

# 2017 年夏季の富士山頂におけるエアロゾルの雲粒特性

小菅愛加里, 佐藤光之介, 森樹大, 三浦和彦(東京理科大学),  
嶋川仁(東京学芸大学), 大河内博(早稲田大学), 植松光夫(東京大学)

## 1. はじめに

大気中のエアロゾルの一部は雲凝結核となった後、水蒸気が凝結し雲粒となる。そして、雲の反射率や寿命などに影響を及ぼす。これは雲調整効果と呼ばれ、雲粒の大きさや数濃度などによってどの程度冷却するかが変わってくる。一般に雲粒が小さく、数濃度が高いと太陽光を反射しやすくなり、冷却効果が強まる。逆に雲粒が大きく、数濃度が低いと降水が起りやすいため、雲の寿命も短くなり、冷却効果が弱まる。

しかし IPCC2013 の報告によれば、エアロゾルによる冷却効果にはまだ不明確な部分が多く、様々な地域でエアロゾルと雲の相互作用に関する観測を行う必要がある。

富士山頂での地上観測から、雲水量が一定なら、雲凝結核数濃度が高いほど、雲粒が小さくなるということがわかってきた<sup>1)</sup>。これは大気中の水蒸気量が一定の時、雲凝結核数濃度が高いと一粒あたりの凝結核が凝結できる水分量が少なくなることで、雲粒が小さくなるからである<sup>1)</sup>。このような観測事例を増やすため、本研究においても 2017 年度のデータを用いて同様の解析を行った。

## 2. 解析方法

観測は 2017 年 7 月 15 日から 8 月 23 日に、富士山頂の富士山特別地域気象観測所で行った。

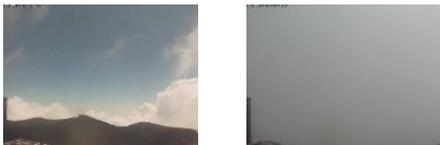


図 1 山頂の雲画像の例(左:雲なし, 右:雲あり)

観測したデータから砂粒などの雲以外のデータを取り除くため、山頂の画像データを用いて雲かどうかを判別した。晴れていれば反対側の火口の稜線が見えるが、雲が発生しているときは全く見えなくなる。このような画像が見つかった時間帯のみを雲イベントとした(図 1)。しかし、画像データで雲発生を判別できるのは昼間のみであったことから、解析では夜間のデータは用いなかった。観測には DMT 社の Fog Monitor (FM-100) と CCNC (CCN-100) を用いた。Fog Monitor は大気中から捕集した雲粒にレーザーをあて、その散乱光強度を測定することで、雲粒数濃度、雲水量や雲粒有効半径を求める。CCNC は乾燥後のエアロゾル粒子を設定過飽和度 (SS) 条件下において雲粒活性させ、

Fog Monitor と同様に雲凝結核数濃度を測定する。設定した過飽和度は 0.1, 0.2, 0.3, 0.4% であり、30 分毎に順に切り替わる。それぞれの過飽和度を標準粒子を用いて補正した結果、CCNC 内の真の過飽和度は 0.08, 0.18, 0.31, 0.40% であった。いずれも測定周期は 1 秒となっており、それらを 30 分平均した値を用いて解析した。雲凝結核から雲粒への成長にかかる時間を考慮するため、Fog Monitor のデータの 60 分前の CCNC のデータを比較に用いた。これは時間差なし、30 分差、60 分差における雲凝結核数濃度と雲粒数濃度の結果から最も相関の良い時間差をとった。

## 3. 結果

雲イベント判別の結果、2017 年度の雲イベントデータ数は全期間中 230 個であった。

下に比較的頻繁に雲イベントが発生した 7 月 25 日から 7 月 30 日の雲粒数濃度 (Ncloud)、雲水量 (LWC)、雲粒有効半径 (Reff) を表したグラフを示す (図 2)。

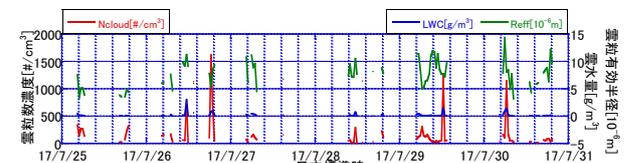


図 2 雲イベント時の雲粒数濃度、雲水量、有効半径

## 4. 考察

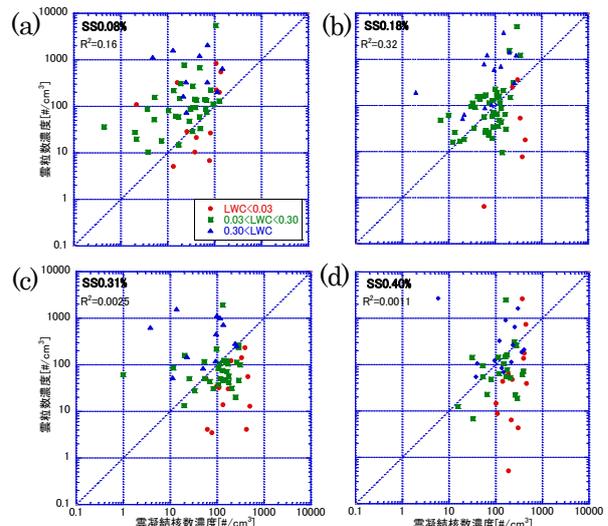


図 3 (a) SS=0.08% (b) SS=0.18% (c) SS=0.31% (d) SS=0.40% の設定過飽和度と雲粒数濃度の関係

図3に設定過飽和度毎の雲凝結核数濃度と雲粒数濃度の関係の結果を示す。Ncloud/Nccn=1に近い部分においては、CCNCで設定した過飽和度が実大気中の過飽和度と近い値であったことを表している。雲凝結核数濃度よりも雲粒数濃度が高い場合には、設定過飽和度が実大気中の過飽和度よりも低かったことが推測される。逆に雲凝結核数濃度よりも雲粒数濃度が低い場合には、設定過飽和度が実大気の過飽和度よりも高かったと考えられる。相関係数が一番高いことから、富士山頂における大気中の過飽和度は0.18%前後だと推定された。

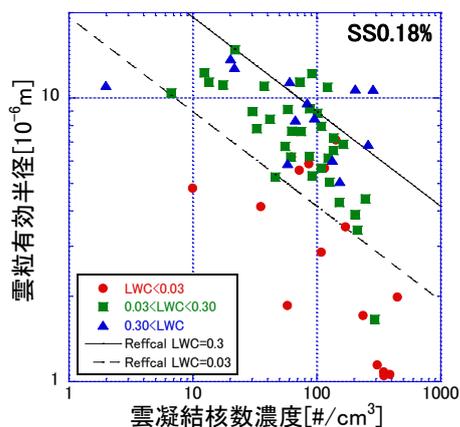


図4 雲水量別の雲凝結核数濃度と有効半径の関係

大気中の水蒸気量が一定の時、雲凝結核数濃度が高い程、雲粒有効半径が小さくなることを確認するために、過飽和度0.18%の時の雲凝結核数濃度と、雲粒有効半径の関係を調べた(図4)。雲凝結核数濃度が大きいほど雲粒有効半径が小さくなることと、雲粒内の水分量が少なくなるほど雲粒有効半径が小さくなることがわかった。

次に、雲凝結核数濃度に対する雲粒有効半径の値を下の理論式を用いて計算した<sup>2)</sup>。

$$LWC = \rho_w N_{tot, D_p > 100} \frac{4\pi}{3} R_{eff}^3 \quad (1)$$

(LWCは雲水量、 $\rho_w$ は水の密度、 $N_{tot, D_p > 100}$ は乾燥臨界粒径が $D_p > 100$ における雲凝結核数濃度、 $R_{eff}$ は雲粒有効半径を表す。)

図4中に雲水量0.03mg/m<sup>3</sup>の時を点線、雲水量0.3mg/m<sup>3</sup>の時を実線で示した。この範囲内に相当する雲水量の時の実測値が含まれており、理論と実測値がおおよそ一致するということが分かった。また、この範囲内でも同じ雲凝結核数濃度に対して雲粒の大きさが5倍程ばらつくことがわかるが、これはそれぞれの空気塊が異なる過飽和度

を経験した可能性があることを示唆している。また、雲粒活性には過飽和度の他に、エアロゾルの粒径、化学組成などの因子が影響するため、各雲イベントにおけるエアロゾル粒子の微物理量が異なっていたことも考えられる。

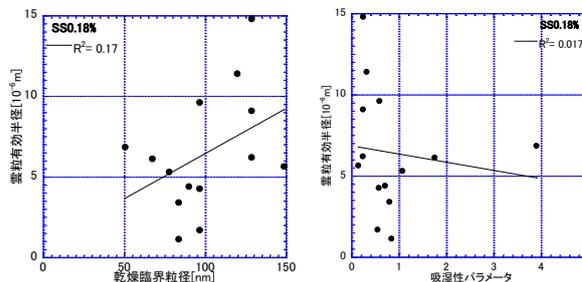


図5 乾燥臨界粒径と雲粒有効半径の関係(左)、吸湿性パラメータと雲粒有効半径の関係(右)

雲粒活性には粒径の影響が強いことが報告されており<sup>1)</sup>、雲粒有効半径においても粒径の影響があるかどうかを明らかにするために、乾燥臨界粒径と雲粒有効半径の関係を、実大気中で0.18%に近い過飽和度を経験したと考えられる雲イベント時のデータ(0.68 < Ncloud/Nccn < 1.47)を用いて示した(図5)。図5より、乾燥臨界粒径と雲粒有効半径には関係がみられず、雲凝結核の粒径が雲粒有効半径の支配因子の一つである可能性が低いことがわかった。ただし、吸湿性パラメータと雲粒有効半径の関係と比較すると、吸湿性パラメータよりも乾燥臨界粒径のほうが高い可能性があることがわかった。

## 5. まとめ

2017年夏季に富士山頂で雲粒の観測を行った結果、富士山頂における実大気中の過飽和度は0.18%前後であること、雲凝結核数濃度が大きいほど、雲粒有効半径の小さい雲が形成されていることがわかった。また、雲水量が少ないほど、雲粒有効半径が小さくなることや同じ雲凝結核数濃度でも、それぞれの空気塊が経験する過飽和度によって雲粒の大きさにばらつきがでること、雲粒有効半径の支配要因の一つが乾燥臨界粒径である可能性が低いことがわかった。

## 参考文献

- 1) 渡辺彩水, 東京理科大学, 2014年度修士論文, 1-37.
- 2) S. Henning *et al.*, Size-dependent aerosol activation at the high-alpine site Jungfraujoch (3580 m asl), *Tellus B*, 54, 82-95, 2002.