

P-06: 富士山頂における新粒子の生成と成長

片岡良太¹, 桃井裕広¹, 三浦和彦¹, 岩本洋子¹, 矢吹正教², 加藤俊吾³, Indra Chandra⁴, 瀬戸章文⁴

1. 東京理科大, 2. 京都大, 3. 首都大学東京, 4. 金沢大

1. はじめに

新粒子生成(New Particle Formation;NPF)とは, 気体がエアロゾル粒子へと変化することである. NPFによって核生成モード(直径が約 25 nm 以下)のエアロゾルの個数濃度は大幅に増加し, その後, 一部は雲凝結核に寄与する粒径範囲(約 50~100 nm)まで成長する. 雲凝結核の半分以上が NPF によって生成されると考えられており, NPF は気候に重大な影響を与える現象である. しかし NPF メカニズムは複雑であるため実験的な再現が難しく, 様々な場所で観測を行うとともに理論との比較検証を進めていく必要がある.

本研究では, 2006~2016 年の夏季富士山頂(標高 3776 m)における大気その場観測の結果と, 2015・2016 年の富士山中腹の太郎坊(標高約 1300 m)におけるライダーによるエアロゾルの遠隔測定の結果を示す. 富士山は孤立峰であり, 世界の山々と比較すると山の形が尖っていることが特徴である. したがって境界層の影響を比較的受けづらく, 自由対流圏のバックグラウンド大気を定点観測できる可能性が高い. しかし, 日中は山岳部特有の上昇風である谷風により大気境界層のエアマスが輸送されることもある.

2. 方法

山頂のその場観測では, 粒径 10~5000 nm の大気エアロゾルの乾燥粒子の個数粒径分布を走査型移動度粒径測定器(SMPS)と光散乱式粒子計数器(OPC)を用いて測定した. 得られた粒径分布をもとに, 核生成モードのエ

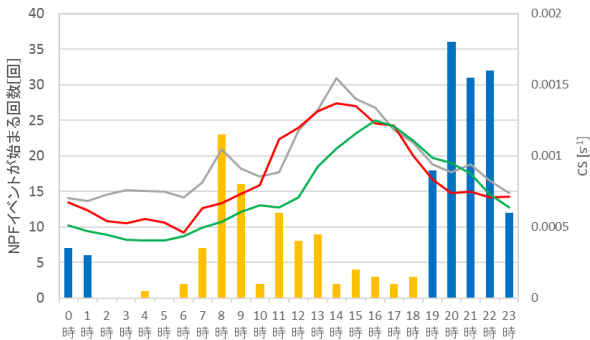


図 1. 2006~2016 年に富士山頂で観測された NPF イベント(棒グラフ)と 2014~2016 年の CS(折れ線グラフ)を表す. NPF イベントについては, 黄色が日中のイベント, 青色が夜間のイベントを示す. CS については, 灰色が 2014 年, 赤色が 2015 年, 緑色が 2016 年を示す.

アロゾルが 1 時間以上にわたって増加し, 粒径が成長する時間を NPF イベント(以下, イベント)と定義した. イベントの発生しやすさを見積もるため, Condensation Sink (CS) を粒径分布から求めた¹⁾. CS が高い状態の方が, 前駆気体(硫酸やアンモニア, 揮発性有機化合物など)が既存粒子に吸着しやすいため, NPF は発生しづらいと考えられる. また, 大気ラドン濃度については, ラドン娘核種測定装置を用いて測定した. ラドン(半減期 3.8 日)やトロン(10.8 時間)は発生源が土壌であることから, 陸起源エアマスのトレーサーであり, 山頂においては境界層の影響を評価できる. 太郎坊に設置されたライダーの波長は 532 nm で, 上空 4 km までの大気を測定している. サブミクロン範囲のエアロゾルに感度があり, 後方散乱係数という単位厚さの大気層から散乱角 180 度の単位立体角への散乱を表す係数を解析に用いた.

3. 結果・考察

山頂のその場観測の結果, イベントは合計 300 日にわたる観測期間のうち 236 回発生した. イベントの発生率は, 日中(4~18 時)は 31.3%, 夜間(19~翌 3 時)は 47.3%であった. 夜間のイベントが頻繁に観測されるのは世界的にも稀である. 日中イベントの約 4 割が 8~9 時に, 夜間イベントの約 7 割が 20~22 時に開始しており, イベントの発生頻度のピーク時間があることがわかった(図 1). また CS の平均値は, 14~16 時に最大になり早朝に最小となる日変化を示し, CS が高い時間帯はイベントが少ない傾向が見られた.

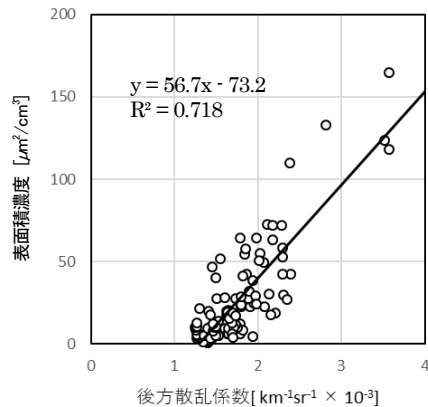


図 2. 2015 年 8 月 5~7 日にライダーから得られた山頂高度の後方散乱係数(横軸)と, 山頂の OPC で得られた 0.3~5.0 μm のエアロゾルの表面積濃度(縦軸)の相関. 表面積濃度はエアロゾルの吸湿成長を加味して算出している.

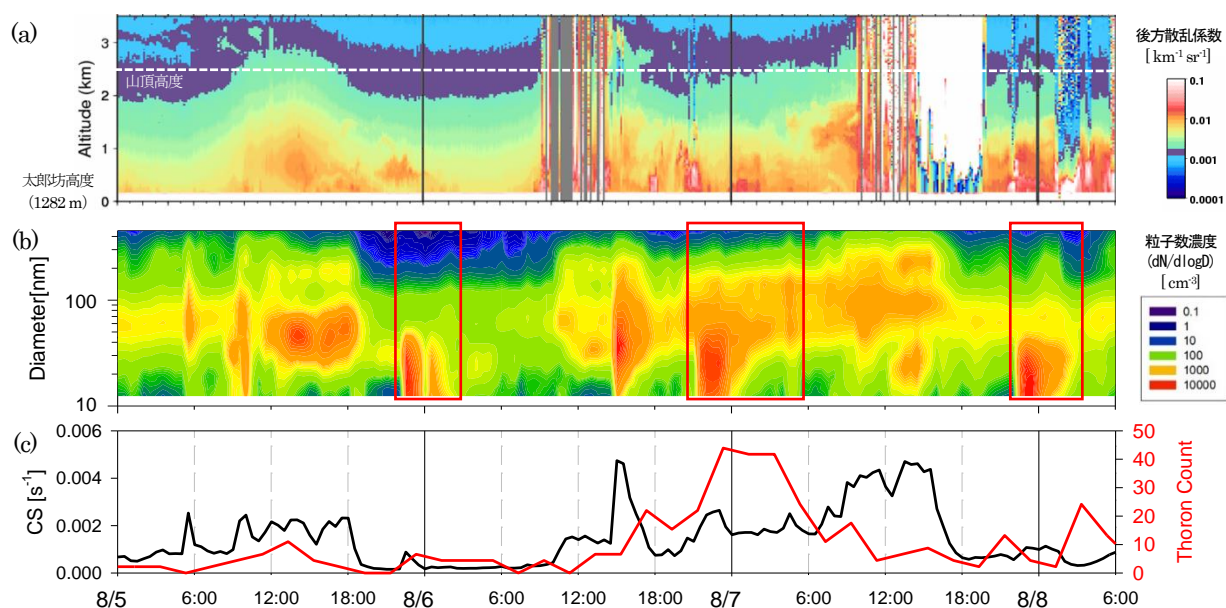


図3. 2015年8月5~7日における観測結果。(a) 太郎坊に設置したライダーから得られた後方散乱係数の時間変化。縦軸は太郎坊から見た高度を示す。後方散乱係数が $1.2 \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ の範囲(紫色)を強調している。白点線は山頂高度を示す。(b) 山頂における SMPS で得られたエアロゾル個数粒径分布の時間変化。縦軸は粒径を、色は粒子数濃度 ($dN/d\log D$) を、赤枠は NPF イベントを示す。(c) 山頂における CS とトロンカウント数の時間変化を示す。

後方流跡線解析により3日前からのエアマスの由来を分類した結果、大陸由来エアマスのときは夜間イベントが少なかった。大陸由来エアマスの CS が高かったことから、夜間イベントは CS が低い状態で起きやすく日中イベントは CS が高くても発生する可能性が示唆された。

2015年8月5~7日の観測結果を図2, 3に示す。山頂のその場観測とライダーの比較を行った結果、山頂で観測した $0.3 \sim 5.0 \mu\text{m}$ のエアロゾルの表面積濃度とライダーで観測した後方散乱係数(山頂高度)に強い正の相関が見られた(図2)。なお、この表面積濃度は粒子を硫酸アンモニウムと仮定し、湿度による粒子成長を加味して算出したものである²⁾。この結果から、山頂と太郎坊上空(水平距離約8 km)は同じエアマスだと判断できる。さらに、図3上段のライダーデータのように、エアロゾル層が日中上昇して、夕方ごろから下降する1日周期の上下動が観測された。また、図3中段は山頂の SMPS で観測した粒径分布であり、赤枠はイベントを示している。ライダーデータと比較すると、後方散乱係数が $1.2 \sim 1.8 \times 10^{-3} \text{ km}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ (紫色の範囲)のときにイベントが発生している。イベントが開始する直前は CS が比較的低く、既存粒子の少ない自由対流圏の影響を受けていると考えられる。したがって境界層と自由対流圏の界面で、地上で発生した前駆気体を多く含むエアマスと CS が低いエアマスが混合する、NPF に最適な層が形成されると考えられる。この NPF に適した層が、イベントの発生頻度のピーク時間付近に通過している可能性が示唆された。また、6日の夜から7日未明にかけてのイベントは粒子成長が長く続いた。その時間はトロンカウント数が大きく増

加し、後方散乱係数も比較的高いことから境界層エアマスの流入があった可能性が高い。したがって、前駆気体濃度が高かったため、粒子成長が活発化したのだと推察される。

2016年の観測において約 $3 \sim 70 \text{ nm}$ の粒子を測定した結果、 5 nm 以下の粒子数濃度が増加するイベントは少なかった。したがって、山頂近傍で NPF が発生しているというよりは、NPF 発生後に約 10 nm まで成長した粒子が山頂に輸送された可能性が高い。エアマスの後方流跡線からイベントを遡り NPF が発生したと考えられる場所を見積もった結果、平均で水平距離 $12 \sim 275 \text{ km}$ 遠方で NPF が発生している可能性が示唆された。

4. 謝辞

本観測は認定 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た。本研究の一部は、科研費基盤研究 C(24340017)の助成により行われた。

参考文献

- 1) Kulmara, M., Dal Maso M., Mäkalä, J. M., Pirjola, L., Väkeva, M., Aalto, P., Miiikkulainen, P., Hameri, K., O'Dowd, C. D. (2001). On the formation, growth, and composition of nucleation mode particles. *Tellus*, **53B**, 479-490.
- 2) Cheng, Y., Su, H., Koop, T., Mikhailov, E., Pöschl, U. (2015). Size dependence of phase transitions in aerosol nanoparticles. *Nat. Commun.*, **6**, 5923, doi:10.1038/ncomms6923.