

# 水蒸気観測のためのマイクロパルス差分吸収ライダーの開発

内保 裕一<sup>1</sup>, 松木 一人<sup>1</sup>, 竹内 栄治<sup>1</sup>, 長谷川 壽一<sup>1</sup>, 阿保 真<sup>2</sup>

<sup>1</sup>英弘精機株式会社 (〒151-0072 東京都渋谷区幡ヶ谷 1-21-8)

<sup>2</sup>東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

## Development of micropulse differential absorption lidar for water vapor measurements

Yuichi UCHIHO<sup>1</sup>, Kazuto MATSUKI<sup>1</sup>, Eiji TAKEUCHI<sup>1</sup>, Toshikazu HASEGAWA<sup>1</sup> and Makoto ABO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EKO INSTRUMENTS CO., LTD, 1-21-8 Hatagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0072, Japan

<sup>2</sup>Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065, Japan

To capture the predictive information of localized heavy rain fall is critical in reducing water disasters. Water vapor profiling by lidar is a useful tool for understanding the atmospheric conditions and a compact and low-cost lidar is expected. A micro-pulse DIAL would be a promising tool for obtaining vertical profiles of water vapor since it can be compact and no calibration required in principle. The DIAL system with NIR diode laser has been developed and, in this study, we report the results of water vapor profiling with the DIAL system and compared those results with that obtained with radiosonde.

**Key Words:** Water vapor, micro pulse DIAL, NIR

### 1. はじめに

近年、激甚化する線状降水帯等の豪雨災害による被害低減には、早期に大雨の発生を予測して避難等の対応を促すことが重要となる。早期予測のためには、鉛直方向の水蒸気量を高い時空間分解能で計測可能な水蒸気ライダーの活用が期待されている。我々は、小型かつ比較的安価で原理的に校正が不要な水蒸気ライダーであるマイクロパルス差分吸収ライダー(DIAL)を開発しており、前回の LSS40 で DIAL とラジオゾンデの比較から高度 800m 以下の水蒸気量の測定精度が低いという課題を報告した<sup>1)</sup>。本発表では特に低高度での精度改善や安定な装置の実現のため、光ファイバを用いた受光系への変更や調整方法の見直しといった改善策を検討した。改善後の DIAL 装置を用いて水蒸気量を観測し、ラジオゾンデで得られた水蒸気量と比較した結果や連続観測結果を報告する。

### 2. DIAL の装置構成

本研究で開発した DIAL 装置の主な仕様を Table 1 に、構成図を Fig. 1 に示す。DIAL 装置は、送信部、望遠鏡、光検出部、データ処理部で構成されている。光源として波長 829 nm の 2 つの分布反射型(DBR)レーザーとテーパ型半導体光アンプ(TSOA)を用い、水蒸気の吸収量が異なる 2 波長のパルス光を交互に射出させる。レーザー光の波長は、波長計でモニタしながらフィードバック制御で安定化させている。直径 40cm の望遠鏡で受光された散乱光は干渉フィルタおよびエタロンを透過した後、APD のフォトンカウンティングで検出される。水蒸気量は、2 波長の散乱光比の高度方向の微分値と、HITRAN データベースで得られた水蒸気の吸収断面積を用いて算出される<sup>2-3)</sup>。

Table 1 Specifications of DIAL

Laser	DBR laser + TSOA
Wavelength	829.180 nm (On line) 829.110 nm (Off line)
Pulse energy	2.5 $\mu$ J
Pulse duration	0.5 $\mu$ sec
Repetition rate	10 kHz
Telescope	Newtonian
Telescope diameter	40 cm
Telescope field of view	130 $\mu$ rad

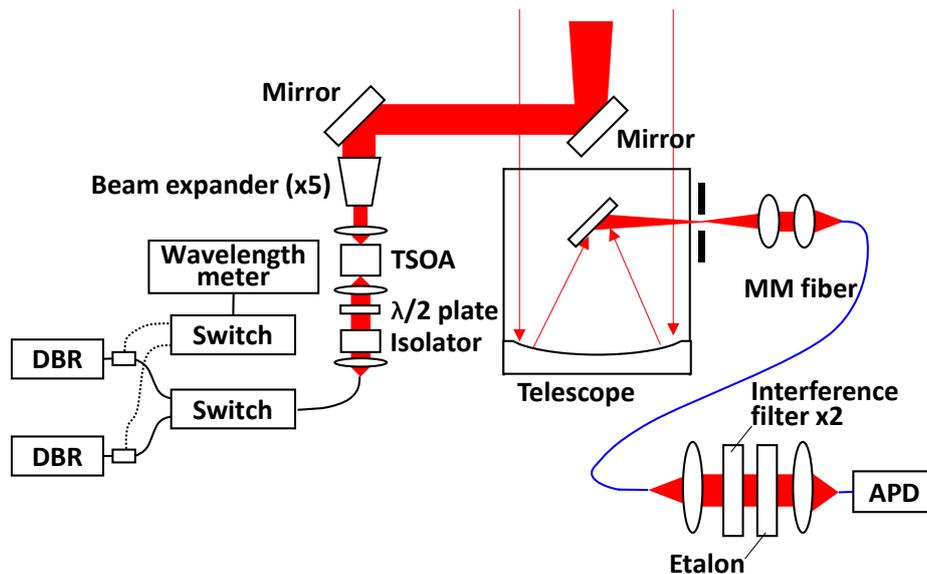


Fig. 1 Optical setup of micropulse DIAL. DBR: distributed Bragg reflector laser; TSOA: tapered semiconductor optical amplifier; APD: avalanche photodiode.

### 3. ラジオゾンデとの比較

測定は英弘精機(株)本社屋上 (35.7°N, 139.7°E, 標高 50 m) にて実施され、同じ場所からラジオゾンデを放球し、DIAL で得られた水蒸気プロファイルと比較した。日本時間 2023 年 4 月 4 日の 12:00 および 19:00 の比較結果を Fig. 2 に示す。エラーバーは水蒸気の統計誤差を示している。DIAL では時間で 20 分間、高度 150m の積算値を用い、統計誤差 20%以下のデータを採用した。ラジオゾンデとはおおむね整合的な結果となっており、特に高度 300m 以上の測定精度が向上した。昼間は太陽光による背景光の影響のため測定可能高度が 1,200m 程度であった。一方、夜間では背景光の影響がないため高度 2,500m 程度までラジオゾンデと一致する結果が得られた。

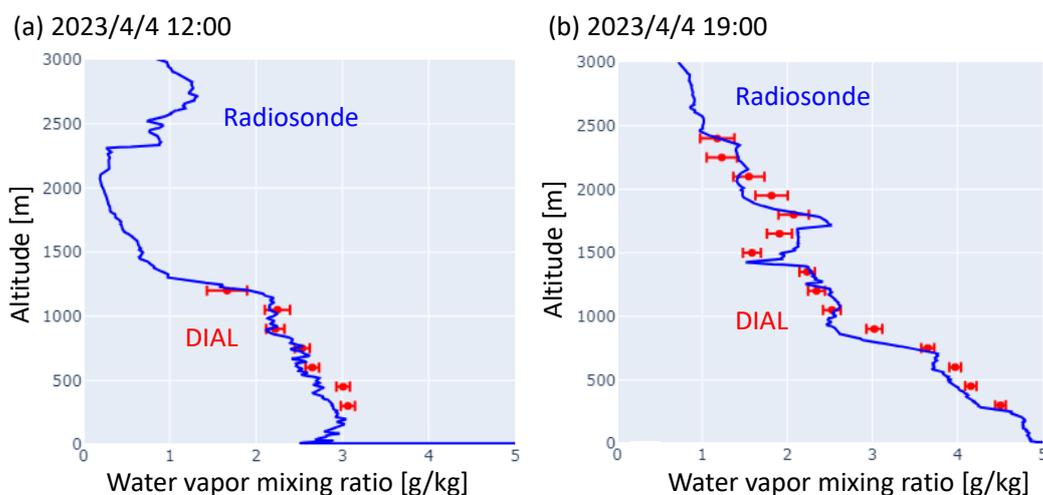


Fig. 2 Vertical water vapor mixing ratio profiles obtained by DIAL and radiosonde in (a) daytime (4/4 12:00) and (b) nighttime (4/4 19:00). Error bars represent statistical error of water vapor mixing ratio.

#### 4. 水蒸気量の連続測定

日本時間 2023 年 3 月 31 日から 4 月 7 日までの約 1 週間の水蒸気混合比プロファイルおよび OFF 波長の散乱光プロファイル(背景光除去および距離二乗補正), 高度 300m の DIAL と地上温湿度センサから求めた水蒸気混合比の比較結果を Fig. 3 に示す. 水蒸気混合比の算出は Fig. 2 と同様の処理方法とした. 大気境界層内の水蒸気量の時空間変動を連続的に捉えることができた. また, 雲が低い場合などを除き, 昼間では 300~1,200m 程度まで, 夜間では最大 300~3,000m 程度まで水蒸気プロファイルを観測できた. 地上センサとの比較からも整合的な結果が得られた.

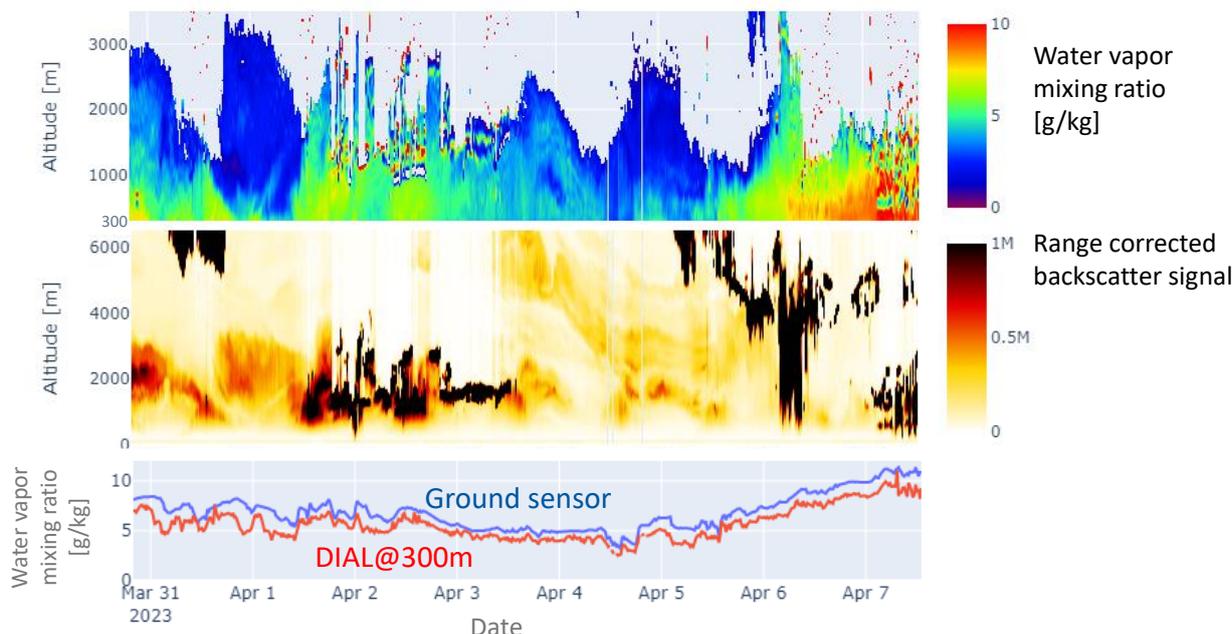


Fig. 3 Continuous observation data from 2023/3/31 to 4/7 (JST). Top panel: water vapor mixing ratio in g/kg; middle panel: relative backscatter signal after background subtraction for off-line wavelength; bottom panel: water vapor mixing ratio (g/kg) obtained with the DIAL at 300 m and the ground sensor co-located with the DIAL system.

#### 5. まとめと今後の展望

DIAL 装置を用いて水蒸気量を計測し, 高度 300m からラジオゾンデとおおむね整合する結果が得られ, 低高度での精度が改善した. また, 約 1 週間の連続測定の結果から昼間では高度 1,200m 前後, 夜間では最大 3,000m 程度まで観測できた. 今後は, ラジオゾンデとの比較実験をより頻回に実施して統計的な精度を評価するとともに, 実用化に向けた開発を進める.

#### 参考文献

- 1) 内保裕一ほか, 第 40 回レーザーセンシングシンポジウム, E2 (2022).
- 2) Spuler, S. M. *et al.*, *Atmos. Meas. Tech.*, 8(3), 1073-1087 (2015).
- 3) Gordon, I.E. *et al.*, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 203, 3-69 (2017).