



NIES RESEARCH BOOKLET

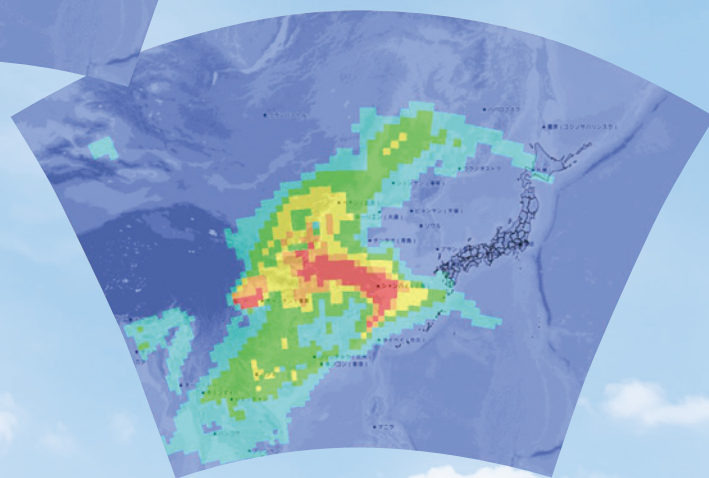
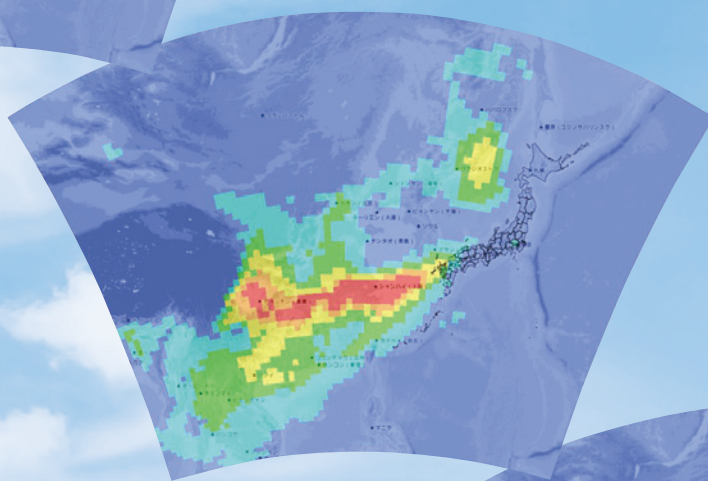
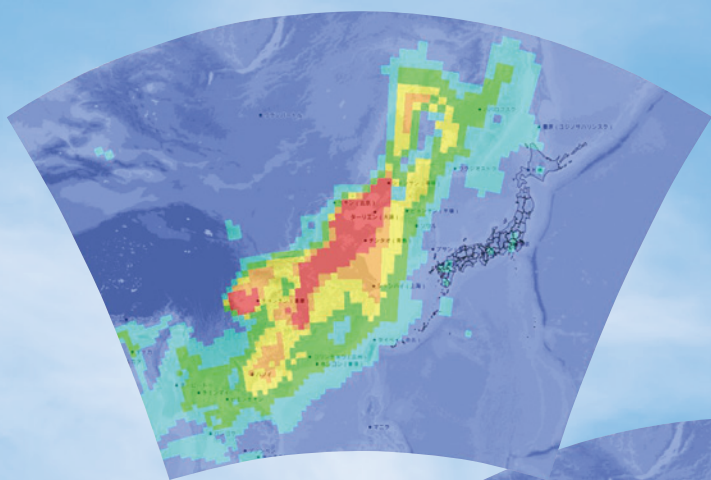
環境儀

NO. 64 March 2017

国立環境研究所の研究情報誌

PM_{2.5}の観測と シミュレーション

—天気予報のように
信頼できる予測を目指して



国立研究開発法人
国立環境研究所
<http://www.nies.go.jp/>

PM_{2.5}などの大気汚染物質の
分布や動きを把握し、
予測するために重要なのが
数値シミュレーションです。
その計算精度を高めるために、
私たちは様々な努力をしています。





1970年代に大気中に存在する粒子のうち、直径およそ $7\mu\text{m}$ 以下の粒子(SPM)に対して大気汚染物質としての環境基準が定められました。1990年代になると、より小さな粒子の方が健康に大きな影響を与えることが認識されるようになり、2009年に微小粒子状物質(直径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の粒子、 $\text{PM}_{2.5}$)の環境基準が加えられました。しかし、 $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成率の低い状況が続いており、大気汚染物質の中では光化学スモッグの原因になる光化学オキシダントと並び $\text{PM}_{2.5}$ も重要な課題になっています。一方、2013年に中国で大規模な $\text{PM}_{2.5}$ の大気汚染が報告されると、それ以降マスメディアがしばしば $\text{PM}_{2.5}$ 問題を取り上げるようになり、人々の関心が急激に高まっています。

国立環境研究所では1990年代から微小粒子状物質の健康影響についての研究を開始しました。さらに、2001年度からは新たに研究プロジェクトを立ち上げ、 $\text{PM}_{2.5}$ などの粒子状物質の観測による動態の解明、また、数値シミュレーションによる高濃度現象の理解や予測に取り組んでいます。

本号では、 $\text{PM}_{2.5}$ の数値シミュレーションや予測に関する取り組みについて、研究や観測の成果とともに紹介します。

CONTENTS

PM_{2.5}の観測とシミュレーション

— 天気予報のように信頼できる予測を目指して

- Interview 研究者に聞く
精度の高い微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)の濃度予測モデルを目指して p4 ~ 9
- Summary
PM_{2.5}の動態把握に関する研究から p10 ~ 11
- 研究をめぐって
PM_{2.5}の観測および数値シミュレーションに関する動向 p12 ~ 13
- 国立環境研究所における「PM_{2.5}の動態把握およびシミュレーションに関する研究」のあゆみ p14

精度の高い微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の濃度予測モデルを目指して

大気汚染物質の1つであるPM_{2.5}（微小粒子状物質）は、健康影響が懸念され、各地方自治体などで観測の強化や注意喚起が行われています。近年、PM_{2.5}の濃度分布の予測を見かける機会が多くなりましたが、PM_{2.5}はほかの大気汚染物質に比べて正確な予測がとて難しい物質です。地域環境研究センターの菅田誠治さんは、PM_{2.5}の濃度を計算するシミュレーションモデルを用いて研究や予測を行っています。菅田さんの予測モデルの開発について、成果や展望とともにPM_{2.5}ならではの苦労をうかがいました。

健康影響で注目されるPM_{2.5}

Q：これまでどのような研究をされてきましたか？

菅田：大学では気象学が専門で、ジェット気流の研究をしていました。国立環境研究所に入ればしばらく気候変動の研究をしたあとは、大気汚染を研究しています。PM_{2.5}の研究は大気汚染の対象物質として1999年ごろから始めていたのですが、本格的に取り組むようになったのは2000年代になってからです。

Q：PM_{2.5}とはどんな物質なのでしょう？

菅田：PMとはParticulate Matterの略で、直訳すると粒子状物質です。そのうちPM_{2.5}は粒径が2.5μm以下の粒子状物質の総称です。粒子と名前がついているように、液体や固体、またはそれらが混じったもの

で、大気中に浮かんでいます。

Q：PM_{2.5}はどうやってできるのですか？

菅田：燃焼などによって直接生成される場合と硫酸酸化物質(SO_x)や窒素酸化物(NO_x)、揮発性有機化合物(VOC)などのガス状の原因物質が、大気中で化学反応により粒子化することでできる場合があります。

Q：どうしてPM_{2.5}が問題になったのでしょうか？

菅田：PM_{2.5}は非常に小さい粒なので吸い込むと、肺の奥深くの肺胞の中に入り込んだ後、なかなか出て来なくなってしまいます。それが血液などを介して体の中をぐるぐる回り、炎症などを引き起こすと考えられています(環境儀22号参照)。

Q：PM_{2.5}はほかの大気汚染物質とどんな違いがあるのですか？

コラム① 大気汚染予測の仕組みと改良点

PM_{2.5}などの数値シミュレーションとは、大気中のそれらの物質の濃度を計算で求めることです。PM_{2.5}の濃度は、大きく①発生、②輸送、③反応、④沈着の4つの物理化学過程で決まります。つまり、①PM_{2.5}そのものである粒子、またはその原因となる物質(気体)が大気中に放出され、②風に乗って運ばれたり、地表面付近の乱流などで混ぜられ、③気体が粒子になったり、気体が粒子に取り込まれたり、粒子同士がくっついたり、④地面、建物、植物などの表面に付着したり、雨粒に取り込まれて落下することで大気から取り除かれるプロセスです。これらをモデル化し、計算機で物質濃度を計算するのが数値シミュレーション、それをさらに自動化して定期的に行うのが数値予測システムです。

現在の大気汚染計算の精度は、濃度の雑把な上昇下降は予測できますが、定量的には心もとない部分があり、例

えば、日平均濃度がある値を超えるか否かをきちんと見積もるには困難な段階にあります。数値シミュレーションの精度を上げるための改良点としては上述の①、②、③、④を一つ一つ検討し、個々のプロセスの理解を深めた上で計算手法を改良していくこととなります。現在の国立環境研究所では、特に①および③を対象に研究プロジェクトを実施し、根本的な精度向上のための努力を続けています(Summary参照)。

菅田：いちばん大きな違いは単一の物質ではなく、様々な物質の集合体だということです。硫酸塩、硝酸塩、元素状炭素、有機炭素などいろいろな物質が混ざっており、環境基準は全成分の合計で定められています。

Q：なぜ、PM_{2.5}が研究の対象になったのでしょうか。

菅田：1993年に米国の論文でPM_{2.5}の濃度が高い都市ほど死亡率が高いと報告されました。その報告が出てからは世界中でPM_{2.5}の健康被害が注目されるようになりました（環境儀22号参照）。

Q：それで研究が始まったのですか。

菅田：ええ。日本でもPM_{2.5}を観測し、またその健康影響を調べてみようということになり、国立環境研究所でも研究課題に取り入れられました。

それまでの大気汚染では、原因となる汚染物質の排出を国内で少なくすれば解決することができました。しかし、PM_{2.5}は海外から海を越えてやってくる越境輸送の影響が大きいので、自国の努力だけでは解決できない可能性があります。また、国内の観測データだけでは海外からの越境汚染の影響を分析するのにもむずかしいのです。そこで、PM_{2.5}の濃度分布予測や発生源寄与の推定ができるようなシステムをつくることになりました。

PM_{2.5}の環境基準と注意喚起

Q：PM_{2.5}の環境基準はありますか。

菅田：はい。日本では1972年からおよそPM₇にあたる浮遊粒子状物質（SPM）の環境基準が定められて



菅田誠治（すがた せいじ）
地域環境研究センター
大気環境モデリング研究室 主任研究員

いました。米国では1997年にPM_{2.5}の環境基準が定められ、世界の多くの地域もこれに続きました。そこで、2009年に日本でもPM_{2.5}の環境基準が決めたわけです。1年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、かつ1日平均値が35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下と2つの条件で定められています。さらに、注意喚起のための暫定指針値というのがあり、1日の平均値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると予想されるときには、都道府県などは注意喚起を出すことになりました。注意喚起は法令に基づくものではありませんが、注意報に準ずるものです。

Q：注意喚起を出すためにどうやってPM_{2.5}の濃度を予想するのですか。

菅田：環境基準が定められると、翌年度から日本全国に観測装置が設置され、PM_{2.5}の観測が始まりまし

■ 図1 大気汚染物質の濃度が決まるプロセス
PM_{2.5}等の大気汚染物質の濃度を決定する4つの要素を示す。



た。そして、早朝の5時から7時の観測平均値が1時間当たり $85\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、または5時から12時の観測平均値が1時間当たり $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたときに注意喚起を出すことになっています。

Q：その予想は当たるのですか？

菅田：当たらないときも少なくなく、各自治体も困っていました。1~2時間先なら観測データだけからでもある程度予測できますが、例えばその日の午後に濃度がどうなるかという予測は簡単にはできません。でも、シミュレーションでPM_{2.5}の濃度が予測できれば、当日の観測データを見ながら注意喚起を出すかどうか判断をしやすくなります。そこで濃度予測モデルへの関心が高まりました。

予測モデルの精度を高める

Q：いつからモデルを用いる研究を始めたのですか。

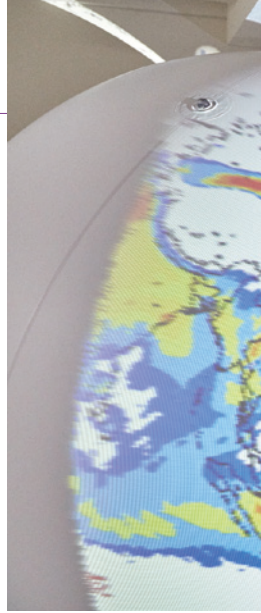
菅田：モデルには1990年代後半から取り組んでいましたが、その計算を自動化する予測システムの開発を始めたのは2004年頃からです。

Q：PM_{2.5}のモデルの改良はむずかしいのですか。

菅田：ええ、かなりむずかしいですね。それ以前に取り組んだオゾンのモデルと比べてもPM_{2.5}は同じようにはいきません。PM_{2.5}は複数の成分をそれぞれ計算する必要がありますし、大気中の関連物質がたくさんあります。モデルをつくるためには、PM_{2.5}ができるときの反応の条件なども考慮しなければなりません。そのためには、室内で実験を行い、大気中のどのガスがどのように反応するとPM_{2.5}がどのくらいできるの



国立環境研究所構内の大気モニター棟横にあるPM_{2.5}観測装置



かを明らかにすることも必要です。そこで、実験チームや観測チームとともにモデルづくりやモデルの改良に取り組んでいます。

Q：複雑な計算になりますね。

菅田：物質が大気中をどのように運ばれるのかという計算ももちろんします。そのためには気象データも必要です。大気中の物質の化学的な過程や物理的な過程が一通り含まれている計算をしなければならぬので、かなり複雑な計算になりますね。予測した値と観測した値が大きくかけ離れることがあり苦労しましたが、徐々に精度は上がっています。

大気汚染を予測するVENUS

Q：予測モデルの詳細を教えてください。

菅田：愛称をVENUS(ヴィーナス)という大気汚染

コラム⑥ 最近のPM_{2.5}の状況(環境基準と暫定指針値)

PM_{2.5}の環境基準は2009年に定められました。その翌年から全国の大気環境常時監視測定局にPM_{2.5}の測定機が設置され始め、最近では全国約1000地点でPM_{2.5}の常時監視測定(1時間ごとの重量濃度の自動測定)が行われています。PM_{2.5}の環境基準は各測定局での観測濃度に基づいて2つの条件から判断されます。1つは年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること、もう1つは、1日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であることです(*)。

環境基準とは別に、PM_{2.5}の暫定的な指針となる値(以下「暫定指針値」、1日平均値 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$)があります。これは、2013年初頭にPM_{2.5}が報道等で大きく取り上げられた事態を受けて、環境省が同年2月に開催したPM_{2.5}専門家会合の報告に基づき、PM_{2.5}の1日平均値が暫定指針値を超えると予測される日に各地方公共団体が注意喚起を行うこととなったことによります。

環境基準と暫定指針値の2つの違いですが、環境基準は

人の健康の適切な保護を図るために維持されることが望ましい水準であるのに対し、暫定指針値は現時点までに得られている疫学的知見を考慮して健康影響が出現する可能性が高くなると予測される濃度水準とされています。また、前者は主に長期的な濃度水準による健康影響を、後者は一時的な濃度上昇による健康影響を、それぞれ意識しているということもできるでしょう。

環境基準の達成率は年度によって大きく異なります。これは、気象要因等で短期的に高濃度のPM_{2.5}が観測される頻度が年度毎に大きく変動し、1日平均値の達成率(*)を大きく左右するからです。一方で、図2に示すようにPM_{2.5}の全国平均濃度は2001年から2009年頃まで減少もしくは微減の傾向にありましたが、常時監視が始まった2009年頃からはほぼ横ばいになっています。長期の健康影響を考えた場合、PM_{2.5}の年平均値は依然として低いとは言えず、その問題は続いています。



計算結果を球面に投影して行ったデモ

予測システムを開発しています。このモデルでは、PM_{2.5}、光化学オキシダントやそれらの関連物質の大気中濃度をコンピュータで計算し予測しています。東アジアや全国各地域の濃度予測図をインターネットで公開しています。予測図は、毎日1回、午前7時に当日と翌日分が掲載されます。予測期間は徐々に伸ばしていきたいと考えています。

Q：VENUSでのPM_{2.5}の濃度分布の予測についてもう少し詳しく教えてください。

菅田：まず気象データをPM_{2.5}の予測に使いやすいように計算しなおし、それに研究成果に基づいて改良された化学反応の式などを加えて、どのような物質がどれだけ発生し、どのように輸送されるかなどを場所や時間を区切って計算していくのです。

Q：計算には時間がかかるのですか。

菅田：そうですね。計算にかかる時間は何日分をどの

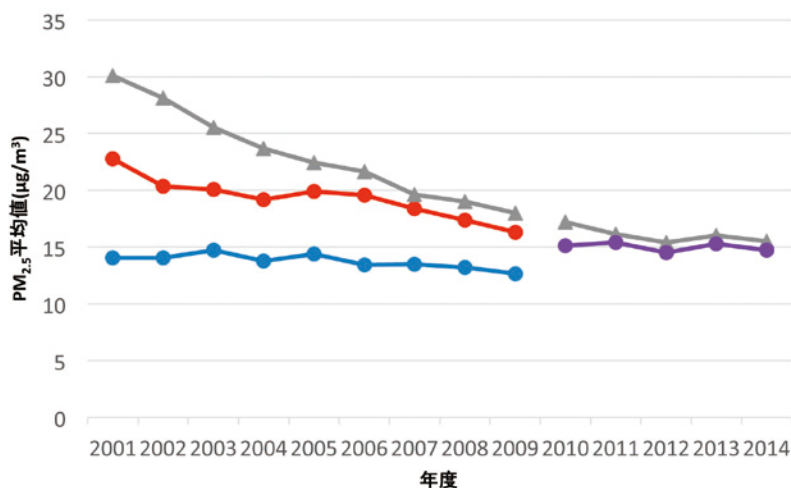
ような条件でどの計算機で計算するか次第なのですが、国立環境研究所のスカラー処理用計算機という大型の計算機を使っても1週間以上かかる計算をすることもあります。計算してみたけれど観測値と全然あわないこともあります。そんなときは、いろいろな条件を変えて、例えばどの反応式を選べば有効なのかといったことを検討しながら、計算を繰り返します。VENUSの場合には、毎日夕方に計算を開始して翌朝までに予測図の作成まで終えなければならないので、予測期間や選択できる設定をうまく選んでやる必要があります。

Q：シミュレーションはPM_{2.5}の濃度予測だけに使うのですか。

菅田：PM_{2.5}の分布の予測のほかにも、PM_{2.5}の変化の原因の解明などPM_{2.5}の本質的な研究にも使います。また、PM_{2.5}の対策効果を見積もる、つまりアセスメントに使うこともできます。本質的に同じプログラムを使っている、目的によって計算設定を使い分けています。

Q：VENUSという愛称はだれがつけたのですか。

菅田：共同研究をしている地方の環境研究所の方です。愛称を募集したところ、応募してくれたもののひとつで、Visual atmospheric ENvironmental Utility Systemの略です。



■ 図2 PM_{2.5} 質量濃度 (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の年平均値の経年変化 (2001 ~ 2014 年度)

2009 年度までは、PM_{2.5} 実測調査による自動車排出ガス測定局 (自排局、灰色)、一般環境大気測定局 (一般局、都市部が赤色、非都市部が青色)、2010 年度からは大気環境常時測定による自排局 (灰色)、一般局 (紫色) の全国平均を示す。

*: 厳密には、日平均値の年間 98% 値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下なら基準達成です。例えば 1 年間欠測がなく 365 (366) 個の日平均値があるとき、小さい順に並べて下から 98% にあたる 358 (359) 番目、上から数えると 8 番目の日平均値で判断します。

広がるPM_{2.5}の観測網

Q：地方自治体の環境研究機関などと共同研究をしているのですか。

菅田：はい。粒子状物質については地方環境研究所などと2007年から共同研究を行っています。2011年には地方の環境研究所と共同で環境省の競争的研究資金に応募し、離島を中心に全国14地点でPM_{2.5}の観測を始めました。大気をサンプリングし、汚染状況を分析しました。PM_{2.5}の成分別濃度などのデータ分析は自動装置ではできず、手間も費用もかかるため、とても貴重なものです。今では多くの研究の役に立っています。

Q：その観測は続いていますか。

菅田：2013年度に私たちの観測が終了した後も、環境省がその測定機を引き継いで佐渡島や対馬などの離島で観測を続けています。

Q：なぜ、離島で観測するのですか。

菅田：都市から離れている離島では、都市の影響を受けていない自然な状態の値を測定できます。このような地域でPM_{2.5}の濃度が上昇すれば、大陸からどの程度の影響を受けているかがわかります。また、その濃度が都市と大きく違っていれば、その差は都市の影響として見積もることができます。

Q：研究目的以外でもPM_{2.5}の観測は行われているのですか。

菅田：2009年に環境基準が決まった翌2010年度から大気環境常時監視測定の一環として全国の地方自治体がPM_{2.5}の濃度を観測しています。測定局数は徐々



PM_{2.5}濃度の自動測定機

に増え、現在は全国約1000地点で自動測定機を用いてPM_{2.5}を観測しています。自動測定機は、大気を吸収し、ろ紙上にPM_{2.5}を捕集します。その量はβ線を使って自動的に測定します。

Q：測定にはどんな苦勞がありますか。

菅田：PM_{2.5}では、成分ごとの自動測定を簡単にはできません。その点ではほかの大気汚染物質に比べて測定がむずかしいですね。PM_{2.5}の濃度も時間や場所によって誤差が大きくなることもあり苦勞しています。

Q：最近のPM_{2.5}の汚染状況はどうでしょうか。

菅田：ここ5年間ほど、大気中のPM_{2.5}は図2のように横ばいです。ただしここ1~2年は、極端に高濃度になるような出来事の起こる頻度が減っていて、注意

コラム④ 注意喚起の仕組みと判断方法について

コラム②にあるように、各地方公共団体は「PM_{2.5}の1日平均値が暫定指針値(70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超えると予想される場合に注意喚起を行うこと」とされました。暫定指針値を超えるか否かの判断手法についても指針が示されており、その仕組みについて説明します。

注意喚起の判断は、都道府県もしくはそれらを複数に分割した区域(分割するか否かは各自治体に任されています)において行われています。判断手法は2段階に分かれており、1つは午前中の早目の時間に判断するために午前5時から7時の平均値に着目する方法、もう1つは午後からの活動に備えて判断するために午前5時から12時までの平均値に着目する方法です。前者は区域内で2番目に高い測定局での値が85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたときに、後者は区域内の最大値が80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えたときに、それぞれ注意喚起を出すとされています。

例えば光化学オキシダントの注意報は、その濃度が

120ppb(ppbは10億分の1)を超え、それがしばらく継続すると判断されるときに出すことにされています。そこで、観測値が120ppbを超えるかどうかを注視し、近隣の測定局での値と風向きなどに着目すれば、観測データだけで注意報の必要性を容易に判断することができます。

一方、PM_{2.5}の注意喚起の判断のむずかしさは、その基準が日平均値に基づいていることにあります。つまり、日平均値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるかを判断することは、24時間の積算値が1680(=70×24) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるかどうかを判断することです。午前中にいくら低濃度が続いて、午後になって高濃度が続けば日平均値が暫定指針値を超える可能性はありますし、逆に午前中に高濃度が続いて、(その積算値が1680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えて注意喚起の必要性が確定する場合を除き)それ以降ほぼゼロの濃度が続く可能性は否定できません。そのため、数値予測の精度を数年以内に改良し、注意喚起の判断に用いたいと考えています。



自動測定機のテープロ紙に捕集されたPM_{2.5}

を喚起する日数は減っています。これがたまたま気象要因によるものなのか、根本的に解決に向かっているのかはまだよくわかりません。

Q：PM_{2.5}の高濃度の原因は海外によるものが多いので、国内の対策には限界があるのではないですか。

菅田：国内でもPM_{2.5}の原因と考えられるものはいくつもあります。たとえば、^{すす}燃焼で生じた煤、工場や建設現場で生じる^{ふんじん}粉塵のほか、化石燃料の燃焼による排気ガスや、石油からの揮発や植物から発生する揮発性有機化合物（VOC）などがあります。すでにディーゼルエンジンの排ガスなどの対策は進んでいます。どのような対策がPM_{2.5}の濃度を減らすのに効果的なのかはまだ明確ではありませんが、たとえ海外から原因物

質が大量に流入したとしても、大気中で反応する相手となる物質の排出を国内で減らせば効果があるかもしれません。PM_{2.5}は複雑で不明な点が多いので、今すぐに対策につながらなくても、将来に備えて状況を把握し、研究や予測をすることは必要なのです。

天気予報に追いつくことを目指す

Q：PM_{2.5}濃度の予測の結果をどう使いますか。

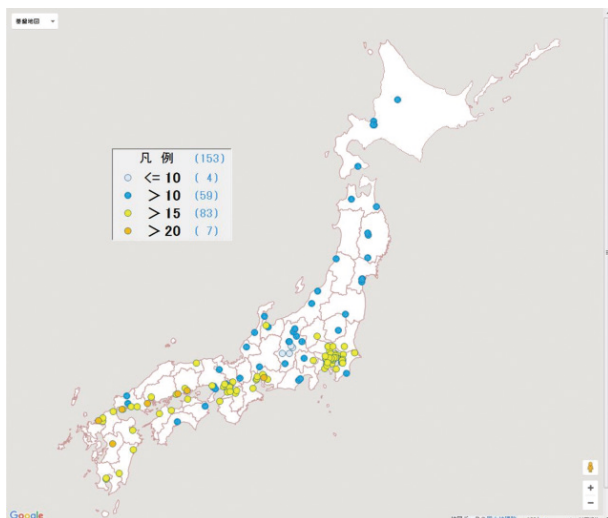
菅田：VENUSのようなツールの成果は誰でも共有できるようにしたいと思っています。また、中国や韓国など近隣諸国とも共同研究して、データなどをお互いに共有しようとしています。

Q：今後、研究をどのように進めたいですか。

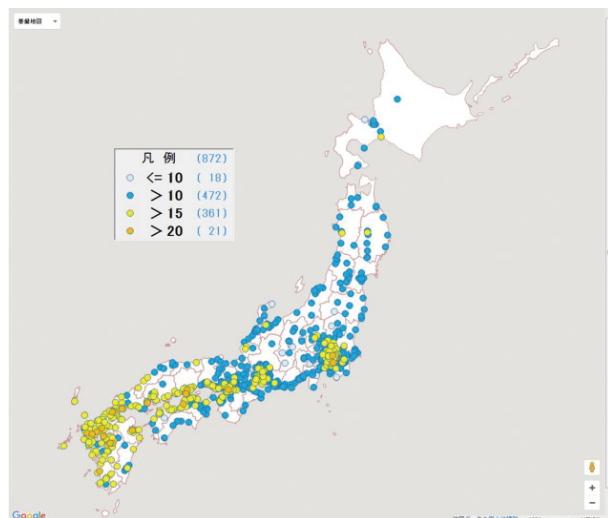
菅田：所内や所外、地方の環境研究所などと連携して、モデルの改良を一層進めていきたいです。大気汚染予測システムの精度をあげて、PM_{2.5}の注意喚起に使えるくらいまで改良できるといいですね。

私たちが利用している天気予報も数値予測によるものです。計算手法の改良や観測データの活用などの努力によって予測の精度が向上し、天気予報が信用してもらえるようになるまで10年以上かかりました。簡単にはなかなか説明できませんが、風の流れそのものを予測する天気予報よりも、その風に乗って流される物質を予測する大気汚染の予測の方がむずかしいので、VENUSが天気予報に追いつくためにはもっと時間がかかるかもしれません。でもその日を目指して研究を進めていきたいと思っています。

2011年



2014年



■ 図3 2011年度（左）と2014年度（右）のPM_{2.5}年平均値の全国分布
年平均値が西日本や関東で高いことがわかる。また、測定局数が増加しているのがわかる。

PM_{2.5}の動態把握に関する研究から

今号の研究では、観測を通じて PM_{2.5} の動態把握を行い、また、高濃度現象の理解や数値予測のために数値シミュレーションモデルの開発を続けています。そのうちのいくつかを紹介します。

日本海側を中心とした観測網による PM_{2.5} の実態解明と発生源寄与の研究

私たちは、PM_{2.5}の常時監視測定網の整備が進む前の2011年度から3年間、PM_{2.5}の全国的な汚染実態を調査しました。全国14地点における連続濃度測定に加え、季節ごとにそれぞれ2週間ずつ計9回の成分サンプリングを行いました。

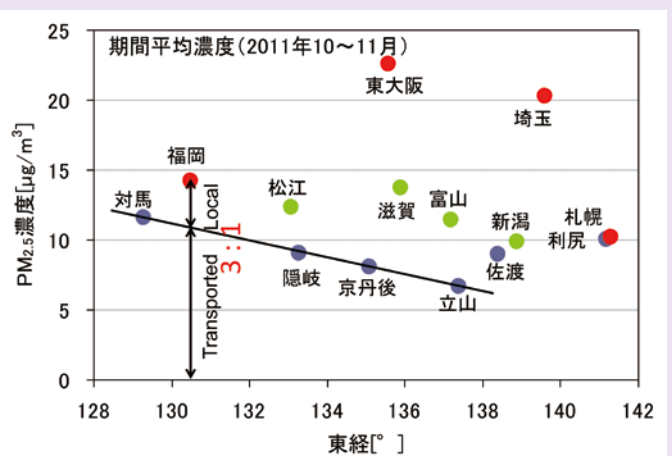
測定地点は日本海側の離島などの遠隔地とそこから比較的近い近郊地などのペアになるように配置し、越境大気汚染の影響を観測データだけでも読み取れるように試みました(図4)。一例として2011年の10～11月の平均濃度を見ると、対馬から立山にかけて遠隔地における平均濃度が見事に一直線上に位置しています。これほどの直線になったのは偶然かもしれませんが、この直線をこの時期に中部以西の地域における越境汚染の寄与もしくはバックグラウンド的な濃度だと仮定すると、例えば福岡の場合、そこでの濃度と

同経度における直線上の濃度の割合から、濃度の約4分の3は越境汚染によるもので約4分の1が局所的な原因によるものと推定されました。これは非常に直観的かつ定性的な推定ですから、他の方法からも推定を試みました。

同時期の各地点における成分濃度データを用いて、各種発生源がどの程度影響を与えたかを統計的に推定するレセプター解析も行いました。化学質量収支(CMB)法および正値行列因子分解(PMF)法を用いたところ、どちらも上記の濃度観測に基づく推定寄与率に近い結果を得ました。

大陸からの越境輸送の寄与は、その指標となる微量元素の成分濃度比(鉛と亜鉛)が高い期間が存在することからも裏付けられました。

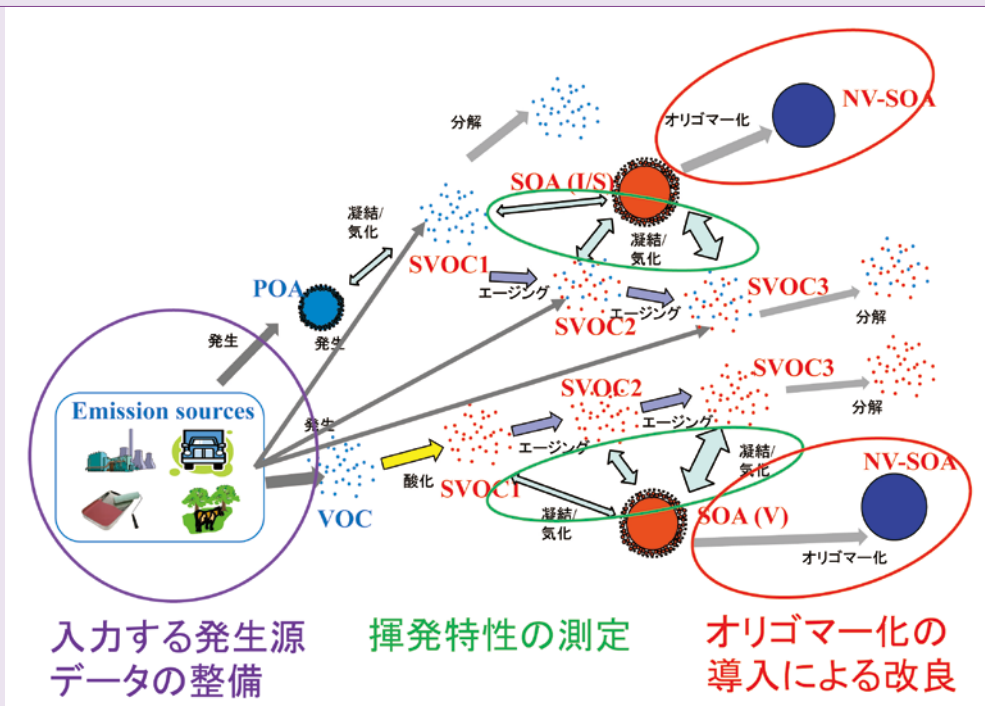
このように観測データを複数の独立する手法で分析することにより、信頼性の高い越境汚染寄与率の推定を行うことができました。



■ 図4 14地点における期間平均 PM_{2.5} 濃度(2011年10～11月)の経度分布

都市部を赤、近郊地を緑、遠隔地を紫で示す。対馬、隠岐、京丹後、立山の濃度はほぼ一直線になっており、この季節のバックグラウンド濃度の東西分布を表していると考えられる。福岡はその直線よりも高い濃度を示しており、この時期の福岡においては越境汚染が約4分の3、局所的な影響が約4分の1を占めていたと考えられる。

■ 図5 有機エアロゾル二次生成計算手法の改良
VBSモデルでのエアロゾルと原因物質の関係を表す概念図に、進めている研究項目を書き込んだ図。



有機エアロゾル二次生成計算手法の改良

PM_{2.5}の数値シミュレーションでは、PM_{2.5}に含まれる各種成分ごとに濃度を求めています。数値シミュレーション計算結果を観測結果と比較すると、有機エアロゾル(粒子状物質)が観測値に比べて非常に少なく計算される欠点があることがわかっています。以前は、特定のガスと粒子についてその分配を計算する収率モデルと呼ばれるタイプの二次生成の計算手法が一般的でしたが、2006年にVBS(揮発性基底関数)モデルと呼ばれる手法が開発され、これまでは揮発しないとされていた一次粒子の揮発や揮発しにくい有機炭素のエージング(酸化)反応を考慮してより正確に計算できるようになりました。

私たちはこのVBSモデルの検証と改良に取り組みました(図5)。

まずVBSモデルを導入した計算結果と従来手法を用いた計算結果を比較しました。比較の対象とした観測データは前項で説明した全国観測の成分データです。その結果、冬季については大きな違いは見られませんが、春や夏についてはVBSモデルを用いた結果の方が観測値に近いことを確認しました。

また、私たちは室内実験において有機エアロゾル二次生成に係る物質の揮発特性を調べ、VBSモデルで用いられる反応式や反応係数が実験結果と一致するかどうかを調べました。その結果、VBSモデルは実験結果とおおむね一致するものの、これまで考慮されていない反応を導入する重要性が確認でき、それをVBSモデルに導入する改良を行うことにより、有機エアロゾル二次生成計算の精度を改良しました。

PM_{2.5}の環境基準超過をもたらす汚染機構の解明

私たちは2016年度から3年間、全国47の地方環境研究所などと一緒にPM_{2.5}の環境基準超過をもたらす汚染機構を解明すべく共同研究を行っています。PM_{2.5}に関するこのような共同研究は2007年度以降3年ごとに更新・継続しており、現在は通算4期目の共同研究を行っています。

本研究は、6つの研究グループで取り組んでいます。①高濃度解析グループではPM_{2.5}濃度が上昇すると予想されるときにサンプリングを行い、得られる成分データを素早く解析して汚染状況を把握します。②都市汚染解析グループでは有機エアロゾル成分に着目し、都市部における高濃度現象の解明に取り組みます。③輸送汚染解析グループでは、黄砂の到来に付随してPM_{2.5}濃度が上昇するケースに着目し、高時間分解能で成分を測定することによって現象解明を目指しています。④閉鎖性海域周辺高濃度解析グループでは、瀬戸内海周辺でPM_{2.5}高濃度が出現しやすい現象に着目し、PM_{2.5}だけでなく関連する各種ガス成分の濃度も詳細に観測することで高濃度要因を探ります。⑤全国データ解析グループでは常時監視測定データを詳細に分析することによって環境基準超過の要因や対策の可能性について統計的な手法で研究します。⑥化学輸送モデルグループでは、参加自治体周辺に特化した数値シミュレーションを行うことにより、各地域における詳細な発生源を解析することを目指しています。

今後も地方環境研究所などとの共同研究を通じて、国民の大気環境に対する関心に応えられるように研究に取り組んでいきます。

PM_{2.5}の観測および 数値シミュレーションに関する動向

健康への影響を考えると、PM_{2.5}の環境基準をどの水準にするか、その大気中の濃度をどのように観測し把握するかは非常に重要な課題です。また、現象解明や数値予測、対策効果の見積もりと多くの用途に用いられる数値シミュレーションはどのように開発が進んでいるのでしょうか。

世界では

1990年代前半の米国での疫学研究「ハーバード6都市研究」の結果公表を受けて、PM_{2.5}による健康影響の研究取り組みが加速し、環境基準等の設定に向けて世界は動きました。米国では1997年にPM_{2.5}環境基準が設定され、世界各国もそれぞれ環境基準を定めました。米国のPM_{2.5}環境基準は、当初、年平均値で15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1日平均値で35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とされましたが、2013年に年平均値については12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に変更されています。世界各国でそれぞれの国の濃度状況に合わせて基準値が設定されていますが、長期基準については基準が厳しくなる趨勢です。

大気汚染のシミュレーションに用いられる数値モデルは、その黎明期にはかなり単純化した計算式や設定が使われていましたが、最近では大気中のなるべく多くの物理・化学過程を詳細に取り込んで3次元空間における物質濃度などの時間変化を計算するタイプが主流になっています。それらのモデルには、気象計算

を行うサブモデルと輸送反応計算を行うサブモデルを併用するオフラインタイプと、両者の計算を1つのモデル内で同時(交互)に行うオンラインタイプがあります。オフラインタイプで輸送反応計算を担当するサブモデルについては、米国環境保護庁(USEPA)が1990年代以降開発を続けているCMAQが代表的なモデルの1つで、日本でも多くの研究者が用いています。世界には、それぞれの研究機関等が独自に開発したモデルを保有している国も多く、それらを組み合わせて使うことも考えると、ざっと数えても数十の数値モデルが存在しています。

日本では

米国などの影響を受け、微小粒子状物質の健康影響に関する研究や検討が1990年代に活発になりました。国内外の知見の蓄積を踏まえ、2009年にPM_{2.5}の環境基準が定められました。それを受け、常時監視に係る事務処理基準が改正され、PM_{2.5}が地方自治体等に

コラム④ 大気汚染予測システム VENUS

国立環境研究所では大気汚染予測システムVENUS(Visual atmospheric ENvironment Utility System、図8)を開発し、改良を続けています。国立環境研究所のスカラ計算機システムを用いて毎晩計算を行い、毎朝7時に当日および翌日以降のPM_{2.5}および光化学オキシダントの地上付近での濃度の計算結果を発信しています。

2004年に、当時研究用に用いていた気象モデルRAMS(Regional Atmospheric Modeling System)と大気質モデルCMAQ(Community Multiscale Air Quality modeling system)の計算自動化に取り組み始めました。国立環境研究所が主体となり、複数の地方環境研究所や電力中央研究所との共同研究も行いつつ開発を進め、2008年にインターネット上で一般公開されました。その後も修正や改良を続けており、2014年度からは環境省の予算により、気象モデルを最新のWRF(The Weather Research & Forecasting model)に切り替え、入力デー

タを新しいものに更新しました。

予測計算をするためには、まず前日の夕方に気象庁の数値天気予報データ(GPVデータ)を取得します。それを入力データとして気象データの細かな空間分布や時間変化を取得し、また、雨や雲関係の予報では配信されない必要変数を得るために気象モデルで気象データを再計算します。続いて、大気汚染物質およびその原因物質の発生量を併せて入力データとして用い、大気質モデルにより大気汚染物質濃度の予測計算を行います。VENUSの中ではPM_{2.5}と光化学オキシダントだけでなく、関連する様々な大気汚染物質の計算が行われています(図9)。大気質モデルによる計算が終わると、可視化のための作図などを行い、当日7時までには情報を更新します。



■ 図6 シャシーダイナモ



■ 図7 地方環境研究所との共同研究での会合の様子

よる常時監視の項目に加えられました。また、質量濃度の観測だけでなく、PM_{2.5}成分分析の実施も盛り込まれました。その後、常時監視測定局へのPM_{2.5}測定機の配置が進み、現在では全国で約1000地点の常時監視測定局においてPM_{2.5}の測定が行われています。

日本国内でのPM_{2.5}等を含んだ大気汚染の詳細な数値シミュレーションについては1990年代から取り組みが始まりました。米国におけるCMAQのように、地域スケールの大気汚染を対象に日本独自で開発されたモデルは現時点ではありませんが、気象計算モデルに簡単な化学反応を取り込んだモデル、CMAQ等の海外から導入したモデル、国内で開発された全球気象・気候モデルに化学反応を組み込んだモデルの主に3種を用いた研究や開発が進みました。

国立環境研究所では

PM_{2.5}等の粒子状物質の影響についての取り組みは1990年代から行われていました(環境儀22号・46号参照)が、PM_{2.5}等の動態の把握や数値モデリングを含む総合的な取組は2001~2005年度に行われた「PM_{2.5}・DEP等の大気中粒子状物質の動態解明と影

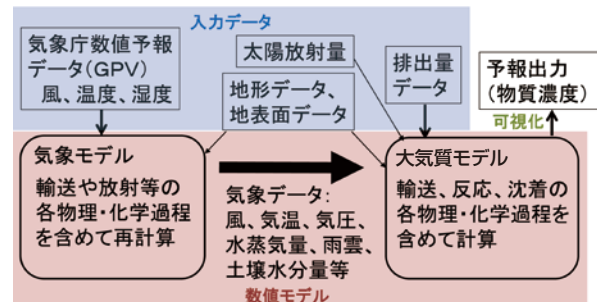
響評価プロジェクト」から始まりました。そこでは健康影響に関する研究とともに、シャシーダイナモ(図6)と呼ばれる実験装置を使って車両からの粒子およびガス状大気汚染物質の排出特性を実際に使用した場合の条件の下で把握しました。また、風洞実験、航空機観測、数値モデル解析、データ解析をもとに、沿道スケールから地域スケールにおける粒子状物質の動態を把握するとともに、各種測定方法に基づくPM_{2.5}モニタリング装置の並行試験を行いました。

その後も、所内外の研究プロジェクトや共同研究を通じて、現状を知るためのフィールド観測、高濃度などの現象の理解を深めるための室内実験および観測、様々な解析や予測を可能にする数値シミュレーション、その入力データとしても大切な発生量データ開発について、必要に応じた連携を図りつつ取り組みを進めています(図7)。

数値シミュレーションに関しては、前述した3種のモデルを必要に応じて使い分けて研究を進めています。例えば、大気汚染予測汚染システムVENUSはPM_{2.5}などの輸送反応計算にCMAQを用いています。VENUSは2014年度以降、環境省の予算的な支援を受け、段階的かつ計画的に改良を続けています。



■ 図8 大気汚染予測システムVENUSのトップページ
<http://envgis6.nies.go.jp/osenyosoku/>



■ 図9 VENUSの計算フロー
 VENUSにおけるデータと計算の流れを示す。

国立環境研究所における 「PM_{2.5}の動態把握および シミュレーションに関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、微小粒子状物質（PM_{2.5}）の動態把握に関する研究を行っています。
ここでは、その中から、観測および数値シミュレーションに関するものについて、そのあゆみを紹介します。

年度	課題名
2001～2005	PM _{2.5} ・DEP等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価プロジェクト (重点特別研究プロジェクト)
2007～2009	光化学オキシダントと粒子状物質等の汚染特性解明に関する研究 (地環研等とのC型共同研究)
2008～2010	都市大気環境中における微小粒子・二次生成物質の影響評価と予測 (特別研究)
2010～2012	PM _{2.5} と光化学オキシダントの実態解明と発生源寄与評価に関する研究 (地環研等との第II型共同研究)
2011～2013	全国の環境研究機関の有機的連携によるPM _{2.5} 汚染の実態解明と発生源寄与評価 (環境省環境研究総合推進費5B-1101)
2013～2015	PM _{2.5} の短期的／長期的環境基準超過をもたらす汚染機構の解明 (地環研等との第II型共同研究)
2014～2016	PM _{2.5} 予測精度向上のためのモデル・発生源データの改良とエアロゾル揮発特性の評価 (環境省環境研究総合推進費5-1408)
2016～	PM _{2.5} の環境基準超過をもたらす地域的／広域的汚染機構の解明 (地環研等との第II型共同研究)

本号で紹介した研究は、以下の機関、スタッフにより実施されました(所属は当時、敬称略、順不同)。

〈研究担当者〉

国立環境研究所：菅田誠治、若松伸司、松本幸雄、上原清、大原利眞、小林伸治、近藤美則、松橋啓介、森口祐一、田邊潔、
伏見暁洋、西川雅高、内山政弘、今村隆史、永島達也、森野悠、五藤大輔、茶谷聡、佐藤圭、猪俣敏、藤谷雄二、
高見昭憲、清水厚、長谷川就一、神田勲、片山学、早崎将光、高橋克行、山尾幸夫、富山一、曾我稔

高崎経済大学：飯島明宏

大阪市立環境科学研究所：板野泰之

大阪府環境農林水産総合研究所：山本勝彦、中戸靖子、長濱智子

福岡県保健環境研究所：山本重一、濱村研吾、下原孝章

京都府保健環境研究所：谷口延子、日置正

北海道立総合研究機構：秋山雅行、大塚英幸、芥川智子

一般財団法人日本自動車研究所：森川多津子

環境省環境研究総合推進費5B-1101の研究協力者の皆様、これまでII型共同研究に参加頂いた地方環境研究所等の皆様

〈研究協力者〉

国立環境研究所：宮下七重、林大祐、鈴木勉、佐藤さゝ、田中有紀子、眞板英一

● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、微小粒子状物質（PM_{2.5}）の健康や環境への影響に関するものを紹介します。

No.54 環境と人々の健康との関わりを探る — 環境疫学

国立環境研究所では、環境と健康との関わりについて、実験研究と疫学研究の2つの異なる手法を用いた研究に取り組んでいます。54号では、「環境疫学」が、人々の健康状態と環境との関わりを探ることによって、人の集団における健康問題に対する予防や対策に役立つことを解説しています。また、長年取り組んできた大気汚染の健康影響に関する疫学研究と、近年取り組む、子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）を中心に紹介しています。

No.46 ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響

—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応

ナノマテリアルとは、PM_{2.5}の中でも特に小さい粒径（0.1μm以下）の物質をいいます。きわめて分子に近い生体内挙動を示すので、人体に対して、これまでの粒子とは異なる影響を及ぼす可能性があります。46号では、国立環境研究所が取り組む、ナノ粒子やナノマテリアルのヒトの健康への影響を中心とした安全性評価に関する研究について、その概要と成果を紹介しています。

No.33 越境大気汚染の日本への影響 —光化学オキシダント増加の謎

国内の大気汚染物質の発生源対策が進み、窒素酸化物と揮発性有機化合物は減少しているのに、光化学オキシダントは増加しています。なぜ原因物質が減少しているのに光化学オキシダントが増加しているのか。なぜ発生源が近くにない地域でも光化学オキシダントが増加しているのか。33号では、これらの原因の1つとして考えられるアジア大陸からの越境汚染の影響を紹介しています。

No.22 微小粒子の健康影響 —アレルギーと循環機能

国立環境研究所では、1990年代からディーゼル排気に関する研究を始め、2001年度からは大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）・ディーゼル排気粒子（DEP）等の大気中粒子状物質の動態解明と影響評価の研究を行っています。22号では、DEPなどの微小粒子のアレルギーや免疫機構に及ぼす影響や循環機能に関する研究の成果を紹介しています。

No.5 VOC —揮発性有機化合物による都市大気汚染

光化学オキシダントや光化学反応によるPM_{2.5}生成の主要原因物質でもある揮発性有機化合物（VOC）への関心が高まっています。5号では、国立環境研究所が取り組んできた、都市域におけるVOCの動態解明と大気質に及ぼす影響評価に関する研究の中から、VOCの発生源と自動車の寄与およびトンネル調査の結果を中心に紹介しています。

環境儀 No.64

—国立環境研究所の研究情報誌—

2017年3月31日発行

編集 国立環境研究所編集分科会

(担当 WG: 岡寺智大、菅田誠治、山本裕史、遠嶋康徳、青野光子、滝村 朗)

発行 国立研究開発法人 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 国立環境研究所情報企画室 pub@nies.go.jp

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

印刷製本 朝日印刷株式会社 つくば支社

「環境儀」既刊の紹介

No.18 2005年 10月	外来生物による生物多様性への影響を探る	No.41 2011年 7月	宇宙から地球の息吹を探る—炭素循環の解明を目指して
No.19 2006年 1月	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	No.42 2011年 10月	環境研究 for Asia/in Asia/with Asia —持続可能なアジアに向けて
No.20 2006年 4月	地球環境保全に向けた国際合意をめざして—温暖化対策における社会科学的アプローチ	No.43 2012年 1月	藻類の系統保存—微細藻類と絶滅が危惧される藻類
No.21 2006年 7月	中国の都市大気汚染と健康影響	No.44 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性の <i>in vitro</i> バイオアッセイ
No.22 2006年 10月	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	No.45 2012年 7月	干潟の生き物のはたらきを探る—浅海域の環境変動が生物に及ぼす影響
No.23 2007年 1月	地球規模の海洋汚染—観測と実態	No.46 2012年 10月	ナノ粒子・ナノマテリアルの生体への影響—分子サイズにまで小さくなった超微小粒子と生体との反応
No.24 2007年 4月	21世紀の廃棄物最終処分場—高規格最終処分システムの研究	No.47 2013年 1月	化学物質の形から毒性を予測する—計算化学によるアプローチ
No.25 2007年 7月	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	No.48 2013年 4月	環境スペシメンバンキング—環境の今を封じ込め未来に伝えるボタンリレー
No.26 2007年 10月	成層圏オゾン層の行方—3次元化学モデルで見るオゾン層回復予測	No.49 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか
No.27 2008年 1月	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響	No.50 2013年 10月	環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる有害化学物質の可視化
No.28 2008年 4月	森の息づかいを測る—森林生態系の CO ₂ フラックス観測研究	No.51 2014年 1月	旅客機を使って大気を測る—国際線で世界をカバー
No.29 2008年 7月	ライダーネットワークの展開—東アジア地域のエアロゾルの挙動解明を目指して	No.52 2014年 4月	アオコの有毒物質を探る—構造解析と分析法の開発
No.30 2008年 10月	河川生態系への人為的影響に関する評価—よりよい流域環境を未来に残す	No.53 2014年 6月	サンゴ礁の過去・現在・未来—環境変化との関わりから保全へ
No.31 2009年 1月	有害廃棄物の処理—アスベスト、PCB 処理の一翼を担う分析研究	No.54 2014年 9月	環境と人々の健康との関わりを探る—環境疫学
No.32 2009年 4月	熱中症の原因を探る—急救搬送データから見るその実態と将来予測	No.55 2014年 12月	未来につながる都市であるために—資源とエネルギーを有効利用するしくみ
No.33 2009年 7月	越境大気汚染の日本への影響—光化学オキシダント増加の謎	No.56 2015年 3月	大気環境中の化学物質の健康リスク評価—実験研究を環境行政につなげる
No.34 2010年 3月	セイリング型洋上風力発電システム構想—海を旅するウィンドファーム	No.57 2015年 6月	使用済み電気製品の国際資源循環—日本とアジアで目指す E-waste の適正管理
No.35 2010年 1月	環境負荷を低減する産業・生活排水の処理システム—低濃度有機性排水処理の「省」「創」エネ化—	No.58 2015年 9月	被災地の環境再生をめざして—放射性物質による環境汚染からの回復研究
No.36 2010年 4月	日本低炭素社会シナリオ研究—2050年温室効果ガス 70%削減への道筋	No.59 2015年 12月	未来に続く健康を守るために—環境化学物質の継世代影響とエピジェネティクス
No.37 2010年 7月	科学の目で見える生物多様性—空の目とミクロの目	No.60 2016年 3月	災害からの復興が未来の環境創造につながるまちづくりを目指して—福島発の社会システムイノベーション
No.38 2010年 10月	バイオアッセイによって環境をはかる—持続可能な生態系を目指して	No.61 2016年 6月	「適応」で拓く新時代!—気候変動による影響に備える
No.39 2011年 1月	「シリカ欠損仮説」と海域生態系の変質—フェリーを利用してそれらの因果関係を探る	No.62 2016年 9月	地球環境 100年モニタリング—波照間と落石岬での大気質監視
No.40 2011年 3月	VOC と地球環境—大気中揮発性有機化合物の実態解明を目指して	No.63 2016年 12月	「世界の屋根」から地球温暖化を探る—青海・チベット草原の炭素収支

●環境儀のバックナンバーは、国立環境研究所のホームページでご覧になれます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

「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べしという意図が込められています。「環境儀」に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年 7月 合志 陽一
 (環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



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○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切った左側に進むとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。