多波長ラマンライダーとスカイラジオメーター観測からみた対流圏エアロゾルの光 学特性と微物理特性

東京海洋大学・海洋工学部 村山利幸、関口美保

東京都市部においては局所的な大気汚染による対流圏下部のエアロゾルが放射収支上も恒 常的な影響を及ぼしていると考えられる。本研究では、黄砂やシベリヤ森林火災などのイベ ント時のみならず、通常時の多波長ラマンラダー観測から、対流圏エアロゾルの光学特性の 詳細を得て、その特徴を見出すとともに、ラマンライダー用インバージョンコードを適用し、 その微物理量を得ることを目的として行なった。より下層(約 500-700m)から後方散乱比、 消散係数及び水蒸気混合比が得られるように光学系及び検出器系の改善を行なった。観測デ ータは 2004 年 11 月を主な対象とした。図1に期間全データの後方散乱係数分布を示す。観 測は18時から23時の間、2時間程度行い、積算データについて解析を行った。光学的厚さ は532nmで0.24から0.65までの値をとり、自由対流圏の光学的厚さは全体の14%から32% まで変化した。日中に発達した混合層が残留した高度約 2km までの大気境界層が光学的厚さ の大部分を占めていることがわかる。求めたエアロゾルの物理量は3波長(355,532, 1064nm)の後方散乱係数と2波長(355,532nm)の消散係数である。intensive な光学量の平均 値に注目すると、355-532nm 間のオングストローム指数は約 1.14、ライダー比は 355nm で 66.7sr、532nm で 69.2sr で、しばしば 532nm の方がライダー比が大きく出る傾向があった。 これは通常言われている大陸及び都市型のエアロゾル光学特性とやや異なっている[1]。ライ ダー比の高度分布に有意な特徴は下層になると小さくなる傾向があるものの有意な傾向は見 られなかった。偏光解消度は小さかったので非球形性は小さいものとしてこの $(3\beta + 2\alpha)$ の データセットに対して Müller によるインバージョンを適用した[2]。その結果、微物理特性 として粒径分布(有効半径)及び複素屈折率及び単散乱アルベドを得た。この期間の有効半径 は 0.26-0.45 µm と比較的大きく、複素屈折率の実部は 1.34-1.41、虚部は 0-0.01 で概ね、吸 収が小さく単散乱アルベドも1に近いことが多かった。2003年5-6月のシベリア森林火災時 の解析結果と比較すると複素屈折率の実部の値が小さく単散乱アルベドも大きく、意外と夜 間の都市大気は吸収が少ないことが示唆された。

ラマンライダーのインバージョンの結果は他と比較する術がないため、日中夕刻のスカイ ラジオメーター観測のインバージョンから得られた量と比較を行なった。その結果、有効半 径においては良い一致を示すことがわかった。複素屈折率についてはスカイラジオメーター では十分に探索しきれない場合が多く、複素屈折率、単散乱アルベドの両者の一致、ライダ ー比観測値の再現はそれほど良くない。今後の吟味が必要である。より通年を通じた統計的 解析が行なえるよう観測の頻度及び解析の効率を上げる必要がある。

最後に、2005年4月末の大規模黄砂イベントにおいて明らかなライダー比の波長依存性、 即ち黄砂層で355nmにおける後方散乱が落ち込み、ライダー比の波長依存性が明らかにみ られた(S₃₅₅(~58sr)>S₅₃₂(42sr))。この黄砂層ではインバージョンを適用すると非常に大きな 吸収を要請するので、現実的なものでなく非球形効果及び複素屈折率の虚部の波長依存性を 示唆していると考えられる。一方、スカイラジオメーターから得られるライダー比は観測値 より大幅に小さい。



図1.2004年11月に得られた対流圏エアロゾルの鉛直分布(532nmでの後方散乱係数)

- [1] I. Mattis et al., Multiyear aerosol observations with dual-wavelength Raman lidar in the framework of EARLINET, J. Geophy. Res., 109, D13203, doi:10.1029/2004JD004600, 2004.
- [2] 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.







ライダーの主な緒元





Sky-radiometer & Sun-photometer

Left:



Sky-radiometer (Prede POM-01) λ =400, 500, 670, 870, 1040nm $\tau(\lambda)$, dV/dlnr, P(θ), $\omega(\lambda)$, m*(λ) can be retrieved with skyrad.pack (ver.4) code. Nakajima, et al., Appl. Optics, 1996

SKYNET: http://skyrad.edu.toyamau.ac.jp/~kazuma/skyrad/

Right: Grating Sun-photometer (Prede, PGS-100) λ =350-1050nm $\tau(\lambda)$

観測の方針

- We have operated the lidar system as frequent as possible if all the conditions are allowed.
- To compare with the aerosol optical properties sensed by Sun and sky photometers, we run the system after sunset for 2-3 hours to obtain the adequate S/N for Raman channels, *i.e.*, the local time between 7 to 11 PM.
- It is also good to coincide with the routine radiosonde observation done at 9 PM. We use the Tateno's aerological data.
- In average, we have performed such Raman measurement once or twice per week.
- To reduce the statistical noise, we used summed signals of the observation as far as the atmospheric condition is not seriously changed.
- We also reduced the height resolution to 120 m for the analyses.

多波長ラマンライダー用インバージョンコート

- A code that uses inversion with regularization to derive the microphysical particle properties from lidar observations at several wavelengths has been developed by Müller et al. at IfT in Leipzig, Germany [e.g., D. Müller et al. (2005) JGR].
- No wavelength dependence of refractive index is assumed.
- \bullet To obtain the stable solution, we need at least 3-backscatter (\beta) and 2-extinction (α) data.
- Now the current versions of the inversion code can be run on conventional Windows PC.
- Here we preliminary applied the code mainly for our $3\beta + 2\alpha$ datasets obtained in 6 days in November 2004.
- Note: Raw data of total depolarization ratio (without offset
- correction) are less than 8% in these days. Thus the assumption of Mie theory used in the inversion is adequate.

Results in November 2004

- In the following figures, we use the following notations: • Upper Left: Backscatter coefficient at 355(purple), 532(green), 1064(red) nm and Backscatter-related Angstrom exponent (BAE, open square) between 355 and 532 nm are indicated. • Upper Right: Extinction coefficients at 355 and 532 nm, and Angstrom
- exponents (AE, open triangle) derived from 355 and 532 nm extinction coefficients. The AE derived from the optical depths of 400 and 500 nm obtained by the skyradiometer in the later afternoon as possible is indicated by the vertical red dashed line.
- Bottom Left: Lidar ratios (extinction-to-backscatter ratios) at 355 and 532 nm. The values at 400 and 500 nm obtained from the skyradiometer are indicated by vertical dashed lines.
- Bottom Right: Effective radius and single scattering albedo (SSA) at 532 nm derived from the inversion code for some selected height ranges. The corresponding column-mean values obtained from the skyradiometer are also indicated by vertical dashed lines.















Optical Data							
Date	Height, km	Page pum	r _{eff} *, jum	<i>m</i> ,	m	SSA	SSA*
03/5/21(s)	3.195±0.18	0.25±0.09	0.27	1.52±0 07	0.004±0.005	0.95±0.08	0.95
03/6/6(s)	1.935±0.48	0.20±0.07	0.23	1.55±0,10	0.008±0.008	0.89±0.12	091
03/6/6(s)	2.715±0.42	0.21±0.08	0.23	1.51±0.12	0.006±0.008	0.92±0.11	0 91
04/11/9	0.915±0.30	0.27±0.06	0.35	1.39±0.08	0.002±0.006	0.96±0.09	0.91
04/11/9	2.055±0.84	0.29±0.06	0.35	1.41±0.12	0 005 ±0 011	0.94±0.09	0 91
04/11/10	1.035±0.42	0.45±0.11	0.51	1.38±0.06	0.00\$±0.010	0.85±0.11	0.99
04/11/10	1.755±0.42	0.38±0.07	0.51	1.37±0.06	0.003±0.009	0.96±0.10	0.99
04/11/16	0.975±0.24	0.26±0.05	0.30	1.35±0.04	0.001±0.002	0.99±0.03	0 94
04/11/16	1.575±0.36	0.26±0.05	0.30	1.37±0.05	0.001±0.004	0.99±0.04	0.94
04/11/22	1.155±0.42	0.28±0.05	0.27	1.37±0.06	0.001±0.004	0.99±0.06	0.92
04/11/22	1.815±0.36	0.27±0.04	0.27	1.36±0.04	0.000±0.002	1.00±0.02	0.92
04/11/25	0 975±0.24	0.28±0.05	0.31	1.36±0.05	0.001±0.004	0.99±0.05	0.97
04/11/25	1.335±0.12	0.33±0.03	0.31	1.35±0.03	8.000±0.001	0.99±0.01	0.97
04/11/25	2.295±0.36	0.32±0.07	0.31	1.37±0.06	0.003±0.007	0.95±0.09	0.97
04/11/30	0.915±0.18	0.32±0.03	0.29	1.34±0.02	0±0	100±0.00	1 00
04/11/30	1.635±0.18	0.35±0.05	0.29	1.35±0.03	0.003±0.003	0.86±0.04	1.00



Summary of Features of Optical Data and Particle Properties in November 2004

- Calculated AOD at 532nm ranges from 0.24 (Nov.16)-0.65 (Nov.10).
- Mean Angstrom exponent between 355 and 532nm ranges from 0.9 to 1.4 and the average was 1.14.
- Mean lidar ratio in the troposphere was 66.7 and 69.2 sr for 355 and 532 nm, respectively.
- Trends of the AOD, AE, effective radius and SSA roughly agree with the results from the skyradiometer (especially, AE and r_{eff}).
- However, the lidar ratios were not well reproduced by the skyradiometer's inversion.
- Retrieved particle physical parameters shows the relatively large effective radius and refractive indices close to water-vapor value $(m^*=1.33-0i)$; m_{real} ranges from 1.34 to 1.41. Note: In case of smoke events, we found m_{real} is about 1.5.

























