

スペクトルフィッティング法を用いた回転ラマンライダーによる

下部対流圏の気温測定

伊藤 慧, 阿保 真

首都大学東京・システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Temperature Measurement in the Lower Troposphere using the Rotational Raman Lidar with Spectral Fitting Method

Kei ITO, Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract : Measurement of the temperature profile in the lower troposphere by lidar is useful for weather forecasting and the local weather disaster prediction. In this study, we measured the rotational Raman scattering spectra of the atmosphere using the multi-spectral detector, and estimate the temperature using a spectral fitting technique. The system is operated with the UV 355nm laser for eye-safety.

Key Words: lidar, rotational Raman, temperature, troposphere, multi-spectral detector, spectral fitting

1. はじめに

下部対流圏の気温高度分布測定は、気象予報の基礎データとして重要であると共に、竜巻や集中豪雨などの局所的な気象災害予測のためにも重要である。従来のラジオゾンデによる観測では限定的な場所・時間におけるデータしか得ることができないため、簡易なライダーによる気温高度分布測定の手法の確立が求められている。対流圏の気温測定を可能とするライダーとしては、主に回転ラマンライダー¹⁾と高スペクトル分解能ライダー (HSRL)²⁾が提案されているが安定した観測は未だ実現していない。

本研究では、32ch のマルチスペクトル検出器によって大気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法を用いることで気温を推定する³⁾。また、システムは HSRL の波長 770nm や従来の 532nm の回転ラマンライダーよりも目に安全な紫外領域の 355nm のレーザーでの運用を想定している。

2. スペクトルフィッティング法による気温推定法

レーザー波長 355nm における大気回転ラマンスペクトルの例を Fig.1 に示す。この回転ラマンスペクトルの気温によるスペクトル分布の変化を利用して気温測定が可能である。本研究では受信部に 32ch マルチスペクトル検出器 (LICEL SP32-20-2758) を用い、回転ラマンスペクトルを 0.47nm 間隔で積分した値として測定し、スペクトルフィッティング法を利用して温度推定を行う。

Fig.2 に示すように、あらかじめ計算した n ch の各気温 x の理論的なモデルスペクトル $f_n(x)$ と、測定

スペクトル M_n を次式で与えられる残差 ε が最小となるように係数 a を求め、その ε が最小となるスペクトルの気温を推定気温とする。

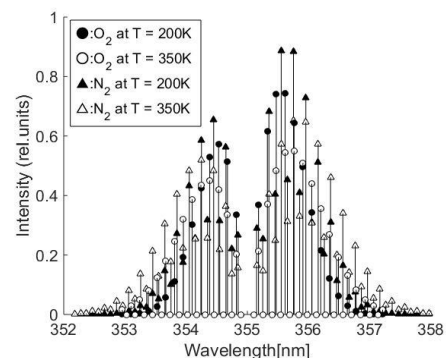


Fig.1 Pure rotational Raman spectral of air calculated for temperature of T=200K and T=350K.

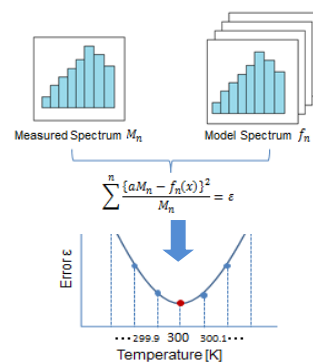


Fig.2 The principle of spectral fitting method for temperature measurement.

$$\sum \frac{\{aM_n - f_n(x)\}^2}{M_n} = \varepsilon \quad (1)$$

ここで、回転ラマンスペクトルは中心波長から離れるほど散乱強度が小さくなることに対応して、受信信号強度に対応した重みを今回新たに加えている。

3. 気温推定誤差のシミュレーション

フォトンカウンティングマルチスペクトル検出器とスペクトルフィッティング法を用いた気温測定誤差のシミュレーションを行った。夜間での測定を想定し、モデルスペクトルにポアソンノイズを付加したものを測定スペクトルとし、試行回数 1000 回の標準偏差を気温推定誤差とした。想定したライダーの主な仕様を Table 1 に、シミュレーション結果を Fig.3 に示す。

Table1. Lidar parameters

Laser Wavelength	355nm
Pulse energy	50mJ
Pulse repetition rate	30Hz
Telescope diameter	20cm
Range resolution	150m
Accumulation time	6min
Receiver efficiency	7%

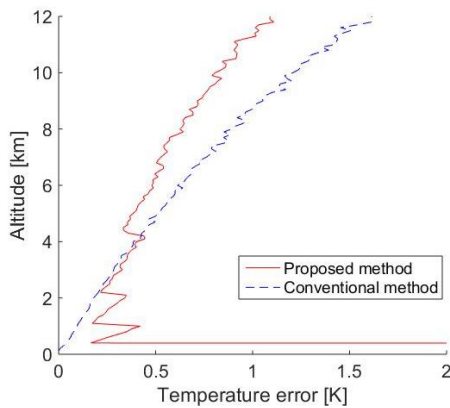


Fig.3 Temperature errors for conventional rotation Raman lidar and proposed rotational Raman lidar using laser wavelength of 355 nm.

従来法ではフォトンカウントの飽和が発生する対流圏下部の気温測定誤差は考慮されておらず理論的な値を示しているが、実際には飽和したデータは利用出来ないため誤差が大きくなる。しかし、気温誤差は 0.5K 以下であることが分かった。また、高度 4km 以上では ε の計算に重みを加えた提案法により誤差 1K 以内で測定可能な範囲が約 8km から約 12km に広がっている。

4. 気温実測への準備

シミュレーションでは 1000 回の試行により誤差を算出しているが、実際の 1 回の観測データではこの手法では誤差が得られない。そこで、残差 ε と気温推定誤差の相関を求めたところ良い相関が得られた。これより、実際の測定時も ε から気温誤差を推定することが可能である。

マルチスペクトル検出器を用いてスペクトルフィッティングを行う際、検出器の各 ch ごとの感度補正を正確に行うことが非常に重要である。実際の計測の準備として、紫外ランプを用いて検出器の感度補正を求める実験を行った。分光器の中心波長を各 ch の波長間隔でずらしながら測定を行い、同一の波長の異なる ch での感度を算出し規格化した後平均値をとったものを各 ch の相対感度とした。測定結果を Fig.4 に示す。

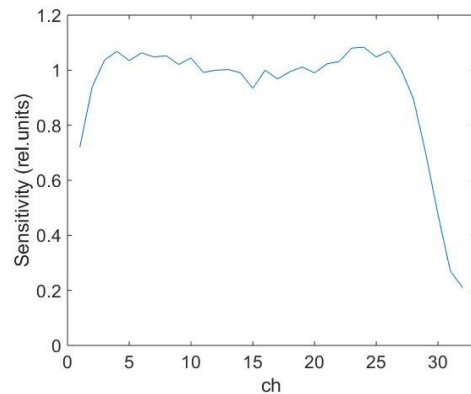


Fig.4 Measured relative sensitivity of multi-channel detector using UV lamp.

5. おわりに

マルチスペクトル検出器を用いたフィッティング法において、重み付けにより最適な ch 選択の簡略化ができた。また、シミュレーションにより 355nm の紫外波長のレーザーで下部対流圏全域の気温測定が可能であることが確認できた。検出器の感度補正カーブを求めることができたので、今後は実際の計測を実施し、気温誤差の評価を行う。

参考文献

- 1) J. Cooney: Measurement of atmospheric temperature profiles by Raman backscatter, J. Appl. Meteorol. 11 (1972) p.108-112.
- 2) H.Shimizu et al: Appl. Opt. 22, 9 (1983) p.1373.
- 3) 橋詰 享治, 阿保 真, 長澤 親生, 柴田 泰邦: 第 32 回レーザーセンシングシンポジウム, No.D-4, 2014.