

小型ラマンライダーによる火山噴気中の水蒸気分布のフィールド観測

Field observations of water vapor distributions in the volcanic plumes with a portable Raman lidar

中村卓司¹、橋本武志²、寺田暁彦³、勝部祐一¹、丸山潤¹、阿保真⁴

Takuji Nakamura¹, Takeshi Hashimoto², Akihiko Terada³,

Yuichi Katsube¹, Jun Maruyama¹, Makoto Abo⁴

1:京都大学生存圏研究所, 2:北海道大学理学研究科, 3:京都大学理学研究科,

4:首都大学東京・システムデザイン学部

1:RISH, Kyoto University, 2: Graduate School of Science, Hokkaido Univ.,

3: Graduate School of Science, Kyoto University,

4: Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan Univ.

Abstract

A transportable water vapor Raman lidar system for field experiments including forest and volcanoes, where distribution and flux of water vapor is of great interest, has been developed. The system is equipped on a tripod mounting system, with a total weight is about 50 kg. The electric power can be supplied with a battery. Such characteristics enabled to transport the system manually by a few people into field sites, where access by vehicles is difficult. Measurement of water vapor distribution has been carried out at volcanoes, such as Mt. Aso, Kyushu, Japan, and Noboribetsu, Hokkaido, Japan. We report the experiments at the two sites of water vapor, which are measurement of line of sight distribution and upward flux, and two dimensional horizontal distribution of water vapor over a volcano lake.

1、はじめに

種々の大気微量成分の中でも、水蒸気は潜熱輸送という意味で重要であり、とくに地上付近から対流圏内の水蒸気量を計測することは大気力学的に重要である。火山から放出される水蒸気やそのフラックスを知ることもまた極めて重要である。火山ガスの90%以上は水蒸気で占められ、非噴火時の火山からのエネルギー放出の大部分を占める。また、水蒸気量の増減はマグマの爆発性を示す指標ともなる。火山噴気中の水蒸気量を計測することはマグマからの水蒸気放出の正確な見積もりのために極めて重要である。しかしながら、周囲の大気にも多量の水蒸気が含まれていることが受動的な計測では問題となりこれまでリモートセンシングで火山噴気中の水蒸気量を求めた例はなかった。我々は、小型のラマンライダーを開発して火山噴気中の水蒸気分布を計測することを行ってきたが、今回総重量50kg程度の新しい小型のラマンライダーシステムを製作した。これらのライダーを用いて九州の阿蘇山中岳および北海道の登別温泉大湯沼で実験をしたので報告する。

2、観測装置

レーザーは、フラッシュランプ励起QスイッチNd:YAGレーザーの第2高調波(30mJ x 20Hz)を用い、受信は20.3cm口径のシュミットカセグレン(f=2,032mm)を用いている。受信は弾性散乱(532nm), N₂振動ラマン散乱(607nm)、水蒸気振動ラマン散乱(660nm)の3chを干渉フィルターとビームスプリッターで分光している。検出は、GaAsPのPMTを用いた光子計数モジュール(Hamamatsu H7421-40; 660nmで量子効率40%)を用いている。弾性散乱のチャンネルにはHamamatsu H7360-01を使用している。干渉フィルターの透過幅は、532nm, 607nm, 660nmでそれぞれ、0.93nm, 1.05nm, 0.94nmである。532nmと607nmのチャンネルには、ダイナミックレンジ調整のためにNDフィルターを使用した。光子計数モジュールの出力パルスはマルチチャンネルスケーラ(SigmaSpace, AMCS-USB)で、200ns(=30m)のdwell時間で計測している。

望遠鏡、レーザー、分光計は経緯台に搭載して三脚上に載せられており、方位、仰角を走査することができる(図1)。重量は約50kg(バッテリーのぞく)で、消費電力は500W以下である。

3、観測

3.1 阿蘇山中岳での観測

2007年6月4日に阿蘇山中岳で火山噴気の水蒸気混合比と後方散乱比の観測を行なった(Nakamura et al.,2008) (速報は前回報告済み)。ビームは火口クレーターの南縁から水平に照射し、噴気方向(on fumarole)と噴気を外した参照方向(off fumarole)の2方向を交互に計測した(図2、3)。12,000ショットずつ交互にビームを向け、約1時間かけて噴気方向を3回、参照方向を2回計測した。

図4は、水蒸気混合比と後方散乱比を示したものである。水蒸気混合比の値は、参照方向の水蒸気が地上水蒸気と同じであるとして行なった。このとき、地上気温は13度、気圧は880hPa、湿度は87.2%であった。噴気は後方散乱比が30より大きいところを取ると距離360m-490mの間に存在すると見積もられた。水蒸気混合比は、同じ距離360-490mの間で周囲の大気より1-6g/kg増加していた。中央部での大きな増加は噴気の温度が周囲温度よりも高いことを示唆している。噴気の中央が430mの距離であって、噴気が同心円状であると仮定して噴気内の水蒸気量の増加を見積もると、1.3g/m³となった。同時に行なったイメージインテンシファイアを用いたビデオ観測から上昇速度は2.2 m/s と見積もられ、このときの水蒸気のフラックスは、約50kg/s と見積もられた。これは形状から概算した値(Kagiyama, 1981)と比べて妥当な大きさである。噴気内部での温度上昇についても、Terada and Ida (2007)によるモデルとも整合する。

3.2 登別温泉大湯沼での観測

2007年10月12日と15日に大湯沼においてより詳細な水蒸気分布の観測に挑んだ(図5)。図6は観測地とレーザービームの方向を示す。ライダーは湖面から8mの高度の道路に設置され、ビームは水平方向に方位5度ごとに12方向変化させて、それぞれの方向で1分(1200ショット)観測した。水平スキャンは2回繰り返した。

結果を図7に示す。北東の隅の強いピークは山の壁面からの散乱で、おそらく樹木の蛍光も加わった信号を見ている。ここを除くと、水蒸気混合比は湖の西側が東側より大きく観測されている。実験に先立って昼間に赤外カメラ画像で2方向から撮影し、湖面の温度を計測したものと比較する(図8)。左の2つの図はライダーによる水蒸気分布を等高線で示し(2回のスキャンのそれぞれ)、右図は赤外画像から推定した温度を示す。なお、赤外画像の温度は水蒸気による赤外線吸収で温度は低めに出ているものと思われる。温度の高い部分と、水蒸気量の多い部分は、互いに比較的よく一致しており、水蒸気の2次元スキャン観測が良好に行なえることが見て取れる。

4. 結論

可搬型のラマンライダーを開発して火山噴気中の水蒸気分布とフラックスの計測に応用した。水平1次元分布は距離約400mのところの噴気について50分程度の時間で測定することができた。計測された水蒸気フラックスは妥当な値で、今後の応用が期待される。また、火山湖において距離200m程度のところで湖面上空8mの高さの2次元水蒸気分布を計測することに成功した。スキャン時間は16-18分で、湖面の温度と水蒸気量の相関が確認された。これらの実験は、小型ラマンライダーの火山ガス水蒸気計測への可能性を示すものである。

参考文献

Kagiyama, T., Evaluation methods of heat discharge and their applications to the major active volcanoes in Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 9, 87-97, 1981.

Nakamura T., T. Hashimoto, A. Terada, N. Sugimoto, Y. Katsube, T. Tsuda and M. Abo, First lidar measurement of water vapor mixing ratio in the volcanic gas at Nakadake, Mt. Aso, Geophys. Res. Lett., to be submitted, 2008.

Terada A. and Y. Ida, Kinematic features of isolated volcanic clouds revealed by video records. Geophys. Res. Lett., 34, L01305, doi: 10.1029 / 2006 GL026827, 2007.



Figure 1 Outlook of the transportable Raman lidar.

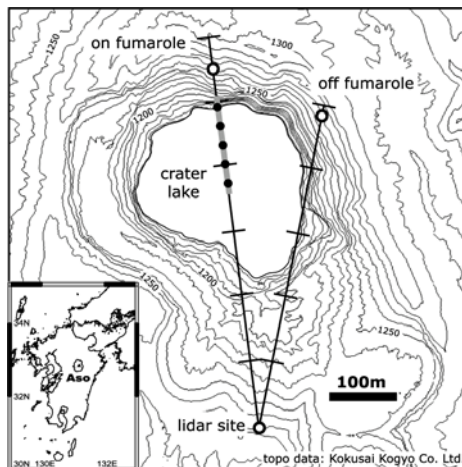


Figure 2 Location of the lidar site and beam direction during observations at Mt. Aso in June, 2007.

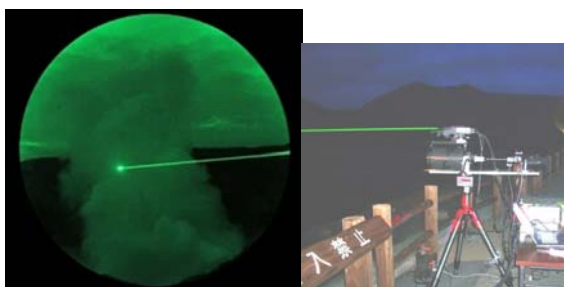


Figure 3 Outlook of the observation at Mt. Aso. Right panel shows lidar equipment. Left panel is the lidar beam directed to the fumarole. The image was recorded by an image intensifier with a primary lens of $f=28\text{mm}$, F2.8.

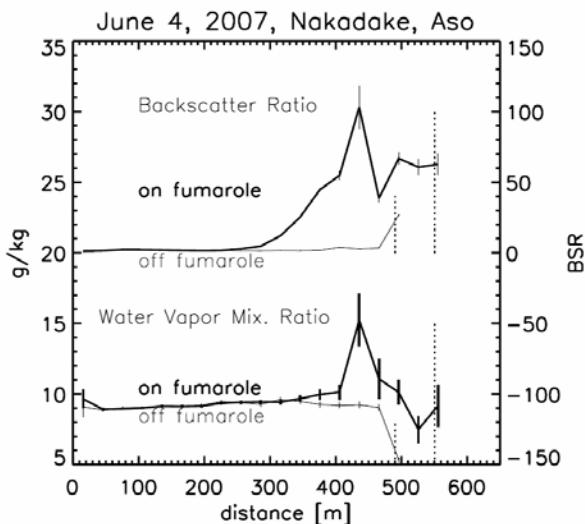


Figure 4. Water vapor mixing ratio (bottom; scale on left axis) and back-scatter ratio (top; scale on right axis) for on-fumarole (thick) and off-fumarole (thin) directions with integrations of 36,000 and 24,000 shots, respectively. Data were collected between 20 and 21 LT on June 4, 2007.



Figure 5. Picture of Oyunuma, Noboribetsu, Hokkaido.

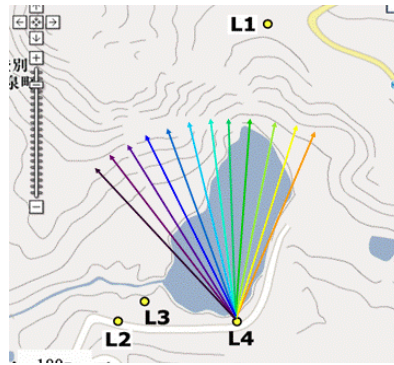


Figure 6. Observation location and beam directions at Oyunuma, for observation of two dimensional distribution.

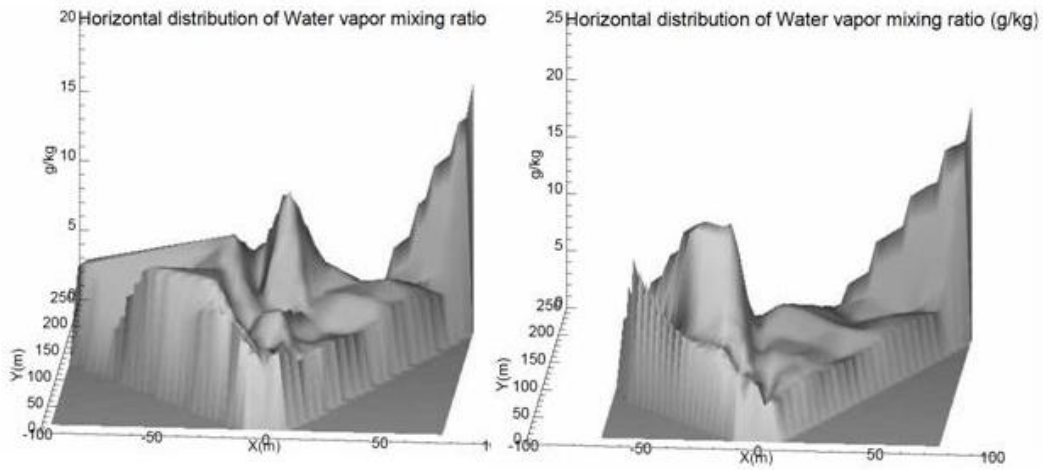


Figure 7. Distribution of water vapor mixing ratio over Oyunuma for the first beam scan (left) and the second scan (right). The origin (0,0) is the location of the lidar. X and Y directions are east and north, respectively.

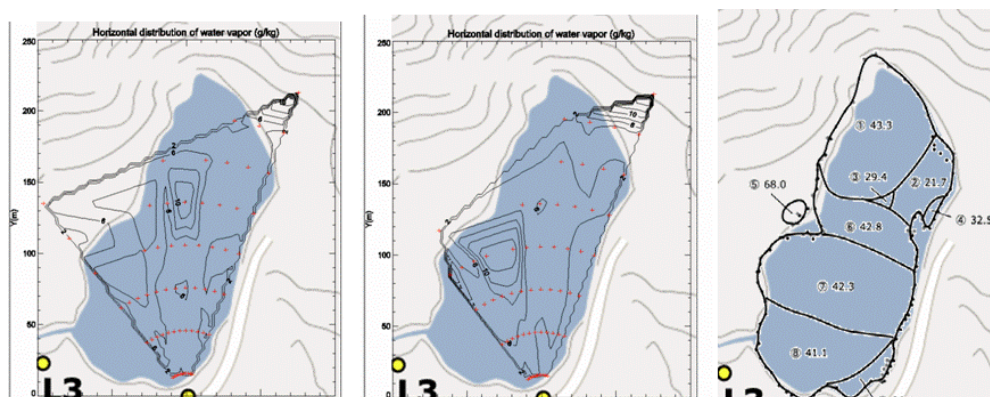


Figure 8., Distribution of water vapor mixing ratio over Oyunuma for the first beam scan (left) and the second scan (center). The data are same as Figure 7. The right panel shows temperature distribution observed with the infrared camera.