

## 山岳大気エアロゾルの気候への影響に関する研究

三浦和彦<sup>1</sup>, 森 樹大<sup>1</sup>, 永野勝裕<sup>2</sup>, 矢吹正教<sup>3</sup>, 加藤俊吾<sup>4</sup>, 和田龍一<sup>5</sup>, 大河内博<sup>6</sup>, 小林 拓<sup>7</sup>, 東 秀憲<sup>8</sup>, 鴨川仁<sup>9</sup>,  
足立光司<sup>10</sup>, 岩本洋子<sup>11</sup>, 青木一真<sup>12</sup>, 櫻井達也<sup>13</sup>, 植松光夫<sup>14</sup>

1.東京理科大学理, 2.東京理科大学理工, 3.京都大学, 4.首都大学東京, 5.帝京科学大学, 6.早稲田大学,  
7.山梨大学, 8.金沢大学, 9.学芸大学, 10.気象研, 11.広島大学, 12.富山大学, 13.明星大学, 14.東京大学

### 1. はじめに

エアロゾル粒子は太陽光を直接散乱・吸収することにより直接的に、また、雲凝結核となり雲のアルベド・寿命を変えることで間接的に気候に影響するが、いまだ理解の水準は低い(IPCC 2013)。地球規模の影響を評価する場合、自由対流圏エアロゾルの寄与が重要となる。富士山山頂は年間を通して自由対流圏に位置することが多い。そこで、新粒子生成、雲生成のメカニズムを調べるために、2006 年から夏季だけではあるが、山頂と太郎坊においてサブミクロン粒子の粒径分布、ラドン、イオンを測定している。山頂では 2010 年から雲凝結核(CCN)濃度を、2013 年からフォグモニターにより霧粒(雲粒)を測定している。2014 年からは太郎坊でスカイラジオメータ、ライダーの観測を行った。また、2014 年秋から太郎坊において通年観測をしている。ここでは、2017 年度の結果を中心に紹介する。

### 2. 方法

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。また、雲凝結核濃度(CCN)は CCN 計で測定した。

大気ラドン濃度は、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については、レーザー波長は 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

#### 3-1. ラドン濃度

2017 年夏季の富士山におけるラドン濃度に対し、測定値と

ラドン輸送モデルシミュレーション結果を比較した結果、汚染の由来を 4 つに分類できた。その一つは山谷風の影響を示唆している。同様な日変化が 2016 年 1 月に太郎坊で観測されているが、WRF による 1km メッシュの計算結果から、この時の谷風方向の輸送は山頂へは到達していないことがわかった。(横山ら, 2018)

#### 3-2. 粒子濃度の経年変化

図1に五十嵐が整理した全粒子、核生成粒子、Aitken 粒子、累積粒子の個数濃度の経年変化を示す。若干、核生成粒子の減少が見られる。(Kataoka et al., 2017)

#### 3-3. 新粒子生成

2011 年~2017 年の 7 年間に山頂で観測されたデータを再解析し、以下の結果を得た。(a) 新粒子生成イベントは、夏期観測期間 217 日中 176 回観測された。イベントの観測率は、日中(4~18 時)は 52.3%, 夜間(19~翌 3 時)は 47.7%であった。夜間のイベントの割合が徐々に減少している。日中イベントは 8 時に、夜間イベントは 20~21 時に多く観測された。後方流跡線解析の結果、日中も夜間も大陸を経由した空気塊でイベントが多く発生していた。(b) 新粒子生成がいつどこで発生したかを推定するため、25nm 以下の粒子の成長率から 1nm の時刻と場所を推定した。その結果、夜間発生したイベントの割合は減少したものの、数例確認され、光化学反応の他に暗反応によっても発生した可能性が示された。発生時刻の推定が出来た 30 例は、後方流跡線解析の結果、日本の陸地上空で発生したものであることが示された。(五十嵐ら, 2018)

2016 年冬から 2017 年夏に太郎坊で観測されたデータを解析し、以下の結果を得た。(a) 141 日のうち NPF イベントが発生した日は 90 回(60.8%)であり、全て日中観測された。2017 年夏期はイベントが観測されなかったが、機器のトラブルと降雨のためである。(b) イベントのタイプを分類したところ、4 時間以上成長が続くバナナクリア(BC)型が一番多く 46 回、2時間以下のアップル型が 1 例しか観測されなかった。また BC 型は冬、春に多かった。(大塚ら, 2018)

#### 3-4. 雲凝結核濃度

佐藤ら(2018)は 2015 年~2017 年に山頂で観測した CCN 濃度を解析した結果、以下の結果を得た。(a) CCN 特性はエアマスの輸送起源ごとに異なり、CCN 活性比は過飽和度によらず大陸起源で最大となった。これは、長距離輸送によるエア

ロゾルのエイジングのため粒径分布が大きい方へシフトし、CCN になりやすくなったためと考えられる。(b) 吸湿性パラメータの値は0.4程度となり、東京や Jungfraujoch などの他のサイトに比べて高いことがわかった。(c) CCN 活性比を用いて実大気中のピーク過飽和度を推定したところ 0.3%程度となり、Jungfraujoch など富士山と似た条件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わかった。(佐藤ら, 2018)

### 3-5. 雲粒濃度

小菅ら(2018)は2017年夏の山頂における雲粒濃度の観測結果から以下の結果を得た。(a) 山頂でできる雲の過飽和度0.1~0.2%であることが多かった。(b) 雲凝結核数濃度が小さいほど雲粒の有効半径が小さくなることが確認された。この関係は吸湿性パラメータには依存せず雲水量(LWC)に依存した。理論値と比較することにより LWC の値は  $0.03 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$  であることが示された。

### 3-6. 個別粒子分析

児玉ら(2018)は2017年夏に山頂と太郎坊においてインパクターで捕集した個別粒子を透過型電子顕微鏡とエネルギー分散型 X 線分析器を用いて、個別粒子の形態観察と元素分析を行い以下の結果を得た。(a) 鉱物は山頂、海塩類は太郎坊でよく見られた。太郎坊は海からの輸送の影響が大きいと考えられる。また、両地点とも硫酸塩の割合が多かった。特に山頂は硫酸塩と鉱物が混合したものが多かった。(b) 山頂8月4日の夜に山頂で捕集した C-rich 粒子は、山頂特有の鉱物が内部混合していた。8月6日に太郎坊で捕集した円形状粒子は硫酸塩の周囲に不揮発性の有機物が付着していると考えられる。8月7日8時に太郎坊で捕集した粒子には、球状、繭状の粒子が56%の割合を占めていた。

### 謝辞

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 (22510019, 25340017) (2010~2015 年度), 名古屋大学太陽地球環境研究所「地上ネットワーク観測大型共同研究」(2013~2016 年度), 東京理科大学山岳大気研究部門・大気科学研究部門活動経費・活動補助費(2011~2017 年度), 東京理科大学特定研究助成金(2013~2014, 2016~2017 年度), 京都大学生存圏ミッション研究(2016 年度), 公益財団法人栗井英朗環境財団奨励金(2016 年度)の助成により行われた。

### 参考文献

1) Kataoka R. *et al.*, ACPM2017, 2017

- 2) 五十嵐博己ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 3) 大塚拓弥ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 4) 佐藤光之介ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 5) 小菅愛加里ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018
- 6) 児玉真一ら, 第11回成果報告会要旨集, 2018

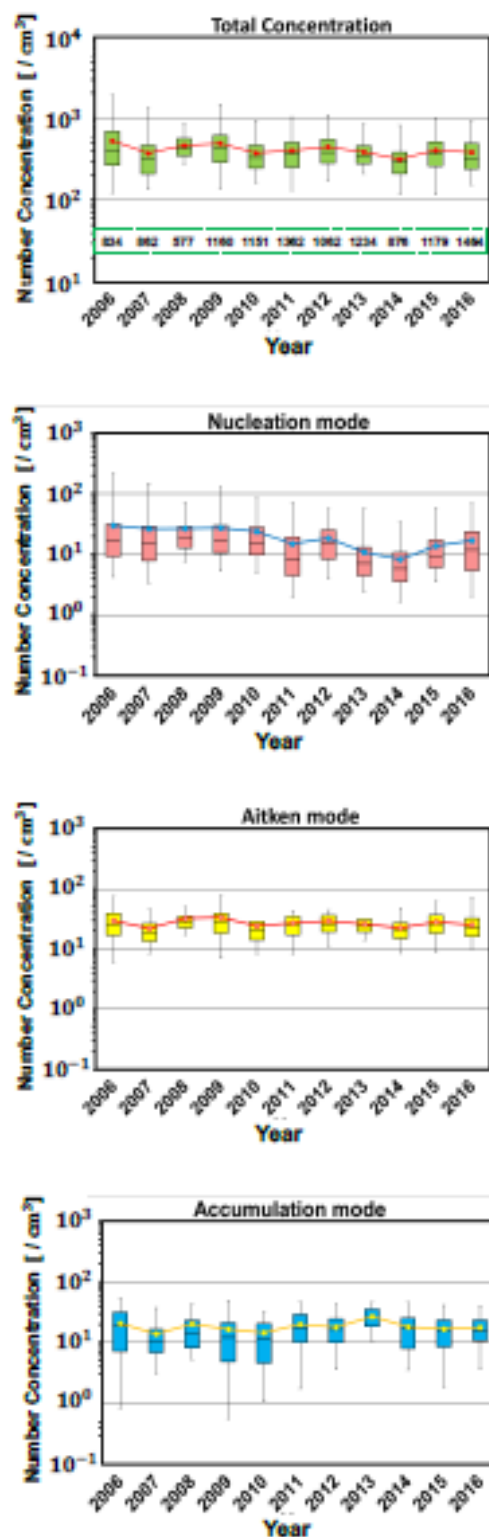


図1 富士山頂で測定した全粒子, 核生成粒子, Aitken 粒子, 累積粒子の個数濃度の経年変化