

## 2014 年から 2016 年に観測された富士山麓における気柱全体のエアロゾル光学特性

桃井裕広<sup>1</sup>, 三浦和彦<sup>1</sup>, 青木一真<sup>2</sup>

1. 東京理科大学, 2. 富山大学

### 1. はじめに

エアロゾルには太陽光を直接散乱・吸収する直接効果と雲凝結核として放射特性を変化させる間接効果があり、地球の放射バランスに影響を与えている。しかしこれらの影響力は不確実性が大きく、化学組成や生成過程が多様であること、時間および空間依存性が大きいことなどに起因している (IPCC 2013, e.g. 直接効果の放射強制力:  $-0.23 \pm 0.5 \text{ Wm}^{-2}$ )<sup>1)</sup>。空間依存性を調べるためには多地点での観測が必要であり、富士山麓でもスカイラジオメータを用いた観測が行われた<sup>2,5)</sup>。富士山は山頂が自由対流圏に位置しており、山麓と山頂(夏季のみ)の両地点でその場観測が行われている。

### 2. 方法

静岡県御殿場市に位置する富士山麓太郎坊 (35.33N, 138.80E, 1290 m a.s.l.) においてスカイラジオメータ (POM-02, Prede Co., Ltd.) による放射観測を 2014 年 7 月から 2016 年 11 月に行った。太郎坊は御殿場の市街地から離れており局地的な汚染を受けにくい。また、太郎坊ではスカイラジオメータによる放射観測に加えて、光散乱式粒子計数器 (OPC, KC01E, RION Co., Ltd.) によりその場のエアロゾル粒径分布を測定した。エアロゾルの吸湿成長による粒径分布のシフトを避けるために拡散ドライヤーを用いて相対湿度を 35% 以下に保持した。また、夏季に限り富士山頂 (35.21N, 138.43E, 3776 m a.s.l.) で OPC (2014 年: KR12A, 2015, 2016 年: KC01E, RION Co., Ltd) によるその場観測を実施した。

スカイラジオメータにより、400, 500, 675, 870, 1020 nm の波長について太陽直達光 ( $I$ ) および散乱光を測定している。地球に散乱体がない場合の直達光 ( $I_0$ ) を決定し、エアロゾル以外の空気分子による Rayleigh 散乱, オゾンなどの吸収体による光吸収 ( $\tau_{\text{Rayleigh}}$ ,  $\tau_{\text{Ozone}}$ ) を差し引くことで、直達光からエアロゾルの光学的厚さ (Aerosol Optical Thickness, AOT,  $\tau$ )

$$\tau = \ln(I/I_0)/m - \tau_{\text{Rayleigh}} - \tau_{\text{Ozone}} \quad (1)$$

を求めた。また、光学的厚さの波長依存性

$$\ln(\tau) = -\alpha \times \ln(\lambda) + \beta \quad (2)$$

からオングストローム指数 (Angstrom Exponent, AE,  $\alpha$ ) を算出した。オングストローム指数は 1 を指標にして値が大きいほど微小粒子が卓越し、小さいほど粗大粒子が卓越する事を表している。

スカイラジオメータによる直達光観測では太陽面が雲に覆われているときは正しく直接効果を評価できないため、雲の影響があると考えられるデータを除去して解析時間を決

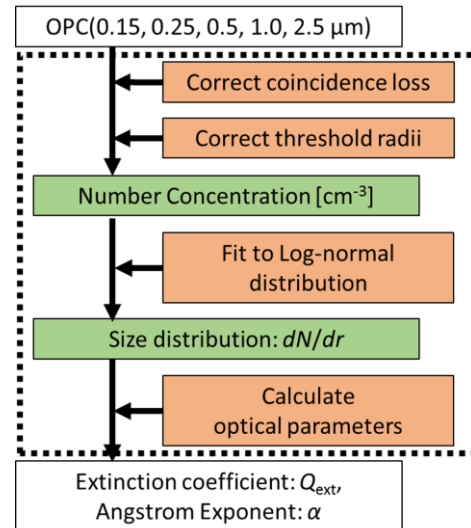


図 1 : 解析フローチャート

定した。

また、散乱光の天空輝度分布を用いて SKYRAD.pack version 4.2<sup>6)</sup> による逆解析を行うことで、気柱全体のエアロゾルの粒径分布および複素屈折率、単一散乱アルベドを推定した。

その場観測との比較は OPC で得られた粒径分布から二山の対数正規分布

$$\frac{dN}{dr} = \sum_i^n \frac{a_i}{\sqrt{2\pi}\sigma_i r} \exp \left[ - \left( \frac{\ln r - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right]$$

に当てはめ、屈折率を仮定して消散係数を計算した (図 1)。

### 3. 結果・考察

#### 3. 1. 富士山麓 (太郎坊) の季節変動

富士山麓太郎坊における 500 nm における光学的厚さの年平均と標準偏差は  $0.13 \pm 0.05$  であり、これは東京神楽坂 (35.70N, 139.74E) における  $0.22 \pm 0.12$  の半分程度であった。また、オングストローム指数は富士山麓太郎坊で  $1.05 \pm 0.16$ 、東京神楽坂で  $1.18 \pm 0.28$  あった。富士山麓太郎坊における光学的厚さの月平均値は春に高く、冬に低い季節変動を示した。これは、春に黄砂が輸送され、秋から冬にかけて植物が不活性になることが原因であると推測される。また、都市 (東京神楽坂) と経年変化を比較する (図 2) と、光学的厚さは山岳に位置する太郎坊のほうが神楽坂に比べて小さい値を示し、両地点の経年変化に関係が見られた。また、オングストローム指数は両地点で明確な傾向は見られ

なかった。

このことから、富士山は大気境界層上部か自由対流圏などのバックグラウンド大気に位置しており、太郎坊はそれらの大気を観測するのに適した場所であることが示唆された。

### 3. 2. 富士山の鉛直分布観測

富士山山頂と富士山麓太郎坊において OPC で測定した粒径分布より屈折率を  $m^* = 1.500 - 0.005i$ ,  $1.600 - 0.010i$  の二種類仮定して消散係数を計算した(図3)。2016年8月5日の事例では太郎坊の消散係数は午後に山頂と同程度まで減少した。また、2地点の OPC とスカイラジオメータによる消散係数やオングストローム指数の挙動を比較すると、午後は山頂と太郎坊では同一の気塊であったことが考えられる。さらに、太郎坊の OPC とスカイラジオメータを用いてエアロゾル層のスケールハイトを計算すると、午前は約1~2 kmで、午後は約10~20 kmと推定された。この結果は山頂の OPC から得られる消散係数の経時変化とも一致しており、太郎坊と山頂、気柱全体の光学特性、微物理特性を観測することによって鉛直分布が得られることが示唆された。

### 4. まとめ

富士山は大気境界層上部か自由対流圏などのバックグラウンド大気に位置しており、そのエアロゾルの光学的厚さは都市(東京)よりも清浄で約半分程度であった。

また、富士山での山頂と山麓の同時観測からエアロゾルの鉛直プロファイルとエアロゾル層高度を得ることができ、エアロゾル層高度は山頂と山麓の間に位置することも、山頂より高高度に位置していることもあった。

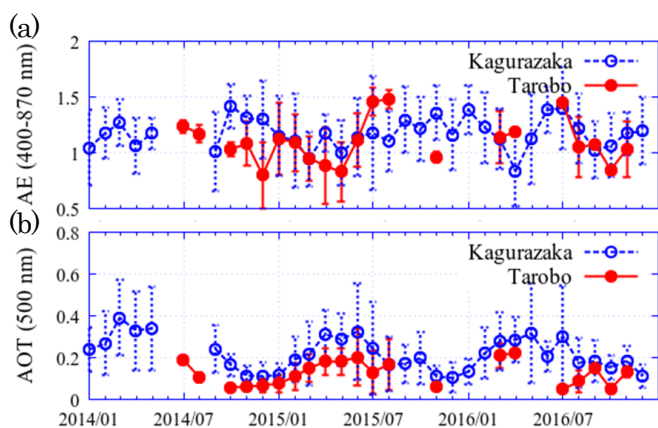


図2：経年変化(2014年 - 2016年)  
(a)AE (400 - 870 nm) (b) AOT at 500 nm

### 謝辞

本研究の一部は認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた。また、本研究の一部は、東京理科大学特定研究助成共同研究助成(2014-2015 年度、代表 三浦和彦)の助成を受けて行われた。この場を借りて深く御礼申し上げる。

### 参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Climate Change 2013 The Physical Scientific Basis, <http://www.ipcc.ch/>
- 2) 中原勇希, 中崎翔太, 三浦和彦, 青木一真 (2014). 富士山周辺におけるエアロゾルの光学特性, 第7回成果報告会講演予稿集, 36-37.
- 3) 中原勇希, 三浦和彦, 青木一真 (2015). 富士山周辺および東京神楽坂におけるエアロゾル気柱積算粒径分布と地表レベルの粒径分布との比較, 第8回成果報告会講演予稿集, 35-36
- 4) 橋口翔, 三浦和彦, 青木一真 (2016). 富士山山麓および東京神楽坂におけるエアロゾル物理特性の評価. 第9回成果報告会講演予稿集, 50-51.
- 5) 桃井裕広, 三浦和彦, 青木一真 (2017). 富士山におけるエアロゾルの光学特性. 第10回成果報告会講演予稿集, 51-52.
- 6) Nakajima, T., Tonna, G., Rao, R., Kaufman, Y., and Holben, B. (1996). Use of sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions. *Appl. Opt.*, **35**, 2672-2686.

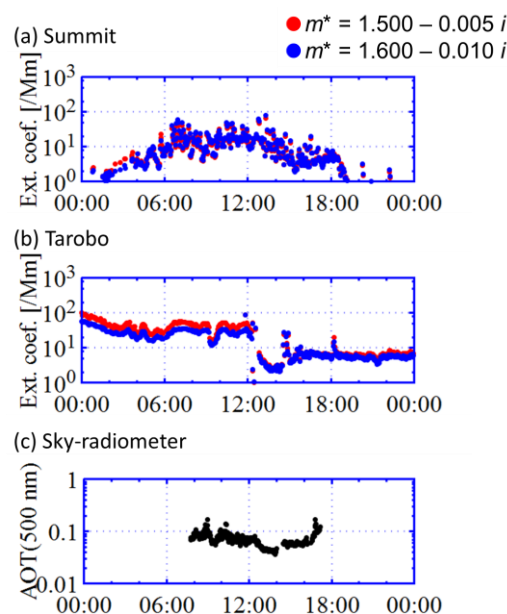


図3：2016年8月5日の事例