

O-5-13

対流圏気温分布計測のための UV 域レイリー散乱ライダーシステムの開発 Development of UV Rayleigh scattering lidar system for measuring temperature profiles of the troposphere

華灯鑫¹、内田勝²、戴琮²、小林喬郎²

D. Hua¹, M. Uchida², C. Dai², and T. Kobayashi²

1. 英弘精機(株)、2. 福井大学工学研究科

1. Eko Instruments Trading Co. Ltd., 2. Graduate School of Engineering, Fukui Univ.

Abstract: A Rayleigh scattering lidar system has been developed based on the high-spectral resolution lidar (HSRL) technique for measuring vertical profiles of atmospheric temperature in the troposphere. Three narrow-band Fabry-Perot filters are used to separate the Mie and Rayleigh backscattering signals. The Mie signal correction method was applied in the signal processing for improving the Mie blocking ratio of the Rayleigh filters. The eye-safe 355nm ultraviolet wavelength is used for operational field applications. In a preliminary experiment, it was shown that the temperature sensitivity of the filter is 0.5%/K and the measurement accuracy is about 1K at 4km height.

1. はじめに

気温は風速、水蒸気に並ぶ最も重要な気象計測要素の一つである。地球温暖化が益々深刻となりつつある現在では、地球温暖化現象の解明の第一歩として、気温のリアルタイムかつ高精度での遠隔計測機器の開発が重要な課題となってきた。現在、気温の高度分布計測にはラジオゾンデが利用されているが、測定位置の精度やリアルタイム性、コスト、申請手続きなどの問題があり、大気動態や温暖化メカニズムの解析手段としては不十分である。

一方、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¹⁾、高分解能スペクトル法²⁾、差分吸収ライダー(DIAL)法³⁾、回転ラマン法⁴⁾などが提案され、検討されてきた。最近、エアロゾル粒子の多い高度 5 km以下の低層対流圏での気温計測ライダーは、波長 532nm の回転ラマン散乱ライダー⁵⁾と、ヨウ素吸収フィルタを用いる高分解能スペクトルライダー(HSRL)⁶⁾が主に研究されている。回転ラマンライダーでは、分光フィルタの特性の改善が進んでいるが、ラマン散乱の散乱係数が小さいため、高出力レーザと大型なシステム構成が必要である。また、散乱効率が大きいレイリー散乱を利用するHSRL方式では、ヨウ素吸収フィルタの不安定性などによる測定精度が低い問題が残されている。さらに、両者とも、アイセーフ特性を満たしていないため、一般的な実用には限界がある。

本研究では、可視域波長よりレイリー散乱強度が高くアイセーフの紫外域波長を利用し、高分解能の狭帯域エタロンを用いるHSRL方式のレイリー散乱ライダーを開発した⁷⁾。とくに、ミー散乱検出系を設置し、ミー散乱を同時にかつ高精度で計測し、レイリー散乱に含まれるミー散乱の影響を補正することにより、ミー散乱遮断率を改善する方法を検討した。本報告ではシステムの分光原理とミー散乱の補正法に加えて基礎的実験結果を示したい。

2. 気温の測定原理

Fig.1は大気からのミー散乱とレイリー散乱スペクトルとフィルタの透過スペクトルを示す。大気分子の熱運動によるドップラー広がり幅 $\Delta\nu_T$ と気温 T (K) の関係は波長 355nm で $\Delta\nu_T=0.225T^{1/2}$ (GHz) となる。レイリー散乱測定では Filter-1 と Filter-2、ミー散乱測定では Filter-3 を用いている。3 種類のフィルタを透過した各チャンネルにおける受信電力を P_i ($i=1, 2, 3$) とし、気温に対するシステム応答関数を $R_T=(P_1-P_2)/P_2$ と定義する。すると温度 T での応答関数 R_T の変化は気温測定感度 $\Theta_T=(1/R_T)(\Delta R_T/\Delta T)$ となる。この気温測定感度を用いて、信号出力により R_T 値から気温変化を求める、ミー散乱強度が強い場合では、検出したミー散乱強度 P_3 を用いてレイリー受信電力 P_1, P_2 に含まれるミー散乱成分を補正する方法を検討した⁷⁾。

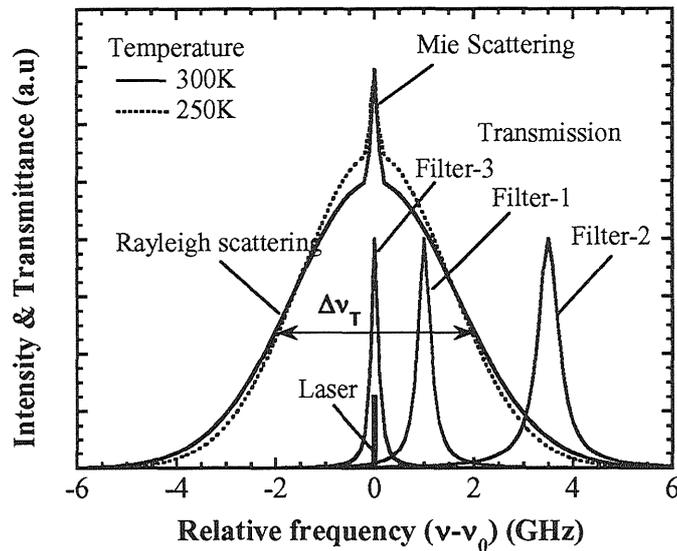


Fig.1 Spectral profiles of the Mie and Rayleigh scattering and filter transmission functions.

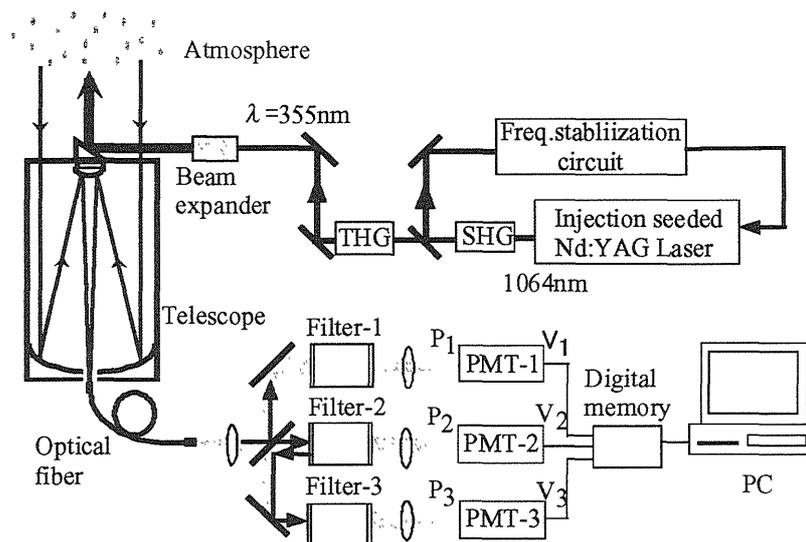


Fig. 2 Schematic of the Rayleigh lidar system for temperature measurement.

3. システムの構成

HSRL方式のレイリー散乱ライダーシステムの構成をFig.2に、システムの仕様をTable1に示す。周波数の安定化したNd:YAGレーザーの第3高調波(波長355nm)のビームはビームエキスパンダーを介して、大気へ出射させる。大気からの後方散乱光を直径25cmの集光鏡で受信して、マルチモードファイバーを用いて3個の高分解能FPエタロンによる分光フィルタ系へ経て、3個の検出器で検出される。信号はデジタルメモリに記録され、パソコンで信号処理される。フィルタの気温計測感度 Θ_T とレイリー散乱の透過率を最適化してFilter-1とFilter-2の中心周波数のシフトは、レーザーの周波数に対してそれぞれ1.0GHz, 3.5GHzと設定された。理論計算では気温300Kにおける気温計測感度 $\Theta_T=0.5\%/K$ となる。

4. 基礎実験

Fig. 3には R^2 補正した各チャンネルの受信電力と大気の散乱比(β_m/β_R)を示す。この結果よりFilter-1のミー散乱遮断率が3桁以上得られていることが分かった。さらに、データの処理でレイリー散乱信号 P_2 に含まれているミー散乱成分はミー散乱強度 P_3 によって補正できる。

Fig. 4には同じの時間帯で水平方向と垂直方向で計測した気温分布を示す。さらに垂直方向で計測した気温分布は水平方向の計測結果及び標準大気の気温低減率(-6.5K/km)と比較する結果を示す。信号の強度からの高度4kmで気温計測値のパラッキの標準偏差は1Kとなった。

Table 1 System specifications

Laser wavelength	354.7 nm
Laser energy per pulse	200 mJ
Pulse Repetition Rate	20 Hz
Spectral line width	90 MHz
Telescope diameter	250 mm
Field of view	0.1 mrad
Fabry-Perot etalon (Freq.shift,FWHM)	
Rayleigh-1	(1.0 GHz, 300MHz)
Rayleigh-2	(3.5 GHz, 500MHz)
Mie-3	(0 GHz, 200MHz)
Detector: PMT	Hamamatsu R3896

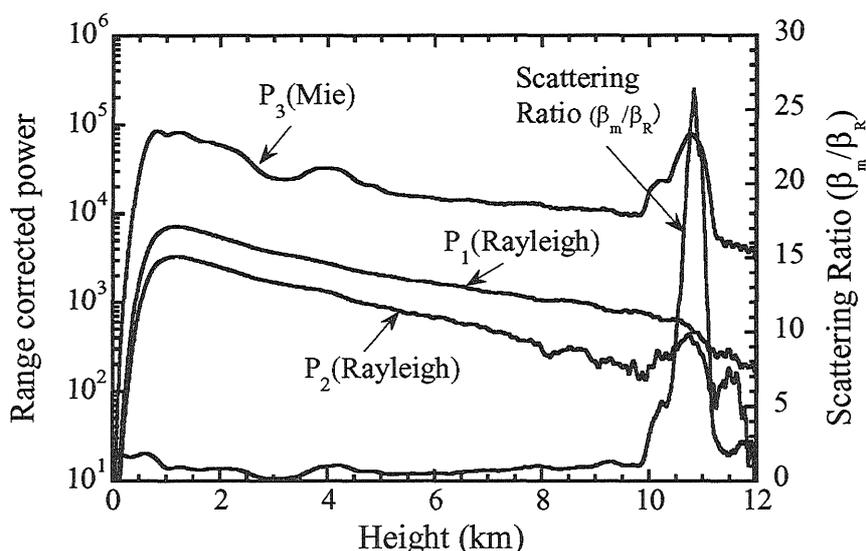


Fig. 3 Range-corrected power and backscattering ratio (β_m/β_R) as a function of altitude (10^4 shot average, 150mJ laser energy and 50m-range resolution).

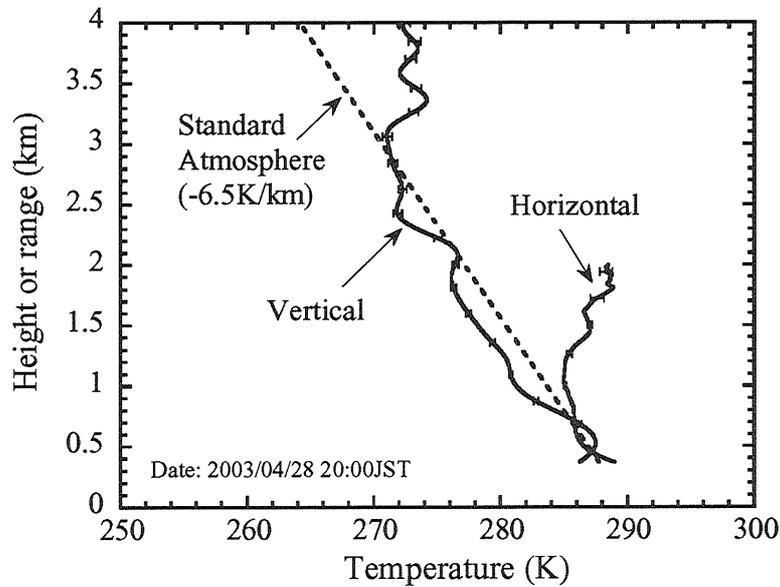


Fig. 4 Horizontal and vertical temperature profiles (10^4 shot average and 50m-range resolution)

5. まとめ

本研究では高分解能のFP エタロンを用いたレイリー散乱気温ライダーシステムが開発した。ミー散乱とレイリー散乱を分離し、データ処理によりミー散乱を補正して、レイリー散乱のチャンネルでのミー散乱遮断率として3桁以上が得られた。気温300Kに対するシステムの気温計測感度は0.5%/Kとなり、高度4kmで1Kの気温計測パラツキの標準偏差が得られた。さらに水平方向で計測した気温変化、気温低減率と比較を行った。今後、システムの効率とフィルタのミー散乱遮断率を向上し、システムの改善を行うと共に、ラジオゾンデを利用して気温計測の精度を検証したい。

参考文献

- 1) A. Hauchecorne and M. L. Chanin, *Geophys. Res. Lett.* **7**, 565-568 (1980).
- 2) H. Shimizu, K. Nogachi, and C. Y. She, *Appl. Opt.* **25**, pp. 1460-1466(1986).
- 3) F. K. Theopld, and J. Bosenberg, *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, **10**, pp. 165-179 (1993)
- 4) T. Kobayashi, T. Taira, T. Yamamoto, A. Hori, and T.Kitada, *Abstracts of 16th ILRC*, pp. 205-208, Boston, (1992)
- 5) A. Behrendt, T.Nakanura, M. Onishi, R.Baumgart, and T. Tsuda, *Appl. Opt.* **41**, 7657-7666 (2002).
- 6) J. W. Hair, L. M. Caldwell, D. A. Krueger, and C. Y. She, *App. Opt.* **40**, 5280 (2001)
- 7) D. Hua, M. Uchida, M. Imaki, and T. Kobayashi, *Proc. of SPIE*, Vol. 4893, 488-495(2002)