

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

関西電力株式会社 非会員 高橋 真弘
 財団法人 レーザー技術総合研究所 非会員 染川 智弘
 株式会社 気象工学研究所 正会員 ○佐藤 悠

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、推定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

図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。



図1 観測機器 (ラマンライダー)

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 N₂、H₂O 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。

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

※ $C =$ 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

図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。図2左において、黒のプロットは観測された水蒸気混合比 (1分×30時刻分)、赤のプロットはそれらの平均値である。また、同日21時のMSM初期値における水蒸気混合比を緑、およびゾンデ (潮岬) による水蒸気混合比を青のプロットで示す。図2右にMSMのメッシュおよび潮岬の位置を示す。観測により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。

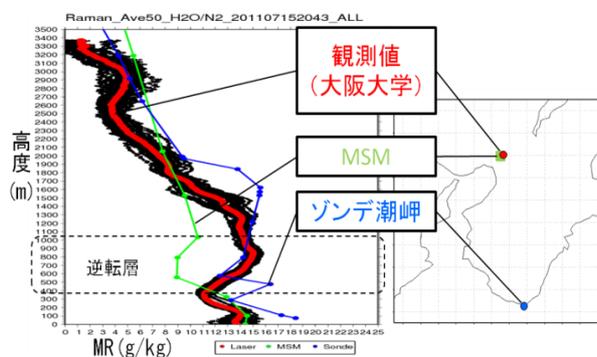


図2 水蒸気混合比鉛直プロファイルおよび位置図

キーワード レーザー、ラマンライダー、降雨予測、水蒸気、データ同化

連絡先 〒550-0003 大阪市西区京町堀1丁目8番5号 (株)気象工学研究所 TEL06-6441-1022 <http://www.meci.jp>

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。表1にWRFの各種設定値、表2に同化の際に設定したパラメータ値を示す。WRFの初期値および境界値はNCEP-GFSを使用した。

表1 WRF 設定値一覧

設定名		設定値
計算開始時刻		2011年10月4日15時
計算終了時刻		2011年10月5日12時
計算領域数		3領域
格子サイズ・格子数	第1領域	18km・51格子
	第2領域	6km・61格子
	第3領域	2km・73格子
計算範囲中心の緯度・経度		北緯34.69度、東経135.5度
鉛直方向の格子数		27格子

表2 同化パラメータ一覧

パラメータ	値
ナudging間隔	60分に1回
ナudging係数	0.0003 (1/秒)
水平方向の影響半径	60(km)
鉛直方向の影響範囲	0.005(sigma)
時間窓	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時~23時)のデータとして、高度45m間隔でWRFに同化した。図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。

図4に観測値とWRF計算値による散布図を示す。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。図4から、同化ランではコントロールランに比べ観測値により近づいたことがわかる。

図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。

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

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、水蒸気の鉛直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。

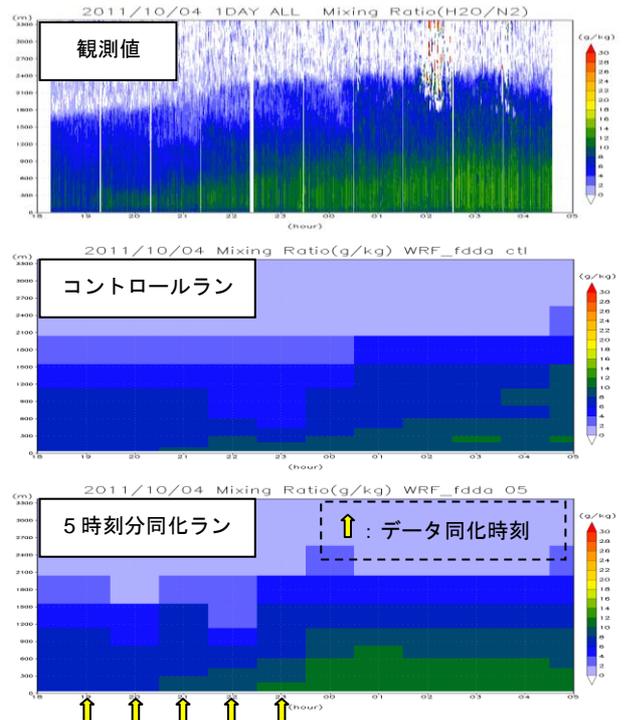


図3 水蒸気混合比 高度-時間断面図

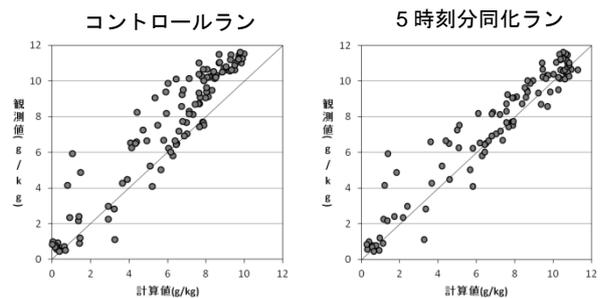


図4 観測値とWRF計算値の比較

(2011年10月4日19時~翌4時、高度3000m以下)

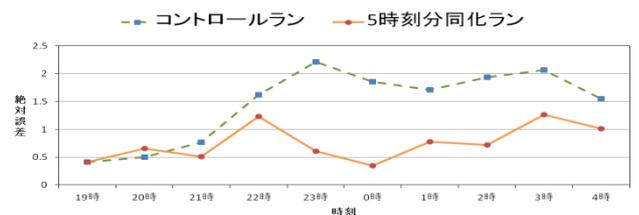


図5 絶対誤差による同化効果の評価