

ラマンライダーによる火山噴気中の水蒸気分布の観測

太田修史¹ 中村卓司¹ 寺田暁彦² 橋本武志³ 阿保真⁴

1: 京大生存研 2: 京大理 3: 北大理 4: 首都大システム

1 研究の背景

火山の噴火口から立ち昇る噴気の成分のほとんどは水蒸気であり、非噴火時には地中から大気へ放出されるエネルギーの大部分が潜熱として放出される。このため、火山噴気中の水蒸気計測を行うことは地中の火山活動を監視し、噴火などの予測を行う上で非常に重要である。しかし、火口付近では、地形などの環境により測器が限定される事や周囲の大気中の水蒸気との区別が付きにくいことから火山における水蒸気の遠隔観測は遅れている。

そこで、京大生存圏研究所では可搬性を高めた小型ラマンライダーを開発し、2005年から火山フィールドに持ち込み、噴火口における水蒸気観測実験を進めて観測手法の確立を目指している。現在まで、計5回（阿蘇4回、登別1回）実験観測が行われており、本稿では観測の概要と解析の経過を報告する。

2 ライダー観測システム

大気ライダーとはレーザー光を送信して大気から返ってくる散乱光を受信することにより大気成分を測定するリモートセンシング機器である。ラマンライダーでは分子固有の波長シフトを受けた散乱光を取り出すことで所望の大気成分の密度の距離分布を測定可能としている。観測に用いる小型ラマンライダーのブロック図を図1に示す。波長532nm, 20Hz, 30mJ出力のQスイッチパルスNd:YAGレーザー光を送信し、532nm（弾性散乱）、607nm（N₂振動ラマン散乱）、および660nm（H₂O振動ラマン散乱）を直径20.3cm径の望遠鏡を用いて受信し、ビームスプリッターと干渉フィルターを通してそれぞれを分光計測する。

大気中に含まれる窒素分子の混合比は対流圏内ではほぼ一定とみなせるので、窒素ラマン散乱信号を大気密度のリファレンス信号とする。水蒸気ラマン散乱信号と窒素ラマン散乱信号の強度比をとりに較正係数を乗じて水蒸気混合比（比湿）を求める。ここで較正係数は、他の測器から計測された気温、相対湿度、気圧より計算される水蒸気混合比と比較することにより得る。一方、弾性散乱信号と窒素ラマン散乱信号との強度比をとりに較正係数をかけることで、雲や水滴、エアロゾルの量を示す後方散乱比を導出できる。また、周辺環境の水蒸気と火山起因の水蒸気を区別するために噴気のある方向と噴気がない方向の2方向の計測を行った。噴気のない方向の計測結果の平均を背景水蒸気量とし、火口上の計測結果から差し引くことにより火山起因の水蒸気増加量を得る（図2）。

3 火山噴気中の水蒸気分布の観測結果

2008年10月15日、16日、2日間にわたって日没後に観測を行った。2008年10月15日には火口南西縁（図3）から方位角を変化させて噴火口上の鉛直スキャン2回と水平スキャン1回を試みた。鉛直スキャン1回目（図4）は20:33～20:52 JSTにかけて行われ、各方向での積分時間は3分とし、方位角36.1度、俯角28度から上方へ7度ずつ変えて計5方向の計測を行った。その時の気象条件は、気温12.9度、湿度42%、気圧894hPa、6m/sの南風であった。壁の近くの湯だまりの湖面付近〔（水平距離, 高度）=（290, -100）〕に水蒸気混合比の約4.4g/kgの大きな増加が見られる。また、同じ領域において後方散乱比に12.6～25.1程度の増加があり相関が見られる。

2008年10月16日には、火口南縁（図5）から噴火口上の鉛直スキャン1回と水平スキャンを1時間の間隔をあけて2回行った。16日に行った鉛直スキャン3回目（図6）は図5の水色で示した水平方向で、その時の観測時刻は19:04～19:30 JSTである。積分時間は各方向

3分であり、方位角 340.1 度、俯角 15.9 度から上方へ 4 度ずつ方向を変え、計 5 方向の計測を行った。気象条件は、気温 13.1 ~ 13.5 度、湿度 74 %、気圧 894.5hPa、0.5 ~ 1m/s の南風であった。北側の壁付近 [(水平距離, 高度)=(430,-35)] で約 2.4g/kg の水蒸気混合比の増加が見られ、噴火口断面図の中央付近の領域 [(水平距離, 高度)=(230,-40)] にも約 1.0g/kg の水蒸気混合比の増加が見られた。また、噴火口断面図の中央付近の領域に 60 程度の後方散乱比の増加が捉えられており相関が見られる。

2008 年 10 月 16 日に実施した水平スキャン 1 回目 (図 7) は、観測時間: 18:28 ~ 18:48 JST、火口上を水平面内で方位角 322.8 度から西側へ 10 度ずつ計 6 方向計測した。気象条件は、気温 13.1 ~ 13.5 度、湿度 70 ~ 74 %、気圧 894.2hPa、0.5 ~ 2m/s の南東風であった。南東風の影響により、南壁からの噴気と考えられる後方散乱比の増加部分が北西に流されている事が読み取れる。また水蒸気混合比は風に流されて噴火口北西の領域 [(水平距離, 高度)=(-180,450)] で 1.8g/kg 程度の増加が顕著である。西側の 2 方向 (図 5 の黄色と赤色で示した水平方向) ではビームが壁に当たらず、他の水平方向に比べて遠距離のデータが取得できている。このため、火山の水蒸気フラックス導出する上で、等高線図の水蒸気増加量を見積もる際の積分範囲に任意性が生じるため、解析時に注意が必要である。

また水平方向で噴気にレーザー光を当てて、噴気を追跡する観測も試みた。しかし風速・風向の時間変化が大きかったため、積分時間に対して短い時間で噴気が移動していた。そのため、レーザー光が噴気に当たる時間が短くなってしまいう観測があり、解析時に注意が必要である。このように観測結果が気象現象に大きく依存してしまう点は、噴煙移動速度の計測とともに今後考慮すべき課題である。

4 むすび

京大生存研により開発された可搬型ラマンライダーシステムを用いて、阿蘇での 4 回目の観測を行い、鉛直スキャンや水平スキャンを利用した新しい試みを実施した。鉛直スキャンでは、噴気口および湖面に近い領域で水蒸気増加量が大きい事が観測された。水平スキャンでは、噴気内と風により運ばれた湖面蒸発によると思われる水蒸気の増加が観測された。観測時に風速の変化が激しく、結果の詳細について現在検討中である

またライダー観測を行った夕暮れから夜の時間帯は、風向・風速、相対湿度などの気象変化が激しいため、背景水蒸気量 (噴気なし方向の観測結果) の時間変化が大きい。噴気中の水蒸気の推定のために用いていた背景水蒸気の測定 (噴気なし方向の測定) の頻度をもうすこし上げたほうが、噴気中の水蒸気量増加の精度があがるものと思われる。

噴気を狙った観測、水平スキャンからの水蒸気フラックスの導出や湖面蒸発と噴気内の水蒸気分離を行うには気象条件が整えば計測可能であると考えられ、ラマンライダーによる火山での水蒸気観測の有効性が示唆されたと考えられる

参考文献

- [1] 寺田暁彦、活動的火山湖からの湖面蒸発量測定の新手法開発 - ライダー技術の「安全・安心」への応用 -、生存圏萌芽ミッションシンポジウム講演予稿集、2009 年 3 月 19 日、宇治市。
- [2] Field Observation of Water Vapor Distribution in Volcanic Plumes with a Raman Lidar, Takuji Nakamura, Takeshi Hashimoto, Akihiko Terada, Yuichi Katsube, Jun Maruyama, and Toshitaka Tsuda, 1029 - 1032, Reviewed and revised papers presented at the 24th International Laser Radar Conference, 23-27 June 2008, Boulder, CO, USA

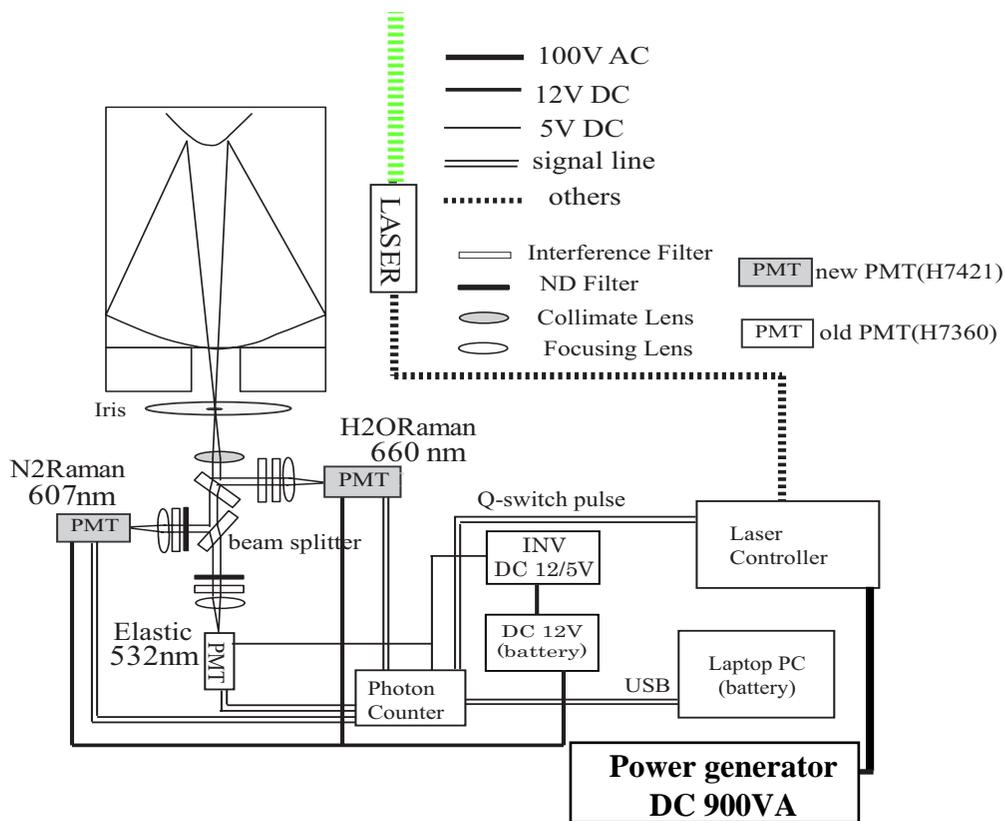


図1 ライダーシステム構成

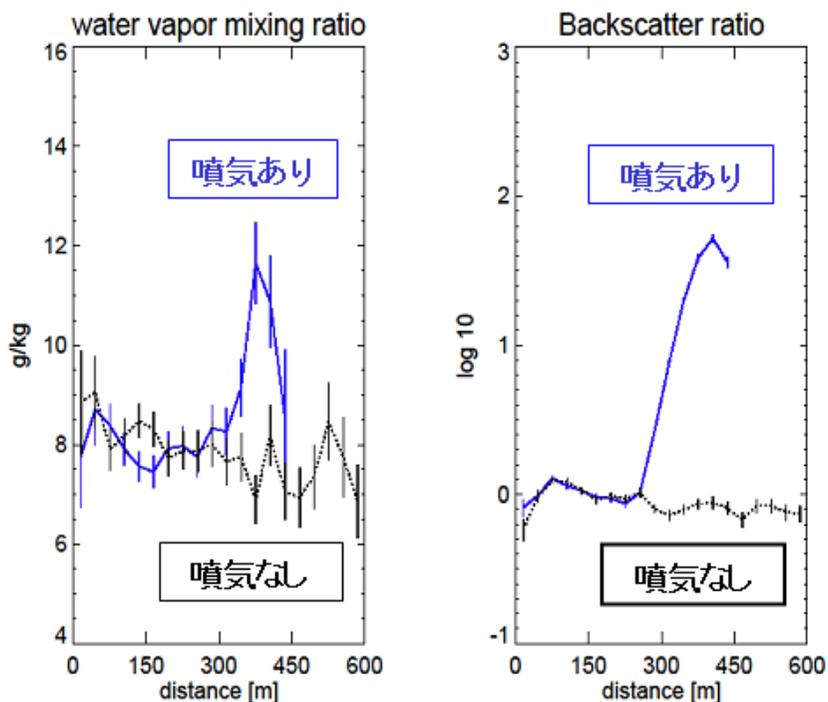
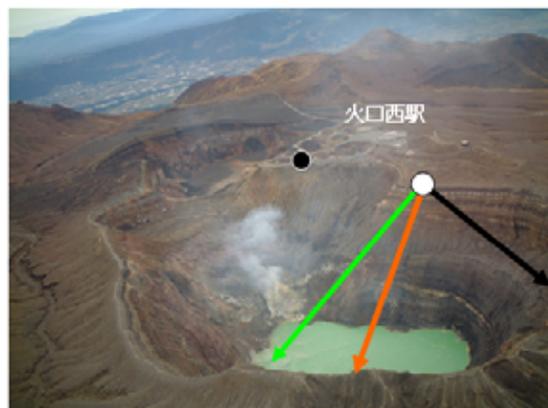
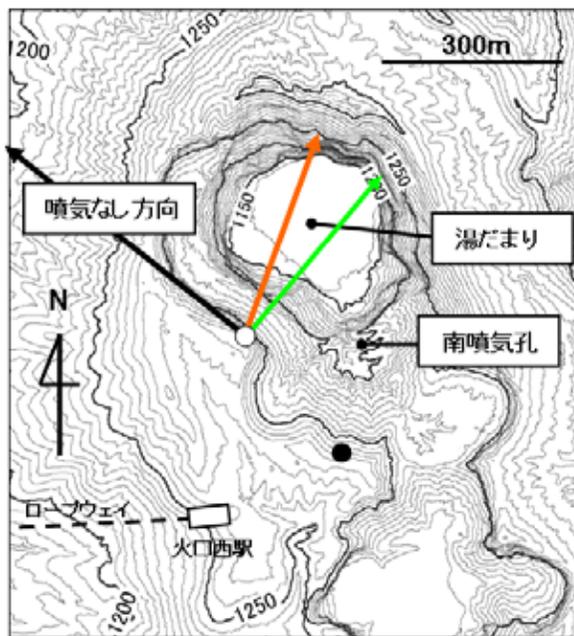


図2：火口南西縁からレーザーを噴気が立ち昇る方向へ向けた観測(黒：2008年10月16日18時15分から3分間積分)と噴気がない方向の観測(青：2008年10月16日18時23分から3分間積分)の水蒸気混合比(左)と後方散乱比(右)の比較。噴気がない方向の平均を背景水蒸気量とし、火口上を計測した結果から差し引くことにより水蒸気増加量の分布を得る。



- : 2008年10月15日(1日目)観測地
- : 2008年10月16日(2日目)観測地
- : 鉛直スキャン1を遂行した水平方向
- : 鉛直スキャン2を遂行した水平方向

図3 2008年10月15日の観測地点と観測方向の概観
「数値標高データは国際航業株式会社提供」

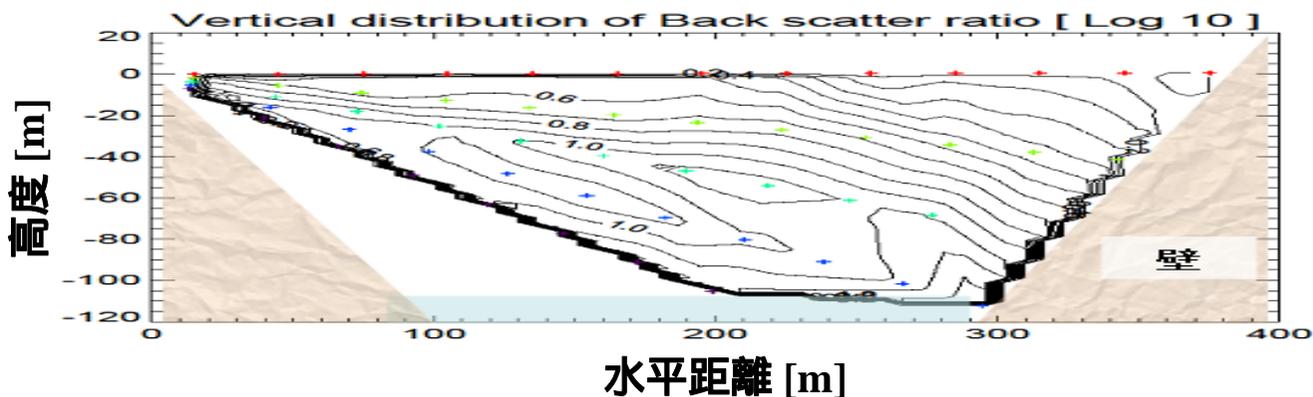
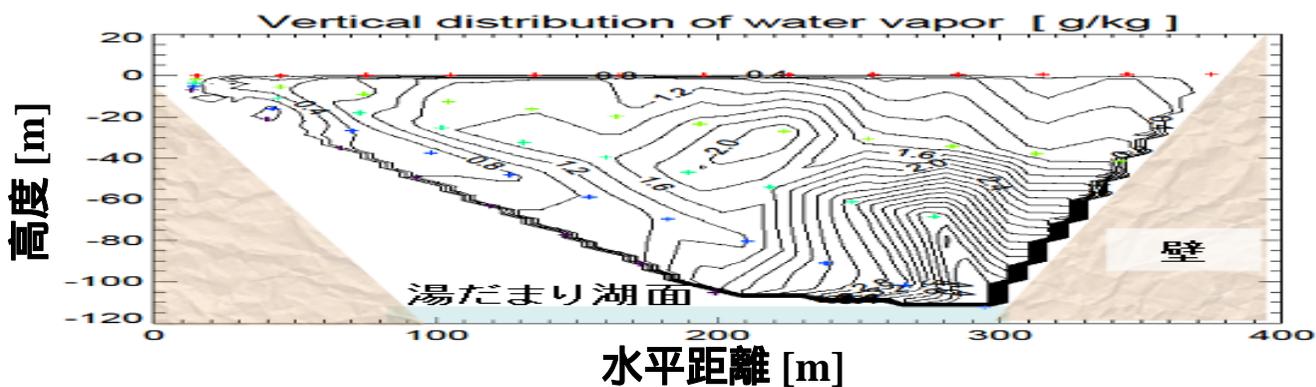
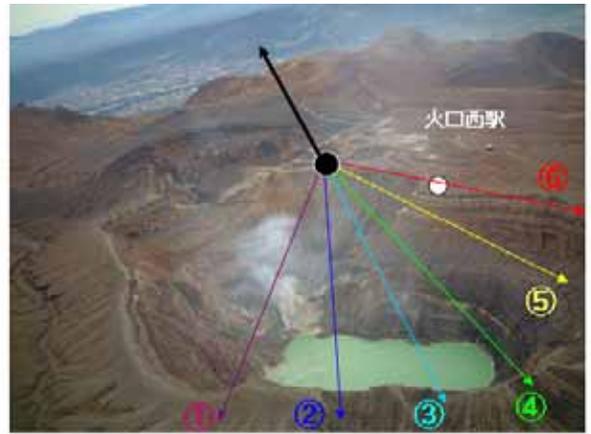
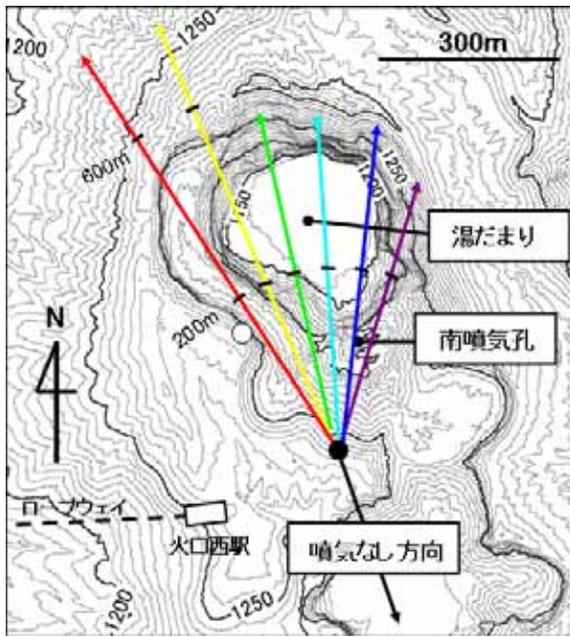


図4 鉛直スキャン1回目による水蒸気混合比(上)と後方散乱比(下)の
水平・高度断面等高線図. 2008年10月15日19時04分~19時30分のデータ.



- : 2008年10月15日(1日目)観測地
- : 2008年10月16日(2日目)観測地

図5: 2008年10月16日の観測地点と観測方向の概観
「数値標高データは国際航業株式会社提供」

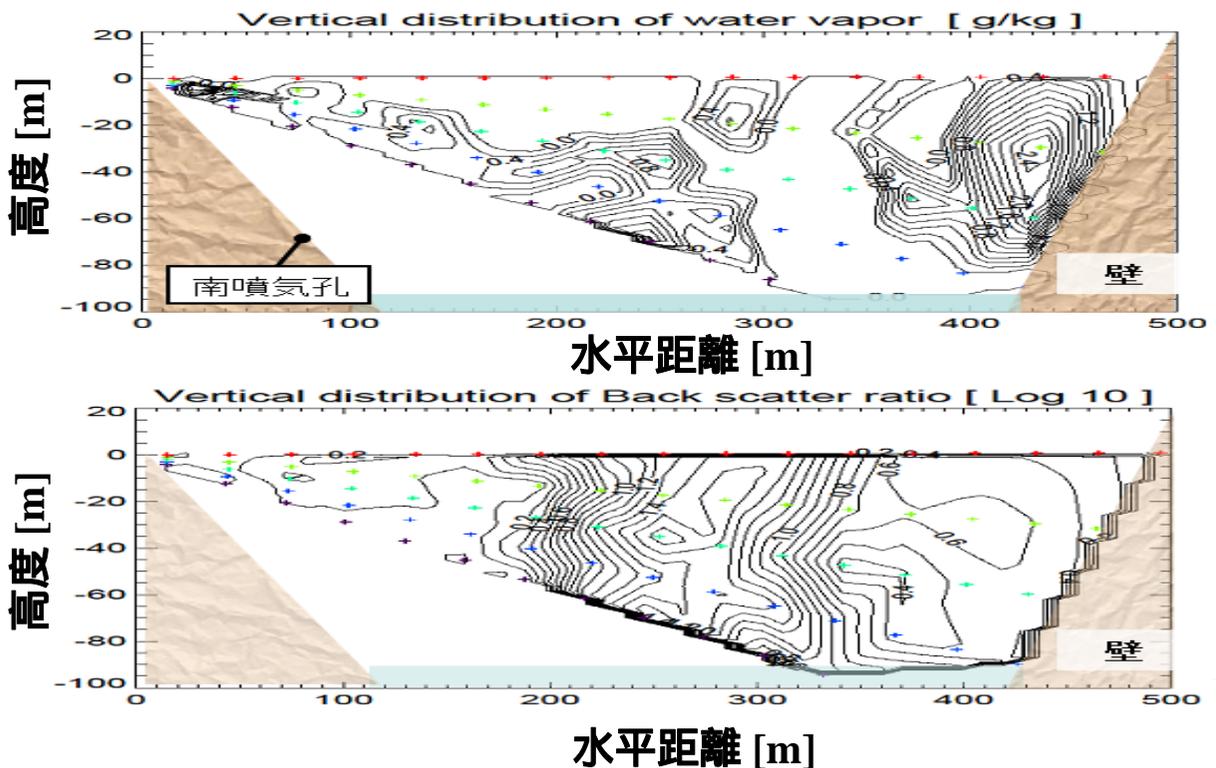


図6: 図4と同様だが2008年10月16日19時04分～19時30分の鉛直スキャン3回目のデータ。(図5の [水色]の水平方向に対応)

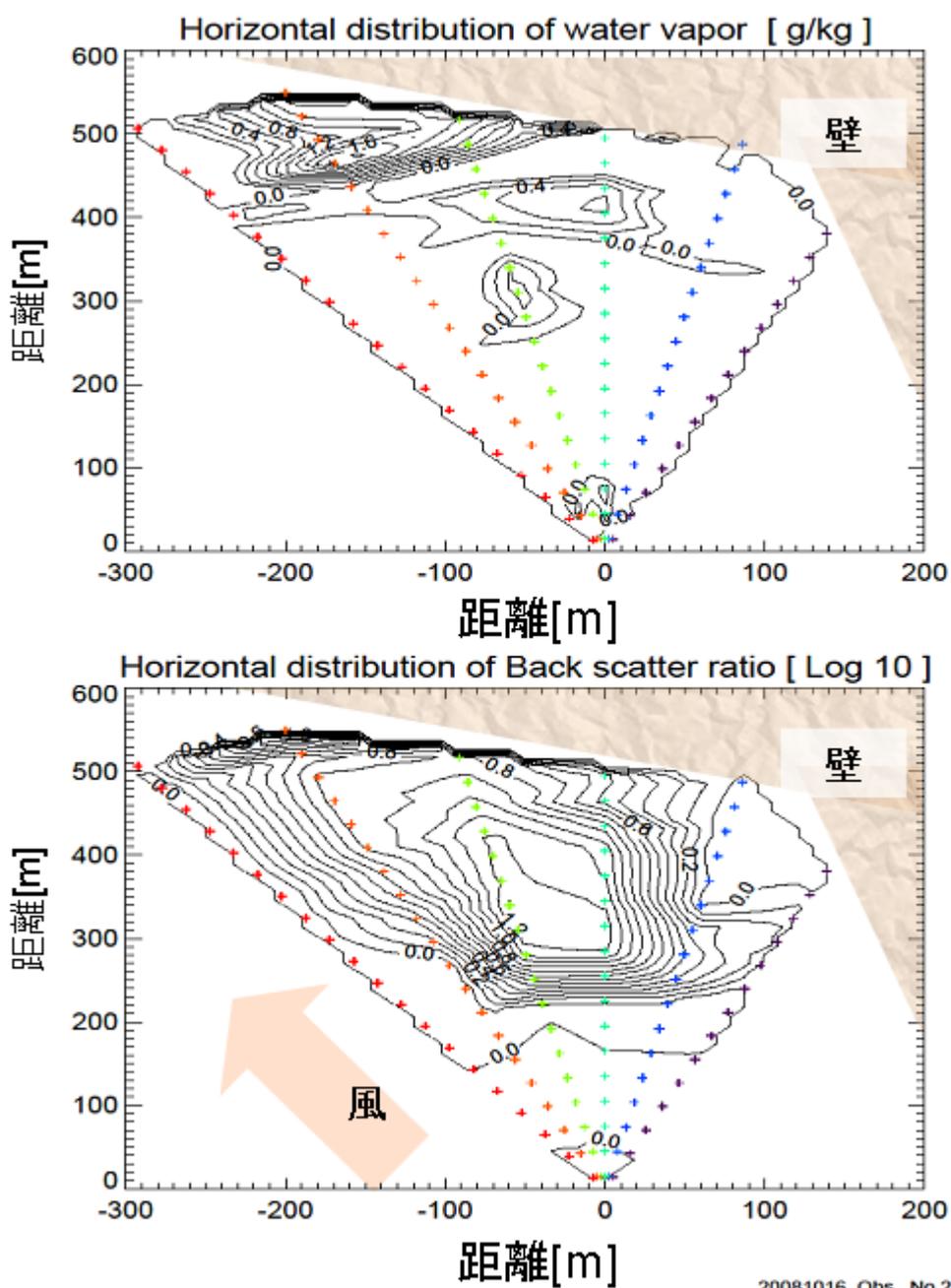


図7: 水平スキャン 1 回目による水蒸気混合比(上), 後方散乱比(下)の水平2次元分布. 2008年10月16日18時28分~18時48分のデータ.