

# E12

## 国立環境研究所の成層圏レーザーレーダ観測：つくば－陸別 Lidar Observations of Stratosphere by NIES: Tsukuba - Rikubetsu

中根英昭、杉本伸夫、松井一郎、P. Namboothiri

H. Nakane, N. Sugimoto, I. Matsui, P. Namboothiri

国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies

二宮真理子

M. Ninomiya

地球人間環境フォーラム

Global Environmental Forum

**Abstract:** National Institute for Environmental Studies (NIES) have been observing the vertical profiles of ozone, temperature and aerosols since September 1988 using excimer lidar in Tsukuba. In 1996 major modification of the lidar system was successfully carried out. Mesospheric OH signal was also detected by the lidar system. A new lidar system for temperature and aerosol observation is plan to be installed in Rikubetsu to clarify the dynamics related to the variabilities of the ozone layer.

### 1. はじめに

フロンをはじめとするオゾン層破壊物質の規制が効果を現し、成層圏中の塩素化合物濃度の増加率が鈍化し、まもなくピークを迎えようとしているが、南極オゾンホールや北極域のオゾン破壊、中緯度のオゾン層破壊の状況には、今のところ改善の兆しは見えない。オゾン層破壊の程度は、フロンなどのオゾン層破壊物質濃度と共に温暖化などの気候変動の影響を強く受けるため、今後の動向を把握するためには、オゾンや気温の鉛直分布、HCl、HF、ClONO<sub>2</sub>、フロンなどのオゾン層破壊関連物質を総合的に観測することが重要である。この観点から、「成層圏変化検出のためのネットワーク (Network for the Detection of the Stratospheric Change; NDSC)」が国際的に展開されており、日本の研究者も多く参加している。国立環境研究所では、1988年9月からつくばの研究所内にオゾンレーザーレーダを設置し、オゾン鉛直分布の観測を行ってきた。また、この観測の副産物として気温、エアロゾルの鉛直分布が得られた。しかしながら、レーザ、望遠鏡等の劣化が進行したために、1996年にレーザ、望遠鏡、光学系の更新を含むシステム的大幅な改良を行った。その結果、高度10kmから40km以上のオゾン鉛直分布が得られるようになった。最近、オゾンホールと基本的に同じメカニズムで起こる北極域の極渦内のオゾン破壊が深刻になっており、これが日本上空に影響を及ぼしていることが明らかになってきた。特に、北海道にはその影響が現れやすいため、陸別で成層圏の総合観測を行うことの重要性が認識されるようになった。国立環境研究所では、成層圏総合観測の一環として気温及びエアロゾルの鉛直分布を観測するレーザーレーダを陸別に設置する計画を立てている。本報告では、国立環境研究所のシステム更新後のオゾンレーザーレーダの観測について報告すると共に、陸別に設置するべきレーザーレーダについて紹介する。

## 2. オゾンレーザレーダシステム

1996年に更新したオゾンレーザレーダシステムの仕様を、表1に示す。特に留意した点は、大規模火山噴火時のエアロゾルの影響を少なくするために窒素ラマン散乱光からオゾン鉛直分布の観測を行えるようにすること、4波長を受信することによる色収差を避けるため、反射鏡を用いたカセグレン型のコリメータ及び集光光学系をレンズの代わりに用いたこと、ソフトフォーカスのビームツイスト（直径約4cm）部分がダイクロイックミラー、干渉フィルター及び光電子増倍管の位置に来るような光学系にしたことである。このことにより、光学系の調整が容易になった。

表1 国立環境研究所の新オゾンレーザレーダシステムの仕様

---

|  |                                       |                  |
|--|---------------------------------------|------------------|
| レーザ                                      |                                       |                  |
| 308nm                                    | XeClエキシマーレーザ（ラムダフィジクス社LPX250）         |                  |
| 出力                                       | 400mJ（パワーモード）                         |                  |
| 繰り返し                                     | 100Hz（通常47Hzで使用）                      |                  |
| 355nm                                    | Nd:YAGレーザ第三高調波（コヒーレント社Infinity40-100） |                  |
| 出力                                       | 100mJ                                 |                  |
| 繰り返し                                     | 1-100Hz（通常47Hzで使用）                    |                  |
| 送信光学系                                    |                                       |                  |
| 308nm                                    | 3倍拡大                                  | 355nm 5倍拡大       |
| 望遠鏡中心軸より送信（同軸型）                          |                                       |                  |
| 受信望遠鏡                                    |                                       |                  |
| ニュートン型                                   | 口径 1m                                 | 焦点距離 4m          |
| 受信光学系                                    |                                       |                  |
| 視野絞り、カセグレン型コリメータ&集光光学系、チョッパー、ソフトフォーカスレンズ |                                       |                  |
| 分光系                                      |                                       |                  |
| 308nm                                    | （308nmのレーリー散乱）                        | 95%チャンネル、5%チャンネル |
| 334nm                                    | （308nmの窒素ラマン散乱）                       |                  |
| 355nm                                    | （355nmのレーリー散乱）                        | 95%チャンネル、5%チャンネル |
| 386nm                                    | （355nmの窒素ラマン散乱）                       |                  |
| 検出系                                      |                                       |                  |
| 光電子増倍管（浜松ホトニクスR2059SK；口径5cm）             |                                       | 6本               |
| ディスクリミネータ                                | フォトンカウンター                             | 6チャンネル           |
| 信号処理                                     |                                       |                  |
| 東芝AS475 ワークステーション                        |                                       |                  |

---

### 3. 新オゾンレーザレーダシステムによるオゾン鉛直分布観測例

新システムによる、オゾン鉛直分布観測例を図1に示す。太実線はレーリー散乱を用いた通常の差分吸収ライダー (DIAL) 方式による観測結果、細実線は窒素ラマン散乱光同士を用いてオゾン鉛直分布を求めたものである。ラマン散乱光の信号の平滑化の度合いをレーリー散乱光と同じにしたため、ラマン散乱信号から求めたオゾン鉛直分布の雑音が大きいが、レーリー散乱信号から得られたものとよく一致している。もう一つの重要な点は、高度10kmからオゾン鉛直分布が得られていることである。10km~20kmの高度領域は、図中にも現れているようなオゾンの第二のピークが現れるなど、オゾン変動の大きな領域であり、また、オゾン層破壊の速度の最も大きな領域でもある。高度15km以下の測定は、旧システムでは望遠鏡の直径が2mもあったために困難であったが、新システムでは測定が可能になった。また、測定上限は大気の透過率で異なるが、条件の良い場合には45km程度であり、旧システムとほぼ変わらない。国立環境研究所では、1995年9月からミリ波によるオゾン観測を実施しており、高度35kmから75kmのオゾン鉛直分布が測定できるようになっているので、オゾンレーザレーダの観測値と合わせて、高度10kmから75kmのオゾン鉛直分布が得られている。

### 4. 中間圏の夜間OH層の信号の検出

OHは、昼間是对流圏から成層圏に広く分布し、オゾンの光化学にとって重要な物質であるが、鉛直分布の観測は容易ではない。ところが、夜間のOHは $O_3 + H$ でできる中間圏界面付近の大気光層のみであるため、共鳴蛍光を利用してレーザレーダによって検出するのに適している。NIWA (ニュージーランド) やJPL (米国) のグループがオゾンレーザレーダの308nmの信号に現れる80km付近のピークがOHの蛍光であることを最近確認した (Brinksma et al., 1997)。彼らは、0.008nmの線幅のtunableなレーザを使ってOHのラインに合わせたり外したりして、OHの蛍光 (P1(1)/Q2(3) doublet; 308.16nmと308.15nmのQ1(3)が部分的に重なっている) が出たり消えたりすることを確認した。国立環境研究所のエキシマーレーザはブロードバンド (307.96nmと308.2nmにピークがあり、前者は0.034nm、後者は0.067nm (308.15付近と308.21付近のダブルピークのため幅が広い) のバンド幅) であるので、後者のピークの短波長側が常にOHを励起し、蛍光を観測していることになる。図2は1997年1月30日から2月27日の間の約48時間のデータを平均したものである。上段の左は308nm、右は355nmの距離自乗補正信号である。308nmの信号にだけ80km付近にピークが見える。355nmの信号で割ったものが下段であり、下段右は900mの移動平均をかけたものである。40km以下のピークはオゾンの吸収によるものであり、45kmから65kmまでは一定値 (=1) となっている。80km付近のピークはOHの信号と考えられるが、その強度はレーリー散乱の約3倍である。もっとも、OH層の高度は変化するので、短時間で観測するならばピーク強度はもっと大きく、ピークの幅はもっと狭いと考えられる。OH専用に装置を調整するならば、短時間の測定も困難ではないと思われる。

### 5. 陸別に設置する計画のライダー

我々は、1997年には気温/エアロゾル測定レーザレーダを、1998年にはミリ波によるオゾン測定装置を陸別に設置したいと考えている。レーザレーダの観測では、355nmのレーリー散乱を7kmから80kmまで、ラマン散乱を7kmから30kmまで観測したいと考えている。レーザにはNd:YAGレーザ第三高調波 (コヒーレント社Infinity40-100)、望遠鏡は口径50cmのカセグレン型を用いる予定である。

NIES New Ozone Lidar 970130

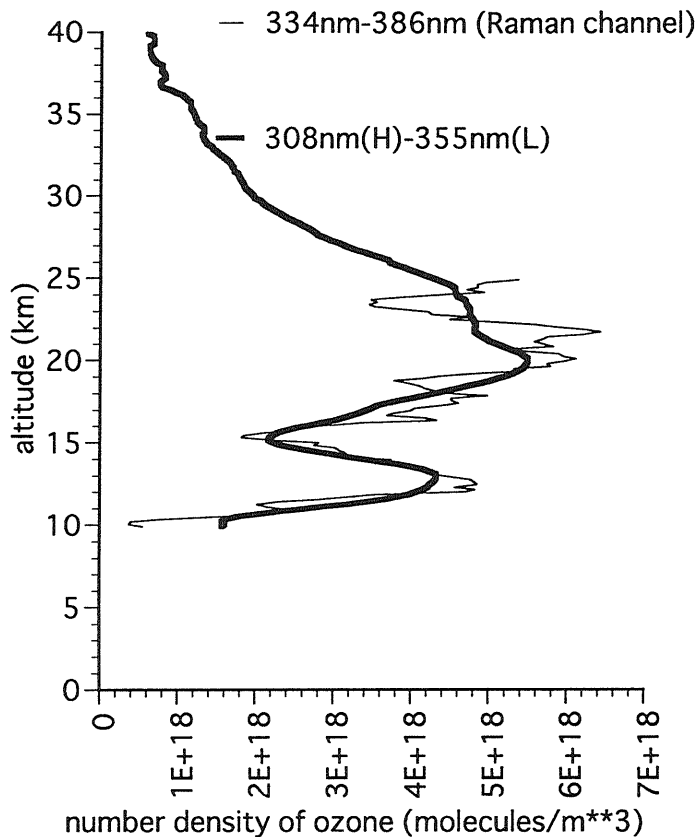


図1 国立環境研究所の新オゾンレーザレーダによって観測されたオゾンの鉛直分布の例。太実線は空気のレーリー散乱、細実線は窒素ラマン散乱信号より求めた。

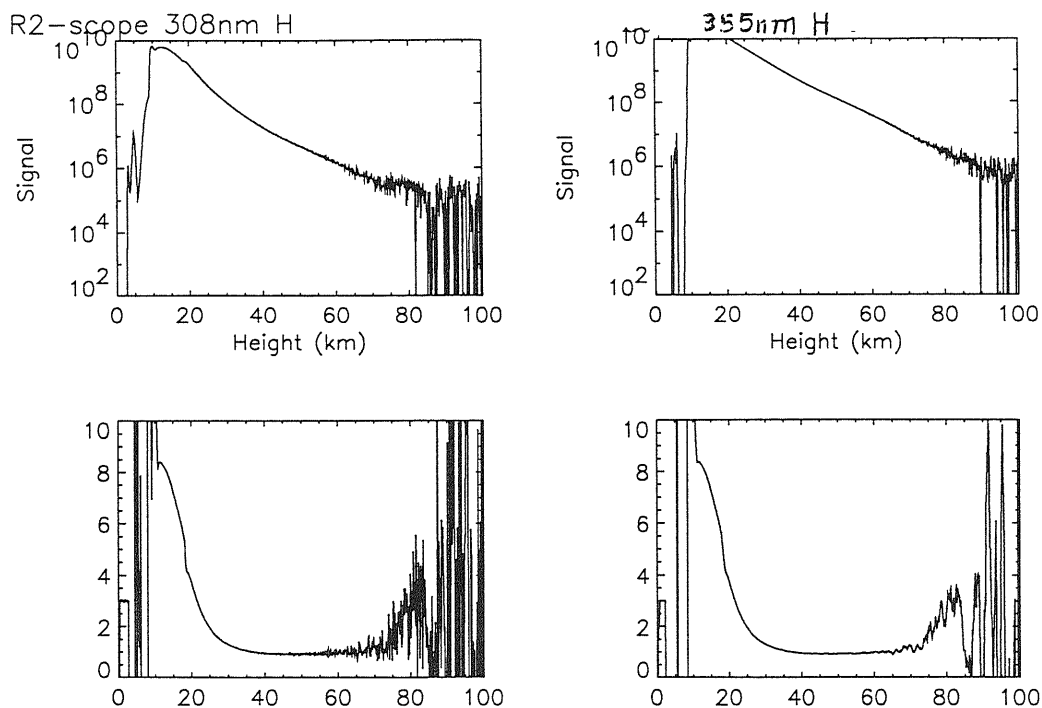


図2 国立環境研究所の新オゾンレーザレーダによって観測されたOHの蛍光。上段は、距離自乗補正した308nm (左)、355nm (右) の信号。下段は308nmの信号を355nmの信号で割り、50km付近で規格化したもの。80km付近のピークがOHの蛍光と考えられる。