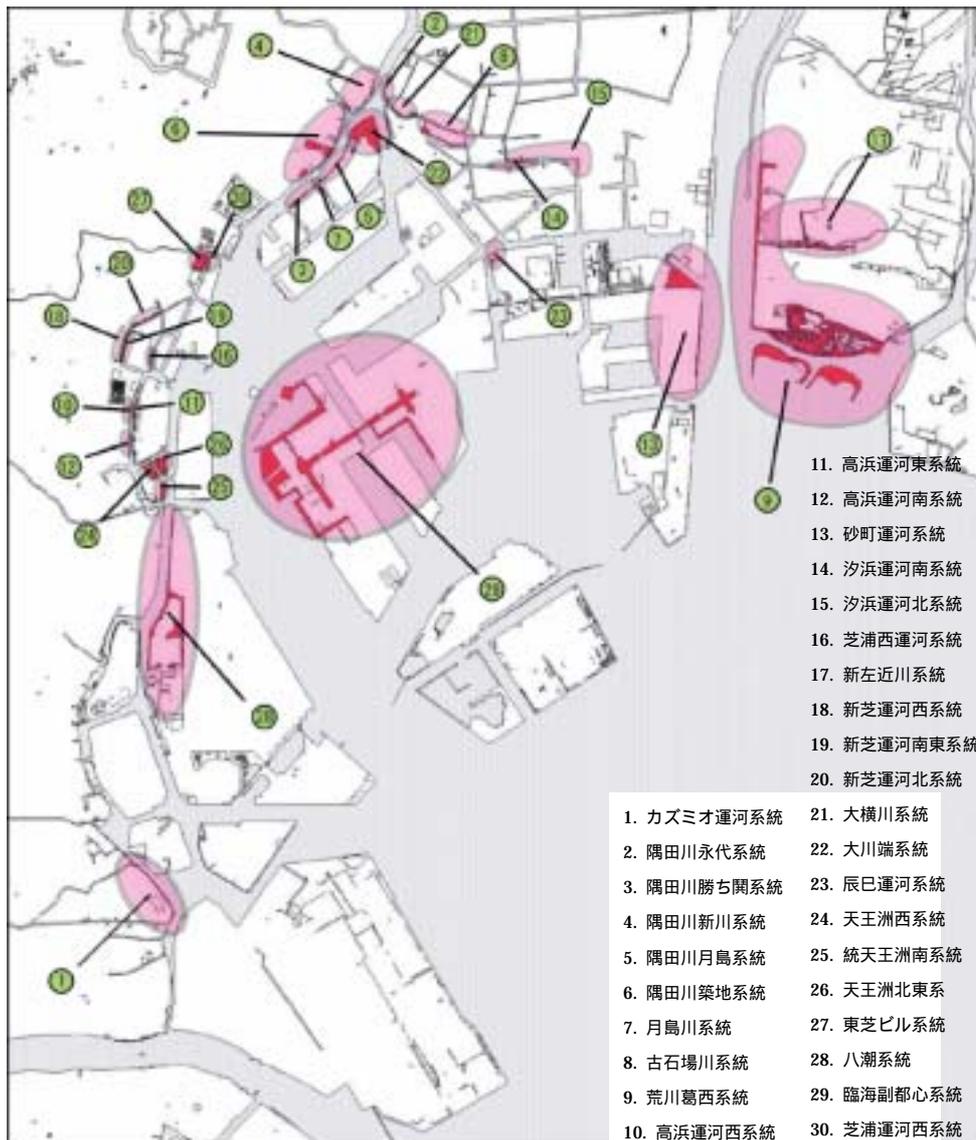


図- 4.3.4.4 ネットワーク化された水辺のオープンスペース¹⁾

参考文献

1) Mori, Takuya. and Ishikawa, Mikiko : The Analysis of Public Access to the Waterfront in Tokyo Bay Area, Proceedings: The 6th Inter-University Seminar on Asian Mega cities, 7 - 1-11, 2001.

(4) エコロジカル・ネットワークの創造と将来像

図-4.3.4.5 は、東京湾岸エリアの将来のエコロジカル・ネットワークに関する提案である。東京湾岸エリアには、現在、葛西海浜公園、夢の島・辰巳公園、浜離宮庭園、台場海浜公園、東京湾野鳥公園の5つの拠点があり、新たな拠点となる可能性を持った地区として、羽田空港の拡張事業や新海面処分場があげられる。また、都市再生に関わる事業を通して現存する小さなネットワークをつなげることで、緻密なヒューマンスケールのエコロジカル・ネットワークを創出することができる。

河川や流域における環境マネジメントは、今後、NPO等の市民参加が重要な役割を担っていく。エコロジカルコリダの形成に向けた流域マネジメントの仕組みづくりが、今後の課題である。



図- 4.3.4.5 東京湾岸エリアのエコロジカル・ネットワークの将来像

(5) ケーススタディ：東京湾ウォーターフロントの再生への提案

対象地のフィールド・サーヴェイ、ヒアリング、文献調査、GISによる分析を踏まえて、水と緑を社会的共通資本として再構築し、海辺の自然環境と一体となった新しい都市像の提案を行った。

対象地として選んだのは、浜離宮、築地、月島、お台場である。これらの4つの地区は、成立年代が異なり、都市形成の考え方、プロセスも様々である。

浜離宮地区は、大名屋敷に起源を有し、近代化の過程では交通の要衝、軍事施設として利用され、現在は汐留め再開発による超高層の街が立ち上がっている。築地は、江戸以来の町人まちであり、網の目のような水路網の痕跡が、断片としての緑地に残されており、築地卸売市場の移転と再開発に伴い、まちの姿が大きく変わろうとしている。月島は、明治の近代化の過程で埋め立てにより作りだされた街である。リバーシティなどの再開発と昔ながらのコミュニティが共存しているが、近年、再開発に伴う高層化が進展している。お台場は、戦後、理想都市として建設され、基盤整備が行われてきた。広域幹線交通網の整備に伴う、新しいポテンシャルの増大などを背景とし、海辺の暮らしのヴィジョンが、改めて問われている。

以下、浜離宮地区における提案では、400年の歴史を刻む浜離宮庭園を核とする「庭園都市」を将来像として提示する。築地・日本橋地区における提案では、断片として残る水路網を、明確な緑地のネットワークシステムとして再構築していくシナリオの提示を行う。月島地区における提案では、島であるにも関わらず、水との関連がない現在のまちに対して、徹底的に水との関わりにこだわり、新しい水辺の提案を行う。お台場地区における提案では、これまでの理想都市論の中で、海の自然の回復と共生の思想が欠落していたとの認識から、生物多様性を育む「海のゆりかご」の提案を行う。

これらの提案は、各地区の歴史的背景、現在の問題と課題に対応し、多様であるが、東京湾岸のウォーターフロントに沿って、コモンスペースを創出し、人間的な、美しい都市を生み出していこうとする共通の目標を有している。

1) 築地・日本橋エリア : 水網都市

a) 課題

ア) 土地に刻まれた水文化の記憶を顕在化させ、新たな都市のストックをつくりだす。

かつて豊かであった都市の水網は、水運の衰退と陸上交通の発達、土地利用の高度化等により、埋め立てられ、その姿を消した(図-4.3.4.6)。埋め立てられた水路は、道路や緑地等に姿を変え、現在の都市の公共空間として都市を支えている。生命都市への再生に向け、都市の水網から継承された公共空間を次世代の環境インフラへと再生する必要がある。

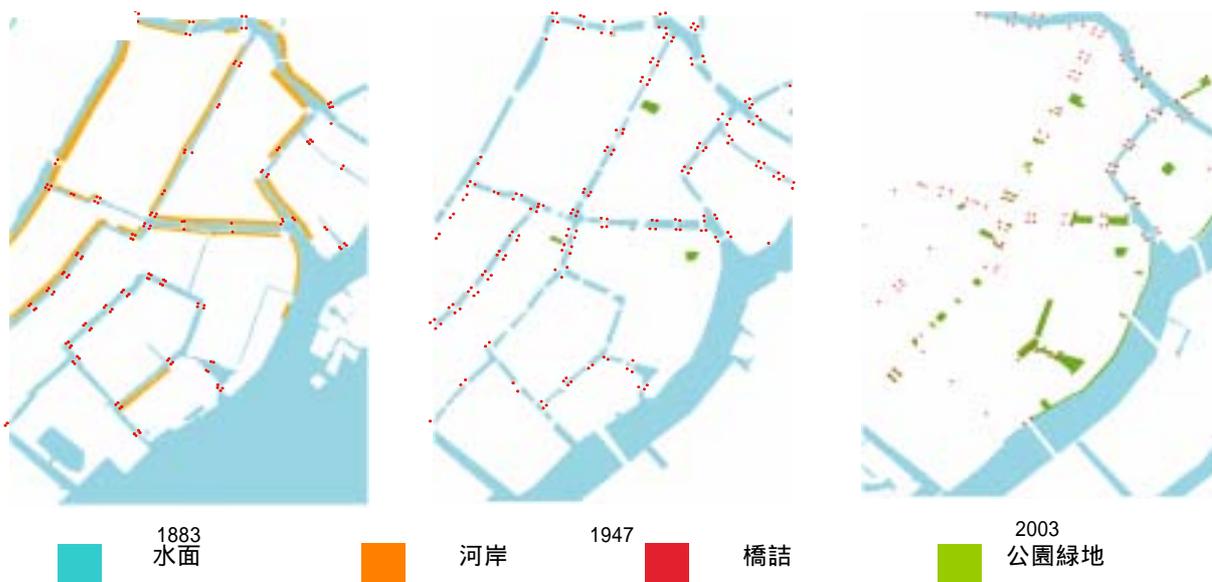


図- 4.3.4.6 水路の減少とコモンスペースの変遷

イ) 高速道路などで分断されている街から、街をつなぐ、水と緑をつなぐ街をつくりだす。

広幅員の道路や高速道路により、街は分断されている(図-4.3.4.7)。快適な街並みの形成を図るため、街と街をつなぐ水と緑の環境インフラの整備が必要である。

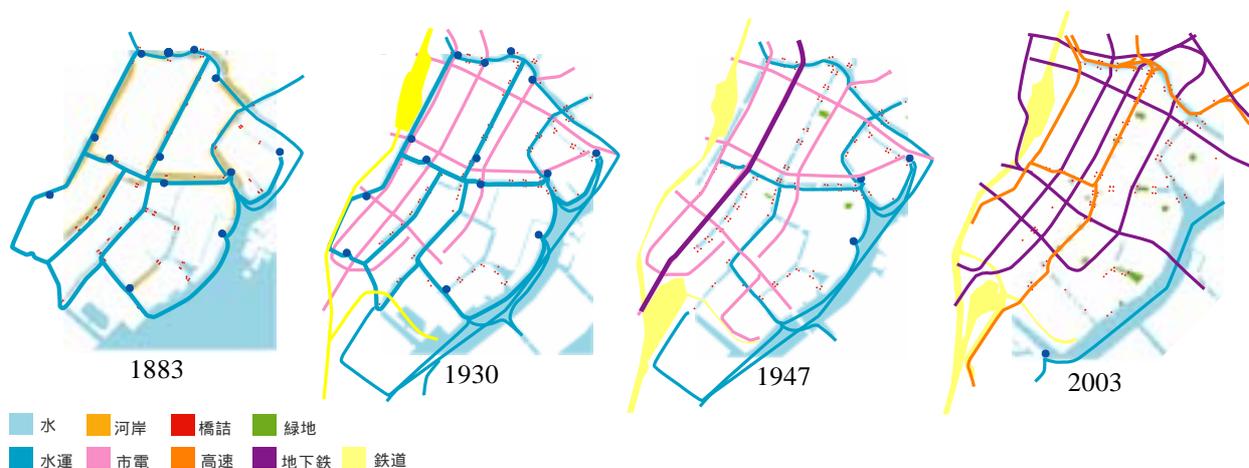


図- 4.3.4.7 交通網の変遷

b) グリーン・ネットワークの提案

ア) グリーン・ネットワーク形成へのステップ

緑地のストックやかつての水網空間のポテンシャルを活かし、パークシステムを形成する。

			
かつて水網が存在していたポテンシャルを把握する。	緑地のストックを把握し、パークシステム形成の拠点とする。	公共空間に置き換えられたかつての水網は、新しい環境インフラへの転換の可能性を秘めている。	街路の緑化により、水と緑のネットワークをより充実させる。

図- 4.3.4.8 グリーン・ネットワーク形成へのステップ

イ) 緑の拠点の設定と重点的な緑のネットワーク化

緑の拠点を活かし、水と緑のネットワーク化を図る。

表- 4.3.4.3 ネットワーク化の提案

01 首都高速 9 号深川線	現在半地下状の高速道路空間を地下化し、浜離宮から日本橋川へと連続する緑地空間を整備する。
02-1 桜川公園	首都高速 9 号深川線と隅田川を結ぶ緑の軸線をつくりだす。
02-2 築地川公園	駐車場空間の緑化を図り、緑地として再生させる。
03 隅田川	周辺の公開空地との連続化を図り、水辺のオープンスペースとして再生させる。
04 街路樹	街路の緑化による、緑のネットワーク化を図る。
05 築地市場	再開発に伴い新たな緑地の創出を図り、浜離宮庭園と一体となった都心の緑のコアを創出する。

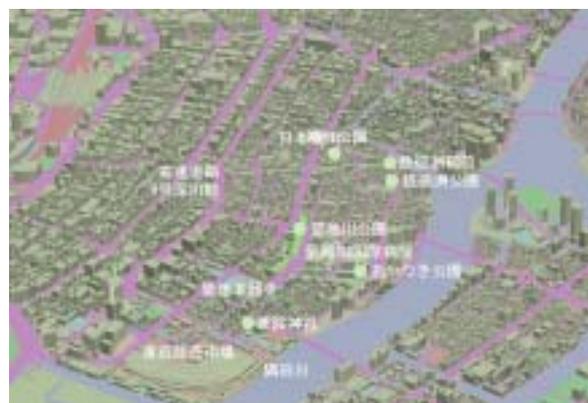


図- 4.3.4.9 緑の拠点の設定



図- 4.3.4.10 重点的ネットワーク化の対象

り) 重点ネットワークの提案

i) 首都高速深川線

この地区の課題は、半地下の首都高速道路が、銀座と築地を分断していることに加え、高速道路が生み出す騒音や大気汚染など、周辺環境に悪影響を及ぼしていることである。

この問題の解決にあたり、高速道路の地下への移設を図り、騒音などの周辺環境への影響の改善を図る。また、地下化された高速道路の上部空間は、日本橋地区と浜離宮地区を結ぶ公園として整備し、緑地整備にともなう周辺地域の活性化を誘導する。また、江戸から継承する歴史的ストックである日本橋地区と浜離宮地区をネットワークさせることで、都市の個性を強調する環境インフラとして期待される。

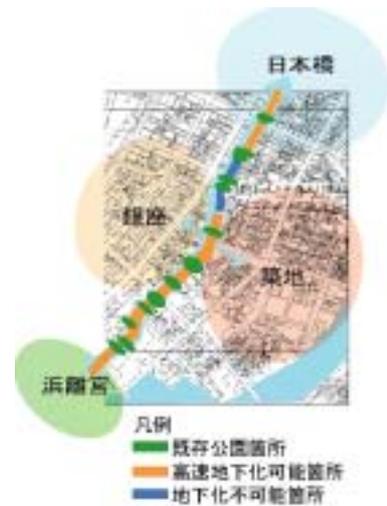


図- 4.3.4.11 高速深川線の緑化ポテンシャル

ii) 桜川

桜川は、暗渠化され、その上部空間は公共施設が整備されている。かつての河川空間は、現在公共施設用地として担保されていることから、公共施設の緑化を進め、グリーン・ネットワークを整備する。



図- 4.3.4.12 桜川におけるグリーン・ネットワークの形成

iii) 築地川公園

対象地は、築地川が埋め立てられ、緑地への転換された場所である。公園内には駐車場や駐輪場などの施設が内包され、豊かな緑地空間を形成しているとは言えない。生き物空間の再生と快適な歩行空間の整備を図り、地域のオアシスとなるような公園として再生を図る。



写真- 4.3.4.1

築地川公園再生のイメージ

2) 浜離宮エリア : 海と呼吸する庭園都市

a) 課題

ア) 土地利用の変遷

浜離宮周辺は、江戸期において、政治、文化の中心であったことから、史跡、寺社等の歴史的遺産が豊富である。

汐留や芝浦では再開発が進んでおり、商業化の最前線の地区となっているが、開発が無秩序に行われ、浜離宮・芝離宮、築地、汐留、芝浦、芝公園（増上寺）は統一性のない都市空間となっている。

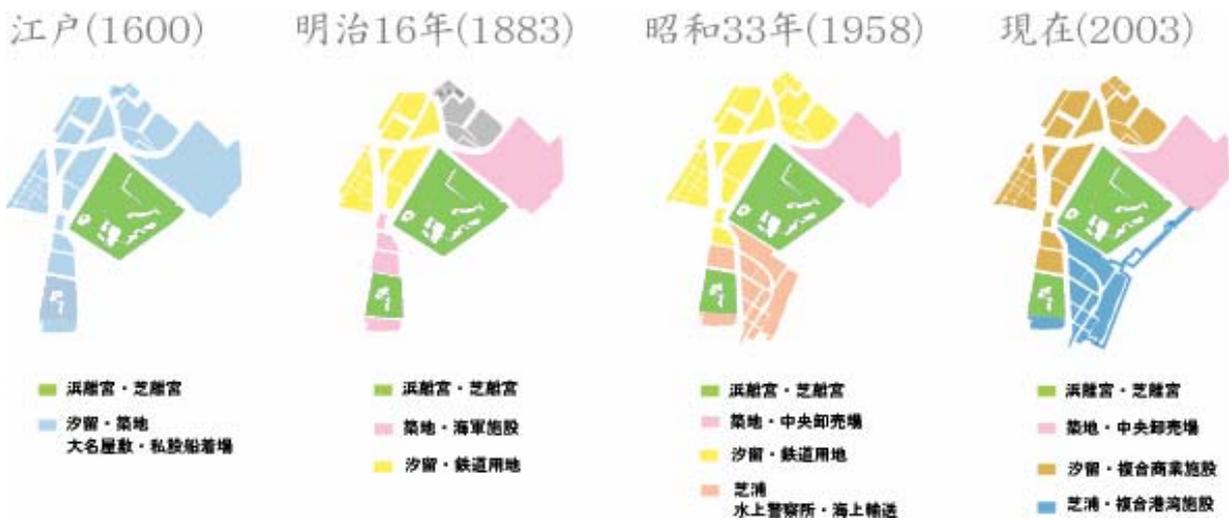


図- 4.3.4.13 土地利用の変遷

イ) 緑地の変遷

この地域には芝公園、浜離宮・旧芝離宮といった貴重な緑地が存在している(図-4.3.4.14)。芝公園は、緑地の減少が著しく、永続的な緑地の担保を図る必要がある。



図- 4.3.4.14 緑地の変遷

ウ) 水面の変遷

人々の生活と密着していた水路網は、時代と共に消滅していった(図-4.3.4.15)。今では、大きな河川のみが残されているが、それも汚れや腐臭が目立ち問題がある。



図- 4.3.4.15 水面の変遷

b) 提案 海と呼吸する庭園都市

7) 都心環状線の地下化による周辺地域の環境再生

浜離宮地区と汐留地区を分断する都心環状線を地下化することで、浜離宮や汐留の緑地と一体となった新しいオープンスペースを創出する。歩行者空間や景観の改善を図るとともに、豊かな生物生息空間となる海辺の都市林を形成する(図-4.3.4.16)。

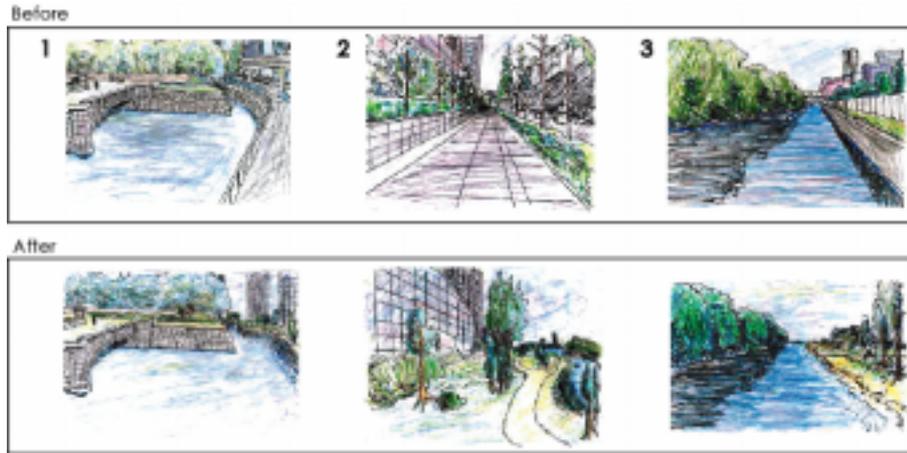


図- 4.3.4.16 都心環状線の地下化による周辺環境の再生イメージ

1) 汐留川沿いの環境再生と新たな動線の提案

浜離宮や開発地における緑地と一体となって、汐留川の再生を図る。また、浜離宮の一部の区域を歩行者空間として開放することで、周辺地域との回遊性を高め、浜離宮と周辺地域との結びつきを強化する(図-4.3.4.17)。

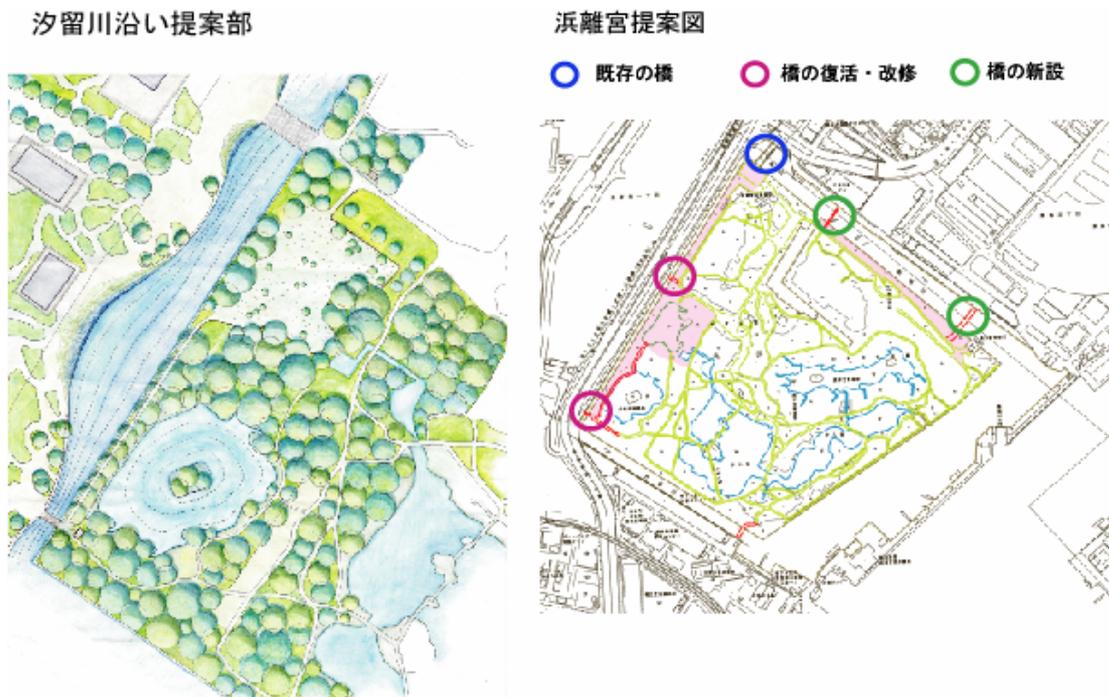


図- 4.3.4.17 汐留川沿いの環境再生と新たな動線の提案

3) 月島エリア : 海に暮らす

a) 現状

ア) 水辺環境の現状

江戸から明治にかけては漁業および渡し舟を中心に水との関わりがあった。現在は、漁業は小規模になり、渡し舟もその役目を終えたものの、小型の漁船や屋形船が佃公園周辺()、月島川()、朝潮運河の棧橋()停泊している(図-4.3.4.18)。

では川に沿ってオープンスペースがある。水遊び、釣りをする人たちで賑う。では、路地の奥の住宅から棧橋が伸び。水辺はもっぱらプライベートに利用されている。

勝どき・豊海()・晴海地区などは水際空間は倉庫や埠頭として開発され、人の生活との結びつきが薄い。近年では、トリトンスクエア()のように、水辺のオープンスペースがつけられた再開発の事例が見られる。高度経済成長期からバブル期に、水辺の倉庫・工場からマンションやオフィスビルへの建替えが進み、月島地区に見られるような、水辺に中・高層、内陸には低層の長屋、というアンバランスな高低さが生まれた。この時期は、 など水に価値を見出さない開発も多い。



図- 4.3.4.18 水際の現状

イ) 水辺空間の課題

水際にある高層の建物が視覚的・心理的障壁となっている。海に囲まれた島であるにもかかわらず、水辺への接近が可能な地点は3箇所の公園のみである。

月島ではかみそり堤防であるため、水辺と内陸が隔てられている印象を強く受ける(図-4.3.4.19)。再開発で整備された大川端リバーシティでは、スーパー堤防が整備され、緩やかに水へと下りていくことができ、水に触れる施設やビオトープが整備されていて変化に富んだものとなっている(図-4.3.4.20)。



図- 4.3.4.19 月島の水際空間の断面

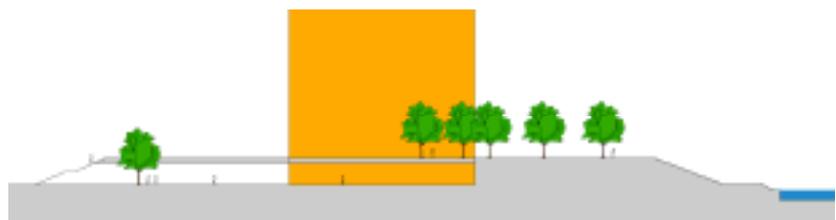


図- 4.3.4.20 大川端リバーシティの水際空間の断面

b) 提案 海辺に暮らす

月島は海に囲まれた島であるが、海を感じにくいことから、海辺での生活をテーマにした新しい月島の生活像を提案する。

ア) 「海辺に暮らす」ために、海との接点である隅田川沿いの護岸のデザイン

月島は島であるにも関わらず、海との接点が少なく、生活の中で海を感じられない。そこで人間と海辺の自然が共有できる空間を提案した(図-4.3.4.21)。現在かみそり護岸になっている隅田川沿いの元物揚場を潮入りの公園として再生する計画である。

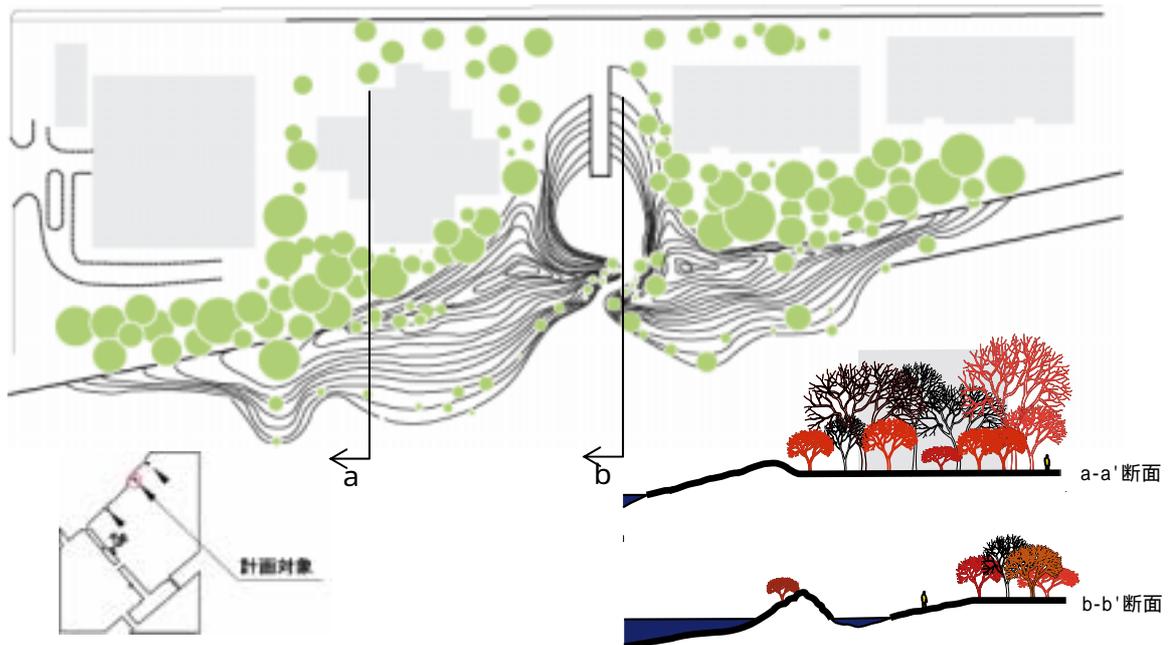


図- 4.3.4.21 隅田川沿いの護岸のデザイン

イ) 海を生活空間に引き寄せる。



図- 4.3.4.22 海を生活空間に引き寄せる

b) 提案 海のゆりかご

お台場エリアは、江戸時代からの歴史が息づいている。お台場の多様な護岸のタイプは、生物生息のポテンシャルを持った新しい海辺環境のベースとして重要である。

提案は、第7台場に対し、歴史性と生物多様性という観点から新しい空間を創造するものである。海底に藻場を再生させることで、水質の浄化を図るとともに、豊かな生物生息環境の形成を図る。これまでの水際の線的な親水性の計画から、海底地形から陸地までの連続したエコトーンを創造する面的な計画へ移行する。

歴史的遺産の第3台場、サンクチュアリとしての第6台場、生物多様性を生み出す第7台場を拠点に、既存の緑地を結ぶパークシステムにより、魅力的な海辺の環境を創造する。

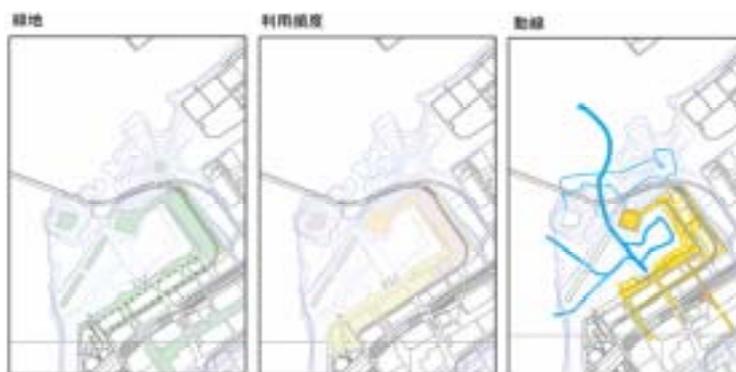


図- 4.3.4.26 海辺のパークシステム

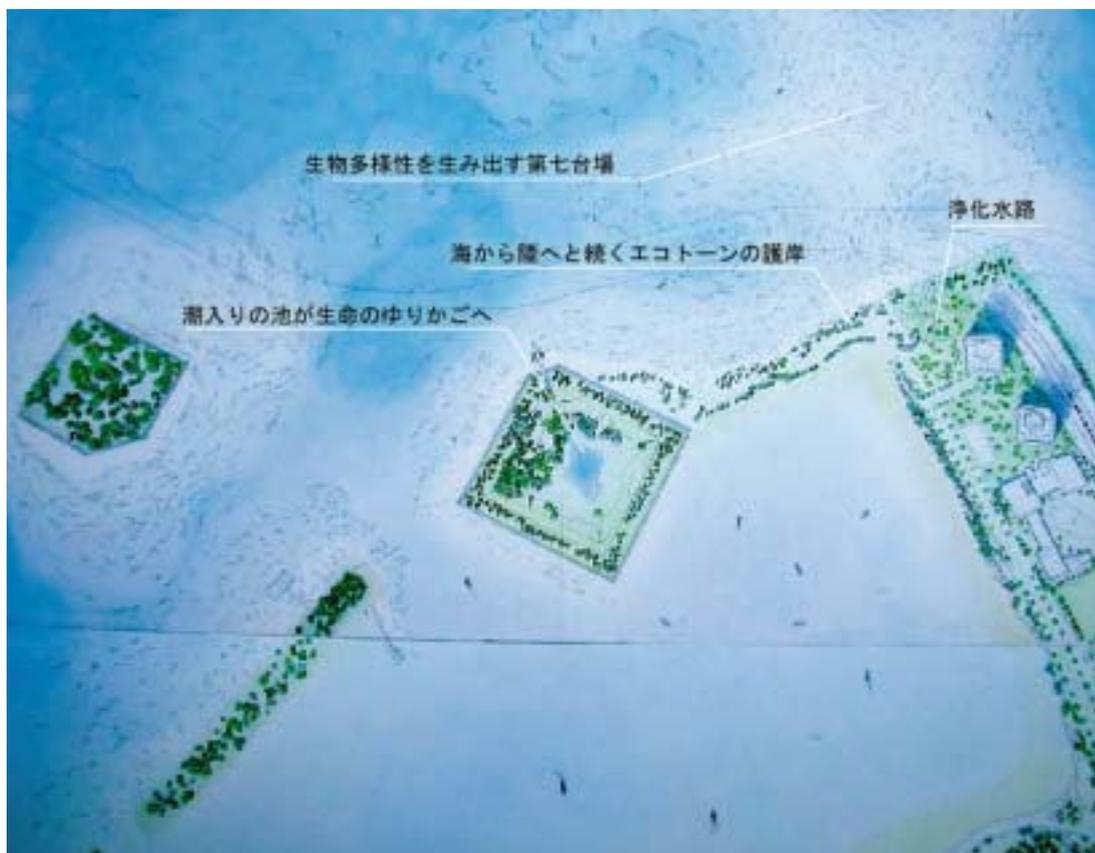


図- 4.3.4.27 海底から陸域までの連続したエコトーンの創出

4.3.5 渋谷川の再生 都市内河川再生型まちづくり

(1) 目的と対象地域の概要

1) 研究の概要と目的

東京都心を流れる渋谷川を対象とした研究では、都市の深層に眠る自然のポテンシャルを掘り起こし、生命を育む都市の再生に向けて、分析及び提案を行うことを目的とする。分析では、河川構造や流域環境の歴史的な分析、様々な主体へのヒアリングを行い、上流から下流まで各区間の特質と課題を明らかにする。また、公共空間の活用、都市型洪水対策、立体都市公園制度の活用、多様な水源の確保、マネジメントシステム等、都市河川における多様な条件に応じて、様々なアプローチによる都市内河川再生型のまちづくりによる都市の再生を提案する。

2) 対象地

渋谷川流域は、日本の近代化の過程で、経済効率が最優先された結果、緑地や公共空間が失われた典型的な地区であるとの認識から、都市の緑地の有するポテンシャルを発掘し、社会的共通資本としての緑地創出の道筋を考察するにふさわしい地区であると考え、対象として選定した(図-4.3.5.1)。

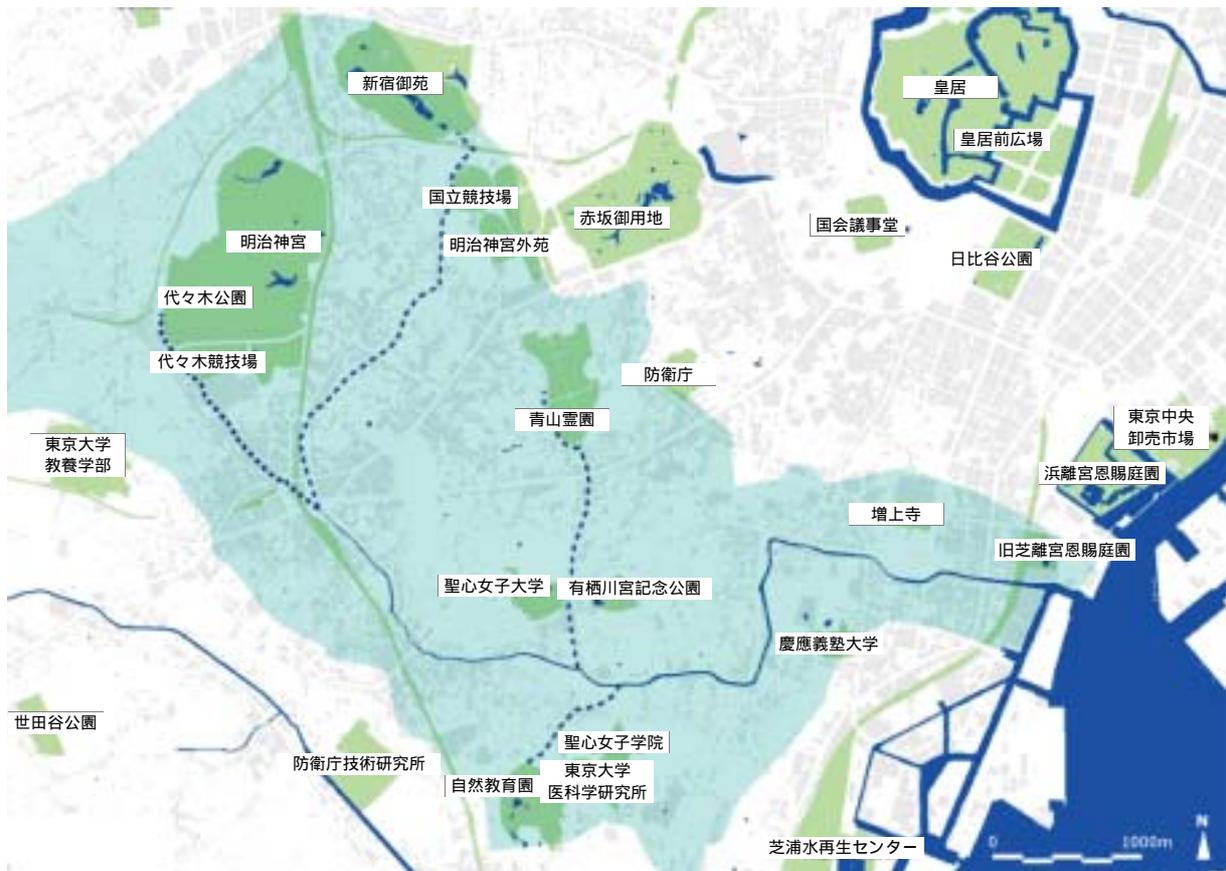


図- 4.3.5.1 対象の渋谷川流域

3) 緑地環境の変化

急速な都市化に伴い、渋谷川は暗渠化され、「みえない川」となり、川により結びつけられていた緑地が孤島と化していった。人の暮らしが川から遠ざかり、多様な生物の生息空間も失った。

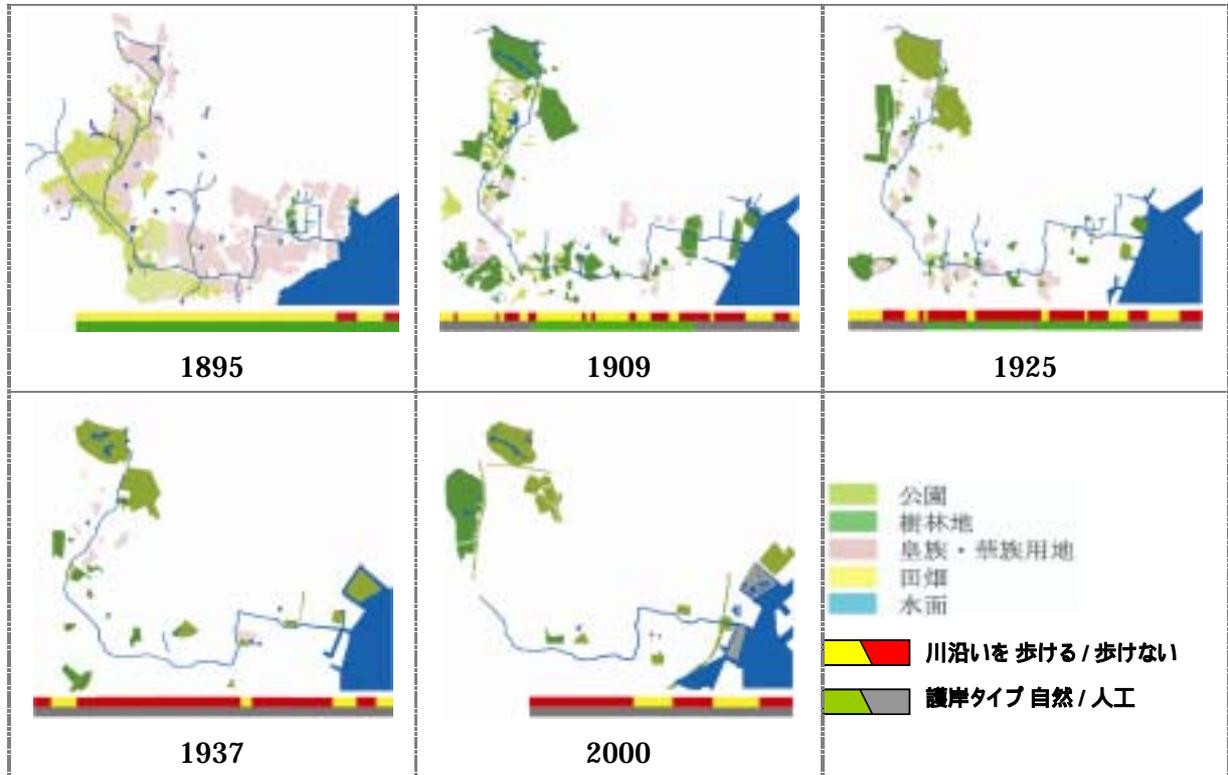


図- 4.3.5.2 緑地の変化

4) 見え隠れする自然地形、沿川の賑わい空間

都市化された渋谷川流域は、無機質であるが、地形図を読み解けば、深層には力強い自然地形が見え隠れし、新宿御苑、明治神宮、青山霊園という広大な緑地ストックを水源林として持つ。また、渋谷川沿川には、新宿、表参道、原宿、渋谷、恵比寿、広尾、麻布十番、芝など、特色ある地区、人の賑わいが、形成されている。



図- 4.3.5.3 対象流域の地形

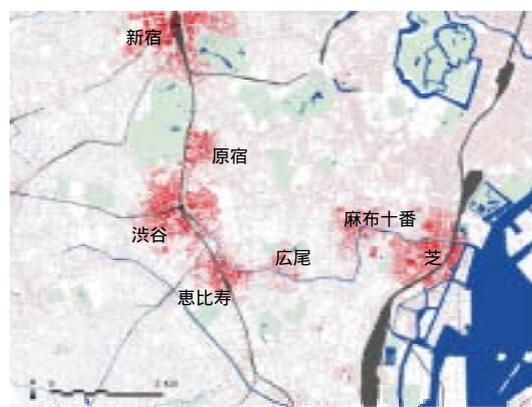


図- 4.3.5.4 沿川の賑わい空間

(2) 渋谷川再生ヴィジョン：失われた川の記憶を掘り起こし「水と緑の回廊」をつくる

20 世紀の産業、工業の集積を基盤とする経済発展は、所得を増大させ、都市の利便性を大きく向上させたが、一方で、地価の高騰、生活の質の劣化、水や緑の環境の喪失、ヒートアイランド現象の顕在化など、解決の糸口のみえない問題が、山積みしている。

世界に眼を転じると、工業の衰退に伴い、かつて繁栄をきわめた多くの都市が、荒廃の危機に瀕しており、脱工業化社会の環境基盤をどのように創出していくかを、模索している状況にある。

その中で、活力を取り戻している都市に共通する視点は、「人の生活の営まれる場の回復」と「失われた自然環境の回復」の双方に軸足をおき、「都市の歴史的文脈」を踏まえた、市民協働の政策展開を行っていることにある。文化・自然・歴史のサステナビリティ（持続性）を、都市再生の基本にしていると言える。

本研究では、東京の地層の奥深く眠る、数億年をかけて形成された地形、水、そして、これらが育む緑地環境に着目し、豊かな環境の回復を提案する。川という現在では、見えない空間を再生させることにより、広大な自然と、生き物と人の回廊を、21 世紀の東京に創り出していく。

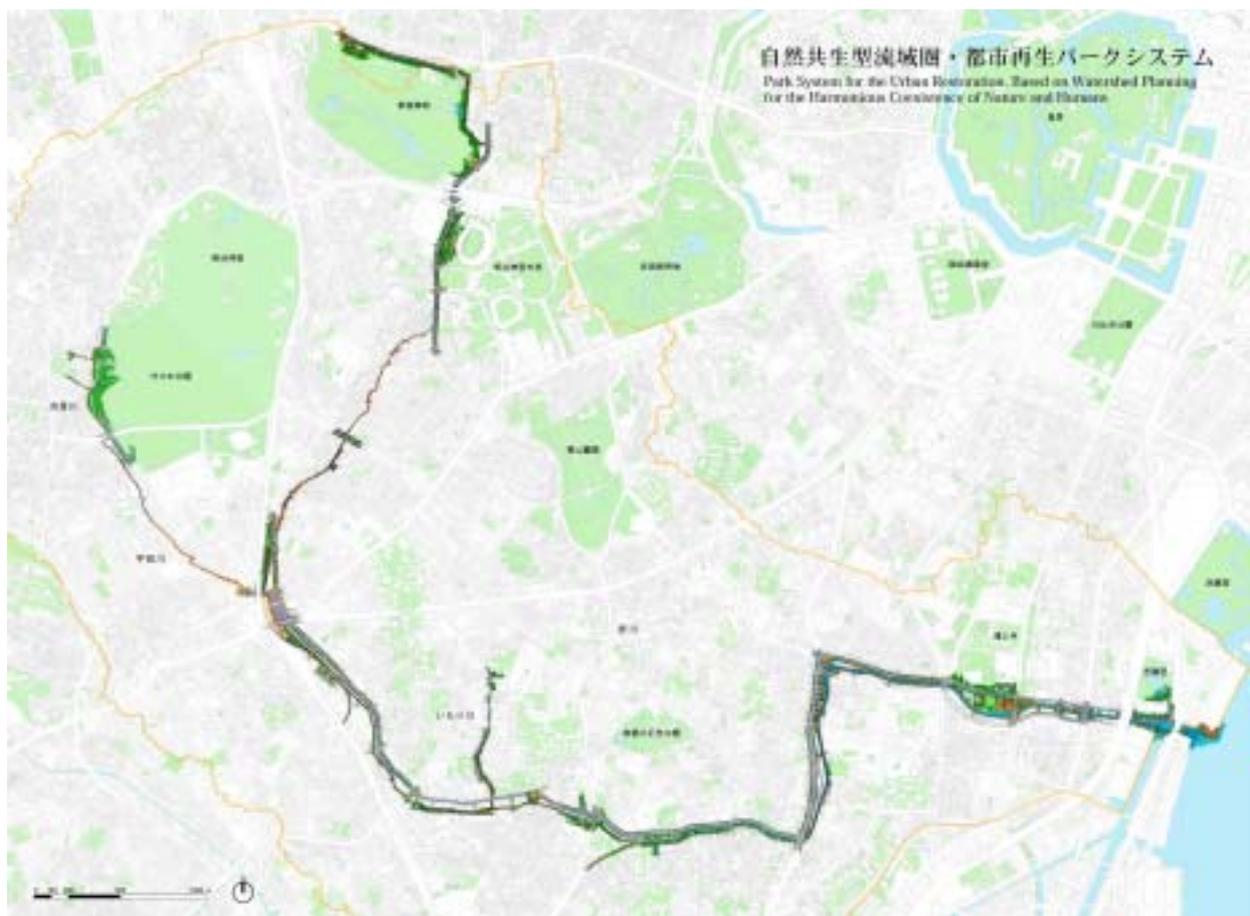


図- 4.3.5.5 自然共生型流域圏・都市再生パークシステム

(3) 具体化に向けた手法

1) 失われた川の記憶を掘り起こす

上流・中流・下流における河川の現状や都市型洪水に対する治水上の機能を踏まえ、“みえない川”から“みえる川”を創り出す。

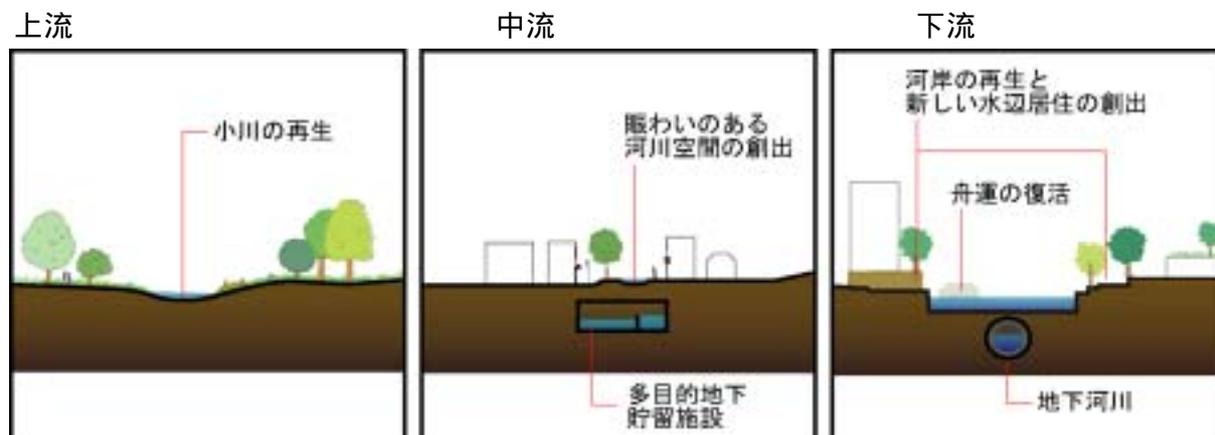


図- 4.3.5.6 上流・中流・下流における川の再生手法

2) 生命の回廊・風の道をつくる

水源林から、公園、公開空地、斜面林、公共施設、道路、公共の緑地、私有地の庭、街路樹、海辺へと、川を手がかりに散在する緑地をつなぎ、生物多様性を育むとともに、エコロジカル・ネットワークと風の道を作り出す。

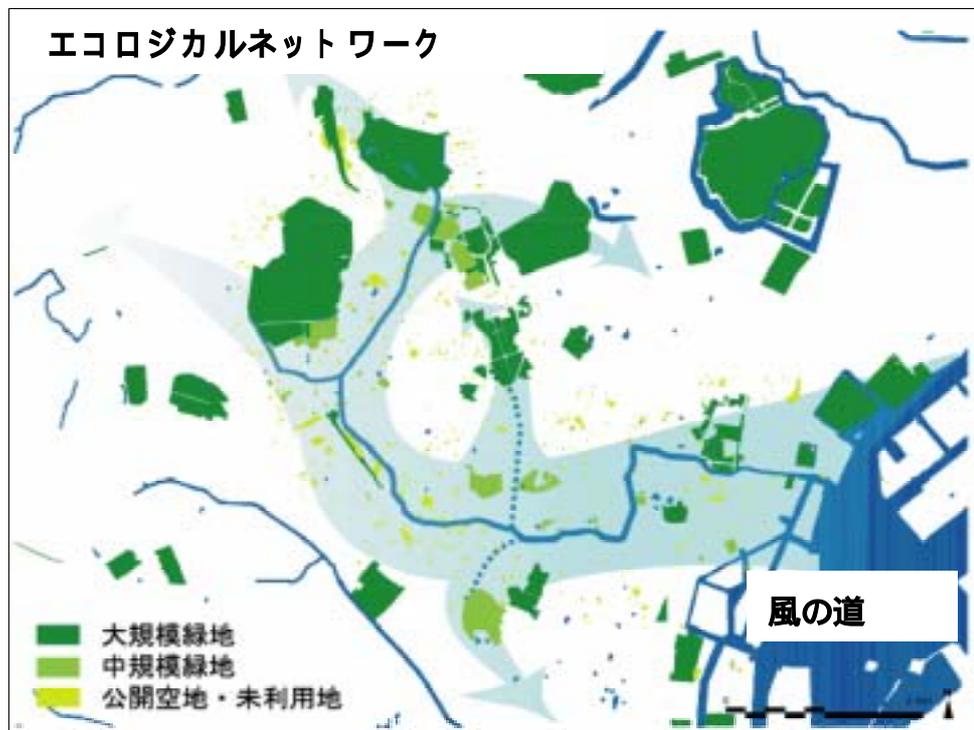


図- 4.3.5.7 川を手掛かりに生命の回廊を作り出す

3) 緑地と公共空間を生み出すためのマネジメントシステムを提案する

川沿いのペンシルビルの林立する地区について、わずかに残る公共空地を活用し、都市型洪水対策、及び地区計画（緑化地域の指定、高さ制限、公開空地、立体都市公園制度等）を導入し、都市内河川再生型まちづくりを進め、安全で美しい、新しい都心居住空間を提案する。

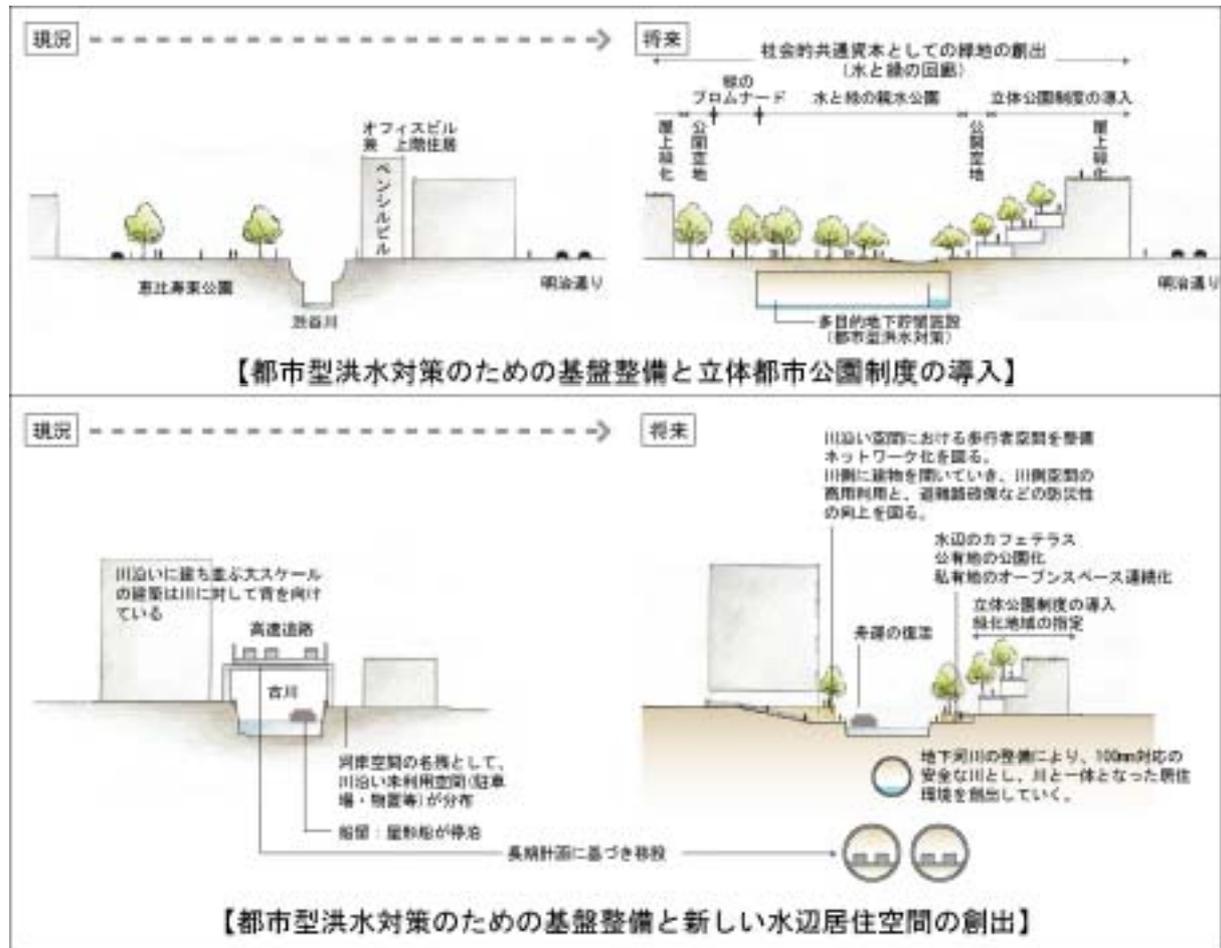


図- 4.3.5.8 都市内河川再生型まちづくり

4) 健全な水循環を再生する

水源林を守り、雨水の地下浸透を促し、流域の雨は流域で受けるように、都市の体質を時間をかけて改善する。また、玉川上水からの導水、落合下水処理場からの再生水、地下鉄の湧水の利用など、多様な水源を確保し、水循環を回復する。



図- 4.3.5.9 水循環の回復

(4) 提案

渋谷川の再生に向け、上流から下流において9箇所の場所を設定し、具体的な提案を行った(図-4.3.5.10)。



図- 4.3.5.10 渋谷川パークシステムとケーススタディの場所

1) 上流部

a) 春の小川の再生 新宿御苑地区

渋谷川は、武蔵野台地の湧水と、玉川上水の余水を水源とする川であった。新宿御苑内には、今日も湧水地があり、玉川上水は暗渠、余水吐けは、開渠の空堀の遺構として存在している(写真-4.3.5.1)。2006年の新宿御苑開園100周年を記念し、玉川上水の復活が環境省により進められており「水と緑の回廊」の実現に向け、今後大きく動いていく地区である。玉川上水の復活と水源林の保全を提案する(図-4.3.5.11)。



写真- 4.3.5.1 玉川上水余水吐け



図- 4.3.5.11 新宿御苑における玉川上水の復活

b) 春の小川の再生 明治公園地区

東京オリンピック開催時に、当該地区を流れていた渋谷川は暗渠となった。時代が環境共生都市へと大きく転換している今日、まず、公園に水と緑の空間を回復することを第一歩として進める必要がある。該当地区では、春の小川の再生を提案する(写真-4.3.5.2、図-4.3.5.12、図-4.3.5.13)。



写真- 4.3.5.2 明治公園における春の小川の再生イメージ

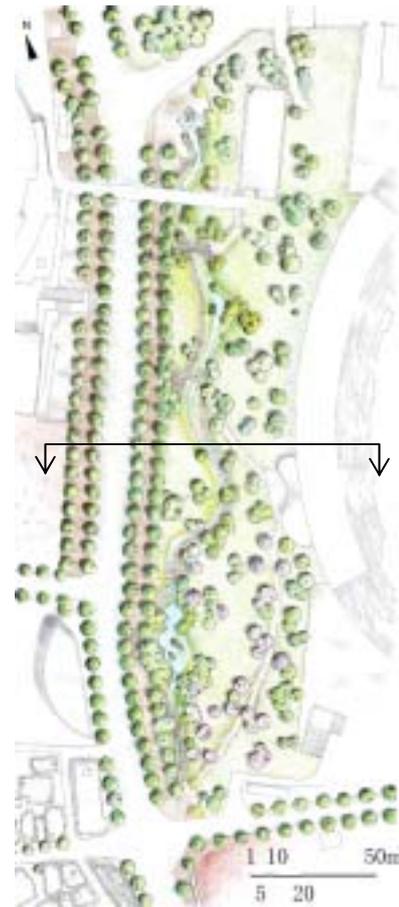


図- 4.3.5.12 明治公園における春の小川の再生



図- 4.3.5.13 明治公園における春の小川の再生(断面図)

c) 春の小川の再生 代々木公園地区

童謡「春の小川」にうたわれた河骨川は、当該地区を流れる渋谷川の支流であったが、昭和30年代に暗渠化された。現在、代々木公園の緑と周辺地区（代々木八幡宮）は、幹線道路によって分断されているが、本格的に春の小川の復元が可能なのは、渋谷川流域では、この地区のみである。代々木公園の広大な緑地の雨水、暗渠化された河川水を再利用し、春の小川・溜池生態系・湿地生態系の再生を提案する（図-4.3.5.14、図-4.3.5.15）。

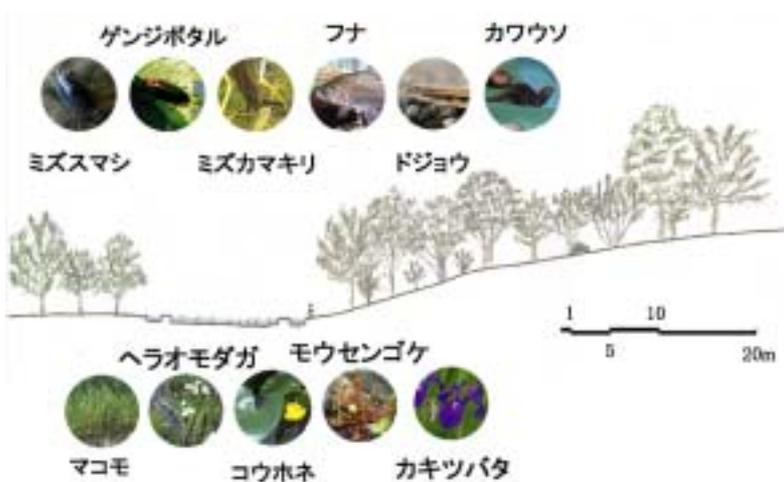


図- 4.3.5.14 代々木公園地区における春の小川の再生(断面図)

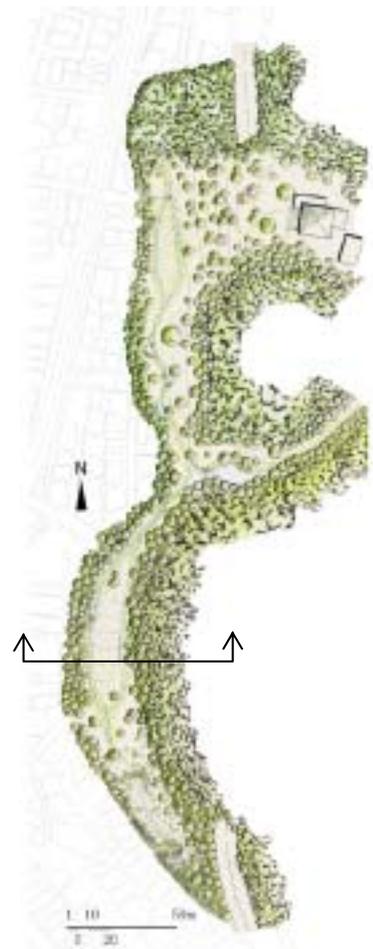


図- 4.3.5.15 代々木公園地区の春の小川の再生

d) にぎわいのある河川空間の創出 千駄ヶ谷～原宿地区

当該地区の渋谷川は、渋谷川の支流である穂田川が暗渠化され、川の流れを連想させる蛇行した緑道となっている。商業施設が集積しており、多くの若者が集まるファッションブルータウンとなっている。

千駄ヶ谷～原宿地区では、緑道の中央にささやかな川を再生し、まちの活性化と本来の地域の魅力を引き出すことを提案する(写真-4.3.5.3)。



写真- 4.3.5.3 千駄ヶ谷～原宿地区の川の再生

e) 宮下公園地区

戦災復興事業により整備された公園であるが、昭和40年代に人工地盤を有する駐車場がつくられた。人工地盤上の樹木は、豊かに成長し、当該地区の緑のストックとなっている。

当該地区では、この緑地のストックと暗渠化された渋谷川を蘇らせることにより、良好な都市環境の創造を図る。



写真- 4.3.5.4 宮下公園周辺の再生のイメージ

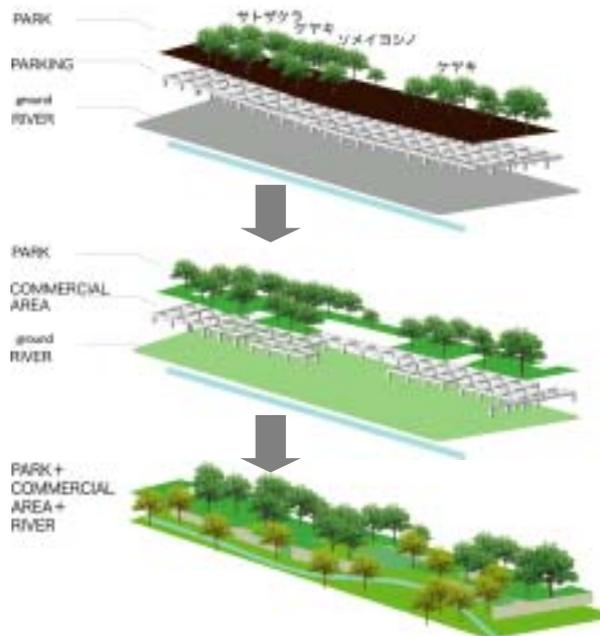


図- 4.3.5.16 宮下公園の再生イメージ

2) 中流

a) にぎわいのある河川空間の創出 渋谷～恵比寿地区

渋谷駅を過ぎると渋谷川は開渠となり、コンクリートで塗り固められた無機質な川として地上に現れる。東側を明治通り、西側を東横線によって囲まれた地区は、まわりの地区から分断されている。将来は東横線の地下化により、大きく変化していくことが予想される。当該地区では、東横線の地下化を前提として、地域から隔絶された沿川地域を都市の箱庭として再生させることを提案する。



写真- 4.3.5.5 渋谷～恵比寿地区の再生イメージ



図- 4.3.5.17 渋谷～恵比寿地区における渋谷川の再生

b) 都市内河川再生型まちづくり 恵比寿東公園周辺

ア) 現状と課題

対象地は、渋谷橋の下流側に位置し、北側には明治通り、南側は戦災復興都市計画事業による恵比寿東公園がある。

沿川の建物用途は、住宅・住商併用建物などが多く、北側の明治通りと渋谷川に挟まれる地区には、ペンシルビルが建ち並んでいる(図-4.3.5.18)。建築年数を見ると、築35年を経過した建物が渋谷川の北側にまとまって分布している(図-4.3.5.19)。この地区における課題は以下のように整理される。

河川と断絶された公園や地域(写真-4.3.5.6)

狭隘道路と低未利用地の存在(写真-4.3.5.7)

ペンシルビルの林立(写真-4.3.5.8)



図- 4.3.5.18 現在の建物用途と容積

図- 4.3.5.19 築年数と課題



写真- 4.3.5.6

河川と地域との断絶



写真- 4.3.5.7

低未利用地の存在



写真- 4.3.5.8

ペンシルビルの林立

イ) 容積率の現状と課題

当該地区は、指定容積率 500%の商業地域である。しかしながら、現状の使用容積率は、約 180%と空間効率が悪い(図-4.3.5.20)。また、狭隘道路の存在により、一部の敷地で指定容積率が制限されるため、350%しか容積を確保することが出来ない(図-4.3.5.21)。

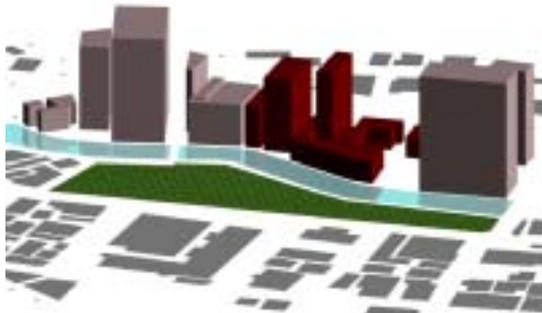


図- 4.3.5.20 現状の使用容積 180%



図- 4.3.5.21 指定容積率の制限 (500%
350%)

狭隘道路が存在する現状では、狭隘道路接道敷地について指定容積率への制限が加わる。当該地区では、指定容積率 500%は確保されず、350%程度となる。

ウ) 都市内河川再生型街づくり

当該地区では、河川沿いに、新たな公共空間を生み出すために、建築年数を踏まえて再整備区域を設定し、「都市内河川再生型まちづくり」を提案する。

i) 立体都市公園制度の導入により、沿川の建物の上部を都市公園として整備し公共に開放する。

立体都市公園制度は、平成 16 年の都市緑地保全法の改正により、新しく作りだされた制度である。民有地の上部を都市公園とすることが可能となったもので、この制度の活用により、人工地盤（公園一体建物）の整備に補助を受けることが出来る。

- ・ 官民のタイアップによる都市更新
- ・ 土地の有効利用
- ・ 公園の効率的な整備が促進
- ・ 地上権の取得費の 1/3、人工地盤の整備費に 1/2 の国庫補助

<参考> 立体都市公園制度（都市緑地法第二十条）

- ・都市公園の下限を定め、それより下部の空間には都市公園法が及ばない
- ・民間施設との一体的整備を可能に（下部空間の土地利用の用途は制限されない）
- ・屋上公園、人工地盤公園など、これまでできなかった都市公園の整備を可能に
- ・新設・既設いずれにも適用可能

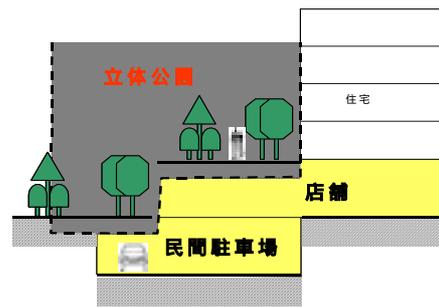


図- 4.3.5.22 立体都市公園制度のイメージ

ii) 川沿いの建物部分の高さを制限する。

立体都市公園制度における公園一体建物とし、指定容積率500%から、400%へダウンゾーニングする（地下100%、地上300%）。提案エリアには、狭隘道路による基準容積率が適用されるため、現状では、350%の容積までしか確保できないことから、400%のダウンゾーニングでもメリットがある。

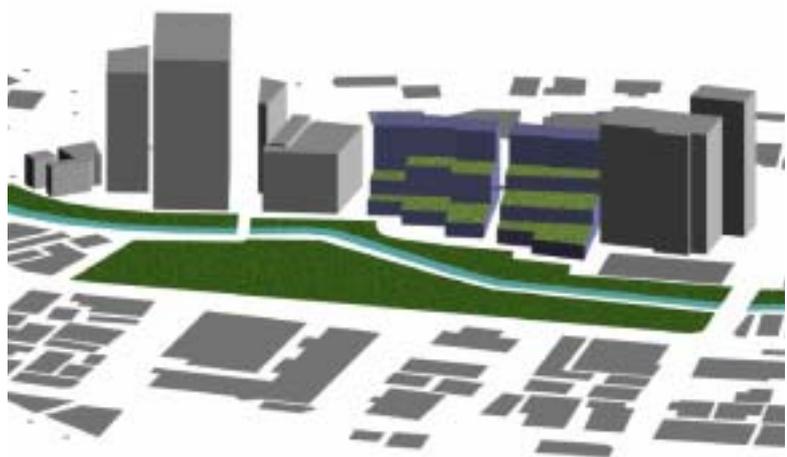


図- 4.3.5.23 ダウンゾーニングと立体都市公園制度の導入

iii) 川沿いの建物をセットバックし、公共空間を確保する。

立体都市公園制度と合わせ、沿川建物のセットバックにより、川沿いの空間に公共空間を確保する。パブリックアクセスや防災性の向上、川側のオープンスペースにおけるカフェなどの商用利用など、メリットが生じる。

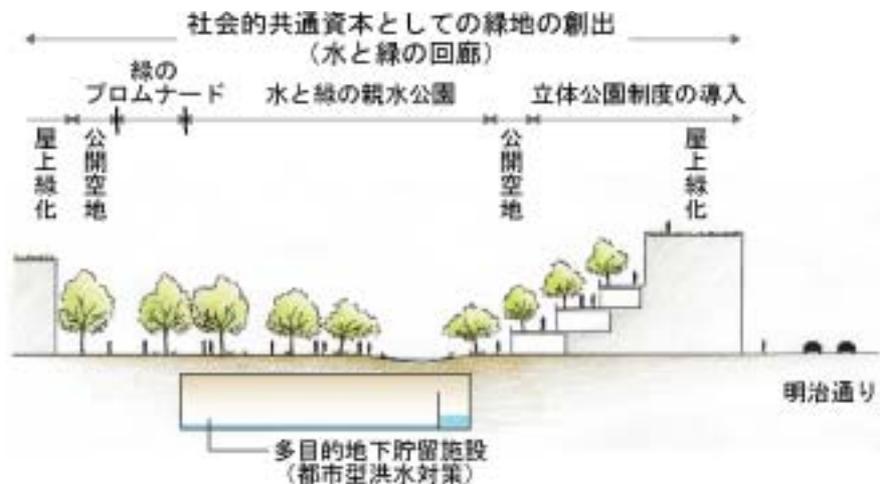


図- 4.3.5.24 都市内河川再生型まちづくりのイメージ

3) 下流部

a) 都市内河川再生型まちづくり 古川・金杉橋周辺

ア) 現状と課題

i) 公有地として残されている河岸地

江戸から引き継がれた 400 年の河岸のストックを今日に継承している。

左岸は、倉庫や駐車場となっており、建物も小規模なものが多い。右岸は、事務所建築物や住宅となっており、比較的大きな建物が並ぶ。

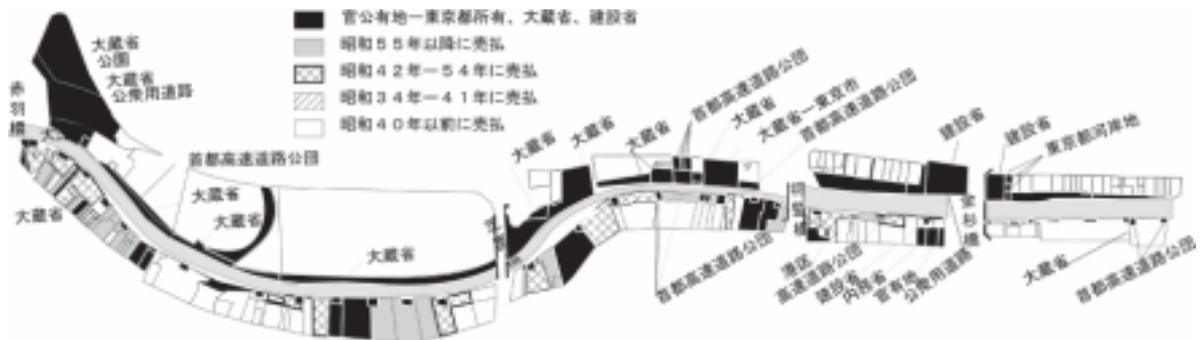


図- 4.3.5.25 河岸地 1 筆ごとの土地所有の変遷を調査(平成 8 年閉鎖登記簿 ,公図を基に作成)



図- 4.3.5.26 河岸地の変遷

(1882 年 : 明治 1 5 年河岸地沿革図面を基に作成・2002 年 : ゼンリン住宅地図 2 0 0 2 図面を基に作成)

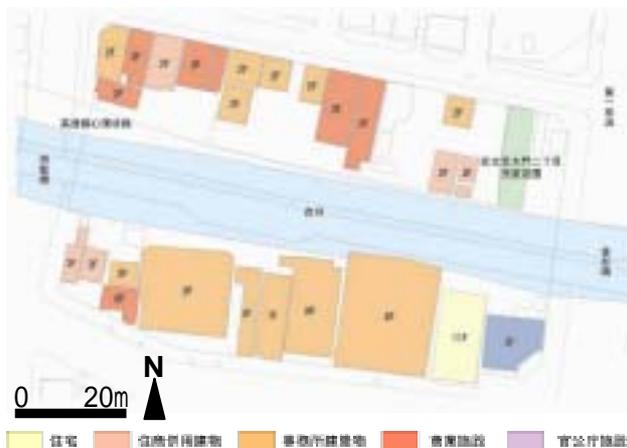


図- 4.3.5.27 現在の建物用途と容積

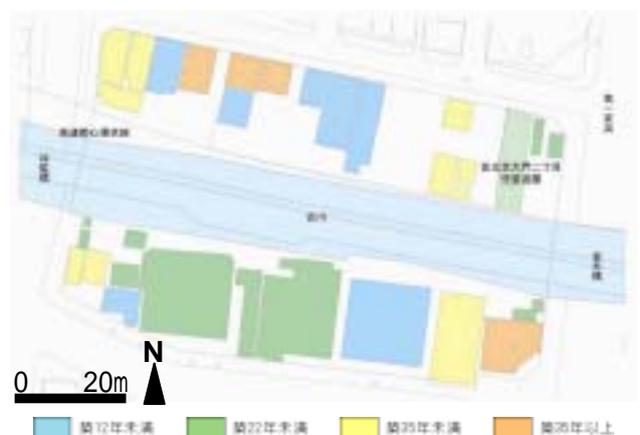


図- 4.3.5.28 築年数

ii) 容積率の現状と課題

当該地区は、指定容積率 600%の商業地域である。しかしながら、提案エリアの現状の使用容積率は約 100%であり、空間効率が悪い(図-4.3.5.29)。指定容積率の 600%の建物が沿川に建ち並べば、江戸から引き継がれた 400 年の河岸のストックが台無しである(図-4.3.5.30)。

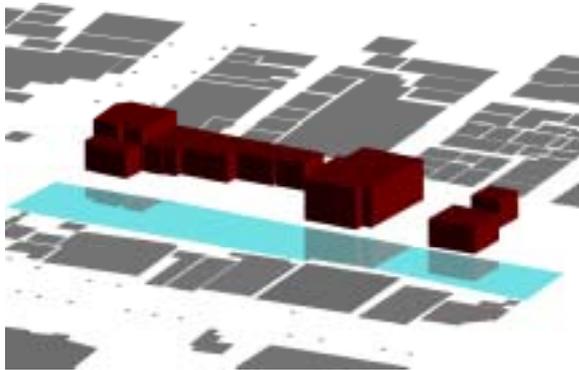


図- 4.3.5.29 約 100%の現状の容積率

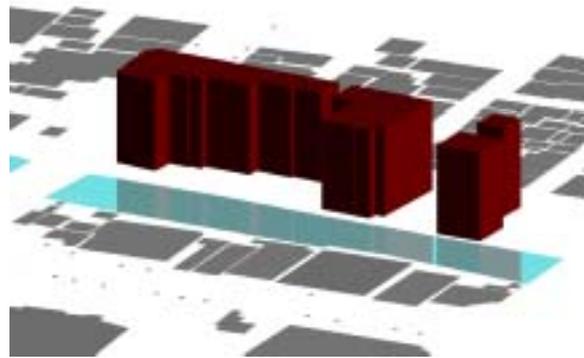


図- 4.3.5.30 600%の指定容積率

b) 都市内河川再生型街づくり

江戸から引き継がれた 400 年の河岸のストックを活かし、公有地の公園化を図る。沿川の建築は、立体都市公園制度により、都市公園の効率的な整備と、建築の更新を図る。都市型洪水対策として地下河川を整備するとともに、沿川空間では、歩行者空間、水辺へのアクセスの確保、水上交通への接続、川沿いの商用空間としての活用を図り、河岸空間を再生する(図- 4.3.5.31)。さらに、都市内河川再生型まちづくりの実施に伴う、受益の負担として、容積率 500%(地下 200%、地上 300%)へのダウンゾーニングを実施し、立体都市公園の実現を図る(図- 4.3.5.32)。



図- 4.3.5.31 古川における都市内河川再生型まちづくり

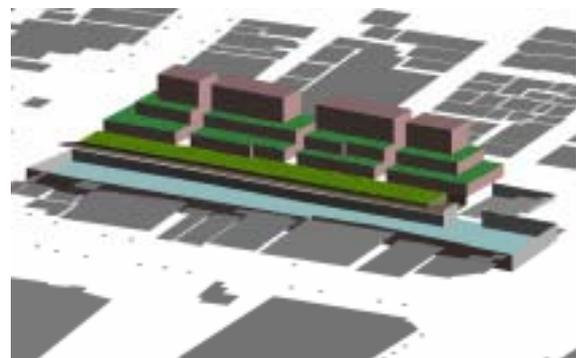


図- 4.3.5.32 立体都市公園の導入とダウンゾーニング

(5) プランの実現に向けて

1) マネジメントプログラム

川沿いのまちづくりを包括的に管理する「マネジメント委員会」を設置し、委員会は基金を運用し、各事業への補助を行う。基金の収入源は、主に、「地域住民からの目的税」「隣接する企業や商業施設からの受益者負担」「事業に伴う都市再生利益の地域還元」の3つからなる。渋谷川流域には、約27万人が住んでいることから、仮に一世帯から500円を目的税として集め、また企業からの受益者負担金を加えた場合、年額16億円の基金を確保することが出来る。これをもとに、川沿い空間の一体的管理、緑地などを活用した収益事業、環境教育事業などを展開する。

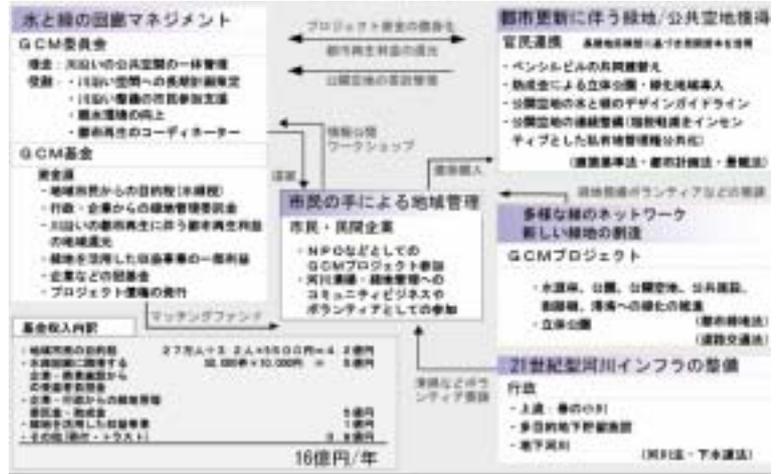


図- 4.3.5.33 水と緑の回廊マネジメントプログラム

2) 関係主体・コスト・タイムラインの整理

水と緑の回廊の実現に向けた主体、コスト、財源を以下のとおり整理する。事業の財源は、公共負担や一部民間との協働事業により実施する。

表- 4.3.5.1 水と緑の回廊実現のための関係主体・コスト・タイムラインの整理

流域区分	地区	事業内容	実施主体	水と緑の回廊実現に向けた関係主体・コスト・タイムラインの整理										
				行政	民間	市民	企業	市民	企業	市民	企業			
上流	新橋駅前地区	300㎡	国・都	国・都	民間									
	明治公園地区	300㎡	国・都	国・都	民間									
	西ヶ丘公園地区	300㎡	国・都	国・都	民間									
中流	中野区立一丁目	300㎡	国・都	国・都	民間									
	宮下公園地区	300㎡	国・都	国・都	民間									
	中野区立二丁目	300㎡	国・都	国・都	民間									
下流	皇居前地区	300㎡	国・都	国・都	民間									
	皇居前地区	300㎡	国・都	国・都	民間									

3) コスト・費用負担

a) 水と緑の回廊創出のためのコスト

水と緑の回廊創出のためのコストは、上流・中流・下流ごとに算出すると、20年間で422億円の事業費と概算された。

表- 4.3.5.2 水と緑の回廊実現のためのコストの整理

	延長 (m)	整備単価		計 (千円)	費用負担の考え方(千円)						
		水路整備 (千円/m)	公園環境整備 (千円/m)		公共		民間 市民協力		受益者負担		
上流	3,400	45	100	493,000	80%	394,400	20%	98,600	0%	0	
中流	2,500	40	150	475,000	70%	332,500	10%	47,500	20%	95,000	
下流	5,700	60	150	1,197,000	70%	837,900	10%	119,700	20%	239,400	
地下河川 整備	中流	2,500	2,000	-	5,000,000	100%	5,000,000	0%	0	0%	0
	下流	5,700	6,000	-	34,200,000	100%	34,200,000	0%	0	0%	0
多目的貯留施設	5カ所	173,250	-	866,250	100%	866,250	0%	0	0%	0	
計				42,231,250		41,631,050		265,800		334,400	
				約422億円		約416億円		約2億6600万円		約3億3400万円	

b) 市民の負担金

422億円のコストの負担について、仮に市民が全額負担すると、8,000円となる。また、基本的に公共が実施し、一部を民間・市民が協力とした場合、最低で一人年間250円の負担となる。

この試算は目安であり、市民が都市再生のためにどれだけ貢献するのかの議論を喚起していくことが重要である。

ア) 全額を流域圏の市民が負担した場合(20年計画)

422億円 ÷ 27万人 ÷ 20年 = 7,815円/年

維持管理費 プラス 155円/年

計 7,970円/年間一人当たり

イ) 一部を市民が寄与した場合(10年計画)

2億6600万円 ÷ 27万人 ÷ 10年 = 96円/年

維持管理費 プラス 155円/年

計 251円/年間一人当たり

年間一人当たり 250円～8,000円の幅で市民が選択する。

5 まとめ

本研究では、水循環・物質循環系の健全化、生態系の保全・再生、ヒートアイランドの解消等自然共生型国土（流域圏・都市）形成に向けたプロセスを提案するとともに、このようなプロセスや取り組みを支援するための、自然共生型国土形成政策検討ツールの開発、及び自然共生型国土形成技術の開発を行うとともに、ケーススタディ流域において、

自然共生型国土形成のための政策シナリオの検討を行った。表-5.1 に示す個別の研究成果のとおり、自然と共生した国土の形成に向けた基盤技術を開発することができたと言えるが、本研究の最終目的である「都市を含む流域圏における水物質循環や生態系を保全・再生するための取り組みを総合的に展開する」ための課題が浮き上がるなど、いくつかの技術的課題も抽出され、今後、これらの課題を解決していく必要がある。

このように残された課題はあるものの、本研究において自然と共生した国土・社会の実現を目指して、施策展開への基本的な理念や、実践において必要な技術開発、ならびに自然共生型国土・都市の再生シナリオを提示することにより、流域圏・都市を再生するという壮大な社会実験に向けた礎の一端を築けたと言えよう。今後、流域圏全体を視野に入れた、水循環の保全・再生やエコロジカルネットワークの回復・再生を通じた自然共生型流域圏・都市再生を実現するための国土マネジメントを展開していくには、都市、河川、道路、農地、森林など様々な管理主体が連携した施策展開を進める必要がある。すなわち開発した技術を実践に適用するには技術的課題の克服だけでなく、異なる行政機関、研究機関との密接な連携、さらに行政と地域との協働が不可欠であり、そのため、各機関の連携方策や制度上の枠組みの整備を進める必要がある。

表-5.1 研究テーマと成果

研究テーマ	研究の成果
.情報基盤の整備と活用	
国土共通基盤 GIS データベースの構築	ネットワークを通じて情報共有化が可能な技術を開発し、共通に利用できる基本的な情報を集積したデータベースを整備した。
流域圏診断技術の開発	数種類の流域において、生物多様性の評価モデルを構築し、生物多様性評価技術やエコトープマップの作成技術を用いた小流域単位の環境診断技術を開発した。
.流域圏・都市管理モデルの構築	
流域水物質循環モデルの開発	
A. 流域圏を対象とした水物質循環モデル	様々な現象、施策を一体化して検討できるよう、流域での水循環・物質循環モデルを統合的に扱える総合モデルを整備し、総合的な政策議論を支えるモデルのプロトタイプが構築された。
B. 合流式下水道の分布型汚濁負荷解析モデル	多様な合流改善施策の評価が可能となった分布型モデルを構築した。汚濁負荷の項目については、これまでの COD に加えて、新たに T-N、T-P、大腸菌群数については、負荷量の算定が可能になった。
生態系予測モデルの開発	
A. 陸域生態系モデル	土地利用計画シナリオを設定して、そのシナリオに基づく生息適地の将来変化を予測するモデルを構築した。
B. 水域生態系モデル	広域的に施策の実施効果を評価できる生息場評価モデルを開発した。
.環境再生技術の開発	
環境ホルモン等の効率的なオゾン処理技術の開発	下水処理水の性状に応じた環境ホルモン等の除去方法として、オゾン処理における経済的かつ適切な運転方法について提案を行うための知見を得られた。
保水性舗装・雨水貯留技術の開発	貯留・蒸発機能を有した新たな舗装技術を開発した。その舗装による持続的な地表表面温度の低減効果について確認できた。
エコロジカルネットワークの保全・回復の計画・設計技術の開発	事例地(関東地方)におけるエコロジカルネットワーク計画を作成し、その計画策定手順・手法等を整理した。
.政策シナリオの実践への支援技術の開発	
社会一体型施策立案手法の提案	社会(市民・企業)と一体となって環境問題に取り組んでいくためには、市民の視点を考慮した施策、社会心理学を応用した取り組み促進方策を考えていくことが効果的であることがわかった。
地域の協働による自然共生型社会の実践	自然共生型流域圏・都市の再生という視点から、現代における人の生活をより豊かにし、社会の持続性の強化を進めていくための仕組みづくりの方向性を提示した。
都市再生における景観・制度の分析	東京都心や湾岸地域を対象に、民間による再開発事業の現状を調査し、景観・制度からの分析と評価を行い、都市再生の観点から有効な再開発のあり方を検討した。
.政策シナリオ研究	
東京湾流域・霞ヶ浦流域等を対象としたケーススタディ	シミュレーションモデルなどを活用して、健全な水物質循環系、生態系の保全・再生等に資する総合的な自然共生型国土整備シナリオを検討し、ビジョンを提案した。
水と緑からの都市再生シナリオの検討	数種類の小流域・都市において、具体的な都市再生シナリオの立案、評価を行った。

巻末資料

- 巻末資料 1 個別研究担当者名簿
- 巻末資料 2 外部発表リスト
- 巻末資料 3 流域圏・都市における現状の課題と解決のため
の方策
- 巻末資料 4 DVD の収録内容

巻末資料 1

個別研究担当者名簿

担当分野	所属・役職	氏名	担当期間
研究代表者 研究総括	環境研究部長	吉川勝秀	H14.4～H15.7
		棚橋通雄	H15.7～H16.3
		福田晴耕	H16.4～H17.3
研究項目、研究方針の 検討	下水道研究部長	高橋正宏	H14.4～H17.3
	環境研究官	中村敏一	H15.8～H17.3
	環境研究部河川環境研究室長	安田佳哉	H14.4～H15.3
		藤田光一	H15.4～H17.3
情報基盤の整備と活 用	環境研究部河川環境研究室長	安田佳哉	H14.4～H15.3
		藤田光一	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室研究官	田中伸治	H14.4～H15.3
		小路剛志	H15.4～H17.3
流域圏を対象とした 水物質循環モデル	環境研究部河川環境研究室長	安田佳哉	H14.4～H15.3
		藤田光一	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室 主任研究官	大沼克弘	H14.4～H15.3
		伊藤弘之	H15.4～H17.3
合流式下水道の分布 型汚濁負荷解析モデ ル	下水道研究部下水道研究室長	森田弘昭	H14.4～H15.7
		藤生和也	H15.7～H17.3
	下水道研究部下水道研究室 主任研究官	那須 基	H14.7～H16.10
陸域生態系予測モデ ルの開発	環境研究部緑化生態研究室長	藤原宣夫	H14.4～H16.9
		松江正彦	H16.10～H17.3
	環境研究部緑化生態研究室研究官	石曾根敦子	H14.4～H15.3
		百瀬 浩	H14.4～H16.6
		佐伯 緑	H16.7～H17.3
	環境研究部緑化生態研究室研究員	長瀨庸介	H15.4～H17.3
	環境研究部緑化生態研究室 招聘研究員	大村 径	H16.9～H17.3
水域生態系予測モデ ルの開発	環境研究部河川環境研究室長	藤田光一	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室 主任研究官	伊藤弘之	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室研究員	藤井都弥子	H15.4～H17.3
環境ホルモン等の効 率的なオゾン処理技 術の開発	下水道研究部下水処理研究室長	中島英一郎	H14.4～H16.3
		南山瑞彦	H16.4～H17.3
	下水道研究部下水処理研究室 主任研究官	田嶋 淳	H14.4～H16.3
		平山孝浩	H16.4～H17.3
保水性舗装・雨水貯留 技術の開発	環境研究部道路環境研究室長	並河良治	H14.4～H17.3
	環境研究部道路環境研究室研究官	松下雅行	H14.4～H15.3
		小柴 剛	H15.4～H17.3

エコロジカルネットワーク保全・回復の計画・設計技術の開発	環境研究部緑化生態研究室長	藤原宣夫	H14.4～H16.9
		松江正彦	H16.10～H17.3
	環境研究部緑化生態研究室研究官	石曾根敦子	H14.4～H15.3
		百瀬 浩	H14.4～H16.6
		佐伯 緑	H16.7～H17.3
環境研究部緑化生態研究室研究員	長瀨庸介	H15.4～H17.3	
社会一体型施策立案手法の提案	環境研究部道路環境研究室長	並河良治	H14.4～H17.3
	環境研究部道路環境研究室主任研究官	曾根真理	H14.10～H17.3
	環境研究部道路環境研究室研究官	桑原正明	H14.4～H16.3
地域との協働による自然共生型社会の実践	環境研究部河川環境研究室長	藤田光一	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室主任研究官	伊藤弘之	H15.4～H17.3
自然共生型国土形成シナリオの検討	環境研究部河川環境研究室長	藤田光一	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室主任研究官	伊藤弘之	H15.4～H17.3
	環境研究部河川環境研究室研究官	小路剛志	H15.4～H17.3

なお、本文第1章の「1.2.2 都市地域計画としての流域圏計画」、第3章の個別研究成果における「3.1.2 流域圏診断技術の開発」、「3.4.3 都市再生における景観・制度の分析」、第4章の「4.3 水と緑からの都市再生シナリオの検討」については、委託研究「自然共生型流域圏の再生に向けた都市の水・緑・環境インフラに関する研究」(代表：石川幹子慶應義塾大学環境情報学部教授、小林正美明治大学理工学部教授、小林博人慶應義塾大学環境情報学部講師)による研究成果に基づいている。

巻末資料 2

外部発表リスト

本研究の成果は、学会等の外部機関に対して情報発信するとともに、自然共生型国土の実現に向けた政策等への反映を行っている。これらの概要を以下に示す。

(自然共生型国土に関する理念など研究全般)

自然共生型流域圏・都市の再生に関する研究 ,国総研アニュアルレポート ,2002 年. 河川環境研究室, 安田

「自然共生型流域圏・都市の再生」について, 水循環 貯留と浸透, 2002 年. 環境研究部, 吉川, 大沼

都市環境の再生, 国総研アニュアルレポート, 2003 年. 環境研究部, 吉川, 安田, 田中

「自然共生型流域圏・都市の再生」について, 土木技術資料 45 巻 5 号, 2003 年. 環境研究部, 吉川

自然共生型流域圏・都市の再生, 国土交通省国土技術研究会, 2003 年. 河川環境研究室, 小路

自然共生型流域圏・都市再生を目指して, 平成 15 年度国土技術政策総合研究所講演会講演集, 2003 年. 環境研究部, 中村

環境と国土, ダム技術, 2004 年. 環境研究部, 棚橋

WATERSHED/URBAN REGENERATION IN ACCORD WITH NATURE, The Asian Civil Engineering Coordination Council, Proceedings of the third civil engineering conference in the Asian region, 2004 年. 河川環境研究室, 藤田

自然共生型の流域圏再生 - その実行に向けて, 雑誌「河川」, 2004 年. 河川環境研究室, 藤田

「自然共生型流域圏・都市の再生」について, 建設マネジメント技術, 2004 年. 環境研究部, 福田

流域・水環境の視点からの都市再生 ,公園緑地都市環境と水と緑のネットワーク ,2004 年. 河川環境研究室, 藤田

自然との対話という切り口からの「美しい国土」の再生 ,国総研アニュアルレポート, 2005 年. 河川環境研究室, 藤田, 伊藤, 小路

自然共生型国土基盤整備技術の開発 ,建設技術研究開発平成 16 年度成果発表会 ,2005 年. 河川環境研究室, 藤田

自然と共生する国土の再構築のためのプロセスと技術研究 ,土木技術資料 48 巻 1 号, 2006 年. 環境研究部, 福田, 藤田, 伊藤, 小路

(情報基盤の整備)

基盤情報の GIS 化と統合アプリケーションの開発, 土木技術資料 45 巻 5 号, 2003 年. 環境研究部, 田中, 百瀬, 吉川, 藤田

基盤情報と GIS を活用した環境の解析 / 評価に関する研究, SCIENCE & TECHNONEWS TSUKUBA68 号, 2003 年. 緑化生態研究室, 百瀬

自然共生型流域圏・都市再生のための基盤 GIS 情報「コモンデータベース」の作成について, 土木学会誌, 2003 年. 環境研究部, 吉川勝秀, 奥山祥司, 百瀬浩

河川環境分野における GIS 活用の意義と課題, 環境アセスメント学会誌, 2003 年. 河川環境研究室, 藤田

(流域圏・都市管理モデルの構築)

湖沼流域管理のための総合的な水循環・物質環境モデルの構築, 水工学論文集, 2003 年. 河川環境研究室, 辻倉, 安倍, 大八木, 田中

流域を単位とした水循環・物質循環モデルの開発, 土木技術資料 45 巻 5 号, 2003 年. 河川環境研究室, 安田, 藤田, 大沼, 田中, 鈴木, 辻倉

GIS、流域水物質循環モデルを活用した水政策検討, 土木技術資料 46 巻 7 号, 2004 年. 河川環境研究室, 藤田, 伊藤, 小路, 安間

水環境問題解決への水物質循環モデル適用の試みとその課題, 土木学会水工学委員会河川部会, 河川技術論文集, 2005 年. 河川環境研究室, 藤田, 伊藤, 小路, 安間

陸域と水域を一体的に扱う水物質循環モデルを用いた施策検討の試み, 沿岸環境関連学会連絡協議会, 第 13 回ジョイントシンポジウム, 2005 年. 河川環境研究室, 藤田

流域水物質循環モデルを用いた東京湾と流入河川における水質変遷再現について, 水工学論文集, 2006 年. 河川環境研究室, 安間, 小路, 伊藤, 藤田

都市の水循環における雨天時汚濁負荷流出減少の影響解析, 土木技術資料, 2003 年. 下水道研究室, 森田

合流式下水道における大腸菌群の雨天時流出特性に関する研究, 第 40 回下水道研究発表会講演集 2003 年. 下水道研究室, 那須, 山田, 森田

合流式下水道からの雨天時汚濁負荷流出現象の影響解析, 第 11 回衛生工学シンポジウム論文集, 2003 年. 下水道研究室, 山田, 那須, 藤生

合流式下水道からの汚濁負荷流出解析について, 第 41 回下水道研究発表会講演集, 2004 年. 下水道研究室, 山田, 那須, 藤生

A Study of Distributed Model of Urban Runoff Loads, 大韓上下水道学会・韓国水環境学会 2004 年共同秋季学術発表会論文集, 2004 年. 下水道研究室, 山田, 那須, 藤生

分布型汚濁負荷流出解析モデルについて, 第 39 回日本水環境学会年会講演集, 2005

年.下水道研究室,山田,那須,藤生

広域的な生態系予測手法の開発,土木技術資料 45 巻 5 号,2003 年.緑化生態研究室,百瀬,藤原

国土情報基盤を活用した環境影響評価と希少猛禽類の保全,環境アセスメント学会誌号,2003 年.緑化生態研究室,百瀬

都市環境の広域的評価の指標種としてのシジュウカラ生息分布予測モデル,ランドスケープ研究 67 巻 5 号,2004 年.緑化生態研究室,百瀬,伊勢,橋本,森本,藤原

農村地域の谷津におけるゲンジボタル成虫の個体数と土地被覆との関係,ランドスケープ研究 67 巻 5 号,2004 年.緑化生態研究室,澤田,加藤,樋口,百瀬,藤原

自然共生型国土基盤整備技術の開発,国土技術政策総合研究所資料第 221 号(国土技術政策総合研究所緑化生態研究室報告書第 19 集),2004 年.緑化生態研究室,藤原,百瀬,長濱

サシバ(*Butastur indicus*)の営巣場所数に影響する環境要因,ランドスケープ研究 68 巻 5 号,2005 年.緑化生態研究室,百瀬,植田,藤原,内山,石坂,森崎,松江

衛星画像より作成した土地被覆分類図を用いた鳥類分布モデルの構築,ランドスケープ研究 68 巻 5 号,2005 年.緑化生態研究室,鶴川,岡崎,加藤,百瀬,藤原,松江

自然共生型国土基盤整備技術の開発,国土技術政策総合研究所資料第 276 号(国土技術政策総合研究所緑化生態研究室報告書第 20 集),2005 年.緑化生態研究室,松江,佐伯,長濱,大村

(環境再生技術の開発)

流域におけるエコロジカルネットワークの保全・回復計画技術の開発,土木技術資料 45 巻 5 号,2003 年.緑化生態研究室,石曾根,百瀬,藤原

エコロジカルネットワーク計画のための生息地予測モデルとシナリオ分析の検討,土木技術資料 48 巻 1 号,2006 年.緑化生態研究室,長濱,佐伯,松江,大村

貯留・浸透した雨水等を活用した熱環境改善システムの開発,土木技術資料 45 巻 5 号,2003 年.道路環境研究室,松下,水野,山本,並河

舗装体への雨水貯留による持続性のある保水性舗装の開発,土木技術資料 48 巻 1 号,2006 年.道路環境研究室,並河

都市型水害及びヒートアイランド緩和に効果を発揮する舗装の開発,水循環 貯留と浸透,2005 年.道路環境研究室,並河,小柴

A small scale field experiment of continuous water retaining pavement system, International workshop on rainwater and reclaimed water for urban sustainable water use, 2005 年.道路環境研究室,並河

オゾン処理による効率的な微量環境汚染物質の除去に関する研究，土木技術資料 45 巻 10 号，2003 年．下水処理研究室 田嶋，中島

オゾン処理による内分泌かく乱物質等の効率的除去，第 42 回下水道研究発表会講演集，2005 年．下水処理研究室 平山，田嶋，南山

水循環の健全化のための下水道システムの改善，土木技術資料 48 巻 1 号，2006 年．下水道研究部，管谷，平山，藤生，南山

(政策シナリオの実践への支援技術の開発)

都市熱環境改善施策の社会受容性向上へむけて，土木技術資料 45 巻 5 号，2003 年．道路環境研究室，桑原，曾根，並河

ヒートアイランド現象緩和を対象とした社会一体型施策実現に向けた研究，土木学会，土木計画学研究発表会研究・講演集，2004 年．道路環境研究室，曾根，並河，水野

ヒートアイランド現象対策をケーススタディとした社会一体型施策に関する研究，土木学会，第 59 回年次学術講演会，2004 年．道路環境研究室，曾根，並河，水野

みんなで取り組むヒートアイランド対策，国土技術政策総合研究所資料第 243 号，2004 年．道路環境研究室，曾根，並河，水野

ヒートアイランド現象緩和に向けた社会一体型施策の実施方策，土木技術資料 47 巻 5 号，2005 年．道路環境研究室，水野，曾根，並河

ヒートアイランド現象緩和に向けた社会一体型施策の実施方策、第 26 回日本道路会議論文集，2005 年、道路環境研究室，足立，曾根，並河

ヒートアイランド現象緩和を対象とした社会一体型施策の実施方策，土木学会，第 33 回環境システム研究論文発表会，2005 年．道路環境研究室，曾根，並河，水野

(自然共生型国土形成シナリオの検討)

自然共生型流域圏再生のための東京湾とその流域における政策シナリオの検討，土木学会，第 33 回環境システム研究論文発表会，2005 年．環境研究部，福田，藤田，伊藤，長野，小路，安間

水物質循環の健全化を軸にした環境再生，平成 17 年度国土技術政策総合研究所講演会講演集，2005 年．環境研究部，福田

GIS を活用したシミュレーションモデルによる流域圏再生シナリオの検討，土木技術資料 48 巻 1 号，2006 年．河川環境研究室，藤田，伊藤，小路，安間

巻末資料 3

流域圏・都市における現状の課題と解決のための方策

次ページからの資料は、自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブ報告書編集会議においてイニシアティブに関連する研究機関（産業技術総合研究所、国立保健医療科学院、農業工学研究所等農林水産省関係研究機関、国土技術政策総合研究所、国立環境研究所）と内閣府との議論を踏まえてとりまとめられたものである。以下の資料は、自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブ報告書（内閣府総合科学技術会議）の巻末資料を転載したものである。

流域圏・都市における現状の課題と解決のための方策（エリア別）

地域	自然共生の視点	現状の課題と将来における懸念	課題を解決するための方策
森林	水循環	・森林の荒廃・管理低下により、森林域の水涵養機能が損なわれ、洪水到達時間の短縮化、洪水ピークの増加及び平常時流量の減少等が生じている。このため、森林域の保全、森林管理の強化を図る必要がある。	・森林の水涵養機能を解明した上で、水涵養機能を維持、強化するための森林施業・管理法の開発し、適切な森林管理を実施する。 ・水源税等の森林管理を経済的に支援する制度、森林産業を再生する制度、国民が森林管理に参加できる仕組み等を整備する。
	大気	・大気中のCO ₂ の増加による地球温暖化が懸念されている。このため、森林の機能を活用してCO ₂ を吸収・固定する必要がある。 ・生物活動起原ハロゲン化メチルによる地球温暖化が問題である。有効な対策を行うためには発生メカニズムの解明が必要である。	・森林のCO ₂ 吸収・固定量の評価とその持続的機能発揮等、大気-森林系における生理・生態系を通じた諸機能保全のための好ましい森林施業・管理技術の開発を行い、適切な森林管理を行う。 ・生物活動起原のハロゲン化メチル、特にヨウ化メチルについて地球規模での放散量を推定し、発生メカニズムを解明する。
	物質循環	・森林の荒廃・管理低下により、森林の持つ水質浄化機能が損なわれ、濁水、水質中の栄養物質の混入等が生じている。 ・酸性雨による森林土壌の酸性化が問題である。反応機構を解明し、これに基づく対策が必要である。	・森林生態系における物質収支を把握した上で、水質浄化機能を維持、強化するための森林施業・管理手法を開発する。 ・水源林の確保が水道原水の水質保全に及ぼす効果を解明し、水源地域の新たな規制手法を開発する。 ・土壌から溶脱するイオン、非イオン性物質の計測法を開発し、土壌酸性化防止対策技術の基盤とする。
	エネルギー	・化石エネルギーの代替エネルギーとしての自然エネルギーの効率的で、持続的・循環型利活用が求められている。	・森林等のバイオマスエネルギーの効率的システムの開発とその普及活用制度及び支援制度を整備する。
	生態系	・森林の荒廃・管理低下、単一樹種化により、生物の多様な生息・生育環境が縮小または分断されており、多様な森林環境の保全・再生、生息場を繋ぐネットワークの再生が必要である。 ・移入種の拡大等により、森林生態系の攪乱、多様性の低下を来しており、移入種対策が必要である。	・水源税等の森林管理を経済的に支援する制度、森林産業を再生する制度、国民が森林管理に参加できる仕組み等を整備する。 ・多様な森林生態系、生物多様性を維持、保全し、また失われた生態系・多様性を回復する森林施業・管理技術を開発する。
	人間活動	・過疎化が深刻化し、コミュニティの機能が確保できず、生活環境に支障を及ぼす恐れがある。また、地方都市でも自然との関わりが薄れ、人々のストレスが増している。このため、都市の人々が森林や里山管理に参加したり、子どもたちが自然を体験する機会を増やし、また林業等地方産業を支えたり、新しい産業を興し地域振興を図る必要がある。	・直接支払い制度や環境税等の経済的支援制度、環境教育や都市山村交流・森林セラピーや里山整備など国民が森林に直接関与できる制度、森林産業を再生・新興する制度や仕組み等を整備する。
農業地域	水循環	・水田には水貯留機能、洪水防止機能、地下水涵養機能等があるが、これらの機能の活用が不十分である。	・水田の水循環にかかわる多面的機能の評価を行い、水資源の有効利用と多面的機能の向上を図る水利システムを構築する。
	大気	・窒素肥料の過剰な施用によって温室効果ガスの亜酸化窒素が農地から排出されている。	・窒素肥料の適正施用、施肥量の削減をねらいとして環境保全型農業を推進する。
	物質循環	・過剰な化学肥料と家畜糞尿の投入は、栄養物質の流域への流出を招き、水質悪化の要因となっている。このため、それら投入量の適正化又は水利システムの改変等による栄養物質の流出防止を行う必要がある。 ・畜産施設周辺では家畜し尿による水質汚染（有機物汚染、アンモニア汚染、硝酸性窒素汚染、クリプト等病原性原虫汚染）が生じており、それらの適切な処理が必要である。 ・一方で、農耕地の水保全・水質浄化機能は大きいとも評価されており、このような機能を維持、強化できるような農地管理を行う必要がある。 ・生活排水等の影響により、安全な農業用水の確保が困難になっており、河川等の水質対策が必要である。 ・各種農薬類の散布により、各地の水道原水中に農薬が検出され、健康被害が懸念されている。	・化学肥料と家畜糞尿の農地への適正還元に対する規制を徹底し、それらの投入量を削減するための環境保全型農業を推進する ・環境保全型農業を支援する制度（エコマーク、助成制度等）を構築する。 ・家畜糞尿処理に対する規制の徹底、農地への適正還元、バイオマス活用等循環型利用を行う。 ・地域内のバイオマス資源の経済的な利用を可能にする小規模有機物循環基盤の整備 ・種々の農地や農業付帯地が有する固有の水質浄化機能を組み合わせ、土地利用連鎖系の活用によって、農業排水を浄化する。 ・水質保全型農業水利システムの構築により、水循環の適正化と水質浄化を図る。 ・下水道未整備地区における生活排水処理を図る。 ・病原性原虫を多量に排出する家畜（特に子牛・子豚）の糞尿の適正処分を図る。 ・各流域内における農薬の使用種・使用量・使用時期・使用場所を正確に把握し、水道水質管理における活用を図る。
	エネルギー	・農産廃棄物、家畜糞尿の処理に多くのエネルギーを消費している。	・バイオガスプラント等により廃棄有機物からエネルギーを生産する。
	生態系	・河川と用排水路、用排水路と水田の分断により、生息場の連続性がなくなり、稚魚・仔魚等の生息・生育場が失われた。 ・農業が育ててきた多様な生物が、農業形態の変化とともに減少しつつある。とくに、農業後継者の減少に伴う耕作放棄地の増加は、それらの生物を保全するために大きな障害になりつつある。 ・水田やその周辺の水辺環境は貴重な生物生息地として機能しており、生物多様性条約（ラムサール条約等）の履行に貢献している。 ・生産性向上を目的とした水田基盤や農業水利システムの近代化により、生物生息地が減少し、水田生態系の生物多様性が低下している。 ・流出農薬による水生生物への悪影響を防止するために、農薬取締法が改正された。	・種々の農地と農業付帯地（周辺の水辺、湿地等）を適正に配置し、農村環境に生息する生物の生息地を確保するための土地利用計画法を整備する。 ・生物の持続的な生存を確保するために、移動経路となる生息地ネットワーク等の生態的インフラストラクチャー、生息地ネットワークとしての水利システムを整備する。 ・農薬使用の生態系影響に関するリスク評価およびリスク管理体制を確立する。
	人間活動	・過疎化が深刻化し、コミュニティの機能が低下している。このため、集約の集約化と、省力的又は粗放的農地管理が必要である。 ・伝統的農村景観の喪失が進んでいる。	・農村集約の集約・拠点化、耕作地の粗放的管理 ・農村と都市の交流を促進し、グリーンツーリズム等に関連した新たな産業の創出 ・景観法が制定された。豊かな自然に裏打ちされた農村景観の再生を推進する。
都市域	水循環	・都市域の不浸透化による地下水の減少、大雨時の都市型洪水の増加が生じている。このため、都市内の地表の浸透性を回復する必要がある。	・緑地・オープンスペース等の整備 ・保水性・浸透性を有する舗装整備による都市内の浸透性の回復
	大気	・自動車の排ガス、産業活動、廃棄物の消却等により大量の汚染物質や地球温暖化ガスが発生している。このため、汚染物質の発生量の抑制や拡散を促す構造が必要である。 ・ディーゼル車排出ガスを主因とした局地汚染が問題となっている。	・交通抑制型の都市構造の構築（コンパクト化、インテリジェント化） ・クリーンエネルギー、効率の高い動力源の開発 ・廃棄物の適正な処理 ・産業活動のため特定の住宅地近辺に交通が集中して発生する大気汚染諸対策のため、数値モデルを導入した評価手法を開発する。
	物質循環	・市街地土壌汚染（油分、VOCs）の評価法がなく管理体制の整備が困難である。 ・難分解性有害物質の処理に多大なコストを要している。難分解性有害物質の高効率分解による処理水の再資源化が必要である。 ・河川等の水質が悪化しており、安全な水道水が確保できない。このため、水質の改善と良好な水質を得るための水供給システムが必要。 ・微量有害物質や病原性微生物による水質リスクが問題となっており、水系のリスク管理が必要。・都市排水からの汚濁負荷の流出が水質汚濁の原因となっており、都市排水の処理や排水量の抑制が必要である。 ・合流式下水道からの雨天時汚濁の流出が問題となっており、合流式下水道の改善が必要である。 ・不法投棄物による土壌汚染、地下水汚染が問題となっており、不法投棄の規制、土壌、地下水の浄化が必要である。	・油分など、新たな規制物質に対する土壌汚染問題の合理的な評価・管理手法を確立する。 ・難分解性有害物質の高効率分解を目標に、オゾンによる生物分解性向上機能を活用した処理システムを確立し、処理水の再資源化ならびに都市域での水環境浄化技術を開発する。 ・用途を考慮した取排水系統の見直し ・水利用形態に応じた分散型排水処理システム等の水のリサイクルシステムの構築 ・微量有害物質や病原性微生物等の水系リスクマネジメントの手法の確立 ・ライフスタイルの転換による生活汚濁負荷の削減 ・都市排水の高度処理による汚濁負荷低減 ・貯留浸透等の雨水流出抑制や雨天時流出水の処理等の合流式下水道の改善 ・地域内のバイオマス資源の経済的な利用を可能にする小規模有機物循環基盤の整備 ・流域での有機物質循環を推進する循環型都市再生地区、循環型産業地区（エコインダストリアルパーク）の拠点整備

		<ul style="list-style-type: none"> 排水処理にともない発生する大量の汚泥が問題となっている。汚泥削減と資源リサイクルを可能にする水処理技術の開発が必要である。 まとまった水量を確保するため都市排水の影響を受けた下流域での取水が一般化しており、平常時において水質上問題が多いのみならず、突発的な汚染事故も生じやすい状況にある。 	<ul style="list-style-type: none"> 汚泥の発生量が少ない水処理剤を開発するとともに、汚泥の有効利用技術、有機物回収技術を確立する。 	
エネルギー		<ul style="list-style-type: none"> 都市ヒートアイランドが問題となっており評価手法および新しい地域エネルギーシステムの開発が必要である。 都市排熱の増大と都市の不浸透化によるヒートアイランド現象が問題となっており、都市排熱の抑制、排熱を速やかに拡散できる都市構造が必要である。 埋め立てなどにより都市と海面との距離が増大した。このため、海陸風による都市内熱循環が弱まり、ヒートアイランド化を促した。 	<ul style="list-style-type: none"> (省エネルギー構造) 都市のコンパクト化、公共交通機関の整備、インテリジェント化による自動車利用の抑制 コジェネレーションなどの省エネルギーシステムの効果的な導入 下水排熱等の未利用エネルギーの活用 ライフスタイルの転換による空調、家電エネルギー消費の抑制 都市気候・エネルギー連成モデルにより、夏季高温化対策、LCA、地球温暖化の観点から総合的に評価する手法を開発し、コジェネレーションシなどの省エネルギーシステムの整備を行う。 (都市熱の拡散促進) 都市のコンパクト化に伴う緑地、オープンスペースの確保、 保水性・浸透性舗装や散水による都市内気温の抑制 海から都市へと通り抜けるかぜの道の確保。都市内河川・埋立地背後などでの運河・都市近郊の湿地や遊水地など水面の確保。 	
生態系		<ul style="list-style-type: none"> 計画的開発事業を含む郊外部の住宅地の拡大、市街化区域内農地の宅地化による都市域における生物生息域の縮小、生物生態系ネットワークの機能低下が生じており、生物の多様性が低下している。このため、生息場の確保、ネットワークの保全・再生が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 拠点的な緑地となりうる、大規模公園、河川沿いの公園緑地での地域の生物生息特性を生かしたビオトープ空間としての整備を進める。 生物生態空間の連結性を高めるためには、生態的な「飛び石」となる空間的なポテンシャルを持つ学校や小規模の都市公園、下水道施設などのビオトープ空間としての整備を進めるとともに、街路樹や河川空間、屋上・壁面緑化施設についてもネットワーク性を考慮して重点的に整備を進める。 	
人間活動		<ul style="list-style-type: none"> 都市機能の拡散により、生活移動距離が大きくなっており、利便性が損なわれるとともに、自動車依存型の生活様式となっている。また、将来的に広範囲に点在する社会資本を全て適切に維持・管理することは困難である。生活圏をコンパクトにまとめ、利便性の高い街を作る必要がある。 都市内の緑地・水辺及びそれらに対するアクセスが十分確保されておらず、都市内の憩いの場が不足。このため、都市機能と調和した形で、緑地等オープンスペースやアクセスの確保を行う必要。 高齢者の生きがいの場、子供の自然教育の場が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 都市のコンパクト化と人口の収容により、自動車を必要としないコンパクトで便利な生活圏を形成。その結果生じた余剰地に緑地、湿地、水辺等を確保 水辺、緑地等開発に係わる民間投資・土地利用の誘導・規制とアクセスの確保 森林等国土管理への都市住民の参加を促す制度・しくみの整備。 	
湖沼・ダム湖	水循環	<ul style="list-style-type: none"> 有害藻類による湖沼汚染が問題となっている。栄養塩類、生物群集の動態解析と修復効果の評価に関する研究／ナノ反応場を活用した酵素活用生分解水環境改善システム技術の開発が必要。 土壌や地質中に含まれる自然由来の有害元素濃度を評価するため「5万分の1土壌・地質汚染評価基本図」の作成が必要である。 富栄養化の進行が問題となっているが、効率的な対策には実態の把握と機構解明が必要である。 湖沼における水収支のモデル化が未だ不十分である。地下水等の寄与も適切に反映した水収支モデルの構築が求められている。 森林の荒廃や管理低下、流域の開発等による土砂流出とダム湖への土砂堆積に伴う有効貯水量の減少の問題が生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> 栄養塩類（窒素、リン等）や溶存有機物の削減手法、生物群集の動態変化解析による水環境改善手法を開発し、汚染物質を生物あるいは生体触媒（酵素）のナノ反応場により効果的に削減する。 土壌中の砒素や鉛、カドミウムなどの有害元素の存在形態を解明し、土壌から地下水や河川水への移動量の予測値を明らかにする。 富栄養化成分の実態を明らかにし、発生防止技術を開発する。 水収支を反映した効果的な湖沼環境保全対策を講じるために、研究者や行政担当者が利用しやすい汎用的水収支モデルの開発が必要である。 	
	大気	<ul style="list-style-type: none"> 大気由来の栄養塩や有機物の寄与がよく分かっていない。 地球温暖化物質対策として生物起源のメタン発生メカニズムを解明する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 長期的モニタリングによる汚濁物質の大気経路寄与を算定する必要がある。 メタン生成微生物を量的かつ質的に把握するために分子遺伝学的手法を用いてメタン生成微生物の種類や活性の季節変動をあきらかにする。 	
	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> 有害藻類による湖沼汚染が問題となっている。栄養塩類、生物群集の動態解析と修復効果の評価に関する研究／ナノ反応場を活用した酵素活用生分解水環境改善システム技術の開発が必要。 富栄養化の進行が問題となっているが、効率的な対策には実態の把握と機構解明が必要である。 流域からの汚濁流入の増加、自然湖岸の減少等自然の浄化機能の低下により、湖沼の汚濁が進むとともに、有毒藻類およびかび臭原因藻類の発生、湖沼の有機物の増加に伴う藻類起因の消毒副生成物前駆物質の増加が生じており、飲料水を通じて人の健康に悪影響を及ぼす恐れがある。このため、流域対策、湖内対策、湖沼の自然浄化機能等により、湖沼水質の保全・改善が必要である。 湖沼におけるメタン発生が温暖化に寄与している恐れがあり、メタン発生を抑制する必要がある。 アオコがなぜ優占するメカニズムや底泥からの栄養塩や溶存有機物の溶出メカニズムが未だ不明である。 湖沼の有機物指標である過マンガン酸カリウムCODに科学的根拠がない。 地球温暖化物質対策として生物起源のメタン発生メカニズムを解明する必要がある。 網いけす養殖における餌施および糞尿による水源汚染が生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> 栄養塩類（窒素、リン等）や溶存有機物の削減手法、生物群集の動態変化解析による水環境改善手法を開発し、汚染物質を生物あるいは生体触媒（酵素）のナノ反応場により効果的に削減する。 富栄養化成分の実態を明らかにし、発生防止技術を開発する。 水域の囲い込みによる重点的な水質・底質改善と汚濁水域の封じ込め 湖岸、湖岸植生の再生、生態系の強化、バイオレメディエーションによる水質浄化機能の強化 湖沼の水質改善に対する流域住民のインセンティブ形成 湖沼水質改善を支援する経済的制度（エコマネー等）の構築 アオコ発生や底泥溶出ポテンシャルを再現良く定量できる手法を開発する。 有機物指標としてCODに代わり全有機炭素(TOC)を導入する。 湖沼水質改善を支援する経済的制度（エコマネー等）の構築 メタン生成微生物を量的かつ質的に把握するために分子遺伝学的手法を用いてメタン生成微生物の種類や活性の季節変動をあきらかにする。 浄化用水の導入が下流域における利水に及ぼす影響の軽減と緩和手法の検討を行う。 網いけす養殖に起因する水質汚濁機構を解明した上で、汚濁負荷の流出抑制を図る。 	
	エネルギー			
	生態系		<ul style="list-style-type: none"> 自然湖岸の改変、湖岸植生の減少等による生物の生息・生育場の縮小・分断化が生じており、生態系の多様性が低下している。このため、多様な生息環境を保全・再生し、生態系の多様性を回復する必要がある。 水質の悪化に伴い、生態系の種構成に変化が生じてきている。水質の改善のためには、種構成の変化を併せて改変させる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 湖岸の再自然化、湖岸植生帯の保全・再生 清浄な水域の隔離と希少種等の移植・保存
湿地	水循環	<ul style="list-style-type: none"> 湿地の集水域に共存する農業地域や都市域との水の競合から湿地の地下水位が低下して乾燥化や陸上植物の進入などが生じているため、湿地の現状維持に必要な水の確保が必要である。 		
	大気	<ul style="list-style-type: none"> 大気汚染物質特に硝酸やアンモニアなど大都市域の大気から貧栄養の泥炭湿地に供給される富栄養物質は湿地の遷移を進めることが懸念される。富栄養化した低湿地から放出されるメタンガスや亜酸化窒素などの地球温暖化ガスの放出量の把握が必要である。 		

	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> ・河川等に接続する湿地の減少により、自然の水質浄化機能が減少している。このため、閉鎖性水域の水質改善の観点から、湿地を保全・再生が必要である。 ・自然を再生するために過去に存在した湿地についての情報整備が必要である。湿地と周りの生態系との相互作用についての科学的知見が不足しており、流域に必要な湿地の量が把握されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・干潟、湿地、ヨシ原の保全・再生 ・休耕田、遊水池等の湿地としての活用
	エネルギー		
	生態系	<p>発生した波浪による沿岸浸食のために植生が衰退している。エネルギーの有効利用が求められている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・湿地・干潟の埋め立てのより生態系が著しく失われた。このため、生息・生育場としての湿地の保全・再生が必要である。 ・湿地に生育・生息する生物の生態特性の解明が不十分のため自然再生の十分な進展が見られない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・沿岸の植生帯の波浪からの防御 ・干潟、湿地、ヨシ原の保全・再生 ・休耕田、遊水池等の湿地としての活用
河川	水循環	<ul style="list-style-type: none"> ・流域の不浸透化、治水、利水施設の整備に伴う流況調整、水利用の増加により、平常時、渇水時の水量の減少、流量変動の減少が生じている。一方、都市部では豪雨による氾濫被害が多発している。このため、流域の浸透化、貯留機能の向上、ダム等の運用ルールの改善等を行う必要がある。 ・都市用水においては水利権に係る不安定利水が存在しており、渇水時には給水制限や時には断水など大きな影響を受けている。このため、渇水時における水運用ルールの改善を図る必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム等施設の運用ルール改変による流量変動の再生、環境洪水 ・都市部における浸透性舗装や宅内雨水浸透柵の普及等、浸透面拡大による地下水涵養量の増加、河川と下水道施設の一体化等流域の視点に立った治水対策 ・水利権の調整や融通体制の整備による渇水調整 ・節水型社会システムの形成 ・都市部における雨水一時貯留施設の整備 ・都市用水の水利権に係る不安定利水を見直すと共に、水利権の柔軟な運用方法の確立を図る。
	大気		
	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> ・平水時水質の悪化：地下水涵養量の低下に伴い、平水時河川流量の形成に生活雑排水や下水処理水の占める割合が相対的に増大し、結果的に河川水中の窒素、リン濃度は増加する。また水道原水の質的な低下が生じる。 ・雨天時汚濁負荷流出量の増大：土地利用変化（森林域の減少や都市部の拡大等）による雨天時における雨水の直接流出量の増加は、面源由来の汚濁負荷量の増加を招く。これらは、河川を經由し湖沼や内湾等の水域へ流入する。 ・河岸のコンクリート化、直線化等により、河川の自然浄化機能が損なわれている。 ・上流域でのダム開発により水道原水水質の悪化と浄水処理への悪影響が生じている（具体的には、富栄養化による藻類の増大と凝集阻害、ろ過障害、汚泥脱水機能の低下など）。 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市部における浸透性舗装や宅内雨水浸透柵の普及等、浸透面拡大による地下水涵養量の増加 ・下水処理における高度処理の普及や新たな高度処理システムの導入等による家庭排水や事業所排水からの汚濁物質の除去・回収 ・水道原水からの汚濁物質の効果的な除去を図るための浄水技術の高度化を進める。 ・面源における発生源対策の実施 ・河川における直接浄化システムの導入 ・河岸の再自然化、蛇行復元
	エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・河川水温の上昇：平水時の流量低下は河川としての貯熱機能の低下をもたらし、夏期の流域の熱エネルギー循環過程において、河川水温の上昇を引き起こしている。このため、河川の平常時流量を増加させる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・都市部における浸透性舗装や宅内雨水浸透柵の普及等、浸透面拡大による地下水涵養量の増加
	生態系	<ul style="list-style-type: none"> ・河岸のコンクリート化、直線化、横断工作物による分断により動植物の生息環境の消失、分断化が生じた。このため、河川における生物の生息・生育環境の回復を図る必要がある。 ・ダム等の建設・運用に伴う平常時水量の減少や流況の平滑化に及びそれに伴う土砂移動、河道地形の変化より、河道内の生態系に変化（樹林化、外来植物の繁殖）が生じている。このため、河川流況のダイナミズムを回復する必要がある。 流域の不浸透化に伴う湧水等の減少により、産卵場等が減少。このため、流域の浸透性を回復する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・河川の再自然化（河岸、蛇行、瀬・淵構造等） ・魚類の生息・生育場の確保としての横断工作物対策 ・森林の保全と適正管理、都市部における浸透性舗装や宅内雨水浸透柵の普及等、浸透面拡大による地下水涵養量の増加を図る。
土壌・地下	水循環	<ul style="list-style-type: none"> ・森林の荒廃・管理低下、緑地の減少、宅地化の進行・道路の舗装、河川流量の減少などによる雨水浸透の減少に伴う表層水の過剰流出、地下水位低下、水質悪化等が生じており、流域の浸透性の回復が必要。 ・地下構造物等による地下水流動阻害が生じており、地下水流通を踏まえた土地利用の規制が必要。 ・地下水の過剰揚水による地下水位低下・地盤沈下・地下配管の切断・塩水化など（現在ではむしろ地下水利用規制による地下水位上昇及び地下構造物の浮上及び浸水の危険性）が生じており、地下水利用の適切なコントロールが必要である。 ・河岸・海岸の埋め立て及びコンクリート化による地下水浸出の減少・干潟への影響が生じており、河岸・護岸の浸透性の回復が必要である。 ・地下水等の有効利用に必要な知的基盤情報の整備が遅れている。水文環境図の編集・公表（水文環境図作成の研究）が必要である。 ・自然浄化作用を上回る有害物質の排出が問題となっている。評価手法の確立および浄化作用の応用に向けた研究開発が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表面の浸透性の回復、 ・ 地下水の涵養 ・ 地下水の適正利用手法の開発 ・ 国内の平野や盆地を対象に、水文調査ならびに水質調査を行い、水文環境図を整備する。 ・ 微生物や粘土鉱物などの自然浄化作用を利用した土壌・地下水汚染の浄化とリスク低減の管理手法を確立する。
	大気	大深度地下水におけるCO ₂ の発生	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大深度地下水におけるCO₂の固定
	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> ・酸性雨による森林土壌の酸性化が問題である。反応機構を解明し、これに基づく対策が必要である。 ・土壌や地質中の自然由来の有害元素濃度を評価・管理する必要がある。 ・市街地土壌汚染（油分、VOCs）の評価法がなく管理体制の整備が困難である。 ・廃棄物の不法投棄、処分場・工場・事業場の廃水漏れ、による有害物質の地下浸透及びそれに伴う周辺域の飲料水への不安（特に、降雨時）が生じており、不法投棄等の規制強化、土壌汚染対策等が必要である。 ・農地等において栄養塩類が地下水に浸出しており、地下水汚染が生じている。このため、施肥の適正管理（特に、ノンポイント汚濁源の地下浸透の抑制及び水利システムの改善）が必要。 ・農用地等における過剰な施肥などに起因しての硝酸性窒素による汚染や、産業活動を通じた1,4-ジオキサン等有害性かつ難分解性有機化学物質による水道用井戸の汚染の問題が生じている。 ・温泉水、鉱泉水、湧水、廃鉱山等における重金属等（水銀、ヒ素、カドミウム）による水道原水や井戸水の汚染が生じている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌から溶脱するイオン、非イオン性物質の計測法を開発し、土壌酸性化防止対策技術の基盤とする。 ・土壌中の砒素や鉛、カドミウムなどの有害元素の存在形態を解明し、土壌から地下水や河川水への移動量の予測値を明らかにする。 ・油分など、新たな規制物質に対する土壌汚染問題の合理的な評価・管理手法を確立する。 ・有害化学物質の管理手法を確立する。 ・自然由来の重金属汚染の防止方法および浄化方法を開発する。
	エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・大気中のCO₂の増加による地球温暖化現象が問題となっており、CO₂の吸収・固定が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂の大深度地下水帯への固定化
	生態系	<ul style="list-style-type: none"> ・湿地や湧水の減少とそれに伴う水生動植物の減少。 	<ul style="list-style-type: none"> ・近自然・多自然型河川の創出による地下水浸透及び浸出の促進。
沿岸域・湾	水循環		
	大気		

域	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> 埋め立てや開発に伴う干潟・自然海岸の消失、人工化に伴う沿岸域の自然浄化機能の低下、流域からの大量の汚濁物質の流入、汚濁物の底質中の蓄積とそこからの溶出等により、沿岸域の水質が悪化し、赤潮、貧酸素性水塊等が発生している。このため、流入負荷対策、底質対策、沿岸域の再自然化による浄化機能の回復が必要である。 沿岸地形の改変や河川流下流量の減少により、淀み域が拡大し底質が悪化した。 富栄養化が進行し、赤潮や青潮・低層貧酸素水塊が発生している。 物質循環を明らかにするためには水圏中の懸濁態粒子の挙動の解明が必要である。 河川からの土砂供給の減少と沿岸での土砂運搬の滞りが、干潟や海浜の侵食からの回復能力を低下させた。 海から陸への栄養循環のフィードバックの減少 	<ul style="list-style-type: none"> 干潟の再生、沿岸域・水際の再自然化 流域対策による汚濁流入の抑制 底泥対策（浚渫、覆砂等） 潮通の改善 生態系の再生も含めた物質循環の健全化 粒径分布の時間的・空間的特性を明らかにし、懸濁態粒子の挙動モデルを開発する。 土砂循環の改善。 漁業、親水活動の振興
	エネルギー	発生した波浪による沿岸浸食のために植生が衰退している。エネルギーの有効利用が求められている。	<ul style="list-style-type: none"> 波力発電の開発
	生態系	<ul style="list-style-type: none"> 船底塗料等による海洋汚染が深刻な問題となっている。代替物質の開発が必要である。 水際線部の人工化、埋め立てなどにより、沿岸に特徴的な干潟など干出域・浅海域が減少した。海浜植生が減り、河口部が人工護岸化するなど、海陸の生態的つながりが阻害され汽水性生物の生息域が限定された。河川を含めた沿岸域・海域の再自然化が必要である。 海域の水質・底質環境の悪化及びそれらに伴う貧酸素性水塊、赤潮の発生により、底生生物他の生物の多様性が低下している。このため、水質、底質の改善が必要である。 生態系のダメージからの回復の遅れや被害の増大など、イベント的な悪影響に対する脆弱性の強まり。生息地の地形縮小や生息環境の単純化。 河川流量の減少による汽水生態系の縮小 栽培漁業種の遺伝的多様性の低下や、外来種の増大（在来種の減少）等も生物多様性の確保の観点では問題。 環境ホルモン物質等の生物濃縮、生物蓄積が懸念されており、化学物質の管理強化が必要である。 食物連鎖による濃縮とは別に、デトリタスや堆積物など、粘度鉱物などに濃縮した化学物質を餌と一緒に食することで濃縮する機構が存在する。この機構を明らかにする必要がある。 漁業有用種の多様性の減少や遺伝的多様性の減少が見られ、水産資源の持続的利用を確保して、水産物の安定的供給を図り、水産業の健全な発展を図る必要がある（水産基本法、水産基本計画における現状認識と政策展開の基本的方針） 	<ul style="list-style-type: none"> 有機スズ系塗料の代替材料として、新規海水用生物付着防止材料を開発する。 干潟・藻場など沿岸生態系の回復。河口や海浜の再自然化。潮上帯～潮間帯～浅海域の生態系の一体的回復・拡大。 水質・底質の改善。生態系劣化をもたらす原因対策。 土砂循環の改善による地形修復力の改善。海のエコロジカルネットワークの確保による生態系修復過程への配慮。生息規模の拡大や環境の多様化による、脆弱性の改善。 海域環境の保全あるいは再生を目的とする藻場干潟造成。 モニタリング、船舶バラスト水等の管理強化 化学物質管理、下水処理場における環境ホルモン物質の除去 堆積物による濃縮機構を解明し、有効な対策を行う際の基盤開発を行う。 水産物の安全性の確保、品質の改善 水産資源の適切な保存管理 水産動植物の増養殖の推進 水産動植物の生育環境の保全改善 有害物質等による漁業への影響を防止する、環境ホルモン、ダイオキシン類等の魚介類への蓄積状況の実態把握、内分泌攪乱物質の分布状況の把握、漁火器類の再生産への影響把握等を行う。汚染底質の除去、管理。
流域全体	水循環	<ul style="list-style-type: none"> 水資源の有効活用のため、水の再利用を目的とする浄化システムの開発が必要である。 沿岸域等の富栄養化が問題であり化学物質と窒素の同時除去技術の開発が必要である。 大陸の大規模流域全体の水循環系において地下水の果たす役割を評価する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 排水基準をクリアした水を環境基準まで浄化して再利用可能な水とする浄化システムの開発し、既存の技術を融合させた処理システムの構築を目指す。 窒素の排出に関する規制の強化へ対応するため廃水処理プロセスの効率化を行う。 地下水に関する情報収集と現地水文調査を実施し、地下水循環モデルを提示、また地下水資源の将来予測を行う。 水利用、取排水、汚染源などに関する情報の可視化（GISの活用） 利害関係者間の情報の共有およびリスクコミュニケーションの促進 有害物質管理および水域の汚染対策におけるPRTR情報の活用 流域における水循環、物質循環の統合管理（流域管理連絡協議会（仮称）等の設置）
	大気		
	物質循環	<ul style="list-style-type: none"> 従来の評価技法では評価できない新規な微生物機能が明らかになりつつあり、これらを考慮した窒素循環の評価法の確立が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 窒素循環に係わる様々な微生物機能の環境容量に於ける貢献度を定量化し、浄化技術に役立つ微生物機能を探索する。
	エネルギー		
	生態系		

流域圏・都市における現状の課題と解決のための方策（視点別）

	現状における課題と将来における懸念	方 策
水循環	<ol style="list-style-type: none"> 浸透・貯留・保水機能 <ul style="list-style-type: none"> 森林の荒廃・管理の低下 耕作放棄による棚田の荒廃および多面的機能の衰退 都市化・地中の不透透化、 湿地の減少・乾燥化、 都市型洪水等 水利用 <ul style="list-style-type: none"> 不安定水利権に基づく都市用水 下水処理水の影響を受けた水道利水と水質事故リスクの増大 農地における多面的な水利用が不十分 過剰な地下水利用と地盤沈下 流況・流動 <ul style="list-style-type: none"> 河川水の減少・ダイナミズムの低下と河川水温の高温化 都市型洪水 地下水低下、湧水の減少、地下構造物による地下水障害 	<p>(浸透・保水・貯留等機能の保全・再生)</p> <ul style="list-style-type: none"> 適切な森林管理手法の開発と実施、水源地域の開発・利用規制 中山間の森林と棚田の管理を推進するための国民参加の仕組み整備 農業用水の循環利用、効率化、水田の多面的機能向上を図るシステム構築 都市のコンパクト化による緑地、オープンスペース等の確保 保水性・浸透性舗装、雨水貯留施設等整備 <p>(水使用の効率化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 取排水系統の見直し 水利用の効率化・弾力化 農業用水の多面的機能の発揮 水のリサイクルシステムの構築 病原性微生物、有害化学物質等のリスクマネジメント <p>(流況の回復)</p> <ul style="list-style-type: none"> 河川流量とダイナミズムの再生
大気	<ol style="list-style-type: none"> 大気汚染 <ul style="list-style-type: none"> ディーゼル車排出ガスを主因とした局地汚染 温室効果ガスの吸収機能 <ul style="list-style-type: none"> 森林のCO₂吸収機能の低下 温室効果ガスの発生 <ul style="list-style-type: none"> 窒素施肥による亜酸化窒素の発生 産業・交通・廃棄物焼却からのCO₂、SOx、NOx、オキシダント、浮遊粒子状物質、酸性雨の発生 湖沼におけるメタンガス発生、 生物活動起源によるハロゲン化メチルの発生 	<p>(大気汚染)</p> <ul style="list-style-type: none"> 交通が集中して発生する大気汚染諸対策のため、数値モデルを導入した評価手法を開発。 <p>(温暖化ガスの発生抑制)</p> <ul style="list-style-type: none"> 窒素施肥の削減 都市のコンパクト化等による排ガスの抑制 クリーンエネルギー開発、省エネ、エネルギー有効利用等 廃棄物の適正処理 生物活動起源のハロゲン化メチル、特にヨウ化メチルの発生メカニズム解明 <p>(温暖化ガスの固定化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 森林、大深度地下・地下水帯等におけるCO₂の固定
物質循環	<ol style="list-style-type: none"> 国土の水質浄化機能 <ul style="list-style-type: none"> 森林の荒廃・管理の低下 一部の農地における不適切な施肥 湿地の減少 河岸・湖岸・沿岸部埋立の人工化 汚濁負荷の発生 <ul style="list-style-type: none"> 都市排水 雨天時負荷 不法投棄物、埋め立て処分場浸出水 下水処理汚泥 農地施肥・農薬散布 家畜の糞尿 養殖の餌・糞尿 湖沼・ダム湖の富栄養化による汚濁発生 船底塗装 水質問題 <ul style="list-style-type: none"> 湖沼・ダム湖における有毒藻類、カビ臭の発生 沿岸域における赤潮、貧酸素性水塊 淀み域の形成による水質、底質の悪化 藻類起因の消毒副生成物前駆物質の発生 難分解性有害物質 環境ホルモン 船底塗料 水道水源・農業水源水質の悪化、 微量化学物質・病原性微生物のリスク 土壌 <ul style="list-style-type: none"> 酸性雨による森林土壌の酸性化 油分、VOCs等による市街地土壌汚染 自然由来のヒ素や鉛、カドミウム等による土壌汚染と水域への移動 土砂・底質 <ul style="list-style-type: none"> 土砂流入による有効貯水池容量の減少 土砂流出の減少・沿岸漂砂の減少による沿岸の侵食回復力の低下 	<p>(汚濁発生の抑制)</p> <ul style="list-style-type: none"> 施肥の削減を目的とした環境保全型農業と支援制度 家畜糞尿の規制強化、農地、バイオマス資源等循環型利用 養殖負荷の抑制 浄化用水の導入が下水流域における利水に及ぼす影響の軽減と緩和手法の検討を行う。 生活水利用の削減と生活汚濁負荷の削減等ライフスタイル転換 <p>(陸域における水質対策、水質浄化機能の強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 水質浄化機能を維持・強化する森林管理の実施 農地及び付帯地の水質浄化機能を生かした土地利用連鎖構築、水利システムの構築 下水道等処理施設の整備 合流式下水道の改善による雨天時流入負荷対策 新たな有機汚濁管理体系の導入、新たな処理技術・再資源化等新システムの確立 干潟・ヨシ原・湿地等の保全・再生 <p>(水域における水質浄化対策、水質浄化機能の強化)</p> <ul style="list-style-type: none"> 水域対策（直接浄化、底泥対策、囲い込み、バイオレメディエーション・植生浄化等水質浄化機能の強化） 水質改善を支援する制度づくり（エコマネー等） 潮通しの改善 海から陸へのフィードバック（漁業、親水活動の振興） <p>(水利用管理)</p> <ul style="list-style-type: none"> 取排水系統の見直し 病原性微生物、有害化学物質、自然由来重金属等のリスクマネジメント 農業使用状況の把握による水道水質管理 <p>(土壌汚染対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> 土壌酸性化防止対策技術の開発 油分、VOCs等新たな規制物質に対する合理的な評価・管理手法の確立。 土壌から水域への移動形態の解明 <p>(土砂対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> 土砂循環の改善
エネルギー	<ol style="list-style-type: none"> 非効率なエネルギー利用 <ul style="list-style-type: none"> 農産廃棄物・畜産廃棄物処理におけるエネルギー消費 都市生活・交通によるエネルギー消費 波浪エネルギーの有効利用 新エネルギー <ul style="list-style-type: none"> コジェネレーション、バイオガス 熱エネルギーの蓄積 <ul style="list-style-type: none"> 都市における熱の集積とヒートアイランド エネルギーの循環利用 <ul style="list-style-type: none"> 森林バイオマスの有効利用が不十分 	<p>(省エネ)</p> <ul style="list-style-type: none"> 都市コンパクトによる交通・移動エネルギー抑制 省エネ、ライフスタイルの転換 <p>(新エネルギー)</p> <ul style="list-style-type: none"> 有機廃棄物のバイオガスへの利用 新エネルギー、地域エネルギーシステム開発、未利用エネルギー活用（コジェネレーション、下水排熱） <p>(熱拡散)</p> <ul style="list-style-type: none"> 都市熱の拡散促進（緑地・オープンスペース、保水性舗装、吹抜け構造等） <p>(循環利用)</p> <ul style="list-style-type: none"> 森林バイオマスの地域循環の推進
生態系	<ol style="list-style-type: none"> 多様な生息場の減少 <ul style="list-style-type: none"> 森林の荒廃・管理の低下 耕作放棄による棚田の荒廃、農業水利システムの近代化 都市化による自然と農地の減少 天然河岸・湖岸消失、沿岸部人工化・干潟等減少 河川のダイナミズム低下 水質悪化 湧水減少、流入水量減少等 生息場の連続性の減少 <ul style="list-style-type: none"> 河川・用排水路・水田の水域の連続性低下 森林・農地・都市の緑地・水辺等の連続性低下 移入種 <ul style="list-style-type: none"> 河川、湖沼、湿地における移入種の侵入 有害物質 <ul style="list-style-type: none"> 環境ホルモン、化学物質 	<p>(生息場の確保)</p> <ul style="list-style-type: none"> 生態系の多様性を保全・回復する森林および里地里山の管理・再生 公園等における拠点緑地、ビオトープの整備 湖岸、河岸、沿岸、藻場・干潟等の再自然化 流況（ダイナミズム）・水質・底質の改善 土砂循環改善による沿岸地形修復力の改善 <p>(ネットワークの保全・再生)</p> <ul style="list-style-type: none"> 生物生息場を考慮した農地・付帯地の適正配置、水利システムの構築 飛び石となる小規模公園、街路樹等の計画的配置によるネットワーク形成 河川等における横断工作物対策、海の生態系ネットワーク再生 <p>(移入種、有害物質等管理)</p> <ul style="list-style-type: none"> リスク管理体制の確立 環境ホルモン物質等対策 船舶バラスト水等の管理強化 有機スズ系塗料の代替材料の開発 <p>(資源管理)</p> <ul style="list-style-type: none"> 水産資源の増殖・生息場保全・安全性確保等
人間活動	<ul style="list-style-type: none"> 過疎化による農山村におけるコミュニティ崩壊の危機 都市機能の拡散による利便性の低下、維持管理負担の増大、生活の中の自然の喪失 里山等生活域に近い森林の機能低下、地方都市等の自然との関わりの希薄化と、人々のストレスの増加 都市・農村景観の悪化 	<ul style="list-style-type: none"> グリーンツーリズム等都市と農村の交流 都市のコンパクト化 直接支払い制度や環境税等の経済的支援制度、環境教育や都市山村交流・森林セラピーや里山整備など国民が参加する仕組み、森林産業を再生・新たに起こす制度や仕組み 景観法が制定され、これによる景観再生の推進

巻末資料 4

DVD の収録内容

DVD には本報告書を電子文書化した資料の他、水物質循環モデルや生態系モデルに関する詳細な説明資料や東京湾や霞ヶ浦およびその流域における施策評価を行うことができる水物質循環モデルや水域生態系モデルのインターフェイスも収められています。

収録データの利用にあたっては、DVD の内容を表示するウィンドウに表示される「利用方法について」をご参考下さい。

国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告

PROJECT RESEARCH REPORT of NIRIM

No.2 December 2005

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675