

ドームふじ観測拠点におけるエアロゾル・微量成分の観測*

林 政彦**

1. はじめに

1997年2月から1998年1月まで東南極高原部のドームふじ観測拠点(77°19'S, 39°42'E, 3810m a.s.l.)において大気エアロゾルの観測を行う機会を得た。この観測は、本号別稿の山内によっても説明されているように、南極観測第5期5か年計画の「南極大気・物質循環観測」の一環として行われた。それは大気中の物質循環を、微量成分の変動という点からみると、エアロゾルの関わる諸プロセスを無視することはできないという視点に基づく。しかし、これまで、内陸のエアロゾル観測は、南極点における観測のほかは、旅行中の観測、飛行機による成層圏の観測に限られていた。南極大陸高原部の微量成分の様子は、ほとんどわかっていないというのが実態である。また、ドームふじ観測拠点において実施された深層氷床コアの掘削は過去の環境復元を行うという目的で行われた。しかし、氷床が大気の状態をどう反映するのかというのは、多くの未解明の点を含む基本的な問題でもある。このような立場から、ドームふじ観測拠点における大気微量成分観測は、エアロゾルおよびエアロゾルの形成に関わるガス成分を中心として、多くの成分の変動をできる限り丸1年にちかい期間とらえ、基本的な描像を描こうという姿勢で準備・実施した。

2. 観測の概要と準備

ドームふじ観測拠点での大気微量成分観測の項目は多岐にわたった。これは、微量成分の性格でもある多様性の反映でもある。第1表に示すように、その内容は、①鉛直分布観測、②地上連続観測、③地上のサン

第1表 大気微量成分観測。

種類	項目
鉛直分布観測	エアロゾル・オゾンの気球観測(成層圏・対流圏)* エアロゾルのライダ―観測(成層圏・対流圏)* 雪面近傍エアロゾルの鉛直分布観測
地上連続観測	エアロゾル粒径分布観測* 露点湿度観測 オゾン濃度観測* ラドン濃度観測 年間宇宙線量計測
微量成分サンプリング	化学分析用粒径別エアロゾルサンプリング* 酸性ガス・アルカリ性ガスサンプリング* 有機物分析用エアロゾルサンプリング マイクロプローブ分析用エアロゾルサンプリング* 大気サンプリング* 硫化カルボニル分析用大気サンプリング 揮発性有機化合物分析用吸着管サンプリング

*：昭和基地(69°S, 39°E, 15m a. s. l.)との同時・比較観測。

プリングに大別できる。表中*印で示した項目は、昭和基地(69°00'S, 39°35'E)との同時比較観測として実施した。

これまで、氷床深層掘削を目的として建設・運用されてきたドームふじ観測拠点の大気観測は、周辺環境を整えることが第一の仕事だった。ドームふじ観測拠点に大気観測用の装置を設置する大気観測棟(4.5m×4.5m)を新たに建設した。到着した直後の1月18日から除雪・建設作業を行い、屋内の電気配線・暖房用の循環温水の配管等が完了したのは、1月31日であった。気球観測では、冬季の観測で、-70°Cの外気をさけて、せめて-60°Cの風のないところでガスの充填作業を行いたいと考え、4m四方、深さ5mの雪洞を掘った。現地状況もわからない日本での準備から始

* Observations of aerosol and trace constituents at Dome Fuji Station in Antarctica.

** Masahiko Hayashi, 名古屋大学太陽地球環境研究所(現在 福岡大学理学部地球圏科学科)。

© 1999 日本気象学会

まり、なんとかかすべての環境を整え終わったのは、3月末であった。気温 -30°C から -50°C 、気圧600 hPaの世界でのこれらの肉体労働は、ほとんど9人の隊員の全員作業で進められ、“ドーム炭鉱労働者”などという言葉も生まれた。

大気観測棟への観測機器の設置は2月はじめから開始した。大気微量成分観測装置、ゾンデ受信装置、赤外カメラ、放射計データ収録部などが所狭しと並べられた。2月の初旬にはおおむね、連続観測がスタートし、中旬にはゾンデ観測がスタートした。下旬にほとんどのサンプリングが開始され、ライダーの観測が始まったのは、4月であった。

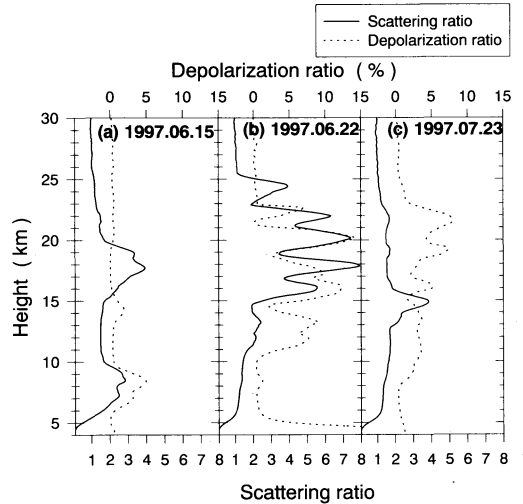
地上観測の諸設備は、基本的には屋内に設置した。特にサンプリングポンプなどは、屋外に設置した場合に、冬季の -70°C を越える低温のなかで長期間安定した動作を確保できる可能性が低かったこと、フィルターホルダーの交換なども低温によるチューブの硬化などによる支障が予想されたからである。ある程度の予備部品はもちろん持ち込んだが、1年だけの観測でもあり、途中でサンプリング系などを変更することにならないよう、屋内に設置することを基本方針とした。

サンプル大気は、直径15 cmの煙突状のアルミニウム製の採取塔から屋内に導入し、そのまま屋外に排出するラインを設置した。このラインは、観測機器とは独立したファンを用いて、500リッター/分程度で常時置換をした。そして、サンプル空気は屋内導入後1 m程度の導電性シリコンチューブを通して各観測装置に分岐した。ライダーは、外気の室内への流入を防ぐため、受信望遠鏡の鏡筒部の先端を屋外に出し、観測中以外は扉を閉められるような小室を天井にとりつけた。レーザーの出射窓は、二重ガラスセル構造とした。セル内部の空気は加熱した外気と常時置換した。これにより、内外の温度・湿度の差や放射冷却による内外の結露・結霜を防ぐようにした。

外気温 -80°C 、室内外温度差 100°C 近くに達するという条件を想定して、観測を安定的に続けるためにたてたこれらのもくろみはほぼ成功した。越冬期間を通じて基本的な点での変更を要する事態にはならなかった。

3. 極成層圏雲 (PSCs) の変動

成層圏・対流圏の物質交換の1つの機構として注目していた極域成層圏雲 (PSCs: Polar Stratospheric Clouds) の振る舞いについて紹介する。PSCsは、極域



第1図 ドームふじ観測拠点におけるライダー観測結果。(a) 6月15日、(b) 6月22日、(c) 7月23日の532 nmの後方散乱プロフィールをしめす。実線：散乱比、点線：偏光解消度。

成層圏オゾンの破壊に重大な役割を果たしていると考えられ、盛んに研究が行われている。人工衛星・気球観測・ライダー観測・航空機観測・地上の諸観測(赤外分光観測など)と人類のあらん限りの技術を用いている。しかし、その観測は、太陽が昇ってからの時期に集中している(人工衛星・ライダーなどは通年観測がある程度されている)。ロジスティック上の制約が主要因であろう。しかし、PSCsの活動は、5月には始まっており、その全容を知るためには、まさに極夜真っ最中の観測が不可欠であった。日本の南極地域観測隊の特徴の1つは、研究者自身が越冬観測を行うことにある。このため、人数の割に多様な観測が可能である。今回の越冬において、PSCsの観測のためにドーム観測拠点に持ち込んだ観測装置は、ライダー、エアロゾルゾンデ、オゾンゾンデ、GPSゾンデであった。これらを用いて、PSCsの大きさ、量、相状態、そして、気温などの観測を実施した。通年観測としては、前例をみない総合的な観測体制であった。

ドームふじ観測拠点が極夜に入ったのは、4月23日であった。その後、5月28日のエアロゾルゾンデとライダーの同時観測によってPSCsがはじめて確認された。はじめに観測されたのは、硝酸3水和物(NAT)の固体PSCsのようであった。濃度は低く、存在域も限られていた。PSCsの生成のはしりを捕らえたと思わ

れた。その後は、実に10月はじめまでPSCsは連日観測された。余談ではあるが、ドームふじ観測拠点は、上空を厚い雲におおわれることがほとんどない。これは、南極大陸高原部の頂に位置するという条件によるものと考えられるが、この結果、実に6月から10月末まで観測のできなかった日は、5日だけであった。また、エアロゾルゾンデ観測は、越冬期間中2月末から12月はじめまで14回の放球を行い、成層圏エアロゾル層の観測には11回成功した。オゾンゾンデもほぼ同じ日に放球した。

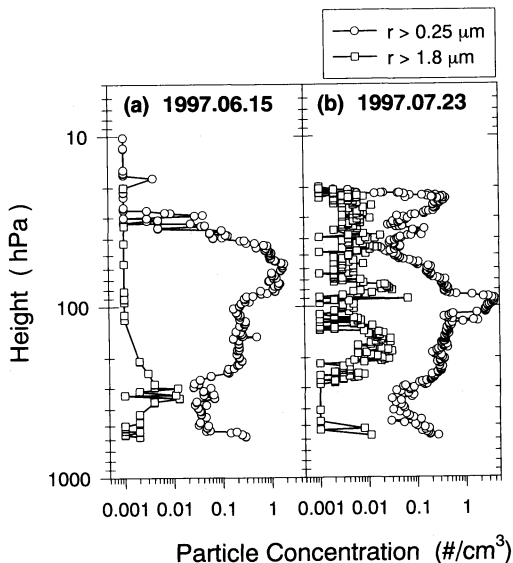
PSCsはその後、出現領域を広げ、散乱比(エアロゾルの混合比に相当)を強めていった。同時に、中心層が球形粒子、その上下に非球形粒子から構成される層が形成され“サンドイッチ構造”を呈するようになっていった(第1図a)。散乱比の高い主要な部分は、偏光解消度が低く、球形粒子からなると考えられた。気温からは、硝酸・硫酸・水の過冷却液滴(STS: Supercooled Ternary Solution)がその構成粒子である可能性が高いと判断される。

6月後半には、ドーム付近にブロッキング高気圧が進入してきた(本号平沢の稿)。それと同期してライダー観測による散乱比(PSCsの量)は数倍に増大した(第1図b)。偏光解消度も増大し、ほとんどが、非球形粒子からなることを示していた。このときの気温は霜点より低い温度であり、光学的特徴も考慮すると、PSCsは氷粒子からなると考えられた。成層圏の気温は、極夜に入り放射対流平衡の温度構造に似た温度プロファイルをとるようにじっくりと冷やされてきていたが、ブロッキング高気圧の進入とともに、成層圏の気温分布が、大きく揺らいだと考えられた。そのため、 -90°C を下回るような低温域が出現した。

その後は、散乱比は、6月前半のレベルに落ちたり増大したりを繰り返したが、偏光解消度が大きい、非球形粒子を主体とするような光学特性の層が大半を占めるようになった(第1図c)。氷あるいは固体の硝酸を含む粒子がPSCs層全域に広がったと考えられた。

6月15日と7月23日のエアロゾルゾンデ観測の結果を第2図に示す。ブロッキング高気圧の進入前とその後の観測である。進入後に半径1.8ミクロン以上の粒子濃度が増大していることがわかる。特に1.8ミクロン以上の粒子の存在する下限高度は8 kmまで下がってきており、不明瞭な圏界面を跨ぐように存在している。

この後、PSCsは次第に出現域を狭め、活動も弱めながら存在し続けた。目視によっても、ピンク・赤・白・



第2図 エアロゾルゾンデによる積算エアロゾル濃度鉛直プロファイル。(a) 6月15日、および(b) 7月23日の観測結果。

橙・黄色と様々に変化を見せ、我々の目を楽しませ続けてくれた。PSCsは、9月以降急速に減衰して、10月に消滅した。ライダー・エアロゾルゾンデともにこの時期までの観測を無事行い、PSCsの発生から消滅までの過程をとらえることができた。

PSCsの活動は、表面反応によるオゾン破壊物質の生成速度やPSCs粒子の重力沈降による成層圏水蒸気・窒素化合物の除去(dehydration, denitrification)に影響をあたえる。今回の観測結果は、南極域でもブロッキング高気圧の進入など、対流圏の擾乱が成層圏のPSCsの活動に影響を与え、オゾン破壊や成層圏の脱水・脱窒といった物質循環過程に関与していることを示唆している。ブロッキング高気圧の進入は毎年起こるもので、地球大気にとっては、南北方向の熱収支のアンバランスを解消するための基本的な過程と考えられる。すなわち、ブロッキング高気圧の進入によるPSCsの活動の擾乱もまた、PSCsの1つの基本的な活動サイクルに位置づけられる。

4. 地上観測

地上観測(第1表)の解析は、まだほとんど行われていない。ライダー・ゾンデ観測と同様、多くの方の手で準備を進めてきており、分析・解析もこれらのみなさんに行っていたいただいている。ここでは、連続観測

で印象に残った現象を3つ紹介しておく。

屋外で測定した地表付近のエアロゾルの粒径は、しばしば、ほとんどのエアロゾルが1.8ミクロン以上に成長しているという様相を示した。ほとんど、薄い霧(雲)の中にいるようなものである。極夜期に特に顕著であったが、霜はすぐにつき、1か月に1回程度霜落としをする必要があった。この霜の成因の1つに、上記の大気中に浮かぶ微小な雪片の付着が考えられる。屋外に設置したハイボリュームサンプラーのフィルター上には、2日もすると締まった雪が5mm以上もつもった。このことは、雪面付近の大気-氷床間の物質輸送を考える上でのキーポイントになりそうである。

一方で、屋内で計測しているエアロゾル濃度は、直径0.003~10ミクロンにわたる観測全粒径できわめて低濃度であった。特に大粒子濃度の季節変動は、昭和基地のそれと異なり、冬季に低濃度となった。直径0.3ミクロン以上の粒子で0.001個/ccなどというとてもない低濃度も現れた。これは、自由対流圏中の濃度よりもはるかに低い。雪面付近のエアロゾルの効果的な除去機構が存在すると考えられる。上記のサンプリングフィルターに積もる微小雪片の凝結核としてエアロゾルが働き、雪面への沈着などにより、大気より除

去されるプロセスの重要性を示唆するものである。

地殻起源物質のトレーサーとなるラドン濃度は、37次隊が1996年に昭和基地で観測した濃度の数分の1のきわめて低濃度であった。昭和基地でも観測された急増現象(ラドン風)は、初期解析の結果で、春から夏に最低3回起きていると見られる。中緯度からの輸送システムの季節変動を解明するのに有用な情報を与えようである。

5. 終わりに

今回の越冬観測では、成層圏-対流圏間、大気-氷床間、中緯度-南極域の物質交換プロセスを、エアロゾルとエアロゾルに関連性の高い微量成分の変動から解明していくことを目指した。本格的な解析はこれからであるが、おもしろいことがたくさん隠れていそうである。そこから、南極大陸内陸部における観測の新たな指標を導きたいと考えている。

最後に、越冬期間およびその準備期間を通じて、日本から協力を惜しまず、また、常に励ましていただいた方々、南極の地で1年間を過ごし、多くの面で協力をいただいた38次南極地域観測隊の隊員に感謝の意を表したい。