

# 微粒子が気候を変える！

## —富士山体を利用したエアロゾルの気候影響の研究—

○三浦和彦<sup>1,2</sup>, 大河内 博<sup>3</sup>, 加藤俊吾<sup>4</sup>, 和田龍一<sup>5</sup>, 皆巳幸也<sup>6</sup>, 鴨川 仁<sup>7</sup>, 矢吹正教<sup>8</sup>, 青木一真<sup>9</sup>, 永野勝裕<sup>1</sup>, 森 樹大<sup>1,10</sup>, 岩本洋子<sup>1,11</sup>, 上田紗也子<sup>1,12</sup>, 速水 洋<sup>3</sup>, 桃井裕広<sup>1,13</sup>, 五十嵐博己<sup>1</sup>, 伊藤佳樹<sup>1</sup>, 木村 駿<sup>1</sup>, 齋藤天真<sup>1</sup>

1.東京理科大学, 2.富士山環境研究センター, 3. 早稲田大学, 4.東京都立大学, 5.帝京科学大学, 6.石川県立大学, 7.静岡県立大学, 8.京都大学, 9.富山大学, 10.東京大学, 11.広島大学, 12.名古屋大学, 13.千葉大学

### 1. はじめに

二酸化炭素の増加により地球の温度が上がっているのはご存知ですね。富士山頂の値も増加しています。でも地球を冷やす物質があることをご存知ですか？空気中に浮遊する微粒子, エアロゾル粒子です。PM<sub>2.5</sub>もエアロゾルですが, それよりコロナウイルスの媒体としてご存知ですよ。この悪玉のエアロゾルですが, 地球を冷やす効果があります。太陽光を直接散乱・吸収する直接効果と, 雲の核(雲凝結核, CCN)になることで雲の特性を変える間接効果です。

エアロゾル粒子が爆発的に増加する現象があります。二酸化硫黄などの気体が粒子化する現象で新粒子生成(NPF)と呼んでいます。エアロゾル粒子濃度が高いところは都市ですが, 地球温暖化という地球規模の問題ですから地球表面の7割を占める海洋上の大気中のNPFについて調べようと, 1989年から研究船で毎年のように観測をしていました。でも, 2003年の航海までほとんど観測されません。そして, その例も自由対流圏で生成したものが高気圧のもと, 沈降したものです。確かに, 航空機観測により自由対流圏においてNPFがしばしば観測されることが報告されています。しかし, 航空機は移動が速いため, NPFのメカニズムを解明するのは難しいです。そこで富士山頂(3776m)で2006年から観測を始めました。富士山頂は自由対流圏に位置することが多く, NPFのメカニズムを調べるためには最適の場所です。

### 2. 2006～2019年の富士山頂の観測結果

2006年～2019年までの成果については過去の成果報告会で紹介してきた。ここではすでに投稿済み, 投稿中の成果について紹介する。

走査型移動度粒径測定器(SMPS)で測定した14.9～148.6nmの総粒子数濃度, 大きさ別に核生成モード(14.9～24.6nm), Aitkenモード(26.4～96.5nm), 蓄積モード(103.7～148.6nm)の粒子数濃度の経年変化を見ると, 総粒子数濃度は2006年～2019年の14年の間に約3分の1に減少している。特に核生成モードの減少が著しい。核生成モードのエアロゾルはNPFにより生成され, イベントが起こると急激に高濃度になる。新粒子生成イベントは2006年から2019年の全観測期間453日中291回観測された。日中は8時, 夜間は22時にイベント観測数のピー

クを示した。成長率を用いてNPF発生時刻の推定を行ったところ, 日中(80%)と夜間(20%)の両方でNPFが発生しており, 光化学反応と暗反応の両方でNPFが発生している可能性があることが示唆された。<sup>1)</sup>

新粒子生成の原因の一つとしてイオン誘発核生成が考えられる。そこで, 大気イオンの測定を行ったが, 残念ながら, イオン誘発核生成はほとんど観測されなかった<sup>2)</sup>。

粒子数濃度の増減は直接効果にとって重要であるが, 新しく生成した粒子が全てCCNになるわけではない。自然条件の過飽和度においてCCNとなる(活性化する)粒子の臨界直径は50～150nmと報告されているが, 80nm以上の粒子数濃度( $N_{80}$ )を潜在的なCCN数濃度として用いることが多い。2014年以後のデータを解析した結果, イベントの後 $N_{80}$ が増加する例は81回のイベント中34例, モード径が80nmを超えたのが7例, 観測された。富士山頂では増加数は85～240個/cm<sup>3</sup>と他の観測点と比較小さいが, 増加率は150～350%と他の観測点と同程度であることがわかった<sup>3)</sup>。

CCNは雲凝結核計(CCNC)を用いて, 外気を吸引し測定器内で自然の雲と同程度の過飽和状態にしたときに成長する粒子数を計数することにより測定することができる。これを総粒子数濃度と比較すると, 気塊がどこから輸送されて来たかによって, CCN数の割合が異なった。

2010年の結果によると, 下層から気塊が輸送されて来た時より, 自由対流圏中を越境輸送されて来た時の方がCCN数の割合が高いことがわかった。これは輸送中に粒子が十分成長したためと考えられる<sup>4)</sup>。また, CCNの活性化は, 水蒸気過飽和度が高い, 乾燥粒径が大きい, 吸湿性が強いほど大きい, 雲粒(CD)生成には粒径分布が最も影響することが示され, 化学組成の代表値を用いてもCD数濃度を推定できる可能性が示された<sup>5)</sup>。

富士山頂への大気境界層の気塊の影響を調べる試みも行われた。山頂, 太郎坊(1,290m)のほかにも気象庁の7合8勺避難小屋(3,255m)で同時に観測し, 谷風によるエアロゾル粒子輸送の定量評価を行った<sup>6)</sup>。また, 測定器を持って徒歩観測を行い, 窒素酸化物濃度の鉛直分布を求めたり<sup>7)</sup>, 雲過程によるエアロゾル粒子の変質の調査を行った<sup>8)</sup>。

### 3. 太郎坊, 御殿場基地における観測

2020年, 2021年夏期ともコロナ禍のため, 山頂での観測はできなかった. 富士山頂には谷風により, 大気境界層の大気が輸送されることがある. そこで, 輸送過程を調査することを目的に2020年8月から太郎坊と御殿場基地(446m)で同時に光散乱式粒子計数器(OPC)の測定をした(図1). OPCに太郎坊ではKC01E, 御殿場基地ではKC52Cを使用した. また太郎坊ではSMPSによる粒径分布とスカイラジオメータにより光学的厚さの測定をした.



図1 観測場所の位置と高度

(<https://npofuji3776.org/infrastructure/bases.html>)

図2に2020年8月に太郎坊と御殿場基地で同時に測定したOPCの結果を示す. 太郎坊では26日21時過ぎに0.3, 0.5  $\mu\text{m}$ 以上の粒子濃度の減少が見られるが, 御殿場基地では26日の夕方から減少している. また, 29日夜, 31日夜の減少にも時間のズレがある. 今後, 風系など気象解析により輸送過程を調べたい.

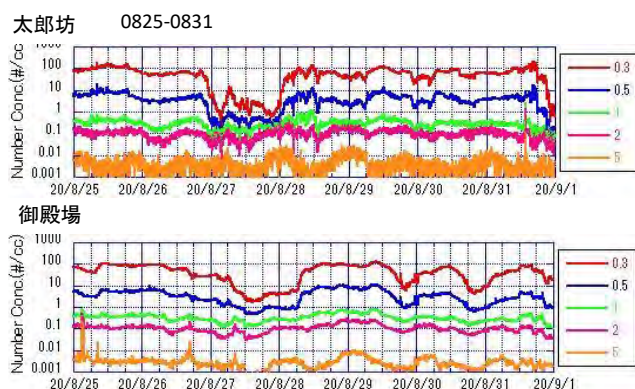


図2 太郎坊(上), 御殿場基地(下)で測定した0.3  $\mu\text{m}$ 以上の粒子濃度の時間変化(2020年8月25~31日)

図3に2021年7月~8月の15~150nmの総濃度と核生成モード(15~25nm)の粒子の割合の時間変化を示す. 台風, 低気圧, 前線の影響を受けて低濃度を示すが, それ以外の日は日中高く夜間低いという規則正しい日

変化を示すことが多い. 図4に7月23~24日を拡大して示す. 総濃度とAitkenモード, 累積モードの粒子濃度, 核生成モードの割合を示す. 全粒径範囲にわたり, 23日7時~8時頃にスパイク状, 10時~15時になだらかな増加が見られる. 24日も7時頃にスパイク状, 15時過ぎに増加が見られるが, Aitkenモード, 累積モードの粒子濃度は増加していない. 24日は新粒子生成イベントと考えられるが, 23日は $\text{SO}_2$ 濃度も高く長距離輸送が考えられる. 浅間山の噴煙の影響を捉えたものかもしれない.

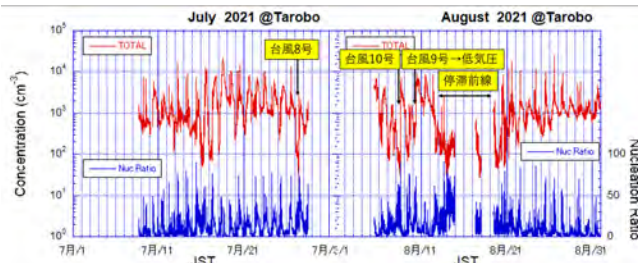


図3 総粒子数濃度と核生成モードの粒子濃度の割合の時間変化(2021年7月, 8月)

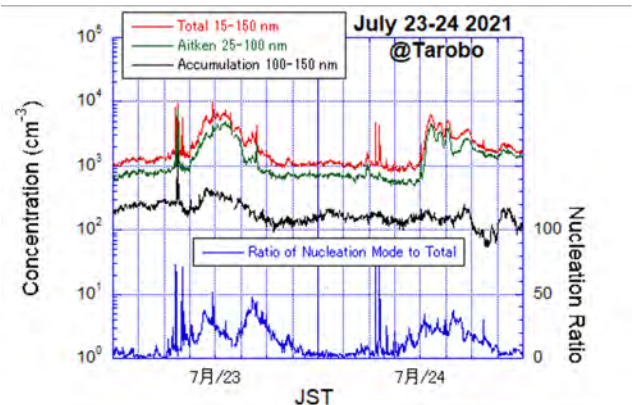


図4 総粒子濃度, Aitkenモード, 累積モードの粒子濃度と核生成モードの粒子濃度の割合の時間変化(2021年7月23日~24日)

### 謝辞

本研究の一部は, 科研費基盤研究B(19H04238)(代表 矢吹正教, 2019-2021年度)の助成により行われた.

### 参考文献

- 1) 五十嵐博己ら, *エアロゾル研究*, **37**, 2022 (印刷中)
- 2) 長岡信頼ら, *J. Atmos. Elect.*, **33**, 107-114, 2013
- 3) 木村駿ら, *エアロゾル研究*, 2022 (投稿中)
- 4) 長谷川朋子ら, *エアロゾル研究*, **27**, 189-196, 2012
- 5) Iwamoto *et al.*, *Appl. Sci.*, **11**, 8439, 2021
- 6) 藤代恵史ら, *エアロゾル研究*, **24**, 123-128, 2009
- 7) 室崎将史ら, *大気環境学会誌*, **41**(6), 347-354, 2006
- 8) Ueda *et al.*, *Atmospheric Research*, **137**, 216-227, 2014