

国立環境研究所  
研究発表会 予稿集

平成8年6月21日

於：国立環境研究所大山記念ホール

# 目 次

## 1. 研究発表講演 (於: 大山ホール)

10:10-10:45	定期貨物船による太平洋域の温室効果気体観測研究	1
	野尻 幸宏 (地球環境研究グループ)	
10:45-11:20	“酸性雨”の自然生態系影響	7
	佐竹 研一 (地球環境研究グループ)	
11:20-11:55	フェリー時系列による海洋生態系変動の研究	12
	原島 省 (地球環境研究グループ)	
13:45-14:20	地球環境研究のナビゲーターを目指して	17
	大坪 国順 (地球環境研究センター)	
14:20-14:55	バイオテクノロジーによる大気汚染耐性植物の開発	23
	佐治 光 (地域環境研究グループ)	
14:55-15:30	都市型環境騒音と大気汚染による環境ストレスと健康影響 に関する環境保健研究	27
	兜 眞徳 (地域環境研究グループ)	
15:45-16:20	アジア太平洋地域における水環境修復技術の国際共同研究と展望	33
	稲森 悠平 (地域環境研究グループ)	
16:20-16:55	病める生態系・湿原の生物多様性とフィールドサイエンスの重要性	40
	野原 精一 (生物圏環境部)	

## 2. ポスター・デモンストレーションセッション 12:30-13:45 (於: 中会議室・ラウンジ)

波照間・落石モニタリングステーションにおける大気中の二酸化炭素の観測	49
向井 人史 (地球環境研究グループ)	
西シベリア上空における温室効果気体の季節変動	50
町田 敏暢 (地球環境研究グループ)	
映像で見る地球環境の将来 - AIMシミュレーション -	51
甲斐沼 美紀子 (地球環境研究グループ)	
アジア大陸と日本の間の海洋上空の大気汚染物質	52
畠山 史郎 (地球環境研究グループ)	
熱帯林の攪乱に鳥類群集はどのように反応するか? -マレーシア熱帯林プロジェクトより-	53
永田 尚志 (地球環境研究グループ)	
衛星搭載センサー ILAS が宇宙から見るものは? -オゾン層の変動とその要因-	54
笹野 泰弘 (地球環境研究グループ)	
自動車による環境影響のアセスメント手法	55
森口 祐一 (地域環境研究グループ)	
ディーゼル排気微粒子と気管支喘息	56
高野 裕久 (地域環境研究グループ)	
阪神淡路大震災によるアスベスト飛散	57
寺園 淳 (社会環境システム部)	

分解能の異なる衛星データを統合した植生モニタリング手法の研究	58
杉田 幹夫 (社会環境システム部) ほか	
市民の環境に対する価値観と行動について -日本と欧米の共同調査の結果をもとに-	59
青柳 みどり (社会環境システム部)	
日本人の骨に蓄積した鉛はどこから来たか?	60
吉永 淳 (化学環境部)	
船底塗料・有機スズによる海洋汚染と巻貝類の生殖障害(インボセックス) -経緯と現状-	61
堀口 敏宏 (化学環境部)	
遺伝子導入動物を用いた変異原物質の検出手法	62
青木 康展 (環境健康部) ほか	
日本人の紫外線暴露量 -紫外線暴露量調査結果、生活時間調査よりの推定-	63
小野 雅司 (環境健康部)	
熱帯大気と極域海洋 -数値モデルによる気候システムの研究-	64
沼口 敦 (大気圏環境部)	
シベリアにおける大気中のメタン濃度の航空機観測	65
遠嶋 康徳 (大気圏環境部)	
衛星、地上気象及び地理情報による熱収支解析システム(TIMMS)の構築について	66
宇都宮 陽二郎(水圏環境部)	
高層湿原における泥炭の分解と微生物	67
広木 幹也 (生物圏環境部)	
環境情報センターの活動及びデータベースの紹介	68
板橋 正文 (環境情報センター)	
民間協力による地球環境モニタリング	69
外山 洋一 (地球環境研究センター)	
地球資源情報データベース -GRID-つくば-	70
宮崎 忠国 (地球環境研究センター)	

# 研究発表講演

# 定期貨物船による太平洋域の温室効果気体観測研究

野尻 幸宏（地球環境研究グループ温暖化現象解明研究チーム）

## 1. 地球温暖化と温室効果気体

### 1.1 地球の温度の決まるメカニズム

地球の表面温度を決めているものは、太陽光としてもたらされるエネルギーであることはいままでのない。地球が光として受けるエネルギーをそのまま吸収する物体（黒体）であると、太陽の輻射エネルギーと太陽地球間の距離からは地表の平均気温として $+5^{\circ}\text{C}$ が計算される。一方、地表が光を反射する場合には、地球が吸収する熱が減少して温度低下効果がある。地表が広く雪氷で覆われているとこの効果が大きい。現在の地球ではその効果は約 $-25^{\circ}\text{C}$ であり、大気のない場合の地表温度を $-20^{\circ}\text{C}$ 程度と考えることができる。

一方、物体はその表面温度に応じた波長の光を放出する性質があり、地球のような温度の物体は、赤外線波長の光を放つ。地球大気が含む多くの微量気体は、この波長の光を吸収するので、地表から放出される再放射光を吸収する。この現象が地表大気の温度を高め、その効果が約 $+35^{\circ}\text{C}$ となる。この理由で、地表の平均気温である約 $+15^{\circ}\text{C}$ が維持されている。

この微量気体のうち重要なものは、水蒸気( $\text{H}_2\text{O}$ )、二酸化炭素( $\text{CO}_2$ )、メタン( $\text{CH}_4$ )、亜酸化窒素( $\text{N}_2\text{O}$ )、オゾン( $\text{O}_3$ )などである。地球の温暖化は、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ などの濃度が人間活動の影響で増加していることが原因となって起こると予測されている。また、天然には存在しなかったフロン(CFC's: Chloro Fluoro Carbons)のような強力な温室効果を持つ成分が、大気中で増加してしまったことも、問題を深刻にしている。成層圏 $\text{O}_3$ は減少しているが、対流圏 $\text{O}_3$ は増加していて、これも温暖化原因物質となる。

### 1.2 温室効果気体の観測

最も重要な温室効果気体である $\text{CO}_2$ の観測は、スクリpps海洋研究所のKeelingらを中心として、1958年頃からハワイ島マウナロア観測所で開始された。当初の316 ppm (1959年年平均値)から現在の356ppm (1992年年平均値)まで増大を続けていることはよく知られた事実である。地球大気の温室効果気体濃度変動を明らかにするには、人間活動の影響を直接受けにくい清浄大気の濃度測定

を行うことがまず第一に重要である。このような観測をバックグラウンド大気モニタリングと呼び、現在、マウナロア観測所と同様に $\text{CO}_2$ の連続観測装置を運転している測定点として、バーロー（アラスカ）、サモア島、アムステルダム島（南インド洋）、タスマニア島（オーストラリア）、南極などがある。我が国でも同じ観測で、昭和基地（国立極地研究所）、南鳥島（気象庁）、波照間島（国立環境研究所）などのステーションで観測が継続されている。

さらに、温室効果気体の地球規模での分布とその変動をより詳しく解析するために、地球上に広く数多く配置した観測点のデータが必要となった。測定装置を備える連続観測点を数多く維持することは困難であるため、大気試料を採取してから測定する観測が開始された。最も充実した観測網は米国大気海洋局(NOAA)によって維持されており、フラスコネットワークと呼ばれている。採用ガラス瓶が、バックグラウンド地点（主として離島や岬が選ばれている）の施設や住民に送付され、大気を加圧採取した後に返送される。大気中濃度は、実験室の分析計で測定される。1980年頃からそのデータが蓄積され、現在世界各地30点以上で継続観測されている。結果は、常時観測点データと合わせて解析され、地球規模の大気中 $\text{CO}_2$ 分布とその濃度変動が、極めて正確に把握されている。

一方、 $\text{CH}_4$ の大気観測も1970年代後半からいくつかの観測点で常時計測として始まった。1980年にはNOAAのフラスコネットワークが $\text{CO}_2$ と同時に開始された。その結果、バックグラウンド大気観測値が収集され、濃度の経年変動と地球規模分布が明らかにされた。ただし、米国以外では同様な広範囲フラスコネットワーク観測は行われていない。新規に他国がネットワーク観測を始めるより、サンプリング協力によってデータの充実を図る方が意味が大きいともいえる。

## 2. 定期貨物船による観測

### 2.1 各国の経緯

定点観測でのバックグラウンド大気中温室効果気体観

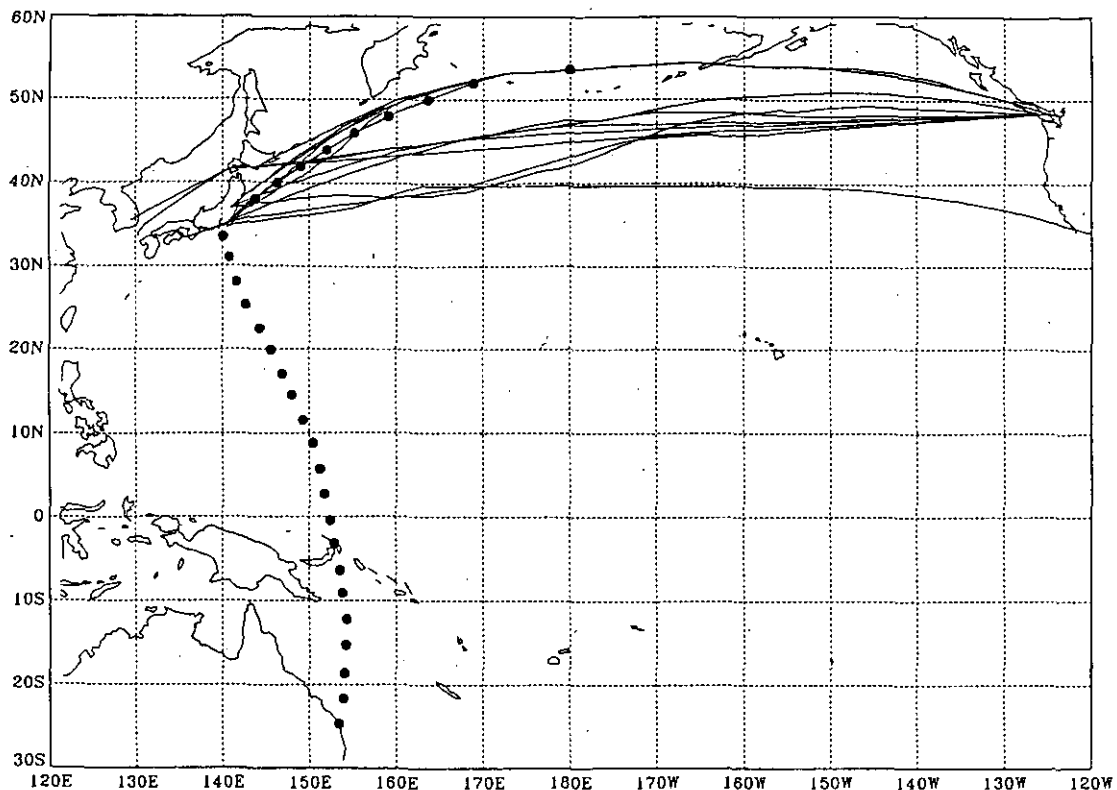


図1 日豪、日加定期船観測の航路図、黒丸が大気採取地点の例を示す

測は著しい成果を収めた。しかし、海洋には離島が存在しない緯度帯があり、連続した緯度分布を観測することができない。NOAAのフラスコネットワークでは1-13°N、14-38°S、40-65°Sが観測点欠落緯度帯である。離島以外の観測点では、陸上生態系影響、人為的排出影響を強く受けることが多く、バックグラウンドモニタリングに適さないことが多い。

現在の重要研究課題である地球上のCO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>発生・吸収源の分布と変動を解析する研究を、大気中濃度分布とその変動から進めるには、連続的な緯度分布の観測が極めて重要となった。この観点からNOAAは、1987年より米国西海岸・ニュージーランド間のコンテナ貨物船による試料採取を開始した。船橋付近で、真空排気済み採気用ガラス瓶の口を開けて大気採取する方法で、緯度間隔5°で洋上大気をサンプリングしている。1990年から1隻のコンテナ貨物船を追加し、より高頻度の観測を継続中である。作業は乗組員に依頼している。このやり方によって、1-13°N、14-38°Sのデータ欠落を埋め、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>の緯度分布がより精密に明らかにされるようになった。1994年までにNOAAでは、地上と貨物船のフラスコネットワークを活用し、17000点を越す測定値を積み上げ、データ解析

を進めている。

一方、観測船を利用する海洋研究において、日本は充実した観測船数を誇り、先進的観測・研究を行っている。温室効果気体の観測でも、気象庁観測船「凌風丸」により、西部太平洋135°E線(1981年以来継続観測)と155°E線(1990年以来継続観測)に沿う赤道までの南北分布観測が年1-2回の頻度で行われ、成果を上げている。観測船による10年以上の継続観測例は世界的にまれで、観測船を定期運行することの困難さを物語る。運行経費の大きな観測船で、季節変化までも捕らえるのは不可能である。それを補うのが民間定期船を利用する観測手法である。

温室効果気体の観測に限らず、従来から民間船を海洋観測に活用することが行われてきた。特に、気象観測への協力は、航行安全と密接に関連しており、各国気象庁で行われてきた歴史がある。日本では、気象観測に民間船の観測協力を求める法律(船舶安全法)のもとで、気象庁が民間船からの通報を受けている。一般的な気象報告から発展して、XBTという使い捨てタイプの海水温鉛直計測センサーを用いる測定が、NOAAを中心に各大洋で継続的に行われている。

しかしながら、気象、表面水温・塩分、XBT観測以外の

項目の観測を民間船で行うには、より大がかりな設備搭載、観測要員乗船、入港時保守作業、などが必要で、単発的観測を除くと事例が極めて少ない。長期継続的観測には、定常的維持体制を整えることから始める必要がある。国立環境研究所が日本近海のフェリーを用いて、N、P、Si等の栄養塩類までを含む観測を開始したのは、数少ない例である。この事例も踏まえ、私たちのグループでは、地球環境研究センターモニタリング事業として観測体制を整備し、定期船による温室効果気体モニタリングを開始した。

## 2.2 国立環境研究所の日豪間貨物船観測

日本-オーストラリア間を定期運行している貨物船を利用して、洋上大気を自動採取し、温室効果気体の南北両半球の広域濃度分布・季節変動・経年変化を解明する観測である。この観測は先に述べたNOAAフラスコネットワークを補完し、両者によって東西太平洋が完全にカバーされる観測網となる。

日本郵船(株)所属、東京船舶(株)運行コンテナ貨物船「白馬丸」の協力を得て、1992年3月より継続的観測を開始した。洋上大気自動採取装置を船首倉庫内に設置し、船首に採気口を取り付けて配管工事し、自動バルブ付き21連超清浄ステンレス製採気瓶(容量3.3L)に、低温除湿した大気を加圧採取している。オーストラリア出港時のメインスイッチ投入操作を乗組員に依頼し、以降一定時間間隔で試料採取する。通常の航海速度では緯度3°毎サンプリングとなる。研究所に持ち帰った採気瓶中大気CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O濃度を、非分散赤外分光法、FID-ガスクロマトグラフ法、ECD-ガスクロマトグラフ法で定量分析している。

白馬丸は主としてオーストラリアのブリスベン港(27°S)と横浜港の間を年間8回程度航行しており、25°Sから35°Nまでの西太平洋がカバーできる。航海によってはタウンズビル港(19°S)が出港地となっており、試料採取緯度範囲がやや狭くなる。図1に大気試料採取位置の例を示した。1996年1月をもって白馬丸航行ルート変更に伴い、観測を中止したが、大阪商船三井船舶(株)所属「さざんくろす丸」の協力が得られ、1996年3月からサンプリングを再開した。

## 2.3 国立環境研究所の日加間貨物船観測

日本-カナダ間を定期運行している貨物船を利用して、北太平洋海域の大気と海水中CO<sub>2</sub>濃度(分圧)の両方を計測することから、海域のCO<sub>2</sub>交換(吸収・放出)量を

解明する観測である。

現在の地球規模炭素循環では人為的に大気に放出されるCO<sub>2</sub>のうち約半分のみが大気に残存し、温室効果を与えている。残り半分は、海洋もしくは陸上生態系が吸収していることが、炭素量のバランス計算から明らかになっている。この吸収のうちどのくらいの量を海洋が担っているか、この吸収が今後も続いてゆくのか、を明らかにすることが、海洋研究の課題である。

海洋と大気のCO<sub>2</sub>交換量は、大気中CO<sub>2</sub>と海洋表層CO<sub>2</sub>濃度(分圧)の差と水温・風速のような気象要素から計算できる。しかし、海洋表層のCO<sub>2</sub>分圧の観測が不十分なため、吸収量推定に大きな不確実性が生じ、炭素循環モデルの問題となっている。CO<sub>2</sub>交換量推定の不確かさは、季節変化を完全にカバーする海洋表層CO<sub>2</sub>分圧観測がないことが最大の原因である。定期貨物船を利用するこの観測は、全季節をカバーする点で画期的である。観測船による観測が困難な大シケの冬の海でのCO<sub>2</sub>交換量推定が可能となった。CO<sub>2</sub>の吸収は、植物プランクトンの光合成(一次生産)によるCO<sub>2</sub>固定と深く関連した現象であり、生物生産量の大きい高緯度海域は特に重要である。

観測は、Jahre Wallen Management AS, Norway所属の製材運搬船M/S Skaugranの協力を得て行っている。1995年3月に機材設置を完了し、観測開始した。この船は、カナダの製材を日本に運ぶ航海を年間9回程度行っている。1996年3月までに行った9回の観測航海航路を図1に示す。日本からカナダに向かう際は南よりルートで、その時々の出港地、気象、海流の状況に合わせて決められるので、一定しない。カナダから日本に向かうルートでは、アラスカ湾、ベーリング海を大圏航路に近い一定航路で走り、ベーリング海を抜けるところから、日本の入港地に向けた航路をとる。

機関冷却水配管に枝管を取り付け、船底(8-12m)から来る海水を採取している。機関室内に設置した海水中CO<sub>2</sub>測定装置、水温塩分計、pH・溶存酸素計、植物プランクトン色素計などに海水を連続的に供給する。必要なデータ収録とともに、定時の採水を行っている。作業のために、常時2名の要員の便乗が許可され、継続観測を行っている。また、船橋付近の甲板上にコンテナ実験室を設置し、大気・大気エアロゾルのサンプリングを行っている。機関室に設置したCO<sub>2</sub>計に大気を送り、大気中CO<sub>2</sub>濃度を連続的に計測する上に、日豪観測と同一の超清浄ステンレス

採気瓶による大気採取の両方を行っている。日豪観測と同様にCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oを分析して、モニタリング緯度範囲を北緯54°にまで拡大できた。試料採取は日本向け航路の西側、図1丸印地点で手動で行っている。

日加貨物船観測は、カナダ政府海洋科学研究所 (Institute of Ocean Sciences) との共同研究であり、入港時保守作業、試料分析などを相互に分担している。

### 3. 両貨物船モニタリングによるバックグラウンド大気観測の成果

#### 3.1 洋上大気中のCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>の観測結果

日豪観測では、1992年6月の航海から、意味のある観測値が得られている。その後、サンプリング装置関連の問題点を順次解決し、成功率を高めた。1993年5月以降は、サンプリング間隔を10.5時間に固定し、高い成功率の試料採取を継続している。貨物船の船橋での大気採取では、煙突などからの排気の影響を受けがちである。特に、コンテナ船の場合、船橋と煙突が近い構造をとることも難点である。日豪観測では、船首に自動採気装置を設置したので、船の排気による汚染を避けることができ、汚染率を非常に低くすることができた。乗組員に船首での大気採取を依頼することは困難であり、船首に自動装置を設置したことが、大きなメリットとなった。

日加観測は、1995年4月の日本向け航海から、観測を開始した。船体中央部に船橋があり、船尾に機関と煙突があるという製材運搬船の構造が幸いして、船橋脇のコンテナ実験室での大気採取でも、船の排気の影響は比較的少ない。

図2に1992年から1995年までに「白馬丸」によるモニタリングで観測された大気中CO<sub>2</sub>の濃度変動を緯度帯毎にまとめた結果を示す。北半球中緯度では季節変動が大きく、北半球の秋のはじめには、南半球より低濃度となる。一方、北半球の冬には大きく濃度が増加する。これに対して南半球での濃度季節変化幅は著しく小さく、観測期間内を通して355ppm前後であった。このような観測結果は既にフラスコネットワークなどで知られている変動傾向と一致するもので、大気濃度変動解析をより精密にすることに寄与することができる。

NOAAのフラスコネットワークでは、大気中CO<sub>2</sub>濃度増加率が、1992年に著しく鈍化したことが報告されている (Conway et al., 1994)。本観測は観測期間が短いため、季節変化幅の大きな北半球では図からはその傾向が明確

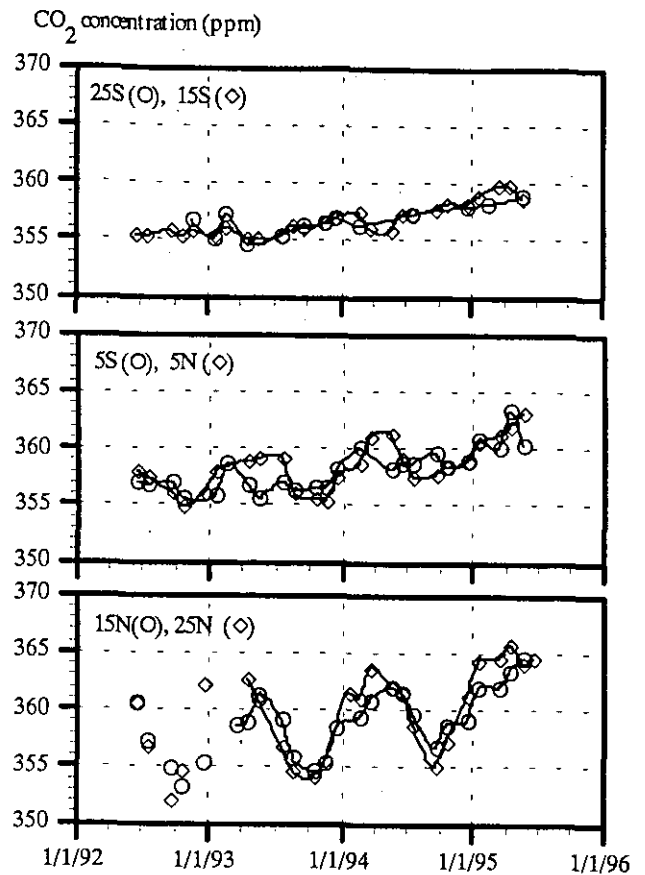


図2 白馬丸サンプリングで測定された大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変動、緯度帯毎の平均値

ではない。しかし、南半球では1992年の濃度増加停滞が見てとれる。また、北半球データで計算した1992-1993年の濃度上昇は、1980年代後半の大気中CO<sub>2</sub>濃度増加率の1.5ppm/yと比較して明らかに小さい。濃度増加率低下の原因として、ピナツボ火山噴火の影響などが考えられているが、まだ結論が得られてはいない。1994年以降は、従来の大気濃度増加率に戻っている。

一方、大気中CH<sub>4</sub>濃度増加率は1980年代後半から低下し、1990-1992年には0.01ppm/y以下にまで下がった (Dlugokencky et al., 1994)。白馬丸のモニタリングデータによると、1992年以降で約0.01ppm/yの濃度増加率に戻っているが、1980年代の高い増加率より低い率が継続している。

#### 3.2 洋上大気中のN<sub>2</sub>Oの観測結果

現在の大気中の亜酸化窒素濃度は310ppb強である。CO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>と比較して、N<sub>2</sub>Oの大気観測には分析の技術的問題が大きく、観測例が限られている。N<sub>2</sub>Oの大気濃度データは、数地点のバックグラウンド大気モニタリングステーションに設置されている連続測定装置によるものに



限られている。この場合は、各点で使用されている標準ガスの違いを厳密に検定しなくては濃度緯度分布の議論ができないし、データの得られる緯度が極めて限定されている。このため、 $N_2O$ の緯度分布の詳細は未だ明らかにされていない。

本観測では、極めて高精度の $N_2O$ 分析を行っている。これは、超清浄ステンレス採気瓶を用いていることの特長点であると考えている。結果として、南半球中緯度から北半球高緯度まで連続する $N_2O$ 緯度分布の初めての継続観測になった。1993年2月からの濃度の変動について21-15°S、15-21°N、45-51°Nの各緯度帯の平均値を図3に示す。

大気モニタリングステーションの結果では、1980年代の大気中 $N_2O$ 濃度増加率は0.9ppb/y程度であった(Prinn et al., 1990)。しかし本観測結果では、1993-1995年の南北半球低緯度(21°Sから21°N)の平均増加率は、0.15ppb/yという低い値であった。この原因が $CO_2$ や $CH_4$ の濃度増加率低下と関連があるかどうかは不明である。本観測では、中高緯度のデータが不足し、そこでの正確な増加率が算定できない。ただし1995年から日豪観測に日加観測が加わり、今後明らかになるであろう。また、1995年末から赤道から北半球低緯度にかけての $N_2O$ 濃度上昇が起こり、高緯度では遅れての上昇が1996年に入ってから起こった。赤道海域でのラニーニャ現象と関連した海洋からの $N_2O$ 放出による可能性が考えられる。

また、1995年の年間平均データによる大気中 $N_2O$ 濃度の緯度分布を図4に示す。 $N_2O$ の南北濃度差は非常に小さいが確実に存在する。従来Prinn et al. (1994)によって報告された0.75ppbという南北濃度差が、 $N_2O$ の発生源・大気循環モデルに利用されてきた。この値は、タスマニア、サモア観測所の2点を南半球の代表、アイルランド、オレゴン、バルパドス観測所の3点を北半球の代表として算出したものである。また、Butlerら(1989)が南北太平洋を観測船で縦断航海しながら船上測定した結果では、0.97ppbという南北濃度差が報告されている。本観測は、緯度の連続した通年データに基づくこと、サンプリングした大気を同一の測定器で分析したこと、の2つの理由で従来より精密なものである。サモア、タスマニア、南極の大気濃度が大きく違わないこと(Prinn et al., 1994, Elkins et al., 1994)を考慮して、20°S以南での $N_2O$ 濃度が一定であるという仮定をおくと、南北半球濃度差として0.88ppbが得られ、従来の報告と矛盾がなかった。

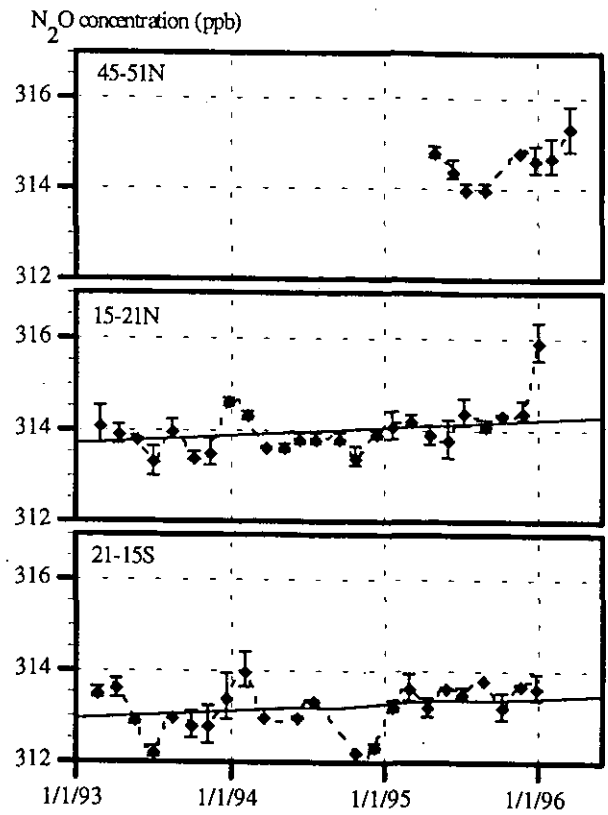


図3 日豪、日加貨物船観測で得られた大気中 $N_2O$ 濃度の経年変化、緯度帯平均値と緯度帯内変動幅

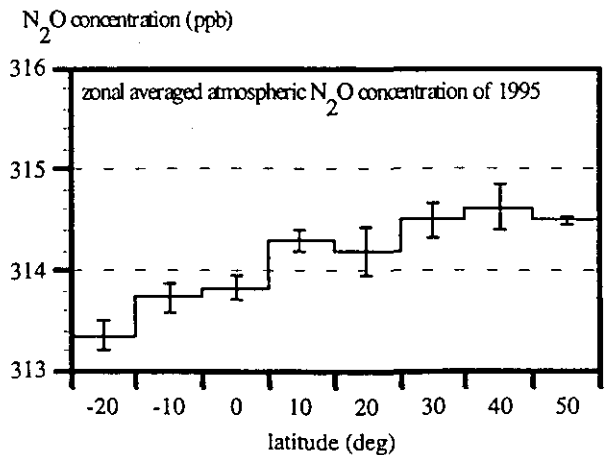


図4 日豪、日加貨物船観測で得られた大気中 $N_2O$ 濃度の緯度分布、1995年の年間平均

た。加えて、緯度分布に関する重要な知見として、30°N以北で濃度分布が小さいこと、赤道から10°Nにかけて大きな濃度勾配があること、が明らかとなった。

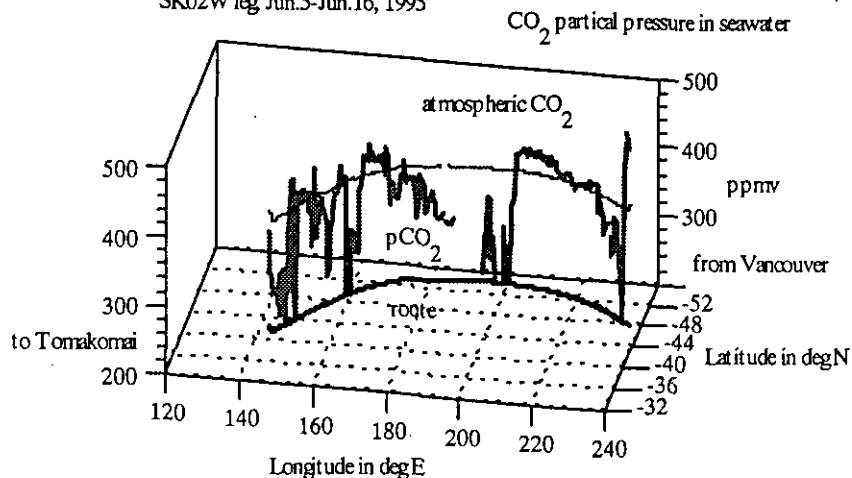
#### 4. 日加間貨物船観測による $CO_2$ の大気海洋間交換の研究結果

図5に海洋表層 $CO_2$ 分圧観測データの例を示した。1995

年6月のカナダー日本航路は春の植物プランクトン増殖期に当たり、アラスカ湾西部、ベーリング海東部、カムチャッカ・千島沖の海域でCO<sub>2</sub>分圧が著しく低くなり、強いCO<sub>2</sub>吸収域があることが明らかになった。しかしながら、2月の同航路データでは、アラスカ湾西部、ベーリング海全域、カムチャッカ沖でCO<sub>2</sub>分圧が相当に高く、強いCO<sub>2</sub>の放出がある結果を示した。

通年データを解析すると、ベーリング海ではその変動の季節性が単純で、6月の最小値から増大に転じ、12-2月に最大値となった後、減少することがわかった。また、カムチャッカ・千島沖でCO<sub>2</sub>分圧の高い海域と低い海域とが、モザイク状に複雑に出現することが多かった。従来中緯度から低緯度海域を中心に行われてきた海洋CO<sub>2</sub>分圧観測のデータと比べ、この観測の高緯度の結果は、海洋大気間のCO<sub>2</sub>分圧差の絶対値が著しく大きいものであった。このことは、海洋のCO<sub>2</sub>の吸収、放出ともその速度が中緯度、低緯度と比較して、著しく大きいことを意味する。また、その時間・空間分布変動が極めて大きいために、真の年間平均を求めるために、高頻度・高密度の観測を行わなくてはならないことが明らかになった。この意味で、冬の大しけの高緯度海域を含めた観測が行える定期船継続観測は、大気中のCO<sub>2</sub>に与える海洋の影響を解明する上で極めて意味深い。

SK02W leg Jun.5-Jun.16, 1995



SK08W leg Jan.28-Feb.10, 1996

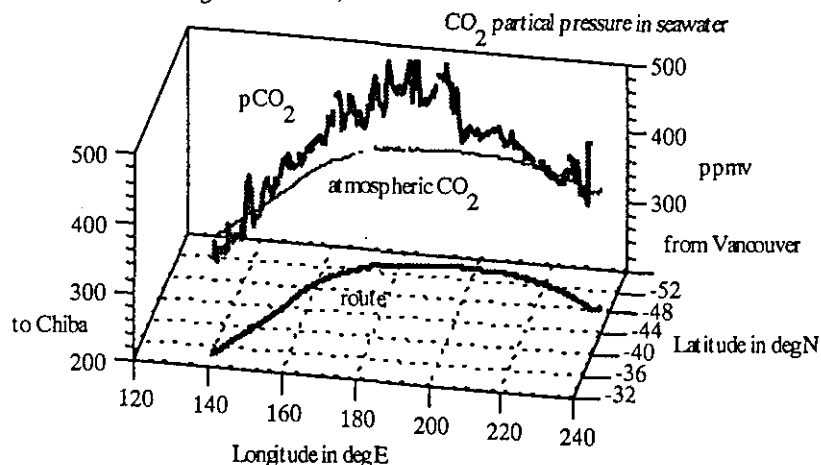


図5 高緯度北太平洋の海水中CO<sub>2</sub>分圧と大気中CO<sub>2</sub>濃度 (上は1995年6月、下は1996年1-2月)

本観測研究は、3隻の貨物船「白馬丸」「さざんくろす丸」「M/S Skaugran」の協力で実現したものであり、船長はじめ乗員一同、船主会社、運行会社、チャーター会社、港湾代理店会社など、多くの関連する方々の協力に感謝する。観測維持は、国立環境研究所地球環境研究センター、(財)地球人間環境フォーラム、(株)紀本電子工業、並びに、カナダ政府海洋科学研究所の担当者の努力の成果であることを記す。

# ”酸性雨”の自然生態系影響

佐竹 研一（地球環境研究グループ酸性雨研究チーム）

## 1. はじめに

英国は美しい田園風景に恵まれた国である。しかし、イングランドやウエールズ等の地方を旅すると、各地に放棄された小さな鉱山や廃墟となった精錬所跡等が数多く点在し、そこでは荒廃した自然の中で重金属や酸を含む排水が今なおしみだしているのを目にする。英国で今行われている様々な生態系回復の努力にもかかわらず、一度汚染され破壊された自然を回復させることは非常に難しい。産業革命当時、生態系に対して配慮のないまま行われた乱開発と汚染は英国の自然を破壊し、取り返しのつかない大きな被害を与えたのである。

産業革命を境にして資源の大量消費と環境汚染が始まったとき、グラスゴーやマンチェスター等の英国の諸都市では、石炭の大量使用で発生した亜硫酸ガスや硫酸が著しい大気汚染を引き起こし、人や植物や建築物を汚染し被害を与えた。酸性雨 (acid rain) とという言葉が初めて用いられたのもこのころで 1872 年のことである。それから約 80 年後、1952 年にロンドンで大気汚染 (スモッグ) の為数千人の死者がでた事を考えると英国の大気汚染の深刻な状況がいかに長期間継続したかが分かる。

19 世紀後半から 20 世紀にかけて拡大した化石燃料の大量消費は人類に恩恵をもたらす一方で汚染物質を排出し、各地で汚染と自然破壊を招き、急激な地球環境の荒廃が始まった。その諸過程が地球生態系へ与えた影響は大きく、人類と共存していた多くの生物種も生息地が破壊され、あるいは汚染され、分布域を狭められた生物種のあるものは絶滅に追いやられた。酸性雨問題に象徴される地球環境の荒廃はその一つの典型である。

## 2. ”酸性雨”による自然生態系の被害

”酸性雨”は酸性の雨、雪、霧そして酸を含む大気粉塵、酸性ガスの総称として用いられることが多く、酸性降水物あるいは酸性沈着物とも言われる。一方、”自然生態系”は大気圏と岩石圏の境界に広がる生物圏の生態系、森林や湖沼や河川等の生態系の総称である。

今日、各国で行われている様々な規制や対策にもかか

わらず、多くの国々では今後さらに広い意味での酸性雨問題が深刻化する様相を呈している。

例えば、東欧チェコでは、経済的事情から硫黄含量の高い石炭が火力発電等に利用され、多量の亜硫酸ガスを含む排煙は、西北部の山岳地帯や北部山岳地帯等のトウヒ等の人工林に大被害を与えている。チェコではかつてヨーロッパ各地で戦争が続いた時代に武器製造に必要な鉄精錬のため森林が伐採され、やがて訪れた平和の時代には盛んになったボヘミアングラス製造のため森林が伐採され 19 世紀には殆どの森林が消失したという。今日被害を受けている森林 (*Picea abies*) はその後植えられたもので、特に人工林は天然林に比較して被害を受けやすいようである。

亜硫酸ガスは火力発電所の他、金属の精錬過程でも発生する。この被害ではロシア西部コラ半島の大ニッケル精錬所の近隣地域が有名である。ここでは、年間 27 万トンと推定される亜硫酸ガスが発生し、精錬所近郊の広大な地域の樹木を枯損させ、重金属汚染を伴う被害はフィンランドやノルウェー等の隣接する国々に国境を越えて広がっている (Tuovinen et al., 1993)。

北欧や北米では花崗岩地帯に分布する湖沼や河川が酸性化され、魚類をはじめ、貝類など多くの水性動植物が減少・死滅している (Okland and Okland, 1986)。ノルウェーでは酸性化に伴ってまず酸に弱いタイセイヨウサケ (*Salmo salar*) が姿を消した。降雪量が少なく厳冬期間が長い北欧では、特に春の融雪期にはその被害が著しいとされている。南部のトプダル川では、1975 年春、酸性雪が酸性融雪水となって流入し、サケ科のブラウントラウト (*Salmo trutta*) が大量死した (Leivestad and Muniz, 1976) (図 1)。地球上の大多数の湖沼や河川の pH は中性領域に分布しているが、化石燃料の大量消費が中性環境の酸性化をもたらせているのである。更に、環境の酸性化と連動して水銀等の重金属汚染も北欧や北米で観測されている。

19 世紀後半から産業化の始まったアジアにおいても、化石燃料の消費量、金属資源の消費量、森林資源の消費量等の増大は著しく、今急速に進んでいるアジアの変化

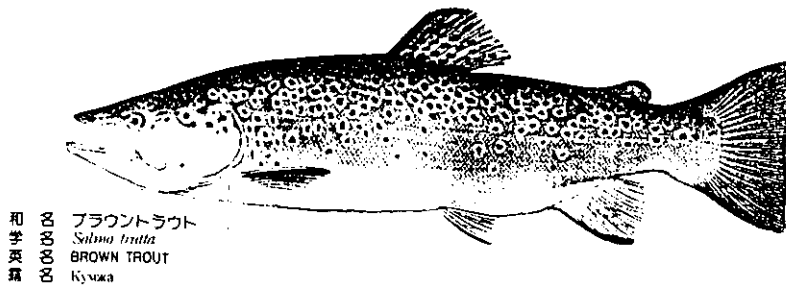
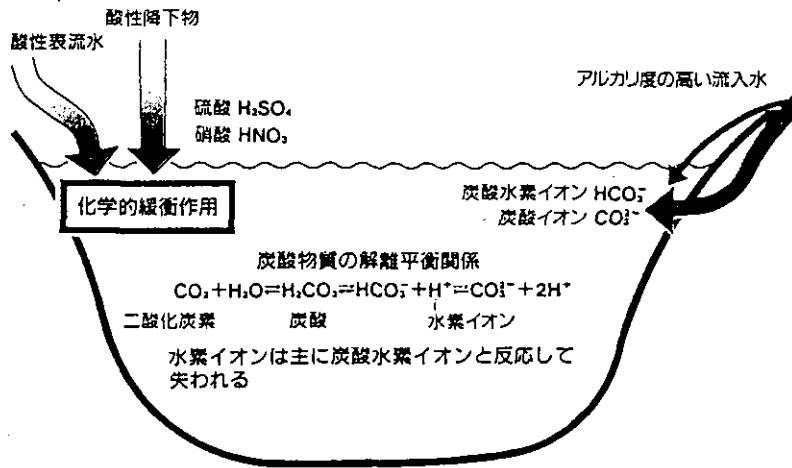


図1 酸性化河川から姿を消したブラウトラウト  
(図：標津サーモン科学館、サケの仲間達)

■化学的緩衝作用。湖水のアルカリ度の主成分は、炭酸水素イオンと炭酸イオンのことが多い。これらが水素イオンを受け取って二酸化炭素となるため、水はすぐには酸性化しない



■生物的緩衝作用。硫酸還元菌は硫酸イオンを硫化水素にし、脱窒菌は硝酸イオンを窒素にする

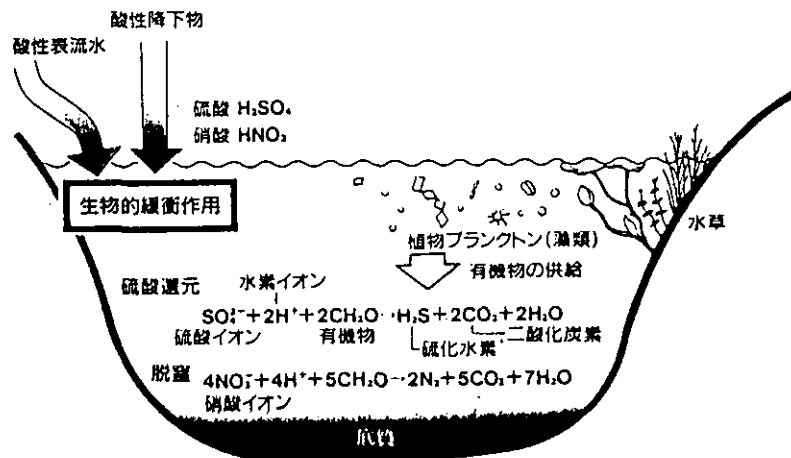


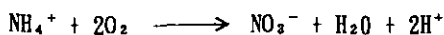
図2 湖沼や河川や土壌の酸中和能力を支える化学的緩衝作用と生物的緩衝作用

が、環境汚染を更に増大させ、森林や湖沼や河川等のアジアの自然環境を荒廃させ、ひいてはアジアの人々の生存環境を劣化させることが心配されている。

山岳地帯に囲まれた中国重慶近郊では、酸性汚染ガスが滞留しやすく健康被害や森林被害が起きている。中国大陸では酸性物質の排出は年々増加し、その長距離輸送も問題となっている。タイではエネルギー需要の逼迫から石炭火力発電所が建設され、酸性物質の排出と影響が懸念され始めた。人口1億8000万の内、多くがジャワ島に集中するインドネシアでもエネルギー需要は逼迫している。アジアの国々では国内に石炭石油の資源を持つ場合でも経済的理由で硫黄含量の少ない良質のものは輸出し国内では低品質のものをを用いることがある。またこれらの低品質の化石燃料を含めても資源は有限である。今後これらの国々の中で更にエネルギー需要が高まった場合、環境や健康を守りながらどのように人々の生活を充実させるか大きな課題となっている。これはアジアの国々の一員であり、お互いに密接な関係を持つ日本の課題でもある。

### 3. 酸性雨被害の機構

石炭中に含まれる高含量の硫黄はもともと植物体に含まれていた硫黄に後から様々な起源の硫黄が加わったものである（例えばチェコの場合最高10%もの硫黄を含む石炭が存在するが、この硫黄は火山起源である）。このような石炭や石油の燃焼で発生した亜硫酸ガスは生態系に様々な被害を与えると共に、更に大気中で酸化されて硫酸に変化し酸性雨の酸の主成分となり被害を与える。石油の燃焼過程では窒素酸化物が生成しこれが大気中で硝酸に変化し酸性雨を構成する酸のもう一つの主成分となる。最近では大気中に含まれるアンモニアが地上に降下した後、次のように微生物の働きで硝酸に変化し酸として作用することも注目されている。



このように様々な起源と生成過程をもつ酸の森林土壌や湖沼や河川の酸性化現象を考える場合には、まず土壌や水のもつ酸に対する中和能力を評価することが重要である。この能力を越えて酸が付加されるとき酸性化が始

まるからである。しかし、酸性化が始まる前に起きる酸中和能力の減少は酸性化の初期症状として注目されなければならない。土壌や水の酸中和能（緩衝能）は化学的緩衝作用と生物学的緩衝作用によって構成されているが、一般に化学的緩衝能の役割が大きい（図2）。

中性環境に分布する動物や植物に、あるいは菌類などの微生物に及ぼす環境酸性化の具体的な影響については、まず北欧や北米で多くの研究が行われ、その影響には硫酸や硝酸等の酸の直接影響と共に、間接影響も大きな役割を果たしていることが明らかとなっている。酸の間接影響としては酸可溶性のアルミニウムや重金属の溶出、植物の生長に必須のカリウムやカルシウムやマグネシウムの溶脱、あるいは酸性物質に含まれる硝酸やアンモニア等の窒素化合物の供給過剰などがその主なものである。アルミニウムイオンは魚の代謝に影響を与えるほか、樹木の根に蓄積し、樹木生長に必要な金属イオンの取り込みを阻害すると考えられている。しかしまた、このような影響は生物の種類が異なると大きく異なること、様々な生物が複雑に絡み合っている森林や土壌や陸水の生態系の中では生物間相互作用に与える環境酸性化の影響も重要であること等が次第に明らかとなってきている。土壌酸性化の影響を受けるナラタケ菌とバクテリアの関係はその一例である（図3及び図4）。この他、最近では青銅や大理石で建造された文化財や人工物への影響についても多くの研究が行われ、酸性雨被害の機構が明らかにされつつある。

### 4. アジアにおける酸性雨影響研究の課題

アジアの国々の中で他の国に先駆けて工業化の道を進んだ日本は環境汚染についても早くから問題が顕在化し、様々な対処を行ってきた。例えば酸性雨問題に対しても発生源対策に取り組むと共に全国各地にステーションを設け汚染物質の観測を続けている。この観測は日本（アジア）の自然に対する酸性汚染物質の影響を正しく理解し、対処してゆく上で重要なものである。

しかし、欧米で行われた酸性雨影響に関する膨大な研究成果にもかかわらず、日本（アジア）地域の酸性雨問題を考えその自然生態系への影響を理解するためには、背景となる自然条件が欧米のそれとは大きく異なる点に注意が必要である。欧米で得られた研究成果をそのままアジアに適用することはできないのである。

までの様々な実験の結果から、あるいは火山性酸性地域周辺にも杉が育つことなどから、我が国の酸性雨の平均pHであるpH4.7前後程度の雨で直接の影響が出ることは考えにくい。欧米で盛んに研究されたトウヒ (*Picea abies*) とは異なった性質を持つことが予想されるのである。また、日本には火山性の酸性地域(水域)が多く、耐酸性あるいは好酸性の動植物が数多く生存していることも特色で注目する必要がある。

(2) 欧米の酸性雨被害地域では火山との複合作用は見られない。しかし日本列島など環太平洋の島々には火山が多く硫酸や塩酸や亜硫酸ガスなど火山起源の酸性物質が大量に放出され、特定地域の酸性化と生態系影響を評価する際にはその寄与を評価することが重要である。

(3) 黄砂は炭酸カルシウムを含み酸を中和する働きがあり注目される。黄砂については日本でも中国でも様々な研究が行われているが、その一つの研究では黄砂による酸の中和量を日本の酸性雨のほぼ20%と推定している。

(4) スカンジナビア半島や北米等の場合と異なり、日本列島は氷河による侵食がほとんどなかったことに注目する必要がある。花崗岩は石英を70%近く含み一般に酸に対する中和能力に乏しいとされるにも関わらず、日本列島の花崗岩地帯は風化土壤に被われ、河川のアルカリ度は必ずしも低くはない、つまり酸の中和能力を持っているのである。ただし、急峻な山岳地帯に多量の酸性雨が降り、花崗岩の岩盤が露出し表層土壤の薄い屋久島の場合は別である。

(5) 我が国の地質は北欧や北米に比較して大変複雑である。多くの支流を持つ河川が地質条件の異なる地域を流れて海に注ぐことも少なくない。多くの場合、地下に浸透した酸性雨水は土壤中で中和され、アルカリ度を増して河川に流出する。

このように日本(アジア)における酸性雨問題(自然生態系影響)は欧米のそれに比較してより複雑な要素を含んでいるのである。自然生態系を対象として研究を進めている私達にとって、我が国に分布する多種多様な生物の耐酸性や、生物間相互作用や、物質代謝は、酸性物質の生態系影響を理解する上で大変重要な課題であるが、多様な生物種が受ける環境酸性化の影響については実は詳しいことはまだほとんど明らかでない。また、我が国の火山活動の影響を受ける地域に分布する耐酸性あるい

は好酸性の生物についてもその耐酸性がどのような機構によるのか、中性環境に分布する生物種とどのような差があるのか、環境の酸性化にともなって耐酸性生物の分布がどのように拡大してゆくのか、等も環境酸性化の生態系影響を理解する上で重要な課題であるがまだ部分的にしか明らかでない。より総合的で長期的な研究が求められる由縁である。このような研究課題のほかに、酸性雨問題の中では、酸性汚染物質の文化財や人工物に与える影響、酸性物質の発生源対策、生態系回復を含む影響対策、あるいは環境教育等も極めて重要な課題となって登場している。

## 5. おわりに

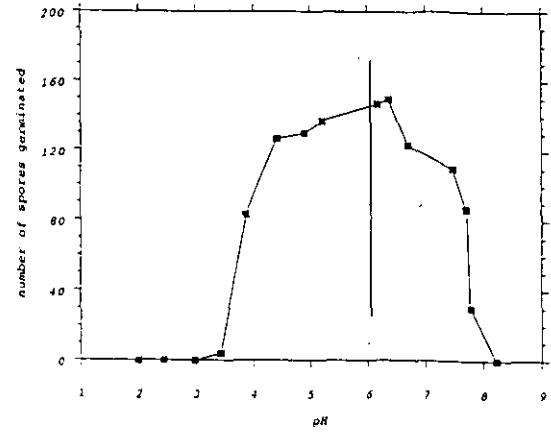
地球上には環境条件の異なる様々な生態系が存在し多くの生物種が共存している。そして、私達人類が今呼吸している大気中の酸素が植物が作り出したものであることが明確に証明するように、生物の活動が現在の地球環境を形成し人類の生存も支えてきた。

今、人類は過去の生物の残した遺産を消費しながら、その遺産を地下から掘り出し巨大なエネルギーに変えながら未来への道をついて走っている。地球は小さな惑星である。資源非循環型で拡大を続けるライフスタイルがやがて限界に達することは自明である。その過程で森林や土壌や湖沼や河川や海洋等の自然生態系を荒廃させ、循環型の自然のシステムを破壊してしまうと後にもどることは困難である。地球生態系の中で与えられた共生と循環のシステムをいかに維持してゆくのか、近世の発展を支えた物質文明、そして精神文明の功罪と未来が問われる中で、地球生態系で生きる人類の次元の高い知恵と選択が求められている。

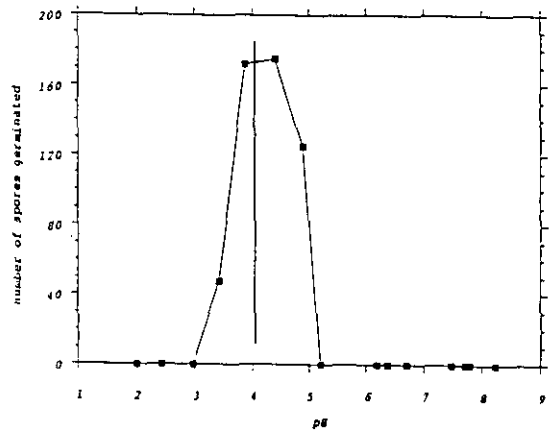
## 引用文献

- Leivestad, H. and Muniz, I.P. (1976), Nature 259: 391-392.
- Okland, J. and Okland, K.A. (1986), Experientia 42: 471-486.
- Tuovionen, J-P., Laurila, T., Lattila, H., Ryoboshapko, A., Brukhanov, P. and Korolev, S. (1993), Atmospheric Environment 27A:1739-1395

a



b 無菌条件下でのナラタケの胞子の発芽に及ぼす pH の影響



c 土壌微生物共存下でのナラタケの胞子の発芽に及ぼす pH の影響

図3 ナラタケ菌 (a)の増殖と pH の関係(b, c)

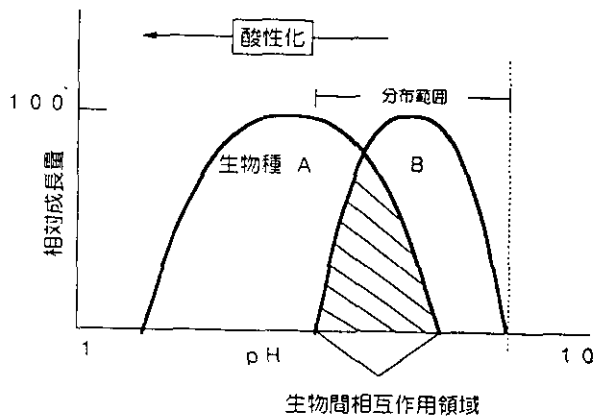


図4 生物間相互作用と pH の関係

その相違点とは、

- (1) 分布する動植物の種類、
- (2) 火山、(3) 黄砂、(4) 氷河侵食、
- (5) 気候条件、(6) 地質、等である。
- (1) については、北欧や北米に比較して日本に分布す

る植物の種類は格段に多い点に注目する必要がある。種類数が多いということはそれだけ性質の異なる植物が分布していることを意味している。酸性雨の影響を評価する上で種によって異なる酸に対する感受性等の研究が必要となっているのである。例えば、杉に関しては、これ

# フェリー時系列による海洋生態系変動の研究

原島 省 (地球環境研究部グループ海洋研究チーム)

## 1. 研究の背景と概要

地球規模での人口増大、農業、産業構造拡大、土地利用変化などの人為影響により、炭素(C)、窒素(N)、リン(P)、ケイ素(Si)などの親生物元素の循環が攪乱を受けている。図1は、世界の肥料の生産量の推移の統計であり、人間活動の増大の一端を示している。1960年代から、窒素、リン肥料の増加が著しい。最も議論を呼んでいる地球温暖化は、炭素循環の攪乱によるものであるが、問題は炭素循環だけにかぎったものではなく、その他の親生物元素に及んでいると考えられる。

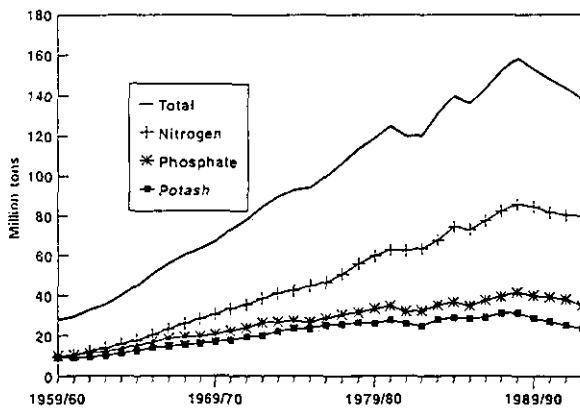


図1 世界の肥料の生産量の推移 (FAO, Fertilizer Yearbook より)

地球温暖化が、ハワイのマウナロアで計測されたCO<sub>2</sub>の長期的な増加のデータから問題提起されたように、N、P、Siなどの物質循環の攪乱も、なんらかの長期時系列データでモニター (検知) する必要がある。陸域は非常に不均質なので、陸のモニタリングデータから判断することはむずかしい。これらの攪乱分は、最終的にそれが流入する海洋の変動から評価する必要がある。

このような攪乱に対する海洋の応答は、単に海水中のN、Pが増えるといったものではなく、海洋生態系の再調節といった形で現れると予測される。なぜなら、N、Pは海洋生態系の底辺である植物プランクトンに吸収され、生態系全体にわたり、有機物となって海底に沈降する (生物ポンプ)。したがって、人為影響によるN、Pの攪乱は、海洋の栄養塩環境と植物プランクトンを中心とし

た生態系の中・長期変動を計測することによって検知することが必要になる。

これまでに、ヨーロッパの北海の沿岸域から大陸棚海域でのN、P、Siと植物プランクトンについて、次のようなシナリオが提出されている。珪藻による春期のブルーム (大增殖) によりSiが消費された後に、余剰のN、Pが残っていると、夏に渦鞭毛藻による第2のブルームが起こる。珪藻と異なり渦鞭毛藻はSiを必要としないからである。海域へのSi負荷が自然の風化によるのに対し、N、P負荷は人為影響によるものであり、近年増加の傾向にある。これが海洋生態の基盤に珪藻→非珪藻への長期変化をもたらしているという仮説である。

珪藻には有害性が少なく、海洋生態系の基盤として重要であるのに対し、渦鞭毛藻が大量に出現すると貝毒、や赤潮などの現象を招く。ただし、現在地球環境として問題になりつつあるのは、大陸棚浅海域まで含めたより広域な海域で、緩やかに進行する生態系の変動である。

## 2. フェリーを用いた海洋の生物化学量の計測

以上のような点を考慮すると、植物プランクトンの属性やその時間変化・空間分布を念頭におきながら時系列計測を行う必要がある。

近年、CZCS (1978-1986) や今年打ち上げが予定されるOCTSなどの衛星センサーによって、植物プランクトンのクロロフィルの分布が面的に、しかも反復的にモニターできるようになった。ただし、雲の存在によって時系列がとぎれるのと、生物化学量の詳細の把握ためには、やはり現場海水の実測が必要となる<sup>1)</sup>。

一般に船舶は、エンジン冷却などのために、海水を連続的に汲み上げている。特にフェリーなどの定期航路船舶は、反復的に同じ海域を通過するので、その連続取水系を利用して生物化学量の時系列計測を行うことがブレイクスルーとなる<sup>2)</sup>。

1991年3月より、国立環境研究所地球環境研究センターのモニタリング事業として、日韓フェリー (釜山-神戸間、週2往復) の航路を利用して、水温、塩分、植物プランクトン蛍光、栄養塩などの基本項目の計測が開始さ



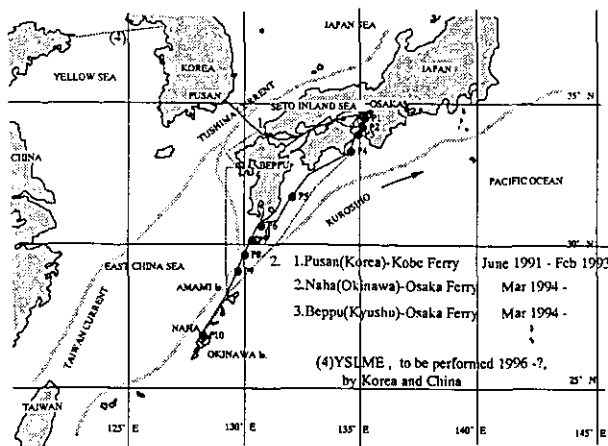


図2 モニタリング・観測に利用したフェリー航路

れた。このデータは、既にCD-ROMとして内外の海洋関連機関に公開されている<sup>3)</sup>。

その後、この航路が廃止になり、可能な限り時系列を延長するため、関西汽船のさんふらわあ2（別府-大阪間、毎2夜で往復）とフェリーくろしお（沖縄-大阪間、週1往復）（図2及び図3参照）で1994年からモニタリングが再開された。

モニタリングと平行して、環境庁地球環境総合推進費により、同フェリーをつかった有人観測で、植物プランクトンのサイズ組成<sup>5)</sup>、種組成<sup>6)</sup>、海水溶存CO<sub>2</sub>分圧の計測<sup>4)</sup>を行った。

本講演では、この2航路のフェリーからの観測データから、植物プランクトンのダイナミクスを中心に海洋環境がどのように変動しつつあるのかを報告する。

### 3. 海域の(N, P)/Si比と出現プランクトン種

図4によれば、瀬戸内海のほとんどの海域では、リン酸塩とケイ酸塩は、だいたいよい相関を示し、左下から右上の対角線上に分布している。ところが、大阪湾の部分だけは、図の左上（リン酸塩が多く、ケイ酸塩が少ない）に分布している部分が、大阪湾に対応している。

この時に、瀬戸内海の全域に比べると、大阪湾では、渦鞭毛藻と微小鞭毛藻の割合が多かった。通常海域では、春のブルーム時に珪藻種、夏の栄養塩枯渇期にらん藻種（シアノバクテリア）が多かった。したがって、1.で述べたシナリオのように、人為影響による(N, P)/Si比の増加が、Siを必要とする珪藻種→必要としない渦鞭毛層種

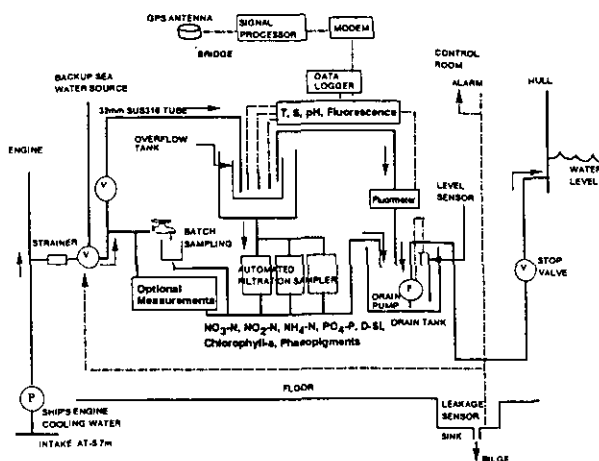


図3 さんふらわあ2（別府-大阪間、毎2夜で往復）に搭載した計測システムのフロー図

への、生態系シフトを招いていることが推測される。これらの知見から、海域への人為影響は、その海域の(N, P)/Si比と、出現する植物プランクトン種によって評価できるといえる。

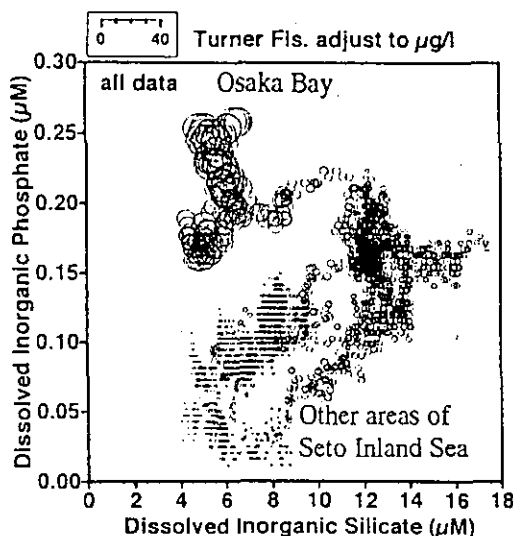


図4 1994年7月に、瀬戸内海航路で得られた、植物プランクトン濃度（円の大小で示す）と、栄養塩の関連（縦軸：リン酸塩濃度、横軸：ケイ酸塩濃度）<sup>8)</sup>

ただし、注意すべきことは、どの季節でもこのような状況が起こるわけではないことである。通常は、春季ブルームの開始時には、まだSiが枯渇しておらず、どの海域でも珪藻が卓越するからである。次節では、時系列の要素を見る。

#### 4. ブルーム時の植物プランクトン増殖の時系列

図5によれば、調査期間のはじめに、まず珪藻類が増殖し、その後に渦鞭毛藻が増殖するというデータが得られた。おそらくは、調査期間中に、Siが珪藻に吸収されて減少し、珪藻の増殖には不利になり、その後ケイ素を必要としない渦鞭毛藻の増殖が有利になったと推測される。

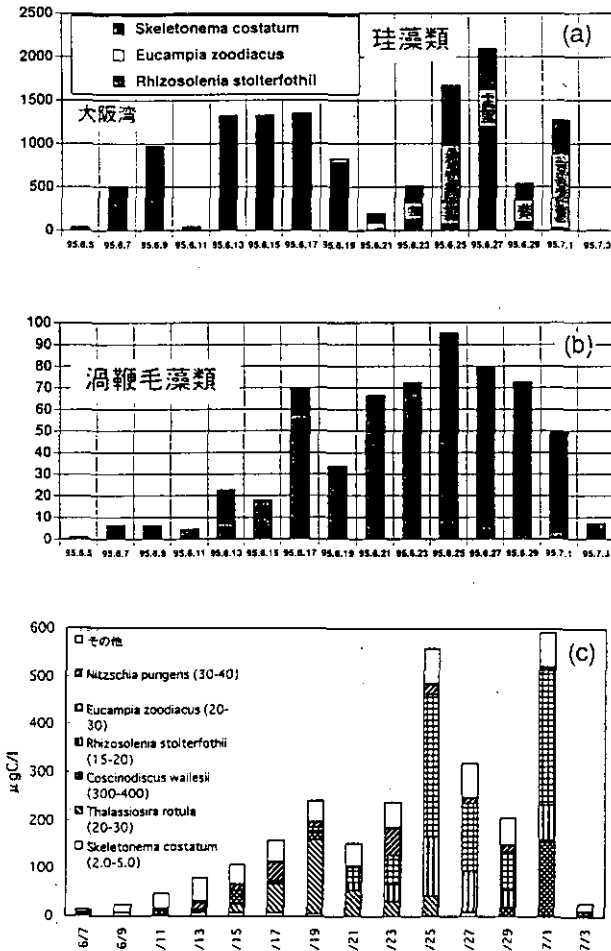


図5 1995年6月に1月間連続乗船して行った、植物プランクトンの変動調査の結果。隔日のさんふらわあ2の東行(別府→大阪)の航海において、ほぼ同じ場所を通過する際にプランクトンサンプルを採取し、光学顕微鏡、落射蛍光顕微鏡でその種類の判別を行ったもの  
 (a)、(b)は、それぞれ、大阪湾での珪藻類と渦鞭毛藻の細胞数の変化を示す<sup>7)</sup>  
 (c)は植物プランクトンの種類ごとの炭素量換算したものの時系列<sup>7)</sup>

6月のはじめの珪藻を主体としたブルーム(図5(c))をみると、バイオマス量が対数的に増殖しているのがわかる。従来、実験培養系では、植物プランクトンの対数増殖のデータが得られている。実際の海域で、植物プラ

ンクトン種が複合しており、動物プランクトンによる捕食、沈降などの要素も存在するにもかかわらず、このような対数増殖がとらえられたことは興味深い。

このように、珪藻→渦鞭毛藻のシフトで人為影響を評価する場合、本来人為影響の強い海域でも、珪藻に有利な自然条件が整うことがあるので注意を要する。このことから、単発の観測でなく、時系列観測の継続が重要となる。

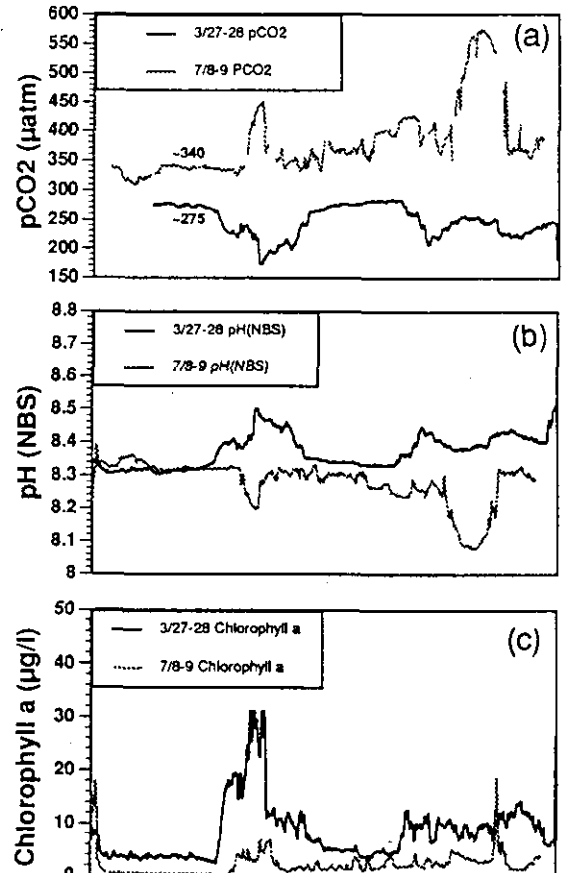


図6 1992年の3月(実線)と7月(点線)に釜山-神戸航路で計測された(a)海水溶存CO<sub>2</sub>分圧(pCO<sub>2</sub>)、(b)pH、(c)クロロフィル濃度の分布<sup>4)</sup>

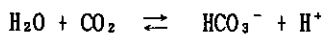
#### 5. 海域のCO<sub>2</sub>分布、pHホールと植物プランクトンの働き

図6は、春季ブルームが始まった時期及び終了した時期における植物プランクトンの光合成-分解の結果を示

す量の分布を示している。3月は、N、P、Siなどの栄養塩がまだ多く、植物プランクトンの光合成活性が高い時期である。クロロフィル濃度が高いほど、pCO<sub>2</sub>が低く、光合成によって二酸化炭素が吸収されていることがわかる。また、CO<sub>2</sub>分圧とpHは逆相関を示す。

これに対し、7月には、栄養塩が既に枯渇しているため、植物プランクトンのブルームが終わり、光合成活性が低くなっている。図6(b)の、右からほぼ1/3の備讃瀬戸で、pHが低下する海域が存在する。この海域ではpCO<sub>2</sub>が高い。この海域では、海底に堆積した有機物の分解と、浅海域で鉛直混合が強いことにより、下層から溶解態無機炭素が補給され、これがpCO<sub>2</sub>を高め、同時にpHを下げていると考えられる。この海域をpHホールと呼ぶことにする。

さらに、このpHホール以外の海域でも、7月のほうが全体的にpCO<sub>2</sub>が高い。理由は、炭酸平衡において、



水温が高くなると平衡が左にシフトし、CO<sub>2</sub>分圧を上げることによる。

これらの観測結果から、海洋植物プランクトンは、光合成によってCO<sub>2</sub>を吸収するだけでなく、浅海域では、光合成でできた有機物が再び分解してCO<sub>2</sub>に戻る。温帯の海では、(光合成を考慮しない場合)低温期と高温期によって、大気と海洋のCO<sub>2</sub>の交換の向きが逆になる可能性があることである。また、栄養塩の量も植物プランクトンの光合成、すなわちCO<sub>2</sub>吸収能力に影響することである。

## 6. まとめ

以上の結果から、図7のように、栄養塩濃度の年変化の軌跡と、各フェイズで出現する植物プランクトン種を、いくつかの類型で模式的に表すことができるだろう。

a. は対馬海峡などの大陸棚や、伊予灘などの西部瀬戸内海など、人為影響が比較的顕著でない海域である。N、P、Siなどの栄養塩が春季ブルームの際に、ほぼレッドフィールド比に沿うような形で植物プランクトンに吸収されて減少し、どれかの栄養塩成分が枯渇した段階でブルームが終了する。ブルームの継続中に卓越するのは増殖速度の速い珪藻である。a.の類型では、N、P、がSiよりも先に枯渇し、その後、秋の鉛直混合が始まるまではシアノバクテリアが卓越する。

b. は大阪湾など該当する。珪藻の春季ブルームによっ

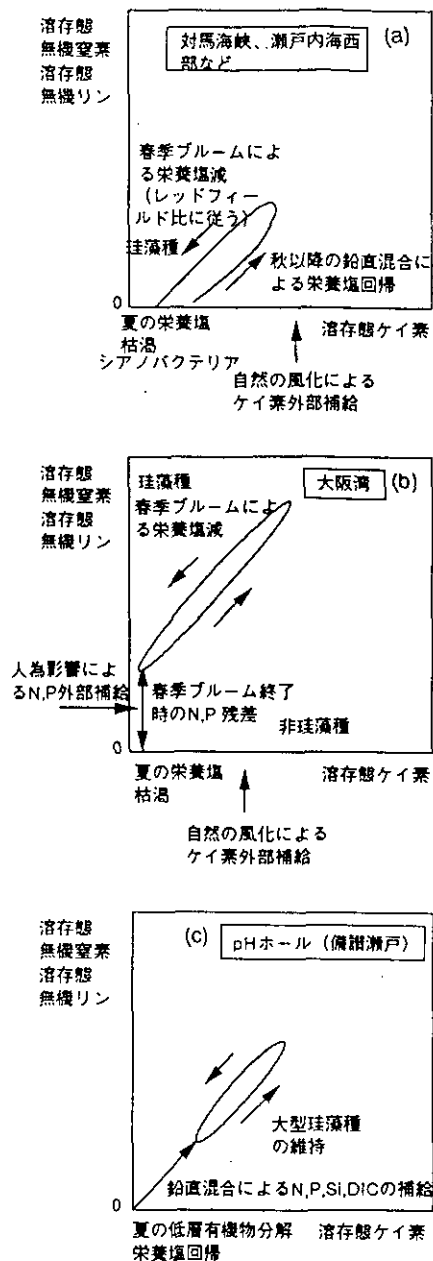


図7 フェリーモニタリングで明らかになった、生物化学量の年サイクルの類型 (縦軸は溶解態のP、N濃度、横軸は溶解Si濃度)

て栄養塩が減少する際、Siが枯渇してNあるいはPが残る。この結果渦鞭毛藻などの藻類が卓越する。

c. は、有機物が堆積しており、かつ浅くて鉛直混合の盛んな海域に当てはまる。春季ブルームの後も、海底からN、P、Siの栄養塩が補給され、夏でも大型の珪藻が出現する海域である。有機物が分解することにより、無機態の炭素も補給されるため、溶解二酸化炭素分圧が高くなり、前節でpHホールと呼んだように、pHは低くなる。

以上のように、人為影響評価のポイントは、N、P過剰Si枯渇シナリオ、すなわちb.の類型がどの程度あてはまるかである。現在、対馬海峡などは、a.の類型に入り、必ずしもこのシナリオには乗らない。N、P過剰Si枯渇シナリオはヨーロッパの北海などで検討されてきたものであるが、モンスーンによる風化作用が顕著なアジア地域には、異なったシナリオがあてはまる可能性もある。

対馬海峡では、毎年夏に塩分の低下がみられ、揚子江などの陸起源の水の連行加入が推測されているから、今後中国大陸でダムの建設等によってSiの流下が減少し、しかもN、Pの負荷が強まると、b.の類型に近くなることも考えられる。

また、強調されることは、C、N、P、Siなど、それぞれの物質の循環が、海洋生態系を舞台にして密接に関連していることである。これらの栄養塩がなければ、植物プランクトンの光合成によるCO<sub>2</sub>吸収も起こらない。また、光合成の結果できた有機物も、分解すれば再び海水のCO<sub>2</sub>を高める。

このように、今後、海域生態系にどのような長期変動が起きるかを監視しつつ、陸上での土地利用、農業・産業構造の変化、人口圧などを評価する必要がある。このために、フェリーによる計測を、今後、国際的なネットワークへと発展させることが重要であると考えられる。

## 7. おわりに

これまでの海洋環境モニタリング・研究を实行する上で多大なご協力いただいた、大阪国際フェリー株式会社、関西汽船株式会社に感謝する。地球環境の保全には、研究者・行政担当者にとどまらず、民間団体の寄与・協力の力が大きい。このような経験を鑑み、研究で得られた知見の一般向けの解説書<sup>9)</sup>を準備中である。

## 参考文献

- 1)原島省(1996)、海洋環境対策技術 - 広域海洋環境モニタリングを中心として -、環境対策技術百科、110-115、工業調査会、216ページ。
- 2)Harashima, A. and Kikuchi, Y. (1995), Biogeophysical Remote Sensing, -A ground truth and graphics system for the western North Pacific-, EOS, Vol. 76, No. 3, 149.
- 3)Harashima, A. (1995) Collected data of high-temporalspatial resolution marine biogeochemical monitoring by Japan-Korea ferry ( CD-ROM and booklet ) -June1991 to February 1993 results- CGER-D007(CD-ROM)-'95.
- 4)Kimoto T. and Harashima A. (1993), High resolution time/space monitoring of the surface seawater CO<sub>2</sub> partial pressure by ship-of-opportunity, WMO Global Atmospheric Watch No. 89, Carqueiranne 88-91.
- 5)Tanaka, Y., Tsuda, R., Kimoto, T., and Harashima, A., Phosphate-silicate balance and the distribution of phytoplankton species and size spectra: a new perspective via continuous ferry-based monitoring EOS, Vol. 76, No. 3, 149, 1996.
- 6)原島省ほか、日韓・瀬戸内海フェリーによる1991-1995年の栄養塩時系列、日本海洋学会1996年度春季大会講演要旨集、332-333.
- 7)古澤一思、津田良平、田中祐志、原島省、植物プランクトン群集における時空間変動の解析、日本海洋学会1996年度春季大会講演要旨集、334-335.
- 8)紀本岳志、田中祐志、津田良平、古澤一思、原島省、植物プランクトンの形状と栄養塩摂取、日本海洋学会1996年度春季大会講演要旨集、337.
- 9)原島省、功刀正行、「海の働きと海洋汚染」、裳華房ポピュラーサイエンスシリーズ、(近刊)。

# 地球環境研究のナビゲーターを目指して

大坪 国順（地球環境研究センター）

## 1. まえがき

地球環境問題解決のための出発点は、問題について共通の認識をもつことであると指摘されているが、個別の地球環境問題について共通の認識を持っていることは難しい状態が続いている。かえって、自国や自分の所属するセクターが不利にならないよう地球環境の不確実性の議論が繰り返されている。今、科学者に求められているものは、この不確実性を少なくすること、現在わかっている総体に基づいて何が最も確かに言えるかを提示することである。そのための研究の組織化あるいは効率化の機運が高まり、地球環境研究の総合化（企画調整）、支援、モニタリングの3つの任務を期待された地球環境研究センターが1990年10月に発足したわけである。当センターのスタッフは研究職と行政職の寄り合いで、「研究者の発想で、行政の継続性を」がスローガンである。

地球環境保全に資するための研究を効率的に推進するための要素として図のように考えている。地球環境の現状を把握し適確な情報を提供する「モニタリング、情報、データベース」、現象の理解を深めるための「プロセス研究」、地球温暖化やオゾン層等の環境問題の長期予測

やそれらの対応策の効果を評価する「予測・評価」、地球環境問題解決のための手段を探す「対応・対策」が三角錐の頂点を構成し、さらにこれらの4つの要素を繋げる役割としての「研究戦略」が中心に位置するというものである。

個々の要素が独立に活動を展開すると、目指す方向がバラバラになりやすく、たとえ各要素のポテンシャルやアクティビティが高いものであっても、地球環境問題という眼前の大敵に立ち向かうことはできない。地球環境の保全は次世代、次々世代に付する我々の最大の責務の1つであり、この目標を達成するためには、各要素の連携プレーが不可欠で、その要に位置するのが「研究戦略（研究の総合化）」と考えられる。各要素のうち「プロセス研究」は当研究所の研究本体部門が最も得意な分野である。一部の「対応・対策」研究は当研究所でも実施している。当センターは、残り3つの要素（機能）を有している。本稿では「研究戦略（研究の総合化）」について、何を指して活動しているかを重点において紹介する。

## 2. 「総合化」とは？

当センターの総合化の任務は以下に大別される。

- ①環境の問題解決のための種々の決定に対する科学的役割を明確にし、研究の向かうべき方向を示すこと。
- ②具体的な政策提言に向けての横断的な科学的知見の結集を図ること。
- ③これらを実現するために、科学者の世界を結集すること。

このうち②は図の三角錐の「予測・評価」に位置するもので、特に「総合化研究」と呼んで他の総合化の活動と区別している。総合化研究としては1990年に環境庁地球環境研究総合推進費（以下、推進費と呼ぶ）が始まって以来「持続的発展に向けた総合モデル開発」、「環境資源勘定システムの構築」、「地球環境保全のための社会経済システムのあり方に関する国際比較研究」等が立てられた。経済学、社会学、工学、農学等を中心とする大学、省庁および民間の研究者延べ100人程を横断的に

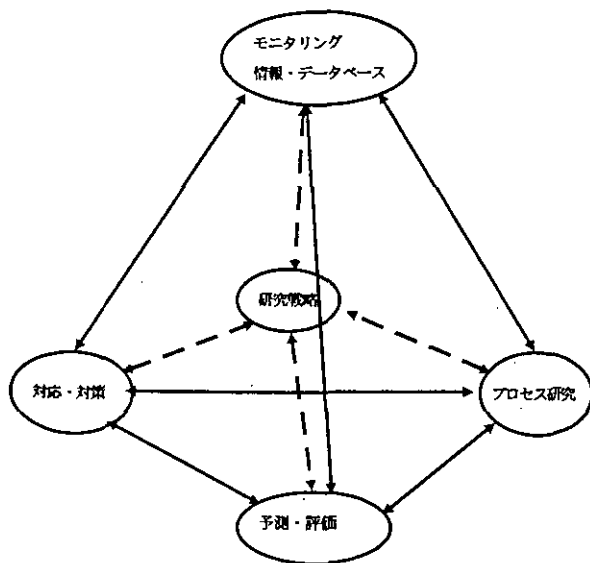


図 環境研究の要素とフレームワーク

総合したチームを形成して研究を進めているが、紙幅の都合で研究成果の紹介は省かせていただく。ここでは主に①、③について説明することにする。

総合化の重要な任務は、地球環境研究の海図を描き宝島の方向を指し示すナビゲーションであるが、初代センター長は、当面の戦略として当センターの総合化機能を、「地球環境研究の現状は数百のジグソーパズルにおいて、数十個のピースがわかっているのに過ぎない状況に相当する。いま手に持っているピースをどこにおくか、次にどのピースを探り上げるかは互いに他のピースの形を見ながら決めるほかはない。センターはジグソーパズルの役割をする。」と位置付けた。

その方針に基づき、世界の一流の科学者を分野横断的に集めて、「研究者の広場」を作ってきた。「つくばオゾンワークショップ」、「土地利用・被覆変化ワークショップ」、「炭素循環ワークショップ」等を開催し、地球環境変動の先駆的な研究テーマ発見のための交流を深め、推進費の研究計画立案に反映させるべく努めてきた。あわせて、各研究分野の交流会議および推進費研究チームの連絡会議や、成果の評価に繋がる推進費研究成果発表会を、環境庁地球環境部研究調査室と主催している。

ナビゲーターとしての次のステップはジグソーパズルの現況の提示である。この数年にジグソーパズルのピースは増え、ピースが連結された面積が増加した。現在のジグソーパズルの完成度を提示するとともに、残されたピースのどれとどれがつながりそうか、つながらないかを整理して提示する任務である。地球環境研究の成果は極めて複雑で多岐にわたり、政策決定者や一般大衆がこれを理解するのは容易ではなく、世界中の研究を集約整理して政策決定者や一般大衆に提供する役目はますます重要になってきている。典型的な例は、温暖化問題におけるIPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) の活動であり、当センターは前総括研究管理官を中心にIPCCの活動に積極的に参加しており、特に影響研究においては内外の情報センター的な役目を努めてきた。

### 3. 地球環境研究の役割と動向

地球環境研究の国際的な研究の動向をいち早くキャッチし、広く研究者や研究資金供与側に知らしめることもナビゲーターとしての重要な任務の一つである。最近の目立つ動向として以下が挙げられる。

#### 3.1 持続的発展

1992年にリオディジャネイロで開催されたUNCED後の地球環境問題のキーワードとして「持続的発展」がクローズアップされてきている。この2、3年、IHDP (人間次元の地球環境研究計画: International Human Dimension Programme) の強化がいろいろな国際的な場で提唱されるのも持続的発展という 이슈に深く関係しているためと考えられる。1994年には社会科学分野の研究者たちが IHDP 研究計画を作成し以下の6項目の研究テーマを挙げた。<sup>1)</sup>

- (1)土地利用と土地被覆変化
- (2)産業の変革とエネルギー利用
- (3)資源利用における人口及び社会的側面
- (4)公衆の態度、認知、行動と知識
- (5)制度の問題
- (6)生存基盤の確保と持続的発展

我が国でも推進費に平成7年度から新たに「人間・社会的側面からみた地球環境問題」の分野が新設された。これを受けて当センターでは、平成7年9月に「地球環境研究の新たな展開—人間・社会的側面の研究推進に向けて」と銘打って第8回地球環境研究者交流会議を開催した。さらに環境庁地球環境部は「人間・社会的側面から見た地球環境問題」検討会を設置し、今後の当該分野で推進すべき研究分野及び研究課題として表を提案している。<sup>2)</sup>

#### 3.2 Integrated Assessment

地球環境研究の中でのIntegrated Assessment (IA) の強化も注目されるべき動きである。これは、地球環境問題解決には地球科学のような従来の自然科学的研究のみでは困難であるという認識に基づくものである。地球環境問題の解決に対して、自然科学系の科学者の中には問題発見から因子分析までを重視し、それらが明確になるまでは、仮説の組み立て・モデル化には慎重な立場を取るべきとする人が多い。しかし、地球環境問題のような不確実性が高く、現象の進行がゆっくりしているが進行し始めるとくい止めるのが非常に困難のようなものに対しては、現象解明がなされるまで何も対策を講ぜず静観しては手遅れになることが危惧されている。今、地球環境研究に携わる科学者・研究者に要求されていることは、現時点での知識を統合し、将来についての信頼性の高い予測を行ない、最善の対策を提案することである。

表 我が国で実施すべき人間・社会的側面研究

研究分野	研究課題
人類の発展のための環境理念とはどのようなものか	a. 持続可能な発展のあり方 b. 地域間、世代間における公平性 c. 地球環境問題の歴史的経緯の解析 d. 地球環境保全を念頭に置いた社会発展と技術発展
閉鎖系において発展を確保するための人間活動はどうあるべきか	e. 貧困からの脱却/「豊かさ」の追求と地球環境問題 f. 天然資源の減少が生じる社会的メカニズム g. 人口-社会経済発展-環境の相互影響 h. 環境負荷低減のための産業構造 i. 土地利用・被覆変化と食糧問題
地球環境保全のための政策手段はどうあるべきか	j. 国際社会で有効に機能する政策手段 k. 地球変動に対する社会の適応 l. 地球環境問題に関するリスクマネジメント
環境意識はどのようなプロセスで形成されるか	m. 個人レベルの環境意識の形成 n. 地球環境保全に関する意思決定プロセス、合意形成 o. 地球環境保全のための環境教育及びコミュニケーション手段
環境をどう評価するか	p. 環境の社会的価値の評価、指標、尺度

これは、まさに当センターが実施しようとしてきた総合化研究に他ならない。米国でもIAの研究予算が強化され、我が国でも環境白書や本研究所の評価委員会の報告書でその重要性が言及されている。

### 3.3 “鳥の目”研究から“蟻の目”研究へ

地球科学あるいは地球環境に関しては、国際的な機関が数多く存在し、研究計画、モニタリング計画は目白押しであるが、開店休業中の計画も少なくない。多くの研究計画が乱立気味に打ち立てられ、各研究計画間の連携・連絡が悪く、かなりの重複が見られたり、逆に抜け落ちが見られたりしている。また、先進国の研究者がイニシアチブを取り、最先端の科学技術・施設を用いるような研究・観測計画が多く、途上国の研究者が置き去りにされている傾向も指摘されている。先進国が主に実施しているのは、大気循環モデルや衛星観測に代表されるように“鳥の目”の研究であり、影響研究、グランド・データの収集、温室効果ガスの排出量の測定などの“蟻の目”研究の重要性が最近認識され、そのための国際研究ネットワークの必要性が急激に深まってきている。

### 3.4 Internetによる新たな展開

Internetによって研究環境が大きく変わろうとしている。同じ研究対象、目的を持った世界中の研究者の間で、

インターネットを通じて自由に、新たな国際協同研究や観測を企画し、そのための手法、アイデア、時には最新のデータまでも提供し合う時代に入っている。この傾向は特に地球環境研究分野で顕著である。近い将来には、世界中の研究者が超高速の情報網（スーパー情報ハイウェイ）を通じて、自由に情報やコンピュータ資源を利用し合う環境が整備されることは間違いない。分野によっては、成果の発表も学術専門誌に投稿するという形から、World Wide Web (WWW) や電子掲示板のような全く別の形に変わって行く可能性がある。国際的レベルでは、その分野のオピニオンリーダーとしての評価軸に、独創性の高い論文を発表するというもののほかに、これらのメディアを利用して、研究者を結集して研究や観測計画を企画し、実行して行くというような国際的なコーディネーション能力が加わりつつある。米国では、毎年「Our Changing Planet」なる<sup>3)</sup>小冊子を発行し、地球環境に対して現時点でどこまでわかっているのか、昨年1年間で何が新たにわかったか、今年重点研究はどこに置くのか、各省庁の研究計画はどのようになっているのかを一目でわかるようにしている。国内外のpublic awarenessにも一役買っている。当センターでは、これまで、毎月「地球環境研究センターニュース」を発行し様々な角度からの情報提供に努めてきているが、日本型の「Our Changing Planet」を発刊するのが、今後の最重

点課題と考えている。

#### 4. 国際研究ネットワーク（途上国との連携）

東西冷戦体制が崩れた今、南北問題は新たな大きな対立の構図になる恐れがある。先進国対開発途上国という構図の中に、過渡期経済諸国も入り乱れた中での地球環境問題を解決するための合意形成が必要となり、そのための手段としての科学の担う役割はますます増加してきている。過渡期経済諸国や開発途上国の科学者における研究のレベルを引き上げ、イコール・パートナーシップによる国際共同研究を遂行し知識を共有することが、南北問題を越えた問題解決のための合意形成には不可欠であり、途上国の研究のポテンシャル・ビルディングは研究ネットワークの大きな柱となってきた。

ネットワークの種類については、人のネットワーク、情報のネットワーク、プロジェクトのネットワーク、Instituteのネットワークが考えられる。情報ネットワークの将来については上に述べた通りである。人のネットワークは研究者が個別に発達させ得るものであり、そうあるべきである。しかし、プロジェクトのネットワークやInstituteのネットワークは個人で対応できる範囲に限界があり、何らかの枠組みが必要になってきている。地球変動研究には、Global, Regional, Localのレベルでの変動が全て含まれる。Globalレベルの変動については、GCM（大循環モデル）や衛星観測などによりかなり明らかになって来たが、Regionalレベル以下の変動については未解決の部分が多く、それらは全て「蟻の目」の研究に負うこととなり、途上国との研究機関、研究者との連携が不可欠である。

現在、国際的に進められている国際研究ネットワーク構想は、この視点が出発点となっている。その共通認識をまとめてみると、

- ①地球環境問題のいくつかは、全球的ではないが、国境を越える現象である。このような問題に取り組むための研究は、各国がそれぞれ実施するのではなく、ある組織のもとで近隣諸国間が協力（Regional Cooperation）して行くことが不可欠である。
- ②地球環境問題に対処するためには、合意形成のプロセスを含めて、国と国との連携が重要である。そのためには、地球環境に関する情報と人材の交流・交換が重要で、ネットワークを通じて、Regionalな地球環境フォーラムを作り上げることが有効な手段と

なる。その際、特に途上国間の結びつきを強化する必要がある。

- ③途上国の地球環境研究者のキャパシティ・ビルディングが重要である。

#### 5. 地球環境研究総合推進費に関わるネットワーク

地球環境研究の効率的推進に向けて、国際的には、研究資金供与機関、政府機関レベル、非政府機関（NGO）レベルでネットワーク作りが進んでいる。<sup>41</sup>

##### 5.1 研究資金供与機関のネットワーク

###### 5.1.1 IGFA（International Group of Funding Agencies）

IGFAは非公式の各国の地球環境変動に関する研究資金供与機関の集まりで、1990年から活動を開始した。IGFAの目的は、地球環境変動に関する自然科学分野、社会・経済学分野における国際的な共同研究の戦略やその実施計画を策定するに当たって、各国の研究資金を効率的に配分したり互いに共有し合うことによって、これらの国際共同研究をより実りの多いものにしようというものである。この背景には、各国の研究資金がWCRP（世界気候研究計画）、IGBP（地球-生物圏国際協同研究計画）、IHDP等の国際共同研究プログラムに十分流れず、国際的には目を触れられない国内研究プログラムに多額の研究費が流れ、研究者も後者のプログラムに偏在しているという共通の認識があるためである。

###### 5.1.2 OECDメガサイエンスフォーラム

OECD（経済協力開発機構）は1993年7月にメガサイエンスフォーラムを開催し、以下の6項目を提唱しその実現に向けて努力している。

- ①研究資金の集約化と国際協同研究計画への重点再配分
- ②国際的な研究計画の体系化と国内の研究計画の張付け
- ③IGBP、IHDP及びWCRPの強化
- ④IGFAの機能の強化
- ⑤科学的アジェンダと政治的アジェンダの将来性の強化
- ⑥データ管理方針の強化

##### 5.2 政府機関レベルのネットワーク

1990年4月に米国ワシントンで開催されたホワイトハウス地球環境会議の席上で、ブッシュ政権は「地球変動問題に対処するための世界研究所構想」を提案した。これは世界を南北アメリカ、ヨーロッパ・アフリカ、アジ



ア地域の3極に大別して、それぞれに政府機関レベルの地球環境変動に関する研究所ネットワークを構築しようというもので、いわゆる「3極構想」といわれるものである。それを受けて、3つの地域で以下に概説するネットワークの構築が進んでいる。

#### 5.2.1 汎アメリカ地球変動研究機関 (IAI)

3極構想提案を受けて、真っ先に動き出したのがIAIである。1992年5月に、11カ国の署名で設立が承認され現在17カ国が参加し活動を進めている。3つのネットワークのうち最もきっちりした組織を作っており、全体総会、事務局(事務局長)、執行委員会、科学的助言委員会、研究センターからなる。IAIの事務局は、現在ブラジル連邦共和国にあり、事務局長はウルグアイ東方共和国のラブフェッティ氏である。IAIは、実質的には米国主導のため、ヨーロッパ主導型のIGBP、IHDP、WCRPに対して独立性が強く、IAI独自の7つの科学的アジェンダを打ち出しており、それぞれの具体的な研究テーマの立案やその実施計画を検討するためのワークショップを頻繁に開催している。

#### 5.2.2 欧州地球変動研究ネットワーク (ENRICH)

ヨーロッパ連合(EU)の欧州委員会は、1993年10月にスペインのセベリアにおいてENRICHの発足会合を持った。ENRICHの目的は、中・東欧諸国とアフリカ諸国を中心に地球環境研究の能力の向上を目指し、そのための科学団体にECの種々の補助と資金を効果的に提供することである。公式の宣言・合意書等による取り決めは行われていないため、体系化された組織はない。ENRICH Officeがブリュッセルに置かれ、ENRICH独自の科学的アジェンダは作成せず、IGBP、IHDP、WCRP等の国際共同プロジェクトを尊重する方針を取っている。現在、地球変動研究に関する調整メカニズムのインベントリーの作成、IGBPのコアプロジェクトのネットワーク事業への補助、地中海諸国を中心としたサマー・スクール(トレーニング)の開設などの活動を行っている。

#### 5.2.3 アジア・太平洋地域地球変動研究ネットワーク (APN)

アジア・太平洋地域においては、1992年12月にAPN第1回ワークショップを皮切りにAPN設立に向けて動き出した。日本がリーダーシップを取りつつも参加国のイコールパートナーシップを原則に準備が進められ、関係国の興味ある研究分野等の整理及び組織体制の検討がなされ、1995年3月に参加国が共同宣言を採択し、APNは準

備段階から実施段階に入った。実施段階に入ったとはいえ、実際にAPNとして特定の研究・観測計画に資金的に援助するためには、まだ2年程かかる見込みである。その間に長期的な組織体制及び機関としてのあり方が検討されることになっており、それまでは我が国がAPNの暫定事務局を引き受けることになっている。APNの特徴は他の2つのネットワークと異なり、後述するSTART(分析・研究・研修システム)との連携を重視している。1996年3月チェンマイで開催された第1回APN政府間会合で、APNの科学的アジェンダとして、1)アジア・モンスーンとエルニーニョ南方振動、2)アジア・太平洋地域気候変動モデル、3)地球変動に係る人間・社会的側面研究が採択され、それぞれ、今年度中に将来の具体的な活動計画についてのワークショップが開催されることとなった。

#### 5.3 非政府機関(NGO)レベルのネットワーク

NGOレベルでの地球環境研究ネットワークの代表的なものは、国際学術連合(ICSU)によって1991年に設立された「地球変動に関する分析、研究、トレーニングのためのシステム(START)」である。世界を地理-生態学的分類に基づいて10余の地域(Region)に分け、それぞれにRegional Research CenterとRegional Research Siteを置き、地域内の研究者の能力向上と交流を推進しようというものである。地域の科学者が地球変動に関する理解を深めることは、地球変動を緩和しそれに適応する国家及び地域の政策オプション策定のための科学的評価基盤の強化につながる。現在までに、アジア・太平洋地域にはSARCS(東南アジア地域委員会)、SASCOM(南アジア地域委員会)、TEACOM(温帯東アジア地域委員会)が設立され、APNと連携を取りつつも独立に活動している。OCE(オセアニア地域委員会)も設立準備中である。

各地域委員会とも、独自の科学的アジェンダを採択し、研究プログラムの実行とそれを通じてのon the job trainingを実施している。ただ、十分に機能するためには政府レベルの支援が不足しているため、APNへの期待が強い。

#### 6. 国際的研究協力に関する課題

国際研究ネットワークを推進するに当たっては、いくつかの解決すべき課題がある。1つは人材の問題、もう1つは、途上国への供与する研究資金枠の問題である。

## 6.1 人材の問題

国際的なネットワークの推進について残念ながら国内の研究者の関心度は高いとは言えない。特に、途上国のポテンシャル・ビルディングやトレーニングが絡んでくると関心度はさらに低くなる。個々の共同研究プロジェクトについては、プロジェクトの試験地が途上国にあること、現地での研究支援体制が必要なことから、共同研究のニーズは高く、プロジェクトのオーガナイザー兼世話役として、アクティブな研究者も少なくない。しかし、それはその研究者のボランティア精神に負うことが多い。我が国では研究コーディネーションについての業務を評価する雰囲気は今までほとんどなかった。そのため、これまでは国際的に対応を迫られる多くの国際共同計画の案件については、大学の先生が片手間に対応するか、行政官が事務的に処理してきたため、海外からは、「日本の実質的貢献が少ない」、「担当者が会合毎に替わり誰にコンタクトしてよいかわからない」等の批判を受けてきた。米国や西欧では、リサーチ・マネージメントやコーディネーションは研究者の重要な仕事と見なされ、プログラム・マネージャーとして科学界の中で市民権を得ている。国際研究協力がますます重要となって来ている昨今、地球環境分野のみならず、他の多くの研究分野で、個人のボランティアとしてでなく組織的に研究全体をコーディネートして行く仕組みの確立が重要と考えられる。

## 6.2 途上国へ供与する研究資金枠の問題

この問題については、いろんな場面で論じられている通りで、途上国からの要請主義と切り離した長期的見地に基づく地球環境研究ネットワークの推進のための別枠のODA的研究資金が必要である。特に、一度建ててしまえば、ハイ・サヨナラ的な「ハコもの」の援助だけでなく、研究や研修を経常的に運営するために必要な資金枠の創設が緊急の課題である。

### 参考文献

- (1)西岡秀三：地球環境研究の総合化と総合化研究、資源環境対策、Vol. 31、No. 3、7-12、(1995)
- (2)環境庁地球環境部：人間・社会的側面からみた地球環境問題、今後の研究のあり方に関する報告書、p. 25、(1995)
- (3)Subcommittee on Global Change Research, Committee on Environment and Natural Resources Research of the National Science and Technology Council: Our Changing Planet -The FY1996 U.S. Global Change Research Program, (1995)
- (4)大坪国順：地球環境研究推進のための国際協力について—START活動を中心として—、環境研究、No. 96、70-86、(1994)

# バイオテクノロジーによる大気汚染耐性植物の開発

佐治 光 (地域環境研究グループ新生物評価研究チーム)

## 1. はじめに

人類の活動や地球環境の急激な変化により、植物の生育や生存が脅かされ、近い将来、食料生産や環境保全にとって大きな問題になるのではないかと危惧されている。地球の温暖化に伴って各地で生じる気候変化や砂漠化の進行、オゾン層の破壊による紫外線量の増加、大気汚染や酸性雨との接触などの環境変化に晒されたとき植物はどの程度耐えられるのであろうか。このような疑問に対しては、実験を行うことによりある程度予測することができ、個々の環境因子について、その植物に及ぼす影響を調べる研究が行われている。一方、単に影響を見積もるだけでなく、その作用機構やそれに対する植物の耐性機構を明らかにし、それらの知見に基いて植物の耐性を改善し、将来の危機に備えたり、破壊された環境の回復に利用したり、また環境保全に活用しようとする試みがなされている。特に、遺伝子組換えを中心とするバイオテクノロジーの急速な進歩により、生物の生理機構の解明やその人為的改変が可能となりつつあり、大きな期待が寄せられている。例えば、植物の低温や乾燥、高塩濃度などに対する耐性機構の一部が明らかにされ、遺伝子操作によりそれらの耐性を増加させることに成功したという報告がでてきている。

このような状況において、私たちは、これまでに得られた植物の大気汚染ガスに対する反応に関する生理学的及び生化学的研究の知見に基き、遺伝子操作により植物の大気汚染耐性を高めることが可能であるかどうかを検討するため、二期に渡る特別研究(「バイオテクノロジーによる大気環境指標植物の開発に関する研究」昭和61~平成2年度、「環境保全のためのバイオテクノロジーの活用とその環境影響評価に関する研究」平成3~7年度)を実施してきた。その結果、まだ検討すべき点は多々あるにしても、このような試みが可能であることを示唆する研究結果をいくつか得ることができた。それについて紹介する。

## 2. 研究の手順と進捗状況

一般に植物の遺伝子操作研究は、図1のような手順で

行われる。まずどのような遺伝子を選択すればよいかを検討する。本研究では、これまでの生理学的研究の知見に基き、植物の大気汚染耐性に関与と思われる4つの遺伝子を選定した。次のステップはこのような遺伝子を植物あるいはその他の生物から単離することであり、それができれば、得られた遺伝子を適当に改変した後植物へ導入する。最後はこうして得られた遺伝子組換え植物を育て、導入した遺伝子の有用性(本研究の場合には、大気汚染耐性)を調べる。以上が大ざっぱな研究の流れである。この各ステップは非常に時間を要するため、多くの場合、複数の遺伝子について同時に研究を進めることになる。図には本研究の進行状況が示されており、遺伝子がやっと単離されたものから、組換え体の作成、さらには有用性の評価を行い耐性の増大が確認された遺伝子があることがわかる。

## 3. 有用遺伝子の探索と単離

これまでの知見に基づき、大気汚染ガスと接触した植物の葉においてどのような反応が起こっているのかを大ざっぱに図示すると、図2のようになる。二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、オゾン(O<sub>3</sub>)などの

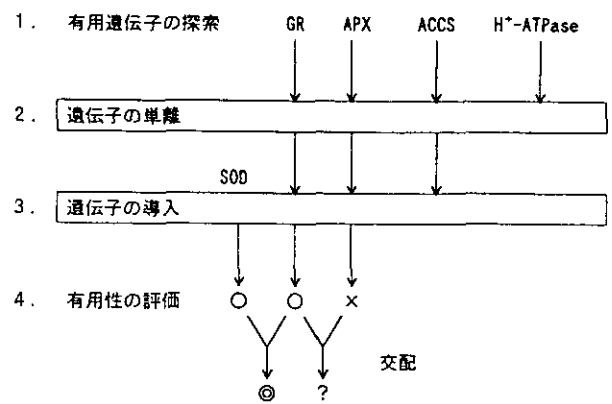


図1 遺伝子操作による大気汚染耐性植物の開発

GR グルタチオンレダクターゼ  
APX アスコルビン酸ペルオキシダーゼ  
ACCS アミノシクロプロパンカルボン酸合成酵素  
H<sup>+</sup>-ATPase プロトンATPアーゼ  
SOD スーパーオキシドジスムターゼ  
○ 耐性増大; ⊙ 顕著な耐性増大; X 効果なし

大気汚染ガスは、葉の表面にある気孔を通して吸収され、組織中の水に溶解、 $\text{SO}_2$ や $\text{NO}_2$ の場合には、それぞれ毒性の $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_2^-$ などのイオンを生じる。これらのイオンや $\text{O}_3$ は反応性が高く、生体物質に損傷を与える。またこれらの物質やそれにより生じた損傷が原因となり、二次的毒性物質である活性酸素や障害ホルモンであるエチレンなどが発生し、それらの働きにより生体物質の損傷や組織の老化が更に進み、その結果、可視障害や生長抑制といった障害が植物に発生する。以上が障害につながる反応の概略であるが、一方、細胞内では障害を防ぐための反応も起こっており、毒性物質を解毒したり、損傷を受けた生体物質を修復したりしている。

このように、多くの反応が大気汚染ガスと接触した植物の葉内で生じており、これらの反応に参与している因子は全て遺伝子操作の対象として有望である。私たちは、これまでの知見を考慮して、いくつかの酵素をその対象とした。それは、気孔の開閉に関与すると思われるプロトンATPアーゼ、二次的毒性物質である活性酸素を消去する反応系の酵素であるグルタチオンレダクターゼとアスコルビン酸ペルオキシダーゼ、エチレンの生合成の鍵を握っているアミノシクロプロパンカルボン酸合成酵素(図1)である。私たちは、様々な方法を駆使してこれらの酵素の遺伝子を植物から単離することに成功した。

#### 4. 活性酸素消去系酵素遺伝子の導入と組換え植物の作成

遺伝子が得られれば、次のステップはそれを植物に導入し、組換え植物を作成することである。私たちは、先に述べた二次的毒性物質である活性酸素を消去する酵素に着目し、遺伝子操作を試みた。植物の細胞内には図3に示すような活性酸素の消去反応系が存在する。

図中、枠で囲まれた文字はそれぞれの反応を触媒する酵素を表している。このうち、グルタチオンレダクターゼ(GR)とアスコルビン酸ペルオキシダーゼ(APX)について、その遺伝子をタバコに導入した。GR遺伝子についてはシロイヌナズナ由来のものを用いた。大腸

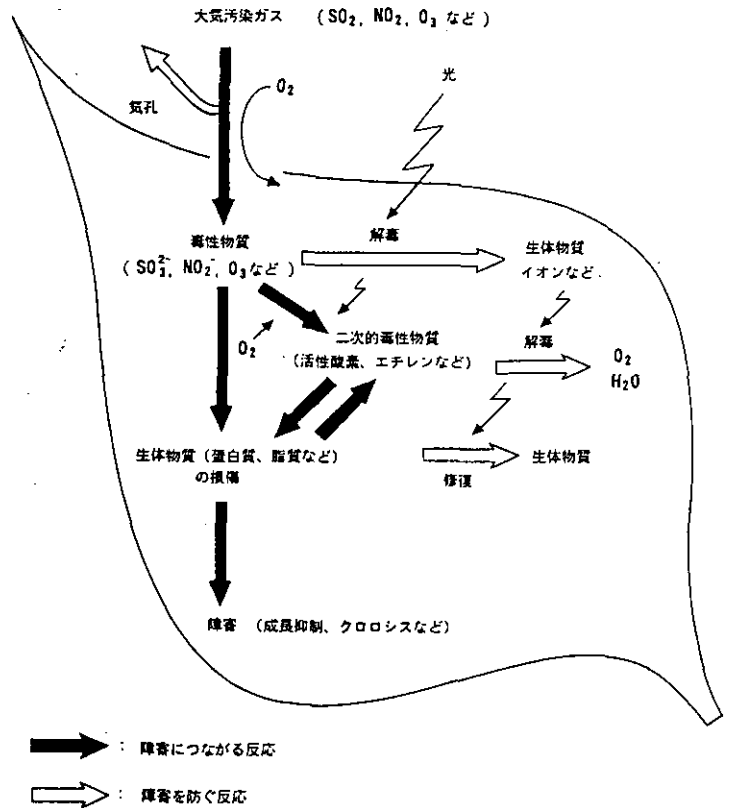


図2 大気汚染ガスと接触した植物の葉内で生じる反応

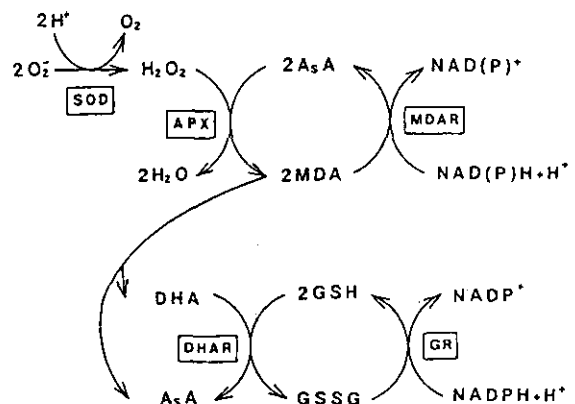


図3 植物の代表的な活性酸素消去系

- AsA アスコルビン酸
- MDA モノデヒドロアスコルビン酸
- DHA デヒドロアスコルビン酸
- GSH 還元型グルタチオン
- GSSG 酸化型グルタチオン
- SOD スーパーオキシドジスムターゼ
- APX アスコルビン酸ペルオキシダーゼ
- MDAR モノデヒドロアスコルビン酸レダクターゼ
- DHAR デヒドロアスコルビン酸レダクターゼ
- GR グルタチオンレダクターゼ

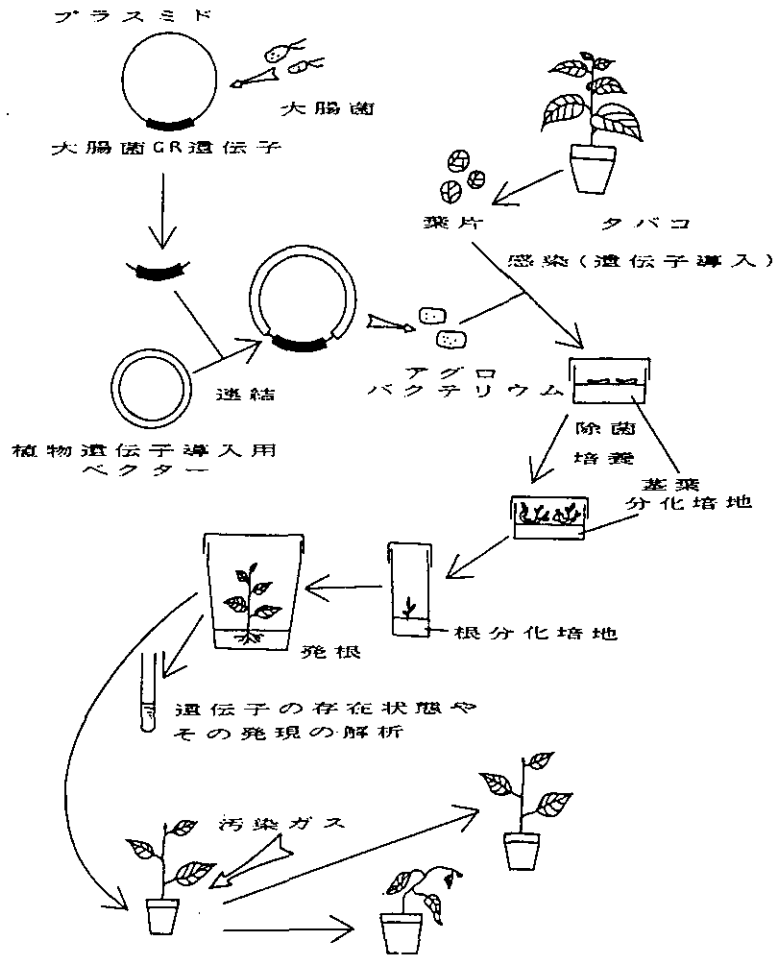


図4 大腸菌グルタチオンレダクターゼ (GR) 遺伝子のタバコへの導入と遺伝子組換え植物の評価

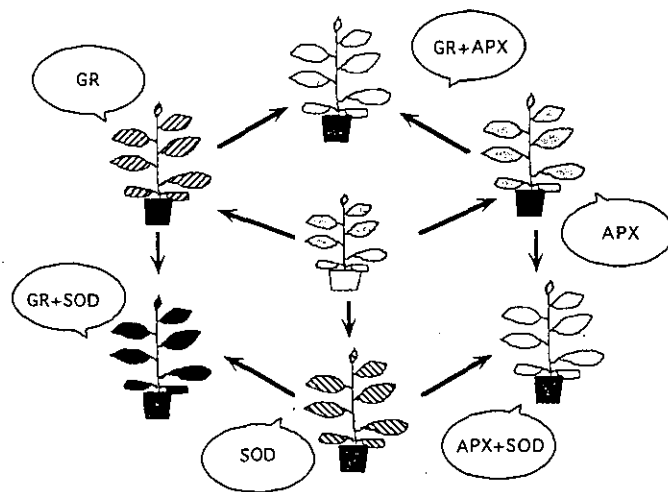


図5 活性酸素消去系酵素の遺伝子を操作した植物のパラコート耐性 (葉の色の濃いものほど耐性が高い、酵素名については図3参照)

菌GR遺伝子の場合の遺伝子導入の操作手順を図4に示す。まず大腸菌GR遺伝子を、植物細胞内で働くようにするためのプロモーターと呼ばれるDNA (CaMV-35Sプロモーター) につないでから、植物への遺伝子導入用ベクターに組み込み、一旦土壌細菌のアグロバクテリウムに導入した。その細菌をタバコの葉の組織に感染させることにより、大腸菌GR遺伝子をタバコの細胞内に導入し、その後は組織培養によって組換え植物を再生させた。導入した遺伝子の、組換え植物における発現量(遺伝子の働き具合)を調べたところ、組換え個体ごとに大きく異なることがわかり、なるべく強く発現している個体を選別、育成し、耐性の評価に用いた。同じような手順でAPX遺伝子をタバコに導入し、また日本製紙中央研究所と共同でGR遺伝子を樹木のヤマナラシにも導入してそれぞれの組換え体を作成した。

## 5. 遺伝子組換え植物の評価

研究の最後のステップは、作成した各種組換え植物の性質を調べ、評価することである。私たちはまず、組換え体の葉のパラコートに対する耐性を調べた。パラコートは、細胞内で活性酸素を発生させることで植物に障害をもたらす除草剤で、植物の活性酸素に対する耐性を評価する際によく用いられる。私たちは、各種組換え体から葉片を採取し、それにパラコート溶液を染み込ませ、光照射下に放置した。このような処理により葉片に障害が生じ、その結果細胞の内容物が漏出したり、クロロフィルが分解したりする。その量を測定することでパラコート耐性を評価した。その結果、APX遺伝子を導入したタバコでは、パラコート耐性に変化がみられなかったのに対し、GR遺伝子を導入したタバコにおいてパラコート耐性が高まっていることがわかった。本来の目標である大気汚染ガスに対する耐性を調べたところ、GR遺伝子を導入したタバコは、SO<sub>2</sub>に対して高い耐性を示すことがわかった。さらに、GR遺伝子を導入した樹木のヤマナラシにおいても、同様に、パラコート及びSO<sub>2</sub>耐性の増大が観察され、このような手法が植物の種を越えて有効であることが明らかとなった。一方大気汚染ガス

のO<sub>3</sub>に対しては、耐性の顕著な増加が認められず、その作用機構の違いが示唆された。

アメリカやヨーロッパをはじめとするいくつかの研究グループは、活性酸素消去系酵素のうちスーパーオキシドジスムターゼ(SOD、図3参照)について私たちと同様な研究を行い、遺伝子導入により植物のパラコートやO<sub>3</sub>に対する耐性が増加することを報告している。私たちも京都府立大学で作成されたSOD遺伝子組換えタバコにおいてパラコート耐性の増加を確認した。

最近私たちは、GR遺伝子を導入したタバコとSOD遺伝子を導入したタバコを交配し、これらの酵素活性が共に高い組換え植物を作成した。こうして得られた組換え体は極めて高いパラコート耐性を示した(図5)。したがってこのような一連の代謝系に含まれる複数の酵素の遺伝子操作が、植物の形質改善に非常に有効であることが示唆された。現在、これらの酵素の遺伝子組換え体とAPX遺伝子を導入した組換え体との間での交配も試みている(図5)。また図1に示した、活性酸素消去系酵素以外の酵素についても、遺伝子操作を行い、その効果について検討する予定である。

## 6. おわりに

以上の研究結果は、遺伝子操作技術が植物のストレス耐性の改善に有効であることを示唆している。しかし今後この技術を更に有効に活用するためには、植物のストレス耐性機構の解明やそれに関わる遺伝子の単離が必要である。大気汚染耐性機構についても、これまでにわかっていることはまだほんの一部に過ぎず、単離されている遺伝子の数も少ない。一方、シロイヌナズナやイネなどの植物におけるゲノム解析研究により植物の遺伝子に関する情報が急ピッチで蓄積され、また突然変異体を用いた遺伝学的及び分子生物学的研究により、植物の生理機構の解明や遺伝子単離に新たな展開がなされようとしている。私たちも今後こういった技術を導入し、環境遺伝子工学実験棟の充実した設備を活用しながら研究を進めていきたいと考えている。

# 都市型環境騒音と大気汚染による環境ストレスと健康影響に関する環境保健研究

兜 真徳（地域環境研究グループ首席研究官）

## 1. 研究の背景と概要

近年における道路交通の活発化を背景として、自動車に由来する騒音と大気汚染の問題は、主要な都市型環境問題としてなお深刻である。したがって、示唆されている健康影響やストレスについてより詳細な、また新しい手法を盛り込んだ継続的な評価・監視システムが必要と考えられることから、平成4～7年度にわたり本特別研究を実施した。主要なテーマとして、後者では、道路騒音の環境基準設定の基本とされている「夜間道路騒音の睡眠影響」を、また、前者では、発癌リスクが示唆されているディーゼル排ガスのリスク評価とモニタリングの手法については既に先行の特別研究で検討しているの、新たに、「ディーゼル排ガスについて近年動物実験や一部の疫学調査により示唆されているように、アレルギー疾患（とりわけスギ花粉症(Japanese Cedar Pollinosis))を増加させる要因として影響している可能性があるのかどうか？」を取り上げた。ここでは、これら2つの研究テーマのもとに実施した疫学調査結果について報告する。

## 2. 夜間道路交通騒音の睡眠影響に関する疫学調査：

**不眠症の発症に夜間道路交通騒音がどの程度、またどのような形で寄与しているかについての検討**

騒音による睡眠影響は、これまで社会調査と実験研究によって行われてきているが、従来の社会調査では騒音による睡眠妨害等があるかどうかについての一般的な質問調査が基本とされており、睡眠影響の程度や急性か慢性か等についての区別がなされておらず、また睡眠中の騒音曝露との関連についても不明なものが大半である。一方、実験研究では、曝露条件は詳細であるが、大半が日常的な生活環境とは異なる実験室での急性影響実験が基本となっており、両者の結果に多少とも乖離が認められている。本研究では、近年健康科学分野においても睡眠の重要性が強調されていることもあり、都内及びの主要幹線道路沿道住民を対象に、新しい試みとして、実際の生活条件下での不眠症の実態を把握すると同時に、その発症要因の1つとして夜間道路騒音がどの程度寄与しているかを検討することにした。なお、調査は、不眠症

者を同定するための1次調査と、同定された不眠症群と非不眠症群についての夜間騒音曝露状況の比較を目的とした2次調査からなる。ただし、2次調査では、近年国内でも騒音の評価指標として等価騒音レベル(LAeq)の採用が検討されている状況もあり、従来のL50等による評価との比較検討も重視した。

### 2.1 対象と方法

#### 2.1.1 全国8地域の横断調査（1次調査）

東京都A区、群馬県B市、長崎県C市、沖縄県D・E市、川崎市F区の5都市8地域のそれぞれ主要幹線道路が通過する地域を選び、道路沿道(0～20m)、中間ゾーン(20～50m)、後背ゾーン(50～100m)の居住者の中から中高年主婦をランダムに選出し、郵送により質問調査(1次調査)を実施した結果、3,600名(20～80才代)の主婦から有効回答を得た。不眠症の判定基準は、国際的診断基準等に準拠し、「①睡眠のことで現在困っており、②入眠困難・中途覚醒・早朝覚醒・熟眠困難のうち1つ以上の症状が最近1ヶ月以上持続して週1回以上あり、③このために仕事の能率低下など生活上の支障がある、こと」を条件とした。質問紙調査による回答の信頼性チェックのため、不眠症群79名、非不眠症群90名の計169名を対象として1ヶ月後に実施した同じ質問調査による同判定の一致率を見た結果では、不眠症群で71%、非不眠症群で94%であり、疫学的解析に耐えうるものであると考えられた。

#### 2.1.2 睡眠時騒音曝露測定（2次調査）

1次調査で同定された不眠症群と睡眠時騒音との関連をみるため、東京都A区のみを対象に同地域の不眠症群19例及び非不眠症群41例(年齢・婚姻状況・職業の有無・加療中疾患の有無をマッチさせた非不眠症群19例を含む)について、寝室内と家屋外の睡眠時騒音レベルを(マッチさせたペアについては同夜に)同時測定した。寝室の枕元に近い位置及び寝室付近の家屋外において、平日の1夜について1分毎のLAeq(1min), Lmax(1min), L05(1min), L10(1min), L50(1min), L90(1min), L95(1min)を連続測定し、個人別に異なる睡眠時間帯(就寝から起床まで)のデータを切り出し、結

果に示す数種の睡眠時間帯の騒音レベルを示すパラメータを計算により求めた。なお、測定にはRion社製普通騒音計(NL-04)を用いた。

## 2.2 結果

### 2.2.1 全国8地域の横断調査(1次調査)結果

全3,600名中11%(403名)が不眠症と判定されたが、同割合は30歳台で最低、20歳台でやや高く、高齢者では著しく高値であった(図1)。不眠症群のうち13%は「現在不眠のことで医師と相談している」、27%が「現在睡眠薬を服用している」と回答した。これらの割合は非不眠症群(それぞれ1%、3%)に比較して極めて高値であった。不眠症群では、不眠による生活上の支障として、「気分がすっきりしない」(75%)、「居眠りや昼寝をしてしまう」(20%)などの回答が多かった(複数回答)。また、「不眠の原因としては、「心配事」(29%)、次いで「次の日の用事を考えてしまうから」(24%)と「屋外の騒音」(24%)との回答が多かった(同様に複数回答)。

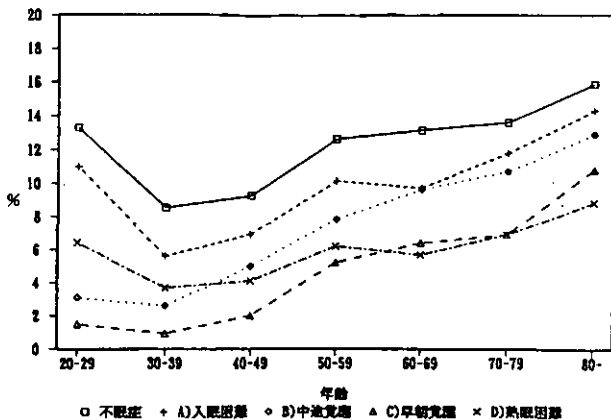


図1 全対象成人女子における年齢別不眠症割合 (N=3600, A-Dが一つ以上ある場合が不眠症)

不眠症との関連が予想された各種要因が不眠症の発症にどの程度関連しているかについて、多重ロジスティック解析を用いて、それら要因を相互に調整した場合の推定オッズ比(Odds Ratio, OR)により検討した。結果、「年齢70歳以上」(OR=1.7)、「6歳未満の小児あり」(OR=1.5)、「加療中の疾患あり」(OR=2.3)、「最近6ヶ月以内に大きな生活変化が1つ以上あった」(OR=3.0)、「就寝時刻が不規則」(OR=2.3)、「一晩に1回以上トイレに行く」(OR=5.2)などの要因が有意に関連していたが、結婚、職業、飲酒・喫煙・

生活習慣(カフェイン飲料摂取、運動、昼寝)、住宅の構造、さらに睡眠パターン(day/night sleeper)や睡眠の長さ(short/long sleeper)などのORは有意ではなかった。また、8地域間で主要道路から20m以上離れた2つのゾーンをひとまとめに基準カテゴリー(OR=1)として、8地域の幹線道路沿道地域(0~20m)のORをみると、上記の関連要因を調整しても、しなくても、有意に大きな値を示し、また、各道路の夜間交通量(1台の大型車は10台の普通車として普通車交通量に換算)と有意な直線的な関連を示した(図2)。以上の結果は、以下にのべる寝室内の睡眠時騒音レベルの不眠症に対する関連性の結果等とともに、夜間道路交通騒音が沿道住民の不眠症を増加させること、また、同影響は、夜間道路交通量が1,800台/時を超えるあたりから有意となることを示唆している。

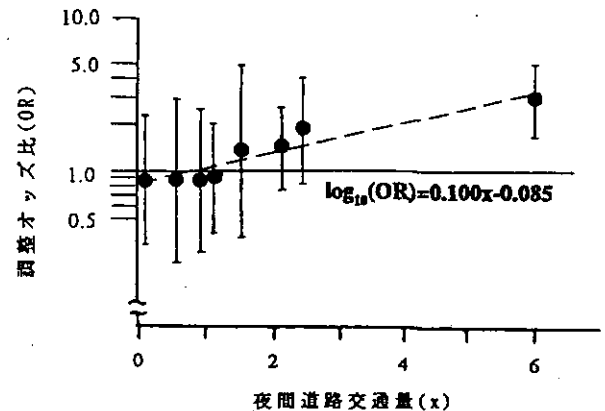


図2 夜間道路交通量と沿道20m以内における不眠症のORとの関連

横軸=各地域内の幹線道路の夜間交通量(1000台/時)、ただし大型車1台を普通車10台分として換算  
縦軸=8地域の幹線道路から20m以遠のゾーンを一括してその不眠症オッズ比(相対リスク)を1とした場合の、各幹線道路から20m以内のゾーンにおける不眠症オッズ比、ただし年齢・6歳未満の小児の有無・加療中疾患の有無・最近6ヶ月以内の大きな生活変化の数・就寝時刻の不規則性・夜トイレに行く回数の影響について多重ロジスティックモデルにより調整

### 2.2.2 睡眠時騒音暴露調査(2次調査)結果

19ペアの不眠症群と非不眠症群の寝室内の睡眠時騒音レベルを比較した結果、両群のLAeq(1min), Lmax(1min), L05(1min), L10(1min), L50(1min)のいずれの平均値も不眠群に有意に高い傾向が認められた。さらにこれら騒音レベル諸指標と不眠症との関連を比較検討するため、まず、LAeq(1min)を除き、各測定値毎に各自の睡眠時間帯における分布から、それぞれLmax



(sleep), L05(sleep), L10(sleep), L50(sleep)を求めた。また、L<sub>Aeq</sub>(lmin)については、睡眠時間帯でのエネルギー平均 L<sub>Aeq</sub>(sleep)を求めた。そして非不眠症群でのこれらの騒音値の分布からそれぞれの3分割カテゴリーを設定し、多重ロジスティック解析により、最低レベルのカテゴリーのORを1として上位2カテゴリーのORを算出し、それらの不眠症に対するリスクの大きさを推定した。年齢、加療中の疾患の有無、大きな生活変化の有無を調整した場合の、L<sub>Aeq</sub>(sleep), L<sub>Amax</sub>(sleep), L10(sleep), L50(sleep)の各上位カテゴリーのORをみると、睡眠時間中のL<sub>Aeq</sub>(lmin)エネルギー平均レベルであるL<sub>Aeq</sub>(sleep)は必ずしも最良ではないにしても、不眠症への影響を示す優れた指標であり、同値で30~40 dBの間に“最小影響レベル”があることが示唆される。これは、これまでの社会調査で示されている“最小影響レベル”と脳波等の実験から示されている“最小影響レベル”の中間的な値である。

一方、寝室内の上記睡眠時騒音レベルと、同時に測定した屋外の騒音レベルとの相関をみると、道路から0~20 mと20~50 mのゾーンでは強い相関が認められ、屋外の道路騒音の侵入によって寝室内の騒音レベルが上昇し、そのため不眠症が増加している傾向が明らかであった。

### 2.3 考察

一般住民を対象として不眠症を調べた今回のような疫学調査は、国際的には盛んであるが国内ではほとんど前例をみない。調査を始めるに当たり、アンケート調査による不眠症がどの程度正確に把握しうるのかについて不明な部分もあったため、調査内容に、一般に不眠となった場合に予想される影響項目、また、不眠状態に対する対処法等についての質問を加え、それら結果との整合性を検討した。また、アンケート前夜の睡眠状況を調べるために開発されたOSA調査票の結果との整合性についても検討した。いずれの結果も、同定された不眠症者が、慢性的に不眠症状を有していることを強く示唆する結果であった。さらに、上述したように、1ヶ月の間隔で同じ質問調査を行った時の不眠症の一致率は71%、非不眠症の一致率は95%とよく安定していたことも、得られた結果の信頼性を強く支持している。

さらに、不眠症の原因として関連することが示唆されている年齢、加療中の疾患の有無、大きな生活変化の有無などとの有意な関連性が再確認された。同時に、最も

強調すべき点として、8地域の結果を通して系統的に、屋外のみならず寝室の睡眠時騒音レベルと不眠症の発症との間に「レベル-反応関係」を示す有意な関連性が認められた事が上げられる。示された「レベル-反応関係」は、これまでの実験結果で示唆されている結果にほぼ近似して、交通騒音による睡眠への“最小影響レベル”が睡眠中のL<sub>Aeq</sub>値で30~40 dBの中間にあることをも示しており、不眠症を対象とした今回の方法では従来の社会調査法より感度が良いことを示唆していると思われる。

以上、今回の結果は、主要幹線道路沿道では夜間交通騒音が不眠症の有意なリスクとなっていることを改めて示し、したがって睡眠環境保全の観点からも問題を再認識すべきであること、さらに、不眠症を対象とした疫学調査は、現行の道路騒音の環境基準の基本とされている睡眠影響について、L<sub>Aeq</sub>等の新たな評価指標の有用性や詳細な対応関係を検討するために有用な方法であることが示唆された。

### 3. 大気汚染によるスギ花粉症への影響に関する疫学調査

大気汚染（特にディーゼル排ガス成分を含むとされる浮遊粒子状物質(SPM))の程度、スギ花粉飛散の多寡の組み合わせを考慮して関東内で以下の5地域を選出し、各地でのスギ花粉感作状況（スギ花粉特異IgE抗体陽性者割合）とスギ花粉症の症状発現の状況を横断的に観察した。また、都内の1大企業内の職域検診対象者についても並行して同様な調査を実施した。

#### 3.1 対象と方法

##### 3.1.1 関東内5地域での横断調査

平成5年7月に、茨城県日立市（以下、日立地区）、茨城県水海道市（水海道地区）、東京都葛飾区（葛飾地区）、川崎市川崎区（川崎地区）、川崎市麻生（麻生地区）の計5地区（各地区のスギ花粉飛散状況と大気汚染レベルを（表1に示す）で、各地区の大気汚染測定局あるいはスギ花粉測定点の周辺住民（20歳以上60歳未満の男女）各1,000名を対象として、質問紙郵送法によるスギ花粉症の断面調査を実施した。上記対象者はあらかじめ定めた町丁目の住民基本台帳から無作為抽出した。また、同調査はスギ花粉飛散の季節を終えた6月に実施した。郵送後、回答のない場合には2週間後に督促した結果、有効回収率は全体で57%となった。な

表1 対象5地域のスギ花粉飛散と大気汚染レベル\*

対象地域	スギ花粉 飛散数 (個/cm <sup>2</sup> )**	SO <sub>2</sub> (ppm)	SPM (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)
日立	28000	0.005	0.024	0.012	0.028
水海道	32000	0.005	0.049	0.016	0.027
葛飾	8400	0.009	0.059	0.030	0.022
川崎	6300	0.009	0.060	0.038	0.021
麻生	8900	0.006	0.043	0.025	0.024

\*1989年から1993年まで5年間の平均値

\*\*1989年から1993年までの累積スギ花粉飛散数(ダラム式)

お、年齢が対象外のもの、他の人が記入したと判断されたもの、単身赴任等のため対象地域での生活時間が少ないもの、配布後3ヶ月以上たって返送されたものは除外した。スギ花粉症の判定には、厚生省のガイドラインを基本として、「鼻症状(くしゃみ、鼻水、鼻づまりのうち2つ以上)と眼(かゆみなど)の症状がかぜをひいていないのに、毎年のように繰り返して、早春に起きる。」場合をスギ花粉症症状「あり」とした。症状の有無と各種要因との関係については、多重ロジスティックモデルにより解析によった。一方、各地のスギ・ヒノキ花粉飛散数は、自治体の観測値を基に調査前5年間の累積飛散数とした。ただし、茨城県日立市及び水海道市には過去の観測値が無いため、平成5年~7年に新たに測定したデータから、他の観測点での飛散数との比から推定した値を用いた。また、川崎市の観測値はヒノキ科花粉を除外していたので、川崎市衛生局及び佐橋らの報告に基づき、スギ花粉飛散数を1.15倍した値とした。

3.1.2 職域集団についての調査

東京都内に勤務地のある職域集団の1993年度の健康診断受診者約4,000名に対してアレルギー疾患症状等に関する1次アンケート調査を行った他、対象を年齢が20~60才の各5才毎の人と新入社員、計770名に限定して、血清中スギ特異IgE抗体をCAP-RAST法により、血清中非特異的IgE抗体(総IgE値)をCAP-IgE法により測定するとともに、花粉症及び喘息関連症状等についての2次アンケート調査を行った。

3.2 結果

3.2.1 関東内5地域の横断調査結果

スギ花粉症有症率の関連要因別の分布(表2)をみると、性差はなく、また、ぜん息の既往の有無別の差もなかった。一方、アレルギー性疾患既往の有無及び父・母のアレルギー性疾患の有無別では、いずれも既往ありの群で有意高値であった。居住年数別では、10~19年

表2 関連要因別スギ花粉症有症率

	有症率 (%)	χ <sup>2</sup> 検定 p値
性別		
男	20.3	0.335
女	21.8	
年齢		
20歳代	20.7	0.001
30歳代	28.2	
40歳代	22.0	
50歳代	13.6	
既往歴(本人)		
ぜん息		
あり	19.2	0.6
なし	21.2	
アレルギー性疾患*		
あり	24.3	0.001
なし	19.1	
両親のアレルギー性疾患既往歴		
父		
あり	26.5	0.001
なし	18.8	
母		
あり	28.6	0.001
なし	18.2	
居住歴(年)		
3年未満	20.3	0.020
3-9	22.8	
10-19	23.7	
20年以上	17.9	
喫煙状況		
喫煙者		
現喫煙	18.3	0.014
前喫煙	25.1	
非喫煙	22.6	

\*アトピー性皮膚炎、湿疹、じんましん、食物アレルギー、薬物アレルギーのうちのいずれかがあると答えたもの

群で高値、喫煙状況別では、現喫煙者で低い傾向であった。ここで、性別地域別に年齢別有症率(表3)をみると、全体としては30歳代にピークがあるが、日立地区及び水海道地区の男性では20歳代が最高、葛飾地区及び麻生地区の男性では30歳代が最高である。これに対して女性では、日立地区では30歳代と40歳代がほぼ同レベルであった以外はいずれも30歳代が高かった。こうした年齢分布の地域差のために、有症率の地域差は20歳代で最も大きくなる傾向を示した。性・年齢で調整したスギ花粉症有症率はスギ花粉飛散数が多い地域ほど高い傾向がみられた(傾向性に関する拡張マンテル検定 p=0.019)。

表3 地区別性・年齢別スギ花粉症有症率(%)

	日立	水海道	葛飾	川崎	麻生
男					
20歳代	33.3	36.2	13.0	17.3	19.4
30歳代	20.3	28.0	25.5	19.2	37.3
40歳代	21.0	18.3	16.1	20.3	13.2
50歳代	25.3	13.2	16.7	8.3	11.7
計	23.9	22.4	17.7	15.7	20.8
女					
20歳代	24.6	17.2	13.5	8.5	24.3
30歳代	29.7	37.5	29.0	36.1	28.3
40歳代	30.7	22.7	18.6	28.1	23.2
50歳代	15.9	10.6	11.3	11.8	12.7
計	26.1	19.5	18.2	22.2	22.7

地区、性、年齢、父親のアレルギー疾患既往、母親のアレルギー疾患既往、居住年数、喫煙歴を説明変数とした多重ロジスティックモデルによる解析から推定した各要因の推定オッズ比（OR）を見ると（表4）、葛飾地区を1とした場合の日立地区のORは1.6で有意な上昇を示していた。年齢別には50歳代に比較していずれの年代も有意高値を示し、30歳代ではORは3.1であった。父・母のアレルギー疾患既往歴も有意な関連を示した。

表4 スギ花粉症有症率に関する各種関連要因の推定オッズ比とその95%信頼区間

地域	推定オッズ比	95%信頼区間	
		下限	上限
日立	1.566	1.123	2.197
水海道	1.335	0.943	1.899
葛飾	1.000		
川崎	1.110	0.772	1.598
麻生	1.252	0.880	1.788
性別			
男	0.898	0.704	1.144
女	1.000		
年齢			
20歳代	1.816	1.291	2.567
30歳代	3.059	2.197	4.292
40歳代	1.795	1.297	2.501
50歳代	1.000		
父親のアレルギー疾患既往歴			
あり	1.414	1.110	1.794
なし	1.000		
母親のアレルギー疾患既往歴			
あり	1.612	1.262	2.053
なし	1.000		
居住歴(年)			
3年未満	0.771	0.543	1.087
3-9	0.925	0.686	1.246
10-19	1.055	0.793	1.403
20年以上	1.000		
喫煙状況			
現喫煙	0.754	0.582	0.975
前喫煙	0.889	0.582	1.332
非喫煙	1.000		

### 3.2.2 職域調査の結果

対象者の95パーセントは男性であり、また、女性は若年者が大半であったので、以下、男性のみ解析対象とした。年齢別のスギ花粉症有症率とスギ特異的IgE抗体価分布を図3、図4に示す。典型症状有症率は20歳代で11%、30歳代で14%、40歳代で11%、50歳代で2%で、30歳代に高率であった。この傾向は非典型症状を含めても同様であった。スギ特異的IgE抗体価については年齢が高くなるにつれて陽性率は低くなり、スコア2以上の陽性者は20歳代で55%、30歳代で42%、40歳代で34%、50歳代で31%であった。また、若年の方が抗体価が高スコアの者が多い傾向があった。スギ特異的IgE抗体陽性者の中でスギ花粉症症状有症状状況を年齢別にみると、陽性者のうち典型症状を示していたのは全体で26%、非典型症状を示していたの

は14%であった。陽性者の中で症状を示している割合は30歳代と40歳代で大きく、約半数を占めていた。

次いで、スギ花粉特異IgE抗体陽性率と喫煙歴との関係を見ると、抗体陽性率は現喫煙者で34%、前喫煙者で33%、非喫煙者で51%であり、非喫煙者で有意高率であり、現喫煙者と前喫煙者では差がなく、非喫煙者の約6割であった。現喫煙者を喫煙本数別に1日20本未満と20本以上にわけてみると、喫煙本数20本以上の群では陽性率はより低く、喫煙本数に依存した抗体陽性率の有意な低下傾向が認められた。年齢別・喫煙状況別に抗体陽性率をみると、全体的には、陽性率は20歳代が高く、年齢とともに低下する傾向がみられた。いずれ

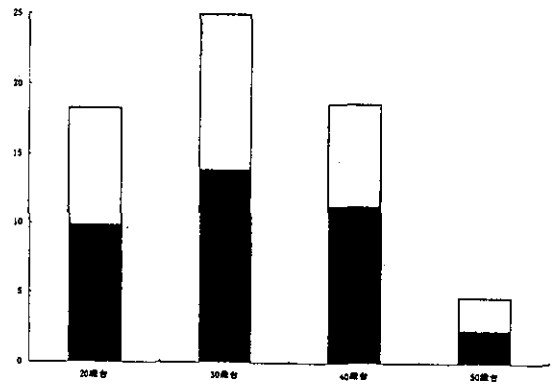


図3 年齢別スギ花粉症有症率（■典型症状のみ、□非典型症状のみ）

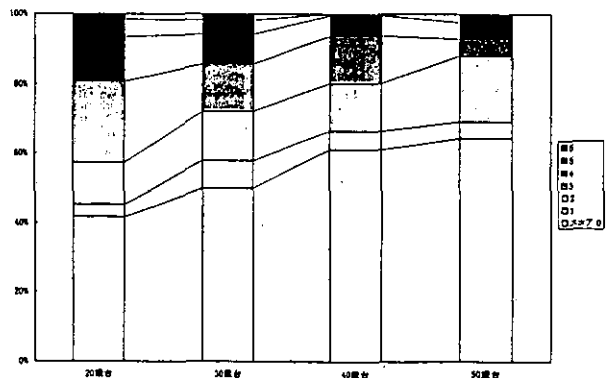


図4 年齢別にみたスギ花粉特異なIgE抗体価のスコアの分布

の年齢群でも非喫煙者の抗体陽性率が高い傾向があり、喫煙状況別の抗体陽性率の差は40歳代以上の中高年齢群で大きい傾向があった。また、年齢による抗体陽性率の違いは現喫煙者で顕著であった。次に、総IgE値につ

いてみると、総IgE値高値（300U/ml以上）の者の割合には、喫煙状況による差はなかった。総IgE値の幾何平均値は現喫煙者でやや高値ではあるが、統計的に有意ではなかった。年齢別・喫煙状況別の総IgE値高値者の割合をみると、20歳代及び40・50歳代では現喫煙者が高い傾向があるが、30歳代ではこうした傾向はなかった。

2次アンケート調査の結果、「鼻症状（くしゃみ、鼻水、鼻づまりのうちの2つ以上）と眼（かゆみなど）の症状がかぜをひいていないのに、毎年のように繰り返して、早春に起きる。」場合を花粉症症状が「あり」とした場合の有症率は、現喫煙者では8%、前喫煙者では10%、非喫煙者では16%であった。年齢別に見ると、40歳代以上の年齢層で最も低率で、約5%であった。

### 3.3 考察

第一に、今回新たに作成した質問票による自記式調査の結果は、スギ花粉症の有症状状況を疫学的解析に耐える精度で把握しうる方法であることが確認されたことを強調したい。それら信頼性しうるデータから、スギ花粉症有症率には従来から指摘されているように年齢による違いが最も大きいことが再確認されるとともに、年齢を調整した場合、スギ花粉症有症率の地域差はほぼスギ花粉飛散数に対応していることが示された。しかし、当該関心事であるSPM濃度あるいはNO<sub>2</sub>濃度との関連性についての多重ロジスティック解析による検討では、有意な関連性は認められなかった。ただし、有症率の年齢別パターンに地域差があることから、症状発現に関わる要因に年齢差のある可能性もあり、特により若年者での検討が必要であろう。

一方、大気汚染物質については測定局での大気汚染レベルと個人暴露量との間にある程度の相関が示されてい

るが、スギ花粉に関しては、地域を代表するスギ花粉飛散数データがそのまま個人曝露を示しているかどうかについての詳細な情報は見当たらない。大気汚染物質及びスギ花粉への曝露の個人間変動が大きい場合には、いわゆる「誤分類の影響」でスギ花粉症有症率との関連性が低く推定されている可能性がある。ただし、過去の居住場所での曝露の影響も考慮したが、今回の対象者は、各地区とも関東近県の出身者が大半を占めていた。

ところで、スギ花粉症有症率は年齢と同時に喫煙習慣によって大きく低下する傾向を示しているが、同傾向は、小笹らの症例対照研究の結果と一致している。高レベルの吸気汚染への曝露を伴う喫煙によってスギ花粉症の発症が抑制されるとすれば、大気汚染との類似性からみて大気汚染がスギ花粉症をむしろ抑える方向に作用していることも予想され、メカニズムの解明を含めより詳細な検討が望まれる。

### 謝辞

不眠症の疫学調査は、群馬大学医学部鈴木庄亮教授、長崎大学医学部竹本泰一郎教授、琉球大学教育学部平良一彦教授、国立精神神経センター大川 匡子部長等々、また、スギ花粉症の疫学調査は、宮崎大学医学部常俊義三教授、東京大学医学部灰田美智子先生、J R東日本中央健康管理所松岡芳子部長等々、のご協力を得て初めて実施できた。また、調査の実施に際して対象住民の方々や自治体の関係機関（特にスギ花粉飛散数のデータの収集にご協力いただいた東京都衛生局環境公害保健課、川崎市衛生局感染症対策課、日立市天気相談所、水海道保健所）の皆様にご支援ご協力を賜わった。これら関係各位に対し、記して厚く御礼申し上げる次第である。

# アジア太平洋地域における水環境修復技術の国際共同研究と展望

稲森 悠平（地域環境研究グループ開発途上国環境改善(水質)研究チーム）

## 1. はじめに

環境基本法の理念として「環境の恵沢の享受と継承」「環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築」及び「国際的協調による地球環境保全の推進」が位置づけられている。この理念から理解できるようにこれからは「持続性」「自立性」「共存性」と同時に「国際協力」が重要とされている。すなわち、環境保全においては環境基本法の理念に則った新たな地球規模の立場にたった環境観の構築が求められている。

現在、我が国では富栄養化の過度の進行により水環境が悪化し、各地の公共用水域においては、夏季にはアオコ、赤潮が大発生し、水資源の危機が加速化し、水環境の不健全化が大きく懸念されている。一方、開発途上国では生活排水、産業排水等の未処理放流により水環境の汚濁も著しく進行し、安全な飲料水資源の確保が困難な状況となっている。これらは、先進国と共通の水環境問題と言われるものであり、更に深刻な社会問題になりつつあり、その環境の修復のための抜本的対策を構想することに対しては一刻の猶予も許されない状況にある。そのため地球規模の各国に共通する水環境問題に対して我が国だけの問題として対処をするのではなく、国を越えた地球規模での立場にたつて国際共同研究を推進し環境修復対策の国際化を図り国情に適した技術開発と普及を行うことが必須である。

本報では上記の点を鑑み、特にアジア太平洋地域の開発途上国の水環境の現状と水環境修復対策の国際化の必要性、水環境修復技術移転における考え方、国立環境研究所における水環境修復に係わる国際共同研究の取り組みと国際共同研究の推進における課題及び展望について述べることとする。

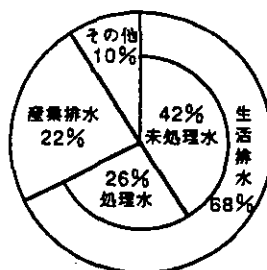
## 2. 開発途上国の水環境の現状と対策の国際化の必要性

開発途上にある国は多数存在し各々改善すべき課題を有しているが、基本的には人口増加に伴う生活排水の環境に及ぼす汚濁負荷の削減を図ることが重要（図1）であり、産業化の進展しているところでは同時に産業廃水の処理対策の強化を図ることが重要である。汚濁負荷としての大きな割合を占めるのは我が国と同様に生活排水に

基因するところが多い。ここでは、開発途上にある大都市の一つであり、開発途上国における深刻な水環境問題である生活排水、産業排水の両者の汚濁負荷による水域の汚濁が進行している中華人民共和国中部の政治、経済、文化の中心地である武漢市を例として述べる。

武漢市は、人口620万人、面積8,200km<sup>2</sup>の中国第四番目の大都市であり、陽子江とその最大支流の漢水との合流地に位置し、また、市内には湖が100以上有り、水域の総面積が1,370km<sup>2</sup>で、市街化地区の1/4にも達し、水不足問題で困ることのなかった数少ない都市の一つであった。こうした豊かな水資源に支えられて発展してきたが、近年、産業活動の急速な発展により、極めて多量の産業排水が発生するようになった。また、市街化地区の生活排水は約80万m<sup>3</sup>/日発生し、処理率は約12%程度に過ぎず、残った分が未処理のまま放流されている。このような未処理の産業排水と、家庭からの排水とが直接放流されるのが原因で、水環境が著しく悪化してきている。市内には、東湖という大きい湖があり、その面積は34km<sup>2</sup>、容量は1億2,400万m<sup>3</sup>もあり、観光名所として重要であるばかりか、沿岸60万市民の飲用水源にもなっている。しかし、最近の水質は悪化し、国家の「飲用水源水質基準」を超えたため、沿岸の浄水場が閉鎖されるに至っている。豊富な水資源を所有していた武漢市でも、水質環境の悪化により、経済発展に障害が生じ、市民の健康に直接被害が生じ、環境問題が社会問題にまで発展することとなった。

なお、水質汚濁改善事業の担当者は、水質汚濁の防止



東京湾の汚濁負荷

国	割合
インドネシア共和国	70%
タイ王国	75%
フィリピン共和国	55%
マレーシア	77%
大韓民国	54%
中華人民共和国	48%

アジア太平洋地域の開発途上国の生活排水の汚濁負荷に占める割合

図1 汚濁負荷に占める生活排水の割合

に向けて努力を行っているが、①水処理施設の建設資金の足りないこと ②水質汚濁に対する適切な対策と水環境修復技術の足りないこと ③水改善の専門家の足りないことにより苦慮している。

アジア太平洋地域の多くの開発途上国の環境問題はちょうど我が国の1960年代頃の公害大国の状態に似ているとよくいわれ、一度「公害大国」を体験した我が国を参考にして、今までに蓄積された水質汚濁対策と水環境修復技術を導入することにより、開発途上国の水質汚濁を解決するように努力する必要があると考えられる。

開発途上国ごとに水環境問題も様々であるが、各国ともに都市周辺の河川、湖沼が、未処理の生活排水、産業排水により著しく汚染されつつあり、その水環境汚濁の現状を改善修復するための水処理技術の導入を必須としていることは全く共通するものである。先進国と開発途上国との水環境修復対策と水処理技術に関しては共通する点しない点が存在するものの、水質汚濁に係る環境問題の解決のためには国際共同研究を推進し国情に適した水環境修復対策を開発普及できるような国際化が必要と考えられる。

### 3. 水環境修復技術移転における考え方

国連地球環境会議（地球サミット）が開催されて以来、我が国では地球環境問題の解決に向けて積極的な貢献として、我が国の「公害大国」の歴史段階に蓄積された水環境修復技術を、開発途上国に「技術移転」及び「技術援助」しようとの声が更に高まった。一方、水環境事業の技術力と資金力に乏しくて苦しんでいる開発途上国は、我が国に対して、資金、設備、技術面等の援助を期待している。

このような現状を鑑みた場合の開発途上国へ水環境修復のための技術移転と技術援助をする場合に重要と考えられる課題は以下に述べるとおりである。

#### 3.1 開発途上国の国情に合う環境修復技術

開発途上国へ「適正技術」を移転することが必要であるとよくいわれているが、「適正」という言葉の意味は、必ずしも最先端の高度技術ではなく、開発途上国の国情に合っていることが必要である。

開発途上国に合う技術というのは、我が国の1960年代頃の公害大国になった初期段階から採用された水質汚濁対策と水環境修復技術が最も効果的なものと考えられている。しかし、開発途上国の国情に合わない技術移転であるならば、たとえ最先端技術であってもなくても無駄

になり、むしろ逆に開発途上国に負担を強いるものとなる。技術移転する場合には役立つことを前提とした十分な認識が必要と考えられる。

この場合、我が国の二の舞いを開発途上国に味あわせることのないようにする必要がある。すなわち、窒素等の栄養塩類の除去できない水処理施設を面的整備した結果が湖沼、内湾などの閉鎖性水域の富栄養化を加速し水資源の価値を著しく低下させ不健全化させていることを認識し、地域特性に応じ可能な限り窒素等の栄養塩類を除去するシステム開発の技術移転を行うようにすることが不可欠と考えられる。なお、我が国の指定湖沼をはじめ、閉鎖性水域に共通することであるが、霞ヶ浦の水質保全対策において単独処理浄化槽はもちろんのこと流域でのBOD除去のみの合併処理浄化槽の普及が従来に比べて窒素を3.7倍、リンを2倍以上に増加させ水源保全、富栄養化対策上問題であり、高度合併処理浄化槽をはじめとする栄養塩類除去機能を有するシステムで面的整備を図らない限り霞ヶ浦流域の効果的水質修復はなし得ないという結果が得られていることから長期的ビジョンとポリシーをもった行政施策が不可欠であることには留意する必要がある。

#### 3.2 適正な技術移転の方法

開発途上国において、物価指数（Cost Index）は我が国と大きく異なる。従って、経済的観点から見ると、我が国から水処理プラントをそのまま開発途上国が輸入するより、技術輸入の形式で開発途上国は技術導入して生産するのが適正と考えられる。

また、適正な技術移転の方法は、技術移転の始めから終わりまで、開発途上国の担当部門と密接な連携協力することと開発途上国の担当者が直接参加することが重要と考えられる。例えば、技術移転に関連する情報を収集する初期段階では、現地に精通した開発途上国の担当者を通じて行うこと、適正な水処理技術を選択あるいは開発研究する段階では、国情に熟知した開発途上国の担当者に参加する機会を必ず与えること、特に開発途上国で技術を利用して現地で水処理プラントを生産、運営、維持管理する最終段階では、開発途上国の担当者自身が責任をもって自立遂行できるようにすることが技術移転の成否を左右する重要な要因であると考えられる。

さらに開発途上国では、情報システムの発達がまだ十分でないため、関連する情報をすぐ手に入れることが困難である。援助プロジェクトを成功させるためには、必要な情報を把握することが必須であるが、担当業務部門

と担当技術者との連携が十分でないと、逆に援助プロジェクトの我が国担当者を苦悩させることになることから密接な連携の可能な体制のシステム整備が不可欠である。

### 3.3 人的面の援助の重視

開発途上国の水環境問題は、最終的にはその国の担当者自身の努力と行政の支援によって解決すべきことであるので、資金と設備の援助は当初必須であったとしても、人的面での援助が最も基本的な援助ではないかと考えられる。

水環境修復技術専門家を開発途上国へ派遣して、現場で技術指導することは人的面での援助の一つである。また、開発途上国の担当者に我が国の水環境行政の研修や開発研究等の機会を与えることも、重要な人的面での援助である。開発途上国の研究者は、我が国で指導を受けながら、自分の国情に合うテーマを選んで開発研究して、適正な水環境修復技術を身につけて、帰国後に開発途上国の技術者として、この技術を広め活用することにより、開発途上国に大きく貢献できることは言うまでもない。

## 4. 国立環境研究所における水環境修復に係わる国際共同研究の取り組み

国立環境研究所に開発途上国と水環境修復に係わる国際共同研究を強化し、開発途上国等の諸国の水環境修復に資する技術開発を行うという観点から、平成5年10月1日に水環境改善国際共同研究チームが創設された。ここでは下記に示す水環境修復に係わる国際共同研究が計画あるいは推進されている(表1,2)。

### 4.1 大韓民国水環境改善協力プロジェクト

大韓民国の八堂ダムはソウル、インチョンの1,500万人の水道水源となっているが、この上流にある慶安川流域には15万人が居住し、広範な野菜のハウス栽培、10万頭の養豚、各種工場、大規模な遊園地等多種多様の汚濁発生源があり、この汚濁負荷源対策は緊急を要する課題であった。このことから日本政府は大韓民国政府と水質改善に係わる技術協力の取り決めを行った。この研究プロジェクトは国際協力事業団(JICA)ミニプロジェクトの協力協定に基づき、国立環境研究所が大韓民国国立環境研究院と平成2年1月から平成5年1月まで3年間で「漢江流域を中心とした水環境管理技術開発」に関する共同研究を遂行したことに由来している。このミニプロジェクトは、さらに平成6年から平成10年までの5年計画の国際協力事業団プロジェクト技術協力としての「韓国水質改善システム開発プロジェクト」に発展し日

韓の国家プロジェクトとしてスタートした。主な研究は、生活排水中の有機物、窒素、リン等が除去できる小・中規模高度合併処理浄化槽としての嫌気好気活性汚泥、生物膜法及び畜産排水の固液分離上澄水の窒素、リン除去のための嫌気好気回分式活性汚泥法と濃縮液の完全分解を目指した高温好気発酵法等の浄化システムの技術開発

表1 国立環境研究所の開発途上国への水環境改善に係わる技術指導

技術指導内容	相手機関
中華人民共和国吉林省環境保護局に羊毛排水処理技術指導	吉林省環境保護局
タイ王国チェンマイ大学に排水処理技術指導	チェンマイ大学
大韓民国日韓共同研究プロジェクト排水処理技術指導	国立環境研究院
大韓民国国立環境研究院に河川湖沼直接浄化排水処理技術指導	国立環境研究院
インドネシア共和国に浄化槽の技術移転のプロジェクト技術指導	都市開発公団
大韓民国水質改善システム開発プロジェクト技術指導	国立環境研究院
フィリピン共和国ラグナ湖水質改善プロジェクト技術指導	ラグナ湖開発庁
ブラジル連邦共和国に河川流域水質管理技術指導	ブラジル政府
中華人民共和国に流域水質管理と生活排水処理技術指導	国家環境科学研究院

表2 平成7年度の長期滞在外国人研究員

研究者名前	国籍
孔 海南	中華人民共和国
丁 国際	中華人民共和国
朴 哲熙	大韓民国
李 保瑛	大韓民国
鄭 明淑	大韓民国
梁 炯材	大韓民国
姜 昌敏	大韓民国
Piya s.	タイ王国
吳 曉磊	中華人民共和国

と最適な汚濁負荷削減のための手法開発を目指した湖沼、河川等の流域水質管理システムの開発であり、大韓民国側の長・短期研修員各2名/年を受け、日本側の長期専門家2名と短期専門家10~20名/年を派遣しており順調な成果が得られつつある。

現在までに長期専門家として水落元之、西村修、栗原崇が環境庁から派遣され、プロジェクト研究を推進している。

#### 4.2 タイ王国の自然利用強化型水質改善技術開発プロジェクト

タイ王国などは産業活動の活性化、人口増加により各種排水による水域の汚濁が顕在化してきている。このような水質汚濁を修復することを目的とした技術開発研究として平成6年度~10年度の5年計画で国立環境研究所では「開発途上国における自然利用強化型適正水質改善技術の共同開発に関する研究」のプロジェクト研究をスタートした。本研究の研究課題として有用微生物を活用し自然の浄化能力を強化した水環境修復技術として水源における汚濁物質の質と量の調査に関する研究、直接浄化機能の高い有用生物の検索と培養に関する研究、低濃度汚濁水域の直接処理手法の開発に関する研究、高濃度汚濁排水の直接処理手法の開発に関する研究、直接浄化・水処理システムから発生するバイオマスの資源化及びリサイクルに関する研究、汚濁水域の水質改善効果の

評価に関する研究などをサブテーマとして研究を推進している。

本研究では図2に示す方向性のもと図3の中で特に微

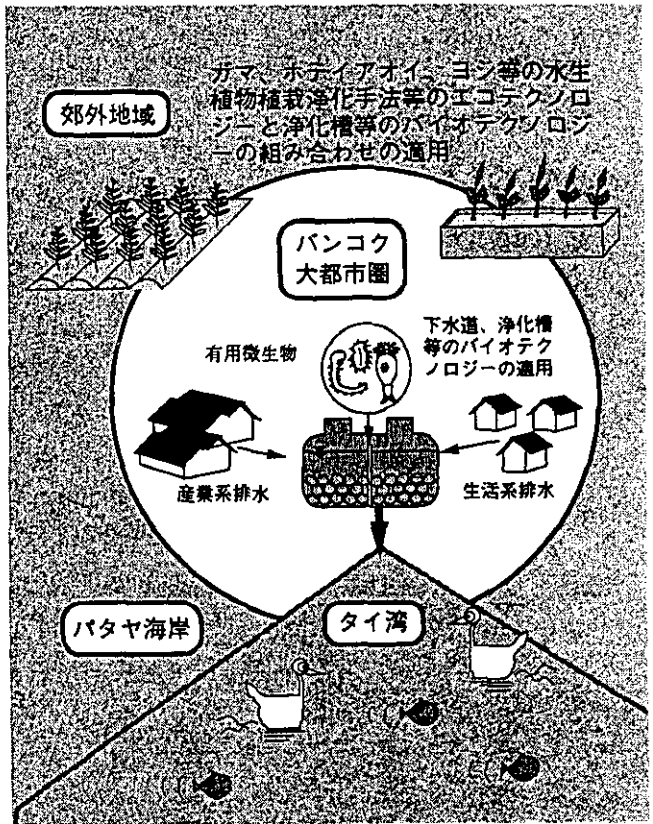


図2 タイにおける水環境修復対策のあり方

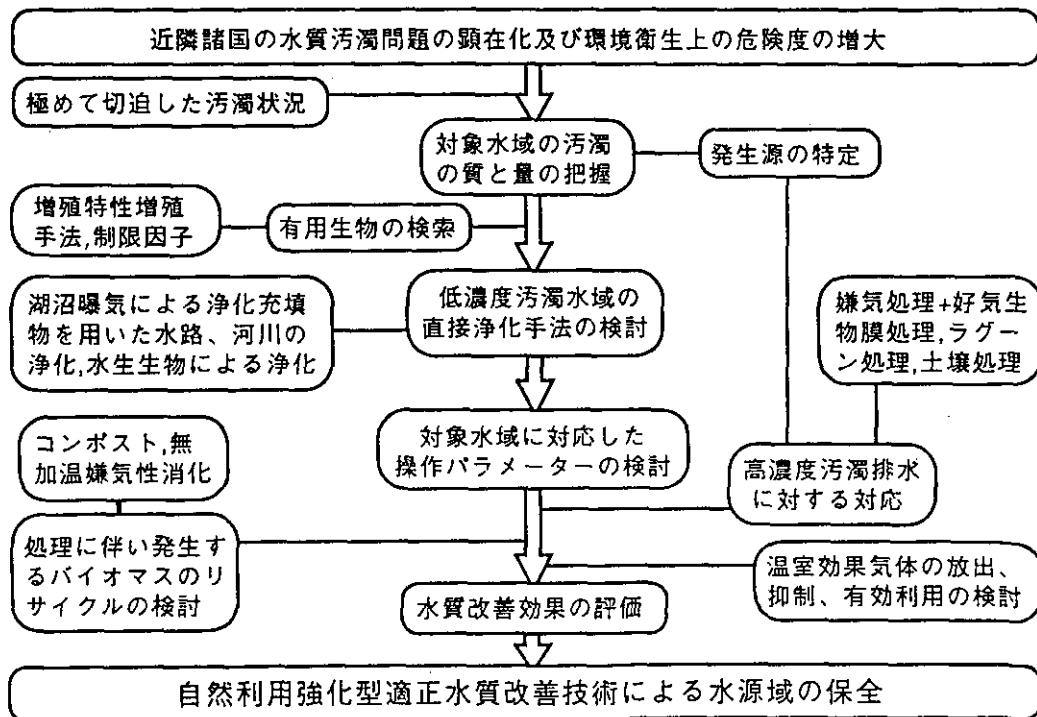


図3 自然利用強化型適正水質改善技術の共同開発に関する研究



生物、水生植物などの有用生物の機能を最大限活用したエコエンジニアリングの開発と普及を目指しており、明星大学理工学部、アジア工科大学(AIT)と共同研究がなされタイ王国の研究者の招請と派遣がなされ重点研究として進行している。

#### 4.3 中華人民共和国水環境改善協力プロジェクト

中国ではここ10年の間経済が急速に発展してきたが、全国各地で生活、産業排水等の未処理放流により水環境の汚濁が著しく進行し、大きな環境問題になっている。同時に、中国国土の約40%を占める東北、西北、華北地方の年間降雨量500mm以下の地域、特に北京、天津等人口千万人近い大都市では水不足が大きな社会問題になっている。このような背景のもと「高度バイオエンジニアリングプロセスを組み込んだ有用微生物・膜分離排水再利用システムの浄化機構と生物、物理、化学的因子解明に関する基礎的研究」が国家環境科学研究院と清華大学をカウンターパートとし、中国の国情に合う生物膜・膜分離排水再利用システムの開発を目指して共同研究がスタートした。本プロジェクト研究は中国側の技術担当者短期4名/年を受け、我が国技術担当者短期6名/年が派遣され推進されている。

本研究は1994年12月に中国北京市で開催された第一回日中環境保護合同委員会において協力プロジェクトとして合意されたものであるが、本共同研究を実施することにより、高度バイオエンジニアリングプロセスを組み込んだ有用微生物・膜分離排水再利用システムの開発がなされ、かつJICAプロジェクト技術協力などに発展しその成果が中国の全域に波及できれば、生活、産業排水等の未処理放流による水環境問題と大都市域の水不足の社会問題の解決に重要かつ有効なプロセスに発展できるものと期待されている。なお、中国においても生活排水対策として高度浄化槽等の技術開発は極めて重要であるが、ワイ川流域等をモデル地区としたJICAプロジェクト技術協力などの水質改善システム開発を推進し中国の国情に適した生活排水及び産業排水の処理技術の確立を図ることは極めて重要と考えられる。

#### 4.4 インドネシア共和国水環境改善協力プロジェクト

インドネシア共和国の特にジャカルタ首都圏における水質汚濁の問題は深刻である。ジャカルタ市の河川の水質汚濁の状況を見ると、市内を流れる主要河川の中には、BOD90mg/l以上の河川も見られる。これらの汚濁の原因は、汚濁負荷の70%を占める生活排水が大きいと言われている。

「途上国建築衛生設備技術開発事業」としてのインドネシア共和国における浄化槽の技術移転の研究開発プロジェクトは、平成3年度から平成6年度まで、建設省のプロジェクトとして国際建設技術協会、(社)型式浄化槽協会と国立環境研究所が三位一体となって、両国に運営委員会を設置して、国情に適した非電力方式(嫌気濾床方式)と電力使用方式(循環型嫌気濾床+接触曝気方式)の高度浄化槽の開発を行っている。現地のヤシガラなどの担体の活用可能性と熱帯地域の高湿条件のもと、我が国の槽容量の65%程度で脱窒型嫌気好気循環法においてBOD、T-N20mg/l以下を達成できること等世界に先がけて解明しつつある。このような水環境改善協力プロジェクトにより、国情に合う浄化槽の普及を目的とした我が国の建築基準法体系を模した全ての建築物を対象として性能と構造基準に係わる体制作りと普及整備が必須であり、JICAプロジェクト技術協力及びODAを含めて早急に対処していく必要のあることが明らかとなりつつある。

#### 4.5 フィリピン共和国水環境改善協力プロジェクト

フィリピン共和国のラグナ湖は面積900km<sup>2</sup>、集水面積3,580 km<sup>2</sup>の東洋最大の湖であるが、過去20年間最も都市化・工業化された地域の一つである。流域内には全国の工業生産額の10%を産出する約1,000の工場が立地しており、これらの集水域からの生活排水、産業排水によるラグナ湖の汚染、富栄養化が進んでいる。

このような水環境修復対策を図る上では待ったなしの現状を鑑みてフィリピン共和国のNEDA、フィリピン大学、ラグナ湖開発庁の研究責任者は筑波大学先端学際領域研究センター(TARA)、国立環境研究所との間でラグナ湖の水環境修復のための協力の必要性和緊急性について認識の一致をみた。それは、国立環境研究所からフィリピン共和国の研究責任者を数回招請し汚濁の現状と効率的技術の導入のあり方を検討すると同時に筑波大学では10年来にわたって留学生として受け入れを続けた結果博士取得後帰国した研究、行政担当者も育成されプロジェクト技術協力をスタートする上での基盤が十分に確立されたと考えられているからである。主な研究協力テーマとしては、(1)生活系、産業系、畜産系排水の国情に適した処理システムの確立のためのパイロットスケールの装置を用いた開発研究、(2)湖水と底泥を有用生物で浄化するエコテクノロジーを活用した開発研究、(3)飲料水として安全な水質を確保するための高度処理技術開発研究からなっている。

フィリピン共和国側ではすでに大統領府が最重要課題

としてオーソライズしており、熱帯地域における水環境修復技術システム開発として確立することによりその成果は広く活用され開発途上国の水環境改善手法の道しるべになるものと極めて大きな期待がもたれている。

#### 4.6 地球推進費による国際交流研究プロジェクト

地球環境問題の国際化の中で地球温暖化抑制が重要な位置づけとなり特に温暖化ポテンシャルがCO<sub>2</sub>の1に対して20～30倍のCN<sub>4</sub>、200～300倍のN<sub>2</sub>Oの発生抑制手法の開発が緊急の課題となってきた。そのため「地球温暖化抑制のためのCN<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O抑制対策技術の開発と評価に関する研究」のプロジェクト研究が平成7年度から平成9年度の3年計画でスタートした。本研究では新しい制度としての国際交流研究員を受け入れ、中華人民共和国、大韓民国を対象として温室効果ガスの発生しにくい污水、廃棄物の処理システム開発の研究を行っている。特に中華人民共和国清華大学の呉曉磊国際交流研究員は生物学的硝化脱窒プロセスを水処理施設に効果的に導入し温暖化ポテンシャルとしてCO<sub>2</sub>の1に対して200～300倍を有するN<sub>2</sub>Oの発生抑制対策に係わる研究を基礎と応用の両面に立って推進し開発途上国の水処理技術の高度化の達成のための研究を推進している。また、大韓民国の国際交流研究員は廃棄物の温室効果ガス発生抑制型の高温好気発酵処理技術を確立するとして大きく期待されている。

### 5. 国際共同研究の推進における課題及び展望

水環境の修復を必要としている開発途上国及び近隣諸国としては実際に訪問したフィリピン共和国、中華人民共和国、インドネシア共和国、大韓民国、マレーシア、タイ王国、ブラジル連邦共和国、シンガポール共和国及

び他数多くの国が存在するが、寒帯地域、温帯地域、熱帯地域のいずれかに位置し水使用形態、水使用量、汚濁負荷原単位、電力事情、水域の環境容量、環境保全に対する国民の意識の程度等様々な要因は異なると考えられるものの国情に最適な水環境修復技術を整えるべきはいずれの国においても共通するものである。ここでは上記の点を鑑み図4に示す国際共同研究を推進する上での課題及び展望について列記することにする。

①「水環境情報のデータベース化」すなわち開発途上国に関する公害の状況、公害規制値等の情報と我が国の現在の開発途上国に適用可能な公害防止技術、分析技術等の情報を整理してデータベース化することを推進し、そのような貴重な情報を社会に提供し、さらに、開発途上国と交換するシステムの構築を図ることが必要である。

②「開発途上国の国情に合う水環境修復技術の開発」すなわち開発途上国と水環境国際共同研究の立案、実施を行うに当たっては、我が国がかつて水質汚濁・汚染に係わる環境問題等を解決するに当たって得た貴重な経験を踏まえて現在の開発途上国に適用可能な技術を選択することが成否を左右する重要な要因であると考えられることから、特に開発途上国の担当者と緊密に連携して共同で相手国の国情に適した国際共同研究を選定することが重要と考えられる。

③「水環境修復技術専門家の養成」すなわち我が国の水環境修復技術の専門家は相当の数に及ぶが、海外での研修、現場における指導等ができる専門家が極めて少ないのが実状であることから、このような人材を養成する組織と筑波大学TARAをはじめとする専門家の幅広いネットワークの構成をシステム化することが必要と考えられる。

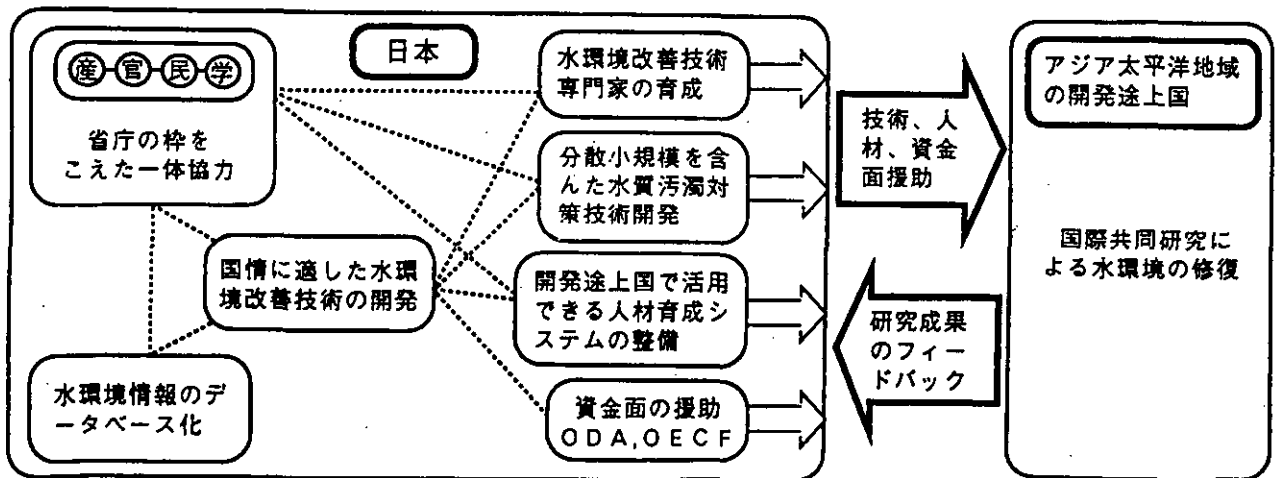


図4 水環境改善国際共同研究を推進する上での効果的あり方

④「産官学一体の体制」すなわち開発途上国と水環境修復の国際協力を効率的かつ円滑に推進して行くために、国立試験研究機関、行政機関、国際協力機関としてのJICA等、財団、社団法人としての協会、有識経験者、大学、業界とが一体的に連携、協力して、産官学の共通課題として水環境の修復技術開発とシステム化を推進していくことが必須と考えられる。

⑤「資金面での援助」すなわち開発途上国に対して水環境修復関連技術を資金の援助なくして直接移転することは市場原理により現実的には容易ではなく、相当な助成措置が必要とされることから、対策としてODA及びOECF等が適正に活用できる体制を確立することが必要と考えられる。

⑥「分散小規模の水質汚濁対策に対応できる国際協力」すなわち開発途上国と水環境修復の国際協力をを行う上において、我が国では下水道整備を中心に専門家派遣や開発調査、有償協力などが行われてきたが、水源を有するなどの早期に整備の必要とされる地区、宅地開発に合わせた整備等が効率的な地区等分散化を基本とした方が対策が早急に図れると考えられる地域の汚水処理については、小規模で対応できる浄化槽が効果的であることまた、開発途上国では産業排水が下水道に流入し有害物質により生物処理機能が発揮されなくなることが見られることから生活排水のみを対象とする小中大規模浄化槽システムの技術移転が重要であることを留意して面的整備を推進する上での重要なメニューとして位置づける必要がある。

⑦「開発途上国の人材育成システムの構成」すなわち開発途上国と水環境修復国際協力を効率的かつ円滑に推進して行くためには、特に開発途上国の担当者自身の努力が技術移転の成否を左右する重要な要因となることから、開発途上国の人材を育成することが重要な課題であり、筑波大学をはじめとする教育の場で、修士、博士を取得した研究者及び国立環境研究所の水環境修復国際共同プロジェクト研究等をはじめとする実施機関等で一年以上の長期の研究を推進すると同時に環境行政のあり方を学んだ研究者を開発途上国の水環境修復のリーダーとしていけるような体制作りが必要と考えられる。なお、国立環境研究所の研究活動評価についての中でも表3に示すごとく国際的リーダーシップの発揮が重要な位置付けとなっている。

## 6. おわりに

環境基本法の理念として「国際的協調による地球環境

表3 国際的リーダーシップの発揮  
(開発途上国問題に対する国立環境研究所の役割)

国際的な研究ネットワークを活用しつつ、環境研究に関する国際共同研究においてリーダーシップを発揮し、アジア太平洋地域における環境研究のセンターと呼ぶに名実ともにふさわしい研究機関に飛躍するため、次の事項を提言する。

- 国際的な研究プロジェクトに積極的に関与し、これを推進する。
- 先進国、途上国を含む国際的な協力の下で、環境問題解決に向けた研究を推進する。特に、アジア太平洋地域を対象とする研究を充実させる。
- アジア太平洋地域を中心とする開発途上国との連携を強化し、その研究能力拡充に貢献する等の指導的役割を果たす。
- これらの円滑な実施のために研究基盤の充実、整備を図る。

保全の推進」が示されており、「国際協力」がますます重要な位置づけになったことから、水環境の汚濁のますます深刻化しているアジア太平洋地域の開発途上国の中でもタイ王国、フィリピン共和国、インドネシア共和国、東アジアの中華人民共和国をはじめとする近隣諸国等に対して、組織的な技術援助及び研究協力を積極的に行い、国を超えた地球規模の環境の視点に立った水環境修復対策の推進を図ることが必須な状況となってきた。このような現状を鑑み省庁の枠を超えた産官学の共通課題として水環境の修復技術の開発と整備を開発途上国を主たる対象として推進していくことが必須と考えられる。

我が国でいくら水質修復を行ったとしても、近隣諸国から未処理排水が大量に排出される限り、真の水環境の修復は期待できない。東シナ海、日本海等の海域の水環境を健全な状態で守ることまた、湖沼を健全な水資源として守ることが我々が各国の子々孫々に青い緑の水環境を残す使命である。そのためにも、窒素/リン比上昇による有毒プランクトンの増殖等による生態系破壊を未然に防止し海洋及び湖沼生態系を健全な状態で守る上での窒素とリンの除去対策をはじめ水環境修復技術の開発と普及整備を各国に共通する認識すべき緊急課題として対応する必要がある。

## 参考文献

- 1) 孔海南：中国における水環境の現状と日本での開発研究及び日本に対する期待、月刊下水道、16(3)、76～82、(1993)
- 2) 稲森悠平ら：水環境保全のための国際共同研究の動向と展望、用水と廃水、38(1)、7～16、(1996)

# 病める生態系・湿原の生物多様性とフィールドサイエンスの重要性

野原 精一（生物圏環境部生態機構研究室）

## 1. はじめに

アポロ11号によって宇宙に浮かぶ月から地球を見てから地球の有限性を人類が実感する事となった。当時、小学校高学年であった筆者は宇宙の神秘に対するあこがれはあったが、有限としての地球は認識しなかったように思う。25年たった今どうであろうか、世の中は地球環境問題の話題が盛んである。しかし、人間に対して地球は狭くなりすぎたのに人間はまだそれに適応できていない、まだ地球は無限に収容力があるという錯覚に取り付かれている（吉良、1996）。そして、地球は病んでいる、しかも重症である（堂本、1995）。地球規模で過去6億年間の第6番目の生物種の大量絶滅が、これまでと違って人間の手によって行われており、生物多様性が失われつつある（ウィルソン、1995）。生物多様性は石垣に例えられる（堂本、1995）、その生態系の石垣は鯨や象などの大きな石、トキやシマフクロウのような小さな石、昆虫や草などのもっと小さな石、微生物などのような砂からできている。砂や小石が少しずつ崩れ落ちてきても気づかないが、石垣の大きな石の周りの砂や石が落ち続ければ石垣全体が崩れ落ちてしまう。私たちが生態系の石垣の一つの石である以上、石垣が崩れれば人類も運命を共にするのである（筆者要約）。そこで今、生物多様性は21世紀に向けてのキーワードの一つとして注目されている。

地球の生態系の中でも湿原・湿地生態系は多様な環境を内包し、多様な生物の生息の場となっている生態系の一つである。湿地（wetland）の中でもミズゴケの堆積した泥炭地（peatland）は日本の国土面積の0.5%以下で、北欧・カナダの10%以上に比べ、希少な生態系であり人為に弱い生態系であるので保全の対象にされている。さらに、生物の生息場所としての湿地の重要性や生物多様性の保護は国際的な関心事になっている。このような背景から、特別研究「湿原の環境変化に伴う生物群集の変遷と生態系の安定化維持機構に関する研究」が平成3年度から平成7年度に実施された。ここでは、湿原生態系における生態系多様性・種多様性がどうなっているか、生物群集が人間活動によってどのように変遷してきたかについて、フィールド調査の研究成果を中心に紹介する。

## 2. 調査した湿原生態系の概要

現地での調査の当初にはセスナ機による航空写真撮影を行い、現況の把握と過去との比較を行った。また、地形測量と気象自動観測を行い、リモートセンシング法を使った調査も実施された。これまでの調査報告に無い切り口から湿原生態系を明らかにするためや多くの湿原の比較・一般化のために方法の確立が初期の研究の中心となった。主に、ラムサール条約指定地・国立公園である「釧路湿原」、特別保護地域・国立公園の「尾瀬ヶ原」、国の天然記念物「赤井谷地」、福島県の自然保全地域である「宮床湿原」を研究の調査地とした。

釧路湿原では赤沼周辺の水位観測と植生区分を行った。尾瀬ヶ原の調査は1994年から3年間の第3回総合学術調査の一つのグループとして参加した。赤井谷地の調査は会津若松市の調査指導会議に基づいて1992年から4年間の基礎調査の一環として行われた。宮床湿原は当研究所の特別研究として南郷村との協議の上実施された。宮床湿原を集水域の明らかな人為影響の少ないフィールドとして初期に調査した。遅れて、人為影響の予測される湿原として赤井谷地を調査し、形成タイプや大きさの異なる湿原として釧路湿原や尾瀬ヶ原を調査した。その結果、ヨシ中心の釧路湿原と小さな深泥池（京都）は面積の割に種数が少なくミズゴケの種の多様性が低いことがわか

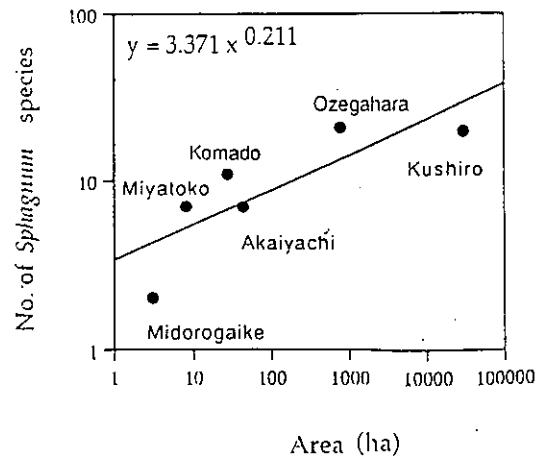


図1 湿原面積とミズゴケの種類との関係（岩熊、未発表）

った(図1)。

### 3. 湿原の生態系多様性(宮床湿原)

1991年から福島県南郷村にある県の自然保全地域である宮床湿原(図2)の地形測量、気象の自動観測、地下水位、水質の調査を実施し、微地形、湿原内の気象特性、水路・土壌水の水質を明らかにした。表層水は地下水との混合が少なく、湿原の西部は集水域としての森林から影響を受ける流水函養型であった。季節毎に撮影した航空写真から融雪水が湿原を潤し池溏がつながる事がはっきりした。その性質は、詳細な植生調査と表層地下水の流動性の観測からも支持する結果が得られた。

周囲の夏緑広葉樹林は湿原を潤し、湿原中央を小さな水路が通り(B)、東側半分にはヨシが生い西側半分にはほとんどない。湿原周囲にはハイヌツゲの低木の優占する低木帯(移行帯)が存在する。湿原中央部の標高がほぼ同じで植生を異にするように湿原を東西方向(短軸)に横切る調査ライン上、50、100cm深のピエゾメータ(先端のみ開いている水位観測井戸)を設置した。設置直後の水位上昇が東側の地点では速やかであったが西側では遅かった。ピエゾメータ水位の上昇の仕方に4つのパターンが見られた(図3)。水路に近い地点ではほぼ一定の高水位を示し、透水係数が大きい。緩慢な水位上昇を示したのは湿原中央から西側に多く、透水性が小さい事を表していた。中央の水路近傍の地点と東側ブッシュ内で上向きの流れが観測されたが、それ以外は垂直下向きであった。土壌水分は水路を除く中央部で少なく、西側の低木帯付近や東側150m付近で少なかった(野原他, 1995)。

ろ紙を泥炭土壌に埋設し、セルロース分解活性と微生物組成を調べた。湿原内の微地形によって活性と組成は様々であった。イボミズゴケ、チャミズゴケの厚いマットによる微高地、ハリミズゴケの優占する窪地、ミズゴケの少ない水路等に類型された。分解度は微高地>窪地>水路等の順で大きく、微高地には糸状菌類が多く、水路等には細菌類が優占した(図4)。湿原泥炭地における微生物及び分解性は空間、時間的に不均一で変動が大きかった(広木・渡辺, 1995)。

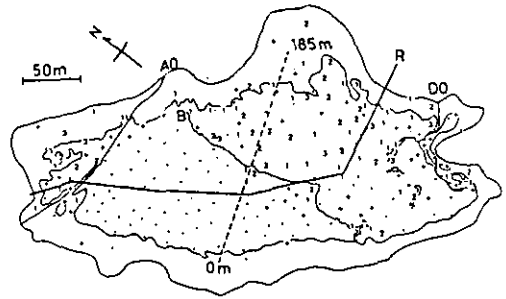


図2 床湿原とヨシの分布(野原他, 1995)  
数字は優占度、A0, B, D0は水路、Rは木道、破線は調査ラインを示す。

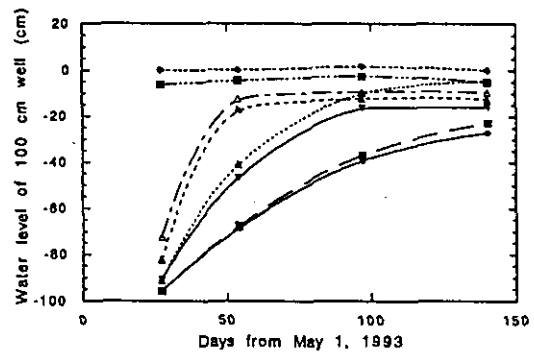


図3 宮床湿原における100cm深のピエゾメータ水位の経時変化(野原他, 1995)

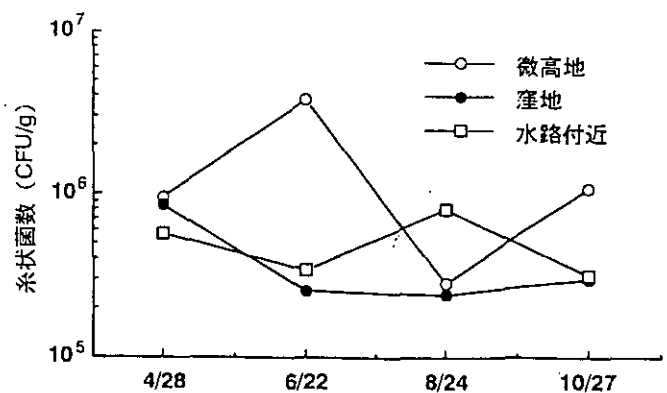


図4 宮床湿原の各調査地点での糸状菌数の季節変動(広木・渡辺, 1995)

#### 4. 湿原の種多様性 (宮床湿原)

連続写真撮影装置を制作し、湿原池澁における水生植物の展葉・開花などの生物季節や水位変化・積雪の変化を連続記録した。ミツガシワが5月下旬から展葉・開花して花期が約20日であるのに対して、同じ池澁に生育するヒツジグサは遅れて展葉し花期も約50日と長く、限られた空間を2種は時間的にすみわけていることが明らかになった(野原, 1995)。

訪花昆虫相はこれまでに報告されている林地や湿原より種数が少なく、訪花頻度も小さかった。この事は、この湿原が孤立した小規模な湿原であるためと考えられた。多くの昆虫(特にマルハナバチ)は周囲の森林に生育の場をもっており、湿原の植物の結実にとって昆虫と周囲の森林の存在は重要であった(上野, 1995)。

2つの池澁(D2, B4)から底生藻類は67種と93種が出現し、2つの池澁ともケイ藻が優占したが、流水の少ない池澁(B4)では鼓藻類が多く、生育環境・水理環境によって種の多様性が異なっていた(図5)。現存量、種類数、多様度指数の双方でどの季節も流水の多いD2の方が高い値を示しており、複雑な群集であった。D2は安定した地下水に函養された環境変動の少ない水域であった(渡辺他, 1995)。

底生動物は37分類群が出現し、湧き水部ではトンボ類がないのに対しユスリカ類は全域に分布していた。宮床湿原の底生動物の出現種数は、これまでに報告されている他の湿原池澁の底生動物相の調査結果に比べて多かった(上野・岩熊, 1995)。

ユスリカは32種が同定され、特徴としてモンユスリカ亜科の比率が高く、カナダの高層湿原に見られる特徴を有していた。ユスリカ幼虫の年生産量は富栄養湖の値に匹敵して池澁への有機物の供給が起きていることが示された(図6)。S. akizukiiは優占するユスリカの中でも小型の藻類や水生植物遺体を、P. culiciformisは若齢幼虫や大型ケイ藻や鼓藻類を捕食しているという食物連鎖が明らかになった(岩熊, 1995)。

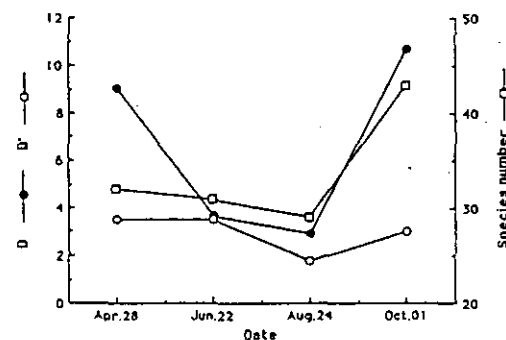
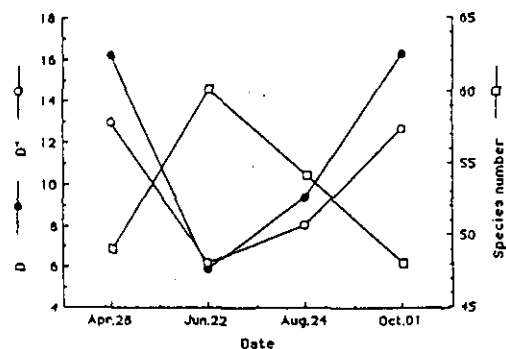


図5 宮床湿原の池澁(D2, B4)における藻類の種類及び多様度指数の季節変化(渡辺他, 1995)

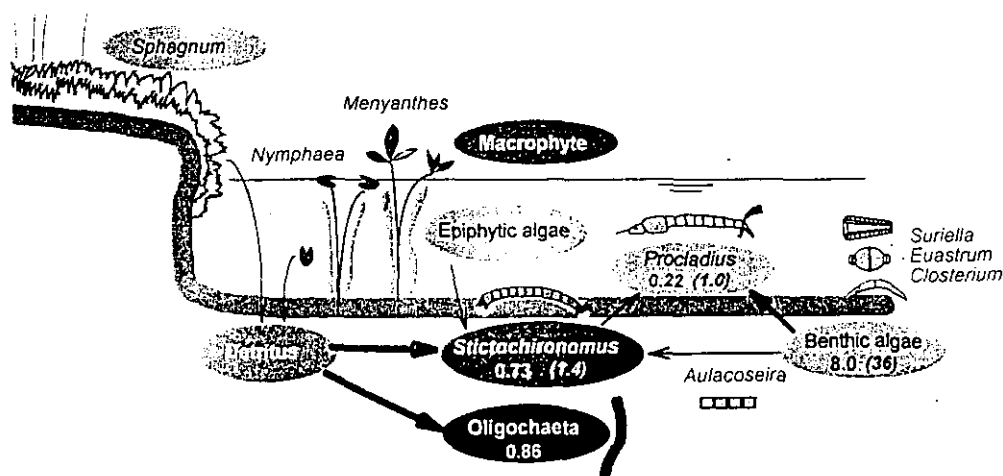


図6 宮床湿原の池澁D2における底生生物現存量 ( $\text{gCm}^{-2}$ ) とエネルギーの流れ ( $\text{gCm}^{-2}\text{year}^{-1}$ ) (岩熊未発表)

## 5. 湿原生態系の変遷と人間活動（赤井谷地）

昭和3年3月に泥炭地特有の特殊な北方系の植物相をもつということで国の天然記念物に指定された赤井谷地には、その存続と周辺の農業開発との間には長い相克の経緯がある（櫻村, 1996）。会津若松市議会に対しての「天然記念物赤井谷地湿原の復元及び保存について」の陳情に基づいて、調査指導会議が組織され、平成4年から4年間の基礎調査、平成8年から2年間の保護管理施策の策定、平成10年から保護事業の計画が作られた。当研究プロジェクトもその一翼を担い、測量調査、リモートセンシングによる植生区分、地下水調査、気象観測、水質調査、侵入種の調査及び微生物群集の調査を実施した（会津若松市教育委員会, 1996）。

赤井谷地は最高点が湿原北西に偏り、北西から南東に向かう傾斜地形を示していた。湿原からの水の流出経路は1) 湿原北から貯水池へ、2) 湿原西端から新四郎堀へ、3) 東端から表層流として赤井川への3つの経路が確認された（図7）。湿原内西よりのH14からJ14にかけて緩やかな頂部があり湿原東端（S14）に向かって1.5m、湿原西端に向かって0.5m下がっていた（図8）。西端が東端より1m高く、西の水田は湿原西端に比べ0.4~0.6m低く地盤の不等沈下が推測された。（岩熊他, 1996）

航空機搭載スペクトルイメージャー（casi）を用いて可視・近赤外の10バンドで分解能2mで1994年6月に観測した。casi画像と植生調査から8つの植生クラスに分類され、土壌の乾燥状態や微地形との対応関係が得られた（図9）。湿原南西部境界付近と隣接では水分量の顕著な低下が認められた（山形, 1996）。

表層より5cmの泥炭を採取し、分析を行った（図10）。細菌数は6月と9月の調査の間で差は大きく、しかも場所による変化が大きかった。全体的な傾向としては、湿原の内側でミズゴケが厚い地点（湿原西端から20, 30, 50, 90m）では細菌数は少ない傾向にあった。一方、糸状菌数では、2回の測定の間で明確な差が見られ、6月の調査に比較して9月には生菌数は非常に減少し、特に、湿原内部のミズゴケのハンモックではわずかしこ認められなかった（広木他, 1995）。

境界から20mの地点で草高が平均約80cmあり、50m付近で50cm、90m付近のチマキザサがあまり見られなくなる地点では30cmの草高になっていた（図11）。光合成速度が6月には周辺部で高く、90mでは湿原内部になるにつれて低くなった。その傾向は9月になると弱まりどこでも同

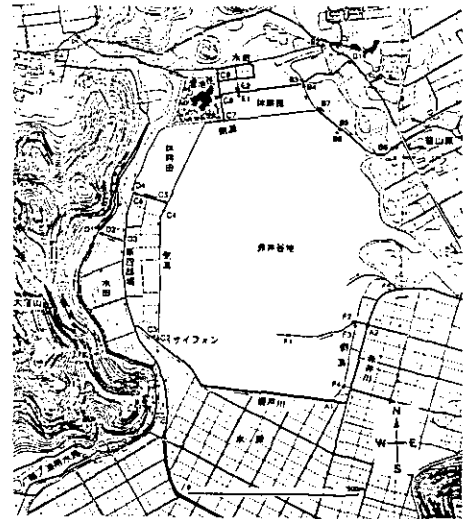


図7 赤井谷地及びその周辺地域の水理環境（岩熊他, 1996）

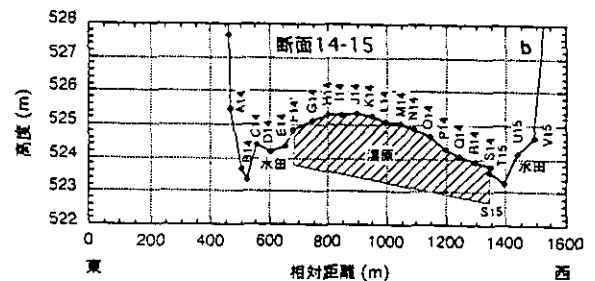


図8 赤井谷地における微地形の東西断面（岩熊・山形, 1996）

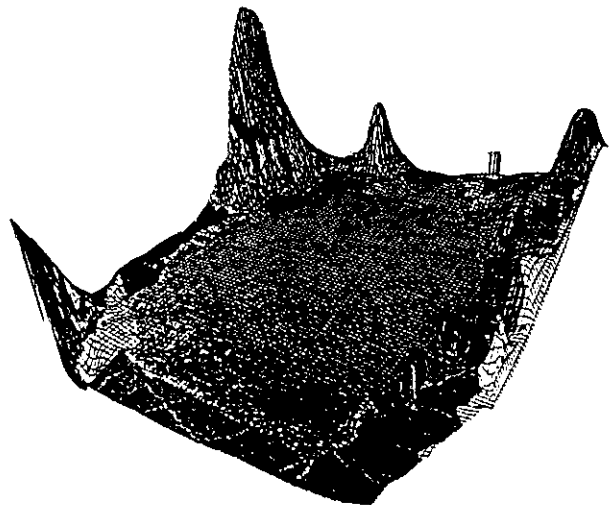


図9 赤井谷地のデジタルデータを用いたフォールスカラー画像の3次元表示（山形, 1996）

程度になった。一方、蒸散速度は6月には光合成速度の傾向と似ており、湿原内部に向かう程低下した。(野原・広木, 1996)。

ピット地下水位は周辺の土地利用と水路の有無で影響されることが明らかになった。水位低下によって生じた土壤環境の変化が栄養状態を変え、チマキザサの湿原周辺での生育を盛んにしたと考えられた(図12)。チマキザサやアカマツの記録が1961年の報告に無い事からここ30数年の間に急激に侵入したと考えられた。周縁の切り崩しによって地下水位の低下する範囲や勾配に沿って地下水が流れ込む影響の範囲は湿原に向かって約30mであった。チマキザサの侵入範囲は200m内部まで及び現在の物理環境が及ぶ範囲以上に生物の影響が年数を経て現れている事がわかった(岩熊・野原, 未発表)。

### 6. 病める湿原生態系とその集水域の保全

北海道で行われたボーリング調査からは、その面積の2.4%がかつて湿原であり、その68%は開発によって失われた(Sakaguchi, 1979)。かつては農地などの有用地に転換が計られた不毛の土地は、最も保全すべき生態系の一つになった。しかし、残された生態系の構造と機能の特性は十分に明らかにされていない。

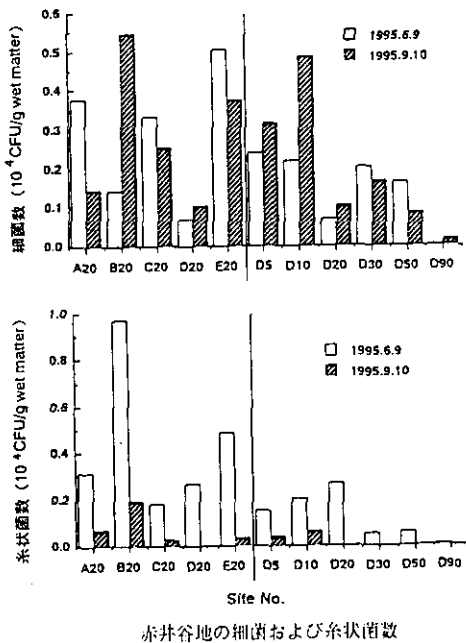


図10 赤井谷地の各調査地点の細菌及び糸状菌数 (広木他, 1995)

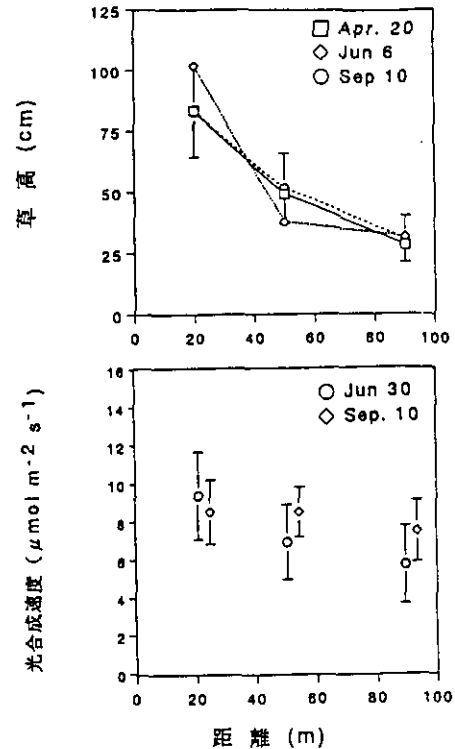


図11 赤井谷地の侵入種チマキザサの草高と光合成速度の場所違い (野原・広木, 1996)

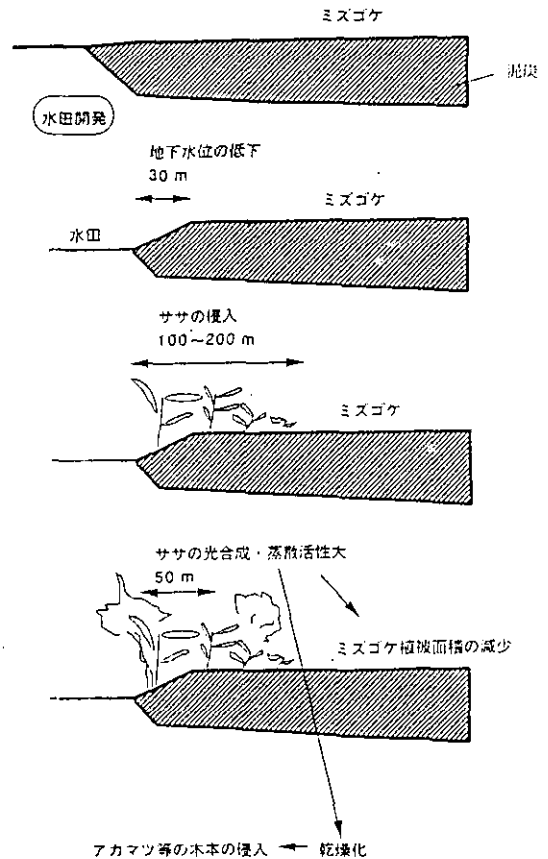


図12 赤井谷地における農地開発に伴う周辺効果の波及 (岩熊・野原, 未発表)



特に、濡れたスポンジと比喻される湿原（辻井, 1987）の水理・水循環は十分明らかでなく、保護地の周辺については保護対策の対象外である。赤井谷地の調査で明らかになってきたように、変化・開発影響は後にゆっくりと現れるから、保護対策は生態系丸ごと守る、集水域の保全を考える必要がある。

「開発か保護か」最近の新聞にはこの見出しの記事が多い。法的に守られた尾瀬ヶ原や赤井谷地など、ここで紹介した湿原生態系に比べ、里山や身近な自然は軽んじられている。今や、日本は世界一の材木輸入国である。輸入材木に押されて振るわない日本の林業は、山の土砂や岩を販売し始めたという。ふと、高校時代に日本史で教わった、田畑を皆に分け与える事を田分けといい「たわけ・ばか」に通じる説を思い起こした。わずかの田畑の耕作で生きていた時代に、子が多い場合、皆に分ければ共倒れになるので、百姓は財産の田畑を子孫に譲るとき一子にのみ相続させたという。

今、世界の自然財産を現在の我々のためだけに切り崩して良いものであろうか。私たちには先祖から引き継いだかけがいのない地球の豊かな自然を子孫に引き継がなくてはならない。また、森や湿原、田畑は物質や生物などを介して河川や湖沼、ひいては海にまでつながっている（辻井他, 1994）。森を壊せばその影響は何らかの変化が集水域の生態系に現れる。それは、すぐに出るかどうか、どのように起こるか、月に人類を送れる現代でもまだ確実に推定できていない。

## 7. おわりに

この春、定年退職された大学時代の恩師木村允先生は雑誌の森林の更新の特集の中で次のように書いておられた（木村, 1984）。「フォントネルの寓話に、（バラの花の記憶によると庭師の死んだのを見たことがない）という一句がある。（自然界には、人間という限られた寿命をもつ生き物には関知できないゆっくりとした変化があるのではないか。我々は、知覚できないからと言ってそのような変化の存在を否定することはできない）という意味の言葉を反語で表現したものである。バラの花は、正確な記録を作成し後に残す事によってはじめて、庭師も年をとって死んで行く事や次代の庭師がまた後を継いで仕事を始める事を知ることができるのである。森林の調査報告はたくさんある。しかし、100年後に、その全く同じ方形区が調査できるような記録が残されているだろ

うか。それが、今一番大切な事だと私は思う。」（筆者要約）かけがいのない地球の豊かな自然と科学的に正確な記録を子孫に引き継ぐ事はいつの時代にも求められているのではないだろうか。

また、コスモス国際賞を受賞された吉良竜夫氏は「掛け算生態学」を主張し次のように述べておられる（斉藤 1996）。「リモートセンシングによる測定が正しいかどうか知るためには、やはり実際に測定する必要があります。もっと地面を這い回る人間が必要なんだ。どう考えてみても、掛け算以外の方法はありませんよ。」（筆者要約）掛け算生態学とは、たとえば森林の生産量を求めるのに、少しの葉を取って調べて、それに葉の総量を掛ける。さらに、もう少し複雑なモデルにして掛け算して、木全体、森全体の目安にする。フィールド調査から生態系全体の機能を評価するのに、部分的な測定を基に全体を評価する方法を「掛け算」とけなす向きに対する反論の造語である。吉良氏の言葉はフィールド調査を行う筆者らに元気を与えてくれている。

いろいろな意味で、めまぐるしく変わる現代社会において、地面を這い回り「掛け算生態学」を実施し、「正確な記録を次代に伝える」ようなフィールドサンエンスは今後ますます重要になって行くであろう。

## 参考資料

- 会津若松市教育委員会：赤井谷地の自然、天然記念物「赤井谷地沼野植物群落」調査導会議報告、会津若松市文化財調査報告書、第49号（1996）。
- 木村 允：特集「森林の更新過程」、遺産、vol 38 No. 4, 40（1984）
- 岩熊敏夫 編：宮床湿原の生態系構造、国立環境研究所研究報告、R-134（1995）
- ウィルソン、E.O.：生命の多様性I, II, 大貫・牧野訳、岩波書店（1995）
- 斉藤清明：インタビュー「吉良竜夫」、イリュウム、15号、49-64（1996）
- 阪口 豊：尾瀬ヶ原の自然史、中公新書（1989）
- 辻井達一：湿原、成長する大地、中公新書（1987）
- 辻井達一、中須賀常雄、諸喜田茂充：湿原生態系、生き物たちの命のゆりかご、講談社（1994）
- 堂本暁子：生物多様性、生命の豊かさを育むもの、岩波書店（1995）

ポスター・デモンストレーションセッション

# 波照間・落石モニタリングステーションにおける大気中の二酸化炭素の観測

向井 人史（地球環境研究グループ温暖化現象解明研究チーム）

## 1. 温暖化と二酸化炭素

大気中の水蒸気、二酸化炭素、メタン等は地球から宇宙へ逃げようとする赤外放射（熱）の約9割を大気中に押しとどめて、地球の地表面温度を極端に下らないようにしている。これがいわゆる大気による温室効果である。温室効果がまったく無いとすると地表面の温度は氷点下18度にもなるとされている。現在の間氷期が始まったころの大気中の二酸化炭素濃度は280ppmであった。ところが、その後人類活動の結果として急激に濃度が増加し、現在の二酸化炭素濃度は360ppmを超えようとしている。このような急激な濃度増加はこれまでの地球があまり経験したことがないものである。もし現在の二酸化炭素の増加速度が継続すると、21世紀の後半には今の大気中濃度の2倍を超えると考えられている。人間があまり制御できない水蒸気を除くと、温室効果に係わっているガス成分の内、その寄与の約半分が二酸化炭素によるものである。したがって、二酸化炭素の発生量を増加させないことが、今後の地球の温暖化防止に非常に重要な課題である。同時に大気中の二酸化炭素濃度の増加量やその挙動を調べるのが重要になってくる。本研究所では沖縄県の波照間島と北海道の落石岬に観測所を作り二酸化炭素

などの温室効果ガスの観測を開始している。

## 2. 二酸化炭素濃度の観測

世界的には、Keelingらが行っているハワイのマウナロア山の観測所のデータが最も古く1958年からデータを蓄積している。その後観測点は50カ所前後まで増えて、地球全体の二酸化炭素の変動が測定されようとしている。しかし、二酸化炭素はその性質上、植物に取り込まれたり、土壌から呼吸によって放出されたり、海洋との出入りがあったりと、地球生態系との関わりが多岐にわたっているため、その動きを地球全体で定量的に把握することは非常に難しい。

図に示したのは、2地点の二酸化炭素の1時間平均値である。波照間のデータを見ると、年間の二酸化炭素の増加量は約1.5ppmである。この増加に加えて、汚染と考えられる二酸化炭素の濃度のピークや、気団による濃度差のような大きなスケールでの濃度変化などがグラフ上に現れている。これらのような個々の地点のデータと他の地点のデータを比較参照することによってより細かい二酸化炭素の地球上での挙動が明らかになっていくと考えられる。

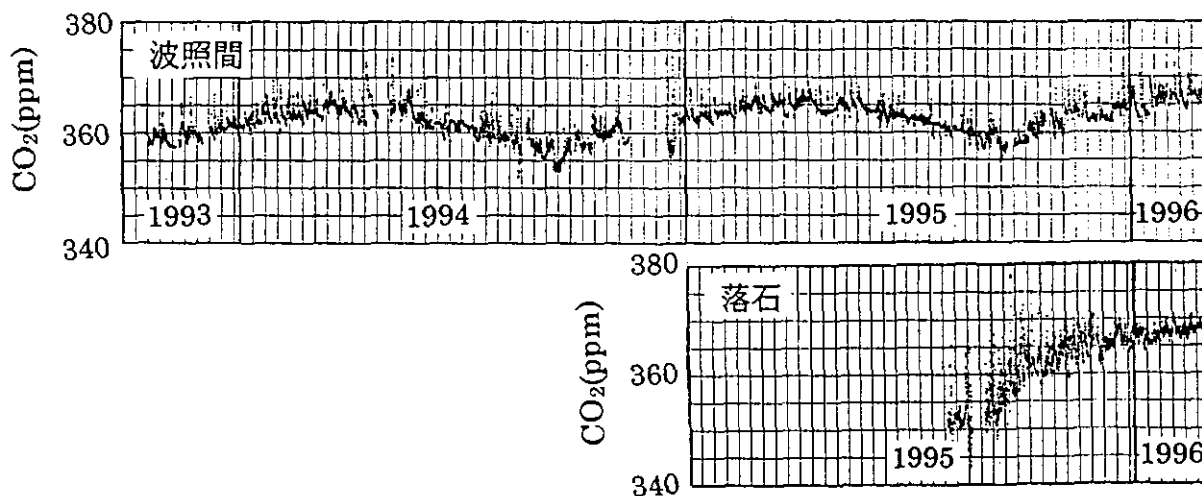


図 波照間と落石での二酸化炭素濃度変化

# 西シベリア上空における温室効果気体の季節変動

町田 敏暢（地球環境研究グループ温暖化現象解明研究チーム）

## 1. はじめに

大気中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )、メタン ( $\text{CH}_4$ )、亜酸化窒素 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) などの温室効果気体の濃度は18世紀にヨーロッパで始まった産業革命以来、化石燃料の燃焼や森林伐採などの人間活動が原因で増加の一途をたどっている。これらの温室効果気体の増加原因を定量的に見積り、将来起こりうるであろう気候変動に適切に対処するためには現在の大気中濃度の時間的・空間的変動を詳細に把握することが不可欠である。ロシア共和国の東部に位置するシベリアは広大な森林や湿地を保有していることから  $\text{CO}_2$  や  $\text{CH}_4$  の収支を理解する上で非常に重要な地域であるにもかかわらず、温室効果気体の系統的観測はこれまで行われておらず、全地球的な炭素及び窒素循環を理解する上で大きな障害となっている。本研究では代表的な湿地帯である西シベリアのスルグート ( $61^\circ\text{N}, 73^\circ\text{E}$ ) 上空において航空機を用いて定期的に空気試料の採取を行い、湿地上空での温室効果気体の季節変動を明らかにして、いくつかの興味ある結果を得た。

## 2. 観測方法

大気試料は月に1回、エアロフロート所有の航空機An-24を用いて0.5~7 kmの高度でガラスフラスコ内に採取され、日本において  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  の各濃度と  $\text{CO}_2$  の炭素同位体比が測定された。

## 3. 結果と考察

図は1993年7月から1995年12月までにスルグート上空で観測された  $\text{CO}_2$  濃度の変動を表している。  $\text{CO}_2$  濃度は各高度で冬期に高く夏期に低い明瞭な季節変動を示している。これは大気中の  $\text{CO}_2$  濃度の季節変動が陸上生態系の光合成による  $\text{CO}_2$  の吸収と呼吸及び分解による  $\text{CO}_2$  の放出とのバランスに起因しているためである。また、陸上生態系からの距離を反映して、季節変動の振幅は低高度ほど大きくなっている。ここで特に注目すべきことは高度0.5kmの季節振幅が最大で33ppmvにも達していることである。スルグートと同じような緯度に位置する他の地上観測地点での  $\text{CO}_2$  の季節振幅はせいぜい16~19ppmvである。これは世界各地の大気観測地点のほとんどが海岸近く又は海洋

上に位置しているのに対して、スルグートは内陸に位置して陸上生態系の活動がより身近にあるためであると考えられる。このような陸上生態系の影響を大きく反映した  $\text{CO}_2$  濃度の季節変動はこれまでのどの系統的観測からも得られておらず、非常に貴重なデータである。

大気中の  $\text{CH}_4$  は夏期に大気中のOHラジカルとの反応により大量に消滅するので、世界各地の観測地点では  $\text{CH}_4$  濃度が夏期に低く、冬期に高い季節変動を示す。スルグート上空0.5~1.0kmの  $\text{CH}_4$  濃度もこれらの観測地点と同様に冬に一つの極大を示すのであるが、夏にももう一つの極大を示す。これはスルグート付近には広大な湿地が広がっており、夏期にOHラジカルとの反応により消滅する量を凌駕するほどの大量の  $\text{CH}_4$  が発生していることを意味する。

スルグート上空0.5kmの  $\text{N}_2\text{O}$  濃度は冬期から春期にかけて最大、秋期に最低という季節変動を示した。大気中  $\text{N}_2\text{O}$  濃度の季節変動に対する定性的な説明は未だ確立されていないが、スルグートの観測結果がアラスカ、ポイントバーローの観測結果と良い一致を示していることは大変興味深い。

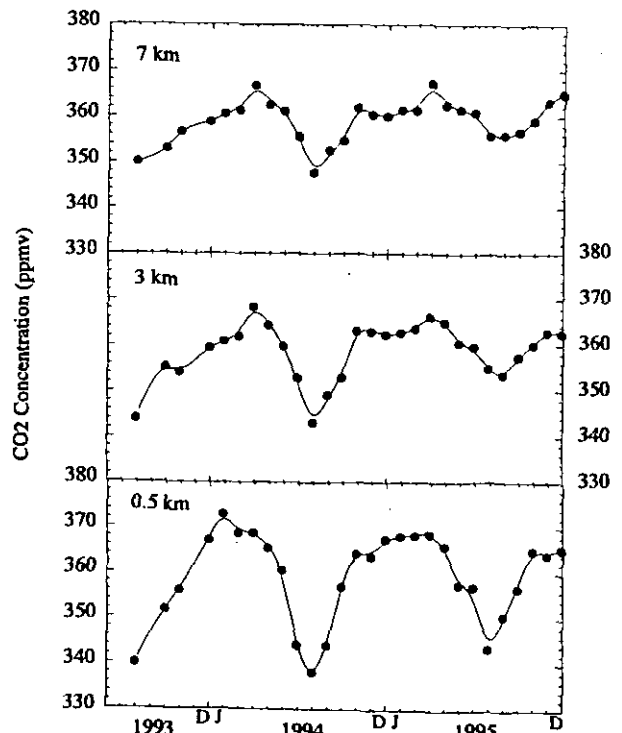


図 西シベリアのスルグート上空で観測された  $\text{CO}_2$  濃度の変動（横軸のJ、Dはそれぞれの年の1月、12月を意味する）

# 映像で見る地球環境の将来 - AIMシミュレーション -

甲斐沼 美紀子 (地球環境研究グループ温暖化影響・対策研究チーム)

## 1. 地球環境の将来はどうなるのだろう

誰もが興味をいだく疑問であり、答えることが大変難しい問題である。産業革命後の人口、食糧需要やエネルギー消費の増加には著しいものがあり、さらに増え続けている。人間活動が拡大することにより、様々な影響があらわれてきている。地球の温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨の問題や熱帯林の破壊などはその例である。我々は、地球の温暖化を対象として、人間の活動によって温室効果ガスがどのくらい排出されるか、その温室効果ガスが大気中に蓄積され、気候や地域の気候がどのように変化するか、さらに、この気候変化が各地の自然環境や人間活動にどのような影響や被害を与えるか、といったことを分析するための計算機モデルを開発している。

## 2. AIMシミュレーションでなにが出来るか

AIM (Asian-Pacific Integrated Model) は、温室効果ガスの排出、気候変化、その影響といった一連のプロセスを分析できる計算機モデルである。将来の環境の状態を予測するためには、多くの不確実な要因を広く勘案する必要があり、様々なシナリオを設定して、地球の将来像を描いている。そのいくつかを紹介する。

図1はアジア太平洋地域の二酸化炭素排出量を表示したものである。特別な政策を導入しない場合の2100年の値を示している。特に、中国、インド、韓国などの国々の二酸化炭素排出量の伸びが大きいことがわかった。

図2は大気中の炭酸ガスの濃度が産業革命以前の濃度に比べて2倍になった時の渇水時の流量の変化を示したものである。黒い部分は、渇水時の流出量が40～50%程度減少する地域であり、アジア太平洋地域の大変広い地域で温暖化によって渇水被害のリスクが増加すると予想される。

図3は気候変動による穀物生産力の変化を冬小麦を例として示したものである。標準的なシナリオを設定して、いくつかの気候変化のパターンを用いて予測した。その結果、2100年時点の潜在生産力変化は、稲で4～10%増、小麦で1～18%減、トウモロコシで9%減～11%増であった。

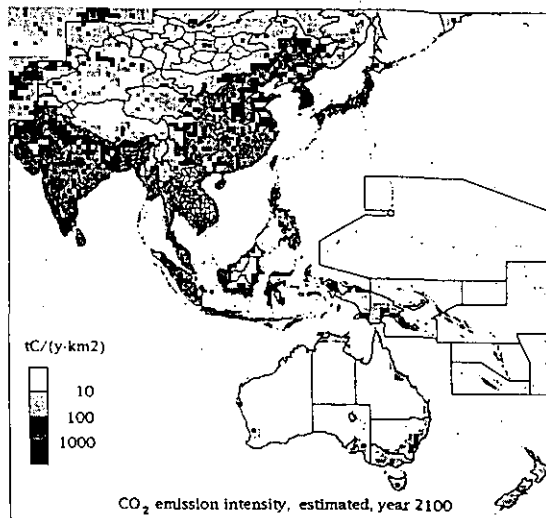


図1 アジア太平洋地域からの二酸化炭素排出量の予測 (2100年、標準ケース)

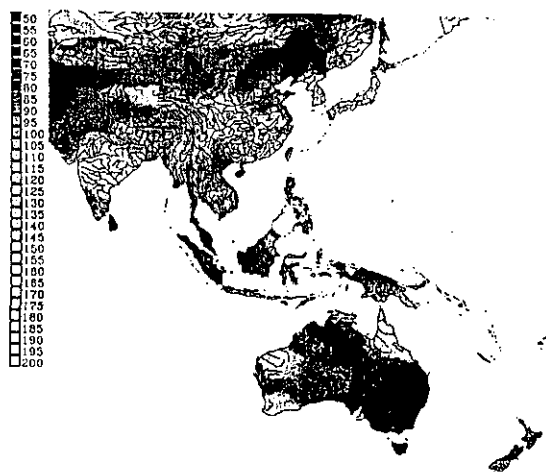


図2 十年確率の渇水時における月間流出量の変化

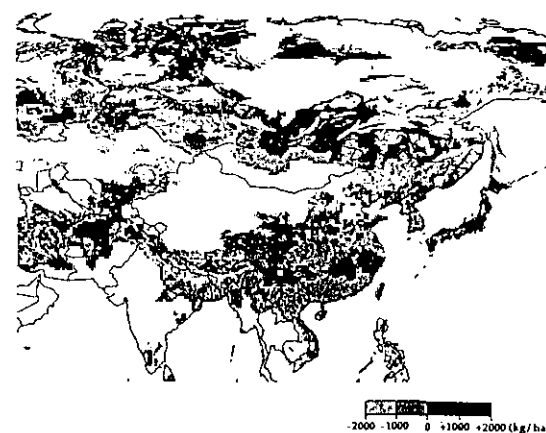


図3 冬小麦の潜在生産性の変化

# アジア大陸と日本との間の海洋上空の大気汚染物質

島山 史郎（地球環境研究グループ酸性雨研究チーム）

## 1. はじめに

東アジアの太平洋岸地域は工業の発展と人口の増加により、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、炭化水素等の大気汚染物質の排出量が急速に増加している地域である。これらが増加すれば、硫酸塩や硝酸塩の降水量も増加し、酸性雨の被害が我が国を含む東アジア諸国において拡大することが懸念される。東アジア地域からの大気汚染物質の排出量は今後さらに増大するものと考えられており、地球規模の環境変化に対する影響も大きい。それにもかかわらず、従来この地域における体系的な大気化学に関する研究は行われていない。我々は1991年よりこの地域で航空機観測および地上強化観測を行い、大陸から輸送されてくる大気汚染物質の動態を観測している。本発表では、日本海上空および東シナ海上空におけるSO<sub>2</sub>と非海塩性硫酸塩の濃度分布、および流跡線解析の結果から、SO<sub>2</sub>と硫酸塩における韓国と中国の影響について考察した結果を紹介する。

## 2. 観測結果

平成4年11月に10000、7000、4500、1500ftの4高度で日本海上空で行った観測では、隠岐島西方沖日本海上空で高濃度のSO<sub>2</sub>が観測された（図1）。平成5年3月の観測でも隠岐から対馬にかけての日本海上空でSO<sub>2</sub>の高濃度が観測された。風向はいずれも、北西ないし西であり、距離が近い点を考慮すると、韓国の影響が大きいものと考えられる。

一方、東シナ海上空では、平成4年11月、5年3月、

5年12月のいずれの観測においても日本海上空に比較してSO<sub>2</sub>の濃度は低かった。流跡線解析により中国北部から気塊が到達していると考えられる場合でもそうであった。中国の大規模発生源から東シナ海上空で気塊が捕らえられるまでには、3日ないしそれ以上の時間が経過しているため、寿命の短いSO<sub>2</sub>は輸送過程で酸化されてしまうものと考えられる。

他方、非海塩性硫酸塩の濃度は東シナ海上空において、気流が中国北部から飛来したときに高い。したがって、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/SO<sub>2</sub>比をとると、その気塊に含まれる硫黄酸化物が長距離輸送されて酸化が進んだものか、近くでの放出の影響を強く受けているかが区別できる。図2に見るように低空での比は日本海で低く、東シナ海で高い。平成5年3月10日の結果は、日本海上空でも、気塊は主にアジア大陸北東部由来するものであり、このようなときはSO<sub>2</sub>、硫酸塩ともに低く、相対的に比が高くなる。

以上の結果から、アジア大陸から我が国への大気汚染物質の輸送の影響として、

- 1) 西部日本海上空には主に韓国の影響と思われる高濃度SO<sub>2</sub>が輸送されている。
- 2) 中国北部から輸送される硫黄酸化物は、輸送距離が長いことによると思われるが、大部分が硫酸塩に変換されているものと見られる。

の二点が明らかになった。

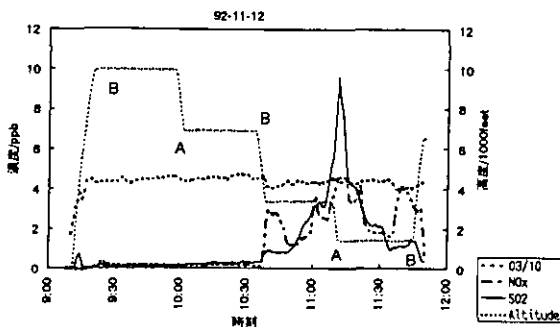


図1 平成4年11月12日に隠岐島西方日本海上空で観測された高濃度SO<sub>2</sub>

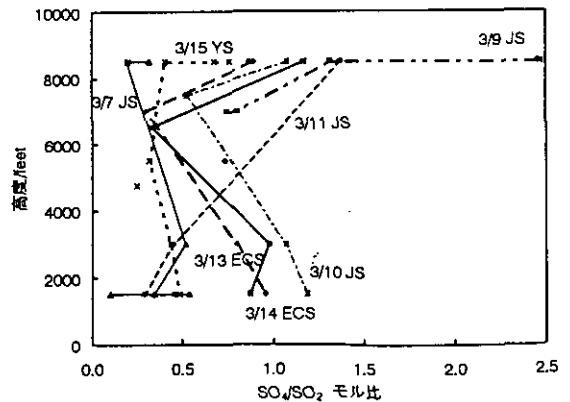


図2 東シナ海（ECS）及び日本海（JS）における硫酸塩とSO<sub>2</sub>の濃度比

# 熱帯林の攪乱に鳥類群集はどのように反応するか？

—マレーシア熱帯林プロジェクトより—

永田 尚志（地球環境研究グループ野生生物保全研究チーム）

熱帯雨林は地球上で鳥類相の最も豊かなところであり、温帯域で繁殖する鳥類の越冬域になっていると同時に、熱帯林特有の種類が多く生息している。日本の温帯照葉樹林では繁殖している種類は全部で20～30種程度であるが、熱帯林では森林下層部に生息している種類だけで80～200種類にも達する。マレー半島においては伐採しやすい低地の熱帯林はほとんど残っていない、現存している山地の熱帯林も開発や伐採により減少の一途をたどっている。熱帯林に生息する生物の中でも鳥類は比較的調査しやすく、森林の多様性を反映して鳥類群集の多様性は高くなるので、森林の攪乱の程度を示す指標として適したグループである。そこで、熱帯林の保全のためには人間活動による熱帯林の攪乱に対して、熱帯林の鳥類がどのように反応し、変化するかを明らかにする必要がある。

マレーシア半島の攪乱の程度の異なる2つの熱帯林の鳥類群集構造を明らかにし比較解析を行った。調査地の一つ、パソ森林保護区はクアラランプールの南東70kmに位置し中心部は手つかずの熱帯林が残っているが、周囲はアブラヤシ農園に囲まれたたった25km<sup>2</sup>の隔離された低地熱帯林である。もう一つの調査地のゴンバック森林保護区はハイウェイによって切り開かれ、人為的攪乱を受けている低山地熱帯林である。両方の調査地において、毎月3日間、約10枚のカスミ網を林床に設置し林内に生息する鳥類を捕獲した。捕獲した鳥は、種類を同定し、体の各部位の長さや体重等を測定した後、個体識別のために個体番号を刻印したアルミニウム足輪を装着し放鳥した。手つかずの熱帯林が残っているパソより人為的攪乱を受けているゴンバックで多くの種が記録されたが、多様性指数には差は認められなかった。鳥類の生息密度も、攪乱されているゴンバックの方がパソより高く、およそ2倍であった。鳥類群集を構成しているグループに注目してみると、両調査地とも地上性の昆虫食鳥類が最も多いものの、人為的攪乱を受けているゴンバックでは地上性昆虫食鳥類が少なく、ハナドリ類、ヒヨドリ類、タイヨウチョウ類などの果実食や花蜜食鳥類が多くなっ

ていた。地上性昆虫食鳥類のチメドリ類は熱帯林の攪乱にもっとも敏感なグループで、熱帯林の攪乱によって種類数は減少し大型種が姿を消した。一方、ヒヨドリ類は熱帯林の攪乱により、林縁ハビタットが増加するので種類数が増加することが明らかになった。攪乱された林には、漿果や液果をつける灌木が多く餌資源は豊富にあるためヒヨドリ類やハナドリ類などの果実食鳥類の種類数・個体数が増加すると考えられる。この2つのグループは、マレー半島の熱帯林の攪乱に敏感に反応するので、森林の攪乱の程度を知るよい指標となる。

最後に、両調査地の生息種類数を推定してみると、ゴンバックの鳥類の生息種類数は96種類であり、パソでは62種類であった。1970年代後半に行われた調査と比較してみると、この20年間に20種類近くが孤立化したパソ原生林から絶滅したと予想される。皆伐でない限り人為的攪乱の程度よりは森林の断片化及び孤立化の方が熱帯林の鳥類の多様性により大きな影響を与えていると考えられる。

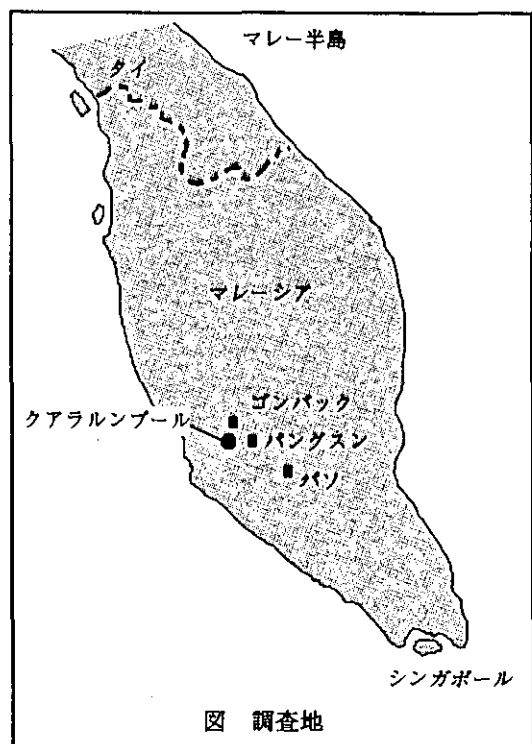


図 調査地

# 衛星搭載センサー ILAS が宇宙から見るものは？ — オゾン層の変動とその要因 —

笹野 泰弘 (地球環境研究グループ衛星観測研究チーム)

## 1. 衛星からのオゾン層観測プロジェクト

環境庁が開発したオゾン層観測センサー ILAS (改良型大気周縁赤外分光計) を搭載した宇宙開発事業団 (NASDA) の人工衛星 (ADEOS) の打ち上げが、本年8月に予定されている。発表では、観測機器 ILAS の概要とともに、当所で開発を進めてきた ILAS データ処理運用施設の紹介を行う。本稿では、本プロジェクトの背景を述べる。

## 2. オゾン層問題と監視・観測の必要性

フロン等の塩素化合物による成層圏オゾン層の破壊の問題が初めて指摘されたのは、1974年のことである。その後、1980年代前半には南極オゾンホールが発見されている。人工起源のフロン等の塩素化合物が成層圏 (高度約15 km から50 km の高層大気) で光分解して塩素を放出し、これが紫外線を吸収する性質を持つオゾン分子を連鎖反動的に破壊するために、地上に到達する生物に有害な紫外線量が増加すると危惧されることから、オゾン層破壊問題は地球環境問題の典型として1980年代中頃から一層の注目を浴びてきたものである。

オゾン層に影響を与えたと考えられる、かなりの種類の塩素化合物に対して、生産、使用を制限する国際的取り決めが実行に移されつつある。このため、大気中の塩素量は今後10年以内にピークを迎え、その後、減少していくものと予測されている。これに伴い、成層圏のオゾン量についても、しばらくの間はこれまでと同様の減少を示すものの、その後は回復していくものと予想されている。しかし、地球温暖化に伴う成層圏の寒冷化が進むと予測され、成層圏の大気環境の変化が予想されるとき、これらの予測の信頼性は十分に高いと言えるのだろうか。

近年に見られる、南極オゾンホールの発生、あるいは中緯度の下部成層圏でのオゾン濃度の顕著な減少等には、極成層圏雲や硫酸エアロゾル等の粒子表面での不均一反応過程が関与していると考えられている。南極上空では、冬季に極めて低温になる極渦が発達し、そこで形成される極成層圏雲の表面では  $\text{ClONO}_2$  や  $\text{HCl}$  等のリザーバ分子が再活性化され、オゾン破壊反応を加速する。しかしながら、これらの極成層圏雲の形成過程、組成、表面積

や、反応過程に関しても、十分に解明されていない。

このようなことから、オゾン層変動の実態解明と同時に、オゾン層破壊をもたらす物理・化学メカニズムの一層の解明のための、長期的かつ総合的な観測が必要であると考えられる。衛星を利用したオゾン層観測プロジェクトは、これらの要請に応えるために推進されているものである。

## 3. ILAS (改良型大気周縁赤外分光計) の概要

ILAS は、衛星から見た日の出、日の入り時に太陽光を捉え、太陽光に含まれる赤外線 (波長  $6 \sim 12 \mu\text{m}$ ) を分光測定する。太陽光が大気中を通過する間に受ける吸収は、その吸収波長が気体成分に特有であることから、それぞれの気体の濃度を知ることが出来る。検出器には、異なる高度層の情報が光路方向の積分量として入ってくるので、数学的な解析手法を用いて、気体濃度の高度分布が算出される。対象気体は、オゾン、硝酸、二酸化窒素、一酸化二窒素、メタン、水蒸気、エアロゾル等である。ILAS にはさらに、酸素分子による  $750 \text{ nm}$  付近の吸収測定から、気温・気圧の高度分布を測定する機能を備えている。気温は赤外での吸収係数の計算に用いられる他、それ自身が大気の物理的環境を示す重要なパラメータとして解析される。

## 4. ILAS データ処理運用施設

ADEOS 衛星に搭載された ILAS の信号は、その他の搭載センサーのデータとともに地上局に送信され地球観測センター (NASDA/EOC) に集められた後、センサー毎のデータに編集され、それぞれのデータ処理センターに送られる。ILAS の場合、所内に構築された ILAS データ処理運用施設においてデータ処理が行われ、国内外の研究者等にデータが提供される。同施設ではその他に、ILAS の運用に係わるミッションパラメータの算出の他、EOC との各種情報ファイルの交換等の運用を担当する。

ADEOS 衛星打ち上げ後、3カ月程度の初期試験期間を経て、定常的な取得が開始される。その後、地上検証実験が実施され、検証解析を経た後、オゾン層の監視・研究にデータが利用されることとなっている。



# 自動車による環境影響のアセスメント手法

森口 祐一（地域環境研究グループ交通公害防止研究チーム<sup>1</sup>）

## 1. はじめに

自動車は、現代の便利な生活に欠かせない存在となっているが、その一方で、道路沿道の騒音、都市大気汚染、光化学スモッグや酸性雨、地球温暖化など、さまざまな地域スケールの環境問題を通じて、人々の生活に悪影響を与える恐れのある存在でもある。電気自動車などの低公害車や、鉄道などの公共輸送システムへの転換によって環境がどれだけよくなるのか、といった問いに答えるには、自動車をはじめとする交通システムがもたらす環境へのさまざまな影響を正確に予測し、評価する手法、すなわち広い意味での「アセスメント」の手法が必要である。ここでは、自動車排出ガスによる道路沿道及び都市スケールの大気汚染に関する研究成果を紹介するとともに、「ゆりかごから墓場まで」の環境への影響を評価する手法として注目を集めている、ライフサイクルアセスメント手法の自動車への適用例について発表する。

## 2. 差分法による沿道大気汚染の予測手法

市街地の道路を走る自動車から排出された大気汚染物質のひろがり方は、道路の構造や沿道の建物の高さ、配置などによって複雑な影響を受ける。演者らは、これまで模型実験でしか解明できなかったこうした複雑な場での排出ガスの挙動を、コンピュータを用いたシミュレーションモデル（仮想実験を行うプログラム）によって明らかにした。こうしたモデルによる研究成果は、局所的な高濃度汚染を生じている地域の改善対策や、道路構造、沿道構造の設計に役立てることができる。

## 3. 都市スケールの計画代替案のアセスメント手法

大都市では、幹線道路が網の目のように張り巡らされている。渋滞解消のための新たな道路の建設や、乗り入れ規制などの環境汚染対策の代替案は、直接の変化を生じる区間だけでなく、その区間につながった別の道路の交通状況の変化を通じて、道路網上の交通全体に影響を与える。こうした場合に、新たな道路の建設計画による環境影響や、環境汚染の対策計画による改善効果を面的に予測・評価するシステムとして、交通環境シミュレーションシステムを開発した。このシステムは、道路網上

の交通量の予測モデルと、走行する自動車による大気汚染の予測モデルを組み合わせたもので、例えば、環状道路の建設によって、環境基準を超える地域に住む人の数がどのように変化するか、といった予測が可能である。こうしたシステムは、熟度の低い段階で、さまざまな計画の代替案の比較を行う、計画アセスメントにも役立つと期待される。

## 4. 自動車のライフサイクルアセスメント

これまで、自動車の環境影響については、NOx 問題や騒音問題に主に目が向けられてきたが、昨今、地球温暖化をはじめとする地球環境問題や、微量有害物質による発がんの危険性などに関心が広がりつつあり、これらの問題に関わるアセスメント手法も重要な研究課題である。電気自動車などの代替自動車との比較を行う場合でも、NOx や騒音にとどまらず、科学的に知られているより多くの問題との関係を視野に入れることが求められる。また、走行時の問題だけでなく、自動車の生産、維持管理、廃棄に伴う問題や、自動車にとって不可欠な道路の建設に伴う問題など、ライフサイクル全体を視野にいれたアセスメント手法、いわゆる LCA の適用が必要である。

図は、こうした視点から、日本の平均的な乗用車1台のライフサイクルにおける二酸化炭素の排出量を試算したものである。走行時の燃料の燃焼によるものが一番大きな寄与を示すことは常識どおりであるが、ライフサイクル全体での排出量は、この直接燃焼起源分の 1.5 倍以上になることが読み取れる。

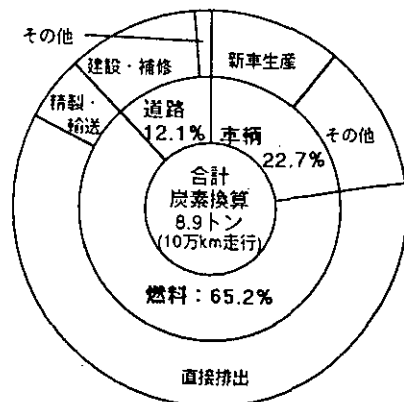


図 乗用車のライフサイクル二酸化炭素排出量

<sup>1</sup>：平成8年4月より同水改善手法研究チーム

# ディーゼル排気微粒子と気管支喘息

高野 裕久（地域環境研究グループ大気影響評価研究チーム）

## 1. 研究の背景と目的

気管支喘息は、抗原（アレルゲン）が関与するアレルギー性喘息と、関与の乏しい非アレルギー性喘息の2型に大別される。四日市喘息に象徴されるように、高度経済成長期の工場排気型大気汚染と（非アレルギー性）気管支喘息が関与することは、少なくとも症候学的な立場から明らかにされていた。一方、最近のアレルギー性疾患（気管支喘息、花粉症、アトピー性皮膚炎等）の増加に、大気環境、室内環境、社会衛生環境、食物環境、生活環境等の環境因子の変化の関与が示唆されるようになり、中でも鼻アレルギーやアレルギー性喘息等のアレルギー性呼吸器疾患と大気汚染の関与が注目を集めるようになった。日本の大気汚染は鉱害により始まったが、その後の工場排気型大気汚染（硫黄酸化物や降下煤塵）を経て、現在では、自動車に由来する汚染が深刻な問題となってきた。自動車排ガスは、一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、硫黄酸化物、ホルムアルデヒド、粒子状物質などを含んでいる。硫黄酸化物、一酸化炭素は年々減少傾向にあるが、窒素酸化物や浮遊粒子状物質（SPM）は減少が見られない。自動車の中でも、経済効率のよさから重用されるディーゼルエンジン車は、一般のガソリン車の数倍から数十倍の窒素酸化物とSPMを生成し、環境への影響が危惧されてきている。我々は、SPMの中でもディーゼル排気微粒子（DEP）に着目し、DEPが気管支喘息に及ぼす影響を実験的に検討した。

## 2. 研究の概要

動物（マウス）の気管内にDEPを繰り返し投与すると、気道の炎症（好酸球、リンパ球、好中球等の炎症細胞の浸潤による組織の腫張）、粘液の過分泌（分泌物による気道の狭窄）、気道過敏性（易収縮性）の獲得といった気管支喘息に特徴的な病態が観察されるようになる。すなわち、DEPは実験的に非アレルギー性喘息の原因となりうる。アレルゲン（鶏卵の白身のアルブミンという蛋白質）を何回かマウスの気管内に投与するとアレルギー性喘息と類似した病態が起こることが知られているが、DEPをアレルゲンと同時に気管内に投与すると、この病

態の出現が加速されることも明らかになった。すなわち、DEPもしくはアレルゲンの単独投与に比較し両者の併用投与では、好酸球とリンパ球を主体とする気道炎症、粘液過分泌、気道過敏性の獲得が相乗的に増悪することが確認された。また、アレルゲンに対してIgG1というクラスに分類される抗体（免疫グロブリン）が併用投与で著しく上昇することも明らかになった。このDEPの増悪効果は、肺局所におけるインターロイキン5（IL-5）やインターロイキン4（IL-4）というサイトカイン（主としてリンパ球が産生し様々な（炎症）細胞を調節する細胞間伝達物質）の増加とよく相関していた。特に、IL-5は気管支喘息の病態形成において最も重要と考えられている好酸球を誘導あるいは活性化する機能を持つ。IL-4も好酸球の誘導とともに、IgG1やIgEといったアレルギー反応に必須の免疫グロブリンの産生を増強することが知られている。DEPは、アレルゲンによるIL-5やIL-4といったサイトカインの産生を増強することによりアレルギー性喘息の発現を加速している可能性がある。すなわち、「IL-5により誘導、活性化された好酸球の表面に、IL-4により増加したIgG1が接着し、好酸球の脱顆粒を引き起こす。そして、脱顆粒により細胞外に放出された種々の傷害性物質が気道の上皮や周囲を攻撃し、アレルギー性喘息の病態が形成される。」というメカニズムが考えられる。

## 3. 問題点と今後の展望

今回紹介したDEPに関するデータは、動物を用いた気管内投与実験に基づくものである。実際には、DEPは空中を浮遊しており、人間は呼吸によりこれを吸入する。吸入様式や量も居住地や生活パターンにより異なる。また、臨床的に確認されるアレルゲンの種類も多様である。現在、こういった問題点を改善するために、より人間がおかれている状況に近い、DEPの暴露実験を動物で進めている。また、アレルゲンとして実地臨床の場で陽性率の高いダニ抗原を用いた動物実験や都市域の沿道住民における疫学的調査などが今後必要と考えられる。

# 阪神淡路大震災によるアスベスト飛散

寺園 淳 (社会環境システム部資源管理研究室)

## 1. はじめに

1995年1月17日に発生した阪神淡路大震災により、建築物の倒壊とともに、大気汚染や災害廃棄物の発生などの環境問題も懸念された。ここでは、地震で倒壊した建築物の解体に伴うアスベスト飛散について、モニタリングと実地調査結果などをもとに検討した。

## 2. 阪神淡路大震災によるアスベスト飛散

### 2.1 被災地における一般環境

環境庁と自治体は環境モニタリングを含む各種対策を実施した。環境庁が実施した位相差顕微鏡(PCM)を用いたモニタリングの追跡継続調査では、図に示すように初期の一部地域で最高6 f/lの高濃度、他の地域でも1~2f/lであった。これは、平成5年度一般環境モニタリングによる幹線道路周辺地域0.49f/lなどと比較して高いものである。なお、4月以降は減少し、第9次調査では全ての地点で1f/l以下となっている。

### 2.2 アスベスト除去現場及び解体現場周辺

一般環境濃度上昇の原因を探るため、吹付けアスベスト除去前後及び解体時のアスベスト濃度を収集・測定した。また、吹付けアスベストを除去せぬまま解体した建物近傍におけるアスベスト濃度も求めた。

表に被災地で吹付けアスベストの存在した11箇所の建物の、除去作業前後にわたる濃度を示す。除去作業中は、作業区域の出入口付近で1.82f/l、屋外では高い濃度の地点もあるが、概ね1~2f/l程度またはそれ以下のレベルであった。これらより、除去作業に伴うアスベストの屋外飛散は若干認められるが、大きな発生源とは考え難い。次に、吹付けアスベスト除去作業後の解体時における飛散を、2箇所の建物の敷地境界で測定した。建物Aについては低濃度であったが、建物Bについては目視で粉塵飛散が認められ、PCMで最高14.7f/lであった。これは環境庁モニタリングによる解体現場周辺の最高値19.9f/lと同レベルの値である。確認のため、PCMで11.3f/lの試料を透過型

電子顕微鏡(TEM)とエネルギー分散型X線分析装置(EDS)を用いて分析した結果、クリソタイルが27.9f/l(長さ5 μm以上のみ)検出された。建物Bには事前除去が困難であった吹付けアスベストの残存部分が解体前に確認され、それが機械解体により飛散した可能性が考えられた。

また、鉄骨にアスベストが吹付けられていた建物Cの非除去解体時に近傍で採取された試料を、TEMとEDSを用いて分析した結果、高濃度のクリソタイルとクロシドライトが検出された。非除去解体による建物からの高濃度のアスベスト飛散は、一般環境濃度上昇に大きく寄与した可能性がある。

## 3. おわりに

被災地の吹付けアスベスト除去及び除去後解体に際して、周辺への飛散は認められたが、一般環境濃度の上昇に大きく寄与するとは考え難い。非除去解体は近隣へのリスクの上昇につながる恐れがあり、極力避けるべきである。被災地では建物倒壊や緊急性のためやむなき処置も行われたが、通常は解体・改修にあたって、アスベストの調査・事前除去の徹底など飛散防止対策の強化が望まれる。

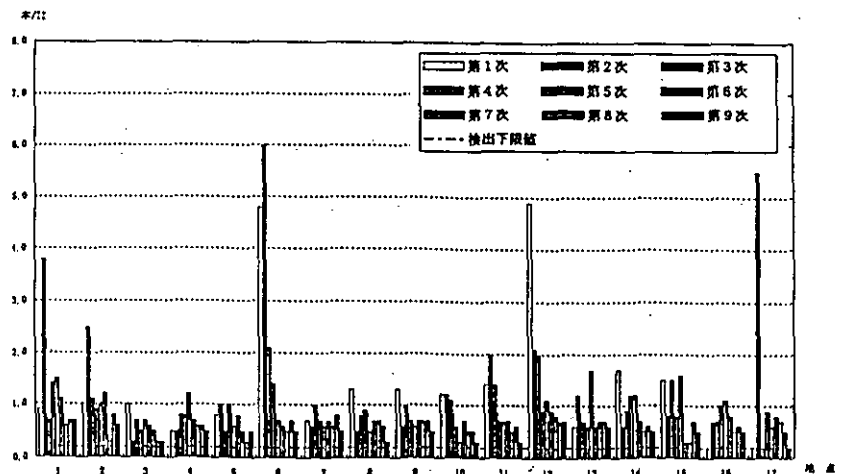


図 環境庁モニタリングによるアスベスト追跡継続調査結果(第1次~第9次)

表 11箇所の建物の除去作業前後にわたるアスベスト濃度(f/l)

	作業前	作業中	養生撤去前	作業後
屋内	2.58 (<0.2-144)	244 (<8-4200)	1.18 (<0.2-7.3)	0.49 (<0.2-1.6)
出入口	-	1.82 (<0.2-6.4)	-	-
排風気出口	-	0.76 (<0.2-3.2)	0.10 (<0.2)	-
屋外	0.41 (<0.2-1.3)	0.75 (<0.2-25)	0.48 (<0.2-4.4)	0.35 (<0.2-1.0)

注:数値は幾何平均、( )内は最大最小

# 分解能の異なる衛星データを統合した植生モニタリング手法の研究

杉田 幹夫<sup>1</sup>、安岡 善文（社会環境システム部情報解析研究室）

## 1. はじめに

人工衛星を利用したリモートセンシングは、地表の対象物を複数の波長に分解して撮影して得られた画像データの解析を行い、植生分布状況など地表の様子を調べる技術である。Landsat衛星のTMデータ（地上分解能30m）は、地域規模の詳細な植生モニタリングに効果的である反面、撮影範囲が狭く、広域のモニタリングには適さない。観測範囲を広げるためには、NOAA衛星のAVHRRデータ（地上分解能1.1km）のような地球規模のデータを必要とするが、低分解能であるため地表の状況を詳細に把握することが困難である。このように地上分解能の著しく異なるデータを、相互補完する形で有機的に結合し、活用する手段を開発することが重要である。ここでは、低分解能の衛星データと高分解能の衛星データとを統合した一解析法として、スケーリング手法を紹介する。

## 2. スケーリング解析

衛星データを使って土地被覆状況を調べるために最も頻りに用いられる方法は、衛星画像のスペクトル特性を利用した土地被覆分類である。いま、土地被覆の状況を「植生」、「土壌」、「水」の3つの土地被覆タイプに分類することを考える。土地被覆分類は、衛星画像の最小単位（画素）のそれぞれに上記の3タイプのうち一つを割り当てることに相当する。しかし、NOAA AVHRR画像は画素の大きさが約1km四方であるから、陸域の1km四方が単一の土地被覆タイプで占有されることは少ない。一般に、1画素内で異なる土地被覆タイプが、一定の比率で混合している。衛星画像から各画素内の土地被覆タイプの面積比率を求めることが可能であれば、その結果は土地被覆分類結果に比べ、より詳細な情報を与える。本研究では、面積比率の決定を、AVHRRデータとTMデータのスケーリング解析によって、以下のように行った。

AVHRR画像とTM画像が精密に重ね合わさっていると仮定する。地上分解能の違いから、AVHRR画像の1画素はTM画像の約1,300画素に対応する。TM画像を正確に分類できた

と仮定すると、AVHRR画像の各画素について、対応するTM画像の画素数を土地被覆タイプごとにカウントすることにより、面積比率を求めることができる。十分な大きさの衛星画像を用いれば、統計解析により、AVHRR画像データと面積比率の関係式を決定でき、AVHRRデータのみから面積比率を求めることが可能である。これは、AVHRRデータとTMデータの統合利用により、土地被覆分類よりも詳細な情報である面積比率を、AVHRR画像から直接抽出できることを示す。ここで重要なことは、面積比率計算式の算出には、AVHRR画像のうち、TM画像と対応する一部の領域のみを用いるが、求められた計算式はAVHRR画像の全域に対して適用（外挿）できることである。

## 3. スケーリング解析の例

図(a)に、1990年2月1日取得のタイ周辺のNOAA AVHRR近赤外バンド画像を示す。図(b)は、図(a)をスケーリング解析した結果、求められた面積比率のうち、植生比率を画像化した植生率図である。この図では、白い部分ほど植生が多いことを表し、雲に覆われた領域を除いて植生状況をよく反映していることがわかる。

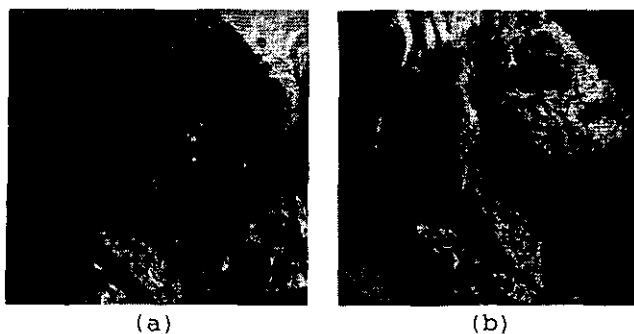


図 (a)AVHRR画像（近赤外バンド）、(b)植生比率画像

## 4. おわりに

高分解能データ（TM）と低分解能データ（AVHRR）を統合したスケーリング解析により、AVHRRデータから直接、1画素内における植生、土壌、水の面積比率を推定可能であり、植生モニタリングに利用できることを示した。今後は、AVHRRデータが毎日取得できることを活かし、時系列のスケーリング解析へ発展させることが重要である。

<sup>1</sup>：科学技術特別研究員

# 市民の環境に対する価値観と行動について

— 日本と欧米の共同調査の結果をもとに —

青柳 みどり（社会環境システム部環境経済研究室）

ここでは、1993年に世界22ヶ国で実施されたISSP（国際社会調査プログラム）の1993年環境調査の結果をもとに日本と欧米の市民の環境に対する行動や価値観の比較分析を行いたい。

## 1. 「環境を考えた行動」の比較

具体的な例から示すために、ここでは、「環境を考えた行動」についての比較結果を示そう。最初の図（図1）は、「環境を考えた自動車の運転を減らしているか」についての質問である。環境を考えた自動車の運転を減らす人は少ない方であることがわかる。日本は「自動車を持っていない・運転しない」者が多いことを考えると、自動車を運転する人だけみても環境を考えた自動車の運転を減らすドライバーはかなり低い割合ではないかと考えられる。

次に「環境保護団体に寄付をしたことがあるか」についての回答であるが、政治的にも大きな力を持つといわれているアメリカ、オランダの環境保護団体は一般市民

からの寄付を多く受けていることがわかる。日本においてはまだどのような団体にどのように寄付をしたらよいかかわからないというのが実状であろう。

## 2. 「環境に対する価値観・態度」

では、このような行動の差は何に起因するのであろうか。次は「自国の大気汚染の大きな原因は自動車ではない」という文章に対してこの正否を聞いた結果である。日本の場合、正否よりもまず「わからない」の回答の多さが目を引く。

また次の図は「環境について私のような者がどうこうしてもなにかできるものではない」という文章に対する態度を聞いたものであるが、日本では「賛成」が多くなっている。一人一人の行動が環境負荷の低減には関係ないという態度や環境問題に関する曖昧な知識が、自動車の運転や環境保護団体に対する応援の少なさにつながっているのではないかと、推測できる。

図1 環境を考えた自動車の運転を減らしているか

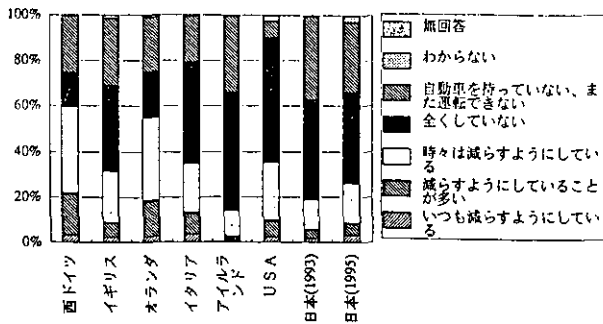


図3 自国の大気汚染の大きな原因は、自動車ではない

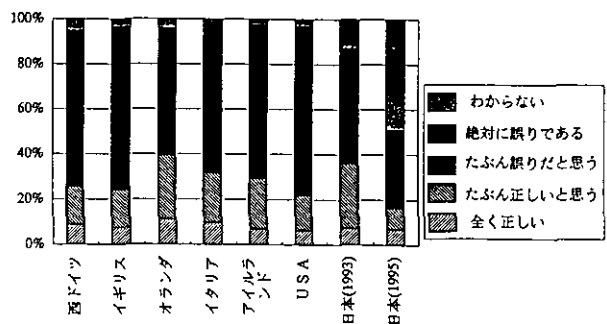


図2 環境保護団体に寄付をしたことがあるか

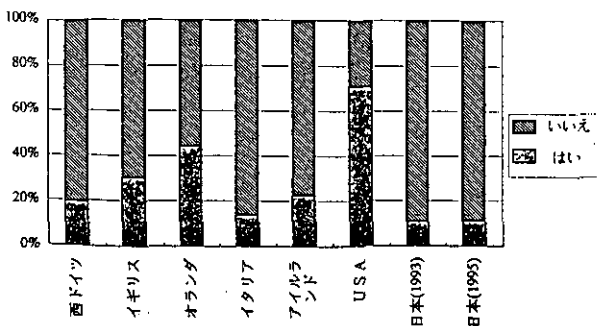
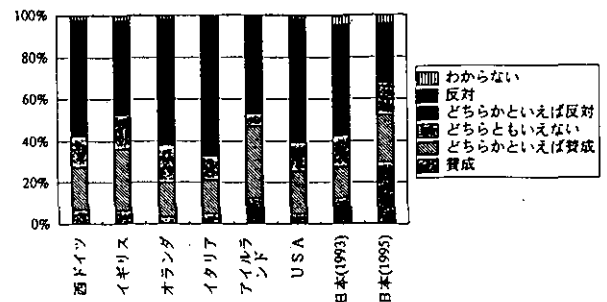


図4 環境については私のようなものがどうこうしても、何かできるものではない



# 日本人の骨に蓄積した鉛はどこから来たか？

吉永 淳（化学環境部計測管理研究室）

## 1. はじめに

鉛は代表的な環境汚染物質であり、歴史的にも古くから鉛中毒による健康障害が知られている。ローマ帝国の崩壊の原因が鉛中毒であったという仮説は有名である。体に取り込まれた鉛は、ほとんどが骨に蓄積することが知られている。しかもいったん骨に取り込まれた鉛は、なかなか出ていかない。したがって、過去の鉛暴露量の履歴を知るためには、骨に含まれる鉛量を測定するのが良いとされている。

ところで、自然界に存在する鉛は4つの安定同位体（ $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$ ）の混合物である。鉛の産地によってこの4つの同位体の混合比がわずかに異なる。通常、鉛の同位体組成は、2つの同位体の存在比、例えば $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ などのように表される。鉛鉱床の成立年代の比較的新しい日本の鉛と世界でもかなり古い鉱床といわれるオーストラリアの鉛では10%以上もこの比が異なる。ある生態系の中に複数の起源をもつ鉛が存在する場合に、このような同位体比の違いを精密に測定することで、起源の異なる鉛の相対存在度についての情報を得ることができる。

この研究では、先史時代～現代の日本人の骨に蓄積した鉛の含量と同位体比を測定し、日本人が暴露されてきた鉛の起源とその変遷について調べた。

## 2. 方法

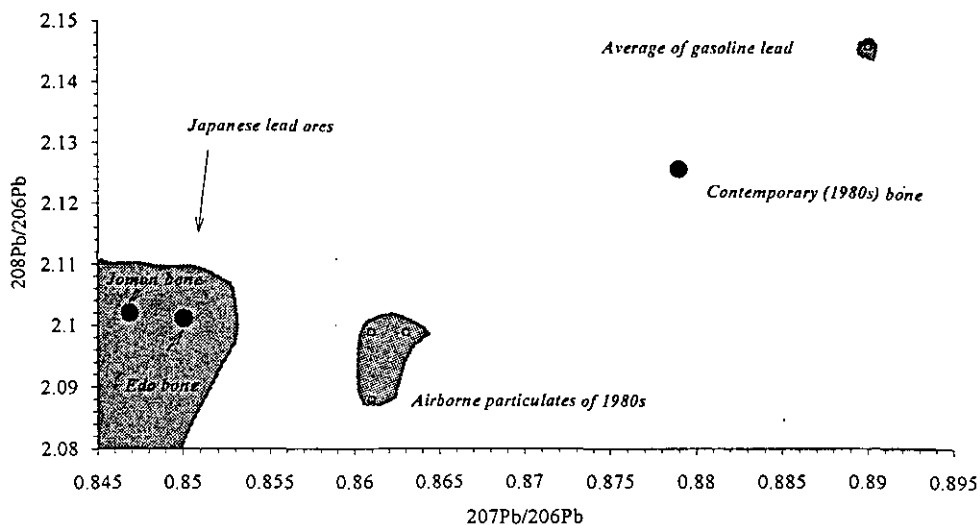
分析したのは、縄文時代、江戸時代の遺跡から発掘さ

れた骨（それぞれ5、6試料）、及び1988年に東京都内で病死し、病理解剖にふされた老人骨（15試料）である。骨に含まれる鉛を抽出し、誘導結合プラズマ質量分析法により、鉛濃度と鉛同位体比（ $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ）を測定した。

## 3. 結果

工業化の進んだ現代に生活していた人々の骨の鉛が高く、狩猟採集生活を行い、自然由来以外の鉛の汚染がなかったと考えられる縄文人の鉛が低かった。ところが江戸時代に住んでいた人々の鉛が現代人なみに高かった。江戸時代の遺跡から発掘された人骨中鉛濃度が高いことは以前にも報告されており、おそらく江戸時代は、現代と同じ程度の鉛汚染が存在したと考えざるをえない。

図1は同位体分析の結果である。縄文時代と江戸時代で人骨の鉛含量には差があるものの、同位体組成から見ると両者の間に差がない。これは両時代で、人々が暴露していた鉛の起源が同じであり、それは日本産の鉛であることを示している。一方、現代人の骨に蓄積した鉛は、縄文・江戸時代とは異なる同位体組成をもち、現代人は、この両時代とは異なる起源をもつ鉛、おそらくガソリンに含まれていた外国産の鉛、に暴露していたことを示している。



# 船底塗料・有機スズによる海洋汚染と巻貝類の生殖障害(インボセックス)

— 経緯と現状 —

堀口 敏宏(化学環境部動態化学研究室)

## 1. 船底防汚塗料・有機スズ(トリブチルスズ(TBT)及びトリフェニルスズ(TPT))

有機スズは工業的副産物として生成された人工の化学物質で、毒性の強い産業廃棄物であったが、その毒性の強さを生かして、殺菌剤、防腐剤、農薬及び船底・漁網防汚剤などとして使用されるようになった。船底塗料として1965年頃から、漁網防汚剤として1967年以降使用されるようになったとされている。

海の中にはさまざまな生物が暮らしており、その中には海中の構造物や船底などに付着する生物がいる。こうした付着生物を駆除するためにさまざまな物質が利用されてきた。船底塗料としての有機スズは比較的安価で、しかも抜群の防汚効果が長期間にわたって維持されるため、きわめて理想的な防汚剤として全世界に広がった。しかし、防汚剤として効果的であることは生物に対して毒性が強いことを意味し、防汚剤としての有機スズは、だから本質的に毒である。それゆえ有機スズによる海洋汚染が社会問題となり、日本では1980年代から魚介類の有機スズ汚染が新聞等で特に報道されるようになった。

## 2. 人類が意図的に海洋環境中に放出した最強の毒物・有機スズ

「人類が意図的に海洋環境中に放出した最強の毒物」と言われる有機スズの、海産生物に対する急性毒性と慢性毒性を文献から整理すると、急性毒性を表す96時間半数致死濃度が概ね1~20  $\mu\text{g}/\text{l}$ の範囲内にあり、またさまざまな慢性毒性が1  $\mu\text{g}/\text{l}$ 未満で引き起こされる。有機スズの海産生物に対する毒性は、重金属をはじめとする有害物質やさまざまな環境汚染物質と比べて、かなり強い。

有機スズの海産生物に対する慢性毒性にはさまざまな生物の生態や繁殖にかかわる阻害内容が含まれているこ

とから、有機スズは海洋生態系を攪乱する恐れがある物質だと考えられている。また、既に現実起こっている有機スズ汚染の海産生物への影響が“インボセックス”である。

## 3. 海産巻貝類の“インボセックス”

“インボセックス”とは、産卵障害を伴う、巻貝の雌の形態異常である。具体的には、ペニスや輸精管が雌の巻貝に形成されて発達する現象及びその個体で、重症になると輸精管が輸卵管末端開口部を閉塞させ、産卵不能になる。また卵形成が阻害されたり、卵巣内に精巣が形成されることもあり、こうした産卵不能などの生殖不全のため生息量が減少する。それゆえ、種の存続が危ぶまれ、既に複数の種でその生息量の減少が確認されている。

ここでは、日本産海産巻貝類の広範な種でインボセックスが発生していることをはじめ、その被害の詳しい実態、産卵障害が原因で生息量が減少してしまった種、インボセックスと有機スズ汚染との関係などこれまでに実施されてきたインボセックスと有機スズ汚染に関する実態調査結果と、またインボセックスがある種の有機スズで特異的に引き起こされることやごく低濃度の有機スズがインボセックスを引き起こす(TBTの場合、海水中濃度が1ng/l(=1ppt、縦500m、横200m、深さ10mの海水プールに1gのTBTが均質に溶け込んだときの濃度)でインボセックスが発症することなどの実験結果を示す。また雌の肉食性巻貝において有機スズが蓄積しやすい理由や有機スズは食物連鎖によって濃縮が進むかなどについて考える。さらに日本や諸外国における有機スズに対する法規制についても紹介し、最近になってもインボセックスや有機スズ汚染が改善されていない原因をこうした法規制の点から考察する。

# 遺伝子導入動物を用いた変異原物質の検出手法

青木 康展、天沼 喜美子<sup>1</sup>（環境健康部）、曾根 秀子（地域環境研究グループ）

環境中に遺伝子の突然変異を引き起こす化学物質がどの程度存在するのであろうか？ これは環境研究の重要な課題の一つである。化学物質などがDNAを修飾し、これが原因となって突然変異を起こす性質が変異原性である。この変異原性をバクテリアなどを用いて試験管内で調べる方法（例えばAmes法）が既にいくつか開発され、これらの方法を利用して水、大気中などから採集された試料に含まれる化学物質の変異原性が調べられている。その一方、化学物質等の影響で実際に動物の体内でどの程度の頻度で突然変異が起こるのかを定量的に明らかにする方法は充分に開発されていなかった。しかし、近年の動物への遺伝子導入の技術の進歩にともない、それが可能になりつつある。

方法の原理を図に示す。まず、変異原性を調べるためのバクテリアのDNA（モニター遺伝子）を遺伝子の運び屋DNA「シャトルベクター」に組み込み動物の染色体DNAに導入する。そして、化学物質に暴露した動物からモニター遺伝子を回収し、バクテリアに戻した後、バクテリアの性質の変化からモニター遺伝子上の突然変異の発生を検出しようというものである。

我々はまず、水環境中に存在する変異原物質の検出に用いる魚（ゼブラフィッシュ、小型の淡水性熱帯魚）の開発を進めている。変異原物質検出用のネズミ（ラット、マウス）は既に開発されているが、魚に関しては、これまでほとんど報告がなく非常に新規性が高い。モニター遺伝子としては大腸菌に抗生物質（ストレプトマイシン）感受性を付与する遺伝子（略して、rpsL）を用いている。rpsL遺伝子が正常な大腸菌は抗生物質存在下で増殖できないのに対して、突然変異の発生したrpsL遺伝子をもつ大腸菌は抗生物質に耐性となる。rpsL遺伝子をシャトルベクターに載せて染色体DNA上に組み込んだゼブラフィッシュを変異原物質を含む水中で飼育した後、染色体DNAからシャトルベクターを取り出し大腸菌に戻すわけである。そして、水中の変異原物質の活性を抗生物質耐性の大腸菌の発生頻度で評価しようとするものである。我々は全身の細胞の染色体DNAにrpsL遺伝子DNAが約40個組み込まれたゼブラフィッシュを作成し、さらに、魚からrpsL遺伝子を効率よく大腸菌に戻すことに成功した。

また、モニター遺伝子としてLacIと呼ばれる大腸菌タンパク質の遺伝子DNAをシャトルベクターに組み込み染色体DNA上に導入したラット（Big Blueラット）が開発されているが、これを利用して癌の発症に伴う突然変異の発生頻度の解析を進めている。その試みの一つとして、

遺伝的に肝臓癌を自然発症するラットとBig Blueラットを交配して、肝臓癌を自然発症し、かつラット個体に生じた突然変異を定量的に測定できる全く新しい実験動物を作成している。このラットを用いることにより、癌発症に伴う突然変異の発生率が明らかになるのみならず、生じた変異の質をも調べることが可能となる。

環境中には変異原物質をはじめとした多種多様な化学物質が存在し、また、それらの化学物質群が低濃度で長期間にわたって曝露される可能性があることが環境から受ける健康リスクを評価する上で難しい点である。遺伝子導入動物を、大気、水などの実際の環境媒体中で直接飼育することにより、環境からこうむるリスクを評価する新しい手法の開発を目指して研究を進めている。

（遺伝子導入ゼブラフィッシュの開発は理化学研究所ライフサイエンス筑波研究センターとの共同研究である。）

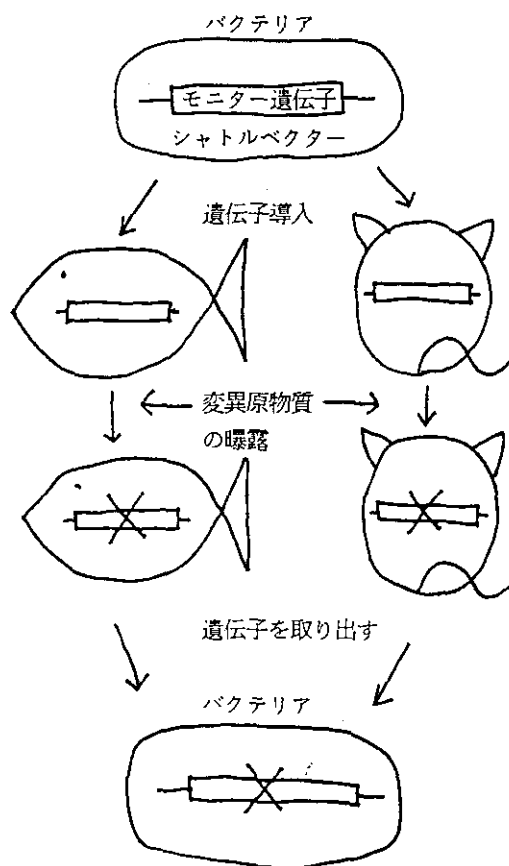


図 遺伝子導入動物を用いた変異原物質の検出手法のフローチャート

<sup>1</sup>: 重点研究支援協力員



# 日本人の紫外線暴露量 - 紫外線暴露量調査結果、生活時間調査よりの推定 -

小野 雅司 (環境健康部環境疫学研究室)

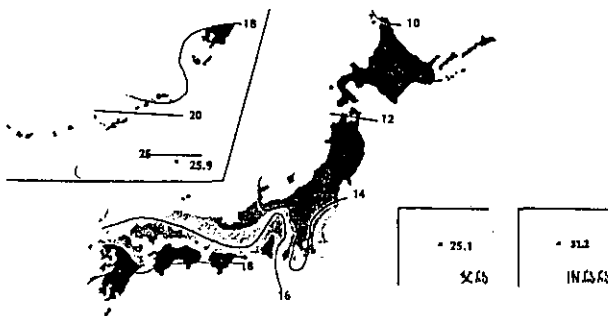
## 1. はじめに

オゾン層の破壊に伴う紫外線の増加により様々な影響が引き起こされることが指摘されており、健康影響に関しても、皮膚がんや白内障の発症、免疫機能の低下といった重大な影響が懸念されている。紫外線暴露による健康障害の発現を論じる前に、私たち日本人はどれだけの紫外線を、どのようにして浴びているのか、生活環境中の紫外線暴露量の推定を試みた。

## 2. 我が国における紫外線照射量の地理的分布

我が国では、数年前より気象庁(札幌、つくば、鹿児島、那覇)と環境庁(東京)が地表面における紫外線照射量の観測を行っている。それによれば、紫外線照射量は場所(緯度)と季節、時刻により大きく変動する。観測データに基づく各地の紫外線照射量(気象庁による推定値)の地理分布を図に示した。北海道から沖縄にかけて、おおむね緯度が低くなるに従って紫外線照射量は増加し、年平均で見ると、UV-B量としては、札幌と那覇で2倍程度の違いが見られる。

UV-B量の全国分布図(年平均値・kJ/m<sup>2</sup>)  
(資料:気象庁)



## 3. 紫外線照射量の季節変化と時刻変化

紫外線照射量は夏に強く冬に弱い。また、一日のうちでは正午近くに最高となる。このため、年間をとおしてみると、4月から9月までの6か月間で、札幌では年間照射量の81.5%、最も少ない鹿児島で66.1%を占める。ま

た、時刻に関しては、各地区とも夏季では正午の前後2時間(10時~14時)で1日の紫外線照射量の70~80%を占めており、9時から15時まで抜けるとほとんどの地区が90%以上となる。一方、冬季においては、10時~14時の間に全地区とも85~90%の照射量が観察されている。従って、紫外線の暴露は春季から秋季にかけて、そして、正午をはさむ数時間の寄与が極めて大きくなる。

## 4. 簡易測定装置による紫外線暴露量

日本国内で地理的環境条件の大きく異なる、札幌近郊、つくば、能登、那覇近郊の4地区において、代表的な戶外労働者の一つであるゴルフ場のキャディーを対象に、紫外線暴露量調査を1年間にわたり実施した。被験者の胸元にUVセンサーを取り付け、毎日の暴露量測定と戶外での活動時間を記録した。

年間をとおしてみると、紫外線暴露量は照射量と同様に冬季に弱く夏季に強くなる季節変動が認められた。また、測定日の天候状態によると考えられる大きな日間変動が観察された。被験者間の暴露量のバラツキは、日間変動、季節変動以上に大きく、対象者一人一人の細かい行動に強く影響されていると考えられた。

地区別の紫外線暴露量を比較すると、那覇、つくば、札幌、能登の順であり、1年間の紫外線累積暴露量で見ると、那覇が最も大きく、つくば、能登は、那覇と比較して、それぞれ65%、43%であった。札幌では年間の累積暴露量は求められなかったが、おおむね能登地区と同程度の紫外線暴露と考えられた。

## 5. おわりに

本報告では、簡易測定装置による紫外線暴露量調査結果を中心に紹介するが、そのほか、1)地域の紫外線照射量と戶外での活動時間に基づく紫外線暴露量の推定結果、2)白内障で問題となる、眼部近辺の紫外線暴露量を測定することを目的に試作したマネキンモデルでの実験結果について併せて報告する。

# 熱帯大気と極域海洋 — 数値モデルによる気候システムの研究 —

沼口 敦（大気圏環境部大気物理研究室）

## 1. はじめに

地球の気候は、大気と海洋と陸地表層を中心としたシステム、すなわち「気候システム」の状態として捉えることができる。気候システムは、太陽の日射を主要なエネルギー源として動き続けるシステムである。その中ではさまざまな要素が、いろいろな時間・空間スケールで相互に作用し合い、ほぼ定常的なバランス状態を作り出している。大気や海洋は、地表面の、主に低緯度地方に注がれた太陽エネルギーを上下方向、東西・南北方向に輸送し、地球の気候の分布を形成しているが、中でも、熱帯大気と極域の海洋は、特に重要な役割を担っている。いずれも、鉛直方向の運動が活発な場所であり、循環の駆動源ともいふべき場所である。また、水平規模の小さな運動（対流現象）が活発に起こる場所であり、熱帯大気では水蒸気、極域海洋では塩分という、二次的な成分が非常に重要である。これらの領域のふるまいの理解は、気候システムの理解とそのモデル化にとって、非常に大きな課題である。

## 2. 熱帯大気と雲活動

熱帯大気において非常に重要なのは、雲に代表されるような、水の相変化との相互作用である。水蒸気に蓄えられた潜熱エネルギーが大気上層の雲の中で解放され、大気循環の主要なエネルギー源となる。したがって、どこでどの程度の雲活動が起こるかということは、大気の大規模な循環や気候の分布の形成において、本質的に重要な過程である。

しかしながらこの過程は、非常に広範囲の要素

がからみあった、強い非線形の現象であるため、現在でもまだ理解が十分であるとはいえない。事実、熱帯の雲活動を地球全体規模の大気モデルで表現する方法が数多く提案されているが、どの方法を用いるかによって、モデルの結果は非常に大きく変わってしまう。

最近、人工衛星データなどの解析により、熱帯域の雲活動の時間・空間的なふるまいの特徴が次第に明らかになってきている。それとモデルの結果とを比較することによって、熱帯雲活動の変動のメカニズムの理解と、モデルの精度向上とにつなげる試みを紹介する。

## 3. 極域海洋と気候

極域の海洋においては、表面が強く冷却されるため、水平スケールの小さな対流現象が起こっている。それによって、エネルギーが鉛直に輸送され、「熱塩循環」と呼ばれる、全地球規模の循環が駆動されている。やはりこの対流も強く非線形的な現象であるため、これを通して、他の条件の微妙な変化から、気候状態の大きな変化がもたらされる可能性がある。これは、気候の安定性ということを考える上で重要な問題である。

極域海洋の対流現象も、熱帯の雲活動と同じようにモデルでの表現が困難な現象であり、その表現の不十分さが、大気海洋結合モデルによる現在の気候の再現を難しくしている。このような、極域海洋の変動が重要となるような、大気海洋結合系のふるまいを検証するには、古気候の証拠との比較などが有効であると考えられる。

# シベリアにおける大気中のメタン濃度の航空機観測

遠嶋 康徳 (大気圏環境部大気動態研究室)

## 1. はじめに

大気中の微量成分であるメタンは産業革命以降急激に増加し、濃度が2倍以上になった現在でも増え続けている。二酸化炭素同様メタンも温室効果気体の一つであり、その増加による地球の温暖化が懸念されている。メタンの主な発生源としては水田や湿原、家畜の腸内発酵また天然ガスの漏れなどが考えられているが、発生源とその放出量については依然として不明な点が多い。

シベリアには広大な湿原が存在し、またガス田や油田も数多く存在しているためメタンの重要な発生源と考えられているが、大気中の濃度や湿原からのメタンの放出などを観測した例は少ない。国立環境研究所とロシア中央大気観測所はシベリア上空における大気中の温暖化気体の分布を調べるために、航空機に測定機器を搭載し飛行観測を1992年から毎年夏に行なってきた。

## 2. これまでの観測で明らかになったこと

これまでの実験で、地上100mから高度7 kmに及ぶ範囲で大気中のメタン濃度の観測を行い、その結果夏期のシベリア上空のメタン濃度が地表面の発生源からの影響を受けて大きく変動することを明らかにした。

西シベリアに広がる湿原上空の観測では湿原から放出されるメタンの影響を直接受けるので広い範囲で非常に高濃度のメタンが観測された。図1は1993年7月21日にニジネヴァルトフスクの湿原上空で観測されたメタン濃度の鉛直プロファイルの時間変化を示している。各高度のメタン濃度はその高度の水平飛行で測定されたメタン濃度の平均値である。午前中の早い時間には低い高度で高濃度のメタンが観測されるが、これは夜間に逆転層が発達すると地表から放出されるメタンが逆転層内に蓄積し、翌朝に地表付近でメタン濃度が高くなるためである。また、図1には時間とともに地表近くのメタンが上空に運ばれて行く様子も示されているが、これは日射によって地表が暖められ空気の混合が活発になるためである。

油田上空(地上150m)での観測ではピーク状のメタン濃度の分布が観測された(図2)。メタンのピークが観測された場所の近くに石油の採油所やパイプラインが存在することや、このような急激な濃度変動は湿地上空でも観測されたことがないことなどから、このピークは天然ガスの漏れをとらえたものと考えている。これまで、油田やガス田などから放出されるメタンを大気中の濃度の観測から直接検出した例は少なく、実際にメタンが漏れ出ていることを示す非常に重要な結果である。

## 3. 今後の課題

現在湿地からのメタンの放出量の推定は地上で測定されるメタンのフラックスを用いて行われている。フラッ

クの測定はチャンバー法等が通常用いられる。しかし、実際に湿地で観測されるメタンのフラックスは空間的な変動が非常に大きく、限られたフラックスの観測から広い範囲の放出量を推定することには大きな問題がある。

そこで、航空機観測の結果を用いて広範囲にわたる地域からのメタンの平均的な放出量を推定しようと試みている。これは、夜間に地表面付近に形成される大気の逆転層に蓄積されるメタンの量(=夜間の放出量)を、翌日の早朝に観測されるメタン濃度の空間分布から推定し、蓄積時間からメタンの放出率を推定するものである。現在西シベリア低地のプロトニコヴォに広がる湿地では、チャンバー法によってメタンのフラックスを測定している。これを航空機によるメタン放出量の推定結果と比較し、より確からしい放出量を推定しようと考えている。

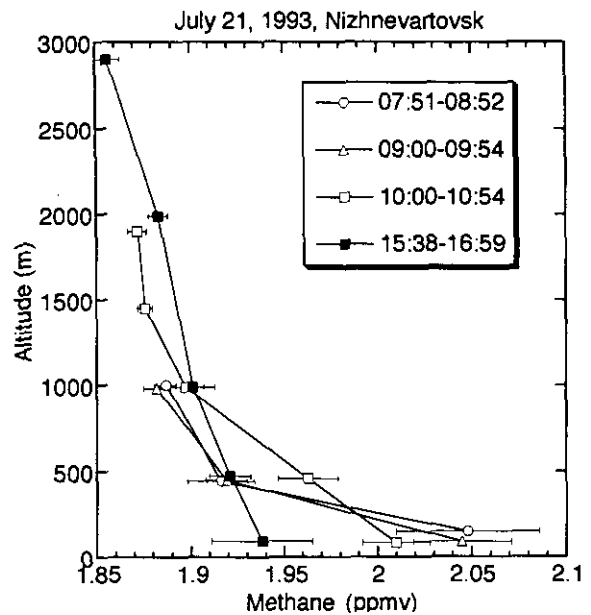


図1 ニジネヴァルトフスクで観測されたメタン濃度の鉛直プロファイルの時間変化

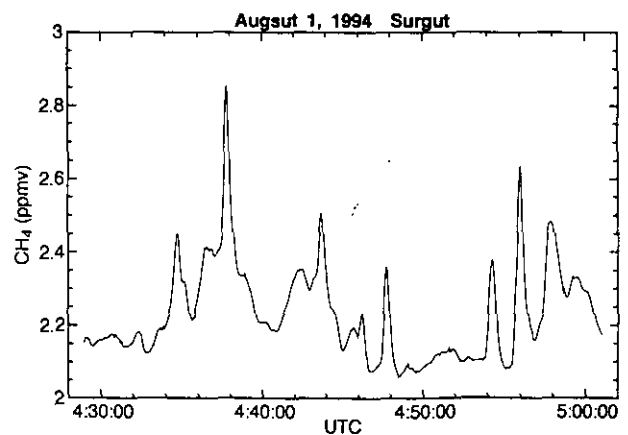


図2 油田上空でのメタン濃度の測定結果

# 衛星、地上気象及び地理情報による熱収支解析システム (TIMS) の構築について

宇都宮 陽二郎 (水圏環境部水環境工学研究室)

## 1. 要約

NOAA衛星画像と地上観測値及び地理情報の融合による温度解析システムに、微気象情報ベースを加え、短波放射及び土壌表面相対湿度、長波放射と放射収支、拡散係数などの各パラメータを求め、地球表面の熱収支解析システムのプロトタイプを構築した。本研究は地球表面における熱の受授(熱収支)の解析による、土壌水分をはじめとする土壌・水文環境の把握を目的としており、システム構築はその一手法の開発である。

## 2. 概要

### 1) NOAA画像地理補正サブシステム

NOAA画像の小区域から大区域の情報抽出をするため、生研のアルゴリズム(孫, 1988)をもとに作成した幾何補正システムを拡張した。

### 2) 雲領域除去

雲除去のため、北海道を中心としたNOAA画像をもとに、合成法(宇都宮他, 1990)及びPCTSMC法(Gallaud et & Simpson, 1991)により、雲領域除去を試み最適パラメータを選定して、雲領域除去サブシステムを構築した。

### 3) 気象情報ベース構築

全国の気象観測施設(気象庁所管を除く)に調査票を発送し、約130機関、180余点から観測情報と実測値のデータを収集した。観測点周辺の障害物の状況などの情報をもとに気象情報ファイルを作成し、気象情報ベース(プロトタイプ)を構築した。

### 4) 短波放射(日射)計算

清野・内嶋法によりアメダス観測点の日照時間等から短波放射(日射)計算を行った。さらに、直達、散乱の両放射モデル(清野・内嶋, 1988)をもとに、日射(短波放射)を水平面直達・散乱の各放射成分に分け、日変化曲線を作成して、NOAA観測時刻の日射(R)を求め、空間補間により、NOAA画素の対応点の下向き短波放射量を算出した。最近接のアメダス地点の値を周辺の図郭線上に与え、空間補間を行った。

### 5) 絶対アルベド

視恒星時、視赤経、視赤緯情報を与え、各画素の経緯度から太陽高度を求め、NOAA%アルベドを補正し、第一近似としての絶対アルベドを算出した。

### 6) アルベド・水分モデル

絶対アルベド基準化モデルに砂質土(九十九里)及びローム(筑波)の表面水分とアルベド( $\alpha$ )を適用し、N

OOA画素ごとに土壌表面の相対湿度(0~1)を算出した。

### 7) 長波放射

下向き長波放射: NOAA推定気温に湿潤気候で開発された気温/長波放射モデル(清野・内嶋, 1988)を適用し、下向き長波放射(D0)を算出した。上向き長波放射: NOAA地表温度等のデータに上向き長波放射モデルを適用し、上向き長波放射量(U)を算出した。有効放射(F): 下向き長波放射(D0)と上向き長波放射(U)の差により求めた。

### 8) 放射収支

以上のサブシステムにより求めた日射、アルベド及び有効放射を熱収支式[ $S = (1 - \alpha)R + F$ ]に代入してNOAA画素単位の放射収支量を算出した。ただし、夜間は日射=0で、 $S = F$ (但しマイナス)。

### 9) 拡散係数算出

近藤・山沢(1983)法によりアメダス観測所の風速日平均、高層指定気圧面800、900mbの平均風速により各地点の地表面粗度及び摩擦速度を算出して各アメダス観測点の拡散係数を求め、空間補間してNOAA各画素の拡散係数を求めた。

### 10) サーマルイナーシャ算出

早朝(夜間)と日中のNOAA衛星による地球観測情報、高層/地上気象等の観測情報から拡散係数、放射収支量及び地表温度の日較差、表面相対湿度及び水張曲線傾度などの熱収支項を求め、サーマルイナーシャモデル(宇都宮, 1988, 92)に代入して、NOAA画素ごとのサーマルイナーシャを算出した。

## 3. 今後の課題

比較的、地上観測の整備された本邦を中心に開発した試験的な(プロトタイプ)システムのアジア規模への拡張には、対象地域のそれぞれに対応した水温、気象情報ファイルの作成・収録と、例えば、塩土、草原土、氷・黄土のアルベドなど基礎観測による土壌別の相対水分、気候帯別下向き放射行フルなど、個別行フルの開発・拡張と土壌、標高などの地理情報の取得、これまでに開発した熱収支解析システム(プロトタイプ)の拡張が必要である。日本国内におけるプロトタイプ情報ベース構築の経緯から、困難な点は、現地土壌のアルベド・土壌水分の測定、水温、気象などの情報ベースの構築にあることが予想され、多くの情報源の整理、観測者と各機関の協力調整が重要となろう。

# 高層湿原における泥炭の分解と微生物

広木 幹也 (生物圏環境部環境微生物研究室)

## 1. はじめに

美しい草花や珍しい動物に注目が集る尾瀬や釧路湿原などの高層湿原は、枯れた植物などが長い年月の間に変化してできた泥炭の上に形成された生態系である。この特徴ある生態系では、冷涼な気候と過湿な水分条件のために有機物の分解速度が非常に遅いことが、栄養などの循環を制限し、特殊な栄養環境を形成している。そのため、このような生態系において有機物の分解を担う微生物群の生態を明らかにすることは、高層湿原の生態系構造を理解し、生態系の成立要因や環境の改変が生態系に及ぼす影響を考えていく上で重要である。そこで、湿原生態系についての一連の研究の中で福島県南会津郡南郷村宮床湿原、福島県会津若松市赤井谷地などで泥炭地の微生物相や有機物の分解活性などについて調査を行なった。

## 2. 湿原の微地形と微生物の変動

高層湿原の地表面は一様でなく、数10cmの起伏を繰り返す、植生も複雑である。当然、水分などの環境条件も、その場所の微地形によって異なる。これら微地形、植生と微生物相の関係を調べた結果、分解されないミズゴケが厚いマットを形成して盛り上がった微高地（ハンモック）では水分環境の季節変動が大きく、また、水分含量に対応した微生物数の変動が見られた。一方、やや窪んだ地点（ホロー）や水路付近では泥炭は分解が進んでおり、これらの地点では微生物数の季節変動は比較的小さかった。また、ハンモックの糸状菌（カビ類）相は1、2種類の非常に単純な糸状菌相しか認められなかったが、分解の進んだ泥炭では多様な種類の糸状菌類が認められた。

## 3. 泥炭中でのセルロースの分解

植物の主要な構成成分であるセルロースの分解速度の場所による違いを比較するために、泥炭にセルロースろ紙を埋め込み、半年後に掘出してその重さを測った。ホローや水路付近では分解によりろ紙の重量の75%が減少

する地点もあったが、ハンモックではろ紙の重量の減少率は地点による差が大きく、わずか7%しか減少しない地点もあった。

泥炭中のセルロース分解能を持つ微生物数を調べたところ、ハンモックでは糸状菌類が優占していたのに対し、ホローや水路付近では細菌類が優占していた。泥炭の深さによるセルロース分解微生物数の違いをみると、深い場所では、細菌類が優占していたのに対し、浅い比較的新しい泥炭では糸状菌類が優占していた（図）。これらの結果は、枯れた植物が泥炭に変化していく過程で、微生物相が糸状菌優占型から細菌優占型に変わり、微生物の多様性が増してくることを示唆している。

これらセルロース分解微生物が生産するセルロース分解酵素（セルラーゼ）活性と泥炭中の微生物数の関係については、セルロース分解糸状菌数とセルラーゼ活性の間に正の相関関係が認められた。また、微生物数とセルロースの分解産物であるグルコースなど還元糖量の間には、細菌数と還元糖量の間には正の相関関係が認められた。これらの結果は、セルロース分解糸状菌類が分泌したセルラーゼによりセルロースが分解され、その産物である低分子の糖類を利用して細菌類が活動していることを示唆している。

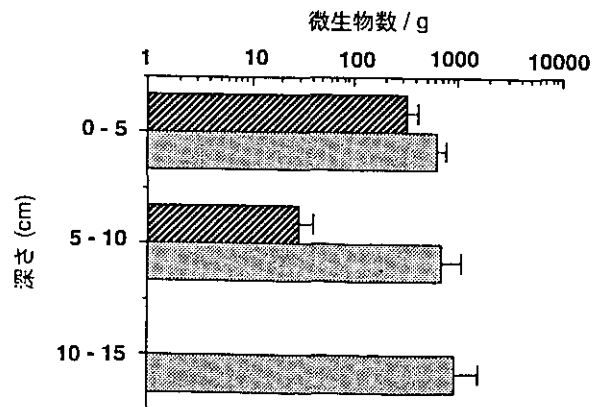


図 泥炭中のセルロース分解微生物数の深さによる違い (宮床湿原) □ 糸状菌、■ 細菌

# 環境情報センターの活動及びデータベースの紹介

板橋 正文（環境情報センター情報管理室）

## 1. 環境情報センターの活動

環境問題への取組みに当たっての体系的な関連情報の整備の重要性については、かつての公害が激化した年代以降、環境状況、被害の実態を把握するため種々の調査が行われ、それらのデータの集積が環境基準、排出基準の設定に実を結び、公害の改善に大きく寄与することとなってきたところからみても、言うまでもないところである。

また、近年においては、地球規模での環境汚染、化学物質による低濃度環境汚染問題等の様々な問題が目されるようになり、環境情報の体系的整理、随時利用可能なシステム構築の必要性がますます高まってきている。

このような背景の下に、環境情報センターは国立環境研究所の中に、環境の保全に関する国内および国外の資料の収集・整理・提供を行うための組織として、平成2年7月1日に設置された。

### 【業務の概要】

(1) 7. 電子計算機システムおよびネットワークの整備、管理、運営による研究者に対する電算機利用環境の提供

- イ. 外部機関等（国際機関を含む）との情報交換
- ・ 環境情報ネットワーク(EI-NET)
- ・ 国際環境情報源紹介システム(INFOTERRA)

(情報管理室)

(2) 7. 環境の状況等を示す環境情報および環境データベースに関する収集、整備、提供

- イ. 環境情報の処理技術の整備、提供

(情報整備室)

(3) 7. 環境研究に関する文献情報の収集、整備、提供

- イ. 図書室の管理
- ウ. 研究成果等の刊行

(研究情報室)

## 2. データベースの紹介

これまでの環境庁および都道府県から収集・整理した環境情報、独自に整備した環境情報のうち、コンピュータ処理が可能なものをまとめて、センターでは、「環境データベース」と呼んでおり、環境研究及び環境行政の支援に広く利用されている。

## 3. WWW(World Wide Web)による情報提供

研究成果・資料等に関する外部からの照会等に対して的確に対応するため、インターネットを利用したWWWサービスによる国立環境研究所の案内情報、研究情報等の提供を実施している。

「国立環境研究所WWWサーバ」には、英文と和文のホームページを設け、世界に向けた情報発信の他、他の

情報提供サーバとのリンクにより単一システムでは得られない情報利用を可能としている。

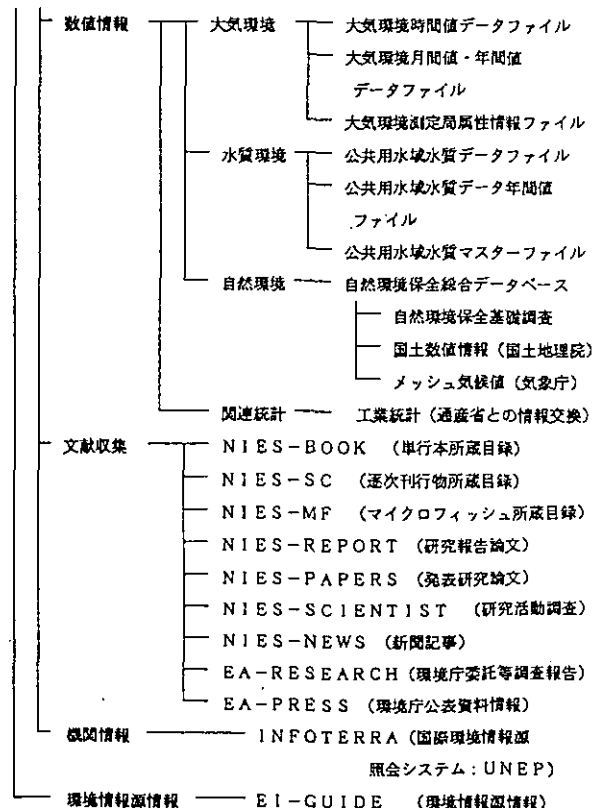
## 4. 環境情報提供システム

環境情報提供システムは、環境基本法第27条に基づき、環境教育・学習の振興及び民間環境保全活動の促進に資するため、環境情報の提供を行うことを目的とするもので、通信システムを利用した情報提供システムである。

同システムでは、環境庁報道発表資料、環境庁行事予定等の環境速報を時系列で提供しているほか、環境情報データベースとして環境行政情報、環境法令情報、環境保全活動情報、環境情報源情報等を体系的に提供している。環境情報データベースは、構成する全てのデータについて横断的に検索する全データベース共通の検索と個別のデータベースについて固有のキーワードを活用した検索を可能とし、求める環境情報を容易に検索することができる。

サービスを受けるための費用については、通信費を除いて無料としており、また、地域における通信費の格差是正等に配慮して公衆回線の他、多くのアクセスポイントを有する大手商用パソコン通信ネットやインターネットからのアクセスを可能としている。

### 環境データベース



# 民間協力による地球環境モニタリング

外山 洋一（地球環境研究センター観測第一係）

地球環境研究センターでは、地球環境に係る種々の長期観測・監視事業を推進している。地球環境モニタリングを一言でいえば「地球の健康診断」であろう。人が体温測定や血液検査などで自分の健康状態をチェックするように、地球全体の気温や大気/海中の成分などを定期的に観測し、人間を取りまく地球環境に異状がないか継続的にチェックすることが目的である。

健康診断のために地球を観測するといっても、現実には費用や労働力等の制約のため、地球規模で起きる現象を把握するには単独組織では難しい面がある。それゆえ地球環境の観測では、他の組織や人とのような協力体制を構築できるかが一つの重要なポイントである。

今回は民間との協力による地球環境観測を取り上げてみた。VOS (Voluntary Observation Ship, Ship of Opportunity : ボランティア観測船) とは聞き慣れない言葉であるが、基本的に無償で社会に貢献する活動を行う民間船舶を指す。従来から商船・漁船等により行われている海上気象の観測や海洋速報への海洋データの提供などがその例である。

近年、地球環境観測分野でもVOSによる観測が広く行われるようになってきた。理由は、VOSによる観測が実際の、優れた地球環境観測手法であることによる。VOSなら定期運航される商船の活動特性を生かして、ある程度広範で一定した海域のデータを長期間にわたり定期的かつ高頻度で得ることができるので、地球環境の長期変動などを把握するためには大変有効である。

地球環境研究センターでは、現在、(株)関西汽船、(株)大阪商船三井船舶、Jahre-Wallem Management AS (ノルウェー) 各社の御厚意により、下の表にある3つの事業でVOSによるモニタリングを実施し、独創的な成果が上がってきて

いる。VOSに設置する装置には、海水や大気の自動採取装置やクロロフィル測定用の蛍光光度計などがある。研究者が乗船して機器の操作及び観測作業を行うケースと、航海中は自動装置にまかせ、動作確認や消耗品の交換など軽易な管理作業だけ乗組員に依頼して、研究者はデータや自動採取された試料を入港時に回収し分析するケースがある。

VOSは民間の商船等であり、そこに無償で観測装置の設置スペースや航海中の観測に係る若干の作業等を負担していただくわけであるから、円滑な観測を進める上では、相互の信頼関係がなにより大切である。それゆえ、

- ・VOSの関係者に十分な説明を行い、観測の意義や観測の成果について理解を得ること。
  - ・観測装置は自動化・小型化し、設置工事期間の短縮、作業の簡素化、マニュアルの整備など、船側の負担を軽減するように極力努めること。
  - ・機器が損傷した場合の対処や乗船した観測要員の責による損害の補償など予想される問題については、相互で事前に処理の仕方について取り決めておくこと。
- などの配慮が重要である。

今やVOSによる観測はTOGAやGOOSなど世界規模の観測計画でも重要な位置づけをなされ、今後、地球環境観測に益々大きな役割を果たすことが期待されている。

VOSによる観測は、船舶会社をはじめ、関係者各位の地球環境問題及びVOS活動に対する深い御理解と御協力によって支えられている。このように多くの暖かい御協力をいただいていることに対し、地球環境モニタリングを推進する立場として、関係者各位に心より感謝の意を表する次第である。

表 民間船舶 (VOS) との協力による地球環境モニタリング事業 (平成8年度:地球環境研究センター)

事業名	航路	船名	事業概要	運航会社
東アジア海域海洋汚染モニタリング*	大阪-那覇 大阪-別府	フェリー-くろしおさんふらわあ2	人為的汚染の影響が顕著に現れる大陸棚海洋域の、海洋環境の現況とその変動を把握するため外洋と閉鎖性水域の2航路で海水成分の定期観測を行う	(株)関西汽船
定期船舶を利用した南北太平洋上大気モニタリング*	日本-オーストラリア	さざんくろす丸	大気中の温室効果ガスの濃度分布を把握するため、日本-豪州間の南北両半球にまたがる定期航路上でほぼ緯度3°の間隔で温室効果ガスの観測を行う	(株)大阪商船三井船舶
北太平洋域大気-海洋間ガス交換収支モニタリング*	日本-カナダ	M/S Skaugran	二酸化炭素の地球規模での収支-循環を解明するため日-加間の定期航路上で大気/海洋中の二酸化炭素濃度等を観測し大気-海洋間の交換等を把握する	Jahre-Wallem Management AS (ノルウェー)

# 地球資源情報データベース ～GRID-Tsukuba～

宮崎 忠国 (地球環境研究センター)

地球の温暖化、森林減少、砂漠化など、地球環境問題は現在緊急の課題となっています。地球全体として環境の様子はどうなっているのでしょうか。ここでは、パネル展示やパソコン、インターネットを使ったデモンストレーションにより、地球環境の様子を視覚的に紹介します。

## 1. GRID-Tsukuba

国立環境研究所地球環境研究センターは、1991年5月に国連環境計画(UNEP;ユネップ)/地球資源情報データベース(GRID;グリッド)のセンターとなりました。現在、GRIDのセンターは世界に11カ所あります(図1)。GRID-Tsukubaはその中の8番目のセンターとして設立されました。

GRID-Tsukubaでは、次の4つの活動を進めています。

- 1) 日本をはじめとした各国の環境研究者や行政担当者にGRIDの環境データを提供する。
- 2) 国立環境研究所の地球環境に関する研究やモニタリング事業により得られたデータ、特に社会経済データについてGRIDに登録し、世界で行われている環境研究等に役立てる。
- 3) 地理情報システム(GIS)やリモートセンシング技術の開発を行い、環境分野へ応用する。

4) 地球環境についての研究や政策の検討を行うにあたり、GRIDデータの利用の促進をはかる。

GRID-TsukubaではGRIDデータの配布のためのパンフレットを出版しています。また、地球環境研究センター内にはGIS処理やリモートセンシング画像処理を行うためのGRID情報解析室(図2)があります。ここは国立環境研究所の研究者によって画像や地理情報のデータ加工や、オリジナルデータ作成などに使用されています。

## 2. パソコンによるGRIDデータの紹介

本日の国立環境研究所研究発表会では、パネル展示の他に、パソコンを用いたGRIDデータの紹介を行います。パソコン内には地球環境に関するデータ、例えば、世界の植生図や二酸化炭素の排出量の分布図(図3)などの画像のほか、地球の温暖化や森林減少に関する説明図やデータがファイルされ、パソコンのマウスを操作することにより自由に見ることができるようになっています。また、インターネットを利用して、国立環境研究所のホームページを見たり、世界の環境関連の機関へアクセスし、最新の環境情報を知ることできます。

本日はみなさんにも実際に操作していただけるよう準備してお待ちしております。

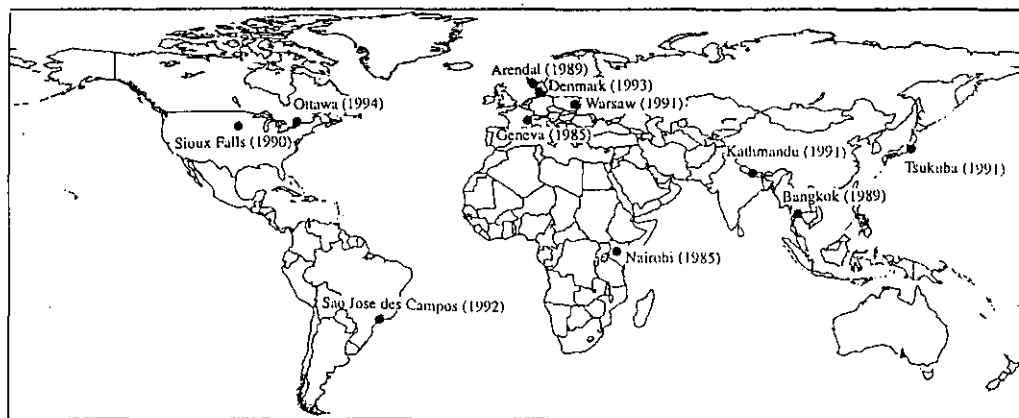


図1 世界のUNEP/GRIDセンター



図2 GRID情報解析室

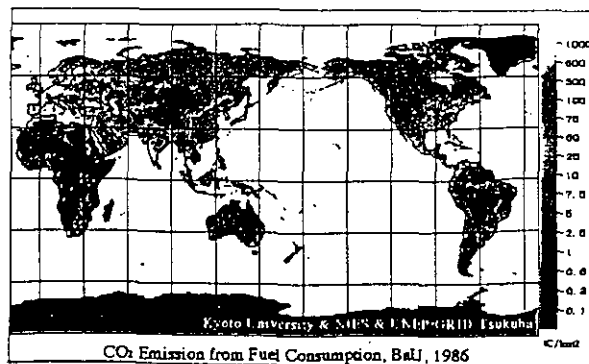


図3 二酸化炭素排出図



[平成8年5月13日編集委員会受理]

[国立環境研究所資料 F-92-'96/NIES]

国立環境研究所研究発表会予稿集 第19号

---

平成8年6月19日発行

編集 国立環境研究所セミナー委員会

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  
電話 0298-50-2310

---

印刷 株式会社 イセブ  
茨城県つくば市天久保2-11-20