

カリウムファラデーフィルタを用いた HSRL による気温計測

阿保 真, 有賀 幸輝, 菅原 悠真, Phong Pham Le Hoai
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

Atmospheric Temperature Measurement using HSRL with a Faraday Filter

Makoto ABO, Kouki ARUGA, Yuuma SUGAWARA, and Phong Pham Le Hoai
Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: A high-spectral-resolution lidar (HSRL) using a potassium Faraday filter is proposed for temperature measurements in daytime. The Faraday filter acts as a blocking filter for suppression of narrow Mie scattering, and a very narrow filter for getting temperature information from Rayleigh-Brillouin spectrum. We have measured daytime background intensity using Faraday filter and confirmed suppression performance of the filter. We succeeded in the measurement of the atmospheric temperature above the building by the prototype HSRL.

Key Words: temperature, high-spectral-resolution lidar, Faraday filter

1. はじめに

気温の高度分布測定は、気象予報の基礎データとして重要であるとともに、最近は竜巻、局地的大雨などの局地的な気象災害予測を行う上でも必要性が高まっている。現在、対流圏から成層圏の気温高度分布測定は主にラジオゾンデにより行われているが、測定場所に制限があり連続観測が困難であるため、高度分布の連続測定が可能なライダーによる気温測定手法の確立が求められている。

対流圏の気温高度分布観測用ライダーとして我々は、雲やエアロゾルからの散乱による影響を受けずに測定が可能である金属蒸気吸収フィルタを用いた高スペクトル分解能ライダー (HSRL) ¹⁾ を改良し、昼間観測に有利な背景光除去効果の高いカリウムファラデーフィルタの使用を提案した ²⁾。今回は、実際の背景光と気温測定結果について報告する。

2. HSRL による気温測定原理と誤差

HSRL による気温の測定原理は、Fig.1 に示すように大気温度並びに衝突により変化する大気分子からの Rayleigh-Brillouin 散乱光スペクトル ³⁾ の広がりをも、帯域幅の異なる 2 つの狭帯域フィルタを用いて測定し、透過光の強度比の温度依存性から大気温度を求める。

ファラデーフィルタ ⁴⁾ は金属蒸気フィルタに磁場をかけ、前後に偏光子を直交して置く構造となっており、磁場、セル温度、セルの長さの組み合わせにより、急峻な特性が得られるのが特徴であ

る。また、帯域外が遮断特性であるため昼間の背景光除去効果があり昼間の気温観測に適している。

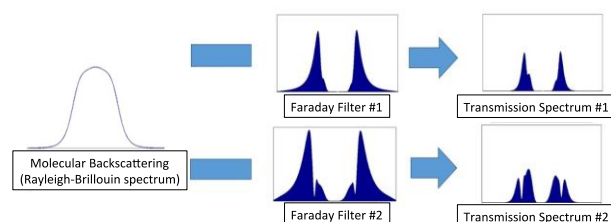


Fig.1 Block diagram of HSRL for Temperature measurement

気温測定 HSRL における気温測定の統計誤差 $\varepsilon_T(T_A)$ は、信号の統計誤差 ε_S と透過量比 $R(T_A)$ 、気温に対する比の変化率 $\Delta T_A / \Delta R(T_A)$ により次式で求められる。

$$\varepsilon_T(T_A) = \varepsilon_S R(T_A) \frac{\Delta T_A}{\Delta R(T_A)} \quad (1)$$

一方セルの磁場が変動すると誤差が生じる。磁場が $\pm 1\%$ 変動したときに生じる気温測定誤差を磁場の変動に起因する誤差とし、これらの合計のトータル誤差が最も少ない組み合わせはカリウムの場合、セル温度 110°C 、磁場 93G と 240G の組合せとなる ²⁾。このフィルタの条件と Table 1 のライダー仕様で、高度に対する統計誤差、磁場の変動に起因する誤差及びトータル誤差のシミュレーション結果を Fig.2 に示す。統計誤差は高度 4.9km まで 1K 以下、トータル誤差は高度 3.8km まで 1K 以下である。

Table 1. Simulation parameters of HSRL

| | |
|--------------------|-----------|
| Pulse Energy | 1mJ |
| Repetition Rate | 10kHz |
| Wavelength | 770.108nm |
| Telescope Aperture | 20cm |
| Range Resolution | 200m |
| Average Time | 10min |

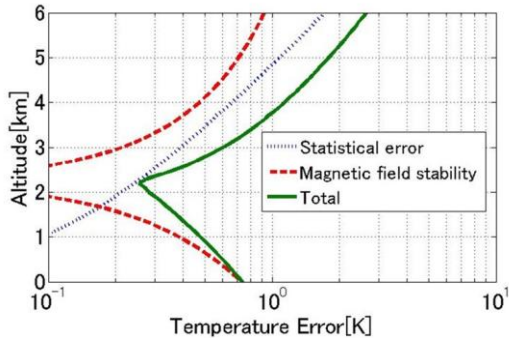


Fig.2 Temperature errors caused by signal statistical error, magnetic field stability and total error as a function of altitude.

3. 背景光及び気温測定実験

ファラデーフィルタの背景光除去性能を確認するために原子吸収フィルタとの比較実験を行った。口径 50cm の望遠鏡に半値幅 1nm の干渉フィルタとカリウムファラデーフィルタを取り付け、光電子増倍管（浜松ホトニクス H7421-50）のフォトンカウントモードで背景光を測定した。原子吸収フィルタの特性はファラデーフィルタの磁場を 0 とし、偏光子を平行にして測定した。測定は冬（2016/2/1）の日没を挟んだ午後に行った。天気は薄曇りで晴天時より背景光レベルは高い条件であった。背景光をフォトンカウントレートで表した時系列を Fig.3 に示す。従来の原子吸収フィルタに比べて約 2 桁の背景光低減が確認出来た。また、シミュレーションで設定した背景光レベルは、実測値と概ね一致していることが確認できた。

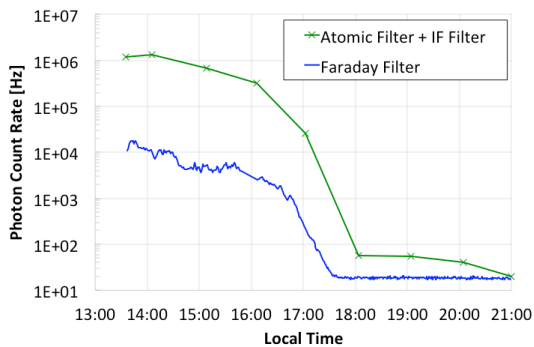


Fig.3 Time series of measured background photon count rate in the afternoon with a faraday filter.

次に屋外の気温計測実験を行った。十分なエネルギーのパルスレーザが用意出来なかったため、CW レーザを用い、バイスタティック方式で上空 200m の重なり関数が最大となるように設定し気温を測定した。測定装置の仕様を Table.2 に、測定結果を建物の屋上設置の温度計の値に気温減率を加味した結果とともに Fig.4 に示す。両者は良く一致していることが確認できた。

Table 2. Experiment parameters of HSRL

| | |
|--------------------|-----------|
| Laser Power | 900mW |
| Wavelength | 770.108nm |
| Telescope Aperture | 50cm |
| Average Time | 10min |

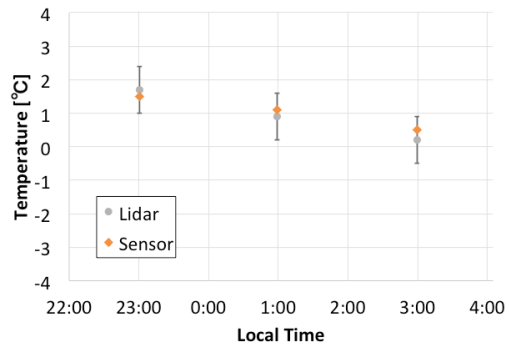


Fig.4 Time series of measured temperature 200m above the building by the HSRL and a temperature sensor on the building.

4. おわりに

昼間も気温分布測定が可能なファラデーフィルタを用いた高スペクトル分解能ライダーを提案し、背景光測定より日中の測定が可能であることを確認、外気温測定実験において測定値が温度センサの値と誤差内で一致することを確認した。以上より、本ライダーシステムによる昼間の大気温度計測は可能であると考えられる。今後は送信用パルスレーザの開発を行いシステムの完成を目指す。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 26550014 の助成を受けている。

参考文献

- 1) H.Shimizu et al.: Appl. Opt. **22** (1983) 1373.
- 2) 有賀他: 第 33 回レーザセンシングシンポジウム, No.P-5, 2015.
- 3) G.Tenti et al.: Can.J.Phys. **52** (1974) 285.
- 4) Zhang et al., IEEE J.Quant. Elec. **37** (2001) 372.