

A11

大気温度計測のための回転ラマン散乱方式レーザーシステム

Rotational Raman Lidar System for Atmospheric Temperature Measurements

平等 拓範                      小林 喬郎  
 Takunori Taira              Takao Kobayashi  
 福井大学工学部  
 Faculty of Engineering, Fukui Univ.

A rotational Raman lidar system is investigated for measuring tropospheric temperature based on pure-rotational Raman spectra of air molecules. Using UV harmonic beam of the Nd:YAG laser, high sensitive and solar blind operation is realized. It is estimated that this system has a possibility of measuring temperature with  $\Delta T=1K$  up to 0.8km range.

1. 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。しかしながら重要なパラメータ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ー方式は未だ実用化されていない。現在まで大気温度の測定法としては、レーリィ散乱法<sup>[1]</sup>、高分解スペクトル法<sup>[2]</sup>、差分吸収法(DIAL)<sup>[3]</sup>、回転ラマン散乱法<sup>[4,5]</sup>などがある。大気中の分子の回転ラマンスペクトル強度分布の温度変化を利用する回転ラマン法は分光技術が他の方式と比べ比較的容易であり、対流圏での絶対温度が求められるなど特長を有するが、高精度化のためのレーザーと分光技術の問題が残されていた。今回、ソーラーブラインドで高輝度のレーザーと、高分解能な分光技術を用いた回転ラマン散乱方式について理論及び実験により検討したので報告する。

2. 装置構成      高感度、高精度かつ全日測定を可能とするため、光源として高輝度、高パルス繰り返しNd:YAGレーザーのFH光(4倍波:266nm)を用いた。Fig.1に本レーザーシステム装置構成を示す。レーザー装置としてはCW励起Q-スイッチNd:YAGを用い出力光を2段階増倍し、266nmに波長変換し、大気中に送出する。大気からの後方散乱光を直径60cmのニュートン型反射望遠鏡で集光し、高分解能分光器で分光して、2チャンネルの光電子増倍管で検出し、トランジェントレコーダに入力し、高精度でコンピュータで信号処理を行い不安定さを取り除き大気温度分布を表示する。分光装置としては回転ラマンのスペクトルとレーリィ散乱光を分離するため、中心から40cm<sup>-1</sup>離れた位置で4桁以上遮断する必要があるため、回折格子とエタロンもしくは多段エタロンを用いて高分解分光装置を構成している。

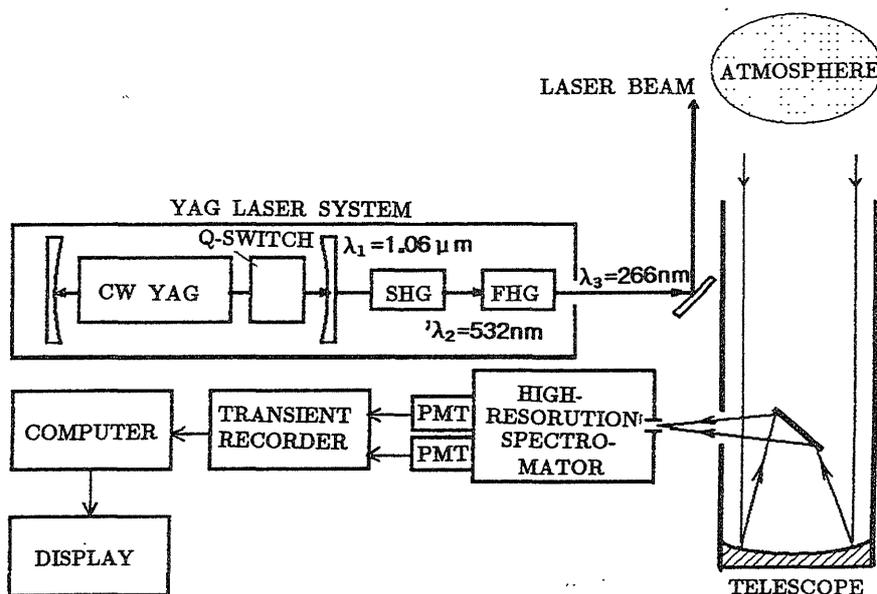


Fig. 1 Rotational Raman Lidar System

3. 回転ラマンスペクトル Fig.2(a)に大気を構成する主な分子である  $N_2$  の  $T=300K$  における回転ラマンのストークススペクトルの計算結果を示す。Fig.2(b)にそれらの温度係数を示す。これより低波数域では負、高波数域では正の温度依存性を示す。ゆえに、温度係数差の大きい2つのスペクトル領域において分子温度の絶対測定を行うことが望まれる。Fig.2(b)より  $J=4$  と  $J=14$  のスペクトルを利用するのが最適であり、温度係数の差分値は  $\epsilon = 4 \times 10^{-3} (K^{-1})$  となる。また  $J=2 \sim 6$ ,  $J=12 \sim 16$  の2つのスペクトル領域に対してもほぼ同じ係数値となる。温度精度  $\Delta T$  と信号検出  $S/N$  の関係は

$$\Delta T = [\epsilon (S/N)]^{-1} \quad \dots (1)$$

与えられ、2チャンネルで測定する場合  $S/N$  は  $\sqrt{2}$  倍大きくなるため、 $\Delta T = 1K$  で測定するには  $S/N \approx 350$  が必要なが分かる。

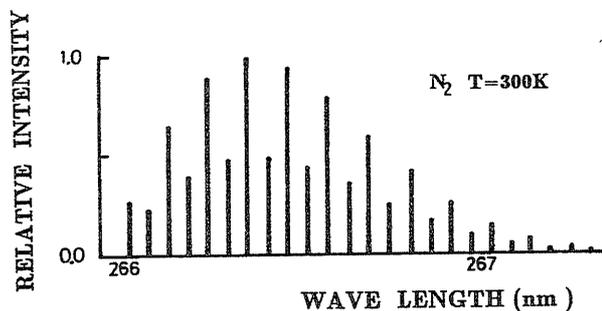
4. 信号対雑音特性 Fig.3 に  $N_2$  分子の回転ラマン散乱の  $S/N$  (電圧比) の距離変化の計算結果を示す。また、Table 1 に計算に用いたレーザレーダのシステム値を示す。 $S/N$  はソーラブラインド領域であるためショット雑音限界に達する。また、 $J=2 \sim 6$  の回転ラマンを測定する場合、体積後方散乱係数は  $\beta = 8.57 \times 10^{-7} m^{-1} sr^{-1}$  となる。積算回数  $m = 2 \times 10^6$  (測定時間  $T_m = 100sec$ ) とした場合  $0.8km$  までは温度精度  $\Delta T = 1K$  で測定できることが予想される。

Table 1 System parameters of the rotational Raman lidar

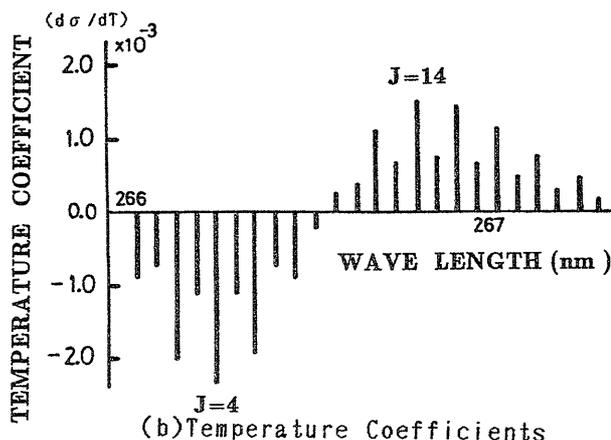
レーザ尖頭出力	$P_t = 0.105 kW$
送信波長	$\lambda = 266nm$
レーザパルス幅	$\tau = 80 nsec$
繰り返し周波数	$f = 20 kHz$
PMTの時間分解能	$\tau_p = 80 nsec$
PMTの量子効率	$\eta = 0.23$
PMTの等価雑音指数	$\mu_n = 2$
受信開口面積	$A_r = 0.28 m^2$
光学系全効率	$K = 0.1$
受信系視野	$\Delta \Omega = 1 \times 10^{-6} rad$
受信系の帯域幅	$\Delta \lambda = 0.5 nm$
視程	$V = 40 km$

5. まとめ 以上、回転ラマンスペクトル法を用いた気温測定用レーザレーダシステムについて検討してきた。ここでは、Nd:YAGレーザのFH光(266nm)を光源とし、回折格子やエタロンなどによる高分解分光器を構成することによ全日測定が可能ながシステムが構築できる。詳細な装置構成及び基礎的実験結果は講演にて報告する。

- <参考文献> [1] T. Shibata, M. Kobuchi, M. Maeda; Appl. Opt., 25, 685 (1986).  
 [2] H. Shimizu, K. Noguchi, C. Y. She; Appl. Opt., 25, 1460 (1986).  
 [3] C. L. Korb, et. al.; Optical and Laser Remote Sensing. Springer Verlag, 120 (1983)  
 [4] T. Kobayashi, H. Shimizu, H. Inaba; 6th ILRC Abstracts, 49, Sendai (1974)  
 [5] V. F. Arshinov, S. M. Bobrovnikov, V. E. Zuev, V. M. Mitev; Appl. Opt., 22, 2984 (1983).



(a) Rotational Intensities



(b) Temperature Coefficients

Fig. 2 Calculated Rotational Raman Spectra

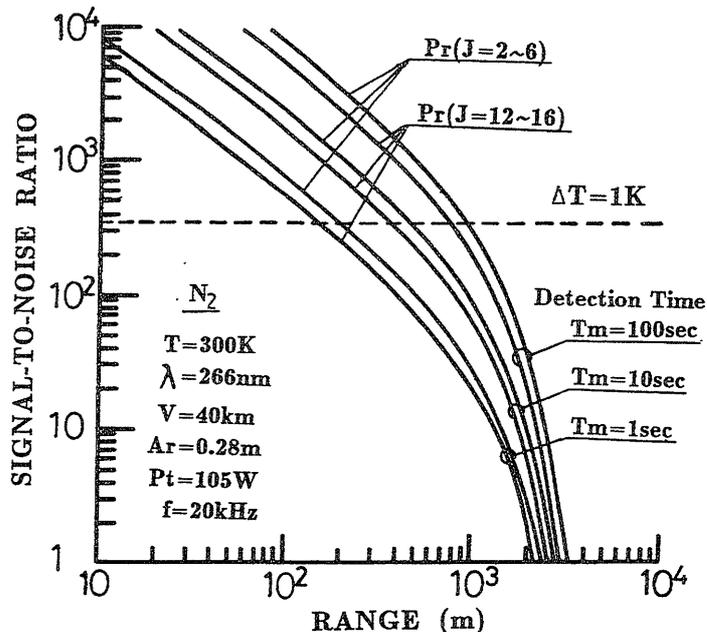


Fig. 3 Range and detection time dependence of signal-to-noise ratio