

(参考資料) 平成20年度外部研究評価委員会による見解及び対処方針

平成20年4～5月に開催された外部研究評価委員会（以下「委員会」という。）において、各重点研究プログラムの中核研究プロジェクトの中間評価を行った。本資料は、研究の概要、研究予算、18、19年度の研究成果の概要に加えて、委員会の評価結果及び見解を記載するとともに、これに対する研究所の対処方針を記述したものである。

中核研究プロジェクトについては、独立行政法人整理合理化計画において「進捗状況や社会的要請の変化を踏まえ、中核研究プロジェクトを見直す」とされているところであり、今後、ここに記載されている委員会の見解及びそれに対する研究所の対処方針を基礎としつつ、社会的要請の変化等を考慮し、適切に対応する。

1 地球温暖化研究プログラム

1. 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

1. 1. 1 研究の概要

温室効果ガスの収支や濃度の地域的特性に関する研究を進めるため、アジア-太平洋域を中心とした広域大気観測を推し進めた。民間航空機による世界各地の二酸化炭素の高度分布測定や定期船舶航路を用いた太平洋上でのバックグラウンド大気観測などの世界に類を見ない観測網を立ち上げた。また地上での観測地点でGC-MSによるフロン類の高頻度観測や連続酸素の現場観測などの充実に加えて観測地点のアジアへの展開やアジア航路への船舶を使って観測範囲の拡大を図った。これらのデータにより、二酸化炭素やその他の温室効果ガスのグローバルな収支やアジア地域での発生量変化などに着目した観測およびモデル研究を行った。海洋や陸域の二酸化炭素吸収量を推算した結果、そのトレンドとしての変化はまだ大きくないことがわかった。一方では、二酸化炭素やフロン類のアジア域での最近の人為発生量の増加により、観測地域の温室効果ガスの濃度分布に大きな影響を与えていることが示された。これらの豊富な観測データから、大気の輸送モデルの改良などを行った。フラックス観測として、海洋では北太平洋に加えて西太平洋の観測を開始した。北太平洋では10年程度の長期の吸収量の精密な時系列などを計算した。陸域生態系では日本のカラマツ林の吸収フラックス特性や攪乱の影響などの調査に加えて、温暖化の影響として現れる土壌呼吸のフィードバックに関する実験的調査を3箇所を開始した。

1. 1. 2 研究期間

平成18年度～22年度

1. 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
運営交付金	43	50				
その他外部資金	282	244				
総額	325	294				

1. 1. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 航空機、定期船舶を用いた温室効果ガス観測網を整備する。航空機では定期路線を用いたアジア、ヨーロッパへ航路上の二酸化炭素観測を開始し、オセアニアラインでの大気サンプリングを開始する。

民間船舶では日本－オセアニア、日本－北アメリカに加え、アジア路線の準備を行う。定点でのフロン等の観測も立ち上げる。

② 観測網を利用しトレーサーとなり得る酸素や同位体等を長期的に観測することにより、温室効果ガスのグローバルな収支変化と気象との関連を考察する。

③ 新たに西太平洋での海洋二酸化炭素分圧観測を開始する。西太平洋における海洋の二酸化炭素分圧観測を行ない地域的な分布を精密に観測する。シベリアの陸域生態系におけるフラックスに関して、大気のタワー観測とインバースモデルの比較により、モデル計算によるフラックス推算値の合理性を検討する。全光合成速度の観測指標としてのCOSの観測方法の確立。土壌呼吸の温暖化フィードバックに関する加熱実験を開始する。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①ア これまで開発してきた航空機搭載用二酸化炭素測定器をJALの旅客機5機に搭載しアジア、ヨーロッパでの主要都市での鉛直二酸化炭素分布観測を開始することができた。航空機での観測に際し、いくつかの問題点が発生したが、プログラムの改良、システム運用上の改善を行い、安定した観測体制が確立されてきた。これにより、各都市で地域的に特徴ある鉛直分布が観測できることがわかった。これらのデータは、世界的にもこれまでにないデータセットである。

①イ 定期船舶を用いて、日本－北米、日本－オセアニアラインでの大気のサンプリングを行い、水平方向、緯度方向のデータの採取を行い、二酸化炭素や亜酸化窒素の緯度別増加傾向が確認できたことに比べ、メタン濃度は各緯度帯での濃度増加がほとんどゼロになっていることがわかった。オゾン濃度の緯度分布の観測を行い、北半球中緯度での高濃度に加え、南半球中緯度での濃度にもピークが観測された。これらはいずれも温暖化ガスそれぞれの発生量吸収量分布について科学的に有用な情報を与える。民間船舶を用いたアジア路線への観測の展開のために、関係船舶会社との連絡をとり調整を図った。

①ウ 北海道の観測点である落石でのGC-MS設置を行い、フロン等の観測を立ち上げた。北海道の悪天候による停電の頻発などにより機器の不良が発生したが、順次システムの改良を重ねてデータの取得が可能になってきた。

①エ アジアでの大気地域特性を調べるべく、インドにおける大気サンプリングを開始した。

②ア 船舶を用いて、緯度別の二酸化炭素の安定同位体比の観測を行い、二酸化炭素の収支の年変動について検討を行った。陸域の二酸化炭素吸収は、温度偏差と良く相関し、エルニーニョ直後の温度上昇に合わせて、二酸化炭素の放出源になっていること、2002年、2006年の放出も陸域で起こっていることが推定できた。海洋は2001年に吸収量の微増が観測された。これらのデータはグローバルな変動メカニズムの検討するために有効であった。

②イ 沖縄の波照間島や北海道落石岬での大気中酸素濃度の長期観測を継続した。これにより、ここ8年程度の平均した二酸化炭素のグローバルな収支を求めることができた。それによると、海洋の酸素の出入りを考慮した場合、約1.8Pg-Cの二酸化炭素が海洋に吸収されていることが推定された。推定精度の検討を行い、発生源インベトリーや酸素の海洋収支の不確実性を始めとするいくつかの問題点を整理することができた。これにより、大枠での二酸化炭素収支が押さえられた。

③ア 新たに日－オーストラリア航路を航行する民間船舶トランスフェューチャー（トヨフジ海運所属）に設置した観測装置により、西太平洋での海洋二酸化炭素観測を開始した。観測システムの安定運用のために乗船を何回か行い改良などを加えた。同時に、大気、海洋の酸素の連続測定法の開発も行った。将来的にこれらの海洋フラックスの地域分布がどのように変化するかが非常に重要であり、北太平洋のこれまでのデータとともに貴重なデータセットになった。

③イ シベリアにおける5箇所のタワー観測をもとに、大気輸送モデルに基づく逆計算により、シベリア

の森林地帯の二酸化炭素吸収フラックスの季節変化を求める試みを行った。この結果、陸域生態系モデルによる計算結果との間に良い一致が見られた。これにより、タワー観測と逆計算によるフラックス推定がかなり有効であることが実証された。

③ウ 陸域生態系の総生産量などを、これまでの純一次生産と呼吸量の合計で求めるのではなく、COS などのフラックス測定より求める方法を提案し、測定機器の開発を行った。

③エ 土壌呼吸量増加に対する温暖化による寄与を見積もるために、年間を通して土壌を人工的に加熱し、その寄与について大型自動開閉チャンバーを用いて評価するなどの予備調査を研究所内林地で行い、方法論等について検討した。

平成19年度の研究成果目標

①-1 航空機、定期船舶を用いた温室効果ガス観測網を整備する。航空機では定期路線を用いたアジア、ヨーロッパへの航路上の二酸化炭素連続観測を安定的に継続し、採取された大気試料の分析を行う。民間船舶を用いた大気観測では日本-オセアニア、日本-北アメリカに加え、アジア路線の観測を開始する。波照間、落石の観測ステーションではフロン等を含め高頻度観測を継続する。

①-2 トレーサーとなり得る酸素や同位体等を長期的に観測することにより、温室効果ガスのグローバルな収支変化と気象との関連を考察する。また、大気輸送モデルを用いて各地の観測データを解析し、発生源と観測値の関係を検討する。

② 太平洋域のCO₂海洋吸収の変動特性評価として、西太平洋及び北太平洋における海洋の二酸化炭素分圧観測を継続する。

③ 陸域生態系のCO₂フラックス変動特性の評価に関する研究として、二酸化炭素等の吸収量の観測及び収支推定の方法論の研究やアジアの熱帯域での陸域フラックス観測を検討する。土壌呼吸速度の温暖化影響の観測的研究に関する検討を開始する。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①-1

○昨年度から本格的に始動した二酸化炭素測定器を搭載した JAL の旅客機 5 機によって、アジア、ヨーロッパでの主要都市での鉛直二酸化炭素分布観測を約 2000 プロファイル採ることができた。さらに日-オーストラリアの間を飛行する 2 機の機体によってボトルサンプラーで大気の採取を行い、CO₂、メタン、N₂O、CO、に加えて炭素同位体（安定、放射性）の分析を開始した。各地の鉛直分布のデータが蓄積することによって、高さ毎の時系列変化を調べることが可能となった。これにより、日本を含むアジア大陸の東側にある地点の 4 km 以下の高度の濃度は相対的に他の地域より高くなっていることがわかった。これは、西側に発生源がある東アジア地域での鉛直分布は低い高度で、より高い濃度を示すことが多いことがわかった。一方、ハワイでは鉛直分布がほとんどなく、1 km も 4 km の高度も同じ濃度を示すことがわかった。これらのデータは世界でも類を見ない貴重なデータセットであり、モデルパラメータチューニングやそれを用いる GOSAT の濃度計算過程にも大きく寄与することが期待できた。

○定期航路をもつ商船を用いて、日本-北米、日本-オセアニアラインでの大気のサンプリングを行い、緯度方向、経度方向のデータの採取を継続的に行った。どの緯度帯でも二酸化炭素や亜酸化窒素は年に 0.5% 程度の増加傾向が続いていることが検出された。一方メタン濃度は依然各緯度帯での濃度増加がほとんどゼロになっていることがわかった。メタン濃度は亜熱帯域に減少傾向が強いことが示唆された。基本的にはメタン発生量の頭打ちによって、濃度の停止が起こっていると考えられた。

○沖縄の波照間と北海道の落石観測所での GC-MS によるフロン等の観測を継続し、ハロカーボン類の高頻度観測を行った。波照間での多くの代替フロンは増加がつづいていた。HCFC-141 b には若干の減少が観測された。

○アジアでの大気地域特性を調べるべく、インドや貴陽の大気サンプリングを分析した。インドにおけ

る夏季のCO₂の濃度は同じ緯度帯でのデータより低い特徴があり、この地域の特性が現れているかもしれない。

○民間船舶を用いたアジア路線での観測を開始した。初期段階として、CO₂やオゾン観測、大気ボトルサンプラーなどによる採取を開始した。

①-2

○船舶を用いた緯度別の二酸化炭素の安定同位体比の観測から、2007の始めまでの二酸化炭素の収支の年変動について検討を行った。陸域の二酸化炭素吸収は、温度とよく相関しており2005年—2006年にも吸収量の減少がみられた。逆に海洋側はむしろ増加しているように見える。海洋の吸収量のこの時期の増加は、北太平洋でも見られておりその傾向が一致した。

○沖縄の波照間島や北海道落石岬での大気中酸素濃度の長期観測を継続し、ここ最近までの平均した二酸化炭素のグローバルな収支を求めた。それによると、海洋の酸素の出入りを考慮した場合、約2Pg-Cの二酸化炭素が海洋に吸収されていることが推定された。これにより、正味の森林吸収は1Gt-Cであり、森林破壊1.6Gt-C (AR4) であるとする、2.6GtがトータルなCO₂吸収であるということがわかった。これは、世界の他の地点で計測された値とほぼ整合的であった。

○放射性炭素の分析がすすみ、緯度別の時系列解析を開始した。これにより、炭素循環過程の変化の検出を試みた。

○HCFC-23はHCFC-22製造の副産物であるが、その年増加率が波照間では30%と非常に高いことが観測された。波照間での大陸起源の気団には、このHCFC-22, 23が高く発生量の大きさを示していることがわかった。

○波照間の二酸化炭素の濃度データで特に大陸からの影響が大きい冬季の濃度をハワイなどと比べるとその差がだんだん大きくなってきていることや、メタンとの比率から見ても中国の二酸化炭素の発生量の急増がアジアでの二酸化炭素濃度分布を変えつつあることが示唆された。

○シベリアのタワーでの観測データも蓄積しており、NIESのトランスポートモデルなどでシミュレーションを行い、それによってモデルに使っている陸域吸収モデルであるCASAモデルでのパラメータのチューニングを行なった。これによると、地表面の濃度でCASAモデルのパラメータを調整する場合、大気の混合の強さをどのように取るかによってばらつきが大きくなることや、カラム濃度量で調整するほうが少しは良い結果を与えることがわかった。この他モデル研究によって、大気観測のシミュレーションから、発生源に関する情報を抽出する試みが、二酸化炭素やCO、ハロカーボンに関して行われた。

②

○北太平洋での観測を継続し、ここ10年程度の年間の吸収量の変動や、その吸収の地域性をまとめた。これによると10年の間の平均の北太平洋(22.5-55度間)のCO₂吸収量は0.48PgC/yであった。これは、全海洋吸収の25%程度を占めている。年々変動は98年に増加、99年に減少したあと、2005年に向かって吸収量の増加が観測された。その変化の大きさは10%(0.05PgC)程度でありそれほど大きな変化ではなかった。このような詳細な観測結果をまとめられることは世界的にも無く貴重なデータセットとなった。

○オセアニア航路を航行する民間船舶トランスフェューチャー(トヨフジ海運所属)に昨年度新たに設置した観測を定常化するために、装置の定期的メンテナンスを行い、配管などの不良箇所を修理した。これにより西太平洋での日本—オーストラリア—ニュージーランドの間の海洋二酸化炭素観測が継続した。これによると、オーストラリア—ニュージーランドの間のタスマン海の吸収が一年中大きいことがわかった。今後継続することで、その大きさと変動が観測できると思われた。

③

○日本のフラックスサイト（天塩、苫小牧、富士北麓）のフラックスを比べると苫小牧や富士北麓の吸収量は年間 200 gC/m² 程度になっているが、天塩の実験サイトではあまり大きくない吸収量であった。天塩や苫小牧の森林部が消失した場合のフラックスの変化を見たところ、3 年間はまだ吸収量が回復せずに大きな発生源となることが確認された。アジア地域のフラックスで、日本域以外での吸収量が大きい熱帯や、炭素蓄積量が大きいチベットの草原でのフラックス観測を継続した。

○土壌呼吸量増加に対する温暖化によるフィードバックの寄与を見積もるために、年間を通して土壌を人工的に加熱し、その寄与を大型自動開閉チャンバーを用いて評価するなどの調査を研究所内林地で行ってきたが、これを北海道の天塩、広島大学などに展開し、計測を開始した。データはまだ開始されたばかりでありあまりそろっていないが、つくばのデータによると、加温している方のチャンバーでは 20-30% 程度の CO₂ 放出の増加が認められた。温度と呼吸反応曲線から見積もると、加温によって呼吸速度の Q10 はむしろ下がっているような傾向もあり、そのため増加割合が小さめに出る可能性が示唆された。しかし、乾燥の度合い等などその他の要因も複雑に絡むことがわかった。

○陸域生態系の総生産量などを、COS などのトレーサーのフラックス測定より求める方法を提案しているが、本年度に分析用の測定機器の開発を行い、精度の向上などが結果として得られたため、今後実測のためのシステム作りに取り掛かる予定である。

1. 1. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	1	7				8
(平成 20 年 4 月)	12.5%	87.5%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

- 中間評価基準
- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
 - 4：優れており、着実に推進すべし
 - 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
 - 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
 - 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.1 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本研究プロジェクトは、“各種温室効果ガスの大気中広域立体観測”、“アジア太平洋地域的フラックスの観測”、“モデルの精緻化（中核プロジェクト 2 との連携）”の 3 つのサブテーマによって構成されており、温暖化に伴う CO₂ をはじめとした温暖化ガス組成変化について大気、陸面、海洋のすべてを取り扱う観測研究が良くデザインされた計画に基づいて効率的に実施されていると評価できる。民間航空機を利用した CONTRAIL プロジェクトが本格的に動き出し、これまで観測例が限られていた対流圏中・上部の広域のデータが蓄積されつつあることも評価できる。本研究で得られた観測データから地域的なフラックスやその変化傾向についても重要な情報が得られる可能性が高い。

一方で、得られた観測データとフォワードモデルによるシミュレーション結果との比較の成果がはっきりしない。また、アジア域での温室効果気体の観測に対する戦略が具体的ではないように見受けられた。

[今後への期待、要望]

今後、諸外国の関連観測計画との連携を強化することにより、研究をより一層効率的に実施できるのではな

いかと考えられる。GOSAT と連携し、本プロジェクトで得られる知見が従来のものとどう違うのか明確にしたい。また、モニタリング観測をいつまで続けるのか、戦略的思考を持って取り組んで頂きたい。一方、温暖化の土壌呼吸の効果は限られた実験に基づいているため、現状では他の観測内容と比較検討することが困難である。如何に広域に広げるかという方法論を検討して頂きたい。

(3) 対処方針

観測データとフォワードモデルによるシミュレーション結果との比較については、中核プロジェクト2の報告の中で示されたように、観測データをフォワードモデルに組み込み、陸域生態系モデルの改良や GOSAT 用初期値データの作成に関して成果が出始めているところであり、今後さらに検討を進める。また、GOSAT による観測データを地上・航空機などによる現場観測データと比較し、検証するという立場から、GOSAT プロジェクトとの連携を図る。

諸外国の関連観測計画との連携強化については、諸外国の関連する観測計画を念頭において、主として空間的なカバーレージの空白域を埋めるという観点から、ロシアー西大西洋ー東南アジアをターゲットとした観測戦略を策定しており、効率的な観測が実施出来ていると考えている。また、具体的な協力関係として、ロシア、ニュージーランド、オーストラリアとは、実際の観測協力とデータの相互比較を実施している。さらに、中国やインドでの共同観測などについては今年度、協力体制を組むべく検討している。東南アジアとの協力体制作りは今後の課題となっている。他国の領土で観測することが困難な場合も多いので、本プロジェクトでは民間航空機や領海外での船舶を用いた広域観測を基本戦略のひとつとしている。特に、点での観測ばかりでなく、線上での観測によって精度の高い地域分布を観測しており、アジア域の温室効果ガスのフラックスの変化は、従来の欧米の観測ネットワークでは捉えられなかったものである。

本プロジェクトにおける観測計画は、炭素循環の解明の観点から組まれており、①現状の炭素循環把握、②その変動メカニズムの解析のためのフラックス観測、及び③炭素循環変化理解のための影響実験などがその範囲である。地球環境研究センターのモニタリング事業として、濃度観測などの定常的観測が行なわれており、一方、本プロジェクトとしては酸素や同位体などの高度な観測項目を新たに付け加えることにより、両者を総合して炭素循環の把握を行うこととしている。今後、炭素循環に関する観測項目のセンシティブティを考慮しつつ、さらに長期の観測が必要な場合は、地球環境研究センターのモニタリング事業の中での長期運用の可能性についても検討する。

温暖化の土壌呼吸実験の広域化については先駆性の高い研究課題であり、当面は土壌呼吸の温暖化影響に関する実験的評価を日本の森林土壌で開始したところである。さらに、インキュベーション実験で条件を変えた実験を行っており、これらを統合することにより、一般化されたモデルの構築を試みる。

1. 2 衛星による全球二酸化炭素等の観測に基づく炭素収支の高精度推定

1. 2. 1 研究の概要

温室効果ガス観測技術衛星 (GOSAT) の観測データを利用して、全球における二酸化炭素及びメタンの測定と亜大陸規模の二酸化炭素収支の解明を行うための研究を実施した。まず、衛星観測データの定常処理アルゴリズムを開発した。次に、衛星の打ち上げ前であることから、航空機や地上で取得した衛星観測の擬似データや直接観測データによりアルゴリズムの精度を評価した。また、この衛星観測データと地上での各種の直接測定データとを利用して、全球の炭素収支推定分布の時空間分解能と推定精度を向上することを目的にインバースモデルの開発と関連データベースの整備を進めた。

1. 2. 2 研究期間

平成18年度～22年度

1. 2. 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
運営交付金	35	24				
その他外部資金	4	2				
総額	39	26				

1. 2. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 短波長赤外波長域での測定に関して、巻雲やエアロゾルの存在する大気条件下での取得データに対応可能なデータ処理手法を研究開発し、数値シミュレーションにより精度評価を行う。
- ② 衛星搭載センサーと類似仕様の地上モデルセンサーを用いて、飛翔体または高所からの太陽の地表面反射光を測定する実験を実施し、取得されたデータから二酸化炭素のカラム濃度を導出する。同時に観測時の大気パラメータを直接測定などによって取得し、地上モデルデータからの解析結果と比較して解析精度の検討を行う。
- ③ インバースモデルの時間・空間分解能を月別・全球64分割等に向上するため、フォワード計算手法の開発と必要な関連データベースの整備を行う。更に、このフォワードモデルデータと衛星データ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解析手法のプロトタイプをシミュレーションレベルで確立する。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① 短波長赤外波長域での測定に関して、様々な大気条件下での取得データに対応可能なデータ処理手法を確立するため、データ処理フローを作成した。これらは定常処理プログラム開発に反映され、国立環境研究所の実施する定常データ処理の基幹となる。また、巻雲の存在する大気条件下での処理のため、一部の緯度経度・期間において巻雲パラメータ（緯度別の発生高度、光学的厚さ）統計量データベースを作成した。完成後にはデータ処理の際の初期値データベースとして活用される。更に、様々な観測条件におけるエアロゾルの影響を整理し、フーリエ変換分光器情報からエアロゾルパラメータの同時推定の可能性について整理した。
- ② 短波長赤外波長域での測定に関して、データ処理手法の妥当性を確認し、取得データのデータ質の評価・検証を行うため、類似センサーを用いた高所観測実験を2006年11月～12月に筑波山において実施し、データ解析を行った。この種の実験は、世界で唯一、当プロジェクトでのみ実施された。また、GOSATに搭載されるフーリエ変換分光器センサーと類似の仕様の地上モデル（BBM）から求めた二酸化炭素カラム濃度と、直接測定データから求めた濃度を比較した結果、BBM解析の際の二酸化炭素の吸収波長帯を適切に選定すれば、両者は2%の範囲で一致することがわかった。また、エアロゾルを考慮することによって、5ケースのうち3ケースはBBMから求めたデータがin situのデータに0.2～0.4%ほど近づくことがわかった。基本的にデータ処理手法に大きな誤りのないことが実証された。
- ③ インバースモデルの月別・全球64分割への向上については、一部のモデルについて完了した。これにより、現実的な衛星観測データの利用に一步近づいた。また、全球レベルの衛星観測データの利用を

目的として、インバースモデルの高速逐次処理アルゴリズムを、時刻に依存した月平均フラックスのインバージョン（22 地域×15 年）によりテストした。インバースモデル推定における現実的な領域のサイズと時間分解能を検討するため、空間的フラックスの空間的な相関解析を実施した。更に、観測された大気中 CO₂ の季節変動サイクルにフォワードモデルによる計算値がうまく適合するように、生態系データベースを一部整備し、生態系モデルパラメータの最適化を行った。更にそれに基づきインバースモデルを設計した。これにより、炭素収支の地域間の差や地域レベルでの季節変動がモデルにより再現されるようになった。なお、全球炭素収支推定のためのインバースモデルのプロトタイプを、全球 22 地域のレベルで確立した。

平成19年度の研究成果目標

- ① 短波長赤外波長域での測定に関して、巻雲やエアロゾルの存在する様々な大気条件下での取得データに対応するデータ処理手法を開発し、それらにより導出される二酸化炭素カラム濃度値の誤差評価を行う。また、偏光データの利用手法を確立する。
- ② 衛星搭載センサーと類似仕様の地上モデルセンサーを用いて、飛行体または高所からの太陽の地表反射光及び太陽直達光を測定する実験を実施し、取得されたデータから二酸化炭素のカラム濃度を導出する。同時に観測時の大気パラメータを直接測定などによって取得し、地上モデルセンサーデータからの解析結果と比較して解析精度の検討を行う。これにより、地上モデルセンサーデータの解析手法の妥当性・問題点を確認する。
- ③ 大気輸送計算によって地上測定データ及び関連データベースから二酸化炭素の空間分布を求めるフォワード計算手法を改良し、その時間・空間分解能を精密化する。更に、このフォワード計算結果と衛星データ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解析手法のシステム化を行う。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① クリアスカイを含む様々な巻雲・エアロゾル状態に対して同一の処理手法（2ステップ法）による導出性能を評価し、導出誤差が大きくなるのは黄砂などの高々度にエアロゾルが存在する場合と、黒色炭素を多く含むダストの場合であることが判明したが、ほとんどの観測条件で目標精度が達成されることが確認できた。また、偏光を計算する放射伝達コード（Pstar2b）を完成し、関係者に公開した。複雑な偏光の放射伝達計算を、従来のコードの2倍程度の計算時間で実現することができる。なお、定常処理では偏光データを合成して無偏光データとして処理し、その改良版として偏光データを独立情報として利用する手法に切り替えることとした。
- ② 当初は衛星搭載センサーと類似仕様の地上モデルセンサーを用いて、飛行体または高所からの太陽の地表反射光及び太陽直達光を測定する実験を実施し、取得されたデータから二酸化炭素のカラム濃度を導出する計画を立てたが、18年度に実施した実験データの解析を通してデータ処理手法の妥当性・改良すべき点などを確認できたので、データ処理手法の検証の観点から今後実験により押さえるべきパラメータの優先度を整理した。また、衛星打ち上げ後のデータプロダクトの検証に必要な実証手段を検討し、地上設置の高分解能フーリエ変換分光計によるカラム量推定精度を評価するとともに、航空機等による直接測定の準備を行った。
- ③ 航空機観測データを用いて、陸域生態系モデルを最適化することにより、大気中二酸化炭素の季節変動をより正確に再現するフォワードモデルを完成した。また、大気のトレーサー輸送の結合モデルの計算の効率化を図り、いくつかの観測サイトデータに対して適用した。高い分解能のモデルは計算時間を要するが、GOSAT の観測する空間分解能で全球に対して計算が可能と見込まれる。更に、GOSAT の陸域観測

データを用いることで、インバースモデルによる炭素収支推定誤差が地域別にどの程度低減するかをシミュレーション計算により解析した。その結果、特に地上の観測局の少ないアフリカや南アメリカ大陸で誤差の低減率が大きい（30～50%程度ある）ことが解った。また、これらの手法のシステム化に着手した。

1. 2. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	1	7				8
(平成 20 年 4 月)	12.5%	87.5%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.1 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本研究プロジェクトは、“衛星観測データの処理アルゴリズム開発・改良研究”、“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”、“全球炭素収支推定モデルの開発・利用研究”の3つのサブテーマから構成されている。これらにより、GOSAT 利用に向けた準備を着実に実施し、誤差や測定値不確実性を考慮した方法論の研究が着々と進められている。この結果、打ち上げ前準備として期待通りの成果があがっており、衛星運用後の成果に期待がもてる。また、近年、航空機観測データと地上観測データを併用して求めた領域別炭素収支が、従来の地上観測データのみから求められた結果と大きく異なることがわかってきており、地球規模炭素収支の精度向上にとって本プロジェクトの果たす役割は非常に大きいと考えられる。

[今後への期待、要望]

引き続き、JAXA との協力を努めて頂きたい。また、モデルと衛星観測の連携に期待する。一方、エアロゾルの影響を含め衛星観測の誤差がサブテーマ3の全球炭素収支推定に及ぼす影響についてさらに検討して頂きたい。

(3) 対処方針

JAXAとは、引き続きセンサー開発ならびにデータ処理システムの開発にかかる情報交換を行うほか、センサーの特性に関する情報及び校正データの入手、環境研によるデータ処理結果の状況やデータ質情報のJAXAへの提供などの協力を進める。また、JAXA及び環境省と協力して、GOSATのデータ利用推進を図る。

モデルと衛星観測の連携については、炭素収支推定モデルを研究している各国の研究グループ、特にフランスのLSCE（気候環境科学研究所）、英国Leicester大学、及びEdinburgh大学との共同研究や、国内の各研究機関等のモデルグループとの連携を進める予定である。衛星観測誤差の全球炭素収支推定に及ぼす影響については、これまでも研究を実施してきたところではあるが、エアロゾルなどの要因の影響については、上記の研究の連携に基づいてさらに研究の進展を図りたい。

1. 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

1. 3. 1 研究の概要

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を行った。特に、近未来（～2030年ごろ）および長期（～2100年あるいはそれ以降）の二つの時間スケールに注目しつつ、気候モデルについては予測の不確実性の定量化に関する研究、影響モデルについては水資源モデルの高度化および不確実性を含めた農業影響評価、陸域生態・土地利用モデルについては土地利用モデルの開発と土地利用変化シナリオの作成を主に行った。

1. 3. 2 研究期間

平成18年度～22年度

1. 3. 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
運営交付金	41	53				
その他外部資金	45	59				
総額	86	112				

1. 3. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 気候モデルについて、気候変化に伴う極端現象の変化メカニズムの解析を進めるとともに、20世紀中における極端現象の変化傾向のモデルによる再現性を検討する。また、モデルの不確実性と自然変動の不確実性の両方を考慮した確率的予測について検討を行う。
- ② 影響モデルについて、極端現象の変化を考慮した水資源・健康・農業影響の評価を行うとともに、気候モデルによる確率的予測と連携して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を検討する。また、水資源影響モデルと気候モデルの結合のための準備作業を行う。
- ③ 陸域生態・土地利用モデルについて、今後50年スケールでの気候変化に伴う農業生産性の変動と、社会経済の発展シナリオを考慮して、陸域生態・土地利用変化を予測するプロトタイプモデルを開発するとともに、土地被覆情報等のモデル入力情報の整備を行う。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 年々の自然変動の不確実性を考慮した近未来の気候変化予測のための予備的解析として、初期条件の異なる10本の近未来予測実験を行い、特に極端現象の出現頻度に注目して解析を行った。この結果、大規模な火山噴火が無いなどの条件下で、気候の自然変動の不確実性を考慮しても、今後25年程度の近未来に陸上のほぼ全域において夏季の極端に暑い夜の日数が増えることなどが予測された。この成果は、自然変動の不確実性を定量的に考慮した近未来の気候変化予測として世界初の試みである。また、長期の気候変化の主要な不確実性の要因である雲のフィードバックについて、気候モデル間の違いを詳細に比較する手法を開発するとともに日英のモデルに適用し、日英のモデル間で雲フィードバックの違いを生じさせる仕組みを明らかにした。さらに、土地利用変化が気候に与える影響を評価する実験の準備を行った。

② ダム、農業、灌漑といった人間活動を結合した全球水資源モデルを用いて、高解像度気候モデルによる日単位の気候変化予測シナリオに基づく、将来100年の水資源予測実験を行った。これを将来100

年の人口等の変化から予想される水需要変化と組み合わせて、将来 100 年の水需給バランスの評価を行った。この成果は、水需要と水供給の季節的なミスマッチを考慮に入れた世界初の全球規模影響評価である。また、この水資源モデルの改良作業および気候モデルとの結合のための準備作業を行った。さらに、年々の自然変動の不確実性を考慮した近未来の気候変化シナリオに基づき、社会が実感しやすい影響評価を行うために、気候モデルの結果から水害の被害額を大まかに推計する推計式の開発作業を進めた。

③ 陸域生態系モデル (Sim-CYCLE) を用いて、IPCC-AR4 に含まれる各種の気候変化予測シナリオに基づく off-line 実験を行った。生態系モデルの改良点としてエロージョンによる土壌流失を加え、降水量変動や土地被覆変化に伴う土壌炭素収支の予測精度向上を図った。また、森林減少の将来予測に重点をおいたモデルの開発を行った。食糧経済と林産経済の結合によって森林面積の減少の推定を行うと同時に、土地利用変化に起因する温室効果ガス排出の全球規模での推定を行った。さらに、既存の複数の土地被覆図を独立で検証する新たな手法を開発した。複数の土地被覆図の精度検証を行なった。また、複数の土地被覆図からより高精度の新土地被覆図を開発した。新土地被覆図は、生態モデルや土地利用モデルなどに利用され、予測精度の向上に貢献した。

平成 19 年度の研究成果目標

- ① 気候モデルについて、モデルの改良ならびに次期モデル実験の準備を進めるとともに、予測の不確実性を考慮した確率的気候変化シナリオの開発に取り組む。また、土地利用変化が気候に与える影響を調査する。
- ② 影響モデルについて、気候モデルによる確率的予測と連携して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開発を進める。また、水資源影響モデルを高度化するとともに、気候モデルとの結合作業を進める。
- ③ 陸域生態・土地利用モデルについて、気候変化に伴う陸域生態系における炭素収支変動と IPCC シナリオの社会経済発展に対応する土地利用変化を予測するモデルの開発に取り組む。また、モデル入力情報として空間詳細な社会経済シナリオを構築するための情報解析を実施する。

平成 19 年度の研究成果 (研究成果の活用状況を含む)

① 今後 25 年程度の近未来に、地球温暖化に伴って年平均降水量と極端な降水の強さがどのように変化するかを予測した。その結果として、高緯度と熱帯では、温暖化シグナルが数十年規模の自然変動によって覆い隠される可能性は低いことがわかった。一方、亜熱帯では、数十年規模自然変動によって降水量変化の符号も代わり得ることが示された。また、モデルによる気候変化予測の不確実性の定量化に向けて、複数のモデルによるデータを用いて、モデル間の気候変化予測パターンと現在気候の再現性の関係を定量的に評価した。その結果として、熱帯域の夏季降水量および高緯度域の冬季地表気温に関する、現在気候の再現性と気候変化予測パターンの間に高い相関が得られた。すなわち、これらの要素に関して、現在気候の再現性が類似しているモデルほど、気候変化予測パターンも類似する傾向にあることが分かった。さらに、森林伐採などによる土地被覆変化条件を与えて大気-陸域生態系モデル実験を行った。現在気候条件の下、土地被覆のみ将来シナリオにおいて予測される分布をモデルに与えて実験を行ったところ、耕作地面積が増加している領域の付近で気温の上昇が見られた。

② 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、アジア域の水稲を対象作物として取り上げ、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収量減少のリスク評価 (確率的な影響評価) を行った。その結果、品種変更・植え付け日の変更による適応が、現在の栽培地域での灌漑割合の拡大による適応に比べ、高いリスク軽減効果を持つことを示した。また、ダム、農業、灌漑といった人間活動を結合した全球水資源モデルと気候モデルのプログラムコードを結合した。この結

合モデルを用いて、灌漑が気候システムに与える影響を予備的に評価した。その結果、灌漑のタイミングや供給水量に着目した、先行研究を大幅に上回る高度な解析を行う用意が整った。

③ 陸域生態系モデルの高度化を進め、炭素-窒素循環およびバイオマス燃焼や生物起源揮発性有機炭素といった微量物質交換プロセスを組み入れた改良モデル（VISIT）を開発した。土地利用変化の影響を調べるため、過去の耕作地面積または土地利用転換データを用いて予備的なシミュレーションを実施した。温室効果ガス収支のモデル推定を検証するため、いくつかのサイトにおいてCO₂、CH₄、N₂O交換の観測データと比較を行った。また、森林面積と農地面積の将来予測に重点をおいたモデルの開発を行った。食糧経済と林産経済の結合によって土地利用変化の推定を行うと同時に、農産物、林産物需要の予測も同時に行った。さらに、全球土地被覆図を用いた、都市サイズに関するランクサイズルールの適用性について検討を行い、従来の行政区域の人口によるランクサイズルールと同等もしくは有利であることを示した。

1. 3. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	2	5				7
(平成 20 年 4 月)	28.6%	71.4%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

4.3 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本研究プロジェクトは、“気候モデル”、“影響・適応モデル”、“陸域生態・土地利用モデル”の3つのサブプロジェクトから構成され、それぞれのモデルの改良および高度化について広範な研究が計画通りに進められており、リスク評価として世界をリードする研究であると評価できる。また、それぞれのモデルを結合させて短中期予測を行い、複数のシナリオに基づく長期見通しを明らかにするなど、極めて明確な方針の下に良い成果が出されつつある。加えて、社会的な認知の増大のための活動も活発に行っていることも評価できる。

[今後への期待、要望]

今後、社会経済活動を取り扱う中核プロジェクト4との連携を深めることにより、一層の研究の社会的および政策的な貢献を期待したい。また、アジア向けのリスクコミュニケーションも期待したい。また、個別の土地利用や陸上生態系のモデルなどの精密化と同時に、3つのモデルの相互関係を明確にして、地球規模での気候変動モデルを立案して頂きたい。

(3) 対処方針

中核プロジェクト4との連携については、IPCC 新シナリオ開発プロセスへの参加を契機に、土地利用シナリオの開発など具体的な取り組みを始めており、今後も積極的に推進したい。アジア向けのリスクコミュニケーションについては、重要と認識しているが、我々の予測結果を提示するだけでうまくいくとは期待でき

ず、現地の温暖化影響評価研究者を巻き込んだ取り組みが必要である。IPCC AR5 に向けて国内外の影響研究の組織化を進める必要性が認識されていることもあり、まずはアジア諸国の影響研究者とのコミュニケーションを順次試みたい。地球規模での気候変動モデルの立案については、東大気候システム研究センター、海洋研究開発機構などの国内他機関との協力によって実現することとしているが、その中で、農業、林業、水管理などの人間活動のモデルへの組み込みならびに陸域生態系モデルの高度化等を中心に国環研が重要な役割を担うことにより、国際的にも先端的なモデルを提示していきたい。

1. 4 脱温暖化社会に向けた対策の統合評価

1. 4. 1 研究の概要

脱温暖化社会（概念を拡げて、以下では、低炭素社会と称す）実現を目的として、まず、我が国の低炭素社会の前提となる社会経済ビジョン・シナリオを描き、その実現の可能性を検討する。シナリオ構築手法を新興国・途上国に移転して、アジア各国での低炭素社会シナリオ分析を推進する。これらの成果をもとに世界の研究機関と協力して低炭素社会実現のための障壁や推進力を分析し、政策提言を行う。また、国際合意構築についての分析を行い、実行性のある将来枠組みに関する提案を行う。さらに、温暖化対策を定量的に評価するためのモデル開発を行い、我が国の温暖化政策を分析するとともに、新興国・途上国にモデル移転して、各国の温暖化政策の定量的分析を支援する。

1. 4. 2 研究期間

平成18年度～22年度

1. 4. 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
運営交付金	57	58				
その他外部資金	148	124				
総額	205	182				

1. 4. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 脱温暖化社会を実現するための2050年における我が国の排出レベルとその社会像を描き、温室効果ガス排出構造に影響を及ぼす要素についての定量化を行う。また、他国の脱温暖化シナリオ構築との連携を図り、世界全体の脱温暖化社会について検討する。
- ② 炭素市場メカニズム等の各種制度を評価し、問題点の整理を行うとともに、諸制度の動向調査を行い実効性について分析する。また、2013年以降の枠組みについて、特に京都議定書発効が同課題に関する国内政策に与えた影響の調査等を実施する。
- ③ 我が国を対象とした温暖化対策の費用・効果分析、アジア主要国を対象とした緩和・適応策と各国のミレニアム開発目標の実現可能性の分析、世界のエンドユースモデルを用いた排出削減ポテンシャルの推計を行うとともに、中国、インド、タイ等のアジア主要国を対象として、シナリオ開発のためのモデル開発支援を行う。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①ア 2°C目標に対応する全球での許容可能な排出経路を同定し、2050年における日本の排出削減目標値が、概ね60-80%に含まれることを確認した。日本を対象に、複数のモデルによる定量的な分析を行うことで、2050年に想定されるサービス需要を満足しながら、主要な温室効果ガスであるCO₂を1990年に比べて70%削減する技術的なポテンシャルが存在することを明らかにした。本成果を環境省と共同で記者発表を行うことで、脱温暖化社会の必要性について内外に広くアピールした。

①イ 中国、インド、タイ、ブラジルの研究者と2050年脱温暖化シナリオ構築のための共同研究を開始した。日本脱温暖化社会を分析するために構築した定量化モデルを、各国に適応することで、それぞれの国の2050年シナリオ構築をサポートした。

①ウ 2006年2月に開始した日英共同研究プロジェクトでは、6月に19ヶ国・地域から54人の専門家と6つの国際機関が参加したワークショップを東京で、11月にインド、日本、イギリス、南アフリカ、ドイツ、中国の専門家によるCOP12のサイドイベントをナイロビで、12月にモデル会合をオックスフォードで開催した。低炭素社会は、そこに至る道筋は異なるものの、先進国と途上国が共通に目指すゴールであるとの認識が共有された。

②ア 次期国際枠組みの制度提案に関する論文をレビューした結果、京都議定書発効前に実施したレビュー結果とは傾向が大きく変わり、近年の提案では京都議定書と気候変動枠組条約の二本立てとなっている現状をふまえた提案が急増していることが把握できた。

②イ 上記条約・議定書を取り巻く多様な関連活動（G8、APP、EU/ETS、米国内排出量取引等）が条約・議定書プロセス、および国際的取り組みそのものに対して及ぼす影響について検討した。このような多様な活動は10年前の京都議定書交渉時には存在しなかったことを鑑みると、今後は必ずしもすべての交渉要素を条約・議定書で対象としなくてもよい可能性が指摘される。現在多くのアジア諸国は、次期国際枠組みによって社会経済的影響を受ける可能性が高いにもかかわらず、交渉に建設的に参加するための能力を十分に保持していないという課題を抱えているためその能力を増強する必要があるとの認識に基づき、昨年度から開始したアジア政策ワークショップの第2回会合をジャカルタにて開催し、国内の政策決定過程の比較分析等を実施した。

③ア 我が国を対象とした温暖化対策の費用・効果分析のために、革新技術の情報を集約してモデルを改良し、短期的な対策と長期的な対策の両面から費用・効果分析を行った。

③イ アジア各国の温暖化政策評価支援のために、中国、インド、タイ、韓国、インドネシア、マレーシアから研究者を招聘しトレーニング・ワークショップを開催し、各国モデルを開発・改良し、各国の問題に対応した分析を行った。

③ウ 中国では2005年から2010年までに対GDPのエネルギー効率を20%改善するという目標を掲げており、その現実性を評価するため中国を対象にエンドユースモデルと応用一般均衡モデルを統合して、分析を行った。インドを対象に石炭から天然ガスにシフトした場合の費用・効果、タイを対象に交通部門におけるバイオエネルギーの導入効果などを検討した。

③エ 大気汚染や水資源などの地域の環境を分析するモデルを開発・改良し、温暖化対策の副次効果としてミレニアム開発目標達成について検討した。

③オ これまでCO₂排出量の分析が中心であった世界のエンドユースモデルについては、CH₄、N₂O、Fガスのモジュールを追加し、温室効果ガスの削減ポテンシャルを推計した。AIMモデルの結果はモデル比較プロジェクトや各国のシナリオ分析を通じて、IPCC第4次評価報告書に情報提供した。

平成19年度の研究成果目標

- ① 2050年に向けて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、中国、インド、タイ、ブラジルと協力して、途上国、経済移行国の脱温暖化シナリオを描くとともに、日英共同プロジェクトを推進し、低炭素都市に向けた取組みについて検討する。
- ② 日本にとって望ましい温暖化対策のための将来枠組みを提示する。また、望ましい枠組みを検討するための国内ステークホルダー会議を開催する。さらに、次期国際枠組みによって社会的影響を受ける可能性が高いアジアの途上国を対象として、交渉に建設的に参加するための能力を增强するために第3回アジアワークショップを北京で開催する。
- ③ アジア主要国を対象として各国のニーズにあった分析を強化するためにモデルを改良し、技術リストを見直すことにより、対策オプションによる温室効果ガス削減効果と対策による経済影響を分析する。世界エンドユースモデルの各国の技術リストを精査して改定するとともに、エネルギー・サービス需要についても、経済モデルと結合して、革新技術が普及した場合の需要の変化に対応できるようにモデルを改良する。引き続きトレーニング・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19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ①ア 2007年2月15日に記者発表した、2050年の日本のCO₂排出量を1990年に比べて70%削減するような低炭素社会を実現する戦略を具体的に示すため、複数の対策と政策を組み合わせた施策パッケージ（「低炭素社会」実現の目的をもつものの、より具体的な方針（例えば、高断熱住宅の普及、バイオ燃料自動車の普及等）を目的とする関連活動（行政、技術開発、産業化、国民啓発）のまとめ。一群の個別施策を組み合わせ、そのパッケージが、他のパッケージとはある程度の独立性を持って低炭素社会へのトレンドブレイクとなるようにしたもの。パッケージ全体としての目標、性格、時間スケール、政策・管理体制、現時点での実行容易性が付与されている。）を約20個選定した。そして、それぞれの施策パッケージに対して、目指すべき姿、目指すべき社会像を実現するための障害と施策、それらを組み合わせた実現戦略を叙述的、また可能な限り定量的に記述した。
- ①イ 施策パッケージに示された、政策・対策群の組み合わせたときに、需給の調整や導入タイミングをチェックする選択モデルをデザインした。また、前期3年で開発した経済モデルに基づく第1次バージョンと結合して、施策パッケージを最適に導入する様子を分析する第2次バージョンのバックキャストモデルのフレームワークを構築した。これにより、施策パッケージの定量データが整い次第、約20の施策パッケージが整合的に導入される様子を分析することができるようになった。
- ①ウ 日英低炭素社会研究プロジェクトの活動を発展させた。2007年6月13日から15日にロンドンにて第2回国際ワークショップを行い、約20カ国60名の専門家が集まり、国だけでなく都市や交通セクター、民生セクターさらには、人々のライフスタイルをどのように変更すれば低炭素社会が実現できるか議論を行い、その様子を要旨にまとめた。その成果について、2008年12月にバリで行われたCOP13/CMP3にてサイドイベントを行うとともに（12月10日）、日英環境大臣のサインの入ったペーパーを国際交渉関係者に配布し活動を広く知らしめた。
- ①エ 2007年10月22日から26日に国立環境研究所にて、トレーニング・ワークショップを行った。中国、インド、タイ、韓国、マレーシア、ロシア、ブラジル、南アフリカ、デンマークから若手研究者に対して、日本低炭素社会シナリオの構築に用いたモデルを供与して、特に家庭部門と運輸部門を対象に、どのように日本低炭素社会シナリオを構築したかを説明しながら、彼ら自身でデータを入力し、シナリオを構築するようキャパシティビルディングを行った。それらの成果をホームページに掲載するとともに、2008年12月にバリで行われたCOP13/CMP3にて「低炭素アジア（Low Carbon Asia）」と題するサイドイベント（12月8日）を開催し、日本、インド、中国、タイ、インドネシアの低炭素社会シナリオについてそ

の実現戦略とともに報告・議論し、100名を超える観衆を集めた。

①オ 2008年2月13日から15日に東京にて第3回日英低炭素社会研究プロジェクトの国際ワークショップを行い、約20カ国70名以上の専門家により、個人のライフスタイル変更とその影響、持続可能な発展と低炭素社会の両立の可能性、低炭素社会を実現する投資、セクター別に見た低炭素社会に向けた障壁およびチャンスの4つのテーマについて議論を深めた。

①カ これらの研究活動は、年間100件ほどの講演を行い、直接にステークホルダーに研究の中身を伝えるとともに、雑誌、新聞、テレビなどのメディアに広く紹介された。また、政策立案のための有用な情報を提供した。

②ア 昨年度の成果をふまえて、国内の専門家・産業関係者・環境保護団体関係者30数名を招致したワークショップを開催し、次期国際枠組みに関するグループワークを実施した。また、同会合と前後してアンケート調査を実施した。前者のグループワークの目的は、次期国際枠組みに関連する議論の構造を図示化して参加者の認識を共有し、課題等を明らかにすることにあった。同テーマを3つの側面（炭素市場を最大限に利用した国際制度とは？セクターアプローチを中心に国際制度を構築した場合は？途上国の参加を最優先に考えた場合の国際制度とは？）から、3グループが各々1課題ずつ議論した。そのアウトプットとして、3つの観点から議論した次期国際枠組みの構造が図示され、その中での課題も明らかとなった。また、後者のアンケート調査の目的は、上記ワークショップ参加者を中心とする我が国での次期国際枠組み問題に関する専門家がいかなる将来を予想して議論しているのか、という点を明らかにし、それらの専門家が念頭におく国際交渉の将来シナリオを描くことにあった。デルファイ法の手法を参考にし、ワークショップの前後でアンケート調査を実施することにより、2回のアンケート回答結果の違いにも注目した。その結果、いくつかの側面（例：米国は次期大統領の政権下でより対策に積極的になる等）では大半の回答者の予想が一致している反面、いくつかの側面（例：欧州は最後まで2013年から第2約束期間を開始することに拘る等）では、回答にばらつきがあることが分かった。また、この回答のばらつきと、回答者のグループワークにおける発言を組み合わせることにより、将来予想の違いが、回答者が「望ましい」と考える次期国際枠組みのあり方にも影響を及ぼしていることが判明した。

②イ 上記で得られた結果をふまえて、次期枠組みに関する考え方のディスカッションペーパーを作成し、国内外の関係者に配布した。このディスカッションペーパーでは、将来枠組みを規定する構成要素の主要な部分である「各国の約束（コミットメント）」と「参加」のあり方について分析の軸を提示し、箇々の分析軸ごとに既往提案の長所短所を客観的に評価した後、2050年までに半減、といった長期目標と整合性がとれ、なおかつ制度としての観点から最も評価される次期国際枠組み案を提示している。

②ウ アジア太平洋地域の専門家を招致した次期枠組みに関するワークショップ（第3回）を2007年8月に北京で開催し、アジア太平洋地域として望ましいと考えられる次期枠組みについて検討した。またその検討結果をカントリーペーパーとしてとりまとめ、COP13にて配布した。同時に、COP13開催中にラウンドテーブル会合を開催し、プロジェクト参加者が自国の気候変動に関する意思決定について発表し、議論する場を提供した。

②エ 以上の成果は、COP13および2008年7月の洞爺湖サミットに向けた国内の多様な議論の場において情報をインプットする形で貢献した。

③ア 中国では、技術選択モデルと経済モデルを統合した上で、中国のエネルギー効率改善目標（2005年から2010年までに20%改善する）の実現可能性とその経済影響について定量的に評価した。その結果、エネルギー効率改善目標は既存の対策メニューだけでは達成できず、さらなる革新的技術の導入が必要となることを明らかにした。

③イ インドでは、温暖化対策と経済発展の関係を明らかにするために、将来の発展の経路の違いによる

温室効果ガス排出量の変化を技術選択モデルを用いて分析するとともに、将来の社会経済にあった温暖化対策による二酸化炭素排出削減量をそれぞれの社会において評価した。

③ウ タイでは、2050年の二酸化炭素排出量をBaUと比較して15%削減するような対策を2015年以降に導入する場合について評価した。発電部門では、CCS付きの石炭火力発電、コンバインドサイクル発電が二酸化炭素排出量の削減に貢献し、産業部門や運輸部門においてもエネルギー最終需要が減少するとともに、運輸部門ではバイオディーゼル車、アルコール混合燃料、ハイブリッド車の寄与が大きい。また、その結果、副次効果として大気汚染物質の排出量も大きく削減された。

③エ 日本を対象とした経済モデルをもとに、将来の経済成長の最新の想定や近年の原油高騰等の影響を組み込むとともに、ガソリンおよび軽油に科されている道路特定財源の暫定税率を廃止した場合の二酸化炭素排出量の変化について試算を行った。その結果、暫定税率が廃止されることで社会全体の二酸化炭素排出量の増加は、第一約束期間平均で800万トンCO₂となり、運輸起源の排出量の増加はそのうち520万トンCO₂であった。

③オ 世界エンドユースモデルでは、各国の技術リストを精査して改定するとともに、二酸化炭素の限界削減費用曲線を21地域別に定量化するとともに、各地域の削減ポテンシャルを明らかにした。2020年に100\$/トンCO₂以下の費用で削減が可能な二酸化炭素は、世界全体で87~113億トンCO₂、Annex Iで26~38億トンCO₂、Non Annex I地域で60~75億トンCO₂と試算された。国別では、中国、インド、米国における削減ポテンシャルが高い。

③カ 世界経済モデルでは、エンドユースモデルとのリンクが可能となるように地域の統合やデータの更新などのモデル改良を行い、2つのモデルを統合した予備的なシミュレーションを行った。

③キ IPCC新シナリオにおいてアジアの途上国の視点からの世界シナリオを提供することを目的として、世界経済モデルに関するトレーニング・ワークショップを開催し、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。

1. 4. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		7				7
(平成20年4月)		100%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

4.0点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本研究プロジェクトは、“ビジョン・シナリオ作成”、“国際政策分析”、“定量的評価”の3つのサブプロジェクトで構成される。低炭素化社会プロジェクトなどを通じた社会・行政への貢献を主眼として活発に研究を進めており、高く評価できる。特に、2050年までの低炭素社会に向けてのビジョンは、大きなインパクトがあったと評価できる。また、途上国の研究者を招聘して共同研究を進めるなど、国際的な活動にも積極的に取り組んでいる。このような活動によって、今後のポスト京都議定書に向けた枠組み交渉に際し、

先進国と途上国との対立を緩和させる効果が期待できる。

[今後への期待、要望]

今後、低炭素化社会のシナリオに関して、日本、東南アジア諸国、中国などの個別検討から一歩進めて、アジア圏での統合的な低炭素社会のモデルの検討をして頂きたい。また、低炭素社会構築のための具体的なプランを、積極的に提示して頂きたい。さらに、もう少し判り易い形で国民へのコミュニケーションを図って頂きたい。

(3) 対処方針

低炭素社会のシナリオについては、まず日本を対象として、2050年の社会像を描き、そこで想定されるサービス需要を満足しながら、1990年に比べて二酸化炭素排出量を70%削減する技術的なポテンシャルがあることを明らかにしてきた。さらに、技術的ポテンシャルを具現化するには、「どの対策を、どの時期に、どのような手順で導入すればよいのか」といった具体的なプロセスや、実現への障壁とそれを克服する手段を明らかにする必要がある。平成20年度は低炭素社会に向けたこれらの方策について検討し、低炭素社会構築のための具体的なプランを示していく。

アジア圏での総合的な低炭素社会のモデルの検討に関しては、現在、日本の低炭素社会のモデルをもとに、東南アジア諸国、中国の将来像について検討しているところであり、まずは、各国の研究者と共同して各国の低炭素社会シナリオの開発を行い、次いで平成21年度以降に、総合的な低炭素社会のモデルの検討に着手することを計画している。なお、今後一層判り易い形でコミュニケーションを、市民、NGO、産業界の方々と進めていきたい。

2 循環型社会研究プログラム

2. 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

2. 1. 1 研究の概要

近未来の循環型社会ビジョンについて、専門家を集めたシナリオワークショップを開催し、2030年頃までに予想される社会変化の物質フロー及び循環・廃棄物管理システムへの影響を予測し、複数のシナリオを描いた。物質フローを予測するモデルの作成に着手し、物質フローと対策による環境負荷削減効果を予測するための投入・産出型の定量的なモデルを主要な循環資源を対象に試作した。社会システム変革については、特に消費形態変化の影響に着目した産業連関分析モデルの作成作業に着手した。対策の実効性や具体的なシステムを検討するために、いくつかの主要な循環資源について関連技術のインベントリーデータの基盤整備を図るとともに、動脈・静脈連携による資源循環システム形成の効果を評価した。個別リサイクルにおける費用情報収集や「見えないフロー」を含めた物質フローの把握、建設リサイクルにおける問題視的検証型の実態評価による政策課題明確化等の検討を行うとともに、EUの拡大生産者責任の下での責任・役割分担の形態や諸外国のデポジット制度の状況を明らかにした。

2. 1. 2 研究期間

平成18年度～22年度

2. 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
運営交付金	46	46				
その他外部資金	26	14				
総額	72	60				

2. 1. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 様々な社会条件の変化とそれに伴う物質フローの変化に関する定性的な因果関係を網羅的に整理し、これらの変化を定量的に表現するための手法について検討する。
- ② 資源循環技術システムを循環資源・廃棄物の種類、空間的特性、技術の原理などによって類型化し、国内外のレビューを行い、評価の対象とする近未来のシステムの一次的な設計を行う。
- ③ 国と自治体において各種法制度・政策の下で進められている取り組みの効果を計測し、国外の諸制度との比較考察などを含めて実態を明らかにする。また、循環・廃棄物マネジメントを支援するための指標・勘定体系における現状の課題を整理し、不足している事項について指標の作成や勘定項目の検討を行う。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① 様々な社会条件の変化とそれに伴う物質フローの変化に関する定性的な因果関係の第一段階のモデルを作成した。因果関係のモデルでは、廃棄物系バイオマスやストックされている社会インフラの更新に伴う土石系循環資源、在宅介護に伴う廃棄物など、近未来の資源循環のターゲットや必要となる対応技術や政策等が抽出された。また、消費と技術の成長速度に着目し、全国レベルの物質フロー（消費）と技術革新との環境的な適切性を理解するための簡易指標を提案した。さらに、事例研究として、わが国の家計消費を対象にCO₂排出に関して指標の値を算定し、総じて消費の成長速度がCO₂削減の技術向上の速度より速いことを示唆した。

② 循環資源の需給バランスの近未来予測を踏まえて、圏域レベルとして素材産業等の動脈産業と廃棄物処理を担う静脈産業とを連携し流通における港湾機能も組み込んだ鉱物系循環資源に対するシステムと、廃棄物系バイオマスの中で主に食品廃棄物に関する地域レベルのシステムを設計・提示した。その一部として、焼却残渣や食品廃棄物について LCA に基づくシステム評価を行い、溶融飛灰の山元還元システムや、焼却、メタン発酵、BDF 化のコンバインドシステムなどの優位性を示した。また、LCA による各種リサイクルの最適化に関する評価方法を検討・提示した。

③ 一般廃棄物行政を対象として、自治体間のパフォーマンスを比較可能にするベンチマーキング手法に基づくマネジメントの枠組み及び評価指標を検討し提案した。この成果の一部については、環境省のガイドライン作成に貢献した。また、従来のような廃棄物処理費用の原価計算ではなく、物質循環の各断面で発生する費用や環境保全効果を表現できる廃棄物環境会計を提案するとともに、リサイクル・処理施設のライフサイクルコストをデータベース化する調査を実施した。従来あまり調査されていなかった廃棄物処理施設の建設以前にかかる各種費用や解体費用の調査を行い、施設の全ライフサイクルにわたるデータを得ることができた。使用済み電気電子製品の発生要因の結果から、95 年から約 10 年おける廃棄台数の減少はテレビの長期使用が大きく影響していることなどを示した。なお、家電リサイクル法の実態評価の研究成果は、法の見直しを検討している環境省ならびに経済産業省からの問い合わせや相談等に活用された。

平成 19 年度の研究成果目標

- ① 近未来の物質フロー予測のベースとなる社会条件等の変化と物質フローとの因果関係に関するモデルの網羅性を高め、メインとなる複数の因果関係の道筋をシナリオ化し、近未来の物質フローの予測を定量的に行うためのモデルづくりに着手する。
- ② 鉱物系循環資源、バイオマス系循環資源、プラスチック系循環資源を対象に、近未来の資源循環技術システムを具体的に設計し、LCA の手法を用いて評価する。
- ③ 国の個別リサイクル制度について、その効果を検証し課題を整理するとともに、制度から抜け落ちてしまう「見えないフロー」への対応を検討するために収集・回収の制度のあり方について、拡大生産者責任（EPR）の概念などを踏まえて検討する。

平成 19 年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 近未来の循環型社会ビジョンについて、専門家を集めたシナリオワークショップを開催し、2030 年頃までに予想される社会変化とそれらの物質フロー及び循環・廃棄物管理システムへの影響を網羅的に整理した。近未来の物質フロー及び循環・廃棄物管理システムに影響を与える社会の変化として 22 の項目を抽出し、特に重要かつ不確実な影響を及ぼす要因項目として「国際市場・貿易体制の変化」、「資源価格の変化」、「技術の変化」が同定された。これらの社会変化を中心として、これらと一体的に取り扱える項目について考察し、シナリオ作成のための 2 軸「貿易体制・規制の変化」、「資源価格・技術の変化」を設定した。また、この 2 軸をもとに 4 つのシナリオを暫定的に描いた（末尾図表 2 参照）。それぞれのシナリオにおける近未来の物質フローを予測するモデル作成に着手し、まずは社会変化がもたらす製品・サービス需要への影響や天然資源消費抑制や環境負荷低減対策としての社会・技術システムの設定を外生的に与え、物質フローの将来予測と対策による効果を予測するための投入・産出型の定量的なモデルを試作した（モデルの基本構造は末尾図表 3 参照）。主要な循環資源として土石系、鉄系、木質系循環資源を対象にした分析から、対策効果の評価あるいは設定目標から必要とされる対策の水準を評価できる手法を提示した（鉄系に関する検討結果は図表 4 及び 5 参照）。社会システム変革の対策効果については、特に消費形態の変化の影響に着目し、特定の循環資源というよりは消費システム総体としての変化があらゆる循環資源のフローに与える影響、効果の分析に適していると考えられる産業連関分析モデルの作成作業に着手した。

② 上記の近未来における対策の実効性や具体的なシステムを検討するために、個別の循環資源や技術シ

システムを対象とした LCA 評価を行った。まず昨年度の成果もベースにしながら、含炭素循環資源（バイオマス系及びプラスチック系）については、エネルギー需要を対象にインベントリーデータの情報基盤整備を図った。その中で食品廃棄物や下水汚泥をケーススタディとして、技術システム開発に関する中核研究プロジェクトとも共同で、動脈・静脈連携循環システムを設計し評価した。これらの循環資源については、バイオガス化や燃焼発電を組み合わせたことが有効であり、また静脈プロセスだけで閉じるのではなく、系統電源や都市ガス導管との接続や燃料化による火力発電所石炭代替利用など、高効率な動脈プロセスとの連結が温暖化ガス排出量削減に有効であることを明確にした。また、鉱物系については、廃棄物溶融技術と非鉄製錬プロセスを結合させたシステムや、鉄鋼、非鉄、セメントの三大素材産業を中核とした動脈・静脈連携による産業システム形成の効果を評価した。システム分析には、産業連関を考慮した LCA の新たな手法も一部提案、適用した。

③ 容器包装リサイクルについては、法の見直しにおいて費用の問題が大きかったことから、今年度も引き続き費用情報を収集するとともに、費用対効果の把握に用いる未分別品の処理フローの調査・推計を行った。併せて、一般廃棄物実態調査の調査票の変更を環境省に要望し実現された。「見えないフロー」が問題となった家電・PC リサイクルについては、法施行前後でのフロー変化の推計と解析を行い、輸出が増加している状況などを定量的に明らかにするとともに、EU の政策実態を調査して、リサイクルはEPR（生産者責任）に基づいてなされるものの、家庭等からの排出品回収における責任・役割分担は EU 内でも様々な責任分担の形態があることを明らかにした。回収インセンティブを付与する施策として、諸外国のデポジット制度を調査した。建設リサイクルについては問題指摘検証型の実態評価を行い、対象工事規模の引き下げ、有害物質対策、届出・通知制度の有効化、費用徴収において政策課題があることを指摘した。リデュース・リユース研究については、引き続き乗用車の長期使用の影響評価研究を行うとともに（国際産業連関分析学会レオンティエフ賞を受賞）、家電リサイクル法の小売業者ルートでのリユース基準についての検討を進め、施策貢献を果たした。

2. 1. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	1	5	1			7
(平成 20 年 4 月)	14.3%	71.4%	14.3%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

4.0 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

“叙述的な社会シナリオ・ビジョン作成”、“技術システム・社会システム設計による循環型社会に向けた対策の検討と対策効果の予測”、“物質フロー・コストの分析モデル”の3つのサブテーマで構成される本プロジェクトは、さまざまなシナリオを想定しての政策評価が試みられており、高く評価される。これは、最終的に循環型社会のビジョンと対策を提案する試みであり、今後の政策提言に資する研究として高く評価したい。ワークショップ、論文数なども評価できる。一方で、10年～20年後の近未来社会の構造はもっと精

度良く見直すことができるはずであり、より新規性や現実さを加味した社会シナリオを提案して頂きたかった。

[今後への期待、要望]

今後、シナリオの精緻化とベンチマーク手法について一層の努力をすることで目標を達成して頂きたい。また、想定した4ビジョンの検討などにより、ビジョン間の相互比較を通じた政策評価を行って頂きたい。一方、循環資源システムを考える上で漏れている要素がないかを吟味し、社会・行政への貢献度の高い提言が行われることを期待する。また、ビジョンあるいはシナリオを考える上での評価指標の明確化と、新しい試みである自治体ベンチマーキング手法の意義の明確化と普及方法の具体化を要望する。

(3) 対処方針

ビジョンづくりのための社会シナリオや対策群（対策パッケージ）の検討においては、論点等を構造的に整理した上で、網羅性との兼ね合いを考慮しつつ個別に議論を深化させたい。現実さと具体性を持ちつつも、現在の政策の方向性からだけで発想することなく、あるべき姿の実現に向けた新規性のある対策提示を追求していきたい。その為に、他の中核PJとの連携を深め、外部の様々な専門家の見識を取り込むような作業も積極的に行っていく予定である。

最終的にいくつのビジョンを想定するかについては、ビジョン相互の比較検討に値するビジョンに集約する方向で考えている。新たにビジョンを増やすというよりは、集約したビジョンを細分化し、個々の不確実性要素については感度解析的なアプローチで検討することを考えている。

ビジョンに応じた対策群を検討していく上では、資源消費抑制に効果の大きい生産プロセス改善と、物質とエネルギーの地域・空間特性を加味したシステム最適化、3Rを実践する国・地域（自治体）等の構成主体の特性を踏まえたベンチマーキング手法などの誘導策、などについて特に重点的に検討していきたい。

ビジョンを評価する上で、評価指標や目標水準の明確化は特に重要な課題であると認識しており、現時点は天然資源消費抑制、地球温暖化対策や最終処分量等に着眼しているが、化学物質によるリスク低減を含めた廃棄物対策・適正処理や対策コスト等の経済的な観点など、他のインパクト要素も勘案して検討していきたい。また、今般の第二次循環基本計画における指標なども踏まえたい。

社会・行政への貢献度の高い提言に向けて研究成果をしっかりと形づくっていき、その上で社会との接点における成果発信も意識したい。

2. 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

2. 2. 1 研究の概要

資源性・有害性物質の利用・廃棄・循環過程におけるフローや各プロセスでの挙動、環境への排出、リスクの発生、資源価値を同定・定量化するとともに、代替物利用やリサイクルなどの効果を資源性・有害性の面から評価し、それら物質の管理原則について提示する。また、廃棄物処理・リサイクル過程での具体的な物質管理方策として、再生品需要を促進するために合理的な環境安全品質の管理手法を確立するとともに、資源回収・適正処理の高度化を支援するために資源性・有害性のトレーサビリティの確保方策の提示とその効果を実証する。

2. 2. 2 研究期間

平成18年度～22年度

2. 2. 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
運営交付金	50	61				
その他外部資金	52.7	46				
総額	102.7	107				

2. 2. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① プラスチック添加剤等を安全性確保の面からレビューし、有用性・有害性をもつ物質群を選定し分析法の検討を行うとともに、製品使用に伴う臭素系難燃剤等の室内及び家電リサイクル施設における挙動、環境排出に関する実態調査を行う。
- ② 水銀等有害金属については、物質のサブスタンスフロー、リサイクル・廃棄過程を含めた環境排出量の把握に着手する一方、短期的及び中長期的に優先性の高い資源性金属群を選定し、物質フローの整備に着手する。また、複合素材中の金属の試験方法を検討し、製品・廃製品中含有量のデータ取得を開始する。
- ③ 建設資材系再生品の環境安全性評価試験系のレビューと類型化を行い、利用形態と利用環境ごとに安全品質管理に必要な情報を提示し、新規の環境曝露促進試験や特性評価試験の必要性等を抽出する。従来型の特性評価試験についても、高精度化と簡略化を図る。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① プラスチック中の構成物として特に添加剤、不純物（非意図的生成物）の有害性に焦点を当て、臭素系難燃剤及び有機リン系難燃剤を対象に、試料前処理及び分析法について確立し、水溶解度やオクタノール水分配係数等の物性測定を行い、挙動評価に有用な物性値を得た。プラスチック中に含まれるRoHS規制対象物質等の含有量を非破壊、オンサイトで測定できる携帯型蛍光X線分析計を用いて製品のスクリーニングデータを集積し、含有量データベースを構築すると同時に精密化学分析と組み合わせることにより、効率的な製品モニタリングが可能となった。テレビ等の解体、破碎を行う家電リサイクル施設を対象とした調査を実施し、作業環境やプロセス排ガス、残渣中の有機臭素化合物について測定を行うとともに、テレビ内部ダストの除去や集塵機の利用といった防塵技術による作業環境濃度、環境排出量の低減効果について評価し、その有効性を確認した。また、製品からの化学物質の環境移行に関する知見を得るために、テレビ内部ダスト中の有機臭素化合物について部材含有量分析を通じて起源推定を行い、基板及びケーシング双方からの移行可能性を明らかにした。
- ② 製品、素材、廃棄物等複合素材中の有害性・資源性金属の試験法として、部品・素材の解体と個別分析による全含有量の積み上げ方式に加え、基板等資源回収される部品等の回収後残渣の不適正処理に伴う影響（潜在的な水系汚染等）を推定するための試験系（溶出試験及び燃焼試験）を加えた手法を確立した。また多種・多様な部品を搭載した基板等では多量試料を用いた燃焼と残渣・ガス分析を併用することも提案した。パソコンをケーススタディとして詳細分析し、基板については、上記試験法を用いて潜在的影響量を求めた。資源性金属については、「資源性」の定義、すなわち優先性の高い金属群を選択する条件を明確にした。国際的管理対象物質である水銀のサブスタンスフローを整備し、国内需要量（10～20トン/年）に対して回収水銀量（80トン/年）が多く、また輸出量が多いことを明らかにした。水銀の大気排出インベントリー作成に着手し、リサイクル・廃棄過程を含めた環境排出量の把握に必要な排出係数を求めるために、文献レビュー及び各種廃棄物の燃焼実験等を行った。廃棄物燃焼を中心に、主要な排出源の排

出量について、全体として9-29 トンと推定した。

③ 建設系再生製品に関する評価方法と許容基準について、欧州建設製品指令や欧州各国の評価フレームなどのレビューの結果を踏まえ、本研究における環境安全評価試験フレーム案を提示した。従来型、新規型を含む各種環境曝露試験や特性評価試験の位置づけと必要性を明確化した。欧州規格の特性評価試験をわが国の再生製品に適用し、攪拌強度や開口度が試験結果に特に影響することを明らかにした。「環境最大溶出可能量試験」については、精度評価を実施したが、試験法をより精緻化すべき結果が得られ、次年度の課題となった。欧州規格 pH 依存性試験と連続バッチ試験を試行検討した結果、アルカリ性の強い試料への対処が必要であることを明らかにした。環境曝露試験では、モルタル供試体は中性化によってヒ素等の酸素酸イオンになりやすい金属類の溶出が促進されることを見いだした。再生製品を発生源とする発生源モデル、ならびにその後の土壌地下水環境への移動モデルの原案を構築できた。

平成19年度の研究成果目標

- ① プラスチック添加剤等の物性、毒性データを整備しリスク評価及び得失評価に用いる。再生プラスチック製品における臭素系難燃剤等、混入化学物質の調査を行い、従来製品との有用性、有害性の両面からの比較考察を行うとともに化学曝露メカニズムについて一定知見を得る。
- ② 水銀のサブスタンスフローを精緻化し、資源性金属類のフローに着手する。リサイクル・廃棄過程における有害性金属類の環境排出量、動脈系への移動について実験的検討、フィールド調査によりデータ集積を行う。国内及び国際資源循環に対応して移動する金属類の推定手法に着手する。
- ③ 建設資材系再生製品からの有害成分の挙動について、各種試験を再現し実際挙動を表現できる発生源モデルと、評価試験データを発生源情報とする移動モデルを設計する。従来型特性評価試験の精度を評価し、標準化を完成させる。環境曝露促進試験、新規特性評価試験の原案を設計する。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 製品、再生製品を構成するプラスチック部材中の化学物質情報を明らかにするため、製品（テレビケース等）や再生製品（ビデオカセット等）中の臭素系難燃剤を対象とした分析を実施し、製品、再生製品中の含有レベルを把握した。調査した再生製品中には難燃剤が高々6,000 mg/kg までの濃度でしか含まれておらず、難燃目的としての使用（含有率が%オーダー）ではなく、再生により非意図的に混入したものと示唆された。このことから、臭素系難燃剤は再生プラスチックの混入率の指標物質になりうると思われた。製品使用時における化学物質の室内負荷に関し、一般家庭や事業所の室内空気、ハウスダストの分析を行った結果、難燃剤を含む多くの有機臭素化合物（TBP、HBCD 等）、PCB については室内空気やダスト中の濃度が有意に高く、室内に発生源があることが示唆された。発生源について検証するために、モデルルームにおける家電及び繊維製品の負荷試験を行い、室内空気について分析した結果、製品負荷に伴う顕著な濃度上昇を確認し、製品からの放散速度、排出係数など曝露リスク算定に有用なパラメータを求めることができた。廃プラスチックリサイクル7施設（破碎、圧縮・梱包、RPF 製造施設等）における調査を実施し、有害化学物質（添加剤、VOC、樹脂分解物、有機ハロゲン化合物等）の一斉モニタリングを行って、プラ選別室や圧縮・梱包機周辺等における作業環境の安全性、集塵機や活性炭処理装置を配した排ガス処理プロセスにおける制御性の評価を行い、最終排ガスデータから大気経由の環境排出量の試算を実施した。施設間のデータの比較評価を通じて、投入物やリサイクルプロセスと、発生化学物質との関連性について考察できた。

② 廃パソコンについて、40 種の金属量を把握し、解体段階における素材及び部品の回収性を評価した。廃パソコンの金属量に流通フローを組合せて、資源性・有害性金属（銅、鉛、貴金属類4元素）の潜在回収可能量及び国内・国外移動量を求めた。多種・多量の部品を含む基板について燃焼実験によるマスマラ

ンスにより得た金属量の代表値は、積み上げ方式による値とほぼ一致した結果を得た。製品に含まれる金属の資源性評価指標を新たに提案し、パソコン基板に適用し、経済的価値から優先される貴金属類のみならず銅やアルミニウム等も重要であることを指摘した。水銀の大気排出インベントリーを精緻化し、年間24～28 トンを得た。結果は環境省を通じて UNEP へ提出された。実験的検討及び発生源調査により形態別水銀の排出インベントリーを整備した。フィールド調査により家電製品、自動車等の破碎過程における原子状水銀の発生に留意すべきことが示唆された。

③ 建設資材系再生製品からの有害物質の発生挙動モデルについては、環境最大溶出可能量試験データを用いて、溶解度曲線を推定する方法を開発し、pH 依存性試験の結果と概ね一致することを確認できた。溶液を一部のみ置換する方式のシリアルバッチ試験を新規に設計し、産廃スラグ、銅スラグなどの再生材料とそのコンクリート供試体に対して試験法の適用性を確認できた。これらの試験結果から得た放出パラメータを用いる移動モデルを試作し、長期的な放出と地盤環境中での移動を予測する手法を示した。前年度からの課題であった環境最大溶出可能量試験について、条件を再検討し精度向上を図った結果、試験法として十分な精度であることがクロスチェックにより確認され、廃棄物学会標準規格の原案として提出した。リサイクル製品認定等での判断材料提供を目的に、各種再生製品の収集と試験データ蓄積を進めることができた。環境曝露試験では浸漬式の乾湿サイクル試験を設計・試行し、浸漬液の交換と乾燥温度の高温度化によって溶出が大きく促進されることを見いだした。

2. 2. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	2	4	1			7
(平成 20 年 4 月)	28.6%	57.1%	14.3%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.1 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“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”、“資源性・有害性を有する金属類のリサイクル・廃棄過程での管理方策の検討”、“再生製品の環境安全品質管理手法の確立”の3つのサブテーマで構成される。プラスチック、金属類に関し、製品のライフサイクルを通じた有害性・資源性評価のための詳細調査、解析を実施し、高く評価できる。本研究で進めている、社会に効用が期待されて流通する製品のライフサイクル、および製品中の化学物質の流通と使用停止後のリスクと残余価値を評価する試みは意義がある。一方で、研究が多岐にわたっているため、研究対象が製品中の化学物質かあるいは製品そのものなのかが不明確である。

[今後への期待、要望]

今後、一般的な方法論を提示して、他機関との共同／分担研究を進めながら、研究成果を生産者、消費者を問わず広範な情報提供を行い、施策、標準化などの具体策への反映を期待する。また、プロジェクトの最終

目標である「製品ライフサイクルを通じた化学リスク低減に向けた管理方策の基本モデルの提示」を達成すべく、暴露経路を考慮したトータルリスク評価や、製品製造セクターとの連携強化など今後注力すべき所を吟味してプロジェクトを推進して欲しい。

(3) 対処方針

循環廃棄過程をはじめとする製品のライフサイクルにおいて高リスク（ケミカルリスク）が生じることのないように適切な物質管理・制御方策を提示し、上流側の情報管理や情報開示等を促し、今後の法・政策体系の改正に反映できるようまとめていきたい。ヨハネスブルグサミット(2002)の2020年目標に対する国内対応をはじめ、REACH規制、RoHS規制などに対応したPRTR法や化学物質審査規制法の改正、各種リサイクル法の見直しといった政府の検討に資するべく、本プロジェクトの成果・知見を反映させることを基本と考えている。

プラスチック、金属等を対象とする個別研究（ケーススタディ）を進めることにより、物質管理方策の基本モデル構築を試みるが、具体的には、製品としてテレビやパソコンのライフサイクルに焦点を絞り、化学物質としては、プラスチック添加剤である難燃剤等を中心としてフィールド調査やフロー分析、リスク評価を実施しているところである。それを基にして、より一般化した包括的物質管理の基本モデルを模索、構築していく予定である。リスク物質、リスクの種類、暴露集団、暴露場とそのレベル等について研究マトリクスを網羅しつつ、所内他ユニットや他機関との共同研究を推進していくことにしている。また、一般市民から産業界に至るまで社会への情報発信は重要と受け止めており、研究成果の社会還元を適切な形で確実に進めていきたい。

2. 3 廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発

2. 3. 1 研究の概要

本中核研究プロジェクトは、廃棄物の削減と一体となってエネルギーおよび資源の循環利用が図れる技術および複合的な技術システムを開発すること、およびこの開発技術の適用によって同時に温暖化防止にも寄与することを目的とする。本中核研究では、技術開発の対象を廃棄物系バイオマスとすることから、技術の成果を温室効果ガスの排出量削減に直結させることが可能となり、廃棄物の量的削減という地域的な環境問題の解決のみならず、地球環境問題の解決にも役立つ研究と位置づけられる。さらに、エネルギーと資源の持続的な確保にも役立つこと、既存の産業と廃棄物対応プロセスとの連携または一体化による廃棄物排出の回避・低減を可能とするシステムの実現をも目指すことから、経済性の面においても合理的に実社会への導入を図ることを可能とする。

2. 3. 2 研究期間

平成18年度～22年度

2. 3. 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
運営交付金	80	72				
その他外部資金	60	35				
総額	140	107				

2. 3. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① (炭素サイクル型エネルギー循環利用技術システムの開発と評価) バイオマス資源・廃棄物のガス化-改質から十分な熱エネルギー(発電効率・発熱量)をもつガスが得られること、触媒の長時間耐久性試験評価により触媒活用のための基礎的知見を得ること、有効なガス精製技術の開発を進めることを主な目標とする。また、バイオフィューエル製造技術の高度化等の多様な利用技術開発にも着手する。水素・メタン2段発酵プロセスに関しては、対象バイオマスの発生特性等に応じたガス発生の解析・評価を行うほか、阻害アンモニアの制御手法開発を進める。
- ② (潜在資源活用型マテリアル回収利用技術システムの開発と評価) 乳酸発酵残さの養鶏飼料へのカスケード利用における各種条件を整理する。高効率リン回収技術・システムの規模要件および廃液特性等に応じた現状分析を行う。
- ③ (動脈-静脈プロセス間連携/一体化資源循環システムの開発と実証評価) 廃棄物系バイオマス等の地域賦存量等を把握しデータベース化とシステム基本設計、水熱反応処理等の要素技術開発等を行う。

平成18年度の研究成果(研究成果の活用状況を含む)

① 従来のガス化-改質法における改質温度より比較的低温(850℃)の操作を前提に、建築廃木材を用いて無触媒条件で熱分解ガス化-水蒸気改質試験を行い、発電等によるエネルギー利用が可能と考えられる発熱量(1,000 kcal (4.2MJ) /m³_N)以上の熱量をもつ燃料ガスを生成可能であることを示した。改質触媒の適用に必要な長時間性能の評価を行うため、タール模擬成分(ナフタレン)の供給試験による同成分除去性能の変化に係る特性を把握した。一方、約15kg/hの処理能力を持つ大型実験プラントを用いたガス化-改質特性の経時変化特性を各種ガス成分の測定データに基づいて解析し、酸化カルシウムと触媒の複合的な適用(特許出願)およびその最適組み合わせ比率の評価を行い、さらに次段階への課題を抽出した。また、バイオディーゼル燃料(BDF)に関する相平衡データの測定とその推算モデルの評価を行い、BDF製造プロセスの設計に最も有用な相平衡推算モデルを選定した。さらに、未利用バイオマスの発酵プロセスへの受け入れに関して、液状廃棄物としての生ごみ等の基質特性を評価し、炭水化物、蛋白質、脂質等の割合に応じて水素/メタン2段発酵システムにおける分解率、ガス発生量、水素収率等が異なること、炭水化物分解細菌の多様性は超高温の方が低く、炭水化物中心とする廃棄物からの水素回収においては超高温の効果は小さいことなどが示唆された。MAP-ANAMMOX アンモニア除去システムの実証実験に向けて、MAPによるアンモニア除去・再溶解・部分亜硝酸化・ANAMMOXの各リアクターの設計・運転パラメータを決定した。すなわち、MAP単位重量あたりにアンモニア吸収量と放散量がともに質量5%になること、アンモニアガス濃度3,500ppm、二酸化炭素濃度2.5%、ガス流速5000m/d、液流速1000m/dの条件で、良好なアンモニア吸収が可能なこと、揺動床部分亜硝酸リアクターの処理能力が3.5~4.0kg-N/m³・dまで窒素負荷量を高められること、ANAMMOXリアクターは十分な微生物ベッドを発展させることにより、1~2kg-N/m³・dの高速かつ脱酸素不要の運転が可能となった。また、実証施設のいくつかの候補の中から、垂水市大隅ミート産業に設置されたバイオガス実証実験設備を選定した。

② 食品廃棄物を用いた連続回分方式の乳酸培養実験において、全プロセスの物質収支を明らかにすることにより発酵廃液を全く出さないゼロエミッション型の食品廃棄物バイオプラスチック生産・飼料化技術システムの基盤を構築した。すなわち、含水率80%の食品廃棄物を原料とした乳酸発酵システムは、糖質を乾重ベースで50%含む原料では約5%、98%光学純度のL-乳酸、14%(含水率14%)のリサイクル製品を生産することを明らかにした。液状廃棄物処理システムにおける長期安定的なリン除去のための適正な維持管理技術を検討すると同時に、枯渇性リン資源の回収技術として、分散・集中のスケールに応じた吸着法、鉄電解法および汚泥減容化とのハイブリッド化等のプロセス開発を進めた。すなわち、実家庭に設置した

鉄電解脱リン法における余剰汚泥のリン含有率が通常よりも高濃度であり、かつ、不溶性となっていること、溶出した鉄のほとんどが汚泥中にリン酸鉄、酸化鉄等の形態で存在していること、酸性条件において余剰汚泥からリンを溶出可能であることなどを明らかにした。集中処理に対応したオンサイトの吸着リン回収法としては、中規模浄化槽（30人槽）との組み合わせによる生活排水からのリン回収ミニパイロットシステムを構築できた。また、活性汚泥法とマイクロバブル化オゾンとの組み合わせでは、汚泥中の約65～70%のリンがリン酸態として溶出し、吸着剤により効率的に回収可能となるなど、処理プロセスの基盤を構築できた。

③ 大量に発生している下水汚泥を対象とし、バイオマス固形燃料への質転換プロセス（乾燥、水熱処理、炭化）とセメント製造プロセスを連結した動脈-静脈一体化システムを評価した。対象システムについて、物質収支、エネルギー収支、燃料の性状データ等を取得し、下水汚泥焼却システムと比較した結果、水熱処理のケースが乾燥に要するエネルギー消費量が少なく、石炭代替効果等に相当する量のCO₂削減効果が最も高くなった。

平成19年度の研究成果目標

- ① （炭素サイクル型エネルギー循環利用技術システムの開発と評価）ガス化・改質プロセス開発において、改質触媒の高度活用技術開発を進めるとともに、触媒の長時間耐久性試験評価および再生による繰り返し利用試験評価を行い、ガス化性能維持のための知見を得る。
- ② 未利用の低品質廃油脂類からバイオディーゼル燃料を製造するための製造技術を開発し、その技術特性を明らかにする。
- ③ 2相式酸発酵プロセスを水素発酵との共存型にすることによりエネルギー回収効率の向上を図ると同時に、脱離液処理を一体化したプロセス技術の開発を行う。
- ④ （潜在資源活用型マテリアル回収利用技術システムの開発と評価）既設のセミパイロット装置による食品廃棄物の乳酸発酵試験に基づき、乳酸回収性能の向上と発酵分離ケーキの飼料としての品質の最適処理条件について検討を行うとともに、これらの発酵製品を用いた地域循環システム作りを推進する。液状廃棄物中リンに対する吸着/脱離/資源化/吸着剤再生の技術因子を求めるとともに、リン酸鉄含有汚泥からの回収効率向上、汚泥減容化とのハイブリッド化における最適運転条件の確立を図る。
- ⑤ （動脈-静脈プロセス間連携/一体化資源循環システムの開発と実証評価）関東エリアを中心にして廃棄物系バイオマスの需給状況をデータベース化し、特定の地域を想定したシステム設計を行い、ライフサイクルアセスメントの手法により評価を行う。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 18年度の検討よりさらに比較的低温（650-850℃）の条件まで幅を広げ、主に木質バイオマスを原料とした水蒸気ガス化・改質試験を実施し、Ni-Ca系改質触媒の適用により40%以上の水素濃度と2,000 kcal/m³_N（8.4MJ/m³_N）以上の発熱量を有する燃料ガスを得ることに成功し、カーボンガス化率95%以上を達成した。また、触媒にカルサイトを原材料とする酸化カルシウムを併用することで、タール成分の分解を促進し、酸化カルシウムの炭酸化反応に基づくCO₂吸収による水素組成または発熱量・燃焼特性制御が可能となることを明らかにした。一方、触媒の耐久性向上については、改質温度850℃において十分な耐久性を有すること、同温度において空気酸化により触媒再生を行った場合、触媒活性が十分に回復することを実験的に明らかにした。15kg/h規模のベンチスケール流動層によるガス化-改質実験の結果から、酸化カルシウムの使用量の増大に比例して水素濃度が増加しタール成分濃度が減少することを明らかにし、生成ガスの選択的制御に関する技術的要件を取得した。

未利用の低品質廃油脂類であるトラップグリースや廃食用油固化物に液化ジメチルエーテル（DME）を抽出溶媒として添加し、それらの廃油脂類からバイオディーゼル燃料（BDF）原料成分を選択的に99.9%以上

抽出できる技術を新たに開発した（特許出願）。また、液化DMEを用いたBDF超高速合成技術を新規に開発し（特許出願）、従来法の1/2の温度においても、新技術は従来法の100倍以上の反応速度を有することが明らかにされ、本技術が小型かつ高効率なBDF製造技術へ展開できる可能性が得られた。

食堂残飯（TS10%程度）を対象とした水素/メタン二段発酵プロセスにおいて、水素発酵槽の微生物濃度を高く維持し、pHを5.5に制御する等の適正条件の把握により、長期間の連続水素発酵が可能となり、酢酸、酪酸を主な中間代謝産物とする発酵パターンの有機物負荷特性、温度特性に応じた変化をモニタリングすることができた。水素発酵槽では $41\text{kg-COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ の負荷条件においても発酵効率が高く維持されており、更なる高負荷運転が可能であると同時に、メタン発酵槽との二段発酵システム化の設計に資する成果が得られた。また栄養塩類除去機能等の解析を実施し、発酵阻害物質であるアンモニアの酸化プロセスにおいて、通常の微生物保持担体としてのプラスチック担体と比較して、硝化細菌を高濃度に固定化したゲル担体を用いることで、硝化効率が著しく向上可能であるなど、発酵プロセスと一体化したシステムとしての最適運転条件の基盤を構築することができた。

② 循環資源としての食品残さに排出段階でL-乳酸菌を植種することで、腐敗菌や常在ラセミ乳酸菌による原料劣化を防止することにより生成乳酸の品質保全を確保できるようになり、生成L-乳酸の品質を98%以上のレベルで維持できることを示した。また、オートクレーブ代替殺菌法として安価な過熱蒸気噴射法を検討し、蒸気温度150℃、接触時間5分の最適殺菌条件を実験的に明らかにした。さらに、18年度の予備実験を踏まえて肉用鶏への発酵残さ飼料の飼養実験を行い、発酵残さ飼料の鶏へのプロバイオティック効果や遊離グルタミン酸の増加による旨味成分の増加および鶏肉中の抗酸化ペプチドの増加ならびにコレステロールの低下などの高付加価値鶏肉生産効果を検討し、食品残さを原料としたゼロエミッション型乳酸発酵技術が実用性の高い循環技術であることの評価を前進させた。

分散および集中処理に対応したリン除去・資源回収技術として、吸着法、鉄電解法が実過程における分散型処理システムとして安定なリン除去を行い得ることの長期モニタリングを実施すると同時に、リン含有汚泥からの効率的リン回収技術要素開発を行い、0.05M程度の硫酸により数十分で80%程度のリンを溶出させることができた。各処理プロセスにおける物質収支解析の結果、投入リン量に対する68%程度（汚泥に対して77%程度）の回収が見込まれることが明らかとなった。中規模浄化槽（30人槽）との組み合わせによるリン回収ミニパイロットシステムにおいては、物質収支解析を進めるとともに、吸着帯と飽和帯の解析に基づく吸着効率化試験等を行い、2系連結運転等の最適条件の確立に目処をつけた。これらの結果を基に、詳細設計因子の抽出およびコスト試算等を進める段階にある。また、活性汚泥プロセスにおける微生物解析に基づき、汚泥転換率が低く、リン含有率の高い複数の微生物群が検出されたことから、有用微生物を活用した運転条件確立のための汚泥濃度条件等に関する基礎的知見を得た。

③ 動脈-静脈プロセス間連携のパターンを類型化し、類型ごとの既存システムについて実態調査を行い、地域の需給特性に応じたシステムの技術的、社会経済的な成立条件を整理した。エネルギーの需要特性から見た場合、需要側のポテンシャルは膨大であり、鉄鋼や製紙などの産業プロセスが一つあれば広域的に存在するバイオマス資源を一挙に受け入れ可能である一方、発電による電気エネルギーの系統との接続は分散型でも対応可能であるが、バイオガスのガス導管との接続はガス製造設備の立地特性に依存することが明確になった。また、熱需要は温度や時間的な特性がさまざまであり、エネルギー供給側との相互受容性について十分に検討する必要がある。それらの知見を基に、有効利用が十分に進んでいない湿潤系バイオマス（下水汚泥、食品廃棄物、廃油脂等）を対象として、主要な連携システムを設計し、評価のためのインベントリーデータの収集および関東エリア内特定地域での二酸化炭素削減効果を試算し、従来型の処理処分システムに対する優位性を確認した。バイオマス存在量については、NEDOのデータベースに加えて、新たに関東エリアにおける市町村別の廃油脂存在量のデータベースを構築した。LCAによる二酸化炭素削減

減については、例えば下水汚泥については、バイオガス化による都市ガス利用と残さの炭化燃料化を組み合わせたケースが最も効果が高くなることを明らかにした。

2. 3. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		4	3			7
(平成 20 年 4 月)		57.1%	42.9%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

3.6 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“炭素サイクル型エネルギー循環利用技術システムの開発と評価”、“潜在資源活用型マテリアル回収利用技術システムの開発と評価”、“動脈・静脈プロセス間連携／一体化資源循環システムの開発と実証評価”の3つのサブテーマから構成される。本プロジェクトは、環境省をはじめとして他行政機関も関心をもっているテーマであり、廃棄物系バイオマスの資源循環技術の開発を目指し幅広い技術シーズを検討し、それらの技術の有用性の総合的評価を目指している点は高く評価される。一方で、他の研究機関による研究と比較して独創性や思想が必ずしも明確でなく、最終目標のWin-Win型資源循環技術の将来像が見えにくい現状となっている。

[今後への期待、要望]

今後、例えば研究の焦点を絞り込むなどにより、残りの研究期間でのプロトタイプの実証にまでサブテーマを完成することを期待する。また、国環研としての独自性、研究の出口を明確にして今後の研究を進めて頂きたい。

(3) 対処方針

本研究プロジェクトは、これまでエネルギー回収を目指すサブテーマ1、マテリアル回収を目指す同2、動脈/静脈連携システムの構築を目指す同3により進めてきた。

分科会見解中、研究の焦点を絞り込むことなどにより今後の期間にプロトタイプの実証にまでサブテーマを完成することについては、今年度前半の期間内において個別技術の進捗度と上記実証までに必要な条件等を精査することにより、サブテーマまたは個別技術の選別を行うこととする。

国環研としての独自性を明確にすることについては、個別技術にあってはそれぞれ備えていると判断しているが、今後はさらに、本研究プロジェクトは適正な廃棄物処理技術の開発でもあることを踏まえた環境負荷低減および安全に関する視点を明確に示すよう努める。また、中核プロジェクト全体としての独自性という観点から、サブテーマの絞り込みを行う過程で総体としての独自性をも鮮明にしていく所存である。

研究の出口を明確にするべきであるという指摘については、選別する個別テーマの研究到達点すなわちプロトタイプを示すとともに、動脈/静脈連携システムに当該資源化技術を組み込み、それを適用した実証等を踏まえて総合的な到達点を示す。これらを通じて、従来の廃棄物処理体系における本研究プロジェクト開

発技術の位置づけを明確に示す。

本研究プロジェクトの内容について、今年度以降、他の中核プロジェクトの関連研究とも連携して、環境省をはじめとする行政や産業界等への成果の発信とともに、廃棄物系バイオマスに係る循環利用技術の開発戦略のあり方を議論する場を積極的に設け、本分野における先導役を果たしながら本研究プロジェクトの独自性等を表明していく。

2. 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

2. 4. 1 研究の概要

日本を含めたアジア地域での適正な資源循環の構築に貢献すべく、途上国を中心とする各国での資源循環、廃棄物処理に関する現状把握を通して、アジア地域における資源循環システムの解析を行う。また、技術的側面からの対応として、適正処理及び温暖化対策を両立する途上国に適合した技術システムの設計開発とそれを現地に適用した場合の効果の評価を実施する。これらを総合し、該当地域における資源循環システムの適正管理ネットワークの設計及び政策の提案を行う。

2. 4. 2 研究期間

平成18年度～22年度

2. 4. 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
運営交付金	54.6	57.5				
その他外部資金	30.9	26.8				
総額	85.5	84.3				

2. 4. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① アジア地域における国際資源循環及び関連する国内資源循環の現状について、製品、物質という二つの側面から物質フローの概略を把握するとともに、各国における関連政策及びその評価手法開発のために必要な調査を実施する。
- ② アジア地域におけるE-wasteをはじめとする資源循環過程に伴うPOPsや水銀などによる環境汚染の発生状況について、既存の測定分析方法と結果をレビューするとともに、予備調査を実施する。
- ③ 途上国に適した技術システムの設計開発のため、アジア諸国における廃棄物管理システムについて、現況調査と比較研究によって既存技術に対する影響因子を抽出する。埋立地全体からの温室効果ガス排出量観測法については、地表面法などを検討する。
- ④ バイオ・エコシステムを適用した技術導入に関して、汚水性状、バイオマス性状、汚濁負荷の質・量特性の調査に基づく地域特性評価を実施する。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① 国際資源循環の物質フロー分析として、家電・パソコン、廃プラの国内・国際フローの分析を行った。家電とパソコンについて、「見えないフロー」などとして中古品輸出がそれぞれ継続、増加している傾向を示した。国内とアジア諸国における資源循環政策ならびに輸出入規制を整理し、中古品輸入規制が強化

されていることなどを把握した。国際資源循環の観点からの資源性・有害性の概念整理を行った。これらを効果的に実施するために、第3回国立環境研究所 E-waste ワークショップを開催して、有害性・資源性、インベントリ、リユース、拡大生産者責任制度などを議論し、アジア諸国での E-waste 問題を各国専門家と共有した。

② アジア地域における E-waste をはじめとする資源循環過程に伴う POPs や水銀などによる環境汚染の発生状況について、既存の測定分析方法と結果をレビューした。土壌などの試料の採取・測定分析・毒性評価・モニタリング方法に関する予備調査を実施し、バイオアッセイの適用可能性を検討する準備を整えた。パソコンの解体、電子基板の燃焼、プラスチックの太陽光照射に関する実験またはその準備を開始し、当該物質の排出挙動解析に着手した。

③ 途上国に適した技術システムの設計開発のため、アジア諸国における廃棄物管理システムについて、現況調査と比較研究によって準好気性埋立、多機能性覆土を含む既存技術に対して最適化すべき影響因子として、ごみ質、透気係数、埋立地構造、処分場ガス成分などを抽出した。技術システム導入事例として韓国の生ごみ分別システムを先行的に LCA によって評価した結果、温暖化と最終処分量の双方で効果があることが示された。埋立地全体からの温室効果ガス排出量観測法については、地表面法などの検討を行った。これらの検討を効果的に実施するために、アジアにおける廃棄物管理の改善と温室効果ガス削減に関するワークショップを開催し、アジア諸国の廃棄物専門家と議論した。

④ バイオ・エコシステムを適用した技術導入に関して、汚水性状、バイオマス性状、汚濁負荷の質・量特性の調査に基づく地域特性の把握を進め、中国環境科学研究院において、アジア地域における研究拠点としての分散型排水処理システム性能評価施設を構築し、中国における試験評価マニュアルの基礎を確立した。また、家庭から排出される有機性液状廃棄物としての生活雑排水対策の一環として、傾斜土槽法の処理機能解析を行い、原水流入パターン調整（間欠流入系導入）等の最適化によって、生物学的硝化反応（アンモニア酸化）が 50%以上向上し、空気ばっ気等の動力を用いずに、硝化反応を進行させることが可能な運転条件が明らかとなった。

平成19年度の研究成果目標

- ① 国際資源循環及び関連する国内資源循環の現状把握について、物質フローを精緻化するとともに、フローと政策との関係を整理しながら各国における関連政策の調査を継続する。また、評価手法の開発に着手する。
- ② アジア地域における E-waste などの資源循環過程からの POPs などの残留性有機汚染物質や、水銀などの無機汚染物質の発生状況について、土壌などの試料の採取・測定分析・毒性評価・モニタリング方法を検討する。
- ③ 既存の埋立技術に対する影響因子を考慮して、技術導入の最適化を図るための検討をラボスケールで実施する。気象学的手法を用いて、埋立地全体からの温室効果ガス排出量観測法を検討する。
- ④ 生活雑排水・し尿などの汚水処理のための植生・土壌浄化、浄化槽、傾斜土槽法等の温度条件、負荷条件等に応じた処理機能解析による高度化およびバイオマス廃棄物の嫌気発酵エネルギー回収技術等の廃棄物性状・発生特性に応じた機能解析による資源化技術の効率化を行う。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 国際資源循環の物質フロー分析として、家電・パソコン、廃プラの国内・国際フローについて、物質フローの精緻化を行った。家電は4品目の推定中古輸出台数が460万台程度あること、アジア諸国での排出台数の増加傾向、中古品輸入国での残渣発生率、ベトナムでの解体調査から廃基板が中国へ集中してい

ることなどを示すとともに、財務省の輸出品目分類改定（中古品目新設）にも貢献した。パソコンについては国内フローを精査の上、中古輸出が200万台程度まで伸びていることを明らかにした。日本・アジア・欧州の家電リサイクル制度について、生産者の責任範囲が一般に引取り以降に限定されることを把握した。廃ペットの輸出要因と中国でのリサイクルの特徴を整理し、貿易統計や国内リサイクルの課題を示した。有害性の視点からの評価手法の試算をパソコンなどの事例で行い、評価手法ごとに多様な結果が得られることを示した。以上のE-wasteに関する成果は、11月に開催した第4回国立環境研究所E-wasteワークショップにおいて、各国専門家と有益な議論をするなかからも得られた。

② 途上国で適用可能な試料採取・測定分析法などを開発して資源循環過程での環境影響把握につなげるために、アジア-太平洋地域の都市ゴミ投棄場や港湾・沿岸域から採取した土壌・底質試料を対象にバイオアッセイ（DR-CALUX法）によるモニタリングを実施した。前処理の自動化等により迅速にダイオキシン類縁化合物の測定ができ、化学分析による毒性等量値を精度良く予測できることを示した。廃パソコンの詳細解体・化学分析を行い、基板などに含有されるAg、Au、Cu、Pbなどの金属量を求めるとともに、年間の国内資源化量をAuについて最大0.21tなどと推定した。臭素系難燃剤等が含まれる基板の燃焼実験を行い、非制御の不完全燃焼条件下ではPBDEs等の排出が制御燃焼に比べ大幅に増加することを示した。また、太陽光によるプラスチック中臭素系難燃剤の分解実験を行い、プラスチック中でのBDE209の分解半減期が約50日と求められ、また、PBDFsが二次生成されることが明らかとなった。

③ アジア諸国の廃棄物処理フローをパターン化し、分別収集、資源化処理施設導入、準好気性埋立の技術導入による環境負荷変動を評価するLCAモデルを作成した。温室効果ガス排出量を抑制し、浸出水処理負荷を軽減することが可能な準好気埋立という埋立技術の効果を評価するパラメータとして、保有水分布と埋立地ガスのメタン比の関係を明らかにする試みに着手した。これらの検討を効果的に実施するために、第2回アジアにおける廃棄物管理の改善と温室効果ガス削減に関するワークショップを開催し、アジア諸国の廃棄物専門家と議論を行い、廃棄物管理、廃棄物排出量、温室効果ガス排出量などに関する信頼あるデータ収集と評価を行うための研究連携体制について確認を行った。

④ 中国の生活排水事例についての調査を実施し、我が国の生活排水原単位と比較して、BOD/N比が低いこと、濃度が高く・水量が小さいことなどの特性を解明し、アジア地域に適合した液状廃棄物対策技術開発の重要な基礎的知見を得ることができた。また、途上国におけるし尿と生活雑排水の分離処理（コンポストトイレ等）のケースを想定し、アジア地域に適応可能な省エネ・省コスト・省メンテナンス型の液状・有機性廃棄物対策技術の開発を進めた。また、国内の実家庭の生活雑排水を処理する傾斜土槽法を構築し、これまでに、日間水量変動（ピーク）の解析を進めるとともに、SS、BOD等の効率的な処理性能を確認することができた。有機性液状廃棄物処理技術としての植栽・土壌浄化法等については、生活雑排水・し尿などの処理機能および処理過程で発生する温室効果ガスの発生特性の季節変動解析を行い、通年での処理特性およびCH₄、N₂Oの温室効果ガス発生抑制効果を踏まえ、汚水流下方法としての浸透流方式および垂直流方式との組合せが有望であることが示された。

2. 4. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	1	6				7
(平成 20 年 4 月)	14.3%	85.7%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

4.1 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“物質フロー分析による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の開発および国内・国際の制度分析と政策提案”、“アジア諸国における資源循環過程での環境影響の把握”、“適正処理および温暖化対策を両立する途上国に適合した技術システムの開発と適用”の3つのサブテーマで構成される。FTA等により物流の国境障壁の低下が必至である状況において、アジア圏における物流と、それに伴うRecycle、Reuseの在り方、システムを対象とする本研究の意義は大きい。本研究でアジア諸国の研究者とのネットワークの確立、模擬実験、廃棄物処理の比較分析等を行ったことで、これまで解明されていなかったE-wasteや有害金属等のフローが徐々に明らかになっており、高く評価できる。

[今後への期待、要望]

今後、本プロジェクトの成果が廃棄物・資源循環のみではなく、アジア全体の製品設計や使用基準にまで還元され、さらには日本の国益をふまえたアジア・国際環境戦略の提案につながるような成果を期待したい。また、サブテーマ3は他の2つのテーマと違和感があるので、研究の進め方に工夫されたい。一方、本プロジェクトではE-wasteを中心としたMFAによって状況が明らかにされたが、次のステップとしてどうすればよいのか、望ましい方向性を示す必要がある。

(3) 対処方針

アジア全体の製品設計や使用基準については、日本からの循環資源が中国などで製品原料に利用されている状況を考えれば非常に重要な指摘ととらえており、中核プロジェクト2と一層連携してプラスチックを主とした検討を続けたいと考えている。

国際的な循環型社会形成のためにも、サブテーマ1と2で担当している国際資源循環（越境移動と海外現地の資源循環）の適正化とともに、サブテーマ3でも各国の廃棄物管理の向上に資するよう努めているが、今後ともサブテーマ間の連携と役割には十分配慮したい。サブテーマ3は既にODAと関係しているものがあるが、技術開発と評価を重点的に行っている。研究、ODA、民間として実施すべき内容と役割に十分配慮しながら、国内外の研究所以外のアクターとの協同やネットワーク化を意識するとともに、CDMなどにおいても研究成果が適切に利用されることを心がけたい。

E-wasteなどに関して、見解で指摘された実態把握の次のステップが必要であることは強く認識している。中期計画期間の後半は、越境移動や環境影響の把握の作業は継続しつつ、中核プロジェクト1や2とも連携して国際資源循環の総合的な解析・評価・提言を目指したい。

3 環境リスク研究プログラム

3. 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

3. 1. 1 研究の概要

課題(1)地域 GIS 詳細モデルおよび地球規模など複数の空間規模階層を持つ動態モデル群の総合的構築:地域 GIS 多媒体モデルの開発を行い、流域動態の再現性を確認した。全球多媒体動態モデルの開発と PCB 等で検証を進めた。小児の曝露特性に関する検討及び東京湾の PCB、PFOS 等の観測と室内移行実験を行った。

課題(2)バイオアッセイと包括的測定との総合による環境曝露の監視手法の検討と曝露評価への適用:環境水および環境大気の *in vitro* 試験のための濃縮・分画法を確立し、全国多数の環境水・大気試料への適用性の検討を開始した。また、各種 *in vivo* 水生生物試験法を用い WET 概念等での包括的影響把握の検討を実施した。

課題(3)モデル推定、観測データ、曝露の時間的変動や社会的要因などの検討と総合解析による曝露評価手法と基盤の構築と整備:モニタリングデータの統計解析手法の開発および曝露の総合解析の考察を行った。

3. 1. 2 研究期間

平成18年度～22年度

3. 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
運営交付金	45	55				
その他外部資金	14	14				
総額	59	69				

3. 1. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ① 地域 GIS 詳細モデルおよび複数の空間規模階層を持つ動態モデル群の総合的構築
- ② バイオアッセイと包括的測定との総合による環境曝露の監視手法の検討と曝露評価
- ③ モデル推定、観測データ、曝露の時間的変動や社会的要因などの検討とこれらの総合解析による曝露評価手法と基盤の整備

平成18年度の研究成果(研究成果の活用状況を含む)

- ① 地域 GIS 詳細モデルおよび複数の空間規模階層を持つ動態モデル群の総合的構築
 - (a) 地域レベルにおける GIS (地理情報システム) に基づく動態モデルの構築のため、多摩川、大和川、日光川他数地域の都市地域における下水道処理区域、処理場および放流地点等を GIS 多媒体モデル G-CIEMS において利用可能なデータオブジェクトとして新たに構築し、以下に述べる流域動態のケーススタディの基礎として利用した。
 - (b) 上記の準備に基づき各水系の流域動態の計算を行い、分解速度、PRTR の排出推定値、物質変換の状況、揮発-沈着速度など主要な動態関連要素が計算結果に及ぼす影響を検討した。この3流域での物質動態の観測との比較では、モデル予測は地点精度としてほぼ観測値と10倍以内の幅に収まり、また、下水道を通じた負荷量の集水機能により主流部における精度は向上した。
 - (c) POPs 等の地球規模の動態解析モデルの構築のため、全球2.5度分解能での地理データセットを構築し、PCB#153の地球規模動態を、グローバル化された G-CIEMS 多媒体モデルによる予測計算を行った。
- ② バイオアッセイと包括的測定との総合による環境曝露の監視手法の検討と曝露評価

(a) 環境水の *in vitro* バイオアッセイによる環境曝露モニタリングの検討においては、C-18 FF 固相ディスク／メタノール溶出からフロリジルカラム分画を用いる新たな濃縮法を開発し、この成果から地方環境研究所との共同研究により得られた全国 8 都道府県の環境水試料に対し、hER、medER、hRAR、hAhR の各レセプター結合性試験、および発光 *umu* 試験を適用し、これらの包括的曝露モニタリングによって環境水の特性を曝露モニタリングの観点から考察可能であることを示した。また、ウズラ卵内投与による *in vivo* 試験法により、*in vitro* の曝露モニタリングを生体内への影響へ結びつける可能性を検討した。

(b) 大気中の *in vitro* バイオアッセイによる環境曝露モニタリングの検討においては、半揮発性物質を含めて十分な回収率を得られる大気試料の濃縮法を開発した。これにより実大気数試料の変異原性試験（マイクロサスペンション法）を行い、従来はデータの少ない半揮発性画分から、粒子状成分の数分の一程度の変異原性が観測されること、また季節変動を明らかにした。

(c) 水生生物を用いた環境毒性の観点からの環境曝露の包括的、多面的視点からの監視手法の確立のため、セリオダフニア繁殖阻害試験、ゼブラフィッシュ初期生活段階試験、緑藻増殖阻害試験等、また底質等の共存成分の生物試験への影響、魚類胚・子魚を用いる試験法、ケーシングによる環境水の直接監視手法などいくつかの新たな試験法確立の可能性について検討を行った。

③ モデル推定、観測データ、曝露の時間的変動や社会的要因などの検討とこれらの総合解析による曝露評価手法と基盤の整備

(a) 曝露評価手法として特に課題となる点に対する検討の一つとして、不検出値を含むモニタリングデータから 95 パーセントイル値等の統計的代表的値の統計的推定を行う手法を検討し、実際に不検出値を含む観測データから推定が可能であることを示した。

(b) 水環境における、特に底質を含む水環境における化学物質の動態解析課題では、PCB および PFOS 等の残留性物質の東京湾における水、底質および生物を含むフィールド観測と底質から水生生物への移行の室内実験を平行して行った。この結果、東京湾内での PCB および PFOS の水平・垂直分布と各物質間の相関、底質から水生生物への PCB の移行特性の予備的知見を得た。

平成 19 年度の研究成果目標
① 地域 GIS 詳細モデルおよび複数の空間規模階層を持つ動態モデル群の総合的構築
② バイオアッセイと包括的測定の総合による環境曝露の監視手法の検討と曝露評価
③ モデル推定、観測データ、曝露の時間的変動や社会的要因などの検討とこれらの総合解析による曝露評価手法と基盤の整備

平成 19 年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 地域 GIS 詳細モデルおよび複数の空間規模階層を持つ動態モデル群の総合的構築

(a) 地域レベルにおける GIS（地理情報システム）に基づく動態モデルの構築課題では、昨年度に引き続き 3 流域での流域動態の計算による解析と観測値との検証による改良を行った。また、プログラムのより広範な利用のため入力データに対する動的なデータ構造への改善、エラー耐性の強化等のプログラム改良とモデル計算システムの公開準備のための改良を達成した。

(b) POPs 等の地球規模の動態解析モデルの構築課題では、昨年度に構築した全球 2.5 度分解能でのデータセットに基づくグローバル G-CIEMS 多媒体モデルの開発を継続し、また、国際比較研究の中で長距離移動特性等の検証を得た。水銀等の複数の化学形態を有する有機・無機化合物の形態変化を多媒体過程の中で推定するモジュールの導入を行った。

(c) 水環境における、特に底質を含む水環境における化学物質の動態解析課題では、PCB および PFOS 等の東京湾におけるフィールド観測を継続して水平・鉛直分布の詳細な調査結果を得て解析を行った。底質から魚類（マコガレイ）への移行モデルの予備的構築によって底質由来の PCB、POPs 類の経路別移行特

性についての推定結果を得た。

(d) 小児における経気道曝露量の推定に必要な換気量に関する知見について、幼稚園・保育所での110名を対象にした調査の結果から、三次元加速度計を用いた活動強度の推定手法の確立と、活動量と肺換気量の関連性を明らかにした。また、この結果より幼児の実際の活動量を反映した肺換気量の推定値を得た。

② バイオアッセイと包括的測定の総合による環境曝露の監視手法の検討と曝露評価

(a) 環境水の *in vitro* バイオアッセイによる環境曝露モニタリングの検討においては、H18年度の検討で確立した濃縮・調製法を用いて地方環境研究所との共同研究による全国13都道府県80検体の環境水試料に対する hER、medER、hRAR、AhR の各レセプター結合性試験、発光 *umu* 試験および汚濁成分の分析結果を得るところまで達成し、曝露モニタリングの観点から考察を行った。

(b) 大気中の *in vitro* バイオアッセイによる環境曝露モニタリングの検討においては、これまでに構築した半揮発性物質を含む濃縮法を実大気試料に適用し、大気中の変異原性や PAH、AhR 活性また指標成分のつくばでの年間変動および全国10地点同時サンプリングの結果を順次得つつある。これより半揮発性画分での変異原性や季節変動特性等の解析を進めている。

(c) 水生生物を用いた環境毒性の観点からの環境曝露の包括的視点からの監視手法の検討においては、セリオダフニア繁殖阻害試験他の必要な試験体制をほぼ確立し、工場排水での予備的検討の結果を得て、日本国内における WET (Whole Effluent Toxicity) 概念の導入を意図しての考察を進めた。また、農業用ため池関連試料の調査結果を得た。OECD 等での国際的検討に貢献した。

③ モデル推定、観測データ、曝露の時間的変動や社会的要因などの検討とこれらの総合解析による曝露評価手法と基盤の整備

(a) 曝露評価手法として特に課題となる検討の一つとして、H18年度に構築した不検出値を含むモニタリングデータから統計的代表的推定を行う手法に基づく事例的研究を実施し、異なる不検出割合と試料数が実際にどのように統計的代表的推定の信頼性を規定するか、また、信頼性の高い代表値を推定するモニタリング設計の考察結果を得た。

(b) 曝露の総合解析に関しては、まず多数の物質による複合的な曝露状況を明らかにすることを一つの目標とし、今後の多数化学物質による複合影響を解析するための準備としてまとめる可能性を考察した。検討中の動態モデル推定、*in vitro* および *in vivo* バイオアッセイの結果を用い、GIS 的な最終出力を得る可能性も考察し、今後の検討の方向性を見出した。

H18～19年度成果のアウトカム

いずれの課題も検討途中であるため、計画に従って進行しているが現時点で大きなアウトカムは確立されていない。その中で、モデル開発については、モデルシステムの公開に向けた検討を行い、また、本モデルによる行政的な曝露評価が実施されつつあること、水生生物の試験法については、OECD 等の国際的枠組みにおける試験法確立のためにバリデーション等で指導的役割を果たしてきていることなどのアウトカムが得られつつある。環境水・大気の全国調査の結果と解析については、現時点では濃縮・調製等の手法や調査結果1次データの解析により科学技術的な成果は既に多く得られつつあるが、研究終了時までには結果と総合化の解析もあわせて、将来の複合曝露や複合影響を含めた有効なスクリーニング手法の体系として実用的にも提案できるものと考えている。モニタリングデータの統計手法、小児の曝露評価への貢献、水生生物からの移行特性などはそれぞれの曝露・リスク評価の応用と科学の双方に対して今後の成果により有効な貢献を与えうるものと考えている。

3. 1. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		2	7			9
(平成 20 年 4 月)		22. 2%	77. 8%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 3. 2 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“動態モデル推定により、多種物質による複合的な暴露状況を把握”、“バイオアッセイおよび網羅的分析の環境調査により、複合的な暴露状況を把握”、“総合解析により複合暴露状況を示す”の3つのサブテーマで構成される。本研究では、多様な化学物質による複合暴露に関するバイオアッセイデータの全国調査を精力的に行うなど、意欲的に多くのテーマを扱い、データを蓄積している点は評価できる。また、化学物質の暴露量を確度高く把握し、GIS等の視覚的情報や他の情報との関連性をリンクするという本研究目的の意義は大きい。一方で、サブテーマ内およびサブテーマ間の成果の活用に関して工夫が十分でないと思われる。その結果、蓄積したデータを、環境リスクとして認識するための具体的評価に結びつける方法が不明確に見受けられた。

[今後への期待、要望]

今後、各研究の位置づけとつながり、プロジェクトとしての目標とそのリスク評価における位置づけを再検討して頂き、研究を進めて頂きたい。

また、バイオアッセイに関して、バイオアッセイの結果を実際の生態影響と関連づける研究を検討されることを要望する。一方、バイオアッセイには、“曝露”とはかなり隔たりのあるものが含まれている。あくまで両者を生かすとすれば、環境中濃度からの予測とバイオアッセイの隔たりが大きい事例(場所・生物種・化学種)に注目することで、多重曝露を考えると時の問題点が指摘できるのではないかと思う。

マコガレイのような底性魚あるいは、子供の大気曝露と屋内・屋外の滞在時間などを子考慮するなど、生物種の生活形態の特性を反映した曝露モデルの構築を検討する必要もあるかもしれない。今後、レスポンスの確度を高める努力をして頂き、時間軸に沿った評価を行って頂きたい。

また、注意すべき政策提言ないしは市民への警告を考察してまとめて頂きたい。

(3) 対処方針

多種物質による複合的な曝露状況を動態モデル推定、バイオアッセイ等により把握し、これをGIS等の視覚的情報とリンクして蓄積するという研究の概要と意義については評価していただいたものと理解する。一方、各課題の位置づけと連携、プロジェクトの目標の更なる明確化と複合的な曝露を環境リスクとして認識する具体的評価の方法、データの確度の確保、バイオアッセイの結果と生態影響や多種物質による曝露との関連性などについて更なる検討の必要性をご指摘いただいたと理解する。

本評価を受けて、地域規模での多種物質による複合的曝露の推定結果をより速やかに提示できるよう、動態モデルによる推定実施に前倒しに集中するよう計画を見直す。化学物質の環境中濃度の動態モデルによる

推定については既存データを含めた実測データとバイオアッセイのデータも参照しつつその確度を検証する。生物種の生活形態の特性を反映した曝露モデルの構築が必要との指摘に対して子供の年齢・成長に伴う時間軸の曝露変動と生活空間の要素を意識した曝露モデルとしての構築を進めることとし、また、化学物質の魚介類への移行について魚種ごとの生活史での生活空間の特性を反映させ、魚介類を介した人への曝露を環境濃度から推定する手法を提示したい。多種物質の環境中濃度や曝露量の予測結果については、データの確度・精度について明示した上での、GIS 上での効果的な視覚的提示を意識したシステム開発を進め、曝露の状況とバイオアッセイの活用について新たな研究情報を提示できるよう努める。

3. 2 感受性要因に注目した化学物質の健康影響評価

3. 2. 1 研究の概要

化学物質による高次生命機能の攪乱に起因する生殖、発生、免疫、神経、学習・行動等生体の恒常性維持機構への影響の解明を通して、環境中に存在する化学物質に対する感受性を修飾する生体側の要因を明らかにし、さらに、感受性要因を考慮した化学物質の健康影響評価手法を提案する。具体的には、① 低用量の環境化学物質曝露により引き起こされる神経系、免疫系等の生体高次機能への新たな有害性を同定し評価するモデルを開発する。② 胎児、小児、高齢者等感受性の時間的変動の程度を把握し、発達段階に応じた影響を包含したリスク評価に必要な科学的知見を提供する。③ 高感受性を呈する集団への化学物質を含めた様々な要因の複合した影響を評価するスクリーニングシステムを開発する。

3. 2. 2 研究期間

平成18年度～22年度

3. 2. 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
運営交付金	55	66				
その他外部資金	10	15				
総額	65	81				

3. 2. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18、19年度の研究成果目標

- ① (遺伝的感受性要因) 低用量の化学物質曝露により引き起こされる神経系、免疫系、及びその相互作用における有害性を評価するモデル作成のため、嗅覚閾値の検出、免疫過敏、神経過敏にかかわるサイトカイン、転写因子、記憶関連遺伝子などの情報伝達遺伝子の発現について検討する。主に、平成18年度はC3H/HeN、BALB/c、2系統のマウスで、平成19年度はC57BL/10、B10.BRマウスを用いた研究を実施。
- ② (時間的感受性要因) 胎児、小児等感受性の時間的変動の程度を把握し、発達段階に応じた影響解明のため、1. 脳形成、2. 免疫、感染、3. 内分泌、4. 行動、5. 循環に関する検討を行う。
- ③ (複合的感受性要因) 化学物質曝露に脆弱な集団の高感受性要因解明のため、*in vivo* アトピー性皮膚炎モデルでの検証、及びアレルギー増悪影響のより簡易なスクリーニング手法の開発を行う。

平成18、19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①ア 18年度は、ヒトの生活環境中で身近に存在し、健康に悪影響を及ぼしうると考えられるVOCに関して、その嗅覚検知閾値をマウスにおいて求めるため、その実験計測系を作製した。一般的なオペラント箱に、におい嗅ぎ用鼻先挿入ポート、および2種類のガスをポートに送り込むためのハードウェア（電磁バルブ、流量計、エアポンプ）を増設し、それらを一括制御するためのプログラムを作成した。マウスでトルエンを用いて調べた結果、ヒトでは数百ppbと報告されているトルエンの検知閾値が、C3Hマウスにおいては5ppb以下であることがわかった。19年度は、BALB/cとC57BL系統のマウスでトルエンを用いて調べた結果、いずれの系統においても、5ppbのトルエン・ガスの正答率が80%以上に達した。すなわち、系統に関わりなく、マウスのトルエンに対する嗅覚検知閾値は5ppb以下であることがわかった。

①イ 免疫過敏モデル作成のため、18年度雄C3H/HeN、BALB/c、C57BL/10、B10.BRマウスを用いて低濃度トルエンの6週間曝露を行ったところ、抗原感作したマウスでは免疫担当細胞分画及びTh2サイトカインであるIL-4、IL-5、IL-13の蛋白産生がC3H/HeN、BALB/c系統で認められたが、トルエンによる有意な修飾作用は認められなかった。一方、抗原感作がない状態では、C3Hマウスにおいてトルエン曝露によるTh2へシフトする傾向が観察された。抗原投与マウスにおける脾臓でTh1/Th2サイトカイン産生にかかわる転写因子遺伝（GATA3、T-bet、FoxP3）の発現を比較すると、C3H/HeNマウスでいずれも発現の亢進がみられた。一方、19年度C57BL/10、B10.BRマウスではいずれも変化がみられていない。IL-2の産生及びT細胞の活性化を示唆する転写因子STAT5の活性化をゲルシフト法により調べると、いずれの系統でも活性化が観察された。低濃度トルエン曝露は種々の指標に影響を及ぼす事が示唆された。またゲルシフト法の結果からトルエンは細胞レベルで作用する事が示され、このことから、STAT5などの細胞内分子をトルエン曝露に対するバイオマーカーとして用いる事ができる可能性が示唆された。

①ウ 18年度は、低濃度化学物質曝露による神経過敏状態、および免疫系刺激との併用による神経-免疫相互作用における海馬での記憶関連および炎症関連遺伝子発現について雄C3H/HeN、BALB/c、2系統のマウスで比較検討した。その結果、低濃度トルエン曝露ではCREB1mRNAの発現増強が両系統で認められた。免疫刺激と低濃度トルエンを曝露したC3Hマウス海馬においてはグルタミン酸受容体NR1mRNA、ドーパミン受容体D1、D2mRNAやCREBmRNA、及びTNF \cdot の遺伝子発現は有意に増強した。BALB/cマウスでは、免疫刺激と低濃度トルエンの曝露でCaMKIVmRNAの抑制、及びカプサイシン受容体遺伝子発現の増加がみられるなど、2系統におけるトルエン及び抗原刺激に対するシナプスを介する反応に明らかな違いのあることが検証できた。

19年度はC57BL/10、B10.BRマウスを用いた実験を行い4系統のマウス海馬および匂い情報の入り口である嗅球における記憶関連、神経成長関連遺伝子の発現への影響について比較検討した。また、神経-免疫クロストークのかく乱の可能性を明らかにするため、化学物質による海馬での神経炎症におけるリンパ球の役割についても検討した。その結果、低濃度トルエン曝露は、C57BL/10、B10.BRマウスの海馬では記憶関連遺伝子にほとんど変動はみられず、免疫刺激が加わってもトルエン曝露と対照群との間に差はみられなかった。次に、18、19年度の嗅球における記憶関連遺伝子の発現では、低濃度トルエン曝露でC3Hマウスのグルタミン酸受容体NR2A、NR2BmRNA発現の抑制が認められ、抗原刺激との併用でNR1mRNAも抑制された。BALB/cマウスでは抗原刺激とトルエン曝露によりNR2A、NR2BmRNAのみならずD1、D2ドーパミン受容体遺伝子発現の抑制がみられた。C57BL/10マウスにおけるNR2AmRNAの発現抑制とB10.BRマウスでのD1mRNA発現の亢進がみられた。4系統におけるトルエン及び抗原刺激に対する反応に明らかな違いのあることが検証できた。これらの結果は、低濃度、長期のトルエン曝露が嗅球や海馬において記憶形成機構に過敏な状態を生じたことを示唆しており、抗原刺激による免疫系の活性化も神経-免疫クロストークを通じてそこに関与していることが推測され、免疫したC3H/HeNマウスを用いたVOC曝露モデルは神経、免疫の過敏状態を評価する新たな実験モデルとして有用と考えられる。

②ア 18年度は、発達期の脳形成における性分化に重要な働きをもつ性ステロイドホルモンに対する低濃度トルエン曝露の影響を検証するため、胎生後期にトルエンを曝露した胎仔ラットの血中テストステロンおよび脳内エストラジオールを測定した。その結果、正常では雄胎仔の性ステロイドレベルは雌胎仔よりも高いが、トルエン曝露によって雄胎仔の血中テストステロンおよび脳内エストラジオールレベルは低下した。雌胎仔のホルモンレベルへの影響はみられなかった。トルエン (9あるいは90 ppm) によって低下した雄胎仔の脳内エストラジオールレベルは雌のレベルと同程度になり、性差が消失した。さらに、雄胎仔の脳内アロマターゼタンパク質発現量はトルエン (90 ppm) によって有意に低下しており、アロマターゼ発現の低下がエストラジールレベルの低下の一因であることが示唆された。トルエン曝露が性ステロイド作用に依存した雄ラットの脳の性分化に影響を及ぼすと考えられたことから、19年度では、性分化において性ステロイドが脳に作用する臨界期である周生期でのトルエン曝露 (50 ppm) による新生仔の脳の構造形成およびその性差に関与する脳内アポトーシスへの影響を検証した。その結果、成熟期に構造的性差がみとめられる SDN-POA と呼ばれる脳領域において、新生仔期のアポトーシスがトルエン曝露によって促進し、死滅細胞が増加することが明らかになった。また、新生雌ラットでは、SDN-POA の周囲領域におけるアポトーシスもトルエン曝露によって促進し、細胞死に対する広範囲な影響があることも分かった。以上のことから、発達期のトルエン曝露が脳形成に影響を及ぼし、その影響と作用機序が性別によって異なることが考えられた。不可逆的な発達期のアポトーシス細胞死への影響は成熟期まで持続することから、成熟期において性別によって異なる脳機能への影響として顕われる可能性がある。

②イ 18年度は、発達期の免疫、感染モデルを作成するための予備実験として、グラム陽性菌細胞壁成分ペプチドグリカン (PGN) による経気道刺激が Th1 機能の発達またはアレルギー反応の抑制へと導くか否かを明らかにするために、離乳直後 (3週齢) の BALB/c マウスに PGN 4 μ g/50 μ l を3日おきに計5回点鼻投与した後、卵白アルブミン (OVA) をアジュバントである水酸化アルミニウムゲルと共に2週間おきに計4回腹腔内投与し、トール様受容体 TLR2・TLR4 の遺伝子発現レベルなどへの PGN 刺激の効果について解析した。その結果、離乳直後からの PGN 経気道刺激は、Th1 機能発達やアレルギー抑制へと導かなかつた。細菌毒素の感作時期、感作濃度の詳細な検討の必要性が示唆された。19年度は、胎児、小児等の時間的変動による化学物質曝露に対する感受性の差異を Th1/Th2 バランスの発達や感染抵抗性を指標に定量的に明らかにすることを目的とし、胎児期のみ、および胎仔期から乳仔期にかけてのトルエンのみの吸入曝露を行って Th1/Th2 バランスの形成を調べた。胎児期のみトルエン曝露は Th1 および Th2 の両方の反応を高める傾向を示した。胎児期から乳仔期にかけてのトルエン曝露は、Th1 反応を抑えて Th2 反応を高める傾向を示した。また、トルエン曝露と BCG との併用は、トルエンのみの曝露によって高まった Th2 反応の抑制傾向を示した。このことから、免疫系発達期において Th2 反応の抑制を引き起こす細菌として BCG が有用である可能性が示唆された。免疫系への影響はトルエン曝露の時期 (免疫系の発達時期)、および細菌刺激によって異なることが示唆された。

②ウ 活性型ビタミン D (1,25-dihydroxyvitamin D₃) はビタミン D 受容体 (VDR) のリガンドとして多くの遺伝子の発現を制御している。18年度は、授乳期 TCDD 曝露が腎臓遠位尿細管細胞に障害を起こすことに着目して、ダイオキシン類のビタミン D 代謝や Ca の再吸収・輸送に及ぼす影響を検討した。その結果、出産後1日目母獣マウスに TCDD を経口投与して、母乳を介して TCDD 曝露した仔マウスにおいて、TCDD が活性ビタミン D 合成と分解に関与する酵素の遺伝子発現を顕著に誘導することが分かった。また TCDD により血清中活性型ビタミン D 濃度も上昇した。TCDD は Ca の細胞内の輸送と排出に関与している Calbindin および NCX-1 遺伝子発現を生後7日目に抑制した。さらに生後5週齢マウスで Ca およびリンの尿中排泄増加が認められた。以上の結果から TCDD がビタミン D 代謝および Ca 代謝の異常を惹起する結果、骨毒性をもたらす可能性が示唆された。19年度は TCDD による骨形成への影響およびその毒性発現メカニズムについて検討を行った。その結果、小腸においては Ca 吸収関連遺伝子の発現を TCDD は促進した。

骨形態計測結果から、TCDDによる脛骨の骨密度、骨塩量の減少が認められた。骨代謝の代表的マーカーである血中オステオカルシン濃度の低下、および骨中オステオカルシン mRNA 発現を TCDD は有意に低下させた。TCDD の骨毒性は類骨の増加と骨の石灰化の阻害による骨形成障害によることが明らかとなった。本研究により、授乳期低用量 TCDD 曝露は、腎臓におけるビタミン D 代謝および Ca²⁺ 輸送の攪乱作用をもたらすことが明らかとなった。

②エ これまでに新生期のラット脳がビスフェノール A に曝露すると、運動を司るドーパミン神経の発達障害をきたし、多動性障害をおこすことを明らかにしている。18年度は、こうした新生期の曝露の影響が、成熟期にも残存しているどうかを調べた。明らかなカテコールアミン合成酵素（ドーパミン神経の指標）の免疫交叉性が消失していた。更に、ドーパミン神経変性疾患であるパーキンソン病の病理像の1つであるアルファ・シヌクレインの凝集像も観察された。次に、1成熟期のドーパミン神経が、ビスフェノール A の曝露影響を受けるか否かを微量注入法により検討した。その結果、ビスフェノール A を微量注入した左黒質側の投射先である線条体のカテコールアミン合成酵素の免疫交叉性が消失し、退行性変性が観察された。このことは、ビスフェノール A は成熟ドーパミン神経に影響を及ぼし、パーキンソン病等の神経変性疾患の原因になりうる可能性を示している。19年度は神経系毒性を有する化学物質としてのロテノンにより新生児曝露を行い、学童期及び成熟期での影響評価を行動を主な指標として行った。本研究ではロテノンによるパーキンソン病のモデルラットの作製を試みた。その結果、ロテノンの新生児ラット行動への影響を自発運動量をエンドポイントとして調べると、それは投与用量、投与回数によって異なることが判明した。また、本研究で作製したロテノン曝露による成熟パーキンソニズムラットは、固縮、無動、平衡障害、歩行障害を示した。その自発運動量を定量すると対照ラットのそれと比較すると約49%の寡動を示した。以上の結果から、本研究で用いたウイスター系ラットではロテノンに対して新生期から成熟期までその感受性を有していることが示された。また、同一化学物質が曝露時期により全く異なるラット行動特性が規定されていることが明らかになった。

②オ 19年度は、環境化学物質の血管新生・形成過程に及ぼす影響の評価のため、妊娠正常動物にサリドマイドとペルメトリンを投与し、胎仔の血管に及ぼす影響を血管の距離や分岐数で調べた。その結果、ペルメトリンは胎仔の脳底血管の形成異常を引き起こした。正常妊娠動物への単回投与実験では、慢性毒性試験 NOAEL (4.8mg/kg/day) より低い用量 (2mg/kg) で、血管の分岐数に変化がみられた。化学物質が血管の発達に及ぼす影響という観点から、化学物質の安全性を評価した研究はほとんど見あたらないのが現状である。血管が発生し形成する時期での暴露により阻害影響が検出する系が確立できた。妊娠時期における農薬の暴露量に注意をする必要があることを示唆するデータが得られた。

③ *In vivo* スクリーニングモデル (アトピー性皮膚炎様病態を発症するマウスモデル : NC/NgaTndCr1j (NC/Nga) を用い環境化学物質のアレルギー増悪影響を検討した。18年度の対象物質は、フタル酸ジイソノニル (DINP)、アジピン酸ジイソノニル (DINA)、トリメリット酸トリス (2-エチルヘキシル) (TOTM)、フタル酸モノエチルヘキシル (MEHP)、ビスフェノール A (BPA)、ペルフルオロオクタン酸 (PFOA)、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)、塩化トリブチルスズ (TBT) とした。その結果、DINP、BPA において、対照群、あるいはダニアレゲン (Dp) 単独投与群に比し、化学物質の濃度、あるいは病態の形成段階によって有意な皮膚炎症状の増悪、および耳介腫脹を認めた。MEHP は濃度によって増悪傾向を示した。一方、PFOA は、投与濃度によって Dp 単独群に比し、有意な耳介腫脹の抑制を認めた。

19年度は、さらに他の対象化学物質についても検討した。その結果、ベンゾ [a] ピレン、ナフトキノン、フェナントラキノン、スチレンモノマー処置群において、対照群、および Dp 単独投与群に比し、化学物質の濃度、あるいは病態の進行段階によって有意な耳介腫脹の変化を認めた。また、症状変化も同様の傾向を示した。4-ノニルフェノール、フタル酸ジブチルについては、増悪傾向を示した。一方、アクリルアミドは、Dp 単独群に比し、有意な耳介腫脹の抑制を認めた。細胞培養系を用いた簡易スクリーニング手法

の開発では、免疫担当細胞を用いて、*in vivo*の結果を反映するより簡易な *in vitro* スクリーニング手法について検討した。DINP、BPA はいずれも、脾細胞の TCR の発現および IL-4 産生を濃度依存的に増加させた。また、これらの化学物質は抗原刺激による細胞増殖も増強させた。この作用は、BPA は 0.1・M 以下、DINP は 1・M 以下といずれも低濃度域で観察された。今回の結果で特に、IL-4 産生と細胞増殖に対する影響が顕著であったことから、*in vitro* スクリーニングの指標として有用である可能性が示唆された。

3. 2. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		4	5			9
(平成 20 年 4 月)		44. 4%	55. 6%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

3. 4 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“遺伝的感受性要因に注目した化学物質の健康影響評価”、“時間的感受性要因に注目した化学物質の健康影響評価”、“複合的感受性要因に着目した化学物質の健康影響評価”の3つのサブテーマで構成される重要なテーマである。多岐にわたる本研究では、基礎研究データとして大変興味深く、価値がある成果が始まっている。また、種々の要因をマトリクス的に解明しようとする試みに期待したい。一方で、プロジェクト全体としての方向性がわかりにくいという印象を受けた。また、遺伝子発現やタンパク量としてのチェックが、健康影響、最終的にはヒトへの影響にどのように結びつけていくのかの言及が足りないという印象を受けた。

[今後への期待、要望]

今後、一度成果を振り返り、重点的に資源を投入すべき課題について検討して研究を集中するなど、出口を見据えたプロジェクト全体の戦略の一層の検討が望まれる。

(3) 対処方針

本プロジェクトは、神経、免疫、内分泌よりなる恒常性維持という生命現象に対する感受性要因の問題を3つのサブテーマ構成で扱っており、各要因間でもそれぞれ関連性をもって研究されている。恒常性維持機能への影響という未解明の問題を扱うため、プロジェクト前半では、個々のサブテーマで基礎的研究の手法により有害な影響の誘導因子を解明することに重点をおいた。これまでの研究は多岐にわたる内容であるが、価値がある成果が始まっていると評価をいただいた。しかしながら、プロジェクトが扱う範囲が広く、研究を集中することにより研究の方向性を明確にすべきとのご指摘を受け、これまでの研究成果をもとに、リスク評価の視点から有害影響をもたらす新奇のメカニズムおよび感受性要因として考慮すべき課題を選別し、それらに研究を集中するよう検討を進めたい。具体的には、脳・神経系、免疫系に焦点を絞り、低濃度曝露に鋭敏な動物モデルの作成、および鋭敏な領域、指標の提示、マトリクス的なアプローチによる発達期における臨界期の特定と作用機構の解明、化学物質の組織特異性と発達期影響に重点を置き、重篤な影響に関わ

る感受性要因を解明し、メカニズムに基づいた健康影響評価手法を提示したい。

3. 3 ナノ粒子の体内動態と健康影響評価

3. 3. 1 研究の概要

課題1の環境ナノ粒子の生体影響に関する研究では、モード走行時における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分析に関して明らかにし、ナノ粒子を暴露した実験動物における好中球の浸潤を伴う肺の炎症を起こすこと、酸化ストレス、心血管系への影響に関して明らかにしつつある。課題2：ナノマテリアルの健康リスク評価に関する研究では、カーボンナノチューブの細胞毒性は極めて高く、その細胞障害性と細胞膜との反応性に関して研究を進めた。また、ナノファイバーの吸入暴露装置の開発を行った。課題3：アスベストの呼吸器内動態と毒性に関する研究では、400度から100度単位で1000度近くまで熱処理したクリソタイルとクロシドライトに加えて、アモサイトに関する研究を進めた。マクロファージ、肺胞上皮細胞、中皮細胞に対する細胞毒性試験を実施し、加熱により水和しなくなったアスベストは繊維構造が残っていても細胞毒性が低下すること、また、腹腔内に投与した場合の影響についても調べた。

3. 3. 2 研究期間

平成18年度～22年度

3. 3. 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
運営交付金	50	53				
その他外部資金	49	55				
総額	99	108				

3. 3. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ①ア ディーゼルエンジン由来ナノ粒子の曝露条件を検討する。
 - イ 曝露しているディーゼルナノ粒子のキャラクタリゼーションを行う。
 - ウ 自動車排ガスナノ粒子、模擬ナノ粒子を用いて、環境ナノ粒子の体内動態を明らかにする
 - エ 環境ナノ粒子の生体影響に関する研究。
- ②ア カーボンナノチューブの細胞障害性を調べる
 - イ カーボンナノチューブの胸腔内投与による長期曝露実験を行う。
 - ウ カーボンナノチューブの吸入曝露試験
- ③ 熱分解処理後のアスベストの毒性評価クリソタイルとクロシドライトの熱処理物の *in vitro* 毒性評価とクリソタイル熱処理物腹腔内投与による *in vivo* 毒性評価を行う。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ①ア ナノ粒子が高濃度で発生し、かつ排気中のガス濃度が極力低濃度になる条件を探索し、無負荷の高回転域が該当することが分った。
- ①イ 20-30nm に個数モード径を持つ粒子を曝露することができ、ナノ粒子の凝集成長を極力防ぐ曝露手法を提言できた。ナノ粒子の主成分はエンジンオイルおよび未燃の軽油で構成されていると言われており、

エンジンの運転条件により、それぞれの寄与が変化することがこれまでの研究で示唆されている。本研究ではエンジンオイルの添加剤に含まれている元素を指標として、曝露粒子の3-4割がエンジンオイルの寄与があることが分かった。

①ウ Au パーティクルジェネレータ (APG-200) を用いて放電により発生させた粒径約 11nm 金粒子を BALB/c マウスに鼻部曝露装置にて吸入曝露し、血液中を含めて肝臓、腎臓などの肺外臓器へ金粒子が移行することを確認した。

蛍光標識ポリスチレンナノ粒子の実験動物への点鼻投与を行い、200nm 粒子は鼻腔表面に留まり、20nm 粒子は嗅神経経路で鼻粘膜の下組織まで移行することを確認した。

①エ ラットにアイドリング状態での実車由来ナノ粒子の全身曝露を3ヶ月間、毎日連続して行ない(ナノ粒子の平均粒径は20~50nmの予定)、心電図の変化及び心拍数の変化を記録し、心機能の変化を示すSDNNなどの心拍変動指標(HRV)について解析した。実車由来ナノ粒子は濃度依存的に体重の増加抑制を起こしたほか、心室性期外性収縮を含む心電図の異常も実車由来ナノ粒子の濃度依存的に観察された。実車排気ナノ粒子の曝露は、エンドトキシンで惹起した肺の炎症を濃度依存的に増悪させた。アイドリング状態で発生したディーゼル排気ナノ粒子の亜急性曝露を行ったマウスの解析では、約30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の曝露で特に曝露直後(1日後)にごく軽度の炎症惹起が認められた。

②ア 水に不溶性のカーボンナノチューブを細胞へ添加する方法を改良し、細胞毒性を調べた。カーボンナノチューブはMARCOを介して貪食され、高い細胞障害性を示すことを明らかにした。

②イ 多層カーボンナノチューブをマウス胸腔内に投与して、マウスの生存率と中皮腫発生率をみることで、毒性評価を行った。投与後18ヶ月の経過観察中であるが、多層カーボンナノチューブ2 μg 、10 μg 投与群でともにマウスの生存率が低くなっていた。

②ウ 二重にシールドしたアイソレーター内でカーボンナノチューブを発生させる装置を作製した。

③ クリソタイル標準試料((社)日本作業環境測定協会、X線回折分析用、JAWE111)を100 $^{\circ}\text{C}$ おきに400~1100 $^{\circ}\text{C}$ で2時間熱処理したものとクロシドライト標準試料(UICC)を100 $^{\circ}\text{C}$ おきに400~800 $^{\circ}\text{C}$ で熱処理したものを用いた。*In vitro*毒性評価は繊維曝露後の細胞生存率で評価し、毒性試験に適した細胞の選択を行うために肺の様々な細胞で検討した結果、取り扱い安さと感受性から、マウス肺胞マクロファージ細胞株(J774.1)とヒト中皮細胞株(MeT-5A)を選択した。クリソタイル、クロシドライトともに800 $^{\circ}\text{C}$ 以上の熱処理で細胞毒性では無害化されることを明らかにした。*In vivo*毒性評価はクリソタイル熱処理物をマウス腹腔内に投与し、白血球浸潤とサイトカインの増加を測定して急性炎症反応の誘導能を検討することで毒性を評価した。*In vivo*においても800 $^{\circ}\text{C}$ 以上の熱処理でクリソタイルの毒性は激減すること、腹腔内投与評価法が大変感度がよいことを明らかにした。以上の結果は、クリソタイル、クロシドライトを含む廃棄物の処理は800 $^{\circ}\text{C}$ 以上の熱処理を行えばほぼ安全であることを示している。

平成19年度の研究成果目標

①ア 過渡運転による排出粒子のナノ粒子の曝露条件を検討する。

イ 過渡運転による排出粒子のナノ粒子のキャラクタリゼーションを行う。

ウ 自動車排ガスナノ粒子自動車排ガスナノ粒子を曝露して、環境ナノ粒子の呼吸器内沈着を明らかにする

エ 環境ナノ粒子の吸入曝露実験を行い、環境ナノ粒子が呼吸器の免疫・炎症応答に及ぼす影響、ならびに循環器や生殖器など、呼吸器以外の臓器の機能に及ぼす影響を明らかにする。

② カーボンナノチューブの毒性評価胸腔内投与と気管内投与による急性 *in vivo* 曝露実験を行う。

③ 熱分解処理後のアスベストの毒性評価アモサイトとトレモライトの熱処理物の *in vitro* 毒性評価とクロシドライト熱処理物の腹腔内投与と気管内投与による *in vivo* 毒性評価の比較を行う。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①ア 過渡運転による排出粒子のナノ粒子の曝露条件の検討を行い、曝露実験に供する準備ができた。

①イ 一般的に過渡運転では、ナノ粒子より大きな粒子（いわゆるスス粒子）が発生しやすく、重量ベースでみると、ナノ粒子の寄与がほとんど無い。また、過渡運転の排出粒子による吸入曝露実験はほとんど行われていない。従って、吸入実験の為のナノ粒子のみの発生を念頭においた過渡運転の条件設定はこれまで行われていない。本研究では、比較的大きな粒径の粒子の発生を抑え、ナノ粒子のみが発生する過渡運転条件を見いだした。平成18年度と同様の手法を用いて、ほぼエンジンオイル由来のナノ粒子が発生していることを確認した。

①ウ マウスにアイドリング状態で発生したディーゼル排気ナノ粒子とナノ粒子をHEPAフィルターで除去した除粒子排気の亜急性曝露を行い、STEMを用いて呼吸器内に沈着した粒子の元素分析と形態解析を行った。20~30nmのディーゼル排気ナノ粒子は高沸点炭化水素、塩、元素状炭素から成るが、100 μ g/m³のディーゼル排気ナノ粒子曝露で認められた呼吸器内沈着粒子は鉄を含む元素状炭素のみであることを明らかにした。

①エ 19年度は、モード走行時の実車由来ナノ粒子の吸入曝露を行う予定であったが、モード走行時のナノ粒子の安定した発生が難しいこと、およびこれまで行ってきたアイドリング運転時のナノ粒子の影響を確実に把握することが優先される事項と考え、昨年に引き続き、アイドリング運転を行い、除粒子群（ガス成分曝露）と全成分曝露群（ガス成分+粒子成分）の比較検討を行った。3ヶ月曝露では、異常心電図の発現率は除粒子群より全成分曝露群で大きく、正常心電図の心拍変動から計算したHFの増加やSDNNの減少は除粒子群より全成分曝露群で大きかった。発現する異常心電図の種類でそれぞれの異常心電図の出現率を比較すると、ナノDEP曝露では心房と心室間の電気伝導障害を示唆するA-Vブロック等の異常心電図が観察されなかったことから、心臓内の電気刺激伝播障害は発生しないと考えられ、ナノDEPの異常心電図の発現のメカニズムは、これまでのDEP曝露と異なる事が示唆された。除粒子群のガス濃度は全粒子曝露群とほぼ同じ濃度にしたので、異常心電図の発現や自律神経系の緊張の変化、そして心拍変動の変化は、全成分曝露、特に、発生粒子の影響に起因するものと推察された。即ち、ディーゼル排気由来の粒子成分、特に、ナノ粒子成分が循環機能に影響すると考えられ、曝露影響評価には長期曝露が必要と考えられた。また、実車排気ナノ粒子曝露により、エンドトキシンで惹起した肺での炎症性サイトカイン発現が増強する傾向があったが、アレルギー性気道炎症を有意には増悪させなかった。

② マウスにカーボンナノチューブを腹腔内投与あるいは気管内投与後、白血球浸潤とサイトカインの増加を測定して急性炎症反応の誘導能を検討することで毒性を評価した。カーボンナノチューブは炎症誘導能が高く、同量のアスベスト（クロシドライト）より炎症誘導能が強いことを明らかにした。平成18年度からの多層カーボンナノチューブをマウス胸腔内投与実験は経過観察中であるが、多層カーボンナノチューブ2 μ g、10 μ g投与群とともにマウスの生存率が低かった。

③ アモサイト標準試料（UICC）とトレモライト標準試料（（社）日本作業環境測定協会）を100 $^{\circ}$ Cおきに400~1300 $^{\circ}$ Cで2時間熱処理したものを用い、*in vitro* 毒性評価を行った。繊維曝露後の細胞生存率での評価では、アモサイトは1100 $^{\circ}$ C以上、トレモライトは1200 $^{\circ}$ C以上の熱処理で無害化されることを明らかにした。

市販フォルステライト（クリソタイル熱処理物）の *in vitro* 毒性評価と腹腔内投与による *in vivo* 毒性評価を行い、市販フォルステライトはほぼ毒性がないことを明らかにした。

In vivo 毒性評価は、マウスにクロシドライト熱処理物を腹腔内投与あるいは気管内投与後、白血球浸潤とサイトカインの増加を測定して急性炎症反応の誘導能を検討することで毒性を評価した。In vivoにおいても800℃以上の熱処理でクロシドライトの毒性は激減すること、急性毒性では腹腔内投与評価法が大変感度がよいこと、気管内投与法では亜急性毒性以上の炎症の持続を検出できることを明らかにした。以上の結果は、アモサイトやトレモライトを含む廃棄物の処理は溶融温度に近い熱処理（1200℃以上）が必要であることを示している。

3. 3. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	2	5	2			9
(平成20年4月)	22.2%	55.6%	22.2%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

5：大変優れており、発展的に推進すべし

4：優れており、着実に推進すべし

3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし

2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する

1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点

4.0点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“環境ナノ粒子の生体影響に関する研究”、“ナノマテリアルの健康リスク評価に関する研究”、“アスベストの呼吸器内動態と毒性に関する研究”の3つのサブテーマで構成される。世界的に、化学物質としての毒性評価ではなく、物性としての毒性評価に重きを置く状況に移行しつつある中で、超微細構造等の実態観察に成功した点や、高い組織透過性を見出した点など、明確な研究対象と適切な研究方法を用いることで着実な成果を挙げており、高く評価できる。本研究で、ナノ粒子の体内挙動を明らかにすることは意義があり、サブテーマ間の相互関連性も高い。

[今後への期待、要望]

今後、ディーゼル排ガス中のナノ粒子への長期暴露実験など、長期影響のデータが出てくることを期待している。また、健康影響の発現が、物理的な刺激によるものか、あるいはナノ粒子の化学組成の影響を受けた化学的な反応によるものかといったアプローチはないかを検討して頂きたい。

(3) 対処方針

粒子状物質の生体影響は、固体物質との生体反応を起点としており、界面での反応を考慮に入れる必要がある。生体内に取り込まれた粒子状物質は、主として網内系で処理されるため、マクロファージなどの食細胞が粒子のクリアランスや影響に関して重要な役割を担っているが、ナノ粒子は、マクロファージに認識されにくいと考えられている。ナノ粒子の生体影響に関するこれまでの研究結果は、概ね粒径が小さい粒子ほど生体に与える酸化ストレスが大きく、単位重量当たりの毒性が高くなる傾向があることはかなり確からしいと考えられる。粒子状物質の生体影響を評価する上において、個数、表面積、重量のうちどのような用量計測（dose metric）が最も適切であるかについても検討する予定である。また、これまでの研究結果から、ナノ粒子が心臓などの機能をはじめとして呼吸器以外の臓器へ影響を示唆している。粒子として直接移行したためなのか、あるいは化学的な影響によるものかといった影響の発現機序を引き続き検討する。カ

ーボンナノチューブの毒性・発ガン性に関する論文が発表され、カーボンナノチューブの吸入毒性は喫緊の課題であると考えられるが、今年度より本格的に研究を推進する予定である。また、以上のことを、現在計画中のディーゼル排ガス中のナノ粒子への長期暴露実験においても対応してゆく予定である。

3. 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

3. 4. 1 研究の概要

人為的開発に最も晒されている生態系の事例として東京湾、および社会変化から管理されなくなってきた里地・里山の事例として兵庫県ため池地域の双方をモデルフィールドとして、(有用)個体群の再生産の阻害、生物多様性や生態系機能の低下をエンドポイントとして、リスク因子の解明と具体的な生態影響評価の事例を提示するための野外調査を実施した。侵入種の生態リスク評価に関しては、在来種と外来種の交雑実態をヒラタクワガタやオオマルハナバチで明確に評価した。2006年度末にカエルツボカビの侵入が確認されたことを受けて、緊急に検査耐性を整え、国内における本菌の侵入・分布実態を調べた。生物群集を対象とした環境影響評価のために、生物群集の環境応答を機能形質の変化として予測するモデルを完成させた。生態系機能(物質循環)を促進する上で重要な機能形質を推測するために、3栄養段階の生態系モデルを作成し、数値的解析を行った。東京湾のシャコの個体数変動を予測するために個体群マトリックスモデルを作成し、生活史感度解析をおこなった。

3. 4. 2 研究期間

平成18年度～22年度

3. 4. 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
運営交付金	50	61				
その他外部資金	93	74				
総額	143	135				

3. 4. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ①東京湾において野外調査を実施し、底棲魚介類の代表種及びベントスの個体群動態の解析を行う。
- ②ア 生物多様性や生態系機能の低下と環境リスク因子との関係解析のための野外調査を実施する。
 - イ キーストーン種などの生物間相互作用を介した生態系影響を明らかにするため隔離水界等を実施する。
 - ウ 外来キーストーン種の分子系統地理解析を行うために有用な分子遺伝マーカーの確立と予備解析を行う。
- ③ア 輸入昆虫類の侵入圧として、輸入数量および流通ルートを解明する。
 - イ 在来種に対する競合リスクおよび種間交雑リスクについて、室内および野外レベルで検証する。
 - ウ 侵入種防除システムの開発については、国内および国外(特にアジア地域)における侵入種防除研究に関する情報収集を行うとともに、実施機関との間でネットワークを構築して情報流通の促進を図る。

エ 外来寄生生物の侵入リスク評価については、輸入昆虫類・両生類・爬虫類を対象として、随伴寄生生物の侵入実態を明らかにするとともに、それら寄生生物の分類・同定を進め、生態リスクに関する研究データを収集する。

④ア 環境変化に対する生物群集の反応を構成種間の機能形質の変化として予測するモデルの定式化を行う。

イ 東京湾シャコ個体群の個体数変動モデルを作成する。

ウ 化学物質の集団遺伝的モニタリングのための分子遺伝マーカーを検出する。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

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

○【底棲魚介類群集】2006年も、1 曳網当りの魚介類の個体数が依然低水準であったが、サメ・エイ類とスズキが多いために1 曳網当りの魚介類の重量が大きかった。種別の経年推移の解析の結果、イッカクモガニとムラサキガイが顕著に増大し、サメ・エイ類とスズキを除くその他の種で減少が顕著であった。

○【マコガレイ】2006年級群の浮遊仔魚期の分布を明らかにし、稚魚の着底とその後の移動、成長を追跡した。マコガレイの着底稚魚の体内ダイオキシン類濃度が着底・生息場の底泥中濃度を反映するとの分析結果が得られた。

○【シャコ】着底個体は貧酸素水塊が解消する11月以降に出現した。これらは夏（8月前後）に孵化したものと推測される。夏以前に孵化した個体の着底がみられない現象については、貧酸素水塊の存在が着底を妨げた可能性と、2006年には春（4、5月）産卵由来の幼生がみられず、春の産卵資源量が著しく低いことも大きな要因と考えられた。なお、2006年級群の着底個体数密度は2005年級群のそれよりもやや大きい（高生残率）可能性が示された。今後、シャコ資源への加入状況を見守る必要がある。2004～2006年の調査結果から、稚シャコの着底は貧酸素水塊が解消した水域でみられ、稚シャコの着底場所及び時期は年によって異なることが明らかとなった。また、着底した稚シャコの個体数密度が高い水域は年によって異なっていた。親の資源量と幼生の発生量には正の関係がみられるが、稚シャコの個体数密度は親資源量・幼生発生量のいずれとも関係がなかったことから、浮遊幼生期から着底期までの間に、生残率を大きく左右する因子の存在が示唆された。

○【ハタタテヌメリ】①2006年には、貧酸素水塊は主として湾奥～中央部において5～11月の期間に継続的に発生していた。②マクロベントスの種数・豊度は湾南部で調査期間を通して高かった。一方、湾奥～中央部では種数が少なく、豊度は貧酸素水塊の発生に伴い激減した。特に8月と9月には湾奥～中央部は無生物域となった。③ハタタテヌメリの湾内における空間分布を明らかにし、貧酸素水塊がこれらの分布を制限するだけでなく、大量斃死をもたらしている可能性が示唆された。④ハタタテヌメリの成長及び成熟について調べ、資源量水準が高かった時と比較した結果、資源量水準が低い近年において平均体長の低下と初回成熟体長の低下が生じていることが明らかとなった。⑤ハタタテヌメリの着底個体は貧酸素水塊が縮小・解消する11月以降に出現した。これらは夏（8月前後）に孵化したものと推測される。夏以前に孵化した個体の着底がみられない現象について、貧酸素水塊の存在が着底を妨げていた可能性もあるが、2006年には春（4、5月）産卵由来の浮遊仔魚がみられず、春の産卵資源量が著しく低いことも大きな要因と考えられる。

○【貧酸素 - 有害化学物質の流水式連続曝露試験】貧酸素条件下で有害化学物質に流水式で連続曝露させる試験システムを試作した。マコガレイ稚魚を用いて予備実験を行い、呼吸数や摂餌の変化、D₀やアンモニア濃度の経時変化を調べた。

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

ア 兵庫県南西部について既存の地理情報を整備し、ため池の種多様度に影響を与える空間スケールと環境要因の解明を行った。注目した生物は、生物多様性と生態系機能の基盤となる水生植物種である。種多

様度に影響する空間スケールは水生植物の生活型により異なっていた。すなわち、沈水植物は10-100m、浮葉植物は500m、そして抽水植物は1000-2500mで、ため池の周囲の土地利用は、概ね市街地が負の効果、淡水域面積（他のため池）が正の効果を与えていた。ため池の生物多様性の保全管理のために考慮すべき空間スケールとリスク因子が示された。

イ 底泥を攪乱するコイの導入が、沈水植物の系から植物プランクトンの系への生態系のカタストロフィック・レジームシフトを引き起こすかどうかについて、コイの有無、底泥へのアクセスの可否の2要因からなる4処理区の合計16隔離水界を用いて調べた。その結果、底泥へのアクセスの可否（ネットの有無）にかかわらず、コイがいるだけで水草は著しく減少した。沈水植物の減少は、懸濁物量と植物プランクトン量の増加による透明度の低下が要因として考えられた。底泥へのアクセスをネットで遮断しても効果がみられたことから、底泥攪乱を介した影響よりも栄養塩排出を介した影響によりレジームシフトが引き起こされることが示された。

ウ 外来ザリガニ類は、淡水生態系において水質の浄化や底泥の安定化の面で主要な生態的役割を担う沈水植物を著しく減少させる。そこで、日本国内に導入された2種の外来ザリガニ類（アメリカザリガニとシグナルザリガニ）の遺伝的変異と分散を明らかにするため分子系統地理解析に有用なマーカーの確立と予備解析を行った。ミトコンドリアDNA（16S、CO1）と核DNA（ITS）の部分塩基配列を分子遺伝マーカーに用い塩基配列の読み取りを行ったところ、これらのザリガニ類では16S領域もしくはCO1領域がマーカーとして適切であると考えられた。シグナルザリガニ侵入個体群間ではミトコンドリア・ハプロタイプの多様性や構成に地域変異があるのに対し、アメリカザリガニでは侵入個体群間に遺伝的変異が認められなかった。

③ 侵入種生態リスク評価手法の開発に関する研究

ア セイヨウオオマルハナバチおよび外国産クワガタムシの輸入数量を調査し、県別の流通量を明らかにした。特にセイヨウオオマルハナバチについては野生かが著しい北海道における地域別流通・使用量を明らかにし、今後の定着・分布拡大要因分析の基礎資料とした。

イ セイヨウオオマルハナバチの分布拡大に伴い、在来種の個体群密度が低下している実態をとらえた。野生の在来種女王蜂より受精嚢を摘出し、貯蔵精子DNAを分析した結果、北海道において在来種エゾオオマルハナバチ女王の約30%がセイヨウオオマルハナバチの雄と交尾していることが明らかとなった。外国産クワガタムシについては、室内交雑実験により、外国産クワガタムシと日本産クワガタムシの間には高い交雑和合性があり、種間交雑リスクが高いことを示した。さらに交雑和合性が個体群間の遺伝的・地理的距離とは負相関の関係にあることが示唆された。これらの成果をもって、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。これらの成果をもって、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。

ウ 特定外来生物であるアライグマ、マングース、オオクチバス、輸入両生類・爬虫類、セイヨウオオマルハナバチ、アルゼンチンアリの防除に係る研究機関と連携を図り、情報ネットワークの構築を行った。特にマングースについて、琉球大学、森林総合研究所、環境省やんばる野生生物保護センターとの共同で開発した防除ネットが実用化され、2007年1月沖縄県FSラインに設置された。

エ 外国産クワガタムシに寄生するダニ類を材料として、外来寄生生物の多様性を明らかにするとともに、新種を発見して記載を行った。クワガタムシと寄生性ダニの共種分化関係をDNA分析により明らかにした。輸入爬虫類から多数の新型寄生性マダニを検出するとともに、その体内から新型病原微生物を検出した。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。以上の結果より、寄生生物にも進化的重要単位が存在することを実証した。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にし、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。

④ 数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発

ア 生物の適応形質の群集内分布に基づくモデル（形質ベース群集モデル）の基礎的な属性（形質動態の種数や種間競争に対する依存性など）を研究した。環境変化による群集の平均形質の反応は、構成種の形質値と内的自然増加率との共分散に等しいこと、さらに、形質の群集内分散と、内的自然増加率の形質値への回帰係数（反応勾配）との積によって近似できることが示された。また、群集内の平均形質値は、群集の構成種数や種間の競争係数にはほとんど依存せず、形質の多様性（群集内のレンジ）にのみ依存するという結果を得た。

イ 東京湾底棲魚介類の解析では、シャコの個体数変動を予測するために個体群マトリクスモデルを作成し、生活史感度解析をおこなった。その結果、幼生生残率、漁獲率、小型個体の投棄率などが個体群存続に影響することが示唆された。

ウ 環境汚染物質の生態リスク研究の一環として、野外のミジンコ個体群における抵抗性遺伝子の個体群間変異の解析を開始した。今年度は、カプトミジンコ (*Daphnia galeata*) の野外における遺伝的変異と生息環境との関係を探るために、茨城県の霞ヶ浦、および大膳池から個体を採集し、核ゲノム上に存在するマイクロサテライト遺伝子計7座についてPCR反応条件の検討および個体変異情報を取得した。遺伝的距離に基づくクラスター解析を実施したところ、霞ヶ浦の異なる採集地点間でも遺伝的組成が異なっていることが示された。

平成19年度の研究成果目標

- ① 東京湾において野外調査を実施し、底棲魚介類及びベントス群集の種構成とバイオマスの動態解析を行う。
- ②ア 淡水生態系の生物多様性と生態系機能の低下を引き起こすリスク因子を解明するため、野外調査を実施する。
 - イ キーストーン種などの生物間相互作用を介した生態系影響を明らかにするため隔離水界等を実施する。
 - ウ 分子系統地理解析を通じて外来キーストーン種の起源と分散パターンを明らかにする。
- ③ア 定着・分布拡大リスクについて、分布規定要因を明らかにし、分布拡大予測を図る。
 - イ 種間交雑リスクについて、生物系統地理の解析を進めて、進化生態学的観点からリスク評価を検討する。
 - ウ 外来寄生生物の侵入リスク評価について、両生類の病原体であるカエルツボカビの侵入実態を解明する。
- ④ア 形質ベース群集モデルを野外生態系へ適用する。
 - イ 生態系モデルによる有効な機能形質を特定する。
 - ウ 化学物質の集団遺伝学的モニタリングのための感受性個体群間変異を検出する。
 - オ アクアリウム生態系による検証実験の予備的データを取得する。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

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

【底棲魚介類群集】東京湾における底棲魚介類群集の空間分布と水質の季節変化を明らかにし、両者の関係を多変量解析で調べた。底棲魚介類の種数、個体数、重量、多様度指数の全ての変数は、2月から5月にかけて高く8月に低下した（5月と8月の間で個体数と重量が、それぞれ、 $P<0.05$ と $P<0.01$ ）。2月と5月には湾全域に生物が出現したが、8月には、貧酸素水塊が形成されて湾北部が無生物域となった。10月には湾北部に生物が出現するが、湾南部に比べ個体数は少なかった。多次元尺度法＋クラスター解析の結

果、東京湾の底棲魚介類群集は、大きく見て湾の南北で異なるグループが形成された。湾北部に出現する種は、主として遊泳力のある魚類や、貧酸素に比較的耐性のある二枚貝類であった。生物の空間分布に影響する環境因子について、BIO-ENV 解析により、生物データと同様のエリア区分が得られるような環境データの組み合わせを探索した。また、CART 解析により、生物が存在する底層酸素濃度の閾値を推定した。BIO-ENV 解析の結果、生物と同様の空間分布を示す環境因子として、8月においては底層 D0、10月には底層塩分、底層 D0、水深が抽出された。CART 解析の結果、生物が存在する底層 D0 濃度の閾値は、8月には 1.7ml L^{-1} 、10月には 1.2ml L^{-1} と推定された。

【マコガレイ】耳石による年齢査定と胃内容物の観察から成長曲線を推定し、摂餌生態を明らかにした。精度の高い年齢推定が可能である横断切片観察法に基づいて得られた年齢と標準体長のデータに von Bertalanffy の成長曲線を適用し、次の成長式を得た。雌： $L_{\infty} = 359.2(1 - \exp[-0.043\{t + 2.592\}])$ ；雄： $L_{\infty} = 311.3(1 - \exp[-0.046\{t + 2.530\}])$ 。雄より雌で成長がよく、寿命も長いと考えられた（最高齢は雄 5 歳、雌 10 歳）。資源が低水準の 2000 年代は、80 年代の資源高水準期より成長がよくなった。一方、近年の胃内容物重量指数は、80 年代よりも有意に低下していた。空胃率に有意差はなかった。摂餌生態の指標である %W、%F ならびに RI について、80 年代と顕著な差が見られた。80 年代には環形動物が優占したものの軟体動物や棘皮動物も観察されたが、近年はほとんど環形動物のみで占められた。これは、80～90 年代にかけての生物相の急激な変化に伴う餌環境の変化を反映したと考えられる。

【シャコ】生殖器官の組織学的観察を行い、雌雄の生殖周期および交尾期を明らかにした。成熟を開始する体長および時期は雌雄で異なった。雄は着底後体長 4 cm 以上に達した当歳の個体から成熟を開始した。一方、雌は産まれた翌年に体長 7 cm 以上に達した個体から成熟を開始した。精巣内において精細胞または精子が産生されている個体の輸精管およびペニス内に精子の存在が認められた。精巣内の精子産生は 1-9 月に活発だが、輸精管およびペニス内には精子が周年存在していた。一方、雌の成熟個体および受精嚢内に精子が存在する個体の出現時期には明瞭な季節性がみられ、体長 ≥ 10 cm では 5-6 月、7-10 cm では 7-8 月にピークとなった。11-4 月の期間には全ての雌個体の受精嚢内において精子は存在しなかった。以上より、雄は周年成熟状態にあるが、交尾は雌が成熟して産卵可能となる期間にのみ行われることが示唆された。

一方、新規加入の成否を規定する生活史段階を明らかにすることを目的として、初期生活史（産卵、幼生、着底）に関するフィールド調査を実施した。成体の個体数密度は 2005 年に著しく減少したが、2007 年には増加する傾向がみられた。産卵盛期に年変化はみられず、大型個体は 5-6 月、小型個体は 7-8 月であった。幼生の個体数密度は 2005～2006 年において著しく低く、2007 年に増加した。一方、稚シャコの個体数密度は、2004～2006 年において低く、2007 年に増加した。幼生および稚シャコの個体数密度の双方において、2005～2006 年と 2007 年の間に有意差が検出された。しかし、2004 年と 2007 年の間において、幼生個体数密度には有意差は認められなかったのに対し、稚シャコ個体数密度には有意差が検出された。以上の結果から、浮遊幼生期から着底までの間の生残が、着底量を規定すると示唆された。

【化学分析】2007 年 8 月の東京湾 20 定点調査で得られた底質試料について GC/MS による中揮発性物質など 888 物質の一斉分析による同定と定量を進めた。

【貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験】ハタタテヌメリ稚魚の予備飼育実験を実施し、実験室内での長期飼育が可能であることを確認した。

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

ア ハビタットの連続性の遮断は、生物多様性の保全にとって大きなリスク因子になる。連続的に重なっているため池（重ね池）を調査対象として、池に出現する水生植物の種多様度が、生育地の連続性と池の水質悪化のどちらの影響をより強く受けるかについて検討した。沈水植物は水質の悪化による影響を大きく受けたが、浮葉植物は生育地の連続性の低下の影響を大きく受けた。ため池の生態系機能の多少とそれ

に関係する要因を、底泥の有機物分解機能の指標となるセルロース分解酵素活性、リン酸無機化酵素活性およびタンパク質分解酵素活性で評価した。いずれの酵素活性も周辺の土地利用に関係なく、浮葉植物群落が発達する池で有意に高くなった。除草剤については、6月に bromobutide が8池で10~100ng/mLのオーダーで検出された。都市域のため池を、地域の水辺として存続させる仕組みを明らかにするために、ため池の水管理組織と所有形態について、ため池管理者への聞き取り調査を実施した。その結果、農業振興地では、集落と一体的な管理であるのに対し、市街化地域では、水利用と池敷の土地所有の権利が明確にわかれ、より重層的な管理形態をとっていることがわかった。ため池の存続条件として、ため池の改修事業の費用負担に、池敷の所有主体である財産区からの拠出の可否が影響している可能性が示唆された。

イ 今年度は、侵略的外来種であるコイとザリガニの生態系影響の比較を行った。両種は世界中で導入されているにもかかわらずレジームシフトとの関係を調べた研究はほとんどない。本研究では隔離水界実験とメタアナリシスを通して、コイとザリガニが、沈水植物、植物プランクトン、水質、栄養塩、動物プランクトン、底生無脊椎動物へ及ぼす影響を比較した。実験では、それぞれの種の密度を自然界の密度内で操作し、密度にともなって生態系影響がどのように変わるかを調べた。その結果、低密度であっても、コイは懸濁物量、植物プランクトン、栄養塩、底生無脊椎動物に影響を与えた。一方、ザリガニは沈水植物に強い影響を及ぼし、その影響はコイよりも大きかった。またメタアナリシスの結果から、コイもザリガニも沈水植物、植物プランクトン、水質、栄養塩、底生無脊椎動物に影響を及ぼすことが明らかになった。さらに沈水植物への影響は、ザリガニのほうが大きかった。したがって、メタアナリシスの結果は、隔離水界の実験結果を支持した。コイとザリガニは、底泥攪乱、栄養塩排出、捕食やエンジニアリング効果を通して、生物群集や生態系プロセスに大きな影響を及ぼすことが考察された。また沈水植物への影響の違いは、コイとザリガニのエンジニアリングの形式の違いが影響することが示唆された。以上より、今後侵略的外来種であるコイやザリガニの管理を行う上で優先順位が必要な場合は、沈水植物に強い影響を及ぼすザリガニを優先的に駆除することが望ましいと考えられた。

ウ 今年度は、国内外から広く2種の外来ザリガニのサンプルを収集し本解析を行った。その結果、シグナルザリガニでは、原産地の異なる複数地域の遺伝子型が混ざり合っており、少なくとも、国内3地域（北海道、長野県、滋賀県）に異なる遺伝子型構成となっており移入されたこと、そして、近年、急速に分布を拡大しているのは北海道由来の遺伝子型であることが明らかとなった。また、シグナルザリガニの地域個体群間では形態変異が著しく、分布拡大に成功している北海道由来の遺伝子型は、全身の棘が鋭く発達するなど、天敵に捕食されにくい性質を持っていることが分かった。一方、アメリカザリガニでは、原産地の遺伝子型構成が多様であったのに対し、国内の侵入個体群は単一の遺伝子型から構成されていたことから、移入に伴って遺伝的ボトルネックの影響を受けた、もしくは選択圧が働いて「強い」遺伝子型のみが残った可能性が示された。これらのことから、シグナルザリガニでは遺伝的多様性が高いことが様々な天然水域への侵入成功につながっていること、そして地域個体群によって生態特性が異なる可能性があることが示唆された。一方、アメリカザリガニでは遺伝的多様性の低下を克服するような生態特性を持つ可能性が示唆された。

③ 侵入種生態リスク評価手法の開発に関する研究

ア セイヨウオオマルハナバチの分布規定要因について、侵入源となる商品コロニーの使用量および広域スケールでの植生環境から解析した。セイヨウオオマルハナバチの訪花によって、在来植物の繁殖が阻害されることが明らかとなった。

イ セイヨウオオマルハナバチと在来マルハナバチの種間交雑により産出された雑種卵の胚発育を細胞組織レベルで観察した結果、産後5日までに全ての卵の細胞分割が停止して溶解することが明らかとなった。ヒラタクワガタの交尾後生殖隔離の進化について、中国も含めたアジア地域個体群の mtDNA 系統解析と交雑実験データを追加して解析した結果、遺伝的系統として100万年以上分化した個体群間では生殖隔

離が働かないことが示された。このことから地理的に近い個体群でも遺伝的に長時間隔離されていた個体群であれば、移送によって容易に雑種が生じる可能性が示された。

ウ 日本全国のカエル野生個体および施設飼育個体（総計 1700 検体）より皮膚サンプルを採集してカエルツボカビ菌の感染状況を調査した結果、施設内のみならず野外からも菌が検出されるとともに、宿主や地域によって菌に高い遺伝的変異が存在することが明らかとなり、従来のアフリカツメガエル起源説をみなおす必要があることが示された。カエルツボカビ菌の高感度・低コスト PCR 検出法を開発した。カエルツボカビの検査結果を受けて、環境省では飼育個体の遺棄防止等注意喚起のキャンペーンを行った。

④ 数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発

ア 形質ベースモデルに関して、仮定を単純化してより一般的な群集に適用できるようにするとともに、いくつかの異なる機能形質が同時に変化する場合にも拡張した。さらに、野外生態系（湖沼）で観察された群集攪乱のデータに適用し、環境の変化による生態系変化が、形質ベースモデルで解析しうることがわかった。

イ 環境汚染、生息地の攪乱などの人為的影響の生態系影響を定量的に評価するためには、生態系機能を左右する機能形質が何であるかがわからなくてはならない。数理モデルによるアプローチとして、栄養塩類プール、自立栄養者（植物プランクトン等）、消費者（動物プランクトン等）および捕食者（魚類等）からなる 3 栄養段階生態系モデルを作成し、生態系内の栄養素転移効率を評価基準としたときに重要な機能形質の特定を行った。その結果、植物プランクトンの摂食耐性、1 次消費者のバイオマス転換効率、捕食耐性などが重要であることがわかった。

ウ 化学物質の野外生物への影響を直接検出する 1 つの方法として、汚染地域の個体群における耐性遺伝子の増加に基づくリスク評価法の研究をおこなった。カブトミジンコの野外個体群の間でフェンバレート耐性を比較したところ、急性毒性値で最大数十倍の変異が存在し、マイクロサテライト DNA による遺伝的距離とも関係があることが判明した。同様の解析をタマミジンコでも実施するために、PCR 法の基礎となるプライマーの設計をおこない、遺伝的解析に最低必要な 5 座位の遺伝子を特定することができるようになった。

オ 形質ベース群集モデルおよび 3 栄養段階生態系モデルの予測を実験的に検証する系として、藻類、動物プランクトン類、魚（メダカ）からなるアクアリウム生態系を計画し、実験装置等の設置、予備的データの取得をおこなった。既存データがほとんどないタマミジンコの生命表データを収集した。ユスリカ、イトミミズ等の成長速度、繁殖能力、最適水温、世代時間などの基礎的データを取り、底生生物のモデルとしての有効性を検討した。

3. 4. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		9				9
(平成 20 年 4 月)		100%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

- 中間評価基準
- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
 - 4：優れており、着実に推進すべし
 - 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
 - 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
 - 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.0 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“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”、“淡水生態系における環境リスク要因と生態系影響評価”、“侵入種の生態リスク評価”、“数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発”の4つのサブテーマで構成される。本研究では、内容が多岐にわたるものの、環境を丁寧に観察することで、それぞれ質の高い、貴重かつ有用なデータを取得できており、評価できる。種々のリスク要因調査も着実に行われており、管理手法への応用が期待できる。フィールド研究は、個別事例に関する研究に終始しがちである中で、本研究では数理モデルの組み込みにより、環境行政への貢献が期待できるまとまった一つのプロジェクト構成になっているが、現段階では、4つのサブテーマ間の関係、プロジェクト全体としての方向性、環境政策への活用方法が若干見えにくい部分もうかがえた。

[今後への期待、要望]

提案している数理モデルの正しさの実証が重要であり、今後の発展に期待したい。数理モデルをサブテーマとして独立させるよりは、サブテーマ1～3に組み込んでプロジェクトを進めるなどの方法もあるのではないだろうか。また、サブテーマ1～3の相互関係から得られる環境評価手法に関して一層の検討を行い、まとめて頂きたい。

(3) 対処方針

生態影響評価に関して、本プロジェクトでは幾つかの新しい数理モデルを提案したが、指摘のとおり数理モデルの正しさの実証は重要だと認識している。そのため、現在、3栄養レベルからなる実験生態系（藻類—動物プランクトン—魚）の構築に取り組んでおり、第一段階として、実験生態系レベルで数理モデルの検証を進めたいと考えている。さらに、具体的なフィールドや実験系での検証が可能かどうかについても検討を試みる。プロジェクトのサブテーマ構成に関する指摘については、サブテーマ4（数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発）がサブテーマ1～3と密に連携する形で取り組むことで対処したい。個別のフィールドや問題となる侵入種での生態リスク評価を扱っているサブテーマ1～3においても、評価手法を意識して研究を進めることで、それぞれにおいて生態影響評価の事例の提示を試みる。

4 アジア自然共生研究プログラム

4. 1 アジアの大気環境評価手法の開発

4. 1. 1 研究の概要

東アジア地域を対象に、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行い、国内外の観測の連携を進めるとともに、数値モデルと排出インベントリーの精緻化を進める。これらの観測データ、数値モデル、排出インベントリー、更に対流圏衛星観測データを活用して、アジア地域の広域大気汚染と日本への越境大気汚染の全体像を把握し、科学的知見を蓄積する。日本国内を含むアジア地域の大気環境施策立案に必要な科学的知見とツールを提供する。

4. 1. 2 研究期間

平成18年度～22年度

4. 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
運営交付金	65	68				
その他外部資金	130	126				
総額	195	194				

4. 1. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- 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を整備し多成分・連続観測を実施するとともに、中国等の研究機関との共同による航空機観測を含む集中観測を実施。中国国内の汚染実態を把握するための観測計画の作成。
- ②アジア地域の排出インベントリーと大気質モデルを開発し、既存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。アジア地域の気候・大気質変動を評価するための化学気候モデルと大気質モデル・観測データを用いて排出インベントリーを検証・修正する手法の開発に着手。
- ③ライダーを中心とする黄砂モニタリングネットワークを整備し、観測データベースを設計。特に、ゴビ砂漠近傍のモンゴル国サインシャンドにおいて JICA との連携によるモニタリングステーションを完成。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①アジアの広域越境大気汚染の実態解明

- ・辺戸岬ステーションの観測関連施設を整備し、多種類の測定機器を設置して、通年観測を実施した。この結果、ABCプロジェクトのサイエンスチームにおいて、同プロジェクトの中で最も充実した観測ステーションであると認められた。国内においても、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会地球観測推進部会がとりまとめた「平成19年度の我が国における地球観測の実施計画」において分野間・機関間連携を図る具体的施策の第一としてあげられるなど高い評価を受けた。
- ・観測データの解析においては、特に硝酸塩の変質過程に関して、気流に沿った経路上で、大気汚染物質を含んだ気塊の中でアニアや有機化合物が酸化される割合を、福江島と辺戸岬のデータを用いて定量的に解明した。また、2006年春季に、中国の北東域において航空機観測と地上観測を実施し、辺戸岬データ等と併せて、気流に沿った2次元解析を進めた。

・中国などの東アジアにおける汚染実態を把握するため、学術会議 IGAC 小委員会と連携して、大気環境データベースの作成について検討した。

②アジアの大気環境評価と将来予測

・アジア地域の排出インベトリーと化学輸送モデルを用いて、過去四半世紀の大気質の経年変動を計算し、既存の観測データを用いて検証するとともに、対流圏オゾン・酸性沈着量の空間分布や越境大気汚染による日本へのインパクトの変化を評価した。その結果、中国における大気汚染排出量の増大によって対流圏オゾンが増加し、それに伴って日本のオゾン濃度が経年的に上昇していることが示された。これらの研究成果は、欧州、米国、日本、中国等を含む国際的な「大気汚染の半球規模輸送に関するタスクフォース」(TFHTAP) による中間報告書の基礎資料として提出した。

- ・全球化学気候モデルを用いて、アジア地域の気候・大気質変動を評価する研究に着手した。
- ・対流圏衛星データを用いて NOx 排出インベトリーを検証・修正するインバースモデルの開発に着手するとともに、排出インベトリーに関する中国との共同研究を開始した。

③黄砂の実態解明と予測手法の開発

・ライダーを中心とする黄砂のモニタリングネットワークについては、黄砂発生源近傍における観測に必要な、ステーション及び装置についての検討、カウンターパートとの調整を行うと共に、JICA との連携を強化、モンゴルを含む観測ネットワークの拡大のための科学的な検討を行った。これら、研究を基礎とした活動は、平成 18 年 12 月 8 日の無償資金協力「酸性雨及び黄砂モニタリング・ネットワーク整備計画」の決定の一助となった。これにより、中国国内の発生源地域からの広範囲な地域にわたって連続的な観測データを得て、黄砂の動きをリアルタイムで捉えることにより、予報モデルの開発を促進し、黄砂対策の進展、ADB-GEF 黄砂対策マスタープランに基づくネットワークの活動に寄与する展望が切り開かれた。

- ・北京における化学分析用の時間分解能の高い化学分析モニタリング装置を用いた観測によって、短時間の風向の変化によるエアロゾル量の変化をとらえ、高い時間分解能による黄砂化学分析が可能であることを示すことができた。
- ・ライダーネットワークデータと化学輸送モデルを用いた 4 次元同化によって、黄砂の発生量マップの大幅な改善が可能であることを明らかにすることができた。

平成 19 年度の研究成果目標
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を充実させ、多成分・連続観測を継続するとともに、中国等の研究機関と共同して中国沿岸地域での地上観測と、東シナ海上空での航空機観測を実施。国内外の観測データを集積したデータベースの構築に向けた作業を開始。
②アジア地域の排出インベトリーと大気質モデルを開発し、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。アジア地域の気候・大気質変動を評価するために、全球化学気候モデルを用いた解析を継続。大気質モデルと観測データを用いて、排出インベトリーを検証・修正する手法の開発を継続。
③ライダーを中心とする黄砂のモニタリングネットワークを更に整備すると共に、観測データベースの設計を継続。特に、モンゴル国において J I C A との連携によるモニタリングステーション 4 カ所（ウランバートル、サインシャンド、ザミ우드、ダランザドガド）の完成。

平成 19 年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

①アジアの広域越境大気汚染の実態解明

- ・沖縄・辺戸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。具体的には MAXDOAS の導入

(JAMSTEC)、水銀観測の本格的稼働(環境省)、エアロゾルインレットおよび関連する測定機器の整備(文科省 GEOS、千葉大)などがあげられる。対外的には UNEP の ABC プロジェクトにおいて、「スーパーサイト」と認められた。国内においても、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会地球観測推進部会がとりまとめた「平成 20 年度の我が国における地球観測のあり方(H19.7.23)」において分野間・機関間連携を図る具体的施策のひとつとしてあげられるなど高い評価を受けた。

- ・平成 19 年春に中国環境科学院と共同で中国渤海湾にある長島での集中観測を行い、辺戸ステーション、福江島の観測と同期して気塊の移流経路に沿った観測を行った。この結果などを用いて気塊の移流距離に応じて、硫黄化合物や有機化合物の酸化が進行していく過程を定量的に解析した。

- ・平成 20 年春に東シナ海上で航空機観測を行い、これに同期して辺戸ステーションにおいて大学や研究機関と協力し集中観測を行う準備を進めた。

- ・辺戸ステーションにおいて蓄積された観測データをもとに、硝酸塩の変質過程に関して定量的に解明した。また、これまでに実施した中国での観測の解析を進め、衛星データやモデル結果と比較し、観測とモデルの差異を明らかにした。PAH 観測データを解析し、中国大陸からの輸送影響が冬春季に強まること、辺戸で観測される PAH は長距離輸送のために酸化が進行していることを明らかにした。

- ・辺戸ステーションで得られた結果をデータベース化するため、学術会議 IGAC 小委員会と連携して、大気環境データベースの作成、辺戸ステーションホームページの作成について検討した。

②アジアの大気環境評価と将来予測

- ・アジア地域の排出インベトリーと化学輸送モデルを用いて、過去四半世紀の大気質の経年変動を計算し、既存の観測データを用いて検証するとともに、対流圏オゾン・酸性沈着量の空間分布や越境大気汚染による日本へのインパクトの変化を評価する研究を、前年度から継続して進めた。その結果、(1)中国における大気汚染排出量が 1980 年以降増加し、特に最近、急増していること、(2)大気汚染排出量の増加に伴って東アジアにおける対流圏オゾンが増加し、それに伴って日本のオゾン濃度が経年的に上昇していること、(3)大気汚染排出量や対流圏オゾンの将来変化は排出シナリオに強く依存するが、最近の衛星観測や燃料消費動向によると最悪ケースで推移している可能性が高いこと、などが明らかとなった。これらの研究成果は、国際的な「大気汚染の半球規模輸送に関するタスクフォース」(TFHTAP) の中間報告書、環境省「光化学オキシダント・対流圏オゾン対策検討会」の中間報告書に取り込まれた。

- ・アジア地域の大气質変動を、地域外の影響も含めて評価するために、全球化学気候モデル(CHASER)を用いた解析を進め、日本の対流圏オゾンの発生地域別寄与を評価した。

- ・対流圏衛星データを用いて NOx 排出インベトリーを検証・修正するインバースモデルの開発を進めた。また、排出インベトリーに関する中国との共同研究を前年度に継続して実施した。

- ・2007 年春季に西日本地域などで発生し大きな社会問題となったオゾン高濃度現象の発生メカニズムをモデル解析によって明らかにし、オゾンの越境大気汚染が顕在化し始めていることを指摘した。

- ・全国の地方環境研究所との共同研究により、対流圏オゾンと粒子状物質の広域的・地域的特性を解明する研究を開始した。東アジア、日本全域、及び関東地域の大気汚染を短期予報するために大気汚染予報システムを開発し、研究グループ内で試験運用するとともに、公開のための準備を進めた。

③黄砂の実態解明と予測手法の開発

- ・JICA の協力のもと、モンゴルにおいて 4 局のネットワーク観測網を完成させた。黄砂発生源である砂漠地帯に 2 局(サインシャンド、ザミンウード)と都市大気汚染および観測機器の精度管理のために 1 局(ウランバートル)にライダーシステムを設置したほか、砂漠地帯 1 局(ダランザトガド)を含めた全 4 局に黄砂モニター(PM10 および TSP あるいは PM_{2.5}を対象)を設置した。

- ・モンゴル NAMHEM(モンゴル国気象水文研究所)との共同研究を開始し、モニタリング観測結果がリア

ルタイムで入手可能となった結果、北東アジア地域におけるモンゴル3局、韓国1局、日本10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を3次的に把握することが可能となった。

- ・これらの観測データをモデルに同化させる技術手法を開発し、輸送モデル(CFORS)の精緻化を進めた。
- ・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として炭素安定同位体比を利用する方法を検討した。

4. 1. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価	6	2				8
(平成20年4月)	75%	25%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.8点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“アジアの広域越境大気汚染の実態解明”、“アジアの大気環境評価と将来予測”、“黄砂の実態解明と予測手法の開発”の3つのサブテーマで構成される。大気の広域汚染問題においては、問題点の把握、解決に向けての政策策定には観測データが不可欠であり、国環研で研究を行うことの意義は大きい。大気汚染の現状把握とモデルによる再現、および黄砂などの予報精度が同化やパラメータの改善により高度化されたことなど、短期間で成果をあげた点が高く評価できる。また、発生源と量の把握や汚染物質輸送モデルの改善によって、広域大気汚染の現状が急激な増加を含めて具体的に良く再現されており、将来予測に基づく今後の政策決定にも資すると期待される。

[今後への期待、要望]

本研究の成果は、今後のアジアの大気環境改善への第一歩となると期待できる。これには知見の国際的共有が必要であり、これらの知見を学術的に十分議論できる海外の研究者の育成を行うなど、彼らが自国の政策提言に貢献できるような働きかけをして頂きたい。また、得られた科学的知見を中国を含めた国際間で共有することで、政策立案・政策評価に実効的に活かされることを期待するとともに、日本の国際環境戦略に十分反映し、国政的にも評価され活用されることを期待する。

(3) 対処方針

アジアの大気環境改善に資する科学的知見の共有は、本研究における重要な課題と考えられる。既に、黄砂観測ネットワークの構築、大気汚染の共同観測研究、エミッションインベトリーの改良などにおいて、中国などの研究者との共同研究を進めており、これらの研究を今後も継続・発展させる予定である。さらに、本年度から開始した地球環境研究総合推進費「東アジア地域におけるオゾン・エアロゾルの長距離越境輸送に関する研究」における政策研究との連携、環境省委員会への参加などにより、研究成果が東アジア大気環境に係る政策立案・政策評価に活用されるように努めていきたい。

4. 2 東アジアの水・物質循環評価システムの開発

4. 2. 1 研究の概要

広域的な水・物質循環を評価するためのリモートセンシング観測技術、新しい計測手法等による観測システムを活用し、衛星データ、GIS、観測データ等に基づく、水・熱・物質循環を考慮した東アジア環境情報データベースを構築する。上述のデータベースに基づき、広域的な気象・地形・土地被覆の条件が互いに影響し合う複雑な過程、相互関係を調べていくことにより、水・物質循環を評価するモデルを開発する。それによって、人間活動による土地改変や気候変化などが、水不足・流出等の水循環、炭素・窒素等の物質循環、海洋生態系に及ぼす影響を評価する。さらに、地域における環境管理の技術インベトリーを整備し、流域圏の持続性評価指標体系を構築することにより、技術導入効果に基づく適切な技術システムと政策プログラムを評価し、設計する。

4. 2. 2 研究期間

平成18年度～22年度

4. 2. 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
運営交付金	54	54				
その他外部資金	129	206				
総額	183	260				

4. 2. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標

- ①陸域生態系の水・物質循環のメカニズムの現状把握及び水・物質循環を考慮した生態系が提供する汚濁負荷緩衝容量の把握。
- 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を検討するため、東シナ海陸棚域で航海調査を行い、中国側研究機関との共同研究体制を構築に着手する。
- ③拠点都市域の環境負荷・技術インベトリーを構築し、水・物質・エネルギー循環に及ぼす影響のアセスメントモデルの構築に着手する。

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築：衛星データ、GIS、観測データ等に基づく、長江、淮河などの東アジアの流域圏における水・物質循環情報データベースの構造、項目及フォーマットを確定し、気象、地形、土地利用など一部のデータを入力した。気象・地形・土地被覆の条件が互いに影響し合う複雑な過程、相互関係について検討し、水・物質循環を評価できる統合型モデルを構築するための準備を行った。長江流域の開発により、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・質的变化の影響を推定するため、また、モデルの検証と、モデルの活用を含めた共同研究体制を確立するために、長江水利委員会との協議を開始し、共同研究の体制を作った。その協議を確認するため、H18年6月に第一回日中流域水環境技術検討会を中国武漢で開催した。
- 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：2006年5月に東シナ海排他的経済水域にて航海調査を実施し、長江起源水の痕跡が見られる陸棚域において、中国沿岸域の赤潮の鍵種である渦鞭毛藻類の優占的増殖が観測された。それらの藻類群集による栄養塩類の取り込み動態を解析中である。また、航海観測の結果の面的な理解を進めるため、長江から東シナ海における海洋流動・低次生態系

モデルの開発に着手した。さらに、東シナ海的环境に果たす長江起源水の役割が確認され、中国沿岸域環境・生態系の理解の必要性が高まったことから、浙江海洋大学、上海水産大学等との、長江河口域から東シナ海にかけての海洋環境と生態系に関する共同研究ネットワークを構築するための協議を開始した。

③ 拠点都市における技術・政策インベトリーとその評価システムの構築： 統合型陸域生態系モデル (NICE) モデルを基に、都市スケールの水・物質・エネルギー解析の鉛直次元建築・都市・土壤連携モデルのプロトタイプを構築することができた。また、アジアへ展開しうる国内の先進的な産業共生都市として川崎エコタウンを対象にして、都市産業共生型の生産システムについて物質、エネルギーのインベトリーシステムの構築に着手した。最後に、アジアの拠点都市における先進研究機関として大連理工大学、武漢大学、南開大学との共同で国際ワークショップを開催して、都市活動起因の汚濁負荷分布インベトリー、水循環の地域データベースの構築に着手した。

平成19年度の研究成果目標

- ①陸域生態系の水・物質循環のメカニズムの現状把握及び水・物質循環を評価できるモデルの統合化を行う。
- 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を検討するため、東シナ海陸棚域で航海調査を行い、また、海洋流動・低次生態系モデルに必要な環境情報データを整理する。
- ③拠点都市域の環境負荷・技術インベトリーを構築し、水・物質・エネルギー循環に及ぼす影響のアセスメントモデルを構築し、シミュレーションのテストを行う。

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築： 衛星データ、GIS、観測データおよび現地調査等に基づく、長江、淮河など、特に南水北調の水源である漢江流域における水・物質循環情報データベースの構築を継続し、気象、地形、土地利用のデータのほかに、水文、水質および人間生活や社会経済的なインベトリーデータを収集し入力した。また、気象・地形・土地被覆などの自然条件と人間活動の相互関係について検討し、水・物質循環を評価できるモデルの統合化を行った。モデルの検証や適用を含めた共同研究体制を確立するために、長江水利委員会と共同で漢江流域において栄養塩の自動観測システムを設置した。さらに、共同研究体制を強化するため、H19年5月に第二回日中流域水環境技術交流会を日本で開催した。

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： 浅海域の水質浄化機能の定量的評価のため、長江河口域及び沿岸域の漁獲量の経年変化、埋め立て面積等のデータ収集を行った。また、沿岸域の富栄養化等の実態理解のため、浙江海洋大学等との共同調査の可能性の検討を行うとともに、長期・中期・短期スケールでの研究課題を設定し、その実行工程に関する詳細な議論を進めた。さらに、初夏の東シナ海陸棚域における航海調査を本年度も継続し、長江起源水により輸送される栄養塩類の藻類群集による取り込み過程及びその行方に関する検討を行った。最後に、東シナ海における栄養塩の輸送過程を評価するための海洋流動・低次生態系モデルに必要な環境情報データを入手、整理し、データベース化した。

③ 拠点都市における技術・政策インベトリーとその評価システムの構築： 統合型陸域生態系モデル (NICE) モデルを基に、都市スケールの水・物質・エネルギー解析の鉛直次元建築・都市・土壤連携モデルのプロトタイプを構築し、シミュレーションのテストを行った。また、循環形成の産業システムの環境フラックス分析の方法論を開発することにより、都市と産業を包括する環境技術・政策・ビジネスのインベトリーを定量的に評価し、さらに、共同研究を推進している大連理工大学環境計画研究所等との連携を活用して、都市の上下水道、河川、沿岸域、および地下水位水質分布、降水量、都市排熱、気温等の都市環境のデータを統合的な GIS データを入手・整備するとともに、拠点都市を対象として、陸域統合型モデルに新たに都市モデルを結合した水・物質・エネルギー統合型モデルを構築するためのフレームワーク

を作成した。中国大連市・遼寧省（H19年5月）、中国武漢市・湖北省（H19年12月）、国連環境計画と川崎市（H20年1月）と連携する産官学連携の国際専門家ワークショップ・フォーラムを開催するとともに、中国環境科学院および日中友好環境センターと循環経済研究についてのワークショップ（H20年2月）を開催し、共同研究のフレームを構築した。EMECS 国際会議準備会合をH19年11月に開催している。

4. 2. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		8				8
(平成20年4月)		100%				100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 4.0点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築”、“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”、“拠点都市における技術・政策インベトリーとその評価システムの構築”の3つのサブテーマで構成され、これらは、それぞれがメインテーマとなるほどの重要な大きな課題である。特に、アムール、黄河、長江などは、日本の海域生態系、水産資源の基盤環境として重要であるため、本研究によって長江等の水・物質循環を明らかにすることの意義は極めて高い。中国における研究機関との共同研究体制ネットワークの構築、およびこれを通しての中国データの入手環境改善、および環境・生態系評価モデルの信頼度の向上などの成果は、高く評価できる。また、本研究から、3月に閣議決定された海洋基本計画への貢献、南水北調の渤海、東シナ海、日本海への影響予測が期待される。一方で、モデルや調査対象地域が多岐にわたっているため、全体のまとまりに工夫が必要である。

[今後への期待、要望]

今後、取得すべきデータの精査やモデルにおいての支配的要素の洗い出し、他の観測グループとの連携などを行いながら、最終目標の東アジアの水・物質循環評価システムの開発を達成して頂きたい。また、まだ完成されていないモデル要素を多く含むため統合化の際の信頼性が危惧される。このため、モデルの信頼性を含めて最終評価を行うことを期待する。

(3) 対処方針

中国側の研究者と緊密な関係を維持しながら、共同でワーキンググループによる検討を行い、データを精査していく。モデル上の支配的要素の洗い出しは、文献調査、現地調査と研究交流及び観測データを基準データとした感度解析などにより、水・循環モデルの出力への影響の大きさを検討して行う。そして、モデル出力に期待する精度に見合うデータ取得の精査を行う。

モデル要素については、指摘に沿ってまだ完成されていないモデル要素の開発を着実に実施すると共に、精査されたデータによる検証によって信頼性を高めていく。すなわち、陸域については、南水北調の水源地である漢江流域を重点的に取り上げ、長江水利委員会と共同で最先端の自動観測システムを導入し、信頼で

きるデータを取得する等によって、モデルの検証を実施する。海域については、東京湾や伊勢湾を対象に信頼できるデータを取得してモデルの検証を行い、さらに、中国の海洋局に属する研究機関や中国浙江海洋大学、水産庁、水産総合研究センター西海区水産研究所などと共同研究体制を構築し、中国沿岸域の現況把握や基盤的データの集積を行うことによって、東シナ海における検証を図る。拠点都市の環境技術システムの研究については、国内の都市において、都市スケールのモデルの信頼性を検討したうえで、東アジアの都市に適用していくアプローチをとっており、大連理工大学、武漢大学及び対象となる省や市の政府機関と連携することで、水・物質循環を改善する都市・地域の計画プロセスを明らかにし、構築するモデルの政策支援の要素を明らかにして、加えるべきモデル要素を設計するプロセスを構築する。

最後に、ロードマップに従って各サブテーマにおける研究を強力に推進しつつ、全体の中でのそれぞれの位置づけを明確にして、「最終目標の東アジアの水・物質循環評価システムの開発」という観点からの全体のまとまりを作るように工夫したい。同時に、国内外のプロジェクトとの連携を必要に応じてとっていく。

4. 3 流域生態系における環境影響評価手法の開発

4. 3. 1 研究の概要

特定流域の高解像度土地被覆分類図・湿地機能評価図を作成し、流域生態系の自然劣化実態を把握する。代表的生物の多様性・生態情報及び気象・水質等の環境データを取得し、流域生態系環境データベースを構築する。環境影響評価に不可欠な水環境のデータ取得とモデル化並びに好適生息地評価のための景観生態学的手法や河口域生態系への影響評価手法を開発し、流域生態系管理手法を検討する。

4. 3. 2 研究期間

平成18年度～22年度

4. 3. 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
運営交付金	36	36				
その他外部資金	27	9				
総額	63	45				

4. 3. 4 平成18、19年度研究成果の概要

平成18年度の研究成果目標
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
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
③ 持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発

平成18年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

- ① メコン河流域全体を対象とした多時期衛星観測データを整備し、タイ東北部における1990-2000年の土地被覆変化に関する予察的な解析を行い、氾濫原や河川地形の現況把握を行った。
- ② 対象河川に対して水環境シュミレーションモデルの導入と初期稼動を行った。メコン河流域全体のGIS環境に対応する形で空間情報（土地利用、流域基盤、生物捕獲等）を収集した。
- ③ メコンデルタの広範囲に生育しているマングローブ樹種の根圏酸化機能が底質中の物質代謝機構へ及

ばす影響を評価するため、国内外での野外調査および圃場での実験システムを構築した。環境影響評価に不可欠な水環境の情報データの取得とモデル化並びに好適生息地評価のための景観生態学的手法や河口域生態系への影響評価手法を開発するため、国内比較対照地である石垣島のマングローブ林とタイ北部及びメコンデルタにおいて予備調査を実施した。

④ メコン河情報共有のため現地 NGO やカウンターパートとのネットワークを作った。主に淡水魚類に関する既存データ、またダム建設に伴って実施されたであろう環境アセスメントの報告書などを収集した。

アジア国際河川生態系長期モニタリング体制の構築

(1) 流域国のキャパシティ調査・向上とモニタリング手法の開発 水質、生物多様性（藻類・水生植物、水生無脊椎動物、魚類）、水循環解析、有害化学物質のモニタリングに対する流域各国のキャパシティ（経験、保有機材、人材など）調査を行い、研修と試験モニタリングをおこない、モニタリングマニュアルの作成と水質分析精度向上及び生物材料同定精度管理体制の構築を目指した検討を行った。

(2) 生態系情報・モニタリングデータ共有システム構築 メコン川の水質や生物多様性に関する既存情報を収集、体系的に整理・解析を行った。また測定データの受領から利用までのプロセスが容易になるデータの共有・公開システムの構築の検討を行った。

国際ワークショップの開催 当該研究担当者と流域諸国の関係研究者にて情報を共有し、上記について検討を行い基本的な合意事項を決定した。

平成19年度の研究成果目標

- 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
- 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
- ③ 持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発

平成19年度の研究成果（研究成果の活用状況を含む）

① メコン河流域全体を網羅した自然環境（地質、土壌、植生、気候、水文など）および人文社会（行政区、人口、交通網、産業統計など）に関する空間データを整備するとともに、各要因の類似性に基づいた地域の類型化を行った。今後、類型地域ごとに、人為による環境影響の特性を整理、検討し、現地調査やモデルシミュレーションで得られた知見を一般化する。

② 北タイ地域のメコン河本流および支流における河岸・河床地形、流速、水質、魚類相の現地調査を実施し、硝酸濃度が高くタイ支流からの流入と地形変化により pH や濁度の変動することを明らかにした。定期採水委託により水質のモニタリングを開始した。タイ、ウボンラチャタニ大学と連携し、メコン河支流ムン川の魚類相調査、水質調査、魚類の耳石解析を開始した。同大学との間で委託契約を結び、魚類採集をともなう定期モニタリングを行っている。多岐にわたる海外現地調査活動を通し、モデルシミュレーションに資する一次データ取得を始め、継続的なデータサンプル輸入体制・研究組織間のネットワーク等を構築した。

③ 日本、タイの環境 NGO 等とメコン河流域住民との環境影響評価に関するヒアリングを行い問題点の抽出を行った。メコン河上流の中国国内で環境ジャーナリスト、研究者による現地視察を行った。

4. 3. 5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
中間評価		7	1			8
(平成 20 年 4 月)		87.5%	12.5%			100%

注) 上段：評価人数、下段 [%]

中間評価基準

- 5：大変優れており、発展的に推進すべし
- 4：優れており、着実に推進すべし
- 3：普通。必要に応じて計画の見直しを行うべし
- 2：やや劣っており、計画の大幅な修正を要する
- 1：劣っており、研究を中止すべし

外部研究評価委員会による中間評価の平均評点 3.9 点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

本プロジェクトは、“流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築”、“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”、“持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発”の3つのサブテーマで構成される。国際河川メコン河流域の資源に依存する日本にとって、客観的データを蓄積し科学的知見を提供することができる本研究の意義は大きい。ダム湖などといった人間活動の個別要素（魚類やマングローブ林など）への影響評価において顕著な成果を上げつつあり、影響評価手法としての有効性を実証する研究も進められている。

[今後への期待、要望]

今後、どのようなモデルに基づいて生物多様性への影響評価を行うのか、また持続可能な流域生態系管理の具体的な方法論をどのように確立していくのかに関しての一層の検討を期待したい。今後のプロジェクトの推進には、雨期・湛水期の観測、流速測定などができる水理学関係の研究者の参画が必要ではないかと思う。また、海岸侵食に関しては、近年だけの変化でなく航空写真利用などによる中長期的視点から議論すると良いだろう。一方、着手したばかりと思えるマングローブ林の研究の今後の進展に期待したい。現地との共同研究に関しては、体制は整っているように見受けられるので、さらに踏み込んで現地研究者がルーチ的にフィールドデータをとれるようになることを要望する。

(3) 対処方針

生物多様性へ影響評価、流域生態系の管理手法としては、メコン川中流域に対しては、河川が形成する景観が持つ生息空間としての多様性・ポテンシャルを評価する視点から進めている。水と土砂の動態を記述する水文地形モデルを開発し、例えば、ダム等による流量操作による洪水氾濫域の冠水頻度や湛水面積の変化が生息場の多様性に及ぼす影響を評価する方法の確立を目指す。また、河川の生物回廊としての役割については、淡水魚類の耳石解析に基づいて種ごとの回遊経路を明らかにすることにより、河川改修等の潜在的な影響を評価する。特に生物種ごとに必要とされる河川景観を明らかにし、水文地形モデルにより河川構造物築造等に伴う縦断方向の河川景観変化を再現し、想定される生活史の変化などとの関係を検討することで、生物学的観点から生息場の評価を加味する予定である。

一方、河口部においては、マングローブ林を対象として、多様な生物種の存続に必要とされる条件を現場データから推定し、管理に活かす方法を展開する。

雨期・湛水期の観測、流速測定など水理学関係の調査研究は大変重要と考えて進める。しかし更に協力が得られる水理学関係の所員の増員が予定できないため現メンバーの土砂流出専門の研究者が水理モデルを扱

える外部委託を利用して対応したい。更に指摘頂いた航空写真利用などによる中長期的視点から議論する事は重要と考え、データの入手や新たな撮影の可能性について関係機関に図って行きたい。

マングローブ林の研究の今後の進展の期待に応えられるよう、ベトナムにおける第一人者や行政機関担当者と連絡を取り、土砂堆積や生態系機能の評価を進める。また、共同研究者の体制、時系列的なモニタリング体制が整ったのでこれから現地調査が進み確実なデータが蓄積されると考えている。