

気象研ラマンライダーと Vaisala DIAL 水蒸気観測データの 気象予報数値モデルへの同化実験

酒井 哲¹、吉田 智¹、永井智広¹、幾田泰醇¹、小司禎教¹

¹気象研究所 (〒355-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

Data assimilation experiment of water vapor observations of Raman lidar and Vaisala DIAL at Meteorological Research Institute

Tetsu SAKAI¹, Satoru YOSHIDA¹, Tomohiro NAGAI¹, Yasutaka IKUTA¹, and Yoshinori SHOJI¹

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

Abstract: Data assimilation experiments of a water vapor Raman lidar (RL) at Meteorological Research Institute and prototype differential absorption lidar (DIAL) developed by Vaisala are made by using the Japan Meteorological Agency mesoscale weather prediction model. The experimental results showed that assimilating water vapor mixing ratios obtained with the RL improved the 3-hour forecast of water vapor vertical distribution over the lidar site, whereas those obtained with the DIAL led little improvement on the forecast. One possible reason for the little improvement for the DIAL data assimilation is that they had a negative bias (-0.6 g/kg on average) in the altitude region below 0.5 km, but further investigation is needed.

Key Words: Water vapors, Raman lidar, DIAL, numerical weather prediction, data assimilation

1. はじめに

集中豪雨や局地的大雨の発生・発達には、大気下層の水蒸気が大きな影響を与えられているが、その詳細なメカニズムはよく分かっていない。これを解明し大雨の予測精度向上につなげるためには、水蒸気の鉛直分布を正確に観測することが不可欠である。ライダーは水蒸気の鉛直分布を連続的に測定できるため、利用が期待されている。

本発表では、気象研究所が開発したラマンライダー¹⁾(以下 RL)と Vaisala 社が開発した試験評価中の差分吸収式ライダー²⁾(以下 DIAL)を用いて 2020 年 9-10 月につくば市の気象研究所で観測した水蒸気データを、気象庁数値予報モデルに同化した結果を報告する。

2. 気象研ラマンライダー (RL) と Vaisala DIAL (DIAL)

Table 1 に RL と DIAL の諸元を示す。RL は Nd: YAG レーザー (波長 355 nm) を使用し、大気中の水蒸気と窒素分子によるラマン散乱光 (波長 407.5 nm, 396.7 nm) の強度比から水蒸気混合比を求める。DIAL は半導体レーザー (波長 911 nm と 910.6 nm) を使用し、送信光と後方散乱光 (エアロゾルや大気分子による) が水蒸気による吸収量の大きさから水蒸気濃度を求める。観測高度範囲は RL が 0.1~0.8km (日中)、約 0.1~5 km (夜間)、DIAL が約 80 m~約 1 km (昼夜問わず) である。

Table 1 Specifications of RL and DIAL used in this study

方式	RL	DIAL
Laser Transmitter		
Wavelength	355 nm	911 nm (on), 910.6 nm (off)
Average power	200 mJ/pulse	9 μ J/pulse
Repetition rate	10 Hz	10 kHz
Receiving telescope		
Diameter	40 cm	15 cm, 28 cm
Data resolution		
Temporal	20 分	20 分
Vertical	75m (below 1km)/ 150 m (above 1km)	100-500 m (increases with height)

3. 気象予報数値モデル (MSM) とデータ同化システム

データ同化実験に使用した気象予報数値モデルは、気象庁のメソモデル (MSM) である。その仕様を Table 2 に示す。このモデルは非静力学モデル *asuca*³⁾ をベースとしている。モデルの初期値や側面境界値の作成にはラジオゾンデ・地上等の直接観測、衛星・レーダー・GNSS・ウィンドプロファイラ等のリモートセンシング観測データが使用されている。モデルの格子間隔は水平 5 km、鉛直 20 m (地表) ~ 150 m (高度約 2 km) ~ 640 m (高度約 21 km) である。データ同化システムは 4 次元変分法を用いている。

Table 2 Specification of JMA mesoscale model (MSM)

Horizontal resolution	5 km (817×661)
Vertical layers	76 (Surface–21.8 km)
Time step	33.3 second
Initial condition	JMA mesoscale analysis (MA)
Lateral boundary condition	JMA global scale model (GSM)

4. 観測データ

Fig. 1 に 2021 年 9 月 1 日–11 月 5 日に気象研究所の露場において二つのライダーで観測した水蒸気混合比の時間–高度断面図を示す。データ品質管理のため、RL については受信信号の S/N 比から見積もった測定誤差が 30% 以下、DIAL についてはメーカーが推奨する最大高度 (on/off 信号強度比の 20 分間統計値から決定) 以下のデータを使用した。またどちらのライダーについても異常値 (30 g/kg 以上) を除いた。Fig. 1 に示すように、RL は日中は高度約 1 km まで、夜間は 2.5 km 以上、DIAL は昼夜問わず高度 1~1.5 km までの観測データが得られた。ただし、雲がある場合は雲底高度までである。Fig.2 にライダーとラジオゾンデで観測した水蒸気混合比の散布図を示す。どちらのライダー観測値もラジオゾンデ観測値と概ね良く一致しているが、DIAL は 15 g/kg 以上の場合でゾンデより 1 g/kg 程度低い傾向があることが結果が得られた。

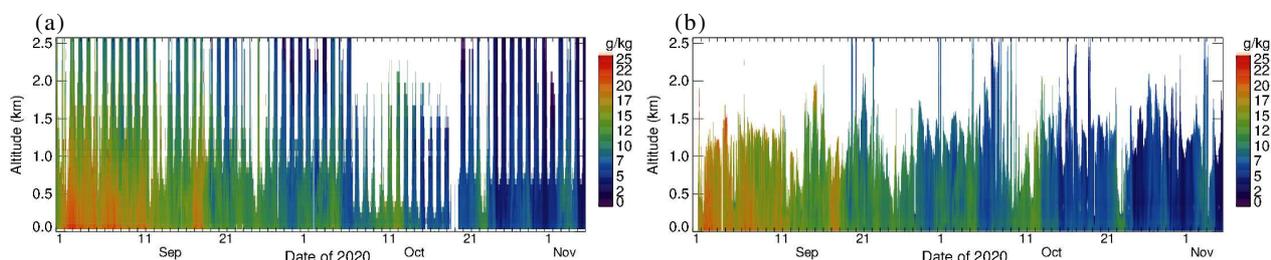


Fig. 1 Temporal and vertical cross section of water vapor mixing ratio obtained with MRI RL (a) and Vaisala DIAL (b) from 1 September to 5 November 2020 at Tsukuba. For RL, the data with uncertainty less than 30% are plotted. For DIAL, the maximum height is determined from the statistics of online-to-offline signal ratio over the 20 min averaging period.

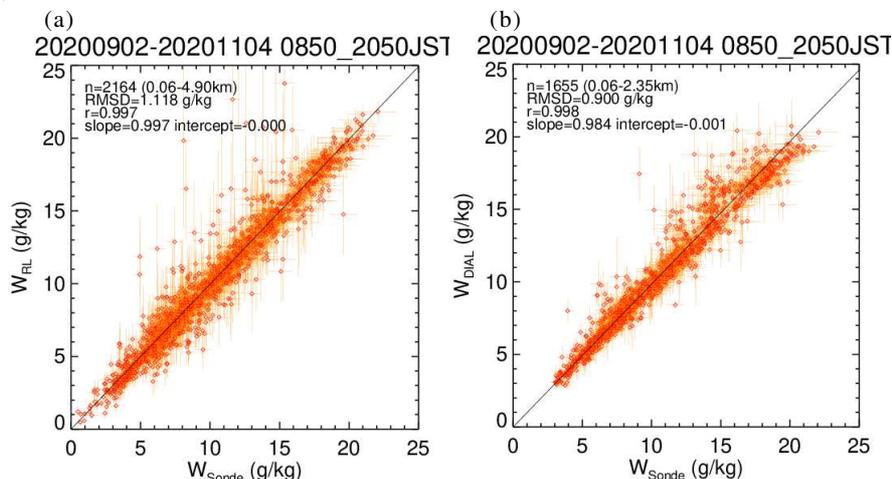


Fig. 2 Scatter plots of water vapor mixing ratio obtained with the lidar versus that obtained with radiosondes at 8:30 JST and 20:30 JST. (a) is for RL and (b): DIAL

5. データ同化実験結果

同化実験に用いたライダーデータは、2020年9月3日から10月3日の毎正時前後の20分間の平均値のうち、4.1に述べた品質管理条件を満たすものを全て同化した。同化システムに与える観測誤差には、ライダー信号から見積もった測定誤差を用いた。Fig. 3にライダーデータを同化した場合としない場合について、MSMで計算された6JST、18JSTから3時間先の予報値と、同時刻のラジオゾンデ観測値を比較した結果を示す。なお、比較したデータの高度範囲は0.1–1.5 kmである。

Fig.3 から、ライダーデータをモデルに同化しない場合 (Fig. 3a) に比べて、RL データを同化した予報値とラジオゾンデ観測値との差 (Fig. 3b) は小さくなっていることが分かる。このことは RL データを同化することによってモデルの予報がラジオゾンデ観測値に近づいたことを示す。一方で、DIAL データを同化した予報値とラジオゾンデとの差 (Fig. 3c) は、同化しない場合と大きく変わっていない。この原因を調べるために、同化されている DIAL データの特徴を調べた。Fig. 4 にライダーとラジオゾンデ観測した水蒸気混合比の差の高度別プロットを示す。高度 3 km 以下におけるライダーとラジオゾンデ観測値の差 (0.5 km ごとの平均値) は、RL は $-0.15 \sim 0.2$ g/kg、DIAL は -0.6 g/kg ~ 1.4 g/kg であった。ライダーとゾンデ観測値に系統的に大きな差が見られた高度は、RL は 0.1 km (過大評価)、DIAL は 0.5 km 以下 (過小評価) と 1 km 以上 (過大評価) であった。DIAL 観測データのうち、同化に利用されたものの割合を高度別に調べたところ、高度 0.5 km 以下は 45%、高度 1 km 以上は 12% であった。このことから、DIAL データが大気下層で過小評価していることが、予報値への影響が小さかった理由の一つと推測される。この件を Vaisala 社に伝えたところ、改良を加えてバイアスを小さくするとのことである。これ以外にも原因はないか、現在調査中である。

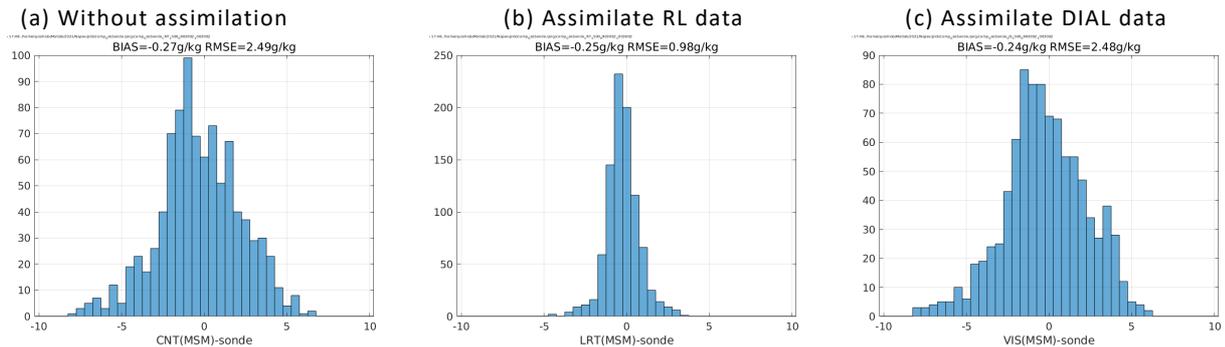


Fig. 3 Histograms of the difference of water vapor mixing ratio between MSM forecasts and radiosonde observation for the period from 3 September to 3 October 2020 at Tsukuba. (a) MSM forecasts without assimilating lidar data, (b) MSM forecasts assimilating RL data, and (c) MSM forecasts assimilating DIAL data.

Fig. 4 Height distribution of numbers of lidar data assimilated to MSM for the period from 3 September to 3 October 2020. Orange and blue bars are for DIAL and RL, respectively.

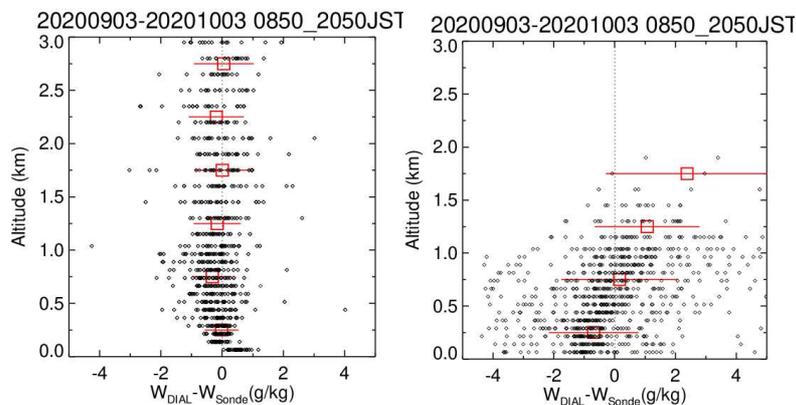


Fig. 5 Vertical distributions of the difference of water vapor mixing ratio between (a) RL and radiosonde and (b) DIAL and radiosonde from 3 September to 3 October 2020 at Tsukuba. The open squares with horizontal bars show the averages and standard deviations over a 0.5 km interval.

6. まとめ

気象研究所ラマンライダーと Vaisala 社が開発した試験評価中の DIAL で観測した水蒸気鉛直分布データを気象予報数値モデルに同化し、観測データが予報値に与える影響を評価した。観測地点における水蒸気分布の予報値は、ラマンライダーデータを同化した場合はラジオゾンデ観測値に近づいたが、DIAL データを同化した場合は変化が小さかった。この原因の一つは、DIAL 観測データが大気下層（高度 0.5 km 以下）で過小評価していることが推測されたが、それ以外にも原因がないか調べている。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 19H01983（代表者：吉田 智）の助成を受けた。

6. 参考文献

- 1) T. Sakai, T. Nagai, T. Izumi, S. Yoshida, and Y. Shoji: *Atmos. Meas. Tech.*, **12** (2019), 313-326.
- 2) R. K. Newsom, D. D. Turner, R. Lehtinen, C. Münkel, J. Kallio, and R. Roininen: *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **37** (2020), 47-65.
- 3) 気象庁数値予報課報告・別冊第 60 号 (2014), 気象庁予報部.