

# O-6-10 ラマンライダーによる対流圏水蒸気分布の昼夜連続測定

## Daytime and nighttime measurement of tropospheric water vapor using a Raman lidar

酒井哲<sup>1</sup>、永井智広<sup>2</sup>、中里真久<sup>2</sup>、松村貴嗣<sup>3</sup>

Tetsu Sakai<sup>1</sup>, Tomohiro Nagai<sup>2</sup>, Masahisa Nakazato<sup>2</sup>, and Takatsugu Matsumura<sup>3</sup>

<sup>1</sup>日本学術振興会/気象研究所、<sup>2</sup>気象研究所、<sup>3</sup>科学技術振興事業団/気象研究所

<sup>1</sup>Japan Society for the Promotion of Science, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, <sup>3</sup>Japan Science and Technology Corporation

**Abstract:** A Raman lidar system for measuring tropospheric water vapor during both daytime and nighttime has been developed at the Meteorological Research Institute at Tsukuba, Japan. Intercomparison measurements with radiosonde have shown that the water vapor mixing ratio obtained with the lidar agreed well with those obtained with the radiosondes at altitudes between about 0.5 km and 2.0 km in the daytime and between 0.5 km and >5 km in the nighttime.

### 1. はじめに

水蒸気は、凝結による雲生成や潜熱エネルギーの吸収・放出などを通して大気運動や降水過程に強く関与している。対流圏における水蒸気濃度は時間・空間的に非常に大きく（約4桁）変動するため、その影響を正確に評価し数値予報モデルなどに利用するためには、その分布を高時間・空間分解能で測定する必要がある。

気象研究所では、ラマン散乱を利用した水蒸気測定ライダーを開発し、検証観測をおこなってきた<sup>1</sup>。その結果、夜間についてはラジオゾンデ測定値と良好な一致が得られた。

今回は、昼間の水蒸気分布も測定できるようにライダー装置を改良し、昼夜連続観測をおこなった結果を報告する。

### 2. ラマンライダーによる水蒸気測定

ラマンライダーは、レーザーパルス光を地上から大気に向けて射出し、大気中の水蒸気分子と窒素分子によるラマン散乱光（分子固有の波長シフトした光）強度を測定することで水蒸気混合比の高度分布を得る。Table 1 に気象研究所ラマンライダーの諸元を示す。ラマン散乱光は微弱であるため（レイリー散乱の約 1/1000）、比較的大型の受信望遠鏡（口径 1 m）と高出力（10-12W）のレーザーを使用している。

#### （昼間観測のための改良）

昼間の水蒸気分布を測定するためには、背景ノイズ（主に太陽散乱光）を、ラマン散乱光が

検出できる程度まで抑える必要がある。そのため以下の点で装置を改良した。1) レーザ波長を 532 nm から 355 nm へ変更し、ラマン散乱断面積を大きくする、2) 干渉フィルタの透過波長幅を 0.5 nm から 0.3 nm に変更し、ラマン散乱波長外の背景光の除去率を高くする、3) 受信望遠鏡視野角を 0.875 mrad から 0.4375 mrad に変更し、入射背景光を抑える、の3点である。ただし、レーザー波長の変更によりレーザー出力は約 1/2 になっている。

これらの改良により、水蒸気チャンネルでのラマン散乱光の背景光に対する強度比は約 1 1 倍になると見積られる。

Table 1: Specification of Raman lidar at Meteorological Research Institute at Tsukuba

送信:			
レーザー	Nd:YAG		
波長	355 nm		
出力	330-400 mJ/Pulse		
パルス繰り返し	30 Hz		
ビーム拡がり	0.125 mrad		
受信:			
望遠鏡	カセグレン式(ナスミス焦点)		
口径	1.0 m		
視野全角	0.4375 mrad(昼), 0.875 mrad(夜)		
検出器	光電子増倍管(浜ホト R1332)		
検出方式	フォトンカウンティング		
距離分解能	288 m(昼), 96 m(夜)		
時間分解能	3分		
検出:			
成分	水蒸気ラマン	窒素ラマン	ミー・レイリー
干渉フィルター			
中心波長(nm)	407.5	386.7	354.7
半値幅(nm)	0.3	0.3	0.4
ピーク透過率(%)	59	61	39
355 nm透過率	<10 <sup>-15</sup>	<10 <sup>-12</sup>	-

### 3. 観測結果

Fig. 1 に 2003 年 3 月 13 日午前 6 時 (JST) から 14 日 6 時に観測した水蒸気混合比の時間-高度断面図を示す。時間分解能は 3 分、高度分解能は昼間が 288 m、夜間が 96 m である。測定誤差が 50% 以下のデータのみプロットしている。望遠鏡視野全角は、昼 (6-18 時) が 0.4375 mrad、夜 (18-6 時) が 0.875 mrad で観測をおこなった。ライダー較正係数は、ラジオゾンデとの比較 (13 日 20 時 30 分) により求めた値を使用した。

高度 1-2 km に大気境界層上端と思われる水蒸気濃度勾配の大きい領域が存在し、その高度が昼から夜にかけて上昇し、再び下降する分布がわかる。

Fig. 2 に 3 月 13 日朝 8 時 30 分 (左) と夜 20 時 30 分 (右) のライダーとラジオゾンデ (明星電気 RS2-91) の水蒸気混合比鉛直分布の比較結果を示す。ライダーデータの時間・高度分解能は、朝が 30 分・288 m、夜が 10 分・96 m である。

昼間の比較観測では、高度 0.5 km から 2 km の範囲では両データが比較的良く一致しているが、それ以外の高度ではライダーデータの信号対ノイズ比が小さく十分なデータが得られていないことがわかる。一方、夜間の比較観測では高度約 0.5 km 以上でライダーとラジオゾンデの測定値が良く一致していることがわかる。

昼間のライダーデータの信号対ノイズ比が小さい主な原因として、高度 2 km 以上については水蒸気濃度が小さいためにラマン散乱光が弱く検出が困難であったこと、高度 0.5 km 以下については、受信望遠鏡視野を狭くしたためにレーザービームと望遠鏡視野の重なり面積が小さくなり、散乱光信号が十分に検出できなかったことが挙げられる。

さらに昼間の観測の問題として、日射により望遠鏡が熱膨張し光軸がずれるという問題も生じた (図 1、12 時頃の高度 0.6 km 以下参照)。

これらの問題を解決し昼間の観測高度範囲を広げるための対策として、1) 望遠鏡に遮光版を取り付け光軸のずれを抑える、2) 望遠鏡視野絞りの形状を変えて下層高度からの散乱光が視野内に入るようにする改良をすすめている。装置の改良により測定上限高度を改善すること

は難しいが、夏期の水蒸気濃度が高い場合はより上層まで測定できることが期待される。

### 4. まとめ

対流圏水蒸気分布を昼夜問わず測定するためのラマンライダーを開発・改良し、昼夜連続観測をおこなった。ライダーとラジオゾンデとの比較観測の結果、昼間は高度約 0.5 km から 2 km、夜間は高度 0.5 km 以上の範囲で良好な一致を得た。今後は昼間の測定高度範囲を広げるようにライダーを改良し、水蒸気の関与する大気プロセスの解明や数値天気予報に役立つ水蒸気測定システムにしたいと考えている。

### 引用文献

1. 酒井哲、永井智広、中里真久、松村貴嗣 (2001) : ラマンライダー・ラジオゾンデ・GPS による対流圏水蒸気分布の比較観測、第 21 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、p.12-15.

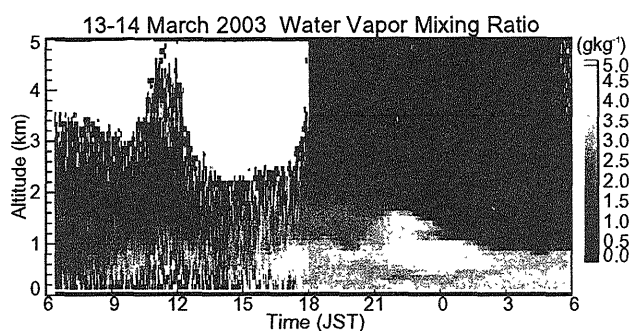


Fig.1: Temporal and vertical cross section of water vapor mixing ratio obtained with the Raman lidar over 24-h period on 13-14 March 2003 at Tsukuba. Sunset occurred at 18:00 JST.

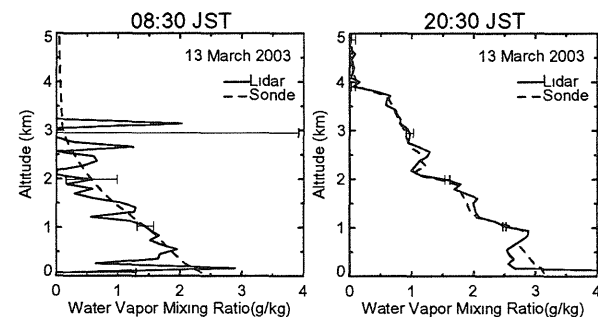


Fig. 2: Comparisons of water vapor mixing ratio obtained with the Raman lidar (solid line) and radiosonde (dashed line) at 8:30 JST (left) and 20:30 JST (right) on 13 March 2003.