

富士山頂における新粒子生成の特徴と傾向

五十嵐博己¹, 佐藤丈徳¹, 森樹大¹, 三浦和彦¹, 岩本洋子², 和田龍一³, 加藤俊吾⁴, 大河内博⁵

1.東京理科大学, 2.広島大学, 3.帝京科学大学, 4.首都大学東京, 5.早稲田大学

1. はじめに

大気中において、前駆ガスが化学反応することにより核生成を起し、それに引き続き凝結成長することで微小粒子(粒径が数 nm~数十 nm) が生成する過程を新粒子生成(New Particle Formation; NPF) という。NPF で生成された粒子は、太陽光を直接散乱・吸収し直接効果を及ぼす。さらに、生成された粒子の一部が成長・変質し雲凝結核としての能力を持つことで、雲の放射特性にも影響を与える。以上のことから、NPF はエアロゾルによる気候影響を評価する上で重要な意味を持つ。しかし、新粒子生成やその後の成長のメカニズムは複雑で十分に理解されていないのが現状である。

そこで、本研究では富士山頂において自由対流圏や大気境界層上部を定点観測出来る他、アジア大陸などからの越境大気汚染を観測することが出来るという利点を活かし、2006年から2018年にわたる長期的な観測を行い、新粒子生成の経年変化や日変化について考察した。

2. 方法

2006年から2018年の夏季(7~8月)に、富士山特別地域気象観測所(35.360°N, 138.727°E, 3776 m a.s.l.)で大気観測を行った。本要旨では、走査型移動度粒径測定器(SMPS)のTSI 3034を用いた2011年から2017年とDMA3081+CPC3775を用いた2018年の観測結果に着目する。解析には、拡散ドライヤーにより相対湿度30%以下に乾燥させた粒径10~487 nm, 14~673 nm(2018年のみ)のエアロゾル粒子の個数粒径分布を3分毎に連続測定したものをを用いた。本研究では、粒径25 nm以下の粒子数濃度が1時間以上増加し成長を伴う現象をNPFイベント(以下、イベント)と定義した(図1)。

NPFが発生した時刻の推定とイベント毎の特徴を調べるために、成長速度(Growth Rate, GR)を算出した(図2)。GRはイベント時の25 nm以下のモード径の経時変化のグラフに回帰直線を引きその傾きにより算出し、決定係数が0.6以上のものを有効な値として用いた。

イベント時の気塊の由来を調べるために、NOAA HYSPLIT 4 modelを用いた後方流跡線解析を行った。

また、イベントの特徴を見るためにM. I. Garcíaら¹⁾の分類表を改訂した表1を用いて分類を行った。分類は主にClass I, II, IIIとあり、それぞれ成長を4時間以上, 2~4時間, 1~2時間経験するものである。その中で、成長率などのパラメータを算出できるものをa, 出来ないものをbとした。

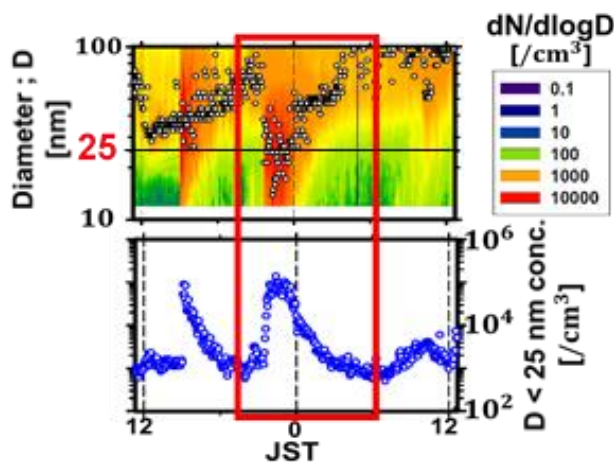


図1. 個数粒径分布とNPFイベント(四角で囲った範囲) 上図はモード径(同時刻における最大数濃度粒径)を示す

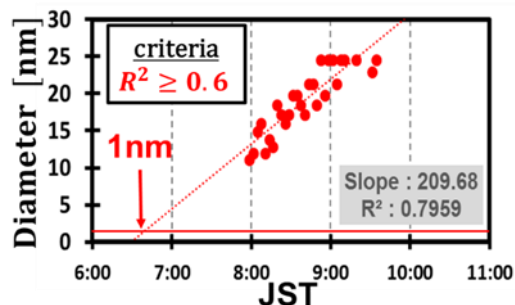


図2. 成長速度の算出の一例(上図●はモード径を示す)

表1. イベント分類表(M. I. García et al, 2014¹⁾改訂)

Class	成長継続時間	特徴
I	a	25 nm以下の粒子が1時間以上存在し、成長が4時間以上観測される。モード径の成長が明確で、成長速度などのパラメータが算出できる。
	b	4時間以上 上記の条件を満たすが、成長にノイズが多く、成長速度などのパラメータを求められない。
II	a	25 nm以下の粒子が1時間以上存在し、成長が2~4時間観測される。モード径の成長が明確で、成長速度などのパラメータが算出できる。
	b	2~4時間 上記の条件を満たすが、成長にノイズが多く、成長速度などのパラメータを求められない。
III	a	25 nm以下の粒子が1時間以上存在し、成長が1~2時間観測される。モード径の成長が明確で、成長速度などのパラメータが算出できる。
	b	1~2時間 上記の条件を満たすが、成長にノイズが多く、成長速度などのパラメータを求められない。
Undefined	判別不可	25 nm以下の粒子が1時間以上存在するが、成長が見られない。または、25 nm以下の粒子が存在しないが、Aitken modeの粒子が成長する。
Non-event	イベント無し	25 nm以下の粒子が存在しない。かつ、Aitken modeの粒子の成長が見られない。
Bad data	欠損	装置や観測上の問題でデータが使用できない。

3. 結果と考察

2011年から2018年までの観測日数に対する全イベント数を富士山頂における日の出・日の入時刻により、日中イベント(5~18時)と夜間イベント(19~翌4時)に分け、それらの回数・割合を調べた。この結果より、2014年を除いた2011年から2015年では夜間イベントが約6割以上みられ、2016年から2018年では日中イベントが約8割以上あることが分かった。次に、年毎に違いが現れる日中・夜間イベントに着目し考察する。

日中と夜間イベントの観測開始時刻の頻度分布を図3に示す。図3から、日中イベントは8時、夜間イベントは20~21時にピークを持つことがわかった。

イベントをクラス毎に判別した結果、Class Iが一番多い結果となった(図4)。主に日中イベントはClass I、夜間イベントはClass IIがそれぞれ多い結果となった。また、2013年から2018年に掛けてClass IIIが多くなっている傾向が見られ、微小粒子が長時間成長しづらい環境になってきていることが示唆された。それは、凝結に必要な前駆ガスの減少などが考えられる。

日中のイベントは主に光化学反応によりNPFが発生し、夜間のイベントは光化学反応以外のプロセスでNPFが起これらと考えられる。そこで、日中に生成された粒子が輸送されることで夜間にイベントが観測された可能性を考慮し、成長速度GRを算出し核生成された時刻を推定した。GRを算出した結果195回のイベント中40回のイベントで有効な値が得られた。GRは1.7~14.7 nm/hとなり、夜間(Median 4.6 nm/h)よりも日中(Median 6.0 nm/h)の方が約1.3倍大きいことがわかった。この40回のイベントについて、核生成が起こったとされる粒径が1 nmの時刻(NPFが発生した時刻)を推定した(図5)。これより、夜間に発生したNPFの割合は減少したものの日中・夜間ともにNPFの発生が示唆され、光化学反応とは別に日射が影響しない暗反応による新粒子生成も起きていることが示唆された。

4. まとめ

富士山頂における全イベントは、2011年から2018年の全観測期間256日中195回観測された。日中は8時、夜間は20~21時にイベント観測数のピークを持つことがわかった。またクラス分類を行った結果、Class Iが一番多く、日中イベントではClass I、夜間イベントではClass IIがそれぞれ多い結果となった。

GRは全195回のイベント中40回で有効な値を示し、1.7~14.7 nm/hとなった。また、夜間より日中のGRの値が約1.3倍大きいことがわかった。GRを用いたNPF発生時刻の推定を行ったところ、日中(80%)と夜間(20%)の両方でNPFが発生していることが示唆された。この結果から光化学反応と暗反応の両方でNPFが発生している可能性があることが示唆された。

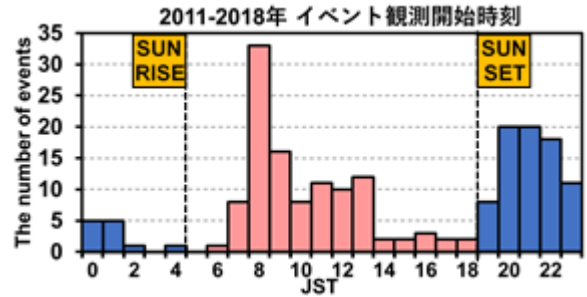


図3. 2011~2018年イベント観測開始時刻の頻度分布

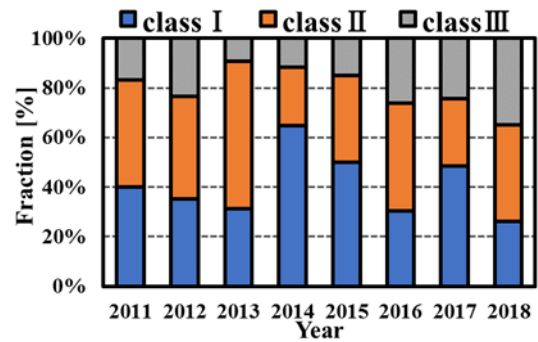


図4. 2011~2018年のイベント分類結果

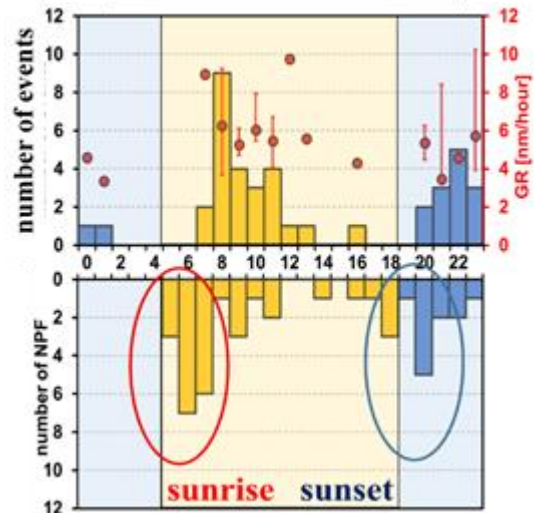


図5. 2011~2018年NPF発生時刻の推定結果
(上図:GRが算出できたイベントの時刻別発生頻度とGR)
(下図:GRから逆算したNPF発生時刻の推定結果)

5. 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ました。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ました。

参考文献

- García, M. I., Rodríguez, S., González, Y., García, R. D. (2014). Climatology of new particle formation at Izaña mountain GAW observatory in the subtropical North Atlantic. *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 3865-3881.