

国立環境研究所
研究発表会 予稿集

平成9年6月27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 アジア大陸からの越境大気汚染を捉える 1
村野 健太郎 (地球環境研究グループ)
- 10:45-11:20 北半球北極域オゾン層破壊の進行と日本への影響 7
中根 英昭 (地球環境研究グループ)
- 11:20-11:55 気候モデルを用いた気候変動評価に関する研究 12
鶴野 伊津志 (大気圏環境部)
- 13:45-14:20 宇宙からオゾン層の破壊を測る—衛星センサーILASの観た極域成層圏— . 18
横田 達也 (地球環境研究センター)
- 14:20-14:55 魚が変える湖の環境 —中国東湖と十和田湖を例に— 24
高村 典子 (地域環境研究グループ)
- 14:55-15:30 環境負荷の構造変化と都市の大気環境変化 30
若松 伸司 (地域環境研究グループ)
- 15:45-16:20 大気中揮発性有機塩素化合物の健康リスク評価 36
—環境中の有機塩素化合物の暴露量評価と複合健康影響に関する研究から—
相馬 悠子 (地域環境研究グループ)
- 16:20-16:55 新しい湖沼環境指標 40
森田 昌敏 (地域環境研究グループ)

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)

- 環境庁の衛星搭載大気センサーILAS及びILAS-IIについて 49
鈴木 睦 (地球環境研究グループ)
- 定期フェリーを用いた海洋汚染観測 —海水中の有害化学物質の高密度観測に向けて— . 50
刃刀 正行 (地球環境研究グループ)
- 太陽エネルギー利用等の環境低負荷型技術を導入したJ101システムの概要について 51
近藤 美則 (地域環境研究グループ)
- NOAA衛星受信画像検索システムの開発 52
清水 明 (社会環境システム部)
- 気候変動に関する国際交渉の行方 53
川島 康子 (社会環境システム部)
- 気候変動による農業への影響 54
高橋 潔 (社会環境システム部)
- オゾン層を破壊しない新規代替ハロン物質の熱挙動 55
山本 貴士 (化学環境部)
- フロンやハロンなどガス状化合物の培養細胞を用いた遺伝毒性試験法の開発 56
白石 不二雄 (化学環境部)
- ディーゼル排気暴露が鼻アレルギー様病態におよぼす影響 57
小林 隆弘 (環境健康部)

サバンナにおける家畜と野生動物の共通伝染病に関する研究	58
鈴木 明 (環境健康部)	
ADEOS衛星搭載リフレクター (RIS) を用いた大気微量分子の測定実験	59
杉本 伸夫 (大気圏環境部)	
成層圏エアゾル上での不均一反応係数の測定	60
今村 隆史 (大気圏環境部)	
微生物によるセシウム-137の濃縮	61
富岡 典子 (水圏環境部)	
霞ヶ浦における農薬の濃度変化	62
井上 隆信 (水圏環境部)	
高山域に分布する植物の環境適応性に関する研究 —オンタデ・イタドリを例として—	63
名取 俊樹 (生物圏環境部)	
環境情報センターの活動およびデータベースの紹介	64
板橋 正文 (環境情報センター)	
アジア農業の将来を予測する	65
一ノ瀬 俊明 (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—	66
安岡 善文 (地球環境研究センター)	

研究発表講演

アジア大陸からの越境大気汚染を捉える

村野 健太郎 (地球環境研究グループ)

1. 研究の背景と目的

東アジア地域はヨーロッパ大陸、北米大陸に次いで酸性雨の前駆体物質である二酸化硫黄 (SO₂)、窒素酸化物 (NO_x) の排出量が多く、工業の発展と人口の増加により、今後さらに増大することが予想されている。特に中国は12億の人口を抱えた大国であり、年率約10%の経済成長をしており、今後さらに経済大国への転換を目指している。日本の経済発展の初期がそうであったように、煙突からの黒煙は経済発展の象徴であり、みんなが歓喜の目で見ている。現在の中国も経済発展を第一にして環境対策には配慮がみられない。このため、新聞報道によると工業地帯近郊では極度の大气汚染に悩まされ、酸性雨、大気汚染の大きな被害も指摘されている。

アジア諸国の経済発展の将来予測による各種エネルギー源の使用量予測を基に、1986年を現状として、2000、2010年のアジア各国のSO₂放出量の予測が行なわれた¹⁾ (図1)。SO₂の放出量が最も多い中国は、1986年には

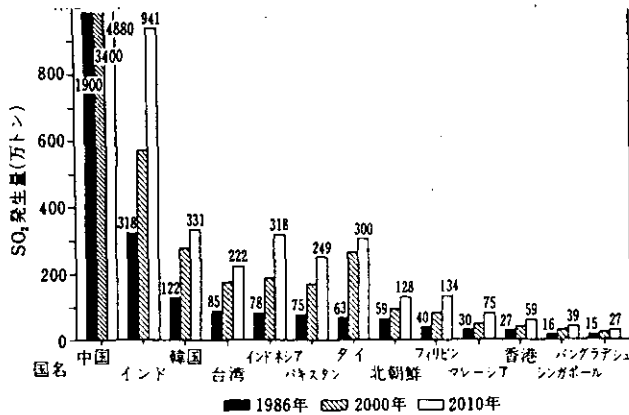


図1 アジアにおける二酸化硫黄放出量の将来予測

約1,900万トンを示しているが、2000年には3,400万トン、2010年には4,900万トンに急増すると予測されている。2000年の放出量は続いてインド、韓国、タイの順に多い。これらの予測から中国、韓国の存在する北緯25度以上の地点で酸性雨の問題が最も顕在化する可能性がある。また、大気汚染物質は国境を越えて移流することから、中

国、韓国の東側に位置する我が国は、今後環境酸性化物質の越境汚染による影響がますます強まると考えられる。

図2に硫黄酸化物の授受を示したが、我が国において

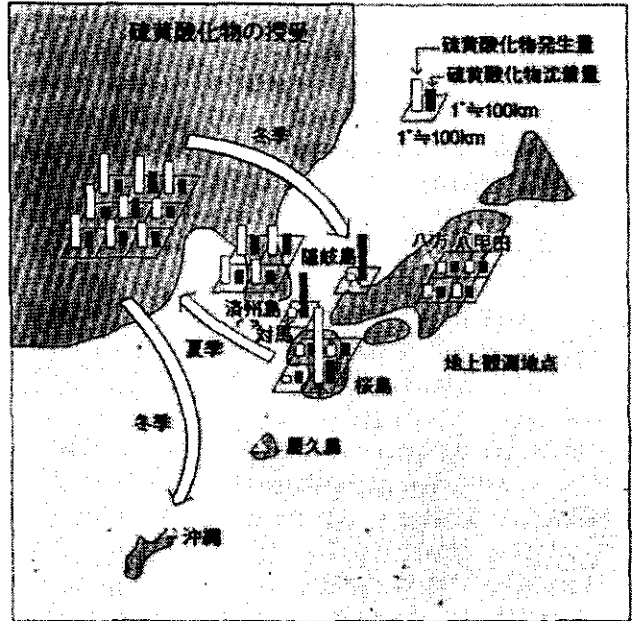


図2 日本、韓国、中国間の硫黄酸化物の移動の状況

は大陸からの大気汚染物質の輸送は国民の中心関心である。行政としても東アジア全体での大気環境の保全を推進する中で、越境大気汚染の程度とそれが日本に被害をもたらすかどうか、また、もたらす場合にはどのような対策を進めるか等は早急に解明しなければならない課題である。

環境庁が行った第1次 (1983~1987年度)、第2次 (1988~1992年度) 酸性雨対策調査では、水素イオン、非海塩硫酸イオン等の降下量が冬季の日本海側で多いことが確認され、大気汚染物質の越境汚染の寄与が考えられている。

我々のグループは環境庁地球環境研究総合推進費により日本、韓国、中国間の大気汚染物質の移動を研究している。アジア大陸からの越境大気汚染解明には、地上観測として鉛安定同位体比の測定を行ってきた。国際的な

大型観測としては、小型航空機を使用した上空を含む広い範囲の大気汚染物質濃度の測定がある。さらに大陸からの長距離越境汚染の定量化を行うには、数値モデルが重要な役割を果たすために、酸性雨輸送モデルを開発し、モデル計算を行う必要がある。そこで精密な化学反応過程を含む長距離輸送モデル：STEM (Sulfur Transport Eulerian Model) を用い東アジアにおける長距離輸送の解析を行った。

2. 大気粉塵中の鉛同位体比による長距離輸送現象の解明

大気粉塵中には種々の汚染物質が含まれている。その見いだされる汚染物質が、局地的汚染に由来するのか、もっと広い範囲での汚染を反映しているのかを判断するのは容易ではない。しかし分析化学的手法が進み、気象条件などと組み合わせることによりその判定の可能性は飛躍的に向上する^{2, 3)}。

鉛を含む粉塵の発生源としては、土壌、鉛鉱山、製鉄・精錬の原料、石炭燃焼、顔料や安定剤等を含むゴミ焼却過程がある。土壌は濃度が低く寄与は少ない。また、日本では製鉄、精錬、石炭燃焼過程では粉塵除去がほぼ完全に行われているため、寄与は少ない。

鉛はウランやトリウムなどの崩壊によってその同位体比が変わるが、²³⁸Uから²⁰⁶Pbへの崩壊の影響を強く受けている。そのため、はやくしてそれらの元素から分かれた鉛鉱石の鉛は²⁰⁶Pbが相対的に少なく、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pbは高い値を持っている。これらの比が大きいものを“古い”、小さいものを“新しい”と呼ぶ。従って、鉛鉱石から製造される有鉛ガソリンに含まれる鉛同位体比(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb)は一般的には高いことが多いのに対して、石炭はU、Thを含むので、崩壊がさらに進んで逆に低い値となる。発生源を反映して、各地の大気中の鉛同位体比はかなり異なっていると推察できる。

まず第一に、アジアの各地の都市大気中の鉛同位体比がどのような値を持っているかを調査し、それが指標(トレーサー)として有効かどうかを検討した。次に、日本海に位置する隠岐島での観測から、長距離輸送と鉛同位体比の関係を明らかにし、発生源地域に対応した鉛同位体比の変動を検討した。

大気粉塵は主にハイボリュームエアサンプラーで通常1日採取した。隠岐島では、種々の季節にサンプリング

を行いその差を検討した。鉛同位体比の分析は、ICP質量分析計を用いた。

2.1 アジアの都市の大気粉塵中の鉛同位体比

アジア各地の都市域において大気粉塵中の鉛同位体比の測定を行った。図3に示したように、アジア各地の鉛同

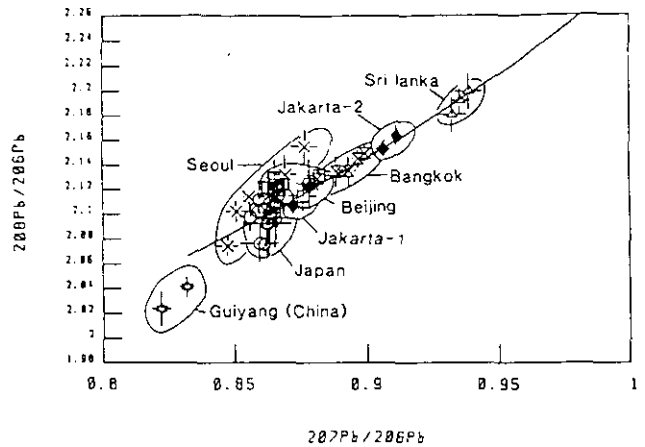


図3 アジア各地の都市域の粉塵中の鉛同位体比

位体比は場所によってかなり異なっている。最も古い鉛同位体比を示しているのがスリランカの大気中の鉛であり、イギリス系の有鉛ガソリンの使用と関連していることが推察される。タイでも同様に有鉛ガソリンが大気中の鉛の起源となっている。一方、中国の貴陽では石炭燃焼がその主な発生源と見られ、鉛同位体比は非常に新しい時代の値を示している。日本や韓国、インドネシアは中間的な値を示しているが、発生源はそれぞれかなり異なっていると考えられた。日本の鉛同位体比は、国内での地域的な差はあまりなく一様な値が観測された。日本では有鉛ガソリンを使用していないため、大きな発生源はない。インドネシアは有鉛ガソリンを使用しているため、その鉛同位体比を反映していると推察される。韓国は発生源が有鉛ガソリンと石炭燃焼、工業起源などいくつか考えられる。韓国で季節変動が見られるのは、これらの発生源の比率が季節変化しているためである。

2.2 隠岐島で捕集された大気粉塵中の鉛同位体比

隠岐島で捕集された大気粉塵中の鉛同位体比を図4に示した。流跡線⁴⁾をもとに解析すると、日本から気団が来ている場合は日本の鉛同位体比になっていることが明らかになった。しかし、日本の鉛同位体比とは異なる鉛

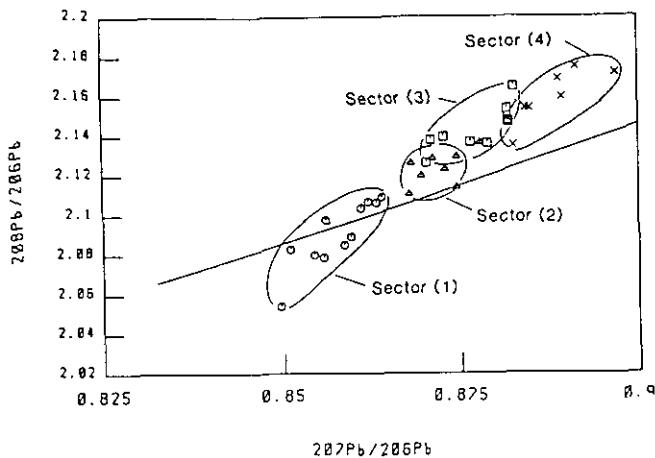


図4 隠岐島で見られる鉛同位体比

流跡線解析によって気団の起源が次ぎのように分けられている セクター1：日本、セクター2：ロシア、セクター3：北部中国、セクター4：韓国（中部中国を含む）

同位体比が観測されることも見いだされた。この時の流跡線を解析すると、大陸からの流跡線を示し、さらにそれにも地域性があることが判明した。

鉛同位体比を流跡線ごとに分類すると、図4に見られるように、韓国経由（中国中部を経由して）の場合に最も古い鉛同位体比を示し、中国北部からではその次に古い値を、次にロシア方向からくる気団のもの、最後に日本という順番になっていた。流跡線で日本と特定された時の値は、図3で示された日本の都市の値と一致していた。他の場合の値は図3に示された地域特性と完全には一致していないが、それでも類推できる範囲内に入っている。例えば、韓国では近年有鉛ガソリンが禁止されているため、大気中の鉛同位体比は古い年の方に動いていると言われ、ここでの傾向と一致する。ロシアの値はこれまで推定されている、ロシア産の鉛同位体比に近く、合理的な値であった。中国の場合は国が広いので、各地でどのような工業活動がなされているかによって、かなり都市毎に値が異なると考えられている。観測された鉛同位体比が、北京のものよりさらに古い値を示していることから、これは石炭燃焼ではなく工業起源の鉛で、中国北部の工業地帯の値を示していると推察された。

このように、鉛同位体比は東アジアの大気汚染の長距離輸送の指標になることが明らかになった。

（向井人史担当）

3. 航空機観測による大気汚染物質の測定

航空機観測は行えるフライトの数が限られているため年間や季節を代表するような測定値を得ることは難しいが、広い範囲の大気汚染物質の分布を得ることや、高度分布が得られることが大きな利点である。このため日本海、黄海、東シナ海海上で航空機観測を行ってきた^{5, 6)}。

小型航空機の座席を取り払い、片側に観測機器を設置するための棚を設置し、研究者が観測機器を操作した。外気は航空機の先端部分と副操縦士の窓の部分からステンレス製やテフロン製のチューブで機内の各測定器に導入した。SO₂の観測結果を主に述べる。

平成4年11月11日には日本海上の隠岐島の近辺を南北に四高度飛行した。高度の高いところではオゾンを除くSO₂、窒素酸化物の濃度は非常に低かった。高度が下がった時に10 ppbvに達するSO₂の高濃度が観測された。この時の流跡線解析⁴⁾を行うと空気塊は中国大陸から韓国の東部を通過してきていた。このため韓国東部の工業地帯で放出されたSO₂が、西風で東方面へ輸送されているのを検出したと考えた。また平成6年3月11日には出雲から長崎までの海上の飛行ルート途中で、SO₂の高濃度ピーク（4 ppbv以上）を検出した（図5）。図6に流跡

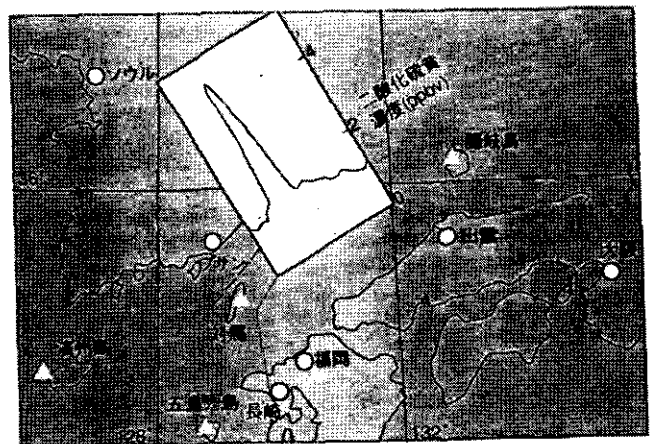


図5 航空機観測で明らかになった日本海上の二酸化硫黄の濃度分布

線解析の結果を示したが、空気塊は中国大陸から韓国の東部を通過してきていた。

このような観測と解析により、越境大気汚染に関する定性的な証拠を得たと考えている。

（島山史郎担当）

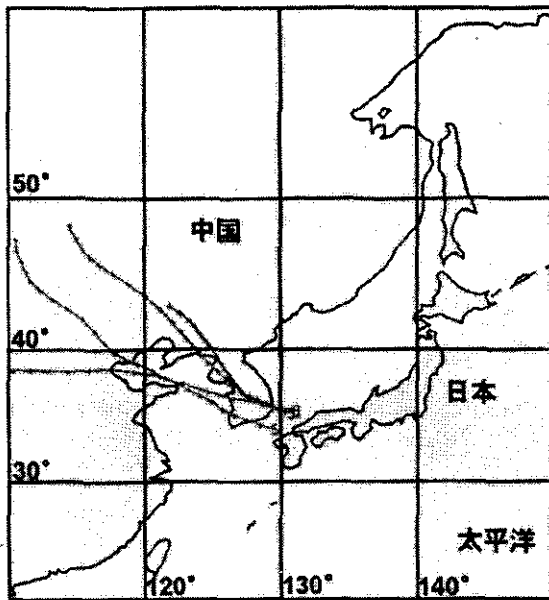


図6 二酸化硫黄の高濃度ピークを検出した平成6年3月11日の流跡線解析

4. 東アジアにおける大気汚染物質の長距離輸送・変質過程の解析

4.1 物質輸送・変質モデル

物質輸送・変質モデルは、米国で開発された STEM (Sulfur Transport Eulerian Model) を用いた⁷⁾。このモデルは、気相・固相・液相反応過程や乾性・湿性沈着過程を含み物質輸送・変質過程をシミュレートすることが可能な3次元のモデルである。モデルは、輸送、反応及び沈着の3種類のサブモデルによって構成される。基本方程式は、次式で示される。

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (v_j C_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_{ij} \frac{\partial C_i}{\partial x_j} \right) + R_i + E_i$$

ここで、 C_i は i 番目のガス成分濃度、 v_j は j 方向の風速、 K_{ij} は乱流拡散係数、 R_i は化学反応による変換率、 E_i は発生源強度を示す。本研究では、気相反応のみを考慮し、固相・液相反応や湿性沈着は考慮しなかった⁸⁾。

中国・朝鮮半島・日本列島を含む地域を計算領域とし、経緯度1度メッシュに分割した。図7に計算領域を示した。東アジア地域における SO_2 、 NO_x 、揮発性炭化水素排出量は経緯度1度メッシュデータを用いた。モデルの計算は2月4日9時から開始し、2月28日まで行った。粒子状物質測定は1992年2月8日～2月20日に国設筑後小

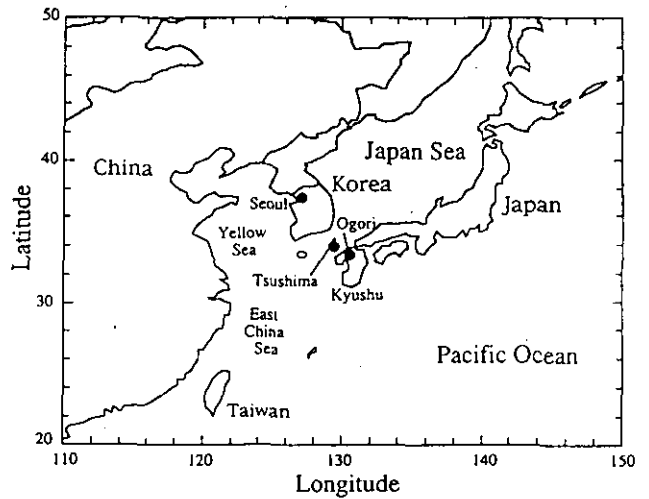


図7 物質輸送・変質モデルの計算領域と粒子状物質の観測地点

郡環境大気観測所 (以下小郡) と1992年2月4日～2月28日に国設対馬酸性雨離島局 (以下対馬) で行いモデル計算に供した⁹⁾。図7に観測地点も示した。

4.2 非海塩硫酸塩濃度の空間分布とその変化

観測期間中の毎日9時に対馬上空1500mに到達した等温位面に沿った流跡線の計算によると⁴⁾、おおむね冬の気圧配置条件で推移し、流跡線解析の結果は、西～北西方向の大陸起源の気塊の寄与を示していた。まず、12～13日にかけて、前線を伴う低気圧が日本の南岸を東進するが、その背後には、上海付近の高気圧が位置している。そのため、低気圧が日本南岸を通過するにつれて、前線に向かって西よりの北西風が吹き下ろしていた。22～24日も同様に日本の南岸を低気圧が通過したあと、中国東部に高気圧が進んでいる。流跡線解析では23日は中国東部の影響を受けたと考えられる。24日には前線に向かって13日と較べて強い北西風の流れ込みがみられ、流跡線は中国東部～朝鮮半島の範囲を起源としていた。

図8に対馬と小郡での非海塩硫酸塩 ($nss-SO_4^{2-}$)、硝酸塩 (NO_3^-) 及びアンモニウム塩 (NH_4^+) 濃度の観測結果を時系列的に示した。13日を中心に小郡・対馬の両地点で $nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- 粒子の高濃度が観測された。両地点における $nss-SO_4^{2-}$ 、 NO_3^- の挙動は比較的良好に一致しており、両地点を含む広範囲な汚染現象であると考えられる。また、23日～24日にも $nss-SO_4^{2-}$ 粒子の高濃度が対馬で観測された。

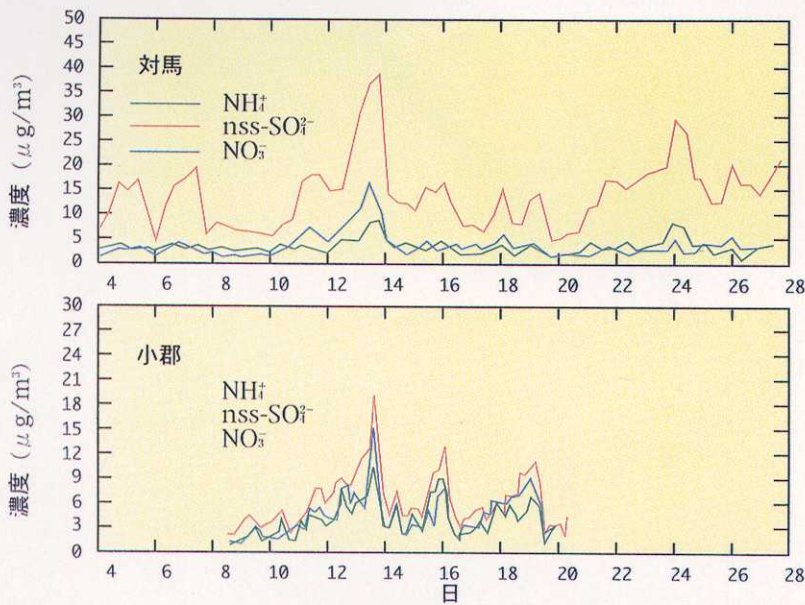


図8 対馬と小郡での非海塩硫酸塩、硝酸塩及びアンモニウム塩濃度の時系列変化

4.3 モデル計算の結果

図9に対馬、小郡で $nss-SO_4^{2-}$ の高濃度が観測された2月13日をはさむ2月12日~14日について9時における $nss-SO_4^{2-}$ の等濃度面(白 $6.5\mu g/m^3$ 、黄 $13\mu g/m^3$)の鳥瞰図を高度500mでの流線とともに示した($nss-SO_4^{2-}$ の $6.5\mu g/m^3$ の等値面は内部が見えるように面の透明度を調整してある)。 $nss-SO_4^{2-}$ 高濃度域の前後3日間の時間変化(輸送パターン)は2月12日~14日、22日~24日で極めて類似していた。即ち、まず中国大陸の東部から北東部(渤海湾から遼東半島)にかけて高濃度面が現れる。これは、上海北部に中心を持つ高気圧の後面を時計回りに高濃度の汚染気塊が輸送されることによる(a)の渤海湾付近の黄色い角のような汚染気塊の存在)。その後台湾東部から九州南部にかけて位置する低気圧の東進に

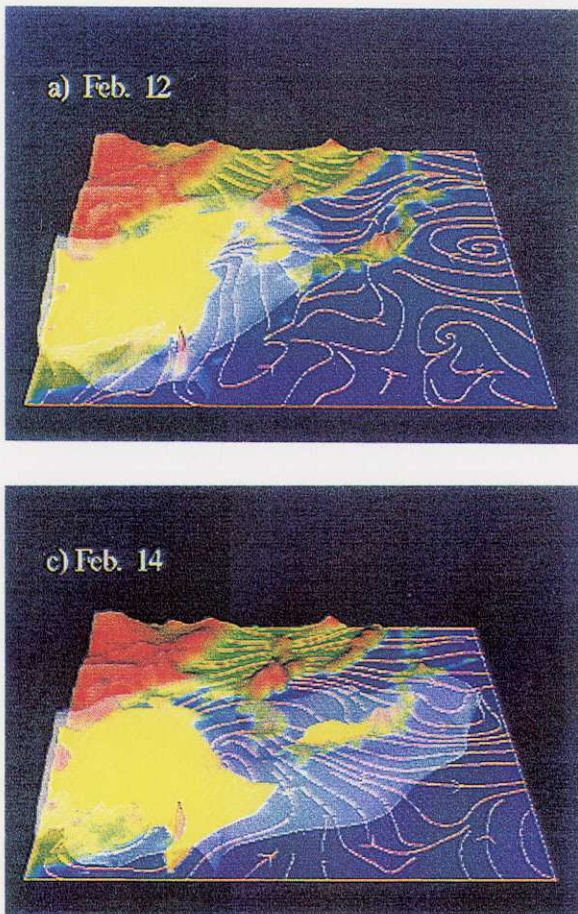


図9 2月12日~14日の非海塩硫酸塩の等濃度面(白 $6.5\mu g/m^3$ 、黄 $13\mu g/m^3$)の鳥瞰図

伴い、大陸からの汚染気塊がb)に示されたように黄海~朝鮮半島~九州北部へと带状に輸送される。そして、c)のように、汚染気塊は南東に輸送され、台湾~沖縄~西日本域に到達する。この時、 $6.5\mu g/m^3$ の等濃度面は日本域を広く覆っている。

以上のことから、1992年2月に観測された九州北部における $nss-SO_4^{2-}$ の高濃度現象は、大陸の高気圧支配下で形成された高濃度汚染物質が、高気圧が中国大陸から東シナ海上、日本へと東進するのに伴い日本へ輸送されることで説明できた。現在中国大陸で急速に経済発展しているのは特に南部の地方であり、大気汚染物質の放出量が非常に増加している。高気圧が東進するとき、高気圧の縁に沿って南部の大量の大気汚染物質がいったん

北上して再度南下してくることが示された。一般的な考えでは、北西季節風で中国北東部のみから日本へ大気汚染物質が輸送されると考えられていたが、南部の大量の大気汚染物質が日本へ輸送される機構が明らかになった。(鶴野伊津志担当)

5. 今後の酸性雨問題

このモデルには雲と降水が含まれていないが、次期研究計画では雲降水過程を追加し、更に植物影響までを考えた総合化モデルを開発することにしている。現在、東アジア地域の酸性雨問題を生態系影響まで含めて総合的に記述するモデルは、欧米の研究者を中心にして開発されたレイズアジア (Rains Asia)¹⁰⁾ だけである。しかし、我が国も今後総合化モデルを持つことになり、東アジア地域の大気汚染物質の越境汚染に関して、科学的共通認識が得られる時代が来る日も近いと思われる。

また最近福井県、京都府を中心とする日本海側の森林で、写真1に示したように夏に紅葉が始まったり、ナラ類が枯損しているのが見いだされている¹¹⁾。被害は雪の多い北、北西面に集中し、根圏に菌根菌の量が極端に少なくなっている。この様な状況証拠により、大気汚染物質を含む酸性雪が土壌を介して林木にストレスを与えて、林木枯損を起こしたと指摘されている。今後のより詳細な研究が必要であると同時に、日本海側へ経常的に

大気汚染物質が負荷されていると、今後も被害が拡大する恐れがあることを認識する必要がある。

文 献

- 1) Proceeding, Second Annual Workshop on Acid Rain and Emissions in Asia, 13 (1991)
- 2) H. Mukai et al., Environ. Sci. Technol., 27, 1347-1356 (1993)
- 3) H. Mukai et al., J. Geophys. Res., 99, 3717-3729 (1993)
- 4) A. S. Hayashida et al., J. Geophys. Res., 96, 15469-15478 (1991)
- 5) S. Hatakeyama et al., J. Geophys. Res., 100, 23143-23151 (1995)
- 6) S. Hatakeyama et al., Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 6, 403-408 (1995)
- 7) G. R. Carmichael et al., Atmos. Environ., 25A, 2077-2090 (1991)
- 8) 鶴野伊津志、村野ら、大気環境学会誌 (印刷中)
- 9) 森 淳子、鶴野伊津志ら、大気環境学会誌、32, 73-89 (1997)
- 10) W. Foell et al., Water, Air and Soil Pollution, 85, 2277-2282 (1995)
- 11) 小川 眞、環境技術、25, 603-611 (1996)



写真1 ナラ類の枯死

北半球北極域オゾン層破壊の進行と日本への影響

中根 英昭 (地球環境研究グループオゾン層研究チーム)

1. はじめに

フロン等のオゾン層破壊物質の規制の効果により、対流圏中の総塩素濃度は1994年頃にピークを迎え、それ以降減少に転じた (Stephen et al., 1996)。成層圏では約4年遅れ、1998年頃に総塩素濃度のピークが来ると予想され (図1)、「その他の条件が同じであれば」、オゾン層は回復に向かうと期待されている (WMO, 1995)。もちろんそのためには、臭化メチルや途上国でフロンの生産の問題、代替物質による温暖化の可能性などの問題に的確に対処しつつ、残存フロンの回収と破壊など、オゾン層保護対策のための努力を継続することが必要である。

しかしながら、南極オゾンホールや北極域のオゾン層破壊の状況を見ていると、オゾン層が回復し始めようとしているという実感はない。今がオゾン層破壊のピークであるからそう感じるのか、それとも「他の条件が同じ」ではないためにオゾン層破壊がより長期化しようとしているのか? 今後5~10年の観測とそれに基づいた将来予測が重要である。この意味で、昨年8月に打ち上げられたADEOS衛星の大気観測用センサー (ILAS、RIS、IMG、TOMS) が順調に働いていることは心強い。

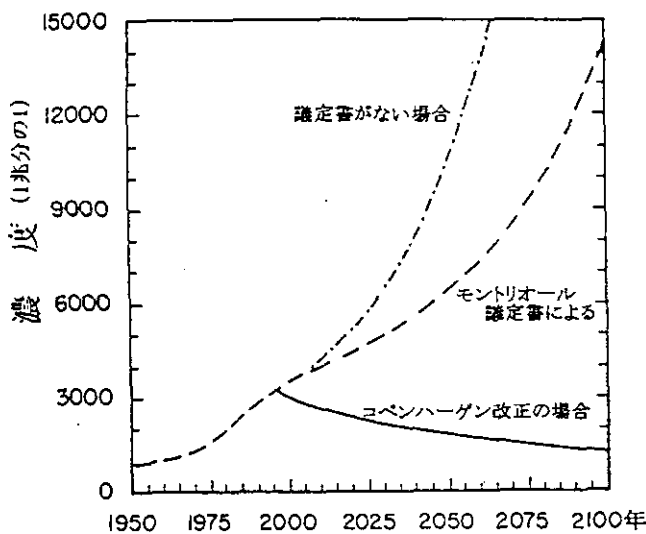


図1 モントリオール議定書が無い場合、モントリオール議定書、コペンハーゲン改正 (1996年にフロン全廃) の場合の塩素濃度の将来シナリオ (環境庁, 1996)

ここでは、オゾンホール型のオゾン層破壊のメカニズムを明らかにすると共に、それが南極だけの問題ではなく、北極域、更には日本にも影響を及ぼす可能性のある問題であることについて述べる。

2. オゾンホール型のオゾン層破壊の機構

南極では、春季に10km~25kmの高度のオゾンが急速に減少し、特に17km付近ではオゾンがほとんどなくなってしまふ。オゾンホールは、南極の特殊な気象条件とフロンから放出された塩素原子、ハロンや臭化メチルから放出された臭素原子により、次のような機構で発生する (図2)。

- ・南極の冬及び春には極渦と呼ばれる強い西風が南極上空を取りまく。極渦の内部では風が比較的弱く、非常に気温が低く、外部との空気の交換があまりない。
- ・冬の非常に低温 (-78°C 以下) のために、硝酸や氷を主成分とするエアロゾルである極成層圏雲 (PSC; Polar Stratospheric Clouds) が生成し、その表面で、下のような不均一反応が起こる。

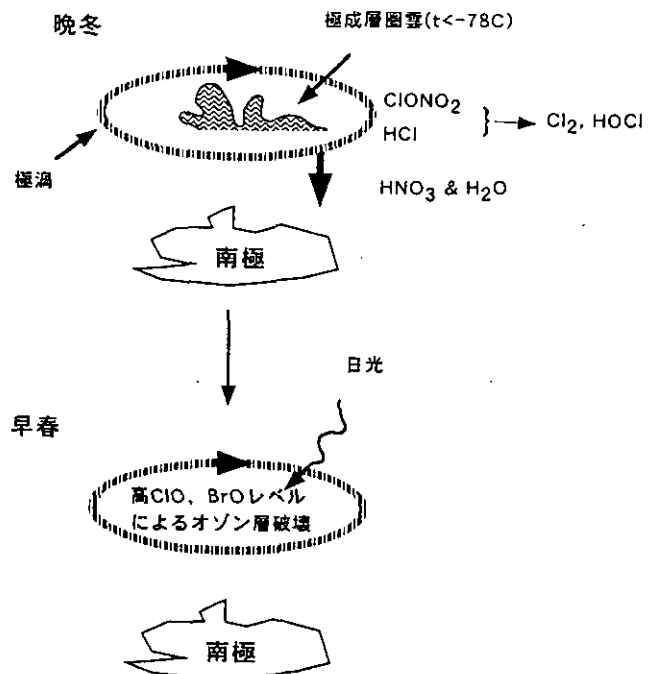
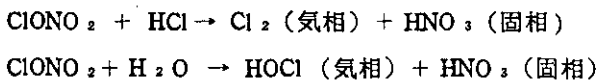


図2 極渦と極成層圏雲によるオゾン層破壊機構



・春になって南極に日が当たるようになると、 Cl_2 やHOClは分解して塩素原子を生成し、オゾンを破壊する。

つまり、一旦不活性化していた塩素化合物が、オゾンを連鎖反応的に破壊できる活性な形に変換されるため、オゾンホールのような激しいオゾン層破壊が起こるのである。

3. 南極と北極のオゾン層破壊の違い

南半球の極渦の形は、ほぼ南極を中心とする円形であり、極渦の内部がそのままオゾンホールの領域と重なっている。ところが、北半球では極渦の形はしばしば円形でないばかりか、中心も北極からずれている(図3)。このため、欧州、シベリア、カナダなどがしばしば「極域」になってしまう。北半球の極渦の中でも極成層圏雲は発生するため、オゾンホールと呼ぶ程激しくはないが、南極オゾンホールと同様の機構のオゾン層破壊が起こっている。図3に示した極渦の内側にあるヤクーツクで観

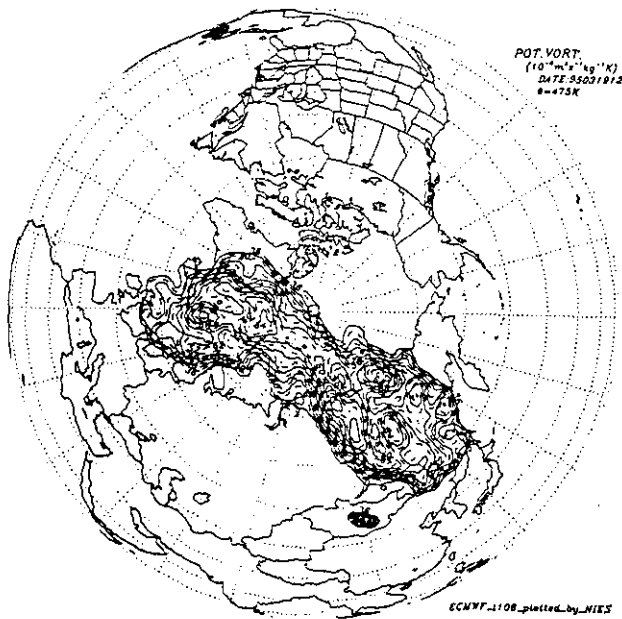


図3 北半球の極渦を、渦位の分布によって可視化したもの。ヨーロッパ中期気象予報センター(ECMWF)のデータを用いて国立環境研究所のソフトウェアシステムによって図示した。シベリア付近からグリーンランドにかけて見られる、等高線の混んだ部分が極渦の内部。形が円形から大きくずれている。

測されたオゾンの鉛直分布は、高度17km付近でオゾン濃度が極渦の外にある時の50%以下になっていた(図4)。南極オゾンホールの場合には同様の高度領域ではオゾンがほとんどなくなっている。

このような北極と南極の違いは、南北両半球の地形の違いによってもたらされる。南半球では、海と陸の分布が経度方向に比較的均一であるが、北半球では不均一である。さらに、北半球ではヒマラヤ山脈などがあり、高低差も南半球より大きい。このため気流が波打ち、その波動が上方に伝わって、成層圏では地球規模の波動(プラネタリー波)が強くなる。そのため、極渦の位置が北極点からずれたり、極渦が歪んだりする。この波動のために熱が南方から輸送されやすく、極渦の中の気温が南極ほど下がらないため、極成層圏雲の量も少ない。プラネタリー波が非常に強くなった場合、真冬の1月や2月でも、北極の成層圏の気温が急に上昇して極渦が崩壊し、オゾンホール型のオゾン層破壊が止まることも多い。これを成層圏突然昇温という。プラネタリー波の強さ、突然昇温の時期は年によって異なる。

4. 極域オゾン層破壊を強める要因

ここで問題なのは、プラネタリー波が年々弱くなり、極渦内の気温が年々低くなる、または突然昇温の時期が年々遅くなるということがないかということである。そのようなことがあれば、自然変動であれ、人為起源の変

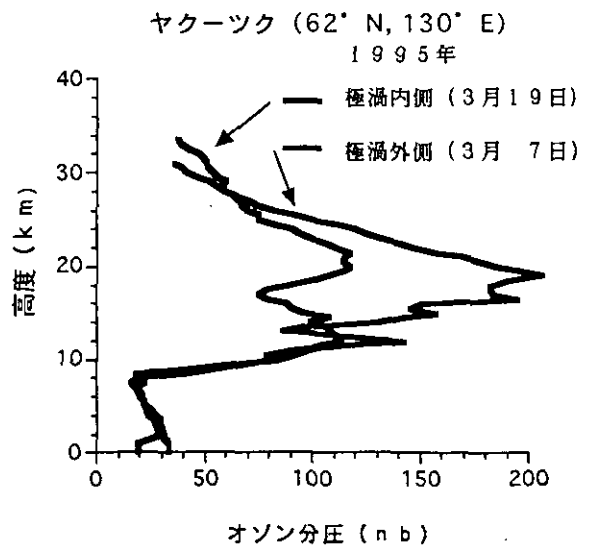


図4 東シベリアヤクーツクで観測された極渦内外のオゾン鉛直分布。ロシア中央大気観測所(CAO)の観測による。

動であれ、極域、特に北極域のオゾン層破壊を大規模なものにする。「北極オゾンホール」とも言うべきものができてしまうおそれがある。「北極オゾンホール」をもたらす人為的な変化として Austin et al (1992) は二酸化炭素の増加を指摘し、数値シミュレーションを行った。その結果、

CO₂増加 → 極域成層圏気温の低下 →
 極成層圏雲の増大 → オゾン破壊 →
 極域成層圏気温の低下 → . . .

という正のフィードバックにより、二酸化炭素倍増時には「北極オゾンホール」ができる可能性を示した。

すなわち、オゾン層の回復を遅らせる可能性のある「その他の条件」として、自然な気候変動に加えて、二酸化炭素の増加などによる地球温暖化があるということである。また、地球規模のオゾン層破壊も極域成層圏の気温の低下をもたらすので、この影響はすでに出ている、あるいはピークを迎えていると言えるかもしれない。

5. 最近の北極域オゾン層破壊

オゾンホール型オゾン層破壊には気温の閾値がある。50hPa（高度約20km）では、水蒸気の混合比を5ppmvと仮定すると、195K以下に下がると極成層圏雲が生成し、急激にオゾンが破壊される条件ができる。どの年が正常でどの年が異常と考えるかは簡単ではないが、研究者の間では1990年は異常に北半球の極渦が強く低温が続いた年として扱われている。それでも2月中旬に極成層圏雲は消えた（Braathen et al., 1996）。その後、91年、92年と極渦は弱く、93年は強く、94年は弱い（但し、3月に極成層圏雲が現れたという意味では異常）というように年毎に大きく変動したが、95年以降は極渦が強くて、極渦の崩壊が遅い状態が3年間続いている。この3年間について、北緯50度以北の50hPa（高度約20km）の最低気温を図5に示した。どの年も、約2.5カ月にわたって極成層圏雲ができていたと見られることが分かる。1995年には極渦が4月前半まで崩壊しなかったこと、日照時間が長い3月に極成層圏雲が現れたことによって、オゾン全量で30%以上のオゾン破壊が観測された（Goutail et al., 1996）。1996年には、1月～2月にかけて記録的な低温が続いたが、3月始めには極成層圏雲は消えたと見られる。しかし、極渦の崩壊は4月中旬以降となった。1997年は、気温の低下が遅れたものの、195K以下の気温が3月終わりまで続いたこと、極渦の

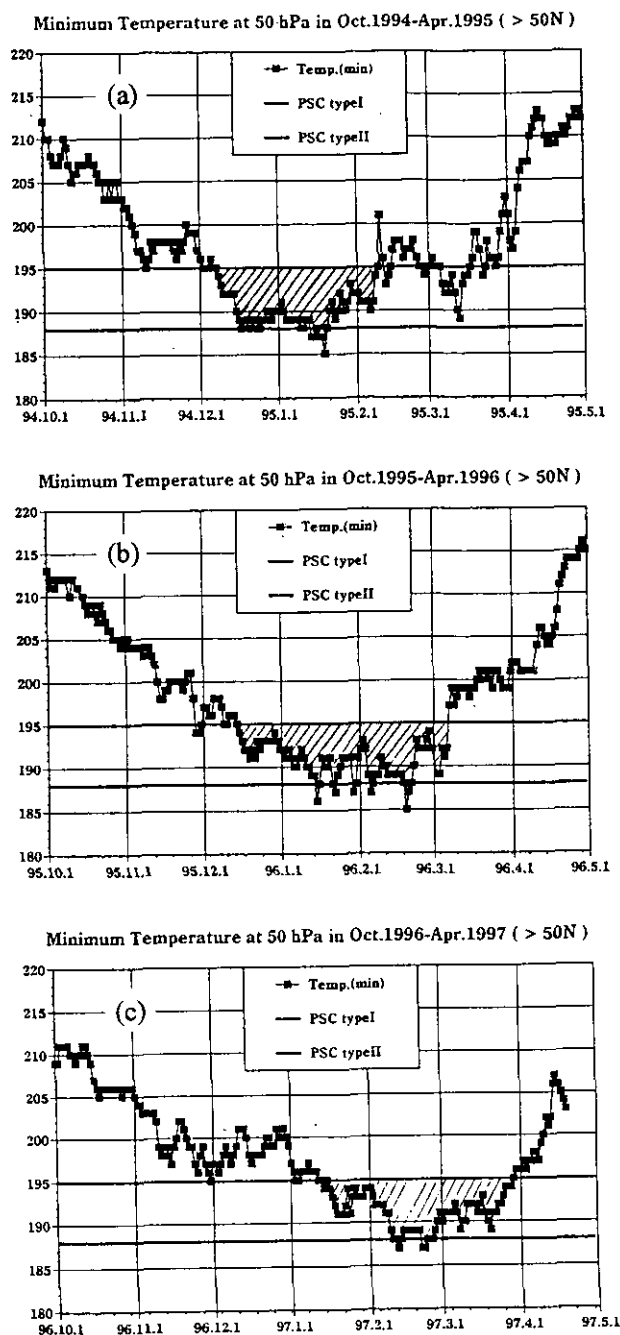


図5 北半球50hPa気圧面（高度約20kmに相当）の北緯50度以北の最低気温の推移。(a)1994/1995年、(b)1995/1996年、(c)1996/1997年。195K以下の気温ではPSCタイプI（硝酸三水和物を成分とする極成層圏雲）が生成し、188K以下ではPSCタイプII（氷を成分とする極成層圏雲）が生成する。

崩壊が5月に入ってからになると見られることから、記録的な北極域オゾン層破壊が起こっていると考えられる。本年の特徴は、極渦の中心が1月以降ほとんど北極点付近にあり、極渦の形も円形に近かったことである。つまり、プラネタリー波が極めて弱いため、若干小型ではあ

るが南極の極渦に近い特徴を備えていたと言える。オゾン全量の分布を ADEOS 衛星に搭載された NASA のセンサー TOMS で見ると、オゾン低濃度域が北極中心部分に丸く明瞭に現れている（図 6）。4 月中旬以降、極渦の中心が北極からずれ始めた。

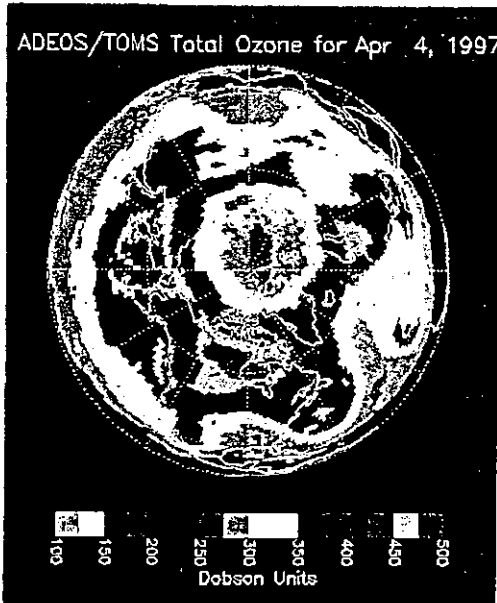


図 6 国産地球観測衛星「みどり（ADEOS）」に米国 NASA が搭載した衛星センサー TOMS によって観測されたオゾン全量のマップ。北極（図の中心）付近の黒い部分は 225 ドブソン単位（1 気圧にすると 2.25mm の厚み）。

6. 北極域オゾン層破壊の日本への影響

本研究所では、地球環境研究総合推進費の重点課題「衛星データ等を活用したオゾン層破壊機構の解明及びモデル化に関する研究」において、ロシア中央大気観測所（CAO）と共同で東シベリアのヤクーツクにおけるオゾンゾンデによるオゾン鉛直分布の観測を行うと共に、北海道の名古屋大学太陽地球環境研究所母子里観測所において、同研究所のグループと共同でオゾンゾンデ観測を行っている。この観測の中で、1996 年 4 月後半に、北海道への極渦到来時のオゾン鉛直分布の観測を行うことができた。

図 7 にオゾン鉛直分布の観測例を示す。高度 12km ~ 18km の高度領域でオゾンがはっきりと減少している。この時の極渦の位置と形を図 8 に示す。極渦の先端部分が北海道に届いている。より高い高度では極渦の先端は北海道に届いていないのでオゾン濃度が高く、12km ~ 18km の高度領域では極渦の内側であったためオゾンが特異的に減少していたと見られる。同じく北海道の陸別

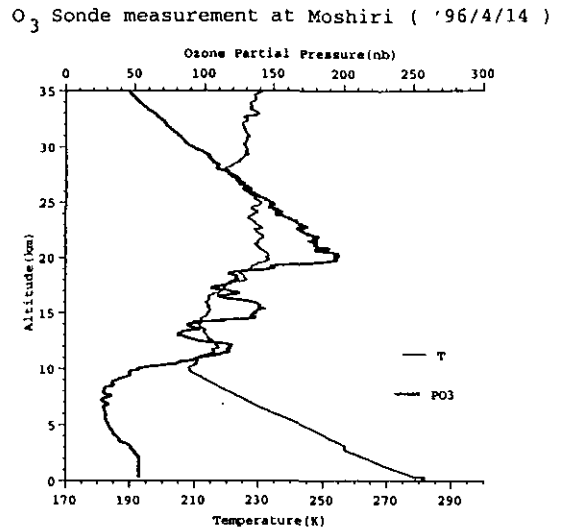


図 7 1996 年 4 月 14 日の極渦到来時の北海道母子里上空のオゾン濃度（分圧）及び気温の鉛直分布

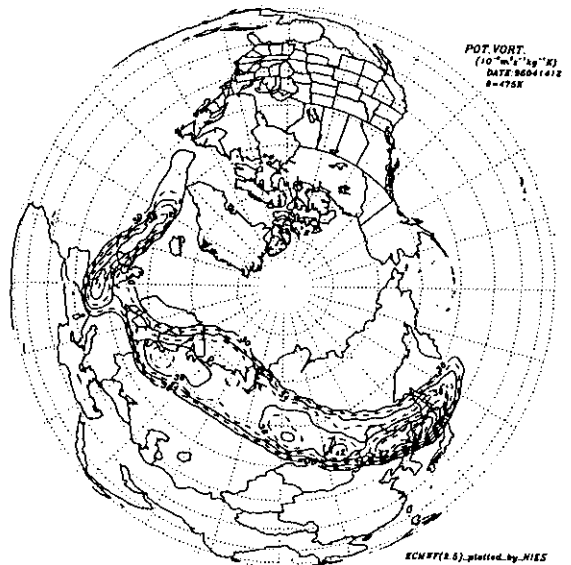


図 8 1996 年 4 月 14 日の極渦の位置と形。渦位の分布によって可視化したもの。ヨーロッパ中期気象予報センター (ECMWF) のデータを用いて国立環境研究所のソフトウェアシステムによって図示した。

町で行われたフーリエ変換赤外分光（FTIR）観測結果によると、CIONO₂濃度が増加しており（村田ら、1997）、化学的なオゾン層破壊の最終段階に入っていたと考えられる。

このように、ヤクーツクにおいても北海道においても、極渦到来時には北極域オゾン破壊の影響を受けることが明らかになった。今後、極渦の縁が通過した場合や、極渦の小さな断片が上空を通過した際にどのような影響を

及ぼすかを解明することが重要である。

7. 今後の展望

1990年代に入って、成層圏の気温の低い冬が多い。しかし、1991年のピナツボ火山噴火による擾乱があったため、低温化傾向が進んでいるとは断定できない。また、成層圏中の総塩素濃度がピークに近づいており、この数年の観測が極めて重要である。観測の内容については、成層圏の変化の中で、力学-放射-化学的過程の相互作用が重要な役割を果たしているため、オゾン、気温だけではなく、オゾン層破壊及び地球温暖化に関連した気体成分を合わせて観測する必要がある。このような観測と、化学過程を含む三次元モデルを組み合わせることで、現状把握と将来予測の能力を獲得することが、今後のオゾン層保護対策のキーポイントである。この時期に、衛星観測を含む日本の研究体制が充実してきたことを、最大限に生かして行きたい。

引用文献

- Austin, J., N. Butchart and K. Shine, Possibility of Arctic ozone hole in a doubled- CO_2 Climate, *Nature*, 360, 221-225, 1992.
- Braathen, G. O., M. Rummukainen and E. Kyro, Ozone trends and PSC incidence in the Arctic vortex during the seven winters from 1988-89 to 1994-95, *Polar stratospheric ozone, Proceedings of the third European workshop 18 to 22 September 1995*, Sciersee, 563-566, 1996.
- Goutail F., et al., Total ozone reduction in the Arctic vortex during winter 1995, *Polar stratospheric ozone, Proceedings of the third European workshop 18 to 22 September 1995* Sciersee, 574-579, 1996.
- 環境庁, 平成7年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書, P80, 1996
- 村田功, 近藤豊, 小池真, 中島英彰, 肖永浄, 金田昌広, 鳥山哲司, 鈴木勝久, 樋口聡, 中根英昭, M.Chipperfield, 北海道陸別町における赤外分光観測 -1995/1996年冬季-, 第7回大気化学シンポジウム研究集会講演集, 1-3, 1996.
- Stephen, A. Montzka, J. H. Butler, R. C. Myers, T. M. Thompson, T. H. Swanson, A. D. Clark, L.T. Lock, J. W. Elkins, Decline in the tropospheric abundance of halogens from halocarbons: implications for stratospheric ozone depletion, *Science*, 72, 1318-1322, 1996.
- WMO, Scientific assessment of ozone depletion: 1994, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 37, 1995.

気候モデルを用いた気候変動評価に関する研究

鶴野 伊津志 (大気圏環境部大気物理研究室)

1. 地球温暖化研究への気候モデルの役割と現状

地球の気候は、太陽放射、地球表面からの長波放射、大気と地表面との熱と運動量の交換、雲と降水による水循環、海洋による熱の輸送等の複雑な相互作用により決定されている。これらの相互作用を、それぞれ数式で表し、コンピュータの中で数値的に計算できるようにしたものを気候モデルという。つまり、気候モデルは、地球をコンピュータ中に再現し、過去・将来にわたって数値的に地球環境の変化をシミュレートすることを可能とするものである。

人為起源の温室効果気体の増加などによって生じる数年から数百年程度の時間スケールの全球規模の気候変化を数値的にシミュレートする手段として3次元の気候モデルがよく利用されている。

気候モデルを用いた将来の気候変動の予測が正しいものであるためには、気候システムの様々な過程が適切にモデルに取り入れられていること、および、現在の条件のもとで、現在観測される気候の平均値が正しく再現されていることが必要である。更に、モデルが将来の気候変動の評価を正しく行うためには、現在と過去の自然変動が正しく再現される必要がある。また、モデルや観測データから人為起源の気候変動を評価するためには、人為起源以外の気候変動の特性を知っておくことも大切となる。

気候の予測を難しくしている主要因の一つは、雲や地表面などの気候の各サブシステムの変動を通じた強いフィードバックプロセスの存在である。例えば、温暖化によって雲や海水が減少すると、それは太陽光の反射の減少などを通じてより温暖化を強める正のフィードバックとして働く。そのため、気候の変動を正しくシミュレートするためには、このようなフィードバックプロセスを正しくモデルに組み込むことが重要である。

本研究では、現在および過去の気候の年々変動のシミュレーション、および今後の二酸化炭素の増加に対する温暖化のシミュレーションという二つの軸を中心に研究を行なった。前者の目的は、モデルが気候の変動をどの程度正しく再現するかを確認することであり、後者の目

的は、温暖化時の気候変動の評価を実際に行うことであり、以下にその概要を紹介する。

2. 気候モデルの概要

大気(および陸面)のモデルは東京大学気候システムセンターと国立環境研究所のグループにより共同開発した大気大循環モデル(通称CCSR/NIES AGCM)であり、その概要を表1に示す。

大気大循環モデルによる気候シミュレーション実験は、CCSR/NIES AGCMのみを用い、海面の温度および海水の分布は、観測された海面水温・海水の水平分布を月毎のデータとして与えている。

一方、AGCM と組み合わせる海洋混合層モデルは、深さ50mの一層の海洋混合層を持ち、その温度と海水の厚さを予報する。海洋混合層モデルでは、海流による水平熱輸送を取り扱っていない。そのためまず、大気・海洋混合層結合モデルを、各ステップ毎に海面温度と海水

表1 CCSR/NIES AGCM の概要

基礎方程式	全球プリミティブ方程式系
予報変数	水平風速, 地表気圧, 気温, 比湿 雲水混合比, 土壌温度, 土壌水分, 積雪量
離散化	水平はスペクトル変換法 鉛直は σ 座標系による差分法.
時間積分	リープフロッグ法+セミインプリシット法
分解能	主に水平は T21(約6度)または T42(約3度) 鉛直は11層または20層で利用.
物理過程	2 stream k-distribution 放射 Arakawa-Schubert 型積雲対流スキーム 総水分予報型の大規模凝結スキーム Mellor-Yamadaレベル2 鉛直拡散 (雲の効果を考慮) バルク地表フラックススキーム 多層陸面熱伝導 植生抵抗効果を含むバケ型陸面水文モデル 地形による重力波抵抗

量を観測された値に近付けるような外力を与えて10年間計算し、この外力の大きさを取り出し、それを月ごとに平均して海洋フラックスとして保存する。実際の実験では、この海洋フラックス項を用いて、シミュレーションを行う。

3. 海面水温の観測値を用いたAGCM10年間積分

1979年から1988年までの10年間にわたって、毎月の海面水温の観測データを与えてAGCMを時間積分した。これにより、モデルの大気および陸地面の状態の年々の変動が得られ、これを実際の大気の観測データと比較検討することで、大気大循環モデルが自然の変動をどの程度良く表現するかの検討をすることができる。

解析期間には数年スケールの気候変動のうち最も重要なエルニーニョ現象が2回起きている。また、この期間は、全球大気モデルの国際比較のプロジェクトである大気モデル相互比較計画(AMIP)に採用されており、海外の約30の異なるモデルの結果との比較が可能となる。

モデルはCCSR/NIESAGCM5.4のT21(水平分解能約600km格子)、20層のものを用いた。10年間のシミュレーション結果を観測データと比較した。対流圏におけるさまざまな量の年々変動の大きさはおおむね観測データと等しいかやや小さい程度であること、シミュレーション結果と観測データの時系列データの間の相関係数を計算すると、低緯度域、特に下層850hPaの風や大気上端赤外放射(OLR)などの量の熱帯の東太平洋域での値は、相関係数0.7程度と良好な値を示す(図1)ことが判った。

図2は、赤道東太平洋の海面水温を基準として、さまざまな場所の大気上端赤外放射(OLR)の時系列との相関係数を、モデルおよび観測のデータについて、地図上にプロットしたものである。OLRの変動は積雲対流活動の変動の指標となり、熱帯東太平洋の海面水温の変動と全球的な積雲対流活動の変動が密接に関係することを示している。積雲活動は、大気の循環において重要な役割を担っている。モデルの結果と観測の結果は、定性的に良く一致し、これはモデルによって積雲対流の変動がよく再現されていることを示すものである。ただし、インドネシア付近では応答の位置にややずれが見られ、またインド付近ではモデルが現実データに比べかなり大きな値を出すなどの違いがある。これらの領域での積雲対流活動は、東アジア域の気候の変動を支配する要因として

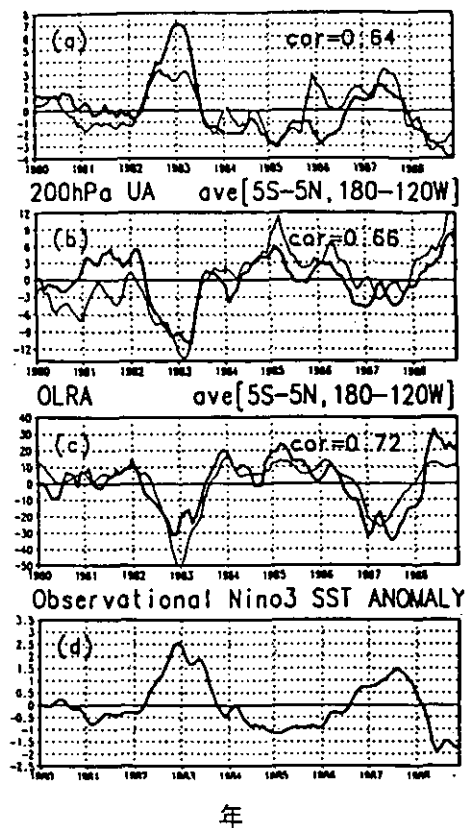
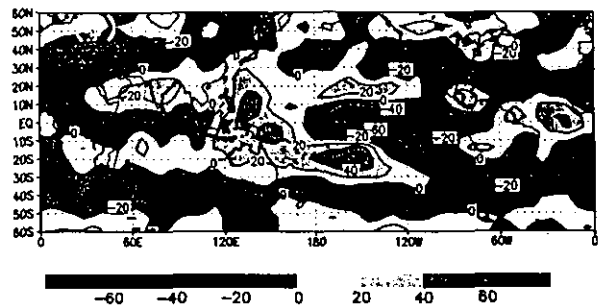


図1 5°S ~ 5°N, 180° ~ 120°W の領域で平均したさまざまな量の平均からの偏差の観測とモデルの間の時系列。(a)下層850hPaの東西風、(b)上層200hPaの東西風、(c)大気上端赤外放射(OLR)。(d)海面水温の偏差を示す("cor"は相関係数を示す)

(a) モデル



(b) 観測

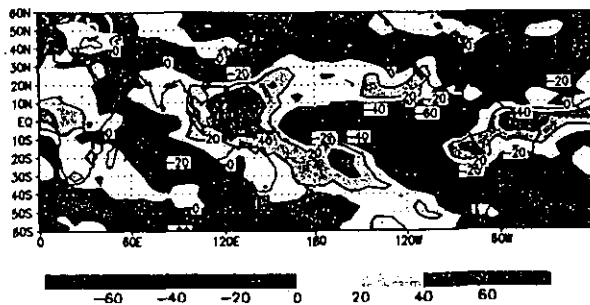


図2 赤道東太平洋の海面水温と各点での大気上端赤外放射(OLR)の時系列との相関係数 (a)モデルの結果、(b)観測データの結果

重要であると考えられており、この点での改善が必要である。

また、全球大気モデルの国際比較のプロジェクトである大気モデル相互比較計画(AMIP)に参加している他のモデルとの比較の結果、全般的に他のモデルとも比較して遜色の無い結果が得られていることが確認された。

4. 成層圏におけるモデルのパフォーマンスの検討

気候モデルの開発は、地表から下部成層圏にかけての大気を中心に進められた。しかし、温暖化物質の分布変動とそれに伴うフィードバックを考慮して気候値を定量的に評価するためには、モデルの計算領域を成層圏全域まで広げることがより望ましい。ここでは成層圏全域から下部中間圏も含めて計算した場合の性能を評価すること、さらにモデルに含まれている力学上のパラメタリゼーションをどのように扱うべきかを中心に解析した。

鉛直72層とし、最上層は下部中間圏に相当する高度約70kmに置いた。鉛直方向には、下部成層圏では約500mと十分な分解能を与え、上に行くほど粗くした。水平分解能はT21(水平分解能約600km格子)を用いた。

気候再現性を調べるために気候値の海面水温を境界条件として6年の積分を行い最後の2年の各季節平均を調べた。図3は冬期三ヶ月(12月~1月)平均の東西平均した東西風および温度の子午面分布を示したものである。東西風の分布の概形や、観測との偏差が概ね5度程度に納まっている温度の分布を見ると、モデルの結果は全体として良好であると判断できる。しかし、定量的に観測と比較して依然いくつかの問題点がある。冬半球の西風ジェットの高緯度に寄りすぎており、かつその中心風速がかなり強いこと、夏半球の高緯度側の下層の西風が上層まで貫入しすぎていること、成層圏全域で低温の傾向があり、特に極域付近でその傾向が強いこと等である。同様の傾向は世界の他のモデルの多くでも指摘されている問題点である。

続いて、上層におけるレイリー摩擦の強さ、重力波抵抗スキームの力学上のパラメタリゼーション等が成層圏を対象とした計算をするにあたってどのように影響を与えているかを調べる種々の実験を行った。その結果、これらは定性的に大きな変化をもたらすものではないことが確認された。従って、前述の問題点を解決するためには、これまで取り込まれていない力学的要因を考慮する

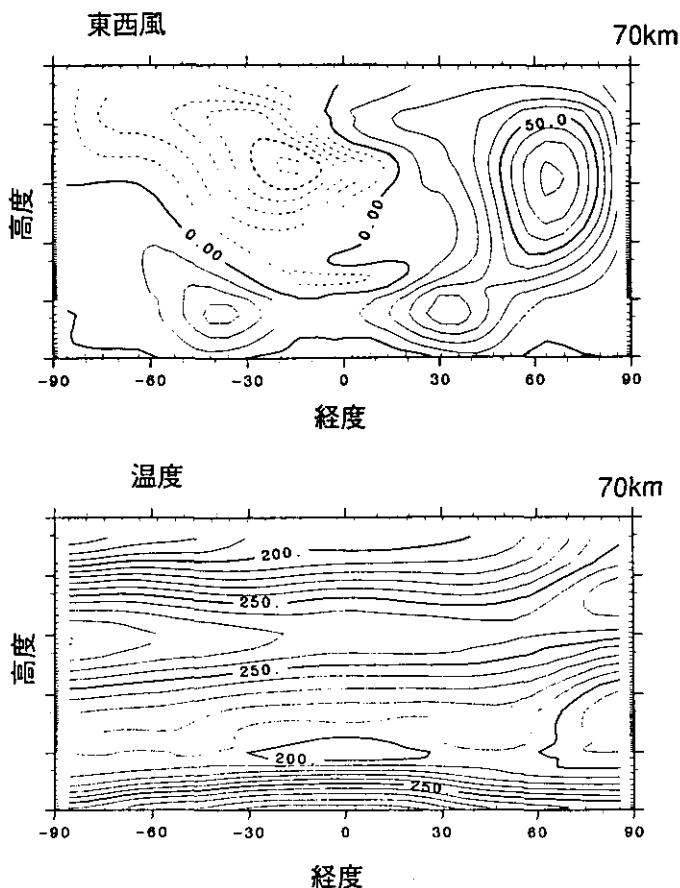


図3 地表から高度約70kmまでを領域とするモデルによる東西平均した東西風と温度の緯度-鉛直断面(2年平均)
(コンター間隔は10m/sと10K)

必要がある。

5. 大気海洋混合層結合モデルによる二酸化炭素倍増平衡応答実験

温室効果気体の増加にともなう気候変動を評価する場合、海面水温の観測値を用いた大気モデルでは、海洋の温度変化にともなう熱的なフィードバックが考慮されず、気温の変化が大幅な過小評価となる。また、温暖化時には海水の量に大きな変化が起き、強いフィードバック効果をもたらすことが予測されている。

したがって、温暖化現象を表現するためには、海面水温および海水の量を内部で予報することのできるモデルが必要となる。本来は深海までの海洋の力学と海水を考慮した海洋大循環モデルと大気大循環モデルとを結合したモデル、すなわち海洋・大気結合気候モデルが必要で

ある。まず、ここではその前段階として、2節で述べたような簡単な海洋混合層モデルを大気モデルと結合して実験を行った。

大気中の二酸化炭素濃度が現在の状態と、濃度を二倍にした場合の2通りについて、気候モデルをそれぞれ約40年間積分し、その差から二酸化炭素濃度の倍増時の気候の変化を考察した。

図4は、地表気温の変化(年平均)の地理的分布である。年平均の地上気温の上昇は4.3度である。高緯度の大陸上および南極周辺の海水域での上昇が大きい。図5は、東西平均した気温の変化(年平均)の緯度-鉛直断面であり、対流圏で昇温、成層圏(約200hPaより上)で下降という、

従来の研究と一致した傾向が示される。また、高緯度では地表付近、低緯度では圏界面(約200hPa付近)付近で昇温が大きい傾向も従来の研究とよく一致している。

同様な計算を二酸化炭素の値にかかわらず海氷を現在の気候値に固定した場合について行なった。この場合、海氷の減少による正のフィードバックが働かなくなるため、極地方を中心に大気下層での昇温が小さく、年平均の地上気温の上昇は約2.5度となった。

図6は、東西平均した雲の面積比(雲量)の変化(年平均)であり、おおむね上層で雲量が増大、下層で雲量が減少となっている。これは、大循環や積雲活動の背が高くなったことにもなう変化であると考えられる。このような変化は、大気上端での上向き地球放射の減少、下向き太陽放射の増大をもたらす、温暖化を促進する効果がある。

更に、大気上端での雲の放射強制力の変化を解析した。その結果、緯度50度よりも高緯度では、雲の増加とともに短波が冷却、長波が加熱を強める方向に働き、総計としては、冷却、すなわち温暖化を抑制する方向に働くことが判った。一方、緯度20度から50度では、逆に雲の減少とともに短波が冷却、長波が加熱を弱める方向に働き、総計としては、加熱、すなわち温暖化を促進する方向に変化した。また、熱帯域では、長波、短波ともに温暖化を抑制する方向に働いている。これらは互いに打ち消し合うが、全体としては、雲の変化は、約 $1W/m^2$ の

気圧/地上気圧

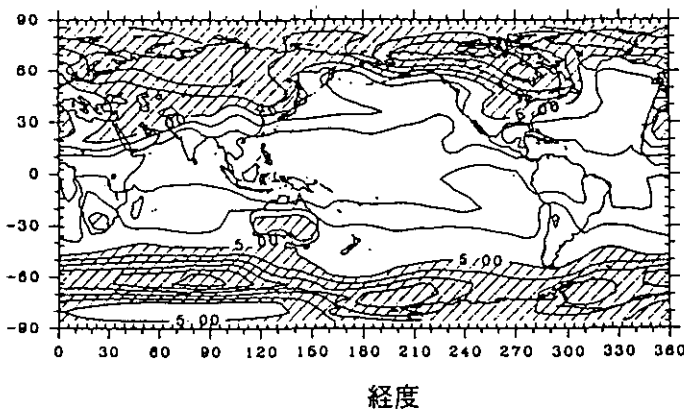


図4 大気・海洋混合層結合モデルによる二酸化炭素濃度の倍増平衡応答時の地表気温の変化の分布(年平均)
(コンター間隔1度、ハッチは5度以上)

気圧/地上気圧

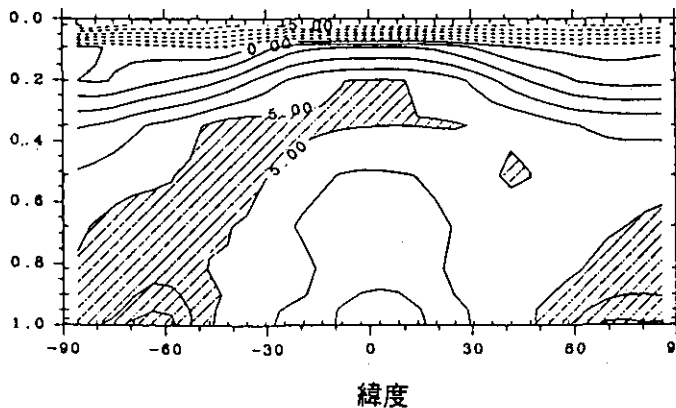


図5 大気・海洋混合層結合モデルによる二酸化炭素濃度の倍増平衡応答の東西平均した気温の変化の緯度-鉛直断面(年平均)
(コンター間隔1度、ハッチは5度以上)

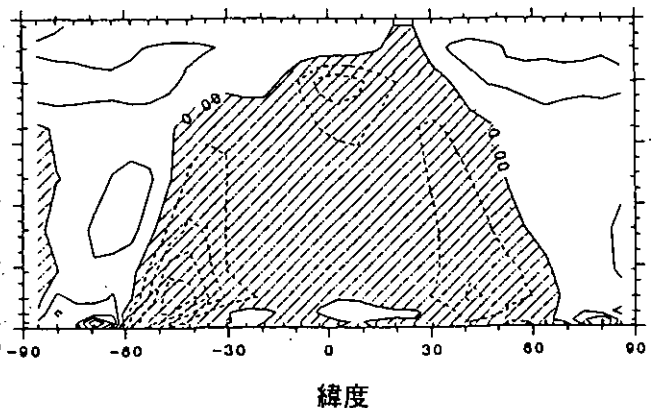


図6 二酸化炭素倍増平衡応答の東西平均した雲量(雲面積比)の変化の緯度-鉛直断面(年平均)
(コンター間隔2%、ハッチは負の応答(減少))

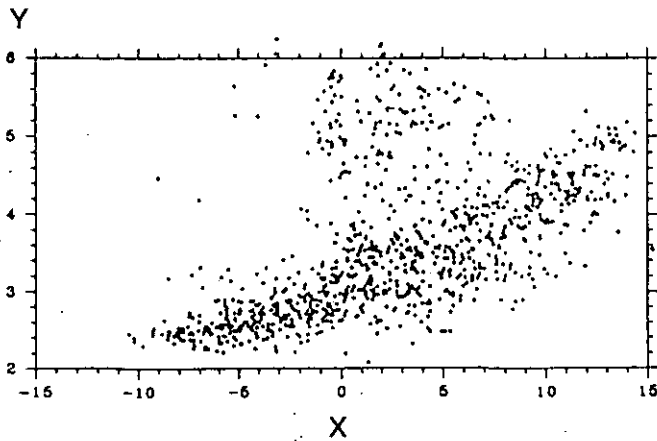


図7 二酸化炭素倍増平衡応答の雲大気上端での(X) 雲の放射強制力(短波と長波の合計)の変化量と(Y) 地表気温上昇量との散布図(緯度40度よりも赤道側)

温暖化の促進のフィードバック効果となっているが示された。

図7は、雲大気上端での雲の放射強制力(短波と長波の合計)の変化量と地表気温上昇量との散布図である。一次近似的には、これらの量が正の相関を持つことがわかる。これから、雲の放射強制力の変化は、雲による温暖化のフィードバック効果に重要な役割を示すことが示唆される。今後、過去および現在の気候のシミュレーションなどによって、雲の放射強制力の変動が正しく評価されるかどうかを確かめつつ大気モデルを改良する必要がある。

6. まとめ

温室効果気体の増加などに起因する、数年から数百年程度の時間スケールでの全球規模の気候変動の評価を行なうことを目標として、気候モデルを用いた気候変動のシミュレーションを中心とした研究を行っている。

過去の観測された海面水温を与えて大気モデル(CCSR/NIES AGCM)の10年間積分した。その結果を観測資料と比較し、良好な気候値や年々の変動の再現性があることが確認された。全球大気モデルの国際比較のプロジェクトである大気モデル相互比較計画(AMIP)に参加している他のモデルとの比較の結果、全般的に他のモデルとも比較して良好な結果が得られていることが確認された。

次に、二酸化炭素の増加に対する温暖化のシミュレーションとして、まず、大気・海洋混合層結合モデルによる二酸化炭素倍増時の平衡応答の計算を行い、この結果を雲によるフィードバック効果を中心に解析した。亜熱帯域における雲の減少が大きく効くために、全体として本モデルにおいては、雲のフィードバック効果は弱い温暖化促進効果を持っていることが示された。

この雲の放射フィードバック効果は、気候変動予測においてクリティカルな問題である。雲の効果の予測には、第1に雲の短波・長波のトータルの放射強制力(雲の存在による大気上端での下向き放射フラックスの増加分)の符号、第2に雲量の変化の決定要因、第3に光学的特性を左右する雲の微物理を知らなければならない。しかしながら、現実の雲についてもこれらの点は十分に解明されていない。これについては、気候モデルを用いた解析とともに、衛星からの大気上端の放射収支観測データ、可視赤外輝度データ、及び、精密な放射1次元モデルを用いて、雲の放射強制力と光学的特性について全球的に求める手法を開発し、解析を進めている。

今後は、これらの結果の解析をさらに発展されるとともに、海水、海の拡散過程、雲過程などを改良したモデルでより信頼性の高い結果を得ることが必要である。また、より高い空間分解能での評価や、エアロゾルなどの二酸化炭素以外の人為起源物質の効果を取り入れて、不確実性の幅の見積もりも含めた定量的な気候変動の評価を行なうことが望まれる。更に、雲の微物理特性や力学場との関係の把握を含めて、全球的な雲の放射効果の気候値と時間変化解析をさらに精密化していくことも必要である。

謝辞

本研究は、東京大学気候システム研究センター(CCSR)との共同研究として行った研究成果をまとめたものであり、モデルの開発・改良と気候変動についての部分は沼口敦主任研究員(現東京大学気候システム研究センター助教授)、成層圏への拡張に関しては菅田誠治研究員、雲の放射効果と積雲対流活動の評価は高薮縁主任研究員が中心となって行っている。

本研究の実施に当たって多大の協力を頂いた東京大学気候システム研究センター(CCSR)の住明正センター長、杉ノ原伸夫教授、中島映至教授、山中康裕助手、阿部彩

子助手、高田久美子助手に感謝します。また、東京大学大学院博士課程江守正多氏の協力に感謝します。

参考資料

沈学順, 木本昌秀, 沼口敦, 1995: CCSR/NIES大気大循環モデルの観測されたSSTに対するレスポンス, 気象学会予稿集

Numaguti, A., M. Kimoto, T. Nakajima, M. Takahashi, and A. Sumi, 1995: Simulated Climatology and Interannual Variation of CCSR/NIES AGCM. Proceeding of AMIP Conference.

Numaguti, A., M. Takahashi, T. Nakajima and A. Sumi, 1997: Description of CCSR/NIES Atmospheric General Circulation Model. Submitted to J. Meteor. Soc. Japan.

高藪 縁 1996: 熱帯海上における雲型別放射強制力の試算, 気象学会予稿集.

高田久美子, 阿部彩子, 木本昌秀, 沼口敦, 住明正, 1995: CCSR/NIES大気-海洋混合層結合モデルによるCO₂倍増実験, 気象学会予稿集.

對馬 洋子 1996: 衛星データと大循環モデルを用いた地球の放射収支に関する研究, 東京大学大学院修士論文.

宇宙からオゾン層の破壊を測る－衛星センサーILASの観た極域成層圏－

横田 達也（地球環境研究センター）

1. はじめに

本年（1997年）4月のはじめに、『北極域でもオゾン激減』（朝日新聞4月5日付）などといった類の記事が新聞各紙に載った。これは、衛星や地上測定点のデータをもとに気象庁や米国NASAが、本年3月までのデータを解析して発表したものである。オゾン減少の原因は、「この冬、北極域の成層圏の気温が平年に比べ約20度低く、オゾン層を破壊する『極域成層圏雲』が出現したことが主な原因のようだ」（日経新聞4月5日付）と分析している。近年の地球環境問題の主要な話題が「地球温暖化」である中、オゾン層破壊の問題は、果たしてすでに解決したと言って良いのであろうか。また、上記の記事は何を示唆しているのであろうか。成層圏の低温化は、対流圏の高温化と密接な関係があるという説がある。「オゾン層破壊」の問題は、「地球温暖化」問題とも無関係ではなさそうである。

1970年代に大きな地球環境問題の一つとして国際社会を騒がせた「オゾン層の破壊」は、1980年代半ばに「オゾン層保護」に関する国際条約が締結され、1987年の「モントリオール議定書」によって特定フロン生産量が規制されて以来、比較的落ち着いた話題となっている。研究者の間では、これまでの条件が継続した場合には、オゾン層は今世紀末に減少のピークを迎えた後、安定するか徐々に回復するということが定説となっている。今世紀末はもう2～3年後に近づいているが、この説が果たして正しいかどうかは、地球規模のオゾン層の継続的なモニタリング（監視）を行ってはいじめて解ることである。そして、その監視結果をもとにした科学的な判断に基づけば、たとえ事態が予測に反して悪い場合でも、さらに事態が悪化しないように、新たな国際的な対策を的確に講じることが可能となろう。

2. ILASは何をどのようにして測るのか

環境庁が開発したオゾン層観測用衛星センサー“ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer; 改良型大気周縁赤外分光計)”は、地球観測プラットフォーム技術衛星ADEOS (ADvanced Earth Observing Satellite) に搭載さ

れ、H-IIロケットによって昨年（1996年）8月17日に種子島より宇宙に旅立った。打ち上げは成功し、衛星は「みどり」と命名された。その後約3ヵ月間の、個々のセンサーや衛星システム全体の初期チェックアウト期間を経た後、「みどり」は11月26日より定常運用モードに移行した。ILASは、衛星打ち上げ後、ちょうど1ヵ月後にセンサー単体の機能に関する初期チェックアウトを行い、初めて観測データを取得した。その後2度にわたるADEOSシステムのチェックアウトを経て、定常運用に入ってから、これまで大きな支障もなく順調に観測を続けている。

それではILASは、どのような方法で、どこの何を、どれくらいの頻度で、どれくらいの期間について測るのであろうか。これらの質問に答えるべく、以下に簡単にILASの機能の概要をまとめる。

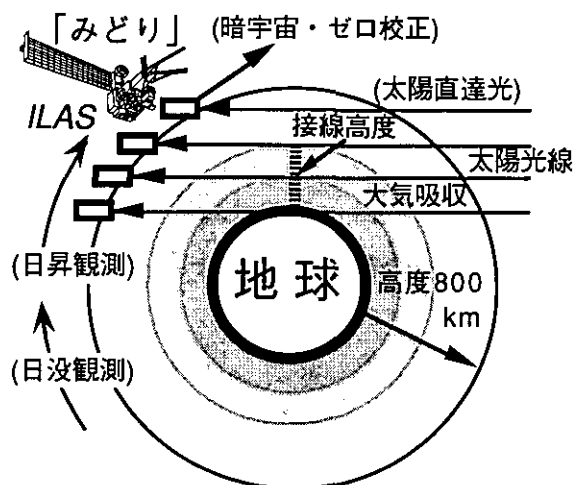


図1 ILASの観測方式（太陽掩蔽法）

2.1 観測原理 ～地球大気のスライス、太陽掩蔽法～

ILASは、人工衛星が地球を周回する際に太陽を追尾して、衛星から観た日昇と日没を観測する。すなわち、太陽を光源として、異なった高度の大気を透過した光を測定し、それを分光することによって大気の透過スペクトルを観測する（図1）。この観測方式は、「太陽掩蔽（えんぺい）法」とよばれている。太陽を光源としているため、強い光エネルギーを測定することができるの

で、S/Nの高い信号が得られる。しかも毎周回とも大気圏外での太陽直達光（無吸収の光の強度）と暗宇宙の信号（装置の暗電流）を、参照値として測定できるため、大気透過信号の校正を自動的に行えるという大きな特長を有している。

オゾンなどの気体濃度の高度方向の分布は、異なった高度の大気を透過した光の観測信号を解析することによって知ることができる。

2.2 観測地点の変化 ～高緯度をドーナツ状に～

衛星「みどり」が、98.6度といった高い軌道傾斜角の太陽同期準回帰軌道を周回しているため、ILASの観測は、北極と南極の付近の高緯度帯（北緯57.7度～73.3度、南緯64.7度～89.6度）に限定される。この観測緯度は、図2のように季節によって変化する。また、衛星は1日に地球を約14.3周するため、ILASの日昇・日没観測は、経度方向にほぼ等間隔の地点において、それぞれ1日に約14回行われる。したがって、ILASのある期間の観測地点を地図に落とすと、緯度はほとんど変化しないため、南北両極とも二つの同心円に囲まれた範囲（ドーナツ状）に位置することになる。この各観測地点においてオゾンなどの高度分布が測定されるわけであるから、例えば1日分のデータから、緯度を固定して経度と高度の2次元断面における気体濃度の変化情報を計測することができる。

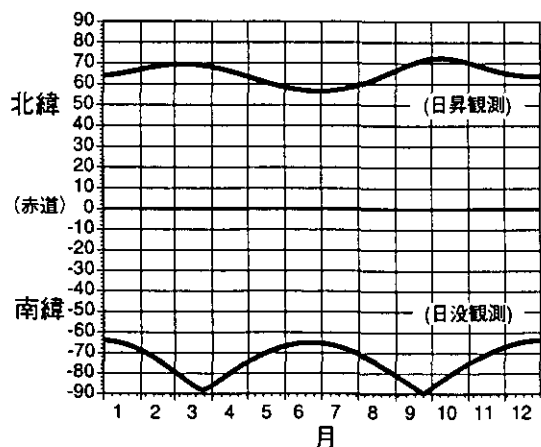


図2 ILASの観測緯度の季節による変化

2.3 装置の概要と観測項目

～長期・安定・効率的・科学的な測定のために～

図3にILASの構造模式図を示す。観測は、まず移動している衛星から、光源である太陽の光を正確に捕らえなくてはならない。ILASは衛星の進行に伴って、観測視野

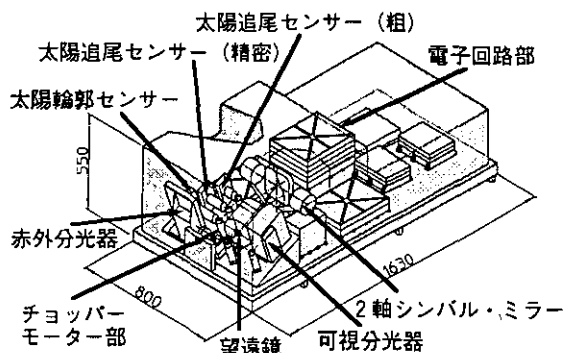


図3 ILAS装置の構造模式図

が太陽の光の重心の位置に来るように太陽を追尾する機構を持っている。あらかじめ計算によって求めておいた太陽の方向にミラーを向けて追尾を開始するが、太陽を捕らえた後は、太陽追尾センサー（粗センサーと精センサー）の信号から自動フィードバック制御で、2軸のシンバルミラーを動かしながら太陽の追尾が行われる。

入射した太陽光は、直径12 cmのカセグレン望遠鏡で集光され、「可視」及び「赤外」の二つの分光器と太陽輪郭センサーに到達する。太陽輪郭センサーは、視野の中心が太陽像の上端からどれくらいの位置にあるかをモニターするためのセンサーで、刻々と測定される光の信号の観測高度を決定するために重要な役割を果たす。

可視分光器は、波長で753～784nmの範囲の光を回折格子で分光し、それを1024素子のMOS型光ダイオードアレイで検出する装置である。この波長範囲は、ちょうど目に見える光の中でも赤からわずかに長い波長に相当する。眼の良い人には見ることのできる光の領域である。この波長領域には、酸素分子の回転吸収帯（酸素の回転Aバンド）がある。酸素の大気中の濃度の割合（混合比）は、場所にも高度にもよらずに一定であると考えられることから、その吸収スペクトルの形を解析することで、光が通過してきた大気のと圧力の情報を知ることができる。この気温と気圧の情報は、赤外分光器の信号から気体濃度分布を導出する際にも重要なパラメータとなる。また、この波長帯では酸素分子による吸収のほかに、空気分子による散乱（Rayleigh散乱）、エアロゾル粒子による散乱（Mie散乱）、そして若干のオゾンの吸収が見られる。ILASでは780nmに相当する信号からエアロゾルの消散係数の高度分布に関する情報も測定する。

赤外分光器は、6.2～11.8 μ mの波長範囲の光を回折格子で分光し、44素子の焦電型検出器によって信号を検出

する。「焦電型検出器」は常温で動作するため、長期の安定した測定に適している。焦電素子は入射信号の「変化量」に対応する電圧を出力するため、常に入射する光を断続する必要があり、そのためにチョッパーブレードとそれを回転させるモーターが必要となる。この波長帯におけるスペクトルの情報から、オゾン(O₃)、硝酸(HNO₃)、水蒸気(H₂O)、メタン(CH₄)、二酸化窒素(NO₂)、亜酸化窒素(N₂O)、フロン11(CFC-11)の濃度(体積混合比)を導出する。さらに、赤外の44素子には、気体による吸収の寄与が少ない「大気の窓」の波長に相当する素子が4~5素子ある。これらの透過率情報は、エアロゾルのタイプ識別や、粒径分布に関するパラメータおよび濃度などの推定に利用することができる。(この手法については、現在研究が進められている)。

観測視野の大きさは、接線高度(図1参照)を与える位置において、高度方向に約2km、水平方向に可視チャンネルは2km、赤外チャンネルは13kmである。最終的な高度分布は、雲頂(高度5~10km)から高度約60kmの範囲において、1km間隔で導出される。

ILASの分光器からの出力信号は、電子回路を通り、12Hzのサンプリング周波数でデジタル信号に変換され、517kbpsのデータレートで衛星本体のレコーダーに記録される。

装置の大きさは、縦80cm、横163cm、高さ55cmで、これはほぼ畳1枚分の大きさに相当する。重さは130kg、消費電力は最大78Wである。

以上のような仕様は、極域オゾン層の3年以上にわたる長期モニタリングを実現するという目標に基づいて、決定されたものである。

3. ILASが宇宙から測定した分光スペクトル

1996年の8月17日に「みどり」の打ち上げが成功してから約1ヵ月後の9月18日に、ILASが初めて観測したデータが、我々の衛星データ処理運用施設に送られてきた。図4、図5は、ILASの初データ(観測スペクトル)である。

図4は、可視分光器の出力を大気の透過率に換算したスペクトルで、酸素の吸収スペクトルの構造がきれいに測定されていることがわかる。また、酸素の吸収スペクトルを除いた散乱などの効果による透過率(ベースラインと呼んでいる)として、緩やかに波打った曲線が見ら

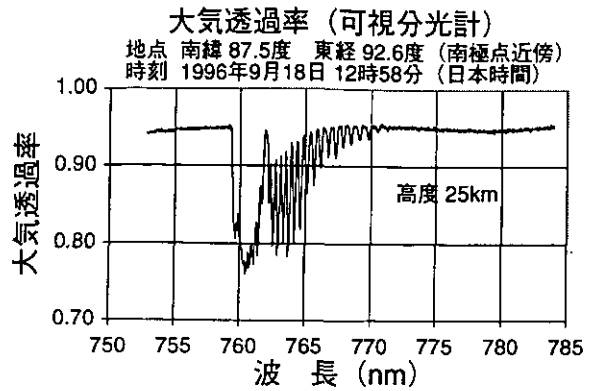


図4 ILASの可視分光器による初観測スペクトル例

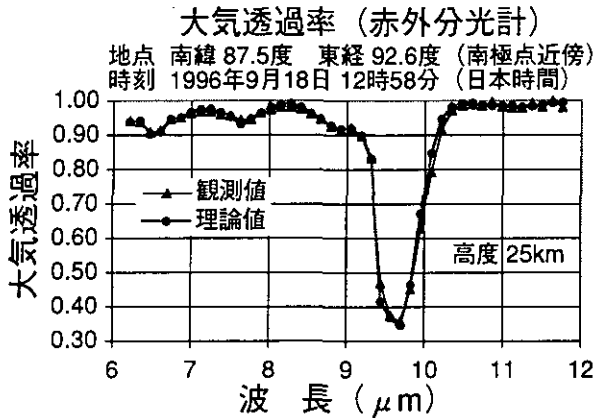


図5 ILASの赤外分光器による初スペクトルの例(観測値と理論計算値との比較)

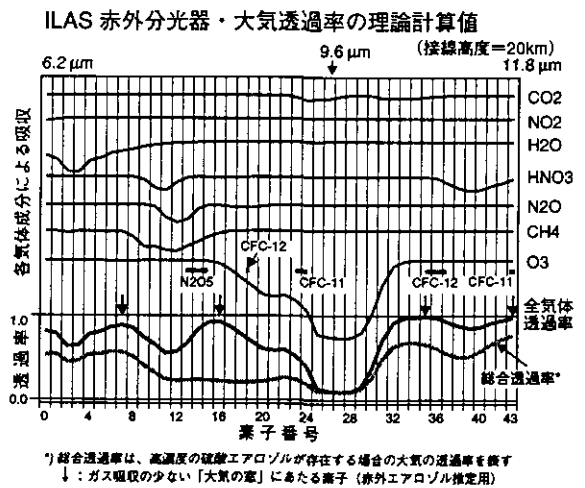


図6 赤外スペクトルと寄与する個々の気体の吸収

れる。これはオゾンの「ウルフ帯(Wulf band)吸収」と呼ばれるスペクトルで、620nmをピークとするオゾンのシャピユイ帯(Chappuis band)の裾の部分にあたる。このようなスペクトルを宇宙から観測したのは、世界でもILASが初めてである。

図5は、赤外分光器の出力を大気の透過率に換算した

スペクトルで、実線がILASの観測値、点線がそれによく合うように計算によって求めた理論値である。このようなスペクトルから、オゾンや硝酸など複数の気体の濃度が同時に推定できるのはなぜであろう。それは、気体によって吸収の波長が異なり、独立の分光情報の個数が未知パラメータの個数よりも多く得られるため、ある程度のノイズがあっても数学的に性質の良い逆問題となっているからである。図6に、ILASの観測スペクトルの計算値と、それに寄与する気体別の吸収スペクトルを示す。個々の微量気体が、異なる波長領域に、それぞれの濃度に応じた強さの吸収を示し、それらが総合された形のスペクトルが観測される。したがって、計算機を用いた「非線形最小二乗推定」とよばれる解析手法により、個々の未知パラメータの濃度を算出することが可能となる。この図では、 $9.6\mu\text{m}$ を中心とするオゾンの吸収の割合が最も大きく、関与する素子の数も多いため、高度20km付近ではオゾン濃度が最も精度良く求められると推測される。

以上のような分光スペクトルが、時系列データとして、異なる高度の大気を通過した光に対して測定される(図1参照)ため、これらのデータを順次解析して、最終的にオゾンをはじめ各種の未知パラメータの高度分布が得られることになる。

4. ILASと他のセンサーの観測データの比較

ILASは、昨年11月26日の定常運用開始以来、オゾン層の観測を続けている。観測データは宇宙開発事業団で受信・編集された後、国立環境研究所ILAS・RIS衛星データ処理運用施設に送られ、同施設においてデータ処理が行われている。

導出された結果がどの程度もっともらしいかは、他の測定データとの比較などによる測定データの信頼性の確認作業を待たなくてはならない。そのためILASプロジェクトでは、過去に測定された衛星センサーのデータから気体別・緯度帯別・月別の統計量(これを「参照大気モデル」と呼ぶ)を算出して、ILASの観測結果と比較する作業を行っている。また、大規模な気球観測による検証実験キャンペーンや、地上測定点からのオゾンゾンデ観測などをILASの観測に合わせて行い、それらの検証解析データとILAS観測データとの比較も行ってきた。

ここでは、ILASの観測データと他のセンサーによる観測データとの比較例を二つ紹介する。なお、ILASデータ

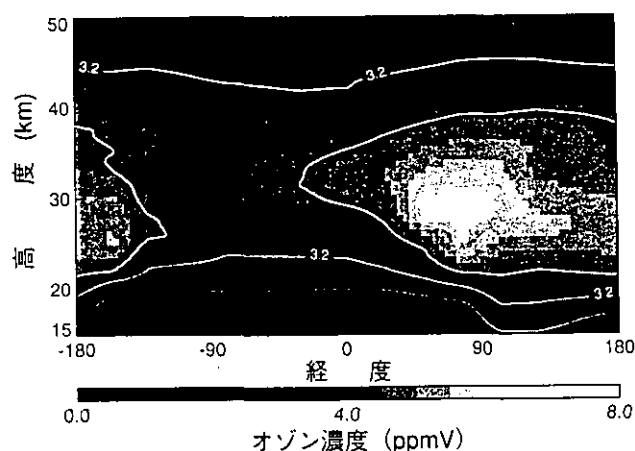


図7 ILAS観測データより計算された成層圏オゾンの「経度-高度」断面における変化の例



図8 オゾンホールを示す南半球のTOMSの画像とILASの観測位置(白抜き○)

に関する検証作業は現在進行中であるため、以下に示す結果は暫定値に基づくものである。

4.1 TOMS画像との比較

～南極オゾンホールと観測データとの関係～

「みどり」には、オゾンの観測センサーとして米国のTOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer; オゾン全量分光計) が搭載されており、オゾンのカラム全量(大気中の観測光路に沿った積分量)を測定して、結果を2次元画像として地図上に表示している。TOMSの測定結果は、対流圏と成層圏を含んだオゾンの全量濃度の情報を表しており、ILASの測定結果は、成層圏中のオゾンの体積混合比の高度分布を表している。したがって、両者を直接比較しても厳密には意味のあることとはいえないが、両

者のデータ間の傾向を把握する観点から定性的な比較を行った。

前述したように、ILASはほぼ一定の緯度において、経度方向に等間隔に、1日に約14点の観測を行っている。これらの観測データを用いて、2次元スプライン補間を施すことにより、オゾンの濃度変化を「経度-高度」の2次元画像として表すことができる。図7はその一例である。これらのデータの観測点を、図8のTOMSの観測画像上に白抜ききの○印で示す。この例では、1日分の観測データのうち、2地点のデータ欠損があったため、12測定点のデータを使用した。図7の横軸の変化は、図8では経度-180°（図の水平横の左）から始まって時計回りに+180°までの一週に対応する。図7の高度30km付近におけるオゾン濃度は、オゾンホール内部（-120°から+30°の範囲）で他の位置の測定値に比べて低く、TOMS画像と定性的によく一致していることがわかる。このような「経度-高度」の2次元画像は、オゾン以外の観測対象気体についても表示することができる。ILASが測定した各種の気体成分に対して、以上のような情報から空間的な構造を比較検討することにより、オゾン層における反応・輸送現象の解明研究が大きく進展することを期待したい。

4.2 オゾンゾンデによる測定データとの比較

ILASの測定データ質を評価する方法の一つに、他の測定器によるデータとの比較が挙げられる。このような測定を、ILASデータの検証実験とよんでいる。実際には、ILASと全く同一の日時に同一地点で測定することは不可能に近いが、ある程度の時刻と位置のずれを許容すれば、両者の測定結果の比較は十分に意味がある。

検証実験の一つに、オゾンゾンデによるILASとの同期観測がある。南半球では南極の昭和基地で観測を行っており、ILASの検証観測として1996年11月から1997年2月までの間に23のオゾンゾンデによる観測が行われた。北半球ではスウェーデンのキルナに近いエスレンジにおいて、1997年の2月と3月に大規模な検証実験が行われ、この間に56のオゾンゾンデによる観測が行われた。ほかにも、ロシアのヤクーツクや米国アラスカのフェアバンクスでもオゾンゾンデによる検証観測を行っている。図9には昭和基地でのオゾンゾンデデータとの比較例を、図10にはエスレンジにおけるデータとの比較例を示す。ILASの測定結果は▲を結んだ細かい実線で、オゾンゾンデ

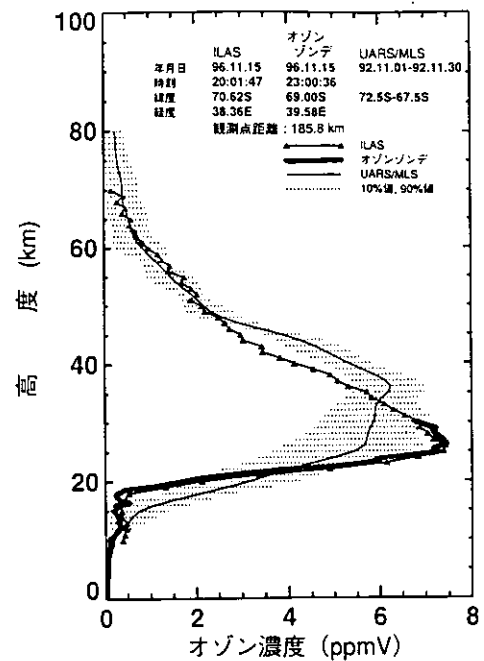


図9 ILASのオゾン観測データと南極昭和基地におけるオゾンゾンデ観測データとの比較例

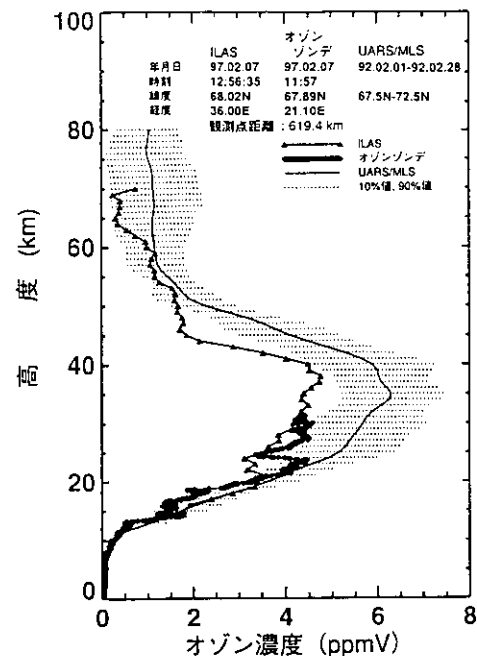


図10 ILASのオゾン観測データとキルナ・エスレンジにおけるオゾンゾンデ観測データとの比較例

による測定結果は太い実線で示す。オゾンゾンデは高々25~30kmの高度までしか観測ができないが、この高度範囲でも十分に有用な情報の比較ができる。なお、図中の記号のない実線は、参照値としてMLS (Microwave Limb Sounder; マイクロ波大気周縁放射測定計) によるILASと同じ観測緯度帯における1992年の当該月の平均値を表し、水平方向の点線は、そのMLSデータの10%~90%値

の変動幅を表している。MLSは1991年に打ち上げられた米国の衛星UARS (Upper Atmosphere Research Satellite; 高層大気探査衛星) に搭載されているセンサーの一つである。ILASの測定結果は、観測年の異なるMLSの参照値とは離れた値を示しているが、オゾンゾンデによる測定結果とはよく一致している。実際、図9の昭和基地での観測はオゾンホールの外であったために高濃度が、図10のエスレンジにおける観測は極渦の内部における観測であったため低濃度が観測された。極渦の内部では、高度25km付近の成層圏でオゾンが減少している。この構造は検証実験データによっても確認されることから、ILASが実際の現象を正しく捉えているものと推測できる。

5. おわりに

ILASの観測データには、実際の大気中の現象を示す様々な情報が隠されている。データ処理の初期の段階で、我々は次のような経験をした。高度10数kmの下部成層圏における水蒸気と二酸化窒素の導出結果は、本年2月までは、ほとんど全ての観測で、異常な高濃度を示していた。これは、参照値や成層圏大気中の通常の濃度に比べて極端に高い値であった。この原因を追究した結果、赤外6 μm の付近の酸素の連続吸収の寄与が、大気の透過スペクトルを計算するプログラム中に正しく取り込まれていなかったことが判明した。これを修正した後は、水蒸気も二酸化窒素も、下部成層圏においてもっともらしい値が導出されるようになった。現実の測定データは正直である。理論計算値と合わない点がある場合には、解析プログラム中で何が不足しているか、何らかの勘違いをしていることが往々にしてある。しかし、ほとんどの場合に両者が一致して、限られた観測の場合にのみ一致しない時には、それが実際に大気中で起こっている特異な現象を示唆している可能性もある。常にデータやプログラムを慎重に吟味して、計算プログラムに原因があるか大気中の現象かを見極めることが私どもプロジェクトメンバーの責務である。

また、データが確認された後は、多くの研究者の方にILASの観測データを利用していただきたいと願っている。ILAS観測データの信頼性を確認するための検証解析が完了し、確定データが一般ユーザの方に公開されるのは、衛星打ち上げ後21ヵ月、すなわち平成10年(1998年)5月からを予定している。その間は、ILASのサイエンスチームメンバーや公募研究者によって、ILAS観測

データの検証やアルゴリズムの改訂等に関する研究が鋭意行われる予定である。

謝 辞

ILASプロジェクトは、環境庁において1989年より開始され、機器開発、データ処理アルゴリズム開発、データ処理システムの開発といった下積みの期間を7年ほど経て、昨年末からの観測データを取得・解析する段階を迎え、いわば花が咲いた状態に到った。咲いた花が美しいかどうかは、国際協力のもとに実施される「検証実験」によって確かめられようとしている。ここまで到達できたのは、これまでILASプロジェクトに関与して下さった多くの研究者、技術者、行政官の方々の努力と御支援の賜物である。今後、ILASの観測データが地球規模の大気科学研究に利用され、オゾン層破壊や地球温暖化問題の現象解明と対策への糸口などに貢献を行ってはじめて、プロジェクトとしては咲いた花に実が結んだと言えよう。私はILASプロジェクトでは主にアルゴリズム開発を担当してきた。しかし、本発表では私1個人の研究成果ではなく、プロジェクト全体の現状の紹介を行ったつもりである。最後に、これまでの多くの方々のご協力とご支援に深く感謝を申し上げたい。

なお、ILASプロジェクトと環境庁では、インターネット上にホームページを開設して、ILASに関する情報を広く一般に提供している。ご興味をお持ちの方は、ぜひ一度下記にアクセスしていただきたい。

<http://www-ilas.nies.go.jp/> および
<http://www.eic.or.jp/ilas/> である。

主な参考資料

- 石垣武夫：焦電検出器の衛星搭載機器への応用、応用物理、66(5), 481-485, (1997)
- 環境庁地球環境部編：ILAS & RIS, 249p, (1996)
- 笹野泰弘：改良型大気周縁分光計 (ILAS) による高層大気環境の観測、日本リモートセンシング学会誌、13(4), 73-77, (1993)
- 鈴木 睦、他：オゾン層観測センサ「ILAS」、日本赤外線学会誌、1, 42-50, (1991)
- 鈴木 睦：ADEOS 衛星搭載センサーILASの校正について、計測と制御、35(9), 669-674, (1996)
- 横田達也：地球環境計測とリモートセンシング、ESTRELA、3月号、9-14, (1995)

魚が変える湖の環境 — 中国東湖と十和田湖を例に —

高村 典子（地域環境研究グループ開発途上国生態系管理研究チーム）

1. はじめに

「湖沼は水の滞留性が高いために、一度汚染すれば河川よりも回復が遅く、またその生態系は集水域の変化にきわめて敏感に反応する。」これは琵琶湖宣言の前文である。確かに湖沼管理はその集水域の管理に依存する部分が多い。しかし、最近では生態系内で起こる生物間相互作用が、湖沼のクロロフィルa量に大きく影響することも明らかになってきている。すでに、Schindler (1978) は、リン制限型の湖沼についても、リンの負荷量で説明がつくのは、一次生産量の変動の50%未満でしかなく、他は捕食者による影響が、この変動の幾分かを説明できるのではないかと推測している。従って、湖沼の水質予測には、プランクトン群集内またはプランクトン群集とそれらを食する魚や甲殻類との相互関係を明らかにした上で、栄養塩以外に有効な説明変数を特定し、新たな予測モデルをつくる必要があるとされている。

北米では、「魚食魚を増やすことで、プランクトン食魚を減らし、その結果大型の枝角類を増やし、最終的に植物プランクトンの量を減らす」、というバイオマニュピュレーションが一つの有効な湖沼水質管理手法と考えられている。北米では魚食魚を対象としたスポーツフィッシングが盛んで、湖の魚を食することはまれである。従って、たとえこの魚食魚の導入が水質浄化にはさして効果がなく、バイオマニュピュレーションが失敗に終わったところで、結果としてスポーツフィッシングがより楽しみ、まだ十分にわかっていない湖沼の生物間相互作用についての知見が蓄積される、とこの手法は肯定的に受け取られている。しかし、この手法を日本で用いるのは大変危険である。日本には魚食性の在来魚は少ない。ブラックバスやブルーギルは外来魚で、疑似餌釣りの対象魚種として釣りの愛好家や釣り器具メーカーにより、その分布域が拡大されてきている。その影響の評価はまだ十分なされてきていないが、直接的・間接的に日本の湖の水産資源に大きな打撃を与えているのは確実である。バイオマニュピュレーションを適用する場合には、魚種がその地域に適しているかどうか、湖沼の他の利用のされ方への影響を考慮し、得られる効果を正確に予測し、

失敗した場合のリスクなども考え、様々な観点から事前に十分な調査研究が必要とされる。

私の研究室では、平成7-11年度の開発途上国環境技術共同研究の一環として、中国揚子江中下流域の浅い富栄養湖沼の生態系管理に関わる研究を、中国科学院水生生物研究所・謝平教授の研究室と共同で行っている。また、平成7-9年度環境庁国立機関公害防止等試験研究費による地域密着型研究の一環として、十和田湖の保全に関する研究を青森県環境保健センターと共同で行っている。本講演では、中国東湖と十和田湖を例に、魚が湖沼の水質やプランクトン群集に与える影響についての研究を紹介したい。

2. 中国東湖の事例

東湖は揚子江中流域武漢市にある面積32km²（実際の漁獲に影響する面積は12km²）、最大水深4.5mの浅い過栄養湖沼である。都市近郊に位置するため、2-3カ所から多量の地下水が流入している。中国では淡水魚は極めて重要な水産資源と位置づけられている。東湖では、1970年以降、つまりハクレンとコクレンの種苗生産放流技術が確立して以来、これらの漁獲が飛躍的に伸びた。両種の漁獲は現在も増え続けており、1970年の年間漁獲量200tが今や1600tになっている。両種とも濾食性で、プランクトン食魚であるが、食べる粒子の大きさが異なり、ハクレンがより細かい方に、コクレンがより粗い方にずれている。謝平教授によると東湖では1980年代の中頃からアオコが消え、それ以後は小型の植物プランクトンに変化している。この変化はハクレンとコクレンの摂食圧の増大に伴う変化であろうと推測されている。実際、現在の中国東湖の湖水中のTP（全リン量）とクロロフィルa量の関係を日本の湖沼のそれと比べてみると、東湖はTPが高いにもかかわらず、明らかにクロロフィルa量は低く抑えられている（図1）。この推測が正しければ、中国のように生活排水の処理技術が十分でなく、窒素、リンの削減が容易に行えない場合、ハクレンやコクレンの放養がアオコの防除や水質浄化に極めて有効であると考えられる。

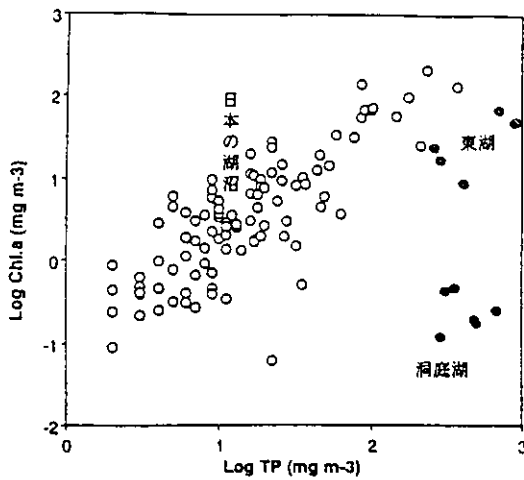


図1 湖水の全リン量とクロロフィルa量の関係

3. 隔離水界を用いた実験的研究

上記の仮説を検証し、ハクレンがプランクトン群集や水質に与える影響を評価するため、霞ヶ浦に6基隔離水界を設置し、異なる密度のハクレンを導入した(表1)。各水界のサイズは5m×5mで、深さは2.2-2.5mである。実験は1996年7月15日に開始し、9月24日に台風によって水界が一部破壊され、水界内の水が混合したために終了した。ただし、実験途中の8月15日にも台風があり、その時点で実験を一時中断し、8月27日に再度初期状態に戻して実験を再開した。従って、本実験は前期(7月16日~8月16日)と後期(8月28日~9月24日)の2部に分かれて行われたことになる。後期の実験を開始するに当たって、前期の実験中に付着した藻類をシートから除去し、開始の約10日前からシートを湖底に沈め、水界設置場所の湖水を均一にした。水界を囲う際、底面から霞ヶ浦の魚が侵入するのを防ぐために隔離水界のシートの底には5mmメッシュの網を張ったが、それにもかかわらず、前期の実験ではブルーギル稚魚(体重0.1-0.15g)およびウキゴリ稚魚(体重0.6-1g)が期せずして大量に水界内に入り込んだ。これらの稚魚は、縦3m×横5m×奥行4mのすくい網で7月30日にすべての水界から取り除いた。後期の実験で水界内に侵入した魚類は、8月27日に水界を再構築した際、直ちに同じすくい網で除去した。(詳しくは高村ら(1997)参照)

サンプリングは週2回の頻度で行い、毎回、環境要因、水質、生態系構成要素の密度並びに現存量を測定した。各構成要素の現存量もしくは密度の変動を説明するために、ステップワイズ回帰を用いて反応変数(Y)の変動

表1 前期・後期の実験でそれぞれ6基の隔離水界に導入されたハクレンの数と密度

水界	匹数	密度 (g/m ³)
前期 (1996, 7/16 - 8/16)		
1	0	0
2	67	9.9
3	133	22.3
4	200	28.2
5	267	40.9
6	333	54.1
後期 (1996, 8/28 - 9/24)		
1	0	0
2	10	3.1
3	19	5.8
4	29	9.1
5	39	12.9
6	48	15.0

を有意に説明する重回帰モデルを見つけた。説明変数の候補にはYに対する捕食者と被捕食者の現存量あるいは密度、サンプリングの行われた時の水温、そして実験番号(前期に1、後期に2というダミーの変数)だけを採用し、捕食-被捕食者間の関係以外のもの(競合など)を一切無視した。ダミーの説明変数を与えることで、前期と後期で異なる環境要因(水温以外の要因、例えば前期の実験ではブルーギルによる動物プランクトンの捕食があったが、後期の実験ではそれが無いことなど)の影響を相殺した。

5基の水界に入れられたハクレンの成長は、前期と後期の実験を通じてハクレンの導入密度にほぼ逆比例しており、成長速度が密度依存적であった。

動物プランクトンでは、枝角類の *Diaphanosoma brachyurum*、カイアシ類の *Mesocyclops sp.* が優占的に出現した。現存量が最も高かったのは *D. brachyurum* で、特に後期の実験中、水界1で優占的に出現した。さらに、水界4、5でも多く認められた。ちなみにカイアシ類の幼生(nauplii)は現存量こそ少ないが、その密度は *D. brachyurum* とほぼ同程度であり、特に密度が高かったのが水界1よりも水界5と6であったことが興味深い。前期の実験中、大型の動物プランクトンがほとんど観察されなかったのは、水界に侵入していたブルーギル稚魚による捕食の影響だと考えられた。

輪虫類は実験期間中20種以上出現した。前期の実験ではブルーギル稚魚を取り除いた直後に、水界1で *Brachionus calyciflorus*、*B. forficula* が爆発的に増えた。後期の実験では、水界1、2、3で *Keratella cochlearis* が増えた。

繊毛虫は前期、後期をとおしてハクレンのいない水界1で少ない傾向があった。従属栄養性鞭毛虫 (HNF) の密度は前期の実験中、ハクレンのいない水界1で比較的高かったが、独立栄養性鞭毛虫 (ANF) は著しく低かった。一方、後期に入ると、HNFとANFはどちらも水界1で密度が低いことが注目される。細菌は実験期間中、 10^7 cells/ml前後の密度で推移した。ピコシアノバクテリアの密度は、前期に水界1で他の水界に比べ際だって数が少なかった。

ハクレンを導入しなかった水界1では、8月に入ってアオコ (主に *Anabaena flos-aquae*) が発生した。そのため、 $40\mu\text{m}$ 以上と $10 - 40\mu\text{m}$ の植物プランクトンのクロロフィルa量は、水界1で常に高かったが、ハクレンが導入された残りの5基の水界では、ほぼ $10\mu\text{g/l}$ 以下の低いレベルで推移した。他の水界では *Anabaena* は全くみられず、代わりに *Chroococcus* や *Aphanocapsa* が多く出現している。 $10-40\mu\text{m}$ と $2-10\mu\text{m}$ のクロロフィルa量の変動は、後期に入って前期とは一転して水界1の値が他の水界よりも低くなった。これは、水界1で密度が高くなった枝角類の摂食による影響と推察される。後期(9月20日)の水界1では依然として *Anabaena* が優勢し

たが、他の水界では *Chroococcus* の現存量が増大した。

台風があった8月15日に底泥が攪拌され、アンモニアが溶出し溶存無機窒素 (DIN) 値が上昇した。溶存無機リン (DIP) は水界設置後、底泥からの溶出によって、一定して増加の傾向を示した。8月15日にDIPが一斉に低下したのは、台風で底泥の堆積物が浮遊し、それらの粒子にリン酸塩が吸着したためと考えられる。

今回の実験で明らかになった食物網の捕食・被捕食関係を図2に示す。食物連鎖の上の方からの影響 (トップダウン効果) については、まず、輪虫、繊毛虫、 $2\mu\text{m}$ 以上の植物プランクトンの変動がハクレンの摂食の影響を強く受けていたと結論された。ANFの変動はカイアシ類と輪虫の摂食の影響を、ピコシアノバクテリアの変動は枝角類、カイアシ類および繊毛虫の摂食の影響を受けていた。また、食物連鎖の下の方からの影響 (ボトムアップ効果) では、輪虫の変動がHNF、繊毛虫 ($20-60\mu\text{m}$) の変動がHNFとピコシアノバクテリア、HNFの変動がピコシアノバクテリア、細菌の変動がDIPといった資源からの影響を受けていたと結論された。また、ハクレンの密度とピコシアノバクテリアの密度の正の関係は、間接的な因果関係に基づくものとして興味深い。これは、アオコと栄養塩などをめぐる競合、あるいはアオコによる水界内への日射量の減衰が、水界1でピコシアノバクテリアの増殖を抑制したためと考えられる。

ハクレンの密度と水界の透明度の間には強い正の相関が見られた ($r = 0.663$, $n = 102$, $P < 0.0001$)。ただ

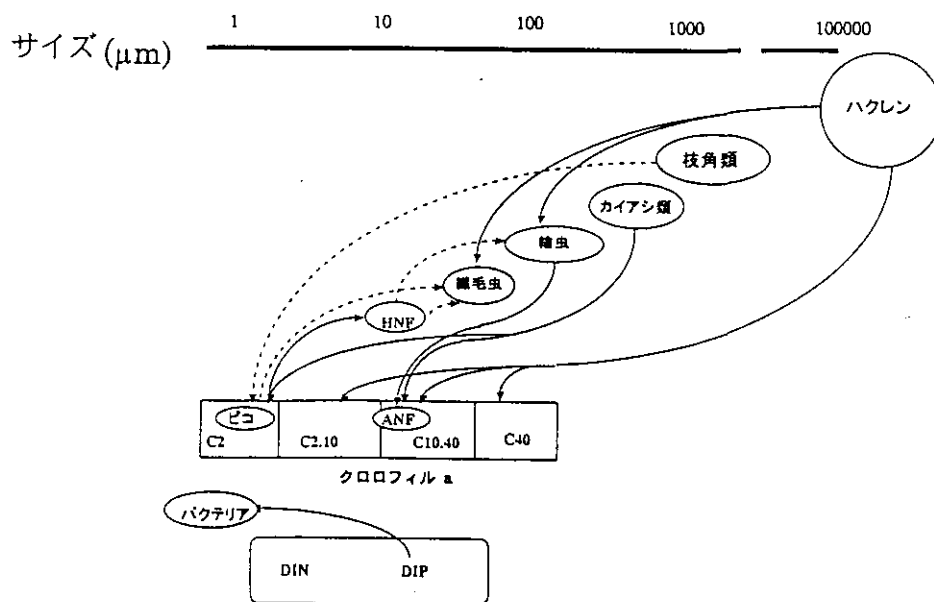


図2 隔離水界を用いたハクレン導入実験において明らかとなった食う、食われるの関係

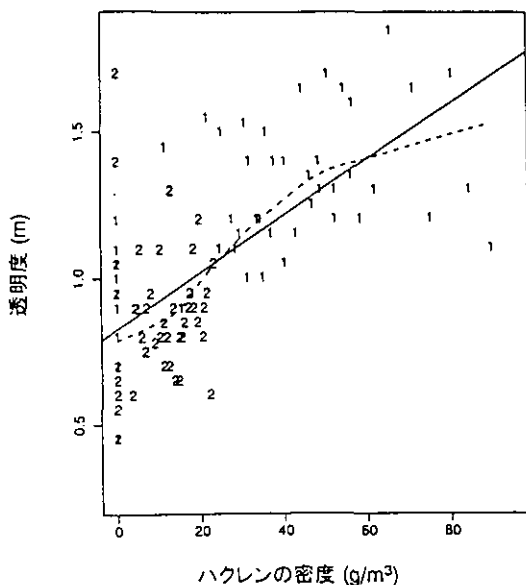


図3 ハクレンの密度と水界の透明度の関係
(数値1は前期、2は後期の実験で得られたデータ)

し、透明度の向上する傾向は、ハクレンの密度が 50 g/m^3 を越えるとあまり明瞭でなくなる(図3)。明らかにハクレンはアオコや大型の植物プランクトンを摂食し、その結果、水界内の湖水の透明度が上がった。ハクレンの導入により植物プランクトンは小型化し、ピコシアノバクテリアが増加した。ハクレンの導入は一方で、輪虫と繊毛虫の減少を招き、このことが、摂食圧から解放された小型($10 \mu\text{m}$ 以下)の植物プランクトンであるANFやピコシアノバクテリアの増殖をさらに助長することになったとも考えられる。魚の導入により水中の栄養塩濃度の増える場合があるが、今回のハクレンの導入により水中の栄養塩濃度が増加する現象は認められなかった。

4. 十和田湖の事例

十和田湖は青森県と秋田県にまたがる面積 61.06 km^2 、体積 4.19 km^3 の2重カルデラ湖である。最大深度は 326.8 m で田沢湖、支笏湖について日本で3番目に深い湖である。十和田湖はその集水域の98.4%が森林に囲まれた貧栄養湖で、その水は発電、灌漑用水、飲料水として利用されている。また、観光地としても有名で、十和田湖とその流出河川である奥入瀬溪流には年間約300万人が訪れている。本湖はもともとは魚の生息しない湖であったが、1884-1945年の間に、漁業者の手によって12種類の魚種の導入が試みられた。その中で1903年に北海道支笏湖からのヒメマスの導入が成功し、以来、ヒメマスが十和田湖の重要な水産資源となっている。また、ヒ

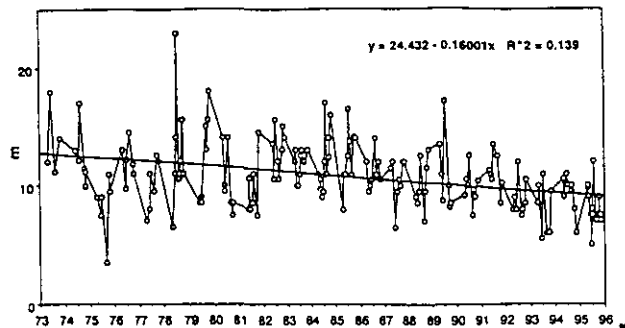


図4 1973-1995年までの十和田湖の透明度の変化
(青森県・秋田県公共用水水質測定結果と十和田湖孵化場協議会資料より作図)

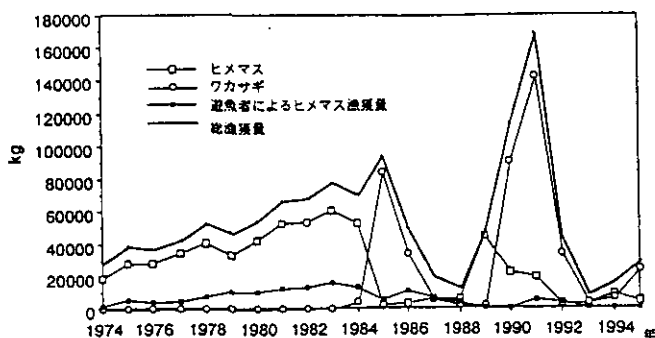


図5 十和田湖における魚種別漁獲量の年変化
(青森県内水面水産試験場 長崎勝康氏提供のデータから作図)

メマス釣りを楽しむ遊漁者も多い。十和田湖では、このヒメマスの増産のために昭和27年水産庁十和田湖孵化場が発足した。十和田湖での調査研究はヒメマスの資源対策事業調査として、昭和42年から複数の研究機関によって開始され、現在、青森県内水面水産試験場と秋田県水産振興センターがこの調査を継続している。一方、環境サイドでは昭和47年から青森県環境保健センターと秋田県環境技術センターにより、公共用水域水質測定が開始された。十和田湖を対象とした研究は、ここをフィールドとしている大学もないので、それ以外にはほとんどなされてきていないのが現状である。

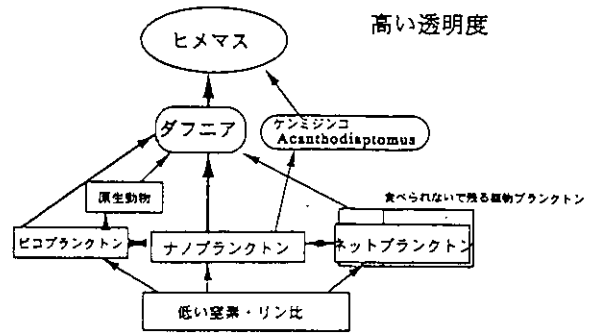
環境サイドのモニタリング結果から、十和田湖では1987年あたりから透明度の低下(図4)やCODの増加が認められ、富栄養化が懸念されてきている。しかし、TPやTN(全窒素)量は、1983年以降増加の傾向は認められていない。一方、水産サイドでは1984年まで安定して増加傾向にあったヒメマスの漁獲が1985年に急に落ち込み、変わってワカサギが増えた(図5)。その後1989年にヒメマスの漁獲量は一時的に回復したものの、その後は再びワカサギが増え、全体的に漁獲量は不安定になってい

る。さらに、イトヨが1983-4年に地元の漁業者により十和田湖で初めて見つけられ、1990年あたりまで爆発的に増加しているらしい(森、私信)。

平成7、8年度の2年間は、十和田湖の沖の生態系の構造を明らかにするための調査を実施しながら、過去の調査報告を解析し、最近の十和田湖の透明度の低下やヒメマスの漁獲の不振がどのような要因で引き起こされているのかについての考察を行った。秋田県水産振興センターの動物プランクトンのモニタリング結果から、ヒメマスの漁獲量が高いときは、枝角類の *Daphnia longispina* およびカイアシ類の *Acanthodiptomus pacificus* の密度が高いこと、また、ワカサギの漁獲量が増えた後は、枝角類の *Bosmina longirostris* や輪虫類の *Keratella quadrata* と *Filinia terminalis* の密度が高くなった。 *Daphnia* は利用できる餌のサイズの幅が広く、かつ、濾食速度が早い。しかし、 *Bosmina* は利用できる餌のサイズの幅が狭い。従って、1984年までの十和田湖の沖の生態系は図6に示したように、十和田湖の植物プランクトンのほとんどが *Daphnia* により効率よく摂食され、それがヒメマスへと転換していたと考えられる。ワカサギがヒメマスに置き換わってしまった明確な原因は特定できないが、例えばヒメマスを過剰に放流した等の原因で、 *Daphnia* がつぶれ、1985年以降は、ワカサギと *Bosmina*、輪虫の優占する系に置き換わってしまった。そのため、湖水中に食べられないで残る植物プランクトンが増え、結果として湖水の透明度が低下していると考えられる。ヒメマスの増産と水質のみを考えると、十和田湖の沖の生態系は1984年以前のそれに戻すのが望ましい。つまり、 *Daphnia* が優占する系が望ましい。そのためには、おそらくヒメマスの資源管理やある程度のワカサギやイトヨの駆逐が必要かもしれない。また、沿岸域の魚の場利用を含めた、十和田湖全体の生物間相互作用の研究が必要である。

現在の十和田湖は貧栄養湖と位置づけられたが、他の貧栄養湖と異なり、TN: TP比が4.2-47.0(重量比)と低く、どちらかという窒素制限型の湖沼であることが大きな特徴である。一般に、外洋は窒素が制限因子、貧栄養と中栄養の湖沼はリンが制限因子と考えられているため、十和田湖の栄養塩環境は世界の湖沼についての一般認識と異なっていて興味深い。この低いTN: TP比が、優占する植物プランクトン種に、そしてそれが生態系にどのように影響しているのか、答えを出すのは今後の課題である。我々の2年間の調査で現在の十和田湖沖の生態

1984年までの十和田湖沖の生態系(安定)



1985年からの十和田湖沖の生態系(不安定)

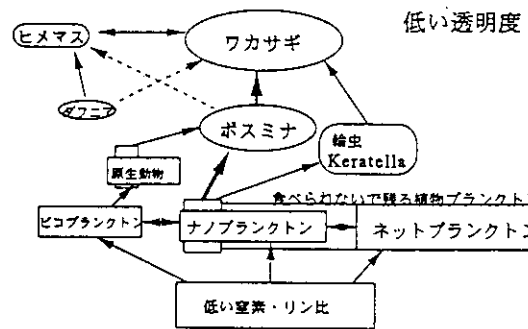


図6 想定される十和田湖沖の食物連鎖の変化

系の構造がわかってきた。 *Daphnia* が優占する系は透明度が高くなるが、たとえ魚による捕食圧を減らしても、 *Daphnia* が優占する系になるとは限らない。なぜなら、霞ヶ浦の隔離水界において、魚のいない系を作っても *Daphnia* は出現しない。これは、霞ヶ浦の植物プランクトンが藍藻が主体で餌の質が悪いからではないかと推察できる。魚の影響について述べてきたが、植物プランクトンからのアプローチもまた必要であろう。

5. おわりに

湖沼保全行政は、湖沼の「水資源」としての価値に重きを置き、「水質」レベル(具体的にはCOD)が上水、農業用水、工業用水、水産用水等として適切かどうか、つまり環境基準を満たしているかどうかという判定条件で行われてきた。その後、湖沼法が制定され、いくつかの湖沼では地域に密着した「湖沼水質保全計画」の策定が設けられるようになった。しかし、これもあくまで「水質保全」であって「湖沼保全」となっていない。すでに多くの人々に指摘されているとおり、湖沼の持つ価

値は「水資源」としての価値だけではなく、水産の場、レクリエーションの場、多種多様な生物の生活場所、人間の心のやすらぎの場、生物の多様性保全の場、生物進化の研究の場等多岐にわたっている。従って、湖沼の保全には、湖沼の持つこうした価値をも評価し、最適な保全策を構築する必要がある。「湖沼の持つ価値」の基準は、一般的な議論ではなく、かなり地域に密着した議論をして決定していく必要を感じる。つまり、地域の人々と湖沼との係わり方により、また、その湖沼の特質により、価値基準が異なることは当然で、従って、保全策もおのおの湖沼、地域で独特のものになっていくのが望ましいと考えている。湖沼の水質はそこに生息する生き物の相互作用によって大きく変化することを示した。今後は水質のモニタリングだけではなく、生態系モニタリング

を行いながら、総合的な湖沼保全をしていく必要がある。ささやかではあるが我々の研究が一つのモデルケースとして、今後の湖沼環境保全行政に活かされることを願って本講演を終わりたい。

引用文献

Schindler, D. W. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's lakes. *Limnol. Oceanogr.* 23: 478-486.

高村典子・福島路生・孫麗偉・中川恵・Otto Albinger・松重一夫。1997. ハクレンはアオコを制御できるか？ 霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会講演報告集、11、p. 1-16. 国立環境研究所、F-99-'97 NIES.

環境負荷の構造変化と都市大気環境変化

若松 伸司（地域環境研究グループ都市大気保全研究チーム）

1. はじめに

我が国の大都市地域における大気環境をめぐる状況は環境負荷の構造変化に伴って変化しつつあるが、その特徴は不特定多数の発生源が不特定多数に影響を及ぼす生活型の環境問題が、その大部分を占める様になって来たことである。一次産業の郊外への移動などの都市域における産業構造の変化や、人々の生活様式の多様化に伴う物流量の増加、生活の質の変化に伴うエネルギー消費量の増大などは環境負荷の構造的な変化をもたらしている。

大都市地域における主要な大気汚染発生源は自動車によるものであるが、例えば光化学大気汚染の原因となる窒素酸化物の排出量は総体としては増加しつつあり、面的にも広域化している。このような変化は大気汚染の分布にも影響を及ぼす。

都市域における大気汚染は沿道大気汚染から広域大気汚染までの広い範囲に及んでおりそれぞれのスケールの現象が相互に関連しているため総合的な理解が必要である。またその多くは気象と反応が複雑に絡み合った現象であるため発生源、気象条件、反応過程を同時に解析・評価出来る数値モデルを用いた研究が有用である。以上の観点から1993年から4年間にわたって実施した「環境負荷の構造変化に伴う都市の大気と水質問題の把握とその対応策に関する研究」の一環として、関東・関西地域を対象としてフィールド観測、風洞実験、データ解析、モデル評価により都市の大気環境の最新の状況の把握と大気環境負荷の構造変化との関連性を研究した。

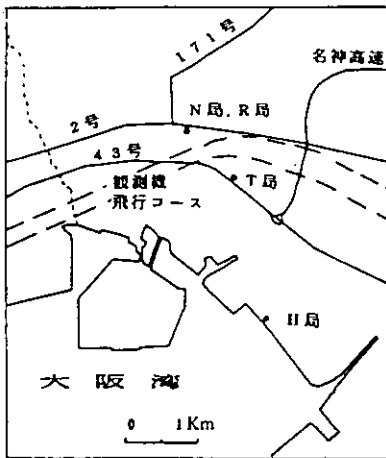


図1 大気汚染測定地点
N局：H局は環境大気測定地点
T局：R局は沿道測定地点

2. 沿道大気汚染と地域大気汚染

都市内において二酸化窒素の濃度が最も高くなるのは沿道周辺地域である。自動車からの窒素酸化物のうち約9割は一酸化窒素（NO）であるが、環境大気中においてオゾン（O₃）などにより酸化され、より有害な二酸化窒素（NO₂）が出来る。市街地の道路は建物に取り囲まれている事が多いため、複雑な気流が形成される。このストリートキャニオン内での大気汚染物質の挙動を解明するためにフィールド観測と風洞実験を行った。図1にフィールド観測結果の一例を示す。沿道大気環境の評価にあたっては、沿道を取りまくより広い地域の大気環境の状況を知る必要がある。この観測では海岸から内陸に向けて風の流れに沿った2つの環境大気測定局と2つの沿道測定局の測定データを用いて一酸化窒素、二酸化窒素、

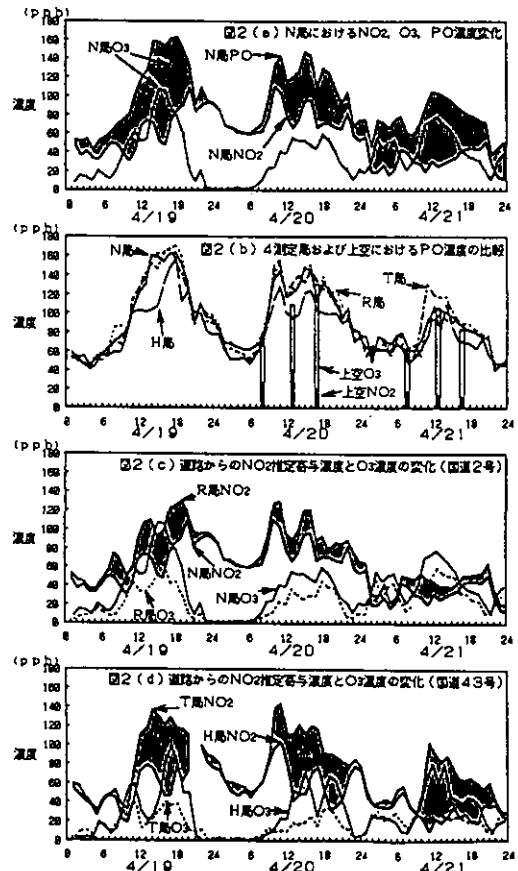


図2 各測定局における1993年4月19日から21日にかけての濃度変化

PO（オゾンとNO₂の和）の濃度は4つの測定局、上空とも同様の变化を示す。昼間O₃濃度が高くなると沿道で生成されるNO₂の寄与が大きくなる。

オゾンの濃度変化を解析した。図2の海岸地点(H局)の濃度はこの地域への外部からの流入量を示しており内陸の地点におけるNO₂の増加分は陸域における生成量に相当する。また沿道測定局(T局、R局)と環境測定局(H局、N局)の間の各種の汚染物質濃度の差はストリートキャニオン内に上方のO₃が侵入し、NOからNO₂への酸化がなされた情況を示している。この様に沿道の大気汚染濃度の評価にあたっては、地域大気の動態把握が重要である。さてこの沿道測定局でのNO_x(NOとNO₂の合計)の濃度を交通量から推定したNO_x排出強度と風速で無次元化した濃度C_nと大気安定度の関連性を調べた結果を図3に示す。安定度によって濃度のレベルが大きく異なっている事がわかる。様々な大気安定度によるストリートキャニオン内の濃度分布をフィールド観測により調査する事は極めて困難であるため風洞実験を行った。風洞による実験においても安定度を変化させた時の流れと濃度の観測は、実験技術上の困難さから、これまでほとんど成功していなかったが、レーザー流速計を用いた実験技術を確認した事により図4に示す実験結果を得る事が出来た。この実験は比較的単純な立地条件についてのものであるが、安定度が変化する事によりストリートキャニオン内の流れ場が大きく変化しこれに伴って、よどみ域内の濃度分布や上層からの空気を取り込みの

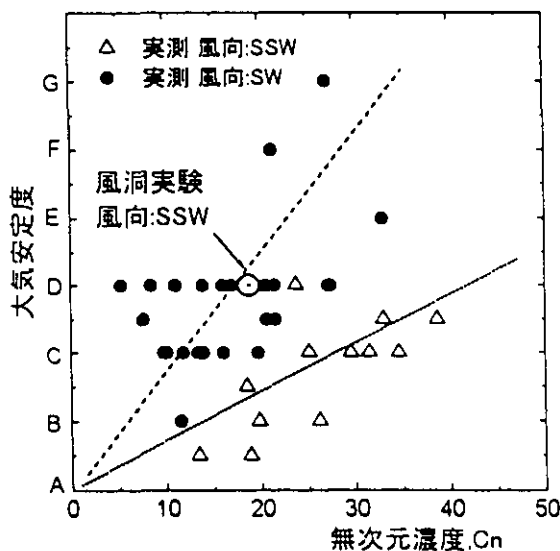


図3 大気安定度と沿道大気汚染濃度の関係

実市街地でのNO_x濃度は、大気安定度によって大きく変化する。縦軸はASTHによって定められた大気安定度階級で、風速や雲量など簡単な気象要素から定まる安定度指標。例えばAは非常に不安定、Dは中立、Gは非常に安定であることを表している。横軸は無次元濃度で、実市街地と風洞実験の濃度を対等に比較するために、基準の長さ、風速、排出源汚染濃度などで実濃度を基準化したものである。風洞実験によって予測した大気汚染濃度は実測値と非常に近い値を示していることがわかる。

様子が著しく異なる事が示されている。この時の上層でのオゾンの濃度によりストリートキャニオン内でのNO₂の濃度は大きく変化する。

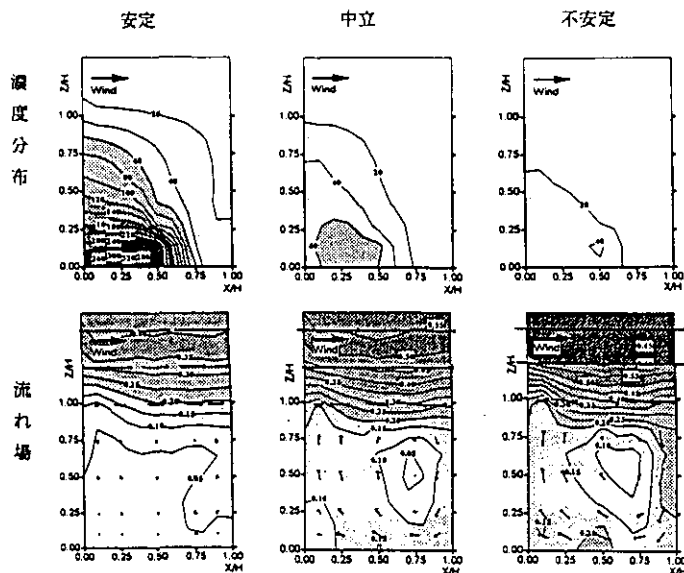


図4 ストリートキャニオン内の濃度分布と流れ場の関係

ストリートキャニオン内の濃度(上段)は大気が安定の時には高く、不安定の時には低くなる。これは下段の流れ場をみてもわかるように、大気が安定の時にはストリートキャニオン内の風速が低く抑えられるのに対し、不安定の時にはキャニオン内に強い渦が生じ、空気の入りが盛んになるためである。

3. 関西地域における春季大気汚染

関西地域においては4月にNO₂の濃度が高くなる傾向がある。図5にNO₂濃度の月平均値の変化を示したが、各年ともに4月が最高となっている。この事を解明するために航空機を用いたフィールド観測とモデルによる評価を行った。図6、図7に航空機観測結果の一例を示したが、地上でNO₂の濃度が上昇していた期間には上空で80ppb以上のO₃が出現していた。一方、3000m以上の上空においても60ppb程度のO₃が認められており、成層圏からの沈降が観測された。また観測期間中の気象条件は、

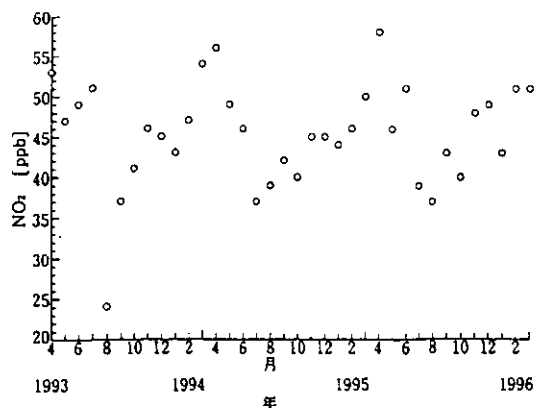


図5 大阪市梅田における1993年4月から1996年3月の間の二酸化窒素の月平均濃度変化

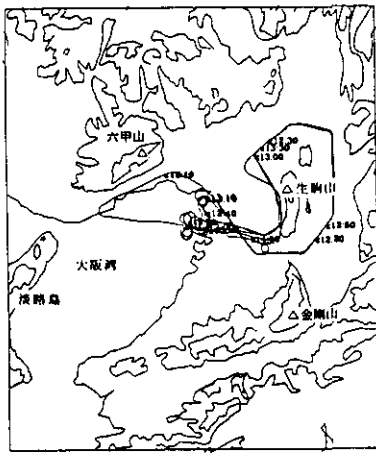


図6 航空機観測飛行コース

1993年4月20日, 11:15-14:02にこのコース上の300m, 600m, 2000mで水平飛行を行った。また大阪湾岸付近で高度約3200mまでの垂直分布観測を実施した。

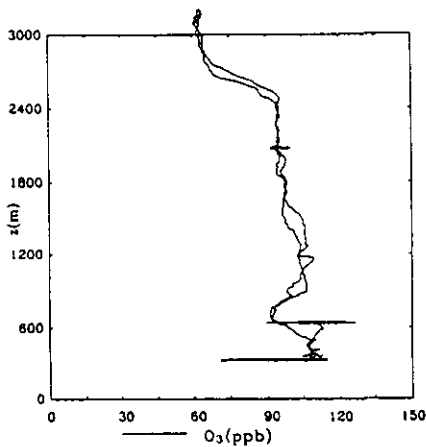


図7 航空機観測によるO₃濃度分布

図中の横のラインは図6に示した大阪平野・奈良盆地を中心とした地域における平面分布観測結果であり、垂直分布は、大阪湾岸地域での観測結果を示す。

移動性高気圧の影響による沈降性の逆転が認められた。晴天で最高気温が25℃以上となり光化学反応が起こり易い条件となっていた。バックグラウンドオゾンと光化学オゾンの寄与を知るために光化学三次元モデルを用いた解析結果の一例を図8に示す。この結果は大阪の中心地域についてのものであるが、O₃、NO₂、SO₂ともに良好な一致が得られている。図9には光化学オゾンと成層圏などからのバックグラウンドオゾンの寄与に関する計算結果を示した。関西地域での春季のNO₂高濃度には光化学オゾンと成層圏オゾンがほぼ同等に寄与している事が明らかとなった。図10にはNO₂の生成要因別寄与を示したが、大阪地域内において発生したNOがNO₂に酸化されることによる寄与が最も大きいことがわかる。

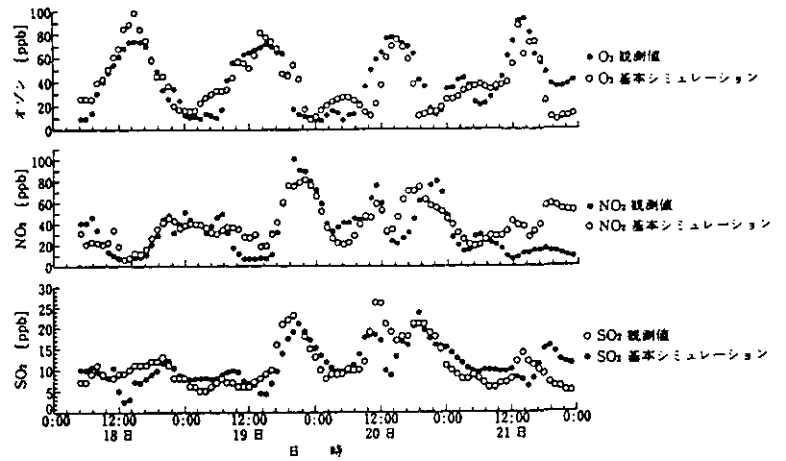


図8 光化学三次元モデルによる計算結果と実測値の比較

(大阪, 1993年4月18日~21日)

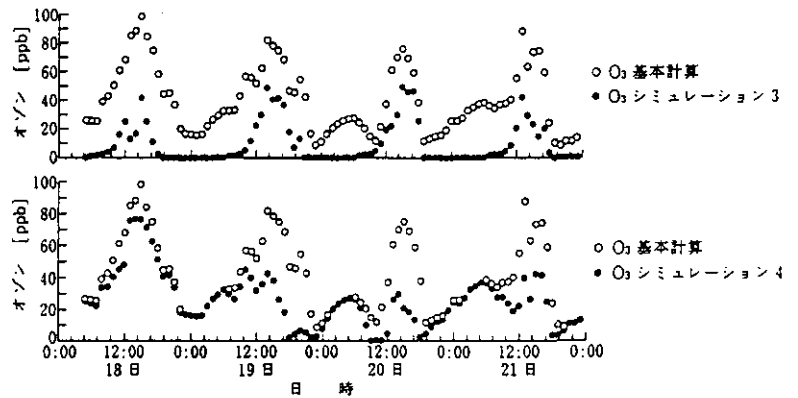


図9 光化学反応により生成するO₃とバックグラウンドO₃の寄与の評価

シミュレーションケース3: バックグラウンドO₃なし
シミュレーションケース4: 光化学反応なし

上の図はバックグラウンドO₃が無とした時の計算結果であり、下の図は光化学反応が無とした時の計算結果である。図中の白丸は両者を含んだ基本計算結果。

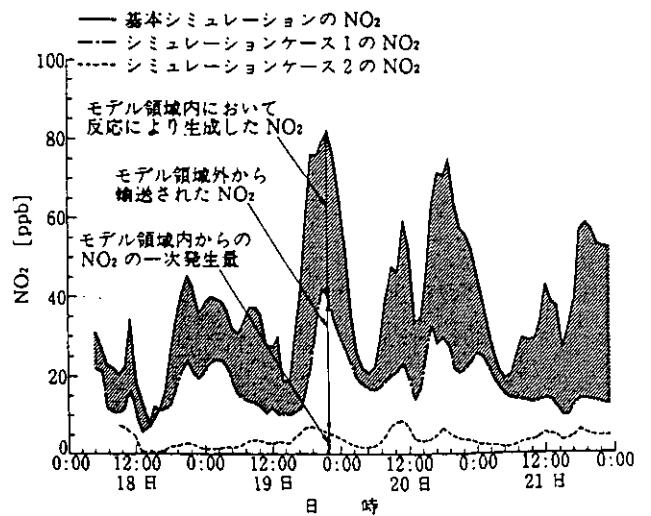


図10 NO₂の生成要因別の寄与

シミュレーションケース1: 移流あり, 光化学反応なし。
シミュレーションケース2: NO₂の移流なし, 光化学反応なし。
(大阪, 1993年4月18日~21日)

4. 関東地域における夏季大気汚染

関東地域における夏季大気汚染の動態解明はこれ迄にも多数行われており、海陸風や台地平地風などの局地風循環と光化学オゾンやエアロゾルの分布の間には密接な関係がある事が知られている。しかし山岳地域や海上での挙動に関しては十分な知見が得られていなかった。特に山梨県や、静岡県などの西部山岳地域、並びに太平洋上で動態解明が大きな課題となっていた。

そこで東京都大島空港を基地として航空機観測を実施した。観測の結果、これ迄に知られていなかった広域大気汚染機構を見出した。観測結果の一例を図11に示す。この観測は高度300mの平面分布であるが、極めて広い範囲にわたり100~280ppbの高濃度の O_3 が認められる。大島の気象台では前日から南風が継続していたが、メソ気象モデルを用いて解析した結果によれば、南系の風は海上の200~300m程度の層に限定されておりこれより上層では北~西系の風が吹いていた。この事から日中に南風の海風により内陸に輸送された汚染空気が内陸の山岳付近で上層に取り込まれ北系の上層風で太平洋上まで輸送されたものであろうと考えられる。図12にはこの時に海岸部の平塚上空で観測した O_3 と NO_x の垂直分布を示す。高度700m程度の所から上空に O_3 のピークが認められ、 O_3

と NO_x の比率が異なっている。これは700mより下層の汚染空気は、これより上層の汚染空気よりも時間の経ったものであることが推察される。すなわち上空を輸送されて太平洋上に出た空気が海上で冷却されて高度を下げ、その後下層の南風の層に取り込まれて再び陸上に輸送されたものであろう。このような広域な汚染空気の循環現象は今回初めて明らかにされたものである。

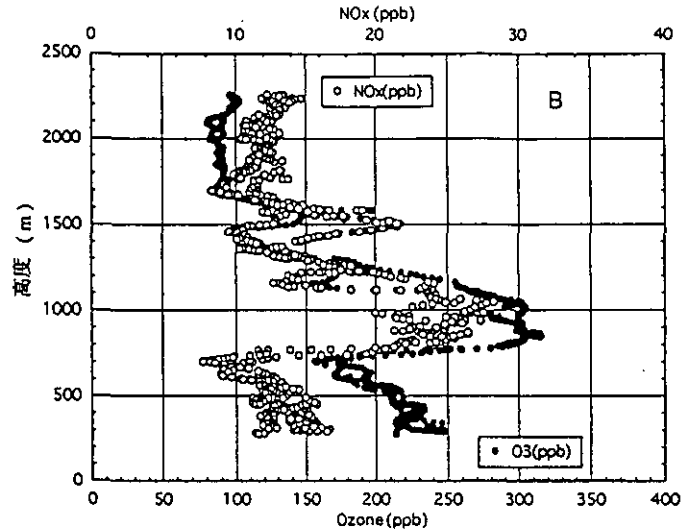


図12 平塚上空(測定地点B)における O_3 と NO_x の垂直分布
1995年8月2日15時14分-15時44分の観測結果。

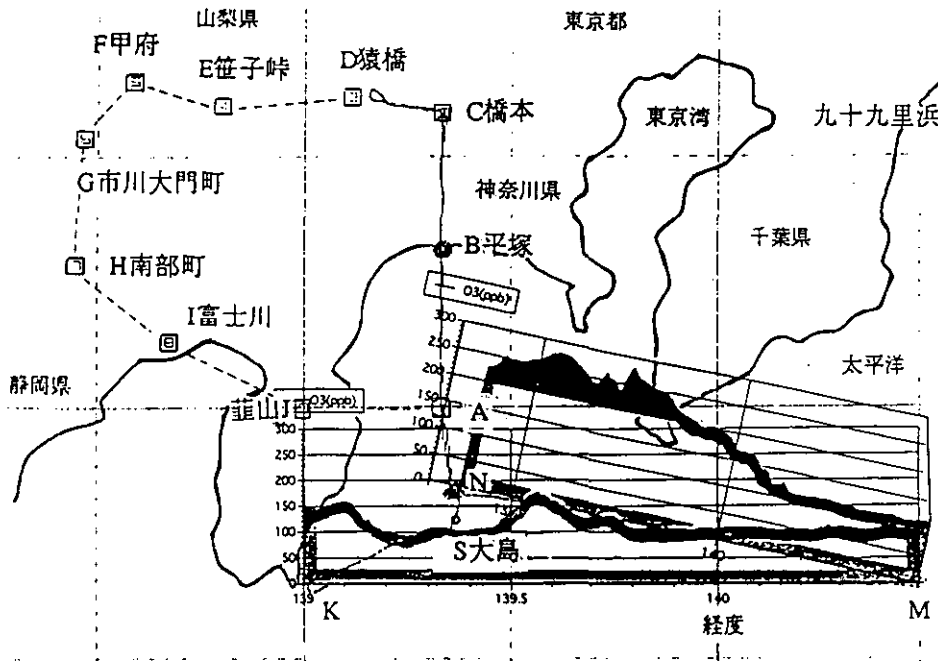


図11 太平洋上、高度300mにおける O_3 の濃度
1995年8月2日13時34分-14時27分の観測結果。

5. 光化学大気汚染のトレンドと大気環境負荷

光化学大気汚染経年変化を明らかにするためにその原因物質であるNOxとNMHC（非メタン炭化水素）濃度の経年変化を図13に示す。関東地域の南北150km程度の範囲の5つの大気汚染測定局のデータは共に同様の傾向を示しており1978年から1994年にかけてNMHCは減、NOxは1985年頃から増加となっている。環境大気中における

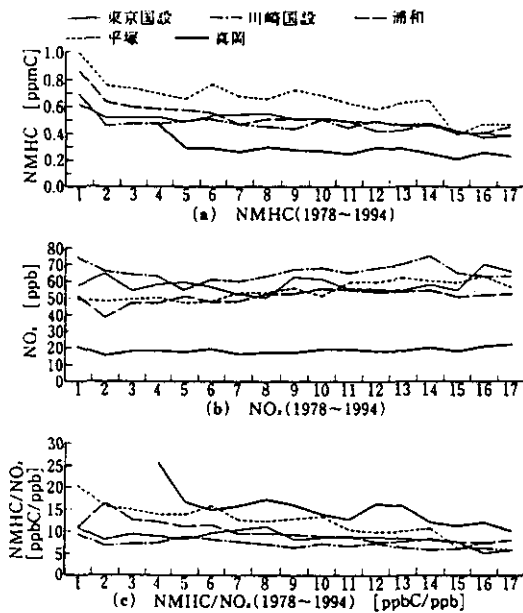


図13 関東地域の5測定地点における非メタン炭化水素 (NMHC)、NOxおよびNMHC/NOx年平均値の経年変化

NOxとNMHC濃度の経年変化に関しては関西地域においても同様な傾向がある。環境での測定値の変化が発生源の変化を反映していると考え、三次元モデルによりO₃の出現動態の解析を行った。図14、15に計算結果を示す。それぞれの図の横軸はNMHCの発生源強度、縦軸はNOxの発生源強度であり、1の数値は1981年のフィールド観測を用いてのモデル検証計算時に用いた発生源値である。図中の数値は29の発生源の組み合わせに対して得られたO₃の最高値とその出現時刻である。NMHCの発生源が減少しNOxが増加すると、O₃の最高値は少し増大するが、それ程大きな変化はない。これに対して最高O₃濃度が出現する時刻は大きくずれて遅い時刻にシフトする。夏季においては海風が侵入するため都心地域で発生した大気汚染物質は時刻とともに内陸地域へと運ばれる。このため最高O₃濃度の出現時刻が遅くなる事は、最高O₃濃度の出現地域が内陸部に移ることに対応する。図16には1978年から1990年にかけての関東地域と関西地域のオキシダント

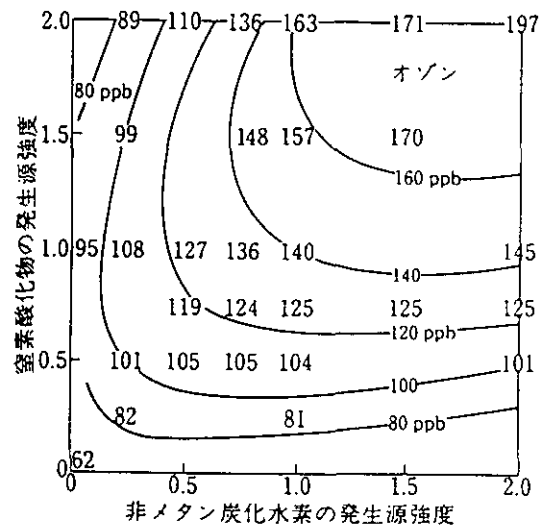


図14 関東地域における窒素酸化物と非メタン炭化水素の発生源強度と出現オゾン最高濃度の関係

図中のそれぞれの発生源1は1981年度の発生源強度に対応する。

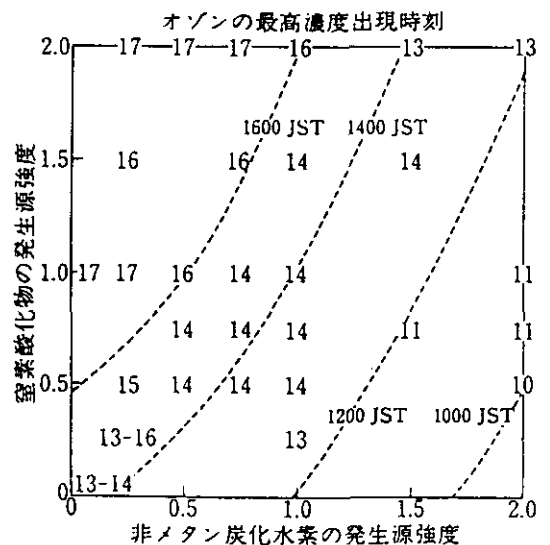


図15 関東地域における窒素酸化物と非メタン炭化水素の発生源強度とオゾン最高濃度出現時刻との関係

図中のそれぞれの発生源1は1981年度の発生源強度に対応する。

の出現傾向を示した。これはそれぞれの年の4月から9月の期間について解析したものであり、日々のオキシダントの最高値が、北関東地域、及び京都・奈良地域で出現した確率を示している。両地域での出現率が増加している事がわかる。この傾向は前述のモデルシミュレーションの結果と整合する。

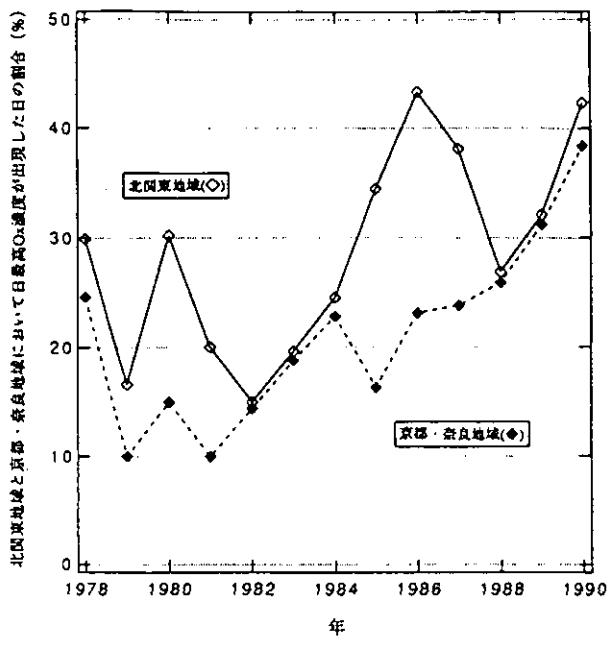


図16 北関東地域と京都・奈良地域におけるオゾン濃度の出現率

6. まとめ

今回の研究においては沿道大気汚染から広域大気汚染にわたる様々なスケールの都市大気汚染現象を総合的・体系的に評価するための各種の手法を検討した。また日本の大都市地域における大気環境問題の現状をフィールド観測やモデルシミュレーションにより解析、評価した。研究の結果、東京や大阪などの大都市地域における大気汚染は依然として深刻である事がわかった。都市大気汚染の主要な発生源は自動車であるが、自動車単体の対策効果が、発生総量の増大により打ち消されており、このためNO₂や光化学オキシダントの高濃度の出現地域は広域化の傾向にある。NO₂、NMHC、O₃などは相互に関連しているため都市大気環境改善のためには総合的な対策が必要である。今回の観測では、春季、夏季ともに広域にわたる汚染物質の移流や循環が確認されており、都市スケールの大気環境を扱うにあたって、より広いスケールの中での理解が必要である事が示された。

大気中揮発性有機塩素化合物の健康リスク評価

—環境中の有機塩素化合物の暴露量評価と複合健康影響に関する研究から—

相馬 悠子（地域環境研究グループ化学物質健康リスク評価チーム¹）

1. はじめに

有機塩素化合物は安定な化合物が多く、また化学工業製品の生産中間原料として有用であるため、化学工業製品として生産されている有機塩素化合物の種類は数多いのですが、一方化審法（化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律）などで有害性のため生産が規制されている化学物質の中に有機塩素化合物は多くあります。これは有機塩素化合物が安定であるために環境で難分解性であること、また殺菌作用、殺虫作用といった有用性が環境に放出された時には有毒性となり環境汚染物質になるためです。

有機塩素化合物は天然のものは非常に少なく、ほとんどが工業的に合成されたものです。そこで現在工業的に生産されている有機塩素化合物が毎年どれくらいの量が環境に放出されるかを推定することは、環境汚染の予測に有用であると考えられます。そこで日本国内で生産されている塩素を含む工業製品の生産量とその用途から有機塩素化合物が環境に放出する量を推定しました。そして推定した環境放出量と化学物質の環境運命予測モデルの計算から、日本全土の大気、水、土壌、底質のどの環境媒体にどのような有機塩素化合物がどのくらい常時存在するかを推定しました。それが図1です。有機塩素化合物を、揮発性有機塩素化合物（ハロメタン、フロン、C3までの塩素化脂肪族炭化水素）、半揮発性有機塩素化合物（芳香族有機塩素化合物、農薬など）、高分子物質焼却由来物質（塩化ビニル樹脂などを焼却して生成する低分子量の有機塩素化合物）、漂白殺菌由来有機塩素化合物（塩素処理、漂白殺菌の結果生成する有機塩素化合物）にまとめて表しました。フロン類、クロロホルム、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物の存在量が多く、大気中には有機塩素化合物の90%が揮発性化合物であり、水には62%と多量に存在することがわかりました。

そこで環境に存在する量が一番多い揮発性有機塩素化合物に、我々が暴露されている量はどうか、どのような物質が健康に影響する可能性があるかを揮発性芳香族化合物を含めて検討することにしました。

2. 揮発性有機化合物の個人暴露量測定のための捕集法

大気中の有機化合物を捕集する場合、真空ビン（キャニスター）に大気を捕集する方法と、吸着管（サンプリングチューブ）の吸着剤に有機化合物を捕集する二つの方法があります。大気中の有機化合物の吸入による健康影響を検討する場合には、人の1日の行動にそった測定が必要です。また瞬間濃度より半日とか1日の合計暴露量または1日平均濃度が重要になります。そのためサンプリング用具を被験者に装着してもらい大気を捕集し個人暴露量を測定する方法（パーソナルモニタリング）が望ましいといえます。またサンプリングチューブで大気を捕集する場合、吸引ポンプで大気を一定量吸引して大気中の有機化合物を吸着管に捕集する方法(active sampling)の他に、ポンプを使用せず大気の拡散だけで吸着管に大気中の有機化合物を捕集する方法(passive sampling)があります。

大気中有機化合物の一般環境大気の測定は多く行われておりますが、個人暴露量測定で揮発性有機塩素化合物を測定する例は化合物濃度が低いこともあり、日本では今まであまり多くありません。また個人暴露量測定の場合、サンプリングチューブと吸引ポンプを一般の人に1日や半日装着する方法は、用具が高額になり数多く用意できないこと、また用具がかさばり重くもあり気軽に一般の人に頼むこと

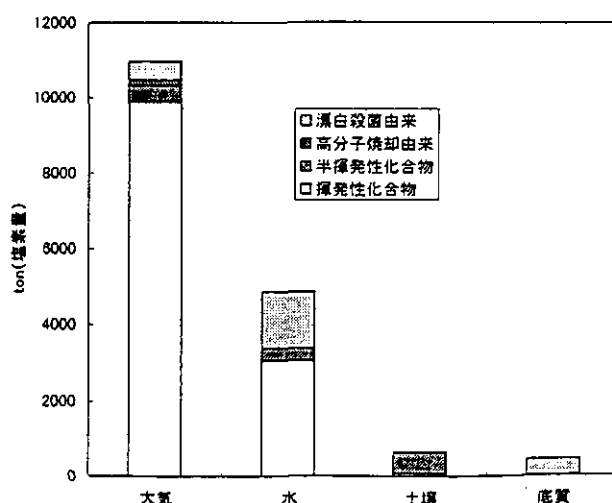


図1 運命予測モデルから推定した日本全土の有機塩素化合物存在量

¹：平成9年4月より化学環境部計測技術研究室

が難しいことなどで、データ数を多く得られそうもありません。そこでここでは、拡散法(passive sampling)で個人暴露量測定をすることにしました。拡散法で大気中濃度を測定する場合、人に装着してもらうのはサンプリングチューブだけで簡単ですが、捕集した有機化合物量がどれだけの大気量中の量なのか濃度が直接わかりません。拡散により有機化合物がサンプリングチューブに吸着する量は、大気中濃度と共に、吸着管の口の大きさや形、吸着剤によって違います。そこで前もって同じ形のサンプリングチューブを使って吸引法(active法)と比較して吸着速度(uptake rate)に当たる関係をだしておく必要があります。

3. 揮発性有機化合物の個人暴露量測定

個人暴露量測定対象物質は、米国EPAで大気中有害有機化合物の測定法T0-14で対象としているフロン類、脂肪族有機塩素化合物、ベンゼン、トルエン、キシレン等ベンゼン化合物、塩素化ベンゼン類など有機塩素化合物を含む揮発性有機化合物38種類です。サンプリングチューブはパーキンエルマー社製で吸着剤はポラスポリマーのTenax TAを使用しました。拡散法で24時間被験者の胸にサンプリングチューブを装着し捕集した後、加熱脱着してGCに導入し質量分析計で定量分析しました。

拡散法によるサンプリングチューブの吸着速度は吸引法で決めた24時間の大気平均濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (active)と、同じ場所に同じ時間同じ型のサンプリングチューブを置き、拡散法で24時間捕集による吸着量 W (passive)との比例関係から算出しました。その結果吸着速度が算出でき拡散法で定量できたのは、フロン類2種(フロン11、フロン113)、有機塩素化合物8種(ジクロロメタン、クロロホルム、1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、クロロベンゼン、p-ジクロロベンゼン)、芳香族化合物8種(ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、m,p-キシレン、o-キシレン、スチレン、1,3,5-トリメチルベンゼン、1,2,4-トリメチルベンゼン)の18種類です。

調査した場所と時期は、つくば(研究所)で96年6月に延べ37人、東京西部の大学の化学科学生を96年10月に延べ97人、東京葛飾区で97年2月に延べ68人です。東京葛飾区の被験者は、環状7号と水戸街道交差点付近の交通混雑地区に住む人々です。

図2に示したのは、調査結果の例です。東京西部の大学生97人の結果の一部ですが、拡散法で測定した1日暴露量を1日平均暴露濃度に換算したものです。97人のp-ジクロ

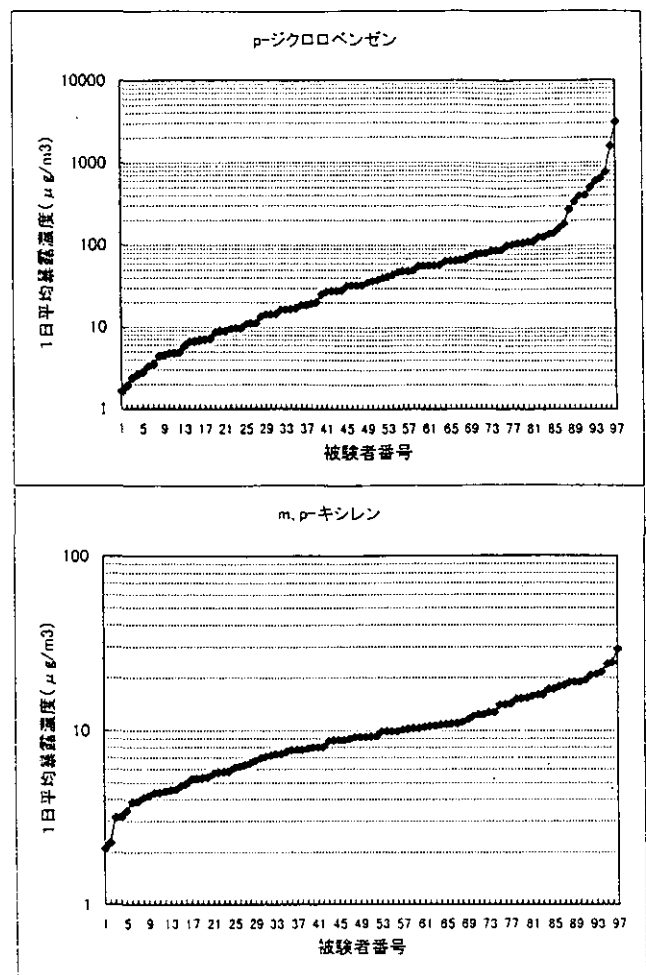


図2 東京の化学科大学生の1日平均暴露濃度

ロベンゼンとm,p-キシレン濃度を濃度が低い人から並べたものです。p-ジクロロベンゼンでは暴露濃度が高い人と低い人で4桁の差があるのに、キシレンでは人による暴露濃度の違いはあまり大きくないのが見られます。p-ジクロロベンゼンは、タンスの防虫剤に使用されているパラゾールです。パラゾールを使用している家庭と使用していない家庭で暴露量に非常に大きな差が生じているのが原因です。このように物質によって暴露量が人により大きく違う物質と、あまり変わらない物質とがあります。図2のように暴露濃度の順で並べた時、ちょうど真ん中に当たる人の濃度を中央値と言いますが、中央値で各物質の暴露濃度の地域による違いを比較したのが、表1です。表1には1991年の相模女子大での結果、1980年の米国環境保護庁(米国EPA)の調査(Total Exposure Assessment Methodology)の結果も載せました。これらは吸引法で測定した結果です。この表を見ますと、物質により傾向が違う3種類があります。まず四塩化炭素とフロン11ですが、暴露濃度に地域

表1 1日平均暴露濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Oct-96 化学学生(97)	Feb-97 東京葛飾(68)	Jun-96 つくば(31)	1991 相模女子大	1980 米国EPA調査
フロン11	0.65	0.84	1.52		
フロン113	0.06	0.09	0.11		
ジクロロタン	3.02	2.23	1.77		
クロホルム	7.08	0.59	1.37		2.1, 3.4
1,1,1-トリクロロエタン	10.10	8.38	3.27		4.5, 9.1
四塩化炭素	10.10	0.35	0.50		1
ベンゼン	5.28	2.77	0.81		15
トリクロロエチレン	1.63	3.60	0.99		2.8, 0.66
トルエン	58.7	64.4	21.7	36.9	
テトラクロロエチレン	1.64	0.95	0.95	2.43	2.9, 7.2
クロロベンゼン	0.06	0.05	0.06		0.61
エチルベンゼン	4.64	3.27	2.96	4.39	
m,p-キシレン	9.19	6.59	5.46	12.80	
o-キシレン	3.25	3.00	2.18	5.30	
スチレン	8.99	3.56	2.57		
1,3,5-トリメチルベンゼン	1.04	1.42	1.01		
1,2,4-トリメチルベンゼン	4.64	7.76	5.27		
p-ジクロロベンゼン	35.6	61.6	47.5	36.0	

差があまり無く、かつその暴露濃度が一般環境の大気中濃度とも大体同じ、つまりどこで測定しても濃度にあまり差が無い物質です。これらは被験者の近くに発生源が無い物質と考えられます。第2番目は、一般環境大気中濃度に比較し暴露濃度が高いが、暴露濃度は地域差が少ない物質です。典型的な物質はp-ジクロロベンゼンやトルエンです。これらの物質は室内からの汚染の影響が大きい物質と言えます。3番目は、つくばに比べ東京での暴露濃度が高い物質です。ベンゼンや1,1,1-トリクロロエタンで都市大気汚染の影響が大きいと考えられる物質です。また物質により環境研究所や東京の大学の化学科学生で、暴露量が非常に大きい人達がありました。これらの人達はいずれも有機化学の実験をしている人達でした。

これらの結果から揮発性有機化合物の暴露量に関して

- ①鼻先にある物質の影響が大きい
- ②室内汚染の影響が大きい
- ③一般環境大気中濃度より1日平均暴露濃度に換算した個人暴露量の方が、濃度が高い物質が多い

ということがわかりました。従って個人暴露量調査の結論としては、人の健康リスク評価をする場合には、一般環境大気中濃度の計測だけでは不十分な物質があること、また揮発性有機化合物は職業暴露での注意が大切であるということです。

4. 個人暴露濃度と室内空気

東京葛飾区での暴露量調査では、個人暴露量測定の時、被験者が1日で1番長く居る部屋(居間か寝室)にもう1本のサンプリングチューブを置いてもらい、室内空気中濃

度も同時に測定しました。被験者は主婦が多くアンケート結果は1日の90%近くが自宅にいるという結果でした。いくつかの物質で1日平均暴露濃度(y)と室内空気中濃度(x)の関係を示しましたのが図3です。直線は暴露濃度と室内空気中濃度が等しい場合を示しています。四塩化炭素のように暴露濃度と室内空気中濃度の相関が無いもの、トルエンのように非常に相関の良い物質(y=x)、またクロロホルムなどy=xの直線上にあるデータが多いが時々個人暴露量が高いデータがある物質などに分けられました。個人暴露濃度と室内空気中濃度と相関の無かったものは四塩化炭素の他にフロン11で、ベンゼンや1,1,1-トリクロロエタンも相関が低い物質でした。

測定対象とした多くの揮発性有機化合物の個人暴露量は室内空気中濃度と高い相関を持っていることがわかりました。

5. 大気中揮発性有機化合物の健康リスク評価

表1で得られた個人暴露量の値から人の健康リスク評価の検討を行いました。発がん性が認められている物質の発がん性リスクを計算したものが表2です。ユニットリスク(unit risk)は、生涯70年間ある物質を単位暴露濃度($1\mu\text{g}/\text{m}^3$)を吸入し続けた場合、その物質により発がんに至る確率ですが、ここでは米国EPAで算出された値を使用しました。クロロホルムや四塩化炭素のユニットリスクの値がベンゼンに比べ大きくなっています。これはベンゼンのユニットリスクは人間のデータから計算された値ですが、他の物質は動物実験からの値なので動物から人への外挿や安全係数の結果大きい値となっているのではと思われます。

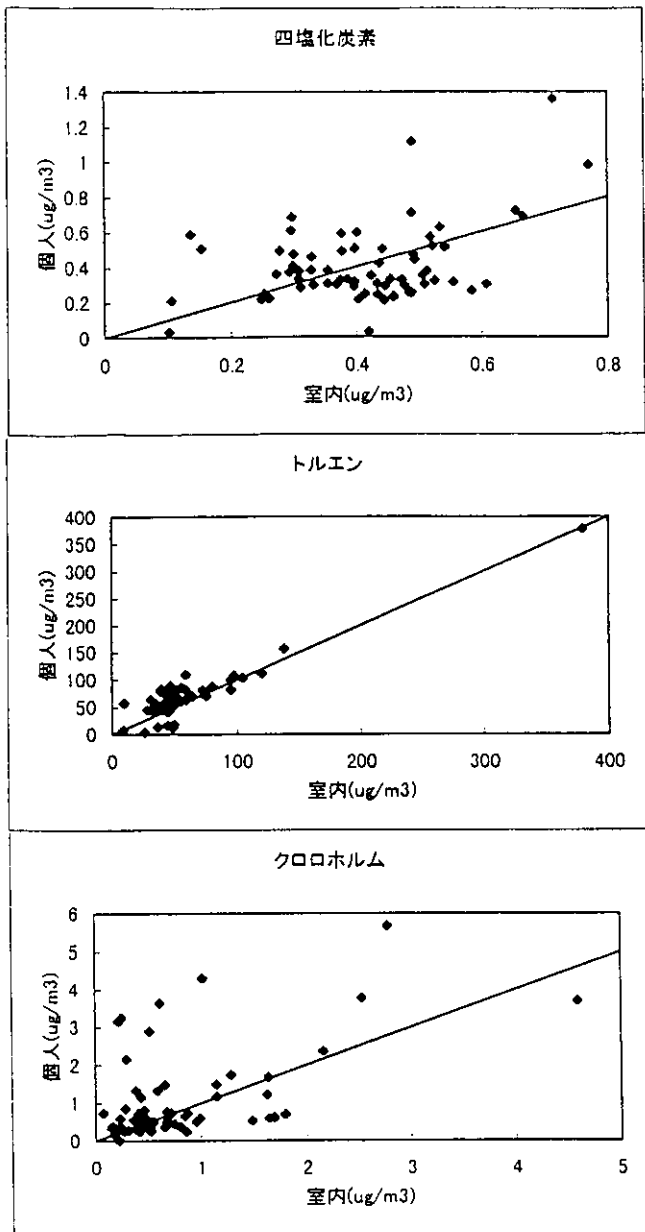


図3 個人暴露量と室内空気濃度の相関

ユニットリスクに1日平均暴露濃度を掛けて得られた発がんリスクは 10^{-5} 以下が望ましいとなっていますが、クロロホルムとベンゼンが大きい値になっており、注意を要する物質ということになります。

がん以外の毒性については、呼吸量を1日 20m^3 とした1日暴露量と体重70kgの人の最大無作用量(NOEL)を安全係数100で割ったRfD(reference dose)の比で比較したのが表3です。値が大きく、注意を要する物質は四塩化炭素とクロロホルムですが、p-ジクロロベンゼンもパラゾールを使用

表2 表1の暴露濃度から計算した発がんリスク

	Unit risk(inhl) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)-1	発がんリスク	
		葛飾住民	つくば住民
ジクロロメタン	4.7×10^{-7}	1.0×10^{-6}	8.3×10^{-7}
クロロホルム	2.3×10^{-5}	1.4×10^{-5}	3.2×10^{-5}
四塩化炭素	1.5×10^{-5}	5.3×10^{-6}	7.5×10^{-6}
ベンゼン	8.3×10^{-6}	2.3×10^{-5}	6.7×10^{-6}
トリクロロエチレン	8.8×10^{-7}	3.2×10^{-6}	8.7×10^{-7}
テトラクロロエチレン	1.0×10^{-5}	9.5×10^{-6}	1.0×10^{-5}

表3 表1の暴露量から計算した非発がんリスク

	RfD mg/70kg/day	1日暴露量/RfD	
		葛飾住民	つくば住民
フロン113	2100	8.57×10^{-7}	1.05×10^{-6}
ジクロロメタン	4.2	1.06×10^{-2}	8.43×10^{-3}
クロロホルム	0.7	1.69×10^{-2}	3.91×10^{-2}
1,1,1-トリクロロエタン	24.5	6.84×10^{-3}	2.67×10^{-3}
四塩化炭素	0.0525	1.33×10^{-1}	1.90×10^{-1}
ベンゼン	1.72	3.22×10^{-2}	9.42×10^{-3}
トルエン	40.39	3.19×10^{-2}	1.07×10^{-2}
テトラクロロエチレン	0.7	2.71×10^{-2}	2.71×10^{-2}
クロロベンゼン	1.4	7.14×10^{-4}	8.57×10^{-4}
エチルベンゼン	7	9.34×10^{-3}	8.46×10^{-3}
m,p-キシレン	140	9.41×10^{-4}	7.80×10^{-4}
o-キシレン	140	4.29×10^{-4}	3.11×10^{-4}
スチレン	14	5.09×10^{-3}	3.67×10^{-3}
1,3,5-トリメチルベンゼン	25.2	1.13×10^{-3}	8.02×10^{-4}
1,2,4-トリメチルベンゼン	322	4.82×10^{-4}	3.27×10^{-4}
p-ジクロロベンゼン	21	5.86×10^{-2}	4.52×10^{-2}

している家では暴露量が高い家がありますので要注意です。

これら要注意物質の中でベンゼンは室内汚染との関連が薄く、自動車排気ガスなどが大きな原因と考えられ、暴露量減少のためには排気ガス対策が必要と考えられます。クロロホルムは室内空気濃度との相関からも水道水などの塩素処理により生成する部分からの寄与が大きいと推定されます。汚染源が室内と考えられる物質の暴露量を減少する為には先ず換気を良くすることが必要です。

新しい湖沼環境指標

森田 昌敏 (地域環境研究グループ)

1. はじめに

湖沼環境は近年急激に変化しているが、その原因としては流域からの負荷流出特性や湖沼生態系の変化が考えられている。このような湖沼環境の変化は従来の化学的酸素要求量 (COD) を中心とする水質項目では的確に表現できないといわれている。また、ピコプランクトンの大発生、アオコの内容の変化など、新たな湖沼環境問題も発生しているが、その機構は不明のままである。このため、特別研究「湖沼環境指標の開発と新たな湖沼環境問題の解明に関する研究」(平成 4-8 年度)では、急激な湖沼環境の変化を表現できる指標の開発とこうした湖沼環境問題の機構解明を目指して研究を行った。

2. 湖沼の有機物指標

2.1 COD の問題点

日本の湖沼、海域における生活環境に係わる環境基準項目は過マンガン酸カリウム法による COD (以下、単に COD と書いた場合は本測定法によるものをさす) である。COD を湖沼、海域の有機汚濁指標として利用することに対しては、1) 河川の基準項目生物学的酸素要求量 (BOD) と異なる、2) 酸化率が低く、また物質によってそれが異なることから有機物の総量を表す指標となっていない、3) 希釈の程度により分析結果が異なる、4) 酸化の程度が温度、時間に影響を受けやすいので測定値のばらつきが大きいといった問題点が当初から指摘されていた。しかし、それに代わる候補の重クロム酸カ

リウム法による COD、全有機態炭素量 (TOC)、全酸素消費量 (TOD) も各種の問題点を有していたため、採用されることはなかった。最近、TOC の測定精度や操作性が向上してきたので、ここでは湖沼水、その流入河川水、各種発生源の水に関して、COD と TOC との関係、COD 酸化率と生分解性との関係を整理した。

2.2 COD と TOC との関係

ろ紙 (穴径 0.7mm) を通過した溶存態成分 (D) とろ紙にトラップされた懸濁態成分 (P) に分け、両者の関係を調べた。表に示すように、それぞれの水域では溶存態 COD (DCOD) と溶存態有機炭素 (DOC)、ならびに懸濁態 COD (PCOD) と懸濁態有機炭素 (POC) の間に高い相関関係が得られたが、回帰式の係数や COD/TOC 比の平均値は大きく異なっていた。すなわち、各水域ごとには有機物の構成が似かよっているため、溶存態、懸濁態とも高い相関関係が得られるが、水域間では有機物の特性が異なるため、COD と TOC の関係が溶存態と懸濁態、水域ごとに違ったものと考えられる。また、COD/TOC 比から COD の化学的酸化率は 50% 以下であり、COD の分析では実際の有機物量を過小評価する恐れが強い。

2.3 COD と生分解性

溶存態サンプルをガラス容器につめ、20℃、暗、静置の状態で 100 日間培養し、その後 DOC を測定し、その値を難分解性画分 (R-DOC) とし、DOC との差を易分解性画分 (L-DOC) とした。図 1 には L-DOC/DOC と

表 いろいろな水域での DOC vs DCOD, POC vs PCOD, TOC vs COD

	水域	r^2	a	b	n	COD/OC
DOC vs DCOD	霞ヶ浦	0.661	0.55	1.10	96	1.29±0.22
	霞ヶ浦流入河川	0.892	0.43	1.00	40	1.15±0.12
	琵琶湖北湖	0.922	-1.66	2.49	18	1.35±0.11
	長野県湖沼	0.923	-0.55	1.59	21	1.22±0.22
	屋外実験池	0.923	-1.50	1.73	18	1.40±0.12
POC vs PCOD	霞ヶ浦	0.914	0.14	0.89	96	0.93±0.12
	霞ヶ浦流入河川	0.457	0.28	0.86	40	0.94±0.46
	屋外実験池	0.952	0.34	0.53	18	0.58±0.54
TOC vs COD	霞ヶ浦(建設省データ)	0.870	0.80	1.10	108	1.25±0.12
	手賀沼(1984-1986)	0.634	5.30	0.65	36	1.02±0.24
	手賀沼(1987-1989)	0.470	5.55	0.81	36	1.29±0.28
	手賀沼(1990-1992)	0.678	2.95	1.03	36	1.32±0.21

(r^2 : 相関係数の 2 乗, a: 回帰式の切片, b: 傾き, n: サンプル数, COD/OC: COD と有機炭素濃度の比)

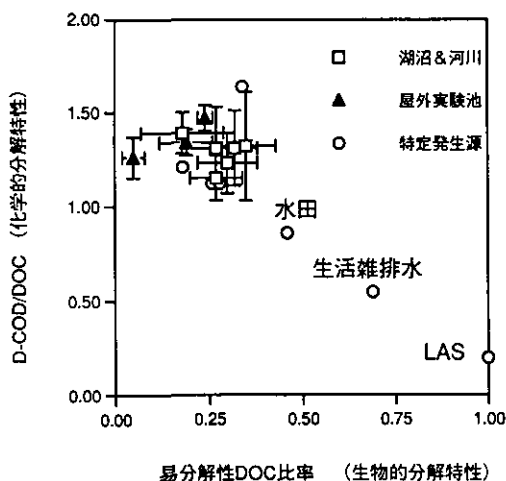


図1 生物的分解特性と化学的分解特性の関係
(棒の長さは標準偏差)

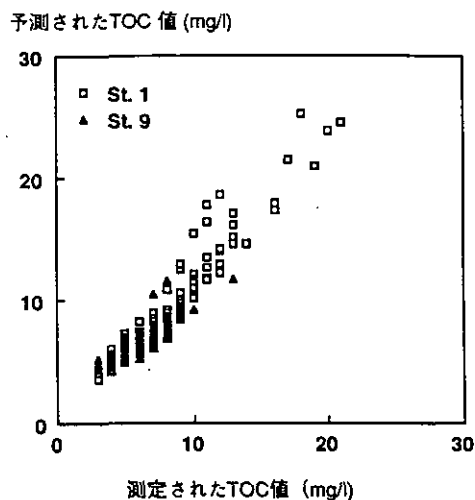


図2 過去のCOD測定値をもとに予測したTOCと実測値

DCOD/DOC との関係を示す。L-DOC/DOC は生分解有機物の割合を、DCOD/DOC は COD 法による化学的分解可能な有機物割合を意味する。生活雑排水、水田を除く発生源、水域では L-DOC/DOC が 0.4 以下、DCOD/DOC が 1 - 2 の範囲に入るものが多い。これに対して生活雑排水、水田では、生分解性が高いのに、COD 法にかからない有機物が多いことがわかる。また、図1全体としては生分解性と化学分解性とが反比例の関係にあるように見え、多様な水域を比較するという観点では易分解の有機物量は COD では表現されないことを意味する。

2.4 過去のCOD情報の利用

湖沼で年間約 7,000、海域で年間約 30,000 ものサンプルの COD が環境基準評価のため測定されている。このため、COD を他の指標に置き換えるとしても、この情報を有効に生かす方法の開発が必要である。図2には、建設省が 1984-1992 年間に霞ヶ浦の高浜入り、湖心で測定した DCOD、PCOD をもとに、この地点で我々が得た DOC と DCOD、POC と PCOD の関係を利用して TOC を予測し、これを実測値（建設省測定）と比較した結果を示す。相関係数は高浜入りで 0.963、湖心で 0.873 であり、予測値/実測値の平均はそれぞれ 1.18(最小 0.90 - 最大 1.61)、1.11 (0.85 - 1.73) と、予測値の方が実測値より若干大きいものの両者はよく一致している。2年間の相関関係だけで得られた式を用いて、こうしたよい相関関係を得られたのは、霞ヶ浦では両者の関係がこの9年あまり変化しなかったことを意味している。同じように、COD と TOC の関係を用いても、上記には劣るが良

好な予測値が得られた。

また、同様なことを手賀沼、琵琶湖のデータに適用したが、年度ごとに COD と TOC の相関関係が異なっていた(表)。この場合、かなり昔の TOC 値の予測は難しいといえる。以上のことから、徐々に COD から TOC への置き換えをはかるとともに、数年間両者を同時に測定することから過去の COD データの活用を検討することが妥当である。

欧米では重クロム酸カリウム法による COD が標準的であり、国際規格にも採用されている。その結果、これまで日本の COD データは論文で使用されることは希であり、地球規模での海洋汚染の現状把握や解決案の検討に際して日本の COD 測定値の情報は役に立たない可能性もある。今後、地球規模の海洋汚染を考えて行く上で、内容の意味するものの明白さ、管理への応用、操作性といった点で過マンガン酸カリウム法および重クロム酸カリウム法による COD より優れている TOC を水質の環境指標として採用していくことが日本を含む世界各国にとって重要である。

3. 湖内有機物の起源を表す指標

3.1 有機物の内容と起源

湖内有機物は分析操作上、約 0.2 - 1mm 孔径のフィルターでのろ過により懸濁態と溶存態に分別される。また、それらは流域の各種発生源から排出され、流達したものの、湖内における生物化学的過程、すなわち植物プランクトン、水草などの光合成、分解、高次生態系への食物連鎖、

底泥からの溶出等から生み出されたものにより、構成されている。懸濁態成分の内、湖内の一次生産により生み出されたものはクロロフィル a 等の色素を含むため、それをマーカーとして内部生産由来の有機物割合を推測することが可能である。

これに対して溶存有機物は、タンパク質や炭水化物が主成分となる場合や腐植様物質が大部分を占める場合があり、多様な構成物質の同定はかなり難しい状況にある。ここでは、紫外部吸光度 (UV) と溶存有機物量の比 (UV:DOC 比) が、土壌起源の腐植質と内部生産由来のもので大きく異なることを利用して、湖内溶存有機物の起源の分面を行った。

3.2 霞ヶ浦への適用

霞ヶ浦 6 地点で各月 1 回 2 年間にわたり採水を行い、グラスファイバーろ紙でろ過し、そのろ液を集めた。DOC と UV (ここでは 260nm での吸光度のみを用いた) を測定し、残りは 2.3 と同様な生分解性試験に供した。この試験中に定期的にサブサンプルを引き抜き、その DOC、UV を測定した。

UV:DOC 比を河川水 (10 河川、年 4 回の測定の平均)、屋外実験池の内部生産溶存有機物 (深さ 1.5m、容積 36m³ の 6 つの池、1993、1994 年それぞれの夏期 40 日間のデータ) に関して求めてみると、260nm の吸光度はそれぞれ 0.029、0.012(mgC l⁻¹) 程度となった。また、こうしたサンプルの生分解後におけるその比は、多少ばらつくものの上記の値と大差なく、分解過程での変化が無視できることがわかった。このため、UV:DOC 比を用いて、湖内の溶存有機物の起源、生分解性による分面を行った (難分解なもの内、流域起源すなわち外来性、内部生産の画分を PR、AR、易分解なもの内それぞれを PL、AL とする)。流入河川水の流下軸方向の変化と

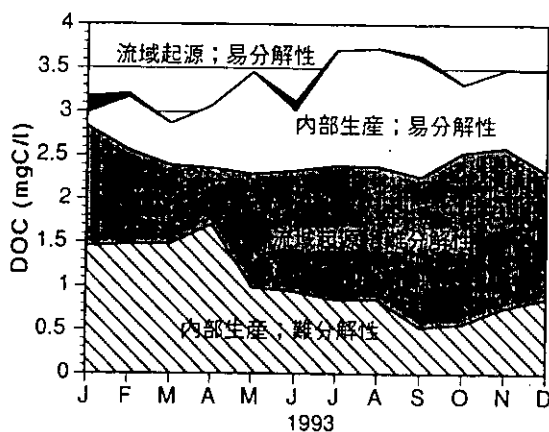


図3 霞ヶ浦湖心における溶存有機物の内容

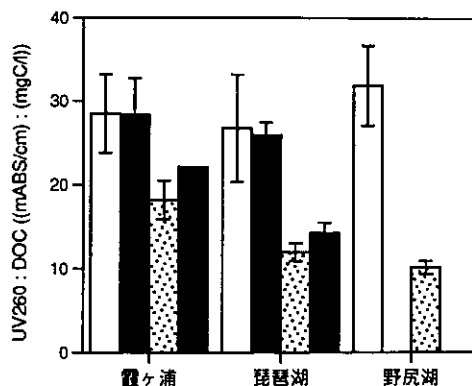


図4 霞ヶ浦、琵琶湖、野尻湖での紫外部吸光度と DOC の比 (左から流入河川(白), その生分解試験 100 日後(黒), 湖心(点), その 100 日後(メッシュ), 棒の長さは標準偏差)

しては (図 3)、AR は流入河川近傍でのほぼゼロから、流下方向に増加し、湖心域ではほぼ 1 mg l⁻¹ に達している。植物プランクトンの分解、代謝産物、動物プランクトンの食べ残し、底泥からの溶出などの機構が考えられるが、その詳細は不明である。これに対して PR は湖内でほぼ一様であり、流域からの難分解性物質は湖内を通過していることがわかる。PL は St. 1 の 0.42 mg l⁻¹ から St. 12 の 0.07 mg l⁻¹ に減少している。また、AL は St. 1; 0.46, St. 2; 0.79, St. 3; 0.73, St. 7; 0.71, St. 9; 0.82, St. 12; 0.085 mg l⁻¹ と St. 1 で小さい他は湖内ではほぼ一様である。クロロフィル a 濃度は同程度なのに、流入河川近傍で AL が低いのは、St. 2 辺りまで AL は蓄積傾向、すなわち生産が消費を上回っている状態であるのではないかと推測される。

3.3 その他の湖沼への適用

霞ヶ浦、琵琶湖、野尻湖への流入河川、湖水での UV:DOC 比を比較したのが図 4 であり、両者が有意に異

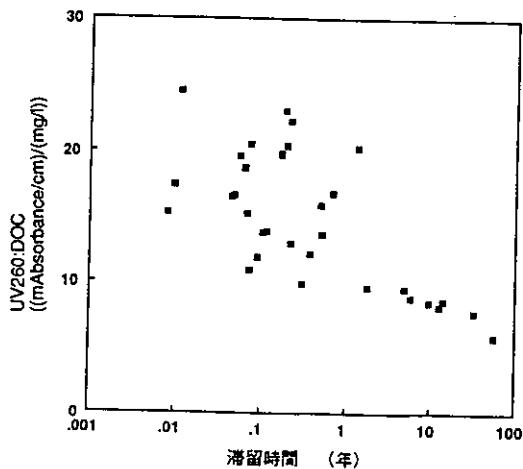


図5 滞留時間と紫外部吸光度 : DOC 比の関係

なっていることがわかる。琵琶湖、野尻湖では霞ヶ浦と比べ湖内の UV:DOC 比が小さいが、これは滞留時間が長い（霞ヶ浦 0.55 年、琵琶湖北湖 5.5 年、野尻湖 2.0 年）、内部生産由来の溶存有機物比率が高まったものと考えられる。また、全国 30 数湖沼の湖心サンプルの分析結果によれば、滞留時間が半年を超える湖沼では UV:DOC 比が滞留時間と明白に反比例関係にあるが、それ以下の湖沼ではかなりばらつきが見られた（図 5）。すなわち、こうした滞留時間が短い湖沼では、生活雑排水などの寄与が大きい場合もあり、UV:DOC 比が小さくなったものと考えられる。このため、滞留時間の短い湖沼への適用は難しいといえる。

4. 溶存酸素 (DO)、pH の連続測定結果を用いた生物活性評価

4.1 手法の問題点

水域の生物化学的な特性を定量的に評価する手法として、光合成量や集団での呼吸量を調べる方法がある。従来、こうした速度は明瓶、暗瓶中の酸素、無機炭素 (DIC)、あるいは添加された炭素の同位体濃度の変化から測定されることが多かった。しかし、そのボトル効果により、ボトル外での生物活動環境とは大きく異なる活性を測定している可能性があり、また連続測定を行えない欠点を有していた。

このため、水中の DO、pH を連続的に測定して、その変化から光合成、呼吸量を推定する方法が提案されており、フリーウォーター法と呼ばれている。この手法は、ボトル中への閉じ込め効果を除去し得ることに加えて、底泥などを含めて水域全体での生物活動を評価可能であること、連続測定を行えば生物活性を微小な時間間隔で測定可能なことなどの長所を有している。しかし、水塊での DO や DIC の収支計算をしていることと同等であるので、大気との交換、流入、流出水による物質移動を正確に測定するか、推定する必要がある。また、水域でこうした物質濃度に空間分布がある場合には移流、拡散の影響もあるので、多点での測定が必要になる。

4.2 屋外実験池や実湖沼への適用

3. 2 に示した屋外実験池に DO、pH、水温センサーを設置し、DO、DIC の経時変化を調べた。図 6 には約 1.5 日間での DO の変化例を示すが、開箱とは水面ぎりぎりに箱を設置し、その上部を開放したもの、閉箱とはそれを閉じたものである。数時間ごとに箱の水を池の水に入

れ替えた。箱に入れていないものは昼間に上昇し、夜間に減少しているが、閉箱ではどの時間帯ともそれより高い傾向にあり、開箱では閉箱より低い。上昇は光合成、減少は呼吸を意味するが、閉箱で高くなるのは大気への放出がないため、開箱で低いのはそれが大きいためである（水中濃度が飽和濃度よりかなり高い状態になっている）。

こうした箱間の差、箱外のセンサーとの差、すなわち水-大気間の輸送量を、同時に測定した風速などをパラメータとするモデルで表現し、実測値との比較を行い良好な結果を得た。このため、他の期間にもこのモデルをあてはめ、魚がいる場合といない場合での屋外実験池の物質循環を定量化した（図 7）。この例では、魚がいると光合成量、呼吸量が大きくなり、物質循環が早くなっていることがわかる。

こうしたモデルは霞ヶ浦、琵琶湖といった湖で連続モニターされているデータにも適用することが可能で、その結果、生物代謝量の定量評価を行うことができる。

5. 森林と流出特性

5.1 地理情報システムの活用

湖沼流域には工場、下水道処理施設などの点源や農地・林地などの面源といった多様な負荷発生源がある。こうした発生源からの負荷が合計するといくらあるのか、あるいは流域管理によってどの程度の浄化が可能なのかを評価するためには、地図情報を面的に解析する必要がある。こうした解析システムは地理情報システムと呼ばれているが、ここではそれを森林流域に適用した例を紹介する。

5.2 山林河川の流域特性

流域がほとんど森林である十津川村の風谷ダム流域に、人工林と天然林の比率や崩壊面積率といった流域特性が異なる 9 つの河川測定点とそれに対応する集水域（面積 180 - 2,640 ha）を設定した。地質、植生、自然度、崩壊地位置、林班図、年間降水量などの空間分布、集水域境界線、それぞれの林班での植林年ごとの人工林比率、伐採年ごとの天然林比率、人口、土地利用、家畜頭数などの数値情報を収集し、地理情報処理のソフトウェアである PC-Mapping（マブコン社）を用いて、パソコンに取り込んだ。そうして、PC-Mapping 上のポリゴンデータベース生成機能（ポリゴンデータ間の変換を面積比率で行う）を用いて、9 つの集水域の特性を整理した。

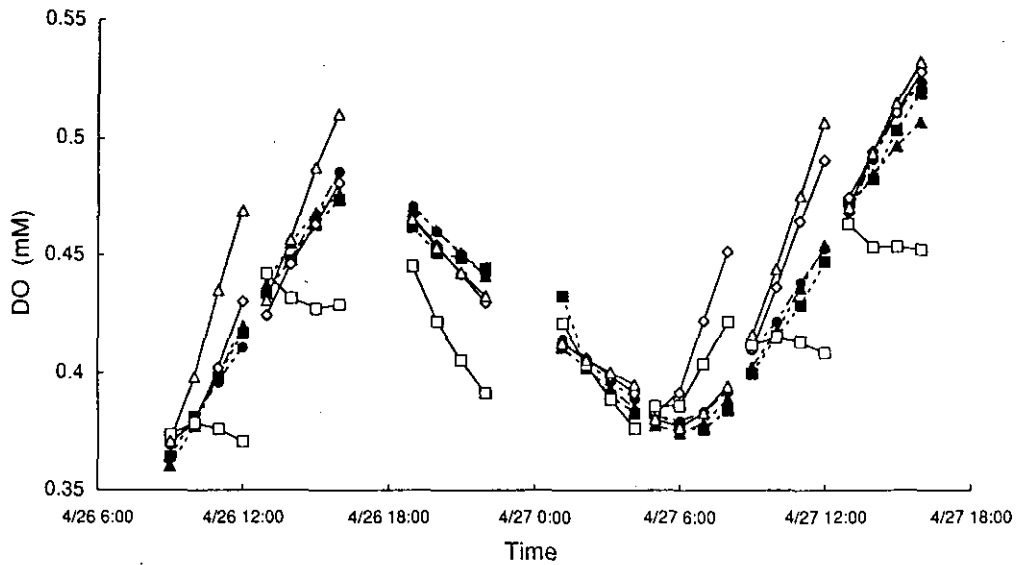


図6 屋外実験池におけるDOの日周変化 (●: 水面下10cm, ■: 50cm, ▲: 100cm, ◇: 閉箱(水面), □: 開箱(水面), △: 閉箱(50cm))

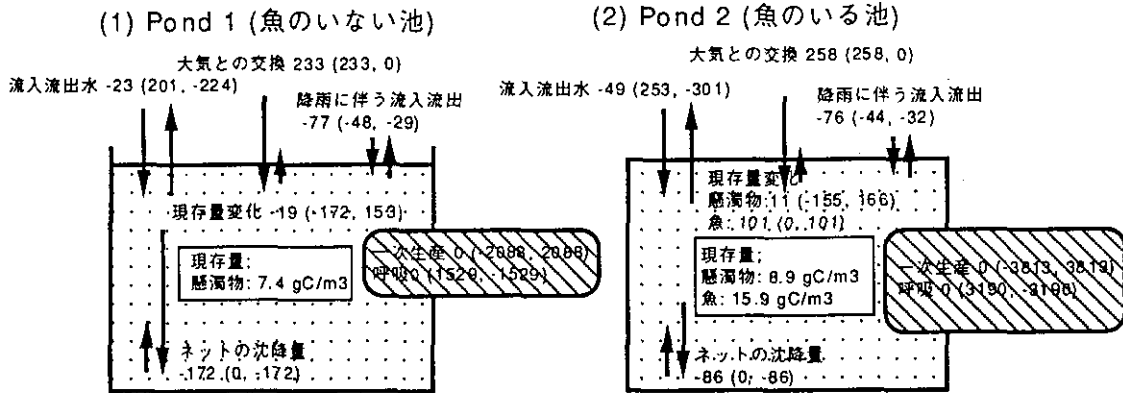


図7 屋外実験池での炭素の循環; 全炭素 (溶存態無機, 溶存態有機 + 懸濁態有機) (単位は現存量を除き mgC/m³/d, 現存量は gC/m³)

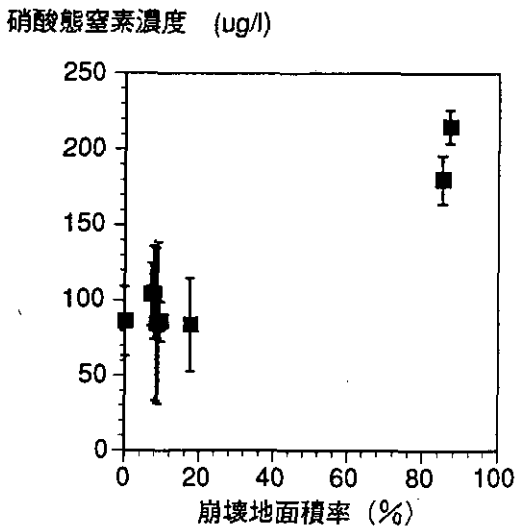


図8 森林小流域における崩塌地面積率と河川水中の硝酸態窒素濃度

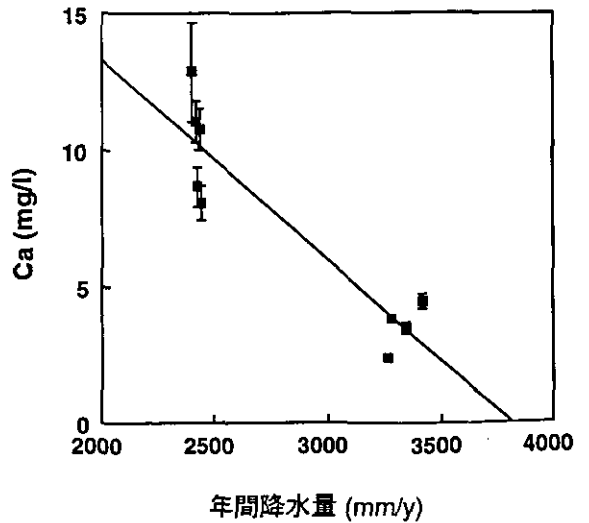


図9 年間降水量と河川Ca濃度との関係

河川水質は晴天時ならびに降雨時に調べた。まず晴天時河川調査は、日降雨量 25mm 以下の日が 2 週間以上続いた後の晴天日を選び、3 回行った。また、降雨時河川調査は合計降水量 43mm と 35mm の降雨時にそれぞれ 12, 13 回のサンプリングを 1 時間間隔で行った。

5.3 流域特性と水質との関係

水質と流域特性をあわせたクラスター分類から、水質は、(1) 硝酸態窒素、アンモニア態窒素、溶存有機炭素、懸濁態炭素、懸濁物質、(2) ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウム、硫酸といった無機イオン類、(3) リン酸態リン、全リン、ケイ素といった 3 グループに分かれる。その他の水質、比流量、流域面積、人口密度、天然林面積比率といった項目は上記(1)、(2)、(3)のグループの水質とも、その他のものとも相関が極めて低く、地点間の変化の傾向が明白ではなかった。流域特性との関係では、グループ(1)の水質は崩壊地面積と正の(図 8)、グループ(2)は年間降水量と負の(図 9)、グループ(3)は林齢と正の相関関係を有していることがわかった。

崩壊地が増えると土壌流出が起こり、懸濁態物質濃度が増加する。崩壊地面積比率と窒素濃度との正の相関関係は、皆伐による土壌温度の上昇に伴う有機物の分解量の増加、樹木の吸収量の低下などが考えられる。溶存態炭素も崩壊地面積率と正の相関関係にあり、土地被覆、物理、化学、生物的な土壌の状態が溶存無機、有機成分の土壌中での動態に大きな影響を与えていることが推測される。グループ(2)の水質と年間降水量の関係は、土壌からの供給量とそれを希釈する水量との関係から導かれた可能性が高い。こうした水質項目では河川水質と降雨水質との比が 10 程度と高く、また流域面積当たりの流量との相関が負であることによってもこのことは裏付

けられる。また、林齢とリンの関係については報告例はないが、森林の遷移に伴う物質循環の変化に関係している可能性がある。

なお、天然林比率と水質との相関は晴天時にはあまり明白ではなかった。しかし、降雨時にはその比率が低い流域で高い懸濁物、アンモニア窒素濃度を記録した。

5.4 山林の適切な管理

人為的な負荷のほとんどないダム湖にも淡水赤潮の発生が報告されているが、その藻類培養試験から濁度とアンモニア態窒素が主要な原因と考えられている。5.3の結果から、崩壊地や人工林比率が高い場合にそうした物質の流出が増える可能性が示唆される。すなわち、急峻な山岳地帯で人工林化をはかると大降雨時に崩壊を起こす可能性がある。そうした場合、樹木が再生できない環境に至る可能性があり、同時に下流では淡水赤潮の発生が危ぶまれる。水質保全のためにも山林の管理を適切に行わなければならない。

6. おわりに

この特別研究では、上記以外にも次のような研究を行った。1) 琵琶湖等で大発生をしたピコプランクトン(大きさが 2 mm 以下のプランクトン)に関しては、分類、実湖沼での現存量変化、毒性の研究を行い、管理の方向を示した。2) 藻類種の変化に関しては、フラスコ試験、屋外実験池、霞ヶ浦での詳細調査、全国 200 湖沼のデータをもとに優占藻類種の決定因子の整理を行った。これらについては別の機会にご報告することにした。

以上、この特別研究の成果は体系的ではないが、個々に得られた成果はそれぞれに湖沼環境保全に役立つものと確信している。

ポスター・デモンストレーションセッション

環境庁の衛星搭載大気センサーILAS及びILAS-IIについて

鈴木 陸 (地球環境研究グループ衛星観測研究チーム)

1. はじめに

環境庁は1989年からの衛星搭載センサーILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer: 改良型大気周縁赤外分光計)の開発に成功した。1996年8月17日に打ち上げられたADEOS衛星(Advanced Earth Observing Satellite: 地球観測技術プラットフォーム衛星、打ち上げ後に、「みどり」と命名された)に搭載されたILASは、無事軌道上で稼働し10月30日以降連続観測を行っている。これまでのILAS観測データによれば、その機能・性能は概ね仕様・性能要求を満足している。幾つかの打ち上げ前及び打ち上げ後に確認された問題点は、それらを解析し、適切にモデル化することで、処理ソフト上問題を回避することに成功しつつある。データ処理ソフトウェアを順次改善することで、ILASのLevel 2 プロダクト (地球物理量としてのプロダクト) は、同一緯度帯・時期における他の衛星センサーにより観測された気候値や、検証実験でのオゾンゾンデ観測と良い一致を示している。

2. ILAS

ILASは、地平線上の太陽を追尾する分光計であり、 $6.21\mu\text{m}\sim 11.78\mu\text{m}$ の赤外バンド分光器と $753\sim 784\text{nm}$ の可視分光器を有する。赤外分光器は信頼性とコストの観点から非冷却式の44素子焦電型アレー検出器を用い、十分なSNRで O_3 を始め、オゾンホール化学・物理過程を理解するために必要な HNO_3 、 NO_2 、 N_2O 、 H_2O 、 CH_4 、 CFC11 、 CFC12 等を測定する。可視分光器は、酸素分子のAバンドの回転構造から大気温度・密度を測定し、同時にエアロソルの測定を行う。オゾンホール現象のきっかけとなるPSC (Polar Stratospheric Clouds)の生成に関連しては、可視分光器と赤外分光器の測定を組み合わせ、PSCと火山起源のエアロソルの区別、粒径分布の推定などが試みられる。

赤外分光器は、44素子 $0.12\mu\text{m}$ 分解能であるため、ドップラー幅で 0.001cm^{-1} もしくはそれより若干広いVoigt線幅を持つ大気吸収を取り扱うことは容易ではない。ILASでは、これまでの世界的にも前例が無いことであるが、非常に広い全観測波長帯について全吸収線の形状を正確に計算 (Line-By-Line 計算) し、それに基づき極めて一般的なOnion Peeling法で1km間隔で O_3 等の高度分布を算出している。これを実現するためには、計算機上で分光器の装置関数を正確に表現することや、ロックインアンプで時定数1秒に平滑化された信号を 0.15 秒にデコンボリュートすること等が必要

となるが、打ち上げ前の詳細な実験とモデル化により解決されている。

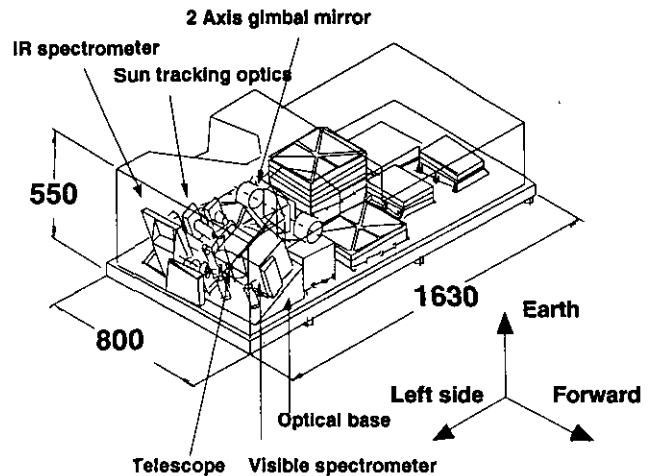


図 ILASのハードウェア

3. ILAS-II

ILAS-IIは、ILASと同一の分光器2台の他に2台の分光器を追加し、オゾンホール等の高緯度帯成層圏での大気現象の、より詳細な観測を継続することを目的としている。基本的な観測方式はILASと同一であるが、望遠鏡の大型化、鉛直方向の視野の縮小、信号処理回路系の改良、衛星位置・時刻情報の高精度化等により、ILASと同一項目についても飛躍的に良い鉛直分布が得られることが期待される。

追加された分光器の1台では、 780.2cm^{-1} 帯において 0.2cm^{-1} という非常に高い分光分解能で ClONO_2 の測定を行う。この分光器は科技庁海洋開発及地球科学技術調査研究促進費により実施された環境研での研究を基に設計されている。他の1台の分光器は $3\sim 5\mu\text{m}$ の大気成分と成層圏エアロソルの吸収を測定し、ILAS同様の赤外第1バンドと組み合わせ、PSCおよび火山起源成層圏エアロソルの種別・粒系分布の決定が行われる。

3. 将来センサー

衛星センサーの開発は、主に打ち上げロケットと衛星開発能力を有する諸国家 (米国・ロシア・欧州宇宙機構・日本)の義務であると考えられる。また、長期間・大規模なプロジェクトは、(宇宙科学研究所を除くと)大学などでの実施は困難であると思われる。したがって、他機関が本格的に大気センサーの研究・開発・運用を行うまで、環境庁がILAS及びその後継機のプロジェクトを実施して行くことが強く期待されていると考えられる。

定期フェリーを用いた海洋汚染観測

—海水中の有害化学物質の高密度観測に向けて—

刃刀 正行 (地球環境研究グループ海洋研究チーム)

1. はじめに

自然界に存在しない人為起源の有害化学物質による海洋汚染は、自然生態系に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。これらの汚染実態の把握には、不断の海洋観測が不可欠である。しかしながら、従来の観測はその発生源の近傍である沿岸域や閉鎖系水域がその主な対象域となっており、地球規模の有害化学物質による海洋汚染の観測態勢は十分でない。これは、主に次の二つの要因によるものと推察される。すなわち、1) 試料を捕集するプラットフォーム (観測船など) の不足、2) 外洋など沿岸域以外での海水中における有害化学物質の濃度が極めて低濃度であるため従来法では感度不足の2点である。

私達は、定期フェリーを用いた海洋観測を実施しているが、このフェリーに有害化学物質の濃縮捕集装置を搭載し、海水中の有害化学物質の連続的な観測の試みを開始している。

2. 方法

海洋特に外洋における有害化学物質の存在量はきわめて微量なため、分析可能な濃度まで海水中の有害化学物質を濃縮捕集しなければならない。従来、濃縮捕集には有機溶剤を用いた液液抽出が用いられて来たが、廃液等二次汚染防止の観点から固相抽出法が採用される様になってきた。本観測の様に大量の海水を処理する必要がある場合にはなおさらである。そこで、固相抽出剤として、一般的に広く使われているイオン交換樹脂 XAD4、大気中の有害化学物質捕集等に用いられているポリウレタンフォーム、さらに米国EPAの指導の下に開発された固相抽出樹脂を繊維でバイディングして作成した固相抽出用フィルター・エムポアディスクの3種を検討した。検討に当たり、図1に示す海水濃縮捕集検討システムを作成した。

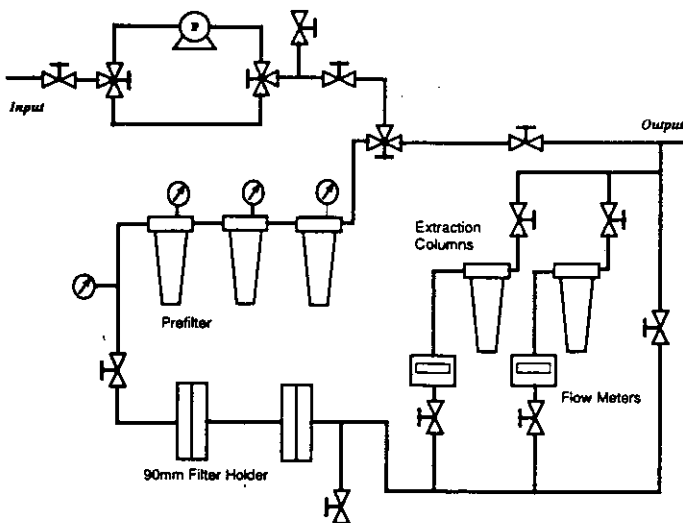


図1 海水濃縮捕集検討システムのブロック図

イオン交換樹脂およびポリウレタンフォームは、ソックスレー抽出装置にて、アセトンおよびメタノールでそれぞれ24時間の洗浄を行った後冷暗所に保存し、使用直前にカラムに充填した。試料捕集は、図1のシステムを用い、約100~200lの海水を通水して行った。捕集後、ソックスレーを用いアセトンで24時間抽出後、K.D.濃縮器で数mlに濃縮、ヘキサン転溶、 Na_2SO_4 にて脱水後、再度K.D.濃縮器で1mlに濃縮し、測定用内標として $\text{HCB}^{14}\text{C}_6$ 及びフルオランテン d_{10} を添加し、GC-MS/SIMでクロロデン、HCHなどを分析定量を行った。

3. 結果

図1に示した濃縮捕集装置を大阪-沖縄間のフェリーくろしおに設置し、基本的な検討を行った。エムポアフィルターは、圧力損失が時間と共に急激に大きくなり、30分程度の通水で流量が全く取れなくなってしまい実用にならなかった。イオン交換樹脂およびポリウレタンフォームは、ともにほぼ同様な捕集結果が得られた。しかし、イオン交換樹脂は上記の洗浄においてもプランクにばらつきがみられる、取り扱いが厄介であるなど多数の試料捕集には適さない点があり、本研究においては以後ポリウレタンフォームを固相抽出材として用いることとした。大阪-沖縄間のフェリー航路上で捕集した試料からは、微量ではあるがクロロデン、HCH、ノナクロルなどが検出されている。

これらの検討システムの結果をもとに、図2に示す新たに連続濃縮捕集システムを作成した。このシステムはフェリーなどへの設置を考慮してユニット化を行い、カラムは10本を1ユニットとしてセット化しており、必要に応じて拡大縮小などが可能である。現在、本システムを用いた同フェリー航路上での高密度観測を開始しており、これらの結果については当日紹介する。

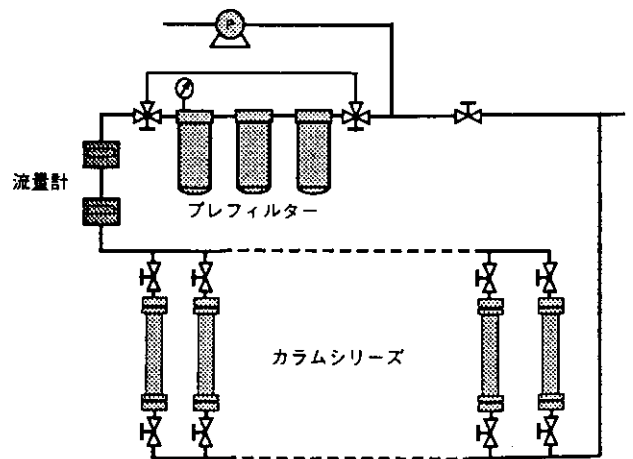


図2 連続濃縮捕集システムの概念図

太陽エネルギー利用等の環境低負荷型技術を導入した エコオフィスシステムの概要について

近藤 美則（地域環境研究グループ交通公害防止研究チーム）

1. はじめに

地球温暖化の主因とされる二酸化炭素の排出削減があらゆる部門や対象に対して求められている。本年12月に開催される地球温暖化防止条約京都会議（COP3）においても、各国・地域の具体的な削減目標が話し合われることになっている。そのような中、国立環境研究所内に従来のオフィスに比べ建物の断熱を強化し、太陽エネルギーを利用する技術を取り入れたエコオフィスが建設された。エコオフィスの目的は、従来あまり対策の取られていなかったオフィス（業務）部門からの二酸化炭素排出を削減するための対策を定量的に評価することである。

2. エコオフィスの概要

エコオフィスの概要を図に示す。エコオフィスは、研究本館Ⅲ棟3階の南側部分に作られ、居室部分の合計面積は約241m²である。居室の壁の内側には硬質ウレタン断熱材を入れ、窓はペアガラスとしたことにより、従来型のオフィスに比べ4倍高い断熱性能となっている。また、研究本館Ⅲ棟屋上に太陽熱集熱器を設

置して温水を作り、それを居室内の冷暖房や給湯等の熱源として利用している。同時に換気時に熱が逃げるのを減らすための全熱交換器を備えている。さらに、同屋上に各5kWの発電電力が得られる単結晶、多結晶、アモルファスの3種の太陽電池を用いた発電システムを設置し、居室内の照明やコンセントおよび冷暖房等のための空調機器の電力需要の一部賄うシステムとなっている。

3. 計測監視システムの概要

エコオフィス内の一室には、居室内のエネルギー消費量や温湿度、空調機器の消費電力や配管内の水の流量や温度、屋上の太陽光発電による発電電力量、太陽熱集熱器内の温水温度等の時々刻々のデータを取り込み、リアルタイムに表示する監視システムがある。この監視システムは、収集したデータのグラフィック表示機能を持ち、さらに国立環境研究所内の中央監視から独立して、エコオフィスに設置された各種制御機器を運転する機能を持っている。

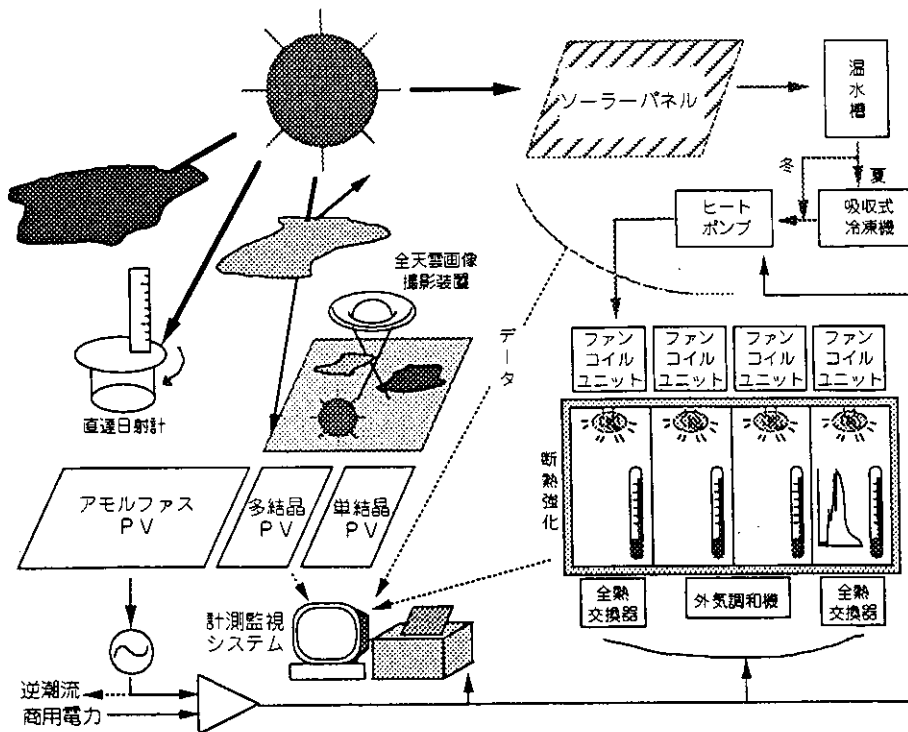


図 エコオフィスシステムの概略図

NOAA衛星受信画像検索システムの開発

清水 明（社会環境システム部情報解析研究室）

1. はじめに

国立環境研究所の2箇所（つくばと黒島）の気象衛星NOAA受信設備では、毎日30シーン近い画像データが受信されており、その年間総数は1万件にも及ぶ。今後これらの設備から得られるデータを活用して、東アジアの広範囲の地域について、長期の環境モニタリングを実施していく行く計画である。しかしながら、これらの受信データは莫大な量であり、データベースシステムを構築して適切な管理を行わないと、研究に必要なデータを的確に探し当てるのが困難となり、結局貴重なデータを死蔵することになりかねない。そこで、受信画像を管理検索するデータベースシステムを構築することが計画された。しかし、従来から行われて来た画像検索の方法は、人が受信画像をディスプレイ上で目視して適否を判定することが基本となっており、これは人手と時間と忍耐を要する作業で、そこに受信画像検索処理のボトルネックが存在した。

本研究では、これらの問題点を踏まえ、受信画像の検索に人が介在しないですむ処理方法を検討する事により、省力化と高い検索効率を得られるシステムを構築する事を目指している。

2. 処理原理

図は4件の受信データがそれぞれどのように地表をカバーしているかについて、受信エリアを2値画像で表示したものである。四角は検索範囲であって、ここでは2

件の受信データが検索範囲に入っていることがわかる。

これを自動判定させるには、検索範囲と受信画像を順次突き合わせて、互いに少しでも重なる部分があれば検索範囲をカバーしている受信データであるとする。これは、2値画像同士の論理演算を実行することで実現でき、処理負荷は軽い。

3. 特徴

本方式の特徴は、オリジナルデータに予備処理を加え、受信エリアや雲の状態（雲マスク）等の特定の情報を担った2値画像のデータセットを作成し、検索処理にこれら2値画像を使用することにある。すなわち、オリジナル受信データは1回の受信で100Mバイトを超えるデータ量になり、検索作業でこれを直接操作するのは困難である。そこで、予めオリジナル受信データを間引き処理や幾何補正をした後、受信範囲検索性2値画像（5Kバイト程度）や雲マスク2値画像（20Kバイト程度）を作成する。このようにすると、画像検索処理は、原理で述べたように2値画像の論理判定ですませることが出来る。これによる効果として、カバー状態の検索では、オリジナル画像をそのまま検索する場合に比べ、操作を必要とするデータ量は2万分の1ですみ、圧倒的な処理負荷の軽減により、非常に早い応答と少ない記憶容量で、より長期間にわたる蓄積データの管理が可能になる。さらに、雲マスク2値画像を使って検索を行うと、晴れたシーン（逆でも良い）の自動検索も可能になる。



図 2値画像による受信エリアと検索範囲の重なり判定

気候変動に関する国際交渉の行方

川島 康子 (社会環境システム部環境経済研究室)

1. 研究の概要

気候変動の予測に関し、今までに多くの気候モデルや経済モデルが構築されている。これらのモデルは政策決定に重要な役割を果たすが、そこにいかなる前提条件、シナリオを設定するかによって、結果は大きく変わる。そこで、今後の国際的な取組みに関する動向の予測が、これらのモデルの有効活用に寄与すると考えられる。

本研究では、シナリオ作成法(複数作成されたシナリオの中から、アンケート調査等を用いてシナリオを選択する方法)を用いて、国際交渉の行方を予測した。

2. 調査方法

気候変動は、多様な利害関係が複雑に関連し合っている問題であるため、「交渉は将来どうなるか」といった漠然とした質問では、容易に答えることができない。

そこで、交渉を幾つかの側面に分類し、アンケート調査により各々の側面で最も支持されるシナリオが決定された後、それを再統合して交渉全体のシナリオを作成するアプローチを採用した(図)。シナリオ統合には、デルファイ法(一回目の調査で支持されたシナリオを、同じ調査対象者に再度評価してもらうプロセスを数回繰り返しシナリオを収束させる手法に準じた方法を用いた。既存の研究成果にもとづき、先進国間の争点と、先進国対途上国との争点に分離し、同時に、交渉に影響を与えている政治的要因と経済的要因に分け、それぞれに楽観的、現状維持、悲観的シナリオを作成した。

アンケート調査は、約150カ国の行政官及び専門家約240名を対象として行った。回答者には、提示されたシナリオから自分の予想に最も近いシナリオを選択し、それを自分の予想にさらに近づけるよう修正してもらった。

アンケート調査の結果、比較的支持されたシナリオを部分的に統合した新たなシナリオを作成し、それを国内の有識者に、インタビュー調査で評価してもらった。

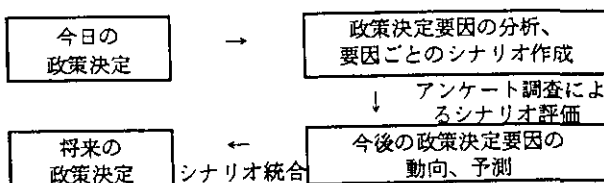


図 研究のアプローチ

3. 調査結果

調査の結果、回答者の予想は大きく2つの異なるシナリオに収束し、これを「先進国・途上国協調型シナリオ」「先進国の技術開発主導型シナリオ」と名づけた(表)。

「先・途協調型」では、先進国内での排出量削減には費用がかかるため、共同実施や排出権取引等の制度を活用し、先進国の技術や資金で途上国の排出量の伸びを抑制しようとする。ここで、国際的協調に必要なのは、これらの制度に対する途上国の不公平感の除去となる。

一方、「技術開発型」では、先進国の企業が、気候変動を省エネ新エネ技術開発のチャンスと認識するため、その先進国中心の技術競争が、排出量目標値設定の交渉につながる。ここで、国際的協調に必要なのは、これらの技術を途上国に移転するメカニズムである。

4. 結論

2つのシナリオのいずれが実現するかは、気候変動の影響の生じる速度と、技術開発の速度によって決定される。気候変動の影響と対策の評価を結びつけた統合モデルと、本研究の成果を相互関連させることにより、社会的要因も含めた総合予測に発展できると考えられる。

表 統合シナリオの概要

	先進国・途上国協調型シナリオ	先進国の技術開発主導型シナリオ
先進国間 先進国と途上国間	協調阻害要因 先進国だけが責任をとって対策をとるべきという途上国と、先進国だけでは対策にも限度があると考える先進国との対立	協調阻害要因 高エネルギー効率の技術移転を望む途上国と、よい条件がなければ、技術移転はできないとする先進国との対立
経済的側面		協調促進要因 再生可能エネルギーの開発、省エネ技術の輸出機会として、前向きに考える
政治的側面	協調促進要因 先進国への非難を高める途上国と、環境問題への関心を失わない国内世論	
国際協調を阻む問題点	先進国が、共同実施や排出権取引を導入する際に、途上国側は、先進国の過去の責任を非難し、参加しようとならない	先進国が、省エネの新たな技術を開発していくが、それを途上国に移転しようとしないうちに、対策が先進国間にとどまる
国際協調に至る方策	先進国間だけで、これらの制度を導入してみる。制度の効果が証明できれば、途上国も参加する意欲が出る	先進国の技術が途上国に移転されるメカニズム。途上国の産業界と先進国の産業界との提携など

気候変動による農業への影響

高橋 潔 (社会環境システム部環境計画研究室)

1. 研究の背景と概要

年末に気候変動枠組み条約第3回締約国会議を控え、温室効果ガス排出削減に関する議論がこれまで以上に注目を浴びている。排出削減の道筋を論じる場合、気候変動が何に対して、いつ頃、どの程度の影響を引き起こすのか、ということについての知見が必要となる。そのため、海面上昇に伴う砂浜や湿地の損失、マラリアや Deng 熱などの健康被害、森林植生への影響、河川水量の変化などについて研究が進められてきている。本研究は、気候変化が作物収量、食料供給、農産物貿易に与える影響について、モデルを用いて検討するものである。

本研究の影響算定フローを図1に示す。まず気候変動モデル及び水収支モデルにより、農作物生産をとりまく水分、気温、日射量などの条件が算定される。気候変動モデルでは社会経済発展や人口のシナリオと GCM (大循環モデル) による二酸化炭素濃度倍増時の気候分布を入力として、将来の気温分布、降水量分布などが生成される。続いて水収支モデルでは、積雪、蒸発散、水の流出などを計算する。それら気候データと土壌のデータを入力として、潜在生産性算定モデルでは作物成長の過程をモデル化することにより、天水栽培において単位面積当たり達成され得る農作物収穫量 (潜在生産性) を求める。さらに穀物収量モデルではその潜在生産性に灌漑、肥料、品種選択などを考慮することにより実際の収量を推定する。世界農業経済モデルでは、穀物収量推定モデルを生産関数として用い、国際・国内市場の需給量や貿易への影響が算定される。

2. 現在までの研究成果

現在までに、気候変動下でのイネ、コムギ (春播・冬播)、トウモロコシ (熱帯性栽培種・温帯性栽培種) の潜在生産性の算定と、一部地域については灌漑、品種改良、肥料投入を考慮に入れた収量推定が行われた。図2は、 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ の世界平均気温上昇 (ΔT) を仮定した場合に推定されるトウモロコシ (熱帯性栽培種) の潜在生産性の変化を国単位で集計したものである。 ΔT が 2°C 以上の場合に、中国、インドでは生産性が下がり始めることがわかる。その他では、インド、バングラデシュにおけるコムギ (冬播) の潜在生産性の激減、ブータンでのイネの潜在生産性の増加などが推定された。日本については、イネ、コムギ、トウモロコシともに大きな潜在生産性の変化は推定されなかった。

3. 今後の取り組み

気候変動による影響研究では、適応まで含めた評価が重要となる。農業でいえば、灌漑による水の安定供給、播種・収穫時期の調整、気候に適した品種の選択などが適応策として考えられる。また貿易も間接的な適応の一つといえる。これら適応策の実行可能性や有効性を検討するために、より詳しい水資源評価方法の開発、品種ごとの生育条件に関するデータの収集、貿易モデルの開発に現在取り組んでいる。

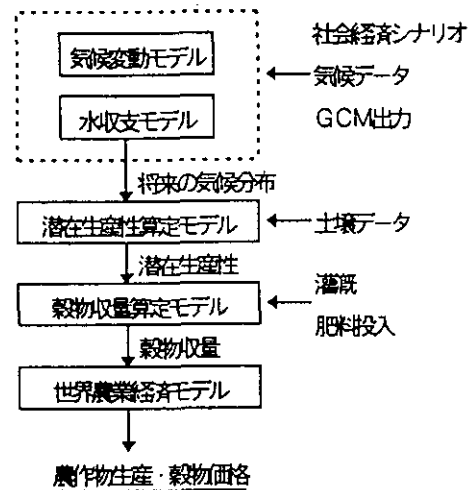


図1 農業影響算定のフロー

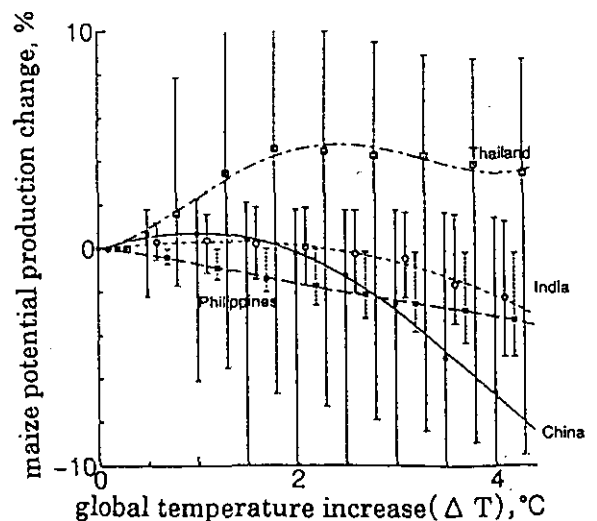


図2 トウモロコシの潜在生産性の変化

オゾン層を破壊しない新規代替ハロン物質の熱挙動

山本 貴士 (化学環境部計測管理研究室)

1. はじめに

ハロン(ブロモフルオロカーボン)は、分子内に臭素原子を含む化合物で、消火能力が優れていることと毒性が弱いことから消火剤として用いられてきた。ハロンの高い消火能力は分子中の臭素原子によるところが大きい。臭素原子はまたオゾン層破壊の原因ともなるため、特定ハロンの製造と使用は、フロンと同様に一部の用途を除き、1994年より禁止されている。こうした状況を受け、幾つかのハロンを代替する物質が開発され、市場に出ている。代替ハロン物質に求められる特性としては、(1)オゾン層を破壊しないこと、(2)消火能力が高いこと、(3)毒性が低いことなどが挙げられる。例えば、新規代替ハロン物質として開発されたフルオロアルキルアミン化合物は、人工血液として使われるほど低毒性で、ハロンに匹敵する消火能力を有している。しかし、これらの代替ハロン物質が消火に用いられて高温にさらされた場合、どのような挙動を示すかについてはほとんど解明されていない。本研究は、これら代替ハロン物質の熱的挙動を明らかにする目的で行われた。

2. 実験

2.1 試料: 実験に使用した代替ハロン物質および特定ハロン(トリプロモメタン=ハロン1301)を表に示す。

名前	化学式	略号
2H-ヘプタフルオロプロパン	C_3HF_7	HFP
トリフルオロメタン	CF_3I	TFIM
ペルフルオロトリエチルアミン	$C_2F_{15}N$	PFTEA
N, N-ビス(トリフルオロメチル)-2H-テトラフルオロエチルアミン	$C_4HF_{10}N$	DFDMEA
N, N-ビス(トリフルオロメチル)-2-プロモテトラフルオロエチルアミン	$C_4F_{10}BrN$	PFDMBEA
ペルフルオロジメチルエチルアミン	C_2F_9N	PFDMVA
ペルフルオロ-N-エチルピロリジン	$C_6F_{13}N$	PFEP
トリフルオロプロモメタン	CF_3Br	TFBM

表 実験に使用した代替ハロン物質および特定ハロン

2.2 方法: 試料を体積濃度で5%となるように、空気で希釈してバッグ中に調製した。このガスを毎分50mlの流速で、所定の温度(300から800または900℃)に加熱された石英製反応管

(長さ50cm×内径2cm)に導入して熱分解させた。熱分解後のガスは、水酸化カリウム溶液に通じてフッ化水素などの反応成分を除いた後、シリンジで一定量採取して、ガスクロマトグラフ(GC)またはガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)で測定した。代替ハロン物質と特定ハロンの濃度の定量はGCで行い、熱分解生成物の同定はGC/MSで行った。

3. 結果

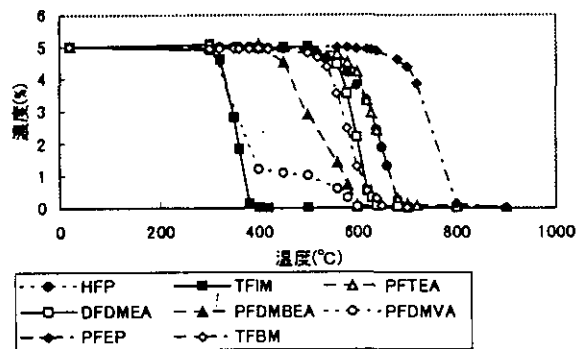


図 代替ハロン物質および特定ハロンの熱分解曲線

代替ハロン物質および特定ハロンの熱分解曲線を図に示す。従来使用されてきたハロン1301は500℃以上で分解を始め、650℃でほぼ分解を終えた。2H-ヘプタフルオロプロパンと直鎖のフルオロアルキルアミンは、このハロン1301とよく似た分解の挙動を示した。分子内に二重結合を含むアミンは、それよりも低い温度で分解した。臭素やヨウ素原子を含んでいる代替ハロン物質は、さらに低い温度で分解した。環状アミン(PFEP)は600℃まで分解せず、熱分解が起りにくいことが判った。

代替ハロン物質の熱分解生成物でGC/MS測定によって同定された成分は少なく、ペルフルオロエタンやペルフルオロプロパンなどのフルオロアルカン類やフルオロアルキルアミン類が主な成分であった。生成物の濃度は高くても4000ppm程度であり、もとの成分の10%に満たなかった。これらの熱分解生成物は臭素やヨウ素を含まないので、オゾン層の破壊には寄与しないものと思われる。ただ、毒性の強いフッ化水素が相当量生成するので、これらの代替ハロン物質の使用には十分な配慮が必要となろう。

フロンやハロンなどガス状化合物の培養細胞を用いた遺伝毒性試験法の開発

白石 不二雄（化学環境部化学毒性研究室）

1. 研究の背景と概要

フロンやハロンは冷媒やウレタンフォームの発泡剤に、あるいは化学系消火剤に現代社会ではなくてはならない存在として大量に使われてきた。しかしながら、フロンやハロンはガス（揮発性）であるとともに、反応性に乏しいという化学的特性ゆえにオゾン層破壊の原因物質として問題となっている。そのため、できるだけオゾン層を破壊しないフロン代替品やハロン代替品の開発が急がれている。現在、特定フロンに代わるものとして比較的オゾン層破壊係数の低い代替品がすでに開発、使用されており、また、特定ハロンに代わるものとして消火能力、健康影響において問題が残るものの、二、三の代替品が市場に出始めている。

生活環境で使用される化学物質は、目的とする機能が十分に発揮されることは言うまでもなく、環境への影響やヒトへの健康影響がないことが求められている。例えば、これまで特定ハロンは消火剤としてだけでなく、火災予防の観点から航空機や美術館、コンピュータールームの室内空気に混合して使用され、否応なくヒトに暴露されてきた。ハロン代替物質も同様の状況で使用されることが予想される。そのため慢性影響といえる発ガン性の有無を明らかにすることが開発、使用に当たって重要となる。しかしながら、開発されている多くのハロン代替候補化合物すべてについて大量の実験動物を用いる発ガン性試験を行うことは経済的にも時間的にも困難である。そこで発ガン性につながる生体の応答の一つであるDNA損傷を微生物の変異原性試験や培養細胞の遺伝毒性試験で、より簡便に一次選別（スクリーニング）ができれば、極めて有効な手段となるであろう。

我々は、ハロン代替候補化合物の遺伝毒性を一次スクリーニングする手法の開発に携わったので試験システムについて紹介する。

2. 培養細胞へのガス暴露システム

ハロン代替候補化合物の多くは、常温でガスであり、また水に溶けにくく、化学反応性が低い特性がある。このような化合物を培養細胞に暴露してその毒性を調べることはガス暴露技術の困難さもあってこれまであまり行

われてこなかった。水に溶けにくい試料ガスの毒性を検出する方法として、ガス化合物を培養液にできるだけ溶解させて、培養細胞に接触させる方法の検討を試みた。

培養細胞へのガス暴露の手順は、①ハロン代替候補化合物の試料ガスをガス調製装置でテドラーバッグに作成する、②培養細胞が底面に付着、増殖したガラス製培養角ビンに試料ガスをガス導入装置で導入する、③試料ガスを充填した培養角ビンを回転培養装置にセットして、回転を加えながら24時間細胞の培養と暴露を同時に行った。試料ガスに暴露された培養細胞は、対照の純空気に暴露された培養細胞と細胞数を比較して、試料ガスによる増殖抑制作用により細胞毒性を調べ、細胞毒性を示す濃度領域での遺伝毒性を姉妹染色分体交換（SCE）分析法により判定した。

3. 遺伝毒性試験法

現在では、遺伝毒性とは遺伝物質（DNAなど）に何らかの傷害を与えるような毒性と定義されるようになり、微生物を用いた変異原性試験も遺伝毒性試験の一つである。今回、遺伝毒性の検出に培養細胞を用いた姉妹染色分体交換（SCE）分析法により行ったが、SCE分析法は、分裂中期細胞像の姉妹染色分体の部分的な交換箇所を光学顕微鏡下で計測して、誘発される頻度を遺伝毒性の指標としたものである。SCEの生成機構は未だ不明であるが、多くの発ガン因子（化学物質、紫外線、放射線など）がSCE誘発能を有することから、その客観的計測性と相まって感度の良い遺伝毒性試験法と言われている。

4. ハロン関連化合物の遺伝毒性

本暴露システムの性能試験をかつて消火剤としても使用され、遺伝毒性が陽性のブロモクロロメタンを用いて行った。ブロモクロロメタンは0.5%、1%、2%の三段階の濃度で濃度に依存した強いSCE誘発能を示すことから、本暴露システムは遺伝毒性試験に適していることが示された。また、特定ハロンを含むハロン関連化合物の8種類について遺伝毒性試験を行ったところ、特定ハロンであるHalon 1301が陽性と判定される結果を得た。

ディーゼル排気暴露が鼻アレルギー様病態におよぼす影響

小林 隆弘 (環境健康部)

1.はじめに

スギ花粉症が1975年代から急増し社会的な問題にもなっているが、この花粉症の増加にディーゼル排気(DE)が関係するのではないかと疑われている。花粉症は花粉(抗原)を吸うことにより、体の中に抗体ができ、次に花粉を吸ったときに抗原と抗体が結合することにより起きるアレルギー反応である。鼻で起きればくしゃみ、鼻水、鼻づまりの症状が出る。DE中に含まれる粒子(DEP)には刺激性物質をはじめとした多くの物質が吸着されている。このためDEPが鼻から吸入されて肺に至るまでの間(気道)に沈着すれば、気道に刺激を与え花粉症様の病態を引き起こしやすくする可能性がある。花粉症様病態とDEとの関連を検討する際には以下の3点について考えることが重要である。DEが、

- 1) アレルギー反応のもととなる花粉に対する抗体の産生を増加させるかどうか、
- 2) アレルギー反応を増幅させる鼻粘膜の過敏状態(わずかな刺激に過剰に反応する状態)を惹起するか、
- 3) DE暴露下に抗原を吸入させた場合アレルギー反応がでやすくなるか、である。

1)についてはすでに抗体産生を亢進することが報告されている。2)については我々はモルモットにDEを暴露した場合、鼻粘膜は過敏になりヒスタミン-エアロゾルにより引き起こされるくしゃみ、鼻水、鼻づまりといった花粉症様病態を増悪させる作用があることを明らかにしてきた。また、その機構として知覚神経が関与していることも見いだしてきた。そこで、今回、3)の抗原繰り返し投与における花粉症様の病態をDE暴露は悪化させるかどうかについて検討した。

結果としては、清浄空気下よりDE暴露下の方が、抗原繰り返し投与により引き起こされる花粉症様病態が出やすいことを見いだされた。

2.材料と方法

雄のハートレイ系モルモットを使用した。ディーゼル排気は総排気量2740cc、4気筒直噴式ディーゼルエンジンの排気ガスを用い、10 kg・mの負荷をかけた状態で運転したときの排気ガスを用いた。抗原としては卵白アルブミンを用い両側の鼻腔内に暴露直前に1度、その後1週間おきに1回計6回行った。投与した。DEは1.0(高濃度暴露群)および0.32(低濃度暴露群)mg/m³のDEに35日間、1日12時間の間欠暴露を行なった。花粉症様の病態の指標としてくしゃみ回数と鼻汁量を測定した。くしゃみ回数は抗原投与1分後から20分間測定した。くしゃみをするときの呼気量の急激に増加、肺内容量の減少、音声と肉眼的観察をもとに数えた。鼻汁量は抗原投与1分後から20分間に鼻孔外に放出された鼻汁の重量を測定した。

3.結果

3.1 DE暴露が抗原投与によるくしゃみ回数に及ぼす影響

図1に清浄空気、DE暴露群の抗原の点鼻投与により誘

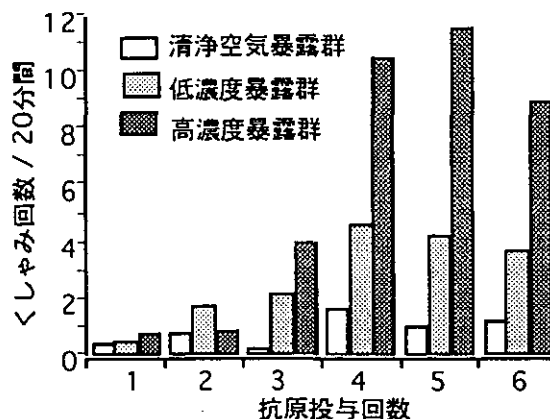


図1 ディーゼル排気暴露が抗原誘発くしゃみ回数におよぼす影響

発されるくしゃみ回数を示した。DEの濃度に依存してくしゃみ回数が増加することが見いだされた。

3.2 DE暴露が抗原点鼻投与による鼻汁分泌に及ぼす影響

図2に清浄空気、DE暴露群の抗原の点鼻投与により誘発される鼻汁分泌量を示した。DEの濃度に依存して鼻汁分泌量が増加することが見いだされた。

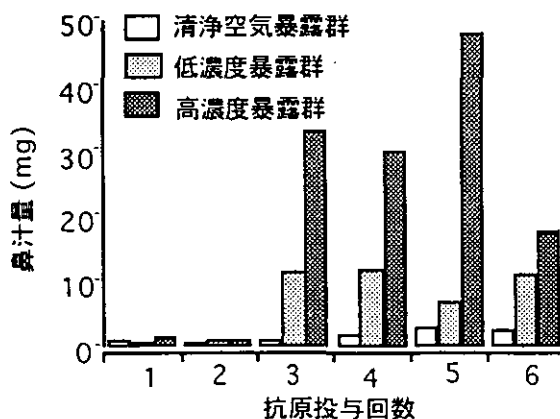


図2 ディーゼル排気暴露が抗原誘発鼻汁分泌におよぼす影響

4.考察

図1および図2に示したように、くしゃみおよび鼻汁の分泌といった花粉症様病態のいずれもがDEの濃度に依存して増加することが見いだされた。影響の機構としてはこれまで検討されてきた、鼻粘膜の反応性が亢進すること、抗体価が上昇すること、上皮の透過性が増加することなどによる可能性が考えられるが、今後これらの点についてさらに検討していくことが必要と考えられる。

サバンナにおける家畜と野生動物の共通伝染病に関する研究

鈴木 明 (環境健康部生体機能研究室)

1. はじめに

多くの開発途上国では、人口が急増し、その食糧を確保するため、広大な森林地帯や草地地帯が耕地や放牧地帯に変わりつつある。そこでは、狭くなった草地や森林をめぐって、野生動物と家畜の混在が起こり、共通伝染病の流行が心配されている。このことは、野生動物や畜産とヒトへ大きな損害を与えることが予測されている。

特に、野生動物の宝庫と言われるサバンナ地帯は、草食家畜にとっても育ちやすい環境にあるため、同じ地域の草地で家畜と野生動物が混在することが多い。

したがって、本研究の目的は、家畜と野生動物の接触程度と共通伝染病を検討し、そのリスクを少なくするための資料を得ることにあり、本報告は1989年から1995年にかけて、アフリカのザンビア共和国でザンビア大学と行った共同研究の一部である。

2. 家畜放牧の現状と病気被害

ザンビアは、日本の約2倍の国土を有しているが、そのほとんどはサバンナ気候に属する丘陵地帯と低湿地帯である。人口は約680万人で、農業を主産業としている。その中で約200万頭の牛が飼育されているが、そのほとんどは放牧地を囲わない放牧のため、放牧地帯が広域化し野生動物の保護区域まで接近している。

近年、炭疽病に罹ったカバを食べた住民が死ぬケースが多く、人・家畜・野生動物の共通の伝染病について関心が高まっている。また、1992年の南部アフリカを襲った大干ばつは、草地と水辺を減少させ、牛と野生動物の病死を増やした。我々が調査した国立公園内で、牛、シマウマそしてカモシカの仲間のレーチェの多数の死体を発見した。同行した病理学者は、ほとんどは病死で、牛と野生動物の死因は同一の伝染病である可能性が高いと判断した。この地区における、家畜の損害は総数の約40%であったが、野生動物の損失は判明していない。

3. 家畜と野生動物の共通伝染病が流行する理由

共通伝染病が流行する理由に、サバンナ気候特有

の気候変化があることが、我々の研究で判明した。つまり、雨季と乾季の変化である。

雨季には、毎日、雷雲のもとにスコールという激しい雨が降り、草地は種々の草でいっぱいになり、小さい川が至る所で水飲み場となる。そのため、家畜(主に牛)は、村の近くで容易に新鮮な草と水を得ることができる。また、農作業にも使われるため人の管理の下にある。しかし、乾季には、日照りの日が続き、大地は枯れた草と灌木の荒れ野となる。そのため、家畜(牛)は水と草を求めて、村を離れ何十キロも離れた川辺や水辺に集まる。そこには、先住の野生動物が生活しており、少ない水と草を求めて、家畜と野生動物の接触の機会が多くなる。

さらに、野生動物にとって住む環境の良い所が国立公園となっているため、家畜が国立公園内に侵入するように見える。現地民の話では、乾季には人の生活水を確保するのも困難で、家畜に水と餌をやれないため牧柵で囲む放牧はできないそうである。いずれにしても、家畜と野生動物の接触は乾季に高くサバンナ気候に起因することが判明した。

4. 主な共通伝染病

多数の病気があると推測されておりますが、野生動物で病気の確定診断は大変難しく、ここでは確認されているものに限定して示します。

ウィルス性伝染病——狂犬病、

リケッチア性伝染病——ハートウォーター病

細菌性伝染病——炭疽病、結核、ブルセラ病

原虫性伝染病——タイレリア病(症候群)

寄生性伝染病——寄生虫病、ダニ起因病、真菌症

5. おわりに

野生動物と家畜の接触と混在は、共通伝染病を流行し易くすることが明確となった。さらに、サバンナ気候の因子が流行の重要な要因であることが判明した。また、いったん野生動物に流行した伝染病は、そのコントロールが非常に難しいため、動物種の存続を危うくすることが危惧される。これからの研究では、野生動物の保護を目的とした、家畜との共存・共生条件の研究が必要である。

ADEOS衛星搭載リフレクター(RIS)を用いた大気微量分子の測定実験

杉本 伸夫 (大気圏環境部高層大気研究室)

1. はじめに

昨年8月に打ち上げられた地球観衛星 ADEOS には 8 個のセンサーが搭載されている。このうちの 2 つ、ILAS と RIS は環境庁の開発したセンサーである。ここでは、RIS を用いた観測実験について報告する。

ADEOS に搭載された RIS は、地上から送信するレーザー光を反射するためのリフレクター (反射鏡) である。RIS を用いた測定では、赤外域のレーザーを地上から送信し、衛星までの往復の大気中のオゾンやメタンなどの大気微量分子の吸収測定を行う。

このように、レーザー光を大気中の長い光路を透過させて、大気中に含まれる微量分子を測定する手法はレーザー長光路吸収法と呼ばれ、感度の高い手法として知られている。RIS を用いた測定は、この手法を地上と衛星の間で行う世界初のものである。RIS を用いた研究の最初の課題は、まず、この測定手法を実証することにある。

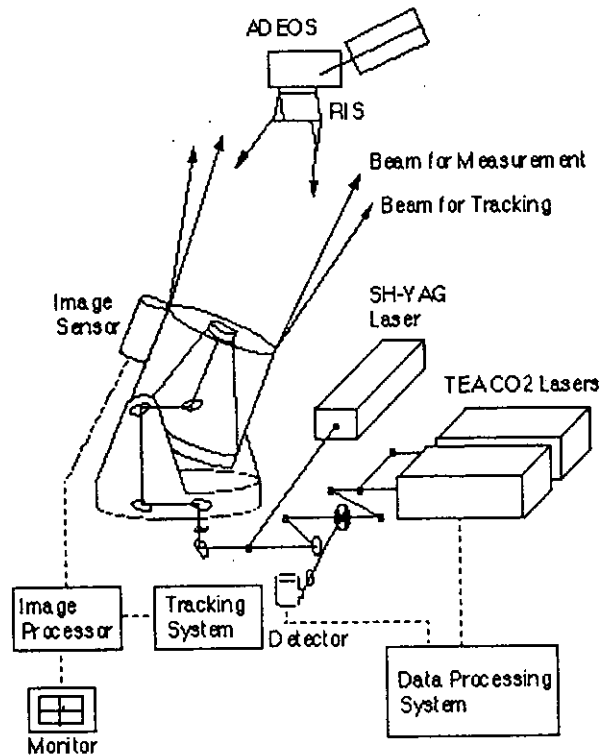


図1 RIS を用いた測定の概念

2. RIS による初期実験の成果

RIS 測定では、レーザー光をRIS に当てるために ADEOS 衛星を正確に追尾することが必要である。このため、衛星追尾技術を持つ郵政省通信総合研究所と共同で、小金井市の施設において測定実験を行っている。RIS を用いた観測は今後約 3 年間行われる計画であるが、ここでは、初期の実験の結果について報告する。

ADEOS 衛星の打ち上げ後、まず、RIS がリフレクターとして設計通りに機能することを確認するための試験を行った。可視光のレーザーの反射光を星の明るさと比較して RIS の反射率を評価した。また、追尾試験を行ない、約 30 マイクロラジアン精度で ADEOS を安定して追尾する技術を確認した。

次に、炭酸ガスレーザーを用いたオゾンの測定実験を行ない、地上衛星間のレーザー長光路吸収法による世界初のスペクトル測定に成功した。ところが、当初の測定結果では測定誤差が予想より大きいという問題があった。このため、送信光学系を改良し、測定誤差を改善した。現在、オゾンの測定を継続している。

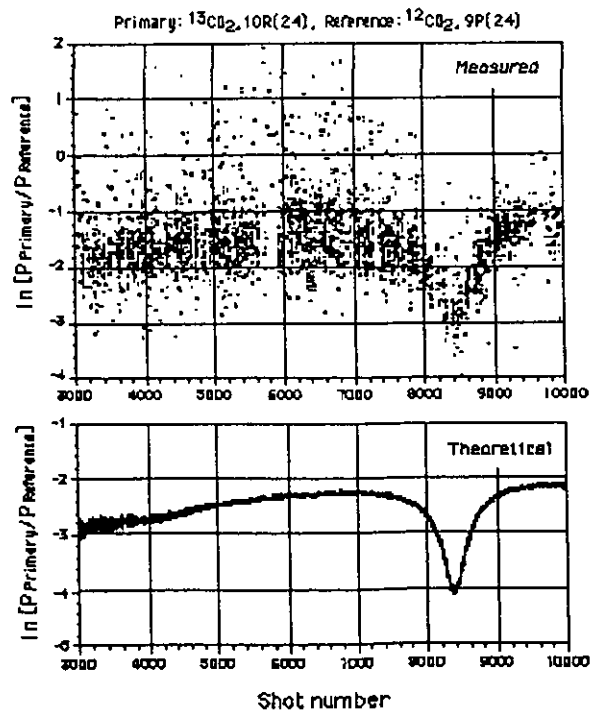


図2 RIS を用いて測定したオゾンのスペクトル

成層圏エアロゾル上での不均一反応係数の測定

今村 隆史 (大気圏環境部大気反応研究室)

成層圏オゾン層の分解は、HOx、ClOx、NOx サイクルと呼ばれる気相中でのオゾン分解の連鎖反応系に、極成層圏雲や成層圏硫酸エアロゾルを反応場とする不均一反応が結びついて起こっていると考えられる。不均一反応は気相中の分子が成層圏エアロゾルへ取り込まれ、エアロゾル中での化学反応により変質し、その反応生成物の一部は再び気相中へ放出される、と言った複数の過程によって構成されており、それ故、個々の過程のうち何が律速を決めているのかを明らかにしなくてはならない。ここでは、近年その影響が指摘されている HONO (亜硝酸) と HCl (塩酸) の成層圏硫酸エアロゾル上での不均一反応係数の測定を例にその測定手法や実験結果の意味することについて紹介する。

実験は回転可能な濡れ壁反応管と化学イオン化質量分析計とを組み合わせで行った。図1に概略図を示す。回転可能な反応管内に硫酸水溶液(硫酸濃度は50~80重量%)を注入する。HONOを含んだ試料気体は、可動式のインジェクターを通して反応管内に導入した。インジェクターを移動させ、その際の気相中の HONO の濃度を SF₆ イオンを用いた化学イオン化質量分析計で FHONO⁻イオン強度としてモニターした。

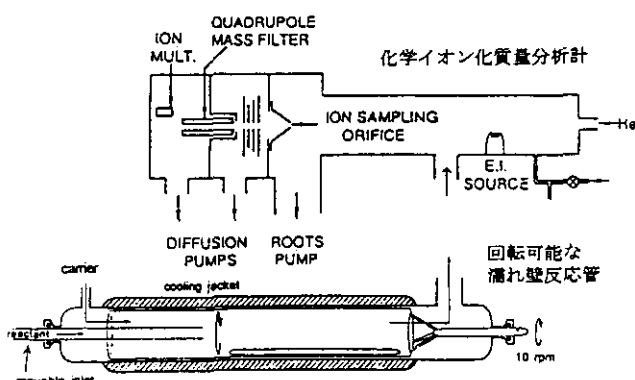


図1 実験装置の概略

図2に270K、65wt%の硫酸溶液での HONO のヘンリー定数の測定例を示す。図中 t=0~180(秒)では HONO は硫酸溶液と接触していない。t~180s でインジェクターを移動させ、HONO を溶液と接触させる。気相→液相への溶解のため、気相中の HONO の濃度は減少するが、液相中に溶解している HONO の濃度が増大するに従い、気相→液相への溶解が減少してくる。続いて t=620s でインジェクターを再び移動させ、HONO が硫酸溶液と接触しないようにすると、溶液内に溶解していた HONO が気相へ放出されるため気相中の HONO 濃度が上昇し、その放出は液

相中の HONO が全て気相に放出されるまで続く。HONO の吸収量と放出量が等しいことから HONO の硫酸溶液への溶解は可逆的なものである。導入した気相中の HONO 濃度と液体への吸収量(又は液体からの放出量)からヘンリー定数が求まる。

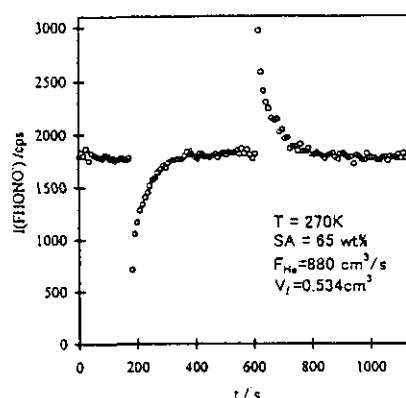


図2 気相中の HONO 濃度の時間変化

温度および硫酸濃度を変えてヘンリー定数を測定した結果、温度が一定では硫酸濃度が高くなるに従い HONO の溶解度が増大すること、また、硫酸濃度一定では温度が下がるに従い溶解度は大きくなることわかった。

次に硫酸溶液内での HONO+HCl → ClNO+H₂O 反応の速度定数を決定するために、反応管内に一定量の HCl を導入し、HCl を硫酸溶液へ溶解させた ([HCl(sa)] = P_{HCl} × H^{*}_{HCl})。インジェクター位置を変えた時の気相中の HONO 濃度を測定することにより、液相反応による気相からの HONO の消失速度定数が求められる。反応管内に導入する HCl の濃度を変化させて同様の測定を行うことにより、液相反応の速度定数を決定した。その結果、溶液中での反応は拡散律速に匹敵する速度定数を有する速い反応であることがわかった。

成層圏内では水蒸気圧は 3 × 10⁻⁴ mbar 程度で一定であり、温度の高い領域では硫酸濃度は高い。硫酸溶液中での HONO+HCl 反応は速い反応であるものの、硫酸溶液への HONO の溶解度と HCl の溶解度は全く逆の硫酸濃度依存性を持っているため、HCl がよく溶け込む硫酸濃度の高いエアロゾルへは HONO が溶け込みにくくなる(硫酸濃度の低い場合はその逆)。その結果として HONO+HCl 不均一反応の寄与は、通常の硫酸エアロゾル条件下ではあまり大きくないことがわかった。この結果は極域などの低温域でその寄与が増大する HOCl+HCl → Cl₂+H₂O 不均一反応と対照的である。

微生物によるセシウム-137の濃縮

富岡 典子 (水圏環境部水環境質研究室)

1. はじめに

チェルノブイリ原子力発電所の事故により放射性セシウムが多量に環境中に放出され穀物、きのこなどに高濃度に濃縮され大きな問題となっている。放射性セシウム(セシウム-137)は半減期が30年と長いことから、長期にわたって環境を汚染する。そのため、環境中のセシウム-137の簡便な測定法の開発が必要である。微生物は多くの種類の物質を濃縮している。これらの能力を利用しようという試みとして、リン酸を濃縮する細菌を用いた排水からのリンの除去や、ウランの酵母への濃縮を利用した海水からのウランの濃縮等がなされている。そこで、セシウム-137を濃縮する微生物の探索、微生物の濃縮能を利用した放射性セシウムの測定手法の開発について検討を行った。

2. セシウム-137濃縮微生物

まず土壌中の細菌を培養しそのセシウム濃縮能について検討した。その結果、土壌中に存在する細菌の約1/10がセシウムを濃縮する能力を持っていることが明らかとなった。このなかで特にセシウムを高濃度に濃縮することが出来る細菌は、培養液に20mg/lのセシウムを添加すると、菌体の乾燥重量の8.5%にもおよぶセシウムを細胞中に蓄積した。濃縮機構について調べたところ、この細菌はカリウムを濃縮するのと同じ機構でセシウムを濃縮していることが分かった。通常生物は細胞中に高濃度にカリウムを濃縮しており、特にこの細菌のセシウム濃縮能が高い理由の解明は今後の研究課題である。

リウムを濃縮しており、特にこの細菌のセシウム濃縮能が高い理由の解明は今後の研究課題である。

3. バイオリアクターモデル

セシウム蓄積能を持つ細菌を利用した放射性セシウムの除去法や測定法の開発ため、モデル系による検討を行った。透析チューブ内にセシウムを濃縮する細菌の細胞懸濁液を入れ、それを放射性セシウムの入った水溶液につけると、水溶液中の放射性セシウム濃度は時間の経過と共に減少し、32時間後には初期濃度の25%にまで減少した(図1)。この時点で細胞中の放射性セシウム濃度は初期の水溶液中の濃度の7500倍に濃縮されたことになる。さらに蒸留水に種々の濃度のセシウム-137を添加して試料水を作成し、細胞懸濁液に濃縮されたセシウム-137濃度を測定したところ、試料水のセシウム-137濃度の増加に伴って細胞に濃縮されるセシウム-137濃度も増加し、試料水と細胞懸濁液のセシウム-137濃度の間には高い相関関係が認められた(図2)。このことから細胞懸濁液中のセシウム-137濃度を測定することによって試料水中のセシウム-137濃度を推定できるものと考えられた。

さらに蒸留水に種々の濃度のセシウム-137を添加して試料水を作成し、細胞懸濁液に濃縮されたセシウム-137濃度を測定したところ、試料水のセシウム-137濃度の増加に伴って細胞に濃縮されるセシウム-137濃度も増加し、試料水と細胞懸濁液のセシウム-137濃度の間には高い相関関係が認められた(図2)。このことから細胞懸濁液中のセシウム-137濃度を測定することによって試料水中のセシウム-137濃度を推定できるものと考えられた。

4. まとめ

放射性セシウムの汚染の測定に際しては通常濃縮操作が必要であり、細菌を用いれば放射性セシウムを簡便に濃縮できる可能性があることが明らかとなった。

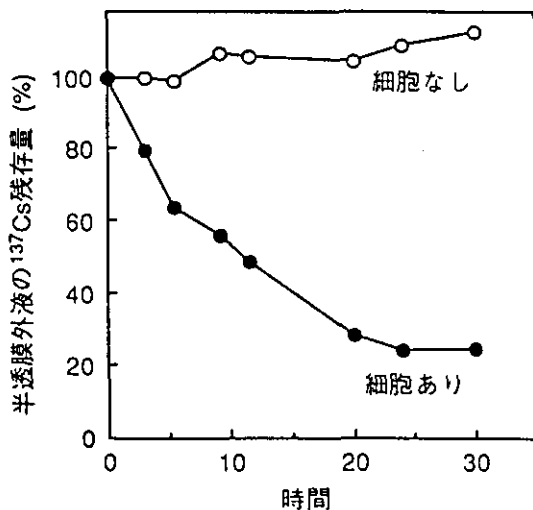


図1 バイオリアクターにおける¹³⁷Csの除去

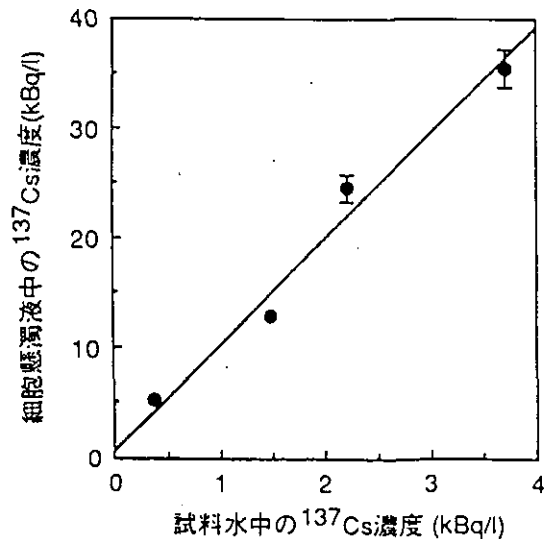


図2 試料中の¹³⁷Cs濃度と細胞懸濁液中の¹³⁷Cs濃度との相関関係

霞ヶ浦における農薬の濃度変化

井上 隆信（水圏環境部水環境工学研究室）

1. はじめに

近年、様々な化学物質が使用されるようになってきており、環境中に排出された化学物質による生態系への影響が懸念されている。環境影響評価のためには、化学物質の毒性を明らかにするとともに、環境中での濃度変化を把握・予測する必要がある。このため、我が国において使用量の多い水田に散布される農薬を対象に、環境中での濃度変化予測手法の開発を目的として、霞ヶ浦とその流入河川の恋瀬川を対象に実態調査を実施している。ここでは、霞ヶ浦における濃度変化について報告する。

2. 研究方法

調査は霞ヶ浦の8地点で月に一度実施した。試水は固相抽出した後、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて33種類の農薬について定量した。その中で検出回数の多かった殺菌剤のイソプロチオラン・IBP、除草剤のメフェナセット・シメトリン・オキサジアゾンの5種類の農薬について示す。

3. 結果

表には、1995年の高浜入りに流入する恋瀬川の下流、高浜入り湾奥、湖心における最高濃度と検出した月を示した。高浜入り湾奥における最高濃度の検出月は除草剤のオキサジアゾンが5月と早く、次いでメフェナセット、シメトリンが6月、殺菌剤のIBP、イソプロチオランが7月になっている。また、河川から高浜入り、湖心と最高濃度検出月は一ヶ月程度ずれている。このピーク月のずれはそれぞれの農薬の散布時期を反映しており、水田における農薬の散布時期から考えると湖心に到達するまでには約2ヶ月かかっている。

高浜入り湾奥の最高濃度は、IBPが0.89 $\mu\text{g}/\text{l}$ と一番高く、次いでイソプロチオランが0.87 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、メフェナセットが0.81 $\mu\text{g}/\text{l}$ になっている。湖心では、メフェナセットやオキサジアゾンは一年を通して検出されず、除草剤の濃度は低くなっている。殺菌剤のイソプロチオランやIBPは、高浜入り湾奥に比べると低くなっているが、湖心でも検出されている。

図には、高浜入りの湾奥から湖心までの農薬濃度変化を1995年の一年間の平均濃度について示した。イソプロチオランは一年を通して検出されているため、すべての地点で高くなっている。また、除草剤のメフェナセット、シメトリン、オキサジアゾンは湾奥から湖心に行くに従い濃度が減少しているのに対して、殺菌剤のイソプロチオラン、IBPはあまり減少していない。これは、分解性が低いためと考えられ、湖沼における農薬の残留に関しては河川とは異なり流域の使用量の大小よりも分解性が大きく影響している。

表 恋瀬川と霞ヶ浦高浜入り湾奥・湖心における農薬の最高濃度と検出月(1995年)

単位： $\mu\text{g}/\text{l}$	恋瀬川		高浜入り湾奥		湖心	
	濃度	月	濃度	月	濃度	月
イソプロチオラン	1.12	7	0.87	7	0.22	9
IBP	13.0	6	0.89	7	0.13	8
メフェナセット	5.70	5	0.81	6	--	--
シメトリン	0.36	5	0.34	6	0.05	8
オキサジアゾン	0.24	5	0.17	5	--	--

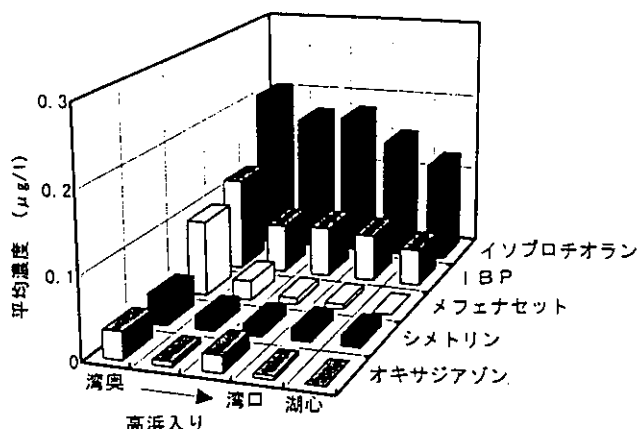


図 霞ヶ浦における農薬の高浜入り湾奥から湖心までの年平均濃度の変化(1995年)

高山域に分布する植物の環境適応性に関する研究

— オンタデ・イタドリを例として —

名取 俊樹 (生物圏環境部環境植物研究室)

1. はじめに

高山域(取り敢えず、森林限界より標高が高い地域を考慮)は、自然が比較的良く残されている場所であり、また、地球温暖化、酸性雨などの間接的な人間活動の影響やさらに、観光や山岳道路の建設など直接的な人間活動の影響も受けやすい場所である。このようにさまざまな人間活動の影響を受けやすい高山域の自然をどのように残し、あるいは、利用していくか考える際に、高山域に生育する植物の特性を把握することは必要なことである。このような観点から本研究を行っており、現在、イタドリとオンタデを用いて、生育高度に伴う形態的変異および機能的変異を調べている。

2. オンタデ・イタドリについて

イタドリは、富士山の場合、裾野から2500m付近まで生育し、それより上部にはイタドリと同じタデ科であり高山性の種であるオンタデが生育している。また、イタドリは、さまざまな原因により生じた崩壊地で緑化植物の一つとして利用されている。

3. オンタデの温度について

生育高度に伴う変異を調べる前に高山域の環境を把握することが必要である。高山域の環境の一般的な特徴のひとつとして、気温の低いことが知られている。それでは、植物体の温度も低いのであろうか?これを確かめるために、富士山の2650m付近に生育するオンタデ葉温の日変化を最も月平均気温が高い8月に調べた(図)。なお、この高度での月平均気温は、日本気候表(1972)から11.9℃と推定された。葉温は、午前中徐々に上昇し平均値で24.5℃に達し、また、最高温度は29.4℃が得られた。しかし、11:00頃から霧の発生に伴い葉温は低下し始めた(13:00以後霧が濃くなり測定不能となった)。この結果から、高山域に生育するオンタデの温度は一時的に比較的高くなることが分かる。また、オンタデの温度は高山域でしばしば発生する霧の影響を強く受けることも分かる。

4. 形態的変異と機能的変異について

同じ植物種であっても、高山に生育する植物は形態的にも機能的にも低地に生育する植物と異なっている多くの例が報告されており、これらの変異は、多くの場合、高山環境に適応した結果と考えられている。しかし、実際、これらの変異が適応的であるかは重要な問題である。そこで、富士山の約1000mと約2500mに生育していたイタドリを同じ条件下で栽培し、形態的変異として、まず、生育高度の上昇に伴い小さくなる葉面積と丸くなる葉形をほぼ同じ葉位かつ展開が終了した葉を用いて比較した(データはポスターに示す)。その結果、約2500mから採種したイタドリと同程度の丸い葉が約1000mから採種したイタドリの中に多数認められるものの、小さな葉は極めて少なく、葉面積と葉形では、2つの生育高度の間で変異の分離の程度に差があることが分かる。また、機能的変異として、活性酸素に対する光合成の抵抗性を比較した(データはポスターに示す)。活性酸素は高山域で生育する植物が被るであろう幾つかのストレスによる傷害発現に関連する物質として近年注目されている。その結果、約2500mから採取したイタドリの方が抵抗性が高いことが示唆された。

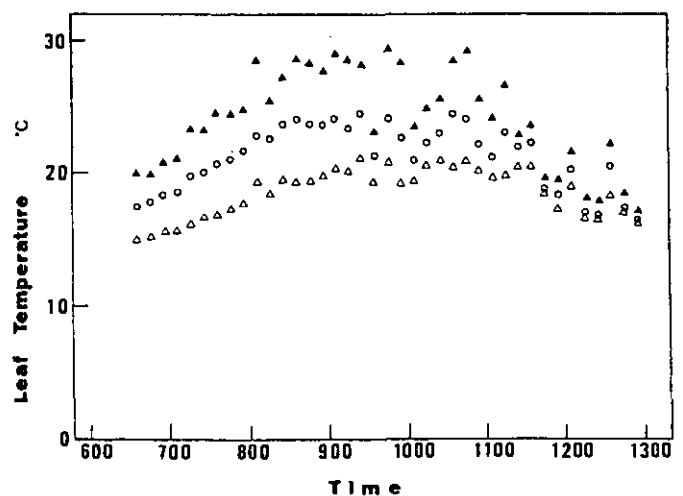


図 オンタデの葉温の日変化

富士山の2650m付近に生育するオンタデの葉温を8月に測定した。
○: 測定した10枚の葉の平均値, ▲: 最高温度, △: 最低温度。

環境情報センターの活動およ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注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
 4. 外部機関等 (国際機関を含む) との情報交換
 - ・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
 4. 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
 4. 図書室の管理
 9. 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。(表参照)

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サーバを開発整備し、「国立環境研究所WWWサーバ」として運用している。

・主な提供内容

- 国立環境研究所の概要 (組織、施設、調査研究)
- 研究所の出版物 (ニュース、刊行物一覧)
- 研究内容の紹介 (研究部ホームページへのリンク)
- 環境情報センター (組織、オンラインデータベース)
- 地球環境研究センター (組織、活動、出版物、ニュース)
- UNEP/GRID-つくば (UNEP地球資源情報データベース)
- ILAS-RISプロジェクト (人工衛星によるオゾン層観測)
- 環境関連WWWサーバ (国内外サーバへのリンク)

・インターネットアドレス (URL)

- 日本語 (<http://www.nies.go.jp/index-j.html>)
- 英語 (<http://www.nies.go.jp>)

4. 環境情報提供システム (E I C ネット)

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、インターネットやパソコン通信システムを利用した情報提供システムである。

・主な提供内容

環境庁行政情報

- 環境庁案内、行事予定、報道発表 (速報及び資料)、行政資料、環境法令・条例・条約、審議会等資料 (議事概要、答申等)

環境情報

- 環境情報ガイド、環境保全活動促進情報、エコライフガイド、イベント案内、会員交流広場 (パソコン通信によるサービスのみ)

・アクセス方法

- インターネット (URL) <http://www.eic.or.jp>
- パソコン通信のアクセスポイント 03-3595-3271
- 大手商用パソコン通信からのゲートウェイ NIFTY-Serve: GO EICNET
- PC-VAN: J EICNET
- Tri-P (コールアウトサービス) CHXENV

表 所外提供している環境データベース等

名 称	国 環 研 W W W	E I C ネ ット	関 係 機 関 配 布	コ ピ ー サ ー ビ ス	M T に よ る 貸 出
数値データ (情報整備室) 大気環境時間値データファイル 大気環境時間値データファイル; 国設局 大気測定局マスターファイル 大気環境月間値・年間値データファイル 公共用水域水質データファイル 公共用水水質マスターファイル				○ ○ ○ ○	○ ○ ○
情報源情報 UNEP/INFOTERRA (情報管理室) (国際環境情報源照会システム) 環境情報源情報データベース (EI-Guide) (情報整備室)	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	
公表資料 (研究情報室) 環境庁公表資料情報データ一覧 環境庁公表資料		○ ○		○ ○	
刊行物 (研究情報室) 国立環境研究所年報 国立環境研究所英文年報 国立環境研究所特別研究報告 国立環境研究所研究報告 国立環境研究所資料 国立環境研究所 地球環境研究センター報告 国立環境研究所ニュース	○		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		

注) コピーサービス:

(財) 環境情報普及センター (03-3595-3992) より一般に実費で頒布している。

アジア農業の将来を予測する

一ノ瀬 俊明 (地球環境研究センター)

1. はじめに

アジア地域は、急激な人口増加や経済成長により、その地域のみならず地球環境に最も大きな影響を及ぼす地域として位置づけられ、この地域の将来動向が地球環境の将来像を左右すると言っても過言ではない。

一方農業とは、太陽エネルギーを食糧という形に固定する唯一の人間活動であり、耕作を通じ食糧生産のために自然の姿を変えていく活動でもある。

アジア地域において特に重要な分野である農業について、近年の変貌とともにその将来を概観してみよう。

2. 指標で見るアジア農業の移り変わり

FAO (国連食糧農業機関) 等のデータをもとに、1980年代から1990年代にかけてのアジア各国の農業関連指標の変化を概観してみると、以下のような特徴が指摘される。

-1人当たり国内総生産の上昇に伴い、単位耕地面積当たりの農業従事者数が減少している。耕地面積そのものの変化は小さいことから、これは農業人口の減少を意味しているものと考えられる。

-1人当たり国内総生産の上昇に伴い、単位耕地面積当たりの穀物収量が増加している。これは、単位耕地面積当たりの肥料投入量が増えているためである。その傾向はベトナム、中国などで著しいが、韓国では既に頭打ちの状態になっているようだ(図)。しかしながら1人当たりの穀物生産量は減少傾向にあり、人口増に食糧増産が追いつかない様子が伺える。

-1人当たり国内総生産の上昇に伴い、穀物自給率及び自国内1人当たり穀物供給量は減少している。また、タイを除いて自国内生産穀物のほとんどは自国内で消費されており、多くの国が少数の国に穀物を依存する不安定な構造が進行している。

-1人当たり国内総生産の上昇に伴い、穀物飼料利用率が増加している。

3. アジアの農業は大丈夫なのか

以上より、アジアの農業については以下のように総括される。

農業従事者1人当たり面積が著しく小さい農地において、全人口の半数以上の農業従事者が、化学肥料、農薬、

耕作機械に頼らない労働集約型の農業を行い、自国内で生産した穀物を自国内で消費している。

また近年単位収量は増加しているものの、人口増加の影響から、1人当たり生産量は減少している。さらに経済発展に伴い、農業従事者人口の減少や、穀物輸入量の増加、自給率の低下に加え、食生活の変化が進行している。

現在の経済発展と人口増加が継続した場合に、アジア各国は食糧自給が可能であろうか?

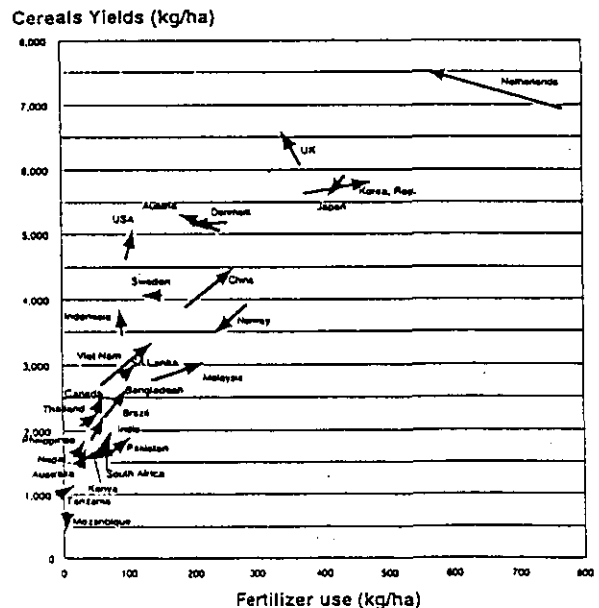


図 近年における単位耕地面積当たりの肥料投入量 (Fertilizer Use) と穀物収量 (Cereals Yields) の変化

地球資源情報データベース - GRID-つくば -

安岡 善文 (地球環境研究センター)

地球環境研究センターにはどんなデータがあるのか、どのように使われているのかを「GRID-つくば」および「地球環境研究センター」のWWWサーバを利用して紹介する。

1. 背景

国連環境計画 (UNEP) の地球資源情報データベース (GRID) は、環境情報を収集し環境評価を行うためのデータベースとして1985年に設立された。GRIDは、観測データやリモートセンシングデータなど多様なデータを加工して、地図上で参照できるようにフォーマットを統一したデータベースを作成した。

地球環境研究センターは、1991年5月に8番目のGRID協力センターであるGRID-つくばに指名された。以来、GRIDの保有する地球環境データを国内外の研究者に提供してきた。また、GRIDのデータ以外にも、地球環境研究センターのモニタリング事業などから得られたデータを提供している。

地球環境研究センターでは、WWWサーバ上でこれらのデータの入手方法を紹介するとともに、一部についてはグラフや画像を掲載して、データを視覚でとらえられるようにしている。

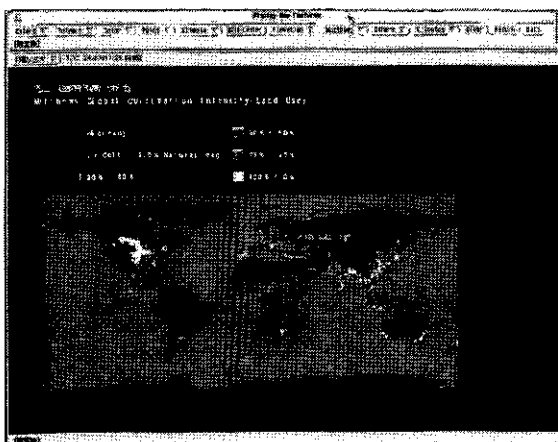


図1 GRIDのデータの例
(耕作強度, 1953-1979, マッシュューズ)

2. 世界の地球環境データ

地球環境研究センターからすべての地球環境データが手に入るわけではもちろんない。世界には多くのデータセンターがあり、多様なデータを提供しているが、どんな地球環境データがどこにあるのか、どうすれば入手できるのかという情報は、研究者や地球環境に関する情報を求める一般の人々にとって必要な情報である。地球環境研究センターではこのような情報 (情報源情報と呼ばれる) を調べて、WWWサーバなどで紹介している。

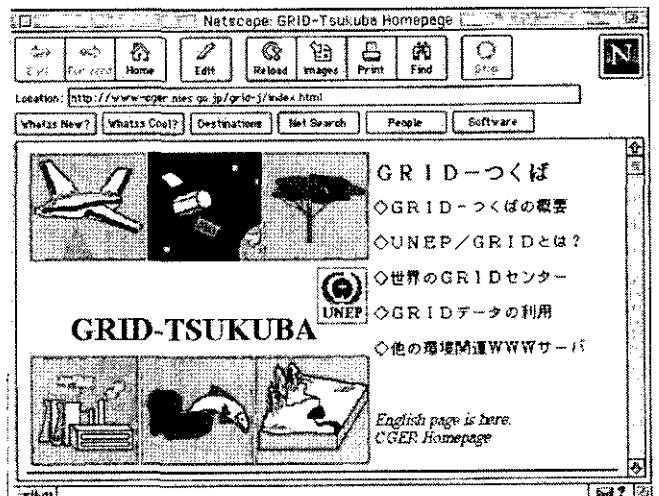


図2 ホームページ
(上: GRID-つくば, 下: 地球環境研究センター)

[平成9年6月11日編集委員会受理]

[国立環境研究所資料 F-106-'97/NIES]

国立環境研究所研究発表会予稿集 第20号

平成9年6月23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