

コヒーレント差分吸収ライダーによる昼間の鉛直方向水蒸気測定結果

今城 勝治、廣澤 賢一、田中 久理、柳澤 隆行、亀山俊平

三菱電機株式会社, 〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3

Daytime measurement of water vapor profile by using coherent differential absorption lidar

Masaharu IMAKI, Kenichi HIROSAWA, Hisamichi TANAKA,
Takayuki YANAGISAWA, and Shumpei KAMEYAMA

Mitsubishi Electric Corporation, 2-7-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310

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. We demonstrated the daytime measurements of water vapor in vertical range, and the height profile of water vapor density were observed up to 2500 m.

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

1. はじめに

レーザー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¹⁾。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²⁾や実験結果^{3,4)}が報告されている。本構成では、光源にCO₂レーザーを用いており、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、長期安定性が可能な1.5 μm 帯の水蒸気差分吸収コヒーレントライダーを試作した。

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ー光を、光スイッチにて選択し出力する。選択したレーザー光を光分配器で分け、一方を強度変調器でパルス化し、光アンプで増幅した後、光アンテナを通して大気中に照射する。大気中に照射したレーザー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。

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^{5,6)}。

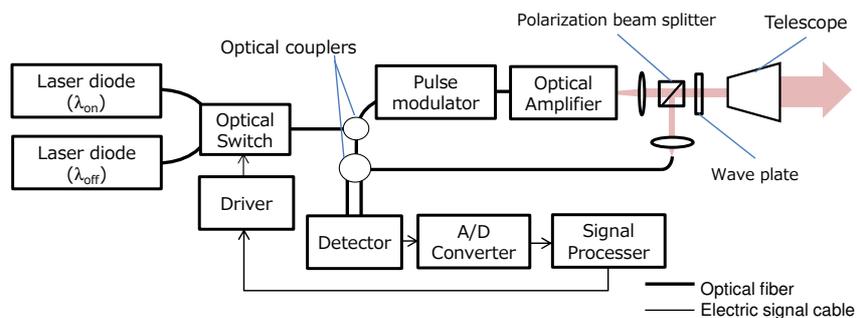


Figure 1. Schematic diagram of coherent differential absorption LIDAR.

さらに、光アンプには、1531nm 帯で高出力化を実現した当社試作の導波路型アンプを用いた⁷⁾。試作した装置では、レーザエネルギーは 1mJ、パルス幅 1.4 μs、繰り返し周波数 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 (4.8×10^6 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、風計測に加えて水蒸気分布を計測できることが特徴である。

2. 昼間の水蒸気測定結果

2018 年 3 月 30 日の 10:40 取得した垂直方向の水蒸気分布測定結果を Fig.2 に示す。レーザ光は天頂角 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。距離分解能は 300m、平均時間は 10 分である。図中左側の ON, OFF は、それぞれ吸収波長と非吸収波長のキャリア対雑音比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。図中右側は水蒸気量を示しており、昼間においても高度 2500m までの水蒸気分布を取得できることを実証した。

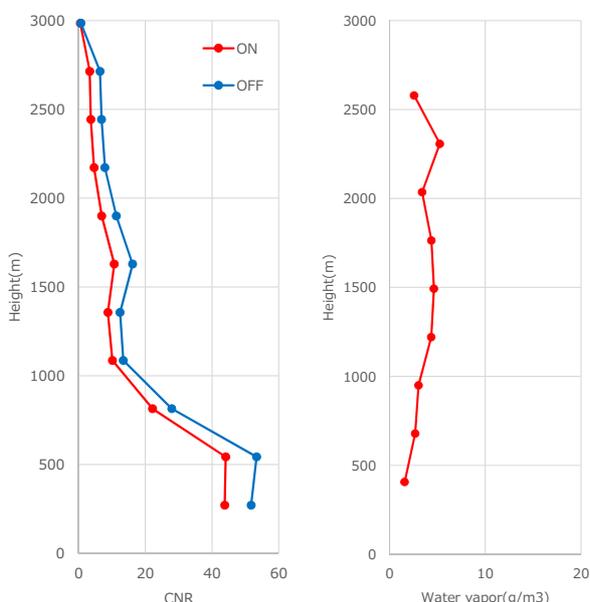


Figure 2. Height profile of relative signal value and water vapor density at daytime.

3. まとめ

試作した 1.5μm 帯のコヒーレント差分吸収ライダーにて、昼間における鉛直方向の水蒸気測定を実施し、高度 2.5km までの水蒸気分布が取得できることを実証した。今後、連続観測の実施や測定結果の妥当性について検証する。

参考文献

- 1) 浅香他, コヒーレントライダー用 LD 励起 Er, Yb:Glass 固体レーザ, 電子情報通信学会技術研究報告. LQE, レーザ・量子エレクトロニクス 98(41), 7-12, 1998.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) R. M. Hardesty, “Coherent DIAL measurement of range-resolved water vapor concentration,” *Appl. Opt.* 23 (1984) 2545-2553.
- 5) M. Imaki, *et al.*, “Preliminary study on ground based coherent differential absorption LIDAR for vertical profiling of water vapor density using 1.53 μm wavelength,” 18th Coherent Laser Radar Conference.
- 6) M. Imaki, *et al.*, “Development of wavelength locking circuit for 1.53 micron water vapor monitoring coherent differential absorption lidar,” 28th International Laser Radar Conference.
- 7) K. Hirose, *et al.*, 7.4 mJ laser amplifier at 1531.4 nm for water vapor differential absorption lidar (DIAL), in *proceedings of Advanced Solid State Lasers Conference 2017*.