

O-10:エアロゾルの新粒子生成、成長と雲凝結核に関する研究

三浦和彦¹、上田紗也子¹、永野勝裕²、小林 拓³、加藤俊吾⁴、
速水 洋⁵、佐竹晋輔⁶、櫻井達也⁶

1. 東京理科大学理学部、2. 東京理科大学理工学部、3. 山梨大学、4. 首都大学東京、
5. 東京理科大学理学部/電力中央研究所、6. 日本エヌ・ユー・エス株式会社

1. はじめに

エアロゾル粒子は雲凝結核となり、雲の放射特性を変えることで気候変化に影響する。基礎生産性の高い海域から放出される生物起源気体は、海洋エアロゾル粒子の重要な起源である。粒子数が増加することにより、雲は大気への放射強制力を増し、温暖化を抑制するという仮説(Charlson *et al.*, 1987)が提唱されている。しかし、大気境界層内には海塩粒子が存在するので新粒子生成は起こりにくく、海面付近でナノ粒子の増加を観測した例は少ない。そして、それらも自由対流圏で生成したものが高気圧下で沈降したものであろうと考えられている (Covert *et al.*, 1996)。富士山山頂は年間を通して自由対流圏内に位置することが多い。そこで、新粒子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を測定した。また、雲凝結核濃度の特性を調べた。エアマスの由来を調べるため、トレーサの測定とともに、太郎坊においてゾンデ・係留気球観測を行い、気象場のシミュレーションを行った。また、2011年・2012年には下山時に雲内外で粒子の計測・捕集を行った。ここでは7年間の観測の概要と、ゾンデ観測、シミュレーションの結果について報告する。なお、新粒子生成(長岡ら、2013)、粒子成長(堀ら、2013)、雲凝結核濃度(渡辺ら、2013)、徒歩観測(上田ら、2013)についてはポスター発表で報告する。

2. 方法

富士山測候所(標高 3776m)と山麓の太郎坊(標高 1300m)において、2006年～2012年夏季に観測を実施した。観測期間と測定要素を表1に示す。1号庁舎2階の窓から外気を引き、拡散ドライヤーで20%以下に乾燥させ、走査型移動度分析器(SMPS)と光散乱式粒子計

表1 観測期間と測定要素

山頂連続観測								
	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	CO	イオン	雲凝結核	備考
2006	7.15～8.28	SMPS, KR12		○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2007	7.26～9.2	SMPS, KR12	○	○	○			7.8合、菊屋と同時観測
2008	7.19～8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2009	7.17～8.25	SMPS, KR12	○	○	○			インパクター
2010	7.17～8.25	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
2011	7.14～8.24	SMPS, KR12	○	○	○	○	○	インパクター
2012	7.20～8.23	SMPS*2, KR12	○	○	○, SO2	○	○	インパクター、3号庁舎と同時測定
太郎坊連続観測								
	期間	粒径分布	ラドン	オゾン	NOX	イオン	雲凝結核	備考
2005	7.12～7.19	SMPS, KC18, KC01						インパクター
2006	7.15～8.28	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2007	7.6～9.8	SMPS, KC01		○	○			インパクター、シーロメータ、コンテナ
2008	7.19～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2009	7.17～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2010	7.17～8.25	SMPS, KC01	○	○				インパクター
2011	8.2～8.25	SMPS, KC18, KC01	○	○	○	○	○	インパクター、シーロメータ、コンテナ
2012	7.19～8.20	SMPS, KC01, TEOM	○	○	○	○		インパクター、コンテナ
太郎坊鉛直分布集中観測								
	期間	係留気球		ゾンデ	パイバル	備考		
2005	7.15～7.17	KR12, CPC, インパクター、ゾンデ		JWA-94W		徒歩観測(太郎坊～宝永山)		
2006	7.25～7.26			JWA-94W	○	菊屋と同時観測		
2007	8.6～8.8			RS92		菊屋と同時観測		
2011	8.20～8.22	KR12, インパクター、オンドトリ		RS-06G(S)		徒歩観測(山頂～太郎坊)		
2012	8.18～8.20	KR12, インパクター、オンドトリ, O3, EC		RS-06G(S)		徒歩観測(山頂～太郎坊)		

数器 (OPC) を用いて 4.4~5000nm にわたる粒径分布を測定した。測定したエアマスの発生源を推定するためのトレーサーとしてラドン、オゾン、一酸化炭素、NOX を測定した。ラドンは、フィルターに捕集したエアロゾルから放射する α 線を計数し、放射平衡を仮定して求めた。オゾン、一酸化炭素はそれぞれ、Thermo Environment Model 48C, 49C を用いて測定した。2010 年から、小イオン濃度 (コムシステム COM-3400) と雲凝結核濃度 (DMT, CCN-100) を測定した。また、インパクターで捕集した個別粒子を TEM/EDX を用いて形態観察・元素分析を行った。また、鉛直構造を調べるため、太郎坊において 2005 年と 2011~2012 年に係留気球観測、2005~2007 年、2011~2012 年にゾンデ観測を行った。ゾンデ観測は 3 時間ごとに行った。2005 年、2006 年は低層ゾンデにより気温・湿度・気圧 (高度) を測定し、風向・風速はパイロットバルーンの観測により求めた。2007 年、2011 年は GPS ゾンデにより気温・湿度・気圧 (高度) と同時に風向・風速も測定した。2006 年、2007 年はほぼ良い天気であったが、2011 年は悪天候だった。気象場のシミュレーションは気象モデル (WRF) を用いた。水平方向には 3 段階のネステイングを行い、富士山周辺域を解像度 1km で行った。鉛直方向は上空約 17km までを 50 層に分割した。初期・境界条件には NCEP-FNL 全球再解析データ、気象庁メソ客観解析データを用いた。

表2 ナノ粒子の高濃度イベントの回数

	日中	夜間	合計	観測日	割合 (%)
2006	12	5	17	28	60.7
2007	4	17	21	27	77.8
2008	3	11	14	20	70.0
2009	4	12	16	30	53.3
2010	2	11	13	26	50.0
2011	4	11	15	25	60.0
2012	2	5	7	29	24.1
合計	31	72	103	185	55.7

3. 新粒子生成

20nm 以下の粒子濃度が 3 時間以上継続して高濃度となるイベント (新粒子イベント) は 2006 年~2012 年の夏季 185 日間の測定観測中 103 回観測された (表 2)。日中 31 回、夜間 72 回と日中より夜間に多かった。この現象はユングフラウヨッホなどでは見られず、富士山固有のものである。この原因を検討するため、気体の既存粒子への凝結速度、水蒸気混合比、エアマスの由来について考察した (長岡ら、2013)。

4. 小イオン濃度

3 年間の測定中、イオン誘発核生成と思われるイベントは 2011 年 8 月 14 日の夜から 15 日の朝にかけて 1 例測定された (図 1)。この時、既存粒子への凝集速度が小さかったため、小イオン濃度が高かった。また、 O_3/CO の値が低く、水蒸気混合比が低かったことから、上空の空気が下降してきた可能性があることが暗示された。

5. ゾンデ観測と係留気球観測

ゾンデで測定した山頂と同じ高さの自由空間の気温を山頂の気温と比べると、日中はほぼ同じ値を示すが夜間は山頂の気温が下がることが何度かあった (五十嵐、2008)。このとき、雲がなかったことから放射冷却により山頂の気温が下がったことが考えられた。

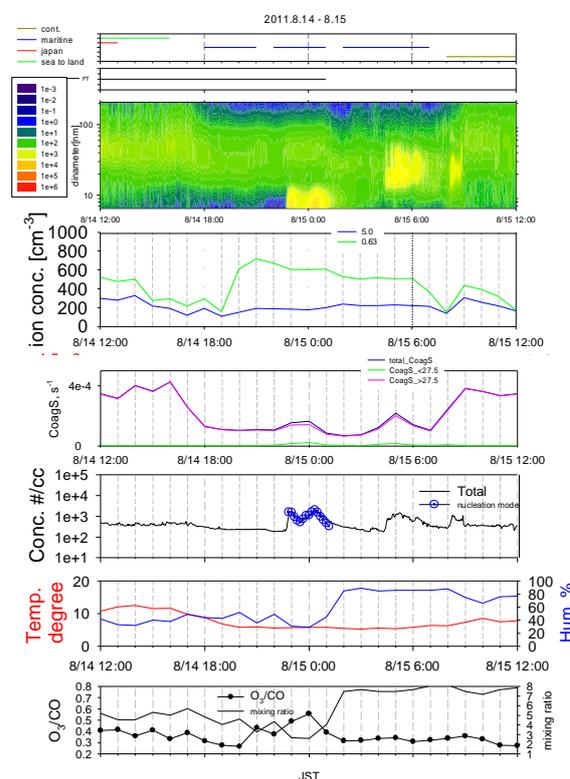


図1 イオン誘発核生成時の粒径分布、小イオン濃度、凝集速度、気温、相対湿度、 O_3/CO 、水蒸気混合比の時間変化

2007年8月6日～7日の山頂の気温の測定値とシミュレーション結果を図2上に示す。シミュレーション結果の日較差は小さく、山頂の気温を再現できていない。図3に8月7日0時の気温の鉛直分布を示す。実線がゾンデのデータ、十字が山頂のアメダスの測定結果、円がシミュレーション結果である。1kmメッシュのシミュレーションでも山頂の気温を再現できず、ゾンデで測定した自由空間の値に近かった。

2011年のゾンデ観測では山頂が雲に覆われている時のデータを取得することができた(図2下)。この時は、両者の値に明白な違いは見られず、放射冷却の影響がなかったためと思われる。

山頂、7合8勺、須走口、太郎坊においてOPCで測定した個数濃度を比較した結果、山頂と7合8勺、須走口と太郎坊の濃度変化が似ている事が多かった(藤代ら、2009)。図4に2007年8月10日の例を示す。この日のように、日中、一般風が弱く谷風が発達する時には、下層から順に濃度が高くなる現象が数例、観測された。8時と14時の気象場をシミュレーションした結果を図5に示した。8時には山頂に到達していない谷風が、14時には山頂まで達している事が示され、谷風により下層のエアロゾルが山頂まで輸送されたことがわかる。

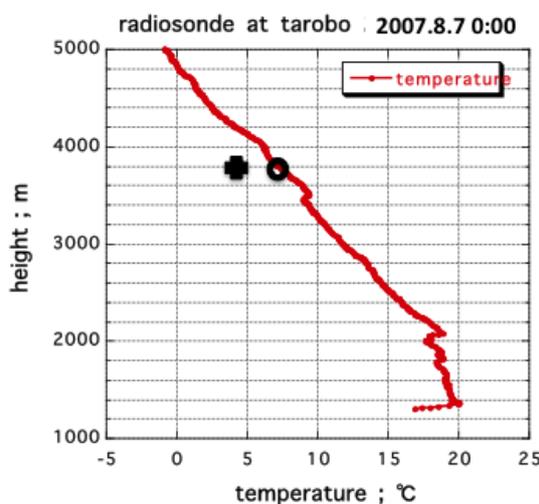
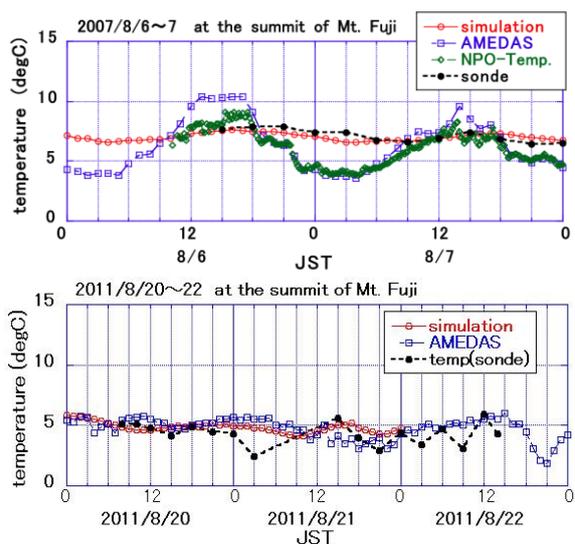


図2 山頂で測定した気温、山頂と同じ高度のゾンデで測定した気温とシミュレーション結果の日変化(上:2007年8月6日-7日、下:2011年8月20日-22日)

図3 GPSゾンデで測定した気温の鉛直分布と山頂における気温の測定結果とシミュレーション結果

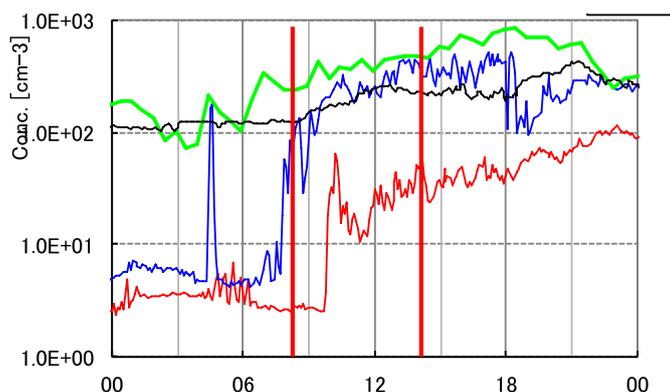


図4 粒子濃度の時間変化(黒:太郎坊、緑:須走、青:7.8合、赤:山頂)

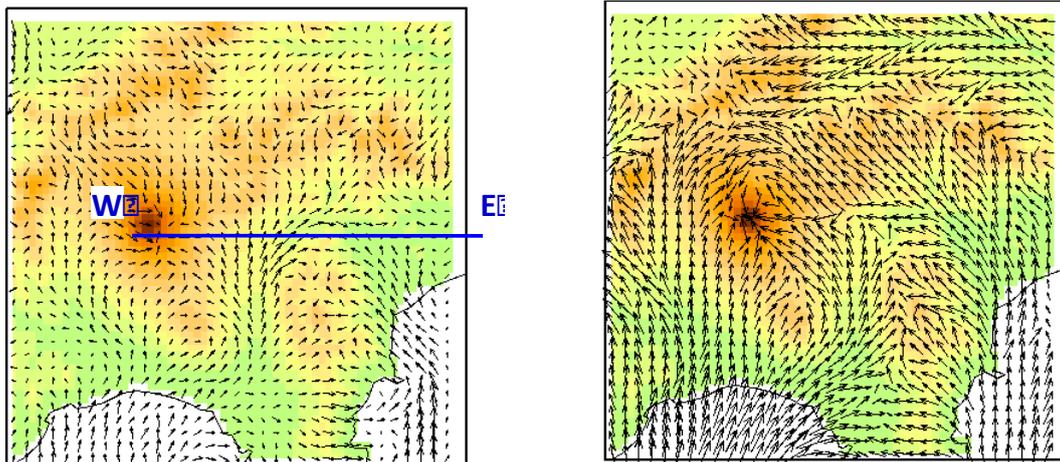


図5 気象場のシミュレーション(左:8時、右:14時)

6. 3号庁舎のインレット

新しく設置した3号庁舎のインレットと、従来の1号庁舎のインレットとを比較するために、同時に OPC (KR12A) で測定した。その結果、おおかた良い相関が得られた。測定期間の後半、3号庁舎に設置した OPC が不安定になったため、今回のデータでは定量的な評価は行わない。

謝辞

2006年の観測は、気象庁の施設を使用させて頂いた。2007～2012年の観測は、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た。この間、多くの山頂班員、研究者、学生のお世話になった。記して感謝する。本研究の一部は科研費基盤研究 A (17201007) (代表五十嵐康人、2005-2007年度)、東京理科大学特定研究助成金共同研究 (代表三浦和彦、2008・2011年度)、日本郵便平成 21 年度年賀寄付金配分事業 (代表大河内博、2009年度)、科研費基盤研究 C (22510019) (代表三浦和彦、2010～2012年度)、東京理科大学総合研究機構山岳大気研究部門 2011～2012 年度活動経費・活動補助費の助成により行われた。

参考文献

- Charlson *et al.*, *Nature*, **326**, 655, 1987.
 Covert *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **101**, 6919, 1996.
 五十嵐康人、基盤研究 A 研究成果報告書、2008。
 藤代恵史、三浦和彦、藤田慎一、小林 拓、エアロゾル研究、24、123-128、2009。
 上田紗也子、広瀬雄揮、三浦和彦、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013。
 長岡信頼、三浦和彦、上田紗也子、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013。
 堀 周、関山 舞、上田紗也子、三浦和彦、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013。
 渡辺彩水、長谷川朋子、三浦和彦、上田紗也子、第 6 回成果報告会講演予稿集、2013。

*連絡先：三浦和彦(Kazuhiko MIURA)、miura@rs.kagu.tus.ac.jp