

(資料 1 1) 重点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

本プログラムでは、二酸化炭素等の温室効果ガスや関連気体等の空間分布とその時間変動の観測とデータ解析に関する研究、人工衛星を利用した温室効果ガスの測定データ処理解析手法の開発、二酸化炭素濃度分布等の観測データと大気輸送モデルに基づく二酸化炭素収支の解析手法に関する研究を行った。また、気候・影響・陸域生態・土地利用モデルの統合によるシミュレーションモデルの開発及び将来の気候変化予測と影響評価に関する研究、将来の脱温暖化社会の構築に係るビジョン・シナリオ研究、気候変動に関する国際政策分析、気候変動対策に関する研究等を行った。

観測・解析を中心とする研究においては、地上ステーション、民間船舶、民間航空機、人工衛星などを活用した観測研究により温室効果ガスの動態把握を進め、また大気輸送モデルと組み合わせることで発生源、発生量の推定などを行った。特に、21年1月に成功裏に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT (通称：いぶき)については、国環研の担当となっているデータの高次処理、高次プロダクトの検証、データの定常処理・配布などを順調に進めてきた。温暖化リスク評価・温暖化対策評価に関する研究においては、IPCCの第5次評価報告書作成に向けてのモデルの改良を進めた他、IPCCの新シナリオの一つ(RCP6W)の作成を担当し、同時に、RCP6Wについて土地利用変化の空間分布シナリオを開発した。また、政府の温暖化対策中期目標の策定に向けての将来ビジョン・シナリオに関し、「2050年までに70%の排出削減が可能であること」、またそれを実現するための「12の方策」を提示した。

なお、本プログラムは4つの中核研究プロジェクトに加え、関連研究プロジェクト(平成21年度5件)、地球環境研究センターが実施する「知的研究基盤の整備」のうち地球温暖化に係るモニタリングなどの事業から構成される。

1.2 研究期間

平成18～22年度

1.3 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営費交付金	832	1,026	862	850		3,570
その他外部資金	788	719	671	552		2,730
総額	1,620	1,745	1,533	1,402		6,300

1.4 平成21年度研究成果の概要

(1) 中核研究プロジェクト1：温室効果ガスの長期的濃度変動メカニズムとその地域特性の解明

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 大気観測として、JALや定期船舶のプラットフォームの継続性に考慮して検討を行う。また、東南アジアなど他の可能な観測サイトへのアプローチを行う。
- ② 陸域のフラックス観測について、特に土壌の温暖化影響についての全国的なまとめを進める。海洋は、吸収マップの作成手法を検討する。

- ③ 同時にこれまで開発してきた循環型モデルを各データに適用し、大気データの解釈などを行う。

サブテーマ (1) : アジア-太平洋域での広域大気観測による温室効果ガスの収支や地域的特性解析

- ① JAL や船舶、地上ステーションを用いて高頻度測定により、濃度分布や時系列濃度変動パターンを抽出する。その結果から、大気の混合を含めたグローバルな変動の解析のための情報を整理することに加え、急激に変化する最近5年程度のアジア特有の地域別のフラックス変動の特徴を検出する。

サブテーマ (2) : 太平洋域の CO₂ 海洋吸収、アジアの陸域生態系の CO₂ 吸収フラックス変動評価に関する研究

- ① 新ラインである西太平洋での pCO₂ データの継続的採取を行うとともに、北太平洋で得られた二酸化炭素分圧データを用いて、北太平洋での海洋からの二酸化炭素長期フラックスを変動の地域特性を求める。また、その変動気候について検討する。
- ② CGER 事業でデータが採取されている国内の森林フラックスサイトのデータを解析し、気象変動との直接影響を調べると同時に、アジアのフラックスサイトでのフラックス変動要因について解析する。また、土壌呼吸の温暖化影響についての実験や実測を行う。

サブテーマ (3) : 温室効果ガスの動態のモデル的評価に関する研究

- ① フォワードモデルを改良し本プロジェクトで得られた大気データと組み合わせることによって、大気濃度変動要因について評価する。特に、二酸化炭素や、メタン、CO についての検討を行う。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア 新たな大気観測の試みが行われた。特に東南アジア定期船舶航路でのメタンやブラックカーボンの連続観測の試みが行われ初期的な解析により、同じ緯度であっても何らかの発生源を持っている東南アジア地域の特徴と太平洋の中央部と比較することができた。地上点としては、高い富士山頂での二酸化炭素測定を試みや、マレーシアなどの観測点の展開などを試みた。これらは、今ある航空機、定期船舶、地上の観測ステーションに加えて有効なデータを取ることが期待できた。現在の大気の観測ネットワークにおいて、中国などの影響を強く観測できるフロン類や酸素、二酸化炭素の比などに加え、CO なども地域的指標性があることが示された。モデルを用いて、これらの中国での発生量の推定も行われた。
- ① イ グローバルには、二酸化炭素の吸収がここ最近強くなっているように見えるが、酸素や同位体からの観測によると陸域の吸収量が増加していることなどがわかった。ここでの酸素の観測を AP0 を用いて調べると、モデルからの予想と整合的であり、これまでの観測の正当性が示された。
- ② ア 陸域の二酸化炭素吸収量のパターンが日本のフラックスサイトで詳しく検討された。湿潤、温暖なカラマツでは二酸化炭素吸収量が相対的に大きく、気象条件に左右されるもののその吸収量は湿潤なまま温暖化だけが起こると、吸収量の増加に働くであろうと予測された。アジア全体に広げると、南部では温暖化時に乾燥する地域もあり、吸収量の変動は地域性が大きく働くことが示唆された。一方、温暖化に対して、負のフィードバックを起こす土壌呼吸の温暖化影響に関する実験が行われ、各種土壌に差はあるものの、日本の土壌の呼吸の Q10 の指標は、これまでの報告値より 50%大きいことがわかった。これをそのまま適用すると、温暖化によるフィードバックはかなり多きことになるが、長期的な応答に対しては場所ごとに異なっていることが分かった。このような土壌呼吸のプロセスに関して、放射性炭素を用いた実験を行って初期的な結果を得た。

- ② イ 海洋の吸収量をニューラルネットを用いて解析予測し CO₂ 吸収マップを作製する方法について検討を開始し、これまでの気候値再現できるような結果を得た。また、海洋トレーサー輸送モデル (OTTM: Ocean Tracer Transport Model) と生態系モデルを使用して、1980 年から 2008 年までの大気-海洋間の月平均二酸化炭素フラックスを作成した。
- ③ 大気の結合型循環モデルを用いて、インバース計算を行えるようにチューニングした。これを用いて、波照間や落石の細かいデータをモデルに導入できることになり、それによるインバース計算結果に与える精度向上性を評価したところ、アジア域の精度が格段に向上することがわかった。

サブテーマ(1)

- ① ア 二酸化炭素同位体比のグローバルな観測を継続し、二酸化炭素の陸域吸収量の近年の見かけの増加がラニーニャの時期に合わせて見られたことや森林火災などの寄与が年々変動などに大きく影響していることなどが推定できた。これらは、気候変動に対して、陸域の吸収量が今のところ吸収量を減らすことになっていないことなどを示した。
- ① イ 並行して観測されている大気中 CO₂ 濃度を用いて計算される大気 O₂ 濃度の海洋成分 (APO=O₂+CO₂) の年平均緯度分布にははっきりと赤道付近でのピークが見られた。APO の緯度分布は海洋の物質循環モデルから予想されるにおける酸素循環と整合的であった。
- ① ウ 東南アジア(マレーシア)やインド洋での大気観測に関するの下調査を行い、マレーシア気象局との共同観測の可能性を含め、東南アジアでの船舶観測に加えた連続観測可能な場所が検討できた。富士山での大気の観測に関して機器開発を含め、冬季のデータを採取し、航空機データとの比較より、3,000m の高度の中緯度の濃度として代表性などを確認できた。
- ① エ 東アジア、南アジア、東南アジア、オセアニア、ヨーロッパ、北米、中米上空の対流圏における CO₂ 濃度の高度別の CO₂ 濃度の季節変動について詳細な違いを明らかにした。特にこれまでデータが少なかった南半球での観測数が増えたことにより、シドニー上空の季節変動が明瞭になった。CO₂ 濃度の自由対流圏における季節振幅は南半球では約 1ppm と非常に小さいが、赤道域から北半球中緯度にかけて徐々に大きくなり、北半球中高緯度では 6-10ppm になっていた。
- ① オ 観測されたエアマス起源ごとの $\Delta O_2 / \Delta CO_2$ 比および $\Delta CO / \Delta CO_2$ 比は国別の化石燃料使用統計や CO の国別発生量から予想される値と整合的であった。
- ① カ 大気輸送モデルを用いて、メタンと放射性炭素同位体比 (¹⁴C) のシミュレーションを行った。メタン濃度は、1997 年のエルニーニョ時の全球的な増加を再現したものの、2000 年以降の増加ゼロは再現されず、モデル内の放出量と消失量のバランスに問題があることが考えられた。また 2007-08 年の再増加は再現されず、この再増加には何らかの放出の増加が必要であることが示唆された。モデルの精緻化に向けて、計算に用いるメタン放出量と OH データを再検討している。また、¹⁴C のシミュレーションは、季節変動の再現性は良いものの、年々変動において観測と差があることがわかった。
- ① キ 波照間観測ステーションで得られた大気サンプルの ¹⁴C 測定を開始した。一部のデータを分析し、定期船舶で得られたほぼ同緯度における ¹⁴C 観測値と比較した結果、波照間での ¹⁴C データは定期船舶の観

測値の検証にも利用できることが確認できた。これまでに行ってきた定期サンプリングに加え、東アジアからの汚染空気塊をとらえるために、任意の時間にサンプリングを行うイベントサンプリングシステムを新設した。得られた大気サンプルの二酸化炭素濃度を分析し、システムが正常に稼働していることが確認できた。

- ① ク フッ素系温室効果気体の観測と解析について、波照間・落石におけるハロカーボン連続観測から、PFC 類 (PFC-116、PFC-218、PFC-318) のベースライン濃度が、年 1-3%程度で増加していることを明らかにした。観測値を基に、粒子拡散モデルに基づく逆問題手法と大気輸送モデルを用いて、東アジア (中国、日本、北朝鮮、韓国、台湾) における PFCs の排出量を推定した。その結果、中国は東アジアにおける PFCs 排出量の半分以上を占める最大の放出国であり、日本がそれに続くことが示された。東アジア域における PFCs 排出量は、PFC-116: 0.859 Gg/yr, PFC-218: 0.310Gg/yr, PFC-318: 0.562 Gg/yr と推定された。また、国際共同研究の枠組みの下、波照間、落石のほか、最近観測の始まった中国の Shangdianzi および韓国の Gosan における観測データを使って東アジアの 5 カ国 (中国、台湾、北朝鮮、韓国、日本) からの HCFC と HFC の排出量推定を実施した (Stohl et al., ACPD, 2010)。その結果、中国からの HCFC・HFC 排出が、東アジア全体において、さらに世界的に見ても大きな割合を占めていることが分かった。中国からの HCFC-22 排出量推定値は 65.3 Gg/yr で、東アジアからの推定排出量の 78%、世界全体の推定排出量の 17 %を占め、以下、HCFC-141b (12.1 Gg/y) はそれぞれ 75%と 22 %, HCFC-142b (7.3 kt/y) は 81%と 17%, HFC-23 (6.2 Gg/y) は 92%と 52%、HFC-134a (12.9 Gg/y) は 67%と 9 %、HFC-152a (3.4 Gg/y) は 73%と 7%を占めた。ハロカーボン類測定法の精緻化については、化合物の分離に用いるキャピラリーカラムの検討を行い、アルミナプロットカラムによって PFC 類の測定精度を向上できることがわかった。
- ① ケ 日本-東南アジア航路において、反射型光散乱検出方式によるブラックカーボンの連続測定を開始した。数航海にわたる観測を行った結果、船舶観測特有の問題である海塩粒子による干渉があることが見出された。このため、検出方式を後方散乱光検出型から角度を変えた散乱光検出型に切り替えたところ、海塩粒子の影響を改善することに成功した。ブラックカーボンを光学的に計測する装置を船舶に搭載して観測するのは本観測が初の試みであり、得られたデータ量は十分ではないが、今後データを蓄積することで東南アジア域におけるブラックカーボンのクライマトロロジーが明らかになることが期待される。
- ① コ 船上でメタンの連続測定を行う手法として、長光路の赤外光吸収を計測するキャビティリングダウン方式の測定装置の性能を評価し、試験観測を行った。現在まで概ね良好なデータが得られており、今後、二酸化炭素、一酸化炭素、ブラックカーボン等の連続観測データと併せて、東南アジアの人為起源・森林火災起源による排出状況の把握が可能になると思われる。

サブテーマ (2)

- ① ア 観測によって得られた CO₂ データセットを用い、Neural Network と呼ばれる新しい CO₂ Mapping の手法を用いてより高解像度な北太平洋全域の CO₂ 分圧推定に取り組んだ。この手法は、人工衛星やモデルで得られる海洋パラメータ (表面水温 (SST) や混合層深度、クロロフィル濃度) と CO₂ 分圧データを非線形かつ不連続な関係でマッチングさせ、その関係を用いて CO₂ 分圧の時空間分布を再現するものである。現在、より正確な再現を行えるように計算を行っている段階であるが、SST データのみを用いて CO₂ 分圧の時空間分布推定を試みたところ、Takahashi et al. (2009) が示した CO₂ 分圧気候値に近い分布が得られただけでなく、海流や渦などの物理構造を反映した CO₂ 分圧分布が再現された。

- ① イ 酸素の海洋からの発生特性を調べるために、観測協力船 Trans Future 5 に開発した同位体比質量分析計システムを設置し、Voyage No. 27 の航海にて、ニュージーランドから大阪まで観測を行った。また表層海水をボトルに採取し、同位体比質量分析計を用いて O_2/Ar 比および N_2/Ar 比を測定し、EIMS の結果と比較した。 O_2/Ar 比は良く一致し、 N_2/Ar 比は 1% 以内の範囲で一致した。
- ② ア AsiaFlux ネットワーク活動を通してアジア各地の森林生態系における二酸化炭素フラックスのデータを収集し、二酸化炭素収支各項（光合成総量、呼吸総量、正味炭素吸収量）を求め、それぞれの時系列を比較した。特に、欧州で記録的な熱波が観測された 2003 年において、欧州のみならずシベリアから東アジアに至るユーラシア大陸北部の広い地域において、光合成有効放射量と気温に顕著な時空間偏差が観測されたことを明らかにした。同時に、放射量の偏差が東アジア各地の総光合成量の空間分布に与えた影響を定量的に求めた。その結果、夏季に東アジア中緯度に停滞する梅雨前線の北側では、放射量と総光合成は正の相関を示し、南側では負の相関を示すことがわかった。東アジア南部で光合成量と放射量が負の相関を持つ原因として、暖温帯から亜熱帯にかけての森林では、夏の高い日射量が高温・乾燥を引き起こし、その地域の森林に強い乾燥ストレスを与えることが関係していることを示した。
- ② イ 富士北麓アジアフラックスネットワークに登録されたカラマツ林生態系としては最も年平均気温が高いサイトであり、他のサイトと比較すると呼吸・光合成ともに大きいことが分かった。これは、気温が高いことにより、展葉期が早く落葉期がおそいため、光合成活動期間が長いことが大きな要因であると推測された。落葉針葉樹林であるカラマツ林においては、展葉期の急激な CO_2 吸収量の増加と落葉期の吸収量の低下が特徴的な季節パターンを作り出しているが、年間の吸収量の積算値は、展葉・落葉のタイミングと、活動期の気象条件により年により異なることが観察により明らかとなった。この落葉・展葉のタイミングは温度環境に強く依存していると推測され、光合成生産量については温暖化により増加する可能性が示唆される。
- ② ウ 日本の各地の森林土壌を採取しインキュベーションにより温度特性や、土壌呼吸の長期変化を測定した。これによると日本の土壌の Q_{10} は 2.9 程度と考えられ、従来のモデルの値よりも 50% も大きいことがわかった。日本の土壌は高温域にも乾燥化がそれほど進まないことで土壌呼吸量は増加することがわかった。
- ② エ 陸域生態系炭素循環研究への放射性炭素利用の可能性を評価するため、冷温帯林において土壌呼吸 $^{14}CO_2$ 並びに土壌内 $^{14}CO_2$ の通年観測を開始した。これにより、土壌呼吸の発生源（根・微生物分解）の相対的寄与の試算する方法の可能性を示すことが可能となった。このことは、従来の方法では、土壌を破壊することにより試料採取を行う必要があることに比べると、非破壊による観測であることから、新たな中長期的な観測形態となることが期待される。
- ② オ アラスカで縦断観測をおこない、土壌炭素動態に関する研究を行うために必要な基礎データの取得が出来、今後温暖化による永久凍土中の有機物分解や自然火災による炭素動態変化を評価することが可能な場所が検討できた。

サブテーマ(3)

- ① ア 観測データとモデル計算値から二酸化炭素のフラックスを推定する新規のインバースモデルを開発し、同モデルを使用して亜大陸スケールで（全球を 64 地域に分割して）月平均フラックスの季節変動を

計算した。インバースモデルにオイラー型大気輸送モデルとラグランジアン型大気輸送モデルを組み合わせた大気輸送モデル（結合モデル）を導入することで、観測地周辺からの影響による汚染イベントもフラックスの推定に考慮することが可能となった。観測データは、米国海洋大気庁（NOAA：National Oceanic and Atmospheric Administration）の地球システム研究所（ESRL：Earth System Research Laboratory）が提供しているフラスコデータのほか、東アジアのフラックス解析の精度を高めるため、本プロジェクトで実施されている波照間及び落石岬の連続観測データを併せて使用した。こうした、大量のデータを使用し、限られた計算資源でフラックスの推定を行うために、“fixed-lag Kalman smoother technique” のアルゴリズムをインバース計算に適用した。その結果、波照間・落石岬の連続観測データを使用した場合と、使用しない場合と比べて、特にアジア地域のフラックス推定の不確定性が大幅に減少する結果が得られた。

- ① イ 海洋トレーサー輸送モデル（OTTM: Ocean Tracer Transport Model）と生態系モデルを使用して、1980年から2008年までの大気－海洋間の月平均二酸化炭素フラックスを作成した。海洋の二酸化炭素分圧（ $p\text{CO}_2$ ）の観測値を4次元変数法にモデル値と同化させ、より信頼性の高いフラックスを1996年から2009年の期間に関して算出した。

（2）中核研究プロジェクト2：衛星利用による二酸化炭素等の観測と全球炭素収支分布の推定

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① GOSAT が打ち上がってデータが取得・解析されるため、当研究により開発した手法に基づくデータの定常処理を実施し、処理結果の評価と改良の検討を行う。
- ② また、処理されたプロダクトの検証を行い、データ質を評価する。
- ③ さらに、二酸化炭素とメタン濃度の解析結果と地上データとを併せてもちいる炭素収支推定モデルの開発整備を進める。

サブテーマ(1)：衛星観測データの処理アルゴリズム開発・改良研究

- ① GOSAT の短波長赤外波長域での実観測データを用いて、二酸化炭素・メタンのカラム量導出手法の確認と改良を行うとともに、導出値の誤差評価を行う。さらにカラム平均濃度の全球分布データ作成のための研究を進める。測定データにおける偏光情報の利用法について、実観測データに基づいて研究を進める。

サブテーマ(2)：地上観測・航空機等観測実験による温室効果ガス導出手法の実証的研究

- ① GOSAT 観測データから導出される二酸化炭素とメタンのカラム量に関するプロダクト、及びその導出誤差に直接関連する巻雲・エアロゾル情報についての検証・比較のため、地上設置の高分解能フーリエ変換分光器や航空機による検証観測を行い、それらのデータ解析により検証データを作成する。得られた検証データを用いて GOSAT データプロダクトのデータ質の評価研究を行う。

サブテーマ(3)：全球炭素収支推定モデルの開発・利用研究

- ① GOSAT 観測データから二酸化炭素とメタンのカラム量を導出する際に必要な先験情報を求めるための大気輸送モデル（NIES08 モデル）の改良と、GOSAT からの二酸化炭素カラム量と地上観測データとを利用して全球の炭素収支分布を推定するインバースモデルシステムの高精度化を行う。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア GOSAT により取得された実観測の短波長赤外波長域の晴天域の輝度スペクトルから二酸化炭素・メタンのカラム量の導出ができることを確認した。
- ① イ 約1年間の実観測データのうち、雲がないと判断された事例を解析した結果、二酸化炭素カラム量が北半球高緯度で特に明瞭な季節変化を示すことや、メタンカラム量が1年を通じて北半球で南半球よりも高濃度を示すなど、従来の知見に矛盾しない結果を得た。
- ① ウ 得られたカラム量は過小評価傾向にあるものの、そのばらつきは1~2%程度に収まっている。なお、雲がない事例を抽出するための手法に関しては、特に海上において打上げ前に検討していた手法のみでは不十分であることが判明したため、新たな雲識別手法の開発・適用を行った。
- ① エ 偏光情報については、GOSAT からの偏光信号を Muller 行列より擬似的に無偏光の信号として取り扱い、解析を行った。
- ② ア 検証のための地上設置の高分解能フーリエ変換分光器による二酸化炭素とメタンの乾燥空気に対するカラム平均濃度 (X_{CO_2} , X_{CH_4}) の観測精度を評価し、航空機を用いた測定の不確かさを評価して、それぞれの精度を明らかにした。
- ② イ 上記検証データを用いて、GOSAT TANSO FTS SWIR の L2 標準プロダクトである X_{CO_2} 、 X_{CH_4} の検証を行った。GOSAT のカラム量およびカラム平均濃度は検証データに比べて低めであり、 X_{CO_2} の場合は2~3%程度低いことが明らかとなった。GOSAT のデータのばらつきは、検証データのばらつきに比べて大きい。帯状平均された GOSAT の X_{CO_2} と X_{CH_4} の緯度分布は、負のバイアスを除けば概ね検証データと一致することが明らかとなった。
- ② ウ 雲のスクリーニングが十分でない場合は GOSAT のカラム平均濃度が低くなること、砂漠やその周辺（サハラ砂漠やアラビア半島など）では、ダストの影響で GOSAT のカラム平均濃度が高く算出されている可能性があることが明らかとなった。
- ③ ア GOSAT 観測から得られる二酸化炭素・メタンのカラム量全球データを用いた地表面炭素フラックスの評価（インバースモデル解析）の実施に向け、必要とされる地表面フラックス先験情報の整備を行った。
- ③ イ 陸域生態系及び海洋フラックスの先験情報取得のために、植生プロセスモデル VISIT、海洋輸送モデル OTTM の開発をそれぞれ進めた。
- ③ ウ 模擬カラム濃度データを用いて、GOSAT データの利用により予想されるフラックス推定値の不確かさの低減率を調査した。さらに、インバースモデル解析の際に入力となる GOSAT 観測から得られるカラム量の評価・選別を行うため、アンサンブル気候値を算出するモデルシステムを構築した。

サブテーマ(1)

- ① ア GOSAT により取得された実観測の短波長赤外波長域の晴天域の輝度スペクトルから二酸化炭素・メタンのカラム量の導出ができることを確認した。

- ① イ 約1年間の実観測データのうち、雲がないと判断された事例を解析した結果、二酸化炭素カラム量が北半球高緯度で特に明瞭な季節変化を示すことや、メタンカラム量が1年を通じて北半球で南半球よりも高濃度を示すなど、従来の知見に矛盾しない結果を得た。
- ① ウ 得られたカラム量は過小評価傾向にあるものの、そのばらつきは1~2%程度に収まっている。なお、雲がない事例を抽出するための手法に関しては、特に海上において打上げ前に検討していた手法のみでは不十分であることが判明したため、新たな雲識別手法の開発・適用を行った。
- ① エ 偏光情報については、GOSATからの偏光信号をMuller行列より擬似的に無偏光の信号として取り扱い、解析を行った。
- ① オ 偏光に対応した放射伝達計算コードPstar2bを公開した。今後はこれを用いて独立な信号として処理を行うための研究を進める。

サブテーマ(2)

- ① ア 検証データ質の確認を行った。地上設置の高分解能フーリエ変換分光器による二酸化炭素の乾燥空気に対するカラム平均濃度(X_{CO_2})の不確かさは0.3%(1ppm)、メタンの乾燥空気に対するカラム平均濃度(X_{CH_4})の観測精度は約0.3%であることが明らかとなった。
- ① イ 航空機を用いたCONTRAIL (Comprehensive Observation Network for TRace gases by AirLiner)、NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration) の測定の不確かさは0.2ppmであり、CONTRAIL及びNOAAデータから X_{CO_2} を求める場合の不確かさは、航空機観測データの無い部分を仮定して求めるため、1ppm程度であることが明らかとなった。
- ① ウ 上記検証データを用いて、GOSAT TANSO FTS SWIRのL2標準プロダクトである X_{CO_2} 、 X_{CH_4} の検証を行った。GOSATのカラム量およびカラム平均濃度は検証データに比べて低めであり、 X_{CO_2} の場合は2~3%程度低いことが明らかとなった。GOSATのデータのばらつきは、検証データのばらつきに比べて大きい。帯状平均されたGOSATの X_{CO_2} と X_{CH_4} の緯度分布は、負のバイアスを除けば概ね検証データと一致することが明らかとなった。
- ① エ 雲のスクリーニングが十分でない場合はGOSATのカラム平均濃度が低くなること、砂漠やその周辺(サハラ砂漠やアラビア半島など)では、ダストの影響でGOSATのカラム平均濃度が高く算出されている可能性があることが明らかとなった。これらのGOSATの問題点を解決すべく、校正・アルゴリズム・検証をさらに進める必要がある。

サブテーマ(3)

- ① ア GOSAT観測から得られる二酸化炭素・メタンのカラム量全球データを用いた地表面炭素フラックスの評価(インバースモデル解析)の実施に向け、必要とされる地表面フラックス先験情報の整備を行った。
- ① イ 陸域生態系及び海洋フラックスの先験情報取得のために、植生プロセスモデルVISIT、海洋輸送モデルOTTMの開発をそれぞれ進めた。
- ① ウ 模擬カラム濃度データを用いて、GOSATデータの利用により予想されるフラックス推定値の不確か

さの低減率を調査した。さらに、インバースモデル解析の際に入力となる GOSAT 観測から得られるカラム量の評価・選別を行うため、アンサンブル気候値を算出するモデルシステムを構築した。

(3) 中核研究プロジェクト3：気候・影響・土地利用モデルの統合による地球温暖化リスクの評価

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① IPCC第5次評価報告書に向けて、新しい気候モデル実験を準備、実施するとともに、影響・適応モデル、陸域生態・土地利用モデルについて、モデル間の結合を進め、解析手法の開発、改良を行う。

サブテーマ(1)：気候モデル研究

- ① 国内他機関と連携し、IPCC第5次評価報告書に向けた新しい気候変化予測実験を実施するとともに、その実験結果を解析する手法の検討を進める。また、既存の実験結果に基づく予測の不確実性を定量化する。さらに、IPCCの新しいシナリオ開発プロセスに対応して、気候シナリオと社会経済シナリオを結びつける手法を検討する。

サブテーマ(2)：影響・適応モデル研究

- ① 影響評価結果の不確実性を明示的に表現するための手法の検討・開発に関連して、本年は特に気候モデル不確実性を明示的に考慮した気候変化による人間健康影響（熱ストレスによる超過死亡）の確率的な影響評価を実施する。気候モデルと影響評価モデルの結合作業に関しては、計算高速化・高度化のための水資源影響モデルのプログラム改訂を実施する。さらに、専門家やメディアとの意見交換等により地球温暖化リスクの全体像の整理を進める。

サブテーマ(3)：陸域生態・土地利用モデル研究

- ① 陸域生態・土地利用モデルについて、陸域生態モデルの高度化および土地利用変化モデルの開発を進めるとともに、IPCCの新しいシナリオ開発プロセスに対応して、次世代気候モデル実験の入力条件となる詳細な空間分布を持つ排出・土地利用変化シナリオの開発を行う。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア サブテーマ1の気候モデル研究、サブテーマ2の影響・適応モデル研究、サブテーマ3の陸域生態・土地利用モデル研究により、モデルの開発・改良を行うとともに、それを用いた将来予測およびその不確実性評価の研究を総合的に推進した。特に、IPCC-AR5に向けた気候気候モデル実験の実施と、その結果を用いた不確実性評価、影響評価、シナリオ分析の準備を中心的に行った。
- ① イ 気候変化予測と影響評価にまたがる不確実性を評価する研究はサブテーマ1と2が協力して行った。また、気候モデルと影響評価モデルの結合作業は3つのサブテーマが協力して行った。

サブテーマ(1)

- ① ア 国内他機関と連携し、IPCC AR5に向けた次世代気候モデル実験を準備し、実施した。また、気候変化予測と影響評価の不確実性を評価する手法を開発し、南米域の水資源影響評価等に適用した。さらに、IPCCの新しいシナリオ開発プロセスに対応して、気候シナリオと社会経済シナリオを結びつける手法を検討した。

- ① イ 気候モデルに火山噴火の放射強制力を与える方法を改良するとともに、IPCC 新シナリオを用いた気候モデル実験のためのエアロゾル等の排出量空間分布データを作成した。このデータはサブテーマ 3 の土地利用変化シナリオと共に世界の研究コミュニティに提供され、利用される見込みである。
- ① ウ 気候変化予測と影響評価の不確実性を定量化する手法を改良して、南米域の水資源量変化の問題を例にとり、手法の適用を試みた。水資源影響評価はサブテーマ 2 と連携して行った。複数の気候モデルによる計算結果のばらつきのうち、影響評価の対象となる変数に最も影響を与えるパターンを統計的に抽出し、そこに観測データとの一致度による制約をかけたところ、温暖化の進行により南米北東部で顕著な乾燥が起こるパターンが最も可能性が高いことが示唆された。
- ① エ 気候シナリオと社会経済シナリオを結び付けるために、気候シナリオの空間パターンをスケーリングする手法の検討を行うとともに、社会経済シナリオの不確実性を感度分析により調査する手法の検討を行った。

サブテーマ(2)

- ① ア 気候モデル不確実性を明示的に考慮した気候変化による人間健康影響（熱ストレスによる超過死亡）の確率的な影響評価を実施した。気候モデルと影響評価モデルの結合作業に関しては、計算高速化・高度化のための水資源影響モデルのプログラム改訂を実施した。さらに、専門家やメディアとの意見交換等により地球温暖化リスクの全体像の整理を進めた。
- ① イ 気候・土地利用モデルとの結合のため、水資源モデル H08 中の陸面モデル・河川モデルのベクトル化コーディング・空間解像度依存性の解決を実施した。その結果、従来からの粗空間解像度での全球領域対象の水資源評価に加え、それと整合性を維持した地域的な高空間解像度での水資源評価の実施が可能になった。
- ① ウ IPCC-AR4 で評価対象となった約 20 の気候モデルによる最新の将来気候予測を用いて、世界全域を対象地域として、気候モデル不確実性を明示的に考慮した気候変化による人間健康影響（熱ストレスによる超過死亡数）のリスク評価（確率的な影響評価）に取り組んだ。前提とする気候モデルにより超過死亡数変化の推計結果に大きな差が生じることから、モデル平均した推計結果のみから対策を論ずることの不十分さが指摘された。
- ① エ 温暖化リスク情報の伝達については、専門家から情報を提供し、メディア関係者の意見を収集しつつ、一般市民への情報伝達のあり方について議論することを目的として、メディア関係者・研究者合わせて 50 名程度を集め、環境省、東京大学と共同で「第 2 回温暖化リスク・メディアフォーラム」を実施した（2010 年 3 月 6 日・秋葉原）。2°C 安定化目標に関して、予測される影響、必要となる対策や、これまでの国際交渉での扱われ方などを整理し、メディア関係者と研究者の間で認識のすり合わせを実施した。

サブテーマ(3)

- ① ア 土地利用変化および森林火災の影響を考慮した陸域生態系モデルの気候モデルとの結合準備を進めるとともに、過去の気候変動および土地利用変化に伴う陸域炭素収支の変動を off-line 実験により再現した。また、他の中核プロジェクトおよびモニタリング事業による観測データを活用してモデルの高度化と検証を実施した。

- ① イ 陸域生態モデル VISIT を用いて、過去の気候変動・土地利用変化に伴う陸域炭素収支変動を、1901～2005 年の期間について解析した。土地利用変化については、耕作地・放牧地面積の時系列データと、転換面積の時系列データを用いた推定を行った。過去約100年の土地利用変化および火災により約305 Pg C が CO₂ として放出された一方、自然生態系では大気 CO₂ 増加による施肥効果や気候変動の影響により246Pg C の CO₂ が固定されていた。従って、陸域生態系は上記期間に約 60 Pg C を CO₂ として放出したと推定される。このモデル計算では、表土流亡や揮発性有機物質の放出も考慮されるが、それらに伴う相当規模の炭素放出が生じてきた可能性も示唆された。モデル推定の妥当性を検証するため、東アジア地域を対象にして陸域フラックス観測データおよび他のモデルによる生産力・炭素収支シミュレーションの結果と比較を実施した。各種観測データとの比較検証を通じて、温暖化への生物的フィードバックとなり得る炭素収支に関する推定精度の向上を図った。
- ① ウ 土地利用変化モデルについては、IPCC の新シナリオのベースとなる RCP の空間詳細シナリオの高精度化を行った。都市分布の将来シナリオには、人口、GDP、都市化率を元とすることで高精度なものとなった。RCP 空間詳細シナリオに、バイオマスクロップのシナリオを追加作成した。また、土地利用の基準年の分布について精度を向上した。従来のマップ統合では、マップの多数決により作成したが、新たな統合マップでは、地上検証データを用いて統合を行った。この新しいマップの精度は κ 係数 0.66 であり、最新の他のマップの 0.62 を上回る高精度のマップである。
- ① エ これらの陸域生態・土地利用モデルの開発により、グローバルな陸域炭素吸収源機能を評価する科学的な知見の高度化を達成するとともに、計画していた次期 IPCC に対応した土地利用分野シナリオの開発において、世界的にも先駆的な空間詳細なシナリオを構築することに成功し、21 年度中に RCP を完成して公開することができた。今後は、陸域生態モデルと土地利用モデルとを統合したモデルの高度化、水文モデル、農業モデル、社会経済モデルとの連携の強化による、陸域の新シナリオ構築に向けての発展を目指す予定である。

(4) 中核研究プロジェクト4：脱温暖化社会の実現に向けたビジョンの構築と対策の統合評価

平成21年度の研究成果目標

全体

- ① 低炭素社会の実現に向けたビジョンの構築と対策の統合評価。

サブテーマ(1)：脱温暖化（低炭素社会）ビジョン・シナリオ作成研究

- ① 脱温暖化社会へ至るための実現可能な発展経路を同定し、必要となる対策オプションを提示し、政策措置に必要な情報を提供する。また、アジア諸国における脱温暖化シナリオを描くとともに、主要国との連携を図り、世界全体の脱温暖化社会について検討する。

サブテーマ(2)：気候変動に関する国際政策分析

- ① 2013 年以降の国際枠組みのあり方に関して、衡平性に基づく中期目標設定を分析する。また、主要国における気候変動に関する意思決定について分析する。

サブテーマ(3)：気候変動政策の定量的評価

- ① 我が国を対象とした 2020 年の温室効果ガス削減目標とその費用・効果を分析する。また、IPCC 第五次評価報告書にむけて代表濃度経路シナリオの試算を行う。さらに、トレーニング・ワークショップを開催し、アジア各国のモデル開発・政策分析のための人材育成を行う。

平成21年度の研究成果

全体

- ① アジア主要国の低炭素社会シナリオ作りを重点的に行った。インドの国シナリオ、吉林（中国）、アーメダバード（インド）イスカンダール（マレーシア）などの国および都市のシナリオを開発し、低炭素社会へのロードマップを実現するための政策オプションを提案した。日本の大幅削減に向けたシナリオを更新するとともに、2020年に25%削減を行うための方策について検討した。また、モデルの国際比較を行った。さらに、米国、欧州、新興国、ロシアの4大プレーヤーを取り上げ、それらの国の交渉におけるポジションや政策決定の分析を実施するとともに、排出量削減に関する中期目標設定における衡平性について検討した。

サブテーマ(1)

- ① ア 日本低炭素社会に向けた道筋の定量検討：日本低炭素社会の実現に向けて、実施に要する総費用最小化の観点からその道筋を定量的に検討し、2009年8月に報告書「低炭素社会に向けた道筋検討」として発表した。その結果では、低炭素社会に向けた各種対策の実施は早期の対策が望ましいことが示されている一方で、早期対策の実施には、初期段階での大規模投資が必要で、特に民生部門（家庭部門）へは2010年から2025年にかけて毎年2.5兆円、運輸部門へは2010年から2015年にかけて毎年2.5兆円の投資が必要であることを示した。
- ① イ アジアにおける低炭素社会シナリオの構築：中国、インド、タイ、マレーシアの大学・政府系研究機関の研究者と共同して、日本低炭素社会研究を通じて開発してきた各種定量評価モデルを用いて、各国あるいは地域レベルでの低炭素社会シナリオを検討し、アジアにおける低炭素社会シナリオを開発した。その一環として2009年8月から9月にかけて国立環境研究所にて中国、インド、タイ、韓国、マレーシア、インドネシアから研究者を招へいし、低炭素社会研究の手法を伝えるトレーニング・ワークショップを開催した。
- ① ウ 世界における低炭素社会研究の推進：日本低炭素社会研究やトレーニング・ワークショップの成果も合わせて、2009年11月にはAWG（バルセロナ、スペイン）で、12月にCOP15/CMP5（コペンハーゲン、デンマーク）で低炭素社会をテーマとしたサイドイベントを開催し、日本、インド、中国の長期シナリオが短期の国際交渉にどのような影響を与えるかを中心に議論した。
- ① エ 研究成果の普及：研究成果を直接にステークホルダーに伝えるために、一般の講演を多数行うとともに、雑誌、新聞、テレビなどのメディアにおいても広く紹介された。また、政策立案についても有用な情報を提供した。

サブテーマ(2)

- ① ア 気候変動に関する主要国の意思決定に関する分析：米国、欧州、新興国、ロシアの4大プレーヤーを取り上げ、それらの国の交渉におけるポジションや政策決定の分析を実施した。その結果、それぞれの国内政治経済情勢が、国のポジションに大きく影響を及ぼしていることが明らかとなった。例えば、米国では、2009年1月から発足したオバマ大統領が気候変動政策の推進に努めたが、年内の可決が期待されていた気候変動法案が上院にて一部議員の強い反対にあい、膠着していることが、COP15における米国の態度を決定づけた。主要国の2009年度注の主な出来事を年表としてまとめ、国のポジションを説明する際に活用した。また、2010年1月には主要国から関係者を招へいし、国際シンポジウムを上智大

学と共催した。

- ① イ 排出量削減に関する中期目標設定における衡平性の検討：2020年目標を決定するにあたり、衡平性の観点から分析した。次期枠組みに関する国際的な議論の中で主張されていたさまざまな衡平性指標を整理した結果、大きく次の3種類に分けられることが分かった。(a) 責任：排出量が多い国ほど、大気を汚し気候変動に貢献したと判断されることから、排出量の大きさによって削減努力の負担を配分すべきだという観点からの指標、(b) 支払い能力：同じ負担量であったとしても、経済的にゆたかな国ほど楽に感じられるという観点から、支払い能力の大きさにもとづいて負担を配分すべきだという観点からの指標、(c) 実効性：エネルギー利用に無駄が多い国ほど比較的低コストで排出削減できるのだから、効率が悪い国ほど多くの排出削減を実施すべきという観点からの指標。また、我が国の中期目標として適切と判断される水準が、採用する指標やその用い方により、30%以上増減しうることを示した。

サブテーマ(3)

- ① ア 日本の2020年の削減目標の対策評価：日本を対象としたAIM/Enduse(技術選択モデル)を用いた削減ポテンシャルの分析により、想定されたマクロフレーム(経済成長率や活動量)を前提にすると、2020年に温室効果ガス排出量を1990年比20%削減することは技術的に可能であること、また、20%を超える削減の場合、活動量を対象とした対策が必要であることを示した。温室効果ガスを25%削減するためには、追加費用として年間7.4兆円が必要となるが、これらは単なる費用ではなく、国内で供給できる技術があれば内需拡大のための支出となる。こうした産業を育成することは、該当分野における雇用を創出しさらなる技術発展が見込まれる。さらに、温暖化対策は世界の潮流であり、こうした産業の育成は国際的な競争力の強化にもつながる。但し、追加費用をどのように調達するかについては配慮が必要である。全てを事業者に負担させると、本来の生産投資が目減りし、経済発展にも影響が出る可能性があり、追加費用の負担を支援できるような仕組みの必要性が示唆された。
- ① イ 日本の2020年の削減目標の経済評価：日本経済モデルでは、限界削減費用に相当する額を炭素税として課し、その税収を一括して家計に戻す既存のシナリオ(いわゆる定額給付金に準じた方式)に加えて、税収を温暖化対策の支援に充てるシナリオ(低炭素投資促進シナリオ)に基づく分析を行った。その結果、低炭素投資促進シナリオでは、必要となる税率が低く、国民負担をできる限り少なく抑えつつ日本が2020年に1990年比で25%削減という目標を達成しうることを示した。また、海外のクレジットを活用することでも2020年に1990年比で25%削減という目標を達成しうることを示した。
- ① ウ IPCC第五次評価報告書に向けた代表的な濃度経路シナリオ(RCPシナリオ)の作成：IPCC第五次評価報告書にむけたシナリオ開発のために、AIM/Impact[Policy]、AIM/CGE[Global]、AIM/Enduse[Global]などの改良を行った。IPCC第四次評価報告書の成果をもとに、AIM/Impact[Policy]に組み込まれている簡易気候モデル(AIM/Climate)のパラメータの調整、新たなモジュール(炭素循環フィードバック)の付加、AIM/CGEについては分析対象年時の延長(IPCC新シナリオの想定に基づいて2300年まで)等の改良を作業をおこなった。IPCCの新シナリオ専門家会合で4つの代表的濃度パス(産業革命以前からの放射強制力と比較した放射強制力の増加が2.6/2.9W/m²、4.5W/m²、6W/m²、8.5W/m²)が採択されたが、そのうち、6W/m²シナリオにおける温室効果ガスの排出経路を提供するとともに、2.6W/m²のシナリオのロバストネスについても検討した。
- ① エ 世界への情報発信および人材育成：国際モデル比較を行い、気候変動枠組条約に関するアドホック・ワーキンググループ会合(AWG-KP/ AWG-LCA)の国際会合やサイドイベントにて、成果を発信した。ま

た、IPCC 第 5 次評価報告書に向けた新シナリオにおいて、アジア途上国の視点から世界シナリオを提供することを目的として、AIM/CGE[Global]に関するトレーニング・ワークショップを開催、世界の温暖化対策シナリオを作成するための人材育成を行った。

(5) 関連研究プロジェクト

平成 21 年度の研究成果目標

関連 PJ(1)：過去の気候変化シグナルの検出とその要因推定

- ① 気候モデルによる 20 世紀気候再現実験の出力データを活用し、人為起源エアロゾルの増加にともなう地域的な長期降水量変化の発生メカニズムを解明する。また、さまざまな気候変化実験のデータ解析を通して、自然起源の気候変動要因に対する気候応答の不確実性に関する知見を得る。

関連 PJ(2)：太平洋小島嶼国に対する温暖化の影響評価

- ① 太平洋の島嶼国を対象として、今まで明らかになった地形発達に加え、降水量変動と地下水貯留量に関する観測及び復元を行い、地形発達と水収支の関係を明らかにし、島嶼国における環境収容力と居住可能性を評価する。また、温暖化に対する応答予測を行うため、観測結果に基づいて水資源に関するモデル化の検討を開始する。

関連 PJ(3)：温暖化に対するサンゴ礁の変化の検出とモニタリング

- ① 熱帯・亜熱帯域においては、サンゴ分布及びその変化の解析を継続するとともに、それらと周辺環境の対応を検討する。過去から現在にかけての土地利用変化の解析を行い、陸域負荷と温暖化による水温上昇の複合ストレスがサンゴ礁に与える影響を評価する。温帯の分布北限域においては、緯度勾配に沿ったサンゴの種構成の変化を明らかにし、温暖化による水温上昇の影響評価のための基礎データを得る。

関連 PJ(4)：温暖化の危険な水準と安定化経路の解明

- ① 安定化シナリオ下で検討された影響評価の結果を基に、種々の温暖化抑制目標を前提とした場合の、「危険な影響」が発生する可能性とその発生時期を提示する。

関連 PJ(5)：日本における土壌炭素蓄積機構の定量的解明と温暖化影響の実験的評価

- ① 核実験起源放射性炭素同位体をトレーサーに用い、土壌有機炭素の分解速度を表す滞留時間の観測を行う。これにより、黒ボク土を初めとする日本特有の火山灰性土壌における炭素蓄積機構を解明する。

平成 21 年度の研究成果

関連 PJ(1)

- ① さまざまな条件下での 20 世紀気候再現実験結果を大気中の水蒸気収支式に基づいて解析し、20 世紀に熱帯北アフリカ域で観測された夏季降水量の有意な減少傾向は、人為起源エアロゾルが局所的に増加することにより海面水温の変化に南北非一様性が生じ、それに伴い熱帯大西洋域に局所的な鉛直循環が生じたことが原因と考えられることを明らかにした。将来的には人為起源エアロゾルの排出が抑制されていくこと、これまでの温暖化の熱慣性により今後も気温が上昇していくことから、同地域では将来的には降水増加が見込まれることを示唆しており、同地域における将来的な緩和策、適応策の必要性を説く根拠の一つとなり得る。
- ① さまざまな気候モデルによる 20 世紀気候再現実験結果を解析し、大規模火山噴火に対する気候応答の相

違について調べた結果、気候モデルに含まれる物理過程の有無により、上部対流圏における気温変化などに違いのあることが分かった。今後も解析を継続することにより、自然要因に特徴的な気候応答に関する知見を得ることができると期待される。

関連PJ(2)

- ① ア サンゴコアを採取し、解析を行って、過去からの降水量変動を復元し、現在は 1000 年前、2000 年前と比較して降水量が減少している可能性を明らかにした。
- ① イ 海面上昇の影響、砂生産変化の影響を考慮した地形変化モデルを構築した。
- ① ウ 地下水調査を行い、地下水の動態が潮汐変動の影響を大きく受けることを明らかにし、地下水流動モデルの開発を開始した。
- ① エ 土地固有の知識や島嶼国の国民の居住に関する調査を行い、海岸環境の保全や人口移動による適応の可能性を検討した。

関連PJ(3)

- ① ア ALOS AVNIR2 データを用いた東アジアのサンゴ礁分布図の作成を行った。
- ① イ サンゴ礁に隣接する流域の土地利用に関する調査を行い、流域からの土砂流入負荷の推定と、波当たりなど物理環境に基づいてサンゴ礁を類型化する手法を開発し、ストレスと物理量に基づくサンゴ分布の評価を行った。
- ① ウ さまざまデータを統合する日本全国のサンゴ礁データベースの構築を開始した。
- ① エ 日本周辺の緯度勾配に沿ったサンゴの種構成に基づき、温暖化影響の検出に適切な種を明らかにし、地球温暖化に伴う水温上昇によるサンゴ分布北上の可能性を示した。

関連PJ(4)

- ① ア 統合評価モデル (AIM/Impact[Policy]) を用いて、温室効果ガス濃度を 450ppm-Co2eq, を 550ppm-Co2eq に安定化させるシナリオとなりゆきシナリオにおける日本の温暖化影響を評価した。
- ① イ 上記の評価結果は、日本の中期目標検討に際し目指すべき気候安定化レベルを議論するための科学的知見として大きな役割を果たした。

関連PJ(5)

- ① ア 土壌の物理特性を破壊すること無く、最長 50cm まで連続的に試料を採取する方法について検討を行った。検討の結果、森林内でも比較的動活性の高い電動式土壌コアサンプラーの試作を行い、実際の現場作業での有効性が確認された。この手法を用いて、針広混合林および落葉広葉樹林（北海道大学手塩研究林）、カラマツ林（国環研・苫小牧サイト）、ブナ林（苗場山標高 1500m、700m）で土壌コア試料を採取し、1cm 毎に分割し、仮比重、炭素・窒素含有率、14C 濃度の分析を行った。これにより、土壌の炭素蓄積能を評価するために必要な基礎データを高分解能で得ることが可能となった。これらのデータから、単位面積あたりの土壌炭素蓄積量は、針広混合林やブナ林（標高 700m、標高 1500m）で高い傾向が

認められた。また、針広混合林の土壌については、他よりも堆積速度が早いことが分かった。

- ① イ さらにより深層（深さ 50cm 以深）まで土壌を連続的に採取する方法について検討を行った。クローラー式土壌コアサンプラーを採用し、国環研富士北麓サイトにおいて最長 175cm まで連続的な土壌コア試料の採取を成功させた。これらのサンプルに関しても、炭素・窒素含有率および ^{14}C 分析を進めている。
- ① ウ 土壌を①比重分画法と、②物理的方法（比重や粒径）と化学的方法（アルカリ・酸処理）を併用した手法で分離した試料の ^{14}C 分析を行い、有機物の分解過程を考慮した分離法を検討した。①比重分画法を用いて褐色森林土壌を 6 画分に分離し ^{14}C 分析をおこなった結果、A 層（深さ 5～15cm）でも滞留時間が 150～350 年の炭素が全体の約 3/5 を占めていることが明らかとなった。また、欧米の耕作土壌で利用されている②物理的方法と化学的方法を併用した手法（Zimmermann et al. 2006）についてもあわせて検討した。その結果、耕作土壌 2 種類（黒ボク土・非黒ボク土）を 4 画分に分離し ^{14}C 分析をおこなった場合、日本のように火山灰の影響を受けた土壌にも有効な分離方法であることが示唆される結果を得た。本手法は、農耕地の土壌に適応されたものであるが、森林土壌のように滞留時間が短い易分解性有機炭素が多い土壌にもこの手法が適応できるか検討を進める計画である。

（6）GOSAT データ定常処理運用システム開発・運用事業（その他の活動）

平成 21 年度の研究成果目標

- ① 実際の GOSAT 観測データに基づいて、着実な定常処理の実施、システムの管理、プロダクトの検証支援、保存、データポリシーに則った配信・提供を行う。
- ② 定常処理のための関係機関とのデータ授受及び観測要求の受付と整理を行う。さらに当システムで導出されるプロダクトの検証作業を支援する。
- ③ 炭素収支インバースモデルによる処理の準備を進める。

平成 21 年度の研究成果

- ① 観測データを用いた定常処理運用システムの調整と改良、システムの追加を行った。
- ② ア 当計算機システムの運用管理、関係機関とのデータ授受及び観測要求に関するインタフェース調整及び試験、システムへのユーザ登録・管理とユーザへの情報発信、ユーザからの観測要求の受付・整理を行った。
- ② イ プロダクトの検証作業支援を行った。
- ② ウ データポリシーに則ったプロダクトの配信を行った。
- ③ 炭素収支推定のためのインバースモデル計算を行うシステム開発を進めた。

（7）知的研究基盤の整備事業

資料 12 を参照。

1.5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
終了時の評価	6	10				16
(平成22年4月)	38%	62%				100%

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）

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.4点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

長期的視点に立った重要な研究を積極的に推進しており、期待以上の成果を挙げている。当初のねらいによりお互いのプロジェクトの連携による成果も出ている。温暖化効果ガスのモニタリング、温暖化リスク評価、対策構築のそれぞれに対して、実質的で大きな社会貢献を行い得る研究成果を挙げたと評価できる。目的意識が明確で質の高い研究が的確に実施されており、大変優れていると考える。

一方、中核プロジェクトの1・2と3・4の間、及び3と4の間の関連が明確ではなく、また、中核プロジェクト3の成果およびその他の知見がどのように4につながったかの説明が欲しかった。

[今後への期待・要望]

観測によって得られる情報を、将来予測の精度向上に連携させた研究シナリオの提案に期待したい。中核プロジェクト3、4においてシナリオとしての研究成果は得られつつあるが、将来の気候変動予測、対策評価・政策提言としては概念的、理念的な方向性であるので、人口・食糧・水資源問題を含めた未来社会の予測や、対策・あり方についての見解を入れた総合評価が欲しい。

それぞれのプロジェクトの成果の不確実性とバイアスを受けて他のプロジェクトの取り組みにどう対応したか、などのプロジェクト間のフィードバックの議論もあって良い。

これらの取り組みの成果もふまえ、よりいっそうの統合構造化を進めることにより、わが国の将来ビジョンをどうするのかなど方向性が明確になることが期待され、政策形成の上でNIESのプレゼンスがより高まるものと思う。

また、モニタリングから、気候変化とリスク評価、必要な緩和・適応策に至る、時間を追ったシナリオを描くことや、温暖化社会におけるリスク管理コストと温暖化抑制社会におけるそれとの比較研究をベースに、政策判断支援情報の提供も期待したい。

(3) 対処方針

観測・モニタリングに基づくプロセス研究やトレンド解析の情報は、将来気候予測モデルに含まれる生物地球化学過程のモデル化に活かされ、将来予測モデルの精度向上に寄与するというシナリオのもとに実施してきており、引き続き、国際的な研究コミュニティに対して成果を発信していきたい。これらの成果は、国内外の他機関から発信される研究成果とともに、総合的な視点から温暖化リスク評価、温暖化対策・政策提言の基礎情報として活用される。

人口・食糧・水資源問題を含めた未来社会の予測や、対策・あり方についての見解を入れた総合評価については、部分的にはすでに着手しているところであり、真に総合的な評価を行うには関係する研究機関とも協力してさらに発展させたい。

不確実性・バイアスの問題は重要と考えており、観測などによるプロセス解明、将来予測モデル出力の解釈や成果の発信において特に留意が必要と考えている。また、それらを基に行う政策提言に関しても同様に、その基本となる将来予測の不確実性の議論は必須のものと考えている。このことは、温暖化社会におけるリ

スク管理コスト、温暖化抑制社会におけるリスク管理コストの比較議論においても重要な視点であり、今後の政策判断支援情報の提供でも注意を払うべき点と考えている。

2. 循環型社会研究プログラム

2.1 研究の概要

今後の循環型社会構築に向けて、わが国の循環型社会の近未来像、資源性・有害性をもつ物質の管理、バイオマス系廃棄物の資源化技術、資源循環・廃棄物管理の国際的側面、という切り口から、4つの「中核研究プロジェクト」において重点的に取り組むとともに、他の研究ユニットの研究者が主体となる「関連研究プロジェクト」4課題を実施した。また、廃棄物管理の政策課題に直結した調査・研究にも重点的に研究資源を配分するとともに、本分野の中長期的な問題への対応、解決に資する研究能力の向上を図るための基盤的調査・研究や知的研究基盤整備についても、本重点研究プログラムの一部として一体的に推進した。

循環型社会構築に結びつく主な成果として、1)複数の社会シナリオと数量モデルに基づき、物質フローに大きな影響を与える社会変化や効果の高い対策を同定したこと、2)いくつかの製品群の事例研究をもとに、資源性・有害性の面からの物質の管理方策、再生品の環境安全品質の試験・確認、資源回収・適正処理におけるトレーサビリティの情報などを提示したこと、3)熱分解ガス化改質及び水素-メタン二段発酵により、バイオマス系廃棄物から高収率で水素ガスを回収できることを示すとともに、地域に適した要素技術を適用した地域循環圏の計画手法を構築したこと、4)家電・パソコン等の国内・国際フローを明らかにし、付随する環境影響等の問題点や改善の方向性を示す一方、タイで準好気性埋立の性能を評価する実証実験の段階に達したこと、などがあげられる。

また、廃棄物行政が直面する種々の課題の解決を支援するため、施設の維持管理、廃棄物管理システムの再編、試験評価等の分野で技術上の基準、指針値、公定法等の制定や改訂につながる知見を提供するとともに、堆積廃棄物火災、廃 PCB 処理、POPs 埋設農薬などの一連の負の遺産問題に対しても、調査手法、マニュアル制定等の知見を提供した。

さらに、現在から将来にわたる中長期的な問題への対応、解決に資する研究能力の向上を図るための基盤的調査・研究、廃棄物分野のデータベース整備等の知的研究基盤整備に取り組んだ。

2.2 研究期間

平成18～22年度

2.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

重点プログラム（全体）：循環型社会研究プログラム						
	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営費交付金*	463	497	530	528		2,018
その他外部資金	561	322	226	271		1,380
総額	1,024	819	756	799		3,398

2.4 平成21年度研究成果の概要

(1) 中核研究プロジェクト1：近未来の資源循環システムと政策・マネジメント手法の設計・評価

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 技術システムの観点、政策・マネジメント手法の観点からのサブテーマ研究の成果を活用し、分析モデルの改良と対策効果の試算を行う。

サブテーマ(1)：物質フローモデルに基づく資源利用・廃棄物等発生将来予測と近未来ビジョンへの転換シナリオ評価

- ① これまでに検討してきた対策リストをもとに、近未来における循環型社会のビジョンを作成する。
- ② ビジョンにおける天然資源消費抑制および環境負荷低減効果を推計する。

サブテーマ(2)：近未来の循環型社会における技術システムの設計と評価

- ① より効果的な対策が望まれる食品廃棄物、廃プラスチック、廃家電、および建設廃棄物に関する対策シナリオを提案し、その効果を前述モデルを用いて分析する。また、資源の利用効率を評価する「資源のLCA」を提案し、素材間の代替効果を分析する。

サブテーマ(3)：循環型社会の形成に資する政策手法・マネジメント手法の設計・開発と評価

- ① 回収ポイント制度の導入可能性や有効性を明らかにする。
- ② 一般廃棄物行政におけるベストプラクティスの成功要因を把握する。
- ③ 3R政策の対象物を明らかにするポジショニング解析の枠組みを構築する。
- ④ リデュース・リユースの効果把握を行う。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア これまでに類型・リスト化してきた天然資源消費抑制や環境負荷低減につながる対策を、主として技術やシステムの変更に關わる対策とライフスタイルの変更に關わる対策とに分け、前者の対策を中心とするビジョンA、後者の対策を中心とするビジョンBとしてパッケージ化した。構築中の物質フロー・ストックモデルを用いて、いくつかのベースラインシナリオと2つ対策パッケージを含むビジョンにおける天然資源消費量、温室効果ガス排出量、廃棄物最終処分量を算出し、近未来の物質フロー及び環境負荷に大きな影響を与える社会変化や効果の高い対策の同定を行った。
- ① イ 上記モデルとの連携を考慮し、消費財の一般廃棄物として食品廃棄物とプラスチック、耐久財の一般廃棄物として廃家電、耐久財の産業廃棄物として建設廃棄物を対象とした事例分析を行い、循環技術システムの設計と評価のためのデータ収集に基づくLCA評価を行い、上記モデルの改良にフィードバックさせるとともに、技術システムの観点からのシナリオの妥当性を向上させた。
- ① ウ 政策・マネジメント手法に関しては、これまでに実施したデポジット制度の検討に加え、資源回収ポイント制度の適用性等を検討し、その有効性と限界を明らかにするとともに、ベンチマーキングによる自治体マネジメント手法、3R政策の対象物選定のための資源、素材、製品のポジショニング解析によるトップダウン型の制度研究、責任分担に係る研究、リデュース・リユースに着目した研究の体系化や効果把握のための枠組み検討などを行い、事例の効果分析、要因構造化などにより、今後の制度設計上の要点を提示した。

サブテーマ(1)

- ① これまでに類型・リスト化してきた天然資源消費抑制や環境負荷低減につながる対策を、主として技術やシステムの変更に關わる対策とライフスタイルの変更に關わる対策とに分け、前者の対策を中心とするビジョンA、後者の対策を中心とするビジョンBとしてパッケージ化した。具体的には、リスト化された対策の性質に応じて、対策ごとに各ビジョンにおける対策導入量等のパラメータを設定した。これらのビジョンは脱温暖化2050におけるビジョンとの整合性を意識したものであり、低炭素社会と循環型

社会に対する統合的アプローチへの発展が期待できるものであるが、設定した各対策の導入量の妥当性と相互関係、脱温暖化 2050 ビジョンとの整合性などについて今後詳細に検討していく必要がある。

- ② これまでに開発してきたモデル（各種の社会変化や対策導入がもたらす製品・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モデル）を用いて、上記①により設定した各ビジョンについての試算を行い、近未来の物質フローに大きな影響を与える社会変化や効果の高い対策の一次同定を行った。例えば、今後の公共投資の動向によっては、セメント需要量が大幅に減少することが推計され、それにより各種環境負荷は削減されるもののセメント産業における廃棄物利用の制約になること、今後の食糧自給の動向によっては、国内の農畜産物系の廃棄物発生量が大幅に増加することなどが示唆された（本成果は環境・循環型社会・生物多様性白書にも掲載予定）。現時点では暫定的なパラメータ設定に依っており、今後一定量の天然資源消費抑制、環境負荷低減を達成するためのビジョンについてより詳細に検討していく必要がある。

サブテーマ(2)

- ① より効果的な対策が望まれる廃棄物を対象とした事例分析の結果、食品廃棄物については、排出源の種類別（家庭、卸売・小売業、外食産業など）の品質区分が提案され、それに応じた循環技術システムを設計・評価した結果、近未来ビジョンとして下水汚泥や家畜ふん尿などの循環利用や畜産業などとの連携システムが提案された。プラスチックについては、食品関連、薬品・化粧品関連、耐久財関連などの区分が提案され、それに応じた循環技術システムを設計・評価した結果、現行より効率的なプラスチックリサイクルシステムが提案された。廃家電については元となる家電製品の機種変化の状況を考慮し、建設廃棄物については再生製品の受入先であるセメント産業の状況を考慮して、各々の状況に応じた循環技術システムを設計・評価した。また、資源の利用効率を評価する「資源の LCA」を提案し、事例分析を実施した結果、用途と素材の組み合わせによって、二酸化炭素排出量が大きく変化し得ることが明らかとなった。

サブテーマ(3)

- ① 回収インセンティブ付与制度として、小売店等が実施しているポイントを資源回収に適用した資源回収ポイント制度に着目し、その適用性等を検討した。その結果、本制度が事業者にとって導入障壁のより小さい経済的インセンティブ付与型の回収制度となりうること、実事例の調査からステーション回収よりも回収量が大きくなったことを確認した。
- ② コミュニティレベルの優良活動事例について、環境配慮行動に関する社会心理学的分析及び経営学で用いられる価値連鎖分析による考察を行い、成功要因を同定、構造化した。
- ③ 目的達成寄与度ならびに対策有効性（対策ポテンシャルと適用度）によるポジショニングを実施し、一般廃棄物においては食料品、PR に使われた紙、紙おむつ等を今後の施策対策の検討に含めるべきこと、産業廃棄物においては、セクター別に対策が進められてきたが、自らの業界における廃棄物寄与割合が小さくとも日本全体で見れば排出量の割合が大きい廃棄物種があることを確認して、このようなものが対策で看過されやすいことを指摘した。
- ④ 前年度に引き続いて実施した詰替商品の効果把握においては、POS データを解析し、例えばシャンプーでは7割が詰替商品で、5～6割の容器素材が削減できていることを確認した。また、耐久財のような効果発生に時間差を伴うモノに対する 2R 効果については、その効果把握方法を整理して、長期使用の

削減効果とその波及効果とともに推計した。これらの成果の一部は、中央環境審議会において報告・利用された（環境・循環型社会・生物多様性白書にも掲載予定）。

（2）中核研究プロジェクト2：資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 製品を対象に物質の有害性・資源性の管理について総合的に考察を進める。

サブテーマ(1)：プラスチックリサイクル・廃棄過程における化学物質管理方策の検討

- ① プラスチック中難燃剤のライフサイクルにおけるリスク評価と制御対策検討を行う。

サブテーマ(2)：資源性・有害性を有する金属類のリサイクル・廃棄過程の管理方策の検討

- ① 金属資源評価指標の開発、潜在的資源の探索と回収性の評価を行い、金属回収性向上のための方策を検討する。

サブテーマ(3)：再生製品の環境安全品質管理手法の確立

- ① 再生製品の環境安全管理手法を確立し、環境安全品質評価事例を蓄積する。

サブテーマ(4)：物質管理方策の現状及び将来像の検討

- ① 適用されうる物質管理方策を抽出し、その適用性や有効性などを確認する。

平成21年度の研究成果

全体

- ① パソコン等の電気・電子製品に着目して、製品ライフサイクルを通じた臭素系難燃剤等の有害物質の挙動や曝露に関するリスク関連情報と、資源性物質（有価金属等）の含有量、資源価値、回収性に関する研究成果情報を同時に睨みつつ、併せて、物質管理の既存方策の学術的レビューを行って、包括的な物質管理方策の基本モデルについて検討、提案を試みた。

サブテーマ(1)

- ① 電気・電子製品の筐体や基板で用いられるプラスチック中の臭素系難燃剤に関して、製品中の含有量、使用時の室内放散量、室内空気やダストといった室内媒体濃度、ヒトへの曝露媒体としてのダスト中の存在形態についての情報が統合的に得られ、製品のライフサイクルを通じてヒト曝露を考える際に製品使用過程の寄与が高いことを、曝露解析から明らかにした。また、代替難燃剤としての縮合型リン酸エステル類の使用時挙動についても光分解、加水分解、熱分解時のデータを網羅的に蓄積することができ、代替難燃剤のハザード、リスク評価に資する基礎資料が得られた。

サブテーマ(2)

- ① 基板等の複合素材中金属含有量の高精度分析手法を確立し、これを適用してパソコンの生産年次別や基板種別の金属含有量とその違いを明らかにした。金属含有量や使用済み製品量等の情報に基づいて金属二次資源としての使用済み電気・電子製品の類型化を行い、金属種ごとに着目すべき製品群と適する収集方法を整理した。産業用製品について、基礎情報となる製品フローおよび組成・金属含有量情報の整備を行った。破碎・選別処理を通じた金属回収性や有害性物質の環境排出量推定への展開を念頭に、破碎・選別処理における電気・電子製品由来物質のプロセス内分配、環境排出挙動の実態調査を行った。

乾式製錬および再溶解プロセスにおける金属回収／除去可能性を熱力学解析に基づき明らかにし、基板を中心に回収し得る金属を明らかにした。

サブテーマ(3)

- ① 本サブテーマで開発した試験評価法を製鋼スラグ、再生石膏、ブラウン管ガラス等へ適用し、これらの環境影響に関するデータを蓄積した。欧州における建設系廃棄物・副産物再生製品の有効利用の法制度について専門家への聞き取り調査を実施し、日本における環境安全管理方策の進路を提言にまとめ、JISの原案作成委員会の化学物質評価法として、その考え方が採用された。廃プラスチック再生製品について、特に有害物質混入可能性の視点から工場視察とアンケート調査を実施することにより、品質管理の実態を把握できた。

サブテーマ(4)

- ① 既存の物質管理規定をレビューした結果、物質管理方策として、曝露・被害防止、クローズド化、チェックゲート、情報伝達、トレーサビリティ、管理体制の整備の6つの基本管理方策があることを抽出し、それぞれの定義、構成要素、要件を示すことができた。また、チェックゲートは物質の特定性が高い場合には有効であるが、静脈フローや循環フローにおいては物質同士が混合しやすく、管理方策としての適用性が低下することなど、物質管理の有効性や適用性の知見を得ることができた。

(3) 中核研究プロジェクト3：廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 各要素技術の最適化等技術の完成に必要な事項を実験により明確にするとともに、循環システム化を最終目標に、必要なシステム化の条件や相互の関係性等に関する課題を明らかにすることを目標とする。

サブテーマ(1)：エネルギー/マテリアル循環利用技術システムの開発と評価

- ① ガス化-改質プロセスの開発では、タール成分の低減と触媒耐久性向上を目的とした改質触媒・触媒補助材料の併用について検討し、その最適条件の指針を確立する。
- ② 水素-メタン二段発酵プロセス開発では、ガス回収率の向上を図ると同時に、発酵残液処理における栄養塩類除去を効率化し、全体としてのエネルギー回収効率を評価し、全体のシステム構築を図る。
- ③ 開発したBDF製造技術の高度化および省資源化を実現する。第二世代BDFの製造可能性を確認し、地域循環圏を設計するためのデータを収集する。
- ④ リン回収では、処理対象規模等に対応した要素技術開発を進めると同時に、回収リンの活用方法に照らしたリン形態、純度などを評価し、回収技術の費用対効果等について検討する。

サブテーマ(2)：動脈-静脈連携等を導入したバイオマス地域循環圏の設計と構築

- ① 「地域循環圏」の事例研究を通じて、システムを改善するとともに設計・構築手法を確立する。開発技術の組み合わせシステムも提案・評価する。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア エネルギー物質の回収を目指す要素技術研究においては、中核的なプロセスである、熱分解ガス化、水素およびメタン発酵プロセスに関する技術的因子は前年度までにほぼ明らかにしたことから、ガス化-改質においては副成するタール成分の制御、発酵においては、プロセスから排出される高濃度の残液（脱

離液)の高度処理等システム全体での環境負荷の低減に実験研究として注力した。その結果、さらに効率向上の余地は残すものの、次段階の技術開発に生かせる技術要素すなわち有効な触媒や充填材等のもつ効果を明らかにすることで成果を得た。一方、要素技術の確立を踏まえて、システムの適用、あるいは経済性等の実用化において重要な事項を明確にするため、システム的なシミュレーションの実施を開始した。最終的な成果は、5 年計画最終年度である 22 年度に得られるが、全体的なシミュレーションの枠組みを提示した。

- ① イ サブテーマ(2)では、地域循環圏の構築手法に関し、エネルギー回収を目的とした循環システムを想定し、施設規模が異なる複数のケースを設定して CO₂ 排出量などを比較分析したほか、サブテーマ(1)の各種技術を組み合わせた複合システムを提案し、基本データの集積とともに詳細なフロー図と投入産出表を作成した。

サブテーマ(1)

- ① ガス化-改質プロセスの開発においては、触媒補助材料として疎水性表面を有する多孔質シリカを適用し、改質触媒層の前段に配置することで多環芳香族類炭化水素等のタール成分の除去性能について検討を行った。その結果、タール成分の除去特性は多孔質シリカの細孔構造によって異なり、最適な構造特性(比表面積等)が存在することが明らかとなった。この結果に基づき、最適構造を有する多孔質シリカを用いた触媒耐久性および再生利用特性評価実験を行った結果、改質温度 750°Cにおいても十分な再生利用が可能であること、全タール濃度を 100 mg/m³N まで低減可能であること等を明らかにした。また、従来適用の木質系バイオマス試料に加え、廃棄紙と一部廃プラスチック類から形成される RPF 試料を用いたガス化-改質実験を行い、排出されるガスの特性を把握した。
- ② 水素-メタン二段発酵プロセスにおいては、高効率水素・メタンガス回収と循環汚泥比の適正化を達成した。前段水素発酵槽内の pH 制御に必要な汚泥中のアルカリ度が 9,000~10,000 mg-CaCO₃/l の範囲であり、水素生成は最大 25%以上増加(12.6 m³-H₂/t-wet)させることができた。メタン発酵槽は、水素発酵内の pH が安定した後 39.2 m³-H₂/t-wet(投入ベース)前後でメタンが効率的に回収できた。VS 濃度は汚泥循環効果によって水素とメタン発酵槽でそれぞれ 35%と 74%減量化でき、最終流出水の VS 濃度は約 95%除去できた。最終処理水のアンモニア濃度は、好気槽内の PEG 担体の活性を維持することで 29~58 mg/l 範囲の良好な処理性能が得られた。TN 除去率は硝化担体の阻害物質である固形成分の低減について網状担体を用いて 2,000 mg/l 以下にすることで 51%から 89%に増加した。また、膜分離型水素発酵において、水素生成は従来型水素発酵より高い有機物負荷(125 kg-COD/m³/d)で運転でき、メタン生成を抑制した状態で連続的に長期間運転が可能であった。実際に回収できた水素生成速度と組成はそれぞれ 10 m³-H₂/m³/d と 45%であった。炭水化物除去率は約 97%、流出水の SS はほとんど検出されなかった。このように所期の目標のシステム化に資する基礎知見を得ることができた。
- ③ 第一世代 BDF 製造技術開発については、廃食用由来の不純物(多量体)を 99%以上除去するための方法を提示するとともに、合成系を固定化酵素系へ展開した。触媒劣化防止となる新たな触媒配置法を提案し、反応等量のメタノール濃度で収率 93%を達成できた。第二世代 BDF 製造技術開発では、廃油脂類の性状や原料回収のための相平衡を明らかにするとともに、種々の原料に対してほぼ 100%燃料化できることを確認した。また、原料を含む廃棄物の賦存量を推定し、回収方法に関する情報(作業やコストなど)を収集し、地域循環システムの設計へ着手した。
- ④ リン回収に関しては、主に鉄電解脱リン装置について実験的・理論的に検討を行い、5 人槽浄化槽にお

いて、リン除去装置への通電（158 kWh/年）、鉄板供給 24kg/年、鉄廃棄処分 6kg/年が追加的に必要となる一方で、簡易な維持管理で高度なリン除去が達成可能であり、かつ分散型処理地域におけるリン資源の循環を面的・効果的に進め得ることから、本技術の導入は費用対効果として高いものと考えられた。また、物質収支解析により、家庭から排出されたリンの 9 割程度がリン酸鉄等として浄化槽内に貯留され、汚泥とともに引き抜くことにより、新たな追加システムを要せずにリンを収集可能であること、汚泥からのリン溶出技術を最適化することにより、高効率にリンを回収可能であること等の回収ポテンシャルを明確にした。さらに、回収リンの利用者側から見た要求品質の主要な検査項目について調査を進め、回収リンの形態および共存物質の影響について検討を継続している。

サブテーマ(2)

- ① 「地域循環圏」の設計・構築の事例研究として、湿潤系と乾燥系のバイオマス各々について実施した。前者に関しては、茨城県における食品廃棄物の発生量と飼料の受入可能量とのバランスを分析し、各市町村がどの循環技術に適しているかを分類することができた。後者については、関東圏における廃材・残材の排出量と存施設の処理可能量とのバランスを分析し、各都県での実現可能性を示すことができた。また、地域循環圏の効率向上策として、本中核プロジェクトで開発中の循環技術を組み合わせた効率的システムも提案し、基礎的な物質・エネルギーの投入・産出データの収集・整理をほぼ完了した。

(4) 中核研究プロジェクト4：国際資源循環を支える適正管理ネットワークと技術システムの構築

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① アジア地域における廃棄物の物質フローデータの充実と処理技術の類型化、有害物質や温室効果ガスの環境排出調査、環境負荷低減方策の検討によって、総合的な解析と評価や排出低減策につなげる。

サブテーマ(1)：アジア地域における資源循環システムの解析と評価手法開発による適正管理ネットワークの設計・評価

- ① アジア地域における E-waste などの物質フローデータの充実と処理技術の類型化、環境負荷低減方策の検討によって、国際資源循環に関する総合的な解析と評価につなげる。

サブテーマ(2)：アジア諸国における資源循環過程での環境影響把握

- ① アジア途上国における E-waste の循環・廃棄過程における作業環境曝露、環境排出を調査し、曝露、排出を低減するための対応策の検討につなげる。

サブテーマ(3-1)：途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価（固形物）

- ① アジアの都市における廃棄物の組成ごとのフローを捉える手法を提示する。また、埋立地からの温室効果ガス排出係数を求めるとともに、排出源分別や準好気性埋立等の削減対策の導入因子や制御因子を明らかにする。

サブテーマ(3-2)：途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価（液状物）

- ① アジア途上国における汚水処理の現状調査を進めるとともに、処理技術の制約条件を整理し、現地適合理化のための基盤を構築する。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア 国際共同研究によってアジア各国内における E-waste のリユース・リサイクルの実態を調査した結果、E-waste のリサイクルがインフォーマルセクタに多く依存されていることや、製錬技術を伴うフォーマルセクタが現れつつあることを把握した。また、ベトナム及びフィリピンの複数のリサイクル現場において、有害物質の発生原単位的な情報取得のために作業環境試料を採取するなど、人へのハザードレベルを解明するための調査を実施した。途上国の E-waste 管理制度設計に向けて、インフォーマルセクタのフォーマル化などの必要性を指摘した。
- ① イ 日本から輸出される金属スクラップについては、国内で回収システム未整備の家電等が多数混入していることなどを示し、輸出規制を強化する必要性を指摘した。金属スクラップの国内火災現場で収集した廃家電製品等から塩素化ダイオキシン類が検出された。
- ① ウ アジア諸国における廃棄物対策シナリオ設定に向けて、中間処理の導入途上にある近年の欧州諸国をレビューした結果、都市ごみのストリームでは、まず生物処理が導入され、同処理率が 4 割程度に達すると焼却処理が導入され始めるというパターンを示した。
- ① エ 東南アジアの埋立地では、Boring Bar-Chamber 法により実測した嫌気性分解率 (MCF) が準好気性埋立構造を反映しているものと考えられた。同法で実測した覆土のメタン酸化率 (OX) はメタン放出量の大きさに依存して設定すべきであることが示された。タイに設置したライシメータでは実験開始後 5 ヶ月目で pH が中性付近で安定し、生物分解がメタン発酵期に移行した。12 月にタイの埋立地におけるテストセルが竣工し、実証施設によるモニタリングの段階に達した。また、途上国埋立地を模した大型埋立地シミュレーターの浸出水中臭素系難燃剤を経時的に分析した結果、埋立槽内部への送風がこれら有害物質の流出量を削減する効果があることが示唆された。
- ① オ 液状廃棄物については、地域特性に応じた汚水処理のための小規模分散型の人工湿地システム、浄化槽、傾斜土槽法等の温度条件、負荷条件等に対する処理機能解析を実施し、地域の差、人口密度・気候条件・経済発展レベル等の要因と技術の適合性に大きな差があることを明らかにした。また、様々な処理技術の制約条件の調査を進め、管理主体、対象排水、地理的制限、文化・宗教的制限等の制約条件の中で適切な処理技術を選択するための基盤を構築できた。
- ① カ 以上について、ワークショップの開催や国際研究協力の実施により研究者ネットワークの構築に努めるとともに、関連する各種行政支援も行った。

サブテーマ (1)

- ① ア アジアの途上国の研究機関と国際共同研究によって、各国内における E-waste のリユース・リサイクルの実態を調査した結果、中国では Guiyu 鎮をケーススタディとして従来の手解体に加えて銅製錬と貴金属回収プロセスが導入されたこと、フィリピンでは多くはインフォーマルセクタでリユース・リサイクルされていること、ベトナムでは金属回収プロセスの多くを中国に依存していることを把握した。リサイクルの国際分業も視野に含めて、使用済み製品等のリサイクル・有害物質管理のための最適プロセスの選定手法開発を検討し、回収困難な金属の事前選別の有効性を指摘した。
- ① イ 日本から輸出される金属スクラップについては、サンプル調査を通じて、国内で回収システム未整備の家電等が多数混入していること、ブラウン管テレビや冷媒フロンが含まれていることなどを示した。有害物質管理や火災防止のために、輸出規制を強化する必要性を指摘した。

- ① ウ 途上国の E-waste 管理制度設計に向けて、インフォーマルセクタのフォーマル化などの必要性を指摘した。
- ① エ 以上の E-waste に関する成果は、国内外の専門家を招いて 12 月に開催した第 6 回国立環境研究所 E-waste ワークショップにおいて議論するなかからも得られた。

サブテーマ(2)

- ① ア 途上国での不適正リサイクルにおける各種環境汚染物質の排出挙動を把握するために、国内での各種模擬実験や海外での現地調査を実施した。国内においては、基板や E-waste の筐体の燃焼実験を行い、非制御燃焼条件下では PBDEs 等の排出が制御燃焼に比べ大幅に増加することや、臭素系難燃剤 (BFR) およびダイオキシン類の排出挙動を定量的に把握した。途上国埋立地を模した大型埋立地シミュレーターの浸出水中臭素系難燃剤を経時的に分析した結果、埋立槽内部を好氣的条件に維持した場合、嫌氣的条件下よりも各難燃剤の溶出量が少なくなる傾向が認められ、埋立槽内部への送風がこれら有害物質の流出量を削減する効果があることが示唆された。国内で発生した金属スクラップ火災現場で収集した廃家電製品等を化学分析に供試し、全ての試料から塩素化ダイオキシン類が検出されるなどダイオキシン類の発生特性を把握した。
- ① イ また、ベトナム及びフィリピンの処理工程の異なる複数のリサイクル現場において、有害物質の発生原単位的な情報取得のために作業環境試料を採取するなど、人へのハザードレベルを解明するための情報を取得した。

サブテーマ(3-1)

- ① ア アジア諸国における廃棄物対策シナリオ設定に向けて、中間処理の導入途上にある近年の欧州諸国をレビューした結果、都市ごみのストリームでは、まず生物処理が導入され、同処理率が 4 割程度に達すると焼却処理が導入され始めるというパターンを示した。
- ① イ 東南アジアの埋立地で Boring Bar-Chamber 法により実測した好気性分解補正係数 (MCF) は約 1.0 であったが、国内の埋立地では 0.7 程度の小さい値を示しており、準好気性埋立構造を反映しているものと考えられた。同法で実測した覆土のメタン酸化係数 (OX) はメタン放出量が多い東南アジアでは 0.1~0.4 であったが、メタン放出量が少ない国内では 0.9 程度の埋立地もあり、メタン放出量の大きさに依存して設定すべきであることが示された。タイに設置したライシメータでは実験開始後 5 ヶ月目で pH が中性付近で安定し、生物分解がメタン発酵期に移行した。12 月にタイの埋立地におけるテストセルが竣工し、実証施設によるモニタリングの段階に達した。

サブテーマ(3-2)

- ① ア 地域特性に応じた汚水処理のための小規模分散型の人工湿地システム、浄化槽、傾斜土槽法等の温度条件、負荷条件等に対する処理機能解析を実施し、地域の差、人口密度・気候条件・経済発展レベル等の要因と技術の適合性に大きな差があることを明らかにした。今後の継続調査解析について、中国農村汚水処理技術北方センターとの連携強化を図った。
- ① イ また、様々な処理技術の制約条件の調査を進め、管理主体、対象排水、地理的制限、文化・宗教的制限等の制約条件の中で適切な処理技術を選択するための基盤を構築できた。

(5) 関連研究プロジェクト*

平成21年度の研究成果目標

関連PJ2：循環型社会実現に資する経済的手法、制度的手法に関する研究

- ① 家計調査によって構築したデータベースと理論モデルに基づいて、パラメータを推計し、家計のごみ排出モデルおよびリサイクルモデルを開発・分析し、その有効性を検証する。

関連PJ3：特定地域における産業間連携・地域資源活用によるエネルギー・資源の有効利用の実証

- ① 地理情報システムを活用した地域の循環代謝の空間情報データベースを開発し、多層的な循環圏形成の拡大シナリオを評価するガイドラインシステムを構築する。

関連PJ4：資源作物由来液状廃棄物のコベネフィット型処理システムの開発

- ① 資源作物（サトウキビ等）由来液状廃棄物（廃液）の適正処理法の開発を行い、コベネフィット型処理技術の確立を目指す。

*関連PJ1は平成20年度で終了。

平成21年度の研究成果

関連PJ2

- ① 家計調査によって構築したデータベースを用いて、家計のごみ排出モデルのパラメータを推計し、各種政策変数とごみ排出行動（ごみ排出量）との関係を分析し、以下の結果を得た。
 - (1) ごみ排出の価格弾力性（ごみ処理手数料の1%の引き上げがごみ排出量に与える影響）は-0.208であった。すなわち、手数料の1%の引き上げは、ごみ排出量を0.2%削減する効果を持つ。このため、たとえば、ごみ処理手数料（ごみ袋の価格）が40円の自治体で、ごみ排出量を20%削減したい場合には、手数料を40円から80円に引き上げる必要がある。
 - (2) 資源ごみ回収品目数を増やすことによって、ごみ排出の価格弾力性は大きくなり（1品目増やすことで、0.04増加する）、ごみ削減効果は大きくなる
 - (3) 紙類ごみ収集の収集頻度を引き上げることによって、ごみ処理手数料のごみ削減効果は大きくなる。（価格弾力性を0.024引き上げる）
 - (4) 小さい袋（15リットル以下）の設定は、ごみ処理手数料のごみ削減効果を引き上げる。

関連PJ3

- ① 物質代謝の空間情報を関係主体間で共有する地理情報データベースを構築し、循環圏形成の中核となる転換技術の代謝プロセスモデルと、輸送プロセスを含む循環チェーンとLCAを用いて評価するグリッドシステム構築した。また、拠点整備事業から統合的都市・産業政策など多様な代替的施策を設計・評価する基本フレームを構築した。

関連PJ4

- ① 高濃度有機性廃液の処理に対応可能なラボスケールメタン発酵処理システムを独自に設計・作製し、糖蜜系廃液の処理試験（国内：糖蜜廃液、タイ：バイオエタノール蒸留廃液）を開始した。現時点で、有機物負荷10 kgCOD/m³/dayの条件下で有機物除去率90%以上の安定した処理性能を発揮している。また、提案処理技術により処理を行った廃液を、サトウキビ栽培のための液肥（灌漑用水）としての利用する際の影響評価（サトウキビの生育、温室効果ガスの発生等）をタイの精糖企業と連携して開始した。

(6) 廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究（その他の活動）

平成21年度の研究成果目標

- ① 廃棄物の適正管理に関し、国・地方自治体等が実施する政策・対策現場に必要な知見や改善案を提供し、社会への安全・安心を確保するため、埋立廃棄物識別・選択技術、熱的処理技術、および最終処分技術等の廃棄物処理・処分技術やシステムの開発・評価を行う。
- ② 循環資源・廃棄物を対象として、有害物質の挙動把握、簡易測定技術の最適化、処理プロセスからの事故の未然防止等の各種目的に応じた試験分析方法の整理、開発を進め、標準規格化、包括的な適用プログラムとして、試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化を図る。
- ③ 有機性廃棄物の適正処理技術および廃棄物処理全体を捉えた効率的な処理・資源化システムを確立するため、し尿、生活雑排水、生ごみ、汚泥等の高度処理化・資源化のための技術開発およびシステム構築を行い、地域特性に応じた環境低負荷・資源循環技術システムによる液状廃棄物の適正管理手法の構築を図る。
- ④ 廃棄物の不適正管理に伴う環境汚染の修復事業を支援するため、廃 PCB 処理技術、同事業のフォローアップ、無許可輸入された PCN の処理に係るフォローアップ、POPs や埋設農薬の適正処理および管理方策の調査を実施するとともに、不適正処分場や不法投棄による堆積廃棄物に対して、社会的な影響の大きい火災問題に着目して、出火メカニズムならびに防止対策のプロトコルを提案する。

平成21年度の研究成果

- ① 新埋立類型への埋立後の安定化挙動を予測するため、現場と同等の熱環境を再現する室内カラム試験装置を開発した。覆土中の埋立地ガスの挙動を再現する数値埋立モデルのモジュールを開発し、閉鎖型チャンバー内のフラックス測定誤差を評価した。破碎選別施設を経由する産業廃棄物の地域物流を費用の空間分布より表現するモデルの再現性の検証を進めた。RO 膜を用いた浸出水処理の現場実験では所定の条件下で原水ホウ素濃度 30 mg/L の約 80% が除去可能であった。海面最終処分場の集排水設備の能力と保有水水質への影響を数値解析し、適正な埋立と集排水設備によって数十年以内に廃止基準を満足できる可能性を示した。従来型焼却施設とガス化溶融施設についての詳細調査から発電・熱利用指標等の施設特性の分類に適用可能な指標を抽出した。ガス化溶融式焼却施設における排ガスとばいじん中 DXNs および OXs の測定から、燃焼条件の変化が各種濃度に及ぼす影響、複数の OXs 測定法の特性を評価した。
- ② 所内ロータリーキルン実験炉を用いた PFOS 及び PFOA を含有する RDF 試料の燃焼試験において、双方の物質で 99.999% を超えるシステム分解率が得られ、最終排ガスではフッ素は検出されず、制御燃焼下で適切に処理が行えることが分かった。廃棄物中のダイオキシン類や PCB の簡易測定法の公定法化に貢献し、環境省による技術評価マニュアル策定や PCB の生化学的分析法の JIS 通則成立に深く関与した。迅速法としてのカートリッジ濃縮/ボルタンメトリーを一般廃棄物溶融スラグ等の再生材の Pb の現場での溶出試験及び含有試験の現場分析に適用したところ、感度、正確度、再現性についてニーズを満たした。蛍光 X 線分析で廃棄物試料約 200 点を対象に元素データベースを作成した。ICP-MS による含有量データとの比較を行い、多くの元素で両方法の測定値の比の値が 1/2~2 の範囲に収まることが分かった。
- ③ 生ごみディスポーザ排水を生活排水と併せて処理するベンチスケール試験により、小規模浄化槽における生ごみの可溶化・資化特性、汚泥発生量および有機炭素成分の貯留期間に応じた変化を解析し、現行法で定められた年 1 回の汚泥清掃頻度においては通常の浄化槽と質的な差が見られず、同等に扱うことが可能であることを明らかにした。汚泥減量化については遠心振動ミル破碎法等の技術開発・評価を行い、汚泥減量化と同時に、破碎ビーズ（鋼球）から鉄が供給されることにより、82% の良好なリン除去性能が得られるという排水処理性能の高度化を付加する技術基盤を構築した。なお、除去されたリンはリ

ン酸鉄の形態で汚泥に蓄積しているものと考えられ、別途、中核PJで推進しているリン資源回収技術との連携によって回収・資源化が可能であると考えられる。また、低炭素社会におけるインフラ構築を進めるため、実規模の浄化槽をバイオエコ施設において稼働し、温室効果ガス排出量の算定・削減のための研究環境を整えたところであり、同時並行的に、污水处理装置のライフサイクルにおける温室効果ガス排出量の精緻化を進めた。さらに、実現場の浄化槽における温室効果ガス排出量の調査を進めており、本年報告のインベントリへの貢献がなされる見込みである。これらの液状廃棄物適正処理・温暖化対策については、所期の目標を概ね達成することができた。

- ④ 廃電気機器絶縁油の低濃度 PCB 測定法について簡易定量法と迅速判定法を評価し、簡易定量法については環境省のマニュアル制定に活用された。PCN 含有ゴムや製造施設の除染で発生した汚染物の焼却処理に関して、処理方法について助言を行った他、排ガス等のモニタリングを行い、PCN が完全に分解したこと、周辺環境に汚染がないことを確認した。建設解体系廃棄物と木くずの堆積現場で、前年度よりモニタリングしている温度プロファイルモニタリングは消防庁の方で認識されているものと同様に、地表面からの深さ 2 m 前後が最も高い温度を示した。また、鎮火へと移行するときは、深さ 3 m 以深の温度が変化せず、地表面より温度が減少した。

(7) 基盤的な調査・研究活動：資源循環・廃棄物管理研究

平成 21 年度の研究成果目標

① 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究：

無害化処理における各媒体、処理過程に適用可能な電子顕微鏡と光学顕微鏡を併用した分析法を検討する。建材や廃棄物等の固体試料中の石綿測定法に関して、偏光顕微鏡と位相差顕微鏡を併用した測定法を検討する。分析精度管理に関して、クロスチェックを実施する。廃棄物処理・再資源化施設において、石綿飛散実態調査を行う。

② 資源循環に係る基盤的技術の開発：

- ・廃棄物資源化技術動向の調査に関しては、内外から数十件情報として収集し、技術の特徴と性能、実廃棄物への適用性、生成物の特質等に対する評価を行う。シンポジウムの開催によって、やや異なる分野との連携における課題等を明らかにする。
- ・電磁波を利用した資源化技術において高周波誘導加熱による樹脂材料、金属素材の分離特性等を明確にする。炭化技術に関しては、とくにタール成分の種類や質的な特徴を明らかにする。

その他の主な課題：

1) 臭素系難燃剤等の物性の測定・推定手法

前年度に製作した蒸気圧装置（気体流動法）を用いて、芳香族リン酸エステル難燃剤の蒸気圧の測定を試み、安定したデータが得るために試料の調整法を改善する。また、得られたデータから蒸発のエントルピーを求める。

2) リデュース・リユースの分析・評価手法の体系化とその適用研究

3R研究の体系化を目指し、英国の関連分野の調査研究の情報を整理する。テレビ、冷蔵庫、エアコンの製品データ・使用時間データを収集・整理し、prescriptive LCA 手法をこれら製品の買替判断に適用する。

3) 国際サプライチェーンを含む生産消費システムを対象とした環境負荷分析の理論と実践

設計した産業連関モデルを用いた CO₂ 排出量に関する事例研究を行い、モデルの特性とカーボンフットプリント算定への利用における有効性を確認する。また、CO₂ 以外の温室効果ガス、エネルギー資源、レアメタル資源への分析に向けたデータ整備を行う。

平成21年度の研究成果

① 廃棄アスベストのリスク管理に関する研究：

主に排ガスの電子顕微鏡分析の検討を進め、SEM において一定面積内の繊維計数が可能となる試料台を製作し、破碎排ガス集塵ダストの分析に適用した。固体試料中のアスベストの測定法として、酸処理による濃縮と PLM によるポイントカウント法を組み合わせ、0.1%レベルのアスベストを定量できる方法を考案した。分析精度管理に関し、PCM 法のクロスチェックを進め、アモサイト試料で良好な結果を得た。また、TEM 法及び SEM 法についてもアスベスト標準や集塵ダストを共通試料としてクロスチェックを行った。廃棄物処理施設における石綿飛散状況調査を実施し、TEM 法による分析で破碎排ガス集塵ダストや破碎残渣からアスベストを検出した。

② 資源循環に係る基盤的技術の開発：

ア 内外の資源化技術を調査して情報を集積した。とくに調査対象として廃棄物処理・資源化技術に加え、異業種企業によるエンジニアリング開発の動向等に関する情報を、ヒアリングを併用して収集した。実施シンポジウムにおいては、環境技術に関する共通の理解を踏まえて、ヒートポンプによる熱有効利用技術、排ガス排熱利用型の水再生技術、太陽光発電とそのシステムにおける系統連携、燃料電池自動車の進展における材料開発の必要性などが示され、異分野間で連携を図ることの重要性が確認されたとともに、連携を実施する上での課題等を抽出した。

イ 電磁波利用の資源化技術において、アルミ被覆樹脂フィルムを対象として高周波誘導加熱実験を行った結果、金属・樹脂接合面が明らかに劣化し容易に剥離できる状態になることを確認した。また、樹脂フィルム自体の熱分解はそれほど進行しないことから、エネルギーリサイクルへの適用が十分可能であると推定された。

ウ 炭化技術に関しては、生成タール成分の定性的解析から、炭化温度が高くなることに応じて多環芳香族成分が主な構成成分になることを明らかにした。

その他の主な課題：

1) 臭素系難燃剤等の物性の測定・推定手法

前年度に製作した気体流動法をベースとした蒸気圧測定装置を用いて、芳香族リン酸エステル難燃剤の蒸気圧の測定を試みた。前年度の試料調製法では、再現性の良い蒸気圧データが得られないことがわかったため、その原因を温度上昇に伴うガラス表面の不均一化と予想し、不均一化を防ぐために、試料調製において表面を疎水処理したガラスを用いた。その結果、再現性の良い蒸気圧データを取得することが可能となった。この方法を用いて、芳香族リン酸エステルであるトリフェニルホスフェートと縮合型であるレゾルシノールビス-ジキシレニルホスフェートの蒸気圧を測定した。両者のデータを比較すると、縮合型の蒸気圧は約4桁小さくなることがわかった。また、実験データと Clausius-Clapeyron の式からそれぞれの蒸発のエンタルピーを明らかにした。

2) リデュース・リユースの分析・評価手法の体系化とその適用研究

英国の waste prevention 調査研究の情報を整理したところ、意識・行動研究の他、発生抑制ポテンシャルや実施可能性を定量化する研究が重要になってくると考えられた。

省エネ家電製品の買替研究については、あまり使わないテレビとエアコンについては使用時のエネルギー消費削減効果よりも製造時等のエネルギー消費の影響がより強く現れるため、使用時の省エネが進んでも買替すべきでない条件があることを確認した。

3) 国際サプライチェーンを含む生産消費システムを対象とした環境負荷分析の理論と実践

2000年産業連関表を基にしたGLIOモデルを用いて部門別の内包型CO₂排出原単位 (t-CO₂/百万円) (原単位) を国産品の400部門について算定した。GLIOによる原単位は、商品*i*の単位生産あたり全世界で排出される総CO₂排出量を示し、排出構造の分析により誘発量の国別内訳を知ることができる。本年度は、家計消費需要の大きい食料品および日用品関連部門について、各部門の誘発CO₂量の世界分布をGIS上に明示した。また、国内外のカーボンフットプリント制度の進展を鑑み、カーボンフットプリント算定ルール作りにおけるGLIOモデルの活用方法を提示した。具体的には、①輸入財に国産品データを適用する妥当性の判断、②詳細にデータ収集すべきプロセス投入物の選定の判断、③カットオフの妥当性の判断において論理的な判定基準を与える方法論を示した。一方、GLIOによる資源分析にむけて、ベースメタル(鉄、銅、アルミ、鉛、亜鉛)およびレアメタル(ネオジウム、プラチナ、コバルト)を対象としたデータ整備を開始した。

(8) 知的研究基盤の整備事業：資源循環・廃棄物処理に関するデータベース等の作成

平成21年度の研究成果目標

前年度までのデータ整備を引き続き実施する。とくに、平成17年産業連関表対応環境負荷DB、一般廃棄物実態調査アーカイブDB、建設系再生製品の環境安全性DB、製品・ストックの使用年数DBの構築を今年度の優先事項として実施し、順次公開する。

平成21年度の研究成果

平成17年産業連関表対応環境負荷DBならびに製品・ストックの使用年数DBは、データの収集等を行ってwebにDBを公開した。建設系再生製品の環境安全性DBは、燃え殻、鉱滓、污泥等190サンプルの排出業種、熱灼減量、公定溶出試験等のデータを収集・整備して、カラーチャート・レーダーチャート機能を有するデータベースを構築した。一般廃棄物DBは昭和46年以降の都道府県レベルのデータ整備を完了させた。日本の資源投入時系列DBにおいては資源・素材・製品109区分についてデータ収集を進め、食品廃棄物DBにおいては食品残渣の排出量や発生量原単位、組成等のデータを整備した。

2.5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	6	11				17
(平成22年4月)	35	65				100%

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)

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.4点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

循環型社会の構築に向けた多岐にわたる研究や一般に向けた情報提供を積極的に進めており、期待以上の成果が上がっている。また、各研究が循環型社会研究というプログラムの下に着実に実施されていて、国環

研として行うべき研究についての考察・体系化もなされている点は高く評価できる。

一方で、全体としてのコンセプトに切れ味の鋭い、骨太の日本をリードする勢いが見られない。

[今後への期待・要望]

資源循環は最低目標として不可欠であるが、現状のフロー分析とともに供給量（資源、既存量）の把握により、枯渇資源を明らかにすることが期待される。資源価格や廃棄物処理価格も無視することはできないので、これら価格のトレンドなどについてデータベース化されることを期待している。我が国の将来の資源需要に対して、廃棄物の利用と管理を含めた資源循環によってどのように対応することができるかの統計データを整備することを期待している。

ローカルな対応や国際対応については現実を見据えた具体的な対応策を、また、アジア諸国それぞれの事情に応じた国際的資源循環と廃棄物処理・技術に関してはより具体的な提言を提示することが必要である。

なお、循環型社会の構築は環境問題の中でも重要な課題の一つであり、環境省のシンクタンクとしての役割を担うべく、今後も努力していただきたい。

（３）対処方針

循環型社会の構築のために体系的に実施してきた研究の成果や情報提供について高い評価を受けており、引き続き、環境行政のシンクタンクとしての役割を担うべきことを強く意識して調査研究に取り組む。また、資源需給など、従来の環境行政の枠にとどまらない課題についても期待を寄せられており、資源循環についての情報整備を拡充するとともに、これまでの国際機関の活動への貢献や学術的成果などを踏まえ、次期中期計画に向けて、より広い視野からの循環型社会の構築のための研究についても強化していきたい。出口として、国内、アジア諸国の双方の地域の実情にあった具体的対策につながることをより強く意識して、今期の成果の取りまとめ、次期計画の立案に取り組む。

3. 環境リスク研究プログラム

3.1 研究の概要

化学物質の地域から地球までの空間規模を網羅する階層的 GIS モデルとして、POPs や水銀の地球規模モデル、日本全国の地域規模 GIS モデル、農薬類の時間変動を有する排出推定手法と流域規模モデルを完成した。化審法や水環境基準の予備検討などいくつかの政策課題や国際協調を通じた多くの場面で活用される成果となった。トルエンをVOCのモデル化合物として免疫過敏を引き起こす素因を検討し、病原体を感知するトール様受容体が高感受性を決める遺伝的素因の一つであり、免疫系と神経系に連携した過敏反応に関与していることを初めて示した。また、脳の性分化や骨形成・代謝の研究など、発達段階と臨界期の関係およびそのメカニズム解明を大きく前進させることができた。ディーゼルエンジンから排出するナノ粒子の挙動と成分を明らかにし、ナノ粒子を曝露した実験動物における肺の炎症、酸化ストレス、心血管系への影響を解明しつつある。また、細胞毒性が極めて高いカーボンナノチューブについて、その細胞障害性と細胞膜との反応性を明らかにした。野外調査に基づき生物多様性の減少や初期生活史の減耗要因を解明するとともに、多数のため池を有するモデル流域において生物多様性統合指標を開発した。群集レベルの形質の変化を予測するための形質動態モデルを作成し、生態系機能の評価法として提示した。また、外国産クワガタムシやセイヨウオオマルハナバチによる交雑リスクや寄生生物持ち込みリスクを明らかにし、カエルツボカビの起源がアジアにあることを明らかにした。さらに、既存知見を活用した新たな影響評価手法の開発やリスク評価に必要な知的基盤の整備をすすめ、化学物質の評価および侵入生物に関する実践的な課題に対応した。

3.2 研究期間

平成18～22年度

3.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	371	429	410	445		1,655
その他外部資金	608	472	542	523		2,145
総額	979	901	952	968		3,800

3.4 平成21年度研究成果の概要

(1) 中核研究プロジェクト1：化学物質曝露に関する複合的要因の総合解析による曝露評価

<p>平成21年度の研究成果目標</p> <p>全体：</p> <p>① 時空間変動を有する曝露評価のための動態モデル、排出推定および関連手法の開発と評価事例の提示を目指す。</p> <p>課題1：曝露評価のための地域規模および地域規模 GIS 詳細動態モデルの構築</p> <p>① 地域レベルからPOPs等の地球規模に至る階層的な動態把握と曝露解析のための手法をGISデータ基盤上において開発する。</p> <p>課題3：農薬類の時間変動を含む排出推定手法の確立と、関連する流域モデル開発の課題</p> <p>① 時期特異的な曝露に対する評価等特に着目すべき曝露評価手法と曝露に関連する社会的データ等を検</p>

討し、これらの総合解析による新たな曝露評価手法を開発する。

*課題2は当初の目標を達成したので平成20年度で終了。

平成21年度の研究成果

全体

- ① 多種多様な化学物質の環境経由の人と生態系への曝露評価の確立を目指し、化学物質の曝露に関する複合的な諸要因を総合的かつ効率的に考慮した環境中の動態を時空間スケールで階層化したモデルに基づく曝露評価手法を提案する。具体的には、中期計画に示す通り3つの研究成果目標に従い、本年度は主要目標を達成した課題2を除き、以下①と③の目標の課題1および3について検討を行った。

課題1

- ① ア：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

アウトプット

- ・ 流域、地域、地球の3つの空間規模を同様の構造でカバーする3階層GIS多媒体モデルの構築を行った。
- ・ 地球規模モデルについては、大気モデルとの統合による大気-多媒体結合モデルの開発を進め、まず多媒体モデル中の大気輸送をCMAQのプロセスで解析できるところまで達成した。
- ・ 地域規模モデルについては、主に除草剤のフィールド観測による検証を行い、課題3の排出推定の成果と合わせ、多くの農薬でモデル予測と実測値がオーダー内の一致となることを確認した。
- ・ 流域規模モデルについては下水道処理区域データの作成と水道取水点関連データ、およびデータ処理手法を整備した。

アウトカム

- ・ 流域規模モデルにおいて下水道あるいは上水取水点の抽出などより現実的な曝露推定を行う手法を提供することにより、空間分布を持つ曝露評価の応用性を高めることが出来る。
- ・ POPsあるいは水銀等についてアジア域の正確な長距離輸送の把握がUNEPあるいは種々の二国間協力の課題の中で求められており、これらに対し大気-多媒体統合モデルが貢献することが出来る。

- ① イ：小児の曝露ファクター、水生生物への移行など曝露評価を構成するサブモデルの研究

- ・ 小児特有の呼吸器経由の曝露特性として肺換気量の推定、また、水生生物への汚染物質の移行モデルを確立した。

課題3

- ③ ア：農薬および一般化学物質の排出推定手法の開発

アウトプット

- ・ 農薬類の週程度の時間分解能を持つ排出推定手法と予測モデルを構築し観測により検証し、生態リスク推定を示した。
- ・ 週程度の分解能で河川水中の農薬濃度の時間変動・空間分布の予測を可能とした。
- ・ 排出推定および流域規模モデルの検証のため、全国7か所の河川・流域で3カ月にわたる連続観測調査を行った。この検証を踏まえ、農薬類について、週程度の時間変動情報を含む排出推定手法がほぼ確立された。
- ・ 除草剤以外の一般化学物質の排出推定への拡張として、既存MuSEMに基づく推定ツールの開発を行った。

アウトカム

- ・ 除草剤の排出推定・モデルについては、観測値による検証を経て、排出推定の信頼性を向上させることで、より政策的な応用の可能性を広げた。

(2) 中核研究プロジェクト2：感受性要因に注目した化学物質の健康影響評価

平成21年度の研究成果目標

課題1：化学物質曝露により免疫過敏を誘導するメカニズムの研究

- ① トルエン曝露による免疫過敏の成立に関与する因子を同定する。

課題2：発達段階における化学物質に対する感受性期に関する研究

- ① 化学物質による脳形成における神経細胞の新生と移動、血管形成障害の発生メカニズムおよび用量反応関係を明らかにする。

課題3：感染要因と化学物質との複合的要因の影響評価に関する研究

- ① 化学物質曝露に対して鋭敏に反応する時期を同定し、感染関連因子と化学物質曝露との複合的影響を明らかにする。

平成21年度の研究成果

課題1

- ① 免疫過敏のメカニズム解析のため、病原体を感知するトル様受容体が欠損したミュータントマウスであるC3H/HeJと、正常のC3H/HeNマウスへのトルエン曝露の影響を肺における炎症反応を中心に解析し、炎症の誘導に関与するTNF- α 遺伝子の発現抑制、炎症を抑えるTGF- β やIL-10 遺伝子の発現増強がHeNマウスで見られた。一方、HeJマウスでは、そのような炎症にかかわる遺伝子の変化はみられず、肺における炎症の制御にもトル様受容体遺伝子の関与が示唆された。DNAマイクロアレイによる変動遺伝子については、解析中である。

課題2

- ① ア 発達個体のSDN-POAにおけるアポトーシスに対するトルエン曝露の影響検証に加えて、発達神経毒性が知られる亜ヒ酸ナトリウムの影響についても検討した。生後6日目の雄仔ラットに亜ヒ酸ナトリウム(0, 0.1, 1 mg/kg BW)を皮下投与し、生後7日目のSDN-POAにおけるアポトーシス細胞数を計測した。その結果、亜ヒ酸ナトリウムを投与したラットのSDN-POAにおけるアポトーシス細胞数は用量依存的に増加した。このことから、発達期における脳内のアポトーシス細胞の検出は、化学物質の発達神経毒性の評価指標として有効であると考えられた。
- ① イ ラット多動性障害の臨界期の同定では、ロテノンの曝露時期を従来の生後5日齢の他に、生後6日、2週齢、3週齢でロテノンを曝露することにより、ラット多動性障害を惹起する臨界期の存在が示された。ドーパミン神経疾患の分子機構の解明では、DNAアレイ法による遺伝子発現変動の解析により、多動性障害モデルではTNF- α とIL-6を中心したパスウェイが予想された。
- ① ウ 脳血管に関する研究では、血管形成・新生阻害作用のあることが知られているサリドマイド、フマガリンを陽性対照として、ペルメトリンの血管形成及び行動に対する影響と臨界期について検討した。その結果、胎生5、10及び15日目投与のうち、陽性対照のサリドマイド及び被験物質であるペルメトリ

ンとも、胎生5日雄において、異常分枝の発生が有意に高く、臨界期であることが示唆された。

課題3

- ① ア 自然免疫における発達期影響：マウス乳仔期でのトルエン吸入曝露（50 ppm；6h/日，5日間）とPGN 刺激（腹腔内投与）によるマウス自然免疫系への影響について検討した。その結果、自然抗体については、3週齢時において総IgG1 および総IgG2a 抗体の産生レベルを高めた。PGN との併用はトルエンによって増加した総IgG2a のレベルを低減させた。3週齢時および6週齢時での肺および脾臓ホモジネート上清中の炎症に関わるCCL2, CCL3 などのケモカイン産生、感染抵抗に関わるIFN- γ 産生レベルは低値であり、トルエンやPGN 又は併用による影響はみられなかった。
- ① イ 上記の解析により、妊婦や子供の疾患患者等、高感受性集団に対する化学物質規制対策のあり方や方向性に提言を与える知見を得ることができた。また、アレルギー・免疫疾患の増悪要因とその回避に関する情報を広く国民に提供することが可能になる。

(3) 中核研究プロジェクト3：環境中におけるナノ粒子等の体内動態と健康影響評価

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 細胞を用いた in vitro 研究の継続と吸入実験によるナノ粒子の毒性評価を実施する。

課題1：環境ナノ粒子の生体影響に関する研究

- ① ディーゼル排気ガス中に含まれる環境ナノ粒子の慢性吸入影響実験を進める。

課題2：ナノマテリアルの健康リスク評価に関する研究

- ① カーボンナノチューブの吸入曝露装置を用いた in vivo 毒性研究を行う。

課題3：アスベストの呼吸器内動態と毒性に関する研究

- ① 加熱処理に伴うアスベストの形状変化と毒性との関係を調べる。

平成21年度の研究成果

全体

- ① 自動車排気ガス中に含まれる環境ナノ粒子に関しては、慢性吸入実験がほぼ終了し生体サンプルの処理、ならびに生体影響を把握するためのパラメータの測定に移行している。また、ナノマテリアルの安全性評価に関しては、吸入実験を進めてきているほか、トランスジェニックマウスも用いた実験に着手した。また、粒子の表面活性と毒性との関係について解析を進めた。

課題1

- ① これまでの研究で、ナノ粒子を多く含むディーゼル排気ガスの全成分曝露実験（DEP-NP， ナノ粒子を含む全粒子+ガス成分）と、除粒子の曝露実験（fDEP-NP）をラットやマウスなどの実験動物を使用して実施し、心電図解析及び心拍変動などの循環器系の生体指標、ならびに曝露後の気管支肺胞洗浄液や肺組織の生化学的変化について解析を行った。昨年度からは、慢性曝露実験に重点的に取り組んでいる。曝露チャンバー内のナノ粒子の個数濃度、重量濃度、粒径分布、ガス成分を含めた曝露空気質のモニタリングを行い、毒性の指標となる性状のキャラクタリゼーション、クオリティコントロールを継続した。

肺腺腫高発症マウス（A/J系）に、低濃度（30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、高濃度曝露群（100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）のナノ粒子を多く含むディーゼル排気ガスの全成分（DEP-NP, ナノ粒子を含む全粒子+ガス成分）、あるいは除粒子成分（fDEP-NP）の18ヶ月曝露を行った結果、高濃度全成分曝露群において肺腺腫発症の有意な上昇が認められた。急性心臓疾患マーカーの心筋型クレアチニンキナーゼは吸入曝露群すべてにおいて飼育室対照群に比べて増加傾向にあったが、各吸入曝露群間での差は認められなかった。今後、ディーゼル排ガス由来環境ナノ粒子に曝露したマウスにおいて、嗅脳や鼻腔も含めた病理組織変化や、炎症などに関与する遺伝子・蛋白の発現レベルの解析を順次行う予定である。

課題2

- ① 作業者の安全性も考慮して、ダブルシールドされたカーボンナノチューブの吸入曝露装置の作製を終了し、粒子の発生条件の検討およびその物理的、化学的キャラクタリゼーションを行った。サイクロンを振動させることにより、凝集しやすい繊維状のナノ粒子を分散させるとともに吸入性の粒子（空力学的径10ミクロン以下）のみを飛散させることが可能となったことから、カーボンナノチューブの鼻部吸入曝露実験を行った。現在、高感受性のNADPH オキシダーゼ欠損マウスを用いて曝露実験を継続中である。また、胸腔内にカーボンナノチューブを直接投与したマウスでは、一年後に胸膜肥厚や腫瘍発生などのアスベストに類似した影響が認められている。一方、細胞を用いた実験も進めており、これまでのマクロファージ系の細胞を用いた実験に加え、ヒト気管支上皮細胞である、BEAS-2B細胞を用いた細胞毒性影響と細胞内への繊維状粒子の取り込み過程に関する研究を進めている。細胞毒性に関しては、マクロファージや気管支上皮細胞ともに、アスベストよりも活性が高いことを認めている。また、カーボンナノチューブの細胞内取り込み量をハイスループットで定量的に測定する方法も確立した。一方、カーボンナノ粒子のマウス胸腔内投与実験群の解剖がほぼ終了し、現在解析を進めている途中である。

課題3

- ① これまでの研究において、アモサイトとトレモライト標準物の熱処理過程に伴う毒性変化はそれぞれ1100°C以上、1200°C以上の熱処理で、クロシドライトとその熱処理試料を用いた実験では、800°C熱処理により、*in vitro* 細胞障害性ならびに *in vivo* における炎症細胞の浸潤が顕著に減少することがわかった。クロシドライトやアモサイトのように鉄を含むアスベストについては、加熱処理の温度の上昇に伴い酸化鉄が遊離し、それに伴い毒性が低下しているものと考えられる。

(4) 中核研究プロジェクト4：生物多様性と生態系機能の視点に基づく環境影響評価手法の開発

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 生物多様性と生態系機能の視点に基づいた生態影響評価手法の開発、個別の事例で生態影響評価の完成度を高める。

課題1-1)：東京湾における底棲魚介類の個体群動態の解明と生態影響評価

- ① シャコやマコガレイの初期生活史に着目し、その減耗要因の影響評価を実施する。
- ② 底質の汚染状況を解明し、その潜在影響を調べる実験系を確立する。

課題1-2)：淡水生態系における環境リスク要因と生態系影響評価

- ① 豊かな里地・里山、多数のため池を有する兵庫県南西部をモデル流域として、ため池の生物多様性を減少させている要因を特定し、広域で適用可能な生物多様性評価手法を開発する。

課題 2：侵入種生態リスク評価手法の開発に関する研究

- ① 侵略的外来生物の侵入ルートおよび分布拡大プロセスの解明と分布拡大予測、非意図的外来生物における随伴移送ルートの解析と侵入生物持ち込みリスクの評価手法を検討、及びカエルツボカビなど侵略的野生生物感染症と宿主生物の共種分化解析とリスク評価方法の検討。

課題 3：数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発

- ① 形質ベースの生態系機能解析を長期モニタリングデータに適用し、生態系機能に基づく生態リスク評価が具体的な生態系で可能かどうかを調べる。理論的枠組みへのフィードバックをおこなう。

平成 21 年度の研究成果

全体

アウトプット

- ① ア 東京湾と兵庫県南西部のため池地域について、おのおの有用底棲魚介類個体群の再生産の阻害と生物多様性の減少をエンドポイントとして生態影響評価を実施した。マコガレイでは水温や貧酸素が主たるリスク因子と推定された。ため池の生物多様性の低下の主因は富栄養化、護岸率およびブルーギルの侵入であることが明らかにされた。
- ① イ 新興感染症のカエルツボカビについては分子系統遺伝学的手法によりアジア起源説を提示した。非意図的随伴種（アルゼンチンアリ、カワヒバリガイ）の防除手法のリスク評価を進めた。
- ① ウ 生態系機能の低下（例えば、物質循環効率など）をエンドポイントとした評価については、数理モデルの枠組みをモデル生態系にて検証し、既存の生物モニタリングデータを用いて評価した。
- ① エ 生物多様性評価のための統合指標を開発し、生態系機能に基づいた新しい環境影響評価手法の枠組みを提示した。

成果のアウトカムと活用

- ① ア 東京湾の研究成果は、底層 D0 の新たな環境基準としての設定において中央環境審議会での審議に活用されることが期待される。
- ① イ 外国産クワガタの交雑リスク評価をもって、環境省は外国産クワガタムシ逃亡防止のキャンペーンを展開し、一般への普及啓発に貢献した。セイヨウオオマルハナバチと在来種の交雑リスク評価をもって、環境省はセイヨウオオマルハナバチを外来生物法・特定外来生物に指定するとともに、防除事業に乗り出した。
- ① ウ 爬虫類・両生類・昆虫類など、現行法上、検疫規制のない生物群の輸入による病原体生物侵入のリスクを明らかとし、新しい検疫システムの必要性を提言した。特にカエルツボカビ症の侵入をいち早く検出し、PCR検査体制を構築したことにより、流通段階における感染状況の把握を可能とした。防除ネットワークを通じて、アジア地域初のカエルツボカビ症の侵入を確認し、緊急検査体制を構築した。
- ① エ ため池で開発した生物多様性統合評価手法は、今後、広域での評価手法の検討を経て、生物多様性条約にある淡水生態系の生物多様性総合評価に貢献できる。

課題 1-1)

- ① 東京湾におけるシャコ個体群の増殖阻害因子の解明

ア 2008 年の産卵量、幼生及び稚シャコ密度の時空間分布データを加えて解析した。2005 年 11 月以降の漁業者による自主休漁（親シャコの保護）と 2007 年の稚シャコ着底量の高水準に伴い、2008 年は産卵量が増加し、付随して幼生密度も近年になく高かったが、稚シャコの個体数密度が低かった。稚シャコの着底が貧酸素水塊により制限されるとみられ、特に 2008 年は 11 月中旬まで湾北部に貧酸素水塊が観測

されていたことから、貧酸素水塊が特に湾北部の稚シャコの着底量の多寡に影響した可能性が示唆された。

イ これまでの調査・解析結果と既往文献情報を用い、貧酸素水塊と幼生及び稚シャコの生残・分布をモデルシミュレーションで解析した。

① 東京湾におけるマコガレイ個体群の増殖阻害因子の解明

ア 産卵量、仔魚及び稚魚密度の時空間分布データ（2006年～2009年）を解析した結果、2007年及び2009年の仔魚密度の低さはふ化～浮遊仔魚出現期における底層水温の高さが同時期の生残に影響した可能性が示唆された。また、仔魚密度が高かった2008年は仔魚期から稚魚期に至る過程で2006年よりも生残率が低かったとみられ、餌生物のプランクトン密度が影響した可能性がある。稚魚の分布域は、夏期の貧酸素水塊の出現・拡大により湾南部に制限され、密度の低下もみられた。以上より、冬産卵のマコガレイには、冬期水温とプランクトン密度、夏期の貧酸素水塊の存在が当歳の加入量に影響する可能性が示唆された。

イ マコガレイの初期生活史解析のため、①仔魚の日輪査定バリデーションのための飼育実験、②仔魚期の生残と成長を推定する飼育実験、③着底稚魚の自然海域での成長を解析するためのケージ試験（2008年5月、横浜・野島地先）を実施した。①及び②から、仔魚では孵化後平均7日目から一定速度で日周輪が形成されること、また③から、稚魚では一日に一本の日周輪が形成されることが明らかとなった。東京湾調査で得られた仔魚の耳石による日間成長と食性を調べ、生活史初期における生残や成長、分布拡散について解析を進めている。

② 近年の東京湾における底質の汚染状況の解明

ア 北九州市立大学との共同研究として、2007年8月及び2008年8月に東京湾20定点調査で採取された表層底質試料を用いてGC/MSによる942種の化学物質、及びICP-MSによる重金属の分析結果を得た：

イ 東京湾底質では概して工業系化学物質は低濃度、生活由来物質が高濃度であり、工業系化学物質が優占する北九州市・洞海湾の表層底質とは対照的組成であった。一方、東京湾底質から検出された化学物質の総量は、洞海湾の約半分、有明海の表層底質試料の約2倍であった。

ウ 重金属濃度は、NOAA底質ガイドラインと比較して、総じて低水準であったが、水銀、亜鉛及びニッケルではERMを超える値が一部の試料から検出された。

② 貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験装置の開発

ア 貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験装置を改良し、マコガレイ1歳魚の貧酸素耐性（致死レベル）と3歳魚の性成熟に対する低酸素水のパルス曝露の影響を予備的に調べた。

課題 1-2)

① ため池の生物多様性評価手法の開発

ア 兵庫県のため池64池で実施していた野外調査データおよび収集した流域GISデータを用い、階層ベイズモデルによる定式化とパラメータ推定を行い、ため池全般に用いることができる生物多様性統合評価の手法を開発した。生物多様性の減少を引き起こす次の3つの異なるタイプの駆動因、1. 水質悪化、2. 生息地の改変、3 侵略的外来種、おのおのについて、複数のパラメータを想定し、どのパラメータが生物多様性の減少をよく説明するかを特定した。その結果、1. は夏季のクロロフィルa量、2. はため池の護岸率、3. はブルーギルの個体数となった。以上3つのパラメータを用いたため池の「生物多様性の豊かさ」を示す統合指標を提示した。

イ 次に、広域に点在する数多くのため池の生物多様性評価を実施するために、リモセンなどで測定可能な

環境因子から生物多様性を評価することが可能かどうかを検討した。その結果、夏のクロロフィル a 量と市街化率を用いるモデルが、夏のクロロフィル a 量、護岸率、ブルーギルの量を用いた先のベストモデルの 80%を説明することがわかった。そのため、今後は、流域DBで整備している兵庫県南西部の 6000 のため池で生物多様性評価を行ない、優先的に保全すべきため池とその周辺地域を特定する。

ウ 淡水生態系を対象に生物多様性統合評価指標を開発することで、全国に 20 万個あるため池を対象とした広域の生物多様性評価を可能にする道筋を明確にできた。

① ため池の生物多様性が生態系機能に与える効果（数理モデル）

ア ため池を対象とした数理モデル研究により、水生植物群落の多様性がアオコの抑制に効果的であり、淡水生態系の生態系機能を高める役割を担っている可能性を示した。本モデルの検証を兵庫県ため池の野外調査データを用いて行った結果、モデルと観測結果との間に整合性が確認された。

課題 2

① ア カエルツボカビ

- ・ 両生類の新興感染症カエルツボカビの起源を DNA マーカーによって追跡調査した。昨年度から引き続き、日本全国および海外（オーストラリア、北米）からカエルツボカビ菌を採集し、DNA 変異を調べた。その結果、日本国内からは全部で 50 の DNA タイプが検出された。
- ・ カエルツボカビ DNA 系統樹を構築した結果、日本国内のカエルツボカビの遺伝的多様性は海外産カエルツボカビのそれよりも圧倒的に高く、海外で発見されたカエルツボカビは A タイプと呼ばれる DNA タイプとそれに近縁なタイプしかないこと、系統的には日本のカエルツボカビ集団から海外のカエルツボカビ集団が派生していることが明らかとなった。
- ・ 日本国内のウシガエルの感染率が高いのに比して原産地である米国内での感染率は極めて低いことから、かつて食用として日本に輸入され養殖されたウシガエルが日本に輸出する過程で世界各地にカエルツボカビを広めたとする「カエルツボカビ・アジア起源説」という新説で、国際誌 *Molecular Ecology* に発表した。感染実験によってシリケンイモリ由来のカエルツボカビが外国産両生類に対して毒性を示すことを明らかにした。

① イ アルゼンチンアリ

- ・ 特定外来生物アルゼンチンアリの分布拡大実態を調べた結果、2008 年まで港湾都市部に発生が限られていたが、2009 年以降、岐阜県、静岡県、京都府などで内陸へ分布を拡大していることを確認した。
- ・ 岐阜県において防除事業を環境省・自治体と協力して開始し、防除手法の開発の一環として防除薬剤の生態リスク評価を実施した。
- ・ 欧米で確認されているスーパーコロニーの形成メカニズムを解明するために神戸港において側所的に生息する侵入コロニー間の遺伝的関係および個体群動態を調査した結果、繁殖虫の交尾時期に、隣接する異なるコロニー間で交雑が生じて遺伝子流動が起こることが示唆された。

① ウ カワヒバリガイ

- ・ 特定外来生物カワヒバリガイの関東水域における分布拡大プロセスを明らかにした。導水事業等による水路の拡張プロセスと、本種の発見記録、および遺伝子型の比較から、本種は水路が新しくできるところを利用して分布を拡大していることが判明した。
- ・ 本種は浮遊期に移動して付着する性質があるから、安定的に個体群が維持されるのは止水域であり、関東地方に分布するカワヒバリガイのソースは霞ヶ浦と断定された。河口近くの全面コンクリート張りの

利根川河口堰シンクとして機能してカワヒバリガイの大量付着を招き、取水口を塞ぐ等の被害をもたらしていると考えられた。

- ・ 防除手法として付着個体の除去と防汚剤による再付着の防止が検討され、防汚剤のリスク評価に着手した。
- ・ 動的計画法という数理的手法を用いて、被害のコストと管理のコストの和である全コストを最小化する最適管理努力量を求めた。最適管理努力量のパラメータ依存性を調べる事により、カワヒバリガイの幼生の分散能力が、最適管理を考える上で重要なパラメータである事が示唆された。

課題3

① 室内実験による検証

ア 数理モデルの予測を実験的に検証するために、藻類（クロレラ）－ミジンコ類－メダカから成る3栄養段階のアクアリウム生態系を作成した。ミジンコには、性質の異なる数種を用い、種組成を実験的に操作することで、種の機能形質と生態系の栄養転換効率の関係を解析できるようにした。操作実験の結果、体サイズが大きく遊泳速度が遅いため捕食耐性が低いカブトミジンコは、他の種と比較して、生態系機能を低める結果が得られた。

① 野外データへの適用

ア 霞ヶ浦の動物プランクトン群集の年次変動に対して、形質ベース解析を行い、生態系機能に対する環境要因の大きさを推定した。動物プランクトンの機能形質（7形質）について、種間平均値を夏と冬で集計したうえで時系列解析をおこなった。環境要因として水温と水質を同時に解析した。その結果、生態系機能を左右する動物プランクトン群集の生態効率は、夏に関しては1980年代末に減少してから、回復傾向にあること、冬の生態効率に関しては、過去20年間低下傾向が続いており、これらの変動に寄与する環境要因としては、夏は水温変動が主要であり、冬は水質の変化が水温変動と同等に重要であることなどが明らかになった。

イ 時系列形質変動データから、機能形質に作用した環境要因を推定するために、ウェーブレット回帰分析に形質動態モデルを組み込む解析方法を考案した。

ウ 生態系機能を視点とした評価手法の開発は、これまでほとんど研究されていない困難な分野でありながら、理論の構築と検証、適用まで進めることができた。

（5）関連研究プロジェクト：エピジェネティクス作用を包括したトキシコゲノミクスによる環境化学物質の影響評価法開発のための研究

平成21年度の研究成果目標

- ① ヒ素胎児期曝露によるDNAメチル化変化の網羅的解析及びエピジェネティクス作用・関連因子の検討

平成21年度の研究成果

- ① 胎児期のヒ素曝露によってオスの肝臓で後発的に発現変化する遺伝子が存在することが明らかとなり、発癌との関連を検討した。さらにヒ素による発癌に関連するDNAメチル化変化を明らかにするために、MeDIP-アレイ（Methylated DNA immune-precipitation-Microarray）法によるゲノムワイドな検索を行った。その結果、ヒ素の長期投与とDNAメチル化変化量、DNAメチル基転移酵素発現量、メチル基供与体量において、性差があることを明らかとなった。また雌雄のマウス肝臓で特異的なDNAメチル化変化に関してMeDIP-Seq（MeDIP-Next Generation Sequencing）法によるゲノムワイドな解析を行った。

(6) 基盤的な調査・研究活動

平成21年度の研究成果目標

- ① 化学物質リスク総合解析手法と基盤の開発
 - ア 化学物質環境調査等の測定データの蓄積とシステム構築
 - イ 同GIS表示システムの公開
- ② 化学物質の環境調査による曝露評価の高度化に関する研究
 - ア 曝露評価の高度化のために有効と期待できるバイオアッセイ法の構築
- ③ 生態影響試験法の開発及び動向把握
 - ア ミジンコ繁殖試験法改定案の検討
 - イ 簡易法の検討
- ④ 構造活性相関等による生態毒性予測手法の開発
 - ア 生態毒性の予測法を開発する。
 - イ スタンドアロン版とNet版との統合を進める
- ⑤ 発がん性評価と予測のための手法の開発
 - ア 化学物質の発がん性と体内変異原性の相関性の解析
- ⑥ インフォマティクス手法を活用した化学物質の影響評価と類型化手法の開発
 - ア ゲノム情報、化学物質の毒性情報、メカニズム分類、疾患情報等に基づく生体影響の類型化
- ⑦ 化学物質の環境リスク評価のための基盤整備
 - ア 化学物質情報の集積
 - イ リスクコミュニケーション手法の検討
- ⑧ 化学物質の定量的環境リスク評価と費用便益分析
 - ア 生態リスク解析法を考案する
 - イ アクアリウム実験生態系への曝露試験を実施する

平成21年度の研究成果

- ① ア これまでの成果、およびPJ1で開発・提供された排出シナリオツール等を導入し、排出推定支援ツールと可視化ツールおよびG-CIEMS等からなるツール群をスムーズに連携させるためのシステム・ツールの開発を行った。これらの結果は、例えば化学物質の特性データや排出シナリオから排出推定、地域配分、モデル推定と可視化など一連の作業が可能となった。
- ① イ 本ツール群により、G-CIEMSによるモデル予測の実行と結果の出力、人口など既存のメッシュデータをGISに関する特別な予備知識等がなくても地図上に描画することが可能となった。
- ② ア ダイオキシンと強い親和性を持つことで知られているアリルヒドロカーボン受容体(AhR)の導入酵母による迅速で簡便なバイオアッセイシステムを構築して、PCBの24化合物とその代謝産物として知られる水酸化PCBの84化合物について、AhRアゴニスト活性をスクリーニングしたところ、PCBの12化合物(50%)、水酸化PCBの52化合物(62%)から活性が検出され、水酸化PCBの中には、ダイオキシンに匹敵する強い活性を示す化合物も見出された。
- ② ア メダカ・エストロゲン受容体(medER)導入酵母アッセイによる環境調査において、河川水から特異な活性を示す未知の化学物質が検出され、排出源の工場排水から抽出を行い、TOFMSにより4-(3-phenylpropyl)phenolと同定した。合成をおこない、medER酵母アッセイを用いてエストロゲン活性を測定したところ、bisphenol Aに比べて約20倍強い活性を示す、新たな廃プラスチックの燃焼過程で生じる環境ホルモン活性物質であることを明らかにした。medER酵母アッセイ法の河川水等の環境暴

露モニタリングへの適用は、魚類など生態系生物への曝露及び影響評価の高度化につながる事が期待できる。

ア 催奇形性に関係するレチノイン酸受容体 (RAR) 導入酵母アッセイと甲状腺ホルモン受容体 (TR) 導入酵母アッセイの環境調査において、特異的な活性を示す化合物を河川水から検出した。

- ③ ア OECD テストガイドライン、オオミジンコ繁殖試験法の改訂提案について環境省が行ってきた同試験の結果を用いてその妥当性について検討した。全 277 試験中、53 試験で改訂提案と従来法で毒性値が異なる可能性があることから毒性値の見直しを行った。14 試験では毒性値が従来法よりも低く推定されたものの、2 試験では高くなった。この結果を改訂案提案国および OECD の専門家会合に示し、我国は改訂提案を受け入れられるが毒性値算出の手順をより明確にする必要があることを主張した。
- ③ イ 浜松フォトニクス (株) と共同で OECD テストガイドライン (藻類生長阻害試験) の簡易法を生物微弱発光技術を利用して開発を進めた。今年度は特に試験容器と冷凍保存藻類の適用性を検討した。
- ④ ア 新たな毒性データをもとに構造分類のルールの見直しと構造ドメインの判定フラグメントの再設計を行った。
- ④ ア 構造活性相関式の変量化に向けたシステムの再設計を実施し、細胞膜透過性を考慮に入れた QSAR 式を導入した。
- ④ イ Net 版と PC 版の統合を進め、化学物質の構造解析手法を独自に開発することより、他者に依存しない透明性のあるシステム化をほぼ達成した。
- ⑤ ア 様々な化学物質について、50%発がん率投与量 (TD50) と、遺伝子動物の体内変異原性 (総投与量/突然変異頻度の上昇) の間に高い正の相関性が認められ、体内変異原性から化学物質の発がん性が予測できる可能性が示されたと同時に、混合物の発がん性も予測できることが示唆された。さらに、遺伝子動物の体内で発生した突然変異について詳細な検討を進めることとし、化学物質を曝露したマウス肺 DNA 上の突然変異とヒト肺がん組織のがん抑制遺伝子・p53 遺伝子 DNA 上の突然変異の類似性を比較した。その結果、ベンゾ[a]ピレン (BaP) やディーゼル排気 (DE)・DE に含まれるニトロピレンを曝露したマウス肺で高頻度に突然変異が発生する塩基配列 (ホットスポット) と、ヒト肺がん組織の p53 遺伝子上のホットスポットがよく一致することを見出した。
- ⑥ ア 毒性遺伝子データ収集システム ChemToxGen、化学物質の類型化システム pCEC、マルチプロファイリング解析システム MuICEH 及び既存のダイオキシン応答遺伝子データベースを統合し、健康影響の情報提供と予測を目的とした統合システム HEALS (ヒールズ; Health Effects Alert System) の構築を行い、試験運用として、内部公開した。この HEALS を用いて、肝毒性を指標にした化学物質群について、遺伝子発現、病理毒性情報から類型化を行い、少ない情報による影響の予測解析を行った。
- ⑦ ア 環境省が行う化学物質の初期リスク評価事業などに参画し、政策目的で実施されるリスク評価、環境有害性評価に関する諸情報の蓄積、手法の検討を行った。また OECD-高生産量化学物質プログラム等に参加しつつ国際的な動向について把握に努めた。
- ⑦ イ 自然環境の保全にかかわるリスクコミュニケーション研究の調査のため、①日本全国の 20 代から 60 代の男女約 800 人ずつを対象に調査した結果、外来種の駆除など生物の保全・管理の意識に、年代間に大きなばらつきが認められた。②「池干し」は利水目的に加え、「じゃことり」という副次的利用をとめない継続されてきた歴史があり、このような楽しみの機会を提供した集落組織の変化が「池干し」廃

止の一因となったことが聞き取り調査でわかった。③ため池の農業価値と環境価値と保全行動の意思決定の関係を調べ、社会的要因を組み込んだ人々の意思決定過程のモデル化を行った。その結果、農業・環境の価値はどちらもため池保全行動に関連し、農業価値が低下しても環境価値を浸透させれば池干しが継続すると示唆された。この結果をふまえ、社会的要因の異なる市街地でのため池の保全事例について調査を継続することにした。

- ⑧ ア 野外から採集した試験生物（カブトミジンコ）の化学物質耐性値（急性毒性値）の個体群間変異を利用して環境中曝露濃度と生態リスクを推定する解析法を考案した。解析には、毒性試験で推定した曝露濃度と内的自然増加率の濃度-反応曲線と、クローンの耐性値と適応度減少分（耐性の遺伝的コスト）との回帰式に基づいて、進化生態学における適応度最大化法を適用した。各クローンの耐性の遺伝的コストは各クローンで実施した生命表データから推定した。その結果、周囲に汚染源の無いため池（茨城県潮来市大膳池）をレファレンス集団とした場合、霞ヶ浦における曝露濃度は約 15ppb、生態リスクは 24%と推定された。藻類（クロレラ）-ミジンコ（Cladocera 数種）-メダカから成るアクアリウム生態系を作成し、化学物質（メソミル）の曝露による生態系機能の反応を検定した。バイオマスが藻類から 1 次消費者であるミジンコ類を介してメダカに転換される栄養転換効率、化学物質曝露によって減少し、群集レベル生態リスク評価への可能性を示唆した。

（7）知的研究基盤の整備事業

平成 21 年度の研究成果目標

- ① 化学物質データベースの構築と提供
 - ア 化学物質に関する最新情報の収集とアップデートの継続
- ② 生態系評価・管理のための流域詳細情報の整備
 - ア リスク要因の解明と総合管理のための流域情報の利用
- ③ 侵入生物データベース管理

侵入生物に関する最新情報の収集とアップデートの継続、侵入生物研究の成果解説ページを充実、英語版ページの増設・国外情報発信力の強化、及び国内外研究機関との情報ネットワークの強化

平成 21 年度の研究成果

- ① ア 分析法データベース（EnvMethod）の更新を実施したうえで、化学物質データベースとの統合をはかった。
- ① ア 環境省全景表示システムなど他機関のデータベースとの連携を進めた。
- ① ア 最新情報の更新を実施した。情報の追加によるカテゴリーの見直しを実施した。
- ① ア 印刷機能の追加など機能のユーザの利便性の向上を図った。
- ② ア 中核プロジェクト 4 で調査した 64 のため池について、その開水域を抽出し衛星画像によるアオコ発生を評価するモデルを作成し、高い一致率を得た。
- ② ア 中核プロジェクト 4 で開発したため池の生物多様性統合指標の算出アルゴリズムを用いて、衛星画像や空中写真、土地利用などの広域で得られる情報のみを用いた広域生物多様性評価の妥当性について検討し、現地調査に基づいたベストモデルと高い一致率が得られた。
- ② ア WEBGIS サイトの構築を開始し、整備した空間データの情報共有・公開に向けた準備に着手した。
- ③ ア 従来の侵入生物事典的ツールに加えて、データ解析が可能なデータベースを目指して外部構造およ

び内部構造の改変を行った。その結果、外部構造の改変として表示項目の整理をするとともに、外来生物法によるカテゴリーも表示が可能となった。

- ③ イ 計算機での操作性向上と英語版対応のため、入力項目の再整理、項目ごとの入力語彙の選定・統一を行い、既存登録情報の全データを書き直した。これに基づいて、DBMSによるデータ管理および更新情報のRSS配信のためのシステムを構築した。また、これを利用した情報検索システムを構築した。
- ③ ウ 管理システム・検索システムともプログラムの作成し、さらに、セキュリティチェック等の調整、英語版の作成を含むウェブサイトの更新を進めている。
- ③ エ 検索機能を活用して、データマニング事例として、地域別外来生物種数、分類群別移送経路、外来動物・植物間での原産地地域の違い、などを分析した結果、日本列島において外来生物は亜熱帯島嶼および都市部周辺に集中的に侵入すること、大型動物類・木本植物類は意図的導入が多いのに対して、無脊椎動物類・木本植物類は圧倒的に非意図的導入が多いこと、外来動物はアジア地域原産が多いのに対して、外来植物は欧米産が多いことが明示された。

(ア) 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	10	6	1			17
(平成22年4月)	59	35	6			100%

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）

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.5点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

中間評価を十分取り入れ、プログラム内容を見直し、重要なテーマに絞った研究に重点を移しており、優れた成果が出つつある。一般市民に対する広報活動にも力を注ぐ姿勢も評価できる。今後も、現在のような体制で重要な研究を進めてほしい。

各研究プロジェクトにおいて高い研究成果が得られているが、中核プロジェクト間のつながりは弱く、重点研究としての目標や全体像が明確に理解できなかった。生物多様性に関してはあまりにも対象が広いと、このようないくつかの例に的を絞らざるを得なかったことは理解できるが、ややローカルなテーマに偏った感じがする。もう少し国レベルでの取り組みがあってもよかったのではないかと感じる。

[今後への期待・要望]

プログラムとセンターの棲み分けが判然とせず、プログラムとしての体が明確でない。次期5年間のプログラムはもう少しコンセプトを明確にしたものを構築して欲しい。

個々の研究をどのように統合して、生態系+ヒト健康としての環境リスク総体をどのように予測・評価するか、という方向の研究ができる時期にはいつまでたっていないか。

今、国際社会が共有しなければならない課題の一つは、経済のグローバル化や産業・都市構造の変質・変革のなかで、不確実性を増している環境（健康・生態系等）への影響を、環境リスクとして客観的・合理的に評価し、いかに管理することができるかである。研究成果が国際コミュニティの科学的基準に照らして、いかに評価されるかをより明示的に発信されることを望む。

使いやすく統合されているユーザーフレンドリーな情報やモデルになっているかについては、必ずしも十分とは言えない可能性がある。成果がどのように利用されるのか、どのような情報が求められているのか、

利用者側の視点を一層考慮されたい。

(3) 対処方針

今期の環境リスク研究プログラムでは、従来のリスク評価を精緻化し、さまざまな環境管理の目標に幅広く対応できる評価手法を提示することを目標として、評価対象を健康リスクと生態リスクに限定し、化学物質の空間、時間的な曝露分布の把握、高感受性、ぜい弱性要因の解明、および生物多様性、生態系機能といった諸事象の評価手法の提示に焦点を定めて中核プロジェクトを構成した。特に、生物多様性に関しては課題が広範囲に及ぶことから、侵入生物、里地・里山の問題などへの影響に的を絞り、単なる事例研究ではなく環境リスクとして扱いが可能となるよう一般化を念頭に研究を進めた。これまでの評価を受け、プログラムの内容を見直し、さらに重要なテーマに絞った研究に重点を移しており、この範囲では目標は達成しつつあると考えている。環境リスク研究プログラムは、化学物質、ナノ粒子、侵入生物、低酸素等の二次的要因までの広範囲な課題に対してリスク評価手法の提示を目標としたため、それぞれの中核プロジェクトの課題に集中する必要があった。このため、プログラムの全体像や連携関係が結果的に見えにくくなったが、それぞれの課題はリスク評価の枠組みを明確に意識しながら研究を進め、リスク評価の精緻化に貢献できたものと考えている。

環境リスクを総体として評価する方法論については、人と生態系への環境リスク評価を軸に社会学・経済学的な評価手法を導入し、最終的には、持続可能な社会にむけたリスク管理の研究へと発展させていきたい。次期中期計画に向けては、センターの活動と重点研究プログラムを明確に区別した研究構成とし、中核プロジェクトの連携関係を深め、相乗的な効果を期待できるような重点化を検討したい。なお、成果であるモデルなどのツール群については、利用者の利便性を向上させるべく引き続き改良を加えていきたい。

4. アジア自然共生研究プログラム

4.1 研究の概要

「アジアの大気環境管理評価手法の開発」については、観測と数値モデルを統合した解析が、アジア大陸における大気汚染物質や黄砂の発生源分布の推定の精度の向上、その結果としての越境大気汚染の予測の精度向上にとっての強力なツールであることを実証すると共に、解析に用いるデータとしての衛星データや東アジアライダーネットワークの有効性、辺戸岬スーパーサイトのポテンシャルを明らかにした。「東アジアの水・物質循環評価システムの開発」においては、衛星観測と地上観測を組み合わせた観測システムによって得られるデータと汚濁負荷に関する現地調査、水・物質循環モデルを組み合わせた評価システムの有効性を実証した。また、東シナ海の長江起源水が流入する海域において赤潮の原因となる植物プランクトンの出現を見出し、その動態を把握した。更に、中国の拠点都市瀋陽市における実証研究として、都市環境のデータを統合的なGISデータベースとして整備し、水・物質・エネルギー統合型モデル研究を推進した。「流域生態系における環境影響評価手法の開発」では、メコン河流域全体の自然環境と社会経済を把握することの出来る高解像度の地理空間データベース(MGDB)を構築すると共に、ダム建設が年間の氾濫動態や淡水魚類の回遊に及ぼす影響を評価する手法を開発した。また、メコンデルタのマングローブ林の生態系機能と汚濁負荷の関係についての知見を得た。

4.2 研究期間

平成18～22年度

4.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	197	220	230	241		888
その他外部資金	234	308	301	376		1,219
総額	431	528	531	617		2,107

4.4 平成21年度研究成果の概要

(1) 中核研究プロジェクト1：アジアの大気環境評価手法の開発

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 東アジアを中心としたアジア地域について、国際共同研究による大気環境に関する科学的知見の集積と大気環境管理に必要なツールの確立を目指して、観測とモデルを組み合わせ、大気環境評価手法の開発を行う。

サブテーマ(1)：アジアの広域越境大気汚染の実態解明

- ① 越境大気汚染の実態を解明するために、沖縄辺戸岬ステーションでの多成分・連続観測を継続するとともに、長崎県福江島での地上観測を充実し、東シナ海沿岸部でのデータを蓄積する。沖縄辺戸岬ステーションで取得された観測データを集積し、データベースの構築に向けた作業を継続する。

サブテーマ(2)：アジアの大気環境評価と将来予測

- ① アジア地域の排出インベントリと領域大気質モデルを用いて、広域大気汚染の空間分布、過去四半世

紀における大気質の経年変化、越境大気汚染による日本へのインパクトを評価する研究を継続する。全球化学気候モデルを用いて、東アジアにおける対流圏オゾンの発生源地域別寄与率を評価する。衛星観測データをもとに排出量を推計する逆推計モデルを用いて、排出インベントリによる NOx 排出量を検証・修正する。

サブテーマ(3)：黄砂の実態解明と予測手法の開発

- ① 東アジア地域に構築した黄砂モニタリングステーション(20地点)における観測機器の精度管理を実行し、データの取得、解析、及び観測データベースの整備を推進する。

平成21年度の研究成果

全体

- ① 大気汚染物質と黄砂の地上観測、航空機観測、ライダーネットワーク観測等を国際的・国内的な連携のもとで拡充して実施するとともに、モデルと排出インベントリの精緻化を進めることにより、広域大気汚染と越境大気汚染の両面から科学的知見の蓄積とツール開発を、以下の3つのサブテーマにおいて推進した。

サブテーマ(1)

- ① 沖縄辺戸岬ステーションを整備し測定機器を拡充して通年観測を実施した。平成21年春には東シナ海域の航空機観測と同期し、福江、辺戸での地上観測を行った。越境大気汚染のみならず気候変動にも重要な微小粒子および粗大粒子に存在する黒色(元素状)炭素の重量濃度分布を明らかにした。福江の地上観測では高濃度のオゾン・二次粒子のイベントを観測し、大陸からの越境大気汚染の実態を明らかにした。平成21年10月には東シナ海域において韓国と同期した航空機観測の期間中に、福江、辺戸での地上観測を行った。辺戸における長期観測データや航空機観測データを解析し、辺戸においてはサルフェートが増加していること、PM2.5重量濃度が高いこと、越境輸送される微粒子の空間分布が一様でないことを明らかにした。辺戸ステーションのホームページを公開した。

サブテーマ(2)

- ① これまでに開発したアジア地域の排出インベントリと領域大気質モデルを、観測データを用いて検証し、広域大気汚染の空間分布、過去四半世紀における大気質の経年変化、越境大気汚染による日本へのインパクトを評価する研究を継続して実施した。全球化学気候モデルを用いて、東アジアにおける対流圏オゾンの発生源地域別寄与率を評価した。衛星観測データをもとに排出量を推計する逆推計モデルを用いて、排出インベントリによる NOx 排出量を検証した。更に、関東地域に加えて、関西、中部、九州を対象とした大気汚染予報結果を、環境 GIS サイトから公開する試験運用を開始した。

サブテーマ(3)

- ① 日中友好環境保全センターとの協力により、北京のライダーによる黄砂期間中の準リアルタイムのデータ取得が可能となった。モンゴル NAMHEM(モンゴル国気象水文研究所)との共同研究による観測を含め、中国1局、モンゴル3局、韓国1局、日本12局のライダー観測網によって、発生源から日本に長距離輸送される黄砂の3次元分布を継続的に観測する観測体制が完成した。また、ライダー観測網のデータをリアルタイムで処理するシステムを完成した。輸送モデル(CFOR3)のデータ同化手法の精緻化を進め衛星搭載ライダー-CALIPSOと同化モデルの比較検証を行った。一方、黄砂と都市大気汚染の混合状態を把握するための化学判定手法の研究を進めた。この他、北京大学、ソウル大学などとの協力によりライダ

一観測網のデータを用いた研究を進めた。

(2) 中核研究プロジェクト2：東アジアの水・物質循環評価システムの開発

平成21年度の研究成果目標

全体：

- ① 東アジア地域の流域圏について、国際共同研究による水環境に関する科学的知見の集積と持続的な水環境管理に必要なツールの確立を目指し、観測とモデルを組合せ、都市、流域圏および海洋生態系の水・物質循環評価システムの開発を行う。

サブテーマ(1)：流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築

- ① 広域的な水・物質動態の計測手法による観測を適用し、流域の開発により、河川を通じて流入する汚濁物質等の陸域からの環境負荷の量・質的变化への影響について推定と解析を行う。また、水・物質循環を評価できる統合型モデルを構築し、南水北調などの利水事業、土地改変、人間生活の変化などが水環境へ及ぼす影響評価を行う。

サブテーマ(2)：長江起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響の解明

- ① 東シナ海陸棚域の航海観測、長江河口沿岸・東シナ海陸棚域の環境変遷データの解析、および流動生態系モデルの開発を通じて、長江淡水および陸域負荷の量・質の変化が東シナ海の海洋環境・低次生態系に及ぼす影響の把握およびそのメカニズムの解明を目指す。

サブテーマ(3)：拠点都市における技術・政策インベントリとその評価システムの構築

- ① 都市、農村と流域生態系の共生の視点から、都市・流域圏における技術・施策の導入によるケーススタディの結果に基づく、適切な技術システムと政策プログラムの設計を含む流域の長期シナリオ・ビジョンを構築するための方法論の開発を実施する。

平成21年度の研究成果

全体

- ① ア 陸域において、衛星・地上統合観測ネットワークの維持管理を行い、東アジア地域について時系列的な表面温度、植生指数、土地被覆、植物生産量などの衛星データや地上観測データ、および流域水環境データの観測を継続した。また、長江流域を対象とした人間生活・水需要・汚濁負荷インベントリおよび現地調査により、流域圏水環境評価モデルに関わる諸パラメータを同定し、退耕環林、南水北調など流域改造活動が流域生態系のサービスに与える影響を定量的に評価した。
- ① イ 海域において、陸域起源負荷が東シナ海陸棚域の海洋生態系・環境劣化に及ぼす影響を把握するため、東シナ海陸棚域の長江起源水影響域においた海洋調査を行い、藻類の出現水域同定、現存量定量評価、渦鞭毛藻存在水深の光条件等について重点的に解析した。陸棚域で観測された環境劣化現象を解析するとともに、陸域負荷流出形態の変化が沿岸・海洋環境・生態系に及ぼす影響を予測・評価することを目的として、3次元流動・水質・生態系モデルの開発を行った。
- ① ウ 拠点都市・圏域において、国内の自治体・企業と連携して日本の環境技術・政策をベースにするデータベースのプロトタイプ設計、モデルの構築と検証、技術・政策インベントリの構築を主な研究内容とし、瀋陽、大連、武漢など中国の拠点都市での社会実証型の国際共同研究を推進し、遼寧省における

統合型モデルを用いた政策分析研究を行った。

サブテーマ(1)

- ① ア 平成 21 年度には、衛星・地上統合観測ネットワークの構築事業（環境省）を継続し、東アジア地域をカバーする 1km メッシュの時系列的な表面温度、植生指数、土地被覆、植物生産量等の衛星データセットを作成した。また、平成 20 年度に長江中流域の最大の支流である漢江で設置した連続水質モニタリングシステムの維持管理を行い、全窒素（T-N）、全リン（T-P）、化学的酸素要求量（COD）、水温、濁度（SS）およびクロロフィル a（Chl-a）などの観測データを継続的に取得した。
- ① イ 開発された統合型流域圏水環境管理モデルを適応し、現地観測データを用いてモデルの検証を行い、退耕環林、南水北調など流域改造活動が水環境に及ぼす影響の定量的な評価を行った。その結果、現在の漢江本流月平均流量条件での COD 水環境容量は 45.4 万 t/a であるが、南水北調によって水量 95 億 m³ を調整すると、COD 水環境容量は 33.6 万 t/a に減少し、損失量は 11.8 万 t/a で、約 35% 減り、その他に、NH₃-N 水環境容量は約 30%、T-P 水環境容量は約 25% 減ることが分かった。また、退耕環林政策が河川流量に及ぼす影響が小さいものの、土砂流失特に水質に与える影響は大きいということが定量的に分かった。
- ① ウ 長江水利委員会や中国科学院の生態修復テストサイトに対して、上記の評価モデルの適用を開始し、生態修復工事や技術対策の影響評価に着手した。さらに、技術移転の可能性を検討するため、中水環境パートナーシップ事業（環境省）を通じた中国農村地域における分散型生活排水処理システムを設置し、その技術の適応性・普及性についての評価に着手した。
- ① エ 本研究の目的を達成するため、新たな研究展開とその成果のアジア地域への還元を目指し、長江の管理と研究をリードする中国長江水利委員会（CWRC）や中国科学院をはじめとする中国の研究者・行政担当者との連携によって、中国武漢において第 3 回日中水環境技術検討会および日本つくばで水資源・水循環特別セミナーを開催し、研究交流を深めた。

サブテーマ(2)

- ① ア 平成 21 年度の陸棚域調査は、渦鞭毛藻出現水域・水深の微細乱流構造把握により、乱流構造が渦鞭毛藻の鉛直分布に及ぼす影響の把握を主目的とした物理観測を試みた。しかし調査中の事故による測器亡失に見舞われたため、有効なデータ取得には至らなかった。一方、平成 19 年度の観測に匹敵する高濃度の渦鞭毛藻出現現象を捉え、渦鞭毛藻の優占的出現が常態化しつつあることが確認された。また、今年度までの航海観測データ解析を継続し、特に高濃度の渦鞭毛藻が出現した平成 19 年度のデータセットの詳細検討を行った。陸棚域の光補償水深を濁度、クロロフィル蛍光強度、海水色等の物理条件から推定するための手法を開発し、有光層内のクロロフィル現存量の 2 次元分布の解析、そのうちの渦鞭毛藻の寄与について定量的評価を行った。
- ① イ 前年度までに開発した東シナ海流動計算結果の一部に不具合が認められたため、従来用いていた鉛直方向の層数固定式（ σ 座標系）から層数可変式へのアルゴリズム改良を行い、良好な結果が出力されることを確認した。また渤海における結氷・解氷現象に関するモジュール開発を行い、流動モデルの精緻化を図った。また、平成 20 年度の航海調査の微細乱流観測データを解析したところ、渦鞭毛藻ブルームは躍層付近の乱流強度が弱い場所で形成される傾向が明らかになった。微細乱流強度が渦鞭毛藻の増

殖速度に及ぼす影響をモデルに考慮したところ躍層周辺における藻類群集を形成・維持することが可能になった。ブルーム形成位置の計算精度をより向上させるためには乱流強度と日周鉛直移動の関係を解明・モデル化する必要があることが明らかになった。

- ① ウ 中国浙江海洋学院（平成 19 年度に共同研究協定を締結）と日中海洋環境を題材とした共同執筆作業に着手した（平成 22 年度内刊行予定）。

サブテーマ(3)

- ① ア アジアの都市環境を対象として、①中国科学院応用生態研究所・遼寧省環境科学研究所および瀋陽市環境保護局、日中友好環境保全センターとの連携の具体化を進めて、環境技術・政策の環境影響および経済影響の政策効果分析シミュレーションモデルの開発を進めてきた。②研究成果を日本及び中国の国際アドバイザー会議を通じて、瀋陽市の国家静脈工業生態園および国家環境建設モデル都市政策検討の根拠として出力している。③瀋陽での環境都市評価システムをプロトタイプとして JICA 循環経済プロジェクトとの連携で蘇州市、山東省への展開を進めて、国連環境計画エコタウンプロジェクトと IGES との連係で東南アジア都市への研究展開フレームの構築を進めている。20 年度は 5 月に瀋陽市、9 月に川崎市で国際ワークショップを主催し、12 月に国際学会、2 月に国連環境計画と共催の国際会議の開催を共催した。21 年度は 6 月にデンマーク、9 月に瀋陽市、2 月に川崎市、3 月に北京および瀋陽で国際ワークショップを開催した。
- ① イ 平成 21 年度には、日中両国環境省間での「環境にやさしい都市」連携への研究情報発信を進めて、川崎市と瀋陽市での評価システムの検証と実用的な技術政策シミュレーションの構築を進めて政策情報の出力を行った。国内都市について、①水・物質・エネルギーの統合型三次元物理解析システム（NICE-Urban モデル）の構築をもとに川崎市との環境研究協定のもとで進めた都市街区観測実験による検証を進めて、②川崎市及び国内エコタウン都市の環境技術の LCA インベントリの蓄積を進めることに加えて、③革新的な低炭素技術である街区スケールのエネルギー制御システム技術（UCPS）の実証開発を進めた。これらの研究成果は、川崎市の政策及び環境省の地域実行計画のマニュアル、地域循環圏政策への反映を通じて国内都市への実践的発信を進めることができた。

(3) 中核研究プロジェクト3：流域生態系における環境影響評価手法の開発

<p>平成 21 年度の研究成果目標</p> <p>全体：</p> <p>① 主にメコン河の淡水魚類相の実態解明、流域の土砂堆積・河岸浸食等の環境動態の解明を行うこと等により、ダム建設等の生態系影響評価を実施する。</p> <p>サブテーマ(1)：①流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築</p> <p>サブテーマ(2)：①人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発</p> <p>サブテーマ(3)：①持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発</p>

平成 21 年度の研究成果

全体

- ① 主に国際河川・メコン河の淡水魚類相の実態解明、マングローブ生態系の環境動態の解明を行うこと等により、ダム建設や土地利用変化等の生態系影響評価を実施した。自然と共生して持続可能な発展を実現するための科学的基盤形成に寄与すると共に、国際研究プログラムとの連携の下で、生物・水資源及び国際河川生態系に関わる水質観測にアジアからの貢献することを目指した。そのために、①流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築を行い、②人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発を行い、③持続可能な流域生態系管理を実現する手法の開発を行って、ダム建設や土地利用改変による影響を評価できるように調査研究を推進した。

サブテーマ(1)

- ① メコン河流域全体の自然環境と社会経済の概況を包括的に把握し、水系や地理的な隣接性を通じて伝搬する各種開発行為の影響を検討し、現地調査結果や研究成果を一元的に蓄積、管理するための空間的な枠組みを提供するため、メコン河流域の地理空間データベース (Mekong Geospatial Database ; MGDB) を構築し当初の目標は達成された。

サブテーマ(2)

- ① メコン河本流の Manwan Dam とその下流への影響評価を行った。現地調査と水文モデルを融合させ、年間流況変動・土砂移動量の年間変動と縦断的变化、および年間の氾濫動態に関して解析を行った。メコン流域の 39 地点から 111 種の淡水魚を採集し、その耳石の LA-ICP-MS による化学分析を行った。計 150 地点で河川水を採集し、各種微量元素濃度測定した結果、メコン河の本流、ムン川、チー川、セサン川、スレポク川、セコン川の水質は微量元素の構成比率が異なり、高い精度で支流を判別できた。魚類の回遊性評価モデルの構築は最終年度に達成される。

サブテーマ(3)

- ① メコンデルタの主要なマングローブ域 3 地域において、林床土壌の窒素固定活性と近接水路や河川の水質を分析した。文献値の方が約 2-50 倍高く、この 13 年間で窒素固定活性が減少傾向にあった。粗放エビ池の溶存アンモニウム濃度は高く、集約エビ池の水がマングローブ生態系へ流入し、窒素不足によるマングローブ植物の生育低下とその依存生物への影響が懸念された。タイ、ウボンラチャタニ大学とは覚書を交わし、メコン河流域での現地調査を共同で継続して実施した。タイの若手研究者を NIES で受け入れ、河川水の栄養塩データを流域の土地利用と関連付けて解析するための基礎資料の収集を行った。ウボンラチャタニ大学、WorldFish Center、カンボジア水産局の研究機関が NIES と共同でメコン流域のダム開発の淡水魚類資源への影響およびリスク評価に取り組む体制が整った。メコン河委員会、環境 NGO、各大学研究者、森林管理局等の間で情報共有ネットワークを形成した。

(4) 関連プロジェクト：九州北部地域における光化学越境大気汚染の実態解明のための前駆体観測とモデル解析

平成 21 年度の研究成果目標

- ① 平成 20 年度に立ち上げた NMHC と NOx、オゾン観測の通年測定を実施すると共に、春に集中観測 (AMS による粒子観測) を行う。観測結果を基に、春季の光化学オゾン前駆物質の動態を解析する。また、モデルについては、通年測定及び集中観測を対象としたシミュレーション計算を行い、観測データと比較する。

平成 21 年度の研究成果

- ① ア 平成 21 年春季にオゾンなどの測定と同期して、二次粒子測定のためのエアロゾル質量分析計を用いた集中観測を行った。その結果 4 月 8 日、5 月 9 日前後に 100ppbv を超えるオゾンを観測し、同時に高濃度の粒子状硫酸塩や有機エアロゾルを観測した。長崎福江島のようなリモートな地域においても高濃度もオゾンのイベントがあることを観測から明らかにした。また、NMHC 類の毎時間測定を継続し、顕著な季節変化（アルカン類の場合、冬季平均濃度は夏季平均濃度の 3~7 倍）を観測すると共に、春季の NMHC 組成比の解析によって観測された高濃度オゾンイベント毎の光化学反応履歴の違いを示した。
- ① イ 東アジアスケールモデルの解析を進めた結果、福江で観測されたオゾン、二次粒子、NMHC 成分、NO_y のいずれについても中国の影響が大きいこと、特に春の高濃度時のその傾向が顕著であること、NMHC 類の排出量を過小している可能性が高いこと、などを明らかにした。

(5) 基盤的な調査・研究活動：二次生成有機エアロゾルの環境動態と毒性に関する研究

平成 21 年度の研究成果目標

- ① 健康影響が懸念される二次生成有機エアロゾルについて、細胞毒性評価システムを用いて毒性をスクリーニングし、高時間分解能エアロゾル質量分析計（HR-TOFAMS）や、極微量分析が可能な熱脱離-GC-MS 法による分析も合わせて、毒性を示す SOA の組成分析を行う。モデルによるシミュレーションと関東地域での大気観測を行い、毒性を示す SOA の動態を解明し、リスク対策に資する基礎データを得る。

平成 21 年度は毒性スクリーニング手法及び組成分析手法の開発を重点的に行う。

平成 21 年度の研究成果

- ① テドラーバック内でのカレン、アルファピネンとオゾンとの反応をモデルとして、オゾン計、炭化水素計を用いて実験条件を確認し、二次有機エアロゾル（SOA）生成反応を検討した。生成した SOA はフィルターで捕集し、有機溶媒で抽出した後 GC-MS 法で分析し、SOA が比較的揮発性が高い多成分の混合物であることや、文献で報告されている主要生成物が高濃度で存在することを確認した。走査型モビリティパーティクルサイザーにより粒径分布を測定したところ、粒径 100-300nm の粒子が最も多く生成されていた。またエアロゾル質量分析計で経時変化を確認した結果、反応開始 1 時間後から 3 時間後までは有機エアロゾルの質量スペクトルが変化しないことがわかった。これは実験が典型的な条件下で行われていることを示している。この典型的な条件下で生成した SOA について、血清を含む細胞培養用培地で含有成分を抽出して細胞に曝露した。その結果、アルファピネンとオゾン、カレンとオゾンで生成された SOA のそれぞれの低濃度曝露で酸化ストレスが誘導され、高濃度曝露で細胞死が確認された。SOA が細胞死を引き起こす毒性のある成分を含有していることが確認された。細胞毒性マーカー、SOA の抽出条件、溶液の種類、溶液中の濃度など検討し、毒性スクリーニング条件を検討する。高時間分解能エアロゾル質量分析計の光イオン化に関しては、真空紫外光源の性能評価を行った。大気中に微量に存在するエアロゾルを高感度で検出するためには、適した光源の選定が重要である。真空紫外光を、サリチル酸ナトリウムを塗布した基板に照射することにより、発光強度の測定を行った。近年技術的な進化を遂げたエキシマーランプが、光イオン化光源として最も適していることを確認した。次年度は、光源をエアロゾル質量分析計に装着し、光化学スモッグチャンバー内で生成したエアロゾル成分の測定を行う。SOA 動態解明のためのモデルシミュレーションに関して、従来型シミュレーションモデル（CMAQ）を放射性同位炭素などによる発生源解析と比較することで、CMAQ は化石燃料起源の SOA を顕著に過小評価している事を明らかとした。また、この過小評価要因を調査するために、詳細反応型（MCM）と揮発性ビン型のボックスモデルを構築・計算し、3次元モデルへの適用の有用性を調査した。

4.5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	8	6	2			16
(平成22年4月)	50	38	12			100%

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）

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.4点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

中国等他国の政治的動きに左右される困難な研究環境において、積極的に研究を進め、極めて価値の高い人的ネットワークやデータベースの構築といった社会的貢献度の高い研究成果を着実に得ていることは高く評価できる。また、成果を環境政策に反映させるための努力が見られ、国内ばかりでなく国際的な協議にも一定の貢献をし、社会・行政にも影響を与えている。

一方、各プロジェクトは影響評価という点では一致しており、それぞれ成果は上げているものの、大気環境のように研究手法が普遍的でアジア規模で一体性が強い問題と、水循環や流域生態系のように地域の特性や人間活動との関係が多様な問題に分かれ、アジア自然共生研究としてひとくくりにすることは困難である。3つのプロジェクトの相互関係がわかりにくく、成果の活用方策や研究の出口が見えにくい。また、掲げる社会目標の大きさに対し、科学者としてできる地道な取り組み（日中研究者交流など）の重要性が周知できていないようである。

[今後への期待・要望]

他の重点プログラムも含めて得られた成果をもとに、10年、20年先を見据え、現状の整理・構造化をした研究計画を立て、統合的、整合的な全体像を示せるように研究を継続してほしい。アジア地域における国際協力研究、国際交流の継続、強化への努力を期待する。人材育成という観点からは、大学との連携も必要と思われる。

アジア諸国との共生政策の認識の共有や、各国との研究協力体制持続性確保の方策に留意する必要がある。また相手国の環境技術等の成熟度合いによりどこまで協力するかを見定める必要がある。各国の当事者と呼应し、等身大で地道な取り組みの中で、研究の夢あるアイデアを発信していただきたい。

また、国際的な政策提言にどのように成果を活用するかについて、政府間チャンネルも活用しながら検討し、具体性を持たせることが将来の課題であろう。

(3) 対処方針

中国、メコン河流域それぞれにデータ取得に困難な点があったが、人的ネットワークの構築やMOU締結、観測・研究手法の工夫など、担当研究者の努力や研究所のサポートによりオリジナリティの高いデータを得ることができた。また、平行してモデリング手法の高度化を行い、研究対象地域に関する全容把握を大きく進めることができた。全体として、それぞれのプロジェクトは大きな成果をあげることができたと考えている。しかし、本プログラムにおいて3つのプロジェクトを「アジア自然共生研究」として統合することは、現時点では困難である。むしろ、研究所全体でアジア環境研究をどう統合的に進めるかについて、次期中期計画を検討することを通して、アジア環境研究の統合的、整合的な全体像を描き、継続・強化して行きたい。その中で、アジア地域における国際協力研究、国際交流の継続・強化、人材育成という観点からのプラットフォームの構築や大学との連携を行うことも重要な検討事項と考えている。アジア諸国との共生政策の認識

の共有や、各国との研究協力に当たっては、文化、政策、制度、環境技術の発展段階を踏まえることが重要であるが、そのこと自身が環境研究にとっても一つの発展の契機であるにとらえている。国際的な政策提言にあたっては、様々な国際的な機関、プログラム、ネットワークへの貢献・連携を通して具体性を持たせるようにしたい。