

回転ラマン散乱を利用した気温計測ライダー

Rotation Raman Lidar System for Measuring Atmospheric Temperature

竹田智子<sup>1</sup>、塚本誠<sup>1</sup>、菅田高行<sup>1</sup>、加藤正<sup>1</sup>、長谷川壽一<sup>1</sup>、小林喬郎<sup>2</sup>

T. Takeda<sup>1</sup>, M. Tsukamoto<sup>1</sup>, T. Honda<sup>1</sup>, T. Kato<sup>1</sup>, T. Hasegawa<sup>1</sup>, T. Kobayashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>英弘精機株式会社 EKO Instruments. Co., Ltd., <sup>2</sup>福井大学 University of Fukui

**Abstract** : We have been developing the lidar systems useful for measuring atmospheric temperature using the Rotation Raman scattering. In this paper, we report the result of basic experiments for improving the temperature accuracy by increasing the Raman signal power and the Mie scattering rejection.

1. はじめに

近年、都市部を中心にヒートアイランド現象や局地的な豪雨などが問題となっており、その現象の予測やリアルタイム観測の必要性が叫ばれている。そのための重要な観測要素として気温が挙げられ、現在では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、位置精度やリアルタイム性、コスト、環境条件等より、大気動態のメカニズム解析手段としては問題点が多い。

英弘精機では、ラマン散乱方式の気温ライダーの開発を行ってきたが、従来のシステムは夜間の計測では高度 1km で誤差は 1K 以下であり、昼間の観測では、精度が低下する場合もあった<sup>1)</sup>。そこで、本報告では、その精度向上のために受光系と分光器を改良し、昼夜問わず安定した計測ができる気温ライダーの開発を進めており、その実験結果について述べる。

2. 回転ラマン散乱

Fig.1は気温 300K における窒素分子および酸素分子の回転ラマン散乱断面と温度係数に加えて、当ライダーシステムで使用している 2 チャンネルの干渉フィルタの透過率を示した。二つのフィルタの中心波長は温度係数が逆転する波長位置とすることで気温の測定感度を高めている。

3. ライダーシステム

気温計測ライダーのシステムの構成を Fig.2 に示し、その特性を Table1 に示す。アイセーフの観点から、光源には Nd:YAG レーザの第 3 高調波である波長 355nm の UV 光を使用し、ビームエキスパンダで拡大した後、大気中へ打ち出す。大気からの後方散乱光は口径 400mm φ のニュートン式望遠鏡で集光し、光ファイバーを介して、分光器に入り、PMT で検出する。PMT

からの信号は A/D 変換(変換速度 40MHz)され積算される。

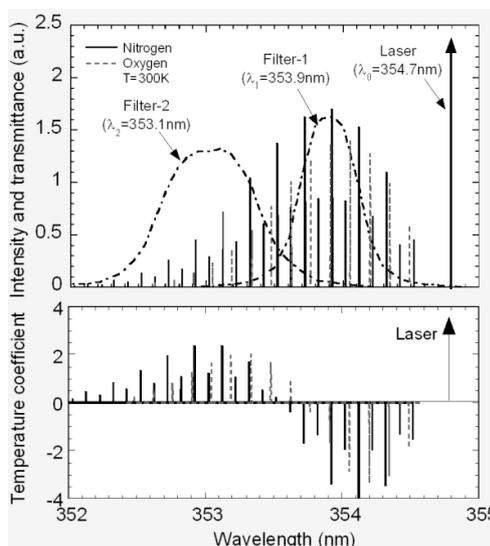


Fig.1 Rotational Raman cross section and temperature coefficient of O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> molecules.

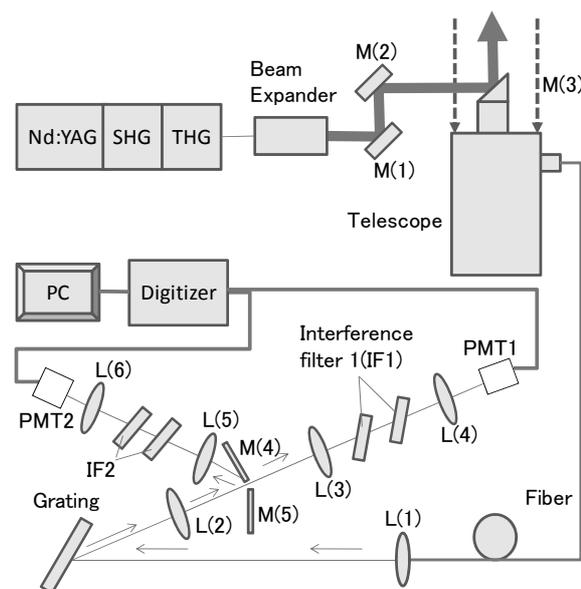


Fig.2 Structure of rotational Raman lidar system for temperature measurement.

Table1 Specification of the lidar system.

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Transmitter        |                      |
| Laser              | Nd:YAG               |
| Wavelength         | 355nm                |
| Pulse energy       | <300mJ               |
| Pulse width        | <7ns                 |
| Repetition         | 20Hz                 |
| Divergence         | 0.09mrad             |
| Receiver           |                      |
| Telescope Diameter | 400mm                |
| Field of view      | 0.22mrad             |
| Filter(1)          | CWL=353.9 FWHM=0.4nm |
| Filter(2)          | CWL=353.1 FWHM=1.0nm |
| Detector           | PMT (R9880U-110)     |
| Range resolution   | 150m                 |

従来のライダーシステムに対して今回の改善点は次の2点である。まず、①信号強度を増加させるため、望遠鏡の口径を250mmから400mmに変更した。②分光系として高いミー散乱遮断率を確保し、さらに信号の高効率化を図るため、回折格子と2枚の干渉フィルタを利用した。また2枚のミラーを使ってミー散乱を除去し、ラマン散乱を353.9nm(Raman1)と353.1nm(Raman2)の2波長に分光して、各々のPMTへ導いた。

#### 4. 気温の解析

回転ラマン散乱を用いた温度計測では、2波長の回転ラマン散乱光をPMTで検出し、その時系列データを平滑化し、さらに背景光の除去を行う。その回転ラマン散乱光の比から気温応答関数 $Q(z)$ が得られる。

高度 $z$ に対する気温 $T(z)$ の二次関数として(1)式のように近似でき、装置定数 $A, B, C$ をもめることで高度による気温変化 $T(z)$ を決定することができる<sup>2)</sup>。

$$\ln Q(z) = A \cdot T(z)^{-2} + B \cdot T(z)^{-1} + C \quad \dots(1)$$

#### 5. 実験結果

Fig.3 に望遠鏡を変更する前後のラマン信号強度を示し、Fig.4 にミラー(4)におけるミー透過率とRaman1信号透過率を示す。

Fig.3 からラマン信号強度は望遠鏡変更前に比べ、600m付近において、Raman1で4倍、Raman2で3倍になり、1km付近においてRaman1、Raman2ともに約2倍となったことが分かる。

さらにラマン散乱はミー散乱に比べ、信号が非常に弱いため、ミー散乱透過率を下げ、Raman信号の高効率化が非常に重要となる。ミラー(4)によってミー散乱

の透過率を $10^{-4}$ 確保し、そのときのRaman1信号の透過率は87%である。気温測定誤差1Kを得るためにはミー散乱遮断率が7桁以上必要であるが、干渉フィルタを併用することで条件を満たすことができる。

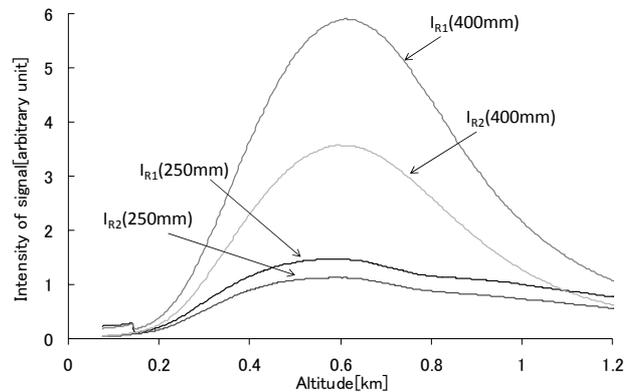


Fig.3 Intensity of Raman signals for two telescope diameters.

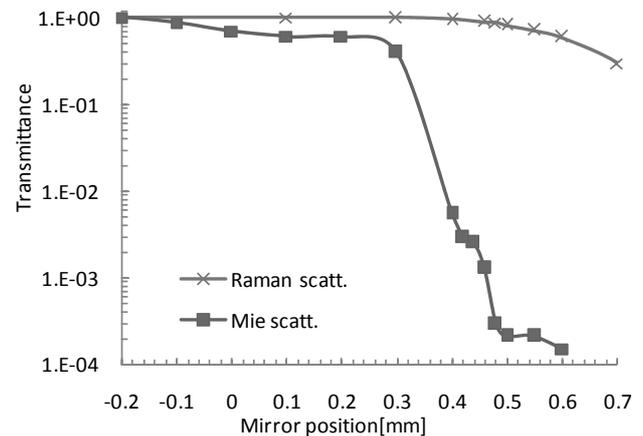


Fig.4 Transmittance of Mie and Raman signals for mirror(4) position.

#### 6. むすび

今回、望遠鏡を変更することでラマン信号が約2倍に増大した。また、分光器も改良し、ミー透過率が1桁改善し、高効率の信号を検出することが可能となった。これからの課題として、ゾンデとの比較検証を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 内田清孝他：回転ラマン散乱法を用いた気温ライダーとラジオゾンデとの比較結果，第24回レーザーセンシングシンポジウム予稿集，P-6(2005)
- 2) A. Behrendt: Temperature measurement with lidar, Lidar (C. Weitkamp, ed.), chap.10(2005)