

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

渡辺彩水、三浦和彦、岩本洋子（東京理科大）、植松光夫（東大大気海洋研）、小林拓（山梨大）

1. はじめに

大気エアロゾルが気候に与える影響には直接効果と雲調整効果がある。直接効果は太陽光を直接吸収散乱する効果、雲調整効果は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効果である。気候変動に関する政府間パネル第 5 次報告書^[1]によると、放射強制力に与える雲調整効果に関しては、大きな不確かさを持っているとされ科学的理解度が低い。そのため、多くの地域でエアロゾル CCN 特性を測定することが必要となっている。

大気エアロゾル粒子の CCN 活性能はケーラー理論によって説明され、周囲の水蒸気過飽和度（SS）、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。エアロゾルの粒径分布、化学組成については多くの地域で測定されているが、SS についての研究報告はほとんどない。本研究では富士山頂で得られたエアロゾル CCN 活性特性、霧粒特性などの観測データを用いることで実大気中のピーク過飽和度 SS_p を算出した。また SS、エアロゾル粒径分布、化学組成のうち、どの要素が粒子の霧活性へ与える影響が大きいかを調べた。

2. 測定方法

2014 年 7 月 18 日から 8 月 24 日の間、富士山頂に位置する富士山特別地域気象観測所（35.365° N, 138.727° E, 標高 3776m）で観測を行った。富士山頂は下層雲である霧の発生頻度が高く、実際に霧粒として活性しているエアロゾル粒子を長時間定点観測できる点で優れた観測サイトといえる。また自由対流圏に位置することが多く、エアマスの輸送起源とエアロゾル特性の関係をみることができる。拡散ドライヤーに通し相対湿度 30% 以下に乾燥させた外気を走査型移動度別粒子測定器（SMPS）、光散乱粒子計数器（OPC）および雲凝結核カウンタ（CCNC）に導入し、凝結核（CN）数濃度（ N_{CN} ）とその粒径分布、CCN 数濃度（ N_{CCN} ）を測定した。また、施設外に Fog Monitor を設置し霧粒濃度（ N_{Fog} ）とその粒径分布を測定した。観測データを用いて吸湿成長パラメータ κ ^[2]、霧水量（Liquid Water Content: LWC）、霧の有効半径 R_{eff} 、 SS_p を算出した。エアマスの輸送起源の解析には、NOAA の HYSPLIT

model の後方流跡線^[3]を用いた。

3. 結果、考察

夏季の富士山頂は観測期間の約 80% が自由対流圏に位置し、エアマスの輸送によるエアロゾル特性の変動について調査するのに適した環境であった。輸送起源ごとに CCN 活性パラメータを比較したところ、大陸起源で N_{CCN} 、CCN 活性比（ N_{CCN}/N_{CN} ）が大きくなった。これは、長距離輸送によるエイジングのため、粒径分布のモード径が大きくなり、他の輸送起源と比較して CCN になりやすくなったためと考えられる。また、全観測期間の κ の平均値は 0.32 ± 0.22 で、エアマスが海洋起源のとき最も大きくなり（ $\kappa = 0.56$ ）、吸湿性が大きい粒子ほど CCN になりやすいという一般的な特性に矛盾した結果が得られた。このことは、富士山頂では粒子の吸湿性より粒径分布の CCN 活性への寄与が大きいことを示した先行研究^[4]の結果と一致する。

観測期間の約 40% の間、富士山頂には霧が発生していた。LWC が 0.02 mg/cm^3 以上のとき N_{Fog} と N_{CCN} に正相関がみられた。また、 N_{CCN} が減少すると R_{eff} が大きくなり CCN 数の多い雲はよりたくさんの小さな雲粒で形成される雲の特性と一致する現象が地上観測でも確認できた。

観測データを用いて SS_p を算出したところ、 $0.08\text{--}0.26\%$ という結果が得られ、他地域で観測した SS_p の霧～層雲の値と同程度であった。また上昇風速度が大きいとき、霧は発生しやすく、 SS_p は大きくなる傾向がみられた。輸送起源ごとに霧活性に関するパラメータを比較したところ、 SS_p は海洋起源で最も大きくなることが示された（Table 1）。また、 SS_p と N_{CCN} の間に負の相関がみられたこれは、 N_{CCN} が高いとき、粒子同士で水蒸気の取り合いが起きるため水蒸気量は減少し、 SS_p は減少するためである。よって、エアマスが海洋から輸送されてくるとき、 N_{CCN} が小さく比較的上昇風速度も大きいとき SS_p は大きくなったと考えられる。実大気中のピーク過飽和度 SS_p は上昇風速度などローカルな気象場の影響を強く受けるが、エアマスの輸送起源によって変化する N_{CCN} などエアロゾル特性の影響も受けることが示された。また Table 1 より、霧活性比（ N_{Fog}/N_{CN} ）は SS_p が最も大きい海洋起源で

はなく、大陸起源で最大となった。この要因を調べるために、粒径分布、 κ 、 SS_p をそれぞれ霧イベント時の観測結果の平均値で固定し、以下の式を用いて霧粒濃度を算出した。

$$\int_{D_{act}}^{\infty} n(\log D_p) d\log D_p = N_{Fog}$$

霧粒濃度の計算値 N_{Fog_cal} と Fog Monitor で測定した測定値 N_{Fog} を比較することで霧活性にどの要素の寄与が大きいか調べた。その結果、粒径分布を固定した場合最も相対誤差が大きくなり、次いで SS 、 κ と相対誤差は小さくなった (Fig.2)。以上より、実大気中の霧活性には粒径分布の寄与が最も大きいことが示され、化学組成の代表値を用いても N_{Fog} を推定できる可能性が示唆された。また、エアロゾルの霧活性特性を理解するために正確な SS を測定することの重要性が確認できた。

4. おわりに

富士山頂でエアロゾル粒径分布、CCN 濃度、霧粒粒径分布を測定した結果以下のことがわかった。

- ・富士山頂では輸送起源によって CCN 特性は変化し、幾何平均径が大きい大陸起源の粒子が CCN 活性しやすい。
- ・ SS_p を算出したところ、0.08-0.26% となり他地域で観測した SS_p の霧～層雲の値と同程度であった。 SS_p

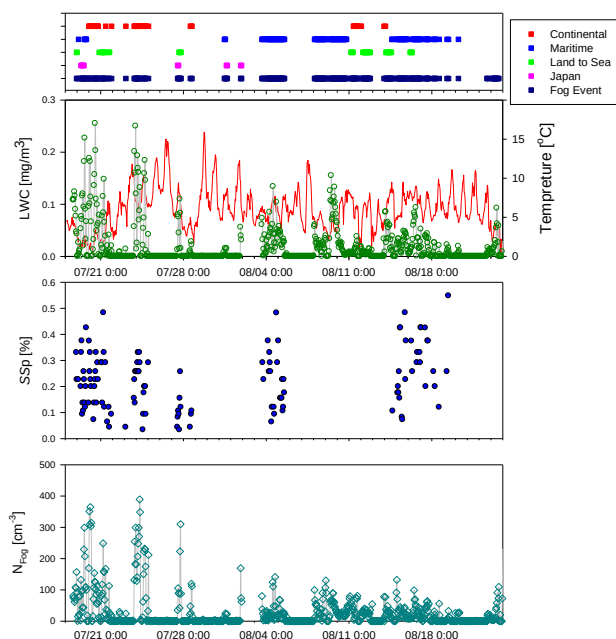


Fig.1.霧活性パラメータ時系列

(a)エアマスの輸送起源と霧イベント、(b)LWC (緑)と気温 (赤)、(c) SS_p 、(d) N_{Fog}

は上昇風速度などローカルな気象場の影響を強く受けるが、エアマスの輸送起源によって変化する N_{CCN} の影響もみられた。

- ・実大気中の霧活性には粒径分布、 SS 、 κ の順で寄与が大きく、霧活性特性を理解するためには正確な SS を測定することが必要である。

Table 1. エアマスの輸送起源別霧活性パラメータ

Airmass origin	Continental	Maritime	Land to Sea	Japan
SS_p [%]	0.21	0.25	0.2	0.17
LWC [mg/m ³]	0.08	0.04	0.03	0.05
D_{50} [nm]	155.3	100.7	133.7	180.6
N_{Fog} [/cm ³]	147.4	38.6	58.6	78.4
N_{Fog}/N_{CN}	0.32	0.16	0.25	0.13

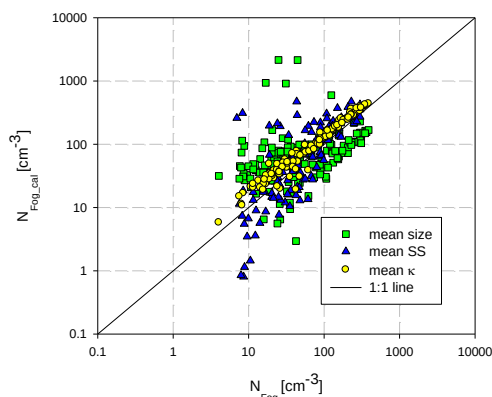


Fig.2. N_{Fog} と N_{Fog_cal} の比較

(■: 粒径分布を固定した場合 ▲: SS を固定した場合 ●: κ を固定した場合)

謝辞

本観測は 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われました。観測にご協力いただいた研究者の皆様、山頂班の方々に深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Climate Change 2013: The Physical Science Basis IPCC WGI Fifth Assessment Report
- [2] The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
<http://www.arl.noaa.gov/ready.html>
- [3] Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M. (2007) Atmos. Chem. Phys., 7, 1961-1971
- [4] 長谷川朋子(2012)東京理科大学修士論文