

境界層内水蒸気観測の為の 可搬型 24 時間稼動ラマンライダーの開発

Development of a portable Raman lidar system for continuous water-vapor measurement in the boundary layer

杉本尚悠¹、中村卓司¹、津田敏隆¹、古本淳一¹、井村真悟¹、阿保真²

Naohiro Sugimoto¹, Takuji Nakamura¹, Toshitaka Tsuda¹
and Jun-ichi Furumoto¹, Shingo Imura¹, Makoto Abo²

1 京都大学 生存圏研究所 2 首都大学東京大学院 工学研究科

1 Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

2 Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University

abstract: lidar(Light Detection And Ranging) is one of remote sensing methods. We have been developing a continuous (24hour) and portable Raman lidar system for water vapor both in daytime and nighttime. The developed system consists of a Nd:YAG laser (SHG:532 nm, 30 mJ,20 Hz) and a Schmidt-Cassegrain telescope with a 35.5cm diameter. The observation error of mixing ratio at 200 m height is estimated to be less than 20% in the daytime for a time and height resolution of 30 minutes and 50 m through continuous observations with 0.25 mrad and with 1.6 mrad divergence at Shigaraki MU observatory, Shiga in Japan, June, 2004. The error decreased to be less than 6% with narrower beam divergence.(0.2mrad) in November, 2004. We confirm that the calibration function with height between rotational-vibrational raman channels for nitrogen and water vapor molecules is stable for at least 3 months with 1.6mrad divergence of laser power.

1.はじめに 対流圏内、特に地表から 1-2km 程度の大気境界層内の水蒸気は、地表と大気との熱輸送において大きな役割を果たしており、種々の気象現象や高高度域での大気運動にも影響を及ぼしている。この大気境界層には対流圏内の大部分の水蒸気が存在し、更に地形や植生、熱対流の影響を受ける。

京大生存圏研究所では、下部対流圏レーダー(LTR)観測と組み合わせて水蒸気の24時間プロファイルを作るために必要な境界層内の一定高度付近の水蒸気量を24時間に亘って測定可能な測器として、可搬型のレーザーレーダを試作し、ラジオゾンデとの比較によってその精度を確認した。今回は長期的観測によって得られた結果を踏まえて、水蒸気の空間分布の計測、フィールド観測などの多様な運用を行う測器に改良することを行っているので、報告する。

2.機器構成 可搬型かつ長期連続運転の観点から、システムの感度の主要部分を占める望遠鏡及びレーザーは、小型の35.5cm口径のシュミットカセグレン式望遠鏡、及び継続的に出力可能な532nm:30mJ 10Hz出力の小型Nd:YAGレーザーを使用しており、光学系をすべてフレームと一体化させ、フレーム全体を建物内の部屋の窓に立てかけて観測を行う(Figure1)。送信レーザー(532nm)に対する大気散乱光を望遠鏡で集光し、二色鏡および干渉フィルタにより弾性散乱信号(ミー、レイリー:532nm)、水蒸気ラマン散乱信号(660nm)および窒素ラマン散乱信号(607nm)を分光し、それぞれ光電子増倍管で受光後、光子計数により信号受信を行う構成である。試作システムでは、高度200m付近をもっとも感度よく常時観測する目的で、距

離 200m の物体が望遠鏡しぼり位置で結像するように調整してあり、同高度での望遠鏡視野は 0.25mrad にしぼってある。それに対してレーザーのビーム拡がり角は 0.2mrad、および 1.6mrad の 2 種類使用している。計測機器の制御は Windows2000 のノート型 PC で行う。インターフェースとして USB1.0、USB-RS232C を使用し、フォトンカウントボード、レーザー発信機を制御し、観測データを取得する。(Figure 2)

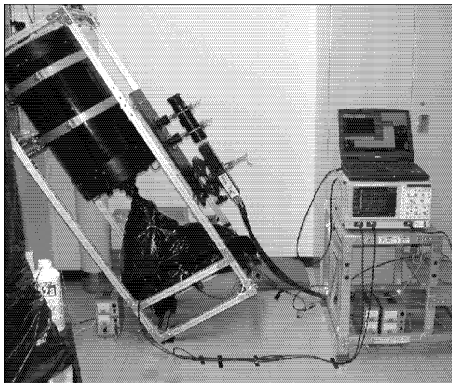


Figure 1: Outlook of the lidar

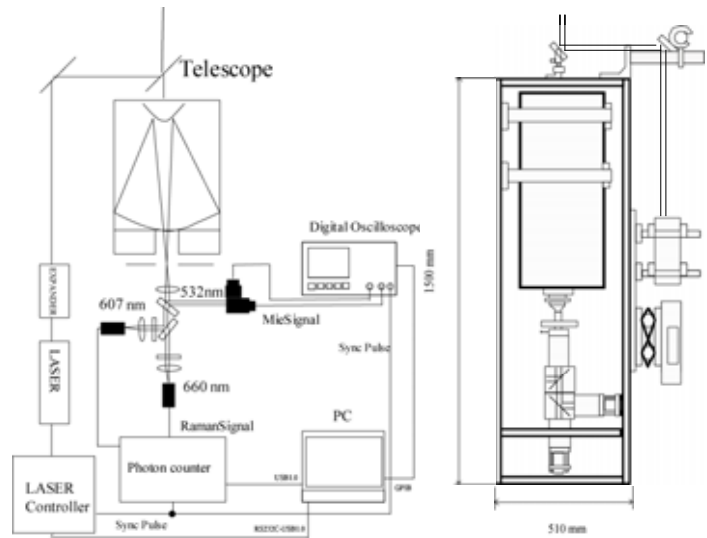


Figure 2: Block diagram and ground plan of the lidar

Portable Raman lidar system

Telescope Schmidt-Cassegrain

35.5cm $f = 3.995$ m

Laser Q-switched Nd:YAG pulse laser

Quantel: Brilliant Ultra Stable

532nm, 30mJ, 20Hz

beam divergence @86.5%: 5.3mrad, 1.0mrad

Transmitted beam divergence 1.06mrad, 0.2mrad

(after 5 X beam expander)

Quantel: Brilliant GRM

532nm, 30mJ, 20Hz

beam divergence @86.5% : 1.0mrad

Transmitted beam divergence 0.2mrad

Collimating lens

BK7, $\phi = 50.8$ mm, EFL = 125mm

Focusing lens

BK7, $\phi = 50.8$ mm, EFL = 60 mm

Iris 1-25mm

Dichroic Mirror

532R/607T, 560R/660T

Interference Filter

Center 607.17nm, Bandwidth: 0.99nm

Center 660.19nm, Bandwidth: 0.90nm

Center 660.70nm, Bandwidth: 10.7nm

PMT: Hamamatsu Head-on PMT H7360-03

$\phi 22$ mm Count linearity 6×10^6

Darkcount 10366 /s (660nm)

12510 /s (607nm) @25

Countsensitivity 1.3×10^5 /s pW @607nm

1.0×10^5 /s pW @660nm

Data Acquisition

Oscilloscope

LeCroy waverunner LT342: 8bit-A/D-500Mhz

Photon counter

ASRC AeroSpace: MultiChannel Scaler (4channel)

Resolution: 7.5m - 1594.5m

Table 1: Specification of the lidar system

3. 観測精度 (ランダム誤差) 受信光子数がポアソン分布に従うことを用いて、推定した統計誤差は、高度時間分解能 30 分、60m で広ビーム拡がりのレーザー (1.6mrad) を使用した 6 月には夜間では高度 600m で 10-25%、昼間に高度 200m で 10-20% 程度であった。一方狭ビーム拡がりのレーザー (0.20mrad) を使用した 11 月では高度 200m で 4-6% と低い高度での精度の向上が見られたが、高度 600m では 20-35% と逆に精度が減少した。また夜間観測に限定し、望遠鏡しぼりを十分に開けた場合には、高度 1.5-2km の大気境界層界面下まで 30 分、200m 高度時間分解能で 15% 程度である。(Table2)

	June Beam divergence 1.6 mrad		November Beam divergence 0.2 mrad	
Water vepor mixing ratio by ground observation	14.4 g /kg		8.8 g/kg	
200m	2-6%	10-20%	0-4%	4-6%
300m	4-8%	20-30%	0-5%	15-%
600m	14-22%	76%	20-35%	100%

Table2:Statistic error of water vapor mixing ratio by raman-lidar observation

4.ラジオゾンデとの比較 2004 年 5 月 12-13 日、11 月 5-6 日、2005 年 3 月 25 日に放球された計 8 個のラジオゾンデとの比較を行った。使用したレーザーは広ビーム (1.6 mrad) で、窒素ラマンチャンネルと水蒸気ラマンチャンネル間の感度の較正は、11 月 5-6 日に放球した高度分解能 30 m のラジオゾンデデータと、対応する 1 時間、50 m 時間高度分解能のライダーデータを用いて各高度ごとに行ったところ、高度 1 km ほどまでは推定される統計誤差の範囲内でよく一致した(Figure 4)。また 150-400 m などの比較的統計精度の良い高度域での比較から両チャンネル間の感度比の長期安定性も確認された(Figure 5)。尚 Figure 4 ではライダーデータの高度分解能は 100 m (~高度 600 m)、200 m (~高度 1 km) と高度とともに下げている。

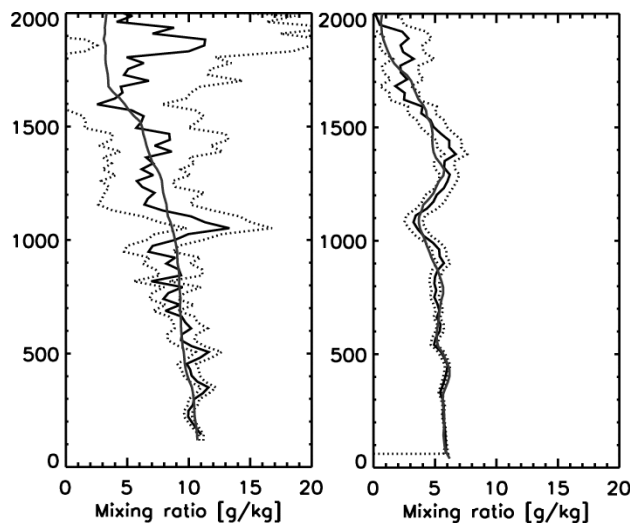


Figure 4 Profile of water vapor mixing ratio versus height
Black:Lidar Gray:Radiosonde
Left 0100LT on May 13th
Right 0100LT on Nov 6th

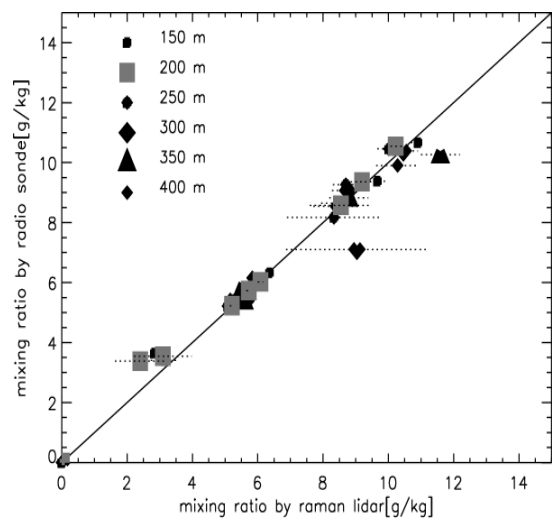


Figure 5 Comparison of water vapor mixing ratio between raman-lidar and radio-sonde observation

5.観測例 2004年6月15日から21日にかけて、晴れた状態から次第にエアロゾル量 (Figure 6 三段目 コンター図)が増え、雨がふった (Figure 6 二段目 黒線: 単位は 0.002 mm) が、16日深夜には水蒸気量のライダーによる 200 m での観測値と地上観測値の急激な変動がほぼ同時に見られた。またこの期間中、両者はほぼ同じ値を示した。(4段目)また16日0時を横軸で16と表記しているが、この時窒素ラマンチャンネルの信号強度が地表付近のエアロゾル量に関わらず変動しているのが見られた。(二段目 コンター)

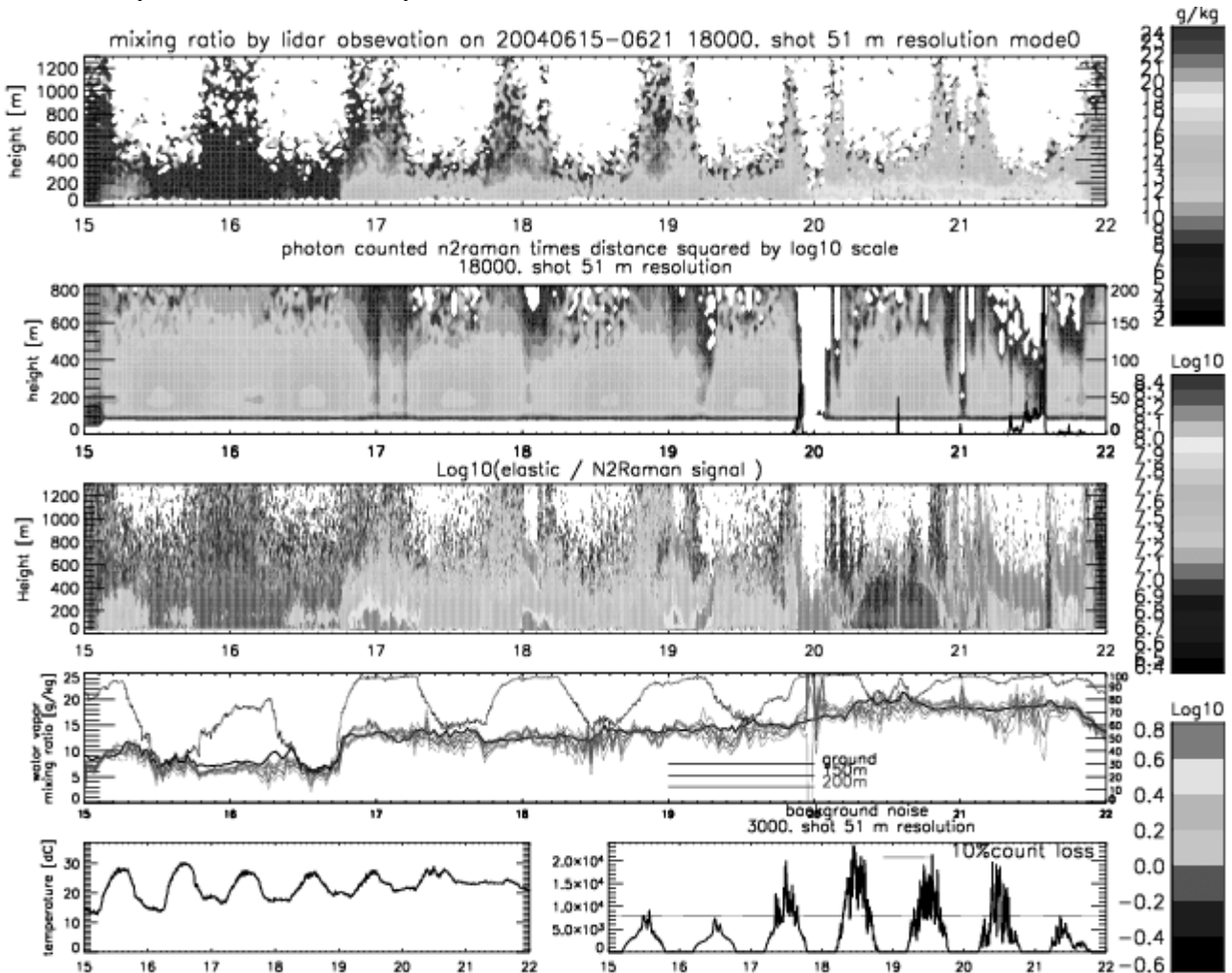


Figure 6 First Contour of water vapor mixing ratio by lidar observation
 Second Contour of signal power of nitrogen channel of ramanlidar
 Third Contour of back scattering ratio by ramanlidar
 Forth Compariton of water vapor mixing ratio between ground observation ,lidar observation at 200 m and 150 m
 Sixth Left ground temperature Right noise count of water vapor channel

6.今後 望遠鏡視野が 0.25mrad と小さいため、送信レーザーと受信望遠鏡の光学的安定性が受信信号強度の安定性に大きく影響してくるが、この点について機構的改良を加える。本発表では、機構的改良後におこなうフィールド観測についても報告する予定である。

7.謝辞

本研究のライダーシステムの開発に際して、国立環境研究所・杉本伸夫氏・松井一郎氏・清水厚氏に協力を頂いたので謝意を表する。