

東京神楽坂および富士山麓で測定した気柱全体のエアロゾルの光学特性・微物理特性

齋藤天真¹, 三浦和彦¹, 森 樹大¹, 桃井裕広², 青木一真³

1.東京理科大学, 2.千葉大学, 3.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雲の寿命や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様々であること、時間および空間依存性が大きいことなどに起因する(IPCC 2013¹⁾, e.g. 直接効果の放射強制力: $-0.23 \pm 0.5W/m^2$)。空間依存性を調べるためには異なる環境での観測が必要であり、本研究では都市部(東京神楽坂)と山岳部(富士山麓太郎坊)の2地点でスカイラジオメータを用いた放射観測を行い、エアロゾルの光学特性・微物理特性を推定した。

2 観測

東京都新宿区に位置する東京理科大学1号館屋上(北緯35.70度, 東経139.74度, 高さ59.6m)と、静岡県御殿場市に位置する富士山麓太郎坊(北緯35.33度, 138.80度, 標高1290m)の2地点で観測を行なった。神楽坂は交通量の多い幹線道路が傍を通る都市部に位置しており、太郎坊はローカルな汚染が少ないが木に覆われ、また雲ができやすいことから欠測が多い環境となっている。神楽坂では2014年から、太郎坊では2015年からスカイラジオメータ(POM-02, Prede)を用いた観測を継続的に行なっている。スカイラジオメータにより直達光および散乱光強度を測定し、400, 500, 675, 870, 1020 nmの5波長について調べた。

直達光強度(F)からは、太陽放射の減衰量の指標となるエアロゾルの光学的厚さ(AOT, τ)を、エアロゾル以外の空気分子によるRayleigh散乱(τ_{Rayleigh}), オゾンなどの吸収体による光吸収(τ_{Ozone})を差し引くことで求めた。ここで地球に散乱体がない場合の直達光強度(F_0)をXIL法²⁾により決定した。

$$\tau = \ln(F/F_0)/m_0 - \tau_{\text{Rayleigh}} - \tau_{\text{Ozone}}$$

散乱光強度からは、SKYRAD.pack ver4.2³⁾を用いて、AOT, 気柱積算体積粒径分布を推定した。

3 結果・考察

東京神楽坂において1993年から測定されたAOTの月平均値を図1に示す。1993年から2005年は多目的分光放射計, 2004年から2016年はサンフォトメータ, 2014年から現在まではスカイラジオメータを用いて観測された。AOTは春から夏に高く、冬に低い季節変化があることが報告されている⁴⁾。現在の観測でも同様のAOTの季節変化

が見られた。また経年変化として、2006年頃に大きく減少し、現在まで横ばいとなっている様子がわかる。

また同様に気柱積算体積粒径分布から微小モード($0.05 < r < 0.54 \mu\text{m}$)と粗大モード($0.54 \leq r < 7.73 \mu\text{m}$)の総体積を算出し、その月平均値を図2に示す。微小モードは春から夏に高くなり冬に低い、粗大モードでは春に高くなりそれ以外の時期では低いといった季節変化が見られ、特に微小モードはわずかながら減少傾向が見られた。春季には大陸から黄砂などのダスト粒子が多く飛来、夏季にかけて日射が強くなり光化学反応が生じて微小粒子が生成されやすいことからこのような季節変化が見られたと考えられる。

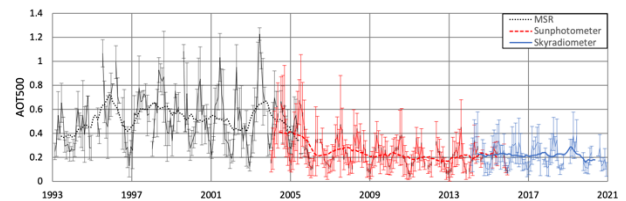


図1 東京神楽坂におけるAOT(500)の月平均の経年変化(エラーバーは標準偏差, 各線は12ヶ月の移動平均)

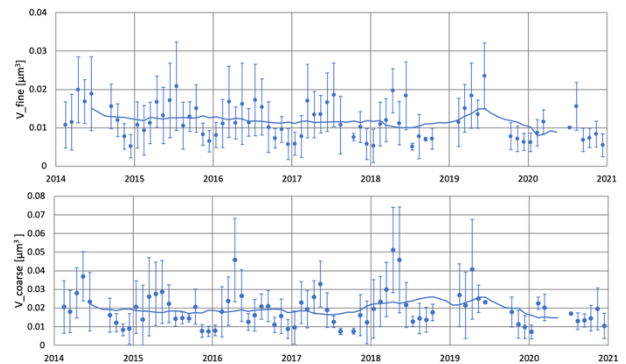


図2 推定された微小モード(上)と粗大モード(下)の総体積(エラーバーは標準偏差, 各線は12ヶ月の移動平均)

富士山麓太郎坊において測定された2015年からのAOTと東京神楽坂における同時期のAOTを図3に示す。太郎坊の散乱光データは欠測が多く、ここでは直達光データの解析結果から月ごとの平均値, 標準偏差を算出し、比較した。太郎坊におけるAOTは春から夏に高く、冬に低い季節変化があることが報告されている⁵⁾。現在の観測でも同様のAOTの季節変化が見られた。また富士山麓太郎坊におけるAOTは東京神楽坂に比べ多くの月でおおよそ1/2ほどであった。

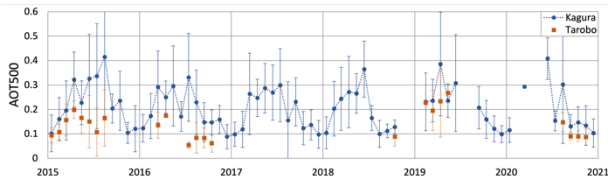


図3 富士山麓太郎坊と東京神楽坂におけるAOT(500)

東京神楽坂と富士山麓太郎坊の両地点で散乱光データの解析を行うことができた2015年5月13日のAOT, 気柱積算体積粒径分布, 風向風速(AMeDAS[®]), ライダー(NIES⁷, 新宿御苑)のデータをそれぞれ図に示す. AOT(図4)は, 神楽坂では午前中に一時的に増加して午後には高い値をとっており, 太郎坊では安定した値から午後に一時的に増加している. 両地点で一時的にAOTが増加した時刻の体積粒径分布(図5)はよく一致していた. 周辺地域全体の風向(図6)とスカイラジオメータの観測の結果より, 神楽坂から太郎坊への同一のエアマスの輸送が考えられる. ライダー(図7)より, このAOTが増加した時刻で粒径の大きい球形粒子が同じく一時的にかかり分布していた様子がわかる. これらのことから, 神楽坂では午前中に一時的に地表付近で大きな球形粒子が多く分布し, 時間が経つにつれ鉛直拡散, そのエアマスが前線の影響と考えられる複雑な風の動きにより太郎坊へ輸送されたと考えられる.

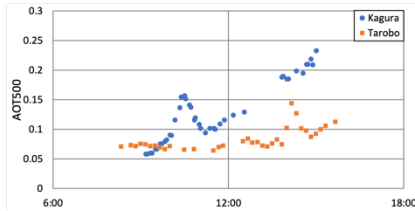


図4 AOT500 [2015/5/13]

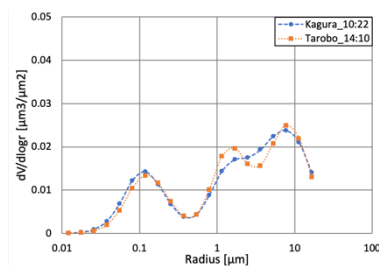


図5 気柱積算体積粒径分布の比較 [2015/5/13]

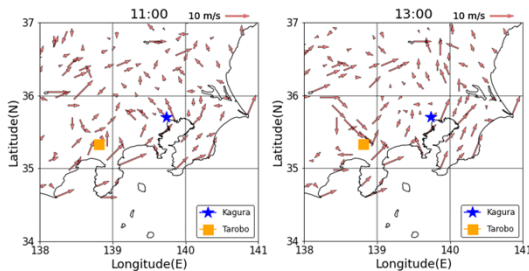


図6 風向風速の水平分布 [2015/5/13]

4 おわりに

条件の異なる2地点でスカイラジオメータを用いた観測を行なった. 東京神楽坂におけるAOTは現在は横ばいとなっている. また微小モードは春から夏に, 粗大モードは春に高くなる季節変化が見られた. 富士山麓太郎坊におけるAOTは東京神楽坂に比べおよそ1/2で, 似た季節変化が見られた. 重複解析日の比較から, 東京神楽坂から富士山麓太郎坊へ, 東から西へのエアマスの輸送が初めて確認された. 今後, 解析プログラムの改良と様々な場所での継続した観測によりエアロゾルの直接効果の正確な評価, 空間依存性の解明が期待できる.

謝辞

本研究の一部は千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究により実施された(2020)

参考

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013): Climate Change 2013 The Physical Scientific Basis
- 2) Nakajima et al. (2020)., An overview of and issues with sky radiometer technology and SKYNET, Atmos. Meas. Tech., 13, 4195–4218
- 3) Nakajima et al. (1996)., Use of Sky brightness measurements from ground for remote sensing of particulate polydispersions, Appl. Opt., 35, 2672–2686
- 4) 中原勇希 (2015)., 東京理科大学 修士論文
- 5) 橋口翔 (2016)., 東京理科大学 卒業論文
- 6) <https://www.jma.go.jp/jp/amedas/>
- 7) <https://www.lidar.nies.go.jp/AD-Net/>

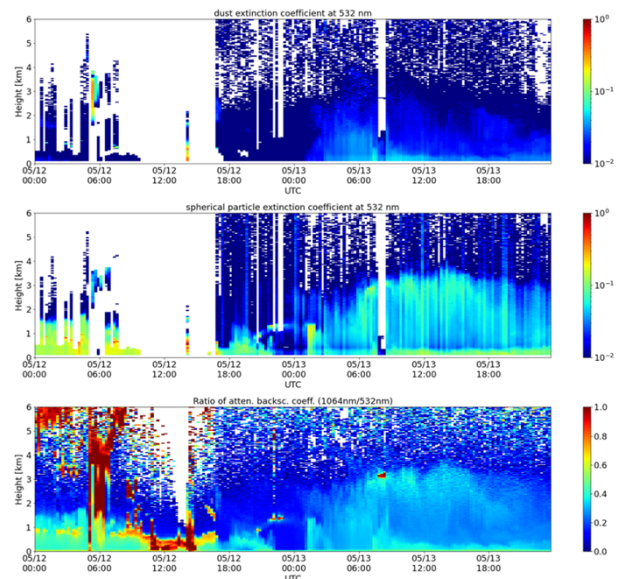


図7 ライダー(新宿御苑) [2015/5/13]