

# B 1

## ラマン・レーリィ・ミー散乱混成方式レーザーレーダによる対流圏温度の遠隔計測法

Tropospheric Temperature Sensing Technique by the Hybrid Lidar Using Raman and Rayleigh-Mie Scatterings.

山田 辰之                      小林 喬郎  
Tatsuyuki Yamada              Takao Kobayashi  
福井大工学部  
Faculty of Engineering, Fukui Univ.

An inversion technique of atmospheric density and temperature profiles in the lower troposphere is proposed. This method is realized by the hybrid lidar scheme detecting Raman and Rayleigh-Mie scatterings using the XeCl excimer laser. Experimental study of this technique is also proceeded. Temperature resolution was estimated to be  $\pm 1\text{K}$  at the altitude 400m and  $\pm 5\text{K}$  at 1200m.

### 1.はじめに

レーザーレーダによる大気温度の測定は、通常高度30 km以上の大気のレーリィ散乱を用いて分子密度を測定する方法等によって行われている。しかし、成層圏や超高層の大気に比べてエアロゾル密度が高く、その変動が激しい対流圏においては、エアロゾルの影響による透過率の補正を行わなければならないため、高精度な大気温度分布の測定は困難である。

そこで我々は、XeClエキシマレーザーレーダを用いて、レーリィ及びミー散乱の弾性散乱成分と、窒素分子のラマン散乱の非弾性散乱成分の2波長の同時測定を行い、エアロゾルの影響による透過率の補正を加え、大気密度及び大気温度空間分布の新しい測定法を検討したので、その結果を報告する。

### 2.大気透過率の補正と気温分布の導出法

2波長同時測定による信号の強度比から、ミー散乱及びレーリィ散乱の体積後方散乱係数 $\beta_{mie}(R)$ と $\beta_{ray}(R)$ によって、各高度における散乱比 $h(r)$ の空間分布が次式で与えられる。

$$h(R) = \beta_{mie}(R) / \beta_{ray}(R) \quad (1)$$

この値を窒素分子のラマン散乱信号パワー $P(R)$ に対するレーザーレーダ方程式に代入することによって、 $\beta_{ram}(R)$ だけを含む次のレーザーレーダ方程式が導かれる。

$$P(R) = \{k \beta_{ram}(R)/R^2\} \cdot \exp\left[-\int_0^R \{\gamma \{2S_1h(R') + (1+u)S_2\} \beta_{ram}(R') dR'\right] \quad (2)$$

ここで、 $\gamma = \beta_{ray}/\beta_{ram}$ 、 $S_1$ はエアロゾルの散乱パラメータ( $\alpha_{mie}/\beta_{mie}$ )、 $S_2$ は大気の散乱パラメータ(8.53)、 $u = (\lambda_L/\lambda_R)^4$ である。上式を解くことにより、その解は次式で与えられる。

$$\beta_{ram}(R) = X(R) / [\{X(Rc)/\beta_{ram}(Rc)\} + \int_R^{Rc} \gamma X(R') \{2S_1h(R') + (1+u)S_2\} dR'] \quad (3)$$

ここで、 $X(r) = P(r) \cdot R^2$ である。この解は、Klett<sup>1)</sup>及びFernald<sup>2)</sup>等がミー散乱法に対して求めた解をラマン散乱法に拡張したものであり、遠方( $Rc$ )に境界条件を設定することにより、安定な解が得られる。

求めた解より $N(R) = \beta_{ram}(R) / (d\sigma/d\Omega)$ を用いて密度解 $N(R)$ が得られ、地表からの気圧分布を仮定し気体の状態方程式 $T(R) = P/(N(R) \cdot R_0/A)$ によって大気温度の空間分布が求められる。

散乱パラメータ $S_1$ はエアロゾルの成分及び粒径分布によって変化するため、その値を仮定しなければならない。そのため実際の $S_1$ との違いによる誤差が生じるが、この値は散乱比 $h(R)$ が小さいほど減少する。同じエアロゾル量に対して $h(R)$ はレーザー波長が短くなる程小さな値となるため、紫外域エキシマレーザーを用いることは有効であると思われる。

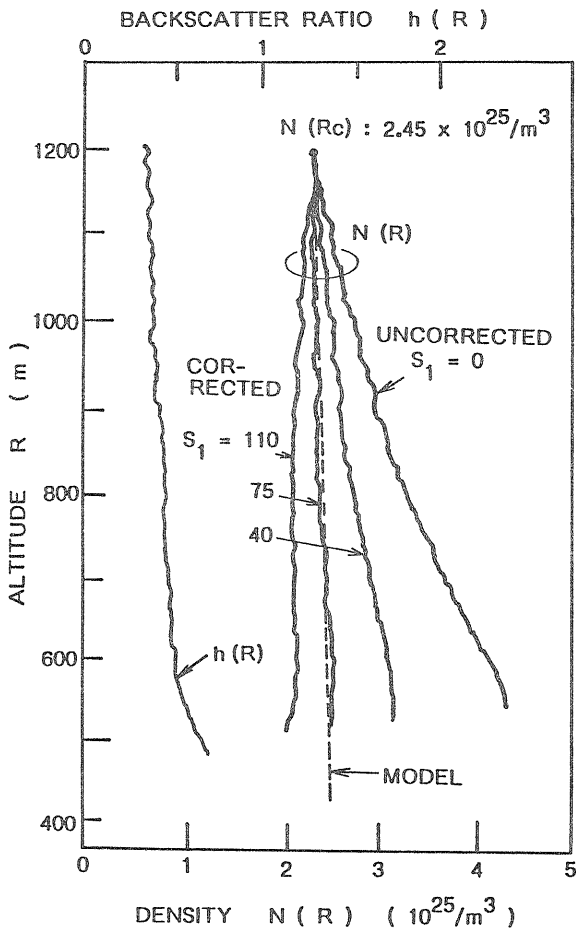


Fig.1 Experimental results of the backscatter ratio and the atmospheric density.

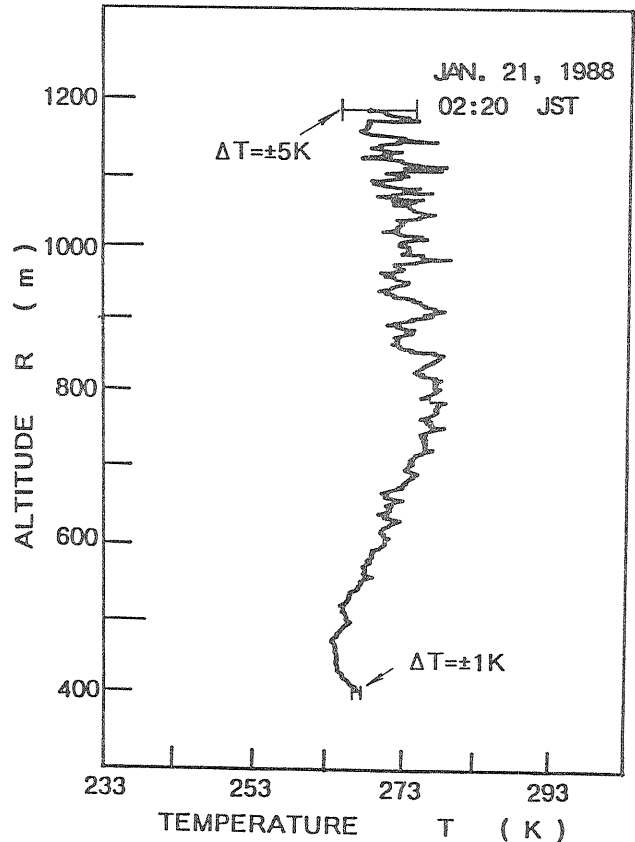


Fig.2 Atmospheric temperature profile obtained using this technique.

### 3. 実験結果

実験は、出力80 mJのXeClエキシマレーザ(308 nm)と直径30 cmの集光鏡を用いて行った。受信光は1200本/mmのホログラフィックグレーティングを用いたポリクロメータでレーリィ(ミー)散乱光と窒素分子のラマン散乱光を分光して2個のPMTで同時検出し、トランジェントレコーダ(分解能 10 bit, サンプルレート 20 ns, 記憶容量4096 words)で積算した。

Fig. 1 は、2波長同時測定によるデータから導出した散乱比 $h(R)$ と密度解  $N(R)$ の結果である。 $h(R)$ は上空に行くにしたがい小さな値となっており、澄んだ大気状態となることが分る。また密度解  $N(R)$ は、高度1200 mに境界条件を設定して求めた。減衰補正をしないとき( $S_1=0$ )は大きく標準大気からずれているが、 $S_1=75$ と仮定したときには標準大気モデルとほぼ一致した。

Fig. 2 にこの密度解より導出した大気温度分布を示す。パルス積算回数 $m = 8000$ 回で温度分解能は、高度400 mで $\pm 1$  K、1200 mで $\pm 5$  Kであった。

### 4. まとめ

紫外域で高感度なエキシマレーザを用い、ラマン散乱及びレーリィ(ミー)散乱の2波長同時測定によりエアロゾルの影響を補正し、対流圏における大気温度を測定する方法について検討した。またそれに基づく実験結果を示した。今後さらに高出力なレーザを用い、受信鏡面積の拡大を画り、高感度化及び高精度化を進めて行きたい。

1) J.D.Klett; Appl. Opt., 20, 211 (1981). 2) F.G.Fernald; Appl. Opt., 23, 652 (1984).