

# 高分解能マルチスペクトル検出器を用いた 気温測定用回転ラマンライダー

## Rotational Raman Lidar with a High-Resolution Multispectral Detector for Temperature Measurements

橋詰享治、阿保 真、長澤親生、柴田泰邦

Takaharu Hashizume, Makoto Abo, Chikao Nagasawa, and Yasukuni Shibata

首都大学東京・システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

### Abstract

Atmospheric temperature profile data play an important role in such fields as atmospheric dynamics, climatology, and meteorology. In this paper, we propose a new rotational Raman lidar system with a high-resolution multispectral detector and the spectral fitting technique.

### 1. はじめに

気温の高度分布測定は、気象予報モデルの基礎データ等として重要であるが、従来のラジオゾンデなどによる観測は観測頻度や場所、コストの点において劣っており、ライダーを用いた遠隔観測の実用化が期待されている。これまで対流圏の気温分布測定が可能なライダーとしては、回転ラマンライダー<sup>[1]</sup>と高スペクトル分解能ライダーが提案されている<sup>[2]</sup>が、まだルーチン観測には十分活用されていない。

本研究では、高分解能マルチスペクトル検出器をライダーの受信部に用いて回転ラマン散乱スペクトルを測定し、スペクトルフィッティングにより温度を推定する手法を提案する。本方式は従来の回転ラマンライダーと比べてマルチスペクトル検出器を使うため、レーザー波長を任意に選択でき、高出力なYAGレーザーを用いることができ、メンテナンスも容易であることから、ライダーによる気温観測の実用化が期待できる。

### 2. マルチスペクトル検出器を用いた回転ラマンライダー

Fig.1 にレーザー波長 532nm におけるアンチストークス散乱の回転ラマンスペクトル、および従来の回転ラマンライダーに用いられている 2 つのフィルター特性の例を示す。回転ラマンスペクトルは気温によってその分布が変化するため、2 つのフィルターの信号強度比を測定することにより温度の測定が可能である。<sup>[1,3]</sup> しかし、このフィルターの設計は狭帯域かつ弾性散乱成分を十分除去する必要があるため、ダイクロイックミラーと組み合わせるなど工夫が必要であり、調整やメンテナンスにも注意を要する。

本提案方式では受信部にマルチスペクトル検出器を直接接続し、Fig.2 に示すような回転ラマン散乱信号スペクトルを等波長間隔毎の積分値として測定するシステムであるので、従来法よりも設置やメンテナンスが容易である。

本方式では高分解能分光器 (Acton Research SP-2758) と、Multispectral Lidar Detector (Licel

SP32-20) を組み合わせ、回転ラマン散乱信号スペクトルを 0.4nm 毎に、各高度毎にフォトンカウンターで測定する。得られた各高度のスペクトルは Fig.3 に示すように、あらかじめ各気温毎に計算したモデルスペクトルとの最小二乗法によるフィッティングを行い、最小二乗係数  $\epsilon$  が最小となるスペクトルの温度を推定温度とする。スペクトルフィッティングを行うことにより、統計誤差の低減が期待できる。

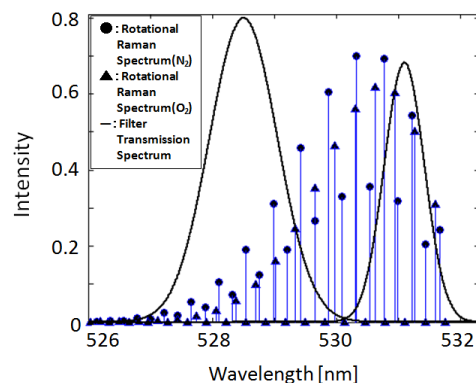


Fig. 1 Pure rotational Raman spectrum for temperature of 290K and filter transmission spectra of a conventional rotational Raman lidar.

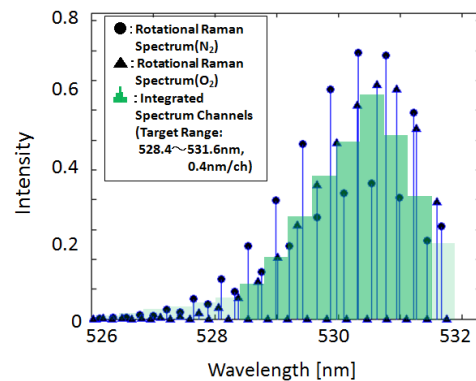


Fig. 2 Integrated spectrum by high-resolution multispectral detector.

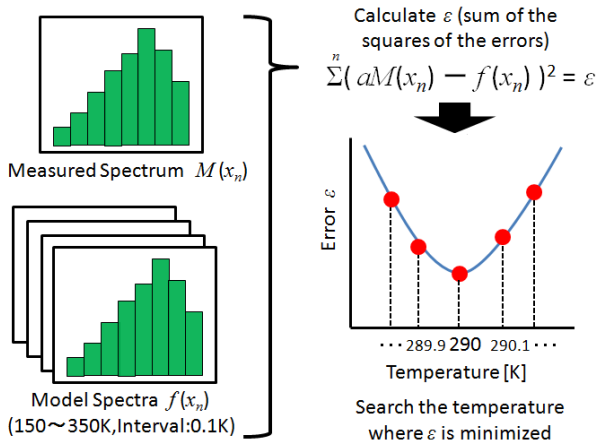


Fig. 3 An outline of temperature estimation by least-square spectral fitting.

本方式で用いる分光器の仕様を Table 1 に示す。本方式では Fig.2 に示すように、32ch の検出器の測定スペクトルのうち 528.4~531.6nm の 8 チャンネル (0.4nm 間隔) を用いた。これは、レーザー波長に近い波長は弾性散乱成分の漏れ光の影響を受け、離れた波長は回転ラマン成分が少なく、統計誤差が大きくなるためである。

Table 1. Specification of the spectrograph combined with a multi-spectral lidar detector

Focal Length	750mm
Grating	200g/mm
Spectral Resolution	0.47nm/ch@355nm 0.38nm/ch@532nm
Cover Range	14.6nm@355nm 11.8nm@532nm

### 3. 温度測定誤差のシミュレーション

スペクトルフィッティングによる温度測定誤差を見積もり従来法と比較するために、以下の方法でシミュレーションを行った。はじめにライダー方程式とモデル大気より、各チャンネルの光子数を求め、光子数に基づくポアソンノイズおよび背景光ノイズを付加したものを測定スペクトルとする。次に Fig.3 の手順を 1000 回計算し、推定温度の標準偏差を求める。これを推定温度誤差とした。

今回シミュレーションで想定したライダーシステムの仕様を Table 2 に示す。従来法との比較のため使用レーザー波長は 532nm とした。この条件下での気温測定誤差のシミュレーション結果を、Fig.4 に示す。なお、6km 未満の高度では、検出器のフォトンカウンターが飽和するため示していない。

従来法では 1K の誤差で測定できるのが夜間でも

高度 6km までであるのに対し、提案法では昼間で 10km、夜間で 12km までの測定が可能であることが分かった。

Table 2. Lidar parameters for temperature measurement

Laser Wavelength	532nm
Pulse Energy	180mJ
Repetition Rate	30Hz
Telescope Diameter	20cm
Range Resolution	100m
Accumulation Time	15min
Receiver Efficiency	10%

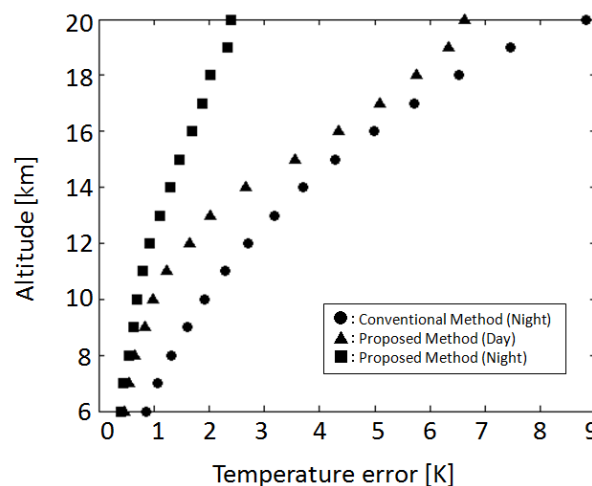


Fig.4 Temperature error as a function of altitude for conventional rotational Raman lidar and proposed multispectral rotational Raman lidar.

### 4. おわりに

シミュレーションによりマルチスペクトル検出器とスペクトルフィッティングを用いることで、同じレーザー及び望遠鏡でも、従来法と比べてより高い高度まで測定可能であることが確認出来た。今後は実際にマルチスペクトル検出器を用いた計測を行い、誤差の評価を行う。

### 参考文献

- [1] J. Cooney, "Measurement of atmospheric temperature profiles by Raman backscatter", J. Appl. Meteorol., 11, 108-112, 1972.
- [2] 石川隆大, 阿保真, 長澤親生, 柴田泰邦, カリウムファラデーフィルタを用いた気温観測用ライダーの検討, 第31回レーザーセンシングシンポジウム, No.P-15, 2013.
- [3] C. Weitkamp Ed., Lidar: Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Springer, 2005.