

P-08: 2015, 2016 年夏季の富士山頂における雲凝結核の特性

佐藤光之介¹, 片岡良太¹, 岩本洋子¹, 三浦和彦¹
1. 東京理科大学

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、周囲の過飽和度が大きい、粒子の乾燥粒径、吸湿性が大きいほど、粒子は 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。今回はエアロゾルの長距離輸送に着目し、後方流跡線を用いて山岳大気の CCN 活性を解析した。そして、エアマスの由来別に、CCN 活性比との関係について考察した。

2. 測定方法と解析原理

2015 年 7 月 20 日から 8 月 20 日まで、及び 2016 年 7 月 14 日から 8 月 21 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。HW4 を用いて温湿度をモニタリングし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。

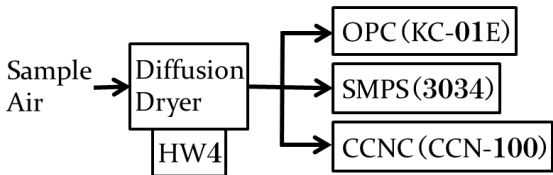


図 1 測定システム

粒子の化学組成に依存する吸湿性パラメータ (κ) の値は、周辺大気の飽和度 (S_c)、乾燥臨界粒径 (D_c)、温度 (T) によって決まり、次式で与えられる。 σ_w , M_w , ρ_w はそれぞれ水の表面張力、分子量、密度であり、 R は気体定数である。

$$\kappa = \frac{4A^3}{27D_c^3(\ln S_c)^2} \approx \frac{1.15 \times 10^{-18}}{27T^3D_c^3(\ln S_c)^2}$$
$$\left(A = \frac{4\sigma_w M_w}{\rho_w RT} \approx \frac{0.66 \times 10^{-6}}{T} \right)$$

また、後方流跡線解析では、NOAA HYSPLIT Model の 72 時間遡行流跡線データを 3 時間毎に取得し、それぞれの由来域を大別して図 2 のように分類した。

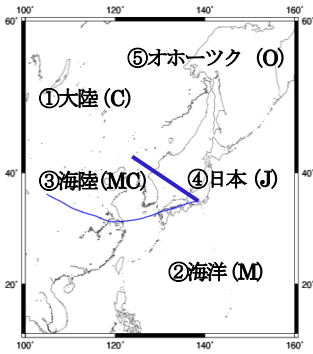


図 2 後方流跡線分類

3. 結果と考察

表 1 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を示す。

表 1 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

SS (%)	Year	CCN Number Conc. (#/cm ³)	CN Number Conc. (#/cm ³)	Number Conc. Ratio (%)
0.1	2015	41.8 ± 56.9	612.1 ± 703.0	6.9 ± 7.6
	2016	41.7 ± 47.0	637.2 ± 977.4	8.1 ± 8.3
0.2	2015	95.4 ± 101.1	578.7 ± 600.7	17.1 ± 14.3
	2016	108.0 ± 109.8	621.0 ± 874.7	22.0 ± 18.9
0.3	2015	146.5 ± 132.8	573.2 ± 560.1	27.1 ± 18.6
	2016	160.9 ± 144.6	618.3 ± 828.6	32.8 ± 24.3
0.4	2015	188.5 ± 157.2	597.5 ± 624.3	35.1 ± 21.7
	2016	199.3 ± 165.2	634.7 ± 952.7	41.7 ± 28.7

これらの結果より、過飽和度が大きいほど CCN 数濃度や CCN 活性比が高くなる一般的な傾向が確認された。また、CCN と CN の数濃度については、ほぼ全ての過飽和度で 2016 年の方が高かったが、CCN 数濃度の増加率がより大きかったため、活性比も 2016 年の方が高かった。2016 年の観測期間全体の CCN 数濃度の平均値は、過飽和度が 0.3% の時 160.9 ± 144.6 [# / cm³] となった。同期間の CCN 活性比の平均値は、過飽和度 0.3% の時 32.8 ± 24.3 [%] であった。長谷川⁹⁾が 2011 年夏季に測定した CCN 数濃度及び CCN 活性比の平均値は、過飽和度が 0.27% の時にそれぞれ 180 ± 136 [# / cm³]、 36 ± 22 [%] であったため、今回の測定結果の方が CCN 数濃度、CCN 活性比ともにやや小さくなった。

次に、インレットの温度、乾燥臨界粒径、及び吸湿性パラメータを年度毎に比較した結果を表2に示す。

表2 富士山頂で測定したインレット温度、乾燥臨界粒径、吸湿性パラメータの年度比較

SS (%)	Year	Inlet Temp. (K)	Dry Critical Diameter (nm)	κ
0.1	2015	304.22 ± 2.46	215.6 ± 50.6	0.25 ± 0.12
	2016	301.21 ± 3.13 ▼	210.3 ± 59.3 ▼	0.23 ± 0.16 ▼
0.2	2015	304.23 ± 2.45	134.0 ± 46.8	0.31 ± 0.21
	2016	301.16 ± 3.14 ▼	132.0 ± 73.2 ▼	0.32 ± 0.25 △
0.3	2015	304.22 ± 2.44	98.6 ± 42.4	0.40 ± 0.25
	2016	301.19 ± 3.10 ▼	95.2 ± 60.7 ▼	0.36 ± 0.26 ▼
0.4	2015	304.22 ± 2.44	78.9 ± 25.9	0.41 ± 0.24
	2016	301.20 ± 3.06 ▼	77.0 ± 55.0 ▼	0.39 ± 0.33 ▼

乾燥臨界粒径については全ての過飽和度においてやや小さくなり、吸湿性パラメータは過飽和度が 0.2%の時を除いてやや小さくなったことが分かった。2016 年の観測期間全体の乾燥臨界粒径の平均値は、過飽和度が 0.3%の時 95.2 ± 60.7 [nm] となった。また、同期間の吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度 0.3%の時 0.36 ± 0.26 であった。長谷川¹⁾が 2011 年夏季に測定した乾燥臨界粒径及び吸湿性パラメータの平均値は、過飽和度が 0.27%の時にそれぞれ 82.3 ± 26.3 [nm], 0.50 ± 0.31 であったため、今回の測定結果の方が乾燥臨界粒径は大きく、吸湿性パラメータは小さくなった。

このように年度毎に傾向が変化する要因として、輸送されるエアマスが異なることが考えられるため、観測期間中の後方流跡線を 3 時間毎に取得し、その由来別に各要素を比較した(表 3, 図 3, 図 4)。

表 3 後方流跡線サンプル数

Year	Continent	Marine	Land and Sea	Japan	Okhotsk
2015	79	172	52	46	—
2016	74	72	134	96	30

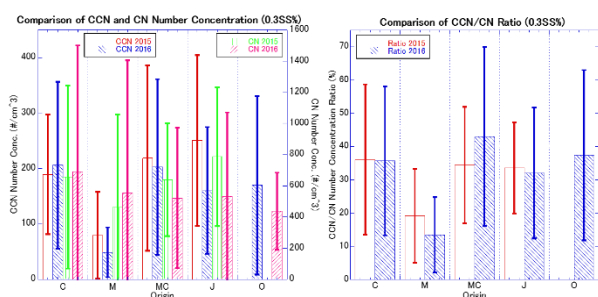


図3 富士山頂で測定した CCN 数濃度、CN 数濃度(左), 及び CCN 活性比(右)の流跡線由来別年度比較(0.3SS%)

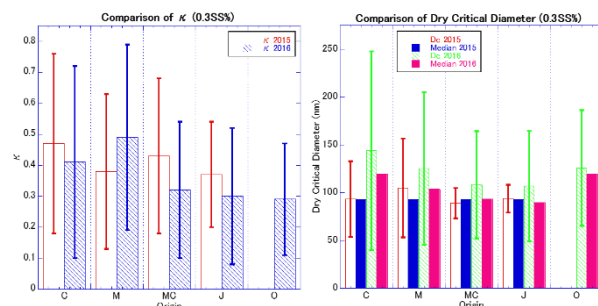


図4 富士山頂で測定した吸湿性パラメータ(左), 及び乾燥臨界粒径(右)の流跡線由来別年度比較(0.3SS%)

過飽和度が 0.3%の時を例に挙げると、2015 年に比べ、CCN 数濃度についてはエアマスが大陸由来の時のみ高く、CCN 活性比は海陸由来の時のみ高くなったが、吸湿性パラメータの値は海洋由来の時に大きくなったことが分かった。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 ± 0.31 , 0.49 ± 0.30 , 0.32 ± 0.22 , 0.30 ± 0.22 , 0.29 ± 0.18 となった。渡辺²⁾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 ± 0.03 , 0.56 ± 0.06 , 0.46 ± 0.04 , 0.25 ± 0.04 であったため、今回の測定結果の方が日本由来を除いて小さくなった。

2015 年と 2016 年の比較において、2016 年の方が吸湿性パラメータの値が小さくなったのは、年によって主要なエアマスの由来が異なることが原因として考えられる。一般に吸湿性パラメータの値は、水溶性に乏しい有機物が多いと考えられる大陸や海陸由来のエアマスで小さく、海洋由来のエアマスで大きくなる。2016 年は、海洋由来のエアマスが支配的であった 2015 年に比べて大陸やオホーツクからのエアマスが多数流入したため、エイジングにより粒径が大きくなり、その結果 CCN 活性比が高くなったと考えられる。このことから、活性比は個々の粒子の化学的な組成よりも、エアマス全体の粒径分布により強く依存していると考えられることができる。

謝辞

本研究は、認定 NPO 法人富士山測候所を活用する会が、気象庁より富士山特別地域気象観測所の施設の一部を借用している期間に行われた。本研究の一部は、東京理科大学共同研究助成金(2016 年度)の助成により行われた。

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. 東京理科大学修士論文, 19.
- 2) 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. 東京理科大学修士論文, 18.