

AG-1-'91

# 国立環境研究所 地球環境研究年報

平成 2 年 度

環境庁 国立環境研究所

## 平成2年度国立環境研究所地球環境研究年報 の発刊に当たって

国立環境研究所地球環境研究年報を創刊いたします。

大気、水、土壌、生物など人間を取り巻く環境を保全することは、すべての人間活動の前提条件であり、人類の生存にとって最も重要なことであります。現代文明のめざましい発展に伴う人間活動の高度化は、昭和40年代に至って幾多の悲惨な公害をもたらしましたが、関係者の努力の積み重ねにより、ようやく厳しい状況を脱することができました。

しかしながら、産業革命以降のエネルギー多消費型社会のつけがじわじわと地球的規模で迫り寄り、地球の温暖化、オゾン層の破壊、熱帯林の減少といった地球環境問題が顕在化しつつあります。

この地球環境問題は、人類の生存基盤を揺るがす大きな問題であり、一旦環境に変化が現れた場合、その変化は不可逆的に進行するため、早急に世界各国が協力しあって対策を講じていくことが必要となっています。しかしながら、将来本当に地球環境がどうなっていくのか正確には予測できていないのが現状であり、効果的な対策を講じるためには、英知を結集し地球環境問題に関する研究を推進していかなければなりません。

当研究所における地球環境研究は、昭和50年代から特別研究として実施してきましたが、平成2年度、地球環境研究総合推進費が創設されたことと連動し、地球環境研究に本格的に取り組むため、平成2年7月、国立公害研究所の16年余の歴史を継承し、新たに国立環境研究所に衣替えし、その中に地球環境研究グループを設置しました。同グループにおいては、地球環境問題の各分野ごとにプロジェクトチームを構成し、その現象・機構の解明、影響の予測、対策等について研究を進めています。また、同年10月には、地球環境研究センターを設置し、分野別に行われている研究の総合化に関する研究等を始めました。

地球環境問題は、これまでの環境問題と比べ対象が地球環境という巨大なものであり問題を実感することがむずかしい面がありますが、われわれの経済活動や日常生活のあり方に大きな影響を与える問題であります。このため、地球環境研究総合

推進費により国立環境研究所で行っている地球環境研究の成果を一般の方々にも分かりやすいようにまとめ、広く紹介することを意図して本年報を作成することとしました。

一方、特別研究については、地球環境研究グループと同時に設置した地域環境研究グループが中心となって交通公害防止、都市大気保全等に関する研究を実施し、その成果は別途「国立環境研究所特別研究年報」として刊行しておりますが、地球環境研究と地域環境研究は当研究所のプロジェクト研究の両輪であり、今後とも研究の推進及び年報の内容の充実に努力してまいりたいと思いますので、ご指導ご鞭撻を賜ることができれば幸いです。

平成3年12月

国立環境研究所

所長 小泉 明

# 目 次

1. 概 況 .....	1
2. 地球環境研究総合推進費による研究 .....	7
2.1 オゾン層の破壊に関する研究 .....	7
2.2 地球の温暖化現象解明に関する研究 .....	17
2.3 地球の温暖化影響対策に関する研究 .....	33
2.4 酸性雨に関する研究 .....	47
2.5 海洋汚染に関する研究 .....	61
2.6 熱帯林の減少に関する研究 .....	67
2.7 総合化研究 .....	73
2.8 課題検討調査研究 .....	81
2.8.1 地球環境問題に関連した大気微量成分計測技術の高度化 に関する予備的研究 .....	81
2.8.2 乾燥地・半乾燥地の砂漠化に伴う環境影響予測に関する 予備的研究 .....	82
2.8.3 気候変動の予測に関する予備的研究 .....	83
2.8.4 アジア・太平洋地域における総合的地球温暖化対策に 関する予備的研究 .....	84

# 1. 概 況

国立環境研究所における地球環境研究は、地球環境研究グループが中心となって実施している。地球環境研究グループは、温暖化現象解明研究チーム、温暖化影響・対策研究チーム、オゾン層研究チーム、酸性雨研究チーム、海洋研究チーム、森林減少・砂漠化研究チーム及び野生生物保全研究チームの7つのチームから構成されている（平成2年度末現在）。グループ全体は統括研究官が、各チームは総合研究官が研究業務を掌理している。

研究は、主として「地球環境研究総合推進費」により実施している。また、「科学技術振興調整費」、「海洋開発及び地球科学技術調査研究促進費」等により一部の研究を進めている。

「地球環境研究総合推進費」は、「地球環境保全に関する関係閣僚会議」が策定する「地球環境保全調査研究等総合推進計画」に基づき、環境庁が策定する「地球環境研究計画」により、関係省庁の国立試験研究機関、大学等広範な分野の研究機関の研究者を結集し、学際的、省際的、国際的な観点から地球環境保全のための研究を総合的に推進するための経費として、平成2年度新設された。

「平成2年度地球環境研究計画」においては、研究対象分野として、

- (1) オゾン層の破壊
- (2) 地球の温暖化
- (3) 酸性雨
- (4) 海洋汚染（人の活動による海洋環境の変動を含む）
- (5) 野生生物の種の減少
- (6) 熱帯林の減少
- (7) 砂漠化

が設定されている。

また、研究は次の3区分に分類されている。

- (1) 課題別研究：地球環境研究の個別要素に係る研究
- (2) 総合化研究：複数の個別要素に係る研究の成果を活用し、課題別研究の総合化または複数分野の横断化を行う研究
- (3) 課題検討調査研究：実施の具体的用途が未分明で検討・分析を要する研究領域についての適切な課題の設定又は課題の見直しに反映させるために必要な調査研究課題別研究の各課題ごとに次の研究が必要とされている。

## A. オゾン層の破壊

### ①人の活動がオゾン層に及ぼす影響

成層圏のオゾンをはじめとする各種大気微量成分の時間的、空間的動態を解明するためには、オゾンレーザーレーダー、赤外線ヘテロダイン、ミリ波望遠鏡、航空機等の各種観測手段を用いてそれらの動態を把握する必要がある。さらに衛星を利用した高精度高頻度の測定手法の開発を図る必要がある。また、オゾン層破壊の予測モデルの精緻化を図るためにエアロゾルの生成・消滅過程等の成層圏で進行している物理的・化学的過程の機構解明を行う必要がある。

### ②オゾン層破壊の影響予測・評価

オゾン層の破壊による UV-B の増加が人の健康に悪影響を及ぼすことが懸念されているため、特に紫外線の増加が皮膚がんの増加と免疫機能の低下に与える影響について解明する必要がある。また、紫外線の増加が農作物、植物プランクトン及び海藻類の成長・増殖阻害に与える影響について、定量的な予測・評価を行う必要がある。

### ③保全対策

特定フロン等は 2000 年に全廃することで国際的合意に達しており、安全で環境負荷の少ない代替物質の開発とその環境影響評価を行い、同時にフロン等の安全で確実な分解技術の研究を推進する必要がある。

## B. 地球の温暖化

### ①人の活動が地球温暖化に及ぼす影響

人の活動に伴う地球温暖化の将来予測のため、人間活動が温暖化現象に及ぼす寄与、温暖化メカニズムの解明を進め、これらを踏まえた温暖化予測モデルの高度化を図っていくことが重要である。

このため、温室効果気体の発生源及び発生量の定量的把握を行うとともに、温室効果気体及び関連気体の大気中における変動の把握及びそれらの消滅にかかわる大気化学反応過程の解明を図る。さらに、各種温室効果気体の温室効果評価の精密化を図る。また、大気中の温室効果気体の消長に海洋及び陸上生態系が大きな影響を及ぼすことから、大気・海洋間の交換及び海洋における炭素の循環・固定の定量化、ならびに陸上生態系における炭素循環機構の解明を図る。

さらに、温暖化予測に関する不確実性の要因となっている様々なプロセスとして、雲の発生・分布等の解明を進めていく。

上記の研究等を踏まえ、地球温暖化の将来予測の高度化を図っていく。

### ②地球温暖化の影響予測・評価

現在提示されている気候変動シナリオに基づき、日本及びアジア・太平洋地域を対象として、地球温暖化による環境及び社会経済への影響について、可能な限り定量的な予測・評価を行い、必要な対応策の検討に結びつけていく必要がある。

このため、地球温暖化が植物に及ぼす影響、人の健康への直接的・間接的影響を把握するとともに、特に温暖化に伴い様々な影響が顕在化する可能性のある都市環境への影響評価に関する研究を進める。

### ③保全対策

地球温暖化への対応に当たっては、広範な分野における様々な対策オプションの効果と経済・社会的影響を評価したうえで最適な対策の組み合わせを見いだしていく必要がある。また、温室効果気体の削減に資する革新的な技術開発を進めることが期待される。

このため、対策技術を効果、経済性など様々な観点から評価する手法を検討するとともに、地球温暖化防止対策のための広範な政策オプションの導入・組み合わせによる効果を総合的に予測、評価するためのシステムの開発を図る。

## C. 酸性雨

酸性雨の生成機構、生態系への影響機構については未解明の点が多く、未然防止の観点から、国内及び越境汚染による酸性雨被害発生の可能性を見極めることが迫られている。このため、東アジアにおける酸性・酸化性物質の動態解明、酸性降下物の植物・陸水、土壌への影響の機構の解明を進める必要がある。

#### D. 海洋汚染

海洋環境の保全を手遅れにならないように進めていくためには、海洋の緩衝能に関連する機構を明らかにし、今後の人間活動の増大に伴う影響評価を行うとともに、人間活動が海洋環境に及ぼしている影響を的確に把握していくことが重要である。このような観点から、海洋、特に沿岸域から外洋への物質フラックスを含む循環過程の解明、海洋汚染物質の生態系への取り込み・生物濃縮の解明、海洋環境変動の広域的把握を進める必要がある。

#### E. 熱帯林の減少

熱帯林生態系の保全対策を検討するためには、熱帯林生態系の環境と構造に対する基本的な知見が必要であり、動植物、土壌、物質循環等の各種専門家が共通のフィールドで熱帯林の構造解析、生物種の多様性の解析、熱帯林の土壌等の環境形成作用等の研究を行う必要がある。また、野生生物種の保存のための諸条件及び方策に関する研究を行う必要がある。

平成2年度地球環境研究総合推進費により国立環境研究所において次の課題について研究を行った。

##### (1) 課題別研究

##### オゾン層の破壊

- ・オゾン層の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究  
オゾン層観測データ等を用いたオゾン層変動の総合的解明に関する研究
- ・新型レーザーレーダ計測技術の開発に関する研究  
衛星利用レーザー長光路吸収計測技術の開発に関する研究（分光計測法の開発）
- ・成層圏オゾン層の物理的・化学的変動機構の解明とオゾン層変動の予測に関する研究  
オゾン層破壊に関与する光化学反応の解明に関する研究  
成層圏オゾン層の物理的変動機構の解明とモデル予測の高度化に関する研究
- ・紫外線の増加が人の健康に及ぼす影響に関する研究  
紫外線による免疫機能等生体防御機能の低下に関する研究（発がんリスクの促進影響）
- ・紫外線の増加が植物に及ぼす影響に関する研究  
紫外線の植物への影響の作用機構に関する研究
- ・フロン等代替物質の開発と環境影響評価に関する研究  
フロン等代替物質の開発及び環境影響評価に関する研究（フロン等代替物質の対流圏分解物質の環境影響評価に関する研究）

##### 地球の温暖化

- ・温室効果気体等の組成・濃度の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究  
反応性温室効果気体（メタン、NMHC等）の動態解明に関する研究
- ・メタン・亜酸化窒素の放出源及びその放出量の解明に関する研究  
バイオマス燃焼による放出量の解明に関する研究  
閉鎖性水域からの放出量の解明に関する研究
- ・温室効果気体等の大気化学反応過程の解明に関する研究  
温暖化関連気体の大気中での光化学反応機構の解明に関する研究  
温暖化関連気体の大気中での反応速度の測定に関する研究
- ・海洋における炭素の循環と固定に関する研究  
海洋プランクトンによる炭酸ガス固定能力に関する研究

海洋沈降粒子による炭素の沈降フラックスに関する研究

- ・陸上生態系における炭素循環機構の解明に関する研究  
自然陸域生態系における炭素循環系の定量的解析に関する研究
- ・気候変化に係わる雲の大気物理過程の解析に関する研究
- ・地球の温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究  
自然植生の分布への影響の解明及び予測に関する研究
- ・地球温暖化による都市環境の影響評価及び対策に関する研究  
都市環境への影響の評価システムの開発と総合評価に関する研究
- ・地球温暖化による人類の生存環境と環境リスクに関する研究  
温暖化による健康リスク評価と手法開発に関する研究（個人影響（個人の生理学的影響）に関する研究）
- ・地球温暖化防止対策評価に関する研究  
対策技術の評価及び評価手法の開発に関する研究（民生・生活関連分野の温室効果ガスアナリシス、対策技術探索、個別技術評価に関する研究のうち、二酸化炭素の発生アナリシスと対策技術探索、評価に関する研究）  
政策オプションの評価手法に関する研究（予測支援モデルの開発に関する研究）

#### 酸性雨

- ・東アジアにおける酸性・酸性化物質の動態解明に関する研究  
酸性、酸性化物質等の動態解明のための地上観測に関する研究  
東アジアにおける大気動態解明のための航空機等を用いた観測に関する研究（航空機観測のための酸化性物質の高感度計測システムの開発及び汚染物質輸送、変質等の解析に関する研究）
- ・植物に与える酸性及び酸化性物質の影響に関する研究  
自然植物系における酸性及び酸化性物質の影響に関する研究
- ・酸性降下物の陸水・土壌への影響機構に関する研究  
日本における集水域の酸性化予測と陸水・土壌生態系への影響に関する研究  
地質・土壌の酸性雨に対する水文・地質学的応答特性に関する研究

#### 海洋汚染

- ・大陸棚海域循環過程における沿岸－外洋の物質フラックスに関する研究  
海洋物質循環の変動機構に関する研究
- ・海洋汚染物質の海洋生態系への取り込み及び循環に関する研究  
海洋プランクトンの海洋汚染物質の取り込み及び循環に関する研究
- ・衛星可視域データのグローバルマッピングによる広域環境変動に関する研究  
衛星可視域データによる広域海洋環境の指標化に関する研究

#### 熱帯林

- ・熱帯林生態系の環境及び構造解析に関する研究
- ・熱帯林生態系における野生生物種の多様性に関する研究  
動植物種の生活史及び相互関係の多様性に関する研究
- ・熱帯林の環境形成作用の解明に関する研究  
植物群落の微気象改変作用に関する研究  
植物群落及び土壌生物の土壌環境形成に関する研究



(2) 総合化研究

- ・ 持続的発展のための世界モデルに関する研究

(3) 課題検討調査研究

- ・ 地球環境問題に関連した大気微量成分計測技術の高度化に関する予備的研究
- ・ 乾燥地・半乾燥地の砂漠化に伴う環境影響予測に関する予備的研究
- ・ 気象変動の予測に関する予備的研究
- ・ アジア・太平洋地域における総合的地球温暖化対策に関する予備的検討
- ・ 湾岸原油汚染等が地球環境に及ぼす影響等に関する予備的研究

## 2. 地球環境研究総合推進費による研究

### 2.1 オゾン層の破壊に関する研究

#### 〔研究組織〕 地球環境研究グループ

統括研究官	秋元 肇
オゾン層研究チーム	○笹野泰弘・中根英昭・杉本伸夫・横田達也・林田佐智子
温暖化現象解明研究チーム	坂東 博
社会環境システム部	
情報解析研究室	須賀伸介
化学環境部	
計測技術研究室	古田直紀
環境健康部	
病態機構研究室	藤巻秀和・青木康展
大気圏環境部	
大気物理研究室	花崎秀史・宮崎 武
大気反応研究室	三好 明・山本和典
高層大気研究室	鈴木 睦
大気動態研究室	井上 元・泉 克幸・湊 淳・松井一郎
生物圏環境部	
環境植物研究室	大政謙次・清水英幸
環境微生物研究室	渡辺 信・佐竹 潔
地域環境研究グループ	
上席研究官	三浦 卓
新生生物評価研究チーム	近藤矩朗
環境統計手法研究官	松本幸雄
客員研究員	21名

#### 〔研究概要〕

フロンガス（クロロフルオロカーボン；CFC）は非常に安定な化合物であり、無臭、不燃などの数々の特長を持っているため、洗浄剤、発泡剤、冷媒、スプレー商品などに幅広く使用されている。安定であるために、対流圏（地上約15 kmまでの大気）中では分解せずに成層圏（地上約15～50 kmの大気）に達し、紫外線によって分解されて塩素原子を放出し、この塩素原子が連鎖反応的に成層圏オゾンを破壊する。フロンのほか、消火剤に含まれるハロンから放出される臭素原子もオゾン層を破壊することで知られている。

フロン等によるオゾン層破壊は1970年代から警告されていたが、南極オゾンホールという予測をはるかに上回る深刻な事態として人類の前に姿を現した。また、中緯度においても冬季には、モデル予測を上回るオゾンの減少トレンドが検出されているが、その原因は解明されていない。したがって、今後フロン等によるオゾン層破壊がどの程度まで進行し、人の健康や生態系にどの

程度の被害を与えるのかについては、定量的に把握されているわけではない。また、フロン等に代わる代替フロンの開発が急務であるが、そのためには代替フロンの環境影響評価手法の確立が必要である。

このような状況においてオゾン層破壊の研究にまず求められるものは、現実のオゾン層の変動を詳細に把握し、変動機構を解明することであり、それと同時にオゾン層の正確な将来予測に必要な諸過程に関する理論的、実験的研究と、それに基づいたモデル予測の高度化を行うことである。また、オゾン層の破壊によってもたらされる紫外線（UV-B）の増大が、人の健康や生物及び生態系に及ぼす影響を定量的に把握することが必要である。

本研究では、上に述べた研究に対する要請を踏まえ、オゾン層の動態、変動機構、将来予測手法、オゾン層破壊の健康影響評価、植物影響評価、代替フロンの環境影響評価に関する研究を行う。

### 課題1 オゾン層の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究

・オゾン層観測データ等を用いたオゾン層変動の総合的解明に関する研究

つくばにおける成層圏オゾン及びエアロゾルのレーザーレーダー観測データ、オゾンゾンデ特別観測データ等による日本上空のオゾン濃度鉛直分布データを、衛星データや気象データと組み合わせ合わせて解析することによって、日本上空における成層圏大気・オゾン層の時間的・空間的変動の特徴を総合的に解明する。また、日本上空におけるオゾントレンドの解析を行う。研究計画のフローを図1に示す。

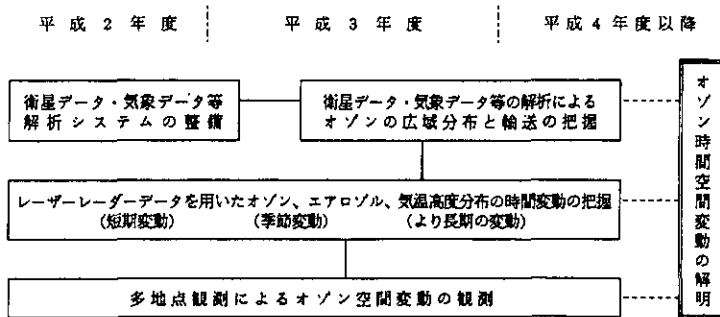


図1 オゾン層の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究

### 課題2 新型レーザーレーダー計測技術の開発に関する研究

・衛星利用レーザー長光路吸収計測技術の開発に関する研究

分光計測法の開発

オゾン層破壊の実態把握のためには、オゾン及びオゾン層破壊に関連する種々の分子を高感度・高精度で測定する必要があるが、衛星利用レーザー長光路吸収法はそのための重要な技術の一つである。衛星利用レーザー長光路吸収計測技術の確立のためには、測定対象分子ごとの最適な分光測定手法の選択、有望なレーザー光源についての特性の評価と最適なレーザー光源の選定、測定データから大気微量分子の高度分布と気柱全量を求めるためのアルゴリズムの開発が必要である。このために、既存の赤外レーザーを用いた分光測定実験とレーザー波長特性調査を行うと共

に、測定に必要な高精度のレーザー波長掃引機構の開発、信号検出・処理装置の検討、データ解析手法の開発を行い、衛星利用長光路吸収測定の基本技術を確立する。研究計画のフローを図2に示す。

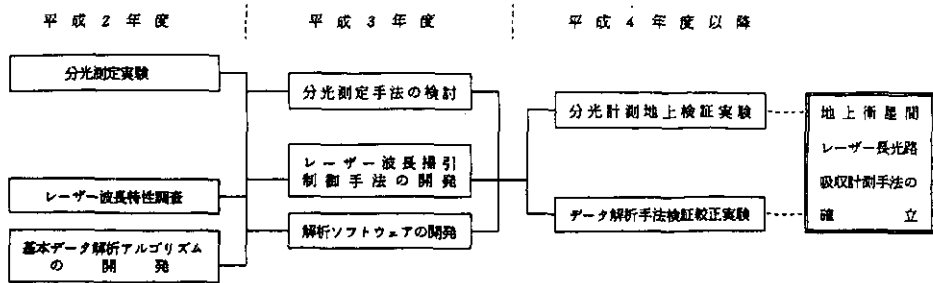


図2 新型レーザーレーダー計測技術の開発に関する研究

### 課題3 成層圏オゾン層の物理的・化学的変動機構の解明とオゾン層変動の予測に関する研究

#### (1) オゾン層破壊に関与する光化学反応の解明に関する研究

光化学反応の実験的解明： 数値モデルに組み込む多くの光化学反応の中には、反応機構や反応速度係数について十分解明されていないものがある。特に、ラジカル反応については多くの反応速度係数が未決定である。本研究では、物理化学的手法による反応機構、反応速度係数に関する研究と光化学チャンバーによるオゾン層破壊反応の実験的シミュレーションを組み合わせ、オゾン層破壊反応の解明を行う。さらに、フロン、ハロン、代替フロンのオゾン破壊能を決定するための実験を行う。

光化学反応のモデル化： 光化学チャンバー内で行うオゾン層破壊のシミュレーション実験の結果をモデル計算と比較検討することにより、光化学反応機構に関する知見が得られ、光化学反応モデルを改良することが可能になる。本研究では、オゾン層破壊のモデル計算に必要な光化学反応モデルを開発するとともに、エアロゾルの表面における不均一反応を組み込む手法について検討を行う。

#### (2) 成層圏オゾン層の物理的変動機構の解明とモデル予測の高度化に関する研究

気相光化学反応、放射、拡散過程を含む次元モデルを開発し、種々のフロン等規制シナリオ、代替シナリオに基づくオゾン層の将来予測を行うと共に、オゾンレーザレーダー等によって観測されるオゾン濃度の変動機構の解明を行う。さらに、オゾンホールに関連して重要な力学過程である、極渦崩壊過程の数値シミュレーション手法の高度化を行う。

研究計画のフローを図3に示す。

### 課題4 紫外線の増加が人の健康に及ぼす影響に関する研究

#### ・紫外線による免疫機能等生体防御機能の低下に関する研究

発がんリスクの促進影響： 紫外線、特にUV-Bの増加による免疫系などの生体防御機能の低下機構を、実験動物や培養細胞に紫外線を照射し、紫外線量と発がんの量-反応関係、免疫担当細胞への影響、がん関連遺伝子と生体防御タンパク質の発現への影響等を検討することにより明らかにし、紫外線による発がんリスクの促進影響を評価する。さらには、紫外線による発がん

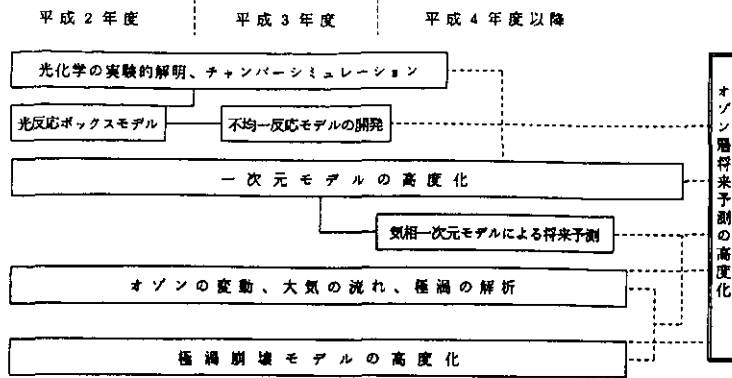


図3 成層圏オゾン層の物理的・化学的変動機構の解明とオゾン層変動の予測に関する研究

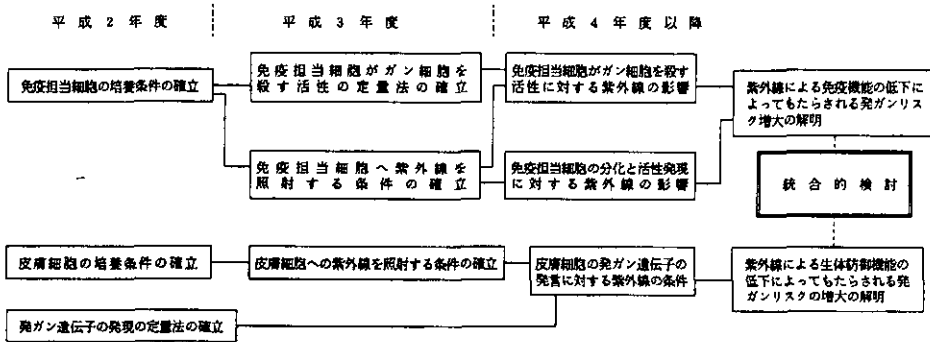


図4 紫外線の増加が人の健康に及ぼす影響に関する研究

に対する発がんプロモーターの影響について検討し、紫外線による発がんリスクの促進影響について評価を行う。研究計画のフローを図4に示す。

課題5 紫外線の増加が植物に及ぼす影響に関する研究

・紫外線の植物への影響の作用機構に関する研究

オゾン層破壊により増加する紫外線 UV-B による、植物の成長、増殖の阻害作用機構を明らかにするために、290～320 nm の紫外線について、高等植物の成長阻害の作用スペクトルを明らかにすると共に、紫外線受容物質の推定、UV-B の活性酸素防御系酵素に与える影響、可視光による回復、種々の植物種、環境条件における紫外線の影響の比較、可視障害の画像診断法の検討を行い、紫外線の植物への影響の作用機構を解明する。また、微細藻類の増殖・光合成に及ぼす紫外線の影響の藻類種間差について検討する。さらに、環境条件と紫外線吸収物質含有量及び紫外線感受性との関係を比較し、植物の紫外線防御機構を推定する。研究計画のフローを図5に示す。

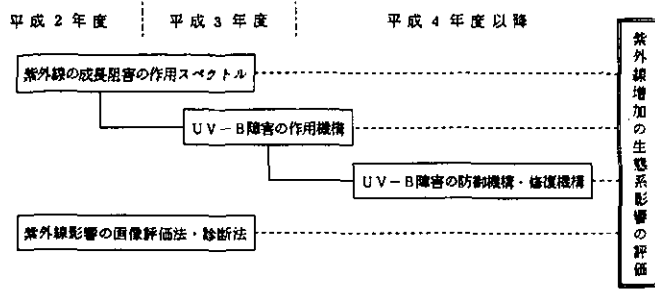


図5 紫外線の増加が植物に及ぼす影響に関する研究

課題6 フロン等代替物質の開発と環境影響評価に関する研究

・フロン代替物質の開発及び環境影響評価に関する研究

フロン代替物質の対流圏分解物質の環境影響評価に関する研究： 物理化学的手法を用いて、フロン代替物質の大気バックグラウンドでの光分解・光化学反応速度を調べ、二次生成物の生成濃度を推定する。また、成層圏における光分解速度を測定し、分解生成物の定量的関係を明らかにする。さらに、代替フロン及び二次生成物の環境濃度の推定を行い、その生体影響を評価する。研究計画のフローを図6に示す。

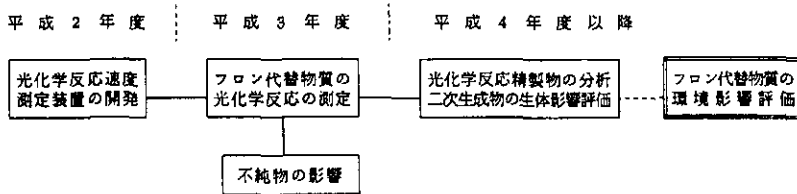


図6 フロン等代替物質の開発と環境影響評価に関する研究

〔研究成果〕

(1) オゾンレーザーレーダーによって観測された成層圏オゾンの変動

平成2年度中に得られたデータについて、オゾン濃度の季節変化の特徴、及び冬季に見られた大きなオゾン変動について予備的な解析を行った。

この1年間には、50回以上の観測を行い、データ診断の結果40以上のデータが良好なものと判断された。観測高度範囲は、最大16~45 kmの間であるが観測条件により上限及び下限が異なる。25~40 kmの間については大部分の観測において良好なデータが得られた。

図7に、1990年4月~1991年3月の間の高度別オゾン数密度を示した。図の中には、1968年12月~1990年8月の間(23年間)に高層気象台(つくば市)において得られたオゾンゾンデ観測によるオゾン濃度の月ごとの平均値と標準偏差(ばらつき)を△と破線で示している。1990年4月~1991年3月の間のオゾンレーザーレーダー観測結果は、ほぼオゾンゾンデ観測の標準偏差の範囲内に入っている。破線の下に示した数字は23年間のゾンデ観測データの個数であるが、高度35 kmのデータは極めて少なく、40 kmでは皆無である。これらの高度領域でのオゾンレーザーレーダー観測の重要性は大きい。

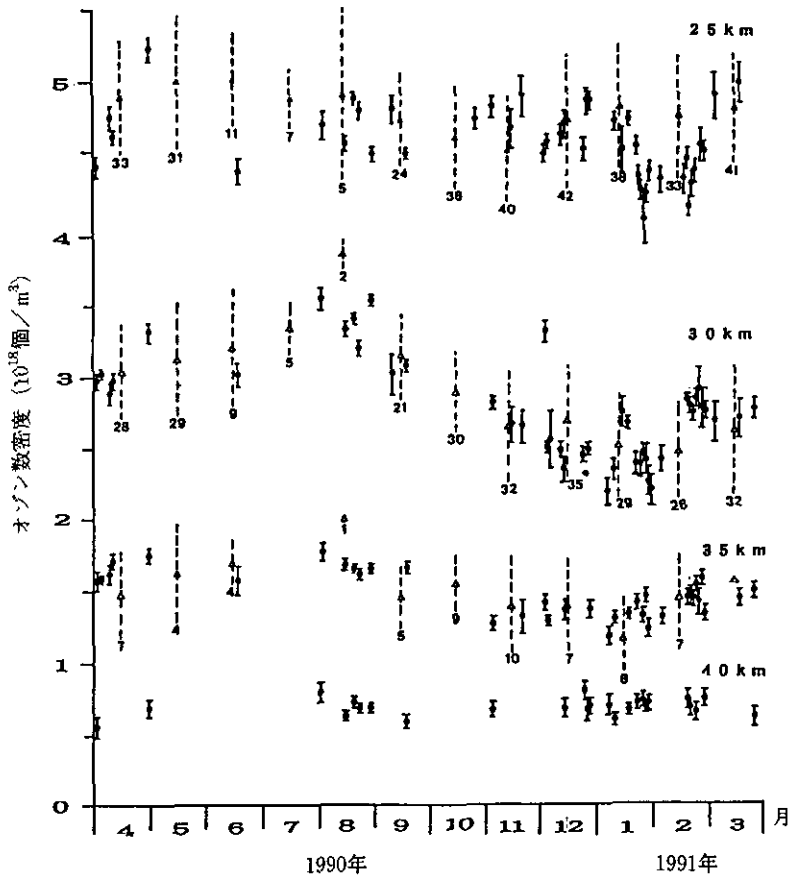


図7 国立環境研究所オゾンレーザーレーダーによって観測された1990年4月～1991年3月の高度別オゾン変動 (●)  
 △及び破線は1968年12月～1990年8月の間の高層気象台によるオゾンゾンデ観測結果の平均値と標準偏差。

特に変動が激しい冬季のオゾンについて詳しく見ると、図7中に示すように、高度25 kmでは1991年1月後半から2月前半にかけて、オゾン濃度はオゾンゾンデ観測結果の標準偏差の下限付近まで低下し、2月下旬に急上昇している。このオゾン濃度が急上昇したときのオゾンの高度分布の変化を図8に示す。2月23～25日にかけてオゾン濃度が中部成層圏で急上昇していることが分かる。この期間には、レーザーレーダーによって同時に観測した高度20～60 kmの気温の高度分布の観測、札幌における10日連続のオゾンゾンデ観測、東北大学によって行われた仙台台におけるオゾン高度分布の観測の結果が得られており、オゾンの時間的変動と空間的変動の関連、気温鉛直分布に現われた大気波動との関連について、現在解析を進めている。

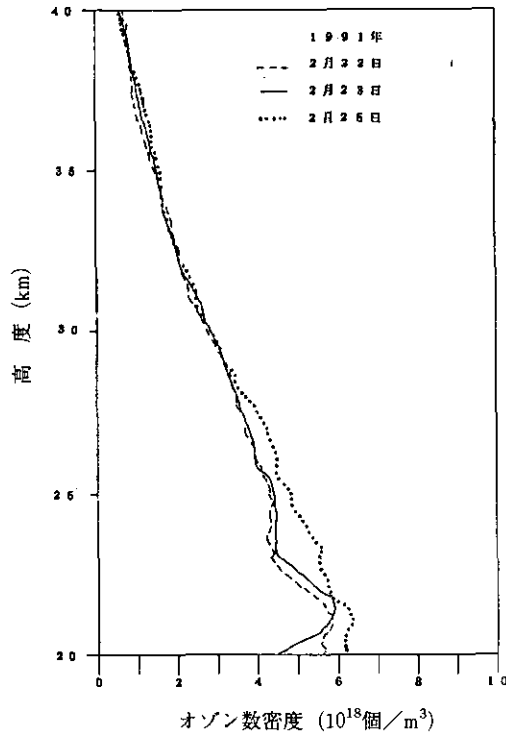


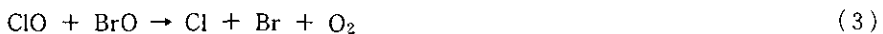
図8 オゾンレーザーレーダーによって観測されたオゾンの高度分布

## (2) ハロンの共存がフロンによるオゾン破壊能に与える相乗効果に関するチャンバー実験

消火剤として用いられるハロン類の大気中濃度は、大きなオゾン破壊能を持っているとされている。当研究所では、成層圏チャンバーを用いたシミュレーション実験によって、ハロンの方がフロンよりも高い効率でオゾンを破壊することを確認している。平成2年度にはさらに進んで、フロンとハロンが共存する場合のオゾン破壊能に与える相乗効果に関するシミュレーション実験を行った。

成層圏チャンバー内にオゾン層に相当する光定常状態のオゾンを作っておき、所定量のフロン-11とハロン-1301を個別に加えたときのオゾン破壊速度を求め、次にこれら両者を共存させたときのオゾン破壊速度を求めた。フロン-11を5.8 ppm、ハロン-1301を1.94 ppm加えた場合のオゾン濃度変化を図9に示す。フロンとハロンを共存させた場合のオゾン分解速度(121ppb/min)は、フロンだけの場合とハロンだけの場合の反応速度の和(36+75=111ppb/min)よりも大きく、差に当たる10 ppb/minが相乗効果によるものと考えられる。

本実験では、成層圏チャンバー内でClO、BrOの高濃度状態が実現されている。このような場合には、





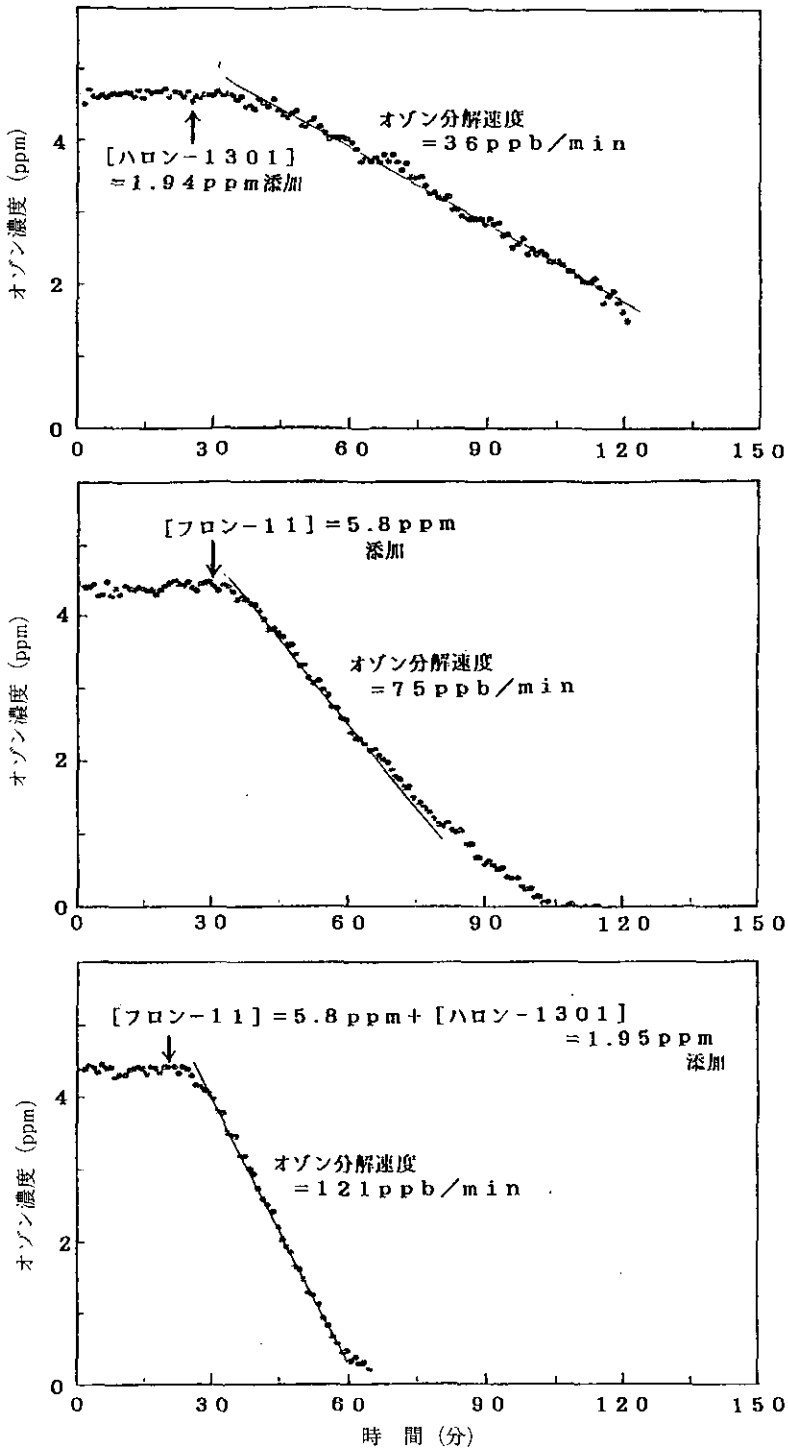


図9 ハロン-1301、フロン-11及びフロン-11+ハロン-1301の添加によるオゾン破壊に関する成層圏チャンバー実験

のような反応による塩素原子の再生が見られるが、ClO どちらの反応(2)に比べClOとBrOの反応(3)が速いため、ハロンの共存はオゾン破壊サイクルを促進し、相乗効果を示すものと考えられる。フロンとハロンの相乗効果によるオゾン層破壊の促進は、オゾンホール機構に関連して議論されてきた。本研究では、実験上の制約からフロン、ハロンの濃度はかなり高いが、従来理論的に予想されていたハロン共存の効果を実験的に確認することができた意味は大きい。

### (3) 紫外線増加が植物に及ぼす影響に関する研究

#### ① 紫外線の植物への影響の作用機構に関する研究

成層圏のオゾンの減少により地上に到達する太陽光の紫外線が増加することが知られている。増加する紫外線の波長領域は主に290~320nmの範囲にあるが、増加率は波長により異なり、特に290~300nmの領域で著しい。短波長の紫外線は植物の成長を阻害し、葉の脱色を引き起こすことが明らかになってきているが、影響の強さは波長によって異なる。したがって、成層圏オゾン破壊の植物への影響を予測するためには、オゾン破壊による紫外線の波長別変化を明らかにするとともに、紫外線の植物への影響の波長別の強さを明らかにする必要がある。光の波長別の相対的な影響の強さを示したものが作用スペクトルであるが、これまでに報告されている紫外線影響の作用スペクトルは単離した酵素、器官、細胞等に関するものばかりであり、植物個体を用いた成長阻害に関する作用スペクトルは得られていない。そこで、本年度は、紫外線により顕著に成長が阻害されるキュウリを用いて、紫外線による第1本葉の成長阻害に関する作用スペクトルを得ることを目的に実験を行った。一方、白色光を紫外線とともに照射すると紫外線の影響が軽減されることが知られているが、本年度は、紫外線の単色光のみを照射する実験を実施したので、その結果を報告する。なお、単色光照射は基礎生物学研究所に設置されている大型分光照射装置(スペクトログラフ)を用いて行われた。

25℃の自然光ガラス室において10日間育成したキュウリ(*Cucumis sativus* L. 品種:北進)の芽生えを、蛍光灯により日長を12時間、温度を20℃に制御した恒温室内に置き、毎日一定時間単色光照射を行った。明期(120~150 $\mu$ E/m<sup>2</sup>/sec)開始から4時間のちに第1本葉の大きさを測定し、その後直ちに大型スペクトログラフで単色光照射を4時間行い、再び恒温室に戻した。明期4時間の後に12時間の暗期が始まった。この操作を3日間繰り返した。単色光としては280, 290, 300, 310, 320nmの5波長を選び、各波長の強度を4段階に設定した。単色光の強度は約10<sup>12</sup>~10<sup>15</sup>photons/cm<sup>2</sup>/secで、それぞれ1個体ずつ照射した。第1本葉全体に光が当たるように設置位置を調整した。

単色光照射を行わなかった対照のキュウリと320nmの単色光を照射したキュウリは、実験期間の3日間に顕著な成長を続けた。310nm以下の波長の単色光照射では、光強度の増加とともに顕著な成長阻害が見られた。280~300nmでは最も強い光強度(4 $\times$ 10<sup>14</sup>~10<sup>15</sup>photons/cm<sup>2</sup>/sec)により成長は完全に抑制され、脱水症状を呈した。第1本葉の成長速度を照射単色光の強度に対してプロットし、成長を約25%阻害する光強度を各波長について求め、その逆数を280nmでの値を1として相対値を各波長に対してプロットしたのが図10であり、キュウリの第1本葉の成長阻害に関する作用スペクトルである。この図から、310~290nmまで、波長が短いほど顕著に成長阻害効果が増大することが分かる。したがって、オゾン層破壊の進行により、植物の成長が急激に阻害されるようになる可能性がある。しかし、この実験では、単色光照射時には白色光が当たっていないため、自然環境下よりも紫外線の影響が強く現れた可能性があり、今後、白色光下での紫外線影響の作用スペクトルを明らかにしなければならない。

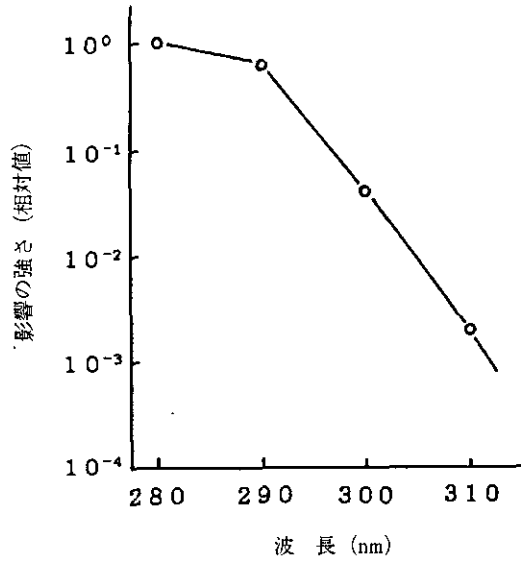


図10 紫外線によるキュウリ第1本葉の成長阻害に関する作用スペクトル

## 2.2 地球の温暖化現象解明に関する研究

### 〔研究組織〕 地球環境研究グループ

統括研究官	秋元 肇
温暖化現象解明研究チーム	○坂東 博・横内陽子・酒巻史郎・野尻幸宏・竹中明夫
酸性雨研究チーム	村野健太郎・畠山史郎
海洋研究チーム	渡辺正孝
森林減少・砂漠化研究チーム	古川昭雄・可知直毅・奥田敏統
化学環境部	
計測技術研究室	向井人史
動態化学研究室	田中 敦
大気圏環境部	
部長	鷺田伸明
大気物理研究室	光本茂記・宮崎 武・高藪 緑・花崎秀史
大気反応研究室	尾崎 裕・山本和典・三好 明
生物圏環境部	
環境植物研究室	藤沼康実
環境微生物研究室	高村典子
客員研究員	8名、共同研究員 3名

### 〔研究概要〕

人口増加と生活の高度化に伴うエネルギー消費の拡大により、人類の活動は地球環境にさまざまな影響を与えている。なかでも地球の温暖化は最も重大な地球環境問題として広く社会の関心を集めている。温暖化の主要因として二酸化炭素の大気中濃度の増加が挙げられるが、メタン・亜酸化窒素・ハロカーボン類・オゾンといった大気微量成分の濃度も増加し続け、近年特にその増加傾向が強まっていることが知られており、これら物質の持つ温室効果が近い将来において二酸化炭素と同程度温暖化に寄与するという推定もなされている。

二酸化炭素とハロカーボン類の主要発生源は産業活動であり、その濃度増加の原因は明らかである。しかし、それ以外の温室効果気体に関しては、その発生源の把握も十分ではなく、大気中濃度増加の原因については不明の部分が多い。また、発生源の分かっている二酸化炭素に関しても、放出量と現在の知見から推定される大気からの除去量とから計算される大気中残存量は、現実に観測されている大気中濃度の増加量に比べて高い値となっており、その収支が明らかになっていない。このように、温暖化の原因である温室効果気体の動態—すなわち発生・輸送・変質・除去—把握という入り口の問題ですら未解明のままに温暖化の将来予測がなされているのが現状である。さらに、温室効果気体の動態把握・濃度変動の将来予測が可能になったとしても、それにより引き起こされる気候変動を定量的に評価するためには、気候を支配している物理過程、たとえば放射伝達、雲の生成・消滅にかかわる物理過程、大気—陸域・大気—海洋間相互作用等が定量的に記述できなければならない。この点に関しても、研究は初期的な段階にあり定量的な議論は今後の研究の成果を待たなければならない状況である。

地球温暖化の現象解明研究では、温室効果気体濃度の増加とそれによる気候変動の発現機構について未解明のまま残されている多くの問題に関して明らかにすることが急務の課題である。当研究所では、平成2年度より開始された環境庁の地球環境研究総合推進費における地球の温暖化現象解明分野において、以下に掲げる6課題を担当し、研究プロジェクトを開始した。本報告では、各研究課題の中で当研究所が行っている研究概要を以下に紹介し、〔研究成果〕において平成2年度の研究実施状況ならびに研究成果の一部を述べる。

(1) 温室効果気体等の組成・濃度の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究

二酸化炭素やメタン等の温室効果気体の大気中における循環や大気化学的プロセスに関する定量的な理解は未だ十分ではなく、なかでもメタンのように反応性を有するものは定量的な理解がより困難である。また、非メタン炭化水素(NMHC)や植物起源炭化水素(イソプレン・テルペン類)・窒素酸化物等は大気化学反応を通して温室効果気体である対流圏オゾンの生成を支配し、またOHラジカル濃度を左右し温室効果気体の大気中寿命に影響を与えることで大気温室効果を支配している要素となっている。さらに、大気中に放出される有機硫黄化合物は大気中での酸化により硫酸を生成し、その硫酸はサブミクロン粒子となったり雲凝結核となって大気の熱収支に大きな影響を与える温暖化関連物質である。

本研究課題では、これら反応性温室効果気体及び温暖化関連物質の大気中濃度、空間分布をフィールド測定により明らかにし、さらにその発生・消滅にかかわる過程についても調べることにより、それら物質の動態を支配している生物地球化学的な機構の解明を最終的な目標として研究を行っている。具体的には、メタン、NMHC、植物起源炭化水素、海洋起源有機硫黄化合物及び土壌中の揮発性有機物を対象とした研究を平成2年度から開始した。研究のフローを図1に示す。

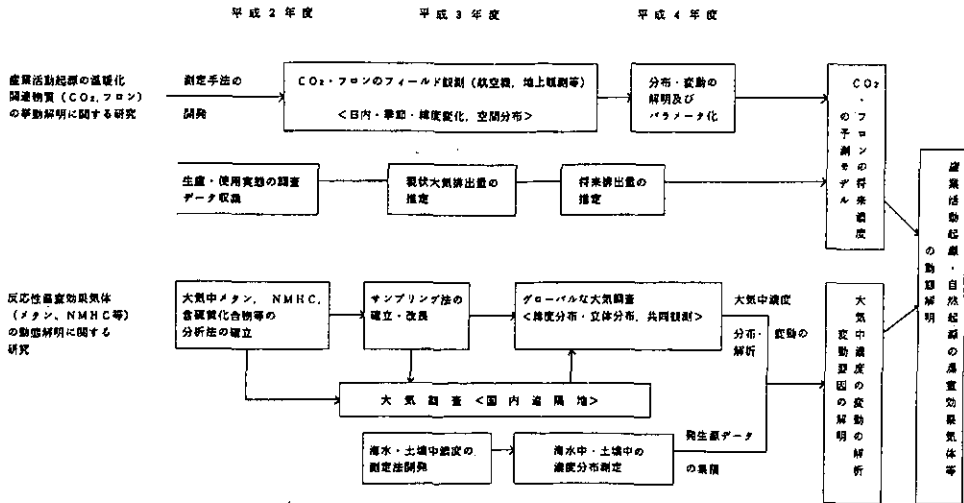


図1 温室効果気体等の組成・濃度の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究

(2) メタン・亜酸化窒素の放出源及びその放出量の解明に関する研究

近年になって、世界のバックグラウンド地域におけるメタン・亜酸化窒素濃度の経年的な観測

結果から、それらの大気中濃度は増加し続けており、その毎年の増加率が各々約1.0, 0.3%であることが明らかになってきている。しかし、それらの増加の原因となると、放出源の多様さ、個々の放出源ごとの不均一性による変動幅の大きさ等の複雑さから、一致した見解が得られるに至っていない。したがって、本研究課題では自然及び人為的過程で生成するメタン及び亜酸化窒素の各種放出源における発生メカニズムや動態、計測手法、放出変動及び放出源別の大気への放出量評価を明らかにすることを目的としている。各々の気体について現在考えられている主要な放出源は多数存在しているが、当研究所では平成2年度から以下の放出源

- ①森林火災や焼畑農業といったバイオマス燃焼過程
- ②湿地・湖沼・内湾といった閉鎖性水域

を対象として、両気体の発生機構及び放出量の解明のための研究を開始した。研究計画のフローを図2及び図3に示す。

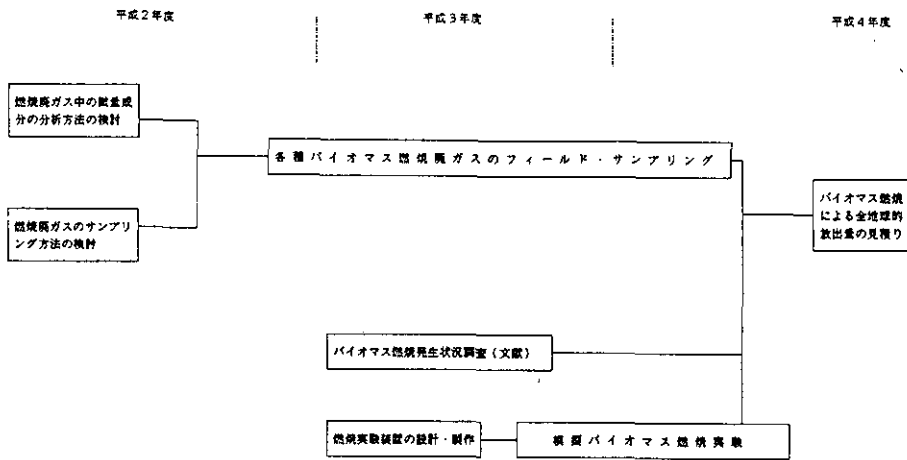


図2 バイオマス燃焼によるメタン・亜酸化窒素の放出量の解明に関する研究

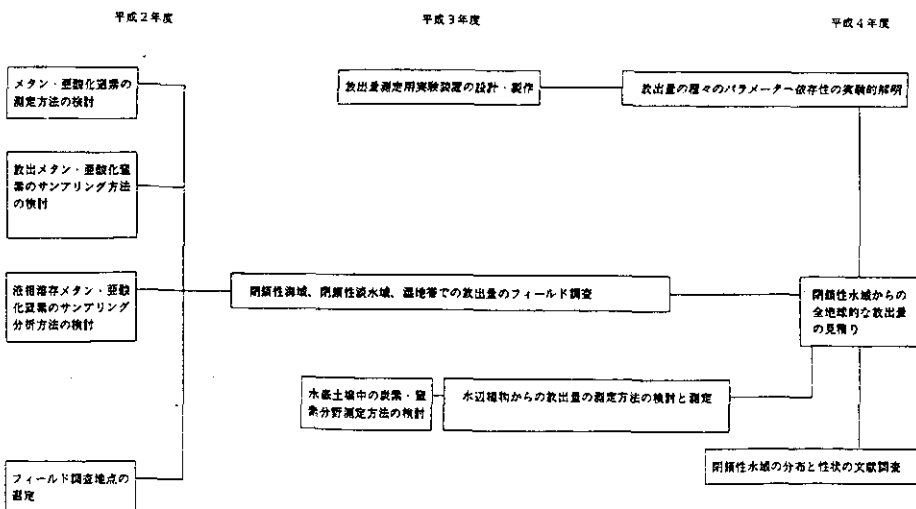


図3 閉鎖性水域からのメタン・亜酸化窒素の放出量の解明に関する研究

(3) 温室効果気体等の大気化学反応過程の解明に関する研究

二酸化炭素以外のメタン・亜酸化窒素・対流圏オゾン等の大気微量成分の濃度も地球的規模で増加し続けており、それらが地球の温暖化に対して二酸化炭素と同程度の寄与を持つと推定されている。しかし、これら温室効果気体の大気中濃度増加の原因は明確でなく、人為的・自然的発生源の変動による直接的寄与以外に大気中の光化学反応過程等による間接的寄与が複雑に影響し合っている可能性が指摘されている。温室効果気体には、亜酸化窒素やフロンのように対流圏では分解されずにそのまま蓄積するもの、メタンや代替フロンのように遅いながらもOHラジカルとの反応により対流圏内で一部分解されるもの、またオゾンに代表されるように光化学的に大気中で生成するもの、二酸化炭素のようにその両方からなるものがある。そのため温室効果気体といってもその大気中寿命は、数日～数百年と大きな幅がある。温室効果気体の規制に関連して各温室効果気体の温暖化能（GWP）の見積もりが重要になってきているが、このGWPは温室効果気体の大気中寿命に密接に関係しており、GWPの見積もりのためには大気中での反応に関する理解が不可欠である。

以上のような観点から、本研究課題では温暖化関連気体の大気化学反応として重要なものについて、以下のサブテーマのもとに研究を開始した。

- ①大気中での光化学反応機構の解明
- ②大気中での反応速度の測定

研究のフローを図4に示した。

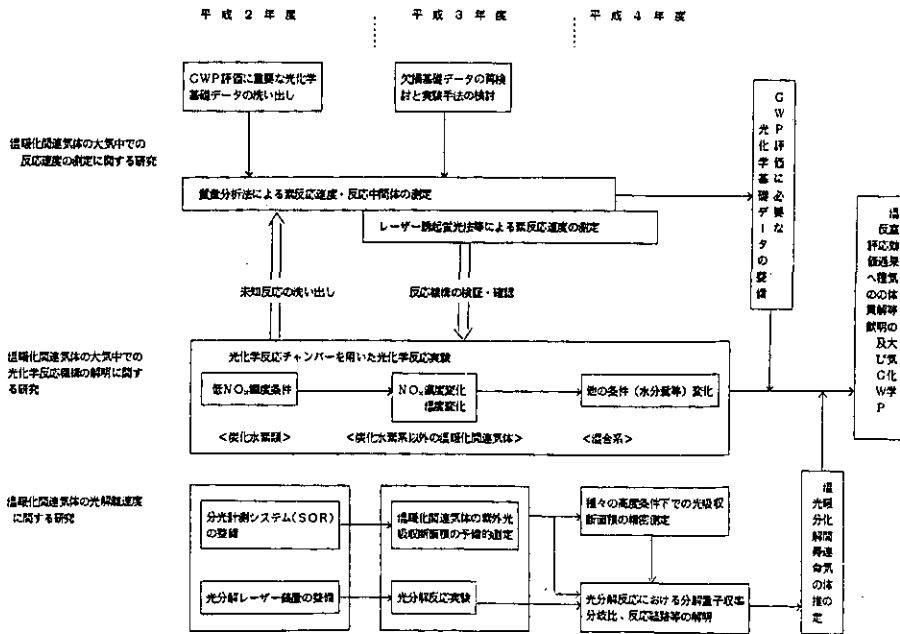


図4 温室効果気体等の大気化学反応過程の解明に関する研究

(4) 海洋における炭素の循環と固定に関する研究

海洋と大気は海面を通じた気体交換によって、およそ  $100 \times 10^{15} \text{gC/年}$  の二酸化炭素のやりとりを行っているが、正味  $2 \sim 3 \times 10^{15} \text{gC/年}$  程度の二酸化炭素を吸収しているとされている。しかし、残念ながらその直接的な証拠がないのが現状である。海洋が吸収している二酸化炭素の正味の量を明らかにすること、環境条件の変化で起こるであろうその吸収能の変化を見積もることが今後続くであろう二酸化炭素の人為放出に対する海洋の応答として研究されなければならない点である。

当研究所においては、本研究課題のなかで海洋における重要なプロセスの内

- ①植物プランクトンの二酸化炭素固定能とその環境因子依存性
- ②表層海水からの正味の炭素除去量とその深層海水中の分解過程

の解明を目的とするサブテーマを平成2年度より開始した。研究のフローを図5に示す。

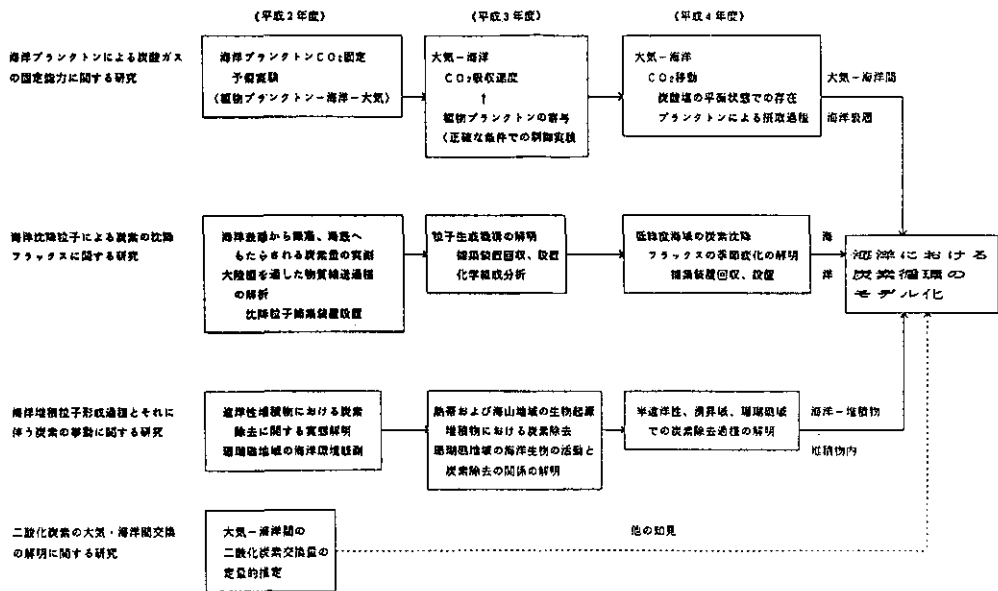


図5 海洋における炭素の循環と固定に関する研究

(5) 陸上生態系における炭素循環機構の解明に関する研究

人間活動により放出される二酸化炭素の動態を理解する上で、現在最も不確実な要素と考えられているものは、海洋における炭素循環とともに陸上生態系における炭素循環が挙げられる。陸上生態系では植物の光合成による二酸化炭素の吸収、植物の呼吸及び動物や微生物による分解に伴う二酸化炭素の放出等の炭素循環過程が行われている。陸上生態系はきわめて不均一な系であり、そこにおける炭素循環を地球規模で正確に把握するためには、各種の気候帯・植生・土地利用形態等の環境条件の下での炭素循環量を明らかにする必要がある。

本研究課題では、自然陸域生態系における炭素循環解明の一環として、対象を冷温帯地域に存在する自然林に限定し、その中での炭素循環量を測定する。研究のフローを図6に示す。



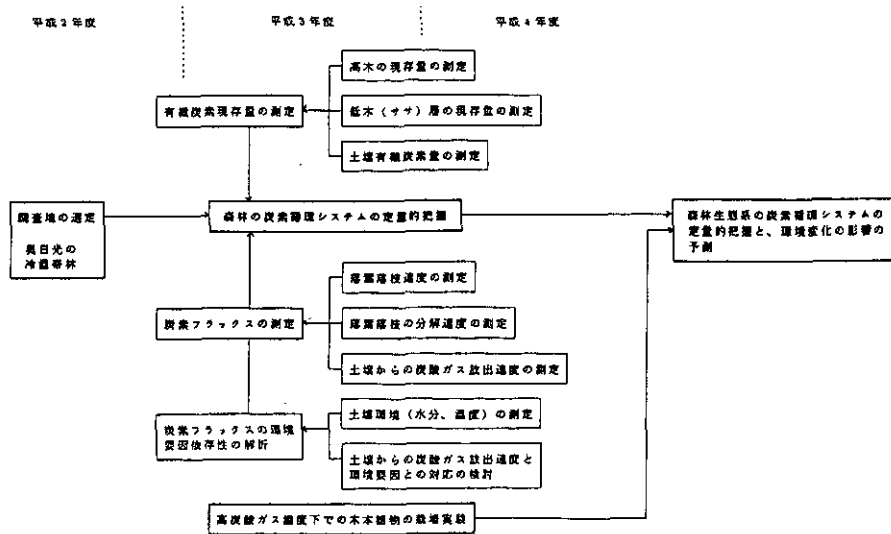


図6 陸上生態系における炭素循環機構の解明に関する研究

(6) 気候変化に係わる雲の大気物理過程の解明に関する研究

雲は太陽放射及び地球からの赤外放射の反射・吸収といった物理過程を通じて地球気候システムに大きな影響を及ぼしている。また、雲・降水等の水の相変化に伴う潜熱解放は地球規模の気候パターンを決定する上で大きな効果を持つ。したがって、温室効果気体の増加に伴う気候変動を議論するためにはこのような雲の発生・分布の変化を予測する必要がある。しかし、現状では雲の大気物理過程に関する理解はその発生・分布を理論的に記述できるところには遠く、多くの気候モデルの中では、雲の記述はパラメーター化することによって取り扱われているのが現状である。

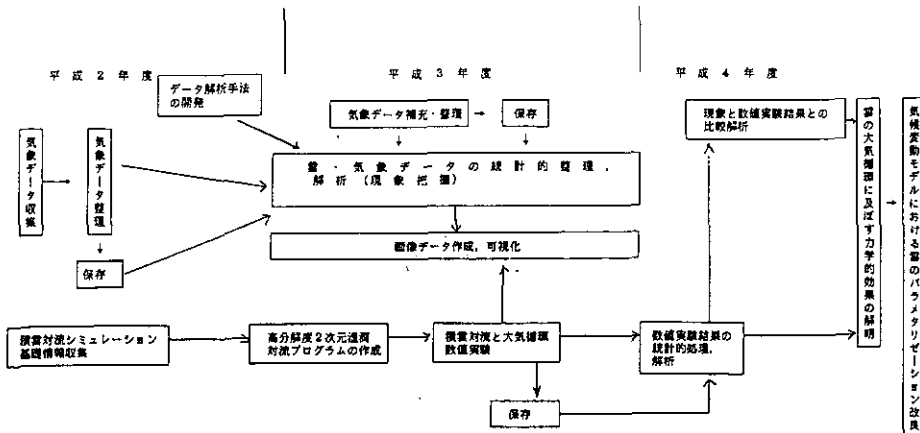


図7 気候変化に係わる雲の大気物理過程の解明に関する研究

本研究においては気象データ解析と数値実験の2方向から雲の発生及び分布を決定している力学過程（雲と大気の循環場との相互作用）を解明することによって温室効果気体の増加に伴う雲の状態の変化とそれが気候変化に及ぼす影響とをよりの確に予測するモデルの開発に貢献することを目的とする。平成2年度においては、以下の項目

- ①事例データ解析による積雲対流雲群の組織化と大気の力学的構造の関係の解明
  - ②数値実験による積雲対流のパラメーター化とその特性に関する比較検討
- をテーマとして研究を開始した。研究のフローを図7に示す。

#### 〔研究成果〕

##### （1）温室効果気体等の組成・濃度の時間的・空間的変動の動態解明に関する研究

平成2年度は、メタン及びNMHC、植物起源炭化水素（イソプレン）、海洋起源有機硫黄化合物（DMS：ジメチルスルフィド、MSA：メタン sulfon 酸）、土壤中の揮発性有機物の各測定対象に関して測定手法の確立及び予備的な測定を行った。

メタン・NMHCの動態： メタン・NMHCについては従来行ってきた日本のバックグラウンド地域での定点観測を継続するとともに、平成3年度の9～10月に実施予定の米国航空宇宙局（NASA）との国際共同観測の準備のために、カリフォルニア大のグループとNMHCの測定手法の検討と測定精度の比較実験を行った。

大気中テルペンの動態： 亜熱帯林におけるイソプレン濃度の日変動観測の測定結果（西表島、1991年3月）を図8に示す。晴天日（3月20～22日）にはいずれも日中が高濃度（正午～午後3時のイソプレン濃度：500～600 pptほぼ一定）となるよく似た日変動パターンを示すのに対して、曇天の3月23日にはイソプレン濃度は日中も日の出前や日没後と変わらず100 ppt以下であった。このような日変動はイソプレン放出が日射量に大きく影響されていることを示唆するもので、グローバルなイソプレン放出量を見積もる上で注目すべき点である。観測されたイソプレンの日中最高濃度は筑波や長野の夏期における観測データより低く、これが放出量の違いによるものか、反応、拡散による消失速度の違いによるものか今後の検討課題である。

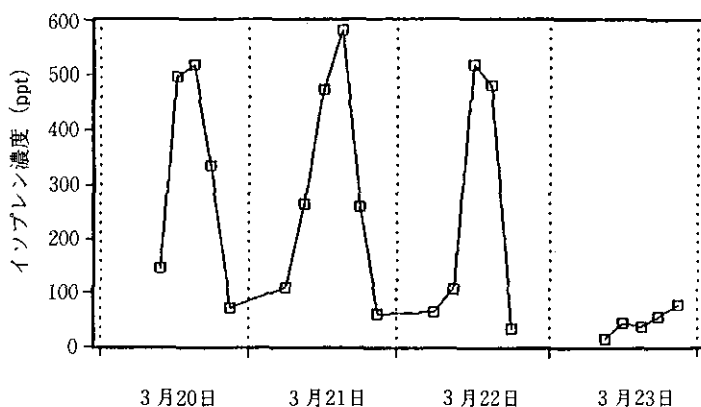


図8 亜熱帯林における大気中イソプレン濃度の日変動（西表島，1990年3月20～23日）

海洋大気中 DMS 濃度の緯度分布及び日変動測定： 1991 年 1～2 月に太平洋上大気中の DMS 濃度の日変動及び緯度分布測定を行った。測定結果を図 9，図 10 に示す。図 9 から，大気中 DMS 濃度は日中より夜間に高濃度となることが分かる。また，図 10 の緯度分布では赤道周辺及び北緯 20°付近で DMS が高濃度となっている。これまで，DMS についてこのような系統的データはほとんどなく，現在，気象条件及び同時に測定した MSA，プロモカーボンとの相関について解析を進めているところである。

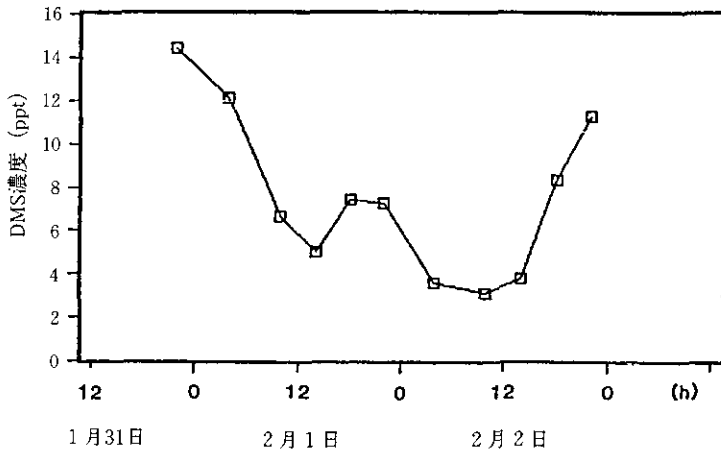


図 9 南太平洋における大気中ジメチルサルファイド (DMS) 濃度の日変化 (1991 年 1 月 31 日～2 月 2 日)

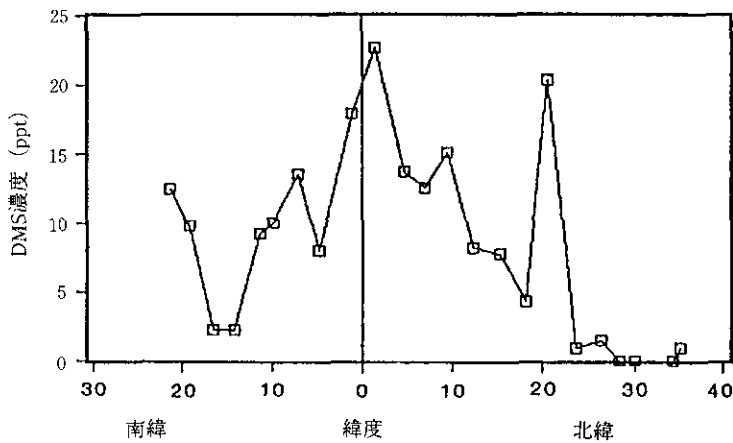


図10 西部太平洋上の海洋大気中ジメチルサルファイド (DMS) の緯度分布 (1991 年 2 月)

大気中 MSA 濃度の季節変化： 隠岐島の 2 地点で継続的にサンプリングされた大気粉塵の分析から、MSA 濃度の季節変化を測定した結果が図 11 である。測定された濃度は南半球の同緯度付近のノーフォーク (Norfolk) 島での報告値とよく一致しており、海洋バックグラウンド地域における代表的な濃度と考えることができる。年変動では 5～6 月に最高濃度となり、冬期に低濃度となる傾向が認められる。MSA は、海洋から放出された DMS が光酸化反応を受けて生成し、最終的には硫酸エアロゾルになる中間生成物であるが、測定された濃度変化はこの地域の気温、水温、日射量の変化とは必ずしも一致していない。DMS 放出を支配している植物プランクトンの繁殖時期、隠岐島付近での DMS 濃度との相関等について今後検討を要する。

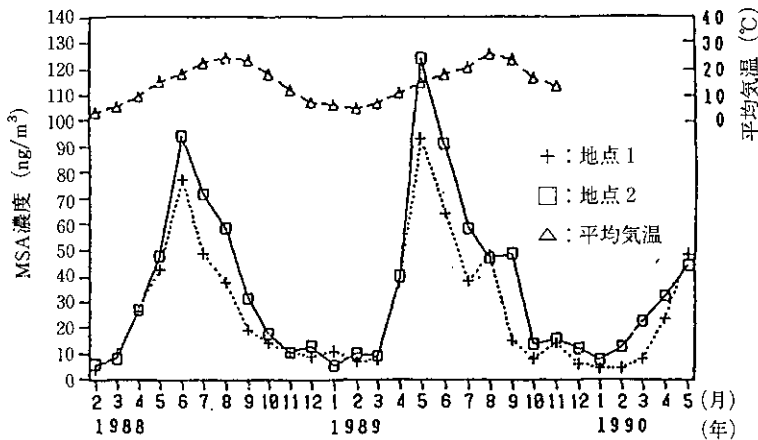


図11 隠岐島における大気中メタンスルホン酸 (MSA) 濃度の季節変化 (1988～1990年)

## (2) メタン・亜酸化窒素の放出源及びその放出量の解明に関する研究

バイオマス燃焼からのメタン・亜酸化窒素の放出量 (①) に関しては、燃焼するバイオマス量と各成分気体の排出係数から算出する方法が多くとられている。そこで、燃焼条件が均一にでき、その制御が可能な燃焼実験装置を用いて燃焼実験を行い、種々の燃焼条件下での排出係数を精度良く求めることとし、燃焼条件の制御が可能でかつ条件を均一に保ちやすい流動層型の石英製燃焼装置の設計・製作を行った。

閉鎖性水域からの放出量 (②) に関しては、当研究所が1976年以来一般湖沼観測項目、化学・生物関連項目の定期調査を実施している霞ヶ浦を対象水域として、メタンの発生・分解・放出を定量的に解明することを目的として観測を開始した。メタン濃度の測定はバージェンドトラップ FID-GC法に基づく水中メタン自動分析計により行い、定期調査が行われる10か所の測点の内6点で月1回の頻度で行った。以下に、測定結果の一部を紹介する。

霞ヶ浦湖水中のメタン濃度の季節変化と放出量の推定： 湖心メタン濃度及びその鉛直分布の経月変化を図12に示した。霞ヶ浦のような浅い湖沼では鉛直混合が盛んで、表層(0.5m)、中層(2m)、底層(5m)の濃度差は小さいことが多い。この1回の観測データから通常の季節変化を

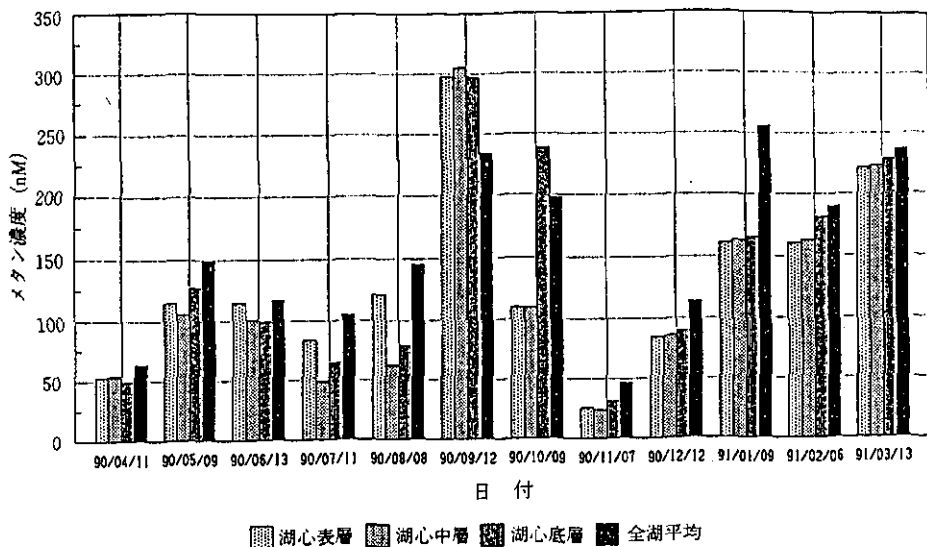


図12 霞ヶ浦湖水中のメタン濃度の月変化, 湖心における値及び全湖平均値

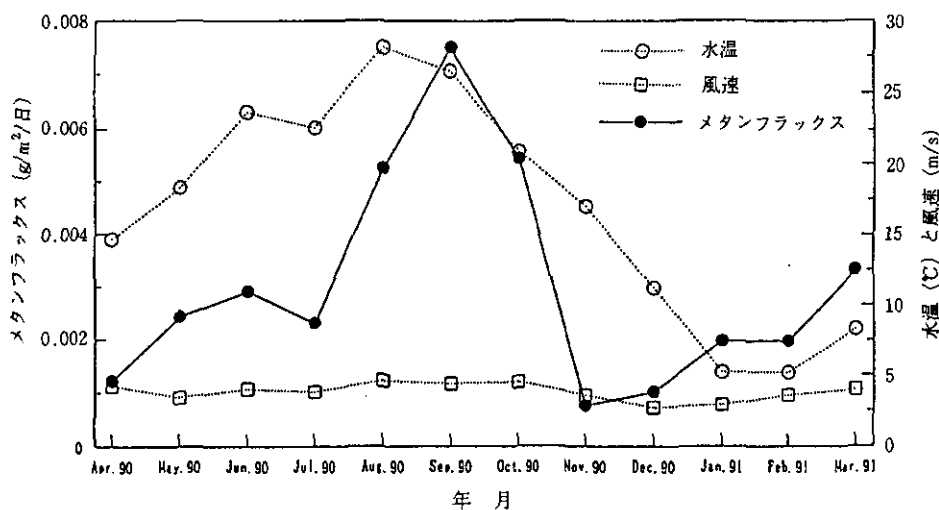


図13 計算から推定した霞ヶ浦からのメタンフラックスの月変化

述べることはできないが、大きな特徴として9月と11月に顕著な高濃度と低濃度が見られる。しかし、平均的濃度である50~250 nM (水1l中に存在する物質のモル数 $\times 10^{-9}$ )は大気メタンの平衡溶解度である2~4 nMのおよそ数10倍であり、常時湖水から大気に向かうフラックスがあることが確かめられた。文献に報告された実験式と霞ヶ浦周辺の気象データを用いると、霞ヶ浦からのメタンフラックスが推定される。結果を図13に示す。この放出量を1990年4月から1991年3月まで積算すると年間1.1 g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>のフラックスとなる。霞ヶ浦は我が国の湖沼の平均よりはるかに富栄養化しているが、諸外国の淡水湖沼で観測された数値と比べてかなり低いもの

であった。この結果は、従来の淡水湖沼からの全球メタンフラックスの見積もりが過大評価の可能性を示唆している。また、湖水サンプルのインキュベーション実験から、湖水中でのメタン分解速度についても知見を得ることができた。

### (3) 温室効果気体等の大気化学反応過程の解明に関する研究

反応機構の解明に関する研究 (①) では、代替フロンとして今後その使用が考えられている分子内に水素を含むハロカーボン (HCFC) で温室効果を持つことが懸念されている HCFC-123 ( $\text{CHCl}_2\text{CF}_3$ ), -141b ( $\text{CH}_3\text{CCl}_2\text{F}$ ) とメチルクロロホルム (以下 MC と略す,  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ) について、光化学反応チャンバーを用いた模擬大気反応実験を行い、大気中光酸化反応における分解生成物の同定、分解機構の検討を行った。反応速度の測定に関する研究 (②) では、多くの温暖化関連気体の大気中寿命を支配している OH ラジカルの大気中濃度を決定している一酸化炭素 (CO) との反応に関して、この反応の中間体である HOCO ラジカルの検出を可能にする事に成功し、初めて HOCO の単分子分解速度及び酸素との反応速度を直接的に決定した。

HCFC-123, -141b, 及び MC の分解反応生成物と反応生成物の消失過程: HCFC-123 の分解反応においては C-C 骨格を残した化合物である  $\text{CF}_3\text{CClO}$  が収率 100% で生成していることが分かった。これに対して HCFC-141b 及び MC の分解反応では C-C 骨格を残した生成物は見られず、C-C 結合が切れた生成物、 $\text{CClFO}$  及び  $\text{CCl}_2\text{O}$  のみが検出された。このように、HCFC の中で類似の化合物であってもその酸化分解のプロセスが異なっており、生成してくる化合物が全く異なるタイプになる可能性のあることが明らかになった。HCFC の分解反応生成物は分子内に C-Cl 及び C-F 結合を残しており、その大気中寿命によっては大きな温室効果を持つ可能性がある。したがって、それら分解生成物の対流圏大気中での消失過程の有無は HCFC の総合的な GWP を評価する上で重要である。HCFC-123 の 100% 分解生成物である  $\text{CF}_3\text{CClO}$  の反応について調べた結果、 $\text{H}_2\text{O}$  との反応が確認され、その生成物として  $\text{CF}_3\text{COOH}$  が検出された。この化合物は蒸気圧が低く、また水への溶解度が高いことから、HCFC-123 は最終的に  $\text{CF}_3\text{COOH}$  となってエアロゾル表面への吸着・雨水や海洋中への溶解により大気から除去されるものと考えられる。

HOCO 中間体の検出とその反応速度の測定: HOCO 中間体は大気中の OH ラジカル濃度を支配しているきわめて重要な反応  $\text{OH} + \text{CO} \rightarrow \text{H} + \text{CO}_2$  の反応中間体である。この研究では、HOCO ラジカルをレーザー閃光分解法によって生成する手法を確立し、光イオン化質量分析法により検出することに成功した (図14)。また検出された HOCO 中間体濃度の減少速度から HOCO 中間体の分解速度を求め、理論的に予測されていた分解機構を実験的に確認した。大気中での HOCO 中間体の反応のうち最も重要である酸素分子との反応の速度係数を初めて測定した (図15)。

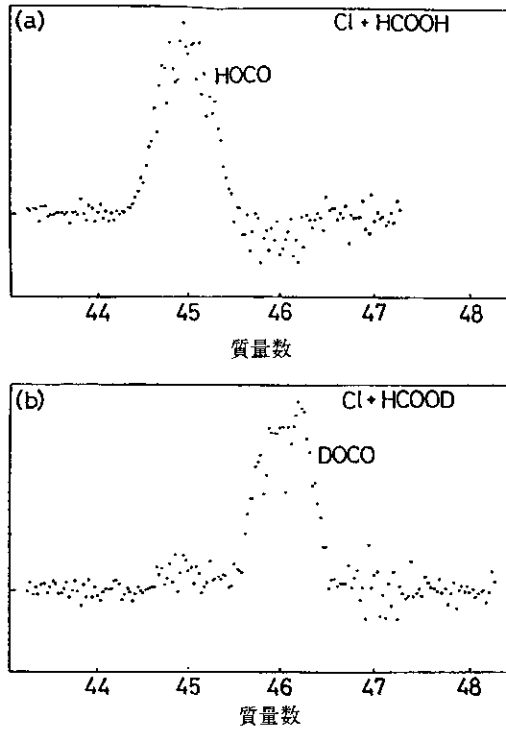


図14 HOCO 中間体の質量スペクトル

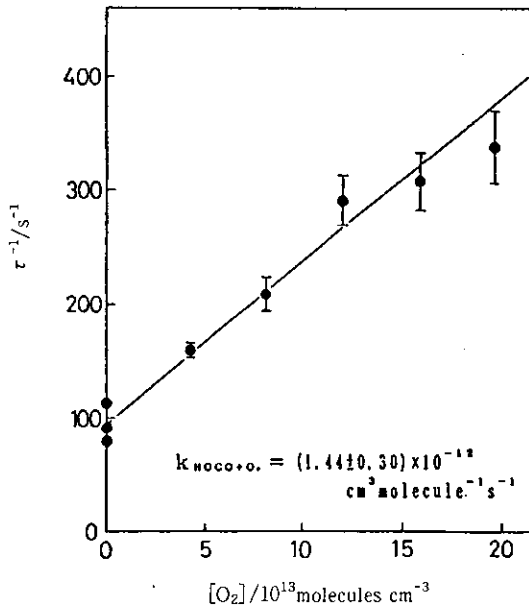


図15 HOCO + O<sub>2</sub>反応の反応速度計数の測定  
グラフの傾きが反応速度係数を表す。

#### (4) 海洋における炭素の循環と固定に関する研究

植物プランクトンの二酸化炭素固定能に関する研究 (①) では、大気-海洋間での二酸化炭素の移動及び植物プランクトンの光合成による炭素固定を制御実験系で再現し炭素の動態を詳細に把握することを目的としているが、平成2年度はその予備実験として、大型純粋培養装置(マイクロコズム)を用いて植物プランクトンの増殖実験を行うとともに、マイクロコズム内での炭素循環のモデル化を行いその素過程の把握を試みた。増殖実験結果を用いてモデルシミュレーションの検証を行った結果、 $\text{HCO}_3^-$ 濃度の減少傾向はほぼ再現できるものの、他の因子については、本格的な実験やモデルの改良を行う必要のある点が多いことが明らかになった。

表層海水からの炭素除去とその深層海水での分解に関する研究 (②) では、炭素を含む粒子状物質の鉛直輸送フラックスを実測し海域による季節変動特性の違いを明らかにする、さらには深度別に採取した沈降粒子の炭素及びその他の元素の存在量と存在形態を化学分析で明らかにすることにより深層海水での分解過程を解明することを目的として沈降粒子捕集実験を行うこととした。外洋域での長期の沈降粒子捕集実験は少数の機関・人員で行うには様々な困難さがある。そこで、本研究課題では東京大学海洋研究所が中心となって行っているいくつかの沈降粒子捕集実験による採取試料の一部を本研究に用いる計画となった。1990年12月に、低緯度西部太平洋域に約2年間の採取期間に設定した捕集装置を含む係留系が設置された。これにより同海域における時系列的な試料の採取が可能になると期待される。また、大陸棚及び大陸棚斜面を通して水平に輸送される成分である陸起源有機物の定量的評価に役立つ、有機物の $\Delta^{14}\text{C}$ 、アミノ酸の光学異性体比、n-アルカンの奇数炭素優位指数等を明らかにする化学分析手法の開発に着手し、実際の捕集試料による分析結果も一部で得られるようになってきている。

#### (5) 陸上生態系における炭素循環機構の解明に関する研究

研究対象とする冷温帯自然林として、当研究所奥日光環境観測所に隣接する広葉落葉樹林を調査場所に選定し、調査区域として30×30mの区画を設定した。同地域では、林床にクマイザサが密生し、高木層にはミズナラ、イタヤカエデが優占している成熟した林分である。低木層、亜高木層はほとんど欠いている。ササと高木とでは炭素循環系の中で果たしている役割が異なることも考えられることから、これらを別のコンパートメントとして扱うこととし、図16に示したコンパートメントモデルに基づきながら調査・解析を行うこととした。ササ型の林床は、我が国の森林において一般的に見られる。森林の炭素循環の中でササ層の定量的な位置づけができれば、多くの地域の森林で応用可能なデータを提供することが期待できる。

陸上生態系の持つ高い不均一性を考えれば本研究の直接の調査対象は「点」でしかない。しかし、これを単なる一例報告とせずより一般性を持たせるため、特に土壌有機物の分解を中心に環境条件との対応を詳細に検討することとした。具体的には、気温・地温・土壌水分量をモニターしながら土壌呼吸速度の連続測定を行う。平成2年度には、土壌呼吸速度と環境要因の測定のための機器の準備・設置を行った。



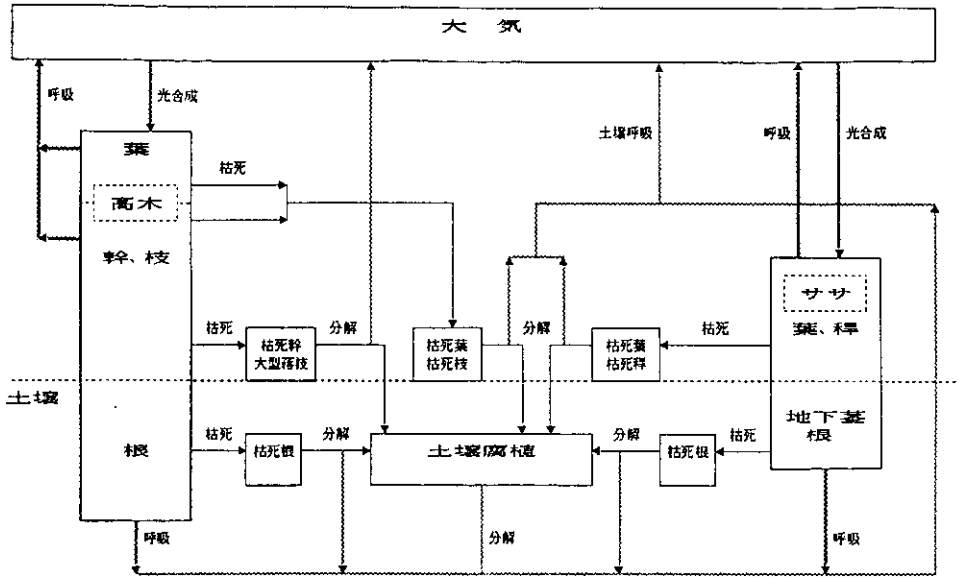


図16 自然陸域生態系における炭素循環の定量的解析に用いるコンパートメントモデルの概念図

(6) 気候変化に係わる雲の大気物理過程の解明に関する研究

熱帯海洋上における積雲活動の組織化の振る舞いと、それに結合した力学構造とを現実データの事例解析 (①) 及び数値実験 (②) により検討した。

事例解析：赤道近傍の組織化した積雲対流雲群について、その組織化に伴う三次元力学構造を抽出した。積雲対流活動の組織的な振る舞いはそれぞれ顕著な力学構造と結び付いていることが示された。しかし、エネルギー的に見ると各々の力学構造がすべて積雲活動により励起されていると結論づける結果とはならなかった。これは様々な状況において積雲活動の組織化と力学構造との結合形態に違いがあることを示唆しているものと考えられた。

数値実験：他表面条件を簡単化した大気大循環モデルを用いて、過去に提案された2種類の積雲パラメタリゼーション (KUO(1974)及びMAA(1965)) を採用した結果について比較した。KUO及びMAAを用いた三次元モデル実験での赤道上の降水量の経度-時間分布を図17に示す。地球規模の比較的大きなスケールでのおおまかな振る舞いについては両者で似ているものの、図17に見られるように数千kmスケールでの降水域(積雲活動域)の振舞いは両者で大きく異なることが分かった。両実験での結果を実際の現象と対応させて比較したが、現時点ではどちらのパラメタリゼーションが優れているかを結論づけられるものではなかった。今後さらに実験ケースを増やし、詳細な解析を行うことが必要であろう。

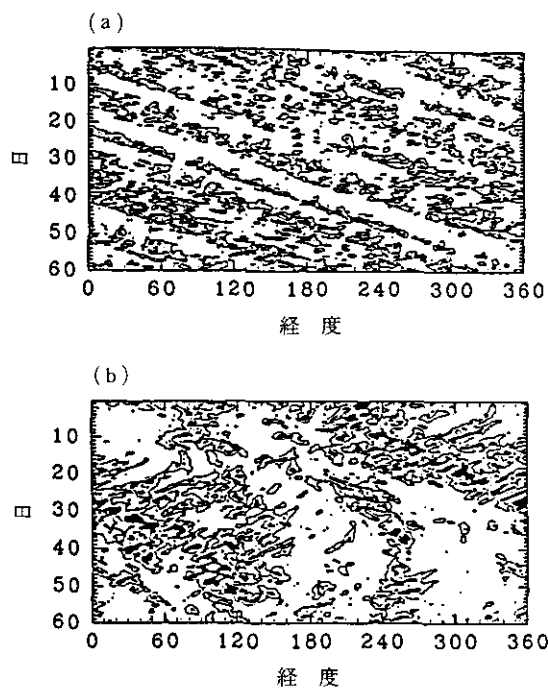


図17 2つの積雲パラメタリゼーションによる赤道上の降水量の経度-時間分布の比較

(a) KURO 実験, (b) MAA 実験.

## 2.3 地球の温暖化影響対策に関する研究

### 〔研究組織〕 地球環境研究グループ

統括研究官 秋元 盛

温暖化影響・対策研究チーム ○森田恒幸・甲斐沼美紀子・増田啓子

### 地域環境研究グループ

交通公害防止研究チーム 清水 浩・森口祐一

水改善手法研究チーム 稲森悠平

大気影響評価研究チーム 安藤 満

### 社会環境システム部

環境経済研究室 小野宏哉・青柳みどり・日引 聡

環境計画研究室 近藤美則

情報解析研究室 安岡善文

### 環境健康部

保健指標研究室 山元昭二

環境疫学研究室 小野雅司

### 水土壤圏環境部

土壌環境研究室 細見正明・恒川篤史

### 生物圏環境部

環境植物研究室 大政謙次・名取俊樹・清水英幸

分子生物学研究室 田中 浄・榊 剛

### 地球環境研究センター

総括研究管理官 西岡秀三

客員研究員 3名

### 〔研究概要〕

地球温暖化問題は、いま最も注目を集めている地球規模の環境問題である。

周知のとおり地球温暖化問題とは、大気中の炭酸ガスやメタンガスなどの温室効果ガスの濃度が増加することによって地球上の平均気温が上昇し、海面水位の上昇、降水パターンの変化、農林水産物の生産や自然生態系の変化などの各種の影響が生じる問題をいう。この問題が注目を集める大きな理由は、第1に、深刻な被害が地球規模で予想されており、第2に、その解決のためには長期間にわたって膨大な費用を注ぎ込む必要があり、第3に、このような大きな問題にもかかわらず未だ科学的に解明されていない部分が多々残されていることである。このため、いま世界中の研究者がこの問題の解明に取り組んでいる。

地球温暖化問題の未解明点は大きく3つある。第1は、地球温暖化のメカニズムであり、大気中の温室効果ガス濃度の変化とそれによる地球の気候変化の仕組みについて、多くの不確実な点が残されている。第2は、地球温暖化の影響であり、温暖化やそれに伴う海面上昇により自然環境や社会経済にどのような影響が及ぼされるかについては、解明されていないことの方が多い。第3は、地球温暖化の防止対策についてであり、各種の対策技術や政策の有効性を評価するためには、関係する技術システムや社会経済システムの体系的解明とそのモデル化が必要である。

本報告では、地球温暖化の影響と防止対策、すなわち、第2と第3の未解明の点に関して、最近の当研究所の研究活動を紹介します。図1は、地球環境研究総合推進費によって平成2年度から開始された地球温暖化の影響と防止対策に関する研究プロジェクトの一覧を示している。全部で7つのプロジェクトが動いており、当研究所ではこのうち、水収支への影響及び海面上昇の影響を除いた次の5つを担当している。

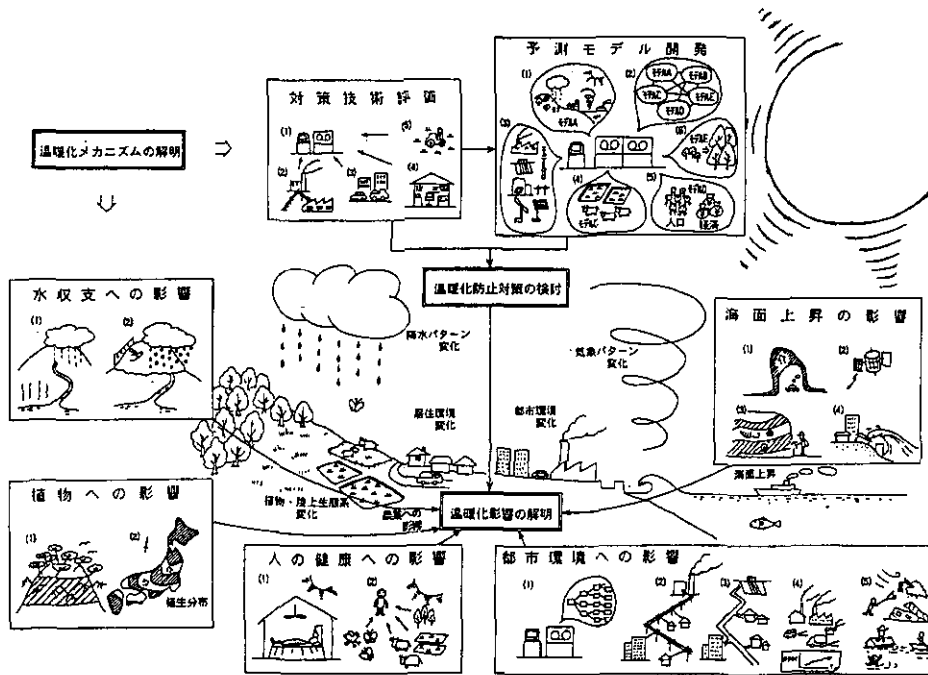


図1 地球環境研究総合推進費に基づく地球温暖化の影響及び防止対策に関する研究の全容

(1) 地球温暖化の防止対策についての研究

- ①対策技術評価：温暖化防止技術の評価手法の開発と民生部門を中心にした各種技術の評価
- ②予測モデル開発：防止技術や政策の効果判定のための計算機シミュレーションモデルの開発

(2) 地球温暖化の影響に関する研究

- ①植物影響研究：施設実験及び予測モデルによる植物個体や自然植生への影響の解明
  - ②健康影響研究：施設実験やフィールド調査等による人の健康や生存環境への影響の解明
  - ③都市影響研究：都市のエネルギー利用，水利用，大気汚染，防災等への影響と適応策の解明
- 以下に、各研究プロジェクトの活動状況と成果を紹介する。

## 〔研究成果〕

### (1) 対策技術の評価に関する研究

まず、温暖化がどこまで防げるかという点に関して、技術評価の研究を進めている。この研究は、図2に示すような流れのもとで行われる。すなわち、第1に社会のどの分野からどれだけの量の温室効果ガスが発生しているか(温室効果ガスアナリシス)、第2に、どのような技術的対策があり得るか(技術の探索)、第3に、多くの視点からの技術評価(個別技術の評価)、第4にどの技術をどのように開発し、普及させればどの程度の効果があるか(対策技術の総合的評価)の流れに従って、研究を進めることを目標としている。

温室効果ガスアナリシスは、従来からエネルギーの消費分析に用いられてきたエネルギーアナリシスと同様の手法を利用して、分析を行うものである。この分析の方法としては、産業連関表を用いて、各分野ごとに支出された費用をエネルギー値に換算して、かつ、温室効果ガスの発生量に変換する産業連関分析の手法と、各分野ごとに使われたエネルギーと材料を算出する積み上

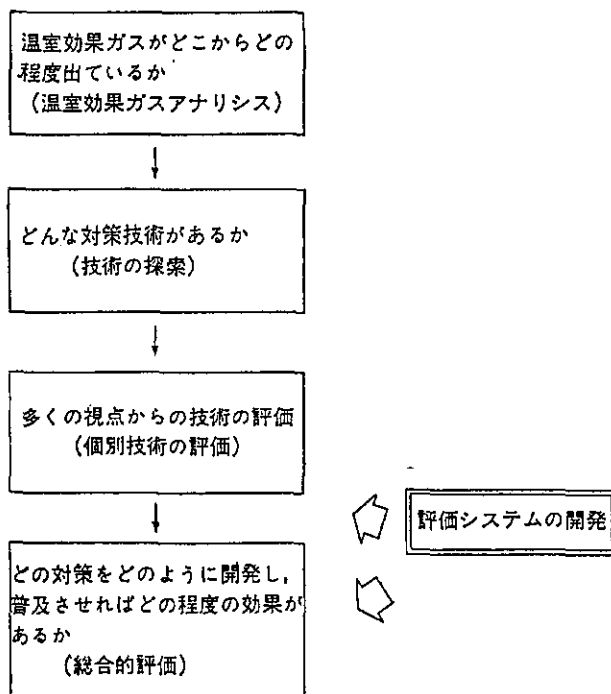


図2 地球温暖化対策技術の評価に関する研究のフロー図

げ法の2つの手法を利用し、両者の手法の一致を見るという方法で分析を行う。

技術の探索においては、既存の対策技術をもれなく拾い集めるとともに斬新な発想のもとに幅広く対策技術を発掘・提案する。個別研究の評価においてはこれらの技術の有効性を温室効果ガス削減量、コスト、社会的受容性等の観点から総合的に評価することにある。今までに、表1に示すような100の技術を発掘・提案し、その技術開発の可能性や温室効果ガス排出量の削減可能性を検討した。そして、これらの技術が社会にどの程度受け入れられるかを明らかにするため、市民を対象に意識調査を実施した。図3はその一部の結果を示しており、環境対策のために1割

表1 温暖化防止に役立つ100の技術

(1) 効果の大きな対策 (10項目)		
①電気自動車	⑤工発電	⑨建築物の断熱
②高機能化鉄道貨物輸送	⑥都市内未利用エネルギー	⑩建築物の軽量化、長寿命化
③コジェネレーション	⑦太陽電池	
④工場の排エネルギーの利用技術	⑧太陽熱給湯器	
(2) 開発の加速が望まれる要素技術 (20項目)		
①スーパーヒートポンプ	⑧水素利用技術	⑮バーレスCOA機器
②高熱伝導率ヒートパイプ	⑨地熱利用技術	⑯大型液晶
③セラミックエンジン、ガスタービン	⑩ソフトエネルギー技術	⑰分離膜技術
④新型原動機	⑪熔融還元法	⑱高機能性高分子材料
⑤燃料電池	⑫高効率モーター	⑲炭酸ガス処理技術
⑥高性能電池	⑬低損失半導体	⑳脱フロン技術
⑦超電導利用技術	⑭高効率発光素子	
(3) システムの変更による対策 (10項目)		
①配達者によるリサイクルシステム	⑤農機具のレンタルシステム	⑨鉄道のサービス強化
②共同配送システム	⑥交通機関のマルチ機能化	⑩国際飛行場の再配置
③時間別・期間別割引	⑦都市のスカイフロント開発	
④農業の粗放化	⑧自転車道路の整備	
(4) 産業に関連する新しい製品開発による対策 (20項目)		
①高圧パイプ	⑧自動車用ベンチレーション	⑭フラッシュ式信号機
②高圧ボール	⑨省エネルギーヘッドライト	⑮断熱材入自動販売機等
③フレキシブルシップ	⑩電気自動車の高機能化	⑯文字形けい光灯
④ソフトチューブ	⑪熱交換、ヒートポンプ式蒸留装置	⑰RAM新聞
⑤ノンフロン容器	⑫繊維入り陶器	⑱表示機能付ファックス
⑥断熱ビニールハウス	⑬建築物緑化	⑲宅配用留守確認器
⑦ハイブリッド鉄道		⑳通信へのケーブルTVの利用
(5) 生活に関連する新しい製品開発による対策 (30項目)		
①断熱材入ったカーペット等	⑪断熱材入り風呂	⑰ガス式トースター
②断熱カーテン	⑫風呂湯利用ヒートポンプ	⑱断熱鍋
③取付けの簡易な断熱材	⑬家庭用コジェネレーション	⑲分別型ゴミ容器
④ラッシュ共通型ペアガラス窓	⑭脱硝装置付石油ストーブ等	⑳繊維入り再生紙
⑤断熱型コップ	⑮家庭用中水道	㉑古紙利用ティッシュペーパー
⑥自動消灯器	⑯物干し用カウルム	㉑太陽電池付自転車
⑦省エネルギー型けい光灯	⑰燃焼式トイレ	㉑安全型ミュージックカー
⑧放熱器を分離した冷蔵庫	⑱節水型水道栓	㉑家庭で使う太陽電池
⑨外気取入れ機能付エアコン	⑲水の自動水切り装置等	㉑非環境破壊型レジャー用具
⑩省電力装置あれこれ	⑲簡易食器洗い器	㉑電力監視、調節器
(6) 発展途上国で利用できる製品や技術による対策 (10項目)		
①太陽熱クッカー	④夜間照明器	⑦水力発電
②飲料水蒸留器	⑤簡易断熱ハウス	⑧太陽熱給湯
③太陽熱暖房器	⑥火力発電	⑨車の排気浄化
		⑩鉄道

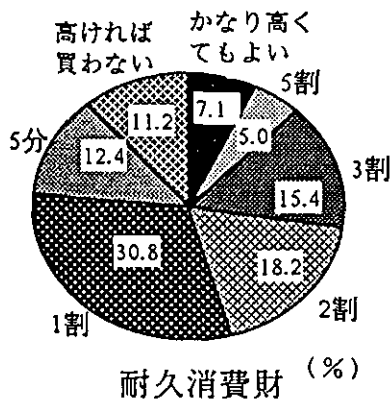
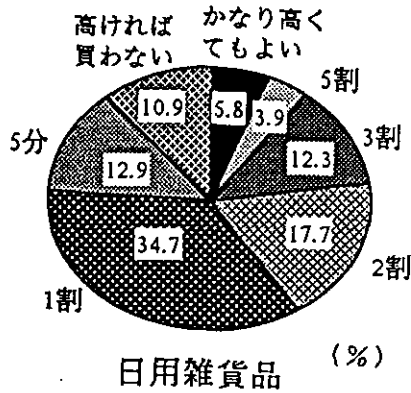


図3 環境対策による価格上昇の際の購買意識  
(松戸市及び前橋市の市民570名の回答結果)

程度の価格上昇があっても3/4以上の市民は購買意識を持ち続ける傾向がみられる。このような分析に基づいて、導入すべき対策技術のメニューと効果判定を行うことにしている。

## (2) 予測モデルの開発に関する研究

このような対策技術の導入とともに、省エネ政策やエネルギー転換政策などを導入した場合、温室効果ガスの排出量がどの程度削減され、その結果として地球温暖化をどこまで抑えることができるかについて、総合的に予測するための計算機シミュレーション・モデルを開発している。その全体の構造は、図4に示すとおり、人為起源の温室効果ガス排出モデルを核にして、自然起源温室効果ガス排出モデル、温室効果ガス反応・循環モデル等から構成されている。人為起源温室効果ガス排出モデルは、エネルギー消費、土地利用変化、農業生産等の温室効果ガス排出の原因になる社会経済活動のモデルが中心であり、それぞれ世界モデルとアジア太平洋地域のモデルから構成されている。

このような総合的な温暖化予測モデルの開発は、すでに米国とオランダで試みられており、特に米国環境保護庁で開発されたASF(大気安定化フレームワーク)モデルは、今のところ世界で最も評価が高い。このため、本研究で開発するモデルの基本部分はこのASFモデルを移植して改良し、アジア太平洋地域を重点に検討できるようモデル構造を組み直すことにした。

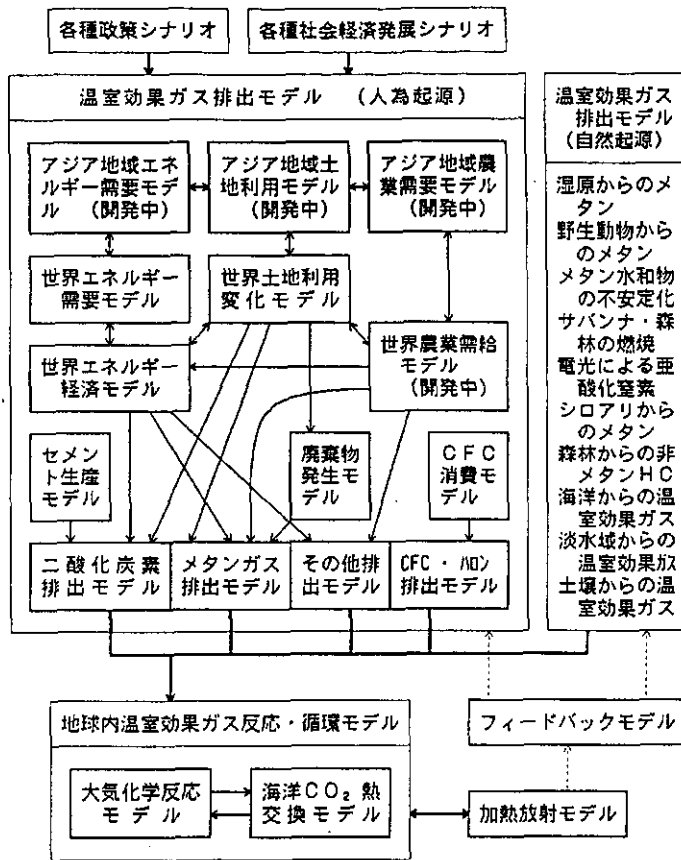


図4 温暖化防止対策評価のためのシミュレーションモデル

また、このモデルを用いて効率的にシミュレーションを行うため、入力条件の設定や出力の表示を支援する計算機システムを開発した。

モデルの基本部分に移植したASFモデルはまだ完成されたものではなく、モデル構造や入力データ等に各種の問題点がみられる。モデル構造上の欠陥としては、発展途上国のエネルギー需給予測の精度が低いこと、森林減少やバイオマス供給予測の基礎となる土地利用変化モデルが不完全であること、メタンガス等の予測の基礎となる農業経済モデルが複雑すぎて操作性に欠けること、二酸化炭素や熱の交換に重要な意味を持つ海洋のモデルが単純すぎることで、温度上昇に伴うフィードバックを再現するモデルが未完成であること、開発援助等の南北間の調整に関する政策の効果が分析しにくいこと、などがあげられる。このため、次のようなモデルの改良を行った。

まず、森林減少やバイオマス供給予測に不可欠な土地利用変化モデルについては、特に、熱帯地方の森林破壊を中心とする土地利用変化メカニズムをより正確に記述するため、図5に示すようなモデルを設計して主要なパラメータを推定した。また、海洋モデルについては、ASFモデルにおいては全球1ブロックの簡略モデルを採用しているが、これを12ブロックに分割したモデルと置き換えた。さらに、フィードバックモデルについては、温度上昇によるエネルギー消費



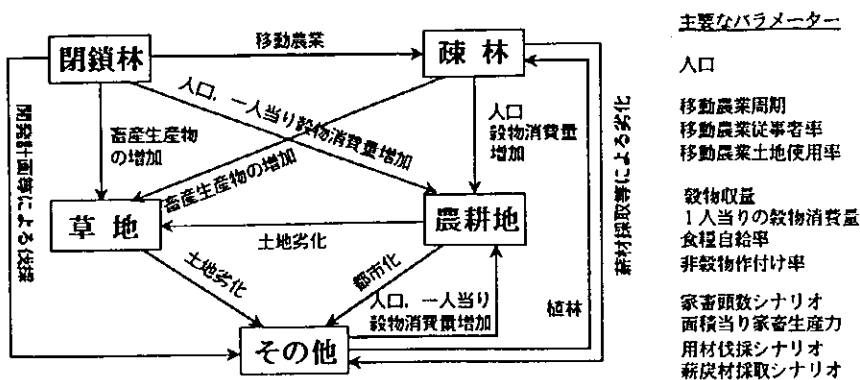


図5 熱帯地方の土地利用変化モデル

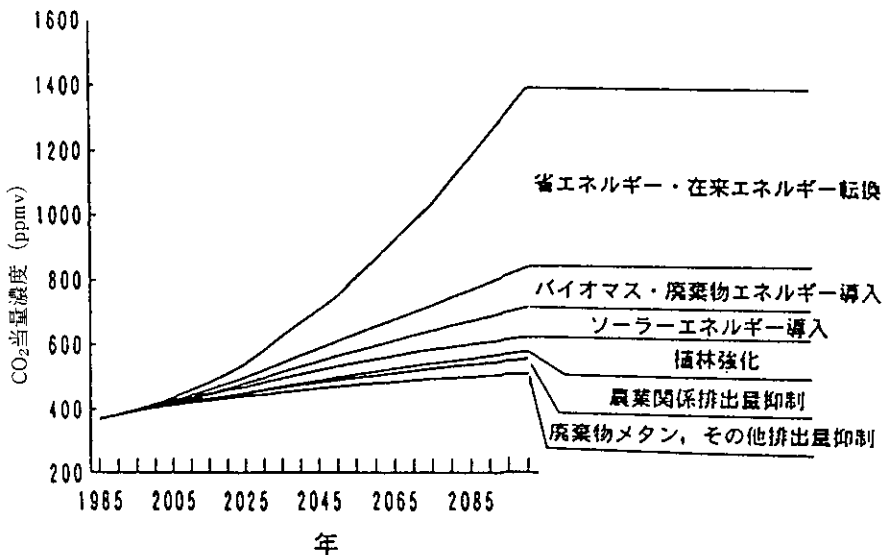


図6 予測シミュレーションの結果：温室効果ガス濃度の安定化に向けた各種対策の効果

量の変化等，モデリングが容易なものについて構築し，基本モデルに組み込んだ。

なお，発展途上国のエネルギー需給モデルをはじめとするアジア太平洋地域における詳細な予測モデルについては，平成3年度から新たに開始される課題別研究の中で開発する予定である。

以上のモデルは現在開発途上にあるが，今までに完成したモデルを部分的に用いてシミュレーションを行い，省エネルギー，エネルギー代替，技術効率改善，植林，農業関係排出抑制対策等の政策オプションの効果を予測した。図6はこの結果をまとめたもので，これらの政策をとらなかった場合の大気中の温室効果ガス濃度の上昇と比較して，それぞれの実行可能な政策オプションがこの上昇を抑えるのにどの程度貢献するかを示している。この図によれば，温暖化を防止す

るには省エネと在来エネルギー（天然ガス、水力、原子力等）への転換が最も有効で、次いでバイオマスや太陽エネルギーの導入、植林などの有効性が示されている。

### （3）植物影響に関する研究

一方、温暖化が防ぎきれなかったときにどのような影響が出てくるかという点について、まず、植物影響の研究を紹介する。植物にとって地球温暖化とは、単に温度の上昇を意味するばかりでなく、二酸化炭素濃度の上昇、乾燥化、日射条件の変化などの複合的な環境条件の変化を意味する。そしてそれらが、植物の光合成、呼吸、代謝、植物ホルモンの生成などの生理生態反応に影響を及ぼし、植生の分布域の変化や、多くの植物種の絶滅をまねく恐れがある。植物の衰退や破壊は植物に依存する昆虫や鳥類、動物類に影響を与え、生態系のバランスを崩し、ひいては人間の生存基盤を脅かすことにもなりかねない。さらに、そのような生態系の破壊—森林の減少は、地球全体の光合成量を低下させ二酸化炭素を増やし、あるいはアルベド（反射光のフラックスと入射光のフラックスの比）を低下させ、再び地球温暖化を加速させる方向へのフィードバックをかける。この研究では、気温上昇や二酸化炭素濃度の増加などによって植物個体や植生にどのような影響を及ぼすかを分析している。植物個体に及ぼす影響については以下の知見が得られた。

①気温が上昇すると対流圏のオゾン濃度が増加する可能性があるといわれている。そこで、二酸化炭素濃度の増加とオゾン濃度の増加が複合したときに植物がどのような影響を受けるかについて、実験を行った。図7は得られた結果の一部であるが、二酸化炭素濃度が上昇しても、オゾン濃度が高い場合には必ずしも植物の生産性は増加しないことを示唆している。

②我が国における分布南限域の野生生物であるオンタデを対象として生育環境調査を実施し、さらに施設実験により乾物生長に対する育成温度の影響を明らかにした。

③温暖化による開花や落葉時期の変化を予測するシミュレーションモデルを開発し、いくつかの分析を行った。ソメイヨシノ(桜)の開花予想を図8に示した。全国的には、月平均気温が1℃上昇すると開花日は2.7~4.8日早くなり、平均では約3.24日早くなると予想された。

また、植生に及ぼす影響については、我が国の気候的植生帯の空間的シフトを推定した。我が国は降水量に恵まれているために、植生分布の主たる制限要因は「温度」である。そこで、植生帯を温度条件により説明するモデルを開発し、そのモデルを用いて1℃の上昇に対応した植生帯を推定した(図9)。いくつかの仮定を設けて試算すると、植物の種の移動速度は温暖化に伴う植生帯の移動速度の1/10以下となる。この気候変化に種の移動が追いつかない地域では、“competitive displacement”が生じるのか、あるいは“catastrophic decline”が生じるのかについては、世界的にも熱く議論されている最中である。今後、このような問題に対して答えを求めていくことが必要であろう。

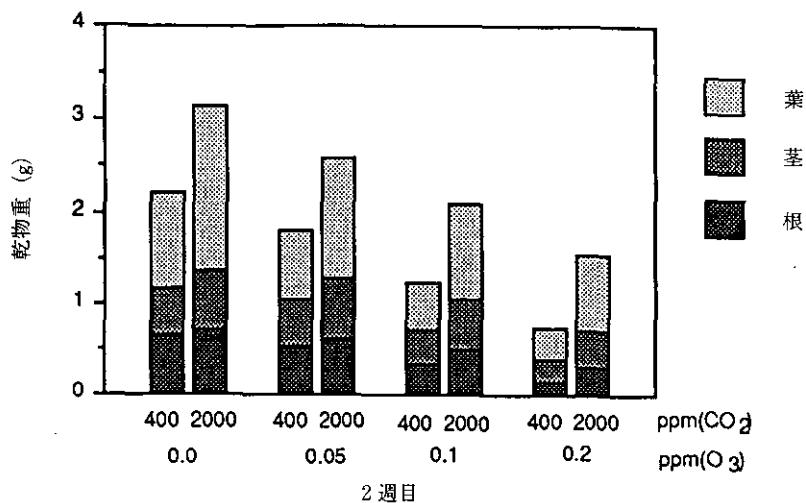


図7 ハキダメギクにおける複合暴露 (CO<sub>2</sub>+O<sub>3</sub>) (2週目の器官別乾物重)

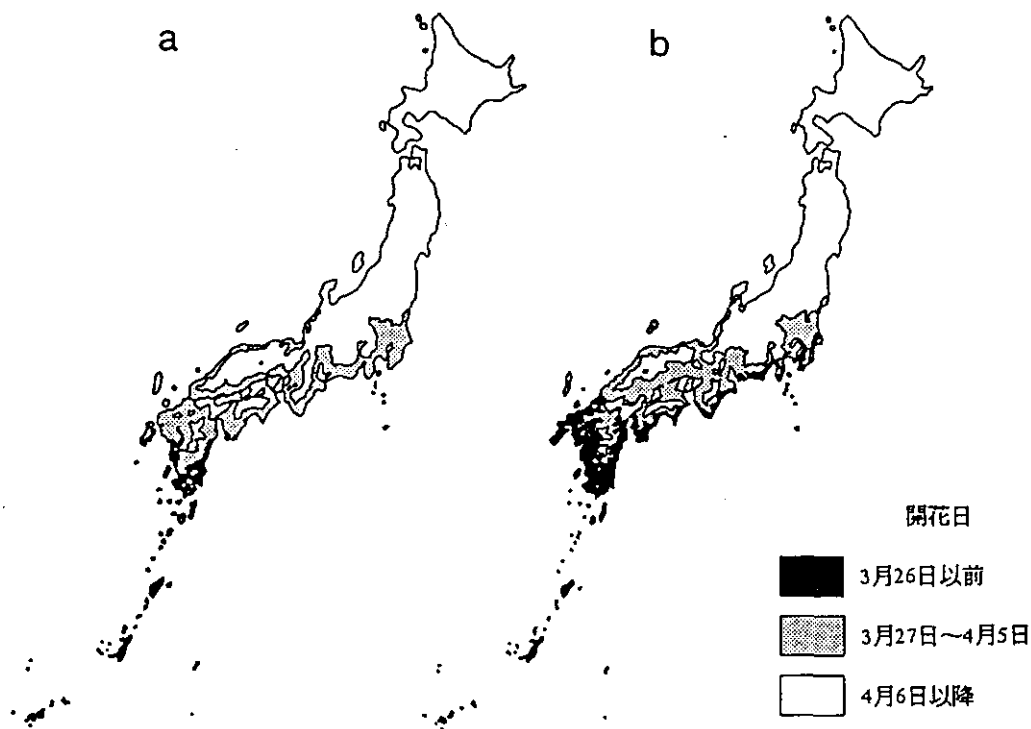


図8 桜の開花予想図

- (a) 1951~1980年の月平均気温の平年値を用いた場合
- (b) 月平均気温1℃上昇した場合

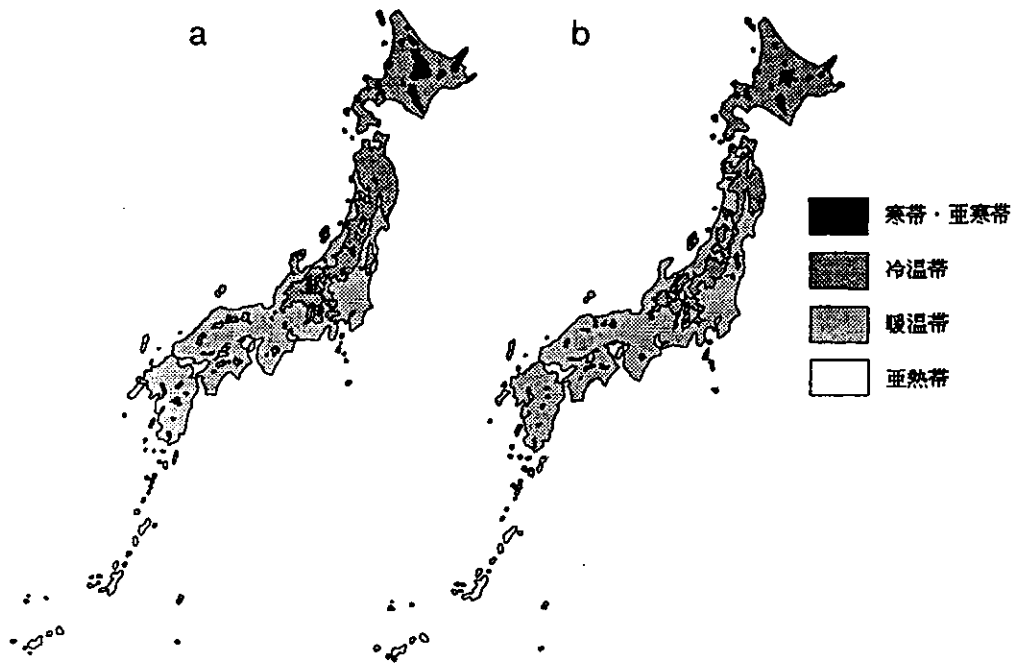


図9 日本の植生帯の空間的シフト  
 (a) 1951～1980年の平年値から予想した場合  
 (b) 年平均気温1℃上昇した場合

#### (4) 健康影響に関する研究

地球温暖化の進行に伴う生存環境の変化は、直接的には乳幼児から高齢者に至る身体機能に影響し、夏期の熱波による疾病・死亡などのリスクの増大をもたらす。特に、地球温暖化による気候変化は心血管系・脳血管系及び呼吸器系疾患によるリスクを変化させると予想される。心血管系及び脳血管系の疾病による死亡には著しい季節差があり、図10に示すように、温帯の日本においては冬期に死亡のピークが現れ、夏期に死亡が最小になる。米国の心血管系及び脳血管系の疾病による死亡についての解析では、気温が-5℃から25℃の間は気温の上昇につれて死亡率は減少する。これに対し、-5℃以下もしくは25℃以上では死亡率の急激な増加がみられる。このための温帯地方の冬期の死亡は温暖化により減少する一方、夏期の死亡は増大する可能性が強い。

一方、地球温暖化は間接的には、動物媒介性感染症、農薬などによる環境汚染や大気汚染による健康リスクとして反映すると予測される。気温と湿度の変化は植物、動物、昆虫、細菌やウイルスの地理分布と生活環境を変化させる。人や動物に疾病を媒介する昆虫においても、分布域の著しい変化が起こる。WHOの報告では、地球温暖化によってマラリア、住血吸虫症、デング熱に発生域が広がると予想している。

温暖化による健康リスクのなかで、熱波等の熱ストレスによる直接的な健康リスクの発現機構

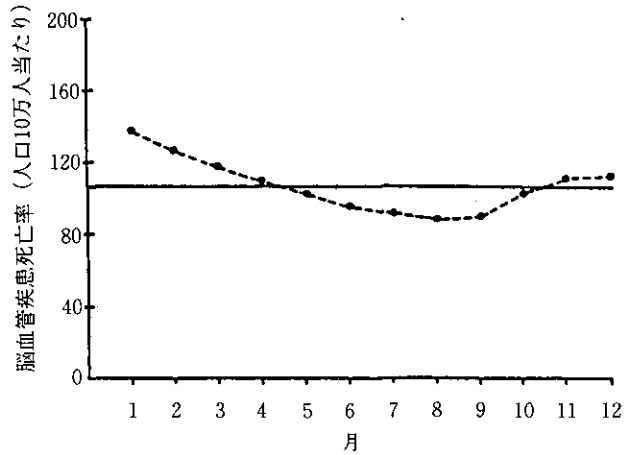
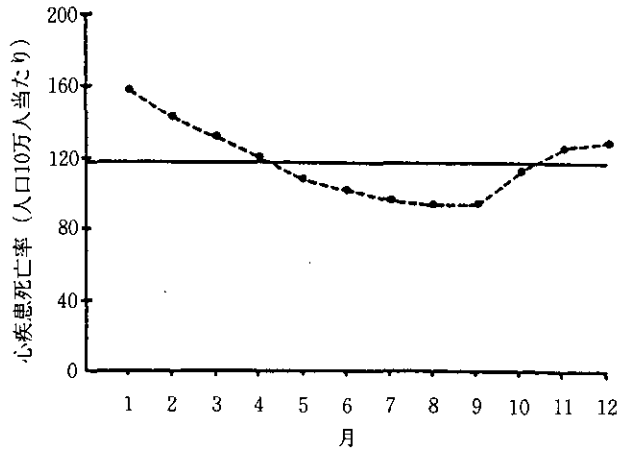


図10 1987年時点の日本における心血管系疾患及び脳血管系疾患による死亡率の月変化

を解明する必要がある。熱ストレスの直接的健康リスクを細胞、組織、個体レベルについて解明するため、実験動物を用いて研究を行った。熱ストレス負荷によって、多数の熱中症の発生する臨界温度（30 数度）において、実験動物に様々な成長抑制がみられた（図 11）。さらに心血管呼吸器系、肝機能等への影響について生理生化学的・組織化学的検討を行った。図 11 に示すように、熱ストレスをかけた実験動物の肝臓においては、脂質過酸化障害が引き起こされることが判明した。脂質過酸化障害は熱ストレスの早い段階に起こり、熱ストレスの負荷の続く間継続する。このような脂質過酸化障害は人の健康リスクを調査研究していくうえで重要な知見と考えられる。

今後、熱ストレスの健康リスク発現機構との関連について、細胞や組織の生化学的応答をはじめ、中枢神経系の深部体温調節機構の面から解明していく必要がある。さらに、細胞、熱波、個体レベルの適応現象を解明し、熱波発生地域の疫学調査研究と合わせ、熱ストレスの健康リスクの予測を行う。

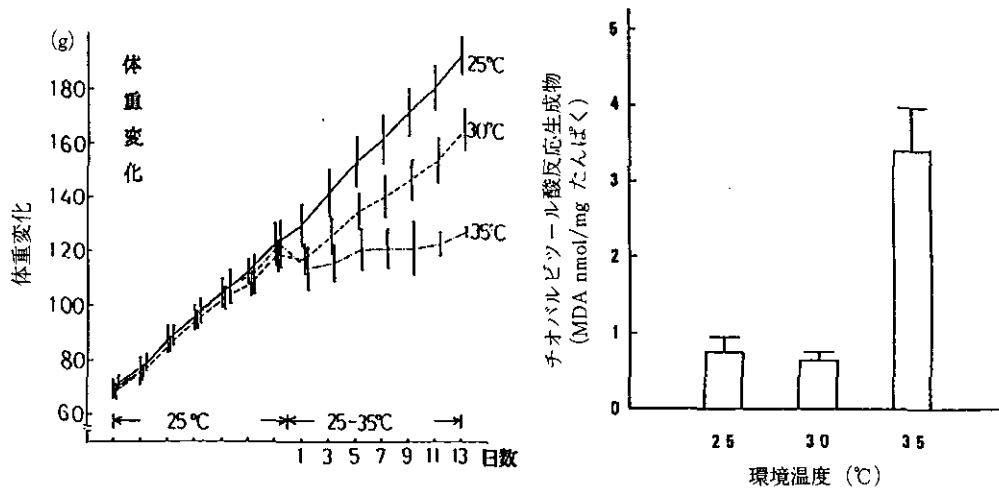


図11 熱ストレス下のFisherラットにおける成長抑制と肝臓脂質過酸化生成

#### (5) 都市環境への影響に関する研究

地球温暖化の影響は多種多様なものがあるが、人間活動や財産それに人口が集中する都市においては、これらの様々な影響が総合化されて大きな損害をもたらす可能性が高い。このため、都市エネルギーシステム、大気汚染、都市緑地、近郊農業、水環境、水利用システム、レクリエーション環境、都市災害、土地資産等への影響を総合的に分析し、評価する研究も始めている。すでに各種影響を同定して総合的に評価する手法の開発に着手しており、図12にはその出力の一例を示している。本年度から、具体的な都市データを収集して、影響の大きさを算定する作業に入る予定である。

また、都市環境に及ぼす影響をブレイクダウンして個々のシステムに着目した詳細な研究も行っている。本年度は、都市環境の1つのシステムとして、水を利用し廃棄する水利用システムを取り上げ、気候変化が都市の水源水質に及ぼす影響について検討した。我が国の都市における水利用システムの入力の上水道で、その原水は貯水池や湖沼によるところが大きい。温暖化が都市の水利用システムに及ぼす気候変化の影響を評価するために、水道原水としている貯水池や湖沼水質に及ぼす気候変化の影響について検討を進めた。

具体的には、大気温度、湿度、風速、日射量などの気候条件を任意の入力条件として、水温及び水質予測モデルを開発し、それを用いて貯水池及び湖沼水質に及ぼす影響を明らかにする。まず、水深の大きい貯水池や湖沼で特有に観察される水温成層や循環を再現するため、さらに冬期に結氷する貯水池や湖沼にも適用するため、水温モデルを開発した。これを日光湯ノ湖・野尻湖に適用してシミュレーションを行った結果、冬期の結氷現象や水温の季節変化が概ね再現されるとともに、循環期から水温成層が形成された後に破壊されて水温が鉛直方向均一になる様子が再現された。

次年度は、水温モデルの出力を用いて水質を予測する汎用水質モデルを開発し、温暖化による水質への影響とさらには都市の水利用システムへの影響を検討する予定である。この際、夏期の

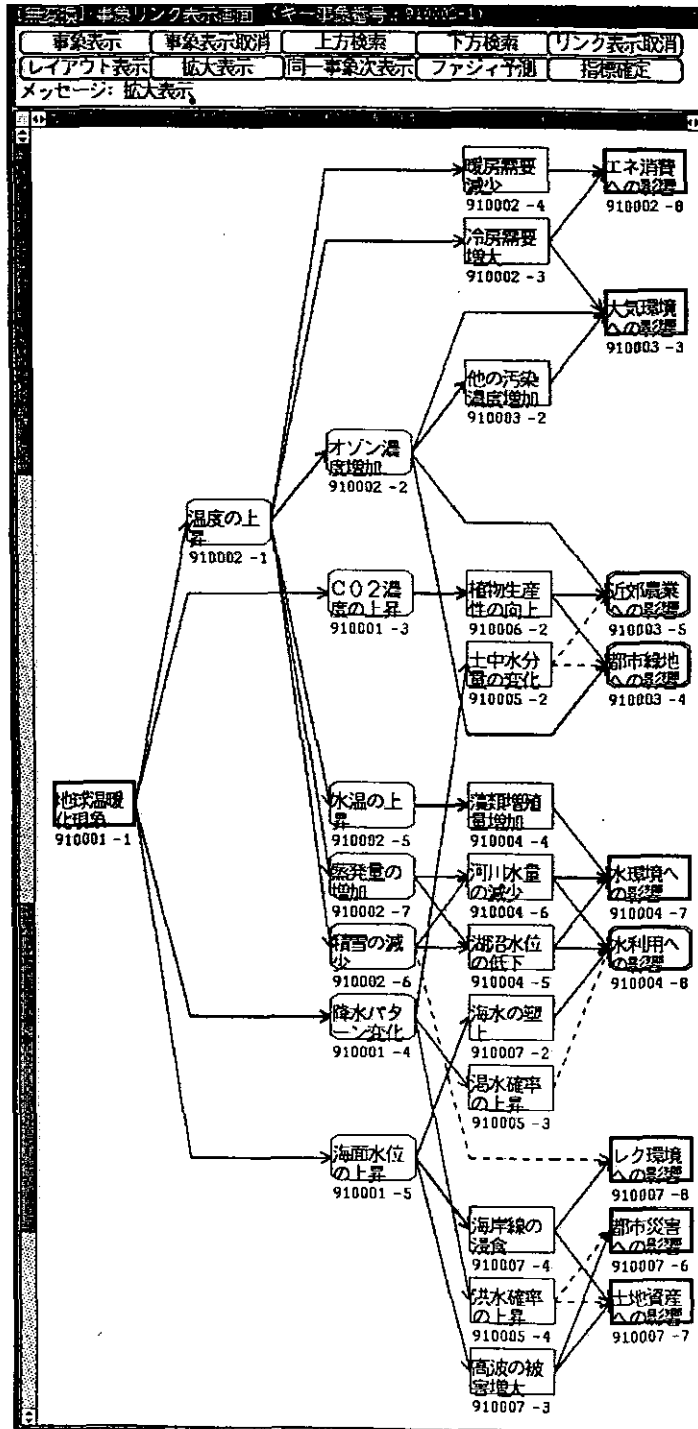


図12 温暖化の都市影響の総合評価：知識ベースの出力結果

温度成層の発達による下層の溶存酸素濃度の低下，及び藻類の増殖量の増加の2点に特に着目したモデルを構築して，温暖化の影響を総合的に予測することになっている。

#### (6) おわりに

地球温暖化の防止対策や影響に関する研究は非常に広範囲な対象を含み，また大変多くの研究領域にまたがっている。このため，国内外の研究者との交流や共同研究を進めるとともに，着実な研究推進体制を確立するよう努力しているところである。



## 2.4 酸性雨に関する研究

### 〔研究組織〕 地球環境研究グループ

統括研究官 秋元 肇

酸性雨研究チーム ○溝口次夫・佐竹研一・河合崇欣・村野健太郎・  
畠山史郎

温暖化現象解明研究チーム 野尻幸宏

### 地域環境研究グループ

都市大気保全研究チーム 若松伸司

### 化学環境部

計測技術研究室 向井人史

計測管理研究室 西川雅高

動態化学研究室 田中 敦

### 大気圏環境部

大気反応研究室 福山 力

### 水圏環境部

水環境工学研究室 海老瀬潜一

土壌環境研究室 高松武次郎・服部浩之・土井妙子

### 生物圏環境部

環境植物研究室 大政謙次・名取俊樹・藤沼康実・清水英幸・戸部和夫

生態機構研究室 岩熊敏夫・多田 満

分子生物学研究室 田中 浄・榎 剛

客員研究員 35名, 共同研究員 5名

### 〔研究概要〕

地球環境問題は1980年代の半ばから世界の科学者あるいは国際政治の場で注目され、論議されている。このうち、酸性雨は成層圏オゾン層の破壊や地球の温暖化等の問題と並び現実的かつ、緊急の課題となっている。

ヨーロッパ大陸中東部、北東部及び北米大陸東部では20年以上前から酸性雨による森林の枯損、陸水域の酸性化による水生生物の死滅が顕在化し、国際的な越境汚染問題として論議されてきた。

我が国ではこれまでのところ、欧米のような大きな被害は出ていないが、最近、関東地方、中国地方、北九州地方の一部でスギ、モミ等の被害が問題となっている。我が国は昭和30年代の終わりから、酸性雨の原因物質であるSO<sub>2</sub>の排出量の削減に努めており、環境中のSO<sub>2</sub>濃度はエネルギー消費量の増大にかかわらず低いレベルが保たれている。しかし、東アジア地域はヨーロッパ大陸、北米大陸に次いで酸性雨の前駆体物質であるSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>の排出量が多く、今後さらに増大することが予想されている。酸性雨は大気圏、水圏、土壌圏、生物圏などあらゆる環境に関与する問題である。したがって、その解明には自然科学の多くの研究者からなる学際的、総合的な研究が必要である。本研究ではそのために大学、地方環境公害試験研究機関からも多くの研究者の参加を得て総合的に研究を推進している。

具体的には、酸性雨の生成機構、輸送過程及び地上への降下メカニズム、人体、動植物、建造物などへの被害の定量化、土壌、陸水域の酸性化プロセスの解明、それらの有効な対策を樹立するための総合的な研究を遂行することになるが、本プロジェクトでは、3か年の研究計画をたて、効率的な研究を行うこととしている。

本年度は当面3か年計画のうち、次の3課題について研究を開始した。

なお、本研究で酸性雨とはそれが与える被害の観点から単に湿性（雨、雪など）の降下物だけでなく、乾性の降下物及びガス状の酸性物質、酸化性物質も含めていうこととしている。

#### (1) 東アジアにおける酸性雨の動態解明に関する研究

ヨーロッパ大陸、北米大陸では前述したように酸性雨の被害が古くから顕在化していることもあって、酸性雨の大気中での反応、生成機構、その輸送プロセスなどもかなり解明されている。

我が国を含めた東アジア地域では酸性雨の動態はまだほとんど明らかになっていない。東アジア地域でのこれらの動態解明のためには東シナ海、日本海上空での酸性雨に係る反応、生成の把握が特に重要である。

東アジア地域において地上の発生源から大気中へ放出された二酸化硫黄や窒素酸化物が大気中でヒドロキシルラジカル等の過酸化物と反応して硫酸や硝酸に酸化されるメカニズムと、それらがエアロゾルや雲に取り込まれて輸送され、地上へ到達するプロセスを明らかにするため、次の研究を行う。

- 1) 東アジアにおける酸性雨及び関連物質の動態解明のための地上モニタリング及び東アジアからの酸性雨の影響を的確に評価するための地上モニタリング
- 2) 東シナ海及び日本海上空での航空機観測とデータの解析
- 3) 地上モニタリング及び航空機観測のための微量酸性、酸化性物質計測システム及び校正システムの開発
- 4) 酸性霧の生成と汚染物質の取り込みプロセスの研究
- 5) 酸性物質の吸着プロセスの研究

以上が3か年の研究課題である。年次計画をブロック図で示す（図1）。

#### (2) 自然植物系における酸性雨の影響に関する研究

本課題では酸性雨が樹木などに与える影響を同定し、定量化することを目的としている。我が国でも最近、樹木の枯損が顕在化しているが、その原因については明らかになっていない場合が多い。植物の枯損の原因には水枯れ、日照などの気象条件のほかにも人為起源によるものとして、大気汚染を含めた酸性雨によるものが多い。

本研究では樹木に与える酸性雨の影響を明らかにするために高性能暴露チャンバーによる実験及びフィールドでの実験、調査を行うこととしている。樹木への酸性雨の影響は大気汚染ガス、エアロゾル、霧などによって直接枝葉から影響が及ぶ場合と酸性降下物が土壌を酸性化し土壌中の栄養分の根からの吸収を阻害する場合とがある。我が国の現在の樹木への被害は主として前者によるものであると考えられている。葉とくに気孔から酸性、酸化性物質が葉の内部に侵入して被害を及ぼすプロセスを定量化すること及び被害植物の早期発見法の確立などを目的として次の研究を行う。

- 1) 樹木へ及ぼす影響が大きいと考えられる酸性霧暴露チャンバーの開発とそれを用いた実験
- 2) 実験に供する針葉樹（スギやモミ）の育成方法の開発

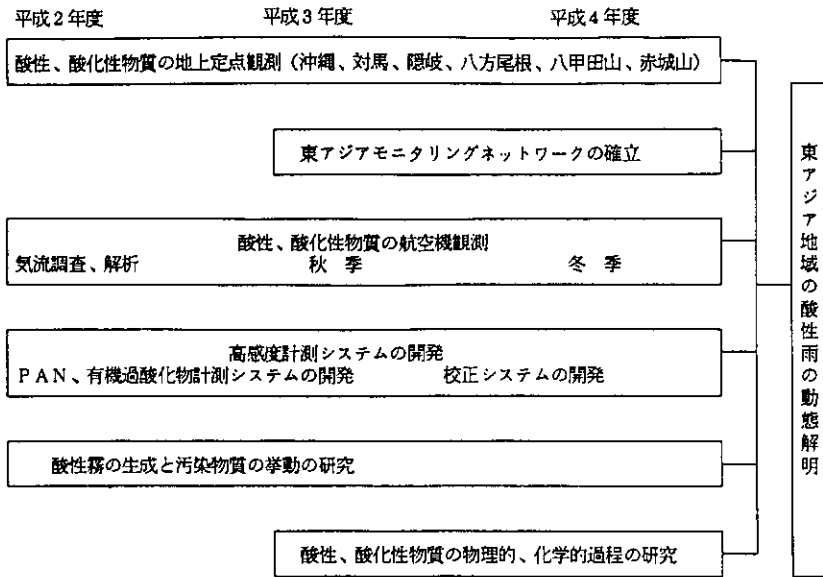


図1 東アジアにおける酸性雨の動態解明に関する研究

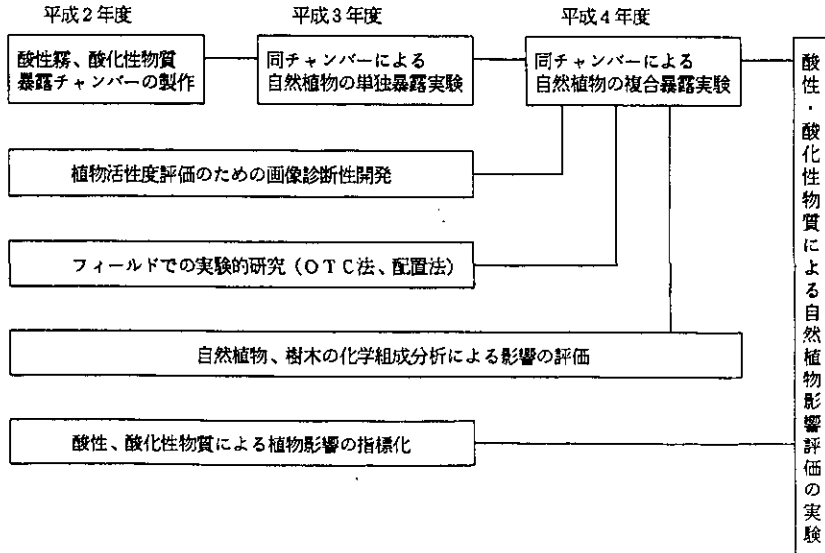


図2 自然植物系における酸性雨の影響評価に関する研究

- 3) フィールドにおいて樹木の枯損の原因を明らかにするためのオープントップチャンバー法及び配置法による実験手法の開発
- 4) 高感度分析法を用いた樹木各部の元素分析法の確立と樹木枯損原因の追求
- 5) 赤外線画像計測法を用いた樹木枯損の早期評価法の確立
- 6) 酸性降水物のモニタリングのための指標植物の検索

年次計画をブロック図で示す(図2)。

(3) 酸性降水物の陸水、土壌への影響機構に関する研究

環境庁の第一次酸性雨調査の結果によると我が国の酸性降水物量は欧米の被害が顕在化している地域と余り変わらない。しかし、同時に行われた湖沼の調査では酸性降水物によると思われる酸性化は確認されていない。陸水域の酸性雨による影響は土壌の酸性化から始まる。我が国の土壌中での酸性降水物の挙動を明らかにし、土壌中和能の定量化及び各陸水域の酸性化を予測するために次の研究を行う。

- 1) 酸性降水物量の計測と陸水域酸性化予測のためのモニタリング
- 2) 酸性化しやすいと推定される湖沼や河川の調査と解析
- 3) 土壌中和能推定のための研究
- 4) 降雨流出水質に及ぼす酸性雨の影響の研究
- 5) 湖沼や河川の酸性化が水生生物相に与える影響の研究

研究の年次計画をブロック図で示す(図3)。

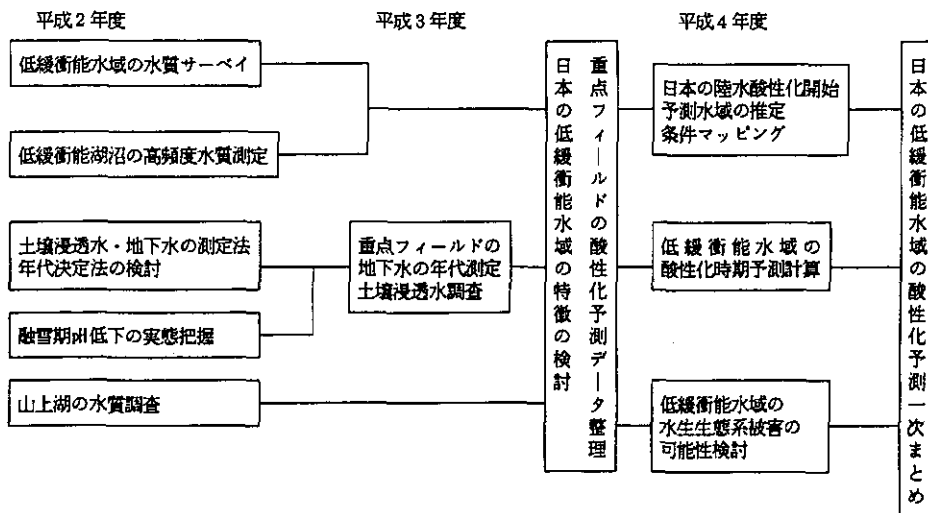


図3 酸性降水物の陸水、土壌への影響機構に関する研究

## 〔研究成果〕

### (1) 東アジアにおける酸性雨の動態解明に関する研究

東アジア地域からの酸性物質などの影響を的確に評価するためのモニタリング地点として、沖縄本島北端、対馬中部及び隠岐島北部を選定した。バックグラウンド地点として、八甲田山及び八方尾根を選定した。また酸性霧生成などの研究のために赤城山を選定した。図4に各モニタリング地点の配置を示す。測定項目は全地点において、湿性及び乾性降水物量とその成分及びオゾンモニタリングしている。また、期間を限定して他の成分の測定を行うこととしている。



図4 モニタリング地点

#### 1) 隠岐島におけるモニタリングデータの解析

隠岐島では本年度湿性及び乾性降水物量、浮遊粒子状物質及びオゾンのモニタリングを行った。日本海側での降水、降雪の酸性化は非海塩性の硫酸イオンによることはよく知られている。本研究では非海塩性の硫酸イオンを対象とし大気中の硫酸塩と雨水中の硫酸塩との関係を解析し、その起源、雨への取り込み過程などを検討した。

①解析方法：隠岐島はこれまでの測定から大気中の $\text{SO}_2$ 濃度が粉じん態の硫酸塩に比べて極めて小さく無視できることが分かっている。特に降雪中にはガス状 $\text{SO}_2$ が取り込まれて硫酸塩に変質される割合は小さい。したがって隠岐島での降雨（または降雪）中の硫酸塩の起源はほとんど粉じん態の硫酸塩であると推定されている。雨中の対象成分濃度と大気中の対象成分濃度には次の関係が成り立つ。

$$W = C\rho / K \quad (1)$$

ここで  $W$  = Washout ratio

$C$  = 雨水中の対象成分濃度 (mg/g)

$K$  = 大気中の対象成分濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  = 大気中の密度 (mg/m<sup>3</sup>)

これは大気中から水蒸気と対象成分（ここでは非海塩性硫酸塩）が一定の比率で雲または雨水に取り込まれるという仮定に基づいている。ここでは、雲または雨に取り込まれる対象成分及び気団中の対象成分をそれぞれ地上の測定値で代用している。

②結果：隠岐島での冬季の雨及び大気浮遊粒子状物質中の非海塩性硫酸塩の測定結果から次の回帰式が得られた。

$$W = 3300 P^{-0.41} \quad (2)$$

ここで  $P$  = 1回の降水量 (mm)

(1), (2) 式を用いて大気浮遊粒子状物質中の硫酸塩を測定することによって降雨中の硫酸塩の推定が可能になった。この場合、降雨量は気象庁のアメダスステーションの値を用いることができる。(2) 式は冬季についてのものであり春季及び夏季についての回帰式を同様に求めたものを含めて図5に示す。季節によって回帰式が異なるのは起源が異なることを示している可能性がある。今後起源推定についてさらに解析していく必要がある。

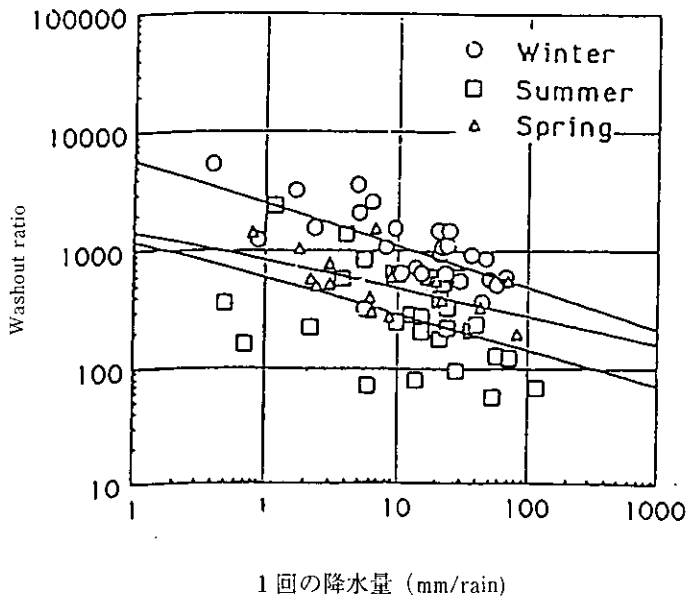


図5 季節別の Washout ratio と降雨の関係 (隠岐島)

2) 赤城山における酸性物質などの挙動

赤城山は関東平野の北西にあり、京浜、京葉工業地帯から約110 kmの距離にある。したがって、夏季は南風によって大発生源からの大気汚染の影響を直接受け、赤城山付近で発生する霧はこれらの汚染物質を多量に含んでいるものと推察される。1990年9月、10月に霧及びガス状の大気汚染物質を測定した。

①方 法：霧の捕集は霧粒と気体分子の慣性の差を利用する慣性衝突法を用いた。直径0.5 mmの細いテフロン線を縦に多数張り、ファンで大気を吸引し霧粒を細線に衝突させ、霧水を一定量ずつフラクシオンコレクターに貯蔵する方法でサンプリングした。捕集した霧水はろ過して粒子状物質を除き、pH、電気伝導度 (E.C.)、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ を分析した。オゾンの測定は紫外線吸収方式自動測定機を用いた。硝酸ガスはナイロン製デニューダ法によって行った。

②結 果：捕集した霧の pH と E.C. を表 1 に示す。ただし、試料は (S-1)=36 検体、(S-2)=11 検体、(S-3)=36 検体、(S-4)=25 検体であった。(S-1)の中には pH が 2.20~3.27 の一群と pH>3.76 の一群があった。(S-2)は pH が高く、E.C. も低く清浄な霧であった。(S-3)、(S-4)は pH>4.71 (日本の酸性降下物の平均値)で、雨水より平均値で 10 倍程度酸性度が高く、似たレベルの霧水であった。イオン種の量の多さに対応する電気伝導度は、 $\text{E.C.}>100 \mu\text{S}/\text{cm}$ を示したのは、7(S-1)、0(S-2)、(S-3)、23(S-4) 検体であった。(S-4)は全試料が  $\text{E.C.}>50 \mu\text{S}/\text{cm}$ を示した。イオン種の代表的なものを表 2 に示す。pH が 2.20 を示した霧水のイオン種は、 $\text{NO}_3^-$ : 359、 $\text{SO}_4^{2-}$ : 135、 $\text{Cl}^-$ : 32、 $\text{NH}_4^+$ : 55  $\mu\text{g}/\text{ml}$ であり、雨水では今までに検出されることがない高濃度であった。今後、各イオン濃度の高い場合の霧発生時の気象条件を解析し、霧の生成機構

表 1 赤城山での霧水の pH と E.C.

試料	pHの範囲	pH<3.99	pH>4.71	pH>5.00	E.C.>100	E.C.>50
S-1	2.20 ≤ pH ≤ 5.21	8	18	7	7	8
S-2	4.57 ≤ pH ≤ 5.29	0	9	5	0	0
S-3	3.09 ≤ pH ≤ 4.82	27	2	1	11	28
S-4	3.15 ≤ pH ≤ 4.98	19	1	0	23	25

表 2 赤城山での霧水中の各イオン濃度

(月)	(日)	(試料)	E.C.	pH	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
			$\mu\text{S}/\text{cm}$		$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$	$\mu\text{g}/\text{ml}$
10	3	5	2040.0	2.20	31.90	359.00	135.00	55.00	13.50	5.31	2.78	15.50
10	3	20	6.8	4.80	0.11	0.52	0.71	0.26	0.44	0.05	0.00	0.04
10	7	5	6.1	4.86	0.07	0.25	0.75	0.10	0.36	0.02	0.00	0.03
10	18	6	76.4	3.76	8.38	6.05	6.06	1.30	4.77	0.24	0.05	0.38
10	18	17	5.7	4.82	0.14	0.41	0.44	0.53	1.29	0.18	0.00	0.03
10	18	24	393.0	3.09	15.30	51.30	38.50	20.20	1.59	1.30	0.33	2.79
10	19	3	736.0	3.21	39.20	178.00	88.80	67.50	11.00	5.40	2.36	17.10
10	19	8	94.1	4.98	3.38	14.80	17.90	11.70	1.33	1.38	0.21	1.22
10	19	25	292.0	3.18	8.17	34.30	25.60	9.20	4.20	0.78	0.64	1.71

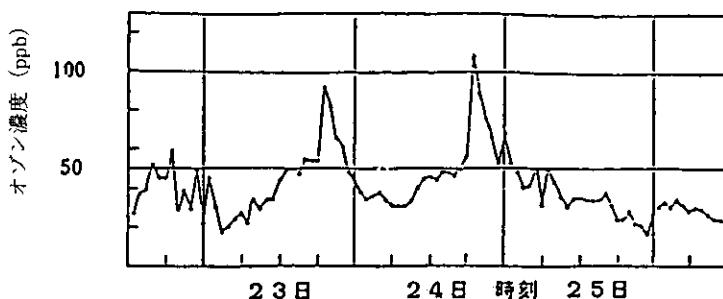


図6 赤城山でのオゾン濃度の変動

と汚染物質の取り込みプロセスを検討する必要がある。オゾン濃度は八甲田山、八方尾根と異なり、大きい変動を示した。一部を図6に示す。硝酸塩、硝酸ガスも高濃度を記録しており、南関東からの影響と考えられる。

### 3) 航空機観測のための気流調査

東シナ海及び日本海上空での酸性物質、酸化性物質の反応、生成などの挙動を明らかにするための航空機観測を次年度に予定しているが、そのための飛行時期、航路決定の資料とするために1987~1990年の間の9~11月の850 mbの風の流れの解析を行った。

### 4) 微量酸化性物質の計測システムの開発

#### ①有機過酸化物分析システム

有機過酸化物は植物が放出しているイソプレンやテルペンとオゾンの反応で生成することが報告され、関東地方のスギ枯れ等植物の被害に大きな影響を及ぼしている可能性がある。大気汚染物質としての有機過酸化物の測定例はまだほとんどない。

有機過酸化物がチトクロームC等の存在下ルミノールと反応して化学発光を起こすことを利用して、高速液体クロマトグラフィーと化学発光検出機の組み合わせで有機過酸化物を分析することを検討した。図7は装置の概念図である。有機過酸化物の不安定性を考慮して、分離カラムは恒温槽により6℃に保たれている。

カラムとして逆相分配カラムを用いメタノール：水、1：1の混合溶媒で展開したところ、水溶液中の過酸化水素の検出下限は約3 ppbであった。メチルヒドロペロキシド(CH<sub>3</sub>OOH)を合成し、分析した結果、上記の条件で過酸化水素と分離できることが分かった。今後さらに条件をつめて、より高感度でかつ分離よく分析できる条件を決定する必要がある。

#### ②有機ナイトレート分析システム

大気中の窒素は汚染大気中ではおもにNO<sub>x</sub>として存在しているが、長距離輸送中に光化学反応によって変質し、バックグラウンド大気中ではPANや有機硝酸エステル(有機ナイトレート)として存在する比率が高い。したがって有機ナイトレートは含窒素化合物の1種として、特にバックグラウンド大気中で重要な地位を占めている。現在のところ、これを分析するための十分な感度を有する分析機器はあまり報告されていない。本研究では低温捕集したサンプルをガスクロマトグラフで分離した後、有機ナイトレートを高温で熱分解し、高感度NO<sub>x</sub>計で検出する方法を開発することとし、装置の設計を行っている。



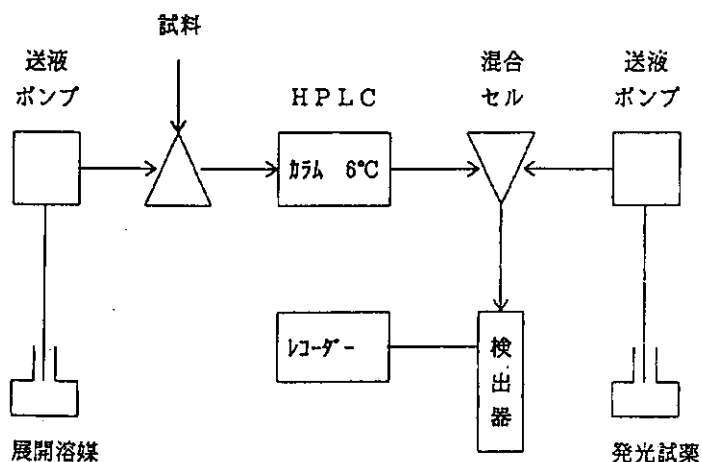


図7 計測システム概念図

## (2) 自然植物系における酸性雨の影響に関する研究

### 1) フォグチャンバーの試作

一般に、酸性霧は酸性雨より pH も高く、植物への直接的影響は大きいと考えられている。そこで、実験的に酸性霧の植物影響を検討するために、酸性霧暴露装置（フォグチャンバー）を開発し、その基本的な性能を検討した。本装置は当研究所に設置されている環境制御室内で使用することにより、酸性霧とガス状汚染物質との複合暴露実験が可能となる。図8に開発したフォグチャンバーの概観を示す。かなり強い酸性霧に暴露しても影響がないように、装置の材質はステンレスとアクリルを用いた。目的の成分を入れ pH を調節した溶液を超音波加湿器に送り酸性霧を発生させる。発生した霧はヒーターで一定温度に保たれたパイプを通して、チャンバー本体に流れ出る。この装置を環境制御室内で使用することにより、安定した粒径・pH の霧に植物を暴露することが可能になるので、粒径や pH の異なる霧の植物体への取り込み量やその影響評価が可能となる。また本装置の外気取り入れ側には防じんフィルターのみがあり、環境制御室内のガス状汚染物質は濃度の低下なくフォグチャンバー内に導入される。チャンバーの反対側には排気用大型ファンを設置しており、回転数を調節することにより風速は可変である。ファンの前に置いた冷却管及び防じんフィルターにより霧とガスを回収し、大量の酸性物質が環境制御室内に流れ出すのを防ぐ。本装置を作製し、調整・改良した結果、ほぼ均一に層流に近い状態で植物を霧に暴露することが可能となった。現在暴露する霧の粒径の調節、また植物を入れた場合の霧付着の均一性などについて検討している。今後この装置を用いて、酸性霧の植物影響について、また酸性霧とオゾン (O<sub>3</sub>) などガス状汚染物質との複合影響について検討する予定である。

### 2) ガス状汚染物質の植物影響

酸性霧以外に O<sub>3</sub> などの光化学オキシダントや他のガス状汚染物質が森林衰退に影響している可能性が指摘されている。そこで、数種木本植物の生長に及ぼす 0.1ppmO<sub>3</sub> の長期暴露の影響を

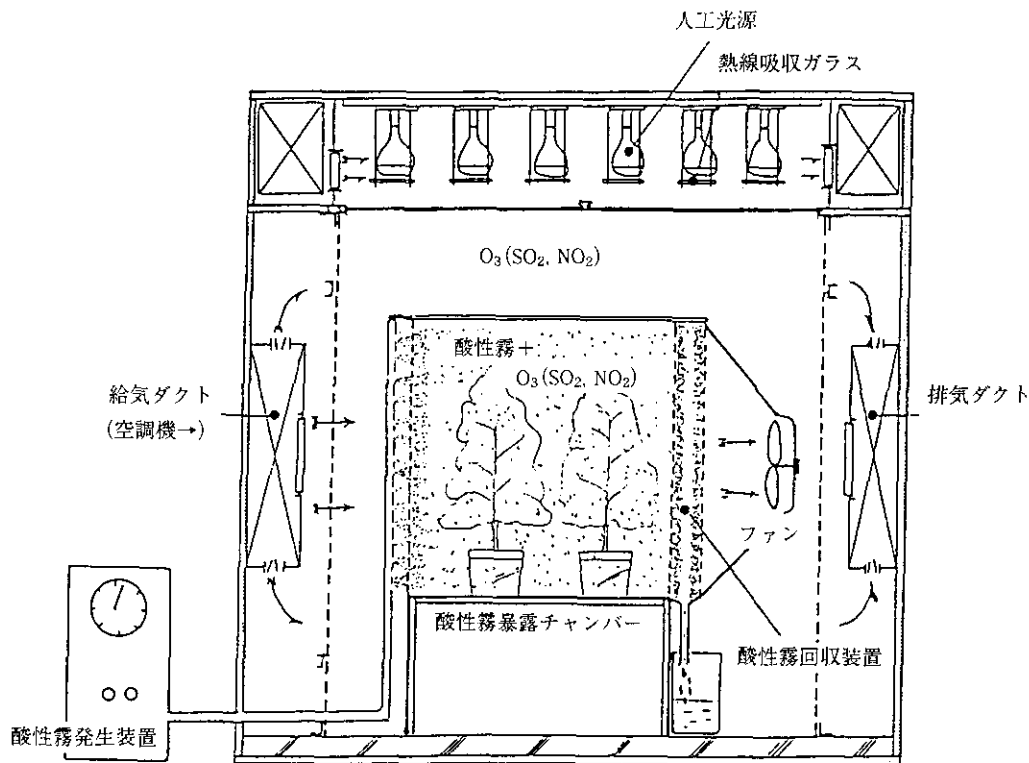


図8 酸性霧暴露システム

環境制御室を用いて検討した。材料はスギ、モミ、ポプラ、サングジュ、シラカシなどの木本植物の苗を用いた。国立環境研究所標準培土を入れたプラスチックポットに植えた苗を、明暗期：14/10時間、光強度： $235 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ 、気温： $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ （一定）、湿度：70%RH（一定）、風速：約30 cm/secに調節した人工光型環境制御室で4週間0.1 ppm $\text{O}_3$ に連続暴露しながら育成し、対照と比較した。灌水は施肥と同時にを行い、液肥としてハイポネックスの1,000倍液を週に2～3回与えた。植物葉の可視障害の程度、及び生長量として植物高や主軸・枝の伸長量、葉数を1週間おきに測定した。4週間の0.1 ppm $\text{O}_3$ 暴露で影響が認められない種もあったが、ポプラ、サングジュでは $\text{O}_3$ 暴露開始後1週間目には、葉に顕著な可視障害が認められ、伸長生長が抑制された。またスギでは4週間の $\text{O}_3$ 暴露後でも可視障害は認められなかったが、伸長生長は抑制された。特に主軸の伸長が顕著に抑制されており、暴露後1週間目から抑制の傾向が認められた。0.1 ppm程度の $\text{O}_3$ の長期暴露は、樹木の種によっては草本植物の場合と同様に著しい影響を及ぼすことが判明した。

また、 $\text{O}_3$ 長期暴露実験において、熱画像計測法を用いて植物の葉面温度を計測した。その結果、多くの種で $\text{O}_3$ に暴露した植物の方が対照の植物より葉温が高くなっており、 $\text{O}_3$ による気孔閉鎖が起きていることが示唆された。このような状態が続くことは植物の光合成作用に影響を及ぼし、長期的には植物の生育を衰退させることになりうる。可視障害や生長抑制が認められなかった植物種においても、より長期間の $\text{O}_3$ 暴露は生育衰退を起こす可能性があるといえる。なお、この熱画像計測法は野外の森林衰退度の診断に有効であると考えられるので、実際森林衰退が起きて

いる地域の樹木について検討しており、森林衰退度診断法の確立を図る予定である。

酸性・酸化性物質による植物の障害発現の生理的機構に関してはいまだに不明の点が多い。植物の主要な生理機能のうち、生体膜脂質の代謝に対する  $O_3$  の影響を検討した結果、葉に可視障害が発現する前に、葉緑体の脂質代謝系が変動することをこれまでに明らかにした。そこで、 $O_3$  抵抗性の異なる 9 種類の草本植物を  $O_3$  に暴露し、初期の脂質変化を調べた。材料は当研究所の自然光温室で播種し、数週間栽培したインゲン、ヒマ、ソラマメ、トウモロコシ、レタス、トマト、ダイコン、タバコ及びホウレンソウを使用した。植物を人工光型環境制御室に移し、0.2~0.5 ppm $O_3$  に暴露した後、葉片を切り取って総脂質を抽出した。個々の脂質クラスの分離と定量は、薄層、高速液体及びガスクロマトグラフィーによって行った。9 種類の植物を 0.5 ppm $O_3$  に 24 時間暴露したところ、レタス以外の植物葉にはクロロシスネクロシスなどの可視障害が発現した。特に、インゲン、ヒマ、トマトの障害は著しかった。次に各植物を 6 時間  $O_3$  に暴露し、初期の葉脂質の変化を調べた。レタスを除く  $O_3$  感受性の植物種では、モノガラクト脂質とジガラクト脂質の含有量が減少した。これは、葉緑体の膜系の崩壊を意味する。また葉緑体に少量存在する硫黄脂質とフォスファチジルグリセロールは変化しなかった。葉緑体以外の膜系に存在する数種類のリン脂質含量に関しては、フォスファチジルコリンが  $O_3$  によって若干減少したほかには、ほとんど変化しなかった。一方、 $O_3$  抵抗性のレタスでは、葉緑体脂質、葉緑体以外の脂質とも、 $O_3$  によってほとんど変化しなかった。以上の結果は、 $O_3$  の初期障害が、葉緑体膜脂質の代謝異常による脂質減少と、その結果としての葉緑体膜構造の崩壊、機能の喪失であることを示唆する。なお、 $O_3$  感受性が高い植物では、脂質分子中で二次的かつ非特異的な脂肪酸の過酸化分解が、 $O_3$  暴露早期から葉緑体脂質の減少と平行して始まっていることが確認された。

### 3) 植物計による影響調査手法の開発

野外において酸性・酸化性物質の植物影響を検討するための実験装置として、フィルタードエアチャンバー (FAC) 及びオープントップチャンバー (OTC) について検討を行った。これらの装置は一對の空気浄化室と非浄化室を持ち、両室で育成した植物の可視障害や生長量を比較することにより、主としてガス状の酸性・酸化性物質の植物影響を検討するために用いる。

これまで検討してきた小型 OTC (縦 30×横 30×高さ 70 cm) を東京都奥多摩町に 1990 年 6~10 月に配置し、野外での実用試験を行った。指標植物としては  $O_3$  に対する感受性が比較的高いハツカダイコンを用いた。播種後 1 週間目の植物を野外の OTC で 1 週間育成した後収穫し、浄化室・非浄化室の植物の葉面積・個体乾重量などを測定し、生長解析を行った。また、この期間の気温・日射量・大気汚染物質濃度などを測定し、OTC の結果と比較した。その結果、特に調査期間中の  $O_3$  濃度が高い場合には、浄化区に比べて非浄化区の植物の葉面積や個体乾重量が低下していた。生長解析の結果、相対生長率や純同化率が  $O_3$  の影響を受けていることが示唆された。なお、浄化区より非浄化区の植物の生長がよい場合もあり、これには低濃度  $O_3$  による生長促進の可能性や、気温や日射量による  $O_3$  感受性の変化などが考えられるが、今後の課題である。本調査からこの小型 OTC はある程度野外  $O_3$  の植物影響の推定に有効であることが示唆された。また、奥多摩町の大気汚染状況は予想以上に深刻であり、今後同地域に生育する植物に関する調査が必要であると思われる。

OTC は酸性・酸化性物質の植物影響を検討する上でかなり有効な手法であるが、浄化区でも若干汚染物質が上部から入り込む。これに対し、FAC は浄化・非浄化区ともほぼ閉鎖系なので

上記のような問題はないが、直射日光によりチャンバー内の温度が上がりやすく、野外条件と異なる実験系になることが指摘されていた。そこでこれらの諸点を考慮しつつ、酸性・酸化性物質の植物影響を検討するための新しい装置の開発を行った。今回開発したFACのフィルター部（装置下部）はステンレスの枠に活性炭フィルター（及びプレフィルター）を設置しているチャンバー部は透明アクリル性であり高さは可変である（縦50×横50 cm）。上部屋根は片斜めであり、最上部の側面のアクリル板にファンを2個設置した。ファンの電圧を調整することにより風速は可変である。この装置では空気は下より上方向に流れ、熱は効率よく野外に放出されるため、チャンバー内の気温の上昇を緩和できる。環境制御室内で、FAC内の風速を20 cm/secに制御した場合には、浄化区のO<sub>3</sub>濃度は外気の10～20%に低下した。一方、非浄化区のO<sub>3</sub>濃度は外気の90～95%を維持した。今後野外での実用試験などを行い、酸性・酸化性物質の植物影響を検討する予定である。

### （3）酸性降下物の陸水、土壌への影響機構に関する研究

#### 1）日本における集水域の酸性化予測と陸水・土壌生態系への影響に関する研究

「日本でも陸水の酸性化が起こるとしたら、いつ頃、どこから始まるか」という視点から、日本の最弱点を絞り出すことを目標に、酸性岩を主たる母岩とする7つの変成帯に流域を持つ河川、湖沼のアルカリ度を中心に調べた。測定を高頻度化して現場の変動を十分に追跡するために自動採水器とデータロガーを用いた。土壌動物への影響に関する文献調査を行った。

この段階で、酸性降下物の影響に対する抵抗力を示す流域の緩衝能と現在の酸性物質の負荷の状況と将来の変化予測とから、飛騨変成帯に属し、冬の酸性物質総負荷量が多い日本海側の若狭湾以北に含まれる北アルプス日本海側流域が、国内では最も早く酸性化する可能性がある地域であると推定した。現在はこの地域でもまだ酸性化は見られない。しかし、北海道の一部で現在の負荷量でも局所的・一時的に酸性化が起こっている可能性やそれに近い状態の観測結果・資料も得られている。また、東アジア地域の経済発展に伴う負荷量の増大も予測されているので、日本でも陸水域の酸性化による生態系被害が出る可能性を否定できないことが明らかになった。他方、奥日光の外山沢では8月終わりから9月初めの大雨による増水に伴って、アルカリ度が最大4倍にも増大し、他の溶存元素もそれぞれ増減不変様々な濃度変化を示すことが見いだされた。

集水域の酸塩基反応にも重要な未知の部分があることも示されたが、以上の調査・研究の結果から、酸性化の時期と生態系影響に関する正確な将来予測をするための十分な研究と迅速かつ適切な発生源対策の必要性が示唆された。今後の調査・研究の中心フィールドを北アルプス北側流域におき、国内の低緩衝能地域での調査結果と比較しながら研究を進めることとする。

日本の変成帯と調査地点及びpH、電導度（水温）、アルカリ度を表3に示す。一般に溶存成分の濃度は同じ河川でも集水域面積が小さい上流部で値が小さいのでこれは目安である。

#### 2）地質・土壌の酸性雨に対する水文地質学的応答特性に関する研究

日本で河川や湖沼の酸性化が顕在化していない主たる理由は、適度の保水性と浸透能を持った塩基性の厚い土壌層が流域の緩衝能を大きなものにしてしているためであると思われる。このままさらに酸性雨が降り続いた場合や酸の負荷量が増えた場合の流域酸性化の将来予測をより精度よく行うことと併せて、酸性降下物に対する日本の集水域の特徴を示すことを目標として、土壌浸透層の酸中和力に関する特性を評価するために、①深さごとの地下水の平均滞留時間（年代）を測定し、流路分配を推定する方法を検討し、トリチウム-3He/4He比法を用いて井水試料の年代

決定を試みた。②塩基成分の溶脱が進み酸に対する中和力が小さくなっている関東ローム層及びシラスの不かく乱試料を採取し、カラム実験による浸透能及び吸着性・反応性の測定を行った。③土壌層表面付近の浸透水の移動に伴う無機元素の移動溶脱・地下からの供給・イオン交換など、を現場で測定する方法を開発する目的でイオン交換樹脂を充てんしたポーラスカップの機能試験を行った。結果はこの方法が有望であることを示した。

地下水や土壌層の試料は、河川・湖沼水の試料に比べて格段に採取が困難なため精度のよい定量的な結論を得るためには、必要十分な試料を手に入れる条件を整えることが必要である。

表3 変成帯に流域を持つ河川の水質

変成帯	河川・湖沼	調査 年月日	pH	電導度 (水温) uS/cm °C	アルカリ度 meq/l
三群 (九州)	那珂川	900328	7.63	31.5 (9.3)	
	室見川	900328	7.36	30.5 (10.0)	
領家	洞川湖：六甲	900326	7.56	48.7 (12.0)	
	住吉川：六甲	900327	7.80	69.5 (10.4)	
飛騨	鹿島川	901104	7.38	33.7 (9.8)	0.335
	烏川本沢	901105	7.32	21.5 (7.3)	0.208
	島々谷川	901104	7.75	49.9 (8.7)	0.517
	木崎湖	901103	9.17	34.0 (15.6)	0.146
	鷺羽池	901012	5.15	2.8 (6.6)	-0.011
	双六池	901011	5.46	11.3 (8.2)	0.011
阿武隈	ドビン沢：日光	880527	6.89	(9.8)	0.108
	刈込湖：日光	880527	7.17	(11.5)	0.151

## 2.5 海洋汚染に関する研究

### 〔研究組織〕 地球環境研究グループ

統括研究官 秋元 肇

海洋研究チーム ○渡辺正孝・原島 省・功刀正行

### 地域環境研究グループ

海域保全研究チーム 木幡邦男

### 水圏環境部

土壌環境研究室 高松武次郎

### 社会環境システム部

情報解析研究室 須賀伸介

### 生物圏環境部

環境微生物研究室 高村典子

### 〔研究概要〕

人間活動の結果生じる諸物質は最終的にはすべて海洋に流れ込んでおり、その結果として海洋でどのような現象が起こり、また、逆に海洋の環境変化が地球環境に対してどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることが地球環境の保全を図る上で急務となっている。海洋に流入する物質には、炭酸塩や各種栄養塩のように、海洋プランクトンの増殖に大きな影響を及ぼすものや、有害化学物質のように食物連鎖の中で生物濃縮を起こすものなどそれぞれの物質の特性等により異なった挙動をする。また、海洋は不均等な系であり、環境の空間分布や時間変動が顕著であり、しかも、これらの変動は複雑な海洋生態系を通して地球物理学的・生物化学的な素過程の連環（ダイナミカルリンク）によって生ずるものである。したがって、海洋環境で起こっている現象を把握するためには、物質ごとに物理的・生物学的な輸送速度（フラックス）を見積もり、海洋生態系における各素過程の持つ機能を解明するとともに、それら素過程間の連環を明らかにする必要がある。

沿岸から外洋へ向けての物質循環フラックスを生み出すものの中で、①潮汐、②風及び水温、③塩分に基づく密度の3要素が複雑に作用し合った流動は海洋物質循環の中の物理的な輸送フラックスを生み出す。一方、海洋生態系を通しての生物・化学過程は海洋物質循環の中でも最も重要な要素である生物化学フラックス（Biochemical flux）を生み出す。このような海洋物質循環は大気-海洋間の物質移動により大気圏と関連しており、結果として大気圏での物質循環に大きく影響を与えている。

地球上の炭素循環において、海洋生態系の役割は大きく、大気中のCO<sub>2</sub>の吸収と深くかかわっていることはよく知られているが、海洋生態系内での炭素・窒素・リンを始めとした物質循環機構は全く未解明で早急に解明する必要がある。本研究においては、特に炭素循環素過程について、海洋CO<sub>2</sub>シミュレーターを用いて海洋植物プランクトン種による炭素固定機構を明らかにする。

また、広域の海洋環境変動（人為影響及び自然変動）を評価するためには、人工衛星データの利用が有効である。近年、NIMBUS7衛星のCZCSデータにより、植物プランクトンのクロロフィルの分布が得られるようになってきた。植物プランクトンの量は、栄養塩濃度などと相関を持っており、海洋環境要素の解析に用いることができる。したがって、本研究において、海洋の深さ

方向の植物プランクトンの分布等の補正や、衛星データと海洋環境要素の相関の知見など衛星データの利用技術の充実を行う。

人間活動により海洋にもたらされる汚染物質（重金属や有害化学物質など）は、まず一次生産者に摂取され、捕食を通して次第に高次捕食者へと取り込まれて行く。動物プランクトンは、食物連鎖の底辺近くに位置する生物で、海洋での物質循環に重要な役割を果たすとともに、そこに含まれる汚染物質濃度は局所的な海域の汚染状況をよく反映する。本研究では、日本近海で採取した動物プランクトンの汚染物質濃度を分析し、汚染物質の海洋生態系への取り込み経路と濃縮機構、ならびに汚染物質の食物連鎖を通しての循環機構を明らかにしようとしている。

## 〔研究成果〕

### （1）海洋物質循環の変動機構に関する研究

輸送過程の影響を受けない海洋生態系に基づく生物化学過程のみの系としての海洋隔離実験生態系（メゾコズム；直径5 m、深さ18 m、底泥も含む；図1）を播磨灘家島海域に形成した。

7月21日現場海域の生態系を捕獲後直ちに窒素（ $\text{NaNO}_3$ , 250g）及びリン（ $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , 30 g）を0～18 mの全層にわたって添加した。安定した栄養塩成層を長期間維持するため、さらに7月28日及び8月10日に窒素・リンを下層（6～18 m）にのみ添加した。

また8月8日には下層から表層への栄養塩の巻き上げをなくすために鉛直循環流装置を停止した。

観測はメゾコズム内でサーベイヤーⅡ（ハイドロラブ社）により水温、塩分、pH、DOの鉛直分布を毎日計測した。さらに鉛直5点（0, 5, 10, 15, Bottom）でサンプル採水を行い、栄養塩、微量元素、植物プランクトン種組成、動物プランクトン種組成の計測を行った。

本年度については、検鏡により藻類種・数・体積を測定し、植物プランクトン態に取り込まれた炭素量を以下の方法（Strathmann, 1967）により求めた。

$$\text{ケイ藻} \quad \text{Log } C = -0.422 + 0.758 (\text{Log } V)$$

$$\text{その他} \quad \text{Log } C = -0.460 + 0.866 (\text{Log } V)$$

ここで、C=炭素量、V=植物プランクトンの体積

7月21日の全層への窒素・リン添加によりケイ藻（円心目）は表層で20～35 ng・C/ml、渦ベン毛藻は20 ng・C/mlまで増加した（図2）。表層（0～5 m）でのケイ藻及び渦ベン毛藻による栄養塩摂取により窒素・リンは急激に減少し、水温・塩分による成層発達に伴い水温5 mを境として栄養塩成層が形成された。さらに表層（0～5 m）ではケイ藻によるシリカ摂取によりシリカ濃度も急激に減少した。このため表層では7月25日以降N、P、Siの減少によりケイ藻（円心目）はゼロになり渦ベン毛藻もN、Pの減少により2～7 ng・C/mlと減少した。8月5日以降台風による下層からのN・Pの巻き上げにより渦ベン毛藻が40～50 ng・C/mlと増加したが、8月8日の鉛直混合停止以降動物プランクトンによる集中的な捕食を受け、急激に減少した。8月8日以降は動物プランクトンの捕食から回避でき、かつ夜間底層でN・Pを摂取することのできる*Chattonella*が急速に増加し、表層で最大367 ng・C/mlにまで増加し赤潮状態を形成した。このように植物プランクトンにより固定される炭素量は窒素・リン・微量元素量の存在量及び存在比により植物プランクトン群集の構造が遷移し、それにより大きく変化することが明らかになった。今後はこの海洋生態系変遷に伴う物質循環フラックスの計測を詳細に行っていく必要がある。

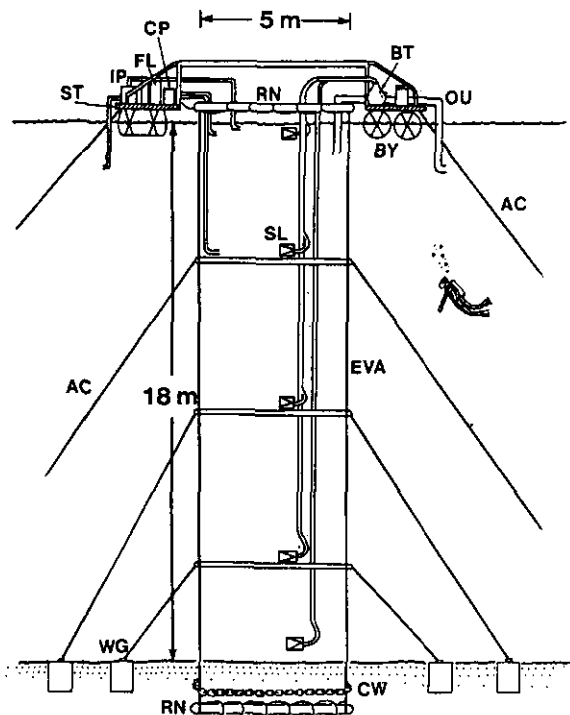


図1 メゾコズムの概略図

## (2) 海洋汚染物質の海洋生態系への取り込み、生物濃縮と物質循環に関する研究

人間活動により海洋にもたらされる汚染物質（重金属や有害化学物質など）は、まず一次生産者に摂取され、捕食を通して次第に高次捕食者へと取り込まれて行く。動物プランクトンは、食物連鎖の底辺近くに位置する生物で、海洋での物質循環に重要な役割を果たすとともに、そこに含まれる汚染物質濃度は、局所的海域の汚染状況を良く反映する。本研究では、日本近海で採取した動物プランクトンの汚染物質濃度を分析し、汚染物質の海洋生態系への取り込み経路と濃縮機構、ならびに汚染物質の食物連鎖を通しての循環機構を明らかにしようとしている。

本年度は、動物プランクトンネット（ORI ネット）の水平曳きによって日本近海の表層（水深150 m 以浅）から採取された動物プランクトンについて、主に元素含有量の分析を行った。採取したプランクトンは遠沈法あるいはフルイを用いて0.5 M 硝酸アンモニウム溶液で充分洗浄した後分析に供した。用いた分析法は、中性子放射化、ICP 及びフレイムレス原子吸光法で、定量できた元素数は32 種である。その結果以下の点が明らかとなった。①沿岸、特に東京湾や大阪湾の近傍で採取された試料では亜鉛、銅及び鉛などの重金属類の濃度が高い傾向にある（図3）。②ネットで採取した試料（バルク試料）ではしばしば高濃度のアルミニウムや鉄などが検出され、地殻の元素組成に近い無機物の混入が認められる。この無機物は上記の洗浄では除去できないので、プランクトン体内に取り込まれている可能性がある。③硝酸だけで分解した試料と硝酸/フッ酸で分解した試料の分析値の差から無機物の混入量が評価できる。④種別に分別した試料の分析



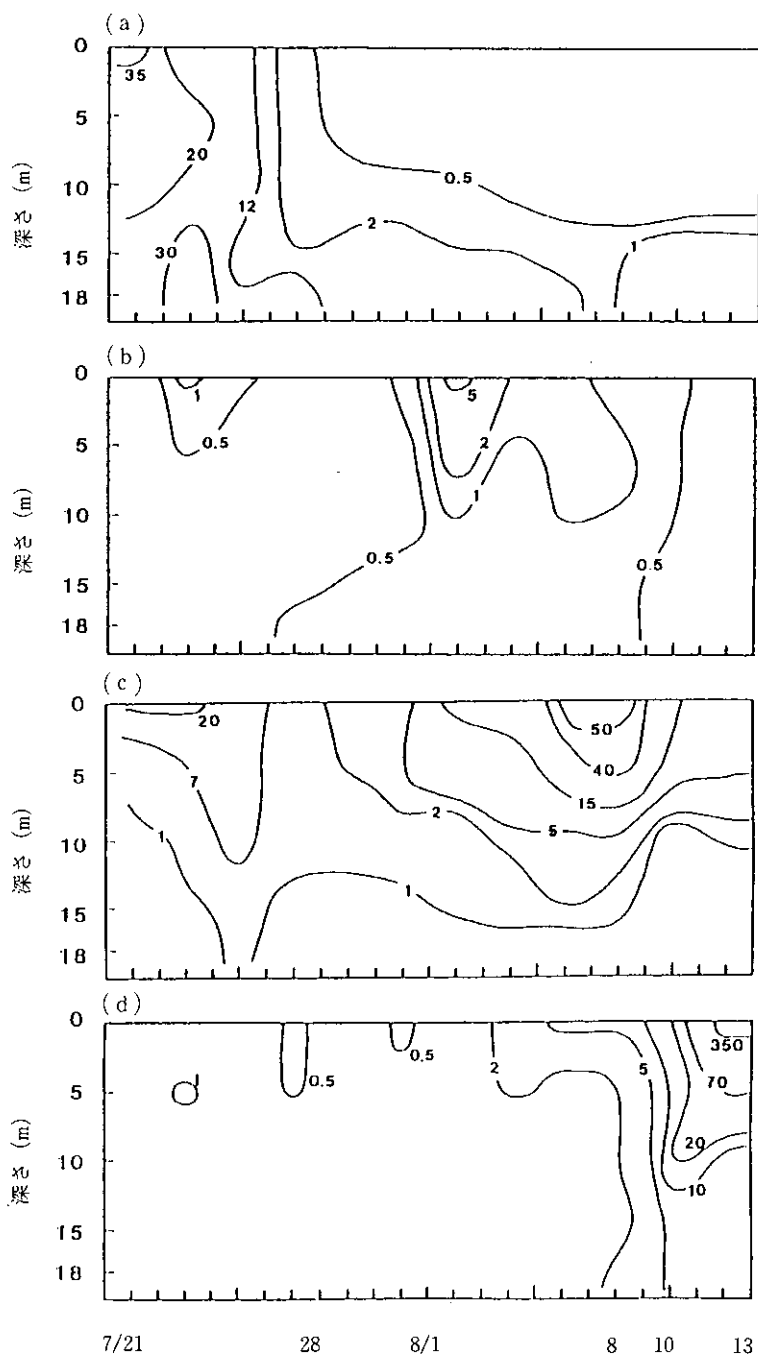


図2 海洋メゾゾム中の (a) ケイ藻 (円心目), (b) 環藻 (羽状目) (c) 渦ペン毛藻, (d) *Chattonella*  
 単位:  $\text{ng} \cdot \text{C}/\text{ml}$ .

結果から、元素濃度は動物プランクトンの種に固有である。⑤比較的小型で、普遍的なプランクトンである堯脚類 (*Euchaeta marina*) を ICP や原子吸光で分析するには、最低でも 30~50 個体 (数 mg) 以上を分離し、分析に供する必要がある。

今後は、バルク試料に混入する無機物の存在状態を明らかにするとともに、種ごとに分別した小型プランクトンをより精度良く分析するために、微量試料で分析が行える高感度分析法 (例えば、全反射蛍光 X 線分析法など) の採用も検討していく必要がある。

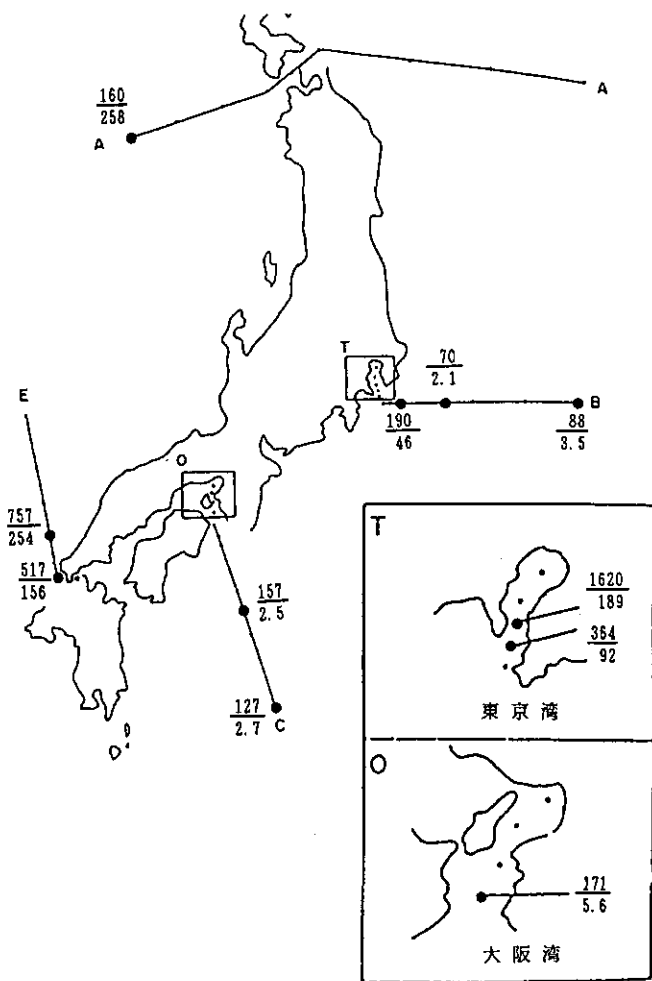


図3 動物プランクトン (1989年バルク試料) に含まれる亜鉛と鉛濃度の海域間での比較

単位: ppm, 上段: 亜鉛, 下段: 鉛.

### (3) 海洋プランクトンによる炭酸ガス固定能力に関する研究

大気中のCO<sub>2</sub>濃度増加の主たる原因は、化石燃料の消費にあるとされる。化石燃料からの放出量の約半分が大気に蓄積すると考えられ、放出されたCO<sub>2</sub>のうち大気中に蓄積されなかった残りの炭素の行方は明確にされておらず、「ミッシングシンク (problem of missing sink)」として問題になっている。海洋は炭素の sink であると考えられているが、詳細は不明であり海洋の炭素循環を明らかにすることが必要である。本研究は海洋での炭素循環の中でも大気-海洋間でのCO<sub>2</sub>の移動及び植物プランクトンの光合成による炭素固定を制御実験系の中で再現し、炭素の動態を詳細に把握することを目的としている。

本年度はその予備の実験としてマイクロコズムを用いて植物プランクトンの増殖実験を行い炭素循環の計測手法開発を試みた。

大型純粋培養装置(マイクロコズム; 大気部 0.4m<sup>3</sup>, 海水 1.0m<sup>3</sup>)を用いて *Chattonella antiqua* (NIES-1)の無菌培養を行った (Watanabe *et al.* 1991)。f/2 培地を用い、5 kWキセノンランプで光を与え、12:12時間の明暗周期、水温 25±1℃で空気によるかくはん培養を行った。14:00時に細胞数、水温、pH、アルカリ度の測定を行った。実験開始時の細胞数は6 cells/mlであったが、培養9日目は1,353 cells/ml、培養10日目には1,420 cells/mlとなり増殖は停止し stationary phaseに入った。この時点での大気部CO<sub>2</sub>濃度は110 ppmであった。大気部へ air 95%、CO<sub>2</sub> 5%の混合ガスを送り込み大気部CO<sub>2</sub>濃度を610 ppmに高めるとともに空気によるばっ気を停止し静置培養とするとともに完全な密封系とし外部との空気の入出を遮断した。細胞はその後再び増殖を続け培養14日目には1,657 cells/mlとなった。しかしその後急速に細胞数は減少し、培養16日目には1,101 cells/mlとなった。大気-海水間の二酸化炭素の物質移動が制限因子となって細胞数の減少が起こったものと思われる。マイクロコズムは大気部の温度制御が不可能なため界面を通しての二酸化炭素の物質移動速度を推定することが不可能であり、この点の改良が急速に必要である。今後予定されている海洋CO<sub>2</sub>シミュレーターを用いた本格的な実験によりピストン速度の測定、植物プランクトンの炭素摂取機構に関する研究がなされるとともに海洋炭素循環過程のモデル化とそれら実験結果との総合的解析により海洋炭素循環の解明を行っていく必要がある。

### (4) 人工衛星可視域データによる広域海洋環境指標化に関する研究

人工衛星取得量と海洋環境パラメータの関連を明らかにするため、民間定期航路のVOS (Voluntary Observation Ship)をプラットフォームとして利用する計測システムの概念設計を行った。神戸-釜山間を週2回往復するフェリーのエンジン冷却海水の一部を計測システムに導き、水温、塩分、pH、蛍光光度(クロロフィル)の連続計測を行うほか、栄養塩計測のための自動ろ過サンプリングを行う。平成2年3月に同フェリーによる試験航海を行い、同取水系のバッチサンプリング口より取った海水の含まれるプランクトン属性(プランクトン種、粒子サイズ組成、クロロフィル-フェオフィチン比等)の分析を行った。そして、このようなプラットフォームで計測可能な項目のスクリーニングを行った。試験航海の結果の一部によれば、クロロフィルが外洋域(対馬海峡)に比べて瀬戸内海域で高いこと、その中でも、瀬部で特にパッチ状に高くなっており、来島海峡などの強潮流域では低めになることが分かっている。このように、海洋環境パラメータは空間的な違方向性と時間変動が顕著であり、VOSによる系統的な計測が重要であることが指摘される。

## 2.6 熱帯林の減少に関する研究

〔研究組織〕 生物圏環境部

上席研究官

安野正之

地球環境研究グループ

森林減少・砂漠化研究チーム ○古川昭雄・宮崎忠国・可知直毅

野生生物保全研究チーム ○椿 宜高・高村健二・奥田敏統

温暖化現象説明研究チーム 竹中明夫

共同研究員 1名

〔研究概要〕

本研究は、「熱帯林生態系の環境及び構造解析に関する研究」、「熱帯林生態系における野生生物種の多様性に関する研究」、「熱帯林の環境形成作用の解明に関する研究」の3研究課題よりなっている。この研究に参画している研究機関は、国立環境研究所のほかに農林水産省から森林総合研究所、農業生物資源研究所、熱帯農業研究センター、文部省から国立科学博物館、京都大学、九州大学、愛媛大学、大阪市立大学と日本野生生物研究センターである。以下に、各課題の内容と国立環境研究所が携わっている各サブテーマの研究目的を記す。

### (1) 熱帯林生態系の環境及び構造解析に関する研究

本研究は、農業生物資源研究所と大学を除く各研究機関が共同で行うため、本プロジェクトの他の研究課題や地球環境研究総合推進費で行っている他のプロジェクトとは異なり、サブテーマを設けていない。

近年における世界の森林の急速な減少は、その資源の枯渇を招き回復不可能の段階に近づきつつある。森林の地球規模での大気環境の保全における役割の大きいことには異論のないところである。特に熱帯林における森林伐採は規模が大きく、そこに生息する多くの野生生物の消滅が危ぐされている。現在のところ熱帯林伐採跡地への植林が試みられているが熱帯林更生にはほど遠く、自然条件における熱帯林生態系の基本的な知識、特にその環境と構造に関しての知識が研究の基盤として必要である。

以上の研究目的にしたがって、この研究課題においては森林内環境の特性の基礎調査を行い、それと植生型の関係、各植生型における代表的な樹種の特性、分布様式、動物相の特徴などの基本的な研究を行う。

### (2) 熱帯林生態系における野生生物種の多様性に関する研究

熱帯林に生息する生物種は、地球上に生存している生物の50~80%になると言われている。しかし、熱帯林の伐採によってこのような動植物種が減びたり、種の維持が困難なほどに生息地が狭められている。一度減びた種は、二度と地球上に戻ることはなく、生物資源の保存、確保といった面からも緊急に解決しなければならない問題である。さらに悪いことには、熱帯林にどのような種が生存しているのかさえも現在のところほとんど分かっていない。

以上の観点に立って、本研究では、1) 熱帯林生態系を構成している動植物種の生活史から見た動植物もしくは同一生物種間の相互、競争関係、2) 熱帯林を構成する樹種の環境適応性、3)

熱帯林を構成する樹種の遺伝要因の遺伝学的解析，を調べることによって多様性を支配している要因を明らかにする。このようにして得られた知見は，将来，野生生物種の保全をいかにすすべきかの指針を与えるものと考え。この中で，国立環境研究所は，「動植物種の生活史及び相互関係の多様性に関する研究」を担当する。

#### 「動植物種の生活史及び相互関係の多様性に関する研究」

このサブテーマでは，熱帯林生態系において見られる野生生物種の多様性について，動植物の個体群動態，生活史及び動植物の相互関係に関する生態学的知見の蓄積とその応用を目指す。この目的のために，九州大学理学部と大阪市立大学理学部と共同して研究を推進することになっている。

#### (3) 熱帯林の環境形成作用の解明に関する研究

熱帯林の急激な減少が地球環境に多大な影響を与えていると考えられている。すなわち，熱帯林の年間降水量は温帯林の4倍以上にもなり，その約半分が蒸発散によって大気中に放出されている。さらに，熱帯林の伐採や焼き払いによって熱帯林がCO<sub>2</sub>のシンクではなくソースになっているとの見解もある。しかし，環境形成要因としての熱帯林の役割に関して，実際のデータに基づいた解析はほとんどなされていないのが現状である。一方で，熱帯林の伐採は土壌の急速な劣化をもたらし，森林の再生を困難にしているとの報告がなされている。そこで，本研究では，1) 熱帯林内外の微気象要因の測定，2) 熱帯林における熱・水収支の水文学的研究，3) 土壌形成に対する熱帯林構成生物の役割を解明することによって，熱帯林及びそれを取り巻く周辺地域の気候に対する影響と周囲環境の熱帯林生態系への影響を現地調査とモデルの構築によって解析し，地球的規模での熱帯林の環境形成作用を明らかにする。

以上の3つのサブテーマの中で，国立環境研究所はサブテーマ1)を愛媛大学農学部との共同研究で，サブテーマ3)を京都大学農学部との共同研究で行うことになっている。

#### 「植物群落の微気象改変作用に関する研究」

熱帯林の周辺環境は森林の成立そのものによって多大な影響を受けている。そこで，熱帯林内外の光，温度，風速，CO<sub>2</sub>濃度等の微気象要因を測定し，熱帯林の維持・更新が周辺環境に与える影響を解明する。

#### 「植物群落及び土壌生物の土壌環境形成に関する研究」

熱帯林土壌の形成過程を明らかにし，その過程における植物群落構成種と土壌生物の役割を解明する。

### 〔研究成果〕

#### (1) 研究準備

本年度は，本研究の開始年度で，なおかつ我々は熱帯林の研究に始めて着手するために，種々の困難があった。本研究は国際共同研究の性格を有するため，外国の研究機関を選定し，共同研究のための交渉から始めなければならなかった。当初，熱帯林が残っている東南アジア諸国の中から，フィリピン，インドネシア，パプアニューギニア，タイ，ブルネイ，マレーシアを候補国として挙げ，その中から研究を推進するために必要な種々の条件を考え，最終的にマレーシア国

を候補国とした。また、マレーシア国の研究機関の事前調査によって、マレーシア森林研究所とマレーシア農科大学を共同研究を推進するための相手機関とするのが最善であるとの結論に達し、当該研究機関との交渉を開始した。

交渉を開始するに当たり、1990年8月に国立環境研究所から2名と日本野生生物研究センターから1名がマレーシアの森林研究所 (Forest Research Institute Malaysia) とマレーシア農科大学 (Universiti Pertanian Malaysia) を訪問し、本研究開始の可能性を打診した。マレーシアの各研究機関との話し合いの結果、2研究機関が本研究を受け入れるとの内諾を得た。その後、1991年2月に国立環境研究所から3名、森林総合研究所から1名、熱帯農業研究センターから1名の計5名がマレーシアの上記2研究機関との共同研究を開始するための交渉を行った。

3月には国立環境研究所から6名、森林総合研究所から6名、農業生物資源研究所と熱帯農業研究センター、京都大学、九州大学、愛媛大学、日本野生生物研究センターから各1名の合計20名がマレーシア森林研究所と農科大学を訪問し、調査地の選定ならびに予備的調査を行った。

調査はマレーシア国の半島部とし、1960年代にIBP (国際生物学事業) によって生物生産量の調査が行われたパソー (北緯) を主たる調査地とした。パソーは低地熱帯降雨林で、熱帯降雨林地帯の中では比較的降雨量が少なく乾燥した場所である。近年、低地熱帯降雨林は、開発が進んだために、ほとんど残っておらず貴重な調査場所と考えられる。

## (2) 予備調査結果

### 1) 木本植物の気孔密度

草本植物の多くは葉の両面に気孔が分布する両面気孔植物であるのに対して、温帯地方に生育している樹木の葉は、その多くが葉の裏側にしか気孔のない片面気孔植物である。植物種によって気孔の分布が異なる原因は不明であるが、少なくとも片面か両面気孔植物かは遺伝的に決められていると考えられる。そこで、種の多様性に富んだ熱帯地方の樹木の気孔の分布がどのようになっているかを3月にマレーシアに滞在している期間に調べた。

約100種類の樹木の葉を採集し、気孔の密度をレプリカ法によって顕微鏡下で調べた。その結果、8種類の樹木の葉が両面気孔であることが判明した。温帯地方の樹木113種について調べた結果では、10種類が両面気孔植物であったことから、熱帯の木本植物に両面気孔の木本植物が多いことにはならないものと思われる。また、裏面の気孔密度も、熱帯の樹木で $1\text{ mm}^2$ 当たり70~1,600、温帯の樹木でも同じ範囲 (60~960  $\text{mm}^{-2}$ ) に分布しており、気候帯の違いによる気孔密度の差も検出できなかった。

### 2) 植生の反射スペクトル測定

熱帯地方の植生の基礎的な反射スペクトルを把握するために、ポータブルフォトメータ (阿部設計 2703 MM型) を用いて植物の反射スペクトルの測定を行った。使用したフォトメータは、400~1,050 nm の波長範囲を17バンドに分光し対象物の反射スペクトルを測定する装置である。このポータブルフォトメータを用いて、クアラルンプールを中心に半径約50 kmの地域で、各種の植生 (熱帯雑木林、パーム椰子、ゴム、マングローブ、畑、芝等) 及び土壌、水、砂地、人工物等の反射輝度スペクトル計測を行った。測定されたデータは絶対輝度値校正を行った後、計算機処理の可能なスペクトルデータベースとしてデータベース化した。ここで得られたスペクトルデータは樹種の違いによる反射スペクトルの差、植物の活性度と反射スペクトルの関係、衛星画像データを利用した熱帯林の植生分類、熱帯林の減少や回復状況の把握等のための基礎データ

とする。

### 3) 動植物の相互作用

複数のタイプの熱帯林において、樹木より落下してくる枝及び倒木などの材を利用する小動物を調査し、この食性群にはシロアリ類及びカミキリなどの甲虫類が多いことが分かった。ただし、その摂食様式は単純ではなく、上記2群の間だけでも違いが認められた。シロアリ類は樹皮部を残して材内部をほぼ完全に利用しつくすことが多いのに対して、カミキリ類は穿孔して材内部を摂食して回るものの、かなりの部分の材を残すことが観察された。したがって、両者の間には材の食い方だけでなく、摂食による材の消費量においても違いがあるものと推察された。

一方、熱帯林のタイプによって、材を利用する者がシロアリか甲虫類のどちらかに片寄ることが観察された。片方が多い場所では、もう一方はどのような材を利用しているかが両者の相互関係を知る上で興味のある点だが、材のタイプによる利用小動物群の違いを詳しく調査する必要性が認められた。

### 4) 植物の分布の拡大様式の多様性と食害との関係

多くの木本植物は、風散布によって種子をできるだけ遠くに飛ばす手だてを持っている。その生態学的意味づけとして、親木の近くではその種に固有の植食性昆虫の密度が高いために芽生えの生存率が低くなるという仮説がある。実際、熱帯雨林の主要構成樹種であるフタバガキ科の植物の多くは種子に羽を持っている。しかし、中にはまったく羽がないものが見られる。今後は、羽を持ち得たことによる種子拡散の効率化と動物に対する耐被食性との間の関連性を当年生実生の個体群動態調査によって解析する。

### 5) 生態的特性の異なる樹種の芽生えの定着過程に及ぼす植食性昆虫の影響

熱帯林には、その微環境に対応して様々な生態的特性を持った樹種が生育していた。そこで、来年度以降に、その当年生実生の定着過程に及ぼす被食の影響を調べるため、①成長速度、葉の寿命、窒素濃度、種子サイズなどが異なる数種のフタバガキ科の植物を選び、②異なる環境条件の立地に永久方形区を設定し、③その個体群動態の調査を行う。

### 6) 熱帯林の昆虫相とシロアリとの関係

複数の熱帯林（山地林、乾燥の程度が異なる複数の平地林）において、無せきつい動物を調査した。その結果、シロアリ類の種類相と数量が森林の乾燥の程度と密接な関係があることが示唆された。すなわち、乾燥した平地林ではシロアリが豊富であるが、湿潤な平地林や山地林では貧弱である。ところが、他の昆虫類は逆のパターンとなり、湿潤な森林で豊富であることが分かった。これまでの研究で、熱帯林の生態系において、シロアリは分解者として重要な役割を果たしていることが知られていたが、今回の予備調査で、湿潤な森林では他の昆虫や微生物、特にトビムシ類、甲虫類、キノコ類が分解者として重要であろうと考えられた。おそらく、この現象はシロアリと他の昆虫との競争の結果が森林の乾燥の程度によって異なるためであろうが、結論を得るためには、より詳細な調査が必要である。

### 7) 食虫植物についての予備的観察

Nepenthes（食虫植物）の仲間はボルネオ、マレー半島、スマトラで多く種の分化がおきその

ほとんどが湖の地域に見いだされる。本年短期間のマレーシア訪問の際、ゲンチン山地において 8 種の *Nepenthes* を見いだした。そのうち 3 種はつる性でその他は地上部にあった。これら *Nepenthes* は消化液を分泌して誘引された虫を消化吸収し栄養源としている。消化酵素の研究もかなり進んでおり医用植物としても興味を持たれている。この消化液を 11 の植物個体から採集した。その pH は 1.9~2.7 とかなり強い酸性を示すものと、5.2~7.5 と中性に近いものの 2 つに分かれた。必ずしも種による相違はなかった。この消化液の入った微小水域に見いだされる生物は、その付近の生物であるとともにその強い酸性の消化液中に生息することができるように適応した生物からなっている。今回見いだされた 2 種の双翅目幼虫 (*Sarcophagidae*)、オオカ (*Toxorynchites* sp.) 幼虫、甲虫の幼虫等は適応した生物であり、数種以上のアリ、カマドウマ、双翅目の成虫などを多種見いだしたが、これらは落ち込んだ動物である。*Nepenthes* の種類によってこれらは多少異なるようであるが、今後の研究課題である。消化液の活性の高い期間とその後でその中の生物相も変遷すると思われる。



## 2.7 総合化研究

〔研究組織〕 地球環境研究センター

総括研究管理官

○西岡秀三

塚田良一

地球環境研究グループ

温暖化影響・対策研究チーム 森田恒幸・甲斐沼美紀子

地域環境研究グループ

交通公害防止研究チーム 森口祐一

客員研究官・客員研究員 5名

### 〔研究概要〕

地球規模の環境問題を体系的に解明し、総合的な問題解決の方策を検討するためには、地球温暖化、オゾン層破壊、熱帯林減少、砂漠化、海洋汚染等の個別の問題の相互関係を明らかにして、地球環境問題全体の構造を把握するとともに、地球環境保全と世界経済の間のトレード・オフを分析して、持続的発展の基本条件を見いだしていく必要がある。本研究は、地球環境研究総合推進費に基づく個々の課題別研究の成果を統合してこのような基本的条件を見いだすために、地球環境問題を横断的かつ総合的に検討する世界モデルを開発するとともに、この検討を基にして国内及び海外の地球環境に関する研究を促進することを目的とする。

地球環境保全と世界経済成長を両立させる「持続的発展」とは、地球環境の汚染による損害や自然資源の減耗による損失を勘案したうえで世界の経済発展を持続させることである。この概念を定式化すれば、図1に示すように、世界総生産（GWP）から地球環境の汚染による世界全体の被害（WPD）及び地球の自然資源の減耗による損失（GRD）を差し引いた「地球環境を配慮した持続的生産（ESP）」の指標値を維持もしくは増加させることといえる。そして、地球環境汚染による被害や自然資源の劣化による損失を明らかにするためには、地球温暖化、オゾン層破壊、熱帯林減少等に関する個別の研究成果を集約する必要がある。このための環境総合モデルの構築が不可欠である。また、人口、資源、技術革新に関する諸前提のもとで地球環境保全の制約を受けながら、世界全体の経済成長がどの程度まで可能かを明らかにするには、世界経済モデルの構築が不可欠となる。

本研究においては、これらの環境総合モデル及び世界経済モデルを開発して持続的発展のための基本的条件を探るとともに、このような研究の総合化を通じて国内外の地球環境研究の交流促進を図る。

### 〔研究成果〕

#### （1）はじめに

平成2年度においては、環境総合モデル及び世界経済モデルのそれぞれについて、地球上の諸現象を全球レベルで大まかに分析するモデル（全球統合モデル）と全球をいくつかの地域に分けて各地域の特性を詳細に分析するモデル（地域分割モデル）に分けて検討した。そして、それぞれのモデルの基本設計とモデルの基本部分の構築を試みた。一方、地球環境研究の国際的交流を促進するため、国内の関係する研究者に対してアンケート調査を行った。

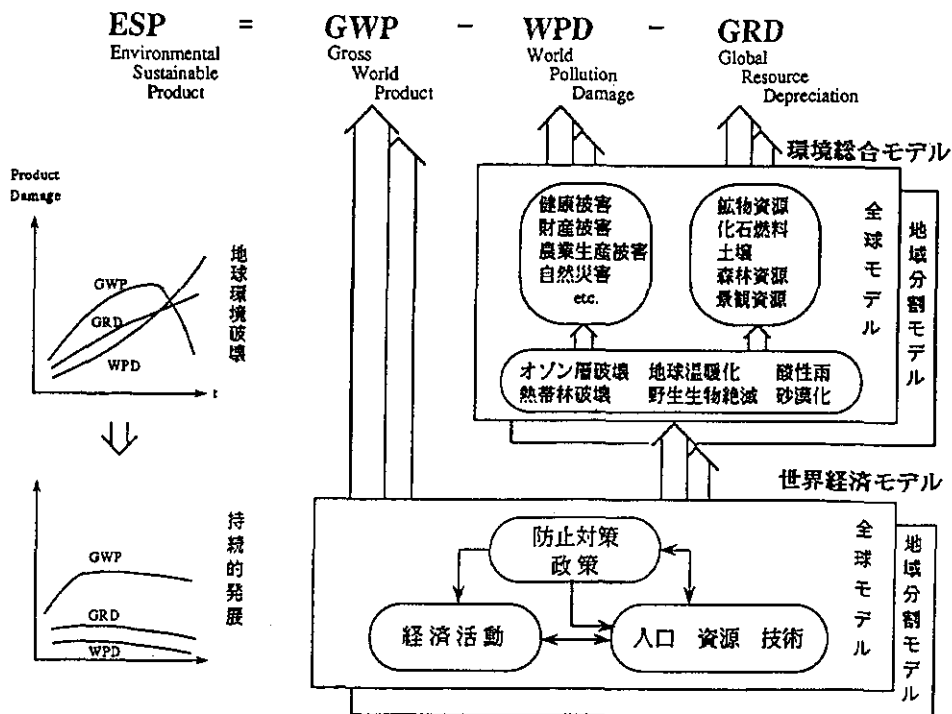


図1 研究の基本的枠組み

以下にその概要を報告する。

## (2) 環境総合モデル(全球統合モデル)の検討

地球環境問題相互の関係をマクロにとらえて、地球環境汚染の損害や自然資源減少の損失を総合的に解析するモデルを構築するためには、まず、地球環境問題の発生とその影響に関する多種多様なシナリオを分析して、モデルの全体構造を決定する必要がある。しかし、これらのシナリオは広範囲の学問領域にわたりまたその種類も膨大になるため、モデル構築に先立ってこのシナリオ分析のための支援システムの構築が不可欠である。

このため、初年度においてはこの支援システムづくりから着手した。図2は支援システムの全体構成であり、各種の数値データ、知識、モデルを体系的に収集・ファイリングした情報システムを中心にして、知識ベースからのデータを分析してシナリオを作成し、そのシナリオを数値解析の結果に照らし合わせて検証していくことができる。このうち、シナリオ分析の部分は、国立環境研究所ですでに開発されている知識ベース・システムを活用するとともに、エキスパートシステム構築支援ツール-XPT-の適用を試みている。

## (3) 環境総合モデル(地域分割モデル)の開発

地球環境問題相互の関係をより詳細に分析するためには、地球上の各地域の特性を踏まえると

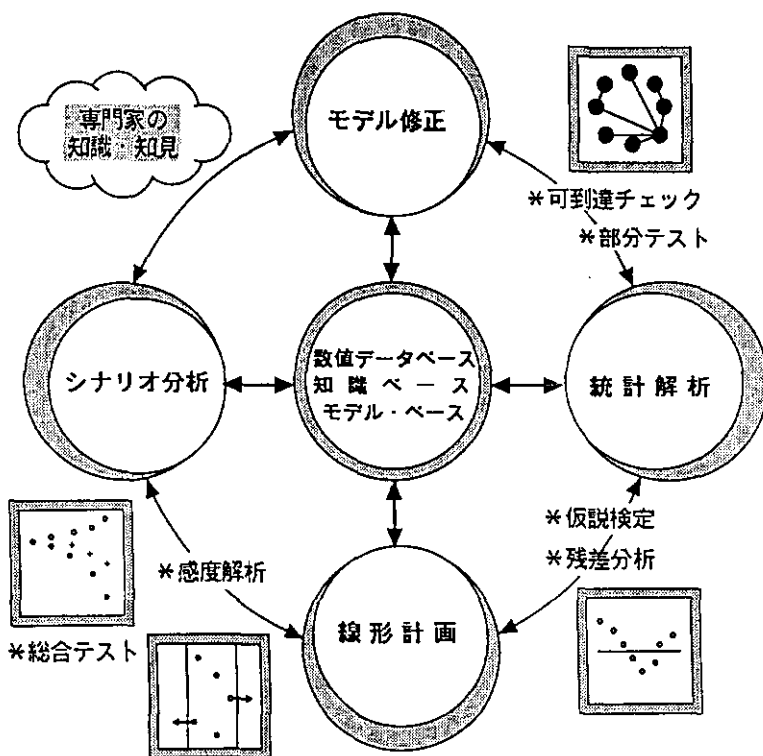


図2 シナリオ分析のための支援システムの全体構成

ともに地域相互の関係についても解析できるシミュレーション・モデルが必要である。

このため、地球表面を5度ごとのメッシュに分割し、この地域分割を基本にして大気汚染物質循環や森林成長等の地球規模の各種モデルを統合する新たなモデル構築に着手した。初年度には、地球温暖化や酸性雨等の地球環境問題の原因物質がどのように長距離にわたって大気中を移動するかについて、統一的なモデルを用いて解析できるようにするために、地球規模の三次元物質循環モデルを構築した。このモデルは、風速等の気象データに実測データを用いて移流・拡散・対流を考慮した長距離輸送モデルであり、垂直方向には地表と最上面の間を2～9層に任意の高さで分割することができ、地形による影響も組み込んだ。

このモデルを用いて大気中の二酸化炭素の循環過程をシミュレーションした。モデルで再現した二酸化炭素の放出・吸収機構は、人為起源の排出、地表の植物活動や土壌有機物分解、海洋・大気間の二酸化炭素交換であり、図3には二酸化炭素濃度の季節変動についてのシミュレーション結果を示している。この結果は、実測されたデータの変動と非常によく類似しており、本モデルの有効性が確かめられた。

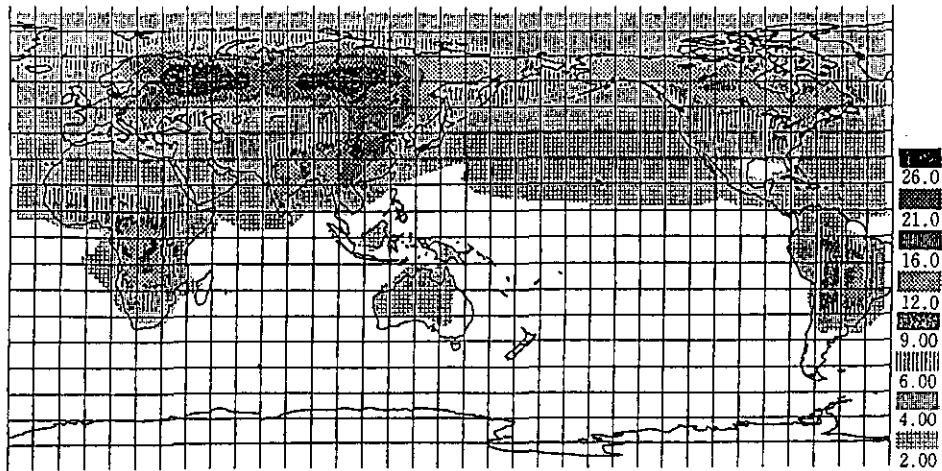


図3 シミュレーションの結果による二酸化炭素濃度の年最高値と年最低値との差（単位：ppmv）

#### （４）世界経済モデル（全球統合モデル）の開発

地球環境保全と経済成長の関係を分析する方法として、世界全体における資源、生産及び環境の相互関係を単純化してモデル化し、何らかの価値基準に基づく規範的視点から地球環境と人類にとって最適な資源消費経路を評価する方法がある。この方法は、市場メカニズムの役割を過少評価しがちな点や南北問題等の地域間調整問題が分析できない点に問題があるが、長期的に地球資源を管理する政策的視点からは非常に有効な方法の一つといえる。

このため、資源消費、経済成長及び地球環境の相互関係を図4に示すようにモデル化して、資源消費の動学的最適経路について検討した。この最適な資源消費経路は、現在から将来にわたる消費の効用の現在価値の総和を資源制約及び環境制約のもとで最大化することである。ここで環境制約とは、資源の消費量と自然浄化能で決定される廃棄物ストックにより、本来消費及び投資に振り向けられる財が減少することで表現している。このモデルを用いたシミュレーションの結果、資源消費の最適経路は廃棄物（汚染）の被害関数及び自然の浄化能力によって影響を受け、被害関数を大きく見積もるほど、また浄化能力を小さく見積もるほど、現在の資源消費が抑制されることなどが分かった。

#### （５）世界経済モデル（地域分割モデル）の開発

地球環境保全による世界経済への影響を、地域別にもっと詳細にかつ実証的に分析するには、中期計量経済モデルの開発が不可欠である。このため、29 国及び7 地域からなる世界経済モデルの構築に着手した。このモデルの全体構成を図5に示す。それぞれの国・地域のマクロモデルは、先進国においては生産能力面と金融面の二つの制約条件を伴ったケインズ型の需要主導タイプのモデルで、方程式数は約80個、また途上国においては需給調整を伴った供給主導型のモデルで、方程式は約60個である。これらのモデルは4種類の貿易マトリクスによって連結され、この貿易マトリクスを媒介にして各国の生産・貿易及び価格変動の国際的波及メカニズムが定量

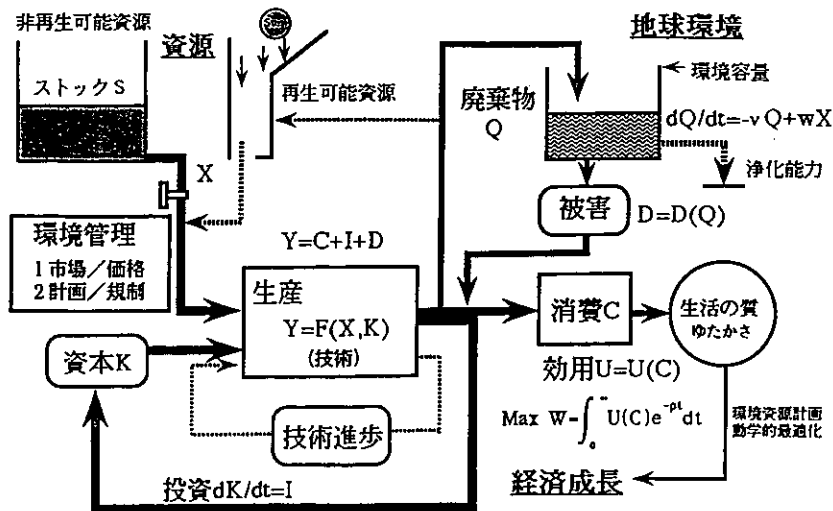


図4 動学的最適化モデルの全体構成

的に把握できるようになっている。さらに、工業品生産モデル及び食料・粗原料・燃料生産モデルに環境汚染セクター及び自然環境セクターが連結され、地球環境の制約が課せられる仕組みになっている。

初年度においては、モデルの基本設計とともに、モデルのパラメータ推計のためのデータ・ベースを作成した。このデータ・ベースづくりは、OECD統計及び国連鉱工業統計を中心に先進国については完了し、現在途上国と社会主義国のデータ・ベースづくりに取りかかっている。また、多部門貿易マトリクスについてはアジア経済研究所及び世界経済情報サービスの協力を得て概ね完了した状態にある。

#### (6) 研究交流の促進に関する基礎調査

以上の環境総合モデルや世界経済モデルを完成させるためには、世界中の研究者の各種研究成果を活用する必要がある、またこれらのモデルを活用して見いだされた将来取り組むべき重要な研究課題については、世界中の研究者に対して知らせる必要がある。このため、地球環境に関する研究者の研究動向を把握するとともに研究交流に関するこれらの研究者の意向を把握する目的で、基礎的な調査を企画した。

初年度においては、地球環境研究、特にIGBPに関連すると思われる国内研究者約1,000名を対象にして、これらの研究者の国際的研究への参加状況、今後取り組むべき研究課題、研究支援に関する要望等について、アンケート調査を行った。その結果、図6に示すように我が国の研究者の多くが国際的な研究プログラムへの参加希望を持っており、研究交流促進のための各種支援が必要であることなどが明らかとなった。

開発中の世界経済モデルの概要

国別・地域別モデル (29ヵ国 7地域)

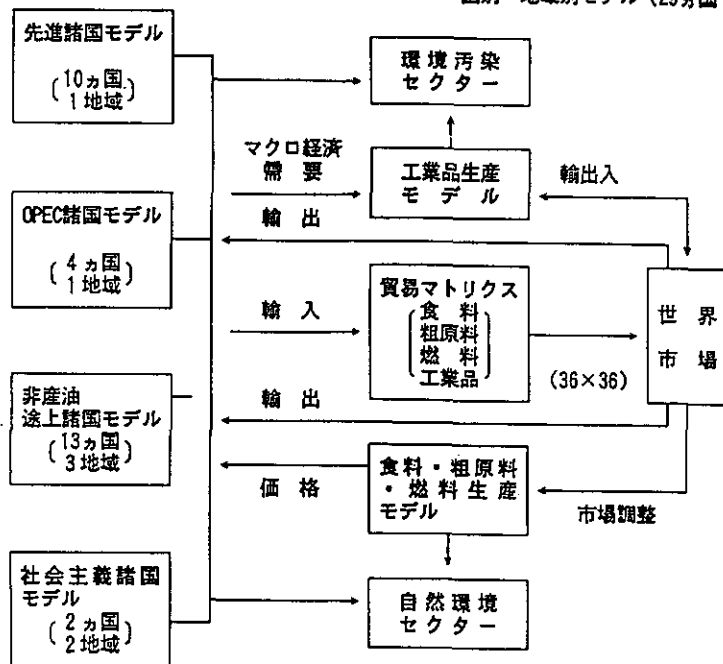


図5 中期計量経済モデルの全体構成

IGBPへの参加希望者

研究領域	参加希望	興味あり
1. 大気微量成分変動	57 人	101 人
2. 海洋物質循環	102	149
3. 陸上生物群集への影響	114	129
4. 気候解析モデリング	84	123
5. 環境変化モニタリング	85	146
6. 古環境変遷	45	84
7. 人間活動との相互作用	207	224

国際研究への参加に関するアンケート  
 ニュースレター配付先対象 回答 T13人  
 (1990年3月 地球環境研究センター)

図6 国際的研究プログラムへの参加に関する調査結果

## (7) おわりに

以上、初年度においてはそれぞれの分野の研究が着実に立ち上がり、いくつかの成果が得られた。今後の予定としては、環境総合モデル（全球統合モデル）ではシナリオ支援システムを用いて数値モデルの開発を進め、環境総合モデル（地域分割モデル）では森林減少や酸性雨等の他の地球環境問題についてモデル化を進める。また、世界経済モデル（全球統合モデル）ではモデルの改良と他の同様なモデルとの比較分析を行い、世界経済モデル（地域分割モデル）ではデータベースを用いてパラメータを推計するとともに、環境汚染セクター及び自然環境セクターのモデル開発を進める予定である。さらに、研究交流促進のための基礎調査についても、調査対象を国外に拡大してより体系的な情報収集に努める予定にしている。

## 2.8 課題検討調査研究

### 2.8.1 地球環境問題に関連した大気微量成分計測技術の高度化に関する予備的研究

〔研究組織〕 地球環境研究グループ

オゾン層研究チーム ○笹野泰弘

#### 〔研究概要〕

地球規模の環境問題、とりわけ大気環境の研究・監視等においての最大の困難の一つは、対象となる大気の三次元的な広がりにある。すなわち、実態の把握にはきわめて広域にわたる、あるいは全球的な観測が必要となる。また、高度範囲も地表付近だけにとどまらず、高度 20 km 以上の成層圏に至るまでの広い高度領域を対象としなければならない。

近年、電波や光波を利用した各種のリモートセンシング技術の発展が著しい。大気微量成分計測のためのリモートセンシング機器を飛行機やスペースシャトル、あるいは衛星に搭載して広域の観測、地球全体の観測に用いれば、これまでの地上からの点観測、航空機などによるサンプリング測定に頼っていた観測が一挙にその対象領域を広げることができる。本調査ではそのような観点から、地球規模大気環境問題の現状と計測上の問題点を整理するとともに、特に航空機あるいは衛星搭載用のレーザーレーダーに的を絞って、これらの開発に係る技術的現状の整理を行った。また、開発が望まれるレーザーレーダーシステムの基本構想を提案し、今後解決すべき問題を明らかにした。



## 2.8.2 乾燥地・半乾燥地の砂漠化に伴う環境影響予測に関する予備的研究

〔研究組織〕 地球環境研究グループ

森林減少・砂漠化研究チーム ○古川昭雄・宮崎忠国

水圏環境部

地下環境研究室

大坪國順

土壌環境研究室

恒川篤史

〔研究概要〕

乾燥・半乾燥地域における砂漠化現象は、人口の急激な増加に伴う耕作地の拡大や酷使、薪炭としての樹木の伐採、羊や牛などの過放牧等による環境資源の不適正な利用が原因であると考えられている。このような地域で人為的要因による砂漠化現象を制御し砂漠化に伴う環境への影響を予測するためには、これらの地域の生態系の現状とその変化、土壌、水文あるいは気象学的な環境変化と人間活動の関係を把握するとともに、それらの地域の植物、土壌、水文特性等の環境容量を算出する手法の開発を行い、人間活動と砂漠化危険地域の環境容量の観点から人為的要因による砂漠化進行機構を解明、さらには予測することが急務である。

本研究は、乾燥地・半乾燥地における砂漠化によってもたらされる環境影響を予測するための予備的研究である。そのため、平成2年度は、砂漠化研究の専門家による砂漠化問題研究検討委員会を設立し検討委員会を開催した。この検討委員会では、砂漠化に関する研究の現状とこれからの砂漠化研究、我が国の行うべき砂漠化研究、国立環境研究所の行う砂漠化研究、研究対象試験地の選定等についての討論を行った。また、第1回砂漠化問題シンポジウムを開催し、中国、モンゴル、アフリカ、インド、タイにおける砂漠化研究に関する研究発表と砂漠化問題と日本のかかわり、砂漠化研究の方向、調査、研究協力のあり方などについての討論を行った。さらに、国内砂漠化研究者に対して砂漠化研究に関するアンケート調査を行うと共に、内外砂漠化研究の研究論文、研究報告、資料等の収集を行い、砂漠化研究情報データベースの作成を行った。これらのことから、次年度から行われる本格的な砂漠化研究に向けて、我が国の行うべき砂漠化研究の指針、研究対象とする試験地等に関する提案を行った。

### 2.8.3 気候変動の予測に関する予備的研究

〔研究組織〕 地球環境研究グループ

温暖化現象解明研究チーム ○坂東 博

温暖化影響・対策研究チーム 森田恒幸

〔研究概要〕

気候変動を予測するための手法として、いわゆる大循環モデルがある。現在世界には10種以上の大気大循環モデルが存在し、各々特徴を持っている。また、大気-海洋結合型の大循環モデルについても開発が進められており、数種のモデルが動き始めている。本研究では地球環境研究総合推進費研究の中で大循環モデルを用いる気候変動予測研究を行う上での問題点の洗い出し、研究推進体制等について予備的な調査研究を行った。

(1) 現在行われている各種気候モデルについて、その特徴、問題点等についてレビューを行った。気候モデルの精度向上のためには、今後の課題として、①モデル内での雲の取扱い、②海洋大循環モデルの確立、③大気-海洋結合モデルの開発、④境界層内の乱流現象の取扱いが重要であることが指摘された。

(2) 気候変動予測を行う際にモデルの入力条件となる温室効果気体の大気中濃度の動向については、人為及び自然の発生源・吸収源両者を考慮した地球生態工学的アプローチも必要であることが明らかになった。

(3) 気候モデルによる気候変動予測の研究においては、気象・流体力学・地球化学・社会学・経済の多くの分野をカバーする共同研究体制の構築が必要である。

したがって多方面分野の共同利用を目的としてコミュニティモデルを構築することを観点に、現在世界で行われているコミュニティモデルの特徴等を調査し、推進費研究の中であるべきコミュニティモデルの特性について検討を行った。

なお、(1)、(2)については、各々東京大学理学部地球物理学科、生産技術研究所との共同研究によって行った。

## 2.8.4 アジア・太平洋地域における総合的地球温暖化対策に関する予備的研究

〔研究組織〕 地球環境研究センター

総括研究管理官

○西岡秀三

荒木真一・大橋孝生

地球環境研究グループ

温暖化影響対策研究チーム 森田恒幸

### 〔研究概要〕

地球温暖化を中心とした地球環境問題の解決には、今後大きな発展が予想される発展途上国における経済発展と環境保全との両立が極めて重要であり、その際、先進国と発展途上国が研究面でも積極的に協力することが求められている。このような背景のもとで本研究は、我が国として貢献すべきアジア・太平洋地域を対象として地球温暖化対策に関する総合的な研究を推進することを目的として、予備的検討を行ったものである。

その内容は、①アジア太平洋地域における地球温暖化の影響及び対応可能性に関する比較分析、②アジア太平洋地域における地球温暖化対策の研究体制に関する実態調査、③研究計画立案のためのワークショップの開催、④総合的地球温暖化対策に関する研究計画の立案の4点である。まず、①及び②に関し現地における文献等を収集整理するとともに、同資料を使用して1991年3月に当研究所において「アジア太平洋地域における地球温暖化に関する研究ワークショップ」を開催し、我が国の研究者とともにアジア地域の国々の研究者とディスカッションを行った。そして、今後アジア太平洋地域において実施すべき地球温暖化対策に共同研究計画など具体的な内容についてとりまとめ、最終成果として同ワークショップサマリーを作成し、広く関係各所に配布した。

平成2年度編集小委員会

委員長 相馬光之

委員長代理 高松武次郎

委員	渡邊和夫	邊野安則	和安昭二
〃	中根健幸	野根英二	昭二雄德
〃	中高松	村本幸真	德介作明
〃	兜須岡	賀本研	伸介作明
〃	鈴泉	木克幸	子元子
〃	高井	村上	典子元子
〃	井松	上井	文子
事務局			

国立環境研究所地球環境研究年報

平成2年度

---

平成3年12月25日

編集 国立環境研究所 編集小委員会

発行 環境庁 国立環境研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2

---

印刷 朝日印刷株式会社  
茨城県下館市中館186

本年報は再生紙を使用しています。