

ISSN 1346-7328  
国総研資料 第546号  
平成21年12月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 546

December 2009

平成21年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集

Report of the Lecture Meeting of NILIM(2009)

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, Transport and Tourism, Japan

平成21年度 国土技術政策総合研究所講演会講演集

Report of the Lecture Meeting of NILIM(2009)

概要

本資料は、「平成21年度国土技術政策総合研究所講演会」の講演内容をまとめたものである。

キーワード : 講演会、国土技術政策総合研究所

Synopsis

This report summarizes the Lecture Meeting of NILIM held in 2009.

Key Words : Lecture Meeting, NILIM

# 目 次

◇プログラム .....	1
◇講 演 集	
スマートウェイの実用化に向けて .....	7
高度情報化研究センター長 藤本 聡	
航空需要予測の精度向上と課題 .....	23
空 港 研 究 部 長 長谷川 浩	
社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発について ...	41
環 境 研 究 部 長 岸田 弘之	
下水道による地球温暖化適応と安全で美しい水環境の実現 .....	57
下 水 道 研 究 部 長 清水 俊昭	
里海の創出に向けて	
－これからの沿岸域環境を考える新しい視点－ .....	79
沿 岸 海 洋 研 究 部 長 數土 勉	
革新的構造材料による新構造システム建築物の開発 .....	95
建 築 新 技 術 研 究 官 向井 昭義	

自然災害による公共土木施設等の実用的な被災リスク評価手法の 開発に向けた取り組み ～洪水と地震・津波～ .....	109
危機管理技術研究センター長 寺田 秀樹	
公共工事の品質確保・向上に向けた取り組み .....	135
研究 総 務 官 寺川 陽	

# 国総研 講演会

平成21年12月 2日（水） 10:00～16:50（9:30開場）

## プログラム

特別講演（10:10～11:10）

『無駄とは何か』

東京大学 先端科学技術研究センター  
教授 西成 活裕



一般講演（11:10～16:45）

- スマートウェイの実用化に向けて
- 航空需要予測の精度向上と課題
- 社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発について
- 下水道による地球温暖化適応と安全で美しい水環境の実現
- 里海の創出に向けて - これからの沿岸域環境を考える新しい視点 -
- 革新的構造材料による新構造システム建築物の開発
- 自然災害による公共土木施設等の実用的な被災リスク評価手法の開発に向けた取り組み - 洪水と地震・津波 -
- 公共工事の品質確保・向上に向けた取り組み

- 高度情報化研究センター長 藤本 聡
- 空港研究部長 長谷川 浩
- 環境研究部長 岸田 弘之
- 下水道研究部長 清水 俊昭
- 沿岸海洋研究部長 数土 勉
- 建築新技術研究官 向井 昭義
- 危機管理技術研究センター長 寺田 秀樹
- 研究総務官 寺川 陽

## お申し込み・お問い合わせ

国総研のホームページからお申し込みください <http://www.nilim.go.jp>

お問い合わせは国土技術政策総合研究所企画部企画課まで  
Tel : 029-864-2674 E-mail: [kouenkai2009@nilim.go.jp](mailto:kouenkai2009@nilim.go.jp)

定員 900名（申込先着順） 入場無料

会場 日本教育会館 一ツ橋ホール（東京都千代田区一ツ橋2-6-2）

地下鉄都営新宿線・東京メトロ半蔵門線 神保町駅（A1出口） 下車徒歩3分  
地下鉄都営三田線 神保町駅（A8出口） 下車徒歩5分  
東京メトロ東西線 竹橋駅（北の丸公園側出口） 下車徒歩5分

## 【会場のご案内】



# プ ロ グ ラ ム

10:00～10:10	開会の挨拶 所長	西川 和廣
10:10～11:10	特別講演「無駄とは何か」 東京大学先端科学技術研究センター 教授	西成 活裕
11:10～11:40	スマートウェイの実用化に向けて 高度情報化研究センター長	藤本 聡
11:40～12:10	航空需要予測の精度向上と課題 空港研究部長	長谷川 浩
12:10～13:00	休 憩	
13:00～13:30	社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の 開発について 環境研究部長	岸田 弘之
13:30～14:00	下水道による地球温暖化適応と安全で美しい水環境の実現 下水道研究部長	清水 俊昭
14:00～14:30	里海の創出に向けて －これからの沿岸域環境を考える新しい視点－ 沿岸海洋研究部長	數土 勉
14:30～14:45	休 憩	
14:45～15:15	革新的構造材料による新構造システム建築物の開発 建築新技術研究官	向井 昭義
15:15～15:45	自然災害による公共土木施設等の実用的な被災リスク評価 手法の開発に向けた取り組み ～洪水と地震・津波～ 危機管理技術研究センター長	寺田 秀樹
15:45～16:45	公共工事の品質確保・向上に向けた取り組み 研究総務官	寺川 陽
16:45～16:50	閉会の挨拶 副所長	松本 清次



## 無駄とは何か

東京大学  
先端科学技術研究センター  
教授 西成 活裕

### <プロフィール>

1967年生まれ。東京都出身。東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。ケルン大学理論物理学研究所(ドイツ)などを経て、現在、東京大学先端科学技術研究センター教授。NPO法人日本国際ムダどり学会会長。

専門は数理物理学、渋滞学。著書に「渋滞学」、「無駄学」(共に新潮選書)など多数。日本テレビ「世界一受けたい授業!」など多くのテレビ、ラジオ、新聞などのメディアでも活躍している。また、趣味としてオペラアリアを歌い、小椋佳作詞作曲の「ムダとりの歌」のCDも発売された。



## スマートウェイの実用化に向けて



高度情報化研究センター長  
藤本 聡

ITS（高度道路交通システム）は、カーナビやETCの普及に見られるように、我々の生活に益々身近なものとなってきている。

2004年のスマートウェイ推進会議の提言を受けて、様々な情報をひとつの車載器（カーナビやETCの機能も兼ね備えている）により大量かつスピーディにやりとりすることで、広域の道路交通情報や安全運転を支援する情報の提供ができるシステム「スマートウェイ」の開発を進めてきた。開発されたシステムについては、首都高速道路をはじめ全国の高速道路等で、その効果や受容性等の観点から検証を重ねてきている。

本講演会では、これらの開発の経過報告を行うとともに今後のITSの研究開発について紹介したい。

## 航空需要予測の精度向上と課題



空港研究部長  
長谷川 浩

需要予測は事業の必要性や必要規模の算定根拠として使われてきた感がありますが、実は事業の再評価や政策の事前評価等、行政の様々な場面に登場します。それらのニーズに応えるため、周辺事情の変化や前提条件の変化をきちんと反映できる手法が必要です。特に航空輸送の世界はインフラとユーザーの間に運送事業者が存在し、需要の顕在化はこの事業者の動向にかかっています。航空需要予測の手法と残された今後の課題を紹介するとともに、課題の一つである運送事業者の行動原理を反映するためのアプローチを試みます。



## 社会資本のライフサイクルをと とした環境評価技術の開発について

環境研究部長  
岸田 弘之

近年、環境問題の中心となっている地球温暖化対策や持続可能性を踏まえての社会資本整備を進めていくため、環境評価手法としてライフ・サイクル・アセスメント（LCA）が注目されている。社会資本整備には色々な段階で、様々な関係者が関係していることから、それぞれ環境負荷削減の取組をせざるを得ない現状であるが、将来的には社会資本整備全体として負荷の一番少ない方向を探ることが必要である。

本講演では、社会資本整備について全体から見て最適解となるLCAとして、CO<sub>2</sub>排出量及び廃棄物に関する評価手法の確立を目標に行っている研究を取り上げ、社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する研究の現状と今後の展望について紹介する。



## 下水道による地球温暖化適応と安 全で美しい水環境の実現

下水道研究部長  
清水 俊昭

下水道事業は温室効果ガスの排出源である一方で、その豊富な資源・エネルギーのポテンシャルは資源枯渇や地球環境問題の解決に資する可能性を有している。こうした両面をもつ下水道の温室効果ガス削減について、当研究部では、現在、処理過程で発生する亜酸化窒素の排出抑制や、処理水の循環利用による温室効果ガスの削減効果の検討を進めている。また、処理水の循環利用に関しては、水質面での衛生的な安全性確保とともに、これに適合した処理技術が求められる。このため、下水道における病原微生物の対策や新たな処理技術として導入が期待される膜分離活性汚泥法の性能評価等についての検討を行っている。

本講演では、これら調査研究の概要を紹介する。



## 里海の創出に向けて

— これからの沿岸域環境を考える  
新しい視点 —

沿岸海洋研究部長  
數土 勉

人と環境の係わりについての行動計画、環境保全計画においては、開発と環境保全のバランスを求める方向性にある。これらは、「持続可能な開発」や「Wise Use」（賢明な利用）という理念として提唱されてきているところである。

そうした中で、政策目標として「生物多様性の確保」、「生態系の保全」、「自然再生」といった観点が盛り込まれるようになってきている。

このような中で、沿岸域の環境を考える視点として、「21世紀環境立国宣言」において、豊かな水辺づくりとして掲げられている「里海」に着目し、その創出に必要と思われる「生態系サービス」と「概念モデル」に言及するとともに、現在、里海の実証実験として、芝浦アイランドで取り組んでいる事例について報告する。



## 革新的構造材料による新構造システム建築物の開発

建築新技術研究官  
向井 昭義

府省連携プロジェクトとして2004年から5年間で「新構造システム建築物研究開発」が進められた。新構造システム建築物は、近年開発された高強度鋼等の特性を活用することによって大規模地震等に対しても高度に機能を維持できるように開発された建築物である。

本講演では、このような建築物の開発にあたり、主に国土技術政策総合研究所で行った性能検証法の開発の検討内容・成果について報告する。



## 自然災害による公共土木施設等の 実用的な被災リスク評価手法の開 発に向けた取り組み ～洪水と地震・津波～

危機管理技術研究センター長  
寺田 秀樹

平成21年に限っても、7月の中国・九州北部豪雨、8月の駿河湾を震源とする地震や台風9号による水害など、毎年のように地震や豪雨による被害が発生してきており、災害に強い安全安心な国土の継続的な整備は重要な課題とされている。しかしながら、厳しい財政状況下においては、効率的・効果的な防災対策の実施が不可欠であり、こうした防災事業を進める上で、個々の公共土木施設の被災の可能性や被災した場合の影響度を適切に評価していくことが求められている。

本講演では、防災事業の効率化に資することを目的とし、洪水と地震・津波災害を対象として、個々の公共土木施設の被災リスクの評価手法と被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策に関する研究開発成果について報告する。



## 公共工事の品質確保・向上に向け た取り組み

研究総務官  
寺川 陽

厳しい財政事情のもと公共投資規模の縮小を余儀なくされる中で、過度の価格競争や不良不適格業者の参入などによる公共工事の品質低下を防ぎつつ、時代の要請をふまえた良質な社会資本の整備を着実に進める必要がある。本講演では、発注者と受注者がそれぞれの果たすべき責任をきちんと認識しつつ、公共工事の品質確保・向上を図ることを目的として順次検討・導入されてきた、総合評価落札方式、設計・施工一括発注方式等工事や調査設計業務の調達にかかる新たな枠組みや、発注者の施工監理・監督を支援するとともに民間の有する技術ノウハウの有効な活用に資することが期待されるCM方式、及び発注者の事業執行監理を支援するためのPMツール活用等の取り組みについて、現状と課題を報告する。

スマートウェイの実用化に向けて

高度情報化研究センター長

藤本 聡

# スマートウェイの実用化に向けて

高度情報化研究センター長

藤本 聡

## 1. はじめに

我が国では、警察庁・総務省・経済産業省・国土交通省の四省庁が連携し、電機メーカーや車メーカーなどの民間事業者と共にITS(高度道路交通システム)を推進している。

ITSについては、その的確な導入・活用によって、交通事故、交通渋滞、環境負荷の増大などの社会問題の解決が図られるとともに、道路交通を介した社会・経済活動の高度化が進み、人々の生活をより豊かなものとしていくことが期待されている。

このITSの効果を総合的に発揮させるためには、多様なITSサービスを汎用的に実現させる共通基盤(プラットフォーム)が必要である。国土交通省では、そのような視点から、車やドライバー、歩行者等多様な利用者との間で様々な情報のやりとりを可能とする道路「スマートウェイ」の推進に取り組んでいる。

2009年10月にはナビメーカーより「スマートウェイ」のサービスに対応した車載器が販売され、また道路側でも順次路側機の整備が行われ、近々全国で様々なサービスを受けることができるようになる。具体的には、まず、①広域な道路交通情報、②音声によるわかりやすい道路交通情報、③安全運転支援情報、④SA・PAや道の駅における情報接続、といったサービスが開始される予定である。さらに現在、駐車場などにおける料金決済や物流効率化支援といったサービスへの拡充について検討を進めているところである。

本稿では、スマートウェイが今日の実用化に至るまでの研究開発の経緯を紹介し、あわせて今後の研究開発の課題について述べる。

## 2. スマートウェイとは

### 2.1 スマートウェイが目指すもの

スマートウェイとは、「車やドライバー、歩行者等多様な利用者との間で様々な情報のやりとりを可能とする道路」である。スマートウェイ推進会議による2004年8月の提言「ITS、セカンドステージへ」においては、スマートウェイの実現に向けて「1つの車載器でITSサービスを一括して利用できるようにするべきである」とされている。これを受け、国土交通省では、図-1に示すように、これまでに展開しているカーナビゲーションシステム、ETC(Electronic Toll Collection

System)、VICS(Vehicle Information and Communication System)といったサービスに加え、その他の新たなサービスも1つの車載器(ITS車載器)で利用できる「次世代道路サービス」の展開を推進しているところである。この新たなサービスについては、1999年11月に策定した「高度道路交通システム(ITS)に係るシステムアーキテクチャ」を基に検討を行ってきており、これまでに、ナビゲーションシステムの高度化や安全運転の支援といった分野を中心に取り組んできている。システムアーキテクチャとは、全体システムを構成する要素と各要素間の関係を表現することにより、システム全体の構造(骨格)を示す、いわば「ITS全体の概略設計図」である。表-1にシステムアーキテクチャにおけるITSの開発分野、図-2にサブシステムの相互接続図を示す。ここでは、9つの開発分野、21の利用者サービス、172のサブサービスが定義されており、これに沿って新たなサービスについての検討を行っている。

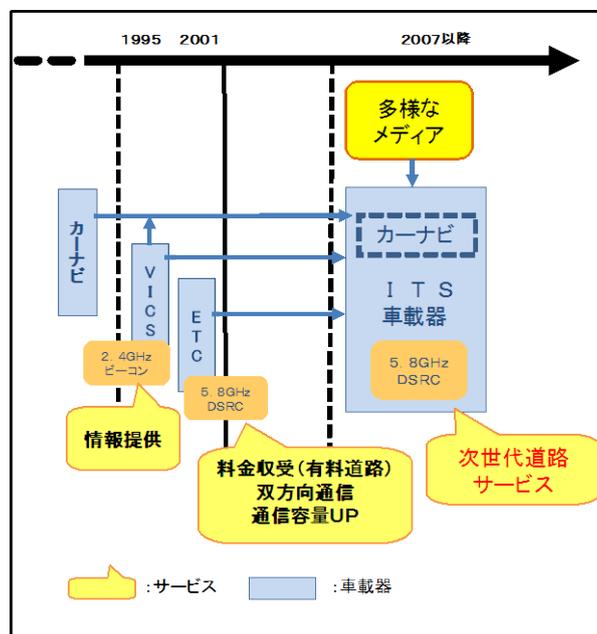


図-1 次世代道路サービスのコンセプト

表-1 システムアーキテクチャにおけるITSの開発分野

ITSの開発分野	内容
1. ナビゲーションシステムの高度化	VICS等によるナビゲーションシステムの高度化等
2. 自動料金収受システム	料金所等でのノンストップ化
3. 安全運転の支援	AHS等による危険警告・自動運転
4. 交通管理の最適化	経路誘導、信号制御等
5. 道路管理の効率化	特殊車両管理、通行規制状況の提供等
6. 公共交通の支援	公共交通の運行状況の提供等
7. 商用車の効率化	商用車の運行管理支援、連続自動運転
8. 歩行者等の支援	歩行者等への経路・施設案内
9. 緊急車両の走行支援	緊急時自動通報、災害・事故発生時の状況などの伝達等

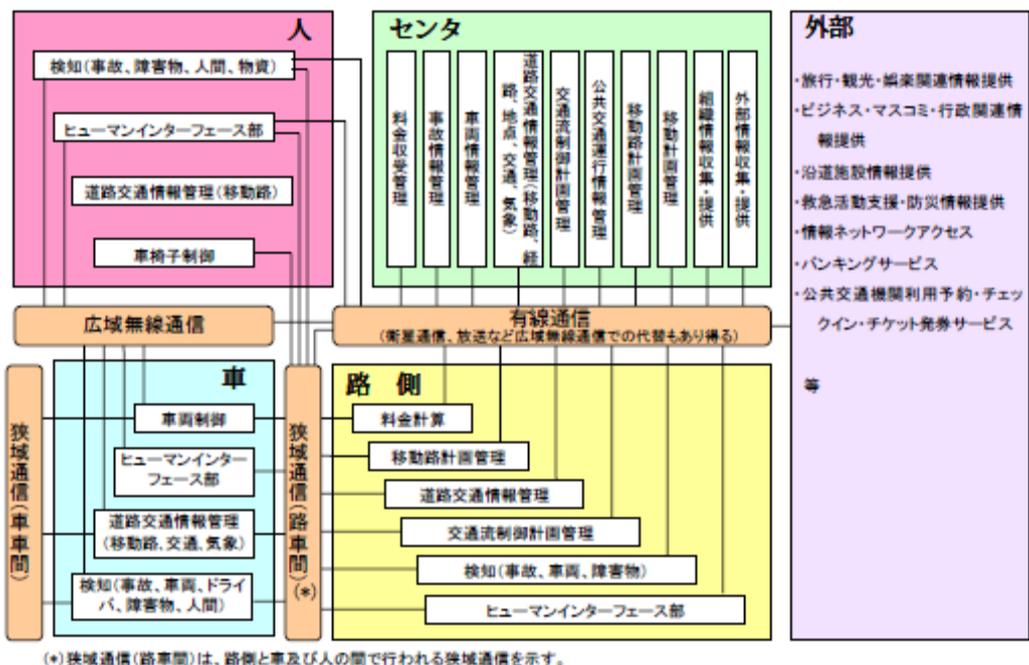


図-2 システムアーキテクチャにおけるサブシステムの相互接続図

## 2.2 DSRCの特性

次世代道路サービスでは、①詳細かつ広域的な道路交通情報の提供、②カーブ部や合流部などの特定箇所における安全運転支援、③自動車側からのプローブ情報の収集を通じての道路管理の効率化、などを目的としている。そのためピンポイントで大容量の通信が可能な5.8GHz帯DSRC(Dedicated Short Range Communication：スポット通信)を利用した双方向通信を用いている。なお、この通信方式は、2001年からサービスを開始したETCに用いられており、技術開発を行うにあたって、その研究成果を活用している。

## 2.3 DSRCを活用した次世代道路サービス

ここでは、次世代道路サービスのうち、代表例として道路交通情報提供サービス(ナビゲーションシステムの高度化の一環)と安全運転支援サービスの2つについて具体的に紹介する。

### 2.3.1 道路交通情報提供サービス

現在VICSで用いられている2.5GHz帯電波通信は、比較的通信容量が小さいことから、これまでのVICSでは、より詳細かつ広域的な道路交通情報を求める利用者からのニーズに応えるには限界がある。そのため、高速・大容量の通信特性を持つスポット通信を活用することにより、このニーズに応えるとともに、これまで

のVICSでは提供できなかった音声による情報提供や、図-3に示すようなCCTVカメラ等で撮影した画像などの情報を複数組み合わせることで提供することが可能となり、より詳細な道路交通情報の提供を行うことができる。



図-3 静止画による情報提供のイメージ

### 2.3.2 安全運転支援サービス

日本の交通事故による死亡者数は5,155人(平成20年)であり、1990年以降減少傾向にある。しかし、交通事故の発生件数は約77万件、負傷者数も約94万人と依然高い水準にあり、事故の発生件数そのものを削減することも大きな課題となっている。

交通事故の発生要因の90%は発見の遅れや判断の誤りといったドライバーの認識に係るヒューマンエラーとなっている。これまでの交通事故対策は、図-4に示すように、道路自体の改良や安全教育といった「事前」の対策、シートベルトの着用義務化やエアバックの普及といった「最中・直後」の対策、緊急通報の確立や救急医療の高度化といった「事後」の対策が主となっており、今後の課題として、事故が発生する「直前」の対策が重要となっている。

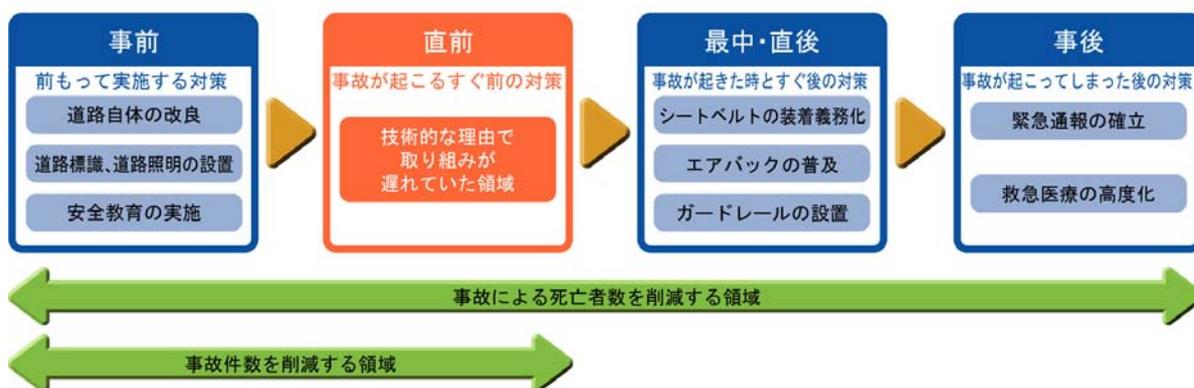


図-4 交通事故対策として取り組むべき内容

この対策としては、事故発生直前に事故発生要因を検知し、その要因の情報を特定のドライバーに提供することが必要となる。これらの情報提供は、特定の位置に、特定のタイミングで存在する車両に対して行うことが効果的であることから、スポット通信を用いることとしている。

なお、次世代道路サービスでは路車間通信による情報提供を基本としている。この方式は、車両単独での危険事象の検知範囲が限られていることから、道路側に設置したセンサー等を用いることにより、車両単独では検知できない危険箇所の情報を検知することを可能にしている。

### 3. スマートウェイ実用化に向けた取り組み

ここでは、スマートウェイ実用化に向けて、これまで取り組んできた経緯のうち、①次世代道路サービスのプラットフォームを構成する機器(「路側機」、「ITS車載器」、「路車間通信」)により構成(図-5)の規格・仕様の策定、②個別の次世代道路サービスに対応したアプリケーションの検討、についてその概要を紹介する。

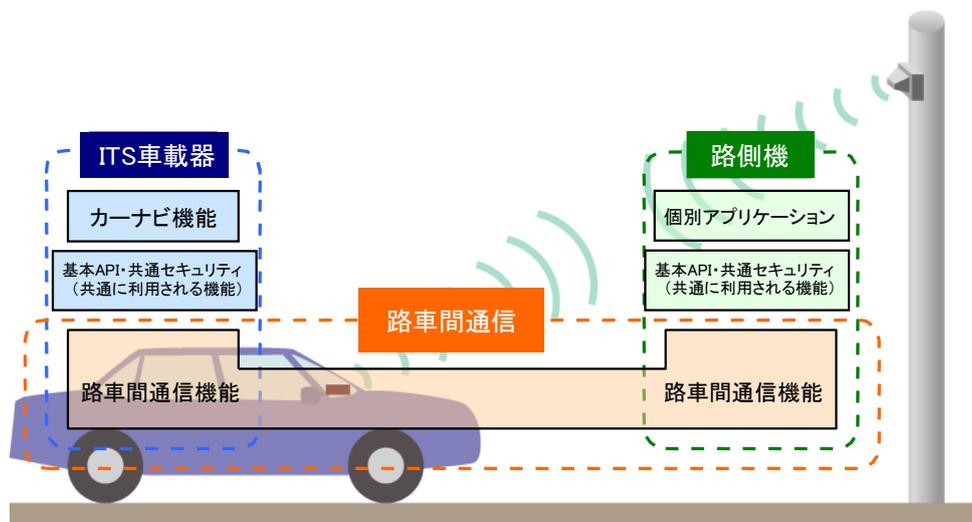
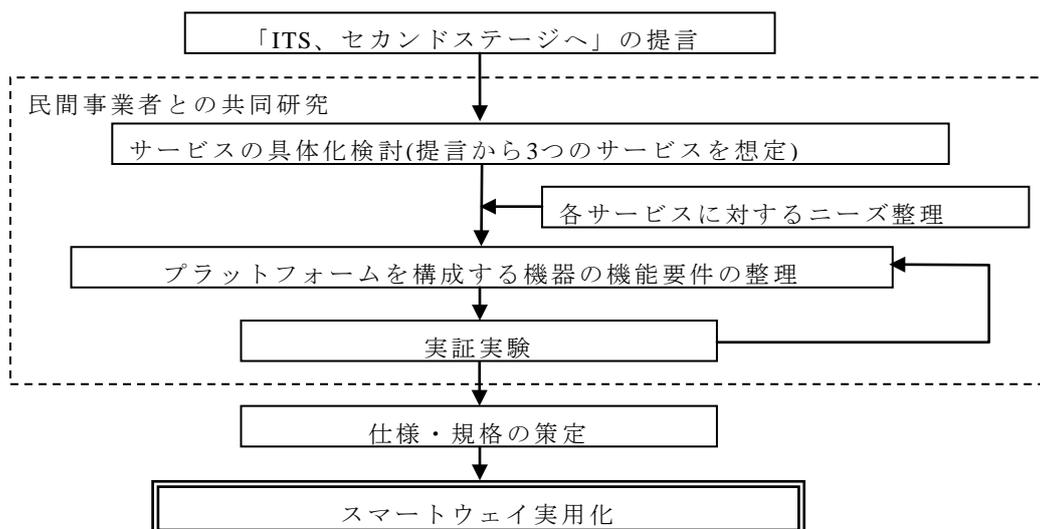


図-5 次世代道路サービスのプラットフォーム

#### 3.1 プラットフォームを構成する機器の規格・仕様の策定

次世代道路サービスのプラットフォーム開発にあたっては、道路管理者だけでなく民間事業者も利用可能なものとするため、民間事業者との共同研究の形態を採用し、機器の規格・仕様の策定を行っている。図-6に民間事業者との共同研究の位置づけを示す。



図－6 民間事業者との共同研究の位置づけ

### 3.1.1 民間事業者との共同研究

2004年8月のスマートウェイ推進会議「ITS、セカンドステージへ」の提言を受けて、次世代道路サービスの実現に向けた民間事業者との共同研究を実施することとし、公募により民間事業者23社を選定して、2005年3月に「次世代道路サービス提供システムに関する共同研究」を開始している。民間事業者23社については、車メーカー5社、電機メーカー11社、ナビメーカー5社、通信事業者1社、駐車場事業者1社の構成となっている。また、実施体制としては、全体会議、幹事会および4つのワーキンググループ(路側機WG、車載器WG、通信・相接WG、実験WG)を設置し、約1年にわたり継続的に検討を重ねている。

共同研究ではまず、次世代道路サービスとして、表－2に示すように、①道路上における情報提供サービス、②道の駅等情報接続サービス、③公共駐車場決済サービス、の3つを想定している。これは、タイムリーな走行支援情報の提供・場所やニーズに応じた地域ガイド・あらゆるゲートのスムーズな通過の3つのサービスを開始することが望ましいという「ITS、セカンドステージへ」の提言を受けて選定したものである。

表－2 想定したサービス

想定したサービス	サービス概要
道路上における情報提供サービス	5.8GHz帯DSRCを用いて、音声・画像情報やアップリンク情報等により、分かりやすい情報や案内注意情報を提供し、安全・安心に寄与するためのサービス
道の駅等情報接続サービス	道の駅、高速道路のSA・PAなどにおいて、周辺の道路情報などを集約配信し、道路利用者の利便性向上に寄与するためのサービス
公共駐車場決済サービス	公共駐車場でのキャッシュレス決済等によるスムーズな通過を実現するサービス

次に、この想定した3つのサービスについて、前述のシステムアーキテクチャへの対応を考慮した上で、表-3に示す具体的なアプリケーションを設定している。すなわち、システムアーキテクチャにおける9つの開発分野、21の利用者サービス、172のサブサービスを基に、適用可能性等を確認しながら具体的なアプリケーションの選定を行っている。

表-3 各サービスのアプリケーション(例)

サービス	区分	アプリケーション例	アプリケーションの内容
道路上における情報提供サービス	情報提供	[A-1]安全運転支援情報提供	路側センサーおよび車両が収集した情報について、危険と判断した場合には、安全運転支援情報(音声、図形等も含む)を即時にドライバーへ提供する。
		[A-2]注意警戒情報提供	道路および車両の各種センサーにより路面状況等を把握し、危険箇所等の情報を音声等により現場到着前にドライバーへ提供する。
		[A-3]多目的情報提供	静止画像や音声を活用し、現状では提供されていない前方の気象情報、休憩施設や他交通機関等の多様な情報をドライバーに提供する。
		[A-4]長文読み上げ情報提供	[A-1]~[A-3]および[A-5]のアプリケーションと連携し、音声を用いてドライバーに分かりやすい情報の提供を行う。多言語への対応も考慮する。
		[A-5]渋滞・旅行時間情報等の提供	大容量通信が可能な5.8GHz-DSRCにより、VICSで提供されていないような、広域かつ詳細な道路交通情報を提供する。情報提供にあたっては、車両からアップリンクするプローブデータも活用する。
		[A-6]駐車場情報の提供	大容量通信が可能な5.8GHz-DSRCにより、広域の駐車場情報を提供する。
	情報収集	[A-7]車両ID 情報収集	車両IDを収集する。
		[A-8]時刻・位置情報収集	時刻・位置情報を含む走行履歴情報を収集する。
		[A-9]地点速度・方位・加速度・角速度情報収集	速度、方位等のより高度な情報を含む走行履歴情報を収集する。
		[A-10]車両制御情報収集	外気温やワイパー動作情報、ABS 起動やトラクションコントロール等の車両制御情報を収集する。
		[A-11]運行情報収集	車両情報、バス利用状況、貨物車情報、特車情報、危険物車両情報等、さまざまな用途に活用可能な情報を収集する。
道の駅等情報接続サービス	[B-1]入場車両等への情報提供	道の駅の入口等において、道路交通情報や駐車スペース、施設等に関する情報提供をプッシュ型で行う。	
	[B-2]停止車両への情報の提供	IP通信を利用して道路管理者によるイントラネットに接続することにより、道路交通情報や施設情報、地域情報等の各種情報コンテンツを双方向で提供する。なお、イントラネットを介したインターネット接続も考慮する。	
公共駐車場決済サービス	[C-1]決済処理	時間貸し駐車場において決済処理を行う。障害者割引、サービス券等の割引処理にも対応する。(ETC車載器にも対応)	
	[C-2]入退場管理	セキュリティを必要とする定期利用駐車場や特定施設等において、契約車両や関係者を識別して、入退場管理を行う。(ETC車載器にも対応)	
	[C-3]施設情報提供	駐車場において、空きマスや障害者用マスへの誘導、宣伝情報等を提供する。(ITS車載器に対応)	

その後、これらのアプリケーションを実現するために必要となるプラットフォームの機能を洗い出し、整理した上で、ITS車載器及び路側機の規格・仕様の原案(中間取りまとめ、2005年7月)を策定している。以上の結果取りまとめられた機能を表-4に示す。また、その結果に至るまでの基本的な考え方について主要な点を以下に示す。

表-4 次世代サービスを実現するために必要な機能

機能名称	機能概要
(1)指示応答機能	DSRC路側無線装置に接続された外部サーバからITS車載器に対して特定の指示情報をITS車載器に通知すると共にITS車載器の入力機構(ボタンなど)を用いて、ユーザーの応答を路側に返す。
(2)メモリアクセス機能	路側システムからの要求に応じて、ITS車載器内部のメモリに格納されている可変長データの読み出し、または書き込みを行う。
(3)ICカードアクセス機能	DSRC路側無線装置からの要求に応じて、ISO/IEC7816で規定された方法でICカードへアクセスする。
(4)プッシュ型情報配信機能	路側システム上のサーバからコンテンツもしくはコンテンツの位置をITS車載器上のクライアントに対して送信し、クライアント側では、受信したコンテンツ種別に応じた処理を自動的に実行するアプリケーションである。
(5)ID通信機能	路側でITS車載器を識別するため、ITS車載器の有するIDを路側に通知する。
(6)基本指示機能	路側システムに接続された外部サーバからITS車載器に対して料金情報などを出力する基本指示情報を通知する。
(7)共通セキュリティ機能	ITS車載器-路側システムにおいて相互認証を行い、機器認証を行う機能である。また相互認証で交換した鍵を用いた暗号通信に対応する。
(8)IP通信機能	IP通信機能は、IP通信を利用できるとともに、IPアドレス割当機能にも対応する。
(9)非IP通信機能	非IP通信機能は、非IP通信を利用した一対一通信、及び同報通信機能に対応すると共に、上記(1)~(6)の機能に対応する。

○「[A-1]安全運転支援情報提供」について

ドライバーの安全に直接関わる情報であり、提供情報が他のサービスよりも優先的かつ即時的に提供される必要があるため、提供を受けた情報を優先的に表示できるよう「(4)プッシュ型情報配信機能」が必要であり、路車間の通信には通信速度が速い「(9)非IP通信機能」が必要である。なお、IP接続による情報提供では、通信を開始してから情報提供が可能となるまでに数秒かかる場合もあったことから、非IP通信機能を採用している。

○「[B-2]停止車両への情報の提供」について

ITS車載器からDSRC路側無線装置を介してインターネットプロトコル(IP)を用いてイントラネット(あるいはインターネット)に接続できるようにするため、「(8)IP通信機能」が必要である。また、将来的には、利用者からのリクエストに応じた情報提供ができるよう、利用者からのリクエストに応答できる「(1)

指示応答機能」が必要である。

○「[C-1]決済処理」を行う場合

決済処理は、「ITS車載器に挿入されているICカードのID情報を読み取り、ICカードの入場時間を書き込む。退場時には、ID、入場時刻から料金を計算した上でICカードを用いて決済を行う。」という一連の動作であるため、「(2)メモリアクセス機能」、「(3)ICカードアクセス機能」、「(5)ID通信機能」が必要である。また、なりすまし、改ざん、不正傍受等を防ぐためのセキュリティとして、「(7)共通セキュリティ機能」が必要である。

なお、セキュリティ機能については、想定すべき脅威やコスト、運用上の課題を考慮した上で具体的な方式の検討を行い、DSRC-SPF(セキュリティブラットフォーム)の利用を推奨している。

以上の規格・仕様の原案に基づいて2005年から参加企業等がITS車載器及び路側機を試作し、国土技術政策総合研究所の試験走路にて実証実験を開始し、2006年2月には、国土交通省、警察庁、総務省、経済産業省、高速道路株式会社、民間企業、関係団体のITS関係者及び学識経験者、報道関係者等を含めて約1000名の来場者のもと、「公開実験Demo2006」を開催している。参加者からは、『1つの車載器で様々な情報が入手できるようになったことはとても便利と思う』等の肯定的な意見と同時に、『提供タイミングに関する工夫が課題と思われる』『欲しい情報の種類を指定できると良い』等の課題に関する意見も多数寄せられており、今後の研究開発を進めていく上でも引き続き参考にしていきたいと考えている。

2006年3月には、実証実験の結果を受け、一部見直しを行った上で最終成果をとりまとめ、ホームページ等で公表している。

なお、2006年4月以降は、共同研究の成果を踏まえ、参加企業等が「次世代道路システム技術検討ワーキング(ITR技術検討WG)」を構成して活動を続けている。

### 3.1.2 実用化に向けた規格・仕様の策定

共同研究の成果をもとに、ITS車載器及び路側機のそれぞれについて、規格・仕様の策定を行っている。

#### ■ITS車載器の規格・仕様

ITS車載器の規格・仕様については、2006年4月に国土交通省及びITR技術検討WGから電子情報技術産業協会(JEITA)にその策定の依頼を行い、JEITAにおいて作業を開始している。その結果、2007年3月、「ITS車載器標準仕様」「ITS車載器DSRC部標準仕様」「ITS車載器カーナビ部標準仕様」「ITS車載器用音声合成記号」の4つの規格・仕様が策定されている。なお、ITR技術検討WGは、共同研究の成果

を規格・仕様の策定に反映させるべく、技術課題や規定項目の洗い出しを行い、JEITAと繰り返し意見交換を行っている。

さらに2008年3月には、2007年8月から行われた首都高速道路での実証実験を踏まえ、ITS車載器標準仕様書等が改版されている。

### ■路側機の規格・仕様

路側機の規格・仕様については、次世代道路サービスの全国展開に向け、実証実験の結果や各地方整備局及び機器メーカーへのヒアリング結果などを踏まえ、その策定が行われている。

## 3.2 アプリケーションの検討

### 3.2.1 アプリケーションの検討の流れ

アプリケーションの開発にあたっては、表－5に示すとおり複数の段階を踏みながら検討を行ってきている。

表－5 アプリケーション開発の流れ

	システムの動作確認	ネガティブチェック <sup>(注)</sup>	サービス評価
①机上検討	—	—	・実現すべき具体的なサービス項目を検討する
②ドライビングシミュレータによる検討	—	模擬的な環境下でのネガティブチェック	・提供する情報(画像及び音声)の理解度の確認 ・情報提供位置など、情報提供に関する最適なパラメータの決定
③試験走路における走行実験	試験走路における実走環境下での動作確認	実際に走行する車両に情報提供を行うことによるネガティブチェック	・提供する情報(画像及び音声)の理解度の確認 ・情報提供位置など、情報提供に関する最適なパラメータの決定
④実道におけるシステムの動作確認	一般車等他の車両が多数走行する環境下での動作確認	—	—
⑤一般被験者による実道上における走行実験	—	自転車だけでなく周辺車両も含めたネガティブチェック	・減速準備行動の確認など、具体的なサービスの有効性の確認

(注)：情報提供がネガティブな挙動(急加速・急減速・急ハンドルなど)に結びつかないことの確認

以下、具体的なアプリケーションの開発事例として、首都高速道路5号池袋線東池袋ランプ合流部及び都心環状線谷町JCTにおける合流支援サービスについて説明する。

なお、合流支援サービスは、図-7に示すように、高速道路上等の合流部において、道路側に設置したセンサーを用いて合流車の存在及びその速度を検知し、その存在情報をタイムリーに本線車両に情報提供するサービスである。

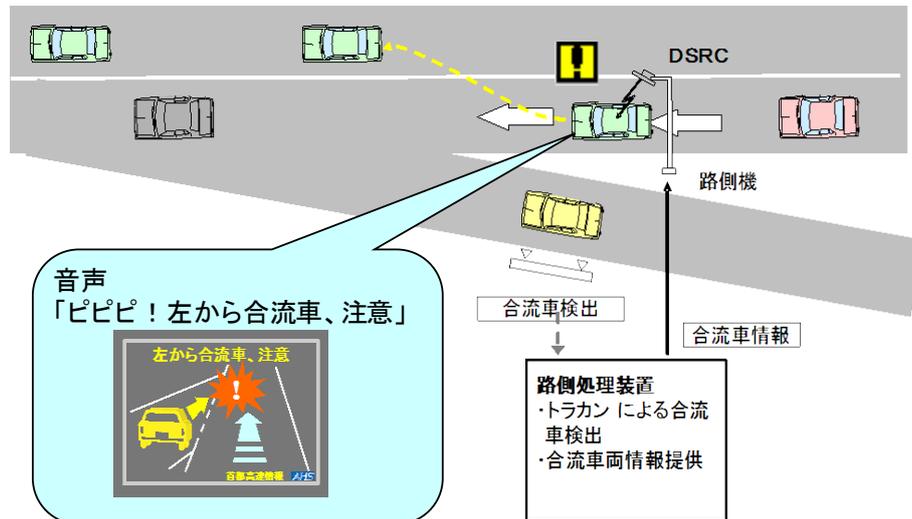


図-7 合流支援サービス

### 3.2.2 机上検討及びドライビングシミュレータによる検討

合流支援サービスの検討においては、特に都市高速道路の合流部において、接触事故等が多発していることを考慮し、合流車の存在を合流地点の手前において本線車両に知らせることで減速準備行動を早めること等をサービスの目標として定め、具体的な情報提供内容のコンテンツ等について机上検討を行っている。机上検討の結果、図-7に示すような画面表示や音声といったコンテンツ案を設定した。さらに、本線車両及び合流車の速度分布を調査し、両者が合流部付近で接近するタイミングを考慮し、ドライバーの反応時間を踏まえて最もふさわしい情報提供のタイミングを設定し、それに対応した情報提供位置と合流車両の検知位置の案を決定している。

続いて、机上検討の結果を検証するために、実道環境をなるべく忠実に再現できるドライビングシミュレータを活用し、以下を目的とする実験を行っている。

1. 模擬的な環境下でのネガティブチェック
2. 提供する情報(画像及び音声)の理解度の確認
3. 情報提供位置など、情報提供に関する最適なパラメータの決定

実験の結果、1. 及び2. については問題が無いことを確認している。3. については、合流部から最低100m以上離れた位置での情報提供が望ましいという目安を得ている。なお、情報提供の位置については一般的に、合流部に近い場所で情報を提供することでより正確に合流車との接触の危険性を検知できるが、情報

提供を受けてからの準備行動が取りづらくなる危険性が増大する傾向がある。このような傾向を踏まえ、前述の複数の段階を経て、適切な情報提供位置についての検討を行っている。

### 3.2.3 試験走路における走行実験

3.2.2で検討した結果を基に、具体的なシステムを国土技術政策総合研究所内の試験走路にて構築し走行実験を行っている。試験走路における走行実験の目的は次の4つである。

1. 試験走路における実走環境下での動作確認
2. 実際に走行する車両に情報提供を行うことによるネガティブチェック
3. 提供する情報(画像及び音声)の理解度の確認
4. 情報提供位置など、情報提供に関する最適なパラメータの決定

実験の結果、1. 2. 3. について問題が無いことを確認している。4. については、ドライビングシミュレータによる実験に引き続き最適な情報提供位置についての検討を行い、最終的にドライビングシミュレータと同様、合流部から最低100m以上離れた位置での情報提供が望ましいという結論を得ている。

### 3.2.4 実道におけるシステムの動作確認

3.2.3における検討によってシステムを実道に展開しても問題ないと判断した後、実際に実道上に機器を設置してシステムの動作確認を行っている。この段階では、一般車等他の車両が多数走行する環境下での動作確認を目的としている。確認の結果、問題が無いことを確認している。

### 3.2.5 一般被験者による実道上における走行実験

3.2.4にて実道に設置した機器が正常に動作していることを確認した後、一般被験者による走行実験を行っている。一般被験者による走行実験の目的は次の2つである。

1. 自転車だけでなく周辺車両も含めたネガティブチェック
2. 減速準備行動の確認など、具体的なサービスの有効性の確認

確認の結果、1. について問題がないことを確認している。2. については、当初の目標である「合流車の存在を事前に知らせることで減速準備行動等を早める」といったサービスの目標を満足しているか評価を行っている。サービスの評価は、①客観的評価と②主観的評価の2つに分類して行っている。

#### ①客観的評価

客観的評価は速度等の数値的指標により評価を行うものである。客観的評価は、「速度の低下」など数値的な目標を設定することが可能な安全運転支援サービスの評価に際して行っている。具体的には、設定した評価地点における速度が危険な

範囲から安全な範囲に低下することや合流車への対応のためのブレーキ踏み換え位置が早まるといった点でサービスの効果があったことを確認している。

## ②主観的評価

主観的評価はアンケート調査等により評価を行うものであり、安全運転支援サービスや道路交通情報提供サービスにおいて行っている。アンケート調査内容は、a)「情報提供されたことに気づいたか?」「提供された情報を理解できたか?」といった事実確認に関する項目、b)「情報提供を受けどのような行動をとったか?」「情報提供を受けどのような気持ちになったか?」といった行動や心理的な変化に関する項目、c)「情報提供が運転の役に立つか?」といった利用意向に関する項目、から構成されており、この主観的評価からもサービスの効果を確認している。

## 4. 全国展開

2009年秋より、ナビメーカーから新しいITS車載器、カーナビゲーションシステムの新製品が販売されている。

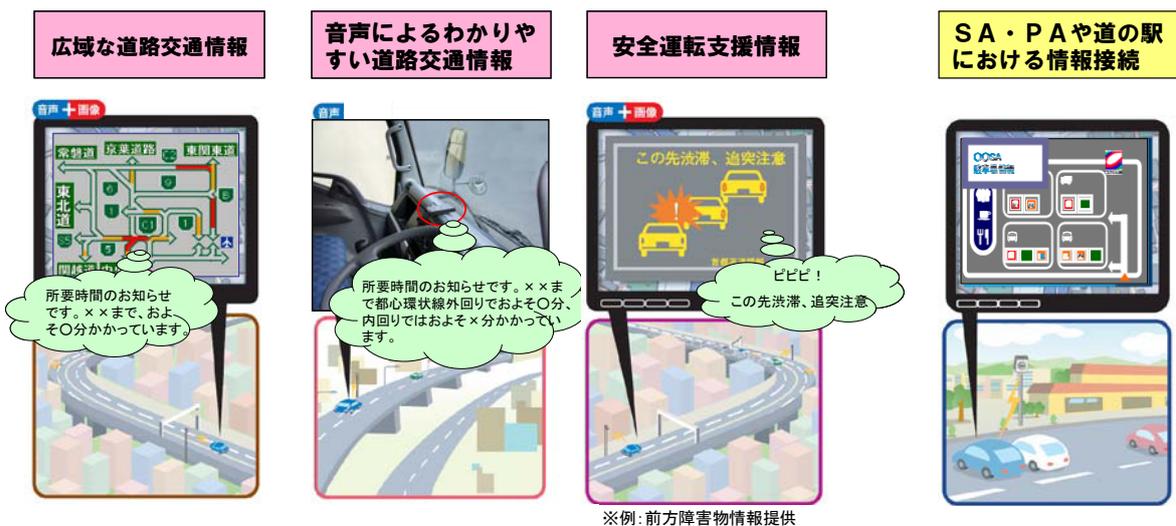
これを踏まえ、国土交通省では、2007年度の「スマートウェイ2007公道実験」、2008年度の「ITS-Safety2010 08年度大規模実証実験」を行った首都高速道路、阪神高速道路及び名古屋高速道路から、前述の道路交通情報提供や安全運転支援等のサービスを開始しており、今後高速道路上を中心に路側機等を全国整備し、サービス内容や提供エリアを順次拡大することとしている。

具体的なスケジュールは、表-6のとおりであり、2010年度中を目途に全国の高速道路を中心に本格的なサービスを開始することを目指している。

表-6 スマートウェイによるサービス展開

2009年度	首都高速、阪神高速、名古屋高速で道路交通情報や安全運転支援情報を提供
秋	全国の路側機等の整備に着手
2010年度	首都高速、阪神高速で音声提供等による道路交通情報の充実
春	全国の高速道路を中心に本格的なサービス開始(全国約1000箇所)
冬	
2013年度	I T S 世界会議が東京で開催

また、具体的なサービスとしては、既に述べた通り、①広域な道路交通情報、②音声によるわかりやすい道路交通情報、③安全運転支援情報、④SA・PAや道の駅における情報接続、を順次展開しているところである(図-8)。



図－8 スマートウェイによる多様なアプリケーション

また、図－9 に示すような新たな機能について、具体的な基準等を現在検討しているところである。



図－9 スマートウェイによるサービスの応用

## 5. 今後の課題

以上のとおり、当センターにおいては、次世代道路サービスとしてスポット通信を活用した情報提供サービスの研究開発を行っている。今後は、これまでに研究開発して実用化の段階に入ったサービスについて継続的な改善を図っていくことが重要であると考えている。また、道路利用者及び道路管理者等からのニーズに応える新たなサービスについても研究開発を行っていく必要がある。ここでは、今後の課題として「既存サービスの継続的な改善」及び「新たなサービスの展開に対応した研究開発」の2つの観点から述べる。

## 5.1 既存サービスの継続的な改善

### 5.1.1 既存サービスの課題の把握

既に提供しているサービスの継続的な改善を図っていくためには、このサービスに関する課題を継続的に把握する必要がある。課題の把握方法としては、①アフターマーケットからの課題の把握、②モニターからの課題の把握、の2つが考えられる。

アフターマーケットからの課題の把握とは、車載器の購入者から寄せられる生の声を基に課題を把握する方法であり、この手法から得られる意見は、サービスの不具合等に関するものが多いと考えられる。また、モニターからの課題の把握とは、継続的にサービスを利用する一般の方をモニターとして募集し、アンケート調査等を通じて課題を把握する方法であり、この手法から得られる意見は、改善につながる具体的提案が多いのではないかと期待される。

サービス開始直後など、サービスを享受できる利用者が限られている場合は、モニターを活用して継続的に一定量の課題を把握することが有効である一方、サービスが一般的に普及すれば、アフターマーケットからの課題の把握に移行して継続的な課題の把握を行うことが効果的である。

### 5.1.2 課題の解決の方法

5.1.1で収集する課題としては、①情報提供内容、情報提供タイミング、情報提供の条件など、主として路側機側で改善すべき課題、②音質、画面サイズなど、主として車載器側で改善すべき課題、とに大別できる。しかしながら、これらの課題は相互に関連しているため、5.1.1に示した課題の把握も含めて、民間事業者と道路管理者、さらには研究機関が連携して改善に努めていく枠組みを今後とも継続していく必要がある(例えば、スマートウェイ連絡会など)。また、現行のシステムの改善にとどまらず、新たなシステムの開発の必要性についても、このような連携の中で議論を行っていくことが有効と考えられる。

## 5.2 新たなサービスの展開に対応した研究開発

次世代道路サービスについては、道路利用者及び道路管理者等のニーズに応えるために、今後もサービスを充実させていく必要があると考えている。そのためには以下の段階を踏みながら検討を行っていくこととなる。

- ・具体的なニーズの把握・整理
- ・新たなシステムの開発

### 5.2.1 具体的なニーズの把握・整理

現在の次世代道路サービスのプラットフォームは、5.8GHz帯DSRCを活用することを前提に、①道路上における情報提供サービス、②道の駅等情報接続サービス、

③公共駐車場決済サービス、の3つのサービスを想定している。これらのサービスについては、一部のサービスが既に実用化の段階に至っているが、今後は着手に至っていないサービスについても優先順位等を見極めながら検討していく必要がある。具体的には、5.8GHz帯DSRCの双方向性を活用した「利用者のニーズに応じた情報提供」、「公共駐車場決済サービス」、「プローブ情報を活用した道路管理システム」などが想定されるほか、「高度道路交通システム(ITS)に係るシステムアーキテクチャ」のサービスで実現されていないもの、さらにはシステムアーキテクチャ作成以降にニーズが明らかになってきたサービスについても、今後研究の対象として取り組んでいきたいと考えている。

これらの多岐にわたる研究領域のうち、今後取り組んでいくサービスの設定にあたっては、スマートウェイ連絡会などの場を通じて、民間事業者や道路管理者のニーズを把握し、優先順位を見極めながら行っていく必要がある。

### 5.2.2 新たなシステムの開発

今後新たなサービスについての研究開発を行うにあたっては、これまで活用してきた通信手段である5.8GHz帯DSRC以外の通信方式も視野に入れて検討を行う必要がある。その際の通信方式としては「700MHz帯電波通信」「次世代携帯電話」などの活用が考えられる。「700MHz帯電波通信」については、地上波デジタル放送への移行によって空いた電波帯であり、この電波帯がITSに割り当てられることとなっている。700MHz帯電波通信はDSRCと比較して通信範囲が広く、回折性が強い。そのため車両間同士の通信やカーブ部などの見通しが悪い箇所における通信手段としての活用が期待されている。また、携帯電話については、現在1人1台程度所有している通信手段であり、個人に直接情報を提供することが可能であるため、次世代携帯電話の普及が進めば、通信範囲は700MHz帯電波通信よりも広く、広範囲に一斉の情報を提供する際の通信手段としての活用が期待されている。

これらの新たなシステムの開発にあたっては、民間事業者との共同研究といった研究体制も視野に入れながら、車メーカー、電機メーカーなど民間事業者との連携のもと、取り組んでいくことが肝要であると考えている。

# 航空需要予測の精度向上と課題

空港研究部長

長谷川 浩

## 航空需要予測の手法と課題

空港研究部長 長谷川浩

### 1. はじめに

航空需要予測は空港整備の必要性や施設規模の算定に使われてきたが、そのみならず、事業評価の際に行う費用対効果分析の基礎データとしても重要なものである。また今後は既存施設の有効利用、戦略的国際競争力の確保の観点から空港政策、航空政策の立案検討の基礎資料としての役割が増大するものと考えられる。このための基礎資料として、ほぼ5年毎に全国の航空需要予測が実施されている。なお、一般に航空需要として予測の対象とするのは、国内旅客数、国際旅客数、国内貨物量、国際貨物量である。将来の予測をする以上、不確実性を排除することはできず、例えばテロの発生や経済危機といった予測時点では予見不可能な突発的な事態が航空需要の予測値と実績値との差を生じさせる。しかし、それらは予測手法とは別の問題と考えざるをえない。

予測手法については長期にわたり改善が繰り返され理論的にも実務的にもかなり確立されている、とは言うものの残された課題もあり、平成20年12月24日に策定された「空港の設置及び管理に関する基本方針」では、「施設整備等の基礎となる需要予測の一層の精度向上に引き続き努め」とされており、今後とも引き続き航空需要予測手法の改善を進めていく必要がある。ここでは現在使用している需要予測の手法をレビューするとともに、今後に残された課題と、その中の一つでエアラインの行動原理を踏まえた手法に関する提案について紹介する。

### 2. 予測手法の要件と分類

需要予測の用途を考えた場合に航空需要予測手法に求められる要件としては次のようなものがあげられる。

- i 社会経済の変化を適切に反映できること
- ii 各種交通サービスの水準の違いや変化を反映できること
- iii 航空行政を巡る変化を反映できること
- iv 旅客の属性別の需要が予測できること

需要予測の手法は、直接的な予測手法と間接的な予測手法に大別できるが、直接的な予測手法は競合する他の交通機関との需要分担を考慮せず、単純な回帰モデルや時系列モデルによって需要予測を行うものであり、簡易ではあるが交通サービスが改善された場合に、それらの効果を予測に反映することができないため、各種評価のための需要予測には適さない。間接的な予測手法は、競合する他の交通機関も含めて輸送の総流動を予測した上で航空輸送の分担率を求めて航空需要を予測するものである。この間接的な予測手法は路線開設による需要誘発や運航頻度の増加による需要増加といった航空需要に影響を与える要因を反映できることから、一般的に用いられている。

### 3. 現行の需要予測の手法

現行の需要予測では代表的な間接的予測手法である四段階推定法を用いている。これは需要予測までのプロセスとして、図-1に示すとおり、国内需要であれば、まず日本全体の交通量（生成交通量）を求めた後、4つの段階つまり地域別の発生量（発生集中交通量）地域間の交通量（分布交通量）交通機関別交通量及び経路別交通量を経て推計する手法である。以下に国内航空旅客需要予測を例に手法の概略を述べる。

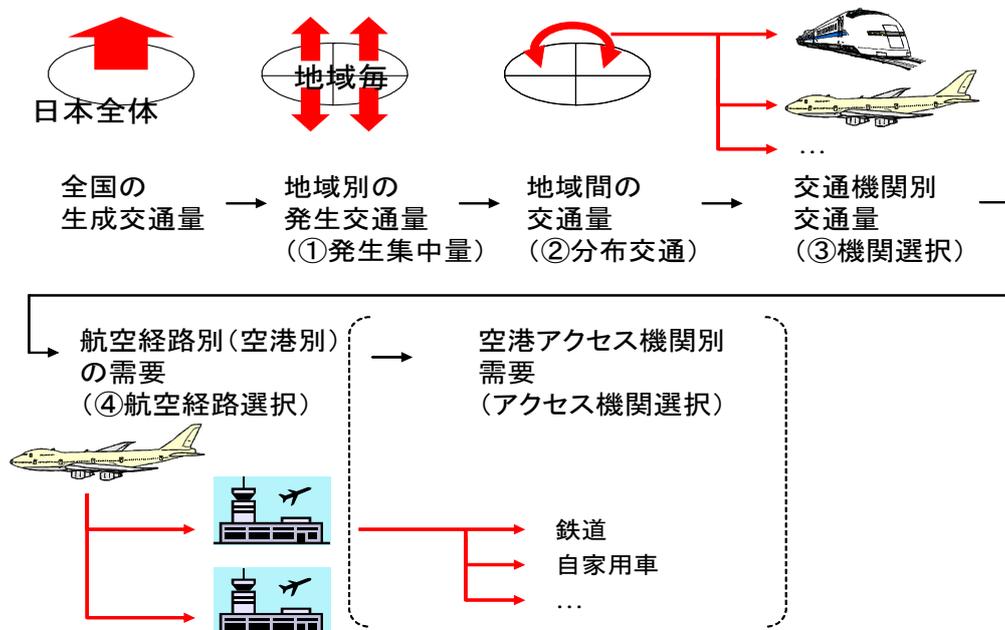


図-1 四段階推定法による国内航空旅客需要予測の流れ

#### 3.1 生成交通量

対象地域（日本全体）で発生する総交通量（旅客の地域流動総数）を生成交通量として求める。戦後民間航空輸送が再開されて以来、航空需要は一貫して伸びてきたが、この間一人当たり長距離旅行回数と一人当たり実質 GDP は非常に高い相関を示してきた。またアクセス交通の発達や運航頻度の増加等により誘発需要があることもわかっており、現行予測手法においては、人口、一人当たり実質 GDP、アクセシビリティ（運航頻度等利便性を指数化したもの）を変数としてモデル化している。

#### 3.2 発生集中交通量

発生交通量は各地域を出発地とする交通量の合計であり、集中交通量とは各地域を到着地とする交通量の合計である。それぞれ発生シェア、集中シェアと呼ぶ場合もある。航空需要は予測の単位時間を通常1年としており、地域毎にみた場合、その発生交通量と集中交通量は同じ値となると考えて差し支えない。なお、ここで言う各地域を設定するため予測対象地域を予め分割（ゾーニング）する必要がある。現行予測手法においては全国を223の生活圏ゾーンに分割している。

発生集中交通量の推計モデルとしては回帰モデル法を使用している。これは通常2

つ以上の説明変数を用いて発生集中交通量を求める関数を回帰分析により定式化し、将来の発生集中交通量を推計する方法である。多くの場合この回帰モデルが用いられるが、説明変数の選択には十分注意する必要がある。現行予測手法においては、旅行目的別に説明変数を分け、業務目的では居住地ゾーンの就業者数を、それ以外の目的（観光及び使用等）では夜間人口を用い、これらに一人当たり GRP(地域内総生産)を乗じて説明変数としている。

### 3.3 分布交通量

分布交通量とは、各発地 (Origin) から各着地 (Destination) までの交通量、即ち2つの地域間の交通量であり地域間交通量または OD 交通量とも呼ばれる。交通需要で使われる一般的な推計モデルとしては、現在パターン法、重量モデル（グラビティモデル）、エントロピーモデル、介在機会モデル（オポチュニティモデル）等がある。

現行予測手法においては、旅行先選択モデルとして、ある居住地からある旅行先を選択するときの効用からロジットモデルを用いて選択確率を求める方法をとっている。この場合の効用については、前述の「アクセシビリティ指標」及び「旅行先ゾーンの集客力指標」を説明変数とする関数として設定する。集客力指標とは、例えば業務目的であれば本社・支社の立地や消費市場の集積などが、また観光目的であれば都市機能や人的交流観光資源の集積などが考え得る。しかし、少数の指標で全体傾向を把握することや将来の集客力指標を設定することは非常に困難であり、現行予測手法においては、将来の集客力指標を現状値のまま一定と仮定している。

### 3.4 交通機関別交通量

交通機関別交通量とは、分布交通量のうち、個々の交通機関が分担する交通量のことである。交通機関別の分担率を求めるための推計モデルとして分担率曲線モデルや犠牲量モデルがあるが、運賃や所要時間だけでなく、乗り換え回数や運航頻度、アクセス時間など様々な要因を取り込んでいないので理論的裏付けが弱く説明力に欠けるとされ今や古典的モデルとなっている。

これに対し、現在の航空需要予測においては、個人の選択行動に基礎をおいた非集計的モデルと呼ばれるモデルを使うことが一般的であり、ここではロジットモデルを使用している。非集計モデルは集計モデルに比べて理論的背景が明確で説明力があり多くの説明変数を入れることができるといった利点がある。

まず、各交通機関の魅力度を示す指標として効用関数  $U$  を

$$U = V + \varepsilon \quad (a)$$

のとおり表す。ここで  $V$  は計測可能ないくつかの説明変数から確定的に定まる確定効用、 $\varepsilon$  はその他の計測できない要因により確率的に変動する確率効用（または誤差項）である。この確率効用  $\varepsilon$  の確率分布として正規分布に類似したガンベル分布を仮定することにより、求めたい交通機関（ $i$ とする）の選択確率  $P_i$  は次式のとおり求めることができる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (b)$$

この式がロジットモデルの基本式である。これは選択可能な交通機関が*i*と*j*の2つとした2項ロジットモデルであるが、交通機関が3以上であっても基本的には同じであり、交通機関*i*の選択確率*P<sub>i</sub>*は多項ロジットモデルとして次式から得られる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{j=1}^n \exp(V_j)} \quad (c)$$

式(b)または(c)により各交通機関の選択確率を求めるためには、確定効用関数*V*を各交通機関別に求めておく必要がある。簡単なケースとして、確定効用関数*V*の説明変数を運賃*C*と所要時間*T*の2つとすれば、交通機関*i*の確定効用関数*V<sub>i</sub>*は次式のとおりの線形の関数として定式化することができる。

$$V_i = a + b \cdot C_i + c \cdot T_i \quad (d)$$

ここで、*a*、*b*、*c*はパラメータであり、既存のデータ（幹線旅客純流動調査や航空旅客動態調査等）から推計できる。パラメータが決まれば、OD毎に各交通機関の運賃*C*と所要時間*T*は計測可能であるから、確定効用関数*V*が全ての交通機関について決まり、式(b)または(c)により各交通機関の選択確率を求めることができる。

現行手法においては前述の「アクセシビリティ」と「交通サービス指標」（所要時間、費用、頻度、ダイヤを指数化したもの）を説明変数とする交通機関の選択効用をベースにロジットモデルを使用している。このロジットモデルは、入れ子式に階層化した階層ロジットモデル（またはネステッドロジットモデル）にすることができ、その概念図を図-2に示す。次の段階である経路別交通量を求めるモデルとしても、前述の分布交通量を求めるモデルとしても使うことができる。

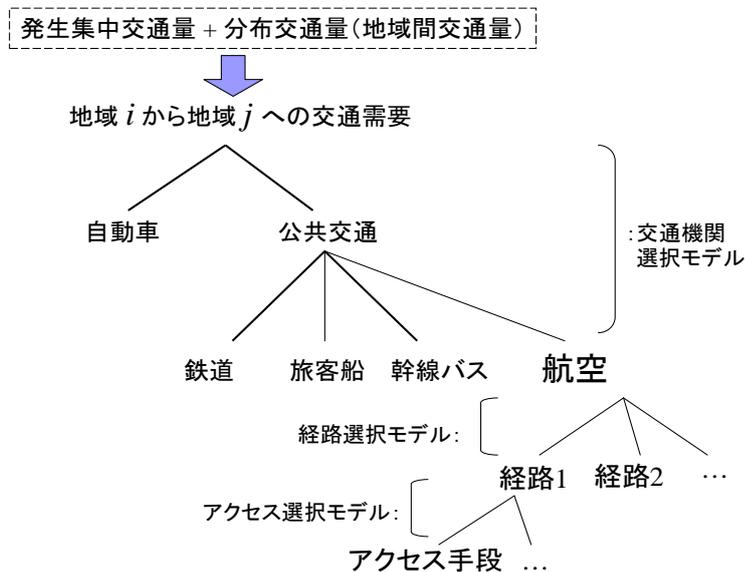


図-2 ネステッドロジットモデルの概念図

### 3.5 経路別交通量

経路別交通量は配分交通量とも呼ばれ、各交通機関で分担する交通機関別交通量を経路配分モデルを用いて両地域間を結ぶ各経路（ルート）に配分した交通量のことである。航空需要予測においてはその地域の中でどの空港を利用するかという空港選択

問題に帰着されるため、両地域とも空港が1つしかない場合には両地域間を結ぶ空路が一意に決まるため、このステップは不要となる。現行モデルにおいては出発地、目的地双方におけるアクセシビリティと交通サービス指標を説明変数とする経路選択の効用をベースにした経路選択確率をロジットモデルにより導出している。

### 3.6 各空港の需要予測値

以上、経路別交通量まで求めれば各地域間で各空港を利用する旅客需要が求まることとなる。空港別に旅客需要を求めたい場合には、その対象とする空港を利用する旅客需要を全ての地域間から合計すれば良い。

予測の結果、路線便数が導かれるが、それにより設定したアクセシビリティが変化する。それにより各段階における前提が変化するので一連の計算を収束するまで繰り返すことにより最終的な結果が導かれることになる。図-3にフローを示す。

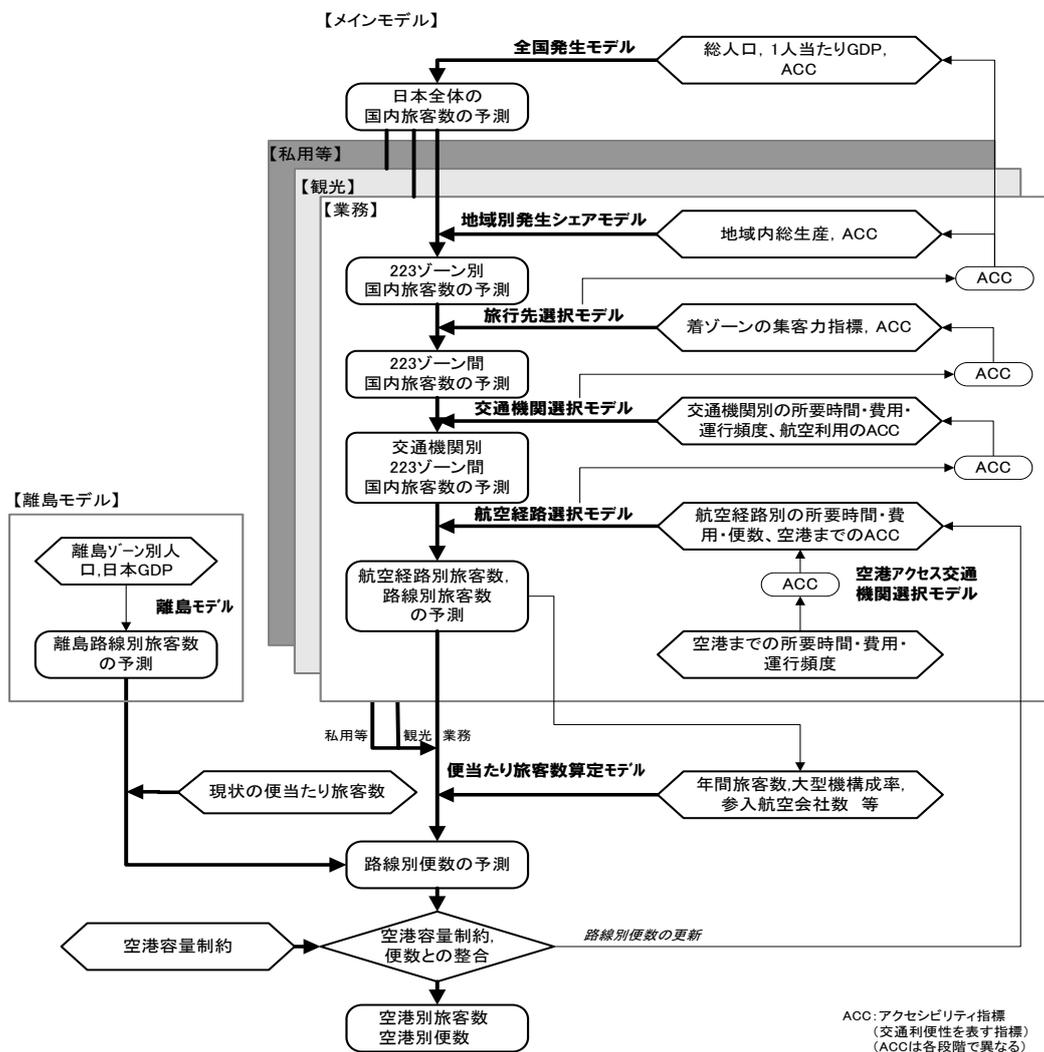


図-3 国内航空旅客需要予測モデルのフロー

#### 4. 航空旅客需要の予測値

航空需要予測の実施例として、平成19年5月の交通政策審議会航空分科会に報告された国内航空旅客需要、国際航空旅客需要の予測結果を紹介する。また、国内航空旅客需要予測に用いた社会経済フレームを表-1に、国内航空旅客の予測値を図-4に、国際航空旅客の予測値を図-5に示す。

表-1 社会経済フレーム等の設定（共通事項）

項目		設定内容
試算年次		2012・2017年度（参考値 2022・2027年度）
日本 GDP 成長率 <sup>※1</sup>		政府見通し等より 1.8%（2006～2012）、2%程度（2013～2020）、1%台半ば（2021～2027）
都道府県別 GRP <sup>※1</sup>		政府見通し等より設定
人口 <sup>※1</sup>		全国値は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」（2006年12月推計）の中位推計値 都道府県別値は国土交通省国土計画局推計値
道路ネットワーク <sup>※</sup>	既設	2005年度時点での高速道路ネットワーク
	新設	高規格幹線道路は整備予定に応じ供用
サービスレベル（時間・運賃） <sup>※</sup>		・2005年10月現在のサービスレベル（時間・運賃）を設定 ・神戸、新北九州空港は2006年10月時点を反映 ・整備新幹線は整備計画や既存の路線を参考に設定

※ :都道府県別 GRP、人口、道路ネットワーク、及びサービスレベル（時間・運賃）については、国内航空貨物以外（国内航空旅客、国際航空旅客、国際航空貨物）の共通事項

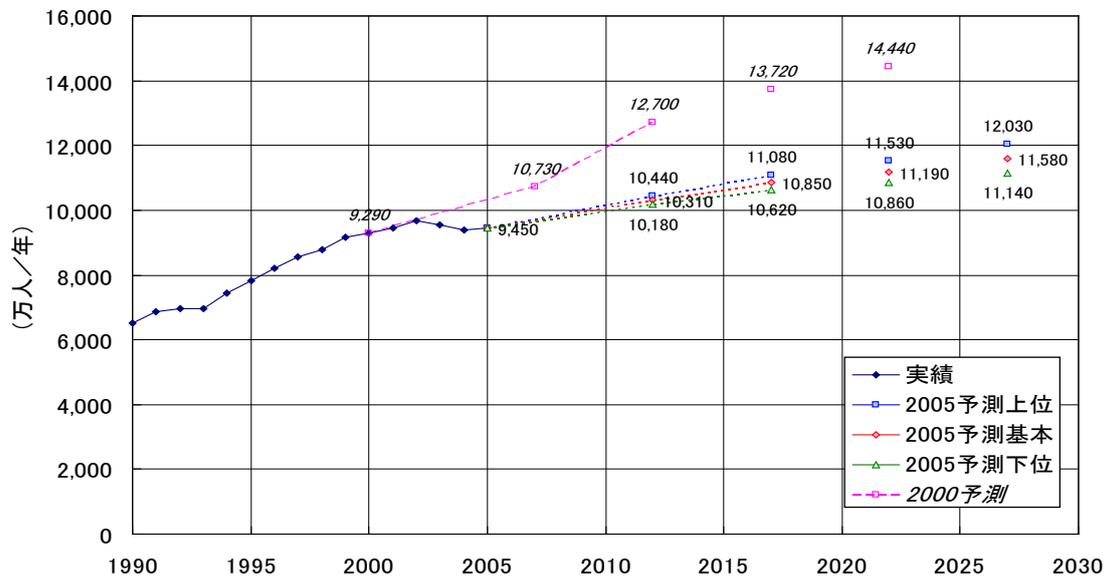
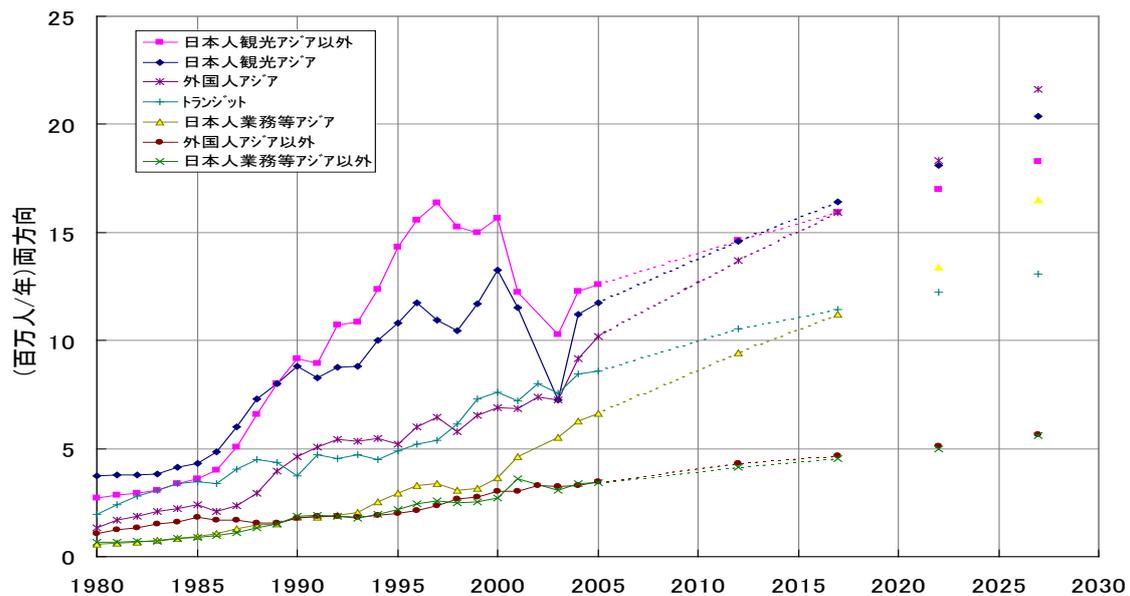


図-4 国内航空旅客の予測結果



図ー5 国際航空旅客の予測結果(推計区分別)

## 5. 予測手法に残された課題

現行モデルは航空需要予測の手法検討委員会でも現時点では最も配慮されたモデルであるとされるが、残された課題も多く、それはデータ整備に関する課題とモデル構築に関する課題とに分け以下の通り指摘されている。

### 5.1 データ整備に関する課題

#### i. 実勢運賃に関するデータの整備

航空運賃は運賃表に記載されているものがあるが、様々な割引設定があり、それぞれ何人がどの割引料金で搭乗しているか不明である。現状は航空旅客動態調査（2日のサンプル調査）においてどの割引料金を使用したかを聞いているが、わずかなサンプルであるしパック旅行となると航空運賃分が見えないため精度に限界がある。運賃は需要予測上重要なファクターでありこれの実態把握が課題となっている。

#### ii. エアラインの経営情報の整備

航空需要は経済学的には需要と供給のバランスだが、実際にはエアラインがどのような路線便数を張るかに懸かっている。そこでは保有する輸送資源で如何に利潤を上げるかという行動原理が働くことになるため路線別や機材別などの経費や収入などのエアラインの運航に関するデータの整備が課題となっている。

#### iii. 年齢階層別の需要データの整備

今後の需要増加が見込まれる高齢者に関してはより細分化して分析する必要があるため、これらのデータ収集が課題となっている。

#### iv. 東アジア等のビジネス需要データの把握

アジアとの交流が今後ますます増大することを踏まえると、これら旅客の旅行目的や業務内容、頻度等の詳細データが不足している。

## 5.2 モデル構築に関する課題

### i. 供給者の行動を合理的に予測するモデルの検討

民間事業者であるエアラインの経営情報に属する費用や価格等のデータ利用が困難であることから、エアラインの行動原理を明示的にモデル化することができていないが、今後ますますこれらが航空需要に及ぼす影響が大きくなると予想されるため課題となっている。

### ii. 国内と国際の連携

現行では際内旅客は別個のモデルで予測しており、国内国際相互の乗継ぎ旅客については国内モデルでの予測のみによるものとしている。今後は国際旅客の方がより大きな伸びが予想される他、国際線の目的地と国内線の目的地が同じ土俵の選択肢になり得ることから際内両モデルの連携が課題となっている。

### iii. 空港容量制約を明示的に考慮したモデル構築

現行モデルにおいては空港の容量に制約がある現状の需要を基に経路選択モデルなどのパラメータが設定されており、今後空港容量の制約が大きく変化したときには歪みをもたらす可能性がある。制約の影響を明示的に考慮できるモデルの構築が課題となっている。

## 6. エアラインの行動原理を考慮したモデルの提案

課題のひとつであるエアラインの行動原理を考慮したモデル構築を試みる。従来の需要予測モデルにおいては、エアラインの行動、すなわち便数、路線設定、機材選択等については需要から一義的に決定され、また運賃は与件とされている。したがって政策効果の評価を行うにあたり、政策がエアラインの行動に及ぼす影響をモデルで表現することができない。

航空市場の状況によってエアラインの便数設定や運賃は変化し、これによって旅客の行動が決まる。さらに運航規制の変化、空港使用料変化などエアラインの供給行動に影響する政策による旅客需要への影響を評価するためにはエアラインの行動を明示的に考慮する必要がある。

### 6.1 既存研究の整理

エアラインの行動と旅客行動の相互影響をモデル化し実ネットワークレベルへ適用した研究としては、詳細は省略するが、大橋，安藤(1996)、大橋，安藤(1999)、黒田ら(1999)、高田ら(2001)、竹林ら(2001)により様々なアプローチがなされている。これらに対し、竹林(2005)は地域分割の単位を「ゾーン間 OD 市場」と「都市間 OD 市場」の二段階に階層化し、エアラインと旅客の市場行動に加えて、ゾーン内の空港間競争を分析する手法を提案した。航空需要への影響のみではなく、近接空港間の路線便数設定への影響も評価することが可能となる。本研究は、国内航空旅客市場における多様な分析を可能とするため、竹林(2005)と同様の市場設定の枠組みを基に市場モデルの構築を行う。

## 6.2 市場状態の前提と全体的枠組み

本研究のモデルは「ODゾーン間航空市場モデル」と「路線別便数配分モデル」の2つのサブモデルから構成される。モデルの全体枠組みを図-6に示す。

ODゾーン間航空市場モデルのアウトプットとして、ODゾーン間の航空運賃と旅客需要量が得られ、ここで得られた需要が路線別便数配分モデルの入力値となる。

路線別便数配分モデルはODゾーン間航空市場モデルから得られた総需要を基に、各航空路線への便数および旅客数配分を推定する。ここではODゾーン間航空市場モデルよりも細分化されたゾーニングを行い、航空サービスレベルである便数や空港アクセス利便性による旅客の経路選択行動への影響を詳細に評価することが可能となる。

以下、各サブモデルにおける前提条件と概要について述べる。前半のODゾーン間航空市場モデルでは、まずODゾーンの設定が必要であるが、ODゾーン作成の基礎データとして2000年幹線旅客純流動調査データを用い、以下の考え方により全国207生活圏を図-7のとおり47のODゾーンに分類した。まず生活圏ごとに利用者数が最大の空港を代表空港（全国48空港）として定義し、代表空港が同じ生活圏は同一ゾーンとして統合する。ただし、この前提では関西国際空港と大阪国際（伊丹）空港が別ゾーンに存在すると定義され、これら2空港間の競合状況の分析ができなくなるため、例外的にこれらのゾーンを統一することとした。我が国の航空市場では同一路線で運航するエアライン数が少なく、完全競争的という前提は適切ではない。したがって各ODゾーン間航空市場ではエアライン間がクールノー型寡占競争状況であると仮定する。クールノー型寡占とは、市場に参加する各企業が他企業の産出量を所与として自己の利潤を最大化するようにその産出量を決定するという市場メカニズムを表す。

同一のODゾーン間では利用空港が異なる場合でも運航距離の差が小さいため、エアラインの運航費用に大きな差はないと仮定する。また、同様の理由により同一ODゾーン間におけるいかなる空港ペア路線によっても運賃差が生じないと仮定する。

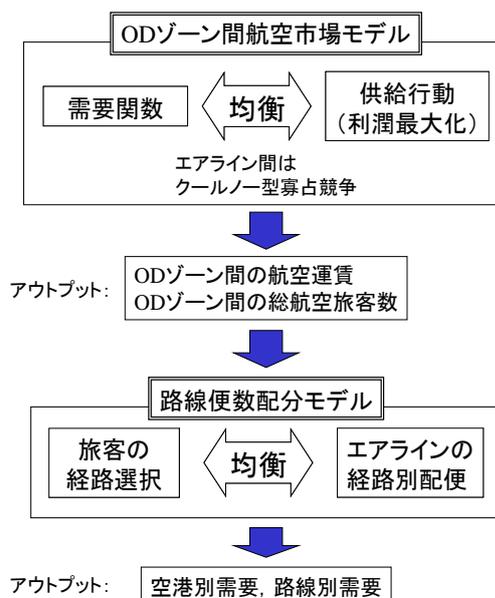


図-6 モデルの全体枠組み

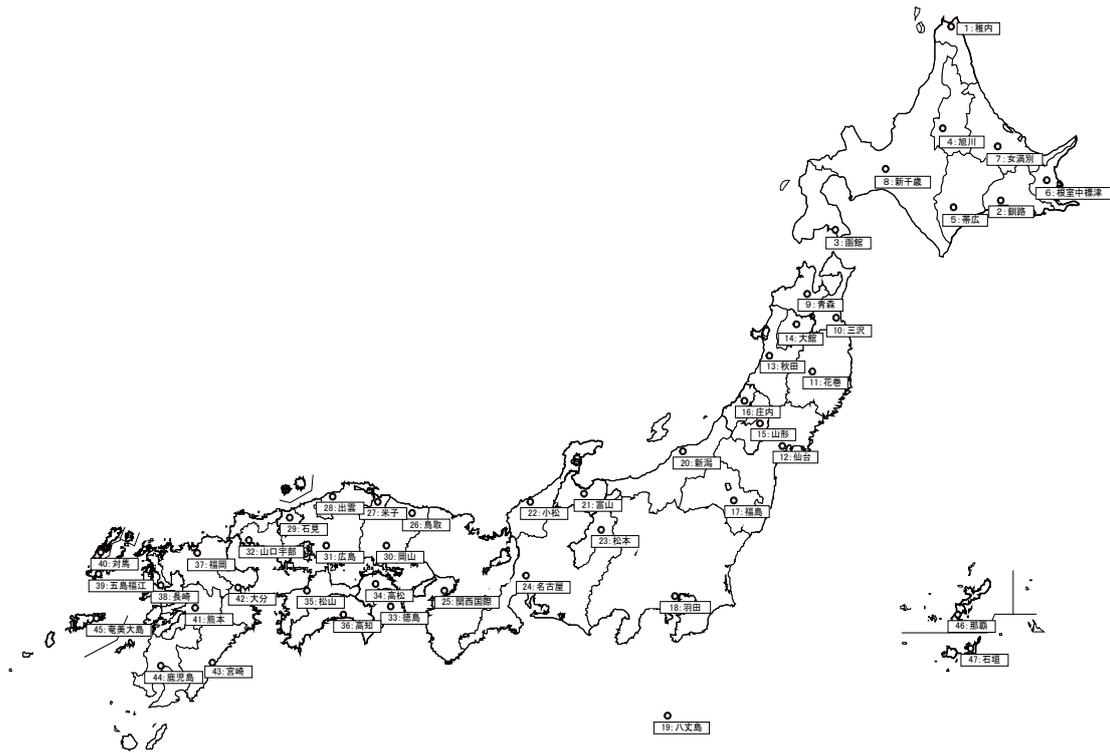


図-7 ODゾーン間航空市場モデルにおける47ゾーン

後半の路線便数配分モデルにおいては、あるODゾーン内に複数の空港が存在する場合、旅客による空港（経路）選択およびエアラインによる路線別配便が行われる。旅客の空港選択においては、発生集中地から空港までの交通アクセス条件や路線毎の航空サービスレベルが影響する。このためゾーンを細分化する必要が生じる。本研究では、空港選択・路線配便を考えるにあたり47ODゾーンを生活圏ゾーン207地域に分割して考える。

本研究では、各空港間の航空路線における配便数決定は、旅客の空港・経路選択行動と、エアラインの便数配分原理によって行われると考える。ODゾーン間の航空市場において、総需要量と総供給座席数が先決されているので、旅客行動については生活圏ゾーンを集計単位とし、各生活圏ゾーンから空港までの交通アクセス条件と航空サービスレベルである路線便数を考慮して経路選択が行われると仮定する。各エアラインは路線に投入される機材のロードファクターを最適化するという行動規範の下、旅客の経路選択行動を考慮して路線毎の配便数を決定すると仮定する。

以上がモデルの全体的枠組みであるが、以下に各段階におけるモデルの詳細を述べる。

## 6.3 ODゾーン間航空市場モデル

### 6.3.1 モデルの一般形

本モデルにおける需要関数の一般形を以下のように定義する。

$$OD_{rs} = f_{rs}(p_{rs}^{air}, Acc_{rs}^{air}, \mathbf{M}_{rs}, \mathbf{Y}_r, \mathbf{Y}_s, \mathbf{Y}) \quad (1)$$

ここで、

$OD_{rs}$ : ODゾーンrs間の航空需要

$p_{rs}^{air}$ : ODゾーンrs間の航空運賃

$Acc_{rs}^{air}$ : ODゾーンrs間の航空サービスに関するアクセシビリティ指標

$\mathbf{M}_{rs}$ : ODゾーンrs間における航空以外の競合交通機関に関するサービスレベル (LOS) 変数列ベクトル

$\mathbf{Y}_r$ : ODゾーンrの社会経済指標変数列ベクトル

$\mathbf{Y}_s$ : ODゾーンsの社会経済指標変数列ベクトル

$\mathbf{Y}$ : 日本の社会経済指標変数列ベクトル

である。

各エアラインは、クールノー的寡占市場において以下のように利潤最大化行動を行うと考える。

$$\max \pi_{rs}^m(q_{rs}^m) = p_{rs}^{air}(OD_{rs}) \cdot q_{rs}^m - C_{rs}^m(q_{rs}^m) \quad (2)$$

ここで、

$q_{rs}^m$ : ODゾーンrs間におけるエアラインmの供給 (=需要)

$C_{rs}^m(q_{rs}^m)$ : ODゾーンrs間におけるエアラインmの費用関数

である。費用関数については供給量のみの関数ではなく、以下のように他の外生変数の関数と考える。

$$C_{rs}^m = C_{rs}^m(q_{rs}^m, tax_{rs}, \mathbf{x}_{rs}^m) \quad (3)$$

$C_{rs}^m$ : ゾーンrs間のエアラインmの費用

$q_{rs}^m$ : ゾーンrs間のエアラインmの輸送量

$tax_{rs}$ : ODゾーンrs間の運航に関わる公租公課

$\mathbf{x}_{rs}^m$ : ODゾーンrs間におけるエアラインmの特性変数列ベクトル

$p_{rs}(OD_{rs})$ は逆需要関数であり、式(1)を変形することにより得る。また、

$$OD_{rs} = \sum_m q_{rs}^m \quad (4)$$

である。

当該市場にM社のエアラインが参入しクールノー的競争を前提とすると、一階の条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial p_{rs}^{air}}{\partial q_{rs}^m} \cdot q_{rs}^m + p_{rs}^{air} - \frac{\partial C_{rs}^m}{\partial q_{rs}^m} = 0 \quad \forall m \in M \quad (5)$$

式(5)は各エアラインの反応曲線を意味しており、全エアラインの供給量の関数となる。これら M 本の連立方程式を解くことにより均衡需要（供給）および均衡価格が得られる。

### 6.3.2 OD 需要関数

需要関数の一般形は式(1)のように表されるが、本節ではパラメトリックに需要関数を仮定し、実績データよりパラメータ推定を行う。本研究では実務的にも実績が豊富であり推計結果が比較的安定的な、式(6)に示すグラビティモデル型の関数形により需要関数を特定化した。

需要関数の推定においては、航空輸送統計年報における空港間ODデータを用いてOD需要関数の推定を行った。説明変数として種々の社会経済指標および競合交通機関サービスレベル指標を用意しパラメータ推定を行った結果、以下の関数式が採択された。なお、OD需要関数の推定においては短距離路線では精度の高い推定結果が得られず、競争的な市場が成立していない可能性が高いため、路線距離 300km 以上のデータのみを対象としている。

$$\begin{aligned} \ln OD_{rs} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{time}_{rs}^{\text{air}}) + \beta_2 \ln(p_{rs}^{\text{air}}) \\ & + \beta_3 \ln(\text{time}_{rs}^{\text{rail}}) + \beta_4 \ln(Y_r) \\ & + \beta_5 \ln(Y_s) \end{aligned} \quad (6)$$

$\text{time}_{rs}^{\text{air}}$ : ゾーン rs 間の航空ラインホール時間

$p_{rs}^{\text{air}}$ : ゾーン rs 間の航空運賃

$\text{time}_{rs}^{\text{rail}}$ : ゾーン rs 間の鉄道所要時間

$Y_r$ : 発ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

$Y_s$ : 着ゾーンGRP（1人あたりGRP×人口）

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ : パラメータ

パラメータ推定における各種統計指標は表-2のとおりである。

表-2 OD 需要関数のパラメータ推定結果

Adjusted R <sup>2</sup>		0.6246	
サンプル数		338	
		パラメータ値	t 値
定数項	$\beta_0$	-11.716	-4.13
航空ラインホール時間（分）	$\beta_1$	-1.587	-2.70
航空ラインホール費用（円）	$\beta_2$	-0.849	-1.55
鉄道所要時間（分）	$\beta_3$	1.745	6.77
発地 GRP（百万円）	$\beta_4$	0.894	19.60
着地 GRP（百万円）	$\beta_5$	0.899	19.87

この方法ではODが真の出発地・目的地を表現するものではないため、空港存在地域のGRPを用いて発生量・集中量等を表現することになり、その点について若干の論理的な不整合が生じる点に注意を要する。しかし、国内航空におけるトランジット旅客のボリュームが比較的小さいことを鑑みれば、需要関数の推定においては大きな影響はないと考えられる。

また、ここで推定されたパラメータは羽田空港等における空港容量制約など、本モデルでは明示的に扱われていない外的要因による影響も内包した値であることにも留意する必要がある。

### 6.3.3 エアラインの費用関数

本研究では費用関数について航空会社別に違いはないと仮定し、また公租公課は輸送量に応じた可変費に内包されたものと見なし、以下のように線形関数として設定した。

$$C_{rs}^m(q_{rs}^m) = \alpha \times q_{rs}^m \quad (7)$$

ただし、費用関数の一般形は、式(3)のように、航空会社や航空路線の特性および公租公課による費用特性の差異を反映することが可能な関数形を想定している。費用関数の精緻化については今後の課題とする。

大手航空会社3社(JAL, ANA, JAS)の2000年度における財務データ(航空統計要覧)よりパラメータを $\alpha = 9.1015$ 円/人キロ(1995年価格)と設定した。

ここで、可変費用は、人件費、航空燃油費、整備費、運航施設利用費、代理店手数料、航空保険費からなると仮定した。なお、着陸料や燃料税などの政策変数は運航施設利用費、航空燃油費に含まれることになる。また、ここでの費用は国際線も含む費用である。

### 6.3.4 ODゾーン間航空市場モデルの現況再現性

ODゾーン間航空市場モデルの均衡解は、式(6)と式(7)を式(5)の連立方程式へ代入して解くことにより得られる。ここでは2000年の国内航空輸送実績を対象に現況再現性を検討した。

ここでは簡単のため、すべてのゾーン間に2社のエアラインが参入していると仮定した。この仮定により1社あたりの需要については実際の参入社数を用いていないため乖離が大きくなる可能性があるが、ODペアの需要については影響が少ないと考えられる。

航空運賃については全体的に若干過小推計となった。これについては、運賃の実績値が正規運賃であるのに対し、均衡解で算出される運賃はエアラインの実際の限界費用に基づく値であり、実勢運賃に近い挙動を示していることが要因の1つとして考えられる。航空需要量については運賃の再現誤差と関連して全体的に過大推計傾向となっている。今後、実勢運賃の推定およびこれを採用したOD需要関数推定、相関の向上をもたらす新たな説明変数の導入などを検討する必要がある。

## 6.4 路線便数配分モデル

### 6.4.1 路線便数配分モデルの定式化

路線便数配分モデル構築においてはODゾーン間航空市場モデルにおけるエアラインの行動と不整合を起こさない形の定式化を行う必要がある。すなわちODゾーン間航空市場モデルにより各エアラインの提供する座席数、運賃および旅客の空港間ODは決定されているので、路線便数配分モデルではこれらの変数を固定した上でエアラインの合理的な行動を表現する必要がある。そこで本研究は、エアラインの行動規範として「各便の機材容量と需要とのギャップを最小化する」

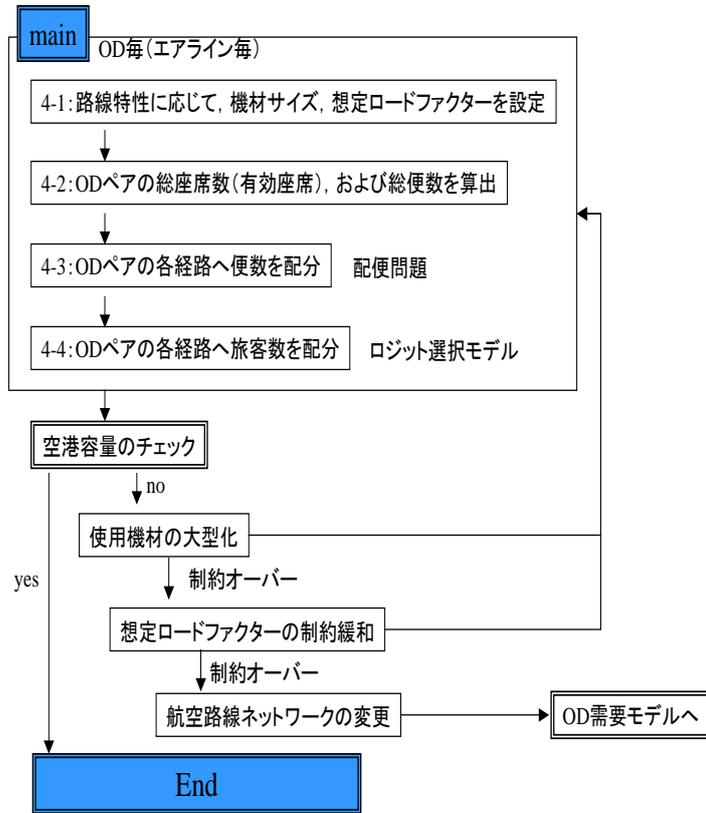


図-8 路線便数配分モデルのフロー

ことを想定したモデル化を行う。

すなわち望ましいロードファクター（以下、目標ロードファクターと呼ぶ）からの乖離が小さくなるようにロードファクターが調整されるよう、各路線の便数が決定されるとする。路線便数配分モデルのフローを図-8に示す。本モデルではエアラインの路線別便数配分と、旅客の経路選択行動の均衡解として、路線別便数および旅客数が導出される。

エアラインの便数配分は以下のように定式化される。

$$\min_{Freq_{rs}^1, Freq_{rs}^2, \dots, Freq_{rs}^k} \sum_k (Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik})^2 \quad (8)$$

subject to

$$\sum_{k \in K} D_{rs}^{ik} = \overline{q_{rs}^i} \quad (9)$$

$$Capa_{rs}^{ik} \cdot Freq_{rs}^{ik} - D_{rs}^{ik} \geq 0 \quad (k=1, \dots, K) \quad (10)$$

$$Capa_{rs}^{ik} = Seat_{rs}^{ik} \cdot LF_{rs}^{ik} \quad (11)$$

$Capa_{rs}^{ik}$ : rs 間のエアライン  $i$  の航空経路  $k$  の機材容量

$Freq_{rs}^{ik}$ : rs 間のエアライン  $i$  の経路  $k$  の便数

$D_{rs}^{ik}$ : rs 間のエアライン  $i$  の経路  $k$  の旅客数

$\bar{q}_{rs}^i$ : rs 間のエアライン  $i$  の総旅客数 (先決)

$Seat_{rs}^{ik}$ : rs 間のエアライン  $i$  の経路  $k$  の機材サイズ (座席数)

$LF_{rs}^{ik}$ : rs 間のエアライン  $i$  の経路  $k$  の目標ロードファクター

なお、 $D_{rs}^{ik}$  は後述する旅客の経路配分モデルより与えられ、各経路の空港アクセスシビリティ指標、運航頻度等の関数として表される。

旅客の経路配分モデルはロジット型選択モデルとして表現する。本研究では平成 14 年度に航空局で開発された国内航空旅客需要予測モデルの航空経路選択モデルのパラメータ推定結果を用いる。経路配分は以下の式により表される。

$$P_{rrss}^{ik} = \frac{\exp(V_{-k_{rrss}}^{ik})}{\sum_{k \in K} \exp(V_{-k_{rrss}}^{ik})} \quad (12)$$

表－3 航空経路配分モデルのパラメータと再現性

	業務目的	観光・私用等目的
航空ラインホル時間 (分)	-2.35533E-02 -8.3	-1.72316E-02 -6.6
航空ラインホル費用 (円)	-2.94753E-04 -2.4	-2.67557E-04 -2.1
ln [路線運航頻度 (便/日)]	7.52284E-01 9.2	7.72880E-01 4.1
滞在可能時間 (分)	1.88510E-03 4.8	1.81855E-03 6.8
アクセシビリティ指標	7.59895E-01 19.8	7.54901E-01 14.9
尤度比	0.388	0.351
的中率 (%)	73.5	71.5
時間評価価値 (円/hr)	4795	3864
サンプル数	3297	3191

注) 上段: パラメータ値, 下段: t 値  
資料: 国土交通省資料

#### 6.4.2 路線便数配分モデルの現況再現性

ここでは 2000 年度の実績値および説明変数を用いて路線便数配分モデルの現況再現性を検証する。なお、再現性検証においては東京－大阪間 OD の経路配分を事例として取り上げた。前提条件のうち、機材容量については、実際に各経路を飛行している航空機材をクラス別平均座席数で加重平均することにより経路別の平均機材容量として求めた。目標ロードファクターに関しては 2000 年実績のロードファクターの値を路線別に適用した (2000 年現況値で最適のロードファクターで運航していると仮定した)。

以上の前提条件および表－3 のパラメータを用い、式 (8) から式 (11) で表される最適化問題を解き、経路別の便数を求めた。結果は羽田－関空が若干過小推

計となったが全体の傾向は表現できていると考えられる。羽田－関空が過小推計となっている要因の一つとしては海外便への乗換客の特性が反映されていないことが考えられる。

## 7. 一地域複数空港における運航制限による影響分析

一地域に空港が複数ある地域と言えば首都圏、関西圏、北部九州であるがここでは関西圏を例に前述のモデルを使って運航制限が航空市場に与える影響を分析してみる。本研究の目的は需要予測の手法が需要マネジメント政策の評価にも的確に使えるように機能を向上させることであるが、現在我が国で行われているのはマネジメントというより物理的制約や、環境上の制約からやむなく制限している例がほとんどである。しかし今後は羽田の国際化問題や、関西3空港の役割分担議論などマネジメントの評価のニーズは高まる。

### 7.1 前提条件

対象とする航空市場は首都圏と関西圏の間の市場とした。また分析に用いたデータは2005年のデータであり従ってまだ神戸空港は対象に入っておらず、対象になっているのは首都圏では羽田、成田の両空港、関西圏では伊丹と関西、南紀白浜の3空港である。ケーススタディーとしては伊丹空港への乗り入れ機材サイズが制限された場合と便数に上限が課された場合を想定し条件を変化させて結果を比較した。具体的には表－4に示す前提条件を設定し、便数と旅客数を比較した。

### 7.2 分析結果

結果を表－5～7に示す。伊丹空港において機材サイズが制限され小型化すると(Case0→1→2)路線の供給容量に制約がない場合には伊丹発着路線、特に羽田－伊丹路線での供給量が増加することが示された。一便当たりの座席数の減少が増便によってカバーされている。結果、便数増加による伊丹空港の利便性向上のため関西空港が選択されにくくなっている。伊丹路線に便数の制約が課されると(Case3→4)当然ながら羽田－伊丹路線では便数旅客数とも減少する。機材制約と便数制約のどちらが大きく影響するかは条件の程度によるが双方の制約をかけたCase5が羽田－伊丹路線の減少が大きく、成田－伊丹にシフトするという結果が出ている。

ただし、この分析はモデルの挙動を確認するために仮に設定した条件であり、実務的分析のためには神戸空港を対象に加えるとともに、より精緻な前提条件を与える必要がある。また、旅客が新幹線に流れることの考慮も当然必要であり、モデルに一工夫が求められる。

表－4 運行制限による比較分析の前提条件

	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
成田－伊丹路線の機材座席数	400	350	300	400	400	350
羽田－伊丹路線の機材座席数	400	350	300	400	400	350
成田－伊丹路線の日便数上限制約	制限なし	制限なし	制限なし	6	6	6
羽田－伊丹路線の日便数上限制約	制限なし	制限なし	制限なし	18	15	15

表－5 路線別便数の比較(便/年)

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	974	7,116	4,980	817
Case 1	1,171	9,065	3,992	816
Case 2	1,799	10,950	3,395	812
Case 3	1,229	6,570	5,344	814
Case 4	1,593	5,475	6,102	811
Case 5	2,190	5,475	6,259	809

表－6 路線別旅客数の比較(人/年)

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	272,728	1,992,657	1,220,079	91,486
Case 1	286,856	2,220,906	978,113	91,385
Case 2	351,910	2,333,091	801,333	91,147
Case 3	321,129	1,879,559	1,284,802	91,357
Case 4	390,254	1,665,315	1,429,809	91,213
Case 5	467,488	1,606,575	1,411,502	91,040

表－7 路線別搭乗率の比較

	NRT-ITM	HND-ITM	HND-KIX	HND-SHM
Case 0	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 1	70.0%	70.0%	70.0%	70.0%
Case 2	65.2%	71.0%	67.4%	70.1%
Case 3	65.3%	71.5%	68.7%	70.1%
Case 4	61.2%	76.0%	67.0%	70.3%
Case 5	61.0%	83.8%	64.4%	70.3%

## 8. おわりに

本資料は、現行需要予測の手法を紹介し、あわせて、クールノー型寡占市場を反映した経済均衡モデルと、ロードファクター最適化による路線便数配分モデルを組合せ、供給者であるエアラインの行動を反映した国内航空需要分析モデルを提案したものである。

本モデルで評価可能、あるいは本モデルを発展させることにより評価可能な政策等については以下のようなものが挙げられる。

まず、着陸料の値上げ・値下げの影響についてはODゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータを変化させることにより、評価することが可能である。航空燃油税などの値上げ・値下げの影響についても同様にODゾーン間航空市場モデルにおける費用関数のパラメータ変化によって分析が可能である。

エアラインの行動に関する状況変化として、機材サイズの変化については、路線便数配分モデルにおいて機材サイズの設定を変えることにより分析可能である。新規路線開設による影響は、路線便数配分モデルにおいて前提条件となる路線を追加することにより分析することができる。ローコストキャリアの参入に関しては、ODゾーン間航空市場モデルにおける参入社数設定の変化および費用関数の差別化により影響を評

価することができる。

しかし、全国の航空需要予測モデルに組み込む形にはなっておらず、部分的あるいは補完的に制約条件の影響を分析するツールとしての利用が考えられる。政策評価のための検討材料として政策適用後の航空市場の状況についてこれまで以上の情報を提供することができる仕組みとなっはいるが、精度の面では課題も多い。今後の課題としては、OD 需要関数等の各サブモデルの精度向上が挙げられる他、路線便数配分モデルにおける目標ロードファクター等の各種の前提条件の設定方法についても検討する必要がある。

## 謝辞

需要予測モデルの改善にあたっては、屋井鉄雄 東京工業大学大学院教授を座長とする「需要予測手法改善検討会」において、座長をはじめとする学識経験者、行政関係者の方々に貴重なご意見とご指導を頂いたことを感謝します。また、本資料のうち、6.～7. は、石倉智樹元空港研究部主任研究官(現東京大学大学院工学系研究科特任講師)らの研究成果によるものであることも申し添えます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省ウェブサイト：交通政策審議会航空分科会（平成19年5月31日），  
[http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koku/07\\_9/070531.html](http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/koku/07_9/070531.html)
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所ウェブサイト：航空需要予測について，  
<http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kukou/keikaku/juyou.html>, 2007.
- 3) 大橋忠宏，安藤朝夫：ネットワークを考慮した航空旅客市場と航空政策のモデル分析，応用地域学研究，No.2，pp133-144，1996
- 4) 大橋忠宏，安藤朝夫：航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料に関する研究，土木学会論文集，No.611，IV-42，pp33-44，1999
- 5) 黒田勝彦，竹林幹雄，平井一人，正木智也，鈴木秀彦：規制緩和下における国際航空旅客輸送市場のモデル分析，土木計画学研究・論文集，No.16，pp835-843，1999
- 6) 高田和幸，屋井鉄雄，原田誠：エアライン間提携の影響分析手法に関する研究，土木学会論文集，No.667，IV-50，pp73-83，2001
- 7) 竹林幹雄，黒田勝彦，鈴木秀彦，宮内敏昌：完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析，土木学会論文集，No.674，IV-51，35-48，2001
- 8) 竹林幹雄：わが国国内航空旅客輸送市場へのLCC参入に関する一考察，土木計画学研究・講演集，No.31，CD-ROM，2005

社会資本のライフサイクルをとおした

環境評価技術の開発について

環境研究部長

岸田 弘之

## 1. はじめに

近年、環境問題の中心は公害などから地球温暖化防止、廃棄物産出・資源利用量削減など持続可能性分野へと移ってきている。こうした状況に対応した社会資本整備を進めていくための環境評価手法としてライフ・サイクル・アセスメント (LCA) が注目されている。社会資本整備の特徴は色々な段階で、様々な関係者が関係していることである。こうした様々な関係者の環境負荷削減に向けた取り組みを促進するとともに、社会資本整備全体として環境負荷の一番少ない方向を探ることが必要である。

本講演では、環境研究部で進めている「社会資本のライフ・サイクルをとおした環境評価技術の開発」に関する研究の現状と今後の展望について紹介する。この研究は社会資本整備について温室効果ガス（その中でも主として二酸化炭素）排出量及び廃棄物最終処分量に関する LCA 手法の確立を目標に行っている。

## 2. 研究の背景

### 2. 1 直面する地球環境問題への取り組み

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第 4 次報告書や地球温暖化に関する観測結果等を受けて、現在の世界が直面している地球規模の環境問題、とりわけ地球温暖化の深刻さとその対策の重要性に対する認識は広く共有されてきている。地球温暖化を防止する対策として「温室効果ガスの削減」が極めて重要かつ喫緊な課題になってきている。

社会資本整備においても、色々な段階で様々な関係者が関係して、温室効果ガス排出量の削減に取り組んでいる。しかし、それらは段階毎の削減に止まっており、社会資本整備の全体を考えた評価にはなっていないのが現状である。環境分野の取り組みは時として、ある分野で取り組んだ結果、別の分野にひずみをもたらす全体で見ると改善されていないことがある。つまり、各関係者の努力である部分的な最適が果たして全体的な最適に向かっているのかどうか確認しなければならない。

また削減策そのもののあり方も検討する必要がある。現在の温室効果ガス削減は主として供給側の直接排出源対策が中心になっているが、需要側も積極的に対策を行うべきである。例えば電力を見れば需要側での対策も実施しており、これらを的確に評価していくことが必要である (図 1 参照)。即ち、社会資本整備においても、施工時だけでなく使用する資材も含めた温室効果ガス削減対策が必要である (図 2 参照)。

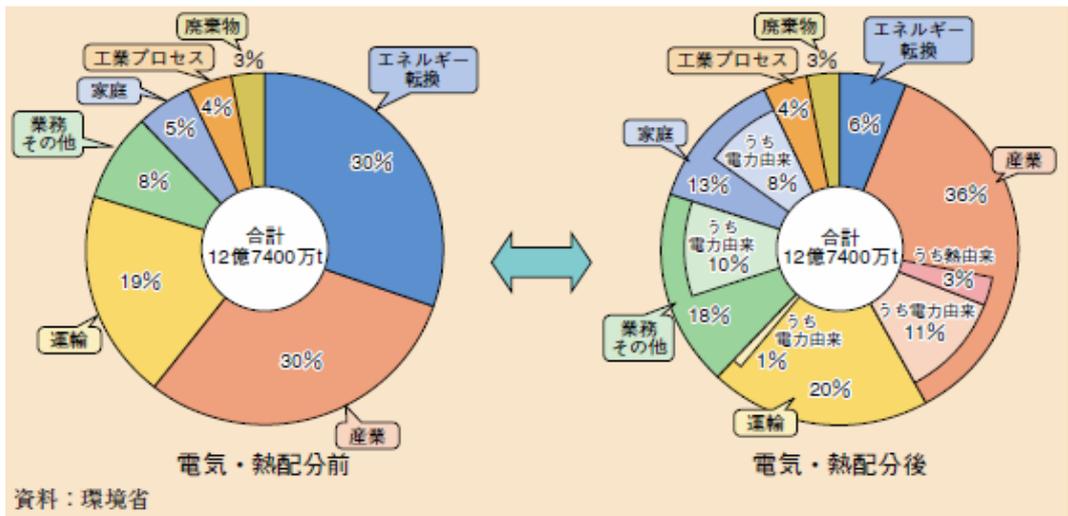


図1 電力分野におけるCO2排出量の内訳

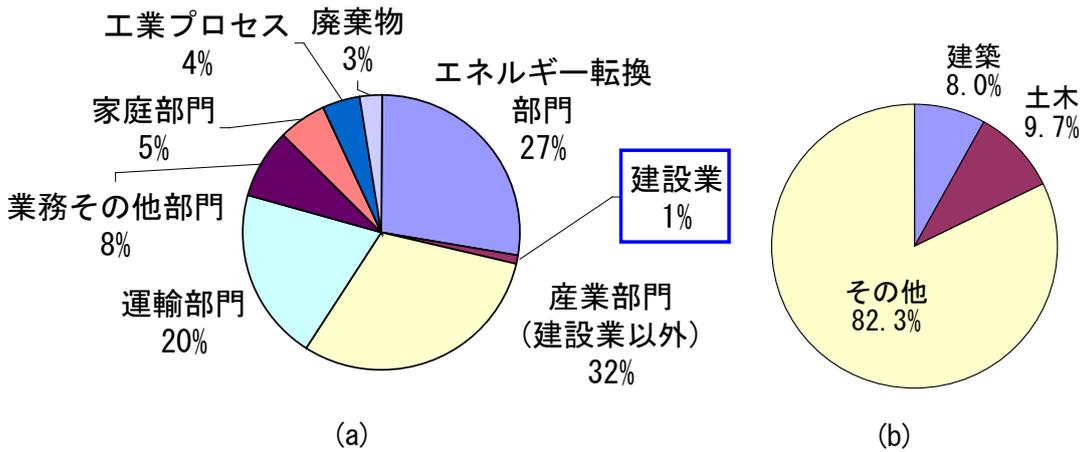


図2 建設業による温室効果ガス排出量が国内全体からの温室効果ガス排出量に占める割合

## 2. 2 循環型社会の形成への取り組み

持続可能性のある社会づくりは、人口減少・少子高齢化・資源枯渇等が進行する現在において喫緊の課題の一つであるが、限られた資源を有効に活用していくためにも循環型社会を形成していくことが必要である。

社会資本整備においても循環型社会の形成のために、大いに貢献しており、物質フローに占める建設産業の割合も大きい(図3参照)。

これらを定量的に評価して、より一層循環型社会の形成に社会資本整備が寄与していくことが必要である。

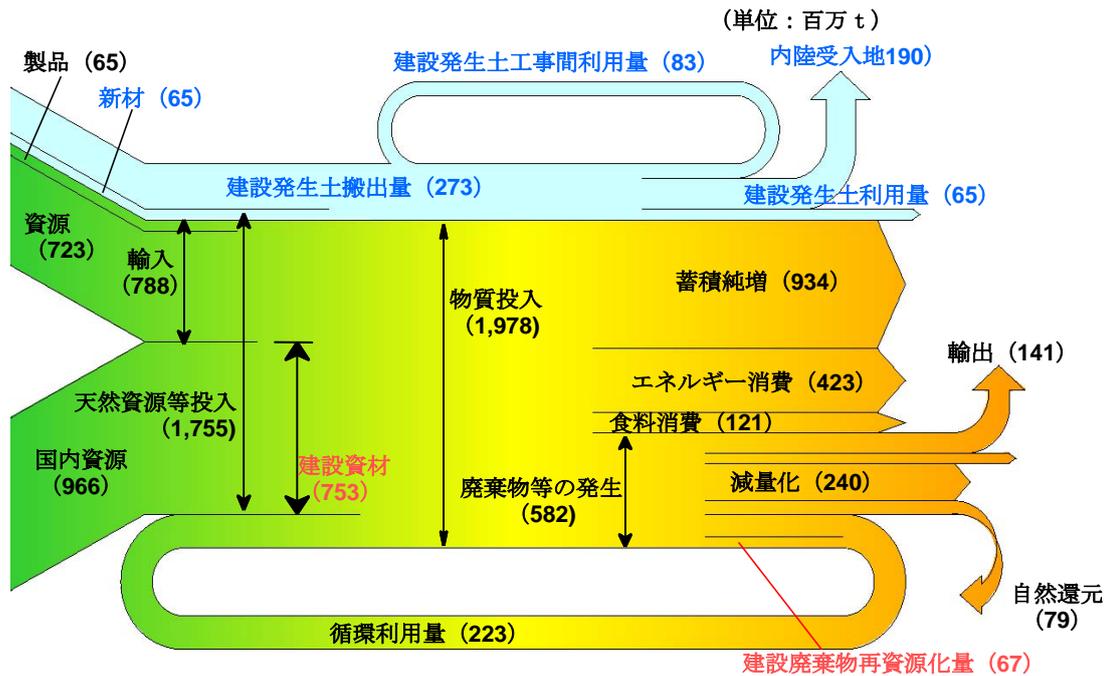


図3 国内の物質フロー

循環型社会白書のデータに建設副産物実態調査、主要建設資材需要見通しのデータを追加

### 2. 3 持続可能性のある社会に向けて

持続可能性のある社会づくりに対する認識は徐々に広がりつつあるが、社会資本整備については、評価方法が定まっていないのが現状である。社会資本整備については、資材採

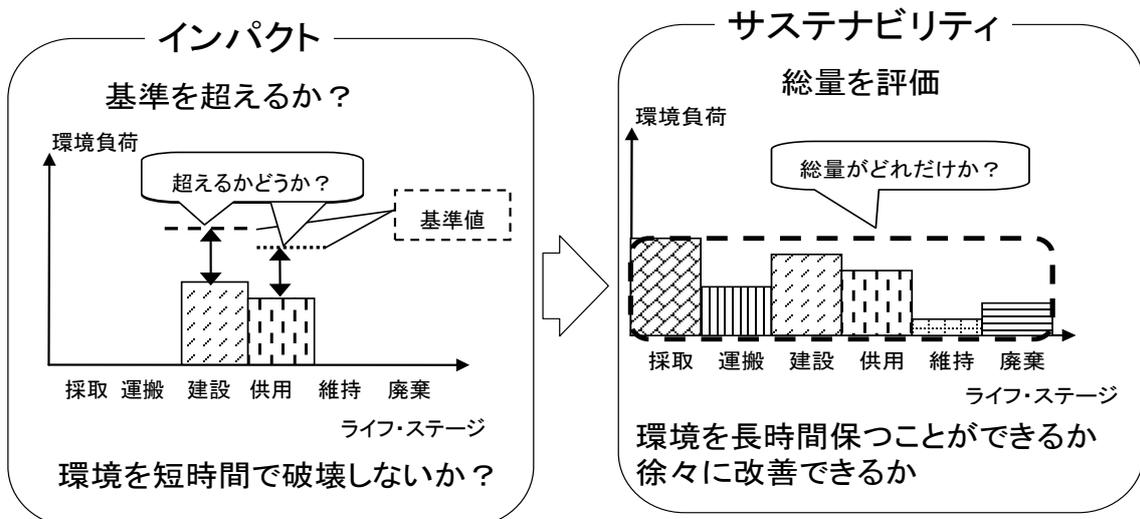


図4 環境評価の発想転換

掘、資材製造、設計、施工、管理、施設使用などあらゆる分野での取り組みが必要になっているが、各分野においてのそれぞれの評価方法が異なっているのが現状でもある。社会資本の持続可能性について、共通の評価手法を定めることが望ましいが、社会資本整備の特徴も踏まえて、参加・提案型の取り組みが必要になってきている。また社会資本に対する環境評価について、インパクトからサステナビリティへ発想を転換することも必要になってきている（図4参照）。

### 3. 社会資本整備のライフサイクルアセスメントに向けて

#### 3. 1 社会資本整備の特徴

社会資本整備の特徴を工業製品と比較する形で図5に示す。

第一の特徴は、大量の資材を調達するということである。図3に示したように、平成17年度においては、日本全体で2251百万トンの物質フローが生じたが、その内46%にあたる1026百万トンが建設関係事業において利用されたり（建設資材753百万トン）発生したり（建設発生土搬出量273百万トン）されたものであった。

第二の特徴は、大規模であることである。道路、ダム、港湾など大規模な社会資本整備によって広い範囲で以前の環境が改変される。社会資本整備による環境への影響は環境影響評価によって従来から評価され、それを最小化するためにミティゲーションの考えに基づく対策がしばしばなされてきた。

第三の特徴は供用年数が長いことである。工業製品については電化製品などで数年、自

<p>社会資本は・・・</p> <ul style="list-style-type: none"><li>①大量の資材を調達 環境負荷の小さい資材、価格の安い資材を利用。</li><li>②大規模構造物 存在による環境への悪影響を最小限に抑える。</li><li>③長寿命 維持管理の手間・費用削減。環境負荷削減。</li><li>④国民生活の基本・前提となる 経済性などに加えて持続可能性も考慮。</li><li>⑤国土を形成</li><li>⑥多様な参加者 ミクロからマクロまで整合性のとれた評価が必要。</li></ul>
---

図5 社会資本整備の特徴

動車でもせいぜい 10 年程度で利用が終わるが、社会資本は定期的な点検や補修を行いながら長ければ 100 年以上利用される。このことから維持管理段階における温室効果ガス等の排出量を適切に評価し、最小化することが重要と考えられる。

第四の特徴は国民生活の基本・前提となることである。例えば、道路や港湾は物流の基本・前提であり、国民生活を支える。そのため、社会資本が根本的に不足している状態においては社会資本整備に伴う経済性評価がなされ、投資効果が確認されれば事業が実施されてきたかもしれない。道路の経済性評価としては移動時間短縮、渋滞解消、交通事故減少による経済効果と道路整備にかかる費用の大小を比較するいわゆる B/C 分析がある。しかしながら、地球規模で持続可能性の確保に向けた取組が求められていることから、社会資本整備の実施にあたって持続可能性評価を追加することが求められていると考えられる。その例として、道路事業における CO<sub>2</sub> 排出の考え方を図 6 に示す。図 6 においては社会資本整備の段階として建設中と供用・維持補修の 2 段階を想定している。整備維持による CO<sub>2</sub> 排出は建設工事中に発生する CO<sub>2</sub> と維持補修に伴い発生する CO<sub>2</sub> に分けられ、これらは LCA によってそれぞれ評価が可能であると考えられる。これらに加えて供用中には道路交通が発生し、それに伴う CO<sub>2</sub> も生じる。

第五の特徴は、社会資本は国土を形成し多用な機能を持つことである。例えば社会資本の機能としては防災、アメニティ、景観などがある。LCA によって評価される CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギー使用量など環境に対する影響の評価が重要である一方で、社会資本が持つ多様な機能の重要性は環境影響の大小にかかわらず重要であろう。よって社会資本が持つ多様な機能を総合的に評価する手段や機能と環境への影響や費用を天秤にかける手段が必要だと考えられる。

第六の特徴は、社会資本整備に多用な参加者が関わることである。そのため社会資本整備に伴う温室効果ガス排出量などの削減にあたっては様々な主体がそれぞれの立場から対策を講じる。各主体の取組が適正に評価され、社会資本整備全体として目標達成に向かうためには、ミクロからマクロまで一貫した基本的考えに基づき、取組の評価が必要であり、これがすべての参加者によって実施可能であることによって日本全体としての取組を評価することも可能となることが望ましい。

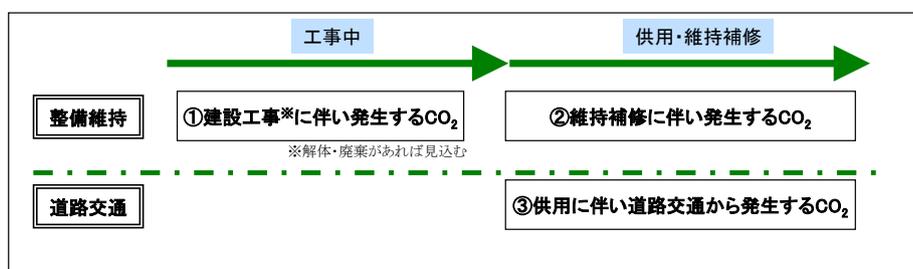


図 6 道路事業における CO<sub>2</sub> 排出の考え方

出典：国総研 総合技術政策研究センター、総合的な建設事業コスト評価指針（試案）、平成 14 年 3 月

### 3. 2 社会資本整備のライフサイクルアセスメントの位置づけと課題

社会資本整備は人々の生活の質を高めてきた。生活の質を高めることは社会資本整備の変わらない目標であるが、それと同時に現在はあらゆる活動に持続可能な社会を実現するための取組が求められている。社会資本整備の LCA は生活の質と環境面を同時に満たす社会資本整備のあり方を導く指標を与えるためになされると考えられる (図 7 参照)。3. 1 で述べた社会資本整備の特徴とも関連するが、社会資本整備の環境負荷は整備過程よりもむしろ整備場所によって強く影響されやすいことが工業製品の環境負荷に比べて特徴的である (図 8 参照)。例えば、山の中に造る道路と都市の中に造る道路とでは問題となる環境影響の種類や程度が明らかに異なると想像される。

社会資本整備の LCA には生活の質と環境を両立させる社会資本整備のあり方を導く指標を与えると述べたが、そうあるために図 9 に示した課題が考えられる。

一つは活用目的に応じた精度のマネジメントである。例えば国の政策を検討する際には (多少精度は荒くても) 長期的・広範な分析が求められるが、技術の選択に用いる場合には (網羅性には欠けたとしても) 詳細な分析が求められるであろう。

また一覧性とそれぞれの複合的な使用が可能であることが求められる。網羅性と一覧性を確保することによって様々な社会資本に対して LCA を適用できると考えられるし、個々の社会資本の機能・役割の相互依存性とシステムとしての複雑性への対処が可能となるだろう。

使い勝手のよさも求められる。使いやすさと同時に最新データへ素早く簡単に更新が可能なメカニズムを備えていることが望まれるであろう。その他にもモニタリングシステムとの連動や現行の制度との親和性と制度改変への提案に対する貢献も課題である。

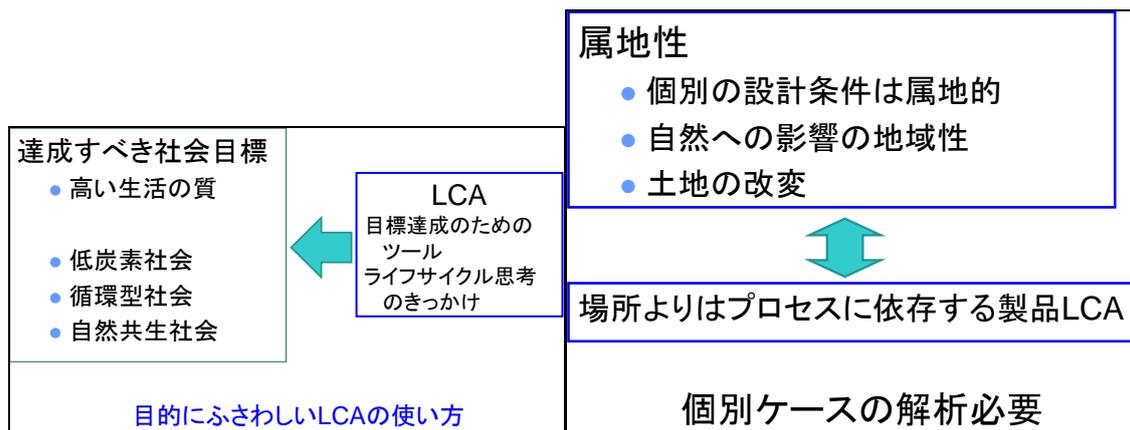


図 7 社会資本整備に LCA を使う目的

図 8 社会資本整備 LCA の特徴

出典：東京大学 花木啓祐教授、社会資本のライフサイクルアセスメントに関するシンポジウム資料 (図 7、図 8 とともに)

- 活用目的に応じた精度のマネジメント
  - 国の政策検討ー 長期・広範 → 産業連関分析
  - 技術の選択・インセンティブと負担ー 詳細な分解能 → 積み上げ法
  - システムとしての複雑性への対処(例 低炭素都市づくりのためのLCA)
- 一覽性と複合的使用
  - 網羅性と一覽性(多数の種類)の社会資本
  - 社会資本の機能・役割の相互依存性とシステムとしての複雑性への対処
- 使い勝手
  - 使いやすい
  - 最新のデータによる自動的更新メカニズムの内包化
- モニタリングシステムとの連動
  - 長期にわたる利用・維持からの発生の予測・評価の困難性と検証・運営のためのモニタリングシステムとの連動
- 現行の制度(調達・計画)との親和性と制度改変への提案への貢献
  - インセンティブと負担の配分は調達制度・補助制度と不可分
  - 低環境負荷を実現しやすい制度への提言も視野

図9 期待に応えるためのLCAの課題

出典：筑波大学 石田東生教授、社会資本のライフサイクルアセスメントに関するシンポジウム資料

### 3. 3 LCAの一般的な考え方

#### 3. 3. 1 他分野におけるLCAの取り組み

工業製品分野においては LCA の取り組みが着々と進みつつある。すなわち、製造段階における環境負荷量に加えて、カーボンフットプリントに代表されるように消費者の使用に



図10 工業製品の環境情報表示

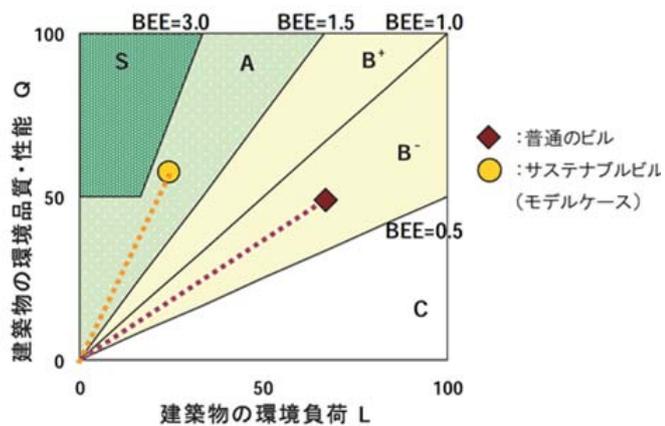


図11 建築分野におけるCASBEE

よる環境負荷量を明示することで、消費者の自発的な行動を促す試みがなされている（[図 10](#) 参照）。

また、建築分野においては建築環境総合性能評価システム（CASBEE）が実施されつつある。これは、建築物の環境品質・性能（快適性、景観への配慮）と環境負荷（省エネ、省資源、リサイクル性能）に基づいて建築物の環境性能を格付けするシステムである（[図 11](#) 参照）。

### 3. 3. 2 LCAの一般的な考え方

LCA の概念は、バウンダリを「対象のライフ・サイクル全体」と設定し、遡及・波及効果を含めて、対象にかかわるあらゆる資源消費・環境負荷を扱うことである。この概念は誤解されやすい。LCA に関する典型的な誤解として、その評価結果に対して「ライフサイクル全体の評価であるから正しい」といったものや、「CO<sub>2</sub> をはかる方法である」という誤解が挙げられる。実際の LCA においては評価できる範囲は限定されるため、その範囲にあわせた評価しかできない。このような意識がなされないまま使用されてしまうことは間違った解釈を生じる危険がある。また、CO<sub>2</sub> 以外の排出量についても評価が可能であり、様々な物質についてインベントリを作成できることが LCA の特徴である。

これらの誤解をさけるためには LCA の目的設定とそれに応じた精度・境界の設定を行うことが重要である。道路整備を例に考えると、ルートや基本構造を決定する構想段階における LCA と工法や調達する資材を決定する設計段階における LCA では LCA の目的が異なっている。同時に評価に用いる情報も異なるため、精度や考慮する範囲（境界）も異なる。評価する機能レベルを統一し、同一の精度、境界条件の下で比較を行うことが LCA の原則である。

### 3. 3. 3 LCAのツール

LCA のツールとしてインベントリ・データ・ベースが用いられる。これは評価の対象となる各要素からの環境負荷原単位を網羅的に整理したデータ・ベースである。例えば、調達する資材を選択するために用いるインベントリ・データ・ベースは、鉄やセメントなどの資材百万円あたりの環境負荷量（kg/百万円、m<sup>3</sup>/百万円など）の情報が整理されたものである。

インベントリ・データ・ベースの作成方法として、日本国内全体での材料使用に伴う環境負荷を総務省統計局が取りまとめている産業連関表に基づいて配分し、それらの材料から製造される資材による環境負荷原単位を算出する産業連関法（[図 12](#)）がある。国立環境研究所が作成している 3EID（Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables）などは産業連関法によるインベントリ・データ・ベースである。この手法の問題点はデータが古いことである。産業連関表の取りまとめが 5 年に一度であるため、産業連関法によるインベントリ・データ・ベースも 5 年に一度作成される。また産業連関表の作成に時間を要するため 8 年前のデータが最新というような事態が起りうる。これに対して環境分野の技術は日進月歩であり、8 年前のデータを用いて LCA を行うこ

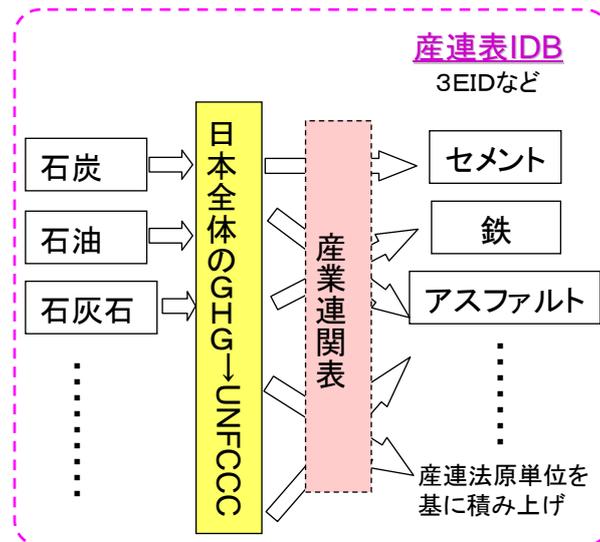


図 12 産業連関法によるインベントリ・データ・ベース作成手法

とは望ましいものではない。

#### 4. 研究の概要

##### 4. 1 研究の目的

本研究の目的は、「誰でも使える、各事業段階と社会資本整備全体で整合の取れた LCA ツールを開発・普及させること」であり、それによって社会資本整備に携わるあらゆる主体が環境負荷の削減に取り組める仕組みを整えることである。具体的な研究期間中の開発目標を図 13 に示す。

本研究におけるインベントリ・データ・ベース構築に求められる要件として、主要資材からの環境負荷原単位を物量あたりの環境負荷原単位に変換すること、産業連関法により作成されるインベントリ・データ・ベースが有する網羅性・一覧性を保持すること、更新頻度を高めることが挙げられる。物量あたりの環境負荷原単位に変換することによって、資材の原料となる物質の価格変動による影響を除外し、長期にわたる社会資本整備で活用できるインベントリ・データ・ベースを構築する狙いがある。一方で、日本国内全体としての資材製造量は産業連関法によるインベントリ・データ・ベースによって精度が確保されるため、社会資本整備による資材調達量を日本国内全体の資材調達量と整合させるためには産業連関法を活用することによって網羅性・一覧性を保つことが重要である。また、従来の産業連関法によるインベントリ・データ・ベースは更新頻度が 5 年に 1 回であるが、新技術の開発や調達材料の変化などによる環境負荷原単位の変動が考えられるため、更新頻度を高める必要がある。これらの要件を満足するために、従来の産業連関法と各業界団

## ■本研究期間中の開発目標

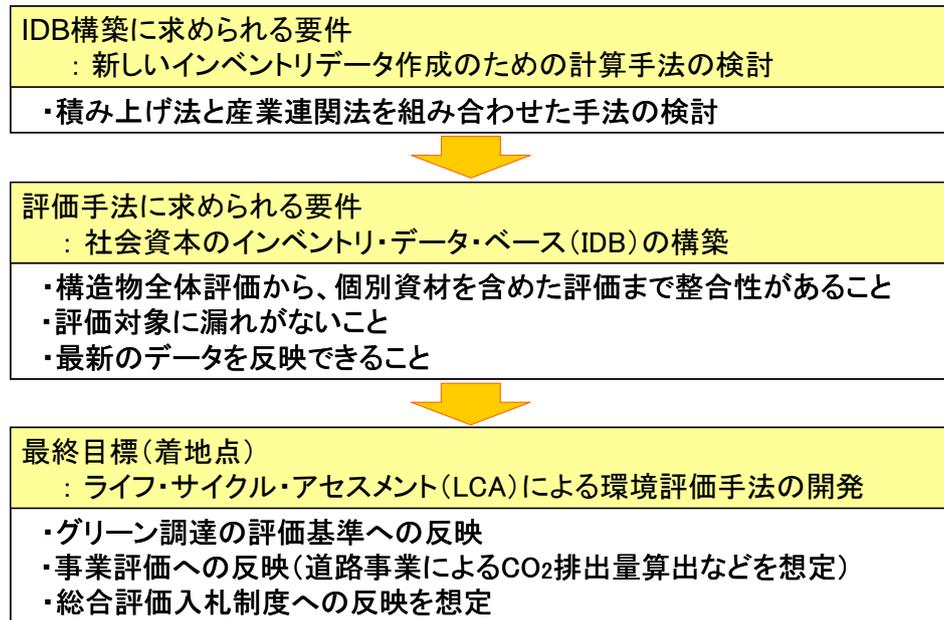


図 13 研究期間中の開発目標

体などによって取りまとめられる積み上げ法による主要資材からの環境負荷原単位を組み合わせたハイブリッド法によるインベントリ・データ・ベースの構築(図 14 参照)を目指している。

### 新しいインベントリデータ作成手法 — 積み上げ法と産業連関法を組み合わせる手法 —

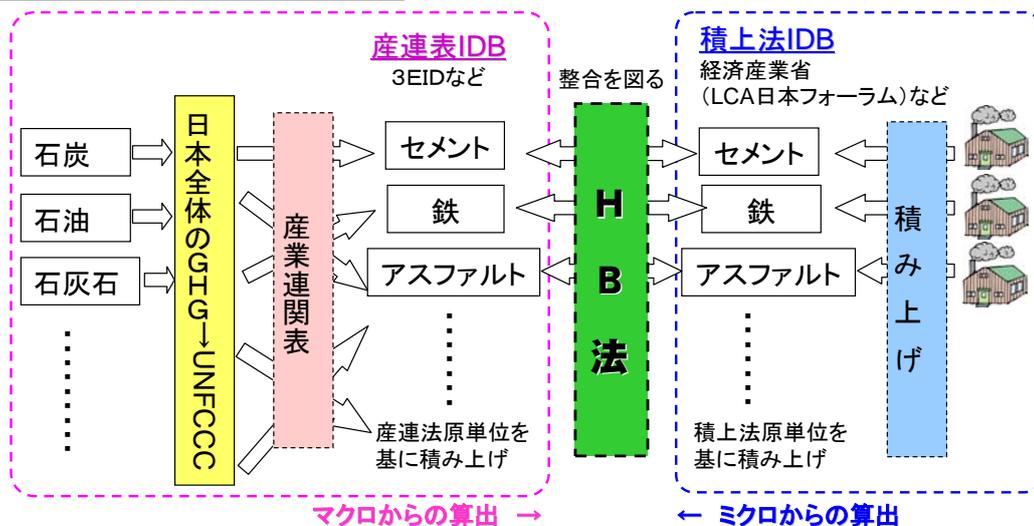


図 14 ハイブリッド法によるインベントリ・データ・ベース作成手法

評価手法に求められる要件としては以下のようなものが考えられる。

まず、マクロからミクロまで含めた評価システム全体として整合性があることは、構造物全体評価から個別資材の評価まで一貫性を保った評価システムとなるために必要な条件であると考えられると同時に、これがみだされることによって日本全体として持続可能性の実現という目標に向かうことが期待できる。また、この要件は社会資本に携わる様々な主体の環境に対する取組を適切に評価するためにも必要であると考えられる。

次に評価対象に漏れがないことである。この要件は簡単そうに聞こえなくもないが、様々な段階があり多様な資材が活用される社会資本整備を取り扱う場合にはこれを満足することは必ずしも容易ではないと考えられる。

最新のデータを反映できることは調達される資材についての傾向の変化や先端技術を反映していくために重要であるが、扱うインベントリ・データの項目が増えるほど困難になる。しかしながら、社会資本に用いられる資材は主としてコンクリート、アスファルト、鉄鋼などであり、主要資材の数は比較的少ないため、あらゆる産業を対象とした産業連関法では対応が難しい細かなデータ更新が可能であると考えられる。

作成される評価手法は、これらの要件を満たしつつ、持続可能性の実現という目標に向かっていることや LCA の一般的な原則や国際規格、さらには知見の蓄積を踏まえた技術開発を踏まえたものが求められると考えられる。

本研究の最終目標は LCA による社会資本整備の環境評価手法の開発である。具体的な活用方法としては、グリーン調達の評価基準への反映、事業評価への反映、総合評価入札制度への反映を想定している。これらの活用方法によって社会資本整備に携わるすべての主体が温室効果ガス削減や廃棄物削減などに取り組む動機付けを行い、被害を実感することが難しい持続可能性に関わる問題に対する対策が推進されることを期待している。

この内、グリーン調達の評価基準への反映の具体的な開発イメージを図 15 に示す。先ず一般品目に対するインベントリ・データ・ベースをハイブリッド法により整理する。こうして整理された環境負荷原単位と、同じ計算方法によって算出された個別品 B の環境負

### グリーン調達におけるLCA評価(イメージ)

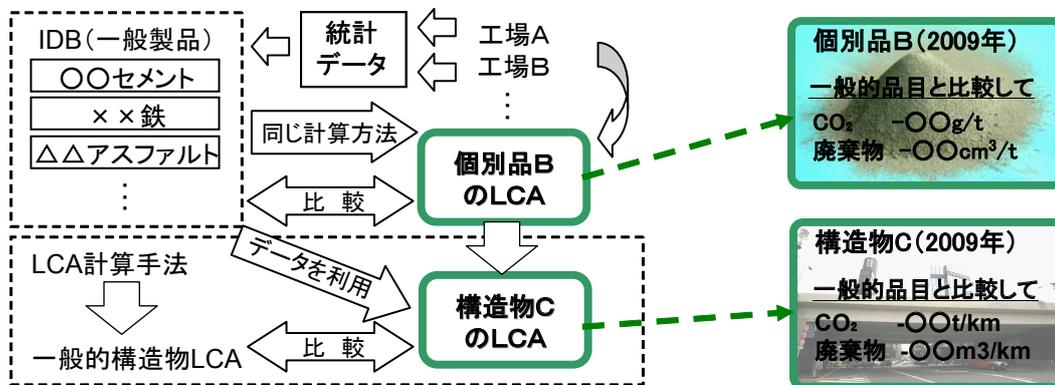


図 15 グリーン調達の評価基準としての開発イメージ

荷原単位を比較することによって資材レベルでの環境負荷原単位の比較が可能である。個別品 B を含めて様々な資材の集合体として構造物 C を建設する場合には、構造物に求められる機能などの要件を満足させた上で、構造物に用いる資材全体からの環境負荷が最小となるように個別品の調達の見合わせを検討する（図 16 参照）。個別品の組み合わせを選択する設計者や施工者による環境負荷削減に対する取り組みとともに、資材レベルでの評価が可能であることによって資材の製造者にとっての環境負荷削減に対する取り組みの動機付けも期待できる。

#### 4. 2 土木学会等との協力体制

本研究は土木学会に 4 つの委員会を設置し、それぞれの委員会において社会資本整備へ LCA を導入するための要件について検討を行っている。各委員会と国総研、関係団体との関わりを図 17 に、また各委員会における検討事項を図 18 に示す。

国総研は各委員会に委員として参加するとともに事務局となっており、各委員会における検討に加わるとともに委員会間の調整を担っている。さらに（社）コンクリート工学協会や（社）道路協会などの関係協会・学会に働きかけてインベントリ・データ・ベース作成のための情報収集やオーソライズを行うとともに、他分野において LCA の実績を有する（独）国立環境研究所や（独）産業技術総合研究所などの関係研究機関との協力体制の構築を図っている。

LCA 理論委員会においては環境システム分野の学識者を集め、社会資本整備の LCA の

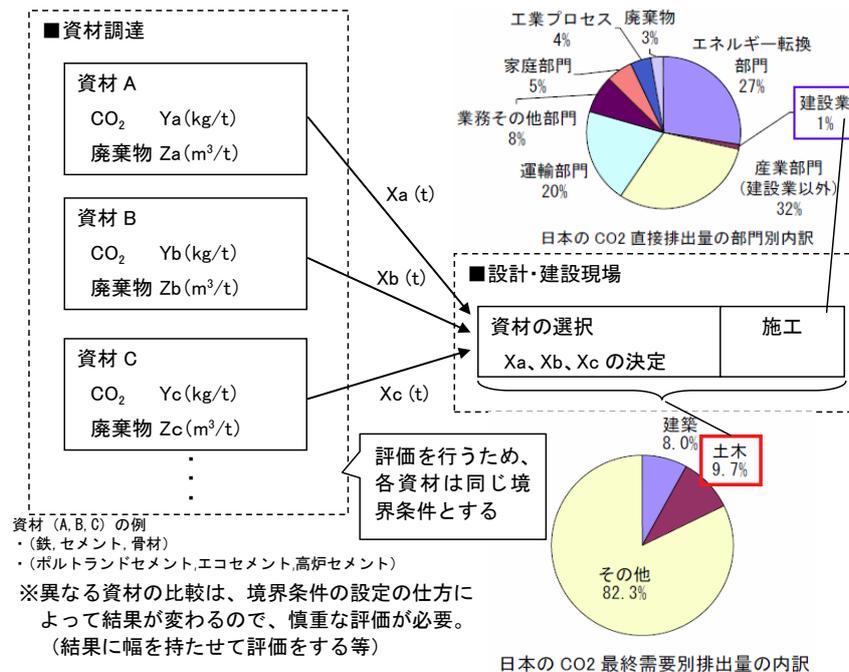


図 16 構造物に用いる資材からの環境負荷を最小化する資材の組み合わせの検討イメージ

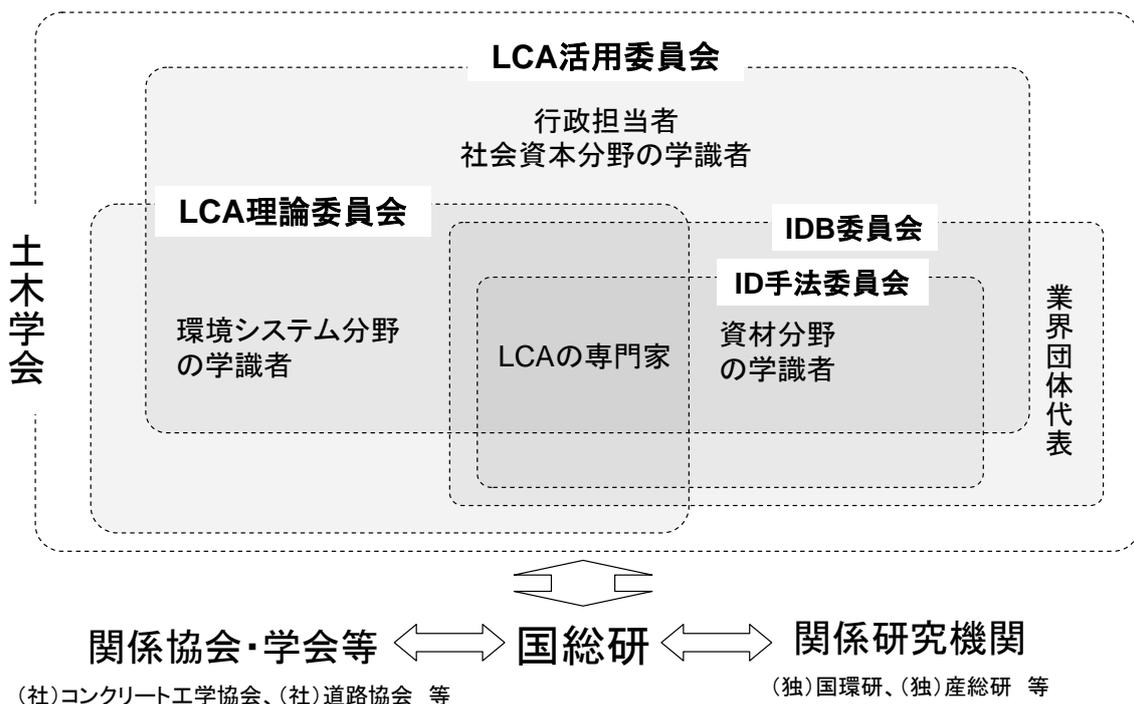


図 17 本研究において設置された委員会等と国総研の関連

- **LCA活用方策検討委員会(座長:筑波大学 石田東生教授)**

  - ・検討内容: LCAを今後どう活用するかについて議論を行う。
  - ・委員構成: LCA理論委員会の一部、社会資本計画分野の専門家、国土交通省各種政策担当で構成
- **インベントリ・データ作成手法検討委員会(座長:東京大学 花木啓祐教授)**

  - ・検討内容: 原単位設定のための境界条件をどう設定するかについて議論を行う。副産物利用の環境負荷について、取り扱いを検討する。影響の大きい主要建設資材について解釈を統一する。
  - ・委員構成: LCA理論委員会の一部、資材分野の専門学識者、国総研で構成
- **インベントリ・データ・ベース作成委員会(座長:国総研 岸田弘之環境研究部長)**

  - ・検討内容: 主要品目についてインベントリ・データ・ベースを作成する。
  - ・委員構成: ID手法委員会委員、業界団体代表で構成
- **LCA理論検討委員会(座長:東洋大学 藤田壮教授)**

  - ・検討内容: 産業連関法と積み上げ法の利点を組み合わせたハイブリッド法(仮称)の開発を行う。グリーン調達の評価基準案を作成する。
  - ・委員構成: 環境システム委員会のメンバー、国総研で構成

図 18 委員会の検討内容及び委員構成

あり方やインベントリ・データ・ベースの対象とする資材の決定方法、社会資本整備に伴う環境負荷量の試算などを検討している。本委員会において今年度は産業連関法と積み上

げ法の利点を組み合わせたハイブリッド法の開発を行うとともに、グリーン調達の評価基準案作成を目指している。ID 手法委員会においては資材分野の学識者を集め、社会資本整備の LCA に適した境界条件の設定などを検討している。本委員会において今年度は、環境負荷原単位設定のための境界条件の設定を主要建設資材について統一的な境界条件となるように注意して進めているところであり、その他に副産物利用の際の環境負荷の取扱いについて検討を行っている。IDB 委員会は ID 手法委員会の委員と業界団体代表によって構成される委員会であり、多様な主体の間で一貫したインベントリ・データ・ベースを構築するための検討がなされており、最終的にこの委員会において主要素材のインベントリ・データ・ベースが作成される見通しである。LCA 活用委員会は社会資本分野の学識者と行政担当者を集め、社会資本整備分野における LCA の活用方法について検討している。

#### 4. 3 委員会における検討の状況

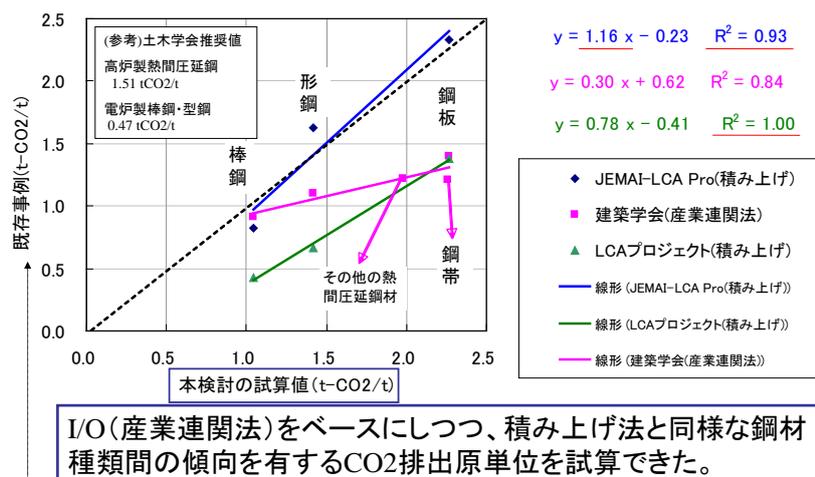
##### 4. 3. 1 これまでの主な検討状況

平成 20 年度における LCA 理論委員会と ID 手法委員会における検討例をそれぞれ、 19 及び  20 に示す。

LCA 理論委員会においては鋼材の既存 CO2 排出原単位と積み上げ法による CO2 排出原単位との比較などを行った。この比較により、産業連関法と積み上げ法によって算出される CO2 排出原単位は定性的に同様の傾向を有することが確認された。

ID 手法委員会においては境界条件設定に際しての課題を取りまとめた。先ず境界条件設定のデフォルト値とする境界の設定について検討した。これによって海外部分も含めた検

理論委員会検討例：鋼材の既存CO<sub>2</sub>原単位との比較



数値の出典  
建築学会は1995年表ベース(国内及び海外消費支出分を引用。流通段階を含む購入者価格分の物量基準)  
LCAプロジェクト(工業会原単位):川上ら,新日鉄技報(2007)  
JEMAI-LCA Pro Option Datapack(産業技術総合研究所 開発)はJEMAI-LCA Pro V.2.1.2による計算

図 19 平成 20 年度 LCA 理論委員会における検討例と指摘事項

## ID手法委員会の検討例

### ■境界設定についての課題

#### (1)境界条件設定のデフォルト値

- ・産業連関法が基本となる境界条件をデフォルト入出力データともに設定する。
- ・海外部分も含めた検討が必要。

#### (2)結合生産(副産物)の環境負荷の配分基準

- 【例.再生資材を利用した改良土】
- ・製品別にCO<sub>2</sub>排出量の按分が必要。(出荷額または出荷量、使用エネルギー)
- 【例.フライアッシュ】
- ・主製品と副産物とでCO<sub>2</sub>排出量の按分が必要。(出荷額または出荷量)

#### (3)循環資源(廃棄物等)の取扱い:①配分

- 【例.ペーパースラッジ】
- ・副産物から製品へのプロセス(有償/無償の境界線)の設定方法が課題。

#### (4)循環資源(廃棄物等)の取扱い:②代替

- 【例.エコセメント】
- ・エコセメントは焼却灰処分量の削減を主目的とした製品(処分費>エコセメント売上)であり、CO<sub>2</sub>排出量削減効果を普通セメントと比較するのは不適切。

#### (5)異なる要素のトレードオフ

- ・異なる要素間でのトレードオフが発生する場合がある。

図 20 平成 20 年度 ID 手法委員会における検討例と指摘事項

討が必要であることが確認された。結合生産（副産物）の環境負荷の配分基準や循環資源（廃棄物等）の配分方法や代替物の評価手法においては製品別や主製品・副産物間でのCO<sub>2</sub>排出量の按分が必要であることが指摘された。循環資源の取扱いに関しては、副産物受入において有償/無償のそれぞれの取引で境界の設定方法が重要になる可能性がありさらに検討が必要とされたほか、エコセメントのように廃棄物削減とCO<sub>2</sub>排出量削減がトレードオフの関係にある製品の取扱いが課題と考えられた。さらに環境負荷と費用のトレードオフや環境負荷間のトレードオフについても検討を行った。

### 4. 3. 2 今後の課題

今後の課題について図 21 に示す。主な論点の例として以下がある。まず、LCA の計算を行うためには手間と費用が必要になるが、必要な精度に応じて手間と費用を削減できるような LCA 制度にしなければならない。次に、現在再生材の環境負荷については様々な解釈が存在しており、これが再生材の利用に混乱をもたらしている。再生材の環境負荷の設定については社会全体として利用を促進する方向で設定する。環境分野の技術革新は日進月歩であり、この急速な技術の進展に対応するためデータ更新を念頭に置いた IDB の開発を行う。社会資本整備には様々な関係者が携わっており、これらの関係者の協力なしには持続可能な社会資本整備を実現することはできない。こうした関係者とどういった協力体制を築いていくかについても検討を行っている。

## ■ 今後の課題

- ・社会資本整備へのLCAの適用方策の検討
- ・制度化の重要課題である「必要な精度と簡便さのバランス」を検討
- ・再生材の環境負荷の取り扱い
- ・データ更新が可能なIDB作成手法
- ・関係団体との協力

## 今後のLCAの活用方法・バランスの確認にむけて

—各ライフ・ステージの構造物からの環境負荷の比較—

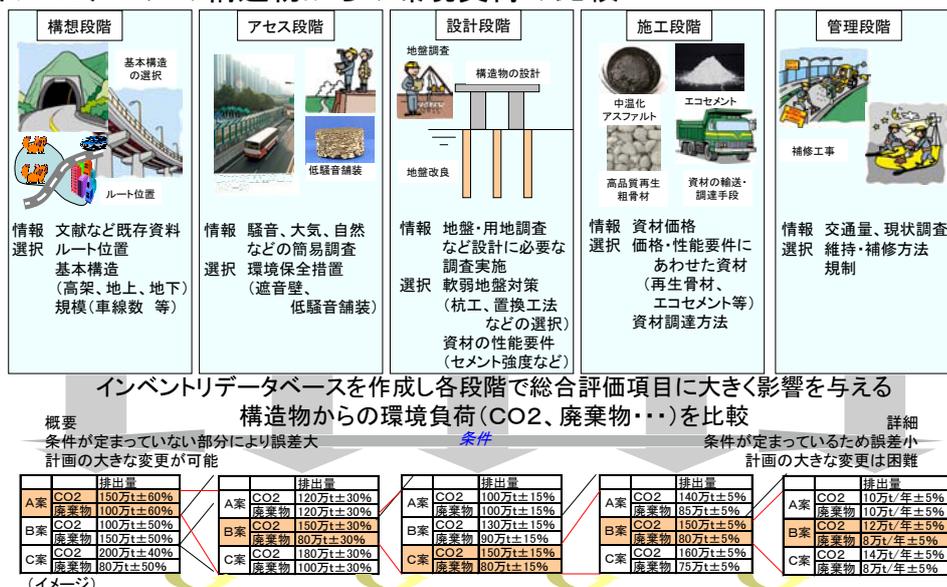


図 21 今後の検討課題

## 5. おわりに

本稿では社会資本整備の LCA に向けて、本研究の背景動機や研究における検討状況について報告した。研究の途中で十分に方向が定まっておらず明確な説明をおこなうことができない面があったが、これからの環境評価手法として大きな可能性を含んでいる研究ということがより多くの方々に参考になれば幸いである。

本研究では今までに委員会の委員である学識者や研究者をはじめとして業界団体関係者や行政関係者など、大変多くの方々にご指導・ご協力を頂いていることに対して、紙面をお借りして謝意を表します。今後、本研究を更に進めていくためにはこれまで以上に多くの方々のご指導とご協力が必要だと認識しており、学会・関係機関等との連携をより深めながら、より分かりやすい、そして使いやすい「社会資本の LCA」を開発できればと考えています。

本研究は平成 22 年度に終了する予定ですが、終了時には分かりやすく使いやすい社会資本 LCA 手法の成果を出すべく鋭意取り組んでいく所存です。

# 下水道による地球温暖化適応と安全で美しい水環境の実現

下水道研究部長

清水 俊昭

はじめに

国総研下水道研究部では下水の高度処理や再利用あるいは下水汚泥の処理処分に関する技術の研究を行っており、①安心して暮らせる生活環境を実現するために必要な、下水処理水や汚泥の安全性・快適性を確保すること、②美しく良好な環境の保全と創造を実現するために必要な、環境質を低下させる汚濁を除去し規制すること、③地球環境への負荷軽減のために必要な、温室効果ガス排出量を削減することや、地球温暖化に伴う気候変動に適応するために必要な、水の循環利用に関すること、④国際的な水環境保全のための技術援助のため、国際的な支援プロジェクトに参加すること、⑤新に開発された下水処理技術を根幹的な下水処理技術として政令に定めるために必要な評価を行う委員会の事務を取り扱うことなどを実施している。本日は、これらのうち①～③に関する主要な調査研究成果を通じて、最近の下水処理を巡る技術の状況等を報告する。

1. 地球温暖化と下水処理

地球温暖化は人類の化石燃料消費に伴い、地球規模で炭酸ガスバランスが崩れたことによって引き起こされた現象であり、これを防止するためにはエネルギーの化石燃料依存から脱却しなければならない。また、緊急かつ大幅な温暖化ガス発生量削減を達成する過程では、相当なエネルギー消費量削減が必要であると考えられている。

下水処理は都市の公的部門において消費するエネルギーのうち比較的大きな部分を占めており（図-1.1）、処理に伴って排出される温室効果ガス発生量も多く、その削減は重要な

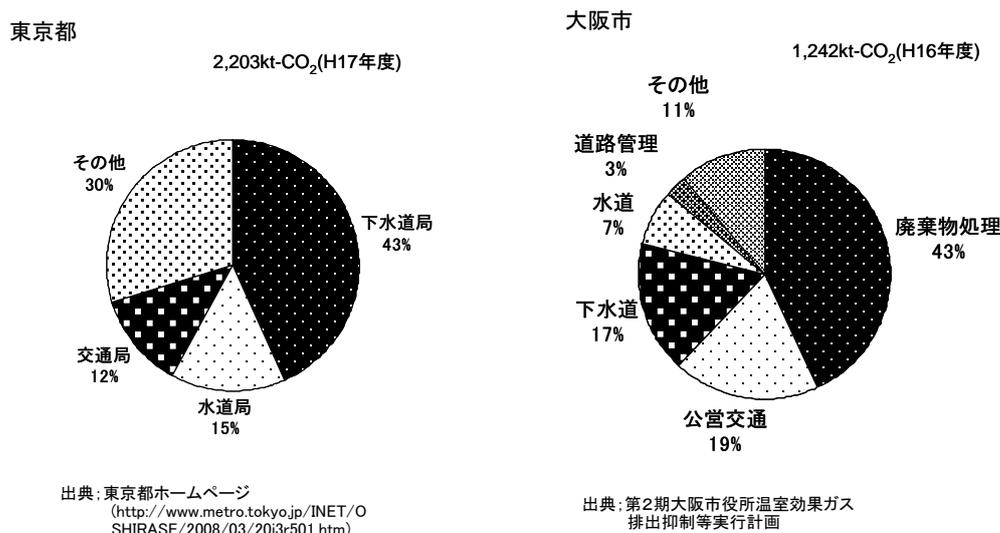


図-1.1 都市の事務・事業から排出される温室効果ガスの例

課題である。下水処理における温室効果ガス削減のための様々な試み（省エネ機器への切り替え、汚泥消化ガスの有効利用、小水力発電、汚泥の燃料化、自然エネルギーによる発電、等）が行われている。下水処理や汚泥処理を行う際に下水に含まれる有機物が分解されることによって発生する二酸化炭素については、カーボンニュートラルとして、温室効果ガス発生量には含まれないことになっているが、同時に発生するメタンや亜酸化窒素が、そのまま大気放出されると、温室効果ガスとしてカウントされることになっている。これらのガスは二酸化炭素への換算係数が大きいため、発生量自体は少なくとも二酸化炭素に換算した下水処理全体の温室効果ガス発生量に占める割合は無視できない大きさになっている（図-1.2）。とりわけ、亜酸化窒素は換算係数が310倍と大変大きく、主な発生源

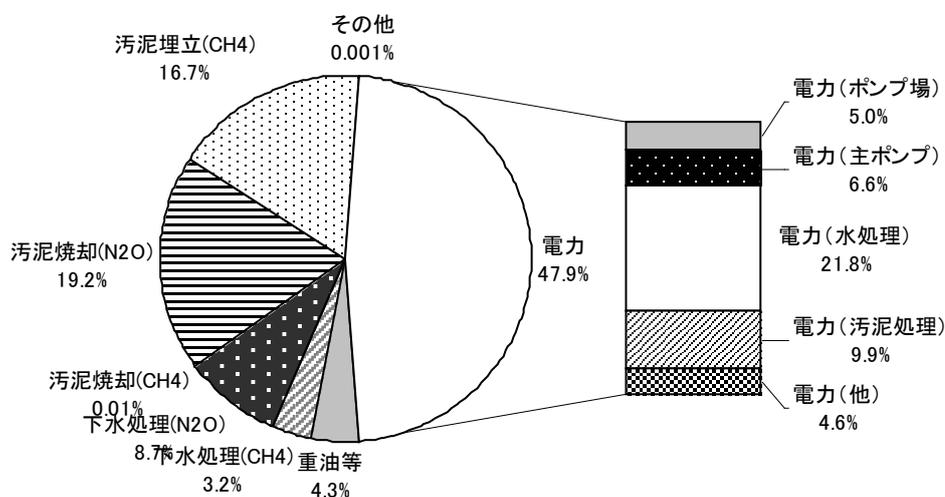


図-1.2 下水道事業における温室効果ガス排出割合の例 (CO<sub>2</sub>換算の比率) <sup>1)</sup>

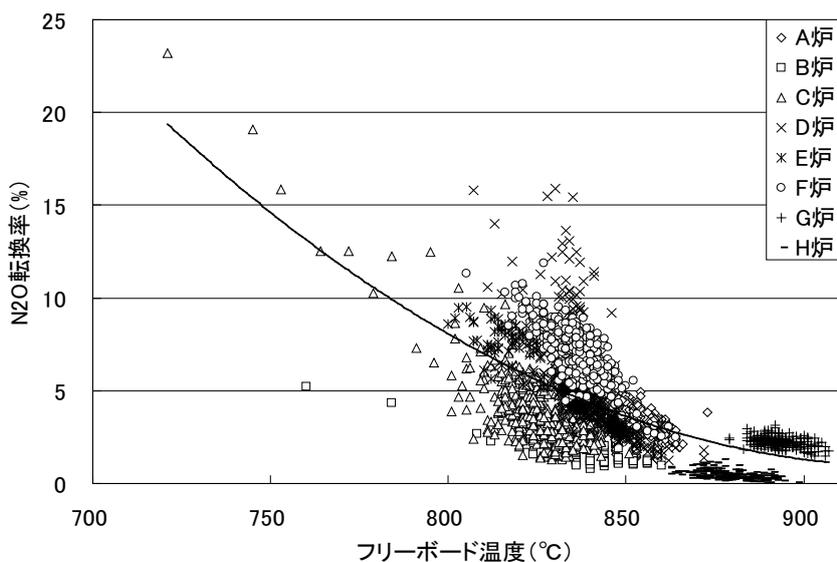
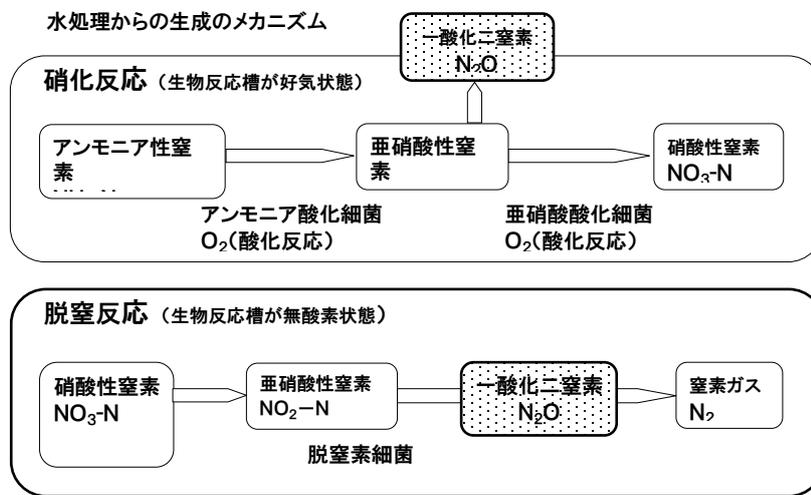


図-1.3 流動床型焼却炉フリーボード温度と N<sub>2</sub>O 転換率の関係 <sup>2)</sup>

である汚泥焼却炉やエアレーションタンクでの発生量削減が必要と考えられている。

亜酸化窒素発生源のうち汚泥焼却炉からの発生抑制については燃焼温度制御による方法が効果的であること（図-1.3）が当研究部の調査などにより判明しており、既に対策が進められている。一方、エアレーションタンクからの亜酸化窒素ガス発生量については変動が激しく、発生原因も複数あって（図-1.4）、その機序がよく解明されておらず、適切な制御方法は未だ見つかっていない。下水道研究部では、「下水道施設における温暖化対策に関する調査」の課題の下で、活性汚泥処理工程で発生する亜酸化窒素の排出機序に関する解明と、排出抑制策及び窒素の処理水準に応じた亜酸化窒素排出量原単位の提案に関する技



反応槽における $N_2O$ 発生量の経時変化の一例

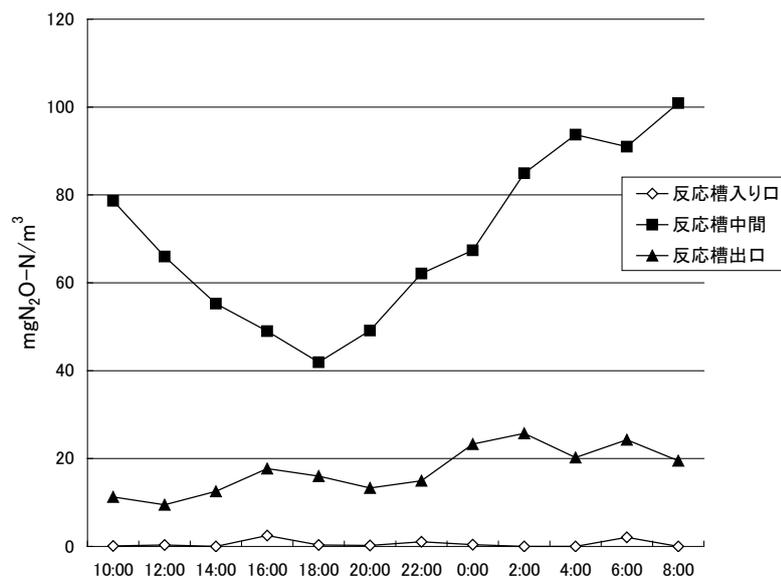


図-1.4 下水処理における $N_2O$ 発生要因と変動<sup>3)</sup>

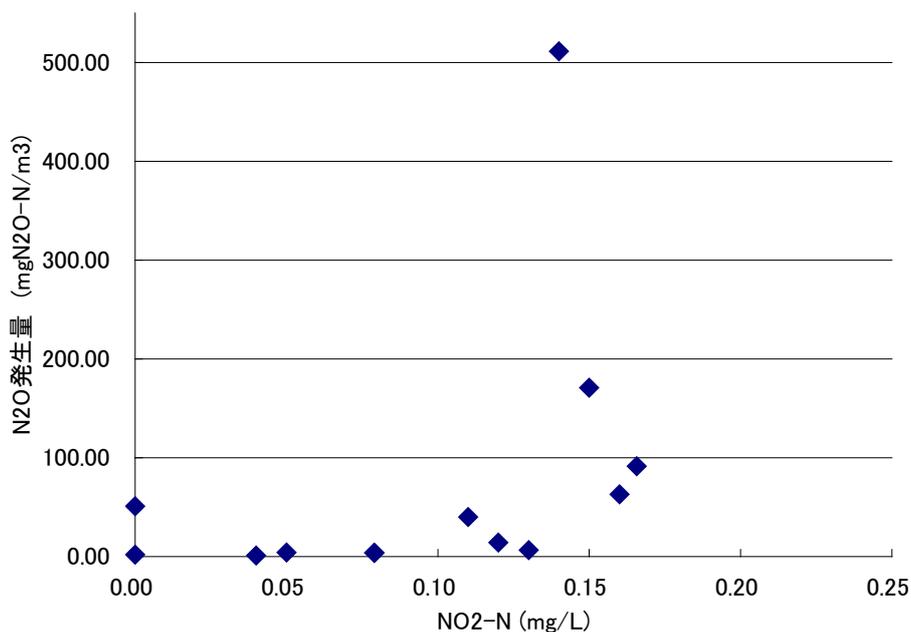


図-1.5 処理水中の亜硝酸性窒素濃度と N<sub>2</sub>O ガス発生量の関係

術的検討を進めており、特に生物反応タンクにおける硝化反応との関係に注目して、発生率削減手法の検討を進めている。現在までのところ、硝化が100%進行する状況や全く硝化が起こらない状況では亜酸化窒素の発生率は低いことが明らかになっており(図-1.5)、様々な流入変動を受ける施設内でどのような制御を行えば確実に発生率を抑制することができるか検討を進めている。

地球温暖化の進行に伴う気候変動の影響として、日本では降水状況が極端化し、豪雨と渇水の頻度が増加すると考えられている。このような気候変動の影響のうち、渇水の頻発に対する適応策として、都市内で水の循環利用や節水を推進し、都市用水の取水量を減らして利水安全度を高めることが必要である。水の循環利用には、個別あるいは一地区の建物内で行う個別・地区循環と、下水道と中水道を介して行う広域循環があり(図-1.6)、水の需給が逼迫している福岡、東京、千葉、神戸、高松などでは下水処理場から再生水を中水道で供給する広域循環利用が行われている。当研究部では、下水処理水の再利用に関わる基準等(表-1.1)の整備をすすめ、水の循環利用推進を支援して来ている。

このような循環利用を行うことは、また、水の輸送に関わるエネルギーの削減や閉鎖性水域に排出される汚濁負荷量削減に関わるエネルギーの削減を通じて、水利用に関わる温暖化ガス排出削減に寄与できる可能性があり、現在、実態調査を行っている。表-1.2は平成20年度に実施した水の循環利用に関わる地球温暖化ガス発生率調査の結果である。この調査は循環利用に伴う部分だけを抽出したものであるが、調査対象施設間で再生水1m<sup>3</sup>の利用に係る温室効果ガス発生量には大きな違いがあり、利用の形態や利用状況によって

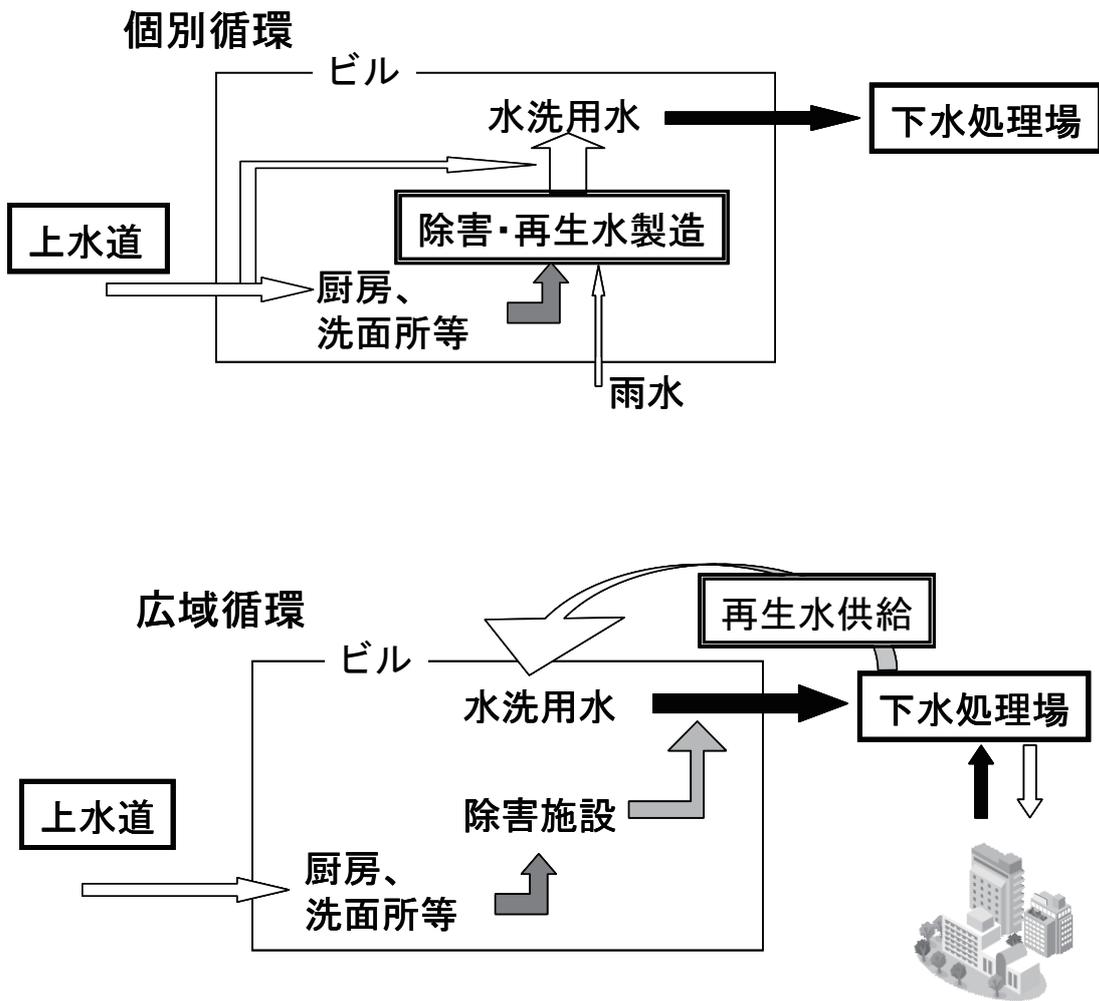


図-1.6 水循環利用方式（個別循環と広域循環）

表-1.1 下水処理水の再利用に関わる基準等

主な再生水利用基準等の名称	制定年次
下水処理水循環利用技術指針（案）	1981（昭和56）年
下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）	1990（平成2）年
下水処理水の再利用水質基準等マニュアル	2005（平成17）年

表-1.2 循環利用施設のCO<sub>2</sub>発生率 調査結果 (2008年度)

方式	施設	規模 (m <sup>3</sup> /日)	生物 処理	膜処理	ろ 過	オ ゾ ン	活 性 炭	凝 集 沈 殿	そ の 他	平均 稼働 率 (%)	再利用 CO <sub>2</sub> 発生率 (kg/m <sup>3</sup> )
広域	A	1600	有			有		有		9	2.86
広域	B	7200			有	有		有		73	0.77
広域	C	7900	一部有	一部有	有	有				44	0.96
広域	D	5000			有	有				45	0.40
個別	E	780	有		有					36	2.43
個別	F	397	有		有				有	58	0.40
個別	G	120	有		有		有			65	0.84
個別	a	950			有		有			56	1.22
個別	b	50	有		有					127	0.70
個別	c	88		有			有			49	0.33
個別	d	153	有		有		有			15	2.67
個別	e	719			有					40	0.09
個別	f	1,589		有	有				有	18	3.75
個別	g	2,822	有	有			有			92	1.40
個別	h	1,051			有		有			75	1.10

注) 広域の算定対象は再生処理施設(通常の下水処理分を除く)と利用先までの配水施設。個別循環の算定対象は再生処理施設(除害施設のうち再利用相当分含む)で、建物内配水のための施設及び汚泥処分を含まない。

は上水道の平均的なライフサイクル温室効果ガス発生率より高い数値となっており、温暖化ガス発生率の削減に寄与できない場合もあることが判明した。

今後は、水の循環利用に係わるシステム全体としてのライフサイクルエネルギー及び温室効果ガス発生率についての調査を進め、効果的な下水処理水再利用手法を明らかにするため、安全性を含む総合的な見地から検討を進めることとしている。

## 2. 再生水利用と下水処理の高度化

下水処理水を再利用するためには、再利用の用途別に必要とされる水質を確保するために、ろ過をはじめとする高度処理を付加するが多い。平成17年に定められた再生水を都市用水として利用する場合の用途別基準は、表-2.1に示す通りであり、各々の用途毎に示された代表的な処理方法と同等以上の高度処理を付加することによって、必要な水質が確保される。この様な処理の高度化は、利用用途における機能上の必要性とともに利用

表-2.1 再生水利用に関する水質基準等及び施設基準

	基準適用箇所	水洗用水	散水用水	修景用水	親水用水
大腸菌	再生処理施設出口	不検出 <sup>1)</sup>	不検出 <sup>1)</sup>	備考参照	不検出 <sup>1)</sup>
外観		不快でないこと			
濁度		2度以下(管理目標値)			2度以下
色度		— <sup>2)</sup>	— <sup>2)</sup>	40度以下 <sup>2)</sup>	10度以下 <sup>2)</sup>
臭気		不快でないこと <sup>3)</sup>			
pH		5.8~8.6			
残留塩素	責任分界点	(管理目標値) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合 残留塩素 0.4mg/L 以上 <sup>4)</sup>	(管理目標値 <sup>4)</sup> ) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合 残留塩素 0.4mg/L 以上 <sup>5)</sup>	備考参照 <sup>4)</sup>	(管理目標値 <sup>4)</sup> ) 遊離残留塩素 0.1mg/L 又は結合 残留塩素 0.4mg/L 以上 <sup>5)</sup>
施設基準		砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること。	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること。	砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること。	凝集沈殿+砂ろ過施設又は同等以上の機能を有する施設を設けること。
備考		1) 検水は100mlとする(特定酵素基質培地法) 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 供給先で追加塩素注入を行う場合は個別の協定に基づくこととしても良い	1) 検水は100mlとする(特定酵素基質培地法) 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない 5) 供給先で追加塩素注入を行う場合は個別の協定に基づくこととしても良い	1) 暫定的に現行基準(大腸菌群数1000CFU/100ml)を採用 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上乗せ基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 生態系保全の観点から塩素消毒以外の処理を行う場合があること及び人間が触れることを前提としない利用であるため規定しない	1) 暫定的に現行基準(大腸菌群数1000CFU/100ml)を採用 2) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて上乗せ基準値を設定 3) 利用者の意向等を踏まえ、必要に応じて臭気強度を設定 4) 消毒の残留効果が特に必要ない場合には適用しない 5) 供給先で追加塩素注入を行う場合は個別の協定に基づくこととしても良い

者の感覚的快適性や給配水施設を含む設備機能保全上の要求を満足するために行われる。そのため、公共用水域の水質保全を目的として栄養塩類除去等を行う一般的な高度処理とは目的を異にする項目（例えば、色度）があり、付加処理の内容が栄養塩類除去を目的とする下水処理の高度処理化とは合致しない場合がある。農業用水、工業用水、流・融雪用水あるいは環境用水として利用される場合は、利用先の要求にあわせて水質が設定されることになるため、水質基準・施設基準は定められていない。

再生処理のために付加される高度処理は砂ろ過が一般的である。さらに色度改善のためにオゾン処理をおこなうこともしばしば行われる。一方、栄養塩類除去等を目的とする高度処理では、嫌気好気法、循環式硝化脱窒法、嫌気無酸素好気法など活性汚泥法の様々な変法と後段に砂ろ過を組合せる場合が多い。したがって栄養塩類除去のための高度処理が行われていると、再生水質が向上するだけでなく、再利用のために新たに砂ろ過施設を設ける必要がない場合が多く、少ない費用で放流水を再生水に転用できることになると考え

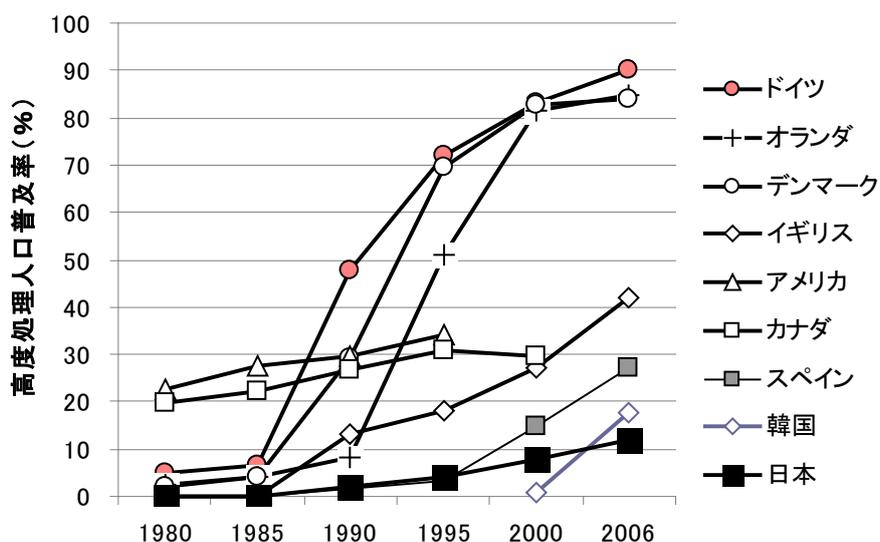
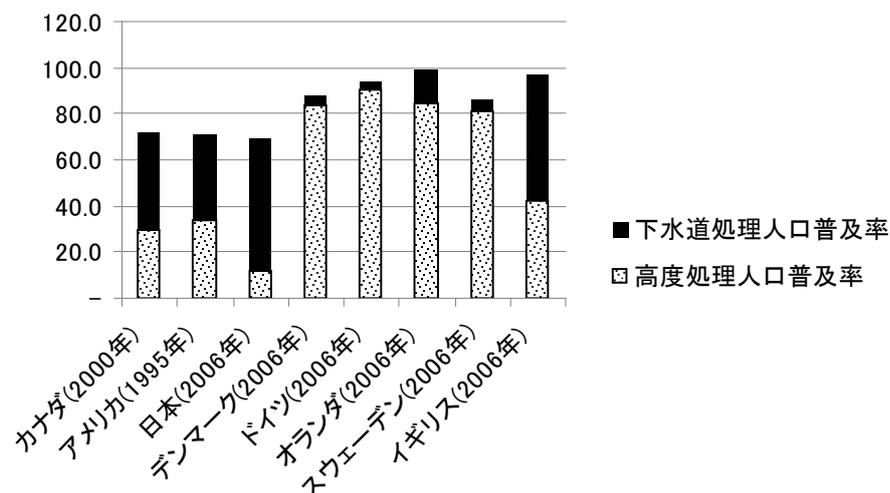


図-2.1 OECD 諸国の下水処理・高度処理普及率<sup>6)</sup>

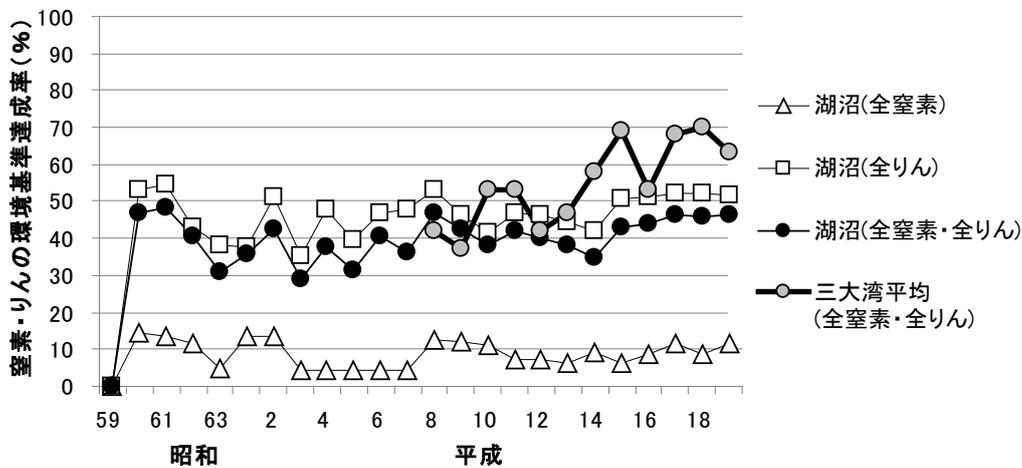
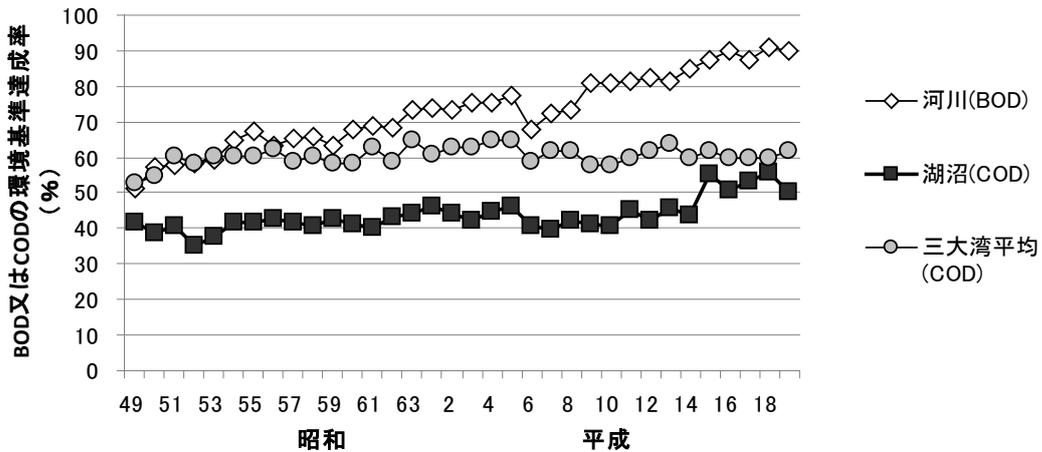


図-2.2 水域環境基準達成状況の推移<sup>7)</sup>

られる。

現在、下水処理の高度化は、主として、湖沼・内湾など閉鎖性水域のうち窒素・りん的环境基準が設定された水域にあって、流域別下水道整備総合計画（流総計画という）が策定された区域内にある下水道終末処理場において、流総計画で定められた放流水質基準を達成するために実施されている。高度処理が必要な流域は人口が集中する3大湾と瀬戸内海を含んでおり、高度処理化が必要な人口は約8千万人（総人口に対する割合は約62%）に上る。2007年時点における高度処理の人口普及率は15.7%にとどまっており、2004年にOECDがとりまとめた欧米先進国の高度処理普及率と比較するとかなり立ち後れている（図-2.1）。その結果、河川等におけるBODを指標とする環境改善率と比較すると、湖沼および海域の環境改善率は進んでいないのが現状である（図-2.2）。

この様に我が国の高度処理普及が進まない理由としては、次のような原因が考えられている。第一に、3大湾や瀬戸内海に面した多くの都市では、人口密度が高く、高度処理化

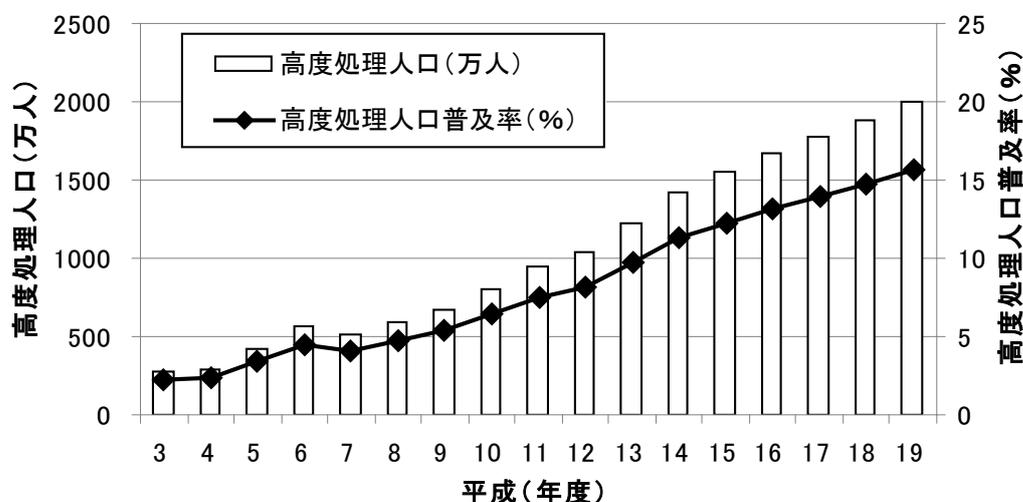


図-2.3 我が国の高度処理普及状況の推移<sup>8)</sup>

に必要な用地確保が困難である。第二に、既存施設を高度処理施設に改築する際に一旦休止することになる施設が受け持つ下水処理機能を代替するための施設を確保することが困難である。第三に、これらの地域では合流式下水道で整備されている処理区も多く、雨天時放流水質改善のための施設整備が必要であること、古い施設が多く耐震性強化や老朽化した管渠の更新が必要であること、等々、多くの課題を抱えており、高度処理化も同時に進めることは財政的に困難である。

これらの課題に対して行財政面で支援が行われてきているが、高度処理人口普及率の進展は年率1%台にとどまっているのが現状である(図-2.3)。

### 3. 膜処理の推進

昨今長足の進歩を遂げた膜処理技術を適用することによって、前章で述べた高度処理の普及を阻む課題のうち、第1の用地問題と、第2の改築工事中の処理能力確保問題については抜本的な解決が可能であり、第3の財政的な課題についても建設費削減によって相当軽減を図ることができると考えられている。それは以下のような膜処理技術～特に膜分離活性汚泥法～の適用によるものである。

下水処理への膜処理技術の適用は、主として次の2つの方法によって行われる。

第一は膜分離活性汚泥法(以下 MBR という)によるもので、活性汚泥を重力沈降で固液分離する代わりに膜で分離し、機能改善を図るものである。

第二は逆浸透膜(以下 RO 膜という)処理によるもので、溶解性物質を含むほとんどの成分を取り除くことができる RO 膜によって、上記の MBR 処理水等を処理し、飲用も可能

な極めてきれいな水を取り出すものである。

MBR は主に下水処理の様々な高度化手法として適用され、RO 膜処理は高度な再利用のための処理法として適用される。

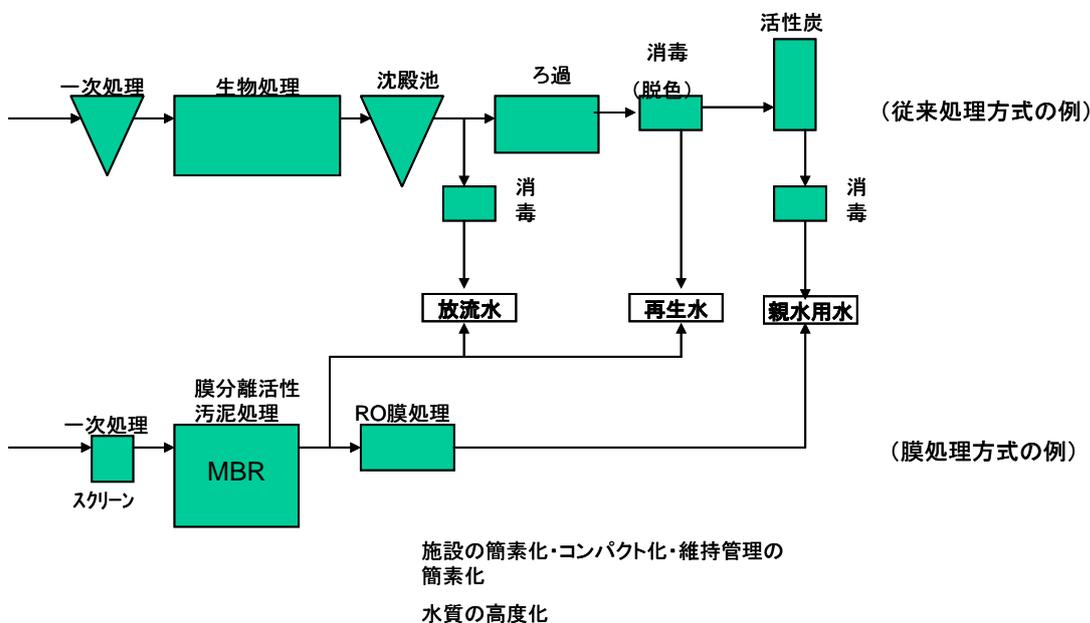


図-3.1 従来方式による高度処理・再利用と膜処理技術適用の場合との比較<sup>9)</sup>

図-3.1は MBR を適用した高度処理施設フローと従来の方法によるものとを比較したものである。MBR を適用すると、下水処理のために必要な沈殿池等の水槽の数が少なくて済み、再利用のための処理フローも簡略化される。その結果、必要な敷地面積と建設費が減少する。また、副次的な効果として維持管理作業も少なくなり、かつ、簡略化されることから、維持管理の省力化を図ることができる。さらに、MBR では沈殿池に代わって膜で固液分離が行われることから、反応タンク内の微生物濃度の範囲を最大2%程度まで高めることができる。従来の活性汚泥法～重力による固液分離～では高々0.4%までであったことと比較すると、大幅に高濃度の活性汚泥を使用することができる。その結果、タンク内の微生物量と処理時間で決まる反応タンクの処理能力を、従来の活性汚泥法より数倍以上に高めることができるようになり、反応タンクの小型化の他、既存反応タンクの処理能力強化と窒素除去や窒素・りん同時除去などの高度処理化とを同時に達成するといった、従来は不可能に近いと考えられていたことも可能であると考えられるようになった。

このように、MBR を適用することによって、前章で指摘した高度処理化を阻んでいる障害の一つである、拡張用地不足の問題は、それ自体が不要になると云うことで解消できることになる。第二の問題として指摘した、改築工事に伴って休止する系列の処理機能をどの様に代替するかということについては、改築しない系列に暫定的に膜分離装置を設置し

て高濃度活性汚泥処理系列とし、これに休止系列分と併せた水量の処理を受け持たせることによって解決できる。また、このような対応を通じて、高度処理化のための用地費や建設費は相当削減されて、自治体の財政負担を軽減することができ、第三の財政上の困難に関する点にもこれを緩和する効果は十分にあると考えられる。

このような多くの利点を有すると考えられる MBR であるが、我が国の導入事例は全て小規模な新規施設であり、必ずしも閉鎖性水域の富栄養化防止のための栄養塩類除去が必要な施設ばかりではなく、また、既存施設の改築のために導入されたものでもない。これらの小規模施設では放流先が溪流や景勝地であって、その水環境を汚染しないため、また、小規模な自治体で維持管理は極力簡略化できることが望ましいこと等の理由により、MBR が選定されたものである。これらの既存 MBR 施設による下水処理の状況について、代表的な事例を紹介する。

MBR に用いられる膜は精密ろ過膜 (MF) もしくは限外ろ過膜 (UF) であり、下水処理用の MBR では、公称孔径  $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$  程度の MF 膜が多く使用されている。図-3.2 は、国内で用いられている MBR 用膜ユニットの例で、図-3.3 は、この膜を使用している処理施設の水処理状況を示したグラフである。活性汚泥処理方式は循環式硝化脱窒法 (循環率約 200%、図示期間の平均処理時間は12 時間) で、BOD $5\text{mg/l}$  以下、SS $1\text{mg/l}$  (定量下限値) 未満、T-N $10\text{mg/l}$  以下、大腸菌群数 30 個/ml (定量下限値) 未満である。



図-3.2 MBR 用膜ユニットの例<sup>1 0)</sup>

この様に膜を使用する MBR では、処理水中に SS がないことに加え、大腸菌群などの細菌類もほとんど含まれていない。したがって、MBR 処理水は、直接、修景用水等に利用することができ、再利用のための付加的な高度処理の幾つかを省略することができるので、MBR を導入した場合は再利用のための費用が少なくて済むことになる。また、親水利用など、人が直接触れることを前提とした用途に再生水を利用する場合は、ウイルスや色度を除去するため、RO 膜処理が行われるが、その場合は前処理として、凝集ろ過処理またはこれに代わる精密ろ過処理を行うことが必要である。MBR 処理水では、この様な RO 膜処理における前処理もほとんど必要ないものと考えられている。

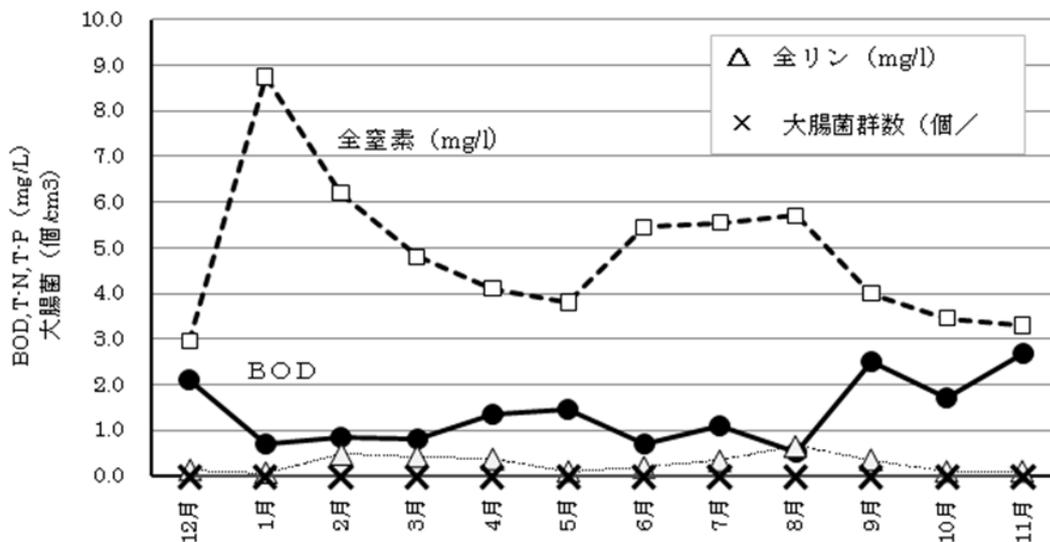


図-3.3 MBR 施設の処理水質の例

MBR の技術上の課題は、消費エネルギーが多いとされることであり、その軽減を図るための研究開発が民間企業を中心に行われている。また、大規模な施設では多数の膜ユニットが運転されることになるため、その管理を如何に効率よく行うか、ということも、今後の課題の一つである。

課題も残されているとは云え、多くの利点を有する MBR の普及を推進するため、MBR を下水道法施行令に規定する処理技術の一つとして定める作業が進行中である。これによって、MBR は安心して使える汎用的下水処理技術として採用が公認されることになり、現在はその導入にあたって必要とされる技術評価等に係る負担を省略することができる。下水道研究部では国土交通本省と協力し、一般評価を行う水処理技術委員会の事務局として MBR の一般評価のための作業を行っている。また、MBR 等膜処理技術の下水道への普及促進を図るため国土交通本省が立ち上げたプロジェクト～A-JUMP～の主体である下水道膜処理技術会議の活動を事務局として支援している。膜処理技術会議では、MBR 施設を初めとする膜処理技術の導入を地方自治体が計画・検討し設計業務を発注するなど一連の業務を行う際、役立つであろうと考えられる技術ガイドラインの整備を行うこととしている。A-JUMPで行われる膜処理技術の実証実験結果も、その中に反映される予定である。

#### 4. 再生水利用の安心・安全

下水は糞尿に汚染された水であり、その処理水中には様々な汚濁成分や感染症の原因微生物が残留している可能性がある。下水処理水の再利用は渇水対応力を高める上で重要な技術であるが、これら人の健康に有害な物質や微生物の残留量を安全・安心な水準まで引き下げることが必要不可欠な条件になっている。

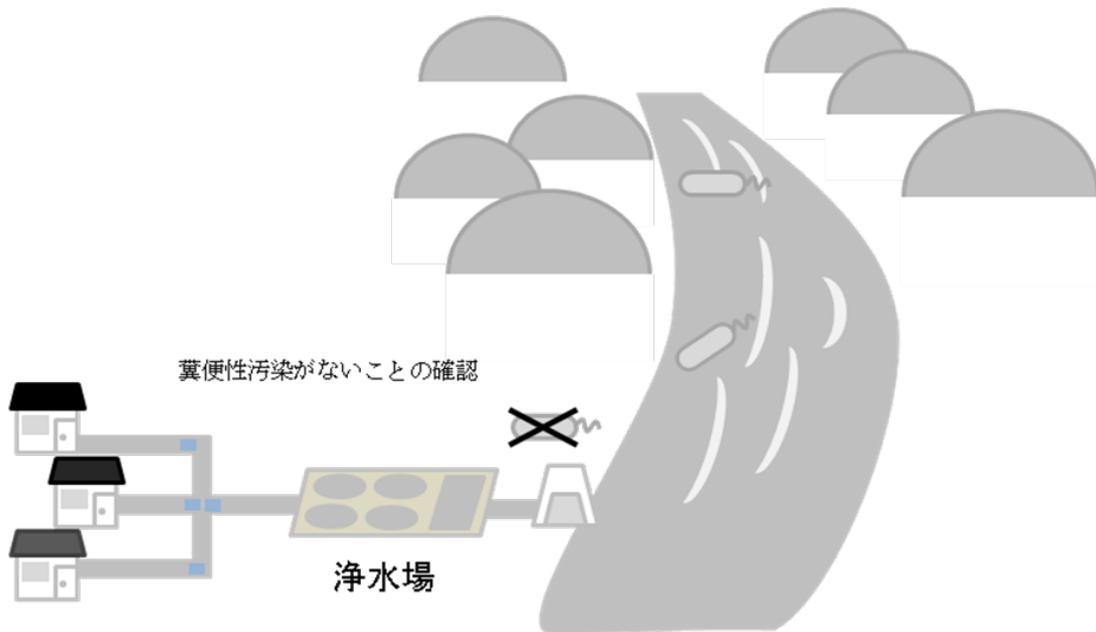
表-4.1 主な水系感染症の病原体

細菌	コレラ菌
	赤痢菌
	病原性大腸菌
	サルモネラ菌
ウイルス	ノロウイルス
	アデノウイルス
	ロタウイルス
	A型肝炎ウイルス
原虫	クリプトスポリジウム 等

表-4.2 大腸菌・大腸菌群 とは

大腸菌	主として人やほ乳類の腸内に生息するグラム陰性、無芽胞の短桿菌。一部の <big>大腸菌</big> に病原性がある。
大腸菌群	上記の大腸菌に加え、その他の <i>Escherichia</i> 属、及び <i>Citrobacter</i> 属、 <i>Enterobacter</i> 属、 <i>Klebsiella</i> 属等を含む。乳糖を分解して酸とガスを産生する好気性あるいは通性嫌気性細菌の総称。

水中の病原微生物として衛生学的に問題になるものは、コレラ菌、赤痢菌など、ほとんどが糞便と共に排出されるものであった（表-4.1）ことから、その指標として、糞便に常に高濃度で含まれる大腸菌(群)（表-4.2）が用いられている。大腸菌(群)が含まれなければ糞便による汚染が無く、したがって、その水は安全であるとの推論によるものである。



図－4.1 糞便汚染の確認

表－4.3 安全性の指標としての大腸菌・群の例

水道	大腸菌： 検出されないこと
公衆浴場	大腸菌群数 原湯・原水・上り用湯・上り用水： 不検出/50mL 浴槽水： 1 個/mL 以下
水浴場	糞便性大腸菌群数 水質 AA： 不検出(検出限界 2 個/100mL) 水質 A： 100 個/100mL 以下 水質 B： 400 個/100mL 以下 水質 C： 1000 個/100mL 以下 不適： 1000 個/100mL を超えるもの
プール	大腸菌： 検出されないこと

表-4.4 下水処理法と処理水中に残留する大腸菌群数

処理方式	平均値	最大値	最小値
標準活性汚泥法 n=18	193	617	20
嫌気無酸素好気法 n=1	169	—	—
長時間エアレーション 法 n=1	161	—	—
OD 法 n=5	130	166	90
高度処理 OD 法 n=3	61	95	32
回転生物接触法 n=1	487	—	—

表-4.5 下水処理水・再生水の大腸菌・群の基準

下水処理水		大腸菌群数	3000 個/ml 以下
再生水	水洗用水	大腸菌	不検出/100ml
	散水用水	大腸菌	不検出/100ml
	修景用水	大腸菌群数	1000 個/100ml 以下
	親水用水	大腸菌	不検出/100ml

表-4.6 代表的な下水の消毒法

塩素消毒	細菌の細胞を変化させたり、SH 系酵素に作用しこれを酸化させるなど細菌の正常な生活を阻害させる作用があると考えられている。次亜塩素酸ナトリウム、液化塩素、固形塩素などが使用される。
紫外線消毒	DNA、RNA が光化学反応によりチミンダイマーを形成し、複製機能を失うことで不活化させる。
オゾン消毒	細胞質など原形質への直接破壊。ウイルスに対しては直接 DNA、RNA を切断・損傷させ不活化させる。

下水の場合は常に糞便が含まれているので「糞便汚染のないこと」(図-4.1)を示す指標ではなく、処理水の放流や再生水利用に際し、安全であることを示す指標(表-4.3)として用いられている。表-4.4は下水処理法と処理水中に残留する大腸菌群数との関係を例示したもので、処理レベルが高くなると処理水中の大腸菌群数も低下することが示されている。下水処理水や再生水中の大腸菌群数の基準は表-4.5に示す様な値となっており、処理水中に残留するレベルとは異っている。下水処理水の放流や再利用では、この差を消毒などの処理を加えることによって基準に適合させている(表-4.6)。

上記の現状から、再生水の安全性を巡る課題としては次の2点が考えられる。

① 糞便が含まれないかどうかの指標を、糞便が含まれている水の安全性の指標としてよいか？（図-4.2）

② 下水処理や消毒の効果は大腸菌群数で評価してよいか？（図-4.3）

①は従来、水系感染症の原因であった病原菌については適当であると考えられて来たが、下水処理水に関する定量的な検討は我が国では十分に行われて来なかった。図-4.4は下水処理水（消毒前）に含まれる大腸菌・群とサルモネラ菌（代表的な食中毒原因生物の一つ）の関係についての一例である。大腸菌・群との相関性が認められ、下水処理水中の病原細菌の量は、大腸菌・群の量の多少で判断できるものと考えられる。したがって、大腸菌・群を水系感染症原因菌の指標とすることは適当と考えられる。

②はウイルスや原虫の様な細菌とは異なるグループに属する病原微生物を含む下水を、処理して再利用する場合、大きさや性質の違い等があるにも関わらず、ウイルスや原虫が大腸菌・群と同程度に除去されていると考えて良いか、ということである。

病原微生物は大きさが数 $\mu\text{m}$ 以下であるものがほとんどであり、単体では沈殿せず、除去するためには沈殿以外の有効な作用がなければならない。

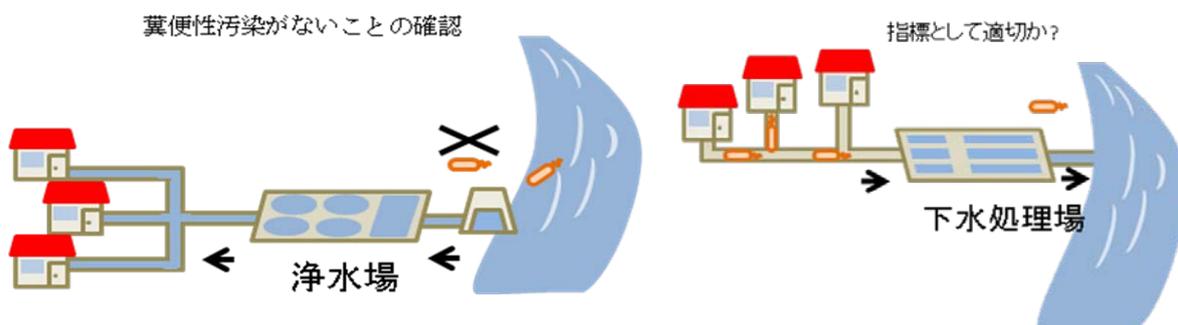


図-4.2 安全性の指標として適切か？



図-4.3 下水処理・消毒効果の指標として適切か？

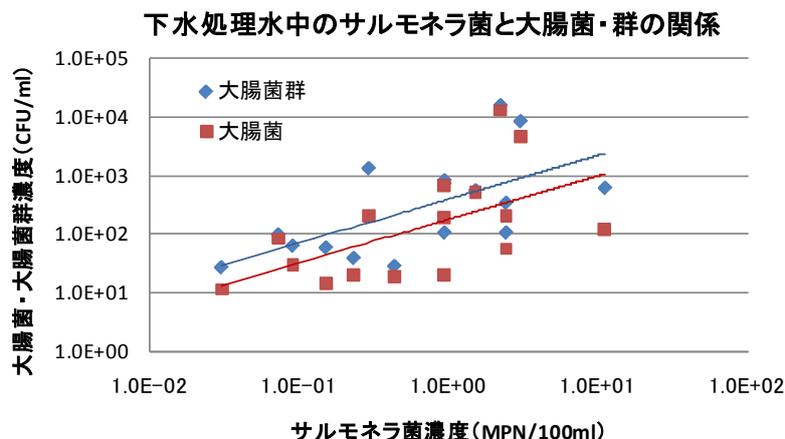


図-4.4 消毒前下水処理水中の大腸菌群とサルモネラ菌の関係

下水処理過程で病原微生物の除去に有効な作用としては、ふるい、凝集・付着、吸着、捕食、変質・分解などが考えられる（図-4.5）。これらの作用のうち、活性汚泥処理を行っている処理場では、凝集・付着、吸着、捕食の作用によって汚泥中に移行していると考えられる。消毒処理では塩素、紫外線、オゾンなどの消毒剤により微生物の変質・分解が生じて死滅していると考えられる。また、膜処理では非常に細かな孔を微生物が通り抜けることができないことで水と分離されて（ふるい作用）除去されている。

病原微生物は種が異なると、大きさや形、表面性状が異なるため、除去に有効な作用の仕方が種毎に異なり、同じ処理を行っていても除去効果が異なると考えられる。

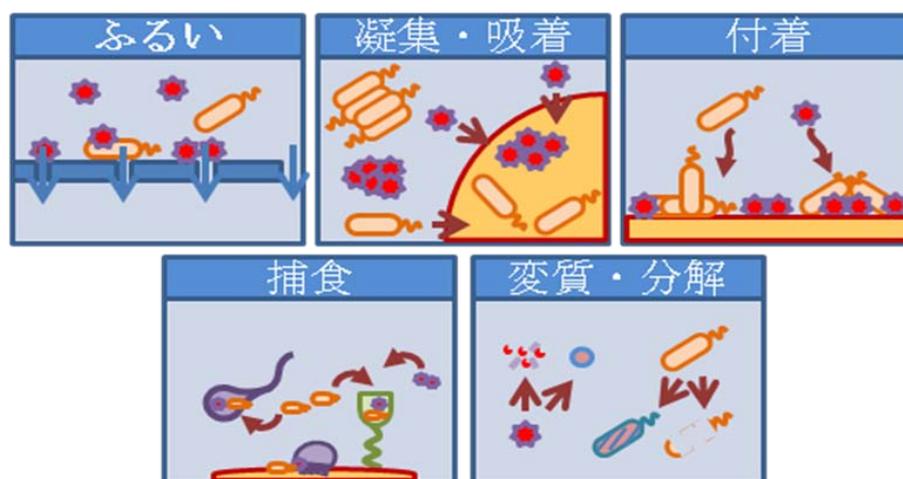
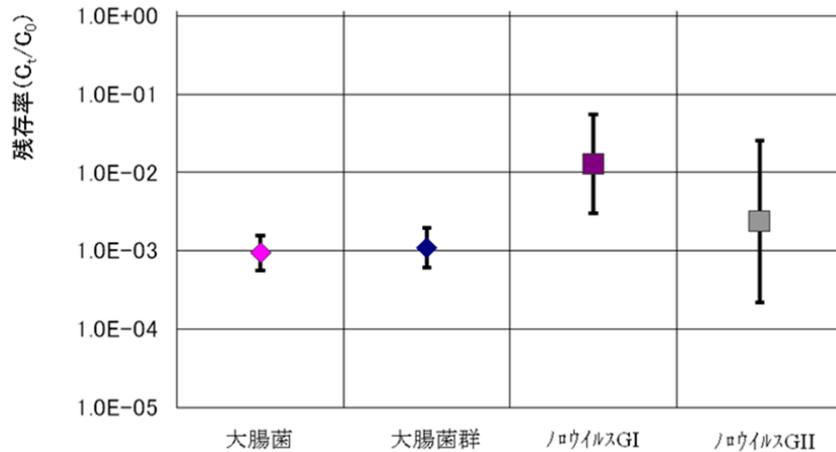


図-4.5 下水処理過程における病原微生物の除去に有効な作用



$C_0$ は初期濃度。 $C_t$ は処理後の濃度。バーは標準偏差、すべてn=5、1つの試料ごとに4種類測定。

図-4.6 ノロウイルス大腸菌・群の処理状況の違い

図-4.6は、感染性胃腸炎を引き起こす主要な原因微生物として最近注目を浴びているノロウイルスと大腸菌・群の処理状況を比較したものである。ノロウイルスはウイルスそのものの数を数えることができないので、その遺伝子の量を計って元の数を推定している。ノロウイルスと大腸菌・群数の除去率を比較すると、大腸菌・群がほぼ99.9%除去されている（流入の1000分の1に減少）のに対して、ノロウイルスの方は99%程度の除去率（流入の100分の1に減少）であるが安定しておらず、大腸菌・群と較べてノロウイルスは除去されにくいことがわかる。即ち、大腸菌・群で1000分の1に減少するからノロウイルスも1000分の1になるとは云えない、つまり、大腸菌・群ではノロウイルスの減り方を推測できないということである。

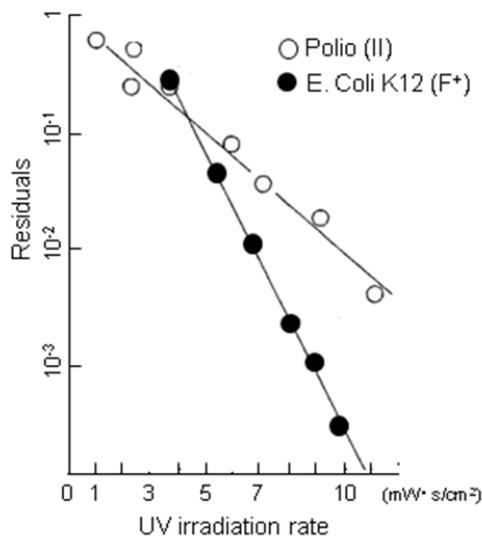


図-4.7 ポリオウイルスと大腸菌の消毒性状の違い(UV)

図-4.7は、小児麻痺の病原体であるポリオウイルスと大腸菌群がUV消毒によってどの程度死滅するか、比較した結果である。横軸はUV消毒の強さを表しており、縦軸は生き残った微生物の割合を対数で示している。同じ強さのUV消毒を行った場合は、明らかに、大腸菌群の方が生き残った数が少ないことがわかる。UVの消毒作用は大腸菌群には強く働くが、ポリオウイルスにはそれよりもかなり働きが弱いということである。同様のことがアデノウイルスなどの塩素消毒についても知られている。したがって、消毒によって大腸菌群が100分の1になったからウイルスも100分の1になっているだろうとは云えない、つまり、大腸菌群では消毒によるウイルスの減り方を推測できないということである。塩素消毒では、クリプトスポリジウムの様な原虫や、セレウス菌・ウェルシュ菌の様な芽胞を作る細菌でも大腸菌・群より大幅に強いことが知られている。また、オゾンによる消毒の作用についても微生物の種類によって効果の異なることが知られている。

この様に大腸菌・群は、下水処理におけるノロウイルスの除去性を推測する指標とすることや、芽胞を作る細菌、あるいは、原虫、ウイルスなどの消毒による効果を推測する指標とすることには適さないことが明らかになっており、これらの病原微生物を含む可能性がある下水再生水の衛生学的な安全性は、大腸菌・群とは異なる指標等によって補完される必要があると考えられている。

再生水利用の基準では、水質を確保する上で再生水の用途別に再生処理の基準を設けている。その中には、凝集沈殿処理が含まれている用途があり(表-2.1)、塩素消毒で死滅しないことが懸念される残留微生物等、大腸菌・群では安全性の評価が難しい病原微生物による健康被害の防止について配慮されている。これは、クリプトスポリジウムの様な塩素消毒に強い微生物に対し、消毒方法の変更や消毒強度を高めることで対応することは、消毒費用が著しく増加するだけでなく、有害な副生成物が増加するなどの問題を生じ、合理性を欠くと考えられた結果である。最近では、前節で述べた膜処理技術の適用も可能であり、MF膜処理で原虫や細菌類の除去が、UF/NF膜ではウイルス除去が行われることが判っているので、今後は膜処理の適用による安全性への対応も増加するものと考えられる。

感染性微生物以外にも、下水処理では除去できない人の健康に有害な化学物質等の影響が懸念されている。それらの多くは、非飲用利用であれば影響がほとんど無いと考えられているが、処理水や再生水が、直接あるいは間接的に飲用利用される場合には重要な課題となる。現在、飲用再利用を検討しているシンガポールやオーストラリアでは、微生物と共に様々な健康影響が懸念される物質を除去するため、RO膜処理の導入が不可欠と考えられている。また、工業用水利用の場合では、多くの工場が水を循環利用している状況にあり、循環に伴う塩類濃度増加の影響を避けるため、低塩分の用水であることが要求される。そのため、下水処理水を工業用に供給する際には、地域の要求水準に応じて処理水中の塩類濃度を削減するため、低圧RO膜処理等が必要になる場合が多くなるものと考えられる。

下水道研究部では、様々な再利用形態に対して、安全・安心が確保されるよう、基準の整備や、再利用に伴うリスク、あるいは再利用による効果の評価に関する調査・研究を継

続して実施し、近い将来、到来することが予想されている地球規模の気候変動に対し、その緩和および適応の両面に貢献できることを目指して行くことにしている。

## おわりに

水の循環利用は、地球温暖化に伴って渇水の多発が予想される近未来の都市に必要な水を供給し、同時に水環境の健全化を図る、新たな水利用の仕組みとして期待されている。これを支えるのは、水に関わるハード技術と、これを運用するソフト技術、およびトータルのシステムを管理する科学的な裏付けに基づく行政制度である。下水道は都市におけるこのような水の循環利用の3分の1を担う主要な社会資本であり、従来の役割であった「浸水の防除と汚水の速やかなる排除」および「水環境の保全」に加えて、「貴重な資源である水を再生する」という、大変重要な役割を担って行くことになる。これに伴って下水処理技術もまた、放流水質基準を守るための技術から、取水から放流までの間における水循環利用の効率や安全性の向上を左右する水再生の要の技術として、一層の技術革新が求められることになる。国総研下水道研究部では、このような水循環をマネジメントするハード・ソフト技術の方向性やその評価手法の研究を通じて、安全・安心な社会の持続可能な実現に向けた取組を続けて行く所存である。

## 参考文献

- 1) 下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き 2009.3 国土交通省下水道部
- 2) 平山孝浩、平出亮輔、宮本綾子、山中大輔 「下水処理施設における温室効果ガスの排出抑制」国土技術政策総合研究所アニュアルレポート 2008
- 3) 南山瑞彦、平山孝浩、平出亮輔、山中大輔「下水処理場における地球温暖化対策の推進に関する調査」国土技術政策総合研究所資料 第463号 2008年6月
- 4) 下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案) 1990年2月 建設省・高度処理会議
- 5) 下水処理水の再利用水質基準等マニュアル 2005年4月 国土交通省下水道部、国土技術政策総合研究所
- 6) OECD Environmental Compendium 2004
- 7) 平成19年度公共用水域水質測定結果 2008年11月 環境省 水・大気環境局
- 8) 平成20年度下水道白書:「日本の下水道－循環のみちを拓く展望－」2008年10月 (社)日本下水道協会
- 9) 小越真佐司「国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室の研究紹介」HEDORO No.106 pp22-25 2009年9月
- 10) 下水道への膜処理技術導入のためのガイドライン [第1版] 2009年3月 下水道膜処理技術会議
- 11) 上水試験方法 2001年版 追補版 2006年1月 (社)日本水道協会

- 1 2) クリプトスポリジウム—解説と試験方法—2003 年 3 月 (社) 日本水道協会
- 1 3) 下水処理水循環利用技術指針 (案) 1981 年 3 月 (社) 日本下水道協会
- 1 4) ウイルスの安全性からみた下水処理水の再生処理法検討マニュアル (案) 2001 年 7 月 高度処理会議
- 1 5) 南山瑞彦、小越真佐司、桜井健介「下水処理水の衛生学的安全性に関わる技術基準に関する調査」国土技術政策総合研究所資料 第 463 号 2008 年 6 月
- 1 6) 尾崎正明、諏訪守「水環境中における病原微生物の消長に関する研究」土木研究所資料 第 4123 号 2009 年 1 月
- 1 7) 植竹久雄編 「ウイルス学・第 4 版」 1992 年 7 月 理工学社
- 1 8) 吉田真一、柳 雄介 編 「戸田新細菌学・改訂 32 版」 2004 年 1 月 南山堂

里海の創出に向けて

－これからの沿岸域環境を考える新しい視点－

沿岸海洋研究部長

數土 勉

# 里海の創出に向けて

－これからの沿岸域の環境を考える視点－

沿岸海洋研究部長 數土 勉

## 1. はじめに

人と環境の係わりについての行動計画の基本、環境保全の方向性については、国連環境開発会議（リオサミット,1992）のテーマとなった、「持続可能な開発（Sustainable Development）や、ラムサール会議などで提唱されている「Wise Use」といった考え方（ピーター・ブリッジウォーター、2005）に示されてきたように、開発と環境保全のバランスを求める方向性にあるといえる。

そうした中、国内においても、環境基本法（1993）や、環境影響評価法（1997）などにおける「持続可能な開発」の理念の浸透や手法の制度化が進み、自然再生法（2002）では「地域住民や NPO 等多様な主体の参加連携の促進」や「自然の不確実性を踏まえた順応的な管理手法の適用」と言った視点が強調された。2002年に策定された「新・生物多様性国家戦略」では、「生態系保全の強化」「自然再生」「持続可能な利用」が目標に掲げられている。また、2007年に決定された、「21世紀環境立国戦略」では、豊かな水辺づくりとして、「里海の創生」が掲げられている。

本報告では、これからの沿岸域環境を考える視点として、「里海」に着目し、その実現に必要なと思われる「生態系サービス」「概念モデル」について、言及するとともに、それらの解明に向けて、現在、当研究部での取り組み状況について報告する。

## 2. 里海，生態系サービス，概念モデル

### 2. 1 里海とは

里海とは、人間の手で陸域と沿岸域が一体的・総合的に管理されることにより、物質循環機能が適切に維持され、高い生産性と生物多様性の保全が図られるとともに、人々の暮らしや伝統文化と深く関わり、自然と共生する沿岸域と定義されている（環境省、2008）里海の内容は、従来から提唱されてきた「里山」を沿岸域に置き換えたものと考えた方が理解しやすい。里海については、各地で、この言葉をキーワードに自然の保全・再生に取り組まれてきている。

里海の政策的な位置付けとしては、「21世紀環境立国戦略」（閣議決定,2007）において、今後1、2年で重点的に着手すべき戦略の中で里海創生を位置付け、「藻場、干潟、サンゴ礁等の保全・再生・創出、閉鎖性海域等の水質汚濁対策、持続的な資源管理など総合的な取り組みを推進することにより、多様な魚介類等が生息し、人々がその恵沢を将来にわたり享受できる自然の恵み豊かな豊饒の「里海」の創生をはかる。」としている。また、第三次生物多様性国家戦略（閣議決定,2007）では、里海について、「昔から豊かな海の恵みを利用しながら生活してきている、人の暮らしと強い繋がりのある地域」「自然生態系と

調和しつつ人手を加えることにより、高い生産性と生物多様性の保全が図られている海」と整理している。このように、里海は、海からの恵みを実感でき、人との繋がりが強く、人手を加えることにより高い生産性と生物多様性の保全・向上を図る場として、位置付けられている。環境省(2008)が作成した里海創生の視点(図-1)では、「物質循環」、「生態系」、「ふれ合い」という3つの保全再生要素と、「場」と「主体」という2つの活動要素により、里海が構成されるとしている。

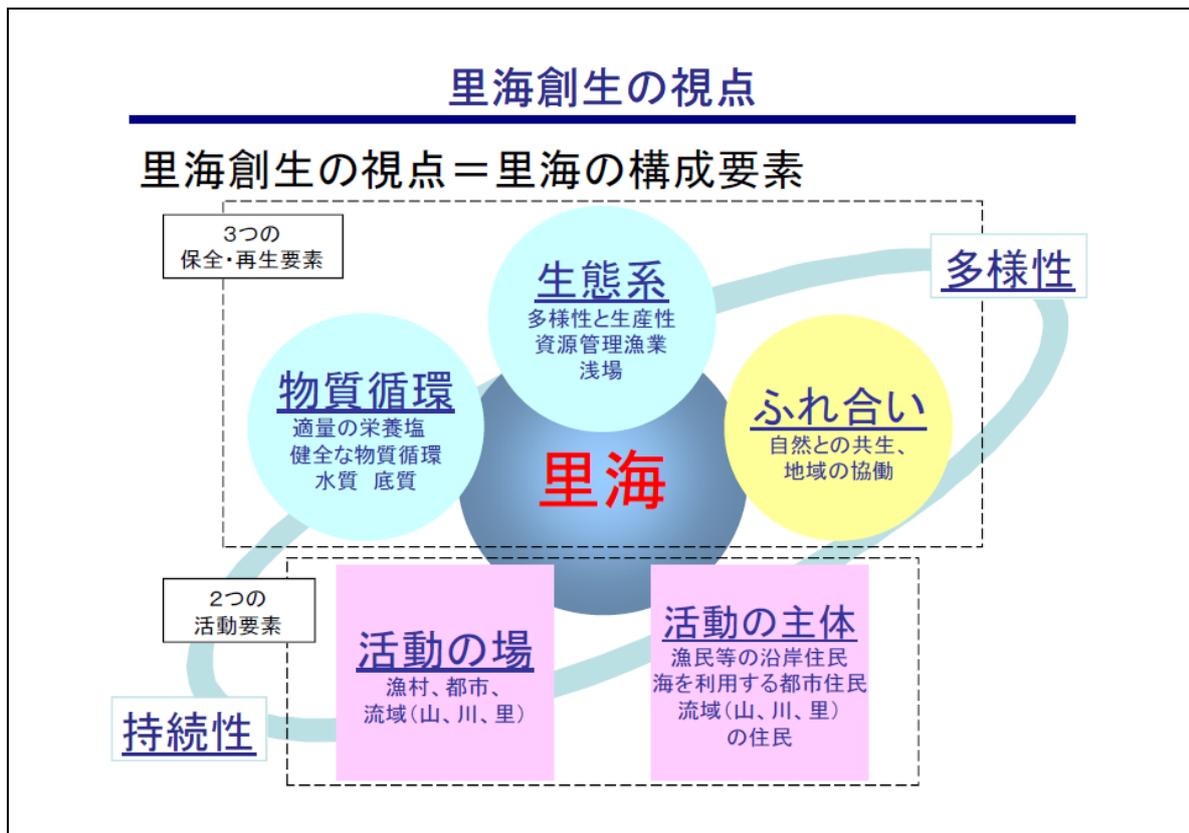


図-1 里海創生の視点(概念図)(環境省, 2008)

このような里海概念は、ラムサール条約会議で定義された「Wise Use」(賢明な利用)と似ている。ラムサール条約では、1971年の採択当時から「Wise Use」を強調してきたが、1993年の定義では、「湿地の価値を将来的にも損なわず人間社会のために、湿地を持続的に利用する」とされ、2006年に、ミレニアム・エコシステム・アセスメントの成果に基づき、「湿地の賢明な利用」に関する概念的枠組み等を新たに整理している。その中で賢明な利用とは、「持続可能な開発の考え方に立って、エコシステムアプローチの実施を通じて、その生態学的特徴の維持を達成することである」(ラムサール条約,2006)。つまり、単に自然を守るだけでなく、如何に利用しながら自然を守っていくか。人間はどのように生態系を守り、また、生態系からどのような恩恵を受けているかを認識しながら利用することが重要である。

この「賢明な利用」を「里海」に活用した場合、「里海」からどのような恩恵を受けて

いるか（今後、再生・創出する場合は、どのような恩恵を受けることが想定されるか）、また、「里海」の保全のためにどのようなシステムが必要なのか、を把握することが必要となる。

## 2. 2 生態系サービス

生態系サービスについては、従前から取り組まれてきているが、世界規模での報告が、ミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment）としてまとめられている。ミレニアム生態系評価は、3つの国際的な条約－生物多様性条約（CBD）、砂漠化防止条約（CCD）、ラムサール条約の科学的評価についての要請を支援するメカニズムとして、180の政府によって承認された、世界資源研究所、国連開発計画、世界銀行などによる共同研究である。

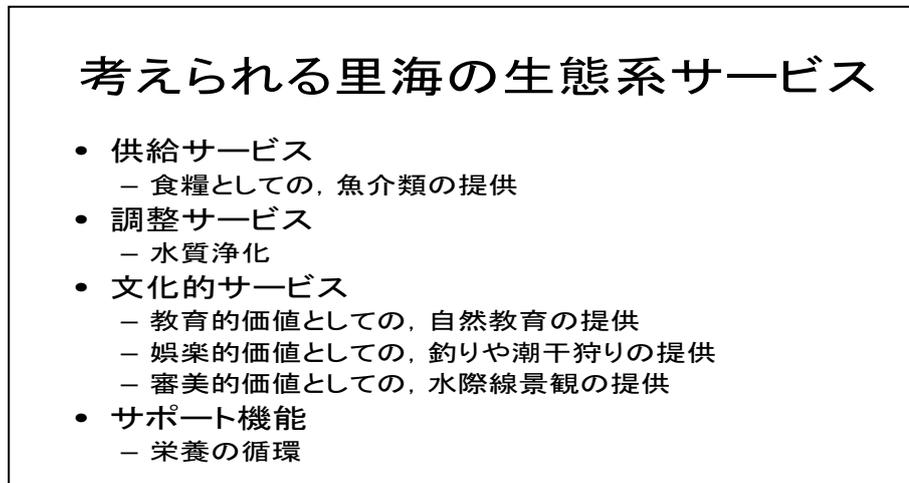
この中で、「生態系サービスとは、生態系から供給される便益である。生態系サービスには、「食料・水・木材・繊維・遺伝子情報などを供給するサービス」、「気候・洪水・疾病・水質を調整するサービス」、「レクリエーション・審美的享受・精神的充足感などの文化的サービス」、「土壌形成・花粉媒介・栄養塩循環などのように、他の生態系サービスの基盤となるサービス」がある。」と定義されている（Millennium Ecosystem Assessment,2005）（表－1）。

表－1 生態系サービス

生態系サービス	
サポート機能 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 栄養の循環</li> <li>・ 土壌の形成</li> <li>・ 一次生産</li> <li>・ その他</li> </ul>	供給サービス <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 食糧</li> <li>・ 水</li> <li>・ 燃料</li> <li>・ 木材と繊維</li> <li>・ その他</li> </ul>
	調整サービス <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気候調整</li> <li>・ 洪水調節</li> <li>・ 疾病制御</li> <li>・ 水質浄化</li> <li>・ その他</li> </ul>
	文化的サービス <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 審美的価値</li> <li>・ 精神的価値</li> <li>・ 教育的価値</li> <li>・ 娯楽的価値</li> <li>・ その他</li> </ul>
地球の生命－生物多様性	

里海が、海からの恩恵を受ける場とすれば、どの程度の恩恵を受けているかを把握する必要がある。これらの試みは、里山・河川などで取り組まれている。里海では、図－2のような生態系サービスが考えられる。里海の創出・保全により、供給サービスとしては食糧としての魚介類、調整サービスとしては水質浄化、文化的サービスとしては、自然教育

等による教育的価値，釣り等による娯乐的価値，景観の保全・創出による審美的価値や精神的価値が，例示として上げられる．但し，これらを定量的に評価するためには，十分なモニタリング等による，科学的な分析が必要である．



図－２ 考えられる里海の生態系サービス

里海からの生態系サービスを定量的に算出することが可能であれば，現在は定性的にしかな評価されてこなかった里海における自然再生によるサービス増加が推定できることとなり，事業評価の面で有効な便益と見なすことが出来るようになる．これにより，里海の創出活動主体である漁民等の沿岸住民，海を利用する都市住民，流域の住民，行政，企業等の関係者が事業実施を検討する際の評価基準となる．

当部では，現地観測や様々な研究を実施し，沿岸域における生態系サービスの評価手法を開発するとともに，生態系サービスを統合沿岸域管理に活用できないかの検討を進めようとしている．

### 2. 3 概念モデル (Conceptual Model)

従来，環境の変化に対する生態系の応答を定量化する手法として，影響伝搬図 (インパクト・レスポンスフロー) (図－3) や生態系モデルが利用されてきた．インパクト・レスポンスフローは，生物の生息量に影響する様々な要因の連関分析を行い，ある環境を与えた時に，どのような影響が発現するのかを網羅的に示し，着目すべき変化を抽出するために用いられており，順応的管理において，複雑な生物・生態系の保全のためのモニタリングの実施，対応策策定の意義や目的を示す上で，重要な手法である．環境の影響を評価するためには，さらに生態系モデルを用いてフローを数値的に計算することで定量的な評価を行うことができる．しかし，それらは直感的でないために，政策決定者や市民に広く受け入れられていなかった．

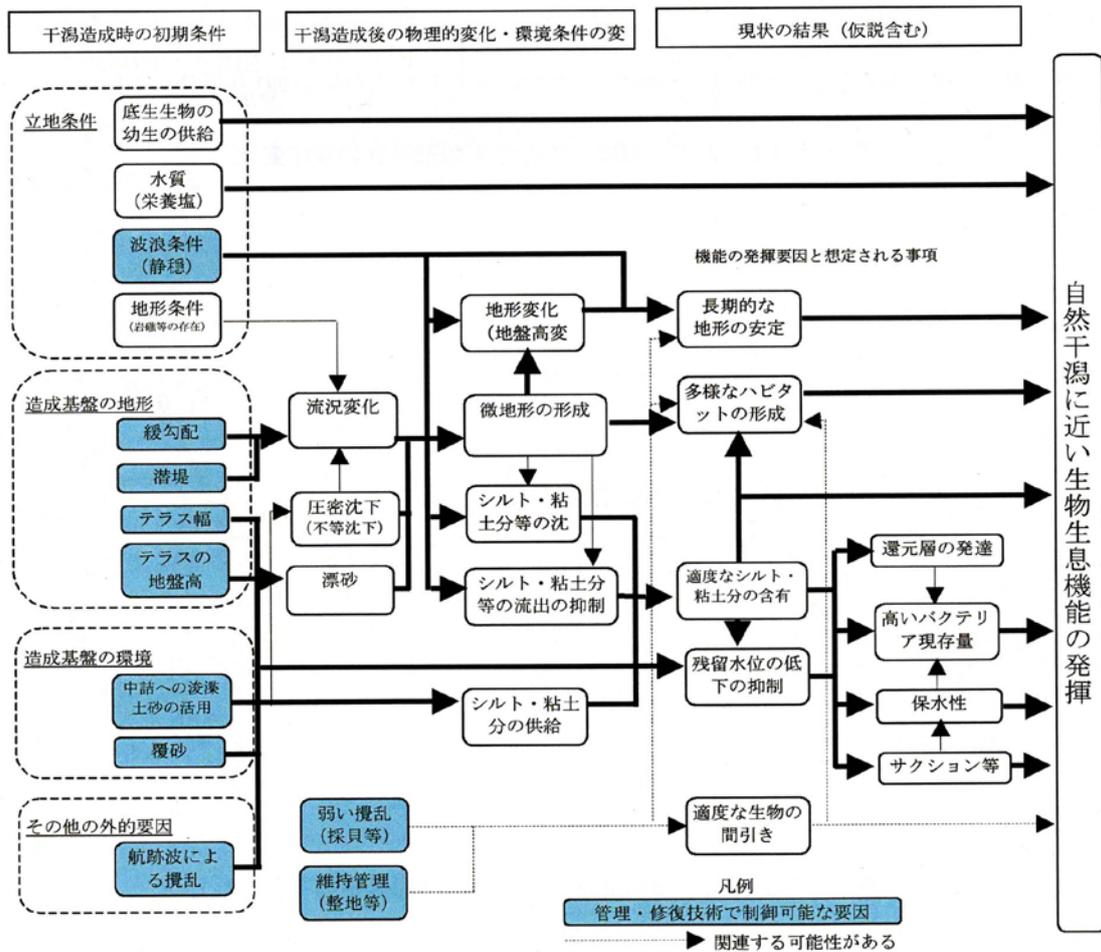


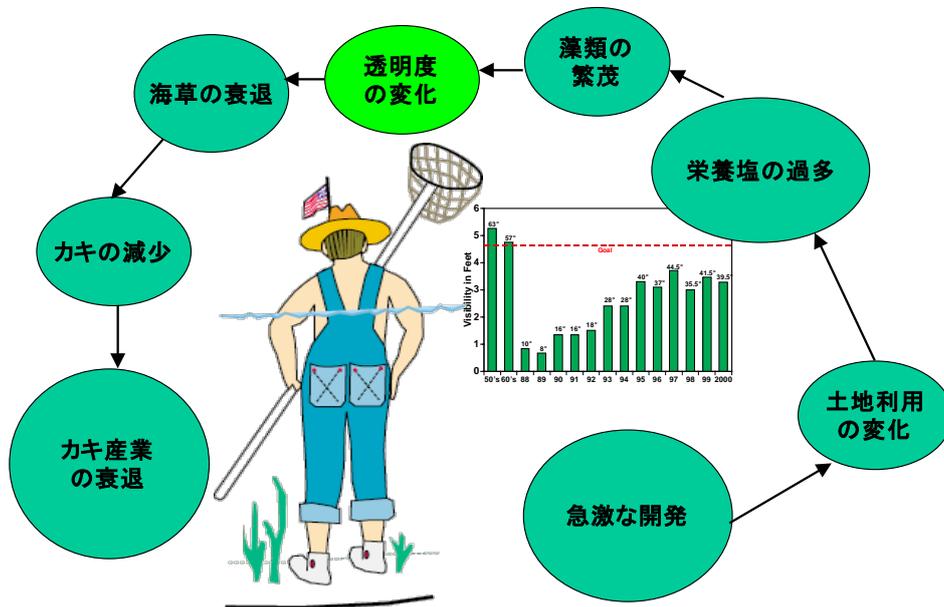
図-3 インパクト・レスポンスフロー（干潟造成の例）  
（海の自然再生ワーキンググループ, 2007）

そうしたフローを、市民が理解しやすい形に単純化し、そのフローと共にモニタリングを併用することにより、環境保全・再生に何をすべきか、ある対策を行った時にどのような成果が得られるのかを読みとれるようにしたものが、概念モデルである。

概念モデルの事例としては、サンフランシスコ湾の事例が挙げられる。サンフランシスコ湾においては、1960年台以降水質悪化が進み、カキ産業が衰退した。これを再生するために、皆で水の中に入り、自分の白いスニーカーがどの深さまで見えるのかを指標としてモニタリングが行われた（マイク・コナー, 2006）。この指標は透明度を簡易に測定するものであり、その概念モデルが図-4のように示された。すなわち、急激な開発が透明度を悪化させ、カキ産業の衰退を招いたということである。このように影響の伝搬を端的に著すことにより、透明度を測定する意義が明確になるとともに、目標達成に向けたインセンティブが与えられた。

このように、概念モデルは科学的な厳密性やマイクロな定量性は担保されないものの、再生・保全のマクロな方向性を示し、モニタリングへの市民参加を促し、再生への努力の過程を共有する有効な手段である。

## 定性的モデルと定量化の手法がであうとき、 人々が現象を理解し、目標が設定される



マイクコナー氏の講演資料(2006年東京湾シンポジウム)

図-4 概念モデルの例

概念モデルは、生態系を保護するための活動が、どのような効果を発揮するかを、分かり易く説明することが可能であり、里海の創出を図る上では、重要な手法と考えている。

図-5は、現在取り組んでいる、「芝浦アイランド生き物の棲み処づくりプロジェクト」(詳細は、後述)において、作成したものであり、潮だまりの造成が、どのように局所生態系の実現に寄与したかを表している。

当部では、環境モニタリングデータを活用した、概念モデル作成の手法を研究するとともに、代表的な事例を作成することとしている。

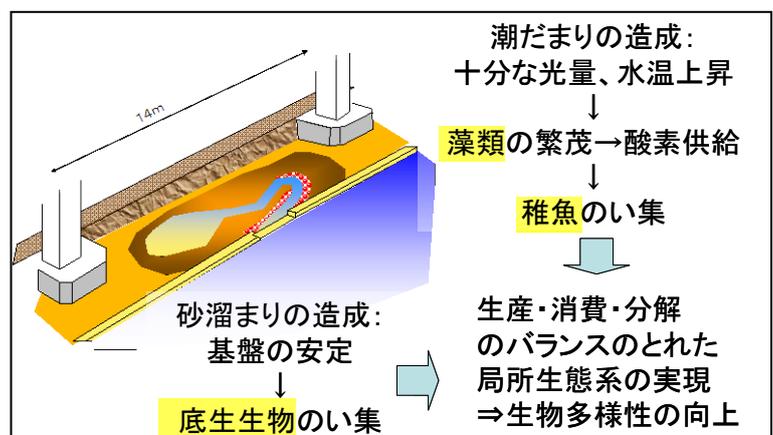


図-5 芝浦アイランドでの概念モデルの例

### 3. 現在の取り組み（芝浦アイランド生き物の棲み処づくりプロジェクト）

沿岸域での生物多様性を考慮した沿岸域環境，自然再生，里海の創出に向けて，現在，芝浦アイランド生き物の棲み処づくりプロジェクトを実証実験として進めている（早川ら，2008）。

この実証実験について平成19年度の結果を中心に報告する。

#### 3. 1 研究の目的・体制・検討項目

沿岸域と水辺の環境の係わりについて，生物・環境の両面から概念的に繋がりが理解できる概念モデルを構築するとともに，里海のあり方について整理を進め，その評価手法の確立，市民が主体的に参加できる活動メニューの構築を通して，統合沿岸域管理としての全国海の再生プロジェクトを推進することを目的としている。

こうした目的を受けて行政・市民・研究者が都市臨海部での自然再生を協働で行う場として，東京都および港区，国土技術政策総合研究所が協力し実施した。

本プロジェクトでは，都市臨海部における自然再生に対して，具体的な手法や枠組み作りを実践し，それぞれの役割分担，場造り，調査，場所の管理，教育の面等から検討することとした。

#### 3. 2 実施場所

本プロジェクトの実施に先立ち，住民参加型の調査を実施し，運河における流動・生態系ネットワークを検討した（佐藤ら，2007）。調査には，NPO海塾を始め芝浦運河ルネッサンス協議会，東京都港湾局，東京港防災事務所，鹿島・みらい建設共同企業体等多くの方々に協力いただいた。実際の調査に当たっては，カヌーで運河網の各所に移動し，フローートによる流況観測を多点で同時に行うとともに，運河内の水質変化を水質計などで計測した。この調査結果により，今回の実施場所には傾圧的な循環により湾内水の進入が認められ，汽水環境としても，生態系ネットワークによる生物の加入が期待できる場所としても再生実験に適する場であることが示された。

##### 3. 2. 1 潮だまり

本研究は，東京都港区芝浦四丁目（芝浦アイランド）南地区西側護岸に位置する芝浦運河内に造成された2つの潮だまり（4m×8m：2箇所[A池・B池]）で行われた（図-6，写真-1：2006年3月完成）。潮だまりは自立式鋼管矢板護岸と

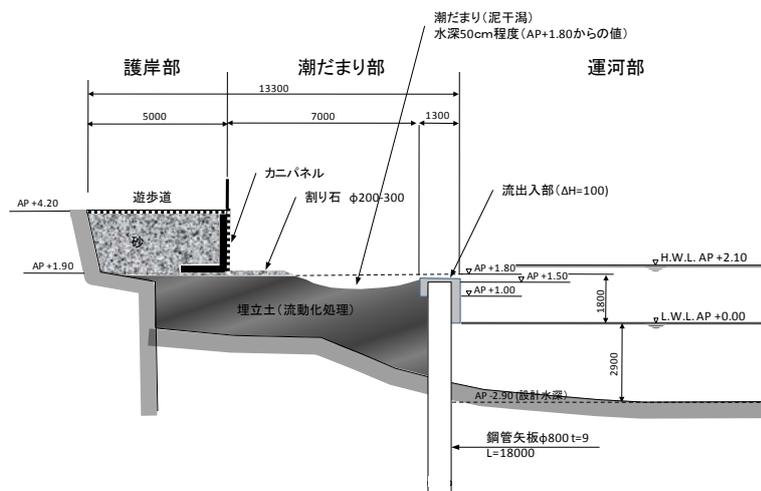
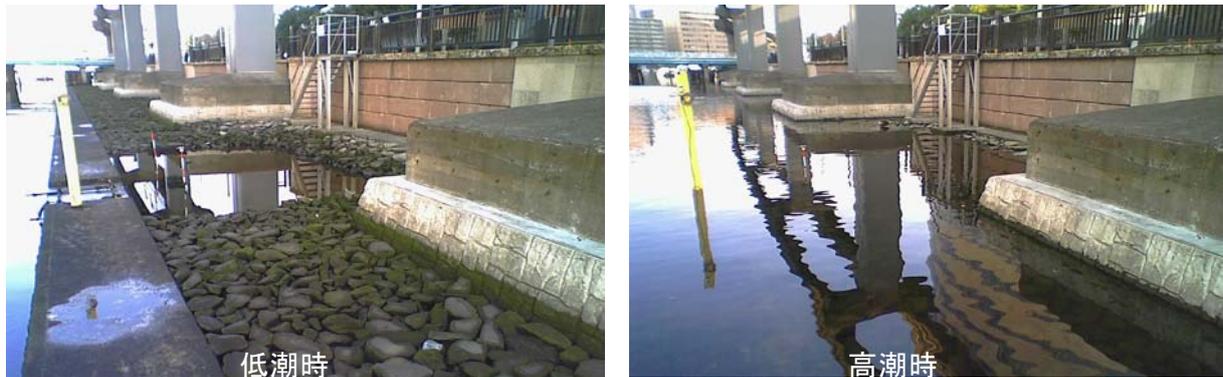


図-6 構造図



全景



写真－1 芝浦アイランドの潮だまり

重力式護岸の間に平均潮位に近い高さに割栗石を敷いたテーブル状のテラス部の流動化処理土を掘り込んで造成されている。潮だまりには、潮の満ち引きによって前面護岸および、流動を作りだすための流出入部（護岸天端より 10 cm 低い）を通して運河水が入り出す。高潮時にはテラスも含め、完全に冠水し、低潮時には潮だまり部に水が残る。また、2006年9月に底生生物の生息を促すために山砂（千葉産）を 20cm 厚さに敷いて干潟とするとともに、2007年6月には、後述するように粗朶を設置するとともに、干潟内に深場を設けた。なお、重力式護岸の上部は、遊歩道になっており、市民が自然再生の場を常時観察出来る構造になっている。

この潮だまりは、側面や底面に付着する藻類の光合成により、溶存酸素量を増加させること、護岸改修前より芝浦護岸に生息しているエビ・カニの生息場を提供すること、またベントスやプランクトンの発生によりマハゼやウナギなどの餌料を確保すること等により生き物の棲み処としての機能を発揮すること等を期待して造成された（棚瀬ら、2007；岡田・古川，2006）。

### 3. 2. 2 芝浦運河の水環境

両潮だまり前面にある芝浦運河では、南に位置する芝浦下水処理場からの下水処理水と運河の水が混ざり合うため、上層の塩分は 10 程度である。下層には東京湾内の海水が流入するため、下層の塩分は 20～22 程度となる。このように、潮だまり前面の芝浦運河は、成層化した汽水域となっている（佐藤ら，2007）。

### 3. 3 研究手法

#### 3. 3. 1 市民協働による枠組みとしての役割分担

市民協働の枠組みを作るにあたり，“生き物の棲み処づくりプロジェクト”が円滑に進むよう行政（東京都・港区・国土技術政策総合研究所）の役割を以下のように分担することとした。

- ・市民との距離が最も近い港区芝浦港南地区総合支所は、住民に対するプロジェクトへの参加の呼びかけ、及びプロジェクトのPRを担当した。
- ・護岸の管理者である東京都港湾局は、プロジェクト実施のための作業申請・立ち入り申請・それに付随する他機関との調整を担当した。
- ・国土技術政策総合研究所は、プロジェクトの統括および、参加者との連携調査、自然再生の普及啓発のための座学の企画・運営を担当した。

#### 3. 3. 2 活動概要

平成19年度の生き物の棲み処づくりプロジェクト参加者の総登録者数は37名であり、1回のプロジェクト開催日の参加人数は平均で約15人であった。参加者の多くは近隣に住む家族であり、子供の最年少は4歳、多くは小学校3-4年生であった。大学生、NPO活動参加者等の参加もあった。

#### 3. 3. 3 市民協働による場造り

2007年6月に生き物の棲み処づくりプロジェクトが開始され、潮だまりの意義を解説した後、生息場の多様性を高めるために、A池において市民と協働で砂床を掘り起こし深場（3.5m×2.0m）設けた。深場の外周は粗朶（山の雑木から伐採した木の枝などを鉄線でまとめたもの）で囲み、法面の保護とエビ類の生息場の創出を狙った。B池においては、深場を設けず、潮だまり中央に粗朶を1列設置した。この他に、線状体のコンクリートを各潮だまりに数個配置することで生物の付着を促した（写真-2）。

このような場づくりの体験は、生態系サービスのうち、娯乐的・精神的な文化的サービスを提供することにもなると考えられる。



写真-2 潮だまり（上：A池，下：B池）

### 3. 3. 4 調査への市民参加

潮だまりに生息する生物のモニタリング調査として、市民参加が可能な形の調査を企画した。潮だまりや生物への触れ合いを目的とした、かいぼり調査（3回：写真－3）やハゼの生息地についての学習とセットとなったハゼ釣り調査（1回：写真－4），ゴカイの生息量を定量化するベントス調査（5回：写真－5）を行った。



写真－4 ハゼ釣り調査

かいぼり調査では、水中ポンプを使用して潮だまりを干上げ、魚・カニ・エビ等の大型生物を全数捕らえ写真で記録した後、再度放流した。写真から種類・数量・体長を専門家が別途定量化した。ハゼ釣り調査では、参加者が釣り上げた魚の種・体長を測った。ベントス調査では、参加者が分担をして採泥（ $0.05\text{m}^2/\text{箇所}$ ），篩分け（ $1\text{mm}$ 目），定量（ゴカイ個体数，湿重量）を現場で行った。

本プロジェクトでは、調査目的や意義、手法を説明した後に実施することで目的意識と作業水準を高め、作業中も、解説等を交え、調査の緊張感を持続するよう努めた。

このような調査の体験は、生態系サービスのうち、教育的な文化的サービスを供給するとともに、サポート機能である循環や、供給サービスである食糧（魚）について知る機会となることも期待できる。また、専門家による十分なサポートが得られれば、生態系サービスについて認識し、理解するための効率的かつ効果的な取り組みになると考えられる。

### 3. 3. 5 調査の実施・管理（申請・安全対策）

芝浦アイランドの護岸は東京都港湾局東京港防災事務所により管理されている。プロジェクトの実施毎に東京港防災事務所への立入申請許可手続きを行った。また、水上調査等を行う場合には東京海上保安部から作業許可を受けた。潮だまりは通常、人の立ち入りを禁止しており、プロジェクト開催中は「プロジェクトとしての活動であること」、「通常は



写真－3 かいぼり調査



写真－5 ベントス調査

立ち入り禁止であること」,「特別に許可を受けて調査をしていること」などを記した横断幕を設置し地域住民の方への周知を行った。

活動中の安全対策として,潮だまり周辺をロープで囲み,さらにライフジャケットを着用した監視員(参加者4-5名に1名程度の割合)がプロジェクトを補助しつつ,転落防止に注意をするとともに浮き輪も準備した(写真-6)。また,簡易な救急用品類を準備し,軽微な傷などにすぐに対応できるように準備した。



写真-6 調査の状況

### 3. 3. 6 環境教育

各種調査は環境教育や体験学習としての位置づけでも捉える事ができ,例えば,かいぼり調査では,親子で実際に魚を捕まえ・放すことで,家族のきずなを深めつつ,楽しみながら自然とふれあい,水辺の生き物を大切に思う心をはぐくむことが出来た。また,捕らえた生物について,種名だけでなく,食性や生活史について解説を行い,なぜ,その生物がそこにいるのか等について考えるきっかけとすることを狙った。



写真-7 体験型講義

それと並行して座学をおこない,干潟の機能についての講義,ハゼやカニの生態についての講義を行った。小学校低学年の参加者も多かったことから,粘土を用いて干潟造成過程を学ぶ体験型(小柳・古川,2007)の講義や折り紙や粘土を用いた海洋生物の作成やハゼなどの魚を描く等,生物の特徴を楽しみながら学習する試みも行った(写真-7,図-7,8)。講義資料・教材については,芝浦の地域特性や学習者の興味に合わせるために,できる限りオリジナルなものを用いた。

これは,まさに教育的な文化的サービスを提供する試みであり,環境の専門家だけでなく,教育の専門家との連携が得られれば,子ども達が生態系サービスについて認識し,理解するた

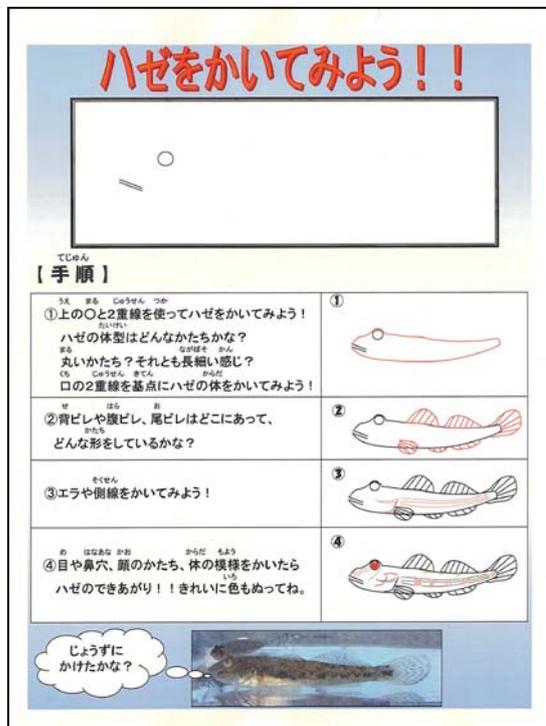


図-7 講義資料(ハゼを描く)

めの効率的かつ効果的な取り組みになる可能性が高い方法である。

**①ハゼってどんな生き物？**  
 ハゼの種類数...  
 ハゼの体長... cm ~ cm  
 ハゼの獲り方... 状

**②ハゼはどんなところに棲んでるの？**  
 あかちゃん(稚魚・仔魚)...  
 こども(未成年)...  
 おとな(成魚)...

**③ハゼはなにを食べているの？**  
 あかちゃん(稚魚)...  
 こども(未成年)...  
 おとな(成魚)...

**【ハゼのひれ説明図】**  
 背びれ, 胸びれ, 尾びれ, 腹びれ

**【蟹につくハゼ】**

**マハゼの生育段階に伴う捕食関係(宮崎、海中らきもとに作成)**

4~6月(春) 7~8月(夏) 9~10月(秋) 11~3月(冬)

図-8 講義資料(ハゼを知る)

### 3. 4 調査結果

#### 3. 4. 1 生物のモニタリング結果

8月のかいばり調査では、2つの潮だまり合わせてハゼの生息数が約1,200個体であり、潮だまりに砂を入れる前(2006年:7月450個体)と比べて2倍以上になった。底面を砂床に変えた効果が明瞭に現れた結果と言える。この点において、図-5で示された稚魚のい集、ベントスのい集の効果が直接的に確認できた。また、ハゼ釣り調査から得られたハゼの体長分布は、最大値、中央値ともに、両潮だまりのハゼよりも大きい方にシフトしており、ハゼの稚仔魚が成長するにつれて、浅場から沿岸の深場(ケタ場)に移り住むことを反映している(図-9)。

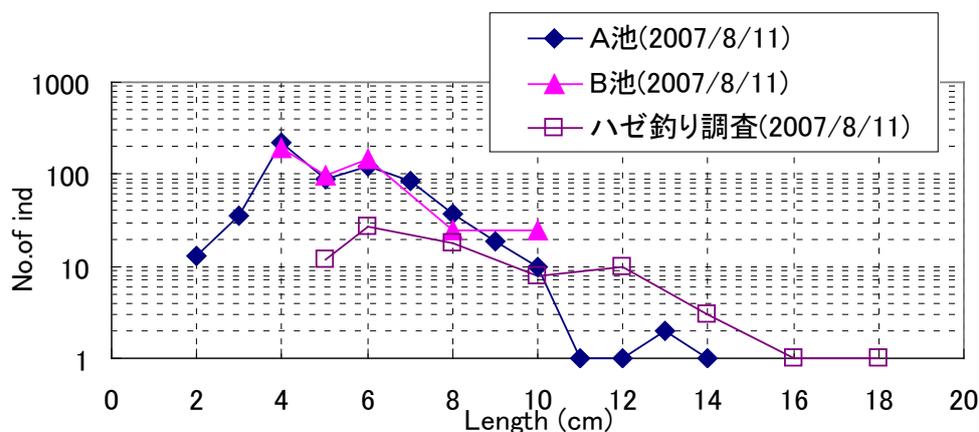


図-9 ハゼの体長別の個体数

これは、潮だまりが芝浦アイランド周辺海域とセットでハゼにとっての成育場として機能していることを示していると考えられる。こうした調査結果は、概念モデルを潮だまりだけでなく、周辺運河も含めた形でも構築できる可能性を示している。

なお、6月に行ったベントス調査では、潮だまり[B池]においてゴカイが約2万個体以上生息していることが推察される結果が得られた(0.05m<sup>2</sup>のサンプリングで平均47個体)。しかし、8月以降の調査ではゴカイの個体が激減し各池で数個体を数えるのみであった。これは、6月から8月の間にゴカイのバチ抜け(繁殖期の個体が泥の中から抜け出し群れて泳ぐ様)がおり、その後、潮だまりにゴカイが戻らなかったためと考えられる。

図-5の概念モデルは加入のみを考慮したモデルである。モニタリングの結果は、離散・消耗による影響も強いことを示しており、概念モデルの修正が必要であろう。このように、概念モデルは、モニタリング結果を踏まえながら修正していく必要がある。

### 3. 4. 2 水質モニタリング結果

潮だまりの環境特性を確認するために水温・塩分・pH・溶存酸素(DO)濃度・濁度・光量子等の連続観測を運河部および各潮だまりで行った。

水温については、潮だまり[A池・浅場]では運河部と比較して夏期に高温になり秋期には低温になった(図-10)。これは、潮だまりの熱容量の小ささにより、水面と大気の熱交換(夏の蓄熱、秋の放射冷却)がより活発に行われたためと考えられる。

したがって、図-5の概念モデルでは、温度上昇のみしか予測していなかったが、潮だまりの深さを十分に取り、熱容量を確保しないと、その偏差は大きくなり、対象とする生物の生息限界を超えてしまう可能性があることを示しており、潮だまりの計画において水深設定の大切さが示されたと考えている。

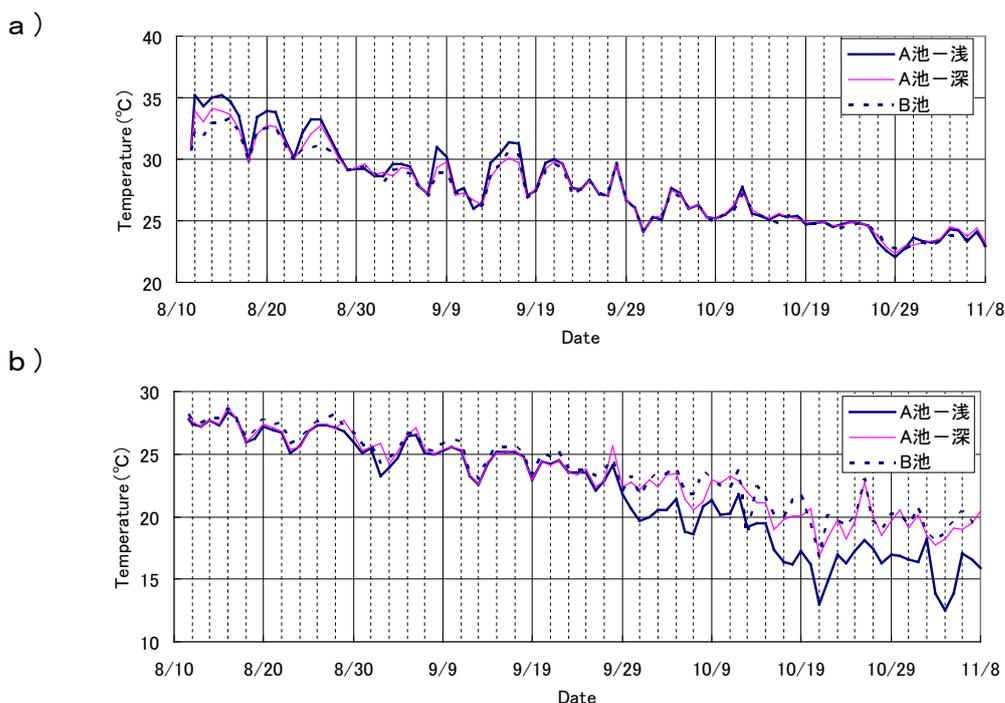


図-10 各潮だまりにおける水温 (a : 24時間最高値, b : 24時間最低値)

塩分では、運河よりも潮だまりの塩分変動値が小さい（図-11）。これは、運河の潮位変動により選択的に表層水が潮だまりに導入され、交換されるといふ護岸構造が影響していると考えられる。護岸高さが AP+1.6m、流出入口は AP+1.5m となっているので、上げ潮時後半から満潮時にかけて運河表層水との交換が行われる。両潮だまりの塩分は、運河水の塩分変化に合わせて、交換開始時に塩分が下がり、満潮に向かって運河水塩分が高くなるのに追従して上昇する。その後、引き潮時には、海水が潮だまりにトラップされているので、運河水の塩分が低下しても潮だまりの塩分は安定している。したがって、海水侵入の敷居高さを上げるほど、高塩分での安定化が図られることとなる。しかし、それは適度な海水交換を保つこととトレードオフの関係にあることに注意しなければならない。

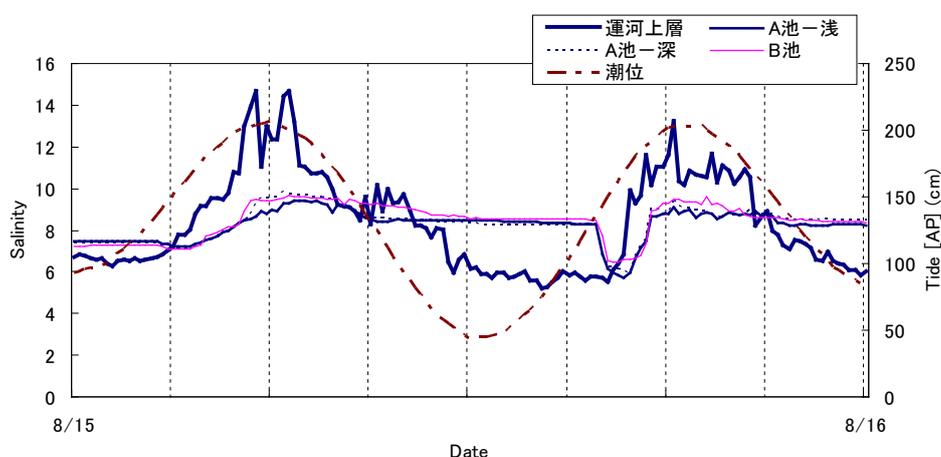


図-11 各潮だまりと運河の塩分変動と潮位

### 3. 4. 3 生態系関連調査結果

生態系関連の調査項目として DO 濃度を測定した結果によると、運河に比べ潮だまりの日変動値が大きいことがわかった。これは、潮だまりに増殖した藻類による昼間の光合成および夜間における生物・藻類の呼吸による酸素消費が、閉鎖性を持つ潮だまりの水塊の DO 濃度を大きく変化させた要因であると推察された（図-12）。

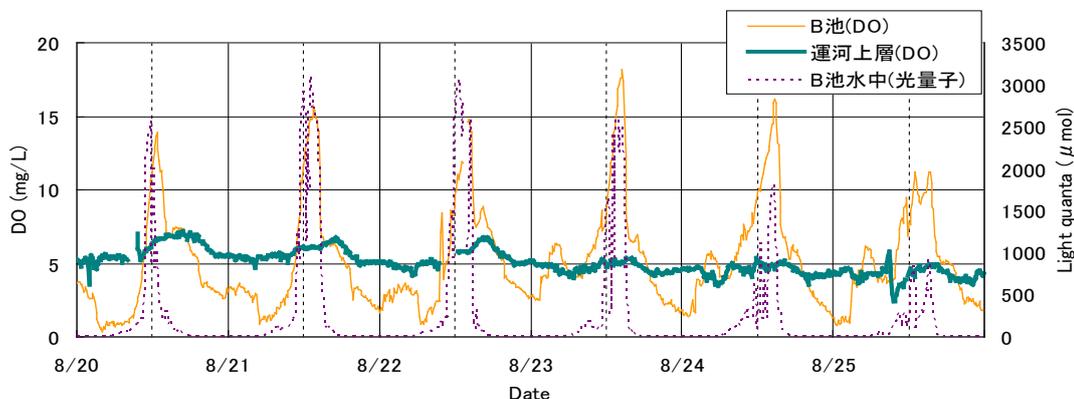


図-12 潮だまり（B池）と運河上層部の溶存酸素濃度の比較及び水中光量子

別途行った夏季を対象とした試算によると、潮だまり水深が1 mを超えると、昼の酸素生産が夜の酸素消費を補償できなくなり慢性的な貧酸素状態が生じたことが示されている。

また、そうした酸素環境を左右する要因として、各潮だまりの付着藻類量を調査した結果、A池において8月調査では浅場と深場に顕著な差は現れなかったが、10月以降になると深場より浅場に藻類が付着するようになった。これは、浅場と深場での照度や水温が異なるためと考えられた。

こうした、DO濃度の変化については、その変動や生息生物への影響を正しくモデル化し、将来的には、概念モデルに組み込んでいく必要があると考えている。

### 3. 5 まとめ

これまでの成果としては、以下の点が上げられる。

- ・都市臨海部での、里海の創出の可能性を検証できた。
- ・モニタリングデータなどにより、概念モデルの構築の可能性、修正の必要性が実証的に示された。
- ・市民参加による、場づくり、調査、環境教育・自然体験教育といった生態系サービスの創出・向上の可能性を検証できた。
- ・多様な主体との協働による、自然再生の手順や枠組みづくりの知見が得られた。

芝浦アイランド生き物の棲み処づくりプロジェクトについては、継続して研究を進めている。今後とも、このプロジェクトから得られた知見を蓄積・整理するとともに、里海の創出に活かして行く取り組みを進めていきたい。

## 4. おわりに

沿岸域の生態系環境を保全・改善・再生・創造するために、里海を様々な場所で数多く創出することが必要であると考えている。ただ、現在の環境条件では、全ての場所で、里海の創出が可能なわけではない。里海を創出するためには、里海が要求する環境条件の場所であることが必要である。里海が要求する環境の場所では着実に実施するとともに、里海創出が可能な環境条件の場所を増やすことが重要であろう。

当部としては、東京湾での里海の創出や各地での成功事例を参考事例として収集整理し、それに解説を加える形で広く発信していきたいと考えている。これを参考に、多くの里海が創出されることを期待している。

一方、里海の創出に必要な、包括的計画・順応的管理の手法、環境モニタリングデータ、自然再生手法の技術的開発等については、まだ不十分な面もあるが、研究・開発が進められ、成果が出てきている。今後は、これらを活用した、実際の事業展開が必要であり、そのためには、行政によるこうした取り組みに対する支援や仕組みづくり、様々な関係者の理解と参画、専門家や研究者による科学的な裏付け・サポート等が必要であると感じている。

この様々な関係者の理解と参画のための手法として、今回、沿岸域における概念モデルと生態系サービスについて言及した。これらの研究を進め、手法を確立することにより、これらを活用して、沿岸域に関わる人々全員が、沿岸域の環境への理解と参画を考える手助けになることが出来るようになればと考えている。

#### 【参考文献】

- 海の自然再生ワーキンググループ(2007)：順応的管理による海辺の自然再生， p.68
- 岡田知也・古川恵太(2006)：テラス型干潟におけるタイドプールのベントス生息に対する役割，海洋開発論文集， Vol.22， pp.661-666.
- 環境省(2008)：里海創生支援事業とは～里海再生に向けて～
- 小柳千晶・古川恵太(2007)：堆積化環境可視化実験キット，第5回横浜・海の森づくりフォーラム要旨集， pp.36-38.
- 棚瀬信夫・加藤智康・枝広茂樹・小橋英樹・古川恵太(2007)：都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用，海洋開発論文集， Vol.23， pp.495-500.
- 佐藤千鶴・古川恵太・中山恵介(2007)：芝浦運河 海の顔・川の顔調査，海洋開発論文集， Vol.23， pp.763-768.
- 早川修・古川恵太・川村信一・井上尚子・瀬藤一代・古川三規子（2008）：市民協働による生き物の棲み処づくりの実践とその成果，海洋開発論文集， Vol.24， pp.771-776.
- ピーター・ブリッジウォーター(2005)：ラムサール条約の意義と今後，港湾， Vol.82， pp.30-32.
- マイク・コナー(2006)：第7回東京湾シンポジウム報告書，基調講演：「海の健康診断」， pp.6-16.

# 革新的構造材料による新構造システム建築物の開発

建築新技術研究官

向井 昭義

## 革新的構造材料による新構造システム建築物の開発

建築研究部 建築新技術研究官 向井昭義

### 1. はじめに

2004年度から5年間で「新構造システム建築物研究開発」が府省連携プロジェクトとして進められた。新構造システム建築物は、近年開発された高強度鋼等の特性を活用することによって大規模大地震等に対しても高度に機能を維持できるような建築物である。本資料は、このような建築物の研究開発にあたり、主に2005年度～2008年度に国土技術政策総合研究所で行った性能検証法等の開発の検討内容・成果について報告するものである。

### 2. 府省連携プロジェクト

本プロジェクトは、総合科学技術会議ナノテクノロジー・材料研究開発推進プロジェクトチーム（NTPT）において重要課題として取り上げられ、経済産業省、国土交通省等の関連府省が一体となって進める府省「連携プロジェクト」として推進すべきことが謳われ（「ナノテクノロジー・材料分野の産業発掘の推進について」府省「連携プロジェクト」等による推進（平成15年7月23日 総合科学技術会議））、2004年度から5年間で研究開発が進められた。

図1にプロジェクトの推進体制図を示す。5府省の他、国土技術政策総合研究所、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本鋼構造協会、(社)新都市ハウジング協会等が研究開発を担当するとともに、推進連絡会、研究開発合同委員会が設置され、研究開発の調整等が行われた。

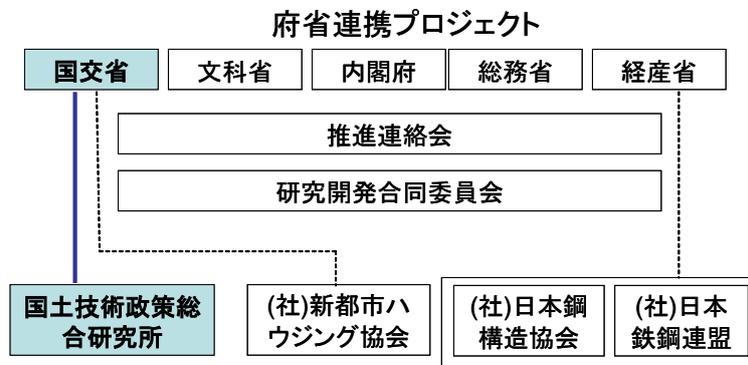


図1 府省連携プロジェクト推進体制図

### 3. 革新的構造材料（高強度鋼）

新たに開発された高強度鋼材は、降伏点または0.2%耐力が700～900 (N/mm<sup>2</sup>)、引張強さが780～1000 (N/mm<sup>2</sup>)である。図2に応力-歪み関係の例を示す。通常の強度の鋼材に比べれば伸び等の値はそれほど大きくはないが、基本的に弾性範囲内で使用することを前提にしている。これまでの同程度の高強度の鋼材は、合金元素を添加した上で熱処理を行っていたが、本鋼材は、合金添加量の低減と熱処理の工程の簡略化（熱加工制御）によって経済合理性が追求されたものである。<sup>1)</sup>

高強度鋼材は、単に強度が高いだけではなく、弾性変形（歪み）が大きいことも特徴であり、エネルギー吸収部材等とうまく組み合わせることによって効率的に使用できる。

また鋼材は、乾式接合用と溶接接合用の2種類開発された。ただし、溶接材料についてはとりあえず従来材料を用いることになっており、その耐力等の値は、新鋼材の耐力等より若干小さい値である。

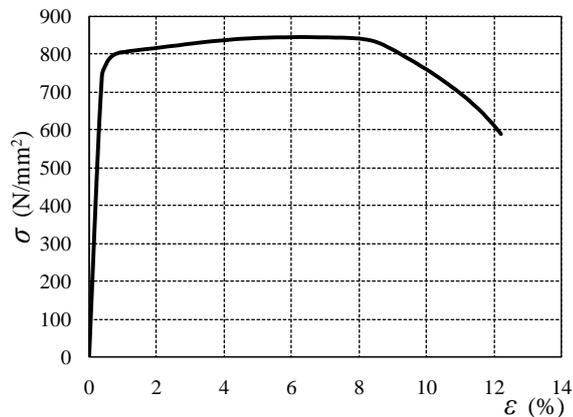


図2 高強度鋼材の応力-歪み関係の例

#### 4. 新構造建築物の性能に関するニーズ等の調査

2005年度に、一般住民を対象にしたこれからの「都市」や「建築」に関わる社会的価値やニーズを把握するための調査と、建設業もしくはそれに関連する中間ユーザーを対象に新構造建築物の市場ニーズを把握するための調査を行った。その結果、新構造建築物の性能に関するニーズとして、「安全性」、「市場性」、「可変性」、「持続性」を重視した住宅・都市づくり」が抽出・整理された。

#### 5. 環境負荷の観点からの新構造システムの検討

新構造システムが大規模大地震に対しても損傷しない耐震性を有していれば、部材は損傷を受けないのでそのまま使用できるかまたは再利用が可能である。このようなことによって長期間供用の可能性が高くなる。

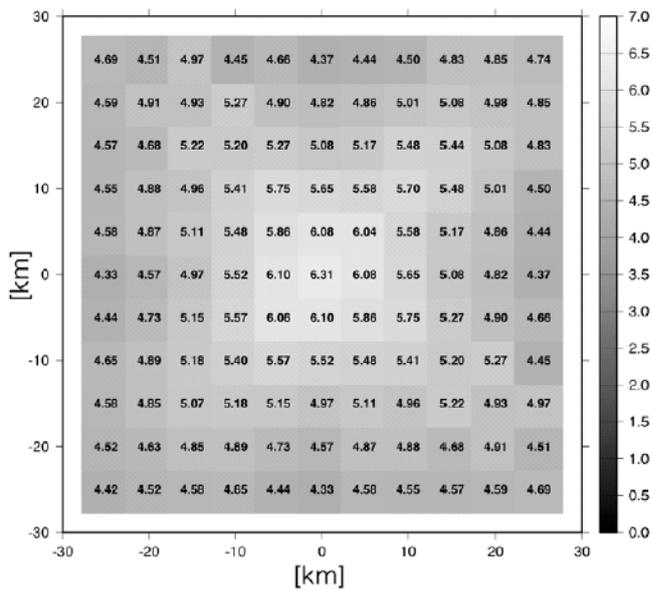
従来型モデル（耐用年数 60～70 年）と新構造モデル（200 年供用、インフィル等は一定期間のうちにリニューアルや間取り可変）について廃棄物発生量等のケーススタディを行った結果、新構造モデルのほうが廃棄物発生量等を抑制できることになった。

#### 6. 評価用地震動の検討

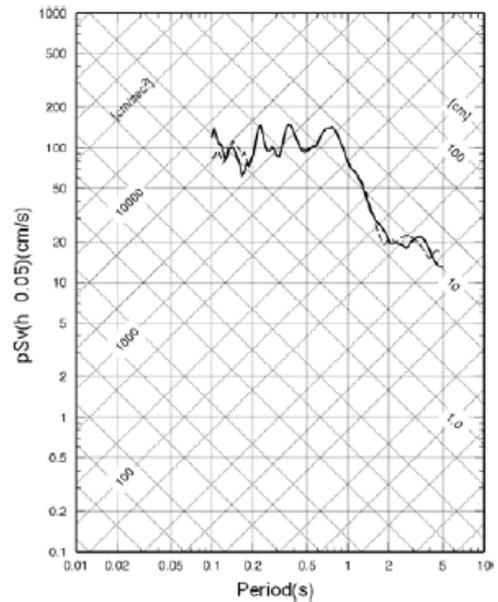
大規模大地震も含む評価用地震動の検討を行った。特に府省連携プロジェクトでは、「震度7クラス・無損傷・弾性構造」が目標とされたため<sup>1)</sup>、「震度7クラス」地震動に関する検討も行われた。

##### 6. 1 直下地震のシミュレーション

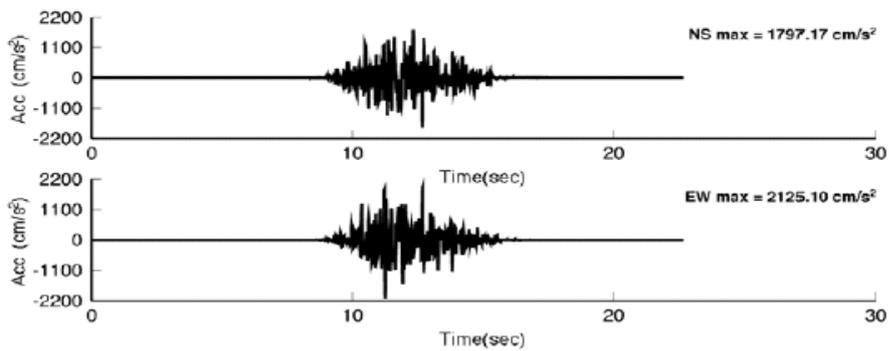
過去の強震動記録を整理するとともに、特定の地点における地盤情報と断層モデルを用いた直下地震のシミュレーションを行うことで、起こりうる地震動の検討を行った。図3にシミュレーションの結果の一部を示す。



(a)計測震度（工学的基盤上）の例



(b)応答スペクトルの例

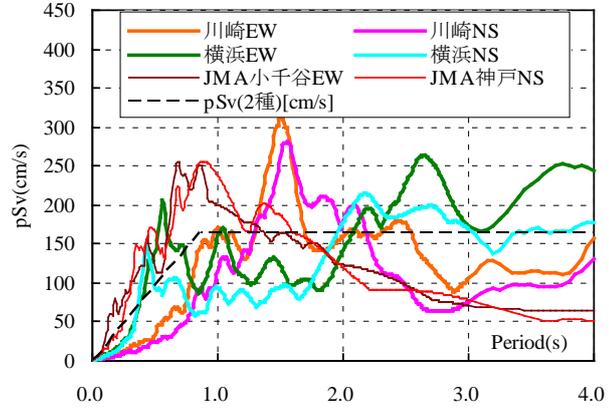
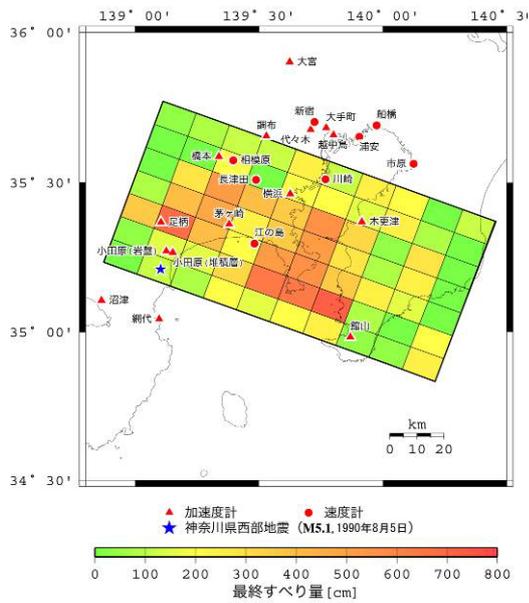


(c)加速度波形の例

図3 直下地震のシミュレーション

## 6. 2 プレート境界地震のシミュレーション

プレート境界地震として 1923 年関東地震の波形を経験的グリーン関数法により作成した。図4にシミュレーションの結果の一部を示す。



(a) 計算地点と本震断層の最終すべり量分布 (b) 速度応答スペクトル

図4 プレート境界地震のシミュレーション

### 6. 3 標準的地震動スペクトルのレベルと計測震度との関係

(1) いくつかの具体的な表層地盤を想定した非線形時刻歴応答計算結果等を踏まえ、建築基準法告示に定められる加速度応答スペクトルを有する地震動と計測震度との関係を整理した。

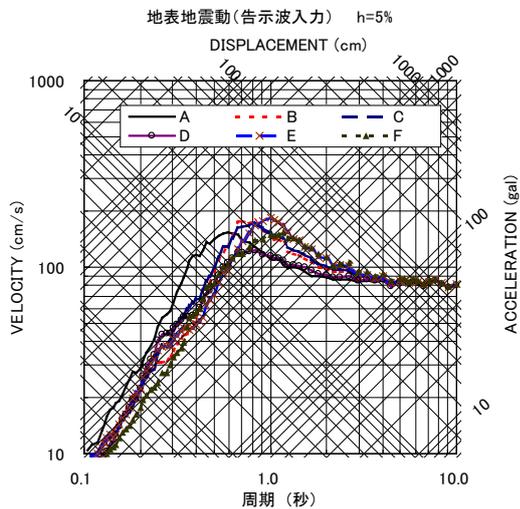


図5 告示極稀基盤波による  
地表地震動の応答スペクトル

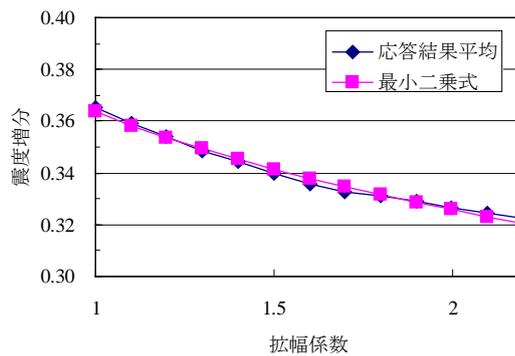


図6 告示スペクトルの拡張係数 $\alpha$ と  
表層地盤による震度増分 $\Delta I$ の関係

### (2) 標準的地震動スペクトルに関連する地震の像

標準的地震動スペクトルを検討する過程で以下のことがわかった。

- ・ 地表震度が7となる地震は、極めて低い確率の現象である。

- ・ 既往の応答スペクトル予測式と比較・検討すると、特に周期の長い範囲において過去の地震の平均的な値よりも大きめの設定となっている。

## 7. 性能評価手法の検討

### 7. 1 検討項目と体制

図7に示すように7つのWGで構造躯体等の検討性能手法の検討を行った。

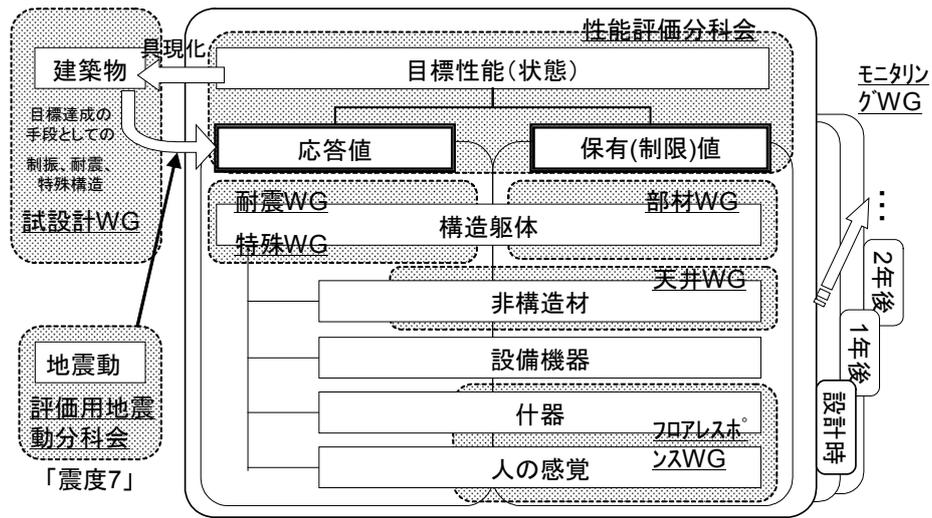


図7 検討項目と体制

### 7. 2 耐震性能評価手法

主に応答スペクトルによる等価線形化手法の高度化、制振構造の応答評価、ねじれ振動の評価、最大応答と累積応答との併用評価、フロアレスポンスの(簡易)評価を行った。また制振構造の構造解析用モデル化に関する注意点の整理を行った。

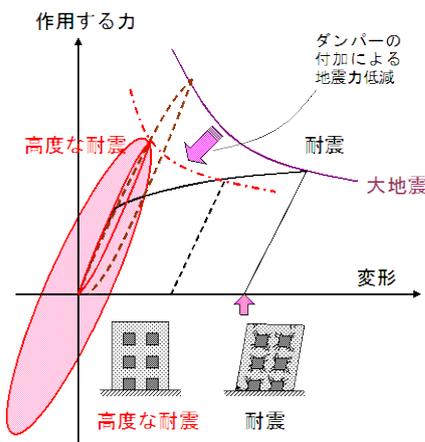


図8 高度な耐震の概念図

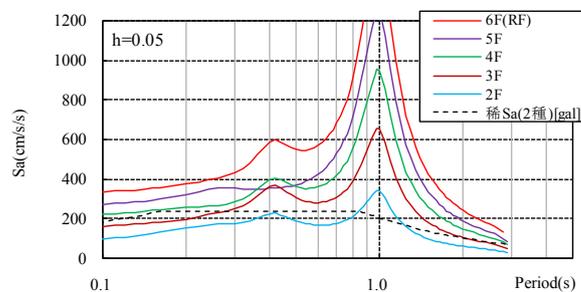


図9 床応答スペクトルの簡易評価の例

### 7. 3 部材・接合部・架構

高強度鋼柱梁部材と鋼材制振ブレースを組み合わせた制振架構システムを想定した

上で部材および接合部に関する検討を実施した。また幅厚比制限等について特に弾性範囲に着目し、実験結果に基づく検証を実施した。

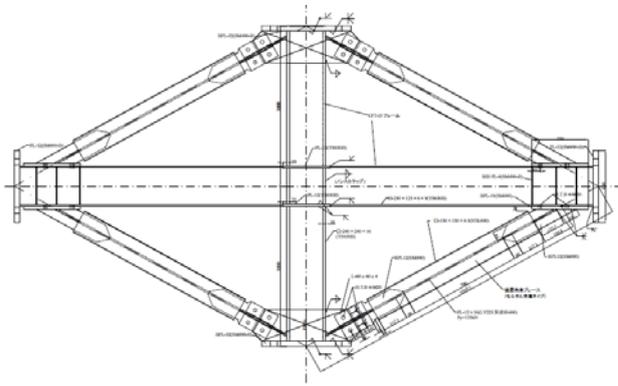


図 10 高強度鋼柱梁と鋼材ダンパーと  
組合せた架構試験体の例

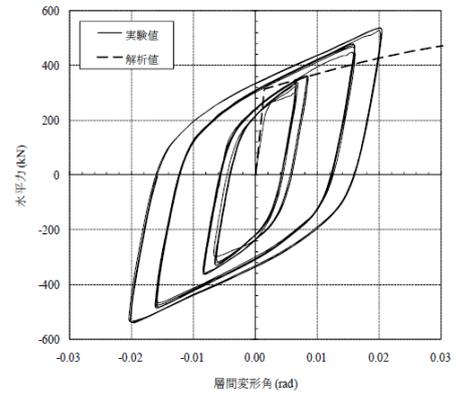


図 11 架構試験体に関する実験結果の例

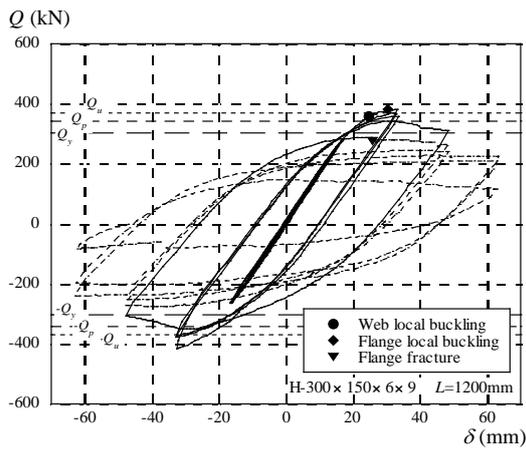


図 12 梁試験体の荷重変形関係の例



写真 1 梁試験体最終変形状態の例

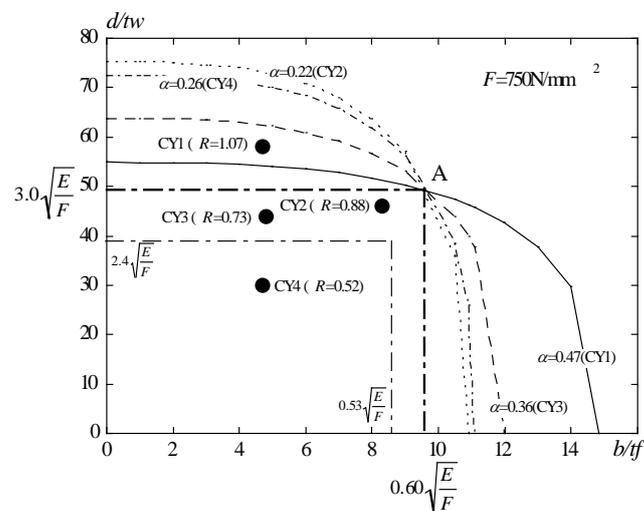


図 13 幅厚比制限値の提案

### 7. 4 モニタリング、損傷検知

基礎構造も含めた建築構造のモニタリング方法の検討を行った。モニタリング項目としては、1)基礎構造の損傷、2)上部構造(フレーム部分)の損傷、3)履歴ダンパーの累積塑性歪等のダンパーのエネルギー吸収性能に関するもの、等について既存モニタリング手法の調査又は新手法の提案、検討を実施した。

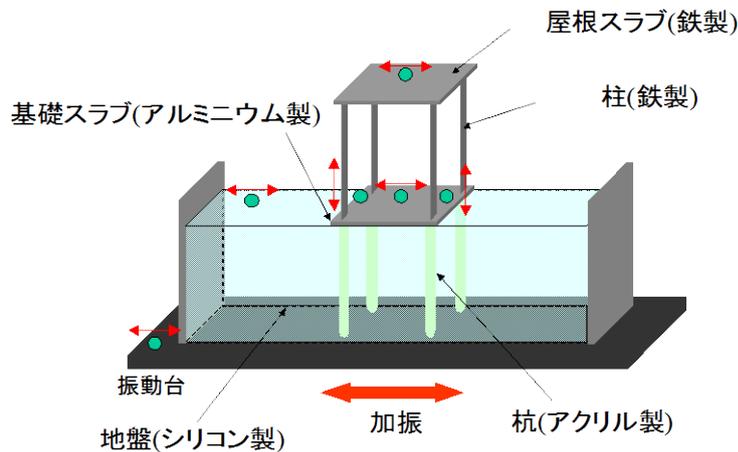


図 14 杭の損傷同定実験 概要図

### 7. 5 什器応答、行動難度

地震時の什器の応答や、人間の行動難度に関する検討を行った。



写真 2 什器等の応答を検討したモデル

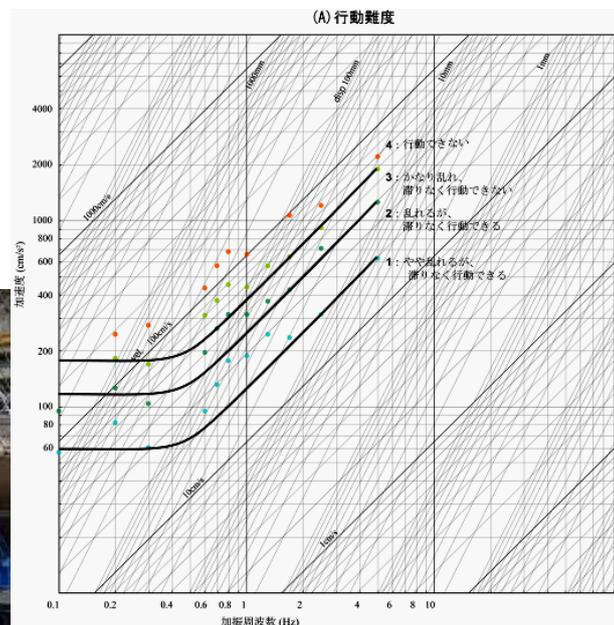


図 15 人間の行動難度の検討

### 7. 6 非構造材

近年の地震による被害が多い軽量鉄骨下地の在来工法天井を対象として、設計を意識した指針等のとりまとめやフェールセーフ的な対策の検討を実施した。



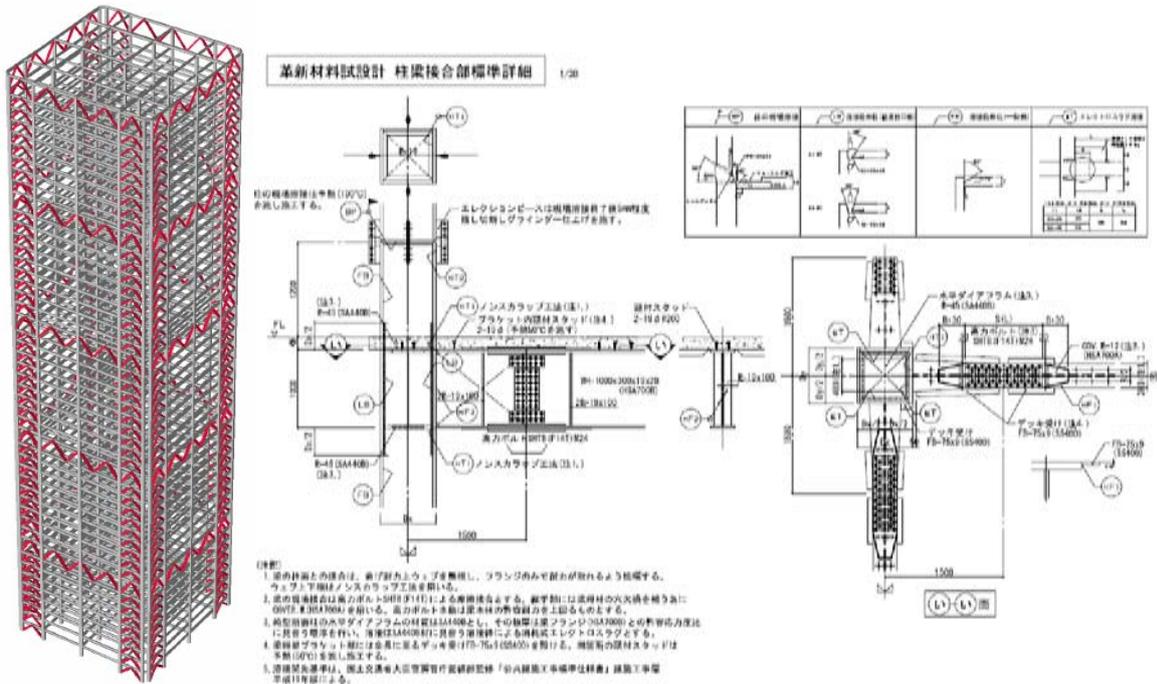
写真3 振動実験試験体



写真4 振動実験試験体

### 7. 7 試設計

本プロジェクトで対象としている鋼材を用いて試設計等を行っている。



### 8. 耐震性能評価指針（案）

6. 評価用地震動の検討、7. 性能評価手法 等の検討をもとに作成した、耐震性能評価指針（案）（平成21年3月現在）のうち、解説や付録等を除いた本文に相当する部分を以下に示す。

## 8. 1 はじめに

### 8. 1. 1 指針の位置付け

本指針(案)は、高強度鋼等を用いた新構造建築物を対象として、現行基準を上回るような地震動も想定した耐震性能評価手法の案を示すものである。

### 8. 1. 2 対象建築物

本指針(案)で対象とする高強度鋼等を用いた新構造建築物は、現行基準で規定されている稀に発生する地震(L1)、ごく稀に発生する地震(L2)だけではなく巨大地震(L3)に対しても柱梁など主要な部材が弾性に留まり、かつ、建築物としての機能を高度に維持することのできるものである。具体的には、柱梁などを高強度鋼(HSA700)とし、ダンパーを組み込んだ多層制振構造が主として想定される。

## 8. 2 材料、部材、接合部等

### 8. 2. 1 高強度鋼の特性

本指針(案)でいう高強度鋼とは、(社)日本鉄鋼連盟で定める規格 HSA700 に適合する鋼材とする。

### 8. 2. 2 高強度鋼部材の幅厚比制限

柱梁など主要な高強度鋼部材は弾性範囲で使用し、その幅厚比制限値はいわゆる部材種別 FC に相当する値以下とする。ここで、幅厚比制限の算定に用いる基準強度の値は  $700\text{N/mm}^2$  とする。ただし、応力状態、幅厚比等を考慮して局部座屈を生じるおそれのない場合はこの限りではない。

### 8. 2. 3 許容応力度

#### (高強度鋼)

高強度鋼の許容応力度の基準強度の値  $F1$  は、 $F1 = \min(0.7TS', YS') = 550\text{N/mm}^2$  (注)とする。ただし、巨大地震(L3)に対する耐震性能評価手法に用いる基準強度の値  $F2$  は、降伏応力度の規格下限値とする。

$TS'$  : 引張強さ規格下限値

$YS'$  : 降伏応力度規格下限値

#### (高強度鋼の溶接部)

高強度鋼の溶接は適切な溶接材料を用いて適切な溶接条件のもとで行う。なお溶接部の降伏応力度の下限値  $wYS'$  が高強度鋼の基準強度  $F2$  よりも小さい値に設定される場合には以下のように溶接部の基準強度を設定する。

高強度鋼の溶接部の基準強度  $wF1 = F1 = 550\text{N/mm}^2$  (注)、(ただし、 $F1 \leq wYS'$  でなければならない。)

ただし、巨大地震(L3)に対する耐震性能評価手法に用いる基準強度は  $wF2 = \min(F2,$

wYS' )とする。

(その他)

高強度鋼以外の許容応力度又は材料強度は現行基準に従う。柱梁など主要な部材以外で、塑性化を許容する部材・材料の場合は材料強度を用いてよい。

注) 平成21年3月時点での暫定値である。

### 8. 3 荷重・外力

#### 8. 3. 1 評価用地震動

評価用地震動は、解放工学的基盤位置における地動加速度により定め、適用する地震応答評価手法に応じて時刻歴波形又はその応答スペクトルにより規定する。

##### 8. 3. 1. 1 解放工学的基盤における地震動の設定

評価用地震動は、下記(1)の2種の種別の何れかにより、(2)の3つのレベル種別の地震動として設定する。

###### (1) 地震動の種別

- ① 当該建築物の建設地点に固有に定められる地震動(以下、建設地点に固有な地震動とし、S(サイトスペシフィック)種地震動と略記)
- ② 建設地点に拠らずに全国一律に定められる地震動(以下、標準的地震動とし、G種地震動と略記)

###### (2) 発生頻度による地震動のレベル種別

評価用地震動は、現行の建築基準法に定められる「稀に発生する地震動」(以下、L1地震動)及び「極めて稀に発生する地震動」(以下、L2地震動)の二つに加え、当該建築物の建設地点周辺の地震環境に基づき想定される最大級の地震動(以下、L3地震動)を考慮する。

ここで、L3地震動は、原則としてはS種地震動により定める。但し、S種地震動による地震動で定められない場合には、G種地震動に基づいて定めることができる。

##### 8. 3. 1. 2 表層地盤の増幅

建築物の評価用地震動は、8. 3. 1. 1で設定された解放工学的基盤位置における地動加速度の時刻歴波形又は応答スペクトルに対して、表層地盤による増幅を適切に考慮して定める。

##### 8. 3. 1. 3 建築物への入力

建築物基礎の地震動(入力地震動)が、自由地盤の地震動と異なることがある。この現象が明らかであれば、違いを考慮して評価用地震動を設定することができる。

### 8. 3. 2 その他の荷重・外力

評価用地震動以外の荷重・外力については現行基準によることとし、極めて稀に発生する積雪荷重・暴風に対しても安全上支障がないことを確認する。

### 8. 4 性能評価

#### 8. 4. 1 性能評価項目とランク

性能評価を行う項目は、柱梁等の構造躯体（ダンパーを含む。）のほか、非構造部材（外壁、内装材、ドア、等）、設備（設備機器、給排水管、等）、什器の滑動・転倒、及び避難行動難度とする。

#### (1) 構造躯体（ダンパーを含む。）

高強度鋼による柱梁等の構造躯体は、弾性範囲で使用する。  
ダンパー類は当該部材の性能に応じて、許容される変形・耐力・エネルギー吸収能力の範囲内で使用するほか、ダンパー類の接合部について十分な剛性・耐力を確保する。

#### (2) 非構造材

非構造材のランクは次のとおりとする。ランク3となることが予想される場合には、脱落・崩落を生じないようにフェールセーフ等の措置を講じることとする。

ランク	1（無損傷）	2（機能維持）	3（要修復）
状態	損傷せず、美観やその他の機能（遮音・吸音、遮風、、断熱等）を維持する。	一部の部品等に軽微な変形やすべり等が生じるが、美観やその他の機能をほぼ維持する。	部品等に変形やすべり等が生じ、美観やその他の機能が損なわれ、修復を要する。

#### <外壁、内装材>

ランク	1（無損傷）	2（機能維持）	3（要修復）
接合部等	許容耐力以内	一部で許容耐力を超える	—
変形角	限界変形角*1以内の75%以内	限界変形角*1以内	—

\*1 種類（プレキャスト、ALC版、等）や支持方法（固定、ロックング、等）に応じて設定

<天井>

ランク	1 (無損傷)	2 (機能維持)	3 (要修復)
振れ止め	許容応力度以内		—
すべり	許容耐力以内	—	—

<ドア>

ランク	1 (無損傷)	2 (機能維持)	3 (要修復)
変形角	許容変形角以内	一部で許容変形角を超える*1	—

\*1 避難経路や日常的に開閉するものを除く。

(3) 設備

設備のランクは次のとおりとする。ランク3となることが予想される場合には、脱落・崩落を生じないようにフェールセーフ等の措置を講じることとする。

ランク	1 (無損傷)	2 (機能維持)	3 (要修復)
状態	損傷せず、給排水等の機能を維持する。	一部の部品等に軽微な変形等が生じるが、機能をほぼ維持する。	部品等に変形等が生じ、機能が損なわれ、修復を要する。

<設備機器および取り付け部>

ランク	1 (無損傷)	2 (機能維持)	3 (要修復)
設備機器	許容振動範囲以内	一部で許容範囲を超える*1	—
取り付け部	許容耐力以内	一部で許容耐力を超える*1	—

\*1 避難等に関わる設備、重要な設備を除く。

<配管等>

ランク	1 (無損傷)	2 (機能維持)	3 (要修復)
配管	変位抑制 (耐震支持)	一部で変位が大きくなる	—
立て配管	許容変形角以内	許容変形角以内	—

#### (4) 什器

什器の滑動・転倒・落下のランクは次のとおりとする。ランク3以上となる場合には、居住者の安全性を確保するための対策を施すこととする。			
ランク	1（無損傷）	2（機能維持）	3（要修復）
状態	ほとんど全ての什器が、滑動・転倒・落下しない。	一部の什器が、滑動・転倒・落下する。	多くの什器が、滑動・転倒・落下する。

#### (5) 避難行動難度

避難行動難度のランクは次のとおりとする。ランク3以上となる場合には、居住者の安全性を確保するための対策を施すこととする。			
ランク	1（安全）	2（やや危険）	3（危険）
状態	やや乱れるが滞りなく行動できる。	乱れるが滞りなく行動できる。	かなり乱れ滞りなく行動できない。

### 8. 4. 2 地震応答評価手法

性能評価項目に対応した地震時における応答量（変形、加速度、等）を評価する。地震応答評価手法は、  
時刻歴による手法（精算手法）  
応答スペクトルによる手法（簡易手法）  
の2種とする。

#### 8. 4. 2. 1 適切な解析モデルの設定

対象建築物を構成する架構及びダンパーを適切にモデル化する。ここで、ダンパー設置のためのガセットプレート等により柱や梁の可撓長さが短くなることで、応力状態等が変化する場合があることに留意する。

#### 8. 4. 2. 2 時刻歴による手法

##### (1) 適用範囲

全ての建築物に適用可能とする。

##### (2) 応答評価

解析条件を適切に設定し、入力地震動に対する応答を時刻歴応答解析により求める。構造躯体については最大応力、最大・累積変形、吸収エネルギー等を確認する。また、非構造材、什器、避難行動難度の評価のため、床応答加速度を算定する。

#### 8. 4. 2. 3 応答スペクトルによる手法

##### (1) 適用範囲

高さが 60m 以下の建築物とする。

##### (2) 応答評価

Pushover 解析を援用した 1 自由度系への縮約と応答スペクトルによる評価は基本的に限界耐力計算と同じとし、高次モードの影響を考慮する。

また、非構造材、什器、避難行動難度の評価のため、床応答加速度（最大値又はスペクトル）を算定する。

#### 8. 4. 3 性能の表示

4. 2 による地震応答評価の結果から性能評価項目ごとに状態やランクを表示する。

#### 8. 4. 4 性能の検査・確認

建築構造物が設計時に想定した性能を発揮できるものとなるよう中間検査と完了検査及び溶接接合部の品質検査等鉄骨架構の製造に係る各種品質検査を適切に実施するほか、建築物にモニタリングのためのセンサーを必要に応じて設置し、これらセンサーによる計測データ等を活用することにより、施工時、竣工時及び供用時の各段階において、建築構造の状態を検査、確認する。

#### 8. 5 維持管理

建築物の構造に対しては、想定した性能が発揮されるよう適切な維持管理を行うこととし、維持管理計画に基づく点検により想定した性能が発揮されないと判断された部位等については速やかに交換を行う。

#### [参考文献]

- 1) 「新構造システム建築物研究開発プロジェクト 成果報告書」2009.03 (社)新都市ハウジング協会、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本鋼構造協会

自然災害による公共土木施設等の実用的な被災リスク

評価手法の開発に向けた取り組み

～洪水と地震・津波～

危機管理技術研究センター長

寺田 秀樹

# 自然災害による公共土木施設等の実用的な被災リスク評価手法の開発 に向けた取り組み ～洪水と地震・津波～

危機管理技術研究センター長  
寺田 秀樹

## 1. はじめに

平成 21 年に限っても、7月の中国・九州北部豪雨、8月の駿河湾を震源とする地震や8月の台風9号による水害が発生するなど、毎年のように地震や豪雨による大きな被害が発生してきており、災害に強い安全安心な国土の継続的な整備が重要な課題とされている。しかしながら、厳しい財政状況下においては、効率的・効果的な防災対策の実施が不可欠であり、こうした防災事業を進める上で、個々の公共土木施設の被災の可能性や被災した場合の影響度を適切に評価していくことが求められている。

本文では、防災事業の効率化に資することを目的とし、洪水と地震・津波災害を対象として、個々の公共土木施設の被災リスクの評価手法と被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策に関する研究開発成果について報告する。

## 2. 研究開発への取り組み

本研究は、国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究」の一環として平成18～20年度に実施したものである。危機管理技術研究センター長がプロジェクトリーダーをつとめ、危機管理技術研究センター砂防研究室・水害研究室・地震防災研究室、河川研究部海岸研究室、沿岸海洋研究部沿岸防災研究室による共同の研究課題として実施した。

防災事業を進める上では、個々の管理施設・地点の被災の可能性とその影響度の評価が不可欠であるが、災害種別・施設種別に見ると、手法自体がない、あるいは、従来手法では適用範囲、精度の面で十分ではないものもある。そこで、本プロジェクト研究では、土砂災害、水害、地震災害、津波災害の4つの自然災害を対象とし、個々の施設や地点の被災リスクを評価する手法の高度化を図ることにより、効率的な対策の実施や発災時の緊急対応の効率化に資することを目標としたものである。本研究では、対象とした4つの災害分野に対して、①施設または地点ごとの被災リスクの評価手法の高度化、②被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案、の2点を研究目的とした。

研究目的に対応する具体的な研究開発項目として、それぞれの災害分野における現状の技術レベルに応じて本プロジェクトで解決すべき研究課題を以下のように設定した。特に、被災リスクの評価の中で、従来の評価手法が十分ではなかった地震と津波の双方の影響を考慮した複合災害を考慮するとともに、災害後の対応能力の向上や避難支援といった災害時対応分野についての検討も実施した。

(1) 施設または地点ごとの被災リスク評価手法の高度化

- 1) 土砂災害：住民の避難による効果や被災確率を考慮した土砂災害リスク評価手法の検討
  - 2) 水 害：データ整備が不十分な中小河川に対する治水安全度評価手法の検討  
水害による直接被害及び間接被害の被害額算定手法の検討
  - 3) 地震・津波複合災害：地震及びこれに続く津波により、河川施設、道路施設、海岸施設、港湾施設等に生じる被害想定手法の検討
- (2) 被災リスクに基づく防災事業の合理化の支援方策の提案
- 1) 地震・津波複合災害：地震・津波被害想定結果に基づく被害軽減対策の検討
  - 2) 災害時対応：地震災害時の対応の支援方策として、実践的な地震防災訓練の実施による震後対応能力の向上策の検討  
高潮・津波に対する避難意志決定要因の解明及び避難促進施策の進め方の検討

本文では、上記の研究成果のうち、洪水に対する被災リスクの評価手法として中小河川に対する治水安全度評価手法を、また、地震津波災害に対する被災リスクの評価手法として、地震及びこれに続く津波により施設に生じる被害想定手法を報告する。

### 3. 洪水に対する被災リスクの評価手法の開発

#### 3. 1 はじめに

近年、集中豪雨等により全国各地で甚大な災害が発生している。とりわけ、局所的な豪雨の影響を受けやすい中小河川においては甚大な被害が発生している。

その一方で、財政面の厳しい制約もあり、効果的な水害対策を図るためにはより優先度の高い地域から治水対策を進めていくことが重要である。また、河川管理者、地域の防災対策を担う関係自治体、さらには地域住民が一体となり、効率的・効果的な治水対策を推進し、災害発生時における実効的な危機管理を実現するためには、河川の各区間における安全度を評価し、その結果を地域にわかりやすく示すことも重要である。

しかしながら、都道府県等が管理する中小河川では、河道横断測量、水位・流量観測等が十分に実施されておらず流下能力などの基本的かつ重要な情報が不足している箇所もあるのが現状である。

以上のような背景から水害研究室では、全国同一の尺度による簡便な治水安全度評価手法を立案し、地方整備局等と連携し一級水系の指定区間等の中小河川を対象として、治水安全度評価を実施し、国管理区間を含む水系全体の治水安全度（その河道区間が安全に流せる洪水の規模）の公表を行った。

なお、国が管理するような重要度の高い河川では、定期的に河道の縦横断測量、水位・流量観測等が実施されており、精度の高い治水安全度評価がすでに行われている。このため、国の管理区間（約 10,000km）については既存の治水安全度評価を使用することとした（図-3.1 参照）。

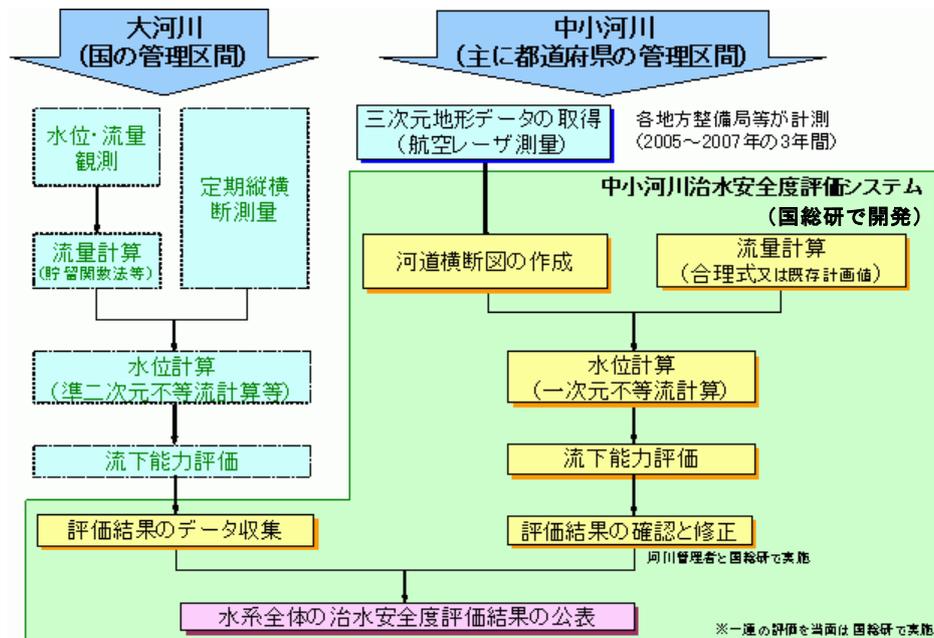


図-3.1 一級水系の治水安全度調査・評価・公表フロー

### 3. 2 中小河川に対する治水安全度評価手法

中小河川では河道縦横断測量、水位・流量観測等が十分に行われていない区間も多く、基本的情報が不足しているのが現状である。このため、今回の評価においては航空レーザ測量により全国一級水系の中小河川の地形データを取得し基礎データとして使用した。

以下、河川の治水安全度評価の具体的方法を述べる。

#### (1) 河道地形データの作成

##### (a) 航空レーザ測量によるデータの取得

国の管理区間以外の中小河川においては、整備計画の検討が行われている等の限られた区間においてのみ河道測量成果が存在し、多くの区間においては河道横断測量成果を有していないことが実状である。こうした測量“空白区”を速やかに解消するため、広範囲の地形データを高密度で取得できる航空レーザ測量（以下、L P測量）を活用した<sup>1)</sup>。

L P測量は、**図-3.2**に示すとおり、航空機に搭載した航空レーザスキャナから地上に向けてレーザパルスを発射し、反射して戻ってきたレーザパルスを解析することで地形データを取得する技術である。地形データから河道横断形状や氾濫原の地形形状などを得ることが可能である。

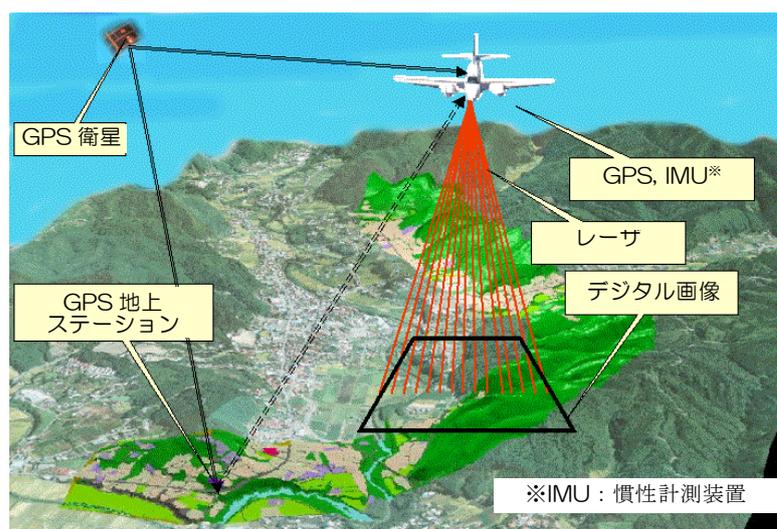


図-3.2 L P測量の概念<sup>2)</sup>

今回は、「航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案）平成17年6月 国土交通省河川局」に従い、レーザ計測密度について2mピッチを最低条件として行っている。

##### (b) 地盤高データの作成（データ処理）

上記にて取得した、L P測量結果である生データにはノイズデータとよばれる空中の雲や塵などに反射したデータも含まれている。このノイズデータを除去し、地表面データ（オリジナルデータ）を作成する。このオリジナルデータは構造物や草本群落の標高値も含むため治水安全度評価に用いる河道断面を作成するための地盤高データを得るには、構造物

や植生群落を除去し地盤高データ（グラウンドデータ）を作成する必要がある。この過程をフィルタリング処理<sup>2)</sup>と呼ぶ。

計測範囲の全域を対象に地表面データをコンピュータプログラムによるフィルタリング処理（自動フィルタリング）を行い、構造物や大きな植生群落等を取り除く。

ただし、自動フィルタリング処理だけでは河川周辺にある除去対象物の取り除きの過不足（橋梁や樹木の取り残し、堤防の消失など）があるため、自動フィルタリング処理後のデータと航空写真（オルソフォト）を見比べ手作業による補正（手動フィルタリング）を行い、流下能力計算に必要な地盤高データを作成する。

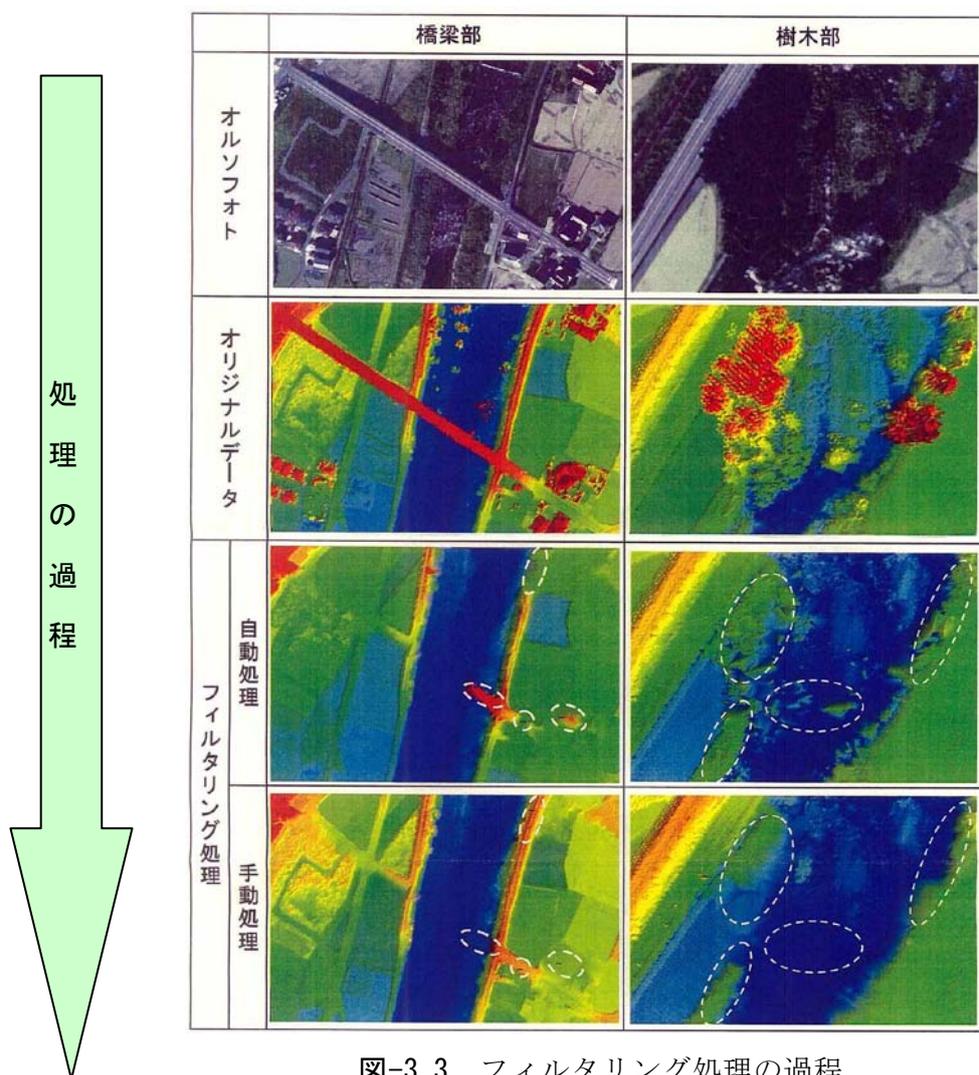


図-3.3 フィルタリング処理の過程  
（河道内樹木と橋梁データの除去）

(c) 河道横断形状の作成

地盤高データから河道横断形状を作成する手法としては、主なものに投影法、バッファ一法、TIN（不整三角形網 Triangulated Irregular Network）法があるが、今回は機械的に河道横断図を作成できる TIN 法を採用し、河道中心線に直交する任意の横断測線上の標高を、

地盤高データから作成された三角形網より自動的に河道横断形状を得るシステムを開発し治水安全度評価に使用した。

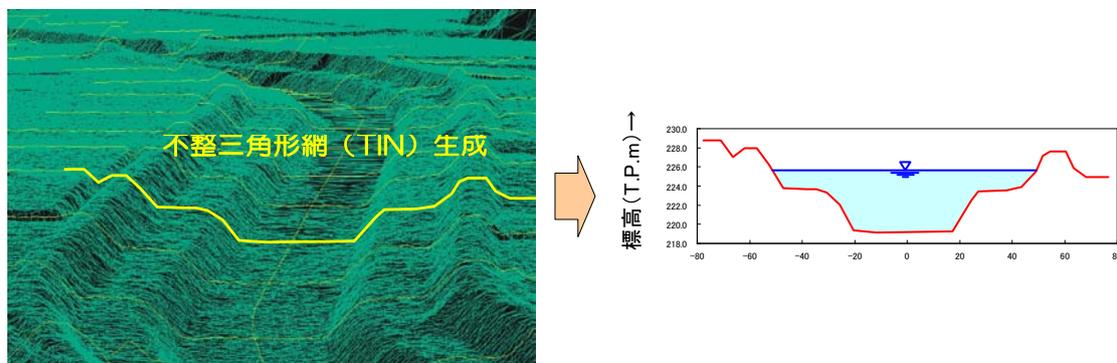


図-3.4 TINによる河道横断面作成

(d) 地盤・地形データの精度を向上させるための配慮

河道横断面取得においては、LP測量自体の誤差<sup>3)</sup>(計測機器や計測実施条件等に左右されるが、概ね水平精度±30cm、鉛直精度±15cm)、TINデータからの内挿補間による誤差の影響の他に、レーザの性質上、水面下の地形データを計測できないこと、草本類の影響を受けるため実際の地盤高よりやや高い地盤高で計測され、通常の河道横断面測量結果と比較するとやや横断面積が小さくなる傾向が見られた(図-3.5、図-3.6参照)。

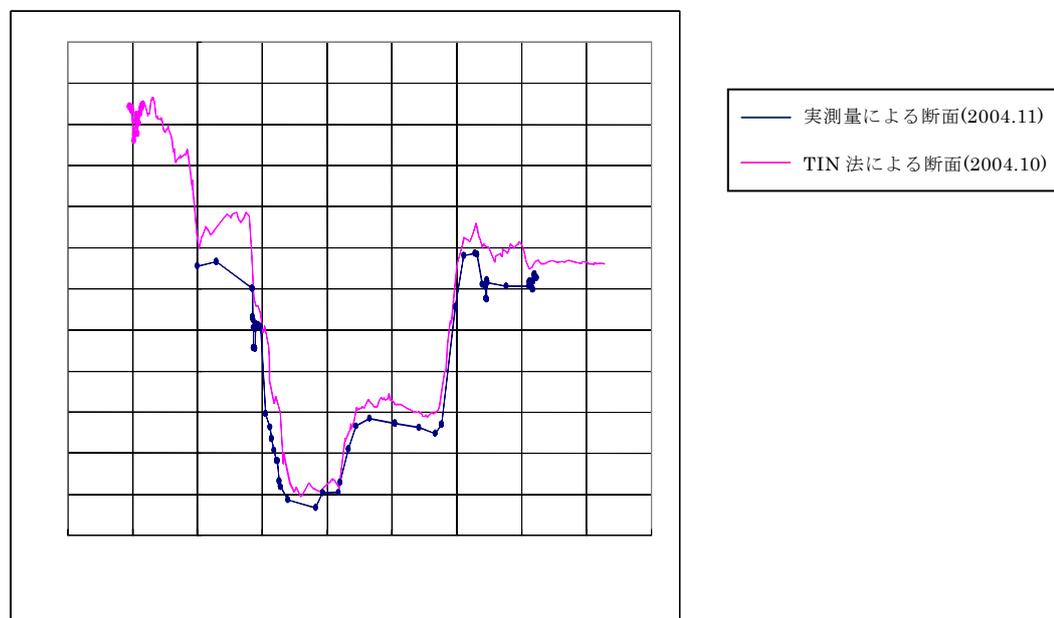


図-3.5 LP計測による断面と実測による横断面

これらの誤差をできるだけ小さくするために、河道横断面測量が実施されている場合は、その測量断面を用いて精度チェックや補正・補完を行った。

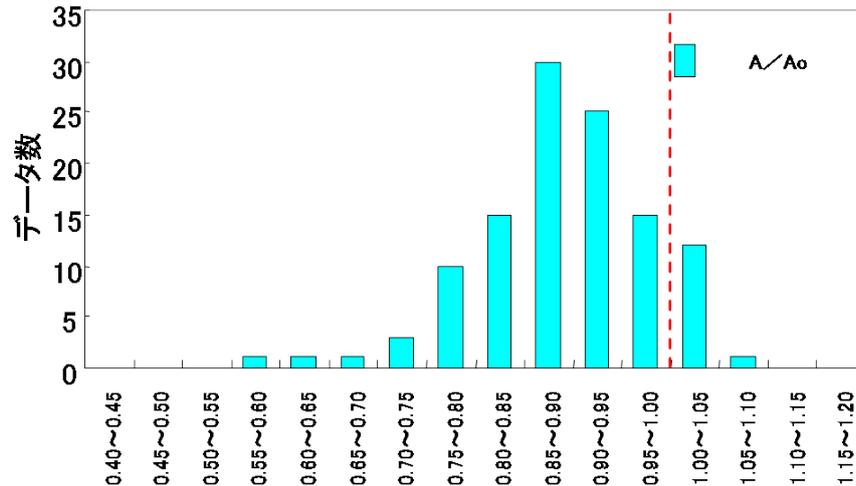


図-3.6 実測断面に対するLP測量による断面の比

(A:LP測量による断面積 A<sub>0</sub>:実測による断面積)

## (2) 流量および水位計算の方法

### (a) 基本的な考え方

中小河川においては前述のように、水位・流量観測等が十分に実施されていないこともあり、今回の評価にあたっては全国各雨量観測地点の降雨強度式と合理式による確率規模別流量の計算及び一次元不等流計算といった簡便な解析手法を採用した。

### (b) 降雨強度 $r$

降雨強度式にはフェア式を用いる。実際の計算では独立行政法人土木研究所が開発した「アメダス確率降雨計算プログラム」を使用する。

(<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>)

$$r_t^T = \frac{bT^m}{(t+a)^n} \quad (3.1)$$

ここで、各変数は以下の通りである。

$r_t^T$  : 確率年  $T$  の  $t$  継続時間確率降雨強度 (mm/hr)、

$T$  : 確率年(年)

$t$  : 降雨継続時間 (hr)

$a, b, m, n$  : フェア式パラメータ

このプログラムは、全国の気象庁アメダス観測点の約 1,300 地点のうち 748 地点について、1971 年～2000 年までの雨量データを基に作成したものである。なお、 $t$  にはクラーヘン式によってもとめた合理式における洪水到達時間を与える。

### (c) 合理式と流出係数 $f$

合理式で用いる流出係数  $f$  は、土地利用区分ごとの流出係数の加重平均（各区分の面積

に関する)とし、「河川砂防技術基準<sup>4)</sup>」を参考に山地を 0.7、平地を 0.8 と設定した。なお、計算に必要となる流域面積や流路長といったデータは河川現況台帳をもとに国総研水害研究室が整理し、放水路の新規建設等により修正が必要であると判断される場合には修正を行った。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} frA \quad (3.2)$$

ここで、各変数は以下の通りである。

$Q_p$  : 洪水ピーク流量 (m<sup>3</sup>/s)、

$f$ : 流出係数

$r$ : 洪水到達時間内の降雨強度 (mm/hr)

$A$ : 流域面積 (km<sup>2</sup>)

#### (d) 一次元不等流計算と粗度係数 n

河床材料や河道内樹木群等の河道特性を反映できる水位計算手法も実用化されているが、河道特性を把握することは容易ではない。そのため、河道横断面に合成粗度係数を設定し一次元不等流計算により、水位計算を行った。ただし、中小河川には急勾配区間も多いので、必要に応じ、常流射流混在の計算もできるようにしている。

この場合において、河道の全ての特性（河床材料、河道横断面形状など）を考慮した合成粗度係数の与え方が大切になる。今回の検討では中小規模でも粗度係数が実測値等から詳細に検討されている 58 河川を対象にした場合、平均的な合成粗度係数として  $n=0.033$  が得られたことから、国総研が行った一次評価においては、すべての区間においてこの値を一律に設定し、水位計算を行った。

### (3) 治水安全度の評価

(1) (c)で作成した河道横断形状から堤防の評価高（今回の検討では堤防の評価高については、「評価高＝現況天端高－確率規模別流量に応じた余裕高」を基本としているが、背後地盤高の方が高い場合は、評価高を背後地盤高として採用している。）を決定し、(2)で得た水位計算結果と比較することによって、治水安全度を評価する。

T=30 の洪水の水位計算結果と評価高を比較し、堤防の評価高が水位を上回る場合、青色で着色し、「30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。また、評価高が T=10 の洪水の水位計算結果を下回る場合は、「10年に一度発生すると想定される降雨に未対応の区間」として赤色で着色し、そのどちらでもない場合は、黄色に着色し、「10年から30年に一度発生すると想定される降雨に対応している区間」とした。(図-3.7 参照)。

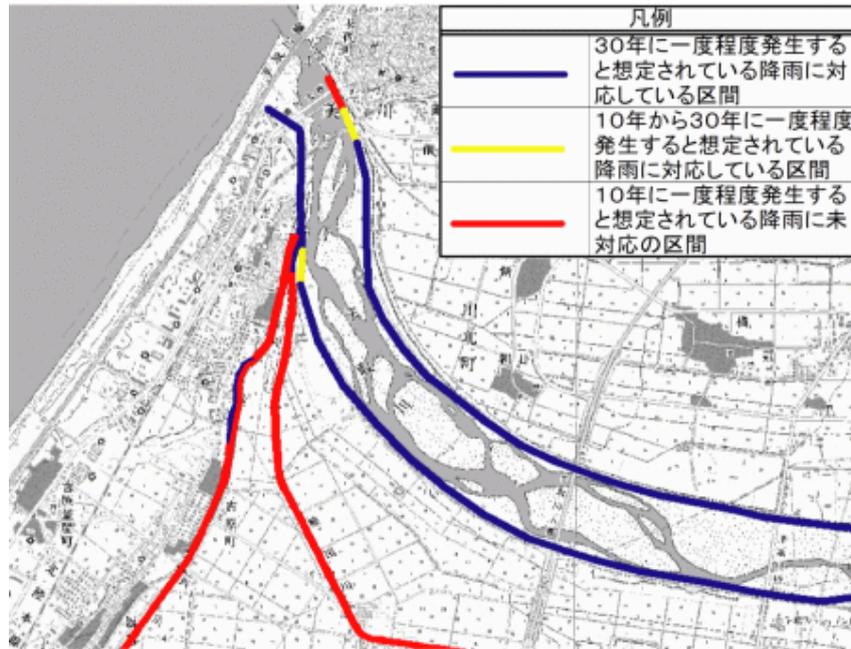


図-3.7 中小河川治水安全度評価イメージ

また安全度評価は 100m ピッチで実施しているが、表示にあたってはLPデータの精度や評価結果の見やすさを考慮して 500m 毎にその区間における最も低い安全度の表示を基本とした。

(4) 評価結果の公表

2009年8月現在、全国109水系の内71水系(表-3.1、延長約12,800km)の治水安全度評価結果を公表している。その他の水系についても各河川管理者において、現在評価結果の妥当性を確認しており、確認作業終了の後、順次公表を進める。なお、要整備区間がないなどの理由で評価作業を実施しておらず、公表予定のない水系もある。

表-3.1 公表済み水系(網掛けしている水系が公表済み)

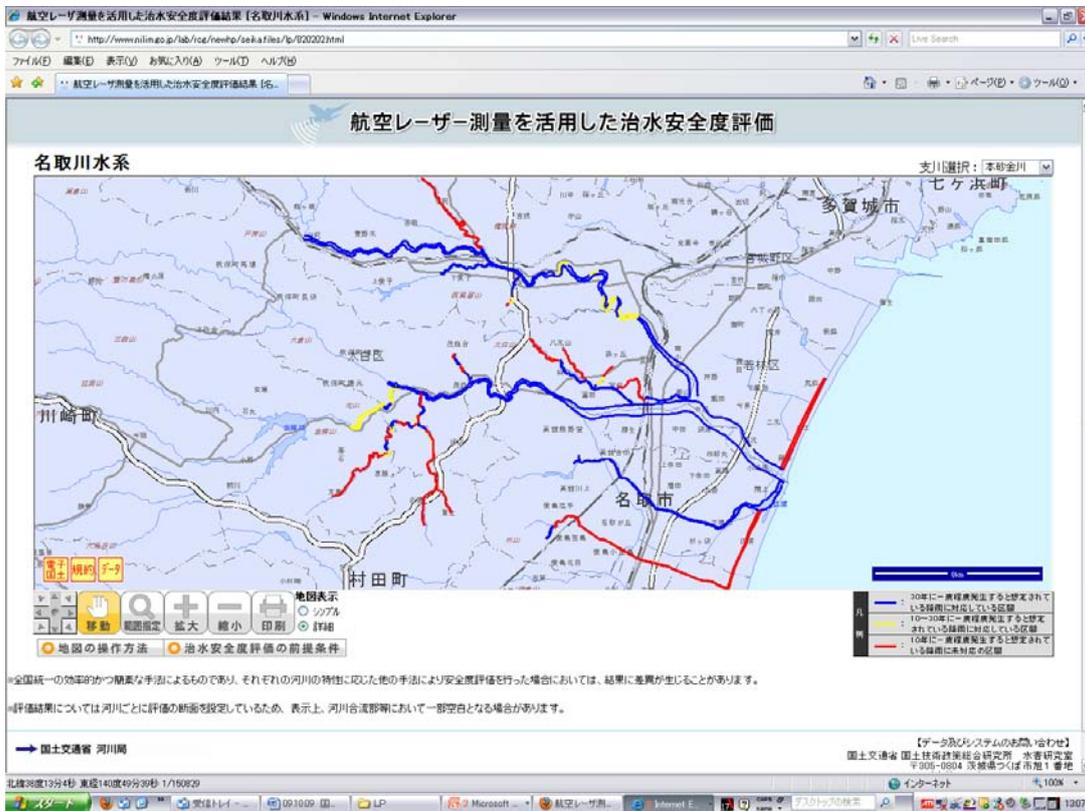
天塩川	常呂川	米代川	鶴見川	神通川	豊川	大和川	日野川	吉井川	松浦川	川内川
留萌川	湧別川	雄物川	相模川	庄川	矢作川	淀川	斐伊川	重信川	本明川	肝属川
石狩川	渚滑川	子吉川	富士川	小矢部川	庄内川	加古川	江の川	肱川	六角川	大淀川
尻別川	阿武隈川	最上川	荒川	手取川	木曾川	揖保川	高津川	渡川	嘉瀬川	小丸川
後志利別川	名取川	赤川	阿賀野川	梯川	鈴鹿川	九頭竜川	佐波川	仁淀川	筑後川	五ヶ瀬川
鶴川	鳴瀬川	久慈川	信濃川	狩野川	雲出川	北川	小瀬川	物部川	矢部川	番匠川
沙流川	北上川	那珂川	関川	安倍川	櫛田川	由良川	太田川	那賀川	菊池川	大野川
十勝川	馬淵川	利根川	姫川	大井川	宮川	円山川	芦田川	吉野川	白川	大分川
釧路川	高瀬川	荒川	黒部川	菊川	新宮川	千代川	高梁川	土器川	緑川	山国川
網走川	岩木川	多摩川	常願寺川	天竜川	紀の川	天神川	旭川	遠賀川	球磨川	

公表結果は国総研水害研究室の web ページで閲覧できる。

トップページ(<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/lp/eva.html>)にある「治水安全度評価」のタブから地方・水系を選択した後に目的の水系の評価結果を見ることができるようになっている(図-3.8)。なお、背景地図には国土地理院が公開している電子国土を用いている。



(a) 公表サイトのトップページ



(b) トップページで治水安全度をクリックした後の公表結果のページ例

図-3.8 治水安全度評価公表サイト

## 4. 地震・津波災害に対する被災リスク評価手法の開発

### 4. 1 被害想定手法の開発

#### 4. 1. 1 はじめに

地震・津波被害の軽減には、被害想定を実施し、その結果に基づいて対策計画を立案・実行することが有効である。そのため、中央防災会議や地方自治体でも、今後発生が予想される大規模地震に対する被害想定が実施されている。被害想定が実施されている地震は内陸直下の地震と海溝型の地震とに分けられるが、海溝型の浅い地震は、強い揺れの後に津波が来襲する特徴がある。上記の被害想定では、これら揺れと津波に対して建物被害や人的被害を想定しているが、被害を防ぐ、または緊急輸送を担うための施設である公共土木施設の被害を想定する手法については、参考となる指針が存在しなかった。そこで、被害を想定すべき施設、被害の想定手法を検討し、一部施設の被害想定については参照すべき基準書を示し、評価手法の詳細は基準書などに従うこととしたうえで、公共土木施設（ここでは海岸・港湾・河川・道路施設を対象）の被災を考慮した地震・津波被害の想定手法をとりまとめた（図-4.1）。施設ごとの被害想定手法の概要は以下に示すとおりである。なお、この結果は文献<sup>5)</sup>にマニュアル（案）として公表されている。

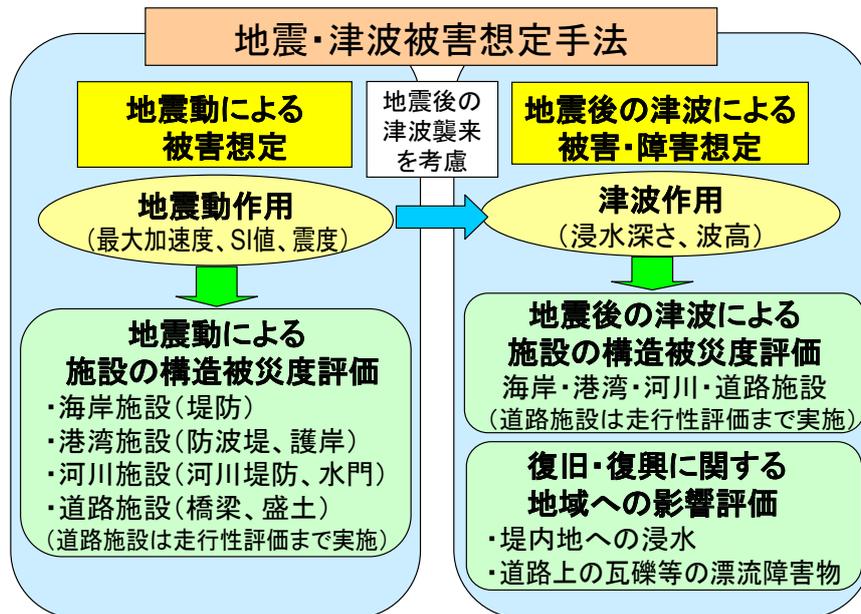


図-4.1 公共土木施設の地震・津波被害想定手法の概要

#### 4. 1. 2 海岸施設

海岸施設の被害想定で対象とする項目は、地震動及び津波による施設機能の低下であり、浸水防止機能を有する海岸施設の代表的なものである海岸堤防を対象とした（表-4.1）。

表-4.1 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（海岸施設）

対象施設等	評価手法の概要
海岸堤防	地震：動的・静的 FEM 解析により変形を評価 津波（倒壊）：波圧と土圧を算定し堤体の安定性を照査 津波（洗掘）：越流量等から洗掘量を推定 津波（被覆工の流出）：越流に対する被覆工の必要質量を照査

海岸施設は、海岸堤防が海岸背後の人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するなど、浸水を防止する機能を有している。地震動による海岸堤防の沈下は、津波による背後地の被害を増大させる可能性があり、機能低下の典型例である。よって、想定地震のもとで所要の機能を確保できる耐震性能を照査することとする。津波による海水の侵入を防止する機能に着目すると、天端高の維持に関わる沈下を照査する必要がある。

被害想定において対象とする地震動は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」<sup>6)</sup>に従って、通常の施設については、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）、背後地の重要性等により高い耐震性能が必要とされる海岸施設については、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）とする。また、各施設の構造特性に応じた適切な耐震解析法に基づいて耐震性能を照査することとするが、構造物の変形状況をより精緻に予測できる動的 FEM 解析(例えば FLIP)や静的 FEM 解析(例えば ALID)を用いることが望ましい。

一方、一般的に地震後の津波は数波に渡り、後続の波が第一波より高いこともある。このため、津波による海岸施設の被災は、海岸施設の浸水防止機能を低下させ、その後に来襲する津波による背後地の被害を増大させる可能性がある。よって、想定津波に対する施設の安全性能を照査する必要がある。

1983年日本海中部地震(M7.7)および1994年北海道南西沖地震(M7.8)の被災事例を整理すると、津波による海岸堤防の被災形態は、①堤体・上部工の倒壊、②堤体基礎洗掘、③被覆工の流出に分類される。

①は、**図-4.1**のように津波の波力が堤体・上部工に作用することにより、堤体の転倒・滑動や上部工の亀裂・倒壊が生じるものである。これについては、堤体に作用する波圧と土圧を算定し、堤体の安定性を照査することができる。なお、津波の波圧・波力の算定式は多数提案されているが、構造物の位置、ソリトン分裂の有無などを考慮して適切な算定式を選択する必要がある。たとえば、孤立波を作用させた水路実験（**写真-4.1**）では、**図-4.2**のように、砕波しながら孤立波が堤防模型に作用する場合に、静水面（ $z/H=0$ ）よりやや上方において既存の算定式を上回る波圧が測定されている<sup>7)</sup>。

②は、**図-4.3**のように越流により構造物近傍の地盤が洗掘されるものであり、波力の増大などを通じて①や③に繋がる可能性がある。局所的な現象である洗掘を推定するには津波の流動を詳細に想定する必要があるが、越流量などから洗掘量を推定する方法<sup>8)</sup>もある。

③は、地震動により被覆工の目地が開くことなどにより、越流により被覆工が流出するものである。その照査には、越流に対する被覆工の必要質量を求めるイスバッシュの式<sup>9)</sup>

など、被覆工の位置や形状等に応じて適切な算定方法を採用する必要がある。

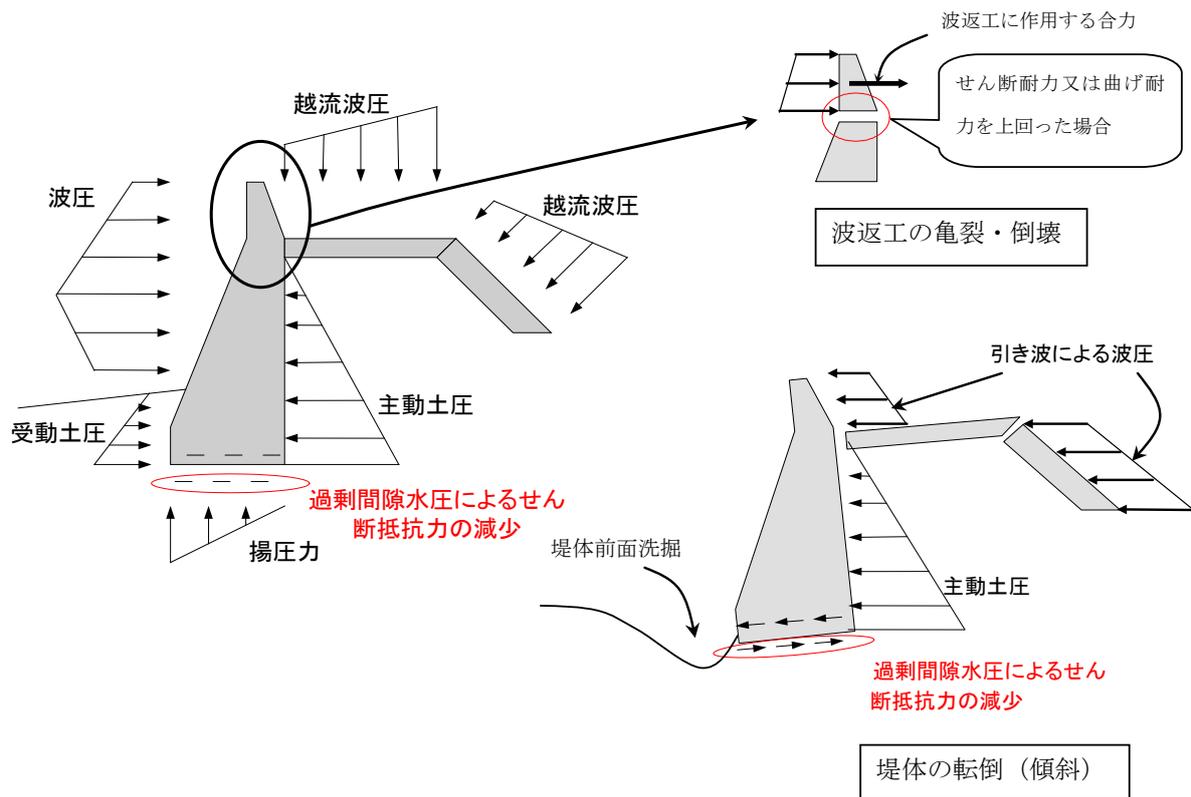


図-4.1 海岸堤防に作用する荷重

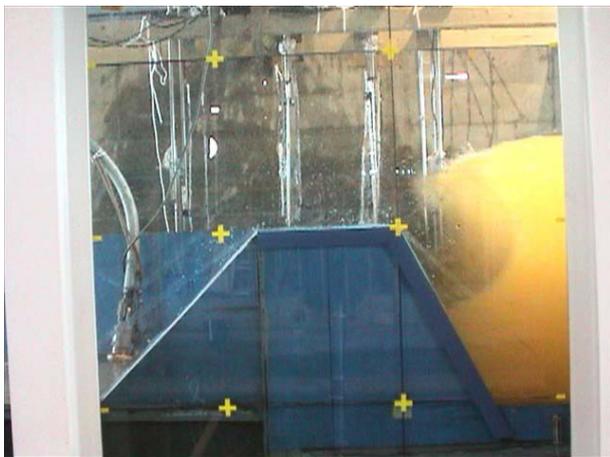


写真-4.1 砕波しながら堤防に衝突する孤立波

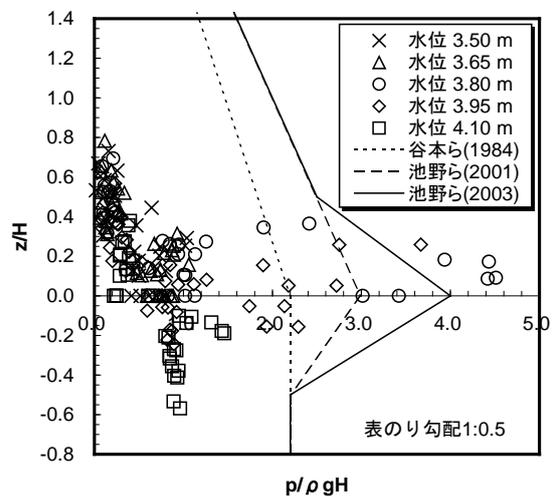


図-4.2 波圧の鉛直分布  
(表のり勾配 1:0.5)

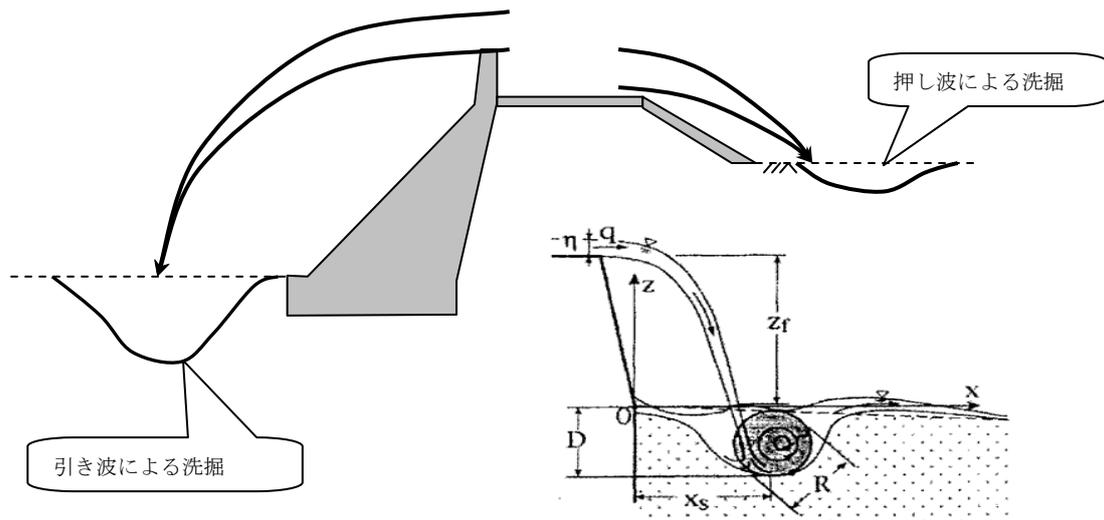


図-4.3 津波による構造物周辺の洗掘

#### 4. 1. 3 港湾施設

地震、津波による港湾施設の被害想定に関するこれまでの研究成果をレビューし、地震に対する被害想定手法、津波に対する被害想定手法に分けてそれぞれ体系化を図った。地震に対する被害想定手法については、これまでの関連研究がかなり進んでいることもあり、まとまった形での体系化がほぼ確立された形になっているが、津波に対する被害想定手法については、関連研究が途上のものも多く、必ずしも完全な形での体系化が実現できた段階にあるわけではない。そのため、津波波力に対する防波堤の安定、被覆石の散乱、消波工の移動・散乱、護岸の変形については類似の研究成果を津波の場合に適用する形で被害想定手法とみなすこととしている。また、近年、津波漂流物に関する被害想定手法についての研究が各方面において精力的に行われてきており、本分野について最新の研究成果を踏まえたものを取りまとめた（表-4.2）。

以下、被害想定の対象とする項目を4つ設定し、各項目について説明する。

表-4.2 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（港湾施設）

対象施設等	評価手法の概要
防波堤	津波波圧を評価し滑動・転倒・支持力不足について検討
護岸	時刻歴応答解析により変形量を評価
漂流物	津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせる評価

※地震による被災評価は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>9)</sup>に従う

#### (1) 港湾施設の地震動による被害

港湾施設の地震動による被害は、2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>9)</sup>に従って想定することとする。地震動による港湾施設の被害予測手法については、静的解析手法（震度法、応答変位法等）、動的解析手法（応答スペクトル法、時刻歴応答解

析法)に分類できる。本研究では、各種港湾施設に対して、これらの地震被害予測手法の適用性を検討し、その結果、震度法については重力式構造物、矢板式構造物、盛土に適用可能であり、保有水平耐力法については直杭式棧橋に適用可能であることが分かった。こうした結果を、実際の被害想定に用いる際の参考とすることが望まれる。

## (2) 地震動・津波による防波堤の被災

地震動については、設置水深が深く設計波高が小さい場合に、波浪に関する変動状態において定まる堤体の断面諸元とレベル1地震動の関係より耐震性能照査の必要性を判断し、必要性ありと判断された場合、耐震性能照査を行うこととしている。なお、滑動・転倒に関して照査が必要とされた場合の性能照査方法は、港湾基準にもとづき行う。

津波による防波堤の被災は、波浪を対象とする変状と近似していると考え、津波による被災として特に問題となるものについての被害想定手法を以下の1)~3)のように評価した。

### 1) 防波堤の津波に対する安定

滑動による堤体の変位・転倒による堤体の変位・マウンド支持力不足による堤体の変位についての検討は、既存の成果である谷本らの津波波圧式を用いる。

### 2) 防波堤の被覆石の散乱

本検討では、流れに対する被覆材の安定質量のイスバッシュの式により、使用被覆石の重量が安定質量以下の場合、散乱が発生すると考えられる。

### 3) 防波堤の消波工の移動・散乱

消波工の散乱については、津波に対する評価式が存在しないため、ソリトン分裂津波による異型ブロック堤に関する散乱実験結果<sup>10)</sup>を参考にするのが望ましい。これによれば、津波による破壊力は従来の波浪によるものと比べて格段に大きく、消波ブロックの移動・散乱が生じる危険性があることが示唆されている。

## (3) 地震動・津波による護岸の変形

護岸の傾斜をはじめとする構造物の変形量について、定量的な照査を行うためには、時刻歴応答解析法を用いる必要がある。時刻歴応答解析手法は、有効応力解析法と全応力解析法に分類することができ、解析プログラムがそれぞれについて存在する。これらを地震時の過剰間隙水圧の発生程度等に応じて使い分ける必要がある。なお、全応力解析法は、その地点の土被り圧等の応力に比べて過剰間隙水圧が無視できる程度の場合に適用されるのが通常である。

津波による護岸の被害は、波力による被害、前面洗掘の被害、背面洗掘の被害に分類できる。このうち、背面洗掘の被害については、護岸背後地盤洗掘の検討、津波戻り流れによる抗力を作用荷重とするケーソン壁体上部工の安定に関する検討結果<sup>11)</sup>が参考になる。

## (4) 漂流物の評価

港湾に津波が来襲した際の漂流物の挙動を適切に再現できる漂流シミュレーション手法を用いて漂流域の推定を行う。漂流物の外力としては、平面2次元津波解析結果を用い、漂流物に関する運動方程式を解くことにより、漂流物の挙動を計算することができる。

また、漂流物の衝突力を算定する方法には、木材を対象漂流物とする松富らの研究<sup>12)</sup>や、コンテナを対象とする水谷らの研究<sup>13)</sup>など、様々な既往研究が存在する。国総研では、

平面二次元津波数値シミュレーション及び個別要素法による漂流物の形状表現・衝突評価を組み合わせた解析法を提案している（図-4.4）<sup>14)</sup>。

実際に構造物の安全性照査を行う際には、これら各種算定手法について試算した結果等から、平均的な値を示す算定方法を採用する等、適宜判断する必要がある。

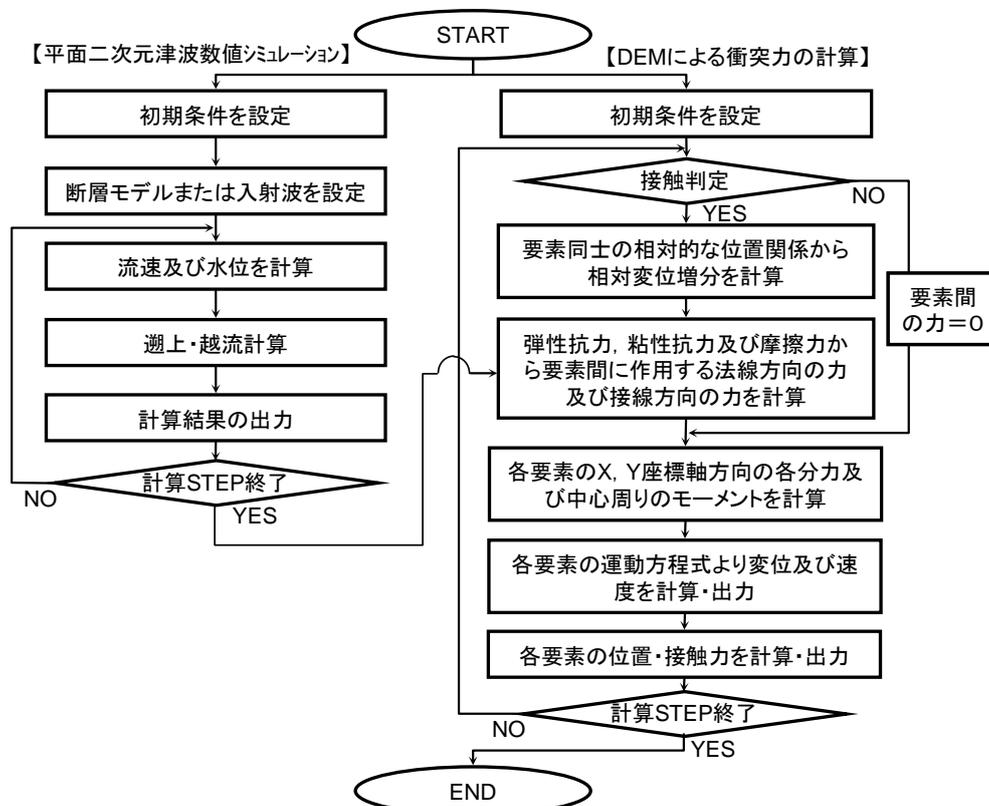


図-4.4 漂流物計算過程を示すフロー

#### 4. 1. 4 河川施設

液状化に伴う河川堤防の沈下量評価及び、堰、水門、樋門、樋管などの河川管理施設の地震動による被災評価については「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」<sup>15)</sup>の方法に則って検討することを基本とする。また、津波による被災評価については以下のような検討を行った（表-4.3）。

表-4.3 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（河川施設）

対象施設等	評価手法の概要
水門、樋門等	津波波力を算定 <sup>16)</sup> し応力照査
越流区間	(液状化による沈下後の堤防天端高) < (津波時の河道内の水位) となる区間を評価
津波が堤内地に逆流する施設	津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無等を整理して評価
堤内地の浸水	津波の河川遡上シミュレーションにより評価

※地震による被災評価は「河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説」<sup>15)</sup>に従う

### (1) 津波による水門、樋門等のゲート部損傷

一般的に水門や樋門は上流からの水圧に耐えられるように設計されており、下流側からの水圧については検討されていない。水門や樋門等の河川構造物は津波の進行方向と平行にゲートが設置されているが、河道の湾曲や河川敷の状況などに応じて斜めから津波を受けることが考えられる。よってこれら施設も応力照査の実施対象とすることが望ましい。

津波波力の算定方法は「アルミニウム合金製水門設計製作指針案」<sup>16)</sup>等において提案されている。なお、津波の進行方向に対して平行な位置に配置されている水門については、衝撃力が直接作用することは考えにくい。津波の遡上状況や施設の設置状況に応じて斜めに衝突することが想定される。よって安全側(波力が作用する側)を想定して、津波がある角度から衝突するものと考え、衝撃圧を算定することも考えられる。衝突角度は適宜現地の状況等によって設定することが望ましい。

### (2) 津波の越流区間

液状化による沈下後の堤防天端高と津波の河川遡上シミュレーションによる河道内の水位を比較し、津波が越流する堤防区間を把握する。津波の河川遡上シミュレーション手法については、「津波河川遡上解析の手引き(案)」<sup>17)</sup>に示されている手法を基本とする。

### (3) 津波が堤内地に逆流する施設(水門、樋門など)の特定

水門、樋門等については地震動による被害が発生しなければ、状況によっては、閉操作を完了させ、堤内地への津波の流入を防ぐことが可能である。津波の河川遡上シミュレーションから得られる各所における津波の到達時間や、閉操作完了までの所要時間、遠隔操作の有無など、表-4.4に示すような項目を一覧表に整理することで、津波が堤内地に流入する施設を把握することが可能である。

表-4.4 整理項目例

・河川名	・種別(樋門、水門など)	・ゲート構造
・管体等の大きさ	・操作状況(委託・遠隔等)	・敷高
・背後地地盤高	・想定津波高	・操作所要時間
・津波到達時間	・操作方針	

### (4) 津波の河川遡上による堤内地の浸水

津波の河川遡上による堤内地の浸水想定を行う際には、上記の地震動による河川構造物に被害状況、水門・樋門等の閉操作の可否等を考慮して、適切に条件設定を行うことで、シミュレーションの精度を向上させる。シミュレーション手法については、前述の「津波の河川遡上解析の手引き(案)」<sup>17)</sup>が参考となる。

水門・樋門等の開口部からの水の流入量、河川堤防の越流量については次に示す手法で計算することができる。

#### ①水門・樋門等の開口部からの水の流入量

最小計算格子幅よりも狭く、開口部の高さも限定されているような水門・樋門・樋管からの堤内地への流出入について「氾濫シミュレーション・マニュアル(案)」<sup>18)</sup>に施設の前

面と背面の水位差を用いて流量を算定する方法が示されており、その他に施設開口部の幅に応じて通過流量を制限するなどの方法が考えられる。いずれの方法を用いる場合においても、施設の開口部の断面積など施設諸元を考慮したモデル化を行う必要がある。また、堤外側にフラップゲートが設置されている施設については、津波来襲時にゲートが自動で閉鎖されるため津波が施設を逆流することはないと考え、モデル化の対象から除外できると考えられる。

## ②河川堤防の越流量

河道内の水位が堤防天端高を超えた場合、越流状態に応じて堤単位長さ当たりの越流量を本間の公式<sup>19)</sup>を用いて算出することができる<sup>20)</sup>。

## 4. 1. 5 道路施設

### (1) 道路通行障害の予測手法の検討

道路は地震・津波災害時にも、沿岸部からの避難や救助等の緊急活動、ライフラインの復旧活動等を支える交通基盤として機能することが期待されている。しかしながら、全ての道路施設に直ちに補強等の対策を実施することは困難であるし、道路施設そのものは被災を免れたとしても浸水等により通行障害が発生する場合がある。したがって、これら種々の可能性を考慮した上で、地震発生からどの程度の時間、どの区間に通行障害が生じる可能性があるかを予め把握しておくことが望ましい。

ここでは、地震・津波発生時の道路通行障害の予測に適用可能な手法を整理した<sup>21)</sup>。地震・津波時には、種々の要因で道路通行障害が発生する可能性があるが、ここでの対象は、橋梁と盛土の地震動・津波波力による被災、浸水と道路上への漂流物（家屋倒壊による瓦礫、漁船）の影響とした（表-4.5）。このうち、橋梁と盛土の地震動による被災および盛土の津波による被災については、既往の研究で提案されている手法<sup>22),23),24)</sup>が適用可能であるが、道路橋の津波被災度については実用的な評価手法がないため、模型実験の結果等をもとに新しく提案した。道路の浸水区間は、推定されている最大浸水深が路面高（＝路面の標高－周辺地盤の標高）より大きい区間として評価できる。また、漂流物についても新しく評価手順を検討した。

表-4.5 被災リスク評価の対象施設と評価手法の概要（道路施設）

対象施設等	評価手法の概要
橋梁	地震：地震動強さと構造諸元から簡易フロー <sup>22)</sup> に基づき評価 津波：津波高さから構造諸元から簡易フローに基づき評価
盛土	地震：道路防災総点検の評価点数と換算水平震度から沈下量を推定 <sup>23)</sup> 津波：越流水深と盛土高から整理された被災基準 <sup>24)</sup> により評価
浸水区間	(最大浸水深) > (路面の標高－周辺地盤の標高) の区間として評価
漂流物	最大浸水深と各種統計調査データから手順に基づき評価

## (2) 道路橋の津波被災度評価

まず水路と橋桁模型（縮尺 1/18）を用いた実験（写真-4.2）を行い、津波を模擬した孤立波が橋桁模型に衝突する際の波力を計測した<sup>25)</sup>。実験で得られた波力の時刻歴は、水平成分、上下成分ともに、波が衝突した直後にかかなり大きい衝撃波力が作用し、その後、ほぼ定常であるが漸減する抗力が作用していた。検討の結果、衝撃波力は波が橋桁模型の付近で砕波するか否かに大きく影響されること、橋桁の流失可能性の評価には津波による道路橋の被災度評価には、水平抗力を考慮する必要があること、水平抗力は港湾基準の式<sup>9)</sup>により安全側の評価が可能であること（図-4.5）などが分かった<sup>25)</sup>。

この結果を参考に、図-4.6 に示すような道路橋の津波被災度評価フローを作成した。これは以下のような考えに基づくものである。

- ①橋桁を越流すれば支承が損傷すると評価する。ただし、平成8年以降の道路橋示方書を適用したものについては、兵庫県南部地震相当の地震力を考慮して耐震設計され、相当大きな耐力を有していることから、津波の衝突に対しても十分な耐力を有しているものとする。
- ②支承が損傷する場合、橋桁が流失するか否かの判定を行う。津波衝突時に橋桁に作用する水平抗力（港湾基準の式で評価<sup>25)</sup>）が摩擦力（橋桁の水中重量×摩擦係数）よりも大きい場合、橋桁が流失する可能性があるとして判定する。
- ③橋桁が流失する可能性がある場合、橋軸直角方向変位制限装置あるいは落橋防止構造の有無で被災度を判定する。これは、2004年スマトラ島沖地震による津波の際にバンダアチエ市周辺で見られた、橋桁の橋軸直角方向への移動を防ぐ拘束機構が橋桁の流失を防止した事例<sup>26)</sup>を考慮したものである。

フローにしたがって評価した被災度から、地震被災度評価<sup>22)</sup>と同様に、図-4.7 に従って道路橋の走行性a, b, cを判定する。ただし、背面土判定シートとして図-4.8 を用いる点が地震とは異なる。走行性の定義は以下の通りである。

- a: 構造的に問題があるため短期間での通行は不可能
- b: 構造的に問題なく1～2日程度の段差修正で通行可
- c: 無補修あるいは軽微な段差補修で通行可



写真-4.2 水路実験において橋桁模型に衝突する孤立波

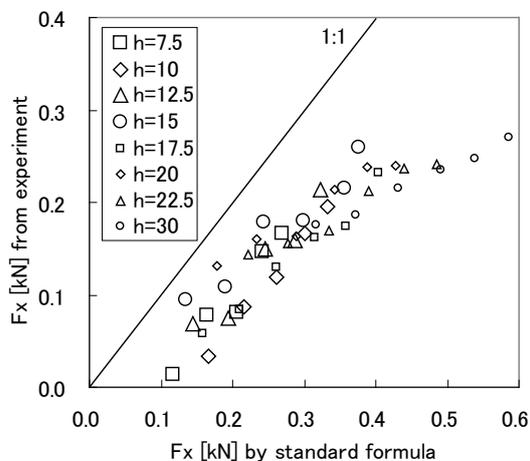


図-4.5 計測された波力と港湾基準式から推定される波力の比較（h は水深[cm]）

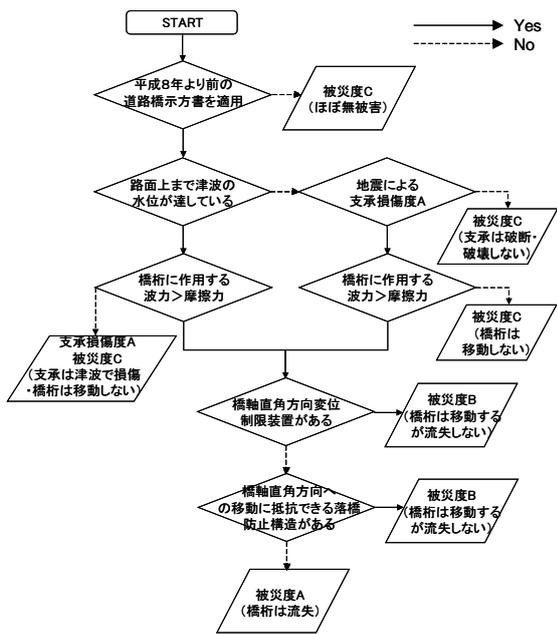


図-4.6 桁橋形式の道路橋の津波被災度評価フロー

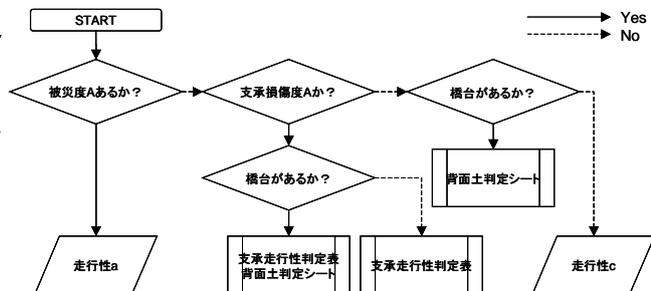


図-4.7 道路橋の走行性の判定フロー<sup>22)</sup>

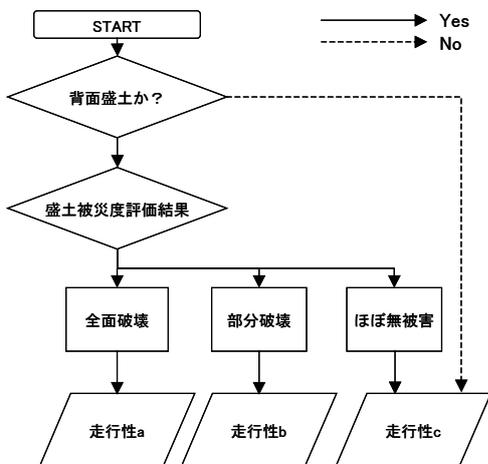


図-4.8 津波走行性判定に用いる背面土判定シート

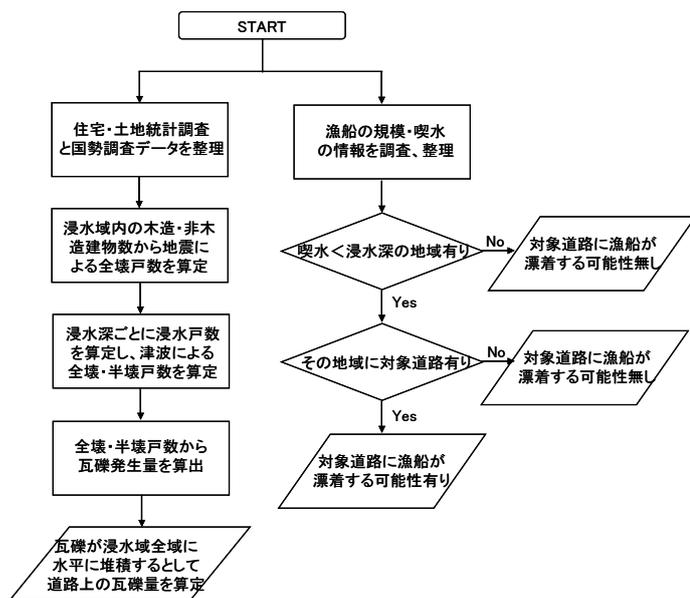


図-4.9 漂流物（家屋倒壊の瓦礫、漁船）の評価フロー

### (3) 漂流物の評価

漂流物としては、1993年北海道南西沖地震(M7.8)による津波の被害実態を参考に家屋倒壊による瓦礫と漁船を考慮し、図-4.9のフローで道路上に堆積する瓦礫量と漁船が漂着する可能性を評価することとした。道路上に堆積する瓦礫量は、次の手順で算定する。

- ① 浸水域内の木造・非木造建物数を計測震度ごと、浸水深ごとに算出

- ②計測震度と建物被害率の関係から木造・非木造それぞれの地震による全壊棟数を算出
- ③地震による全壊棟数を除いた木造建物を対象に、津波による全壊・半壊棟数を算出
- ④地震と津波による全壊・半壊棟数を合わせた建物被害棟数と1棟あたり床面積から被害面積を算出し、面積当たり瓦礫重量から瓦礫重量を算出、さらに瓦礫体積に換算
- ⑤発生した瓦礫は浸水域全域に水平に同じ厚さで堆積するとして、道路上の瓦礫量を算定（ただし道路上に堆積する瓦礫の高さはその地点の最大浸水深を上回らない）

漁船の漂着可能性については、漁船の規模と喫水を調査し、喫水よりも浸水深が大きく、対象とする道路が存在する地域では、その道路に漁船が漂着する可能性があるとして評価する。個々の漁船の喫水について情報が得られない場合には、漁船の規模から推定される喫水の最小値を用いる。

## 4. 2 被害想定例と想定結果の活用方法

### 4. 2. 1 被害想定の実用例

地震・津波による公共土木施設の被害や浸水域の想定結果を表示した被害想定マップを作成することにより、地域ごとの地理的条件等を考慮した上で、地震・津波対策計画を具体的に関係機関が連携して検討することができるようになる。また、災害時の重要拠点や公共機関の位置もマップに示すことにより、ハード対策(公共土木施設の整備・補強)だけでなく、ソフト対策(情報提供や初動体制の改善等)による被害の軽減策を検討することができる。

例として、想定南海地震とその津波を対象に、須崎市周辺の被害想定マップを試作した結果<sup>21)</sup>を図-4.10に示す。ここで、南海地震発生時の地震動強さと津波浸水深の分布は、高知県が1854年安政南海地震(M8.4)相当の地震を想定して実施した調査の結果<sup>27), 28)</sup>を用いている。各施設の被災や浸水域等の評価結果に加えて、地震・津波対策計画を立案する上で参考となる津波到達時間、浸水域、庁舎や病院の位置、橋梁の補強状況などを記載したものとなっている。

図から、この地域では地震による走行性がa(構造的に問題があるため短期間での通行は不可能)と判定されている橋梁が2橋、津波による走行性がaと判定されている橋梁が3橋あり、後者はいずれも取付盛土の全面被害によるものである。これらの道路橋は浸水域に位置していることから、緊急・復旧活動に支障が生じる可能性があることが分かる。この地域では津波によって橋桁が流失すると評価される道路橋はなかったが、別の地域ではそういった評価結果も得られている。

また、この地域では道路の浸水区間における瓦礫の堆積厚さはそれほど顕著ではないが、一部の区間では漁船の漂着可能性があるため、緊急車両等の通行障害となるおそれが指摘される。このような障害の防止には、漁港関係者の協力が不可欠である。

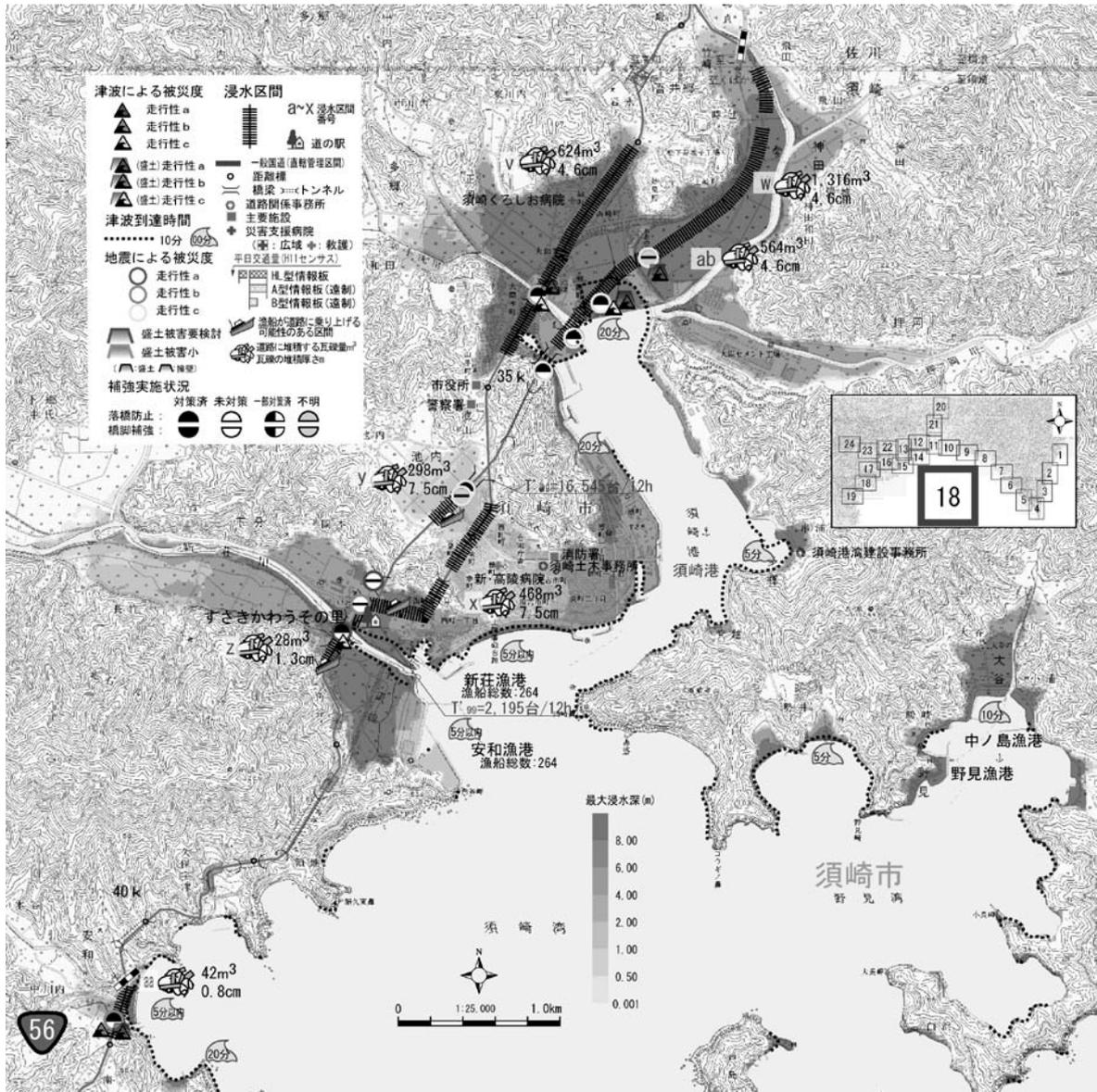


図-4.10 南海地震・津波による須崎市域の道路施設の被害想定マップ（試作版）<sup>21)</sup>

#### 4. 2. 2 活用方法

このようなマップを作成することにより、防災訓練の実施、情報提供、避難路・避難場所、効率的な緊急・復旧活動のための事前の計画、被害の軽減に特に有効な津波防御施設や優先的に補強すべき施設などを具体的に検討することができるようになる。海岸堤防などの津波防御施設については、補強や新規建設といった対策を実施する前と実施した後のマップを作成し、浸水域や背後地の被害を比較することにより、対策実施の判断の参考とすることができる。

これらの項目からなる地震・津波対策検討フローを図-4.11 に示すが、このうち情報提供、水門・陸閘の操作計画及び整備（自動化や遠隔操作化）計画や避難路を検討するにあたっては、揺れを感じた直後から津波が到達するまでの時間的余裕を考慮する必要がある。またこれらの前提として、対応にあたる関係者の安全確保や参集の可否を検討しておかな

なければならない。

たとえば、本研究成果をもとに、岩佐<sup>29)</sup>は高知県東部の国道55号を対象として、4.1.5の手法による南海地震・津波発生時を想定した道路通行障害の予測結果に加えて、斜面災害発生リスクや沿道建物の倒壊リスク等を考慮した上で、被災後3日以内に交通機能を復旧するために必要な土工機械、運搬機械、機械オペレータの必要量を沿岸9市町村別に概算している。その結果と現状の機械保有量とオペレータ数を比較した上で、南国市以外の8市町村ではこれら復旧資源が不足している一方で、比較的余裕のある南国市は隣接する高知市の復旧活動の支援に当たることができる可能性が高いことを指摘している。

このような地域ごとの復旧資源の不足状況を改善していくためには、道路施設の補強を着実に進めていくとともに、自治体（復旧資源の調達のため）、住民や漁協（漂流物の撤去を円滑にするため）、建設会社（通信障害時の自律的な復旧活動のため）等と事前に対処方法に関する協定を結んでおくことも必要となる。

岩佐による研究<sup>29)</sup>を参考に被害想定に基づく分析のイメージを示したものが表-4.6であるが、現時点では復旧作業量や復旧能力の数値化に課題もあるものの、定量的分析により地域ごとの特徴を見だし、戦略的に弱点を克服していくことで復旧能力が向上するものと期待される。

被害想定はこのように被災時の状況をイメージし、具体的な対策計画の立案を支援することができるツールとして不可欠のものである。一方、被害想定はあくまでも具体的な検討を始めるための出発点であり、実際に想定したとおりの状況になることはまずあり得ない。対策計画の立案にあたっては、想定外の事態が発生することも考慮しつつ、柔軟に検討する必要があることを忘れてはならない。

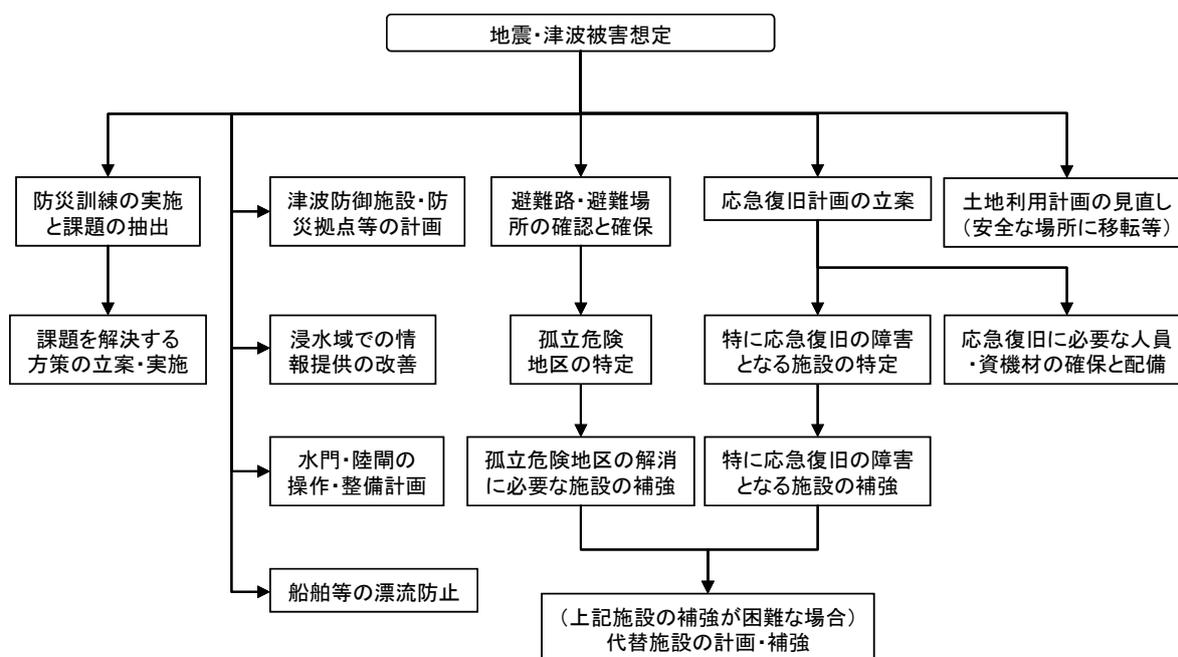


図-4.11 被害想定に基づく地震・津波対策検討フロー<sup>5)</sup>

表-4.6 復旧日数、復旧資源の必要量および対応策の分析イメージ

	作業量 $R$	復旧能力 $C=\min(C_1, C_2)$		復旧日数 $R/C$	復旧資源の不足量		対応策等
		資機材 $C_1$	オペレータ $C_2$		資機材	オペレータ	
A市	10	65	20	<1	-	-	復旧資源に余裕がある。 近隣市の応援が可能。
B市	30	3	15	10	27	15	復旧資源が不足。近隣市 との応援協定の締結を 検討。
C市	60	80	10	6	-	50	オペレータが不足。応援協定 の締結を検討。特にオペ レータの育成・確保が必要。
...							

R: 各自治体の被害想定結果から総合的な復旧作業量を定量化した値

C:  $R=1$  の作業が1日のできる能力を  $C=1$  として復旧能力を定量化した値

## 5. おわりに

本文では、国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究「地域被害推定と防災事業への活用に関する研究（平成18～20年度）」の一環として実施した洪水および地震津波災害に対する被災リスクの評価手法に関する研究成果について報告した。

中小河川に対する治水安全度評価手法として、雨量・水位や測量データの整備が不十分な中小河川において航空レーザ測量データをもとに治水安全度を評価するシステムを開発した。本研究成果については、平成19年に全地方整備局への説明会を開催し、普及を図るとともに、一級河川指定区間における安全度評価結果を、平成21年4月現在、71/109水系を対象に、国土技術政策総合研究所のWebサイトに公表している。

地震及びこれに続く津波により施設に生じる被害想定手法としては、地震と津波の影響を複合的に受けた場合の施設ごとの構造被災度と浸水・がれき等による地域への影響度の評価手法を構築した。個別の海岸・港湾・河川・道路施設を対象とする公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案）を作成しており、本マニュアル案については、現場の実務において活用されているところである。

今後、引き続き以下の研究に取り組んでいく必要があると考えている。

- 1) 提案手法の検証、精度向上のためのデータ蓄積と手法の高度化、それに基づく防災対策事業の合理化の支援策の提案
- 2) 災害に対する地域全体の防災力向上の観点での研究開発
  - ・ソーシャルキャピタルの特性に応じた地域防災力向上方策
  - ・複合災害（マルチハザード）のリスク評価と防災事業の効率化

## 【参考文献】

- 1) 国土交通省河川局：航空レーザ測量による河道及び流域の三次元電子地図作成指針（案）， pp.1-10, 2005.6
- 2) (財)日本測量調査技術協会：《図解》航空測量ハンドブック, pp.59-65, 2004.1
- 3) 今井靖晃、瀬戸島政博、山岸裕、藤原宣夫：解像度の異なる LIDAR データによる都市内樹林の受講計測特性, 測量, Vol.55, No.2, pp.28-32, 2005.2
- 4) 国土交通省河川局監修、(社)日本河川協会編：国土交通省河川砂防技術基準 同解説 計画編, pp.35, 2005.11
- 5) 地震防災研究室，海岸研究室，沿岸防災研究室，水害研究室：公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル（案），国土技術政策総合研究所資料，第 485 号, 2008.
- 6) 海岸保全施設技術研究会編：海岸保全施設の技術上の基準・同解説，2004
- 7) 加藤史訓，稲垣茂樹，福濱方哉：津波により海岸堤防に作用する波力に関する大型模型実験．海岸工学論文集，第 52 巻， pp.756-760, 2005.
- 8) 野口賢二，佐藤慎司，田中茂信：津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験，海岸工学論文集，第 44 巻， pp.296-300, 1997.
- 9) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 10) 富樫宏由・平山康志・杉山正弘：ソリトン分裂遡上津波による消波ブロック堤の破壊機構，海岸工学論文集，第 34 巻， pp.517-521, 1987.
- 11) Okamoto, O., Oda, K. and Kumagai, K.: Study on scour by tsunamis – example of port and harbor structures – , ICSE-4, 2008.
- 12) 松富英夫・池田弘樹：大規模実験に基づく流木衝突力の評価法, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.781-785, 1996.
- 13) 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史：エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.741-745, 2005.
- 14) 熊谷兼太郎・小田勝也・藤井直樹：津波によるコンテナの漂流・衝突シミュレーションと衝突力の評価，海岸工学論文集，第 54 巻， 2007.
- 15) 国土交通省河川局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針（案）・同解説，2007.
- 16) 軽金属協会土木重構造物委員会：アルミニウム合金製水門設計製作指案，1979.
- 17) 国土技術研究センター：津波の河川遡上解析の手引き（案），2007.
- 18) 土木研究所：氾濫シミュレーション・マニュアル（案）－シミュレーションの手引き及び新モデルの検証－，1996.
- 19) 本間仁：低溢流堰堤の越流係数，土木学会誌，第 26 巻，6 号， pp.635～645，9 号， pp.849～862, 1940.
- 20) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会：原子力発電所の津波評価技術，2002.
- 21) 片岡正次郎，鶴田舞，長屋和宏，日下部毅明，小路泰広：道路施設の地震・津波被害想定と対策検討への活用方針，土木学会地震工学論文集，Vol. 29, pp. 918-925, 2007.
- 22) 小林寛，運上茂樹：大地震時における道路橋の被災度推定手法，土木技術資料，Vol. 47, No. 12, pp. 48-53, 2005.

- 23) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案），2003.
- 24) 首藤伸夫：津波による海岸堤防・護岸の被災－昭和 8 年三陸大津波から昭和 35 年チリ津波まで－，津波工学研究報告，Vol. 16, pp. 1-37, 1999.
- 25) 片岡正次郎，日下部毅明，長屋和宏：津波衝突時に橋桁に作用する波力，第 12 回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 154-157, 2006.
- 26) Unjoh, S.: Damage to transportation facilities, The damage induced by Sumatra earthquake and associated tsunami of December 26, 2004, pp.66-76, 2005.
- 27) 高知県：第 2 次高知県地震対策基礎調査, 2004.
- 28) 高知県：高知県津波防災アセスメント補完調査報告書, 2005.
- 29) 岩佐隆：南海地震に対する高知県東部地域の交通機能復旧のあり方について，高知工科大学大学院修士論文, 2008.

# 公共工事の品質確保・向上に向けた取り組み

研究総務官

寺川 陽

# 公共工事の品質確保・向上に向けた取り組み

研究総務官 兼総合技術政策研究センター長 寺川 陽

## 1.はじめに

厳しい財政事情のもと公共投資規模の縮小を余儀なくされる中で、過度の価格競争や不良不適格業者の参入などによる公共工事の品質低下を防ぎつつ、時代の要請をふまえた良質な社会資本の整備と維持管理を着実に進める必要がある。

平成17年4月に施行された「公共工事の品質確保の促進に関する法律」(公共工物品確法)は、

- ① 公共工事の品質確保に関する基本理念及び発注者の責任を明確にすること
- ② 「価格競争」から「価格と品質で総合的に優れた調達」へ転換すること
- ③ 発注者をサポートする仕組みを明確にすること

を目的としている。基本的に個々に異なる現場条件の下で、請負契約に基づいて単品注文生産される公共工事の品質は、カタログ等で品質を規定できる製品と異なり、調達時点で確認することができず、受注者の技術力に大きく依存する。そのため、受注者の選定にあたって(価格のみならず)十分な技術力の審査を行うとともに、施工過程における適切な監督、検査が必要であることが、この法律の背景にある。「価格と品質」が総合的に優れた者との発注契約がなされることを通じて、企業の技術力向上努力を促し、それによって公共工事の品質確保・向上に繋がるという仕組みである。

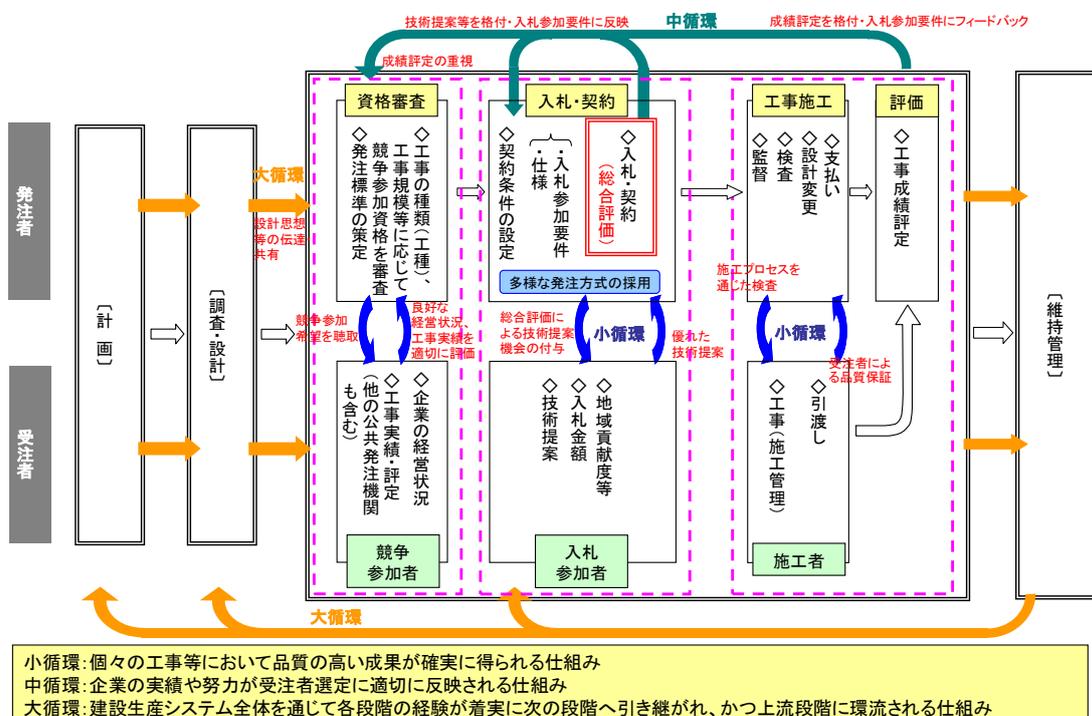


図 1. 建設生産システムにおける好循環形成のための課題

図1は、個々の工事レベルで品質の高い成果が確実に得られる仕組み(小循環)、透明性・競争性の高い調達制度を前提に、企業の実績や努力が受注者選定プロセスに適切に反映される仕組み(中循環)及び調査・計画・設計・施工・維持管理といった建設生産システム全体を通じて経験や知恵が蓄積され活かされる仕組み(大循環)を模式的に示すとともに、それぞれのレベルで品質確保、向上に向けた好循環を形成していくための具体的な課題をあわせて記載したものである<sup>1)</sup>。これらの一つ一つの取り組みを着実に進めることが、公共工事品確法の精神を具現化していくことに他ならない。

本稿では、発注者と受注者がそれぞれの果たすべき責任をきちんと認識しつつ、公共工事の品質確保・向上を図ることを目的として順次検討・導入されてきた、(1) 工事や調査設計業務の調達における総合評価落札方式、(2) 施工ノウハウを設計プロセスに生かすための設計・施工一体型の調達、(3) 発注者の施工監理・監督を支援するとともに民間の有する技術ノウハウの有効な活用に資することが期待される CM 方式、及び(4) 発注者の事業執行管理を支援するための PM ツール活用等の取り組みについて、現状と課題を報告したい。

## 2. 技術力と価格の総合評価による公共工事の調達

公共工事品確法により、「入札参加者が提示した技術提案や技術力と入札価格を総合的に評価して、最も優れた入札者を落札者とする方式」(総合評価方式)への転換が打ち出された。これを受けて、国土交通省では、平成11年度に「今井一号橋撤去工事」において試行が開始された総合評価方式について、順次適用拡大が図られ、図2に示すように、平成20年度には、契約工事件数ベースで98.8%、工事金額ベースで99.7%と、原則としてすべての工事の調達に適用されている。

総合評価方式の運用については、順次改善のための見直しや工夫が図られてきているところであるが、工事の難易度や技術的な創意工夫の余地に応じて簡易型、標準型、高度技術提案型の3タイプに分類される。簡易型では、発注者が示す仕様に基づいて

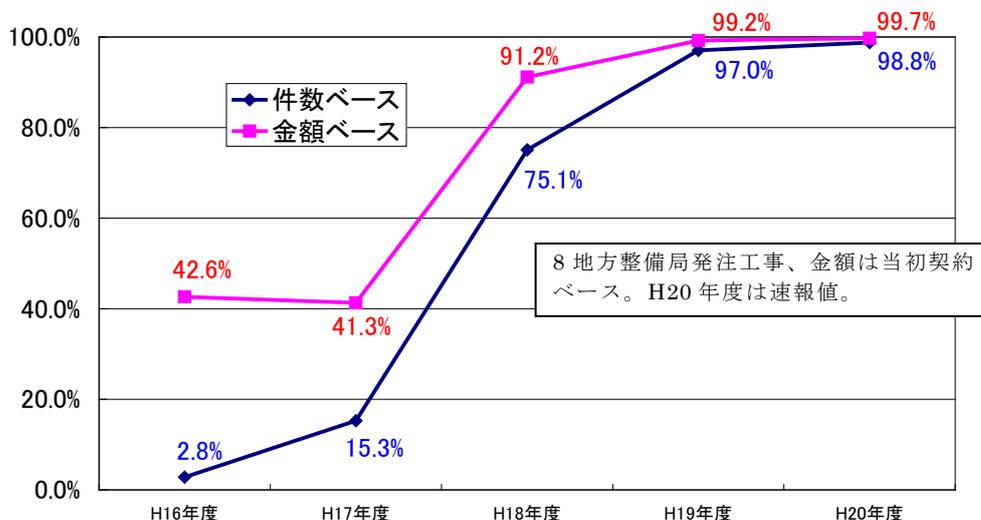


図2. 国土交通省発注工事における総合評価落札方式の導入状況

適切で確実な施工を行える者であることの確認に主眼が置かれており、施工計画の提案や同種・類似工事の経験、過去の工事成績等によって技術力を評価し、競争参加資格の確認を行うものである。これに対し、標準型は発注者の求める工事内容を実現する上で、発注者が示す標準案に対して特定の課題に対して施工上の工夫等の技術提案を求めることにより、安全対策、交通・環境への影響、工期短縮等の点で工事の品質を高めることねらいとしている。また高度技術提案型は特定の課題について構造上の工夫や特殊な施工方法を含め高度な技術提案を求める場合に適用するもので、工事目的物自体への提案を求めるいわゆる設計・施工一体型の工事発注もこのタイプに含まれる。標準型の総合評価方式において発注者が標準案に基づいて積算した工事価格をもって予定価格とするのに対し、高度技術提案型の場合には採用した提案に基づいて予定価格を作成することになっている。

また、施工体制が確実に確保できるかどうかを審査要素に加え、技術評価点のウェイトを高める「施工体制確認型総合評価方式」について、平成18年12月より試行が開始されている。

総合評価方式は、公共工事における行き過ぎた価格競争による品質低下の弊害を防止し、企業の技術力向上に向けた自助努力が報われることを狙いとした仕組みであるが、一方現場では発注者、受注者それぞれの立場で実務上の課題が指摘されている。そこで、国総研では、平成20年10月から11月にかけて、工事発注機関(国土交通省及び地方自治体)と応募者たる建設会社((社)全国建設業協会加盟の282社及び(社)日本土木工業協会加盟の126社)の双方を対象として、総合評価方式実施にかかる課題や改善提案及び普及方策等について、アンケート調査及びその補完を目的としたヒアリング調査を実施した。その結果を整理したのが表1である<sup>2)</sup>。

表1. 総合評価方式による工事発注の課題の整理

課題	国土交通省	A建設業者団体加盟企業	B建設業者団体加盟企業
①手続きに伴う時間・事務負担	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 技術的難易度の低い案件について、簡易な施工計画を求めない実績重視型の総合評価方式を導入(入札公告から落札者決定まで7週間から3週間に短縮)。</li> <li>○ 技術提案の1課題当たりの提案数に上限を設定(最大5提案)。(これ以上削減すると評価が困難)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 現行の手続期間は適切な技術力評価を行うために必要であり、短縮する必要はない(標準型・高度技術提案型)。</li> <li>○ 早期の辞退を促すため、入札前に技術評価点(評価ランク)を公表(特に高度技術提案型)。</li> <li>○ 技術提案の課題数・項目数に適切な上限を設定(整備局等の中には総計30~60項目の提案が可能となる例がある)。</li> <li>○ 技術提案書の枚数・文字数に上限を設定(整備局等の中にはA4.50枚以上の提出が可能となる例がある)。</li> <li>○ 配置予定技術者の拘束期間を短縮するため、低入札価格調査となった時点で辞退する手続を構築。 ⇒ 会計法上は入札後の辞退は不可。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 現行の手続期間は適切な技術力評価を行うために必要であり、短縮する必要はない(簡易型・標準型)。</li> <li>○ 施工計画に差が生じないものについて、簡易な施工計画を求めない総合評価方式を活用。</li> <li>○ 公告文における施工場所等について、地審まで含めた詳細な条件の明示(簡易型)。</li> <li>○ 公告段階で詳細な工事数量を記載した見積用資料の閲覧または提供(簡易型)。</li> <li>○ 簡易な施工計画で求める課題数・文字数を限定(1課題、300字程度)(簡易型)。</li> </ul>
②技術提案の審査・評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 事務所間の評価結果のバラつきを小さくするため、整備局等が設置した総合評価審査委員会での評価方法の方向性を提示。</li> <li>○ 過去の評価結果のデータベース化及びその活用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 評価結果のばらつきは発注者が工事特性に応じて判断した結果と認識。</li> <li>○ 発注者の意図を的確に把握するため、現場説明会等の機会を活用。</li> </ul>	—
③評価結果の公表	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 知的財産保護の観点から、技術提案書の内容は非公開。</li> <li>○ 技術提案が形骸化してしまう恐れがあることから、技術提案内容とその結果の公表には慎重。</li> <li>○ 一部の整備局等では、競争参加資格の確認結果と併せて技術提案した企業に自社提案の採否を通知。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一部の整備局等のように、競争参加資格の確認結果と併せて技術提案した企業に自社提案の採否を通知を要望(入札前辞退の判断にも活用)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一部の整備局等のように、競争参加資格の確認結果と併せて技術提案した企業に自社提案の採否を通知を要望。</li> </ul>
⑤技術提案の作成費用	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 質問に対する迅速な回答と、具体的な内容の回答。</li> <li>○ 設計図面のCADデータの配布。</li> <li>○ 配置予定技術者ヒアリングを重視。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 受発注者間の情報共有のため現場説明会のような機能の復活。</li> <li>○ 配置予定技術者ヒアリングの電話での実施。</li> </ul>
⑦地元企業の活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bランク以上の工事については、地元企業の下請としての活用を評価項目に追加。</li> <li>○ 説明責任の観点から、適切な地域重視の評価項目を設定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 地元企業との共同体制の育成。</li> <li>○ 当該工事への地元企業の活用方法を技術提案にて評価。</li> <li>⇒ 地元企業の育成活用を総合評価方式で扱うことは困難。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 当該工事への地元企業の活用方法を技術提案にて評価。</li> <li>○ 各々の地域特性を踏まえ、慎重に地域要件を設定。</li> <li>○ 地域貢献度(防災活動や地産品の活用)を評価(要する評価は不要)。</li> </ul>
⑧受注機会の確保	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 同時期に入札を行う複数の工事では、入札案件ごとに求める技術提案のテーマを変更。</li> <li>○ 技術提案を優・良・可等の判定方式で採点する場合、点数を細分化した評価基準を採用。</li> <li>○ 配置予定技術者ヒアリングの重視。</li> <li>⇒ 技術競争の結果であり、特定の企業に偏ることは当然。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 同日発注案件について、1本目を取った企業は2本目の入札に参加できない措置。</li> <li>○ 受注機会の確保の観点から、手持ち工事量を適切に評価。</li> <li>⇒ 過度な評価は技術競争を阻害。</li> </ul>

総合評価方式が円滑に実施され、公共工事品確法がその意義を十分に発揮するためには、こうした課題の解決に取り組んでいく必要がある。そのために、例えば、(1)簡易型を適用する工事のうち比較的小規模で施工計画の工夫の余地が少ない場合には、これまでの工事实績に基づいて施工能力を確認することによって、施工計画提案や配置予定技術者のヒアリングに要する時間や事務負担(コスト)の軽減を図ること、(2)競争参加者の技術提案作成の負担を軽減するために、地質調査報告書、詳細設計図、数量計算書、構造計算書等の工事関連データを、工事内容に応じて提供すること、(3)技術提案の採否や評価結果を競争参加者にフィードバックすることにより、プロセスの透明性を確保するとともに、建設会社の技術力向上努力を後押しすること などの**改善方策を試行的に導入して、新たな問題(副作用)が生じないことを確認しながら、順応的に制度化**していくことが望まれる。

また、地震、水害、土砂災害などの災害発生時に、建設会社は、自主的あるいは行政機関との災害対応協定に基づいて、応急対策をはじめ、さまざまな直接、間接的貢献を行っており、これらも公共工事発注先の選定に際して考慮すべき項目の一つである。特に地元企業は、土地勘を生かし、手持ちの重機や資材を利用した迅速な応急活動を通じて地域社会に多大な貢献をしているケースも多い。こうした地域貢献活動については、総合評価方式における加点要素として評価するケースが増えている。今後実際の貢献実績のみならず、常日頃からの地域防災活動への備えを含め、ひとたび災害が生起した際の貢献ポテンシャルを積極的に評価していくことは、企業の社会貢献活動に対するインセンティブを高め、地域の防災力向上のための「好循環」を形成するのに大いに寄与するといえるだろう。

### 3. 優れた技術提案を促す建設コンサルタント業務等の調達

測量、地質調査及び建設コンサルタント業務(以下「建設コンサルタント業務等」という)の成果は、建設・維持管理段階を通じたトータルコスト、工事成果物の性能や耐久性、環境影響等さまざまな観点から公共工事の品質を確保する上で重要な役割を果たしている。

公共工事にかかる建設コンサルタント業務等については、従前プロポーザル方式と価格競争入札方式の二つの調達方式で実施されてきたところであるが、特に後者について行き過ぎた価格競争による品質低下の弊害を防ぐ観点から、平成 19 年度に「価格と技術力」を総合的に評価する総合評価落札方式の試行が開始された。その後平成 20 年 5 月に財務省との包括協議が整い、本格的に導入するところとなり、「建設コンサルタント等成果の向上に関する懇談会」(座長:小澤一雅東京大学大学院教授)における議論をふまえて、平成 21 年 3 月に「建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式のガイドライン(案)」が策定、公表された<sup>3) 4) 5)</sup>。

調達方式の選定にあたっての基本的な考え方を整理したのが図 3 である。総合評価方式は価格点と技術点の合計値が最も高い競争参加者を落札者とするもので、技術提案の妥当性・的確性、業務実施方針の妥当性及び予定管理技術者の技術力(資格や実績)

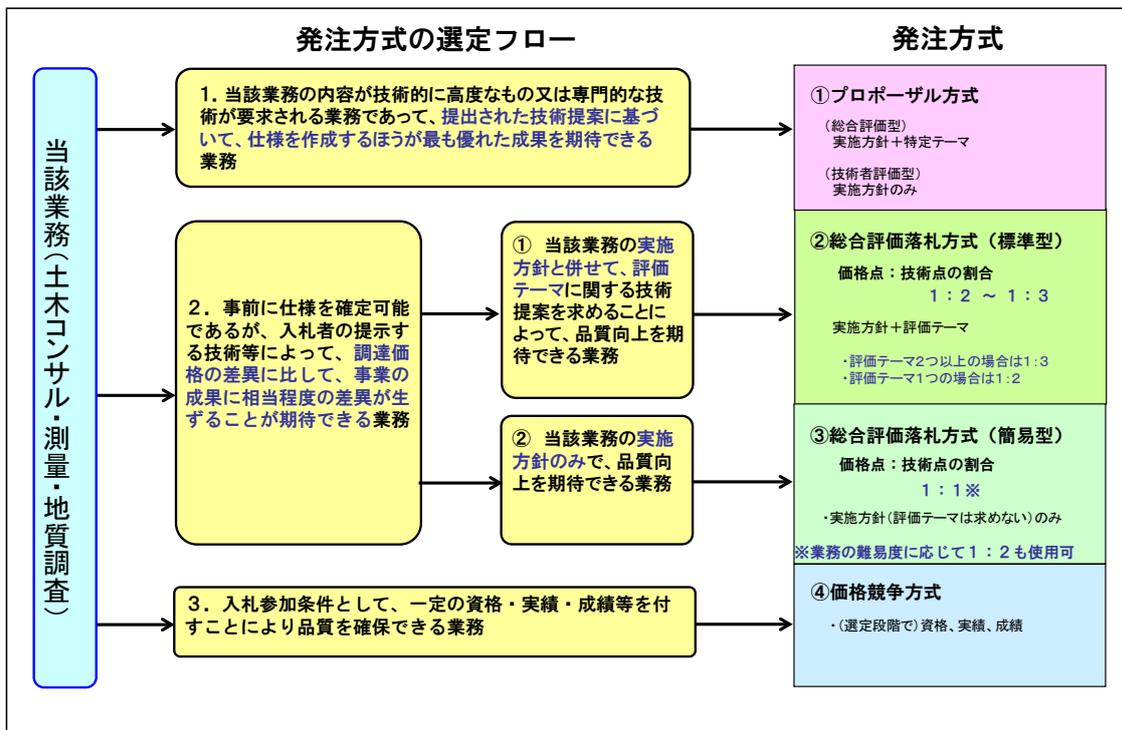


図 3. コンサルタント業務等発注方式の選定フロー

等で評価する技術点の価格点に対するウェイトを、業務成果の品質に対する要求度合いに応じて 1.0, 2.0, 3.0 と変化させることとしている。

過度の価格競争によっていわゆる「安かろう、悪かろう」状態に陥るのを防ぐために、総合評価落札方式の導入が効果を発揮するためには、技術力評価のウェイトを高めることと合わせて、要求した技術提案の優劣評価にメリハリを利かせることが重要なポイントである。例えば価格点と技術点のウェイトを 1:3 にした場合、技術点(60 点満点)で 20 点を越える差がつけば、極端な話、入札価格が 1 円であったとしても、 $20 \times (1 - \text{入札価格} / \text{予定価格})$  によって算出される価格点(20 点満点)によってこの差を逆転することはできず、事実上技術力評価で落札者が決まることになる。技術点の評価に際して最も優れている者に配点の 100%を与え、最下位を 0 点とし、その他は評価の順位に応じて比例配分する「一位満点方式」は、技術力評価にメリハリを利かす一つの方法として提案されているが、ほとんど優劣を付けがたい優れた提案が寄せられた場合に、最高得点者を過大評価する恐れも否定できず、このあたり今後実施状況をにらみながら順次改善を図っていく必要がある。

国土交通省発注による平成 20 年度の建設コンサルタント業務の発注は 15,537 件あったが、このうち総合評価落札方式によるもの(建築及び補償関連業務を除く)は 374 件(2.4%)であり、前年比 16 倍と急増した。ちなみに平成 21 年度は 6 月時点で約 1,400 件(23.5%)であり、さらに大幅な増加が見込まれている。平成 21 年度の総合評価落札方式 374 件(内訳は土木 150 件、測量 39 件、地質調査 40 件、発注者支援業務 65 件、

その他 74 件;価格点と技術点のウェイトでは、1:1 が 149 件、1:2 が 206 件、1:3 が 19 件)について国総研が分析した結果(図 4)によれば、技術点の最高得点者(最低価格提示者を含む)が落札した件数は 292 件(78.1%)であり、技術点による競争が優位な結果となっている。(ただし、見方を変えれば、残りの 82 件(21.9%)は、技術点の差を入札価格の差で逆転して落札したケースということになる。)また、価格点と技術点の比率を 1:3 にした場合の最低価格者落札割合は 15.8%であり、1:1 の場合の 57.7%及び 1:2 の場合の 47.1%に比べてかなり低くなっており、技術点の比率を高めることの効果が想定通り数字にあらわれていることがうかがえる。

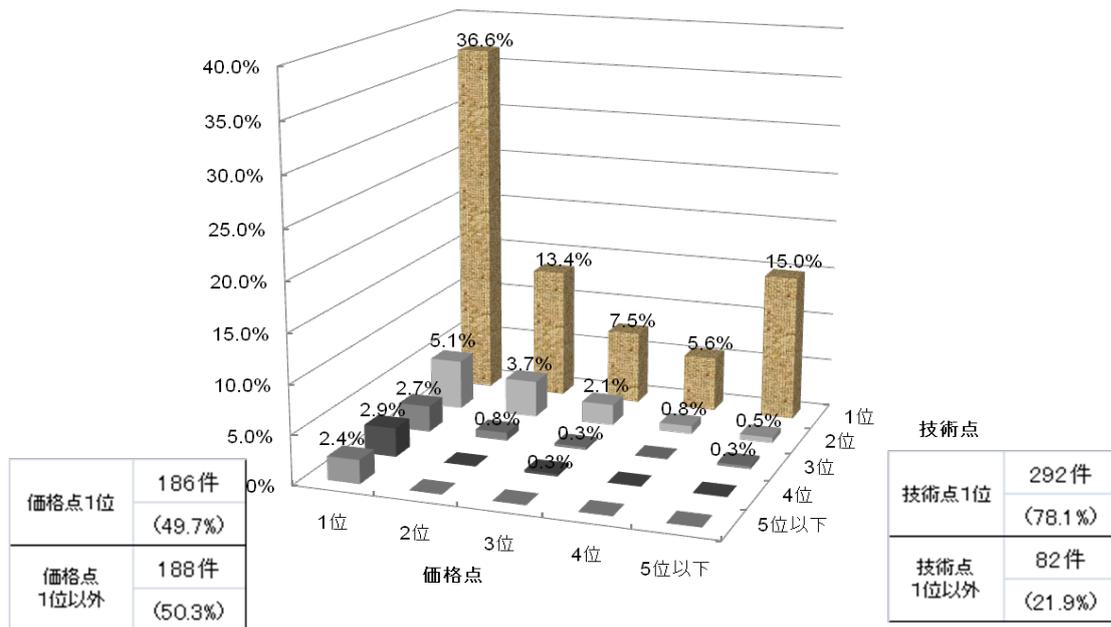


図 4. 総合評価方式による建設コンサルタント業務等落札者の技術点及び価格点の分析

総合評価落札方式の標準型では、業務の実施方針以外に、評価テーマを設定し、それに対する技術提案を評価することとしている。実際に設定された評価テーマをみると、土木分野では施工、調査設計に関する技術(例えば当該地域の地形、地質を考慮した道路構造設計の留意点やPC橋における橋梁点検での着目点とPC橋に固有の損傷に対する点検上の注意事項など)が最も多く、全体の約半数を占めており、次いでコスト縮減(34%)、工期短縮(18%)、環境への配慮(17%)の順になっている。(複数のテーマを設定しているケースもあるため、合計が 100%になるものではない) 一方、測量分野では、品質・精度向上(72%)、安全管理(36%)、地質調査分野では、施工・調査設計に関する技術(例えば 100m を超えるボーリングにおけるコアの採取に関する留意事項など)が約 69%、次いで品質・精度向上(50%)、安全管理(25%)と、業務内容に応じたテーマ設定がなされている。

また、落札者と非落札者の技術評価点得点率を、管理技術者、担当技術者、照査技

術者、実施方針、評価テーマの各項目ごとに比較すると、土木、測量、地質調査いずれの分野でも評価テーマに対する提案についての得点差(優劣)が最も大きいという結果になっている。入札参加者の負荷が過大にならないように配慮しつつ、適切な評価テーマを設定することが、総合評価落札方式による、技術力を重視した建設コンサルタント業務等調達の鍵といえるだろう。

#### 4. 施工ノウハウを設計プロセスに生かすための設計・施工一体型の発注

設計・施工一括発注方式は、構造物の構造形式や主要諸元も含めた設計と施工を一括で発注する契約方式であり、また、詳細設計付工事発注方式は、構造物の構造形式や構造諸元及び構造一般図等を確定した上で、施工に必要な仮設をはじめ詳細な設計と施工を一括で発注する方式である。いずれも、製作、施工者の技術ノウハウを設計段階に生かすところに主眼があり、例えば、現地の地形、地質等の自然条件が特殊であり、仮設や掘削工法等に施工ノウハウの活用が求められる大規模な橋梁工事、トンネル工事、共同溝工事等及び機械、電気設備等の工場製作が大部分を占める工事等において設計・施工の合理化、効率化に資することが期待される。また、前者では民間企業の有する優れた施工新技術の導入を設計の初期の段階から検討俎上にのせられるメリットも想定される。図5は、橋梁工事を例として、従来の設計・施工分離発注方式と設計・施工一括及び詳細設計付工事発注方式のそれぞれについて、設計者、製作者、施工者の業務範囲を例示したものである。いずれも、「国土交通省直轄事業の生産システムにおける発注者責任に関する懇談会」(委員長:小澤一雅東京大学大学院教授)の中間取りまとめ(平成18年9月)<sup>6)</sup>の中で新たな建設生産システムを構築するための具体的な取り組みの一つとして位置づけられ、効果や課題を分析するための試行が継続的に行われてきている。(国土交通省における設計・施工一括発注方式の試行は平成9年度から開始され、平成20年度までに合計107件で導入されてきた。平成18年度以降は、総合評価方式の高度技術提案型の適用が原則とされている。)



図5. 橋梁工事において設計・施工一括及び詳細設計付工事発注方式を採用した場合の設計者、製作者・施工者の役割分担の例

これまでの試行を通じて明らかになった設計・施工一括発注方式の課題の一つに、発注者と受注者の適切なリスク分担のあり方があげられる。従前より、公共工事の設計、施工に際しては、発注者が明示した条件の下で受注者が請負契約に基づいて責任を持って実施するという形がとられてきた。したがって、発注者が責任を持って提示した条件が、諸般の事情で変化した場合には設計変更契約という形でそのリスクを発注者が負担してきた。これに対し、設計・施工一括発注方式の場合には、契約時に不確定の条件に起因するリスクについても考慮した上で契約が結ばれているはずだということで、契約後のリスクについては一括して受注者負担とされてきたが、契約時点で、設計・施工の一連のプロセスで発生するリスクを予測することは容易でない。結果として受注者に対して(入札に際して、可能性のあるリスクをあらかじめ十分に評価するための)過度の負担を負わせたり、業務途中で契約当初想定外のリスクが顕在化した場合の受発注者間の協議に多大な時間とエネルギーを要するなど、一括発注方式による効率化のメリットが打ち消されてしまう恐れもある。

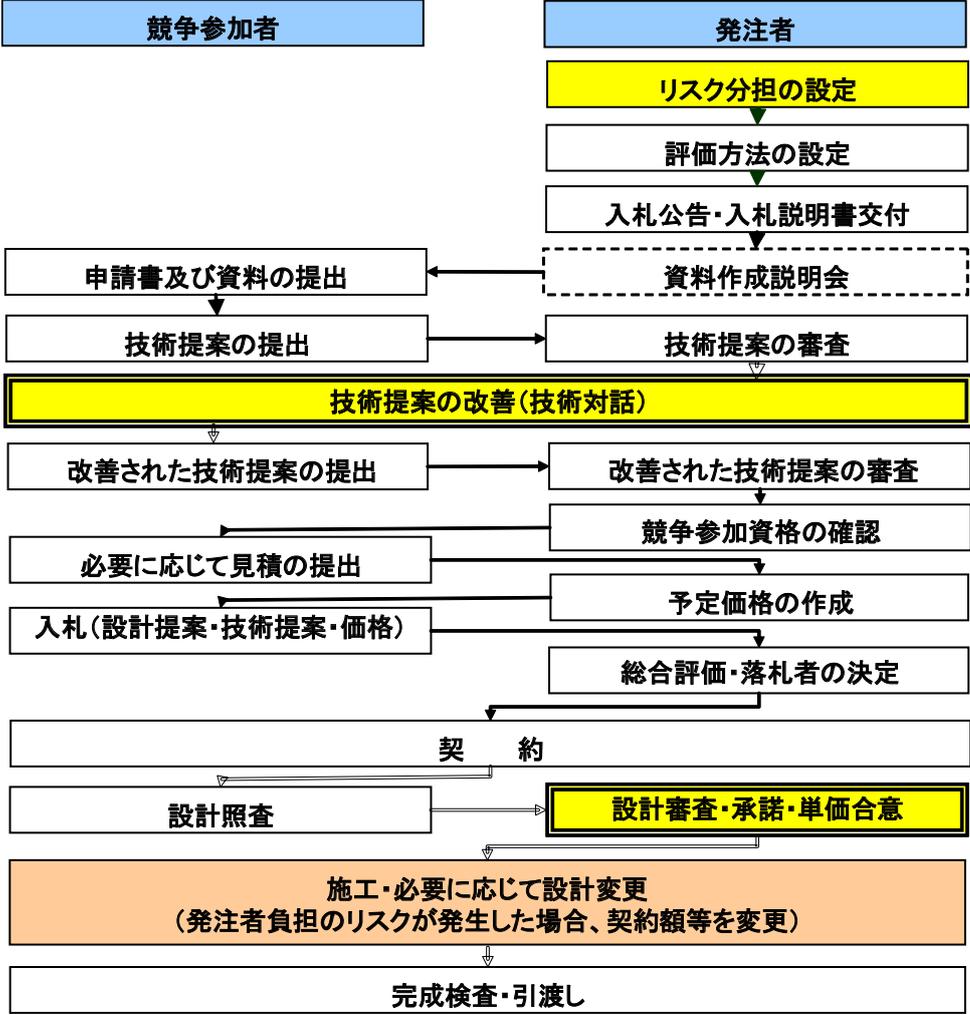


図 6. 設計・施工一括発注における受発注者間のリスク分担にかかる手続きフロー

こうした問題の発生を未然に防止するためには、受発注者双方が、契約時点で十分な情報共有、リスク分析及び技術対話等を通じて、未確定要素をできるだけ少なくするように努めることとあわせて、契約後に詳細設計を実施することに起因するリスクがあることを十分に認識し、契約書等に設計・施工条件を具体的に明示することによって、双方のリスク分担範囲をできるだけはっきりさせておくことが必要である。図6は、総合評価落札方式の実施プロセスに沿って、設計・施工一括発注におけるリスク対応のフローを示したものである<sup>7)</sup>。今後、設計・施工一括発注を円滑に導入し、民間の技術ノウハウの積極的な活用を後押しするためには、実際にリスクが顕在化した事例の分析により、入札時におけるリスクの適切な評価のための知見として整理・蓄積することが必要である。

## 5. 発注者の施工監理・監督業務を支援するための CM の採用

CM(コンストラクションマネジメント)方式とは、発注者、受注者の双方がそれぞれの立場で行ってきた発注計画、契約管理、品質管理等さまざまなマネジメント業務の一部を、別の主体に行わせる工事实施の仕組みである。CM方式は、1960年代の後半から、米国連邦政府機関の公共工事、特に建築工事において、発注者が建設マネジメントシステムの効率化を図る目的で導入され、今日まで公共、民間工事に広く活用されてきている。導入当初の背景としては、設計をめぐるコンサルタントと建設業者間の紛争に起因する建設業者からのクレームの増大や工期の遅れ等のトラブルを防止し、円滑に事業を進めるための仕組みが求められたこと、及びいわゆる「Value for Money」(コストに見合った価値の追求)と表現されるコスト意識の高まりがあった。そのため、計画・設計の段階から、施工性や適正工期の設定等について知識や経験を有する技術者の参画が必要になってきたのである<sup>8)</sup>。米国では、発注者と施工に関するコンサルタント契約を結んだCM会社が、(直接施工には携わずに)発注者の代理人としてプロジェクトに参画して施工ノウハウを提供する(プロジェクトのリスクはすべて発注者が引き受ける)ピュアCM方式(エージェントCM)と、CM会社がコンサルティングだけでなく施工にも携わってリスクを分担するリスク付きCM方式(アットリスクCM)に分類されている<sup>9)</sup>。英国では、同様の形態をMC(マネジメント・コントラクト)と呼んでいる。

従来より、国土交通省直轄工事においては、監督業務の補完を目的とした発注者支援業務が導入されてきた。これは、個々の工事に対して発注者サイドの監督職員の指示に基づき、設計図書等に基づく受注者に対する指示・協議に必要な資料作成や契約担当官への報告に必要な資料作成等を行うものである。これに対して、平成12年度より試行的に導入された発注者支援型CM方式は、工事段階の監督体制を補完する目的で、CMrと呼ばれる経験豊富な専門技術者を配置することによって、工事目的物の品質管理や複数の工事間の円滑な調整とともに、(工事特性やCM方式導入時期によっては)コスト縮減や工期短縮に寄与するような技術提案・調整を期待するものである。平成19年度より、「国土交通省直轄事業の建設生産システムにおける発注者責任懇談会品質確



に評価し、導入コストに見合うことを示していくことが、まず重要である。あわせて、CM方式がより一層の効果を発揮するために、CM担当技術者の権限拡大とそれに伴う責任の担保方法及びその責任に応じた報酬(フィー)のあり方について、一体的に検討していくことも必要である。

表2 国土交通省における発注者支援型CM方式試行事例

	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	調査対象
清洲JCT北下部工工事		[Bar]							→				
23号西中高架橋下部工事		[Bar]			国土交通省直轄事業の建設生産システムにおける発注者責任に関する懇談会【品質確保専門部会】								
美濃関JCTマネジメント業務			[Bar]										
森吉山ダム本体工事監理試行業務			[Bar]										
信濃川下流築堤監理試行業務						[Bar]							○
川内川激特事業監理試行業務										[Bar]			○
日本海沿岸東北自動車道建設工事監理試行業務		↑											○
加古川中央JCT工事マネジメント業務		[Bar]											○
H21中部横断道マネジメント業務										[Bar]			

表3. 試行事例についてのフォローアップ調査結果の整理

項目	効果	課題
品質確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>複数工事の円滑な施工、関係機関や地元住民との協議も含めて、業務対象工事の品質確保に大きく寄与できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>監督職員と請負者の関係にCMRが介在することから、最終的な判断・意思決定の手続きが、一時的に滞る可能性がある。</li> <li>結果的に、CMRから不適切な助言があった場合、ほとんどの責任を発注者側で負うことになる。</li> </ul>
円滑な事業執行の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期的な人員不足の状況において、現場状況の確認や迅速な対応が難しい場合に、CMRにより適宜確認できる。</li> <li>複数工事の工区間調整や関係機関等との協議において、適切な助言・提案・資料作成等を担ってくれる。</li> </ul>	
発注者職員、地元施工者の技術力向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>監督職員はCMRからの技術提案を活用し、お互いの技術力の補完を行うことで、技術力向上が期待できる。</li> <li>地元業者に対して、書類作成や施工上の助言を与えることで、技術力の向上に寄与できる。</li> </ul>	
透明性の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>CMRからの助言・提案によって、最終的な判断・意思決定までのプロセスにおいて、より透明性・説明性が高まる。</li> </ul>	

## 6. 発注者の事業執行管理を支援するためのPMツールの導入

多様な地域条件のもとで基本的に現地で一品生産される大規模な公共工事においては、多くの作業工程が複雑にリンクしており、一つの工程でのトラブルや遅れが連鎖的に影響して、全体としての工期の大幅な遅れや事業費増大をもたらすことがあり得る。そのため、プロジェクト全体の円滑な進捗を図るためには、プロジェクトを構成する各要素工程の進捗状況を的確に把握し、随時必要な調整を行うことが求められる。

「工程管理」は、工期の管理に加えて、冗費の発生防止、規定の品質の維持、事故の発生防止など、広範な内容を含んでおり、施工管理の4大目標である「良いものを、適切な価格で、早く、安全に」を達成するための指標となる管理である<sup>13)</sup>。

また、工事の実施に際しては、多くの地元・関係機関との調整・協議が必要とされるのが通常であり、現地事務所職員数の減少によって、各職員が処理すべき業務量が増大する中で、これらに適切に対処するためには、過去の調整・協議記録を適切に保管し、必要な時に迅速に参照して、手戻りやトラブルを未然に防止することが重要なポイントである。

こうした背景のもと、国総研では、公共事業発注者が、限られた費用、人員で効率的に事業執行管理を行うのを支援するプロジェクトマネジメントツール(以下「PM ツール」という)の開発に取り組んできた。(開発ソフト及び操作マニュアルは、国総研総合技術政策研究センターのホームページに掲載した利用規約に同意いただく条件で、希望者に無償配布している。

([http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryoku/pm/pm\\_riyoukiyaku.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryoku/pm/pm_riyoukiyaku.pdf) )

国総研版 PM ツールは、図8に示すように(1)工程管理、(2)事業費管理、(3)地図情報及び(4)関連情報管理 に関する諸データを相互に関連付けて一元的に管理する機能を有しており、必要な情報を必要な時に見やすい形で出力できるようになっている。また、情報セキュリティ対策として、ID、パスワードにより、アクセス制限をかけることが可能である。PM ツールの導入は、大規模で多数の工種が複雑に関係するような事業、完成目標年次に向けた工期がタイトな事業、及び地元住民や警察等協議を要する関係者が多い事業等で効果を発揮することが期待される。図9-1、9-2にPM ツールの画面表示例を示す。

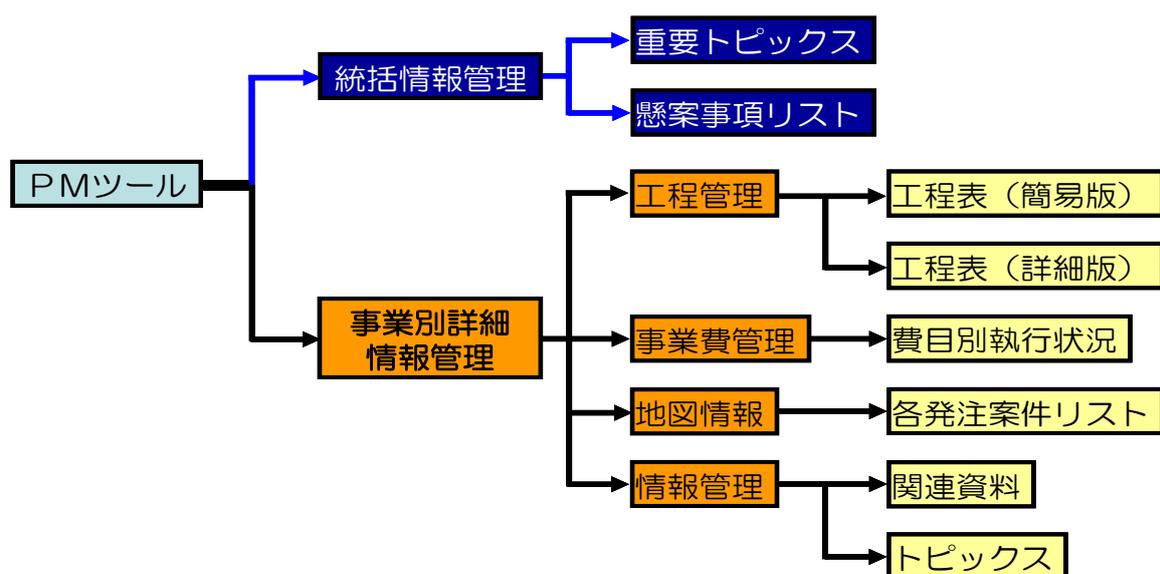


図8. 国総研版PMツールの構成

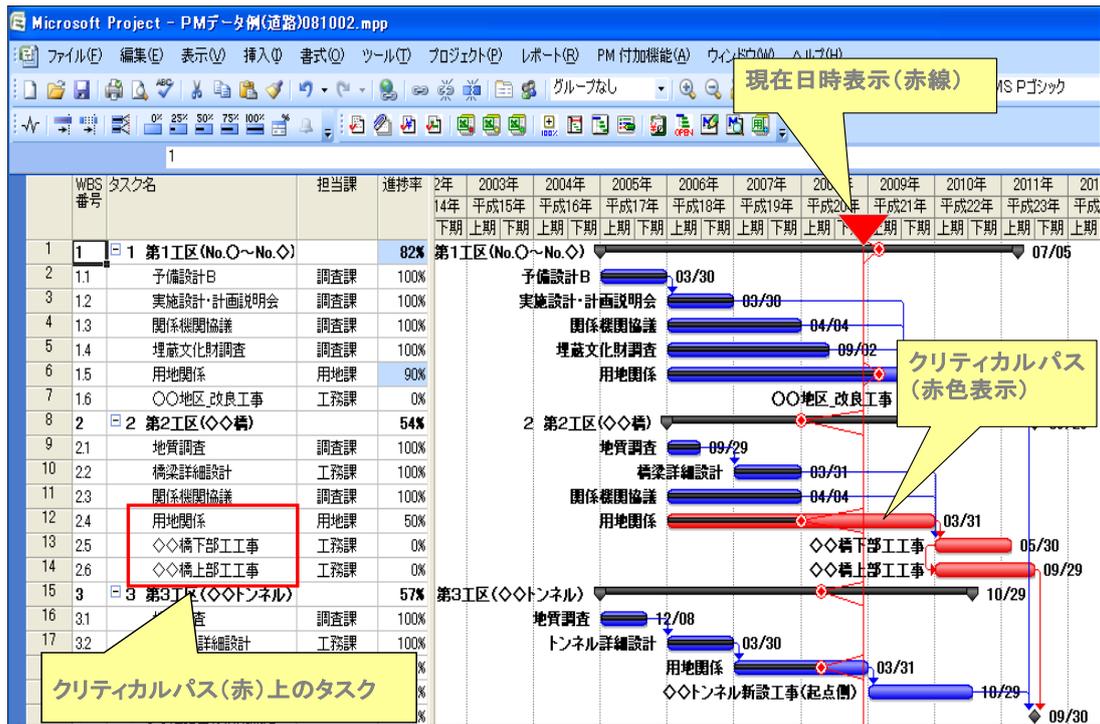


図 9-1. PM ツールの画面例。用地取得の遅れや関係機関との協議の長期化等を随時反映して、工程管理チャート上でクリティカルパスを表示できる

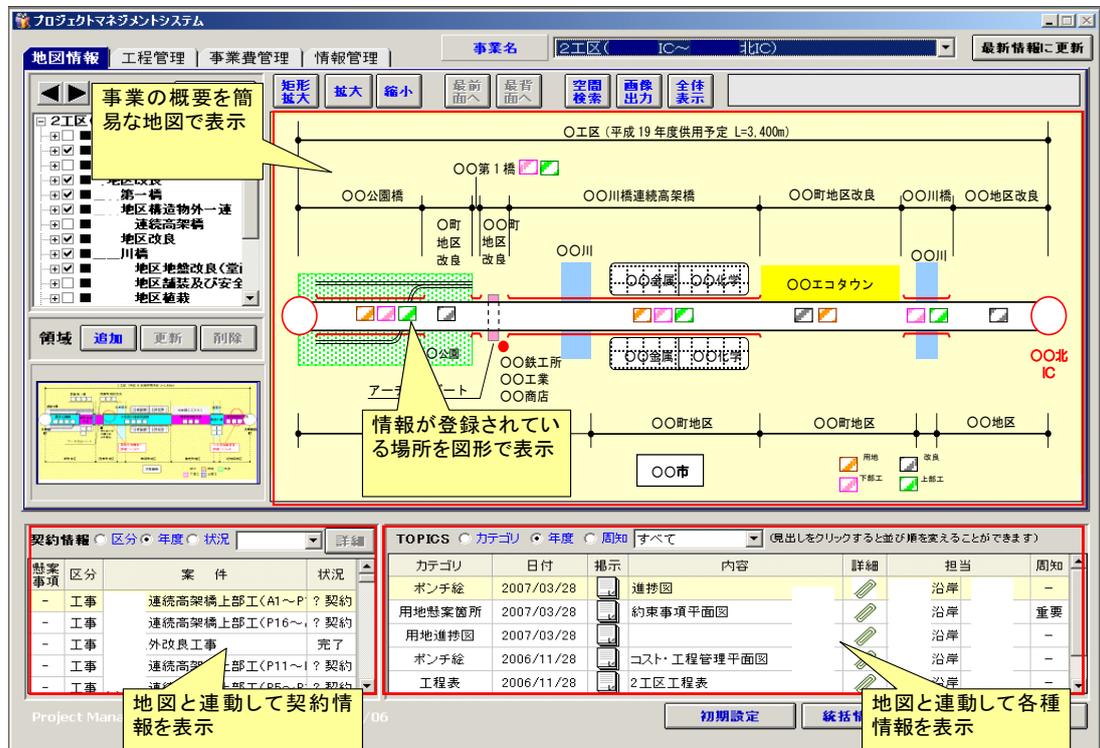


図 9-2. PM ツール画面例。地図情報(この例では路線のポンチ絵)上の位置情報とリンクさせて、工事契約情報や関連図面等を検索・表示できる

国総研版 PM ツールを試行的に導入した現場事務所へのヒアリング調査によれば、導入のメリットとして、

- ①誰が何をいつまでに行うかが明確になり、工程遵守の意識向上や事業費の適正管理に寄与すること
- ②PM ツールの導入とあわせて定期的な状況レビュー会議を実施することにより、内部部局間での連絡・調整を効果的に行えるようになること
- ③工程、事業費、懸案事項等の情報を関係者間で一元的に共有でき、対外的な情報提供等の円滑化にも資すること

等があげられている<sup>14)</sup>。

ただし、言うまでもなく、PM ツールはあくまでも PM を支援する道具であり、それを有効に使いこなすためには、同時に組織内の仕事のプロセスそのものを「情報の共有と迅速・的確な意思決定への活用」という観点から見直す必要がある。というより、むしろ後者を実現するための契機として PM ツールの導入をとらえるべきである。CAL/ECにおける電子入札や電子納品が、それ自体が目的なのではなく、計画・設計・積算・入札・契約・施工・維持管理といった一連の業務プロセスを通じて、電子化された情報を共有、再利用することにより新たな付加価値を生み出すためのきっかけとすべきである<sup>15)</sup>のと、まさに同じと言えよう。各種協議結果や用地交渉等に関する、日々更新される情報の収集・整理、懸案事項の確認や対応策の検討、及び懸案事項の発生・処理状況をふまえた工程の見直しに係る意思決定等の業務手順について、あらかじめルール化し組織内の共通認識にすることができれば、PM ツール導入の目的の過半は実現されたと言っても過言ではない。

## 7.まとめ

以上、平成 17 年 4 月の公共工事品確法施行を一つの契機として進めてきた、公共工事の品質を確保し、向上させるためのいくつかの取り組みについて、今後の検討課題も含めて報告した。これらは、いずれも、試行とその結果を踏まえた仕組みの見直しを継続的に行っていくことによって、順次改善が図られるべきものである。

本文では取り上げなかったが、いわゆるユニットプライス型積算方式(材料費や労務費等の直接経費と間接経費を含んだ工事ユニット区分ごとの単位当たりの価格に工事数量を乗じて工事価格を算出する方式)は、既存の積み上げ型積算に比べて、発注者の積算業務負担を軽減することと合わせて、建設市場における元請・下請間の取引価格を調査し、積算根拠として公開することにより、ダンピング受注による下請価格引下げへのしわ寄せの歯止めとして働き、結果として工事品質の確保が図られる効果も期待できる<sup>16)</sup>。国土交通省では、平成 16 年度以降順次試行対象工種を拡大してきており、平成 22 年度を目標に、特殊なものを除くすべての工事区分に拡大すべく、実施方法の改善を含め、必要な検討を行っているところである<sup>17)</sup>。

さて、先日韓国の仁川(イーチョン)市松島(ソンド)地区を訪れる機会があった。ここは、去る 10 月 23 日に開通した仁川大橋(18.2km、6 車線)によって、アジアのハ

ブ空港と位置づける仁川国際空港から車で20分(以前は60分以上を要した)で結ばれた地域であり、自由経済特別区域(FEZ)として、53.3km<sup>2</sup>の開発エリア内で集中的な基盤整備や大学、研究機関、高層オフィスビル、住宅等の建設が進められている。今年、1994年に埋め立てによる敷地造成からスタートした第一期整備計画の最終年度の節目の年にあたる。基盤整備の概成を機に8月から10月にかけて地域の中心地区に位置する松島国際会議場において多くの会議や見本市が企画・開催され、今回招きを受けて参加した都市域の水管理に関する国際会議(World City Water Forum 2009)もその一つであった。国内外の企業や大学の誘致も含め、IT(情報技術)やBT(生物科学技術)の国際的な拠点化を目指す松島地区を、まさにナショナルプロジェクトとして世界にアピールする意気込みは相当なもので、会議の開会式では、冒頭Han首相(当時)自ら挨拶されるほどの力の入れようであった。ボランティアとして会議の運営をサポートしていた地域の若者たちの目が、一様に輝いて見えたのがとても印象的だった。未来志向の地域整備プロジェクトが、国や地域の活力を生み出すと同時に、地域の人々に誇りと希望をもたらす効果は計り知れず、わが国にとって学ぶべきところは大きいと感じた次第である。

安全、快適で活力に満ちた国民生活を支える基盤として、時代の要請に応える良質な社会資本を整備し、長期間にわたって効用を発揮し続けられるように適切な維持管理を怠らぬこと、これが国力の源泉の大きな部分を占めることは、古今東西共通である。人口減少と少子高齢化が確実に進み、資源の制約が現実のものとなってくる状況下で、次世代を見据えた日本国土の骨格の整備・管理の仕事に対する納税者の支持をいかにして広げていくか、そして同時に、それを支える、世界に誇るべき日本の建設産業の活力と技術力をいかにして維持、向上していくか、そこに入札・契約制度の改善や事業執行をサポートする仕組みの充実に向けたさまざまな取り組みの本質がある。

## 参考文献

- 1) 西川 和廣:公共工事の品質確保のための取り組みの方向について、平成18年度国土技術政策総合研究所講演会講演集、国総研資料第344号、pp. 7-24、2006年12月
- 2) 笛田 俊治、塚原 隆夫、毛利 淳二、伊藤 信次:公共工事における総合評価方式の導入実態調査について、土木学会第64回年次学術講演会論文集、pp. 499-500、2009年9月
- 3) 山田 剛:建設コンサルタント業務等の総合評価落札方式運用ガイドラインについて、建設マネジメント技術 No. 371、pp. 7-19、2009年4月
- 4) 笛田 俊治、服部 司、毛利 淳二:建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドラインの策定、土木学会第64回年次学術講演会論文集、pp. 453-454、2009年9月

- 5) 国土交通省:建設コンサルタント業務におけるプロポーザル方式及び総合評価方式のガイドライン(案)、<http://www.ktr.mlit.go.jp/kyoku/koukai/consal/09-04.pdf>、2009年3月
- 6) 国土交通省直轄事業の建設生産システムにおける発注者責任に関する懇談会：同懇談会中間取りまとめ、  
<http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryou/hatyusha/tyukantorimatome.pdf>、2006年9月
- 7) 国土交通省：設計・施工一括及び詳細設計付工事発注方式実施マニュアル(案)、  
[http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryou/hatyusha/db\\_manual.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryou/hatyusha/db_manual.pdf)、2009年3月
- 8) (社)国際建設技術協会(編):欧米の公共工事建設システム、p 93、大成出版社、1995年5月
- 9) 池田 将明:建設事業とプロジェクトマネジメント、p32、森北出版、2000年12月
- 10) 国島 正彦、庄子 幹雄(編著):建設マネジメント原論、pp. 216-217、山海堂、1994年12月
- 11) 笹田 俊治、宮武 一郎、毛利 淳二、中村 啓史:国土交通省直轄事業における発注者支援型 CM 方式の効果・課題と今後のあり方に関する一考察、土木学会第64回年次学術講演会論文集、pp. 485-486、2009年9月
- 12) 国土交通省:国土交通省直轄事業における発注者支援型 CM 方式の取り組み事例集(案)、[http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryou/hatyusha/cm\\_jireishuu.pdf](http://www.nilim.go.jp/lab/peg/siryou/hatyusha/cm_jireishuu.pdf)、2009年3月
- 13) 小林 康昭:建設マネジメント(二訂)、p158、山海堂、2005年9月
- 14) 笹田 俊治、宮武 一郎、毛利 淳二、福井 次郎、湯浅 康尊:公共事業の執行管理へのプロジェクトマネジメントの適用について -導入効果の報告と適用する事業についての提案、土木学会第64回年次学術講演会論文集、pp. 477-478、2009年9月
- 15) 寺川 陽:公共事業分野における CALS/EC の現状と課題、土木技術 Vol. 58 No. 7、pp. 23-33、2003年7月
- 16) 寺川 陽：公共土木工事積算における市場単価方式の導入について、積算技術 Vol. 167、pp. 4-7、1992年4月
- 17) 森 望、左近 裕之、吉田 潔：ユニットプライス型積算方式の試行、土木学会第64回年次学術講演会論文集、pp. 491-492、2009年9月

---

国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of N I L I M  
No. 546      December 2009

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