



# 環境儀

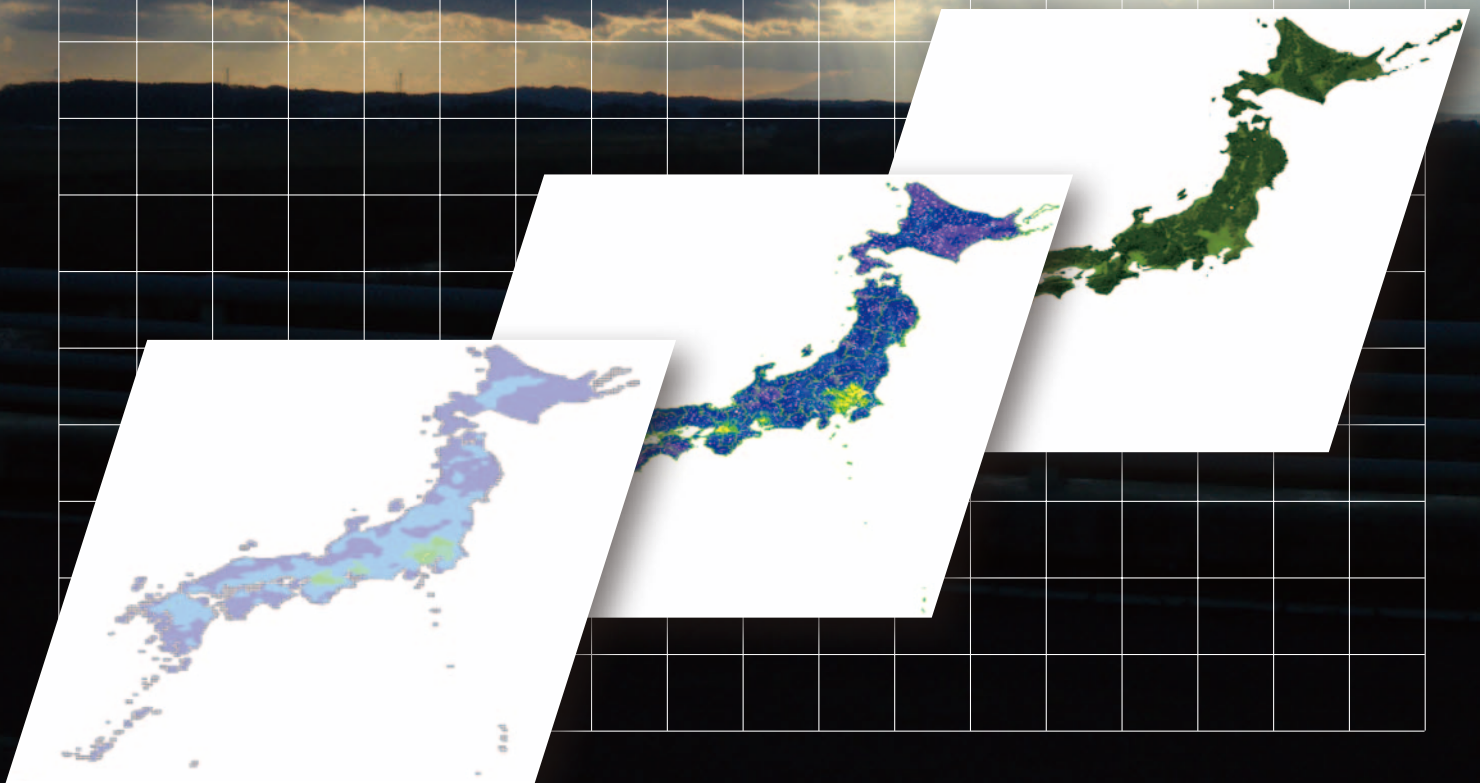
NO. 50

OCTOBER 2013

国立環境研究所の研究情報誌

## 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



独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>



化学物質は環境中のさまざまな媒体  
—大気、川や湖、土壌など—  
の中を移動し、分解を受けています。  
環境中に放出された物質が、  
いつ、どこに、どのくらい現れるかを  
正確に予測することが  
その安全管理のために重要です。





環境中に放出された化学物質はどこへいくのか？

これは、人と環境に悪影響のないように化学物質を適切に管理するためには必ず答えなくてはならない課題です。これまで、大気モデル、例えば一つの河川流域に対する河川のモデル、土壌のモデルなどさまざまなモデルや観測による研究が行われてきました。しかし、日本全国の環境を、精密さを失わずにもれなくカバーし、さらに大気・水・土壌などの複数の媒体をすべて含むようなモデルはありませんでした。

国立環境研究所では、地理情報システム（GIS）を環境管理に応用するさまざまな試みが早い段階から行われてきました。これらの試みを発展させて、環境中に放出された化学物質の行方を実際の GIS 上の環境に即して精密に再現するモデルの開発が 2001 年に始まりました。いくつものプロジェクトにまたがる研究開発の結果、地理情報に可能な限り忠実に従いつつ化学物質の媒体間の動態を網羅的にカバーする新たな G-CIEMS モデルが完成しました。この新たなモデルは現在、研究と行政における環境管理の場面で着実に応用されつつあります。

本号では、地理情報を環境管理に応用する国立環境研究所の取り組みを環境多媒体モデル G-CIEMS を中心にご紹介します。

## C O N T E N T S



### 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

- Interview  
研究者に聞く ..... p4 ~ 9
- Summary  
地理情報の上に展開する  
新たな環境多媒体モデルの研究 ... p10 ~ 11
- 研究をめぐって  
GIS 環境多媒体モデルに関する  
国内外の研究と応用の現状 ..... p12 ~ 13
- 「国立環境研究における  
影響曝露モデルに関する研究」  
のあゆみ ..... p14

# Interview 研究者に聞く

環境リスク研究センター副センター長・リスク管理戦略研究室長の鈴木規之さんから研究チームは、大気や水、土壌などを含む環境多媒体モデルを用いて、環境中の化学物質の動態を予測し、その管理に応用する研究に取り組んでいます。鈴木さんに研究の経緯や成果についてうかがいました。



鈴木規之 / 環境リスク研究センター副センター長・リスク管理戦略研究室長

## 環境多媒体モデルを活用し、 環境汚染物質のリスク管理へ

### 分析化学から環境モデル研究へ

**Q**：研究を始められたきっかけは、何ですか。

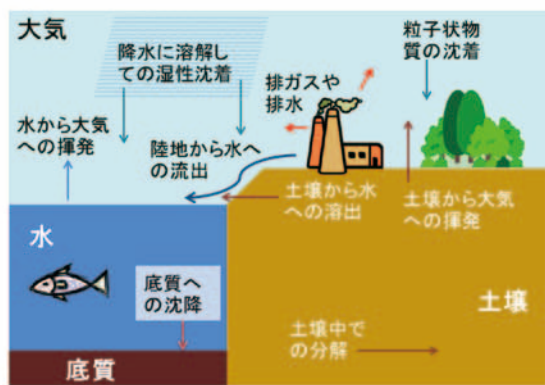
**鈴木**：私は、もともとは環境分析を専門として、学生時代から水道水のトリハロメタンなど有機塩素化合物の分析やダイオキシンの研究などを行ってきました。別の大学に移ると、そこでは最初は十分な実験設備がなくて、実験ができなくなりました。ならば、そこでできる研究をしようと思い、パソコンがあればできる環境モデルの研究に取り組みました。

まずは、簡単なモデルからスタートしました。1年

ほどで最初のモデルができあがり、徐々に複雑なモデルへと研究を進めました。その成果が認められてか、国立環境研究所へ移ることになり、そこでG-CIEMS (Grid-Catchment Integrated Environmental Modeling System) という環境多媒体モデルの研究を始めることになりました。

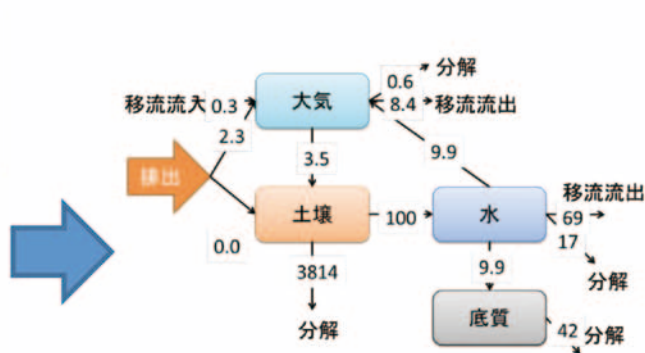
**Q**：環境モデルとは、どんなものを指すのですか。

**鈴木**：環境モデルという言葉にはっきりとした定義が決められているわけではありませんが、環境リスクに関する研究分野では多くの場合、環境中の化学物質の挙動を数理的に解くものを指します。実環境を単純



■ 図1 1ボックスの環境多媒体モデルの概念図

地理空間では1区画(1ボックス)のみに注目し、この中に大気・土壌・水・底質などの複数の媒体(多媒体)を想定するもっとも単純な環境多媒体モデルの概念図。1区画としては、たとえば日本全国、欧州全域、北米全体、のような領域が取られ、この領域の中の多媒体間の輸送プロセスをモデル化して媒体間の輸送や分配などを予測する。



■ 図2 日本全体を1ボックスとみなした環境多媒体モデルによる1995年時点でのダイオキシン類の媒体間の流れの計算結果

計算された1995年時点では土壌中に既に多くの蓄積があると予測されたことから土壌からの分解が大きな経路となっている。





リスク管理戦略研究室のみなさん

化・モデル化した時空間で、着目した物質の挙動を数理的な式に表し、目的となる時間や濃度などを算出します。

**Q：**環境モデルはどんなときに利用するのですか。

**鈴木：**ある化学物質の環境リスクを考えると、環境中の濃度や分布を把握することが第一の課題です。このとき、観測とともに環境モデルの利用が一つの選択肢になります。環境モデルは、排出量や物性・地理、気象条件などから予測計算を行うので、例えば将来予測やまだ使われていない物質に対する予測、また観測値が得られない地点の予測など、観測では得られない情報を推定する目的で利用されます。

**Q：**どんなモデルをつくったのですか。

**鈴木：**最初に作ったのは、1ボックスの環境多媒体モデルでした(図1)。環境多媒体モデルというのは、水と大気の間、大気と地面の間などさまざまな媒体間の物質の挙動をモデルの中を含んだモデルです。つまり、大気、水、土壌、底質などの多媒体間の移動を一つの



モデル内で一括して扱うことが特徴です。

最初のもは学生がエクセル上に作成した定常モデルで、その後、私が1ボックス非定常モデルをプログラム言語を用いて作成しました。定常モデルは、時間変化を計算しないもので、非定常モデルは時間変化を計算するものです。1ボックスの非定常モデルを作成したあたりから、国内外に新たなモデル研究として発表するようになりました。当時、問題になり始めたダイオキシンを対象にした非定常モデルの研究は、たぶん世界で初めてだったと思います(図2)。

**Q：**日本全体を1ボックスで示すのは、少し単純すぎるということはないのでしょうか。

**鈴木：**そうかもしれませんね。煙突から出た煙が大気に向かうことは確かですが、それだけではなく、違どこかの場所に飛んでいくことになります。また、川や湖に工場排水が排出されると、水に入り、どこかの河川を通して流れていくことになります(図3)。

そこで、ここでは、1ボックスのモデルで構成した多媒体モデルを基礎として、より現実的な環境を想定したモデルを作ろうと考えました。たとえば、農薬をまいたとき、地面に落ちるものもあれば、大気中に飛び散るもの、河川に溶け込むものもあるわけです。

陸や河川などの水域や大気など広い範囲にまたがった化学物質の動きを現実の地理環境の上で解析できる多媒体モデルを目指そうと考えて、G-CIEMSモデルの構想が生まれました(図4)。

つまり、GISで用いる地理データに基づき、化学物質の詳細な地域分布を予測するモデルをつくろうとしたのです。

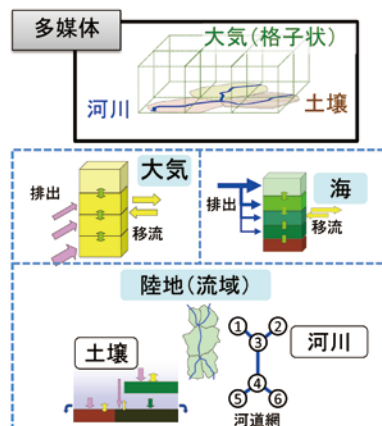


■ 図3 より現実的な環境を想定した多媒体モデルの構想

◆ 現状保有する日本のデータ

主媒体	地理形状
大気	1次、2.5次または3次メッシュ
水、底質	河川=ネットワーク接続された河道群 湖沼=河道に接続された湖沼オブジェクト
土壌	小流域(または変換テーブルを作成できるオブジェクト群)
海域	沿岸域オブジェクトに河口接続

■ 図4 日本で利用可能な地理情報に基づいてモデル化する G-CIEMS モデルの基本構造



## まずは、河川のデータベースから

**Q**：国立環境研究所では、どんな研究をしましたか。

**鈴木**：モデル開発の前に、まずGISによるデータの集約や解析の研究を始めました。ダイオキシン排出量マップはそのときに作られたものです(図8左)。これは、その当時に推定されたダイオキシンの排出量を地図上にデータとして落としこんだものです。

ごみ焼却場から排出されるダイオキシンが問題にされたところで、この排出量の空間分布を入力して環境中のダイオキシンの挙動を解析できるモデルをつくりました。まだグーグルアースなどのサービスはなかったので、非常に手間のかかる試みでした。このダイオキシンのマップは今でもときどき引用されています。

**Q**：その後は、どんなモデルを開発しましたか。

**鈴木**：研究所ではG-CIEMSの構想の実現を進めました。GISで得られる地理データにもとづき、大気、水、土壌、底質などの媒体間の移動と、大気、河川などでの輸送との両方を同時に計算して、媒体間の移動と地点間の輸送をともに推定するモデルです。

**Q**：どのように研究を進めましたか。

**鈴木**：まずつくったのは、河川構造データベースです。大気に比べて、河川はデータが少なくやっかいです。国土交通省のデータをもとにつくったのですが、小流域ごとの川の流量をつかむのは難しいのです。

流域とは、その地形により降った雨が水系に集まる、大地の範囲や領域のことをいい、その小さな区分のことを小流域というのですが、その小流域に対して観測点はごく限られた地点にしかありません。さらに川の



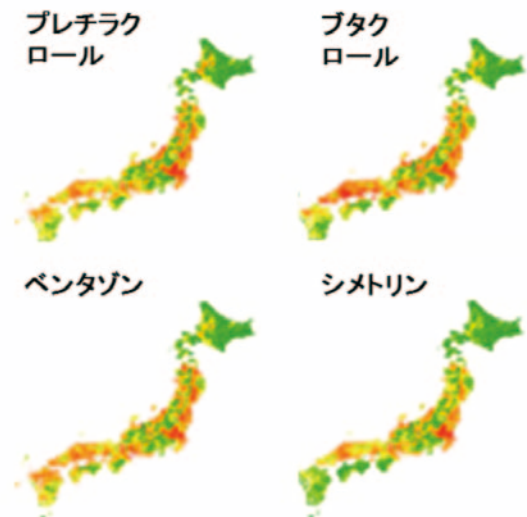
河川調査

流量について、日本の大河川で自然のまま流れている川はほとんどありません。たとえば、静岡県にある大井川では、多くの水は発電用に使われています。このような現地固有の状況を考慮しないと、流量は全く違うものになります。

しかし、このような条件をすべて算入することは困難です。そこで、ここでは日本各地の川の観測データから架空の自然河川を想定した流量を設定し、日本全国の河川流路ネットワークをモデル計算できるようにしました。このデータベースをもとに、G-CIEMSを構築し、たとえば農薬が河川にどれくらい濃度で存在

## 農薬の時空間変動のシミュレーションと検証

G-CIEMSモデルで最近行った研究に農薬の時空間変動のシミュレーションと検証があります。時間と場所ごとの農薬の排出量を推定できる農薬排出モデルPeCREMを開発しました。これとG-CIEMSモデルを組み合わせ、日本全国の農薬の空間分布と時間変動を予測しようとしたものです。この結果とフィールド観測調査の結果を比較して、モデルが農薬の時空間分布、変動を実際に正確に予測できるかどうかを確かめました。図5は計算された農薬の濃度の地図、図6は予測値と実測値の比較を行ったものです。全国の水系という大きな規模のなかで、詳細な時間変動と分布を正確に明らかにした初めての成果となります。



■ 図5 PeCREM 排出モデルと G-CIEMS モデルで予測した全国の河川水中農薬濃度の最大濃度の推定結果





データの分析や解析

するかの精密な予測を可能にしました(図5、6)。

**Q:** どのようにモデルをつくるのですか。

**鈴木:** 日本全体を4万ほどの河川、対応する4万ほどの流域、また4万個ほどの大気メッシュに区切り、これらの間での大気と水、大気と土壌の間の交換などを20万から200万ほどの連立方程式に落とし込み、コンピュータで計算を行います(図4)。

## 環境中の化学物質の濃度を予測する

**Q:** 水田などで使われた農薬が、いつ、どこにどれく



らい排出されるかの予測が重要ですね。

**鈴木:** 予測するためには、農薬の化学的性質やいつどこで使われるのかが重要になってきます。揮発性や溶解性、分解性などの化学的性質によって、農薬が土壌に吸着されるのか、水に溶けるのかなど挙動が変わりますからね。さらに化学的な性質が違えば、農薬の使い方も変わります。

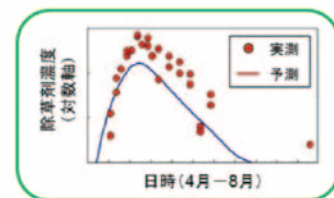
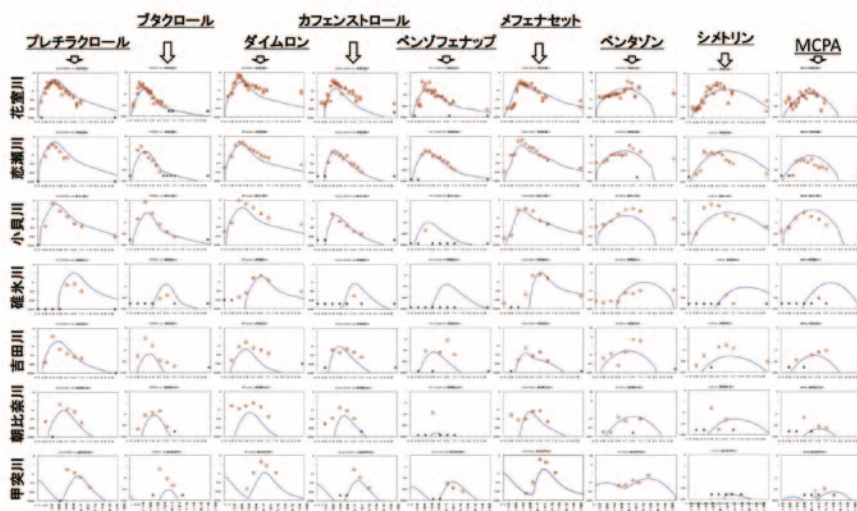
そこで、地理的な条件に農薬の化学的な性質も加えて計算し、農薬の流出の挙動を予測するのです。このモデルの信頼性を評価するために、7地点において定期的な河川調査を実施し、予測結果と実測値を比較しました。農薬の濃度や濃度のピーク形状がともに実測値と予測結果が一致している地点や農薬が多くあり、実態がよく再現できていました。モデルを使うと、高い精度で予測可能であることが確認できました(図6)。

**Q:** 対象としている化学物質は農薬だけですか。

**鈴木:** 農薬以外にも界面活性剤やPOPs(難分解性有機汚染物質)なども対象としています。モデルに入力する物性値と排出量データが用意できる化学物質に対して応用できます。

ある化学物質を使ったとき、その濃度が大気や水、土壌など場所によってどれくらい違うかがわかります。それから、日本全国の濃度の分布がわかるので、必要とされる管理の全体像を考えることにも活用できます。さまざまな場所、さまざまな媒体中に存在する化学物質の濃度を予測できるのが、このモデルの特徴です。

■ 図6 PeCREM/G-CIEMSモデルによる11農薬の7地点におけるフィールド観測の結果とモデル予測結果の比較



図はそれぞれ、横軸が時間(4月~8月)、縦軸が除草剤濃度の実測値と予測値を示している。

11農薬7地点の77組の調査結果のうち、59組で予測最大濃度は実測値の10倍以内、64組でピーク濃度の出現予測時期は実測値の2週間以内となっており、排出と環境動態モデルが農薬の動態を正確に把握していることを示すと考えられる(図には一部を示す)。

Q：どんなところに利用されていますか。

鈴木：たとえば研究として、農薬類やノニルフェノール、LAS（界面活性剤の一種）などの評価や解析に使ってきました。

また、化審法（化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律）で、ある化学物質のスクリーニング評価が終わったあと、実際の管理をどのように進めるかを判断するときにも使われています。

Q：G-CIEMSは公開されているのですか。

鈴木：G-CIEMSはインターネットで公開しています。画面上で、水系や化学物質などを選択し、入力すると、計算を実行し、河川や他の媒体中の化学物質の濃度を予測します。

また、GIS表示ファイル作成ツール（可視化ツール）も開発しています。これは、G-CIEMSで計算した結果から、地図表示可能な形式のファイル群を作成するためのアプリケーションソフトです。

さらに、可視化ツールを使って、G-CIEMSの計算結果を地図上に表示することができます。可視化ツールでは、入力データや関連データを地図表示することもできます。

ほかにも、化学物質の簡易的な多媒体分布予測を実施するモデルを内蔵した環境リスク評価を実施するための統合アセスメントプログラム（MuSEM）や化学物質の排出量の推定および地域配分計算を実施するための排出推定ツールも開発し、公開しています。これらのモデルやツールは相互に関連していて、目的や用途に応じて組み合わせることで、化学物質のリスク評価に効果的に活用できます。



ディスカッション



ワークショップ

## 生物への影響を予測する

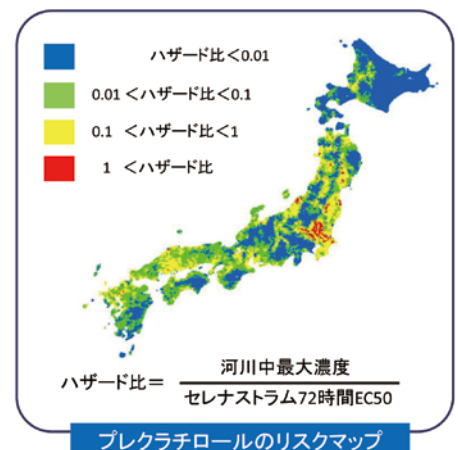
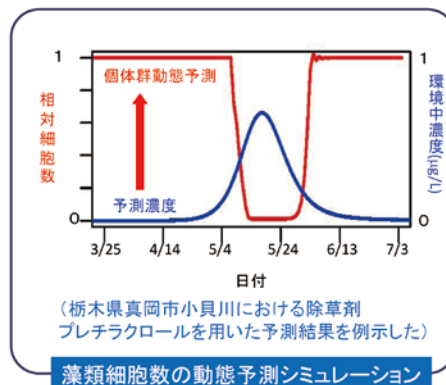
Q：G-CIEMSをどのように発展させたいですか。

鈴木：G-CIEMSで予測した化学物質の環境中の濃度から人や生物への曝露量を推定することができます。そこで、化学物質の健康影響や生態影響などのリスク評価へ応用したいと思っています。

今進めている研究の一つは、除草剤の環境中の濃度の時間的な変動を予測するとともに、藻類への影響をシミュレーションするというものです。藻類を使った

■ 図 7


除草剤プレチラクロールの河川水中濃度について、最大濃度のハザード比を示した図（右）、および、小貝川真岡市地点における濃度変動と、その濃度変動であった場合に予想される藻類細胞数の動態予測シミュレーションを試みた結果（左）








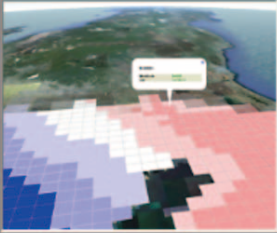
■可視化データ選択 終了



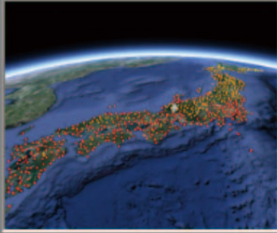
河道データ作成



流域データ作成



メッシュデータ作成



ポイントデータ作成

[http://www.nies.go.jp/rcer\\_expoass/index.html](http://www.nies.go.jp/rcer_expoass/index.html)

のは、除草剤の影響を受けやすく、除草剤の生物への影響を調べるのに適しているからです。栃木県小貝川を地点の例として選び、この地点での除草剤濃度の変動に対する藻類の影響を検討しました。その結果、除草剤濃度の変動に対して藻類が影響されることが推定されました(図7)。

**Q:** 生物へのリスクも予測するということですか。

**鈴木:** はい。生物濃縮をモデル化する研究も進めています。環境多媒体モデルで得られた化学物質の環境濃度から、化学物質の生物への移行を予測することが目

的ですが、これは、実験データが必要なので、実験研究から基礎的なモデル式を求めようとするものです。

**Q:** 生物や人がどんな影響を受けるのかも予測できるのですか。

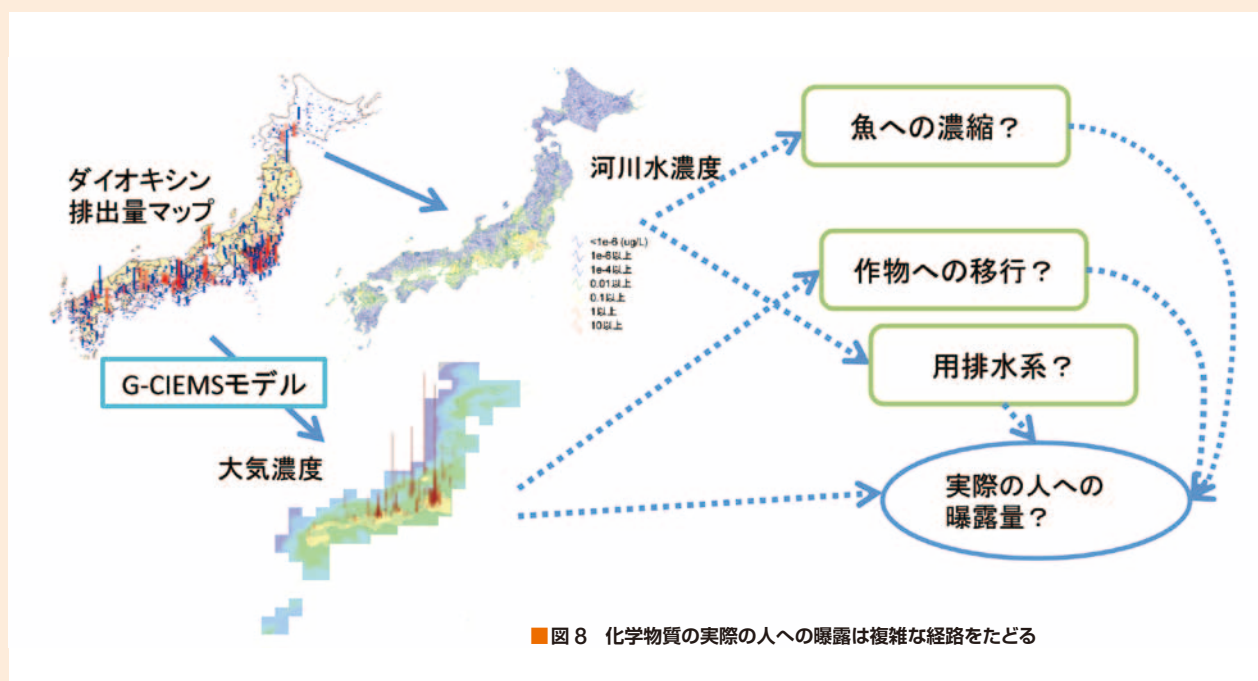
**鈴木:** 化学物質の影響を予測するための研究も行っていきます。大気汚染物質の影響だったら、大気中の汚染物質の濃度から生物がどれくらい曝露されて影響を受けるのかは、そこに人がいると想定するだけで予測できます。しかし、複雑な経路を経て化学物質に曝露され、その結果、影響を受ける場合は、環境中の濃度データだけでは予測できません。

たとえば、生物濃縮した魚介類を介して人がどれくらいダイオキシンに曝露されるのかは、地理的な汚染状況や魚介類のダイオキシン濃度だけでは、わかりません。人がどこの魚介類を消費するのか、その流通経路まで関連付けて考える必要があります。多くの条件を組み合わせ、モデルとその結果を用いた評価の仕組みを考える必要があります(図8)。

**Q:** 人への影響は、社会的背景まで考える必要があるのですか。

**鈴木:** 人や生物への化学物質の影響を考えるには、排出量から得られる環境中の分布、その時間変動から、さらには、人間活動としてなされる農業や漁業、工業などの産業、また商業や用排水システムなどの社会的背景によって、さまざまに異なる要因まで考える必要があります。

このようなさまざまな要因や情報を統合して解析し、また、社会的な影響を考察する研究を進めていくことが、今後必要になると思います。



■ 図8 化学物質の実際の人への曝露は複雑な経路をたどる

## 地理情報の上に展開する 新たな環境多媒体モデルの研究

この研究を始めた当時、化学物質の環境動態モデルの中で地理情報を反映するモデルはほとんどありませんでした。すでに存在した欧米の環境多媒体モデルは化学物質の性質を反映するには優れている一方で、川があり地形が実際の環境を再現するには単純すぎました。国内でも例の多い大気モデルは、大気以外の媒体を扱うことが出来ず、また、化学物質の性質を反映することが難しいなどの問題がありました。この研究は、現実の環境を表す地理情報の上に、化学物質の性質をよく反映できる多媒体モデルを展開することを目指して開始しました。

### 河川の地理情報の課題と構築

最初の課題は河川の地理情報の構築でした。地面には地形があり、地上にある化学物質は地形に従って移動し、川に入って流れていきます。そこで、国土地理院の国土数値情報にある小流域と河道のデータを基にして、流域と河川の流れを計算可能なデータとして構築する検討を進めました。

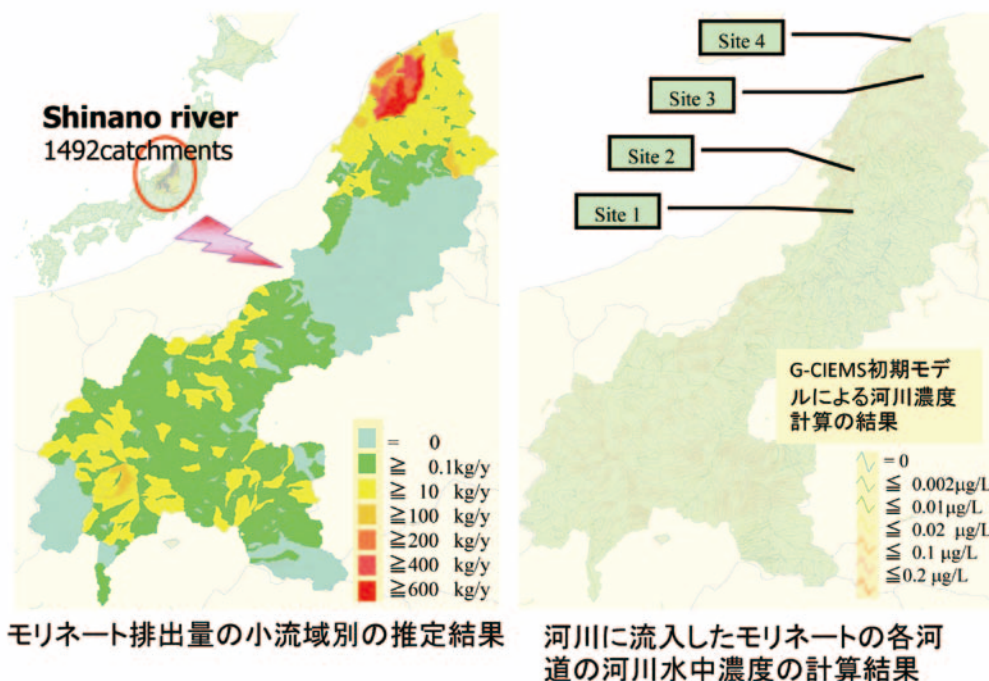
また、国土数値情報では河道ネットワークに接続されていない湖沼を河道と流域に対応させました。あわせて、河道ネットワークを流れる河川流量を各河道に設定し、河川流域ごとの代表的な流出高<sup>1)</sup>を観測値から推定して設定しました。

ここで設定した流量は、人間活動による用排水を無視したほぼ自然に近い状態の河川流量の推定値と考え

られ、実際の流量とは異なる可能性があります。モデル計算を可能にするための最初のデフォルト値と考えています。これらの成果を2003年に河道構造データベースとして発表しました。

### 河川モデルの最初の試み

作成した河道構造を用いた最初のテストとして、河川の流下のみを扱うモデルを作成してケーススタディーを行いました。信濃川流域において、除草剤モリネートの使用量のうち河川に流入する量を簡易的に推定し、これが構築した河道ネットワークを流れて下流に向かう様子の再現を試みたものです(図9)。計算で求めた結果は、文献で報告されている河川水の観測値とおおよそ一致しており、河道流下のモデル計算が



■ 図9 信濃川流域を対象として河川モデルの最初の試み

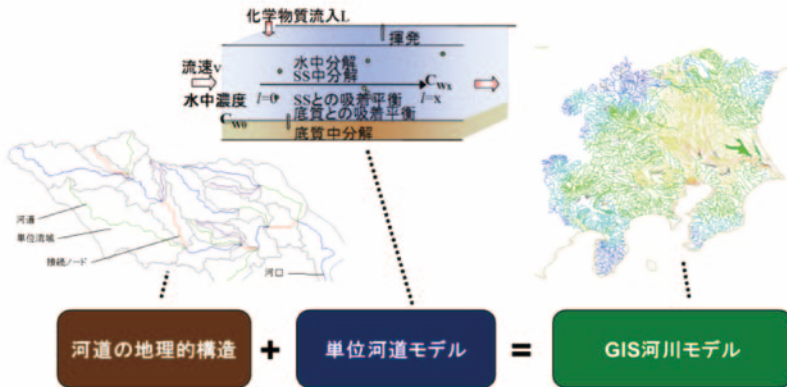
左は除草剤モリネートの流域ごとの排出量の簡易な推定結果、右はその結果から各河道における河川濃度を計算し、河道の色として表現したものの。この段階ではモデルは定常モデルであって排出量の時間変動などは扱うことができません。多媒体過程の組み込みも不十分であった。ただ、この計算でもSite1～4の地点における河川濃度とおおむね一致する推定濃度が得られ、モデル開発の方向性が問題ないことを確認した。





■ 図10 単位河道を基礎とするG-CIEMSの河川のモデル化の概念図

このような流域と河川の構造の上に、大気や海域までの多媒体動態を重ね合わせて計算を行う。



可能であることを確認しました。

### GIS環境多媒体モデルの構築

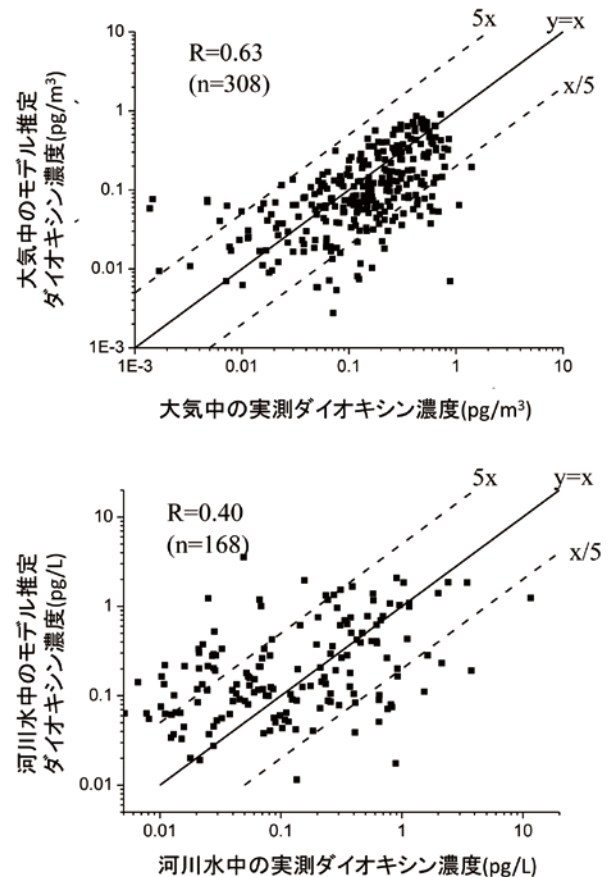
河道流下のモデルを拡張して、次いで大気、土壌や底質、海域までを含む環境多媒体のモデルG-CIEMSを開発しました。図10に示すような河道のモデル化とともに、グリッド構造に分割した大気モデルと、河道ネットワーク構造に基づく河川モデル、河道に対する小流域からの流出などを組み合わせて化学物質の多媒体間の動きを地形の上で再現しようとするものです。

モデルは、一般的な環境多媒体モデルが扱う諸過程をすべて含み、同時にグリッド、流域、河道や海域など形の異なるデータ間の動態をそれぞれの間の射影面積を用いて物質保存を維持するよう計算するというものです。河道の長さは全国平均で5.7km、小流域の面積が平均9.3km<sup>2</sup>、大気グリッドの大きさが平均5×5kmなどとなり、これがモデルの地上の分解能になります。

完成したモデルを用いてダイオキシン濃度の計算を行い、そのうち大気と河川水濃度についてモデル予測値と実測値の比較を行った結果を図11に示します。モデルで計算した各媒体のダイオキシン濃度の分布と実測値はおおよそ1桁以内の差であるという結果が得られました。

完成したモデルを検証する方法として、世界のほかのモデルと性能を比較する国際モデル比較研究にも参加しました。モデルの計算プロセスおよび計算結果を一つずつ比較した結果、G-CIEMSモデルの計算は世界のモデルと同等であることが示さ

■ 図11 ダイオキシン大気濃度のモデル予測値と観測値の比較



れています。

### 新たな課題に向けて

新たな技術的課題として、イオン化合物にモデルを拡張しようとしています。これまでのモデルはイオン解離しない有機物<sup>2)</sup>を対象としており、モデルの中でイオン平衡は考慮されていません。しかし、近年関心が持たれるPPCPs<sup>3)</sup>や農薬などにはイオン性物質(イオンを解離する物質)が多数存在します。また、緊急の重要課題として放射性物質への応用も進めており、それらに必要なイオン性物質へのモデル拡張の開発を新たな課題として進めています。

このほか、一般に公開しているユーザーインターフェースの改良、別に進めている排出推定モデルとの連携など継続的な改良や開発を進めています。

1) 単位面積当たり流出する河川水量。ここでは流域ごとに観測された河川流量と面積から判断して設定している。  
 2) 水中に溶けた際にイオンとなる物質ではモデルの中にイオン平衡の式を取り入れる必要があるが、G-CIEMSを含めほとんどの多媒体モデルではこれまで考慮されていなかった。  
 3) Pharmaceuticals and Personal Care Productsの略。医薬品や家庭用品に含まれる化学物質を総称する。

# GIS 環境多媒体モデルに関する国内外の研究と応用の現状



## 環境モデルと リスク評価をめぐって

環境モデルによって推定された環境濃度から、人や生物への曝露量を求め、リスク評価に応用する、という一つの課題があります。図12は大気中のベンゼンの空間濃度の分布と、その濃度を示す領域に居住する人口、および、空間分布を持たないモデル (Genericモデルと呼ばれます) によって得られた推定値を示します。大気中のベンゼン濃度はおよそ5桁にわたる分布を持つこと、より高濃度の領域に多数の人々が居住している様子などがわかります。

一方、たとえば現在の日本では、食品は広範囲に流通しており、生産地と消費地が近傍である保証はありません。現在、環境濃度の空間分布のモデル予測の結果を流通経路と組み合わせるような研究は不十分ですが、今後はそこまで求められるかもしれません。このようにモデルの結果を利用すると言っても、モデルによる予測結果と利用する目的からくる諸要因とを総合的に考察する必要があり、その考え方をOECD (経済協力開発機構) のガイダンスの一つとしてまとめたものが出版されています。

## 世界では

化学物質の環境動態モデルには大気、水、海洋、土壌、地下

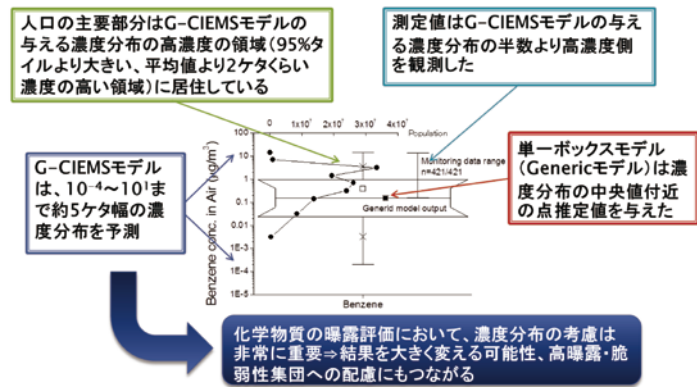
水などにそれぞれ多数のモデルがあり、さまざまな応用が試みられています。化学物質の管理に関連するモデルとしては、欧州のEUSESが良く知られています。EUSESはSimpleBOXという環境多媒体モデルと、排出シナリオや下水道モデル、曝露シナリオなどを組み合わせたシステムになっています。SimpleBOXは欧州全体を一つまたは少数の「BOX」として単純化した多媒体の環境モデルで、カナダのMackay教授が開発したLevel IIIモデルと並んで広く応用されています。米国では環境保護庁が、たとえばOPPT (Office of Pollution Prevention and Toxics) において多数のモデルを開発し、また、カリフォルニア州でMcKone氏が開発したCalTOXというモデルは環境多媒体モデルの草分けの一つとして知られています。

これらのモデルはいずれも計算対象領域を一つ (あるいはごく少数) に分割した1ボックス型 (Generic型) のモデルで、空間分解能はありません。G-CIEMSのように河道構造による空間分解を行ったモデルとしてはGREAT-ERという河川モデルがあります。地理情報に基づくGeo-referenced (空間参照型) モデルの草分けと言えると思います。

このように化学物質のモデルとしては欧米では1ボックス型の環境多媒体モデルが広く利用されていますが、空間分解多媒体モデルという事例は欧米にもほとんど存在しないものです。

## 日本では

日本国内の化学物質管理は、公害規制の当初から環境濃度の実測 (環境モニタリング) を基礎として行われてきました。これは欧米と異なる日本の特徴と言えますが、



■ 図12 G-CIEMSモデルで予測した日本国内におけるベンゼンの大気中濃度の統計分布

結果は箱ひげ図という統計グラフで示しており、樽型の上面からすべての推定値を順に並べたうち大きい方から95%、75%、50%、25%、5%番目の値を示し、×が99%と1%、線の上下が最大値と最小値を表している。折れ線グラフは、縦軸の示す濃度領域に居住している人口を示す。



化学物質の環境モデルには、モデルの技術、詳細度、また目的や応用の方法によって異なるさまざまなものがあります。ここでは、私たちの G-CIEMS モデルと関係のある国内外のモデル、また、化学物質のリスク評価に関する応用の例を紹介します。



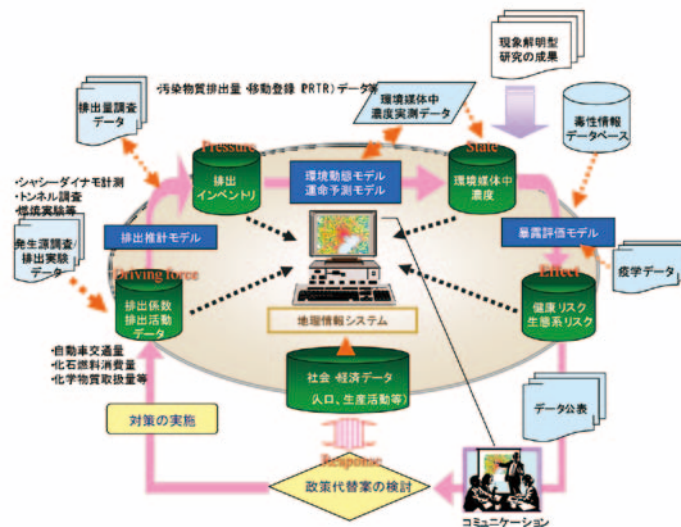
■ 図 13 化学物質等のリスク管理のための統合情報システムの構想概念

「輸送・循環システムに係る環境負荷の定量化と環境影響の総合評価手法に関する研究」(平成 8～10 年度)で示された構想だが、現代風には一種のビッグデータ処理に近い発想であったかもしれない。G-CIEMS モデルからリスク管理戦略研究までをあわせて、より統合的なリスク管理を可能にする枠組みとして今後考えていきたい。

欧米より劣るという意味ではなく、むしろ欧米各国も日本のような環境モニタリング体制の整備を常に目指しているといえます。しかしながら、近年は環境モデルの重要性も認識されてきました。日本国内の環境多媒体モデルとしては、環境モニタリング設計の参考とするために開発された NMSEM モデルが知られており、また私たちの G-CIEMS モデルとほぼ同時期に産業技術総合研究所によって大気、河川のモデルが開発されています。日本国内には欧米にはない詳細な環境モニタリング体制が存在することから、日本国内でのモデルは、たとえば G-CIEMS のような詳細な空間分解能を有することが、モデルによる推定と環境モニタリングによる推定を整合的に理解するために有効であるように思います。

## 国立環境研究所では

国立環境研究所では、ここで紹介した G-CIEMS モデルのほか、EUSES を日本化した MuSEM モデルや、地球規模の動態モデル FATE、また最近では G-CIEMS モデルの放射性物質への応用などを開発してきました。ここで G-CIEMS モデルの開発は、過去の大気モデルの研究や社会環境研究として行われていた交通・地理情報の研究など国立環境研究所での一見、化学物質モデルとは異なる研究蓄積を基礎として作られたものです。モデルによって環境中の化学物質の動態を完全に再現することは、まず当分の間不可能な課題です。したがって、何を詳細に扱い、何を簡略化してモデル化していくかをその応用との関連で考える必要があります。G-CIEMS モデルは、当初からその



応用のイメージを多分野の経験蓄積を受け止めることによって内包していたことが実は潜在的な特徴のように思います。

私たちは現在、G-CIEMS モデル開発の過程で得た一つのイメージ—空間分布を持つ曝露—を拡張し、時間を含む時空間分布から、さらに場や生物種の特異性までを考える枠組みの構築に取り組んでいます。化学物質のリスクから市民と環境の安全を担保する管理の枠組みを示すことは国立環境研究所の重要な課題であると思います。化学物質等のリスク管理の戦略のあり方について研究を進めて G-CIEMS モデルの開発や応用の成果を発展させていきたいと考えています。このような化学物質の多様な特性や影響に対処して効果的なリスク管理をするためには、化学物質の環境中の動態や曝露を予測するだけでなく、人や生物などへの影響などさまざまなリスク要因やリスクに関わる社会的な特性などを統合して、リスク管理のあり方を考えていくことが重要です。

図 13 に示した統合情報システムは、このようなリスクにかかわる情報を統一的に集約しようという非常に先駆的な提案であったと思います。これまで、環境動態モデルを中心に研究を進めてきましたが、化学物質の排出・影響予測など研究分野が広がるにしたがって、研究内容が統合情報システムに近づいてきました。今後、統合情報システム構想の実現を目指して、さらに研究を発展させていきたいと思っています。

# 「国立環境研究所における 影響曝露モデルに関する研究」のあゆみ

国立環境研究所では、環境リスクに関するさまざまな研究を行ってきました。  
ここでは、その中から、環境曝露モデルに関するものについて、そのあゆみを紹介します。



## 輸送・循環システムに係る環境負荷の定量化と 環境影響の総合評価手法に関する研究 (1996～1998年度)

自動車交通および廃棄物処理等の事例研究により、環境負荷およびこれによる環境影響を総合的に評価する手法を開発することを目的として実施された研究であり、この中で、人間活動や排出量、健康へのリスク分布などの地理的データを総合的な情報システム上に構築するという基本的なアイデアが提案されました。



## 内分泌かく乱物質とダイオキシンの リスク管理と評価研究プロジェクト (2001～2005年度)

プロジェクトのサブ課題としてリスク管理と評価のための統合情報システムに関する研究を行い、この中で河道構造の研究やモデルの基礎開発の課題を進めました。



## 化学物質曝露に関する複合的要因の総合解析による 曝露評価プロジェクト (2006～2011年度)

プロジェクト研究の中で、モデル開発を進めるとともに、農業モデルの開発とフィールド観測による検証調査などを行いました。



## リスク管理の戦略的アプローチに関する研究 (2012年度～)

モデル開発の推進とともに、時空間分解データにもとづくリスク管理戦略の確立のための概念的研究を合わせて進めています。

これらの事業、プロジェクト、研究は以下のスタッフ組織によって実施されています（所属は当時、敬称略）

<研究・事業担当者>

国立環境研究所	鈴木規之、櫻井健郎、今泉圭隆、河合徹、村澤香織、南齋規介、小林淳、松橋啓介、森口祐一、田邊潔、白石寛明、中杉修身、森田昌敏、白石不二雄、中島大介、林岳彦、Solovieva Elena
グダンスク大学（ポーランド）	Tomasz Puzyn, Karolina Jagiełło, Anita Sosnowska, Katarzyna Odziomek, Agnieszka Gajewicz
徳島大学	山本裕史
新潟薬科大学	川田邦明
北京師範大学（中国）	曹紅斌



## ● 過去の環境儀から ●

これまでの環境儀から、環境汚染物質の動態に関連するものを紹介します。

### No.49 東日本大震災 — 環境研究者はいかに取り組むか

東日本大震災後の国立環境研究所の災害と環境に関する研究を中心とした活動について紹介しています。

### 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

光化学オキシダント (Ox) が増加しているのに、国内の窒素酸化物 (NOx) と揮発性有機化合物 (VOC) は減少しています。なぜ原因物質が減少しているのに光化学 Ox 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 Ox が増加しているのか。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.19 地最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」

スーパーコンピュータを用いて、地球全体の大気・海洋の変化を計算する「気候モデル」は、最新鋭の気候変化の予測手段として脚光を浴びる存在です。未来を予見する研究プロジェクトの動向を紹介しています。

### No.14 マテリアルフロー分析 — モノの流れから循環型社会・経済を考える

マテリアルフロー分析の研究の歩みを紹介するとともに、循環型社会への転換に関わる諸施策の立案や実施を支援することをめざす「産業連関表と連動したマテリアルフロー分析手法の確立」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

光化学大気汚染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。平成 10 ~ 12 年にかけて行われた特別研究「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」を取り上げ、その中でも VOC 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.50

—国立環境研究所の研究情報誌—

2013年10月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 田中嘉成、鈴木規之、稲葉一穂、小林弥生、近藤美則、滝村 朗)

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) // 企画部広報室 029 (850) 2310

編集協力 有限会社サイテック・コミュニケーションズ

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-14-3 イルサ 202

無断転載を禁じます

リサイクル適性の表示：紙へリサイクル可

本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料「Aランク」のみを用いて作製しています。

## 「環境儀」既刊の紹介

<b>No.4</b> 2002年 4月	熱帯林—持続可能な森林管理をめざして	<b>No.27</b> 2008年 1月	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響
<b>No.5</b> 2002年 7月	VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染	<b>No.28</b> 2008年 4月	森の息づかいを測る—森林生態系のCO <sub>2</sub> フラックス観測研究
<b>No.6</b> 2002年 10月	海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO <sub>2</sub> 吸収に関する研究	<b>No.29</b> 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
<b>No.7</b> 2003年 1月	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	<b>No.30</b> 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
<b>No.8</b> 2003年 4月	黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	<b>No.31</b> 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
<b>No.9</b> 2003年 7月	湖沼のエコシステム—持続可能な利用と保全をめざして	<b>No.32</b> 2009年 4月	熱中症の原因を探る—救急搬送データから見るその実態と将来予測
<b>No.10</b> 2003年 10月	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	<b>No.33</b> 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
<b>No.11</b> 2004年 1月	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	<b>No.34</b> 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
<b>No.12</b> 2004年 4月	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	<b>No.35</b> 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～
<b>No.13</b> 2004年 7月	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	<b>No.36</b> 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
<b>No.14</b> 2004年 10月	マテリアルフロー分析—モノの流れから循環型社会・経済を考える	<b>No.37</b> 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
<b>No.15</b> 2005年 1月	干潟の生態系—その機能評価と類型化	<b>No.38</b> 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
<b>No.16</b> 2005年 4月	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	<b>No.39</b> 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
<b>No.17</b> 2005年 7月	有機スズと生殖異常—海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響	<b>No.40</b> 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
<b>No.18</b> 2005年 10月	外来生物による生物多様性への影響を探る	<b>No.41</b> 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
<b>No.19</b> 2006年 1月	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	<b>No.42</b> 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
<b>No.20</b> 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	<b>No.43</b> 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
<b>No.21</b> 2006年 7月	中国の都市大気汚染と健康影響	<b>No.44</b> 2012年 4月	試験管内生命で環境汚染を視る—環境毒性のin vitro バイオアッセイ
<b>No.22</b> 2006年 10月	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	<b>No.45</b> 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
<b>No.23</b> 2007年 1月	地球規模の海洋汚染—観測と実態	<b>No.46</b> 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
<b>No.24</b> 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	<b>No.47</b> 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
<b>No.25</b> 2007年 7月	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	<b>No.48</b> 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パトシリレー
<b>No.26</b> 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	<b>No.49</b> 2013年 7月	東日本大震災—環境研究者はいかに取り組むか

●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O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。