

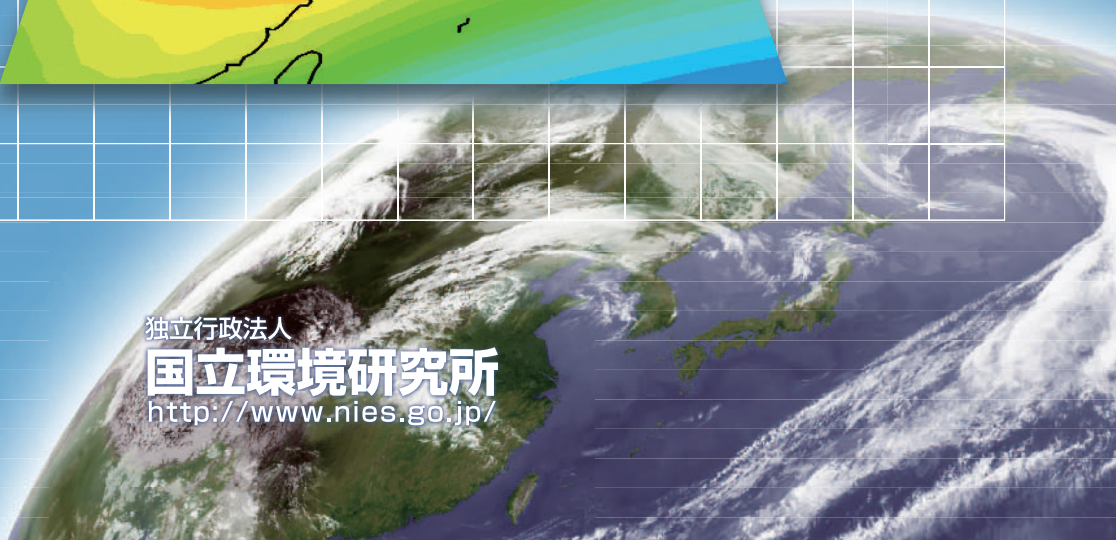
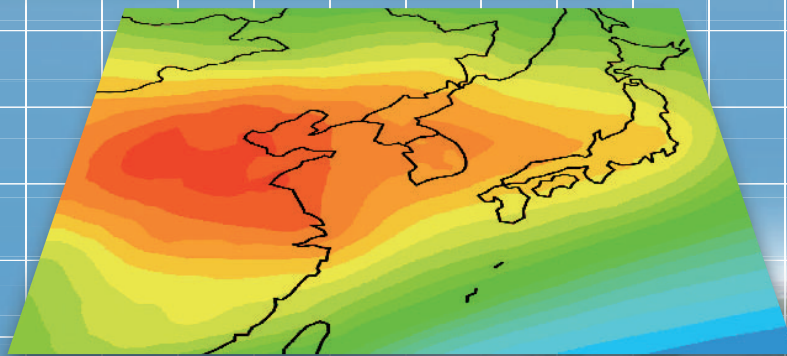
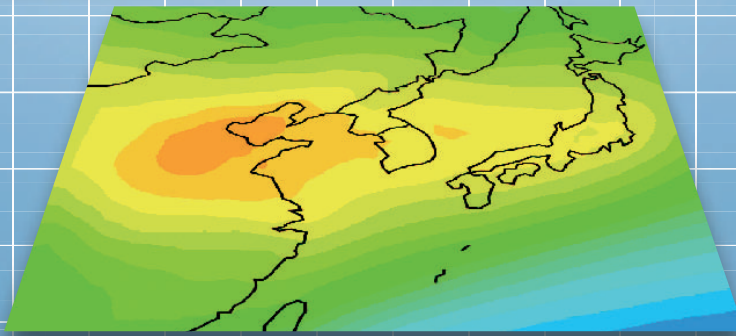
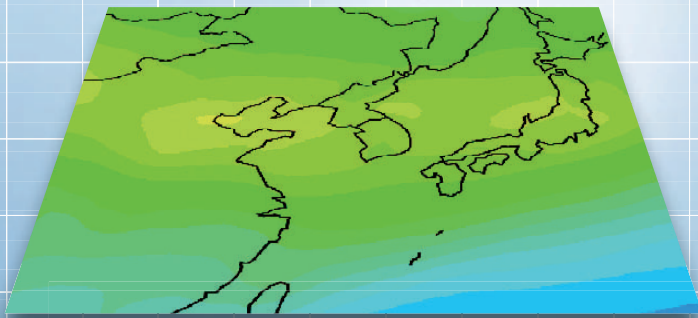


# 環境儀

NO. 33 JULY 2009

国立環境研究所の研究情報誌

## 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

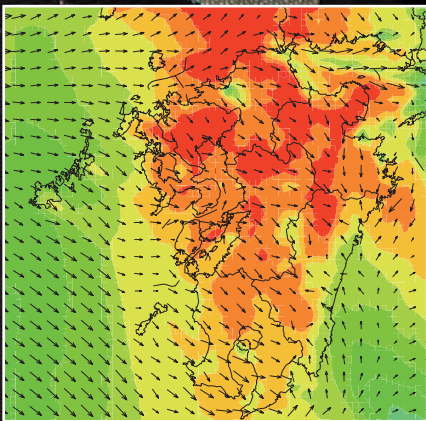
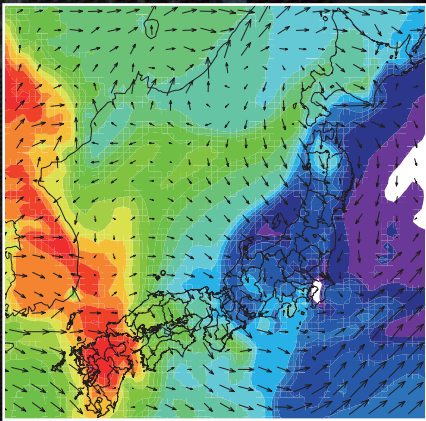
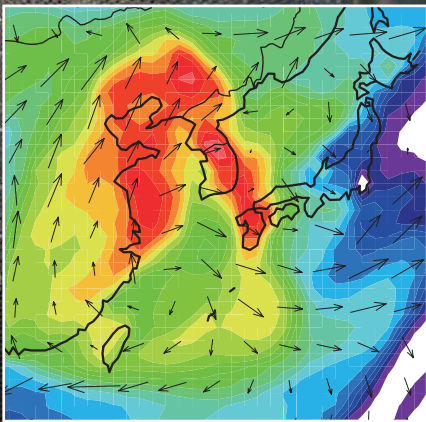
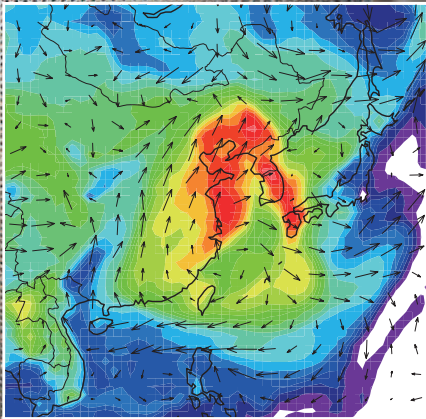
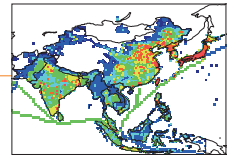




解析方法

- 観測状況
  - 水素原子線測定システム
  - 遠方流況観測 (NOAA, HYDRIT)
- Da 濃度分析
- Da/SF6 濃度観測
- Da/SO2 濃度観測
  - Da/SF6, SO2
  - 大気中の硫酸塩粒子 (大気中の硫酸)
  - 硫酸イオン濃度 (硫酸塩粒子濃度)

国境を越えて移動する大気汚染物質。  
コンピュータ・シミュレーション、排出インベントリ、観測データ解析  
によって、その実態とメカニズムを解明し、将来を予測しています。



九州地方で光化学オキシダント注意報が発令された2009年5月8日15時の光化学オゾン濃度の計算結果。7ページ参照。

“光化学オキシダント(Ox)”が再び大きな問題になっています。1980年代後半から全国の測定局でOx濃度が上昇し、その年平均濃度は、1985～2004年度の20年間に、約0.25ppb/年(1%/年)の割合で増えています。さらに、光化学オキシダント注意報を発令した都道府県は徐々に増加し、2007年には28都府県に達して観測史上最大となり、汚染地域が拡大しています。また、離島や山岳のような清浄地域でもオゾン(光化学Oxの大部分はオゾンです)が増加しています。

地表近くのオゾンは、工場や自動車などから排出された窒素酸化物(NOx)や揮発性有機化合物(VOC)が大気中で光化学反応を起こすことによって生成されますが、発生源規制等によって、国内のNOxとVOCは年々減っています。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、汚染が広がっているのか。これらの原因の1つとして、アジア大陸からの越境汚染の影響が考えられます。そこで、国立環境研究所は、アジア地域における大気汚染物質の排出インベントリを作成し、観測データも活用して、東アジア地域における広域・越境大気汚染のシミュレーション研究を進めています。

今号では、これまでの研究で明らかになった、東アジアにおけるNOxなどの排出量が増加し、それによって生成されるオゾンが大陸風下の日本に運ばれ、日本の地上オゾン濃度が上昇している様子を紹介합니다。

## C O N T E N T S



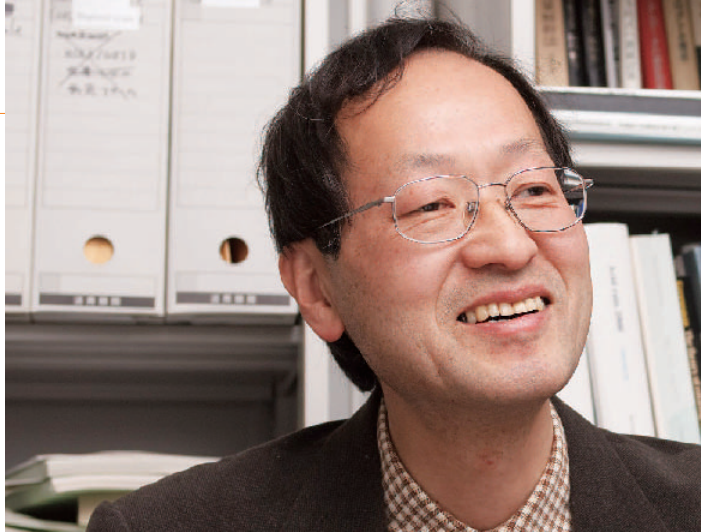
### 越境大気汚染の日本への影響 光化学オキシダント増加の謎

- Interview  
研究者に聞く!!.....p4～9
- Summary  
越境大気汚染の日本への影響 .....p10～11
- 研究をめぐって  
越境大気汚染に関する研究動向 .....p12～13
- 越境大気汚染研究のあゆみ .....p14

- 本研究に関する成果は以下のURLで紹介されています。  
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2007/20070521/20070521.html>  
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2007/20071010/20071010.html>
- 表紙：3枚の図は東アジアにおける地表面近くのオゾン濃度を示す。上は1980年、真ん中は2000年、下は2007年の計算結果。11ページ参照。下の地球画像は2007年5月8日15時の気象衛星「ひまわり」による東アジア域の赤外画像。画像提供：気象庁。6～7ページ参照。

# Interview 研究者に聞く!!

光化学オキシダントが再び増加しています。光化学オキシダントの原因物質が日本では減少していることや、離島や山岳地域でも濃度が上昇していることから、大陸からの越境汚染によって光化学オキシダントの増加が引き起こされている可能性が強まっています。大気汚染研究に取り組んでおられる大原利真さんに、東アジアからの越境汚染の構図、シミュレーション解析などについてうかがいました。



大原利真 / アジア自然共生研究グループ広域大気モデリング研究室長

## 日本で光化学オキシダントが再び増えている

### 1：大気汚染の研究は学生時代から

**Q：**まず、大原先生ご自身の研究経歴をうかがいたのですが、国立環境研究所（国環研）にいらっしやる前は何をなさっていましたか。

**大原：**静岡大学の工学部で5年間ほど教壇に立っていました。そこでやっていたのが、大気汚染のデータ解析とそのシミュレーションです。その前は財団法人計量計画研究所におり、そこでも同じように大気汚染についての仕事をしていました。

**Q：**学生の頃から大気汚染が専門だったのですか。

**大原：**そうです。大学入学が1972年ですが、その前年には環境庁ができ、学部3年の時には国立公害研究所ができました。全国でさまざまな公害問題が発生し、公害訴訟が起こっていた時代です。そのような中で、「公害解決に貢献したい」と一念発起して衛生工学科に進み、卒論で大気汚染にかかわる気象について研究しました。光化学オキシダントによる大気汚染は、

その頃が一番ひどい時代で、東京の高校で光化学オキシダントによると思われる集団被害（いわゆる立正高校事件）が発生したのが1970年です。そのあと規制の強化によってあまり発生しなくなり、話題にならなくなった。ところが最近また問題になっている。時代によって状況が変化していますね。

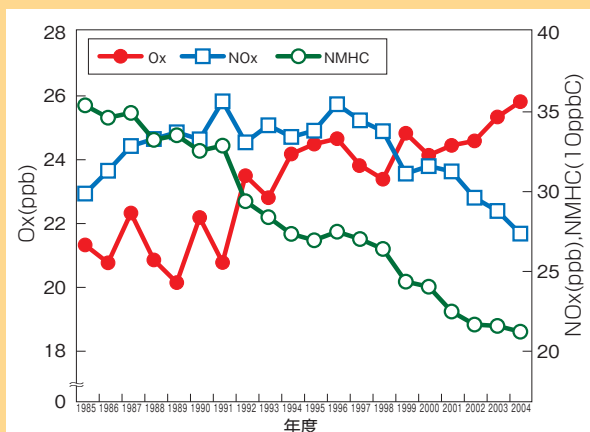
**Q：**静岡大学にいらっしやる時から光化学オキシダントを研究されていたのですか。

**大原：**そうです。日本で光化学オキシダント濃度が全国的に上昇しているという論文を書いたのが2003年だったと思います。それがきっかけです。

**Q：**国環研での研究はどのように進めていますか。

**大原：**国環研では15の重要な研究プロジェクトが走っていますが、その1つに「アジアの大気環境評価手法の開発」というプロジェクトがあり、その中で仕事をしています。

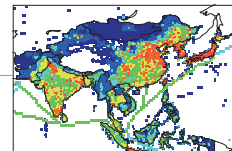
**Q：**アジア地域を扱うとなると、海外の研究者とも一緒に仕事をすることになるとはと思いますが、ご苦労され



■ 図1 全国の大気汚染測定局における年平均濃度の経年変化

### 光化学オキシダント、窒素酸化物、非メタン炭化水素の年平均濃度の経年変化

全国の大気汚染測定局で測定された光化学オキシダント(Ox)、窒素酸化物(NOx)、非メタン炭化水素(NMHC)の年平均濃度の経年変化を示します。光化学オキシダントの濃度は1985～2004年度の20年間に約0.25ppb/年(1%/年)の割合で増加しています。しかしながら、その原因物質である窒素酸化物と非メタン炭化水素の濃度は、発生源規制等により経年的に減少しています。原因物質が減っているのに、なぜ光化学オキシダントは増加しているのか？ その原因はさまざま考えられますが、大気汚染物質の排出量が急増しているアジア大陸からの越境汚染が大きな要因になっていると考えられます。



ることはないでしょうか。

**大原：**一緒に研究して論文にするまでにはかなり時間がかかります。データがとれないとか、問題意識がかみ合わないといった問題もあります。おたがいに客観的な事実に基づいて物事を考えていますが、いろいろな制約がありますので、思っていることをそのまま論文にして発表できるかというところというわけでもない。そのあたりがとても難しいところですね。

## 2：日本における光化学オキシダントの上昇と越境汚染の影響

**Q：**ところで、日本で光化学オキシダントが増えているようですが、どういう状況でしょうか。

**大原：**全国の地方自治体や環境省が大気汚染の常時測定をしているのですが、その結果を解析すると、光化学スモッグの原因である光化学オキシダント(Ox)濃度の年平均値は全国各地で上昇している傾向が見られます。光化学オキシダントのほとんどはオゾンですが、その原因物質は主に2つあります。1つは窒素酸化物(NOx)、もう1つは揮発性有機化合物(VOC)です。大気中のNOxとVOCは太陽光線を受け光化学反応を起こしてオゾンを発生します。NOxだけが

存在する場合には生成されるオゾンは少ないのですが、VOCが加わると一種の触媒として作用するため高濃度のオゾンが生成されます。NOxとVOCはどちらも規制が強化され、近年は減少傾向にあります(図1)。

**Q：**それらの物質はどんなところから排出されるのでしょうか。

**大原：**NOxは、固定発生源といまして火力発電所や工場などからが半分、残りの半分は移動発生源といっていますが、自動車や船舶です。人間活動で発生するVOCは、塗装・印刷過程や石油類を使った時に蒸発する割合が半分以上で、残りは燃料燃焼によるものです。

**Q：**これらの物質は、日本ではいつ頃から規制されてきたのでしょうか。

**大原：**規制が本格的に始まったのは1970年代です。大気汚染が非常にひどい状態であったために、1968年に大気汚染防止法が制定され、本格的な対策が始まりました。

**Q：**原因物質が減っているのに、光化学オキシダントは増えているわけですね。

**大原：**一番特徴的なのは、光化学オキシダント注意報が発令される都府県の数が増えてきていることです。これは、汚染の広域化を意味しています。一般的に、光化学オキシダント濃度が120ppbを超えると注意報が出されます。2007年5月、高濃度の光化学オキシダントが発生することの少なかった九州の広い範囲で光化学オキシダント注意報が発令され、さらに翌日になると日本全国に広がったことから、大きな社会問題になりました。

**Q：**日本では原因になる物質は減っているけれども、汚染のほうは進んでいる。そこで、光化学オキシダントがよそから来ているのではないかという推測が成り

## オゾンとVOC

### オゾン

オゾンは、3個の酸素原子からなるガス状物質で、化学式では「O<sub>3</sub>」とあらわされる。一方、「オキシダント」は大気中の酸化性物質の総称で、これらから二酸化窒素を除いた物質が「光化学オキシダント」とよばれる。光化学オキシダントの主要成分はオゾンであり、他にPAN(パーオキシアセチルナイトレート)などが含まれる。日本では光化学オキシダントによって環境基準が定められており、全国の大気汚染測定局でもオゾンでなく光化学オキシダントとして測定されている。

### VOC

VOCはさまざまな有機成分の総称であり、成分によって光化学反応性が非常に異なる。たとえば、メタンは大量に存在するが反応性は非常に低いため、オゾン生成を考える場合には、メタンを除いたVOC(非メタンVOC:NMVOC)として扱うことが多い。ここでは、NMVOCを簡単にVOCとあらわした。一方、炭化水素(HC)は炭素原子と水素原子の化合物であり、アルデヒドなどの含酸素化合物は含まないことを除けば、VOCに近い混合物と考えることができる。日本の大気汚染測定局では、非メタン炭化水素(NMHC)が測定されている。

立つわけですね。

**大原：**光化学オキシダントは全国的に増えているので、少なくとも日本全体にかかわるような現象でないとは説明がつかない。また、オゾンは、アジアや北半球の広い範囲でも増加していますので、多かれ少なかれ、国外から影響を受けていると考えるのが自然です。それから、原因物質が減っているのにそれからできる物質が増えているというのは、国内だけを見てもなかなか説明できない。この点からも、よそからの影響を考えざるを得ません。さらに、日本海にある離島や中部山岳などの空気がきれいなところでも、オゾン濃度が増えていることも、国外からの影響の可能性が高いことを示唆していると思います。

**Q：**いま中国やインドがすごい勢いで経済発展をしています。それとの関連性についてはいかがですか。

**大原：**特に日本への影響が大きいと考えられるのは中国です。インドでも大気汚染物質の排出量は増えていますが、日本への影響は大きくはありません。中国の大気汚染物質の排出量はものすごく増えています。私たちの推計結果によると、中国から出る大気汚染物質は、1980年から2003年までの約25年間で、NOxは約4倍に増えています。VOCも2～3倍増えていると思われます。

**Q：**原因物質の増加傾向を衛星観測データで検証しているということですが。

**大原：**NOxの成分である二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)を人工衛星で観測した結果と、私達が推計したNOx排出量の結果は、どちらも同じように急激に増加しています。

**Q：**そういうデータからも越境汚染の推測が成り立つわけですね。

**大原：**日本全国で光化学オキシダントがじわじわと増えていることに関しては、非常にその可能性が高いわけです。ただ、東京など大都市周辺では夏季に、高



当時のオゾン濃度のデータから、彦岐島では4月下旬に越境光化学オゾンの影響があった。オゾン影響の指標となるタバコの葉の遺伝子の発現から、オゾン被害であると推定されている。

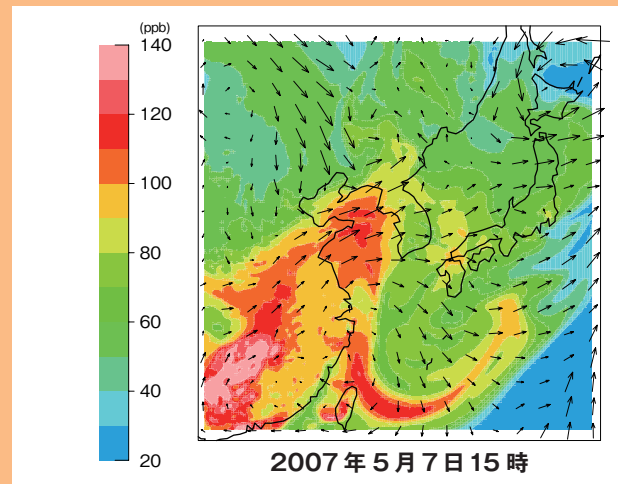
オゾンによるタバコの葉の被害。長崎県彦岐島で2008年5月1日

濃度の光化学オキシダントが発生しやすくなっていますが、これについては越境大気汚染だけで説明がつくとは考えておりません。

### 3：アジア大陸からの越境汚染は春に起こりやすい

**Q：**2007年に九州で発生した光化学オキシダントの高濃度現象のシミュレーション解析についてご説明ください。

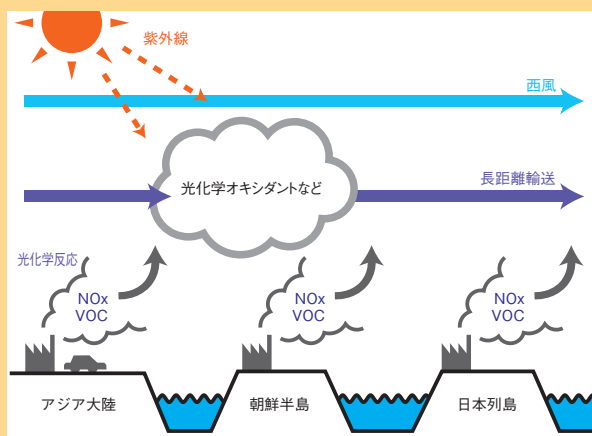
**大原：**5月7日に中国の沿岸で高濃度のオゾンが発生しました。そのオゾンが、東シナ海にあった移動性



■ 図3 シミュレーションモデルで計算されたオゾン濃度（高度

## 2007年5月に発生した光化学オキシダントの高濃度現象

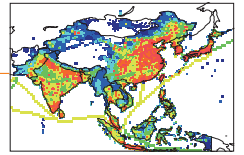
大気汚染のシミュレーションモデルを用いて、2007年5月に日本の広い地域で発生した光化学オキシダントの高濃度現象の様子を再現しました(図3)。その結果、東シナ海に位置する高気圧の北側の西風で、中国東岸から流れ出した汚染気塊が、朝鮮半島南部を経て、九州北部から東日本の広い範囲に高濃度のオゾン域を形成する様子が計算されました。このシミュレーション結果は、全国で観測された光化学オキシダント濃度分布の特徴とよく一致します(図4)。なお、図3と同様なオゾン濃度分布のアニメーションは、<http://www.nies.go.jp/pmdep/ctype/result.html>からダウンロードできます。



■ 図2 光化学オキシダントの越境汚染の概念図



に撮影。提供：河野智謙（北九州市立大学）。



している限りでは、2006年以降は毎年、4月から5月に同様な現象が発生しています。今年（2009年）も5月8日～12日に5日間連続で各地で光化学オキシダント注意報が発令されましたが、この高濃度現象も越境汚染の影響が大きかったと考えています。5月8日～9日には、鹿児島県で初めて注意報が発令されるなど、九州地方において広域的な光化学オキシダント濃度の上昇が見られましたが、気象条件や汚染のパターンがちょうど2年前の同じ日の現象と似ていて驚いていたところです。

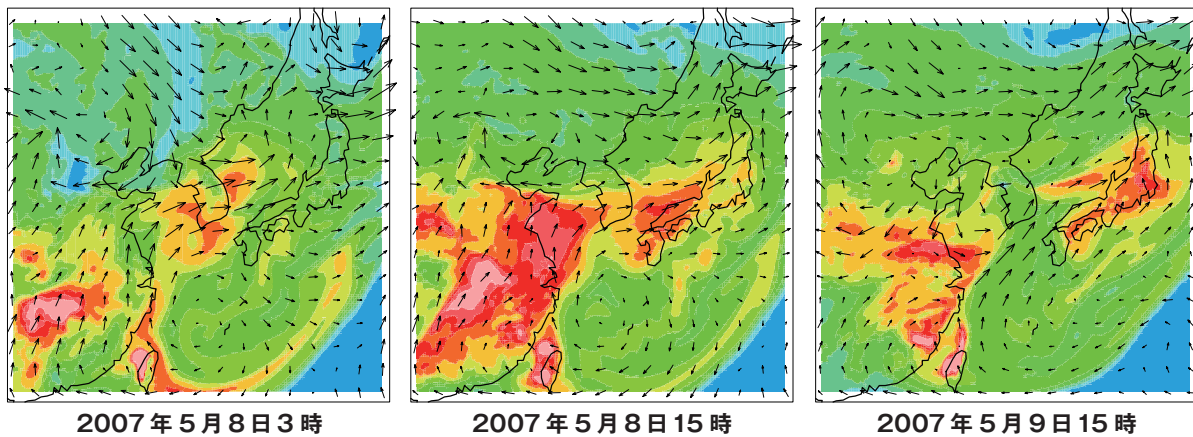
**Q：**季節的な要因はあるのでしょうか。

**大原：**春や夏は、気温が高く太陽の光も強いので、光化学反応が活発になり、たくさんオゾンが発生します。もう1つの重要なポイントは風の流れです。春は大陸から日本に風が吹きやすい。一方、夏は大気の流れが南よりになり、オゾン濃度の低い海洋性気団の影響が強くなりますので、日本のオゾン濃度が平均的に下がります。秋は春と同じような風が吹きますが、太陽の光は弱いので、オゾンの濃度は春ほどは上がりません。冬は大陸から風が吹いてきますが、太陽の光が

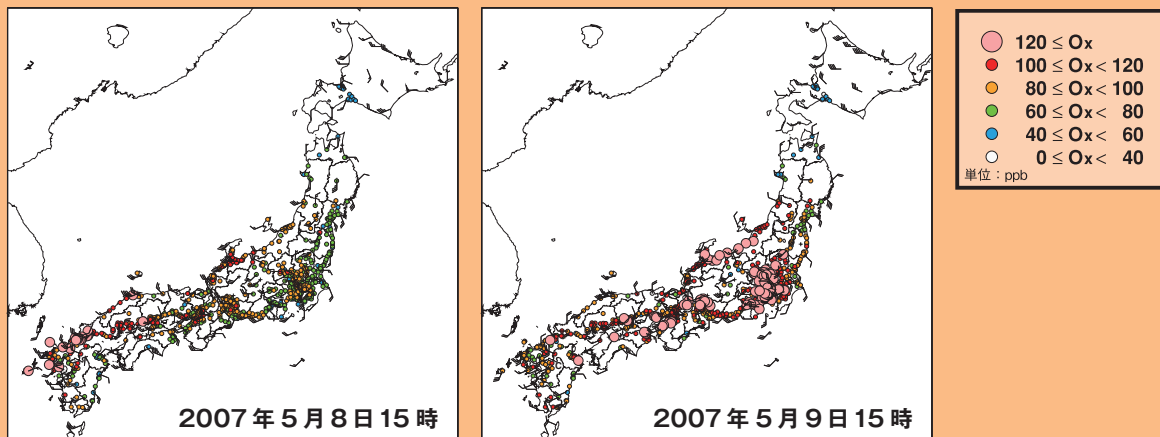
高気圧の北側の西風に乗って、日本列島の方に運ばれてきました。8日に九州地方で高濃度オゾンが発生し、さらに9日にはそれが広域化して、北日本を除く日本全体でオゾン濃度が高くなった。そういったシミュレーション結果が観測結果とよく合っていました。

**Q：**日本で光化学オキシダントが広域的に高くなる場合、このようなパターンが多いのでしょうか。

**大原：**それはケース・バイ・ケースだと思いますが、春に移動性高気圧が東シナ海にあるケースでは、こういうパターンになりやすいと考えられます。私が把握



500m以下の平均)。図中の矢印は、地上風の強さと方向を示す。



■ 図4 全国の大気汚染測定局で測定された光化学オキシダント濃度（速報値）。図中の矢羽根は、地上風の強さと方向を示す。

非常に弱く気温も低いので、オゾン濃度は高くなりません。

**Q**：高濃度のオゾンは春に発生しやすいのですか。

**大原**：越境汚染という意味では春です。ただし大都市周辺では、その地域でつくられるオゾンの影響が大きいため、光化学反応が活発になる夏に光化学オキシダント注意報が多く発令されます。

**Q**：地表近くのオゾンの影響としてはどんなものがあるのでしょうか。

**大原**：大きな影響は3つあります。1つは人間の健康への影響です。2つ目は森林や農作物に対する影響です(6～7ページ写真参照)。たとえば中国の米の収穫量がオゾンによって20～30%減っているという研究結果があります。3つ目は二酸化炭素やメタンなどととも、地球温暖化の原因物質になるということです。

**Q**：国環研は地方の環境研究所との共同研究に積極的に取り組んでおり、光化学オキシダントについても研究が進んでいます。そのねらいはどこにあるのでしょうか。

**大原**：ポイントは2つあると思います。まず、国環研だけで研究していると、どうしても現地のことわかりません。環境問題というのは、問題が起きているところで研究すると、状況がわかり理解が進むことがよくあります。そういった意味では、地元環境研究所と一緒に仕事をするのは大事なことです。2つ目は、各地の大気汚染測定データが必要だということです。そのデータを使って、日本全国で解析することで新たな知見が生まれてくる可能性があります。現在、光化学オキシダント以外に、もう1つの重要な大気汚染である微小粒子の研究も同時に進めています。微小粒子は、非常に小さな大気中の粒子で、健康に与える影響が懸念されるため、粒径2.5 μm以下の微小粒子(PM2.5)

2009年5月8日、佐賀県では唐津市などで光化学スモッグ注意報が発

に対する環境基準の検討を環境省が始めていますが、この汚染実態はまだよくわかっていません。

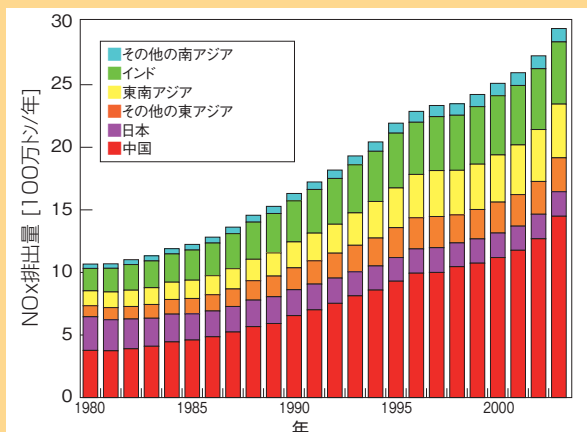
#### 4：アジアの大気汚染は全地球の環境問題

**Q**：地球環境全体を考えた場合、アジアの汚染問題は非常に大きなテーマですね。

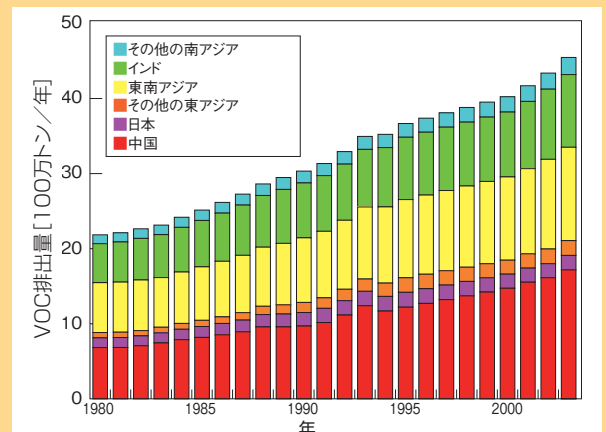
**大原**：衛星の観測結果でも示されていますが、オゾンの原因物質であるNOxについて見てみると、世界で発生が多い地域はヨーロッパと北アメリカの東海岸、それと東アジアです。そのうちヨーロッパでは排出量が経年的に減っており、北アメリカの排出量もほぼ横ばいか減っています。しかし、東アジアだけがダントツに増えているのです。これからの世界の大気環境を考えると、東アジアでの大気汚染の増加をいかに抑えるかが非常に重要なポイントになっていると思います。

**Q**：アジアから排出されたNOxは世界中に広がっていくものなのでしょうか。

**大原**：NOxとして世界中に広がっていくということではありません。NOx自体は寿命が短いので、すぐになくなってしまいます。ところが、それからできるオゾンは長生きするのです。発生源や地表面の影響が

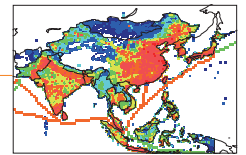


■ 図5 1980年～2003年の地域別NOx排出量の経年変化



■ 図6 1980年～2003年の地域別VOC排出量の経年変化





写真提供：西日本新聞社

令された。唐津城（中央）もかすんでいる。（午後3時半すぎ撮影）

小さい場合には、寿命は1週間から1カ月ぐらいと考えられています。それぐらいの寿命があると、北半球に広がります。したがって、東アジアだけの問題ではなく、地球環境問題としてとらえる必要があります。

**Q：**オゾン以外に、越境してくる汚染物質はあるのでしょうか。

**大原：**寿命の短い大気汚染物質を除き、多くの物質は越境しているといえるでしょう。いま、日本では光化学オキシダント（オゾン）が注目されていますが、世界的には、微小粒子や酸性物質、有害化学物質、重金属などが重要な越境汚染物質と考えられています。現在、わが国で環境基準の導入が検討されているPM2.5は、国外からもやってくるし、自然界でも発生しますので、日本国内の対策を一生懸命やっても減らせる量に限界があると思われます。その意味でも、越境汚染問題を研究し解決する必要があります。

**Q：**今後の研究の方向としてはどのようなことをお考えですか。

**大原：**まだ、科学的にわかっていないことがたくさんあります。たとえば、越境大気汚染といっても、国内の大気汚染に対し、各国からの寄与率がどのくらいあるのか、きちんと評価しなければなりません。そのためには観測も必要ですし、モデル解析も必要です。

同時に排出量の推計精度を上げる必要があると思います。これらの研究手法を3点セットとして研究を進めることが必要です。それともう1つ、科学的知見を得るだけでなく、できるだけすみやかに政策や対策に結びつけなければならないと思っています。

**Q：**中国や韓国の研究者との連携はどうでしょうか。

**大原：**個々の共同研究はやっていますが、全体的にはまだ弱いのが現状です。難しさはありますが、共同研究を強めていく必要があると思います。

**Q：**最後に、今後の抱負をうかがいたいと思います。

**大原：**先ほども申しましたが、越境汚染に関しては、まだ科学的にわかっていないことが多々ありますので、そういった点を明らかにしていきたいと思っています。汚染の寄与率を正確に評価したり、今後の対策を検討しようとする場合に必要なことの1つは、大気汚染の排出量が最近どのように変化しているかを知ることです。アジアの各国は急速な経済成長をしてきましたが、世界的な金融危機の影響で、その成長が鈍っています。一方、各国では、最近、いろいろな対策が実施されつつあります。こういった複雑な状況の中で、大気汚染の排出量がどうなっているのかを、モデルや衛星データなどを組み合わせて把握したいと思っています。それから、対策に結びつけるために、将来、アジアの大気汚染がどうなりそうかを予測することが大事です。地球温暖化問題との関係で、将来、CO<sub>2</sub>排出量がどうなるのかというシナリオ研究が国際的にたくさん行われています。そうしたシナリオ研究と整合する大気汚染のシナリオを描いて、それをもとにアジアの大気汚染がどうなるのか予測し、温暖化対策との相乗効果があるような対策を提案するといった研究もしたいと思っています。これらの研究については、環境省・地球環境研究総合推進費の戦略課題（S-7）として今年度から始めることになりました。

## 国環研と地方環境研究所との共同研究： 「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」

国環研は地方環境研究所との共同研究制度をつくり、共同研究を積極的に進めています。その中でも本研究は、49の地方環境研究機関と9名の大学等の研究者が参加する大規模な共同研究プロジェクトとして、2007年度から3年間の予定で研究を進めているものです。

光化学オキシダント(Ox)は全国的に増加傾向にあり、春から夏にかけて、多くの自治体において、これまで観測されたことがないような高濃度エピソードが多く報告され、早急に高濃度発生原因を解明し、有効な対策を講じる必要があります。一方、粒子状物質については自動車排ガス規制等により改善傾向にありますが、光化学Oxと同様に大気中で光化学反応によって生成される二次粒子の増加と広域化、微小粒子PM2.5の健康

影響などから、光化学Oxとともに引き続き重要な汚染物質になっています。

そこで本研究は、全国の地方自治体で測定された大気環境時間値データを過去にさかのぼって収集してデータベースとして整備し、このデータを全メンバーが協力して解析することにより、光化学Oxと粒子状物質等の汚染特性や発生原因を、地域と広域の両視点から解明し、その成果を地方自治体や国の大気汚染対策に活用することを目指して研究を進めています。具体的には、ボトムアップ型の研究スタイルを重視して、全メンバーによる基礎解析、メンバーの自主的な発想に基づく応用解析、国環研の広域解析と解析ツール開発を組み合わせることにより、これまでに多くの論文発表や学会発表を行っています。

## 越境大気汚染の

近年、光化学オキシダントの発生が広域化し、光化学オキシダント濃度が全国的に上昇している原因は、アジア地域から流れ込む汚染物質の可能性が高いと考えられます。アジア大陸からの越境汚染を検証するため、大気汚染物質排出量の推計や観測データの解析、コンピュータ・シミュレーションを行っています。

地表近くのオゾン、窒素酸化物（NOx）や揮発性有機化合物（VOC）などが大気中で光化学反応を起こして生成されます。オゾンは、人の健康に悪影響をおよぼしたり、農作物や森林の生育を阻害する物質です。光化学反応により生成される酸化性物質が光化学オキシダント（Ox）であり、その大部分はオゾンです。

2007年5月8日から9日にかけて、九州をはじめ西日本の広い範囲で光化学オキシダント注意報が発令されました。2008年、2009年にも同様な現象が発生しました。光化学オキシダント注意報は、光化学Oxの濃度が120ppbを継続して超えると判断される場合に発令されるものです。その発令地域は徐々に増加し、2007年には28都府県と観測史上最多の数に達しました。このように、光化学Oxの発生が広域化し、また、全国的にその濃度が上昇していることから、光化学Oxに対する社会的な関心が高まっています。

アジア地域では、火力発電所、工場、自動車等による燃料燃焼などによって、NOxやVOCなどの大気汚染物質が大気に放出されています。一方、日本では、光化学Oxを生成する原因物質であるNOxやVOCは発生源規制により、年々減少しています。こうしたことから、日本で光化学Oxが増えているのは、経済成長が著しいアジア地域から汚染物質が流れ込んでくる可能性が高いと考えられます。そこで、アジア大陸

からの越境大気汚染を把握するため、大気汚染物質排出量の推計や観測データの解析、コンピュータ・シミュレーションを行ってきました。今回はこれまでに判明した研究結果についてご紹介します。

### ●光化学 Ox の全国的な増加

日本全国の大気汚染測定局で測定された光化学Oxの平均値は、1985年から2004年度の20年間に約0.25ppb/年（1%/年）の割合で増加しています。さらに国内の清浄地域の観測地点では、2000年から2005年の間に数ppb～10ppb程度の上昇が観測されています。これに対して、その原因物質であるNOxやNMHC（非メタン炭化水素：VOCの類似物質とみることができる）の濃度は、NOxは1991年をピークに年を追って減少し、NMHCは1980年以降、低下しています（図1）。

### ●アジア地域の大気汚染排出量が増加

アジア地域における多種類の汚染物質の排出量を1980～2020年について算定し、アジア域排出インベントリ REAS を開発しました。REASは、アジア各国の燃料消費量や自動車走行量などの統計データ、排出係数（排出原単位）などのデータをもとに、人間活動によって発生する大気汚染物質の排出量を計算したものです。

1980年から2003年までのアジア全体の経年変化をみると、NOx、VOCの排出量とも年々増加を続けています。NOxは、アジア全体では2.8倍、東アジアでは2.6倍に増加しています。なかでも中国は

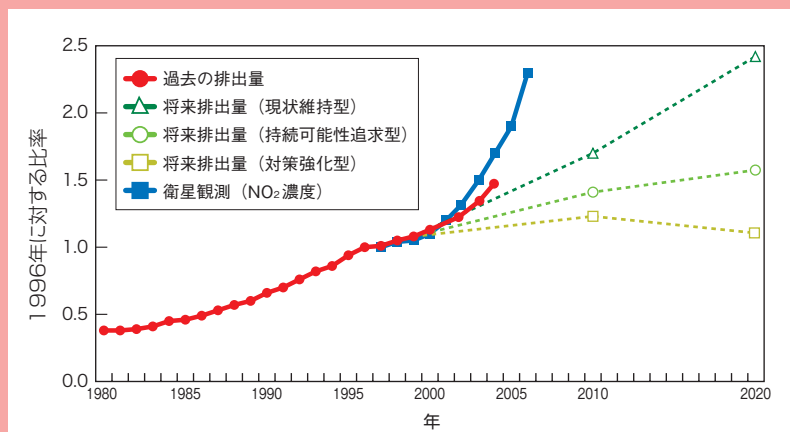
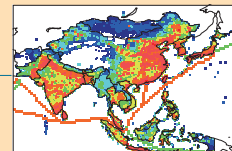


図7 中国におけるNOx排出量の経年変化と将来の動向

赤色で示すように、中国のNOx排出量は急増し、1980年～2003年の間に約4倍になりました。また、図には3種類のシナリオを設定した場合の、2020年までのNOx排出量の予測結果も示します。現状維持型（緑色）と持続可能性追求型（黄緑色）のシナリオでは、2020年のNOx排出量は2000年に比べて増加します。一方、対策強化型（黄色）のシナリオでは、NOx排出量はわずかですが減少します。2000年以降の排出量（赤色）や燃料消費量の増加傾向、衛星観測の結果（青色）などから判断すると、現在のNOx排出量はすでに現状維持型の2020年予測値付近にまで達している可能性があります。



# 日本への影響

3.8倍、平均年率6%と非常に大きくなっています。特に2000年以降は3年間で1.3倍と過去最高となっています(図5)。このような最近の増加傾向は衛星観測データによっても検証されています。VOCは、工場・火力発電所などの燃焼施設と自動車などの輸送機関が主要な発生源で、1980年と2003年との比較では、アジア全体では2.1倍、東アジアでは2.4倍、中国では2.5倍に増えています(図6)。

## ●オゾンの越境汚染

対流圏化学輸送モデル(シミュレーションモデル)を使って、アジア域における(対流圏オゾン)のシミュレーション研究を進めています。アジア大陸で排出されたNO<sub>x</sub>やVOCはオゾンを生成し、西風に乗って長距離輸送され、アジア大陸の風下に位置する日本に越境汚染を引き起こすと考えられます。

1980～2003年のREASを使ってシミュレーション計算された、日本の地上オゾン濃度は年平均約0.2ppbの割合で上昇しており、図1の光化学O<sub>x</sub>の観測結果とほぼ一致します。これに中国におけるNO<sub>x</sub>排出量の経年変化を重ね合わせると、日本の地上オゾン濃度と中国の排出量の増加傾向が酷似しています。シミュレーションによると、中国国内でのNO<sub>x</sub>の総排出量が年間100万トン増加すると、北京・華北平原から上海にかけて地上オゾンの年間平均濃度は1ppb増加し、夏季の平均濃度は1980年から2003年に約8ppb増加するという結果が出ています(図8)。これらのことから、中国国内での排出量の増加によって、アジア大陸で生成されるオゾンが増加し、そのオゾンが日本に越境輸送された結果、日本

の地上オゾンが上昇したと考えられます。

## ●大気汚染排出量とオゾンの将来予測

REASでは、将来の排出シナリオを設定して、排出量を予測しています。中国のシナリオについては、将来のエネルギー消費と対策の動向を考慮して、現状推移型(PFC)、持続可能性追求型(REF)、対策強化型(PSC)の3種類を設定し、中国以外の国については国際エネルギー機関(IEA)のエネルギー需要予測に基づく排出シナリオを設定しています。

予測結果(図7)によると、2020年における中国のNO<sub>x</sub>の排出量は、PFCシナリオでは、2000年と比べて2倍以上に増加するが、PSCシナリオではわずかではあるが減少するという結果が示されています。しかし、2000年以降の燃料消費量の増加傾向や衛星観測結果などから、現在のNO<sub>x</sub>排出量はすでに、PFCシナリオの2020年予測値近くに達している可能性があります。一方、VOC排出量は、いずれのシナリオでも2000年に比べ、大幅に増加すると予測されています。

次に、将来の光化学オゾンの変化を見るために、2000年と2020年のPFCシナリオの排出量を使って計算した地上オゾン濃度を比較してみますと、2020年のオゾン濃度は、東アジアの広い地域で急激に上昇し、日本への影響も増大します(図8)。西日本一帯で年平均濃度が環境基準レベル(60ppb)に近づき、九州では環境基準を約40%も超過するという結果が示されています。このように、近い将来、越境汚染により日本のオゾン濃度が高くなる危険性を示唆しています。

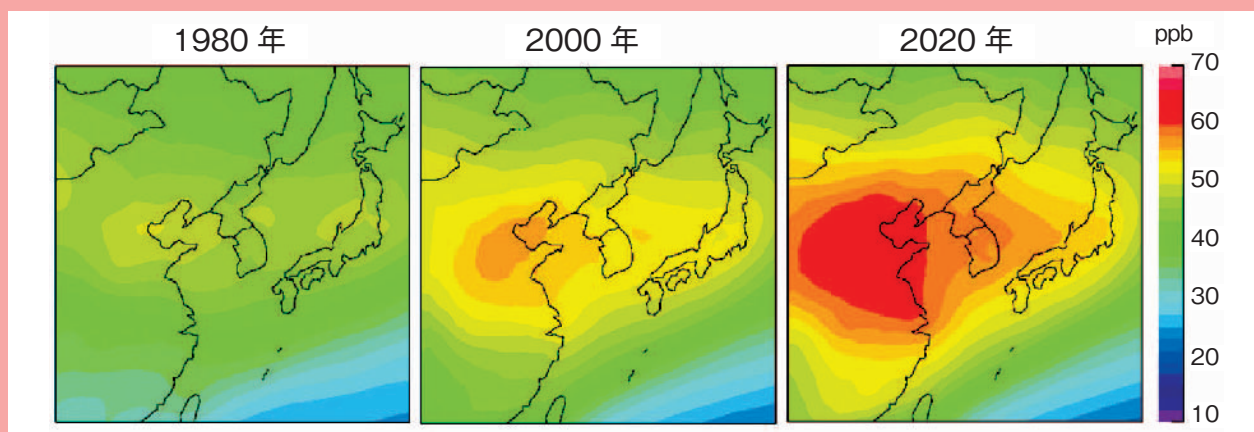


図8 東アジアにおける地表面近くのオゾン年平均濃度の変化(計算結果)。2020年は現状維持型シナリオでの予測結果を示す[Yamaji et al. (2008)を参照]。

# 〈越境大気汚染に

オゾン、微小粒子、酸性雨、水銀、残留  
世界的な問題となっており、観測・モデ



## ■世界では

最初に越境大気汚染が問題になったのは、1960～1970年代の欧州における酸性雨です。その後、北米でも酸性雨による国際問題が起こり、酸性雨の実態解明、発生機構、影響評価に関する観測・モデル研究が欧米で盛んに進められました。この中で、原因物質の排出地域（ソース）と酸性物質の沈着地域（リセプター）の関係（S/R関係）も把握されました。また、排出シナリオをもとに酸性雨を予測し、最終的に生態系への影響を評価する統合評価モデル RAINS も、国際応用システム解析研究所（IIASA）によって開発されました。これらの研究結果は、1979年に発効した長距離越境大気汚染条約（CLRTAP）やその後の一連の議定書に科学的知見を与えました。特に、欧州モニタリング・評価プログラム（EMEP）は大きな役割を果たしました。その後、越境大気汚染の対象は、酸性雨（硫黄酸化物と窒素酸化物）のみならず、オゾン、重金属、残留性有機汚染物質（POPs）などに広がっています。

最近は大陸内の越境汚染とともに、北半球規模での大陸間の越境汚染が重要な問題と認識され、地上・航空機・衛星観測や全球化学輸送モデルを使用した研究が世界的に実施され、多くの研究成果が報告されています。2004年には、CLRTAPのもとで半球規模の大気汚染輸送に関するタスクフォース（TF-HTAP）がスタートし、世界の研究者が参加して、汚染物質の大陸間輸送とS/R関係を理解する研究を進めています。対象物質は、オゾン、微小粒子、水銀、POPsです。2007年に中間報告書が発刊され、2010年には最終報告書が取りまとめられる予定です。この中間報告書の作成には、国立環境研究所の研究者も参加しました。

## ■東アジアでは

東アジアにおける越境大気汚染研究も酸性雨から始

まりました。アジア開発銀行と世界銀行がスポンサーとなり、IIASAが全体的な取りまとめをした RAINS-Asia プロジェクトでは、欧州で開発・適用された酸性雨の統合評価モデル RAINS をアジアに適用し、酸性雨のS/R関係の把握や影響評価、将来予測などが進みました。

2001年には、ACE-Asia(Aerosol Characterization Experiment in Asian Region: アジア地域における粒子特性を明らかにするための国際協同研究)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微小粒子が、さまざまな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、微小粒子などのアジアでの空間分布や輸送、影響に関する研究が行われています。

一方、酸性雨の国際的な観測ネットワークである東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)が、日本の発案により1998年に設立され、活発に活動しています。この国際ネットワークは、東アジアにおける酸性雨問題の状況を理解することや、酸性雨による環境への悪影響を防ぐため政策決定に有益な情報を提供することなどを目的としており、新潟にある酸性雨研究センターがネットワークセンターとなっています。現在、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、ミャンマーの13カ国が参加しています。EANETでは、酸性雨やその影響に関するモニタリングを行うと共に、結果を公表しており、2006年に最初の評価レポートを発刊しました。

## ■日本では

日本でも、1985年頃から酸性雨を対象として越境大気汚染研究が始まりました。観測とモデルによる研究が、国立環境研究所、電力中央研究所、全国の地方環境研究所、大阪府立大学などで進められ、日本におけ

# 関する研究動向

性有機汚染物質などの越境大気汚染は、  
ル研究が世界各地で進められています。



る酸性沈着の実態と大陸からの越境大気汚染の影響に  
関する理解が進みました（環境儀 12 号を参照）。

最近では、光化学オゾンや微小粒子、重金属などを  
対象とした広域越境大気汚染に関する研究が、全国の  
大学や研究機関によって進められています。2007 年  
5 月に発生した光化学オキシダントの高濃度エピソード  
は、越境大気汚染研究を加速する大きな契機になった  
といえます。複数の学術研究機関が共同して推進する  
研究プロジェクトも始まっており、その代表例として、  
環境省地球環境研究総合推進費の戦略課題「東アジア  
における広域大気汚染の解明と温暖化対策との共便益  
を考慮した大気環境管理の推進に関する総合的研究  
(S-7)」(海洋研究開発機構、国立環境研究所、金沢  
大学などが参加)があげられます。

## 国立環境研究所では

国立環境研究所での広域  
越境大気汚染研究は 1990  
年に本格的に始まりました。  
主として微小粒子を対象に、  
福江島や沖縄、中国沿岸域  
などでの地上観測、東シナ  
海や中国における航空機観  
測、長距離輸送モデルの開  
発・適用、東アジア地域の  
排出インベントリ開発など  
が進められました。

2006 年度からは、アジ  
ア自然共生研究グループの  
中核プロジェクト「アジアの  
大気環境評価手法の開発」  
において、東アジア地域の  
広域越境汚染を対象にした  
総合的な研究がスタートし  
ました。オゾンなどのガス  
状物質や人為起源粒子・黄

砂の微小粒子状物質の広域越境汚染を解明し、解析評  
価手法を作成するために、地上・航空機・ライダー・衛  
星などによる観測とシミュレーションモデル、排出イン  
ベントリを統合した研究を進めています。さらに、この  
中核プロジェクトをコアにして、研究所の特別研究、地  
方環境研究所との共同研究、外部資金を利用した研究  
において越境大気汚染に関連した研究が実施されてい  
ます（「研究の歩み」参照）。

また、光化学オゾンなどの大気汚染を予測する「大  
気汚染予測システム」を構築し、東アジア、日本全域  
および関東地域における大気汚染濃度の予測結果を、  
ホームページから公開されています。この 6 月から  
は、環境省とも協力して、中部、関西および九州地域  
の大気汚染の詳細予測を試験的に開始されました。詳  
しくは環境 GIS サイト (<http://www-gis.nies.go.jp/>) をご覧ください (図 9)。

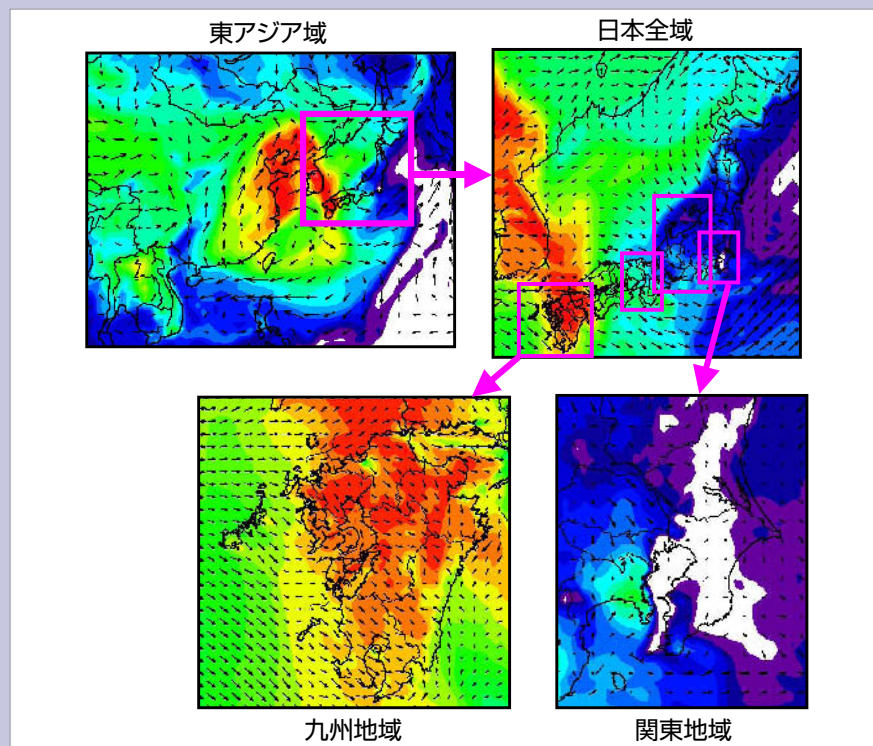


図 9 大気汚染予測システムで計算された地上オゾンの濃度分布図の例

# 越境大気汚染研究のあゆみ

国立環境研究所では20年以上にわたる越境大気汚染研究の実績がありますが、ここでは最近5年間の主要な研究について、そのあゆみを紹介します。

## 課題名

### アジア域における人間活動による大気環境変動の将来予測

#### - 将来化学気候図の作成 - (2003～2006年度)\*

・東アジアにおける2010年、2020年の排出シナリオを設定し、化学輸送モデルを使用して将来のオゾン濃度を予測しました。

## 課題名

### アジアの大気環境評価手法の開発

#### (2006～2010年度)

・アジア自然共生研究グループの中核プロジェクトとして、東アジア地域の広域越境汚染を対象に、大気汚染物質と黄砂の地上、航空機、ライダーネットワークなどの観測を行うとともに、化学輸送モデルと排出インベントリの改良を進め、観測とモデルの両面から大気汚染の構造や変化を解明する総合的な研究を進めています。

## 課題名

### 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

#### (2007～2009年度)

・国立環境研究所(アジア自然共生研究グループ、大気圏環境研究領域、環境情報センター)、全国の49地方環境研究機関、大学等の研究者(以上、2009年度時点)が参加する大規模な共同研究プロジェクトとして、光化学オキシダントの汚染特性解明に力点を置いて研究を進めています。

## 課題名

### 東アジア地域におけるオゾン・エアロゾルの長距離越境輸送に関する研究

#### サブテーマ2 観測データにもとづくアジア域エミッションインベントリの高度化

#### (2008年度)\*\*

### 東アジアにおける広域大気汚染の解明と温暖化対策との共便益を考慮した大気環境管理の推進に関する総合的研究(S-7)

#### テーマ2 東アジアにおける排出インベントリの高精度化と大気汚染物質削減シナリオの策定

#### (2009年度～)\*\*

・東アジアの大気環境管理を進めるために、衛星・地上観測データや排出実態データをもとにして大気汚染物質排出インベントリの高精度化を図るとともに、排出削減対策技術の導入と削減効果の評価、統合評価モデルAIMを使用した大気汚染物質削減シナリオの策定などを進めます。

## 課題名

### 九州北部地域における光化学越境大気汚染の実態解明のための

#### 前駆体観測とモデル解析(2008～2010年度)

・光化学オゾン前駆物質と二次生成粒子の観測とモデルの連携によって、東アジアから九州北部への光化学越境大気汚染の実態解明に取り組んでいます。

\*は文部科学省科学研究補助金、\*\*は環境省の地球環境研究総合推進費による。

これらの研究は以下のスタッフ・組織によって実施されてきました(所属は当時、敬称略)。

#### <研究担当者>

アジア自然共生研究グループ …… 大原利真、谷本浩志、永島達也、森野悠、畠山史郎、高見昭憲、佐藤圭、清水厚、黒川純一、長谷川就一、片山学、早崎将光、稲吉繁一、井上忠雄、Hezhong Tian、藤田壮、田上浩孝

大気圏環境研究領域 …… 杉本伸夫、松井一郎、菅田誠治、日暮明子、村野健太郎、猪俣敏

化学環境研究領域 …… 横内陽子

社会環境研究領域 …… 増井利彦

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 …… 甲斐沼美紀子、白井知子、花岡達也

環境情報センター …… 宮下七重、坂下和恵

#### <客員研究員>

若松伸司(愛媛大学)、山川和彦(島津製作所)、鶴野伊津志(九州大学応用力学研究所)、神成陽容

#### <共同研究機関>

筑波大学、千葉大学、中部大学、金沢大学、奈良女子大学、愛媛大学、九州大学、日本環境衛生センター・酸性雨研究センター、海洋研究開発機構、電力中央研究所、地方環境研究機関、北京師範大学



化学反応は、小さなビーカーの中での反応ならば解析も相対的に楽です。しかし、化学反応する物質が数千kmの空間を低濃度で動き、かつ太陽光や気象の影響を受けながら反応を進めるとなるとその解析は複雑さを極めることになります。

本号の特集テーマである「越境大気汚染の日本への影響」は、光化学オキシダントが最近になって日本の広い範囲にわたって高い濃度を示したことに関する説明です。この特集で、なぜ国内の大気汚染物質の発生源対策が進んでいるのに、光化学オキシダント濃度が上昇したのかご理解いただけたでしょうか。このように国際的に広域な環境問題は、大気に限らずあらゆる健康関連因子に関してこれからの重要な課題です。

本号に示されているように、排出インベントリにおける算出手法、各地の観測データの精確な解析、コンピュータ・シミュレーションによる高精度の計算、光化学反応の機構解析など、多様な研究の成果の統合によってはじめて正しい解析と予測をすることができるようになってきました。

このような地道な観測と先端的な研究の融合的な成果が、広くアジア地域の環境の政策に役立つことを期待しています。

2009年7月  
理事長 大垣眞一郎

## 環境儀 No.33

—国立環境研究所の研究情報誌—

2009年7月30日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当 WG: 内山 政弘、大原 利眞、村上 正吾、玉置 雅紀、植弘 崇嗣、岸部 和美)

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) // 広報・国際室 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。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 財団法人日本宇宙フォーラム

〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-2-1 新大手町ビル 7階

## 「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CO <sub>2</sub> 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
NO.12	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	2004年 4月
NO.13	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	2004年 7月
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	2004年 10月
NO.15	干潟の生態系—その機能評価と類型化	2005年 1月
NO.16	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	2005年 4月
NO.17	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	2005年 7月
NO.18	外来生物による生物多様性への影響を探る	2005年 10月
NO.19	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	2006年 1月
NO.20	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	2006年 4月
NO.21	中国の都市大気汚染と健康影響	2006年 7月
NO.22	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	2006年 10月
NO.23	地球規模の海洋汚染—観測と実態	2007年 1月
NO.24	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	2007年 4月
NO.25	環境知覚研究の勧め—好ましい環境をめざして	2007年 7月
NO.26	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	2007年 10月
NO.27	アレルギー性疾患への環境化学物質の影響	2008年 1月
NO.28	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	2008年 4月
NO.29	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	2008年 7月
NO.30	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	2008年 10月
NO.31	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	2009年 1月
NO.32	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	2009年 4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にする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。