

ラマンライダーによる水蒸気観測および数値予報モデルへの水蒸気同化

Observation of Water Vapor using the Raman Lidar system and
Data Assimilation of Water Vapor for Numerical Weather Prediction Model

佐藤 悠^{*1}・染川 智弘^{*2}・高橋 真弘^{*3}

Yu Sato, Toshihiro Somekawa, Masahiro Takahashi

*1 株式会社 気象工学研究所／Meteorological Engineering Center, Inc.

*2 公益財団法人 レーザー技術総合研究所／Institute for Laser Technology

*3 関西電力株式会社／Kansai Electric Power Co., Inc.

Abstract

We performed the Raman lidar for water vapor measurements to improve the performance of the numerical weather prediction models. The obtained water vapor mixing ratio profiles were assimilated into the Weather Research and Forecasting (WRF) model. The results from the simulation run showed that the lidar-based water vapor mixing ratio could improve the performance of the numerical weather prediction models.

1. はじめに

近年、日本では豪雨の発生頻度が増加する傾向にある。局地的かつ短時間に発生する豪雨の予測には、降雨が発生する前の大気中の水蒸気量を事前に把握することが重要となる。無降雨時の大気状態は、レーダーでは観測が困難であるが、レーザーを用いることで観測可能となる。そこで本研究では、レーザーを用いた観測システム『ラマンライダー』を開発し、大気中の水蒸気の観測・推定を目的とする。更に、観測された水蒸気を数値予報モデル WRF に同化し、水蒸気がモデルの結果に与える影響を検討する。

2. 水蒸気ラマンライダーの開発

Fig.1 に観測機器を示す。レーザーは波長 355nm, 出力 0.8 W, パルス幅 10 ns, パルス繰り返しは 10 Hz であり、ラマン散乱が起こりやすい短波長のレーザーを用いた。散乱光は直径 30cm の望遠鏡で集め、ダイクロイックミラー、干渉フィルターを用いて N₂, H₂O のラマン波長に分離し、フォトマルで観測した。測定の際、1 分間隔で 500 回積算信号を取得した。観測は太陽光による背景光ノイズを防ぐため、日没後に行った。なお、観測は大阪大学吹田キャンパスで実施した。

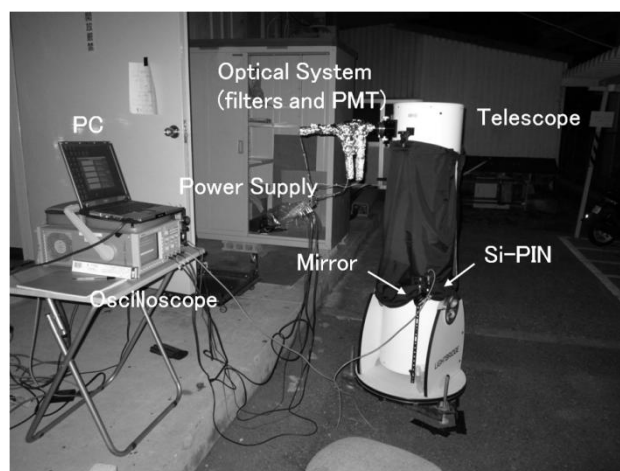


Fig.1 Observational Instrument (Raman Lidar)

3. 水蒸気混合比推定手法

今回開発したラマンライダーでは、鉛直方向に空間分解能 1.5m で約 3000m までデータ取得が可能である。観測により得られる N_2 , H_2O の散乱強度 I_{N_2} , I_{H_2O} を用いて、以下の式から大気中の水蒸気混合比 (Mixing Ratio, 以下 MR) を算出した。

$$MR(g/kg) = C \times (I_{H_2O} / I_{N_2})$$

※ C = 地上付近の MR × (地上付近の I_{N_2} / 地上付近の I_{H_2O})

4. 水蒸気混合比推定結果

Fig.2 に 2011 年 7 月 15 日 20:43~21:13 の水蒸気混合比推定結果を示す。Fig.2 左には三種類のデータがプロットされており、一つ目はラマンライダーにより観測された水蒸気混合比 (1 分×30 時刻分とそれらの平均値の 2 種類をプロット)、二つ目は同日 21 時の MSM 初期値における水蒸気混合比、三つ目は同日 21 時のゾンデ (潮岬) による水蒸気混合比である。また、Fig.2 右に観測地点、MSM のメッシュ、および潮岬の位置を示す。観測によって推定された水蒸気混合比は MSM およびゾンデによる値とかけ離れておらず、概ね良い一致をしていることがわかる。また、高度 400~1000m 付近の逆転層を再現していることから、レーザー観測による水蒸気混合比推定が妥当であることを示す結果となった。

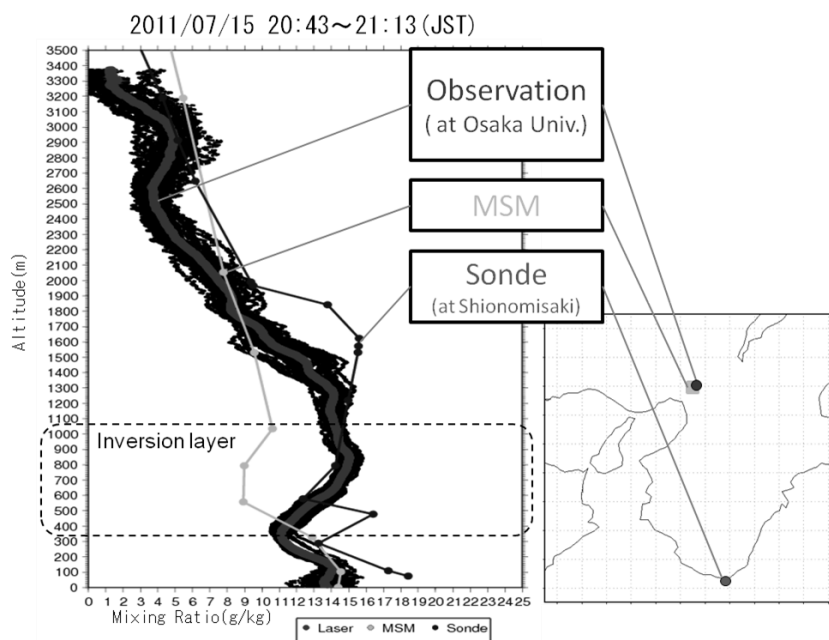


Fig.2 Vertical profile of water vapor mixing ratio and location map.

5. 数値予報モデルへの水蒸気同化

ラマンライダーによる観測結果を数値予報モデルへ同化し、同化効果の評価を行った。モデルは WRF (Weather Research and Forecasting Model) Ver.3.2.1 を用いた。同化手法は、WRF FDDA (Four-Dimensional Data Assimilation) の Obs-Nudging を使用した。Table.1 に WRF の各種設定値、Table.2 に同化の際に設定したパラメータを示す。WRF の初期値および境界値は NCEP-GFS を使用した。

Table.1 WRF parameter.

Parameter name		Parameter value
Run start date		2011 年 10 月 4 日 15 時
Run end date		2011 年 10 月 5 日 12 時
Number of calculated domain		3 domain
Mesh size & Number of Mesh	Domain 1	18km ・ 51 mesh
	Domain 2	6km ・ 61 mesh
	Domain 3	2km ・ 73 mesh
Longitude and Latitude (center of domain)		34.69° N 135.5° E
Number of vertical mesh		27 mesh

Table.2 Assimilation parameter.

Parameter name	Parameter value
Nudging interval	60 minutes
Nudging coefficient	0.0003 (1/second)
Influence radius (Horizontal)	60(km)
Influence radius (Vertical)	0.005(sigma)
Time window	0.666667(hours)

同化の際、2011 年 10 月 4 日 18:30 頃～10 月 5 日 4:30 頃までの 10 時間の観測結果のうち、5 時間分を使用した。観測により得られた 1 分データを 1 時間値に平均し、全 5 時刻分（19、20、21、22、23 時）のデータとして、高度 45m 間隔で WRF に同化した。Fig.3 に大阪大学直上における水蒸気混合比の高度－時間断面図を示す。コントロールラン（同化無し）に比べ、同化ランでは 0 時～4 時付近の大気下層（～1000m）の水蒸気混合比がより観測値に近づいた。同化を行うことで、水蒸気量の予測精度が向上することが示唆された。

Fig.4 に観測値と WRF 計算値による水蒸気混合比散布図を示す。期間は 10 月 4 日 19 時～翌 4 時で、高度 3000m 以下のデータをプロットした。Fig.4 から、同化ランではコントロールランに比べ、計算値が観測値により近づいたことがわかる。

Fig.5 に観測値とモデル計算値との絶対誤差の時系列を示す。

$$\text{絶対誤差} = \Sigma \sqrt{(\text{観測値} - \text{計算値})^2}$$

コントロールランに比べ、同化ランでは絶対誤差がほとんどの時刻で小さく、観測値とより良い一致を示す結果となった。大気中の水蒸気混合比の観測値を数値予報モデルに同化することで、モデル内の水蒸気の表現が向上することが示された。

6. まとめ

レーザーを用いた観測システム『ラマンライダー』を開発し、水蒸気鉛直 1 次元観測を行った。観測値を MSM 初期値およびゾンデによる水蒸気混合比と比較することにより、得られた観測値が妥当であることが示唆された。また、観測値を数値予報モデル WRF に同化し、同化による数値予報モデルへの影響の評価を行った。観測値を同化することで、大気の水蒸気量の予測精度が向上することが示された。

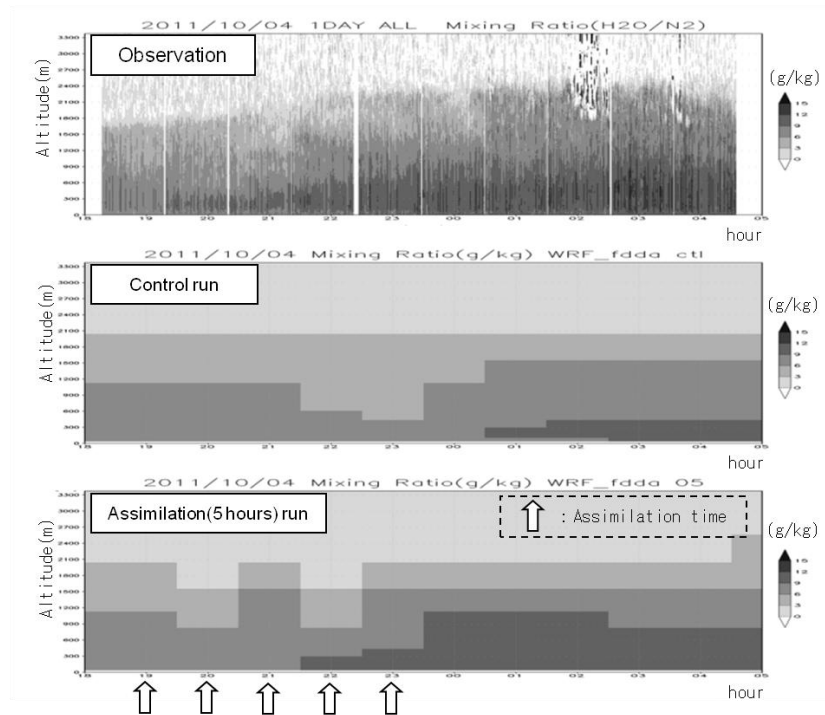


Fig.3 Time-altitude cross-sectional diagram of water vapor mixing ratio.

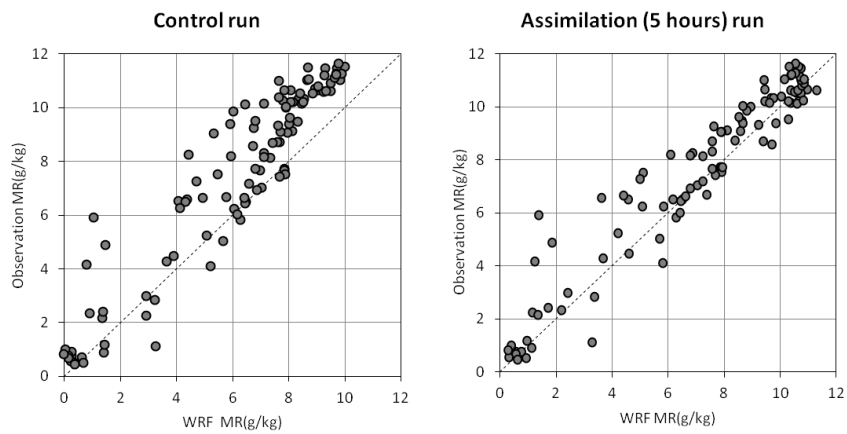


Fig.4 Scatter chart between observational value and calculated model value.
(Left : control run, Right : five hour assimilation run)

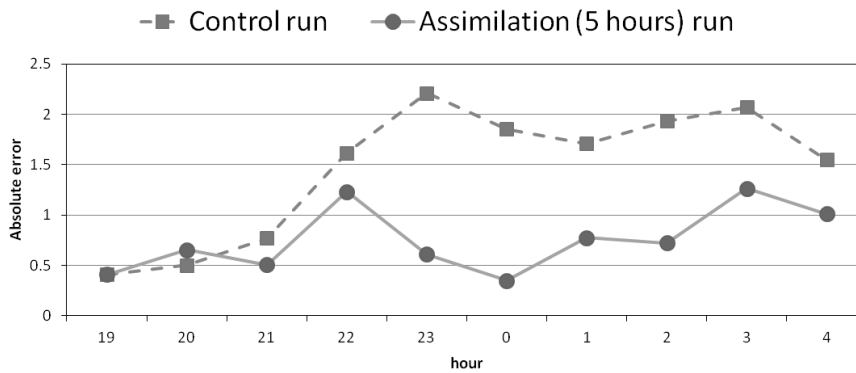


Fig.5 Absolute error between observational value and calculated model value.