

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た。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

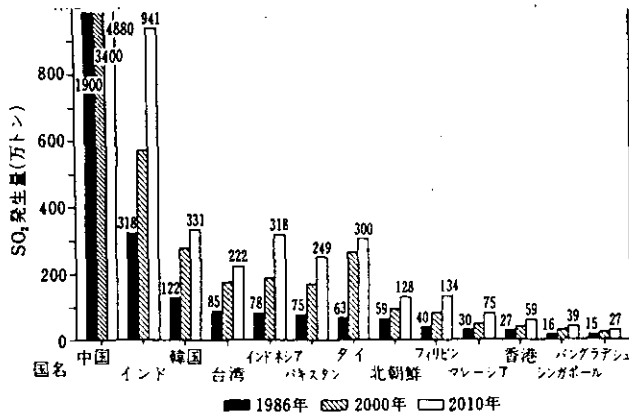


図1 アジアにおける二酸化硫黄放出量の将来予測

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

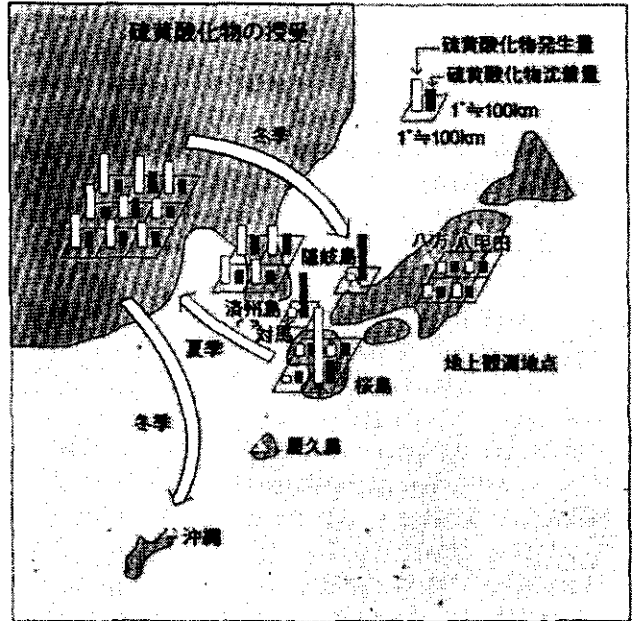


図2 日本、韓国、中国間の硫黄酸化物の移動の状況

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

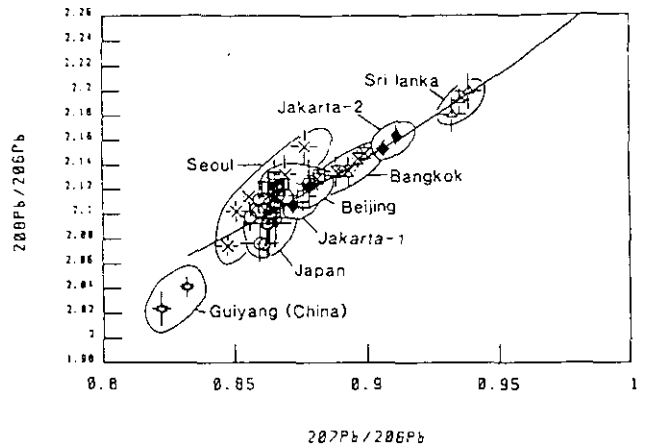


図3 アジア各地の都市域の粉塵中の鉛同位体比

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

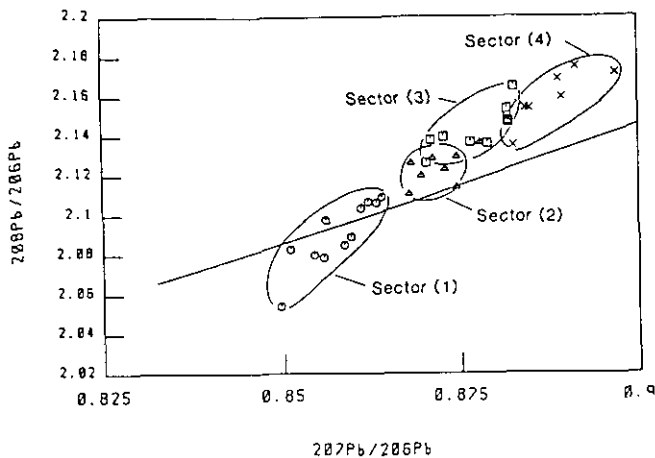


図4 隠岐島で見られる鉛同位体比

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

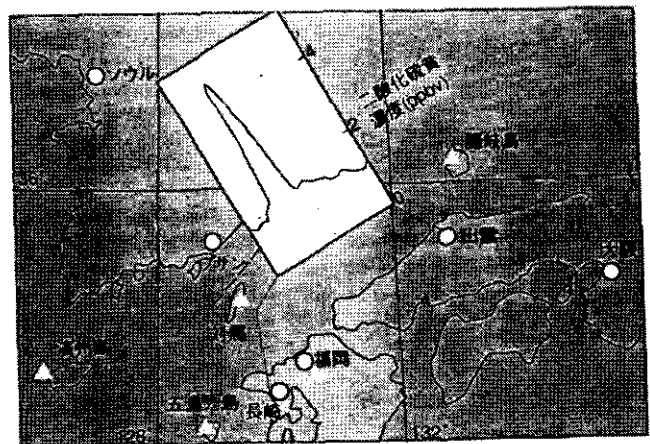


図5 航空機観測で明らかになった日本海上の二酸化硫黄の濃度分布

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）

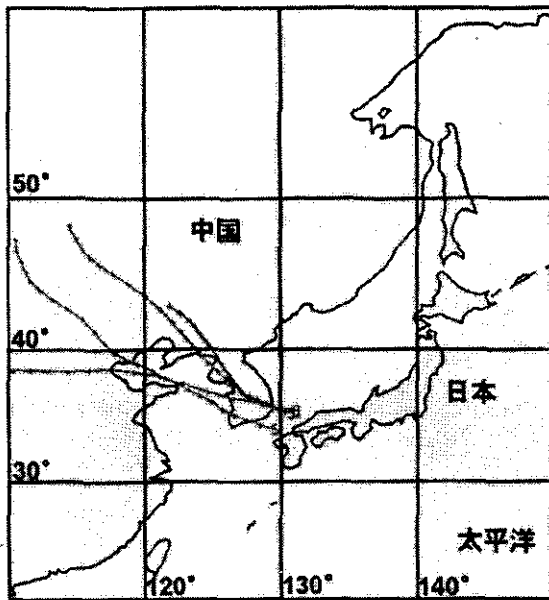


図6 二酸化硫黄の高濃度ピークを検出した平成6年3月11日の流跡線解析

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

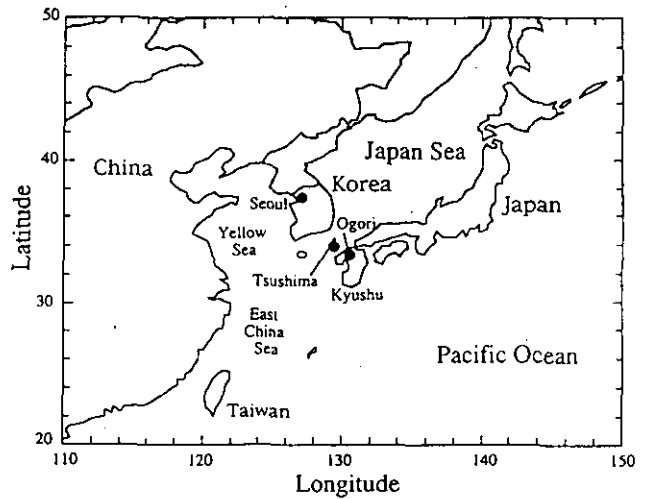


図7 物質輸送・変質モデルの計算領域と粒子状物質の観測地点

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^- の挙動は比較的よく一致しており、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。

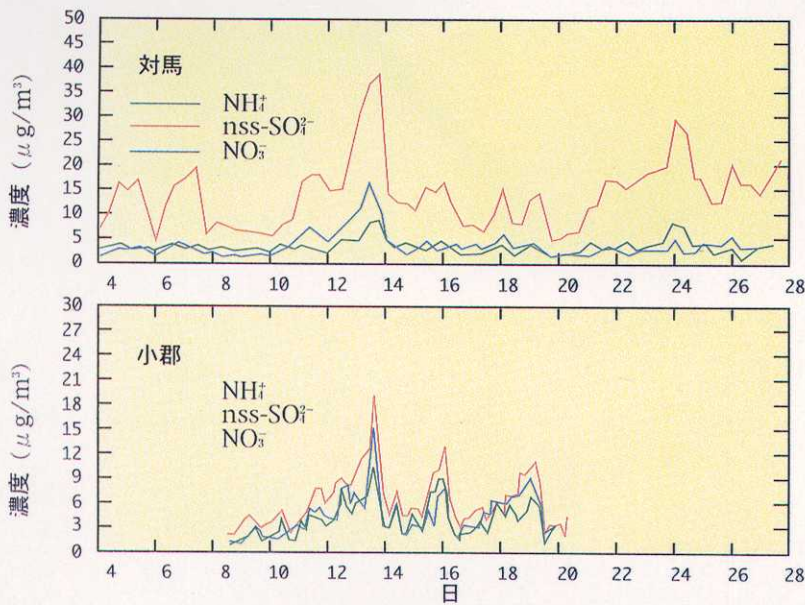


図8 対馬と小郡での非海塩硫酸塩、硝酸塩及びアンモニウム塩濃度の時系列変化

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

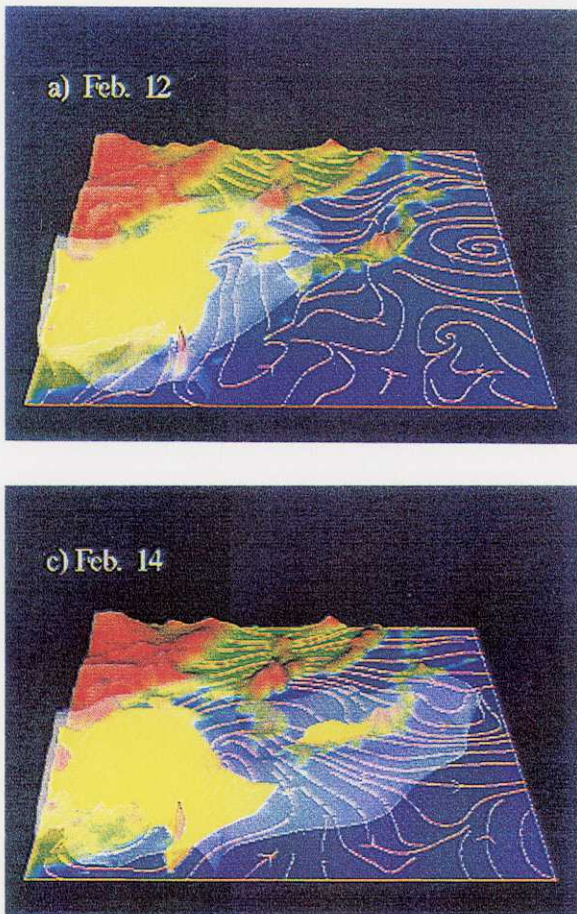


図9 2月12日～14日の非海塩硫酸塩の等濃度面(白 $6.5\mu g/m^3$ 、黄 $13\mu g/m^3$)の鳥瞰図

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～九州北部へと帯状に輸送される。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