

多波長ミー・ラマンライダーによる東京の下部対流圏エアロゾルの光学的特性 Optical Properties of Aerosols in the Lower Troposphere observed by multi-wavelength Mie-Raman Lidar in Tokyo

村山利幸¹、関口美保¹、Detlef Müller²

¹東京海洋大学海洋工学部、²Institute of Tropospheric Research

Toshiyuki Murayama¹, Miho Sekiguchi¹, and Detlef Müller²

¹Faculty of Marine Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology

Abstract: We have observed the tropospheric aerosols with a multi-wavelength Mie-Raman lidar since 2002. Here we present recent results on the optical properties of aerosols in the lower troposphere during the November of 2004. The datasets of three backscatter (355, 532, 1064 nm) and two extinction (355 and 532 nm) coefficients have been deduced by Mie and Raman lidar retrievals with the nearest radiosonde data. The mean Ångström exponent between 355 and 532 nm extinction coefficients in the lower troposphere ranged from 0.9 to 1.4 and the average value was 1.14. The mean lidar ratio at 355 and 532 nm ranged from 56 to 80 sr. We frequently found the cases when the lidar ratio at 532 nm was slightly higher than that at 355 nm. We also applied an inversion code with regularization to derive the microphysical properties of particles for the datasets. We found that hygroscopic growing aerosol layer showed a reasonable correspondence with the nature of water droplet.

1. はじめに

我々は 2002 年冬季より東京海洋大学越中島キャンパス (35.66°N, 139.80°E) において、2 台の Nd:YAG レーザーと複数の望遠鏡を用いたライダーシステムにより、対流圏エアロゾルに関する 3 波長 (355, 532, 1064nm; 以下、 3β と呼ぶ) での後方散乱係数、2 波長での消散係数 (355, 532 nm; 以下、 2α と呼ぶ) 及び 1 波長での偏光解消度 (532 nm) 及び湿度混合比を継続して観測している [1, 2]。現在、今までに得られたデータの系統的な解析を進めると共に得られた ($3\beta+2\alpha$) のデータセットから正則化法を用いたインバージョン解析を行っている。ここでは、2004 年 11 月に得られた対流圏エアロゾルの光学データの平均的な特徴とインバージョンを適用した事例を報告する。

2. ライダーシステムの改良

2004 年夏季に多波長ラマンライダーの受信光学系に関して次の改良を行なった。1) 光電子増倍管 (PMT) の光電面感度の不均一性によるライダー信号への影響[3]を低減するために、より広がった光束で集光した受信光を受けるようにした。この光学系の改良により、より下層まで安定して後方散乱比及び湿度混合比が得られるようになった。2) 607 nm (532 nm による窒素分子からのラマン信号)チャンネルの検出器として、従来のアルカリ光電面の PMT から GaAsP 光電面を持つ PMT、H7422-40 (Hamamatsu; 量子効率約 40%) に替えることにより、格段に感度を上げるが出来た。この改良により 532 nm でも 355 nm と同程度の誤差で消散係数及びライダー比 (消散後方散乱係数比) が得られるようになった。また、355 nm 系ではより背景光を抑え、下層からデータを得るため 1 対の反射ミラーを用い、同軸光学系とした。

3. 2004年11月の観測結果

上記の改良後の2004年11月には9, 10, 16, 22, 25, 30日に多波長ミー・ラマンライダー観測を実施している。観測は毎回、日没後の18時から23時の間、2時間程度を目安に実施している。例としてFig. 1及びFig. 2に11月25日の規格化された後方散乱強度(532 nm)及び得られた光学特性の鉛直分布を示す。Table 1に、この期間に得られた下部対流圏エアロゾルの内包的な光学特性である、オングストローム指数、ライダー比の平均値を示す。このエアロゾルには大気境界層と自由対流圏のエアロゾルが含まれるが、ここでは区別していない。平均的なオングストローム指数(355-532 nm間)は0.9から1.4の値をとり、その平均値は1.14であった。これは、大気境界層エアロゾルの値としてはやや小さい値となっている[4]。また、ライダー比の平均値は355 nmで66.7 sr、532 nmで69.2 srであり、この時期のライダー比が年平均値より大きいこと[5]、しばしば532 nmの方が高い値を示すことがあることがわかった。

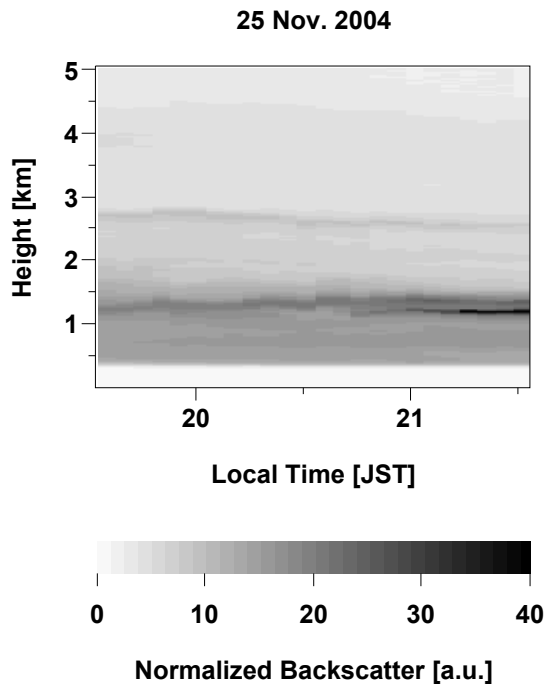


Fig. 1. Time-to-height indication of normalized backscatter signal of 532-nm far receiver on November 25, 2004.

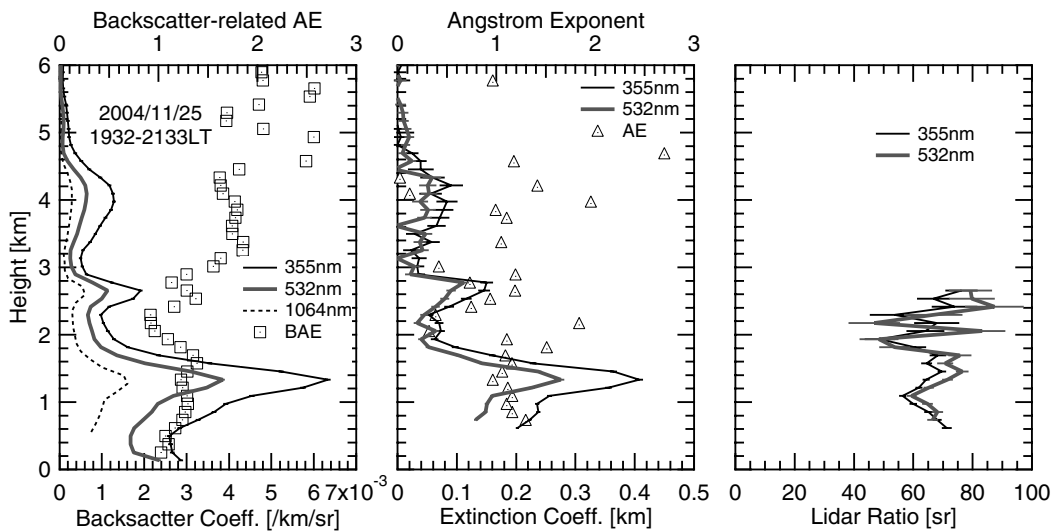


Fig. 2. Profiles of the aerosol optical properties on November 25, 2004.

Table 1. Mean values of intensive parameters of aerosol optical properties observed in November 2004.
 AE=Ångström exponent between 355 and 532 nm, BAE=Backscatter-related AE between 355 and 532 nm,
 S_a =Lidar ratio

Date/Time(LT)	AE(≥ 735 m)	BAE(≥ 375 m)	$S_{a,355}$ (≥ 615 m)	$S_{a,532}$ (≥ 735 m)
Nov. 9/ 2042-2243	1.14 \pm 0.38	1.59 \pm 0.25	56.4 \pm 6.9 sr	71.2 \pm 13.4 sr
Nov.10/ 1844-2120	0.90 \pm 0.14	0.51 \pm 0.43	74.7 \pm 6.0	62.8 \pm 5.4
Nov.16/ 1906-2102	1.34 \pm 0.24	1.25 \pm 0.16	66.4 \pm 6.3	64.6 \pm 8.3
Nov.22/ 1836-2043	1.37 \pm 0.27	1.36 \pm 0.08	66.1 \pm 3.6	68.7 \pm 6.5
Nov.25/ 1932-2133	1.04 \pm 0.36	1.38 \pm 0.28	64.5 \pm 6.9	68.5 \pm 11.6
Nov.30/ 1813-2024	1.05 \pm 0.33	1.22 \pm 0.10	72.3 \pm 10.6	79.7 \pm 18.6

4. インバージョンによるエアロゾル微物理量の導出

Müller ら[6]が開発したインバージョンコードを得られた ($3\beta+2\alpha$) データセットに適用し、エアロゾルの粒径分布及び複素屈折率を導出し、放射影響に関連した諸量を求めることができる。例として 11 月 25 日のデータについて適用して得られた有効半径と単散乱アルベトの高度分布を Fig. 3 に示す。Fig. 1 から推察されるように、高度 1.3 km 付近のエアロゾルは測定後半より粒径の急激な成長を示しており、水蒸気の取り込みによって雲粒への成長過程にある粒子からの散乱を捉えていると考えられる。実際その高度においては探索された複素屈折率は $(1.35\pm 0.03) - (0.0001\pm 0.0013)i$ となっており、水滴の値に近い値になっていることがわかる。その結果、Fig. 3 でも有効半径が最も大きく (約 $0.33\ \mu\text{m}$) 単散乱アルベドが 1 に近い値 (また誤差も小さい) になっている。この結果はインバージョンが機能している良い例を示していると考えられる[7]。

5. まとめ

多波長ミー・ラマンライダーによって東京の都市大気境界層を含む下部対流圏エアロゾルの光学特性の観測が定常的に行なっている。2004 年 11 月に観測した 6 日のデータから平均的なエアロゾルの光学特性を議論した。正則化法を用いたインバージョンを適用し、水蒸気を吸収し成長過程にある粒子について妥当な結果を得た。今後、長期的な観測と系統的な解析を継続すると共に、日中のスカイラジオメーター観測など他の観測との比較を行っていきたい。

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」(AIE) の計画研究 (No. 14048232)、千葉大学環境リモートセンシング共同利用研究 (P2004-3) などの援助を得て行なわれた。

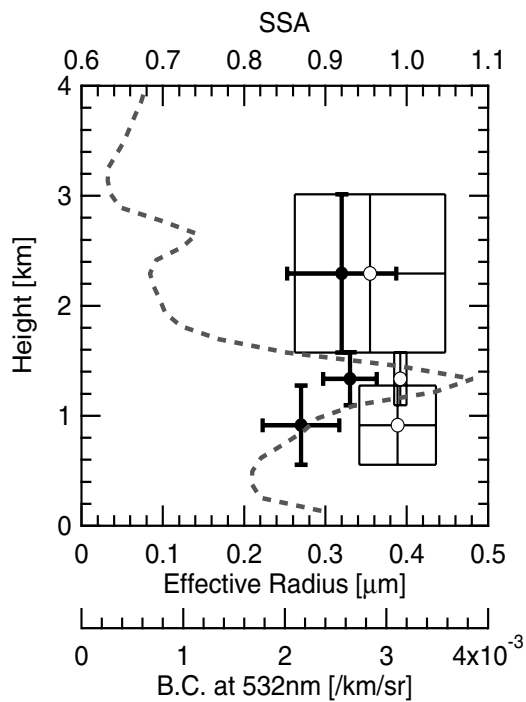


Fig. 3. Microphysical properties of particles derived from the inversion for the dataset obtained on November 25, 2004.

Solid and open circles represent the effective radius and the single scattering albedo. Dashed line indicates the backscatter coefficient at 532 nm.

参考文献

- [1] 村山利幸、関口美保、Detlef Müller、齋藤泰治、和田勝也、多波長ラマンライダーとスカイラジオメーター観測に基づくエアロゾルの微物理量と放射強制力ーシベリア森林火災起源の事例ー、第23回レーザセンシングシンポジウム予稿集、31-34、2004.
- [2] T. Murayama et al., Characterization of Asian dust and Siberian smoke with multi-wavelength Raman lidar over Tokyo, Japan in spring 2003, *Geophys. Res. Lett.*, *31*, L23103, doi:10.1029/2004GL021105.
- [3] V. Freudenthaler, Effects of spatially inhomogeneous photomultiplier sensitivity on lidar signals and remedies, in *Reviewed and Revised Papers Presented at the 22nd International Laser Radar Conference, ESA SP-561*, edited by G. Pappalardo and A. Amodeo, pp. 37-40, Eur. Space Agency, Paris.
- [4] I. Mattis et al., Multiyear aerosol observations with dual-wavelength Raman lidar in the framework of EARLINET, *J. Geophys. Res.*, *109*, D13203, doi:10.1029/2004JD004600, 2004.
- [5] 和田勝也、ラマンライダーによる対流圏エアロゾルの光学的性質の系統的解析、東京商船大学商船学研究科・修士論文、2005.
- [6] D. Müller, U. Wandinger, and A. Ansmann, Microphysical particle parameters from extinction and backscatter lidar data by inversion with regularization: theory, *Appl. Opt.*, *38*, 2346-2357, 1999.
- [7] D. Müller et al., Retrieval of physical particle properties from lidar observations of extinction and backscatter at multiple wavelengths, *Appl. Opt.*, *37*, 2260-2263, 1998.