

UV-C ラマンライダーによる水蒸気の昼夜連続計測

Daytime water vapor profiling of UV-C Raman lidar

矢吹正教¹⁾、上杉拓磨¹⁾、塚本誠²⁾、長谷川壽一²⁾、岡谷 良和¹⁾、津田敏隆¹⁾
M. Yabuki¹⁾, T. Uesugi¹⁾, M. Tsukamoto²⁾, T. Hasegawa²⁾, Yoshikazu Okatani¹⁾, and T. Tsuda¹⁾

- 1) 京大生存圏研究所 Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University
- 2) 英弘精機株式会社 EKO INSTRUMENTS. CO., LTD

Abstract

It is projected that localized extreme weather events could increase due to the effects of global warming, resulting in severe weather disasters. Understanding water vapor's behavior in the atmosphere is essential to understand a fundamental mechanism of these weather events. We have developed a water vapor Raman lidar using a laser at a wavelength of 266 nm. This wavelength is in the ultraviolet range below 300 nm known as the "solar-blind" region, because practically all radiation at these wavelengths is absorbed by the ozone layer in the stratosphere. It has the advantage of having no daytime solar background radiation in the system.

1. はじめに

気象水災害の要因となる局所的で時間変動が激しい大気現象の理解のためは、高い時空間分解能での気温と水蒸気の定量計測が欠かせない。回転・振動ラマン散乱計測を基礎としたライダー手法は、気温・水蒸気の時空間変動の把握に有効である。一方で、ラマン散乱信号を用いた計測では、夜間は高精度の計測ができるものの、背景光雑音の影響が大きくなる日中は観測精度が悪くなるという課題があった。そこで、本研究グループでは、気温・水蒸気の昼夜連続計測を指向し、ソーラーブラインド領域となる波長 266 nm の UV-C レーザーを用いたラマンライダーの開発を進めている。開発要素のうち気温計測の概要¹⁾については、第 32 回レーザーセンシングシンポジウムで紹介しているため、ここでは、UV-C ラマンライダーによる水蒸気計測について報告する。

2. UV-C ラマンライダーの特徴とシステムの概要

図 1 に、UV-C ラマンライダーの概要を示す。本システムは、大気境界層内の気温と水蒸気の高精度観測を目的としている。光源には波長 266 nm の Nd:YAG レーザー (Continuum, Surelite III-10; パルスエネルギー: 100mJ, 繰返し周波数: 10Hz) を使用して、口径 350 mm の望遠鏡 (Raymetrics) でラマン散乱光を受光する。偏光で分岐した 2 成分の散乱光のうち、弾性散乱の少ない成分を回転ラマンスペクトル計測 (気温計測) に、多い成分を振動ラマン散乱計測 (水蒸気計測) に使用する。気温は、分光器と光検知器アレイによる回転ラマンスペクトルの計測より導出する¹⁾。純回転ラマン散乱

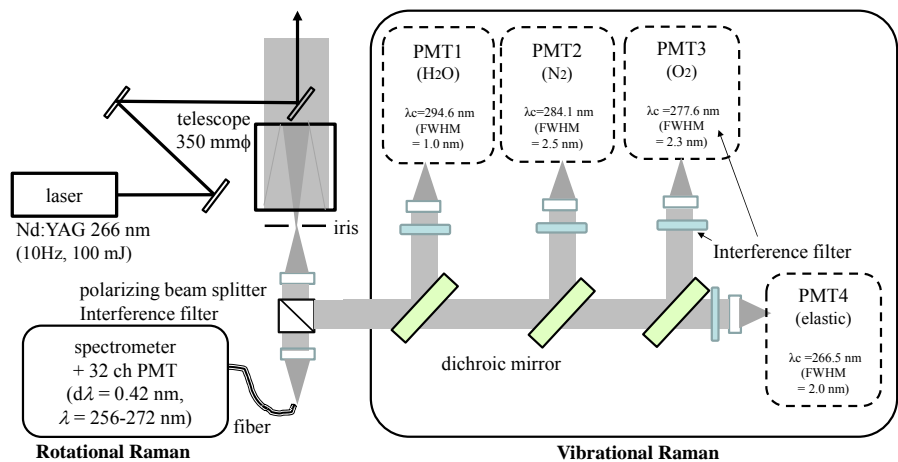


Figure.1 Schematic sketch of UV-C Raman lidar setup for continuous monitoring of water vapor and temperature.

光のストークス成分および反ストークス成分の両方を計測する本手法は、従来の狭帯域干渉フィルターを組み合わせて分光計測する方法と比較して、小型でありながらレーザーや受光系の波長安定性能に対する誤差を低減できることが期待できる。

水蒸気は、3波長の振動ラマン散乱 (H_2O : 294.6 nm、 N_2 : 283.6 nm、 O_2 : 277.5 nm) 計測から求める。波長 355 nm や 532 nm を光源とする水蒸気ライダーでは、 H_2O と N_2 の2波長の振動ラマン散乱計測のみで良いが、UV-C 領域を用いる際には光路中のオゾン吸収による影響が無視できない。そのため、対流圏では組成比がほぼ一定と仮定できる N_2 、 O_2 の振動ラマン散乱信号を用いて、オゾン吸収の補正項を求める必要がある。また、雲やエアロゾルによる散乱がラマン計測に与える影響を調べるため、弾性散乱を計測するチャンネルも用意した。受信光は、光電子増倍管 (浜松ホトニクス, R9880U-110) で電気信号に変換された後、4ch のトランジェントレコーダ (Licel, TR20-16bit) を用いてデータを収集した。水蒸気混合比を求める際の校正係数は、ラジオゾンデとの同期観測より求めた。

3. UV-C ラマンライダーとラジオゾンデから得られた水蒸気混合比の比較

2015年7月15日に、京都大学生存圏研究所の信楽 MU 観測所 (34.9°N, 136.1°E) にて、UV-C ラマンライダー (校正係数は別の時間の観測で決定) とラジオゾンデ (明星, RS-11G) から得られた水蒸気混合比の比較実験を実施した。一例として、16:05~16:15 の観測例を図2に示す。ラジオゾンデ放球前後の大気状態は、境界層上部となる高度 1000 m 付近にパッチ状の雲が散在しており、地上で計測したオゾン濃度は 35~40 ppb であった。各振動ラマン散乱と弾性散乱の信号 (図2(a)) から、雲が観測視野内に入っても、ラマン信号への弾性散乱光の漏れ込の影響は小さいことが示唆された。また、これらのラマン信号から求めた水蒸気混合比は、近傍付近 (高度 600 m 以下) と雲が出現した高度 (1000~1200 m) 以外では、ラジオゾンデで計測したプロファイルと類似した傾向を示した。近傍付近の誤差の増大は、ND フィルターの設定が不十分で窒素ラマン信号が飽和ぎみになった影響と考えられる。また、雲がある高度では、雲の無い (エアロゾルのみの) 状態とは信号間の波長依存性が異なることが、水蒸気混合比の見積もりに影響した可能性がある。今後は、オゾンが高濃度の場合や、黄砂飛来時など通常とは光学特性が異なるエアロゾル濃度が上昇したとき、水蒸気混合比の推定値にどれだけ影響があるのかを、理論計算や観測実験を通じて定量的に見積もる必要がある。

【参考文献】

- 1) 矢吹正教, 上杉拓磨, 吉川賢一, 塚本誠, 長谷川壽一, 津田敏隆: 気温・水蒸気の昼夜連続計測のためのUV-Cラマンライダーの開発, 第32回レーザーセンシングシンポジウム (飛騨高山), P-16, 2014.

【謝辞】

本研究の一部は、公益財団法人新技術開発財団「第94回新技術開発助成」の一環として行われた。

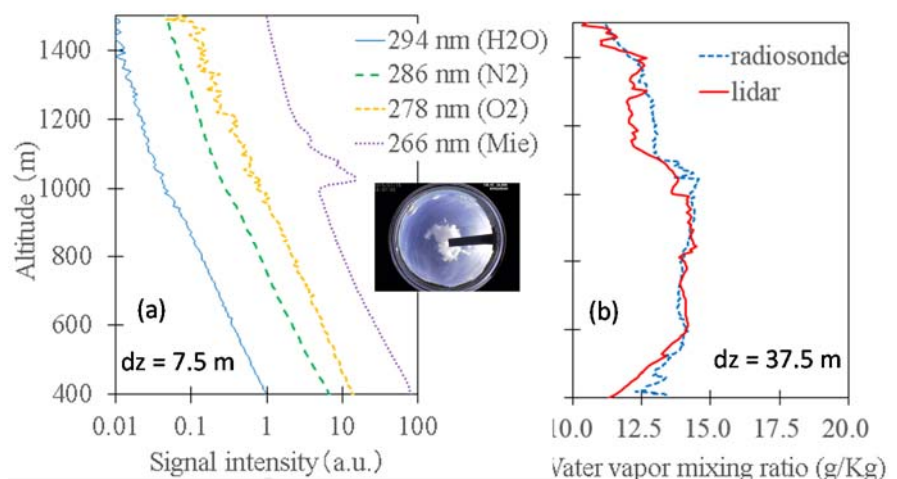


Figure 2 (a) Profiles of the Raman and elastic scattering signals from the UV-C Raman lidar at Shigaraki, Kyoto, at 16:05 - 16:15 JST on July 15, 2015. (b) Water vapor mixing ratio profiles from the UV-C Raman lidar and the radiosonde. Height resolution is 7.5 m for lidar signals and 37.5 m for water vapor mixing ratio.