

# 波長 355 nm での黄砂の偏光ライダー観測

村山 利幸

東京海洋大学 海洋工学部 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6)

## Polarization Lidar Observation of Asian dust at 355 nm

Toshiyuki MURAYAMA

Tokyo University of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima, Koto, Tokyo 135-8533

**Abstract:** We have observed a weak Asian dust event by the polarization lidar at the wavelength of 355 nm in Tokyo during the daytime of 13 May, 2020. Combining the previous calibration and Sun photometer measurements, we derived the particle depolarization ratio  $\delta_p$  of the elevated dust layer, which is  $0.19 \pm 0.02$  (SD). The value is somewhat smaller than our previous 532-nm  $\delta_p$  measurements but within the reported values at 355 nm. The total depolarization ratio profiles and ground in-situ optical particle counter measurements suggests that the mixing of the elevated Asian dust layer with the planetary boundary layer (PBL) occurs when the PBL is well developed around noon.

**Key Words:** Polarization Raman Lidar, Depolarization ratio, Asian dust

### 1. はじめに

日本における黄砂の出現率は変動しており、一定の傾向を持続的に示しているようには思われず、まだなお春季においては健康や生活への影響を与えている。2021年には東京でも10年ぶりに黄砂が報告された。一方、黄砂の予報は数値予報が発展したことにより、天気予報やWeb、スマートフォンで手軽に知ることが出来るようになった。観測の方もNIESの自動化されたライダーネットワークによりリアルタイムで出現が把握出来るようになった。ここでは、東京海洋大学の紫外ラマンライダーに偏光チャンネルを増設した<sup>1)</sup>2019年以降の黄砂現象の観測結果例について述べる。鉱物性ダストの偏光解消度の多波長観測はサハラダストに対しては集中観測によってなされているが<sup>2-4)</sup>、黄砂についてはほとんど事例がない<sup>5)</sup>。ライダー観測時は地上において他の光学測定器(サンフォトメーターや光学式パーティクルカウンター(OPCと略記)など)を同時に運用し、統合的な解析やデータの比較に用いている。

### 2. 観測装置及び観測方法

#### 2.1 紫外ラマン偏光ライダー

東京海洋大学越中島キャンパス(TUMSAT; 35.667°N, 139.793°E, 35 m MSL)では2015年より、Nd:YAGレーザーの第3高調波である355 nmのレーザー光を送信光としたミールマン散乱ライダー(ミー、窒素及び水蒸気チャンネルを持つ)の通常大気の観測を行ってきた<sup>6)</sup>。

2019年春-夏に355 nmにおいて偏光ビームスプリッターにより偏光解消度測定機能を増設、2つの偏光チャンネルの検出器(簡略に $P_{\parallel}$ 及び $P_{\perp}$ )のゲイン比及びオフセット値の決定を行った<sup>1)</sup>。測定条件は出射レーザー光強度100 mJ/pulse、繰り返し周波数10 Hzで、5分毎に距離分解能15 mで積算・収集を行った。

#### 2.2 その他の観測装置

ポータブルサンフォトメーター(EKO, MS-120)を約1時間毎に稼働し、エアロゾルの光学的厚さの測定を行った<sup>6,7)</sup>。また、リアルタイムでの地上での黄砂の出現時間を把握するために光学式パーティクルカウンター(RION, KC-01D)により30分毎に大気中の粒子濃度を自動測定した。直径 $>0.3 \mu\text{m} \sim >5 \mu\text{m}$ の間の5区分で個数濃度が測定できるが、 $5 \mu\text{m}$ 以上の個数濃度が約100個/L以上のとき、非常に良い黄砂現象の指標となる<sup>8-9)</sup>。

### 3. 観測結果及び解析結果

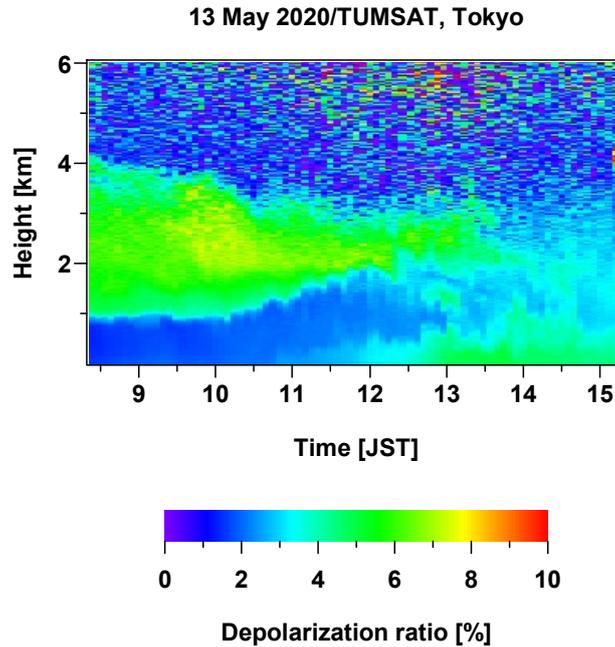


Fig. 1. Time-height cross section of the total depolarization ratio at 355 nm over TUMSAT in Tokyo, Japan during 0820-1518 LT on 13 May 2020. Offset value is not subtracted.

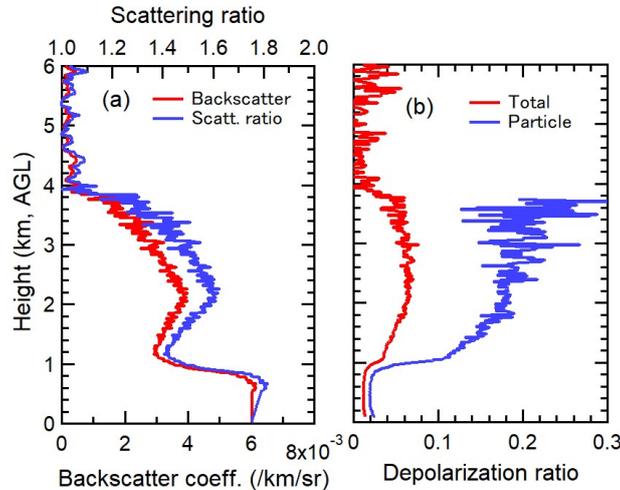


Fig. 2. Profiles are of (a) the backscatter coefficient, the scattering ratio and (b) the depolarization ratios averaged during 0951-0956 LT, 13 May 2020.

2020年5月13日に関東地方で弱い黄砂現象が観測された。そのときの全偏光解消度（大気分子の寄与、オフセットを含む）の高度時間断面図を Fig. 1 に示す。偏光解消度の高い時間-高度領域は新宿御苑（越中島からは西北西に約 5.1 km）に置かれた NIES ライダーとほぼ一致する<sup>10)</sup>。

ライダーの解析<sup>11)</sup>に必要な大気密度のデータは館野（36.05°N, 140.12°E）における2020年5月12日21 JST のラジオゾンデ観測から求めた。ここでは、試験的に、上空の全偏光解消度が高くサンフォトメーターの観測時（0956 LT）に近い瞬間ライダーデータ（0951-0956 LT の平均プロファイル）について解析を行った。サンフォトメーターによる 355 nm でのエアロゾルの光学的厚さ（ $\tau_{355}=0.55$ ）とライダーからの消散係数の高度積算値 $\tau_{\text{lidar}}$ が一致するように空間平均のライダー比  $S_1$  を求めた<sup>6, 7, 11)</sup>。

境界条件として高度 6 km で散乱比を 1.01 とし、高度 4 km 以上では 5 点即ち 75 m の移動平均を行った。但し、レーザービームと受信望遠鏡との視野の重なりが完全でない高度 0.55 km 以下は消散係数を一定として求めた。その結果、 $S_1=37 \pm 2$  sr であった。得られた後方散乱係数、散乱比を Fig. 2 (a) に示す。また、

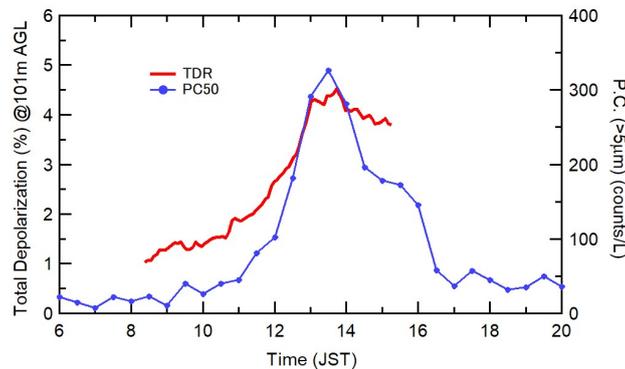


Fig. 3. Time series of coarse particle counts (> 5µm in diameter) by OPC and the total depolarization ratio at lower atmosphere (101m AGL) on 13 May 2020 at TUMSAT.

オフセット補正した全偏光解消度と、全偏光解消度と散乱比から求めた粒子偏光解消度  $\delta_p$  を Fig. 2 (b) に示す ( $\delta_p$  の導出については文献 7 他). 高度 2~3 km での平均値は  $19 \pm 2\%$  (誤差は標準偏差) であった.

関東でのラマン偏光ライダーによって得られた波長 532 nm で黄砂層の  $\delta_p$  の値は 20-30 % である<sup>12-14</sup>). また、サハラダストに関して  $\delta_p$  は 355 nm の方が 532 nm より小さいことが報告されており、今回の値は報告値 (文献 3, 4) の下限に近い.

Fig. 3 に同日における OPC による 5 µm 以上の粒子 (大粒子) の個数濃度 (個/L) と高度 101 m における全偏光解消度の時間変化を示す. 大粒子の個数濃度は全偏光解消度と相関が良く、今までの観測結果とも一致する<sup>8</sup>). 自由対流圏を輸送される黄砂粒子は正午頃、十分に発達した大気境界層への遷移層からの取り込み (エントレインメント) によって地表に輸送されると思われる (see Fig. 1)<sup>15</sup>).

#### 4. まとめ

製作した 355 nm-偏光ライダーを黄砂現象時に他の相補的な測定器と共に日中、稼働させた. 試験的な解析の結果、黄砂層における粒子偏光解消度は  $19 \pm 2\%$  であり、この値は 532 nm の値 (20-30 %) より小さく、サハラダストでの観測結果の傾向と一致する. また、地表での OPC による大粒子の濃度は下層での偏光解消度との強い相関がみられた. 今後は夜間にラマン偏光ライダーを稼働し、粒子偏光解消度の精密な測定を行いたい.

#### 参考文献

- 1) 村山 利幸: 第 37 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2019) 77.
- 2) V. Freudenthaler et al.: *Tellus* **61B** (2009) 165.
- 3) S. Groß et al.: *Tellus* **63B** (2011) 706.
- 4) M. Harrig et al.: *Atmos. Chem. Phys.* **17** (2017) 10767.
- 5) N. Sugimoto et al.: *App. Opt.* **45** (2006) 7468.
- 6) 村山 利幸: 第 36 回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2018) 92.
- 7) T. Murayama et al.: *J. Geophys. Res.* **108**, D23 (2003) 8651.
- 8) T. Murayama et al.: *Proc. 24th Int. Laser Radar Conf. Vol. II* (2006) 943.
- 9) T. Murayama et al.: *J. Geophys. Res.* **106** (2001) 18345.
- 10) <https://www-lidar.nies.go.jp/Tokyo/>
- 11) G. F. Fernald: *Appl. Opt.* **23** (1984) 652.
- 12) T. Murayama: *Proc. 21th Int. Laser Radar Conf. Vol. I* (2002) 331.
- 13) T. Murayama et al.: *Geophys. Res.* **31** (2004) doi:10.1029/2004GL021105.
- 14) T. Sakai et al.: *Appl. Opt.* **42** (2003) 7103.
- 15) 竹内 清秀, 近藤 純正: 大気科学講座 1 地表に近い大気 (東京大学出版会, 1993) p. 64.