

# E1

## 風速・気温分布の同時計測用 UV ライダーシステムの開発 Development of UV lidar system for simultaneous measurements of wind velocity and temperature

今城勝治\*、東川孝\*、華灯鑫\*\*、小林喬郎\*

M. Imaki\*, T. Higashikawa\*, D. Hua\*\* and T. Kobayashi\*

\*福井大学工学部、英弘精機(株)

\*Faculty of Engineering, Fukui Univ., \*\*Eko Instruments Trading Co.

**Abstract:** Spatial profiling of wind velocity and temperature is needed for precise environmental sensing. We have developed an UV lidar system based on Mie and Rayleigh scattering using high spectral resolution Fabry-Perot etalons for simultaneous measurements of wind velocity and temperature. The UV laser at 355nm wavelength features eye-safe characteristics for practical sensing applications. Wind measurement precision is  $\pm 0.6\text{m/s}$  and temperature measurement precision is  $\pm 1.8\text{K}$  at 3km with  $10^4$  shot averages using atmospheric model.

### 1. はじめに

風速と気温の 3 次元遠隔計測は、大気動態や温暖化のメカニズムの解析を行うにあたって極めて重要である。特に対流圏内では、晴天乱流や温度境界層、ヒートアイランド現象などの解明のためにもその観測が必要とされる。

気温計測法として差分吸収法や回転ラマン散乱法などが研究されてきたが、効率が低く、高出力のレーザーが必要になってくる。これに対して大気構成分子による散乱のスペクトル広がりから気温を求めるレイリー散乱法では、散乱断面積が大きいため高効率な測定が可能となる。しかしエアロゾル濃度の高い対流圏内ではミー散乱の影響を軽減するための分光技術が課題となっていた。

本研究では、ミー散乱の影響を軽減したレイリー散乱による気温測定法と、ミー散乱、レイリー散乱による直接検波法での風速測定の同時計測法について検討してきた。発表ではその同時計測システムの原理と基礎実験結果を報告する。

### 2. UV ライダーシステムの構成

ライダーシステムの構成を Fig.1 に示す。送信光に Nd:YAG レーザの第 3 高調波 355nm、エネルギー 40mJ、繰り返し周波数 20Hz を用いた。この波長は基本波(1064nm)や第 2 高調波(532nm)と比較してレイリー散乱強度が高いのとアイセーフ波長という 2 つの特長がある。レーザー光はスキャニングミラーによって掃引され、大気の 3 次元計測が可能となる。

風速と気温を測定するためのスペクトルフィルタとして 3 個の高分解能 FP エタロンをミー散乱とレイリー散乱のスペクトルに対して Fig.2 のように設定した。風速測定では Filter-1 と Filter-3、気温測定では Filter-2 と Filter-3 を用いている。

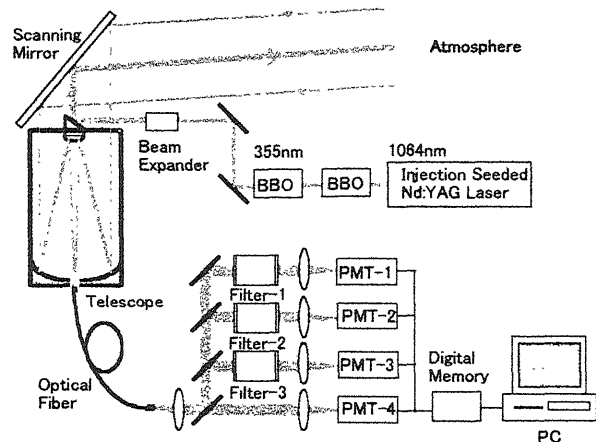


Fig.1 Schematic of UV lidar for wind velocity and temperature measurements.

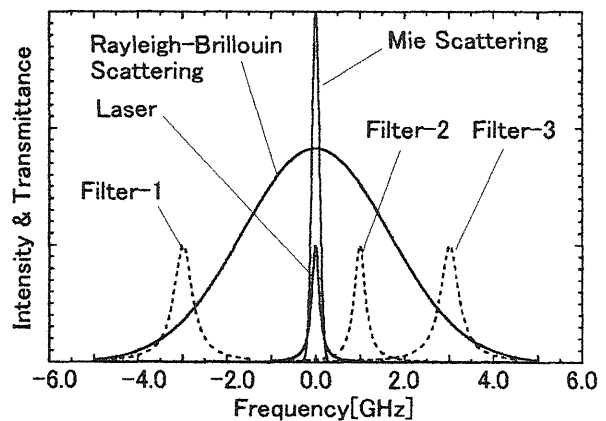


Fig.2 Spectral profiles of Mie and Rayleigh scattering and filter transmission function.

### 3. 風速・気温の測定原理

大気中のエアロゾルや分子は風速  $V$  によって移動し、散乱光はドップラーシフトを受ける。そのドップラーシフト量は送信波長が  $355\text{nm}$  の場合の  $5.63\text{MHz}/(\text{m/s})$  となる。また大気温度  $T$  は分子の熱運動に依存し、 $300\text{K}$  付近でのレイリー散乱のスペクトル幅(ドップラー広がり幅)の変化は、 $355\text{nm}$  の場合  $6.48\text{MHz}/\text{K}$  となり、高分解の分光技術が必要となる。

この周波数の変化を光の透過強度変化に変換させるため、高分解能 FP エタロンを用いている。FP エタロンを透過した各チャンネルにおける受信強度を  $I_i(i=1, 2, 3, 4)$  とし、風速に対する応答関数  $R_V$  と気温に対するシステム応答関数  $R_T$  を

$$R_V = (I_1 - I_2)/(I_1 + I_2) \quad \dots(1), \quad R_T = (I_2 - I_3)/(I_2 + I_3) \quad \dots(2)$$

と定義する。すると風速  $V$  での応答関数  $R_V$  の変化は  $\Theta_V = (1/R_V)(dR_V/dV)$ 、温度  $T$  での応答関数  $R_T$  の変化は  $\Theta_T = (1/R_T)(dR_T/dT)$  となる。この測定感度をもとに得られた強度変化から風速と気温を求める。本研究では風速測定感度  $\Theta_V$  がミー散乱とレイリー散乱に対して等しくなる位置にフィルタを設定した。<sup>1), 2)</sup>

### 4. 予備実験

気温の較正実験を行い、ライダーシステムの気温測定感度を求めた。気温測定の対象として温度制御されたセルを用い、応答関数  $R_T$  の気温に対する変化を測定した。また、フィルタの透過スペクトルの半値全幅には Filter-1,3 に  $300\text{MHz}$ 、Filter-2 に  $200\text{MHz}$  を用い、フィルタのレイリー散乱に対する透過率は Filter-1,3 が  $6\%$ 、Filter-2 が  $4\%$  となった。フィルタの位置は、ミー散乱とレイリー散乱に対する風速測定感度が等しくなるように Filter-1, 3 が  $2.6\text{GHz}$  の位置、Filter-2 が  $1\text{GHz}$  の位置に設定した。得られた応答関数  $R_T$  の温度依存性から求めたシステムの気温測定感度は  $1.6 \times 10^{-3}/\text{K}$  である。

### 5. UV ライダーシステムの特性

理論解析では、システムの風速測定感度が  $1 \times 10^{-2}/(\text{m/s})$ 、気温測定感度が  $300\text{K}$  のときに  $2.6 \times 10^{-3}/\text{K}$  となる。

標準大気モデルを用いた場合の高度に対する風速測定誤差と気温測定誤差を Fig.6 に示す。図から  $10^4$  ショット積算の場合、距離  $3\text{km}$  における風速測定誤差が  $\pm 0.6\text{m/s}$ 、気温測定誤差が  $\pm 1.8\text{K}$  となった。

### 6. まとめ

従来の気温ライダーである差分吸収法や回転ラマン散乱法に比べ、効率のよいレイリー散乱法による風速と気温の同時測定可能な UV ライダーを開発した。気温測定の基礎実験を行った結果、気温測定感度は  $1.6 \times 10^{-3}/\text{K}$  となり、気温変化に対するシステムの動作が確認された。

理論解析において風速測定感度は  $1 \times 10^{-2}/(\text{m/s})$ 、気温測定感度は  $3 \times 10^{-3}/\text{K}$  となり、 $10^4$  ショット積算の場合の距離  $3\text{km}$  における風速測定誤差が  $\pm 0.6\text{m/s}$ 、気温測定誤差が  $\pm 1.8\text{K}$  という動作が可能となるため、今後は理論値と実験値の差の検討や、効率の向上などにより高精度な測定を検討する。

### 参考文献

- 1) C. Flesia and C. L. Korb: "Theory of the Double-edge molecular technique for Doppler lidar wind measurement", Applied Optics, pp.432-439 (1999).
- 2) D. Sun, S. Kawato and T. Kobayashi: "Ultraviolet Rayleigh Lidar for Wind and Temperature Measurements", Optical Review, pp. 555-560 (2000).

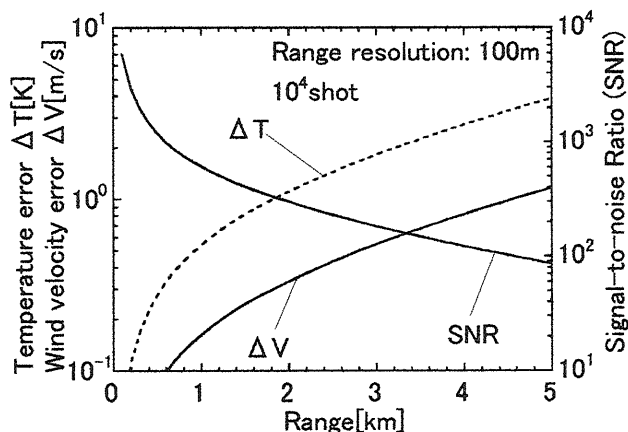


Fig.3 SNR and measurements error of wind velocity and temperature as a function of the range.