

線状降水帯予測のための水蒸気 DIAL の開発・調整と

つくばでの試験観測

西橋 政秀¹, 及川 栄治¹, 永井 智広¹, 酒井 哲¹, 吉田 智¹, 阿保 真²

¹気象庁気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

²東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Development, Adjustment, and Experimental Observation of Water Vapor DIAL to Improve Forecast Skill of Local Severe Rainfall Associated with Mesoscale Convective Systems

Masahide NISHIHASHI¹, Eiji OIKAWA¹, Tomohiro NAGAI¹, Tetsu SAKAI¹, Satoru YOSHIDA¹, and Makoto ABO²

¹Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

²Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: We have developed a diode-laser-based differential absorption lidar (DIAL) that can observe the vertical profiles of water vapor at a height of less than 4 km throughout the day to improve forecast skill of local severe rainfall associated with stationary linear mesoscale convective systems. We have focused on improving the workability and operability of the DIAL at observation sites by making the adjustment and maintenance of the DIAL more efficient and procedural. We present the development status and temperature characteristics of the DIAL, as well as the results of experimental observations at Meteorological Research Institute located in Tsukuba.

Key Words: DIAL, Water Vapor

1. はじめに

線状降水帯により各地で甚大な豪雨災害が発生しているが、その予測精度を向上させるには、大気下層水蒸気量の鉛直分布を正確に観測することが極めて重要であると考えられている。しかし、現状ではこのような観測は不足している。そのため気象研究所と東京都立大学は、高精度・高時間分解能で連続観測可能な低運用コストの次世代型水蒸気ライダーを開発している。前回の発表¹⁾では、水蒸気ライダーの特徴と開発状況、東京都立大学での試験観測について報告した。本発表では、それ以降の開発・調整で明らかになった受信分光器の温度特性やその温度制御、気象研究所(茨城県つくば市)での試験観測について報告する。

2. 差分吸収式水蒸気ライダー(水蒸気 DIAL)の開発・調整

2.1 水蒸気 DIAL の特徴

本研究で開発を進めている水蒸気ライダーは、差分吸収式(Differential Absorption Lidar: DIAL)である。水蒸気吸収断面積が異なる2波長における後方散乱信号を観測することで、その強度比の高度差分から水蒸気量の鉛直分布が算出される。長期運用実績があるラマン散乱式ライダーと比較すると、DIALは送信レーザーの波長狭帯域化などの高いレーザー関連技術が必要で、装置が複雑化する傾向にある。しかし、低い保守頻度(数ヶ月に1回程度)、原理的に校正不要、半導体レーザーの使用により装置が小型・軽量化できるなど、現業利用に適した多数の利点を有する。これまでに、気象研究所と東京都立大学との共同研究により水蒸気 DIAL のプロトタイプが開発されたが^{2, 3)}、太陽背景光により日中の高高度までの観測が困難であることや、調整作業に長い時間と経験を要する等の課題があった。そこで、本研究ではそのプロトタイプをベースに、

- ・太陽背景光の影響を低減し、昼夜問わず高度3~4 kmまで観測できること
- ・調整・保守作業の効率化および手順化により、観測現場での作業性や運用面を向上させること

に重点を置いて開発を進めている。

Table 1 と Fig. 1 に水蒸気 DIAL の諸元およびブロック図を示す。送信光学系は2つの分布ブラッグ反射型(DBR)レーザー、光スイッチ、テーパ型光アンプ(TA)、ビームエキスパンダー等で構成されている。水蒸気吸収波長(ON波長)829.054 nmと非吸収波長(OFF波長)829.124 nmの2波長のレーザーパルス(パルス幅1 μs、出力5 μJ)を130 μs毎(約7.7 kHz)に交互に送信する。一方、受信光学系は望遠鏡、分光器(干

渉フィルターやエタロンなど)、光検出器等で構成されている。望遠鏡で受信された大気散乱光は、光検出器の前段に設置された分光器を通じて、光検出器に導入され、そこに接続されたトランジェントレコーダーでフォトンカウント数が記録される。

送信レーザーの波長安定性は、DIAL による水蒸気観測において必要不可欠であるが、長期間安定的に維持するための波長制御機構も実装している。これまでは ON 波長だけであったが、OFF 波長についても同様の制御機構を実装した (及川ほか、本シンポジウム)。

Table 1. Specifications of the water vapor DIAL.

Transmitter	Seed laser	DBR (Distributed Bragg reflector) laser diode × 2
	Amplifier	TA (Tapered semiconductor optical amplifier)
	Wavelength	829.054 nm (ON-line), 829.124 nm (OFF-line)
	Pulse energy	5 μJ
	Pulse width	1 μs
	Pulse repetition	7.7 kHz (130 μs)
	Beam divergence	~0.137 mrad
Receiver	Telescope	Ritchey–Chrétien telescope (D = 305 mm, f = 2440 mm)
	Field of view	0.41~2.05 mrad (adjustable)
	FWHM of interference filter	0.6 nm
	FWHM of etalon	1.4 pm

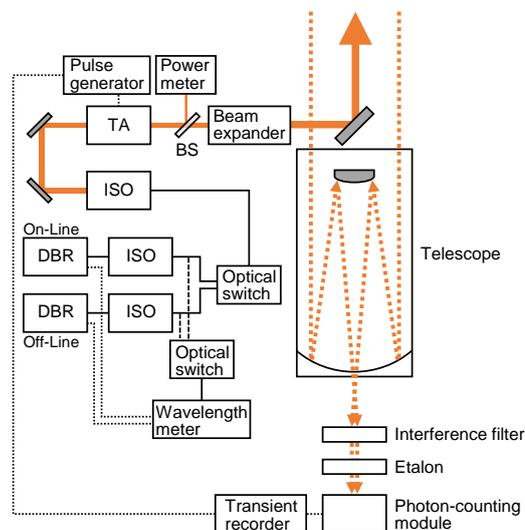


Fig. 1. Schematic diagram of the water vapor DIAL. (BS: Beam splitter, TA: Tapered semiconductor optical amplifier, ISO: Isolator, DBR: Distributed Bragg reflector laser diode)

2.2 受信分光器の温度特性と温度制御

分光器に設置しているエタロンの温度と傾きを調整することで、透過波長を極狭帯域 (半値全幅: 1.4 pm) で制御することができる。高高度からの微弱な散乱光を効果的に受信し、日中の観測高度上限を上げるため、観測波長 (=送信レーザー光の波長) の透過率向上に取り組んだ。エタロンに取り付けているヒーターの温度を変えながら傾きを調整し、各温度でのレーザー光の最大透過パワーを確認した (Fig. 2)。その結果、35.4°C で最大出力が得られたため、35.4±0.1°C で温調することにした。しかし、透過率の時間安定性が分光器内の温度変化に大きく依存することがその後の動作試験を通じて明らかになったことから、分光器内の最適な温度設定を調査したところ、21~22°C 付近で透過率が最も高くなることが分かった (Fig. 3)。そのため、断熱材 (発泡スチロール) とペルチェ素子を使用した恒温槽を作製し、その中に分光器を設置した。これにより、温度変化の影響を受けずに、透過率 60% 程度の維持を実現した。

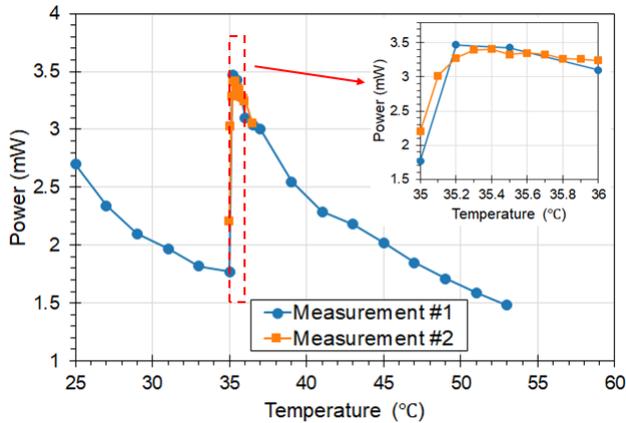


Fig. 2. Relationship between maximum transmission power and heating temperature of the etalon.

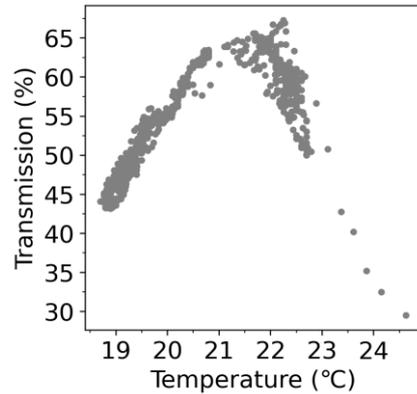


Fig. 3. Dependence of spectrometer transmission on the internal temperature of the spectrometer.

3. 試験観測結果

水蒸気 DIAL 一式を東京都立大学から気象研究所に移設し、2023 年 12 月 20 日夕方から 21 日朝にかけて試験観測を実施した。なおこの観測は、2 章で述べた分光器内のエタロンを取り付けずに実施したものである。水蒸気濃度の時間-高度変化を Fig. 4 に示す。生データの時間分解能は 1 分だが、S/N 比を上げて統計的不確かさを低減させるため、水蒸気濃度は 20 分毎に積算して解析した。一方、高度分解能は送信パルス幅 (1 μ s) に対応する 150 m である。同じ場所に設置しているラマン散乱式ライダーの観測データと比較すると、22 時~4 時頃の地上付近から高度 1 km 付近の水蒸気濃度の増加 (4~5 g/m^3) がほぼ対応している。また 20 日 20:30 頃の水蒸気濃度の鉛直分布を Fig. 5 に示す。ラマン散乱式ライダーに加えて、気象庁メソ解析や隣接している高層気象台 (館野) のラジオゾンデデータとも比較した。冬季であるため水蒸気濃度は全体的に低い、水蒸気 DIAL による観測結果は他のデータとほぼ同様の傾向を示している。しかし、水蒸気濃度のより低い高高度ではノイズの影響でゆらぎが生じていることが明らかになったため、ノイズ除去アルゴリズムの開発を進めている (及川ほか、本シンポジウム)。Fig. 4 に示した水蒸気濃度の時間-高度変化から、400 m、1000 m、1450 m の各高度別に抽出した時系列を Fig. 6 に示す。水蒸気 DIAL とラマン散乱式ライダーによる水蒸気濃度の時間変化はほぼ同期しており、下層水蒸気の鉛直構造を概ね捉えているものと考えられる。水蒸気濃度の高い夏季の観測データについては、シンポジウム当日に報告予定である。

4. まとめと今後の課題

水蒸気 DIAL の開発・調整を進め、その中で明らかになった受信分光器の温度特性と温度制御手法、および気象研究所での試験観測の結果を示した。今後は日中の試験観測を通じてさらなる調整を行うとともに、出力パワーの安定性向上を図る予定である。また、線状降水帯をターゲットとした観測を 2025 年度に長崎で実施する計画である。

参考文献

- 1) 西橋 政秀, 及川 栄治, 永井 智広, 酒井 哲, 吉田 智, 阿保 真: レーザセンシング学会第 41 回レーザセンシングシンポジウム予稿集 (2023) P5.
- 2) 酒井 哲, 阿保 真, P. P. L. Hoai, 永井 智広, 内野 修, 泉 敏治, 柴田 泰邦, 長澤 親生, 瀬古 弘, 川畑 拓矢: 日本気象学会 2015 年度秋季大会予稿集 (2015) C108.
- 3) M. Abo, T. Sakai, P. P. L. Hoai, Y. Shibata, and C. Nagasawa: EPJ Web of Conferences **176** (2018) 04015.

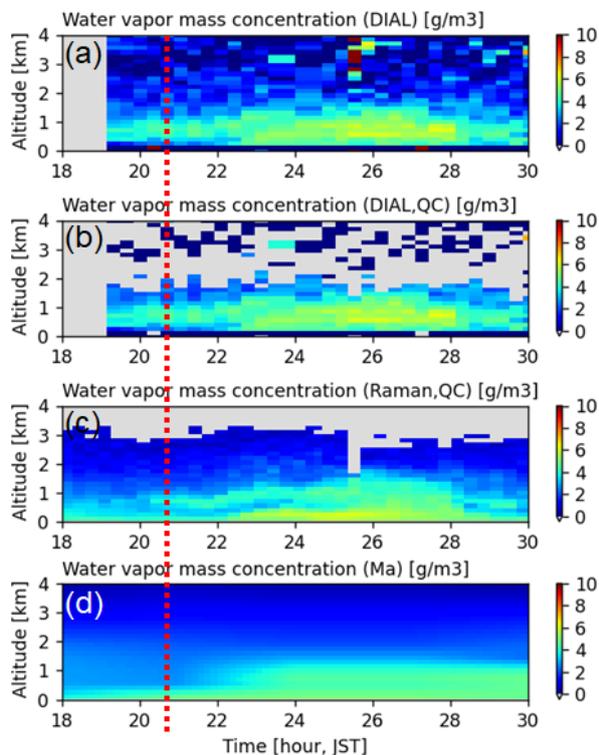


Fig. 4. Time-altitude cross section of water vapor mass concentration observed at Meteorological Research Institute (MRI) in Tsukuba from 18 JST 20 December to 6 JST 21 December 2023. (a) DIAL, (b) DIAL after quality control, (c) Raman lidar after quality control, (d) JMA Meso-scale analysis over MRI. The red line indicates the time corresponding to Fig. 5.

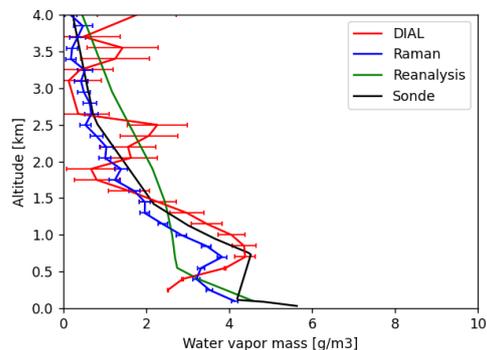


Fig. 5. Vertical profiles of water vapor mass concentration around 20:30 JST 20 December 2023. (red line: DIAL, blue line: Raman lidar, green line: JMA Meso-scale analysis over MRI, black line: radiosonde over Tateno)

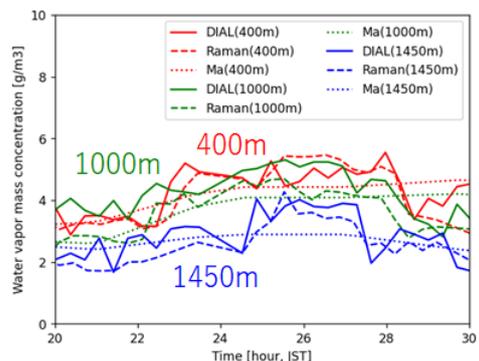


Fig. 6. Comparison of time series of water vapor mass concentration by altitude obtained from 18 JST 20 December to 6 JST 21 December 2023. (red line: 400 m, green line: 1000 m, blue line: 1450 m, solid line: DIAL, dashed line: Raman lidar, dotted line: JMA Meso-scale analysis over MRI)