

資料 1. 重点研究プログラム

1. 地球温暖化研究プログラム

研究の概要

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

観測・解析を中心とする研究においては、地上ステーション、民間船舶、民間航空機、人工衛星などを活用した観測研究により温室効果ガスの動態把握を進め、また大気輸送モデルと組み合わせることで発生源、発生量の推定などを行った。特に、21年1月に成功裏に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT (通称：いぶき) については、国環研の担当となっているデータの高度処理、高次プロダクトの検証、データの定常処理・配布などを順調に進めてきた。

温暖化リスク評価・温暖化対策評価に関する研究においては、IPCC の第 5 次評価報告書作成に向けてのモデルの改良を進めた他、IPCC の新シナリオの一つ (RCP6W) の作成を担当し、同時に、RCP6W について土地利用変化の空間分布シナリオを開発した。また、政府の温暖化対策中期目標の策定に向けての将来ビジョン・シナリオに関し、「2050 年までに 70% の排出削減が可能であること」、またそれを実現するための「12 の方策」を提示した。

なお、本プログラムは 4 つの中核研究プロジェクトに加え、関連研究プロジェクト (開始当初 8 件)、地球環境研究センターが実施する「知的研究基盤の整備」のうち地球温暖化に係るモニタリングなどの事業から構成される。紙面が限られているため、本報告書では 4 つの中核プロジェクトを中心に記述する。

(中核 P J 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)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
アジア-太平洋域での広域大気観測による温室効果ガスの収支や地域的特性に関する研究を行い、その収支や地域特性を明らかにすると同時に、アジア太平洋領域での、海洋、陸域フラック	大気二酸化炭素のアジア太平洋地域の高度分布を含めた季節変化やトレンドなど地域特性を把握できた。二酸化炭素の長期的収支解析から、海洋と陸域の吸収量の分別比率が 1 : 0.4 程度であり、そのトレンドをみると、近年の陸域や海洋の吸収量が二酸化炭素濃度上昇に対応し増加している効果が示唆された。発生源では中国などの人為発生量の倍増が、アジア太平洋地域の二酸化炭素の濃度分布を変化させてきていることが判明した。同時に、代替フロン類等 (例えば HFC23、HCFC22) も波照間の観測から中国に世界規模での大きな発生源があることが推定できた。メタンは近年に増加が認められたが、解析の結果何らかの発生量の増加が伴っていることが示唆された。 海洋や陸上の二酸化炭素吸収量の変動が太平洋やアジア地域で調査されその変動が解析された。北太平洋で吸収量は増加していることが推定できたが、地域的に西側と東側では吸収トレンドに差があることがわかり、海洋の地球科学的な変化がゆっくり進行していることが示唆された。陸域の吸収量は短期的には湿潤なアジアでは太陽の有効放射量に対応し変動することがわかった。温度上昇に対して、土壌呼吸などの増加がどの程度起こるかを実験的に研究した結果、短期的にはこれまでのモデルが推定する以上

<p>スの地域変動を解析し、そのトレンドを求める。これらのデータを用いてモデル解析を行う。</p>	<p>の応答が日本の森林土壌ではあることがわかったが、長期的には土壌毎の炭素プールの差により場所ごとに応答が異なることがわかった。</p> <p>本プロジェクトで高頻度に観測している大気二酸化炭素の変動を説明できるような新しい結合モデルを開発した。こういったモデルを酸素などにも応用し、観測の解釈の整合性を確認した。これをインバージョンモデルにも適用し、波照間などの高頻度観測をデータとして使うことによることで、精度の改善が測れることを示した。海洋のフラックスなどを観測データから4次元同化して用いながらインバージョンモデルを適用することでグローバルなフラックスの評価精度が向上した。</p>
<p>サブテーマ (1) アジア-太平洋域での広域大気観測による温室効果ガスの収支や地域的特性解析</p> <p>JAL や船舶、地上ステーションを用いて高頻度測定により、濃度分布や時系列濃度変動パターンを抽出する。その結果から、大気の混合を含めたグローバルな変動の解析のための情報を整理することに加え、急激に変化する最近5年程度のアジア特有の地域別のフラックス変動の特徴を検出する。</p>	<p>○ グローバルな二酸化炭素収支とそのトレンド</p> <p>酸素の精密測定からの見積もりによると1999年から2008年までの9年間について、海洋および陸域生物圏の吸収量はそれぞれ2.3 PgC/yr および0.9 PgC/yr と推定された。2002年から2008年までの後半6年間では、海洋および陸域生物圏の吸収量はそれぞれ1.9 PgC/yr および1.4 PgC/yr であり、海洋の吸収量には若干の減少傾向が、陸域生物圏の吸収量には増加傾向があった。年々変動のパターンを炭素同位体比で細かく解析を行った。正味の陸域の吸収量の変動は森林火災を含めたエルニーニョによる温度変化に依存するが、森林火災の影響を考慮すると、NEPの温度応答は1度あたり1.4～4 Gt-C程度であり、世界の炭素循環モデルで想定されるNEPの減少や土壌呼吸の増加に対応するオーダーであった。また、二酸化炭素の濃度に対する吸収量の増加応答は、100ppmにあたり6.5～8Gt-Cであり、モデルと整合的であった。これらから、近年の陸域吸収量の増加は、温度が相対的に低く経過していることに加えて、二酸化炭素濃度増加が寄与していることがわかった。海洋の吸収量は、同位体比からの結果では、吸収量の微増が推定され、2.6Gt-C程度の吸収が見られた。濃度応答としては100ppmに対して2.5Gt-Cであり、これまでの吸収量をうまく整合的に説明した。温度に対しては、エルニーニョの現象による応答のため、長期的な応答の係数が導き出されなかったが、温度応答は小さいと考えられた。</p> <p>○ 定期船舶を用いた放射性炭素同位体比(14C)の観測</p> <p>観測データから、14Cの長期トレンドと季節変動に緯度別の変化があることが明らかになった。14Cの季節変動は、大気輸送モデルを用いた解析の結果、北半球では化石燃料燃焼による二酸化炭素の大気輸送によって説明できることが明らかになった。14Cの長期変動は、安定同位体(13C)の変動と位相は同じだが増減が逆の関係にあり、エルニーニョによる変動の影響を受けていることが示唆された。しかし、その変動プロセスはまだわかっておらず、14Cのシミュレーションの再現性を高め、現在進めている表層海水の14C観測の結果などを合わせて考察を進める必要がある。</p> <p style="text-align: center;">◇</p> <p>○ グローバルなメタン濃度の長期トレンド</p> <p>1994年以來の定期船舶を用いた緯度別の長期観測結果を解析した。これまで増加していた濃度は2000年以降すべての緯度帯で濃度増加が見られなくなっていた。その後2007-08年に北半球中緯度で9ppbv/年、南半球で7ppbv/年の大きな濃度増加が起こっていることがわかった。この近年の大きな濃度増加は全球で起こっているようであったが、北半球低緯度でこの増加速度が小さい緯度帯が見つかった。メタンのトレンドの変動にはエルニーニョやラニーニャに伴う大規模な大気輸送の変動を反映していると考えられた。大気循環モデルによる解析から、エルニーニョの時期や近年の濃度増加は輸送の問題ではなく北半球での発生源の増加があるとの可能性が示唆された。この解析を進めることで、年ごとの発生源の情報が得られると考えられた。</p>

○ 大気の立体的な輸送過程

JALの航空機を利用した観測によって各地の高度分布が観測された。その結果、各地で特徴的な分布と季節変化が観測された。これを解析すると上部対流圏と下部成層圏におけるCO₂濃度の季節変化の位相がまったく逆になっていることが明らかになった。客観解析データを利用して等価緯度-温位断面上でのCO₂濃度の分布を解析したところ、春季には圏界面と等CO₂濃度面が平行になっており、圏界面が対流圏と成層圏の大気輸送の障壁になっていることが示唆された。一方夏季には低緯度の高濃度のCO₂が圏界面を横切って下部成層圏に流入しており、この現象が下部成層圏におけるCO₂濃度の季節変動を作り出しているというメカニズムを明らかにした。

また、各地の高度分布からCO₂濃度の年平均値は北半球の自由対流圏では経度方向の差が小さかったが、境界層内では東アジア域の濃度がヨーロッパや北米より高い傾向を示した。インドに関しては、相対的に低い値を観測するなど各地の特徴が把握された。

○ 短寿命成分の分布

日本-オセアニア航路に加えて、日本-東南アジア航路における民間船舶を用いて、短寿命の微量温室効果ガスの多成分観測を行った。中国南部から、タイ・インドネシア・シンガポールにかけてのデータを太平洋の同緯度帯のデータと比較すると、多くの成分について、東アジアの発生源の影響が明瞭であった。例えば、北緯10度以南の熱帯域における対流圏オゾン濃度は、東南アジア航路がオセアニア航路よりも概して高い値を示していた。熱帯域では一年を通じて豊富な太陽光が得られるため、前駆物質の濃度レベルによってオゾンの生成が大きく左右されることが考えられるが、前駆物質濃度が低い場合オゾンが消失となっているオセアニア航路とは対照的に、前駆物質濃度が高い東南アジア航路ではオゾンが生成となり、全体的に高いオゾン濃度をもたらしていると推測された。東南アジア地域における一酸化炭素の高濃度イベントを詳細に解析したところ、エルニーニョによって誘発されたボルネオ島の森林火災から一酸化炭素が放出され、長距離輸送されて太平洋外洋域にも影響を及ぼしていたことが分かった。また、冬季には一酸化炭素と二酸化炭素の濃度変動が非常によく相関し、発生源からの放出比をよく反映していると考えることができたが、夏季には相関しない場合もしばしばあり、陸域生態系によって二酸化炭素が吸収されていることが示唆された。東南アジア域からの温室効果気体の排出状況をより良く推定するためには、今後の継続的な観測とともに、夏季に陸域生態系によって吸収されないメタンの連続観測の重要性が認識された。

○ 地域的なGHGの発生の把握

波照間でのCO₂およびCH₄の変動量の比を詳細に調べると、1996～2002年にゆっくりと増加し、2002年以降の急激に増加することが分かった。この変化傾向は二酸化炭素のデータバンクであるCDIACに報告されている中国における化石燃料起源のCO₂放出量変化と整合的であった。中国での発生量はここ5年間で2倍になっており、二酸化炭素とメタンの比率がそれぞれにより増加することが推定された。同時に、二酸化炭素の濃度の冬季の増加速度にも中国の発生量増加が影響していることがわかった。

酸素と二酸化炭素の比率を用いると、二酸化炭素の発生源が石油起源が石炭起源かなどを区別することができることがわかった。観測されたエアマス起源ごとの $\Delta\text{O}_2/\Delta\text{CO}_2$ 比さらに $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ 比を調べると国別の化石燃料使用統計やCOの国別発生量から予想される値と整合的であり、発生源の同定に使用できることがわかった。

○ フッ素系温室効果気体の観測と解析

フッ素系温室効果気体の高頻度モニタリング観測を波照間島と落石岬で行い、それらの詳細な濃度変動データを得た。多くのHFC

	<p>類、HCFC 類と SF6 が経年増加を続け、2005～2008 年にかけて HFC-134a は約 40%増え、HFC-152a と HFC-32 はほぼ倍増したことが明らかになった。また、波照間におけるハロカーボン濃度の季節変動（冬＞夏）は北半球低緯度～中緯度の濃度分布を反映したものであることが分かった。短期間の汚染イベントを利用した周辺地域からの排出量解析を行い、中国から排出される HFC-23（HCFC-22 製造の副産物）は年間約 10Gg/y に上り、中国起源ハロカーボン類の中で温暖化に対する寄与は約 40%に上っていることなどを明らかにした。波照間の観測結果を用いたタグ付きシミュレーションの解析結果から、2005 年～2007 年における中国からの HCFC-22 年間排出量は 32(±5) Gg、HFC-134a 年間排出量は 3(±1) Gg に上るという結果が得られた。さらに、国際共同研究として、欧米豪の観測ネットワークと連携し、HCFC-22、HFC-134a、HFC-152a のグローバルな地域別排出量をモデル計算により推定した。</p> <p>○ 海外サイトでの観測結果 アジア域の中緯度での観測地として、貴陽（中国）、ナイニタール（インド）の定期観測を共同研究として行った。二酸化炭素を始め各種ガス成分をボトルサンプリングし、季節変化の地域性などを解析した。中国での観測によると大陸内部であるため、同じ緯度帯にありながら海洋性気団で覆われる波照間との比較すると夏期にはその濃度が大陸での吸収により低いことや冬季には逆に高いことなどが示された。また、ガス成分の特徴などが抽出された。インドのサイトも同じ緯度帯でありながら、大きく季節変化は異なり、夏期の二酸化炭素濃度の低下の影響が冬季にまでおよぶことが分かった。これは、シベリアの内部での低い二酸化炭素濃度などがこの地域の冬に影響している結果であると考えられた。その結果全体の年平均濃度を下げており、平均濃度で議論するとこの地域は北半球の中でも最も二酸化炭素濃度が低い地域になっていることが分かった。</p>
<p>サブテーマ (2) 太平洋域の CO2 海洋吸収、アジアの陸域生態系の CO2 吸収フラックス変動評価に関する研究</p> <p>新ラインである西太平洋での pCO2 データの継続的採取を行うとともに、北太平洋で得られた二酸化炭素分圧データを用いて、北太平洋での海洋からの二酸化炭素長期フラックスを変動の地域特</p>	<p>○ 北太平洋での観測を継続し、13 年間の CO2 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、1995 年から 2008 年の間に北太平洋の CO2 吸収量は約 0.08 PgC/decade の割合で増加していると推察された。この増加速度は年に 2%程度であり、これは大気中の二酸化炭素の増加速度から考えられる吸収量増加と同オーダーではあった。しかし地域的な差が見られ、太平洋に西側に顕著な CO2 吸収量の増加傾向 (+70%) が見られた。一方、北太平洋東部ではわずかながら CO2 吸収量の減少傾向が見られた。これは、なんらかの理由で太平洋の吸収の地域特性が変化していることを示唆していた。</p> <p>○ 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を継続し、西太平洋域の年々変動とその要因について解析を行った。その結果、南緯 20 度以南のタスマン海では一年を通して大気中の CO2 分圧よりも海洋中の CO2 分圧の方が低く、強い CO2 の吸収域である事が示唆された。また西太平洋赤道域では CO2 分圧の年々変動が大きく、2006 年 7 月から 2007 年 7 月まで大気と海洋の CO2 分圧はほぼ平衡状態であったものの、2007 年 10 月から 2009 年 4 月まで海洋 CO2 分圧が増加し、大気よりも 20 - 50 μatm 高い値を示した (図)。解析の結果、このような高い海洋 CO2 分圧は、ラニーニャ時にペルー沖の高 CO2、高塩分、低水温の水塊が西方へと輸送され、ラニーニャ後期に西部に到達した水塊を捉えていた事が強く示唆された。</p> <p>○ 2003 年から開始した北太平洋上における海洋表層の放射性炭素 (¹⁴C) 濃度測定について、2008 年までの夏季のデータが得られた。測定された時系列の傾向は、核実験停止条約締結以降の長い減少傾向と比べて相対的に減少が止まっているように見える。これは大気中の ¹⁴C 濃度の減少速度の鈍化に対応するものと考えられるが、カリフォルニア沖では大気中濃度に比べても海洋濃度の方が低くなっており、大気との交換のほか、表層海流や海水の上下混合の仕方の大きな変動が表れていることも考慮すべき</p>

性を求める。また、その変動気候について検討する。

CGER 事業でデータが採取されている国内の森林フラックスサイトのデータを解析し、気象変動との直接影響を調べると同時に、アジアのフラックスサイトでのフラックス変動要因について解析する。また、土壌呼吸の温暖化影響についての実験や実測を行う。

だと考えられ、各海域における季節変動の把握を含め、今後の観測の充実化をはかる予定である。

○ アジアでの陸域吸収量分布と気候影響

AsiaFlux ネットワーク活動を通してアジア各地の森林生態系における二酸化炭素フラックスのデータを収集し、二酸化炭素収支各項（光合成総量、呼吸総量、正味炭素吸収量）を統合的な解析手法で求め、それぞれの時系列を比較して季節変動や年々変動の特徴を明らかにした。特に、亜寒帯林（シベリア）から東南アジア熱帯林に至る広い緯度帯の森林の炭素収支を詳細に比較したところ、炭素収支各項の季節変化パターンは気候帯と生態系タイプごとに大きく異なる特徴をもつこと、年間の総光合成量と総呼吸量は年平均気温と高相関をもつことなどが定量的に示された。また、欧州で記録的な熱波が観測された 2003 年夏に、欧州のみならず東アジアでも顕著な気象偏差が観測され、それが東アジア各地の総光合成量の時間変化と空間分布に大きな影響を与えたことを示した。

○ 富士北麓のカラマツ人工林において長期的に観測された CO₂ フラックスのデータについて解析を行った。落葉針葉樹林であるこの植生は北東ユーラシアを代表するものであり、既にデータ集積の進んでいる北米やヨーロッパの高緯度に広がる常緑針葉樹林とは異なる特徴を持っており、研究対象として重要である。このサイトでは樹木の展葉期にあたる 5 月前後に急激に光合成生産量が増加し、落葉期となる 10 月頃までの限られた期間が吸収期となる落葉性の森林に特徴的な季節パターンが観察されている。植生の活動期にあたる夏期に於いても、CO₂ の吸収の低下が頻繁に見られることが分かった。東アジアモンスーン域においては、植物の活動期には十分な降水があるため、北米やヨーロッパの森林に見られるような乾燥ストレスによる光合成の低下はあまり起こらず、むしろ低気圧や前線の通過にともなう光合成有効放射の制約の影響を受けやすいと推測された。

○ 青海の草原の温暖化影響と吸収量

青海チベット草原の炭素フラックスにどのような環境要因どのような程度で影響を及ぼすかについて、定量的な評価を行った。5 月から 9 月までの間は、NEE の日変化に対して土壌深度 5cm の地温と光環境 (PPFD) が最も大きな影響を持つことが示された。ここでの炭素蓄積に及ぼす温暖化影響を検討するため、ORCHIDEE モデルを利用し、気温が 2°C 上昇した場合の、この地域の高山草原の平衡状態における炭素蓄積変化を予測した。その結果、地域全体で植物の炭素吸収量 (NPP) が 10% 増えるにもかかわらず、土壌有機炭素の蓄積量が現在より 8.3% 低下する可能性を示した。バイオマス量が少なく土壌有機物が大きい草原では、土壌有機物の減少の寄与が大きく、チベットの草原全体では 0.7Pg-C 程度の炭素の放出に相当し、アジアの草原全体では、13Pg-C 程度に相当する。

○ 土壌呼吸の温暖化影響実験として、全国の代表的な 6 つの森林生態系において、温暖化操作実験を行うことで、対照区に比べて、温暖区における微生物呼吸速度は昇温 1・C あたり、針広混交林、ミズナラ林、ブナ林、アカマツ林、常緑カシ林、およびスダジイ林では、それぞれ平均 20%、7%、6%、4%、4%、9% 増加したことが分かった。また、微生物活性の指標である Q₁₀ が IPCC 2007 などの根拠となっているモデルに用いられている値 (1.1~2.2) より大きい、3.0 前後であることが判明し、21 世紀の半ばには森林が CO₂ の発生源になる可能性を示唆した。

○ 土壌での炭素循環の速度、北域の CO₂ 発生について土壌 CO₂ の発生源を検討すると共に土壌呼吸に占める根呼吸の割合を評価

	<p>するため、土壌呼吸CO₂の¹⁴C濃度の季節変動を調べた。土壌呼吸CO₂の¹⁴C濃度は明確な季節変動を示し、夏に低くなる傾向が見られ、その変動幅は約20%程度であった。これは、夏期には、土壌有機炭素よりも¹⁴C濃度が低い根呼吸の割合が高くなるためであると予測される。また、土壌深度10-70cmの土壌CO₂の¹⁴Cの鉛直プロファイルも季節変動を示し、CO₂の発生源が季節によって変化することが示唆された。北緯北緯60度から75度において、アラスカを代表するツンドラ生態系、ツンドラ・タイガ遷移帯、タイガ林合計5サイトにおいて、土壌炭素の鉛直プロファイルおよび¹⁴Cプロファイルを調査した。タイガ林の土壌は、表層から26cmでも炭素含有量は26%と高く、その¹⁴C年代は1820年であったことから、堆積速度が早く非常に高い炭素蓄積能が有ることが明らかとなった。一方、土壌ガスの¹⁴C濃度は、ツンドラ生態系では最も低く、これまで永久凍土中に蓄積していた古土壌がCO₂の発生源となっている可能性が示唆された。</p>
<p>サブテーマ (3) 温室効果ガスの動態のモデル的評価に関する研究</p> <p>フォワードモデルを改良し本プロジェクトで得られた大気データと組み合わせることによって、大気濃度変動要因について評価する。特に、二酸化炭素や、メタン、CO₂についての検討を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 全球規模のオイラー(グリッド)型輸送モデルと地域的なラグランジアン(粒子拡散)型輸送モデルを組み合わせ、新たな大気輸送モデル(結合モデル)を開発した。モデル性能の検証として、二酸化炭素及びメタン濃度を計算し、本プロジェクトで実施されている、波照間、落石岬、貴陽(中国)、ウッチャランタル(インド)の大気観測データとモデル計算値を比較した。その結果、結合モデルは、オイラー型輸送モデル単独(グリッド解像度は結合モデルで用いた解像度と同じ)で計算した場合と比較して、観測値に見られる細かいピークをより精確に再現可能であることが確認された。 ○ 冬季を中心に晩秋から初春にかけては、大陸から空気塊がアジアモンスーンによって日本に運ばれてくる。波照間ステーションにおいても、同期間において大陸の発生源から影響を強く受けたと思われる二酸化炭素とメタンの濃度変動が観測されている。この大陸からの影響がどの程度であるかを検討するために、中国の温室効果ガス発生源を考慮せず(フラックデータの値をゼロにして)、結合モデルでフォワード計算を実行した。その結果、波照間でみられる、冬季の汚染イベントは、中国の発生源から強い影響を受けていることが確認された。 ○ 結合モデルをインバースモデルに導入し、亜大陸スケールで(全球を64地域に分割して)二酸化炭素の月平均フラックスを推定した。観測データは、米国海洋大気庁(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)の地球システム研究所(ESRL: Earth System Research Laboratory)が提供しているフラスコデータのほか、東アジアのフラックス解析の精度を高めるため、波照間及び落石岬の連続観測データも併せて使用した。こうした、大量のデータを使用し、限られた計算資源でフラックスの推定を行うために、“fixed-lag Kalman smoother technique”のアルゴリズムをインバース計算に適用した。その結果、波照間・落石岬の連続観測データを使用した場合、使用しない場合と比べて、特にアジア地域のフラックス推定の不確実性が大幅に減少する結果が得られた。 ○ 海洋の炭素循環を調査するために、海洋トレーサー輸送モデル(OTTM: Ocean Tracer Transport Model)を開発した。OTTMは再解析海流データを使用して、海洋中の溶存無機炭素の輸送を計算する。このOTTMと生態系モデルを組み合わせ、データ同化手法により、二酸化炭素分圧(pCO₂)の月平均値と大気-海洋間の月平均二酸化炭素フラックスを算出した。 ○ 波照間島における代替フロンHCFC-22の2005-2007年冬季の高頻度観測値を用いて、東アジアにおける放出量分布を推定した。領域気象モデルを用いて観測値を再現するためのフォワード計算を行い、得られた計算値と観測値のずれから、ベイズ統計に基づいた逆解析により排出強度を推定した。結果、中国からの総HCFC-22排出量は年間約32Ggと推定され、既存の統計値の9

	<p>倍近い量が排出されていることが示唆された。</p> <p>○ CO に関するモデルシミュレーションを行い、アジアでの各地のデータと比較することから、発生量データを逆算すると、CO の中国の中部の発生量が、推計値より大きいであろうことが推察された。また、CO とオゾン濃度の解析から、オゾンの増加に関して、アジアの影響やシベリヤの森林火災の影響があることなどが示唆された。</p>
--	--

(中核PJ2：衛星利用による二酸化炭素等の観測と全球炭素収支分布の推定)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>衛星打ち上げ前に高精度で二酸化炭素・メタンのカラム量を導出するためのデータ処理手法を開発し、その実証実験を実施するとともに、衛星打ち上げ後は実際の観測データに適用した定常処理によって作成されたプロダクトの検証を行い、有効性と問題点を確認する。さらに、そのデータと地上観測データとを用いて炭素収支の全球分布を予備的に求めるための準備を完了する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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衛星取得データに対応するデータ処理手法を開発した。 ○ 衛星打ち上げ前に、定常処理で使用するアルゴリズムを完成させるとともに、データプロダクトの誤差評価手法を確立した。 ○ 偏光を考慮する放射伝達計算コード Pstar2b を開発し公開した。 ○ 約 2 年間の GOSAT の実観測データのうち、雲がないと判断された事例を解析した結果、二酸化炭素カラム量が北半球高緯度で特に明瞭な季節変化を示すことや、メタンカラム量が 1 年を通じて北半球で南半球よりも高濃度を示すなど、従来の知見に矛盾しない結果を得た。 ○ 研究期間中に開発されたアルゴリズムを改良し、より精度の高い巻雲の検知、および酸素の吸収帯を利用した実効的な光路長補正が取り入れられることにより、当初のアルゴリズムで見られていた極端な濃度バイアスが概ね解消された。 ○ 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。 ○ 実験データの解析を通して、データ処理手法の妥当性・改良点などを確認し、データ処理手法の検証及びデータプロダクトの検証手段の検討と準備を進めた。 ○ 地上及び航空機観測により取得された検証データを用いて、GOSAT TANSO FTS SWIR の標準プロダクトである XCO₂ と XCH₄ の検証を行った。GOSAT のカラム量およびカラム平均濃度は検証データに比べて低めであり、XCO₂ の場合は 2～3 % 程度低いことが明らかとなった。また、GOSAT のデータのばらつきは、検証データのばらつきに比べて大きい。帯状平均された GOSAT の XCO₂ と XCH₄ の緯度分布は、概ね検証データと負のバイアスを持って一致することが明らかとなった。 ○ つくばにおいて衛星との同期観測キャンペーンを実施し、巻雲やエアロゾルによって生じる GOSAT の温室効果ガス濃度データのバイアスについて実観測データより明らかになりつつある。 ○ GOSAT の観測データと地上観測データとを用いて炭素収支の全球分布を求めるためのモデルの整備を進めた。 ○ 観測された大気中二酸化炭素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。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。

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 大気輸送フォワード計算手法を改良して時間・空間分解能を精密化するとともに、GOSAT データを利用した場合に炭素収支推定誤差が地域別に低減する量をシミュレーション計算により解析した。また、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った。 ○ 大気輸送フォワードモデルとして、質量フラックス形式の線型モデル (NIES08) を開発した。このモデルでは、全球の温室効果ガス分布に地域フラックスの寄与を重ねて正確にシミュレートすることができるようになった。 ○ インバース解析により、全球 64 分割で月別の炭素収支を推定できるようにシステムを改良した。 ○ GOSAT 観測から得られる二酸化炭素・メタンのカラム量全球データを用いた地表面炭素フラックスの評価の実施に向け、必要とされる地表面フラックス先験情報の整備を行った。 ○ 開発したインバース解析手法を用いて、これまで整備を進めてきた地表面収支先験データを使用し、GOSAT の二酸化炭素濃度観測データと地上測定値の予測データを用いて、平成 21 年について全球 64 の各領域における二酸化炭素収支の暫定値を求めた。 ○ GOSAT による観測データを加えることにより、南米やアフリカ等の地上測定点の乏しい地域における収支量の不確実性が、地上測定値のみで推定した場合に比べ最大で 3 割程度 (暫定結果) 低減することが判明した。
<p>サブテーマ(1) 衛星観測データの処理アルゴリズム開発・改良研究</p> <p>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。また、偏光観測データの利用手法の高度化を図るとともに、GOSAT の短波長赤外波長域での実観測データを用い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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った。 ○ 上記に基づき、巻雲やエアロゾルの存在する様々な大気条件下での衛星取得データに対応するデータ処理手法を開発し、導出される二酸化炭素カラム濃度値の誤差評価を行った。 ○ 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。さらに、衛星から観測する際のフーリエ変換分光器の視野の揺らぎがカラム濃度導出に及ぼす影響を評価し、その補正手法を開発した。 ○ 今後のアルゴリズム改良に向け、偏光を考慮する放射伝達計算コード Pstar2b を用いて偏光の影響の程度を評価した。海上では鏡面反射点に近い領域 (サンダート領域) を観測することで高い信号対雑音比 (SNR) の信号が得られるが、偏光度が非常に大きい信号となる。エアロゾルなどによる散乱過程を経ることで、偏光度は小さくなるものの、完全には解消されないことが数値シミュレーションから示された。 ○ 衛星打上げ後の定常処理に向けて、使用するアルゴリズムを完成させるとともに、データプロダクトの誤差評価手法を確立した。 ○ 衛星打上げ後 6 ヶ月間の初期機能確認及び校正・検証期間中に必要な事項の確認と整備を行った。 ○ 本研究で開発した手法をもとに GOSAT により取得された実観測の短波長赤外波長域の晴天域の輝度スペクトルから二酸化炭素・メタンのカラム量の導出ができることを確認した。 ○ 当初の導出結果に見られていた「ダスト等に起因する極端な高濃度バイアス」と「巻雲等に起因する極端な低濃度バイアス」を低減することを目指して、GOSAT により取得された実観測の短波長赤外波長域の晴天域の輝度スペクトルから二酸化炭素・メタンのカラム量を導出する改良手法を開発した。 ○ 改訂されたアルゴリズムでは、より精度の高い巻雲の検知、および酸素の吸収帯を利用した実効的な光路長補正が取り入れられ、当初のアルゴリズムで見られていた極端な濃度バイアスが概ね解消された。 ○ 得られたカラム量は過小評価傾向にあるものの、そのばらつきは 1~2 % 程度に収まっている。 ○ 雲がない事例を抽出するための手法に関しては、特に海上において打上げ前に検討していた手法のみでは不十分であることが判

<p>て、二酸化炭素・メタンのカラム量導出手法の確認と改良を行うとともに、導出値の誤差評価を行う。</p>	<p>明したため、新たな雲識別手法の開発・適用を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 約2年間の実観測データのうち、雲がないと判断された事例を解析した結果、二酸化炭素カラム量が北半球高緯度で特に明瞭な季節変化を示すことや、メタンカラム量が1年を通じて北半球で南半球よりも高濃度を示すなど、従来の知見に矛盾しない結果を得た。
<p>サブテーマ(2) 地上観測・航空機等観測実験による温室効果ガス導出手法の実証的研究</p> <p>衛星搭載センサと類似仕様の地上モデルセンサを用いて、直接測定などによる濃度と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。さらに、地上設置の高分解能フーリエ変換分光器や航空機による検証観測を行い、得られた検証データを用いてGOSAT データプロダクトのデータ質の評価研究を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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。 ○ 類似センサによる観測データの取得と同時に、太陽反射光をもたらず地表面の近傍と山頂付近に二酸化炭素の連続測定装置とスカイラジオメータを配備し、山の斜面に沿ってセスナ航空機で二酸化炭素濃度の直接測定を行った。地表面の近傍にはさらに簡易型エアロゾルライダーを配備して、雲・エアロゾルの高度分布の状況と接地境界層の時間変化をモニターした。データ解析の結果、二酸化炭素のカラム濃度が直接測定データと2%の範囲で一致した。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ケースは類似センサから求めたデータが直接測定データに0.2～0.4%ほど近づくことがわかった。更なる誤差要因の追求が必要ではあるが、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。 ○ 実験データの解析を通して、データ処理手法の妥当性・改良点などを確認し、データ処理手法の検証及びデータプロダクトの検証手段の検討と準備を進めた。 ○ 衛星打ち上げ後、独立の観測装置によって取得されるより不確かさの小さい検証データを用いて、定常処理により衛星観測データから作成されるデータプロダクトのバイアスやばらつきを評価する検証に関する研究を進めた。 ○ 地上設置の高分解能フーリエ分光計を用いた太陽直達光観測による大気中温室効果ガスカラム量の導出法が、主要な検証観測手法の一つである。当研究所に設置の高分解能フーリエ分光計により定常的に観測されたスペクトルを過去6年間に拡張して解析した。この結果を、地上観測データや観測に基づく大気輸送モデル計算値 (NOAA CarbonTracker) と比較し、よい一致が見られた。 ○ 検証観測装置そのものの検定を目的として平成21年1月に高分解能フーリエ変換分光器の観測に合わせて、航空機搭載測定装置による直接測定およびサンプリング測定、GPSゾンデ観測等を実施した。 ○ 検証データ質の確認を行った。地上設置の高分解能フーリエ変換分光器による二酸化炭素の乾燥空気に対するカラム平均濃度 (XCO₂) の不確かさは0.3% (1ppm)、メタンの乾燥空気に対するカラム平均濃度 (XCH₄) の観測精度は約0.3%であることが明らかとなった。 ○ 航空機によるCONTRAIL (Comprehensive Observation Network for TRace gases by AIrLiner)、NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration) の測定の不確かさは0.2ppmであり、CONTRAIL及びNOAAデータからXCO₂を求める場合の不確かさは、航空機観測データのない部分を仮定して求めるため、1ppm程度であることが明らかとなった。 ○ 上記検証データを用いて、GOSAT TANSO FTS SWIRの標準プロダクトであるXCO₂とXCH₄の検証を行った。GOSATのカラム量およびカラム平均濃度は検証データに比べて低めであり、XCO₂の場合は2～3%程度低いことが明らかとなった。また、GOSATのデータのばらつきは、検証データのばらつきに比べて大きい。帯状平均されたGOSATのXCO₂とXCH₄の緯度分布は、概ね検証データと負のバイアスを持って一致することが明らかとなった。

	<ul style="list-style-type: none"> ○ つくばにおいて衛星との同期観測キャンペーンを2回実施した。観測に使用した機器は、航空機（CO₂直接測定及びサンプリング）、高分解能フーリエ変換分光器、ライダー、スカイラジオメーター、全天カメラ等である。巻雲やエアロゾルによって生じるGOSATの温室効果ガス濃度データのバイアスについて実観測データより明らかになりつつある。
<p>サブテーマ(3) 全球炭素収支推定モデルの開発・利用研究</p> <p>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。さらに、フォワード計算モデルの改良、衛星データの同化手法の精緻化等を進め、それらのインバースモデルへの反映についての研究を行う。具体的には大気輸送モデル（NIES08モデル）の改良と、GOSATと地上観測データとを利用して全球の炭素収支分布を推定するインバースモデルシステムの高精度化</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 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の検討のため、空間的フラックスの空間的な相関解析を実施した。 ○ 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。 ○ 衛星打ち上げ後に、GOSATの実観測データを用いて予備解析を行ったところ、GOSATによる観測データを加えることにより、南米やアフリカ等の地上測定点の乏しい地域における収支量の不確実性が、地上測定値のみで推定した場合に比べ最大で3割程度（暫定結果）低減することが判明した。 ○ 観測された大気中二酸化炭素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。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。 ○ 大気輸送フォワード計算手法を改良して時間・空間分解能を精密化するとともに、GOSATデータを利用した場合に炭素収支推定誤差が地域別に低減する量をシミュレーション計算により解析した。また、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った。 ○ 大気輸送フォワードモデルとして、質量フラックス形式の線型モデル（NIES08）を開発した。このモデルでは、全球の温室効果ガス分布に地域フラックスの寄与を重ねて正確にシミュレートすることができるようになった。 ○ このモデルを用いた観測値の季節変化を考慮したインバース解析により、全球22分割で月別の炭素収支を推定でき、これまでのNIES輸送モデルと比べて北半球でより現実に近いと考えられる陸域吸収源の推定結果が得られた。 ○ インバース解析により、全球64分割で月別の炭素収支を推定できるようにシステムを改良した。 ○ インバースモデルで推定される地域別の吸収排出分布は、モデルの中の下部対流圏の二酸化炭素濃度の鉛直勾配と鉛直混合速度とに関係することがわかった。生態系モデルVISIT（Vegetation Integrative Simulator for Trace gases）を利用して、全球陸域生態系の炭素収支推定用にモデル（時空間分解能：1日、0.5度メッシュ）の開発を行った。さらに海洋輸送モデルOTTMの開発を進めた。 ○ VISITが推定する各種植生の活動に関する主要なパラメータを、二酸化炭素濃度やバイオマス量などの地上測定データを元に最適化するスキームを構築した。 ○ インバースモデル解析により二酸化炭素の収支を推定する際に用いる陸域植生－大気間収支の先験データの精度向上と、化石燃料燃焼由来の人為的排出量先験データの更新を行った。 ○ 化石燃料燃焼由来の人為的排出量先験データの作成のために、すでに構築・運用している全球1kmの高空間解像度で排出量分布の導出が可能なモデルシステムを、最新の夜間光衛星観測データや月ごとの排出量データを活用できるように改良し、月変動

<p>を行う。</p>	<p>を考慮した人為的排出量先験データを準備した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ これまで整備を進めてきた地表面収支先験データを使用し、GOSAT の二酸化炭素濃度観測データと地上測定値の予測データを用いて、平成 21 年について全球 64 の各領域における二酸化炭素収支の暫定値を求めた。なお、GOSAT の二酸化炭素濃度観測データは、サブテーマ(2)の検証結果に基づいて一律にバイアス補正を施し、月平均値 (5 度×5 度格子) に変換したものである。 ○ GOSAT データの利用により予想されるフラックス推定値の不確かさの低減率を調査した。さらに、インバースモデル解析の際に入力となる GOSAT 観測から得られるカラム量の評価・選別を行うため、アンサンブル気候値を算出するモデルシステムを構築した。
-------------	--

(中核 P J 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)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
<p>全体目標 気候モデル、影響・適応モデル、陸域生態・土地利用モデルについて、各モデルの開発・改良ならびに各モデルを用いた将来予測実験およびその解析を行うとともに、モデル間の結合もしくは統合利用を行う。</p>	<p>サブテーマ 1 の気候モデル研究、サブテーマ 2 の影響・適応モデル研究、サブテーマ 3 の陸域生態・土地利用モデル研究により、モデルの開発・改良を行うとともに、それを用いた将来予測およびその不確実性評価の研究を総合的に推進した。H19 年度より、環境省地球環境研究総合推進費 S-5 課題が開始され、その 4 つのうち 2 つのテーマで本プロジェクトが中心になることで、国内の他機関を含むこの分野の研究コミュニティにおいて先導的な役割を果たした。</p> <p>サブテーマ 1 では、IPCC-AR5 に向けた気候モデルの改良ならびに次世代モデル実験を行うとともに、短中期の自然変動の不確実性と長期のモデルの不確実性にそれぞれ注目して、不確実性評価研究を行った。また、極端現象等の気候変化メカニズムの研究を進めるとともに、気候シナリオと社会経済シナリオを結び付ける方法論の検討も行った。</p> <p>サブテーマ 2 では、水資源、農業、および健康の分野について、極端現象や不確実性を考慮した影響評価研究を行った。また、水文、農業などの影響モデルを統合し、気候モデルと結合する作業に取り組んだ。さらに、東京大学等と協力してメディア関係者との意見交換会を実施し、影響知見の社会への適切なコミュニケーションについて検討した。</p> <p>サブテーマ 3 では、陸域生態系モデルを改良し、不確実性を考慮した生態系影響評価を行うとともに、過去の炭素循環の推定と観測データによる検証を行った。また、土地利用変化モデルを開発するとともに、IPCC 新シナリオの一つである RCP 6W に対応した詳細な空間分布を持つ土地利用変化シナリオを開発した。</p> <p>不確実性評価研究においては、主にサブテーマ 1 で開発した手法を用いてサブテーマ 2 の水循環影響評価に適用し、気候予測と影響評価にまたがる不確実性を評価した。IPCC 新シナリオの空間詳細化では、サブテーマ 3 が開発した人口、GDP シナリオを基に、サブテーマ 1 で排出分布シナリオを作成した。また、3 つのサブテーマで協力して、気候、水文、農業、陸域生態、土地利用のモデルの結合もしくは統合利用に取り組んだ。</p>

サブテーマ（１）
気候モデル研究

気候モデルの改良ならびに次世代モデル実験を行うとともに、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を進める。また、極端現象の発生メカニズムおよび土地利用変化・灌漑が気候に与える影響を調査する。さらに、IPCCの新しいシナリオ開発プロセスに対応して、気候シナリオと社会経済シナリオを結びつける手法を検討する。

（１）気候モデルの改良ならびに次世代モデル実験の実施

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に違いを生じさせる仕組みを明らかにした。また、日英の気候モデルそれぞれについて、物理パラメータをさまざまに変化させたモデルアンサンブルの結果を解析し、モデルの低層雲の再現性が気候感度の推定において重要であることを確認した。

これと並行して、気候モデルの雲スキームの改良を行った。大気中水蒸気量の不均一性の予測と雲氷の予測の計算を統合的に結合したところ、対流圏上層の雲量、雲水量の変化過程が従来よりも現実的に再現されるようになった。この新しい雲スキームの導入その他の改良を施した新モデルを旧モデルと比較したところ、気候感度に大きな違いがあることが確認された。この理由を理解するために、新旧モデルにおける雲などのフィードバックを比較する解析を行うとともに、不確実性についてより包括的な研究を行うために新モデル中の不確実パラメータを様々に変化させた物理パラメータアンサンブルの構築を開始した。

さらに、次世代モデル実験の準備として、気候モデルに火山噴火の放射強制力を与える方法を改良するとともに、IPCC新シナリオを用いた気候モデル実験のためのエアロゾル等の排出量空間分布データを作成した。このデータはサブテーマ３の土地利用変化シナリオと共に世界の研究コミュニティに提供され、利用されている。

（２）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

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。年平均降水量と極端な降水の強さの変化については、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。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この時点で世界初の試みである。なお、同研究に関連して公表した論文内容についてはH19年7月2日に記者発表を実施し、新聞掲載等の反響があった。

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、気候変化予測と影響評価の不確実性を定量化する手法を開発して、南米域の水資源量変化の問題を例にとり、手法の適用を試みた。複数の気候モデルによる計算結果のばらつきのうち、影響評価の対象となる変数に最も影響を与えるパターンを統計的に抽出し、そこに観測データとの一致度による制約をかけたところ、温暖化の進行により南米北東部で顕著な乾燥が起るパターンが最も可能性が高いことが示唆された。同様の手法を適用して、全球の気温上昇パターンの不確実性に関する解析も行った。観測データによる制約を用いると、複数モデルの単純平均は北半球高緯度の気温上昇割合を過小評価していることが示唆された。

（３）極端現象の発生メカニズムおよび土地利用変化・灌漑が気候に与える影響の解析

実験結果の解釈を用意するために地表面から陸地を取り払った「水惑星」実験を用いて、温暖化により平均降水量と極端な降水の強さが変化するメカニズムを解析した。亜熱帯においては下降流の乾燥化とストームトラックの高緯度へのシフトにより大気下層の相対湿度が低下し、弱い降水の頻度の現象により平均降水量の低下をもたらすことが示された。一方、温暖化による飽和水蒸気量の増加により、相対湿度が低下しても絶対湿度は増加しているため、極端な降水の強さは緯度帯によらず増加することが示

	<p>された。</p> <p>また、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。</p> <p>(4) 気候シナリオと社会経済シナリオを結び付ける手法の検討</p> <p>多様な排出シナリオに対応する気候シナリオを作成するスケーリング手法の観点から、降水量変化のスケーリング可能性について解析を行った。異なる排出シナリオに基づく気候変化予測の間で単位気温上昇量あたりの降水量変化がどのように異なるかを解析したところ、エアロゾルの排出量が大きいシナリオほど降水量増加量が小さいという関係が有意に見られることが分かった。また、IPCC 新シナリオに対応する気温上昇パターンのシナリオ依存性を解析したところ、北半球中緯度と北極域で大きな依存性が見出された。中緯度についてはエアロゾル排出シナリオの違い、高緯度については海水減少などの非線形的な応答により依存性が生じていることが示唆された。</p> <p>さらに、社会経済シナリオの不確実性を感度分析により調査する手法の検討を行うとともに、社会経済モデルに組み合わせて用いられる簡易気候モデルについて、その改良を行い、不確実性を定量化して示す手法を開発した。</p> <p>(5) 得られた科学的知見と政策的な貢献</p> <p>計画に従って、気候モデルの改良を行い、特に予測の不確実性評価の観点から、解析手法の開発と解析を行った。IPCC-AR5に向けて、国際的に議論の焦点になってくると思われる、雲のフィードバックの不確実性、極端現象の予測の不確実性、気候シナリオと影響評価を結び付けた不確実性といった点を中心に、科学的な貢献ができた。将来の気温上昇量の予測（特に気候感度）や影響評価の不確実性を評価し低減することは、政策的に議論されている温暖化対策目標（例えば「気温上昇を2℃以内に抑える」）の適切性を検討する際に極めて重要である。本プロジェクトの成果のみでこれを大きく前進させることは難しいが、国際的な科学コミュニティを通じてこれに貢献した。</p>
<p>サブテーマ (2) 影響・適応モデル研究</p> <p>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の検討・開発を進める。</p>	<p>(1) 極端現象変化及び気候モデル不確実性を考慮した水資源・健康・農業の影響評価</p> <p>水資源、農業および健康の各分野について、以下のとおり影響評価研究を実施した。</p> <p>水資源分野については、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。水資源を得られない地域に住む人口の推移を推定した結果、経済発展重視・グローバル化を想定した IPCC SRES A1B シナリオでは、世界の総人口は 2050 年まで増加し以降減少するが、水資源が非常に逼迫する地域に住む人口は、21 世紀前半に人口増加とともに上昇し、21 世紀の後半、世界の総人口が減少に転じた後も、すぐには減少しないことがわかった。</p> <p>農業分野については、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。アジアの水稲生産量を対象に、このような統計的アプローチを用いて気候変化の影響を評価した研究は本研究が世界で初めてである。その結果、1990 年代に比べ、2020 年代には高い確率で水稲生産量が減少することが予測された。また、2080 年代には、二酸化炭素を最も多く排出するシナリオにおいて、水稲生産量の平均変化率が最も大きく減少すると予測された。この結果は、近未来（2020 年代）の影響を軽減するための適応策を早急に検討・実施する必要があること、また長期（2080 年代）の影響軽減</p>

また、水資源影響モデル・農業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。さらに、専門家やメディアとの意見交換等により地球温暖化リスクの全体像の整理を進める。

に向けた二酸化炭素排出量削減による緩和策の検討が必要であることを示唆している。なお適応策に関しては、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も同時に示した。なお、同研究に関連して公表した論文内容については H21 年 6 月 5 日に記者発表を実施し、新聞掲載等の反響があった。

健康分野については、IPCC-AR4 で評価対象となった 14 の気候モデルによる最新の将来気候予測を用いて、世界全域を対象地域として、気候モデル不確実性を明示的に考慮した気候変化による人間健康影響（極端に暑い日の熱ストレスによる超過死亡数）のリスク評価（確率的な影響評価）に取り組んだ。適応の効果については、超過死亡が統計的に最小となる至適気温の将来変化の有無を仮定することで考慮した。前提とする気候モデルにより超過死亡数変化の推計結果に大きな差が生じることから、モデル平均した推計結果のみから対策を論ずることの不十分さが指摘された。

(2) 気候・影響モデル結合とその予備作業としての影響評価モデル改良・検証

気候モデル・陸域生態系モデルとの結合のための予備的作業として、影響評価モデルの高度化・検証に取り組んだ。例えば、本プロジェクトにおいて気候モデルとの結合を進めている、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 H08 に関しては、国際モデル相互比較プロジェクト EU-WATCH に参加してモデル出力を提供し、世界的に有力な他の水資源モデルとの比較を通じて、その信頼性を高めるための多角的検証を行った。また、気候・陸域生態系モデルとの結合のため、全球水資源モデル H08 中の陸面モデル・河川モデルのベクトル化コーディング・空間解像度依存性の解決を実施した。その結果、従来からの粗空間解像度での全球領域対象の水資源評価に加え、それと整合性を維持した地域的な高空間解像度での水資源評価の実施が可能になった。

農業影響モデルに関しては、気候モデルとの結合作業を目指した高度化を行った。従来手法に比べてより多くの因子・プロセスを考慮しつつ広域（全球・大陸スケール）農作物収量予測を高精度に実施するための新モデルを開発し、過去の統計情報を用いて検証を行った。

モデル結合並びに結合シミュレーションに関しては、全球水資源モデル H08 と気候モデルのプログラムコードを結合した。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。この結合モデルを用いた、灌漑が気候システムに与える影響の予備的評価からは、耕作期間中、無制限に灌漑水を利用可能と想定する実験において、灌漑を利用可能としない想定での実験に比して、全球の平均気温が 0.08K 下がり、降水量が 1.5%増えることが示された。この効果は陸域でより顕著で、平均気温は 0.17K 下がり、降水量は 3.8%増えることが示された。

以上のように、気候モデル・陸域生態モデルとの結合に関しては、水資源・農業モデルの高度化やプログラムコードの変更などを進めるとともに、全球水資源モデルと気候モデルのプログラム結合と予備的解析を実施した。

(3) 専門家・メディア関係者の意見交換会の実施

地球温暖化リスク全体像の整理については、専門家・メディア関係者の意見交換会を複数回実施し、一般市民への情報伝達のあり方について議論を続けている。具体的には、まずプロジェクト初年度に、予備的調査の位置づけでメディア関係者・研究者計約 35 名を参加者としてシンポジウム形式での意見交換を行い、各分野のリスク伝達の鍵となりうる影響について検討した。さらに、メディア関係者・研究者計約 70 名を交え、環境省・東京大学と共同で「温暖化リスク・メディアフォーラム」（第 1 回 2009 年 3 月・第 2 回 2010 年 3 月・第 3 回 2011 年 2 月）を実施した。意見交換会の取組みについては、その場で議論された内容を整理するだけでなく、そのようなコミュニケーションの場の有する可能性と課題点の検討も実施し、論文投稿を実施してきた。参加したメディア関係者の当日の反応、および事後インタビューより、ネットワーク構築の足がかりとしての有用性が期待できることが確認された。ただし対話の内容については、メディア関係者の期待する質が媒体や業務によって異なる可能性が示された。

	<p>(4) 得られた科学的知見と政策的な貢献</p> <p>研究目標に沿っ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検討・開発を進め、水資源・健康・農業を対象分野について評価作業を実施することができた。極端現象ならびに不確実性を考慮した影響評価は、IPCC-AR5 に向けた影響研究コミュニティの重要課題の一つである。本プロジェクトの成果については、国内外専門誌への論文発表を通じて学術的貢献に努めているが、加えて IPCC-AR5 への貢献等を通じて間接的に温暖化政策を支援しうるものと考えている。また、メディア関係者との直接的なコミュニケーションを試みたことにより、温暖化影響に関する報道の適切性向上に貢献した可能性がある。</p>
<p>サブテーマ (3) 陸域生態・土地利用モデル研究</p> <p>陸域生態モデルの高度化および土地利用変化モデルの開発を進めるとともに、IPCC の新しいシナリオ開発プロセスに対応して、次世代気候モデル実験の入力条件となる詳細な空間分布を持つ排出・土地利用変化シナリオの開発を行う。</p>	<p>(1) 陸域生態系モデルに関する成果</p> <p>陸域生態系モデル (VISIT) を高度化することで、陸域生態系に発生する温暖化リスクを詳細に検討した。まず、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 実験を実施したが、そこでは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影響を新たに導入し、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。続いて、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を開発し、特に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。全球スケールの研究として、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。さらに、陸域生態系モデル VISIT に火災発生とバイオマス燃焼のスキームを組み込み、気候変化が自然火災に与える影響を評価するとともに、IPCC AR5 用の気候モデル実験のための RCP について陸域エミッションシナリオの構築に貢献した。気候予測の不確実性を考慮して 15 シナリオで予測実験を行ったところ、CO₂、CO、ブラックカーボンなどの火災起源排出は将来的に大幅に増加する可能性 (リスク) が高いことが示された。プロジェクト後半では、陸域生態モデル VISIT を用いて、過去の気候変動・土地利用変化に伴う陸域炭素収支変動を、1901～2010 年の期間について解析した。モデル推定の妥当性を検証するため、東アジア地域を対象にして陸域フラックス観測データおよび他のモデルによる生産力・炭素収支シミュレーションの結果と比較を実施した。その過程で東アジア地域に特有な攪乱プロセスとして重要性が認識された、台風による落葉などの影響を観測データとモデル計算に基づいて解析した。このような各種観測データとの比較検証を通じて、温暖化への生物学的フィードバックとなり得る炭素収支に関する推定精度の向上を達成することができた。</p> <p>(2) 土地利用モデルに関する成果</p> <p>プロジェクト開始時点では、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。つづいて、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、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ものを入力データとして用いた。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。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。特に、プロジェクト後半では、IPCC 新シナリオの一つ (RCP 6W) に対応した土地利用と、人口・GDP の空間詳細シナリオの作成を行った。従来は農地と森林のみであったが、牧草地や都市も含めたシナリオに拡張した。また、人口・GDP の空間詳細シナリオは、従来のシナリオよりも合理的な傾向を示すとともに、都市地域の面積的な拡大とも連動した新奇的なものが開発できた。続いて、この RCP の空間詳細シナリオの高精度化を行った。都市分布の将来シナリオには、人口、</p>

	<p>GDP、都市化率を元とすることで高精度なものとなった。RCP 空間詳細シナリオに、バイオマスクロップのシナリオを追加作成した。また、土地利用の基準年の分布について精度を向上した。従来のマップ統合では、マップの多数決により作成したが、新たな統合マップでは、地上検証データを用いて統合を行った。</p> <p>(3) 陸域統合モデルに関する検討</p> <p>既存の自然システムを記述するモデル（気候モデル・生態系モデル）および人間活動を記述するモデル（水資源モデル・土地利用モデル・農業モデル）を結合させる方法を検討した。土地利用モデルでは、すべての土地利用要素（森林、農地、都市など）が相互作用して影響を与えあう。一方、土地被覆の物理状態は、気候に影響を与え、同時に、気候の変化によっても人間による土地利用は大きく変化する。また、土地利用の変化は生態系に影響を与え、気候変化を通して、人間による土地利用は大きく変化する。さらに、人間による土地利用に応じて、水や農作物の供給量が変化し、同時に、それらの重要な空間分布も大きく変化する。このような複雑な陸域システムを統合的にモデル解析することによって、地球温暖化や持続可能性の問題に関する検討を実施することが課題となっており、より現実的な土地利用シナリオを構築するためにも必要となる陸域統合モデルの開発に関する検討を実施した。</p> <p>(4) 得られた科学的知見と政策的な貢献</p> <p>これらの陸域生態・土地利用モデルを用いた研究成果の活用により、2050年までの温暖化対策の目標設定に関して重要な要因である、森林などの陸域炭素吸収源機能の中長期的な動態に関する科学的な知見を提供することが可能となった。特に、環境省での「土地利用、土地利用変化および森林」に関する政策検討等において、本研究の成果に基づいた貢献を行うことができた。また、国際的には、次期 IPCC の土地利用分野シナリオの構築に参加し、世界的にも先駆的な空間詳細な土地利用変化シナリオを構築することに成功したことで、気候モデルの発展や、温暖化影響評価の高精度化に貢献するとともに、陸域統合シナリオの構築に関する先駆的な検討が可能となった。</p>
--	--

(中核PJ4：脱温暖化社会の実現に向けたビジョンの構築と対策の統合評価)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>全体目標 低炭素社会の実現に向けたビジョンの構築と対策の統合評価</p>	<p>サブテーマ1のビジョン・シナリオ作成、サブテーマ2の国際政策分析、サブテーマ3の対策の定量的評価を相互に連携して行うことにより、中長期の対策目標の設定、交渉枠組みの提案と対策の定量的評価を行った。サブテーマ1では、2050年の我が国のビジョン・シナリオを作成し、2050年までに大幅な温室効果ガスを削減するための方策について検討し、ロードマップを作成した。アジア主要国の研究機関と共同して本プロジェクトで構築した手法を適用し、アジア主要国および主要都市を対象とした低炭素社会シナリオを作成した。サブテーマ2では、国際枠組みを評価するための評価軸について整理を行い、この結果を踏まえて国際制度の諸提案を分析した。また、アジア太平洋地域の国際枠組みに関するダイアログを行い、次期枠組みについて議論し、各国が望ましいと考える国際制度の概要について、共通点や異なる点などを抽出した。交渉のフォーラムとしては、多様なフォーラムがあり得ても、最終的には気候変動枠組条約で統括されるべきだという意見にまとめられた。次期枠組みにおいては、途上国も応分の行動が求められることから、途上国にとって受け入れられる国際制度の検討が今後の課題として提示された。サブテーマ3では、温暖化対策の定量的な評価のための種々のモデルを開発した。政府の中期目標検討委員会において、技術積み上げモデルを使った</p>

	<p>各国の削減ポテンシャルと削減量に応じた国内対策メニューに関する分析、及び一般均衡モデルを用いて経済分析の結果を示し、2009年6月の総理による中期目標決定に際しての科学的根拠を提供した。2009年10月からは政府のタスクフォースにおいて2020年の日本の温室効果ガス排出量を1990年時点に比べて25%削減を実現する対策について分析した。2009年12月から環境省の地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会においてAIMモデルを用いて2050年大幅削減を見据えた2020年中期目標の対策分析を進め、2010年12月に成果を発表した。低炭素社会に関する国際研究ネットワークへの参画、IPCC第5次評価報告書に向けた新シナリオを提供する統合評価モデリングコンソーシアムに参加し、新シナリオを気候モデルグループ、影響グループに提供した。</p>
<p>サブテーマ1 脱温暖化（低炭素社会）ビジョン・シナリオ作成研究</p> <p>2050年における我が国の低炭素社会像やその実現に向けた発展経路を同定し、社会構造の各要素や温暖化対策の効果を定量的に評価し、低炭素社会構築にむけた温暖化政策を支援する。また、アジア諸国における脱温暖化シナリオを描くとともに、主要国との連携を図り、世界全体の脱温暖化社会について検討する。</p>	<p>（1）低炭素社会ビジョンの作成</p> <p>世界全体での気温上昇を産業革命以前から2℃までに抑制することを所与として、世界全体での温室効果ガス排出経路を検討し、2050年における日本の排出削減目標は、概ね1990年比60-80%となることを確認した。これをもとに、複数のモデルによる定量分析を実施し、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と、そのビジョンを定量的に明らかにした。この成果は、環境省と共同で報道発表を実施し、他国あるいは国内他機関の低炭素社会シナリオ研究とともに英語論文誌ならびに日本語論文誌の特集号として取りまとめた。また、一般向けの書籍も出版することで、専門家だけでなく市民に対しても低炭素社会への取り組みの重要性をその実現可能性についてアピールした。さらに、開発した手法と最新のデータや知見を組み合わせ、日本において1990年比で2020年までに温室効果ガス排出量を25%削減および2050年80%削減させることを念頭に置いたシミュレーション分析を進め、2009年12月から3月まで環境省で行われた「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会」および2010年4月から行われた中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会における定量的な議論のベースを提供した。</p> <p>（2）低炭素社会に向けた方策の提案</p> <p>日本低炭素社会を実現するためには、どの時期に、どのような手順で、どのような技術や社会システムを導入すればよいのか、それを支援する政策にはどのようなものがあるかを検討し、類似性や関連性を勘案して整合性を持つように12の方策として取りまとめた。成果は、報道発表するとともにG8環境大臣会合などの国際会議や、講演会などを通じて普及を図った。特に、G8環境大臣会合では、これらの研究を推進するため、低炭素社会研究ネットワークの必要性が採択された。また、一般向けの書籍を発行し、日本全体で社会各層それぞれが低炭素社会実現に向けてどのような行動を取ればよいかの指針の普及に努めた。</p> <p>（3）日本低炭素社会に向けた道筋の定量検討</p> <p>日本低炭素社会の実現に向けて、実施に要する総費用最小化の観点からその道筋を定量的に検討した。その結果、低炭素社会に向けた各種対策の実施は早期の対策が望ましいことが明らかとなった。その一方で、早期対策の実施には、初期段階での大規模投資が必要で、特に民生部門（家庭部門）へは2010年から2025年にかけて毎年2.5兆円、運輸部門へは2010年から2015年にかけて毎年2.5兆円の投資が必要であることを示した。さらに分析を進め、中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会第14回（2010年10月15日）および第19回（2010年12月21日）において、2009年8月に作成した報告書「低炭素社会に向けた道筋検討」をベースに、最新の知見を報告した。2050年80%削減などを目標とし、実施に要する総費用最小化の観点からその道筋を定量的に検討したところ、2020年における削減量はシナリオAでは90年比16%削減、シナリオBでは90年比21%削減。また、2030年、2040年の削減幅はそれぞれ▲30%～▲36%、▲51%～▲56%となった。・目指す社会像の想定（シナリオ）やケース分類によって80%削減を実現するための最適パスは異なるが、2020年▲15%～▲25%削減を通過して、2050年80%削減を実現することは十分に可能であることがわかった。</p> <p>（4）アジアにおける低炭素社会シナリオの構築</p>

	<p>中国、インド、韓国、タイ、マレーシア、インドネシア、ベトナムの大学・政府系研究機関の研究者と共同し、各国あるいは地域レベルでの低炭素社会シナリオを検討し、いずれの国においても現状と比較して将来大幅にCO2排出量を削減できるシナリオが存在することを定量的に示した。</p> <p>(5) 世界における低炭素社会研究の推進</p> <p>毎年国立環境研究所にて中国、インド、タイ、韓国、マレーシア、インドネシアなどから研究者を招へいし、キャパシティビルディングの一環として低炭素社会研究の手法を伝えるトレーニング・ワークショップを開催した。各国の研究を主導する立場の研究者を招へいし、同様に毎年国際ワークショップを開催し、各国の低炭素社会シナリオ研究の成果を交換するとともに、アジア低炭素社会実現に向けて今後どのような研究を実施すべきかを議論した。また、2006年2月より日英共同研究プロジェクトを実施し、2006年より2008年にかけて、約20カ国・地域と複数の国際機関が参加したワークショップを、東京およびロンドンにて開催した。その一環として、2006年11月にはインド、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、同12月にモデル会合をオックスフォードで開催した。これらの会合を通じて、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。また、日本低炭素社会研究や日英共同研究の成果にトレーニング・ワークショップの成果も合わせて、COP11以降、低炭素社会をテーマとしたサイドイベントを開催し、アジアを対象に長期を見据えた低炭素社会シナリオが短期の国際交渉にどのような影響を与えるかを中心に議論した。</p> <p>(6) 研究成果の普及</p> <p>研究成果を直接にステークホルダーに伝えるために、毎年数回のワークショップを開催するとともに、一般の講演を多数行い、雑誌、新聞、テレビなどのメディアにおいても広く紹介された。また、政策立案についても有用な情報を提供した。</p>
<p>サブテーマ2 気候変動に関する 国際政策分析</p> <p>温暖化対策の効果と影響を定量的に評価するためのモデル開発やモデルの適用を通じて、温暖化を防止する社会の構築やそれを支える温暖化政策を支援する。また、途上国との共同作業を通じた人材育成を行うことで、アジアを中心とした途上国にお</p>	<p>(1) 将来枠組みに関する多様な提案のレビューと分析</p> <p>次期国際枠組みに関して多数の提案が論文や報告書として出版されていたため、国際枠組みを評価するための評価軸について整理を行い、その結果をふまえて国際制度の諸提案を分析した。160ほどの論文をレビューした結果、(a) 国際制度に関する提案の大半が欧米諸国の研究者・研究機関から配信されたものであること、(b) 欧米研究者による提案は、最初に前地球での総排出量を科学的知見をふまえて決定し、それを各国に振り分けることを前提とした提案と、各国がそれぞれ自国の中で経済効率的な排出削減政策を導入することを前提とした提案に大別されることが分かった。後者の方が主要国の合意を得られやすいが、科学的に求められている排出量削減幅を満たせる保証がない。(c) 途上国では、国際制度の研究を推進するための十分な能力がないことが判明された。しかし、次期枠組みにおいては、途上国も応分の行動が求められることから、途上国にとって受け入れられる国際制度の検討が今後の課題として提示された。</p> <p>(2) アジア太平洋地域の国際枠組みに関するダイアログ</p> <p>年に1度の頻度で、アジア太平洋地域諸国の政策研究者を招へいしたワークショップを開催し、次期国際枠組みについて議論した。その結果、以下のことが明らかになった。(a) アジア太平洋諸国はそれぞれ異なる国情を抱えており、したがって望ましいと考える国際制度の概要も違っている点が多かった。(b) 他方、共通点も見出された。CDMやAPPといった技術移転促進のためのメカニズムの推進、適応策に対する支援の充実、持続可能な発展に寄与する政策の実施、等が挙げられた。また、交渉のフォーラムとしては、多様なフォーラムの活用があり得ても、最終的には気候変動枠組条約（UNFCCC）で総括されるべきだという意見にまとめら</p>

<p>ける温暖化対策の促進に貢献する。</p>	<p>れた。この意見交換の成果を英字の書籍として 2008 年に出版した。</p> <p>(3) 次期国際枠組みの提案に関するディスカッションペーパーの作成 環境保全効果を持ち合意可能性があると考えられる国際制度について議論し、ディスカッションペーパーの形でまとめた。また、このディスカッションペーパーを国内外に配布し、議論のたたき台として活用した。本提案では、次期枠組みの構成要素として、①地球全体としての長期目標、②先進国の約束、③途上国の約束、④約束実施を促進するための諸制度、の 4 本柱を提示していた。また、次期枠組みに関する他の諸提案と大きく異なる点として、上記 4 本柱が構築されるべきフォーラムに焦点をあてており、例えば①長期目標については G8 のような政治的リーダーシップが求められる場や COP 決定として議論されるのが望ましい、③途上国の約束については、一部は条約改正、一部は国連の外部で進展している複数の国際協力合意の下で進められるべきだと提案した。</p> <p>(4) 次期枠組みに関する国際交渉における主要国の国内意思決定に関する分析 気候変動への対処を目的とした国際制度に関する交渉が 2007 年の COP13 以降行われているが、交渉は難航している。ここでは、国際交渉の動向に影響を及ぼす主要国として米国、欧州 (EU)、ロシア、中国、インドの 5 カ国・地域の国内意思決定について研究し、それが国際交渉の行方に及ぼす影響を調査した。その結果、特に米国内における気候変動に対する消極性が他の国にも影響を及ぼし、その結果、国際制度に関しても、今後数年間は新議定書等の法文書の採択には至らない可能性が高いことを示すことができた。また、このことから、国際合意到達まで待つよりも、各国内での自主的な取り組みが重要性を増していることも指摘できた。</p> <p>(5) 気候変動に関する国際交渉における支援 気候変動枠組条約あるいは生物多様性条約の下での国際制度に関する交渉会議への参画、及び日本としての交渉ポジションのあり方に関する後方支援を定期的に行った。</p>
<p>サブテーマ 3 気候変動政策の定量的評価</p> <p>温暖化対策の効果と影響を定量的に評価するためのモデル開発やモデルの適用を通じて、温暖化を防止する社会の構築やそれを支える温暖化政策を支援する。また、途上国との共同作業を通じた人材育成を行うことで、アジアを中心とした途上国にお</p>	<p>(1) アジア地域の温暖化対策の評価 日本で開発した各種モデルを、トレーニングワークショップなどを通じてアジアに移転し、アジアの共同研究者が各国の事情に基づいて、温暖化対策の効果について、モデル分析を行った。中国に関しては、中国政府が掲げてきた 2005 年から 2010 年までにエネルギー集約度 (GDP あたりのエネルギー消費量) の 20%改善する目標や、2005 年から 2020 年までに同 40-45%改善する目標について分析をおこなった。その結果、今後も高い GDP 成長率が続くとする、エネルギー効率の高い技術が導入されるとしても、2010 年までに 12.3%しか改善できず、さらなる技術開発や政策の組み合わせが必要であることが分かった。インドに関しては、2050 年までの通常の発展パスを考慮した場合と、持続的発展パスを前提とした場合について、国の発展目標を満足する温室効果ガス排出シナリオを検討した。その結果、通常の発展パスにおける主要な対策は、炭素隔離貯留や発電部門での燃料転換であり、持続的発展パスにおける主要な対策は、それらに加えて、都市の設計、リサイクル、物質転換など生活スタイルに関連したものが含まれた。タイに関しては、2050 年の CO2 排出量を BaU 比で 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。その結果、削減目標の達成のためには、発電部門における CCS 付きの石炭火力発電、コンバインドサイクル発電、産業や運輸部門におけるエネルギー最終需要の削減、さらに運輸部門におけるハイブリッドディーゼル車、バイオ燃料、ハイブリッド車の寄与が大きい。また、その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。</p> <p>(2) 副次効果の評価 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。安全な水・衛生設備の普及戦略の検討については、安全な水・衛生設備の普及および運用に掛かる費用とその便益 (健康リスクの軽減) を定量的に推計するための水資源管理モデル (AIM/Water) を開発した。UNEP/GE04 で想定されている 4 つのシナリオを対象に、2015 年における安全な水、安全な衛生設備へのアクセスを評価し、環境政策が進む社会では、ほとんどの地</p>

ける温暖化対策の促進に貢献する。

域でミレニアム開発目標の目標7にある「2015年までに、安全な飲み水と基本的な衛生設備を持続可能な形で利用できない人々の割合を1990年と比較して半減させる」が達成できる一方、地域がブロック化するシナリオでは、現状と比較して後退する地域も見られる。

(3) 世界の地域別・部門別の温室効果ガス排出削減ポテンシャルの評価

これまでCO₂排出量の分析が中心であった、AIM/Enduse[Global] (世界技術選択モデル)について、エネルギー起源のCH₄、N₂O、Fガス、農業起源の各ガスの排出モジュールを追加し、京都議定書で定められている温室効果ガスの削減ポテンシャルを、地域別および部門別に評価した。その結果、中国、米国、インド、EU、ロシアの上位5地域の温室効果ガス削減ポテンシャルは世界全体の約6割を占め、アフリカ、南米、中東、ブラジル、南アジアを加えた上位10地域で、世界全体の削減量の約8割に相当することがわかった。各地域の社会・経済活動の特徴によって、対策が重要な部門の特徴も異なり、発電部門および産業部門が世界全体の削減量の約5~6割を占め、特にエネルギー効率の低い新興国・途上国において、その傾向が顕著である。民生家庭・業務、運輸部門がそれぞれ世界の約1割程度、非CO₂部門（農畜産、廃棄物、フロンガス排出部門）が世界の約2割程度を占めている。

(4) 世界の主要国の2020年の温室効果ガス排出削減目標の評価

これまでに開発してきた国別モデルやAIM/Enduse[Global] (世界技術選択モデル)を対象に、データの更新や温暖化に関する既存の政策課題を評価することが可能となるようにモデルの改良を行い、我が国と世界の主要国との温暖化対策の比較評価をおこなった。気候変動枠組み条約付属書I締約国全体の2020年の温室効果ガス排出量の目標を1990年比25%減としたときの、主要国の排出量について分析をおこなった。付属書I締約国各国の限界削減費用が均等になるように分析した場合、その限界削減費用は166ドル/tCO₂となり、日本、米国、EU25、ロシアの排出量は1990年比で5%減、24%減、27%減、32%減となる。一方で、GDP当たりの総削減費用が均等になるように分析した場合、2020年のGDPに対して総削減費用が占める割合は約1%となり、日本、米国、EU25、ロシアの排出量は1990年比で17%減、18%減、31%減、31%減となる。このように、付属書I締約国全体の排出削減目標が1990年比25%減と同じ条件でも、その評価の違いによって、各国の排出削減量の負担分担が異なることを示した。

(5) 日本の環境税の評価

日本を対象とした経済モデルをもとに、環境省が示した温暖化対策税導入によるCO₂削減効果と経済活動への影響について分析を行った。2400円/tCの温暖化対策税を課した場合、2020年のCO₂排出量は、BaUと比較して3-4%の削減にとどまり、GDPロスもBaUに対して0.002-0.04%となることを示した。また、ガソリンおよび軽油に課されている道路特定財源の暫定税率を廃止した場合のCO₂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CO₂排出量の増加は、2009-2012年平均で720万トンCO₂となることを示した。

(6) 日本の2020年の削減目標の評価

AIM/Impact[Policy]、AIM/Enduse、AIM/CGEを組み合わせ、2020年の削減ポテンシャルおよび経済活動に与える影響について分析し、日本の中期目標や25%削減に向けたロードマップの検討に情報を提供した。日本を対象としたモデルを用いた削減ポテンシャルの分析では、マクロフレーム（経済成長率や活動量）や近年の技術の普及の動向を踏まえて試算を行い、2020年に温室効果ガス排出量を1990年比25%削減することは技術的に可能であることが示された。温室効果ガスを25%削減するためには、追加費用として年間9.5兆円が必要となるが、これらは単なる費用ではなく、国内で供給できる技術があれば内需拡大のための支出となる。こうした産業を育成することは、該当分野における雇用を創出しさらなる技術発展が見込まれる。また、対策技術の耐用年数を考慮すると、省エネによるエネルギー費用の削減は追加費用を上回る可能性があることを明らかにしている。さらに、温暖化対策は世界の潮流であり、こうした産業の育成は国際的な競争力の強化にもつながる。経済モデルによる検討から、追加費用の全てを事

	<p>業者に負担させると、本来の生産投資が目減りし、経済発展にも影響が出る可能性があるが、追加費用の負担を温暖化対策税の税収と組み合わせることで、経済影響も緩和できることが示唆された。</p> <p>(7) IPCC 第五次評価報告書に向けた代表的な濃度経路シナリオ (RCP シナリオ) の作成と共通社会経済シナリオ (SSP) の検討</p> <p>IPCC第五次評価報告書にむけたシナリオ開発のために、AIM/Impact[Policy]、 AIM/CGE[Global]、 AIM/Enduse [Global]などの改良を行った。IPCC第四次評価報告書の成果をもとに、AIM/Impact[Policy]に組み込まれている簡易気候モデル (AIM/Climate) のパラメータの調整、新たなモジュール (炭素循環フィードバック) の付加、AIM/CGEについては分析対象年時の延長 (IPCC新シナリオの想定に基づいて 2300 年まで) 等の改良を作業をおこなった。IPCCの新シナリオ専門家会合で 4 つの代表的濃度パスが採択されたが、(産業革命以前からの放射強制力と比較した放射強制力の増加が 2.6/2.9W/m²、4.5W/m²、6W/m²、8.5W/m²)、そのうち、6W/m²シナリオにおける温室効果ガスの排出経路を提供するとともに、2.6W/m²シナリオのロバストネスについても検討した。また、各シナリオに対して温暖化影響を評価する際に基礎となる共通社会経済シナリオ (SSP) の検討を開始した。</p> <p>(8) 世界への情報発信および人材育成</p> <p>AIM モデルの結果は、国際モデル比較プロジェクトや各国のシナリオ分析などの研究成果を通じて、IPCC 第四次評価報告書に情報を提供した。また、AIM/Enduse[Global]を用いた削減ポテンシャル分析は、2008 年 5 月、10 月の日本国主催のワークショップ、6 月の日本国主催の UNFCCC SB28 サイドイベント、2009 年 3 月、6 月、11 月の AWG-KP/AWG-LCA のサイドイベントなどで発表するとともに、世界のモデルグループと比較検討を行った。IPCC 第 5 次評価報告書に向けた新シナリオにおいてアジア途上国の視点から世界シナリオを提供することを目的として、AIM/CGE[Global]や AIM/Enduse[Country]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の作成や各国における温暖化対策を評価するための人材育成を行った。</p>
--	--

プロジェクト・活動	研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
関連PJ (1) 過去の気候変化シグナルの検出とその要因推定	気候モデルによる 20 世紀気候再現実験の出力データを活用し、様々な気候学的な物理量に対して、気候変化シグナルの検出とその要因推定を行う。エアロゾルの取り扱いの違いに起因する不確実性についても調査する。また、さまざまな気候変化実験のデータ解析を通して、自然起源の気候変動要因に対する気候応答の不確	<ul style="list-style-type: none"> ○ さまざまな条件下での 20 世紀気候再現実験結果から、20 世紀後半における熱帯夜の増加や冬日の減少は人間活動に起因しており、温室効果ガスによる変化の一部をエアロゾルが相殺していること、20 世紀後半の中国における地表日射量の減少は人為起源エアロゾルの増加に起因しており、その多くはエアロゾル直接効果によりもたらされていること、20 世紀における北半球高緯度陸上の降水増加および低緯度陸上の降水減少は人間活動に起因しており、それぞれ温室効果ガスおよびエアロゾルの増加が主たる原因と考えられること、などを示した。また、大気中の水収支式に基づき、熱帯アフリカ地域での降水減少やユーラシア大陸北部での降水増加の物理的なメカニズムを解明した。これらの成果は、いずれも、近年の気候変化が人間活動に起因することを支持するものであり、温暖化対策の必要性を説く根拠の一つとなり得る。 ○ 炭素性エアロゾルの排出増加を考慮した場合と考慮しなかった場合の 20 世紀気候再現実験結果から、炭素性エアロゾルの増加を考慮した場合には、人為起源の温室効果ガスの増加による気温上昇と人為起源エアロゾルの増加による気温低下(の絶対値)が上方修正されることが分かった。この結果は、従来の気候モデル実験では考慮されてこなかったプロセスが、観測された気温上昇に対する各要因の寄与率推定に大きく影響する可能性を示唆しており、地球システム統合モデルによる研究の必要性を説く根拠と

	実性に関する知見を得る。	なり得る。 ○ さまざまな気候モデルによる数値実験結果を解析し、太陽変動や大規模火山噴火に対する気候応答について調べた結果、太陽変動に対する気候応答と温室効果ガスの増減に対する気候応答に差異が見られること、気候感度と噴火後の気温回復に要する時間に相関関係が見られること、気候モデルに含まれる物理過程の有無により、大規模噴火に対する気候応答に違いのあること、などが分かった。今後も解析を継続することにより、自然要因に特徴的な気候応答に関する知見を得ることができると期待される。
関連P J (2) 高山植生による温暖化影響検出のモニタリングに関する研究(平成20年度終了)	我が国高山帯の地域の地域特性を考慮し、白山(石川県)、アポイ岳(北海道)、北岳(山梨県)に定点観測地を設定し、温暖化影響指標として選んだ高山植物の開花、越年性雪渓の越年規模の調査を行うとともに、既存の気象資料などから、過去の長期変化を推定する。また、南アルプス南部などで、冬期の積雪深などの影響を強く受けているシカの食害調査やハイマツの年枝生長調査を行った。さらに、我が国の高山帯にかかわる既存の気象資料や生物季節資料などを収集・解析する。	○ 収集した既存の気象資料から、富士山頂での年平均気温は、100年当たり1.2℃の割合で上昇してきている。 ○ 我が国の中部以北(我が国の高山帯に相当)上空3000mでの年平均気温は、検討したほぼすべての地点で、富士山頂での長期傾向と極めて似た長期変化の傾向を示していた。 ○ 定点観測地での観測や推定した温暖化影響指標から、高山植物の開花時期の早まり、越年性雪渓の越年規模の縮小傾向が認められた。 ○ 積雪深や冬期気温の影響を強く受けるシカの個体数の増加や分布範囲の拡大により、近年、特に、南アルプスでは、高山帯に進出したシカによる高山植物の食害が大きな問題となってきた。 ○ そのほか、低地性植物の高地への侵出(白山 石川県)、高山草原群落の種組成の変化(アポイ岳 北海道)、無降雪期間の長期化(乗鞍岳 長野県)などの事例が報告・収集できた。
関連P J (3) 京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究(平成20年度終了)	京都議定書で認められた森林管理等の炭素吸収源活動に伴う吸収量評価モデルを開発する。テストサイトにおけるデータを用いて開発・検証されたモデルを用いて、最終的	○ 森林簿や蓄積表に代表される経験的な林業モデルと、生態学的な森林成長モデルを融合し、日本の各地域に合わせた森林の成長予測を行うモデルを開発した。このモデルと森林伐採モデルを組み合わせることで、2000年から2012年までの実質的な森林CO2吸収量の推定を行った。これにより、今後は吸収量が減少していくことが予想された。

	には国全体での吸収量の算定に利用可能とするための、地理情報データの整備とその精緻化も合わせて実施する。	
関連P J (4) 平洋小島嶼国に対する温暖化の影響評価	環境変動に対する脆弱性が極めて高いと考えられる太平洋の島嶼国を対象として、リモートセンシングデータを活用した地形及び土地利用のマッピングとともに、全球規模で州島の形成維持に関わる要因の収集及び解析を行い、地形の形成維持プロセスを明らかにする。それに基づいて、現在及び将来の環境変動と経済システムの変化による応答を予測し、持続可能な維持のための方策を提案する。	<ul style="list-style-type: none"> ○ サンゴコアを採取し、解析を行って、過去からの降水量変動を復元し、現在は1000年前、2000年前と比較して降水量が減少している可能性を明らかにした。 ○ 海面上昇の影響、砂生産変化の影響を考慮した地形変化モデルを構築した。 ○ 地下水調査を行い、地下水の動態が潮汐変動の影響を大きく受けることを明らかにし、地下水流動モデルの開発を開始した。 ○ 土地固有の知識や島嶼国の国民の居住に関する調査を行い、海岸環境の保全や人口移動による適応の可能性を検討した。 ○ 環境変動に対する適応においては、グローバル（地球温暖化）な影響の低減、ローカル（人口増加）な影響の低減に加え、水タンクの設置など自然の状態では活用されていなかった資源の活用を行う、未利用資源の開拓が重要であると考えられた。 ○ 重点対象地域のツバルにおいては、要因において重要なものが、グローバルな要因である海面上昇と降水量変動、ローカルな要因である人口増加にともなう土地利用変化と汚染にあることが示された。適応策としては、元湿地帯を示したハザードマップによる都市計画の立案、海浜植生やサンゴ・有孔虫の保護区域の設定とともに、汚染の低減やサンゴ・有孔虫の増殖によって生態系を積極的に回復させて砂生産を増大させること、タロイモ畑における淡水保水力のある土壌を導入すること、環礁間や島外のネットワークを促進する運輸手段の増強を行うことなどが考えられた。
関連P J (5) 温暖化に対するサンゴ礁の変化の検出とモニタリング	近年、サンゴ礁では、共生している藻類が放出される白化現象が多数観察され、地球規模でサンゴ礁が衰退していることが報告されており、温暖化とともに、ローカルなストレスとの複合が原因として考えられている。白化現象を起こす地理的要因を明らかにするため、現地観測デ	<ul style="list-style-type: none"> ○ ALOS AVNIR2 データを用いた東アジアのサンゴ礁分布図の作成を行った。 ○ サンゴ礁に隣接する流域の土地利用に関する調査を行い、流域からの土砂流入負荷の推定と、波当たりなど物理環境に基づいてサンゴ礁を類型化する手法を開発し、ストレスと物理量に基づくサンゴ分布の評価を行った。 ○ 空中写真と衛星画像を用いて、過去数十年の流域の土地利用の復元を行い、沖縄復帰後の土地改良、減反政策によるサトウキビへの転換、牧畜の増加による変化が土砂や栄養塩の流出を起こしている可能性を示した。 ○ さまざまデータを統合する日本全国のサンゴ礁データベースの構築を行った。 ○ サンゴ被度データベースと土地利用との対応を検討した結果、河川流入と水温上昇の複合影響がサンゴ被度低下をもたらしている可能性を示した。

	<p>ータや航空機、衛星センサー等リモートセンシングデータを用いた、サンゴ礁の変化監視のためのアルゴリズム開発を行い、広域かつ継続的なサンゴ礁のモニタリングの実施に資する。</p>	
<p>関連PJ(6) 温暖化の危険な水準と安定化経路の解明</p>	<p>濃度安定化等の温暖化抑制目標とそれを実現するための経済効率的な排出経路、および目標下での影響・リスクを総合的に解析・評価するための統合評価モデルを開発する。本統合評価モデルを用いて、種々の温暖化抑制目標を前提とした場合の、「危険な影響」が発生する可能性とその発生時期を提示する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地球環境総合研究推進費 S-4 のその他の研究課題で行われる影響予測・経済評価研究の結果を温暖化影響関数としてとりまとめ、様々な分野の影響指標を統合評価モデル (AIM/Impact[Policy]) に組み込む事に成功した。 ○ 統合評価モデルを用いて、温室効果ガス濃度を 450ppm-CO₂eq, を 550ppm- CO₂eqに安定化させるシナリオとなりゆきシナリオにおける日本への影響を物理的指標のみならず被害コストまで評価した。この結果は、日本の中期目標検討に際し目指すべき気候安定化レベルを議論するための科学的知見として大きな役割を果たした。
<p>関連PJ(7) 温暖化政策を評価するための経済モデルの開発 (平成19年度から、中核PJ4に組み込み)</p>	<p>地球温暖化研究プログラム中核研究PJ4で用いる統合評価モデル (AIMモデル) を改良し、温暖化政策の評価を行う。また、将来ビジョン・シナリオの定量的な分析に資するモデルの開発を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 温暖化対策税の導入による二酸化炭素排出削減の効果・経済活動への影響の評価、道路特定財源の暫定税率廃止時における自動車起源の大気汚染物質の排出変化を、日本経済モデルを用いて定量的に分析した。 ○ 脱温暖化研究 (中核 PJ(4)サブテーマ 1) で使用するバックキャストモデルのコアになる動学的最適化モデルを開発した。 ○ 世界経済モデルに温暖化によるコメ・コムギの生産性の影響・適応策を評価するモジュールを組み込み、気候変動による農業影響とその経済活動へのフィードバックを分析した。 ○ 超長期ビジョン研究で活用する日本を対象とした温暖化とその他の環境問題の総合的な解析のためのモデルの開発した (社会環境システム研究領域と連携)。 <p>なお、本関連PJは中核PJ(4)のサブ課題(3)の研究内容と密接に関連していることから、本課題が取り組む内容については、平成19年度以降は中核PJ(4)として実施している。</p>

<p>関連PJ (8) アジア太平洋地域における戦略的データベースを用いた応用シナリオ開発 (平成20年度で終了)</p>	<p>環境イノベーションオプション(定量的なアジア各国のデータを含む)を整備し戦略的データベースの拡充を図りイノベーション戦略を検討する。UNEP/GE04での将来シナリオをベースとして、アジア主要国を対象として、温室効果ガス排出量、土地利用変化、大気汚染物質排出量などの環境指標の変化を推計する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 技術、制度、管理に関する環境イノベーションオプションについて、アジア各国における定性的および定量的な情報を収集・整理し、戦略的データベースを拡充した。 ○ 戦略的データベースと、環境-経済統合モデルとのインタフェースを改良することにより、インドにおける気候変動対策シナリオとして、炭素制約シナリオと技術推進シナリオの2つを取り上げ、CO2排出量と対策の経済影響について推計した。 ○ UNEP/GE04の4つのシナリオ(市場優先シナリオ、政策導入シナリオ、防衛シナリオ、持続可能シナリオ)を取り上げ、それぞれのシナリオ下での、温室効果ガス排出量、土地利用変化、大気汚染物質排出量、安全な水にアクセスできる人口比率などを推計し、UNEP/GE04(国連環境計画が発行する地球環境白書)に情報提供した。 ○ イノベーション技術導入による温室効果ガス排出量の抑制や環境負荷の効果を定量的に分析できるAIMモデル対策技術オプションデータベースについて、国連の持続的開発委員会の学習センターで講義し、モデルの普及を行った。 ○ イノベーション技術導入が国連のミレニアム開発目標である貧困や教育レベル改善に与える影響について分析した。 ○ 戦略的データベースのインタフェースを改良して、インドの民生部門でのバイオマスストーブ、太陽光発電、CFL照明などの導入による二酸化炭素削減効果と室内大気汚染の改善効果について分析した。また、運輸部門を対象として、電気自動車、バイオ燃料、交通信号の効果について推計した。 ○ ○UNEP/RISOとの共同研究を開始し、持続的発展指標について検討した。
<p>関連PJ (9) 日本における土壌炭素蓄積機構の定量的解明と温暖化影響の実験的評価 (平成21年度より開始)</p>	<p>核実験起源放射性炭素同位体をトレーサーに用い、土壌有機炭素の分解速度を表す滞留時間の観測を行う。これにより、黒ボク土を初めとする日本特有の火山灰性土壌における炭素蓄積機構を解明する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 土壌の物理特性を破壊すること無く、最長50cmまで連続的に試料を採取する方法について検討を行った。検討の結果、森林内でも比較的可動性の高い電動式土壌コアサンプラーの試作を行い、実際の現場作業での有効性が確認された。この手法を用いて、北海道天塩の針広混合林および落葉広葉樹林、苫小牧のカラマツ林、ブナ林(苗場山)等で土壌コア試料を採取した。これらのコア試料を、1cm毎に分割し、仮比重、炭素・窒素含有率、¹⁴C濃度の分析を行った。これにより、土壌の炭素蓄積能を評価するために必要な基礎データを高分解能で得ることが可能となった。これらのデータから、単位面積あたりの土壌炭素蓄積量は、針広混合林やブナ林(標高700m、標高1500m)で高い傾向が認められた。また、針広混合林の土壌については、他よりも堆積速度が早いことが分かった。 ○ さらに深層(深さ50cm以深)まで土壌を連続的に採取する方法について検討を行った。クローラー式土壌コアサンプラーを採用し、国環研富士北麓サイトにおいて最長175cmまで連続的な土壌コア試料の採取を成功させた。これらのサンプルに関しても、炭素・窒素含有率および¹⁴C分析を進めている。 ○ 土壌を①比重分画法と、②物理的方法(比重や粒径)と化学的方法(アルカリ・酸処理)を併用した手法で分離した試料の¹⁴C分析を行い、有機物の分解過程を考慮した分離法を検討した。①比重分画法を用いて褐色森林土壌を6画分に分離し¹⁴C分析をおこなった結果、A層(深さ5-15cm)でも滞留時間が150-350年の炭素が全体の約3/5を占めていることが明らかとなった。 ○ 欧米の耕作土壌で利用されている②物理的方法と化学的方法を併用した手法(Zimmermann et al. 2006)についてもあわせて検討した。その結果、耕作土壌2種類(黒ボク土・非黒ボク土)を4画分に

		<p>分離し¹⁴C分析をおこなった場合、日本のように火山灰の影響を受けた土壌にも有効な分離方法であることが示唆される結果を得た。本手法は、農耕地の土壌に適応されたものであるが、森林土壌のように滞留時間が短い易分解性有機炭素が多い土壌にもこの手法が適応できるか検討を進める計画である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 温暖化によって分解が促進される有機炭素の量とともにその起源を調べるために、室内での培養した土壌から放出する CO₂ の ¹⁴C 測定を行うシステムの開発をおこなった。このシステムを用いて採取したガス中から ¹⁴C を測定可能な量の炭素 (CO₂) を回収することができ、現在 ¹⁴C 分析を進めている。 ○ 培養実験の結果と野外での結果を比較するために、野外温暖化実験サイトにおいて土壌ガスおよび土壌呼吸 CO₂ の採取を行った。採気管付近の少ない土壌空壁からガスを真空ボトルに採取するための自動採取システムの開発を行い、非常にゆっくり (〜10cc/min) とガスを採取することが可能となった。このシステムを使用し、対照区に対して表層 5cm の温度を 2℃上昇させた加温区と、対照区での土壌ガス採取を実施し、¹⁴C 分析を進めている。
--	--	---

<p>その他の活動 (1) GOSAT データ定常処理運用システム開発・運用</p>	<p>GOSAT 定常処理運用システムの開発と運用のため、衛星打ち上げ前には、システム開発（基本設計・詳細設計、プログラミング、テストラン）とシステム調達を行うとともに、関連機関とのデータ授受インタフェース試験を実施する。衛星打ち上げ後には、GOSAT 観測データの処理・再処理・保存・データポリシーに則った提供、システムの運用管理、システムの改訂・増強、ユーザからの観測要求の受付・整理、処理結果の比較検証支援を行うとともに、炭素収支インバースモデルによる処理の準備を進める。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 定常処理運用システムの開発に着手し、基本設計、詳細設計を行い、研究により開発されたデータ解析手法（アルゴリズム）に基づいて計算機のプログラム開発、プログラムの総合テスト等を完了した。 ○ GOSAT の定常処理に利用する計算機システムの一次導入～三次導入を行った。 ○ GOSAT 観測データの一次処理（レベル1）データの入手元である宇宙航空研究開発機構とのデータ授受に関するインタフェースを調整するための会議を定期的（月に1回程度）に開催し、調整を進めた。 ○ 宇宙航空研究開発機構とのデータ授受に関して、定常運用に向けてのインタフェース試験を実施した。 ○ 定常処理システムの運用を開始した。 ○ 観測データを用いた定常処理運用システムの調整と改良、データ処理・開発用機器の補強などシステムの追加を行った。 ○ 当計算機システムの運用管理、関係機関とのデータ授受及び観測要求に関するインタフェース調整及び試験、システムへのユーザ登録・管理とユーザへの情報発信、ユーザからの観測要求の受付・整理を行った。 ○ データ処理アルゴリズムの改訂事項のシステムへの反映とデータの再処理を行った。 ○ プロダクトの検証作業支援を行った。 ○ データポリシーに則ったプロダクトの配信を行った。 ○ 炭素収支推定のためのインバースモデル計算を行うシステム開発を進めた。
--	---	--

<p>その他の活動 (2) 地球温暖化にかかる地球環境研究センター事業</p>		<p>「地球環境モニタリング等」の知的研究基盤の整備として、別途報告。</p>
---	--	---

2. 循環型社会研究プログラム

研究の概要

今後の循環型社会構築に向けて、わが国の循環型社会の近未来像、資源性・有害性をもつ物質の管理、バイオマス系廃棄物の資源化技術、資源循環・廃棄物管理の国際的側面、という切り口から、4つの「中核研究プロジェクト」において重点的に取り組むとともに、他の研究ユニットの研究者が主体となる「関連研究プロジェクト」4課題を実施した。また、廃棄物管理の政策課題に直結した調査・研究にも重点的に研究資源を配分するとともに、本分野の中長期的な問題への対応、解決に資する研究能力の向上を図るための基盤的調査・研究や知的研究基盤整備についても、本重点研究プログラムと一体的に推進した。

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

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

(中核PJ1：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)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
<p>近未来における循環型社会の形成を目指し、社会条件等の変化とそれに伴う物質フローの時空間的な変化を量的・質的に予測・評価する。また、資源循環型の技術システムと社会・経済システムへの転換を図るための政</p>	<p>10～20年後の近未来における様々な社会条件の変化とそれに伴う循環型社会への影響を、ワークショップ形式での検討などシナリオプランニングの手法を援用して明らかにし、資源価格や国や地域の自立性の軸で表される複数のシナリオを描出した。一方、各種の社会変化や対策導入がもたらす製品・サービス需要への影響、天然資源消費量・環境負荷発生量への影響を推計するための、物質・フロー・ストックモデル、生産プロセスモデル、廃棄物管理プロセスモデルから構成される分析モデルを試作した。以上をもとに、個人主義・技術志向・速い社会変化等で特徴付けられる社会シナリオAと共生主義・自然志向・遅い社会変化等で特徴付けられる社会シナリオBを設定し、それぞれ天然資源消費抑制や環境負荷低減につながる対策を講じない場合と講じた場合の天然資源消費量・環境負荷量を推計した。以上をもとに、近未来の対策パッケージとしての2つのシナリオを作成した。</p> <p>シナリオプランニングの成果は、UNEP資源パネルのWSで紹介され議論に貢献した。資源循環による天然資源消費抑制量・環境負荷削減量の推計結果は、循環型社会形成推進基本計画の進捗状況の検討に活用された。成果の一部は環境・循環白書に掲載されるとともに、デポジット制度研究の成果はRシリーズ報告書として出版した。また、研究成果や研究実施過程での議論は、随時環境省「一</p>

<p>策・マネジメント手法の設計・評価を行い、近未来の循環型社会ビジョンに向けた転換シナリオを提示する。</p>	<p>般廃棄物の適切な処理システムの構築に向けた分別収集等に関するガイドライン検討委員会「循環型社会における中長期グランドデザイン検討会」「使用済製品等のリユース促進事業研究会」等における議論に反映された。</p>
<p>サブテーマ1（物質フローモデルに基づく資源利用・廃棄物等発生の将来予測よ近未来ビジョンへの転換シナリオ評価）</p>	
<p>近未来の物質フロー推計のベースとなる社会条件の変化のシナリオを描き、資源・廃棄物フローとの因果関係に関するモデルを基に、主要な資源・廃棄物についての近未来のフローの推計を行うモデルを作成する。天然資源消費抑制や環境負荷低減に有効な対策を挙げて、その効果等を推計するとともに、一定量の効果を達成するためのビジョンを作成する。</p>	<p>① 近未来の資源・廃棄物フロー及び資源循環・廃棄物管理システムに重要かつ不確実な影響を与える因子として、「国際市場・貿易体制の変化」「資源価格の変化」「技術の変化」等が同定された。また、これらの因子を中心として、これらと一体的に取り扱える因子について考察し、近未来のシナリオ作成のための2軸として「貿易体制・地域社会の変化」「資源価格の変化」を設定した。これらの因子は近未来の資源・廃棄物フロー及び資源循環・廃棄物管理システムに大きな影響を与える可能性があり、近未来のビジョン作成にあたって考慮すべき因子と考えられた。さらに、この2軸をもとに4つのシナリオ「循環資源国際流通シナリオ」「資源国際争奪戦シナリオ」「高度技術地域循環シナリオ」「制度的地域循環シナリオ」を描き、既存の制度がこれらのシナリオによって、どのような影響を受けるかについて検討した。</p> <p>② 生活レベル（活動量）を本質的には低下させることなく、非再生可能資源消費量（ひいては温室効果ガス排出量、廃棄物最終処分量等の環境負荷）を削減するための対策を類型化するための要因分解を行い、「活動量あたり新規製品生産量」「新規製品生産量あたり原燃料使用量」「原燃料使用量あたりの非再生可能資源消費量」の3つの類型をもとに対策をリスト化した。これらの対策を、主として技術やシステムの変更に関わる対策とライフスタイルの変更に関わる対策とに分け、前者の対策を中心とするビジョンA、後者の対策を中心とするビジョンBとしてパッケージ化した。これらのビジョンは脱温暖化2050におけるビジョンとの整合性を意識したものであり、低炭素社会と循環型社会に対する統合的アプローチへの発展が期待できる。</p> <p>③ 各種の社会変化や対策導入がもたらす製品・サービス需要への影響、天然資源消費量・環境負荷発生量への影響を推計するモデルを作成した。このモデルは、耐久財フロー・ストックモデル、耐久消費財フロー・ストックモデル、消費財フロー・ストックモデル、生産プロセスモデル、廃棄物管理プロセスモデルからなる技術プロセスモデルである。上記①および②により設定したいくつかのシナリオとビジョンについて試算を行い、近未来の物質フローに大きな影響を与える社会変化や効果の高い対策の一次同定を行った。例えば、今後の公共投資の動向によっては、セメント需要量が大幅に減少することが推計され、それにより各種環境負荷は削減されるもののセメント産業における廃棄物利用の制約になることなどが示唆された。</p>
<p>サブテーマ2（近未来の循環型社会における技術システムの設計と評価）</p>	

<p>様々な廃棄物について技術的観点から対策シナリオを提案するとともに、それを実現する循環技術システムを設計し、その効果を分析する。</p> <p>収集データを用いてサブテーマ1のモデルを改良し、近未来における廃棄物管理のビジョンとそれに向けたシナリオの妥当性を向上させる。</p>	<p>近未来のビジョン提案を目指して「炭素資源」という資源区分を提案し、生物資源と化石資源の包括的な対策（資源代替など）の検討を可能とした。また、炭素資源のエネルギー利用の技術システムのインベントリデータを整備した。食品廃棄物の事例研究では、まず、循環技術システムに対する本格的なハイブリッドLCA手法を初めて構築した。同手法を用いて、食品廃棄物の技術システムの効果を分析した結果、焼却発電効率とCO₂排出削減効果との関係が示された。下水汚泥の事例研究では、「動脈静脈連携」を実践するシステムを提案・分析した結果、化石資源代替による温室効果ガス削減効果が大きいことが示された。また、鉱物系資源については、廃棄物溶融と非鉄製錬との連携や、素材産業を中核とした動脈静脈連携を提案・分析した結果、一定の効果が示された。</p> <p>2000年度から2005年度までにおける日本全体での循環利用の分析結果は、温室効果ガスの排出削減効果が循環基本計画の補助指標として反映された（その他の結果も中央環境審議会でも報告）。なお、新たな循環技術システムを想定した将来シナリオも分析した。</p> <p>より効果的な対策が望まれる廃棄物を対象とした事例分析の結果、食品廃棄物については、排出源の種類別（家庭、卸売・小売業、外食産業など）に品質区分を提案し、それに応じた飼料化と肥料化、および下水汚泥や家畜ふん尿などとの集約処理や畜産業などとの連携システムが提案された。プラスチックについては、食品関連、薬品・化粧品関連、耐久財関連という区分を提案し、それに応じたより効率的なプラスチックリサイクルシステムが提案された。廃家電については、製品の変化を考慮した循環技術システムを設計・評価した。建設廃棄物については、主な受入先であるセメント産業の状況を考慮した循環技術システムを設計・評価した。また、資源の利用効率を評価する「資源のLCA」を提案し、事例分析を実施した結果、用途（製品寿命）と使用する素材の組み合わせによって、二酸化炭素排出量が大きく変化し得ることが明らかとなった。</p> <p>上述の様々な事例分析の結果を、サブテーマ1で構築するモデルの改良に活用した。</p>
<p>サブテーマ3（循環型社会の形成に資する政策手法・マネジメント手法の設計・開発と評価</p>	
<p>①一般廃棄物行政を対象に、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を構築する。</p> <p>②個別リサイクル法の施行実態を明らかにする。</p> <p>③回収インセンティブを与える施策の導入可</p>	<p>①一般廃棄物行政を対象にしたベンチマーキング手法の枠組み及び評価指標を提案することができた。この成果は、平成19年6月に公表された環境省のガイドライン作成に貢献した。また、このベンチマーキング手法を活用した住民等との情報共有手法について、情報共有による意識変化から3Rへの行動変容の可能性を確認するとともに、コミュニティレベルの優良活動事例について、環境配慮行動に関する社会心理学的分析及び価値連鎖分析による考察を行い、成功要因を同定、構造化した。</p> <p>②容器包装リサイクル法等で課題となった自治体の廃棄物処理・リサイクル費用について、ライフサイクルコストの観点から、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を把握した。また、「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、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した。</p> <p>③諸外国のデポジット制度6制度を詳細に調査して、小売店等の手間やシステム構築の負担といった制度導入の障壁があることを明らかにし、その緩和策として、品目の絞込み、一定数以上の返却は重量計測、最小返却単位の設定などがあることを明らかにした。また、</p>

<p>能性や有効性を明らかにする。</p> <p>④ 3 R政策の対象物を明らかにするためのポジショニング解析の枠組みの構築し、現在対象となっていないモノを特定する。</p> <p>⑤国内 3 Rおよび国際循環に合致した責任論を再構築する。</p> <p>⑥リデュース・リユース（2 R）研究の体系化を行い、その効果把握を行う。</p> <p>⑦対策パッケージの作成に向けた概念等を整理する。</p>	<p>83 の国等 146 品目の制度の対象物をもとに、デポジット制度の対象物を、廃棄物・有価物・有用物・有害物に区分・特徴整理して、対象物によってデポジット制度の適用性等に違いがあることを明らかにした。さらに、新たな回収インセンティブ付与制度として資源回収ポイント制度の適用性等を検討し、本制度が事業者にとって導入障壁のより小さい回収制度であることを示した。</p> <p>④目的達成寄与度ならびに対策有効性（対策ポテンシャルと適用度）によるポジショニングを実施し、一般廃棄物においては食料品、PR に使われた紙、紙おむつ等を今後の施策対策の検討に含めるべきこと、産業廃棄物においては、セクター別に対策が進められてきたが、自らの業界における廃棄物寄与割合が小さくとも日本全体でみれば排出量の割合が大きい廃棄物種があることを確認して、このようなものが対策で看過されやすいことを指摘した。</p> <p>⑤国外（EU）の政策実態の結果から、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。国内 3 Rおよび国際循環における課題としては、循環資源の輸出や建物等の長期使用製品（長期のうちに製造者が不在となる）におけるEPR適用の限界、消費国（廃棄物処理国）から生産国へ処理・リサイクル情報の欠如といった問題があり、EPRならびに流通業者や消費者、自治体の責任を含めて検討を行い、応益負担主義に基づいた新たな責任論として「使用者責任」という考え方を着想した。</p> <p>⑥2 Rの体系化を行うとともに、2 Rの取組を類型化しながら、「活動量」、「製品使用活動量」、「製品量」、「新規製品製造量」に着目した効果把握の指標群を提示できた。具体的な適用事例として、詰替商品の利用による廃棄物削減効果を定量化し、例えばシャンプーでは7割が詰替商品で、5～6割の容器素材が削減できていることを確認した。さらに、耐久財のような効果発生に時間差を伴うモノに対する2 R効果把握方法を整理して、長期使用の削減効果をその波及効果とともに推計した。これらの成果の一部は、平成20、21年度の中央環境審議会において報告・利用された。また、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。</p> <p>⑦サブテーマ1における対策パッケージ作成のために、各分野での対策や自治体の施策を1)各シナリオに向かうための対策と2)各シナリオにおいて講じなければならない対策などに区別しながら、その背後にある基本的考え方をふまえて、概念等を整理した。</p>
--	--

(中核PJ2：資源性・有害性をもつ物質の循環管理方策の立案と評価)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>資源性・有害性をもつ物質の利用・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、定量化し、代替物利用やリサイクル等の効果を資源性・有害性の両面から評価し、リサイクル促進や製品中有害物質規制、有用資源回収に資する科学的な根拠・知見を得る。</p>	<p>リサイクルが拡大する中で有害性と資源性の二面性をもった物質を適切に管理していくことが重要であるとの認識に立ち、物質管理の実態の把握とそのあり方について研究を進めた。特にテレビやパソコンといった資源性、有害性の観点から重要度の高い家電製品を対象に研究を進めた。実製品個別の化学物質の含有量を分析し、製品使用や廃棄／リサイクルなどの製品ライフステージの各段階での臭素系難燃剤等の環境排出、制御方策の検討やヒトへの曝露について解析を実施した。製品中でのリサイクル必要性の優先度や、製品中金属の回収性について見通しをつけるため、家電製品を対象に金属資源としての価値を相対的に評価した。また、金属製錬技術を用いた製品中の有価金属の回収可能性について熱力学的な検討を行い、貴金属、レアメタルの回収性について考察を行った。廃プラスチック再生製品について、特に有害物質混入可能性の視点から工場視察とアンケート調査を実施し、品質管理の実態を把握できた。物質管理方策の方法論あるいは管理方策の基本モデルを提示に向けた取り組みを行った。物質管理方策として、曝露・被害防止、クローズド化、チェックゲート、情報管理（情報伝達とトレーサビリティ）、管理体制の整備の5つの基本管理方策があることを抽出し、それぞれの定義、構成要素、要件を示すことができた。また、電気電子機器類における物質管理方策パッケージを提示することができた。</p>
<p>サブテーマ1（プラスチックリサイクル・廃棄過程における化学物質管理方策の検討）</p>	
<p>プラスチックに含まれる有用性、有害性をもつ物質群について、リサイクル、廃棄物処理過程におけるプロセス挙動、環境排出、排出低減対策について調査、考察を行う。さら</p>	<p>プラスチック中の添加剤、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。携帯型蛍光X線分析計を用いて製品、再生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た効率的な製品モニタリング法を確立した（18～21年度）。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（18年度）。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、臭素系難燃剤、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。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、製品からの放</p>

<p>に、プラスチック中難燃剤（及び代替物質）の製品ライフサイクルにおけるリスク評価と制御対策について考察する。</p>	<p>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、換気や空気清浄機による低減効果について定量的に確認することができた（18～22年度）。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（18～22年度）。臭素系難燃剤含有プラスチックの異なるリサイクルや処理方法に伴う環境負荷について、LCAを用いて評価した（19～20年度）。電気・電子製品の筐体や基板で用いられるプラスチック中の臭素系難燃剤に関して、製品中の含有量、使用時の室内放散量、室内空気やダストといった室内媒体濃度、ヒトへの曝露媒体としてのダスト中の存在形態についての情報が統合的に得られ、製品のライフサイクルを通じてヒト曝露を考える際に製品使用過程の寄与が高いことを、曝露解析の結果から明らかにした。また、代替難燃剤としての縮合型リン酸エステル類の使用時挙動についても光分解、加水分解、熱分解時のデータを網羅的に蓄積することができ、代替難燃剤のハザード、リスク評価に資する基礎資料が得られた（21～22年度）</p>
<p>サブテーマ2（資源性・有害性を有する金属類のリサイクル・廃棄過程の管理方策の検討）</p>	
<p>製品中金属の試験法確立、製品組成情報集積を行う。管理優先度の高い資源性金属の探索、回収可能性評価を行い、回収性向上のための方策を検討する。リサイクル・廃棄過程を含めた有害性金属の環境排出量把握を行う。</p>	<p>基板等の複合素材の高精度な金属含有量試験法を確立、パソコン基板を中心に適用し、40金属の含有量情報の集積を行った（18～22年度）。11金属のメゾ物質フローを作成し、WIO-MFAへの接続により約60製品の11元素の組成を上流側情報から推計した（20～21年度）。これらに文献等調査を加えて各種電気・電子製品の組成情報を集積しつつ、資源として着目すべき金属／製品群の評価へ展開した。まず、金属の資源性を多面的に定義し、複数の評価指標の提案と基板中金属の相互比較を行った（18～19年度）。また、金属二次資源としての使用済み製品の類型化手法の提案と類型化を行い、金属種ごとに着目すべき製品群と適する収集方法を整理した（20～22年度）。また、熱力学解析に基づき、乾式製錬・再溶解プロセスにおける金属元素の回収／除去可能性を明らかにし、基板を中心に回収し得る金属を評価した（20～22年度）。さらに、一般廃棄物中間処理を通じた金属回収性や有害性物質の環境排出量推定への展開を念頭に、破碎・選別・熱処理工程における電気・電子製品由来物質のプロセス内分配、環境排出挙動の実態調査を行った（21年度）。国際的管理対象である水銀の国内の物質フローを整備し、回収量と需要量から60～70トン/年の余剰水銀の存在を明らかにした。水銀の大気排出インベントリを作成し、結果は環境省を通じてUNEPへ提出された（18～19年度）。余剰水銀の長期保管を想定し、熱力学情報・計算に基づいて、保管環境下での安定性、水銀大気排出の視点から保管形態候補となる水銀化合物・合金を絞り込んだ（20～21年度）。</p>
<p>サブテーマ3（再生製品の環境安全品質管理手法の確立）</p>	

<p>建設系再生製品の環境安全品質評価法の開発・規格化とデータの蓄積を行うとともに、利用のための管理手法を確立する。再生プラスチック製造工程の品質管理の実態を明らかにする。</p>	<p>全発生量が年1億トンを超える建設系（土石系）の廃棄物・副産物（廃コンクリートや鉄鋼スラグなど）を安全に循環利用するために必要不可欠な、有害物質の環境影響評価試験（特に、溶出特性評価試験）の開発に取り組み、23機関参加の精度評価をとりまとめ、廃棄物資源循環学会規格案として公開できた（18～20年度）。開発した試験で得られるデータと地盤中の移流拡散モデルとを接続させた評価手法を構築し、銅スラグ中の鉛・ヒ素挙動の評価を実施でき（19～20年度）、さらに、製鋼スラグ（フッ素、高pH）、再生石膏（フッ素）、ブラウン管ガラス（鉛）等の評価へと繋げている（20～22年度）。主に県レベルの再生製品認定制度等での安全性判断材料提供を目的に、約30種類の廃棄物・副産物の収集と試験データ蓄積を進めることができた（20～21年度）。EU建設製品指令や欧州各国における有効利用の法制度について文献レビューを行い、評価・管理の枠組みを提案し（18年度）、さらに各国専門家への訪問聞き取り調査を実施して、日本における環境安全管理方策の進路を提言し、鉄鋼スラグ・非鉄スラグの道路用・コンクリート用各JISの原案にその考え方が採用された（21年度）。これら循環資材の環境安全品質評価と管理に関する「基本的考え方」をとりまとめた（22年度）。土石とは性状や利用法の大きく異なる廃プラスチック再生製品について、特に有害物質混入可能性の視点から工場視察とアンケート調査を実施し品質管理の実態を把握できた（20～21年度）。</p>
<p>サブテーマ4（物質管理方策の現状及び将来像の検討）</p>	
<p>ライフサイクル物質管理の現状ならびに将来像を提示する。適用されうる物質管理方策を抽出し、その適用性や有効性などを確認する。各サブテーマで実施している対象物（プラスチックや金属類）に対し、物質管理方策のパッケージ案を提示する。</p>	<p>物質管理のキーワードを抽出するとともに、物質管理方策の変遷を整理し、今後より重要となってくる物質管理の視点・方策、そしてライフサイクル物質管理の将来像をまとめた。チェックゲート、トレーサビリティ、サプライチェーンマネジメント（REACH対応）、リサイクルチェーン対応などのキーワードを抽出することができ、このなかでも、循環型社会においては、ミドルリスク物質への対応や、チェックゲートと情報管理にさらなる取り組みが必要であることが分かった。</p> <p>既存の物質管理規定をレビューした結果、物質管理方策として、曝露・被害防止、クローズド化、チェックゲート、情報管理（情報伝達とトレーサビリティ）、管理体制の整備の5つの基本管理方策があることを抽出し、それぞれの定義、構成要素、要件を示すことができた（例：チェックゲートはチェック項目の種類として、物質、取扱者、情報伝達という3種の基準適合があることなどを確認した）。また、チェックゲートは物質の特定性が高い場合には有効であるが、静脈フローや循環フローにおいては物質同士が混合しやすく、管理方策としての適用性が低下することなど、物質管理の有効性や適用性の知見を得ることができた。また、循環フローの最終基準としてリサイクル製品の安全確認のチェックゲートは必要であり、そのチェックゲートの有効性を高めるためにはサプライチェーンからポストコンシューマまでの物質フロー情報を活用して、チェックの負荷を低減するのが現実的であると考えられた。</p> <p>電気電子機器類における物質管理方策パッケージとして、曝露・被害防止：リスク同定、基板破碎時の粉じん対策、クローズド化：使用済み製品の回収方式と回収率向上方策の検討、情報管理：製品中含有物質情報の整備、国内フローの推計方法の開発、を提示することができた。</p>

(中核PJ3：廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>廃棄物からの高度な資源循環により、脱温暖化や他の環境対策にも資する炭素サイクル型エネルギー循環利用技術システムおよび潜在資源活用型マテリアル回収利用技術システムを開発し、さらに動脈-静脈プロセス間での連携的な資源循環システムの構築により、複合的な技術システムを確立する。</p>	<p>廃棄物系バイオマスに対する再生・資源化技術の適用において、バイオマスの性状とくに水分をどれだけ含むかが、技術の実際的な適用に際し必要とするエネルギーの点で重要かつ合理性を決める事項と考えられることから、比較的乾燥した木質系バイオマス等にはガス化-改質技術、水分の多い食品廃棄物等には水素-メタン二段発酵技術を適用するのが妥当であると判断し、他に廃食用油からのBDF製造や資源化処理等で排出される排水・廃液中のリン回収等も加えた総合的低環境負荷型の資源化技術群を開発してきた。個々の技術には触媒の適用、操作温度、最適pH、微生物汚泥の循環比等々多くの最適化すべき技術要素があり、18～21年度において、とくにプロジェクト前半の20年度までにおいては要素技術に的を絞った実験研究を継続した。</p> <p>一方、サブテーマ2と位置付けた研究においては、廃棄物系バイオマスの特性に応じた規模の循環技術システム（地域循環圏）の形成を目指し、その設計・構築手法の大枠を決定した。また、特定地域での情報基盤を整備するとともに、関係者による研究会を設立・運営して課題を抽出した。さらに、前述の手法を用いた事例研究を実施してシステム改善と手法確立を試みた。また、地域循環圏の効率向上策として、本プロジェクトでの開発要素技術を導入した統合システムを提案した。技術とコストのデータを収集した上でプロセスシミュレーターを活用しつつ具体的地域への導入を想定したシステムを設計し、物質・エネルギー収支やコストを評価した。一方、既存生産技術と循環技術の連携を「動脈-静脈連携」と定義して、その形態を整理・分類し、システム効率向上策としての定式的議論を可能にした。</p> <p>さらに、エネルギー回収技術の個別テーマに焦点を絞り、同様の研究を行う他の独立行政法人研究機関や大学との間で技術開発討論会を開催し（平成21年2月20日「「廃棄物系バイオマス利活用技術研究開発の最前線・エネルギー」）、他の機関等との研究開発の違いや特徴を明確にするとともに、一般へのアウトリーチ活動を行った。アウトリーチ活動に関しては、エコプロダクツ展への出展（平成20、21および22年度）も行い、広く国民に対し研究内容の広報・周知を図った。</p>
<p>サブテーマ1（エネルギー/マテリアル循環利用技術システムの開発と評価）</p>	
<p>①熱分解ガス化-改質プロセス開発において、ガス化率95%以上および生成ガス発熱量1000 kcal/m³以上の達成、改質触媒の耐久性向上およびタール成分</p>	<p>①ガス化-改質技術の開発においては、比較的低温（650-850℃）の条件において、建築廃材および廃プラスチック・紙固形化燃料等を原料とした熱分解ガス化・水蒸気改質試験を実施した。ニッケル（Ni）系触媒を選定・適用し水蒸気改質特性を評価した結果、主成分Niに対し、カルシウム（Ca）分を含むNi-Ca系改質触媒の適用により、ガス組成40 vol%以上の水素濃度と2,000 kcal/m³_N（8.4 MJ/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、カーボンガス化率として95%以上を達成した。また、酸化カルシウム（CaO）を併用することで、タール成分の分解を促進し、CaO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。このガス化-改質は750℃の条件を中核的操作温度として行い、CaOを併用する技術的手段に関し、特許申請を行った。そのほか、多孔質のシリカを補助材料とした場合の同様の効果についても見いだした。</p>

<p>濃度の低減に資する技術の確立を目指す。</p>	<p>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。また、15 kg/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。さらに、新規触媒としてステンレス鋼合金を基材とする安価な触媒を得て性能を試験し、適用性評価と将来的な実用性の把握を行った。さらに、基礎実験装置でほぼ確立したガス化条件をもとに、外部機関保有の処理量 500kg/日規模のパイロット規模試験装置を用いて試験・評価し、木質系バイオマスおよび RPF 原料からの排出ガス特性、タール分解性およびメタノール合成の実績等を把握した。</p>
<p>②水素-メタン二段発酵技術システムと発酵残液の高度処理技術の開発において、高効率なバイオガス生成と回収率の向上を図ると同時に、発酵残液の栄養塩類の高度処理システム構築に資する設計パラメータ・運転条件等の確立を目指す。</p>	<p>②水素-メタン二段発酵技術の開発においては、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二段発酵プロセスにおける分解率、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高温発酵(55℃)の方が低いが、炭水化物を中心とする廃棄物からの水素回収においては、高温発酵が中温発酵(35℃)より効果大きいことなどを明らかにした。さらに、バイオマスの成分組成との水素およびメタン生成ポテンシャルとの関係を解析し、各種バイオマスの水素-メタン発酵プロセスへの適用性を成分組成から評価する方法を構築した。</p> <p>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、発酵液循環と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、従来技術で実現できなかった 2 年間以上に渡る長期間の連続水素発酵がはじめて可能となった。循環汚泥のアルカリ度が水素発酵の代謝パターンに対して影響を及ぼすことを明らかにし、9,000~10,000 mg-CaCO₃/l の範囲で酢酸と酪酸を主生成物とする高効率な水素発酵代謝パターンへの制御が可能であることを示し、17.2 m³-H₂/日と 69.1 m³-CH₄/日という安定的なバイオガス回収が実現できた。食堂残飯を対象とした水素-メタン二段発酵プロセスにおいては、発酵槽内の溶解性必須栄養塩が不足する環境にあり、それがメタン生成速度を制限していることを突き止めた。処理原料への微量の栄養塩添加により、単位装置容積あたりの許容原料処理速度を添加なし時のその約 4 倍である 11.6 kg-(TS 食堂残飯)/m³-reactor/d (滞留時間 9 日)まで向上させた。</p> <p>また、発酵残液の効果的処理については、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関し、好気タンク内で PEG (ポリエチレングリコール) 担体の硝化活性を高く維持することで、アンモニア濃度を 58mg/l 以下 (除去率: 97%) とした。発酵残液中の窒素除去において、好気タンクへの固形物流入が硝化阻害を引き起こしていることおよび脱窒素タンクにおける硝酸の残留を確認したため、前段のタンクからの流入固形物濃度抑制と脱窒素菌の滞留時間増大を行うことで、窒素除去が改善された。これにより、水素-メタン二段発酵プロセスと発酵残液処理を一体化したシステムの完成形と最適運転条件の基盤を構築することができた。</p>
<p>③BDF 製造プロセスの開発について、未利用の低品質廃油脂類から</p>	<p>③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。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 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)。</p>

<p>第一世代および第二世代BDF製造技術を開発し、実証へ向けた技術的課題の整理と対応策を提示するとともに、地域循環システムの設計に必要な循環シナリオを設定する。</p>	<p>また、液化DMEを用いた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達成できた（図6）。したがって、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。これらの結果の一部は、総合科学技術会議環境エネルギー技術革新計画の参考資料に利用された。さらに、今まで未利用であった原料を用いて、高転換率（99%）で第一世代BDFを製造できることを示した（図7）。ただし、廃油脂由来の不純物を低減する必要がある、不純物を99%以上除去できる対策も提案した。また、触媒を固定化酵素へ展開し、酵素凝集を防止し、連続系で合成可能な方法を提案した。本方法は、最小限のメタノール濃度で95%の高収率を達成できた。第二世代BDF製造技術開発では、廃油油脂類の性状を明らかにするとともに、低品質な工場廃熱を用いて燃料成分を回収できることを示し、さらに燃料成分のほぼ100%をBDF化できることも確認した（図8）。また一方、開発技術を地域循環システムとして実現するための循環シナリオを設定し、その評価手法も構築した。</p>
<p>④リン回収について、液状廃棄物に関する実際の処理規模に応じたリン資源回収技術の確立を図り、地域資源循環システム実証試験を行うための基盤を構築する。</p>	<p>④液状廃棄物処理におけるリン資源の回収技術として、小規模分散型においては、吸着脱リン法の地域モデル実証から、吸着法による長期安定的なリン除去・回収が可能であることが示された一方で、吸着剤収集方法を含めたコスト削減等の課題が抽出される等、実用化に向けたシステム基盤が構築された。中・大規模処理に対応したオンサイトのリン吸着回収法としては、吸着効率化試験等により2系連結・連続運転等の最適条件の確立に目処を付けた。また、鉄電解法を導入した浄化槽では、生活排水中のリンは不溶性のリン酸鉄として貯留汚泥中に蓄積すること、鉄電解脱リン汚泥は酸溶出に比べてアルカリ溶出による効率が高く、さらに、金属の溶出も格段に低いことを明らかにした。物質収支解析の結果、汚泥に対し90%程度の高品位なリン溶出・回収が見込まれることが明らかとなった。回収物は、副産リン酸肥料としての肥料登録基準を満たしており、植害・肥効試験においては対照系と比較しても十分な肥料効果が得られたことから、設計因子の抽出、処理スケールに応じたコスト試算等に資する基盤を構築できた。</p>
<p>サブテーマ2（動脈-静脈連携等を導入したバイオマス地域循環圏の設計と構築）</p>	
<p>廃棄物系バイオマス循環技術システムの設計・構築手法を提案し、事例研究を通じて、システムを改善するとともに、設計・構築手法を確立する。動脈-静脈連携などの効率向上策も提案・評価する。</p>	<p>廃棄物系バイオマスの特性に応じた地域規模の循環技術システム（地域循環圏）の設計・構築手法について本プロジェクト内で議論し、その大枠を決定した。また、茨城県の食品廃棄物を対象として、情報基盤を整備するとともに、関係者による研究会に参加して課題を抽出した。さらに、前述の手法を用いた事例研究を、湿潤系と乾燥系のバイオマス各々について実施した。前者に関しては、茨城県における食品廃棄物の発生量と飼料の受入可能量とのバランスを分析し、各市町村がどの循環技術に適しているかを分類することができた（図10）。後者に関しては、関東圏における廃材・残材の排出量と施設の処理可能量とのバランスを分析し、各都県での実現可能性を示すことができた。また、地域循環圏の効率向上策として、本中核プロジェクトで開発中の循環技術を組み合わせた効率的システムを提案し、基礎的な物質・エネルギーの投入・産出データを収集・整理し、開発技術のプロセス設計を完了した。これらのデータや設計を基に、プロセスシミュレーションを用いて地域循環圏における適性評価手法を確立した。さらに、開発技術の単独プロセスと開発技術を複合したシステムにおける経済性・事業性を比較した結果、余剰廃熱の有効利用による複合システムの優位性を明らかにした。</p>

(中核PJ4：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)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>途上国を中心とする各国での資源循環、廃棄物管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。</p> <p>また、技術面からの対応として、液状系を含む有機性廃棄物の適正処理と温暖化対策とを両立した、途上国に適合した技術システムの開発とその適用による効果の評価を実施する。</p>	<p>家電・パソコンなどの E-waste や廃プラの国内・国際フローの分析を行った。家電は4品目の推定中古輸出台数が460～480万台程度あることや、ブラウン管（CRT）テレビの輸出先は輸入規制が緩い国へ変化していること、パソコンについては中古輸出が200万台程度まで伸びていることを明らかにした。また、適切な梱包次第で中古テレビの輸入国でも破損が低く抑えられること、中国に廃基板やCRTモニタ・テレビが周辺国から輸入されている状況を把握した。国際共同研究によって、中国、フィリピン、ベトナムで E-waste のリサイクルがインフォーマルセクタに多く依存されていることを把握した。途上国の E-waste 管理制度設計に向けて、インフォーマルセクタのフォーマル化などの必要性を指摘した。</p> <p>日本から輸出される金属スクラップについては、家電等や冷媒フロンが含まれていることなどを示し、有害物質管理や火災防止のために、国内取引や輸出にかかる適正管理方策を提示した。国内火災現場で収集した廃家電等からは、ダイオキシン類の発生特性を把握した。</p> <p>途上国での E-waste の不適正リサイクルを想定して、国内での模擬実験として、基板や E-waste の筐体の燃焼実験を行い、非制御燃焼条件下ではPBDEs等の排出が大幅に増加することや、臭素系難燃剤（BFR）およびダイオキシン類の排出挙動を把握した。途上国埋立地を模した大型埋立地シミュレーターの浸出水中臭素系難燃剤の溶出挙動解析からは、埋立槽内部の好気条件化が有害物質の流出量を削減する効果があることが示唆された。海外では、インド2都市の E-waste リサイクル現場の分析からは、周辺土壌のBFR濃度は対照地域に比べて数桁高く、臭素化ダイオキシン類濃度は毒性等量試算で1,000 pg/gを超えるケースが見られた。ベトナム及びフィリピンにおいても現地調査を実施し、リサイクル現場における人へのハザードレベルを解明するための情報を取得した。</p> <p>タイにおいて複数の埋立地で測定したメタン放出量を廃棄物量で標準化することにより、温帯域より大きい一次分解速度定数 $k = 0.3$ を求めた。Boring Barによる覆土穿孔前後の地表面ガスフラックスをChamber法で測定し、準好気性埋立のパフォーマンスを評価する嫌気性分解率（MCF）、覆土におけるメタン酸化率（OX）を現地で評価する手法を提案した。カセサート大学（バンコク）内に内部水位と充填ごみの比重を変えた4基のライシメータを設置し、また、ラムチャバン市に30m×30m×高さ5m規模のテストセルを設置し、実証施設によるモニタリングの段階に達した。</p> <p>中国における液状廃棄物の汚水性状などについて、BOD/N比が低いこと、濃度が高く水量が小さいといった地域特性を把握した。汚水処理技術としての人工湿地システムを用いた生活排水の処理特性では、低コスト型・環境低負荷型の処理技術として人工湿地の高度処理化と温室効果ガス排出特性の関係解析を進め、システム設計のための基盤情報を得ることができた。また、生活雑排水対策としての傾斜土槽法の処理機能解析を行い、効率的な処理性能を得るための運転条件を明らかにした。</p>
<p>サブテーマ1：アジア地域における資源循環システムの解析と評価手法開発による適正管理ネットワークの設計・評価</p>	

<p>国際資源循環及び関連する国内資源循環について、物質フロー分析、技術情報の整理と関連政策などの調査を通じて、国際資源循環に関する総合的な解析と評価につなげる。</p>	<p>家電・パソコンなどの E-waste や廃プラの国内・国際フローの分析を行った。家電は4品目の推定中古輸出台数が460～480万台程度あることや輸入規制が緩い国へ輸出先が変化していること、パソコンについては中古輸出が200万台程度まで伸びていること、適切な梱包次第で中古テレビの輸入国でも破損が低く抑えられること、中国に廃基板やブラウン管モニタ・テレビが周辺国から輸入されている状況を把握した。</p> <p>アジアの途上国の研究機関と国際共同研究によって、各国内におけるリユース・リサイクルの実態を調査した結果、中国、フィリピン、ベトナムで E-waste のリサイクルがインフォーマルセクタに多く依存されていることや、製錬技術を伴うフォーマルセクタが現れつつあることを把握した。</p> <p>日本から輸出される金属スクラップについては、国内で回収システム未整備の家電等が混入していることなどを示し、輸出規制を強化する必要性を指摘した。</p> <p>途上国の E-waste 管理制度設計に向けて、インフォーマルセクタのフォーマル化などの必要性を指摘した。</p> <p>以上の E-waste に関する成果は、国内外の専門家を招いて計4回開催した国立環境研究所 E-waste ワークショップにおいて議論するなかからも得られた。</p>
<p>サブテーマ2 (アジア諸国における資源循環過程での環境影響把握)</p>	
<p>アジア地域における E-waste の資源循環過程に伴う環境汚染について、試料の測定分析方法の検討ならびに資源循環過程との関係の解釈を試みる。また、循環・廃棄過程における作業環境曝露、環境排出を調査し、曝露、排出を低減するための対応策の検討につなげる。</p>	<p>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。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。</p> <p>途上国での E-waste の不適正リサイクルを想定して、国内での模擬実験として、基板や E-waste の筐体の燃焼実験を行い、非制御燃焼条件下では PBDEs 等の排出が制御燃焼に比べ大幅に増加することや、臭素系難燃剤 (BFR) およびダイオキシン類の排出挙動を定量的に把握した。途上国埋立地を模した大型埋立地シミュレーターの浸出水中臭素系難燃剤の挙動を解析した結果、埋立槽内部への送風がこれら有害物質の流出量を削減する効果があることが示唆された。国内で発生した金属スクラップ火災現場で収集した廃家電製品等からは、ダイオキシン類の発生特性を把握した。</p> <p>海外では、インド2都市の E-waste リサイクル現場における分析からは、周辺土壌の BFR 濃度は対照地域に比べて数桁高く、臭素化ダイオキシン類濃度は毒性等量試算で 1,000 pg/g を超えるケースが見られた。ベトナム及びフィリピンにて現地調査を実施し、リサイクル現場における人へのハザードレベルを解明するための情報を取得した。</p>
<p>サブテーマ3 (途上国における適正処理・温暖化対策両立型技術システムの開発・評価)</p>	

<p>①固形廃棄物について、アジアの都市における廃棄物の組成ごとのフローを捉える手法を提示する。また、埋立地からの温室効果ガス排出係数を求めるとともに、排出源分別や準好気性埋立等の削減対策の導入因子や制御因子を明らかにする。</p>	<p>①現状における都市ごみストリームを中間処理導入の程度ならびに中間処理技術によって4つのパターンに類型化した。ライフサイクルアセスメントを用いて、中間処理・埋立処分技術の導入による温室効果ガスと環境負荷削減を評価する手法を示した。タイにおいて複数の埋立地で測定したメタン放出量を廃棄物量で標準化し、埋立経過年数で整理することにより、温帯域より大きい一次分解速度定数 $k = 0.3$ が求められた。</p> <p>また、Boring Bar による覆土穿孔前後の地表面ガスフラックスを Chamber 法で測定し、メタンおよび二酸化炭素の比を用いて、同モデルにおいて準好気性埋立のパフォーマンスを評価する嫌気性分解率 (MCF)、覆土におけるメタン酸化率 (OX) を現地で評価する手法を提案した。カセサート大学 (バンコク) 内に内部水位と充填ごみの比重を変えた4基のライシメータを設置し、10月より発生ガス、浸出水、内部温度等のモニタリングの段階に達した。</p> <p>全3回のワークショップ (SWGGA) において、アジアにおける廃棄物データの整備が必要であること、アジアにおける埋立地の管理戦略が必要であること、より上流側からの廃棄物の管理を導入すべきであることなどが議論された。</p>
<p>②液状廃棄物について、アジア途上国における地域特性を踏まえた汚水性状、汚濁負荷の質・量特性等の調査に基づき、液状廃棄物の適正処理と温暖化対策を両立する技術システムの現地適合理化と機能解析を行う。</p>	<p>②中国における液状廃棄物の汚水性状、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といった地域特性を把握した。</p> <p>汚水処理技術としての人工湿地システムに対する生活排水では、汚水を垂直に浸透させるVF系と水平に浸透させるSF系において、有機物と $\text{NH}_4\text{-N}$、T-P について90%以上の除去率が得られた。さらに、ステップ流入による脱窒反応の効率化により、排出される $\text{NO}_3\text{-N}$ および T-N 濃度と、温室効果ガスである N_2O ガスの排出量が減少した。これにより、温室効果ガスの総発生量が少なくなり、低炭素型の排水処理技術として利用できる可能性が示された。</p> <p>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、SS、BOD 等の効率的な処理性能を得ることが可能な運転条件を明らかにした。さらに、様々な技術・システムの制約条件と自然的・社会的制約条件の調査を進め、管理主体、対象排水、地理的制限、文化・宗教的制限等の制約条件の中で適切な処理技術を選択するための基盤を構築できた。</p>

(重点研究プログラムのその他の活動：廃棄物管理の着実な実践のための調査・研究)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>①廃棄物の適正管理に関し、国・地方自治体等が実施する政策・対策現場に必要な知見や改善案を提供し、社会への安全・安心を確保するため、埋立廃棄物識別・選択技術、熱的処理技術、および最終処分技術等の廃棄物処理・処分技術やシステムの開発・評価を行う。</p>	<p>循環型社会の埋立処分ビジョンと到達シナリオの構築を進めた。廃プラスチック類は素材や汚れの有無等により細分化される。中間処理を経由する産業廃棄物の物流を取引先の費用分布で表現するモデルの構築を進めた。建設廃棄物破碎選別残渣から安定型埋立に不適格な木くず等を削減するためには追加の手選別と比重差選別が必要である。新しい埋立類型（土地造成型・備蓄型・安定化促進型）の社会適合性等について検討した。埋立廃棄物のライシメータ実験で中間覆土の透気性を高めると浸出水汚濁負荷の低下が加速された。膜分離による浸出水処理システムの現場実験を進めた。アスベスト埋立跡地の形質変換ガイドライン案を提示した。海面最終処分場の集排水設備の機能を数値解析で評価し、跡地利用へ向けた維持管理技術システムを提案した。焼却処理施設等に関する管理手法の構築に関しては、従来型焼却施設とガス化溶融施設を含め、実データに基づき発電・熱利用指標等の施設特性を分類可能な指標を抽出した。集じんプロセスが異なるストーカ炉およびガス化溶融炉において、DXNsの排ガス中およびダスト中挙動を解析し、さらに簡易・迅速な有機ハロゲン濃度の測定が施設管理に適用できることを示した。また、新設の廃プラスチック類圧縮工程からのVOC排出特性および光触媒技術等の適用による除去特性と課題を明らかにした。</p>
<p>②循環資源・廃棄物を対象として、有害物質の挙動把握、簡易測定技術の最適化、処理プロセスからの事故の未然防止等の各種目的に応じた試験分析方法の整理、開発を進め、標準規格化、包括的な適用プログラムとして、試験評価・モニタリング手法の高度化・体系化を図る。</p>	<p>次期 POPs 候補物質等として、ペンタクロロベンゼン、ニトロ PAH、ベンゾトリアゾール、リン系難燃剤、有機フッ素化合物(PFOS) の分析方法を検討するとともに、一部の物質について燃焼実験を行い、燃焼・分解挙動を把握した。一般廃棄物及び産業廃棄物焼却施設の排ガス及び焼却灰試料の毒性等量推定値と化学分析値との符合について検討して、適切な前処理法と組み合わせることで、確度の高い毒性等量推定値が得られることが分かった。廃棄物中のダイオキシン類や PCB の簡易測定法の公定法化に貢献し、いずれの物質についても環境省における技術評価、マニュアル策定に深く関与した。PCB については主体的にとりまとめた生化学的分析法の JIS 通則が成立した。再生製品・廃棄物のモニタリング手法として、カートリッジ式ボルタンメトリーによる溶融スラグの鉛の分析を行い、感度、精度について現場適用の目処を付け、蛍光 X 線分析法で多種廃棄物の含有組成を分析し、類似度検索機能を持ったデータベースを作成した。生殖毒性等に関連する各種核内受容体を発現するレポーター遺伝子アッセイ系の導入・確立を行い、簡易包括毒性評価システムとして提示し、底質、大気粉塵やハウスダスト等の試料への適用展開を図り、結果の類型化を行って、対象媒体やサンプリング地域で観察される共通点や差異について解析した。</p>
<p>③有機性廃棄物の適正処理技術および廃棄物処理全体を捉えた効率的な処理・資源化システムを確立するため、し尿、</p>	<p>小規模なディスポーザ対応浄化槽における汚泥の質・量が貯留期間に応じて変化し、年 1 回の汚泥清掃においては、通常の浄化槽と質的な差が見られないことを明らかにした。また、生ごみディスポーザ排水導入ケースでの高度処理化のための運転条件を見いだすとともに、温室効果ガス排出量をライフサイクルで捉えることにより、家庭生ごみを生活排水と併せて処理するシステムは、生ごみを可燃ごみとして排出する場合に比べ、社会全体としての温室効果ガス削減対策として有効である可能性が示唆</p>

<p>生活雑排水、生ごみ、汚泥等の高度処理化・資源化のための技術開発およびシステム構築を行い、地域特性に応じた環境低負荷・資源循環技術システムによる液状廃棄物の適正管理手法の構築を図る。</p>	<p>された。汚泥減量化技術については、ミル破碎等の技術比較を行い、汚泥減量化と排水処理性能の維持を両立し、かつ、リン除去・回収機能を付加する技術基盤を構築した。これらの液状廃棄物適正処理・温暖化対策について、所期の目標に向けて概ね順調に遂行できた。また、浄化槽の実規模試験をバイオエコ施設において実施し、温室効果ガス排出量の算定・削減のための基盤技術を構築するとともに、実現場の浄化槽をはじめとした液状廃棄物処理施設における温室効果ガス排出量の調査を進めており、インベントリへの貢献がなされる見込みである。今後は、既存の処理フローにとらわれず、社会全体の最適化を考慮し、地域で発生するバイオマス資源の利活用、省エネ、低炭素化および適正処理技術システムの構築に繋げる。</p>
<p>④廃棄物の不適正管理に伴う環境汚染の修復事業を支援するため、廃PCB処理技術、同事業のフォローアップ、無許可輸入されたPCNの処理に係るフォローアップ、POPsや埋設農薬の適正処理および管理方策の調査を実施するとともに、不適正処分場や不法投棄による堆積廃棄物に対して、社会的な影響の大きい火災問題に着目して、出火メカニズムならびに防止対策のプロトコルを提案する。</p>	<p>POPs 廃農薬の処理に関して、処理時の排出指針値や適正処理方法の評価を行い、POPs 廃農薬の処理に関する技術的留意事項の改訂案を作成した。また、PCN 含有製品の焼却処理や製造施設の除染に関して排ガス等や周辺環境のモニタリングを行い、PCN の完全分解及び周辺環境の汚染がないことを確認した。PCN 原体の分解処理に関してジオメルト法による分解処理実証試験を行い、PCN 原体の分解と周辺環境への汚染がないことを確認した他、メカノケミカル法による処理の可能性についても実験的検討を行い、PCN の分解を確認した。</p> <p>不法投棄・不適正処分場における堆積廃棄物火災の消火に必要な機器類や制御方法等について検討し、技術選定プロトコルを作成した。また出火危険性を把握する現場調査法と評価法を発火が疑われる重点調査地点の抽出フローとして提案した。建設系解体廃棄物と木くず堆積現場にて発生した無炎燃焼火災が有炎燃焼となることを未然に防止するため、廃棄物中の温度分布やその変化に着目することの重要性について明らかにした。</p>

(基盤的な調査・研究：資源循環・廃棄物管理研究)

構成するプロジェクト・活動等	研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>廃棄アスベストのリスク管理に関する研究</p>	<p>①廃棄アスベストの無害化処理技術の評価方法として、TEM法による確認試験方法を開発し、クロスチェックや実試料への適用により評価する。また、実処理モニタリングに適用できると考えられる位相差顕微鏡法(PCM法)や分散染色法について、繊維計数基準等について検討し、クロスチェックにより評価する。</p> <p>②アスベスト標準熱処理物をX線回折法やTEM法により分析し、繊維数や繊維形態、結晶構造、化学組成の変化について評価するとともに、in vitro 及び in vivo 試験により毒性を評価する。以上より、処理温度と各種物性や毒性の変化との関係について検討する。</p> <p>③廃棄アスベストの無害化処理レベル検討のため、土壌や底質等一般環境試料中のアスベストをTEM法や</p>	<p>①無害化処理物の確認試験法として、試料を水中に分散して繊維状物質を取り出す水分散法とTEM法による測定を組み合わせた方法を考案した。クロスチェックにより評価では、アスベスト標準や熱処理物(スラグ)では分析結果はよく一致したが、マトリックスの多い試料ではばらつきが見られた。この種の試料の前処理方法として、低温灰化と酸処理が有効であることを集塵ダスト試料への適用により確認した。この確認試験法は環境省の石綿含有廃棄物の無害化処理の大臣認定で活用された他、環境省の通知に反映された。PCM法や分散染色法、走査型電子顕微鏡法(SEM法)に関して、繊維の計数基準を統一した上でクロスチェックを実施した。その結果、アスベスト標準ではμg、スラグ試料では0.01%オーダーのアスベストが光学顕微鏡で定量でき、実処理モニタリングに適用できると考えられた。一方でばらつきは大きく、適切な分析精度管理の必要性が示唆された。</p> <p>②5種のアスベスト標準熱処理物を調製してX線回折法とTEM法で分析し、処理温度の上昇に伴い結晶構造(鉱物種)が変化し、繊維数濃度が減少することを確認した。アスベスト繊維数濃度が土壌レベルまで低下するのに、クリソタイルやクロシドライトは1000℃以上、アモサイト等角閃石族アスベストでは1400℃以上での処理が必要であった。毒性評価においては、in vitro 試験ではクリソタイルとクロシドライトでは800℃以上、アモサイトとアンソフィライトでは1100℃以上、トレモライトでは1200℃以上で顕著な細胞毒性の減弱が見られた。in vivo 試験では、クリソタイルでは600℃以上、クロシドライトでは800℃以上、アモサイトでは1300℃以上で処理した試料で炎症誘導能の低下が認められた。以上の結果から、熱処理に基づく無害化処理技術評価においては、高温まで繊維数濃度や毒性が低下しないアモサイト等についても確認を行う必要があることを示した。</p> <p>③旧石綿製品製造工場周辺で土壌や底質を採取し、TEM法によりアスベスト繊維数濃度を分析したところ、土壌は44~62Mf/g (Mf=10⁶本)、河川・港湾表層底質は17~25Mf/g、海域底質コアは不検出~68Mf/gであった。蛇紋岩地域及び対照地域の土壌調査では、PLM法により</p>

	<p>PLM 法等により分析し、国内のデータを集積する。</p> <p>④廃棄物処理施設でのアスベストの飛散実態の把握のための調査を行う。また、建材や廃棄物等固体試料中のアスベスト分析法の検討を行うとともに、分析精度管理に係るクロスチェックを行う。</p>	<p>蛇紋岩地域土壌からクリソタイルやトレモライトを検出した。蛇紋岩露頭土壌や旧石綿鉱山から流出する河川堆積物で 10%超と比較的高濃度であった。</p> <p>④廃棄物処理施設で採取した破碎排ガス集塵ダスト等を TEM 法により分析し、アスベスト繊維を検出した。酸処理による濃縮と PLM によるポイントカウント法を組み合わせ、固体試料中 0.1%レベルのアスベストを定量できる方法を考案し、土壌試料分析により評価した。分析精度管理として、リロケータブルスライドを用いた PCM 法のクロスチェックを進め、アモサイト試料では良好な結果を得た。また、TEM 法及び SEM 法についても、アスベスト標準や集塵ダストを共通試料としてクロスチェックを行った。</p>
<p>資源循環に係る基盤的技術の開発</p>	<p>①廃棄物資源化および環境保全技術動向の調査に関しては、技術を幅広く情報として収集し、各技術の特徴や性能、実廃棄物への適用性、生成物の特質や資源としての流通性等の評価を行う。また、新規技術の動向に関し、内容を詳細に整理する。</p> <p>②シーズ技術としての高温・高圧流体抽出技術に関し、おから試料からのビタミン E 成分の抽出特性に対する温度および圧力等の影響を明確にする。電磁波を利用した資源化技術では、高周波誘導加熱による樹脂材料の分離特性等を明確にする。炭化技術に関しては、炭化を適用した廃棄物処理施設の実態評価、炭化物の</p>	<p>①18 年度は、バイオガス化および焼却プラントを同一施設内に配置した廃棄物処理資源化施設、廃塩化ビニルの回収施設等を調査した。19 年度は、木質バイオマスのガス化-改質/ガスエンジン発電プロセスの適用を山村部で実証している施設等を調査した。20 年度は、アンモニア合成用の水素回収に応用されたガス化-改質プラント、エコセメント化施設等を調査した。21 年度は、調理残さ等のバイオガス化・利用例、過熱水蒸気 (230℃) による廃棄物の質変換/燃料化施設を調査した。22 年度は、比較的新しいエネルギー回収システムとして、韓国ソウル市街地に設置された一般廃棄物中厨芥類等を対象とした乾式メタン発酵施設を調査し、性能および課題等について把握した。さらに、一連の調査活動によって蓄積された技術情報に関し、キーワード等による検索が可能なデータベースとして整備した。</p> <p>②高温・高圧流体を用いた、おから試料からのビタミン E 成分の抽出特性に関しては、温度・圧力として 50℃、20MPa といった領域が適切であること、共存する脂肪成分との選択的分離を可能とする経時的抽出パターン等を明確にした。また、既往の研究文献等を広範に調査し、その情報整理に立って高温・高圧流体の適用の方向性を展望論文で主張した。</p> <p>電磁波利用の資源化技術では、金属メッキ加工樹脂に対し高周波誘導加熱により金属・樹脂接合面を選択的に軟化・熔融もしくは熱分解し、金属・樹脂を分離回収するプロセスの確立のための要素技術開発を行った。様々な複合材料を対象として高周波誘導加熱実験を行った結果、樹脂全体の熱分解が進行してしまうケースも確認されたが、樹脂がとくに熱可塑性の場合、金属・樹脂接合面が容易に分離することが確認された。</p>

	<p>市場調査等を通じた現状評価によって、技術の将来性を評価する。また、実験によって、木質ほか試料の特性とガス、炭化物、タール分間の物質収支や熱量特性等を明らかにする。</p>	<p>炭化適用技術のうち、既存施設の実態調査から、炭化物製造に要するエネルギー投入量において施設間の違いがかなり大きいこと等を明らかにして、収支解析等の内容を含めて論文化した。実験においては、いずれの炭化試料も高温になるほど炭化物の回収率が小さくなり、とくに水蒸気を混在させると、高温条件（700 および 900℃）での回収率が低くなること、RPF を原料にするとタール生成のため回収率が低いこと等を明らかにした。</p>
<p>その他の主な課題 1) 臭素系難燃剤等の物性の測定・推定手法 2) リデュース・リユースの分析・評価手法の体系化とその適用研究</p>	<p>・臭素系難燃剤および芳香族リン酸エステル難燃剤の物理化学パラメータ（水への溶解度、オクタノール/水分配係数、蒸気圧等）を測定する。また、パラメータの pH 依存性の数式化を行うとともに、測定ができないパラメータに対しては、推算モデルの評価を行いつつ、適切な推算モデルを用いてその値を推定する。</p> <p>・我が国の 3 R ならびに 3 R 研究の現状について、過去の廃棄物処理の歴史をたどりながら、どのような視点での研究が進められてきたかを整理するとともに、俯瞰的に課題を整理し、今後の研究展望を行う。また、海外の 3 R 調査研究のレビューを行う。</p> <p>省エネ製品の買替に関して、消費者が直面する様々な買替条件に対応でき、かつ買替判断における規範的</p>	<p>・ヘキサブロモシクロドデカン（HBCD）を中心に臭素系難燃剤の物理化学パラメータ、つまり、水への溶解度（S_w）、オクタノール/水分配係数（$\log K_{ow}$）、蒸気圧を測定した。HBCD については、異性体別に測定を行い、異性体別のパラメータ値を初めて明らかにした。また、HBCD 以外にも、テトラブロモビスフェノールAや2,4,6-トリブロモフェノールのS_wと$\log K_{ow}$のpH依存性を実験的に求め、そのpH依存性を数式化した。これらの研究成果より、臭素系難燃剤については、異性体別やイオン形態別に環境動態予測が可能となった。一方、芳香族リン酸エステル難燃剤についても同様に、S_wと$\log K_{ow}$および蒸気圧を測定した。ただし、値が低く測定ができないパラメータに対しては、本実験データと定量的構造物性相関からそれらの値を推算した。特に、縮合型のリン酸エステル難燃剤については、それらの物理化学パラメータを初めて明らかにできた。</p> <p>・3 R 研究レビューにおいては、近年の 3 R ・廃棄物研究が学際的かつ多彩な傾向を強めてきていることを確認するとともに 3 R 研究にはいくつかの種類（リデュース研究：廃棄物発生要因、対策効果、対策設計。リユース研究：技術、品質確保、意識・行動などといった 6 つの研究群。リサイクル研究：技術開発、制度実態、制度設計などといった 4 つの研究群。）があることを把握し、今後は、例えば、政策的にはビジョン提示型やマネジメント、参加型アプローチといった研究、技術的には高度化、低コスト化、システム志向といった研究が重要になると考えられた。また、リデュース・リユース（2R）研究が進みにくい理由として 7 点を指摘するとともに、2R 研究分野の進展には 2R 行動の整理が必要とのもと、その分類を行い、13 分類を得た。</p> <p>消費者が直面する様々な買替条件でも規範的な行動指針等を示すことができる等環境負荷線を用いた prescriptive LCA 手法を提示し、大型化等の買替はエネルギー消費を増大する傾向</p>

<p>3)国際サプライチェーンを含む生産消費システムを対象とした環境負荷分析の理論と実践</p>	<p>指針を示すことができる評価手法を提案し、テレビ、冷蔵庫、エアコンについてデータの収集を行い、評価の適用を行う。</p> <p>・わが国の生産消費システムと国内外で生じる環境負荷や資源消費を定量的に把握するための産業連関モデルを設計し、モデルの実行に必要な経済、環境および資源データ整備を行う。また、環境負荷、資源消費の観点から、わが国の国際貿易の構造的特徴を分析する手法論の開発を行う。</p>	<p>があるが、冷蔵庫については大型化しても省エネ効果が得られることや、テレビとエアコンについては年間使用時間が買替に大きく影響することを提示し、使用時の省エネが進んでも買替すべきでない条件があることを確認した。</p> <p>・わが国の産業連関表の特徴を活かして日本の生産消費構造を詳細な部門分類で記述し、それと国際サプライチェーンとの接続を体系的に表現するモデルとして、Global Link Input-Output (GLIO) モデルを開発した。従来、一国経済が誘発する国外での環境負荷量の同定には、多地域間産業連関分析 (MRIO) が利用されてきたが、データ整備の困難さから部門解像度の低さが問題であった。GLIOの新しいモデル構造により、分析の中心となる国の部門解像度を高めながらも、国際サプライチェーンを整合的に記述することが可能となった。また、モデル実行のために世界 230 カ国の経済データを収集し、国別のエネルギー種類別CO₂排出量データを整備した。</p>
--	--	--

(関連プロジェクト等)

プロジェクト・活動	研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
<p>関連PJ (1) 循環型社会形成のためのライフスタイルに関する研究</p>	<p>循環型社会の形成のための市民の意識や行動に関する研究を実施する。特に、エネルギー消費や廃棄物問題等市民の行動が必要不可欠な分野に焦点をあて、持続</p>	<p>ライフスタイル変革のための有効な情報伝達手段とその効果に関する研究として、環境に関する情報源について全国調査と時系列調査、マスメディアの内容分析を実施した。情報源に関する全国調査の結果、テレビは気候変動問題に対する「関心」の喚起に効果があり、新聞は「理解」に効果があるらしいことが判明した。また、気候変動問題およびその関連事項に関する報道の量は、様々な社会問題の中での環境問題の位置づけに大きく影響し、報道量が増えるほど環境問題の位置が上昇することがわかった。さらに、報道内容についてみると、IPCC の第4次報告書は第3次報告書に比べるとマスメディアでの扱いが飛び抜けて大きく、報道内容が「科学的事実」へと大きくシフトしている様子が観察された。クールビズ、ウォームビズなどの温暖化対策に関するキャンペーンについての報道が必ずしも気候変動問題と結びつけて取り扱われておらず、人々の理解にズレを生じさせていることもわかった。</p>

	<p>可能な消費形態のあり方や社会全体の持続可能な消費への移行についての方策を探る。</p>	<p>気候変動問題についての市民の理解と対応についての調査分析および文化モデルの構築として、過年度の成果を踏まえ、社会人を対象として映像とレクチャーを用いたフォーカス・グループ・インタビュー調査を実施した。内容としては、インタビューの前半で既存の知識の確認を行い、後半で編集映像を見せての議論を実施することにした。これまでの調査において、知識および理解に欠如（知識がない、もしくは間違った知識を持ったまま修正されていない・修正のチャンスがない）が多く観察されたため、気候変動問題の「科学的側面」、「対策的側面」に関するレクチャーを追加して調査を実施した。レクチャーの効果は大きく、調査対象者の自己評価での「理解度」、「対策行動やる気度」のいずれも大きな上昇を示した。映画を見ることを想定して「映像を1～2時間程度みること」の可能性については、「日常では1～2時間、集中して見る時間を確保するのが難しい」との回答が多く、15分程度に編集した映像であっても十分に効果を上げられることが分かった。</p>
<p>関連PJ(2) 循環型社会実現に資する経済的手法、制度的手法に関する研究</p>	<p>経済的手法がごみ排出行動等に与える効果について行動モデルを構築するためにデータ収集、フレームワークの検討、モデルパラメータの推計を行う。</p>	<p>①家計のごみ排出行動、リサイクル行動に関する家計調査を実施し、基礎的なデータを収集した。(東京都と千葉県居住約1200家計対象。H18～20年24ヶ月毎月調査。)</p> <p>②ごみ処理手数料、ごみ回収頻度、資源ごみの分別数、個別回収カステーション回収か、家計の属性変数(家計所得、家計人員、職業など)などを明示的に考慮した家計のごみ排出行動、リサイクル行動モデルのフレームワークを構築した。また、データを使ったモデルのパラメータ推計手法についても検討した。</p> <p>③家計調査によって構築したデータベースを用いて、家計のごみ排出モデルのパラメータを推計し、各種政策変数とごみ排出行動(ごみ排出量)との関係を分析した。具体的にはごみ排出の価格弾力性(ごみ処理手数料の1%の引き上げがごみ排出量に与える影響)を算出し、政策手法(資源ごみ回収品目、収集頻度、処理手数料等)の導入効果を算出した。(例. ごみ処理手数料(ごみ袋の価格)が40円の自治体で、ごみ排出量を20%削減したい場合には、手数料を40円から80円に引き上げる必要)</p>
<p>関連PJ(3) 特定地域における産業間連携・地域資源活用によるエネルギー・資源の有効利用の実証</p>	<p>東京圏域を対象に、スケールの異なる循環圏を科学的な算定をもとに同定し、その形成支援の技術・政策システムの設計と評価のシステムを構築する。</p>	<p>東京圏域を対象に、スケールの異なる循環圏を科学的な算定をもとに同定し、その形成支援の技術・政策システムの設計と評価のシステム構築に取り組んだ。家庭ごみや廃プラスチックや緑地・農林副産物などの有機再生資源(含炭素廃棄物)の分布特性の解析に基づき、地域の循環基盤及び産業施設の分布特性を活かす「循環圏域」の設計と評価システムを構築した。「東京圏域(1都3県)」を対象として、都市活動集中や先進的産業集積、農地緑地などの「循環資本」を活かす循環圏形成のプロセスを構築した。環境技術の開発と政策、循環ビジネスの展開軸を明らかにし、産業間の副産物連携拡大や都市・産業連携などの循環形成方策を設計・評価するシステムを構築した。</p>

<p>関連PJ (4) 資源作物由来液状廃棄物のコベネフィット型処理システムの開発</p>	<p>資源作物(サトウキビ等)由来液状廃棄物(廃液)の適正処理法の開発を行い、コベネフィット型処理技術の確立を目指す。</p>	<p>資源作物(サトウキビ等)由来液状廃棄物(廃液)の適正処理法の開発を行い、コベネフィット型処理技術の確立を目指す。高濃度有機性廃液の処理に対応可能なラボスケールメタン発酵処理システムを独自に設計・作製し、温室効果ガスの放散等の要因となっている糖蜜系廃液の処理試験(国内:糖蜜廃液、タイ:バイオエタノール蒸留廃液)を行った。酸生成槽の設置やメタン発酵槽の高さ方向に複数設置したガス分離装置の効果により、効率的なバイオガス(硫化水素を含む)の系外排出が可能になり、汚泥の高濃度保持(60 gVSS/L以上)と硫化物濃度の低減が達成され、有機物負荷 30 kgCOD/m³/day(安定化池の30倍程度の負荷)の条件下で有機物除去率85-90%(後処理含め95%)、除去有機物のメタン転換率90%の安定した処理性能を発揮している。処理後の廃液を、サトウキビ栽培のための液肥(灌漑用水)としての利用する際の影響評価をタイの試験圃場において行い、処理後の廃液の散布では畑地からのメタンの放出を低減できることが分かった。</p>
<p>知的研究基盤の整備(資源循環・廃棄物処理に関するデータベース等の作成)</p>	<p>(知的研究基盤整備のため省略)</p>	<p>資源循環・廃棄物分野における知的研究基盤として関連データの収集を継続的に実施して、データベース(以下、DBという)の整備を行った。これらは、①物質フローDB、②廃棄物・再生材の化学特性DB、③資源循環・廃棄物処理技術DBに大別することができ、①については、明治以降の日本の資源投入時系列DB、一般廃棄物実態調査アーカイブDB、平成17年産業連関表に対応させた環境負荷・廃棄物DB、製品・ストックの使用年数DB等の整備を行った。また、平成20年度からは、アジアの廃棄物フロー等のデータ収集も実施した。②については、産業廃棄物の性状データならびに溶融スラグ、焼却残渣、鉍滓等の再生製品溶出試験データを収集して、建設系再生製品の環境安全性DBとして整備を行った。また、食品残渣の性状等のDB化を進めた。③については、循環技術プロセスの投入・産出DBの整備を進めた。さらに、政策DBとして、国外のデポジット・リファンド制度の情報源情報を公開した。</p>

3. 環境リスク研究プログラム

研究の概要

曝露評価のための GIS 詳細動態モデルとして、POPs や水銀の地球スケールモデル、日本全土の河川・流域等の地理属性を反映する流域・地域スケールモデルの 3 階層 GIS 多媒体モデルを完成した。特に、農薬類の時間変動を有する排出推定手法と流域規模モデルは、化審法や水環境基準の検討などの政策課題に活用された。化学物質への感受性素因について、トルエンをモデル化合物として実験動物による経気道曝露等の結果を解析し、高感受性を決定する因子として、体内で病原菌を感知するトール様受容体(TLR)の活性化経路や神経栄養因子の遺伝子が、免疫系と神経系に連携した過敏反応に関与することを初めて示した。また、発達段階での化学物質曝露を検討し、脳の性分化や骨形成に及ぼす時期(臨界期)を特定した。ディーゼルエンジンから排出するナノ粒子の挙動と成分を明らかにし、実験動物にナノ粒子を曝露して肺の炎症、心血管系への影響、酸化的ストレスを解明した。また、細胞毒性が極めて高いカーボンナノチューブが示す細胞膜との反応性と細胞障害性の関係を明らかにし、新たに開発されたナノファイバーの吸入曝露装置により、吸入と気管内投与との結果を比較した。生態リスク評価については、野外調査に基づき生物多様性の減少や底棲魚介類の減耗要因を調査し、多数のため池を有するモデル流域において生物多様性統合指標を提示し、また、初期生活史における貧酸素との関係をなどを示した。外国産クワガタムシなど外来種による交雑リスクや寄生生物持ち込みリスクを明らかにした。また、群集レベルの形質の変化を予測する形質動態モデルを作成し、生態系機能の評価法として提示した。政策活用を視野に入れた基盤的な調査研究として、曝露評価・影響評価手法、生態毒性試験法・予測手法の開発やリスク評価に必要な知的基盤を整備し、化学物質の評価および侵入生物に関する実践的な課題に対応した。

(中核PJ1：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)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
自然的な環境動態と曝露に関する複合的要因を階層的な時空間スケールにおいて総合的に把握するための曝露評価体系を提案	<p>多種多様な化学物質の環境経由の人と生態系への曝露評価の確立を目指し、化学物質の曝露に関する複合的な諸要因を総合的かつ効率的に考慮した環境中の動態を時空間スケールで階層化したモデルに基づく曝露評価手法を提案する。具体的には、課題1～3について以下の①～③のように研究目標を設定し、研究を進めた。</p> <p>課題1：① 地域レベルからPOPs等の地球規模に至る階層的な動態把握と曝露解析のための手法をGISデータ基盤上において開発する。</p> <p>①-1：流域、地域から地球規模に至る階層的なGIS多媒体モデル群の開発 流域、地域、地球の3つの空間規模を同様の構造でカバーする3階層GIS多媒体モデルの構築を行った。</p> <p>①-2：小児の曝露ファクター、水生生物への移行など曝露評価を構成するサブモデルの研究 小児特有の呼吸器経由の曝露特性として肺換気量の推定、また、水生生物への汚染物質の移行モデルを精緻化した。</p> <p>課題2：② 多重的な曝露要因をバイオアッセイ手法と網羅的分析法によって把握する。</p> <p>②-1：全国110か所の河川水について新たな <i>in vitro</i> バイオアッセイ手法と網羅的分析により曝露状況を把握した。</p> <p>②-2：全国11か所でのバイオアッセイと網羅的分析の連続同時観測により、大気中化学物質の曝露状況を把握した。</p>

	<p>②-3：複数の <i>in vivo</i> 水生生物試験により水環境からの総毒性の把握手法を明らかにした。</p> <p>課題3：③ 時期特異的な曝露等、特に着目すべき要因を社会的データ等より検討し、これらの総合解析による新たな曝露評価手法を開発する。</p> <p>③-1：農薬類の週程度の時間分解能を持つ排出推定手法と予測モデルを構築し観測により検証し、生態リスク推定を示した。さらに、一般化学物質の排出推定手法を提示した。以下に課題の具体的な成果を記述する。</p>
<p>課題1</p> <p>① 地域レベルから POPs 等の地球規模に至る階層的な動態把握と曝露解析のための手法をGISデータ基盤上において開発する</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p><u>①-1：流域、地域から地球規模に至る階層的なGIS多媒体モデル群の開発</u></p> <p>本課題では、流域スケール、地域スケール、地球スケールの3階層GIS多媒体モデルを構築し、物質や排出源によって異なる影響領域をカバーする階層的モデルの構築と検証などを行った。</p> <p><u>①-1-1：地球規模モデルの開発：</u></p> <p>【グローバルG-CIEMSモデルの構築を行った】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地域規模G-CIEMSモデルから新たにデータを構築して地球規模モデルへの拡張を行った。 ○ グローバルモデルは2つの構造で構築した。まずG-CIEMSモデルの地球規模拡張として、全球大気を2.5度分解能で作成し、あわせて、地表部を主要河川による大流域でカバーすることとした。海域については2.5度分解能で同様に作成し、これらの多媒体過程を計算した。 ○ H21年度より、大気輸送過程の精度を向上するため、大気輸送の計算にCMAQ大気モデルを組み込んだ大気-多媒体統合モデルの開発に取り組んだ。これにより、例えば東アジア域などでのより高精度の動態予測を可能とした。 ○ 地球規模の大気-多媒体結合モデルとして新たにFATEモデルの構築を進め、また高解像度海洋輸送モデルと海洋基礎生産者への生物濃縮モデルのモデル組み込みを行った。 <p>【地域間の寄与や水銀動態などモデルを用いた動態解析を行った】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ PCBの全球動態と地域からの排出の全球汚染への寄与について検討し、例えばアジア域からの排出が北極域の汚染に対し一定の寄与を示すなどの推定を示した。 ○ ケーススタディーとして水銀の形態変化と多媒体動態の導入を行った。 <p><u>①-1-2：地域規模モデルの応用</u></p> <p>【ユーザーインターフェースの構築、公開と、河川水などの空間濃度分布に基づく曝露評価への応用を進めた】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 日本全国の地域規模モデルについては、広く一般に利用可能なユーザーインターフェースを作成し、モデル本体と合わせて公開を行った。 <p>このインターフェースと関連ツール類を用いることにより、例えば全国の河川を流れる汚染物質濃度の空間分布を求めることが出来た。全国の河川水中の濃度分布の推定結果の例と、全国の濃度分布からデータを作成した主な水道取水点160地点ほどに対応する河川水のみ</p>

	<p>を抽出した際の濃度分布の例を示した。</p> <p><u>①-2：小児の曝露ファクター、水生生物への移行など曝露評価を構成するサブモデルの研究</u> 環境媒体濃度に基づく曝露評価において必要となるファクターやサブモデルの内、小児の曝露ファクターとしては肺換気量を推定し、また、水環境中の水・底質・食物連鎖などを考慮する水生生物への移行モデルの検討を行った。</p> <p><u>①-2-1：小児の曝露ファクターの研究</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 小児の曝露特性のうち、特に幼児の肺換気量推定モデルの確立を目標に検討を行い、加速度計による小児の換気率推定モデルと保育所での観察と三次元加速度計を用いた調査（小児 100 人の加速度）から 1 日換気量を確定した。 ○ 幼児（5-6 歳児）の 1 日換気量の推定は、8.2 m³/day（0.41 m³/kg/day）となり、これは文献（Brochu 2007）と同等の値であった。体重当たりの 1 日換気量は成人（0.3 m³/kg/day）に比較して大きな値であった。 <p><u>①-2-2：水生生物への移行モデルの研究</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ PCBs と POPs の底質から魚体（マコガレイ）への移行モデルを構築し、これを用いて汚染底質（懸濁態粒子を含む）からの移行実験（28 日）の結果を解析した。PCB の 13 化合物（5-6 塩化物）の濃度増加のうち約 44%が、溶存態を介さない移行と推定された。 ○ 移行モデルのパラメータのうち、ゴカイを介した PCB 以降の腸管同化効率は 21%-56%の範囲で、オクタノール-水分配係数につれて増加することを明らかにした。 <p><u>アウトカム</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 地域規模 GIS モデルによる河川水中の汚染濃度分布の推定は、化審法監視化学物質等を選定する曝露評価において広く活用されており、また、水環境監視項目等の検討においても活用され始めている。 ○ 地球規模モデルは POPs や水銀に関する UNEP 等の諸活動の中で取り上げられ、日本としての国際協調への貢献としての役割を果たしている。 ○ 小児の曝露ファクターは今後の小児を対象とする曝露評価について重要な成果である。また、水生生物への移行モデルは今後の水環境中の汚染物質対策において考慮すべき因子について情報を与えた。
<p>課題 2</p> <p>② 多重的な曝露要因をバイオアッセイ手法と網羅的分析法によって把握する。</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p><u>②-1：全国河川水の <i>in vitro</i> バイオアッセイによるモニタリング</u></p> <p>河川水中の化学物質の曝露を、新たな系を含む様々な <i>in vitro</i> バイオアッセイを用いた全国河川水の環境モニタリングにより把握し、化学物質の曝露を種々の活性のスペクトルにより、総体として把握することを目指した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 採水手法、搬送手法、前処理法などの基礎的な検討を行い、広範な地域の河川水に対応する手法を確立し、全国 110 地点において発光細菌毒性（P.B. Tox.）、ヒト・エストロゲン受容体（hER）、メダカ・エストロゲン受容体（medER）、レチノイン酸受容体（RAR）、及びアрилヒドロカーボン受容体（AhR）を導入した酵母アッセイを用いる結合活性、生物発光細菌による遺伝毒性（umu（-S9）、umu（+S9））、および、全有機炭素量（TOC）、全窒素（TN）、全リン（TP）を測定した。

- 調査した河川を汚染源別に比較すると、調査した medER 結合活性と AhR 結合活性、hER と medER 結合活性、また RAR 結合活性など汚染源の特性を反映すると思われる活性成分の相違が観察された。

②-2 : 全国大気の *in vitro* バイオアッセイによるモニタリング

全国の大気中の化学物質の曝露を、新たな中揮発性物質の捕集系などを用いた様々な *in vitro* バイオアッセイと分析による環境モニタリングにより把握し、化学物質の曝露を種々の活性のスペクトルにより、総体として把握することを目指した。

- 大気成分のバイオアッセイ法として、これまで欠けていた中揮発性成分を測定するために必要な捕集基材、抽出手法及び抽出溶媒の比較を行ない、ポリウレタンフォーム (PUF) を用いて捕集し、アセトンでソックスレー抽出する方法を提示した。遺伝毒性については、Ames 法より高感度なマイクロサスペンション法 (変異原性) を適用した。また、発光 *umu* 試験の導入により高速化をはかり、処理可能検体数を従来法の 4 倍にできた。一方、発がんプロモーション活性については、半揮発性物質も含めて Bhas assay が適用可能であることを確認した。
- つくば市での 1 年間の連続観測より、大気粉じんの変異原性は冬季に高く、夏季には低くなる傾向がある一方、中揮発性物質においては、逆に夏季に高くなる傾向があり、両者を合算すると明らかな季節傾向が認められなかった。
- さらに、全国 11 ヶ所の大気の観測を実施したところ、変異原性物質のガス状-粉じん状間における分布は、どの地域でも夏季にはガス状の比率が高くなることを明らかとした。
- 大気中変異原の分布は関東地方で高い傾向が認められた。また、同試料中のベンツ[a]ピレン (BaP) 濃度から変異原性に対する寄与率を求めたところ、夏季よりも冬季に高い傾向が認められたものの、高い時でも 1%程度に過ぎなかった。
- 我が国における大気中の発がんプロモーション活性の地域差を初めて明らかにした。その結果、変異原性や遺伝毒性などのイニシエーション活性の分布とは異なることが認められた。

②-3 : *in vivo* バイオアッセイによるモニタリング

水環境における環境水や排水を影響の視点から把握するため、いくつかの *in vivo* 水生生物試験を用いた排水管理手法について、日本での適用可能性を検討した。

- 事業所排水、下水処理水、産廃処分水、農業排水を対象に、応用可能な短期慢性毒性試験 (short-term chronic test) として 7 日間ミジンコ繁殖毒性試験、魚類の胚・仔魚の孵化生存試験、藻類増殖阻害試験 (プレート法) などを検討した。
- 影響物質の同定 (TIE=Toxicity Identification and Evaluation) と削減評価 (Toxicity Reduction Evaluation) を試みた。

アウトカム

- 河川に流入する化学物質の曝露による総体の影響を評価する *in vitro* バイオアッセイ系は個別の化学物質規制を補完するものとして期待される。
- 有害大気汚染物質の優先取組物質である BaP について、大気試料への変異原性の寄与が小さいことが示されたこと、変異原性との挙動

	<p>の違いが示されたことは、本物質の環境指針値策定に重要なデータを提供するものと評価できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 大気抽出物中の化学分析やバイオアッセイ手法と、例えばトラジェクトリ解析を組み合わせることにより、有害化学物質の広域移動に関する知見や長距離輸送中の二次生成等のメカニズム研究への示唆が期待される。 ○ In vivo バイオアッセイによるモニタリングの成果は、成果は現在環境省で検討を始めた日本版 WET (Whole Effluent Toxicity) 導入の可能性を支持する基礎的および科学的なデータとなった。
<p>課題3</p> <p>③ 時期特異的な曝露に対する評価等特に着目すべき曝露評価手法と曝露に関連する社会的データ等を検討し、これらの総合解析による新たな曝露評価手法を開発する</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p><u>③-1：農薬および一般化学物質の排出推定手法の開発</u></p> <p><u>③-1-1：農薬類の時間変動を持つ排出推定モデルと動態予測</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 既存情報をベースに計算する農薬使用量および農薬成分の環境中への排出量の日間変動予測モデルを開発した。水田の除草剤に着目して、都道府県別農薬別の出荷量、農薬登録情報による各農薬の使用時期、都道府県別の田植期情報による農薬使用時期、農家からJAに提出された農薬使用記録の解析、さらに各農薬成分に関して水田中の農薬濃度の変動を既存のモデルで再現し、農薬の大気への排出量および河川への排出量の日間変動を予測することを可能にした。 ○ 既に公開した多媒体環境動態モデル G-CIEMS を用いて、全国の河川中農薬濃度および大気中濃度の日間変動を計算した。 ○ モデルの予測精度を検証するために、環境省が実施した農薬残留対策総合調査を利用し、最大濃度と最大濃度になった日の実測値と予測値を比較し予測精度を検証した。5種類の農薬成分（プレチラクロール、プロモブチド、メフェナセット、ダイムロン、ベンスルフロンメチル）の7観測地点（青森、秋田、茨城、埼玉、大阪、兵庫、高知）のうち解析可能な計18組の農薬原体-地点の組に関して、予測値と実測値を比較した。その結果、最大濃度の予測精度は16組が誤差10倍以内であり、ピーク日の予測精度は16組が誤差2週間以内であった。 ○ 2009年春から夏にかけて全国7箇所（茨城、宮城、群馬、栃木、静岡、鹿児島）において4月下旬から7月上旬にかけて1週間～2週間に1度程度の頻度で河川中残留農薬成分の実態調査を実施し、約30種類の農薬成分を定量した。高精度で定量できた農薬成分の内、出荷量が多い農薬成分11種（プレチラクロール、プロモブチド、メフェナセット、ダイムロン、ベンスルフロンメチル、ベクタゾン、ブタクロール、エスプロカルブ、シメトリン、イマゾスルフロン、クミルロン）に関して予測値と実測値とを比較した。最大濃度を比較した結果、77組（7地点×11農薬）中59組において誤差10倍以内、77組中31組において誤差3倍以内であった。ピーク日を比較した結果、75組中64組において誤差2週間以内、75組中47組において誤差1週間以内であった。上記11種類の農薬成分に関して日本全国の河川中の残留濃度変動予測計算を実施し、各河道（G-CIEMS内における平均約5kmの単位河川）における最大濃度を描画した最大濃度地図を作成した。 ○ リスク指標にハザード比（プレチラクロールの予測最大濃度/セレナストラム72時間EC50）を用いた生態リスクの地理分布状況をリスクマップとして示した。さらに、最大濃度とEC50という一対一の比較ではなく、より現実に近い生態リスク評価手法として、農薬濃度の時間変動下での生態影響を考慮できるDEB-toxモデルを用いて藻類の個体群動態の予測を行った。結果として、対象とし

	<p>た地点ではセレナストラムの個体数が 20 日間程度にわたりほぼゼロになることが予測された。</p> <p><u>③-1-2：一般化学物質の排出推定手法への検討</u></p> <p>○ 排出シナリオから一般化学物質の各媒体への排出量を予測することが可能な既存モデル MuSEM を利用して、複数産業や複数用途で使われる一般化学物質の排出予測計算を簡便に実施し、計算条件、計算結果をデータベースとして保持するツールを開発した。さらに、排出推定の結果を、既存の地理情報データを用いて地域配分することが可能である。本ツールはホームページにて公開中である。</p> <p><u>アウトカム</u></p> <p>○ 時空間変動を持つ農薬排出量の推定手法は、今後の農薬類のリスク解析において重要な基礎となり、現在すでに水環境中の監視項目の予備的検討に利用され始めている。</p> <p>○ 生態リスク評価手法は、単純に最大濃度を利用するリスク評価から、「農薬が藻類個体群に与える影響の時空間的な動態」を基にした定量的なリスク評価へ進めることにより、今後の農薬の影響評価の重要な基礎となると期待される。</p> <p>○ 排出シナリオツールは、今後化審法等の新規化学物質の予測的な曝露評価などで有効な推定手法として貢献することが期待される。</p>
--	---

(中核 P J 2 : 感受性要因に注目した化学物質の健康影響評価)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
PJ2 全体の体制	中核 PJ2 は、3つの課題、及びそれぞれを 3、5、および、2つの研究単位より開始したが、重点化が必要との指摘をうけたことから、20年度後半より体制を組みなおした。
<p>課題 1 :</p> <p>化学物質曝露により免疫過敏を誘導するメカニズムの研究</p> <p>○免疫過敏動物モデルを用いて、トル</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>1. 免疫過敏 :</p> <p>○免疫過敏モデルを探索するため、トルエンの曝露が免疫応答へ及ぼす影響をマウス系統間で比較した。免疫応答系は、大きく自然免疫と獲得免疫に大別でき、マクロファージや多形核白血球などの貪食細胞による外来微生物の排除機能は自然免疫、T細胞の分化・増殖とB細胞の分化を介した抗原特異的な抗体産生機能は獲得免疫とされている。C3H/HeN、BALB/c、C57BL/10の3系統のマウスに、0ppm、5ppm、50ppm、500ppmの濃度でトルエンを3週間、6週間の全身曝露した後、獲得免疫の成立に重要な過程である脾臓内での未熟なT細胞の活性化とTh1、Th2、Treg細胞への分化にかかわる転写因子遺伝子、サイトカイン遺伝子の発現について検索した。その結果、T細胞の活性化</p>

エン低濃度曝露の影響メカニズムを解析する。
○低濃度曝露に鋭敏な指標を提示する。

を示唆する転写因子 (NF- κ B 及び STAT5) の活性化が認められた。

○卵白アルブミン (OVA) 感作によりアレルギーを引き起こしたマウス (アレルギーモデル) へのトルエンの影響をマウス系統間で比較したところ、C3H マウスでは、50 ppm 曝露で IL-4, IL-12、および転写因子の遺伝子発現の有意な上昇がみられた。BALB/c マウスでは、500 ppm 曝露で IL-4, IFN- γ , Foxp3 遺伝子発現の上昇がみられたが、C57BL/10 マウスでは変動はみられなかった。低濃度トルエン曝露に対する感受性の顕著な差が、マウスでの系統間で認められた。

○低濃度の曝露に対する免疫応答性の鋭敏な指標を開発し検証するために、トルエン曝露に対して感受性の高いC3H/HeNマウスで、蛋白、細胞、組織レベルでのどのような応答が見られるか検討した。肺胞洗浄液 (BALF) 中に浸潤した炎症性細胞の総数は、50 ppm曝露で上昇したが、特定の炎症性細胞の増加はみられなかった。肺のサイトカイン産生をBio Plexサスペンションアレイシステムで測定すると、IL-4, IL-5 が有意に増加した。脾臓におけるリンパ球亜集団の違いをFACSで解析したところ、アレルギーモデルに3週間曝露のトルエンを曝露すると、CD19⁺の増加、及びCD4⁺の低下が認められた。全身反応の指標である血漿中の抗体価は、トルエン曝露のみでは3、6週間曝露とも対照群との間に差はみられなかったが、アレルギーモデルへのトルエン曝露では、50 ppm曝露で総IgG1 抗体価の増加が認められた。

○トルエンを曝露した C3H/HeN マウスでは、遺伝子レベルのみならず、肺や脾臓における蛋白、細胞、組織レベルでも免疫応答のかく乱が認められた。

○免疫過敏のメカニズム解析のため、病原体を感知する受容体 ‘トール様受容体’ の機能を失ったマウス ; C3H/HeJ と正常の C3H/HeN マウスへのトルエン曝露の影響を肺での炎症反応を中心に比較した結果、炎症の誘導に関与する TNF- α 遺伝子の発現抑制、炎症を抑える TGF- β や IL-10 遺伝子の発現増強が HeN マウスで見られた。一方、HeJ マウスでは、そのような炎症にかかわる遺伝子の変化はみられず、 ‘トール様受容体’ の存在がトルエンへの高感受性を決める遺伝的素因の一つであることが示された。

○免疫過敏誘導とトルエン曝露の影響について免疫制御に関わる転写因子 NF- κ B サブユニット活性についてタンパクレベルで解明した。

2. 神経-免疫クロストーク :

○BALB/c 野生型 (WT) マウスと 無T細胞マウス (ヌードマウス) を比較して、低濃度のトルエンを曝露したマウス海馬における T 細胞の役割を検討した。その結果、BALB/c WT マウスへのトルエン曝露は、海馬における記憶関連遺伝子の発現を増強したが、ヌードマウスへの曝露では、その反応がみられなかった。

○同じ実験条件で、モリス水迷路を用いた空間学習への影響の違いについて検討したところ、ヌードマウスでは学習効果の障害が認められた。マウス個体の免疫応答を制御する組織適合遺伝子H-2 の違うコンジェニックマウスであるC57BL/10 (H-2^b) とB10.BR/Sg (H-2^k) の間で、トルエン曝露の影響を比較検討した結果、神経伝達物質レベルで異なる変動が認められたことから、トルエンの海馬への影響に免疫反応に関わるT細胞やH-2 などが関与していることが示唆された。

○C3H/HeN, BALB/c and C57BL/10マウスにトルエンを曝露し、海馬における記憶関連遺伝子へのトルエン曝露の影響をマウス系統間で比較検討した。その結果、C3H/HeNマウスは他の系統のマウスよりトルエン曝露の影響をうけやすく、海馬におけるNMDA受容体、ドーパミン受容体、核内転写因子のCREB1、CREB 2 の遺伝子発現が有意に増加した。C3H/HeNマウスの脾臓でトルエン曝露により免疫関連遺伝子が変動したのと同様に、海馬において記憶関連遺伝子が変動したことは、この系統 (C3H/HeNマウス) がトルエン曝露に対して神経-免疫

	<p>クロストークを介した影響を受けやすいことを示唆するものである。</p> <p>アウトカム</p> <p>低濃度のVOC曝露が免疫系や神経系などに影響を及ぼすメカニズムを解明にすることで、従来は化学物質の健康リスク評価のエンドポイントとして採用されてこなかったアレルギー反応や神経症状などの有害性を新たに低濃度曝露影響のエンドポイントとして低濃度曝露影響のリスクを評価することの妥当性を提示できる。また、高感受性を規定する遺伝的素因とそのバイオマーカーを同定することで、化学物質に対して高感受性の集団の特定が可能になり、高感受性集団への曝露を予め避ける化学物質管理が可能になる。</p>
<p>課題2：</p> <p>発達段階における化学物質に対する感受性期に関する研究</p> <p>○発達期における臨界期を特定し作用機構を解明する。</p> <p>○発達期影響の把握に有効な動物モデルを開発し検証する。</p>	<p>アウトプット</p> <p>1. 脳形成：</p> <p>○脳は胎児や小児などの発達途上に性分化する。脳の性分化とは、男女（雌雄）間で構造的あるいは機能的に異なる脳が形成されることであり、精巣から分泌されるテストステロンの作用が脳の男性（雄性）化において重要である。室内環境および作業環境における空気汚染物質の一つであるトルエンの曝露は成人男性や成熟雄ラットの血中テストステロン濃度を低下させることが報告されていた。そこで、妊娠ラットを用いて、脳の性分化の臨界期に含まれる胎生後期の胎仔血中テストステロン濃度に及ぼすトルエン曝露の影響を検討した。その結果、妊娠15日から19日の5日間、トルエン（0, 0.09, 0.9, 9 ppm、90 min/day）を鼻部吸入曝露したラットの雄胎仔の胎生19日における血中テストステロン濃度の用量依存的な低下が判明した。そして、トルエン曝露によるテストステロン濃度低下の原因を探るため、胎生19日の精巣におけるステロイド産生酵素の発現を調べた結果、テストステロン産生中間体の生合成を触媒する3β-HSDのメッセンジャーRNA およびタンパク質の発現量がトルエン曝露によって低下することが分かった。トルエン曝露による発達雄個体のテストステロン濃度の低下は脳の雄性化に影響を及ぼすと考えられた。</p> <p>○ラットの脳の性分化の臨界期にあたる周生期にトルエンを曝露した雌雄個体の脳への影響を検証した。その結果、発達期のトルエン曝露の影響には性差があり、雄ラットの脳の性分化に影響を及ぼし、その影響は成熟期に至っても顕在すると考えられた。</p> <p>○発達期の性的二型核（SDN-POA）では、アポトーシス（死滅）細胞数に性差があるため、このアポトーシスがSDN-POAの性差形成に重要であると考えられている。上記の条件で、胎生17日から出生6日にトルエンを曝露した生後7日目の雄仔ラットのSDN-POAでは、対照群よりもアポトーシスによって死滅する細胞数が多くなっていた。このことから、トルエン曝露による雄個体のSDN-POAの体積減少の直接的な原因は、新生期のアポトーシス細胞数の増加にあると考えられた。さらに、同一条件でトルエンを曝露した母親ラットのSDN-POAにはアポトーシス細胞が観察されなかった。このことから、アポトーシス細胞死を誘導するトルエン曝露の影響には時期特異性があり、未成熟な発達個体は成熟個体に比べてトルエン曝露に対する感受性がより高いと考えられた。</p> <p>2. 核内受容体：</p> <p>○本研究では、化学物質の高感受性期の乳幼児や子供への健康影響のリスク評価に資する知見を得ること目的として、毒性発現における核内受容体（ダイオキシン受容体；AhR, ビタミンD受容体：VDR）の役割に着目して研究を行った。</p> <p>（1）授乳期のダイオキシン曝露が活性型ビタミンD₃合成とカルシウム（Ca）の再吸収に影響するか否か、生育段階の異なるマウスを用いて解析した。その結果、授乳期のダイオキシン類曝露がAh受容体（AhR）依存的に腎臓遠位尿細管を特異的に障害し、成長後のカルシウ</p>

	<p>ムの再吸収と輸送の阻害やビタミンDの代謝を特異的にかく乱することを分子生物学的に明らかにした。</p> <p>(2) 乳幼児期のダイオキシン曝露が骨障害をもたらすことを見出し、そのメカニズムの解明を行った。ダイオキシンを曝露すると骨カルシウム量、骨密度共に有意に低下し、骨形成の有力なマーカーであるアルカリフォスファターゼとオステオカルシンの遺伝子発現をダイオキシンが著しく抑制することが示された。骨形成途上の組織(類骨)の特異的染色により、ダイオキシン曝露は海綿骨及び皮質骨で類骨の異常増殖をもたらすこと、および、骨の組織学的形態計測から、ダイオキシンによる骨の石灰化阻害が明らかとなった。これらの結果をまとめると、授乳期ダイオキシン曝露が血中の活性型ビタミンDの恒常的な高濃度をもたらし、この高ビタミンD血症が骨芽細胞の活性抑制と骨の灰骨の石灰化を阻害するというダイオキシンの骨毒性発現の本態を明らかにした。</p> <p>(3) ダイオキシンは生後1週間という短いスパンの中でマウスの腎臓の形態形成および機能毒性を引き起こすが、これは種々の細胞周期関連遺伝子、サイトカイン、増殖因子の発現の劇的変化が原因であることを分子生物学的および免疫組織学的に明らかにした。例えば、ダイオキシンはサイクリン依存性キナーゼ阻害遺伝子(P57kip2)をAhR依存的に発現誘導した。</p> <p>3. その他:</p> <p>○胎児期、あるいは乳児期曝露によるフタル酸ジエチルヘキシル(DEHP)のアトピー性皮膚炎への影響評価では、乳児期曝露を受けた雄の仔マウスにおいて、有意な皮膚炎症状の増悪が観察された。一方、雌の仔マウスでは、顕著な影響は認めなかった。</p> <p>○ロテノン曝露によるラット多動性障害は生後5日齢が曝露の臨界期であることが示された。また、ロテノンによる行動異常の分子機構を明らかにするためにDNAアレイ法を実施した。</p> <p>○血管形成・新生阻害作用のあることが知られているサリドマイド等を陽性対照として、ペルメトリンの胎仔期の血管形成とその臨界期について検索した結果、陽性対照のサリドマイド及び被験物質であるペルメトリンとも、胎生5日目の雄において、右前脳動脈、前交通動脈の異常分枝の発生が有意に高く、曝露の臨界期であることが示唆された。また、ペルメトリンの量反応関係を妊娠10日目の母親で調べ、2 mg/kg 投与群でも異常な血管分枝が認められた。これらの結果より、サリドマイド及びペルメトリンは、妊娠初期の影響が血管形成・新生に影響を及ぼすものと示唆され、成熟後の自発・探索行動にも影響を及ぼす可能性が示唆された。</p> <p><u>アウトカム</u></p> <p>どのような化学物質が胎生期から新生期にあたる発達期のどの時期に神経系や受容体を介した内分泌作用に影響を及ぼすかを特定し、その有害性発現メカニズムを解明することで、様々な化学物質の作用に脆弱な小児の発達段階を明らかに出来る。また、小児期に摂取や接触を避けるべき化学物質の同定が可能になる。これらの知見から、小児を対象にした化学物質管理手法の開発の必要性が明確に示される。</p>
<p>課題3: 感染要因と化学物質との複合的要因の影響評価に関する研究</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>1. 免疫応答と発達期影響:</p> <p>○胎仔期から乳仔期における低濃度トルエン4週間吸入曝露(5 ppm, 50 ppm; 6h/日, 5日/週)、及びペプチドグリカン(PGN)刺激(経気道曝露および腹腔内投与)が獲得免疫系のTh1/Th2バランス形成に及ぼす影響を検討した。その結果、トルエン曝露はTh1反応を抑えてアレルギーに関係するTh2反応を高める傾向を示した。そこで、低濃度トルエンをマウス胎仔期、新生仔期、乳仔期にそれぞれ1</p>

<p>○アレルギー増悪因子の評価モデルを確立する。</p> <p>○複合要因による感受性を評価する。</p>	<p>週間吸入曝露し、トルエン曝露時期による違いについて検討したところ、乳仔期曝露では胎仔期や新生仔期での曝露に比べて T 細胞分化に関わる転写因子が顕著に抑制され、マウス乳仔期はトルエン曝露による T 細胞分化への影響がより鋭敏に現れる時期である可能性が示唆された。</p> <p>○マウス乳仔期でのトルエン吸入曝露と PGN 刺激によるマウス自然免疫系への影響について検討した。その結果、3 週齢時および 6 週齢時での肺および脾臓ホモジネート上清中の炎症に関わるケモカイン CCL2, CCL3, 感染防御に関わる IFN-γ 産生レベルは低値で差はみられなかった。</p> <p>2. その他：</p> <p>○<i>in vivo</i> スクリーニングモデルとして確立したアトピー性皮膚炎モデルを用いて、若齢期曝露による環境化学物質の影響評価では、DINP、BPA、BaP、NQ、PQ、ST 等、複数の環境化学物質物質はアレルギー増悪影響を示した。</p> <p><u>アウトカム</u> 確立したアレルギー反応の簡易・迅速なスクリーニング法を活用することで、アレルギー・免疫疾患を増悪する化学物質の同定が可能になる。さらに、新たな対策をとるべき化学物質を提示することで、国民の安全・安心の確保に貢献できる。</p>
--	--

(中核 P J 3 : 環境中におけるナノ粒子等の体内動態と健康影響評価)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
<p>自動車排ガス中に含まれる環境ナノ粒子、ナノマテリアル、アスベストの安全性評価のための生体影響試験を実施する。</p>	<p>本中核研究プロジェクトでは、粒子状物質の中でも超微小サイズ (50-100nm 以下) の生体影響を調べることにより、大気環境中における 2.5 ミクロン以下の粒子状物質 (いわゆる PM2.5) の中でナノ粒子分画がそのような作用を示すか、あるいは最近ナノサイズであるがゆえに組織透過性が高く健康影響を及ぼすのではないかと危惧されているナノマテリアル、さらには構造上ナノファイバーであるアスベストの 3 系統のナノ粒子健康リスクについて研究を進めてきた。特に、呼吸器から侵入する粒子状物質を主たる対象としているために、小動物実験用の吸入曝露装置の作製、ならびに粒子状物質の発生方法と粒子状物質の特性評価も含め、単に毒性学的研究にとどまることなく、総合的な環境健康影響研究を進めた。</p>
<p>課題 1 環境ナノ粒子の生体影響に関する研究: : ディーゼルエンジンか</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>課題 1 環境ナノ粒子の生体影響に関する研究:</p> <p>○環境ナノ粒子の生体影響に関する研究 では、アイドリング時におけるディーゼルエンジンから排出する環境ナノ粒子の主成分は軽油由来であり重量の約 55%を占めていること、有機性炭素の割合が高いことを明らかにした。実際の大気環境中で測定されるナノ粒子の成分</p>

<p>ら排出する環境ナノ粒子の特性評価と急性・亜急性の影響を調べる。また、慢性吸入実験を開始する。</p>	<p>分析を行い、小動物を用いた吸入曝露チャンバー内のナノ粒子との比較を行った。</p> <p>○ナノ粒子を多く含むディーゼル排気ガスの全成分曝露実験（DEP-NP、ナノ粒子を含む全粒子+ガス成分）と、除粒子曝露実験（fDEP-NP）のラットを使用して、心電図解析及び心拍変動などの循環器系の生体指標について解析した。清浄空気曝露群と比較し、異常心電図が、3か月間の亜慢性曝露で有意に増加し、心拍変動も起こすことを明らかにした。</p> <p>○慢性曝露実験の観点から、マウスを使用して、ラットと同様な曝露を行い、循環器系の指標について比較検討したが、マウスの3か月曝露では、有意な異常心電図の増加は観察されなかったが、心拍変動解析では、自律神経の副交感神経系の優位が示され、自律神経を介した循環器影響が示唆された。したがって、ナノ粒子DE曝露が循環器に対して、直接的あるいは神経系を介した影響を示すことが明らかとなった。</p> <p>○ディーゼル排気ガス由来環境ナノ粒子の肺腺腫高発症マウス（A/J系）への慢性吸入曝露（最長1年8ヶ月、清浄空気、低濃度、高濃度、除粒子排気ガス）を実施し、呼吸器免疫系への影響を中心に血液、肺、脾臓などを採取して炎症性サイトカイン・ケモカインの産生やmRNAの発現等について調査した。その結果、高濃度曝露群のマウス肺において、サイトカイン・ケモカイン mRNA 発現の増加傾向や酸化ストレスマーカーであるHO-1 の mRNA 発現の増加が観察された。</p> <p>○また、組織変化、炎症関与遺伝子・蛋白の発現レベルの解析した結果、ナノ粒子曝露で肺腺腫が有意に上昇し、心臓疾患マーカーの心筋型クレアチニンキナーゼの変化、および酸化ストレス応答に関する遺伝子発現が上昇した。また、都心部における環境ナノ粒子は吸入曝露実験のナノ粒子とほぼ同じであることを明らかにした。</p> <p><u>アウトカム</u></p> <p>本課題は、大気微小粒子状物質の環境基準設定に関して重要な意義付けを持っており、PM2.5 の中でも影響が明らかでなかった超微小粒子成分の健康影響評価を可能とした。今後、最終目標である自動車排気ガス由来環境ナノ粒子の慢性影響評価に向けてさらなる期待が寄せられている。また、本サブ課題は、5人の専門家チームからなる外部評価を毎年行い、適宜、研究の方向性に関する意見を集約した形で進められた。</p>
<p>課題2 ナノマテリアルの健康リスク評価に関する研究:細胞を用いてナノマテリアルの安全性を評価し、また、吸入実験も含めたin vivo実験を行う。</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>課題2 ナノマテリアルの健康リスク評価に関する研究:</p> <p>○カーボンナノチューブの細胞に対する影響としてマクロファージを用いた細胞障害性試験、気管支上皮細胞を用いた実験を行った。</p> <p>○<i>In vivo</i> 実験として、吸入チャンバーを作製してカーボンナノチューブの毒性を評価するシステムを作製するとともに、マウスへの胸腔内投与実験の解析を進めた。カーボンナノチューブの吸入曝露装置を作製し、また、繊維状粒子の分散性を高めたエアロゾル化に成功した。</p> <p>○カーボンナノチューブの鼻部吸入曝露実験の為に、粒子の発生条件の検討およびその物理的、化学的キャラクタリゼーションを行った。サイクロンを振動させることにより、凝集しやすい繊維状のナノ粒子を分散させるとともに吸入性の粒子（空力学径10ミクロン以下）のみを飛散させることが可能となった。</p>

	<p>○また、気管内投与したナノ粒子が、直接、あるいは炎症性細胞に取り込まれた後に肺組織から他の臓器へ一部移行していることを標識粒子を用いて明らかにした。</p> <p>○マクロファージが、カーボンナノチューブと強く反応し、細胞膜を強く傷害することを明らかにした。</p> <p><u>アウトカム</u></p> <p>本課題は、工業用ナノマテリアルの安全性評価基準に関して重要な意義付けを持っており、特に実験遂行上、困難を伴う吸入曝露試験方法を可能とした。今後、OECDのWorking Party on NanoMaterials や、ISO/TC229のWG3における安全性テストガイドライン策定において、重要な資料を提供できるものと期待される。</p>
<p>課題3 アスベストの呼吸器内動態と毒性に関する研究:細胞ならびに動物を用いた毒性実験を進め、溶融アスベストの安全性評価を行う。</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>課題3 アスベストの呼吸器内動態と毒性に関する研究:</p> <p>○本サブ課題は、循環型社会研究プログラムと一部連携して研究を進め、溶融アスベストの表面活性と <i>in vitro</i> 毒性に関して、マクロファージ、中皮細胞を用いて調べた。</p> <p>○また、溶融アスベストの <i>in vivo</i> 毒性研究として、熱処理後のサンプルをマウスに気管内、あるいは腹腔内に投与して短期・長期試験を進めた。</p> <p>○アモサイトとトレモライト標準物の熱処理過程に伴う毒性変化を検討するために、培養細胞を用いた <i>in vitro</i> 毒性試験を行った。アモサイトとトレモライト熱処理物はそれぞれ1100℃以上、1200℃以上の熱処理で <i>in vitro</i> 細胞障害性が顕著に減少することを認めた。</p> <p>○クロシドライトやクリソタイルとその熱処理試料を腹腔内投与あるいは気管内投与して炎症反応を調べる <i>in vivo</i> の毒性試験では、<i>in vitro</i> 細胞障害性試験の場合と同様に800℃熱処理物の投与で顕著に炎症誘導能が減弱することを示した。</p> <p><u>アウトカム</u></p> <p>アスベストが天然由来のナノファイバーであることの認識から、新規ナノ粒子の陽性コントロールサンプルとしても有用であることを示してきた。段階的に溶融したアスベストサンプルの <i>in vitro</i> と <i>in vivo</i> における毒性評価手法を確立するとともに、アスベストの廃棄における安全性評価のための基礎的資料を提供した。アスベストの無害化溶融処理においては、生焼け状態の問題なども指摘されているが、これまでの試験結果において、完全溶融に至らないまでも溶融処理において急性毒性が極度に低下する温度があることを示した。また、国内における石綿健康影響検討委員会にも参画している。</p>

(中核PJ4：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)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>生物多様性と生態系機能の視点に基づいた生態影響評価手法の開発を行い、個別の事例で生態影響評価を提示する。</p>	<p><u>アウトプット</u></p> <p>○開発庄に晒される東京湾と人の営みが縮小している兵庫県南西部のため池地域について野外調査を実施し、各々有用底棲魚介類個体群の再生産の阻害と生物多様性の減少をエンドポイントとして生態影響評価を実施した。シャコでは貧酸素、マコガレイでは水温や貧酸素が主たるリスク因子と推定された。ため池の生物多様性の低下の主因は富栄養化、護岸率（市街化率）およびブルーギルの侵入であることが明らかにされた。</p> <p>○喫緊の社会的問題となっている意図的侵入種（外国産クワガタ、セイヨウオオマルハナバチ）について、在来種との交雑リスクを示した。カエルの新興感染症のカエルツボカビについては分子系統遺伝学的手法によりアジア起源説を提示した。非意図的随伴種（アルゼンチンアリ、カワヒバリガイ）の防除手法のリスク評価を進めた。</p> <p>○生物多様性に基づいた評価では、淡水生態系をモデルに生物多様性統合指標を開発した。生態系機能（例えば、物質循環効率など）に基づいた評価では数理モデルで新しい枠組みを構築し、それをモデル生態系にて検証し、既存の生物モニタリングデータを用いて評価した。生物多様性と生態系機能に基づいた新しい環境影響評価手法の枠組みを提示した。</p> <p><u>成果のアウトカムと活用</u></p> <p>○東京湾の研究成果は、底層溶存酸素（DO）の新たな環境基準としての設定において中央環境審議会での審議に活用されることが期待される。</p> <p>○外国産クワガタの交雑リスク評価をもって、環境省は外国産クワガタムシ逃亡防止のキャンペーンを展開し、一般への普及啓発に貢献した。</p> <p>○セイヨウオオマルハナバチと在来種の交雑リスク評価をもって、環境省はセイヨウオオマルハナバチを外来生物法・特定外来生物に指定するとともに、防除事業に乗り出した。</p> <p>○爬虫類・両生類・昆虫類など、現行法上、検疫規制のない生物群の輸入による病原体生物侵入のリスクを明らかとし、新しい検疫システムの必要性を提言した。特にカエルツボカビ症の侵入をいち早く検出し、PCR検査体制を構築したことにより、流通段階における感染状況の把握を可能とした。防除ネットワークを通じて、アジア地域初のカエルツボカビ症の侵入を確認し、緊急検査体制を構築した。</p> <p>○ため池で開発した生物多様性統合評価手法は、今後、広域での評価手法の検討を経て、生物多様性条約「愛知目標」にある生物多様性保全の達成度評価に貢献できる。</p>

<p>課題 1-1) 東京湾における底棲魚介類の個体群動態の解明と生態影響評価</p>	<p><u>底棲魚介類群集並びに水質項目の時空間解析</u></p> <p>2005年2・5・8・10月の20定点調査データを用いた底棲魚介類群集並びに水質項目の時空間解析により、下記の結果が得られた:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 水質項目の多変量解析により、夏に鉛直方向の成層が発達し、湾北部において貧酸素水塊が形成されたことが示された。 ○ 底棲魚介類の種数、個体数、重量、多様度指数のクラスター解析の結果、個体数・種組成の違いから、大きく見て湾の南北で異なるグループが形成されていることが明らかになった。 ○ 生物の空間分布に影響する環境因子について、統計解析を行ったところ、底層DO濃度が底棲魚介類の空間分布に大きく寄与していることが判明した。また、底棲魚介類が存在する底層DO濃度の閾値は1~2 ml L⁻¹と推定された。
<p>1. 底棲魚介類群集の空間分布特性とそれを規定する環境因子を解明する。</p> <p>2. シャコ個体群の増殖阻害因子を解明する。</p>	<p><u>東京湾におけるシャコ個体群の増殖阻害因子の解明</u></p> <p>東京湾のシャコ個体群が1980年代以降低水準のまま推移している原因を解明するため、東京湾産シャコ <i>Oratosquilla oratoria</i> について、親シャコの性成熟、交尾、産卵から浮遊幼生、着底後の稚シャコに至る再生産過程を解析し、次の結果を得た:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 生殖器官の組織学的観察及び受精嚢内に精子を有する交尾後の雌の出現頻度の経月変化を調べた結果、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。成体の性成熟と交尾には特段の異常が観察されなかった。 ○ 加入の成否を規定する生活史段階を明らかにするために、初期生活史に関する野外調査を実施し、産卵量指数、幼生及び稚シャコの個体数密度を算出して経年変化を調べた結果、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。 ○ 稚シャコの着底と貧酸素水塊の出現に関する時系列データから、貧酸素水塊が稚シャコの着底を制限し、着底量の多寡に影響した可能性がある。春~夏産卵のシャコには貧酸素水塊が重要なリスク因子であると示唆されたため、これまでの調査・解析結果と既往文献情報に基づき、貧酸素水塊が幼生と稚シャコの生残と分布に及ぼすモデルシミュレーション解析を実施した。
<p>3. マコガレイ個体群の増殖阻害因子を解明する。</p>	<p><u>東京湾におけるマコガレイ個体群の増殖阻害因子の解明</u></p> <p>マコガレイ <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> を対象に、2002~2007年の現地調査で得られた個体を用い、増殖阻害因子の特定に取り組んだ:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 従来の耳石観察法(表面観察法)より精度の高い横断切片観察法を用い年齢査定を行ったところ、雄より雌で成長がよく、寿命も長いと考えられた。また、資源が低水準の2000年代は、80年代の資源高水準期より概ね成長がよくなった。 ○ 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。また、摂餌生態の指標が80年代とは顕著に変化し、当時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、80~90年代にかけての生物相の急激な変化を反映しているとみられた。 ○ 近年の雌雄における性成熟周期は80年代のそれと概ね同等で変化がなかったが、成熟開始年齢に若干の遅延が認められた。 ○ 産卵量、仔魚及び稚魚密度の時空間分布データ(2006年~2009年)を解析した結果、冬産卵のマコガレイでは胚発生~孵化仔魚まで

<p>4. ハタタテヌメリの生活史特性の変化と環境因子との関係を解明する。</p> <p>5. 貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験装置を開発する。</p>	<p>の生残の寄与が大きく、冬期の水温とプランクトン密度、及び夏期の貧酸素水塊が当歳の加入量に影響する可能性が示唆された。摂餌量の減少にもかかわらず、2歳魚以上で成長が良化し、一方、性成熟に遅延傾向が認められることは奇異である。近年の東京湾におけるマコガレイの生態にこうした現象が観察される生理学的機構を、環境変化の影響なども加味して、今後さらに研究する必要がある。</p> <p><u>東京湾におけるハタタテヌメリの生活史特性の変化と環境因子との関係解析</u> 2006～2007年の現地調査で得られた水・底質、ベントス及びハタタテヌメリ <i>Callionymus valenciennei</i> の時空間データを用い、貧酸素水塊の出現・分布との関係を解析した：</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 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が、貧酸素水塊が継続的に発生した湾奥～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ることが判明した。 ○ ハタタテヌメリの湾内における空間分布から、貧酸素水塊がその分布を制限し、大量斃死をもたらしている可能性も示唆された。 ○ 低資源量の近年のハタタテヌメリでは、資源量の高水準期と比べ、平均体長及び初回成熟体長の低下が生じていることを明らかにした。 ○ 春～秋産卵のハタタテヌメリに夏以前の孵化個体の着底がみられない現象は、貧酸素水塊がその着底を妨げているためか、春の産卵資源量が著しく低いと推察された。 ○ ハタタテヌメリについても、マコガレイと同様に、耳石による年齢査定法(横断切片法)を確立した。今後、年齢と成長、性成熟の特性を再解析し、近年の魚体の小型化、成熟体長の低下、成熟開始時期の早まりなどを改めて確認し、食性解析も進めて、上述の生態変化の背景を探る。 <p><u>貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験装置の開発</u> ○ ハタタテヌメリ稚魚及びマコガレイ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。一方、貧酸素 - 有害物質流水式連続曝露試験装置を改良した。マコガレイ1歳魚の貧酸素耐性(致死レベル)と3歳魚の性成熟に対する低酸素水のパルス曝露の影響を予備的に調べた。</p>
<p>課題1-2) 淡水生態系における環境リスク要因と生態系影響評価</p> <p>豊かな里地・里山、多数のため池を有する兵庫県南西部</p>	<p><u>外来キーストーン種の生態系影響評価</u> ○ 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。</p> <p>○ さらに、コイとアメリカザリガニの導入による隔離水界実験を実施した結果、コイが植物プランクトンや懸濁物の増加を介した透明度の低下により間接的に沈水植物を減少させるのに対し、アメリカザリガニは沈水植物を直接切断することで、生態系のカタストロフィッ</p>

をモデル流域として、ため池の生物多様性を減少させている要因を特定し、広域で適用可能な生物多様性評価手法を開発する。

ク・レジームシフトを引き起こすことが示された。

野外調査（兵庫県）による生物多様性のリスク要因の検討

○生物多様性と生態系機能の基盤となる水生植物種に注目し、種多様度に影響する空間スケールと環境要因（土地利用、面積、水深）の解明を行った。種多様度に影響する空間スケールは、沈水植物は10-100m、浮葉植物は500m、そして抽水植物は1000mと水に依存する度合いが高い生活型ほど小さかった。ため池の周囲の土地利用は市街地が負の効果を、淡水域面積（他のため池の存在など）が正の効果を示した。ため池面積については0.6ha前後が種数のピークを示した。

○ため池約300池の水生植物の調査データから池の植生を類型化したところ、4つの群集タイプに分かれた。各群集タイプの成立を説明する変数（TWI:Topographic Wetness Index、池面積、護岸率、池周辺の土地利用率）を一般化線形モデルで解析したところ、1. 山間の谷池、2. 平地の皿池、3. その中間の池といった地形要素が群集タイプを規定していることがわかった。4番目はヒシの純群落であった。そのため、水生植物種の保全は、すべてのタイプに着目して実施する必要がある。

○兵庫県南西部のため池では、ブルーギルとアメリカザリガニの個体密度が多く、これら2種は排他的な分布パターンを示すことがわかった。池の水管理の違いがこれらの侵略的外来種の分布に及ぼす影響をみたところ、ブルーギルは、ダム水を主要な水源としている池で出現する一方で、アメリカザリガニは、池干しが実施されている池において出現することが示された。池干しは一時的には外来魚の駆除に効果的であることから、行政の施策にも取り入れられているが、ブルーギルの出現は池干しの有無によっては説明されなかった。このことから、ブルーギルは、池干しが実施される冬の間だけ姿を消すものの、ダム水から再供給されることにより、池干しの効果が打消しされている可能性がある。一方、アメリカザリガニが池干しする池で出現するのは、冬の間ブルーギルが不在になるためと推察された。

○兵庫県のため池の調査データに基づき、在来の動物群集に対する計52項目の環境因子の影響を解析し、動物群集の種多様度は、外来魚の侵入、殺虫剤（BPMC）、コンクリート護岸の環境ストレスを受けることが示された。

ため池の生物多様性評価手法の開発

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

○次に、広域に点在する数多くのため池の生物多様性評価を実施するために、リモートセンシングなどで測定可能な環境因子から生物多様性を評価することが可能かどうかを検討した。その結果、夏のクロロフィルa量と市街化率を用いるモデルが、夏のクロロフィルa量、護岸率、ブルーギルの量を用いた先のベストモデルの80%を説明することがわかった。

	<p><u>ため池の生物多様性が生態系機能に与える効果 (数理モデル)</u></p> <p>○ため池を対象とした数理モデル研究により、水生植物群落の多様性がアオコの抑制に効果的であり、淡水生態系の生態系機能を高める役割を担っている可能性を示した。本モデルの検証を兵庫県ため池の野外調査データを用いて行った結果、モデルと観測結果との間に整合性が確認された。</p>
<p>課題 2) 侵入種生態リスク評価手法の開発に関する研究外来生物法において生態リスク評価が急がれる種を選定し、生態学的特性データ収集するとともに実験検証に基づき、進化生物学的概念を導入した生態リスク評価を行う。</p>	<p><u>意図的外来種の生態リスク評価</u></p> <p>【マルハナバチ】</p> <p>○ 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。</p> <p>○ 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。</p> <p>○ 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。</p> <p>○ 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。</p> <p>○ 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。</p> <p>【クワガタムシ】</p> <p>○ 外国産クワガタムシについて、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。</p> <p>○ 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。</p> <p><u>非意図的外来種の生態リスク評価</u></p> <p>【ダニ類】</p> <p>○ 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。</p> <p>○ 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。</p> <p>【カエルツボカビ】</p> <p>○ 独自に開発した高感度 PCR-Sequence 分析により日本全国のカエル野生個体 (5, 500 検体) および施設飼育個体 (500 検体) より皮膚</p>

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、施設内および野外とも、外来両生類における感染率が高く、在来種の感染率は極めて低いことが明らかとなった。ただし、オオサンショウウオやシリケンイモリ等、日本の特定地域に固有な両生類が 50%以上の高い感染率を示した。

○国内で発見された菌の ITS-DNA ハプロタイプを分析した結果 50 ものハプロタイプ系統が確認された。特に、オオサンショウウオやシリケンイモリから高い確率で、特異的なカエルツボカビ系統が発見され、従来のカエルツボカビ-アフリカツメガエル起源説を覆すアジア起源説の国際誌 *Molecular Ecology* 発表に至った。

○パナマ、オーストラリ、アメリカ合衆国のカエルツボカビサンプルを収集し、ITS-DNA ハプロタイプを解析した結果、海外では感染率が 20-30%と高率であるにも拘らず、1-3 タイプしか発見されず、極めて遺伝的多様性が低いことが示された。これらのデータは上記のカエルツボカビ-アジア起源説を支持するものと考えられた。

○ 感染実験により、日本産カエルツボカビが海外産両生類に対して毒性を示すことが明らかとなった。

○ 本研究で開発されたカエルツボカビ DNA の Nested-PCR 検出法は、国際誌発表により、世界的に広く活用され、各国で成果が出始めている。本成果は World Organization for Animal Health (OIE) にも報告された。

【アルゼンチンアリ】

○ 特定外来生物アルゼンチンアリの侵入ルート解明のため、国内外の侵入個体群の DNA 変異の解析を行った結果、日本に侵入している個体群は、アメリカ本土、ハワイ、およびヨーロッパに侵入している個体群と同一の DNA 配列を示した。敵対性試験から、お互いの個体群間で敵対性が低いことから、広域で巨大なスーパーコロニーを形成していることが示唆された。

○アルゼンチンアリの世界各地における侵入発見年代と過去の輸送航路を照らし合わせた結果、南米原産の本種は 19 世紀に南米・北米・ヨーロッパ間を結ぶ航路の発達に伴って大西洋周辺で分布を拡大し、20 世紀以降、北米・オセアニア・アジアを結ぶ航路の発達により太平洋沿岸諸国に分布を拡大したものと推測された。

○アルゼンチンアリの防除事業を開始し、防除剤の使用が効率的であった。

【カワヒバリガイ】

○東アジア原産の特定外来生物カワヒバリガイの分布拡大ルート解明と今後の分布拡大予測のため、関東および関西周辺で急速に分布拡大している個体群を採集し、DNA 分析を実施した結果、関東と関西の個体群間には遺伝的分化が認められ、侵入経路および起源が異なることが示唆された。

○関東地方の侵入個体群について霞ヶ浦周辺の個体群の DNA 変異を調べた結果、水路の水流の方向によって分布拡大が進行していることが示唆され、霞ヶ浦がソースとなっていることを明らかにした。

○特定外来生物であるカワヒバリガイに対する最適防除戦略(除去作業および防汚剤による再付着防止という防除戦略)が求められる中、動的計画法という数理的手法を用いて、被害のコストと防除のコストの和である全コストを最小化する最適防除努力量と、その努力量の

	<p>最適な空間配分を求めた。最適防除努力量のパラメータ依存性を調べる事により、カワヒバリガイの幼生の分散能力が、最適な防除を考える上で重要なパラメータである事が示唆された。解析結果を、調査・研究にフィードバックさせ、実際の管理に役立てる試みを行っている。</p> <p>○カワヒバリガイの防除を進めた。</p>
<p>課題3) 数理的手法を用いた生態リスク評価手法の開発</p> <p>生態系機能に基づく数理的解析法</p> <p>生態系機能を定式化と生態系モデル</p> <p>形質動態モデルの開発と長期モニタリングデータの適用</p>	<p><u>数理モデル</u></p> <p>○生態系機能（栄養転換効率）を指標とした生態リスク評価のため、3栄養段階生態系モデルを作成し、栄養転換効率に対するパラメータの感度から、生物の形質の生態系機能への寄与を明らかにした。1次消費者（湖沼生態系におけるミジンコ類）の生態効率（同化効率）が生態系機能といつも比例関係にあること、富栄養かつ捕食者高密度の系では、1次消費者の捕食耐性が高いほど生態系機能が高くなること、その他の系（貧栄養状態）では、逆の傾向があることが分かった。</p> <p>○ワムシ類、枝角類（ミジンコ類）の主要な種の機能形質データを、文献検索、室内実験などで収集し、整理した。</p> <p>○群集内の形質変化と環境要因の作用を関連付ける形質ベースモデルを作成し、環境要因と形質変化を関連付ける方程式を導いた。環境変化に対する形質の変化は、形質の分散と形質間の共分散に大きく左右されることが示唆された。</p> <p><u>室内実験による検証</u></p> <p>○藻類（クロレラ）－ミジンコ類－メダカから成る3栄養段階のアクアリウム生態系を作成した。ミジンコ類には、性質の異なる種を数種用い、種組成を実験的に操作することによって、機能形質と生態系機能の関係を検出できるようにした。捕食耐性が低いミジンコは、生態系機能を低める傾向が検出され、モデルの予測と一致した。</p> <p><u>野外データへの適用</u></p> <p>○野外生態系に数理モデルを適用する試みとして、霞ヶ浦動物プランクトン群集に対する時系列データ解析をおこなった。動物プランクトンの機能形質（7形質）について、平均形質値とし、夏（5月から10月）と冬（その他の期間）に集計したうえで、年次変動を解析した。その際、環境要因として水温（年最高水温および最低水温）および水質（栄養塩類濃度、D0、pH、透明度などの物理化学的特性を集約した4因子）を同時に解析し、環境駆動因と機能形質動態との関係性を検出できるようにした。時系列データの解析法として、環境要因と機能形質の年次変動に対して、時間軸上の局所的な変動および共変動を検出できるウェーブレット解析を試みた。その結果、①冬の生態効率に関しては、過去20年間低下傾向が続いていること、②これらの変動に寄与する環境要因としては、夏は水温変動が主要であり、冬は水質の変動が水温変動と同等に重要であることがわかった。</p> <p>○自然生態系は、生態系サービスの基盤である生態系機能の点からも評価されるべきだが、その評価法は確立していない。本研究は、生態系機能の重要な要素として栄養転換効率に着目し、生物群集構成種の機能形質分布を解析することで生態系機能に対する環境変動の影響を定量化する試みをおこなった。このようなアプローチはほとんど先行研究例が無く、環境問題解明に向けた学術研究分野における先進性がきわめて高い。今後、生態系機能の他の側面（植物の1次生産性など）や、他の機能形質（捕食耐性など）に解析を広げることで、より包括的かつ実証的な生態系影響評価に発展させることができる。また、環境問題の解明において、生物モニタリングデータな</p>

	どの基礎的資料と、そのデータベース化の重要性への社会的認知にも貢献するものと期待される。
--	--

(関連プロジェクト等)

プロジェクト・活動	研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
<p>関連 P J (1) トキシコゲノミクスを利用した環境汚染物質の健康・生物影響評価法の開発に関する研究</p>	<p>環境汚染物質のヒトの健康や生物に対する効率的な影響評価・予測法の開発</p>	<p>各種の化学物質の免疫毒性に関してトキシコゲノミクスを用いてそれぞれ原因遺伝子や影響経路を明らかにすることに成功した。生物影響に関しては、植物への環境ストレスに関する影響検出指標遺伝子を搭載したアレイと微生物群集解析用 DNA アレイを作製し、トキシコゲノミクスを用いた影響検出方法は極めて有効であり、種々の応用が可能であることを示した。またダイオキシン類曝露による遺伝子発現変動解析結果を集積したダイオキシン応答性遺伝子データベースを作成し、外部から実験結果を検索できるように、Web サイトで公開した。このサイトは、環境汚染物質の健康影響と生物影響の両方に関してトキシコゲノミクス研究の成果を紹介した世界に先駆けるユニークなサイトとなっている。本研究では以上の成果を得ることができ当初の目標を達成することができた。</p>
<p>関連 P J (2) エピジェネティクス作用を包括したトキシコゲノミクスによる環境化学物質の影響評価法開発のための研究</p>	<p>環境化学物質のエピジェネティクス作用の解明</p>	<p>マウスへのヒ素の胎児期曝露によって、74 週令のオスの仔の肝臓でエストロゲン受容体 α (ERα) プロモーター領域の DNA メチル化低下を介した腫瘍・癌の増加が起こることが示唆されている。ところがこの実験系を追試したところヒ素胎児期曝露によっては、ERα の DNA メチル化に依存せず肝臓腫瘍・癌が増加することが明らかになった。また胎児期のヒ素曝露によってオスの肝臓で後発的に発現変化する遺伝子の存在が明らかとなり、発癌との関連を検討している。さらにヒ素による発癌に関連する DNA メチル化変化を明らかにするために、MeDIP-アレイ (Methylated DNA immune-precipitation-Microarray) 法によるゲノムワイドな検索を継続している。またマウスへのヒ素の長期投与がオスの肝臓で特定の癌抑制遺伝子の発現を抑制すること、およびその抑制に抑制的ヒストン修飾が関与することを示唆する結果を得た。ヒ素の長期投与と DNA メチル化変化量、DNA メチル基転移酵素発現量、メチル基供与体量を検討し、これらの因子に性差のあることを明らかにした。また雌雄のマウス肝臓で特異的な DNA メチル化変化に関して MeDIP-Seq (MeDIP-Next Generation Sequencing) 法によるゲノムワイドな解析を行っている。これらの知見はヒ素の影響・メカニズム解明に重要な手掛かりを与える結果である。</p>
<p>関連 P J (3) 在来生物・組換え生物による遺伝的多様性影響評価に関する研</p>	<p>在来生物との遺伝的相互作用 侵入生物の繁殖実態と外来遺伝子の浸透プロセ</p>	<p>在来生物の遺伝的多様性に影響を与える可能性がある外来生物として、遺伝子組換え (GM) セイヨウアブラナ、輸入昆虫や寄生ダニ類及び移殖淡水魚について、在来生物との遺伝的相互作用の実態把握をおこなった。その結果 ①一般環境で GM セイヨウアブラナ種子は輸送中にこぼれ落ち生育しているが、国道 51 号線沿道では減少傾向にある。 ②クワガタムシ、クロマルハナバチおよびオイカワの ESU を明らかにした。</p>

究	ス	<p>③外来ナミハダニの薬剤感受性変異を見いだした。</p> <p>④淡水魚では有用魚放流による同種内外来遺伝子の浸透が在来遺伝子との混在を広域で生じていた。</p>
<p>その他の活動 (1)化学物質リスク総合解析手法と基盤の開発</p>	<p>化学物質の環境リスクを総合的に把握するため、プロジェクト成果、GISデータ、曝露評価データ等を総合的に蓄積するデータ基盤を構築する。</p>	<p>排出量などの地域配分、他の統計データとの結合、河道・流域データの扱い、PEC/PNEC 比等の演算結果の扱いなど、リスク解析に必要な基礎情報の GIS 化を行い、排出推定から曝露評価に至るデータ処理を可能とした総合解析基盤システムを開発した。</p> <p>①データベースの基礎設計；化学物質の実測調査結果・モデル予測結果や気象情報・社会基盤情報など多岐に渡る形式を有するデータを効率的に蓄積するためのデータベースの基礎設計を行った。</p> <p>②データベースの基盤として市区町村別データを有効に用いるために、2000 年以降の市区町村合併の履歴を整理し、様々な年のデータへの対応を可能にした。</p> <p>③データの整備；市区町村別作物別作付面積や土地利用データ、G-CIEMS によるモデル予測結果、また、社会基盤情報として人口密度等のメッシュデータなどを整備した。</p> <p>④GIS システムとして、上記のデータやモデル予測結果を効率的に GIS 表示させる機能を構築した。</p>
<p>(2) 化学物質の環境調査による曝露評価の高度化に関する研究</p>	<p>曝露評価の高度化のために有効と期待できるバイオアッセイ法の構築</p>	<p>①アリルヒドロカーボン受容体 (AhR) の導入酵母を用いて PCB 及び水酸化 PCB の 100 種以上の化合物のスクリーニングを行った。50%以上で活性があり、特に水酸化 PCB にダイオキシンに匹敵する強い活性を示す化合物が見出された。</p> <p>②メダカ・エストロゲン受容体 (medER) 導入酵母アッセイによる環境調査を行った。河川水から特異な活性を示す物質は、工場排水からの 4-(3-phenylpropyl)phenol であり、bisphenol A に比べて 20 倍強い活性を示した。様々な受容体導入酵母アッセイは環境曝露モニタリングに有効であることが示された。</p>
<p>(3)生態影響試験法の開発及び動向把握</p>	<p>政策ニーズを見据えた新規試験法の開発・既存試験法の改良 海外の試験法開発の動向 毒性試験情報から生態系への有害性予測手法</p>	<p>①OECD 試験ガイドラインを含む海外の試験法開発の動向を把握し、国内で実施される試験の円滑の実施と信頼性の向上を目的とした検討を実施した。新たに提案されたが国内では実施経験がないウキクサ生長阻害試験や、土壌動物試験（陸生ミミズ、トビムシ、捕食性ダニそれぞれの繁殖試験法）および底質毒性試験（ユスリカ、イトミミズ類）の検討を行い、OECD の試験ガイドラインのための会合で修正コメント、事前提案を行った。また、国内での試験実施のために試験法の解説や標準試験手順書を作成した。</p> <p>内分泌攪乱作用のための試験法については国際的共同の一環として試験法開発に取り組み、魚類を用いた 2 つの新規試験ガイドラインとミジンコ試験法の改訂案の作成をリードし採択に至った。</p> <p>②効率的に標準的試験法と同様の毒性試験が可能な簡易試験法の開発を進めた。藻類生長阻害試験の簡易法として光合成過程で起こる化学反応に注目し、遮光直後から起こる逆反応を微弱な光の信号として測定する技術を用いた</p>

		手法を開発した。その結果、標準試験の3日の試験期間を1日以内に短縮でき、毒性値も標準試験のそれとよく一致していた。
(4) 構造活性相関等による生態毒性予測手法の開発	生態毒性の予測法を開発する。 スタンドアロン版の継続とNet版との統合	①魚類致死毒性および甲殻類遊泳阻害の構造活性相関モデルについて、部分構造フラグメントの取扱方法、分類ルールの変更、および他の要修正点について検討をすすめ「KATE」モデルとしてインターネット上で一般に公開した。 ②スタンドアロン版の開発を継続し、Web版と同等の機能をもつ部分構造の解析ソフトを完成させ、「KATE」モデルを移植し、配布した。 ③魚類致死毒性、甲殻類遊泳阻害および藻類成長阻害に関するQSARモデルの構築と更新を進めた。 ④多変量モデルの構築を試行し、システムの改変を行った。
(5) 発がん性評価と予測のための手法の開発	遺伝子導入動物を用いた環境中に存在する変異原物質が示す体内変異原性の解析 化学物質の発がん性と体内変異原性の相関性の解析	①化学物質の曝露により動物体内で発生する突然変異を定量的に検出するに最も優れた方法のひとつである体内変異原性検出用遺伝子導入動物を用いた試験法を、発がん性評価へ活用した。OECDで集積したデータおよび米国カリフォルニア大のデータベースから高い発がん性が懸念される化学物質を選択し、動物種、投与経路、標的臓器ごとに比較して、体内変異原性とTD50との間の相関性を検討した結果、同一の投与経路について比較した場合、マウスの肝臓と肺ではTD50と体内変異原性には高い正の相関性が認められた。その結果、ディーゼル排気を曝露したラット肺のTD50値と、我々の研究から算出した体内変異原性はこの相関性によく当てあてはまった。 さらに、実験動物で得られた化学物質の発がん性の知見から人への外挿が可能であるかを検証するために、塩化ビニルモノマー、1,3-ブタジエンなどについて動物実験と人の疫学から得られた10 ⁻⁵ 発がんレベルを比較したところ、両者にはよい一致が見られた。同じ標的臓器を比較する限り、実験動物の発がんリスクレベルから人におけるリスクレベルの予測が可能であることが示唆された。
(6) インフォマティクス手法を活用した化学物質の影響評価と類型化手法の開発	ゲノム情報、化学物質の毒性情報、メカニズム分類、疾患情報に基づく、化学物質の類型化	①遺伝子発現データをもとにした生体影響の解析手法を開発し、既存の化学物質マイクロアレイ実験データベースと統合した化学物質の類型化をシステム(HEALS, Health Effects Alert System)を構築した。化学物質約10万種について、逐次、TOXLINE/MEDLINE及びEPA/DDTOXからの全データを取得し、臓器毒性の種類、毒性メカニズムの経路ごとに、化学物質を分類する機能を有するデータベースとして完成させた。 ②平成21年1月に一般公開したpCECは、遺伝子発現データにもとづいて、化学物質を分類して表示し、肝毒性、生殖・発生、神経毒性及び胚毒性など、臓器毒性ごとに収集・整理したシステムとした。ChemToxGenは、MulCEHは、ベイジアンアルゴリズムに基づいて、バイオマーカー(遺伝子発現・細胞形態・毒性病理診断など)間の相互関係を計算し、可視化できるようなシステムで、影響の予測を可能とした。

		<p>③これらのシステムを用いて、肝毒性物質 102 個の遺伝子発現、及び毒性メカニズムの類型化を行った結果、遺伝子発現プロファイルと相似性が認められた。さらに、胚性幹細胞の胎生プロファイリングによる化学物質の類型化を行い、細胞形態と遺伝子発現プロファイルから神経毒性の影響を 3 種に分類することができた。</p>
<p>(7) 化学物質の環境リスク評価のための基盤整備</p>	<p>環境政策に向けた環境リスク評価のための知見の集積</p> <p>リスク評価及びリスク管理に関する動向の把握</p> <p>リスクコミュニケーション手法の検討</p>	<p>①環境リスク評価およびリスク管理手法の検討のため、化学物質に関する物理化学的性状、環境運命、環境中の存在状況及び生態毒性に関する情報の集積を進めた。その結果、本中期計画期間中に 1500 物質のばく露情報、約 7000 件の生態毒性 1 次データ（原著論文・試験報告書）を収集し、環境毒性信頼性評価のために 3800 件の情報シートを作成した。これらの蓄積にたつて 138 物質の初期リスク評価等の基礎データとして活用された。</p> <p>②リスク評価及びリスク管理に関する動向を把握するため OEDD（経済協力開発機構）化学品プログラムにおけるテストガイドライン、曝露評価、および高生産量化学物質のリスク評価に関する会合への参加を通して動向を把握した。この他、他の国際機関や主要国における化学物質管理制度や関連資料の収集を行った。</p> <p>③環境基準値や指針値の設定、農薬登録保留基準値の制定、化審法における化学物質管理施策および環境リスク評価の実施を念頭にリスク評価の総合化の可能性を検討してきた。</p> <p>④リスクコミュニケーションに関しては、リスクとしての認知度が低い生物多様性について、地域の農業用ため池の保全を通して環境保全に取り組んでいる、兵庫県播磨地域を対象に、主に社会学的な視点から研究分析を進め「環境価値」と個人の行動について分析を行った。その結果、人々の身近な環境資源の管理行動に至る意思決定プロセスにおいても社会的な行動理論が適用できること、“社会規範”（他者の動向）が環境配慮行動に与える影響は有意に大きいことなどが明らかになった。</p>
<p>(8) 化学物質の定量的環境リスク評価と費用便益分析</p>	<p>化学物質の自然生態系への生態リスクを、遺伝子、個体群、生物群集のレベルで定量的に評価し、生態リスクを化学物質の便益と比較評価する枠組みを開発する。</p>	<p>①遺伝子・個体群レベルの生態リスク評価： カブトミジンコ (<i>Daphnia galeata</i>) の化学物質耐性の個体群間変異を利用した生態リスク評価法を考案した。フェンバレート耐性（急性毒性値）は、霞ヶ浦個体群と汚染の少ない大膳池個体群で数倍の個体群間差異が検出された。両個体群はマイクロサテライト DNA に基づく分子遺伝学的解析でも有意な遺伝的分化が認められた。さらに各クローン集団（同一メス親系統 iso-female line）の無曝露環境下での生命表データから、耐性遺伝子の個体適応度への遺伝的コストを検出した。耐性の個体群間の差異と耐性の遺伝的コストの大きさから、環境中曝露濃度と内的自然増加率低下率としての生態リスクを推定すると、曝露濃度は約 15ppb、生態リスクは 24%と推定された。</p> <p>②群集レベルの生態リスク評価： 生態系の栄養転換効率に与える影響として、化学物質の群集レベル効果を推定する方法を研究した。藻類（植物プランクトン）-ミジンコ-メダカを想定した 3 栄養段階の数理モデルを作成し、数値シミュレーションによって、ミジンコ類の種特性（機能形質）と栄養転換効率との関係を明らかにした。生態系機能として重要な栄養転換効率への寄与が大きいミジンコ類の生態効率（摂食したバイオマスを個体群のバイオ</p>

		<p>マス増加に転換する効率)に関して、化学物質(殺虫剤カルバリル)との相関関係を主要な動物プランクトン種間で推定した。ミジンコ類数種(9種)の毒性値(メソミル)を推定した上で、藻類(1種)-ミジンコ類(2種)-メダカから成るアクアリウム実験生態系を使った群集レベル曝露試験を実施した。曝露によってミジンコの優占種が変更し、メダカバイオマスの変化として測定した栄養転換効率の減少が検出された。これらの結果は、化学物質による群集内種構成の変化を検出することにより、生態系機能を評価軸とした群集レベルの生態リスク評価への発展が期待できることを示唆している。</p>
<p>基盤的な調査・研究 (1)化学物質データベースの構築と提供</p>	<p>化学物質・農薬・生態毒性データベースの更新と統合 法規制などカテゴリからの検索機能の整理</p>	<p>①大幅な機能と掲載データの大幅な更新を行い、リスク評価書などへの外部リンクの作成・更新、リンク集を整備するとともに、データセットごとに最終確認日を登録した。 ②詳細な絞り込み検索機能、カテゴリ間の集計機能、簡易検索機能、カテゴリ分類の見直しを行い、検索の充実を図った。 ③登録化学物質数のCAS番号の総データ数が利用規約による制限を越えるため、生態毒性データに関しては米国EPAより提供を受けていたAquireデータベースを当面停止し、環境省等が実施する生態毒性試験結果のデータベース化のためテーブル設計などの作業を行い、データ入力を開始した。 ④環境省で実施されているモニタリングデータの整備をエコ調査を中心に進め、最新の報告である2006年のエコ調査結果のうち、初期環境調査、詳細環境調査、モニタリング調査の個別データを入力した。 ⑤農薬データベースに農薬要覧(2008年版)をもとに再集計した2007年(農薬年度)の県別の農薬出荷量を追加した。利用者の利便性を考慮し2007年に新規登録された商品名を追加した。 ④分析法データベース(EnvMethod)の更新を実施したうえで、化学物質データベースとの統合をはかった。 ⑤環境省表示システムなど他機関のデータベースとの連携を進めた。</p>
<p>(2)生態系評価・管理のための流域詳細情報の整備</p>	<p>生態系の現状把握、これに影響を及ぼすリスク要因の解明及びその総合管理に資するため、流域を対象として生態系、水文、土地に関する詳細情報をGIS</p>	<p>①豊かな里地・里山およびため池を有する兵庫県南部をモデル地域とし、自然環境(地形、植生、土壌など)、社会環境情報(人口、市街化区域、農業振興地域等の法的規制、ダム用水)、基盤情報(空中写真、衛星画像、地形図)、さらに、現地での聞き込み調査によって使用農薬に関する情報などをGISデータ基盤として、15項目70件以上の情報を収集・整備した。2007年夏に撮影した空中写真から約6000池のため池のポリゴンを抽出した。 ②生物多様性の指標に関する情報としては、1990年代(500地点以上)および2006年(327地点)の水生植物の分布情報を整備した。2006年については、新たな現地調査を実施した。 ③整備した情報を用い、水生植物の種多様度と池の周辺の環境情報(植生、地形、池面積)の関係をモデル化した。得られたモデルに基づき対象地域の水生植物の潜在生育地マップの作成を試みた。これと、開発リスクの高い地域である市街化区域の情報などの重ね合わせることで、水生植物の種多様度の消失リスクの高い地域の検討を行った。</p>

	データ基盤として整備する。	④中核PJ4で調査した64のため池について、その開水域を抽出し衛星画像によるアオコ発生を評価するモデルを作成し、高い一致率を得たほか、ため池の生物多様性統合指標の算出アルゴリズムを用いて、衛星画像や空中写真、土地利用などの広域で得られる情報のみを用いた広域生物多様性評価の妥当性について検討し、現地調査に基づいたベストモデルと高い一致率が得られた。
(3) 侵入生物データベース管理	情報ネットワークを活用し侵入生物データの収集をより網羅的に推進する。データ解析が可能な形式に改良を加え、国際的な発信も目指す。	<p>①環境省指定の特定外来生物および要注意外来生物のうち、本データベースに未登録の種について優先的にコンテンツを整備した。また、データ解析が可能なデータベースを目指して外部構造および内部構造の改良を行った。</p> <p>②在来種に影響を与える可能性のあるものおよび侵略的になると思われる種について優先的に生態学的特長や分布情報を収集し、それらの特徴から生息可能地域の推定が可能となった。</p> <p>③外国産クワガタムシ、セイヨウオオマルハナバチおよび外国産クワガタムシ等、国民的関心の高い題材について、これまでに得られた研究成果を一般向けに解説したページを開設した。</p> <p>④データマイニングにより、日本国内の地域別の外来生物種数、分類群別の移送経路、動物および植物の外来生物の原産地などの分析を行い、侵入生物の一次リスク評価手法の検討が可能となった。</p> <p>以上の成果により、外来生物の知識を得ようとする市民に対するカタログ的機能に加えて、外来生物の特性を分析するためのデータ解析機能が付与され、今後、外来生物の最新情報の配信、一次リスク評価への活用が期待される。現在英語版の作成も進めており、Global Invasive Species Information Network (GISIN) など国際的な情報共有に大きく貢献することが期待される</p>

4. アジア自然共生研究プログラム

研究の概要

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

(中核PJ1：アジアの大気環境評価手法の開発)

研究成果目標	研究成果 (成果の活用状況を含む)
大気汚染物質と黄砂の地上観測、航空機観測、ライダーネットワーク観測等を国際的・国内的な連携のもとで拡充して実施するとともに、モデルと排出インベントリの精緻化を進めることにより、広域大気汚染と越境大気汚染	<p>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の精緻化を進めた。これらの観測データ、数値モデル、排出インベントリ、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、科学的知見を蓄積し、日本国内を含むアジア地域の大气環境施策立案に必要な科学的知見とツールを提供した。これらの研究成果に基づき、下記に示す社会・環境行政・科学技術・国際貢献を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境省の対流圏オゾン・光化学オキシダント対策検討会、越境汚染・酸性雨対策検討会、有害金属対策基礎調査検討会、黄砂関連委員会、PM2.5やVOCの関連委員会などにおいて多数の研究成果が活用されると共に、地方環境研究所との共同研究等を通して自治体の大気環境施策に貢献した。 ・東アジア酸性雨ネットワーク (EANET)、日中韓大気汚染物質長距離越境移動研究プロジェクト (LTP)、半球規模大気汚染輸送タスクフォース (TFHTAP)、IGBP/IGAC、Atmospheric Brown Clouds (ABC)、GEIA (Global Emission Inventories Activity)等の国際活動に参加し、HTAP評価報告書の作成、GEIAアジアセンターの立ち上げ、IGACやABCにおけるデータベース作成に貢献した。 ・東アジア域の黄砂・大気汚染分布予測を研究所のホームページで発信すると共に、環境省の黄砂飛来情報提供に貢献した。

<p>の両面から科学的知見の蓄積とツール開発を推進する。</p>	
<p>①越境大気汚染の実態を解明するために、ガス・エアロゾルなど大気汚染物質を対象として、地上観測、航空機観測を実施する。観測データの解析を行い、越境大気汚染の実態解明を行う。観測データの整備・流通を推進する。</p>	<p>① アジアの広域越境大気汚染の実態解明</p> <p>沖縄辺戸岬ステーション、長崎福江観測所での多成分・連続観測を実施した。そして、蓄積した観測データを用いて、越境輸送される汚染物質の空間分布、経年変動、組成変化などを分析し、越境大気汚染の実態をまとめた。また、観測データベースを完成させた。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地上観測サイト：沖縄県辺戸岬に大気・エアロゾル観測ステーションを整備し、長期連続観測が行える環境を整え観測を継続した。国内の主要機関と連携し越境大気汚染の実態解明だけでなく、気候変動に関係する放射や雲の観測も行い、「わが国における地球観測の実施方針」の中に、「具体的施策における分野間・機関間の連携」の例として「辺戸岬スーパーサイトの共同運用」が記載され、観測拠点の共同利用のモデルケースとして高く評価された。また、国連環境計画（UNEP）アジア褐色雲（ABC）プロジェクトのスーパーサイトのひとつであり、国際的な観測ネットワークの一部として認定されている。2008年春には航空機観測とも同期して関連プロジェクト（科研費 W-Pass）を含めた集中観測を行った。現在でも環境省の重金属対策の観測拠点として水銀や重金属の測定が継続され、有機化合物の観測のための推進費（C-093）などにも利用されており国内外の観測研究に大きく貢献した。長崎県福江島にも観測所を整備し、オゾン、二次粒子、前駆体の長期連続観測ができる環境を整え、2008年より観測を継続している。 ・航空機観測：2008年春には東シナ海域において航空機観測を行い、大気汚染物質の空間分布などの観測データを得た。2009年春、秋にも関連プロジェクトで航空機観測を行い（推進費 B-083、科研費 ASEPH）、それに同期して辺戸、福江での地上集中観測を実施した。 <p>国際共同観測：2006年春には中国沿岸部において中国環境科学研究院と共同で地上観測を行った。</p> <p>観測データの解析を行い以下のことを明らかにした。</p> <p>辺戸ステーションでのエアロゾル質量分析計（AMS）を用いた時間分解能の高い観測結果に基づき、1）二次粒子の主要成分であるサルフェートは高気圧の移動に伴い中国沿岸部から九州沖縄地区に周期的に輸送され、九州沖縄ではサルフェートの高濃度イベントが観測されること、2）近年排出が増加している窒素化合物の輸送中の変質を検討した結果、ナイトレートは、主に粗大粒子によって輸送されるためサルフェートと比較して大気中の寿命が短く沈着過程が重要となること、3）中国大陸において施肥に利用されるアンモニアは、サルフェートともに粒子化し、そのほとんどが気相ではなく微小粒子として輸送されていること、4）これまで未解明であった有機エアロゾルについても解析をすすめ、越境輸送される有機エアロゾルは著しく酸化されていること、多環芳香族の観測からも輸送中に酸化がすすんでいることを明らかにした。さらに、有機物の輸送中の酸化反応の速度を求め、定量的な評価が可能となる解析を進めた。国際協力の一環として北半球におけるAMSによるエアロゾル観測の比較研究に参加し、沖縄辺戸や福江におけるデータなどを基に</p>

	<p>有機エアロゾルの酸化反応に関する知見を得た。これらの研究成果の一部は、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) の中間報告書や Science 誌に掲載された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・長崎福江ステーションにおける春の高濃度オゾン、二次粒子のイベントを解析し、これまで光化学スモッグ注意報が発令されなかった福江でも 100ppbv を越えるような高濃度オゾンが大気中に存在し、同時にサルフェートなど二次生成する微粒子も高濃度に存在することを明らかにした。同じように二次生成するオゾンやサルフェートの挙動が異なる場合があることを観測結果に基づいて示し、Sub2 のモデル解析とあわせて、輸送起源の違いが反映していることを明らかにした。また福江では黒色炭素の被覆に関する研究も行い、エアロゾルの気候影響の解明に貢献した。 ・航空機観測のデータを用いて東シナ海域での越境大気汚染物質の観測結果を解析し、福江一辺戸間の観測あるいは辺戸上空での観測ではオゾンや二酸化硫黄などの濃度の空間分布が一様でないことを明らかにした。これは中国沿岸部から運ばれる大気汚染物質の輸送経路が一様でないことを示しており、たとえば、上海から沖縄にかけて帯状に伸びた大気汚染物質のプルームが存在することを観測結果により実証したと考えられる。 ・沖縄辺戸ステーションでの微小粒子の長期観測から、PM_{2.5} の重量濃度は長期間の平均値が 15・gm⁻³ 程度であり、リモートな地域である沖縄でも環境基準に近い値になっていることがわかった。またここ数年間の春季のサルフェート濃度を 1990 年代前半に辺戸岬で測定された結果と比較すると、濃度が増加していることが認められた。Sub2 のモデルとの比較により 1) モデルで使われた排出インベントリに基づくシミュレーション結果は観測と一致すること、2) 中国大陸からの排出の寄与が大きいことが明らかになった。 ・以上の成果は、オゾンおよび微粒子の越境大気汚染対策に貢献すると考えられる。また、沖縄辺戸ステーションのホームページを開設し、そこに観測のメタデータ(観測者、項目、方法、期間)や観測データの一部をグラフ化して掲載し、観測データの流通を促進する仕組みを構築した。国内・国際協力一環として IGAC や ABC のデータベース構築にも協力してデータ整備を推進した。
<p>② アジア地域の排出インベントリ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</p>	<p>②アジアの大気環境評価と将来予測</p> <p>アジア域の排出インベントリとマルチスケール大気汚染モデルを開発し、観測データをもとに検証・改良した。そして、排出インベントリ、化学輸送モデル、地上・衛星観測データを使用して、東アジア地域における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、全球化学気候モデルを用いた対流圏オゾンのソース・リセプター関係を評価する研究をとりまとめた。また、関東地域に加えて、関西、中部、九州を対象とした大気汚染予報結果を、環境 GIS サイトから公開し運用した。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アジア地域における 1980～2020 年を対象とした排出インベントリ REAS を開発し、(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) 最近の増加傾向は衛星観測データとほぼ一致すること、(3) 東アジアの NO_x 排出量は将来も増加し続ける可能性が高いこと、を明らかにした。対流圏衛星データを用いて NO_x 排出量を推計するインバースモデルを開発し、NO_x 排出イン

<p>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を検証・修正する手法の開発。</p>	<p>ベントリによる排出量トレンドの増加率が低いことを明らかにした。東アジアにおける最近のCO₂排出量変化を、地上観測、逆推計モデル及び衛星観測から診断し、中国のCO₂排出量は2001年以降微増であり、NO_xほど大きく増加はしていないことを明らかにした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アジア地域の排出インベントリと領域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、観測データを用いて検証するとともに、対流圏オゾンや酸性沈着量の空間分布、経年変化・年々変動、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、(1)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、(2)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。 ・アジア地域の大気質に与える半球スケールからの発生源影響を評価するために、(1)全球化学気候モデル(CHASER)を用いて、日本を含めた東アジアにおける対流圏オゾンの全球からの発源地域別寄与を評価するとともに、(2)地上観測データ、衛星観測データ及び化学輸送モデルデータを統合的に解析し、シベリアの森林火災が日本の大気質に及ぼす影響を解明した。 ・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。また、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継続した。また、環境情報センターと協力して、東アジア、日本全域、及び関東・関西、中部、九州の各地域のマルチスケール大気汚染予報を、環境GISから公開する試験運用を開始した。
<p>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(北東アジア全域で20局)を完成させ、そのデータ精度管理を実施。モデルへのデータ同化、輸送現象解明のための解析モデル検証、黄砂と大気汚染物質の混合に関する物理・化学的解析。</p>	<p>③黄砂の実態解明と予測手法の開発</p> <p>北東アジア地域に構築した黄砂モニタリングステーション(20地点)における観測機器の精度管理を実施し、データを取得、解析し、観測データベースを整備するとともに、リアルタイムで黄砂飛来情報を提供した。また、観測データと化学輸送モデルを用いて、黄砂の発生、輸送、沈着の定量的評価および、輸送過程における大気汚染との相互作用に関し成果をとりまとめた。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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IMH(モンゴル国気象水文研究所)との共同研究成果として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、北東アジア地域でモンゴル3局、韓国1局、日本12局のライダー観測網が構築でき、発生源から日本に長距離輸送される黄砂を多面的に把握することが可能となった。 ・観測網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4次元精微化の有効性を明らかにした。 ・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、S/A1比の有効性を明らかにしたほか、多環芳香族炭化水素類の環数比変化についても検討を加えた。

(中核PJ2：東アジアの水・物質循環評価システムの開発)

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>東アジア地域の流域圏について、国際共同研究による水環境に関する科学的知見の集積と持続的な水環境管理に必要なツールの確立を目指し、観測とモデルを組合せ、都市、流域圏および海洋生態系の水・物質循環評価システムの開発を行う。</p>	<p>東アジアの流域圏について、水環境に関する科学的知見の集積と持続的な水環境管理に必要なツールの確立を目指し、国際共同研究による観測システムを構築し、観測とモデルを組み合わせることによって水・物質循環評価システムの開発および同システムによる影響評価を行った。また、長江などの陸域起源水が東シナ海の海洋環境・生態系に及ぼす影響を解明すると共に、都市、農村と流域生態系の共生の視点から、アジアの拠点都市・流域圏における技術・施策の導入についてのケーススタディの結果に基づき、適切な技術システムと政策プログラムの設計を含む流域の長期シナリオ・ビジョンを構築するための方法論の開発を行った。上記の研究成果に基づき、下記に示す社会・環境行政・科学技術・国際貢献を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・いくつかの研究活動が日中両国政府レベルの共同研究として認定された。また、日中水環境パートナーシップ事業（環境省）や地方政府を通じて、両国の水環境行政に貢献した。 ・全球地球観測システム（GEOSS）、地球全球水システムプロジェクト（GWSP）、北太平洋海洋科学機関（PICES（MEQ））、北西太平洋地域海行動計画（NOWPAP）、日中韓環境研究所長会議、国際産業エコロジー学会産業共生イニシアティブ等の国際ネットワークに研究成果を発信した。 ・流域圏に関する中国側カウンターパートの研究は、南水北調影響域の水環境統合管理に関する研究、農業生態系の炭素・窒素の循環プロセス研究等の中国国家重点プロジェクトとして認められた。 ・拠点都市に関する研究は、日中環境大臣による「環境にやさしい都市」協力、及びJICAの循環経済プロジェクトの基本フレームの一部を構成し、日中環境政策連携の枠組み作りに貢献している。また、研究を通して得られた知見は、都市環境マネジメントのガイドラインを通じて、内閣府環境モデル都市選定、環境省温暖化対策地方実行計画のマニュアル、地域循環圏政策に反映された。
<p>サブテーマ1： 広域的な水・物質動態の計測手法による観測を適用し、流域の開発により、河川を通じて流入する汚濁物質等の陸域からの環境負荷の量・質的变化への影響について推定</p>	<p>① 流域圏における水・物質循環観測・評価システムの構築</p> <p>広域的な水・物質動態の計測手法による観測継続し、流域の開発により、河川を通じて流入する汚濁物質等の陸域からの環境負荷の量・質的变化への影響についての推定・解析を進める。また、水・物質循環を評価できる統合型モデルを用いた数値実験により、退耕環林政策や南水北調などの流域改造活動の影響評価を行った。具体的な成果は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・衛星・地上統合観測ネットワークの構築事業（環境省）を担当し、東アジア地域をカバーする高精度の地形図と水系図、時系列の表面温度、植生指数、土地被覆、植物生産量などの衛星データセットを作成した。また、長江中流域の最大の支流である漢江で連続水質モニタリングシステムを構築し、全窒素（T-N）、全リン（T-P）、化学的酸素要求量（COD）、水温、濁度（SS）およびクロロフィルa（Chl-a）などの観測データを取得した。 ・長江流域を対象とした人間生活・水需要・汚濁負荷インベントリおよび現地調査により、人々の生活パターンや農作方法の変化などといった人為活動が窒素フローに及ぼす影響を定量的に分析し、地域の特性を窒素フローモデルに取り込み、農業系及び生活系に関わる窒

<p>と解析を行う。また、水・物質循環を評価できる統合型モデルを構築し、南水北調などの利水事業、土地改変、人間生活の変化などが水環境へ及ぼす影響評価を行う。</p>	<p>素負荷源の空間的な分布を解明した。その結果、1日1人当たり各食物から摂取する蛋白質量の総平均値は107g/人/日であった。各生態系間の蛋白質摂取総量については有意な差がなかったが、各食物からの蛋白質摂取量については、卵類を除き、有意な差が見られた。その差異は経済の格差以外に、地域の特性、風土、習慣などの違いを反映していることが示された。また、都市化の進行によって、人間排泄物の土壌還元率が減る一方、水域排出率が増加していることが分かった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水・物質循環を評価できる統合型流域圏水環境管理モデルを適応し、現地観測データを用いてモデルの検証を行い、退耕環林、南水北調など流域改造活動が水環境に及ぼす影響の定量的な評価を行った。その結果、現在の漢江本流月平均流量条件でのCOD水環境容量は45.4万t/aであるが、南水北調によって水量95億m³を調整すると、COD水環境容量は33.6万t/aに減少し、損失量は11.8万t/aで、約35%減り、その他に、NH₃-N水環境容量は約30%、T-P水環境容量は約25%減ることが分かった。また、退耕環林政策が河川流量に与える影響小さいものの、土砂流失特に水質に与える影響は大きいということが定量的に分かった。 ・長江水利委員会や中国科学院の生態修復テストサイトに対して、平成21年から開発された評価モデルの適用を開始し、生態修復工事や技術対策の影響評価に着手した。さらに、技術移転の可能性を検討するため、日中水環境パートナーシップ事業（環境省）を通じた中国農村地域における分散型生活排水処理システムを設置し、その技術の適応性・普及性について検討を行っている。 <p>本研究の目的を達成するため、新たな研究展開とその成果のアジア地域への還元を目指し、長江の管理と研究をリードする中国長江水利委員会（CWRC）や中国科学院をはじめとする中国の研究者・行政担当者との連携をさらに強化した。複数な日中水環境検討会や特別セミナーを開催し、研究交流を深めた。</p>
<p>サブテーマ2： 東シナ海陸棚域の航海観測、長江河口沿岸・東シナ海陸棚域の環境変遷データの解析、および流動生態系モデルの開発を通じて、長江淡水および陸域負荷の量・質の変化が東シナ海の海洋環境・低次生態系に及ぼす影響の把握</p>	<p>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</p> <p>東シナ海陸棚域の航海観測、長江河口沿岸・東シナ海陸棚域の環境変遷データの解析、および流動生態系モデルの開発を進め、長江淡水および陸域負荷の量・質の変化が東シナ海の海洋環境・低次生態系に及ぼす影響を確認すると共に、そのメカニズムの解明を進めた。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東シナ海陸棚域において毎年航海調査を実施した結果、沿岸性渦鞭毛藻（<i>Prorocentrum dentatum</i>）が、5～6月の期間、陸棚域の広い範囲で出現することが明らかとなった。特に平成19年度6月および平成21年度6月の航海では、日本内湾における赤潮基準を超えるクロロフィル50μg/L以上の濃度での当該渦鞭毛藻の出現を確認した。2008年までの中国長江河口沿岸の環境変遷情報を解析したところ、当該渦鞭毛藻は1995年以降に出現が確認され、近年は主要な赤潮構成種となっていることが明らかとなった。また2000年以前の既往の陸棚域調査では本種の出現が一切報告されていないことから、中国沿岸の環境劣化の影響が陸棚域に及ぶ広域越境汚染の可能性が示唆された。平成19年度の当該渦鞭毛藻の出現状況について詳細解析した結果、長江希釈水の影響域およびその縁辺海域で優占する傾向が確認され、また藻類補助色素解析と夜間を含む光補償深度の推定手法の開発と適用により、調査海域の長江希釈水影響域においては有光層内クロロフィルの45%以上が当該渦鞭毛藻に由来するものであることが明らかとなった。 ・長江起源水を通じて長江から陸棚への窒素・リンの輸送動態について複数年データを解析したところ、少なくとも初夏の季節において

<p>およびそのメカニズムの解明を目指す。</p>	<p>は、調査海域に到達する前に外洋表層水との希釈あるいは藻類により消費されており、陸域からの直接的輸送は認められなかった。一方、調査海域で出現した渦鞭毛藻群集は陸棚底層水から供給される栄養塩を用いて維持されていることが強く示唆された。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・調査海域から単離した当該藻類を用い高さ2mの大型培養槽で培養を行ったところ、明瞭な日周鉛直移動が観察され、その生態性質が調査海域における群集維持機能（光および栄養塩獲得）に寄与していることが示唆された。航海調査における当該渦鞭毛藻の鉛直分布を詳細に解析したところ、乱流微細構造プロファイラーで観測した乱流強度の弱い躍層付近にピークを形成する傾向があること、ならびに日周鉛直移動の形跡が認められた。 ・3次元流動・水質・生態系モデルを開発し、検証データ量が豊富な東京湾及び伊勢・三河湾を対象として再現精度の解析を行った。混合・成層期の水温・塩分の鉛直分布とその季節変動、東京湾の貧酸素水塊の形成規模、伊勢湾の底層有機物濃度の経年トレンドなど各水域における観測データをうまく再現した。本モデルを東シナ海に適用したところ、(i) 渤海の塩分濃度が過大評価され、黄海暖流がうまく再現できない、(ii) 密度躍層直下(深さ15m程度)に形成される渦鞭毛藻のブルームがうまく再現できないといった問題が明らかになった。問題(i)については東京湾・伊勢湾では考慮する必要がなかった結氷・解氷過程を流動モデルに組み込むことによって渤海の塩分・黄海暖流の再現精度が向上した。問題(ii)については、航海調査の微細乱流観測結果を踏まえて乱流強度が渦鞭毛藻の増殖速度に及ぼす影響をモデル組み込んだところ躍層周辺における藻類群集を形成・維持することが可能になった。そして、長江由来の汚濁負荷が浙江省沿岸における冬期から春季の渦鞭毛藻赤潮形成に影響を及ぼしている可能性、春季から初夏にかけては沿岸水が北上し陸棚域に到達する可能性が示された。 ・陸棚域調査によって、着目する渦鞭毛藻が長江希釈水域において優占的に観測される測点を確認すると共に、初夏の陸棚域の低次生態系における当該渦鞭毛藻優占が常態化しつつあることを再度確認した。
<p>サブテーマ 3: 都市、農村と流域生態系の共生の視点から、都市・流域圏における技術・施策の導入によるケーススタディの結果に基づき、適切な技術システムと政策プログラムの設計を含む流域の長期シナリオ・</p>	<p>③ 拠点都市における技術・政策インベントリとその評価システムの構築</p> <p>統合型陸域生態系モデル(NICE)モデルと都市産業の資源循環算定モデルの構築を進めて、拠点都市と流域圏での都市・地域スケールの水・エネルギー・物質フローの解析研究の推進体制を構築した。モデルの検証を行うために、国内の代表的産業都市である川崎市について、水・エネルギー・物質解析モデルの検証と政策シミュレーションを試行した。物質循環の評価については、都市内物質循環から地域循環の政策を含む技術・政策インベントリの構築と、循環圏評価モデルの開発を進めた。水・エネルギー・物質の都市解析モデルを街区・建物のエネルギー制御に適用する、クラスタリングネットワーク制御システムについて、川崎市での具体的な実証実用研究を開始した。以上の成果を基に、中国拠点都市の実証研究を展開した。具体的には、産業中心都市である瀋陽市と遼寧省に焦点を置いて研究を進めた。具体的な成果は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平成20年度までに、統合型陸域生態系モデル(NICE)モデルと都市産業の資源循環算定モデルを用いて、拠点都市と流域圏での都市・地域スケールの水・エネルギー・物質解析研究の推進体制を構築した。解析モデルの検証を行うために国内の拠点都市である川崎市との包括的な環境協定を締結して連携を進めて、水・エネルギー・物質解析モデルの検証と政策シミュレーションの試行を進めた。統合的

<p>ビジョンを構築するための方法論の開発を実施する。</p>	<p>市解析モデル（NIECE-Urban）の構築を完了して、川崎市との連携で都市スケールの環境観測ネットワーク実験を行い、モデルの検証とともに、試行的な政策シミュレーションを行い自治体への情報発信を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・都市内物質循環から地域循環の政策を含む技術・政策インベントリの構築と、循環圏評価モデルの開発を進めており、これは環境省の地域循環圏政策担当部局への定期的な情報提供を行っている。水・エネルギー・物質の都市解析モデルを街区・建物のエネルギー制御に適用する、クラスタリングネットワーク制御システムについて川崎市での具体的な実証実用研究を開始してその成果を環境省、内閣府の低炭素都市実行計画検討等への研究発信を行った。 ・中国拠点都市の実証研究として、国家の産業中心都市である瀋陽市と遼寧省との研究連携に焦点を置き、瀋陽市環境保護局、遼寧省環境保護局との研究連携とともに、中国科学院循環経済研究センター、遼寧省の環境科学院との研究協定を通じて研究を進めた。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データベースとして整備をすすめ、拠点都市・地域スケールの、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研究を推進している。 ・都市・地域スケールの環境データベースの構築とモデルの適用研究を進めた。平成20年5月に瀋陽市、9月に川崎市で国際ワークショップを主催し、12月に国際学会、2月に国連環境計画と共催の国際会議の開催を共催し、2月より日中友好環境センターとJICAが中国国家環境保護局と連携して開始した循環研究経済プロジェクトへの正式な参加を通じて研究成果の発信と国際研究ネットワークの形成を進めている。中国の複数の都市とのアジア都市研究ネットワークの構築を進めて、EMECS国際会議の会議開催を支援した。 ・平成21年度には、日中両国環境省間での「環境にやさしい都市」連携への研究情報発信を進めて、川崎市と瀋陽市での評価システムの検証と実用的な技術政策シミュレーションの構築を進めて政策情報の出力を行った。国内都市について、①水・物質・エネルギーの統合型三次元物理解析システム（NICE-Urbanモデル）の構築をもとに川崎市との環境研究協定のもとで進めた都市街区観測実験による検証を進めて、②川崎市及び国内エコタウン都市の環境技術のLCAインベントリの蓄積を進めることに加えて、③革新的な低炭素技術である街区スケールのエネルギー制御システム技術（UCPS）の実証開発を進めた。これらの研究成果は、川崎市の政策及び環境省の地域実行計画のマニュアル、地域循環圏政策への反映を通じて国内都市への実践的発信を進めることができた。
---------------------------------	---

（中核PJ3：流域生態系における環境影響評価手法の開発）

研究成果目標	研究成果（成果の活用状況を含む）
<p>国際河川・メコン河を中心に、淡水魚類相の実態解明、流域の環境動態の解明を行うこと等により、ダム建設等の生態系影響評価を実施する。</p>	<p>主に国際河川・メコン河の淡水魚類相、マングローブ生態系の実態解明、流域の環境動態の解明を行うこと等により、ダム建設や土地利用変化等による生態系影響評価を実施した。メコン河流域の自然と共生する社会を形成し、持続可能な発展の科学的基盤形成に寄与すると共に、国際研究プログラムとの連携の下で、生物・水資源及び国際河川生態系に関わる水質観測にアジアからの貢献することを目指した。そのために、(1)流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築を行い、(2)人間活動による生物多様性・生態系影響評価モデルの開発を行い、(3)持続可能な流域生態系管理を実現する手法の開発を行って、ダム建設や土地利用変化による影響を評価できるように研究を推進した。上記の研究成果に基づき、下記に示す社会・環境行政・科学技術・国際貢献を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・これまで小流域毎の高解像度土地被覆データベースについて一般に利用できるものは無かったが、有用なデータベース（MGDB）を広く公開できるようにしたことにより、ダム建設が回遊魚等に影響を及ぼす範囲を建設前に定量的に把握し、ダム建設に際して生物多様性のリスクを把握できるようにした。 ・これまで回遊魚の回遊行動は採集する場所から推定した不確かな物でしかなかったが、確実に特定の種の回遊を実証できる耳石分析手法を確立し、生物多様性研究の重要な一手法の発展に貢献した。 <p>本研究で得られた知見を基盤として、水産資源確保や生物多様性保全の観点から、回遊魚の稚魚の生息地や回遊ルートや生物多様性重要湿地が戦略的に守られるようなアセスメント手法の開発へと発展させる見通しが得られた。</p>
<p>① 流域生態系及び高解像度土地被覆データベースの構築</p>	<p>広大なメコン流域の自然環境および社会経済特性に関する基礎データを、空間データベースとして一元管理・分析する仕組みを構築した。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メコン流域全体を、水文学的な接続関係を維持した小流域に区分し、この小流域単位で、地域の自然環境と社会経済属性を集計する手法を用いて、メコン流域の自然環境および社会経済特性に関する基礎データを空間データベースとして一元管理・分析する仕組みを構築した。 ・空間単位として、流域全体を約1万（約9x9km）の小流域に分割し、流域データベース（MGDB）を構築し、(1)メコン河流域全体の概況把握、(2)水系や地理的に伝搬する各種開発行為の影響評価、(3)研究成果の蓄積、管理、を可能にするメコン流域データベースを完成させた。このデータベースを活用し、メコン流域全体の自然環境と社会経済状況を把握して、メコン流域全体の土地区分図を作成した。 ・本データベース（MGDB）を広く公開できるようにしたことにより、ダム建設が回遊魚等に影響を及ぼす範囲を建設前に定量的に把握し、ダム建設に際して生物多様性のリスクを把握できるようにした。
<p>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</p>	<p>河川に生息する生物の環境利用と密接な関係がある河川地形要素のマッピング手法を開発し、河川とその周辺の地形と土地利用に関する主題図整備手法を確立し、メコン河上流域での水質モニタリング、耳石とレーザーアブレーション ICPMAS を用いた評価技術を用いて、メコン河流域に既存するダムによる回遊魚とそれに依存した漁業への影響等を評価した。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・栄養塩濃度の流域各国の地理的分布と各種自然環境・人間活動との空間的対応から、タイのコラート高原の米作地帯から高濃度の硝酸塩とアンモニウムが検出された。元素濃度について例えばストロンチウムでは地域によって広い変動幅（0.024ppm～0.221ppm）を示すことが

	<p>分かった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タイ北部の年間流況変動・土砂移動量の年間変動と縦断的变化、および年間の氾濫動態に関して解析を行いダムの影響の評価が可能になった。また、メコン本流における ADCP、魚群探知機等を活用した魚類生息分布の HEP モデルの基礎データが収集され生物多様性・生態系影響評価のためのモデル開発の基盤ができた。 ・メコン下流域（カンボジア、ラオス、タイ）において 5 回の現地調査を実施し、耳石サンプルと河川水サンプルの採集を行い、元素濃度について、60 地点のサンプル分析結果から、例えばストロンチウムでは地域によって大きい変動幅（0.024ppm～0.221ppm）を示すことが分かり、回遊魚の耳石解析において有望な指標元素となることが明らかになった。LA-ICP-MS による耳石分析手法の確立と相まって、微量元素濃度の構成比率の違いによって支流を高い精度で判別できる見通しが得られた。 ・マングローブ林を形成する主要樹種 3 種（<i>A. marina</i>、<i>R. stylosa</i>、<i>B. gymnorhiza</i>）について、根圏酸化機能を測定した。3 種共、根からの酸素漏出速度には個体差がみられ、暗条件下に比べて明条件下の方が高い酸素漏出速度を示した。 ・マングローブ林を形成する主要樹種 3 種（<i>A. marina</i>、<i>R. stylosa</i>、<i>B. gymnorhiza</i>）について、根圏酸化機能を測定し、マングローブ地上部から根圏への酸素の輸送・漏出のメカニズムを定量的に明らかにした。また、同 3 種について根圏土壌の窒素動態を調べ、3 種の根圏では脱窒素と窒素固定が起きていることを明らかにした。
<p>③ 持続可能な流域生態系管理を実現する手法開発</p>	<p>メコン河流域におけるダム建設が下流域に与える影響をみるため、自然河川の持つ「氾濫」と「物質輸送」という季節的な流域動態の変化に関して定量化を行うと共に、持続可能な流域生態系管理の重要な要素である国際的なネットワークを強化した。具体的な成果は下記の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メコン上流のダム建設（Wanman Dam）による下流の北タイへの影響について年間の河川流量と土砂移動量の変化を推定した。ASTER 画像を現地河川調査に活用し、流出モデルを構築しダム建設前後での年間を通しての土砂収支計算を Chiang Sean 付近にて行った。日本、タイの環境 NGO 等とメコン河流域住民との環境影響に関するヒアリングを行い問題点の抽出を行った。 ・メコン河委員会、環境 NGO、各大学研究者、森林管理局等の間で情報共有ネットワークを築いた。 ・タイ、ウボンラチャタニ大学と共催し、同大学において、タイ、ラオス、カンボジア、ベトナム、中国、日本の研究者、メコン河委員会、World Fish Center、メコンウォッチ等の国際組織からの参加によるワークショップを開催し、情報の共有と国際ネットワークの展開を進めた。