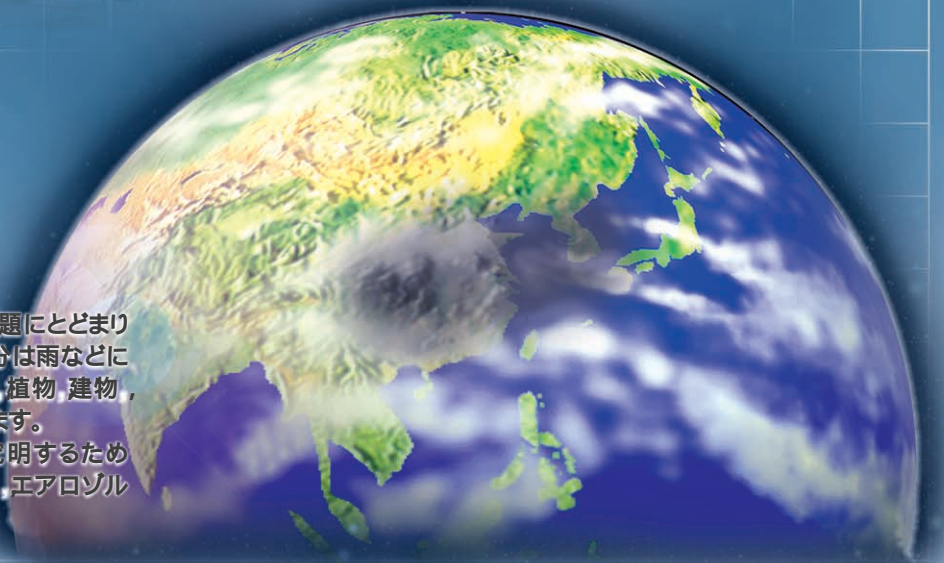




国立環境研究所の研究情報誌

東アジアの広域大気汚染 国境を越える酸性雨



「酸性雨問題」は酸性の雨だけの問題にとどまりません。大気中のガス、エアロゾル成分は雨などに取り込まれる以外に、大気中から直接、植物、建物、地表面などに沈着して問題を生じさせます。東アジアにおける広域大気汚染を究明するためには、雨の観測とともに大気中のガス、エアロゾル成分の観測も必要です。

独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

東アジアにおける酸性雨問題対策の
キーポイントは、科学的かつ継続的な
研究による知見の充実です。





環境省が発表した第4次酸性雨対策調査取りまとめによれば、2000年度の日本全国の雨のpHの平均値は4.7と、ここ10年ほど大きな変動は見られず、依然として酸性雨は降り続けています。

日本で観測される酸性雨は、工場などの脱硫システムが高度に発達しているため、硫黄酸化物(SO_x)による硫酸系の寄与割合が他の国などの酸性雨に比べて低く、自動車から排出される窒素酸化物(NO_x)による硝酸系の寄与割合が高いのが特徴です。ところが、日本海側では冬季の硫酸塩の沈着量が夏季より多いことが知られています。これらはアジア大陸から冬の季節風に乗って飛来したと考えられています。つまり酸性雨は国境を越えた問題となっているのです。このような広域に及ぶ問題の解決のためには、その因果関係を明らかにすることが必要です。

国立環境研究所では、1990年から東アジアの広域大気汚染の科学的解明をめざした研究に取り組んでいます。本号ではその中から、モデルに用いる正確な大気汚染物質発生量を提供するための「東アジア地域における発生源インベントリーの構築」、そして初めて実施することができた中国での「航空機観測によるエアロゾル性状の空間分布測定」に関する研究を中心に紹介します。

C O N T E N T S

東アジアの広域大気汚染 国境を越える酸性雨

INTERVIEW

研究者に聞く P4-P9

SUMMARY

「東アジアの広域大気汚染の研究」の概要 P10-P11

広域大気汚染－酸性雨問題をめぐって P12-P13

広域大気汚染(酸性雨)研究のあゆみ P14

研究者に聞く



畠山 史郎 大気環境研究領域
大気反応研究室長

村野 健太郎 大気環境研究領域
酸性雨研究チーム総合研究官

東アジアの広域大気汚染である酸性雨問題に取り組む村野健太郎さん、畠山史郎さんに研究のねらい、成果などをお聞きしました。現在、村野さんは研究全体の統括を、畠山さんは中国での航空機観測を中心に東アジアの酸性雨問題の研究を続けています。

●研究の動機について

——酸性雨というと、森林が枯れたり、屋外にある仏像が錆でくすんだようになる原因ではないかといわれていたことが記憶にあります。またドイツの森林が枯死したことや北欧の湖が酸性化して魚が死滅した原因が酸性雨らしいということで大きな話題にもなりました。そのため一般の関心も高く、「酸性雨」という名前は浸透しています。最近あまり話題になることは少ないと思いますが、実際、酸性雨問題は今どうなっているのでしょうか。

村野 日本では1970年代に、首都圏で梅雨期の霧雨により「目が痛い」などの被害が起きたことが、酸性雨問題の発端でした。しかし日本で本格的に酸性雨問題に取り組んだのは、1983年に環境庁が酸性雨モニタリングを始めたときだと思います。もう20年前のことです。それ以前は、主に地方自治体の研究機関の人たちが独自に調査し、酸性の雨が降っていることはわかっていました。できたばかりの国立公害研究所(現国立環境研究所)では、光化学スモッグなどガス状や粒子状の大気汚染物質の生成機構などが主な研究課題で、大気汚染の越境問題、これには酸性雨も含まれますが、そうした問題に焦点が当てられたのはその後です。

私は首都圏から長野県まで大気汚染物質が輸送される調査などを行っていました。酸性雨に関わった

のは1980年頃から始めた赤城山の酸性霧の調査が発端でした。しかし、当時の研究所の酸性雨に対する取組みは充実したものではありませんでした。

国立公害研究所が国立環境研究所に名称変更され、環境庁の地球環境研究総合推進費による研究が始まった1990年、初めて酸性雨研究チームができ、全面的に取り組む体制ができました。その中で、私たちは広域大気汚染に関して航空機観測、地上観測を行い、さらにはモデル開発や発生源インベントリーの整備などと、大気系のことに関してほぼ全面的に研究を展開してきています。

さて質問の酸性雨問題はどうなっているかですが、端的にいいますと現在も解決していないというのが答えです。70年代に首都圏で起きたような人への直接的被害こそありませんが、窒素酸化物濃度は減っていません。酸性雨の影響のメカニズムに関しても、とくに森林などでははっきりしていないのです。

ところで、酸性雨と一言でいっても、その内容はかなり複雑です。まず酸性雨を狭義に「雨」と定義すると、「pH5.6以下の雨」となります。しかし現在は、酸性のガス状物質(二酸化硫黄(SO₂))、窒素酸化物(NO_x)などと粒子状物質(硫酸粒子など)、酸化性物質であるオゾンや過酸化水素なども含み、大気汚染物質全体の問題を酸性雨問題と捉えています。これが広義の意味での酸性雨です。かつては酸性の



雨だけを対象にしていた時期もありましたが、対象の広がりもあり、酸性雨問題は幅広い環境問題として進行中です。

——畠山さんはどう捉えていらっしゃいますか。

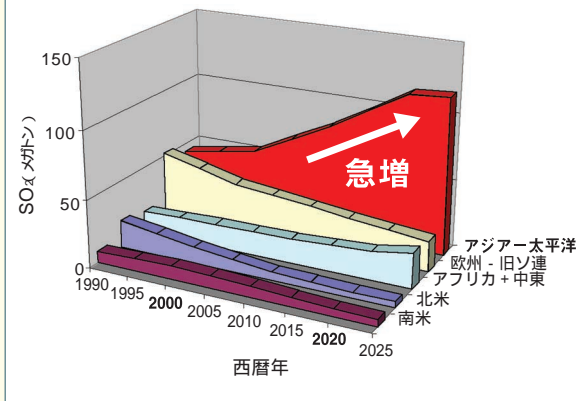
畠山 酸性雨は字の通りに解釈すれば、雨の中に酸性の物質が溶けてそれが降ってくることです。では、その酸性物質が「どこでできるのか」「どこから流れてくるのか」、私自身はそれが一番興味を中心で研究を始めました。人間が出した大気汚染物質が、ガスとして、それから粒子状の物質としても悪影響を及ぼします。さらに雨に溶けて降った場合にもいろいろな環境問題を引き起こします。人間活動に由来する大気汚染物質がもたらす環境問題、それが酸性雨問題なんだと考えています。もちろん雨だけではなく広く捉えています。

——その幅広い酸性雨問題が新たな展開を見せているようですね。

村野 はい、東アジア地域で燃料の70%以上を石

炭に頼る中国が、現在たいへんな勢いで経済発展を進めています。しかし環境対策はなかなか追いついていません。その中国が今後も経済発展を遂げ、そして環境対策が進まないとすると、日本への影響は大きいと予測されます。国立環境研究所の温暖化研

図1 化石燃料使用量の増加によるSO₂発生量の予測 (AIMより)



コラム 「酸性雨①」

●成り立ち

工場や自動車などのエネルギー源である化石燃料(石炭、石油など)を大量に使用することで大気中に多くのSO_xやNO_xなどが放出されます。それが光化学反応などにより、酸性物質(硝酸、硫酸)に変化します。酸性雨は、これら酸性物質が溶け込んだ雨、と一般には知られています。雨以外の霧や雪に溶け込んだ場合には、酸性霧、酸性雪などといわれますが、本質的には同じものです。

●pHとの関係

pHは酸性・アルカリ性の単位で、7.0が中性です。

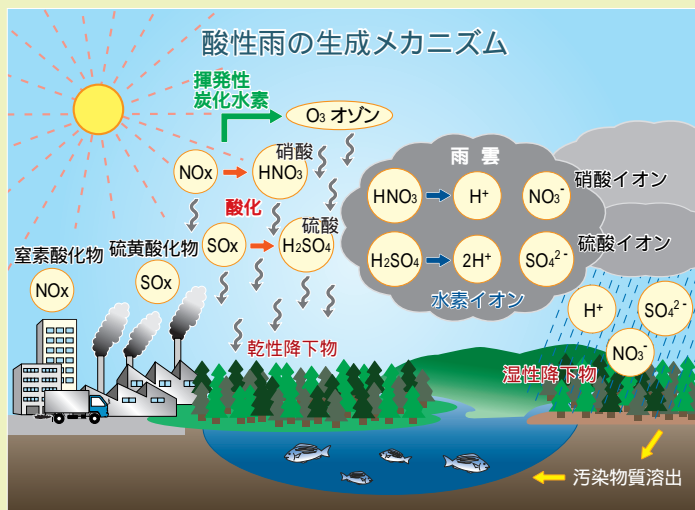
雨にはもともと大気中の二酸化炭素が溶け込んでいるため、やや酸性を示します。したがって人為的汚染によるSO_x、NO_xのない環境中の雨はpH5.6程度といわれています。ただし、自然界では噴火などの火山活動で酸性のガスが放出され、pH5くらいまで下がる場合があります。このため、人間活動の影響により酸性化が起きているとはっきり指摘できるのは、日本ではpH5以下の場合だといわれています。

●酸性雨問題とは

広い意味で用いられる酸性雨問題には、雨水の酸性化以外にもいろいろな問題が含まれています。たとえば、黄砂のようにアルカリ土壌を含んだ粒子状物質が大気中に巻き上げられ、酸性雨中の硫酸(H₂SO₄)などと反応して中和された場合には、雨水としては中性を示しますが硫

酸イオンなどは残っており、決してなくなったわけではありません。雨水が汚染されたかどうかについてはpHだけで判断するのではなく、雨などに含まれる汚染物質の量にも注意が必要です。

また、汚染物質は雨に溶け込むだけではありません。ガスや粒子として直接地上に舞い降りてきます。広義の酸性雨問題には、こうした現象も含まれます。つまり、「酸性雨」とは酸性の雨だけではなく、人間活動から発生した大気汚染そのものの問題なのです。それら大気汚染物質が、形を変えて落下し、地上に影響を及ぼすのです。



研究者に聞く

究プロジェクトで開発しているAIM(環境儀2号で取り上げたアジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル)によるSO₂発生量の予測を見ると(図1), 将来のアジア太平洋におけるSO₂の発生量の増加は, 他の地域に比べて際立っています。その意味でも, 酸性雨を始めとする広域大気汚染問題は終わっていませんし, 今後も研究を続けなければならないテーマだと思えます。

●アジア大陸からの影響

——日本における酸性雨の影響は, 発生源地域に比べればかなり少ないと思えます。しかし, 今後の東アジア地域での経済発展を考えると非常に大きな影響も考えられますが。

村野 中国を含む東アジアで大気汚染物質が増えるであろうことは, だれでも予測できます。では, その影響が日本にくるかといえば, それはわかりません。ですから調べる必要があるのです。環境省による酸性雨の全国調査でも日本海側に酸の負荷量が多い。つまり日本海側の観測地点で年平均のpHが低く, また人為的起源の硫酸イオンの沈着量が冬季にはとくに多いのです。ということはアジア大陸から酸性物質がきていることを示唆しています。それは, 航空機観測やモデルでも証明されています。

次にそのことが生態系にどのような影響を与えるかを解明しなければなりません。そのためには詳細な調査や実験が必要です。さらにもう一つは蓄積効

果があるかどうかです。毎年毎年酸性雨が降り, その蓄積が土壌などに対してどのような影響を及ぼすのか。ただし, 1~2年という短期の土壌モニタリングでは簡単には分かりません。10年あるいは20年を超えるような, 非常に長いスパンでの測定が必要となります。

●研究について

——研究は1990年から始まり, 今回は広域大気汚染の実態を解明するために, 発生源インベントリーや航空機観測, それから酸性雨長距離輸送モデルの研究を行い, 最終的にはソース・リセプターマトリックスの研究へと進んでいますが, まず研究の流れからお願いします。

村野 研究が始まって数年は観測がほとんどでした。日本中あちこち走り回って地上観測を行い, さまざまなガスやエアロゾルを採取・分析しました。

その結果, 冬季に高濃度の大気汚染物質が観測されることがわかったのです。しかし, いくら一生懸命やっても, 観測だけではすべてを説明することができません。そこで, 「酸性雨長距離輸送モデル」を開発しました。モデルがあれば大気汚染物質が長距離を移動していく様子をきちんと説明できます。幸いなことに, モデルは観測データと整合性があり, 完成度が高いことがわかりました。モデルにはインプットする情報としての発生源インベントリーが必要です。これも作成しました。

コラム 「酸性雨②」

●影 響

酸性雨は, 発生地周辺のみならず, 拡散され広範囲の地域に影響を及ぼします。ヨーロッパでは, 英国, ドイツ, フランスなどで発生したSO₂を含む大気汚染物質が, 国境を越えて他の国々へ輸送され, 沈着しています。スウェーデンやノルウェーなどの北欧諸国では河川・湖沼の酸性化による魚類の死滅など被害が深刻化しました。一方, 米国でも東部の工業地帯から排出されたSO₂などのガスが, 周辺地域および国境を越えてカナダへ輸送され, 湖沼の酸性化をまねき大きな社会問題となりました。

●対 策

1979年にはヨーロッパ, 米国, カナダなど33カ国が「長距離越境大気汚染条約」を締結しました。その後ヨーロッパでは1985年に「硫黄排出または越境移流の最低30%削減に関する議定書」が採択されました。

こうしてピーク時と比べSO₂はかなり削減されました。日本でも大気中のSO₂濃度は, 1960年代後半で50ppb(全国平均)ありましたが, 1968年に大気汚染防止法が施行され対策が進められた結果, 1985年頃には5ppb程度まで下がり, その後20年近くこの低い濃度で推移しています。

●今 後

SO_x対策は, 石炭から石油, そして天然ガスへと硫黄分の少ない燃料の使用へ移行すること, また脱硫技術の採用により解決のめどが立っています。ところがNO_xに関しては技術的に難しく, いまだに解決のめどは立っていないのが現状です。先進国はもちろん, 今後発展途上国でもNO_xを排出する自動車の増加が予測されます。酸性雨問題は将来も続くと考えられます。



現在は、ソース・リセプターマトリックスの研究を主に行っています。

●発生源インベントリーと航空機観測について

—発生源インベントリーとモデルとの関係は。

村野 私たちが使用するのは、酸性雨長距離輸送モデルです。これは、酸性雨の元となる物質が輸送される様子を表すモデルで、発生源データと大気の移動データが必要です。発生源で何がどれだけ出ているか、それをはっきりしておくことによりモデルの信頼性を確保することができます。

—発生源インベントリーは、たとえば日本では工場・事業所の発生源モニタリングにより、どのくらいの量が発生しているか、という個々のデータに基づいて作り上げていくのだと思いますが、中国ではどうだったのですか。

村野 日本の場合はそれができますが、中国でそのようなデータを入手することはなかなかたいへんです。ですから人口、車の数などから推定しました。

また、個々の工場の発生量はわかりませんから、工場に関しては規模と数から推定します。たとえばセメント工場の場合、どの場所にどの規模の工場が

メモ

発生源インベントリー

どのような大気汚染物質が、どこでどのくらい発生しているのかを示します。今回の研究では、東アジア地域においてSOx、NOxなどの大気汚染物質の発生量を調べ、発生量マップを作成しました。

ソース・リセプターマトリックス

ある国のある地域で発生した大気汚染物質が、大気中を化学反応を起こしながら輸送されてどこの地域へのどのくらい沈着(降下)するかを表わします。

あるか調べます。一方、年間生産量当たり何kgのSO₂、NO₂が出るという発生係数があります。それらを掛けて発生源インベントリーを作ります。こうした手法はヨーロッパなどでも使われています。

—計算された発生源インベントリーはある程度地域ごとにわかるのですか。

村野 たとえば百キロ四方のグリッドに分ける場合は、日本を例にすると、東京都の燃料使用量を調べ、次に川崎市、というように大きな地域ごとにまとめていきます。明らかに地域がわかる工場は、そのグリッドの中に振り分け、人間から出る

コラム「大気汚染物質の流れが見える酸性雨長距離輸送モデル」

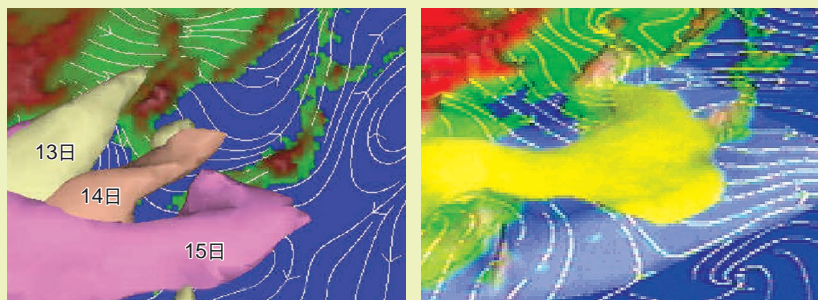
今回の研究で九州大学応用力学研究所の鶴野教授と共同で開発した酸性雨長距離輸送モデルは、酸性雨をもたらす大気汚染物質の輸送される様子を3次元でシミュレートできます。結果がビジュアルに表現できるため、広域大気汚染の輸送経路、広がり方が具体的に理解できます。大気汚染物質の移動形態としては、「つの」型、「巨大パフ」型がありますが、それをこのモデルで紹介します。

「つの」型のSO₄²⁻の吹き出しは1997年1月13～15日に観測されました。1月13日に山東半島を含む中國大陸にあったSO₄²⁻高濃度の汚染気塊は、14日には朝鮮半島に移動しました。その後五島列島、太宰府を通過して、15日には日本の中国・四国・九州の上空に達しました。北西から南東方向へ移動したSO₄²⁻の塊は、まるで角の形をしているので「つの」型と名づけました。

「巨大パフ」型の輸送は、1997年1月26～27日に観測さ

れました。1月25日に中國大陸の上空にあった高濃度のSO₄²⁻は26日には北東方向へ進み、先端部が朝鮮半島にかかり、一部が五島列島へ接近しています。28日には、まさに1000kmを超えるSO₄²⁻の塊が日本の西半分を覆い尽くしました。

これらの結果を五島列島、太宰府でのSO₄²⁻濃度の観測結果と比較すると、モデルによる計算結果は観測値を十分に再現しており、酸性雨長距離輸送モデルの精度が高いことが証明されたのです。



大気汚染の張り出し（左：つの型、右：巨大パフ型）

研究者に聞く

ものであれば、人口比や車の所有台数で分配するなどしてグリッド別に作っていきます。今回の場合は、経緯度0.5度ずつのグリッドですから、日本の周辺ではおよそ45km×55kmで分けています。——次に航空機観測についてお聞きします。航空機観測は、ある高さの大気を採取し分析するのですが、その意義を教えてください。

畠山 航空機観測のデータについて、たとえば硫黄化合物でいえば、SO₂と硫酸塩の両方を測りそれぞれに含まれる硫黄(S)の比を調べます。SO₂は輸送中徐々に酸化され硫酸となります。つまり、SO₂の比が高ければ発生源にかなり近い汚染物質ということになり、逆に硫酸性のSの濃度が高ければ、酸化が進んできていることから長距離輸送されていることがわかります。

日本海の隠岐島周辺で測った空気(1992年11月)は、当時韓国で大気汚染がひどかった影響でSO₂の濃度が高かったのです(図2)。東シナ海の九州の西側で測ると(1994年12月)、SO₂濃度がかなり低く一見きれいなように見えます(図3)。しかし東シナ海では硫酸塩濃度は高いのです。これは北京など大規模発生源からきたものが、渤海湾、黄海、東シナ海と流れてくる間に酸化が進み、見かけ上のSO₂濃度は下がったものの、変化した硫酸塩濃度は上昇したためです。そのためSO₄²⁻/SO₂の比を見ると大きな値となっていて(図4右)、この値が小さい隠岐島付近の日本海(図4左)とは対照的でした。

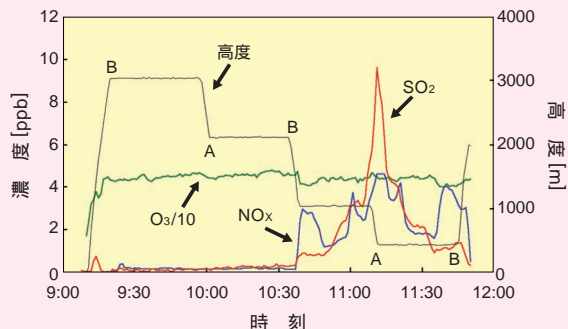
一方、日本海側の秋田県沖で測ったときには、風上側のロシアに汚染物質の大規模発生源がありませんので、非常にきれいな空気がきています。このように輸送経路によって大気汚染物質がどのくらいあり、どういった変化を起こしているかが航空機観測でわかります。

さて、情報収集能力の高い航空機観測を中国でも行いましたが、その時の第一印象は、「確かに高濃度だなあ」でした。上海近くの泗礁島では150ppb近いSO₂が観測されたことがあります。

現在、観測は上海周辺の沿岸域と上海から武漢、重慶と内陸に入って行っています。データはまだそろっていませんが、これで中国の縦横を測ったこととなります。それらと比較すると、内陸から海岸域へかけてどのような変化が起きているのかがつかめると思います。発生源インベントリーにも結びつく

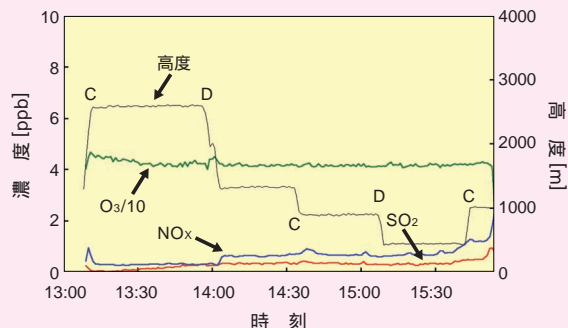
ような発生源近傍での汚染物質の濃度比がつかめるとともに、大規模発生源である中国の汚染物質の分布に関する貴重な情報が得られると考えています。

図2 1992年11月12日に隠岐島西方日本海で観測された大気汚染物質の濃度



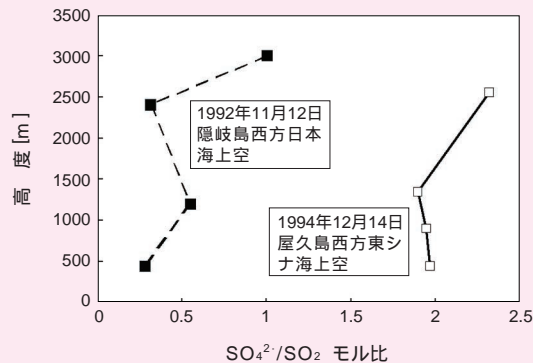
出雲空港を出発して近海のB地点から高度約3000mで北上し、沖合(A地点)で高度を約2500mに下げて引き返す。B地点で高度を1000mに下げて再び北上し、A地点で再度高度を500mにして引き返した。各高度では約30分ずつ飛行した。

図3 1994年12月14日に屋久島西方東シナ海で観測された大気汚染物質の濃度



鹿児島空港を出発して薩摩半島南東(C地点)から高度約2600mで南下し、屋久島南西沖(D地点)で高度を約1300mに下げて引き返す。C地点で再度高度を900mに下げて再び南下し、D地点で再度高度を450mに下げて引き返した。各高度では約30分ずつ飛行した。

図4 SO₄²⁻/SO₂比



1992年のデータではSO₄²⁻がSO₂の半分くらいしかありません。一方、1994年のデータでは逆にSO₄²⁻がSO₂の2倍ほどあります。



●黄砂との関連

—環境儀8号では黄砂を取り上げました。そこでは北京あたりから出た大気汚染物質が黄砂の中のカルシウム成分によって中和されていました。酸性雨と黄砂との関係はいかがですか。

畠山 中国の北部の雨はpHでいえば7やそれ以上だったりします。しかし、その雨が汚染されていないかといえば決してそんなことはないのです。SO₄²⁻の濃度からいえば重慶などとそんなに変わりません。つまり、溶け込んでいる酸性物質はたくさんあって汚染されているのですが、同時に土壌由来のアルカリ性の物質も溶けているので酸性にはなりません。簡単にいえば、真水も食塩水もpHは7ぐらいですが、中身は全然違うのと同じです。ですから、酸性雨の問題はpHだけではわかりません。

図5は2001年3月21日の航空機観測データですが、まさにこの日に黄砂がきていました。粒子状物質を調べると、11時40分頃に済州島の南で大粒子のピークがきています。これはPM₁₀級の大きな粒子です。一方、PM_{2.5}の粒子を見ると、12時20分

頃に九州近くでピークがあります。同時に測っているイオン成分の濃度を見ると、PM₁₀のピークと一致してカルシウムの濃度が非常に高いのです。ここで観測されたPM₁₀は主に黄砂ということがわかります。それに対してPM_{2.5}は硫黄を中心とした人為的な汚染物質を含んだ粒子であることがわかります。

つまり、これらは同じ気流に乗って運ばれるものの、中国奥地で発生した黄砂が沿岸の汚染地帯で発生する汚染物質を追いかけていく流れになっているのです。21日に杉本さん(環境儀8号に登場)が長崎でライダーを使った連続観測を行いました。黄砂粒子はまだ降りてきていませんでした。翌22日に黄砂が観測されました。

●東アジアの今後

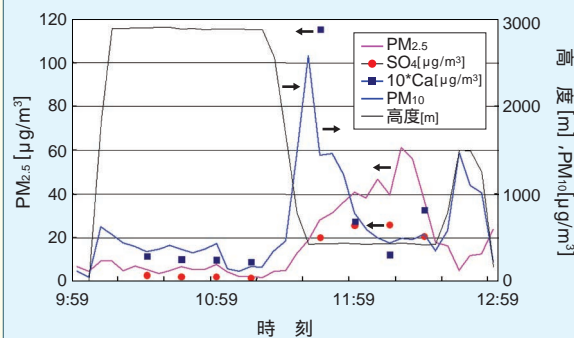
—東アジアの中でも中国は、今後の広域大気汚染問題を左右する重要な存在だと思いますが。

畠山 過去の中国政府は「確かに中国は大量の酸性雨原因物質を放出しているが、そのほとんどは中国国内に降下しており、他国まで輸送されていないはずである」でした。そういう立場の国と話をするためには、「こちら側にもきているのではないか」という推測ではだめで、科学的なデータを蓄積する必要があります。このため私たちは雨の観測をずっと続けていますし、実際に汚染物質が海を渡っていることを証明するため、モデルを使ってきちんと科学的知見を押さえたデータを発表してきました。

その積み重ねが功を奏したのかも知れませんが、最近中国もトーンが変わってきています。朱鎔基前首相も「砂塵や酸性雨などが国境を越える問題である」との認識を示しています。共通認識ができれば、本格的な東アジアの大気汚染対策の道も広がってくると思います。環境省の主導によるEANET(東アジア酸性雨モニタリングネットワーク)が本格的に開始され、東アジア各国の環境に対する認識もかなり変化してきたところです。私たちが長年続けてきた中国や韓国との科学面からの協力関係が行政を動かした面もあります。これらの地道な積み重ねもあって、これまでは考えることもできなかった中国での航空機による大気汚染観測の日中共同研究を進められるようになりました。東アジアの環境問題の実態解明と対策はまさにこれからです。

—ありがとうございました。

図5 2001年3月21日に福江島西方東シナ海で観測されたエアロゾルの濃度



メモ

PM₁₀とPM_{2.5}

PM₁₀は粒径10µm(0.01mm)以下の粒子で、自然界では火山の噴煙など、人為的には工場の排煙やディーゼル自動車の排ガスなどが発生源です。大気中に長時間滞留するため浮遊粒子状物質(SPM: suspended particulate matter)ともいわれています。PM_{2.5}は、PM₁₀の中でも2.5µm(0.0025mm)以下の微小粒子をいいます。肺に沈着する割合が高く発がん性など有害成分も多いといわれています。

「東アジアの広域大気汚染の研究」の概要

ここでは、東アジアの大気汚染物質の発生源データを初めて包括的に構築した「東アジア地域における発生源インベントリーの構築」、そしてこれまでその重要性は指摘されてきたものの、観測許可が下りず正確な情報がなかった中国における汚染状況を初めて観測した「航空機観測によるエアロゾル性状の空間分布測定」について紹介します。

1. 東アジア地域における発生源インベントリーの構築

東アジア地域を対象として、多成分の大気汚染物質発生源インベントリーを、埼玉大学や計量計画研究所と共同で構築しました。このインベントリーは、SO_x・NO_xによる大気汚染・酸性雨の実態解明を進めている内外の研究活動に対して、数値シミュレーションに用いる正確な発生源入力データを提供することを目的としています。

インベントリーの主な項目

- ①対象地域：中国、台湾、韓国、北朝鮮、モンゴル、日本
- ②対象年度：1995年
- ③対象物質：SO_x、NO_x、非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)、アンモニア(NH₃)
- ④対象発生源：人為発生源および自然発生源(植物起源NMVOC)
- ⑤空間分解能：経緯度0.5度グリッド(約45km×約55km)

大気汚染物質の発生量は、一般に大気汚染の発生をもたらすさまざまな人工的な「活動量」と各活動の単位当たりの発生量「発生原単位」の積(次式)で表わします。

$$\text{発生量} = \text{活動量} \times \text{発生原単位}$$

活動量の例としては、固定燃焼発生源における燃料消費量や自動車の走行距離などが相当します。発生原単位は燃料消費量や走行距離当たりの対象物質発生量のことです。

その結果、SO_x(図6)やNO_x(図7)は、経緯度0.5度のグリッドごとの差異が大きく、地域による発生量の違いが目立ちました。一方、NMVOCは南方に行くほど発生量が多く、アンモニア(図8)は家畜排泄物が寄与することから中国中央部で発生量が大きいことがわかりました。

2. 中国沿岸域(東シナ海)における大気汚染物質の航空機観測

①観測

観測は2002年12月から2003年1月にかけて中

国の寧波—温州間、上海—青島間において行いました。ここではその中から12月28日と1月6日の観測結果を紹介します。

搭載した測定器はガス測定器(オゾン、NO_x、SO₂)、PM_{2.5}およびPM₁₀サンプラー(採取装置)、電子顕微鏡分析用インパクター(粒子捕集器)です。

両日の飛行コースは図9の通りです。

図6 SO_xの発生量マップ

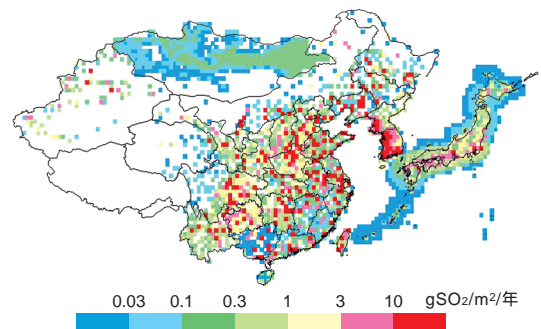


図7 NO_xの発生量マップ

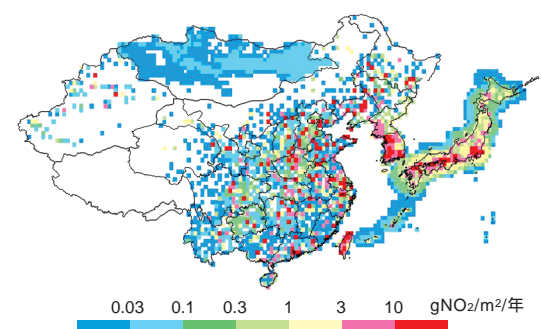
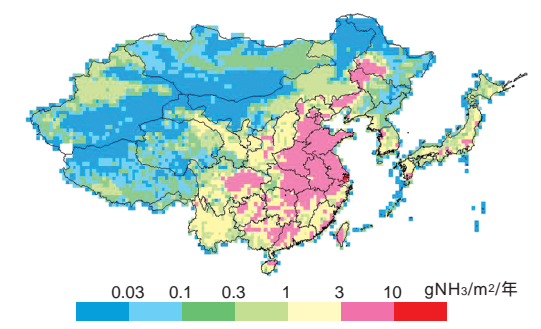


図8 アンモニアの発生量マップ





②結果と考察

図10～13に両日のガスおよび粒子状汚染物質の濃度を示しました。いずれもSO₂とNO_xの相関が高く、またNO_xは輸送途中で速く減少しますが、本調査では高濃度NO_xが観測されており、発生源近傍の汚染物質の分布を反映しているものと考えられます。また、両日とも観測領域は高気圧に被われていたため、汚染物質は下層に限定されたものと思われる。

九州大学応用力学研究所鶴野教授の化学天気予報システム(CFORS: Chemical weather FOR-

ecasting System)モデルの予測によれば、1月6日の上海周辺のSO₂濃度は図12の測定結果とよく一致していました。

今回の観測において、エアロゾルの化学成分の濃度には次のような特徴がありました。

1)PM₁₀とPM_{2.5}の濃度が各成分ともよく似ており、エアロゾルが微小粒子側に存在していたと思われます。

2)全陰イオン(Σ⁻)と全陽イオン(Σ⁺)の比が1:1に近く、エアロゾルが発生源近傍で中和されていることを示しています。これは、2002年3月の渤海湾上空における航空機観測でも見られたことです。

3)中和の特徴は1月6日の青島から常州での観測でも見られましたが、わずかに全陽イオンの方が高い濃度でした。これは気塊が中国北部から輸送されていることを反映しているものではないかと思われます(中国北部はアルカリ性土壌で陽イオンが多い)。実際、流跡線解析*によれば、気塊は中国北部から輸送されていることがわかりました。

図9 観測飛行コース



*ある時刻にある地点にあった空気塊が、時間とともにどのように流れていくかを計算する解析手法

図10 2002年12月28日のガス状汚染物質の変化

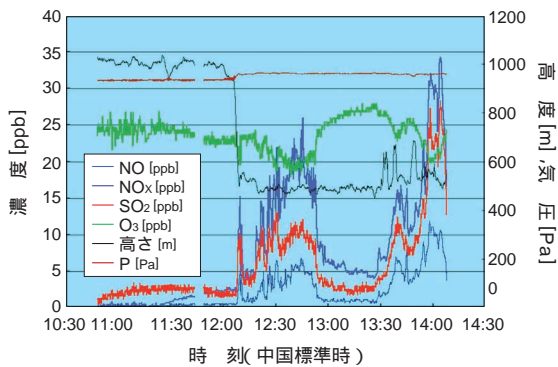


図12 2003年1月6日のガス状汚染物質の変化

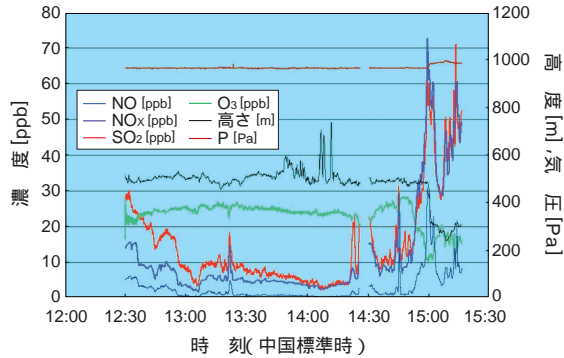


図11 2002年12月28日の粒子状汚染物質の化学成分

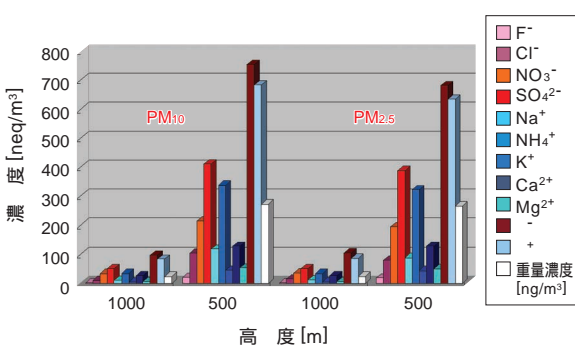
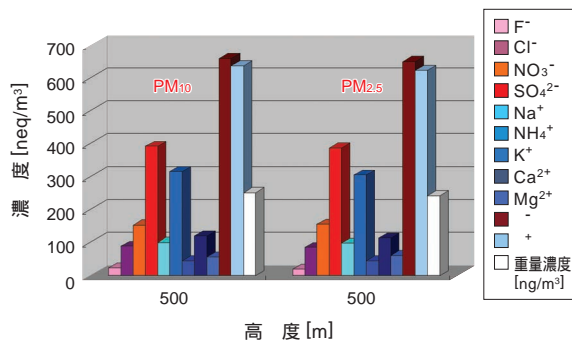


図13 2003年1月6日の粒子状汚染物質の化学成分



広域大気汚染－酸性雨問題をめぐって

酸性雨は発生地域だけの問題ではなく、その影響は国境を越え広範囲に及びます。とくに東アジア地域は経済発展が急速であり、その影響が懸念されることから、現在世界中の研究者から注目されています。



世界では

近年、世界の大気化学に関する研究の焦点は、酸性雨原因物質の一つであるエアロゾルに当てられています。とくに経済発展が進む東アジア地域は、工業活動に由来するガス状大気汚染物質やエアロゾルの放出もヨーロッパや米国をしのいでいます。このため現在、東アジア地域では酸性雨に関する研究が国際的に進められています。

2001年には、ACE-Asia(Aerosol Characterization Experiment in Asian Region: アジア地域でのエアロゾルの化学組成と物理的特性を明らかにするための国際協同研究計画)プロジェクトが行われ、アジアだけではなく欧米の多くの研究者が参加しました。

また南アジアから東南アジアに広がる密度の高いエアロゾルの層が農作物にも影響を与えている可能性が指摘されたことから、ABC-Asia(Atmospheric Brown Clouds-Asia)プロジェクトがUNEP(国連環境計画)で進められ、エアロゾル、ガス状大気汚染物質のアジア地域での分布や輸送に関する研究が行われています。現在UNEPには、東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)の

事務局が置かれ、酸性雨問題に関するさまざまな活動を行っています。

日本では

日本で本格的な大陸規模の広域大気汚染に関する研究に取り組み始めたのは1990年代に入ってからです。

アジア大陸からの酸性雨の原因になるような大気汚染物質の輸送現象の解明のため、地方自治体の研究機関を中心とした取り組みとともに、1991年と1994年にNASA(米国航空宇宙局)を中心とする大規模観測(PEM-West: Pacific Exploratory Mission)で東アジア－北太平洋の大気の輸送現象観測が行われ、多くの日本の研究者が参加しました。これを契機に国内での地上観測や周辺での航空機観測が始まりました。

東アジア地域における大気汚染物質の放出の増大は、エアロゾルの増加による寒冷化や対流圏オゾンの増加による温暖化など、地球温暖化問題にも大きな影響を及ぼすものと考えられています。



国立環境研究所では

国立環境研究所では、1990年の本格的研究の開始以来、研究対象領域も国内から東アジアへと広がってきています。現在は、福江島や沖縄などの地上観測により南アジアや東アジアから輸送されるエアロゾルの研究を行っています。とくに有機エアロゾルを短い時間間隔で連続的に観測してその変動を明らかにすることで、輸送の特質、気候変動への影響を調べています。また、中国の青島付近や舟山群島、武漢周辺、成都周辺などで地上観測を行っています。これは、大陸における光化学大気汚染のモデルのためのデータ提供が目的です。さらに、中国においてエアロゾルの航空機観測を行い、大陸規模の大気汚染の輸送パターンや日本や太平洋地域への影響を明らかにする研究も行っています。

一方、今後は酸性雨長距離輸送モデルのバージョンアップを図り、より精度の高いソース・リセプターマトリックスの作成が必要です。そのために発生源

インベントリーに関して、これまでのデータの精緻化を進めています。2000年度のデータをもとにした大気汚染物質の発生源インベントリー(発生量マップ)の作成およびそのCD-ROM化を図ると同時に、これまでのデータにはなかった有機炭素、黒色炭素(ススなど)、重金属(水銀、鉛)の発生量マップ作成を行っています。また、アジア大陸に面した局所排出源の少ない地点でエアロゾルや降水を捕集して、発源地域の特定に結びつく鉛同位体比、重金属の測定を行い、広域大気汚染の定量化を進めています。

この他酸性雨問題に関連して、これまでに酸性、酸化性物質の植物影響、陸水・土壌への影響、また生態系に及ぼす影響についても研究を行っています。現在、陸水に関しては日本における河川酸性化と水質の変化、ならびにそれらが魚類の分布・行動に及ぼす影響を明らかにし、酸性化危険度短期評価手法を作成しています。また、酸性雨問題対策技術の開発に関する研究などについても、中国などで実施しています。

トピック

東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)

EANETは、東アジア各国が参加している酸性雨の観測ネットワークです。東アジアのSO_x、NO_xの排出が増加し、近い将来酸性雨による影響が深刻な問題となり得るという懸念から、環境庁(現環境省)が主導し1993年に「東アジア酸性雨モニタリングネットワークに関する専門家会合」を開催したのが発端となっています。

EANETの事務局はUNEPのアジア太平洋地域資源センターに置かれています。一方、ネットワークセンターは日本にある酸性雨研究センター(新潟市)に設置されており、ネットワークの推進に向けた中核的な役割を果たしています。

こうしたネットワークを立ち上げるにあたって、当時は各国のモニタリング手法や精度がまちまちでした。そこでまず、各国が共通な手法で酸性雨のモニタリングを行い、高い水準の調査データを得ることから始めました。それを基盤に、EANETは酸性雨の現状について各国間の情報や意識の共有化を図り、国際協調の下で酸性雨問題の対策につなげていくことをめざしています。

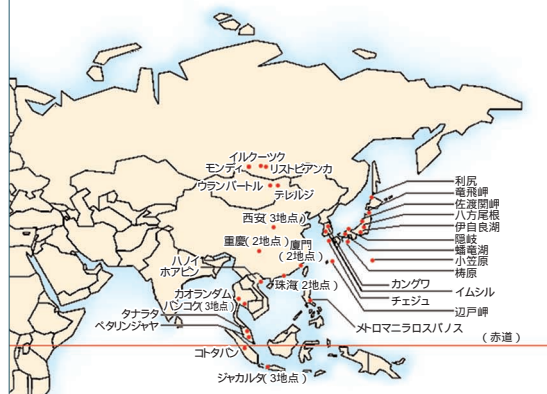
現在、EANETは①雨、雪、霧となって落ちてくる湿性沈着、②大気汚染物質中のガス、エアロゾルが直接落ちてくる乾性沈着(現在は濃度計測)、③森林などの土壌・植生の状態、④湖沼などの陸水の状態、の4項目のモニタリングを行っています。今後は、発生源インベントリー

の作成やモデリングなどの実施が検討されています。

・EANET参加国(12カ国)

カンボジア、中国、インドネシア、日本、ラオス、マレーシア、モンゴル、フィリピン、韓国、ロシア、タイ、ベトナム

酸性雨モニタリングネットワークサイト(湿性沈着)2001年



広域大気汚染(酸性雨)研究のあゆみ

研究の全体構成

課題 1

日本周辺の海上における航空機観測研究(平成2~13年度)

東アジアの広域大気汚染を調べるために、日本海、黄海、東シナ海などアジア大陸と日本との間の海上においてオゾン、NO_x、SO₂やエアロゾルの化学成分などに関する航空機観測を行い、アジア大陸から日本への冬の季節風に乗った大気汚染物質の輸送パターンや移動性の高・低気圧による大規模輸送の状況を明らかにしました。

課題 2

オゾン、エアロゾル等の大気汚染物質の長期モニタリングの研究(平成2~13年度)

沖縄県辺戸岬、長野県八方尾根、長崎県五島列島、京都府弥栄(日本海側)、モンディ(ロシア)で、オゾン濃度またはエアロゾル中の無機イオン濃度の連続観測を行いました。その他に各地で大気汚染物質の短期集中観測を行いました。

課題 3

酸性雨長距離輸送モデルの開発(平成5~10年度)

越境大気汚染をわかりやすく説得力のあるものとするために、酸性雨長距離輸送モデルの開発を行いました。

課題 4

東アジア地域の大気汚染物質の発生源インベントリー研究(平成8~16年度予定)

東アジア地域のSO_x、NO_x、アンモニア、非メタン揮発性有機化合物などの大気汚染物質発生量マップを作成し、CD-ROM化しています。

課題 5

酸性雨長距離輸送モデルを使用したソース・リセプターマトリックス作成研究(平成11~16年度予定)

酸性雨長距離輸送モデルの精度が高いことが観測結果との比較により証明されました。そこで、各地域への沈着に他地域の寄与がどのくらいあるかを明らかにするためにソース・リセプターマトリックスを作成しています。

課題 6

中国国内における航空機観測研究(平成13~17年度予定)

中国上海周辺(常州、寧波、温州、青島など)、中国渤海湾(大連、丹東、青島、錦州など)および上海~武漢~重慶・成都にかけた中国中南部でオゾン、NO_x、SO₂やエアロゾルの化学成分など大気汚染物質の航空機観測を行っています。また航空機観測に同期して青島、舟山(杭州湾内の島)、峨眉山などで地上観測を行っています。

課題1~5は地球環境研究総合推進費で、課題6は文部科学省科学研究費補助金と国立環境研究所特別研究で実施しています。

<担当研究者(現在)と参加研究機関>

大気圏環境研究領域

村野 健太郎、畠山 史郎、高見 昭憲、菅田 誠治、杉本 伸夫、松井 一郎、清水 厚

社会環境システム研究領域

甲斐沼 美紀子

環境研究基盤技術ラボラトリー

西川 雅高

地球環境研究センター

向井 人史

主な客員研究員

酒巻 史郎(名城大学)、坂東 博(大阪府立大学)

中国環境科学研究院、国立保健医療科学院、北海道大学、群馬大学、埼玉大学、慶応義塾大学、静岡大学、名古屋大学、京都大学防災研究所、大阪府立大学、九州大学応用力学研究所、日本環境衛生センター酸性雨研究センター、(財)計量計画研究所、新潟県保健環境科学研究所、長野県環境保全研究所、福井県衛生環境研究センター、京都府保健環境研究所、兵庫県立健康環境科学研究所、島根県保健環境科学研究所、福岡県保健環境研究所、長崎県衛生公害研究所、鹿児島県環境保健センター、沖縄県衛生環境研究所

環境儀既刊の紹介

- NO.1 環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究
(2001年7月)
- NO.2 地球温暖化の影響と対策－AIM: アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル
(2001年10月)
- NO.3 干潟・浅海域－生物による水質浄化に関する研究
(2002年1月)
- NO.4 熱帯林－持続可能な森林管理をめざして
(2002年4月)
- NO.5 VOC - 揮発性有機化合物による都市大気汚染
(2002年7月)
- NO.6 海の呼吸 - 北太平洋海洋表層のCO₂吸収に関する研究
(2002年10月)
- NO.7 バイオ・エコエンジニアリング－開発途上国の水環境改善をめざして
(2003年1月)
- NO.8 黄砂研究最前線－科学的観測手法で黄砂の流れを遡る
(2003年4月)
- NO.9 湖沼のエコシステム－持続可能な利用と保全をめざして
(2003年7月)
- NO.10 オゾン層変動の機構解明－宇宙から探る 地球の大気を探る
(2003年10月)
- NO.11 持続可能な交通への道－環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして
(2004年1月)

『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すしるべとしたいという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わるものの任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)

環境儀 No.12

－ 国立環境研究所の研究情報誌 －

2004年4月30日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG: 村野健太郎, 畠山 史郎, 藤巻 秀和, 唐 艶鴻, 石井 敦,
清水 英幸, 松本 公男)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) " 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切って左側に進むような動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております