

多波長ラマンライダーによる対流圏エアロゾルの観測

Observations of Tropospheric Aerosols by Multi-wavelength Raman Lidar

村山 利幸

Toshiyuki Murayama

東京商船大学商船学部

Tokyo University of Mercantile Marine

Faculty of Mercantile Marine

Abstract: We have newly developed a UV-Raman lidar system which primary laser wavelength is 355 nm besides the visible Raman lidar system which primary laser wavelength 532 nm. Thus we are aiming at comprehensive characterization of aerosol optical properties on a layer-by-layer basis from the data set of three backscatter coefficients (355, 532, 1064 nm), two extinction coefficients (355, 532 nm), one depolarization ratio (532 nm) and water-vapor mixing ratio. Here we present preliminary results in the early phase of the multi-wavelength Raman lidar observations over Tokyo.

1. はじめに

東京商船大学 (35.66°N, 139.80°E) では、従来より大気境界層や黄砂などを対象とし、ライダー観測をサンフォトメーターなどの放射計やオプティカルパーティクルカウンター(OPC)などの地上エアロゾル測器と組み合わせた複合的な対流圏エアロゾルの観測を行ってきた[1, 2]。ライダーでは多波長化、ラマンチャンネルの付加により、より詳細なエアロゾル光学的特性や水蒸気による影響を観測することが可能である。エアロゾルの性格付けや放射収支に関連する微物理量を求めるためにはこのようなライダーの高機能化は必須である[3, 4]。最近、既存のNd:YAGレーザーを用いた532, 1064nmの2波長ラマンライダーに加え、355nmを用いた紫外ラマンライダーシステムを構築し、定常的な観測が可能になったので、その初期の観測結果について報告する。

2. 紫外ラマンライダーの開発

今までの東京商船大学のライダーシステムでは、1台のNd:YAGレーザーと複数の受信望遠鏡を用いた532nmでのミー・偏光・ラマン(N₂, H₂O)ライダー観測と1064nmでのミーライダー観測を行ってきており、532nmでの黄砂エアロゾルの典型的な粒子偏光解消度や消散係数-後方散乱係数比(ライダー比)などを得てきた[5, 6]。さらにもう一台のNd:YAGレーザーを用いて、よりラマン散乱効率の高い第3高調波の355nmの紫外レーザー光を用いたラマンライダーシステム(ミー・レーリー(355nm), N₂ラマン(387nm), H₂Oラマン(408nm)の各受信チャンネルを持つ)を開発し、既存のライダーシステムに併設した。主な仕様をTable 1に示す。観測波長の分離はダイクロミックミラー2枚により、ラマン散乱光の集光効率を極力下げることなく行なっている。但し、ラマンライダー観測は可視、紫外共に夜間のみ可能である。窒素分子からのラマン信号は十分信号が強いので光検出器である光電子増倍管のアナログ法と単一光子計測法を併用している。2つのライダーシステムは同期した計測が可能である。

3-1. 観測事例1: 森林火災エアロゾル(2002年8月)

2002年8月20日から22日にかけて、上空4km~10km広く分布するエアロゾル層が見られた。この層はやや偏光解消度を生じているものの黄砂よりは小さく、また衛星センサーSeaWiFSのRGB画像でも白いストリークとなって認められ、黄砂とは異なるエアロゾル層と思われた。19日に台風13号が関東の南海上を北東進し通過後、夏季としては例外的に本州は大陸方面からの乾燥し

Laser Wavelength / Model	355nm / GCR-150-10 (Spectra Physics)
Pulse Energy / Width	200 mJ (max.) / 10 ns
Repetition Frequency	10 Hz
Diameter of Telescope / Model	355 mm / Celestron Schmidt-Cassegrain
Field of View of the receiver	0.5~3 mrad variable
Detection channels, Filter Spec. (Center wavelength / FWHM)	Mie-Rayleigh: 354.8nm / 0.8 nm
	N ₂ Raman: 387.0 nm / 3.3 nm
	H ₂ O Raman: 407.6 nm / 1.1 nm

Table 1. Specification of UV-Raman lidar system at Tokyo University of Mercantile Marine.

た大気に覆われた。Fig. 1に20日の2028~2127JSTのライダープロファイルを示す。後方流跡線解析からは、エアマスは8/17-18にはバイカル湖からモンゴルへ到達する。従って観測されたエアロゾルは、この頃活発であったロシア及びモンゴル方面での森林火災起源のスマークであると考えられる。館野のラジオゾンデ観測から、このエアロゾル層は若干の水蒸気を含むものの相対湿度は20%以下であり乾燥していた。このときのライダー観測は3波長ミー、1波長偏光(532nm)、1波長ラマン(532nm)で行なったが、低層雲の出現のため有効な観測時間が短く、窒素分子からのラマン散乱プロファイルから十分なS/Nで消散係数分布を得られなかったため、4.9km~9.2kmのエアロゾル層全体について光学的厚さを求め、同じ領域のラマン散乱を用いて求めた積分後方散乱係数との比から平均のライダー比を算出したところ 66.1 ± 6.6 srであった。この値は気象研究所におけるラマンライダー観測の結果と一致する[7]。これは今までに浮いた黄砂層に対して得られた値39-46srに比べ明らかに大きい[5]。また、粒子偏光解消度は約10%であり、黄砂層の典型的な値約30%に比べ小さい[5]。355nmでのライダー比はFernaldの方法によりエアロゾル層全体で後方散乱係数が532nmでの分布と相似になるように求めたところ[8]、約35srが妥当であることがわかった。また、1064nmではエアロゾルによる消散は小さいので図ではライダー比を50srとして後方散乱係数比のみを示している。今までに報告されているスマークに対する多波長ライダー観測結果とこれらの解析結果は同様な特徴を示している[9]。

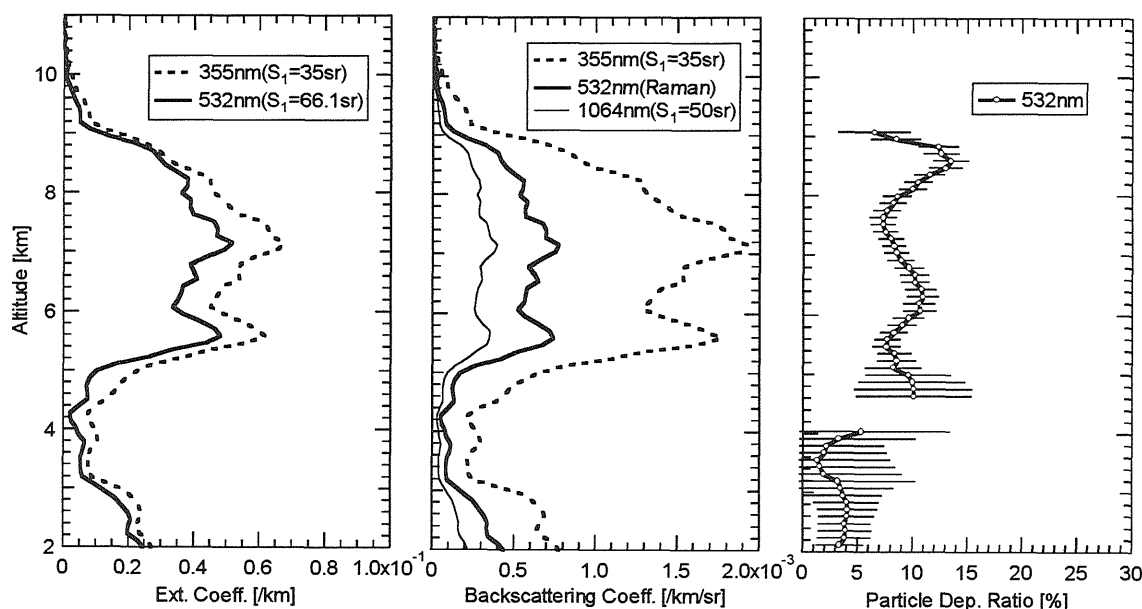


Fig. 1 Multi-wavelength lidar observations during 2028-2127JST, 20 August 2002 over Tokyo.

3-2. 観測事例2：都市大気境界層エアロゾル(2003年2月)

春季の黄砂や突発的なユーラシア大陸からの森林火災起源のエアロゾルを除けば、自由対流圏に顕著なエアロゾル層が現われることは少ない。逆に、東京商船大学の位置する都心では恒常的に人為起源エアロゾルが局所的に発生している。また、夏季には湾岸に位置することから海塩粒子も地表付近には多く浮遊している。従って、すすなどの吸収性エアロゾルが多い冬季や、逆に清浄な海洋大気の影響を受ける夏季における大気境界層エアロゾルの光学的性質に大きな違いが見られる可能性がある。Fig. 2に2002年2月15日の1941~2038JSTにかけてUVラマンライダーで測定した例を示す。図より高度2.2kmまで構造をもった境界層エアロゾルが見られ、混合比との対応も良い。高度1km~2.2kmにおける355nmでのライダー比は 59.1 ± 7.5 srと求められるが、それより下層において減少する傾向が見えている。消散係数の算出にはレーザービームと受信望遠鏡の視野拡がりとの幾何学的効率が敏感に影響するので、さらにシステムを評価する必要がある。

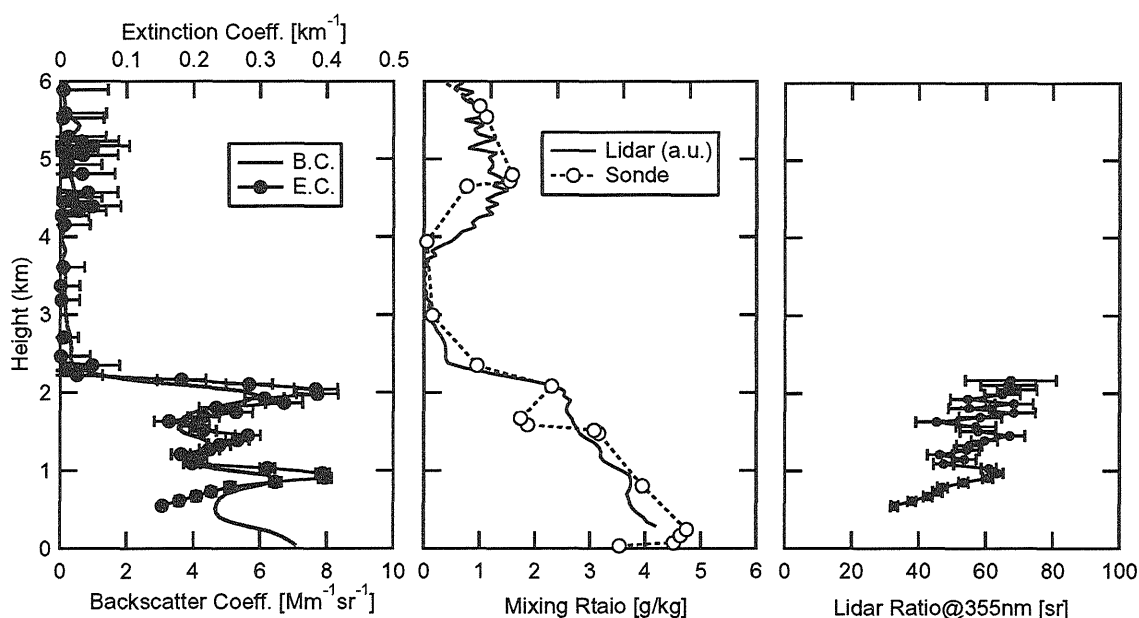


Fig. 2 Observation of the lower troposphere by the UV-Raman lidar during 1941-2038JST, 15 Feb. 2003. Mixing ratio observed by radiosonde at 21JST at Tateno (36.05°N, 140.13°E) was indicated.

4. おわりに

今後、黄砂などの自由対流圏エアロゾルと都市混合層エアロゾルの光学的特徴について多波長ラマンライダー観測を継続して行ない、系統的な解析を行なう予定である。本研究は科学研究費・特定領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの大気環境インパクト」(代表：笠原三紀夫)の計画研究の一部として行なわれた。

参考文献

- [1] T. Murayama et al., Application of lidar depolarization measurement in the atmospheric boundary layer: effects of dust and sea-salt particles, *J. Geophys. Res.*, **104**, D24, 31781-31792, 1999.
- [2] T. Murayama et al., Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in East Asia, *J. Geophys. Res.*, **106**, D16, 18345-18359, 2001.
- [3] D. Müller et al., Comprehensive particle characterization from three-wavelength Raman-lidar observations: case study, *Appl. Opt.*, **40**, 4863-4869, 2001.

- [4] I. Mattis, et al., Dual-wavelength Raman lidar observations of the extinction-to-backscatter ratio of Saharan dust, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi:10.1029/2002GL014721, 2002.
- [5] T. Murayama, Optical properties of Asian dust aerosol lofted over Tokyo observed by Raman lidar, in *Lidar Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences (Proceedings of the 21th ILRC)*, edited by L. R. Bissonnette, G. Roy, and G. Vallée, pp. 331-334, Defense R&D Canada – Valcartier, Québec, 2002.
- [6] T. Murayama et al., An intercomparison of lidar-derived aerosol optical properties with airborne measurements near Tokyo during ACE-Asia, *submitted to J. Geophys. Res., ACE-Asia issue*, 2002.
- [7] T. Sakai, private communication, 2002.
- [8] Y. Sasano and E. V. Browell, Light scattering characteristics of various aerosol types derived from multiple wavelength lidar observations, *Appl. Opt.*, **28**, 1670-1679, 1989.
- [9] U. Wandinger et al., Optical and microphysical characterization of biomass-burning and industrial-pollution aerosols from multiwavelength lidar and aircraft measurements, *J. Geophys. Res.*, **107**, D21, doi:10.1029/2000JD000202, 2002.