

黄砂や大気汚染物質の挙動解明に取り組む

—地球と宇宙から大気を観測

レーザの応用の一つとして、レーザが発明された直後から活用されてきたライダ。とくに高層大気の成り立ちや対流圏における大気汚染を中心に研究が進んできた。観測と化学輸送モデルの両面の精度向上により、大気の挙動解明が進められている。

ライダ (LIDAR:light detection and ranging) とはレーザを使ったレーダである。空气中に浮遊する分子やエアロゾル、各種粒子による散乱、吸収などを利用して、各物質の判別やその濃度、さらには風速、気温など様々なデータ

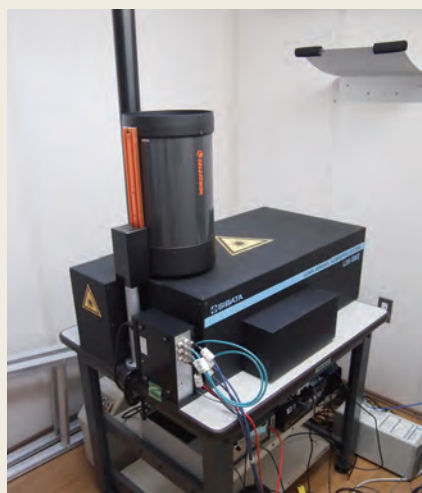


図1 黄砂などの常時定点観測を行うライダ

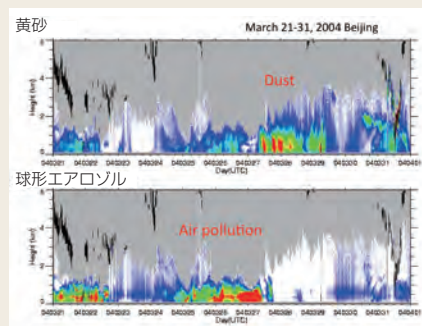


図2 ライダの観測データ

を計測できる。1960年にレーザが発明されたすぐ後の1963年にはライダによる高層大気の観測が行われている。以前からサーチライトなど光学的手法による大気の研究があったものの、レーザは直進性、また単色性という特徴から大いに注目された。実験室では非線形効果の利用も含む様々な手法が検討された。そのうち実際に使われているのは、分子によるレイリー散乱やラマン散乱、エアロゾルによるミー散乱、また光吸収、国立環境研究所環境計測研究センター遠隔計測研究室室長の杉本伸夫氏が近年取り組む蛍光などに限られる。対象としては高層大気と大気汚染の2つが主流である。大気汚染はばい煙や硫酸塩などが対象となる。一方高層大気では、成層圏のエアロゾルやオゾン層、中間圏の金属蒸気層などが測定されている。なお日本でも初期のころからライダの研究は盛んで、同分野への貢献も少なくない。

環境研での歴史

国立環境研究所(当時は国立公害研究所)は1974年に設立され、まもなくライダグループもスタート。様々なライダ手法の開発と大気観測を行ってきた。現在、地上からのライダのネットワークによる大気の観測と人工衛星

に搭載されたライダによる地球大気の観測が主要な研究テーマである。

人工衛星については2006年に打ち上げられたNASAの衛星搭載ライダ「CALIPSO」のデータを利用した研究を行っている。また2016年に打ち上げ予定であるJAXAと欧州宇宙機関(ESA)が共同で開発中の大気放射観測衛星「EarthCARE」では、JAXAの委託研究として、搭載されるライダの解析アルゴリズムの開発を行っている。

地上でのライダ計測は、かつては固定式であれば天気の良い日にハッチを開けて観察、また車に搭載した移動式ライダで道端の排気ガスや工場の煙などを調べていた。だが環境問題への関心の高まりから、継続的なモニタリングへの必要性を感じるようになってきたという。そこで1996年に継続した測定を開始。「当初はエアロゾル分布の季節変化などの統計的な解析が中心だったが、連続観測をすると黄砂などのイベントが捉えられることが見えてきた」(杉本氏)。そこで2001年から、つくば、長崎、北京の3地点で黄砂のライダネットワークによる連続観測を開始。現在東アジアの20か所で計測をしている。ライダは主にミー散乱による散乱光を利用し、波長は532、1064 nm、出力は各20mJ、パルス繰り返し数が10Hz。高さは0~24kmを検出し、分解能は6mで、15分間隔でデータを取得する(図1)。両波長で後方散乱強度、532nmで偏光解消度を計測する。

大陸からの黄砂を観測

このネットワークを利用して杉本氏らが取り組んでいるテーマの一つが東アジア全体における黄砂の挙動だ。黄砂は偏光解消度によってよく区別できる(図2)。散乱する粒子が球形だと偏

光は乱れないため、レーザ光と同じ偏光方向で検出されるが、球形でない場合は垂直成分が出てくる。黄砂は砂の粒子なので丸くなく、偏光解消度が0.3程度と大きくなる。対して大気汚染性のエアロゾルは液体のため球形、ばい煙は形状は複雑なもの、とても小さいため偏光解消度は小さいという。

これらのデータを使って最終的には黄砂がどこで発生し、どの経路をどこまで飛んでいくかという予測を目指している。そこで九州大学が提供する「CFORS(シーフォース)」という化学輸送モデルを組み合わせる。日本に飛来する黄砂はゴビ砂漠で発生するものが多く、黄砂が巻き上がった後2、3日で日本に到達する。化学輸送モデルは、境界条件に気象データが取り込まれている他はコンピュータの中の閉じた世界で、計算された風によって黄砂の発生や輸送が再現される。これにライダーによる観測データを取り込み、データとシミュレーションを整合させるデータ同化の研究を九州大学の鶴野教授らと取り組んできた。黄砂について一番不明な所は発生源の状況だという。そこで発生源の状況を場所ごと、時間ごとに調整できるファクターをつけて観測データを一番よく再現するような発生条件を決定していくという。

黄砂とは挙動の違う大気汚染

さらに杉本氏らは大気汚染への取り組みも始めている。基本的に黄砂と同様にモデルの検証や同化が課題だが、黄砂とは発生の時間および空間スケールが大きく異なるという。黄砂は発生する場所が限られ、それほど広い領域でもない。だが大気汚染の発生源は広範囲におよぶ。また黄砂のように砂が巻き上がるというイベントをモデルで

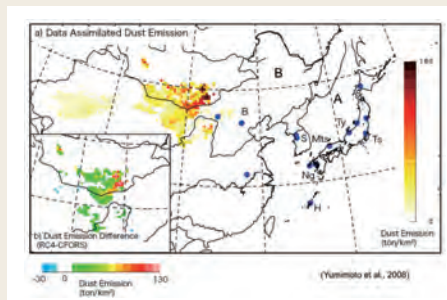


図3 計測データとモデルを利用して計算した黄砂発生量分布マップ

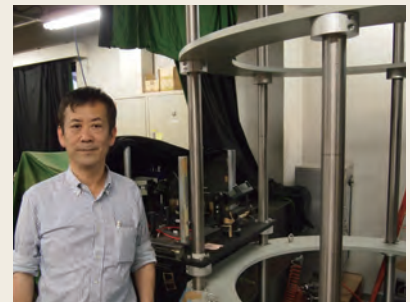


図4 国立環境研究所の杉本伸夫氏と蛍光検出装置

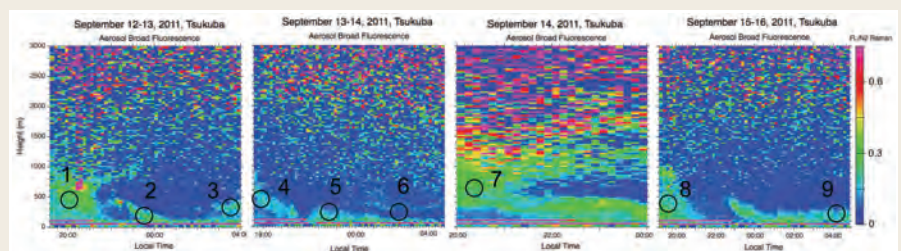


図5 大気汚染エアロゾルの蛍光の観測データ

再現させるのではなく、場所ごとの発生量の情報を与える形になる。たとえば燃料の消費量などから推定した、どこから何がどの程度の量出ているといった情報(発生源インベントリデータ)である。これは通常は時間的には変化させず、年々で変える程度だ。これを大気の流れと併せてシミュレーションする。風が強いところは低濃度だが、空気が淀むところでは汚染物質が高濃度に蓄積されてしまう。なお最近注目されている中国の深刻な大気汚染の要因のひとつは、汚染源が内陸部にまで面的に分布していて、その広範囲にわたって風の弱い状況が起こることにある。そのため一地域だけでなく全域的な対策が必要になる。

より多くのデータで精度を上げる

今までは2波長で散乱、1波長で偏光解消度の計3つの測定だったが、次は7つを測定するという。波長1064、532、355nmの後方散乱および、消散

係数と偏光解消度を532、355nmの2波長で測る。消散係数はラマン散乱を利用。「ライダーのデータはエアロゾルの化学・物理的な特性とリンクしているはずなので、パラメータの数を増やすことによってより正確にエアロゾルの種別毎の濃度を推定したい。そのためには信頼性の高いエアロゾルの光学モデルができてることが重要。これによって地上観測とリモートセンシングをリンクさせたい」(杉本氏)という。

また最近では蛍光の検出に取り組んでいる(図4、5)。黄砂中の鉱物の他、大気汚染エアロゾルからも蛍光が検出されているという。「大気汚染エアロゾルでは多感芳香族炭化水素(PAH)などが蛍光を発していると考えている。蛍光効率もエアロゾルの特性を表すパラメータのひとつになる」(杉本氏)ということだ。(加藤まどみ)

訪問した研究室

独立行政法人国立環境研究所
環境計測研究センター 遠隔計測研究室