

平等 拓範, 佐々木 孝朗, 山本 貴史, 小林 喬郎, 堀 晃浩*, 北田 俊信**
 T. Taira, T. Sasaki, T. Yamamoto, T. Kobayashi, A. Hori*, T. Kitada**
 福井大学工学部, +関西総合環境センター, ++関西電力総合研究所
 Fukui University, +Kansai Sougou Kankyou Center, ++Kansai Denryoku

A rotational Raman lidar system has been developed for measuring tropospheric temperature using the pure-rotational Raman scattering (PRRS) of air molecules. A double-grating monochromator is designed for isolating the intense Mie scattering by a factor of 8×10^5 . Using second harmonic wave of the Nd:YAG laser, the sensitivity of the atmospheric temperature profile measurements was improved to about $\pm 0.35\text{K}$ at altitudes up to 1000m with range resolution of 22.5m.

はじめに 近年, 環境破壊とその保全に関する問題が注目されており, 大気状態を高精度で計測する必要性が高まってきた。しかしながら気象要素である対流圏の大気温度を実時間で遠隔的に三次元計測が可能なレーザレーダ方式は未だ実用化されていない。我々は, これまで大気温度分布計測法として光源に Nd:YAG レーザの第 2 高調波 (波長 532nm) を用いた回転ラマン散乱方式レーザレーダの開発を行ってきた^{1,2)}。本報告では新たに高効率, 高分解能の二重回折格子型分光器を開発して基礎特性を求めたのでその結果を報告する。

測定原理 大気構成分子の回転ラマン散乱スペクトル (PRRS) は入射光波長の長波長, 短波長の両側に数 nm にわたり多数分布しており, その強度はボルツマン分布に従う温度変化を示す。よって異なる 2 つのスペクトル S(4) と S(12) の強度比 S を測定することにより対流圏の温度分布が次式により求められる。

$$T = T_0 + \alpha \cdot (S - S_0) \quad \dots (1)$$

ここで, T_0 は基準温度, α は温度係数 $\alpha = \partial S / \partial T$, S_0 は基準温度 T_0 での強度比である。また, 大気の透過率による誤差が無視できることが, 本方式の特長である。しかし, PRRS にはレーザと同波長の近接する強いミー散乱が重畳してくる。そのため, 高分解能で高透過率の分光器の開発が必要となる。

装置構成 Fig.1 に気温計測用回転ラマンレーザレーダシステムの基本構成を示す。Qスイッチ Nd:YAG レーザの第 2 高調波

を大気中へ送出する。大気からの後方散乱光は直径 46cm のニュートン型反射望遠鏡で集光され, 高分解能分光器に導かれる。分光器ではラマン散乱の 2 波長 (ストークス S(4), S(12) 線) とミー散乱波長を分光し, 3 個の光電子像倍管で検出する。ラマン散乱信号は 2 台のトランジェントレコーダに入力され, コンピュータで高精度の信号処理を行い, 空間分布を表示する。ま

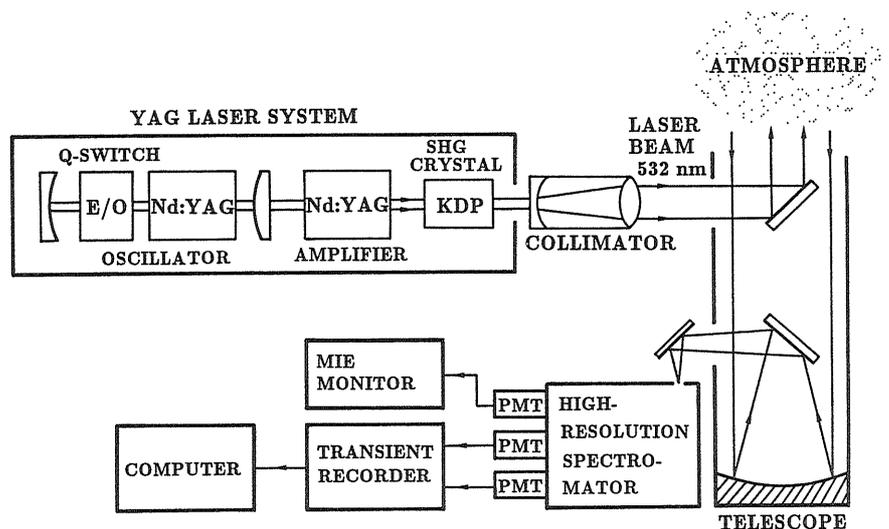


Fig. 1 Rotational Raman Lidar System

た、ミー散乱信号はモニタとして用いる。

回折格子分光器 PRRS

の散乱断面積はミー散乱断面積に比べて4桁程度小さく大気のPRRSを精度1Kで測定するためにはミー散乱を約6桁以上遮断し、高効率にPRRSの信号を検出する必要がある。そこで、ホログラフィック回折格子(刻線数2400本)を2個用いた小型軽量の二重回折格子分光器を最適設計を行い試作した。この結果、レーザー光と1.3nm離れたS(4)のラマンシフト波長に対して遮断率 8×10^5 、透過率44%と高遮断率、高透過率の特性を得ることができた。

実験結果と検討 Fig.2に本レーザーレーダによる測定結果を示す。Fig.2(a)はS(4), S(12)線の受信電力とその強度比であり、Fig.2(b)は強度比を温度に換算して得られる大気温度高度分布である。このとき、絶対温度は測定時の地表温度により校正した。この結果、高度1000mにおいて温度感度 $\Delta T = \pm 0.35K$ が得られている。次に、Fig.3に本レーザーレーダのSN比の距離依存性の計算結果及び測定結果を併せて示す。レーザーパルス出力は200mJ、繰り返し10Hz、光学系全効率0.133、受信系の帯域を0.2nmとした。このとき、受信視野を $5 \times 10^{-7} sr$ と非常に狭くしているため、距離3kmまで全日測定が可能なが分かる。また、この図より、受信視野が完全に重なっている範囲ではほぼ理論値と一致するが、1.1km以上の範囲では $Y(R)$ が急激に低下している。

まとめ 以上、高効率、高分解能の二重回折格子型分光器を用いた回転ラマン散乱レーザーレーダ試作し、大気温度の空間分布測定実験を行った。これにより、昼間でも1000mまでの範囲で感度 $\pm 0.35K$ で大気温度を測定できた。今後、バルーンなどを用いた校正実験を行い高精度化することを検討する。

以上、高効率、高分解能の二重回折格子型分光器を用いた回転ラマン散乱レーザーレーダ試作し、大気温度の空間分布測定実験を行った。これにより、昼間でも1000mまでの範囲で感度 $\pm 0.35K$ で大気温度を測定できた。今後、バルーンなどを用いた校正実験を行い高精度化することを検討する。

<文献> [1]平等,小林: 第13回レーザーセンシングシンポジウム予稿集, A11, p21 (1989)
 [2]T.Kobayashi,T.Taira: 15th Int.Laser Radar Conf., Tomsk, USSR, II, p290(1990)

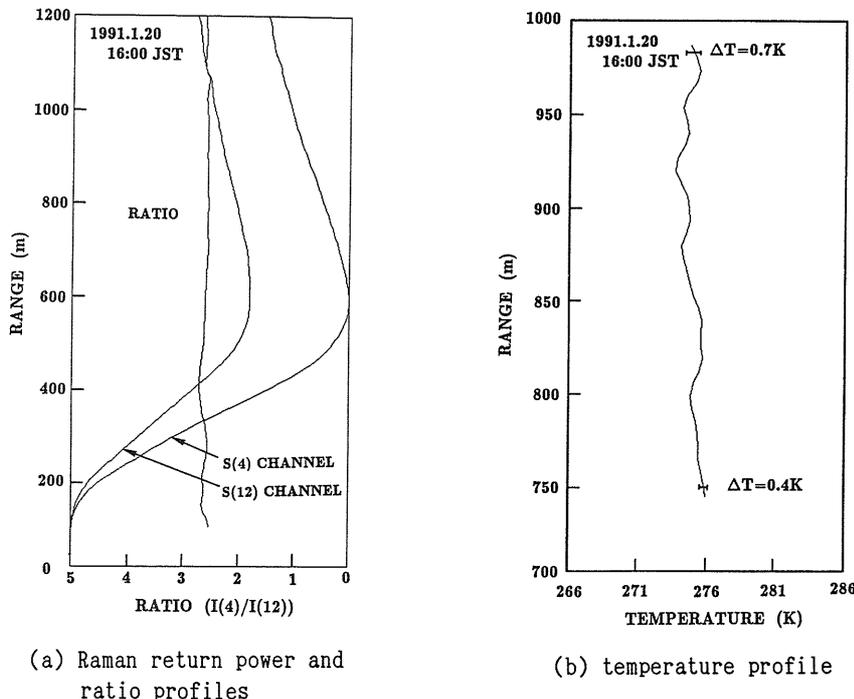


Fig. 2 Experimental Results

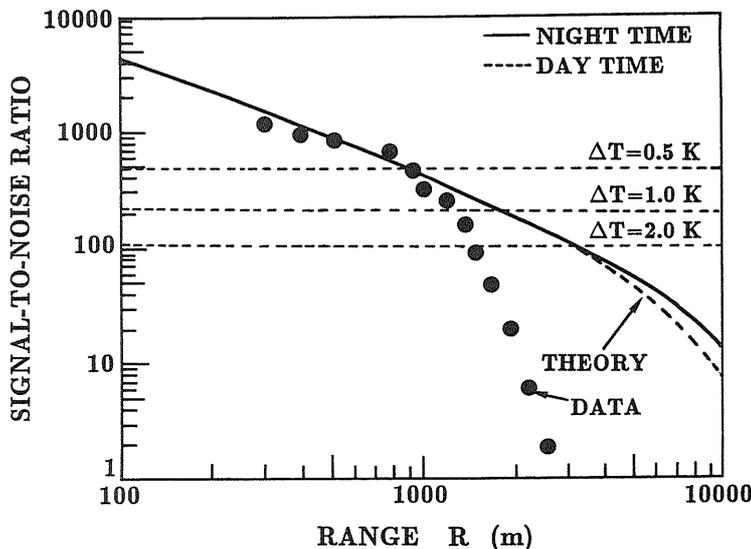


Fig. 3 Range Dependence of the Detection Signal-to-Noise Ratio