

エキシマレーザーを使った高層大気観測

Excimer Laser Radar Observation of Upper Atmosphere

柴田 隆 前田三男

T. Shibata M. Maeda

九州大学工学部

Faculty of Engineering, Kyushu University

1. はじめに

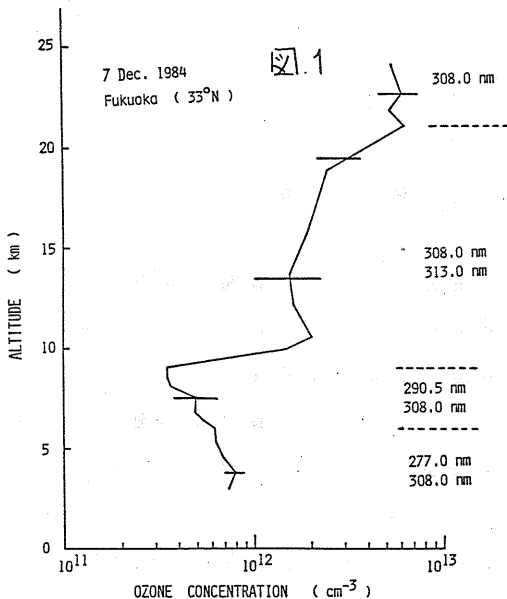
XeClエキシマレーザーによる成層圏オゾンのライダー観測が1978年に行われて以来、エキシマレーザー装置の性能の向上により近年徐々にエキシマレーザーを用いた大気のライダー測定が、いくつかのグループで行われるようになってきた。しかしながら高層大気観測に限れば、我々のグループ以外で実際に観測が行われているのは、XeClレーザー(308nm)を用いた成層圏オゾン密度分布の測定^{2,3)}のみである。

エキシマレーザーは希ガスとハロゲンの組合せにより、いくつかの紫外波長で発振する。またエキシマレーザーにより色素レーザーや誘導ラマン散乱を励起することにより紫外から近赤外にいたる種々の波長のレーザー光を得ることができ、XeClレーザーによるオゾン測定以外にも高層大気観測への種々の用途が考えられる。これまで、我々はXeClレーザーによって励起されたp-Terphenyl色素レーザー(340nm)によっ

て、1982年10月より1984年10月までエルチフ火山噴火後の成層圏エアロゾルの変動を測定した⁴⁾。また同じくXeClレーザー励起色素レーザー(Rhodamine 589nm)により中間圏ナトリウム層の観測に成功した⁵⁾。ここでは特に我々がエキシマレーザーを用いて最近成功した観測例を紹介する。

2. XeClレーザー, KrFレーザー励起誘導ラマン散乱によるオゾン測定

XeClレーザーはその発振波長(308nm)がDIALによる成層圏オゾン測定に適していることから、我々は1978年これを15~28km高度のオゾン分布測定に初めて成功し、以後ルーチン観測によりこの高範囲の精度の良いオゾン分布を蓄積している^{1,6)}。近年市販の高出力高くり返しのエキシマレーザーを用いて同様の観測を行い、高度50km付近までのオゾン分布を測定した例がドイツとフランスのグループによって報告された^{2,3)}。



表

Transmitter						
Laser	KrF	KrF-pumped H ₂ (S ₁)	KrF-pumped CH ₄ (S ₂)	XeCl	KrF-pumped H ₂ (S ₂)	XeCl-pumped p-Terphenyl
Wavelength (nm)	249	277	290	308	313	340
Absorption cross section (cm ²)	1.1x10 ⁻¹⁷	4.9x10 ⁻¹⁸	1.3x10 ⁻¹⁸	1.2x10 ⁻¹⁹	5.6x10 ⁻¹⁹	1.5x10 ⁻²⁰
Maximum output energy per pulse (mJ)	508*	50	17	200	44	20
Pulse duration (nsec)	15	10	10	15	10	10
* with stable resonator						
Receiver						
Telescope	50 cm diameter (f=5255 cm) coude type					
Field of view	1 mrad					
Photomultiplier	EMI9558QB (2 ch.)					
Filter bandwidth (transmission)	2 nm (10 %)					
Separation from laser system	3 m					
Photon counter	1 μsec (Δz=150 m)					
vertical resolution	1000					
channel number	floppy disk					
memory						

他方 15 km 以下のオゾン密度の低い部分を測定しようとした場合 290 nm 付近のレーザ光が必要となる。上記フランスグループはこの波長を Nd:YAG レーザ SHG 励起色素レーザ SHG によって得て測定を行っている⁷⁾が、我々もこの波長を KrF レーザ (248 nm) 励起 CH₄ オーストクス線 (S₂: 290.5 nm) によって得るのと XeCl レーザとの二波長 DIAL で 4~12 km 高度のオゾン分布を求めた⁸⁾。また成層圏エアゾルの増加した状況や下部対流圏では KrF レーザ励起 H₂ のオーストクス線 (S₁: 277 nm, S₂: 313 nm) も XeCl レーザと組合せることによってオゾン測定に有用である⁹⁾。図 1 に我々のライダー装置によって観測されたオゾン分布の例を示す。図中に示された波長の組合せによってこの高度範囲のオゾン密度が測定された。ラマンレーザの変換効率¹⁰⁾は CH₄ の S₂ で約 10%, H₂ の S₁, S₂ で約 30% であり表に示したような出力を得ることが出来る。エキシマレーザ及びラマンレーザは Nd:YAG レーザ SHG 励起 dye レーザ SHG を用いた場合のように波長可変の自由度は少ないが逆にチューニング要素もしくはその機構をレーザー装置中に必要とせずより構造が簡便である。

3. XeF レーザによる高層大気密度・温度測定

Rayleigh 散乱を利用した下気密度のライダー測定は近年フランスグループによって精力的に続けられていて、30-90 km 間のプラネタリー波や重力波の振舞いについて興味深いデータを蓄積している¹⁰⁾。ライダー装置は 400 mJ, 10 pps の Nd:YAG レーザ SHG に 80 cm φ の望遠鏡で、距離分解能 (ΔZ) 0.6 km, 時間分解能 (ΔT) 1 s で 30-70 km の間の下気密度を数%の精度で測定できる。密度がわかると、静圧平衡、理想気体を仮定して温度が求まる。とここで、Rayleigh 散乱の波長 λ の 4 乗に逆比例する¹¹⁾のでより短波長の XeF レーザ (351 nm) は Nd:YAG レーザ SHG (532 nm) に比べて約 6 倍散乱の効率が良い。先学系、下気透過率 1/532 nm α が逆に約 1/532 だが、PMT α 効率、くり返し等を考え、モデル大気を仮定、LIDAR 方程式

より測定精度を求めると、同一面積の望遠鏡を用いた場合、XeF レーザを用いた方が約 1/2 測定誤差が少い。図 2 に $\Delta T = 15 \text{ min}$, $\Delta Z = 1.5 \text{ km}$ に対して予想される測定誤差を示す。

図 3 は 3 月 20 日早朝に行った観測結果である。 $\Delta T = 1 \text{ h } 19 \text{ min}$, $\Delta Z = 1.5 \text{ km}$ である。測定誤差は高度 60 km で密度約 10%, 温度約 15 度である。これは測定時の空の状態が良くなかったこともあり、予想される誤差より小さく、受信パルス数にして約 1 桁小さい。この他受信望遠鏡の鏡面の劣化が見られたので現在対策を行っている。(参考文献) 1) Appl. Phys. Lett. 33 (1978) 807. 2) Int. Lidar Conf. (1984) abstracts p247 3) Appl. Phys. B. 33 (1983) 113. 4) J. Atmos. Terr. Phys. 45 (1983) 849. 5) 電気気象学会九州支部大会講演論文集 (59 年度) p352. 6) J. Geophys. Res. 88 (1983) 5273 7) J. Geophys. Res. 87 (1982) 4947. 8) Opt. Lett. 8 (1983) 247 9) 柴田他, 'レーザー研究' in press 10) J. Atmos. Terr. Phys. 46 (1984) 987. 以上。

