

水蒸気ラマンライダー観測を用いた降水量予測精度向上への試み

吉田 智¹, 酒井 哲¹, 永井 智広¹, 横田 祥¹, 瀬古 弘¹, 小司 禎教¹

¹気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

Data assimilation using a mobile water vapor Raman lidar for forecasting heavy precipitation

Satoru Yoshida¹, Tetsu Sakai¹, Tomohiro Nagai¹, Sho Yokota¹, Hiromu Seko¹, Yoshinori Shoji¹

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

Abstract: Vertical profiles of water vapor mixing ratio (q_v) obtained with a mobile Raman lidar (RL) are assimilated into the Japan Meteorological Agency non-hydrostatic model using three-dimensional local ensemble transform Kalman filter as a feasibility study. Comparison of forecast and analysis of humidity field with precipitable water vapor (PWV) observed by Global Navigation Satellite System (GNSS) on surface indicates that data assimilation of vertical profiles of q_v reduces errors in forecast and analysis of humidity field. However, that degrades estimation of humidity field in the late of the data assimilation period. The assimilation of q_v produces heavy precipitation three hours prior to the actual precipitation, causing cold outflow prevailing on surface in the model domain. The cold outflow accompanied by the early precipitation decreases PWV around thunderstorms, resulting in increasing errors in the late of the data assimilation period.

Key Words: Data assimilation, water vapor Raman lidar

1. はじめに

気象研究所では、局地的大雨等の予測精度の向上を目的として、機動観測が可能な可搬型水蒸気ラマンライダーと、高頻度な水蒸気ラマンライダーデータに最適な同化手法の開発を進めている。ライダー観測により Global Navigation Satellite System (GNSS) では得られない水蒸気の鉛直プロファイルを高頻度に得られることから、データ同化データとして用いることにより、水蒸気分布の改善を通して降水予測の精度向上が期待できる。本稿では、気象研究所(つくば市)に設置されたラマンライダーによる水蒸気観測データの同化実験とその実験結果を報告する。

2. 水蒸気ライダー観測

気象研究所では乗用車で牽引する可搬型水蒸気ラマンライダーを開発している。同ライダーは、Nd:YAG 第3高調波(355nm)を使用し、鉛直上向きにパルスレーザーパルスを送信する。大気中の分子による後方散乱光を望遠鏡で受信し、水蒸気と窒素ラマン散乱信号強度の比を取ることで、水蒸気混合比(q_v)を算出する¹⁾。今回の報告では茨城県つくば市で観測したデータを用いているが、この可搬型水蒸気ラマンライダーを用いて、2016年度では茨城県つくば市で、2017年度には、神奈川県茅ヶ崎市、川崎市、東京都江東区において、安定した観測に成功している。

3. データ同化実験

2016年8月17日の栃木県南部で、気象庁解析

雨量(レーダ観測と雨量観測から算出)が80mm/hを超える局地的な強雨が発生した。この事例について、その強雨域に吹き込む下層風の上流側のつくばで観測した水蒸気ライダーデータを同化し、解析や延長予報で得られた q_v や降水分布へのインパクトを調べた。図1に2016年8月17日に得られた q_v の時間鉛直分布を示す。09UTCから12UTCにかけて、高度0.5kmより下層で q_v が大きく増加し、18UTC過ぎまで持続していた。本稿で注目している栃木県南部の強雨はこの増加開始時刻から約6時間後の18UTC頃に発生しており、観測した下層の q_v の増加が強雨発生に影響を及ぼすことが期待される。

同化システムには格子間隔15kmの親LETKFと5kmの子LETKFで構成されるNHM-LETKFを用いた。親LETKFの計算領域は日本全体を覆い、子LETKFは東日本を覆う程度の広さで、メンバー数は50とした。親LETKFは17日00UTCから*18日00UTCまで同化ウインドウ6時間を1時間毎に、子LETKFは17日00UTCから18日00UTCまでを3時間の同化ウインドウを1時間毎にデータを与えた。親LETKFでは同化データとして気象庁の現業同化システムで用いられている地上観測データや高層データ、航空機データを同化した。子LETKFでは、水蒸気ライダーの q_v データの効果を確認するために水蒸気ライダーのみを同化し、 q_v データを同化した解析(TEST)と単なる予報(CNTL)との比較、独立のデータとしてGNSSの可降水量(PWV)と比較し、解析値や予報値との差(推定誤差)を議論する。

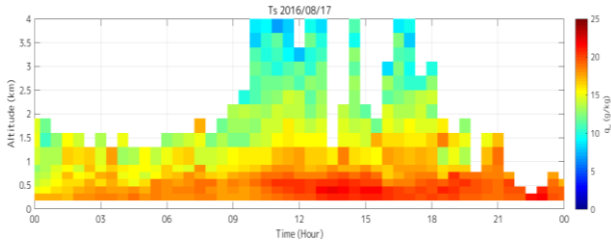


Figure 2. Time-height plot of q_v observed by the Raman Lidar at Tsukuba on August 17, 2016.

4. データ実験結果および考察

まず、水蒸気ライダーのデータ同化の影響を示すため、1回のデータ同化のみでどのように q_v 分布が変わるかを示す。図2は、TESTの12UTCにおける子 LETKF のデータ同化で得られたアンサンブル平均の PWV のインクリメント（解析値－第一推定値）分布を示す。データ同化により、つくばを中心として関東の広い範囲で PWV が増加している。この時刻の関東平野の下層は南寄りの風が卓越しており、この時刻から延長予報した場合、実際の大雨のあった栃木県南部の PWV がより大きく解析されていることから、降水の強化が予想される。 q_v の推定誤差を評価するために、子 LETKF 領域内の GNSS 観測により得られた PWV と比較する。12UTCにおけるGNSSの地上可降水量と第一推定値のバイアスおよびRMS (root mean square) はそれぞれ、 $-0.82 \text{ kg/m}^2, 2.75 \text{ kg/m}^2$ であるのに対し、解析値に対するバイアス及びRMSは -0.27 kg/m^2 及び 2.45 kg/m^2 であり、水蒸気ライダーデータの同化により、GNSSの値に近づいていることを示している。

次に、上記で述べた水蒸気ライダーのデータ同化を繰り返して行った場合の効果を示す。図3は子 LETKF の開始時刻から20分毎にデータ同化を行った場合のPWVのバイアス及びRMSの時系列である。水蒸気ライダーのデータ同化を行う

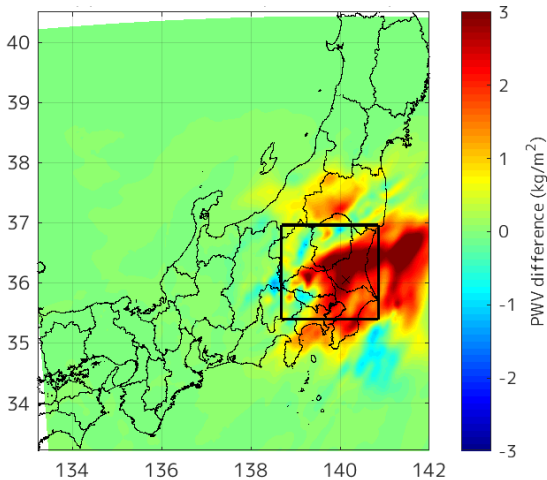


Figure 2. Analysis increment of PVW between at 12UT in TEST experiment.

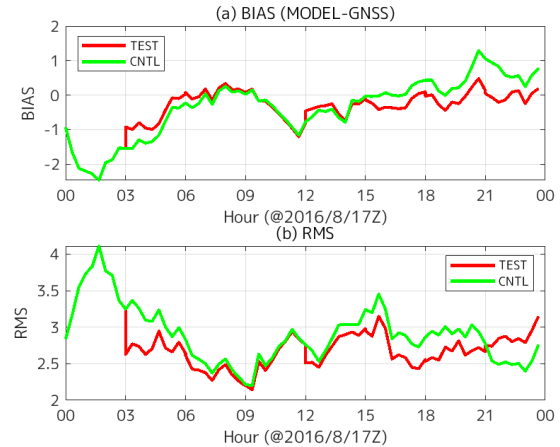


Figure 3. Time series of bias and RMS between ensemble means of PWV in TEST and GNSS-observed PWV.

(TEST) と、データを同化しない予報 (CNTL) に比べてGNSSに近い (バイアスが0に近い) 値を示す期間が長く (図3aの3-9UTC, 18-24UTC), RMSでも21UTCまでCNTLより小さくなっていった。このことは、21UTCまでは水蒸気ライダーの同化によりPWVがGNSSで得られた観測値に近づいていたことを示している。しかし、18UTC以降になると、TESTのRMSが上昇し始め、その後は、TESTのRMSがCNTLよりも大きな値を示した。その原因を調べてみると、モデル内の気温が実際よりも低く、そのためより飽和に近い大気がより早く (1UTC) 凝結して降水域を発生させていたことがわかった。発した降水域がその後の水蒸気分布を大きく変化させ、18UTC以降のTESTのRMSを上昇させたと考えられる。この問題の解決のためには、環境センサーネットワーク等の高密度な気温分布を用いること、解析時刻のレーダや気象衛星で見られる降水や雲域分布に応じて水蒸気量のインクリメントに上限を設ける等が考えられる。

5. まとめ

本稿では水蒸気ライダーで観測された水蒸気鉛直プロファイルデータの同化を行い、水蒸気分布に対するインパクトを検証した。今回の事例では、少なくとも降水が始まるまでに関してはデータ同化により水蒸気分布がよりGNSSに近づき、ライダーのデータ同化の有用性を示した。

謝辞

本研究はJSPS科研費17H00852の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) T. Sakai et al., Mobile water vapor Raman lidar for heavy rain forecasting: system description and validation (under review)