

CGER-0001-90

平成2年度
地球環境研究検討会報告書

平成3年3月

CGER

地球環境研究センター
環境庁国立環境研究所

目次

	頁
はじめに 市川惇信地球環境研究センター長	1
オゾン層破壊関連分野から	
・ 名古屋大学太陽地球環境研究所教授 岩坂泰信	3
・ 横浜国立大学工学部教授 浦野紘平	5
・ 東京大学理学部教授 富永 健	7
・ 神戸大学理学部教授 橋本 徹	9
・ 自治医科大学医学部教授 矢尾板英夫	11
地球温暖化現象解明関連分野から	
・ 筑波大学生物科学系助教授 及川武久	15
・ 名古屋大学水圏科学研究所教授 半田暢彦	17
・ 東京大学理学部教授 松野太郎	19
・ 東京大学教養学部教授 綿抜邦彦	23
地球温暖化影響対策関連分野から	
・ 上智大学経済学部教授 岩田規久男	25
・ 東京大学工学部教授 茅 陽一	27
・ 東京大学医学部教授 鈴木継美	29
・ 千葉県衛生研究所長 田中 寛	31
・ 東京大学工学部教授 松尾友矩	33
・ 筑波大学社会科学系教授 吉野正敏	37
酸性雨関連分野から	
・ 九州大学応用力学研究所教授 植田洋匡	39
・ 桜美林大学国際学部教授 大喜多敏一	43
・ 名古屋大学水圏科学研究所教授 坂本 充	47
・ 慶応大学理工学部教授 橋本芳一	51
海洋汚染関連分野から	
・ 筑波大学生物科学系教授 高野健三	53
・ 東京大学理学部助教授 高橋正征	55
・ 愛媛大学農学部教授 立川 涼	59
・ 名古屋大学水圏科学研究所教授 半田暢彦	63
・ トキワ松学園女子短期大学長 平野敏行	65
野生生物及び熱帯林関連分野から	
・ 京都大学理学部助教授 安部琢哉	69
・ 九州大学理学部教授 小野勇一	73
・ 国立環境研究所地球環境研究グループ 上席 安野正之	75
・ 大阪市立大学理学部教授 依田恭二	79
砂漠化関連分野から	
・ 東京都立大学理学部教授 門村 浩	83
総合化研究関連分野から	
・ 国際連合地域開発センター 所長 佐々波秀彦	89
・ 東京大学生産研究所教授 鈴木基之	93
・ 国立環境研究所地球環境研究センター 総括 西岡秀三	97

注 : 半田暢彦教授については、地球温暖化現象解明及び海洋汚染の両分野の立場から執筆いただいた。

はじめに

現在私たちは、近代科学の目覚ましい発展のもと、過去に類のない繁栄を享受しています。しかし同時に、深刻な地球環境の悪化・激変という事態が、私たち一人一人の生活から地球上の全生物に至る危機として憂慮されています。

このような状況に直面し、環境問題に対する国際的取り組みの気運が高まっている反面、事態の科学的解明が不十分のため、実際の対策をとる上での国際的、国内的合意が形成されにくいのが現状であります。

従って、人類が地球環境に及ぼす影響を科学的に解明し、的確な環境保全対策を講ずるための基礎作りを進める必要があります、そのための地球規模の視点に立った研究や観測の充実が望まれています。

環境庁国立環境研究所では、このような要請に応えるため、昨年7月の国立公害研究所から国立環境研究所への改組に引続き、本年10月1日付けで新たに「地球環境研究センター」を発足させ、地球環境の分野において、国際的な協力の下、学際的、省際的な地球環境研究の総合化を図るとともに、データベースやスーパーコンピュータの導入などの研究支援体制を充実させ、また、地球環境の長期的モニタリングを行うなど、地球環境問題の解明と解決のために、幅広く貢献していくことといたしました。

さて、オゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨、海洋の汚染、熱帯林の減少、野生生物種の減少など地球環境問題は、人類の生存基盤に深刻な影響を及ぼすおそれのある重大な問題であります。

そこで、当センターでは、これまでの地球環境研究についての問題点等の検討、それら問題点等を踏まえた今後の地球環境研究の方向についての検討などを行うために、「地球環境研究検討会」を設置いたしました。本検討会には、オゾン層の破壊、地球の温暖化等地球環境問題に係る各分野の代表的な学識経験者に広く参画いただきました。

特に、昨年12月につくばで開催いたしました「第1回地球環境研究者交流会議」では、同検討会委員の方々にも数多く参加いただき、300名を超える参加者とともに、活気に満ちた実りある議論が持つことができました。

本報告書は、平成2年度における検討会の成果としてとりまとめるべく、今後取り組むべき調査研究の内容、地球環境研究全体としての今後のあり方についての構想、地球環境問題に関する研究体制などについて、各研究者個人の立場から自由にご執筆いただいたものであります。

私は、当センターを代表する立場から、改めて、ご執筆いただきました方々に感謝申し上げますとともに、本報告書が今後の地球環境研究のあるべき方向を示す礎となり、地球環境問題解決に向けて一歩でも二歩でも前進させることに役立てば幸いです。

国立環境研究所
地球環境研究センター長
市川 惇 信

オゾン層破壊

名古屋大学太陽地球環境研究所教授

岩坂 泰信

成層圏オゾンに関する研究は、10年前のそれとは大きく変わった。かつて大気オゾンの研究といえば、大気オゾンそのものの濃度変化を観測しておれば十分であった。しかし、オゾンホール発見に端を発した研究のなかで、次第に次のようなことがはっきりしてきた。

- (1) オゾンホール、さらにはオゾンの大気化学的側面を明らかにするには、個々の化学組成（例えば、オゾン）の振るまいを明らかにするのではなく、注目している化学成分の生成消滅にかかわる成分を同時に調査観測する必要がある。
- (2) 化学反応にかかわる物理的（あるいは、地球物理的）な条件を同時に把握する必要がある。

この2点は、つまるところ、今後のオゾン層の研究を文字通りオゾンだけの研究と考えるのは不十分だと言っているのである。今後のオゾン層研究は、「大気をいくつもの化学反応が集合したシステム」としてとらえ、オゾンはその反応システムのなかのひとつの化学組成であると認識されるべきものなのである。このことからでてくる当然の帰結は、反応システムを明らかにするための観測の重要性であり、もはやオゾンのみをとりだして精緻にはかることだけではすまないはずである。

反応を形成する関連物質のリストアップと濃度変動の観測、それぞれの反応の速度の違いによって生じる時間遅れの効果の評価、反応速度によって規定される時間スケールと地球物理的時間スケールとの関係の評価、等が同時並行的にすすめられてはじめて、反応システムの全貌と地球環境的な影響の評価が可能になってくるはずである。

以上のような観点にたってみると、取り組むべき調査研究の内容は、

- ① 全球規模のオゾンモニター
- ② 諸物質の成層圏への流入路と目されている赤道上空での大気化学観測
- ③ オゾンの強い消失源である極域での大気化学観測

があげられる。

フロンによるオゾン層破壊が問題になって、フロンの使用・製造の規制が開始されているが、「製造→使用→環境破壊→使用・製造規制」のパターンが基本的な解決にはなっていないことは明かである。地球環境研究が明らかにしてきた、諸物質の循環系の姿は、物質の循環の速さが適度であること、循環の連鎖においてはAの廃棄したものがBの必要とするものになっており、Bの廃棄したものがCの必要とするものになっているという姿である。人間が使用済みの物質を廃棄する場合に、なんらかの意味で他の物（生物、その他）が必要とする形で廃棄する技術が究極的には開発されるべきであろう。これまでの「必要は発明の母である」というスローガンのうちで、必要とは人間にとって必要ということであったはずである。このスローガンのもとで作られてきた技術体系、さらには、この影響を強く受けてきたこれまでの教育体系の根幹に大きな改革が必要である。

当面の研究・教育体制については、長期間の継続的な地球観測に適合した組織の整備が急務である。今日、気象の観測においてさえかなり大がかりな組織を各国が持っている。地球環境の問題は、気象とくらべ格段に範囲が広く問題の複雑さの程度も高い。このことを考えると、速い段階で組織の整備が検討されるべきであろう。

研究の推進上、大学に代表される組織とそれ以外の組織が有効に協力しあえる場を整備する必要がある。とりわけ、大学が持っている若手研究者の養成機能をこの方面の研究の発展に有効に生かせるような組織を検討・整備することは両者にとって有効であると思われる。

また、海外での観測や海洋上での観測の重要性が増してくると考えられるが、早いうちから組織的な対応が出来るように準備する必要がある。今日みられるように、個人ベースで実施されるきわめて簡単な調査ですら相当な労力と時間を使ってなされていることを考えると、このままでは先行きは楽観できない。海外観測の状況を調査整理し、速やかに組織的な対応が出来るようにすると同時に、広大な海洋をベースとする地球観測構想をもつべきではないだろうか。

オゾン層破壊

横浜国立大学工学部教授

浦野 紘平

オゾン層破壊と地球環境研究

1. 成層圏オゾン層保護研究グループの一員としての意見

成層圏オゾン層保護に関する研究は、以下の4分野の研究が一体となって行われる必要がある。

- (1) 対流圏及び成層圏でのオゾン層破壊物質の濃度の測定と挙動解析、オゾン濃度や紫外線強度の測定、解析、予測などに関する地球物理学および地球化学等からの研究。
- (2) 紫外線増加による人体、動植物や微生物等の生態系および農業をはじめとする各産業への影響などに関する医学、生物学、農学等からの研究。
- (3) オゾン層破壊物質およびその代替物質の安全性、使用実態の調査・解析、回収再利用や破壊等による排出抑制技術の開発と評価などに関する化学および化学工学等からの研究。
- (4) オゾン層破壊物質の大気中濃度のモニタリング、生産・排出量の削減および紫外線増加による被害防止等のための政策決定と実行などに関する法学、政治学、経済学等からの研究。

これらのうち(1)および(2)については、日本でもまた国際的にもある程度の組織的研究が始まりつつあるが、(3)および(4)については、いまのところ断片的な研究のみで組織的対応が遅れているように思える。これらの研究のいずれかが遅れても効果的なオゾン層保護対策が進められないので、今後、(1)、(2)はもとより(3)、(4)の研究の組織的推進が必要と考えられる。

とくに、(3)の研究については、個別の技術の開発のみならず、各技術の工学的側面と社会・経済学的側面とからの適切な評価手法を明確にしていくことが今後の重要な課題と考えられる。例えば、新規な手法によるオゾン層破壊物質の除去技術や破壊技術の開発研究を行う場合には、その技術の対象とする排ガスや廃液がどこからどれだけ排出される可能性があるのか、他の技術に比べて原理的にどのような利点があるのか、また維持管理性や安定性、信頼性はどうか、他の環境問題に対するインパクトはどうか、経済性はどうかなどを総

合的に評価しなければ、研究のための研究になってしまう恐れがある。また、大規模な場合だけでなく、中小規模でも使用可能か、あるいは日本だけでなく、開発途上国などでも使用可能かどうかといった視点も重要である。

2. 地球環境研究全般についての意見

オゾン層保護の場合について具体例を述べたように、地球環境に関する研究は、以下の4分野の研究が一体となって行われる必要がある。

- (1) 環境に悪影響を与える原因の計測と挙動解析および予測に関する研究。
- (2) 人を始めとする生物や各種産業等に対する影響に関する研究。
- (3) 環境に悪影響を与える原因の削減や被害防止のための技術に関する研究。
- (4) 環境に悪影響を与える原因の削除や被害防止のための政策決定、法体系および実施方法に関する研究。

これらの研究のいずれが遅れても効果的な地球環境保全が進められないので(1)～(4)の研究の組織的推進が必要となる。

とくに、日本は地球環境問題を技術力で解決しようとする動きが強い反面、個別の技術の開発に重点が置かれ、各技術の工学的側面と社会・経済学的側面とからの適切な評価手法を明確にして総合的に評価する視点が置き去りにされている感がある。とくに、技術的および経済的な条件から考えた適用可能な国や分野、規模および正の効果と負の効果などを明確にするテクノロジーアセスメント的な研究が不足していると考えられ、今後この点についての研究を進める必要がある。

この他に、地球環境研究で不可欠なこととして、官・学・産の協力体制の確立がある。すなわち、国立研究機関等だけでなく、大学をはじめ、地方公共団体の研究所、民間研究所等との共同プロジェクトを組んで進めることが不可欠と考えられ、そのためには、研究予算を省庁間の固定化した枠内で考えるのではなく、柔軟に配分および運用できるようにすることが必要である。

また、今回の議論の対象とはやや異なるが、地球環境研究を真に発展させるためには、長期的視野にたって、地球環境研究のできる人材を育成するための機関を増やしていく必要がある。これは、開発途上国の人に短期の研修を行うような機関ではない。わが国の若い情熱的な人材を、短期の一面的効用を求める科学技術研究につき込むのみでなく、長期の総合的効用を求める環境研究で活躍できる場を増やし、多くの若い研究者を育成していくことが、長期的にみたわが国の地球環境研究の発展の基盤であり、国際的役割でもあると考える。

オゾン層破壊

東京大学理学部教授

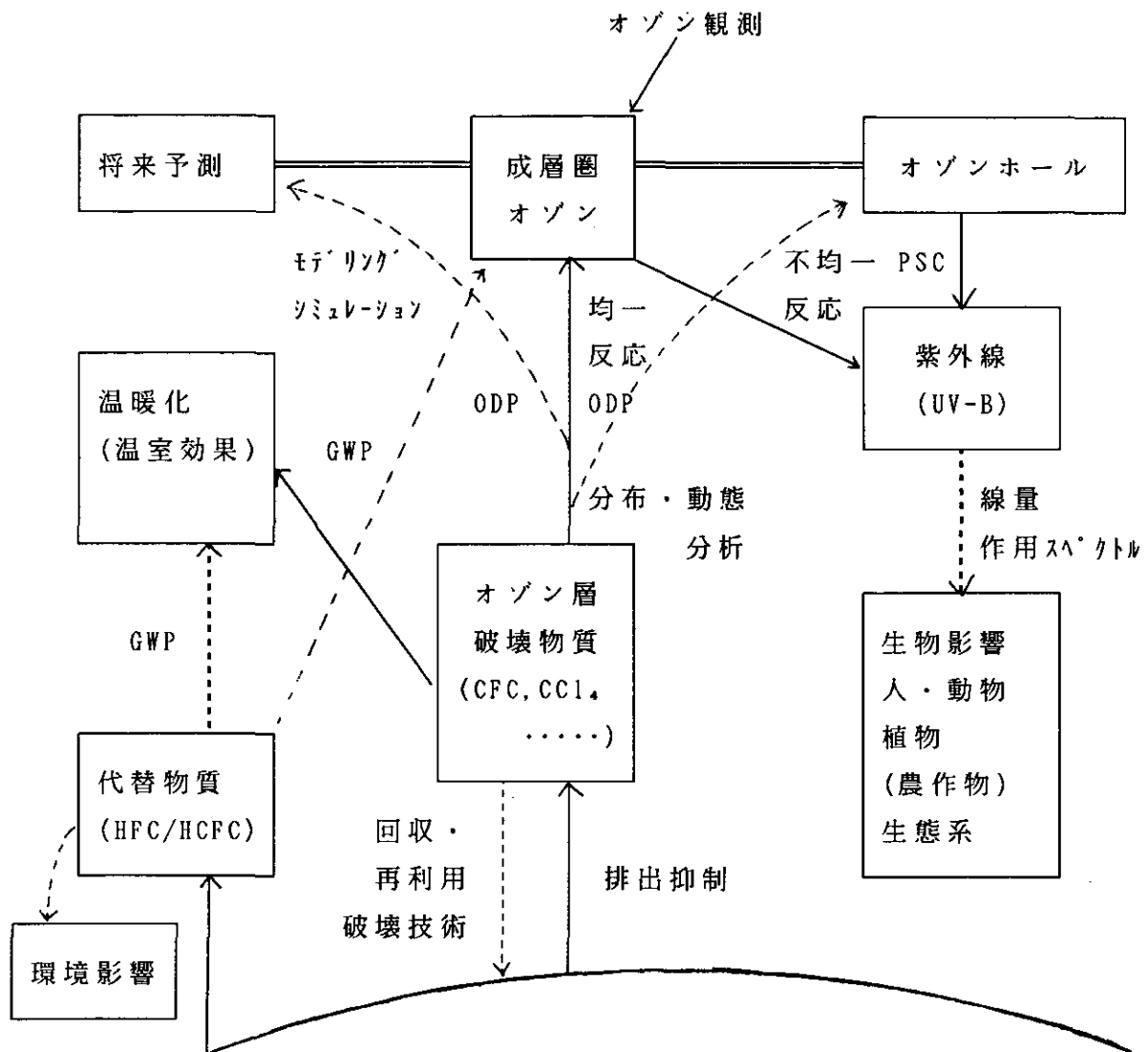
富永 健

オゾン層破壊は、地球環境問題のいわば火付け役となったもので、科学的解明も対応策も最も先行している。すでに、オゾン層破壊の原因物質の規制、代替物質や技術の開発も進んでいるため、もう基礎研究の段階ではないように見えるかも知れないが、決してそうではない。オゾン層破壊に関する研究の全体の構図を図に示したが、図中の破線がとくにわが国でまだ研究の不十分なところである。現在はどちらかというとも短期的に対応の急がれる課題に重点が置かれているが、地球環境という超長期的な問題の特質からして、息の長い基礎研究がきわめて重要なことはいうまでもない。

地球環境の基礎研究、特にグローバルな観測面ではいろいろな国際協力が重要ではあるが、対応策の開発においても今や国際協力は不可欠となった。わが国の役割の一つは、途上国も考慮した地球環境保全のテクノロジーを開発することである。

地球環境保全のためのテクノロジーでは、環境を損なわない（代替）物質の開発が重要ではあるが、仮にそのような人工物質が開発されても、かつてのフロンのような環境に完全に解放的な使用は避け、排出抑制・回収再利用といういわゆるリサイクル型を目指すべきであろう。また、自然の微妙な物質循環プロセス、あるいは地球環境自体に直接手を加えるような対策技術（例えば成層圏に人工的にオゾンを供給するなど）は好ましくない。地球環境保全は、対症療法ではなく、原因療法あるいは予防法によるべきであろう。

地球環境問題のような学際的研究では、とくに研究体制や研究費の面で、省庁間あるいは研究機関の間の壁をなくすことが急務である。わが国では多くの研究者が感じていることであるが、今後の研究の大きな発展のために、これは是非越えなければならないハードルの一つである。



1. 今後の調査研究内容

a) オゾン層破壊の実体とオゾン層変動の推移の追跡

地上からのフロンガスの放散は事実であり、成層圏に存在するオゾンは分解されるであろうが、成層圏におけるオゾンの減少はそれだけ紫外光の増加を意味し、新たなオゾンの生成をうながしオゾンが補給されるかもしれない。従って成層圏オゾン層の変化を長期的に追跡調査し、オゾン層の破壊は本当に進行しているかどうかを突き止める必要がある。

b) 地上に到達するUV-B増加の影響調査における定量的取り扱いの必要性

UV-Bの影響調査は単にUV-Bランプを点灯してその影響を記載する研究はほぼ終わったと考えられる。これからやるべきことは現在の太陽光を対照としてこれからUV-Bを減少させた場合、および増加させた場合にどのような影響が現れるかを調べる必要がある。そして短期間および長期間（例えば一年とか、植物の場合生活環を一周するに必要な期間など）の影響を調査すべきである。また何%オゾン層が減少した場合には何%の成長低下が起こる、等々の定量的なデータが要求される。

c) UV-Bの作用機構の研究

UV-Bの作用機構はこれまで主としてDNA損傷の面から研究され、かなりのデータの蓄積がある。しかしRNAやタンパク質の損傷、細胞膜の損傷に基づく効果も少なくないと思われ、この方向の作用機構研究が必要である。

d) UV-B抵抗性発現の研究

地球上のUV-Bの増加を防ぐ対策をとることは勿論大切であるが生物のUV-B抵抗性の発現を促すことも重要である。地球上に生物が出現した過程では、現在よりももっと多量の紫外線が地上に存在していたと考えられるが、生物はそれらを克服して進化して来たのである。そこでUV-B抵抗性にはどのようなものがあるか、それらはどのようにして発現するか、抵抗性をより効果的に発現させるにはどうすればよいか等の研究が必要である。

e) 新しい研究の開拓

大規模なプロジェクト研究は、これまで得られている知見に基づいて計画を立て研究組織がつくられる結果、やゝもすると既知の事実の集約に終る恐れがある。しかし折角国家的事業として行うこのプロジェクト研究で

は、世界的に見て新しい研究成果を挙げられるよう努力すべきである。外国で確立している研究結果の単なる日本版であってはならない。そのためには3. 研究体制の項で述べるような配慮が必要である。

2. 地球環境研究全体としての今後のあり方についての構想
次の3. に提示される。

3. 研究体制

本研究は国家的規模で行われる大プロジェクトであるので、研究組織の編成に当たっては次のことに留意すべきであろう。

- a) 省庁の縄張りを越えた組織であること。
- b) プロジェクトの目標を明確に打ち立て、この目標に向かって働く研究者を集める（しかしその目標達成の過程で遭遇するかもしれない新しい現象の追求には特別の配慮をする。）。
- c) 課題毎に、これまでもその分野の研究に従事し成果を挙げつつある第一線の研究者を集めること。
- d) テーマおよび予算の省庁間バランスのとれた研究体制であること。

このような条件を踏まえて研究組織を作るには次のような方法が適していると考えられる。即ち

- (1) まずプロジェクトの目標と大枠を設定する。
- (2) 研究テーマの公募を行う。この公募に応募するテーマには研究組織、研究計画および予算計画を付けさせる。
- (3) 応募テーマの審査を行い、上記 b) および c)（場合によっては d)も）の条件にあった申請テーマを採択し、これを本プロジェクトの大きな研究体制として組織化する。
- (4) 研究成果報告会（口頭）を毎年度行い、また報告書を提出させる。これらの報告内容を評価し、以後の研究に対するアドバイスおよび予算配分の査定ならびに研究の継続、中止、拡大、縮小等の調整に反影させる。
- (5) 研究の過程で遭遇する新しい現象については新しい研究テーマとして、これを取り上げる。このことは新しい研究分野の開拓にとって極めて重要である。

以上の事は地球環境委員会（分科会メンバーを含む）が行う。同委員会は、必要に応じ専門家に意見を求めることができるようにする。

I オゾン層破壊と健康

現在までのところでは、オゾン層破壊による紫外線（UV）量の増加と、特にその悪影響について、検討が行われている。その中でも皮膚癌についての研究が大部分を占めているのは、バランスを欠き、もっと大切な面を忘れている可能性がある。もちろん皮膚癌のUVによる発生機序の研究も十分ではないが、本委員会の目的は、地球全体、人類全体に対するオゾン層破壊の影響の検討であるから広範囲にわたっている。従って、外国も含め学会レベルで行われている研究は引用するにとどめ、同じ分野で競合することは避けるべきである。それよりは現在まで検討されていなかった分野を指摘し、重要な部分が欠落しないようにすべきであると考え、それが国際社会への日本の貢献であると思う。従って次のごとき点について検討すべきであろう。

1 オゾン層が破壊される環境で起こるUV以外の変化による健康への影響

2 オゾン層破壊によるUVの健康への影響

(1) UVの人体に対する直接的影響

(A) UVが直接達する部位への影響

(i) 皮膚への直接的影響

(a) 健康に役立つもの

(b) 健康に害になるもの

(ii) 眼への直接的影響

(a) 健康に役立つもの

(b) 健康に害になるもの

(B) UVが直接達しない部位への影響

(i) 健康に役立つもの

(ii) 健康に害になるもの

(a) UVによる自己変性あるいは産生物

(b) UVによる免疫低下

(c) 外来物のUVによる変性物質

(2) UVの人体に対する間接的影響

(A) UVの地上空間に対する影響を介して

(i) 物理的影響

(ii) 化学的影響

- (iii) 生物学的影響
- (B) UVの地表全体に対する影響を介して
 - (i) 物理的影響
 - (ii) 化学的影響
 - (iii) 生物学的影響

I に関して：

オゾン層破壊に関しては現在まで、主としてUVの増加の面からだけ取り上げられてきたが、UV以外にどのような事が関与するかを指摘し、これの健康問題への影響を検討することが必要であり、少なくとも研究の対象になり得るのかどうかを検討したという証拠を残す必要がある。

II に関して：

(1)-(A)-(i)-(a)、UVの防御あるいは正常皮膚反応に関しては従来、メラノサイト及びメラニンの研究、またはUV防御用の外用剤（化粧品）などの研究に偏る傾向があったが、メラニンの研究にしても方向が違う研究（例えば、メラニンに吸収されたUVのエネルギーは生体内でどのように利用されているか等の研究—これは将来効率の良い太陽エネルギーの利用法となる可能性を秘めている。）ウロカニン酸その他の研究に関しても幅広く検討すべきであると思う。

(1)-(A)-(i)-(b)、UVにより健康状態が乱される状態としては、炎症、腫瘍、その他のものがある。炎症としては光線皮膚炎、特に薬剤の関与（薬疹）、腫瘍としては皮膚悪性腫瘍が中心的課題である。特に皮膚癌がオゾン層破壊の結果のすべてであるようなマスコミの報道である。日本人でも皮膚癌は増加しているが、白人程多くはない。これらの方向の研究の大要は欧米の研究者においてなされている。これらの研究は本邦でも未だ十分とは言えないが（疫学をはじめとして）、世界的研究グループで、本邦の貢献を求められた場合には、欧米で研究されていない分野の研究を行うべきであると考え。欧米の研究日本版という形の研究（例えば日本における疫学調査など）はそれぞれの学会ですでに研究結果を持っているべきであって、本検討会あるいは研究会で資金を出してこれから研究すべきではなく、各学会へ諮問するだけで良いと考える。世界規模の研究会であるから、日本も欧米の焼き直しでないプロジェクトをもつべきであろう。

(1)-(A)-(ii)-(a)、眼もUVが直接照射される器官であり、相当の関心が払われるべきである。皮膚癌にかくれて目立たないが、重要な問題である。但し、これも古くから研究されている。

(1)-(A)-(ii)-(b)、この件は皮膚の研究と共通点も多い。

(1)-(B)-(i)、この分野の研究はUVが照射される場所での作用を通して

全身に影響を与えるものについての研究であるが、V i t D等、古くから研究が行われている割には新しい研究が少ないので、将来研究がおこなわれるべきであると思う。

(1)-(B)-(ii)-(a)、この分野には多くの研究があり、有名なものとして膠原病 P-450などがある。未だ不明な点も多いが、膠原病に関しては所属学会や班会議などで幅広く研究されているので、本会ではしかるべき方向へ諮問するだけに止めたほうがよいと思われる。しかし、UVにより作り出される物質に関しては未だ研究も多くなく、未知の物質を探すのはお金もかかるので、そのようなプロジェクトで取り上げるのは悪くないと思う。

(1)-(B)-(ii)-(b)、この件に関しては欧米で最近まで著しく研究が進んだ分野であるが、本邦においては未だ研究が少ない。しかしこれもすでに欧米で進んでいるので、政府機関が特にこれと競合して同じような結果を出すのは意味がないのではないかと思う。すなわち、すでに方向が見えているので、単に欧米に対して競争者として加わるだけで、世界的に見て貢献が少ないと考えられる。

(1)-(B)-(ii)-(c)、外来物、例えば患者に投与された薬剤が皮膚、あるいは眼に達し、そこでUVによって人体に害になる物質に変化し、全身に影響を与えるという研究は、未だ世界的に疫学的研究も少ないのでいずれ行う必要がある。

(2)-(A)-(i)、どんな影響があるか物理学の専門家と医学者との情報交換から始める必要がある。

(2)-(A)-(ii)、NOX、その他生物に影響を及ぼす物質の増加があるかどうか等、化学の専門家と医学者との情報交換から始める必要がある。

(2)-(A)-(iii)、UVの増加により空中での微生物が影響を受けるかどうか、それが人体の健康にプラスかマイナスかを検討する必要がある。

(2)-(B)-(i)、物理学者の話を聞いて、検討する必要があるかどうかを決定する。

(2)-(B)-(ii)、化学者による検討が必要であろう。

(2)-(B)-(iii)、生物学者による検討を待って医学的に考えればよい。

以上、日本がどの点を担当するか、綿密な調査の後に決定すべきと考える。諸外国とよく協力することが望ましく、欧米の焼直し、金無駄使いといわれぬようにせねばならない。是非既存の日本の学会にできないようなことを行ってほしいものである。

全体の項目について、宇宙線、あるいは核燃料（廃棄物）等の放射線の項目が追加されるべきではないだろう。

地球温暖化現象解明

筑波大学生物科学系助教授

及川 武久

1. 配付された「地球環境研究計画」を見ると、研究組織・体制の欄で、同一の方が多くの研究計画に名を連ねていることに気付く。現在の日本の研究体制が弱体で、やむを得ない面もあるであろうが、やはり本当に実績を上げるには、1人の研究者の担当は1つか、せいぜい2つの課題に限って、集中的に研究に取り組むべきである。

2. 1.に指摘した点と関連するが、私は農水省や科学技術庁の地球温暖化研究関連の検討委員もしており、ここでも環境庁のプロジェクトと同様の、あるいは似た研究プロジェクトが行なわれているので、相互の連絡なり調整が必要であると思う。さらにこれらのプロジェクトの担当者も環境庁のプロジェクト担当者と重複している方も多くいる。このような日本の研究体制が効果的な成果を上げ得るか、非常に疑がわしい。

3. 私が参加した「温暖化現象の解明」検討班で言えば、やはり炭素の missing sinkの問題が重要な研究テーマであると思う。この中で、陸上生物圏のかかわりも集中的に研究すべきである。1964年から1972年にわたって国際生物学事業計画(IBP:International Biological Programme)が行なわれて、地球上の生物量と生産力についての情報がかなり得られたが、まだまだその精度は不十分である。しかもIBP以後20年余が経過しているが、それ以後、組織だった研究が世界的に行なわれていないので、今回の研究でもこの面の研究の充実が是非望まれる。この際、最近進展の著しいremote sensing技術を最大限に応用して、生物量の正確な推定を行なうことが望まれる。

4. 3.の陸上生物圏の炭素フラックスとの関連で言えば、森林伐採、特に熱帯林の伐採と、それに伴う土壌からの炭素放出についても、その推定値に研究者による見積もりに大きな開きがあるし、日本は世界最大の木材、特に南洋材の輸入国である、と言った点からも集中的に調べる必要があると思うが、「熱帯林の減少」班の研究計画にこの問題が取り上げられていないのに、非常に奇異な感じがする。

5. 地球環境研究は、研究を始めたからと言って、早急に解決できる問題ではない。腰を据えて長期的な視野のもとに取り組む必要がある。現在は研究が開始されたばかりであり、しかも地球環境と言う大きな研究対象だけに、広範囲の可能性を考えて幅広く研究に着手しだした段階であるが、今後研究が進むにつれて、大いに成果の上がりそうな課題が必ずいくつかは出てくるものと思う。その時、そのような有望な課題を迅速に選びだし、集中的に研究が行なえるような体制作りが必要である。

1. はじめに

近年、人間活動は二酸化炭素の増加を引き起こし、地球環境への影響が指摘されている。このため、海洋がこれに対してどのように応答し、またその緩和にどの程度の役割を演じているかの評価に関心が寄せられている。

化石燃料の燃焼によって発生する二酸化炭素は年間 5.8×10^{15} gCと見積もられている。年間増加率から算定される二酸化炭素の大気中への残留量は 3.6×10^{15} gCで、残りの 2.4×10^{15} gCが今のところ受け皿不明となっている。最も可能性のあるものとしては陸上植物の光合成と海洋であると言う事になっている。しかし、その何れかに決めるには不確定な事が多く、結論は今なお流動的であると言うのが適当であろう。ここでは海洋の光合成がどのような筋道で、その二酸化炭素の吸収と関連しているのかを述べたい。

2. 海洋への無機窒素化合物の負荷と光合成

海洋表層では、植物プランクトンの光合成により二酸化炭素、硝酸イオンおよびリン酸イオンを材料として有機物が合成されている。この際三者の量比は既知とされている。通常、この硝酸イオンは下層から有光層に供給され、他の材料物質と反応して有機物を生産している。この場合、硝酸イオンとともに二酸化炭素の除去が行われるが、二酸化炭素、硝酸イオン及びリン酸イオンの量比は常に一定で、この反応で新しく余分の二酸化炭素を吸収するとは考えられない。もし、それがあれば、外来性の硝酸イオン、リン酸イオンの負荷がなければならない。

有光層に対する栄養塩の負荷には、主として三つの過程がある。第一は降水及びドライフォールアウトなどの大気降下物による栄養塩の負荷、第二に上昇流や拡散過程による海洋下層から有光層への栄養塩の供給、及び第三に河川水の流入による栄養塩の海洋への負荷等である。

大気から海洋への栄養塩の負荷には降水とドライフォールアウトとによる二つの過程がある。何れも時間的、空間的変動が激しく、海洋表層への地球的規模にわたるフラックスを見積もるには地理的条件を考慮して観測点を選定する必要がある。ここでは比較的データの揃っている北大西洋のサルガッソー海と北太平洋還流域を対象にしてまとめてみた。

海洋大気降下物の無機窒素化合物としては硝酸及びアンモニウムイオンが主成分である。サルガッソー海及び北太平洋還流域における無機窒素化合物フラ

ックスはそれぞれ20-35及び5-16 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ の範囲であると報告されている。南半球ではこれらの値の数分の一から十分の一程度に減少している。従って、海洋大気降下物による無機窒素フラックスは陸上の人間活動と深く関係しているものと理解される。

これらの測定結果をもとにして得られる全海洋規模の無機窒素化合物（硝酸イオン及びアンモニウムイオン）の供給はサルガッソー海及び北太平洋還流域でそれぞれ26-54及び8-26 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ であると算定される。この値は全海洋規模ではそれぞれ4.3-9.9 及び $1.3-4.3 \times 10^{13}\text{ gN yr}^{-1}$ となる。

これに対して、海水の流動に伴う有光層への硝酸イオンの供給について考えてみよう。下層から有光層への硝酸イオンのフラックスは海水の上昇速度と下層での硝酸イオン濃度、並びに水温躍層における渦拡散定数と硝酸イオンの濃度勾配によって決まる。何れの海域でもこれまでに水温躍層付近での渦拡散定数が ^3H や ^{14}C によって見積もられており、従って海水の上昇速度も分かっている。硝酸イオンの実測値をもとに算定される下層から有光層への硝酸フラックスは22-250（サルガッソー海）及び70-752 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ （北太平洋還流域）であると見積もられる。ただし、先にも述べたようにこの窒素が全部光合成に使われたとしても増えつつある大気中の二酸化炭素のシンクとはなり得ない。

最後に、流入河川による無機窒素化合物の海洋への負荷に関して、主要8河川による河川水の流入量と硝酸イオン濃度とから地球規模での河川による硝酸イオンの負荷量を算定し、それが $1.3 \times 10^{13}\text{ gN yr}^{-1}$ であると見積もられた。

これらの結果から、降水及びドライフォールアウト並びに河川水による有光層に負荷される無機窒素化合物は $2.8-11.2 \times 10^{13}\text{ gN yr}^{-1}$ となり、これは光合成で固定される二酸化炭素の炭素として $0.16-0.56 \times 10^{16}\text{ gC yr}^{-1}$ と算定される。これは人間活動で増加しつつある二酸化炭素のうち、受け皿として海洋が期待されている二酸化炭素量の7-24%に相当している。

3. おわりに

大気及び海水の流動、並びに河川水の流入による有光層への無機窒素化合物の負荷を見積もり、これを基礎に固定される二酸化炭素量を算定した。極めて断片的な観測結果を用いたにも拘らず、二酸化炭素の固定量としては十分注目すべき量に相当していた。この事は、今後全海洋規模にわたり、大気及び河川を通しての無機窒素化合物の海洋へのフラックスを組織的にモニターする事の重要性を指摘しているものと判断される。

地球温暖化の科学研究の推進について

1. 国際協同研究の推進

地球環境変化の研究は、問題の性質上、国際的なコーディネーションが重要である。この事は、研究者間で早くから気づかれ、少なくとも地球温暖化と気候変化に関しては良く計画された国際的協同研究計画が作られている。すなわち、地球規模環境変化の物理的側面を受け持つ世界気候研究計画（WCRP）が1980年来立案・実行されており、また、化学的・生物的側面に関わる地球圏・生物圏国際協同研究計画（IGBP）が、1986年に立案され、現在実行段階に移行しつつある。これらの研究計画は、日本の研究者を含む国際的な専門家から成る委員会で十分に討議されたもので、私の見る限り、たいへん良く出来ていると思う。したがって、基本的には、WCRPやIGBPの計画の線に沿って研究を推進する事が重要である。

注目すべき事は、WCRPにしてもIGBPにしても既に、長い年月をかけて検討を続けてきたもので、最近の2～3年地球温暖化が、国際政治の課題になってから対症療法的に作られたものではないことである。このため、両計画の内容には一見して地球温暖化研究と結びつきが明かではないものもある。例えば、WCRPの中の主要副計画の一つである熱帯海洋、地球大気研究計画（TOGA）は、自然の気候変動であるエルニーニョ・南方振動現象のメカニズムを明らかにし、大気・海洋結合モデルでの予測を可能にしようとするものである。この研究は、しかし、一面において温室効果ガス増加による気候変化を推定するには不可欠である。日本の気候に大きな役割を果たしている梅雨と夏季の乾燥状態、台風の発生数と強さなどはすべて、西太平洋赤道地域の暖水プールの温度と広がりによって支配されているとあってよい。したがって、その生成・維持のメカニズムを明らかにし、温暖化した時に暖水プールがどうなるのかを知ることは、前記の諸現象がどのように変化するかを正しく予想するために絶対に必要である。エルニーニョ・南方振動現象の原因は、この西太平洋赤道域の暖水プールの変動にあると考えられており、1992～93年を中心に暖水プールが、大気と相互作用して変動するメカニズムを調べるTOGA

— COARE (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment) が実行されており、日本の大学・国立研究機関も参加しているが、このような活動を着実にやっていく事が重要である。

2. 気候モデルの改良と基礎研究の重視

地球温暖化に伴う気候変化を予測するには、気候モデルによって数値実験を行うことは今や広く知られている。しかし、気候システムの数値モデル開発の歴史はまだ浅く、モデルは極めて未熟な段階にある。実際、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第1作業部会が活動を開始した時点で結果の出ていた、CO₂倍増平衡気候の計算は、水平分解能 (メッシュサイズ) が500~1000 kmという粗いものであった。1950年代に始まった天気の数値予報のためのモデルは、今では100 km程度の細かい格子を用いているが、1970年代までコンピューター能力の制約から、300 km以上の粗い格子で、その結果、温帯低気圧の構造や動きをうまく表現できず、予報の精度は長い間低迷して当事者を苦しめた。気候モデルに使われていた500 km以上の格子間隔は、数値天気予報の経験の上に不十分であることが証明されていたものを、「予備的研究」のため計算機資源の節約を考えて使っていたのである。社会的要求が余りにも早く突然にやって来たので、研究としてはリハーサル段階にあるもので本番に使わざるを得なかったのが実情である。IPCCの作業が始まってから急いでまとめられた分解能2倍 (格子間隔250 km) の3つのモデルの結果は、現状気候の再現性からみてもIPCCの目的に一応かなうものであった。モデルの分解能の問題は単純に計算機資源の投入で解決できるから、そのための行政当局の努力が望まれる。

気候モデルの欠陥は、分解能ばかりではない。モデルは、基本的には物理の方程式に立っているとよいが、実際には格子間隔以下の小規模現象の効果を取り入れる (パラメタリゼーション) ために、観測と単純な物理的考察に立った経験則が用いられている。雲の発生とその日射反射効果、積雲対流による熱・水蒸気・運動量の鉛直輸送・海洋中の鉛直・水平の混合過程などは、そうしてモデルに組み込まれている。気候モデルは、これら多数の「個別物理過程」を素子とする集積回路のようなものである。当然、これら物理過程のひとつひとつの精度を上げる (真の自然の状態に近づける) ことが必要であり、それには個別過程を対象として気象学、海洋物理学、陸水雪氷学などの基礎研究を全面的に推進する必要がある。

基礎研究の重要性の好例は、内部重力波の効果である。気候モデルの第一人

者であるGFDLの真鍋博士は1983年に、東大に滞在されていたが、当時彼は、GFDLのモデルで分解能を上げると（球関数展開の自由度を増やすと）現状気候のシミュレーション結果が悪くなる（北半球高緯度の偏西風が強くなり過ぎる）という奇妙な事実には悩まされていた。世界の他の研究者（数値天気予報センター）も同様のことに気づいていた。これは、分解能が良くなると温帯低気圧が偏西風を強める効果が「正しく」表現されるようになるため、北半球の小山岳による内部重力波の抵抗効果を取り入れないとバランスがとれないためである。先に記したIPCC作業中にまとめられた分解能の高いモデルには、内部重力波の効果を取り入れてはじめて良い結果を出した。内部重力波の効果の重要性は、筆者のものを含め中間圏（高度50～90 km）大気大循環の研究から気づかれ、それから下層大気モデルにも導入されたものである。また、この内部重力波の効果の検証には、京都大学超高層電波研究センターのMレーダーが最も役立っていることも忘れてはならない。

3. 国際協力による地球観測

WCRPやIGBPの基本戦略は、モデリング、個別過程研究（process study）、地球規模観測の3本柱を相互に支え合うようにして研究を進めていくことにある。地球規模観測には当然のことながら国際協力を必要とするが、日本はその経済力と技術力の故に、重要な役割を果たすことが期待されている。特に、人工衛星による地球観測に関しては、10年余り前に行われたGlobal Atmospheric Research Programmeの地球規模実験において5個の静止気象衛星の中の1個を受け持ち、引き続き維持している実績、さらに近年、海洋観測衛星MOS1、MOS1bを打ち上げた実績から、日本（NASDA）は、アメリカ（NASA）、ヨーロッパ（ESA）と並ぶ3極のひとつとして不可欠の役割を担っている。現在開発中で1995年打ち上げ予定の総合地球観測衛星ADEOS、開発研究中でNASAとの共同で1996年打ち上げ予定の熱帯降雨観測衛星TRMMは、WCRPやIGBPの実施に不可欠のものである。

1990年11月に行われた第2回世界気候会議（SWCC）において、全地球気候観測システム（Global Climate Observing System-GCOS）の構築が提案され、現在計画立案中であるが、その大きな柱の一つは衛星からの地球観測で、特に1990年代後半に打ち上げられる国際協力による極軌道プラットフォーム（POP）を組み合わせた総合観測システムである。この中には、NASDAで計画中のJ-POPが含まれ、更に、水循環を中心としたWCRPの副計画・全球エネルギー水循環実験計画（GEWEX）の中で風の直接観測

と、TRMMに引き続く降雨観測を分担することが望まれている。

G COSのもう一つの柱は、衛星では不可能な海洋内部の観測である。海洋内部の諸過程は、CO₂を溶かし込んでそれをプランクトンの作用で有機物に変えたり、温室効果で高温になった表層水を深海へ運び込み、代わりにフレッシュな深層水を湧きあがらせて温暖化を遅らせたり、地球温暖化予測のキーを握っている。そこで、ちょうど全世界の気象機関で毎日気象観測を行っている様に定常的な海洋観測網（Global Ocean Observing System—GOOS）を作り上げようというのが、G COSのもう一つの柱である。GOOSの実施には（筆者の記憶では）、年間25億ドルを要するという野心的計画であるが、太平洋に面する世界国家の一員として日本は積極的に取り組んでいく必要があるだろう。

4. 研究者養成

以上すべての研究を推進していく上で、最大の鍵となるのは研究者である。地球環境研究全般に言えることであるが、気候変動研究の専門家の数は世界的にみて不足している。第2回世界気候会議でも、気候モデルの現状と問題点について報告した英国気象局のJ. Mitchellは、問題点として雲の取り扱いなどをあげた後、最大の問題として“Lack of trained people”を指摘していた。過去数10年超大国として世界全体の面倒をみてきたアメリカは、早くから地球全体の気象、気候の研究に力を入れ厚い研究者層をもっているが、経済復興のため全力投球をしてきた日本は、直接利益をもたらさない気象、気候、海洋、陸水雪氷学などの研究には人的資源を注いでこなかった。すなわち、研究ポジションを十分作らなかった。（このため、真鍋博士をはじめ優秀な人材が、アメリカに多数渡って、気候モデルの研究は日本人研究者が独占していた。）日本の大気科学・海洋科学の基礎研究者数はアメリカの1/10～1/20であり、人口比を考えても1ケタ少ない。フロンによるオゾン層破壊のアセスメントに関して、独自のモデルによる研究なしにモントリオール議定書にサインした先進国は日本のみであったと思う。研究費は、アメリカがGNPの20 ppm、イギリスが6 ppmであるのに対して、日本は1 ppm弱である。経済力にふさわしいBurden Sharingを求められている現在、“秩序のコスト”の負担をし得ない日本が人的資源を人類生存のインフラストラクチャーに投入することは、世界に貢献する有力な途であると思う。

地球温暖化現象解明

東京大学教養学部教授

綿拔 邦彦

1. 地球温暖化現象解明グループ

- (1) 大気科学中心の解析が行なわれているが、精度の向上が望まれる。しかし現在の知識、精度でメッシュの切り方に工夫ができないだろうか。単一なメッシュの切り方ではなく、陸地の多い所で細かく、太平洋などでは荒くするような方法が可能であるかどうか検討してほしいと思う。

- (2) 大気科学では大気と雲が中心になっているが、これに対する海洋の効果をもっと取り入れる必要がある。地球の進化の歴史を見ても地球環境に海洋は重要な役割を果たしてきた。現在、海洋、大気連結のシミュレーションが行なわれるようになったが、海洋の効果を有効に取り入れるシミュレーションが必要である。最近、海洋における水の循環過程が明らかになってきているので、これらを合理的に組み近似を成立させることが望ましい。特に南極海、北極海における海水の効果と、海水中のポリニアを通しての熱移動のモデルを作りあげることが必要であろう。

2. 地球環境研究全体としての今後のあり方

- (1) 観測の強化：火山、地震の例でみられるように、火山噴火、地震発生時における観測は協力体制の下で行なわれ、成果をあげているが、定常観測の不足を痛感する。異常を発見するためには定常を知ることが重要である。既にバックグラウンドは求められない状態にあるかもしれないが、現在の定常観測の実施を強く希望する。

- (2) 異分野間の総合的研究体制の確立：例えば酸性雨の研究にしても、酸性雨発生メカニズムを明らかにすることはもちろん大切であるが、今後必要なことは降水後の影響の研究である。そのためには森林生態学の協力が必要であり、土壌学の協力が必要である。異分野間の興味の対象はそれぞれ異なると思われるが、ひとつの目的に向かって、分担と総合が行なわれなければ成果をあげることはできない。現在の地球環境問題の研究には自然科学のみならず、時として社会科学系の人々の協力、あるいは経済学系の人との協力が必要となる場合も考慮しておくべきであろう。

3. 地球環境に関する研究体制について

(1) 研究体制の一本化：研究者間の連絡を密にし、研究の効率を高めることが必要である。同じようなシミュレーションをいくつかの研究機関で並列に走らせるのは意味がない。現在地球環境の研究は個人プレーで行なうことのできる内容ではない。個人のアイデアは大切であるが総合的解析はグループで行なうべきである。

(2) 研究費の有効利用：検討会でも発言があったように学際的研究が省際的に行なわれるべきであって、各省庁間で連絡をとり、実効のある予算執行を行なうべきである。省庁間のみならず、官学民の共同体制を確立すべきである。地球環境の研究は高エネルギー物理学と同様に真の共同研究によってのみ成果が期待できるものである。

4. その他

地球環境問題は小手先で処理すべき問題ではなく、地球の46億年の歴史と進化の中での的確に把握すべきものであり、単なる対処療法ではかえって悪い方向へ進展する可能性を持つ。

従来の研究の積み重ねの上に立って研究を進めていくことはもちろん大切であるが、若い人々の新しい発想を必要とするものである。発想の転換と知の創造が現在人類を救うための基本的条件となるであろう。

1. 今後取り組むべき調査研究内容

(1) 温暖化による影響評価の理論

- a) 温暖化によって気候、水位などがどのように変化するのか。その変化は人類の社会経済生活にどのような影響を及ぼすと予測されるかを明らかにする。
- b) 影響を評価する基準を設定する
 - ア) 経済的評価：影響の貨幣的評価の可能性を探る。農業生産に及ぼす被害の貨幣的評価、陸が水没することの貨幣的損失。逆に、温暖化によって農業が可能になる地域も出現するといわれているが、それをどう評価するか。
 - イ) 世代間の分配をどう評価すべきか。例えば将来世代の利益・不利益を割引くことにどのような意味があるのか。
 - ウ) 不確実性（リスク）と不可逆性の評価
地球温暖化のような不確実で不可逆な現象をどう評価したらよいか。

以上の点に留意して、従来型の費用・便益分析、世代間にわたる期待効用最大化モデルなどをどう評価すべきか、それらに代わる新しい評価基準は有り得るかを検討する。

(2) 温暖化影響対策の理論と効果の計測

- a) 影響対策としてはどのようなものがあり、そのメリット・デメリットは何か。
- b) 各影響対策の効果と経済成長などに及ぼす影響を明らかにするための計量モデルの構築
 - ア) 国内モデル
投入産出分析やマクロ経済モデル及びミクロ分析。ミクロ分析としては例えば、公害健康被害補償制度がSO₂排出に及ぼした影響などの具体的事例の分析は、経済インセンティブの効果を知るうえで有意義

と考える。

- イ) 外国とのリンクモデル：最終的には世界モデルの構築
- ロ) 計量分析のためのデータの収集

2. 今後のあり方についての構想
特になし

3. 研究体制
計量分析の必要性を考えると計量経済学者に参加を求めたい。

1. 短中期の対策と超長期の対策

地球温暖化は、その主原因と目されるのが、化石燃料の消費の結果必然的に発生する二酸化炭素だけに、さまざまな環境問題の中でも桁外れに対策の困難な問題である。したがって、この対策を論ずるにあたっては、その対策の実行可能性と社会経済的な影響を十分考慮する必要がある。

この対策評価にあたっては、2つの時間的領域をわけて考える必要がある。第一は、短中期的な対策評価である。現在、世界的に二酸化炭素排出抑制目標を定めようとする働きがEC諸国を中心として高まっているが、これらはいずれも今後10～20年の範囲でその排出量を何等かのレベル—多くの場合は一人当たりないし総量で現状レベル—に安定化しようとするものである。しかし、これだけでは問題が解決されるわけではなく、大気中の二酸化炭素を安定化し、温暖化の進行をくい止めるためには世界全体としての二酸化炭素排出総量を現状よりかなり低減しなくてはならない(どの程度かについては安定化する濃度レベルにより異なる)。これを実現するには、発展途上国の今後の経済と人口の拡大を考えると、社会構造の変革を含めて思い切った対応策を考えねばならず、到底10年や20年で実現できるものではなく、超長期的の対応策となる。この短中期、超長期の対応策の検討はそれぞれ性質の異なる側面があり、やはりある程度分離して行われなくてはならない。

2. 短中期の対策の評価

短中期の対策は、その実行可能性からみて、次の2つの型の対策に分けられる。

(1) エネルギー効率向上

(2) より二酸化炭素発生が少ない燃料への転換

これらの方策の評価は、各種対応策毎にその特性を検討し、コストと二酸化炭素発生量の関係を求めて積み上げていくボトムアップ法と、何等かの対策導入のインセンティブを定量的に定め、これに対する対策導入可能性とそのコストないし経済影響を、エネルギー経済モデルを利用して求めるトップダウン法にわかれる。現況では圧倒的に後者が多く行われており、米国では J. Edmonds, A. Manne and R. Richels, D. Jorgenson and P. Wilcoxon など、わが国では電力中央研究所の論文が1990年に発表されている。これらによると

二酸化炭素排出安定化のためにはかなりの炭素税の導入が必要で、その結果若干の経済成長の損失が見込まれる。一方、トップダウン型の検討の欠点は、実際の省エネルギー・燃料転機でどの程度のことが行われるのかが明瞭に求められないことであり、ボトムアップ型の検討との結合がのぞましい。筆者らは現在このような努力を行いつつあり、その一部は既に1990年秋ワシントンで公表されている。今後、このような総合評価のための手法の開発と、それを用いてわが国、更には世界の二酸化炭素排出安定化の短中期的評価を行い得るようになることがのぞまれる。

3. 超長期の対策の実行可能性評価

温暖化の進行を最終的に阻止するためには、二酸化炭素並びに他の温室効果ガスの大気中濃度を一定にする必要がある。そのためには、二酸化炭素の場合現在より相当程度、多分5～7割は排出量を低減しなくてはならない。発展途上国の今後の人口と経済の発展を考えると、このような低減の実行は数十年ないしそれ以上の長期の努力を要するとみられる。既にこの目標を実現するためにはわが国政府により「地球再生計画」が提案されているが、その対策の具体的内容は今後の検討に任されている。

一方、このような超長期の対策となると、将来にはさまざまな可能性が存在する。将来の対策研究を推進するには、これらの可能性を探索して、どのような研究推進がのぞましいかを検討する必要がある。これまで、欧米で100年に及ぶ長期のエネルギーシナリオを検討した例がいくつかあるが、それらはいずれも従来のエネルギーモデルの延長であり、将来の多様な技術的・経済的・社会的可能性を考慮したものではない。その意味で、従来のような実証的な科学研究方法論とは異なった、多様な可能性を総合的に探索するような新しい方法論が必要になる。

こうした事情からすると、できるだけ簡単で構造がわかりやすく、かつ確率的な接近の可能なエネルギーモデルの開発が重要であると考えられる。このようなモデルについては、本研究者らは既に一つ新しいアイデアを創案、検討中である。と同時に、将来のさまざまな技術について少しでも具体的な形での可能性調査が必要であり、これについても国内外の協力を得て検討を始めている。現在文部省科学研究費・エネルギー重点領域研究の中で実施中の二酸化炭素低減技術研究も、この一環として有用な情報を提供するものである。

1. はじめに

地球環境温暖化（以下温暖化と略す）にともなう健康影響は、1. 温暖化にともなう生じる温熱環境および気候条件による直接影響、2. 温熱環境・気候条件と他の環境要因とによる複合影響、3. 温熱・気候の諸条件の変化によって生じる生態学的諸条件の変化に由来する間接影響、の3つにわけて考える必要がある。以下それぞれについて若干の検討を加える。

2. 温暖化の直接影響に対する研究

温熱および気候の諸条件による健康影響は対象の人類生態学的特性によって異なる表現型をとる。すなわち、(1) 環境変動に対応できる技術・組織を備えた社会とそうでない社会とでは異なる筈であり、(2) 個々の人間集団の居住の場所によっても異なり、さらに(3) 集団内部の個人の条件（年齢、疾病の有無等）によっても異なる。

他方、地域別に生じうる温熱・気候の変化がいかなるものであるかについての予測が成立しない限り、個別の影響評価は困難である。従って、現段階ではこれまで十分には検討されていない特異な温熱、気候条件をとりあげその生理学的・臨床医学的影響を検討しておく必要がある。たとえば、突然の熱波に対する生体の応答と適応のような研究がその例となるが、上述の人類生態学的諸特性との組合せにより、多面的な研究が必要となる。

3. 温熱環境・気候条件と他の環境要因とによる複合影響についての研究

温熱環境条件が変化することによって、他の物理的要因、化学的要因、生物的要因の生体影響は大きな変動を示すことは周知のことであろう。しかし、個々の要因をとりあげた時、変動の全体像さらにはその機作についてはまだ十分には説明が進んでいない。

たとえば最近われわれの研究室では亜セレン酸ナトリウムの毒性が短時間の高温曝露（33℃ 3時間）によって増強されることを見出した（Watanabe et al. 1990）。このような環境温度と化学物質の毒性の交互作用は他の化学物質についても認められているが動物の体温調節との関連で毒性の変化を一元的に説明するメカニズムは知られていない。化学物質だけでなく、他の環境要因をもとりあげ、系統的な研究を進める必要がある。

4. 温熱・気候の諸条件の変化によって生じる生態学的諸条件の変化に由来する間接的健康影響についての研究

本研究分野は多岐にわたる。しかし、各種生態学的条件の変化に着目する研究は、健康影響というよりは生態学的影響についての研究として位置づけられる。その中で、健康影響と関連することが予想される課題を重点的にとりあげることが大切であろう。たとえば地球温暖化に伴う、各種疾病媒介動物や病原微生物の分布域の変化と、それに関連して生じうる人間の感染・発病の危険の評価はとりあえずもっとも重要な課題の一つとなる。

気候変化に伴って各種作物の栽培可能限界が変化することが予想される。局地的な生態系の中に生活している人々が世界各地に残存している。この人々にとって局地的な各種栽培作物の生育条件の変化がどのような影響を与えるかは注意深く検討しておく必要がある。

地球温暖化による生態学的変化に対応して進められる技術的対策についてそれが健康に与える危険を評価しておく必要がある。たとえば、各種の農薬使用の拡大とそれに由来する環境汚染についての研究はその1例である。

5. おわりに

地球環境関連の研究の今後の進め方として、プロジェクト研究と公募研究の2本立てにすることが望ましい。予算はどんな場合でも制限があるので、集中的に特定の課題を解決することを目的としたプロジェクト研究を第一にとりあげ、さらに将来集中的に研究すべき課題に目配りするという意味で、小型の問題発見を中心とする公募研究を組織するとよいと考える。

文献

Watanabe, C., Suzuki, T. and Matsuo, N.: Toxicity modification of sodium selenite by a brief exposure to heat or cold in mice, *Toxicol.*, 64:245-213, 1990.

千葉県衛生研究所長
東京大学名誉教授

田中 寛

1. 分野について

地球環境の変化に伴い、気候の変化により多くの影響が現れるであろうと予測されている。どんな環境変化や気候の変化が起ころうが、人の健康、社会生活や生存にかかわらない限り、大きな問題とはならない。本報告書では地球温暖化の人の健康への影響を中心に意見を述べることにする。

一般に人間は、現在自分が生活している環境を中心に物事を考える。そのために日本の様に温暖で、よく整備された社会環境に生活する者にとって、気温が3℃上昇しようが、多少の異常気象がこようが、風水害があろうが、その変化が人の生活、健康、生存に、影響するであろうという実感が湧いてこない。

東京が鹿児島気温になったと仮定してみよう。冬は温暖で生活が快適で、脳動脈障害や心臓障害を持った患者にとっては今より快適な日常生活がおくれ、患者の予後も良くなり、余命も延びるのであろう。

温暖化は、裕福な生活様式をもった地域社会に、それだけでは直接的あるいは間接的にも人の健康に障害を与える可能性は低く、健康への悪条件が起こったとしても、あまり苦勞なく社会的に制御することが可能であろう。

しかし、世界的な観点で、身近なアジア諸国や太平洋の島国ではかなりの影響が想定される。まず直接的な温熱の影響に対しては、熱帯地域の住民は強く、また適応も容易である。現在でも、あまり働きたくない住民の精神構造は高温地によく適応している。高温で感染症の増大があっても、もともと疾病は多発しているので、大きな影響とはならないであろう。

人への影響はもっと間接的な影響で深刻になる。その条件は、地域の飲料水の確保、農業生産、食料の収支バランス、許容される人口のサイズなどであろう。現状でもこれらの不均衡は世界各地にみられ、乳幼児の高い死亡率、青壮年でも感染症への絶え間無い暴露と死亡、栄養障害、餓死などの相互関係で社会が成り立っている。

従って、温暖化と人の健康は日本を対象にした研究では成立しにくく、せめて、アジア、西太平洋地域を含めて、広くみる必要がある。地域を広げた場合、厳密な結果は期待できないが、温暖化と人の生活可能な地域の変化や許容しうる人口のサイズを推測することは、本分野に意義のある研究であろう。

2. 地球環境研究全体について

地球環境研究の全体を考え、想定される全分野、全課題をあげて、相互の関連をつけることは可能であろう。しかし、研究者群の得られない課題や分野をいくら考えて、網羅してみても、全体的に成果が上がって、構想全体が完成するものではない。

現在の研究班の構成方法は分野を決めて課題を考えたり、課題を集めて分野の区切りをつけたものと思われる。そして課題の中にふさわしく、実行可能なサブテーマを出発させていったものと思われる。この積み上げ方式は全体的な構想の欠如を感じさせるかも知れないが、実務的で、成果の上げやすい方法であると感じている。研究全体としては適切に組織されていると感ずる。

3. 研究体制について

研究全体はよく構成されているものの、積み上げ方式で構成した体制は、その体制作りに携わった人々以外の者にとっては、すこぶる難解な体制であり、整理をしなければならない時期にきていると思われる。

具体的には、分野の区切りも現在必ずしも明かでない。例えば地球温暖化現象解明と地球温暖化影響・対策は分野Bにしているが、他の分野からすれば著しく大きい。またサブテーマ程度と思われる課題で分野が構成される場合もある。

一方、幹事グループでは十分わかっているが、分野の責任者、課題の責任者も一般的には明瞭ではない。おそらくサブテーマで座長が明らかにされているのであろう。全体の体制の複雑さ、分野、課題のサイズの不均一さは、サブテーマで実際に研究に携わる研究者や研究協力者に、困惑を与えている。

まず、各人が全体の目標はどこにあるのか、全体の研究体制の中で自分はどこにいるのか、どのような方向で進めば全体に貢献できるかを把握するのに困難である。

具体的な改善策の提案としては、分野や課題のサイズを見直すこと。サブテーマを含めて、分野、課題、サブテーマに整理記号や番号でコーディングをして組織全体を分かりやすくするとよい。そして、分野、課題毎に、責任者（または座長）と幹事を明記してサブテーマに於ける研究協力者にまで全体の組織、体制を明らかにしてほしい。

現在サブテーマとしている部分は、一般的には具体的な研究課題を指す。分野は適切な表現であろう。いま使っている課題といっている部分を区分とすれば全体的に理解しやすくなるのではないか。

1. 影響評価と対策立案の重要性

一般的にあって、解析や調査の研究を進めなければならない課題には問題理解型の課題と問題解決型の課題がある。もちろん問題解決型の課題にあってもその問題がどのような問題なのかを理解することは最も基本的なプロセスとして必要になるのではあるが、問題解決型の課題にとっては、場合によっては、具体的な対策を立案することが優先されることも必要となる。このような対策の立案がどの程度優先されなければならないかは、この問題が人々の生活、社会の成立にとってどれだけ大きな影響を持つかによって決ってくる。地球温暖化の問題はまさに、格好の例題としても考えることができる。例えば、地球温暖化の問題がにわかに国際政治の場でも注目されるようになったのも米国EPAによる環境変化の予測及びその影響評価の報告書が出され、温暖化の影響の深刻さが明示され、より大規模な対策の必要性が認識されたからである。

このようにして温暖化のメカニズムを明かにすべきだという指摘とともに、ともかく早く行動計画をつくり実行していくべきであるといった議論が、同時に重要な意味をもってくることになる。しかし、あえていうなら現在の課題として掲示されている地球温暖化の問題は、どちらかといえば問題解決型の課題として扱う方が適切な課題であるといえよう。すなわち、メカニズムの解明をまってからではすべての対応が手遅れになってしまう恐れがあるからである。しからば、いきなり各種の対策を発動していけばよいのかといえばそれほど単純な問題でないことも明かである。どの程度の影響が人間生活や社会生活にとって現れるかを十分に評価しておくことが、対策立案上の必須条件となるのである。若干前置きが長くなったが、地球温暖化の問題を問題解決型の課題として扱うとき、その各種の影響を正しく評価し、それを具体的な対策へ反映し、立案していくことは当課題にとっても最も重要な意味を持つものとなる。いわば影響評価と対策の立案は地球温暖化問題の解決のための車の両輪のような役目を持つものといえよう。

2. 今後の課題のあり方

影響評価と対策検討のグループの研究プロジェクトの全体構成は別項で示される通りであり、当面考えられる課題はかなりの程度網羅的にリストアップされている。従ってここでは個別の課題、テーマを挙げるのではなくて、全体的

な問題の扱い方の今後について考え方を整理してみたい。すなわち前述のように地球温暖化問題を問題解決型の課題として考えることに徹したときの各課題の順位づけを整理していく上での工夫の仕方である。

上記は次のように整理される。

- (1) 地球の温暖化が人間社会に与える最も深刻な影響の評価を、可能な限り定量的に進める。これは、地球上全体で平均すれば、プラスの影響が残ることが明かになったとしても、どこかで決定的なマイナスの影響が現れるなら、温暖化の進行を正当化することは出来ないと考えるのが順当であるからである。
- (2) 人間社会のどのような側面に対する影響をまず考えるべきかといえば、人間生存の基盤である、食糧、水、住居等への影響が優先されなければならない。もちろん自然そのものへの影響も無視できないが、人間社会の存立との調和が優先されるべきではと考えられる。
- (3) 地球温暖化問題の最大の特徴はその影響やとるべき対策が国境を越えて同時に考えられなければならない点にある。すなわち、すべての問題がすべからく国際的であるということである。この中では先進国間での意識の違いをどう調整していくかという問題とともに、いわゆる途上国といわれる国々にどのような取り組みを期待できるのか、また協力出来るのかが大きな焦点になってくると考えられる。わが国の置かれている国際的な立場を考えるならば途上国、特にアジアの諸国について、それぞれの社会的状況に応じた影響の内容とその程度を明示的に示し、併せて適切な対策を早急にとれるように協力していくことが求められているのだと思われる。
- (4) そして、なにはともあれ、日本政府が提唱した「行動計画」をいかに具体化していくかが関心事にならなければならない。「行動計画」に列挙される対策群は早急にそのフィジビリティを検討して行かなければならないだろう。これらの対策は長期的には大きな技術的ブレークスルーを要するものがあるが、場合によっては明日からでも始められるものもある。その意味ではある種のライフスタイルの変更、制度の変更といった社会的ブレークスルーを検討することも急を要するのかもしれない。少なくとも省エネ的対策技術は現行の価値基準でも当然受け入れられるものであるので、そこからの取り組むことはすぐにでも始めるべきなのであろう。

(5) 「行動計画」をどこで適用していくべきかも問題となる。地球温暖化の元凶は人間活動の増大そのものにあるのであり、人々が最も多く生活をしている地域において率先して実行されていかなければならない。影響についてもそうであるが人口集中地区である都市は人間生活に最も深く関連している部分であり、そこへの影響と対策の検討が急がれるであろう。特にアジア諸国での都市問題解決へ向けての対応にはこのような視点が含まれていくことが必要なのではないだろうか。

筑波大学地球科学系教授
吉野 正敏

今後取り組むべき調査研究はたくさんある。地球環境の影響アセスメントにおける特に重要な項目は次の5つであろう。

- (1) 環境と影響を受ける主体の関数関係が外挿できる範囲の検討。関係には必ず最適な範囲があり、その限界を越えれば悪化する。例えば、温暖化による最適な影響範囲はどこかを知る必要がある。
- (2) 相乗作用または複合作用を解明する必要がある。
- (3) 社会・産業の抵抗性・適応性の解明。例えば、農業における新品種の開発、工業における技術開発などは新しい環境に対する社会の適応力と見ることができる。これの社会形態別・産業別の評価が必要である。
- (4) 季節間競合または地域間競合の解明。地球環境変化は局地的にまたは地域的には進行速度が異なり、質的な内容が異なるので、ある季節間および地域間における人間の産業活動の競合状況が変わってくる。例えば、作物カレンダーの変化、土地利用の変化、市場の変化、需要の変化など。
- (5) 政府の対応。政策は当面、国単位でしか考慮されない。または、ヨーロッパ、中近東などの地域単位である。そのスケールに応じた環境変化の予想とその影響の内容。

以上のうち、1990年10月末の第2回世界気候会議では数名の講演者が図らずも、上記の3の「社会の適応力」の評価が地球環境の影響アセスメントにおいて重要であることを指摘した。

これからの我が国の地球環境研究においても必要と考えられる。

地球環境研究全体としての今後の在り方は、次の通りである。

大学、各省庁の研究所、その他企業・地方自治体などの研究所などの研究者は各自の企画・予算に従って研究を進める。それを横につなぐ機能をもつ組織、例えば、環境研究のうち、特に地球環境の研究に関するものみの発表会（シ

ンポジウム)などを定期的に行う。必要ならば出版物を定期的に出す。もし、学会形式にした方がよければその検討も行う。しかし、その場合、もし日本全体をカバーするとすれば大学に所属している研究者数が圧倒的に多いので、環境研究所または環境研究センターが中心となるとうまく機能しないであろう。また、今の環境科学会の他にもう一つの学会を作る必要もないであろう。この点をよく考えねばなるまい。

研究体制に関しては、いまのままでよい。しかし、その連絡機構をうまく構築する必要があるだろう。日本学術会議の組織をなんらかの形で活用するのがよいのではなかろうか。学術会議自体は研究所ではないのでかえって、調整機能のみをもつ機関としてよいように思われる。

酸性雨

九州大学応用力学研究所教授

植田 洋匡

今後の酸性雨研究のあり方は、以下のことを前提として考えていく必要がある。

酸性雨は、土壌、河川、湖沼の酸性化と森林被害の急速な拡大をもたらしており、これが隣接諸国間の大気汚染授受によることから、欧州、北米では環境問題の緊急課題の一つとしてここ10年活発な研究が行なわれてきた。我が国でも環境庁第一次酸性雨調査、国環研の特別研究をはじめ、各自治体での酸性雨調査が数多く行なわれてきた。これらの調査研究により、その実態は概略把握できた。このことから、第1段階の研究は終了し、次の段階の研究計画が必要な時期にきているといえる。

また、上記のような環境影響のゆえに、国内、国際問題として行政的な施策が求められている。このため、地球温暖化や成層圏オゾン層破壊研究とは違ったスタンスで研究に取り組む必要がある。

第一段階の研究成果を踏まえた中・長期的な酸性雨研究のあり方としては以下のことが重点課題と考えられる。

1. 大気環境研究

(1) 大気質の長期トレンドと多国間大気汚染授受量の評価、国レベルの対応策

隣接国間に及ぶ影響が既に顕在化しており、隣接国の工業成長により今後急速な悪化が懸念される。このため、これらの地域での大気質の長期トレンドを明らかにするとともに、多国間大気汚染授受量の評価と国レベルの対応策を準備しておく事が緊急課題である。

(2) 酸化性および酸性物質による汚染

環境影響を考えた場合、酸性の雨、霧、雪とともに、酸化性のガス（オゾン、過酸化水素、PAN）および浮遊粒子状物質を同時に取り扱う必要がある。土壌、河川、湖沼への影響は酸性物質だけによるものと考えられるが、その酸性物質は、酸化性物質生成などの大気反応を経て生成されるものである。また、森林、農作物の被害は酸化性物質の影響も強いと考えられる。

したがって、大気環境研究としては、大気汚染物質の長時間、長距離（数日、数1000 km）の輸送、拡散過程とともに、

① 乾性沈着、湿性沈着量の推定

一次汚染物質が大気中（対流圏）で反応して酸化性物質生成を経て、酸性物質に至る一連の反応過程を対象にしなければならない。さらに、これの土壌、河川、湖沼、森林、海への負荷を与える湿性沈着量と乾性沈着量を正確に評価する必要がある。乾性沈着量は全沈着量の過半を占めていると推定されているにもかかわらず研究が遅れている。

② 酸性雪

酸性の雨、霧、雪のうち全国的にみて年間負荷量が大きな日本海側では、酸性の雪が主である。これの生成機構、特に氷晶、雪への汚染物質の取り込みと、反応機構には不明な点が多く、数値予測モデルに大きな障害になっている。これは、我が国に特徴的な重要研究課題として位置付けられる必要がある。

③ 東アジア地域の大気質の特徴

我が国の酸性雨、霧、雪は欧米とは著しく異なる。まず、これらの汚染の度合を示す硝酸塩、硫酸塩の濃度および負荷量は欧米並あるいはそれ以上であるが、我が国では硝酸塩と硫酸塩の比（モル基準）は1.5-2.0倍（モル基準）に達する。欧米では比が1以下である。つぎに、汚染の度合は大きいにもかかわらず、そのpH値は高い。これは、中和機能を果たすカルシウムなどのイオン濃度が高いことによる。これらは偏西風により、大陸（中国など）から年間を通して日本上空に供給されていると考えられる。また、我が国の場合、周囲を海に囲まれており、成層圏オゾンの対流圏への降下量は全球的にみても最も多く、火山からのSO₂等の排出量が多い。さらに、大気中での光化学反応で重要な役割を果たす植物起源の炭化水素の種類も欧米先進国（高緯度地域）とは異なる。

これら全国的な規模での大気質の特徴は、東アジア地域全体のモニタリングと大規模集中観測（IGAC観測）、数値シミュレーションを実施する中で解明されていくことが期待される。とくに、IGAC観測では多くの知見の得られることが期待できる。

④ 数値予測モデル

数値予測モデルは多国間大気汚染授受量の評価や東アジア地域の大気質の長期トレンドの予測に重要な役割を果たすことが期待される。同時に、従来型の汚染やローカルな酸性雨の予測にも重要な役割を果たす。

酸性雨にいたる様々な形態の大気汚染、即ち、一次汚染物質による大気汚

染、都市のNO₂汚染、メソスケールの光化学オキシダント汚染、二次生成粒子による浮遊粒子状物質汚染、リージョナルスケールの酸性雨、霧、雪は大気中での一連の反応の中のそれぞれの段階で発現してくるものであり、これらを一体のものとして取り扱う数値予測モデルの確立を目指していく必要がある。また、これが確立されれば、発展途上国へのODA環境援助等に大きく資することが期待できることから、これも大きなターゲットとして数値予測手法の確立を図っていくことが必要である。

2. 環境影響研究

環境影響については、従来の見解（酸性雨第一次調査結果）にとらわれず、次のことを前提として研究計画をたてる必要がある。

(1) モミ枯れ、スギ枯れ

森林被害として、スギの先端枯れが進行している。これに加えて、モミ林の全滅の可能性もある。スギの先端枯れについては、林内での被害木の位置と主風向、乾性沈着量、雨量との関係から酸化性物質の影響が大きいと考えられる。酸化性物質としては、オゾン、PANのほかにも過酸化水素が重要である。特に、過酸化水素は水への溶解度が他の酸化性気体に比べて数桁大きいこと、酸化能が大きいこと、光化学汚染気塊中では濃度が数ppbに達すること（我が国での実測結果はないが詳細な数値モデルによるシミュレーション結果）などから、植物に対して深刻な影響を与えている可能性が高い。このため、これまで行なわれてきたNO_x、SO₂とオゾン（あるいはPAN）との複合暴露実験に加えて、過酸化水素との複合暴露実験を行なう必要がある。ただし、濃度測定、制御など実験技術的な問題は残っている。

モミ枯れについては、神奈川県大山、福岡県宝満山での調査研究が本研究推進費で実施されているが、酸化性物質、酸性物質との関連で原因が明らかになるには年月を要すると考えられる。しかし、モミの衰退傾向は九州全島でみられており、全国規模での調査を緊急に行なっておく必要がある。

(2) 河川、湖沼、土壌の酸性化の機構と数値モデルの開発

河川、湖沼、土壌の酸性化が急速に進行している地域がある。特に、中部山岳地域の河川の源流地域の一部（花岡岩等の岩盤地域）では、この10年間で河川水や湖沼水のpH値が0.4-0.6も低下しており、更に、通常の金属溶出限界であるpH=7を割りつつある。また、このようなpH値の低下は生態系の変化をももたらしていると考えられる。ただし、汚濁の進んだ河川、湖沼では

pH値は7.5-8.5の範囲で一定値で推移している。また、アルカリ度の高い地域でも十分な緩衝能があるためpH値は一定している。

一部の地域でみられるpH値の急激な低下は、北欧などでみられたように、緩衝能（アルカリ度）が低下して、酸性雨など酸性物質の一定の負荷に対して、急速にその酸性度に近づく傾向にある可能性も考えられ、今後、pH値の低下がますます進行していくことが懸念される。このようなことから、pH値の経年的な低下率の全国規模での分布調査を早急に実施する必要がある。同時にこれらの地域をパイロットモニタリング地域に加えて、土壌、河川、湖沼の酸性化の機構解明と酸性化防止対策（石灰散布など）の研究を急ぐ必要がある。この際、酸性化機構についての総合的なモデリングを行って数値予測モデルによる将来予測を可能にする必要がある。

3. 対策技術

(1) 排出削減効果の予測

上記の数値予測モデル（大気汚染の輸送／拡散／反応／沈着数値予測モデル）を用いて、個々の一次大気汚染物質の排出削減が酸性雨に至る一連の大気汚染濃度を低減する度合、即ち、排出削減効果を見積る必要がある。この結果を用いて、隣接諸国等で今後排出規制や防除装置を導入する場合の最適排出削減策を求める手法を確立する。

(2) 大気汚染物質防除技術

隣接発展途上国への設置を前提として、種々の大気汚染物質防除技術のリストアップと経済性評価を行う必要がある。

(3) 酸性化防止対策

土壌、河川、湖沼の酸性化防止技術（石灰散布など）を確立する必要がある。

酸性雨

桜美林大学国際学部教授

大喜多 敏一

1. 酸性雨分野における今後の研究課題

酸性雨の影響につき、既に欧州では大きな問題となり、欧州各国間で長距離越境大気汚染条約が締結せられ、 SO_2 , NO_x の規制がはかられている。湖の酸性化は北米でも見られる。

また、1980年代に入ると、ドイツを中心として東はソ連より、西はフランスまで広域にわたり、トウヒ、モミ等の樹木の被害が急激に生じている。北米でもアパラチア山脈を中心に樹木の枯損が目だつようになった。わが国でも関東地方のスギ、モミの枯損を始めとし、九州、中国、近畿、中部地方でも被害が見られる。また、中国、台湾の各地でも松等に被害が出始めている。森林衰退の原因として、土壌の酸性化、Mg欠乏、オゾン、N過剰、重金属、全ストレス水分不足があげられる。恐らくそれぞれの地点での被害の原因は同じではないが、その多くが酸性雨、オゾン、 H_2O_2 等を含む酸性物の影響をうけているものと思われている。

わが国を含む東アジア地域においては、酸性雨につき最近まで欧米程関心がなかった。しかし、中国一国だけを見ても SO_2 , NO_x の発生量の増大が予想される（例えば中国は2000年頃までに現在の生産量を倍加しようとしている）。また、森林被害も先に述べたようにこの地域でも拡大しつつある。

東南アジアでも工業化が進展しようとしているが、熱帯林地域の土壌は特に酸性化に敏感といわれるので、この点も注目しなければならない。

また、酸性雨もフロンガス問題、温暖化と同様に蓄積的に作用するので、被害が顕在化した時には、アルカリが流亡して手の打ちようがないということにならぬよう、被害が出るかどうか将来予測をしておく必要がある。

2. 酸性雨に関連した各現象項目の研究課題

酸性雨の研究は、酸性雨の発生機構及び影響の研究に大別される。発生機構はまた、発生源、輸送・拡散、変換、乾性沈着、湿性沈着に分けられる。

発生源については、人工源からの SO_2 , NO_x , 炭化水素等発生量データを整理すると共に、海面からのDMSの発生量の測定が必要であろう。またわが国では火山からの SO_2 の発生量が人工源からの発生量に匹敵するといわれているが、火山ガス発生量の測定は年間に1回程度なので、測定回数をます必要がある。

輸送・拡散については、気象庁の数値予報モデルを参照した長距離輸送モデ

輸送・拡散については、気象庁の数値予報モデルを参照した長距離輸送モデルの構築が考えられる。

変換については、広い温度域にわたる反応定数や気液平衡定数の決定、特にOH、HO₂等の酸化剤を含んだ反応の研究が要望される。

乾性沈着速度については、多くの調査結果があるが、わが国の特殊な森林、土壌についてデータがほとんどないので、酸性霧の森林への沈着量の測定とともに、以上の媒体への沈着速度を求める必要があるだろう。

混性沈着量は各地のwet only型の降水サンプラーにより、測定できるが、海上での値は得られない。また、将来の予測のためにも降水機構の研究と、その結果を用いた降水沈着モデルの開発が必要であるが、わが国では航空機や人材の不足のためこの方面の研究が遅れている。

森林への影響は第1節にも述べたように各種の原因が考えられるので、その各々の原因、またそれらの原因の相加、相乗作用を研究する必要があるだろう

水域生態系についてはわが国では従来明白な影響が見られなかったが、栗田らが長野県の河川水のPHが次第に低下していることを最近発表している。今後河川、湖沼の野外調査を推進する必要があるだろう。

都市域での酸性雨の影響も殆ど手つかずと思われるが、最近「コンクリートツララ」が話題に上がったりしているので、各種の影響の追究が必要である。

3. 総合的な対応

他の地球規模環境問題と同じく、酸性雨の研究についても各研究分野の総合的な研究が必要となる。むしろ今後は総合研究の推進がより必要となろう。そのテーマとして以上のものを取り上げたい。

(1) 流域研究 (catchment area study)

酸性雨の対策を立てるためには何らかの基準を必要とする。SO₂などに環境基準が定められているが、これは人体影響だけを考慮したものである(米国にはwelfareを考慮した環境基準があるが)。しかし、酸性雨の場合、例えば土壌への酸性物質の可能な沈着限界を知るには、従来の基準の設定方法と異なった方法をとらねばならず、それは限界負荷の決定に他ならない。

限界負荷 (Critical load) とは、最も敏感な生態系に長期的な有害効果をもたらす化学変化を生じない最大負荷をいう。森林・土壌・地下水・表層水等につき限界負荷を求める必要があるが、これには一流域について大気、土壌、水、生物等の異なった分野の研究者の共同研究を必要とする。既に欧米では本研究は次期の研究として注目されている。

(2) アジア域を中心とした対流圏化学の研究

従来の都市域での環境基準は、個々の汚染物について決定されてきた。しかし、従来の NO_x 、炭化水素と O_3 の関係でも明かなように、例えば SO_2 の規制を行えば O_3 が増え、森林被害を及ぼすではないか、また CO が増加すると OH が CO との反応のために減少し、それが CH_4 濃度の増加するのではないかなどが話題になっている。酸性雨の前駆寄与物質をも含め、対流圏内では広域にわたる物質交換が考えられるので、酸性雨や植物に被害を与える各種オキシダントの生成の研究のために国際的な共同研究が重要となる。現在 I G A C (International Global Atmospheric Chemistry) 等の研究が開始されているが、東アジア地域は本目的に適切な地域であるので、今後これらの研究が強力に推進されることを希望する。これらの研究結果は、限界負荷量と共に、将来これらの地域あるいは全地球的な、例えば CH_4 、 CO 、アルデヒド、 SO_2 、 NO_x 、VOC等の限界発生量の決定に重要な基礎資料を提供することとなる。

(3) A M E P (Asian Monitoring and Evaluation Program) の設立

欧州では E M E P が長期期間運営され、汚染物発生量、大気中のガス、エアロゾル成分濃度、大気降下物量の測定及びそのデータの蓄積、測定データの質の向上、汚染物の長距離輸送モデルの開発と測定データによる検証、更に森林被害等の生態系に対する影響データの集積がなされている。E M E P の目的は欧州内各国から排出される汚染物の他国への影響を詳細に知るにある。東アジア地域でも今後拡大する恐れのある大気汚染を考えると、各国のモニタリングの方法や、データの相互比較蓄積等を行うための国際的組織、または国際的コンサルタントの働きが要望される。

(4) 地域温暖化やオゾン層の減少等と酸性雨や対流圏オゾンとの関連の研究

温暖化にともない、 SO_2 、 NO_x 、を含めた各種ガスの均一・不均一反応速度や降水粒子への溶解度の変化、 HO_x ラジカル生成量の変化、海面・土壌等からの微量ガスの発生量の変化等がもたらされ、その結果光化学的なオゾン、硫酸、硝酸等の大気質の変化や酸性雨の変化がもたらされる。温暖化にともなうエネルギー利用の変化により、 SO_2 、 NO_x 排出量が増加し、これも上記の変化に影響する。

また、温暖化にともない、雲量、大気安定度、大気循環、降水分布が変化し、局地的、地域的規模での汚染物沈着分布パターンの変化がもたらされる。

熱帯域の土壌は一般に、酸性雨に敏感であると思われるので、熱帯域での都市・工業活動の生態系に及ぼす影響は、温帯域よりもより注目せねばならない。逆に酸性雨による森林破壊は森林による CO_2 吸収力を弱める恐れが

ある。

成層圏オゾン層のフロンガス等による破壊にともない、UV-B放射が増加する。UV-B放射が増加すると、遠隔地では地表のオゾンの減少がもたらされるが、都市域でのオゾンの生成が加速される。また、UV-Bが増加すると H_2O_2 が大量に増え、その結果酸性降水の増加をもたらす。

しかし以上のデータはまだ粗い推定の段階に止まっているので、今後以上の如き酸性雨や対流圏オゾンと他分野の地球規模環境問題の関係を定量化する必要がある。

3. 地球環境研究の今後のあり方

(1) 国際的な交流を盛んにすべきであり、その為の海外旅費の増額を希望する。

(2) 長年の希望であった省庁間の壁を打ち破り、総合研究を中心として研究を活性化してほしい。そのためには各分野につき実力のあるリーダーを一人きめ、その人が各省庁、大学にわたり人材を選び（外国人も含め）、活力にあふれる研究ができるようにする。

酸性雨

名古屋大学水圏科学研究所教授

坂本 充

1. 今後とりくむべき調査研究内容について

地球的規模の環境変化の一つとして、酸性雨の発生機構やその生態系影響について、社会的関心が高まりつつあるのにもかかわらず、私達のこの現象への対応には統一性を欠く面が多くみられる。これには、広域的環境問題としての酸性化の過程とその生態系への影響が単純でなく、現在まで限られた知見しか得られていない事が大きく与っている。過去における足尾銅山周辺土壌の酸性化や田沢湖湖水の酸性化等に例をみるように、従来知られていた環境の酸性化は、地域的に小規模であり、かつ機構が比較的単純であったため、原因の特定化や環境影響評価など、科学的対処にはそれほど難しさは無かった。

これに対して地球環境問題としての広域的酸性化現象は、I. 発生源が広域に分布している、II. 酸性化の原因物質が大気を通じて長距離移送され、広域に影響を及ぼす、III. 酸性降水や酸性霧の生態系影響には、生態系を構成する化学的環境と個々の生物への酸の直接影響、土壌や水質など環境の変化を通じての間接的影響、食物連鎖など生物の相互関係を通じての間接影響など多様なものを含んでいる。Iについては、発生源の分布や、発生源からの発生強度は、当然地域により異なるものであり、IIの長距離輸送を含めて、対象地域についてモニタリング調査が不可欠である。とくに、東アジア地域の現状把握は、アジアの先進国としてわが国の地球環境保全における急務であろう。

IIIの生態系影響については、次の事実を無視してはならない。すなわち、自然の生態系は、多種多様な生物と環境が一体となり織りなす相互作用系であるので、例え一つの生物に与えられた影響も、生態系全体に波及効果を及ぼすことになる。元来、自然の生態系の構造、構成と生物相互関係は系により異なるので、酸性化の生態系影響もそれぞれの生態系で異なると考えられる。ある生態系で現在影響がマイナーでも、数年後には大きな変化として現われる可能性もある。したがって、現在酸性降水を受けつつある各種の生態系について、環境と生物についての、長期的なモニタリング調査が現在不可欠であろう。調査項目については、対象が森林系、農地系、河川系、湖沼系、沿岸海域系のどれであるかにより、大きく異なり、それぞれ適切な選定が必要である。

ここでは湖沼生態系における今後重要と考えられる調査研究項目をのべる。

(1) 酸性降水の湖への影響は、集水域への酸性降水の供給で始まる。集水域において酸性水が土壌、植物、微生物と反応を経たあとの水が湖水へ流入する。

これら反応は、土壌や植物の性質、植物-微生物-土壌系のありかたにより、大きく異なる。化学反応は現在でもある程度予測可能であるが、土壌-植物-微生物系の酸への応答について知見は現在極めて乏しい。酸性雨の環境影響評価に不可欠なモデル確立のためにも、この課題についての研究は急務である。

(2) 酸性化した水は河を流下中にも、生物作用と化学反応により変化をうけるとともに、河川の生物、とくに河床生物に大きな影響をあたえる。日本の河川は米国や中国の河川に比して短いので、日本の河川における生態系と生物作用への酸性化の影響調査は国際的にも大きな貢献をするものと思われる。

(3) 酸性降水の湖沼生態系への影響は、(1)と(2)により化学的变化を受けた水の湖内への流入、湖面への酸性降水の直接供給、および湖内における化学反応と生物学的反応の総合としての湖内水質により支配されると考えられる。この場合、水収支と湖水循環の季節変化が降水pHの季節変動と結びついて水質を大きく支配する因子となる。酸性降水に対する湖内水質の将来予測は、これらの要素を加味して行なうべきである。他方、湖内の生物学的過程による酸性水の水質変化についての研究は、著しく少ない。今後の重要課題である。

(4) 酸性化した湖水の生物への直接影響には、 H^+ の増加によるもの、酸性化の結果供給されたメタルイオン増加によるもの、酸性化による無機炭酸減少等の水質変化によるもの、それらの複合効果によるもの、が含まれる。生物の種類と年令、さらには生息場所によりこれら影響は大きく異なると考えられるが、知見は現在きわめて乏しい。問題となる生態系を構成する多くの重要生物種とその群集について、幅の広い綿密な調査研究が必要とされる。

(5) 酸性化した湖水の生態系への影響は、既に述べたように食物連鎖を通じ、また住み場所の競争を通じて、生態系を構成するすべての生物に波及効果を及ぼす。しかし、残念ながら、このような生物相互関係や波及効果についての知見は現在極めて乏しい。酸性雨の生態系影響を明らかにするための調査にあたっては、生物相互関係を含めて、集中的かつ総合的な調査研究の遂行が極めて重要であることをとくに強調しておきたい。

2. 今後の地球環境研究のあり方、および研究体制について

現在、各省庁において、地球環境についての極めて多数のプロジェクト研究が企画され、また実行されつつある。地球環境問題が広域的、かつ多くの要因を含むにもかかわらず、未解明の部分が極めて多いことから、多数の研究が重点的に進められることは、たいへん望ましいことである。しかし、これら研究がより効果的に駆動し大きく前進するためには、研究成果やそれに関連する情報が自由に見られるような公開システムの確立が現在何よりも必要である。

酸性雨

慶応大学理工学部教授

橋本 芳一

平成2年12月に開催された地球環境研究者集会は人々の予想以上の関心を集め、成功であった。この集会及び地球環境研究検討会において気づいたこと、要望などを以下に述べる。

1. 「国立」中心の集会

国立の大学は、研究所以外の研究者が非常に少ないのに驚いた。特に私学を見ると、実は数年以内に国立から移動された方々が多いように思われた。私学系統にはこの分野の研究者がいないのかも知れないし、また、研究者の調査を行う時間がなかったものとも思われるので、最初の会合としては致し方ないのかも知れない。しかし、少なくとも民間あるいは地方自治体関係者の中にも適当な研究者がいるのではないかと考える。

このような集会が今後も開催され、また、地球環境研究が進展するのであれば、研究者の発掘にも意を用いて良いと思われる。

2. パネルの主張から

都合上、酸性雨の関連についてのみ、都合の良い事だけを抜きだして言えば、次のようなキーワードをパネラーの発言からくみ取る事が出来る。

- ・最近、データのコンピューター処理が多くなり、実測がむしろ少なくなっているようだ。
- ・国際的な連携が必要である。
- ・国際的といってもまず、近隣諸国、つまりアジアを対象に考えるべきだ。

このような考えからすると、日本としては、将来必ず増大する中国の石炭消費を対象に考慮し、発生源の測定あるいは汚染防除について考えることが必要になってくる。しかし、この事については全く触れられていなかった。国際問題であり、中国の内政にもかかわるような事を軽々しく発言したり、ましてやもちかけたり出来る訳がないということになる。その通りである。しかし、事の重要性によっては、こうした事を真剣に考え、相談を持ちかけるくらいの事があっても良いと思われる。

第一、このような事を中国が嫌うと思うこと自体が早計である。早計でないにしても、面倒なことは避けて通った方が良いという考えが強いに違いない。かつての中国の計画によると、2000年には中国は年々2億4千万トンの石

炭を消費するといわれていた。この事を考えるならば、そして本当に酸性雨の問題が重要であるならば、中国大陸についてもっと考えても良い筈である。

大方の考えは、日本がそのような事を考える事を中国が嫌っていると思うのである。しかし、中国大陸から黄海や東シナ海を越えて運ばれてくる大気汚染物質が日本で山林に被害を与えるならば、その発生源である中国では、そこに住む人たちはどうなるのだろうか。中国政府が大気汚染物質の流出などについて国外に情報が漏れることを気にしていることは、中国から来る研究者の講演を聞いていてもわかる。しかし、問題は、どうして中国政府が気にするのかということである。それは日本人があるいは日本政府が本当には信用されていないからである。中国の健全な発展を望み、共に協力して環境問題に対処して行こうという態度が有るのかどうか、それを中国政府は鋭い目で伺っている筈である。つまり、金を与えても、援助するとは言っても、日本政府は本当には信用されていないと思うより仕方がない。酸性雨だけ防げばよいという考えでは、そのことだけでもうまくはいかないだろう。私は中国の回し者ではない。日本を、日本の環境を本当に守るには、われわれの姿勢から正さなければならぬと言いたいのである。本当の環境防衛にはもう少し広い考えが要求されるように思われる。

3. 既存のモニタリングネットワークを継続する度量を

政府が動く事が難しいならば民間の努力で、という事で、われわれは1985年から準備を重ねて、朝鮮半島から中国大陸を含む東アジアの地域に大気質の測定網を建設する計画を立てた。朝鮮半島2カ所、中国大陸5カ所の計7測定点を含むもので、これは無謀な計画であると考えられた。しかし、民間の善意が積み重ねられて、この測定網は今や完成間近になっている。決して闇取引ではなく、朝鮮半島は個人的な関係で、中国は大学と研究所の関係と同時に中央政府、あるいは地方政府からも公式な関係を認知されている。

正式な協定が成立したが、全地点からの測定データが出そろうまでにはなお数カ月かかるものと思われる。そして、このネットワークが定常的にデータを送り出すようになって、これを維持する事は民間の努力では困難が伴う。2、3年後には中止しなければならない状況になる事が予想される。このようなネットワークが維持できるような事を考えて欲しいものである。その場合、このネットワークがどのグループによって出来たかなどという事を忘れて頂いて結構である。得られたデータが将来有効に使われる事だけがネットワーク建設者の望みである。もっとも、この計画の当初に相談した元政府機関のお偉い方は「民間がやったことを政府が引き継ぐなどという馬鹿なことは考えられない。」といわれたので、余り大きな期待はもってはいない。

1. 「波うち際」と海

つい最近まで、日本で「海洋環境」という時の海は、多くの場合、何とか湾であったり、何とか水道であって、日本の東側では黒潮にも行きつかない、やや極端に言えば、広い太平洋の波打ちぎわでしかなかった。すでに10年前に、欧米の海洋研究者からは、「世界の海を走っている船の多くは日本に向かっているか、日本から出てきた船である。日本はそれほど外洋を利用しているにもかかわらず、外洋を研究しないことに反省がない」という批判があった。当時、文部省では「海洋環境保全」の特定研究が行われていたが、ある会議で「沖（といっても湾内であるが）に偏っている。もっと海岸に近づくべきだ」という発言があったが、反論はほとんど出なかった。

最近になってようやく日本の「海洋」も少しだけ変わってきて、黒潮の研究なども数は増えてきた。（しかし、黒潮は境界流であって、まだ外洋ではない。その向こう側に広がっているのが外洋である。）

「波打ち際」研究者は、事あるごとに海の違いを強調していた。東京湾は「閉鎖型」、相模湾は「解放型」、志布志湾は「チリトリ型」で、それぞれに固有の力学があるそうで、そのためにそれぞれの湾ごとに権威のある研究者たちの顔ぶれが決っていて、専門化・細分化が進み、素人は口を差しはさむことができなかつたようである。この人達によると、外洋との違いはもっと大きい。しかし、本当は、その違いは固有の力学にあるというよりは、空間規模・時間規模だけというほうがずっとわかりやすい。

私たち海洋研究者は長い間、海をほぼ忘れていた。柳田国男は、「四面海を以て囲まれて、陸と引離された生存を続けて居た島国としては、この海上生活に対する無知は寧ろ異常である」（海上の道）という。「日本人の祖先は、荒波にもまれて命からがらここにたどりつけたポートピープルであって、そのため海はもうこりこり、というのが日本人の国民性」という文化人類学者もいる。それで、たとえば、次のようなことになる。「北太平洋の気候とオホーツク海の氷の関係」という課題では、氷の面での熱流量の精密測定にはげむ。氷の底面での摩擦の精密測定にはげむ。現場では精密といっても制約があるから、といって室内実験を行う。海の氷や流水の消長がもっと規模の大きい海・大気の影響とどのようにかかわっているか、という種類の問題には興味を示さない。

2. 広い空間での平均値

外洋でも研究目的はさまざまであるが、地球環境や地球気候がらみの海ということであれば、100m とか1000m 離れた2点で水温がどれだけ違うか、流速がどれだけ違うか、といったことは重要ではない。広い空間、たとえば100 km 四方での平均水温（流速）と、隣の100 km 四方での平均水温（流速）の違いが大切である。100 km ではなくて数100 km ならもっと良いかも知れない。外洋の計測では、ある程度の精度は必要であるにしても、空間分解能を高める必要はない。

人工衛星からの海洋観測でも高い空間分解能を要求する人が多い。しかし、地表を這いまわれば分かることに人工衛星を使う必要はないわけで、衛星の値打ちは、広い空間の平均値を測ることにある。科学技術の進歩にともない、小型化が趨勢となった。私たちは小型化を、ものごとを深く考えないで、安易に歓迎していたようである。

20年近く前のこと、私は「北太平洋の海水循環を測るには理想としては、半径が1000 km 程度の巨大ロータを1個、北太平洋の真中にすえつけることだ」と言って笑われた。「計測が全然分かっていない」ということであった。そのころ、アメリカで「気候研究のための海洋研究」についての研究集会が開かれ、「気候がらみの海洋では、広い空間での平均値が大切な意味をもつ。これまでの計測器では役に立たないから、新しい計測法を工夫しなければならない」、「その種の測定に使える手段としては音しかない」、という話がでた。それから10年を費やして一応使えるようになったのが音響断層法である。この方法での最初の試験は300 km の空間での平均密度や平均流速を求めることであった。数年前、日本のある所で、私は、日本とアメリカの西海岸の間で音を走らせて北太平洋全体の変化を観察することの可能性について話をしたが、きき手の関心をひかなかった。昨年、南インド洋に音源をおき、インド洋・太平洋・大西洋に音を送り、世界中の海（の数千キロメートル規模での平均の状態）の変化を監視するための国際協力が始まった。

長い間広い海から遠ざかっていた私たちが、これから広い海を測ろうとするからにはそれなりに意識・発想の大転換が望まれる。

外国でときどき、「なぜ日本は、日本を出入りする一般商船を使って広い空間・長い時間にわたる観測をしないのか」という話が出る。日本でも全然していないわけではないが、むしろ外国の研究者がそれをよく利用している。海底電線は大洋底をさまざまな方向に走っている。商船も海底電線も「波打ち際」には役に立たないが、海の理解を深めるために、その活用が期待される。

地球環境問題を認識し、さらに解決するために、このところ様々なアプローチがとられているが、どちらかといえば、環境問題の認識に対する努力が大きく、解決のための努力は比較的少ないように思う。確かに、現状がはっきり認識されないと対処しにくい問題もあるが、中には程度はまだはっきりしなくても、明らかに将来的に大きな問題となりそうなものも数多くあり、それらに対しては早急に解決努力が計られるべきである。以上の問題に関してはいろいろなレベルでの研究の可能性が考えられるが、ここでは大きな視点で取り組むべき研究内容を5つ取り上げる。

第一はエネルギーの獲得方法に関する問題である。日本では現在は石油に依存している部分が多いが、資源枯渇の問題などから、電力に関しては将来的には原子力への依存を大きくする方向に向かっている。原子力はそれ自体は二酸化炭素を放出しないために、化石燃料に比べて二酸化炭素に関するクリーン性が評価されている。確かに、原子力発電それ自体は二酸化炭素を放出することはないが、原子力発電用の燃料となるウランウムの採掘・精錬・濃縮・輸送・保管、それから原子力発電施設の建設、廃棄物の運搬・処理・保管・再生処理などに直接・間接に化石燃料が関与し、一部ではそれらに使われる石油量が原子力発電でつくり出される電力エネルギー以上になるという試算もある。そうでなくても、原子力は、“放射性廃棄物”と“事故”という大きな問題を抱え、さらには年間の稼働率の悪さもあって、できるだけ依存したくないという傾向が出てきている。数十年前にわが国で原子力に依存する施策が決定された当時は不明で、その後には明らかになった問題があり、人々の価値観も変化しており、それらを踏まえての検討が急務である。日本の地球環境問題に関する政府の年間総予算約5000億円の大部分が原子力に関係したものとされており、しかもそのほとんどが原子力発電そのもの、及び廃棄物に関係した研究や技術開発に支出されていると思われる。とくに先ほど述べたような、原子力発電に対して一部で指摘されている問題の真偽を含めて、より客観的に現状を明らかにし、原子力への依存の妥当性を再評価し、必要があれば施策の変更・修正をしなければならない。そのための専門家による研究が必要である。

第二は、第一と同様の視点で、人工物質の問題がある。今や、人工合成物質の種類は300万種類にのぼるといわれる。人工合成物質は人類にとっては役に立つが、自然界に出た場合、殆ど全てが生態系に対して大なり、小なりの影

響を与える。人工物は得られる利益に比べて野外に出て引き起こした問題の解決にかかる費用の方が、比較にならないくらい大きいことを私たちは肝に命じなければならない。生産した人工物質は、使用後は捨てることなく回収し、再生利用したり、人工的に分解・処理しなければならない。以上のような問題を考えると、人工合成物質はすべて”毒物”と考えて、徹底した管理下に置くことを原則にするのが最も経済的である。遺伝子組み替え体の利用も実用化時代に入ってきたが、これも人工物であることは疑いないことで、上記のような慎重な取扱いが必要である。環境問題を解決する目的で、人工物質を開発・生産する計画があるが、そうした安易な取り組みは大きな環境問題になる。従って人工物質に関する生産・使用の指針を早急に作る必要があり、これにも専門家による研究が要求される。

第三は、自然物に対して循環再利用の概念を徹底するための研究である。我が国では以前はこうした考え方が人々の中にしっかりとあったが、太平洋戦争以後に急速に消失した。農耕地は生産物を取り除いた後には、肥料（大部分が化学肥料）としてしか物質は補給されない。取り除いた生産物に比べて肥料として補給されるものはアンバランスになっている可能性が高い。大部分の農産物は人口の集中している都市で消費され、消費地とその周辺にゴミとして農耕地より取り除かれた物質が捨てられる。都市で利用したものは利用後に生産地には戻すのが理想である。そうした循環再利用を考慮した生産地と消費地の関係づくりの研究が望まれる。

第四は過度の大都市集中の問題である。ある程度の都市集中はいろんな点でプラス面があるが、大きくなりすぎるとマイナス面がでる。大都市では、人々は通勤・通学に人生の大部分を使うことを強いられるし、大地震が起こったときには未曾有の二次、三次被害を起こすことは想像にかたくない。環境問題を考慮した場合の都市の最適規模の研究が必要で、それが明らかになればそれに近づくための施策が立てられる。

第五は、環境問題を十分に考慮した場合の、エネルギーとそのほかの物質資源の確保の研究である。省エネ、省資源、再利用は当然の方向であるが、新たな資源の投入もある程度は必要である。石油、石炭、その他の各種鉱物が目下利用されている資源の大部分であるが、いずれも有限である。しかも、化石燃料は二酸化炭素の問題がある。それらに代わるエネルギーと地下資源の確保と、その探索・研究が急務である。最も有力なものが300メートル以深の海洋の深層水である。これは冷媒（エネルギー資源）、含有する栄養物質、レアメタル・ベースメタル、清浄性、淡水（塩を除いたもの）、塩など人類が必要とする資源を莫大な量で含んでいる。この海洋深層水の持つ資源の総合利用・研究に是非積極的に取り組む必要があろう。もちろん、深層水の資源性の可能性が

明らかになってきたら、その利用の上で引き起こされる問題点の検討も十分にしなければならない。

地球環境研究全体としては、個別の問題研究努力だけでなく、地球環境全体として位置づけてそれらを評価する視点が必要である。自分の身の回りだけをきれいにしようとして、ゴミを外に吐き出す方法だけを工夫していたのでは本質的な解決ではない。例えば原子力発電産業全体として考えた時に、もし指摘されているような大量の二酸化炭素排出につながっていることが事実とすれば、原子力発電の技術開発・研究に多額の費用を投入することは無駄である。それぞれの個別問題研究の根元的な重要性の評価を、地球環境研究全体のために是非とも強力に推進することが必要である。

研究体制のあり方の一つとしては、まず地球環境研究全体を、研究内容として掌握する部分をもうけ、その下に現状認識研究、問題解決研究の2つのチームを配する。こうすることにより、それぞれの個別問題研究が地球環境研究全体にとってどの程度の貢献をしているかを常にある程度認識しながら研究を推進することができる。

ヒューマン・リスクからエコシステム・リスクへ

PCBを例にとろう。1970年代に日本や欧米諸国の多くはPCBの生産と使用の規制を行い、現在では日本人の脂肪中PCBは1ppm前後にまで低下している。このレベルは一応毒性影響はないと考えてよい。しかし、太平洋の哺乳動物シャチの脂肪中には500ppmのPCBが検出されており、何らかの毒性影響が懸念されている。つまり、ヒューマン・リスクという基準から判断すればPCB対策は、相応の成果を挙げているといってもよい。しかし、自然生態系の保全の視点からはとうてい合格とはいえない。こうした野生生物の危機を看過しているのは人間の傲慢でもあろう。今後の広域的長期的地球環境保全を考える重要なキーワードの一つはエコシステム・リスクの概念であろう。エコシステム・リスクはヒューマン・リスクをも含むより広い概念でもある。

化学物質の場合、ヒューマン・リスクはADIによってその合理的基準が保証されている。エコシステム・リスクという概念を具体化し、実践的なものとするのが今後の研究課題となる。

1. 海洋の調査区分

海洋は広大で多様である。海洋での化学物質の挙動、生態系への影響、対策、あるいは調査、研究の方法も海域によって異なる。しかし、地球規模といっても、日本がおかれている地勢的条件から西太平洋とインド洋が中心となるであろう。

日本を中心に北極海から南極海に至る南北の軸で、海洋生態系を大別すると熱帯・温帯・寒帯の三分される。これまで世界的にみても調査・研究は温帯域に集中している。海洋汚染の実態と生態影響は温帯と熱帯、寒帯は当然異なるはずである。さらに近年低緯度発展途上国における経済の拡大は環境の破壊を激化している。またこうした諸国では、技術的にも、資金的にも独自の調査研究は困難である。また、北極海など寒帯における環境汚染が近年急速に進行し、また当地域に発生源が考えられない汚染もあることから、南方からの長距離輸送が問題となっている。

南北軸からみた熱帯、温帯、寒帯海洋生態系のキャラクターゼーション、特に熱帯と寒帯についての調査研究の充実が望まれる。

船舶を除けば海洋の汚染は陸地が発生源である。陸から海洋という線上での

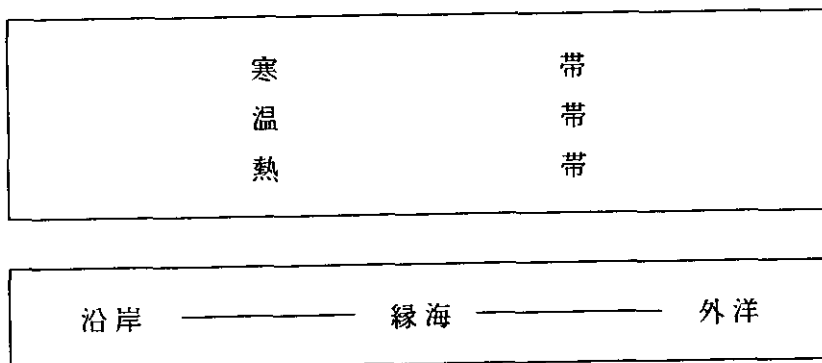
海域区分は、沿岸、外洋及び中間域としての縁海である。沿岸はそのヒンターランドを含めてきわめて多様である。南北軸での熱帯、温帯、寒帯といった海域区分は代表的モデル海域の選択は比較的容易であり、その成果も一般化しやすい。しかし、沿岸は多様性こそが特徴であり、特定少数の調査域を選定するためには、その目的や位置づけの明確さがもとめられよう。

ここでも熱帯沿岸域の汚染は深刻である。発展途上国では食糧としての蛋白源として水産物への依存度が先進諸国よりも高い。ところが、都市化、産業化の進展とともに魚介類の生産量の低減、汚染あるいは価格の上昇が深刻な問題となっている。

沿岸への汚染物質の流入は河川など水経由が主であるに対し、外洋では大気によって大半の汚染物質が運ばれる。つまり、流入物質の量と質、またその挙動は、沿岸と外洋では異なり、当然こうした環境に対応して異なる生態系をもつ。あえていえば、熱帯から寒帯の南北の軸に対し、これらは東西の軸での海域区分ともいえる。

もう一つ忘れてはならないのは深海である。様々な制約から、これまで海洋汚染の調査研究は表層に集中している。しかし、海洋汚染を正確に理解し、適切な対策をとるには深海の情報は欠かせない。測定採集機器の開発も含めて飛躍的な前進を期待したい。

表1 調査すべき海洋の海域区分



2. 化学物質

化学物質は商業的に生産市販されているものは約10万種といわれており、生産・使用・廃棄の過程で副次的に生成されるものを含めば膨大な数となる。しかし、これまで深刻な環境汚染、生物環境のゆえに大きな社会問題となり、従って最も調査研究の成果が集積しているのは有機塩素化合物と重金属類である。これらの物質群の多くは生物分解性に乏しく、長期間自然環境に残留し、また広域に拡散される。将来予測に必要な時系列情報も比較的によく集積され

ている物質であり、今後の地球環境の調査・研究にも中心となる物質群であろう。

最近の湾岸戦争で油汚染が改めて関心を呼んでいるが、これは古くて新しい課題である。長期的な生態系への影響についても残された課題は少なくない。海洋におけるプラスチックデブリの詳細な分布とその生態系への影響は、不均一系の調査方法とその評価という方法論上の新しい課題を提示しているという点でも興味深い。

沿岸では富栄養化問題は発展途上国を中心に重要な調査研究課題である。

3. 生物

エコシステムを構成する主要な生物種が調査研究の対象ではあるが、生物の構造と機能が複雑であり、長寿命であること、そしてそれ故に海洋汚染の影響について未解決の課題が多いといった理由から、長寿命野生生物、哺乳動物、鳥類及びウミガメ類は重要である。これらは食物連鎖系の高位に位置し、ヒトを含む生態系、長期的、最終的な環境汚染の到達点を予知するに適切な生物種である。野生生物では、クジラなど一部を除いて年齢判定ができない種が多い。哺乳動物や鳥類など性成熟後に体サイズの変動は小さいまま長期間生存する。長期的な環境汚染の影響を推定しようとするとき、年齢が不明なことは大きな制約となる。こうした動物の年齢推定は、硬組織を中心に多くの試みがあるがほとんど成功していない。軟組織も含む新しいアイデアによる野生生物年齢決定法の開発は環境保全ばかりでなく生物学的な意義も大きい。

野生生物の汚染やその毒性影響は、生物個体を捕殺して、解剖、検査などから判断されてきた。しかし、今後このような調査、研究法は様々な制約から難しくなることが予想される。そこで、非捕殺的な動物モニタリング法の開発が求められている。体毛、羽、採血、バイオプシーなどで採取できる試料から体内の汚染や異常などの生物情報を推定する方法である。

渡り鳥は文字通り、地球規模で移動し、その研究は国際的な協力が欠かせない。もっとも典型的な地球環境研究の対象といってもよいであろう。

魚類やイカなど海洋のバイオマスとして、また水産資源としても重要であるが、その汚染の実態についての情報は十分とはいえない。特にイカについての情報が欠落している。

海洋汚染からみた比較生物学を構想してみるとよい。これは、きわめて大胆、単純化すれば、沿岸と外洋、場合によっては中間域としての縁海を選び、魚介類から哺乳動物まで、調査研究の対象となる代表種を推定し、この種を通して汚染や影響を知り、保護・管理をめざすということになる。つまり、下表の中を生物種で埋めることである。同じような区分が熱帯、温帯、あるいは寒帯で

もできるであろう。当然この選択はそれぞれの生態系での個別的で詳細な研究の集約として可能となる。

表 2

	沿岸	縁海	外洋
魚介類			
ウミガメ	アカウミガメ	オウミガメ	オサガメ
海鳥類			
哺乳動物	スナメリ		シロチ

*種名は理解の為に例示したものであって結論ではない。

4. 研究体制

地球規模の調査・研究は多数の研究者による組織的計画的な研究が中心となる。しかし、こうした研究組織から新しいアイデアやブレークスルーは生まれにくいところもある。これは無論、組織の運営によってある程度はカバーできるが、一方で個人的あるいは小人数での冒険的研究を育てることも大切であろう。

また、湾岸油汚染に見られるような突発的環境汚染について緊急調査ができるように予算を用意してほしい。

海洋調査は主として船舶によって行なわれてきた。今後サテライトによる方法も発展が期待されるが、依然として主力は船舶である。調査船には数にも制約があり、その調査は線的で、しかも海域や季節なども区々であって定点での継続的な周年調査はきわめて限られている。幸いわが国はカツオ、マグロ漁船を中心に多数の漁船が世界の海で稼働している。これを有効に活用すれば地球規模での海洋の面としての時系列データが収集できる可能性がある。調査項目の選定や調査機器の開発など検討課題は多いが、わが国が世界に貢献できるユニークな方法といえよう。漁船ばかりでなく膨大な外洋船の活用も考えてよい。

5. おわりに

全くの粗稿で思い付くままこの事項を羅列したに過ぎない。やるべきことは果てしなくあり、やれることは限られている。その成果は長期的にも世界に問うことができるものでありたい。どうも歩きながら考えるよりほかはなさそうである。

1. はじめに

海洋環境への汚染物質としては、栄養塩、重金属元素、人工有機塩素化合物、人口放射性核種などに加えて、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素、硫化ジメチルなどがあげられる。

1960-1970年代を通して、海洋汚染は主として人間活動に隣接する内湾、沿岸、河口域において著しく進行したが、しかし外洋域への汚染物質の拡散は、北半球からはじまって、南半球から南極域へ、また海洋表面から深層水・深海底へと広がりつつある。したがって、その実態の把握が急務とされている。

2. 陸から海洋への汚染物質の輸送

汚染物質が、人間活動の活発な区域から外洋へ移行する場合、二つの経路のある事に注意しなければならない。その一つは河川経由であり、他の一つは大気経由である。人間活動は、多くの場合水可溶性廃棄物を河川に流す。河川水の最終的受け皿は海洋であるため、これらの廃棄物は全て最終的に海洋に移行する。しかし、河口域には淡水と海洋水との混合する水域が存在し、粒子形成が活発に行われている。このため、汚染物質はこの粒子に吸着する。粒子の沈降にともなって表層海水から除去され、海底堆積物に移行する。この事は、混合域におけるリグニン物質の除去過程に代表される現象である。

陸地から海洋への物質輸送のもう一つの筋道は大気を経由する場合である。その最も典型的な例はチェルノブイリ原子力発電所の加熱爆発による人工放射性元素の拡散の例である。1986年4月26日午前1時、原子炉の爆発によって大気中へ放出された人工放射性核種は、発生源-スウェーデン上空-北海、発生源-北部アルプス山系-パリーイギリス北部-北海および発生源-黒海-トルコの三つの経路を経て拡散し、人々に直接、間接的に大きく被害をもたらした。丁度その頃、偶然にハンブルグ大学のグループがノルウェーのベルゲン沖の北海に、4月26日から時系列型セヂメントトラップを開始していた。一方黒海では西ドイツとトルコの研究者が共同で6月19日からセヂメントトラップ実験を開始し、人工放射性核種の沈積をキャッチしようと試みた。

その結果、北海では、4月下旬から、5月前半にかけて最も高い ^{137}Cs 、 ^{144}Ce 、 ^{106}Ru の鉛直フラックスを示し、その後は急速に人工放射性核種の鉛直輸送

量に顕著な減少がみられたと報告されている。この事実は大気を通して放射性核種が極めて速やかに輸送されることをしめしている。

これに対して、黒海では人工放射性核種のピークが6-7月に出現し、時間的経緯から判断して、いったん地表に堆積したものが、雨水によって洗われ、河川を通して海洋に運搬され、海洋底に沈積したものと考えられる。このような現象は北海でも認められ、特に6月下旬から7月初旬にかけて人工放射性核種の鉛直フラックスの第2のピークの出現が認められている。

以上のように、河川経由の海洋への物質の負荷は、発生源からの時間が多く要するのに対して、大気経由の場合は広域にわたり、極めてはやく汚染物質の輸送が行われるという特徴を持つと考えてよい。この事は、陸から海洋への汚染物質の拡散・輸送を考える場合、最も重要な過程の一つであると理解しておかなければならない。

さて、海洋内部における物質輸送についても、近年種々の観測がなされている。特に、半減期数十日以下の人工放射性核種が米国西海岸北部の原子力発電所を持つ河口域、2500m深の底生生物から発見されたことから、海洋内部における化学物質の鉛直輸送は極めて速やかに行われている事が示唆された。その後、セヂメントトラップ実験による大型粒子の確認により、これらの現象は広く認められるようになってきた。特に、生化学的に不安定な有機化合物が、普遍的に大型粒子に存在するにも関わらず、海水に通常懸濁する粒子には短半減期の人工放射性核種とともにこれらの有機物の存在も認められていない。この事実は、大型粒子（沈降粒子）と懸濁粒子とが海洋の物質輸送に果たす役割に関して極めて大きな差異のある事を示している。

3. 海洋汚染の実態把握に関する問題点

将来にわたって海洋汚染の実態を把握をしようとするとき、1)内湾・沿岸と外洋とを区別し、2)外洋では、大気を通しての汚染物質の広域的、かつ速やかな移動・拡散過程の存在に注目しなければならない。また、3)海洋内部に関しては、大型粒子の沈降による汚染物質の速やかな鉛直輸送系の存在に注目する事が必要である。

大気を通しての汚染物質の北西太平洋への拡散に関しては、極東諸国を中心に海側に向かって同心円上に観測点を設置し、粒子、気体物質試料を採集して、汚染物質の長期にわたるモニタリング体勢の確立が必要である。

又、大気を通して海洋表面にもたらされる汚染物質の海洋内部への移動・拡散に関しては時系列型セヂメントトラップによる北西部北太平洋における組織的モニタリングシステムの確立が望まれる。

海洋汚染

トキワ松学園女子短期大学長
平野 敏行

1. 今後取り組むべき調査研究について

「海洋環境モニタリングおよびモニタリング手法に関する研究」

既に海洋汚染（海洋環境）研究分野では、分野別検討会（海洋環境）において、我が国として今後取り組むべき課題がよくまとめられており、特に、当面つけ加えるべき研究課題はない。しかし、海洋を含む地球規模の自然現象を対象とする分野では、現象の解析、実体の解明のために、常に、現象把握のためのモニタリングが必要である。なかでも、広大な領域を擁しながら、観測の手だてが極端に乏しい海洋においては、他の分野に比べて、いままでその科学的情報は圧倒的に少ない。検討会において、調査研究の取り組みの現状として、世界的な取り組み、および我が国の取り組みにわけて、モニタリングについての現状がのべられている。しかし、I O C（政府間海洋学委員会）におけるG I P M E（Global Investigation of Pollution in the Marine Environment）やM A R P O L M O N（Marine Pollution Monitoring System）、その他の国際機関の活動が、長年の努力にもかかわらず、必ずしも所期の成果を挙げてきているとは思われない。むしろ、そのなかで我が国の海洋汚染や海洋環境に関するモニタリングへの取り組みは高く評価されるべきである。気象庁、水産庁、海上保安水路部などによる海洋汚染モニタリング調査をはじめ、環境庁が実施している日本近海海洋汚染実態調査などは、世界的に見ても立派なものといえる。ただ、これらも、どちらかといえば日本近海、西部太平洋に限られ、世界的な広がりはない。

海洋環境に関するデータや情報は、量において圧倒的に少ない。さらに、汚染物質については、分析法、採水法（採集法）、測定法などで、まだまだ研究を要するものが多い。海洋では、人間が常時住んでいるわけではない。広大で、変化に富むにもかかわらず、常時連続的に広がりをもった観測、情報取得が困難である。海洋汚染の実体も、予測も対策もすべて現状を正しく知ることから始まる。海洋汚染のモニタリングをどのように進めるべきか、その手法はどうあるべきか、今後取り組むべき重要なそして基本的な研究課題である。

2. 地球環境研究全体としての今後の在り方

とくに意見なし。ただし、これに関するパネル討論会におけるフロアーからの質問や意見は傾聴に価する。1は当然のことであるし、6、7についても今後の課題である。

3. 地球環境に関する研究体制について

「省際化について」

海洋汚染の問題にしても、地球温暖化の問題にしても、地球的規模における海洋環境に関する問題は、海洋そのものの仕組み、特に海洋の変動や海洋の流動機構（海流など）、またそれにとまなう物質の拡散輸送機構など、本来、海洋学あるいは海洋物理学として研究されてきた内容と密接に結びついている。しかし、人類の生存に直接関わるような地球温暖化や海洋汚染に対応する問題では残念ながら現在の海洋学ではまだそれに応えうるところまでしていない。特に、温暖化問題と直接関係する海洋大循環モデルの確立などについては、まだまだ基本的にデータが乏しく無力である。WOCCEやJGOFSSまたIGBPなど一連の国際的協同研究が提唱されてきたのもそのためである。「海洋汚染」研究もこれらと無関係ではありえない。地球規模の海洋環境については、このような国際的にも海洋研究発展の動向の中で考えていくことが大切であると考えられる。

現在、我が国における海洋の科学は主として大学および科学技術庁ほか関係官公庁で推進されているが、中でも気象庁、水産庁、および海上保安庁水路部はそれぞれの行政目的から、海洋の調査研究には長い歴史をもっている。これらが我が国の海洋研究の発展に果たしてきた業績ははかり知れないものがある。そして、現在もこれらの機関は、数多くの調査船を持ち、海洋調査研究を組織的に推進している。地球規模の海洋汚染研究を進めるにあたっては、このような我が国の海洋調査研究の現実を踏まえ、有効適切な組織的調査研究の実をあげることを考えていくことが大事だと思われる。なお、さきに述べた環境庁の日本近海海洋汚染実態調査はすでに10年を越えて実施されているが、関係機関や大学の専門家の協力を得て、民間企業が参加して現場調査を担当しており、海洋汚染モニタリング調査として、すでに産官学、省際的な協力が行われていることも忘れてはならない。

(参考)

「パネル討論会における（海洋汚染）に関する意見・専門事項のまとめ」

1. 各領域間の相互関連課題に関する協同研究、協力の必要性
2. 地球環境の生態系モデル確立とそのためのデータ取得について
3. 地球環境研究に企業の果たすべき役割はあるか
4. 「省際化」の具体的方策について
5. 地球環境の制御は可能か
6. モニタリングや研究のまえに、いますぐ産業構造、生活様式の改善の実行
7. 研究計画総花的で社会の要請に答えられる成果があるか
8. 海洋データ収集システムについて、漁船の活用を

1. 取り組むべき調査研究内容

熱帯林の研究方法についていま重要なのは、太く短い研究ではなくて、むしろ細くても長い研究であると思われる。困ったことにこれは多くの日本人研究者にとって必ずしも得意な方法ではないようである。長期にわたる継続研究を行えば、森林の維持機構を解明できる保証はないが、長期研究なしには解明出来ないことは明かである。

熱帯林を構成する生物は、絶望的になるほど豊かで、森林の維持にかかわる生物間の相互作用のネットワークも恐ろしく複雑である。いくつかの研究課題を以下にあげてみた。

(1) 樹冠部における生物間の相互作用

温帯も含めて森林の研究が最も遅れているのが樹冠部の生態である。我々が森林の中で見る光景は、草原で言えば地面にはいつくばって、土の表面と草本の根元を見ているようなものである。視点をもっと高いところに移さなければ森を理解できないのは明白である。そこで森林の中に50mを越す観察タワーをいくつか建て、樹冠部を自由に動けるような装置を工夫して、そこを舞台とした生物間の相互作用を解明を目ざす。お金はかかるが、人材さえ確保すれば成果は確実にあがる。林内の生態遷移の異なる段階の場所において主要な樹種の送粉、種子の生産、種子散布の過程を解明することによって森林の維持機構についての重要な知見も得られるであろう。

(2) 樹木の栄養生理学的研究

熱帯林では有機物が地上部の植物体に集中しており、土壌には有機物・栄養塩のいずれも乏しい。本課題ではこのような立地に生息する樹木が栄養塩を獲得し成長する機構を特に菌根をめぐる生物間の関係に注目して解明する。

また、生態遷移の異なる段階に出現する樹種間でそのような機構を比較することにより、森林の維持機構や伐採後の森林の回復過程、さらには不毛地と化したところにどのような樹種を植えるべきかかといった問題を解く手がかりも得られる。

(3) 土壌における生物の相互作用

森林の成立・維持に土壌が重要な影響を及ぼしていることは常識であるが、そこにおける生物の相互作用を土壌形成との関わりで解明したものは少ない。近年進展した土壌の微細構造を根、微生物、小型土壌動物の作用と関連させて観察するミクロな方法と、これまでの土壌動物の調査では用いられなかった大きな方形区（例えば20 m×40 m）を設けて、その土を深さ1 mぐらいまで掘りおこし、根や大型土壌動物の分布様式やそれらによる土壌構造の形成作用を明らかにするというマクロな方法を併用することによって、従来よく見えなかった土の中における生物相互あるいは生物と無機環境との相互作用の解明を目指す。

(4) 森林の更新過程

かなり大きな調査区をいくつか設け、その樹木すべての種名を明らかにした上で、それらの成長、枯死過程について長期間（100年？）にわたる追跡調査を行う。これは言うのは簡単で実施は極めて困難な作業であり、実際にはある程度以上の大きさの樹木を対象とさせざるを得ないであろう。パナマやマレーシアの森林ではこのような研究が始められており、今回の研究課題でも考慮すべきであろう。

2. 地球環境研究としての今後のあり方と研究体制

地球環境にかかわる他の多くの問題と同様に、熱帯林も相当に手ごわい相手である。本研究は熱帯林の保全、再生や野生生物種の保護への方策を探ることをその主要な目的の一つとし、その前段階として熱帯林の維持機構を明らかにすることを目指している。しかし、短期の研究で熱帯林の維持機構を解明することはまず不可能である。例えば、東南アジアのフタバガキ科の樹木を主体とする熱帯林では、主要な樹種が大量に種子をつけるのは4-6年であり、その繁殖過程を解明するには、最低4-6年の調査期間が必要である。樹木の繁殖生態の解明が熱帯林の維持機構を明らかにする上で不可欠であると考えれば、調査期間を繁殖周期の2倍、つまり8-12年よりも長くするのは常識とさえ言えるであろう。さらに、森林の維持機構を探ろうとすれば、生態遷移の異なった段階における群集構造の比較という方法を援用するにしても、樹木の成長をかなり長期にわたって追跡調査する必要性がある。追跡期間が10年では足りないことも明白であろう。

環境問題の解決は、広域にわたるデータの蓄積が必要な場合もあれば、長期にわたってデータを蓄積することが重要な場合もある。熱帯林の場合には前者ももちろん必要であるが、後者がもっと重要である。もしも、本研究分野では長期継続研究が困難であるならば、現地の研究者や国内外の他の研究チームと

の共同研究によって、長期研究を可能にするような方策を探ることが非常に重要なものとなる。また現地の研究者による現地の研究にどれだけ力を貸せるのかという観点もさらに重要であろう。熱帯林の伐採・保全についての問題は地球規模の問題であると同時に、現地の人々の問題であり、我々が線引きをしてここは保護区にすべきでなどと言えない側面を多く含む。

研究体制について言えば、少なくとも、OTS (Organization of Tropical Studies)との連携を深めること、東南アジアにおいて精力的に研究を進めてきた研究グループ、例えばスマトラやカリマンタンにおける日本人研究者を主力とするもの、アメリカのアシュトン博士を中心とするもの、イギリスのアバデーン大学を中心するものなどと研究交流をはかり、相補的な研究を進める必要がある。最も大切なのは、現地の研究機関との協力関係であるが、これについては、具体的な案を持ち合わせていない。

人の生産・生活活動によって野生生物の種類は減少の一途をたどっている。この研究ではその減少の原因を明かにし、その原因を除去する方法の発見を目的とする。従って研究の進め方は、基本的には野生生物の保護・管理のための理念を定めることであり、同時にわが国における代表的な種群について具体的にその理念を適用することである。

研究計画の内容に入る前に野生生物とは何かについて述べておく。野生生物とは「自らの生活を自らの能力で維持し、繁殖しているもの」と定義されよう。従って、原理的にはあらゆる自然の生物はこれに入る。植物も当然に入る。但し、常識的には野生の昆虫類・その他の無脊椎動物・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類などを指し、植物は特に野生生物とは呼ばない。野生生物保護の先進国であるイギリスでも「あらゆる家畜化されていない生物」と定義しながらも、「但し、この用語は植物を除く野生の動物に限定されることが多い」としている (The Oxford Dictionary of Natural History, ed. M. Allaby, Oxford University Press, 1985)。その保護・保全に当たって、動物では種を中心として考えるが (昆虫では多少異なる)、植物では群落単位に考えることが多いのでこの考え方がある。しかし、ヤクスギの例に見られるように植物においても種を対象とした保護・保全が有り得るのでやはり定義的には植物も包含してよいと考える。基本的には動物を主として、時宜に応じて植物に適用することが实际的であろう。

さて、人の活動により野生生物が受ける負の影響を最少にするための第一の方策は、人の生活圏と生物のそれとを分離することである。私はこれを「保護のためのすみわけ」と呼んでいる。歴史的にみても野生生物の種の減少の第一原因は生息地の減少である。端的に言えば、生息地さえ健全である限り種の滅亡は有り得ないのである。狩猟圧も勿論ネガティブな要因であるが、人の入らない部分を生息地として確保してあれば、狩猟圧のためのみによる絶滅は起きる筈がないのである。従って、この研究の第一のテーマとしては野生生物が本来すんでいた、またはすんでいる生息地の質と量 (広さ) を押え、その確保を考えることである。

生息地の広さとは即ち分布である。地球上に生息する野生生物種はそれぞれに特有の分布範囲を持っている。分布の範囲は地理的・地誌的要因で決まっているが、生物種の保護・保全に際してはまづ第一に必要な知見である。

次に、生息地の質量を知るためにその生物の生活の内容、個体群生態学的な

パラメーター（年齢構成・生命表・社会基本構造・繁殖の速度・餌などの資源）を明らかにしなければならない。これは言うは易く、全てのパラメーターを定めることはなかなか困難である。従って、生息地の大きさを決めるための最少の情報である個体群の年齢構成の概況、餌の分布と量、繁殖の速度を得る必要がある。

以上をまとめれば、分布と個体群的資料（含生活史）の両面の情報があってはじめて野生生物の減少のための対策は考えられるのであり、現状の存続管理も万全となる。

種によって必要な生息地の大きさが異なるのであるから、ではどの様にして対象とする種は選べばよいのであろうか。端的に言えば、最も広い生息地を必要としている種に焦点を合わせて生息地の保全面積を設定するのがよい。日本列島ではそれはクマであり、シカであり、カモシカであり、サルであり、イノシシであり、クマタカであり、イヌワシである。各種の分布が最もよく重なっている共通の範囲を選定する。しかも、それぞれの種はその範囲で十分に個体群を維持できる大きさを持つことが必要である。この考え方はかつて”トップアニマルを護る面積”と言われてきたが、大事な点は広い面積を要求する種を幾つかのセットで考慮することにある。その面積の算定に当たっては人の経済的都合や利害は度外視すること、設定面積は複数が必要であることは言うまでもない。

場所と種が決まれば以下の手順で研究を進める。

- ①対象種の設定作業――分布図の作成。
- ②主調査地の設定――調査班の組織。
- ③調査方法の決定――長期調査（個体数変動の傾向を知る）・短期調査（大人数、集中調査によって個体群のパラメーターを定める）
- ④調査の実施
- ⑤分布や個体数の現状説明――安定しているか？減少しているか？増加しているか？人との関係はどうかなどを明らかにする。
- ⑥対策の設定――減少している個体群に対しては数と面積の増加の方策を、人の生息地にまで出現して摩擦を生じている場合には人為的調節手段を含む個体数・分布の制限策を考える。

調査班には検討委員会と調査実施委員会をおき、両者の定常的情報の交換が効率的に研究を進める上に有効である。対象動物の全国的位置づけ、研究方法の検討等は検討委員会で、具体的場所での研究実施は土地かんをもった実施委員会という作業分担になろう。

以上、野生生物の定義、研究の目的・範囲、研究の実施の方法について私見をまとめた。

1. 生態系研究の方法における問題点。

熱帯降雨林を生態系として研究することをねらいとしているが、研究者がどこまで意識してできるか、生態系という言葉は概念としてどこでも使っているが、生態系研究の具体的なアプローチが未だ明確でない。極めて当たり前ではあるが、研究はどのような生物がどのように分布し生活しているかを明らかにすることからはじまる。それ自体かなり時間を要することを理解する必要がある。そのための障害は生物の種類が多くて同定できない恐れである。熱帯降雨林の研究に含まれるもう一つの重要な課題である”生物の多様性の保全”はこの問題そのものであり、分類学者を動員しなければ避けて通らなければならない。言い替えれば、生態系はあまり複雑な構造であると研究者の手に余る可能性がある。それにしてもいろいろな分野の研究者に参加してもらわなければ生態系の研究にはならず、熱帯林のある種の生物の生態に終わる危険がある。もちろんそれはそれで価値があるが、この研究の目標とすべきではない。熱帯降雨林の構造の特性はある程度知られている。しかし動物、とくに小型の動物や、微生物までを含めたものはないに近い。有用樹種以外の植物は無視される傾向があるが、熱帯林構造を作り上げていく上で重要かも知れない。とりあえずは生態系研究に必要な研究者の組織作りが大切である。つぎは生物の熱帯林における機能面からの部類分けを行い、そのなかでそれぞれ主要な生物種を選択し研究の対象とする。

2. 生態系維持機構における生物相互作用

生態系研究の方法として炭素量としての生物量の分布あるいは分配とその移動速度がとりあげられてきた。これは太陽エネルギーの固定からはじまる生態系の動的な構造の決定要因としてエネルギー換算も容易であり生物生産の研究の際に一つの共通測度とされたものである。これ自体現在でも有効な手段であるが、生態系構造が掴めていなければ極めて限定された情報しか得られない。このような量的把握を強調するあまり生物の相互作用系として、あるいは相互依存性にかんする質的な研究が抜けていたという反省がある。熱帯降雨林の維持機構の解明においては特にこの点に関する研究が重要である。

3. 研究協力のありかた

この研究の目的を理解し研究協力を相手国の研究機関に要請する場合に、相手国側の考え方、事情を考慮しなければならない。本来二国間の協力研究であるならば、両者の合意のもとに研究を進めなければならない。研究内容も前もって十分討議されるべきであったが、こちらの都合で計画が立てられた。この辺の事情はODAの場合とかなり異なっている。研究協力において相互の利益と役割が明確でないと失敗する可能性があるが、この研究では相手側の利益がなんであるか現段階では明示できない。既に述べたように生態系の研究は多数の研究者が関わることになる。この人達が短期間相手国に滞在しても十分なデータを得ることができないおそれがあるし、相手側もそれでは対応しにくいと思われる。この問題を解決するには(1)海外旅費を十分確保するか、(2)生態系の研究はあきらめて個々の問題点の研究に置き換えるかのどちらかである。このことは早急に決める必要がある。

4. 研究の進め方

既に系の構造研究の問題点について述べたが、その機能の研究においても現時点では容易ではない。とりあえず次のような整理は理解されやすい。

(1) 森林生態系を物理的に上層、中層、下層と分け、それぞれの生物群集の機能を明らかにする。ここでの上層は樹冠部分、下層は地表から根系まで。

(2) 成熟した森林と再生途上の森林との対比における生物群集の研究を行う。

(3) 自然更新の機構を明らかにするために森林内のギャップにおける植生回復の経時的解析を目指す。

5. 地球環境研究のあり方

(1) 総合化研究

研究の総合化は形を整えるのに必要かもしれないが、一つ一つがどういう成果を得られるかまだ見えてこない段階ではかなり困難である。それぞれの分野はリンケージしているとはいえ、不十分なデータや解析結果をもとに総合化研究を走らせることは無駄である。分野の総合化を無理にするよりも、まさに地球としてのまとめが重要。

(2) 研究対象の中心

環境問題の最終的な評価対象は人間、しかも健康についてであった。実際にはなかなかそれに結びつかないところがある。地球環境研究の場合も同じ

観点が重要であるが、この観点が殆どぬけている。もう一つの観点は地球全体およびその構成部分の生態系を中心とする考え方である。どの研究分野においてもそれぞれ全体として影響を受けるのは生態系である。言葉としては誰でも使っているが、実際にそれに迫るべき研究形態を持っていないし、理解も不十分である。

(3) 研究の地域

少なくとも現在の規模の予算と組織では極東ないしアジア地域に限定するのが实际的である。しかし地球全体として問題を捉えようとするならば、この限定は外したほうがよいし、分野によってはより重要な地域での研究を推進すべきである。

(4) 研究期間

地球環境問題が早急には解決されないであろうが、本来このような研究課題がでない状態のほうが望ましい。政治的に解決すべき問題として、またその結果として研究が不要になることが一部考えられる。特に行政当局はそのような判断をしかねない。長期の研究がなされてこそ意義のあるものが殆どであること、それをどういう形態でどのように継続するか予め検討しておく必要がある。

(5) 研究体制

現在の体制は省庁の研究機関と大学および委託研究機関からなっている。その中心となる研究機関として国立環境研究所があたるべきとは思いますが、そのために行われた機構改革はまだ対応できる体制になっていない。このままでは定員増も望めないことから、中途半端な世話係になりかねない。ほんとうの意味での地球環境研究の中心となるには別の組織を作りそれに見合う人材を集めなければならないだろう。

多機関にまたがることから、分野毎に運営委員会をもたないとばらばらになりかねない。これは研究を実施する人達で構成する。

今一つ検討委員会の役割が明確でない。研究の評価はともかく研究計画にどこまで注文をつけることができるか、現状ではそれはあくまでも参考にとどまるだろう。

1. 今後取り組むべき調査研究

人口の急増と経済発展および生活水準の上昇に伴い、熱帯林地域が急速に変貌しつつある現在、地球環境研究に関連した今後の熱帯林研究の取り組むべき究極的な課題は、「熱帯林の持続的利用と保全、および、熱帯林地域の合理的土地利用技術の開発」であり、熱帯林関連の全ての研究は、最終的にはこの課題の解決を目指したものであるべきである。

地球温暖化に関与するガス類の地球規模での循環に対する陸上生態系の関与、温暖化に伴う陸上生態系の反応、食糧の自給や植物エネルギーの供給、熱帯林破壊の環境影響、各種のインパクトに対する陸上生態系の反応など、地球環境研究における陸上生態系、とくに熱帯林関連分野における重要な研究課題の解明も、最終的には、この地球上にどのような熱帯林をどのくらい残すべきか、保全地域以外の熱帯林地域をどのように合理的に利用したらそれが可能になるか、という問題を解明する方向で総合し、集約していくべきである。そのためには、研究課題を、基礎的研究課題、基幹研究課題、総合的研究課題に分けて取り組むのが良いだろう。

2. 基礎的研究課題

これは熱帯林を対象とした全ての研究を地球環境レベルまで拡大するときに必要な不可欠で、長期間のルーチン観測、測定を必要とするものである。

(1) 熱帯林面積の現状と変化

リモートセンシングと現地調査を併用して行う。まずリモートセンシングによる判定可能な植生区分を行い、これと従来生態学で行われてきた植生区分との対応を明らかにする。これによって生態学で行われてきた従来の測定結果を生かすことができる。ついで、リモートセンシングによって、それぞれの植生内での再生途中の部分の面積と、その再生の程度を明らかにする。また、森林破壊による森林面積の変化を地域別に長期間モニターする。同時に行われる現地調査では、各地域での植生区分毎の種組成とバイオマスの変化を、植生の再生過程を追って明らかにするとともに、それぞれの地域での森林破壊の形態と、破壊後の土地利用とその経時的变化を明らかにする。

(2) 各種熱帯林の水・炭素・栄養塩類の循環

この研究は、陸上生態系を大気系、生物系、土壌系に分けてその相互間の各種のインパクトに対して熱帯林がどのように反応するかを明らかにする現地研究で、環境条件の変化や各種のインパクトに対して熱帯林がどのように反応するかを明らかにする基礎を与えるものである。この研究では、原生林に近いよく発達した諸循環に平衡状態が成立しているとみなせる森林はむろんのこと、原生林中の更新途中の部分や、森林破壊後の各種土地利用の形態による循環も測定する必要がある。

3. 基幹研究課題

熱帯林関連の研究課題の中心をなすもので、3つに分けられる。

(1) 熱帯林破壊の環境影響

これには、熱帯林破壊による地域の熱収支や水収支の変化と気象・気候への影響、 CO_2 、 CH_4 など温暖化ガス収支の変化の地球温暖化への影響、温暖化に伴う植生の種組成、群落構造の変化と植生帯の移動、農地化、放牧地化、林業地化などの土地利用形態の変化と地域気候との相互作用などが含まれる。

(2) 各種インパクトに対する熱帯林の反応

インパクトとしては、各種気候要素の長期的変化、異常乾燥、冷害などの異常気象、大気中の CO_2 濃度の上昇などの大気組成の変化、山火や野火、皆伐、拓伐などの森林破壊と森林の分断、森林破壊後の環境的焼畑化、常畑化、牧場化、プランテーションや造林地化などの土地利用形態の変化などがあげられる。これに対する熱帯林と、その破壊後に各種の土地利用が行われている地域の反応としては、エネルギー・水文収支の変化、群落内微気象の変化、土壌侵食と土性の変化、種多様化の変化、生物生産力、分解過程、物質循環の変化などがあげられる。

これらの各種インパクトと森林など各種生態系の反応を組み合わせることによって生まれてくる多くの研究課題を、適当な専門家によって現地で研究する。

(3) 熱帯林における生物資源利用の現状と将来予測

現在、熱帯林が木材資源や燃料材資源、その他の林産物資としてどのようなものがどの位利用されており、その将来の見通しはどうか、新しく利用できる資源がどのくらい有るのかという問題を扱う。

4. 総合的研究課題

以上の研究成果を総合して、熱帯林全般について考察する。これにも3つ方法が考えられる。

(1) 熱帯林の持続的利用技術の研究と開発

これには、種多様性維持のための必要条件と具体的な方法を解明することと、熱帯林が森林としての機能を維持していくためには、最大限どのくらいまでの攪乱が許されるか、その限界条件を探ることの二つがあげられる。

(2) 破壊後の土地の持続的利用技術の開発

これには、燃料林の好適樹種の探索とその造成技術の開発、一般造林樹種の探索とその造林技術の開発、熱帯の各種気候条件に適した早生樹種・牧草種の探索、新林産資源の探索と資源植物の栽培化、新しい熱帯農林経営方式の開発、熱帯畑作地における地力維持技術の開発、荒廃地の生物生産力の回復と土地の再利用の研究などがある。

(3) 熱帯林保全戦略の策定

グローバルとローカルの両面で熱帯林の合理的保全対策を考える。

砂 漠 化

東京都立大学理学部
門 村 浩

「砂漠化」は、食糧生産と水・エネルギーの供給等からなる人間の生命維持システムを根底から破壊する地球圏・生物圏プロセスである。その主原因は過放牧や過耕作、燃料材の無差別の伐採などの人間活動にあるが、その様相は顕著な干ばつの到来とともに繰り返して激化し、飢餓による大量死、環境難民の大量発生などの悲惨な被害をもたらす。

国連砂漠化会議（1977年）後の13年間、砂漠化とその防止対策に関しては、研究面でも実際面でも多くの努力が重ねられてきた。しかし、防止対策の成功例は少なく、砂漠化は依然として世界の多くの乾燥・半乾燥・半湿潤地域で進行し、ますます激化する趨勢にあり、第三世界の被災地域を中心に人間の生命を直接脅かし続けている。

ところが、こうした重大な問題にもかかわらず、砂漠化の実態は、意外にも、いまだかつて科学的根拠のある手法とデータによって把握されることがない。UNEPが1977年以来発表してきた砂漠化の面積・進行速度などの数値については、最近、過大に過ぎるという批判が相次いでいる。その背景のひとつに、「砂漠化」(desertification)の定義の曖昧さがあり、UNEPでも現在作業中のグローバル・アセスメントではland degradation(土地の劣悪化)の用語を明確に定義して使用しようとしている。一方、対策面では、資金不足や被災国における実施意欲の欠如、などが阻害条件として挙げられてきた。

(1) 取り組むべき研究課題

以上のような現状に鑑み、当面、次のような研究を推進する必要があるだろう。

- ① 砂漠化のモニタリング
 - * 現状把握と危険度予測手法の確立
 - ・ 砂漠化指標の明確化
 - ・ 衛星—航空機—地上の階層的な多空間尺度観測システムの開発と実用化
 - ・ 降水変動予測と結合した警報システムの開発と実用化(短期的～長期的多時間尺度予測システム)
- ② 砂漠化のプロセス
 - * 自然的プロセス(生態的・地学的・化学的)
 - ・ 人為的プロセス(資源利用形態、土地所有・社会制度など)
 - * 地域の自然・人文社会条件による類型化

- ③ 砂漠化危険地域における環境容量の定量化
- * 土地生産性（農業・牧畜、都市的土地利用）、不可逆的劣悪化の臨界値（限界降水量、侵食速度・侵食形態、退行遷移など）、適正土地利用（農業・牧畜・都市的土地利用）
 - * 生態系の回復能力、土地利用システムの回復能力
- ④ 砂漠化の防止対策及び修復方法
- * 地域社会経済の持続的発展の基礎的戦略、地域総合開発計画の一環としての防止対策並びに逆転方策の樹立
 - ・ 生態学的、農林学的、工学的手法の総合による砂漠化の自然的プロセスの制御と土地生産基盤の整備
 - ・ 社会経済的・政治的アプローチの総合による砂漠化の人為的プロセスの制御と地域社会・土地利用システムの改良・強化
 - ・ 住民参加を含む総合化・実用化のメニュー
- ⑤ 砂漠化の自然史的背景と長期予測
- * 砂漠周辺地域の環境変遷史の復元；地球規模の気候変動に伴った砂漠限界・生態系の変遷とその機構の解明（ $10^4 \sim 10^2$ 年オーダー）
 - ・ 寒冷化・温暖化との関連（氷期／後氷期、小氷期／後小氷期など）
 - ・ 古砂丘・砂原の分布域と再活動条件の把握
 - ・ 温暖化等グローバルな気候変動を前提とした予測（過去の現象のシナリオへの取入れ）

（２） 地球環境問題との関連性、複合領域の研究の推進

- ① 植生モニタリング、野生生物種のすみかの破壊と絶滅、土地の劣悪化プロセスと修復手法等、熱帯林、野生生物の分野と共通する課題が多い。
- ② 植生破壊と土壌腐植の喪失による大気中への二酸化炭素の放出がもたらす生物地球化学的循環の擾乱、裸地化によるアルベドの増加とダスト発生量の増加などを通して地域気象並びにグローバルな大気循環・気候への影響が考えられ、地球温暖化や酸性雨などの分野とも深い関わりがある。
- ③ 地球温暖化に伴う気候の乾燥化に基因する砂漠化については、過去2万年間の地球環境変遷史からみて、気候帯や地域毎の細かな予測が必要とされる。

(3) 研究体制

自然科学と人文社会科学とにまたがる学際的（省際的）・国際的チームによる総合研究の推進が不可欠。研究成果の実用化と啓蒙・普及のための国際協力体制とトレーニングまでを包括したネットワーク作りが望まれる。

表1 「砂漠化」（土地・植生の劣悪化）研究の枠組み（Kadomura, 1990）*

1. 定義

「砂漠化」／土地・植生の劣悪化現象

食糧生産、水・エネルギー供給システム、社会経済システムからなる人間の生命維持システムを根底から破壊する地球圏・生物圏プロセス

2. 「砂漠化」/劣悪化指標／基準（例）

(1) 自然条件

① 地形・土壌

- a. 砂の移動
- b. 砂丘の移動
- c. 加速的土壌侵食／堆積
- d. 表土の固結化・皮殻の形成・拡大
- e. 塩性化
- f. 礫・岩石の裸地の形成・拡大
- g. ダストストームの頻発

② 植生

- a. 植被率の低下
- b. 群落構成の変化
- c. バイオマスの低下
- d. 群落高・密度・多様性の低下
- e. 耐乾性種・非可食性種の増加

③ 水文

- a. 河川流量の減少
- b. 地下水低下
- c. 水質悪化

(2) 社会経済条件（人間的側面）

(1) 土地利用

- a. 土地利用変化（耕作放棄など）
- b. 作物収量の低下
- c. 家畜頭数の減少
- d. その他

(2) 人間社会

- a. 飢餓／栄養失調
- b. 集団移動
- c. その他

- 問題点 * どうやって認定するか？ (タイプ、プロセスなど)
 * どうやって定量化するか？ (程度、速度など)
 * 不可逆的劣悪化の限界をどうやって認定するか？
 * どのような道具と技術を使うのか？

3. 「砂漠化」／土地の劣悪化は不可逆的現象なのか？ それとも可逆的現象なのか？

- a. 自然植生の回復能力？
 b. 土壌の回復能力は？
 c. 農業システムの回復能力は？
 d. 牧畜システムの回復能力は？
 e. 人間社会の回復能力は？
 f. 全生命維持システムの回復能力は？

* 「砂漠化」の防止・逆転／修復計画の前提となる検討課題

4. 階層的な多尺度空間スケールの生態的ゾーニング

- * グローバル — リージョナル — ローカルの多段階スケールの生態的土地ユニットの設定
 * 成帯性・成帯内性・超成帯性／エコトーン概念の適用
 → 土地利用可能性評価、砂漠化危険度予測、適性土地利用計画、修復計画のための基本的土地単位の設定

- 問題点 * 土地ユニットをどうやって設定するか？
 * 土地ユニット設定のための手段は？
 * 危険度予測、土地利用適性等の評価の基準と手続きは？

5. 時間スケール

- * 短期スケールのモニタリング (旬日～月～季節オーダー)
 → 降水予測と連結した砂漠化早期警報システム
 * 中期的スケールのモニタリング (1～10年オーダーの年々変動)
 → 砂漠化の進行プロセス・生態系の退行遷移プロセス／生態系の回復・遷移プロセスの観測
 * 長期的スケールのモニタリング (50～100年オーダーの変動)
 → 気候変動に伴う砂漠化／土地劣悪化プロセスの連続観測
 * 超長期的スケール (1000～10000年オーダーの変動)
 → 氷期／間氷期の交代など地球規模気候変動に伴った砂漠とその周辺地域の環境変遷史の復元とその現代的意義

6. 対策志向型研究の枠組み

- * 上記諸項目に関する学際的チームによる、グローバルな展望を踏まえた、ローカル・レベルの総合的・実践的詳細研究（現地研究者、ときに住民の参加も）

-
- * Kadomura, H. (1990): A framework of ecological researches of land and vegetation degradation in drylands. Paper presented at INTECOL'90, August 23-30, Yokohama.

総合化研究

国際連合地域開発センター（UNCRD）所長

佐々波 秀彦

地球温暖化における開発途上国の立場は、①地球温暖化に伴う諸影響を最も深刻に受ける国々であるという側面と、②今後、温室効果ガスの放出量が急激に増加し、地球温暖化に対する寄与が大幅に増加していく国々であるという側面を併せ持っている非常に複雑な状況にある。

地球温暖化に伴う気候変動、海面上昇などの影響は地域によって異なる。しかし、①開発途上国の大部分の人口は、その生活の多くを自然システムに依存していることから、干ばつや土壌流出などの諸影響に対して脆弱であること、②財政的・技術的基盤の不足から、地球温暖化に伴い深刻化すると予想される自然災害に対応した施策が十分にとれないことにより、開発途上国での地球温暖化の影響は先進国よりも深刻に受け止める必要があるだろう。現在でも自然災害の多くは開発途上国において発生しており、この状況は土地利用の混乱や人口の急増により、むしろ悪化の傾向が見られる。このような状況のもとで、地球温暖化は開発途上国に対して新たな負担を強いることになろう。

一方、開発途上国では地球温暖化に寄与する温室効果ガスの放出が増加している。もちろん、人口一人あたりに還元した温室効果ガス放出量は先進国と比較して非常に小さい値であるが、IPCCの報告書によれば、今後の産業開発や都市化の進行に伴い、エネルギー部門からの二酸化炭素排出量は、特別な施策が採用されない場合、開発途上国において年3.6%ずつ増加すると予測されている。これは西欧の0.7%、北米や環太平洋OECD諸国の1.7%と比較して非常に高い値である。また、土地利用の変化（特に森林減少）による温室効果ガスの放出は、現在でも開発途上国における寄与が大半を占めており、今後の開発動向いかんによっては、さらに増加することも予想される。

開発途上国では地球温暖化の影響への対応の他にも広範にわたる貧困やそれに関連する社会経済問題など対処すべき問題が数多くある。したがって、開発途上国において地球温暖化問題に取り組んでいくためには、影響への対応および温室効果ガス削減の両面にわたって適切な対応策を検討すると同時に、開発途上国での対応を支援するための国際的な協調体制を確立することが不可欠である。

UNCRDは開発途上国における地域開発分野での調査研究および人材養成の支援を通じて培ってきた関係機関との協調関係を基礎に、これまでに取り組んできたプロジェクトをさらに進展させて、地球温暖化問題への国際的対応の一翼を担いたい。このような既存のプロジェクトによる対応は、開発途上国における現在の地域開発プロセスの中に地球温暖化を始めとする地球環境への配慮を組み込むことが可能であり、実行可能性にすぐれている点で開発途上国の理解を得やすく、持続的な対応となり得るであろう。UNCRDで推進可能なプロジェクトとしては、以下のものがあげられる。

まず最初に、開発途上国においてエネルギー効率のより高い都市づくりを実現するための新たな手法に関する調査研究と支援があげられる。開発途上国の大都市は経済発展の原動力であり、そのエネルギー利用は農村地域と比較して非常に大きい。大都市におけるエネルギーの有効利用に関しては多くの提案がなされているが、これらの施策に共通するのは、①効率的なエネルギー生産と利用、②石炭や石油などの二酸化炭素排出量の多い燃料から天然ガスなどへの転換、③太陽、風力などの新しいエネルギー源の利用である。とりわけ、エネルギー効率をあげることは、エネルギー関連の二酸化炭素放出量を減少し地球温暖化のリスクを減少させる最も有効な方法であると同時に、二酸化炭素の放出を減少させるにあたって最も迅速かつ最も費用効果の高い方法であろう。このことから、大都市における土地利用と産業開発の見直しによる効率的な都市づくりの検討を行うとともに、自動車に依存した都市から公共交通機関を利用した都市づくりの可能性を検討する調査研究を推進していきたい。

第二に、UNCRDでは開発途上国における森林保全と植林を推進するための制度や組織を構築するための調査研究を実施している。森林破壊を始めとする土地利用の変化は、開発途上国における最大の温室効果ガス放出源であると同時に、森林破壊は洪水や地滑りなどの自然災害の増加にもつながる。したがって、森林の保全と植林は開発途上国の地球温暖化問題への対応として非常に重要な位置を占める。開発途上国における植林活動を成功に導くには地域住民参加による植林活動が不可欠である。この観点から、UNCRDでは、住民による自発的な植林活動を推進していくための、①経済的、非経済的インセブ体系、②土地や森林の保有制度、③地域社会レベルの組織づくりに焦点をあてて、望ましい森林保全と植林推進のための政策オプションを検討している。

最後に、UNCRDでは地球温暖化に伴う種々の影響に対応できる地域づくりにも貢献していきたい。地球温暖化の影響は食料生産、エネルギー利用、土地や生態系の管理、都市基盤施設の整備、保健衛生などに及ぶ。このような問題の根底にある自然災害の防止は開発途上国において最も優先すべき影響対応であろう。国連では1990年代を国際防災の10年（IDNDR）に指定し、自然災害軽減のための協調体制の確立を目指している。この活動が地球温暖化対策として果たす役割には、①気候変動に対する情報システムの確立、②地球温暖化の影響予測、③地球温暖化への対応策の開発研究、④防災活動における人材養成などがあげられる。したがって、この活動をさらに推進していくとともに、すべての国々および関係機関がこの活動に参画し、自然災害軽減のための連携強化を図ることを提案したい。

すでに数多くの地球温暖化問題への対応策が提案されており、今後はこれらの対応策を実施に移していく段階にある。この段階では、得られた科学的知見を基礎として、社会・経済・文化面での評価・検討を十分に行なう必要がある。特に開発途上国における対応策の実施においては、先進国による支援・協調体制と同時に、実行可能性の高い対応策の提案が不可欠であり、この観点から種々の影響予測と対応策について評価・検討を重ね、可能なものから素早く実施に移していくべきであろう。

東京大学生産技術研究所
鈴木 基之

地球環境研究を環境庁主導のプロジェクト研究として行なう際に、特に取り上げるべき問題として 1. モデル化の研究、および今後のテーマとして 2. アジア地域の研究体制設定について記し、最後に 3. 研究体制に関するコメントを記した。

1. 環境研究の総合化におけるモデルの意味

地球規模の環境問題においては、現状の地球環境変動の検出、将来の変動の予測を最終目的とし、この目的のために環境変化の機構を解明することが求められる。この為には継続的なモニタリング、主要な環境要素過程の研究と、モデルの研究が三本柱となって進んでいく必要がある。

このうち特に現在遅れているモデル化の検討は(1)環境変化を支配する物質循環の複雑なシステムのうちで何が主要な過程であるか、(2)そのシステム中で研究を行なう必要がある部分はどこにあるのか、(3)将来の環境変動の予測、(4)変動に対する対策として多くのことが考えられている内で何が効果があるのか、などなどの検討の上で有益かつ唯一の判断基準を与えてくれる。

2. アジア地域の研究体制

地球環境問題の究極的な問題として地球全体のデータ收拾体制の整備とその対策選定にあたっての南北の価値観の整合性を図ることが重要である。両方の意味から、我が国の主導的な貢献によるアジア地域を対象とした総合的な共同研究体制を時間をかけて整備することが必要である。

ともすると、先進国中心で研究体制が生まれ、また先端研究指向の強い傾向があるが、特にアジア地域の環境データセンターが我が国に於て構築されることは、環境研究における世界的に効率の良い三極構造の確立にも寄与することであり、アジア地域の諸国においても比較的有益な提案であると期待される。

3. 環境庁主導による研究の意味と研究体制

本研究プロジェクトは環境庁の予算によるものであり、地球環境問題に対しどのような研究を対象とし、どのようなやり方で、どのような成果を期待するのかについてははっきりとした視点を有するべきであると考えられる。

(1) 行政的必要性と目的の明確化--単なる研究者の興味であってはならない...その一つは、行政的必要性がどこにあるのかをキチンと示しておくべきであり、その意味では、地球環境問題の場合は、本質的に国際的な問題意識の広がりや問題の整理がなされていることから、日本政府に課された国際的な役割、国際的に日本が果たすことが出来る機能を目的設定の際の判断基準とすべきであると考えられる。

しばしば比較される「文部省の科学研究費補助金」、あるいはその他の大学の研究費が環境科学研究に果たす役割との差異はここにある。大学の研究においては、あくまでも研究者個人の科学的好奇心が出発点にあり、社会的要請も一旦研究者の個人的レベルで昇華される必要があり、研究の成果はその分野における学問体系の完成にある。しかし、行政機関の研究としてはキチンとした目的意識と取り上げるべき問題の整理が必要である。地球環境研究の一般的補助であってはならない。

(2) 研究計画の適正化--目的を遂行するための研究内容とメンバーの選択--取り上げるべき問題が設定された後の研究プロジェクト計画の作成は重要である。適正な年次計画の作成には特にメンバーの選択、メンバー同士の認識の共有化を確立するためには研究開始以前の少なくとも一年は必要である。研究期間の開始に伴い、直ちに実質的な共同研究がスタート出来ることが求められる。研究期間の中途、および期間の終了に際しての研究成果の評価もこの計画の基づく目的に基づいてなされることになる。

(3) 研究の科学的価値----研究者個人にとってのプライオリティについて--プロジェクト研究においてもその構成員それぞれの科学的好奇心を満足させると同時に、その研究成果が客観的な水準を越えることももちろん必要であり、この判定基準は専門誌に投稿できる論文を作ることとを簡単な目標にすれば良からう。この水準をクリアすることと、先に述べた「プロジェクト研究」の意味を満たすことは両立させるべき二つの軸であることを銘すべきなのである。一方を満たせば他方が犠牲になるという性質のものではないのである。

(4) 研究準備の高度化----複数機関の分担、研究内容の適正配置----研究計画の段階で述べたが、プロジェクト研究の必要条件として、複数の研究機関、特に複数の省庁にまたがる研究者の集まりとして、一つの計画研究が遂行されることである。この実際の共同研究時のインテグリティを高めるべくいく過程では、複数の人種が一つ屋根で生活するような問題点が多々生じる。これを乗り越えて共同研究を行なう為には、研究計画の十分な準備と強力な

指導力・責任体制が必要である。しかし、一方においてこの共同研究の副次的な効果として、ともすると狭い価値観の中で研究を行ってきた研究者に、異文化に接し自分の研究を客観的に見直す良いチャンスを与える。

(5) 環境庁主導の徹底----運営委員会(総括班)構成の必要性、研究の評価--
以上のように複雑かつ大きな研究組織による研究計画を潤滑に企画、運営するためには、実質的な研究者の代表よりなる総括グループを構成し、研究計画の立案・具体化の段階における指導力、研究の進行の適正化を図るための調整力、研究成果の評価を行ないそれを次の計画に活かす企画力を有する体制を確立する必要がある。

総合化研究

国立環境研究所地球環境研究センター

総括研究管理官 西岡秀三

1. 総合化研究で今後取り組むべき研究課題

(1) 総合化研究の目的、性格、範囲

「総合化研究」は特定の分野研究ではない。「熱帯林」のように地域での、「温暖化」のように現象での、「野生生物」のように対象での、範囲の同定ができない。そのように分野のはっきりしないものは研究といえないとするひともいる一方、それでは地球環境研究で不要のものかということ、何人かのひとは「総合化研究」がなければ地球環境研究は恰好がつかないという。あるいは、それは研究ではなく研究体制構築の範疇であるというひともいる。

野球にたとえるならば、守備範囲の定まっている分野別研究に対して、「総合化研究」は分野別研究研究者に守備範囲内でスムーズに活躍してもらえようにするための「球拾い」かもしれないし、分野別研究の結果を勝利にむすびつけるため全体をながめる「監督」かもしれない。

総合化研究の存在は、基本的に、研究における「分析」と「総合」の関係に基づいていると考えられる。あらゆる研究がこの両側面をもっていることはいうまでもない。「分析」は基本的に人間の好奇心を満足すべく「何故？」を追求するため、キーと考えられる一つの現象を深く追求する。しかしその前提としては、研究者の頭のなかにそのキーとなる現象を含むまわりの現象関係像が描きだされていて、より広範囲の現象を説明するためにそのキーとなる現象の分析を行っていると考えられ、その面ではかならず総合的である。

しかし強調される方向としては分析であり、理学的であることは間違いない。

一方、「総合」はある目的をもっている。その面では工学的であるといってもよい。個々の現象を深くつめて分析するよりも、始めに目的ありきで、その目的達成のために、個別の研究分野がどのような状態であるのかを把握し、それらをどのように組み立てるのが目的にあうか考える。エンジンの中の流体の動きと燃焼反応が完全に分析されていなくとも、まあまあ動く自動車が設計されている。

またある代替案を提出し、あるいは代替案の評価手法を考え、代替案がどれほど目的に近づけるものかを評価する。さらには、実際に目的を達成するためのメカニズムを設計することもある。ここまできると、「開発」に近づきすぎて、客観的に物事をとらえることに本質があるとする「研究」からは、いささ

か行き過ぎと言われかねない。

しかし、地球環境問題が人類の前途を左右するものであり、緊急に何らかの手を打つ必要がある（か否かの検討もふくめて）、それが科学による説明におぶさることが大であることから地球環境研究の強化が叫ばれ、地球環境研究総合推進費が設立されたことを考えると、どのように研究をすすめる、また研究の結果を地球環境保全の対策にむすびつけてゆくかを論じる場所が要求されているように思われる。その場が「総合化研究」であるとしてもよさそうだ。

そのように考えてゆくと、総合化研究の目的・性格・範囲はおぼろげながら以下の様に見える。

目的： 地球環境研究を全体として地球環境保全にむけて意味あるものにするための研究及び研究体制作り

性格： 個別分析的であるよりも、個別研究間の関連を知り全体に統合してゆくものである。

範囲： ① 分野を繋ぐあるいは全分野集合をみた問題を対象とする研究
② 分野に共通の問題を対象とする研究
③ 地球環境保全に向けた対策・政策の提言とその評価方法の開発
④ 地球環境研究の評価と方向づけに関する研究
⑤ 地球環境研究体制及び支援体制の構築

地球環境問題は人間活動とそれに対する地球環境の持つ容量とのせめぎ合いで生じたものであるから、人間活動を扱う社会科学の分野は重要である。社会科学的研究は、勿論分析・総合の両面を持つ。今の推進費研究分野わけが現象別になされている現状では、個別分野にとりこまれるべきであり、総合化研究でおこなわれるべき社会科学的研究は、自然科学研究と同じく上記の性格をもつ部分にかぎられるであろう。とはいっても、社会科学の扱う分野が、人口・社会構造・経済・文化など地球環境問題の共通的现象を扱うこと、しばしば政策提言に近い分野であることから、総合化研究で社会科学的研究が多くなることは予想される。

なお地球環境研究総合推進費実施要綱には、総合化研究は「複数の個別要素に係る研究の成果を活用し、課題別の研究の総合化又は複数分野の横断化を行う研究で複数研究機関の協力が必要となるもの」とされている。

(2) 総合化研究の課題

以上のような観点から、総合化研究でカバーすべき研究課題例は以下のよう
なものである。

- ① 分野を繋ぐあるいは分野全体をみた問題を対象とする研究
個別分野の相互関連に関するシステムの把握
 - ・ 地球環境リンクージモデルの構築
 - ・ モデル作成技法の開発
 - ・ フィールドを定めて各分野が同時に取り組む地域研究
- ② 分野に共通する問題を対象とする研究
 - ・ 人口／技術／経済／思想／国際関係／社会基盤分析
 - ・ 地球環境モニタリングシステム構築に関する研究
- ③ 地球環境保全に向けた対策・政策の提言とその評価方法の開発
 - ・ 経済的／政策的／技術的／社会的環境保全策の提言
 - ・ 政策効果分析用予測モデルの開発
 - ・ 生態系容量分析／環境資源勘定／環境指標／グリーンG N P等の政策評価方法の開発
- ④ 地球環境研究の評価と方向づけに関する研究
Research on Research
 - ・ 地球環境研究動向の把握調査
 - ・ 重点研究分野・課題発掘方法の開発
 - ・ 研究評価方法の開発
 - ・ 地球環境研究の進め方に関する研究

(3) 地球環境研究体制及び支援体制の構築

総合化研究の範疇にいれるべきかについての疑問があるものの、総合化研究
推進には不可欠であるのが、研究体制・支援体制の強化である。

- ① 国内研究体制の構築
 - ・ 交流会議・研究会・ニュースレター等による分野間研究交流の促進
 - ・ 研究者の要望を資源配分に反映させるためのルート作り
 - ・ 人的交流を促進するための制度づくり
- ② 国際研究体制の構築
 - ・ 交流会議等によるアジア地域を対象とした研究ネットワークの構築
 - ・ 海外との共同研究促進
 - ・ 海外との共同研究のための研究資金確保
- ③ 共用データベース・モデルの構築
- ④ スーパーコンピュータ・航空機等の大型研究施設の共同利用促進

2. 地球環境研究全体としての今後のありかたについての構想 及び

3. 地球環境研究に関する研究体制について

地球環境問題の重要性に鑑み、以下の点を強調する必要がある。

(1) 全体的に研究費の増額の必要性

絶対額としても、また国際的比較からみても研究費が不足している。

(2) 研究人材の養成

研究遂行のために、地球環境研究分野の若手の育成と、既成研究者のシフト、国による研究組織の増加が必要

(3) 研究効率化の必要性

問題解決にむけて限られた資源を有効に利用するための考慮が必要

省庁間の研究のダブリは、現段階で日本が世界に貢献するには贅沢であり、分野の調整を各省庁ではかるべきである。

大学（基礎研究）・研究所（目的研究）間の分担を明確にする必要がある。

(4) 研究国際化の必要性

必然的に地球環境研究は国際的であるが、組織および資金供給面で体制が整っていない。特に海外フィールドでの研究費、海外研究者に提供できる研究資金の確保が焦眉の急である。

また、IGBP・WCP・HDGCP等の国際研究計画との連携を深める必要がある。

(5) 研究総合化組織の必要性

全体をながめて、重点研究を推進するための総合的見地をとりまとめる組織を持つ必要がある。IPCCのような研究の現状評価機関を恒常的に設ける必要がある。

(6) 地域研究の促進

環境問題は必然的に地域研究であり、諸分野が共同で行う地域研究を強化する必要がある。

(7) 途上国参加研究の促進

地球環境問題について、その加速要因としての面および、地球環境表面で占める面積の大きさからみて、途上国における研究促進は必然である。日本は特にアジアの研究促進に協力するべきである。

(8) 対策・政策研究の促進

地球環境研究に世間が要求しているのは、事態の緊急性に鑑み長期・短期に地球環境保全の為の政策提言にむすびつく研究である。これ直結した研究として対策・政策研究を強化するべきである。

地球環境研究検討会報告書執筆者一覧表

(平成3年3月現在)

氏名	所属及び職名	住所
<u>オゾン層破壊</u> 岩坂泰信 浦野紘平 富永 健 橋本 徹 矢尾板英夫	名古屋大学太陽地球環境研究所教授 横浜国立大学工学部教授 東京大学理学部教授 神戸大学理学部教授 自治医科大学医学部教授	〒442 豊川市穂の原3-13 〒240 横浜市保土ヶ谷区常磐台156 〒113 文京区本郷7-3-1 〒657 神戸市灘区六甲台町1-1 〒329-04 栃木県河内郡河内町 大字薬師寺3311-1
<u>温暖化現象</u> 及川武久 半田暢彦 松野太郎 綿抜邦彦	筑波大学生物科学系助教授 名古屋大学水圏科学研究所教授 東京大学理学部教授 東京大学教養学部教授	〒305 つくば市天王台1-1-1 〒464-01 名古屋市千種区不老町 〒113 文京区本郷7-3-1 〒153 目黒区駒場3-8-1
<u>温暖化影対</u> 岩田規久男 茅 陽一 鈴木継美 田中 寛 松尾友矩 吉野正敏	上智大学経済学部教授 東京大学工学部教授 東京大学医学部教授 千葉県衛生研究所 所長 東京大学工学部教授 筑波大学社会科学系教授	〒1 千代田区紀尾井町7-1 〒113 文京区本郷7-3-1 〒113 文京区本郷7-3-1 〒280 千葉市仁戸名町666-2 〒113 文京区本郷7-3-1 〒305 つくば市天王台1-1-1
<u>酸性雨</u> 植田洋匡 大喜多敏一 坂本 充 橋本芳一	九州大学応用力学研究所教授 桜美林大学国際学部教授 名古屋大学水圏科学研究所教授 慶応大学理工学部教授	〒816 福岡県春日市春日公園6-1 〒194-02 町田市常磐3758 〒464-01 名古屋市千種区不老町 〒223 横浜市港北区日吉3-14-1
<u>海洋汚染</u> 高野健三 高橋正征 立川 涼 半田暢彦 平野敏行	筑波大学生物科学系教授 東京大学理学部助教授 愛媛大学農学部教授 名古屋大学水圏科学研究所教授 トキワ松学園女子短期大学 学長	〒305 つくば市天王台1-1-1 〒113 文京区本郷7-3-1 〒790 松山市樽味3-5-7 〒464-01 名古屋市千種区不老町 〒227 横浜市緑区鴨志町1204
<u>野生&熱帯</u> 安部琢哉 小野勇一 安野正之 依田恭二	京都大学理学部助教授 九州大学理学部教授 国立環境研究所地球環境研究センター 上席 大阪市立大学理学部教授	〒606 京都市左京区北白河追分町 〒812 福岡市東区箱崎6-10-1 〒305 つくば市小野川16-2 〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138
<u>砂漠化</u> 門村 浩	東京都立大学理学部教授	〒152 世田谷区深沢2-1-1
<u>総合化研究</u> 佐々波秀彦 鈴木基之 西岡秀三	国際連合地域開発センター 所長 東京大学生産研究所教授 国立環境研究所地球環境研究センター 総括	〒450 名古屋市中村区那古野1-47- 〒106 港区六本木7-22-1 〒305 つくば市小野川16-2

本件に関するご連絡・お問い合わせ先

C G E R

環境庁国立環境研究所地球環境研究センター

観測係 荒木真一、大橋孝生

〒305 茨城県つくば市小野川16-2

TEL : 0298-51-6111 (内線374)

FAX : 0298-58-2645