

ISSN 1346-7328

国総研資料 第418号

平成19年11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. 418

November 2007

平成19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(2007)

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

平成19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(2007)

概要

本資料は、「平成19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 2007.

Key Words : Lecture Meeting, NILIM, Public Investment

目 次

◇プログラム	1
◇講 演 集	
国土マネジメントに関する諸問題について一人との関わりー	7
研究総務官 兼 総合技術政策研究センター長 西川 和廣	
地球温暖化に起因する気候変動に対する適応策に関する研究の概要 ...	19
河 川 研 究 部 長 大平 一典	
巨大高潮・津波災害に備える	
ー低頻度メガリスク型沿岸域災害対策に関する研究のスコープー.....	41
沿岸海洋研究部長 樋口 嘉章	
I T Sの動向とスマートウェイの展開	57
高度情報化研究センター長 山田 篤司	
総合的なヒートアイランド対策のための技術開発	69
都 市 研 究 部 長 後藤 隆之	
船舶動静把握システム（AIS）による港湾整備の新たな展開	
ーレーダを超えるシステム開発の効用ー	87
港 湾 研 究 部 長 高橋 宏直	
水質保全のための流域管理ー日・米・欧の比較ー	103
下 水 道 研 究 部 長 藤木 修	

国土交通省 平成19年度

国土総合研 討講演会

平成19年11月15日(木)

10:00~16:55 (9:30 開場)

銀座ブロッサム

東京都中央区銀座2-15-6 Tel. 03-3543-5677

主催：国土交通省 国土技術政策総合研究所
協賛：国土技術研究協議会

プログラム

10:00 ～ 10:10	開会の挨拶	所 長	坪香 伸
10:10 ～ 11:10	特別講演「社会的合意形成を含む社会基盤整備のためのプロジェクトマネジメントについて」 東京工業大学大学院社会理工学研究科教授		桑子 敏雄
11:10 ～ 11:25	休 憩		
11:25 ～ 11:50	国土マネジメントに関する諸問題についてー一人との関わりー	研究総務官	西川 和康
11:50 ～ 13:00	休 憩		
13:00 ～ 13:25	地球温暖化に起因する気候変動に対する 適応策に関する研究の概要	河川研究部長	大平 一典
13:25 ～ 13:50	巨大高潮・津波災害に備えるー低頻度メガリスク型 沿岸域災害対策に関する研究のスコープー	沿岸海洋研究部長	樋口 嘉章
13:50 ～ 14:15	I T Sの動向とスマートウェイの展開 高度情報化研究センター長		山田 篤司
14:15 ～ 14:25	休 憩		
14:25 ～ 14:50	総合的なヒートアイランド対策のための技術開発 都市研究部長		後藤 隆之
14:50 ～ 15:15	船舶動静把握システム（AIS）による港湾整備の新たな展開 ーレーダを超えるシステム開発の効用ー	港湾研究部	高橋 宏直
15:15 ～ 15:40	水質保全のための流域管理ー日・米・欧の比較ー	下水道研究部長	藤木 修
15:40 ～ 15:50	休 憩		
15:50 ～ 16:50	特別講演「発生が憂慮される巨大災害と減災対策」 京都大学防災研究所巨大災害研究センター長		河田 恵昭
16:50 ～ 16:55	閉会の挨拶	副所長	山根 隆行



社会的合意形成を含む社会基盤整備のためのプロジェクトマネジメントについて

東京工業大学大学院
社会理工学研究科教授
桑子 敏雄

<プロフィール>

1951年生まれ。群馬県出身。東京大学文学部卒業。東京大学大学院人文科学研究科哲学専修過程博士課程修了。現在、東京工業大学大学院社会理工学研究科教授。NPO法人合意形成マネジメント協会を創設。専門は、合意形成論、価値構造、感性哲学。社会的合意形成プロセスについて、理論と実践の両面から研究しており、この分野において日本を代表するパイオニアである。著書に『感性の哲学』（NHKブックス）、『風景の中の環境哲学』（東京大学出版会）、編著に『環境と国土の価値構造』（東信堂）、など多数。



発生が憂慮される巨大災害と減災対策

京都大学防災研究所
巨大災害研究センター長 教授
河田 恵昭

<プロフィール>

1946年生まれ。大阪府出身。京都大学工学部卒業。京都大学大学院工学研究科博士課程土木工学専攻修了。現在、京都大学防災研究所巨大災害研究センター長・教授。阪神・淡路大震災記念人と防災未来センター長（兼務）。専門は、巨大災害、都市災害、総合減災システム等。これまで災害に関する論文は約500篇にのぼり、阪神・淡路大震災や新潟県中越地震を始め、災害現場での豊富な経験に裏打ちされた分析には定評がある。著書に、『スーパー都市災害から生き残る』（新潮社）、編著に『必携 地震対策完全マニュアル』（PHP研究所）、共著に『防災学ハンドブック』（朝倉書店）など多数。



国土マネジメントに関する 諸問題について

一人との関わりー

研究総務官 兼 総合技術政策研究センター長

西川 和廣

国土マネジメントといっても、公式な定義があるわけではない。しかし土地があるだけでは単なる領土であり、人が住んで初めて国土である。したがって、人の営みを抜きにして議論することはできない。少子高齢化に伴い、過疎化が進んで限界集落などという言葉が人口に膾炙するようになったが、何を持って限界とするのかについては諸説あり、ソーシャルキャピタルなどという概念があるが、どこまで意味をなすのかは未知である。そうこうするうちに、橋を始めとする社会資本ストックにかかわる事故が相次いでいる。これも、人が造ったものが、人による管理の問題によって生じた出来事である。人の営みを通じて見えてくる国土マネジメントの一端について論じてみたい。



地球温暖化に起因する気候変動に 対する適応策に関する研究の概要

河川研究部長

大平 一典

1988 年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された組織である「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は、本年の2月から5月にかけて第4次報告書を公表した。河川研究部では、この第4次報告書を受けて、本年4月から「気候変動研究チーム」を立ち上げ、気候変動による日本での降雨等の変化の推定及び洪水・渇水・高潮等の発生様態の変化の予測とそれへの適応策の研究を実施している。

本講演では、IPCCの第4次報告書の概要及び現在取り組んでいる研究の概要を紹介する。



巨大高潮・津波災害に備える

－低頻度メガリスク型沿岸域災害対策に関する

研究のスコープ－

沿岸海洋研究部長

樋口 嘉章

我が国の沿岸域を襲う津波・高潮等は、地震想定の不確実性、気候変動による台風の大型化、海面上昇による影響などから、計画されている防御レベルを上回る可能性があります。このような「低頻度メガリスク型沿岸域災害」に対する減災対策はまだ体系的に整理されていません。当研究部では、発生頻度は低いものの、ひとたび生起すると沿岸域の居住者や各種の機能等に大きな被害をもたらす低頻度メガリスク型沿岸域災害対策として、災害時に減災効果があり、非災害時にも社会的効用がある対策（No-Regret-Policy）の提案を目指して研究を進めており、防災・減災対策の高度化とアカウンタビリティの向上を目指しています。本講演ではこの研究の現状とスコープについて報告します。



ITSの動向とスマートウェイの展開

高度情報化研究センター長

山田 篤司

カーナビや ETC のめざましい普及が代表するように ITS は我々の生活に身近なものとなってきている。

2004 年スマートウェイ推進会議の提言を受け、様々な種類の、かつ大量の情報をスピーディに、一つの車載器でやりとりできる車内環境の実現を図るため官民共同で研究が進められてきた。開発された車載器の特性を活かした次世代道路サービスの本格運用に向け、本年 5 月より首都高速道路上で音声や画像を用いた様々な情報を提供し、その効果や受容性等について検証を進めている。その実験の概要、さらには ITS、スマートウェイの今後の展開について紹介したい。



総合的なヒートアイランド対策 のための技術開発

都市研究部長
後藤 隆之

ヒートアイランド対策に関する国土交通省の総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」の技術開発成果について報告する。今後のヒートアイランド対策が効果的に実施できるように、スーパーコンピュータや実測調査、風洞実験などの科学的手法を駆使して、様々な対策の効果を総合的に予測できるシミュレーション技術を開発し、国や地方公共団体等に向けてパソコンソフトとして実用化を目指すものである。トピックとして、東京臨海・都心部における大規模実測調査、地球シミュレータによる大規模数値解析、市街地改造による「風の道」に関するケーススタディ、対策効果シミュレーションソフトの開発について紹介したい。



船舶動静把握システム(AIS)による 港湾整備の新たな展開

—レーダを超えるシステム開発の効用—

港湾研究部長
高橋 宏直

2000 年の「海上における人命の安全のための国際条約」改正により、一定規模以上の船舶への AIS(Automatic Identification System)装置の搭載が義務化されました。このため、陸上に AIS 受信局を設置することで、従来のレーダよりも遙かに効率的に周辺海域の船舶動静を把握することが可能となりました。

このため、港湾研究部では東京湾沿岸部に複数の AIS 受信局を設置して、湾内のリアルタイム観測を可能とするとともに得られたデータを様々な観点から解析するシステムを開発しました。

本講演では、東京湾のみならず国内および海外で取得されたデータを本システムで解析した結果を提示し、さらに今後の港湾整備に向けての新たな展開方を明らかにします。



水質保全のための流域管理

－日・米・欧の比較－

下水道研究部長
藤木 修

1960年代頃から多くの先進工業国で顕著となった水質汚濁問題に対処するため、当初は事業場排水に対する排水規制などの制度化が図られた。しかしその後、経済的手法の重要性が認識されるようになり、欧州では排水課徴金を中心とする環境税が普及してきた。他方、米国では排水課徴金の採用例は少なく、近年連邦政府は、流域の排出者間の汚濁負荷排出枠の取引（水質取引）を推奨している。わが国では、2005年に下水道法が改正され、下水道の終末処理場を対象として、米国の水質取引に類似した制度の導入が図られた。本講演では、水質保全のための流域管理政策のなかでも特に経済的手法に焦点を当て、理論的な考察を交えながら、日・米・欧の比較を試みる。

国土マネジメントに関する諸問題について
— 一人との関わり —

研 究 総 務 官
兼 総合技術政策研究センター長
西 川 和 廣

国土マネジメントに関する諸問題について —人と国土の関わりを通じた2、3の考察—

研究総務官 兼 総合技術政策研究センター長 西川和廣
総合技術政策研究センター 建設経済研究室 主任研究官 鈴木 学

はじめに

総合技術政策研究センターでは、主として建設マネジメントと国土マネジメントにかかわる業務を担当している。国土マネジメントといっても明確な定義がある訳ではなく、限られた人員と、新しい組織であるが故の乏しい蓄積のなかで、どんな課題にどのような姿勢で取り組むべきか議論しているが、なかなか方向が定まらないのが現状である。それでも、人が住んではじめて「国土」であり、人の営みとの関わりを通して様々な課題を考えることが大切だという点については共通の認識を持つに至っている。

国土はそこで暮らす人々の営み、すなわち経済的、文化的な活動を支えるもつとも基本的なインフラであることは疑う余地がない。基本的なインフラであるということは、安定性、持続可能性という言葉で表現されるような、将来が見通せることがきわめて重要になる。とくに脆弱な国土構造を有し、自然災害が多発する我が国では、自然災害などから国民の生命と財産を守ることと同時に、経済活動の持続性を確保することも重要な課題である。

安定性と持続可能性という観点から考えると、急速な少子高齢化や人口の大都市への集中などの構造の変化は、気候変動や大規模地震災害の予感とともに、国民の安心を脅かす要因でもある。今回の講演では、総合技術政策研究センター建設経済研究室で実施している、少子高齢化に関連した2、3の研究事例の紹介と、今や慣用句になった感のある安全と安心に関する私見、維持管理の時代が本番を迎えたことを告げるかのように、日米同時期に相次いだトラス橋の事故を通じて、インフラの維持管理と人の役割について考えたことについてお話しすることにした。

1. 減り続ける人口に関連する問題について

平成17年に、日本の総人口が戦後始めて減少局面に入った。それ以降、過疎地域を初めとする地方の問題（特に医療・高齢化等について）が報道等で頻繁に取り上げられるようになってきている。断片的な内容であつたりその問題の本質が変えられていたりするものも見受けられる。そのため、そこからは、地域で今起きている（あるいは、今後起きる）ことについては見えてこない。

最新の厚生労働白書には、「我が国においては、急速に少子化が進行し、2005(平成17)年の合計特殊出生率は、1.26と過去最低を更新するとともに、人口も2004(平成16)年をピークとして減少に転じ、人口減少社会が現実のものとなった。2006(平成18)年の合計特殊

出生率（概数）は、前年を0.06ポイント上回る1.32、出生数は対前年比3万人増の109.3万人と、いずれもやや増加に転じたものの、依然として低い水準にある。」とある。その他、内閣府の少子化白書、高齢社会白書等にも同様の記載がある。一般的に新聞等を通じて得ることのできる人口問題に関する情報である。これらは、主として年金福祉財政の規模の議論をする上では、十分な状況を示しているものであると考えられる。しかし、実際には地域間において、人口の変化には差が大きく、首都圏等の人口の移入が多い地域以外については、10年以上前から既に人口減少が始まり、中国・四国地方などにおいては1990年の国勢調査からブロック全体の人口が減少してきている。

同研究所においては、市区町村ごとの将来推計も算出・公表している。これはコーホート要因法により算出されているものである。コーホート要因法とは、人口の年齢階層ごとの移動率を仮定し、都道府県ごとの将来推計値と一致するように補正を加えているものである。したがって、人口規模が大きい自治体や、全国的な概ねの傾向を見る上では一致するかもしれないが、中山間地域等の人口規模が小さくなった地域においては、地域社会における担い手の問題、教育環境の変化の問題、公共交通等の廃止等による影響等々の社会環境の変化が推計に内包されていないため、実際の地域社会の今後の推移をこれを持って議論するのは、そもそもの推計の目的上無理がある。

対象とする問題が、国土マネジメントを対象とし、国土で起きることを適切に把握するためには、人口の量を捉えるマクロ的な視点だけではなく、地域社会の構造の変化等の地域に即したミクロ的な視点から調査・分析することが必要と考えられる。

1. 1 高齢化、過疎化、限界集落とは

なぜ、高齢化、過疎化、集落の消滅は起きるのか。地方における、高齢化の推移等は人口減少の推移と同様に、全国平均よりも概ね10年早く推移しており、中でも中山間地域では20年程度早く推移している。高齢化と言っても、一般に認識がなされている「高齢者数の増加」によるものと、特に最近の中山間地域において問題とされている、「地域を支える世代（＝非高齢者）の減少」によるものがある。中山間地域等においては、特に消滅の危機にある集落が多く存在し、「限界集落」と言われている。限界集落とは、現長野大学教授の大野晃氏が提唱した概念であり、農林水産省の農林業センサス等の統計に使われる定義では、限界集落とは、「人口の50%が65歳以上の高齢者となり、冠婚葬祭などの社会的共同生活の維持が困難になった集落」とされている。つまり、データとして使われる、限界集落は便宜上の分類であり、実際の地域の集落の状況を示しているものではない。当然ながら、限界集落の定義が当てはまる集落においても、持続的な推移を見せる集落や、急激に衰退していく集落もある。

実際に国土計画局が先日発表した「国土形成計画策定のための集落の状況に関する現況把握調査」においては、全国の過疎地域を抱える自治体に対してアンケート調査を実施している。その中で、対象の62,273集落中2,643集落が10年以内あるいは、いずれ消滅すると回答されている（ここでの集落とは、農林水産省の集落とは分類が異なる。）。また、これまでに消滅した集落の跡地においては2割から6割においては、放置・荒廃していると

されている。一方で、本調査結果においても65歳以上の割合が100%の地域においても3割以上、75%以上100%未満の地域においては5割以上が今後も存続すると回答している。

集落の人口が減り、様々なサービスが撤退し、地域住民で互いに支えられなくなると、集落としては体をなさなくなり、消滅となる。その後、個人として残ったり、地域の支えが無くなったことで都市部等に移住すると言った選択となる。集落が消滅すると何が問題なのか？都市部にみな移住してしまえば行政効率上も、望ましいのではないかとの意見もあるが、はたして本当にそうなのであろうか。あるいは、都会に出ていた団塊の世代がリタイア後に、Uターンするので問題はないとの意見があるが、それで集落は維持できるであろうか。

現在の中山間地域等の過疎地域の問題は、地域が魅力を持たなくなっていることにあると考えられる。高度成長期以降のグローバル化や、産業構造の変化により、中山間地域が持っていた、食料供給や燃料や建材としての木材供給に対する相対的な価値が下がった。また、高学歴化が進み、中山間地域を担っている産業が高学歴者の雇用に対するミスマッチが大きくなった。さらに近年では、携帯電話が通じず、インターネットもブロードバンド環境の実現が遅れる等もあり、都会に出た若者が「戻れない」、「戻りたくない」環境となっている。

様々な中山間地域や離島等の過疎地域で生活をする方に伺うと、一様に「子供は進学するタイミングで、都市部に出て行く。一度出て行くのはやむを得ないが、帰ってこない。「帰ってこい」と言いたいと言えない」と言う。また、帰りたい人がいても、地元で雇用の場が無くそれすら困難にしている。

つまり、従来は中山間地域で、農業や林業をしていることが、魅力的であり、かつ豊かに生活できる状況であったため、その恩恵に授けられない跡継ぎ以外の者が都市へ出ざるを得なかったが、産業構造等の社会構造がグローバル化等の変化をするにともない、中山間地域の資源がそれまで持っていた価値を生み出さなくなってきた結果である。限界集落とは、そのように社会的な価値観・構造の変化に対応し切れていない地域を指すのではない。中山間地域でも、観光資源の掘り起こし、地域で生産する一次産品に地域内で付加価値を高めるなどの産業の転換等の、地域の産物に付加価値を加えることにより魅力を高めている地域においては、地域社会を支える世代の定着や移入が起きている場合が多いと思われる。

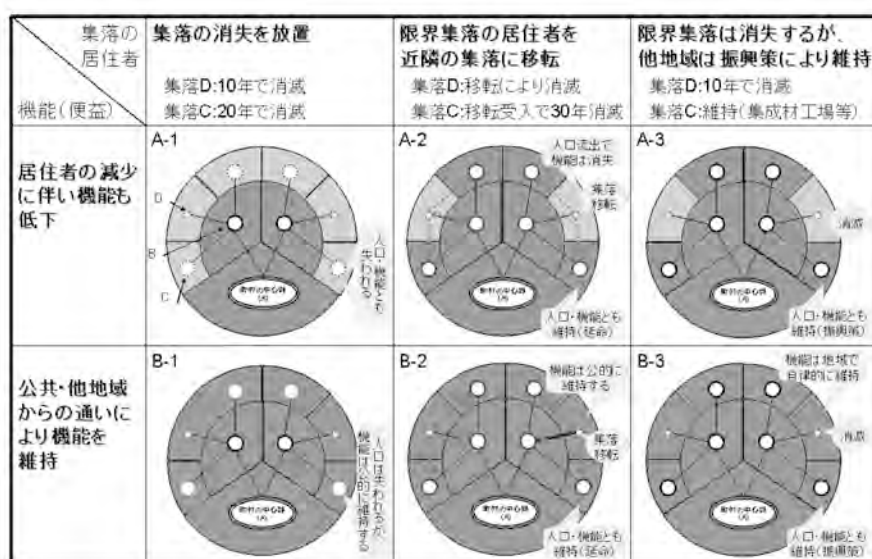
それは地方都市においても同じで、中心市街地の商店街も同様にシャッター街となっていて、多くの店が閉鎖している。こちらは、人口の減少だけではなく、郊外型ショッピングモール等に客足をとられた影響が多くあるが、社会的ニーズの変化に対応していないことも一因であると考えられる。

1. 2 集落の消滅は何を引き起こすのか、防災上の損得計算

前項で集落の消滅のプロセスを記したが、中山間地域の集落が消滅をすると何が問題なのか。都市部においては、都市の運営コストを最小にすることを念頭に置いたコンパクトシティの概念が定着化してきていると考えられる。しかし、中山間地域においても同様に

都市への移住や、集落の再編により、行政コストを小さくすべきであるとの論調もあるが、はたして正しいのか。中山間地域の地域社会においては、国土マネジメントコストの観点から見ると、地域社会を維持するために現在かかっているコスト以上に、地域社会が担っている社会的意義が大きいのではないかと考え、費用と便益の試算を行った。

試算においては、鳥取県日南町と秋田県仙北市の一部地域をモデル地区に選び、それぞれの集落構造を模式化した上で集落の存廃のシナリオを設定したうえで以下の試算を行った。費用としては集落が地域社会として持続的に推移する場合にかかる費用や、消滅した場合に自治体等がその地域が担っていた国土マネジメント上の役割（森林や、田畑の機能の維持に限定）を代替するあるいは放置する場合における費用を自治体・住民からのヒアリング等を通じて積み上げた。便益については、地域の資源が持つ効用が維持されるか否かを設定した上で、学術会議等で示されている原単位を用いて試算をしている。



図－１ 日南町におけるシナリオ設定

日南町におけるを紹介する。森林の価値について、便宜上、管理がなされなくなるとすべての機能を失うという計上をしている。そのため、今後その点について十分に検証していかなくてはならないと考えられるが、国土保全上の便益だけを見ても、地域社会が存在し、住民が生活を行うことで得られる便益が、消滅することで放棄され失われる価値よりもかなり大きいと考えられる。

調査から実際に地域住民が無料あるいはかなり安い金額で地域の生活道路等の社会資本の維持を担っていることがわかった。これらの機能を都市部のようにすべて行政が負担するとなると、中山間地域を抱える地方行政のコストが高まることが考えられる。

また、森林等が木材加工等の付加価値を地域で加えるなどの新たな工夫等を行い新たな地場産業として成り立つ場合には、雇用の創出等により定住を促進させる等の効果があり、これらにかかる行政コストはそれほど発生しないといえる。

また、限界的な集落を再編、維持、撤退等にかかわらず、担っていた機能を代替することが重要であるといえる。

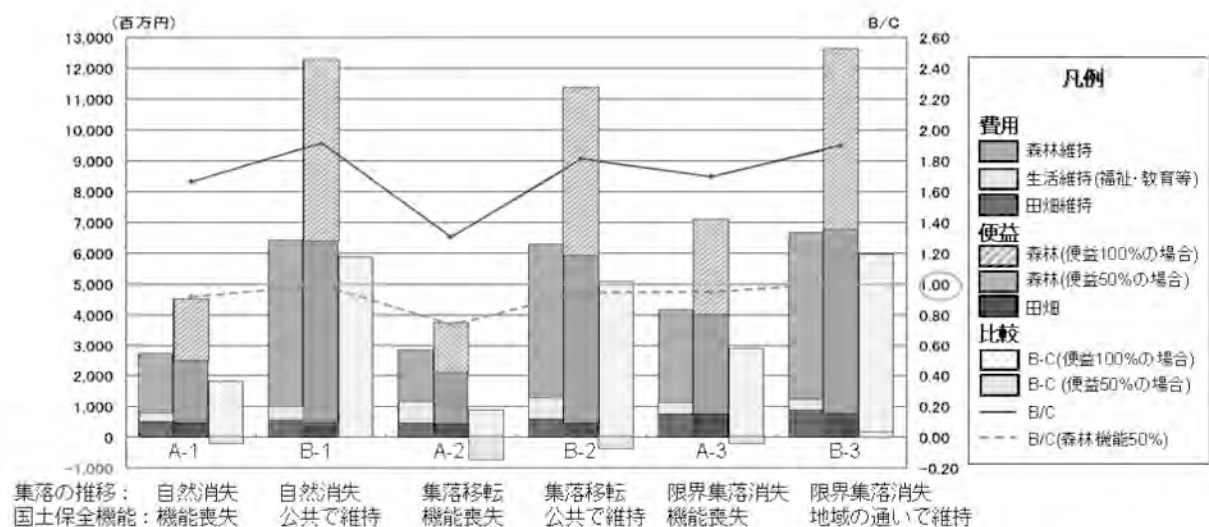


図-2 日南町における集落の分析結果

現在の日本は、これら中山間地域の生み出している資源（食料・木材・水等々）の多くを輸入に頼っている。現在はバーチャルウォーターやバーチャルランドとして、海外の国土資源を間接的に輸入している。現在、年間で琵琶湖の貯水量の2.5倍の640億トンが、バーチャルウォーターとして輸入されているという（週刊エコノミスト2007.10.2号）。近年、中国・インド等の経済成長や人口増加等が激しくなり、石油・レアメタル等の資源のみならず、バイオ燃料等の動向にも影響され食料の生産関係が急速に変化をする世界において、市場経済の原則に任せ、日本の国土の資源を軽視するようなことはいつまで続けていけるのであろうか。一度放棄された人工林等の価値は、著しく低下する。今後の国際的な状況の変化を想像すると、今の需給だけを見ずに、長期的・国際的な変化の視点から、社会資本を考える必要があるのではないか。そのときになってからでは手遅れになるのではないか。

1. 3 ソーシャル・キャピタルについて

前項において、中山間地域は低コストで地域社会を支えていると記述しているが、昔は東京の下町など都市部でも地域の人間関係が強く、助け合って生活をしていたが、現在都市の多くは、人間関係が希薄になり、様々な社会的コストが増大していると考えられる。

近年、「ソーシャル・キャピタル」という概念が使われるようになってきている。日本語への翻訳で、「社会関係資本」と訳されることが多く、infrastructureの意味する「社会資本」と混同されるケースもある。

ソーシャル・キャピタルとは、社会における人間関係の強さ・深さを、社会のもつ「資本」の一つとする考え方である。定まった定義はないが、アメリカの政治学者R・パットナムによる「協調的行動を容易にすることにより社会の効率を改善しうるような、信頼、規範、ネットワークといった社会的組織の特徴」という定義が有名である。

その効用としては、経済活動効率性や地域活力の向上などが指摘されており、これからの地域社会において、重要な概念として注目されている。

表ー１ ソーシャル・キャピタルの要素

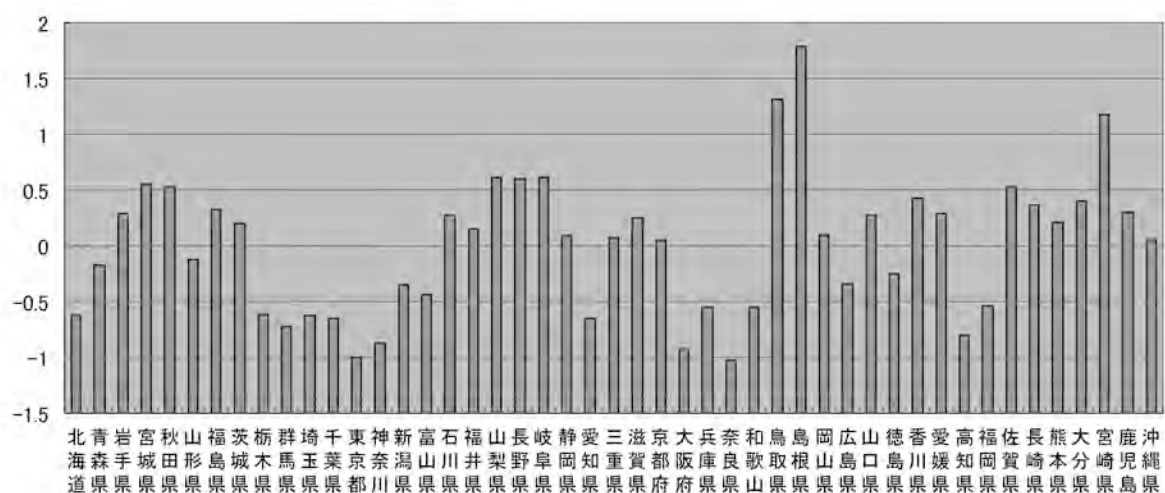
信頼	見知らぬ人を信頼できるかという、より一般的な信頼
規範	様々な規範の中で、互酬性の規範を特に重視
ネット	顔を見知っている、互いに挨拶をしてワーク いるといったような弱い結び付き

表ー２ ソーシャル・キャピタルの種類

結び付き	結束型(強い)	橋渡し型(弱い)
特徴	排他的	包含的
関係	同質－結束	異質－つなぐ
方向性	共益目的	公益目的

ソーシャル・キャピタルについて定量的に把握することの研究も行われている。日本においては、内閣府が試行として、「近隣でのつきあい」、「社会的な交流」、「相互信頼・相互扶助」等の要素についてアンケートを中心とした指標を県単位で調査している。この結果概ね過疎地域を多く抱える地域で、ソーシャル・キャピタル指標が高く、大都市やその周辺のベッドタウンを抱える地域で低い傾向が見られる。

都道府県別ソーシャルキャピタル指数



図ー３ 都道府県別ソーシャル・キャピタル指数（内閣府）

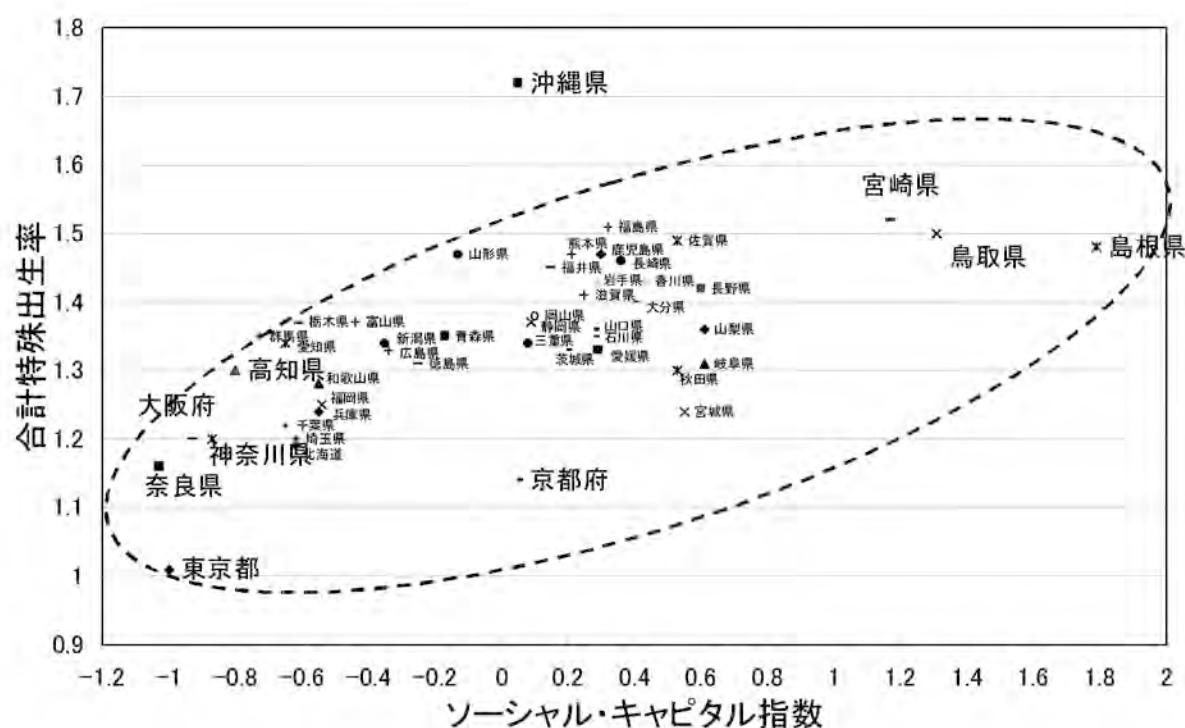
ソーシャル・キャピタル指標と合計特殊出生率は正の相関を示している（図ー４）。また、ソーシャル・キャピタルと関連が深いとされているボランティア行動と刑法犯罪発生率、完全失業率等は負の相関を示している。これは、ソーシャル・キャピタルが人間関係の強さを示すものであり、日本の地域社会においてはその結びつきにより、様々な金銭を伴わない活動が行われてきている。地域社会における生活をする上ではこれにより良好な人間関係を形成している。例えば、子育てにおいて地域が子供たちを育てることが行われているが、ソーシャル・キャピタルが低いと安心して任せることができずに多額の費用を

支払いベビーシッターや保育所等の活用をする必要がある。また、防犯面においても、ソーシャル・キャピタルが高いと見慣れない人が地域にいることに関して、地域社会が敏感に反応することで、防犯効果があり、ソーシャル・キャピタルが低いとこれらの効果が無く、カメラによる街の監視など、高コストな対策につながっていくと考えられる。

これらの状況から、ソーシャル・キャピタルが高い地域社会の形成（取り戻す？）が今後の生活の質的な豊かさに繋がるのではないかとと思われる。

しかし、ソーシャル・キャピタルが高ければ、それだけでよいかと言えばそうとは言えない。ソーシャル・キャピタルが高い地域には、中山間地域が多く、限界集落が多くなっている。これらの地域は、自助・共助により防災機能等の多くを担っている。しかし、集落としての限界を放置すると、自助も共助もままならなくなり、これまでに述べている機能を担うことが困難となり、ソーシャル・キャピタルの議論以前に地域が脆弱化し、地域防災力が弱くなると考えられる。我々は、人口減少を直接止めることはできないが、中山間地域のコミュニティ機能を残すためにすべきことが、何であるかを考えることが重要であるのではないかと。

このために、中山間地域が将来にわたって発揮すると考えられる価値に対して、中山間地域が社会全体から期待されている地域であることを明らかにしたうえで、適切な投資を行い、地域のソーシャル・キャピタルを高めるための施策を考えていかななくてはならない。



図－4 ソーシャル・キャピタル指数と合計特殊出生率（内閣府資料を国総研にて加工）

2. 安心・安全について

2. 1 安全と安心

安全・安心というフレーズはなかば慣用句化しつつあるが、よくよく考えるとこれらの言葉は相反する概念でもある。「安全なのに安心できない」、逆に「安全でないのに安心している」ということはよく経験することである。「安全」を確率論に基づく客観的な指標、「安心」を主観的判断という定義は理解しやすいが、とくに「安心」は主観的なものであるだけにどのようにとらえ、対処すべきか容易なことではない。

人には「安全」な状態が長く続くと、リスクが軽減された訳でもないのに「安心」してしまう傾向がある。また、日本では欧米と異なり、客観的な「安全」よりも主観的な「安心」が優先されているという指摘も見られる。自分に限ってという、いわゆる正常性バイアスという言葉も様々な分野で議論されているようだが、我が国は根拠なき「安心」を求めたがる国民により構成されていると考えなければならないのかもしれない。

一方で「安心」は信頼から生まれるという考え方もある。相手（他者）が自分に対してひどい行動はとらないだろうと信じることで「安心」と感じるのである。したがって理論的に「安全」ですと、どんなにわかりやすい説明を聞いたとしても、説明者が信頼できなければ逆に「安心」できないことになる。私見であるが、日本人には誰かがきつと守っていてくれると信じたがる癖があるように思う。だから災害によって公共施設が崩壊するのを見ると、なにか裏切られたような感覚を持つことになるのではないだろうか。

国民の生命と財産を守ることが国土マネジメントの役割であるはずである。しかし、「安心」したがつている人々に「安全」ではないことを知らせなければ、損害を軽減することはできないし、だからといって不安をあおるようなことは、国民が求めていることではない。常に不安におびえていては活発な経済活動も文化的活動も立ちゆかないからである。やはり「安全」と「安心」は本質的に相反する概念のようであるは、これらが折り合う手法を探らなければならない。

ここでもう一度信頼という概念を導入すると解決策が見えてくるように思える。災害を防げるかどうか、生命と財産を守れるかどうかという具体的なレベルよりもひとつ上の次元、すなわちシステムとしての信頼性を高めることである。どんな訓練を受けたどういう立場の人間が、どんな仕組みと規範の下で災害時に行動し、具体的にイメージできる自助、共助と連携して安全を守る仕組みになっているのか、このシステム全体を信頼を受けるレベルまで磨き上げることが一つの答えではないかと考えている。

2. 2 安全基地

孫引きになるが、茂木健一郎氏が英国の心理学者ボウルビーが見出した安全基地(safe base)の考え方を以下のように紹介している*。すなわち、『心理的な安全基地を与えてくれる保護者に対して抱く親近感、いつも近くにいたいという気持ちを「愛着(attachment)」と名付けた。愛着を抱くことができる保護者がいてこそ、幼児は心理的な安全基地を確保することができ、不確実だが新しい可能性を思う存分探索することができるのだ』。『安全基地を失うとひとは不安に陥る』とも書いている。

海外に飛躍しようとする人にとっては国あるいは国土が安全基地、地方から大都市に出て頑張ろうとする人にとってはふるさとが安全基地で、何よりも自分が育った家庭、家族がもっとも愛着のあるBasicな安全基地である、ということはわかりやすい説明だと思う。その安全基地が、本当に「安全」で「安心」できる状態に維持することが国の役目であり、災害に対して脆弱な国土、ボーダレスな競争の世界において、安全基地を安全基地として維持していくのが国土マネジメントの重要な役割のひとつかも知れない。

人口減少の原因については様々な意見があるが、家庭(Home)が安全基地ではなくなったことが要因としてあげられるのではないかと考えている。生産共同体であり子孫再生産の場であった家庭が、都市化の進展とともに分業化し、家族それぞれが個別の社会的役割を持ち、特定の土地に定住する理由を失うことで離散し、その結果家庭が安全基地としての機能を持たなくなったのか。また、雇用や賃金の体系が変わったことで長期安定的な正規雇用が減り、家庭を作ることがそもそも困難な時代になってしまったことも、少子化の原因になってはいないかと危惧している。将来、家庭を知らない世代をホームレスと呼ぶようになるのではないだろうか。

いわゆるセーフティーネットという言葉があるが、保護者、愛着という点で決して安全基地の代わりになるものではない。別の概念である。

3. トラス橋の崩壊事故から学ぶこと

3. 1 相次いだトラス橋の事故

日米において供用後40年以上を経過し、老朽化に起因するトラス橋の崩壊、あるいは崩壊の危機に瀕する事故が相次いだ。通常、取り組みやすい純技術的な問題に帰してしまいがちだが、これらの事故の背景にはそれを管理する人の資質やシステムにかかわる問題が潜んでいるように思われる。ここでは3件の事故を通じ、インフラストックの維持管理に関する課題について考えてみたい。

3. 1. 1 ミネアポリスI-35W

現地時間8月1日午後6時の帰宅ラッシュ時、米国ミネソタ州、ミネアポリスとセントポールを結びミシシッピー川を渡る州際道路I-35Wのトラス橋が崩壊した。一瞬にして崩れ落ちる映像が監視カメラに残されていたこともあり、専門家だけでなく一般の日本人にも強烈な印象を残すこととなった。本橋は1967年に供用され40年にわたって重交通を支え続けてきたが、過去の点検で腐食や疲労亀裂が発見され、大規模な補修か架替えが勧告されていたことも論議を呼ぶことになった。ミネソタ州のホームページには、これまでの点検報告書がすべて公開された。定められた定期点検の間隔は2年だが、損傷が確認された95年以降毎年行われている。きめ細かく対応していたとみられるし、12年間も判断を先送りしてきたとみることもできる。最新(06年)の報告書は、数多くの写真を含む詳細なものであるが、大規模な補修工事や架替えに踏み切るだけの決定的な情報を筆者には見つけられなかった。

点検の制度や報告書の継承のシステムなど、我が国の実態に比べれば遙かに充実しているように見える。点検で重大な変化を見落としたのか、症状を軽く見て判断を誤ったのか。現状では事実は全く明らかにされていないが、事前に思い切った判断ができる可能性があったのかどうか、是非とも知りたいところである。



写真－１ 崩壊したミネアポリスのトラス橋

3. 1. 2 木曽川大橋、本荘大橋

相前後して、我が国においてもトラス橋の斜材が破断する事故が2件発生した。6月20日の国道23号木曽川大橋と、8月31日の国道7号本荘大橋である。いずれも1960年代に架けられたシングル・ワーレン下路鋼トラス橋で、歩道が主構トラスの外側に配置されているために斜材がコンクリート床版を貫通する構造になっている。斜材を伝わった雨水がコンクリート貫通部に浸透して腐食を生じさせたのではないかと推測されているが、物理的には両者とも同じ現象と考えられる。しかし管理者の立場に経てみると、事情はかなり異なっているようである。



写真－２ 斜材が破断した木曽川大橋

同様の損傷事例は、98年同じ木曽川の上流にかかる岐阜県管理の橋でも生じており、その際に行われた緊急点検で木曽川大橋の腐食は発見されて、現歩道側の斜材はそのときに

補強されている。06年3月に定期点検が行われたが、反対側の斜材は腐食速度が遅いという点検報告に従い要観察と区分され、その1年あまり後に破断した。一方の本荘大橋では、木曽川大橋の事故を踏まえて行った緊急点検で錆汁の流出が見つかり、念のためコンクリートをはつって調査したところ想像以上の腐食を発見、交通規制の準備中に大型クレーン車が通過し、目の前で斜材が破断したのである。



斜材の破断(1箇所)

写真－3 木曽川大橋と同じ形式同じ損傷の本荘大橋

このように、管理者がどこで手を打つことができたかを後から考えると、管理の仕組みの中にどんな問題が潜んでいるのかが見える。ミネソタや木曽川の例では、ぎりぎりまで対策を先延ばしにすることがいかにリスクを伴うものであるかわかる。逆に損傷が明らかになった98年の時点で、コンクリート床版を貫通する腹材を有するすべての橋に対し、コンクリートと腹材を分離して防食管理が可能な状態に改良する等の措置を講じておけば、本荘のケースも回避されたであろう。これが究極の予防保全の姿である。安心を提供しようとするならば、この方法が最良である。東海道新幹線の橋梁の疲労問題はこの方式で行われていると聞いている。

3. 2 管理者が責任を果たすために

3. 2. 1 点検、診断における問題

3橋が事故に至るまでのプロセスを断片的にはあるが眺めていると、点検の精度は十分だったか、それに基づく診断は確かであったかという疑問が湧いてくる。そしてなぜ、早めの対処に踏み切ることができなかったのだろうか。

点検、診断、カルテは、維持管理における三点セットと見なされている。確かにこれらがなければまともな維持管理は期待できない。しかし診断の結果が、必要なときに大きな決断をするための助けになっているかどうかの問題である。そのような視点で通常行われ

ている実際の診断結果に触れてみると、多くの場合、カルテに収納するための単なるマニュアルに沿った仕分けになっていないかと危惧せざるを得ない。なぜなら診断に説得力がないのである。

医師の診断でも、解熱剤を処方された程度ならば何の疑いもなく従うが、大手術が必要と宣告されたとき、それを受け入れて決断するためには、納得のいく説明を求めるのが患者の心情である。同様に施設管理者に大手術を決断させるためには、論理的で説得力のある診断が必要なのである。

3. 2. 2 決断における問題

原子力発電所に対しては電力会社の責任者が、鉄道構造物については事業者としての責任者がそれぞれ決断する責任を持つ。当然のことながら直轄国道であれば国の、県道であれば県の責任者がその責を負う。この場面でのアウトソーシングはできない。国の場合、その判断が全国的な政策的指針としても受け取られるので責任はとくに重大である。

事故を発生させた場合の人命喪失や施設の機能停止に対する責めの大きさは容易に想像されるが、一方で莫大な予算と手間をかけ、機能を一時停止するなどの犠牲を強いて、予防的な大工事を行うことに対する抵抗の大きさも並大抵ではない。診断する医師も決断する責任者も個人である。個人の経験や能力がものをいうことはいうまでもないが、それは黙っていて熟成されるものではない。事故のリスクと抵抗の狭間で呻吟する責任者の背中を押すことのできる、説得力のある診断のできる医師と、決断を下す責任者自身の技術力向上の仕組みを至急構築しなければならない。同時に大きな決断を一個人の責任に帰すのではなく、しかるべきシステムの中で決定がなされる仕組みの構築も同時に行われる必要がある。

おわりに

国土マネジメントに関連するとおぼしき話題について、一部私見を交えて研究成果の一端を紹介させて頂いた。ここまで書いて感じるのは、国土マネジメントとは、持続的な信頼感を国民に提供するためのものでなければならないということである。それには経済一辺倒の指標に偏ることのない、状況把握のための物差しを見つけることが必要だと考える。いずれも簡単に結論の出る分野ではないが、今後の議論の材料にでもなれば幸いである。

参考文献

*) 茂木健一郎：脳と創造性、PHP研究所、2005 4

地球温暖化に起因する気候変動に対する
適応策に関する研究の概要

河川研究部長

大平 一典

1. 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書について

1. 1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の概要

「気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）」は、人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された組織である。IPCCは、議長、副議長、三つの作業部会及び温室効果ガス目録に関するタスクフォースにより構成される（図）。それぞれの任務は以下の通りである。

第1作業部会 “The Physical Science Basis”

（気候システム及び気候変化の自然科学的根拠についての評価）

第2作業部会 “Impacts, Adaptation and Vulnerability”

（気候変化に対する社会経済及び自然システムの脆弱性、気候変化がもたらす好影響・悪影響、並びに気候変化への適応のオプションについての評価）

第3作業部会 “Mitigation of Climate Change”

（温室効果ガスの排出削減など気候変化の緩和のオプションについての評価）

温室効果ガス目録に関するタスクフォース：温室効果ガスの国別排出目録作成手法の策定、普及および改定

最新の報告書である IPCC 第4次の報告は、本年2月～5月にかけて各作業部会の政策決定者向け要約（SPM）が公表されており、11月には統合報告書が承認される予定である。

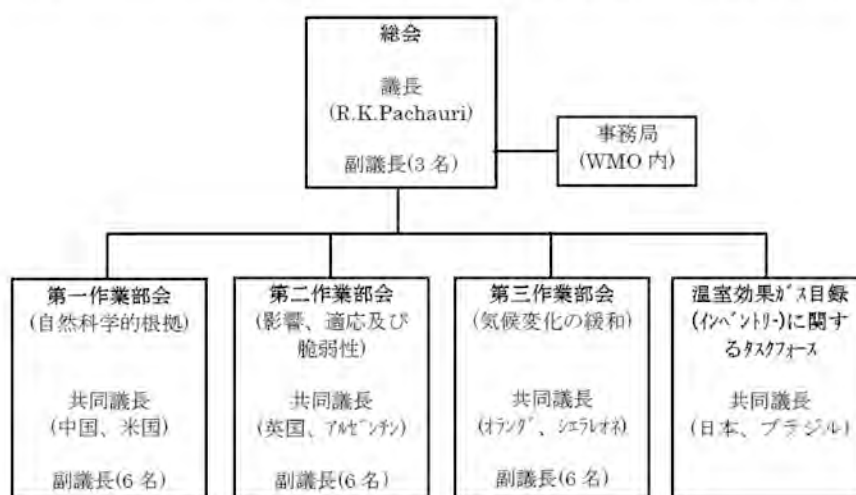


図 1.1 IPCC の組織

1.2 IPCC 第4次評価報告書の要約

1.2.1 第1作業部会（自然科学的根拠）

a. 気候変化の人為起源及び自然起源の駆動要因

- ・気候システムに温暖化が起こっていると断定するとともに、人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因とほぼ断定。（第3次評価報告書の「可能性が高い」より踏み込んだ表現）

b. 近年の気候変化に関する直接的な観測結果

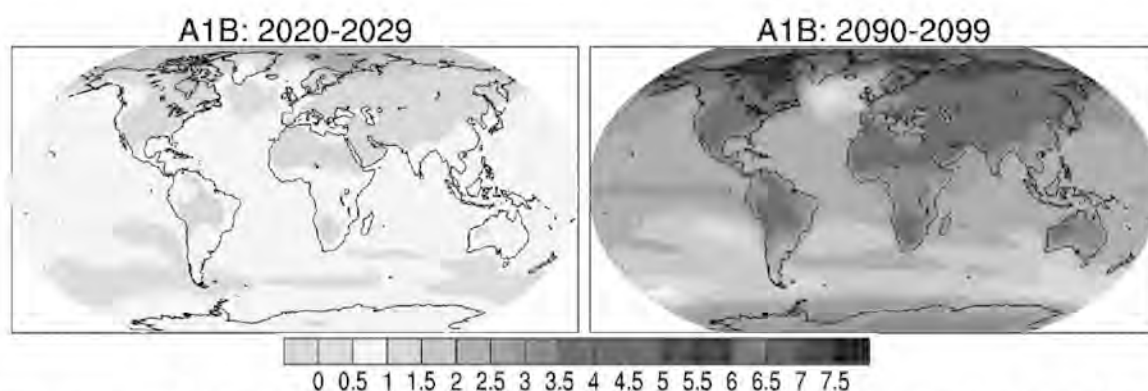
- ・過去100年に、世界平均気温が長期的に 0.74°C （1906～2005年）上昇した。

c. 古気候的な観点

- ・20世紀後半の北半球の平均気温は、過去1300年間で最も高温である。

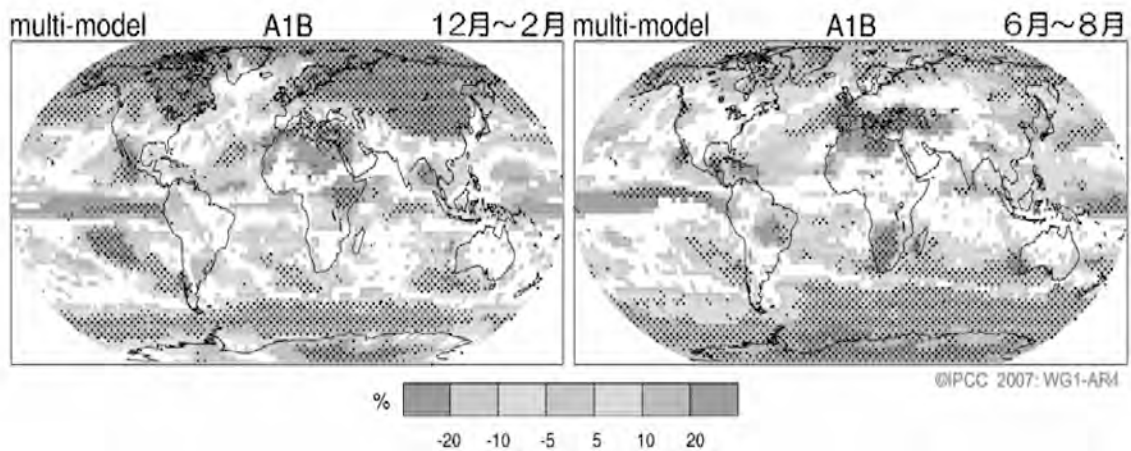
d. 将来の気候変化に関する予測

- ・1980年～1999年に比べ、21世紀末（2090年から2099年）の平均気温上昇は $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$
（第3次評価報告書では $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ ）
- ・1980年～1999年に比べ、21世紀末（2090年から2099年）の平均海面水位上昇は $18\sim 59\text{cm}$
（第3次評価報告書（ $9\sim 88\text{cm}$ ）より不確実性減少）
- ・2030年までは、社会シナリオによらず10年当たり 0.2°C 上昇する。
- ・熱帯域の海面水温上昇に伴って、将来の台風の強度は増大し、最大風速や降水強度は増大する可能性が高い。
- ・台風の発生数は減少する（信頼性は低い）
- ・積雪面積や極域の海氷は縮小。北極海の晩夏における海氷が、21世紀後半までにほぼ完全に消滅するとの予測もある。
- ・大気中の二酸化炭素濃度上昇により、海洋の酸性化が進む。
- ・人為起源排出の大気中への残留分が増加する。



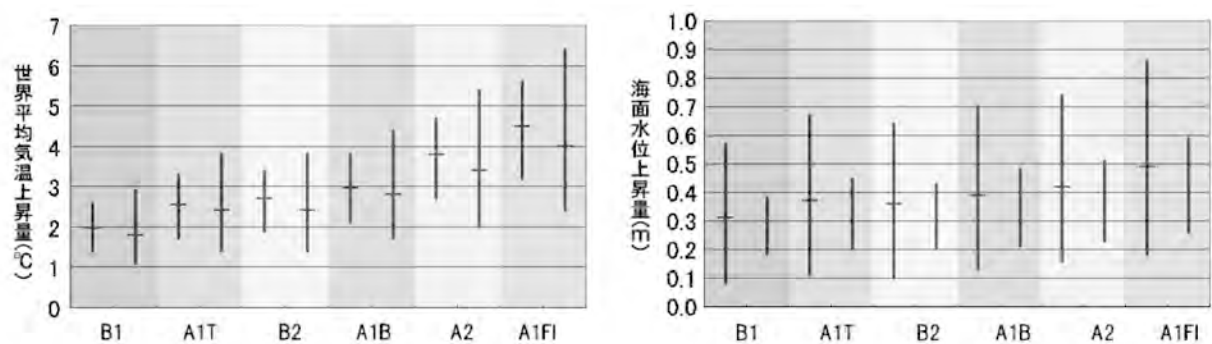
1980～1999年を基準とした、21世紀初頭及び21世紀末の世界平均気温の変化の予測。複数の大気海洋結合モデル（AOGCM）によって計算された、A1Bシナリオでの、2020～2029年及び2090～2099年の予測。

図 1.2



2090～2099 年を対象とする降水量変化予測（単位%）（1980～1999 年が基準）。値は、SRES A1B シナリオによる複数モデルの平均

図 1.3



21 世紀末における世界平均気温の上昇量（左が第3次評価報告書の予測、右が第4次評価報告書の予測）（SPM から気象庁作成）

21 世紀末における世界海面水位上昇量（左が第3次評価報告書の予測、右が第4次評価報告書の予測）（SPM から気象庁作成）

図 1. 4

排出シナリオに関する特別報告（SRES）の排出シナリオ

（参考：SPM Endbox3, 日本語訳）

◆ A 1.

A 1 の筋書きとシナリオファミリーは、高度経済成長が続き、世界人口が 21 世紀半ばにピークに達した後に減少し、新技術や高効率化技術が急速に導入される未来社会を描いている。主要な基本テーマは、地域間格差の縮小、能力強化（キャパシティービルディング）及び文化・社会交流の進展で、1 人当たり所得の地域間格差は大幅に減少するというものである。

A 1 シナリオファミリーは、エネルギーシステムにおける技術革新の選択肢の異なる三つのグループに分かれる。この三つの A 1 グループは技術的な重点の置き方によって以下のものに区別される。

すなわち、化石エネルギー源重視（A 1 F I）、非化石エネルギー源重視（A 1 T）、そして全てのエネルギー源のバランス重視（A 1 B）である。（ここで、バランス重視は、いずれのエネルギー源にも過度に依存しないことと定義され、すべてのエネルギー供給・利用技術の改善度が同じと仮定している）

◆ A 2.

A 2 の筋書きとシナリオファミリーは、非常に多様な世界を描いている。基本テーマは独立独行と地域の独自性の保持である。出生率の低下が非常に穏やかなため、世界の人口は増加を続ける。地域的経済発展が中心で、1 人当たりの経済成長や技術変化は他の筋書きに比べバラバラで緩やかである。

◆ B 1.

B 1 の筋書きとシナリオファミリーは、地域間格差が縮小した世界を描いている。A 1 筋書きと同様に 21 世紀半ばに世界人口がピークに達した後に減少するが、経済構造はサービス及び情報経済に向かって急速に変化し、物質志向は減少し、クリーンで省資源の技術が導入されるというものである。経済、社会及び環境の持続可能性のための世界的な対策に重点が置かれる。この対策には公平性の促進が含まれるが、新たな気候変動対策は実施されない。

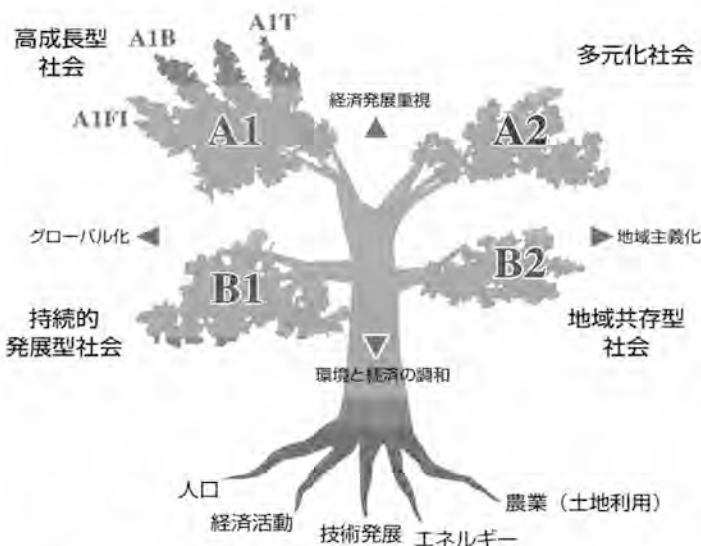
◆ B 2.

B 2 の筋書きとシナリオファミリーは、経済、社会及び環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点が置かれる世界を描いている。世界の人口は A 2 よりも緩やかな速度で増加を続け、経済発展は中間的なレベルに止まり、B 1 と A 1 の筋書きよりも緩慢だが、より広範囲な技術変化が起こるというものである。このシナリオも環境保護や社会的公正に向かうものであるが、地域的対策が中心となる。

6 つのシナリオグループの各々について、1 つずつ例示シナリオ A 1 B、A 1 F I、A 1 T、A 2、B 1、B 2 を選んだ。どれも同等の根拠を持っていると考えるべきである。

SRES シナリオは追加的な気候変動対策を含んでいない。すなわち、いずれのシナリオも気候変動枠組条約や京都議定書の削減目標が履行されることを明示的に仮定していない。

この SRES シナリオに関する囲み記事の内容は、第 3 次評価報告書 (TAR) の中で用いられたものと同一であり、パネルによる行毎の事前承認を得ている。



排出シナリオの概念図 (STOP THE 温暖化 環境省 2005を参照)

図 1.5

1.2.2 第2作業部会（影響・適応・脆弱性）

a. 気候変化が自然及び人間環境に及ぼす、観測された影響に関する現在の知見

- ・地球の自然環境は、温暖化の影響を受けている。（物理環境の94%、生物環境の90%）
- ・気候変動により生じている影響としては、以下のものが挙げられる。
氷河湖の増加と拡大、永久凍土地域における地盤の不安定化、山岳における岩なだれの増加、春季現象（発芽、鳥の渡り、産卵行動など）の早期化、動植物の生息域の高緯度、高地方向への移動、北極及び南極の生態系（海水生物群系を含む）及び食物連鎖上位捕食者における変化、多くの地域の湖沼や河川における水温上昇、熱波による死亡、媒介生物による感染症リスク

b. 将来の影響に関する現在の知見

<淡水資源とそれらの管理>

- ・今世紀半ばまでに、年間平均河川流量と水の利用可能性は、高緯度域及び・熱帯湿潤地域において10～40%増加し、中緯度域の乾燥地域及び熱帯乾燥地域において10～30%減少する。
- ・干ばつの影響を受ける地域の面積が増加する可能性が高い。強い降雨現象は、頻度が増す可能性が非常に高く、洪水リスクを増加させる。
- ・今世紀の間に、氷河及び積雪に蓄えられている水供給が減少し、主要な山岳地帯から融解水の供給を受ける地域における水の利用可能性を減少させる。淡水資源については、今世紀半ばまでに年間平均河川流量と水の利用可能性は、高緯度及び幾つかの湿潤熱帯地域で10～40%増加し、多くの中緯度および乾燥熱帯地域で10～30%減少する。

<生態系>

- ・植物及び動物種の約20～30%は、全球平均気温の上昇が1.5～2.5℃を超えた場合、増加する絶滅のリスクに直面する。

<食糧、繊維、森林製品>

- ・世界的には、地域平均気温が約1～3℃の幅で上昇すると、食糧生産の潜在量が増加するが、それを超えて上昇すれば、減少に転じる。
- ・継続する温暖化に起因してある種の魚種の分布及び生産量の地域的な変化が生じ、養殖及び淡水漁業へ悪影響を及ぼす。

<岸システム及び低平地>

- ・2080年代までに、多数の百万人単位でより多くの人々が、海面上昇により毎年洪水に見舞われると予測される。影響を受ける者の人数は、アジアとアフリカのメガデルタで最大である。

<産業、居住及び社会>

- ・気候変化の影響に対し最も脆弱な産業、居住及び社会は、沿岸平野及び河川氾濫原に存在するもの、その経済が気候感受性の高い資源に密接に関連しているもの、及び極端な気候現象の発生しやすい地域、とりわけ、急速な都市化が進んでいる地域である。

<健康>

- ・温帯において、気候変化は、寒冷暴露による死亡の減少などいくつかの便益をもたらすが、世界全体で、とりわけ途上国において、これらの便益は気温上昇による悪影響に凌駕される。

<アジアにおける将来の影響に関する予測>

- ・ヒマラヤ山脈の氷河の融解による洪水と、その後の氷河の後退により河川流量が減少する。
- ・中央アジア、南アジア、東アジア及び東南アジアにおける淡水の利用可能性は、特に大河川の集水域において、減少する。
- ・南アジア、東アジア及び南東アジアのメガデルタ地帯は、海・河川からの洪水の増加に起因して、最も高いリスクに直面する。

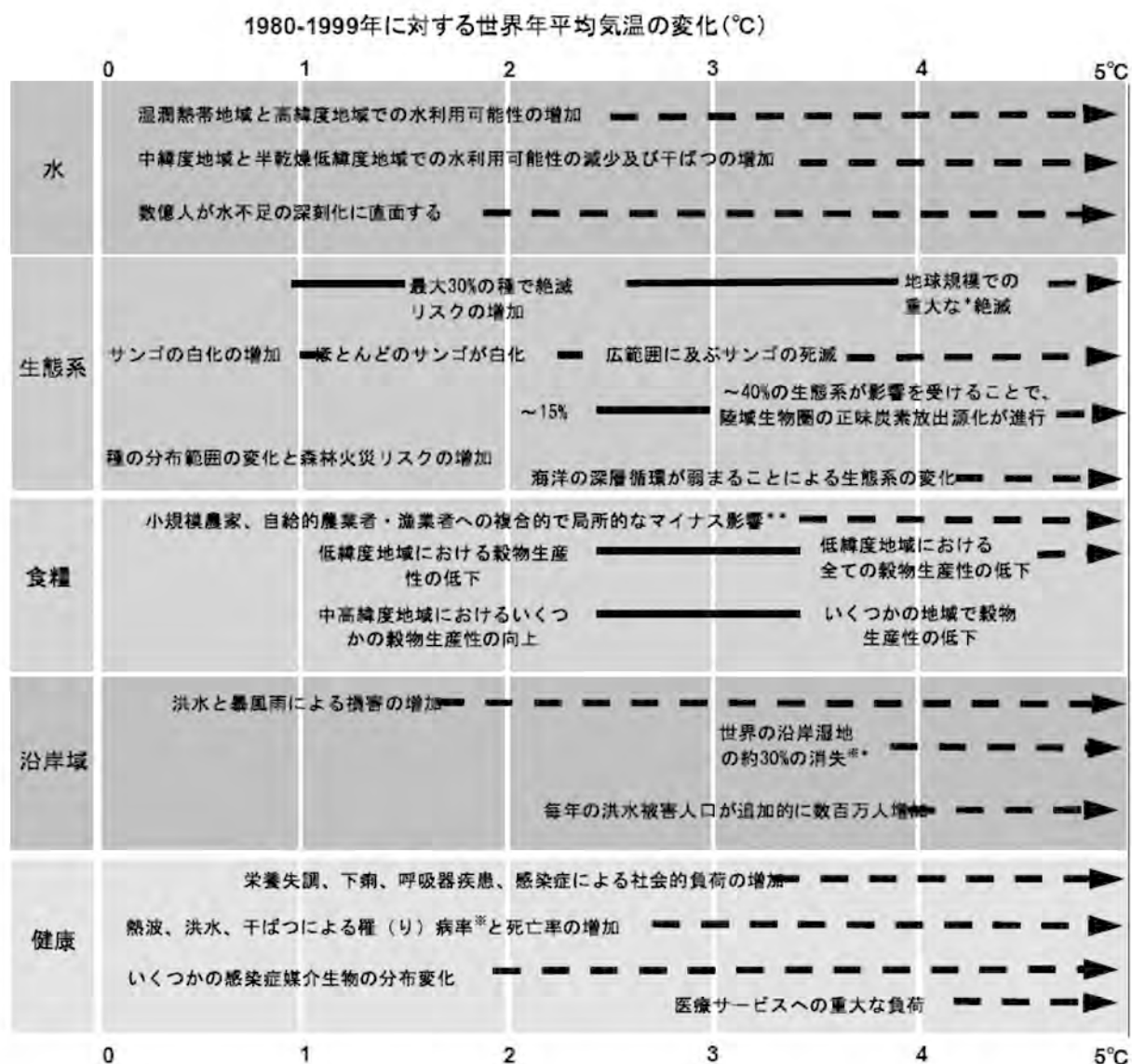
c. 気候変化への対応に関する現在の知見

- ・観測または予測された将来の気候変化に対する適応が現在行われているが、それらはごく限定的である。
 - ＜気候変化を考慮した例＞
 - ・モルディブやオランダでの沿岸護岸の設計
 - ・ネパールでの氷河湖の突発洪水の防止
 - ・オーストラリアの水管理にみられる政策と戦略
 - ・ヨーロッパ諸国における政府の熱波への対応 など
- ・過去の排出による不可避の温暖化によって生じる影響に対して、適応が必要である。
- ・将来の気候変化への脆弱性を低減するためには、現在行われているよりも、より広範な適応が必要である。
 - ＜潜在的な適応策の範囲＞
 - ・技術的なもの（たとえば海の護岸）
 - ・行動に関するもの（例えば、食物や娯楽の選択の変更）
 - ・管理的なもの（例えば、農業慣行の変更）
 - ・政策的なもの（例えば、規制の立案）
- ・適応策と緩和策のポートフォリオにより、気候変化に伴うリスクを低減することができる。
 - ＜適応能力を高める方法の具体例＞
 - ・適応のための手段を土地利用計画及び社会資本の設計に含める
 - ・脆弱性を減少させる対策を既存の災害リスク削減戦略に含める

d. 系統的観測及び研究ニーズ

- ・第3次評価報告書以降、気候変化の影響及び適応ポテンシャルに係る情報を政策決定者に提供する科学は進歩してきたが、今なお多くの重要な問題が未回答である。第2作業部会の各章は、将来の観測及び調査のための優先事項に関する多くの判断を含んでいる。

表 1.1 気候変化に対して予測される世界的な影響の例示



表SPM-1：気候変化（海面水位及び大気中二酸化炭素濃度の変化を含む）に対して予測される、世界的な影響（21 世紀における世界平均地上気温の上昇量に対して示す）の例示 [T20.7]。黒い線は影響間の関連を表し、破線の矢印は気温上昇に伴って影響が継続することを示す。記述の左端は、影響が出始めるおおよその位置を示す。水不足と洪水に関する量的な記述は、SRES A1FI、A2、B1及びB2 シナリオの範囲で予測される条件に対する相対的な変化に対して追加的に起きる影響である。気候変化に対する適応の効果はこれらの推定には含まれていない。すべての記述は、本評価報告書の各章に記録されている、刊行された論文からの引用である。すべての記述の信頼度は高い。

1. 2. 3 第3作業部会（気候変動の緩和策）

a. 短中期的な緩和（～2030）各個別部門

- ・2030 年を見通した削減可能量は、現在の排出量以下にできる可能性がある。
- ・温室効果ガス削減による大気汚染緩和の短期的な健康上の利益は、緩和のコストを相当程度相殺する。
- ・エネルギー供給：途上国へのエネルギー供給に関する新規投資、先進国におけるエネルギーインフラの改修、エネルギー安全保障関連政策によって、温室効果ガス排出削減の機会がある。エネルギー需要に対しては、供給量増加よりも、エネルギー利用効率の向上に投資する方が、費用対効果が大きい。
- ・運輸：自動車の燃費向上は、小型自動車では対策を講じたほうがコスト面で有利になることもある。
- ・建築：ビルの省エネ対策は、大幅に温室効果ガス排出量を削減できる可能性があり、コストをかけずに 2030 年までに予測される温室効果ガス排出量の約 30%を削減可能と試算される。
- ・産業：削減ポテンシャルはエネルギー集約型産業に集中している。
- ・農業：土壌内炭素吸収量の増加や、バイオエネルギーとして排出削減に貢献できる。
- ・林業：低コストで、排出量の削減及び吸収源の増加の両方に大きく貢献できる。
- ・廃棄物：低コストでの排出削減が可能であり、持続可能な開発も促進する。

b. 長期的な緩和（2031～）

- ・大気中の温室効果ガス濃度を安定化させるためには、排出量を減少させなければならない。今後 20～30 年間の緩和努力によって、回避することのできる長期的な地球の平均気温の上昇と、それに対応する気候変動の影響の大きさがほぼ決定される。

表 1.2 二酸化炭素排出量と気温上昇の関係

カテゴリー	放射強制力	二酸化炭素濃度	温室効果ガス濃度 (二酸化炭素換算)	産業革命からの 気温上昇	二酸化炭素排出がピークを迎える年	2050年における二酸化炭素排出量 (2000年比)	研究されたシナリオの数
	W/m ²	ppm	ppm	°C	Year	percent	
I	2.5-3.0	350-400	445- 490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490- 535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535- 590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590- 710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710- 855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140	5

c. 政策、措置、手法

- ・温室効果ガスの排出緩和を促すインセンティブを策定するため、各国政府がとりうる国内政策及び手法は多種多様であり、利点と欠点が存在する。
規制措置、税金・課徴金、排出権取引制度、自主協定、情動的措置、技術研究開発など。
- ・実際の或いは隠れた炭素価格を設定する政策は、生産者及び消費者における、温室効果ガスの排出が低い製品に対する投資への顕著なインセンティブとなる。こうした政策は、経済的措置、政府の財政支援、規制措置などを含む。

2. 気候変動による日本の降水への影響

本章では気候変動による日本の降水への影響について述べる。まず IPCC 第4次評価報告書で使用された気候モデルによる結果を用いて、全球と日本周辺の領域平均から両者における気候変動の影響について比較する。本節で述べる将来気候は、SRES-A1B シナリオに基づきシミュレーションされた結果を用いており、表-2.1 に示す IPCC 第4次評価報告書で使用された24の気候モデルのうちデータが入手可能であった19の気候モデル（現在気候19、将来気候17）を用いている。

ここで、IPCC で使用された気候モデルの解像度は約100～500kmであり、日本の地域毎との影響を見積もるには不十分である。そこで地域毎の気候変動による降水への影響について、気象庁・気象研究所により開発された高解像度（20km）全球気候モデル GCM20 の計算結果を用いて検討を行う。検討は現在継続中であり、これまで得られた結果について簡単に取りまとめる。

表-2.1 IPCC 第4次評価報告書で使用された気候モデル

センター名	国	モデル名	解像度	使用モデル	
				現在気候	将来気候(A1B)
Beijing Climate Center	China	CM1	2.5°		
Bjerknes Centre for Climate Research	Norway	BCM2.0	2.8°		
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Canada	CGCM3T47	3.75°	○	○
		CGCM3T63	2.8°		
Centre National de Recherches Meteorologiques	France	CM3	2.8°	○	○
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Org	Australia	Mk3.0	1.875°	○	
Max-Planck-Institut for Meteorology	Germany	ECHAM5-OM	1.875°	○	○
Meteorological Institute, University of Bonn Meteorological Research Institute of KMA Model and Data Groupe at MPI-M	Germany	ECHO-G	3.75°	○	○
	Korea				
	Germany				
Institute of Atmospheric Physics	China	FOALS-g1.0			
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	CM2.0	2.5°	○	○
		CM2.1	2.5°	○	○
		AOM	4°	○	○
Goddard Institute for Space Studies	USA	E-H	5°	○	○
		E-R	5°	○	
		CM3.0	5°	○	○
Institute for Numerical Mathematics	Russia	CM3.0	5°	○	○
Institut Pierre Simon Laplace	France	CM4	3.75°	○	○
National Institute for Environmental Studies	Japan	MIROC3.2-H	1.125°	○	○
		MIROC3.2-M	2.8°	○	○
Meteorological Research Institute	Japan	CGCM2.3.2	2.8°	○	○
National Centre for Atmospheric Research	USA	PCM	1.4°	○	○
		CCSM3	2.8°	○	○
		HadCM3	3.75°	○	○
UK Met. Office	UK	HadGEM1	1.875°	○	○
National Institute of Geophysics and Volcanology	Italy	SXG 2005			

1° =赤道付近約110km,日本付近約90km

2. 1. IPCC 採用モデルによる日本周辺の降水量変化

ここでは、気候変動の影響について世界と日本周辺領域の比較を行う。日本周辺として設定した領域について気象研究所（CGCM2.3.2）の気候モデルの場合を1例として図-2.1 に示す。他の気候モデルについてもこの領域とほぼ一致するように設定している。

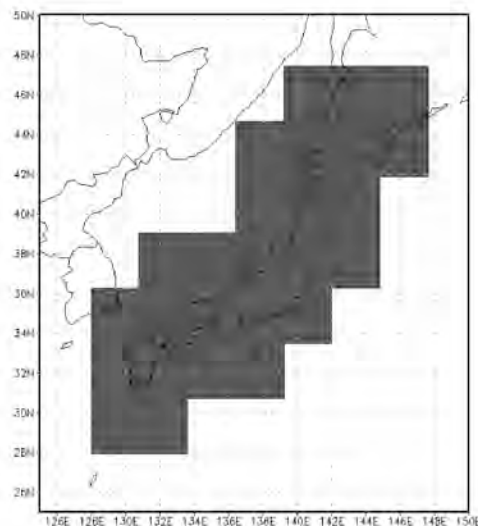


図-2.1 日本周辺として設定した領域

年降水量の全球平均の時系列を図-2.2に現在気候(1900～1999)、図-2.3に将来気候(2000～2099年)として示す。また、日本周辺領域について図-2.4、図-2.5にそれぞれ現在、将来気候として示す。いずれも各気候モデルの1990～1999年の平均年降水量を基準として、増加率として表している。また、日本周辺領域については、領域平均をする際のデータ数が少なく変動が大きいため10年移動平均を行い、データを平滑化している。図中の各線は、現在気候、将来気候のそれぞれの期間でMann-Kendallのトレンド検定を行いその結果、上昇傾向を示す気候モデルを太線、減少傾向を示す気候モデルを細線で示している。実線は、95%の有意な傾向、破線は有意な傾向を示さない傾向を示している。これによると全球平均の現在気候では、増加傾向を示すのは14モデル、減少傾向は5モデルであり両者が混在するが増加傾向を示すものが多くなっている。将来気候については全ての気候モデルで95%有意な増加傾向を示して、将来の全球スケールの降水量の増加が判断される。日本周辺の領域平均については、現在気候で増加傾向を示すのは8モデル、減少傾向は11モデルで両者は同程度のモデル数である。一方、将来気候については、18モデルで増加傾向を示しており、そのうち95%有意な増加傾向を示すのは11モデルであった。以上より、少なくとも将来気候については、全球及び日本周辺領域において増加傾向を示すといつてよいであろう。

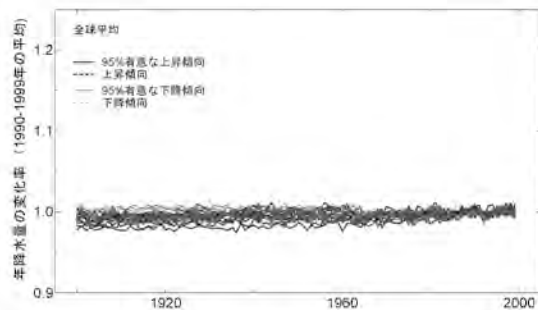


図-2.2 全球平均の年降水量の時系列
(現在気候)

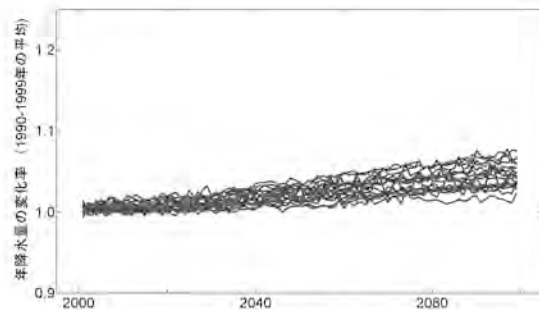


図-2.3 全球平均の年降水量の時系列
(将来気候)

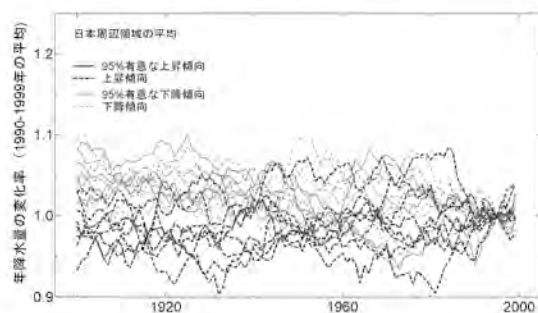


図-2.4 日本周辺領域の年降水量の時系列(現在気候)

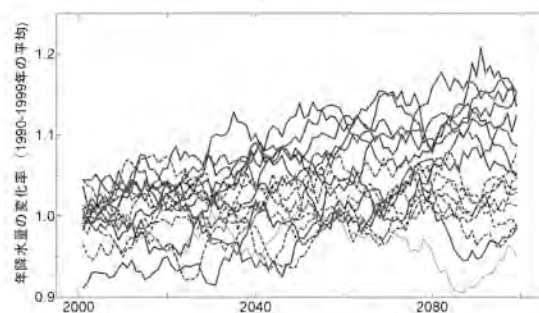


図-2.5 日本周辺領域の年降水量の時系列(将来気候)

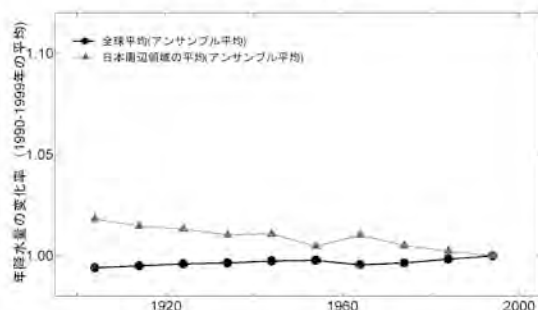


図-2.6 全球平均及び日本周辺の領域
平均した年降水量のアンサンブル平均
(現在気候)

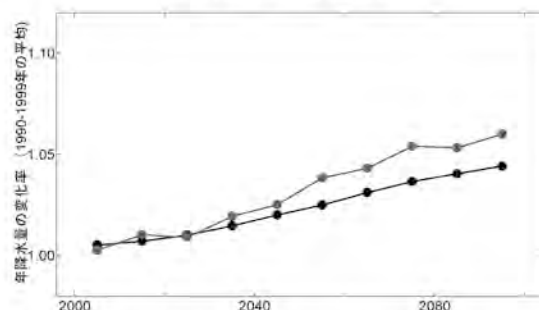


図-2.7 全球平均及び日本周辺の領域
平均した年降水量のアンサンブル平均
(将来気候)

次に各気候モデルをアンサンブルメンバーとして 10 年間毎に全球平均及び日本周辺の領域平均の年降水量をアンサンブル平均した結果を図-2.6 (現在気候)、図-2.7 (将来気候) に示す。図中の黒色で示す線は全球平均、赤色は日本周辺領域の平均を示し、破線は各モデルが示す年降水量の時系列、実線はアンサンブル平均となっている。これによると、現在気候について全球平均では、年降水量の変化はほとんどなく、日本周辺領域については 100 年間で約 2% の減少が見られる。将来気候については、全球平均では 100 年間で約 4% の増加、日本周辺領域では 6% の増加が見られ、全球平均に対して日本周辺領域では年降水量の増加率が大きくなっている。

2. 2. GCM20(気象庁・気象研究所)モデルによる日本の降水量変化

2. 2. 1. IPCC の気候モデルと GCM20 の降水量の比較

ここではGCM20を用いて日本の各地域の降水量変化を検討するに先立ちIPCC第4次評価報告で使用された気候モデル群とGCM20の比較を行い、GCM20の出力の特徴を確認する。年降水量の全球平均の時系列を、図-2.8に現在気候(1979~1998)、図-2.9に将来気候(2080~2099年)として示す。また、年降水量の日本周辺の領域平均の時系列を図-2.10に現在気候(1979~1998)、図-2.11に将来気候(2080~2099年)として示す。図中において示す線は図-2.2と同様である。

現在気候の全球平均の年降水量について気候モデル群のトレンドは、19モデル中14モデルで増加傾向を示し、その内、有意な増加傾向を示すのは7モデルであった。GCM20は有意な増加傾向を示しており、多くの気候モデルのトレンドと一致している。将来気候について、ほぼすべての18モデルが増加傾向を示し、有意な傾向を示すのは13モデルあった。GCM20のトレンドは有意ではないが増加傾向を示し気候モデル群と一致したトレンドとなっている。ここではGCM20のシミュレーション期間である20年間に对应させて各気候モデルのトレンド検定を行っている。100年後の20年間でも降水量は増加傾向を示していることから、降水量の増加は頭打ちをする事なく増加していくことが考えられる。GCM20の年降水量の変化率は気候モデル群のばらつきの範囲にあることがわかる。

現在気候の日本周辺の領域平均については、いずれの気候モデルも有意な傾向を示すものはないが、14モデルが減少傾向を示し、GCM20についても減少傾向を示している。将来気候についても、有意な傾向を示すものはなく11モデルが増加傾向で僅かに多く、GCM20についても減少傾向を示している。日本周辺の領域平均におけるGCM20の年降水量の変化率は気候モデル群のばらつきの範囲にあることがわかる。

気候モデルをアンサンブルメンバーとして5年間隔で平均したアンサンブル平均とGCM20の現在気候及び将来気候の年降水量の比較を図-2.12、図-2.13に示す。現在気候のGCM20の全球平均は気候モデル群のアンサンブル平均とほぼ一致している。日本周辺の領域平均では、シミュレーションの前半は少なく、後半は多めとなっている。将来気候の全球平均については、GCM20は2~3%程度アンサンブル平均より年降水量が多くなっている。日本周辺の領域平均ではシミュレーション前半は多めに、後半は少なくなっている。

GCM20は気候モデルに対して以上のような特性があることを踏まえて、次節でGCM20を用い、日本の各地域における気候変動の降水への影響について述べる。

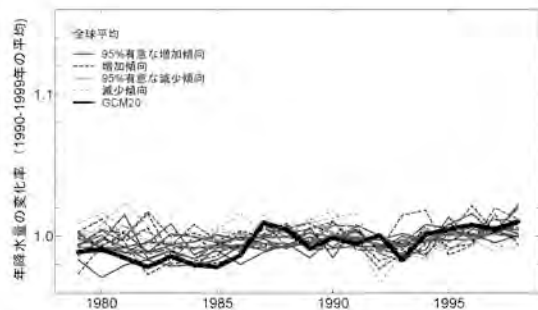


図-2.8 全球平均の年降水量の時系列
(現在気候 1979～1998 年)

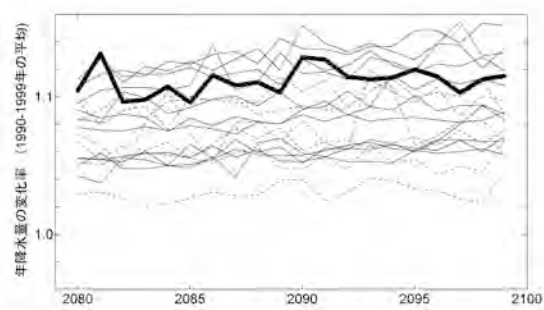


図-2.9 全球平均の年降水量の時系列
(将来気候 2080～2099 年)

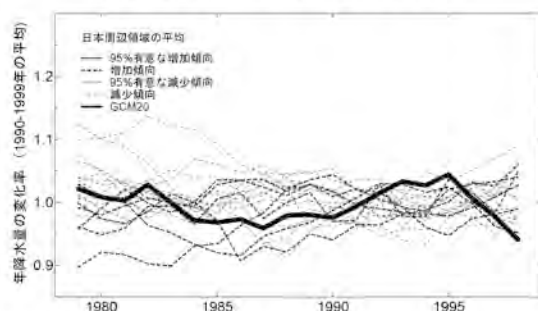


図-2.10 日本周辺領域の年降水量の時系列(現在気候 1979～1998 年)

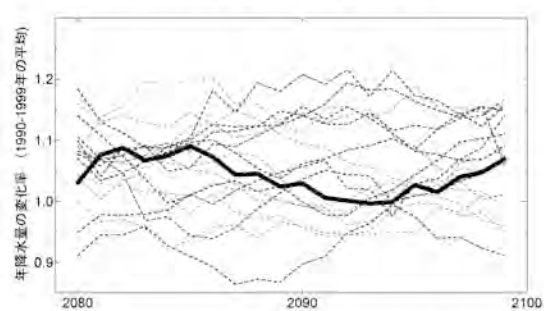


図-2.11 日本周辺領域の年降水量の時系列(将来気候 2080～2099 年)

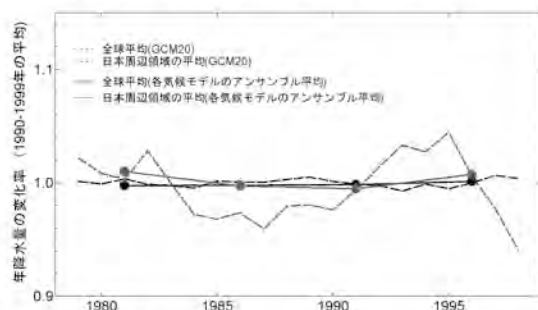


図-2.12 全球平均及び日本周辺の
領域平均した年降水量のアンサンブル
平均と GCM20 の比較(現在気候)

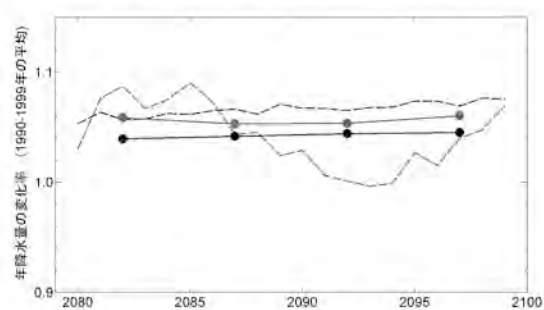


図-2.13 全球平均及び日本周辺の
領域平均した年降水量のアンサンブル
平均と GCM20 の比較(将来気候)

2. 2. 2. 日本における地域毎の気候変動による降水への影響

気象庁・気象研究所が開発した GCM20 による結果より日本の地域毎の気候変動による降水への影響について述べる。地域区分は異常洪水検討時の参考資料として用いられている地域別比流量図の区分としている。GCM20 の現在気候(1979～1998 年)の平均日降水量及び標準偏差について、同じ期間の地上アメダスの観測値と比較したものを図-2.14 に示す。平均降水量については、アメダス観測値の+30～-10%の範囲にあり、全体としてやや大きい値を与えている。一方、標準偏差は-10～-30%と全体に小さくなっている。このことは、GCM20 によるモデルの結果は、降水量の変動

が小さく、平均化される傾向になっていることを表している。このため、平均年最大日、2日、3日降水量について地域毎に地上アメダスとの比を図-2.15に示す。GCM20の結果はどの地域においても観測値より小さく、治水計画で問題となる、例えば年最大日降水量では地域平均で観測値の85%程度以下の値となっている。特に極端現象となる降水については過小評価の結果となっている。

現況の再現性には問題を残しているが、降水の季節的変化状況や地域的分布状況の再現など、ある程度の再現性は有している。そこで、GCM20の現在気候と将来気候（2080～2099年）の平均日降水量と標準偏差の比較を図-2.16に示す。平均日降水量は北海道、東北、九州でやや大きい、全体には現状と大きな差は見られず、比は1.0周辺となっている。一方、標準偏差は、全体に1.0より大きく全国的に変動が大きくなる傾向がみられており、北海道、東北では1.1以上の値となっている。

年最大日降水量については、地点毎に、現在及び将来それぞれの20年間の平均値を求め、両者の比を地域内の発生割合として比率区間毎に整理した結果を表-2.2に示す。最下段には中央値となる比率を示している。これによると、将来地域平均的にどの地域においても現在より増加し、10～20%程度の降水量の増加が生じる結果となっている。

治水を論じる上では、確率年の違いによる将来/現在の傾向は重要である。このため、①地域内の降水規模が類似している、②各地点の年最大降水量が時間、空間的に独立しているとの仮定もと、地域内の全年最大日降水量データを用いて累積分布関数を求めた。求めた地域毎の累積分布関数を平均し、現在と将来の比較を図-2.17に示す。横軸は地域毎の平均値で無次元化している。また、検討は非超過確率0.01～0.99に対し実施した。

これから、無次元化した累積分布関数は現在と将来でほぼ完全に一致している。このことは、平均的には、将来と現在の比は確率年によらず両者の平均値の比で表されることを意味している。一方、地域毎の分布を詳細にみると、両者にずれが見られる場合がある。ずれの内容は、確率年の大きい部分で将来が大きくなる、小さくなる、の両者があるなど様々である。こうした地域的なばらつきは、対象期間が短いことや地点数の少ないことにより説明される可能性もあり、先に述べた仮定の妥当性の検討と併せ、更に検討が必要である。

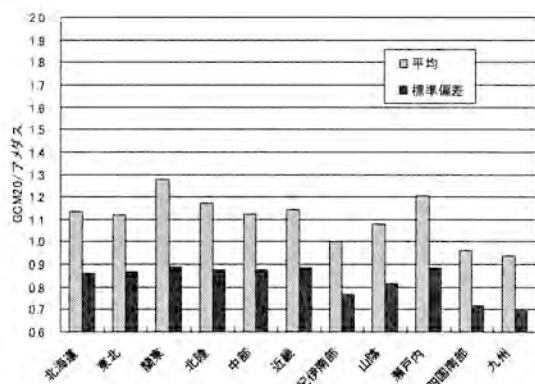


図-2.14 GCM20 と地上アメダスデータの平均日降水量と標準偏差の比(地域内全データ)

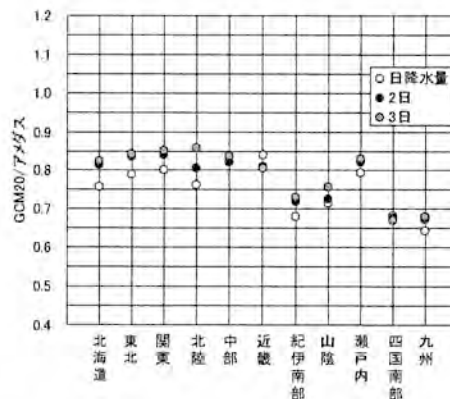


図-2.15 平均年最大降水量の GCM20 とアメダスの比(地域内全データ)

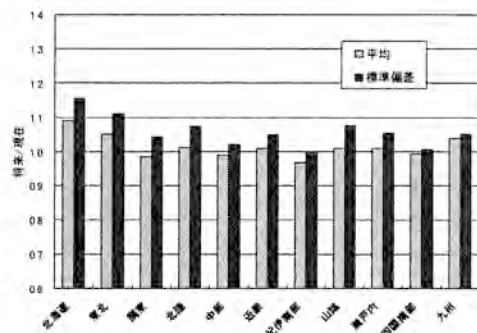


図-2.16 将来と現在の平均日降水量と標準偏差の比(地域内全データ)

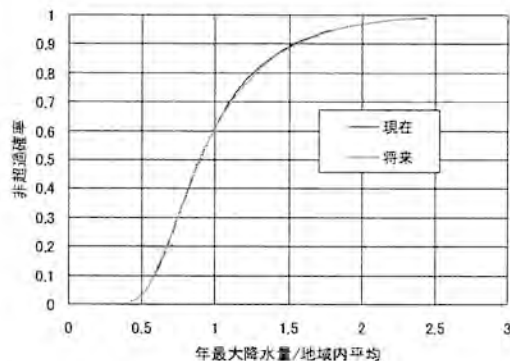


図-2.17 地域内平均値で無次元化した年最大日降水量と非超過確率の関係(全地域平均)

表-2.2 年最大日降水量の(将来の平均値)/(現在の平均値)と地域内の地点割合の関係

将来/現在	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	紀伊南部	山陰	瀬戸内	四国南部	九州
～0.9	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0.02	0.06	0.15
～1.0	0	0.03	0.01	0.02	0.21	0.19	0.14	0.04	0.11	0.29	0.18
～1.1	0.11	0.16	0.42	0.25	0.44	0.44	0.32	0.39	0.33	0.10	0.24
～1.2	0.25	0.25	0.43	0.49	0.22	0.26	0.39	0.37	0.35	0.32	0.26
～1.3	0.34	0.26	0.13	0.18	0.10	0.07	0.11	0.15	0.15	0.23	0.16
～1.4	0.22	0.17	0.02	0.05	0	0.04	0.04	0.04	0.05	0	0.01
～1.5	0.08	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
～1.6	0.01	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
～1.7	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
将来/現在の中央値	1.24	1.22	1.11	1.14	1.06	1.07	1.13	1.11	1.10	1.11	1.07

3. 洪水、渇水、高潮に対する適応策に関する研究の概要

洪水・渇水・高潮等に対する適応策に関する研究については、気候変動による日本への影響がまだ十分に評価できていないところであり、影響評価と合わせて国土技術政策総合研究所のプロジェクト研究として「気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究」を平成18年度より開始しているところである。以下では、プロジェクト研究の概要及びその他気候変動に関連する研究の概要について紹介する。

3. 1 プロジェクト研究「気候変動等に対応した河川・海岸管理に関する研究」における適応策に関する研究

このプロジェクト研究は、「降水量予測情報を活用した次世代型水管理」と、「温暖化による河川・海岸への影響と対応策」の2つの主要テーマをもつ。前者は、近年急速に高密度・高精度化が進む気象庁の降雨予測情報を活用して、豪雨時の迅速かつ的確な警戒・避難活動に役立てるほか、洪水・渇水時のダム貯水池を有効活用することにより、近年頻発している豪雨や渇水の被害を最小限に止めるため、①降水量予測情報を活用した洪水・氾濫予測、②予測された洪水・氾濫に対する被害軽減方策、③降水量予測情報を活用したダムの効率的運用についての研究を実施するもので、主として現状での洪水・渇水・高潮への対応を対象としている。

後者は将来の気候変動への対応として、気象庁等による最新の気候予測計算結果を用いて、将来の社会変動も考慮した上で、氾濫被害や渇水等を想定した河川・海岸管理の政策シナリオを提案しようというものである。このため、①地球温暖化に対応する河川管理方策、②温暖化による海面上昇、豪雨増加の治水安全度への影響と対応策、③水資源管理への影響と対応策、④地域特性に応じた海岸保全方策を検討するものである。前半2年では、外力による影響評価を行い、後半2年で、社会的影響評価と適応策の検討を行うこととしている。

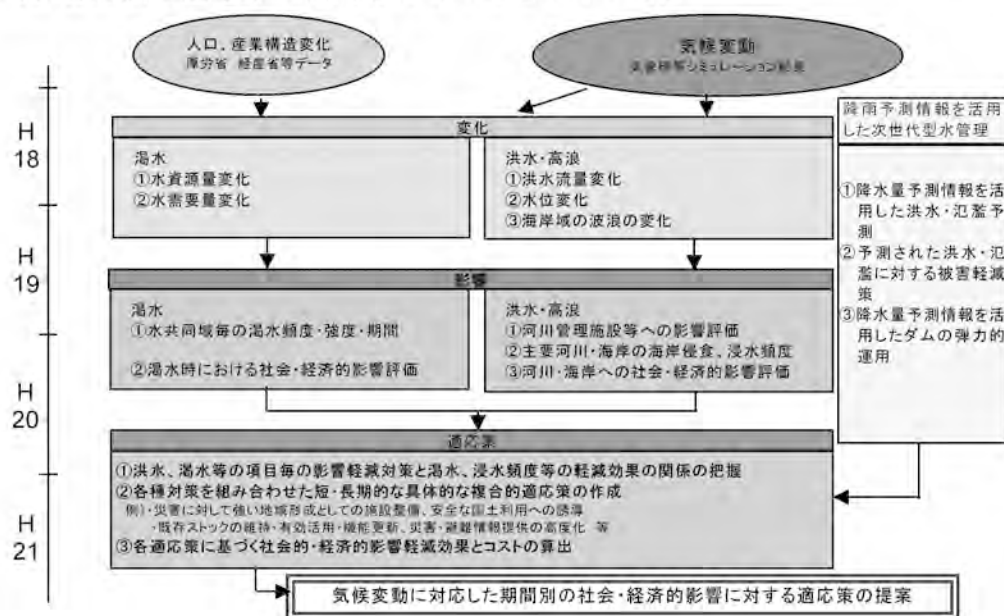


図 3.1 プロジェクト研究の流れ

3. 2 地球温暖化による気候変動の影響に適応した国土保全方策検討

プロジェクト研究を構成する一連の研究の一つで、国土交通省河川局と連携して平成 20 年度より実施することを予定している。気候変動による外力の変化や海面上昇、渇水、洪水、高波等による影響について把握し、河川・海岸の施設機能の低下や海岸侵食やゼロメートル地帯の浸水区域の増大等の直接的な被害や社会経済活動への影響など間接的な被害がどの程度及ぶのか評価した上で、外力等の変化に対応した施設形態や整備計画のあり方やリスク回避のための適応策について短期・長期的な適応戦略の提案を行うことを目的としており、国土技術政策総合研究所においては、「想定外力に基づくリスクの大きい地域でのケーススタディ」、「気候変動への河川・海岸の適応戦略の検討」を中心に検討を行うこととしている。

3. 2. 1 想定外力に基づくリスクの大きい地域でのケーススタディ

海面上昇による海岸侵食への影響や渇水・洪水・高潮・高波等の災害事象における河川流域、沿岸域等での具体的な海面の上昇量、降水量、高潮、高波等の外力の想定から、被災想定区域における人口・産業構造等の将来変化、地盤高等の地域特性等も考慮し災害リスクの大きい地域（モデル地域）を抽出し、災害発生時における一般資産被害や交通途絶による流通阻害などの直接・間接的経済的影響、地域コミュニティの分断、避難生活の長期化等の社会的影響評価手法の開発を行う。

3. 2. 2 気候変動への河川・海岸の適応戦略の検討

海面上昇・渇水・洪水・高潮・高波等の個別事象に対する堤防・護岸の強化や嵩上げ、施設の新設、調節容量の確保等の施設整備を中心とした対策、施設の操作ルールや施設の設計基準など見直し、土地利用の誘導、節水型社会の構築等の社会的対策、予測情報の活用や水防シナリオの見直し等の防災体制の充実等を複合的に組み合わせた具体的な適応策の検討を行う。各種適応策実施に伴うコスト、前述の社会・経済的な影響評価手法に基づく影響軽減効果を算出し、適応策の経済性評価及び短期・長期の最適な適応戦略の検討を行うとともに、適応策の必要性について国民の認知と合意をえるような、広報戦略について検討する。

表 3.1 には、想定される適応策を例示する。

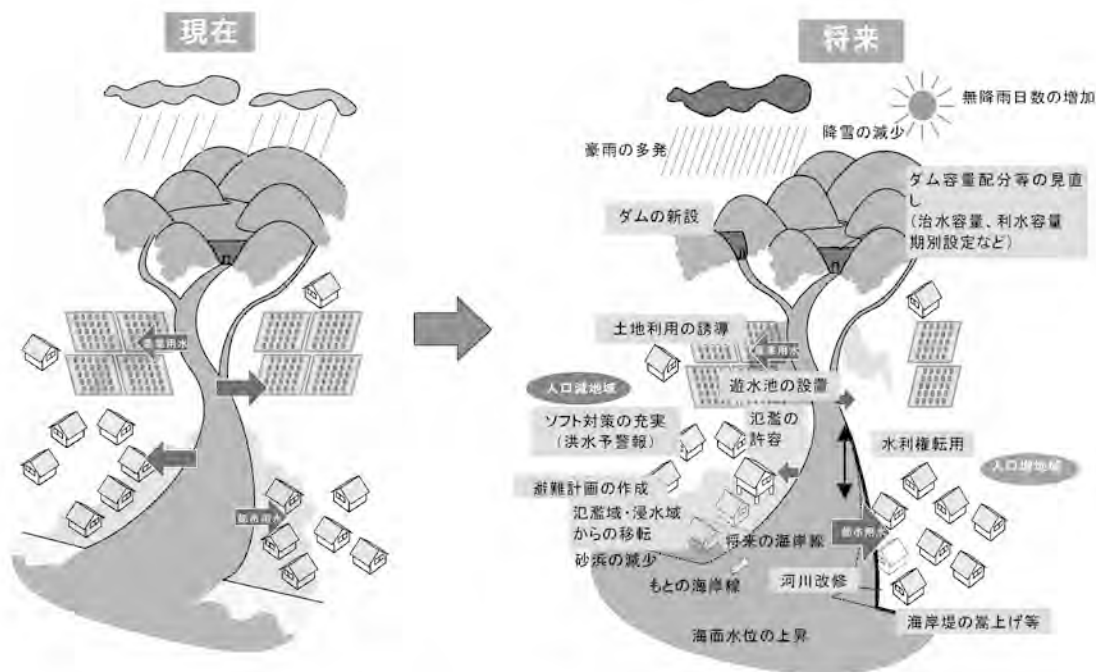


図 3.2 気候変動に伴う主な影響と適応策

表 3.1 渇水・洪水・高波等に対する対応策の例

	ハード対策	ソフト対策
渇水対策	・給水施設の改造によるきめ細かな圧力調整 ・建築物における再利用・貯水施設の設置 ・企業による渇水時の資産・製品の提供 ・ダムの新設、再開発、調整池の設置 ・海水淡水化 ・予備水源の確保 ・人工降雨・降雪	・渇水脆弱区域マップ ・ダムの弾力的管理 ・高精度化された渇水予測情報の提供 ・河川管理者・関係省庁等・利水者の連携 ・水利権転用 ・自主節水 ・水銀行制度などの水融通方策 ・学校での節水教育 ・渇水脆弱地域の土地利用転換 ・個人向け保険(渇水)の導入
洪水対策	・河川改修(堤防強化、堤防嵩上げ、河道拡幅、放水路、二線堤・輪中堤等) ・排水システムの強化(排水ポンプ等) ・ダムの新設、遊水池の設置 ・高床式住居等による氾濫の許容	・洪水予警報の高度化 ・ハザードマップの作成、避難計画の作成 ・水防活動(水防団等) ・防災訓練・教育の実施、自主防災組織の設置 ・水害保険の導入 ・ダム容量配分の見直し(治水容量期別設定など) ・土地利用の誘導 ・浸水域からの移転
高波(海岸)対策	・海岸保全施設等の整備・改良 ・二線堤・輪中の整備 ・排水システムの強化 ・緩衝帯・遊水池等の整備 ・建築物の強化・嵩上げ等	・避難路・避難地の整備 ・ハザードマップの作成・配布、情報提供 ・防災訓練・教育の実施、自主防災組織の設置 ・浸水保険の導入 ・土地利用の誘導(住居等の移転)

3. 3 河川の信頼性評価及び維持管理に関する検討

本研究では、河川堤防の浸透、侵食等に対する耐力について、目視点検や計測機器モニタリング等の結果を活用した、現況の河川堤防の信頼性を評価する手法について検討を行っている。また、現況の治水安全度を長期的にも維持管理していくため、堤防高さの維持、堆積土砂の掘削等の河道流下能力を確保するための水準や、洗掘対策、堤防・護岸機能の維持等の施設の機能を維持すべき水準等について検討を行っている。本研究は、4章に示す、国土交通省の社会資本整備審議会河川分科会気候変動に適應した治水対策検討小委員会で審議されている適應策の基本的方向のうち、「外力の変化に対する施設の信頼性の確保」及び「既存施設の徹底活用・延命化」に関連するものである。

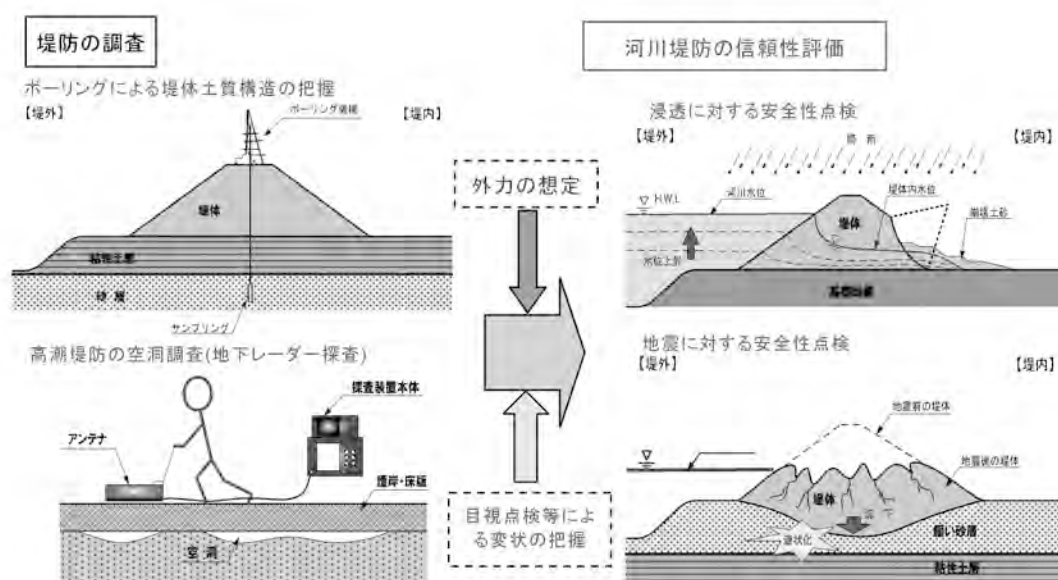


図 3.3 河川堤防の信頼性評価イメージ

3. 4 水循環シミュレータを用いた水資源管理の高度化の検討

主に水供給の立場から、地域的な事情により様々な形態で行われている渇水対策を評価し、各地域の最適な対策メニューを提案し、それを実現する上で調整が必要となる制度の枠組みの見直しを含めた水資源管理の高度化を検討するものである。具体的には、自然及び水利用過程を含む水循環シミュレーションシステムを構築するとともに、シミュレーション結果に基づく実態ベースの渇水対策の評価手法を提案する。また、将来の水需給バランスについても把握して、将来の気候変動に伴う渇水対応策を評価し、その対策を検討するものである。

本研究の目標点

- ・各流域の事情に応じた最適な渇水対策メニュー（渇水予防となる水運用、海水淡水化、地下ダム、底水の利用、雑用水の利用、工業用水の回収利用、下水処理水の再利用、都市の雨水貯留、海上水輸送、給配融通等）の提案
- ・渇水対策メニューの評価
- ・最適な渇水対策を実現させる上で調整が必要となる制度上の枠組みの抽出
- ・水資源管理高度化のために必要な低水流量観測地点の評価、提案
- ・将来の水需給変化時の渇水対策の評価、提案

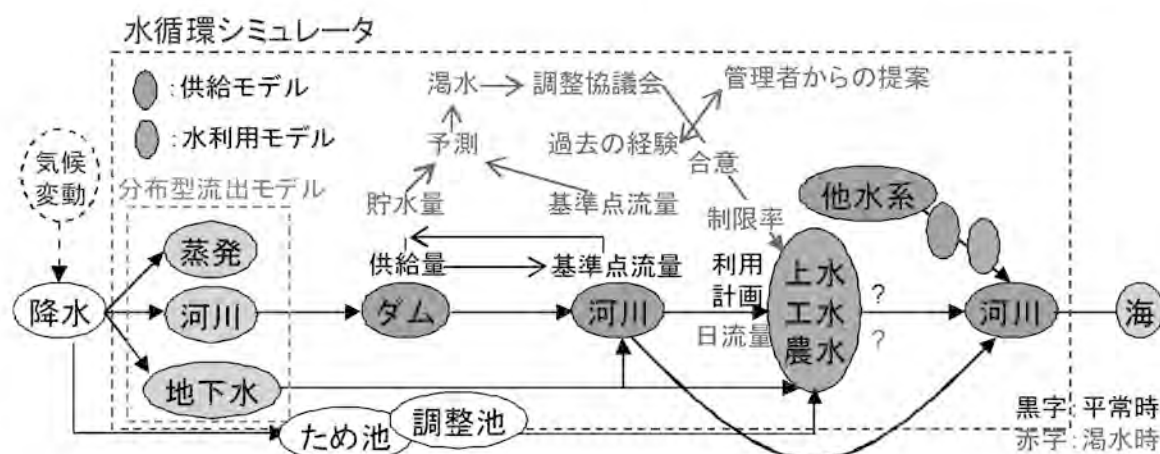


図 3.4 水循環シミュレータのイメージ

3. 5 海岸災害に対する気候変動適応の検討

本研究では、海岸域の環境を決定する海浜そのものの日々の変化である海岸侵食と、頻度は低いものの国の経済状態を揺るがしかねない高潮について、気候変動によって生じる対処すべき変化を明らかにすることを目的としている。研究のフローを図3.5に示す。

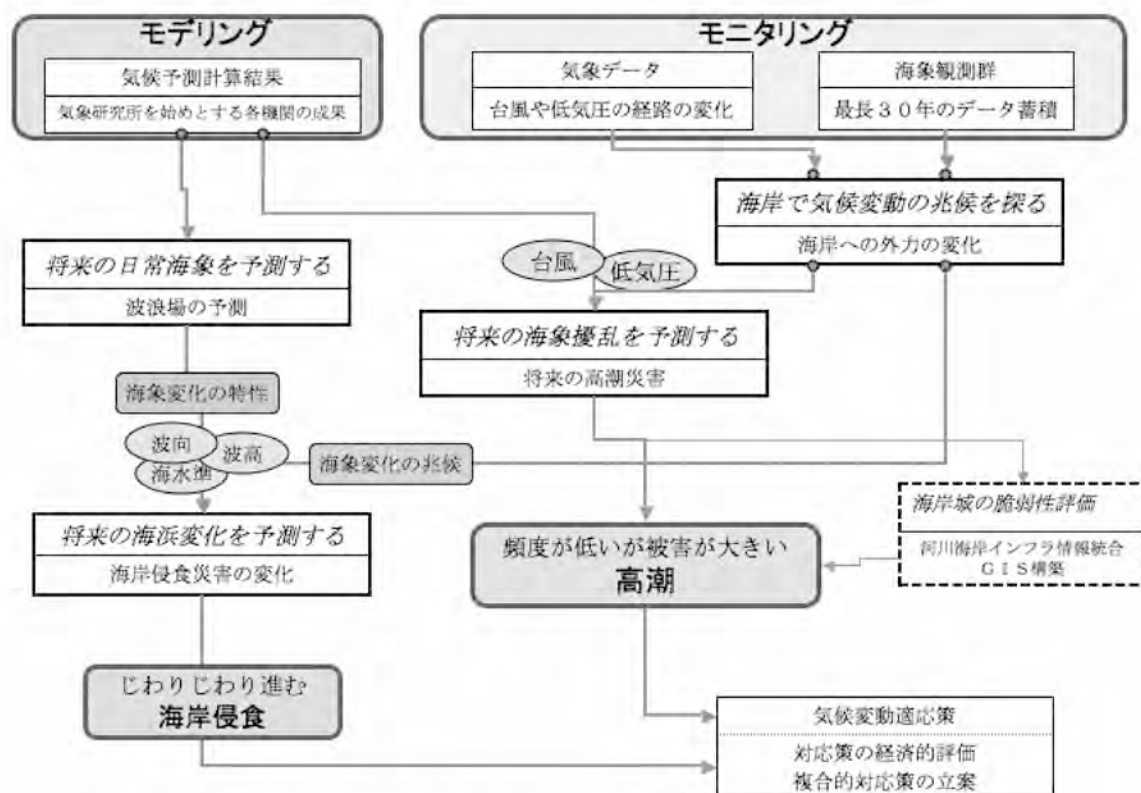


図 3.5 気候変動適応研究における高潮・海岸侵食分野の研究フロー

4. 国土交通省における適応策の検討

気候変動に伴う降水量、海面上昇等に対する適応策についての基本的な考え方等について、現在、社会資本整備審議会河川分科会に「気候変動に適応した治水対策検討小委員会」が設置され検討が進められている。その中で審議（第2回開催時点）されている適応策の基本的方向を紹介する。

適応策の基本的方向

適応策の基本的方向として、①施設を中心とした観点、②社会構造の見直しの観点、③防災対策を中心とした観点を3つの観点から適応策としての取り組みを考える。

①施設を中心とした観点

- ・外力の変化に対する施設の信頼性の確保

想定される外力の変化に対し、施設の点検や評価を行い、施設の信頼性を確保するための方策を講じる。

- ・既存施設の徹底活用・延命化

これまでに蓄積された社会資本整備のストックを活かし、既存施設の有効利用や多目的利用、長寿命化、再編や運用の変更による効率化など効率的、効果的な観点やコスト削減の観点から既存施設の徹底活用を図る。

また、わが国の高潮対策の基礎となっている伊勢湾台風から約50年、高潮対策施設の老朽化により、修繕・更新の時期が来ている。また、流域の急激な都市化の進展とそれに伴う水害の頻発に対応し昭和40年～50年代にかけて建設された施設が一時期に集中して修繕・更新の時期を迎える。こうした中で、施設の延命に向けた予防保全的な管理手法と併せて気候変動による外力の変化に対応した対策を行う。なお、施設が被災した際の災害復旧と併せて対策を行うことも効果的である。

- ・新規施設の整備

想定される外力の変化に対して、社会面、環境面、経済面、技術面の観点から可能性のある既存施設の徹底活用等を行いながら、必要となる新規施設の整備を行う。

②社会構造の見直しの観点

- ・社会構造の見直しの観点からの対応

急激な気候変動により、長年にわたって築かれてきた社会資本整備や社会システムが対応できなくなる可能性がある。防災施設の整備や危機管理対策だけでなく、変化する地域社会の状況と併せて土地利用や住まい方の変更など、社会構造の見直しの観点からも適応策を考える。

③防災対策を中心とした観点

- ・大規模災害への対応、体制の整備

危機管理の強化として、国による広域的な災害支援体制や広域防災ネットワークの構築など大規模災害への備えを充実させる。国と地域が連携し、万一破堤・氾濫した場合の緊急対策、氾濫原における洪水流や排水の対策も考える。

- ・新たなシナリオによるソフト施策の推進

ハード整備と一体となったソフト施策を推進する。従来のシナリオから気候変動による外力の頻度や規模の増加した新たなシナリオで水防、避難、救助、復旧などの活動のみならず、安全なまちづくりに資する施策を検討する。

巨大高潮・津波災害に備える

—低頻度メガリスク型沿岸域災害対策に関する研究のスコープ—

沿岸海洋研究部長

樋口 嘉章

巨大高潮・津波災害に備える ー低頻度メガリスク型沿岸域災害対策に関する研究のスコープー

沿岸海洋研究部長 樋口 嘉章

沿岸海洋研究部沿岸防災研究室長 小田 勝也

1. はじめに

沿岸域を襲う津波・高潮等は、津波の原因となる地震想定の不確実性、確率評価に用いられる過去の台風データの制約、地球温暖化による影響などから、海岸保全施設による防護等のハード対策で計画されている規模（計画外力）を上回る可能性がある。こうした計画外力を上回る巨大津波・高潮が発生する確率は低い。しかし、一旦、発生するとその被害は凄まじいものになり、低頻度ではあるが、被害のリスクは大きなものになる。国総研ではこのような災害を「低頻度メガリスク型沿岸域災害」と名付け、対策に関する研究・調査を進めている。

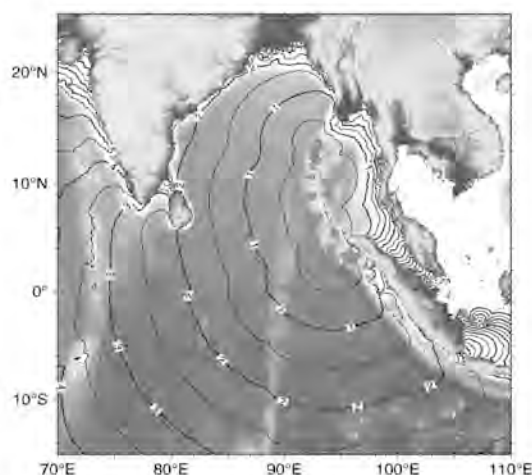
2004 年 12 月にインド洋沿岸諸国を襲ったインド洋大津波による災害、自然災害では米国史上最悪といわれる被害をもたらした 2005 年 8 月のハリケーンカトリナによる災害は、低頻度メガリスク型沿岸域災害といえるものである。

では、我が国ではどうだろうか。発生の切迫性が指摘されている東海、東南海・南海地震、日本海溝・千島海溝周辺地震等の巨大地震及びこれらの地震に伴う津波による被害想定が公表されているが、被害想定は震源の設定など一定のシナリオに基づくもので、この被害想定を上回る規模の災害が発生する可能性がある。また、我が国に來襲する台風の大型化や多頻度化が懸念されている。長期的には、海面上昇による被害拡大も懸念されている。大都市圏のゼロメートル地帯には人口や都市機能の大きな集積があり、ゼロメートル地帯など沿岸域災害に対して脆弱な地域がハード対策の計画水準を上回る高潮などに襲われた場合、社会経済に甚大な影響を及ぼすことが懸念される。

2. インド洋大津波が我が国に与えた教訓

2.1 インド洋大津波

2004 年 12 月 26 日に発生したスマトラ島沖地震は、マグニチュードが 9.1～9.3、震源域の大きさは長さ約 1,200km×幅約 150km とされている。高さ 10m を越える津波が数回にわたりインド洋沿岸諸国に押し寄せた。特に、震源域に近いインドネシア・バンダアチェ西部海岸ではこれまで確認されているもので 20m を超える津波の痕跡が 9 箇所見つかっており、うち 3 箇所は 30m を超えている。最大の津波痕跡は海拔 34.9 m である。独立行政法人産業技術総合研究所が



公表している震源と津波の到達時間を図-1 に示す。死者・行方不明者は、インドネシア、スリランカ、インド、タイ、モルディブ等の各国にまたがり、約 23 万人にものぼっている。被災地に世界的に著名なマリリゾートが含まれていたため、被災国の住民だけではなく世界中からの観光客も数多く被害に遭遇している。

2.2 インド洋大津波が残した教訓

2.2.1 なぜ人的被害が大きかったのか？

第一にあげられるのは、防御されていない海岸近くの低平地に人々が居住するという災害に脆弱な地域構造の場所を巨大津波が襲ったことである。スリランカやインドネシアアチェ州では沿岸域利用計画や土地利用計画の中で海岸近くの土地利用規制の強化・見直しや新しい制度の導入が行われている（図-2）。

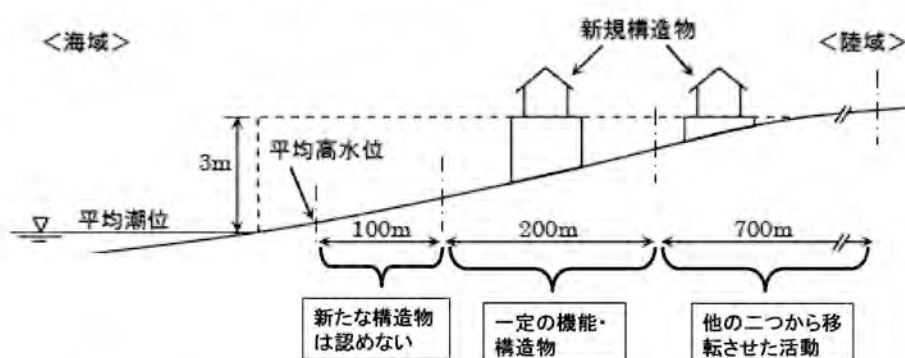


図-2 スリランカ市街等計画ガイドラインにおける土地利用規制

次にあげられるのは、地震を感じた震源近くのスマトラ島北部地域の人々に津波が来襲する、避難しなければならないという意識が無かったことである。スリランカなどで大きな被害を引き起こした要因は、広域的な津波警報のシステムがなく、政府も住民も津波が来るという意識すら無い状態で津波に襲われたことである。

2.2.2 被害形態はどうだったのか？

1) 津波による海岸・地盤の洗掘・流出

海岸の大規模な洗掘により海岸地形が大きく変化した箇所が多く確認されている。また、海岸近くの集落で建物が基礎から押し流され、集落ごと跡形も無くなった事例もある。

2) 津波漂流物

港湾等に係留されていた船舶等が陸上に流出し、建物を破壊するという従来から考えられていた被害形態（写真-1）に加え、陸上の破壊された家屋や自動車などを巻き込んだ流れが市街地を襲い、人的・物的被害を拡大するという被害形態が確認



写真-1 係留場所から 3km 移動したパワープラント（インドネシア、港湾空港技術研究所提供）

された。

3) 防波堤・港湾構造物、マングローブ等による津波の減衰効果

近接する箇所では、港湾や漁港などの防波堤の背後とそうではない箇所で津波による陸上建築物の被害が大きく異なっている場合があることが確認されている。岸壁など垂直壁を持つ構造物の背後やマングローブ林のある沿岸部でも津波のエネルギーが減殺されたと考えられる現象が確認されている。

3. ハリケーンカトリーナの教訓

3.1 ハリケーンカトリーナの被害

ハリケーンカトリーナは、2005年8月29日、中心気圧が918hPaという猛烈な勢力を維持したまま、アメリカのミシシッピ川河口付近に上陸した。このハリケーンによる高潮と高波は、ニューオーリンズ市街地やメキシコ湾沿岸地域に希にみる大規模な被害をもたらした。

3.1.1 高潮による被災

ニューオーリンズ市及びその周辺地帯は、メキシコ湾に繋がる湖や運河・水路に発生した高潮による堤防の破堤、越流により広範囲に浸水した。ニューオーリンズの市街地は、大部分がいわゆるゼロメートル地帯である。湖と繋がる運河が破堤し、湖の高潮が破堤箇所から一気に氾濫したことによりニューオーリンズ市内の約80%が浸水し、甚大な被害を引き起こした。写真-2は、破堤箇所背後の家屋が流出、破壊されている状況の一例である。写真-3は、ニューオーリンズ市南東郊外の被災状況である。家屋が高潮で押し流され、ミシシッピ川の堤防で止まっている。メキシコ湾で発生した高潮が、海岸堤防を越流して陸地を浸水させ、さらにミシシッピ川に流れ込んでいたと考えられる。



写真-2 ニューオーリンズ市内の破堤箇所周辺
(国総研撮影)



写真-3 高潮で流出した家屋(国総研撮影)

大規模な浸水の原因は、大きく2つに分けることができる。第一の原因は、ニューオーリンズ市内のように、高潮自体は堤防を越える規模ではなかったものの、堤防が越波等により決壊したことである。第二の原因は、防護施設の計画水準を上回る大規模な高潮だったことで、これが郊外部の被災原因である。これら以外に排水ポンプを稼働させることがで

きず内水が氾濫した地域もある。

3.1.2 高波による被災

ミシシッピ州を中心とするメキシコ湾に直接面する沿岸地域では、3～7mと考えられる高潮偏差と、それに加わる高波によって、海岸線から200～300mの範囲で家屋が破壊され、約1kmまで浸水した。これらの地域は人工海浜の背後に道路を挟んで郊外型の住宅、別荘等が立地するという土地利用で、海岸に高潮・高波防護のための堤防はない。高潮時に高波で下から衝撃的な波力が作用したことが原因と考えられる橋桁が落ちる被害も発生した。海岸に係留したバージが、高潮と高波によって岸に打ち上げられ、陸上にある建物に衝突し、建物を破壊する被害も発生している（写真-4）。



写真-4 漂流した大型バージ(国総研撮影)

3.2 ハリケーンカトリーナの教訓

3.2.1 我が国の学ぶべき点

カトリーナによる災害からは、

- 1) 想定を上回る高潮による災害の状況を考えること、
- 2) 防災施設の破壊とそれに伴う災害の拡大を考慮しておくこと、
- 3) 災害時や災害後の防災担当者の行動がそうした災害の状況に十分対応したものになっていることの重要性、
- 4) 防御システムの性能・信頼性をモニタリング・評価し、適切な対応が取れる状態を持続させることなど、

学ぶべきことは非常に多く、教訓を迅速に施策に反映させることが重要である。

一方、我が国において今後検討すべき高潮・高波災害とカトリーナの被害の違いを明確に意識しておくことも重要である。いわゆるゼロメートル地帯の状況など社会的状況、堤防などの構造物の計画手法の違い、国・地方政府の役割の違いなども含め、得られた教訓を整理することが必要である。

3.2.2 地域は復興したのか

国総研沿岸海洋研究部では、ハリケーン直後の2005年10月と2006年5月にニューオーリンズの被災地を調査した。写真-5は運河の堤防が破堤した箇所背後の同じ場所で撮影した写真である。堤防はより強固な構造で再建されている。しかし、破堤箇所背後は今も無惨に破壊された住宅がそのまま残され、住民も戻っていなかった。

予め、復旧・復興のプロセスも視野にいれた対策が必要であり、地域経済や雇用の場を

如何に確保するのか、コミュニティの復興支援法策は如何にあるべきかなど、大きな課題が残されている。

2005 年 10 月



2006 年 5 月



写真-5 ニューオリンズ Inner Harbor Navigation Channel 破堤箇所背後の情況

4. 低頻度メガリスク型沿岸域災害対策

インド洋大津波とハリケーンカトリーナの被災事例から、低頻度メガリスク型沿岸域災害の被害形態や人々の生活、社会経済活動に及ぼす影響の一端が分かる。

世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）が設立した「気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）」が本年 3 月に第 1 作業部会評価報告書を公表した。IPCC は 21 世紀末には海面水位が 0.18m から 0.59m 上昇すると予測している。海面水位上昇は高潮・津波に対する沿岸域の脆弱性を増大させる。気候変動・地球温暖化は海面水位上昇だけではなく、台風の強さの増加、大型化、発生頻度、我が国への来襲頻度の変化等を招く可能性がある。これは、メガリスク型沿岸域災害対策を検討することの緊急性・必要性を裏付けるものである。

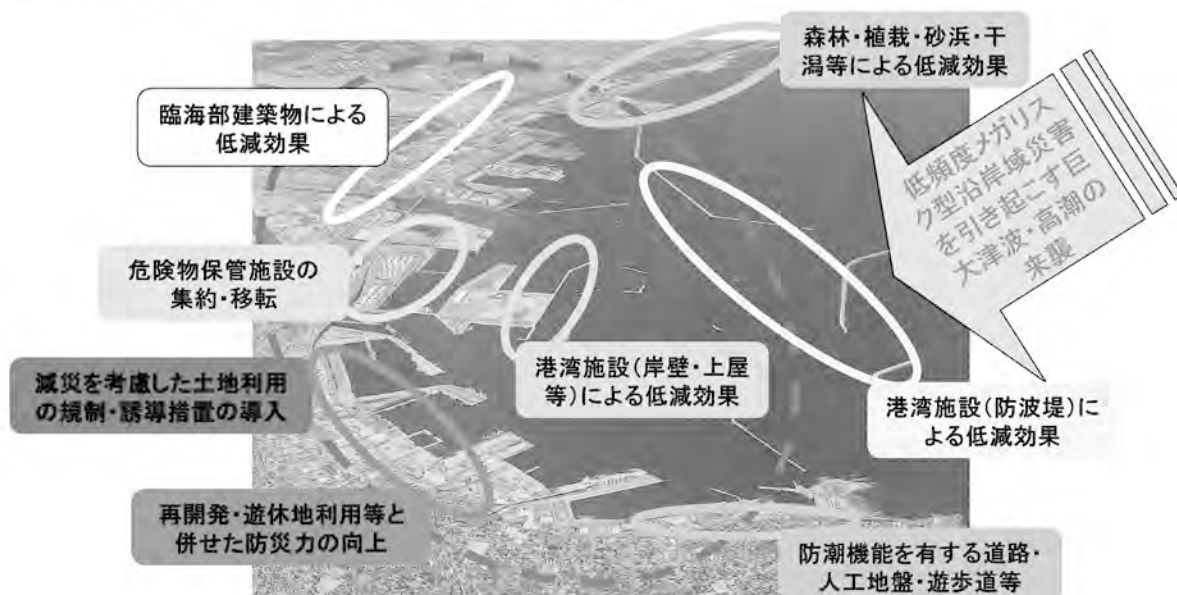


図-3 多様な効用を有する対策のイメージ

本年5月に日本学術会議が「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築」をとりまとめ、国土交通大臣に答申した。この答申において巨大災害への対応の基本的考え方は、「予想を超える自然現象による災害への対応」、「設計値を超える外力への対応」であるとして、被害を無くすのではなく、いかに最小化するかという視点を求めている。

低頻度メガリスク型沿岸域災害に対して、従来からのハード対策に頼るのでは投資額が莫大なものとなる。仮に、低頻度メガリスク型沿岸域災害に対して各種のハード対策を施しても、巨大災害が生起しない間は減災の効果が発現されず余計な施策・無駄な投資との批判を受けるおそれがある。巨大災害時に減災効果があり、平常時にも社会的効用がある対策を提案することが求められている。

具体的な対策として岸壁、上屋・倉庫等の既存港湾施設、第一線に立地する建築物、森林・植林・植栽による津波等のエネルギーの減殺、到達時間の遅延効果によるもの、また、臨海部遊休地の利用転換や再開発時に防潮機能・避難場所としての機能を有するプロムナードや緑地を配置する、減災を考慮した土地利用の規制・誘導措置の導入等土地利用計画、配置計画によるものが想定される。図-3に対策のイメージを示す。

5. 国総研の取り組み

5.1 研究内容

こうした背景のもと国総研は、2006年度から重点的に推進する研究であるプロジェクト研究として「低頻度メガリスク型の沿岸域災害に対する多様な効用を持つ対策の評価に関する研究」に取り組んでいる。本研究では、低頻度メガリスク型沿岸域災害対策として、災害時に減災効果があり、非災害時（平常時）にも社会的効用がある対策を提案するとともに、こうした多様な効用を有する施策に関する評価手法及び地域住民等と行政との合意形成手法の構築を行う。この成果に基づいて、計画のためのガイドラインを提案することを目指している。また、高潮・高波対策施設のライフサイクルマネジメントを踏まえた施設マネジメントシステム及びその運用方策の提案を行う。さらに、高潮・高波対策施設の施設マネジメントと減災効果を有する他インフラ等と共同で利用できる沿岸域のリスクマネジメントを統合したシステムの構築方策を検討する。図-4に研究のフローを示す。

これまでに、低頻度メガリスク型沿岸域災

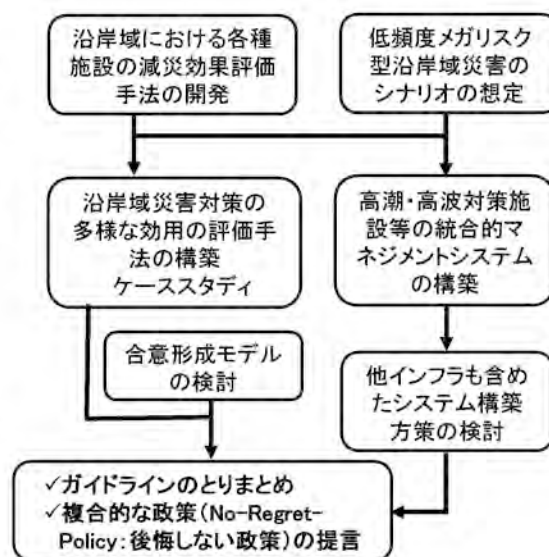


図-4 研究のフロー

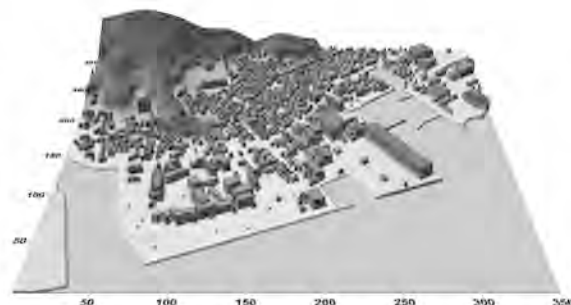


図-5 3次元性を考慮した地形モデルの作成例

害のシナリオ設定に関する検討、数値シミュレーションによる港湾施設などの減災効果の検証などを進めている。通常、津波・高潮の挙動を再現するシミュレーションモデルは、陸上の地形を地盤高だけで表現した2次元モデルを用いている。しかし、港湾施設や建築物等が有する減災効果を検証するためには図-5のような施設等の3次元性を考慮した地形モデルを用いることが必要である。3次元性を考慮したシミュレーションモデルによる減災効果に関する検討結果については、次章で詳述するが、以下に具体的にどのように活用できるかの一例を紹介する。

図-6は、陸上の建物がある地形モデルと建物のない地形モデルで流体力を比較したものである。流体力は、津波の破壊力や漂流物を押し流す力である。本研究では「流速の二乗×水深」で定義し、指標として用いている。建物が存在することにより、流体力が大幅に減少していることが分かる。今後、実験による減災効果の検証、減災効果を定量的に評価する手法の検討、このような減災対策が有する多様な効用の計測手法の検討を進める予定である。

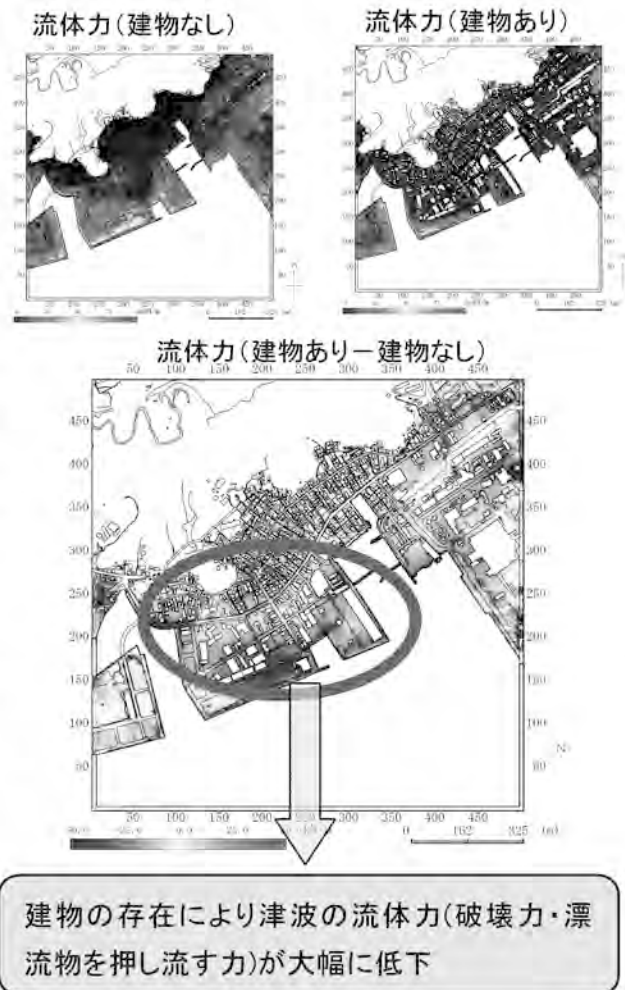


図-6 流体力の低減による減災効果

5.2 後悔しない政策 (No-Regret- Policy)

本研究で提唱しようとする施策は、将来、現行の対策の防護水準を超える外力による巨大災害が発生した際に「備えを怠っていた」と後悔しない、と同時に、施設や装置の供用期間に災害が生起しなくても「無駄な投資をした」と後悔しないことを目指すものである。低頻度メガリスク型災害対策としてのNo-Regret-Policy（後悔しない政策）の有効性を広く問うていきたいと考えている。

本研究の成果が実用化された場合、①地域の特性を踏まえた大規模津波等への対策の多様化（地域のオプションの拡大）、②臨海部の災害に対する安全性・減災力の向上と臨海部環境、都市・居住環境改善、③防災・減災投資に関するアカウンタビリティの向上、④円滑な事業実施による防災・減災効果の早期発現、等の効果が期待される。

6. 港湾施設の減災性能に関する検討

6.1 低頻度メガリスク型沿岸域災害シナリオ想定

6.1.1 高潮災害のシナリオ想定

高潮災害のシナリオを想定するモデル港は、臨海部に都市機能が集中し、災害の発生によって大規模な被害が発生する可能性が高い東京港及びその背後地を対象とした。東京湾では、伊勢湾台風級を想定外力として高潮の防護水準を設定している。このため、本検討での想定外力は低頻度メガリスク災害の発生という観点と近年の地球温暖化に伴う台風の強大化を考慮し、伊勢湾台風級より強い勢力の室戸台風級とした。伊勢湾台風級による東京港の高潮の偏差は、東京湾の観測値による極値統計解析結果から、135 年規模であることが既往調査で報告されている。本調査で対象とする室戸台風級は伊勢湾台風級よりも台風勢力が強く、再現期間は 150 年以上となることが考えられる。また、IPCC

(Intergovernmental Panel on Climate Change) 報告によると、

21 世紀末には海面水位が最大 38 ～59cm 上昇すると予測されており、想定台風の来襲と海面水位上昇との同時発生を想定する。海面水位上昇のシナリオは、表-1 に示す IPCC 報告の中から、予測値が他と比較して大きく異なる B1 及び A1FI シナリオを除き、A1T～A2 シナリオのうち最大となる 0.5m 程度の海面水位上昇が起こると想定し、地球温暖化による海面水位上昇分を潮位として考慮した。

表-1 昇温予測及び海面水位上昇予測結果

シナリオ	気温変化 (1980-1999 を基準とした 2090-2099 の差 (°C)) ^a		海面水位上昇 (1980-1999 と 2090-2099 の差 (m)) モデルによる予測幅 (急速な氷の流れの力学的な変化を除く)
	最良の見積り	可能性が高い 予測幅	
2000年の濃度 で一定 ^b	0.6	0.3-0.9	資料なし
B1シナリオ	1.8	1.1-2.9	0.18-0.38
A1Tシナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.45
B2シナリオ	2.4	1.4-3.8	0.20-0.43
A1Bシナリオ	2.8	1.7-4.4	0.21-0.48
A2シナリオ	3.4	2.0-5.4	0.23-0.51
A1FIシナリオ	4.0	2.4-6.4	0.26-0.59

出典：IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書政策決定

者向け要約 (SPM) ※オリジナル資料を気象庁が翻訳

6.1.2 津波災害のシナリオ想定

津波災害のシナリオを想定するモデル港は、津波により大規模な被害発生の可能性が高い徳島県の橘港を対象とした。現在の橘港の防護施設では、中央防災会議で検討されている「東南海・南海地震津波」によって大規模な被害が発生することが考えられるため、「東南海・南海地震津波規模」を想定津波とした。なお、地球温暖化に伴う海面水位上昇は考慮しないものとした。

6.2 数値シミュレーションモデル

現在の津波・高潮予測モデルは非線形長波理論に基づく平面 2 次元の計算モデルが主であり、マニングの粗度を土地の利用状況に合わせて設定し、津波や高潮のエネルギーを減衰させる方



図-7 粗度モデルと合成地盤高モデルの
地盤高の比較

法が一般的に用いられている。また、油屋・今村による建物の影響を考慮した合成等価粗度モデルの研究、富田らによる STOC モデル等の研究がある。これらの研究では臨海部における港湾構造物や建物の影響を 3 次元的に考慮することで、構造物周辺の水位や流速を予測することが可能なモデルが構築されている。

本研究では、1/2,500 程度の地盤高情報や住宅地図データをもとに、図-5 に示すように構造物を地盤高として考慮した地形モデルを構築し、建物周りの水位や流速を予測することが可能な合成地盤高モデルと従来モデルである粗度モデルの予測結果を比較することによって構造物の減災性能を評価した。粗度モデルと合成地盤高モデルの地盤高の違いを図-7 に示す。このように構造物の部分は地盤高が高くなっており、津波、高潮は到達できない。

6.3 地形モデル

東京港においては、台風に伴う風や波浪を予測する領域を、表-2 に示すように広領域から狭領域までの 10 領域に分割し、最小格子領域（2.5m 格子）で構造物の形状及び高さを格子単位で再現し地盤高として作成した。東京港の地盤高は、国土地理院による 5m メッシュ数値地図を用いた。シミュレーションの最小格子である 2.5m メッシュデータは、国土地理院の 5m メッシュデータをもとにスプライン補間によって作成した。橘港の計算領域は、波源域を含む広領域から最小格子領域（2.5m 格子）までを 7 領域に分割し、最小格子領域のみ構造物の形状及び高さを格子単位で再現し地盤高とした。地盤高は 1/2,500 の都市計画図などをもとにデータ化を行った。東京湾の計算領域を図-8 に、橘港の計算領域を図-9 に示す。構造物の形状及び高さのモデル化は、住宅地図データから建物等の形状を表す線データを抽出し、線データで囲まれる格子について建物の種類を住宅地図によって特定し、一階建てや二階建てなどの高さを与えることによって行った。ここで得られた建物

表-2 計算領域と格子サイズ

計算領域	格子サイズ	
	東京湾臨海部	橘港
第1領域	32,400m格子	1,350m格子
第2領域	16,200m格子	450m格子
第3領域	5,400m格子	150m格子
第4領域	1,800m格子	50m格子
第5領域	600m格子	25m格子
第6領域	200m格子	12.5m格子
第7領域	100m格子	2.5m格子
第8領域	50m格子	-
第9領域	10m格子	-
第10領域	2.5m格子	-

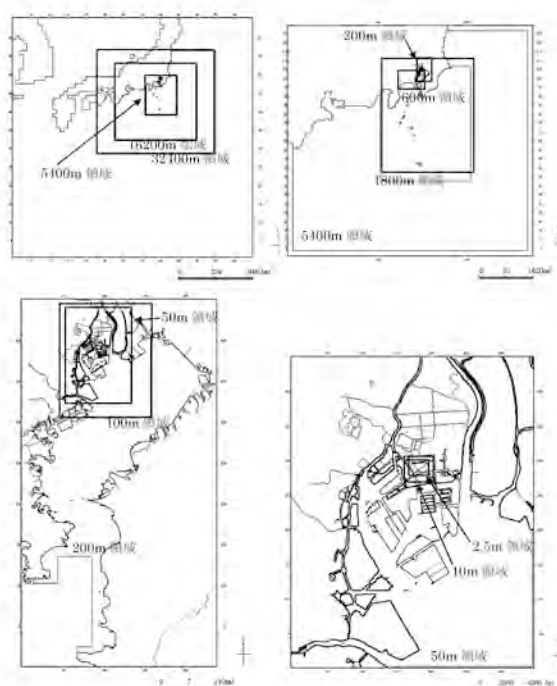


図-8 東京湾臨海部の計算領域

の高さ情報を地盤高と重ね合わせることで個々の建物の幅、奥行、高さなどの形状を地盤高として表現したものを合成地盤高とし、図-5 に示すような地形モデルを作成した。従来の粗度モデルが「津波の遡上抵抗が粗度のみ」と定義されるのに対して、合成地盤高モデルにおいては「津波の遡上抵抗が建物の形状・高さ及び粗度」と定義することができる。



図-9 橋港の計算領域

6.4 高潮被害予測

6.4.1 計算条件

高潮予測シミュレーションの計算条件を表-3 に示す。表には現在の東京湾の防護水準の検討条件と想定

表-3 高潮予測シミュレーション計算条件

	東京港の防護水準	想定シナリオ
想定台風規模	伊勢湾台風級	室戸台風級
台風コース	偏差が最大となるコース	偏差が最大となるコース
静水面(潮位)	H.W.L.=T.P.+0.97m	H.W.L.+0.5m=T.P.+1.47m

シナリオを併記しており、想定シナリオでは防護水準に比べ設定潮位が 0.50m 高くなる。これは IPCC の報告による海面水位の上昇分である。

また、台風コースは伊勢湾台風やキティ台風等のコースを平行移動させ、モデル地区の偏差が最も高くなるコース（図-10）を設定した。

6.4.2 検討ケース

高潮被害予測の検討ケースは、津波被害の被害予測と同様に合成地盤高モデルと粗度モデルの 2 ケースとし、さらに港湾施設背後の防潮堤がある場合とない場合の合計 4 ケースとした。この 4 ケースによって建物と防潮堤の複合的な減災効果や建物のみの減災効果などを評価した。

6.4.3 計算結果

シミュレーションの結果、室戸台風級の場合、伊勢湾台風級よりも芝浦付近の偏差が 0.57m 高くなる。最大浸水深分布及び最大流速分布を図-11、図-12 に示す。それぞれ、左図はマニングの粗度モデルによ

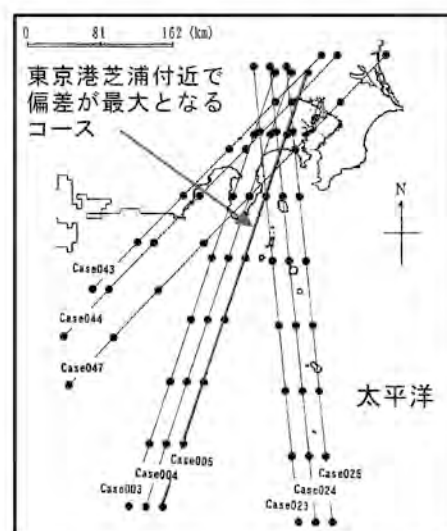


図-10 台風コース

る予測結果，右図は合成地盤高モデルによる予測結果を示したものである。

図-13には図-11及び図-12の差分図を示す。粗度モデルに比べて合成地盤高モデルでは浸水深が小さくなる結果となり，また，最大流速は低下する結果となった。また，図-14は測線No.6における粗度モデルと合成地盤高モデルの縦断方向に対する水位を示したものであり，合成地盤高モデルでは防潮ライン背後で水位が低下することがわかる。これは防潮ライン背後に位置する建物による減災機能効果であるといえる。

高潮は津波と比較すると緩やかな水位変化であり，陸上の建物などによる減災機能効果は小さいものと想定されたが，ある程度の減災機能があるものと判断される。

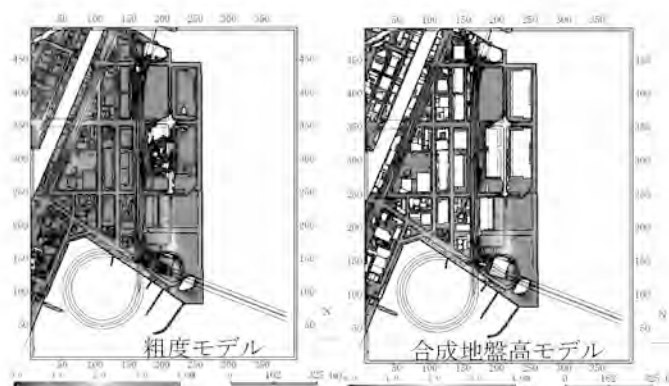


図-11 最大浸水深分布

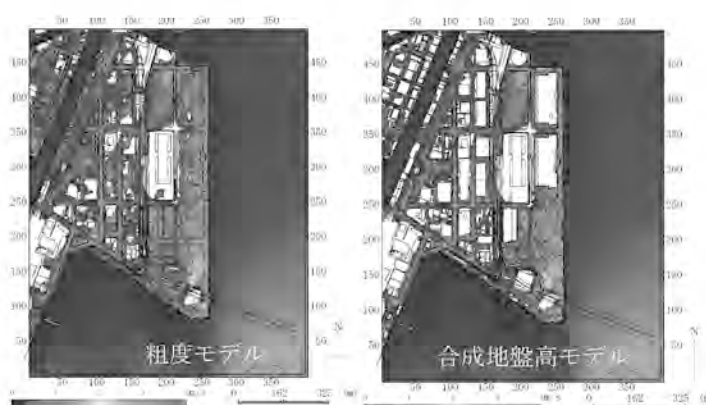


図-12 最大流速分布

6.5 津波被害予測

6.5.1 計算条件

津波予測シミュレーションの計算条件を表-4に，想定地震の震源域を図-15に，初期水位分布を図-16に示す。潮位条件は，橘港における朔望平均満潮位とした。

6.5.2 検討ケース

津波被害予測の検討ケースは，合成地盤高モデルと粗度モデルの2ケースとし，さらに港湾施設背後の防潮堤がある場合とない場合の合計4ケースとした。

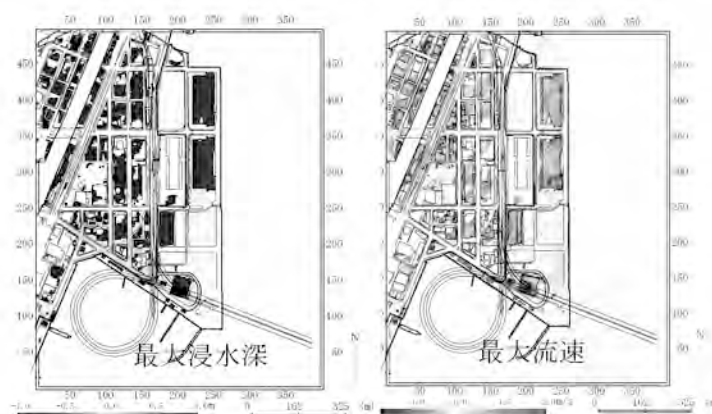


図-13 最大浸水深と最大流速の差分図

6.5.3 計算結果

最大浸水深分布及び最大流速分布を図-17，図-18に示す。左図はマンニングの粗度モデルによる予測結果，右図は合成地盤高モデルによる予測結果を示したものである。図-17及び図-18の差分を図-19に示す。差分図及び図-20に示す水位断面図より，粗度モデルに比べて合成地盤高モデルでは，浸水範囲および浸水深が小さくなり，最大流速も低減する結果となった。

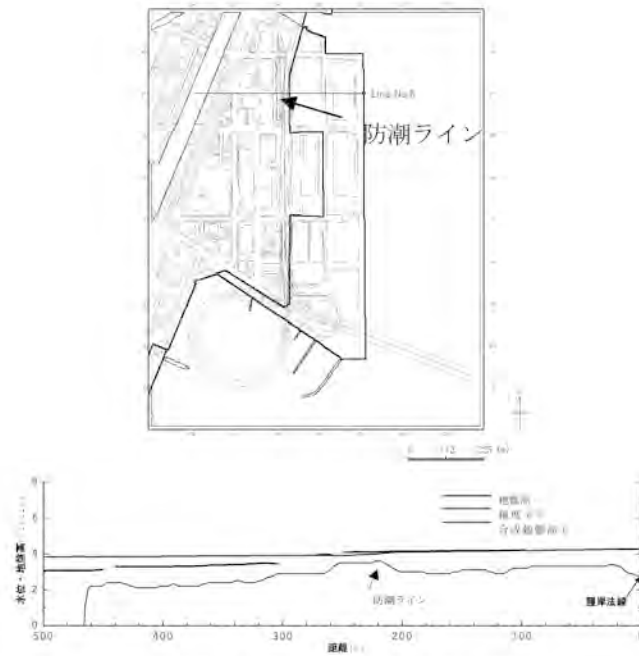


図-14 水位断面分布(高潮)

表-4 津波予測シミュレーション計算条件一覧

領 域	1	2	3～4	5	6～7
範 囲	外洋領域	波源領域	橋港 周辺領域	接続補助 領域	橋港
計算格子間隔	1350m	450m	150～50m	25m	12.5～2.5m
計算時間間隔	$\Delta t=0.10(s)$				
基礎方程式	非線形長波理論式				
沖側境界条件	外洋水位入射 自由透過	他領域と水位・流量を結合			
陸側境界条件	完全反射（100m 格子以上）		浸水計算 （150m 格子以下）		
海底摩擦	考慮（ $n=0.025$ ）			土地利用に 合わせて設定	
潮位条件	$H.W.L.=T.P.+1.130m$ （ $=D.L.+2.074m$ ）				
初期条件	中央防災会議による東南海・南海地震同時発生モデルによる海底地盤変位				
計算時間	津波発生後 180 分（3 時間）				



図-15 想定東南海・南海地震の震源域

出典: 中央防災会議 HP

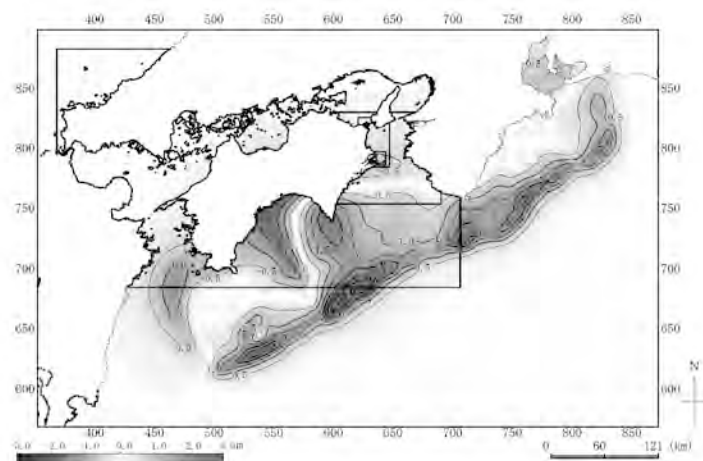


図-16 想定東南海・南海地震の初期水位分布

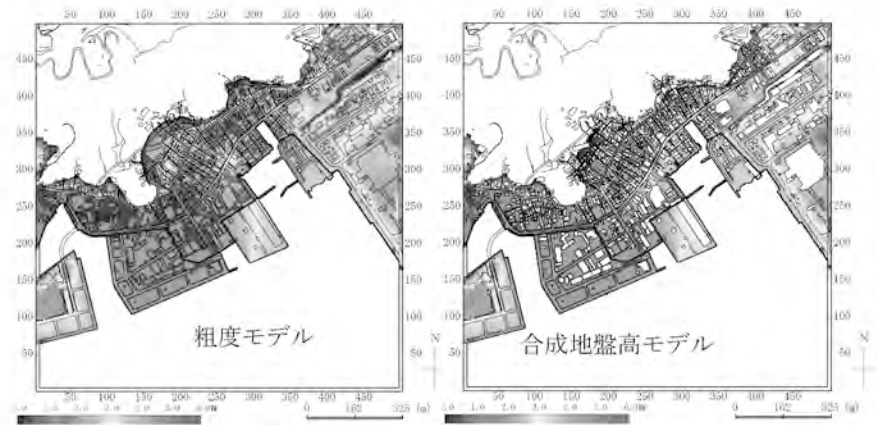


図-17 最大浸水深分布

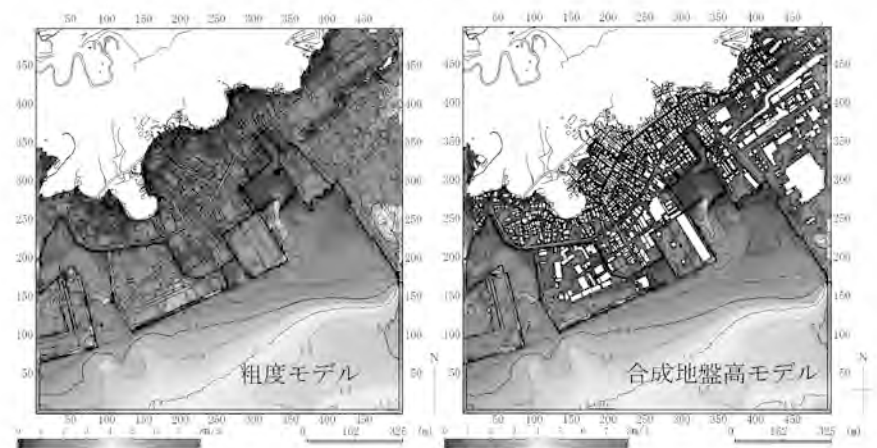


図-18 最大流速分布

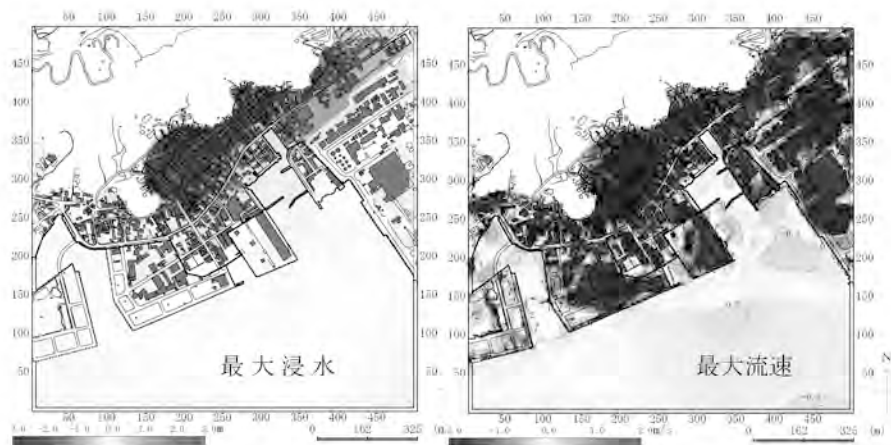


図-19 最大浸水深と最大流速の差分図

6.6 減災効果の評価

6.6.1 地盤の嵩上げと植栽の効果

地盤の嵩上げや植栽の津波減災効果を検討した。その際、緑地や公園等の植栽の減災効果をマンニングの粗度係数で評価した。防波堤や防潮堤及び建物の減災機能の評価方法は各施設の高さや幅がそのまま抵抗として作用することとした。図-21 は埠頭と背後の防潮堤との間の空間において地盤の嵩上げと建物の間に植栽を配置したケースと現況地形の場合のケースのシミュレーション結果の差を示すものである。なお、地盤の嵩上げ高は平均 50cm とし、植栽の効果は、河川氾濫解析における高水敷の粗度を参考に、マンニングの粗度係数を 0.08 とした。

この結果より、地盤の嵩上げ及び植栽を配置した港湾地区の背後で水位が低減するが、その低減量は非常に小さい。しかし、流速については、地盤高嵩上げ及び植栽配置箇所において流速が低減することが確認された。



図-20 水位断面分布(津波)

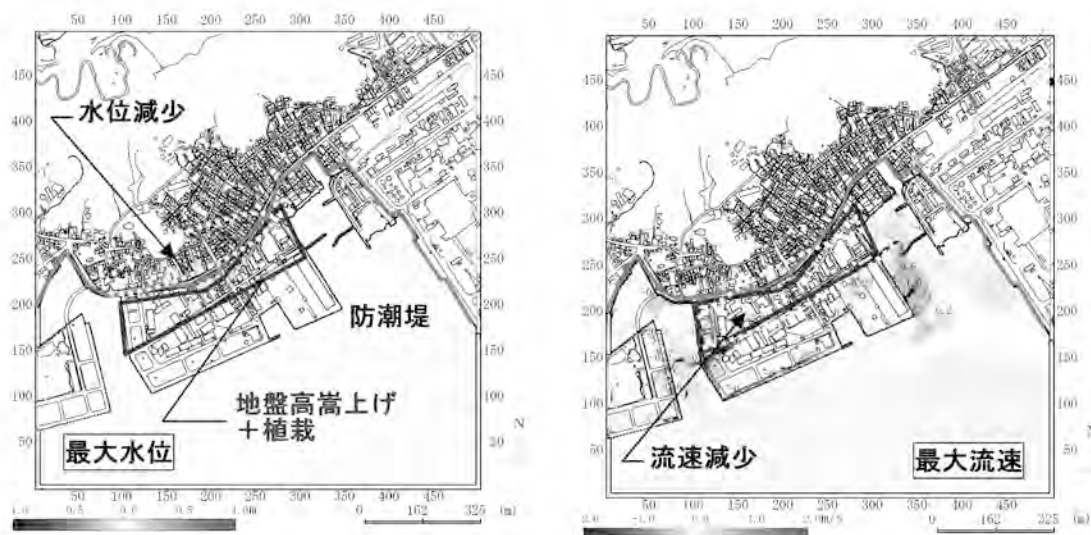


図-21 地盤嵩上げと植栽の効果(最大水位及び最大流速)

6.6.2 減災効果の評価と今後の課題

本研究では、従来から用いられているマンニングの粗度モデルによる予測結果と構造物を地盤高として考慮した合成地盤高モデルによる予測結果を比較することにより、構造物による津波・高潮のエネルギー減衰効果を確認した。しかし、建物や植栽による津波や高潮

のエネルギー減衰効果の程度については実現象との整合をとる必要があるため、水理実験等による検証を行い、モデルの改善を図る必要がある。また、本検討では計算範囲が広く建物が多くなる場合には繁雑な作業が多くなり実用的ではないことや、どの程度のエネルギー損失があるのかがシミュレーションだけでは確認できないことから建物間の縮流・拡流によるエネルギー損失は考慮しないものとしたが、実験結果とモデル地形によるシミュレーション結果を検証することによってより精度の高いシミュレーションを行うことが可能であると考えられる。このため、2007年度には、平面造波水槽に陸上の構造物を再現した模型を設置し、津波、高潮が遡上した際の挙動を計測する実験を行うこととしている。

本研究で開発した手法は、今後、メガリスク型沿岸域災害対策の効果の体系化、減災効果の評価手法の開発等に活用することが期待される。

7. おわりに

インド洋大津波、ハリケーンカトリナという現実のものとなったメガリスク型沿岸域災害の実例と国総研が進めている研究の一端を紹介した。本研究に関連する分野は幅広く、海岸工学や土木計画学などに限定されず、経済学、災害社会学・災害心理学などの分野との連携も必要である。

国土交通省では、インド洋大津波による被害を受けて「津波対策委員会」を設置し、平成17年3月に同委員会提言を得ている。ハリケーンカトリナに対しては平成18年1月に「ゼロメートル地帯の今後の高潮対策のあり方について」がとりまとめられた。国土交通省が目指す津波対策、高潮対策の全体像はこれらの資料を直接ご覧頂きたい。

国総研は、自然災害に対して安全・安心な国土及び地域社会の構築、安全・安心に暮らせる日常の実現を目指した研究を今後とも鋭意続けていく。引き続きご支援とご指導をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 熊谷兼太郎(2006)：スリランカの沿岸域管理政策とインド洋津波の影響，国土技術政策総合研究所資料，No. 303.
- 2) 熊谷兼太郎・小澤敬二(2006)：スリランカにおけるインド洋津波被害の現地調査，国土技術政策総合研究所資料，No. 304.
- 3) 高山知司・高橋重男・平石哲也・河合弘泰・小田勝也・村田進・小谷野喜二(2005)：ハリケーンカトリナによる米国メキシコ湾岸の高潮・高波災害の現地調査，CDIT 臨時増刊号，(財) 沿岸技術研究センター。
- 4) 小田勝也(2006)：インド洋大津波・ハリケーンカトリナを踏まえた津波・高潮対策，平成18年度港湾空技術振興会講演会講演概要。
- 5) 日本学術会議(2007)：答申 地球規模の自然災害に対する安全・安心社会の構築。
- 6) 日本学術会議地球規模の災害に対して安全・安心な社会基盤の構築委員会(2007)：対外報告 地球規模の自然災害に対する安全・安心社会の構築。

- 7) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約, 気象庁ホームページ
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html>
- 8) 油屋貴子・今村文彦 (2002) : 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 276-280.
- 9) 富田孝史・柿沼太郎・島田昭男 (2004) : 3次元流動モデルによる津波防波堤の防護効果に関する数値計算, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 296-300.
- 10) 小田勝也 (2007) : メガリスク型沿岸域災害対策-巨大高潮・津波に備える-, ペース設計資料, No. 134, pp. 17-21.
- 11) 石川健二・小谷野喜二・小田勝也・岡本修 (2007) : 低頻度メガリスク型沿岸域災害における港湾施設の減災性能評価に関する検討, 沿岸技術研究センター論文集 No. 7 (2007), 印刷中.

I T Sの動向とスマートウェイの展開

高度情報化研究センター長

山田 篤 司

ITS の動向とスマートウェイの展開

高度情報化研究センター長 山田 篤司

1. はじめに

わが国では、交通渋滞や交通事故の多発、環境悪化等の諸問題を解決するため、ITS の開発および実用化を積極的に推進してきた(図 1)。

約 10 年前から本格的に普及し始めたカーナビは、現在、出荷台数が新車登録台数の約 5 割にまで高まり、車の標準装備として定着している。また、1996 年からサービスを開始した道路交通情報通信システム(VICS: Vehicle Information and Communication System)は、2004 年 2 月に全国展開が完了し、最近出荷されるカーナビの約 8 割には VICS 機能が搭載されるようになってきている(図 2)。2001 年からサービスを開始した ETC 自動料金収受システム(ETC: Electronic Toll Collection System)においては、2007 年 6 月時点で約 1800 万台の車載器が普及し、利用率は全国平均で 68%、首都高速道路においては 76%に達する(図 3)。それにより、首都高速の全本線料金所では渋滞がほぼ解消し、交通の円滑化が図られただけ

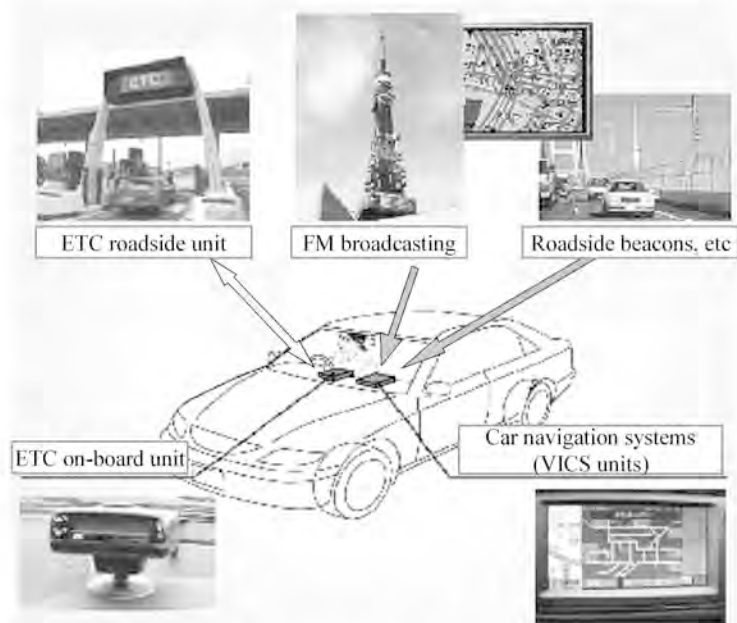


図 1 現在の ITS サービス

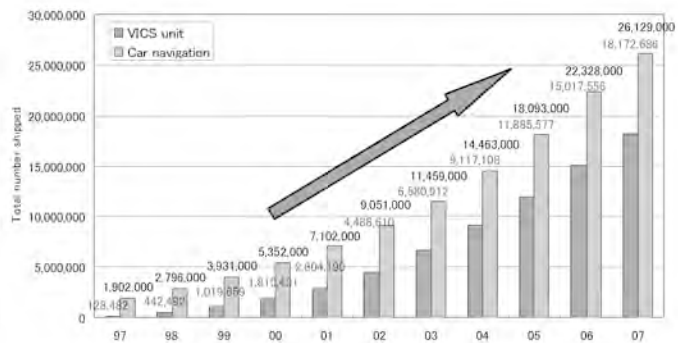


図 2 カーナビ・VICS ユニットの出荷台数累計

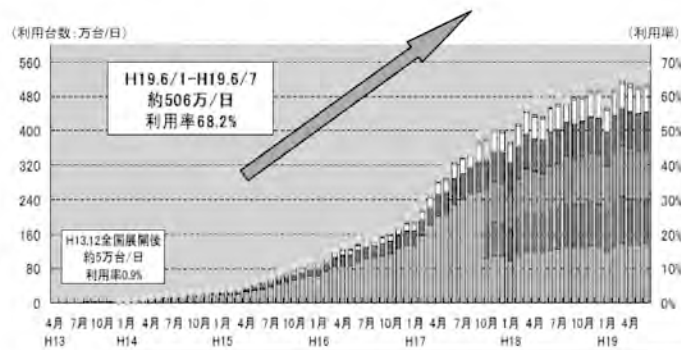


図 3 ETC 利用の推移

でなく（図 4）、料金所付近の騒音や排ガス軽減による周辺環境の改善も図られた。

このように、ITS は我々の生活に身近なものとなっており、先端・流行のファーストステージから ITS が社会・生活を変革するセカンドステージとも言うべき時代に到来した。

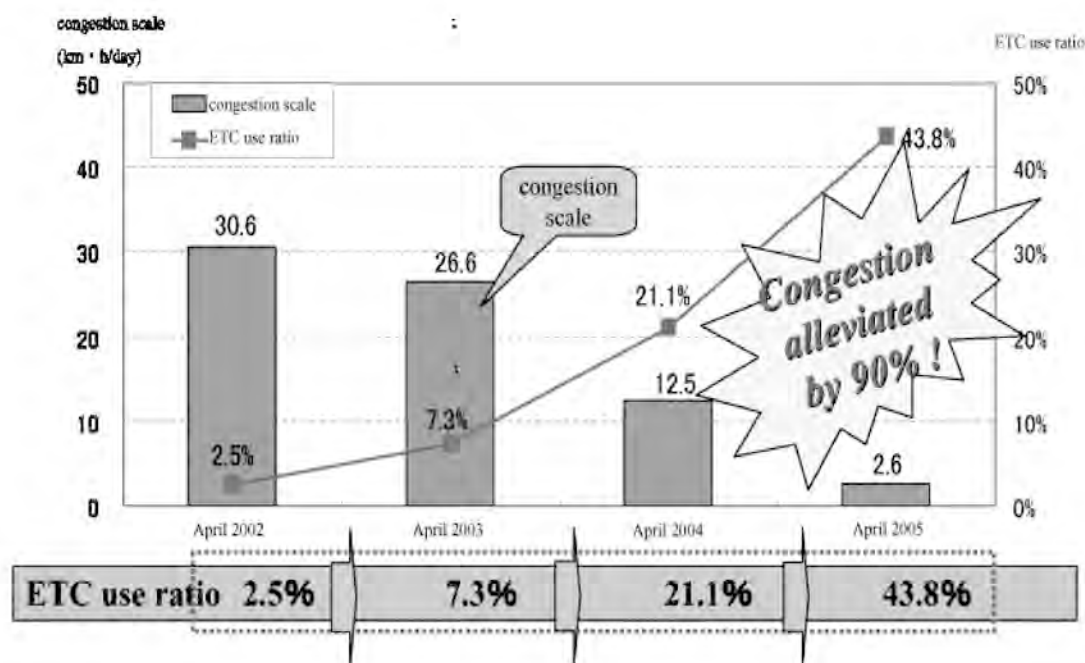


図 4 ETC の普及と料金所での渋滞

2. 次世代の ITS サービスの実現にむけて

《SMARTWAY と目指すゴール》

SMARTWAY とは、車、ドライバー、歩行者等の利用者との間で多様な情報のやりとりを可能とする道路で、ITS サービス展開の基盤となるだけでなく、快適で豊かな生活・社会の創出につながる基盤となるものである。また、SMARTWAY は、社会インフラとして、安全で円滑な道路交通や良好な環境を提供する ITS を統合的に実現する機能と社会に新たな価値を生み出すプラットフォーム（共通基盤）としての機能の 2 つの機能を有することが必要である。

そして、SMARTWAY のゴールは、移動・交通の質の向上によるスマートなモビリティ社会の実現であり、すなわち、下記の 4 つを実現することが期待されている。

- ・ 事故・環境負荷・渋滞といった車社会がもたらした「負の遺産の精算」
- ・ 高齢者・身障者が安心して移動できる「高齢者、障害者のモビリティ確保」
- ・ 高速道路や公共交通の利用促進により、地域の活力を向上して豊かさを実感できる「豊かな生活・地域社会」
- ・ 情報のシームレス化や物流効率化による「ビジネス環境の改善」

《国家プロジェクトとしての ITS》

2001 年 1 月、わが国では、IT 改革を推進するため、内閣総理大臣を本部長とする「高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT 戦略本部）」が設置され、国土交通省、警察庁、総務省、経済産業省の四省庁が連携して ITS を推進している。そして、IT 戦略本部は、我が国の IT の構造改革力の追求を目的として、「IT 新改革戦略」を策定した。本戦略によると、インフラ協調による安全運転支援システムの実用化により「世界一安全な道路交通社会－交通事故死者数 5,000 人以下を達成－」を目指すことが掲げられている。そのために、2006 年に安全運転支援システムの実用化に係る官民一体の連携会議の設立、2008 年までに安全運転支援システムの大規模な実証実験・検証・評価の実施、2010 年から安全運転支援システムを事故多発地点中心に全国展開することとされている。

3. 官民共同研究の取り組み

先述の通り、カーナビ、VICS、ETC 等、様々なサービスが普及してきた。しかし、スマートなモビリティ社会に向けて多様なサービスを展開するにあたっては、個別のサービスを別々に実現、提供していくのでは利用者の利便性を損なうことになる。個々のサービスを個別に実現するのではなく、関係者の適切な役割分担のもとに、多様なサービスを共通して利用可能であるとともに、さらにその上で新しい様々なサービスが展開できるような基盤（プラットフォーム）を構築することが重要である（図 5）。

そこで国総研では、1 台の車載器で多様な ITS サービスを利用できる車内環境を実現するため、公募

23 社と次世代道路サービス提供システムに関する官民共同研究を実施した（表 1）。

本共同研究では、ITS サービスのうち、次世代道路サービスを実現する上で必要となる路側機および車載器の機能等を検討した。具体的には、実用化にあたり、共通に定めるべき規格・仕様を策定する際に必

表 1 官民共同研究参加企業（企業別、五十音順）

Category	Name of Company	Category	Name of Company
Automobile manufacturers	Toyota Motor Corp.	Navigation system manufacturers	Aisin AV Co., Ltd.
	Nissan Motor Co., Ltd.		Clarion Co., Ltd.
Electronics appliance manufacturers	Oki Electric Industry Co., Ltd.		Kenwood Corp.
	Sumitomo Electric Industries, Ltd.		Xenavi Informatics Corp.
	Toshiba Corp.		Denso Corp.
	NEC Corp.		Pioneer Corp.
	Japan Radio Co., Ltd.		Fujitsu Ten Ltd.
	Hitachi, Ltd.	Others	NITDO Co., Inc.
	Fujitsu Ltd.		Tokico Technology Ltd.
	Mitsubishi Electric Industrial Co., Ltd.		Park 24 Co., Ltd.
	Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.		Fujitsu Laboratories Ltd.
	Mitsubishi Electric Corp.		

要となる技術資料を作成することを目的とし、2005年2月から2006年3月までの約1年間で実施した。

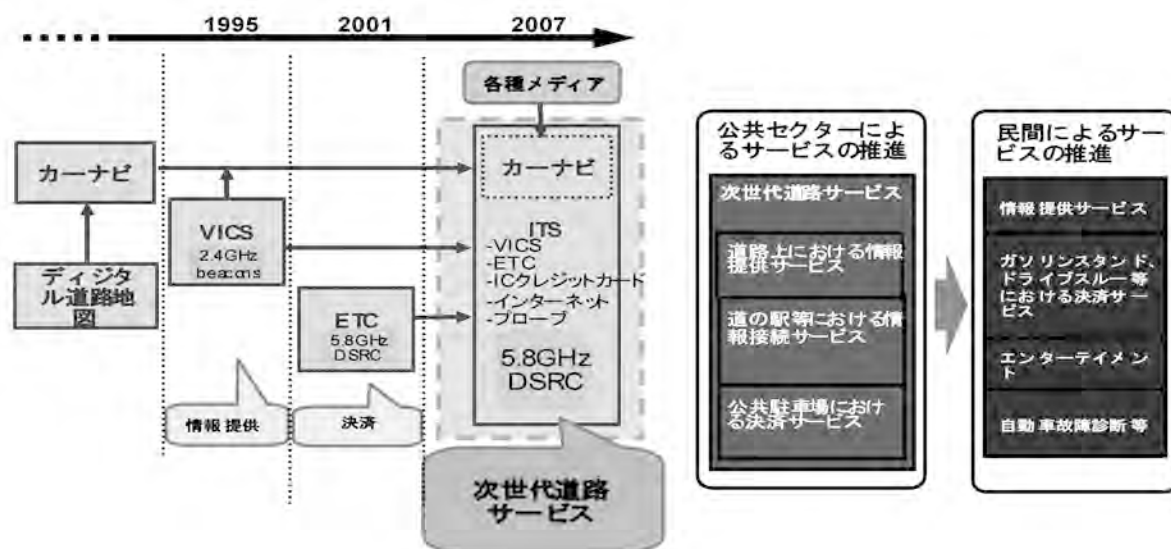


図5 新たなプラットフォームの実現に向けて

また、官民共同研究の成果を披露する場として

「SMARTWAY 公開実験 Demo2006 (SMARTWAY Demo 2006)」を2006年2月22日～24日の3日間実施した。公開内容は、国総研の試験走路上において、共同研究で検討した路側機を試験走路上に設置、車載器をデモ車両に実装してサービス体験乗車を行った。本研究及びSMARTWAY Demo2006により、検討されたシステムが技術的に実用レベルに達していることを確認できた。

こうした官民共同研究を踏まえ、2006年3月に5.8GHz-DSRC標準装備のITS車載器及

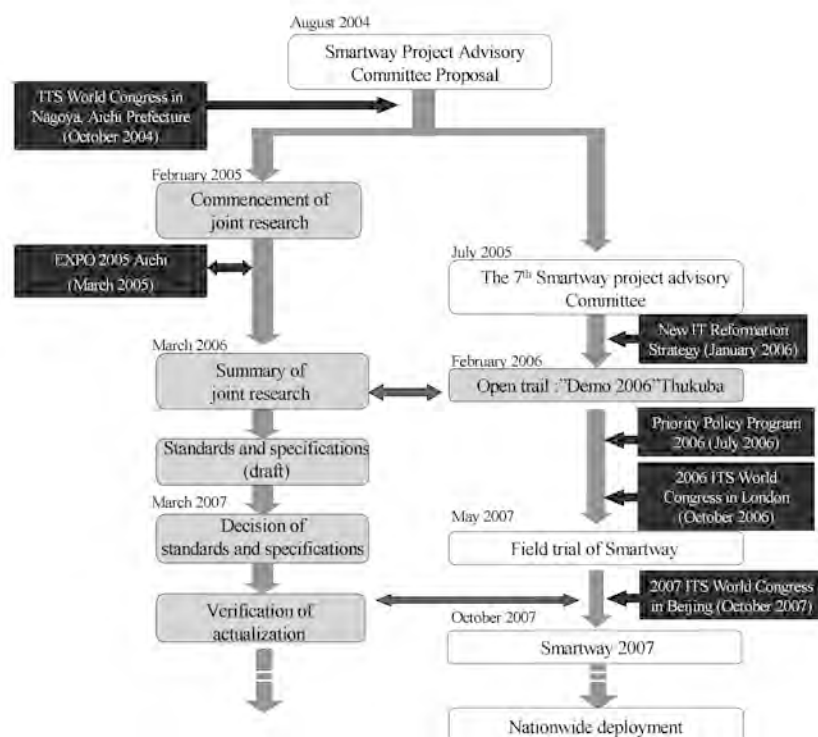


図6 試行運用に向けた取り組みの流れ

び路側機の規格・仕様の策定を行った（図 6 参照）。

4. 次世代道路サービスの実現に向けて

新たな道路サービスとして、より大容量の情報を高速で可能という DSRC 車載器の特徴を活かした「道路上における情報提供サービス」、「道の駅等情報接続サービス」、「公共駐車場料金決済サービス」を取り上げ、開発を進めてきた（図 7）。

特に道路上における情報提供サービスという点では、音声テキストや静止画像によりドライバーにわかりやすく提供するとともに、大量の情報を一度に送りその情報を車載器に蓄積し、たとえば凍結など事象箇所手前などの適切な箇所でタイミングよく提供する、あるいは逆にナビゲーション中に緊急情報を割り込み提供するなどということも可能となった。

こうした技術開発により新たな情報サービスとして実用化がなされたものに「前方障害物情報提供」がある。本サービスは見通しの悪いカーブの先の停車車両や渋滞を ITV カメラ等路側センサーで検出しカーブに進入してくるドライバーに画像や音声で注意喚起を行い、追突事故の削減を図ろうとするものである。



図 7 次世代道路サービスの例

開発されたサービスを多様なドライバーが運転する多様な車両が混在する道路上で十分に実用可能なものとするためには、不特定多数のドライバーに受け入れられ走行

に支障を与えない情報提供であることを検証する必要があるが、室内実験としてのドライビングシミュレータによる確認の後、実際の道路上での実証実験により検証を進めた。

（１）高機能ドライビングシミュレータ（以下 DS）

実道並みの臨場感が出せる危険の少ない実験装置としては加減速が体感できるテストコースも有用である。しかし、体感こそ劣るが柔軟にシナリオ設定できる点で DS を採用した方がパラメータ実験を行う研究向けにメリットの大きい場合もある。研究用 DS では実験車に計測器を積むよりも手軽にドライバー・車両の挙動データも取得できる。また情報提供による不安全行動誘起の可能性もあるため、ドライバーの運転操作に応じて模擬視界と体感動揺がリアルタイムで表現される高機能 DS を活用した（図 8 参照）。

実験は、自由走行する被験者に AHS 安全サービス情報の出ることを知らせず、習熟運転の後に走行中にカーナビから情報提供を数回行い、アイカメラによる視認行動把握、ドライバー意識を把握する事後アンケート調査、情報提供に対する過激な運転挙動の有無を把握する車両挙動データ収集を組み合わせで分析した。

初めての情報提供時に驚いたとアンケート回答した被験者も最大減速度が許容範囲内の値であり、急減速や突然の車線変更などの危険な走行挙動も見られなかったことを併せると、危険を伴うなどの悪影響を伴わない効果のある情報提供サービスであることが確認された。

DS を用いることにより、実道およびテストコースでは可能性として避けられない被験者の危険を伴わずに、警告メッセージへのネガティブチェックが行えた。



図 8 ドライビングシミュレータでの実験風景

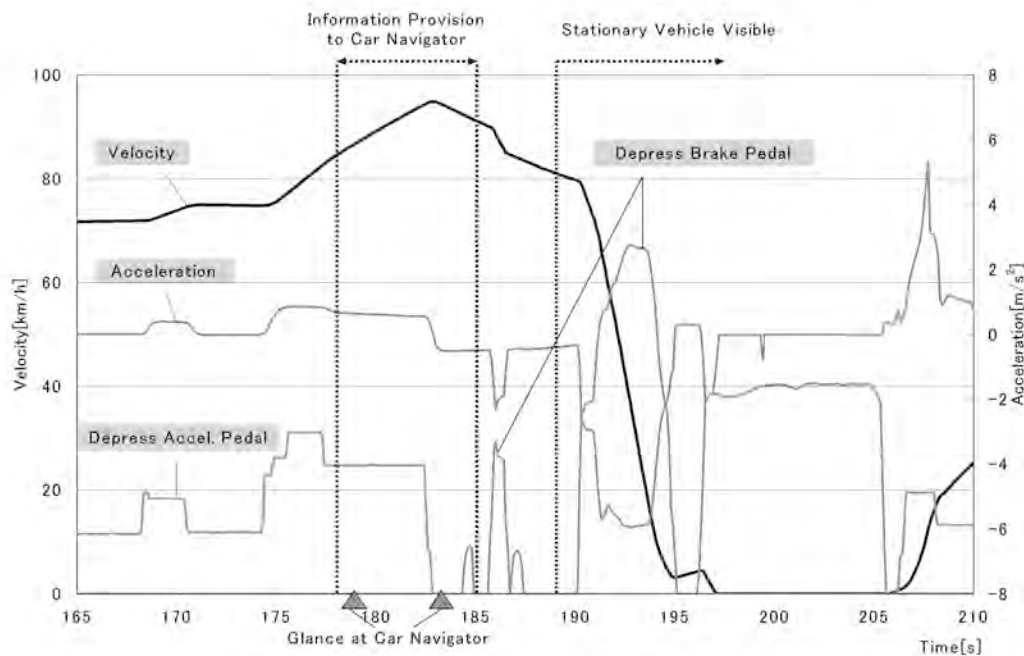


図 9 DS により把握された運転挙動の例

(2) 公道実証実験

さらに首都高速道路上において次世代道路サービス提供システムの公道における実証実験を実施している。

路線選定は、特に事故率・事故密度の状況を踏まえ、安全対策が必要な路線（首都高速都心環状線、4号新宿線、5号池袋線）を選定した。

実証実験の目的は、以下の特徴を持ったサービス実現を目指し、音声や画像を用いた様々なサービスを試験提供することで、その効果やドライバーの受容性を検証評価しようとするものである。

- ・タイムリーなサービス

走行中の路線の道路交通状況を踏まえ、安全に関する情報をタイムリーに提供

- ・確実かつ分かりやすいサービス

通信の信頼性が高く、かつ瞬時に大容量の情報提供が可能な 5.8GHz-DSRC を活用し、安全に関する情報等を確実かつ遅れることなくドライバーへ提供

- ・ドライバーが認識しやすいサービス

路側表示板等と比較して、ドライバーの認識率が高い車載器を利用した情報提供（画像、音声）を実施

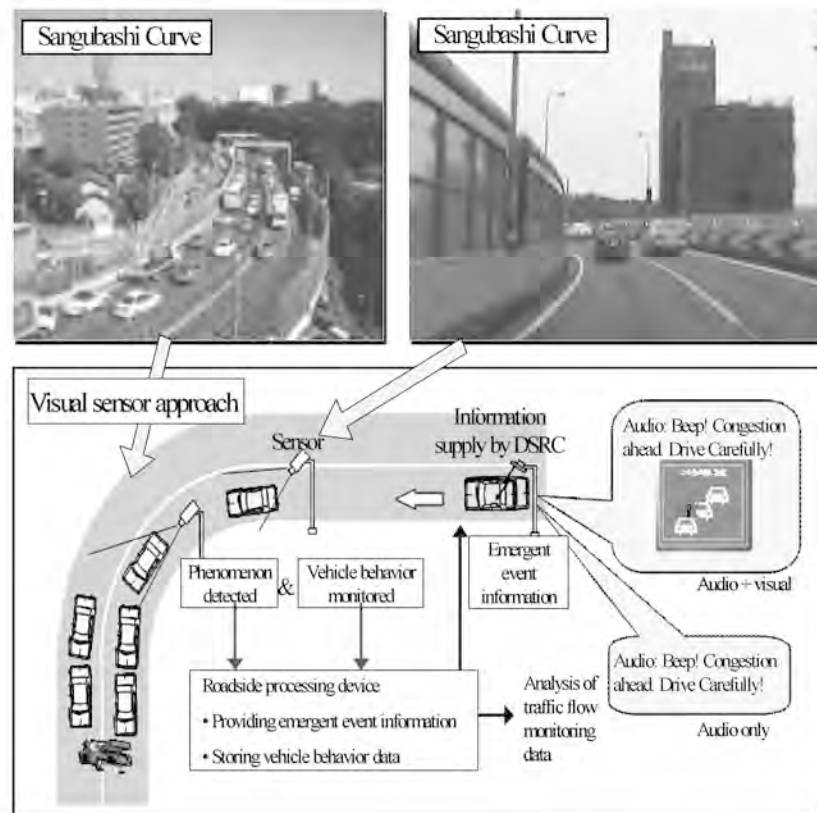


図 10 実験の具体例（前方障害物情報提

実験の具体例を図 10 に示す。見通しの悪いカーブ先の停止車両や渋滞を路側センサーで検出し、カーブに進入してくる後方のドライバーに画像や音声で注意喚起を行う。効果としては、見通しの悪いカーブ先での追突事故の削減、ヒヤリハット（急減速）頻度の削減、カーブ進入速度の低下が期待されている。複数の検知方式による車両検出精度の比較、情報提供による安全性向上効果及びドライバーの受容性について評価する予定である。

車載器としての検証は、カーナビと連携して音声と画像による情報提供を行う「カーナビ連携型 ITS 車載器」の他に、カーナビを有していない大型車（貨物車やバス）や軽自動車等に対し、音声のみの情報提供を行う「単体型 ITS 車載器」も視野に入れ、試作 ITS 車載器を搭載したモニター車で実走して評価を行う（図 11）。



図 11 各車載器のイメージ

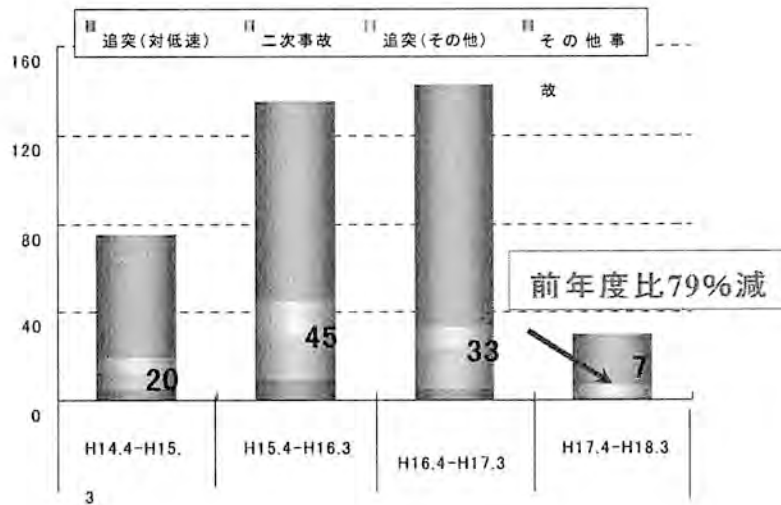


図 12 前方障害物情報提供による追突事故の減少

先行的に前方障害物情報提供を首都高速 4 号新宿線参宮橋カーブにおいて VICS 情報として実施したところ、①急減速の発生頻度および高速度での進入車両が 1 割以上減少し、結果として②情報提供が有効に働くと想定していた二次事故が大幅に減少した（図 12）。

5. SMARTWAY2007 デモ in 東京

SMARTWAY 2007 デモ in 東京は、ITS World Congress in Beijing のテクニカルツアーとして位置づけられており、10月14日から17日の4日間、デモカーに分乗して複数のサービスを体験乗車していただくイベントである（図13）。そして、このイベント開催が、一般に向けたサービスの試行運用開始と位置づけている。

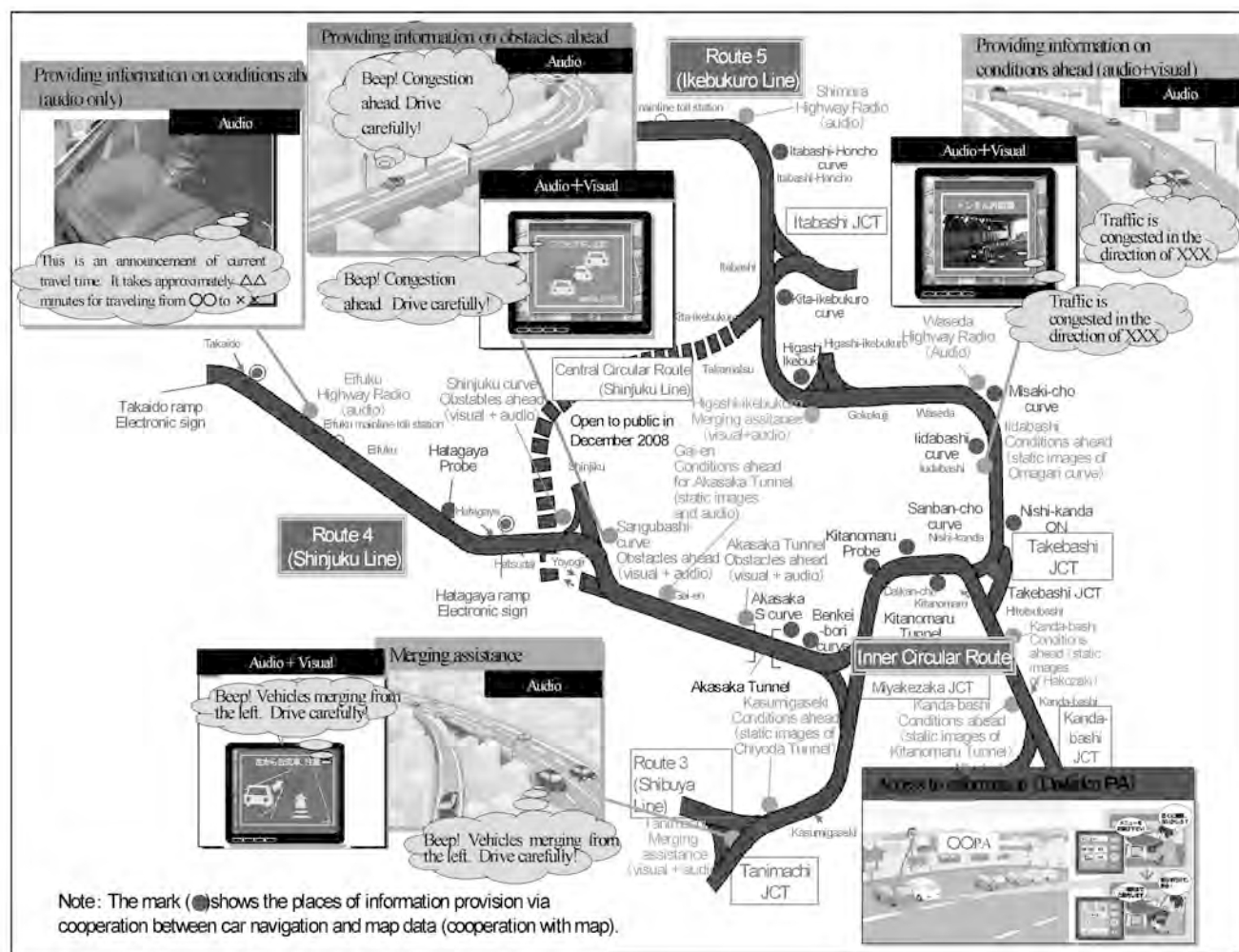


図 13 SMARTWAY 2007 デモ

6. 国際標準化の取り組み

わが国においては、SMARTWAY の関連技術について ISO/TC204 へ提案（表 2）を行っている。具体的には、センターとカーナビ間で配信する際の技術や、次世代道路サービスで利用している基本 API (Application Interface) に関する仕組み（図 14）などであり、SMARTWAY の実現に向けた様々な技術仕様の国際標準化を目指している。

表 2 SMARTWAY 関連技術を基に日本から ISO/TC204 に提案している主な項目

提案件名	概要
更新型地図データ配信技術(WG3)	センターとカーナビ間で地図データを配信する際の技術に関する標準化
プローブデータ定義(WG16)	プローブデータのフォーマットに関する標準化
アプリケーション更新技術(WG16)	車載器のアプリケーションの更新方法に関する方式の標準化
CALM-Mail(WG16)	日本のDSRC通信プロトコルに関する標準化
CALM-非IP通信方式(WG16)	日本の基本API、非IP通信の技術方式を含めた各国の非IP通信方式サービス実現方法に関する標準化

CALM: Communications Air-interface for Long and Medium range

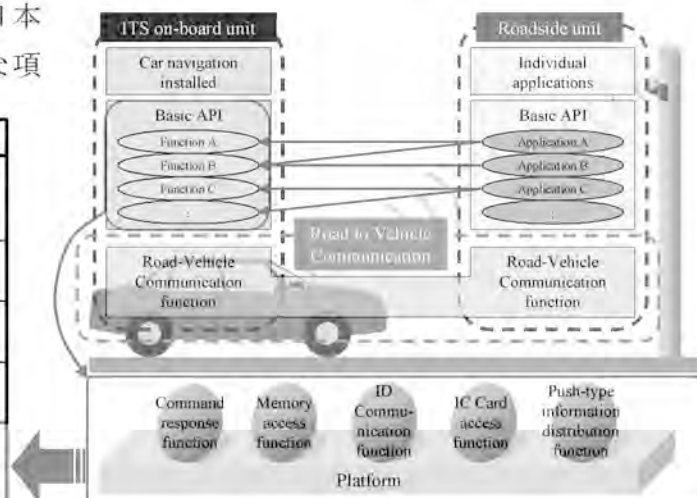


図 14 次世代道路サービスで利用する基本 API を用いた仕組み

7. 今後の展開

今後の展開については、戦略的な展開シナリオを考えることが重要である（図 15）。安全運転支援については、本実験を踏まえ、大都市圏等（大阪、愛知、広島）での公道実験を予定し、さらなる積極的な推進を行うことを考えてい

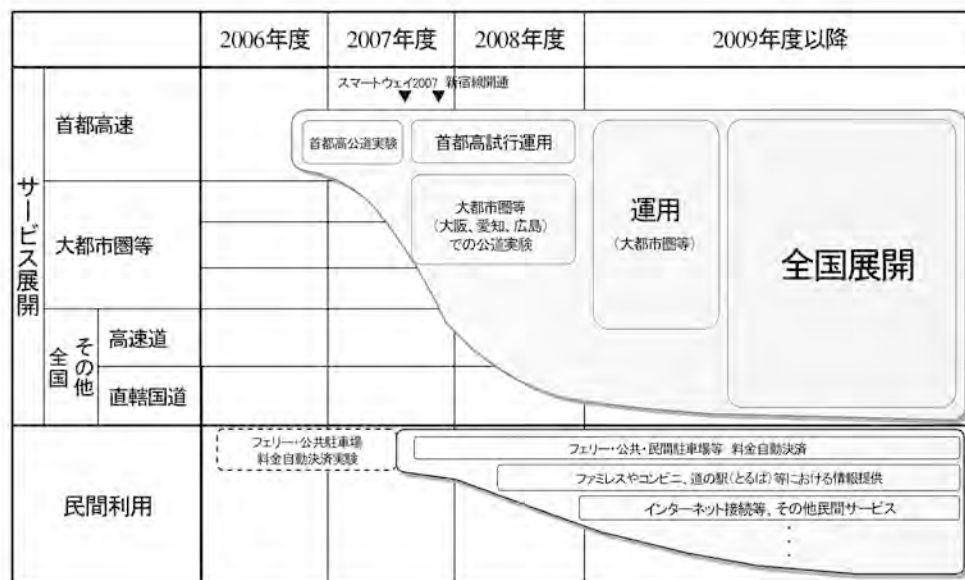


図 15 新たな路車協調システム展開シナリオ

る。また、民間利用においても、車載器の普及を加速するため、民間駐車場やフェリー乗船時の料金決済サービス等の多目的なサービスへの広がりを見せており、今後、さらなるサービス展開の充実を図り、本格的な ITS 社会の実現を目指していく所存である。

参照：(1) 官民共同研究最終報告

URL:http://www.its.go.jp/ITS/j.html/index/indexSmartWay_bukai.html

(2) 「Smartway2007」紹介

http://www.smartway2007.jp/index_j.htm

総合的なヒートアイランド対策のための技術開発

都 市 研 究 部 長

後 藤 隆 之

概要

ヒートアイランド対策に関する国土交通省の総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」の技術開発成果について報告する。

今後のヒートアイランド対策が効果的に実施できるように、スーパーコンピュータや実測調査、風洞実験などの科学的手法を駆使して、様々な対策の効果を総合的に予測できるシミュレーション技術を開発し、国や地方公共団体等に向けてパソコンソフトとして実用化を目指すものである。

トピックとして、東京臨海・都心部における大規模実測調査、地球シミュレータによる大規模数値解析、市街地改造による「風の道」に関するケーススタディ、対策効果シミュレーションソフトの開発について紹介したい。

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、大都市中心部等において観測される新しい都市の環境問題の一つとして、緊急に対策を講ずるべき課題となっている。このヒートアイランド現象は、気温上昇の要因となる地表面被覆と人工排熱、地形・気象条件等が相互に影響しあうなどメカニズムが複雑で未解明な部分が多く、科学的知見が十分に得られていない状況にあるため、対策として省エネルギー機器の導入や緑の確保等を個別に講ずるにとどまっているのが現状である。

このような状況を踏まえ、今後のヒートアイランド対策が効果的に実施できるように、その科学的裏付けとなる現象解明と対策の定量的評価手法等の開発を行うため、国土交通省総合技術開発プロジェクト「都市空間の熱環境評価・対策技術の開発」を平成16年度から18年度までの3年間にわたって、国土地理院や独立行政法人建築研究所、土木研究所など関係機関、国土交通省関係部局、気象庁、環境省、地方公共団体、大学等と連携（図1）して実施した。

2. 成果の概要

都市空間における効果的なヒートアイランド対策を検討するために、科学的手法を駆使して、様々なヒートアイランド対策効果を予測できるシミュレーション技術を開発した。従来のシミュレーション技術は、主にビル風の予防や耐風設計のために都市空間の風の挙動を予測する技術として開発されてきたが、ヒートアイランド対策の検討には、風の挙動に伴う熱の拡散を組み込むことが必要であり、これらの複雑な現象を都市スケールで再現するには通常のコンピュータの能力では不可能であった。

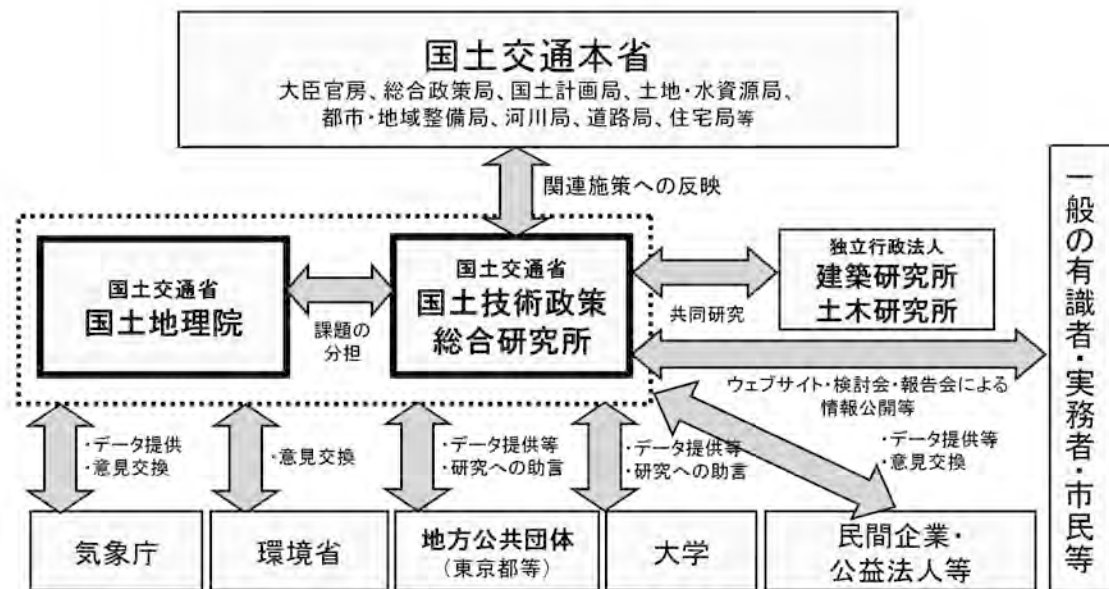


図1 研究の実施体制

そこで、世界最速レベルのスーパーコンピュータ（地球シミュレータ）を用いて、その能力を最大限に活用できるシミュレーション技術を開発した。東京臨海・都心部の10km四方（地表から上空500mまで）を対象に、都市の様々な街並みの気温や風向・風速の分布を個々の建物や街路が見分けられる細かさ（5mメッシュ）で予測できるようになった。

そして東京臨海・都心部で実施した大規模実測調査や、詳細な市街地模型を用いた風洞実験等の結果とシミュレーション結果とを照合したところ、極めて予測精度が高い技術（誤差1℃以内）であることが確認された。

さらに、このシミュレーション技術を国や地方公共団体などに向けて実用化するために、パソコン上でもシミュレート可能なソフトを開発するとともに、シミュレーションの入力データとして必要な地理情報の高度化・活用技術を開発した。

3. 技術開発のトピック

本技術開発は、地域の特性に配慮した効果的なヒートアイランド対策を推進するために、スーパーコンピュータによる大規模数値解析や実測調査、風洞実験などの科学的手法を駆使して、様々な対策の効果を総合的に予測可能なシミュレーション技術を開発し、これをヒートアイランド対策やまちづくり等の施策の評価ツールとして実用化することを目指している。本プロジェクトの技術開発成果は以下の通りである。

3.1 ヒートアイランド現象に関する大規模実測調査

ヒートアイランド対策として重要な要素のひとつとして考えられる、風の効果や影響について、現象の解明と効果の定量化を行うため、平成17年の夏に東京都心・臨海部の街路や河川、ビル屋上等190箇所で、極めて大規模かつ詳細な気象観測を実施した。

そして、海風（海から吹く涼風）の効果の実態を確認して海風の活用の有効性を解明す

るとともに、ヒートアイランド対策としての「風の道」の性状を分析した。



図2 臨海都市の「風の道」の考え方

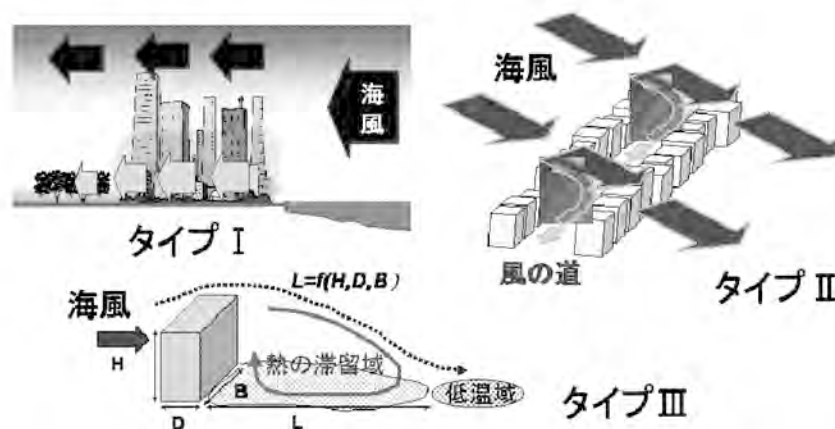


図3 海風による「風の道」の類型

ヒートアイランド対策の一つとして注目されている「風の道」の考え方は、もともとドイツの環境共生型都市計画手法に基づくものである。これは主に内陸都市の大気汚染やヒートアイランド化を緩和するために、周囲の山から流入する風を活用する手法で、この風は地表面近くを流れる山谷風である。

この平面的な山谷風を活用するドイツの「風の道」に対して、数百メートル以上の厚みを持つ海風を活用する日本の「風の道」は立体的なものであると整理した（図2）。さらにこの「風の道」をヒートアイランド対策として都市計画手法と連携させて具体的に検討するために、市街地形態と風の性状による分類を行った。

すなわち、海風が海岸から地表面に沿って街路・河川等を通じて流入する（タイプⅠ）、上空を流れる海風が街路・河川沿いの建物群に誘導されて地表付近を流れる（タイプⅡ）、超高層建物（群）により海風の流入が阻害されて風下側に弱風域が形成されるとともに、上空の冷気の誘引による低温域が形成される（タイプⅢ）の3つに整理して、臨海部の大都市におけるヒートアイランド対策としての「風の道」の考え方を提示した（図3）。



(左から汐留・大手町・大崎・日本橋付近)

図4 東京臨海・都心部における実測調査

以上の「風の道」の考え方に基づいて実測調査を行った。実測調査は、平成17年7月下旬から8月上旬を中心に、東京臨海・都心部において実施した。調査対象地区は東京駅周辺地区、汐留・新橋地区、品川駅周辺地区、目黒川・大崎地区の4地区で、街路や河川、ビル屋上等の合計190箇所に気温や風向・風速等の気象観測機器を設置して行った(図4)。

約2週間にわたって24時間の連続観測を行った結果、日中の市街地の気温より4℃程度低く、数百メートルの厚みを持つ海風(海から吹く涼風)について、ヒートアイランド対策としての「風の道」の性状を分析した。「風の道」による涼風が活用できる範囲とその性状は次の通りである。

- ① 海岸から1.5km程度まで街路に沿った海風の流入がある。
- ② 幅の広い街路の方が、海風が内陸部に流入しやすい(図5)。
- ③ 河川上の高架道路により、高架付近の地表近くを流れる海風が抑制される(図6)。
- ④ 海風の風向が河道に平行すると、河道に沿った地形・建物群によって河川は連続した「風の道」となりうる(図7)。
- ⑤ 河道に沿った地形・建物群の形状により上空の海風を取り込む(図8)。



図5 「風の道」としての街路と海風



図6 高架道路下における風速の低下

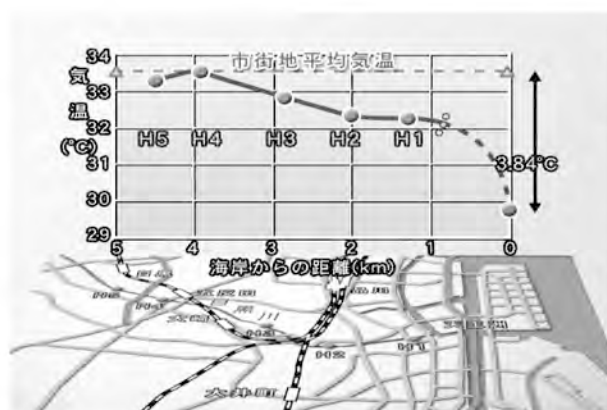


図7 河口からの海風の流入による気温変化



図8 海風の流入と地形・市街地形態

3. 2 市街地模型の風洞実験による風の挙動の検討

ヒートアイランド対策の観点から、市街地改造が都市の風通しに及ぼす影響・効果について、市街地改造（都市再生事業）が計画・検討されている東京駅・日本橋川周辺を1/750で再現した詳細な市街地模型の風洞実験によってケーススタディを行い、市街地改造による風通し効果を定量的に検証した。

風洞実験は、建築研究所の乱流境界層風洞で実施した。風向は前述3. 1の実測調査をふまえて7月31日正午の海風と同じ南東の風向となるように風洞内に市街地模型を設置した（図9、10、11）。

風洞実験の結果と、実測調査の結果との比較を図12に示す。比較の結果、風向・風速について実測値と実験値の傾向が概ね一致していることから、風洞実験の再現性が有意であることが確認できたので、市街地改造による風通し効果について実験を行った。



図9 風洞内部と市街地模型

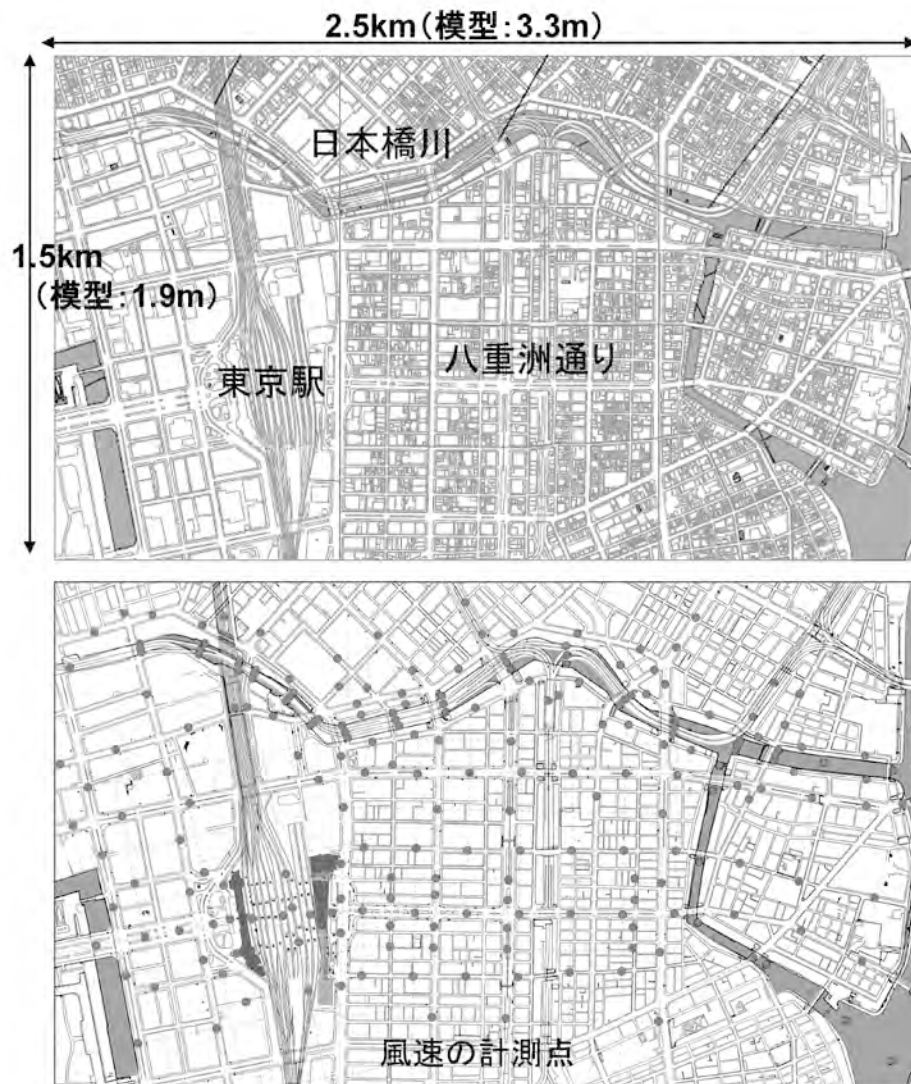


図 10 市街地模型の範囲と計測点



図 11 市街地模型（東京湾側から俯瞰）



図 12 風洞実験と実測調査による風速・風向の比較

図 13 は日本橋川周辺の市街地の現状と、都市再生事業の検討案を市街地模型で再現したものである。検討案では、日本橋川に沿って架かる江戸橋から竹橋間の首都高を地下化するとともに、河岸建物の低層・低容積化を図るものである。図 14 は、それぞれについて風洞実験を行い、地上 4m 相当の高さにおける風速変化を整理したものである。

これによると、市街地改造により風速が現状よりも 10% 以上増加した範囲は、日本橋川から約 200m の範囲まで及んでいる。このように風速が増加したことは、その地点を流れる海風による換気が促進されたと考えられ、風速の増加による快適性の向上に加えて、気温低下の効果も期待できる。



現 状

検討パターンの設定は、日本橋川に空を取り戻す会（日本橋みち会議）資料、日本橋みちと景観を考える懇談会資料による。



検討案

高架地下化＋河岸建物の低層・低容積化

首都高速江戸橋～竹橋間の高架を地下化＋同区間の川沿いの土地を低層・低容積化（川幅＋河岸のオープンスペース＝140m程度）

図 13 日本橋川周辺の市街地改造の検討案

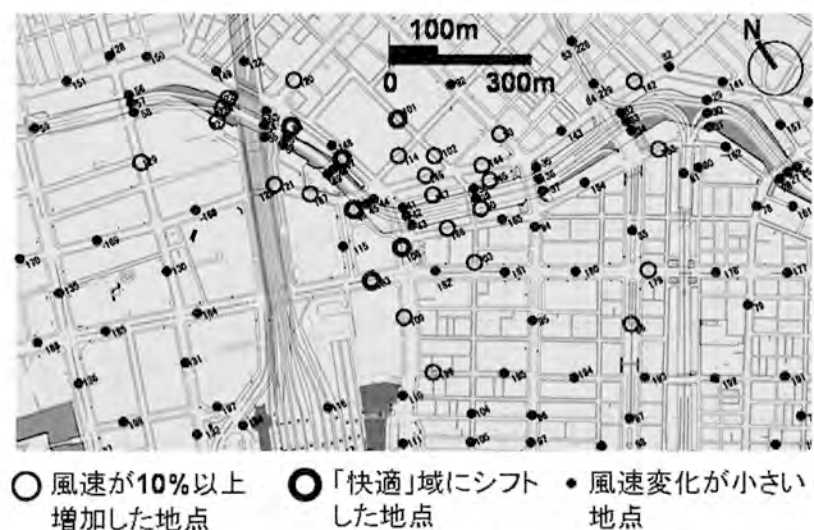


図 14 日本橋川周辺の市街地改造による風速変化

図 15 は、2013 年に完成予定の東京駅八重洲口の開発計画を市街地模型で再現したものである。現在進行中のこの計画では、既存の高さ約 50m の駅ビルが撤去され、その両側に高さ 200m のツインタワーが建設されるもので、これにより海側の八重洲通りから内陸側の皇居に向けて、いわば大きな隙間空間がつけられる。そこで、この開発による風通し効果について、開発前後の風速の変化を風洞実験によって予測した。

実験の結果、開発によって東京駅八重洲口から丸の内に向けて風速が増加し、丸の内において最大 30% 風速が増加したことから、市街地改造による風通し効果が確認された（図 16）。

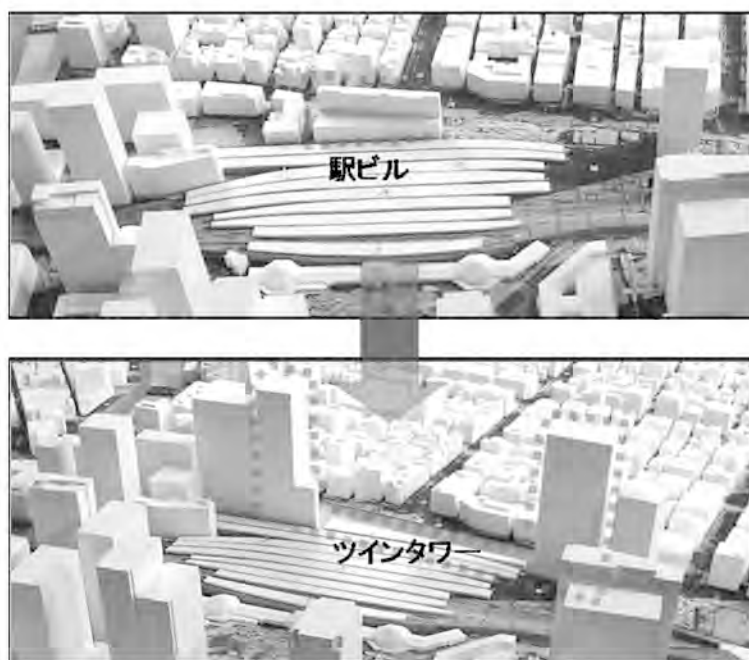


図 15 東京駅八重洲口の開発計画

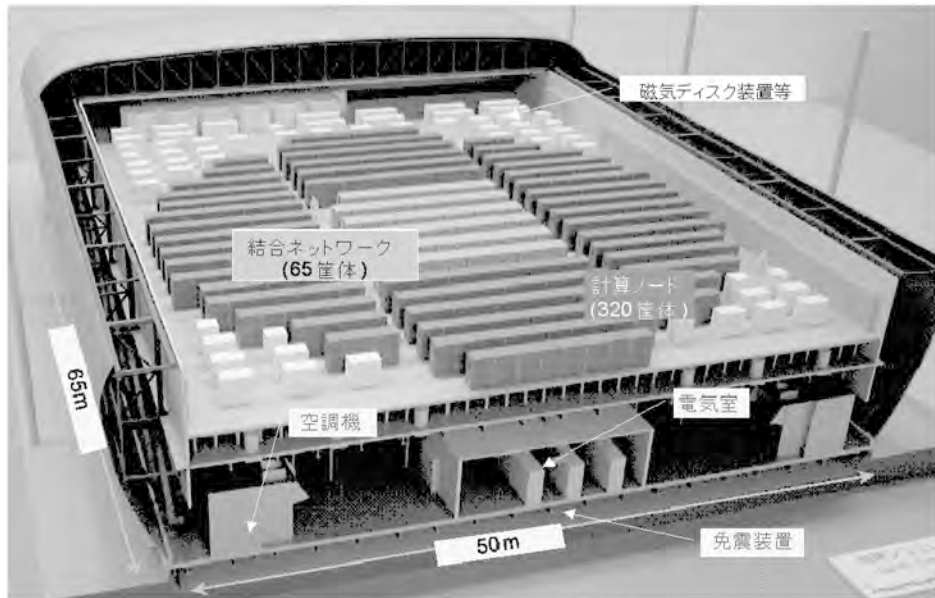


図 17 地球シミュレータ外観（独立行政法人海洋研究開発機構）



図 18 地球シミュレータによる東京臨海・都心部 10km 四方のシミュレーション結果
（2005 年 7 月 31 日 14 時の地上高さ 10m の風向・風速分布を再現したもの）

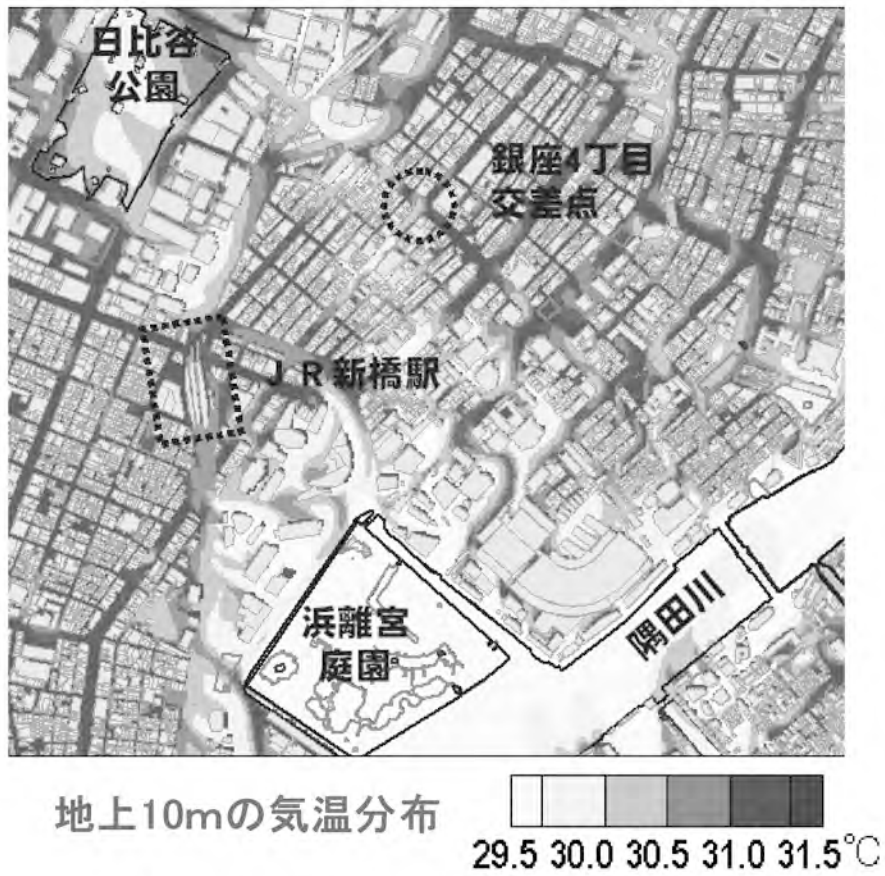


図 19 地球シミュレータによるシミュレーション結果
(10km 四方の計算結果の部分拡大図)

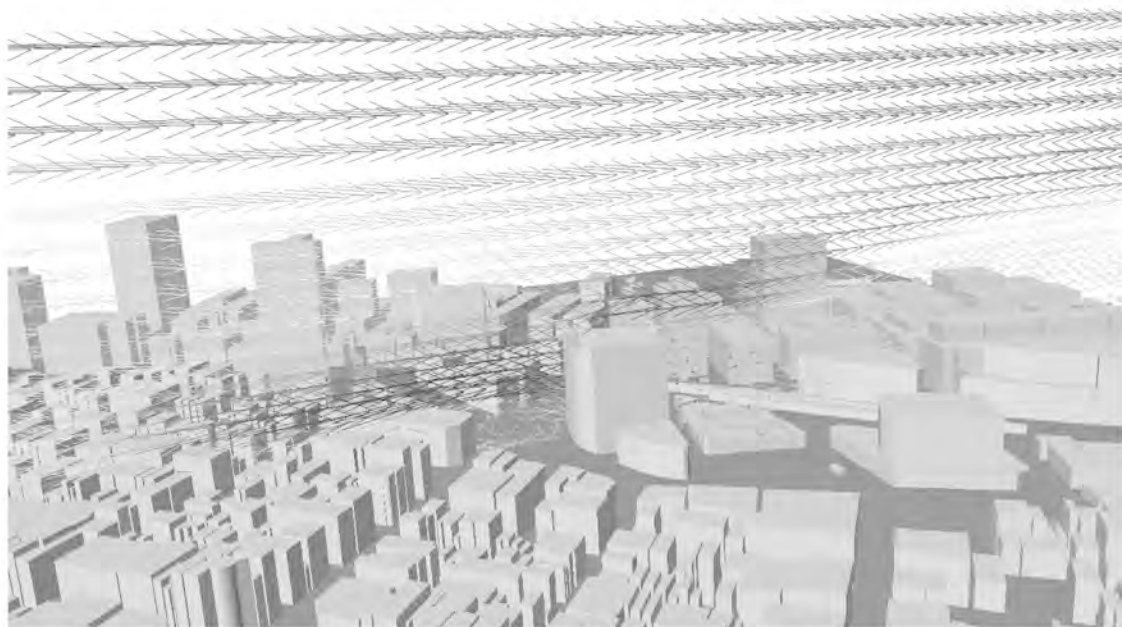


図 20 中・高層市街地の海風のシミュレーション結果



図 21 新橋・汐留付近のシミュレーション結果（風速・風向、地上高さ 10m）

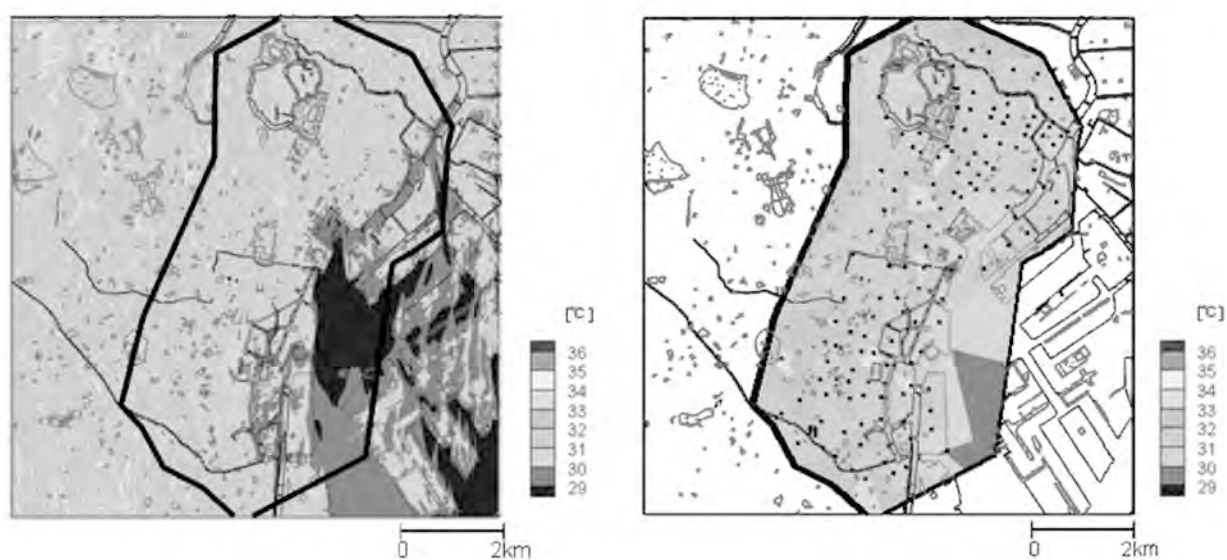


図 22 地球シミュレータによる計算結果（左）と大規模実測調査結果（右）との比較

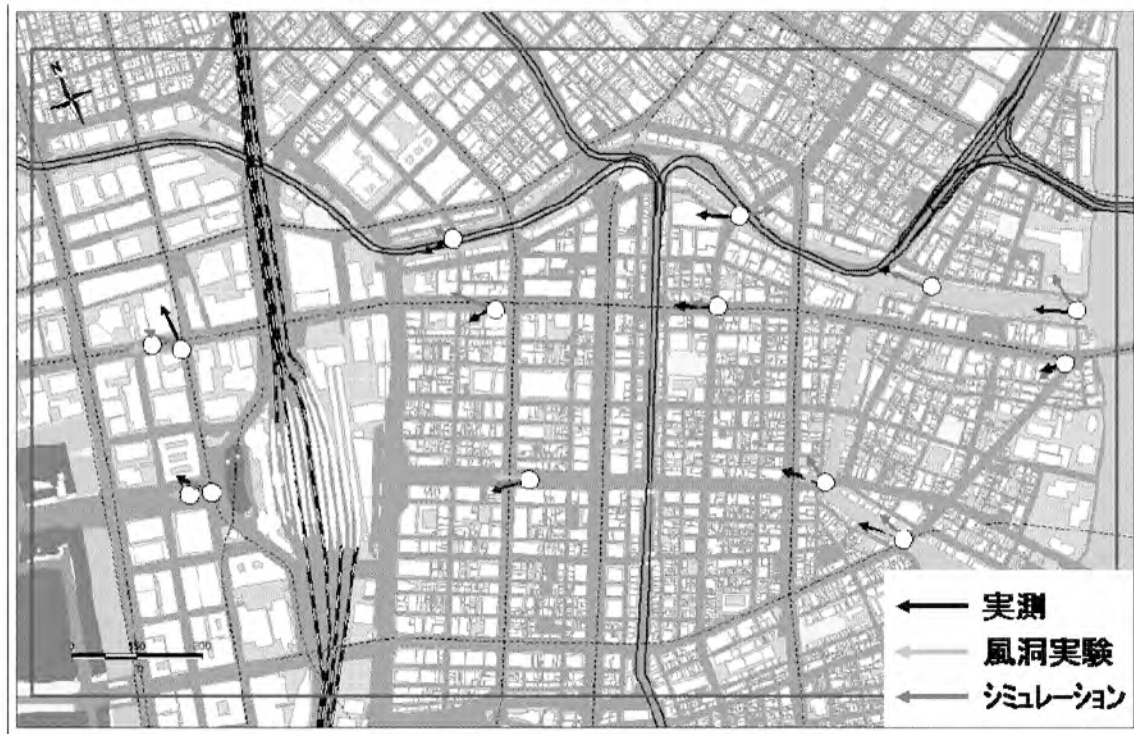


図 23 実測調査と風洞実験、シミュレーションによる風向・風速の比較



日本橋みち会議検討案
(高架地下化・河岸建物低容積化)



東京駅八重洲口開発計画
(駅ビル撤去・ツインタワー建設)

図 24 東京駅・日本橋川周辺の市街地改造のイメージ



図 25 東京駅周辺の現状の風の流れのシミュレーション結果
(2005 年 7 月 31 日正午の気象条件で計算、地上高さ 30m)



図 26 東京駅周辺の市街地改造後の風の流れのシミュレーション結果
(2005 年 7 月 31 日正午の気象条件で計算、地上高さ 30m)

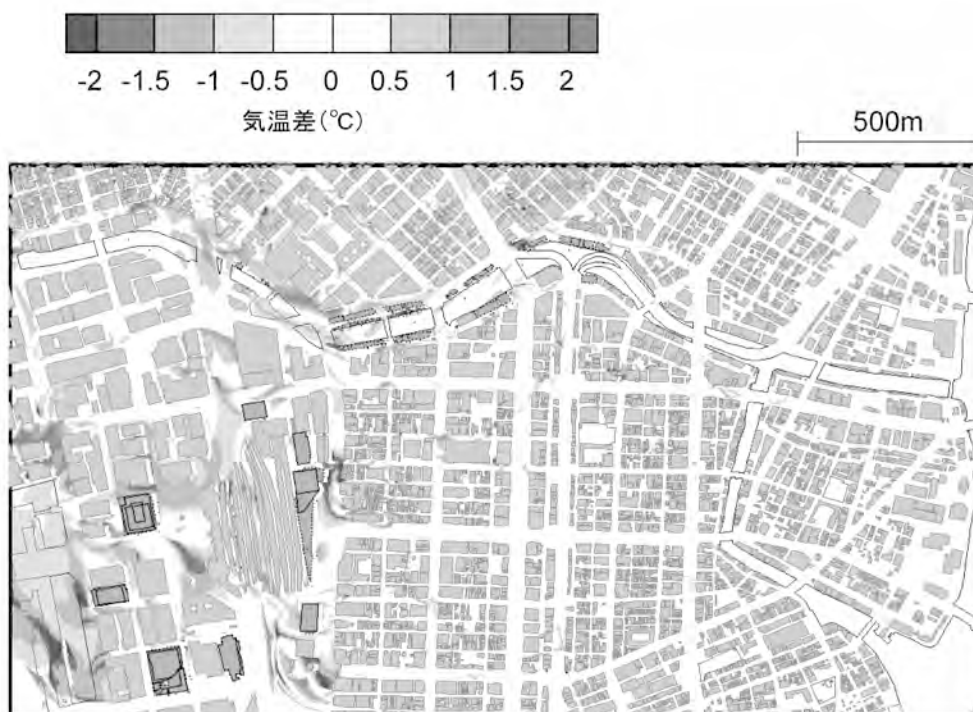


図 27 東京駅周辺の市街地改造による気温変化のシミュレーション結果

3. 4 地理情報の高度化・活用技術の開発

都市全域に及ぶヒートアイランド現象や対策効果のシミュレーションには、ヒートアイランド現象の要因となる土地被覆分布や地物の表面温度、建物等の構造物、樹林、地形といった市街地の凹凸を精緻に再現した3次元データが入力データとして必要不可欠である。

そこで、これらの莫大な地理情報を都市全域にわたって高精度かつ効率的に整備するために、航空レーザ測量等の最新の測量技術を活用した都市3Dデータや植生の3次元構造データ等の取得技術、及び衛星データと既存地理情報を組み合わせた土地被覆データの整備技術を開発した（図 28）。

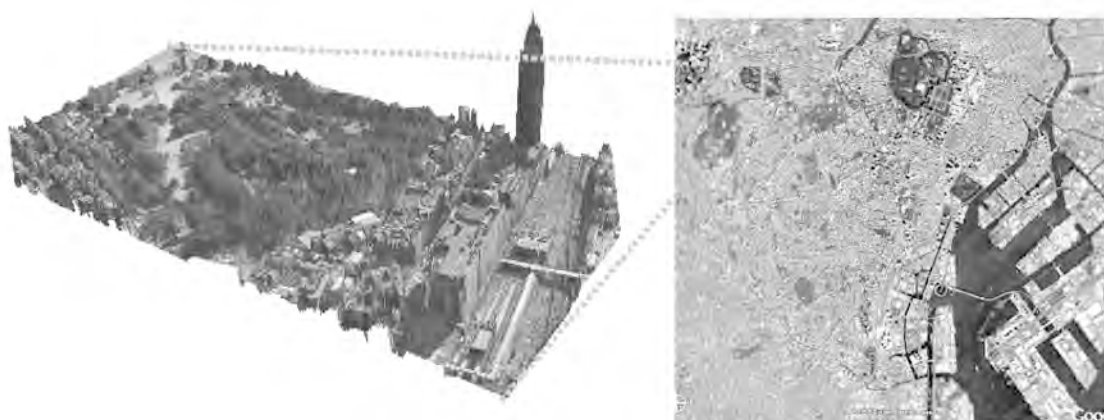


図 28 シミュレーションの入力データとして必要な各種地理情報の整備技術の開発

3. 5 パソコンによる対策効果シミュレーションソフトの開発

前述3. 3の地球シミュレータによる対策効果シミュレーション技術を、国や地方公共団体などに向けて実用化（図29、30）するために、パソコン上でもシミュレート可能なソフトを試作するとともに、東京都新橋・虎ノ門地区を対象に幹線道路整備、屋上緑化、保水性舗装、省エネによる総合的な対策効果のシミュレーションのケーススタディを行った。

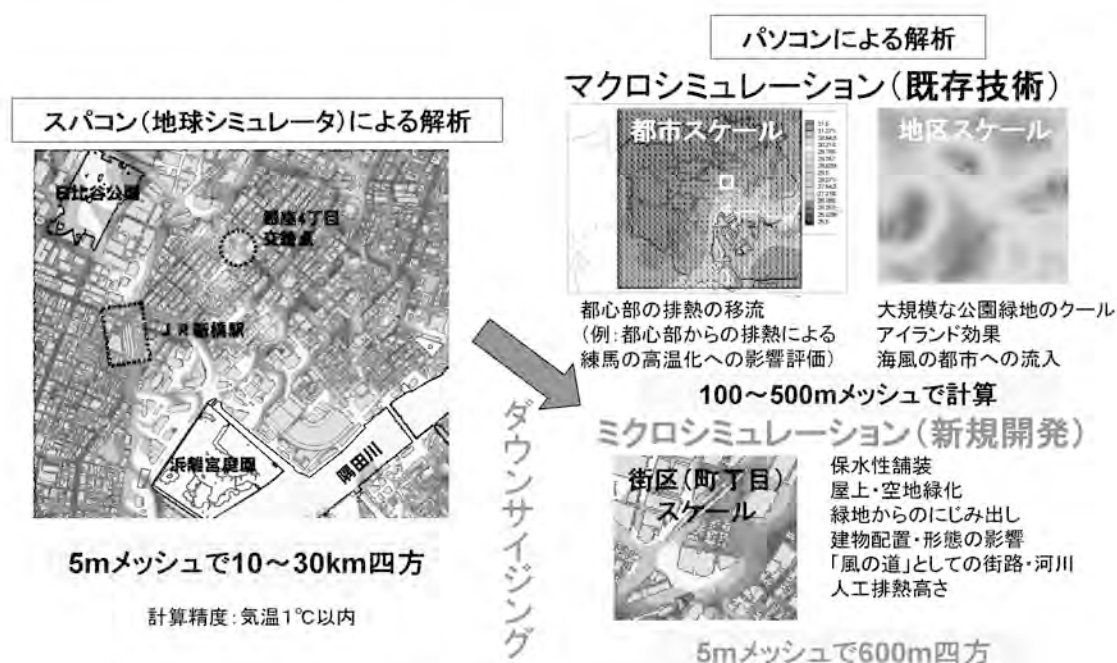


図29 シミュレーション技術のパソコンソフトへの実用化



図30 シミュレーションの手順のイメージ

このシミュレーションソフトは 600m 四方の範囲を 5 m メッシュで高さ 500m までの範囲をパソコン上で計算可能であり、ケーススタディでは対象地区において、ヒートアイランド対策として、屋上緑化、地上緑化（保水性舗装）、省エネによる人工排熱削減、幹線道路整備による風通しの確保について個別の対策効果を予測（図 31）でき、さらにそれらを総合化した効果もシミュレート可能になっている（図 32）。

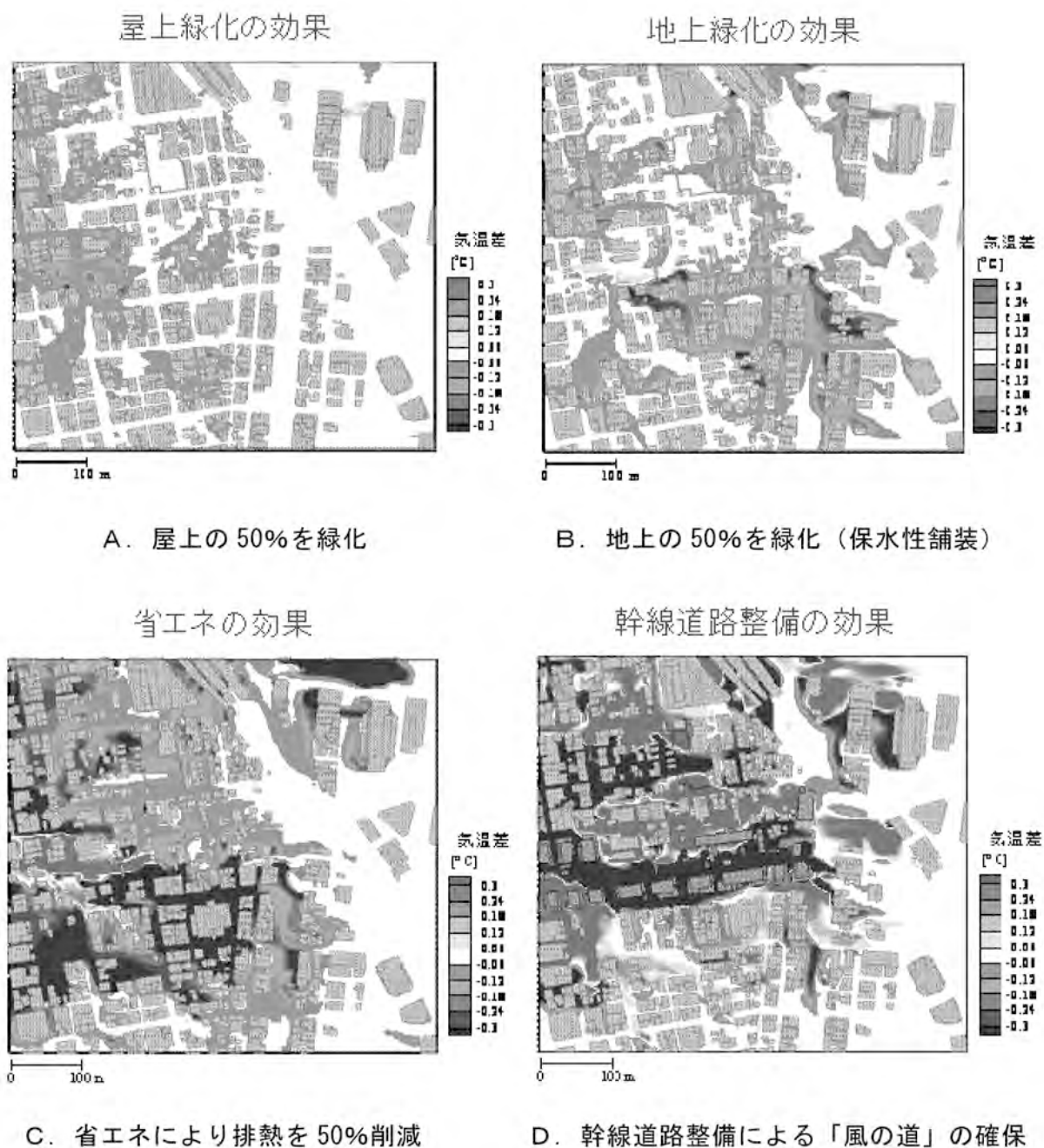


図 31 開発したパソコンソフトによる各種ヒートアイランド対策効果

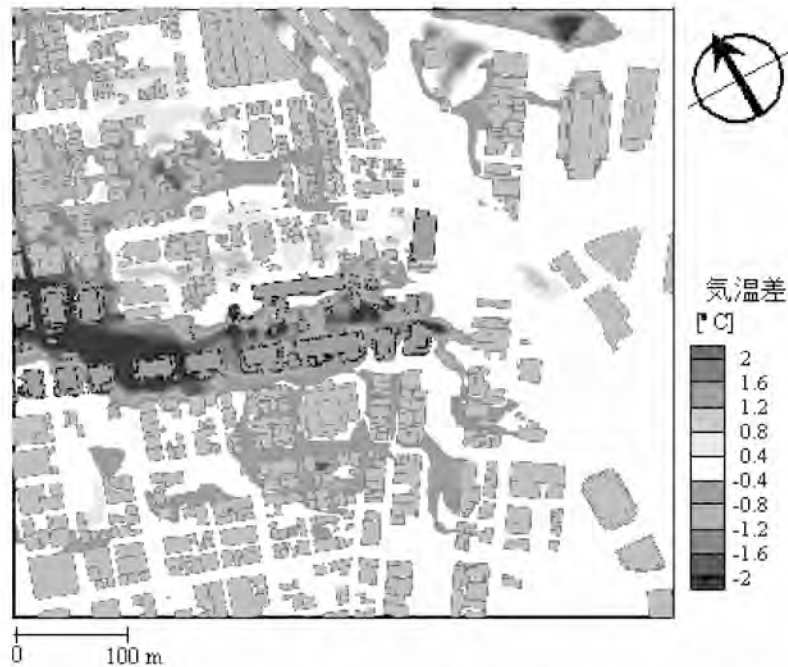


図 32 開発したパソコンソフトによる総合的な対策効果

4. 技術開発成果の普及に向けて

技術開発成果として、地球シミュレータによる対策効果シミュレーション技術を国や地方公共団体などに向けて実用化するために、パソコン上で様々なヒートアイランド対策の効果を検討可能なシミュレーションソフトを開発した。

引き続き、本技術開発プロジェクトで開発したこのパソコンソフトを、より使いやすく改良して、国や地方公共団体、まちづくりNPO、民間事業者等向けに実用的な評価ツールとして提供することを目指している。

さらに、昼夜間を通じた対策効果や体感評価、地域特性に応じた対策メニューの整理、都市計画運用指針への展開等に関する検討も行う予定である。

謝辞

本技術開発プロジェクトの推進にあたって設置された検討会において、以下の学識経験者の委員の皆様から多大なる御助言を受けました。ここに記して謝意を表します。

尾島俊雄座長（早稲田大学教授）、花木啓祐委員（東京大学大学院教授）、梅干野晃委員（東京工業大学大学院教授）、丸田頼一委員（千葉大学名誉教授）、三上岳彦委員（首都大学東京大学院教授）、成田健一臨時委員（日本工業大学教授）

東京臨海・都心部の大規模実測調査は、早稲田大学尾島研究室、首都大学三上研究室、日本工業大学成田研究室の多大な御協力を頂きました。また気象観測装置の設置にあたり、ご理解・御協力頂きました関係各位に記して謝意を表します。

付記

本技術開発プロジェクトの内容や技術開発成果、5回にわたって開催された検討会資料、並びに記者発表資料等は、下記のウェブサイトにおいて公開している。

<http://www.nilim.go.jp/lab/jeg/heat.htm>

船舶動静把握システム（AIS）による港湾整備の新たな展開

ーレーダを超えるシステム開発の効用ー

港 湾 研 究 部 長

高 橋 宏 直

船舶動静把握システム（A I S）による港湾整備の新たな展開 ～レーダを超えるシステム開発の効用～

港湾研究部長 高橋宏直

1. はじめに

2000年のS O L A S条約（Safety Of Life At Sea convention：海上における人命の安全のための国際条約）の改訂により、外航船のみならず内航船ともに一定規模以上の船舶へのA I S（Automatic Identification System）の搭載が義務化された。このA I Sは、もともとはレーダでの探知が困難な船舶の動静情報を得る手段としてスウェーデンで考案された装置であるが、陸上に受信局を設置することで周辺海域の船舶動静を把握するための有効な手法として検討されてきた。さらに、この手法により従来の手法よりも船舶動静の把握を遥かに効率的に実施できることから、今後の港湾整備を検討するための有効な手段とすることが期待されていた。

このため、港湾研究部港湾計画研究室では東京湾について複数のA I S受信局を設置することで湾域内の船舶動静の把握をリアルタイムで可能とすると共に、得られたデータを様々な観点から解析できる国総研船舶動静解析システム（NILIM-AIS）を開発した。

また、A I Sデータは国際的に統一規格であることから、このNILIM-AISにより東京湾データのみならず国内外で取得された他の海域のデータについても解析することが可能である。実際に、東京湾のみならず国内の主要な港湾・海域、また海外の主要港湾のA I Sデータについて、このNILIM-AISを用いて解析を実施した。

本報告では港湾計画研究室が取得・購入したデータ、また、各地方整備局から提供されたA I Sデータを用いた解析結果の具体例とともに名古屋港の海上工事現場への適用例を示すことで、今後の港湾整備の新たな展開に期待される視点を明らかにする。

2. AISおよびAIS陸上局の概要

2.1 AISの概要¹⁾²⁾

2.1.1 AIS導入の経緯

A I S（Automatic Identification System）は、レーダでの探知が困難な船舶の動静情報を得る手段としてスウェーデンで考案された。北欧のスウェーデンの近海には約3000もの島々が存在しているとともに、海岸線がフィヨルド構造となっていることから、レーダでは島影や半島により探知が困難な状況が生じており、その結果に生じる船舶同士の衝突を解消することが目的であった。

1980年代後半において、I A L A（International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities：国際航路標識協会）の委員会において初期のA I Sの検討が開始された。その後I M O（International Maritime Organization：国際海事機関）のM S C（Maritime Safety Committee：海上安全委員会）において検討が

なされて、A I Sの性能は以下の仕様とすることが確認された。

- ①船舶相互間および船舶・陸上局間の両モードで動作すること
- ②自立的・自動的かつ連続的であること
- ③高更新率（1秒まで下げられること）であること
- ④高通信容量であること
- ⑤放送モードで動作すること
- ⑥航海の妨げにならないこと

このA I Sの性能が確認されたことを受けてI T U（International Telecommunication Union：国際電気通信連合）において性能要件，I E C（International Electrotechnical Commission）では機能・性能に対するテスト要件を国際規格化する作業を実施した。さらにI A L Aでは運用要件のガイドラインを策定した。これら4つの国際機関での検討が同時並行的に実施された後に、2000年12月にI M OのM S Cは、S O L A S条約を改訂し、船舶へのA I Sの搭載を義務化するとともに搭載開始を2002年7月とすることを承認した。ここで、国際航海に従事する総トン数300トン以上のすべての船舶及び国際航海に従事しない総トン数500トン以上の貨物船及び旅客船（その大きさは問わない）にはA I Sを備えることとされた。なお、この時点では船舶の種類に応じて2008年7月までに段階的に搭載される予定であったが、その後の米国からの強い要請により国際航海船の搭載期限が2004年末までとされた。ただし、非国際航海船は、従来とおり2008年7月までとされた。

また、このS O L A S対象船舶搭載用は【クラスA A I S】と分類されるが、それ以外にS O L A S非対象船舶搭載用の【クラスB A I S】他に分類されている。本報告では、【クラスA A I S】を対象としており、特に明記しない限りこれをA I Sとして表記している。

2.1.2 システム構成

A I S構成の一般的な構成は、図-2.1に示すようにV H FアンテナとG P Sアンテナを外部的に取り付け、これらのアンテナからのケーブルをA I Sトランスポンダに接続するとともにG P S、ジャイロ等からの信号を取り込み、A I Sの通信プロトコルに従ってデータ処理を行って自船データを放送するとともに他船データを受信して、表示器へ出力する構成となっている。

2.1.3 AISの通信情報内容

A I Sから発信されるメッセージ内容は主に以下のとおりである。ただし、現実的には情報の欠損あるいは誤入力されている場合が多いことに注意が必要である。

①固有情報（＊注）

- ・M M S I（Maritime Mobile Service Identities）番号：海上移動業務識のためにそれぞれのA I S機器に付けられた識別信号のこと
- ・I M O番号：I M O（International Maritime Organization：国際海事機関）が付け

た船舶識別番号のこと

- ・呼出番号（コールサイン）：無線局を一意に識別するための文字列
- ・船名
- ・船舶の種類
- ・船体の諸元（長さ，幅）

＊注：一般的には【静的情報】と表現されるが，本研究では理解を容易にするために【固有情報】と表記する。

②動的情報

- ・自船位置（緯度・経度）
- ・世界標準時
- ・対地針路
- ・対地速度
- ・船首方位
- ・回頭率
- ・精度およびセンサーの状態
- ・航海ステータス（航行中，停泊中，運転不自由，動作制限他）

③航海関連情報

- ・喫水
- ・積載物
- ・目的地
- ・到着予定時刻

④安全関連通信文

- ・放送通信文
- ・宛先付通信文

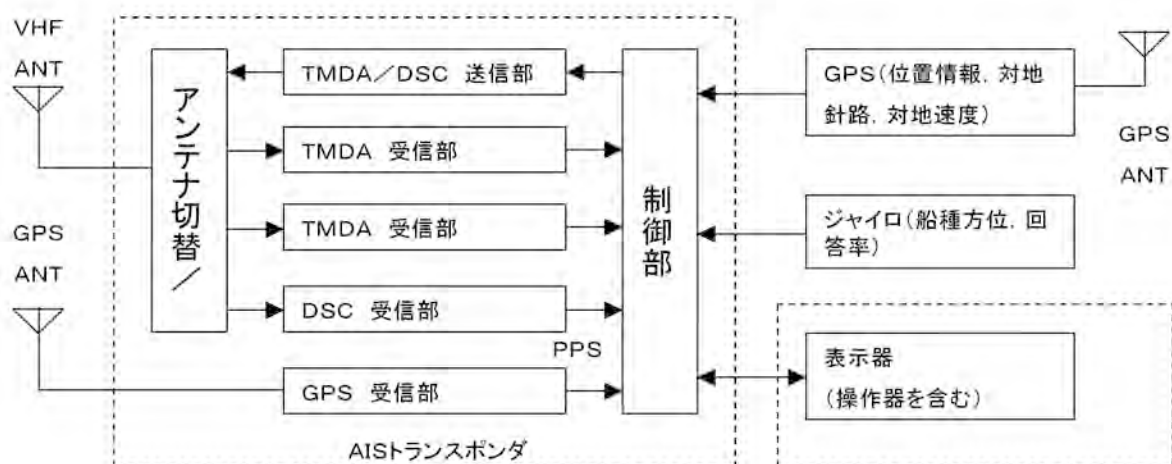


図-2.1 AISの一般的なシステム構成¹⁾

2.1.4 ローカル・ルール

A I S の搭載については、先に示したように国際航海船では全客船と300 G T 以上の船舶、非国際航海船では全客船と500 G T 以上の船舶とされているが、次のように搭載義務に関してローカル・ルールが設置されている場合がある。

①米国近海航行船

- ・ 65フィート以上の自走船
- ・ タグ（26フィート，600馬力以上）
- ・ 規定客数以上の客船
- ・ 別途要請される船舶

②パナマ運河

- ・ パナマ運河を航行する全船舶
- ・ 1 個のパイロットプラグと電源を船橋表中央部に設置

③セント・ローレンス水路

- ・ 水路航行の許可を有する300 G T 以上，船長20m以上の船舶
- ・ 50名以上を乗せる客船
- ・ 8 m以上のプレジャーボート，タグ等
- ・ 1 個のパイロットプラグと電源を船橋操船場所に設置

2.2 AIS陸上局の概念

A I S は図-2.2に示すように船舶同士が情報を送・受信することが基本である。港湾あるいは東京湾に代表されるような湾域では、図-2.3に示すように陸上にA I S 基地局を設置することで地先を航行する船舶から発信する情報を受信することが可能となる。

わが国の主要海域においても、海上保安庁で陸上に設置されたV T S（Vessel Traffic Services）センターではレーダ情報にA I S 情報を統合して活用することが進められている。また、スウェーデンでは沿岸域および内陸水路を含む領海全域をカバーするように陸上局の設置が進められているなど、各国において陸上局の設置が進められている。



図-2.2 船舶同士での情報の送・受信

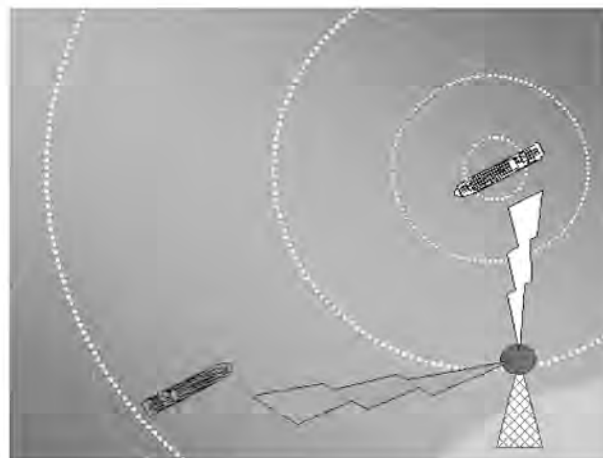


図-2.3 A I S 陸上局での情報の受

2.3 NILIM-AIS 東京湾ネットワークの構築

従来および現状においても船舶の動静を広域的に観測するためには、一般的にはレーダが用いられている。このレーダによる手法では、広域的な監視や小型船を含めた監視は可能であるものの船名等により船舶を特定することは容易ではなく、目視あるいは個別に無線で問い合わせして確認することが必要であった。例えば、これまでの東京湾を対象とした船舶動静実態分析は、数日間のレーダ観測と同時に目視観測により実施されてきた。ただし、この観測は多くの手間と多額の費用が必要となることから1年間を通してのデータ取得は困難であり、また数年間隔でしか実施されていなかった。

このため、港湾計画研究室では東京湾を対象にAISを活用して船舶の動静を広域的にリアルタイムで観測するとともに取得したデータを解析するシステムを構築した。ここで、東京湾はAIS陸上局1ヶ所では全域をカバーすることはできないために、当初には千葉港、京浜港、久里浜（国総研横須賀）の3ヶ所に受信局を設置した。その後、受信局を設置した京浜港湾事務所の移設が生じたことから、千葉港と久里浜の2ヶ所で東京湾全域をカバーできることを確認したうえで京浜港のアンテナを久里浜に移設した。その際に、東京湾外を含めた受信範囲を拡大できるように受信周波数を地域周波数から国際周波数に変更した。これらの受信局の情報をインターネットで久里浜基地局に集約するとともに、さらに、船舶の動静状況をインターネットによりほぼリアルタイムで提供することを実現した。

このシステム構成図を図-2.4に、またインターネットによるウェブサイト画面を図-2.5に示す。

3. 国総研船舶動静解析システムの構築

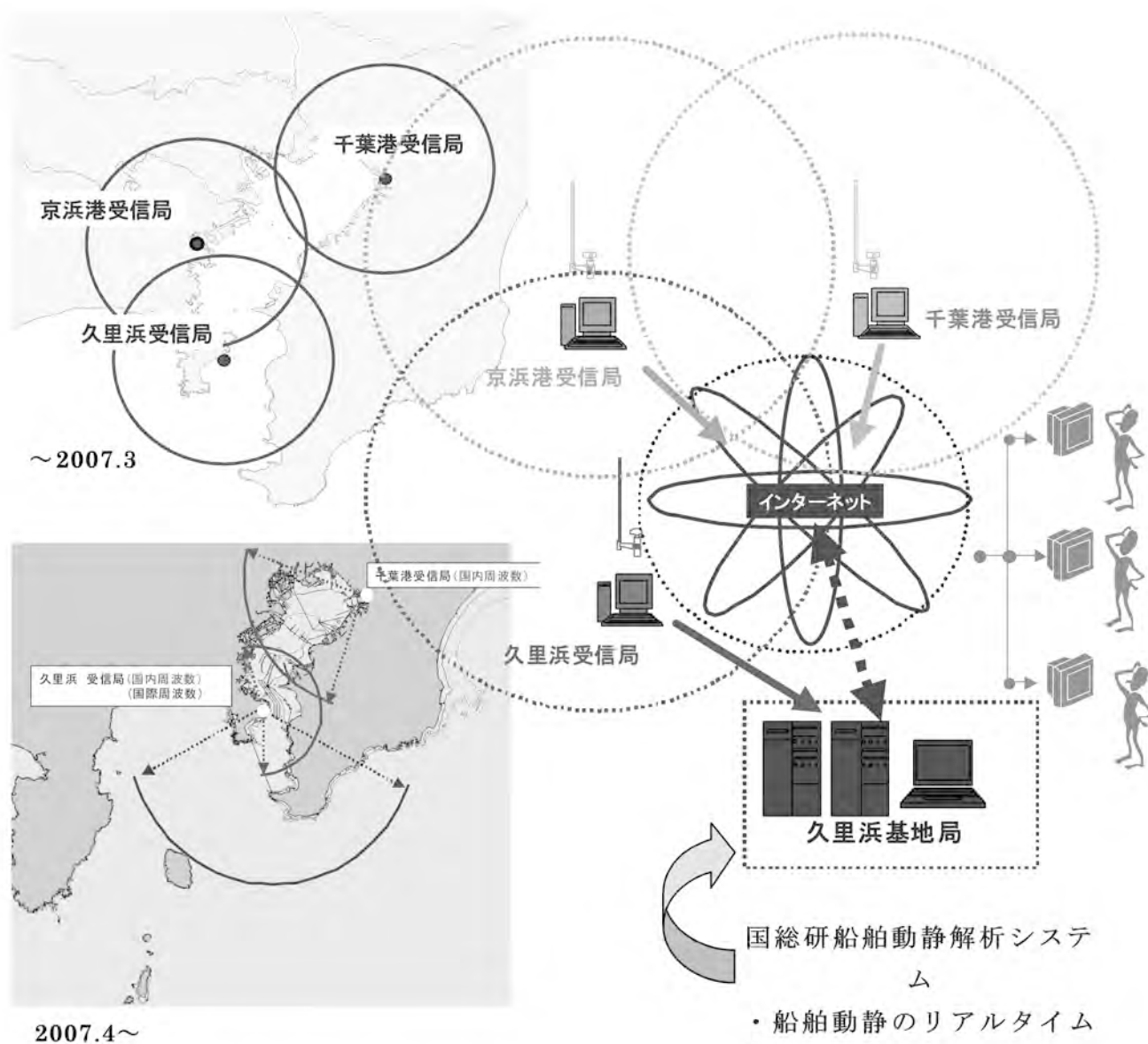
港湾計画研究室では、久里浜基地局に集約されたAIS情報をリアルタイムで観測するとともにデータを解析するためにAIS船舶動静解析システムを構築した。具体的な観測機能および解析機能を以下に示す。

3.1 船舶動静のリアルタイム観測機能

船舶動静のリアルタイム観測での主な機能は以下のとおりである。

- ①航跡の表示
- ②船型（マーカー、実サイズ）の表示
- ③船舶諸元・運航情報の表示
- ④船舶の検索
- ⑤特定船舶の追跡

このリアルタイムで観測している状態での画面を図-3.1～3.2に示す。図-3.1では三角形(△)のマーカーで表示している。画面の右上には観測中の船舶リストを、画面の右下には選択した船舶の情報を示している。なお、ここでの喫水は国際的なロイズデータから得られる満載喫水(dmax)とAISの航海情報とし受信した喫水



千葉港基地局の受信アンテナ



久里浜基地局の受信アンテナ

図-2.4 国総研AISネットワークシステム構築

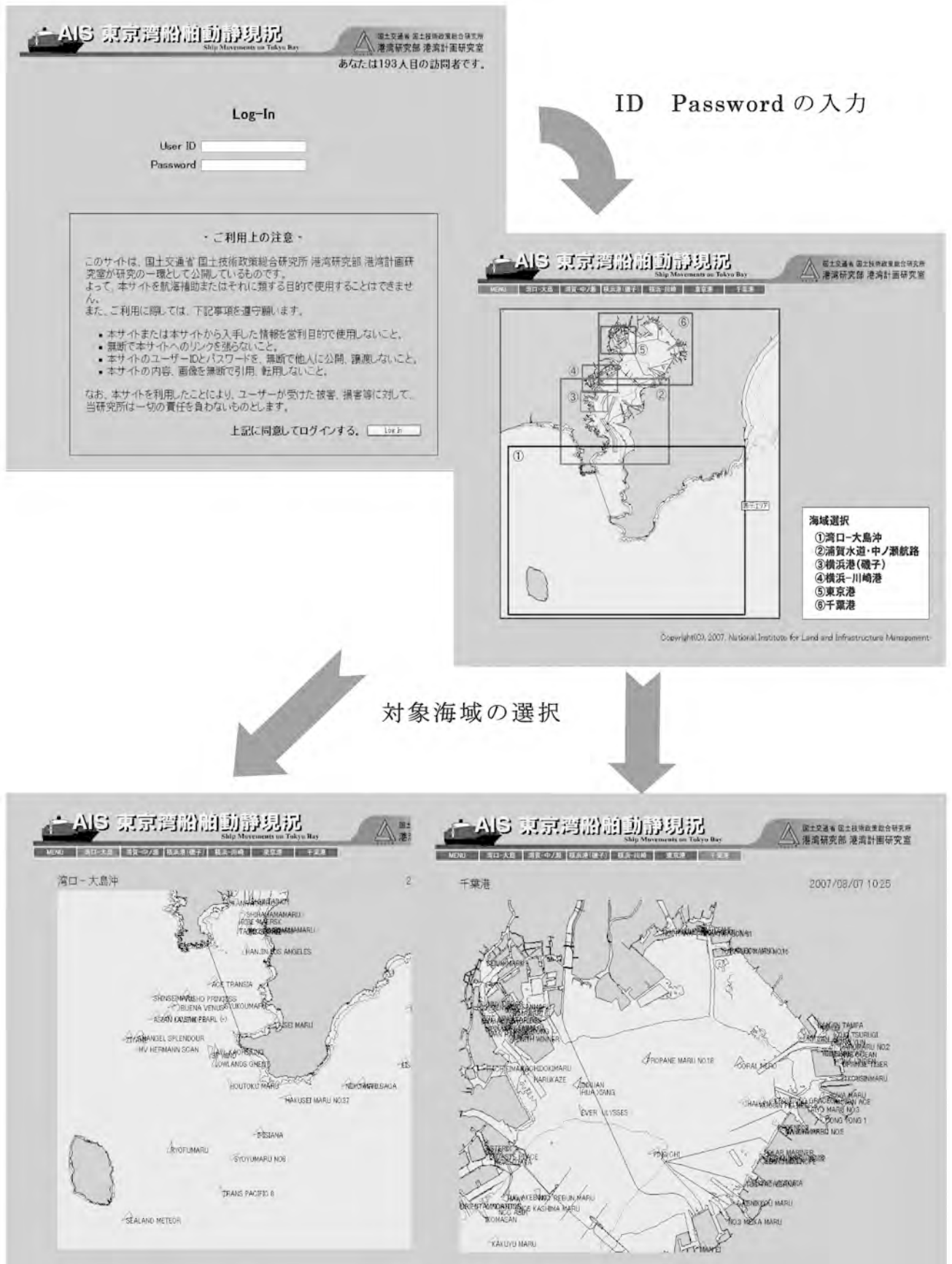


図-2.5 国総研AISネットワークでのインターネットによるウェブサイト画面

情報(dais)を併記して表示している。図-3.1 では三角形(△)マーカーの横に船名を表示させた画面を示している。また図-3.2 では画面の右上に示すように観測船舶を船種別に区分して、コンテナ船のリストを表示している。

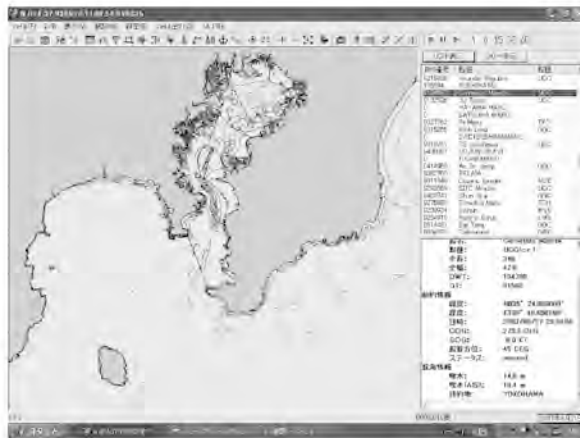


図-3.1 リアルタイムでの観測画面

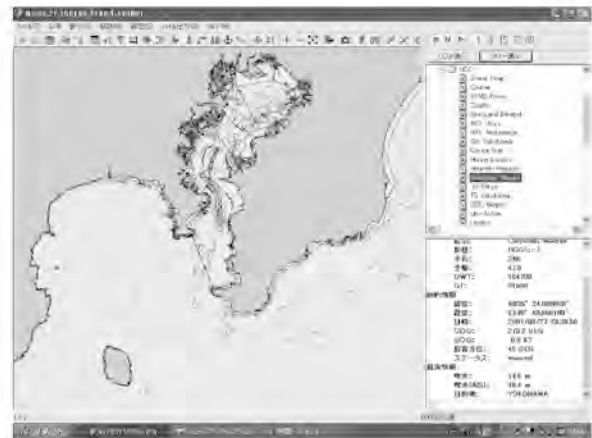


図-3.2 リアルタイムでの観測画面（コンテナ船を選択）

3.2 船舶動静のデータ解析機能

船舶動静のデータ解析での主な機能は以下のとおりである。

- ①過去の船舶動静データの再生
- ②航跡の表示
- ③表示船舶の選択
- ④動静分析対象領域の指定
- ⑤領域内船舶隻数の計測
- ⑥船舶の諸元データが欠損している場合には別途のデータベースからの補填

このデータ解析の事例については、4.において具体的に実施した結果として示す。また、港湾計画研究室で取得した観測データ以外に他機関での観測データについても同様の解析を可能としている。なお、海図については、国内および釜山港についてはE R C（航海用電子参考図）海図データを用いている。このE R C海図データは（財）日本水路協会発行の電子海図データであり、日本全国の沿岸海岸が9海域に分割されて登録されている。

また、海岸の港湾（釜山港を除く）については、港湾計画研究室において紙ベースでの海図をベクタースキャンした後にD X F形式に変換したデータを活用している。一般的にE R C海図データに相当する海外の電子海図の入手は容易ではないために精度が多少劣るものの、この手法は費用対効果の観点から非常に有効である。

4. NILIM-AISによる解析事例：日本の4大湾域および海外主要港湾での航行実態比較

NILIM-AISでは、東京湾以外で観測されたA I Sデータについても同様の解析を行うことが可能である。このため、東京湾と国内での大阪湾、伊勢湾、関門航路および海外のロッテルダム港、釜山港、ロサンゼルス港・ロングビーチ港、高雄港との比較分析を実施した。各湾・港湾に対する航跡図の結果を図-4.1～4.8示す。ま

た、東京湾については、1年後の2007年8月10日についての航跡図を図-4.9に示す。これらの図において白線で設定したエリア内を対象として船種ごとに隻数を分析した結果を表-4.1に示す。

この2006年8月10日は、AISの搭載が全対象船舶に義務化されている以前であることから完全な比較評価はできないものの、全くの同一日であることから非搭載船に関する同様の精度での比較分析が可能であると考ええる。ただし、2008年7月以降の観測データを用いた比較分析を再度実施することが望ましい。

ここで、東京湾のデータはNILIM-AISで観測されたデータであり、また、大阪湾は近畿地方整備局神戸港湾事務所、伊勢湾は中部地方整備局名古屋港湾事務所、関門航路は九州地方整備局関門航路事務所から提供して頂いた観測データである。一方、海外の4港湾については、LMIU（Lloyd's Maritime Intelligence Unite）社から港湾計画研究室が購入したデータである。

この表-4.1から24時間に観測された全船種の隻数が200隻を超えているのは東京湾、ロッテルダム港、釜山港であり、これらは、概ね240隻前後となっている。ただし、全長200m以上の大型船については、全体では102隻しか観測されなかったロサンゼルス港・ロングビーチ港が最大の40隻となっており、特に多いことが明らかになる。また、船種別に比較してもそれぞれの特徴が明らかになる。

なお、東京湾での全船種の隻数が2006年の233隻から283隻と20%以上も増加している。これは、この1年間に於いて非国際航海船（いわゆる内航船）におけるAISの搭載が進んだ結果と考えられる。また、表-4.1での船種はNILIM-AISに内蔵しているLMIU Shipping Dataに基づいている。



図-4.1 東京湾 (06.08.10)

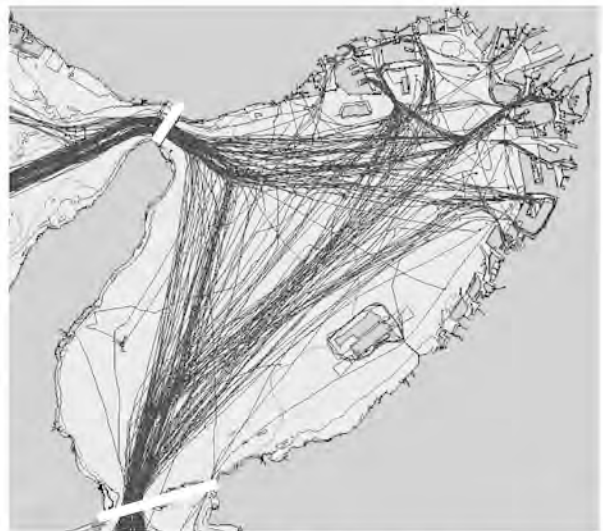


図-4.2 大阪湾 (06.08.10)

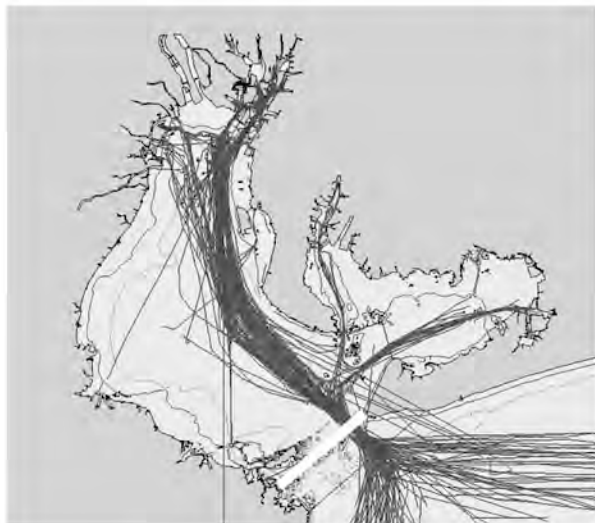


図-4.3 伊勢湾 (06.08.10)

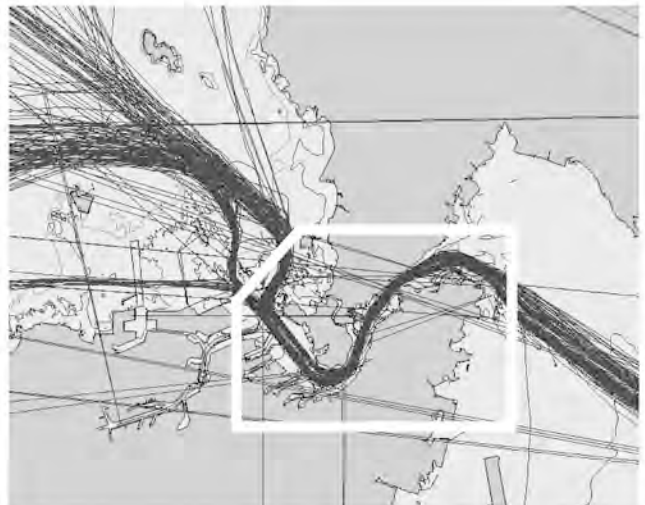


図-4.4 関門航路 (06.08.10)

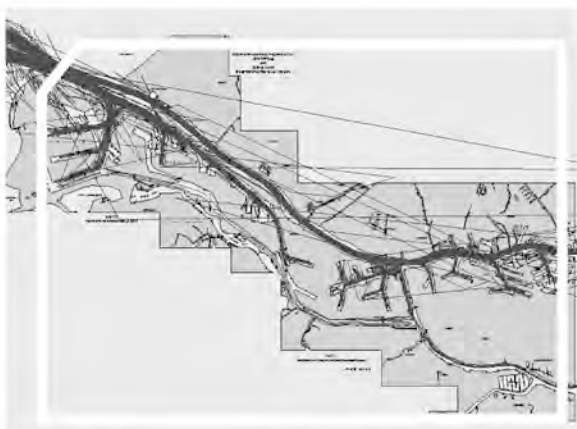


図-4.5 ロッテルダム港 (06.08.10)



図-4.6 釜山港 (06.08.10)

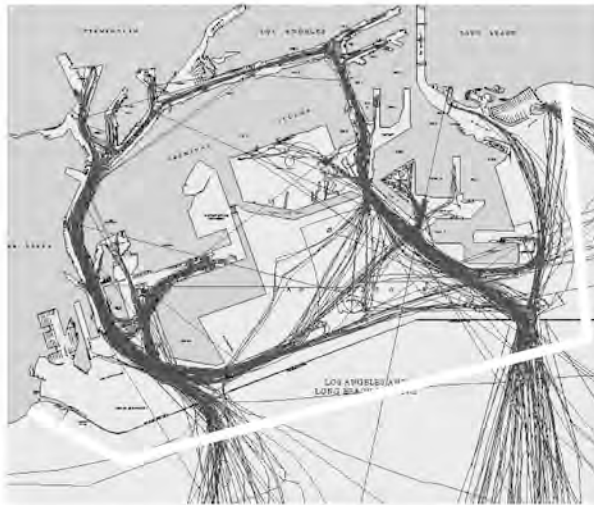


図-4.7 ロサンゼルス港・ロングビーチ港(06.08.10)

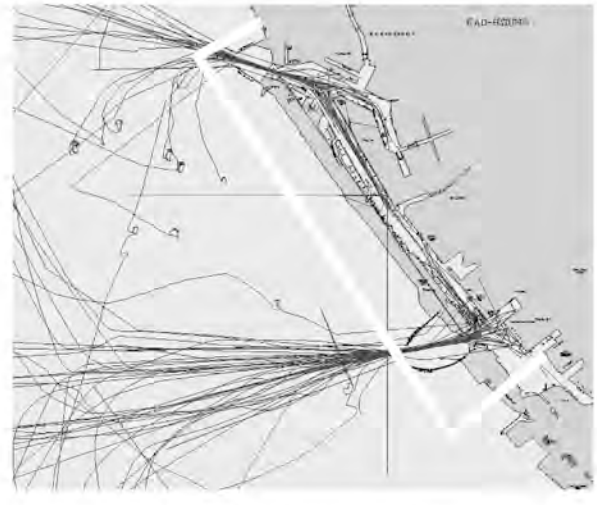


図-4.8 高雄港(06.08.10)



図-4.9 東京湾(07.08.10)

	全船種	Loa=200m以上	Loa=200m未満	コンテナ船	コンテナ船 Over Panamax	コンテナ船 Panamax	コンテナ船 Under Panamax	一般貨物船	バルク船	PCC船+ RORO船
東京湾	233	27	206	40	4	8	28	64	13	17
大阪湾	182	21	161	37	5	5	27	50	13	13
伊勢湾	158	29	129	35	4	5	26	37	13	20
関門航路	174	4	170	42	1	2	39	56	6	2
ロッテルダム港	243	24	219	35	8	4	23	59	9	10
釜山港	244	17	227	58	2	7	49	41	4	4
LA港・LB港	102	40	62	30	14	8	8	2	8	5
高雄港	97	25	72	30	10	7	13	28	20	0
東京湾(2007)	283	32	251	36	5	7	24	58	13	17

※LA港・LB港は、ロサンゼルス港・ロングビーチ港を示す。

表-4.1 4大湾域および海外主要港湾での航行実態比較の結果

(2006.8.10 24時間での観測隻数, 東京湾(2007)は2007.8.10 24時間)

5. 航行監視に関する国総研の国有特許

この NILIM-AIS の構築の過程で、現時点で国総研は単独で 4 件の国有特許を取得している。また、これら以外に民間企業と 1 件の特許を取得している。以下に主要な国有特許の概要を示す。

5.1 海上構造物周辺海域での航行監視システム(特許第 3851957)

港湾施設、海上空港施設、海上工事現場等では、安全性の確保のために周辺海域での航行実態をリアルタイムで監視することが求められる。船舶が一定距離以内に接近した場合には危険であると判定し、事故防止等のために対策を図ることが重要となる。このために、以下の対応を実施することで安全性を確保する。(図-5.1)

- ① 構造物・現場周辺海域での AIS による船舶動静の把握
- ② 船舶諸元 DB から船体規模を検索し船舶占有域の設定
- ③ 海上構造物を中心とする境界ラインの設定
- ④ 船舶占有域と境界ラインとの比較による安全性評価

5.2 海上空港進入表面周辺での航行監視システム(特許第 3689744, 3763004)

羽田空港に代表される大規模港湾に近接する海上空港では、滑走路の進入表面と船舶のマスト先端部との接触について監視することが求められる。この場合、接触する可能性のある船舶が進航してくる場合には危険であると判定して、危険回避等のために対策を図ることが重要となる。このために、以下の対応を実施することで安全性を確保する。ここでは、2 手法について特許を取得している。(図-5.2)

- ① 進入路付近での AIS による船舶動静の把握
- ② 船舶諸元 DB から H_0 : 船舶高さ d_{max} : 満載喫水を検索
- ③ 潮位 Δh の把握
- ④ 海面からのマスト高 = $H_0 \cdot \alpha \cdot d_{max} + \text{潮位調整}$ α : 安全率 1
(あるいは) = $\beta (H_0 \cdot d_{max}) + \text{潮位調整}$ β : 安全率 2
- ⑤ マスト高と進入表面との比較による安全性評価

これら以外に、「海中構造物周辺海域での航行監視システム(特許第 3851958)」を取得している。



図-5.1 国総研—国有特許(3851957)

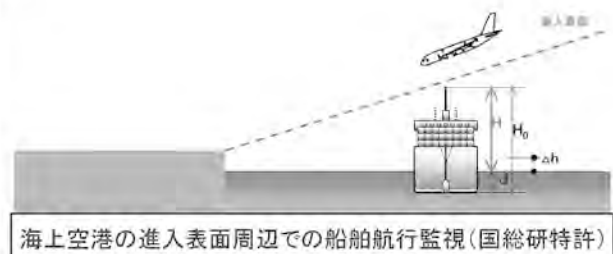


図-5.2 国総研—国有特許(3689744, 3763004)

6. NILIM-AIS の実用化—名古屋港の海上工事における航行監視システムの開発

NILIM-AIS の実用化として名古屋港湾事務所と国総研は共同で、名古屋港飛島地区（図-6.1）での施工管理における航行監視システムの開発を進めている。

ここでは、この現場で作業する大型海上作業船が安全かつ効果的に海上工事を実施するために、隣接の既設バースに接岸する大型コンテナ船および前面海域を航行する大型バルク船（以下 監視対象船舶）の航行情報を十分に把握することが必要である。特に、大型海上作業船は運動性能が低く、移動する場合には十分な時間を確保することが必要であり、また監視対象船舶との間隔を適切に確保することが必要である。

このために、監視対象船舶が伊良湖水道を通じた段階から海上工事現場までの航行状況を常に把握し、その動向情報を海上作業船のみならず工事現場関係者に対して逐次提供するシステムを開発した。このシステムの基本構成を図-6.2 に示す。

ここで、図-6.2 で示すように大きく2つのシステムにより構成される。第1のシステムは、図-6.2 の上段に示す名古屋港湾事務所が主体になって整備を進める基本システムである。このシステムが構築される現場事務所内の安全情報管理室では、受信したAIS情報を常駐の職員が監視対象船舶を直接に画面上で監視して、必要に応じて無線等で連絡することで安全を確保する。

第2のシステムは、図-6.2 上段に示す国総研が主体となって整備するシステムである。前述の国総研特許を基本として、受信されたAIS情報や関連情報を現地に設置したサーバーに送信し、文字情報と画像情報としてHP上に掲載するように改良を加えた。

この第2のシステムをリンクさせることで、以下に示すように大きく3つの観点から、名古屋港の海上工事施工現場における監視システムの機能及び信頼性を飛躍的に向上させることができた。

6.1 HP上での情報共有

ここで、図-6.3 にHPの最初ログイン名、パスワードを入力するための画面を示す。すなわち、不特定多数を対象としているのではなく、施工管理関係者のみ、HPを閲覧することが許可される。また、定期的にパスワード等を変更することで情報管理を実施する。さらに、航行監視の一例として図-6.4 の左図に示すように事前に設定された監視対象エリアを選択してクリックすると図-6.4 の右図のようにそのエリアでの航行状況が表示される。この図では、伊良湖水道から飛島地区までの全域を対象としている。ここでは、事務所のAISにおいて受信された船舶の位置および船名を表示するとともに、監視対象船舶については赤色で表示している。

HP上の画面は、現状では2分間隔で更新しており、船舶の速度を考慮すればほぼリアルタイムに近い状況で表示できていると考える。また、こうした画像情報とは別途に、詳細な情報を文字情報としても表示している。

このようにAIS情報等がHP上での情報となるので、パスワード等を保有して

いる関係者はほぼリアルタイムで情報を共有することができる。例えば、大型海上作業船上においてもインターネット通信が整備されていれば画像を確認することで情報共有が可能となる。

6.2 船舶のリアルスケール表示

図-6.4の左図の監視対象エリアとしての飛島地区を選択してクリックした結果、図-6.4の右図のように既設のコンテナバースに係留しているコンテナ船および周辺を航行している船舶がリアルスケールで表示される。

このように船舶情報を船舶諸元DBと統合することにより船舶形状が画面上にリアルスケール表示することで精度の高い監視が可能となる。



図-6.1 名古屋港飛島地区



図-6.3 NIP 画面イメージ

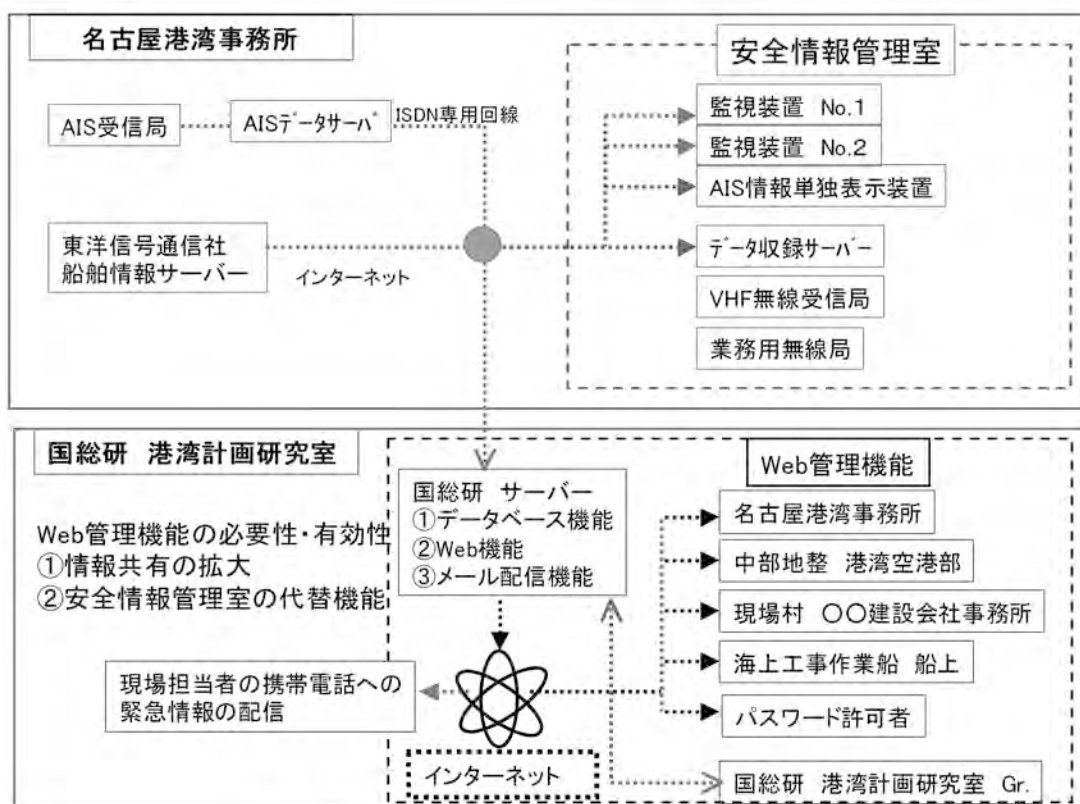


図-6.2 名古屋港 航行監視システム

6.3 システムのバックアップ

第1のシステムにトラブルが発生した場合においても、通電されていれば最低限の代替機能を果たすことが可能となる。

ただし、第1のシステムのようにH P画像を常時確認していることは困難なので、危険状態の判断ができない。このため、監視対象船舶に対してデジタル化された海図上に設定された接近限界ラインを超えた場合には登録された複数の現場担当者の携帯電話に緊急情報の配信できるように開発している。



図-6.4 名古屋港の航行監視状況-1

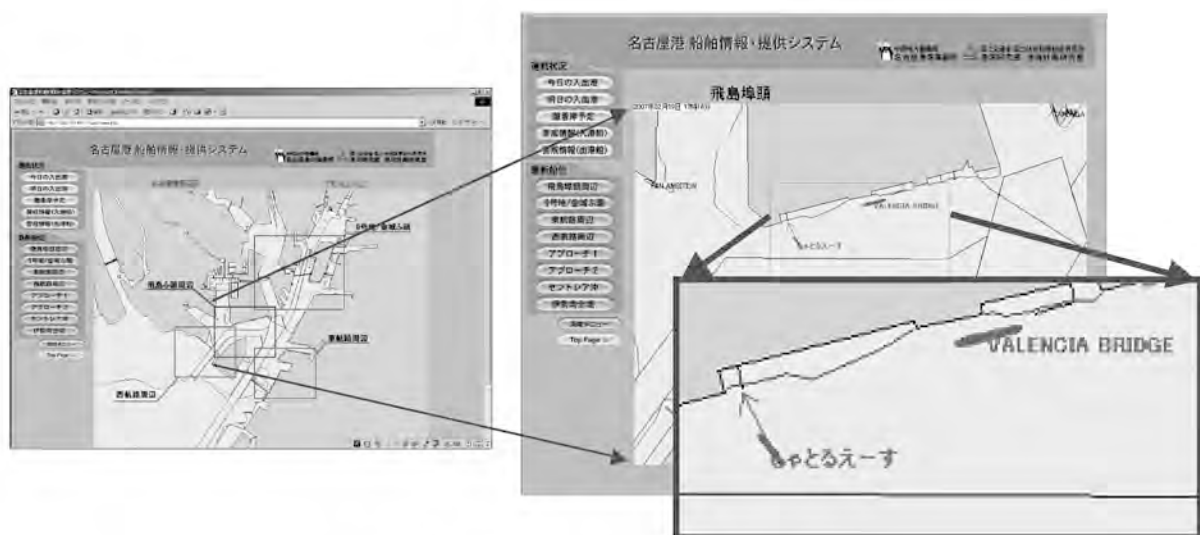


図-6.5 名古屋港の航行監視状況-2

7. おわりに

本報告では、東京湾のみならず各地方整備局から提供されたAISデータおよび海外の港湾でのAISデータについてNILIM-AISを用いた解析結果を具体的に示した。さらに、名古屋港における海上工事現場へ実際に適用した事例を示した。

これらにより、このAISを有効に活用することで港湾整備において新たな展開が期待されることから、引き続きAISに関する研究を継続する予定である。

参考文献

- 1) 小林英一：AIS 通信技術開発と基本的な運用，AIS セミナー「AIS の現状と展望」テキスト，AIS 研究会，2004.1
- 2) 高橋宏直・後藤健太郎：AIS データの港湾整備への活用に関する研究，国土技術政策総合研究所資料（予定）

水質保全のための流域管理一日・米・欧の比較一

下水道研究部長

藤 木 修

1. はじめに

平成5年11月に成立した環境基本法には、第22条に「環境の保全上の支障を防止するための経済的措置」が規定されている。また、環境基本法第15条の規定に基づいて策定された第3次環境基本計画（平成18年4月7日閣議決定）では、「第2部 今四半世紀における環境政策の具体的な展開」のなかで、社会経済の環境配慮のための仕組みとして、直接規制的手法、自主的取組手法などと並び、経済的手法が取り上げられている。ここに、経済的手法とは、「市場メカニズムを前提とし、経済的インセンティブの付与を介して各主体の経済合理性に沿った行動を誘導することによって政策目的を達成しようとする手法」である。

環境政策における経済的手法には環境税、課徴金、補助金、デポジット、排出許可証取引など多様なものがある。しかし、水質保全政策における典型としては、①排出負荷削減のための補助金、②排出負荷に係る課徴金（排出課徴金）、及び③排出許可証取引が挙げられる。そして、これらの手法の選択は先進国である日・米・欧で違いがある。きわめて大雑把に言えば、日本は補助金、米国は排出許可証取引、欧州の多くの国は、環境税の一種である排水課徴金によって特徴づけられる。もっとも補助金はどの国でも採用されているし、米国でも州によっては排水課徴金制度を有しており、排出許可証取引を実施している地域は限定されている。ただし、それぞれの国が水質保全を進めるために、どのような政策に重点をおいているかという見方からすると、上述の大胆な特徴づけも許されるのではないかと思われるのである。

なお、「排出許可証取引」には、「排出枠取引」、「排出量取引」、「水質取引」、「排出権取引」等様々な別の呼称があり、本稿でも文脈によって使い分けが行われているが、基本的な仕組みに相違はない。また、「課徴金」は「賦課金」と呼ばれることもある。

わが国では、2005年に下水道法が改正され、下水道の終末処理場を対象として、米国の排出許可証取引（水質取引）に類似した制度の導入が図られた。本稿では、下水道事業をはじめとする水質保全政策のなかでも、特に経済的手法に焦点を当て、理論的な考察を交えながら、日・米・欧の比較を試みる。

2. わが国の流域管理と経済的手法

2.1 流域管理のアプローチ

水を適切に管理して社会的厚生を高めようとするれば、「流域」あるいは「流域圏」を単位とした水の管理が必要になることは明らかであろう。例えば、流域の上流部で汚染物質が大量に排出されると、下流域の水環境が悪化するだけでなく、水の利用に支障をきたすおそれもある。

平成 15 年 4 月に社会資本整備審議会都市計画・歴史的風土分科会の下水道・流域管理小委員会は「今後の下水道の整備と管理及び流域管理のあり方はいかにあるべきか」という報告書を公表した。この報告書は、下水道政策における「流域管理のアプローチ」について一つの定義を与えるという意味で画期的であった。即ち、流域内の下水道管理者同士が連合し、さらに住民も含めた他の主体とも積極的に連携して、①共通の理念、目的意識を持ち、②リスク及びその削減に要する負担を分担した上で、③全体としてリスク、負担を最小に抑制しつつ共通の目的達成に向け協調して行動することを、下水道政策における「流域管理のアプローチ」と定義したのである。

下水道法第 2 条の 2 に規定される「流域別下水道整備総合計画（流総計画）」は、下水道行政における流域管理のアプローチの典型例である。公共用水域の水質汚濁は、一般に流域内の複数の市町村からの排水に起因する場合が多く、水質汚濁を下水道整備によって解消していこうとすれば、市町村ごとに個別の整備を進めることは効率的とはいえない。また、下水道の整備は、当該区域に効果を及ぼすのみならず、他の区域にも影響を与えるものであり、対象とする水域について、その水質の汚濁を効率的に解消するには、その相互の影響を勘案して、水域内の各下水道事業に有機的関連を持たせつつ整備を図るべきであろう。このような要請から、一定の要件に該当する公共用水域の環境上の条件を水質環境基準に達せしめるため、それぞれの水域ごとに、その流域を対象として都道府県は、下水道の整備に関するマスタープランともいうべき流総計画を定めなければならないこととされている。地方公共団体が公共下水道又は流域下水道を設置する場合にあらかじめ定めることとされている事業計画は、流総計画に適合していることが求められることから、流総計画に定められた流域管理の思想は、個々の下水道事業にも実際に反映されることになるのである。

以上、下水道法に基づく流総計画を例に、わが国における水質保全のための流域管理のアプローチについて概説したが、同様のことは湖沼水質保全特別措置法第 4 条に基づく湖沼水質保全計画や水質汚濁防止法第 4 条の 3 に基づく総量削減計画においても当てはまる。

2. 2 高度処理の必要性和課題

2006 年度末の下水道処理人口普及率は 70.5%、合併処理浄化槽や農業集落排水処理施設等を加えた汚水処理人口普及率は 82.4% である。東京オリンピックが開催された 1964 年度末の下水道処理人口普及率はわずか 8% であったから、この 40 年余の間、平均して 1.5 ポイント、人口に換算すると岡山県の人口に匹敵する約二百万人の人々が、毎年新たに下水道

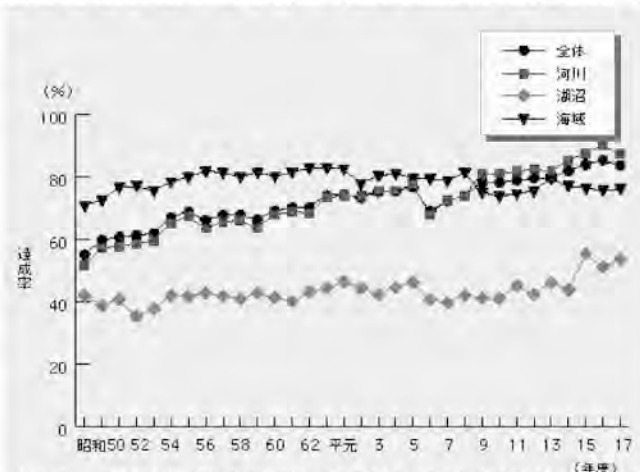


図 1 環境基準達成率（BOD 又は COD）の推移

河川は BOD、湖沼、海域は COD

達成率 = (達成水域数 / 類型指定水域数) × 100

出典：平成 19 年度環境白書

が使用できるようになるというスピードで、下水道整備が行われてきたことになる。

主として下水道の整備によって、全国の河川の水質は相当程度改善された。特に高度経済成長期に著しく汚染された都市河川での改善がめざましく、かつて悪臭を放ち、人々に疎まれた隅田川は現在では水質が改善して見違えるような環境となった。他方、河川とは異なり、湖沼や内湾・内海といった閉鎖性水域の水質改善は芳しくない(図1参照)。三大湾(東京湾、大坂湾、伊勢湾)などにおいては、窒素やりん濃度の上昇、即ち富栄養化に起因する赤潮の発生が頻発するなど、依然として水質改善が進んでいない。例えば東京湾は、近年魚類の種類が減少するだけでなく、底層部で貧酸素水塊が拡大する傾向が見られ(図2参照)、依然死の海と化している状況にある。このような閉鎖性水域の水質改善を図るためには、藻類の増殖の要因である窒素やりんの負荷量を削減する必要がある。

一般に、下水道によって水域に流入する窒素やりんの負荷量を削減する方法には、2つの方法がある。1つが「系外放流」であり、他の1つが「高度処理」である。系外放流とは、下水処理場からの処理水を対象水域ではなく、その下流域に放流するものであり、対象水域に対する汚濁負荷量をすべてカットできるため水質改善効果が大きい。これに対して高度処理は、活性汚泥法に代表される通常の二次処理による処理水の水質をさらに向上させるために行われる下水処理をいうが、水質環境基準の達成といった公共用水域の水質保全上の要請や処理水の再利用のニーズを受けて行われる。高度処理は、通常の処理対象水質(BOD、SS等)の向上を目的とするもののほか、二次処理では十分除去できない物質(窒素、りん等)の除去率向上を目的とするものがある。

図3は、し尿汲み取り方式、単独浄化槽、合併処理浄化槽から下水道(通常処理又は高度処理)に接続する場合の汚濁負荷量削減効果を、汲み取り方式の場合に環境に排出される負荷量(生活雑排水の排出による負荷量)を100とした場合のBOD、全窒素(T-N)、全りん(T-P)の相対負荷量で示したものである。

下水道事業における高度処理も流総計画に位置づけられ、流総計画に適合して定められる事業計画に沿って実施される。平成17年度末で高度処理を実施している処理場数は286箇所に達する。

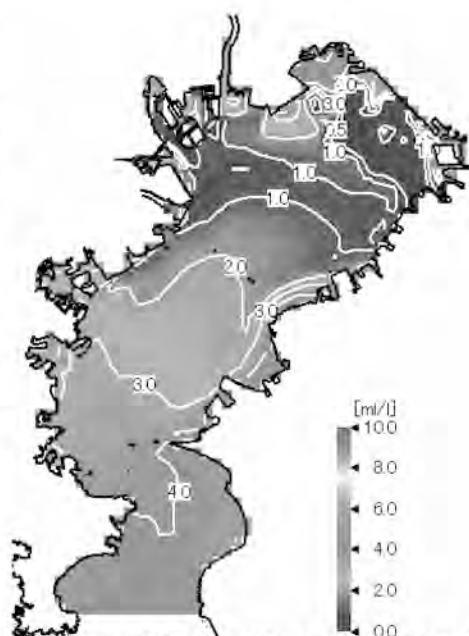


図2 東京湾底層部の溶存酸素濃度分布
(2007年9月29日08時)

出典：東京湾貧酸素水塊分布予測システム(ナウキャスト) 千葉県水産総合研究センター
<http://www.pref.chiba.jp/laboratory/fisheries/04jouhou/04tkiffile/04tkiffil.html>

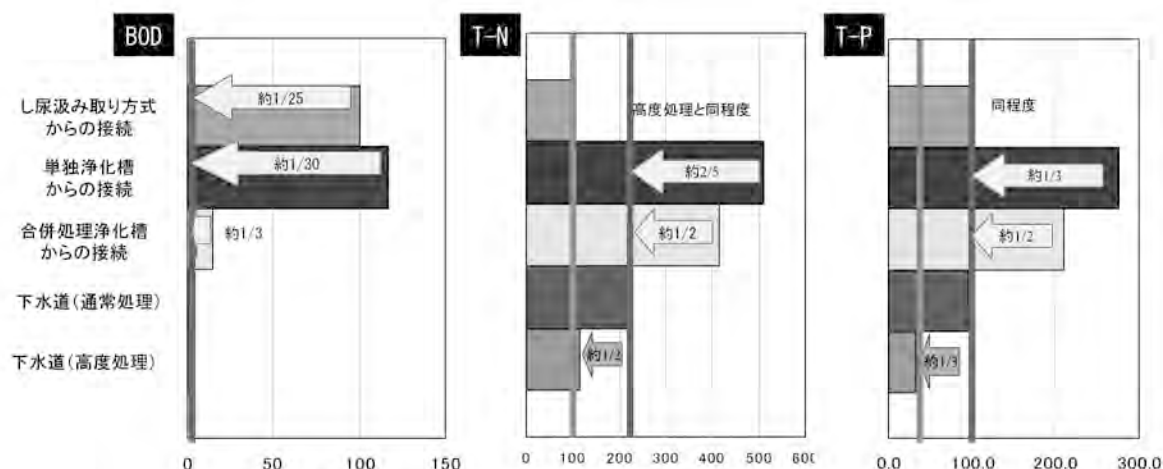


図3 下水道への接続による家庭からの汚濁負荷量削減の効果

し尿汲み取りの場合に環境に排出される負荷量（生活雑排水の排出による負荷量）を100とした場合のBOD、全窒素（T-N）、全りん（T-P）の相対負荷量で表示

出展：財団法人 河川環境管理財団「河川における水質環境向上のための総合対策に関する研究」

下水道の高度処理は「下水道施設計画・設計指針と解説」にもとづいて算出

しかしながら高度処理には以下のような課題があり、流総計画に定められた高度処理施設の整備が今後順調に進んでいくと楽観できる状況にあるわけではない。

- ① 高度処理の便益は広域に及ぶ一方、その費用は、高度処理施設を整備する下水道管理者、関係住民の負担となる。したがって、たとえ流総計画に高度処理が定められている場合であっても、当該下水道管理者等の負担となる高度処理は実施されにくい状況にある。
- ② 流総計画に高度処理施設の整備が位置づけられている場合であっても、実際には下水処理場の周辺が市街化して高度処理施設用地の確保が難しかったり、もともとの下水処理方法が高度処理への改造に適さないものであったりして、流総計画どおりに高度処理施設の整備を行うことが困難な場合も少なくない。
- ③ 同じ流域においては、ある処理場が多くの負荷削減を引き受けると、他の処理場の負荷削減の負担が軽くなるという関係となるため、高度処理について下水道管理者は互いに利害が対立する関係となりがちである。その結果、流総計画では、対象となる処理場全てに対して一律均等に処理水質の当てはめが行われ、流域全体としての経済合理性や個々の処理場の実情が十分考慮されない傾向がある。

2. 3 経済的手法の検討

このような課題は以前より指摘されていた。例えば、平成14年10月30日に地方分権改革推進会議から発表された「事務・事業の在り方に関する意見－自主・自立の地域社会をめざして－」では、下水道の費用負担の在り方について「流域単位で効率的に水質環境基準等の目標を達成するため、排出者責任と受益の帰着の観点から、流域全体の費用負担について検討する」ことが提言された。さらに、平成15年3月、東京湾流域の7都県市（現在は8都県市）及び関係省庁からなる「東京湾再生推進会議」は、都市再生プロジェクトの一環として「東京湾再生のための行動計画」を策定、

公表したが、そのなかでも「閉鎖性水域を対象として、効率的に環境基準等の目標を達成するため、新たに経済的手法の適用を含む流域全体の費用負担の方法について検討する」ことが盛り込まれている。

一般に環境政策手段には、規制的手法、経済的手法、自主的取組手法などがあるが、経済的手法は、環境保全効果が確実にあがるという「環境効果」の観点からは自主的取組手法より優れ、また、「効率性」の観点からは規制的手法、自主的取組手法よりコストパフォーマンスが高いといわれている。わが国の閉鎖性水域の環境保全において経済的手法が注目される背景には、人の健康ばかりでなく水域の生態系を含む豊かな自然環境をも積極的に保全したいという社会的ニーズと、他方ではそのための負担をできるだけ抑制すべきとする人々のコスト意識があると考えられる。

閉鎖性水域や水道水源等の公共用水域における水質環境基準の達成を目的とする流域総計画の策定プロセスのなかには、将来にわたり排出することが許容される、若しくは将来削減すべき汚濁負荷量を、関係下水道管理者の間で配分するというプロセスがある。流域総計画においては、通常、基準年次における負荷量の比率で配分される。しかしながら、このような方法は、流域全体として費用が小さくなるとは限らないうえ、下水道管理者の間で大きな負担の相違が生じる場合も考えられる。そこで、下水道管理者の間で資金のやり取りを行う仕組みを導入することによって経済的インセンティブを働かせ、経済合理的で衡平な配分となるよう、排出負荷量の調整を行うという経済的手法の必要性に関する議論が高まった。

そこで、国土交通省では平成 14 年度から 2 年間にわたり学識経験者、地方公共団体の代表者等を委員とする「下水道事業における排出枠取引制度に関する調査検討委員会（委員長：植田和弘 京都大学大学院教授）」を設置し、東京湾流域の 75 箇所の下水処理場を対象とした経済的手法導入の検討を行った。ここで取り上げた経済的手法は、東京湾流域の 1 都 3 県（東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県）の流域総計画等を参考として、処理場ごとに将来達成すべき COD、窒素、りんに係る「許容負荷量」を設定し、許容負荷量を超えて負荷を排出することが許される「排出枠」を、同じ流域の下水処理場間で「取引」というものである。この取引において、排出枠を「購入」というのは、資金を払って「排出枠」を獲得することであり、排出枠を「売却」というのは、購入者からの支払いを受けて、売却した排出枠分だけ自らの許容負荷量を下回る負荷を排出することと定義される。この「排出枠」は、3.5 節で取り扱う米国の「水質取引」における「排出許可証」又は「排出権」と同様の概念である。

各処理場の採り得る処理のオプションは通常処理と 4 種類の高度処理の 5 通りとし、それぞれの処理場について、現在の敷地面積を考慮した費用関数に基づいてオプションごとの高度処理費用（減価償却費及び維持管理費）を算出する。シミュレーションでは、各処理場は（高度処理費用）＋（排出枠購入費用）－（排出枠売却収入）で表される純費用が最小となる最適オプションを選択するようプログラムされた。



図4 排出枠取引後の各処理場における処理レベル

高度処理を効率的に実施できる処理場ではよりレベルの高い処理を行い（●）、効率の悪い処理場では高度処理を行わない（○）か、より低いレベルの高度処理を実施（●）。

表1 下水道の高度処理への排出枠取引の導入結果（試算）

高度処理費用（百万円／年）		
現行方式	排出枠取引導入後	費用削減率
65, 916	45, 792	31%

このようなシミュレーションの結果を図4と表1に示す。排出枠の取引によって、東京湾流域全体として、下水道の高度処理に係る費用が3割程度削減できることが明らかとなった。なお、東京湾内の水質シミュレーションによって、排出枠の取引が湾内水質に及ぼす影響を評価した結果、偏在的な汚濁箇所（ホットスポット）が顕著に発生する現象は見られなかった。

2.4 高度処理共同負担事業の創設

下水道の高度処理に係る排出枠取引に関する検討を踏まえ、2005年5月に下水道法の改正が行われ、「高度処理共同負担事業」が創設された。即ち、流総計画の計画事項が追加されるとともに、流総計画に基づき、地方公共団体が他の地方公共団体の行うべき負荷削減を肩代わりして高度処理事業を行うことが可能となるよう、法的な仕組みが整備されたのである。下水道法改正のポイントは以下のとおりである（図5参照）。

- ① 対象とする水域が閉鎖性であって、陸域からの窒素又はりんの流れを削減するため、下水処理場において高度処理が必要と認められる場合、流総計画のなかに新たに、下水処理場からの放流水に含まれる窒素又はりんについて、下水処理場ごと

の削減目標量を定める。

- ② 地方公共団体は、自ら管理する下水処理場の削減目標量を達成するため、2つの選択肢を有する。一方は、自ら管理する下水処理場で高度処理を行い、削減目標量を自分で達成する方法であり、他方は、他の地方公共団体の管理する下水処理場において自らの削減目標量の達成の全部又は一部を肩代わりしてもらう方法である。流総計画には、下水処理場からの放流水に含まれる窒素又はリンの削減目標量とあわせて、この2つの選択肢のどれを選ぶのかを記載する。ただし、後者の選択は、肩代わりする地方公共団体からの申し出に基づき行われる。
- ③ 流総計画に基づき、他の地方公共団体の削減目標量の達成の一部を肩代わりする下水処理場を管理する地方公共団体は、肩代わりを受ける地方公共団体に対して、当該下水処理費用の一部を負担させることができる。

上記のように、法改正に基づく手続きには「取引」又は「売買」という行為は規定されていない。代わって、「肩代わり」の概念が導入された。法律のなかに「肩代わり」という言葉が使用されているわけではないが、手続き上「肩代わり」とみなされる行為が規定されたという意味である。そもそもわが国の法体系のなかには、汚染物質の「排出許可」、あるいは汚染物質を環境に放出する「権利」という概念がなく、「排出許可証取引」を文字通りの形で法律に規定することは困難とされた。



図5 高度処理共同負担事業のイメージ

東京湾流域を対象とした排出枠取引の検討では、取引の対象として窒素、リンのほかに COD も取り上げられたが、高度処理共同負担事業では窒素とリンのみが対象とされた。これは、一般に COD は BOD と相関があり、BOD は河川の環境基準項目で

あることから、COD についても高度処理共同負担事業を可能ならしめると、閉鎖性水域に流入する河川の BOD に係る環境基準達成に著しい影響を及ぼす可能性があったからである。

2005 年 11 月 1 日の改正下水道法の施行に伴い、閉鎖性水域を対象とする流総計画の改訂・策定作業が全国で進められている。高度処理に必要な用地の確保が困難な場合や小規模処理施設等で高度処理導入コストが相対的に割高な場合がある等の理由により円滑に進んでいない高度処理の普及が、高度処理負担事業を活用することによって、流域全体で効率的に推進されることが期待される。

3. 水質保全のための流域管理の事例

2.2 節で述べた高度処理の制度的課題は、多くの国の水質保全行政に共通する課題であり、それぞれの地域の実情にあわせて様々な流域管理のアプローチが行われているが、流域管理の形態には、概して次の 3 つの種類があると思われる。

①流域を単位とした計画又は規制

②流域を単位とした財政

③流域を単位とした組織

一般に、計画又は規制、財政、組織は、いずれも統治のための行為であり、これらが流域を単位に行われるということは、文字通り流域管理の行為そのものである。また、計画又は規制、財政、組織の順に柔らかな統治といていいであろう。

ここでは、ヨーロッパの国々や米国がこの課題にどのように取り組んでいるのか、幾つかの典型的な事例を紹介する。

3. 1 フランス¹

フランスでは、国土を 6 つの大流域に分割し、それぞれの流域に「河川流域委員会」と「水管理庁」が設置されている。

河川流域委員会は地方で選出された公務員が議長を務め、基本的な役割である監視、方向付け、奨励措置を担当する。河川流域委員会は州議会、県議会、市町村議会の助言・勧告を受け、各流域および流域グループに応じた流域単位の水管理基本構想（SDAGE）を準備・採択し、質的および量的に調和の取れた水管理のための基本的な方向性を確定する。SDAGE は、市町村が定めた計画に配慮しながら、調和の取れた総合的な方法で水の質的および量的目標を設定すると同時に、目標を達成するために実施すべき整備・改善計画を策定するものである。また、河川流域委員会は水管理庁に助言・勧告を行い、流域において取水および排水に課される課徴金のレートおよび賦課基準を設定する。さらに、河川流域委員会は、水管理庁の 5 か年計画における優先順位、投資を支援する手順、私的および公的な下水処理施設の円滑な運営方法についての助言も行う。

水管理庁は、公共用水域からの取水と排水に課徴金を課し、これを原資として、水資源の保全、水質汚濁防止に対して経済的な支援（補助と融資）を行っている（図 6）。

表2参照)。なお、水管理庁からの補助金のほかに県からの補助金があり、下水道については、前者が事業費の30～40%を、後者が10～15%をカバーするといわれている²。

河川流域委員会と水管理庁は、流域を単位とした行政組織としての機能を有するが、自ら水管理施設の管理者となるわけではなく、課徴金や補助金といった流域を単位とする財政を通じた統治を目指すものであり、後述するドイツの水組合やイギリスの上下水道会社とは性格を異にする。

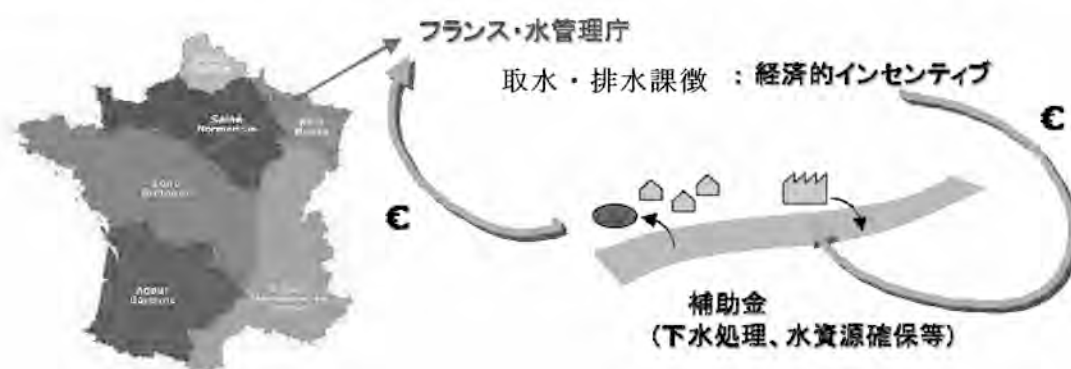


図6 フランスの水管理庁と課徴金制度における資金の流れ

表2 2002年セーヌ・ノルマンディ水管理庁における取水・排水課徴金
(百万€, ()は%)

	取水課徴金	排水課徴金	合 計
自治体（住民）	79.7(11.5)	556.3※(79.9)	636.0(91.4)
産 業	9.8(1.4)	47.3※※(6.8)	57.1(8.2)
農 業	1.3※※※ (0.2)	1.6(0.2)	2.9(0.4)
合 計	90.8(13.1)	525.4(86.9)	696.0(100.0)

※77.4百万€が下水処理奨励金として市町村に還元。

※※排水処理報奨金として479.3百万€が企業に還元。

※※※ピーク緩和措置として7百万€が控除されている。

(出典：セーヌ・ノルマンディ水管理庁のウェブサイト)

3. 2 ドイツ

ドイツの流域管理は、排水課徴金制度と水組合制度によって特徴づけられる。

ドイツの排水課徴金制度は、1976年に連邦議会で制定された排水課徴金法に基づいており、水の分野で唯一ドイツ全土に適用されている環境税である³。排水課徴金は、州政府が下水処理場を含め公共用水域に排水を排出する工場・事業場から徴収するもので、その金額は、表3に示すように、汚染物質の種類ごとに決められた汚染当量に排水中の当該汚染物質含有量を乗じて得られる汚染物質当量の総和に基づいて計算

される。州政府は、基本的に、課徴金を原資とする資金を水の管理・保全のために使用することになっている。

排水課徴金の料率（排出される汚染物質の単位汚染当量当たりの課徴金レート）は1981年には12マルクであったが、その後何段階かにわたって値上げされ、1997年1月からは約36ユーロとなっている。

図 7 は

表 3 ドイツにおける排水課徴金の算定方法

Schleswig-Holstein 州における排水課徴金の使途を示している。最も大きな割合を占める「環境省による水資源改善助成」は、主として下水道施設の設置・改築等に対する補助金であると考えられ

課徴対象物質	課徴対象となる単位排出量	閾 値
COD	50 kg-酸素	20 mg/l, 250 kg-酸素/年
全P	3 kg	0.1 mg/l, 15 kg/年
全N	25 kg	5 mg/l, 125 kg/年
有機ハロゲン化合物 (AOX: Absorbable Organohalogens)	2 kg (有機塩素化合物として算出)	0.1 mg/l, 10 kg/年
重金属化合物		
・水銀(Hg)	20 g	1 μg/l, 100 g/年
・カドミウム(Cd)	100 g	5 μg/l, 500 g/年
・クロム(Cr)	500 g	50 μg/l, 2.5 kg/年
・ニッケル(Ni)	500 g	50 μg/l, 2.5 kg/年
・鉛(Pb)	500 g	50 μg/l, 2.5 kg/年
・銅(Cu)	1000 g	100 μg/l, 5 kg/年
魚類に対する毒性	3,000m ³ ÷ G _F [*]	G _F = 2

$$\text{課徴金} = \sum \left(\underbrace{\frac{\text{各汚染物質の年間排出量}}{\text{各汚染物質の課徴対象となる単位排出量}}}_{\text{汚染単位}} \times (1 - \text{各汚染物質の連邦法基準値達成に伴う割引}) \right) \times \text{汚染単位毎の課徴金料率(35.79EURO)}$$

る。即ち、排水課徴金制度は、汚濁排出者に対して排出汚濁負荷削減のインセンティブを付与する方策であると同時に、下水道事業等による汚濁負荷削減を促進するための補助金原資を確保するための方策でもある。

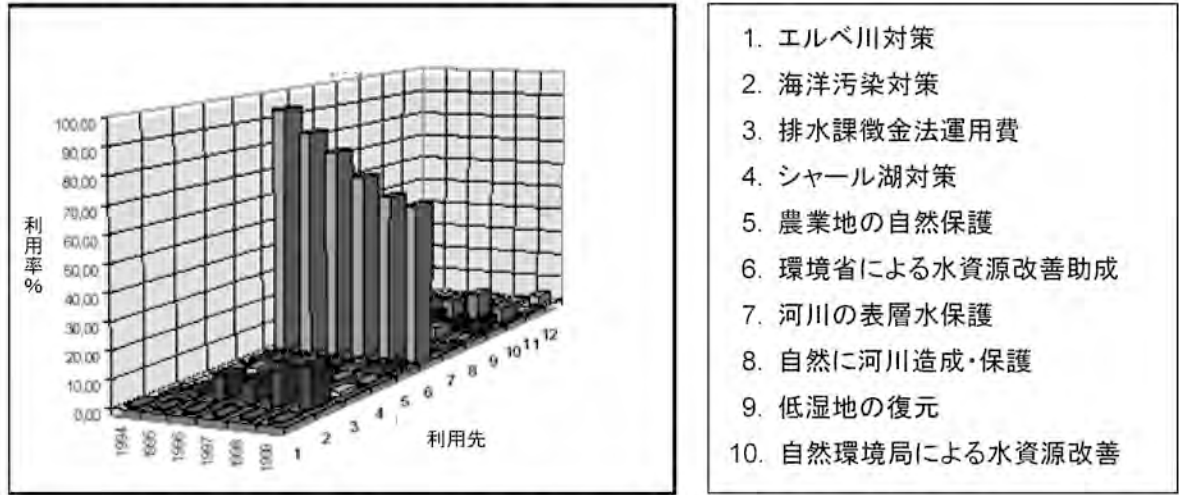


図 7 ドイツ Schleswig-Holstein 州における排水課徴金の使途

ドイツには排水基準に基づく直接規制制度も存在している。排水課徴金は、経済的インセンティブという直接規制とは異なる作用によって、直接規制の補完的役割を果たしていると評価される⁴。

水組合は、特別な法律に基づき強制的な会員資格の構成員から構成される自治組織で、ルール、エムシャー、リップといった流域で組織されている。その構成員は地方自治体、取水者、水組合の活動の要因となる工場や団体、あるいは水組合の業務から利益を得る団体、水組合が責任を持つ特定の業務を水組合に委託している団体等からなる。

ドイツでも代表的な水組合であるルール水組合は、ルール川水系（4,488km²、人口2,200万人）の流域において図8に示すような施設の運営にあたっている。水需要に対処するための水量管理のために、8箇所の貯水池を保有しており、その合計容量は



図8 ルール水組合の管理施設

4億6,400万m³にのぼる。水質管理については84箇所の下水処理施設を保有し、2001年は約3億8,700万m³の下水を処理した。さらに、合計約50万m³の容量を持つ495箇所以上の雨水処理施設が、ルール川とその支流の水質保全のために運転されている。

ルール水組合による水管理サービスに対し、汚染者が支払うべき料金は、水組合の事業に要する費用から計算される。査定基準はルール水組合法により定められており、排水量とその汚染の度合いによって算定される。

水組合制度はフランスの1964年水法に影響を与え、わが国の流域下水道事業制度のモデルになったともいわれている。

3. 3 イギリス（イングランド及びウェールズ）

イギリス（イングランド及びウェールズ）では従来、1963 年水資源法に基づいて河川流域ごとに設置された河川庁が地方公共団体や行政区域とは無関係に水量、水質などの管理を行ってきた。その後 1974 年水法では、29 あった河川庁が改組され、10 の地域水政庁（Water Authority）が設置された。地域水政庁は、157 の水道会社、1,393 の地方自治体の下水道部門のサービス、規制行政などの事務を引き継ぎ、上下水道、水質保全、水資源についての総合的な管理を行った。当初は地方自治体の影響力の強かった地域水政庁であったが、1983 年水法では理事会への地方自治体参加がなくなった。

しかしながら、サッチャー政権下の 1989 年水法において、地域水政庁は解体され、洪水調節や河川管理を行う全国河川公社（National River Authority）と図 9 に示す流域エリアを管轄する 10 の民間の上下水道会社が設立された。1989 年以前から水道事業を営む 22 の水道会社が存在し



図 9 10 の上下水道会社の管轄エリア

たが、いわゆる上下水道事業の民営化は 1989 年に行われた民営化をさす。ただし、10 の上下水道会社のうち、Welsh Water は 2001 年に Glas Cymru という非営利組織に転換した⁵。

英国の上下水道サービスの水質に関する規制は、Defra（環境・食料・農村地域省）が国内法を策定する。それを受けて水質面の実際の規制活動を行うのが DWI（Drinking Water Inspectorate：飲料水検査局）と環境庁である。これとは別に上下水道サービスを監視するレギュレーター（規制機関）として、OFWAT（Office of Water Services：水業務管理局）がある。OFWAT は、水道サービスのあり方を監視・監督しており、上下水道料金の規制並びに上下水道サービスのモニタリングと改善指導の役割を有している⁶。

流域管理という視点からすると、1989 年の上下水道事業の民営化より、1974 年水法による 10 の地域水政庁の設置がエポック・メイキングであった。流域管理というと、一般に地方公共団体をはじめとして、できるだけ多くの流域の利害関係者の参加をめざす場合が多いが、英国において上下水道事業に対する地方公共団体の関与が段階的に排除されていったことは特筆に値する。地方公共団体との関係というより、消費者との直接的な関係を重視したという見方もできよう。

3. 4 欧州連合（EU）

EU の流域管理政策の基本は、水枠組み指令（Water Framework Directive：WFD）

である。指令というのは、加盟国の国内法や規制の制定をまって初めて実行されるものであるが、指令の内容は最低要求事項であるので、各国の国情や取組姿勢により厳しくすることができる。国内法への反映は、指令が官報に発表された日から3年以内に行わなければならない。

WFDは、EUの水域を科学的、生態学的に健全な状況にすることを旨とするもので、2000年12月に発効している。同指令は、水域管理の改革の先駆けともいえるもので、政治的境界ではなく、河川流域単位で水環境や水資源を管理する考え方を基本としており、その主な特徴は以下のとおりである。

- ① 水の保護に関する範囲をすべての水、表面水、地下水に拡大し、統合的に管理すること
- ② すべての水域について目標期間までに良好な状態を達成すること
- ③ 調和のとれた様々な対策を適切に組み合わせて実施すること
- ④ 河川流域ごとに流域管理計画を策定して実施すること
- ⑤ 住民参加を積極的に行うこと
- ⑥ 上下水道料金等水の利用に関して適切な料金設定を行うこと

表4 WFDの実行プログラム⁷

目標達成までの実行プログラムを表4に示す。当面の目標は、すべての水域について2015年までに良好な状態を達成することであるが、それ以前の2010年までに料金政策の導入を行うことが求められている。

水質保全施策の財政的側面を考えると、

2000年	WFDの発効
2003年	国内法の整備 流域管理のための河川流域の分けと 管理組織の特定
2004年	河川流域の評価 影響因子とその影響の評価並びに経済分析
2006年	モニタリング・ネットワークの確立 住民意見の聴取の開始
2008年	河川流域管理計画案の提示
2009年	対策プログラムを含む河川流域管理計画の確定
2010年	料金政策の導入
2012年	対策実行計画の策定
2015年	環境目標の達成
2021年	管理の第1サイクルの終了
2027年	管理の第2サイクルの終了。目標達成の最終期限

水の利用に関して適切な料金を設定することに、大きな力点がおかれていることは注目に値する。一般に、“user pays principle（使用者負担の原則）”、“polluter pays principle（汚染者負担の原則）”といわれる費用負担原則を水の利用と汚染に適用し、水資源の確保や水質改善に必要な費用を賄おうという考え方である。この考え方は、水管理の持続可能性を確保するための必要条件とされ、OECDの環境戦略にも位置づけられている⁸。

EUの水管理政策については、WFDのほかに以下に例示するような数多くの指令が出されている。

- 自治体の下水処理に関する指令（91/271/EEC）
- 統合的汚染防止・管理に関する指令（IPPP指令）（96/61/EC）

- 地下水に関する指令 (80/86/EEC)
- 飲用水に関する指令 (98/83/EC)
- 硝酸塩に関する指令 (91/676/EEC)
- 農薬に関する指令 (91/414/EEC)
- 有害物質を含む排水に関する水質保護指令 (76/464/EEC)
- 水浴場に関する指令 (76/160/EEC)

上記のように、これまでの EU の水に関する政策は、水質保全に集中する傾向があり、これに対する批判があった⁹。近年の水害の頻発や気候変動に対する関心の高まりを背景として、洪水リスク管理に関する指令案が採択されており、来年4月にはEU議会で承認され、発効する予定となっている¹⁰。

2007年3月欧州委員会は、WFDについて初めての実施状況報告書を発表した^{11,12}。この報告書では、各国のWFDの実施成績が評価されているほか、2009年12月が期限となっている「河川流域管理計画」の早期策定について勧告している。

EU加盟国は2015年までに、WFDの定める条件を満足しなければならないが、その進捗状況は予想より悪く、すべての目標を満足する水域がわずか1%という国も見られた。新加盟国はまだ点源対策に追われており、旧加盟国のなかにもWFDで定められた下水処理を行っていないあったり、重要水域の指定が不十分であったりするところがある。面源対策も、特に水に関わる生態系の劣化や過剰取水が見られる南ヨーロッパでは、依然として重要な課題である。

定められた期限までにWFDに合致した国内法を整備した国はほとんどない。国内法が制定されていても、その内容に問題があり、法制化の範囲に重大な欠陥があると指摘された国は19にのぼる。

次の段階として、加盟国は2009年末までに河川流域管理計画を策定し、2012年までに管理体制を定め、2015年までにWFDの環境目的を満足しなければならない。この手続きは予定通りに進むと思われる。

3. 5 米国^{13,14,15,16}

米国における水環境保全政策の基本は、水質浄化法 (Clean Water Act: CWA) と CWA に基づく連邦汚染物質排出除去制度 (National Pollutant Discharge Elimination System: NPDES) にある。米国は、1972年に連邦水質汚濁制御法 (Federal Water Pollution Control Act: FWPCA) の大幅な見直しを行い、米国の水質汚濁制御について、「過去の政策からの明白な決別」を行った¹⁵。その後、水質を基本とした制御に対する要求を維持しながら、同時に技術を基本とする規制や放流地点を対象とした制御戦略が加えられ、この法律は1977年以降CWAと称されるようになった。

米国連邦内の水域に汚染物質を排出するいかなる点源の施設もNPDESに基づく許可 (NPDES Permit) を得る必要がある。この許可には技術をベースにした排水基準 (technology-based effluent limitations) と達成すべき水質基準をベースにした排水

基準（water quality-related effluent limitations）の2種類の制御レベルがある。技術をベースとした排水基準とは、同じ産業分類の一般的な污水处理施設能力を基準としている。一方、水質をベースとした排水基準は、技術をベースとした排水基準が水域の保護に不十分である場合に適用される。対象とする水域は表流水域であり、地下水への放流は連邦レベルでは規定されていない。

NPDES のプログラムは米国環境保護庁（USEPA）が直接実施することが CWA で定められているが、州政府にすべてまたは部分的に権限が委譲されている場合もある。しかし、委譲した権限の執行に際し連邦の要求事項に抵触する場合は、USEPA が関与する権限を有している。

NPDES 許可のもとでは、施設管理者は一定期間ごとにモニタリング結果を報告する義務があり、規制主体には必要に応じて施設の立ち入り検査を実施する権利が認められている。違反が確認された場合は違反通告、改善命令が出される。さらに業務停止命令、罰金刑や禁固刑を課される事もある。

NPDES 規制で水域の水質基準が達成されない場合、CWA に基づき USEPA が州政府に対して1日最大負荷量（Total Maximum Daily Load: TMDL）に関する実行計画の策定を要求する事になる。技術に基づく NPDES 許可の遵守率は高いが、NPDES 許可後に河川の水質基準が設定されたり、河川の水質データが不十分なため水質基準に基づく NPDES 許可が適用されていなかったりする場合で、水域の水質基準が満足されない場合には、州政府が TMDL を策定しなければならない。

TMDL は、汚染地域を対象に水質基準超過項目について水域の1日最大許容負荷量を算定し、点源の排出者に排出枠として配分することにより、水質基準の達成を目指すものである。TMDL の実行計画は州と施設管理者などの利害関係者で作成される。TMDL 実行計画に基づき直ちに排水が規制されるわけではないが、NPDES 許可の5年毎の見直しに際し、TMDL の結果が NPDES 許可に反映されて法的効力を持つことになる。

TMDL に基づく NPDES については、非点源には適用されないため、点源の施設に厳しい規制となる傾向がある。さらに、各施設への配分方法、基準値（ベースライン）の決め方をめぐって利害関係者の調整が難航し、TMDL 実行計画が策定されていない水域も多い。

このような背景のなかで、2002 年に USEPA の副長官から、USEPA の政策実施プログラムに流域アプローチを導入する旨の文書が公表され、2003 年には水局から「流域ベースの NPDES 許可方針（Watershed-Based NPDES Permitting Policy Statement）」が打ち出された。流域ベースの NPDES 許可というのは、従来個々の点源ごとに発行されていた許可証を、対象とする水域に対応する流域内で行われるすべての汚濁負荷削減対策を勘案し、規制対象となる点源に NPDES 許可証をまとめて発行するものである。準備段階として、規制当局や点源以外の流域の利害関係者も巻き込んで流域管理計画を立案することになるが、そのなかには非点源対策計画や水質取引制度（Water Quality Trading: WQT）が盛り込まれる場合がある¹⁷。

WQT とは、汚染物質の排出総量を決めた上で、排出枠を各主体に配分し、それを売買する経済的規制手法のひとつである。TMDL が設定されている地域では、点源ごとに排出が許可される汚濁負荷の上限を決めた排出許可証が発行されるので、この排出許可証を売買するという考え方が生まれた。対象となる水質項目に関して、各排出源の削減目標を上回る削減を行っている施設から、目標の削減量に満たない施設がその余剰分の排出許可証を買い取る仕組みである。個別取引の場合と、ある機関が資金を創設して余剰分の売買を行う場合がある。このような排出許可証に関する取引は、流域ベースの NPDES 許可に基づいて行われることになる。

USEPA は、1996 年「流域ベースの排出枠取引のための枠組み案 (Draft Framework for Watershed-Based Trading)」を公表し、2003 年には「水質取引に関する方針 (Water Quality Trading Policy)」の最終版を発行した。これは、流域ごとに信頼できる水質汚濁排出権取引プログラムを構築するための一般的な規定を明らかにするもので、全米各地で行われたパイロットプロジェクトに基づいて策定されたものである。

ここでは、流域がコネチカット州、ニューヨーク州、マサチューセッツ州にまたがるロングアイランド湾において実施されている窒素負荷に関するWQTを紹介する。



図 10 ロングアイランド湾とコネチカット州の位置

ロングアイランド湾は、底層部の溶存酸素濃度が低下して「死の海」となるという、東京湾と同様の問題点を有する（図 11 参照）。2001 年 4 月に USEPA によって承認された TMDL によれば、コネチカット州とニューヨーク州内の点源及び非点源からロングアイランド湾に流入する 45,000 トン／年の窒素負荷量を 2014 年までに 21,000 トン／年まで削減することが要求された。

コネチカット州については、点源からの窒素負荷量が 10,500 トン／年あり、このうち 6,670 トン(64%)を 2014 年までに削減する必要がある。TMDL の要請に応え、

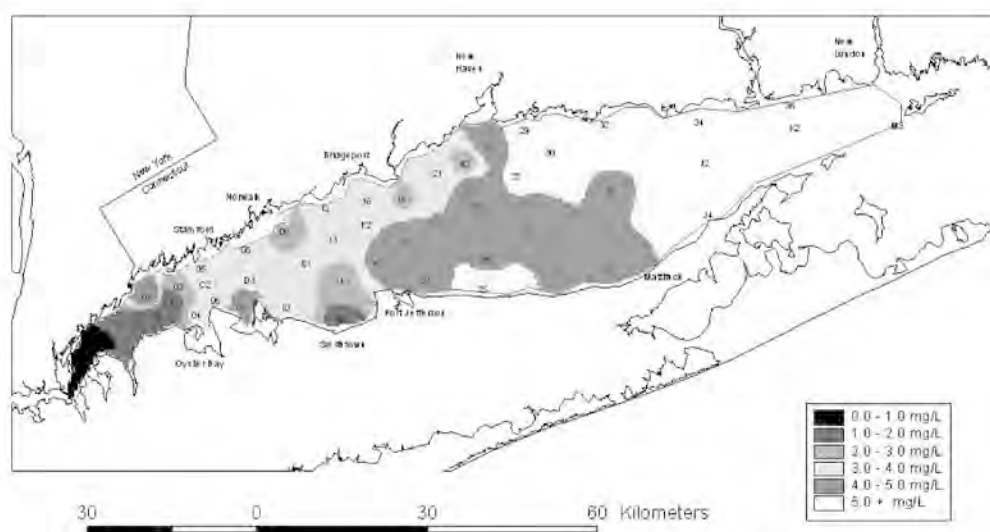


図 11 ロングアイランド湾の底層部に広がる貧酸素水塊

必要な NPDES の許可を得るため、コネチカット州政府は 81 の処理施設（公共下水道処理施設 79 箇所、民間事業場 2 箇所）を対象として、窒素排出権取引計画のための法律を制定した。

州法に基づき、TMDL 達成と取引に関する最高管理機関として窒素排出権助言会議（NCAB）が設けられた。NCAB は、窒素の年間削減計画を策定し、処理施設間の取引率及び排出権の価格の設定を行う。したがって、排出権は相対取引ではなく、すべて州政府を介して行われている。2003 年の実績によれば、処理施設側の購入は 40 施設で購入額は 2,116,758 ドル、販売は 37 施設で 2,429,419 ドルであった。なお、窒素 1 ポンド当たりの価格は、2002 年が 1.65 ドル、2003 年は 2.14 ドルであった。

WQT は、点源の間だけで行われるとは限らない。非点源が参加する取引プログラムには現実的な諸問題が伴うものの、優れた費用節減効果が期待でき、しかも全米の汚染水路の 43% は非点源を汚染源としていることから、この種のプログラムは多くの水域で導入されている¹⁸。

なお、米国の WQT に関する最新の情報は、Environmental Trading Network のウェブサイト http://www.envtn.org/etn_projects.htm#targeted を参照されたい。

4. 排水課徴金と排出許可証取引の比較

これまで見てきたように、水質保全のための流域管理の形態は、国や地域によって様々であるが、特に財政面に着目すると、以下の 3 種類に分類される。

①取水・排水課徴金 — フランス、ドイツ、その他表 5 参照

②排出許可証取引（水質取引） — 米国、日本

③流域単位の組織をつくることによる地域間内部補助

— ドイツの水組合、英国の上水道会社、
その他イタリア、オランダ、フィンランド等¹⁹

表5に示すように、米国でも排水課徴金を制度化している州があるし、流域単位の広域的な下水道管理者を設置している例も見られる。また、フランスの水管理庁と取水・排水課徴金を原資とする補助金を、③の内部補助とみなすことも可能であろう。しかし、大雑把にいて、ヨーロッパは①取水・排水課徴金と③流域単位の組織が主流であり、②の排出許可証取引は米国に特徴的な施策であるといつてよいであろう。

EUの施策でも紹介したが、WFDの主眼の1つに、使用者負担の原則、あるいは汚染者負担の原則の適用があり、上下水道料金等水の利用に関して適切な料金設定を行うことが掲げられている。このような原則によって、以下のような目標をめざそうとするのである。

1) 水の消費や汚染を抑制し、水資源や環境を保護するための経済的インセンティブを付与する。

2) 水の消費によって生み出される社会的便益の極大化をめざす。

3) 水の供給及び水の汚染防止にかかる費用を完全に回収できる体制づくりを行い、水サービスと環境の持続可能性を確保する。

使用者負担・汚染者負担の原則は、例えば上下水道事業の事業体ごとに適用される。したがって、人口稠密な大都市のように効率性の高い事業体では料金は低く抑えられ

表5 取水・排水等に係る課徴金制度の例

OECD Environmentally Related Taxes Databases
http://www.oecd.org/document/29/0,2340,en_2649_33713_1894685_1_1_1_1,00.html

フランス	排水課徴金	水管理庁によって異なる。
	取水課徴金	水管理庁によって異なる。
ドイツ	排水課徴金	汚染単位 35.79€/汚染単位
	取水課徴金	0.0051・0.2046 €/m ³ 表流水/地下水の別や用途によって異なる。
オランダ	排水課徴金	31.76 €/有機汚染物質（酸素要求量）単位 + 31.76 €/その他の汚染物質単位
	水道課徴金	0.15 €/m ³ 配水量に対して課税
オーストリア	排水課徴金	家庭や企業等の属性に応じて 58 € ～ 487 €/年
	取水課徴金	なし
ベルギー	排水課徴金	家庭 0.55 €/m ³ 事業場 8.92 €/汚染単位 農業 排水の種類と肥料散布時使用の有無によって異なる。
	取水課徴金	水道用取水 0.07 €/m ³ 地下水取水 0.02 €/m ³
デンマーク	排水課徴金	11.00DKK(1.47€/kg-BOD 又は COD 硝酸を含む場合 20.00DKK(2.68€/kg-BOD 又は COD りん酸を含む場合 110.00DKK(14.75€/kg-BOD 又は COD
	取水課徴金	5.00 DKK(0.67€/m ³
イタリア	排水課徴金	20.00 ITL(0.01€/m ³
	取水課徴金	なし
米国ルイジアナ州	排水課徴金	汚染物質（有機汚濁物質、その他の汚染物質）、業種によって異なる。
米国メイン州	排水課徴金	通常の排水 2.40 USD/pound-BOD 又は COD
	排水許可証料金	通常の排水 1.25 USD/pound-BOD 又は COD
	公共下水道処理場（6,000gallon/day 以下）	0.02 USD/gallon
	公共下水道処理場（6,000gallon/day 超）	630.00 USD/百万 gallon
	合流式下水道越流水	55.00 USD/百万 gallon
	処理された雨水	17.50 USD/百万 gallon
	その他、事業場排水に関する規定がある。	
米国ニュージャージー州	排水課徴金	水の消費又は汚染物質の排出 平均 16.00 USD/月・世帯（1994） 事業場排水 事業場の種類や規模に応じて
	水道課徴金	0.01 USD/1,000 gallon-配水量

るが、地方中小市町村のように経営上効率の悪い事業体では料金は高くならざるを得ない。これでは、地域間の衡平（equity）を欠くといわざるを得ないであろう。

OECD の基準では、取水・排水課徴金及びそれを原資とする補助金を料金収入に加えたものをそれぞれ支出と収入にカウントして評価することが行われる¹⁹。したがって、大量に水を消費し、汚染物質を排出する大規模な事業体から徴収した課徴金を用いて、採算性の悪い事業体に補助することができれば、上記の原則を満足しつつ、料金の均等化を図ることができる。換言すれば、取水・排水に係る課徴金とこれを原資とする補助金は、水の供給や汚染の防止に要する費用を流域全体として回収しつつ、料金の均一化を図り、地域間の衡平を確保するための制度となり得るのである。

排出許可証取引については、汚染防止の効率性を追求して費用を削減するという狙いはあるが、課徴金制度と比較してどちらがより効率的であろうか。また、衡平性の点はどのように評価されるべきであろうか。このような疑問に答えるため、図 12 に示すような簡単なモデルに基づく理論的な考察が行われた²⁰。

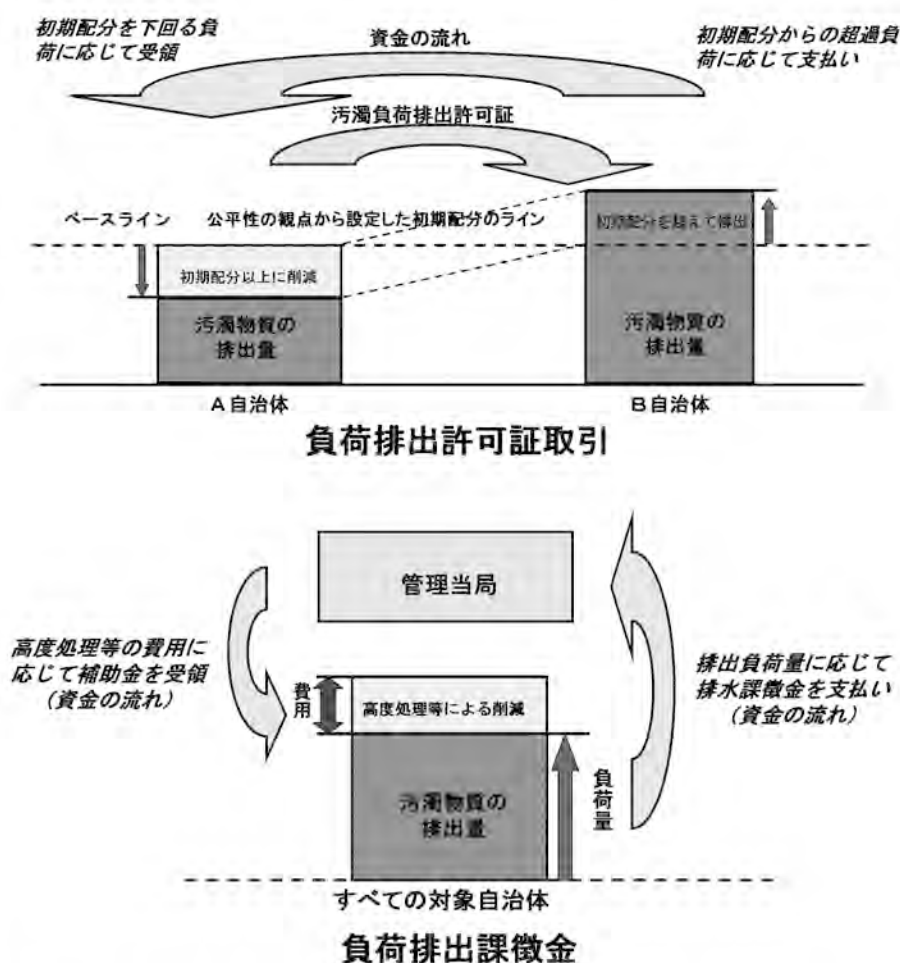


図 12 排出許可証取引(上段)と排出課徴金（下段）の簡略化されたモデル
（排出課徴金は、これを原資とする補助制度とセットで運用される）

排出許可証取引は、同じ流域の下水処理場（自治体）同士で行われるものである。排水課徴金は、排出負荷量に一定の料率（レート）を掛けて算定されるものとする。また、排水課徴金を原資とする補助金は、下水処理場（自治体）に交付されるものとし、負荷削減に必要な費用（資本費と維持管理費）に或る一定の補助率を掛けて算定されるものとする。

ここでは、数式の展開等理論的な説明は省略し、以下に結論のみを紹介する。

- ① 汚濁負荷削減の目標が同じであれば、その目標を達成するために必要な費用の総和は、排出許可証取引と排水課徴金で同じ値となり、それは目標を達成するための最小の値となる。
- ② 汚濁負荷削減の目標が与えられた場合、排出許可証取引制度は理論上容易に設計可能であるが、排水課徴金についてはその料率を決めることが一般に困難である。
- ③ 汚濁負荷削減の目標が同じであり、排出許可証取引の結果が分かっている場合には、当該排出許可証取引と同じ結果を導く排水課徴金の料率を理論的に決めることができる。
- ④ 単位処理水量当たりの処理費用が下水処理場ごとにどの程度異なるかについて考察したところ、排出許可証取引の方が排水課徴金よりばらつきが大きいことが確かめられた。この意味において、排水課徴金の方が地域間の衡平性が保たれる。③の理論に基づき 2.3 節で紹介した東京湾における排出枠取引と同等の結果を導く排水課徴金のモデルを構築し、排出枠取引において設定されたベースラインの場合と合わせて手法間の比較を行ったのが図 13 である。それぞれのプロットは各下水処理場に対応している。プロットのばらつきについて、排水課徴金<排出枠取引<ベースラインの関係にあることがわかる。

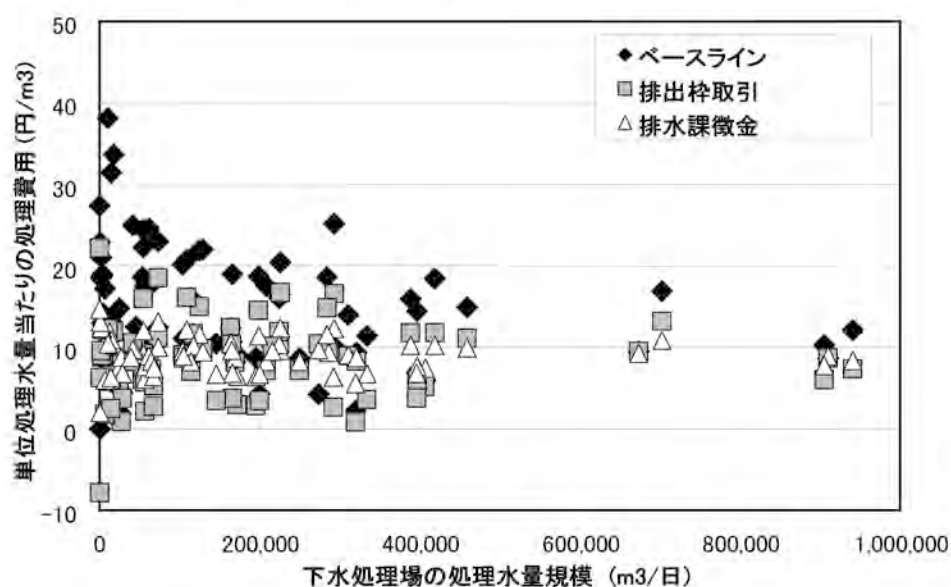


図 13 排出枠取引と排水課徴金の衡平性に関する比較
（東京湾におけるケーススタディ）

- ⑤ 自治体が、自ら下水処理水を有効に利用するため、あるいは、自らの利害に関係する水域の水質改善のために下水の高度処理を行おうとするような場合には、排水課徴金の方が排出許可証取引より、当該自治体にとって経済的に有利となる。
- なお、理論的な考察とは別に、排出許可証取引は、排水課徴金と比較して以下のような特徴を有する。
- ⑥ 排出許可証取引は、米国の水質取引（WQT）で行われているように、制度設計によっては非点源を巻き込むことが可能であり、点源と非点源との間の取引を通じて、非点源の対策を促進することが可能である。
- ⑦ 排水課徴金については、課税対象となる排出者すべてに課徴金を支払う義務が生じるのに対して、排出許可証取引においては、取引は排出者にとって選択肢の意味しかない。したがって、一般に排出許可証取引の方が社会的に受容され易いと考えられる。

5. 終わりに

京都議定書の第一約束期間が 2008 年度からスタートする。それにもかかわらず、2005 年度のわが国の温室効果ガス排出量が基準年度（1990 年度）比＋7.8%であることが明らかとなった²¹。基準年度比－6%という京都議定書目標をいかに達成するかという議論がかまびすしい。当初の計画どおり削減を進めることはほとんど不可能であり、クリーン開発メカニズムや国際排出量取引による大幅な排出枠クレジットの取得という方策がいよいよ現実味を帯びてきた。

排出量取引と並んでしばしば話題になるのが「炭素税」である。炭素税は、石炭・石油・天然ガスなどの化石燃料に、炭素の含有量に応じて課税し、価格を引き上げることで需要を抑制し、結果として CO₂（二酸化炭素）の排出量を抑えるという経済的な政策手段で、フィンランド、ノルウェー等欧州諸国で実際に導入されている。炭素税は環境税の一種であり、この種の環境税は一般に「課徴金」とよばれている。

排出量取引、即ち排出許可証取引と課徴金は、環境政策における経済的手法の典型的なものであり、わが国では温室効果ガス対策をめぐる議論で広く知られるようになったが、すでに見てきたように、水質保全の分野では欧米先進諸国において、流域管理のための有効な手法として多くの実績を有する。

経済のグローバル化にあわせて、世界水フォーラムをはじめ、水管理をめぐる国際的な議論も盛んに行われる時代となった。国際競争は民間企業の経営や技術のみの問題ではない。今や、国の政策も国際競争にさらされているといえるかもしれない。

わが国の水質保全分野においてもさらに新しい政策の導入について検討する必要がある、そのためにも、国際的な検討の場等を通じて、先進諸外国における取組について研究を進めることはますます重要になると思われる。本稿で紹介した調査研究が、その一助となれば幸いである。

参考文献

- ¹ Eric Muller: Water Agencies for Watershed Management in France, 都市再生と流域管理に関するワークショップ、2004 年 1 月
- ² 国土交通省、(財) 下水道新技術推進機構：閉鎖性水域における汚濁負荷排出枠取引その他経済的手法に関する海外事例調査業務報告書、2004 年 3 月
- ³ ドイツ排水課徴金の制度については、山家勝裕氏（NGK ドイツ）作成の資料に負うところが大きい。
- ⁴ 植田和弘他：環境政策の経済学、日本評論社（1997）p117
- ⁵ 植村哲士：英国非営利水道会社（Glas Cymru）のコーポレート・ガバナンス、公益事業研究、Vol55, No2
- ⁶ 石田直美：英国の水道事業から学ぶ、日本水道新聞 2005 年 1 月 1 日特大号
- ⁷ EU のウェブサイト
http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/timetable_en.htm
- ⁸ OECD: Environmental Performance Reviews – Water – , (2003) p22
- ⁹ Comision Nacional del Agua Mexico: European Regional Document (4th World Water Forum) ISBN 968-817-740-7 (2006)
- ¹⁰ EU Council: DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the assessment and management of flood risks,
<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/07/st03/st03618.en07.pdf>
- ¹¹ COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: 'Towards Sustainable Water Management in the European Union' First stage in the implementation of the Water Framework Directive 2000/60/EC, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT (2007)
- ¹² IWA: Water 21, June 2007, p8
- ¹³ 文献 2 と同じ。CWA と NPDES、TMDL の説明はこの文献をベースとし、文献 14、15、16 で補足した。
- ¹⁴ 北村喜宣：環境管理の制度と実態－アメリカ水環境法の実証分析－、孔文堂（1992）
- ¹⁵ ロジャー・W・フィンドレー他：アメリカ環境法、稲田仁士訳、木鐸社（1992）
- ¹⁶ USEPA のウェブサイト <http://cfpub.epa.gov/npdes/>
- ¹⁷ USEPA: Watershed-Based National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) Permitting Implementation Guidance, EPA833-B-03-004 (2003)
- ¹⁸ Mark S. Kieser and “Andrew” Feng Fang: Economic and Environmental Benefits of Water Quality Trading - An Overview of U.S. Trading Programs 都市再生と流域管理に関するワークショップ、2004 年 1 月
- ¹⁹ OECD: The Price of Water: Trend in OECD Countries (1999)
- ²⁰ Fujiki, O.: Economic Instruments for Basin-wide Efficient Pollution Load Reduction - Comparison between Effluent Charges and Water Quality Trading -, "Proceedings of the 10th Japanese-German Workshop of Wastewater and Sludge Treatment Technologies, October 9-10 (2006) Munich, Germany"
- ²¹ 中央環境審議会地球環境部会・産業構造審議会環境部会地球環境小委員会：「京都議定書目標達成計画の評価・見直しに関する中間報告（案）」平成 19 年 8 月

参考資料

先進諸外国における下水道・流域管理に係る諸制度の概要

		フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
0 国の概要	正式名称	フランス共和国	ドイツ連邦共和国	アメリカ合衆国	グレートブリテン及び北部アイルランド連合王国
	政体	共和制	連邦共和制	連邦共和制	立憲君主制
	首都	パリ:215 万 2329 人(1990/市内)	ベルリン:338 万 6667 人(1999)	ワシントン D.C.:57 万 2059 人(2000/市内)	ロンドン:707 万 4265 人(1996)
	総面積	547 千 km ² (海外領土除く) (日本の約 1.5 倍)	357 千 km ² (日本の 94%)	9629 千 km ² (日本の約 25 倍)	245 千 km ² (Rockall と Shetland 諸島を含む) (本州の 1.07 倍)
	行政区分	州(地域圏: Region, 22 州) 県(Departement, 96 県) 市町村(Commune, 36,560 市町村)	州(Länder, 16 州) 市町村(Municipality)	州(50 州 1 地域) 郡(County) 市町村(Municipality)	イングランド:39 州、7 メトロポリタン州 ウェールズ:8 州 スコットランド:9 自治区、3 諸島地区 北アイルランド:26 行政区
	人口	6018 万 0529 人(2003/7 推計)	8239 万 8326 人(2003/7 推計)	2 億 9034 万 2554 人(2003/7 推計)	6009 万 4648 人(2003/7 推計)
1 下水道の状況	汚水処理人口	下水道: 48 百万人 個別処理: 12 百万人 下水道処理人口普及率: 80%(2002 年)	下水道: 77 百万人 個別処理: 5 百万人 下水道処理人口普及率: 93%(2001 年) (旧西独 96%、旧東独 76%)	下水道: 206 百万人(普及率からの推定値) 個別処理: 84 百万人 下水道処理人口普及率: 71%(1996 年)	下水道: 58 百万人 個別処理: 1.2 百万人 下水道処理人口普及率: 95%(2000 年)
2 実施機関	施設の所有者	市町村	①市町村 ②市町村組合:下水道事業のために自治体 が設置し、環境省が承認するもの ③水組合:水組合法に基づいて設置された 組合	汚水は市町村、郡、州 雨水は市町村 ※ 施設の所有者は通常、地方自治体か地方自治体によるコンソーシアム。 ※ マサチューセッツ州では独立の州政府機関であるマサチューセッツ州水資源庁(MWRA)が下水処理場や幹線管渠を所有している。	・イングランドでは民間会社(上下水道会社)。 スコットランドは公社(スコットランド水管理 庁)。北部アイルランドは自治体。 ・雨水排除の事業実施主体は自治体と上下 水道会社で、会社との同意(契約)に基づ いて、自治体が雨水排水に関する責任を有 している。(地元の地域、地区サービス会社 とパートナーシップ契約を結び、事業プロ グラムを実施している)
	施設の計画・設計・建設	・市町村 ・一部事務組合: 地方公共施設法人であり、 その形態は地方分権法(1988 年)により改 正された市町村法典に規定されている。日 本の一部事務組合と類似した組織であり、 複数の事業を目的とする多目的事務組合 もある。 一部事務組合は全国で 6,000 ほどあり、概 ね 2,000~3,000 人規模の単位である。一 部事務組合の管轄区域では、市町村が各 行政区域内の枝線の整備・維持管理を行 うが、複数の市町村にまたがる管渠は県が、 複数の県にまたがる管渠及び処理場は一 部事務組合が建設・維持管理を行う。	施設の所有者と同様。	施設の所有者と同様。	施設の所有者と同様。

		フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
	施設の管理運営者(各種規制等の最終責任者)	・排水基準についての検査は市町村の責任であり、私有地への立入権限を有する(市町村法典、1992 年水法)。 ・水環境の監視については、中央政府の独立機関である「水警察」が所轄している。	・規制の遵守に関するチェックは州政府の環境部局が担当する。	・汚水は市町村や組合が最終的な責任を負う機関であるが、下水道は州議会の監督下にある。連邦に対しては州が管理運営者となる。 ・雨水は市町村。マサチューセッツ州のように、州の機関(Executive Office of Environmental Affairs の事務所)が行うこともある。	【イングランド・ウェールズ】 ・環境基準・排出基準:環境庁(EA):上下水道会社への規制・監視。 ・下水処理水質基準:環境食糧省(DEFRA) ・使用料・経営状態:水サービス局(OFWAT) 【スコットランド】スコットランド環境保護庁 【北部アイルランド】環境遺産部(環境省の機関)
	施設の運転管理者	原則、市町村(ただし、民間委託していることが多い。この場合も責任は市町村長にある)	・施設の所有者と同様であるが、民営化・民間委託されているケースもあり。	・汚水は市町村、郡、州が基本だが、民営化・民間委託されているケースもあり。 ・雨水は市町村(マ州の場合、維持管理は上記と同様)	・イングランドでは民間会社(上下水道会社)。 ・スコットランドは公社(スコットランド水管理庁)。 ・北部アイルランドは市町村。 ・雨水排除の事業実施主体は自治体と上下水道会社で、自治体が雨水排水に関する責任を有しており、会社との同意(契約)に基づき会社が運転管理を行っている
	公的サポート機関	下水処理事業者技術援助機関(SATESE): 県の機関であり、地方自治体に対して技術援助。 このほか、建設省や農業省の事務所等もサポートを行う。	①ドイツ下水技術協会 ATV(主に市町村に対して技術基準、教育、訓練を提供) ②ドイツ廃棄物処分業協会 BDE(主に民間企業を対象)	・連邦政府レベル USEPA 全米衛生財団 水環境連盟(WEF) 地方自治体下水道協会(AMSA) ・地方レベル 州環境行政部 Executive Office of Environmental Affairs (マ州の場合)	環境庁(EA)が水に係わる環境経済学に関する研究開発(経済評価、料金制度等)

	フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
3 国・州の役割	・水法(1964、1992):環境省が中心となって複数の省庁により作成された総合的な水管理を目標とする法律。この中に、公共下水道、非公共下水道の行政行為に関して規定されている。1964 年水法によって、排水課徴金制度、課徴金を原資とする補助金制度、水管理庁及び流域委員会等が創設されることとなった。 ・水法は、EU 指令への対応、1964 年水法の欠陥の補足を目的として、1992 年に改正されている。下水道整備の明確な義務は 1964 年水法では規定されておらず、市町村の決定に委ねられていたが、1992 年の改正により、市町村の下水道整備が義務づけられることとなった。 ・さらに、1995 年の環境保護法によって、「環境配慮」「未然防止」「発生源対策」「汚染者負担」といった基本方針が導入・強化されることとなった。 ・現在、改正に向けて検討中。	①連邦政府 ● 水管理法(1957、2002) ドイツにおける水域保全に関する主要な法律。連邦水管理法、およびその後発効した州水法は、水資源管理、水資源保護、および流量規制の 3 本の柱を有している。2002 年 9 月には EU 指令に適合させる目的で第 7 次改正法が正式に成立している。 ● 下水に関する法令 各種下水に適用される規制対象の汚染物質の範囲など、技術的基準を定めた法令。とりわけ自治体の下水処理水に関する要件を定め、水域保護のための EU 指令を施行するもの。付属書に、生活污水および産業排水に適用する業種別の具体的規制内容が記載されている。 ● 排水課徴金法 連邦の水管理に関する大綱法制定権限に基づくもので、排水者に対して、水域保全の経済的インセンティブを与えることを目的としたもの。この法は当該の州法による規則によって補完されており、所轄の州官庁によって執行される。 ● 洗剤法 ● 水組合法 ②州政府(州水法、州自治体法) ● 州水法 16 州は各管轄区域内の上下水道の規制監督を行っている。また、連邦法の枠内で、詳細な規制値を定める。 ● 州自治体法 自治体に各自の排水管理機能を組織化することを定めた法律は、すべての州で実質上、類似の法律となっている。これにより、自治体は下水の収集、処理、および処分責任を負う。	①連邦政府(EPA) ・水質浄化法(CWA 1977): ・米国における水域保全に関する主要な法律。 ・水環境における化学的、物理的および生物的健全性の回復が目的。 ・水環境行政に関する様々な実施権限を USEPA や州政府に付与し、下水処理場建設に対する補助制度も定められた。 ・EPA(または委任した州政府)は、公共用水域への直接排出者に対して排水許可証を発行(NPDES プログラム)。 ・このほか、水質浄化法は各州に対し、水質基準を満たさない河川などを特定し、その浄化に向けた計画を作成するよう求めている(水質基準ベースの負荷総量削減計画:TMDL プログラム)。2001 年と 2002 年を合わせて、5,000 件以上が現行の TMDL 規則に基づいて認可されている。 ②州政府(マサチューセッツ州) ・マサチューセッツ建築法、マサチューセッツ環境保護法※所管は州環境行政部 Executive Office of Environmental Affairs	①水法(1973) ・イングランド・ウェールズ地方を河川流域界に基づく 10 流域に分割。それぞれに地方水管理庁 RWA を設立。 ・水管理が一元化されるとともに、流域的な視点に基づく水の総合管理が導入されることとなった。 ・RWA は、河川管理や上下水道、環境等、水関連のほとんどすべての分野を管理 ②水法(1989) ・上下水道事業の民営化(NRA の監督下)。民間の上下水道会社が上下水道事業の責任を負い、下水道使用料徴収の権限が付与。 ・上下水道以外については全国河川庁 NRA が総合的流域管理を実施 ・水サービス局(OFWAT)の新設:上下水道会社の財政状況、料金設定等を監督。会社の財政を保証 ③環境法(1995) ・環境庁の設置。水、大気、廃棄物等の環境関連事項を統合して所管(これにより NRA 等は廃止) ・スコットランド環境保護庁の新設 ④水法(2003) ・取水認可制度の変更 ・上下水道サービス監督庁の設立(2006 年 4 月 1 日より、OFWAT が移行) ・利用者保護に関する上下水道会社に対する規制強化:アカウンタビリティ、競争促進 ・その他:上下水道会社法、環境法、水資源法、ダム法、環境保護法の内容を改正

		フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
4 流域管理	法制度	・1964 年制定の水法により、全国を河川流域を基にした 6 つの流域圏に分けて、管理することとなった。 ・各流域には独立採算性の水管理庁が設置され、環境基準達成のために各市町村に対して財政的支援を実施している。 ・水管理庁は、課徴金(取水課徴金と排水課徴金)徴収権限を有し、これを財源として地方自治体に補助や貸付を行っている。また、下水処理により削減された汚染物質の量を金額に換算し、奨励金として市町村や企業に対して還付している(市町村に対しては徴収した排水課徴金の相当額を返納し、企業に対しては当初排水課徴金徴収額から相当額を減額)。水管理庁が事業実施主体になることはない。	・連邦水管理法：水管理基本計画、水利利用計画、下水処分計画についても定めている。 ・排水課徴金法：連邦の水管理に関する大綱法制定権限に基づくもの。水域に排水する者に対して、水域保全のための行動を行うインセンティブを与えることを目的としている。	・水質浄化法は各州に対し、水質基準を満たさない河川などを特定し、その浄化に向けた計画を作成するよう求めている(水質基準ベースの負荷総量削減計画:TMDL プログラム)。このプログラムは、日本の流総計画に相当するもので、環境基準達成のために必要となる負荷削減量を排出者に割り当てる計画である。 ・水質浄化法は 1987 年から改正されておらず、1998 年 2 月ゴア副大統領からの指示により EPA と USDA で策定した行動計画で、流域管理に重点が置かれている。 ※水質浄化法 404 条では、干潟を含む公共用水域に対する埋立て材や浚渫残土の排出を規制するための、許可プログラムを規定しており、EPA と陸軍工兵隊の責任分担を定めている。	【水法 1973】 ・イングランド・ウェールズ地方を河川流域界に基づく 10 流域に分割。それぞれに地方水管理庁 RWA を設立。 ・水管理が一元化されるとともに、流域的な視点に基づく水の総合管理が導入。 ・RWA は、河川管理や上下水道、環境等、水関連のほとんどすべての分野を管理 ※現在では RWA は存在しないが、この流域分割は現在も、上下水道会社の管轄区域の基盤となっている。
	規制	・取水および排水に関する規制は、国の出先機関がその役割を担っている。 ・流域委員会が設置された県に置かれた国の出先機関は、水法の施行と水資源の管理について、国の政策との調整と実施を行う。これにより、地方分権化された国の水分野における活動に関して、関係する州や県に一貫性を保持することが可能となる。 ・地表水、地下水によらず、県や州におかれた国の出先機関、すなわち州産業研究局(DRIRE)、県農林局(DDAF)および県建設局(DDE)がそれぞれの権限の責任範囲において下水の放流等に係る申請を審査する。	・「下水に関する法令」に基づき、排水に関する最低要求事項が規定されており、これによる直接規制がなされている(日本の排水基準に相当)。 ・公共下水道処理場に対しては、処理水量規模別に COD、BOD、T-N、T-P に関する規制値が設定されている。	【TMDL プログラム】 ・水質環境基準が達成されていない水域において、州政府は環境基準達成のために許容されうる最大限度の汚濁物質総量(TMDL)を算定。 ・算定された TMDL から、点源発生源以外の寄与分を除いた後、点源発生源に対して許容される排出量が割り当てられる。 ・TMDL は、各点源発生源に割当量として NPDES 許可証に書き込まれる。 ・EPA は水質悪化水域リスト及びこれに対する TMDL を審査・認可するとともに、州が TMDL を策定しない場合には策定する。 ・既に 2001 年と 2002 年を合わせて、5,000 件以上が現行の TMDL 規則に基づいて認可されている。	・下水道に関する規制は、基本的に 1991 年の EU 指令(自治体の下水処理に関する指令:91/271/EEC)に準拠しており、これを守るために、イングランド・ウェールズ及びスコットランドでは 1994 年に、北部アイルランドでは 1995 年に、関連する規制条項(Regulation)が制定されている(2003 年に改正)。
	環境基準	・水質環境基準は、5 段階(水利用には不適切なレベルを含む)のクラス分けにより、それぞれのカテゴリーで達成すべき水質を設定している。 ・各河川区間への基準の当てはめは、県または州で決定する。	・受水域の水質基準については、河川水に対して汚染負荷レベルにより 7 段階の水質類型が設定されている。類型指定は州が行っている。	・EPA が水質環境基準設定の基本的な考え方を示し、各州が独自の基準を具体的に設定する。	汚濁を抑制する対象水域(管理水域)に対しては、一定基準にしたがって水質が分類される。

		フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
4 流域管理	流域管理計画	①水管理庁計画：水管理庁が行う財政的な補助に関する計画を規定する複数年計画。下水道分野においては、SDAGE と呼ばれる基本計画に基づいてその援助がなされる。 ②水管理基本構想(SDAGE)：流域委員会により策定される水管理政策の指針となる15 箇年の管理計画。各流域の水資源開発量や水質目標基準などの指針を定める。 ③水管理計画(SAGE)：SDAGE で定められた小流域レベルで地方水委員会により策定される計画で、下水排水・下水処理施設に関する5 箇年の活動計画と長期計画が含まれている。	●水管理法に基づく計画 ①水管理基本計画 生活と経済の発展のために、流域もしくは経済圏、又はこれらの一部に対して水管理基本計画を定める必要があるとされている。 ②下水処分計画 広域的な視点から定められた下水処分計画においては、重要な下水処理場の位置及び処理区域、下水処理の概要及び施策の代表者を定めなければならない ●水組合 ドイツの大部分では地方自治体の独立採算方式に基づく下水道整備・管理が為されているが、一部の地域では、河川流域を基盤とした水組合法に基づく水組合によって実施されている。水組合は、各水域の利用者が組合を結成し、自ら協議により水質基準を定め、これを満たすために必要な下水道整備費用を利用者全員で負担する方式であり、日本の流域下水道のモデルになったシステム。 【ルール水組合の概要】 ・ノルトライン・ヴェストファーレン州にある11 の水組合のひとつ。 ・1990 年7 月のルール水組合法に基づき創設された自治権のある公的機構。前身は1913 年創設。 ・水質管理のための予算(年間約400 万ドル)の決定、環境基準の策定、分担金の設定・徴収を行うとともに、下水処理基幹施設(貯水池、処理場)の計画、建設、運営、維持管理を行う。 ・水組合は、基幹施設(貯水池、下水処理場、雨水処理)の運営維持管理に責任を持つ。下水収集及び排除設備の運営維持管理責任は地方自治体にある。 ・法的監督は州政府。 ・組合員は、流域内の地方自治体、商工業利水者、農業利水者、水力発電経営者(現在955 団体)で構成される。 ・経常収支における財源は、組合員からの分担金が79%を占める。資本金計における財源は、借入金金が87%、残る13%が州政府からの補助金。	①チェサピーク湾水質管理計画 ・チェサピーク湾の保全を目的として協力体制を築くものであり、1983 年のチェサピーク湾合意により開始された。この合意は EPA 長官、メリーランド州、バージニア州、ペンシルバニア州の各知事、ワシントン DC 市長およびチェサピーク湾コミッションにより署名されている。 ②五大湖水質管理計画 ・特定された懸案地域(AOC: Areas of Concern)43 地域のうち、26 地域は米国内、12 地域はカナダ国内、残りの5 地域は両国にまたがる地域である。 ③アイオワ五大湖計画 ・この5 箇年プロジェクトは、1990 年度のCWA319 条ファンドにより開始されたもので、実際、農業保全プログラムやアイオワ自然強化保全プログラム、全米魚類・野生動物サービスを通じて、農務省(USDA)農地サービス局より資金を受けている。本プロジェクトの目的は、流域に存在する非常に多くの湖に流入している堆積物や栄養塩類、農業、家畜の糞尿の量を削減することにある。このプログラムは特に、リンを対象として、不必要なあるいは過度な施肥を避けることに重点を置いている。耕作地からの流出水を削減する施策に対して援助を行うこと、水質を保全するために自分たちの資産をどのように管理することができるのかを湖周辺の土地所有者に示すこと、干潟保全プログラムや斜面保護プログラムを利用することなどが含まれる。 ④アイオワ堤体安定化 ・都市化による流出量の増加に伴う浸食により、0.3m/年ずつ湖岸が後退している状況に対する対応策(ウルフ湖)。	【富栄養化管理計画】 ・富栄養化問題には非常に多くの要素が関係していることから、地方や国の関係機関など広範な関係者の参加によるパートナーシップ型の取組みを重視。 ・対策も規制、ボランティア、協力、教育、経済等のあらゆる手法の適用を想定。 ・栄養塩負荷削減方策については、全国レベルでの方策とそれを補完する意味で、特に重要な水域については流域毎の管理行動計画を策定。この流域毎の計画は、地域富栄養化管理行動計画と呼ばれ、2000 年3 月までに試行的に11 の水域に係る流域について策定、さらに多くの流域での策定が進められている。 ・対策は費用対効果により評価

	フランス	ドイツ	アメリカ	イギリス
経済的手法	【課徴金制度】 ・1964年の水法により、水管理庁に課徴金の徴収権限を与えた制度。 ・取水課徴金と排水課徴金から成る。 ・排水課徴金は、汚濁物排出者からその排出量に応じて自治体が徴収し、これを水管理庁が徴収する。 ・徴収された課徴金は、補助や貸付金として地方自治体に与えられる。使途は、水資源開発、保全、環境基準の達成に必要な施設の建設・運営等。 ・排水課徴金は下水道使用料の一部として利用者から徴収（概ね下水道使用料の1/3が課徴金分）	【課徴金制度】 ・排水課徴金法（1976年）に基づく制度。1976年制定、1989年改正。地表水系、地下水系、海洋水系に廃水を排出するものに対して排水課徴金を賦課することを定める。 ・連邦レベルで導入されたため、全国的に一律適用。全国の平均費用をベースにして設定されている。 ・州政府は排出者に対して排水許可証を発行し、これに記された基準に従って課徴金額を算定、徴収する。 ・実際の排出負荷は、排出者が自らモニタリングして報告する義務があるが、さらに州政府あるいは公認機関の立ち入り調査が入る。モニタリングの結果、汚濁負荷排出量が許可量を超えた場合は、汚染単位数が割増される。 ・これを財源として下水処理場建設や水質保全にかかる技術開発及び下水処理施設の維持管理などを行っている。 ・BOD、COD、重金属、窒素、リンなどの水質項目の限界汚濁負荷量に対して課される課徴金で、1汚染単位に対して約35€。1汚染単位は1年当たりの排出量として、物質ごとに設定されている（COD50kg、窒素12kg、リン3kg等）。 ・最低限度の排水基準値を満たせば、課徴対象物質毎に課徴金が減額される。現在の減額率は50%。 ・平均的には、排水課徴金は下水処理場における総費用の約5%に相当。1998年の徴収総額は約500億円。住民1人あたり年間約€5。概ね下水道使用料の3%に相当。	【排出枠取引（水質取引）制度】 対象となる水質項目に関して、各排出源の削減目標を上回る削減を行っている施設から、目標の削減量に満たない施設がその余剰分を買い取る仕組み。個別取引の場合と、ある機関が市場を創設して余剰分の売買を行う場合がある。 ●実施中の水質取引プログラム ・ロングアイランド湾取引計画（コネチカット州） ・ラー鉱業許可（ミネソタ州） ・南ミネソタ砂糖大根工場の取引計画（ミネソタ州） ・ターボムリコ栄養塩削減取引計画（ノースカロライナ州） ・フォックス・ウォルフ流域取引モデル計画 【課徴金制度】 雨水施設で、クレジットやオンサイト施設の実施における使用料の減免といったインセンティブのための制度的メカニズムを提供するものがある。使用者に対して最小コスト施策（雨水施設使用料を払うか、オンサイト施設を設置するか）を選択させるもの。 【補助金制度】 「特定流域補助プログラム」：優れた流域保全計画を有する流域団体に対して、必要な資金を提供するというもの。	【課徴金制度】 特記すべき制度はない。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 418

November 2007

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