

コヒーレント差分吸収ライダーによる水蒸気・風分布の同時計測結果

今城 勝治、廣澤 賢一、亀山 俊平、柳澤 隆行
三菱電機株式会社 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

Simultaneously measurement of water vapor and wind velocity profile by using coherent differential absorption lidar

Masaharu IMAKI, Kenichi HIROSAWA, Shumpei KAMEYAMA, Takayuki YANAGISAWA
Mitsubishi Electric Corporation, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

Abstract: We have been developing a ground based coherent differential absorption LIDAR for water vapor profile using 1.53 micron laser wavelength. A coherent lidar has an advantage in daytime measurement compared with incoherent lidar because the influence of background light is greatly low. In addition, the lidar can simultaneously measure wind speed and water vapor density. We demonstrated the water vapor and wind velocity measurements in vertical range, and the height profile of water vapor density and wind velocity were observed up to 2500 m.

Key Words: Laser, LIDAR, DIAL, Absorption, Water vapor, Wind, Doppler, Coherent, Eye-safe

1. はじめに

レーザ光を用いた水蒸気分布の測定手法としては、ラマンライダー¹⁾や差分吸収ライダー^{2,3)}が報告されている。これらは直接検波方式であり、散乱光を二乗検波し電気信号に変換しているため、太陽光を受信した場合には雑音成分が増加し、昼間での計測時は夜間に比べて測定距離が低下、もしくは測定精度が劣化する、といった課題がある。

一方、我々は 1990 年頃より、ヘテロダイン検波方式の風計測ライダーを開発している。本方式は、受信信号とローカル光を干渉させて発生するビート信号を測定するため、ランダムな位相情報をもつ太陽光等の影響を受けないことが特徴である。この受信方式を用いたライダーは、コヒーレントな散乱光を検出することから、コヒーレント方式とも呼ばれる。

水蒸気計測を行うコヒーレント方式のライダーは、波長 10 μm 帯のコヒーレント差分吸収ライダーの構想⁴⁾や実験結果^{5,6)}が報告されている。本構成では、光源に CO₂ レーザを用いており、長期観測する際の安定性に課題がある。我々は、上記課題を克服すべく、昼夜の観測性能が変動しないコヒーレント方式において、長期安定性が可能な 1.5 μm 帯の水蒸気差分吸収ライダーを試作した。

2. 1.5 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダー装置

1.5 μm 帯コヒーレント差分吸収ライダーの装置構成を Fig.1 に示す。水蒸気の吸収波長と非吸収波長に波長を安定化したレーザ光を、光スイッチにて選択し出力する。選択したレーザ光を光分配器

で分け、一方を強度変調器でパルス化し、光アンテナで増幅した後、光アンテナを通過して大気中に照射する。大気中に照射したレーザ光は空気分子やエアロゾル等によって散乱される。散乱光を送信時と同じ光アンテナで集光し、光分配器のもう一方の光と合波する。合波した光を光受信機でそのビート成分を電気信号に変換し、CPU にて時間領域毎で周波数解析し、そのピーク強度を導出する。

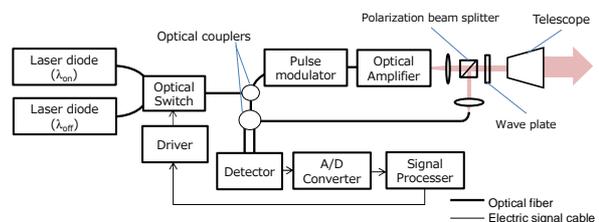


Figure 1. Schematic diagram of coherent differential absorption LIDAR.

吸収波長について、1.53 μm 帯の水蒸気の線吸収強度は 1×10^{-24} cm/molecule と小さく、波長吸収量の変化から波長を制御して安定化する小型の参照用ガスセルでは十分な吸収量が得られないため、波長を吸収線に安定させることが困難である。そのため、我々は、1.53 μm に吸収のある Hydrogen Cyanide (HCN) の吸収線に波長を安定化し、左記波長に対して所定の周波数オフセットを与えることで、水蒸気の吸収波長に安定化させる方式を用いた^{7, 8, 9)}。

試作した装置では、レーザエネルギーは 0.3 mJ、パルス幅 1.4 μs 、繰返し周波数 16 kHz、受信口径

110 mm である。また、吸収波長と非吸収波長はそれぞれ 1531.382 nm と 1531.555 nm であり吸収断面積は、吸収波長で $8.57 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ 、非吸収波長で $1 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$ である。一定時間毎に切り替え、各波長それぞれ累計 5 分 ($4.8 \times 10^6 \text{ shots}$) のデータを平均して、距離毎での周波数ピーク強度を算出する。最後に、吸収波長と非吸収波長での受信信号強度分布より光学的厚さを算出し、水蒸気分布を導出する。また、ピーク周波数のシフト量から、視線方向の風速分布の計測を行う。本装置では、これまでの風計測に加え、水蒸気分布を計測できることが特徴である。

3. 水蒸気・風測定同時結果

垂直方向の風・水蒸気分布同時測定結果の一例を Fig.2 に示す。レーザー光は天頂角 35.4 度に照射し、取得したデータを高度方向の分布に変換した。図中左側の ON, OFF は、それぞれ吸収波長と非吸収波長の A スコープデータを示しており、信号強度はエアロゾル濃度に依存する。図中右側は同時に測定した水蒸気量と風速分布を示しており、高度 2000m 付近のエアロゾルの下層部分にて水蒸気量が増加している様子を観測することができた。

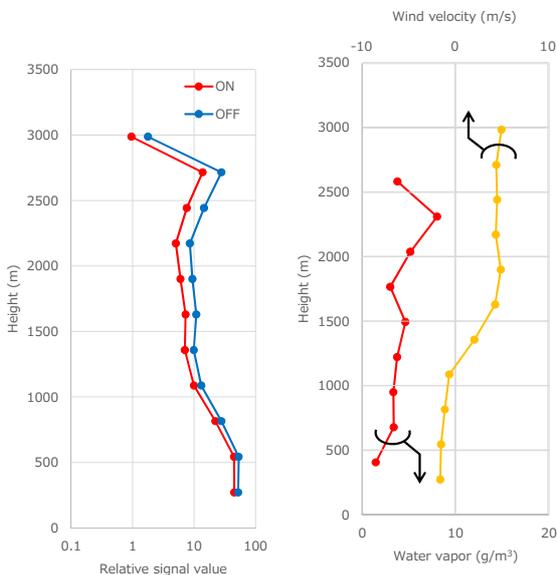


Figure 2. Height profile of relative signal value which corresponds to aerosol density and clouds, water vapor, and wind velocity of line of sight.

4. まとめ

水蒸気の長期観測を実現できる $1.5 \mu\text{m}$ 帯のコヒーレント差分吸収ライダーを試作し、鉛直方向の風・水蒸気の同時測定を行った。

高度 2.5km まで測定することができており、また、エアロゾル層下層部分で水蒸気量が増加している様子を捉えることができた。今後測定結果の妥当性について検証する。

参考文献

- 1) T. Sakai, T. Nagai, M. Nakazato, T. Matsumura, N. Orikasa, and Y. Shoji, "Comparisons of the Raman lidar measurements of the tropospheric water vapor profiles with radiosondes, meteorological observation tower, and GPS at Tsukuba, Japan", Proc. of SPIE **6367**, (2006) 63670D.
- 2) A. R. Nehrir, et al., "Eye-Safe Diode-Laser-Based Micropulse Differential Absorption Lidar (DIAL) for Water Vapor Profiling in the Lower Troposphere," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology **28** (2011) 131-147.
- 3) S. M. Spuler, et al., "Field-deployable diode-laser-based differential absorption lidar (DIAL) for profiling water vapor," Atmospheric Measurement Techniques **8** (2015) 1073-1087.
- 4) T. Kobayashi, et al., "Infra-red heterodyne laser radar for remote sensing of air pollutants by range-resolved differential absorption," Optical and Quantum Electronics **7** (1975) 319-327.
- 5) M. J. Kavaya, et al., "Monte Carlo computer simulations of ground-based and space-based coherent DIAL water vapor profiling," Appl. Opt. **28** (1989) 840-851.
- 6) R. M. Hardesty, "Coherent DIAL measurement of range-resolved water vapor concentration," Appl. Opt. **23** (1984) 2545-2553.
- 7) M. Imaki, et al., "Preliminary study on ground based coherent differential absorption LIDAR for vertical profiling of water vapor density using $1.53 \mu\text{m}$ wavelength," 18th Coherent Laser Radar Conference.
- 8) M. Imaki, et al., "Development of wavelength locking circuit for $1.53 \mu\text{m}$ water vapor monitoring coherent differential absorption lidar," 28th International Laser Radar Conference.