

## 2015～2017 年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性

佐藤光之介<sup>1</sup>, 五十嵐博己<sup>1</sup>, 小菅愛加里<sup>1</sup>, 森樹大<sup>1</sup>, 三浦和彦<sup>1</sup>, 岩本洋子<sup>2</sup>, 大河内博<sup>3</sup>, 植松光夫<sup>4</sup>

1. 東京理科大学, 2. 広島大学, 3. 早稲田大学, 4. 東京大学

### 1. はじめに

大気エアロゾルは、それ自身が太陽光を直接吸収・散乱する直接効果と、雲形成時に雲凝結核 (CCN) として働き、雲の光学特性や寿命を変化させる間接効果 (雲調整効果) を持つ。あるエアロゾル粒子が CCN になり得るかどうかは、周囲の過飽和度と、粒子自身の乾燥粒径、化学組成 (吸湿性) により決定される。一般には、周囲の過飽和度が高い、粒子の乾燥粒径が大きい、吸湿性が大きいほど、CCN になりやすい。

本研究では、夏季に富士山頂 (富士山特別地域気象観測所) で CCN 観測を行った。富士山は日本一標高の高い独立峰であり、その山頂は自由対流圏内に位置することが多いため、ローカルな汚染の影響を受けていないエアロゾルの観測が期待できる。本研究では特にエアロゾルの長距離輸送に着目し、後方流跡線解析を用いて、エアマスの由来と CCN の各パラメータとの関係について考察した。さらに、直接観測することが困難な実大気中のピーク過飽和度を推定した。

### 2. 研究方法

2015 年 7 月 20 日から 8 月 20 日まで、2016 年 7 月 14 日から 8 月 21 日まで、及び 2017 年 7 月 15 日から 8 月 23 日まで、富士山特別地域気象観測所 1 号庁舎 2 階で観測を行った。拡散ドライヤを通して外気を乾燥させ、走査型移動度粒径測定器 (SMPS) 及び光散乱式粒子計数器 (OPC) で凝結核 (CN) 数、雲凝結核計数器 (CCNC) で CCN 数をそれぞれ測定した。測定システムを図 1 に示す。

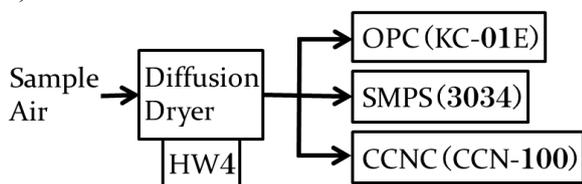


図 1 測定システム

### 3. 結果と考察

図 2 に、CCN 数濃度、CN 数濃度、及び CCN/CN 比 (CCN 活性比) を年度毎に比較した結果と、様々な観測サイトにおける吸湿性パラメータ ( $\kappa$ ) の値を比較した結果を示す。

CCN 数濃度については年度による差異はほとんど見られなかったが、CN 数濃度については 2017 年が他の年度に比べて 2 割ほど低かったことが分かった。そのため、CCN 活性比は 2017 年が最も高かった。2017 年の観測期間全体の CCN 数濃度の平均値は、過飽和度が 0.31% (補正後) の時  $157.2 \pm 120.7 \text{ cm}^{-3}$  となった。また、同期間の CCN 活性比の平均値は、同過飽和度の時  $37.2 \pm 23.5\%$  であった。長谷川<sup>1)</sup> が 2011 年夏季に富士山頂で測定した CCN 数濃度及び CCN 活性比の平均値は、過飽和度が 0.27% (補正後) の時にそれぞれ  $180 \pm 136 \text{ cm}^{-3}$ ,  $36 \pm 22\%$  であったため、今回の測定結果と比較的近い値であった。

また、富士山頂における  $\kappa$  の値は、Jungfraujoch など富士山と似た条件下にある他の山岳域や、都市である東京スカイツリー、神楽坂に比べて約 2 倍から 3 倍ほど大きく、絶対値としては硝酸アンモニウム (0.41) や硫酸アンモニウム (0.51)<sup>2)</sup> に相当する値であることが分かった。一方、 $\kappa$  には日変動のようなものも見られ、早朝と夕方に大きくなる傾向が確認された。

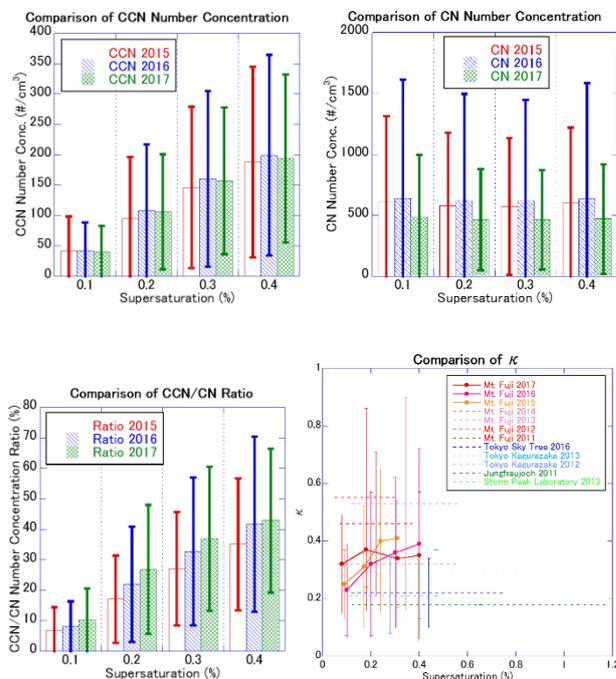


図 2 富士山頂で測定した CCN 数濃度、CN 数濃度、CCN 活性比の年度比較と吸湿性パラメータ

次に、観測期間中の後方流跡線を3時間毎に取得し、エアマスの由来を大陸、海洋、海陸、日本、オホーツクの5種類に大別した。由来別に各要素を比較したグラフを図3に示す。

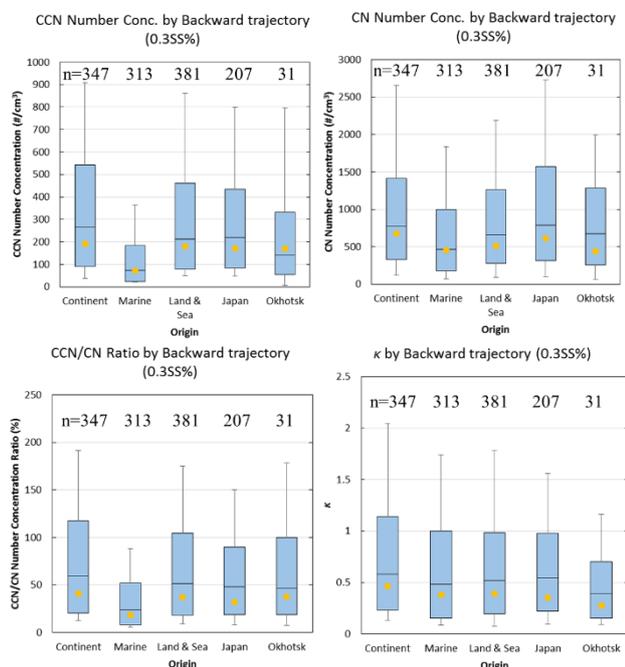


図3 富士山頂で測定したCCN数濃度、CN数濃度(上)、及びCCN活性化比、 $\kappa$ (下)の流跡線由来別比較(0.355%)

過飽和度が0.3%の時を例に挙げて2015年から2017年までのデータをまとめて由来別に比較すると、CCN数濃度についてはエアマスが海洋由来の時に顕著に低く、その影響でCCN活性化比も海洋由来のエアマスで最小となった。一方、吸湿性パラメータの値はエアマスの由来によらずほぼ似たような値であることが分かった。例えば2016年の観測期間全体の吸湿性パラメータの平均値は、エアマスが大陸、海洋、海陸、日本、オホーツク由来の時にそれぞれ $0.41 \pm 0.31$ ,  $0.49 \pm 0.30$ ,  $0.32 \pm 0.22$ ,  $0.30 \pm 0.22$ ,  $0.29 \pm 0.18$ となった。なお、渡辺<sup>3)</sup>が2013年夏季に測定した大陸、海洋、海陸、日本由来の各エアマスの吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度が0.31%の時にそれぞれ $0.47 \pm 0.03$ ,  $0.56 \pm 0.06$ ,  $0.46 \pm 0.04$ ,  $0.25 \pm 0.04$ であった。

さらに、2017年のデータについて、流跡線解析の結果とCCN活性化比を用いて実大気中のピーク過飽和度を推定した結果を図4に示す。

実大気中のピーク過飽和度は、海陸由来の時に高くなる傾向が見られた。全期間の平均値は約0.3%程度と推算され、Jungfraujochなど富士山と似たような条件の山

岳域において層雲が形成される際の過飽和度<sup>4)</sup>に近い値であった。以上のことから、富士山頂のCCNは他の地域より吸湿性が高く、実大気の過飽和度下においては、粒径が小さくても雲粒として活性化する可能性があると考えられる。

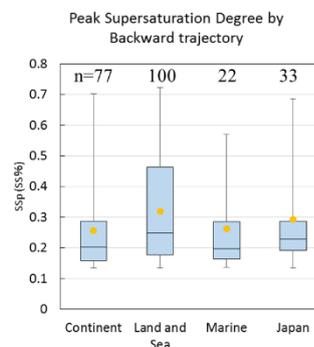


図4 流跡線由来別のピーク過飽和度の推定値

#### 4. 結論

夏季に富士山頂において雲凝結核数濃度の測定を行い、後方流跡線解析をもとに活性比、吸湿性パラメータなどを算出することで、活性比は過飽和度によらず大陸や海陸由来のエアマスで最大、海洋由来のエアマスで最小となることが分かった。また、富士山頂における吸湿性パラメータの値は、他のサイトに比べて大きく、硝酸アンモニウムや硫酸アンモニウムに近い値であること、早朝と夕方が大きくなる傾向があることも分かった。さらに、富士山頂の実大気中のピーク過飽和度は約0.3%程度と推算され、似たような条件下の山岳域において層雲が形成される際の過飽和度に近い値であることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) 長谷川朋子(2013). 東京都心部の生成されたばかりの粒子と富士山山頂のエイジングを受けた粒子の雲凝結核特性. 東京理科大学 2012年度修士論文, 19.
- 2) G. Snider *et al.* (2016). Variation in global chemical composition of PM<sub>2.5</sub>: emerging results from SPARTAN. *Atmos. Chem. Phys.*, **16**, 9629-9653.
- 3) 渡辺彩水(2015). 富士山頂で測定したエアロゾル雲凝結核特性と霧粒特性. 東京理科大学 2014年度修士論文, 18.
- 4) E. Hammer *et al.* (2014). Investigation of the effective peak supersaturation for liquid-phase clouds at the high-alpine site Jungfraujoch, Switzerland (3580 m a.s.l.). *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 1123-1139.