

O-6-05

紫外域ドップラーライダーによる都市域風速の2次元分布計測 Two-Dimensional Measurements of Urban Wind Field by UV Doppler Lidar

今城勝治、栗原康浩、小林喬郎

M. Imaki, Y. Kurihara, and T. Kobayashi

福井大学 大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Fukui University

Abstract: A new scheme of the direct-detection Doppler lidar has been developed using a single frequency ultraviolet laser for the wind field measurement of the urban atmosphere. This system features direct-detection of Doppler shift of the Mie and Rayleigh scattering by the high-spectral-resolution technique. Accuracy of the wind velocity measurement was 0.5m/s at 3km range with 5s integration time and two-dimensional wind field was obtained by the beam scanning technique.

1. はじめに

風速分布の遠隔計測は大気物理学や天気予報などの気象学、ビル風の調査や大気汚染物質の拡散予測など環境学の分野で必要とされている。ドップラーライダーにはヘテロダイン法と直接検波法の2種類があり、ヘテロダイン法はエアロゾルによるドップラー効果を利用してビート周波数により風速を測定する方式で、赤外域の固体レーザーを光源としたシステムが開発され、風速分布の報告がされている。しかし、最大の距離分解が約100mと低く、また、海洋上や対流圏上層部などのエアロゾル濃度の少ない領域では測定が困難である。直接検波法は光フィルタを用いてドップラーシフトによる周波数変化を光強度の変化によって検出する方式¹⁾であり、成層圏の風が観測されている。しかし、これらは観測時間が数時間と非常に長いことが欠点であり、対流圏下層部の時々刻々と変化する風速分布の短時間の測定は不向きである。

本研究ではミー散乱とレイリー散乱を分離し、直接検波法でミー散乱のドップラーシフトを検出する手法²⁾を用いた。本システムの特長として、①高い距離分解能、②対流圏下層部から成層圏に至る風速測定が可能、③ビームをスキャンさせることにより風速の2次元分布を求めることができ、ビル風などの乱流計測に応用できる、ことである。ここでは、その動作特性について実験を行ったので報告する。

2. 紫外域ドップラーライダーシステムの構成

紫外域ドップラーライダーのシステム構成を図1に示す。光源にはNd:YAGレーザーの第3高調波である355nmを使用しており、シーディング法により単一周波数にしている。紫外域レーザーは分子のレイリー散乱の後方散乱断面積が赤外や可視域の波長に比べて大きくなることから、対流圏下層部から成層圏までの風速測定が可能となる。また、レーザービームエネルギーは40mJ/pulseで、パルス幅10ns、繰り返し周波数20Hzである。レーザー光はビームエキスパンダで10倍に広げられ、1.1mJ/cm²と人の眼に対する最大許容露光量の範囲内に抑え、アイセーフとしている。レーザー光は直径400mmの反射鏡によって大気中に照射され、ミラーを回転することでビームをスキャンさせる。集光された散乱光は光ファイバに入射され、その出力光を3つに分離し、光フィルタである高分解能エタロンを透過してPMTにより検出される。各検出チャンネルで得られた信号は、高スペクトル分解能法によりミー散乱信号 P_m とレイリー散乱信号 P_r に分離され、対流圏下層部ではミー散乱成分によるドップラーシフト量を検出(ミー散乱方式)し、対流圏上層部や成層圏では従来のミー散乱とレイリー散乱によるドップラーシフト量を検出(レイリー散乱方式)する方式で視線方向の風速を求める。また、距離分解能はレーザーのパルス幅に依存し、最大で1.5mとなる。

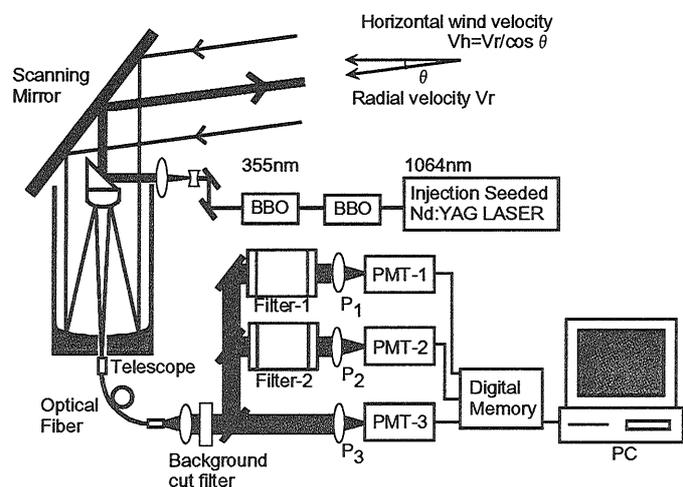


Fig. 1 Schematic of the UV Doppler lidar system.

3. ミー散乱方式とレイリー散乱方式による風速分布の比較

まず、レーザを天頂角に向けて照射し、雲による強いミー散乱光をとレイリー散乱光に分離する実験を行った。その結果、分離誤差(ミー散乱信号に含まれるレイリー散乱信号の比)は 10^{-3} が得られており、本システムの風速感度(風速 V に対するミー散乱強度の変化率) $dP_m/dV=5 \times 10^{-2}/(m/s)$ から風速誤差は散乱比(ミー散乱強度/レイリー散乱強度)が 0.05 の場合 0.1m/s となり、澄んだ大気状態においてもミー散乱方式が有効となる。

次にレーザを仰角 10° 方向に照射し、積算数を 100 ショット(測定時間 5 秒)、視線方向の距離分解能を 150m で、ミー散乱方式とレイリー散乱方式による風速測定を行った。その結果を図 2 に示す。それぞれの方式から得られた風速分布は類似しており、風速誤差は距離 2.5km でミー散乱方式が 0.5m/s、レイリー散乱方式で 2m/s となり、ミー散乱方式では短い観測時間で高い風速精度が得られた。

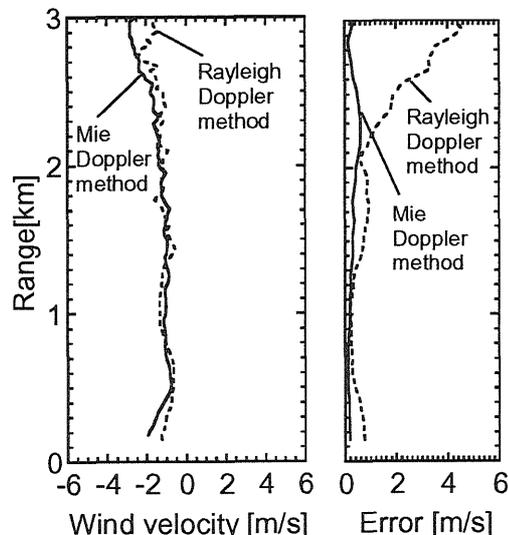


Fig. 2 Comparison of the wind velocity data between the Mie and Rayleigh method. (100shot integration, 150m range resolution)

4. 風速の 2 次元分布計測

レーザ光を水平方向にスキャンさせて福井市中心部の風速の 2 次元分布測定を行った。その結果を図 3 に示す。建築物などの障害物を回避するためレーザ光の仰角を 30° とし、1 方向の計測では、積算回数 100 ショット(観測時間 5 秒)で、視線方向での距離分解能は 150m で行い、 2° づつスキャンして 90° の範囲を測定した。測定点から南側にある駅前の高い建物のある領域では遅い風速が、東側の開けた領域では速い風速が観測されており、乱れが生じている。福井地方気象台での測定値 3.9m/s に対し、ライダーで観測された風速は 4m/s 前後となっており、ほぼ一致している。しかし観測時間が 15 分であることから、正確な風速分布は測定されていないと考えられ、今後観測時間の短縮のため、システムの高効率化や高精度化が課題となる。

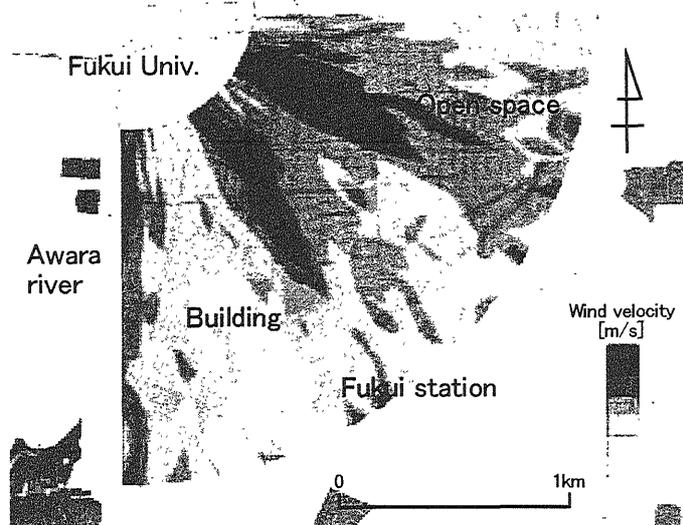


Fig. 3 Horizontal distribution of the radial wind velocity. (Time: 16:59~16:14, Date: 2002.7.4)

5. まとめ

直接検波方式の紫外域ドップラーライダーを開発し、ミー散乱方式による風速測定を行った。その結果、対流圏下層部における風速測定に対して有効であることがわかった。また、ビームをスキャンすることで、直接検波法で風速の 2 次元分布を初めて測定した。今後、システムの改善によりさらに高い距離分解能でビル風など乱流の測定を行い、気象・環境観測システムとしての実用化を目指したい。

参考文献

- 1) C.Flesia, and C.L.Korb, APPLIED OPTICS, pp. 432 - 440 (1999)
- 2) M. Imaki, D. Sun, and T. Kobayashi, Proc. of SPIE, vol. 4893, China, pp. 303 - 310 (2002)