

## (資料 1 3) 基盤的な調査・研究活動の実施状況及びその評価

### 1. 社会環境システム研究

#### 1.1 研究の概要

人間活動と自然環境との関わりや社会経済システムと環境問題との関わりを解明、環境と経済の調和した持続可能な社会のあり方の研究を進め、安全・安心・快適な社会環境(地域規模、都市規模、身近な生活環境)を創造するためのビジョンを示すとともに、それらを実現するためのシナリオや方策を提示し、持続可能な社会を構築するための具体的な政策提言に結びつく研究を進める。具体的には、第2期中期計画期間においては、以下の研究を中心とした研究を実施する。

- [1] 環境研究・政策研究に資する統合評価モデルや環境経済モデルなどの手法開発研究
- [2] 持続可能な社会を実現するビジョン・シナリオ作成に関する研究
- [3] 国民のライフスタイルのあり方とその実現・誘導方策に関する研究
- [4] 安全・安心・快適な地域・都市環境の創造と管理に関する研究

#### 1.2 研究期間

平成18年度～

#### 1.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	137	149	136	90		512
その他外部資金	106	122	118	295		641
総額	243	271	254	385		1,153

#### 1.4 平成21年度研究成果の概要

##### 平成21年度の研究成果目標

##### ① 環境研究・政策研究に資する統合評価モデルや環境経済モデルなどの手法開発研究

##### ア 全球水資源モデルの開発・改良

- ・ 予備的モデル(工業用水、生活用水、農作物貿易モデル)を開発する。

##### イ 家計のごみ排出モデルの開発とごみ処理手数料有料制の効果の分析

- ・ 家計のごみ排出モデルの開発
- ・ 政策シミュレーションの実施

##### ② 環境の中長期ビジョン・シナリオに関する研究

##### ア 中長期を対象とした持続可能な社会ビジョン・シナリオの構築に関する研究

- ・ 統合評価モデルを用いた日本及び地域レベルの持続可能な社会ビジョン・シナリオの定量化に関する研究
- ・ IR3Sにおける世界長期シナリオ構築に関する研究

##### イ 世界の水資源評価に関する長期シナリオ研究

- ・ 世界のバーチャルウォーターの推計

##### ③ 安全・安心な地域・都市環境の創造と管理に関する研究

#### ア 低炭素型都市づくりに関する研究

- ・ 建物形状を考慮した建物用途別エネルギー消費量推定手法の開発
- ・ 開発した手法を用いた解析と都市の低炭素化効果の評価

#### イ 東京都における温暖化影響の評価に関する研究

- ・ 平成 22 年度以降のモデル開発に向けたさまざまなデータ・情報を収集・整理する

#### ④ 国民のライフスタイルのあり方とその実現・誘導方策に関する研究課題

#### ア 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

- ・ 温暖化問題に関する世論の動向を明らかにする

#### イ 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

- ・ フォーカス・グループ・インタビュー調査の結果の分析。市民の「対策行動」を引き上げる情報提供の効果を明らかにする。

### 平成 21 年度の研究成果

#### ① 環境研究・政策研究に資する統合評価モデルや環境経済モデルなどの手法開発研究

##### ア 全球水資源モデルの開発・改良

- ・ 開発するモデル（工業用水モデル、生活用水モデル、農作物貿易モデル）のフレームワークを検討し、開発のためのデータ収集を行い、予備的な（簡単な）モデルを開発した。

##### イ 家計のごみ排出モデルの開発とごみ処理手数料有料制の効果の分析

- ・ 収集したデータを用いてモデルのパラメータを推計し、ごみ排出モデルを開発した。
- ・ ごみ排出モデルを用いて、政策シミュレーションを実施し、ごみ処理手数料を 10%引き上げた時に、ごみ排出量を 2.08%削減する効果があることがわかった。
- ・ 資源ごみの戸別回収の実施、紙類などの資源回収の充実化、小さいサイズ（15 l 以下程度）のごみ袋の利用可能化で、ごみ処理手数料有料化のごみ削減効果は大きくなることが明らかとなった。

#### ② 環境の中長期ビジョン・シナリオに関する研究

##### ア 中長期を対象とした持続可能な社会ビジョン・シナリオの構築に関する研究

- ・ (a)シミュレーションの結果、2020 年の温室効果ガス排出量を 1990 年比 25%削減させることは可能であるが、中期目標検討会で想定された社会・経済の前提では、達成は困難であり、技術選択モデルにおいては 20%削減までしか対策技術を積み上げることはできないため、残りの部分は社会・経済の前提の変更（たとえば、炭素税の導入などの政策手段の導入など）が必要なことが明らかとなった。
- ・ (b)「低率の炭素税＋税収の温暖化対策への還流」施策導入により、光熱費低減や GDP の回復につながる事が可能であり、このような賢い温暖化対策によって経済影響は低減できることがわかった。また、国内対策費用が非常に高い場合、海外での削減を検討することも重要であることがわかった。
- ・ 世界モデルを使い、2050 年の世界において現状と比較して温室効果ガス排出の半減により、資源生産性（物質投入あたりの GDP）は向上するが、森林面積の維持は困難で、自然共生社会に向けて追加的な対策が必要であること、また、世界物質投入量（砂利等を除く）の約半分が 2050 年にはアジアに集中し、アジアの持続可能な社会の形成は地球規模の持続可能な社会構築に寄与することを示した。

##### イ 世界の水資源評価に関する長期シナリオ研究

- ・ 2000 年の農畜産物 8 品目の国際貿易に伴うバーチャルウォーター輸出量の総量推計値は 545 km<sup>3</sup>/年。（世界の淡水資源の総取水量 3800 km<sup>3</sup>/年約 14%相当）

- ・ 米、南米が最大の輸出元であり、東アジアを中心とするアジアが主な輸出先である。
- ・ 漑水起源のバーチャルウォーター輸出量推計値は世界全体で 61 km<sup>3</sup>/年。(総量約 11%相当)
- ・ 下水起源のバーチャルウォーター輸出量推計値は世界全体で 26km<sup>3</sup>/年。

### ③ 安全・安心な地域・都市環境の創造と管理に関する研究

#### ア 低炭素型都市づくりに関する研究

- ・ GIS 等による地域別エネルギー消費量推定値のデータ解析を行い、建物形状を考慮した建物用途別エネルギー消費量推定手法を開発し、名古屋都心部における商業建築エネルギー消費量について、GIS 等での計算結果と実測データとの高い整合性を確認した。
- ・ 都市気温とエネルギー消費の関係については、エネルギーの使用用途によって気温の変化に対する応答が異なり、都市構造に依存する部分も少なくないことや、ヒートアイランド対策と低炭素化対策が両立するケースばかりではなく、トレードオフの関係にもなりうるということが明らかとなった。
- ・ 中国の大都市における住宅街区の形態と電力消費の関係について数値シミュレーションを行った結果、棟間距離と建物高さとの関係に最適解 (2:3) が存在しうることが明らかとなった。

#### イ 東京都における温暖化影響の評価に関する研究

- ・ 内外の既存研究の整理、地域レベルの気候シナリオ開発のための予備的検討を行った。
- ・ 社会経済シナリオ作成のために予定されている都市計画や防災計画、様々な将来ビジョンを収集・整理した。
- ・ 脆弱性把握のための観測データを整理、分野別温暖化影響評価モデル開発のためのデータを収集した。

### ④ 国民のライフスタイルのあり方とその実現・誘導方策に関する研究課題

#### ア 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

- ・ 毎月実施している時系列調査の結果、「世界で重要な問題」(無作為抽出された全国成人男女 1500 名を対象とした調査)においては、2008 年夏以降の金融不況の影響からそれまで「環境」とする回答が多かったのが、「経済」「雇用」の方が多くなるという変化が観察された。
- ・ しかし、2009 年夏以降の中期目標の議論が本格化して後、再び「環境」を重要とする回答が「経済」「雇用」を上回る結果となった。
- ・ 2009 年には温室効果ガス削減中期目標の設定についての追加的な世論調査を実施したが、EU 並の目標値設定について国民の多くからの支持が確認された。本研究成果は新聞報道された。

#### イ 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

- ・ 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実施し、調査対象者の知識および理解の欠如(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)を補うことで、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。このことから、継続的に市民に情報提供し、専門家のもつ情報とのやりとりを維持できるような環境を作ることが、温暖化対策の効果を引き上げる上で重要な意味を持つことが明らかとなった。

## 1.5 外部研究評価

### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	13				15

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4. 1 点

## (2) 外部研究評価委員会の見解

### [現状評価]

グローバルからリージョナルにわたる幅広い研究や環境政策の策定に重要なツールの開発を行っており、政策提言、IPCC 評価書への貢献などの面でもその活動は高く評価すべき点は多い。関係する研究員の数からみれば、極めて多くの研究を精力的に行っている。

一方、いくつかのモデルの共通の目的、方法論がわかりにくい。

### [今後への期待・要望]

行政ニーズ等との相互作用がより重要になってくるので、ターゲットの選定にそのような観点を取り入れることや、成果をどの程度政策や社会に反映させていけるのか、また、それが本当に良かったかどうかを常に検証する必要がある。

環境問題の軽減や解決に資する革新的な研究推進のために、将来の望ましい社会やライフスタイルについて具体的かつ積極的な提言を行っていただきたい。

## (3) 対処方針

今後とも、行政ニーズを考慮し、その成果が政策提言として生かせるような研究を実施していきたい。なお、「検証」については、問題の性質上困難な側面がある（成果を反映した政策が実施されない場合があること、実施されたとしても、実施まで通常長い時間がかかること、また、政策の効果が発現するまで、時間がかかることなどを考えると、検証を実施するには、長い時間経過が必要となり、事後的な検証にはさまざまな困難が伴う）。このため、「研究成果がどのように問題解決に役立ったか」という検証よりは、むしろ、実施された政策の評価・効果の検証に力点を置いた「政策の検証」の研究を進めていく。

「将来の望ましい社会やライフスタイルについての提言」については、これまでも、ビジョン・シナリオ研究（特別研究などにより）を通じて実施してきた。今後も、より精緻化した研究を実施していきたい。

## 2. 化学環境研究

### 2.1 研究の概要

(1) 高感度かつ迅速な有機化学物質一斉分析手法、(2) 吸着剤利用技術等に基づく高頻度、広域モニタリング手法、(3) 放射性炭素  $^{14}\text{C}$  を含む元素の同位体比精密測定手法、(4) 化学物質生体影響の非破壊計測技術、等の分析/モニタリング手法の開発や高度化を中心的な柱に据えながら、他のユニット、或いは所外研究者とも連携しつつ、(A) POPs や VOC を含む様々な有機汚染物質のモニタリングと発生源、環境動態の解明、(B) 同位体比や元素組成を指標とする大気微粒子、大気・室内汚染物質、重金属などの主な発生源とその寄与率の推定、(C) 地球規模の炭素循環の精密化や過去の環境変動の解明、(D) 化学物質生体影響評価のための基礎情報取得、などの研究を推進するとともに、ストックホルム条約等への国際貢献、国内化学物質関連施策への貢献等の活動を行った。

### 2.2 研究期間

平成18年度～

### 2.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	97	194	170	221		682
その他外部資金	104	289	277	167		837
総額	201	483	447	388		1,519

### 2.4 平成21年度研究成果の概要

#### 平成21年度の研究成果目標

#### ① 多次元分離分析法による有機ハロゲン系化合物等の微量有機汚染物質の網羅分析

- ・ 多次元ガスクロマトグラフィと MS/MS を応用して、実用的な一斉・高感度・迅速かつ正確な有機ハロゲン系化合物等の定量法を開発する。同時に、広範な有機ハロゲン系化合物の検索と半定量を行う網羅分析法を開発する。平成21年度は、POPs、PAHs（ニトロ体、オキシ体を含む）などの標品のニュートラルロス測定を行ってスペクトル情報を収集し、一斉定量のための GCxGC-MS/MS による MRM 測定条件を作成すると共に、データ解析に必要とされるソフトウェアの開発を行う。

#### ② ナノ粒子、微小粒子の組成分析と動態解明に関する研究

- ・ ディーゼル排気や大気中に存在するナノ粒子や微小粒子について、先端的な成分測定法の開発、これら粒子の組成の把握、得られた組成に基づく動態解明手法の開発を行う。平成21年度は、昨年度に引続き大気試料の  $^{14}\text{C}$  測定を行い、様々なデータと合わせた解析による汚染解析を行う。また、近年の排ガス対策に伴うディーゼル排気中の粒子の組成変化を検討する。

#### ③ 東アジア地域における POPs（残留性有機汚染物質）の越境汚染とその削減対策に関する研究

- ・ 国環研に保存されている過去の採取二枚貝やイカ肝臓試料中の POPs 分析を継続するとともに、フィリピン、タイ、ベトナムでイカ肝臓を入手し、分析ならびに比較を進める。

- ④ 東アジアにおけるハロカーボン排出実態解明のための高頻度・高精度モニタリング研究
- ・ 波照間ステーションと落石ステーションにおけるハロカーボン類の高頻度モニタリング観測を継続し、HFC類、PFC類、SF<sub>6</sub>、CFC類、HCFC類の季節変動・経年変動を明らかにすると共にこれら2地点における観測データの比較により、東アジアにおけるハロカーボン排出状況の特徴を解析する。
- ⑤ 海洋起源ハロカーボン類のフラックスと生成過程に関する研究
- ・ 波照間島における大気の高頻度観測を基に海洋起源ヨウ素化合物の変動を調べると共に、インド洋～南大洋における海水中VOCの高密度測定を実施する。
- ⑥ 高磁場MRIによる含鉄タンパク質フェリチンの定量化と分子イメージングへの適用研究
- ・ ヒト脳の画像データ集積をさらに進めるとともに、鉄濃度の定量誤差の大きかった白質領域での定量精度を向上させる。
- ⑦ 商船による北太平洋<sup>14</sup>Cマッピング
- ・ 日米を往復する貨物船を利用して得られた海水試料のうち、海洋表層が成層化する夏季に採取した試料の測定を行い、各海域の特徴を解析するとともに、各海域における季節変動の把握を行う測定に移行する。
- ⑧ 熱帯・亜熱帯林生態系による自然起源オゾン破壊物質のガス交換過程の解明
- ・ 安定同位体を用いて、熱帯・亜熱帯林の微生物によるハロゲン化メチルの吸収量を推定する。21年度は測定法の検討やチャンバーの製作などを行う。
- ⑨ 北九州北部地域に発生した光化学大気汚染エピソード原因解明のための観測
- ・ 平成21年度は、平成20年度に立ち上げたNMHCとNO<sub>x</sub>、オゾン観測の通年測定を実施すると共に、春に集中観測（AMSによる粒子観測）を行う。観測結果を基に、春季の光化学オゾン前駆物質の動態を解析する。また、モデルについては、通年測定及び集中観測を対象としたシミュレーション計算を行い、観測データと比較する。
- ⑩ 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・実測可能な滞留時間別コンパートメントからなる土壌炭素動態モデルの構築
- ・ 日本の代表的な土壌試料の採取を行い、土壌炭素蓄積に関する基礎データを得るとともに、分解率の異なる土壌画分に分離する手法を検討する。加速器質量分析計（AMS）による<sup>14</sup>C分析によって土壌分画毎の滞留時間を定量化することで、日本の土壌炭素蓄積・分解特性を評価する。
- ⑪ 近未来予測のための古海洋学：温暖化に伴う気候モードジャンプの可能性・北極海の定量的環境復元とグローバルな気候変動との関連性解明に関する研究
- ・ 北極海において採取した海底堆積物コア試料や海水試料に対して、最新の古海洋復元プロキシを駆使し、古海洋データの空白域である北極海において、現在よりも2°C温暖であったと推定されている最終間氷期の古海洋記録を定量的に復元する。
- ⑫ その他の地球科学系共同研究
- ・ 東京近傍で沖積層を対象とした掘削されたロングコア試料に対して、最新の古海洋復元プロキシ

シーを駆使し、縄文海進から平安海進にかけての東京湾における水温を復元する

- ⑬ アジアにおける多環芳香族炭化水素類 (PAHs) の発生源特定とその広域輸送
  - ・ 放射性炭素を指標に用いて、多環芳香族炭化水素類 (PAHs) のアジア諸国大気・水圏における PAHs の分布並びに具体的な発生源について特定を行なう
- ⑭ 東アジアと北太平洋における有機エアロゾルの起源、長距離大気輸送と変質に関する研究
  - ・ 中国の発生源における有機エアロゾルに含まれる有機物の越境汚染と汚染域から排出される揮発性有機物の酸化による水溶性有機エアロゾルの二次的生成の実体を明らかにし、中国から我が国への有機物汚染の影響を評価する。
- ⑮ 放射性炭素同位体測定に基づく微小粒子状物質の起源に関する研究
  - ・ 都内各所において採取した大気中及び発生源の微小粒子状物質について、放射性炭素同位体 ( $^{14}\text{C}$ ) を分析することにより、都内大気の大気微小粒子状物質の発生源解析を行う

#### 平成21年度の研究成果

##### ① 多次元分離分析法による有機ハロゲン系化合物等の微量有機汚染物質の網羅分析

ア ダイナミックレンジの狭さや膨大なデータの処理が困難といった GC×GC-HRTOFMS 分析法における課題を克服するため、世界で初めて (2010年2月24日現在) 多次元ガスクロマトグラフ (GC×GC) とタンデム型質量分析計 (MS/MS) を組合わせた分析法を開発し、大気粒子やディーゼル排気中粒子に含まれる PAH16 化合物とその類縁化合物 (ニトロ体 14 化合物、オキシ体 10 化合物、メチル体 4 化合物) の高感度・一斉定量を可能にした。従来の GC-qMS 法と比較して、1~2桁程度の感度向上を達成した。

イ また、有機ハロゲン系化合物の網羅的検出の試みとして、GC×GC-MS/MS によるフライアッシュ抽出液のハロゲン基のニュートラルロス測定を行い、多数の塩素系化合物、臭素系化合物、フッ素系化合物とみられるピークを検出した。それらの一部の保持時間はダイオキシン類と重なるが、多くの未知成分の存在が2次元クロマトグラム上で確認された。

##### ② ナノ粒子、微小粒子の組成分析と動態解明に関する研究

ア 都市 (東京) 郊外における夏季の大気中微小粒子について、世界初となる6時間ごとの全炭素  $^{14}\text{C}$  のモニタリングを、微小試料  $^{14}\text{C}$  測定法を用いて実施した。 $^{14}\text{C}$  に昼間低くなる傾向があることを明らかにすると共に、元素組成、イオン、EC/OC と組合わせた CMB 解析を行い、日中は化石燃料由来の1次有機粒子及び2次生成有機粒子が大きく増えること、生物由来粒子は大きくは変動しないことなどを実験的に明らかにした。

イ 酸化触媒付 (2005 年式) ディーゼルトラックの排気粒子を加熱脱着 GC/MS 法で測定し、oxy-PAHs や nitro-PAHs が PAHs と同等以上に高濃度であり、従来のディーゼル排気粒子と大きく組成が異なり、注意を要することを明らかにした。

##### ③ 東アジア地域における POPs (残留性有機汚染物質) の越境汚染とその削減対策に関する研究

ア ベトナムの北部と中南部、タイ (バンコク沿岸)、フィリピン4地点でケンサキイカないしアオリイカの肝臓を入手し、相手側研究者の研修をかねた共同研究を実施しながら前処理、分析並びにデータの精

度管理や解析を進めた。ベトナムのイカ肝臓中 POPs 濃度は日本沿岸や北太平洋のイカと比べて全体的に低めな中で、DDT 類が高い点が特徴として見つかった。

④ 東アジアにおけるハロカーボン排出実態解明のための高頻度・高精度モニタリング研究

ア 波照間・落石におけるハロカーボン連続観測から、PFC 類 (PFC-116、PFC-218、PFC-318) のベースライン濃度が、年 1-3%程度で増加していることを明らかにした。観測値を基に、粒子拡散モデルに基づく逆問題手法と大気輸送モデルを用いて、東アジア (中国、日本、北朝鮮、韓国、台湾) における PFCs の排出量を推定した。その結果、中国は東アジアにおける PFCs 排出量の半分以上を占める最大の放出国であり、日本がそれに続くことが示された。東アジア域における PFCs 排出量は、PFC-116: 0.859 Gg/yr, PFC-218: 0.310Gg/yr, PFC-318: 0.562 Gg/yr と推定された。

イ また、国際共同研究の枠組みの下、波照間、落石のほか、最近観測の始まった中国の Shangdianzi および韓国の Gosan における観測データを使って東アジアの 5 カ国 (中国、台湾、北朝鮮、韓国、日本) からの HCFC と HFC の排出量推定を実施した (Stohl et al., ACPD, 2010)。その結果、中国からの HCFC・HFC 排出が、東アジア全体において、さらに世界的に見ても大きな割合を占めていることが分かった。中国からの HCFC-22 排出量推定値は 65.3 Gg/yr で、東アジアからの推定排出量の 78%、世界全体の推定排出量の 17% を占め、以下、HCFC-141b (12.1 Gg/y) はそれぞれ 75%と 22%, HCFC-142b (7.3 kt/y) は 81%と 17%, HFC-23 (6.2 Gg/y) は 92%と 52%、HFC-134a (12.9 Gg/y) は 67%と 9%、HFC-152a (3.4 Gg/y) は 73%と 7%を占めた。

⑤ 海洋起源ハロカーボン類のフラックスと生成過程に関する研究

ア 波照間島において 4 種類のヨウ素化合物 (ヨウ化メチル、ヨウ化エチル、クロロヨードメタン、ジヨードメタン) の高頻度大気観測を行い、大気中クロロヨードメタン濃度と風速の間に極めてよい相関のあること、ヨウ化メチルとヨウ化エチルには海洋起源のほかにアジア大陸からの影響があることなどを見出した。

イ インド洋～南大洋の白鳳丸航海 (2009 年 11 月～2010 年 1 月) に参加し、北半球～南半球における海水中 VOC 濃度の観測を行い、その変動要因を解析した。南大洋において海洋起源のジクロロメタンを初めて検出した。

⑥ 高磁場 MRI による含鉄タンパク質フェリチンの定量化と分子イメージングへの適用研究

ア 脳内の無侵襲鉄定量において、T2 緩和速度への高分子量成分の寄与を考慮することにより、これまで正確な定量ができなかった白質領域においても灰白質と同様の確度、精度を持って定量することが可能になった。この定式化により脳の全域で生体鉄濃度を画像化する方法に道が開けた。

⑦ 商船による北太平洋 <sup>14</sup>C マッピング

ア 北太平洋上における海洋表層の放射性炭素 (<sup>14</sup>C) 濃度測定について、各海域における季節変動の把握を目的とした試料測定に移行した。一方、日本-オーストラリア-ニュージーランドを航路とする商船を利用して西太平洋における海洋表層の炭素同位体比 (<sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C) 測定の準備を進めるとともに、試料の採取を開始した。この観測を通して、すでにデータの蓄積がある大気中の炭素同位体比に及ぼす海洋の影響、あるいは大気海洋間の二酸化炭素交換係数などの緯度帯ごとの情報を得ることを期待している。

⑧ 熱帯・亜熱帯林生態系による自然起源オゾン破壊物質のガス交換過程の解明

ア 土壌や葉によるハロゲン化メチルの放出量および吸収量を測定するため、一定流量で外気を通気させることで気温や湿度の変化を抑えることが可能なダイナミック型チャンバーの製作を行った。また、ppmレベルの塩化メチルおよび臭化メチルの安定同位体を含む標準ガスを調達し、これを用いた測定法の検討を行った。

⑨ 北九州北部地域に発生した光化学大気汚染エピソード原因解明のための観測

ア 平成21年春季にオゾンなどの測定と同期して、二次粒子測定のためのエアロゾル質量分析計を用いた集中観測を行った。その結果4月8日、5月9日前後に100ppbvを超えるオゾンを観測し、同時に高濃度の粒子状硫酸塩や有機エアロゾルを観測した。長崎福江島のようなリモートな地域においても高濃度もオゾンのイベントがあることを観測から明らかにした。また、NMHC類の毎時間測定を継続し、顕著な季節変化（アルカン類の場合、冬季平均濃度は夏季平均濃度の3~7倍）を観測すると共に、春季のNMHC組成比の解析によって観測された高濃度オゾンイベント毎の光化学反応履歴の違いを示した。

イ 東アジアスケールモデルの解析を進めた結果、福江で観測されたオゾン、二次粒子、NMHC成分、NO<sub>y</sub>のいずれについても中国の影響が大きいこと、特に春の高濃度時のその傾向が顕著であること、NMHC類の排出量を過小している可能性が高いこと、などを明らかにした。

⑩ 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・実測可能な滞留時間別コンパートメントからなる土壌炭素動態モデルの構築

ア 土壌の物理特性を破壊すること無く、最長50cmまで連続的に試料を採取する方法について検討を行った。検討の結果、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。土壌炭素蓄積量および土壌炭素の滞留時間を高分解能（1cm毎）で得ることが可能となった。この手法を用いて、針広混合林および落葉広葉樹林（北海道大学手塩研究林）、カラマツ林（国環研・苫小牧サイト）、ブナ林（苗場山標高1500m、700m）で土壌コアを採取し、1cm毎に仮比重、炭素・窒素含有率、<sup>14</sup>C濃度の分析を行った。針広混合林を除き、その他の森林土壌では、深度が深くなるとともに、炭素・窒素含有率は低く、仮比重は高くなる傾向が見られた。針広混合林では、炭素含有率は深さ14cmから増加し、深さ30cmでも20%と高かった。単位面積あたりの土壌炭素量は、針広混合林で最も高く、またブナ林（標高700m、標高1500m）でもほぼ同等であった。また<sup>14</sup>C分析の結果から、針広混合林土壌は他の森林よりも堆積速度が早いことが分かった。

イ より深層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使用し、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<sup>14</sup>C分析を進めている。

ウ 土壌を①比重分画法と、②物理的方法（比重や粒径）と化学的方法（アルカリ・酸処理）を併用した手法（で分離した試料の<sup>14</sup>C分析を行い、有機物の分解過程を考慮した分離法を検討した。①比重分画法を用いて褐色森林土壌を6画分に分離し<sup>14</sup>C分析をおこなった結果、A層（深さ5~15cm）でも滞留時間が150~350年の炭素が全体の約3/5を占めていることが明らかとなった。また、欧米の耕作土壌で提唱された②物理的方法と化学的方法を併用した手法（Zimmermann et al. 2006）を用いて、耕作土壌2種類（黒ボク土・非黒ボク土）を4画分に分離し<sup>14</sup>C分析をおこなった結果、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た。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。

- ⑪ 近未来予測のための古海洋学：温暖化に伴う気候モードジャンプの可能性・北極海の定量的環境復元とグローバルな気候変動との関連性解明に関する研究
- ア 2006年ベーリング海陸棚斜面により採取したピストン・コアを用いて、浮遊性・底生有孔虫化石の<sup>14</sup>C年代を測定した。浮遊性・底生有孔虫化石の年代差より見かけの中深層循環変動を復元し、表層水温変動記録、生物生産記録などと対比することにより最終退氷期ベーリング海の気候変動を検討した。また、北半球亜熱帯から中高緯度域におけるアジアモンスーン強度とグローバルな気候変動との関連性を解明するために、H18年からH20年にかけて、東シナ海、日本海、十勝沖、オホーツク海、ベーリング海、などにおいて計20地点以上でピストン・コアを採取した。さらに、ベーリング海で中層水形成の有無や形成速度の時代変動を復元するために、アルケノン古水温、TEX86水温温度計、浮遊性・底生有孔虫炭酸カルシウム骨格の炭素・酸素安定同位体比、<sup>14</sup>C年代測定、陸源有機物指標バイオマーカー等の分析を実施した。これらの研究により、北半球における偏西風-夏季モンスーン-河川流出量-縁海の海洋環境、および偏西風-冬季モンスーン-海氷・ポリニア-北太平洋中層水のリンケージが解明されると共に、それらが、どの様にして急激な気候変動の増幅、伝播に拘っていたのか、現在より温暖な気候モードのもとでどう機能するのが明らかになるものと期待される。
- イ 海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」の北極海研究調査MR09-03「北極海における総合観測航海」(H21.8.28-10.25)で採取された、ピストンコアラー・マルチプルコアラーによる海底堆積物コア試料を用い、有機炭素含有量、C/N比、炭素・酸素安定同位体比(有孔虫、堆積物中バルク有機物)、<sup>14</sup>C(有孔虫)、微化石群集解析(珪藻、有孔虫、放散虫)、バイオマーカーなど、総合的な古環境分析を進めている。加えて、浮遊性有孔虫・底生有孔虫の<sup>14</sup>C年代測定を行ない、中深層での循環変動の歴史変化を復元し、表層と深層での温暖化や深層水循環変動のタイミングを検討している。
- ウ 2008年、欧米機関(アラスカ大学、ロシア科学アカデミー、ブレーメン大学等)と協同で砕氷船を傭船し、北極海西側(グリーンランド)から東部(カナダ)に至る海域において水深4000mまでの海水試料の採取に成功した。本研究では、グリーンランド沖で生成される地球規模の深層大循環への温暖化影響を明らかにする上で重要な観測となっており、現在、分析が進行中である。
- ⑫ その他の地球科学系共同研究
- ア 東京近傍(大宮、浦和等)で沖積層を対象とした掘削されたロングコア試料中から、微生物膜脂質を抽出・生成し、そのLC/MS測定の結果からTEX86水温温度を算出した。この結果、縄文海進から平安海進にかけての東京湾の海水温の変動が再現された。
- ⑬ アジアにおける多環芳香族炭化水素類(PAHs)の発生源特定とその広域輸送
- ア アジア諸国(中国、ベトナム等)でエアロゾル試料の採取をおこなった。現在、これらエアロゾル試料中から、抽出、分離・生成、定量し、分取キャピラリーガスクロマトグラフ(PCGC)システムでピーク単離されたPAH化合物を超低バックグラウンドでの極微量炭素のグラファイト調整用に開発した高真空グラファイト反応装置を用いてグラファイト化し、PAHの分子レベル放射性炭素同位体比( $\Delta^{14}C$ )の測定を進めている。
- ⑭ 東アジアと北太平洋における有機エアロゾルの起源、長距離大気輸送と変質に関する研究
- ア 中国(西部、南部、北部)、日本(沖縄辺戸岬、札幌)、および、西部北太平洋(済州島、小笠原諸島父島)における年間を通じたエアロゾル観測を行なった。特に、中国から西部北太平洋への有機物を中心

とした化学物質の越境大気汚染と輸送における有機エアロゾルの変質の実体を解明するために、ローカル汚染の少ない沖縄辺戸岬、札幌、濟州島、小笠原諸島・父島にて、エアロゾル試料を系統的に採取した。これらエアロゾル中の黒色炭素・有機炭素および主要有機化合物（シュウ酸など）の<sup>14</sup>Cの濃度測定を行い、エアロゾルに対する化石燃料および生物からの寄与を検討し、中国での石炭燃焼の我が国および西部北太平洋への影響について検討中である。

⑮ 放射性炭素同位体測定に基づく微小粒子状物質の起源に関する研究

ア 都内大気中及び発生源の微小粒子状物質の発生源を明らかにするため、都が、都内各所に設置している一般局、自排局からサンプリングしたPM2.5 フィルター並びに都内各所の発生源候補（火力発電所、ごみ焼却場など）からのフィルターについて<sup>14</sup>C同位体分析を行い、PM2.5粒子の発生源を検討した。

2.5 外部研究評価

(1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	9	9				18
(平成22年4月)	50	50				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.5点

(2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

化学分析は様々な環境研究の基盤となる重要な分野であるが、本研究は世界的なレベルの技術開発および質の高いデータによりしっかりとそのような要請に応えている。それゆえ、学術・行政への貢献は大きく、また国環研の他のプロジェクトを支える基盤研究という点でも十分機能している。

一方、基盤的な調査・研究活動の成果と環境リスク制御施策との橋渡しということを考えた場合、分析対象の選定や研究の進め方にどのような課題があるかについて、しっかりとした認識が必要である。

[今後への期待・要望]

ヒトの健康と結びつけていくことが次の課題であるので、化学物質の測定データとヒトの健康影響評価指標との関連づけ、すなわち得られたデータと健康との相関を十分に明確化すること、また、蓄積されたデータから未知の環境リスクを抽出していくことが期待される。

なお、常に所内での位置づけに留意しながら、独創的な手法を開発することのみを目的とせず、標榜するケモメトリクスの高度化というゴールに向けて研究を進められたい。

(3) 対処方針

今後推進される化学物質と小児の健康影響に関するエコチル事業への貢献を念頭に、いくつかの分析関連研究を競争的資金を得てすでに開始しているが、毒性研究、疫学研究とも密接な連携を保ちつつ、化学分析でも新たな局面を切り開くべく一層の努力を重ねていきたい。

### 3. 環境健康研究

#### 3.1 研究の概要

環境化学物質や大気汚染物質等の環境ストレスを対象とし、それらが及ぼす健康影響を的確かつ速やかに評価することをめざし、影響評価の実践と、適切かつ新たな影響評価手法、疫学手法・曝露評価手法、高感受性要因も対象としうる適切な動物モデルや培養系等の開発を進める。また、影響評価の実践、応用、検証とともに、健康影響発現のメカニズムの解明を推進し、得られた知見を影響評価手法の開発・改良にフィードバックする。これらの研究を通じ、環境ストレスの影響とその発現機構を明らかにするとともに、簡易・迅速で、かつ、感度と特異度に優れた曝露・影響評価系の開発を進め、健康影響の未然防止をめざした施策に資する科学的知見の蓄積をめざす。

#### 3.2 研究期間

平成18年度～

#### 3.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	96	168	152	157		573
その他外部資金	151	140	161	141		593
総額	247	308	313	298		1,166

#### 3.4 平成21年度研究成果の概要

##### 平成21年度の研究成果目標

##### ① 環境ストレスの影響評価と分子メカニズムの解明に関する研究

ア 環境リスク研究プログラム関連プロジェクト・特別研究「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」：環境化学物質のエピジェネティクス作用を明らかにすることをめざし、今年度はヒ素胎児期曝露による成長後の遺伝子発現への影響や癌組織におけるDNAメチル化変化の網羅的解析、ヒ素長期投与によるエピジェネティクス作用・関連因子の性差に関して検討する。

イ 環境省環境技術開発等推進費「グローバルなDNAメチル化変化に着目した環境化学物質のエピジェネティクス作用スクリーニング法の開発」：環境化学物質のエピジェネティクス作用を効率的に検出する方法を開発することをめざし、今年度は特にMeDIP-Seq (Methylated DNA-Immuno-precipitation-Next Generation Sequencing)法により取得されたデータの解析法を検討する。

ウ 所内・奨励研究「マイクロRNAを用いたヒ素の健康影響検出法の開発」：ヒ素の毒性の早期影響検出や影響予測をめざし、遺伝子発現を調節する機能性分子である「マイクロRNA (miRNA)」に着目し、本年度はヒ素曝露した実験動物の肝臓におけるmiRNAが標的とする遺伝子について検討する。

エ 文部科学省 科研費 若手研究(B)「臓器特異的なTCDD反応性のAhR依存的な遺伝子発現調節メカニズムからの解析」：ダイオキシンの毒性は転写因子AhRが仲介する。ダイオキシンの毒性発現

の臓器特異性の解明をめざし、AhR 依存的に誘導される代表的な遺伝子 CYP1A1 を指標にして、低用量の TCDD を曝露したマウスの肝臓、脾臓において CYP1A1 の臓器特異的な発現調節メカニズムを検討する。

オ 環境省受託「ジフェニルアルシン酸等の標的分子種と薬剤による毒性修飾作用に関する研究」：ジフェニルアルシン酸の胆汁排泄について検討する。

カ ナノテクノロジーを活用した環境技術開発推進事業「環境負荷を低減する水系クロマトグラフィシステムの開発」：トランスフェリンの分析を検討する。

キ 文部科学省科研費 若手研究(B)「ヒ素の体内動態に関する分析毒性学的研究」：ヒ素代謝における GGT の役割について検討する。

② 環境ストレスに対する影響評価の実践、応用、検証と新たな影響評価手法の開発に関する研究

ア 環境リスク研究プログラム関連プロジェクト「環境中におけるナノ粒子等の体内動態と健康影響評価に関する研究」：ナノ粒子・ナノ材料が免疫・アレルギー系、呼吸器系、皮膚、等に及ぼす影響を評価することをめざし、マウスの疾患モデルを用いて、当該物質による各種病態パラメーターの変動を検討する。

イ 科研費・若手 B「樹状細胞による環境化学物質のアレルギー増悪メカニズムの解明に関する研究」：環境化学物質によるアレルギー増悪メカニズムの解明を目指し、環境化学物質がマウスの骨髄由来樹状細胞の機能に与える影響を明らかにするため、in vitro でその遊走能に対する当該物質の修飾作用を検討する。

ウ 科研費・若手(B)「食品中の残留農薬曝露が若齢期のアレルギー疾患に及ぼす影響に関する研究」：食品中に含まれる残留農薬がアレルギー性気管支喘息に及ぼす影響について評価することをめざし、複数のマウスアレルギー疾患モデルを用いて、農薬の経口曝露が及ぼす影響を検討する。

エ 科研費・萌芽「環境化学物質による脂肪肝の増悪とその機構解明に関する研究」：環境化学物質が肥満に伴う脂肪肝への影響について、その作用機構の解明をめざし、分子生物学的、および病理組織学的に検討する。

オ 民間委託「げっ歯類肺傷害モデルにおける肺機能及びサイトカイン変動と環境汚染物質の影響に関する研究」：げっ歯類慢性閉塞性肺疾患での詳細な肺機能・炎症反応の解析と粒子状物質の影響の評価をめざし、マウスの肺気腫モデルを用いて、肺機能、肺での炎症程度、サイトカイン量等を検討する。また、環境汚染物質曝露による同病態への影響に関しても併せて検討する。

カ 科研費・新学術領域「東アジアにおけるエアロゾルの植物・人間系へのインパクト（エアロゾルによる生体影響の評価）に関する研究」：微小粒子・エアロゾルの健康影響とバイオマーカーの同定を目指し、微小粒子・エアロゾルの含有成分である多環芳香族炭化水素類が呼吸器・免疫系に及ぼす影響を明らかにするため、in vitro でマウスの免疫担当細胞やヒト気道上皮細胞に対する影響を検討する。

- キ 循環型社会形成推進科研費「廃棄物リサイクル制度展開の国際比較と化学物質管理の統合システム解析（室内環境の物質影響に関するスクリーニング）に関する研究」：家庭用製品に由来する臭素系難燃剤の室内曝露による健康影響の解明をめざし、当該物質が免疫系に及ぼす影響を明らかにするため、*in vitro* でマウスの免疫担当細胞の傷害や活性化に対する修飾作用を検討する。
- ク 環境省・環境研究・技術開発推進費「ディーゼル排気ナノ粒子の脳、肝、腎、生殖器への影響バイオマーカー創出・リスク評価」：ディーゼル排気ナノ粒子曝露が多臓器に及ぼす影響をホルモン系を軸として体系的に評価することをめざし、ラット・マウスを用いて、当該物質曝露後の各臓器の所見を検討する。
- ケ 文科省科研費・基盤(B)「環境ナノ粒子が高感受性呼吸器疾患に及ぼす悪影響に関する研究」：環境中のナノ粒子が炎症性呼吸器疾患に及ぼす影響を評価することをめざし、マウスや培養細胞を用いて、当該粒子曝露後の肺での炎症反応や細胞形態・活性等を検討する。
- コ 理事長枠「iPS細胞由来心臓細胞を用いたディーゼル排気微粒子の*in vitro* 影響評価の検討」：マウス人工多能性肝細胞（iPS細胞）から心筋への分化培養系を確立し、心血管系への影響が報告されている化学物質の毒性影響を評価する。

### ③ 環境ストレスの体系的、総合的影響評価に関する研究

- ア 環境省（環境保健部）「局地的大気汚染による健康影響に関する疫学調査（そらプロジェクト）」：学童コホート調査の実施、並びに小児症例対照調査の計画・実施に関する各種検討会に全面的協力を行なう。
- イ 環境省（地球環境局）推進費「健康面からみた温暖化の危険性水準情報の高度化に関する研究」：温暖化に伴うオゾン濃度上昇による死亡リスクの推定並びに温暖化と熱中症・熱ストレスに関する影響関数を作成し、リスクマップ作成手法を検討する。
- ウ 環境省（水・大気環境局）「熱中症予防情報提供並びに暑熱環境観測ネットワークの構築と観測実況値提供システムの開発業務」：熱中症予防情報提供システム（HP）の構築とWBGT観測、及び全国規模での暑熱環境観測ネットワークの在り方について検討する。
- エ 日本と中国における自動車排出ガスの健康影響の国際比較に関する疫学研究：日本と中国で自動車交通量の多い幹線道路周辺で生活する人を対象に、大気汚染物質への曝露評価と肺機能検査を各季節に繰り返して実施して大気汚染物質への曝露実態を解明するとともに、大気汚染物質が高齢者の呼吸器系に及ぼす影響を検討した。
- オ NEDO「擬似基底膜を利用したES細胞の分化誘導制御技術の開発に関する研究」ヒトES細胞から肝実質細胞を分化誘導させる。
- カ NEDO「擬似基底膜を利用したES細胞の分化誘導制御技術の開発に関する研究」ヒト/マウスES細胞から膵島β細胞へ効率的に分化誘導させる。

キ NEDO「擬似基底膜を利用したES細胞の分化誘導制御技術の開発に関する研究」ヒトES-hepatocyteの機能成熟を高めるマトリックスを創製する。

ク 特別研究「胚様体を用いた発生分化毒性学に最適化したマトリックスの開発に関する研究」ES細胞から神経組織に分化誘導させる最適なマトリックスを開発し、毒性評価系として利用できるようにする。

ケ 環境省委託研究「人工組織ナノデバイスセンサー複合体を活用した多角的健康影響評価システムの開発に関する研究」バイオモニタリングに応用可能な健康影響評価システムを、バイオナノ協調体を用いて構築する。

#### ④ 環境ストレスに対する疫学的影響評価に関する研究

ア 環境省委託業務「局地的大気汚染による健康影響に関する疫学調査」：環境省（環境保健部）が実施している「局地的大気汚染による健康影響に関する疫学調査（そらプロジェクト）」の円滑な実施のためのバーチャル組織である疫学調査オフィスの運営・管理を行うと共に、調査対象者から継続的な協力を得られるような各種調査業務を実施した。また、詳細な曝露評価モデルを用いた曝露量推計を行った。

イ 所内奨励研究「急性冠症候群発症リスクにおける環境因子と個人レベルの修飾因子に関する疫学的検討」：大気汚染物質や気象条件が心血管疾患発症に与える影響についてこれまで多くの疫学研究が実施されてきた。これらの影響を修飾する因子を検索するために、茨城県内の主要病院における急性冠症候群発症に関するデータを用いて検討した。

ウ 環境省環境技術開発等推進費「大気中粒子状物質等が循環器疾患発症・死亡に及ぼす影響に関する疫学研究」：我が国における微小粒子状物質が循環器疾患に及ぼす影響に関する疫学知見を得るために、既存の循環器疾患コホート調査データならびに特定地域での循環器疾患発症・死亡データと新たに構築する大気汚染物質曝露データベースを結合して、疫学的な解析を行なう。

エ 文部科学省科学研究費補助金新学術領域（公募研究）「黄砂エアロゾルが救急外来受診に及ぼす影響の疫学的検討」：黄砂の救急外来受診に対する急性影響を評価するために、黄砂飛来日と非飛来日におけるSPM濃度と救急外来受診との関連性を検討する。さらには、救急受診の原因疾患別の検討により、各疾患に対する影響評価も行う。

### 平成21年度の研究成果

#### ① 環境ストレスの影響評価と分子メカニズムの解明に関する研究

ア 胎児期のヒ素曝露によってオスの肝臓で後発的に発現変化する遺伝子が存在することが明らかとなり、発癌との関連を検討している。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行っている。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。

イ MeDIP-Seq 法により取得された DNA フラグメント（各試料につき約 160 万フラグメント）をゲノムにマッピングした後、3 種類のソフトウェアを用いて行い、試料間の比較を行い、それぞれの結果を比較した。得られた試料間の比較結果をもとに、実際に得られたフラグメント量と DNA メチル化量の対応に関して、メチル化特異的 PCR 法や Bisulfite-シーケンシング法で確認を行い、有効性の検証を行った。この他、グローバルな DNA メチル化量を LC/ESI-MS 法で測定する実験条件を確立した。

ウ 環境化学物質であるヒ素を投与した実験動物の肝臓における mRNA 発現の網羅的な解析から、2 倍以上発現が増加した遺伝子が 14 種類、2 倍以上発現が減少した遺伝子が 27 種類存在することがわかった。前年におこなった miRNA の網羅的解析結果と比較することで miRNA 発現変化と対応する発現変化を示す遺伝子を明らかにした。これらの成果から、ヒ素の影響検出に miRNA を利用できる可能性があることを明らかにした。

エ CYP1A1 遺伝子を指標にし、肝臓と脾臓における AhR 依存的な遺伝子発現調節メカニズムについて検討をおこなった。その結果、AhR repressor の発現量及び、抑制型ヒストン修飾のレベルが脾臓で高いことが明らかになった。さらに、脾臓においては AhR 依存的に CYP1A1 プロモーター領域がヘテロクロマチン化される可能性も示唆された。以上の結果から、ダイオキシンの毒性の臓器特異性には、エピジェネティクス作用が関与することが示唆された。

オ ジフェニルアルシン酸等の健康影響に関する調査研究では、ジフェニルアルシン酸が胆汁中へグルタチオン抱合体として排泄されていることを明らかにした。

カ 環境負荷を低減する水系クロマトグラフィーシステムの開発においては、すでに製品化しているホモフィリックなカラムと陰イオン交換基を導入したカラムを用いて生体試料への分析を行ったところ、水系移動相で血清蛋白中のトランスフェリンの温度応答的分離が可能となった。

キ ヒ素の体内動態に関する分析毒性学的研究では、ヒ素代謝における  $\gamma$ -glutamyl transpeptidase (GGT) の役割について検討した結果、GGT は体内におけるヒ素 GSH 抱合体の安定性には密接に関係しているものの、ヒ素の排泄量に関してはあまり影響を与えないことが示唆された。

## ② 環境ストレスに対する影響評価の実践、応用、検証と新たな影響評価手法の開発に関する研究

ア 当初の計画通り、ある種のナノ粒子・ナノ材料の曝露が免疫・アレルギー系、呼吸器系、皮膚等に悪影響を及ぼすことを明らかにした。この成果は、ナノ粒子の生体影響のデータベースとして有用であり、PM 対策・環境対策に貢献すると考えられた。

イ 当初の計画通り、フタル酸エステル等の環境化学物質がマウスの骨髄由来樹状細胞の機能に及ぼす影響を検討し、アレルギー増悪作用を持つ環境化学物質は、リンパ節に発現するケモカインに対する骨髄由来樹状細胞の遊走能を亢進することを明らかにした。当初の計画を上回り、これまでに検討した活性化マーカーの発現と機能の関連性や化学物質による影響の差異を明らかにすることもできた。この成果は、環境化学物質によるアレルギー修飾作用の評価に有用であり、アレルギー増悪メカニズムの解明に貢献すると考えられた。

- ウ 当初の計画通り、食品中に残留する可能性がある農薬の若齢期における経口曝露が、アレルギー性気管支喘息などのマウスアレルギー疾患モデルに及ぼす影響を検討し、ある種の農薬がアレルギー性気管支喘息モデルにおいて、雌性マウスの気道炎症を増悪することを明らかにした。この成果は、近年若年層を中心に急増しているアレルギー疾患の原因解明や予防対策に貢献すると考えられた。
- エ 当初の計画通り、脂肪肝の軽減作用を示したある種の環境化学物質による影響について、分子生物学的、および病理組織学的解析により、その作用機構の一部を明らかにした。当初の計画を上回り、ある種の化学物質が糖尿病の病態を軽減することも明らかにできた。この成果は、環境化学物質の生活習慣病への関与を示唆する知見であり、予防対策の確立に貢献すると考えられた。
- オ 当初の計画通り、マウスの肺気腫モデルを用いて、気道過敏性を含む肺機能、肺での炎症程度、サイトカイン量等を詳細に検討し、それらパラメーターの誘発物質（ブタ膵臓エラストラーゼ）の用量依存的な増加・増強を確認し、相関することを明らかにした。また、併せて環境汚染物質であるディーゼル排気微粒子の同モデルへの影響についても検討し、微弱な悪影響を確認した。本バイオアッセイは、環境ストレスによる慢性炎症性呼吸器疾患への微弱な影響も感知しうる評価系として有用と考えられた。
- カ 当初の計画通り、多環芳香族炭化水素類が、マウスの免疫担当細胞やヒト気道上皮細胞に及ぼす影響を検討し、抗原提示細胞あるいはリンパ球の傷害や活性化、気道上皮細胞の傷害と炎症に関わる分子を誘導することを明らかにした。当初の計画を上回り、物質によって標的となる細胞や反応性が異なることを明らかにすることもできた。この成果は、微小粒子・エアロゾルの構成成分と健康影響の相関性の解明に有用であり、健康影響を規定する要因とバイオマーカーの探索や予防対策の確立に貢献すると考えられた。
- キ 当初の計画通り、臭素系難燃剤がマウスの免疫担当細胞に及ぼす影響を検討し、当該物質は、脾細胞の細胞傷害性や活性化マーカーの発現に対する影響は弱いことが、物質によって脾細胞の増殖やサイトカイン産生を増加する傾向があること、抗原提示細胞への直接的な影響は弱いことを明らかにした。当初の計画を上回り、複数の臭素系難燃剤の影響を検討し、免疫担当細胞への直接的な影響よりも上皮細胞等を介した間接的な影響を検討する必要性があることも確認できた。この成果は、家庭系有害廃棄物の健康リスク評価に有用であり、家庭系有害廃棄物の由来、影響、制御を念頭においた管理方策の確立に貢献すると考えられた。
- ク 当初の計画通り、ディーゼル由来ナノ粒子の吸入曝露が脳、肝、生殖器、ホルモン系に影響を及ぼすことを明らかにした。この成果は、ナノ粒子の生体影響のデータベースとして有用であり、PM対策・環境対策に貢献すると考えられた。
- ケ 当初の計画通り、ナノ粒子の経気道曝露がマウスの肺気腫を増悪することを明らかにした。この成果は、ナノ粒子の生体影響のデータベースとして有用であり、PM対策・環境対策に貢献すると考えられた。
- コ 当初の計画通り、マウス iPS 細胞から心筋への分化培養法を検討し、高効率で iPS 細胞から心筋に

分化する培養系を樹立し、心血管系に悪影響を及ぼすことが疫学的に報告されているディーゼル排気微粒子の成分が心筋への分化に影響を及ぼすことを明らかにした。当初の計画を上回り、遺伝子発現やタンパク発現など、複数の定量的な指標を用いた毒性評価系を構築することができた。今後、iPS細胞から心血管系以外の分化培養を行うことにより、様々な生体機能をターゲットとした *in vitro*での毒性評価系への応用も可能と期待できる。

### ③ 環境ストレスの体系的、総合的影響評価に関する研究

- ア 当初の計画通り、自動車排気由来の大気汚染影響を評価する学童コホート調査、小児症例対照調査、成人調査などの計画・実施に関する各種検討会に全面的協力を行なっている。
- イ 当初の計画通り進んでいるが、温暖化と熱中症・熱ストレスに及ぼす影響、温暖化に関する研究は環境疫学研究室で担当した。気候変動に伴う光化学オキシダントの増加とこれによる過剰死亡について国内5地域の2031~50年、2081年~2100年の夏季について推定をおこなったが、光化学オキシダント濃度は気温の上昇に対応していないことを確認し、また死亡リスク推定においては低濃度域では閾値の存在を考慮して再度推定を行った。これらの成果は、温暖化への適応策を検討することにも貢献する。
- ウ 当初の計画通り、熱中症予防を目的に、予防情報の提供、WBGT 温度観測システムの構築、熱中症患者速報、からなる熱中症予防情報提供システム（HP、携帯サイト）の運用を平成19年6月より開始し、毎年初夏から熱中症予防に対する警鐘を発信した。平成21年度は、气象台と一般住宅街（練馬）、郊外（八王子）の違いを明らかにするとともに、建物環境、路面環境などの影響についても評価した。熱中症予防情報提供システム（HP、携帯サイト）への平成21年度のアクセス数は比較的涼しかったにもかかわらず168万件に及び、マスコミ等での照会や引用も多く、有効に活用されている。なお、平成21年度からは、担当研究室を環境疫学研究室に移動した。
- エ 当初の計画通り、日本（東京）と中国（北京）で自動車交通量の多い幹線道路周辺で生活する人を対象に、大気汚染物質への曝露評価と肺機能検査を各季節に繰り返して実施した。特に北京では2008年のオリンピック期間における大幅な大気汚染状況の改善を我々の測定でも確認した。また、その他の時期においては、大気汚染が北京在住の健常高齢者の肺機能に影響していることを明らかにした。引き続き武漢市において、健常大学生における調査を継続中である。
- オ ヒト/マウスES細胞から肝実質細胞に分化誘導するための基底膜培養基質（sBM: synthesized Basement Membrane substratum）を用い、培養法方法を工夫することで、feeder-free 培養で、definitive endoderm から一層機能成熟した肝細胞に分化した。
- カ マウスES/iPS細胞から膵島β細胞に分化誘導するための基底膜基質を創製した。この基質を用い培養方法を工夫することで、feeder-free 培養でありながら、インスリンを分泌するβ細胞が細胞塊として効率よく作成できた。
- キ マウス初代肝実質細胞をテスト細胞に用いて、肝実質細胞の機能の中で、現在最も繊細で且つ関心が高いCypやTransporterの機能が安定維持できる最適な基底膜基質を創製した。また、効果的な培養方法もほぼ確定した。

ク マウスES細胞から作成した胚様体を用いて、神経組織への分化誘導を劇的に促進するマトリックスを創製した。毒性研究への応用を想定し、ES細胞から胚様体を経ずに、直接神経組織に分化誘導する培養系を引き続き検討している。

ケ 表面弾性波（SAW）を利用したバイオナノ協調体の実用化を目指し、性能の高感度化と安定性に取り組みんだ。まず、櫛形電極の設計を改良した。また、SAWチップを収納する微小流体デバイスを試作した。

#### ④ 環境ストレスに対する疫学的影響評価に関する研究

ア 環境省そらプロジェクトの学童コホート調査は平成17年度から毎年全国の小学校で健康調査を実施してきたが、調査対象者の同意率を確保するためにパンフレット及びポスターを作成・配布、保護者等からの電話による問い合わせに対する対応、協力小学校に対する説明などを継続して行ってきたが、平成21年度はその最終年度となり、調査目標達成のために十分と考えられる同意率が得られた。

イ 急性冠症候群による入院と大気汚染物質との関連性を検討した結果、浮遊粒子状物質やオキシダントとの正の関連が認められた。気温と負の関連が認められた。また、性、年齢、既往疾患の有無などにより、大気汚染物質による影響が修飾される可能性があることを見いだした。

ウ 既存の循環器疾患コホート調査データならびに特定地域での循環器疾患発症・死亡データと新たに構築する大気汚染物質曝露データベースを結合して疫学的な解析を行った。これらの成果の一部は平成21年9月に公示された微小粒子状物質の環境基準設定にかける中央環境審議会専門委員会に参考資料として提出され、微小粒子状物質の健康影響評価において我が国と欧米諸国との相違点、類似点を議論する際の重要な知見となった。

エ 長崎市における救急搬送データと黄砂観測ならびに大気汚染物質濃度との関連性を検討するために、黄砂観測日と非観測日との各種大気汚染物質濃度の相違、原因別救急搬送件数データの整備を行った。

### 3.5 外部研究評価

#### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	7	11				18
(平成22年4月)	39	61				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.4点

#### (2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

大変質の高い研究成果があがっていると評価出来る。具体的には、科学的検証においてはエビジェネティ

クスやアレルギー増悪影響等での新規な発見、疫学研究においては成果の一部が政策的にも使われており、政策貢献や市民啓発の点でも高く評価できる。

ただし、いずれも個別課題型研究であって、社会的な要請や環境行政対応を考慮した環境健康領域全体としての研究方針や位置づけが具体的に示されていないのが残念である。また、各研究室が共同体制のとりやすい担当範囲を持っていることのメリットがあまり見えていない印象がある。

[今後への期待・要望]

学術研究として多くの成果が得られていると判断されるが、他分野との連携、環境政策へ寄与できる情報の提供など、他の研究機関との差別化をさらに進めて研究を発展させてほしい。

また、健康影響研究はひとつの論文のみで結論が導かれるものではなく、多くの研究の総合的な評価に基づき環境要因が健康影響を引き起こす特性が明らかになるものである。その意味で、環境研究所における健康影響研究の特徴をどのように出していくか、何（物質、影響、手法等）に焦点を当てて研究を深め、プレゼンスを高めていくか、戦略が必要であるように思う。

### (3) 対処方針

今後も、本研究所における健康影響研究の強み、特徴ともいえる分野に焦点を置き、研究を深め、プレゼンスを高めていくことを心がけたい。特に、実験的研究においては、免疫・アレルギー増悪影響の評価と機構解明、細胞や疑似組織を用いた新規評価手法の開発、エピジェネティクスに着目した影響機構の解明と評価手法開発等に、疫学研究においては、大気汚染物質や環境化学物質の健康影響評価、特に、小児に対する影響の評価に重点を置きたい。これらにより、学術的貢献のみならず、政策貢献や市民啓発にも一層寄与したいと考えている。基盤領域における研究資金としての交付金配分額は重点プログラムに比較し非常に少なく、研究者各個人が獲得する競争的資金を主たる資金とせざるをえない状況であるために、個別課題型研究となっている側面は必ずしも否めない。しかし、領域全体で共通するミッションを掲げ、確固たる理念と方向性を持って、多くの研究課題を進展させており、疫学的研究や評価手法の開発に関わる研究については、社会的要請や環境行政対応を考慮した研究も進めている。今年度より、「子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）」が開始された。これに関連し、次期中期計画では、各研究室が共同し、他分野との連携をはかり、環境汚染化学物質をはじめとする環境要因が小児・次世代に及ぼす影響を、疫学、実験的研究の双方向から総合的に検討、評価、解明することを計画している。これらの試みにより、環境政策へ寄与できる情報の提供など、他の研究機関との差別化をさらに進めて研究を発展させてゆく所存である。

## 4. 大気圏環境研究

### 4.1 研究の概要

気候変動やオゾン層破壊問題、越境広域大気汚染、更には都市における大気環境問題など、地球規模から局所的な大気環境に係る課題について、2つの重点プログラム（温暖化研究プログラム、アジア自然共生研究プログラム）や他研究領域ならびに外部研究機関とも連携しつつ研究を進めている。特に、ライダー計測手法の高度化によるエアロゾルの物理化学的な性状の識別と時空間分布の観測、O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>比の観測などに基づく全球的な炭素収支や地域スケールでの温室効果気体の発生源推定、数値モデルを用いた地球環境（気候変動やオゾン層破壊）の将来予測と過去の環境変化の検出と変化要因の推定、有機化合物の多成分同時リアルタイム分析法を活用した有害有機物質の排出特性計測法の開発、などの研究を推進した。

### 4.2 研究期間

平成18年度～

### 4.3 研究予算

（予算額、単位：百万円）

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	64	57	69	68		258
その他外部資金	153	126	150	191		620
総額	217	183	219	259		878

### 4.4 平成21年度研究成果の概要

#### 平成21年度の研究成果目標

- ① オゾン層変動の再現性と将来予測精度の評価に関する研究
  - ・ CO<sub>2</sub>増加がオゾン層の回復に与える影響を評価する。
- ② 次世代大気モニタリング用多波長高スペクトル分解ライダーの開発
  - ・ 532nmの高スペクトル分解ライダーを開発し、実大気計測実験を行い、その性能を評価する。
- ③ 現在の大気環境の把握や過去からの大気環境の変動の理解
  - ・ 観測の時間分解能を向上させた大気酸素濃度観測データを活用して、領域規模での温室効果気体などの発生源情報が抽出可能かを確かめる。
- ④ 将来の大気環境変化の推定と大気環境変化の予兆の検出
  - ・ アフリカ大陸の降水量が比較的大きい熱帯域での降水量変化に、人間活動の変化が影響を及ぼしているかについて、過去の降水量変化の要因推定を行うことで、人間活動の影響の有無を評価する。
- ⑤ 大気環境アセスメントや大気環境の改善に資する手法開発ならびに基礎データの蓄積
  - ・ ディーゼル車の排気ガス対策にもかかわらず、排出されている可能性があり、健康影響が懸念されるニトロ有機化合物について、陽子移動質量分析計を用いて、ディーゼル車の走行試験での検出を試み、リアルタイムのニトロ有機化合物の検出手法として質量分析計の性能評価を行う。

## 平成21年度の研究成果

### ① オゾン層変動の再現性と将来予測精度の評価に関する研究

- ア 成層圏化学気候モデル（CCM）を用いて、今後のCO<sub>2</sub>の増加の有無が成層圏オゾン層の回復時期に及ぼす影響についての数値実験を行い、南極オゾンホールをはじめとする中・高緯度でのオゾン層の回復時期がCO<sub>2</sub>の増加によって早まる傾向にあることを見出した。これは成層圏CO<sub>2</sub>の増加による長波放射の増大が成層圏の低温化をもたらし、オゾン分解反応の抑制を通して正味としてのオゾン生成速度の加速を促した結果、として説明できる事が分かった。
- イ CCMによるオゾン層回復時期に対するCO<sub>2</sub>増加の影響の内、低緯度域のオゾン層については、上部成層圏でのオゾン生成の加速と対流圏界面高度の上昇による下部成層圏での実質的なオゾン量の減少が競合する結果、低緯度域でのオゾン全量の長期変化は他の緯度帯での振る舞いと様相を事にする可能性が高い事を明らかにした。
- ウ CCMを用いた数値実験と今後のオゾンホールの縮小を考慮に入れない気候モデルとの比較から、オゾンホールの縮小が、南極大陸近傍の偏西風の風速を減速する方向に働き、結果として南極大陸への熱輸送に影響を及ぼす可能性があることを見出した。
- エ 北半球の中緯度の下部成層圏でのオゾンの増加が対流圏での気温の低下をもたらす可能性を観測データならびにCCM数値実験から見出した。これは、成層圏オゾンの増加による対流圏からの波動の吸収の増加に起因する力学的な要因で引き起こされている可能性が高いことを見出した。
- オ バックグラウンドに落ち着いた成層圏エアロゾルの光学的に見た濃度（extinction）の季節変動を解析した結果、亜熱帯に対応する緯度で北半球と南半球に特徴の違い—南半球では、成層圏の中部（30km）付近の季節変動が有意に大きいのに対し、北半球では下部成層圏／上部対流圏での変動が大きい—があることを見出した。南半球の有意な変動は子午面循環の季節変動に対応するもので、北半球の下部成層圏／上部対流圏のものは、水平方向の拡散が効いていることが分かった。

### ② 次世代大気モニタリング用多波長高スペクトル分解ライダーの開発

- ア ラマンチャンネルを付加したライダーシステムを開発した。ラマンチャンネルが加わる事により、煤の様な吸収性のエアロゾルの分布を抽出する事が可能となった。開発したシステムを東アジアに展開中のライダーネットワークに展開するため、ネットワークの内の主要な5地点のライダーについてラマン散乱受信系の設置を行った。
- イ ヨウ素セルを用いた532nmの高スペクトル分解ライダー開発に取り組み、2波長の後方散乱データとレイリー散乱信号を活用した、3チャンネルライダーを開発した。得られた3チャンネルのライダー信号の解析から、ダストと水溶性粒子に加え、吸収性の粒子（煤）の情報を同時抽出するためのプログラムを作成し、3種類の粒子の鉛直分布の抽出を可能にした。
- ウ エタロンを用いた355nmの高スペクトル分解ライダーの開発を進めた。532nmと355nmの高スペクトル分解ライダーを組み合わせることで、7チャンネルのライダーデータを取得出来ることになり、その結果、ダスト、水溶性粒子、ブラックカーボン、そして海塩粒子の濃度を推定できる。更に、ダスト、水溶性粒子、海塩粒子の大きさ（粒径）も推定できる。

- ③ 現在の大気環境の把握や過去からの大気環境の変動の理解
- ア 波照間島でしばしば観測される汚染イベント時(CO<sub>2</sub>やCOの大気中濃度が上昇しO<sub>2</sub>濃度が減少する)のCO<sub>2</sub>に対するO<sub>2</sub>およびCOの大気中濃度の変動比(ΔO<sub>2</sub>/ΔCO<sub>2</sub>比およびΔCO/ΔCO<sub>2</sub>比)を解析したところ、ΔO<sub>2</sub>/ΔCO<sub>2</sub>比およびΔCO/ΔCO<sub>2</sub>比の間には正の相関関係が見られた。また、6日間の後方流跡線解析を行って汚染イベントのエアマス起源を国別(中国・韓国・日本)に分類し、汚染起源とΔO<sub>2</sub>/ΔCO<sub>2</sub>比およびΔCO/ΔCO<sub>2</sub>比との関係を明らかにした。
- イ 日本-オセアニア間を航行する貨物船にガスクロマトグラフィー/熱伝導度検出器(GC/TCD)を用いた大気中酸素濃度(実際にはO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>比)測定装置を設置し、西部太平洋域における酸素濃度の連続測定を可能にした。並行して観測されている大気中CO<sub>2</sub>濃度を用いて計算される大気O<sub>2</sub>濃度の海洋成分(APO=O<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>)の年平均緯度分布にははっきりと赤道付近でのピークが見られた。APOの緯度分布は海洋の物質循環モデルから予想されるにおける酸素循環と整合的であった。
- ④ 将来の大気環境変化の推定と大気環境変化の予兆の検出
- ア 熱帯アフリカ領域の夏季陸域降水量に関する観測データから過去約100年間に平均の降水量に明瞭な減少トレンドがあることが知られているが、気候モデル(MIROC)を用いた20世紀再現実験においても、数値モデルが降水量の減少トレンドを再現していること、また年々変動幅も観測の変動幅をほぼ再現されていることを明らかにした。更に気候変動要因の切り分け実験を行った結果、熱帯アフリカ域の夏季降水トレンドが自然強制力(太陽活動や火山噴火)では説明できず、人為的な強制力の変化(温室効果ガス、対流圏オゾン、人為エアロゾル)に起因している事を明らかにした。
- ⑤ 大気環境アセスメントや大気環境の改善に資する手法開発ならびに基礎データの蓄積
- ア 健康影響が懸念されるニトロ有機化合物について、PTR-MS法を用いてディーゼル車の排気ガス中のニトロ有機化合物の検出を試みた。その結果、シャーシダイナモを用いた走行試験中の排気ガス中に、ニトロメタンやニトロフェノール類が存在していることを見出した。
- イ 植物起源の揮発性有機化合物(VOC)の大気反応による二次的なエアロゾル生成について、その生成収率やエアロゾル成分の反応条件依存性について調べた。その結果、放出量が最も大きいイソプレンの酸化反応によるエアロゾル生成において、非NO<sub>x</sub>存在下でのOHラジカルによる酸化反応系でエアロゾル生成収率が10%程度に達することを見出した。
- ウ 都市域での代表的な人為起源VOCの一つである芳香族炭化水素の光酸化反応からの有機エアロゾル生成が紫外線の強度や波長分布の変化によって影響を受け、紫外線強度の増大やUV-B領域での紫外線量の増加によりエアロゾルの生成量が大きく増加することを見出した。
- エ 将来の気候変化(例えば降水量変化)に対する適応策や緩和策の立案と評価では、温室効果気体等についての様々な排出シナリオを想定し、その時の気候変化を推定する手法(例えばパターンスケールリング)がとられているが、その推定手法の妥当性について、気候変動予測に用いられた多くの気候モデルの数値実験結果を解析した結果、特にエアロゾルの排出シナリオに依存した誤差が生じる事を明らかにした。

#### 4.5 外部研究評価

##### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	7	7				14
(平成22年4月)	50	50				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.5点

##### (2) 外部研究評価委員会の見解

###### [現状評価]

新規な測定ツールや予測ツール（有意な部分抽出法等）の開発や温暖化に関する新たな知見など、基盤領域として学術的にきわめて質の高い研究が的確に進められ、成果も上がっている。また、重点プログラムと相互に関連しながら研究ポテンシャルを継続しており、次世代プログラムの柱となりうる研究の芽出しに成功している。

###### [今後への期待・要望]

大気圏環境を研究する領域としてのまとまり及び方向性（総合的・重点的に取り上げるべき将来的研究課題の探索）や、プログラムとの交流・連携の動的な姿について更に明確に確立されたい。また、無理をして検出と帰属をやるとどうしても誤差が大きくなると思われるので、それに対する対策あるいはデータの使い方（社会への発信や政策への反映）には留意する必要がある。

##### (3) 対処方針

重点研究プログラムとの連携を更に強化していくと共に、プログラムで取り組まれている環境研究の今後の展開に繋がる研究をこれまで以上に推進したい。また、地球規模・地域規模の環境問題と国内の大気圏環境問題が色々な形で関連していることも踏まえた研究の展開を図っていききたい。

検出と帰属研究については、検出・帰属を行う際の誤差評価ならびに検出・帰属された事象に対する合理性の検証などを更に注意深く行っていききたい。また適切な評価に立脚した成果の社会・行政への発信・還元にも努めていきたい。

## 5. 水圏環境研究

### 5.1 研究の概要

水環境保全及び流域の水圏環境を適正に管理するため、閉鎖性の高い水域の富栄養化に起因する湖沼の有機汚濁機構を明らかにする研究や東京湾で夏期に観測される底層の貧酸素化の機構解明を目的とした研究を実施した。流域における環境修復・改善技術開発のため、省エネルギー型水・炭素循環処理技術を改良し実証実験を実施した。地下に漏出した有機溶剤を浄化する技術の有効性と安全性を評価する研究を実施した。また、長期的な影響が懸念される事象について、例えば、森林生態系における窒素飽和現象や、陸域から海洋へ運ばれる珪素の減少による海洋生態系への影響が指摘されている課題について、モニタリングを中心とした調査研究を継続している。

### 5.2 研究期間

平成18年度～

### 5.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	127	119	113	112		471
その他外部資金	199	194	156	140		689
総額	326	313	269	252		1,160

### 5.4 平成21年度研究成果の概要

#### 平成21年度の研究目標

#### ① 水環境保全及び流域環境管理に関する研究

- ア 湖沼における有機物の循環と微生物生態系との相互作用に関する研究：平成21年度は、細菌と藻類の生産速度の測定法を開発する。また、DOM難分解性化メカニズム検討実験を実施する。アオコを形成する藻類の動態等につき測定し発生機構解明に資する。流域・湖内の数値モデルを精緻化し、検証する。
- イ 貧栄養湖十和田湖における難分解性溶存有機物の発生原因の解明に関する研究：本研究では、1986年以降COD濃度が漸増して難分解性溶存有機物(DOM)の蓄積が懸念されている十和田湖の湖水や流入河川水等を採取して、DOM分画手法等を適用してDOMや難分解性DOMの起源・特性を評価する。さらにモデル解析等より、難分解性DOMの起源やその寄与率を算定する。
- ウ 貧酸素水塊の形成機構と生物への影響評価に関する研究：東京湾における有機物分解機構を把握するため、季節毎に懸濁態の有機物分析を行うと共に酸素消費能を評価する。また、下水処理水と降雨時の越流による未処理下水等についても同様の試験を行う。さらに、底泥酸素消費について、酸素消費速度測定などからその機構を明らかにする。
- エ 森林域での窒素飽和現象の解明：高窒素負荷を受けている筑波山において、林内環境の異なる2つの森林集水域での窒素流出特性を比較し、林内環境が土壌中の窒素動態に及ぼす影響の機構解明を通じて、両者の関係性を明らかとする。

## ② 流域における環境修復・改善技術に関する研究

- ア 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：高有機物濃度対応型のメタン発酵槽を開発・作製し、糖蜜系廃液（糖蜜、バイオエタノール廃液）の処理試験を行ってその廃液処理性能を把握する。また、処理後の廃液の液肥としての利用に関する検討を行う。
- イ 地下に漏出した有機溶剤の洗浄剤注入による回収効率と下層への汚染拡散に関する研究：洗浄剤注入法による土壌・地下水中の有機塩素系溶剤の除去回収法について、鉄粉による化学分解への影響を洗浄剤毎に比較検討する。
- ウ 微生物の環境利用およびその影響評価に関する研究：環境保全・浄化に向けてバイオテクノロジー一特に微生物機能を積極的に活用していくために、今年度は有機塩素化合物、油等の環境汚染物質を分解・除去する微生物等の探索を行い、環境保全に有用なシステムの開発を目指す。
- エ 異化型ヒ酸塩還元細菌と天然メディエーターを利用した汚染土壌からのヒ素除去：異化型ヒ酸塩還元細菌によるヒ素の還元・可溶化作用とメディエーターを複合的に利用して、汚染土壌からのヒ素の経済的除去を可能とする新規浄化技術開発のための基礎データの取得を行う。

## ③ 流域における生態系保全のための現象把握・現象解明に関する研究

- ア GEMS/Water による霞ヶ浦モニタリング：霞ヶ浦湖水、底泥、間隙水および流入河川水を毎月1回採取し、栄養塩（窒素とリン）、DOM、難分解性DOM等の長期的トレンドをモニタリングする。
- イ 大気降水物を由来とする有害金属による都市土壌汚染に関する研究：霞ヶ浦湖水、底泥、間隙水および流入河川水を毎月1回採取し、栄養塩（窒素とリン）、DOM、難分解性DOM等の長期的トレンドをモニタリングする。
- ウ 干潟域の物質循環過程における底生動物の寄与を解明する研究：平成21年度は、まず総観的な分布把握と手法の基礎的改良をはかり、ヨシ原およびその全面に広がる干潟を含む生態系が、沿岸域の物質循環過程に果たす役割を評価する基礎をつくる。

## 平成21年度の研究成果

### ① 水環境保全及び流域環境管理に関する研究

- ア a) 平成21年度は、霞ヶ浦湖水を対象としてDOMの室内分解実験を実施して、DOMの分解とバクテリアの増殖速度や2次生産速度（プロモデオキシウリジン法）等の関係性を評価した。バクテリアの増殖速度は $0.45 \text{ d}^{-1}$ 、2次生産速度は約 $30 \text{ mgC} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ であった。当該2次生産速度は外洋の値 $5 \text{ mgC} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ や沿岸域の値 $10 \text{ mgC} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ よりも大きく河口域の値 $30 \text{ mgC} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ に匹敵していた。バクテリアの数が増加する以前にバクテリアの活性が大きく増大することが明らかとなった。プロモデオキシウリジン法は放射性同位体を使用しない。我が国の陸水環境では、現場の観測で放射性同位体を使用できない。従って、本手法によりバクテリアの2次生産速度が国内で初めて測定され報告された。一方、霞ヶ浦を対象とする湖内3次元流動モデルを改良して、流入するDOMを起源別にモデル変数として組み込めるモデルとした。このことにより、特定の河川水に由来する難分解性DOMの霞ヶ浦における寄与を、日付、場所、深さ別に評価することが可能となった。

- ア b) 降雨時に河川（恋瀬川）に流出する溶存有機物(DOM)の $\cdot^{13}\text{C}$ および $\cdot^{14}\text{C}$ を分析・解析した。流量増大に伴いDOM濃度は上昇する。平水時にDOMの年代は約2000年前であったが、流量最大時には200年以下の年代となった。流量が出水前のレベルまで低下すると、DOM年代値は約2000年前に戻った。従って、降雨時に流出するDOMはとても新しいソースに由来するものと言える。田圃・畑等の表層に蓄積していたDOMが出水に伴い河川に流出したと推察される。
- イ a) 十和田湖水DOMの放射性同位体比( $\cdot^{14}\text{C}$ )を測定した。貧栄養湖で $\cdot^{14}\text{C}$ が測定された初めての報告である。十和田湖DOMの年代が1万年を越えるとても古いものであることが明らかとなった。 $\cdot^{14}\text{C}$ と $\cdot^{13}\text{C}$ および分解実験データから、2004年に起きた十和田湖の過去最悪の水質汚濁(COD等)の要因が明らかにできた。当該年では4月と9月にCODが異常に高くなったが、4月は逆送水DOM、9月は逆送水として流入した栄養塩増加によって増殖した植物プランクトン(珪藻)由来のDOMが原因であると示唆された。逆送水の適切な管理の必要性が明らかとなった。
- イ b) 今後は、湖水、流入河川水、降雨時河川水および雨水サンプル等のデータをまとめて入力データとして、現在開発中である十和田湖3次元流動モデルに適用し、難分解性DOMの起源やその寄与率を算定する。さらに、モデルをツールとして用いて具体的な発生源対策のあり方を提言する。
- ウ a) 東京湾における様々な由来の有機物分解性評価を引き続き行ったところ、湾内の主に植物プランクトンに由来する懸濁態の有機物は陸起源のものより分解率が高いことが再確認された。三年間の調査研究により蓄積された測定・実験結果から、植物プランクトンの光合成作用による酸素供給を加味すると水塊中の有機分解に伴う酸素消費より底泥の酸素消費の方が貧酸素水塊形成への寄与が大きいことが明らかとなった。また、これまで得られた観測・実験データを3次元内湾流動・生態系モデルに適用したところ、既存のモデルより高精度で夏季の東京湾の貧酸素水塊の分布を再現することが可能となった。東京湾等の閉鎖性海域における底層貧酸素の問題は、今後環境基準の項目として取り入れることも含めて議論されているところであり、本研究の成果は今までの議論の中で活用されており、さらに、今後の基準設定の課程で貢献すると考えられる。
- ウ b) 本研究の結果、生物への影響は貧酸素そのものだけでなく、その結果生成する硫化水素の寄与が大きいことが明らかとなり、この点をさらに検討するため、平成22年度より実施予定の特別研究「都市沿岸海域の底質環境劣化の機構とその底生生物影響評価」を提案し採択された。
- エ a) 林内環境の悪化(人工林の荒廃)が表層土壌における有機物層の発達や土壌窒素蓄積に影響を及ぼしていること、また、それによって森林生態系からの窒素流出が促進されることを示唆する結果を得た。2年間に亘る集水域単位での詳細な窒素収支調査から、窒素過剰状態(窒素飽和)に陥った森林域では、大気降水物を由来とする流入負荷量に比べ流出負荷量が1.5倍以上となり、明らかに流出過多状態であることが確認された。併せて、硝酸態窒素発生日原単位を算定したところ、霞ヶ浦湖沼水質保全計画での山林の全窒素発生日原単位 $16\text{gN}\cdot\text{ha}^{-1}$ を大きく上回る、 $65.0\text{gN}\cdot\text{ha}^{-1}$ となった。
- エ b) この現象は、大都市周辺の湖沼では同様に懸念され、原単位を大きく変更する必要があるれば各湖沼の水質保全計画策定で大幅な計画内容の見直しが必要になることも考えられる。そこで、さらに詳細に、また、削減シナリオをも考慮した検討を行うため、平成22年度より実施予定の特別研究「窒素飽和状態にある森林域からの窒素流出量の定量評価および将来予測と削減シナリオの構築」を提案し採択された。

## ② 流域における環境修復・改善技術に関する研究

- ア a) 高濃度廃液の処理に対応可能なラボスケールメタン発酵処理システムを独自に設計・作製し、糖蜜系廃液の処理試験（国内：糖蜜廃液、タイ：バイオエタノール蒸留廃液）を開始した。現時点で、有機物負荷 10 kgCOD/m<sup>3</sup>/d の条件下で有機物除去率 90% の安定した処理性能を発揮している。
- ア b) また提案処理技術により処理を行った廃液を、サトウキビ栽培のための肥料（灌漑用水）として利用する際の影響評価（温室効果ガスの発生等）をタイの精糖企業と連携して開始した。
- イ 有機塩素系溶剤で汚染された地下水の迅速な浄化法として開発が進んでいる洗浄剤注入法について、その安全性評価の観点から、鉄粉によるテトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、cis-1,2-ジクロロエチレンの分解速度と分解生成物の評価を行った。テトラクロロエチレンとトリクロロエチレンでは分解反応が β-脱離と水素化分解の異なる 2 つの反応機構の競争反応で進行すること、β-脱離反応は鉄粉濃度に対して 1 次であるのに対して、毒性の高いクロロエチレン類を生成する水素化分解反応は鉄粉濃度に対して 2 次反応であることを明らかにした。この知見は、浄化の効率と安全性確保の点から、透過型浄化壁に充填する鉄粉の量が重要であることを示し、汚染現場で本手法を適用する場合の留意点を明らかにした。
- ウ a) 省エネルギーかつクリーンなバイオテクノロジーを活用した環境浄化技術の開発を目指し、ジクロロメタン (DCM) 分解菌の分離を試み、DCM を唯一の炭素源として増殖・分解が可能な新規微生物 *Hyphomicrobium* sp. DN58 株の分離に成功した。既報の DCM 分解菌よりも分解活性が高く、環境浄化に向けて有用であると考えられる。（特許出願中）
- ウ b) また、安価でクリーンな油浄化手法として植物とその根圏微生物による油汚染浄化技術の開発を試みた。実汚染現場から得られた地下浸出油を用いて油耐性植物の選定を行い、3 種の草本類、2 種の本木類を選抜した。（特許出願中）一方、油汚染土壌における根圏微生物の解析手法を検討し、油分解に直接関与していると考えられる細菌叢のみならず、植物の生育に関与しており最近注目を集めているアーバスキュラー菌根菌などの真菌叢も解析可能なマーカ等の条件を開発した。
- エ a) ヒ酸塩還元細菌による固相からのヒ素可溶化・除去に及ぼす種々のメディエーターの影響を調べた結果、ビタミン B<sub>2</sub> が実利用に適したメディエーターであることが明らかとなった。また、その特性を詳細に調べた結果、ビタミン B<sub>2</sub> 濃度は最終的な固相からのヒ素除去率にあまり影響を及ぼさず、必要最低限の量を添加すれば良いことなど、実用に向けた最適条件が明らかとなった。
- エ b) 本研究の結果から、ヒ酸塩還元細菌とビタミン B<sub>2</sub> の併用によって、ヒ素汚染土壌の経済的浄化プロセスが構築可能であることが示された。

## ③ 流域における生態系保全のための現象把握・現象解明に関する研究

- ア a) GEMS/Water 霞ヶ浦トレンドモニタリングの一環として霞ヶ浦湖水や底泥・底泥間隙水を毎月採取し、また別途、流入河川水を毎月採取して、栄養塩、クロロフィ a、溶存有機物 (DOM)、懸濁態有機物 (POM)、マクロイオン、フミン物質、難分解性 DOM 等のモニタリングを実施した。当該データの質・量に匹敵するデータは国内外で報告された例がなく非常に貴重である。得られたデータは国環研 HP 上にある霞ヶ浦データベースとして公開されている。
- ア b) 上記のモニタリングデータに基づいた研究成果は、湖沼・河川、さらに海域における環境基準の在り方等、国・県等の水環境行政および指定湖沼の湖沼水質保全計画の策定に大いに貢献した。また、我々の開発した研究アプローチについては、多くの大学・地方環境研究所の研究者が取り入

れ研究を実施している。

イ 調査対象としたつくば市内ならびに筑波山のスギ林では、有害金属は土壌の下層に比べて表層に高濃度に蓄積しており、大気降水由来と考えられる元素は、銅、亜鉛、砒素アンチモン、鉛であった。また、降水中の硝酸イオンとアンチモンの比（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Sb 比）が一定であることを利用して、表層土壌に固定されたアンチモン量から、森林土壌への硝酸イオン積算負荷量を推定する方法を考案した。

ウ 干潟に生息する大型底生動物（ベントス）の炭素・窒素安定同位体比を網羅的に測定した。その結果、彼らの主な餌資源は干潟や隣接海域で増殖した微細藻類（植物プランクトンや底生珪藻）であることがわかってきた。ベントスが高密度で生息する干潟の存在は、「微細藻類による栄養塩吸収」および「ベントスによる微細藻類の摂食・同化」の両方の機能で沿岸域の水質浄化（リン・窒素の除去）に貢献していることが示唆された。環境省レッドリストにおいて絶滅の危険性が指摘されている巻貝のウミナナ類・ヘナタリ類の広域分布調査では、従来の方法では小型固体の種同定が困難であったが、PCR-RFLPによる遺伝子同定法によって改良した。

## 5.5 外部研究評価

### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	12				14
(平成 22 年 4 月)	14	86				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.1 点

### (2) 外部研究評価委員会の見解

#### [現状評価]

汚染物質の放出源を同定する手法として同位体測定を導入するなど、個々の基盤的研究は伝統的な流れに乗ったものであり、解り易い。基本的には有意義な研究が実施され、成果も上がっている。

ただ、今後どのように管理するのか、また修復するのかについての踏み込みがやや弱いのではないかと。

#### [今後への期待・要望]

研究の成果は、今後の自治体レベルでのモニタリングの規範を提供するものとしても期待される。更なる考察や科学的解釈（難分解性 DOM についての化学組成解明など）によって行政（環境基準のあり方、汚染原因の管理・修復など）に対する貢献を深めると同時に、あるべき姿とその実現に向けた成果を発信してほしい。

新規素材を核にした技術開発など、問題解決だけにとどまらない新たな展開を図れるよう、ビジョンや戦略を明確にした今後の研究企画立案に期待する。

### (3) 対処方針

湖沼、海域の水質管理だけでなく、それにつながる流域における有機物や栄養塩の循環を対象とした研究を引き続き実施し、期待に添えるよう努力したい。今後の水環境の在り方については、環境省で、関連課題に対応する委員会が複数開催されており、当研究所の研究者もこれらに参画していることから、これらの場

を活用して情報収集や研究成果を基にした情報発信に努めていく。

## 6. 生物圏環境研究

### 6.1 研究の概要

生物圏環境研究領域では、生物多様性を構成するさまざまな生物の保全に関する研究、および多様な生物からなる生態系の構造と機能の保全に関する研究を実施する。第2期中期計画期間においては、(1) 絶滅が心配される希少動植物・固有種等の保全に関する研究、(2) 地球温暖化・大気汚染・水質汚染などの環境変動やストレスが生物と生態系に及ぼす影響に関する研究、(3) 外来生物・遺伝子操作作物の定着・分散の実態の把握と対策に関する研究、(4) 生態系の構造と機能の解析およびその保全に関する研究を中心に進める。

### 6.2 研究期間

平成18年度～

### 6.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	107	159	159	125		550
その他外部資金	121	96	112	112		441
総額	228	255	271	237		991

### 6.4 平成21年度研究成果の概要

#### 平成21年度の研究成果目標

#### ① 絶滅が心配される生物の保全に関する研究

- ア 絶滅危惧種であるシャジクモ類の衰退原因を解明するため、シャジクモ類の種組成の変化を解析する。
- イ 生物および環境にかかわる空間データソースを一括してデータベース化し、実際の生物多様性保全現場において活用可能な情報に変換して提供する方策を立案する。
- ウ 母島のサンゴ礁海域に生息する甲殻類十脚目（エビ・カニ類）について種のリストを作成する。
- エ トンボ目昆虫について種毎の個体群減少率と空間分布制限要因との関係を複数の空間スケール上で明らかにする。

#### ② 環境の変動やストレスが生物と生態系に及ぼす影響に関する研究

- ア イネのオゾンストレス診断アレイを試作する。またオゾンによる収量低下に関与する遺伝子座の同定を行う。さらに、オゾン感受性を評価する手法を開発する。
- イ 衛星データを利用して、地球温暖化の影響を検出する手法を開発する。
- ウ *Stanleya pinnata*におけるセレン耐性・高蓄積性の獲得に必要な因子の分子・生理レベルでの特定を行う。

#### ③ 外来生物・遺伝子操作作物の定着・分散の実態の把握と対策に関する研究

- ア 遺伝子組換えセイヨウアブラナのこぼれ落ち種子由来個体の定着状況のモニタリングを行う。
- イ タデ科ギシギシ亜属を材料に、倍数性を利用して在来種と外来種の交雑実態を明らかにする。
- ウ 有害植物プランクトンを対象として、大型輸送船舶のバラスト水及び船体付着によって人為的に

移動・拡散した海洋生物の由来や定着状況を早期検出する手法について検討する。

- エ 淡水魚オイカワについて、琵琶湖・関東地方河川で見出した系統の地理的分布範囲を調べるために、全国的な自然系統分布を所外研究者との共同で明らかにする。
- オ 南方からの侵入種とされているミナミアオサの東京湾以南における分布と生態を調査する。
- カ 様々なタイプの生態系同士を融合させるコンピュータシミュレーションを行い、生態系の融合に弱い生態系の性質を明らかにする。
- キ 小笠原諸島・父島のダム湖底泥に含まれるユスリカ遺骸の解析から、過去数十年間のユスリカ相の変遷を明らかにするとともに侵入種を特定する。

④ 生態系の機能の保全に関する研究

- ア 湿原泥炭地における土砂の流入、富栄養化、pHの上昇などの自然的、人為的環境変化が湿原の生態系機能へ及ぼす影響を明らかにする。

⑤ その他の研究

- ア オイル生産藻類の、オイル合成関連遺伝子の発現量を比較して、オイル合成経路を推定する。また、培養する際に他の藻類を排除するために、除草剤抵抗性株を選抜する。
- イ 種特異的分子マーカーを DNA アレイ法を用いて効率よく多数取得する技術を開発する。これを用いて種特異的変異がある遺伝子座を特定する。
- ウ 昆虫の野外での個体群サイズを「見かけの競争」により制御する手法の実現可能性を示す。
- エ 都市部・農村部の河川水から農薬とオオミジンコ繁殖の阻害との関係を確認する。

平成21年度の研究成果

① 絶滅が心配される生物の保全に関する研究

- ア 現在生育しているシャジクモ類の種組成を 1940 年代の報告と比較した結果、明るい環境を好むイトシャジクモ類が減少し、比較的暗い環境でも生育可能な種類の出現頻度が増加していることがわかった。この結果は富栄養化によりため池の透明度が減少し、それによってもって光環境が悪化し、より明るい環境を好む種が減少したことを示唆するものであり、現在一様に扱われている絶滅危惧種の中にも、種によって絶滅リスクに違いがあると考えられる。この結果は今後の絶滅危惧種の選定に資するものである。
- イ 福井県等との共同研究により、市民参加による調査で採集された水棲生物の分布データを利用して、土地利用の不均一性にもとづく里山環境の指標を開発し、生物分布推定への利用可能性について検討した。特に、不均一性を算出する際の、解像度や空間スケールについて、生物分布を推定する上で効果的な値を探索することを試みた。また、福井県および地元高校との共同で、分布推定モデルの精度検証にもちいるためのプラスチックコンテナ池を 30 カ所程度福井県福井市内に設置した。
- ウ 未調査域の母島サンゴ礁海域に複数種のサンゴガニが生息していること、ハナヤサイサンゴやミドリイシに共生するエビなどが生息していることがわかった。これらの種については保全すべき種のリストに入り、将来的には国立公園内の海中公園地区において捕獲が制限される種に指定される可能性がある。
- エ 日本トンボ学会の取り組みにより算出された、全国スケールでのトンボ 57 種の過去 50 年間での生息地数の減少にもとづく絶滅リスクと、種毎の生態的特性との関係を解析し、止水性でかつ広い地

理的分布をもつ種の絶滅リスクがより高くなる傾向にあることを明らかにした。また、生態的特性にもとづいて絶滅リスクの予測を行った。このような方法によれば、減少率などの時間的なデータが十分に得られないものも含めた幅広い種を対象に、絶滅リスクの信頼性の高い予測が可能になることが期待できる

② 環境の変動やストレスが生物と生態系に及ぼす影響に関する研究

ア a) オゾンによるイネの収量低下に関与する遺伝子の単離を行った。また、イネの染色体6にオゾン感受性遺伝子座を見出した。この遺伝子座は穂の分枝および穎花数に関するものと同であったため、おそらくこの領域に存在する遺伝子はオゾンに応答して穂の分枝を減少させ、穎花数を減らし結果的に収量低下を招くことが考えられた。

ア b) イネ6品種の幼苗に高温とオゾンの単独及び複合処理を行い、網羅的に遺伝子発現を調べた結果、多数の遺伝子の発現誘導と発現抑制が検出されたが、この中から、高温による増収が大きい品種ほど発現誘導が大きい遺伝子が8個、発現抑制が大きい遺伝子が5個見つかった。また、オゾンによる収量影響を受けやすい品種の幼苗ではファイトアレキシン的一种であるサクラネチンのオゾンによる誘導がほとんど起こらないことを利用してオゾンによる収量影響に関するイネ品種の感受性を幼苗の段階で評価する方法を特許出願した。

イ a) 世界各地で、渦相関法で求めた生態系CO<sub>2</sub>フラックスの季節変化と、観測タワー付近の衛星データから算出したNDVI(植生量の指数)との間に、非常によい相関が見つかった。この結果は衛星データから生態系機能の時間変動特性を推定できる可能性を示すものである。今後、この成果を利用して広範囲の生態系の季節相変動特性の解明を行う予定である。

イ b) 高山生態系に及ぼす温暖化影響の正確な検出を行うため、土壤水分環境の異なる条件下において植物のバイオマス生産の比較を行った結果、土壤水分条件の低い生態系ではバイオマスの生産が低下することがわかった。生態系に及ぼす温暖化影響を評価する際には、土壤水分条件を把握する必要があることが示唆された。これは、今後の温暖化影響の正確な検出に貢献するものである。

ウ セレンを高蓄積する植物は、近縁だがセレンを蓄積しない種を比較して、植物ホルモンであるジャスモン酸、サリチル酸が高いレベルであることが明らかになった。また、これらのホルモンの投与により、本来は蓄積しない種でもセレン耐性・蓄積性が増加したことから、これらのホルモンが植物のセレン耐性・高蓄積性に関与していることが示唆された。この成果は、セレン汚染土壌の修復が可能な植物の育種に生かされることが期待される。

③ 外来生物・遺伝子操作作物の定着・分散の実態の把握と対策に関する研究

ア ナタネ輸入港からの輸送経路にあたる場所で遺伝子組換え西洋なたねが生育していることが6年連続で明らかになった。さらに今年度は、三重県の河川敷においてセイヨウなたねと在来なたねとの交雑種が7個体検出された。セイヨウアブラナ分布の周年変化を明らかにするため、10月に国道3号線、国道51号線および国道23号線について予備調査を実施した。国道51号線および国道23号線に各5カ所の調査区間を設定して定期的に個体数調査を実施した。今後5年間に渡り調査を行う準備が整った。

イ 渡良瀬遊水地を主な調査地として、タデ科ギシギシ亜属のうち出現頻度が高い、絶滅危惧植物ノダイオウおよび外来植物エゾノギシギシ・ナガバギシギシとの交雑の可能性を調査した。フローサイ

トメトリーを用いた倍数性の推定からは、ノダイオウとナガバギシとの中間的な倍数性を示す個体が多数検出され、これら2種の間で高い頻度で交雑が生じている可能性が示された。これは、外来種による遺伝子汚染という従前から危惧されている現象が実際に生じていることを示唆するものである。

- ウ 東京湾で始めて存在が確認された有害植物プランクトンの一種 *Chattonella* について、リアルタイムPCRを適用することで、東京湾集団が、湾口部の限定された海域にのみ定着していることが明らかになった。また港湾堆積物中のシストの分布調査結果や日本各地の集団との遺伝学的解析結果から、東京湾集団は、人為的に東京湾に移入した可能性が強く示唆された。人為的に移動、定着した海洋生物の動態を迅速かつ効率的に把握するために、自然試料から、直接的に集団の遺伝的多様性を検出・解析する手法を検討した結果、ニュージーランド、東京湾、瀬戸内海港湾堆積物試料からの *Chattonella* のマイクロサテライト領域の多型検出に成功した。
- エ 岐阜大学などの研究者との共同研究の結果、九州・西日本・東日本の3系統が見つかり、関東地方河川の系統は東日本系統関東亜群として東日本系統の中で区別された。西日本で広域に分布している魚類には自然分布東限がフォッサマグナ西縁にあるものが多いが、オイカワはその境界を超えていることになり、日本列島における淡水魚類相の形成史を明らかにする上で貴重な材料となることがわかった。
- オ 過去にグリーンタイドの発生が報告されている福岡県博多湾を含めた福岡地区（、大分地区で分布調査を行ったところ、博多湾和白干潟で採取されたサンプルではミナミアオサが優占していた。また、東京湾・谷津干潟においてグリーンタイドを形成するアオサ類の空間分布と季節変化とを調べた結果、在来種アナアオサの繁茂期とされる春季であっても、谷津干潟では侵入種ミナミアオサが優占種となっていることを見出した。
- カ シミュレーション実験の結果、生態系の融合時に、食物連鎖長が短い生態系、最上位種が基底種に依存する割合が高い生態系、一次生産量変動を受けた生態系が規模の大きな絶滅を被りやすいことが明らかとなった。一次生産量の異なる生態系が融合したとき、絶滅の規模に差は見られなかったが、動物は生産量の小さい生態系から大きい生態系に移動する傾向が見られた。
- キ 父島のダム湖底泥に含まれるユスリカ遺骸の解析の結果、多くの種の遺骸が柱状サンプルの新しい表層から古い最深部までのほぼ全層にわたって分布しているのに対し、移入種の可能性が示唆されていたハイロユスリカの遺骸だけはほぼ表層のみに分布しており、比較的最近になって父島に現れたユスリカであることが確認された。

#### ④ 生態系の機能の保全に関する研究

- ア 北海道、釧路湿原において、堤防道路の構築が湿原土壌の理化学性と機能に及ぼす影響について調査を行った結果、堤防から200m近くまで土砂の流入が認められ、それにともない、pHやCa、Mg、Si、Pなどの元素含量の増加が認められた。また、土砂の混入量の多い地点でリン酸の無機化活性も高くなるなど、土壌の生態系機能への影響も認められた。

#### ⑤ その他の研究

ア *Botryococcus brunii* 70のESTライブラリーから、オイル代謝に関わっていると思われる遺伝子について、各遺伝子の発現量を調べた結果、*B. brunii* 70のオイル合成は主として非メバロン酸経路でおこなわれていることが示唆された。*B. brunii*にEMSによる変異源処理をおこない、除草剤耐性株の候補を5株選抜した。*B. brunii*の増殖時に発現している遺伝子の塩基配列を網羅的に調べ、2系統 (bot22, Bot88-2) についてそれぞれ約20,000遺伝子の配列を明らかにした。

イ 種特異的分子マーカーは生物多様性や生物間相互作用を研究する上で強力なツールであるが、遺伝子情報が少ない植物種で分子マーカーを作製することは煩雑な作業を伴う。そこで、DNAアレイ法を用いて分枝マーカーを効率よく取得する方法を開発した。新たに開発した方法は、これまでの約50倍の効率でマーカーを取得できる。この方法を用いて種特異的変異を持つ遺伝子座を34個取得した。

ウ 数理モデルによるシミュレーションでは、天敵個体数の維持された系が実現可能であることが示され、避難所の効果と天敵の餌量によって系の安定性が変化することも示唆された。また、アズキゾウムシとその寄生蜂を用いたモデル系による室内累代飼育実験を行った結果、天敵の餌のための避難所の効果は、高すぎても低すぎても、天敵または餌の個体群動態が不安定になることが明らかとなった。これらの成果を土台に、この手法の実現可能性をさらに検討する。

エ 農薬混入が想定される農村部河川だけでなく、都市部河川においても農薬が検出され、オオミジンコ繁殖阻害との関連が認められた。

## 6.5 外部研究評価

### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	1	17				18
(平成22年4月)	6	94				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.1点

### (2) 外部研究評価委員会の見解

#### [現状評価]

生物の調査における個体数や群集を推定する技術開発や長期モニタリング研究をはじめ、生態系の構成要素やそれらの要素間の相互作用に関する研究を多面的に進めており、広い範囲が対象となる、研究所として必須の研究領域である。基盤領域として質の高い研究成果も着実に発表されており、さらにその結果を行政に生かしたり、特許として生かしたりして有効に活用しており、総合的に見て優れている。また、これまで個人の専門のみに依存して行われていた研究が、まとまったものとなりつつある印象を受けた。材料としての個々の生物に依存する部分(特異性)と一般性を常に考慮する必要がある、それを意識しながらいろいろな取り組みが行われている努力は評価できる。

一方、調査による実態把握は意義があるものの、個別羅列的であり、領域としてのまとまりと研究課題の選定に関する議論と考察が不十分に思える。また、保全や行政への反映が見えない部分がある。

#### [今後への期待・要望]

研究所内で増強される必要がある分野であり、国環研としての独自色を十分出せるような研究を重点的に進めていってほしい。ヒトのリスクとの関連等、他領域との連携も色々と強めていくと同時に、外部の同分野機関との連携も強め、国内の生態系研究のイニシアティブをとれるように努力してはどうか。

また、生物圏環境研究として進展させられるべき研究が行われているかということについて検証が求められる。たとえば、生態系サービスの評価システム・制度の問題などである。現在のテーマでは、人間が生態系の外からの侵入者という立場でしかとらえられていないようだが、現実的には、人間と生態系の最適な相互作用を考えるという視点が重要であり、どのようなテーマを選択するかが大きなポイントとなる。

絶滅リスク、小笠原の保全の調査、バラスト内のシストの同定などの研究では、課題解決のために研究がどのような位置を占めているのか、現状の観察や記述、因果関係の推論と対策の提案等をさらに意識し、研究の出口をどのように考えていくか、行政とのつながりをどのように考えていくかについて、さらに検討を深めることが必要である。

COP10が日本で開かれる年でもあり、一般への広報等についても是非積極的に取り組んで欲しい。

### (3) 対処方針

それぞれの研究の立案にあたって、よりいっそう議論を深める必要性は指摘された通りであり、次期中期の研究計画の立案にあたっても心したい。その際、他機関と連携を深めつつも当研究所の独自色をどこに求めるかという視点にも十分に留意したい。当研究所の生物系以外の研究分野と連携することも、環境研究を総合的に進める体制を持つ研究所の特徴を活かすことになると考えている。環境省所轄の独立行政法人として、自然環境保全への貢献をはじめとする行政貢献の道筋を念頭に置くことの重要性も指摘を受けている通りである。環境省との情報交換を行いながら、研究成果がよりいっそう活用されるよう努力する。

領域全体のまとまりが不十分との指摘に関しては、たしかにそうした傾向はあるものの、将来に向かってのシーズ創出という観点からは多方面展開の中から重要なテーマを見つけるというアプローチにも意義はあると考えている。また、生物という本質的に多様な研究対象を扱う場合、過度にテーマの選択と集中を進めて視野が狭くなることは避けたいと考える。

生物多様性の保全には広く社会の理解と協力が不可欠である。一般向けパンフレット（環境儀）の作成、生物多様性をテーマとした公開シンポジウムの開催などを通じて、これまで以上に広報に力を入れているところである。

## 7. 地球環境研究

### 7.1 研究の概要

基盤的な調査研究としての「地球環境研究」として、(1) 地球環境の監視・観測技術及びデータベースの開発・高度化に関わる研究に関して、「衛星利用の温室効果ガス全球分布観測に関する先導的研究」、「分光法を用いた遠隔計測に関する研究」などを、また、(2) 将来の地球環境に関する予見的研究、環境研究技術の開発などの先導的・基盤的研究に関して、「グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究」、「大気・陸域生態系間の炭素収支研究における化学トレーサーの利用に関する研究」などを実施した。

### 7.2 研究期間

平成18年度～

### 7.3 研究予算

(予算額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	1	1	3	6		11
その他外部資金	5	18	46	39		108
総額	6	19	49	45		119

### 7.4 平成21年度研究成果の概要

#### 平成21年度の研究成果目標

- ① 遠隔計測データ中の地形及び分光特徴の自動認識に関する研究
  - ・ 高空間分解能航空機搭載カメラにより撮影された雪原の画像より、野生動物の足跡を抽出するアルゴリズムの高精度化を行う。また衛星搭載ハイパースペクトルデータの校正において昨年度に開発した高精度校正アルゴリズムによるプロダクトの作成に取り組む。
- ② 分光法を用いた大気計測に関する基盤的研究
  - ・ 分光パラメータに関する研究動向の把握、必要に応じて分光パラメータ取得及び評価を行う。分光法を用いた遠隔計測や直接測定に有効な手法の検討、開発及び試験的研究を行う。
- ③ グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究
  - ・ 森林減少や森林劣化を定量的に把握する手法と、森林減少の防止活動に伴うCO<sub>2</sub>排出削減量のアカウンティング手法に関する研究を実施する。マレーシアやインドネシアの森林を対象に炭素評価システムの検証を行う。
- ④ 大気・陸域生態系間の炭素収支研究における化学トレーサーの利用に関する基礎的研究
  - ・ これまでに開発してきた群落スケールでの微量ガスフラックス観測システムをもとに、より多様な環境への設置と展開を想定して、耐候性と汎用性を高めたバージョンの観測システムの作成を行う。土壌呼吸成分の放射性炭素(14C)の測定を想定した大容量の試料のサンプリングに対応した大型チャンバーシステムを開発作成する。
- ⑤ 環境試料を用いた物質循環の変動や汚染の指標に関する研究

- ・ 隠岐の島におけるエアロゾルの継続採取と各地域での環境試料採と鉛など金属析分析並びに発生源解析
- ⑥ 指標生物群を用いた生態系機能の広域評価と情報基盤整備
- ・ PEN で共通して用いている分光魚眼カメラやモニ 1000 調査区の樹種判別を自動化するための気球カメラを北海道大学苫小牧研究林に導入し、現場で直接観察されている植物機能やフェノロジーとの対応関係を解析する。

## 平成 21 年度の研究成果

- ① 遠隔計測データ中の地形及び分光特徴の自動認識に関する研究
- ・ 連続／重複して撮影された航空写真より野生生物等、移動体を直接検出するアルゴリズムの開発を進めた。
  - ・ また、月探査周回衛星に搭載された可視近赤外分光計による連続分光データの処理に関する研究を進め、月面にほぼ純粋な斜長石からなる岩体が多数分布すること、及び月面の SPA と呼ばれる領域の地下にマグネシウムに富む斜方輝石からなる地層があることを明らかにした。さらに上記データの校正を行うソフトウェアを開発し、同ソフトウェアを用いた大量データ処理／プロダクト作成を実施した。
- ② 分光法を用いた大気計測に関する基盤的研究
- ・ GOSAT TANSO-FTS Band 2 の  $1.67 \mu\text{m}$  帯の測定からメタンの存在量を導出するために用いる分光パラメータについて、これまで作成したスペクトル線リストを文献値等比較したところ、バイアスがある部分が存在することが明らかになった。このため、今まで測定した実験室フーリエ分光スペクトルデータのスペクトル解析の検討を開始した。
  - ・ 大気観測用高分解能フーリエ分光計(地球温暖化研究棟に設置)を用いて、GOSAT の検証作業に適した観測モード(TCCON※モード)での通常観測を開始した。本装置の検定のために、平成 21 年 1 月 7、15 日に実施した航空機同期観測で取得したデータの解析を行ったところ、大気観測用高分解能フーリエ分光計と航空機観測の結果は、これまでの他の観測地点の結果に対して直線上に乗った(検定に成功した)。その結果を受けて TCCON(※)に正式に加入が認められた。また、メタンやオゾン層破壊関連の物質であるフッ化水素、塩化水素の観測及び解析を継続した。(※Total Carbon Column Observing Network、GOSAT 等の温室効果ガス観測衛星データを検証するための最も有効な地上設置高分解能フーリエ分光計観測網。)
- ③ グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究
- ・ 土地利用転換(例えば原生林からアブラヤシ農園への転換)による森林伐採が発生した地点に、IPCC デフォルト法(森林減少面積とインベントリ情報の組み合わせた算定方式)や炭素循環モデルを用いて炭素放出量を推定し、それぞれの結果を比較した。マレーシア・パソーやカリマンタン島を対象にして、ALOS/PALSAR による森林伐採の検出とモデルによる炭素放出量推定手法を適用した。その結果に基づいて、現地データを参考にしつつ、熱帯林における森林減少・劣化を評価する適切なアカウンティング手法の妥当性について検討した。
- ④ 大気・陸域生態系間の炭素収支研究における化学トレーサーの利用に関する基礎的研究
- ・ これまでに試作してきた渦集積法による群落スケールでの微量ガスフラックス観測システムをも

とに、より多様な環境への設置と展開を想定して、耐候性と汎用性を高めたバージョンの観測システムの作成と制御アルゴリズムの検討をおこなった。

- ・ 土壌チャンバーによる観測については、チャンバー観測特有の定常状態への攪乱により生じる各種のアーティファクトを軽減し、より信頼性の高い測定値を得ることの出来る大型のチャンバー観測システムを作成した。これは、放射性炭素の測定に必要な大容量の試料の採取にも応用出来るものとした。
- ・ 植生による光合成による CO<sub>2</sub> の吸収と同じ経路で消失する大気中の微量ガス成分である硫化カルボニル（約 500ppt:CO<sub>2</sub> のおよそ 100 万分の 1）を生態系内での炭素循環のトレーサーとして利用するため、これをより少量(25ml 程度)の試料から高精度に分析するための測定システムについての開発を継続して行った。前処理濃縮システムの改良により分析の安定性の向上と分析のスループットの向上が得られた。

#### ⑤ 環境試料を用いた物質循環の変動や汚染の指標に関する研究

- ・ 長期的に隠岐の島におけるエアロゾルの採取とその保存を行った。エアロゾルサンプルは 83 年 12 月から採取が継続されており 25 年のレコードを持つことになった。試料は、-20℃の試料庫ならびに-80℃のタイムカプセル棟に保存されている。順次分析を行う準備を行った。
- ・ 地方の環境研究所との協力により(長野、京都、富山、名古屋、宮城、北海道、群馬)各地のエアロゾルと降水中の鉛同位体比、硫黄同位体比、イオン、金属、カーボン、などの分析を行い、その起源などについて解析を行った。鉛同位体比の近年の結果から、中国での鉛の同位体比が有鉛ガソリンの中止により変化していることが、各地の鉛同位体比の変化として現れてきていることがわかった。同時に、鉛や硫酸などの濃度はいまだ中国では相対的に高くその指標性はまだ失われていないことが分かった。

#### ⑥ 指標生物群を用いた生態系機能の広域評価と情報基盤整備

- ・ 太陽電池で動作する地上定点撮影カメラを開発し、北海道 2 カ所、九州 1 カ所、本州 1 カ所に設置し試行観測を行った。カメラの波長特性をモノクロメータで評価し、カメラの入れ替え等に伴う観測値の補正係数を作成した。北海道苫小牧研究林では森林樹冠部の撮影と同期して対象木の葉のサンプリングを行い、カメラから得られる色調変化に基づくインデックスと、植生の展葉から紅葉・落葉に至る季節変動との対応を明らかにした。

### 7.5 外部研究評価

#### (1) 評価の結果

	5	4	3	2	1	合計
年度評価	2	13				15
(平成 22 年 4 月)	13	81				100%

注) 上段：評価人数、下段：%

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

外部研究評価委員会による年度評価の平均評点 4.1 点

#### (2) 外部研究評価委員会の見解

[現状評価]

個々の研究者の自発的な研究を大事にする姿勢は、独創的な研究を育てる土壤になると期待され、研究所

の活力を維持するために重要だと考えられる。研究目標はほぼ達成され、長期データの蓄積、論文・学会発表などの面でも多大な研究成果が得られている。研究者の自由な発想をもとに多様な研究を実施し、重点研究の萌芽となり得る研究が活発に行われており、プロジェクト研究を補完するボトムアップ研究としてよく機能している。

一方、多くの研究者が基盤的研究にさけるエフォートはかなり小さいのではないかと危惧がある。

[今後への期待・要望]

このような地道な研究活動を今後も大いに推進させる施策を続け、種々の領域で研究を実施してほしい。基盤的な調査・研究にセンターとしてどれくらいの比重を置き、プログラムとどうつながるのかの明確な哲学が欲しい。

### (3) 対処方針

「地球環境の実態把握及びその変化機構の解明に向けた観測とデータ利用研究の強化を図る」ことを目的として、個別研究課題に関してはボトムアップを基本として、引き続き研究を進める。基盤的な調査・研究にセンターとしてどれくらいの比重を置き、プログラムとどうつなげるのかという点については、次期中期計画の策定作業の中で検討をすることとしたい。