

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2018

課題番号：26709042

研究課題名(和文) 居住空間における浮遊粒子状物質分布の可視化

研究課題名(英文) Visualizing the spatio-temporal distribution of aerosol particles in the living space

研究代表者

矢吹 正教 (Yabuki, Masanori)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号：80390590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人の生活に密接に関係する居住空間の浮遊粒子状物質(エアロゾル)の時空間変動を、リモートセンシングにより精測するための高距離分解能ライダーを開発した。新たに考案した受光系により、レーザー光軸と望遠鏡視野の重なりの影響を受ける近傍での定量計測を可能とし、最良で18.8 cmの距離分解能でのエアロゾル計測に対応する。講義室内、林内、草地上の小空間の大気観測や、走行する自動車排気の計測を通じて、開発したライダーの有用性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した、浮遊粒子状物質分布の空間分布を近距離から計測できる高距離分解能ライダーは、生活環境、建築環境、都市環境、災害対応などの様々なスケールや環境条件の観測に適用できる。観測結果を大気汚染対策や都市計画に反映することで、クオリティ・オブ・ライフ(QOL)の向上に貢献する。また、従来の大気ライダー手法の機能を有しながら、近傍計測の課題を解決する新しい光学系は、光学技術の発展に寄与する。

研究成果の概要(英文)：We developed a high-range resolution lidar for observing the detailed aerosol spatio-temporal distribution in the living space. The constructed lidar system can observe aerosol profiles with a maximum range resolution of 18.8 cm, including the near range by the new optical receiving system that can overcome the incomplete overlap between the laser beam and field of view of the receiving telescope. We have demonstrated the potential of the proposed lidar through the observations in the presence of the smoke in the room, aerosol distributions around a forest canopy, and exhaust gas from a diesel truck.

研究分野：大気物理学

キーワード：浮遊粒子状物質 エアロゾル 空気環境 ライダー 高距離分解能計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では、環境基準としてSPM(粒径10 μm以下の粒子)とPM_{2.5}(粒径2.5 μm以下の粒子)規制があり、加えて自動車NOx・PM法が施工され大気汚染状況は改善したと言われている。一方で、文部科学省の学校保健統計によると、全国の小学生の気管支喘息罹患率は、1970年に0.4%であったものが2007年には約10倍まで上昇したことを示している。PM_{2.5}の越境汚染に関する大気質問題が注目されているが、健康影響を正しく評価するためには、平均で一日の約8割以上を過ごす屋内の空気質を含む人間生活圏に近い領域の微粒子(エアロゾル)の動態を理解する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、人の生活に密接に関係する居住空間や地表面付近のエアロゾルの時空間変動をリモートセンシングにより可視化するシステムを新開発する。時空間変動の激しいエアロゾルの立体観測にはライダー手法が適しているが、従来のエアロゾルライダーは、数百メートルから十数キロメートルの観測領域を対象とする比較的広域の観測に用いられてきた。一方で、レーザー光軸と望遠鏡視野の重なりの影響を受ける近傍計測には課題があり、幹線道路の周辺、高層ビル群の間、建物内などの小空間のエアロゾル分布計測への適用が難しかった。本研究では、近距離計測に対応した高距離分解能ライダーシステムを開発し、人間生活圏内のエアロゾル分布を高い時空間分解能で計測することを目的とする。

3. 研究の方法

観測対象や領域に合わせて柔軟に対応するため、複数の送信系、受光系、走査機構、信号処理装置を開発し、各コンポーネントの機能を選択して使えるようなライダーシステムを構築した。

送信系には、紫外～近赤外に至る波長範囲を任意に選択してレーザーを射出できる光パラメトリック発振による波長可変レーザーと、低出力・高繰返し短パルスレーザーの2種類を採用した。前者は、粒子サイズに感度のあるエアロゾル散乱の波長依存性観測に、後者は高距離分解能観測・アイセーフ性の要求される場所での観測に適している。受光系は、市販の口径15 cmのニュートン型反射望遠鏡を使用したシステムと、計測領域に合わせた設定が容易な単焦点の口径10 cmレンズを組み合わせたガリレオ式望遠鏡の2種類を使用した。また、近傍観測に対応のため、複数のウェッジプリズム群により受光領域を変えることができる新しい発想の受光系を開発した。

信号処理装置には、「回折格子型分光器」と「アレイ型光電子増倍管」を組み合わせた最大32波長同時計測が可能な光検出器を新たに採用した。フォトンカウンタのサンプリングレートは1.6 GHzである。レーザーのパルス幅も考慮すると、このライダーシステムでは、1パスあたり最良で距離分解能18.8 cmでのエアロゾル分布が時間分解能0.1秒から計測できる。

計測方向の走査は、ライダーを据え付けた架台ごと動かす方式と、ライダーは固定してその視線方向に置いたミラーを回転する方式の2通りから選択できる。前者は室内など屋根がある場所や短時間の観測に、後者は車内・室内にライダーを置いて屋外の大気を連続計測するような場合に適している。屋内走査では、壁からの強い散乱が分光器内での迷光となる。とりわけ、蛍光や燐光を発する壁材や塗料が使われている場合は、信号に時間的な遅れが生じて観測精度を下げる要因となる。そこで、屋内観測では、受光系の観測視野方向を変えることで迷光の要因となる強い散乱が分光器に入射しないよう工夫した。

開発したライダーの性能を評価するため、検知距離の誤差の見積りや、およびエアロゾルを直接計測する装置(光学式粒子計数機:OPCなど)との比較実験を実施した。エアロゾルの種類が大きく変化しないような条件下での両測定値の相関係数は、約0.7となった。低出力・高繰返しの短パルスレーザーを使う場合、走査機構を含めて430 Whポータブル電源で約6時間の連続計測が可能であり、短期的な観測では電源設備を考慮せず運用することができる。

4. 研究成果

開発したライダーを用いて、講義室や廊下などの屋内（10 m 以内の閉鎖空間）森林樹冠付近（高度範囲 0.5-100 m）等、多様な場所でのエアロゾル空間分布計測に適用してきた。ここでは、成果の一部として自動車排気の観測と地表付近のエアロゾル観測について紹介する。

(1) 講義室におけるエアロゾル計測

講義室内でのエアロゾルの拡散過程を、開発したライダーにより連続で捉える実験を実施した。走査は、ライダーを据え付けた架台ごと動かして観測方向の方位角・仰角を動かす方式を採用した。図1に、講義室中央に置いた線香から出る煙を計測した減衰後方散乱係数の空間分布を示す。単一発生源から放出されたエアロゾルが閉鎖空間で輸送・拡散していく様子が捉えられた。

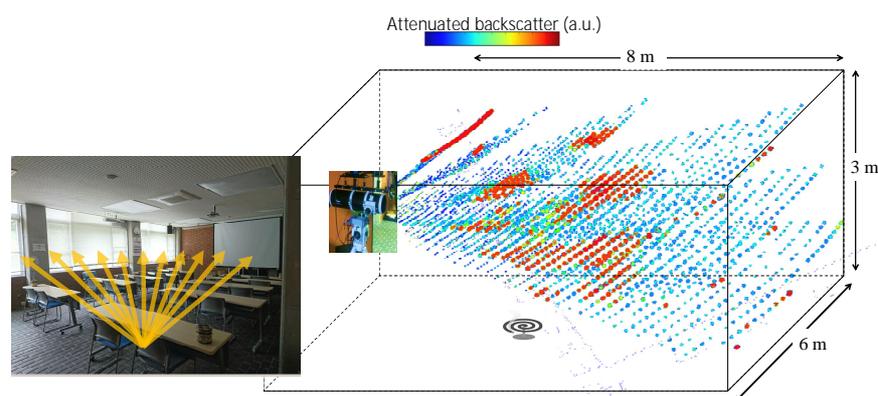


図1 開発したライダーにより計測されたエアロゾル減衰後方散乱の3次元分布（視線方向の距離分解能：18.8 cm）、講義室中央におかれた線香からの煙を検出した。

(2) 自動車排気の観測

ディーゼルエンジンの2tトラックをライダーの観測方向と直行するよう走行させ、その排気を観測した。マフラーに合わせて、地面から0.2 mの高さにレーザー照射が行われるようにライダーを設置した。ライダー計測の時間分解能は1秒、距離分解能は18.8 cmとした。図2に観測概要と計測例を示す。トラック通過後には、マフラー位置から高濃度のエアロゾルが排出され、その後、拡散していく様子が捉えられた。このケースでは、トラックが通過してから40秒が経過するまで、自動車排気によるエアロゾルの滞留が観測された。

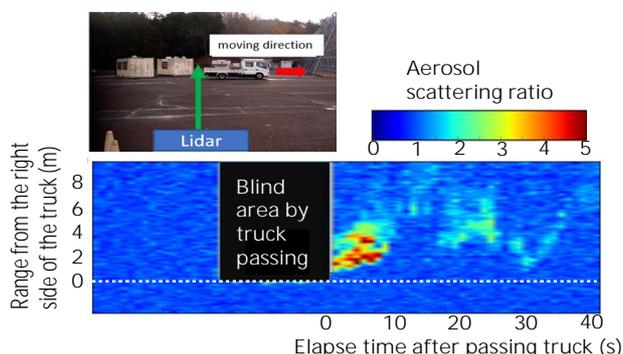


図2 (上)自動車排気計測実験の概要。(下)ライダーで計測したトラック通過前後のエアロゾル散乱比距離分布の時間変化（距離分解能 18.8 cm、時間分解能 1秒）、縦軸0 mの白線がトラック右側面の位置。黒塗り領域はトラック通過を示す。

(3) 地表付近のエアロゾル観測

三浦半島の平らな草地において、大気微量成分の沈着過程などの理解に重要となるエアロゾル数濃度鉛直分布の直接計測とライダー走査計測との比較観測を行った。ライダーは、直接計測を行う観測檣から 37 m 離れた場所に地上から 0.6 m の高さに設置し、走査角 20 度の範囲のミラー走査から鉛直断面計測を行った。少し高い位置にライダーを置いて下方方向に走査することで、草丈の異なる草地など多少起伏がある場所でも、地表付近からの計測に対応できる。1 走査あたりの時間は約 50 秒であり、水平・垂直方向に 40 cm × 40 cm の平均処理を行ってライダー信号を解析した。

一例として、2019 年 1 月 11 日 2:30–3:00 にかけて観測されたエアロゾル鉛直分布を図 3 に示す。この時間帯は風が弱く、また観測檣の気象観測より導出した温位の鉛直分布や熱赤外カメラで計測した地表面温度分布が大きく変化していた。ライダーによるエアロゾル鉛直断面観測では、地面からの高さ数メートル内において、短時間で起こるエアロゾル濃度の高い層と低い層の入れ替りや混合の様子が捉えられた。

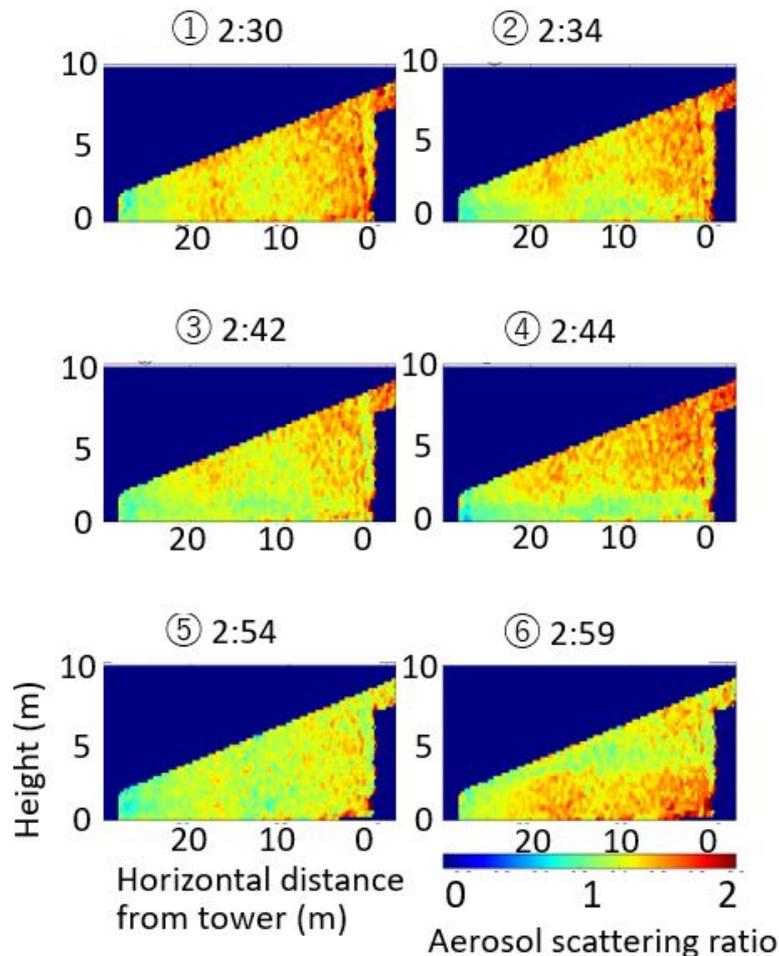


図 3 2019 年 1 月 11 日 2:30–2:59 にライダーで計測された三浦半島の平坦な草地上のエアロゾル鉛直断面分布（時間分解能 50 秒、空間分解能 40 cm × 40 cm）。

(4) 今後の展望

汎用性を高めるための光軸調整の簡単化・低コスト化や、多波長観測の特長を活かした微量気体成分の同時検出などの高機能化が考えられる。

（謝辞）

4-(2)の観測は電力中央研究所横須賀地区敷地内で行った。また観測檣で行われた直接観測は、独立行政法人環境再生保全機構環境研究総合推進費 5-1601 により実施された。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

Luce, H., L. Kantha, M. Yabuki, H. Hashiguchi, Atmospheric Kelvin Helmholtz billows captured by the MU radar, lidars and a fish-eye camera, *Earth, Planets and Space*, 70, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0935-0>

Yabuki M., M. Matsuda, T. Nakamura, T. Hayashi, and T. Tsuda, A scanning Raman lidar for observing the spatio-temporal distribution of water vapor, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 150–151, 20–30, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.10.013>

[学会発表](計19件)

矢吹正教, 北藤典也, 高距離分解能ライダーによる小空間のエアロゾル分布計測, 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会(名古屋), 2018年7月31日–8月2日.

北藤典也, 矢吹正教, 高距離分解能マルチスペクトル検出器を用いたミー・ラマンライダーの開発, 第36回レーザーセンシングシンポジウム(茨城), 2018年9月6–7日.

Kitafuji, F. and M. Yabuki, High spatial resolution aerosol lidar for observing the aerosol distribution within and above the forest canopies, 日本地球惑星科学連合2018年大会(千葉), 2018年5月20–24日.

H. Kakiyama, M. Yabuki, F. Kitafuji, T. Tsuda, M. Tsukamoto, T. Hasegawa, H. Hashiguchi, and M. Yamamoto, New calibration technique for water-vapor Raman lidar combined with the GNSS precipitable water vapor and the Meso-Scale Model, (New Orleans), Dec. 11–15, 2017.

Yabuki, M., K. Miura, and M. Shiobara, Aerosol vertical profiles near Mt. Fuji using a micropulse lidar, Symposium on Atmospheric Chemistry and Physics at Mountain Sites 2017 (Shizuoka), Nov. 6–7, 2017.

H. Kakiyama, M. Yabuki, N. Ito and T. Tsuda, Water vapor profiles observed from Raman lidar calibrated with GNSS precipitable water vapor, International Symposium on Earth-Science Challenges 2017 (Kyoto), Oct. 1–5, 2017.

柿原逸人, 矢吹正教, 津田敏隆, 塚本誠, 長谷川壽一, GNSS可降水量とメソ数値予報モデルを用いた水蒸気ラマンライダーの校正手法の開発, 第35回レーザーセンシングシンポジウム(東京), 2017年8月31日–9月1日.

M. Yabuki, F. Kitafuji and T. Tsuda, High Spatial Resolution Aerosol Lidar with a Multispectral Detector, The 10th Asian Aerosol Conference (Korea), Jul. 3–6, 2017.

F. Kitafuji, M. Yabuki, H. Kakiyama, and T. Tsuda, High spatial resolution Lidar for observing the cloud optical properties with multi-spectral Lidar detector, 2nd GEOLab-RISH Joint workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing (Kyoto), Mar. 6–9, 2017.

M. Yabuki, M. Tsukamoto, Y. Hasegawa, H. Kakiyama, and T. Tsuda, Raman lidar for profiling atmospheric water vapor both in daytime and nighttime, 2nd GEOLab-RISH Joint workshop on GNSS and SAR Technologies for Atmospheric Sensing (Kyoto), Mar. 6–9, 2017.

Okatani, Y., M. Yabuki, M. Tsukamoto, T. Hasegawa, and T. Tsuda, Daytime temperature profiling of UV rotational Raman lidar using a multispectral detector, AGU Fall Meeting 2015 (San Francisco), Dec. 14–18, 2014.

Yabuki, M., K. Takahashi, K. Matsuda, T. Tsuda, Aerosol size distributions within and above a deciduous forest in suburban Tokyo, Japan, The 9th Asian Aerosol Conference (kanazawa), Jun. 24–27, 2015.

Liu, Y., M. Yabuki, T. Tsuda, T. Uesugi, Aerosol Size Distribution Determined From Multiple Field-Of-View Lidar, AGU Fall Meeting 2014 (San Francisco), Dec. 15–19, 2014.

Uesugi, T., M. Yabuki, T. Tsuda, Y. Liu, Development of a 266 nm Raman lidar for profiling atmospheric water vapor, AGU Fall Meeting 2014 (San Francisco), Dec. 15–19, 2014.

矢吹正教, 高橋けんし, Y. Liu, 吉川賢一, 上杉拓磨, 津田敏隆, 林泰一, リモートセンシ

グおよび直接計測を組み合わせた大気微量物質の観測, 第 8 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム(京都), 2014 年 9 月 16-17 日.

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(岐阜), 2014 年 9 月 4-5 日.

他 3 件

〔図書〕(計 1 件)

日本エアロゾル学会 畠山史郎・三浦和彦 編著(分担執筆), みんなが知りたい PM_{2.5} の疑問 25, 成山堂出版 (ISBN-978-4-425-51371-0), 2014.

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

該当なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：北藤典也

ローマ字氏名：KITAFUJI, Fumiya