気温分布計測のための UV 域回転ラマン散乱ライダーの研究
Study of UV rotational Raman scattering lidar for atmospheric temperature profiling

戴琮[1]、華灯鑫[2]、小林喬郎[1]
C.Dai[1], D.Hua[2], and T. Kobayashi[1]
1. 福井大学大学院工学研究科、2. 英弘精機(株)
1. Graduate School of Engineering, Fukui Univ,
2. EKO Instruments Co. Ltd.

Abstract: We have developed an UV rotational Raman lidar at 355nm for profiling of the atmospheric temperature in the troposphere. Temperature profiling is determined from the intensity of N_2, O_2 rotational Raman lines. A grating and two interference filters are used for separating rotational Raman backscatter signals spectrally. Measuring range of the lidar is limited to the height of 1-2km for realizing compact lidar system arrangement. Simulation shows that the sensitivity of the system is 0.43%/K and statistical temperature error is about 0.9K at 2 km with100mJ laser energy, 250mm telescope and 50m range resolution and 10 min observation time.

1. はじめに

近年、都市ヒートアイランド現象が深刻化し、異常気候が多発している。その原因解明のために、高精度かつリアルタイムで遠隔計測できる気温計測ライダーの開発が期待されている。

ライダーによる気温計測法として、レイリー散乱による分子密度法、レイリー散乱によるスペクトル幅測定法や回転ラマン散乱法（RRS）[1)2)]などが開発されてきた。近年、RRSが主に研究されている。我々はレイリー散乱によるスペクトル幅測定法の気温計測ライダーを開発し、高度 5kmまでの計測に成功した[3)]。しかし、レイリー散乱スペクトル幅測定法はRRS方式より高効率、アイセーフ性、小型および昼間観測可能などの特徴を持っているが、使用するレーザが単一波長動作が必要で、高価である。これに対して、我々は 1～2kmの低高度で、小型で安易なシステム構成が可能なUV域回転ラマン散乱気温ライダーの開発を行っている。

本報告では、紫外域 355nm の波長を用いて、高分解能の回折格子と狭帯域干渉フィルタを利用したシステムの構成と数値計算結果を報告する。

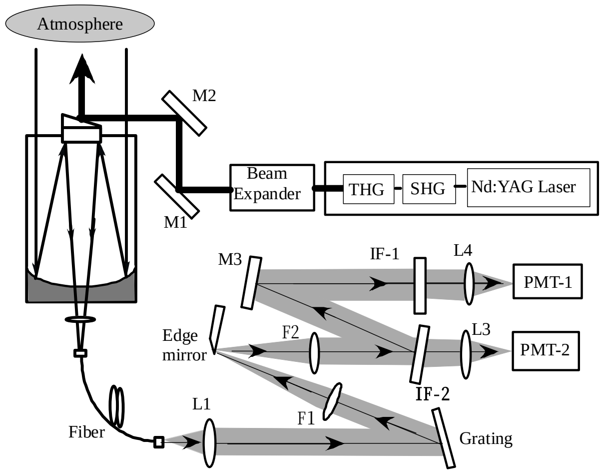

Fig.1 Schematic of the UV rotational Raman lidar system for profiling of atmospheric temperature

Table 1 System parameters

Laser:	Nd:YAG Laser
Wavelength:	354.67nm
Energy:	100mJ
Pulse repetition rate:	20Hz
Telescope:	25cm
Field of view:	0.1mrad
Grating:	2400gr/mm
IF Filter (CWL, FWHM, Tpeak)	
Filter-1 :	353.9nm, 1.0nm, 54%
Filter-2 :	353.1nm, 0.6nm, 62.5%
Detector:	PMT R3896 (HAMAMASTU)

2．システムの構成

回転ラマン散乱ライダーシステムの構成をFig.1 に示す。システムのパラメータを Table1 に示す。単一波長(355nm)のレーザ光をビームエキスパンダーで拡大し、大気へ出射する。大気からの後方散乱光を望遠鏡で集光し、ファイバーによりグレーティングに導き、分散した散乱光をミラーに通し、ラマン散乱信号をミラーにより反射させ、

二枚の狭帯域干渉フィルタを透過させ、PMT で光信号を電気信号に変換する。Fig.2 に気温 300K におけるラマン散乱の温度係数と二枚の干渉フィルタのスペクトル透過率 (T_1, T_2) を示す。また、フィルタの温度係数を $\theta = (1/I_R)(dI_R/dT)$ と定義する。ここで I_R はラマン散乱強度である。Fig.2 により、温度係数差が大きい二つの回転準位の付近に干渉フィルタルが設定される。二つのラマン散乱信号の差分を取り処理するとシステムの気温感度は二つフィルタの温度係数の絶対値の和となる。

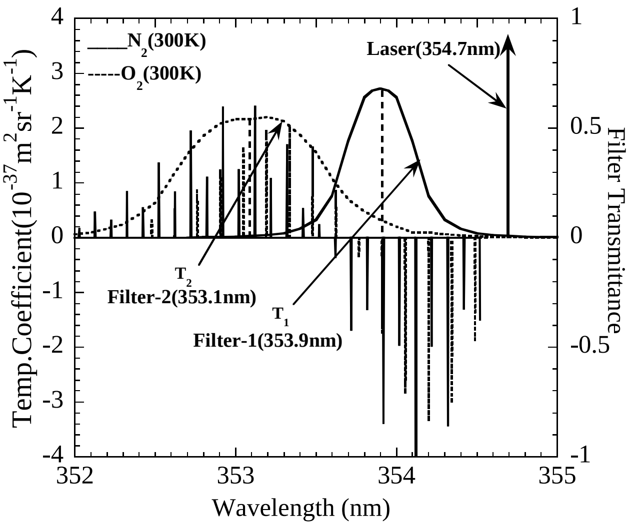

Fig.2 Temperature coefficient of the Raman lidar and the transmittance of IF filters

3. レイリー散乱気温ライダーとの特性比較

ラマン散乱ライダーはレイリー散乱ライダーに比べて、気温の絶対値が求められ、さらに散乱スペクトル幅が広く、分光が容易などの特徴を持っている。ここではレイリー散乱スペクトル幅測定法との測定精度の比較を行い、その可能性を検討する。レイリー散乱用レーザは最大出力 20mJ の半導体励起の単一周波数レーザを想定する。測定時間を 10 分、ラマン散乱ライダー用のレーザエネルギーを 100mJ として、比較した精度と距離の関係を Fig.3 に示す。高度 2km での気温計測誤差がそれぞれ 0.9K,0.7K となる。これによって、両ライダーは実用的な測定精度が得られることが分かる。

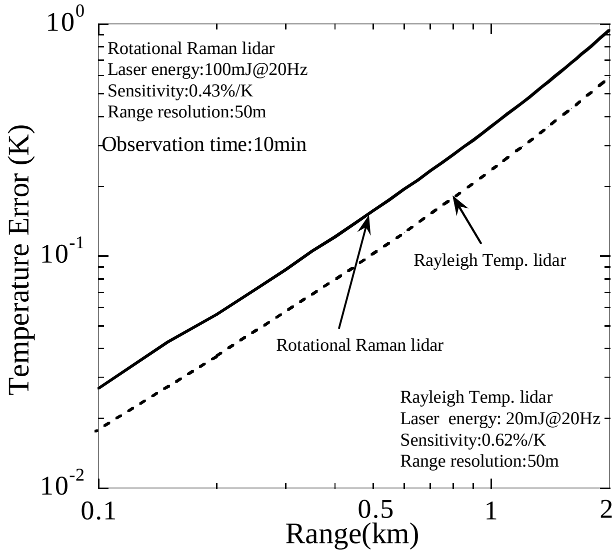

Fig.3 Comparison of Raman and Rayleigh lidar system for temperature error vs range

4. まとめ

本研究では高分解能の回折格子と狭帯域干渉フィルタを用いた UV 域回転ラマン散乱ライダーを検討した。今後はシステムの構成と予備実験を行って、高精度かつ小型なラマン散乱気温ライダーシステムの開発を目指す。

参考文献

1) A. Behrendt, et.al: “Combined Temperature lidar for measurements in the troposphere, stratosphere, and mesosphere”,Appl.Opt.43,2930-2938(2004)
2) T. Kobayashi, et.al: “Rotational Raman lidar for lower troposphere temperature profiling”, Abstracts of 16th ILRC 205-208(1992)
3) 華他：第 23 回レーザセンシングシンポジウム予稿集，AP-1.