

高出力 1.6 μm OPG による直接検波ドップラーライダー観測

Wind measurements with an incoherent Doppler lidar based on a high-power 1.6 μm OPG

○柴田泰邦、長澤親生、阿保 真

Yasukuni Shibata, Chikao Nagasawa, Makoto Abo

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: We have developed a new incoherent Doppler lidar (ICDL) technique using a Fiber Bragg Grating (FBG) filter at the 1.5 μm band as a wind detection device. The ICDL can be measured with high range resolution of several meters. When the light source is based on a laser diode, the maximum measuring range is limited to about 1 km. In this paper, the high power OPG (optical parametric generator) system developed for the CO₂-DIAL (differential absorption lidar) is applied for the light source of this Doppler lidar. Laser beam is transmitted coaxially and motorized scanning mirror system can scan the laser beam within 0 – 360° azimuth degree range and 0 – 52° elevation degree range. Vertical wind vector profiles were obtained up to 6 km altitude with 1 km altitude resolution by measuring line-of-sight wind profiles at two azimuth angles with a fixed elevation angle.

1. はじめに

我々は距離 1 km 内の風分布を測定するため、小型インコヒーレントドップラーライダーを開発し、風速の試験観測に成功した^{1,2}。光源にはアイセーフ波長 1.5 μm を用い、小型・軽量化が可能な、光通信用 DFB-LD の出力を光アンプで増幅することにより高出力化を実現した。また、パルス長を数十 ns と短くすることで、数 m 程度の高分解能観測が可能となる。ドップラーシフト成分検出用フィルターには、ファイバー・ブラッグ・グレーティング (FBG: Fiber Bragg Grating) を利用している。これら光通信機器を用いることにより、システム全体が光ファイバーで結合されるため、小型・軽量化が実現できた。一方、距離 1 km を超える遠方までの風観測を行う場合、EDFA による増幅には限度があり、十分な SN を得ることが難しい。そこで、我々が直接検波 CO₂-DIAL の光源として開発した 1.6 μm OPG (optical parametric generator) を本ドップラーライダーの光源に用いることで、高度 6 km 付近までの風向風速が可能となった³。本稿では、1.6 μm OPG を用いたドップラーライダーの装置概要および、風向風速測定結果について報告する。

2. ドップラーライダーシステム

Fig.1に1.6 μm OPGを用いたドップラーライダーのシステム構成を示す。我々は1.6 μm 帯CO₂-DIALの送信光源として、擬似位相整合(quasi phase matching : QPM)デバイスであるPPMgLT (periodically poled Mg-doped LiTaO₃) を用いたOPGのシグナル光を利用している。OPGは共振器を持たないため容易にシーダー光による波長制御および狭帯域化が可能である。OPGのシグナル光をドップラーライダーの送信レーザー光とするため、DIAL同様にCO₂吸収スペクトルの中心波長へレーザー波長を同調させることで、波長安定化を実現している。シグナル光の波長制御は、励起光のパルスNd:YAGレーザーとOPGにそれぞれ波長安定化したシーダー光が使われる。パルスNd:YAGレーザーのシーダー光は、Nd:YAGレーザーの第2高調波である波長532 nm近傍のヨウ素吸収スペクトルで波長ロックした波長1064 nmのCW Nd:YAGレーザーを用いている。OPGのシーダー光はCO₂セルを使って吸収スペクトルのピークに同調したon波長用のDFBレーザーを用いている。また、OPGの後段に増幅段を加えている。この結果、on波長(1572.992 nm)で最大出力20 mJ/pulse、平均出力10 Wを得ている。受信望遠鏡の口径は25cmで、レーザーは同軸で送信される。またスキャン機構を有し、方位角0~360°、仰角0~52°の範囲でスキャン可能である。散乱光は光サーキュレータを介してFBGフィルターに導かれ、透過光は光検出器Det.1に、反射光は再度光サーキュレータを介して別の光検出器Det.2で受光される。ドップラーシフト周波数はフィルター透過光と反射光の強度比から求めることができる。

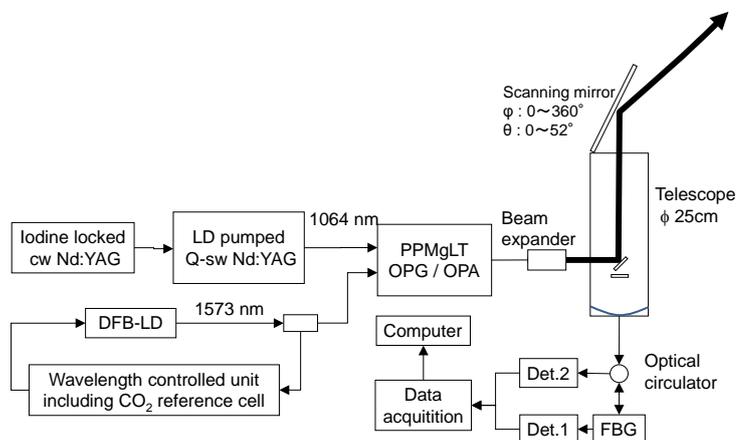


Fig.1 Outline of the Doppler lidar system with a scanning telescope.

3. 風向風速比較観測実験

Fig.1 のドップラーライダーシステムを用いて、鉛直上空の水平風の観測を首都大学東京・日野キャンパスにおいて行った。レーザー出力は長期間にわたり安定運用するため、6.5 mJ/pulse としている。光検出器には光電子増倍管 (PMT) を使い、フォトンカウンティングモードで計測した。スキャン望遠鏡は上限の仰角 52° で固定し、1 分ごとに南北方向および東西方向を測定するように方位を切り替えた。比較のため、熊谷のウィンドプロファイラ、館野のラジオゾンデによる風観測結果を用いた。Fig.2 に各観測点の位置関係を示す。Fig.3 にドップラーライダーおよびウィンドプロファイラの水平の風ベクトル観測結果を示す。ドップラーライダーの結果はウィンドプロファイラのデータに合わせ、時間分解能 1 時間、高度分解能 1 km としている。ウィンドプロファイラ観測でベクトルが記載されていない点は、欠測を意味している。ウィンドプロファイラは乱流からの散乱電波をもとにドップラーシフトを計測するため、乱流がない場合は測定できない。

観測日 (2012 年 7 月 30 日) は関東の南を台風 10 号が西進しており、地上のアメダスにおいて関東一円で南風が観測されている。Fig.3 より、観測時間中において高度 2~3 km で風速 6~7 m/s の南風が吹いていることが分かる。また、ライダー観測から 22 時以降、高度 4~5 km の間にシアが形成されているのが見て取れる。一方、ウィンドプロファイラは高度 4km で欠測しており、シア高度が明瞭でない。Fig.4 にライダーとラジオゾンデの水平風速の観測結果を南北成分と東西成分に分けて示す。ラジオゾンデが 21:00LT に放球されるのに合わせ、ライダーの風プロファイルは 21 時を中心として時間分解能 1 時間とし、高度分解能は高度 2 km 以下で 240 m、高度 2 km 以上で 1 km とした。高度 4 km 以上では両者の結果は概ね一致しているが、高度 3 km 以下では結果が異なる。日野と熊谷は南北に位置しているため、当時の気象条件から境界層内の風の間は同じであるが、日野と熊谷は東西に位置しているため境界層内における風の間は異なるものと推測される。

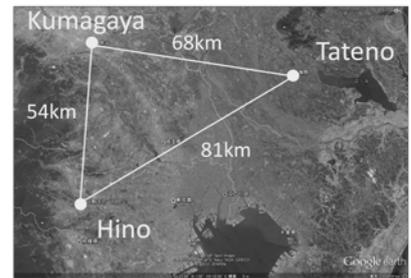


Fig.2 The location of wind observation points.

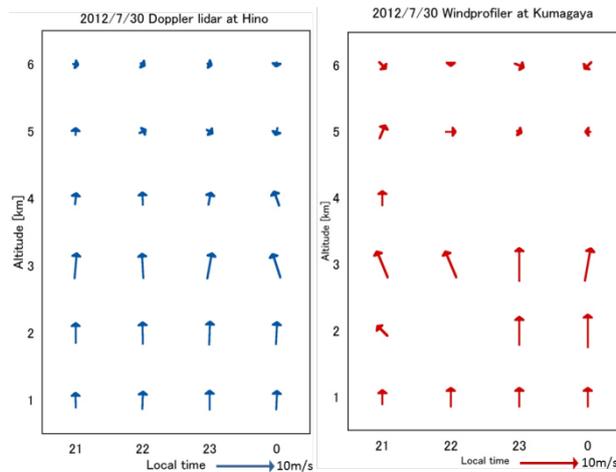


Fig.3 Horizontal wind speed and vector profiles of the Doppler lidar and the windprofiler.

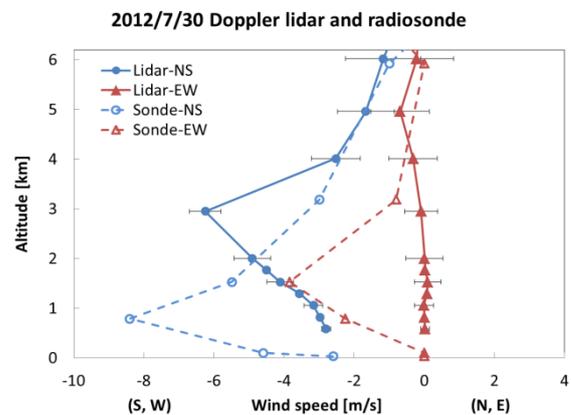


Fig.4 Horizontal wind speed profiles of the Doppler lidar observed at Hino and the radiosonde launched at Tateno.

4. まとめ

これまでは LD ベースの光源を用いて距離 1 km 内の風観測を行ってきたが、高出力の 1.6 μm OPG を光源に利用することで、対流圏中層での風測定が可能となった。ウィンドプロファイラでは欠測だった乱流のない高度領域においても風観測が可能であることを実証した。

参考文献

1. 柴田他、レーザー研究, Vol.39, No.8, pp622-626 (2011).
2. 柴田他、第 29 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、pp16-17 (2011)
3. 長澤他、計測と制御, Vol.50, No.8, pp883-887 (2011)