

# 船舶搭載向け水蒸気計測コヒーレント差分吸収ライダーの地上試験結果

矢野 謙也<sup>1</sup>, 原口 英介<sup>1</sup>, 今城 勝治<sup>1</sup>,  
酒井 哲<sup>2</sup>, 吉田 智<sup>2</sup>, 川畑 拓矢<sup>2</sup>, 永井 智広<sup>2</sup>, 勝俣 昌己<sup>3</sup>

<sup>1</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

<sup>2</sup>気象庁気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>3</sup>国立研究開発法人海洋研究開発機構 (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町 2-15)

## Ground observation results of coherent differential absorption Lidar for ship-based water vapor measurement

Kenya YANO<sup>1</sup>, Eisuke HARAGUCHI<sup>1</sup>, Masaharu IMAKI<sup>1</sup>, Tetsu SAKAI<sup>2</sup>, Satoru YOSHIDA<sup>2</sup>, Takuya KAWABATA<sup>2</sup>, Tomohiro NAGAI<sup>2</sup>, and Masaki KATSUMATA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501

<sup>2</sup>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305-0052

<sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2-15 Natsusima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061

**Abstract:** We have developed a differential absorption lidar (DIAL) that simultaneously measures water vapor and wind for heavy rain forecasting. To observe water vapor and winds flowing into Japan, developed the ship-based water vapor and wind coherent lidar. In addition, we demonstrated a first test of water vapor measurement at vertical range on the ground and compared it with a radiosonde. From the measurement results, we can observe the time variation of water vapor, and the stability is within 2.0g/m<sup>3</sup>.

**Key Words:** Water vapor, Differential absorption, Coherent, LIDAR

### 1. はじめに

近年増加する豪雨災害に対応するため、早期の豪雨予測が社会的に急務である。大気中の水蒸気密度分布を高精度に測定することで、豪雨の要因である積乱雲の発達を早期に予測できることが期待されている。大気中の水蒸気分布を常時観測して早期に豪雨予測を可能とするセンサとして、水蒸気計測コヒーレント差分吸収ライダー (DIAL: Differential Absorption LIDAR) の開発を行っている。風計測だけ、水蒸気計測だけといった機器は存在するが、1つの機器で風と水蒸気の同時計測できる機器は存在していなかった。本 DIAL は水蒸気分布だけでなく風向風速も同時計測できる特長がある<sup>1)2)</sup>。日本に流入する水蒸気量と風の分布を海上にて早期に観測し、気象予報データに組み込むことで、気象予報の精度向上を期待できる。早期予報の実現に向けては海上からの水蒸気量の流入量を観測することが効果的であるが、海上での水蒸気量の実データは十分に得られておらず、日本に流入する海上での観測方法を検討する必要がある。海上から流入する水蒸気量を測定すべく、海上での観測を目的に DIAL を開発した。本発表では、船舶搭載向けコヒーレント差分吸収ライダーの地上動作検証結果について示す。

### 2. コヒーレント差分吸収ライダー装置構成

本節では、水蒸気 DIAL の構成について述べる。水蒸気 DIAL の概略構成図を Fig. 1 に示す。ON Laser は HCN を用いて波長ロックを実施、水蒸気の吸収線ピーク波長(1531.3740nm)に安定化させる。ON Laser の水蒸気吸収線の高度依存性を最小化すべく、オフセットロックにより、ピーク波長から +88nm 周波数シフトした波長(1531.3828nm)を使用している<sup>3)</sup>。光スイッチにて ON Laser と OFF Laser(1531.5550nm)を選択する。信号光路では、変調器により 160MHz 周波数シフトを付加したパルス光を生成する。パルス光を光増幅器にて増幅後、偏波保持サーキュレータにて送受光路を分離する。送信光路では 4 視線光スイッチにて東西南北に設置したテレスコープから空間出力する。エアロゾルからの後方散乱光は偏波保持サーキュレータの受信光路を通り、偏波保持カップラにて局発光と合波しバランス受信器にて電気信号に変換、周波数解析を実施する。その後、スペクトルのピークシフト量から視線方向の風速を算出、複数視線の風速値をベクトル合成することで水平・垂直風速や風向を算出する。また、スペクトルフィッティングを行い、水蒸気により吸収される ON 波長と吸収されない OFF 波長に対する受信強度比を算出し、水蒸気量を算出する。

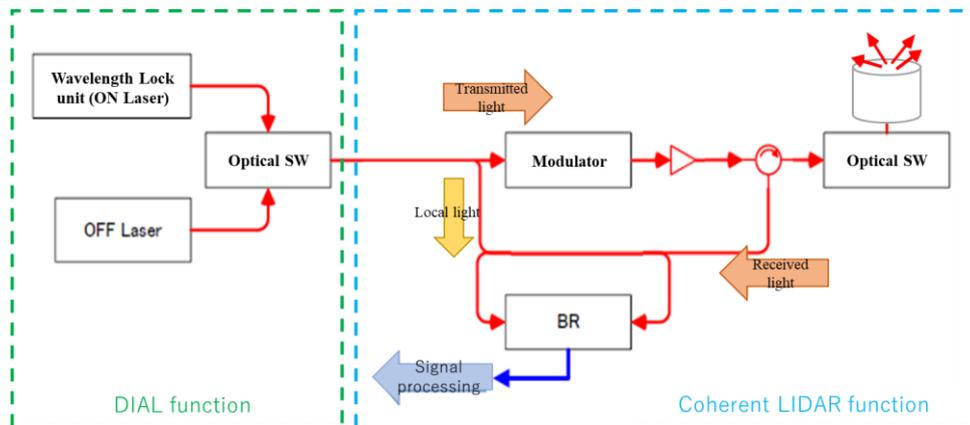


Fig. 1 Schematic diagram of the coherent DIAL for water vapor measurement (SW: switch, BR: balanced receiver)

### 3. 船舶搭載向け DIAL

本節では、船舶搭載を想定した DIAL を開発した。使用したコンテナ、コンテナ内部に設置した DIAL を Fig. 2 に示す。また開発した DIAL の設置場所を Fig. 3 に示す。海上での観測時の環境を想定した塩害対策、ならびに安定した環境下にて観測を実施するために、DIAL をコンテナ内に設置した。また望遠鏡部分は DIAL 本体からコンテナ上部まで延長して取り付ける構造とし、観測を実施している。



Fig. 2 The exterior of the ship-based water vapor and wind coherent lidar container (left) and its inside (right)

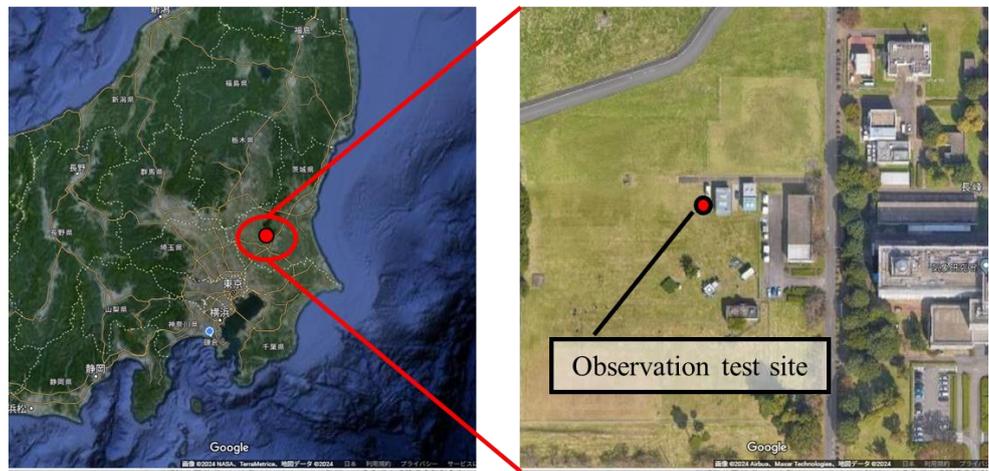


Fig. 3 Location of vertical pass observation (Google Map)

#### 4. 水蒸気・風計測結果

船舶搭載用に試作した DIAL を用いて水蒸気計測の検証を行った。本 DIAL による水蒸気、風向風速の観測結果の一例を Fig. 4 に示す。観測条件は、積算時間 10 分、距離分解能 75m である。(a)が水蒸気測定結果を、(b)~(d)が風向風速の測定結果を示す。(a)からは 200-600m 辺りまで水蒸気分布が  $10\text{g/m}^3$  程度存在しているが、600-800m 辺りでは水蒸気分布が  $5\text{g/m}^3$  程度と少ない様子であることを確認できる。風については 1km 付近まで安定して観測できており、大気境界層と考えられる高度 1km 付近を境に鉛直、水平風向風速に変化がみられることが確認できる。観測検証では、DIAL を気象研究所の敷地内に設置し、ラジオゾンデとの比較を行った。DIAL とラジオゾンデの鉛直方向における 2024/4/11 の水蒸気観測の比較結果を Fig. 5 に示す。上空 800m 手前まで DIAL の観測結果がラジオゾンデの結果と良好に一致していることが確認できる。また 2024/4/10-4/22 期間の測定結果において、ラジオゾンデから算出した水蒸気量と DIAL の観測結果は良好に一致しており、両者の計測誤差は 210m から 510m の高度範囲内で  $1.18\text{g/m}^3$ - $1.28\text{g/m}^3$  であり、目標の  $2.0\text{g/m}^3$  以下を確認した<sup>4)</sup>。

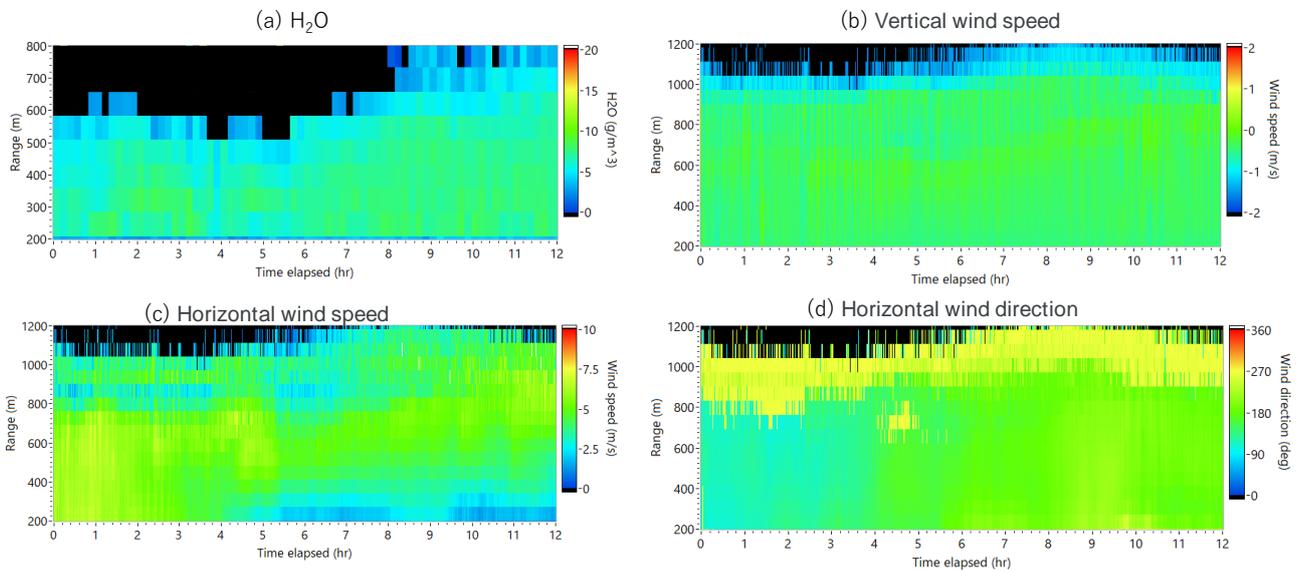


Fig. 4 Measurement result of vertical vapor density

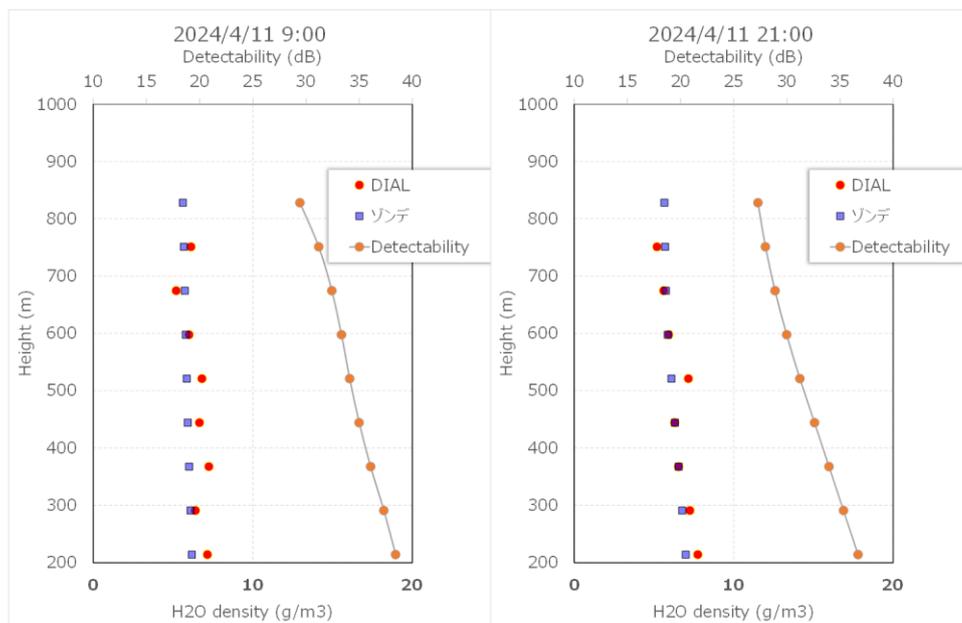


Fig. 5 Comparison of radiosonde and DIAL observations

## 5. まとめ

船舶搭載向け水蒸気計測コヒーレント差分吸収ライダーの地上試験での検証を行った。船舶搭載向けの DIAL を開発し、気象研究所敷地のコンテナ内に設置して、海上での動作を模擬して連続観測を実施した。観測の結果、ラジオゾンデとの測定誤差が 210~510m 以下の範囲で目標である  $2.0 \text{ g/m}^3$  以下であることを確認した。今後は船舶上での観測データをもとに、日本に流入する水蒸気量の解析を実施していく。

## 謝 辞

本研究は JSPS 科研費 22H00250 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) M. Imaki, H. Tanaka, K. Hirose, T. Yanagisawa, and S. Kameyama, "Demonstration of the 1.53- $\mu\text{m}$  coherent DIAL for simultaneous profiling of water vapor density and wind speed," *Opt. Express* **28**(18), 27078–27096 (2020).
- 2) K. Yano, E. Haraguchi, H. Tsuji, M. Imaki, S. Yoshida, T. Sakai, T. Nagai, M. Nishihashi, E. Oikawa, S. Shimizu, T. Maesaka, "Demonstration of coherent differential absorption lidar for wind and water vapor measurements using high-precision wavelength stabilization circuit," 22nd CLRC (2024).
- 3) M. Imaki, K. Hirose, T. Yanagisawa, S. Kameyama, and H. Kuze, "Wavelength selection and measurement error theoretical analysis on ground-based coherent differential absorption lidar using 1.53  $\mu\text{m}$  wavelength for simultaneous vertical profiling of water vapor density and wind speed," *Appl. Opt.* **59**(8), 2238–2247 (2020).
- 4) T. Kato, M. Yoshizaki, K. Bessho, T. Inoue, "Reason for the Failure of the Simulation of Heavy Rainfall during X-BAIU-01—Importance of a Vertical Profile of Water Vapor for Numerical Simulations—" *J. Meteor. Soc. Japan*, **81**, 993-1013 (2003).