

線状降水帯の予測精度向上に資する水蒸気 DIAL の開発

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 of Water Vapor DIAL for Improving 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 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 characteristics and development status of the DIAL, as well as the results of initial observations.

Key Words: DIAL, Water Vapor

1. はじめに

近年甚大な被害をもたらしている線状降水帯に伴う豪雨の予測精度を向上させるには、大気下層における水蒸気量の鉛直分布を詳細に観測することが重要であると考えられている。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共同開発している。本発表では、水蒸気ライダーの特徴および開発状況、試験観測結果について報告する。

2. 差分吸収式水蒸気ライダー（水蒸気 DIAL）の開発

2.1 水蒸気 DIAL の特徴と開発方針

本研究で開発している水蒸気ライダーは、差分吸収式 (Differential Absorption Lidar: DIAL) である。水蒸気の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求められる。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。その一方で、低い保守頻度 (数ヶ月に 1 回程度)、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くの利点を有する。以前、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^{1,2)}、太陽背景光により日中に高高度まで観測できないことや、調整作業に長い時間と経験を要する等の問題があった。そこで、本研究ではそのプロトタイプをベースに、

- 1) 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
- 2) 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す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。

2.2 受信光学系

受信光学系は望遠鏡、干渉フィルター、エタロン、光検出器などで構成されている。受信光学系の最適化を目指し、光学設計ソフトウェア Zemax OpticStudio を用いて、任意の距離・角度に配置した光源 (測定ターゲットに対応する) から望遠鏡を通じて光検出器までの光路シミュレーションを行った (Fig. 2)。その結果に基づき、コリメートレンズ (焦点距離 $f = 150$ mm) および光ファイバーへの集光レンズ (非球面レンズ、 $f = 26$ mm) などの選定・配置の検討を行った。また、日中の観測高度低下の原因となる太陽背景光を低減するために重要なエタロンの透過率向上を図るため、OpticStudio でエタロンのコーティング定義を調整することに

より、エタロンの透過率スペクトルを再現した。シードレーザー光を入射させてエタロンの透過率を測定した結果、83%であることが分かり、メーカー出荷時検査結果 (>68%) と比較して良好な結果が得られた。一方、エタロンの前段に干渉フィルターを配置しているが、コーティングが面的に均一でなく、透過率に問題があることが判明したため、代替品との交換を実施した。

Table 1. Specifications of the water vapor DIAL.

Transmitter	Seed laser	DBR (Distributed Bragg reflector) laser diode × 2
	Amplifier	TSOA (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	7.6923 kHz
	Beam divergence	~0.125 mrad
	Receiver	Telescope
Field of view		0.41~2.05 mrad (adjustable)
FWHM of interference filter		0.6 nm
FWHM of etalon		1.4 pm

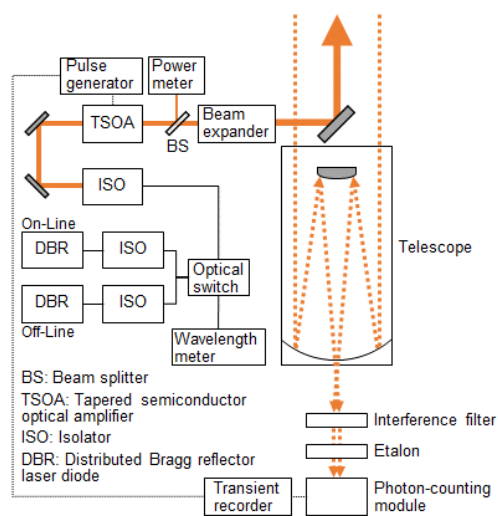


Fig. 1. Schematic diagram of the water vapor DIAL.

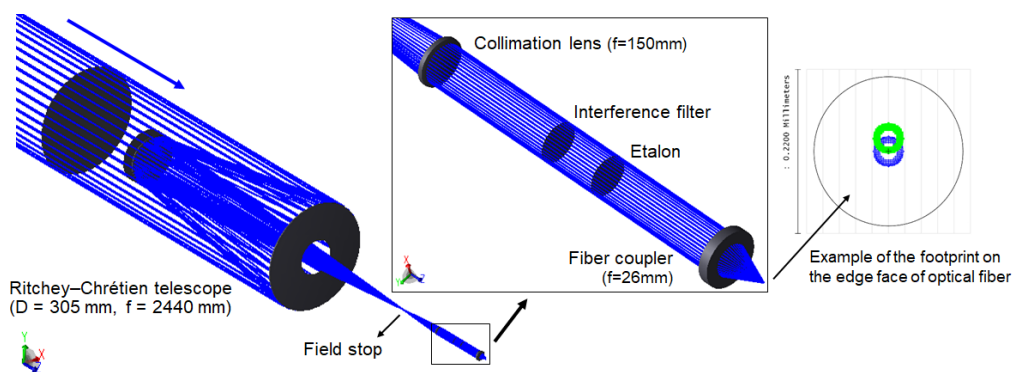


Fig. 2. Optical path calculation for the receiver optics in the water vapor DIAL with OpticStudio.

2.3 送信光学系

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 (TSOA)、ビームエキスパンダー等で構成されている。水蒸気の吸収波長 829.054 nm と非吸収波長 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 7.69 kHz) に交互に送信する。TSOA におけるシードレーザー光の適切な増幅と、送信ビーム拡がりの調整、ビーム品質の把握・改善のため、ビームプロファイラーを導入し、出力の最適化を効果的に実施した。また TSOA の入力側に2枚の調整用ミラー等を追加設置した上で、前述のビームプロファイラーを活用して TSOA からの自然放射増幅光 (ASE) および TSOA で増幅されたレーザー光のビームプロファイルを取得することにより、送信系の調整作業に要する時間の大幅な短縮化 (半日~1日程度が1時間未満へ) を実現した。さらに、ビームスプリッターを TSOA とビームエキスパンダーの間に設置し (Fig. 1 の BS)、その反射光のパワー (入射光の約 4.2%) を測定することにより、送信レーザーのパワーを連続的に監視可能にするなどの改良を進めてきた。室温や湿度によりパワーは多少変動するが、 $\pm 5\%$ 程度の変動幅でほぼ安定した出力が得られている。以上の他に、送信レーザーの波長を水蒸気の吸収波長に高精度で同調し、長期間安定的に維持するための波長制御アルゴリズムの開発・動作試験も並行して進めている (及川ほか、本シンポジウム)。

3. 試験観測結果

2023年7月6日21時~7日4時に東京都立大学日野キャンパス (東京都日野市) において試験観測を実施した (Fig. 3)。時間分解能は20分、高度分解能は150 m である。同日21時の館野 (茨城県つくば市) のラジオゾンデデータと比較すると、高度約 0.5~2 km においては概ね対応する結果が得られた。

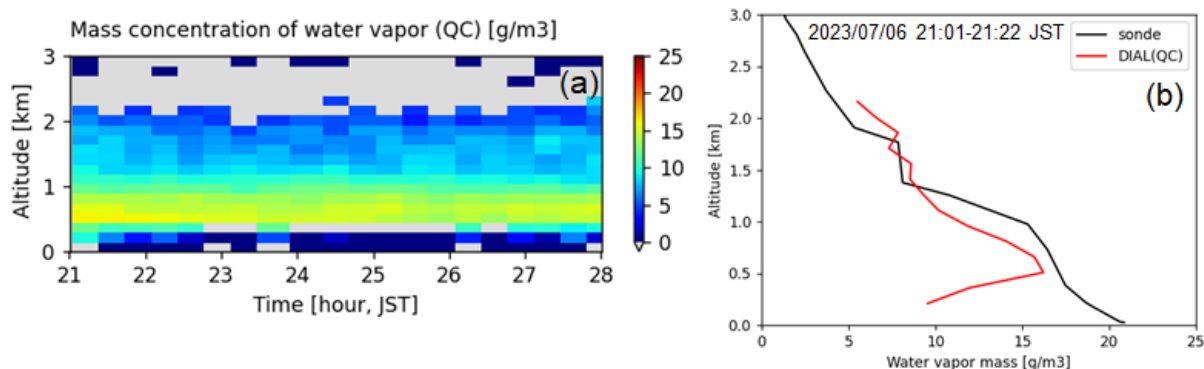


Fig. 3. Mass concentration of water vapor observed at the Hino campus of Tokyo Metropolitan University from 21 JST July 6 to 4 JST July 7, 2023. (a) Time-altitude cross section, (b) comparison result with radiosonde (black line: radiosonde over Tateno at 21 JST July 6, red line: DIAL over Hino from 21:01 to 21:22 JST July 6).

4. まとめと今後の課題

以前開発されたプロトタイプをベースに、太陽背景光の低減および調整・保守作業の効率化・手順化に重点を置きながら水蒸気 DIAL の開発を進め、試験観測を実施した。今後はさらなる調整を行うとともに、装置を気象研究所に移設し、ラマン散乱式水蒸気ライダーとの並行観測を予定している。将来的には九州において線状降水帯をターゲットとした連続観測を実施する計画である。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 19H01983 の支援を受けた。

参考文献

- 1) 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.
- 2) M. Abo, T. Sakai, P. P. L. Hoai, Y. Shibata, and C. Nagasawa: EPJ Web of Conferences **176** (2018) 04015.