

3. 3. 環境分野

環境分野では、第3期科学技術基本計画（以下、第3期計画）に掲げる「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」という基本的な姿勢に立ち、環境と経済を両立し持続可能な発展を実現するために、「地球温暖化・エネルギー問題の克服」並びに「環境と調和する循環型社会の実現」という政策目標を設定した。その達成のために、重要な研究開発課題として6研究領域、「気候変動研究領域」「水・物質循環と流域圏領域」「生態系管理研究領域」「化学物質リスク・安全管理研究領域」「3R技術研究領域」「バイオマス利活用研究領域」を設定した。

これまで、環境分野における政策目標の進捗状況の把握のため、関係府省や研究機関の研究開発に対し、年度毎のフォローアップと3年目の中間フォローアップを実施し、必要に応じて所見を述べてきた。

環境分野全体の成果として、第3期計画では、国内外の研究機関の間での連携が進んだ。例えば気候変動研究領域では、平成18年には「地球観測連携拠点」が設立され、地球温暖化監視・予測のために必要な観測ニーズを踏まえた、関係機関による観測の実施計画をとりまとめるとともに、観測施設の共同利用、観測データの流通促進などを通じて、関係府省・機関間の観測の連携を強化した。

関係府省における関連施策の連携強化、重複排除等の調整を積極的に行い、研究成果の最大化を図る仕組みとして、科学技術連携施策群「バイオマス利活用」（平成18～20年度）、同「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための研究開発」（平成19～21年度）を実施した。関連施策を補完するとともに、関係府省・研究機関の連携を図ることで、大きな成果を見た。

研究成果の社会還元については、社会還元加速プロジェクト「環境・エネルギー問題等の解決に貢献するバイオマス資源の総合利活用」を実施している。また、国際的に高い評価を得ている例として、陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）や温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）による地球観測がある。ALOSの観測データや解析結果は国内外の関係機関に広く提供され、森林破壊の状況把握や自然災害の対策に大きく貢献している。一方GOSATは、世界唯一の温室効果ガス観測専用の衛星として、全球レベルでの観測データを一般に提供し、地球温暖化対策に大きく貢献している。第3期計画における環境分野6研究領域の主要な成果について、以下に概略を述べる。

（1）第3期の研究開発の成果等

①気候変動研究領域

政策目標「世界で地球観測に取り組み、正確な気候変動予測及び影響評価を実現す

る。」及び「温室効果ガス排出・大気汚染・海洋汚染の削減を実現する。」のための研究領域である。この研究領域は、地球観測・温暖化モニタリング、気候変動プロセス、気候予測、影響予測、適応策、緩和策、長期社会シナリオとリスク管理、及び研究基盤としてのデータ統融合から構成されており、様々な取組が実施された。

第3期の主要施策に係る成果

- ・地球観測・温暖化モニタリング研究では、2009年1月、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)の打ち上げに成功し、二酸化炭素・メタンの観測及び観測データの一般への提供を開始した。地上観測(2010年10月時点で324点)では不可能であった全球レベル(5万6千点)での測定に基づき、詳細な季節変動観測が可能となり、搭載センサの性能の高さ(分光分解能、信号対ノイズ比)について世界中から高い評価を受けた。
- ・気候変動プロセス・気候予測研究では、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を活用して、温暖化予測モデルの改良・検証を行い、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次評価報告書の策定に大きく貢献した。さらに、IPCC第5次評価報告書への寄与と、気候変動対応政策への科学的基礎の提供を目的として、予測モデルの高度化、モデルの不確実性の定量化と低減、および予測情報に基づく自然災害に関する影響評価に取り組んでいる。地球シミュレータを用いた数値実験の結果、温暖化により台風経路が東へ偏る可能性があること、日本付近への台風の接近数は減少するものの強度が増加する可能性があることなどの予測を得た。
- ・データ統融合では、大気、陸域、海洋、人間圏などに関する多様な観測データや気候変動予測結果などの大容量データを統融合し、科学的・社会的に有用な情報に変換して提供するためのデータ統合・解析システム(DIAS)が構築され、地球環境情報の統融合により生み出された有用データ・情報により、地球規模水循環、温暖化影響予測、生態系管理、水産資源管理など様々な分野で活用された。例えば、エルニーニョや北太平洋10年スケール振動などの主要な海洋変動が現実に近い状態で再現された海洋再解析データセットを用い、ペルー沖漁場におけるアメリカオオアカイカ漁獲量と海洋物理環境の年々変動との相関解析を行い、水深30-100m付近の水温との間に有意な負の相関が1年以上継続して見られることを発見し、相関の高い水温変動の領域の水温予測からアカイカ資源量の資源変動解析が可能となった。
- ・影響予測・リスク評価研究では、気候変動の社会への具体的な影響を含む総合的な気候変動シナリオを創出し、さらにそれを社会に「実感」可能な情報として伝達するための方法論を確立することを目的として研究を実施した。この結果、水資源、海洋生態系、雪氷、農業等の各分野について不確実性の幅を明示した全球規模の温暖化影響評価結果を得るとともに、台風、春一番等の日本に関連の深い気象に関する予測の信頼性に関する定量的な評価を得た。また、複数の地域気候モデルの利用などにより日本周辺域の空間詳細な予測情報とその不確実性を算定するとともに、社会経済シナリオの空間詳細化および土地利用変化などの予測を行い、IPCCの新シナリオ研究に貢献した。さらに、社会調査等の手法を用いて、温暖化リスクに関する市民の認知についての知見を得た。

- ・我が国を対象にした影響予測研究では、今世紀末までを対象として、洪水・土砂災害・コメ収量など8つの分野における影響を多角的に評価した結果、比較的低い気温上昇でも日本において厳しい影響が現れる、との予測を得た。また、世界的に温室効果ガス排出量が大幅に削減され、その濃度が450ppmで安定化した場合でも、日本において一定の被害は避けられない、との予測結果を得た。また、地球温暖化が農林水産業に与える影響評価として、気候シナリオと組み合わせた将来予測を行った。
- ・温暖化対策技術研究では、民生部門での温室効果ガス排出削減のため、スーパーマーケットやコンビニエンスストア向けの冷凍冷蔵ショーケースのノンフロン化(CO₂、アンモニアブライン)の技術を確立するとともに、現場での実証試験を実施し、効率向上を確認した。また、農業分野の緩和策では、営農管理による農耕地から排出されるメタンや一酸化二窒素の排出削減技術を開発した。
- ・長期社会シナリオ研究では、我が国が、2050年までに主要な温室効果ガスであるCO₂の排出量を1990年に比べて60-90%削減し、豊かで質の高い低炭素社会を構築することは可能であるとの研究成果を発表し、研究をさらに発展させ、現在の先進国共通の目標である80%削減の根拠を与えた。

第3期の評価

- ・第3期の気候変動研究領域においては、観測、データ統融合、モデル予測、適応策等、各テーマの施策が構造化・組織化された形で推進され、大きな成果を挙げた。これらの成果は、温暖化対策の政策立案や技術開発に貢献した。
- ・地球観測・温暖化モニタリング研究では、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)が二酸化炭素、メタン、水蒸気などの全球濃度分布及び季節変動を観測し、高精度データを提供しており、世界的に高い評価を得ている。GOSATの今後の課題は、より精度の高いデータを常時配信出来る体制の構築、データ利用の拡大、世界の二酸化炭素排出削減への政策的貢献等が挙げられる。そのためにも、亜大陸規模で排出量の多い地域や吸収に寄与する森林地域等を科学的に把握し、二酸化炭素の排出・吸収量を推定する逆解析モデルの開発は、世界の温暖化対策及び気候政策に対して重要な貢献をする可能性がある。また、大気中メタン濃度データの積極的活用も進める必要がある。

一方、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)は地球規模で森林を広範囲かつ高頻度で観測し、日本の森林状況・土地被覆分類図等の高精度データを提供している。海外でも、過剰伐採、森林劣化等の評価に利用されており、さらに実利用が期待される。

その他、アジア大陸スケールの大気越境汚染に対しては、衛星観測やライダーネットワーク観測等の地上観測のデータとモデリングを統合することで、東アジアからの大気汚染物質や黄砂の発生量や我が国への負荷量の推定精度を大きく高める

ことに成功している。都市スケールでの観測では、都市気象で重要な風速場を立体的かつ広域で計測する技術の開発に成功している。

以上、社会での実利用を目指し、様々なスケールの課題への利用が試みられていることは評価出来るが、試験段階に留まっている課題も少なくないことに留意して、今後の研究開発を進めるべきである。

- ・第3期のデータ統合研究では、多岐にわたる気候変動の研究分野間で大気、海洋、陸域、人間圏のデータの円滑な共有が行われ、複数分野にまたがる影響・リスクの解析を可能とする研究基盤であるデータ統合・解析システム（DIAS）の構築が開始されたことは重要である。これまでにベースとなる機器の整備が行われ、関係研究者に向けた運用が開始され、地球観測（GEOS）、気候予測、水資源、防災等での影響予測、生態系管理、地球規模での生物資源管理などの分野で大きな成果を挙げた。一方で、このプロジェクトのもう一つの目標であった「各分野のデータ管理の専門家を有するオペレーショナルなデータセンターの構築」に関しては、次の課題として残された。次の5年間で広い範囲のユーザーも対象にしたデータセンターを如何に構築していくか、そのプロセスを示す必要がある。
- ・気候変動予測研究では、空間解像度の向上等でのモデルの高度化により、温暖化時の台風の動向といった極端現象の変化に関する予測結果の不確実性も系統的に評価されるようになった。さらに、気候予測モデルの高度化に関する研究では、雲やエアロゾルの大気物理・化学反応過程の精緻化、生態系、土地利用等の陸面過程の変化を考慮するなど、総合的モデルの高度化が進展している。
- ・気候変動影響予測研究では、農林水産省は温暖化が進行した環境下での地域農業などを支えていく上で必要な農林水産業分野に対する各品目の予測モデルを作成し、灌漑用水資源への影響を予測し、それを高温耐性を持つ作物や栽培管理法などの技術開発に利活用している。今後は、予測の高度化が重要な課題となる。
- ・影響リスク評価研究では、水資源、生態系、農林水産業、災害、沿岸域、健康などの分野で影響予測モデルの高度化が進展し、それに基づいて、分野毎の日本に対する影響総量とリスクマップが描かれ、主要な項目で影響の経済評価が行われた。これらの結果は、気候変動対策の必要性を認識する上で役割を果たしたが、被害コストの見積もりや温暖化対策の費用対効果分析に用いるには一層の高度化が必要である。
- ・影響予測研究の進展に基づいて、気候変動への適応策に関する研究が開始されたのが、第3期の特徴である。とりわけ、農林水産業、防災、水資源、健康などの分野で、適応策の考え方と対策メニュー及びその効果に関する研究が行われた。たとえば、防災面では国及び地方自治体の施策立案に生かされたが、2010年の豪雨・土砂災害や猛暑の影響の出現を考えると、適応策を実地に展開するための研究、技術開発の加速が必要である。

- ・温暖化対策技術研究はエネルギー分野と密接な関係があるが、第3期分野別推進戦略では、二酸化炭素の排出対策はエネルギー分野で、メタン、一酸化二窒素、フロンなどその他の温室効果ガスの対策は環境分野で扱う、とされていた。後者については、各省で研究が展開されてきたが、個別的な研究に留まっていたのは否めない。このため、CO₂とそれ以外の温室効果ガス対策研究を、明確な全体目標のもとに優先度の高い研究から進めることが必要である。
- ・温暖化対策の長期的研究である、低炭素（脱温暖化）社会形成に向けての社会経済シナリオ研究では、第3期の間に、環境省地球環境研究総合推進費戦略研究の成果が発表され、JST 低炭素社会戦略研究センターによる低炭素社会実現のための社会シナリオ研究がスタートするなど、重要な進展があった。これらの成果は、政府の「温暖化対策の中長期ロードマップ」及び「グリーン・イノベーションに係るタスクフォース会合」での検討などに用いられた。

以上のように、気候変動研究領域では、各テーマで研究が進展し、その成果が政策検討や技術開発に用いられた。こうした成果が得られた背景には、テーマ毎にコアとなる研究プロジェクトが継続的に設定されたこと、府省連携や研究者間の連携が進んだこと、地球環境問題の解決を目指すグリーンイノベーションに向けて総合科学技術会議の強いイニシアチブが発揮されたことが挙げられる。

今後（H23～）の取組

京都議定書の第1約束期間終了後の2013年以降の国際枠組みについては、交渉が続いており、将来の国際枠組みのあり方は更なる議論の対象となっている。その一方で、環境・エネルギー対策のための技術開発、社会システム変革、政策の推進は不可避であり、エネルギーシステムの革新、社会のグリーン化の流れは一層加速すると考えられる。また、気候変動の影響は世界各地で顕在化しつつある。こうした文脈の中で、途上国のみならず先進国においても影響への適応対策が立案される動向にある。こうしたことを踏まえ、第4期における気候変動研究の課題は、第3期における気候変動研究の成果をグリーンイノベーションの基盤として位置づけ、豊かで質の高い国民生活の実現と地球規模の課題解決に貢献することである。そのためには、以下のような課題がある。

- ・気候変動予測及び影響評価に当たっての基盤となる地球観測の継続的な実施や更なる高度化を推進するとともに、分野毎の基礎的研究を継続的に推進する必要がある。また、森林や農地土壌における吸収機能向上技術の開発を推進する必要がある。
- ・個々の分野で良い成果は挙がっており、各分野での成果は他の分野に活かされているが、気候変動の影響を顕著に受ける農林水産分野などにおいては、高精度の影響予測と評価及びこれに基づく適応技術の開発をより一層推進する必要がある。一方、

分野間をつなぐインターフェースを含めた全体の研究の推進体制は不十分である。観測の成果を予測モデルに活かす、予測結果を適応策策定に活用するなど、研究全体を構造的に構築する上で、このような分野間のインターフェースは不可欠である。地球観測情報利活用のための連携プラットフォームの構築、強化と併せ、気候変動研究を統合的に推進するための体制を確立する必要がある。

- ・気候変動予測モデルに関しては第5次のIPCC報告書に向けての研究が進められている。この中で特に注目されるのは、近未来の今後30年位でのわが国各地域における気候変動予測である。これは農業や水資源、防災など各地域での生活に対する温暖化の影響を評価する上で基礎的なデータとなるものであり、影響評価には常に最新の気候変動予測モデルとの連携が必須である。また、多くの影響予測モデルの作成が行われているが、モデル間で前提条件及び結果の比較検討を行い、より信頼性の高い結果を社会に発信する必要がある。
- ・研究に関する国民との対話型コミュニケーション、企業、自治体やNPO等との連携、長期的なシナリオ研究、実証研究などにより、成果の社会還元及び国際発信を一層進めていく必要がある。
- ・第3期においては、気候変動研究は環境分野、エネルギー関連研究はエネルギー分野に位置づけられており、相互の連携は極めて弱かった。第4期ではこの点を反省し、環境政策とエネルギー政策に関する研究開発の連携を強化する必要がある。

②水・物質循環と流域圏研究領域

政策目標「健全な水循環と持続可能な水利用を実現する。」を達成するための研究領域である。我が国及びアジアを中心とした世界各地の流域圏における現実の諸問題を解決するため、この研究領域は、水・物質循環の観測、環境情報基盤構築、水循環変動研究、物質循環変動研究、水処理・水管理のための技術、持続可能な流域圏管理技術開発研究というテーマより構成されている。

第3期の主要施策に係る成果

- ・水・物質観測と環境情報基盤の整備では、インドネシアに完成した海大陸レーダーネットワークや、インド洋に設置した観測ブイを用いて通年観測を実施するとともに、インドネシア・ジャカルタ広域首都圏におけるレーダー・レーウィンゾンデ集中観測により、アジアモンスーン沿岸メガシティにおける豪雨発生機構解明につながる基礎的な観測データを取得した。観測空白域において、観測ネットワークの構築及び観測研究を推進したことで、大気・海洋変動現象メカニズムの解明に多大な貢献が見られ、全球地球観測システム(GEOSS)の構築に貢献した。
- ・水循環変動研究では、国外では、アジアモンスーン域の多様な水文気象観測により収集された

データを、データ統合・解析システム（DIAS）を用いて統合・解析することにより、東南アジアでの豪雨発生機構の解明に貢献するとともに、水循環の変動予測の精度向上を通じ、洪水防災や流域の水管理に貢献した。また、国内では、洪水軽減と効率的な水資源利用のため、DIASを活用するダム最適操作システムを開発した。洪水予測については、気象庁の降水量予測値を初期値・境界値とする気象モデル（WRF）の降水量予測情報の精度を改善し、降雨予測情報を入力値とした洪水予測モデルの開発を行った。このモデルは四国地方整備局に導入され、試験的に運用されている。

- ・物質循環変動研究では、アジアの都市大気環境の汚染メカニズムの解明、モデルの検証を可能とする仕組み・方策により、アジアの都市大気環境の改善策を提案するための観測、モデリング、発生源推定手法の開発が大きく前進した。
- ・水管理技術開発研究では、含窒素有機化合物が塩素処理におけるカルキ臭原因物質の一つであることを示した。また、臭気被害発生に関して水道原水中の実態調査を行うとともに、臭気物質の活性炭による除去性、臭気物質及び揮発性有機化合物の定量分析法を検討した。また、浄水プロセスの開発に関する研究では、膜ろ過の高度化、紫外線処理についてマニュアル案を作成した。飲料水健康危機の適正管理手法の開発に関する研究では、水道水源において監視優先度の高い未規制化学物質の抽出、GISの空間解析機能を用いた病原微生物による水源汚染リスク要因を抽出する方法の開発等の成果が得られた。
- ・水処理技術開発研究では、微生物を用いる新たな脱窒技術であるアナモックス反応を利用した窒素除去プロセスの実証試験を実施し、性能を確認するとともに、設計・運転管理手法について取りまとめた。また、エストロゲン類・医薬品類を効果的に除去する下水処理法を開発した。
- ・持続可能な流域圏管理技術開発研究では、名古屋大学と国土交通省、農林水産省、環境省の所掌研究機関が共同して、伊勢湾流域圏を対象に生態系サービスの概念に基づく自然共生型流域圏環境管理手法を開発した。流域圏における森林、農地、都市、河川、沿岸、内湾における各種生態系サービスを定量評価する機構モデルを開発し、修復技術に展開するとともに、その修復効果を例えば化石燃料代替効果等に変換して生態系サービスの定量評価を行う方法論を構築した。これらの成果を利用して施策の効果を表現する「環境影響評価モデル」を用いた施策評価手法を開発した。これにより流域から沿岸域に亘る連続的な生態系サービスや生物多様性を評価することで、環境施策上の重点項目の評価を可能にした。また、異なる性質をもった様々な施策の効果を分かりやすく表現・比較することが可能となった。

第3期の評価

- ・流域圏の水・物質循環の観測・解析では、XバンドMPレーダによる高解像度の降雨観測システムが成果を挙げている。これは、いわゆるゲリラ豪雨等への対策として国土交通省が整備を進めているもので、平成22年3月末までに3大都市圏等（関東、北陸、中部、近畿）に11基のXバンドMPレーダが設置された。高分解能（250mメッシュ）かつ高頻度（1分間隔）な監視、観測を行うシステムであり、その降雨

観測情報はインターネットを通じ一般にも配信されている。また、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の高精度な森林状況・土地被覆分類図等のデータは必須の研究情報となっている。

- ・環境情報基盤構築において、データ統合・解析システム(DIAS)の利活用が重要な要素となっている。主要なターゲットが水循環関連データであったこともあり、アジアモンスーン域やユーラシアでの多様な水文気象データが収集、統合されており、地域の水資源管理や将来予測に活用、貢献している。具体的な取組としては、例えば、国内での降水予報情報、衛星データおよびモデル等が組み合わせられ、洪水軽減と効率的な水資源利用のためのダムの最適操作システムなどが開発され、データ統合がより大きな付加価値を生むことを実証しており、この点は第3期の大きな成果である。
- ・水管理技術研究に関しては、上水では臭味の微量原因物質への対策、下水処理ではエストロゲン類や医薬品の環境中への放出対策といった微量物質の管理が研究課題となった。前者は社会生活に密着した問題であり、原因解明から始まってその低減技術の開発とそれを使った水質管理が着実に進展した。今後もこうした影響の未解明な化学物質が増加すると予想されることから、着実な研究の推進が必要である。
- ・第3期の研究目標の一つは、水の循環に沿った流域圏における水・物質循環、水資源、生態系保全、都市・地域計画を一体的に研究することであった。この分野では、伊勢湾流域圏における自然共生型流域圏管理手法の研究などがある一方、多くの研究が、山地・農地・森林(農林水産省)、里山(環境省)、都市域・沿岸域(国土交通省)といった地域毎の研究にとどまっている。
- ・水循環に関する各省の姿勢は国内の個別的課題への対応が多く、アジアなど、国外へ展開していく仕組みが欠けている点は改善が求められる。

今後(H23～)の取組

- ・水・物質循環、流域圏、生態系は、人間生活の様々な局面と密着した問題であるため、施策として統一的に捉えることが難しく、個別対応型になってしまう傾向がある。研究の上流側に位置する衛星や広域ネットワークを使った観測の継続、高度化を進めるとともに、それらを活かしたモデリングや将来予測、下流側に位置する水資源・水質管理や都市の健全性、流域での地域諸問題をどのようにリンクしていくかが今後の課題である。
- ・データ統合・解析システム(DIAS)による水循環関連データの活用について、得られた成果を還元する対象は研究者なのか(研究論文レベルなのか)、それぞれの国・地方自治体の行政担当者なのか、ある程度明確にする必要がある。
- ・水・物質循環領域の研究は、気候変動や生態系管理など環境分野の他の領域や、災害など他の分野と重なるものが多い。また、行政的管轄が異なるため、山地から海

域に至る統一的なアプローチが難しい分野である。こうした分野や担当府省の壁を越えて、総合的なアプローチを可能とする仕組みをどう作るか、維持するかが課題である。

- ・国内的には、気候変動の影響を考慮した総合的な水資源管理や微量化学物質による汚染対策、水道・下水道の老朽化・耐震対策などさまざまな課題がある。また、健全な水と緑のネットワーク、自然共生型の都市づくりは、「社会インフラのグリーン化」の一環としてグリーンイノベーションの重要な要素であり、その実現のための計画論や技術開発に関する研究も重要である。持続可能な社会と国土を目指して、水インフラの脆弱性克服と自然共生型社会構築に向けた研究の推進が必要である。
- ・国際的には、JST-JICAの地球規模課題対応国際科学技術協力事業や水インフラ技術の移転・輸出に向けた取組等は、我が国の科学技術による国際貢献の新たな展開として注目される。一方、国家としての全体的な研究推進体制を欠いたままに、個別に進められているのが現状である。第4期においては、国際展開における研究推進戦略を構築するとともに、こうした動きを加速するための最適な方策を検討する必要がある。
- ・第3期に実施された個別の研究を見ると、テーマの大きさに比べて予算額の小さいものが多い。水に関連する国内外の課題は多岐にわたるため、個別テーマを着実に解決する必要はあるが、大型予算によって府省間、政府・大学・民間が連携して総合的な課題解決に挑戦する研究など、メリハリをつけた研究費の配分が必要である。

③生態系管理研究領域

政策目標「持続可能な生態系の保全と利用を実現する。」を実現するための研究領域である。地球の生物生産力を超過していると言われていた人間活動を許容力内におさめ、「社会・経済活動と生物多様性・生態系保全の両立」及び「生物資源の持続可能な利用」を実現するための生態系管理技術の開発を進めた。本研究領域は、生態系の観測・解析、環境情報基盤構築、生態系モデリング、影響評価、生物資源の持続的利用・管理というテーマより構成され、国内外の生態系・生物多様性研究の連携を強化して実施した。

第3期の主要施策に係る成果

- ・生態系の観測とその環境情報基盤構築では、陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)により2006年度から定常的な観測が継続され、植生分布、雪氷、氷河等の観測及びデータ提供を実施した。世界で唯一運用しているLバンド合成開口レーダ(PALSAR)は森林観測に適しており、海外ではインドネシアにおける森林減少・森

林劣化量の把握や、ブラジルにおける違法な森林伐採の監視などに活用された。さらに国内では、環境省による「みどりの国勢調査（自然環境保全基礎調査）」、農林水産省における水稲作付面積把握調査、環境省におけるサンゴ礁調査等にも貢献した。

また、メコン河流域生態系の管理に向けて、メコン河流域での地理空間データベースが構築され、メコンデルタのマングローブ林の生態系機能の研究が実施された。

- ・生態系観測とモデリング研究では、特定外来生物セイヨウオオマルハナバチを対象とし、市民参加型モニタリングで得られる現場データを収集・データベース化し、空間情報と統合して実分布マップが作成された。実分布情報と生態学的特性、生息場所選好性、土地利用や気象データなどの環境情報データをデータ統合・解析システム（DIAS）により統融合することで、分布拡大予測モデルの作成が可能となった。構築したデータベース、分布マップ等はウェブサイトを通して一般公開された。
- ・河川生態系の観測とモデリング研究では、河川における外来植物種子の拡大・拡散メカニズムを解明、種子の拡大・拡散を考慮した数値解析ツールを開発、対処方法を提案した。また、水系内に分布する魚種の生息環境が分断されることによる、在来魚種への影響を定量的に把握するための遺伝情報を用いた調査手法を提案した。この手法を複数の水系に適用し、比較的狭い範囲に分布する魚類集団においても、遺伝的攪乱の履歴の検出や移動阻害状況を推定する手法を提案した。
- ・生物資源の持続的利用・管理研究では、世界的に激減したウナギ資源の保全と国際管理等に貢献するため、基礎的な生態研究では、2009年5月の新月、世界で初めて天然ウナギ卵31粒を西マリアナ海嶺南端部で採集することに成功した。また、近隣の海域で捕獲した親ウナギの解析も進み、回遊生態、産卵習性、繁殖生理に関する詳細な新知見が数多く得られた。今後、さらに汽水・淡水域での生活史と生態の解明がなされれば、世界的に激減したウナギ資源の保全と国際的管理のための貴重な科学的根拠になるものと期待される。

また、環境変動に伴って海洋生物が大発生する現象の予測・制御のため、日本近海で発生するイワシ、サバ等の多獲性浮魚の大規模な資源変動（魚種交替）が、北半球の風応力の変化に伴う海洋生態系の変化によって発生することを明らかにし、魚種交替モデルを開発した。これにより、人工衛星や調査船のデータから、魚種交替の発生を概ね4年前に予測することが可能となった。

第3期の評価

- ・流域圏の生態系管理を進める上で、衛星観測は必須の道具である。例えば、ALOSは、森林・農地などの陸域生態系の管理にも極めて有用であり、国内だけでなく、広く海外での利用も期待される。また、データ統合・解析システム（DIAS）の利用も、様々なスケールより構成される生態系の管理には必須である。例えば、特定外

来生物（外来生物）の防除に対して、データの緊急的収集から、既存データと統合・分析し、その結果から得られる予測情報を公開するといった一体的な取組を実施することにより、政策の実行に寄与することができた。これにより、DIASによって創出される情報が生態系管理の有力な手段となることが実証された。今後、さらに広範な政策と基礎自治体を含めた主体への寄与の可能性を検討することが必要である。

- ・日本近海の大規模な魚種交代の機構の原因解明に努め、魚種交代モデルを開発するとともに、衛星観測や調査船のデータから魚種交代を4年前に予測可能な技術の開発に成功している。また、クラゲの大発生に関しても、その原因解明から分布予測、さらにはクラゲの発生を抑制する制御技術の開発を進めている。海洋の生物資源管理に関しては、水産庁がその全体を統括して研究を行っており、そのこともあり入口から出口までがまとまった研究となっている。

今後（H23～）の取組

- ・生態系管理は第3期計画において独立した研究領域となったが、国全体の施策として実施するという視点が弱い。その結果として、各省の施策には相互の関連性がほとんど見られない。国が施策として進めるからには、その連携を図っていく何らかの仕組みが必要であろう。第4期の重点課題であるグリーンイノベーションの基盤となる研究分野であることから、全体のフレームの中での位置づけをはっきりさせることが重要である。
- ・本研究領域では、研究開発を立案・実行する研究者が、世界的な動向を踏まえ広い視野に立って現在から近未来の社会的ニーズに応えるというよりは、従来からの、特定の産業の課題等に限定された「これまでに慣れ親しんできたミクロな視点」での研究に固執しがちなことが課題として挙げられる。
- ・生物多様性条約第10回締約国会議（COP10、2010年10月 名古屋市）において、「締約国は2010年までに生物多様性の損失速度を顕著に減少させる」といういわゆる「2010年目標」は達成されなかったことが確認された。また、我が国における生態系管理や生物多様性保全についても、順調に進展しているとは言えない状況となっている。従って、生態系管理や生物多様性保全に対する国としての取組を再考する必要がある。

④化学物質リスク・安全管理研究領域

「環境と経済の好循環に貢献する化学物質のリスク・安全管理を実現する」という政策目標を実現すべく、人間社会と自然環境における化学物質のトータルリスクを最小化するためのリスク評価手法とリスク管理技術の開発に取り組んだ。本研究領域で

は、有害性評価・暴露評価・環境動態解析とそれらを統合したリスク評価管理、対策技術というテーマより構成される。

第3期の主要施策に係る成果

- ・有害性評価研究では、ある種のカーボンナノチューブがアスベストと同様に遺伝子組換えマウスにおいて中皮腫を発生させる可能性があること等の知見を得た。
- ・既存化学物質の反復投与毒性試験に関する既知情報、当該物質の代謝に関する既知情報（毒性知識情報データ約 500 物質、毒性作用機序データ約 150 物質、代謝知識データ約 650 物質）をそれぞれ毒性知識情報データベース、代謝知識情報データベースとしてとりまとめた。反復投与毒性試験のデータベースの一部は、OECD の QSAR アプリケーションツールボックスに搭載された。
- ・化学物質の内分泌かく乱作用を試験管内で評価する手法として、メダカ等のホルモンに対する受容体を発現させた細胞を用いたレポーター遺伝子アッセイ手法の基礎を確立した。この手法は、OECD のガイダンス文書に掲載された。
- ・トキシコゲノミクス手法を応用した毒性予測評価システムの開発を目的として、約 100 物質に関する網羅的遺伝子発現プロファイルを構築し、遺伝子発現変動を効率的に網羅抽出する方法を開発した。また、動物実験によらず毒性を把握するカテゴリーアプローチ、定量的構造活性相関や培養細胞を活用した *in vitro* 試験手法などの開発を行った。*in vitro* 試験手法においては、発がん性試験について Bhas 42 細胞による形質転換試験法の OECD テストガイドライン化を目指し、OECD に提案した。
- ・暴露評価・環境動態解析研究では、PRTR 対象物質の 4 つの主要用途群（工業用洗浄剤、プラスチック添加剤、溶剤・溶媒、金属類）での環境排出量推計手法を開発し、工業用洗浄剤とプラスチック添加剤については推計手法をまとめた排出シナリオ文書を作成し、OECD に提案した。化学物質の自然的な環境動態と曝露に関する複合的要因を時空間スケールにおいて把握するため、流域・地域から地球規模に至る階層的な GIS 多媒体モデル群を開発した。
- ・リスク評価研究に関しては、医薬品類の水生物に対する生態リスクの評価に向けた研究を行った。また、工業ナノ材料について、有害性評価と暴露評価をリスク評価へと統合する研究が成果を挙げた。具体的には、多層・単層カーボンナノチューブ、フラーレン等の、吸入暴露試験、気管内注入試験、*in vitro* 試験等による有害性評価を実施するとともに、室内試験と製造現場の現地調査をもとに暴露評価手法の開発を行い、得られた知見を集約し、カーボンナノチューブ、フラーレン、二酸化チタンに関するリスク評価書の中間報告版を策定・公表し、その中で作業暴露管理の目安値を提案した。
- ・リスク管理研究では、土壌中のカドミウムや POPs の作物残留低減技術の開発を行った。科学技術連携施策群の補完的課題として、フィジカルリスクを含む化学物質リスク管理のための情報プラットフォームを構築した。
- ・リスク管理技術としては、リスクトレードオフ解析手法のプロジェクトの中で、暴露の推計手

法及び有害性の推論手法に加えて、社会経済分析手法を開発し、工業用洗浄剤とプラスチック添加剤の2用途群での物質代替におけるリスクトレードオフを代替の費用対効果を含めて解析し、社会経済分析指針を作成した。

- ・ 科学技術連携施策群「総合的リスク評価による化学物質の安全管理・活用のための研究開発」（2008～2010年度）の実施を通じて、省庁間で最新の政策動向、研究課題に関する情報共有を図り、効率的な研究開発に努めた。本連携施策群の活動によって連携が進んだ事例として、厚生労働省、経済産業省及び環境省が連携・分担し構造活性相関手法の開発を実施したことが挙げられる。

第3期の評価

- ・ リスク管理の基本である有害性と暴露に関する研究が着実に進められた。有害性評価のための簡易手法、代替手法の開発については、トキシコゲノミクス、構造活性相関、*in vitro* 試験手法の研究が行われた。これらの手法が利用できるようになるためには、かなりの情報の蓄積が必要であり、現時点ですぐに実用化されるものではないが、構造活性相関の研究がOECDに情報を提供するなど、国際的な標準化を視野に入れて展開されていることは重要である。トキシコゲノミクスについては、各国における取組との関係等、国際的な位置づけおよび実用化までの時間的・技術的道筋について言及することが必要である。一方、曝露評価に関する研究では、化学物質の自然界での環境動態と曝露に関する複合的要因を時空間スケールにおいて把握するため、流域・地域から地球規模に至る階層的なGIS多媒体モデル群の開発、リスクトレードオフ解析手法のプロジェクトにおける排出シナリオドキュメントの作成と、異なる規模を対象とした曝露評価ツールの開発が行われた。これらのツールを統合しうるプラットフォームとして、科学技術連携施策群の補完的課題として、フィジカルリスクを含む化学物質リスク管理のための情報プラットフォームが構築されており、企業の担当者等、幅広い人がリスク評価、リスク管理に取り組むためのツールが整備されつつある。
- ・ ナノ粒子に関連した安全管理研究には、活用を前提としたリスク評価と、危険排除のための有害性評価という2つのスタンスがあり、それぞれの立場での研究が推進されているが、研究成果の共有、相互理解の観点から、一層の連携が必要である。
- ・ 重要な研究開発課題としてリスク管理に関わる人文社会科学が挙げられていたが、これに関係した研究は、リスクトレードオフ解析手法のプロジェクトにおける費用対効果分析および社会経済分析指針の作成のみであった。リスク管理手法の検討においても、リスク評価の社会への浸透においても、人文社会科学との連携が欠かせない。今後一層、この分野の研究が必要になるであろう。
- ・ 経済産業省のプロジェクトでは、国際的な標準化を戦略としてリスク評価手法を研究から実用へつなげる取組がされ、厚生労働省や環境省等のプロジェクトでは、よ

り専門性の高い立場から、有害性評価や環境動態の解明を目指している。これらの成果の活用のためには、各省の成果を統合する取組が必要である。

今後（H23～）の取組

- ・ ナノ粒子については、その研究開発も経済政策上極めて重要であり、そのためにも安全性の問題は避けて通れない。関係省庁の連携の強化が望まれる。特に、厚生労働省のプロジェクトを通して、形状や表面修飾と有害性との関係が明らかになりつつあるので、それらを今後の技術開発につなげる、あるいは新たな技術開発に対して有害性評価の方が支援を行う等の連携等、何らかのシステムティックな取組が必要である。その意味で、第4期に向けての展望としては、ナノ粒子の有害性評価手法開発についても、有害性評価・暴露評価・環境動態評価という個別要素を統合する展開と個別要素を深めていく展開の統合により、有害性に関する全体像への理解が深まり、それぞれの目標達成のためのアプローチがより良いものになることを期待したい。
- ・ 環境分野では6つの領域に分かれて研究が行われているが、廃棄物と化学物質リスクなど、領域をまたがったリスクのトレードオフ問題が存在し、リスクを中心に統合的にとらえる視点が必要である。本領域は化学物質の安全管理という立場から、リスクを中心に統合的にとらえており、今後、先駆的見本として他領域に広がっていくことが期待される。
- ・ 国連主導の、主として途上国を対象とした化学物質管理の目標達成に向けた、国際的なフレームワークの一層の推進が不可欠である。

⑤ 3 R 技術研究領域

「3R（発生抑制・再利用・リサイクル）や希少資源代替技術により資源の有効利用や廃棄物の削減を実現する」という政策目標を実現すべく、3R推進に向けた国際社会との協調のもと、資源の効率的・循環的利用と廃棄物の適正管理が、新たな物質管理手法によって国民の安全・安心への要求に応える形で行われることを目指した。この研究領域は、資源循環型生産・消費システムの設計・評価・支援技術、有用性・有害性からみた循環資源の管理技術、リサイクル・廃棄物適正処理処分技術より構成される。

第3期の主要施策に係る成果

- ・ 10～20年後の近未来における様々な社会条件の変化とそれに伴う循環型社会への影響を明らかにし、資源価格や国や地域の自立性の軸で表される複数のシナリオを描出した。一方、製品・サービス需要への影響、天然資源消費量・環境負荷発生量への影響を推計するための、物質・

フローの分析モデルを試作した。シナリオと対策群（対策パッケージ）を組み合わせ、技術重視とライフスタイル重視の二つのビジョンを試作し、効果の高い対策を同定した。また、対策の個別検討により実効性を明確化した。

- ・ 建設工事から発生する産業廃棄物のうち、いくつかの資材について LCA、LCC 評価を実施・例示するとともに、関連する資材の原単位整備を行った。
- ・ 資源の有効利用に資する希少資源代替技術としては、廃小型電子・電気機器からの希少金属等の回収技術、廃超硬工具からのタングステン等の回収技術、ジスプロシウムの使用量低減のための技術、セリウム代替材料と使用量低減のための技術を開発した。貴金属大幅削減自動車排ガス用触媒については、オキソ酸塩がオキソ酸ユニットを介した貴金属との結合によって高効率で固定化できること、及び、従来のアルミナユニットの耐久温度レベルを上回る 1,100℃での使用中耐久性を確認した。
- ・ 廃棄物問題の解決に資する技術としては、リン資源としての下水汚泥のポテンシャルと肥料化に関する経済性評価、産業廃棄物を建材として受け入れる場合の用途、性能評価項目・手法をとりまとめた。家電・パソコンなどの E-waste（電子電気製品廃棄物）については、国内・国際フローの中で「見えないフロー」であった中古輸出台数やその輸出後の状況、アジア諸国間の主要なフロー、アジアの途上国における典型的なリサイクルプロセスなどを明らかにした。

第3期の評価

本研究領域での課題としてあげられた個々のテーマは所定の目標が達せられていると言える。しかし、これまでの施策は概ね個別要素技術の研究に偏っており、より質の高い 3R の促進および資源循環型社会の構築につながりにくい。例えば、天然資源相場の変動が静脈資源（使用済み製品・部品・素材など潜在資源性のある未利用資源）や再生資源（静脈資源に一定の加工などを加えたため資源性が顕在化した有価物）のフローに及ぼす影響は、3R や資源循環を考える上で極めて重要であるが、システムとしての静脈物流に関する研究がほとんどなされておらず、研究成果も見当たらない。静脈資源および再生資源のフローを物理的な面でも経済的な面でも決定づけるのは静脈物流である。このような研究に国費が充てられたことはほとんど無いが、この課題へのサポートが今後必須である。

今後（H23～）の取組

- ・ 経済社会の中で要素技術を顕在化し活かすためのシステム研究がなければ、高度な 3R や資源循環型社会の構築は困難である。モノの流れは経済的要件・技術的要件・法制度的要件の 3 つによって主に支配される。これらを総合的にそしてシステムの解析する方向で研究を進める必要がある。
- ・ 新たな要素技術を活かすための法制的インフラストラクチャはいわば市場の動きの境界条件であり、その変化によって均衡解としての取引フローがどのように変化

するかについてのシステムデザインの研究も必要である。

- ・国際資源循環では、静脈市場に係る経済主体が自らコミットする枠組み、すなわちソフト・ローが重要になる。ソフト・ローと静脈資源や再生資源の取引フローの関係の研究にも取り組む必要がある。
- ・第3期計画策定時と現在を比較すると、3R技術研究領域における社会の要請は大きく変化した。すなわち、「有害廃棄物の処理をいかに効率的に処理するか」から「ゼロエミッション社会やレアメタル回収」を実現する社会システムを如何に構築するかへと変わったのである。このような社会の要請の変化に応じて、柔軟に研究計画を変更していくことが重要である。
- ・循環型社会構築のためには、廃棄段階に特化した3Rの議論だけでなく、その上流プロセスである製品設計、製品生産といった製造段階やさらに上流の資源問題についても取り組む必要がある。

⑥バイオマス利活用研究領域

「我が国発のバイオマス利活用技術により生物資源の有効利用を実現する」という政策目標を実現すべく、バイオマスのエネルギー利用、素材としての利用、また、バイオマス利活用を地域において実現するための研究開発に取り組んだ。本研究領域は、バイオマスエネルギー技術、バイオマス材料利用技術、バイオマス利活用システム研究というテーマから構成される。

第3期の主要施策に係る成果

- ・バイオマスエネルギー技術研究では、小規模高効率なバイオガス化・発電・液体燃料生産システム「農林バイオマス3号機」を開発した。農林バイオマス3号機は、木質バイオマスを浮遊外熱式によりガス化し、昼間は電力、夜間は液体燃料（アルコール）生産を行うシステムであり、液体燃料として、メタノールに続いて、エタノールも合成できるよう技術開発を行った。
- ・食品加工残渣の変換・利用技術として、廃食用油 500 L / 日程度から無触媒メチルエステル化法により 400 L / 日のバイオディーゼル燃料を製造する技術を開発した。
- ・バイオマス材料利用技術研究では、バイオマス資源を変換・利用する高効率な技術の確立に貢献するため、シロアリ共生微生物のメタゲノム解析を実施した。多様なセルロース分解酵素群の遺伝子を取得した。さらに、セルロース分解で生じる還元力を効率良く水素として処理し、分解を促進する機構も解明した。
- ・バイオリファイナリー技術については、糖化効率達成に向けての見通しを示し、糖からの STY (Space Time Yield: 時間当たりの生産量) が 10g/L/h 以上で3種の基幹物質を継続的に生産する新規な実例を示した。
- ・バイオマス利活用システム研究では、都内の事業系一般廃棄物のうち、その多くが再利用され

ていない厨芥と紙類を原料とする乾式メタン発酵法による都市型エネルギーシステムの実証研究を実施した。現状の廃棄物収集方法がこの方式によるバイオガス発生方法に適用しやすいこと、処理規模 10 トン/日以上程度であればエネルギー収支がプラスとなること、エネルギー回収率が 80%程度になること等を確認した。

また、収集・運搬からエネルギー転換・利用に至るまでのシステム上の物流データ及び経済データを把握、整理し成果報告書として一般に公開した。7 件の地域における地産地消型バイオマスエネルギー需給システムが確立され、今後、他地域への地域循環型社会の構築及び導入の参考になることが期待される。

- ・ 科学技術連携施策群「バイオマス利活用」の成果としては、関係各省が参画するタスクフォース会合における情報交換や意見交換により、研究開発間の連携強化、及び効率的な研究開発方針策定が促進された。バイオマス利活用システムの総合的評価のためのモデルが開発され、今後の指針を考える上での手法を与えた。バイオマスの地域利活用の典型的な成果として、沖縄・宮古島における 6 府省連携（経済産業省、環境省、農林水産省、国土交通省、総務省、内閣府）強化により、サトウキビによるバイオエタノールの生産からエタノール 3%混合ガソリン（E3）利用までの一貫システム「バイオエタノール・アイランド構想」が展開された。

第 3 期の評価

- ・ 科学技術連携施策群「バイオマス利活用」により省庁間の連携が図られ各省の研究分担を明確にし、さらに全体を統合し、評価するモデルの構築がなされた。科学技術連携施策群の終了に伴い、その連携は失われてしまったが、府省連携の仕組みを継続的に維持し、国家的な取組を如何に進めるかを再検討する必要がある。
- ・ 第 3 期の分野別推進戦略において、バイオマス研究は本領域だけでなく、エネルギー分野にも関連しているほか、環境分野の気候変動研究領域、生態系保全研究領域や 3 R 技術研究領域とも密接に関係している。政策を総合的に展開するという観点から考えると、バイオマスを取り巻く総合的な領域を設定することが求められる。

今後（H23～）の取組

- ・ 社会の要請に柔軟に研究計画を見直す体制づくりが必要である。
- ・ バイオマスの利活用という視点のみでなく、我が国の森林を総合的、持続的に継続していく方策という視点からプログラムを構築していく必要がある。木材資源の利用、エネルギー資源としての利用、マテリアルとしての利用、水源保全機能を有する森林・山地の管理を考えることで、エネルギー計画、地域の活性化及び生態系の管理等と統合的なバイオマス利用システムの構築が課題である。

(2) 第4期に向けての総括的コメント

環境問題はエネルギー、自然資源の開発と保全、社会・経済システム、健康など非常に多くの問題と関連している。それゆえ、総合科学技術会議の指導性、多様な研究技術開発の主体間の連携、研究全体を課題解決へ収斂させるための個別技術の統合、柔軟な研究開発体制、国際協力と国際展開などが強く求められている。

こうした点を踏まえて、総括的コメントは以下のとおりである。

- 我が国における国土保全、地球規模、途上国における環境保全への貢献といった、国全体として取り組むべき課題について科学技術の果たす役割は大きい。これらの課題に対して科学技術を中心に置きながらも、より広い総合的な施策を総合科学技術会議が提案し、イニシアチブを取って強力に進めるべきである。
- 環境分野の6研究領域では入口から出口までを目指した研究開発がそれぞれ進められたが、研究技術領域を構成する個別テーマが十分に組織化されておらず全体としてのまとまりに欠ける領域が多い。これの解消のためにも、基礎から応用までを見据えた研究者間の認識共有や、研究開発の過程で得た知見を研究者と政府、自治体、企業、市民と共有し、相互理解を促進する取組を強化する必要がある。さらに環境分野として他の領域との連携も十分に行われていない現状があり、例えば、気候変動研究は環境分野に、エネルギー関連研究はエネルギー分野に位置づけられており、相互の連携は極めて弱かった。第4期ではこの点を反省し、環境政策とエネルギー政策に関する研究開発の連携を強化する必要がある。また、分野を横断するリスクのトレードオフ問題が存在することに鑑み、分野間連携を進めるに当たって、統合的にとらえる中心的な視点の一つとして、リスク評価・管理の視点も重要である。
- 第3期中の研究推進においては、複数の省庁が類似した研究テーマに取り組むという縦割りの研究で省庁間での役割分担が十分でない場合も見うけられた。一部の領域では総合科学技術会議がイニシアチブを取り、科学技術連携施策群を実施するなど領域全体を見通す試みはあったものの、研究推進を図るマネジメント体制としては不十分であった。このため、平成22年度において総合科学技術会議はアクションプランとして各省の政策立案段階から科学技術予算の編成に関与する取り組みを実施しており、今後が期待される。こうした経験を踏まえ、第4期においては、重要な施策における推進体制をそのマネジメントも含めてどのように構築するか検討すべきである。こうした研究体制の構築に当たっては、総合科学技術会議におけるフォローアップ等での議論が各府省の研究担当の行政サ

イドのみならず各府省の現場の研究者に伝わり、議論を喚起し、社会の変化や研究の進捗に応じて、研究計画の見直しを適宜出来るような柔軟な仕組みを持たせることが必要である。

- 我が国の環境分野の科学技術の国際展開については、水循環や水インフラの分野で見られるような新たな取組が注目されるものの、国家としての全体的な戦略を欠いたまま、個別に進められているのが現状である。第4期においては、国際展開における国家戦略を構築した上で、このような動きを加速するための最適な方策を検討する必要がある。

