



NIES RESEARCH BOOKLET

環境儀

NO. 29 JULY 2008

国立環境研究所の研究情報誌

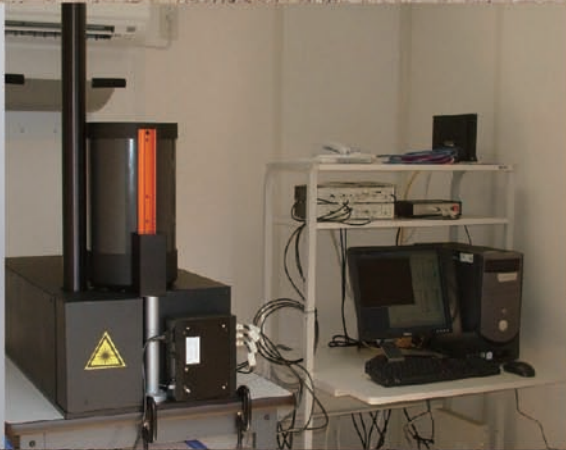
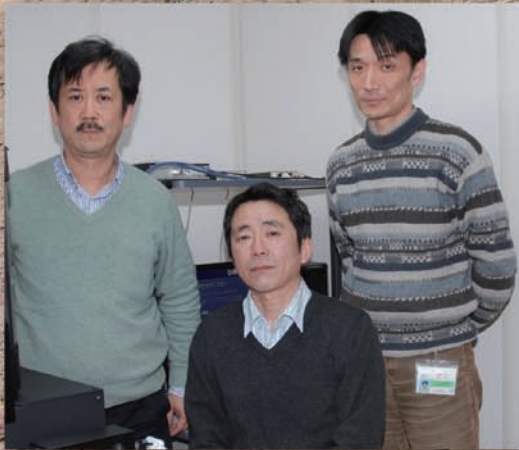
ライダーネットワークの展開
東アジア地域のエアロゾルの挙動解明を目指して

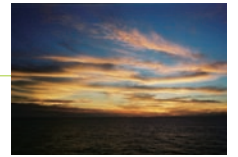
独立行政法人

国立環境研究所

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

環境への影響が懸念される
東アジアのエアロゾル。
自動化したライダーネットワークにより
その空間分布をリアルタイムで捉え、
発生・輸送のメカニズムを解明しています。





レーザー光を上空へ射出し空気中の微小粒子（エアロゾル）やガスの濃度を調べるライダー（レーザーレーダー）を使った観測が、世界中で行われています。地上に設置したライダーによる継続的な観測だけでなく、船舶や飛行機、人工衛星に搭載したライダーによる地球規模での観測が行われるようになりました。また、世界各地の地上ライダーの連携により、データを共有するネットワークの構築が進められています。これによって、大気エアロゾルの挙動（動態）を地球規模で解明するための観測が始まろうとしています。

国立環境研究所では30年以上前からライダー観測に取り組み、この分野において日本をリードしています。研究開始以来、技術開発を進め、ライダー装置の小型化と自動化を実現し、2001年に東アジア地域のライダーネットワークの構築を開始しました。多地点で自動連続観測することにより得られる空間分布の時間変化を追った観測データを使い、現在、東アジア地域のエアロゾルの動態解明を進めています。

本号では、東アジア地域に構築したライダーネットワークのあゆみと現状、今後の研究の方向性について紹介します。

C O N T E N T S

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

● Interview

研究者に聞く!!.....p4～9

● Summary

ライダーネットワークでの同時連続観測
とデータの解析・活用.....p10～11

● 研究をめぐる

ライダーによる対流圏エアロゾル観測
研究の動向p12～13

● ライダーネットワーク

研究のあゆみ.....p14

Interview 研究者に聞く!!

1970年代後半から、国立環境研究所ではライダー（レーザーレーダー）の研究が始まり、観測手法の研究と装置の技術開発を重ねてきました。現在、日本、中国、韓国、タイ、モンゴルにライダーを設置し、ネットワーク観測を行っています。今回はこの観測に携わる杉本さん、松井さん、清水さんに、ネットワークの目的や成果、今後の見通しなどについてお聞きしました。



左：松井一郎／大気圏環境研究領域 遠隔計測研究室主任研究員
中央：杉本伸夫／大気圏環境研究領域 遠隔計測研究室長
右：清水 厚／アジア自然共生研究グループ アジア広域大気研究室

ライダー観測技術の進歩と エアロゾルの動態解明

1：レーザー光でエアロゾルを捉える

Q：まず最初に、研究者にならなれたいきさつをお聞かせいただけますか。

杉本：私は大学で半導体物理を専攻していました。研究所に入ったのは偶然のようなものですが、レーザーを使った計測という点では似通ったところがありました。レーザーを外に射出して大気を計測するというのは、当時の私には思いもよらなかったことで、非常に新鮮な興味を感じました。

松井：研究所でライダーの研究をしていた清水浩先生が大学時代、私の大学の先生と同じ研究室にいた縁で、大学4年生のときに研究所で卒業研究に取り組みました。偶然、ライダー研究で人手を必要としていた

ため、そのまま研究所に残ることになりました。

清水：高校生のときに『資源物理学入門』（槌田敦著、NHK出版）という本に出会い、物事の捉え方、考え方について強い衝撃を受けました。大学で地球物理学を志したのもこの本の内容に近い部分があったからで、その後大学院から研究所へと進むまで、ずっと影響を受けていると感じています。

Q：ところで、皆さんの研究ではライダーという装置を使用されていますが、これはどのような原理の装置なのでしょうか。

杉本：ライダーはレーザー光を用いたレーダー装置で、レーザーレーダーとも呼ばれています。レーザー光を上空に向けて射出し、空気の分子や空気中に浮遊する微小粒子（エアロゾル）などに当たり散乱されて

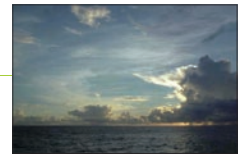
ライダーによるエアロゾル観測

国立環境研究所でライダー研究が始まった当初、主な観測ターゲットは大気汚染エアロゾルと大気境界層（地上付近で空気がよく混合する層）の高度など大気汚染に係る大気の構造でした。現在は、黄砂や長距離輸送される各種のエアロゾルの動態を連続観測により捉えることが主な目的です。エアロゾルの連続観測が始まったのは1996年のことで、科学技術庁の地球温暖化に関する研究プロジェクトに参画し対流圏（高度0～約15kmの大気）中のエアロゾルを長期連続観測することでその分布と動態を把握したことがきっかけでした。エアロゾルには硫酸塩エアロゾルや硝酸塩エアロゾル、黄砂のような鉱物性エアロゾル、有機炭素性エアロゾルなどがありますが、2つの工夫で、黄砂とそれ以外

のエアロゾルの判別と粒子のサイズの判定を行っています。

1つ目の工夫は、波長が532nmの緑色レーザーと1064nmの赤外線2波長のレーザーを用いてライダー測定を行うことです。これによって粒子の大きさを判別することが可能になりました。

2つ目の工夫は、エアロゾルで散乱された光の偏光の変化（偏光解消度）を測定することです。送信されるレーザー光は直線偏光しています。丸い粒子に当たって散乱したときは偏光が保存されて戻ってくるのに対し、黄砂のように非球形の粒子で散乱すると偏光が乱され偏光の垂直成分が表れて戻ってきます。偏光解消度とは偏光の水平成分に対する垂直成分の割合のことで、これを測定することで、粒子が球形のエアロゾルか黄砂のように角張っているかがはっきり見分けられます。ライダーネットワークのライダーでは、532nmの緑色レーザー光で偏光解消度を測定しています。



主任研究員

戻ってくる光の信号を受けます（図1）。

Q：エアロゾルの高さ分布が測れるのですね。

杉本：そうです。非常に短い時間に強力なレーザー光を射出し、散乱の時間応答を測定します。散乱体（エアロゾル）までの距離に応じて応答時間が違いますので、時間応答の波形を解析することで、どの高さにどれだけの散乱体があるのかがわかります。

Q：粒子の大きさや形もわかるのですか。

杉本：2つ以上のレーザーの波長を使ったり、偏光を利用することで、粒子の大きさや形状の推定が可能になります。エアロゾルの散乱は粒径が光の波長よりも大きい場合に強いので、ライダーでは主にサブミクロン（ $0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ ）の粒径のエアロゾルを測定しています。現在使っているライダーでは、偏光特性を利用して硝酸塩や硫酸塩など大気汚染性の球形のエアロゾルと非球形の黄砂を分離し、それぞれの高度分布を求めることができます。

広く活用される ライダー観測データ

国立環境研究所が運用するライダーネットワークのうち、日本の富山、島根、長崎、新潟、東京の5カ所のライダーは環境省の黄砂モニタリング事業の中で設置されたものです。国立環境研究所ではこれらの地点を含む観測データをリアルタイムに収集し、一括して解析しています。リアルタイムで導出した黄砂濃度の解析データは環境省に提供され、環境省がウェブサイト上で発信している「黄砂飛来情報」(<http://soramame.taiki.go.jp/dss/kosa/>) に活用されています。また、ライダーネットワークからリアルタイムに収集・処理した観測データは、国立環境研究所が発信する

2：ネットワークの基本は連続観測

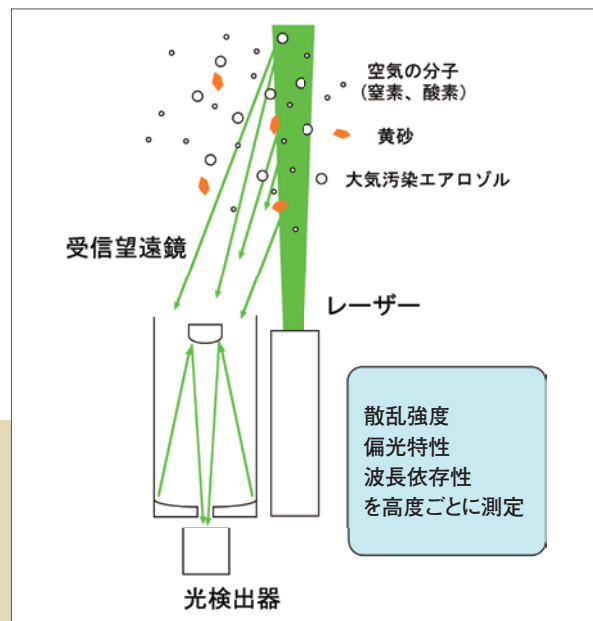
Q：現在、ライダーネットワークを構築していますが、これはどういったものなのでしょうか。

杉本：自動で連続観測するライダーを日本、中国、韓国、タイ、モンゴルの計十数カ所に設置し、リアルタイムで観測したデータを解析して東アジア地域のエアロゾルの量や動態を把握するものです。現在は、エアロゾルの中でも黄砂をメインのターゲットにしています。

このネットワークを構築するとき重要視したことは連続観測です。連続観測に本格的に取り組んだのは1996年からです。このとき、自動で通年の連続観測ができる小型ライダーを開発し、つくばで連続観測を始めました。当時は、通年にわたって稼働し観測し続ける装置が完成したことに驚かれたものです。これがきっかけになり、ライダーネットワークを展開するという将来計画が現実味を帯びてきました。

Q：ライダーネットワークの構築が始まったのはいつ頃のことですか。

杉本：2001年です。自動で連続観測するライダー



■図1 ライダーの測定原理

「環境GIS」(<http://www-gis.nies.go.jp/>)の「東アジア広域大気汚染マップ」(仮称)でも公開する計画です。

ライダーの観測データをネットワークでリアルタイムに収集し、情報を提供しているのは、世界的に見ても国立環境研究所だけです。ネットワークとリアルタイムという長所を生かし、ライダーの観測データは研究以外にも広く活用されています。

ができたこと、多くの場所でライダーを使った観測をすれば面白い情報が得られる、といった理由から始めることにしました。

つくば以外に最初に設置したのは北京です。日中友好環境保全センターが実施している黄砂研究プロジェクトでライダー観測を行いたいという話から設置することになりました。2001年2月に、重さ300kgある装置を10個ほどの段ボールに分け、携行物品として私が一回で全部運び組み立てました。そして、同年3月から観測を始めました。また、それと同時期に長崎大学にも自動の連続観測ライダーを設置し、つくば、長崎、北京の3地点で黄砂を観測することができるようになり、今のライダーネットワークの基礎ができたのです。その後、ネットワークの拠点を徐々に増やしていきました。

Q: それにしても、一人で運ぶには300kgは重いですね。

杉本: ライダーは私たちが日本で作り現地に設置するので、もっと軽くコンパクトにする必要がありました。そこで、2001年10月にタイにはじめてライダーを設置することになったとき、30cm×60cmの板に載り、重さ100kgとそれまでより遙かに小さく軽いライダーを作りました。このライダーは6カ月間故障もなく連続稼働したので、私たちのライダーの優秀さが広く認められました。しかし、小さく作りすぎたために観測の障害となる電気的な雑音を拾いやすいなどの予想しなかった問題が発生しました。

松井: 大きなものを小さくすることが必須の場合は、部品数を減らしたり、できるだけ小さな部品を選定するなど、いろいろ工夫しなければなりません。現



北京の日中友好環境保全センターに設置されているライダー

在のライダーは、電気的な雑音の低減を考慮して部品の配列を工夫するなどしたため最初にタイに設置したもののより大きくなっています。

私は海洋地球研究船「みらい」にライダーを搭載し洋上のエアロゾルの立体分布を観測するプロジェクトにかかわっていましたが、「みらい」に搭載したライダーもタイと同じ仕様にしました。

Q: ライダーを小型・軽量化したことで地上以外でも利用できるようになったのですか。

杉本: 「みらい」に搭載したライダーは当時日本で計画された衛星搭載ライダー“ELISE”の地上検証のために作られたものです。2003年には、飛行機にライダーを搭載しエアロゾルを観測するプロジェクトにも参加しています。

3: 観測にまつわるエピソード

Q: アジア各地にライダーを設置していると、いろんなエピソードがあるのでは。

松井: まず、ライダーは私たちが独自に研究開発し

ライダー装置の変遷

国立環境研究所では1970年代後半からライダー観測の研究がスタートしました。初期には計測車にライダーを搭載し、排煙の拡散や大気境界層の構造に関する計測の可能性について研究が行われました。このとき使用されたライダーは、家庭用冷蔵庫1台ほどの大きさをした当時のミニコンピュータに信号波形を取り込むものでしたが、ミニコンピュータはメインメモリが64KB、直径30cm程もあるハードディスクの容量が1MBと、現在からは考えられない性能でした。これだけでは信号を記録できなかったため、データはオープンリールの磁気テープに記録するようになっていました。1979年には大型のライダーが製作され、エアロゾルの分布や大気境界層の構造に関する測定などさま

ざまな研究が行われました。

また、大気を観測する装置には連続運転が必要であるという考えが研究開始当初からあり、そのために1979年には連続観測できなおかつ小型のライダーの原型が開発されました。このライダーは大気汚染の程度に関わる重要なパラメーターの1つである大気境界層の高さの観測を目的とするものでした。ライダーで受信した信号の出力には、ペンで紙の上に波形を描くペンレコーダーが使われ、波形から大気境界層の高さを読み取りました。

その後、ライダーの小型化と連続観測のための技術開発を進めていった結果、遠隔地での自動観測が可能になり、ライダーネットワークが現実のものとなりました。また、ライダーを船舶や航空機に搭載する観測研究も可能になりました。



たもので既製品ではありません。ですから、現地に運ぶとき、輸出入検査のための申請書類を作るのが大変です。なにしろ、既製品だと普通にある説明パンフレットもありませんから。

杉本：南の方ではライダーの中に虫が入ったりクモの巣が張ったりすることが頻繁に起き、そのせいか、ときどき原因不明で信号がおかしくなることがあります。タイでは、ライダーを設置している観測所の中にヘビが入り込んでいることもありました。

松井：そうなんです。ヘビが観測所の周りに近寄らないようにするため、最近は観測所の施設内に犬がいます。

Q：北の方では何かありますか。

松井：中国やモンゴルではライダーが砂まみれになることがあります。それからモンゴルは、砂漠にライダーを設置していることもあり、私たち研究者の食環境が日本と大きく異なります。ほとんど羊肉で、見るのも嫌になりました。

杉本：北海道大学に設置したライダーはレーザーが凍って壊れたことがあります。ライダーにはレーザー

を冷却するための冷却水が入っているのですが、半日ほど停電したときに冷却水が凍り、レーザー内部の高価なレーザー結晶が壊れてしまったのです。また、レーザー照射と受信の天井の観測窓ガラスが日本では1枚ですが、中国北部のフフホトに日本と同じ仕様のライダーを設置したところ、結露を起こし測定できなくなり、二重ガラスに改良しました。

このような教訓を生かしてモンゴルに設置したライダーシステムではすべて、観測窓ガラスを2枚にしました。

4：数値モデルの精度向上に成果

Q：ライダーネットワークで得たデータはどのように活用されているのですか。

清水：私たちは九州大学応用力学研究所の鶴野伊津志教授と共同で研究しており、九州大学がつくった黄砂を予報するための数値モデル“CFORS”がライダーの実測データと合うかどうか検証しています。数値モデルでもある程度正確な予報が可能ですが、そこに「データ同化」という手法を通じてライダーネットワークで得た高さ方向の観測データが入ると、観測地点での黄砂の量から発生源での黄砂発生量をより正確に推定することができるようになります。数値モデルとライダーの実測データを組み合わせてモデルを良くし、モデルの中の発生源をより正しく表現することにライダーネットワークの実測データが適用できることがわかったのは、観測とモデルの融合という観点から大きな成果だと言えます。データ同化の手法が黄砂の濃度にも適用できることが実証されたわけです。



●研究初期に使用していた車載型ライダー（1978年）



●研究所敷地内に設置された大型ライダー（1979年）



●最初に開発された小型の連続観測ライダー（1979年）



●現在のライダーの基本となった連続観測ライダー（1996年）

杉本：九州大学とのこのようなデータ同化手法に関する共同研究は、さまざまな大気汚染物質にまで適用できる可能性があり、新しい研究領域として発展させたいと考えています。また、地球規模でのエアロゾルの動態については、東京大学気候システム研究センターで開発された“SPRINTARS”という数値モデルの検証や同化にライダーネットワークのデータを使う研究も進んでいます。

Q：数値モデルとはどのようなものですか。

清水：風や温度、気圧に関するデータを計算機に入れ、それらが物理法則に則って時間の経過とともにどう変化するかを示したものです。例えば“CFORS”では、風、温度、気圧に関する情報のほか、どこに砂漠があるなどといった地表の情報も持っており、砂漠に吹く風の強さに応じてどの程度黄砂が発生するか、さらに重力や雨によってどの程度黄砂が落下するか、といった仕組みも組み込まれています。これにより、何日後にどこ的高度何メートルあたりで、どの程度の濃度の黄砂が来るという計算ができます。データ同化の手法を使えば、さらに計算の精度を上げることができます。

Q：モデルの検証以外では何かありますか。

清水：ライダーの観測データを使い、全観測時間のうち黄砂がどれだけの時間検出されたかという統計や、どの地点でどの高度に雲が分布しているのかという解析に利用することができます。黄砂の総観測時間は地球環境に対するエアロゾルの影響、雲の分布は地球温暖化に深く関係します。



晴天時の観測拠点（モンゴル・サインシャンド）。左側のコンテナ内

5：今後のライダー観測の展望

Q：ライダーの観測データを使った研究は、どのように発展していくのでしょうか。

杉本：まず、エアロゾルの動態解明では今後、ますます地球規模でのデータが重要になります。そのため、ヨーロッパやアメリカのライダー研究者グループが作っているライダーネットワークと連携し、それぞれのデータの相互共有を行うという計画があります。

また、NASA（米国航空宇宙局）の衛星搭載ライダー“CALIPSO”が、2006年夏より宇宙からエアロゾルを観測しています。“CALIPSO”の観測データはグローバルなエアロゾルの動態を捉えるのに非常に有効ですので、各地で“CALIPSO”のデータを使った研究が盛んになってきました。ただ、衛星搭載ライダーは地球規模での観測に向いているものの、特定の地域を観測するには測定頻度が限られていること、観測時間が決まっていることから、地上のライダーとの連携が重要であると考えています。

Q：今後のライダーネットワークの展開については

データ同化とは何か

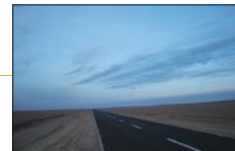
以前から、ライダーネットワークの観測データは数値モデルの検証に使われてきましたが、最近はデータ同化にも利用されるようになりました。

データ同化とは数値モデルに観測データを反映させることです。黄砂の数値モデルの場合、強い風が吹いたら砂が飛び上がり、風に乗って流れてくる、といったメカニズムを考慮したパラメーターが入っており、同化を行わなくてもある程度正確な予報を出すことができます。しかし、多地点で長期間にわたり連続観測するライダーネットワークの実測データを数値モデルに取り込んで計算をし直すことにより、例えば発生源での黄砂発生量をより正確に推定できるようになります。また、数値モデルの中で予測（予報）された

黄砂の分布が正しかったのかどうか、発生源での黄砂発生量をどの程度調節すると下流で観測されたデータ通りに黄砂が飛んでくるようになるのか、といったモデル検証的研究も九州大学と共同して進めています。

データ同化の研究では、数値モデルと実際の観測データを組み合わせるとモデルを良くし、モデルの中の発生源をより正しく推定するために使えることが、大きな成果として確認できました。

黄砂の数値モデルにライダーの観測データを反映させると、個々の地点から発生する黄砂の絶対量が変化します。図で表すとアジア大陸の乾燥地帯で黄砂が発生するという点では同化前と同化後で大きな違いはありませんが、実測データを反映させ同化すると、砂漠の各地域ごとに発生量が修正され、その修正が下流側での黄砂分布にも反映されるようになるので、エアロゾルの動態がより正確に推定でき



にライダーがある。円内は同じ場所における黄砂飛来時の様子。

どうお考えですか。

杉本：拠点数に関しては、中国以外はほぼ網羅できたと思います。日本を中心にした東アジア地域のエアロゾルの動態は、現時点でも捉えられると考えています。しかし、今後研究を進めていく上で2つの課題があります。

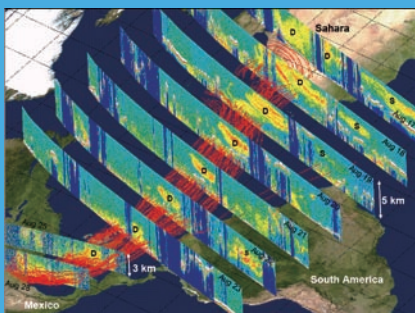
1つ目の課題はデータの精度管理です。観測データが正しいことが解析の大前提なので、データ処理においてもその確かさをチェックしていますが、ライダー装置についてもより精度の高いデータが取れるように改良しなければなりません。

2つ目の課題は測定する物理量を増やすことです。現在のライダーは測定のために3つの受信チャンネルを持っていますが、ここにさらにラマン散乱（空気中の分子が持つ固有エネルギーの分だけ波長がずれて返ってくる散乱）の信号を受ける受信チャンネルを増やすことによって、ブラックカーボン（煤）のような太陽光をよく吸収するエアロゾルがどの程度存在するのかをより正確に推定できるようになります。今後、このように装置の改良を進める必要があります。

るようになります。

こうしたことからデータ同化は、発生源対策を重点的に行う必要がある地域はどこかなど、政策判断に役立つ情報を得るためにも重要だといえます。

- CALIPSO ライダーによって捉えられたダストの長距離輸送。サハラ砂漠で発生したダストがアメリカ大陸に輸送される様子が立体的に捉えられています（2006年8月17-28日）。Dと表示した部分がダスト。

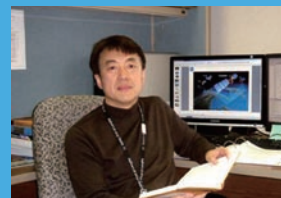


Q：最後に、これからの研究計画などについて教えてください。

杉本：2008年度から3年計画で、まったく新しい次世代ライダーの開発を始めました。このライダーでは、観測に使うチャンネルが7つになります。レーザー光の波長はこれまでの532nmと1064nmの2つのほか、355nmも使うことを考えています。532nmと355nmの波長では光の散乱のほか減衰に関する情報も取得します。増えた情報を有効に利用して多種類のエアロゾルの濃度分布を種類別に推定する新しい解析手法の開発も同時に進める計画です。

衛星搭載ライダーと地上ライダーネットワーク

NASA ラングレー研究センターで開発された人工衛星搭載ライダー（CALIPSO ライダー）は、2006年4月28日に打ち上げられ、現在、雲とエアロゾルの測定が継続的に行われています。衛星搭載ライダーは、雲、エアロゾルの鉛直構造を全球的に測定できる



劉兆岩 (National Institute of Aerospace[米 国 国 立 航 空 宇 宙 研 究 所] 主 任 研 究 員、CALIPSO ライダーサイエンスワーキンググループメンバー)

という従来の衛星センサーにはない大きな特徴を持っています。図はサハラ砂漠からアメリカ大陸へ輸送されるダストエアロゾルの断面を CALIPSO ライダーが捉えた例です。

国立環境研究所を中心に東アジアで展開されているライダーネットワークは、黄砂や大気汚染エアロゾルの発生、輸送を詳細に捉えることができるので、CALIPSO ライダーの検証においても非常に有用です。一方、CALIPSO ライダーは、地上ネットワークがカバーする領域よりもさらに広い範囲のエアロゾルの輸送の追跡が可能です。衛星搭載ライダーと地上ライダーネットワークには相補的な利点があるので、両者の観測結果を合わせることによってエアロゾルのより詳細な動態把握に関する研究が進められています。

※劉兆岩さんは1997～2001年に、ポスドク研究員として国立環境研究所に在籍し、高スペクトル分解ライダー手法や当時日本で計画されていた衛星搭載ライダー“ELISE”のデータ解析手法などの研究を担当していました。

ライダーネットワークでの同時

2001年の春から、アジア地域の多地点でライダーによるエアロゾルの同時連続観測を行っています。観測データを収集・解析し、広域にわたるエアロゾルの大気科学研究を進展させています。さらに、数値モデルの計算結果を改善するデータ同化の取り組みなど、ライダーの観測データはさまざまな研究にも活用されています。

●ライダーネットワークの展開

大気中のエアロゾル（浮遊微粒子）をターゲットとしたライダー観測は、国立環境研究所がまだ国立公害研究所と名乗っていた時代から行われ30年以上の歴史がありますが、アジア地域の多地点で同時に連続観測を行うようになったのは2001年の春からです。それから7年が経過し、観測地点も大幅に増えました。2008年4月現在、日本・韓国・中国・モンゴル・タ

イの計19カ所で国立環境研究所がシステム開発したライダーによる自動連続観測が行われています（図2）。全観測地点の観測データはインターネットを経由して国立環境研究所に届けられます。観測から1時間以内にライダーのホームページ（<http://www.lidar.nies.go.jp>）で、その基本解析画像を配信しています。

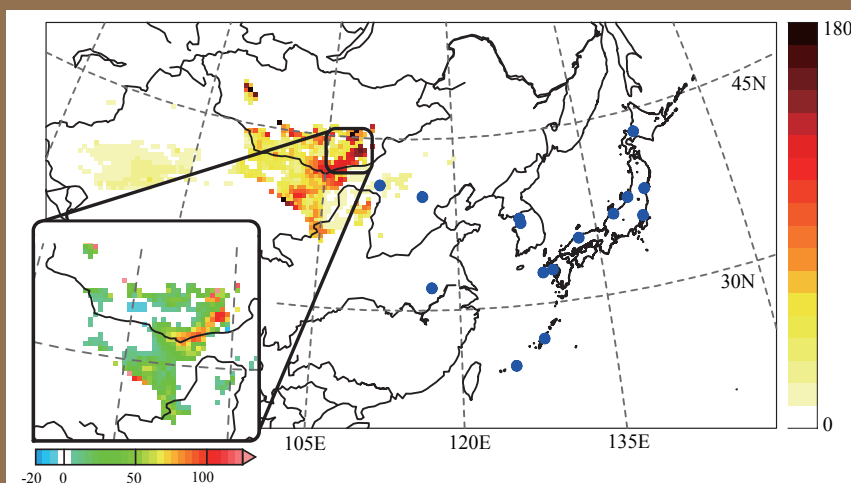
その基本解析画像のほかに、ライダーの信号を解析して上空に雲が存在するかどうかを判定し、晴天域や雲より下の高度に存在するエアロゾルの量を求めます。最後にそのエアロゾルが黄砂かそれ以外の大気汚染粒子なのかを分類し、観測地点上空のエアロゾル情報を算出しています。図3は、2007年5月の31日間について、ネットワークライダーのうち10地点分の観測結果を用い、いつ、どの高度に、どれくらい、エアロゾルが存在したかを示したものです。こうした観測とデータ処理により、各地に黄砂が飛来したタイミングやその量を特定できるようになりました。



■図2 2008年4月現在のライダー観測地点



■図4 環境省がウェブ上で発信している「黄砂飛来情報」(<http://soramame.taiki.go.jp/dss/kosa/>)。黄砂の飛来量を5段階で表示しています。



■図5 2007年4月初頭の黄砂について、ライダーデータを同化した数値モデルにより計算された黄砂発生量分布マップ。単位はトン/平方キロメートル。図中の青い点は同化に利用したライダー観測地点。左下囲み内は、同化なしの場合との発生量の差（ゴビ砂漠付近を拡大）。



連続観測とデータの解析・活用

また、大気汚染起源の微粒子が黄砂よりも低い高度に定常的に存在することも読み取ることができます。これらの情報は、エアロゾルの分布やその輸送を表現する数値モデルの検証などに広く活用されています。

さらに、より多くの方々にライダーによる観測結果を見ていただくために、ライダーで観測された地上付近の黄砂の推定濃度を、環境省が発信する「黄砂飛来情報」にリアルタイムで提供しています（図4）。

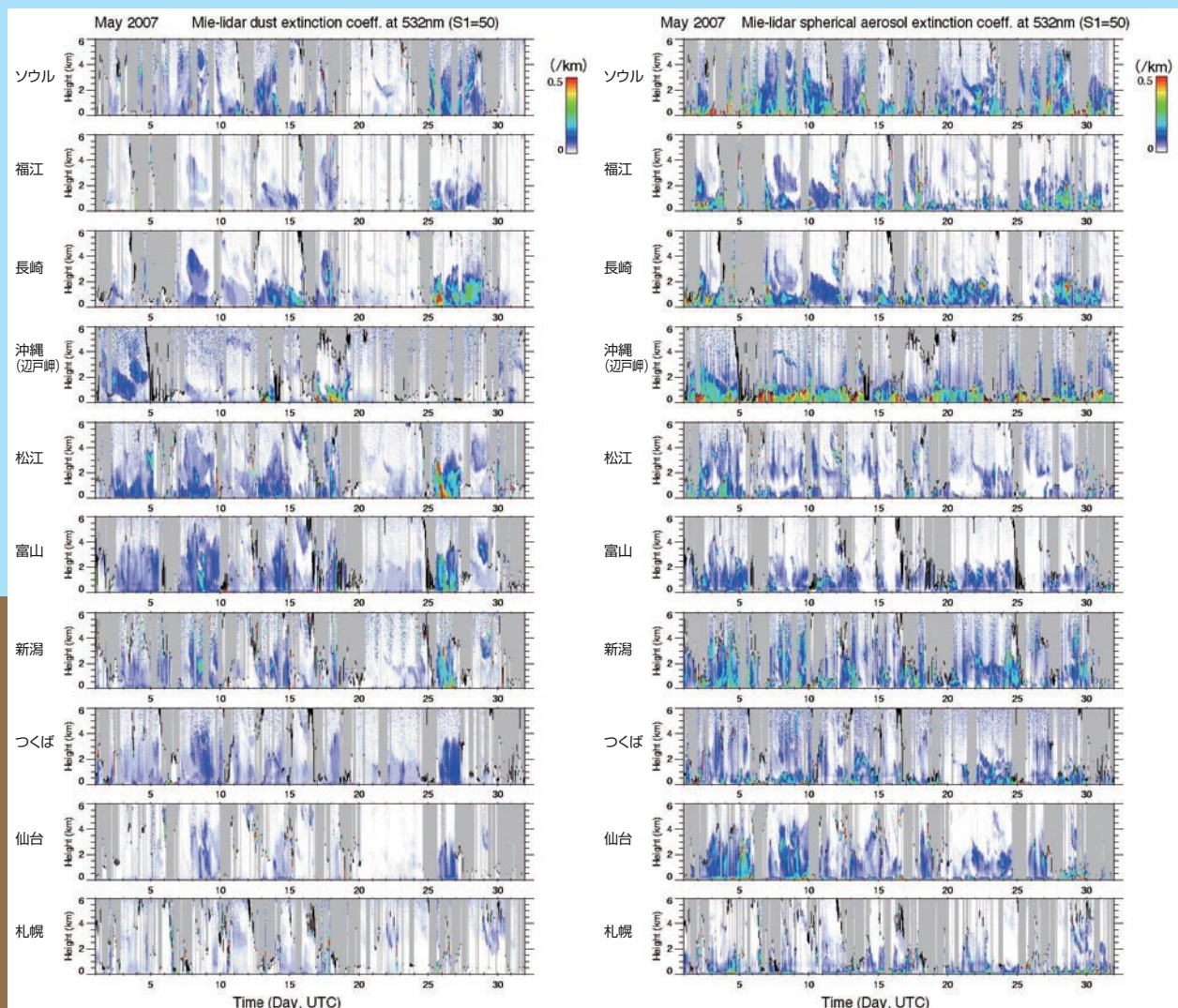
●データ同化への応用

黄砂を含むエアロゾルの空間分布を計算機によって計算する数値モデルが開発されています。国立環境研究所では九州大学が開発した数値モデル“CFORS”に対して、ライダーにより観測された黄砂の実際の分布をインプットすることにより、数値モデルにおける黄

砂量の計算を改善する「データ同化」という手法に取り組んでいます。

“CFORS”の中にはもともと、アジア大陸の砂漠域で強風が吹くとそこから黄砂が飛散して風下へ輸送されるようなメカニズムが組み込まれています。ここに、風下側のライダーによって実際に観測された黄砂の量を情報として加えた上で数値計算をし直すと、観測結果と一致するように砂漠における黄砂の初期飛散量をより正確な結果に修正することが可能になります（図5）。また、あらゆる地点の上空における黄砂量の推定なども改善されます。

このようにしてライダーデータを用いて数値モデルの精度を改善させることができます。これによって、特に飛散量が多い発生源地域を特定して、黄砂発生量の低減のための対策を効率よく施すための情報提供も可能になります。



■図3 2007年5月の1ヵ月分の時間高度断面図。横軸が時間、縦軸が高度を表し、エアロゾルが多かった領域は赤や黄色で示しています。左側は黄砂の濃度、右側は大気汚染粒子の濃度を表す。

〈ライダーによる対流圏

ライダーネットワークは東アジアだけでなく、世界各地で展開されており、これに加え、衛星搭載ライダーから得られたデータを利用した研究も



■世界では

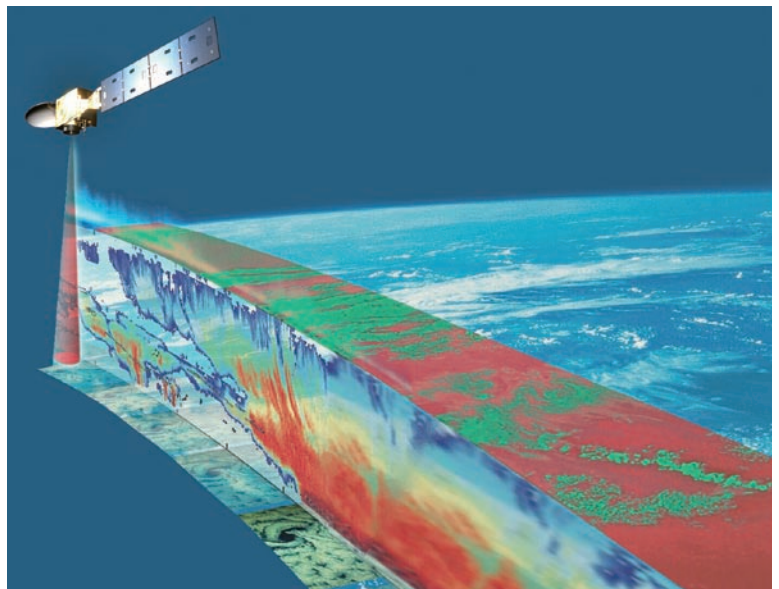
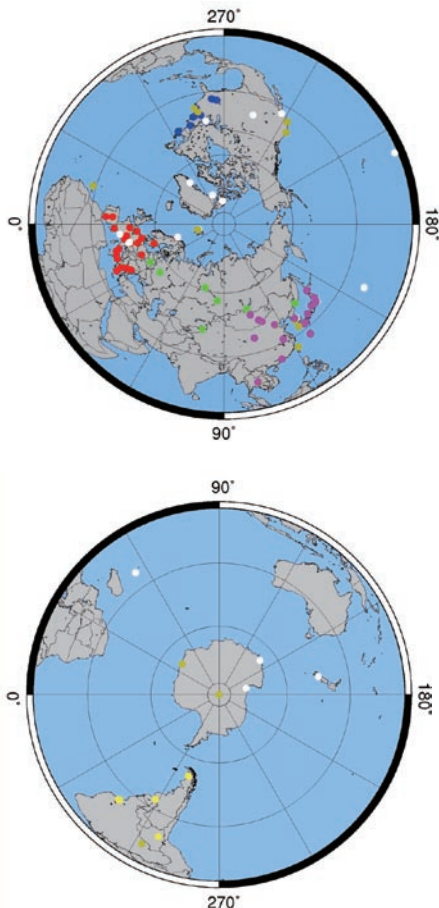
ライダーネットワークによるエアロゾルの観測は、国立環境研究所を中心に展開する東アジアのネットワークだけでなく、欧州の“EARLINET (European Aerosol Research Lidar Network)”や米国 NASA が展開する“MPLNET (Micropulse Lidar Network)”など、世界的に行われています。これらのネットワークと連携してデータを共有することによって、地球規模の観測ネットワークを構築する計画が WMO (世界気象機関) の GAW (Global Atmosphere Watch : 全球大気監視) の下で進められています。

このネットワークは“GALION (GAW Aerosol

Lidar Observation Network)”と命名されています。GALION という名前は、ドイツ語で船首に取り付けられる像を意味する Galionsfigur を掛けたものです。GALION によって、対流圏エアロゾルの地球規模の分布の解析や気候モデルの検証のためのデータが得られることが期待されています。

一方、衛星搭載ライダー“CALIPSO”が2006年4月に打ち上げられ、エアロゾルや雲の分布を宇宙から継続的に観測しています。衛星搭載ライダーは、雲、エアロゾルの全球かつ立体的な分布に関するインパクトの大きな新しいデータを提供しています。

また現在、日本の航空宇宙研究開発機構 (JAXA) と欧州宇宙機関 (ESA) が共同で、大気放射観測衛星“EarthCARE”の開発を進めています。これは、高



● EarthCARE 衛星による観測の概念 (ESA のホームページから引用)

●世界のライダー観測地点。上が北半球で、下が南半球。地点の色はそれぞれのネットワークを示しており、国立環境研究所のライダーネットワークはピンク色で表示している。白色の地点はネットワークに属さない。GALION ではそれらを連携し、全球ネットワークを構築します (GALION の報告書から引用)。

エアロゾル観測研究の動向

現在各地のネットワークと連携してデータを共有する計画が進められています。進められており、エアロゾルの全球的な立体分布を解明する研究が進みつつあります。



スペクトル分解ライダーと雲レーダーと画像センサー、赤外放射計を同時に搭載する衛星で、2013年の打ち上げが計画されています。

■日本では

日本の大学や研究機関でもライダーによるエアロゾルの観測に関する研究が行われています。

例えば、東京海洋大学や気象研究所ではラマン散乱ライダーによる観測研究が行われています。また、気象庁は岩手県の綾里でラマン散乱ライダーを定期的に運用しています。とくに、東京海洋大学における研究では、3波長のライダーが開発され、黄砂や森林火災によるエアロゾルの光学的特性が詳しく研究されています。

一方、首都大学東京や名古屋大学は、熱帯域におけるライダー観測を行っています。このほか、ライダー技術に関する研究が情報通信研究機構や首都大学東京、千葉大学などで行われています。

■国立環境研究所では

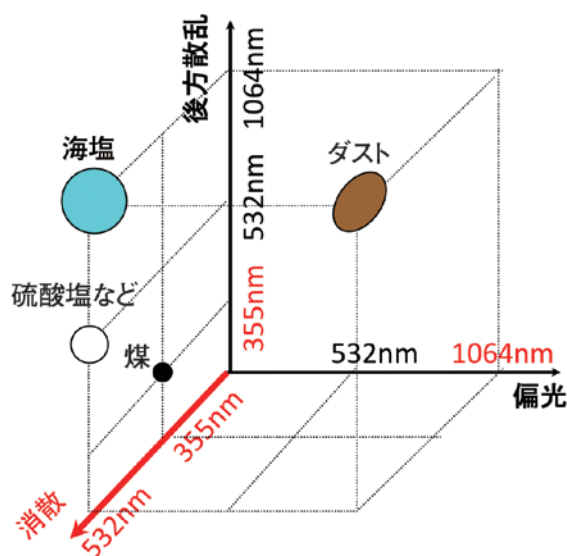
ライダーネットワークを大学や研究機関、環境省、地方自治体との協力の下に東アジアに展開し、黄砂や大気汚染現象の解析、エアロゾル分布の季節変化・年々変化の特徴を解析しているほか、化学輸送モデルの検証、同化への利用の研究を進めています。黄砂についてはADB（アジア開発銀行）/GEF（地球環境ファシリティー）のマスタープランに基づいて日・中・韓・モンゴルのモニタリングネットワークを構成しています。黄砂については九州大学との共同研究によって、ライダーネットワークデータを用いたモデルの同化システムが開発され、黄砂現象の全体像を高い精度で把握することが可能となりました。

地球規模のエアロゾル分布に関する研究では、“GALION”へのデータの提供、エアロゾル気候モデルの検証、同化のためのデータ処理手法の研究を

進めているほか、衛星搭載ライダー“CALIPSO”のデータを利用した研究も行っています。また、ESAとJAXAが共同で開発中の“EarthCARE”に搭載されるライダーの解析アルゴリズムの開発にも参加しています。

これからの対流圏エアロゾルの観測研究では、地上観測ネットワーク、衛星観測、エアロゾル気候モデルの連携が重要です。将来のライダーネットワークには、衛星観測では得られない物理量を測定することも求められます。そこで現在、多波長の高スペクトル分解ライダーの開発研究を進めています。

このライダーは、後方散乱係数を3波長で、消散係数を2波長で、偏光解消度を2波長でそれぞれ独立に測定します。これによって、大気汚染性の硫酸塩などのエアロゾル、光吸収性の煤、海塩粒子、黄砂などを識別してそれぞれの濃度分布を推定することができます。開発するライダーでは、このような高機能の測定と連続自動運転を両立させることを目指しています。また、測定される物理量をすべて有効に利用する汎用性の高いデータ解析手法を確立することも目標としています。



●多波長高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル種の識別の概念。赤で示す観測項目が新たに付加され、より精度良くエアロゾル種が分類されます。

ライダーネットワーク研究のあゆみ

国立環境研究所には30年以上にわたるライダー観測研究の実績がありますが、ここではライダーネットワークの構築が始まった2001年以降の主な研究のあゆみを紹介します。

課題名 **中国北東地域で発生する黄砂の三次元的輸送機構と環境負荷に関する研究**
サブテーマ1 黄砂の輸送の三次元的動態把握に関する研究 (2001～2005年度)**
2001年につくば、長崎、北京の3地点でライダーネットワーク観測を開始し、観測地点上空の黄砂の飛来頻度を統計的に解析したほか、黄砂の発生輸送を化学天気予報システム“CFORS”と比較して解析を行いました。また、偏光解消度を使って黄砂と大気汚染性エアロゾルの分布を分離する手法を開発しました。

課題名 **東アジアにおけるエアロゾルの大気環境インパクト**
計画研究 ライダーによるエアロゾル性状の空間分布測定 (2002～2005年度)**
中国の合肥にライダーを設置したほか、大気汚染性エアロゾルのライダーネットワーク観測を行いました。

課題名 **能動型と受動型リモートセンサーの複合利用による大気汚染エアロゾルと雲の気候影響研究**
サブテーマ2 高スペクトル分解ライダー等による雲・エアロゾル観測の研究 (2002～2006年度)**
航空機搭載ライダーによるエアロゾルと雲の観測、海洋地球研究船「みらい」によるエアロゾル・雲の観測とエアロゾル気候モデルとの比較を行ったほか、高スペクトル分解ライダーの開発と長期観測に取り組みました。

課題名 **広域モニタリングネットワークによる黄砂の動態把握と予測・評価に関する研究**
サブテーマ1 東アジアモニタリングネットワークによる黄砂動態の実時間的把握とデータ精度管理・利用法に関する研究 (2006～2008年度)**
ライダー観測地点を充実させると同時にデータ精度管理手法と自動データ解析処理システムの確立を行いました。さらに九州大学と共同で、ライダーデータと“CFORS”を同化するデータ同化に取り組みました。

※は環境省地球環境研究総合推進費、**は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究によって行われました。

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>

●大気圏環境研究領域

杉本 伸夫、松井 一郎、西澤 智明、原 由香里、Yan Chen、Shuli Zhao、Boyan Tatarov、Dashdondog Batdorj、Chenbo Xie

●アジア自然共生研究グループ

清水 厚、菅田 誠治、早崎 将光

●環境研究基盤技術ラボラトリー

西川 雅高、森 育子、高橋 克行

<客員研究員>

村山 利幸（東京海洋大学）、荒生 公雄（長崎大学環境科学部）、鶴野 伊津志（九州大学応用力学研究所）、中島 映至（東京大学気候システム研究センター）、小林 喬郎（福井大学）、藤吉 康志（北海道大学）、高村 民雄（千葉大学）、岡本 創（東北大学）

<共同研究機関>

中華人民共和国環境保護部日中友好環境保全センター、中国科学院寒区旱区環境研究所、安徽光学精密機械研究所、大気物理研究所、フフホト市環境監測局、韓国キョンヒ大学、ソウル大学、モンゴル気象水文環境監視庁、タイ国チュラロンコン大学、北海道大学、東北大学、千葉大学、総合地球環境学研究所、情報通信研究機構、富山県環境科学センター、島根県保健環境科学研究所、長崎県環境保健研究センター、日本環境衛生センター・酸性雨研究センター



地表から高度約15kmまでの対流圏の大気環境、その中のエアロゾル（浮遊微粒子）の挙動が注目を集めています。とくに、砂漠起源の鉱物性エアロゾルである黄砂は、アジア大陸内陸部で発生量が増加し日本への飛来量も増加しているからです。しかし、黄砂現象そのものは大昔から存在していました。中国では古くから、砂塵（黄砂を意味する中国語）の影響を受けた天気という意味で、「砂塵天気」などと呼ばれてきました。

黄砂研究の飛躍的な進展は、自然現象の徹底的な謎解きを目指す研究者の思いが、地球環境への関心の高まりのなかで実を結んだ好例といえます。その鍵となったのは、1970年代後半から始まったライダー観測です。国立環境研究所は、大気汚染エアロゾルの観測を主たる目的にライダーの開発にいち早く取り組み、先駆的な成果をあげてきました。

本号では、ライダー観測の精緻化や東アジアにおけるネットワーク構築など、最近の研究の進展と将来展望を紹介しています。測定装置の改良によるデータの質および量の向上だけでなく、「データ同化」という解析法の開発が、エアロゾルの発生・挙動の解明と予報精度の向上に貢献しています。ライダーネットワークの拡充は、東アジアの黄砂だけでなく地球規模での対流圏エアロゾルの研究を大きく前進させようとしています。

この特集が、黄砂を含むエアロゾルの動態解明と的確な予報・予測を目指す研究の最前線を理解することに役立つものと期待しています。

2008年7月
理事長 大塚柳太郎

環境儀 No.29

—国立環境研究所の研究情報誌—

2008年7月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG: 西川 雅高、杉本 伸夫、松井 一郎、清水 厚、伊藤 智彦、高橋 善幸、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 社団法人国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13

「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 ₂ 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—疾患への環境科学物質の影響	2008年 1月
NO.28	森の息づかいを測る—森林生態系のCO ₂ フラックス観測研究	2008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○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だけに進もうとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。