

近距離計測に対応した車載型ライダーによる 高層ビル街上空のエアロゾル立体分布計測

矢吹 正教¹, 藤井 一輝¹, 三浦 和彦², 森 樹大², 速水 洋³, 久世 宏明⁴, 齊藤 保典⁵

¹京都大学生存圏研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

²東京理科大学理学部 (〒162-8601 新宿区神楽坂 1-3)

³早稲田大学国際理工学センター (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3 丁目 4-1)

⁴千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

⁵信州大学学術研究院工学系 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

Aerosol spatial distributions over high-rise buildings observed by a mobile vehicle lidar for near-range detection

Masanori YABUKI¹, Kazuki FUJII¹, Kazuhiko MIURA², Tatsuhiro MORI², Hiroshi HAYAMI³, Hiroaki KUZE⁴, and Yasunori SAITO⁵

¹Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011

²Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-8601

³Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo, 169-8555

⁴Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

⁵Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

Abstract: Understanding the local behavior of atmospheric constituents in urban areas is vital for assessing and monitoring air quality. Atmospheric pollutants in high-rise buildings show inhomogeneous spatial distributions. A mobile vehicle lidar is a suitable platform that can compensate for the deficiencies of ground-based in-situ and remote sensing observations. To achieve the continuous monitoring of atmospheric aerosols with high spatio-temporal resolutions, we develop the mobile vehicle lidar for near-range detection equipped with a system that rapidly halts the laser emission when an overpass is detected in the travel direction. In this study, we present the overview of our mobile vehicle lidar system as well as the preliminary results on the spatio-temporal aerosol distributions by the traverse observations in urban area.

Key Words: mobile vehicle lidar, near range measurements, aerosol spatial distributions

1. はじめに

従来のリモートセンシングや地上計測では把握が難しい局所的なエアロゾル分布の立体構造の可視化を目的として、都市部で運用可能な車載型ライダーの開発を行った。ライダーは、レーザー光軸と望遠鏡視野の重なりの影響を受けるため、近傍計測に課題がある。そこで、本グループではウェッジプリズム群を付加した望遠鏡による近距離・高距離分解能計測用のライダーを提案し、屋内や草地上数メートル内のエアロゾル分布の計測に適用してきた^{1,2)}。車載ライダーは、この近距離計測対応のシステムを基に構築するため、高層ビル街に囲まれた街区内の汚染物質分布を含めた観測が可能となる。ここでは、車載ライダーの概要および東京で実施した試験観測の初期解析結果を示す。

2. 車載ライダーの概要

図1に、車載ライダーの概要を示す。ライダーの光源として、波長 355 nm、532 nm の CryLaS 社製のパルス幅約 1 ns のレーザーを設置した。ただし、今回の試験観測では射出点における単位面積あたりのパルスエネルギーが「最大許容露光量 (JIS C 6802)」と比べて 2 桁小さい波長 355 nm レーザーのみを用いた。さらに、車が下を通過する陸橋など、道路横断構造物上にいる人へのレーザー照射を避ける機構を追加した。この機構では、0.1 秒ごとに 360 度面走査を行う障害物検知ライダーにより進行方向上空の障害物を検知し、ビームシャッターで物理的にレーザー射出を停止させることができる。評価実験では、検知領域内の 16 m 先に障害物が通過してからビームシャッターを閉じるまでの遅延時間は、226±51 ms (最大で 316 ms) であった。これは、高さ 5 m の陸橋を時速 50 km/s で通過する場合に、その約 8 m 以上手前でレーザー射出を止めることに対応する。

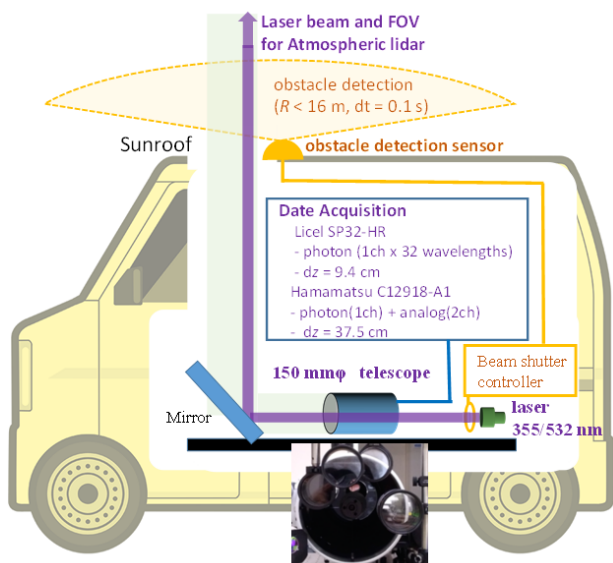


Fig.1 Schematic setup of a mobile vehicle lidar in the car with a sunroof.

検出部・データ処理部は、観測対象に応じて2種類から選択できるようにした。1つ目は、サンプリングレート 1.6 GHz のフォトンカウンタ (Licel SP32-HR) であり、最大で32波長の同時計測が可能である。2つ目は、サンプリングレート 400 MHz でアナログ計測 2ch とフォトン計測 1ch の同時計測ができるデータ収集モジュール (Hamamatsu C12918-A1) と専用の光電子増倍管から構成される。前者はラマン散乱・蛍光などの多波長計測に、後者は広いダイナミックレンジが要求されるような観測に適している。また、航空機用センサに提案された光学系³⁾を参考に、望遠鏡の前に複数の小型ウェッジプリズムを置いたライダー用光学系を構築し、重なり関数補正後の近傍可測距離を最良で望遠鏡から2 mまで近づけた。評価用の車載ライダーでは、遠方の信号強度とのバランスを考慮し、近傍可測距離を8 mに設定した。

車の振動に対応するため、レーザー・望遠鏡およびサンルーフ下の打ち上げ用ミラーは、連結した光学定盤上に固定した。その他、エアロゾル粒子数濃度を計測する OPC (Rion KC52)、道路や建物表面の温度計測用のサーマルセンサ、GPS を搭載した。これらの装置は、小型のバッテリーで数時間～半日運用できる。

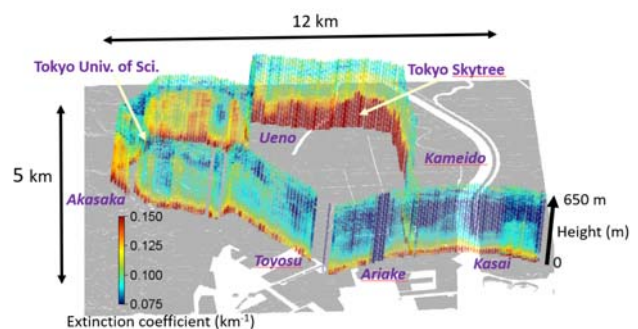


Fig. 2 Aerosol extinction coefficient at $\lambda = 355 \text{ nm}$ along with a travel path around Tokyo bay area at 6:27–7:55 JST on July 3, 2020.

3. 東京における試験観測

車載ライダーの性能評価を目的として、高所での大気観測点 (東京スカイツリー (墨田区) : 458 m、320m、東京理科大学 (新宿区) : 16 m、59 m) を含む東京湾周辺のルート上で観測を行った。信号積算時間は1秒に設定したが、データ保存等の処理に時間がかかり、実際は約1.8秒ごとの計測となった。信号は高度100 mまでは0.375 m、それ以降は1.875 mに平均化し、 $S_1=50 \text{ sr}$ を仮定して Fernald 法を用いて計算した。なお、1秒積算の信号ではエアロゾルフリーとなる高度域からの計算ができない。車載した OPC 計測値より推定した消散係数を近傍の拘束条件として解くことも可能であるが、初期解析では高度1000 mの消散係数が 0.01 km^{-1} であると仮定して計算した。図2に、7月3日6:27–7:55のエアロゾル消散係数の空間分布を示す。場所だけでなく時間的な変化も含まれるが、境界層高度および消散係数の値が海側で低く、内陸部で高くなるような傾向が見られた。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 26709042・19H04238、および京都大学生存圏研究所ミッション研究 5-1 の助成を受けました。

参考文献

- 1) 北藤典也, 矢吹正教, 第36回レーザーセンシングシンポジウム(水戸), 2018.9.6-7.
- 2) 矢吹正教, 北藤典也, 速水洋, 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会 (広島), 2019.5-6.
- 3) Fraczek, M., A. Behrendt, and N. Schmitt, Applied optics, 51(2), 148-166, 2012.