

# 水蒸気ラマンライダーを用いた大雨に関連する下層水蒸気の観測

吉田 智<sup>1</sup>, 白石 浩一<sup>2</sup>, 酒井 哲<sup>1</sup>, 永井 智広<sup>1</sup>,  
幾田 泰醇<sup>1</sup>, 瀬古 弘<sup>1</sup>, 小司 禎教<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1)

<sup>2</sup> 福岡大学 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8丁目19-1)

## Water Vapor Lidar Observation for Low Level Moist Inflow Associated with Local Heavy Precipitation

Satoru YOSHIDA<sup>1</sup>, Koichi SHIRAIISHI<sup>1</sup>, Tetsu Sakai<sup>1</sup>, Tomohiro Nagai<sup>1</sup>,  
Yasutaka Ikuta<sup>1</sup>, Hiromu Seko<sup>1</sup>, Yoshinori SYOJI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

<sup>2</sup> Fukuoka Univ., 8-19-1 Nanakuma, Jonanku Fukuoka, Fukuoka 814-0180

**Abstract:** We have been conducting observation campaign with two water vapor Raman lidars (RL) that emitted laser pulses at wavelength of 355 nm and estimated water vapor mixing ratio (WVMR) vertical profiles at Nagasaki and Shimokoshiki to understand moisture structures associated with local severe precipitation during warm season since 2020. We succeeded in observing two events of low-level humid inflows associated with local severe precipitation on June 25, 2020 and July 10, 2021. In both events, the RLs observed very humid low-level inflows associated with local severe precipitation. These results indicate the existence of the humid inflows into local severe precipitation, consistent with previous numerical simulations and data analysis. In the 2021 event, low-level water vapor mixing ratio at Shimokoshiki station began to increase a few hours before the onset of local heavy precipitation, suggesting possibility of local severe precipitation nowcasting with a use of water vapor lidars.

**Key Words:** Raman Lidar, Water vapor, local heavy precipitation

### 1. はじめに

積乱雲が連続的に発生し数時間にわたり降雨をもたらす降水システム（線状降水帯）が、近年多発している。線状降水帯は局地的な大雨をもたらす、場合によっては甚大な被害が発生する。過去の研究によると線状降水帯は九州で多発している<sup>1)</sup>。さらに九州で発生する事例の多くは南西から湿潤な下層大気（下層インフロー）が流入し、その下層水蒸気が線状降水帯の発生・発達に寄与している<sup>2)</sup>。このため、南西からの湿潤な下層インフローの水蒸気量を線状降水帯の風上側で観測し、その観測データを同化することにより、線状降水帯に伴う降水の予測雨量の精度向上が期待されている<sup>3)</sup>。

線状降水帯の下層インフローの水蒸気の鉛直プロファイルの実態把握、およびデータ同化を用いた降水量予測精度の向上を目的として、我々の研究グループでは2020年度より長崎市野母崎および鹿児島県薩摩川内市下甕島において水蒸気ラマンライダー(RL)による観測を実施している。線状降水帯に関連する下層インフローの観測に2020年と2021年にそれぞれ1回成功した。本稿では、この線状降水帯に伴い観測された風上側の下層の水蒸気鉛直プロファイルについて示す。

### 2. 観測

長崎および下甕島に設置しているRLは、Nd:YAGレーザーの3倍波(355nm)を鉛直直上に照射し、散乱光を望遠鏡で受光したのち水蒸気ラマン散乱(波長408nm)、窒素ラマン散乱(387nm)、弾性散乱(355nm)の受光強度をそれぞれ計測する<sup>4)</sup>。水蒸気ラマン散乱と窒素ラマン散乱の強度比から水蒸気混合比(WVMR)の鉛直プロファイルを得る。時間分解能は20分、鉛直分解能は高度1km以下で75m、1km以上では150mである。観測レンジは、夜間では高度5km程度に達する一方で、日中は太陽光のノイズのため、概ね高度1kmから2kmである。各年、各観測サイトにおいてゾンデ観測を複数回実施し、水蒸気ラマンライダーの校正を行っている。2020年度は、長崎の観測を6月から9月まで、下甕島での観測を8月から10月までそれぞれ実施した。2021年度では、長崎および下甕島での観測を6月中に開始し、どちらも10月まで観測を継続する予定である。

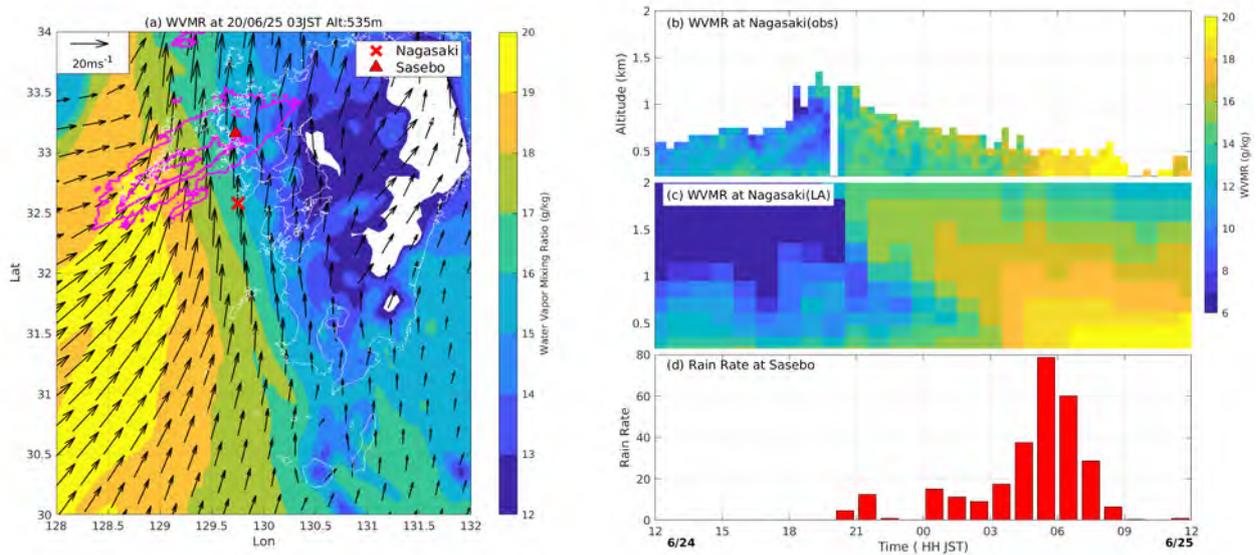


Figure 1: (a) WVMR (color) and horizontal wind (arrows) at 535 m asl estimated from local analysis provided by JMA at 03 JST June 25, 2020 with observed six-hour accumulated rainfall (magenta lines from 50 mm every 100 mm) from 00 JST June 25. (b) and (c) time-height plots of WVMR obtained from the RL observation at Nagasaki and LA, respectively. (d) hourly rain rate observed at Sasebo.

### 3. 結果と考察

#### 3.1 2020年6月25日の事例

6月24日から翌日にかけて長崎県に温暖前線が西から東へ通過し、五島列島から長崎県北部にかけて大雨が発生した。図1(a)は気象庁局地解析(LA)から得た6月25日03時における大気下層の水蒸気混合比および水平風、解析雨量から得られた6時間雨量(6月25日03時から09時まで)を示す。同図に示す通り、東シナ海から湿潤な下層インフローが九州西岸に流入している。この湿潤大気の流入は東進し、6月25日06時頃までに長崎の水蒸気ライダー観測点に到達した。この湿潤な下層インフローにより、五島列島の南海上で多数の積乱雲が発生しそれらが東進することにより、風上側で次々と積乱雲が発生するバックビルディング型の線状降水帯を形成した。この線状降水帯は6月25日の2時頃から8時頃まで6時間にわたって降雨をもたらし、6時間積算雨量で最大271mmに達する大雨となった。この事例では、長崎の水蒸気ライダーのみ観測を実施しており、その結果について示す。

図1bに長崎に設置した水蒸気ライダーで得た水蒸気混合比の時間高度断面を示す。本事例では、温暖前線面で低層雲が発生したため、得られた水蒸気プロファイルは雲底より低高度のみとなっている。図1cにLAから得られた長崎の水蒸気ライダー観測点における水蒸気混合比を示す。図1bと図1cは概ね整合しており、ライダー観測が問題なく実施できたことが確認できる。大気下層の水蒸気混合比は、6月24日の21時から上昇をはじめ、線状降水帯の形成に関連した湿潤なインフローがライダー観測点に到達後、6月25日8時頃には高度500mで20g/kgに達した。これまで数値シミュレーションの結果により、線状降水帯の発生には、大気下層の水蒸気が流入することが示されていたが、実際に湿潤な大気の下層に流入していることを観測により示した。本事例では線状降水帯の形成から数時間ほど遅れて、下層の水蒸気の増加が観測された。これはライダーの観測点が線状降水帯の南東側に位置し、線状降水帯の前半部分に関しては風上側にライダー観測点がなかったため(図1(a))、湿潤な下層インフローが線状降水帯の形成よりも少し遅れて観測されたと考えられる。

#### 3.2 2021年7月10日の事例

2021年7月9日から11日にかけて、日本海海上に停滞前線が存在し、南海上からの湿った大気が断続的に流入し、日本海沿岸や九州など各地で大雨が発生した。図2(a)に7月10日00時のLAから得た大気下層の水蒸気混合比・水平風および6時間の積算雨量を示す。同図に示す通り、下層では南西風が卓越しており19g/kgを超える湿潤な下層インフローが鹿児島県北部に流入している。LAの結果によると7月9日21時頃から6時間にわたりこの湿潤な大気の流入が継続している。この湿潤な大気の流入に伴い、下甕島の西方沖で積乱雲が次々と発生、その後東進し、バックビルディング型の線状降水帯を形成した。

図2b-2dに長崎および下甕島で観測された水蒸気混合比の鉛直プロファイルと紫尾山観測点の降水量を示す。図2(a)で示された通り、下甕島の観測点でも同様に7月9日の21時頃から水蒸気の増加が6時間間

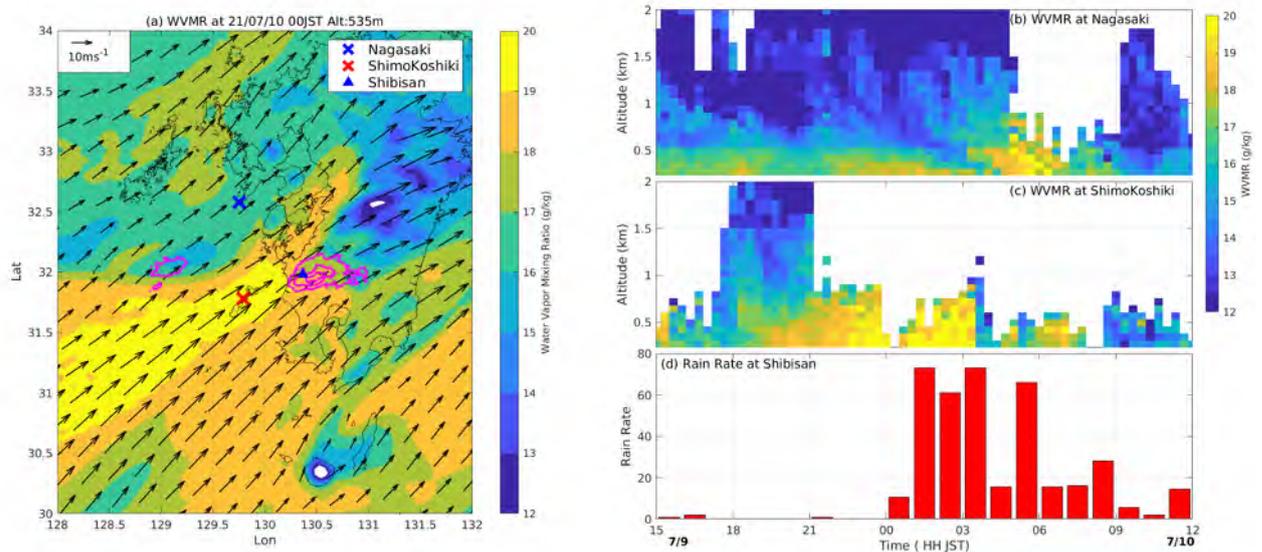


Figure 2 (a)WVMR (color) and horizontal wind (arrows) at 535 m asl estimated from local analysis provided by JMA at 00 JST July 10, 2021 with observed six-hour accumulated rainfall (magenta lines from 200 mm every 100 mm) from 00 JST July 10. (b) and (c) time-height plots of WVMR obtained from the RL observation at Nagasaki and LA, respectively. (d) Hourly rain rate observed at Shibisan.

続している。線状降水帯の風上側で下層水蒸気量の増加後、紫尾山で降雨が観測され始め、線状降水帯形成に至ったことが分かる。この事例は、線状降水帯の発生前に風上側の下層水蒸気が上昇することから、水蒸気ライダー観測を用いた線状降水帯の実況監視の可能性を示している。さらにこの線状降水帯発生前の水蒸気上昇は長崎の観測点では見られないことから、図 2(a)の通り、東シナ海からの湿潤な大気の流入は局所的な現象であることが示唆される。

#### 4. まとめ

我々の研究グループでは長崎および下甕島で 2020 年度から夏季に水蒸気ラマンライダー観測を実施している。これまで線状降水帯に関連する湿潤な下層インフローを 2 事例観測することに成功した。今後は水蒸気ライダーデータの同化実験を行い、そのインパクトについて検証を進めていく。

#### 謝 辞

研究の一部は JSPS 科研費 (19H01983) および内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」によって実施された。観測場所をご提供いただいた長崎市及び薩摩川内市にこの場を借りて謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) Y. Hirockawa, T. Kato, H. Tsuguti, and N. Seino: Identification and classification of heavy rainfall areas and their characteristic features in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 835-857 (2020).
- 2) K. Araki, T. Kato, Y. Hirockawa, and W. Mashiko: Characteristics of Atmospheric Environments of Quasi-Stationary Convective Bands in Kyushu, Japan during the July 2020 Heavy Rainfall Event, *SOLA*, **17**, 8-15 (2021).
- 3) S. Yoshida, S. Yokota, H. Seko, T. Sakai, and T. Nagai: Observation System Simulation Experiments of Water Vapor Profiles Observed by Raman Lidar using LETKF System, *SOLA*, **16**, 43-50 (2020).
- 4) T. Sakai, T. Nagai, T. Izumi, S. Yoshida, and Y. Shoji: Automated compact mobile Raman lidar for water vapor measurement: instrument description and validation by comparison with radiosonde, GNSS, and high-resolution objective analysis, *Atmos. Meas. Tech.*, **12**, 313-326 (2019).