

水蒸気連続観測のための波長 266 nm レーザーを用いた ラマンライダーの開発

鳥取裕作¹, 河野邑弥¹, 竹内栄治¹, 長谷川壽一¹, 矢吹正教²

¹英弘精機株式会社 (〒151-0072 東京都渋谷区幡ヶ谷 1-21-8)

²京都大学生存圏研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

A Raman Lidar with a 266 nm Laser for Continuous Water Vapor Profiling

Yusaku TOTTORI¹, Yuya KAWANO¹, Eiji TAKEUCHI¹, Toshikazu HASEGAWA¹
and Masanori YABUKI²

¹EKO INSTRUMENTS CO., LTD, 1-21-8 Hatagaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0072, Japan

²Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, Gokasyou, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

Abstract: To capture the predictive information of localized heavy rain or linear rainband is important in reducing water disasters. Water vapor profiling with a high temporal-spatial resolution is one of the most useful tools for understanding the atmospheric conditions. The observation system is expected to work well night and day. For that purpose, we developed a Raman lidar with a laser of wavelength 266 nm, which enables a continuous observation with a high S/N ratio throughout a day. In this study, the outline of the developed Raman lidar, its observation performance and the result of continuous observation for one year are reported.

Key Words: water vapor, Raman lidar, 266 nm, continuous observation

1. はじめに

局地的大雨や線状降水帯による災害被害を軽減するには、それらの予兆を早期に把握することが必要である。その方策の一つとして、雨滴が生成される前の水蒸気量を高い時空間分解能で観測し大気現象を理解することは有用である。従来のライダーでは、太陽放射の影響により昼間の性能が低下する場合があります。昼夜連続観測が可能なシステムが望まれている。本研究グループは大気境界層内の水蒸気の連続観測を目的とし、ソーラーブラインド領域である波長 266 nm のレーザーを用いたラマンライダーの開発を進めており、2017 年 11 月より 1 年間の連続観測を実施した。本発表では開発したライダーシステムの概要、観測性能と結果について報告するとともに、製品化に向けた今後の取組みの一端を紹介する。

2. 波長 266 nm レーザーの採用

ライダーの光源に波長 266 nm のレーザーを用いると、水蒸気の計測に必要な振動ラマン散乱光は波長 300 nm 以下に現れる¹⁾。この波長域の太陽放射は地表にほとんど到達しないので、背景光に起因する雑音の影響を受けにくく昼夜を問わず SN 比が高い観測が可能となる。一方、深紫外領域では対流圏オゾンによる光吸収の影響が無視できないため、オゾン補正を行なう必要がある²⁾。

3. ラマンライダー

開発したライダーの構成を図 1 に示す。波長 266 nm のレーザー、口径 200 mm の望遠鏡、分光検出部、光子計数とアナログ測定を行うデータ処理部等で構成される。分光検出部において、受信した散乱光は水蒸気計測のための振動ラマン散乱光(酸素分子・窒素分子・水蒸気分子)と、雲検出のためのミー散乱光に分けられる。距離分解能は高度範囲ごとに 30~150 m と設定され、時間分解能を 15 分としたときの測定可能高度は 150~1500 m 以上である。

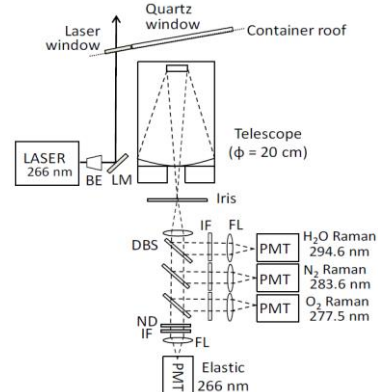


Figure 1. Schematic setup of water vapor Raman lidar. BE: beam expander, LM: laser mirror. FL: focusing lens; ND: neutral density filter; DBS: dichroic beam splitter; IF: interference filter; PMT: photomultiplier tube.

4. 水蒸気連続観測

ライダーは精密空調と除振装置を備えた小型コンテナ内に収納して、京都大学生存圏研究所・信楽 MU 観測所 (34.9°N, 136.1°E、標高 385 m) の敷地内に設置し、2017 年 11 月から 1 年間の連続計測を行なった。計測期間中、定期的にラジオゾンデとの比較観測を行ない、長期運用時のライダー観測性能の安定性を評価した。

1 年間の連続観測結果を図 2 に示す。図 2(a)はライダーで観測した水蒸気混合比、図 2(b)は GNSS 可降水量と 1 時間降水量である。大気境界層内の水蒸気混合比の季節変化が、連続観測により明瞭に示されている。観測期間中の気温変化は $-10^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ であったが、ライダーは安定的に稼働した。また、複数の大型台風の影響や震度 4 の地震を経験したが、小型コンテナ内での連続運転には影響しなかった。

夏季の降雨前後の観測例として、2018 年 8 月 11~20 日にラマンライダーによって得られた水蒸気混合比の鉛直分布と、自動気象観測装置で計測した地上の水蒸気混合比および気温の時間変化を図 3 に示す。夏季の強日射、高気温の環境においても水蒸気混合比を高度 1500 m まで定量的に導出できた。8 月 16 日には前線通過により、大気境界層内の水蒸気混合比が急激に変化する様子が捉えられている。

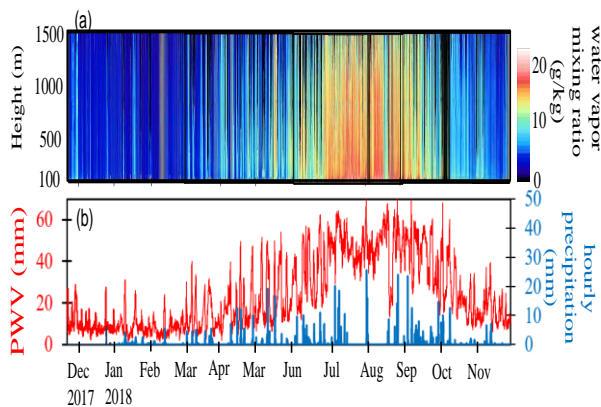


Figure 2. (a) Time-height cross section of water vapor mixing ratio profiles observed by the Raman lidar and (b) time series of precipitable water vapor by using a GNSS meteorology technique and hourly precipitation from November 24, 2017 to November 29, 2018.

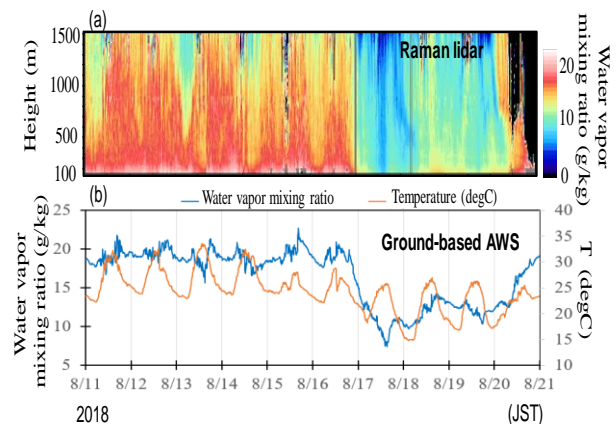


Figure 3. Time series of (a) water vapor profiles by Raman lidar and (b) water vapor mixing ratio and temperature by ground-based AWS from August 11–20, 2018.

5. まとめと今後の展開

波長 266 nm のレーザーを光源とするラマンライダーを開発し、1 年間にわたる水蒸気プロファイルの連続観測を実施した。また、装置性能の安定性と信頼性を併せて確認した。今後は、異なる気象条件と環境条件における装置性能の確認を行ない製品化に向けた開発を進める予定である。その一環として、都市域における実証実験のための新たな水蒸気ライダー観測点を東京都渋谷区に構築している (図 4)。



Figure 4. 266 nm Raman lidar Tokyo observatory.

6. 参考文献

- 1) ASTM G173-03, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org (2012).
- 2) Renaut, D., Pourny, C., and Capitini, R., Opt. Lett., 5, 232-235 (1980).