

(資料 17) 課題対応型の研究プログラムの実施状況及びその評価

1. 地球温暖化研究プログラム

1. 1 研究の概要

地球温暖化の原因物質である温室効果ガスの濃度変動特性を、地上観測サイト、船舶、航空機並びに人工衛星をプラットフォームとした総合的な観測とモデル解析に基づいて解明するとともに自然起源の吸収源の保全に必要とされる科学的知見を提供した。

また、地球規模の温暖化対策目標及び目標に至る道筋・方法についての議論を、リスクの管理に関する社会的な意思決定の問題として捉え、この意思決定を支援するため、地球規模の温暖化リスクに加え、水安全保障、生態系保全など関連する温暖化以外の地球規模リスク、及びリスク管理オプションについての検討を行い、リスクに対する社会の認知等も考慮した上で、リスク管理戦略の分析を行った。

アジア各国における脱温暖化社会に向けた取組の支援に資するため、世界及び日本における温室効果ガス削減目標及び対策の評価を行うとともに、中長期的な温室効果ガス排出削減目標の設定と、その目標を実現するための各国の諸状況に応じた政策オプションを提示した。また、国際制度・国際交渉に関する研究を進め国際協調のあり方を提言した。

1. 2 研究期間

平成23～27年度

1. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	124					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	138 (145)					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	143					
④その他の外部資金	23					
総額	428 (436)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

1. 4 平成23年度研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

温室効果ガスの自然起源の吸収・排出源の変動メカニズムの解明と将来の吸収能力の変化予測の高精度化を行うとともに、国際的な温暖化対策の推進に関し、地球規模のリスク管理戦略の構築、脱温暖化社会の実現に向けての各国の政策オプション、国際協調のあり方などの諸問題の解決を目指して、科学的な知見の集積・提供を図る。

(1) 衛星ならびに地上、船舶、航空機などのプラットフォームを用いた全球及び東アジア域を中心とした大

気環境・温室効果ガスの観測の継続を図りつつ、これらの観測の総合的な解析のためにデータの統合化やモデルの改良などに着手する。また、分析、観測技術の高度化を行うことによって観測対象地域での放射収支関連物質の分布・循環の実態とその長期的変動機構を明らかにする研究を進める。

- (2) 将来の気候変動およびその影響についてメカニズムの理解を深め不確実性を評価するための予測実験の解析を進めるとともに、気候変動を含む地球規模問題をリスク管理の観点から評価するためのフレーミングの検討とモデルの構築に着手する。
- (3) アジア主要国における低炭素社会実現に向けた施策を評価する統合評価モデルの開発を開始するとともに、世界の温室効果ガス排出経路について世界モデルを用いて分析し、中国等途上国の参加を促進する方策を検討する。アジア主要国の統合モデルによる各国削減シナリオ、世界モデルを用いた温室効果ガス排出シナリオをそれぞれ明らかにするとともに、COP17等にて想定されるCOP決定等の合意内容を定性的に評価することをアウトプットとする。

平成23年度の研究成果

研究プログラム全体としては、温室効果ガスの観測的研究を中心としたプロジェクト1、気候予測と地球規模のリスク管理を研究するプロジェクト2、気候変動に関する政策研究を行うプロジェクト3に分かれ、それぞれに第二期までの研究蓄積を進展させるとともに、第三期から新しく打ち出した方向性の研究を進めるための準備を行った。各プロジェクトの成果は以下の通り。

プロジェクト1では、大気観測の各種観測プラットフォーム（地上、船舶、航空機、衛星）を総合的に使用することを主眼としているが、今年度は最初の年として、海外を含むプラットフォームの整備や衛星など高度な技術を必要とする新たなプラットフォームからのデータの作成を進め、データの検証、観測パラメータの統合化、スケールの国際的統合化を通して、データの統一化を進め、データベースを作成するための調整などを行った。

プロジェクト2では、気候予測研究に関しては、IPCC第5次評価報告書（AR5）への貢献に向けた新実験結果（CMIP5）の解析を取りまとめる時期に入っているため、アンサンブル実験（多数のモデルシミュレーションの集合）を用いた予測の不確実性評価を中心に解析を行い、AR5への重要な貢献になると思われるいくつかの成果を発表した（サブテーマ1）。成果の一つについては記者発表を行い、新聞に記事が掲載された。一方、生態系、土地利用、水資源等を統合したモデル分析（サブテーマ2）と地球規模リスク管理の検討（サブテーマ3）については、今年度は主として準備期間と位置付け、モデルの高度化・結合作業、およびリスク管理フレーミングの概念的な検討をそれぞれ進めている。ただし、生態系モデルによるメタン等放出の分析、および統合評価モデルの不確実性評価においては成果が出つつある。なお、研究の一部は社会環境システム研究センターと協力して行っている。

プロジェクト3では、環境省環境研究総合推進費（推進費）S-6等を通じて、各種モデル開発をサブテーマ2を中心に行い、開発したモデルを用いてサブテーマ1のアジア低炭素社会研究や、国内政策評価を実施した。また、サブテーマ3では、温室効果ガス排出削減に向けた国際合意にいたる道筋について分析を行った。このほか、IPCC AR5に向けた代表的濃度経路や共通社会経済シナリオの検討、UNEP/GE05の執筆、IPCC AR5に向けた執筆活動を行ってきた。また、これまでの日本を対象とした低炭素社会シナリオ作りの経験を活かして、2011年8月から始まった中央環境審議会地球環境部会2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会において、東日本大震災を踏まえた検討の方向性について知見を提供した。さらに、環境未来都市評価・調査検討会、飯館村村内復興検討会、福島県再生可能エネルギー導入推進連絡会導入推進に関する専門部会等へも参加している。

プロジェクト1「温室効果ガス等の濃度変動特性の解明とその将来予測に関する研究」

プロジェクト1として、大気観測の各種観測プラットフォーム（地上、船舶、航空機、衛星）を総合的に使用することを主眼としているが、今年度は最初の年として、海外を含むプラットフォームの整備や衛星など高度な技術を必要とする新たなプラットフォームからのデータの作成を進め、データの検証、観測パラメータの統合化、スケールの国際的統合化を通して、データの統一化を進め、データベースを作成するための調整などを行った。

サブテーマ1「大気観測によるグローバルなGHG等の発生／吸収量分布評価に関する研究」

新たな地上ステーションとして、中国、バングラデシュなどとの共同研究の開始のための手続きを行い。中国でのサンプル採取に関しては、中国気象庁との相互比較プログラムとして貴陽での同時サンプリングを開始した。また、マレーシアでのサンプリング方法を強化して定常的にサンプリングできるように検討し、オーストラリアのCSIROの機関との共同観測を模索している。インドでは連続的にCO₂をモニターするために、機器の更新などを行っている。

船舶による観測は、アジア航路の観測回数を増やすために、船舶を増やして、メタンや粒子などの測定を強化した。同時に観測室などの整備を行った。一酸化炭素の観測について、赤外吸収式の連続測定とフラスコサンプリング・ガスクロマトグラフ分析の結果と比較することにより品質管理体制の確立を行った。これにより、連続測定とフラスコ分析の結果は測定精度の範囲内（± 10 ppbv）で一致するようになった。

航空機による観測においては、飛行機の運航の変化（廃止と新規機種導入）に伴い新たに日一豪間での自動採取装置の設置が行われ、自動サンプリングが再開された。

GOSAT チームでは、定常的運用に伴いデータは順調に観測・処理されており、それをを用いたデータの処理の方法について、これまでの濃度バイアスに関して検討を行った。具体的には、GOSAT TANSO-FTS SWIR L2 処理アルゴリズムの改訂に向けて研究を実施した。現在公開しているバージョン（V01.xx）に生じているバイアスが解析に使用している太陽照度スペクトルデータベースの精度が低いこととエアロゾルの取り扱い方に問題があることに起因することを特定した。これらの問題に対処したアルゴリズムの改訂作業を進めている。また、検証のためTCCON（Total Carbon Column Observing Network）とのサイトでの比較も行った。TCCON サイトとなっているつくば等でのデータは航空機データなどによってさらに検証された。

初期のデータ解析は各種行われてきている。CO₂のグローバルな収支は、酸素濃度変化、炭素同位体比の結果から、最近の陸域の吸収の相対的増加を示している。一方で、温室効果ガスのフラックス的に重要な地域的なフラックスの大きな変化などを検出している。例えば、中国でのメタンの発生量は化石燃料の増加に伴い、発生量の増加が見込まれるが、統計的に推定される精度の問題があることが予想され、観測からは推定より多いメタンの発生が見積もられた。東アジアの影響は、CO、オゾンなどのトレーサにも見られ、大陸の西側にある日本と太平洋も含め影響が大きいことが示された。人為発生源のみならず、森林火災の影響による大気成分の変化についても船舶を用いた大気観測を中心に展開した。

グローバルな大気データを用いたインバースモデル解析を行うためにNOAA 観測データの統合情報であるGlobalviewとGOSATデータとを用いて初期的なインバース計算による解析を行った(2009/6-2010/5)。これによると、GOSATのデータを加えることでインバースモデル結果のフラックス計算が、南米、アフリカ、中近東、アジアなどデータの少ない地域においての精度が改善することが示された。これらの結果を用いて、GOSATのL4AのCO₂フラックスを研究者に使えるように公表した。

また、TCCON 観測データを用いて複数の全球大気輸送モデルシミュレーションの比較や逆推定によるflux推定が行われた。シミュレーションとの比較では、TCCON 観測データのCO₂やCH₄濃度は概ね良い一致を示した。

グローバルなインバースモデリングを改良するために、生態系モデルの解像度やパラメータの調整や、海洋の表層のCO₂フラックスのモデル化が進行したほか、人為起源のCO₂発生源の面的な解像度を上げる努力がなされ、夜間の光を指標にした位置解像度の向上などが行われた。

サブテーマ2「GHG等フラックス及びその関連指標観測による海洋、陸域の発生/吸収量評価と将来予測に関する研究」

北太平洋を主体とする地域 CO₂ の吸収発生マップを精緻化するために、海洋パラメータを用いた人工知能機能によるマップ化を行いこれまでのデータとの比較を行い、この方法論について検討を行った。太平洋での、人工知能を用いた表層 CO₂ 分圧のマップ作製は初めての試みであり、方法論が確立できれば、他の地域にも展開する予定である。

海洋モデルからの予測にも海洋のデータが用いられ、4次元同化の技術によりより現実的なモデル結果が得られているので、これらとの比較なども行う予定である。

陸域の観測として、アジアにおける地上観測ネットワークのデータを収集、統合解析し、陸域生態系モデルの検証として利用することにより、日本および東アジアにおける炭素収支を高い空間分解能（1km）で評価する手法を確立した。また、炭素収支と同時に森林バイオマスを広域評価する手法の開発も進めた。特に、合成開口レーダーの後方散乱係数からバイオマスの変化量を算出する手法、バイオマスの推定精度向上のために衛星搭載型ライダーにより樹高を計測する手法について、それぞれ地上データとの比較検証を行ってその有効性を確認した。

温暖化による正のフィードバックの重要な問題として土壌有機物の分解を調査している。ここでは全国の代表的な6つの森林生態系において、温暖化操作実験を行うことで、対照区に比べて、温暖区における微生物呼吸速度は昇温1度あたり、針広混交林（天塩）、ミズナラ林（岩木山）、ブナ林（苗場山）、アカマツ林（つくば）、常緑カシ林（広島）、およびスダジイ林（宮崎）では、それぞれ平均25%、7%、6%、2%、3%、11%増加したことが分かった。また、微生物活性の指標であるQ₁₀がIPCC 2007などの根拠となっているモデルに用いられている値（1.1~2.2）より大きい、3.0前後であることが判明し、21世紀の半ばには森林がCO₂の発生源になる可能性を示唆した。

プロジェクト2「地球温暖化に関わる地球規模リスクに関する研究」

気候予測研究に関しては、IPCC AR5への貢献に向けた新実験結果(CMIP5)の解析を取りまとめる時期に入っているため、アンサンブル実験（多数のモデルシミュレーションの集合）を用いた予測の不確実性評価を中心に解析を行い、AR5への重要な貢献になると思われるいくつかの成果を発表した（サブテーマ1）。成果の一つについては記者発表を行い、新聞に記事が掲載された。一方、生態系、土地利用、水資源等を統合したモデル分析（サブテーマ2）と地球規模リスク管理の検討（サブテーマ3）については、今年度は主として準備期間と位置付け、モデルの高度化・結合作業、およびリスク管理フレーミングの概念的な検討をそれぞれ進めている。ただし、生態系モデルによるメタン等放出の分析、および統合評価モデルの不確実性評価においては成果が出つつある。なお、研究の一部は社会環境システム研究センターと協力して行っている。

サブテーマ1「地球規模リスクに関わる将来予測の理解と翻訳」

大気海洋結合モデルMIROC5で、物理スキーム内のパラメータ値を観測の不確実性範囲内で走査した場合に、気候感度（CO₂濃度2倍増に対する全球平均地上気温上昇量）にどの程度の幅が出るかを調べるアンサンブル実験を行った。その結果、気候感度の幅は2.2-3.4°Cであった。雲短波フィードバックの差が、気候感度の幅の大部分をもたらしている。また、現在気候で赤道太平洋の南側で雄大積雲が発生しにくく降水量が少ないアンサンブルメンバーほど、温暖化時の雲短波フィードバックが大きくなることが分かった。この関係を用い、さらに観測データとモデルの現在気候実験を比較することで、標準設定のメンバーは他のメンバーよりも雲短波フィードバックの信頼性が高いことが分かった。

また、大気海洋結合モデルの複数のアンサンブルに対して、新たな手法を用いて評価を行った。この手法は、アンサンブルシミュレーションの中に、現実（観測値）が含まれるかどうかを統計的に評価するもので

ある。その結果、単一のモデルを利用して作成したアンサンブルの信頼性は低いことが多いが、複数のモデルを利用した場合の信頼性は高いことがわかった。近年の気候モデル研究の多くは、複数モデルアンサンブルのデータを利用しており、本研究の成果は、これらの研究の信頼性に根拠を与えるものである。

さらに、大気海洋結合モデルによる将来気候変化予測における不確実性を低減するため、特異値分解解析により複数のモデルによる現在気候再現実験と将来予測実験との間の相関関係を見出し、20世紀後半の客観解析データを活用して将来の気温変化を統計的に推定した。その結果、北半球高緯度地域において、北極海の海水の大きな減少により、複数モデルの出力結果を単純平均した将来気温変化の予測よりも大きな気温上昇が起きる可能性が高いことを明らかにした。地球温暖化の影響評価研究では複数モデルの出力結果を単純平均した将来気温変化を用いることが多いが、本研究の成果は、これらの研究が北半球高緯度域においては温暖化影響を過小評価している可能性が高いことを示唆するものである。本成果については記者発表を行い、新聞に記事が掲載された。(http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20110920/20110920.html)

サブテーマ2「地球規模リスクに関わる統合的空間分布モデリング」

陸域統合モデル開発の第一段階として、生態系モジュールと気候モジュールの結合、また水資源モジュールと気候モジュールの結合を並行して進めた。前者に関しては、気候モジュールによって計算された気温・降水量・湿度・風速などの物理量を生態系モジュールに与え、生態系モジュールによって計算された温室効果ガスフラックスを気候モジュールに与えるものである。後者に関しては、気候モジュールによって計算された気温・降水量・湿度・風速などの物理量を水資源モジュールに与え、水資源モジュールによって計算された河川水量、農業による取水量などを気候モジュールに与えるものである。これにより、生態系－水資源－気候の間の相互作用を考慮し、将来の気候変動や気候変動対策がこれらに与える影響について調査するための準備が進んだ。

陸域生態系モデルについては、農地・水田における人間活動を考慮したグローバルな陸域物質循環モデルの高度化を進めた。施肥に起因するN₂O放出や水田からのCH₄放出を加味した、温暖化に対する陸域の正味の寄与に関する検討を行った結果、現在はCO₂施肥効果などによって陸域への正味吸収が卓越するものの、将来的には複数温室効果ガス放出の増大によって相殺される可能性が示された。気候変動によるリスク要因として、永久凍土融解に伴うCH₄放出に関する検討も行ったが、少なくとも現在までに得られた知見からは、湿原からの放出に比して大量のCH₄放出が将来的に永久凍土から起こるとは結論づけられなかった。ただし、凍土中のメタンハイドレートなど不確実性の高い放出源の寄与については新たな知見を加えて再検討する必要がある。

水資源モデルについては、国立環境研究所特別研究「全球水資源モデルとの統合を目的とした水需要モデル及び貿易モデルの開発と長期シナリオ分析への適用（代表：日引聡）」などの関連プロジェクトと連携して作業を進めている。今年度は、IPCCの新シナリオプロセスに対応するSSP社会経済シナリオとCMIP5気候シナリオに対応した全球水資源温暖化影響評価に取り組んだ。SSPについては、環境研のAIMの開発する人口・経済成長・土地利用シナリオを入手・解析するとともに、灌漑設備や貯水池などに関するシナリオの作成について検討を行った。またCMIP5については、大量の関連ファイルをデータベースとして整備した。さらに、これまで水資源モデルに含まれていなかった工業用水・生活水の将来の潜在需要を推定するモデルの開発を進めた。

サブテーマ3「地球規模リスクの管理方策の検討」

気候・影響シナリオと社会経済・対策シナリオを統合して分析する枠組みの構築の一環として、同枠組みで用いる統合評価ツールについて、その炭素循環・気候モジュールの改良を行い、またその改良したツールを用いた気候変化抑制政策の予備的分析を実施した。ツール改良については、炭素フィードバックプロセス（施肥効果・温度効果）のモデル記述を高度化するとともに、過去の温度変化により制約された各温室効果

ガスの放射強制力の不確実性を考慮出来るようにした。同改良ツールを用いて、(1) 排出削減無しケースと(2) 中位安定化削減ケース(600ppm-CO₂eq 安定化)・(3) 低位安定化ケース(450ppm 安定化)の各ケースについて、炭素フィードバックと放射強制力の不確実性を明示的に扱った最適削減経路の推定を行った。その結果、削減目標がより厳しいほど、炭素フィードバックならびに放射強制力の不確実性が化石燃料利用と GDP の推定結果に及ぼす影響が大きくなることが示唆された。

地球温暖化対策をリスク管理の問題として捉えるフレームの検討に関しては、社会環境システム研究センターによる基盤的研究課題「地球温暖化問題におけるリスクアプローチの概念整理と課題検討」と連携して作業を進めている。本プロジェクト参画者の専門が気候、温暖化影響、対策と多分野に渡ることを利用し、参画者全体で協力して複数観点から関連する文献の収集を行い、各文献が示すフレームや観点についてプロジェクト参画者で理解共有するために、前述の基盤的研究課題と共同で10月末までに2度の所内意見交換会を実施した。本フレーム検討に関して、23年度後期においても検討を重ね、年度内に暫定的な考え方の整理を文書化するとともに、次年度以降の修正・拡張のたたき台とする計画である。

プロジェクト3「低炭素社会に向けたビジョン・シナリオ構築と対策評価に関する統合研究」

環境省環境研究総合推進費(推進費)S-6等を通じて、各種モデル開発をサブテーマ2を中心に行い、開発したモデルを用いてサブテーマ1のアジア低炭素社会研究や、国内政策評価を実施した。また、サブテーマ3では、温室効果ガス排出削減に向けた国際合意にいたる道筋について分析を行った。このほか、IPCC次期評価報告書に向けた代表的濃度経路や共通社会経済シナリオの検討、UNEP/GE05の執筆、IPCC/AR5に向けた執筆活動を行ってきた。

また、これまでの日本を対象とした低炭素社会シナリオ作りの経験を活かして、2011年8月から始まった中央環境審議会地球環境部会2013年以降の対策・施策に関する検討小委員において、東日本大震災を踏まえた検討の方向性について知見を提供した。さらに、環境未来都市評価・調査検討会、飯館村庁内復興検討会、福島県再生可能エネルギー導入推進連絡会導入推進に関する専門部会等へも参加している。

サブテーマ1「アジア低炭素社会シナリオ開発及び社会実装に関する研究」

推進費S-6「アジア低炭素社会研究プロジェクト」では、5つのテーマと連携して世界の温室効果ガス排出量を2050年までに半減させることを念頭に置いた際のアジアにおける対策の分析を進めており、本サブテーマはその中核を担っている。本年度は中間評価を迎え、全体ではA-、国立環境研究所が主担当のS-6-1のシナリオ研究でもA-の評価を得た。その中で使われている一般均衡モデルのトレーニングワークショップとそのフォローアップ会合を6月、11月に行った。11月22日には、他の推進費の課題と共同で国民対話のシンポジウムを行う予定である。また11月末から行われるCOP17においては、マレーシア工科大学と共同でサイドイベントを行い、S-6全体の成果をまとめた簡易報告書を配布し、広く成果を報告する予定である。

主要国や都市・地域を対象としたアジア低炭素社会シナリオの開発とその普及については、S-6において継続的に実施している。4月18日にはベトナム・ハノイでベトナム環境省らと共催で関係者を集めた低炭素社会のシンポジウムを行った。6月3日には環境省が主催する日中低炭素フォーラムで震災を踏まえた日本における低炭素社会シナリオ研究の状況を発表した。また、新たにインドのボパール市、バングラデシュ国等の低炭素社会シナリオの開発支援を行い、現地でシンポジウムを開催したり、政策決定者らと意見交換を行った。このほか、SATREPSプロジェクトを通じて、主にマレーシアの国や都市・地域を対象にしている低炭素社会シナリオの開発および社会実装の手法の構築を行った。6月末にマレーシアとJICAの間で正式にR/D(Record of Discussion)が結ばれ、7月4~5日に共同研究を進めるマレーシア工科大学およびイスカンダール開発庁があるジョホールバルにて、地域のステークホルダーらを対象としたシンポジウム及び低炭素社会シナリオ開発モデルのトレーニングワークショップを行った。7月27日にIGESが主催したISAP2011で発表を行い、社会実装の研究を進める日本の研究者と研究交流を行った。8月13~14日はクアラルンプールで

マレーシアの共同研究者と研究集会を行い今後の共同研究の展開について詳細を議論した。10月3～8日にかけて、マレーシアの主要研究者を招いて、京都市（気候ネットワーク、KES、京都市）等、日本における先進的な低炭素社会政策を展開している主体を訪問するトレーニングワークショップを行い、マレーシアでシナリオをベースに政策を立案するための最新の知見を得た。11月1日から3日にかけて、再びジョホールバルで地域のステークホルダーを集めたシンポジウムおよびトレーニングワークショップを行うと共に、マレーシア環境省等を訪問して構築している低炭素社会シナリオに関する意見交換を行った。

サブテーマ2「日本及び世界の気候変動緩和策の定量的評価」

推進費 A-1103 を基礎として、日本及び世界を対象にモデル開発、気候変動緩和策の定量評価を行っている。世界経済モデル（AIM/CGE[Global]モデル）を用いた分析では、各国に対する初期割当の違い（1人あたり排出量均等化、GDPあたり均等化等）も考慮し、世界半減シナリオ達成時におけるアジアでの対策および排出量の内訳を示し、サブテーマ1に提供している。世界技術積み上げモデル（AIM/Enduse[Global]モデル）を用いた分析では、世界の温室効果ガス濃度をCO2換算で450ppmに安定化するシナリオ（2050年世界半減シナリオに相当）について、各国の技術的な削減ポテンシャルを検討した。これらの世界モデルについては、国際モデル比較研究であるEMF（エネルギーモデリングフォーラム）やAME（アジアモデリングエクササイズ）、AMPERE（EUにおけるモデル比較研究）にも参画し、国際社会での低炭素社会に向けた世界の排出経路の議論に貢献してきた。こうした国際比較研究とともに、統合評価モデルの国際的なコンソーシアムであるIAMCを中心に、気候変動問題の影響についても評価するための新たな共通社会経済シナリオの検討が進められている。国際的な各種会合に参加してシナリオの結果を提供するとともに、進捗を国内の影響分野の研究コミュニティに報告するなどの役割を担っている。なお、前期の中期計画で行ってきた気候モデルへの入力となる代表的濃度経路を示した論文がClimatic Change誌に掲載され、その記者発表を2011年9月に行った（<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20110926/20110926.html>）。

また、国内における温暖化政策に対しては、国内排出量取引制度や温暖化対策税などこれまでも議論されてきた施策の効果についての試算の要請（特に震災復興等も踏まえたもの）が環境省からあり、これまでに開発してきた日本経済モデルを用いて試算を行った。

サブテーマ3「低炭素社会構築のための国際制度及び国際交渉過程に関する研究」

推進費 E-0901 を基礎に、気候変動枠組条約の下での将来枠組みに関する国際交渉が難航する状況下において、国際合意が存在しない中で各国が自主的に気候変動対策を推進するための条件や、将来、合意に至るための道筋について分析をまとめた。この結果は、2011年11月近刊の書籍として公表した。

主な結論は以下の2点である。①現在の主要国の国内政治経済的情勢をふまえると、今後、短期的（2、3年内）に排出削減目標を含んだ国際枠組みが合意される可能性は低い。この間は、目標にこだわるのではなく、目標達成を促進する補足的な制度（資金メカニズムや報告制度等）の進展に重点を置くべき。②中長期的（5～10年）を見据えると、多国間協調を尊重する声が高まる可能性があり、その道筋として4つのシナリオを提示した。これらのシナリオを踏まえ、日本としては、中長期的な包括的国際制度の合意に向けて、国内の気候変動政策を進めておく必要がある。

1. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	3	8	1			
（平成23年12月）	25%	67%	8%			100%

平均評点 4. 17点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）

2. 循環型社会形成プログラム

2. 1 研究の概要

循環型社会の概念や、その実現手段としての 3R（リデュース、リユース、リサイクル）が国際的にも広がり、さまざまなスケールでの地域循環圏の構築が期待されているが、経済社会の発展段階に応じて、改善、解決を求められる多様な問題が存在する。

そこで、日本とアジアの近隣諸国にまたがる国際的な資源循環、アジアの開発途上国の廃棄物適正管理、国内の地域特性を活かした資源循環という三つの地域区分に着目して、廃棄物の適正管理を資源の有効利用や地球温暖化対策との協調のもとで行うための科学的・技術的知見が求められる課題に取り組み、国内外の循環型社会構築を支援する。

具体的には、国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理の視点から、国内と国際社会（主にアジア）において 3R を促進する適正管理方策について、物質（製品、素材を含む）のフロー把握・解析と製品ライフサイクル挙動調査に基づいた提言を行った。また、アジア地域に適した都市廃棄物の適正管理技術システムの構築の視点から、日本国産の埋立技術や液状廃棄物処理技術等のカスタマイズと廃棄物管理システムの導入支援ツールの開発を行い、アジア地域の都市や地域への実装を目指して適合化した。

更に、地域特性を活かした資源循環システムの構築の視点から、様々な地理的規模において、その地域特性を活かしつつ適正な資源循環システムを構築するための枠組みの提示とシステム設計・評価、及び実装についての検討を行った。

2. 2 研究期間

平成 23～27 年度

2. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	累計
①運営費交付金	84					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	144 (180)					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	10					
④その他の外部資金	3					
総額	241 (277)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

2. 4 平成 23 年度の研究成果の概要

平成 23 年度の研究成果目標

日本とアジアの近隣諸国にまたがる国際的な資源循環、アジアの開発途上国の廃棄物適正管理、国内の地域特性を活かした資源循環という三つの地域区分に着目して、廃棄物の適正管理を資源の有効利用や地球温暖化対策との協調のもとで行うための科学的・技術的知見が求められる課題に取り組み、国内外の循

環型社会構築を支援する。平成23年度には以下の目標を達成する。

- ① 資源性・有害性物質の適正管理に資するマテリアルフロー・サプライチェーン及び環境影響にかかる基本情報の取得を行う。また、関連したESM（環境上適正な管理）の概念をレビューし、必要な考え方を整理する。
- ② 準好気性埋立技術におけるガスと浸出水の挙動の定式化を進める。アジアの都市の集合住宅等から排出される液状廃棄物の性状、処理の現状調査を行う。アジア共通の普遍性と地域に応じた特異性を考慮した、廃棄物発生量、環境負荷、コスト等の調査を進め、データ集積を図る。
- ③ 地域特性を活かした地域づくりの事例を広く国内外にわたって調査するとともに、地域の潜在的な循環資源の存在量、これらを利用できる既存産業の規模や施設立地状況等のデータ収集を行い、地域循環圏形成の主な課題と可能性の基本情報を整理する。

平成23年度の研究成果

プロジェクト1 国際資源循環に対応した製品中資源性・有害性物質の適正管理

サブテーマ1：国際的に流通する資源・材料・製品のフロー把握とシステム分析

国際マテリアルフローについて、国際貿易に伴う元素の移動量の推計手法の提案を行った。自動車など加工度の高い製品を含めた約400品目の製品区分で230か国との取引に伴う元素の移動量の推計可能とするものである。事例研究として、日本を中心とした鉄およびアルミニウムの国際マテリアルフローの推計を行った。

システム分析については、金属の製錬・再溶解プロセスにおける元素の分配挙動解析を行った。マグネシウム再溶解プロセス、チタン再溶解プロセス、ならびに一般廃棄物の溶融プロセスを対象として、元素の分配挙動を明らかにするとともに、酸素分圧や温度などの変化に伴う分配傾向の操作可能性を明らかにした。

サブテーマ2：資源性・有害性を踏まえた製品、物質の循環管理のためのフィールド研究

海外におけるフィールド研究については、E-waste リサイクル現場の土壌・ダストに着目して、フィリピンとベトナムにおいて実施中である。金属類、POPs（ダイオキシン類、難燃剤）の組成や毒性に関する調査を行っている。

また、製品中の資源性・有害性物質評価については、従来の家電製品に加えて自動車（内装材）に関する調査を開始した。さらに、難燃剤を対象に有害化学物質の代替化の現状に関する調査を開始し、代替難燃剤の有するハザードについて同定を試みている。

サブテーマ3：国際的な循環型社会形成に向けた管理方策の提案

E-wasteなどの循環資源のESMの概念について、バーゼル条約関連などの海外における取組のレビューを行った。その結果、労働安全衛生やモニタリングに関する手続きなどは必須要件とされていることが多かったが、取引後の下流フローの管理について課題となりえることがわかった。

また、国内における不用品回収に関する調査結果のとりまとめを行い、関連法規などの周知が課題であることがわかった。

プロジェクト2 アジア地域に適合した廃棄物管理

サブテーマ1：準好気性埋立技術のアジア地域に適した設計手法の開発

好気・嫌気共存条件下での埋立地内の廃棄物分解について定式化とパラメータの精緻化を実験的に行った。また、得られた式をライシメータ実験の結果と統合し、埋立地内酸素濃度の代表的な数値表現に関する知見を得た。タイに設置したテストセル実験から、現地環境においては覆土を経由した酸素浸透による廃棄物分

解促進が期待できること、および準好気性管理による水分流出や乾燥による生物反応の抑制が考えられること、などの知見が得られた。

サブテーマ2：アジア地域に適した分散型有機性廃棄物・廃水処理技術の開発

中国における有機性廃棄物の戸別メタン発酵に関してレビューを行い、処理現状・技術特性・事業手順等に焦点を当てた調査・解析を実施した。また、技術開発の面では、生物脱硫の戸別施設適合化を目指し、新規なプロセスのデザインと性能評価に着手した。し尿・生活排水処理の最適技術選択方法の確立について、これまでに取得したハノイ、クルナ等、複数の都市における地域的・社会的制約条件を踏まえ、適合性をスコアリングするアルゴリズムの構築を進めた。

サブテーマ3：アジアの都市に適用可能な廃棄物管理計画支援ツールの開発

東南アジアの主要都市における都市廃棄物管理の実態より処理システムの環境負荷評価（廃棄物LCI）に資するデータを取得した。また、ベトナムのハノイ市では廃棄物手数料の違いによって事業者（準従量制）と家庭（定額制）での有価物の分別排出に異なる傾向があることを示した。さらにハノイ市の生ごみの分別事業では、分別排出への協力・非協力の規定因のひとつとしてコミュニティ内での分別に関する情報共有の頻度が挙げられた。JICA ベトナム事務所と本研究の成果を共有することにより、JICA の廃棄物分野における今後の案件形成に貢献しつつあると考えられる。

プロジェクト3 地域特性を活かした資源循環システムの構築

サブテーマ1：地域特性を活かした資源循環システムを構築するための支援ツール

地域づくりのレビューについては、国内の様々な事例とともにオーストラリアとスウェーデンの事例調査を進めた。国内の事例からは、バイオマス利用などに関して、地域経済の発展、定住人口の確保、および住民満足度の向上等が地域の活性化に重要であることを確認した。また、海外の事例からは、Distributed Economy という考えが存在することが分かった。

サブテーマ2：地域特性を活かした資源循環の設計・評価・実装

循環資源を利用できる既存産業の規模や施設立地状況等のデータ収集については、アジア圏内の各地域（国）における金属製錬・精製施設の立地状況・リサイクル設備容量や能力のデータ、バイオマス発生量と再生品需要量など、データ選定を行うとともに、情報整備に着手した。前者は地域の技術プロフィール、後者は地域の資源量プロフィールを構成するもので、資源循環システムの設計における基本情報となるため、本プロジェクト期間前半（平成 23～25 年度）でデータ整備を進める予定である。年度後半から次年度にかけては、日本全国のデータをさらに充実させてスクリーニングし、様々な資源毎に特に重要となる地域特性を明らかにする予定である。

高知県を対象とした事例研究では、廃棄物と畜産・水産副産物に加えて、林業と耕種農業関係のバイオマス資源について物質投入産出表を作成し、資源採取から需要、排出までの複雑な物質フローを記述した。今後は、バイオマス資源に含有される元素等の情報を追加し、それらのフローも記述し、地域循環システムの設計等に活用する予定である。

2. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価		6	6			

(平成 23 年 12 月)

50%

50%

100%

平均評点 3.50 点

注) 上段 : 評価人数、下段 : %

年度評価基準 (5 : たいへん優れている、4 : 優れている、3 : 普通、2 : やや劣る、1 : 劣る)

3. 化学物質評価・管理イノベーション研究プログラム

3. 1 研究の概要

近年、化学物質の管理に化学物質の生物に対する影響評価の視点が盛り込まれ「化学物質審査規制法」（平成 21 年改正）における優先評価化学物質の選定及びそのリスク評価に基づく規制、水生生物保全のための水質環境基準の設定、「農薬取締法」における農薬登録保留基準値の設定などの形で具体化されている。しかしリスク評価における生態系保全の考え方が必ずしも十分に確立されておらず、評価手法の重点的な開発が必要である。また、ナノマテリアルの人の健康や生態系に対する影響に関しては、従来のハザード評価手法では評価できない可能性が指摘され、同時に、多様な影響や特性を持つ多数の化学物質に対する効果的かつ効率的な管理が求められている。

これらの課題に対応するために、①個体群の存続可能性や生態系機能等の観点、生態影響試験の標準化と体系化等を含む新たな生態リスク評価手法の研究、②人の体内や環境中での物理化学的性状・形状を考慮するナノマテリアルの毒性評価手法の開発と安全性に関する研究、③リスク要因の時空間特性の解明など評価手法の高度化に基づきつつ、科学的不確実性の高い段階での対策手法の最適な選択などを含む化学物質等の環境リスク管理の戦略を示す研究、をそれぞれプロジェクト 1～3 として実施した。

プロジェクト 1 では、化学物質等の生態リスク評価・管理手法に関する研究を行った。化学物質の生態系への影響をより正確に推定するために、生態学的視点を取り入れた生態毒性試験法を開発するとともに、対象種の生態情報、対象化学物質の物性や環境中曝露濃度を数理生態学モデルによって統合化し、生物の個体群増加率や存続可能性の低下として化学物質のリスクを定量化する手法を開発した。化学物質等の管理法を合理化するため、排出削減のコストと生態リスク評価における不確実性（推定誤差）を考慮に入れた最適管理法の理論的研究を行った。

プロジェクト 2 では、近年生産量が増え続けているナノマテリアルの安全性評価において、OECD や ISO 等の国際機関が重要課題として取り上げており、国際化学物質管理会議（ICGM）においても、「ナノテクノロジー及び工業用ナノ材料」が新規課題として取り上げられたところである。ナノ酸化チタン、ナノ銀、カーボンナノチューブについて、細胞、小動物、生態毒性試験用生物に対するナノマテリアルの曝露方法の開発を中心に研究を進めたほか、繊維状ナノファイバーであるカーボンナノチューブの生体影響に関して細胞や動物を用いた詳細な毒性試験を実施した。また銀ナノ粒子に関して、マクロファージや気管支上皮細胞を用いた毒性発現のメカニズムに関する研究を進めた。

プロジェクト 3 では、化学物質等のリスク管理の戦略的アプローチに関する研究を行った。多様な影響や特性を持つ多数の化学物質に対して、効果的かつ効率的な管理のため、物質や環境の特性に基づく動態や曝露の時空間分布の詳細な評価手法の開発、また、物質ライフサイクル上の曝露の特性把握の検討を行った。さらに人や生物へのリスク特性や科学的知見の確からしさなどを考慮する戦略的なリスク管理のあり方について考察を行った。

3. 2 研究期間

平成 23～27 年度

3. 3 研究予算

（実績額、単位：百万円）

	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	累計
①運営費交付金	78					

②総合科学技術会議が示した競争的資金	0					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	0					
④その他の外部資金	0					
総額	78					

注)括弧内は、再委託費を含めた金額。

3. 4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

全体計画

今年度は、それぞれのプロジェクト研究を推進するとともに、各プロジェクトにおける生態リスク、ナノマテリアル、曝露動態の特性などの成果をリスク管理の枠組みの中で考察する研究を開始し、また、今後のプロジェクト間での関連する課題間での情報交換の準備を進める。

プロジェクト1

1) 個体群レベル生態リスク評価の基本となる数理モデルを作成し、繁殖毒性、性比攪乱データと曝露レジームに基づいて、化学物質の生態リスクを個体群増加率の低下として統一的に評価できる生態リスク解析手法を考案する。さらに、食うものと食われるものの関係に代表される種間相互作用を介して化学物質の生態影響が、藻類→ミジンコ→魚と上位種に波及していくことによる生態リスクを簡易に評価するための三種系生態リスク評価モデルを作成する。

2) 東京湾における底棲生物群集を調査し、貧酸素水塊が底棲生物の空間分布と加入時期に及ぼす影響を明らかにする。また、貧酸素水塊が底棲生物の種構成や個体密度(バイオマス)を通じて魚介類群集に与える影響を調べるため、東京湾底棲生物群集の食物網解析を進める。

3) 化学物質の最適管理問題にオペレーションズ・リサーチの解析手法を導入する第一歩として、化学物質排出量と環境中濃度、環境中濃度と生物多様性減少の間に情報の不確実性がある場合に取る最善の管理法を情報ギャップ理論に基づいて算出する。特定河川水系における亜鉛排出量規制をモデルケースとして取り上げ、管理コストと生物多様性減少リスクの総和をある許容限度以下に抑えるための最適管理法に適用する。

プロジェクト2

1) ナノマテリアルの曝露方法と実効曝露量に関する研究

粒子状物質の生体・生態影響研究では、水系においても気相においても、粒子の分散状態そのものが試験結果に大きな影響を与えることが考えられるが、標準化された方法はない。ここでは、ナノ粒子の分散や安定性に関する研究を行う。

2) ナノマテリアルの生体影響評価法に関する研究

ナノ物質などの不溶性粒子状物質は、物質の界面と生体(細胞表面など)との作用により影響が現れるため、体内への吸収から始まる通常の化学物質の影響とは根本的に考え方が異なる。ナノ粒子は大きな比表面積をもち組織反応性が高い。カーボンナノチューブ、ナノ銀、 dendrimer などをを用い、粒子の性状と標的臓器・細胞における毒性との関連を明らかにする。

3) ナノマテリアルの生態毒性試験法に関する研究

野生生物(特にメダカやミジンコなどの水棲生物)に対するナノマテリアルの有害影響について、既存の

試験法を踏まえた上で、適正な曝露の手法とそれを用いた毒性試験法を開発する。生産量が多いナノ酸化チタンなどを用いて、粒子物性と生態毒性の関係について明らかにすることにより、ナノマテリアルの野生生物に対するリスク評価に資するための毒性研究を行う。

プロジェクト3

1) 化学物質動態と曝露の時空間分布の評価手法の研究

(1-1) 時空間変動を持つリスク要因への評価手法については、水田農薬を対象とした環境中実態調査を進め、水田除草剤を対象とした排出推定モデルの精度を検証する。同時に、水田殺虫剤・殺菌剤を対象を広げるためのモデル改良、水生生物へのリスク評価手法の検討等を進める。

(1-2) 物質ライフサイクル上の新たな排出・曝露シナリオの検討については、臭素系難燃剤またフッ素化合物についての排出係数等の調査を行い、既存研究蓄積とあわせ、基礎方法論とデータを整備する。

(1-3) PCBs を対象とした全球多媒体モデル (FATE) を完成させる。モデルに必要な観測データベースを整備し、また、地域間公平性解析の準備として人口分布、経済指標などのデータ整備を進める。

2) 化学物質リスクに対する社会における管理のあり方に関する研究

リスクに関わる多様な事例を収集し、それらの分類枠組みの構築を試みる。リスク要因、科学的知見の蓄積、社会におけるリスク基準、およびさまざまな社会の諸主体によるその受け止め方との関係性を軸に分類すること試み、また、物質代替等の企業のリスク管理行動に関する情報収集を進める。

平成23年度の研究成果

プロジェクト1 「化学物質等の生態リスク評価・管理手法に関する研究」

サブテーマ1：個体群レベルにおける化学物質の生態リスクに関する研究

オオミジンコを用いた多世代試験法を開発し、幼若ホルモン様作用物質（ピリプロキシフェン等）の多世代影響を評価するうえで、オス仔虫の誘導がある場合の問題点を検討した。ミジンコ繁殖毒性および性比攪乱データに基づいて、内分泌かく乱作用による性比攪乱と産仔数の低下による生態影響を個体群増加率の低下として統一的に評価する解析手法を考案した。実環境において化学物質濃度が時間的に変動することを考慮に入れ、個体発生過程の限られた期間に存在するリセプターとの毒物反応モデルを作成し、ピリプロキシフェン（昆虫成長制御剤）などで実施したオオミジンコの（性比変化を含む）繁殖毒性試験データから、モデルパラメータ（感受期、反応強度など）を推定した。モデルパラメータの推定は、*Daphnia* の繁殖生理に関する知見を事前情報としたマルコフ連鎖モンテカルロシミュレーション (MCMC) によって確率分布として計算した。また、繁殖阻害予測モデルに関しては、化学物質の繁殖に対する直接効果と、成長阻害を介する間接効果を同時に解析できる動的エネルギー収支モデル (Dynamic Energy Budget Model) を採用し、MCMCによるモデルパラメータを推定した。

サブテーマ2：群集・生態系レベルにおける化学物質の生態リスクに関する研究

化学物質の環境中曝露評価や生物蓄積性、生分解性、生態毒性、対象生物の生活史などの知見を総合し、種間相互作用をモデルに組み込むことによって、化学物質の個体群への影響が、種間相互作用によって上位種に波及する間接効果も評価するために、藻類-ミジンコ-魚類を想定した三種系生態リスク評価モデルを作成した。生態リスクの指標として、最上位種である魚の年あたり個体群増加率を採用する。魚の年齢構成と体サイズの動態をモデルに組み込み、化学物質の慢性的成長阻害の影響も評価できるようにした。

東京湾におけるマクロベントス（大型底棲無脊椎動物）群集と水質・底質の時空間的關係についての解析を行い、貧酸素水塊がマクロベントスの空間分布および加入時期に影響を及ぼすことを明らかにした。また、貧酸素水塊がマクロベントスの変化を通じて底棲魚介類群集と生態系機能に与える影響を調べるため、底棲

生物の食物網解析を進めた。

サブテーマ3：生態リスクの最適管理手法に関する研究

化学物質の管理において、排出基準値を設定する際、様々な不確実性が生じる。排水中濃度を低減させるためには設備投資や化学物質使用量の削減が必要だが、そのコストの算定には大きな誤差がある。排出量を規制した場合の環境中濃度も正確な予測が難しい。本研究では、大きな不確実性の下で意思決定を行う場合に有用な情報ギャップ理論を用いて化学物質の排水基準値を設定するための理論を構築した。情報ギャップ理論は、最も大きな不確実性のもとでも、政策として受け入れられる総コストの上限を上回らない排水基準値を導き出す手法である。事例研究として、群馬県粕川において亜鉛の排水濃度を下げることに対策が必要な事業所を合理的に選定する予備的解析を行った。今後は、より詳細な解析を行い、大阪府石津川、群馬県碓氷川でも同様に事例研究に取り組む予定である

プロジェクト2 「ナノマテリアルの毒性評価手法の開発と安全性に関する研究」

サブテーマ1：ナノマテリアルの曝露方法と実効曝露量に関する研究

ナノマテリアルの毒性評価を、細胞を用いてスクリーニングするための曝露装置の開発を行い、気相粒子状物質の細胞層への沈着率を推定することを目的として、数値流体解析（COMSOL）で得られる流体の速度場、粒子に作用する重力、拡散力、抗力を考慮して、ラグランジュ的手法によりシミュレートし、沈着率の評価を行った。修飾可能でトレーサーにも使用することが可能と考えられる樹状用粒子状物質（ dendrimer ）を用いて、ナノ粒子の懸濁状態における安定性や細胞や水棲生物への曝露方法の検討を行った。

サブテーマ2：ナノマテリアルの生体影響評価法に関する研究

カーボンナノチューブ吸入鼻部曝露による生体影響、カーボンナノチューブの細胞内取り込み過程、銀ナノ粒子の体内挙動と生体影響に関する研究を行った。気中分散させた比較的長さが短い（モード径約1マイクロメートル）多層カーボンナノチューブ繊維（XNR1 WMVT-7）を鼻部曝露装置に導入して、C57雄性マウスに1日2時間、5日間の吸入曝露を行い、曝露24時間後、1週間後、1ヶ月後の経過を観察した。曝露による体重や臓器重量の変化はなかった。病理組織学的検索では肺胞及びに気管支にカーボンナノチューブを蓄積した肺胞マクロファージが認められたが、上皮組織の増生や炎症像は認められなかった。肺胞洗浄液中の、総細胞数、多核白血球数、サイトカイン、総タンパク量、乳酸脱水素酵素量にも顕著な増加は認められなかった。曝露1ヶ月後の肺における酸化DNA損傷マーカーである8デオキシグアニジン量にも有意な増加は認められなかった。肺の遺伝子発現の解析ではangiotensin-converting enzyme (Ace) やendothelin-1 (Edn1) の遺伝子が誘導される傾向にあり、一過性ではあるが、気道上皮のムチンや基底膜成分であるIV型コラーゲン遺伝子の誘導も認められた。心臓では抗酸化酵素であるメタロチオネイン2 (MT2) の誘導が顕著に増加し、BNP遺伝子なども発現が増加する傾向にあった。NADPHオキシダーゼのgp91phoxサブユニット欠損マウスを用いて、鼻部曝露装置にて多層CNTを1日2時間、5日間の吸入曝露をおこなった。曝露1ヶ月、3ヶ月後の病理組織学的検索では顕著な上皮組織の増生や炎症像は認められなかった。肺胞洗浄液中の、総細胞数、多核白血球数、サイトカイン、総タンパク量、乳酸脱水素酵素量にも顕著な増加は認められなかった。遺伝子発現の解析では曝露1ヶ月の肺でAceやEdn1の遺伝子が、心臓でMT2遺伝子が顕著かつ有意に誘導が増加した。曝露3ヶ月では正常化する傾向にあった。以上の結果から、CNT曝露による肺高血圧が誘発にNADPHオキシダーゼはむしろ防御的に働いていると推測された。

金属ナノ粒子としては、銀イオンと銀ナノ粒子の細胞毒性や酸化ストレス、銀の細胞内局在性に関して研究を進めた。また、銀ナノ粒子の影響をラットの自発運動量を指標とした行動試験で検出するための試験系の開発を行った。

サブテーマ3：ナノ材料の生態毒性試験法に関する研究

酸化チタンナノ粒子を安定に水系で曝露することができる実験系の作製を行った。アナターゼ型酸化チタンのナノ粒子を用いて、分散剤添加の有無に実験条件を分け、ナノ粒子が魚類のふ化率や生存率に及ぼす影響を調べた。

プロジェクト3「化学物質リスク管理の戦略的アプローチに関する研究」

サブテーマ1：化学物質動態と曝露の時空間分布の評価手法の研究

(1-1)水田除草剤の排出推定モデルとその検証を、モデル入力データの感度解析や精度要因の分析の観点から進めた。さらに長期にわたる精度および物質拡張の両面にわたるモデルの検証および拡張・改良を進めた。

(1-2)・電気・電子製品等に含まれる有機臭素系難燃剤、リン酸エステル系難燃剤等の使用時放散量をチャンバー試験によって測定した結果、ポリ臭素化ジフェニルエーテル類（PBDEs）のパソコンやテレビからの1日放散量が50～350 ngと算出された。また、防汚、撥水加工された繊維製からの有機フッ素化合物の水系への排出イベントを想定した溶出試験を実施した。

(1-3)・地球規模での高解像度の全球多媒体動態数値モデル（FATE）を用いたPOPsの時空間分布の評価手法の開発を進めた。今年度はモデルプロセスのうち乾性沈着モデルに地表面近くのエアロゾル粒子の動態を詳細の考慮する粒径解像モデルを導入した。大気と海洋の境界層スキームを更新し乱流拡散による鉛直混合の計算を高度化した。

サブテーマ2：化学物質リスクに対する社会における管理のあり方に関する研究

リスク要因、科学的知見の蓄積、社会におけるリスク基準、およびさまざまな社会の諸主体によるその受け止め方との関係性を軸に分類することを目的に、これらの軸の取り方あるいはリスク評価と管理の論理構造を整理した。リスク管理に関する研究レビューを踏まえ、リスク研究学会における学際的リスク概念を示すリスク三重項および科学と文化によるリスク管理の分類を参考として各種リスクの整理を試みた。

3. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	1	6	5			
（平成23年12月）	8%	50%	42%			100%

平均評点 3.67点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）

4. 東アジア広域環境研究プログラム

4. 1. 研究の概要

東アジア地域では急速な経済発展に伴って様々な環境問題が深刻化し、それが広域越境汚染のような具体的な問題として我が国にも影響を及ぼしている。そのため、東アジアにおける持続可能社会、及び、広域越境汚染のWin-Win解決に向けた2国間・多国間の枠組みを構築するための中長期戦略を提示することが強く求められているが、その基礎となる問題発生に関する科学的知見、及び人間活動による環境負荷と広域汚染の定量的関係を評価する科学的手法の開発・活用が不十分な状況にある。

そこで、第二期中期計画におけるアジア自然共生研究プログラムの蓄積をもとに、東アジアにおける代表的な広域環境問題である大気・海洋汚染を対象とし、観測とモデルを統合することにより、これらの問題の発生メカニズムを解明した。汚染発生に関わる空間スケールの重層性を考慮したマルチスケールモデルを構築し、大気から海洋と陸域への物質負荷も考慮して、環境負荷と広域環境応答の関係を定量的に評価した。更に、「環境都市システムプログラム」や社会環境システム研究分野と連携して削減シナリオの提示及びその影響評価シミュレーションを実施し、東アジアの広域環境問題の解決に資した。

プロジェクト1：観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価

東アジアではオゾン・エアロゾルの前駆物質排出量が急増し、地域規模で大気汚染が深刻化している上、半球規模で大気質が変化している。このような状況下、日本においてもオゾンの環境基準見直しの機運が高まるとともに、PM_{2.5}の環境基準が新しく制定された。しかしながら、オゾンやPM_{2.5}に関する大気汚染には、国外からの越境汚染に加えて国内における生成も影響するため定量的理解が困難である。そこで本研究では、地上・船舶・航空機による野外観測、宇宙からの衛星観測、全球・領域化学輸送モデルを統合的に使用して、半球／東アジア／日本域のマルチスケール大気汚染の実態と発生機構を解明するとともに、将来予測と対策シナリオ・影響の評価を行う。それにより、東アジア地域における広域大気環境管理のための国際的枠組みの策定に寄与することを目指した。

プロジェクト2：広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明

東アジア陸域起源の汚濁負荷増大が東シナ海陸棚域における赤潮発生等の広域海洋環境劣化を引き起こしていることが懸念される。本プロジェクトでは、東シナ海や日本近海の環境保全、あるいは中国国内の汚濁負荷削減施策の推進に資することを目的として、長江流域圏の汚濁負荷推計、海域への汚濁輸送と海洋生態系への影響機構の把握、陸域起源汚濁負荷が及ぼす海洋環境への影響評価のための数理モデルの開発を行った。特に、陸域汚濁負荷推計では、土地利用や環境政策の変化に応じて予測可能な手法の確立と将来の陸域負荷削減シナリオを提示し、海洋生態系モデルとの連携により、陸域・海域の統合的広域環境管理オプションの定量的な評価を目指した。

4. 2. 研究期間

平成23～27年度

4. 3. 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	54.1					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	135.8 (196.1)					

③②以外の競争性のある 資金(公募型受託費等)	18.3					
④その他の外部資金	25.9					
総額	234.1 (294.4)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

4. 4. 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

- (1) 観測とモデルを統合して、半球／東アジア／日本のマルチスケール大気汚染の実態と変動を把握し、越境大気汚染による国内での影響を評価するために、東アジアの広域大気汚染を対象にしたガス状・粒子状物質の新規観測を検討・開始するとともに、全球・領域化学輸送モデルや排出インベントリーの開発などに着手する。また、越境大気汚染による国内への影響評価研究に着手する。
- (2) 東アジアにおける汚濁負荷等の陸域人間活動が、水及び大気を介して東シナ海・日本近海の海洋環境に及ぼす影響を解明するために、数値モデルと現地調査とに基づく長江流域負荷の推計、数値モデルと航海観測・培養実験に基づく東シナ海環境への影響把握に着手する。
- (3) 東アジアの大気汚染・水質汚濁負荷の将来・削減シナリオに対する大気・海洋環境への影響を予測・評価するために、「環境都市システムプログラム」や社会環境システム研究センターと連携して、シナリオの検討を開始する。

プロジェクト1：観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価

地上や船舶等を用いたアジアにおけるバックグラウンド大気中のオゾン・エアロゾルのモニタリング観測を開始するとともに、アジア大陸からの越境汚染の影響を強く受ける九州地域においてガス状・粒子状大気汚染物質の包括的観測を開始する。また、マルチスケールにおける化学輸送モデルや排出インベントリの開発に着手する。具体的には、自由対流圏中の観測やユーラシア大陸内部における観測について観測の開始を検討するとともに、過去の観測データを用いてアジアのバックグラウンド大気中におけるオゾン・エアロゾルの長期変化・年々変動の検出を試み、欧州や北米と比較研究を行う。また、九州北部地域におけるエアロゾルの包括的観測を開始し、越境輸送されてくるPM_{2.5}の相対的寄与率を求めるとともに、当該地域における疫学調査の実施計画を検討する。排出インベントリは、東アジアについて1980-2010年の期間を整備するとともに、日本の排出インベントリの整備にも取り組む。また、社会環境システム研究分野と連携して、アジア域における大気汚染物質排出シナリオの検討を開始する。さらに、越境大気汚染が日本国内の植物に及ぼす影響評価のための観測・実験的研究に着手する。

プロジェクト2：広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明

長江流域圏から海域への汚濁負荷量の経年変化の評価ならびに土地利用・社会経済・環境政策の変化に対応した汚濁負荷量予測手法の開発に着手する。特に長江デルタ域における社会経済活動に基づくマクロ型・分布型汚濁発生インベントリの構築、長江全流域における土地利用と汚濁負荷量の関係解析のためのモデル構築、また長江における水質観測体制の構築を行う。また、東シナ海における赤潮形成等の広域環境変調の実態把握のための航海観測を行う。特に陸棚域赤潮形成機構の鍵となる栄養塩の3次元分布観測、ならびに栄養塩の鉛直拡散や藻類分布・増殖に影響を与える乱流強度の観測を行う。また、渦鞭毛藻の栄養塩獲得戦略の一つである日周鉛直移動特性について、大型培養槽を用いた赤潮形成藻類の培養実験により検討する。これらの観測・実験に基づき、海洋生態系モデル・流動モデルの高度化を進める。更に、中国陸域負荷削減

シナリオ検討の基礎的条件を把握するため、中国の過去の農業・工業政策と汚濁発生・抑制関係の解析を行う。

平成23年度の研究成果

プロジェクト1「観測とモデルの統合によるマルチスケール大気汚染の解明と評価」

(1) 大陸規模モニタリングによる半球規模大気汚染の時空間変動の解明

半球規模大気汚染の実態把握に向けて、アジア・オセアニア地域におけるバックグラウンド大気の観測について、地上・船舶による観測プラットフォームや測定装置の拡充に着手した。また、日本の地上ステーションで観測された対流圏オゾン濃度について観測データを更新し、1998年から2009年までのトレンド（長期変化）を解析した。その結果を北米や欧州における同緯度帯の地上観測データと比較したところ、日本における地上オゾンは、その濃度レベル・増加率ともに欧米を上回っていることが明らかになった。さらに、日本-東南アジア・オセアニア航路の定期貨物船による観測、人工衛星データおよび輸送モデルの解析から、2006年のエルニーニョ現象に伴ってインドネシアの泥炭燃焼火災から大量の一酸化炭素が大気中に放出されており、現在多くの化学輸送モデルで使われているバイオマスバーニングの排出インベントリによる排出量は大幅に過小評価されていることが示唆された。

(2) アジア地域における包括的観測による日本への越境大気汚染の実態解明

アジア大陸からの越境汚染の影響を頻繁に受ける九州北部に注目して、福岡県・福岡市および長崎県・福江島における微小粒子の化学組成と質量濃度の長期連続観測を開始するとともに、過去に得られたデータを用いてアジア大陸からの長距離輸送と国内生成による寄与の分離を試みた。その結果、硫酸塩が有機物や硝酸塩に対して高い時は越境汚染が支配的、有機物や硝酸塩が硫酸塩に対して高い時は国内汚染が支配的であると推定され、主成分因子分析により越境大気汚染と国内大気汚染の寄与を半定量的に分離できる可能性が示された。また、九州北部地区における健康影響調査の準備に着手した。野外観測に同期して医療機関による疾患（循環器疾患など）登録データを活用すべく、地元の自治体や病院などに協力を要請中である。

(3) モデルシミュレーションによる汚染機構の解明と影響・対策評価

これまで開発してきた東アジアスケールの排出インベントリ REAS について、排出係数やエネルギーデータ等を一新して2000年から2008年までのインベントリを新たに構築し、REASv2.0としてリリースした。この際、マルチスケール排出インベントリとすべく、東アジアの対象地域を拡大するとともに日本国内についても整備を進めている。また、社会環境システム研究分野と連携して、2050年を対象としたアジア域の大気汚染物質排出シナリオの作成を進め、温暖化シナリオと整合する二つの排出シナリオ（成り行き、温室効果ガス半減）を作成した。これらの排出量データを入力する化学輸送モデルとして、マルチスケールCTMの開発に取り組み、全球モデル（GHASER）と東アジア領域モデル（CMAQ）の連携運用に着手した。現状（2005年）における東アジア大気質の再現能力を各種観測データとの比較を通して検証し、CMAQの計算条件を再検討した。また、モデルによる過小評価が問題となっている二次有機粒子モデルを改良するため、領域モデルに揮発性ビンモデルと詳細反応モデルの導入を進め、初期的な成果を得た。

生物影響の面では、越境大気汚染として日本に運ばれてくるオゾンによる植物への影響評価を目的とし、樹木（ブナ）や草本植物（ハウレンソウ）を材料として実験や野外調査を行った。200ppbまでのオゾン短期曝露はブナに急性影響を与えない一方で、平均50ppbのオゾンがブナの生長を抑制する事を明らかにした。また、土壌乾燥化（水ストレス）がオゾンストレスと相加的に影響し、ブナの生長低下を引き起こす事を定量的に示した。さらに、地方環境研究所等とのネットワーク化を推進し、ブナ林域において衰退度調査や水分生理活性調査、オゾン計測等を実施し、ブナ林衰退と大気汚染等との関係解析を行った。一方、これまで

アサガオ等で開発してきた遺伝子発現解析や酸化還元物質測定等の手法によるストレス診断手法をホウレンソウやブナに応用した。現在、ホウレンソウにおいてオゾン影響のマーカーとなる遺伝子を探索中である。ブナでは日本海側型と太平洋側型の2つの生態型についてアスコルビン酸含量を予備的に測定した。今後、オゾン暴露時のマーカー遺伝子の発現変化や、アスコルビン酸等の含量の変化等を調べ、オゾン影響程度を数値化することを試みる。最終的には、これらの結果を樹木や農作物の影響予測のモデルに利用することを目指す。

プロジェクト2「広域人為インパクトによる東シナ海・日本近海の生態系変調の解明」

(1) 長江流域圏から東シナ海への汚濁負荷量の予測手法の開発

長江デルタ域における社会経済活動に基づくマクロ型・分布型汚濁発生インベントリの構築に関しては、これまでに開発を進めてきた長江流域の水需要インベントリモデルを窒素・リン排出へと適用し、長江下流域の社会経済活動による排水中の窒素・リンの排出インベントリを作成した。中国の窒素、リン濃度に関するデータの入手は困難なため、独自に推計をおこなった。農業は化学肥料投入量から窒素、リン濃度を求め、工業およびサービス部門については中国環境年鑑のCODデータと、日本の産業別CODと全窒素、全リンの比率から推計した。畜産業については、日本の畜種別原単位から畜産廃水濃度を推計した。その結果、長江下流の汚水由来の窒素およびリンの年間排出量(2000年)は、250万t-Nおよび32万t-Pという結果が得られた。また、窒素、リン共に耕種農業、畜産業からの排出が5割を超える一方で、窒素に関しては電力・熱供給部門からの排出量が大きいことが明らかとなった。

長江全流域における土地利用と汚濁負荷量の関係解析のためのモデル構築については、昨年度までに漢江流域への適用・検証を終えた流域圏水・物質循環評価モデルの長江全流域への適用を試みた。このモデルは、アメリカテキサスA&M大学とBlack land研究所が開発したSWAT(Soil and Water Assessment Tool)をベースに改良したものであり、水循環のプロセス、炭素、窒素、リンなどの物質循環も組み合わせている。流域の土地利用や産業活動に関するデータを入力することにより、人間生活や土地利用の変化、気候変動などの自然・社会・経済的な要因が流域に与える影響が評価可能となる。モデルの入力データとして、アメリカ航空宇宙局(NASA)が公開している90mメッシュ標高データ、環境省の委託研究「温暖化影響早期観測ネットワークの構築(平成18-22年度)」プロジェクトにおいて、中国科学院地理科学・資源研究所と共同で作成した中国の土地利用メッシュデータ、中国科学院南京地理・湖沼研究所の土壌類型分布データ、および国立環境研究所の中核プロジェクト「東アジア水・物質循環評価システムの開発(平成18-22年度)」において、中国水利部長江水利委員会及び中国科学院との共同研究で作成した気象や水文水質などのデータなどを含めた。その結果、河川の上流・中流・下流の流量を精度よく再現したものの、水質項目については、特に下流域において大きな誤差を示した。水量シミュレーションの結果によると、2000-2008年の間に長江全流域の年平均降水量は996mm、そのうち、蒸発散量は421mm、地表と地下合わせた流出量は522mmであることが分かった。

長江における水質観測体制に構築については、長江下流にある大通水文観測点で水質観測を軸とした共同研究の実施を中国科学院地理科学与資源研究所との間で合意した。観測項目は、水温、水量、全懸濁粒子のほか、全窒素・全リン、無機態窒素・リン等の水質項目を含む。今後の大通水文観測点での水質データの取得により、長江全流域における水質シミュレーションの精度向上を図る。

(2) 東シナ海陸棚域の生態系劣化機構の解明

東シナ海における赤潮形成等の広域環境変調の実態把握のため、2011年6月に東シナ海陸棚域の海洋観測を実施した。植物プランクトンの増殖、生残、亜表層ピーク形成などに影響を及ぼすと考えられる微細乱流強度や栄養塩(硝酸塩)の高密度鉛直プロファイリング観測を主として行った(現在データ解析中)。

東シナ海陸棚域の植物プランクトン群集への栄養塩供給動態を把握するために、2010年度の硝酸塩鉛直濃度分布および乱流強度データを用いて底層水から混合層への栄養塩供給速度の評価を行った。亜表層水深に

渦鞭毛藻が卓越した海域では垂表層クロロフィルピーク直下で硝酸塩濃度の急激な低下が認められた。これは密度勾配変化から予想される減衰を大きく上回り、底層水から供給される硝酸塩（鉛直上方へのフラックス = 1.3mmol/m²/day）は、垂表層集積した植物プランクトンに消費され尽くし、上方混合層の植物プランクトンへの供給が極めて小さいと考えられた。

渦鞭毛藻（*Prorocentrum dentatum*）の陸棚域での栄養塩獲得戦略解明と数理モデル化のため、鉛直可動式クロロフィルセンサーを備えた大型培養槽（海水マイクロコズム）において日周鉛直移動の再現実験を行った。この実験により、本種の日周鉛直移動を明瞭に再現できること、夜間下降時に温度躍層付近に集積する傾向があること、上昇時には一様移動ではなく混合層に分散することなどが明らかとなった。

海洋生態系モデル・流動モデルの高度化については、陸棚域における渦鞭毛藻ブルームの出現機構およびそれを維持する栄養塩起源を明らかにするため、流動・水質・底質・低次水界生態系モデルによる再現計算に取り組んだ。現時点で得られている計算結果では、陸棚域にて観測された渦鞭毛藻の密度躍層周辺への集積の再現性について課題があるものの、陸棚域における栄養塩の供給源は主として台湾暖流であることが示唆された。その他、台湾暖流から陸棚域への栄養塩供給には季節特性が明瞭に見られ、初夏の季節風に伴う供給が卓越していること、植物プランクトンにとって台湾暖流由来の水塊ではリンが、長江起源の水塊では窒素が律速になっており、陸棚域では両水塊が合わさることによって渦鞭毛藻ブルームを維持しうる栄養塩環境が形成されている可能性が高いことなどが明らかになった。今後、モデルの信頼性を高めるため、密度躍層周辺への渦鞭毛藻の集積の再現性向上を図る予定である。

（3）陸域・海域統合環境管理に向けた陸域負荷削減シナリオの検討と海域環境の応答予測

中国陸域負荷削減シナリオ検討の基礎的条件を把握するため、中国の過去の農業・工業政策と汚濁発生・抑制関係の解析を行う事を目標に基盤情報の整理を行った。ここで、長江デルタ経済圏には太湖流域が内包されており、発生するT-NおよびT-Pの80%程度は太湖流域から発生している。したがって、汚濁負荷量に係る将来シナリオは太湖水質保全計画の影響を強く受ける事が予想されるため、公表されている太湖水污染防治第9次5ヶ年計画、10次5ヶ年計画および太湖流域水環境総合治理総体方案に示されている都市起源発生源に対する対策を比較検討し、汚濁負荷削減対策項目を整理し、その特徴を検討した。太湖では1996年に最初となる5ヶ年の水質保全計画（九次五計）が開始され、2001年から第2期計画（十次五計）が開始された。2006年には第3期となる太湖水污染防治第11次5ヶ年計画（十一次五計）が開始されたが、この計画が一般に公示される2007年5月から6月にかけて、アオコの大発生による大規模な水道供給障害が無錫市を中心に起きた。その結果、この5ヶ年計画は廃棄され、現在は2008年を開始年度とした太湖流域水環境総合治理総体方案（以下、総体方案）が2012年までの予定で実施されている。九次五計の主体は工業排水対策であり、改革開放を担った中小規模の郷鎮重化学工業工場の閉鎖を含めて整理・統合し、厳しい排水規制に耐える産業構造調整を行った。十次五計では生活排水対策として都市下水整備に外資を含めた集中的な投資を行い、総体方案では、これらを受けて、排水規制の強化と監督に重点を置きつつある。個々の対策項目に対して経済施策である産業調整をリンクさせている事が大きな特徴であり、今後、将来シナリオにおける汚濁負荷排出量を検討する上で重要なポイントであることが明らかとなった。

4. 5. 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	11				
（平成23年12月）	15%	85%				100%

平均評点 4. 15点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）

5. 生物多様性重点プログラム

5. 1 研究の概要

生物多様性条約・第10回締約国会議（2010年10月）では、今後の10年に向けて5つの戦略目標を定めた。その目標Bでは「生物多様性への直接的な圧力を減少させ、持続可能な利用を促進する」こと、目標Cでは「生態系、種及び遺伝子の多様性を守ることにより、生物多様性の状況を改善する」ことを掲げている。これらの実現のためには、生物多様性の現状の把握と、保全策の効果を予測・評価する手法の開発が不可欠である。また、直接的な圧力への対策を立案するにはその実態の解明と将来の予測が必要となる。そのため科学的なアプローチは国内外で進められているが、本質的に多様であるとともに空間的に不均一な生物多様性の各側面を統合して総合的に評価・予測する手法はいまだ確立していない。

本プロジェクトでは、特に広域的な生物多様性の状況を効率的に観測する手法を開発するとともに、集積された観測データに基づいて生物多様性の状況及び保全策の効果の総合的な評価と、将来の状況の予測を行った。また、生物多様性への直接の圧力要因のうち特に早急な対応が必要なものとして愛知目標に挙げられている侵略的外来生物・遺伝子組換え生物および気候変動の影響の実態を把握し、効果的な対応策の立案に必要な将来予測を行った。

観測手法の開発においては、リモートセンシングデータ及び分子遺伝学的な情報の活用手法を確立した。総合的な評価と予測にあたっては、集積されたデータに基づいて生物多様性の状況を適確に表現する指標の開発を行う。さらに、これらの成果を活用しつつ具体的な問題の解決に取り組んだ。

本プログラムは、3つのプロジェクト(PJ-1, PJ-2, PJ-3)からなっている。PJ-1「生物多様性の景観的および遺伝的側面とその観測手法に関する研究」では、自然生息地の減少速度の低下という目標（愛知目標5）に資するため、既存データを収集整備するとともに、リモートセンシングデータと地表での生物分布とを関係づける統計モデル等の開発により、時空間的に広域を効率的にカバーする生物多様性観測を可能にした。また、種および遺伝子の多様性の保全という目標（戦略目標C）に資するため、適切な遺伝子マーカーの開発と情報集積を行い、保全対象種、外来種の遺伝子による検出など分子遺伝学的手法による生物多様性観測の基盤を提供した。

PJ-2「生物多様性の広域評価およびシナリオ分析による将来予測に関する研究」では、生物多様性の多様な側面を総合的に評価する指標群の開発により、限られた時間とコストの中で、適切な保全地域指定や広域的土地利用デザインを行う指針を提供する。また、戦略目標Bを実現するために必要な生物多様性への圧力を減少させるための適切な数値目標の設定や、戦略目標Cの実現にむけた定量的な評価軸を提供する。これにより、社会状況の将来変化も考慮した、国土レベルでの実効性のある保全のランドデザインの策定に貢献した。

PJ-3「人為的環境攪乱要因の生物多様性影響評価と管理手法に関する研究」では、侵略的外来生物・遺伝子組換え生物について、国内における現状の把握と分布拡大予測により、重点的な対策のポイントを明らかにするとともに、防除手法を開発した（目標9）。また、保全すべき脆弱な生態系としてサンゴ礁生態系および高山生態系を対象として、気候変動の生物多様性への影響評価により、温暖化適応策のなかで生物多様性の主流化を進める際に特に配慮すべき点を明らかにした（目標10）。

5. 2 研究期間

平成23～27年度

5. 3 研究予算

（実績額、単位：百万円）

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計

①運営費交付金	36.5					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	63.9 (83.3)					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	0					
④その他の外部資金	0					
総額	100.5 (119.9)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

5. 4 平成23年度の研究成果概要

平成23年度の研究成果目標

本プログラムを構成する3つのプロジェクトは、別紙の図に示すように、それぞれが独立に愛知目標の達成に貢献する部分と、相互に成果を交換し、有機的に連携する部分がある。特に、生物多様性関連情報の提供に貢献する部分と、得られたデータの総合的な解析により評価と保全策の提示を行う部分との連携が重要である。1年目となる今年度は、とくにプログラム内でのデータ解析側のニーズとデータ提供側の作業との擦り合わせに留意しながら全体の研究を進める。以下では、それぞれのプロジェクトおよびその構成サブテーマの計画の概略を示す。

PJ-1「生物多様性の景観的および遺伝的側面とその観測手法に関する研究」

サブテーマ1：リモートセンシングによる生物多様性の景観的基盤の解明と手法開発

土地利用図等の地理情報を生物多様性評価・予測に向けてビルドアップする方向性を定める。生物多様性の評価・予測への応用の観点から必要な土地利用図等基盤情報の項目を選定し、既存の情報を収集して整理する。その結果に基づいて基盤情報の整備方針を立案し、リモートセンシングデータの活用法を検討する。

サブテーマ2：遺伝子分析による生物多様性の遺伝的基盤の解明と手法開発

遺伝的解析手法の分類群同定における有効性を情報蓄積の多い生物群から検証を始める。具体的には以下の生物群を対象に研究を進める。

- ・ 環境問題に関わる藻類および水界生態系に重要な優占藻類種を対象として、遺伝子分析による種判別法の開発を行い、モニタリングへの適用可能性を検証する。
- ・ 陸水環境の指標生物であるユスリカに注目し、湖沼長期モニタリングを支援する同定手法開発に着手する。また、塩基配列の解読を行うことなくバーコード領域により種同定を行う、低コストかつ簡便な手法の開発を行う。
- ・ 都市緑地間のチョウ移動頻度を、DNA マーカーを用いて推定する手法を開発する。
- ・ 地域固有性が高い淡水魚類を対象に、国内・国外の移入の実態や程度を明らかにするため分子遺伝学的な解析を行う。

PJ-2「生物多様性の広域評価およびシナリオ分析による将来予測に関する研究」

サブテーマ1：生物多様性の駆動因への応答を定量化するためのモデル構築

日本全国のスケールにおいて、維管束植物を中心とする多数の生物種を対象とし、土地利用条件などから存

在確率を推定する生物分布推定モデルを構築し、土地利用が変化した場合の存在確率の応答の予測を可能にする。

過去からの分布情報が十分ではない生物群における定量的な評価を可能にするために、利用可能なデータが少ない場合でも駆動因に対する生物の反応を頑健に推定および予測できる統計モデルおよび集約的な指標の開発に着手する。

サブテーマ2：駆動因変化のシナリオ構築と評価モデルの開発および評価の実施

維管束植物および鳥類の絶滅危惧種を対象に、現状の保護区と生物分布の関係のギャップを明らかにし、将来的に望ましい保護区設計の在り方の定量的な評価を行う。

人口減少、大型草食動物の増加、気候変動など大きな変化が予測される駆動因の下で、将来的な不確実性に対処しながらもっとも効果的に生物多様性を保全するため、保全コストの適切な空間配分の評価モデルの構築に着手する。

他の研究センターおよび研究プログラムとも連携しつつ、人口動態や大型草食動物の動態、および土地被覆の変化に関する日本全域にわたる将来変化シナリオの構築にむけたデータ収集に着手する。

PJ-3「人為的環境攪乱要因の生物多様性影響評価と管理手法に関する研究」

サブテーマ1 侵略的外来生物による生物多様性影響評価と管理

アルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、マングースなどの特定外来生物の分布の実態を明らかにするとともに、その影響を受けている在来種を特定し、有効な防除管理ユニットを設定するほか、在来種の回復を指標として外来種防除手法の開発を進める。また、見えない外来種である鳥インフルエンザの侵入キャリアーとなる野生鳥類種を特定するとともに、侵入ルートの予測を図る。

サブテーマ2 遺伝子組換え生物(GMO)による生物多様性影響評価と管理

花粉分散による遺伝子浸透の実態の解明を目指す。今年度は、GM セイヨウアブラナの生育密度が高い地域について、GM セイヨウアブラナの訪花昆虫を調査する。

サブテーマ3 温暖化による生物多様性影響評価と管理

陸域の温暖化影響に関しては、チベット高原で標高に伴う植物種の侵入と消失、優占種と指標種の個体群動態の変化を観測する。

海域の温暖化影響の解析に関しては、日本全国規模でサンゴ群集構造と水温との関係を明らかにして、影響の指標種を確定する。

平成23年度の研究成果

研究プログラム「生物多様性重点研究プログラム」

プロジェクト1「生物多様性の景観的および遺伝的側面とその観測手法に関する研究」

サブテーマ1 リモートセンシングによる生物多様性の景観的基盤の解明と手法開発

複数の官庁から提供されている土地利用図・植生図を2次メッシュ(約10km四方)区画を基本に整理すること、森林を細分する新たな区分を付加すること、森林については新たにリモートセンシングによる情報整備を行うことの必要性を確認した。

環境省自然環境保全基礎調査による植生データおよび農業環境技術研究所が公開している農業統計情報メッシュデータを用いて時系列の土地利用情報を統一的に整備することにより、掲示的な解析ができる可能性が

ある。そこで、1970年代から2000年代（現在）にかけての数時期をターゲットとし、様々な空間解像度で森林と農地を細分化した土地利用図の整備を地理情報システム上で進める方針を立てた。

海洋において土地利用図と同様に基盤情報となるサンゴ等のハビタット分布に関して、衛星データを用いた分類手法を検討した。潮位補正を行うことによって多時期の画像分類の精度が向上することを明らかにした。

サブテーマ2 遺伝子分析による生物多様性の遺伝的基盤の解明と手法開発

ピコ～ナノサイズのプランクトンが優占する外洋環境（黒潮域と親潮域）において試料収集と試料の凍結保存を行い、そして種レベルの簡便な多様性比較における分子遺伝学的な手法（T-RFLP解析）の有効性を確認した。

霞ヶ浦水系産ユスリカのうち、形態による同定が難しい3種について、遺伝子による簡易な同定法を開発した。これにより、熟練した分類学者に依存していたユスリカのカテゴリが低コスト（1検体あたり100円程度）で可能となった。

チョウの緑地間移動の程度を遺伝的近縁度から推定するためのマイクロサテライトマーカー開発を行い、利用可能なマーカーを得た。

フナ類およびナマズ類を対象に集団遺伝学的解析を行ない、移植放流に伴う国内外の移入が起きていることを確認した。

プロジェクト2「生物多様性の広域評価およびシナリオ分析による将来予測に関する研究」

サブテーマ1 生物多様性の駆動因への応答を定量化するためのモデル構築

収集・整備した分布データ、環境データを用いて、日本国内の絶滅危惧植物・固有種について、地形・気候・土地利用に関する変数を説明変数とした分布推定モデルを作成した。このモデルを用いた解析結果を、環境省野生生物課が改定を進めている希少野生生物分布状況等データベースに提供した。

類似した生息地特性を持つ普通種や、分布パターンの類似した普通種の情報を援用して希少種の分布推定を改善するため、生物の空間的な分布パターンの類似性を定量的に評価する簡便な手法を開発した。

本プログラムと関連して進めている地球環境研究総合推進費課題「S-9 アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究」で、アジアの生物多様性関連データの解析を行うための枠組みの整備およびデータ収集を進めた。特に、日本も含むアジア全域で標準的な生物多様性評価・予測を可能にするためのメッシュコード体系の検討・整備を行い、アジア地域の環境情報（気象、標高等）を収集・整理した。

サブテーマ2 駆動因変化のシナリオ構築と評価モデルの開発および評価の実施

日本国内における既設の自然保護区のうち、空間情報データが未整備であった都道府県立の自然環境保全地域のデータを整備した。また、同様に未整備であった都道府県立の自然公園のデータについても、国土交通省国土計画局と共同で整備を行った。

日本全国スケールで整備された生物分布と駆動因に関する情報を用いて、保全対策の評価および効果的な対策の導出を行うためのモデル構築および解析を開始した。日本国内の絶滅危惧維管束植物および鳥類を対象に、できるだけ多くの絶滅危惧種を保全の対象とするという観点から、既存の保護区の効率性を評価した。

愛知目標で示された数値目標にこたえる面積（陸域及び内陸水域の17%）を保護区とする場合に、保全効果の高い地域の探索を行った。この成果は、環境省自然環境計画課が実施する平成23年度生物多様性評価の地図化検討会において、その成果が活用された。

不確実性を考慮したニホンジカの分布拡大予測を行ない、拡大がそのまま進行すれば、100年後には都市部や豪雪地域を除く生息適地全体に進入するとの結果を得た。絶滅危惧維管束植物の分布パターンとニホンジカ侵入域のオーバーラップに基づくリスク評価と、ニホンジカの分布拡大の不確実性を考慮した防除優先順位判定アルゴリズムの作成に着手した。

プロジェクト3 「人為的環境攪乱要因の生物多様性影響評価と管理手法に関する研究」

サブテーマ1 侵略的外来生物による生物多様性影響評価と管理

北海道野付半島および鶴川町をモデル地域として、セイヨウオオマルハナバチおよび在来マルハナバチの分布状況を調査した結果、外来マルハナバチの増加に伴い、特に影響を受けるのは、営巣環境が類似する在来種2種であることが判明した。セイヨウオオマルハナバチについて、薬剤防除手法開発のため薬剤感受性試験を実施した結果、効果の高い薬剤が選定された。在来種も外来種とほぼ同等かもしくは低い感受性を示すことが明らかとなった。

東京埠頭に侵入したアルゼンチンアリ個体群を対象として薬剤効力試験を実施した結果、薬剤投与量による防除効率の差を定量比較することができた。

全国から収集したガン・カモ類の糞便サンプルの中で鳥インフルエンザウイルス陽性となったものからDNAを抽出し、DNAバーコーディング用プライマーで種判別を試みた結果、44サンプル中24サンプルで鳥類種の特定に成功した。野鳥の感染が発生した地点情報と環境要因を用いて野鳥における鳥インフルエンザのリスクマップを作成した。山陰地方および宮崎県を中心とする九州地方で感染リスクが高いことが示された。

サブテーマ2 遺伝子組換え生物による生物多様性影響評価と管理

除草剤耐性GMセイヨウアブラナが広範囲かつ高密度に分布している調査地で、GMセイヨウアブラナと非GMセイヨウアブラナの花序、および訪花昆虫の採取を行った。採取した花序より花粉を取り出し、花粉のDNAに含まれる除草剤グリホサート耐性遺伝子を検出することに成功した。さらに採集したハナバチが持っていた花粉からも同遺伝子を検出し、訪花昆虫がGMセイヨウアブラナの花粉を運んでいることを明らかにした。

サブテーマ3 温暖化による生物多様性影響評価と管理

気候変化に伴う高山植物の種数変化や移動速度を把握するため、チベット高原で、異なる標高における気象環境と種豊富度のモニタリングを行った。放牧を禁止することにより、種数の標高分布パターンが変わり、低標高の種数が増える傾向があることが明らかとなった。

衛星データを利用し、北半球における気温の変化に伴う植物の展葉期変化の関係を解析した結果、多くの生態系では春先の気温上昇に伴い展葉期が早くなるが、遅くなる場合も少なくないことが判明した。

水温とサンゴ群集の関係に注目し、熱帯型群集、温帯型群集、北限型群集を定めた。また、熱帯サンゴの指標として、スギノキミドリイシとクシハダミドリイシを選定した。

日本近海において海水温上昇による潜在的なサンゴ分布の北上予測を行ったところ、予測されたサンゴ分布の北上速度は現場で観測された速度よりはるかに小さかった。これは現場観測がサンゴ群体の定着を観察しているのに対し、モデルはサンゴ群集の成立を想定しており、両者の違いによるものと考えられる。今後、モニタリングデータによって群集動態を明らかにして予測の信頼性を高める必要性が示された。

5. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	1	9	2			
(平成 23 年 12 月)	8%	75%	17%			100%

平均評点 3.92点

注) 上段 : 評価人数、下段 : %

年度評価基準 (5 : たいへん優れている、4 : 優れている、3 : 普通、2 : やや劣る、1 : 劣る)

6. 流域圏生態系研究プログラム

6. 1. 研究の概要

生物多様性国家戦略2010において生物多様性と生態系の回復は重要な国家戦略と位置付けられている。生物多様性のホットスポットとして重要な生態系の保全と、生態系機能を最大限活用して生物多様性の減少を防止することが強く求められており、そのため生態系機能の健全性評価に関する研究は喫緊の課題となっている。一方、健全性評価には生態系機能の定量評価が不可欠であるが、その評価手法はほとんど確立されていない。生態系機能と環境因子との連動関係や相互作用についても多くが未解明なままであり、生態系機能の保全、再生・修復に向けた具体的な取組が大きく進展しない要因となっている。

そこで、流域圏（森林域、湖沼・河川、沿岸域）における生態系を対象として、水・物質循環に着目し、生態系機能の新たな定量的評価手法の開発・確立を行った。典型的な生態系に対して、長期・戦略的モニタリング、新規性の高い測定法やモデル解析を駆使して、生態系機能・サービスと様々な環境因子との連動関係（リンケージ）を定量的に評価した。更に、機能劣化が著しい自然生態系を対象に劣化メカニズムの解明と機能改善手法の構築を図った。これらの科学的知見をもとに、メコン河等の広域スケール流域圏における重要な生態系を戦略的に保全し、生態系機能を最大に発揮させることで生物多様性を減少させない施策に資する戦略的環境アセスメント手法を開発した。これらの成果に基づき流域圏の環境健全性を評価して、生態系機能の保全、創造、環境修復や自然再生の在り方を提言した。

更に、研究成果に基づいて、流域圏における環境因子と生態系機能、環境因子と生物多様性、生態系機能と生物多様性を定量的に繋げる方向やアプローチを展望した。

6. 2 研究期間

平成23～27年度

6. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	27.1					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	13.7 (13.7)					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	15.2					
④その他の外部資金	5.2					
総額	61.2 (61.2)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

6. 4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

流域圏生態系の水・物質循環に着目し、生態系機能の健全性を定量評価するための手法開発を行う。新規性の高い測定法やモデル解析を駆使して長期・戦略的モニタリングを行うことで、生態系機能・生態系サー

ビスと様々な環境因子とのリンケージ（連動関係）を定量的に評価する。ここでの評価に基づき、メコン河等の広域な流域圏における生態系と生物多様性を戦略的に保全し、生態系機能・生態系サービスを維持するための施策に資する研究を行う。

プロジェクト1「生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究」

多様なユニットで構成される流域圏において、典型的な自然生態系ユニットである森林域、湖沼、沿岸域を対象として、人為由来の慢性的高負荷環境条件が生態系機能に及ぼしている影響（変質、劣化）について、以下の計画に基づき、その実態把握とメカニズム解明のための研究に着手する。

- ① 筑波山や人工林試験地等を対象に、森林生態系における物質動態に関する定期モニタリングを開始し、人工林荒廃と窒素飽和現象の関連性を評価するとともに、そのメカニズムについて検討を行う。
- ② 霞ヶ浦等の湖沼を対象に定期フィールド調査と室内実験等を開始して、湖水柱と底泥での物質循環と微生物（藻類、バクテリア等）活動の連動関係を検討する。
- ③ 谷津干潟等の沿岸域を対象に、定期野外調査、操作実験や室内実験を実施して、一次生産者の変化や侵入種による優占現象が干潟の生態系機能に及ぼす影響について検討する。

プロジェクト2「戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価に関する研究」

本プロジェクトでは、流域開発に伴い生物多様性の低下と生態系機能の劣化に直面している大河川（メコン河）を対象に、広域なスケールで開発の政策、計画、プログラムの早い段階から環境への配慮を行うことを特徴とする戦略的環境アセスメントに向けた技術開発に着手する。迅速・簡便・高感度な技術を開発し、マングローブ植林など自然再生の効果・効率に対する科学的評価やダム開発に伴うリスクの回避や影響緩和について保全シナリオを提言するための研究を開始する。以下の目標を掲げて研究を実施する。

- ① メコン川流域ならびにベトナム沿岸域で重点研究サイトを選定し、サイトごとに定期的なサンプリング体制を整備する。
- ② 既已取得してある魚類の耳石サンプルを分析し、主要な水産資源である回遊魚の回遊生態を解明する。
- ③ 沿岸域（干潟等）の底生生物の種多様性・生態系機能についてデータベース整備を開始する。

平成23年度の研究成果

プロジェクト1「生態系機能と環境因子の連動関係の定量評価に関する研究」

サブテーマ1：陸域自然生態系における生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

軽度の大气汚染環境下にある、異なる間伐強度（無間伐、1/3間伐、2/3間伐）で管理されているスギ人工林試験区を対象に、物質動態モニタリング（降水・土壌水の水文水質調査、リターフォール量や下層植生のバイオマス調査等）を開始した。現段階までの成果として、間伐強度が土壌中の窒素動態に強く影響することが明らかになりつつある。具体的には、林分が過密状態にある無間伐区に比べ、強度間伐により誘引され発達した下層植生（広葉樹の低木と草本類）を有する人工林生態系では、植物-土壌における窒素貯留能が高められている可能性を国内で初めて確認した。その要因として、下層植生の吸収作用と土壌集積有機物（下層植生やスギのリター）の質的变化（特にC/N比）による土壌微生物の窒素資化作用への影響が示唆される。本調査結果は、森林管理（強度間伐による荒廃人工林の針広混交林化）が窒素飽和の改善をもたらす可能性を強く示唆するとともに、現在の森林政策の大きな流れとなりつつある針広混交林化を、水質保全機能の向上という観点から更に促進するものと考えられる。

サブテーマ2：湖沼における物質循環と生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

本年度は、計画に沿ったフィールド調査の実施と微生物関係の測定法の開発に重点を置いた。放射性同位体を使用しない藻類1次生産量をリアルタイムで測定できるアクティブ蛍光法（FRRF法）を採用して、湖沼での藻類1次生産量を測定した。アオコが大発生した地点では1次生産が低いことがわかった。霞ヶ浦底泥の微生物多様性をクローンライブラリー法により解析した。いずれの試料でも深さ4-6cmで亜硝酸酸化細菌の*Nitrospira*属細菌が優占していた。凍結保存サンプル等を使って、アオコを形成する藍藻ミクロキスティスの動態を特異的プライマー法によって明らかにした。2004年以降、当該藻類の数密度は急上昇した。底泥間隙水中の糖類組成と動態を評価した。2005年秋-2006年春、2cm以深で糖類濃度が激増したが、2007年夏には急激に減少した。湖水柱での藍藻と底泥中の糖類の動態に関連性が示唆された。

サブテーマ3：沿岸域における生態系機能と環境因子の連動関係の定量的評価に関する研究

かつては一連の前浜干潟であり、現在でも底質の鉱物組成や供給される海水組成がほぼ等しい千葉県の日津干潟と三番瀬干潟を研究対象とし、アオサ類によるグリーンタイドの発生が生態系機能へ及ぼす影響の定量的評価を目標として研究を開始した。特に目視では困難とされるアオサ類の種組成とそれに伴う生物季節性（フェノロジー）に留意して、これまでに採集した生物種の同定と定量を行っている。その結果、両干潟におけるグリーンタイドの発生期間と発生量が大きく異なったこと、アオサ類や生息する他の生物の種構成も大きく異なることが確認された。一方、底質環境については、間隙水中の栄養塩濃度等に両干潟間の差が確認されただけでなく、グリーンタイドが衰退する時期に増加する項目も複数確認され、グリーンタイドの底質環境への影響が示唆された。これらの結果より、侵入種ミナミアオサによる優占現象であるグリーンタイドが、干潟の生態系機能に及ぼす多面的な影響についてさらに研究を進めることが必要であることが示された。

プロジェクト2「戦略的環境アセスメント技術の開発と自然再生の評価」

サブテーマ1：生態系機能としての底泥の分解活性評価

得られた底泥サンプルを分析した結果、シリントーン・ダム貯水池の底泥での微生物活性（リン酸無機化酵素等）と底泥中のリン含量とは、ともに日本のため池で測定した値と比べて有意に低いこと、また全体的に底泥のリン含量と微生物活性との間に正の相関があることなどが分かった。また底泥の粒径組成や鉱物組成、同位体・元素濃度等を測定し、底泥成分の輸送メカニズムや水質形成への寄与率の解明を行うための分析フローチャートを作成した。

サブテーマ2：生態リスクとしての有害藻類の発生と予測

シリントーン・ダム貯水池では湖水も採取し定量PCRによる分析を行った。本ダム湖からは有害藻類*Microcystis*は検出されなかった。しかしウボンラチャタニの北西に位置するコーンケーン県の貯水池（Kaen Nakorn）とウボンラットダム貯水池から流出する用水路（Nam Pong）からは*Microcystis*が検出された。この周辺は市街地および農地が広がっており、周辺土地利用によってアオコ発生のリスクがあることが示唆された。中国・武漢にある中国科学院水生生物研究所で開催された国際シンポジウムで定量PCRを用いた*Microcystis*の定量法についてポスター発表した。

サブテーマ3：生態系サービスとしての淡水魚の生態解明

メコンの代表的水産資源であるコイ科回遊魚 Siamese mud carp (*Henicorhynchus siamensis*)について耳石の元素分析をほぼ終了し、いくつかの知見を得た。具他的には1) 本種が群れを成して回遊する回遊魚であること、2) 支流を広く回遊するが、本流を経由して他の支流にまで回遊することはない、3) 産卵のために生まれた川に母川回帰することなどである。米国シアトルで開催されたアメリカ水産学会にて口頭発表。またNatureのニュースに研究が紹介された（Nature 478, 305-307）。

6. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価		9	4			
(平成 23 年 12 月)		69%	31%			100%

平均評点 3. 6 9 点

注) 上段 : 評価人数、下段 : %

年度評価基準 (5 : たいへん優れている、4 : 優れている、3 : 普通、2 : やや劣る、1 : 劣る)

7. 環境都市システム研究プログラム

7. 1 研究の概要

産業・生活・交通等の人間活動の中心である都市において、環境への影響を低減する技術と施策の組合せを計画してその実現を進める方法論の開発が、環境調和型の社会形成にとって重要な課題となる。環境計画や環境評価の手法を活用して、都市生活や産業活動の環境性能を高める技術と制度を、地域と都市・地区のマルチスケールの施策パッケージとして計画する手法の開発とその社会実装によって、地域や地球の環境問題の改善への貢献とともに経済の活力や暮らしの豊かさを実現する「環境都市」形成の方法論を開発する研究が国際的な要請となっている。

本研究プログラムでは、社会・経済活動が集積する都市に対して環境負荷の増大と自然環境劣化の克服に向けての持続可能な将来シナリオを構築して、そこへ到達する実効的な「都市・地区のロードマップ」を提示するため、環境技術システムを含む計画と評価体系の研究開発を進めた。具体的には、水、エネルギー、資源循環の先進的な基盤や産業を含む環境イノベーション技術システムの研究開発とともに、関連する社会制度システムの定式化を進め、環境都市マネジメントの技術・政策パッケージのデータベースとして形成した。そのうえで都市や地区の経済、環境特性に応じて技術・政策をカスタマイズして適用する「環境ソリューション」プロセスの研究開発を進めた。

これらの一連のプロセス開発を、国内およびアジアで環境モデル都市、地区において産官学連携による実証研究を進めることによって、技術の社会実装プロセスの開発、地区マネジメントシステムとしての機能高度化の研究、およびモデル地区を中核とする「環境都市」と地域の計画への適用を含むマルチステージの社会展開のガイドラインを構築した。都市の社会・経済と環境の特性に応じた、環境負荷の増大と自然環境劣化の克服に向けての将来ターゲットを設計して、そこへ到達する実効的な地域と都市・地区の環境技術と政策のシステムを描く計画手法と評価体系の研究開発を進めた。

具体的には、水、エネルギー、資源循環を制御する環境イノベーション技術・施策の分析や研究開発とともに、関連する社会制度システムの定式化を進めて、国内外で展開可能な環境都市マネジメントの技術・施策パッケージとして形成した。そのうえで都市や地区の経済、環境特性に応じて技術・施策をカスタマイズして適用する環境技術・施策の計画・設計のプロセスに人間活動から発生する大気汚染、水質汚濁等とともに環境資源への影響を解析するシミュレーション研究を踏まえた技術・施策システムによる環境ソリューション研究（地域環境研究分野）と人間活動の現況分析・シナリオ開発・モデル評価を行う社会発展シナリオの研究（社会環境システム研究分野）を結合し、環境質の劣化からの人間活動への影響および環境質の劣化の予防的回避を制約条件とする解析を含めた、社会費用の小さな都市の構造とそのガバナンス・システムを見出す分野横断的研究を推進した。

プロジェクト1では都市・街区スケールで環境効率を高める技術の中核とする「都市—街区・拠点技術のソリューションの研究」を主眼にした。プロジェクト2では、その技術・施策のソリューションを含む、より包括的な都市環境要素を操作変数として地域—都市スケールの長期シナリオとロードマップを計画する研究を進めた。

7. 2 研究期間

平成23～27年度

7. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計

①運営費交付金	25.432					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	0 ()					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	0					
④その他の外部資金	0					
総額	25.432 ()					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

7. 4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

今年度は、第一に低炭素社会や地域循環圏の形成等の都市・地域の将来シナリオの多面的な（コベネフィット型の）目標群と、その達成にむけた環境技術と施策を操作変数とする定量的な環境計画とその評価システムに着手する。都市、地域の特性に応じた環境都市とモデル地区を設計するとともにその効果を算定することができるシステムのフレームの構築を進める。

次に、国内とアジアの实在のモデル都市、モデル地区において技術・施策の社会実証研究を進める。国内とアジアの都市の実際の都市での、環境ソリューション技術・施策システムの効果の検証と機能の高度化研究に着手して、都市・地域環境施策や街区等の都市・地域の拠点開発事業など、空間的にまとまった単位で解決する技術・施策（環境都市ソリューションシステム）を都市・地域スケールの環境改善のパッケージとして設計する手法を開発することによって、国内外の環境都市実現の社会実証プロセスを設計するとともに、他都市・地域への展開のガイドラインの構築を進めて、低炭素都市やコベネフィット都市、地域循環圏等の政策実現への貢献を目指す。

都市・地域空間に関する将来の土地利用転換や基盤整備の分析手法を開発することにより、低炭素やコベネフィットなどの社会環境ターゲットに応じた都市・地域計画を可能にする戦略的な研究を進める。

具体的にプロジェクト1では、都市・地区スケールでの環境技術の地区実証研究のフレームとその都市・社会への転換プロセスに関する検討を進めて、「都市の環境技術・施策システムの評価と社会実証プロセス」を構築して、「技術・施策の都市環境ソリューションシステムの計画と評価手法の開発」（サブテーマ1）を進め、具体的な「コベネフィット型環境技術システムの開発と社会実証プロセスの検討」を進める。

プロジェクト2では環境的に持続可能な都市・地域発展シナリオをメソスケールで構築する研究を進め、都市・地域空間の動態分析に基づくシナリオ構築手法の開発と環境負荷低減・影響緩和効果の高い都市・地域空間の評価システムを構築する。

プロジェクト1： 都市の環境技術・施策システムの評価と社会実証プロセスの構築

国内とアジアの都市を対象として、人間活動の特性とともにそこから発生する環境汚染の環境資源への影響をふまえ、社会実証研究を通じて環境負荷の低減と社会経済の改善を同時に実現するコベネフィット型の技術の開発と、技術群と施策をパッケージとして組み合わせる環境ソリューションシステムを構築して、その計画システムおよび評価方法論を開発することを目的とする。環境シミュレーションとの連携により、環境技術を含む拠点的な「環境開発」にむけた信頼性の高い計画システムを提供し、計画の実現に

よる環境負荷の削減を定量化できる評価理論の体系を提供する。具体的な都市における技術・施策の実証研究とともに、技術システムに加えて実装によりその効果を高めることのできる運用や制度施策の設計とその事業展開プロセスの構築および効果の評価を行う。

都市と地域に賦存する環境資源を活用しつつ、社会・経済の地域特性を活かすことによって、都市・地域の環境課題と社会経済の同時改善を図るコベネフィット型の技術・施策の環境ソリューションシステムの評価方法を構築する。地域シナリオ研究や広域環境シミュレーション研究との連携によって、都市・地域のコベネフィットの環境ターゲットを含む多元的な目標群を構築して、その達成に向けての技術の評価に基づく合理的な技術・施策パッケージの計画を通じて都市のロードマップを設計する、定量的な環境計画・評価システムを構築する。

加えて、コベネフィット都市、街区を実現するうえで重要となる中核的な水浄化・エネルギー、資源循環について、社会実証研究を通じて、技術の効率改善と社会への適合性を高める技術システムを構築するプロセスを開発する。さらに相乗性や補完性を持つ環境技術群との組み合わせによるコベネフィット型環境技術・施策システムをパッケージとして開発する方法論を構築する。

都市の総合的かつ実効的な解決策を見出すための産官学連携による調査研究を推進するとともに、その適用の連携ネットワークの形成によって、持続可能な地域環境形成の方法論の提供とその運用を通じての検証及び、合意形成を含む地域環境マネジメントの方法論を構築して、体系的な社会実証のプロセスとして開発する。

プロジェクト2： 環境的に持続可能な都市・地域発展シナリオの構築

環境的に持続可能な都市・地域の理想像とトレンド予測による将来の空間構造の間には大きなギャップがある。都市・地域の転換には長い期間を要するため、環境都市を確実に成立させるためには、実現のロードマップを早急に明らかにし、自治体の各種計画に組み込むことが重要である。

本研究は、地域内人口分布等に着目した人口分布の変動の要因解析を行うことで、実現可能性の高い空間構造シナリオの構築手法を開発するとともに、空間構造に応じた環境負荷低減・影響緩和策の効果の違いを評価することで、望ましい空間構造を明らかにし、これらを踏まえて、環境都市の空間構造を実現するシナリオとロードマップ（いつ、どういう施策を行い、どういう状態を達成するか）を示す。

その結果として、小地域における将来人口推計の手法を改良することに貢献するとともに、実現可能性の高い空間構造シナリオの構築手法を提供する。また、環境負荷低減・影響緩和効果の評価を踏まえた都市・地域発展シナリオを明らかにすることにより、自治体における環境都市ロードマップの構築に貢献する。）

本年度は、男女別五歳階級別3次メッシュ人口を用いて、各都道府県内の過去25年間の人口分布の推移とその変動要因を分析し、メッシュ等の小地域人口推計手法における社会増減の設定方法を改良する知見を得る。また、数カ所のケーススタディ地域を対象に、気候変動の緩和・適応、再生可能資源の利用等を例に、都市・地域の空間構造を反映した環境負荷低減・影響緩和策の簡易評価手法の一部を開発する。

平成23年度の研究成果

都市を対象とする、低炭素、循環経済の技術・政策を設計してそのシミュレーション評価を推進する研究について名古屋市、川崎市、つくば市、土浦市で順調に開始することができた。

アジア都市を対象とする中国瀋陽市研究については環境研究総合推進費で今年度から3年間の事業採択を受けて、中国及びアジアの拠点的な産業都市を対象に、国内のエコタウンをはじめとする循環技術・施策をもとに、日本発信の循環マネジメントシステムを地域特性に応じて効果的に設計するための定量的な計画・評価システムを構築する研究に着手した。中国科学院応用生態研究所、および国内の研究機関として大阪大

学、名古屋大学、和歌山大学、国内の自治体や企業との連携を具体化して、エコタウン等の日本国内の先進的な循環技術・制度システムのインベントリを構築し、アジアの都市の特性に応じた技術パッケージとして展開を支援する学術的手法の構築を進めた。資源循環・リサイクル技術フローの「リエンジニアリング」プロセスと、技術の運用効率を高める資源循環の社会制度パッケージの定量的設計プロセスを開発して、中国科学院及び都市行政等との連携でアジアの具体的なモデル都市で循環経済都市データベースと技術・制度のシミュレーションプロセスを構築し、地域の循環特性に応じた実現のガイドラインとしてアジア都市への汎用化し、成果の事業者及び国際政策連携を通じての国内還元を図る研究を進めている（図1）。9月20-23日にのべ200人が参加する循環経済研究交際ワークショップと、東アジア環境フォーラム、グリーン成長研究シンポジウムを開催することができ、中国科学院、瀋陽大学、瀋陽市政府との連携体制を構築することができた。

プロジェクト1「都市の環境技術・施策システムの評価と社会実証プロセスの構築」

- ①温暖化対策や資源循環という地球・広域への環境貢献を地域の環境改善につなげるコベネフィット型の都市の姿を動的に描くモデルと手法の開発を進めて、資源循環や交通システム、地域エネルギーシステムなどの個別の都市システムの最適な構造の同定とともに、そこに向けて現在の都市を誘導するための道筋とシナリオ設計研究を個別の都市との連携を進めた。具体的に川崎市の臨海部を対象に都市の人口変動やコンパクト化、土地利用転換などの長期の社会的傾向の下での複数のシナリオを設計して、低炭素や資源循環と地域の活性化を実現する空間構造を見定めて、そこへ導く技術と政策手段を明らかにした。地理情報システムを活用する都市の空間データベースとともに、施策のインベントリおよび技術の定量的情報を産官学連携で構築して、環境都市構築の効果のケーススタディとしての算定を行った。国内都市については名古屋大学、アジア都市については中国科学院および国際連合大学との連携を進めた。これらの研究成果の一部は、環境省の温暖化対策地方実行計画マニュアル策定の準備検討や、国土交通省の長期国土構想、内閣府の環境モデル都市、環境未来都市、総合特区の検討に反映された。加えて、川崎市や北九州市、水俣市及び中国遼寧省、瀋陽市、タイ国バンコク市等との連携を具体化した。
- ②中国瀋陽市を対象とする研究では、個別の資源循環や低炭素技術システムを地域条件に合わせて再構築する「リエンジニアリング」プロセスや、技術の運用効率を高める資源循環のための回収・分別を含む社会制度パッケージの定量的設計プロセス開発を進めた。中国科学院及び瀋陽大学、瀋陽市政府関連部局との連携体制を構築して都市環境情報データベースと技術・制度のシミュレーションを行った。その結果、日本型の分別回収と産業施設での代替利用による、有機廃棄物の再生利用による低炭素効果を定量化することができた。
- ③アジアで必要な省エネルギーで建設及び運転管理コストの安い水処理技術について、タイ・バンコクでパイロット実証試験を現地の行政機関およびキングモンクット工科大と共同して行った現地においては、この技術の将来的な普及を目指して関連するデータベース等の構築も開始した。現地における建設・運転管理コストおよび想定される処理規模の制約条件からスポンジを担体に用いた散水ろ床法を開発対象技術としてタイのバンコク都下廃水部およびキングモンクット大学との間に共同研究協定を結び、実証試験をバンコク市の Thungkru 下水処理場で実施することで合意した。試験に供する排水は処理場流入原水を用い、実証試験装置の処理規模は1日あたり1m³として、装置の設計を経て、12月上旬の試験開始を目処に装置の製作および組み立てを行った。上記の共同研究協定に基づき、タイ国内で公表されている統計資料を入手し、生活排水を含む都市排水に関連した汚濁負荷発生量のインベントリ作成を開始した。また、実証試験結果の他地域への広範な普及および適応性評価のために、コンケン大学、アジア工科大学等との研究ネットワーク作り着手した。なお、今般の洪水により、実証試験の開始には2ヶ月程度の遅延が想定される。加えて、環境省の日中水環境パートナーシップ事業の一環として、急激に都市化が進む中国農村地域への小規模生活排水処理技術の普及に関する協力事業において、このような日本の環境対策の歴史を

伝えると共に、蓄積してきた技術により現地で処理施設をモデル的に設置して、その適用性を調査した。

④中国瀋陽市が立地する遼寧省の経済活動に伴う水需要、汚濁負荷排出量、エネルギー消費量、CO₂排出量のインベントリを作成した。また、これらのインベントリに基づき、遼寧省のウォーターフットプリントおよびカーボンフットプリントを評価した。遼寧省では生産活動による水資源消費を把握して、内 43%が域外で間接消費される (Virtual water export)。また、Virtual water exportの 63%は国内貿易に起因する。一方で、遼寧省内の水資源消費の 32%に相当する水 (External Water Footprint) を域外に誘発する構造にあり、その内 77%は他省の水資源に依存していることが明らかになった。

プロジェクト2「環境的に持続可能な都市・地域発展シナリオの構築」

都市・地域発展シナリオ研究では、前身の特別研究初年度分の（過去 4 半世紀のメッシュ人口動態および市町村別自動車CO₂排出量に関する分析の）成果を都市計画学会へ投稿し、2 編の掲載が決定した。この成果を踏まえた詳細な分析を継続するとともに、次の展開を目指して詳細人口分布に関する所内セミナーを開催した。また、低炭素交通戦略に関するリーフレットの英語版の公開、低炭素都市書籍（分担）の英語版の出版、電気自動車普及に関する論文掲載、ココ知り講演会発表、モビリティロボット特区関連の発表を行った。

わが国の過去 25 年間の地域内人口分布の推移を分析し、近年起きている市域人口の減少時には分布が偏在化する傾向が強いこと、その偏在化は人口規模が 200 人未満と小さいメッシュにおける自然減少の寄与が大きいことなどの動向を明らかにし、都市計画学会に誌上発表した。今後、これを元に、地域内人口分布の将来推計を試行する。一方、過去 25 年間の自動車からのCO₂排出量とトリップ長等を全国市町村別に推計し、排出量をweb公開するとともに、過去の傾向を分析し、近年の乗用車からのCO₂排出量の減少には、排出係数が減少に転じたことに加えて、大都市において走行量が減少に転じた効果も大きいことを明らかにし、都市計画学会に誌上発表した。今後、地域内人口分布と交通環境負荷の連関分析を行い、さらに、他の環境負荷低減・影響緩和策と人口分布の評価にも取り組む。

また、被災地域を対象にする持続可能な環境地域復興モデル研究を環境省・企業との研究会で開始して、その内容の一部は研究所の公開シンポジウムおよび「都市計画」の緊急特集号で発表し、被災自治体との連携の協議を始めることができた。

7. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	3	9	1			
(平成 23 年 12 月)	23%	69%	8%			100%

平均評点 4. 15 点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）

8. 小児・次世代環境保健プログラム

8. 1 研究の概要

エコチル調査から得られると考えられる環境因子と健康との関連性に関する多くの知見に加えて、健康影響メカニズムを解明することにより疫学知見に生物学的妥当性を与え、また莫大な数に上る環境汚染物質や健康影響の中から疫学研究で検討すべき対象物質や影響指標を提案するなど、これを相補・補完する実験的研究をあわせて推進することも必須となっている。そのため、環境汚染物質をはじめとする環境因子が小児・次世代に及ぼす影響を、疫学的、実験的研究の双方向から総合的に検討、評価、解明することをめざして、以下の研究を行った。

1. 1. 様々な要因を考慮した環境汚染物質の曝露評価モデルの開発及びヒト試料中化学物質の多成分一斉分析法の開発により、疫学研究に適用可能な総合的な曝露評価システムを確立し、より効率的で精度の高い曝露評価を可能とした。
1. 2. 小児の成長・発達を考慮した疫学的健康影響評価手法及び生物統計手法の高度化を行うとともに、実際の疫学研究への適用により得られた知見を予防等の施策に反映した。
2. 1. 環境化学物質の胎児期・幼児期曝露が主要な生体機能に及ぼす影響と、影響に伴うエピジェネティックな変化を明らかにし、更にエピジェネティック変化の生体影響への寄与と誘導機序を解明することによって、疫学研究に生物学的根拠を与えた。
2. 2. 小児・次世代を主対象に、環境汚染物質の免疫・アレルギー疾患への影響を疾患モデル動物及び細胞を用いて、免疫系、神経系のパラメータを指標に検討した。また、簡易スクリーニングから詳細評価に繋がる体系的な評価システムの構築を目指し有用なバイオマーカーについて検討した。

8. 2 研究期間

平成23～27年度

8. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	18					
②総合科学技術会議が示した競争的資金						
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)						
④その他の外部資金						
総額	18					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

8. 4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

プロジェクト1: 「環境汚染物質曝露による健康影響評価に係る疫学調査手法の高度化に関わる研究」

サブテーマ1「曝露評価手法の高度化・効率化に関する研究」

- ① 吸入曝露による健康影響を評価するための曝露評価の基礎となる大気環境汚染物質濃度を全国規模データベースとして整備するための濃度推計手法について検討し、環境基準設定大気汚染物質に関するメッシュ別年度別平均濃度データベースを構築する。
- ② ヒト試料分析による化学物質曝露評価のための多成分一斉分析法のフィジビリティについて検討し、生体試料分析に基づく曝露評価方法について基礎的検討を行う。

サブテーマ2「疫学調査手法・解析手法の高度化に関する研究」

- ① 曝露経路として重要な食事経由の曝露を評価するために必要な乳幼児を対象とした食事調査の妥当性を検証するために、予備調査の実施計画を作成し、調査を開始する。
- ② 成長過程における疫学調査データを解析するために提案されている統計モデルの問題点を検討するとともに、エコチル調査から得られるデータに基づく仮説検証に必要な統計モデルの適用可能性について検討する。

プロジェクト2：「環境汚染物質曝露による小児・次世代への健康影響の機構解明と評価システムの構築に関する研究」

サブテーマ1「環境化学物質によって次世代に継承される健康影響とエピジェネティック変化の解明」

- ① 無機ヒ素曝露の影響に関して、胎児期曝露の影響を中心に、脳・神経系、代謝異常、肝癌、免疫系への影響およびメカニズムの検討を行う。
- ② 無機ヒ素曝露の影響を検出するエピジェネティックマーカーの検討を行う。

サブテーマ2「環境汚染物質の免疫・アレルギーに及ぼす影響に関する作用機構の解明と評価システムの構築」

- ① 若齢マウスにプラスチックの可塑剤であるフタル酸ジエチルヘキシル（DEHP）を曝露し、炎症局所の肺に加え、脳（海馬一視床下部）の病理組織学的変化や、細胞構成の変化等を評価する。
- ② 炎症局所や二次リンパ組織における炎症性因子の発現や細胞のフェノタイプの解析、脳においては、炎症性因子や記憶関連遺伝子等の発現の解析を行う。
- ③ 加えて、*in vitro*での解析を行い、DEHPにより活性化される細胞種やサブセットについて検討する。

平成23年度の研究成果

プロジェクト1「環境汚染物質曝露による健康影響評価に係る疫学調査手法の高度化に関わる研究」

サブテーマ1：曝露評価手法の高度化・効率化に関する研究

- 1-①全国の大気汚染物質常時監視局の1990年から2010年までの測定データを収集し、各測定局データの空間補間による地域メッシュ別推計の妥当性を検討し、データベースの構築に着手した。環境省が実施している大気汚染疫学調査地域において、大気汚染物質推計モデル構築に必要な気象データ等の収集を行った。
- 1-②ヒト試料分析による化学物質曝露評価のための多成分一斉分析法について、一斉分析が可能な物質群の組合せと必要な試料量の見積を行い、予備的な測定手順を試行した。

サブテーマ2：疫学調査手法・解析手法の高度化に関する研究

- 2-①全国数カ所の保育所などの協力を得て、数百人規模の乳幼児（未就学）を対象とした食事調査を実施する計画を立て、四季調査のうちの冬期調査のための準備を開始した。
- 2-②ライフコース疫学で提案されているいくつかの統計解析モデルについて、エコチル調査における中心仮説の検証にかかわる環境因子への曝露と健康指標との関連性の解析に適用可能かどうかについて検討し、新たな統計解析モデル構築のためのエコチル調査で収集されるデータ構造の類型化を行った。

プロジェクト2「小児・次世代への健康影響の機構解明と評価システムの構築に関する研究」

サブテーマ1：環境化学物質によって次世代に継承される健康影響とエピジェネティック変化の解明

1-①成長後に IntelliCage を用いて行動観察をおこなったところ、胎児期ヒ素曝露された個体でも、通常の空間学習能力には特段の異常は検出できなかったが、行動柔軟性に軽度の異常がある可能性が示された。

1-②胎児期ヒ素曝露によるインスリン抵抗性は主に脂肪蓄積に起因すると考えられる結果が得られており、1)脂肪からのどのような因子がインスリン抵抗性を惹起するのか、2)どのような機構を介して脂肪蓄積が起こるのか、に関して詳しく検討を行っているところである。

1-③ヒ素は発癌においてプロモーション作用を示す。最近、化学物質による発癌プロモーション作用にレトロトランスポゾン L1 の発現亢進の関与が報告されたことから、胎児期ヒ素曝露によって成長後に増加する肝癌への L1 の関与を検討した。その結果、胎児期ヒ素曝露が L1RNA の発現を増強することをみいだした。

また、ヒ素による発癌増加を検出可能な DNA メチル化マーカーとなりうる 2 領域を明らかにした。これらの領域についてバイサルファイトシーケンスによる詳細な DNA メチル化解析をおこなった結果、各領域でメチル化のパターンが異なることが明らかとなり、ヒ素による DNA メチル化の機序は領域ごとに異なる可能性が示唆された。

1-④Bリンパ球細胞株において、無機ヒ素の長期曝露が senescence (細胞老化) を誘導することを見いだした。また、DNA の変異増強に関与する酵素の発現上昇を見いだした。以上の結果から、DNA の突然変異が senescence を誘導し、細胞増殖を抑制することが示唆された。

サブテーマ2：環境汚染物質の免疫・アレルギーに及ぼす影響に関する作用機構の解明と評価システムの構築

2-①若齢マウスを使用し、フタル酸ジエチルヘキシル (DEHP) の経気道曝露が、アレルギー性喘息に及ぼす影響について検討した。その結果、肺胞洗浄液中の炎症細胞数が、抗原単独に比べて DEHP の用量依存的に増加傾向を認めたが、有意な変化ではなかった。病理組織学的観察では、抗原投与による気管支周囲への炎症細胞浸潤や、粘液産生細胞の増生などが観察されたが、DEHP 曝露による影響は認められなかった。

2-②当該喘息モデルマウスにおいて、肺局所のサイトカイン、血中の抗原特異的抗体は、抗原単独に比べて DEHP の用量依存的に増加傾向を認めたが、有意な変化ではなかった。また、DEHP 曝露による肺胞洗浄液中の樹状細胞数の増加傾向と、低用量 DEHP による抗原提示に関わる分子の発現増加を見出した。一方、所属リンパ節細胞においては、顕著な変化は認められなかった。さらに、低用量 DEHP 曝露による、脳海馬における記憶関連遺伝子の発現増加を見出したが、炎症性サイトカインや酸化ストレスマーカーの発現に変化は認められなかった。

2-③当該喘息モデルマウスの骨髄細胞を用いた in vitro の検討から、DEHP 曝露が樹状細胞の分化誘導過程に与える影響は弱い可能性が示唆された。

以上の結果より、総じて、若齢マウスを用いた DEHP の経気道曝露がアレルギー性喘息に及ぼす影響は、軽微であると考えられた。

8. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	7	3			
(平成 23 年 12 月)	17%	58%	25%			100%

平均評点 3. 9 2 点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）

9. 持続可能社会転換方策研究プログラム

9. 1 研究の概要

持続可能な社会の実現にむけて中長期の我が国のあるべき姿（ビジョン）とそこに至る経路（シナリオ）及び施策ロードマップを示し、そうした社会への転換を推進する具体的な方策が求められている。一方、現実には様々な環境問題が未だ解決されておらず、さらに今後生じうる環境問題は、持続可能な社会を構築するうえでの障害となりうる。種々の困難をもたらす将来の環境問題を想定しつつ、持続可能な社会への転換という喫緊の課題を解決することが必要とされている。

そこで、将来シナリオと持続可能な社会の構築の視点から、環境問題の現状分析を踏まえ、問題の引き金となるドライビングフォースに着目し、社会・経済の姿をシナリオアプローチにより分析するとともに、社会・経済を重視したモデル化を行い、持続可能な社会を構築するに当たって必要となる対策や社会・経済のあり方を定量的に検討した。また、持続可能なライフスタイルと消費への転換の視点から、作成した将来シナリオをもとに、個人や世帯が取り組むべき対策・活動を消費の面から調査分析、モデル化を行うことにより、環境的に持続可能な社会の実現方策について提示した。

本研究プログラムは大震災前に研究計画を立て、平成23年4月より実施しているが、第1回外部研究評価委員会において、「東日本震災復興の都市デザイン、日本全体の将来シナリオへの貢献」などへの期待が示されたことを踏まえ、大震災後のエネルギーと温暖化防止対策のあり方など、今後どういう方向で日本が進むべきか、本研究センターの大震災対応型研究や、地球温暖化研究プログラムなど関連する研究とも連携して対応していくこととした。

9. 2 研究期間

平成23～27年度

9. 3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	23.52					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	0 ()					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	0					
④その他の外部資金	0					
総額	23.52 ()					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

9. 4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

本研究プログラムは、2つの研究プロジェクトから構成されている。平成23年度は、初年度であることから、各プロジェクトの立ち上げを行い、当初の研究計画に沿って進める部分と、大震災後の社会、経済、環境の変化や人々の意識や活動の変化に関する情報やデータを収集、分析するとともに、将来シナリオの構築における方針を再検討するなど、並行して研究を進めた。

プロジェクト1：将来シナリオと持続可能社会の構築

将来分析の基礎となるドライビングフォースとしての社会・経済の姿を的確にとらえるために、シナリオアプローチ分析手法の事例調査を通じて基本的な枠組みを構築する。さらに、専門家や関係主体の意向を集約、検討し、持続可能な社会を構築するに当たって必要となる対策や社会・経済のあり方を明示的に表現する方法について検討する作業に着手する。

プロジェクト2：持続可能な消費とライフスタイルへの転換

ライフスタイル変化の要因分析、ライフスタイルに関する定性的、定量的なシナリオの内外の事例を広範囲に調査・分析するとともに、持続可能なライフスタイルのあり方について基本的枠組みについて整理する。

シナリオ分析にあたっては、日本の国内外の社会、経済、環境の動向の把握や、大震災後の様々な変化を情報、データとして収集することが必要であり、本研究プログラムで当初予定していた社会、経済、環境データの収集を拡大して大震災後の社会、経済、環境の変化に関わるデータを後半に追加実施する。

また、地球温暖化研究プログラムのプロジェクト3は、温暖化防止対策を中心とした研究プロジェクトであることから、将来シナリオの構築にあたっては、とくにエネルギーと温暖化防止対策のあり方の検討では協力して実施する。

平成23年度の研究成果

本年3月11日に発生した東日本大震災後の、社会、経済、環境、人々の意識、行動の変化を考慮して、研究計画を一部変更し、研究を実施した。とくにプロジェクト1では、大震災による原子力発電所の停止による電力供給ひっ迫がもたらすエネルギーと温暖化防止対策のあり方、プロジェクト2では、人々の意識や行動の変化に着目し、将来シナリオ構築に重要な要因について検討を行った。とくにエネルギーと温暖化防止対策面での調査・分析においては、大震災対応型研究や地球温暖化研究プログラム（プロジェクト3）との連携をとりつつ進めた。平成23年度の研究成果の概要は以下のとおりである。

プロジェクト1 将来シナリオと持続可能社会の構築

- ①持続可能性指標のレビューを行い、持続可能な社会が満たす条件を整理した。
- ②将来シナリオのフレームワークを既存研究レビューから整理した。所外の専門家に将来シナリオ構築にむけたグループヒヤリングを行い、技術、経済、産業面のシナリオ構築に際し有用な知見を得た。
- ③IPCCへの入力を目的として進められているSSP (Shared Socio-economic Pathway: 世界を対象とした共通社会経済シナリオ^{*1}) 作成に協力するとともに、世界及び日本を対象として統合評価モデルの改良、モデルを用いたシナリオの定量化を行った。
- ④大震災後のエネルギー供給システムの将来シナリオについては、大震災対応型研究として事例分析を行った。

プロジェクト2 持続可能なライフスタイルと消費への転換

- ①研究計画を一部修正し、大震災後の人々の意識、行動変化の調査を行った。
 - ②持続可能な消費について、網羅的にレビューを行い、今後シナリオ構築に向けての視点（軸）を抽出した。
 - ③家計生産・ライフスタイルモデル構築のための、資料・データを収集して、データベースを構築した。
- *1: IPCC 第5次報告書への入力を目標として作成されている温暖化影響研究の基礎となる世界の社会経済シナリオ

9. 5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	8	3			
(平成 23 年 12 月)	15%	62%	23%			100%

平均評点 3.92点

注) 上段 : 評価人数、下段 : %

年度評価基準 (5 : たいへん優れている、4 : 優れている、3 : 普通、2 : やや劣る、1 : 劣る)

10. 先端環境計測研究プログラム

10.1 研究の概要

顕在化した環境問題の解決、緩和を図り、新たな問題の発生を未然に、あるいは拡大を早期に防ぐためには、問題の全体像を迅速・的確に把握し、環境の状態やその変化を詳細かつ高感度に把握、追跡、評価するための計測手法、対象をシステムとして捉え的確な将来予測や対策立案を行うためのモデルの検証やプロセスの理解などに有用な計測手法が求められる。気候変動、残留性有機汚染物質（POPs）対策など主要な環境問題についてはそれぞれ国際条約の下で取り組みが進められ、全球的なモニタリング、課題の抽出、有効性評価などの目的で国際的な視野にたった計測手法の開発と応用が求められる。さらに水銀条約締結への動きも進んでいるほか、化学物質の子どもの健康影響評価に関する国際的な活動の活発化と国内大規模疫学調査の開始など、早急な計測手法開発、整備を要する課題もある。

先端環境計測プログラムではこうした状況に対応しつつ、化学物質適正管理への貢献と地球規模環境変化の把握を主たる目標として、情報量を増やし包括的、網羅的計測を目指すアプローチ、知りたい情報と密接に関係をもつ特定の指標（トレーサー）を対象とするアプローチ、の2つの側面から、3つのサブテーマに分かれて研究を進めた。

10.2 研究期間

平成23～27年度

10.3 研究予算

（実績額、単位：百万円）

	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	累計
①運営費交付金	29					
②総合科学技術会議が示した競争的資金	12 (12)					
③②以外の競争性のある資金(公募型受託費等)	1					
④その他の外部資金	0					
総額	42 (42)					

注) 括弧内は、再委託費を含めた金額。

10.4 平成23年度の研究成果の概要

平成23年度の研究成果目標

今年度は中期計画に基本的に則しながら、3月11日におきた東日本大震災による被災やその後の節電対応で停止した大型施設、分析機器の再稼働にも傾きつつ、復旧、復興の中で生じた環境計測に対する新たな要請への対応（下線部）も含めて以下のような研究を進めている。

- ① 網羅的分析手法の開発においては、GCxGC-MS/MSなどによる環境試料中のダイオキシン、PCBなどのPOPs類の一斉定量を可能にするため、大気、水など環境媒体毎に試料の捕集方法、前処理の省略や最少化並びに分析条件、データ抽出・解析方法について検討を進める。また、主に環境試料中のハ

ロゲン系化合物（有機塩素化合物、有機臭素化合物、有機フッ素化合物）の選択的かつ網羅的な検出方法の開発に着手するとともに、簡便な大気試料捕集方法と全量注入方法とを組み合わせ、被災地の大気中有機化学物質のスクリーニング分析に応用する。

- ② 環境トレーサーを用いた環境動態解析法の開発の一環として、同位体比測定用誘導結合プラズマ質量分析装置（MC-ICP-MS）を用いた水銀同位体精密分析手法の確立を進める。また、加速器質量分析計（AMS）を用いた放射性炭素（ ^{14}C ）測定の高感度化と試料処理技術の改良を進めるとともに、ヨウ素 129 の測定のための施設改修と条件検討を進める。更に、地上モニタリングステーションで観測している自然起源VOCの自然生態系トレーサーとしての活用を開拓するため、日々の変動、季節変動の把握を進めるとともに、海中のクロロフルオロカーボンの同時高感度定量による新たな水塊追跡法の確立を目指して、手法開発と日本海における実測定を行う。
- ③ 次世代衛星搭載センサの提案を目標として、植生ライダー（樹冠高度と植生指数を測定）の検討を進めるとともに、2015年打ち上げ予定のEarthCARE衛星に搭載されるライダー(ATLID)のエアロゾルの解析手法及びマルチスペクトルイメージャー(MSI)との複合解析手法の開発に着手する。ハイパースペクトルセンサのデータ解析手法の研究として、特に水域での利用に重点をおき、大気及び水面反射の影響の軽減手法の検討や藻場、サンゴ礁等の沿岸生態系の分光特徴やその測定方法に関する調査等を実施する。

平成23年度の研究成果

化学物質の網羅的分析法開発を目指すPJ1のサブテーマ1では、従来法にかわる簡便、迅速で定量性の高い化学物質分析法の開発を進め、微量大気粉じんの標準物質中のPAH並びに誘導体の定量を行って保証値、参考値とよい一致を確認した。さらにダイオキシン類をはじめ優先的に監視すべき一連の化学物質の分析を同時に実施できるGCxGC条件やデータ解析のためのデータベース作成、プログラム開発を予定通り進めた。サブテーマ2では、POPsとして特に注目される有機ハロゲン化合物等を選択的かつ網羅的に一斉に検出するための中性ロススキャン分析法の開発を進め、底質、土壌、焼却灰等に適用して標準物質との比較、同定、並びに適用性評価を進めた。さらに、被災地の大気環境評価に開発中の手法を適用して手法の評価並びに現地の状態把握を行った。新たな環境トレーサー開発を目指すPJ2のサブテーマ1では、遠隔地大気中の硫化カルボニルが周囲の生態系の活動状況を反映して変動する様子を明らかにするとともに、海水水塊年代推定のために多種類のCFCsの同時測定法を開発して日本海海水での世界初の同時測定に成功した。サブテーマ2では水銀と放射性炭素 ^{14}C のそれぞれの同位体比を微量試料中で精密に測定する手法を確立し、発生源（鉱山）別の水銀同位体比のデータを蓄積するとともに、大気エアロゾル中の様々な炭素画分（ブラックカーボン、水溶性有機炭素、水溶性無機炭素）あるいは底質中PAHsの ^{14}C 測定から化石燃料起源の寄与の割合を推定することに成功した。衛星搭載型センサ並びに解析法の基礎研究を進めるPJ3では、サブテーマ1で衛星搭載高スペクトルライダーの基礎技術開発を進めて目標をクリアするとともに、データ解析アルゴリズムを作成して実データの解析から検証を行った。サブテーマ2ではハイパースペクトルセンサの基礎研究として個葉の分光計測装置を作成するとともに、得られた情報と生化学データとの比較を進めた。また、衛星搭載時の運用シミュレーションソフトの開発を進めるとともに、データマイニング手法開発として実データから特定の地質構造を探るための検討を行った。

いずれにおいても年度当初の目標を順調にクリアしつつあり、基本的にはよいスタートを切れたと考えられる。なお、加速器質量分析施設については被災後復旧中であるが、長年の努力の積み重ねで到達した高い精度での定常運転にまだ至らず、さらに修理、調整作業が急がれる。

プロジェクト1 課題名：多次元分離技術による環境および生体中有機化学物質の網羅分析法の開発

サブテーマ1：多次元分離技術による迅速・正確分析法の開発

TD-GCxGC-MS/MS (MRM モード)による多環芳香族炭化水素 PAH とその誘導体の分析条件の最適化を行い、大気微粒子の標準試料の分析結果を保証値、参考値と比較することで、定量精度が得られることを確認した。ナノ粒子などの微量の粒径別ディーゼル試料に適用し、対象成分の検出・定量に成功した。ダイオキシン類 (PCDDs, PCDFs), PCBs, 臭素系難燃剤 PBDEs, フッ素系界面活性剤 PFAs およびその他のハロゲン系 POPs の同時分離測定を可能とする二次元ガスクロマトグラフ GCxGC の条件検討を進めるとともに、これらの同時測定のための MS/MS による MRM 測定条件の最適化を図った。また、測定データの解析を行うためのデータベース登録物質の同定とピーク体積計算、複数ピークデコンボリューション、未知物質ピーク抽出などのプログラムを試作した。

サブテーマ2：多次元分離技術による網羅分析法の開発

有機ハロゲン化合物からのハロゲン (塩素 ($m/z=35$), 臭素 ($m/z=81$), フッ素 ($m/z=19$)) の脱離を利用して環境試料中のこれらの物質を選択的かつ高感度に検出するために、GCxGC-MS/MS による中性ロススキャン測定法を開発を進めた。底質、土壌や焼却飛灰などの環境試料にこの手法を適用し、数百~千種類以上に上る有機ハロゲン化合物と想定されるピークを選択的に検出することに成功した。ミニポンプによる $0.1\sim 0.5\text{L}/\text{min}\times 7\sim 14$ 日の低流量長期大気捕集と TD-GCxGC-HRTofMS による高感度・高分離測定法を開発し、石巻市などの被災地において有害化学物質網羅分析のための震災後の大気モニタリングを行った。

プロジェクト2 新しい環境トレーサーを用いた環境動態解析法の開発と計測

サブテーマ1：気候変動影響を検出するためのトレーサーの開発と計測

特定の化学物質の濃度や同位体比をトレーサーとする新たな環境動態の追跡手法、地球環境の状態把握手法の開発を進め、環境トレーサーの体系化を進める。

サブテーマ1：①主に陸上植物の光合成によって大気から除去される硫化カルボニル (COS) の大気連続観測を落石岬において実施し、その動態解明に取り組んだ。夏季の夜間において COS 濃度の減少イベントがしばしば観測され、近傍の陸域生態系による COS 吸収を反映していることが示唆された。②新たな水塊トレーサーとしてクロロフルオロカーボン類 (CFC-11, CFC-12, CFC-113) 及び六フッ化硫黄 (SF6) の同時高精度定量法を開発し、北大おしよろ丸による日本海縦断観測を実施して、世界ではじめて海水中 CFC-11/CFC-12/CFC-113/SF6 の高精度同時定量に成功した。

サブテーマ2：同位体をトレーサーとした環境中化学物質の動態解析手法開発

①MC-ICP/MSIに水銀の連続気化導入装置と同位体標準試料導入装置を組み合わせた試料導入装置を取り付けた高精度水銀同位体計測システムを開発し、その改良並びに徹底した汚染管理、安全管理を施しながら、高精度な水銀同位体分析法開発を進めた結果、水銀濃度 50 ppb の試料溶液で精密同位体比測定が可能となった。各地の辰砂の同位体比を測定して鉱山毎の同位体比の違いに関する情報を蓄積するとともに、今後摩周湖をフィールドとして生物濃縮と同位体変動を解析する。②AMSによる ^{14}C 測定のための微量炭素試料前処理用真空ラインを製作し、最適使用条件を検討、確立した。エアロゾル中炭素成分 (全炭素、水溶性有機炭素、シュウ酸) の ^{14}C を測定し、 ^{14}C を含まない化石燃料起源と ^{14}C を大気中レベル含む生物起源の相対的寄与を解析した結果、札幌のエアロゾルでは全炭素<水溶性有機炭素<シュウ酸の順に ^{14}C レベルが高くなり、後者ほど植物由来の寄与が大きいことが示された。東京、コルカタの底質中PAHsの ^{14}C を測定したところ、いずれも化石燃料の寄与が90%以上であることがわかった。分子指標の

解析から、コルカタのPAHsの主要発生源は石炭であることが示された。

プロジェクト3 新しい衛星搭載型能動・受動センサおよびデータ解析手法の開発

サブテーマ1：次世代能動型分光センサの開発に関する研究

1) 2波長高スペクトル分解ライダーの開発

1-a) 532nm 高スペクトル分解ライダーの開発と応用

ヨウ素分子の吸収ラインを狭帯域の吸収フィルターとして用いた高スペクトル分解ライダー (HSRL) を開発した。ライダー用のレーザー波長とヨウ素の吸収線を常に一致させるため、シーダー光として用いたファイバーレーザーの共振器の温度を変えてシーダー光の波長を変化させ、レーザー波長をシフトさせてヨウ素吸収線の中心波長に同調させる、自動同調システムを構築した。実大気観測試験から、レーザー波長ずれは±0.1pm 程度に制御出来ており、ヨウ素吸収線の波長広がり (FWHM = 2pm) に比べて小さく、粒子の後方散乱光を安定かつ適切に遮断出来ていることが確認された。

1-b) 355nm 高スペクトル分解ライダーの開発

355nm のレーザー波長では適当な分子の吸収線を利用する方法が採用できないため、光学素子 (エタロン) を用いた波長調整システムを開発した。圧力チューニング型のエタロンの透過波長を干渉縞を用いてレーザー波長に自動同調させるシステムをつくり、粒子からの後方散乱光を選択的に検出して全後方散乱光との比較から消散係数の情報を得ることが出来る。実大気観測で、エアロゾルが存在しかつ幾何学的効率の影響の小さな高度として 1 km を選択し、エタロン波長可変性を検証した。

2) 衛星搭載ライダー高スペクトル分解ライダーのためのアルゴリズム開発

2015 年打ち上げ予定の衛星搭載高スペクトル分解ライダー (EarthCARE) のためのアルゴリズム開発を行った。EarthCARE (1 波長高スペクトル分解ライダー) で観測を想定しているライダー信号から各種のエアロゾル情報を抽出するためのアルゴリズムを開発し、地上での高スペクトル分解ライダーの観測データを用いてその検証を行った。

サブテーマ2：分光イメージングセンサの解析手法に関する研究

1) 指標生物群を用いた生態系機能の広域評価と情報基盤整備

すでに取得したデータの解析をもとに、林冠の機能やフェノロジーを多点でモニタリング可能とする簡便なセンサ (個葉のスペクトルの計測装置) の開発を進めている。また開発中の機器を用いて植物の分光計測を行い、生化学データとの比較等を行っている。

2) 衛星ハイパースペクトルリモートセンシングの活用に関する基礎的研究

実際の衛星搭載ハイパースペクトルセンサの運用を規定する様々な要因を取り込んだ、運用シミュレーションソフトウェアの開発を進めた。年度内には、実際の 1 日毎の全球雲分布データを用いた、より詳細な運用シミュレーションを開始する予定である。また将来の衛星搭載ハイパースペクトルセンサデータを大量に用いたデータマイニング手法のための基礎検討として、現在運用中の衛星搭載マルチスペクトルセンサデータを用いた特定の地質構造等を探索する技術の検討を行った。

10.5 外部研究評価

評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	1	11	1			
(平成 23 年 12 月)	8%	85%	8%			100%

平均評点 4.00 点

注) 上段：評価人数、下段：%

年度評価基準（5：たいへん優れている、4：優れている、3：普通、2：やや劣る、1：劣る）