

昭和基地とドームふじ基地における
エアロゾル粒径分布の通年観測林 政彦^{1*}・松本易典¹・平沢尚彦^{2,3}・山内 恭^{2,3}・岩坂泰信⁴

Aerosol size distributions at Syowa Station and Dome Fuji Station, Antarctica

Masahiko Hayashi^{1*}, Yasunori Matsumoto¹, Naohiko Hirasawa^{2,3},
Takashi Yamanouchi^{2,3} and Yasunobu Iwasaka⁴

(2010年3月15日受付; 2010年5月13日受理)

Abstract: Simultaneous observations of the aerosol size distribution for diameters of 0.003–5.0 μm were performed at Syowa Station (69°00'S, 39°35'E, 15 m a.s.l.) and Dome Fuji Station (77°19'S, 39°42'E, 3810 m a.s.l.) in Antarctica from February 1997 to January 1998. Size distributions show composites of a small-Aitken mode (less than 0.05 μm in diameter), a large-Aitken mode (0.05–0.3 μm in diameter), and a large/giant particle mode (larger than 0.3 μm in diameter). Concentrations of small and large Aitken modes were high in summer and low in winter. On the other hand, concentrations of large/giant particle mode were low in summer and high in winter. The high and/or low concentration events for one or a few days in whole size range were observed especially in winter. High concentration events in small Aitken mode with the low concentrations in diameter of 0.07–5.0 μm were also observed at Dome Fuji Station in spring. Meteorological conditions during the events at Dome Fuji Station were different from those at Syowa station.

要旨: 1997年2月~1998年1月に、昭和基地(69°00'S, 39°35'E, 15 m a.s.l.)及びドームふじ観測拠点(77°19'S, 39°42'E, 3810 m a.s.l.)において、直径0.003–5 μm のエアロゾル粒径分布の変動の観測を行った。両基地において小エイトケンモード(直径0.05 μm 以下)、大エイトケンモード(直径0.05–0.3 μm)、

¹ 福岡大学理学部地球圏科学科, Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, 814-0180.

² 情報・システム研究機構国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

³ 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻, Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

⁴ 金沢大学フロンティアサイエンス機構, Frontier Science Organization, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192.

* Corresponding author. E-mail: mhayashi@fukuoka-u.ac.jp

大粒子・粗大粒子モード（直径 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上）の3つのモードが認められた。小エイトケンモードおよび大エイトケンモードは、夏に高濃度、冬に低濃度となり、一方、大粒子・巨大粒子モードは夏に低濃度、冬に高濃度となった。1~数日の時間スケールの全粒径にわたる急増、急減現象が両基地で冬季に見られた。ドームふじ観測拠点では春季に小エイトケン粒子のみの急増も見られた。ドームふじ観測拠点においてこれらの現象が起こる気象条件は、昭和基地における類似の現象が起こる時の気象条件とは異なっていた。

1. はじめに

南極地域は人間活動地域から遠く離れているため、地球規模の環境変動のバックグラウンドの状況の監視場所として適している。そのため、南極地域はこれまでに気象や雪氷など多方面の分野から研究されてきた。その中で、南極氷床コアに含まれている粒子状物質及び化学物質を分析して、過去の大気微量成分の変動を研究することが試みられている。得られた氷床コアの情報から過去の大気情報を知るためには、大気から氷床への物質輸送、中低緯度から南極域への物質輸送等に対する理解が不可欠である。また、極渦の形成に伴う極渦内での鉛直輸送により、成層圏の変動が大気最下層に接する雪氷面にも及び、積雪中の物質変動に寄与している可能性も注目されている（*e.g.*, Legrand and Delmas, 1986）。このような大気-雪氷系を含めた物質循環において、エアロゾルは大気中の最終生成物であるとともに降水粒子の核として降水形成にも関与している。

南極地域の表層大気中におけるエアロゾル粒子の数濃度や粒径分布の観測は、Voskresenskii (1968) によるミールヌイ基地における観測をはじめとして古くから行われている。しかし、エイトケン粒子（直径 $0.3\ \mu\text{m}$ 以下）の観測が多く（Gras and Adraansen, 1985, Samson *et al.*, 1990 など）、大粒子（直径 $0.3\text{--}2.0\ \mu\text{m}$ ）、巨大粒子（直径 $2.0\ \mu\text{m}$ 以上）の観測例は少ない（伊藤, 1983 など）。また、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、飛行機観測に限られていたため、内陸部のエアロゾルの動態に対する情報は非常に限られている。

日本南極地域観測隊ではエアロゾルの性状と起源に関する知見を得るため、エアロゾルの総合観測が昭和基地（ $69^{\circ}00'S$, $39^{\circ}35'E$, $15\ \text{m a.s.l.}$ ）において1976年から3年間行われた。その観測結果は、Iwai *et al.* (1981)、伊藤 (1983) 及び Ito (1993) などによって詳細に報告されている。その後、エアロゾル粒子の数濃度や粒径分布に関する情報を継続的に得るため、第37次日本南極地域観測隊（JARE-37; 以降、第~次隊）により、1996年から昭和基地で地上エアロゾルの長期連続観測が開始された。また、第38次隊により、沿岸から内陸までの子午面内におけるエアロゾルの動態を把握することを目的とし、1997年から「南極大気・物質循環観測」が開始された。その一環として、昭和基地とドームふじ観測拠点（ $77^{\circ}19'S$, $39^{\circ}42'E$, $3810\ \text{m a.s.l.}$; 現在は「ドームふじ基地」に改称）において地上エアロゾルの連続観測が1997年2月~1998年1月の期間に行われた。

ここでは、第 38 次隊による昭和基地とドームふじ観測拠点の 1 年間の地上エアロゾルの連続観測によって得られた、 $0.003\text{--}5\ \mu\text{m}$ の粒径域のエアロゾルの季節変化、急増、急減現象について報告する。

2. 観 測

2.1. 観測地点

本報告の観測は、東南極に位置する二つの観測地点で行われた(図 1)。一つは、東南極・エンダービーランド・プリンスオラフコースト沖、リュツォ・ホルム湾の東オングル島(南極大陸の氷縁からは西に約 4 km 離れた露岩の島)にある昭和基地 ($69^{\circ}00'\text{S}$, $39^{\circ}35'\text{E}$, 15 m a.s.l.) である。もう一つは、昭和基地から内陸へ約 1000 km 離れたクイーンモードランド地域の氷床頂上に位置するドームふじ観測拠点($77^{\circ}19'\text{S}$, $39^{\circ}42'\text{E}$, 3810 m a.s.l.) である。

2.2. 観測装置

エアロゾルの粒径範囲は極めて広く、その大きさによって物理的性質(例えば、拡散係数、沈降速度、電気移動度、光散乱等)が大きく異なるため、粒子の採取方法や計測方法は、粒径範囲に応じて適切な方法が用いられる。本研究では、それぞれの基地で計測粒径範囲の異なる 3 台の観測装置を用いて、直径 $0.003\text{--}5\ \mu\text{m}$ の粒径範囲のエアロゾル濃度を観測した。

直径 $0.07\text{--}5.0\ \mu\text{m}$ のエアロゾル濃度は、2 種類の光散乱粒子計数装置 (Optical Particle

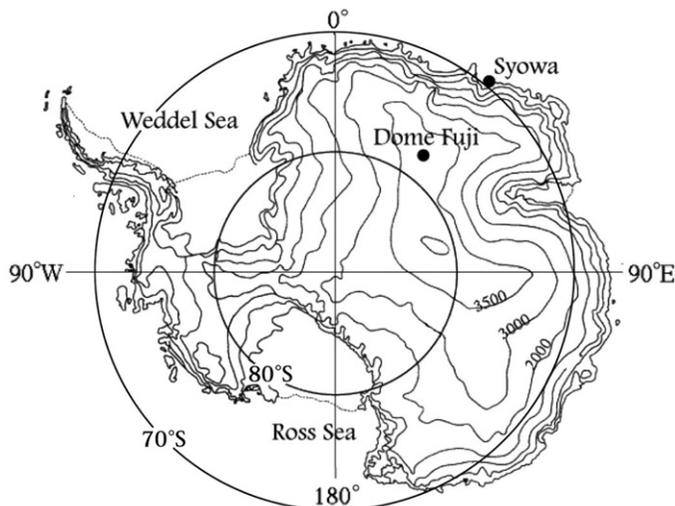


図 1 ドームふじ観測拠点および昭和基地の位置
Fig. 1. Dome Fuji Station and Syowa Station.

Counter, 以後 OPC)を用いて観測した。使用した OPC はシグマテック社製 TD 100 型(閾粒子直径: 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 μm , サンプル流量: 1.0 liter/min.), および同社製 TD 500S 型(閾粒子直径: 0.07, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 μm , サンプル流量 0.5 liter/min.) である。TD 100 の光学系は, 半導体レーザー(発振波長 810 nm)を光源とした光軸交角 60 度, 集光半角 40 度の集光系である。TD 500S の光学系は, 外部ミラー型 He-Ne ガスレーザー(発振波長 633 nm)の共振部を光源とし, 回転楕円体ミラーの 2 つの焦点に照射領域部と検出素子を配置したもので, 散乱角 10–80 度の領域の散乱光を集光している。いずれの閾粒径も, 屈折率が $1.59+0i$ の球形粒子に対する光学的等価粒径として校正されている。粒子数積算時間は 58 秒, インターバル約 2 秒で観測し, 高濃度の際に生じる同時計数損失(Hinds, 1999)の補正を行っている。

直径 0.1 μm よりも小さい粒子の濃度および粒径分布の測定のために, 凝結核計数装置(CNC: Condensation Nuclei Counter)を用いた。昭和基地では TSI 社製 Model 3010 (50% カットオフ径: 直径 0.01 μm , サンプル流量: 1.0 liter/min.)を用いた。ドームふじ観測拠点では TSI 社製 Model 3025A (50% カットオフ径: 直径 0.003 μm , サンプル流量: 0.03 liter/min.)に同社製拡散バッテリー(Model 3040)を組み合わせ, エイトケン粒子の粒径分布を求めた。いずれも凝縮蒸気は 1-ブタノール($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)である。また, ドームふじ観測拠点の平均的な大気圧 600 hPa, 観測室の室温 20°C, 拡散バッテリーの流量 4 liter/min の条件における, Model 3040 の各ステージの 50% カットオフ径を表 1 に示す。第 10 ステージにおいては全粒径で通過率が 50% より低くなり, 50% カットオフ径は存在しない。

なお, 本報告では気象学的な区分に従い, 直径 2.0 μm 以上を巨大粒子, 直径 0.3–2.0 μm

表 1 拡散バッテリー (Model 3040 Diffusion Battery, TSI Inc.) の 50% カットオフ径 (気圧 600 hPa, 温度 20°C, 流量 4 liter/min.)

Table 1. 50% cut-off diameter of diffusion battery (Model 3040, TSI Inc.) (Pressure; 600 hPa, temperature; 20°C, flow rate; 4 liters/min.).

ステージ	50% cut-off 直径 [μm]
0	0.0030
1	0.0114
2	0.0267
3	0.0462
4	0.0703
5	0.0996
6	0.1355
7	0.1809
8	0.2433
9	0.3640
10	無し

を大粒子、直径 $0.3 \mu\text{m}$ 以下をエイトケン粒子と呼ぶ。一方、近年、ナノメートルオーダーの粒子の研究が進み、環境科学的な区分において微小粒子（直径 $2.0 \mu\text{m}$ 以下）とされる粒子のうち、 $0.1 \mu\text{m}$ あるいは $0.05 \mu\text{m}$ 以下の核生成モードが超微小粒子と呼ばれるようになってきている。本報告でも、後述のような計測手法と動態の違いを踏まえ、エイトケン粒子をさらに区分し、直径 $0.05 \mu\text{m}$ 以下を小エイトケン粒子、直径 $0.05\text{--}0.3 \mu\text{m}$ を大エイトケン粒子と呼ぶ。

2.3. 試料大気の導入

昭和基地での観測は、観測棟で行った(図2)。観測棟北西壁面の北寄りの壁面から 50 cm 離れた、地面からの高さ 5 m の採取口から内径 6 mm、外径 12 mm、長さ 3 m のユニチューブを用いて屋内に導入後、同径のユニチューブ（長さ 1 m 以下）で分岐し、各装置に分配した。ドームふじ観測拠点における地上エアロゾルの連続観測は大気観測棟で行った(図3)。図4に、大気観測棟内の計測装置の配置と試料空気の導入経路を示す。観測装置は全

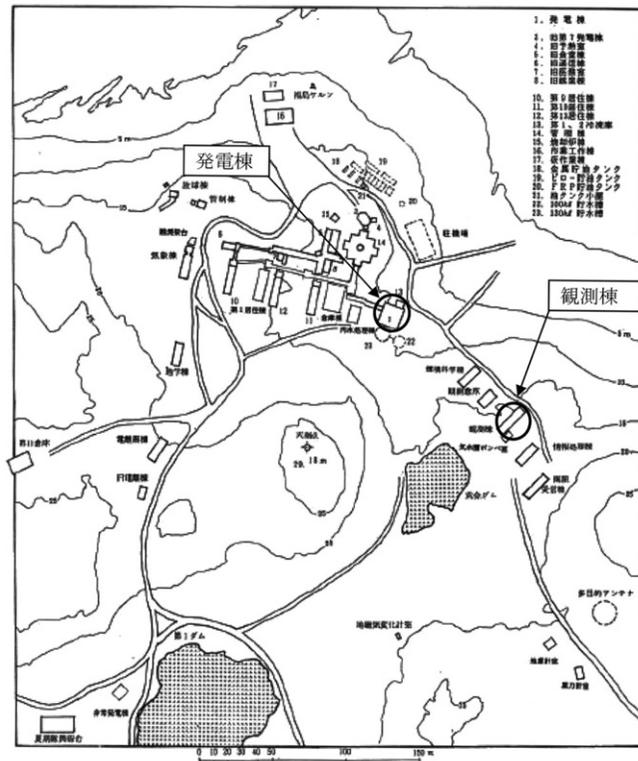


図2 昭和基地の観測点（観測棟）と主要汚染源（発電棟）
国立極地研究所（2004）に加筆

Fig. 2. Location of the observation building and contamination source at Syowa Station.

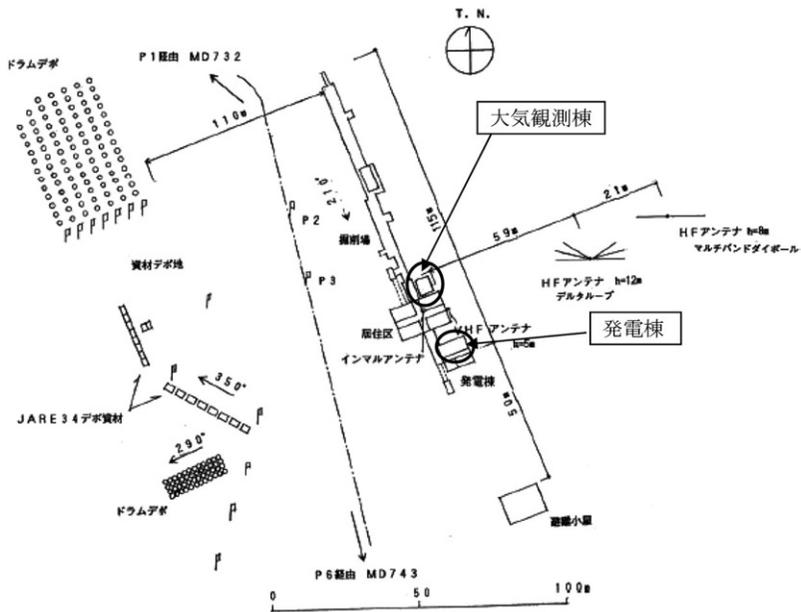


図3 ドームふじ観測拠点の観測点（大気観測棟）と主要汚染源（発電棟）
国立極地研究所（2004）に加筆

Fig. 3. Location of the observation room and contamination source at Dome Fuji Station.

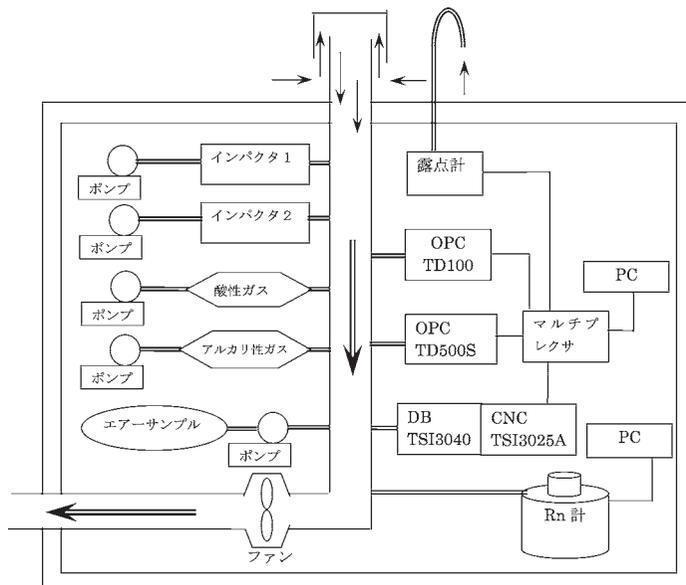


図4 ドームふじ観測拠点大気観測棟内の試料空気分配図
矢印はサンプル空気の流れを示している

Fig. 4. Configuration of sample air flow and instruments at Dome Fuji Station.
Arrows show flow of sample air.

て屋内に設置した。試料大気は大気観測棟の天井の南東角に設置したアルミ製の大気採取塔(内径 15 cm, 屋根からの高さ 1.5 m) から屋内にファンで導入した。採取口の雪面からの高さは約 4.5 m である。試料大気は、採取塔と同じ内径 15 cm のアルミダクトから導電性シリコンチューブ(1 m 以内)で分岐し、それぞれの計測装置へ導いた。いずれの基地でも、観測装置に導入された試料大気は、おおむね室温(10-20°C)に近い温度に加熱されていた。また、3 台の計測装置のデータは、RS232C マルチプレクサを介して 1 台の NEC 製 PC98 ノートパソコンで記録した。

2.4. 観測期間

昭和基地では、OPC (TD 100, TD 500S) は、1997 年 2 月 21 日~1998 年 1 月 31 日まで(ただし TD 500S は、レーザー出力低下のため 10 月 4-30 日まで欠測)、CNC は 1997 年 4 月 4 日~1998 年 1 月 31 日の間、観測を行った。ドームふじ観測拠点における観測は 1997 年 2 月 4 日~1998 年 1 月 17 日まで行われ、3 台の測定装置はいずれも長期の欠測なく稼動した。

3. 解析方法

3.1. 基地活動に伴う汚染データのスクリーニング

固定点での連続測定の場合、周辺の基地活動域からの混入は避けがたい。特にエイトケン粒子は各種燃焼過程に伴って高濃度で発生するため、わずかな混入でも清浄な大気のバックグラウンド値の測定には大きな影響を与える。基地活動において予想される汚染としては、発電設備・暖房設備・厨房・車両から放出される燃焼生成物などがある。

昭和基地の場合、観測棟の西~北西の方向に基地中心部がある(図 2)。図 5a に、昭和基地における地上風向(16 方位)の出現頻度 [%] を示す。風速 0.2 m/sec 以下の場合、静穏 (calm) に分類している。北東から東北東の風が卓越している。図 5b には、CNC によるエイトケン粒子(直径 $D > 0.01 \mu\text{m}$) の数濃度の 1 時間(60 データ)ごとの中央値をもとめ、それらの風向(16 方位)別の中央値を示した。西から西北西の風向で $400 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 以上の濃度になっている。これは、基地主要部(図 2)からの汚染の影響であると考えられる。南東方向にも汚染源はあるが、通年のデータの中ではその影響は顕著ではない。図 5c は、エイトケン粒子数濃度の 1 時間ごとの幾何標準偏差(以後、GSD)の風向別の累積頻度 [%] を示したものである。ほとんどの風向でその値は 1.5 以内である。また、顕著ではないが風が弱い時や、基地主要部(西~北西)および移動排出源である雪上車の基地内活動域(西~北)からの風向で、大きな GSD の占める割合が高くなっている。同時に、あらゆる方向の風に対して、GSD の大きな値がある程度の頻度で見られる。この原因は、昭和基地では移動排出源を含む多くの局所汚染排出源があるためと考えられる。

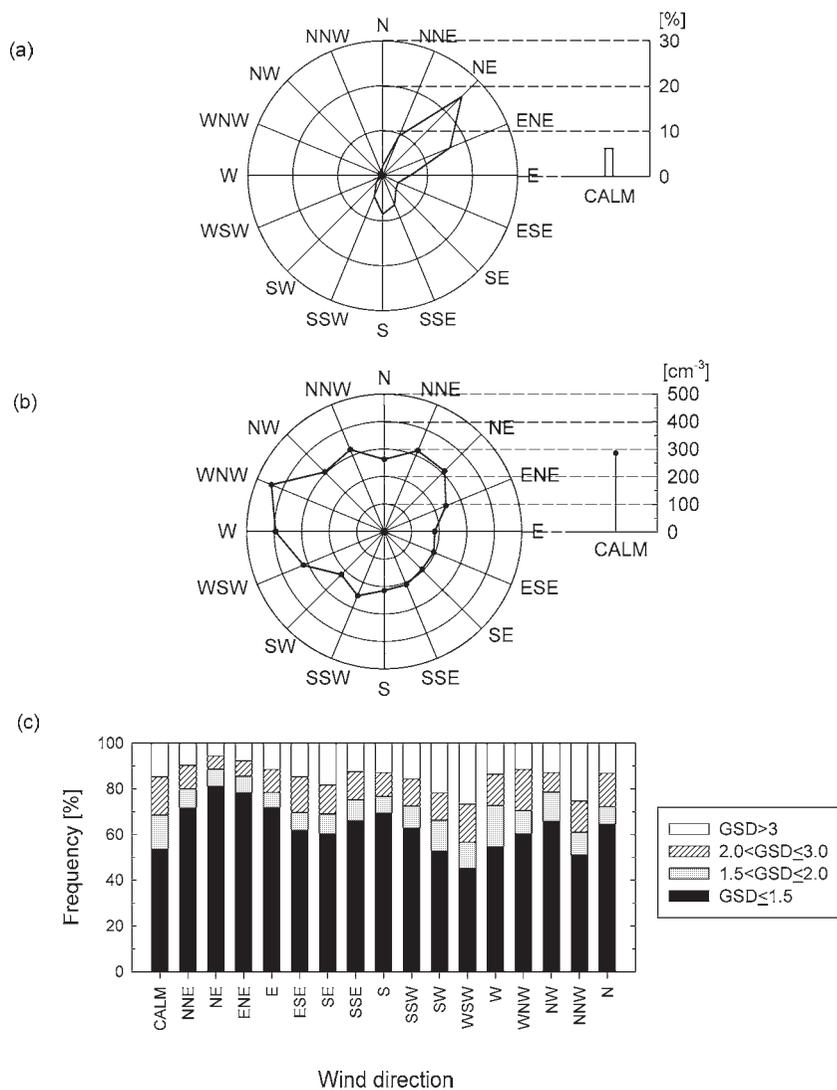


図5 昭和基地における風向とエアロゾル濃度
 (a) 風配図 (b) 風向別の数濃度中央値 ($D > 0.01 \mu\text{m}$) (c) 風向別の幾何標準偏差の頻度
 Fig. 5. Relation between wind direction and aerosol concentration at Syowa Station.
 (a) frequency of wind direction
 (b) median concentration ($D > 0.01 \mu\text{m}$) for each wind direction
 (c) frequency of geometrical standard deviation of particle concentration

ドームふじ観測拠点の場合、大気観測棟は居住区と隣接しており、東南東～南南東方向に発電棟、西北西～北北西方向に深層氷床コア掘削のための掘削場が配置されている(図3)。図6aはドームふじ観測拠点における地上風向(16方位)の頻度[%]を示したものである。北東(45度:NE)、南東(135度:SE)、南西(225度:SW)、北西(315度:NW)の頻度が極端に大きい。これは、0-90度、90-180度等の90度ごとに区切られた領域ごとに、風向値がそれぞれの領域の中心の値(45度、135度等)に近づくような系統誤差が含まれていることによる(平沢, 2000)。平沢(2000)は、この誤差は風の相対的な方向を入れ替えるものではないとしており、本報告では、地上風向データの補正は行っていない。

図5bと同様に、1時間ごとに得られる拡散バッテリーの、第0ステージの6つの観測値の中央値を16方位風向ごとにグループ化し、各風向グループの1時間中央値を求めた(図6b)。おおよそ東～南の風向で、他の風向に比べて高濃度になっている。この方向からの気塊のエアロゾル濃度が高くなるのは、常時運転していた発電棟(図3)からの汚染の影響によると考えられる。掘削場は主に2-5月に稼働させたため、通年のデータの中ではその影響は顕著ではない。図6cは、風向(16方位)別のエイトケン粒子($D > 0.003 \mu\text{m}$)数濃度の1時間の5つの測定値のGSDの累積頻度[%]である。その値は、ほとんどの風向で $\text{GSD} < 1.5$ が占める割合が高く、汚染排出源がない北～北東の風向でGSDはすべて1.5以下である。南発電棟、食堂棟の汚染の影響を受ける東～南の風向の時は、大きなGSDの占める割合が高い。このように、汚染の影響がある時には濃度とともにGSDが大きくなると考えられる。また、南東、南以外の風向でもGSDが大きくなることがあるのは、主に雪上車等の移動排出源や、居住棟等からの室内空気排気の影響と考えられる。なお、自然状態でGSDが大きなケースや汚染気塊でGSDが小さなケースもありえるが、それらはいずれも頻度が小さいと考えられる。

以上に基づき、両基地における共通の汚染データスクリーニング基準としてGSDを用いた。まず、測定最小粒径の観測データから1時間ごとに幾何平均とGSDを求め、この時のGSDの値が2より大きい場合は、その時間とその前後1時間の観測データは、汚染の影響を受けているとみなし削除した。その際、同じ時間における他の粒径チャンネルの観測データも削除した。削除されなかった時間の各測定粒径の1時間代表値として中央値を採用し、今回の解析に用いる基礎データとした。これは、全体に対する頻度の小さい極端な高濃度の影響は、平均値より中央値の方が受けにくいからである。

3.2. 逆変換法による粒径分布の算出

拡散バッテリーの各ステージの透過率は、粒径に対してステップ関数的ではなく、連続関数的に変化する。このため、多分散エアロゾルを計測した場合に、拡散バッテリーの50%カットオフ径(表1)を代表径として得られる粒径分布は現実と大きく異なる。そこで、デー

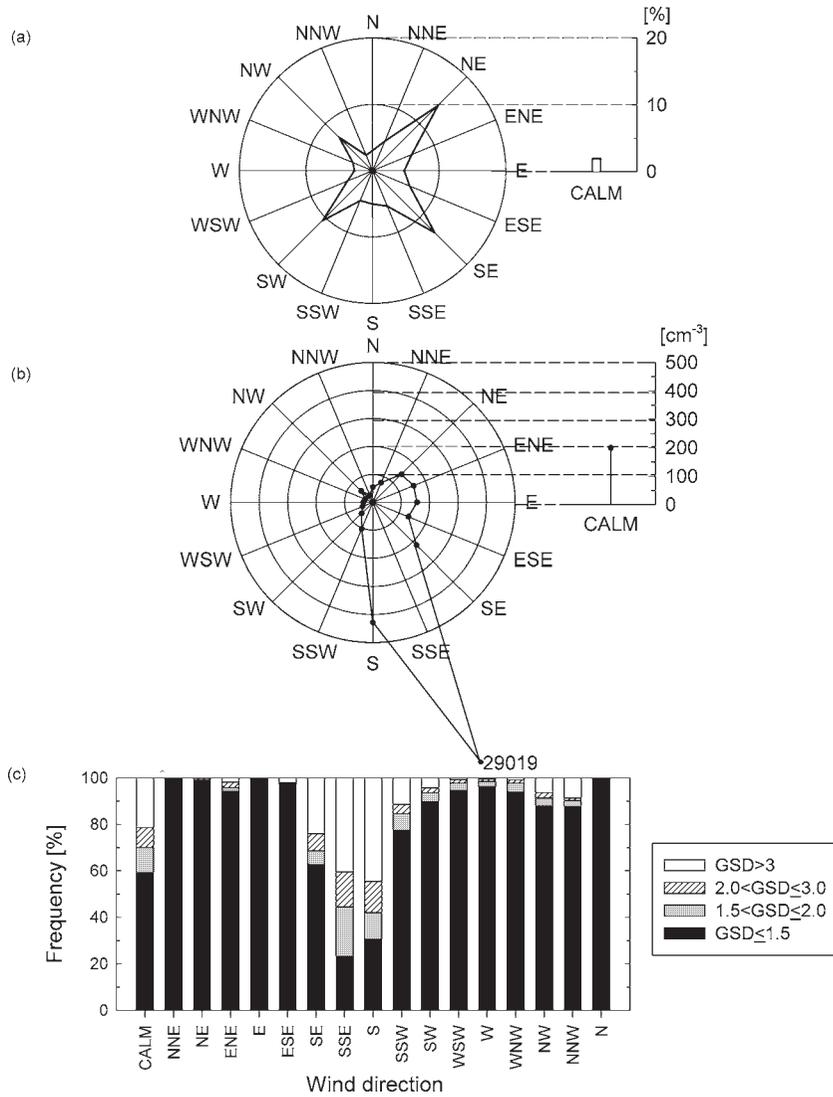


図6 ドームふじ観測拠点における風向とエアロゾル濃度
 (a) 風配図 (b) 風向別の濃度中央値 ($D > 0.003 \mu\text{m}$) (c) 風向別の幾何標準偏差の頻度
 Fig. 6. Relation between wind direction and aerosol concentration at Dome Fuji Station.
 (a) frequency of wind direction
 (b) median concentration ($D > 0.0030 \mu\text{m}$) for each wind directions
 (c) frequency of geometrical standard deviation

夕逆変換法 (inversion method, たとえば, 東野, 1997) を用いて粒径分布を求めた。スクリーン型拡散バッテリーのステージ i における直径 D の粒子の透過率 $P_i(D)$, ステージ i における測定値 (数濃度) N_i , 粒径分布関数 $f(D)$ の関係は, 計測粒子直径範囲を n 個の等間隔に分割し, 第 j 分割での粒子直径範囲を $[D_j, D_{j+1}]$, その範囲での代表径を D_j^* , 粒径差を $\Delta D_j (= D_{j+1} - D_j)$ とした場合, 次式で表される。

$$N_i = \sum_{j=1}^n P_i(D_j^*) \cdot f(D_j^*) \cdot \Delta D_j. \quad (1)$$

ここでは, 粒子検出部の検出効率及びスイッチングバルブ内での沈着による粒子損失は考慮していない。

上式の解は, 粒径分布の初期推定値から出発して, 測定値と計算値との比にそれぞれの粒径区分に重み関数を乗じた項を繰り返し乗じて修正を行うことによって得ることができる (非線形反復法: Twomey, 1975)。反復計算による粒径分布の推定結果には (i) 重み関数, (ii) 反復初期値と分布の端点処理, (iii) 反復停止基準が影響を及ぼす。重み関数は応答関数 $f(D)$ のべき乗 (0.5 乗) で与えた (Gras, 1983)。反復初期値は次のようにして与えた。まず, 各ステージの 50% カットオフ径の幾何平均値を粒径代表値として, 計測結果から粒径分布 ($D_i^*, \Delta N_i / \Delta (\log D_i)$) を直接計算する。直接計算で得られる粒径範囲の上限および下限の外側に, 直接計算で得られる粒径範囲の上限および下限の端点の値の 10^{-1} 倍の値を, 粒径分布の端点として付加する。最後に, この粒径分布に 3 点の平滑化処理を 5 回行い, これを反復初期値とした (Winklmayr *et al.*, 1990)。反復停止基準は, 各ステージにおける数濃度の計算値と測定値の残差と測定値の比の二乗平均値が 0.1 以下になるまでとした。また, 反復計算回数は 100 回を上限とした。なお, 拡散バッテリーのこの分級特性はあまり鋭くなく, さらに, 分級により粒径の小さい粒子と大きい粒子がともに除去されてゆくため, 十分な精度で粒径分布が得られる粒径の上限が通常, 直径 $0.1 \mu\text{m}$ 程度となる。

4. 結果と考察

4.1. 昭和基地におけるエアロゾルの変動

4.1.1. 粒子数濃度と各気象要素の変動

エイトケン粒子 ($D > 0.01 \mu\text{m}$) と大粒子 ($D > 0.3 \mu\text{m}$) の粒子数濃度の日中央値, 風速, 現地気圧, 気温, 全天日射量の日平均値の時系列を図 7 に示す。日射の全くない極夜期は 5 月 29 日~7 月 14 日までである。年平均風速は 6.0 m/s であり, 時折強い風が吹く。特に 4~6 月の期間に, 最大風速が 30 m/s を超えた日があった。

エイトケン粒子の数濃度は, 夏に高濃度, 冬に低濃度という季節変化と, 数日程度の濃度上昇や低下が見られる。短い時間スケールの変動は年間を通じて見られるが, 特に 5~7 月の期間は変動が激しい。濃度が高い時には 1000 個/cm^3 以上の場合もあり, 濃度が低い時には 10 個/cm^3 程度になる場合もあった。図 7 ではわかりにくいだが, 4 月中旬~8 月中旬まで

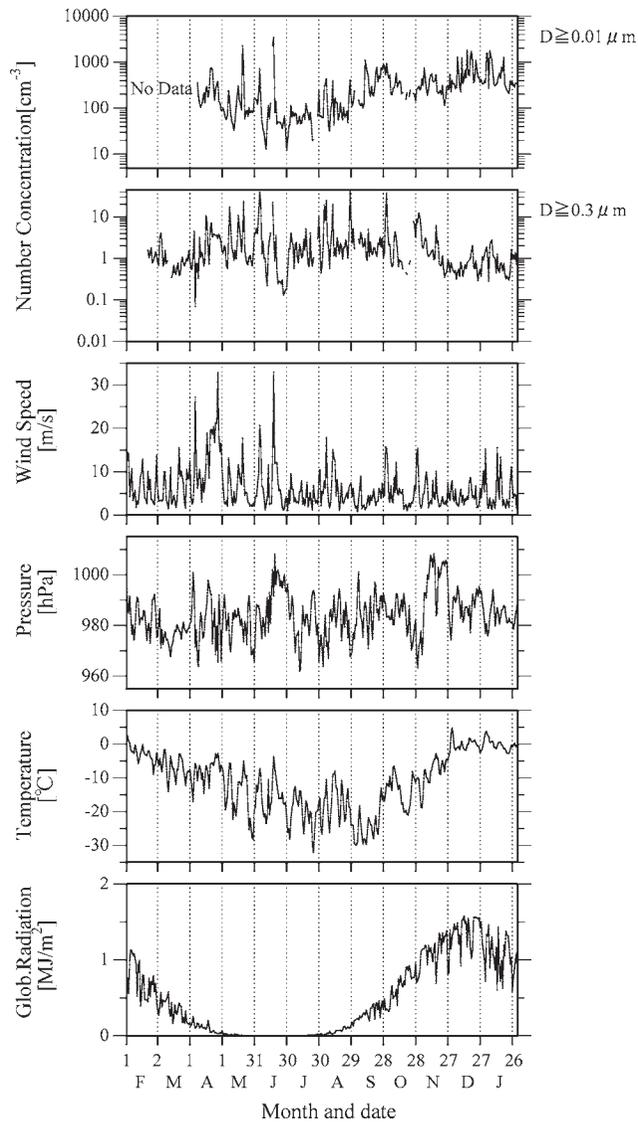


図7 エアロゾル数濃度の日中央値と各気象要素の日平均値
(昭和基地, 1997年2月~1998年1月)

Fig. 7. Daily median of aerosol concentrations and daily average of meteorological conditions at Syowa Station, from February, 1997 to January, 1998.

の冬を含む期間は、数濃度のピークは風速のピークとほぼ同期している。一方、他の月では、濃度のピークと風速のピークは必ずしも一致していない。大粒子の濃度は、図9では季節変化は明瞭ではないが、年間を通じて数日程度の時間スケールの濃度上昇、低下が見られる。特に4月中旬~9月下旬の期間の高濃度ピークは著しく高い。5-8月の期間において、エイトケン粒子と大粒子の数濃度の高濃度ピークはほとんど全て一致しており、広い粒径範囲にわたる数日程度の時間スケールの濃度上昇が起きていていると考えられる。

4.1.2. 粒子数濃度の季節変化

エイトケン粒子と大粒子の数濃度の745時間(31日間)の移動平均値を、図8(上,下)にそれぞれ示す。D>0.07, 0.1 μm の粒子はエイトケン粒子に区分されるが、蓄積モードの一部とも考えられる。その数濃度の季節変化は、核生成モードを含むD>0.01 μm の季節変

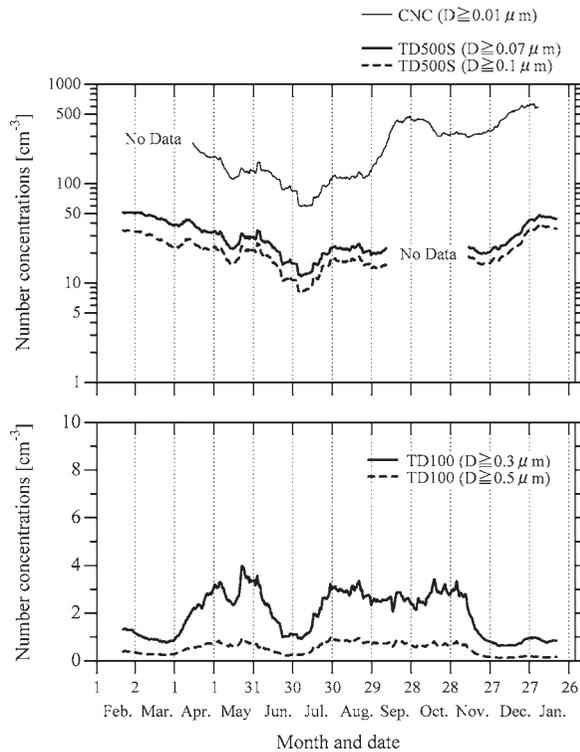


図8 昭和基地におけるエアロゾル数濃度の季節変化(745時間移動平均値)
上: 直径0.01 μm 以上, 0.07 μm 以上, 0.1 μm 以上
下: 直径0.3 μm 以上, 0.5 μm 以上

Fig. 8. Seasonal variation of aerosol concentration at Syowa Station from February, 1997 to January 1998 with 745 hours running mean.
upper: $D > 0.01 \mu\text{m}$, $0.07 \mu\text{m}$, $0.1 \mu\text{m}$
Lower: $D > 0.3 \mu\text{m}$, $0.5 \mu\text{m}$

化に似ている (図 8a) が、大粒子 ($D > 0.3 \mu\text{m}$) と類似の振る舞いをすることもある。このため、本報告ではエイトケン粒子を小エイトケン粒子 ($D < 0.05 \mu\text{m}$) と大エイトケン粒子 ($D = 0.05 - 0.3 \mu\text{m}$) に区分する。一方、大粒子と巨大粒子のモード区分は明瞭ではなく (図 9)、昭和基地の $D > 0.3 \mu\text{m}$ の粒子濃度の変化は、粗大粒子 ($D > 1.0 \mu\text{m}$, 気象学的には巨大粒子と呼ばれる) の濃度変化に近い変動をする (林ほか, 2010)。そこで、以下、大粒子に巨大粒子を含めて大粒子 ($D > 0.3 \mu\text{m}$) と呼ぶ。これらの傾向は、後述するドームふじにおける変化でも見られる。

伊藤 (1983) によれば、昭和基地におけるエイトケン粒子 ($D > 0.004 \mu\text{m}$) 濃度は、夏季に高濃度、冬季に低濃度となり、年中央値は、 $230 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 程度で、全観測値の 60% が $94 - 420 \text{ 個}/\text{cm}^3$ の濃度範囲であった。本観測でも同様の季節変化 (図 8 (上)) が見られた。今回の観測で得られた小エイトケン粒子、大エイトケン粒子の年中央値はそれぞれ、 $230 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 、 $30 \text{ 個}/\text{cm}^3$ であった。

一方で、伊藤 (1983) は、1976 年と 1978 年における大粒子 ($D > 0.36 \mu\text{m}$) の観測結果を集計し、極大濃度になる月は異なるが、年間の濃度中央値 ($0.77 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 程度) はほぼ同等で、夏季に濃度が低いという共通した特徴を報告している。本観測でも、冬季に若干高濃度で時間変化も大きい (図 8 (下)) 傾向を示し、 $D > 0.3 \mu\text{m}$ 、 $D > 0.5 \mu\text{m}$ の数濃度の年間中央値はそれぞれ $1.30 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 、 $0.35 \text{ 個}/\text{cm}^3$ であった。

4.1.3. 粒径分布の季節変化

図 9 は、CNC と 2 種類の OPC により観測された、エイトケン粒子から巨大粒子まで ($D = 0.01 - 5.0 \mu\text{m}$) の粒径分布の季節変化である。粒径別の 1 時間中央値の算術平均を月ごとにとり、個数基準と体積基準の粒径分布を得た。夏季は体積粒径分布で直径 $0.3 - 0.4 \mu\text{m}$ 付近に谷があり、大エイトケンモードと大粒子モードが明瞭な二山分布を示す。大粒子モードは、冬から春に高濃度となり、大エイトケンモードは冬に低濃度となる。その結果、冬季には大粒子モードがやや卓越する分布の広い一山分布となる。日射が回復し始めた 9-10 月の個数分布では、小エイトケン粒子の濃度増加が見られ、その後、大エイトケン粒子モードの濃度増加が見られる。

伊藤 (1983) はこのような季節変化について、昭和基地及び南極点におけるエイトケン粒子数濃度と太陽天頂角との相関があること (Ito *et al.*, 1982)、夏季は冬季に比べて揮発性の粒子が多いこと、夏季には硫酸粒子が卓越することから、夏に増加する揮発性の高いエイトケン粒子は硫酸が主成分であることなどを示し、南極地域におけるエイトケン粒子の季節変化が、南極大気中での光化学反応による二次粒子生成量の季節変化によって作られている可能性が強いことを示している。一方、冬季の粗大粒子、大エイトケン粒子の濃度増加は、主に海塩粒子を中心とする一次粒子に起因しており、南極氷床上にその発生源が少ないことから、その要因として、南極大気への外部からの粒子 (例えば、海塩粒子な

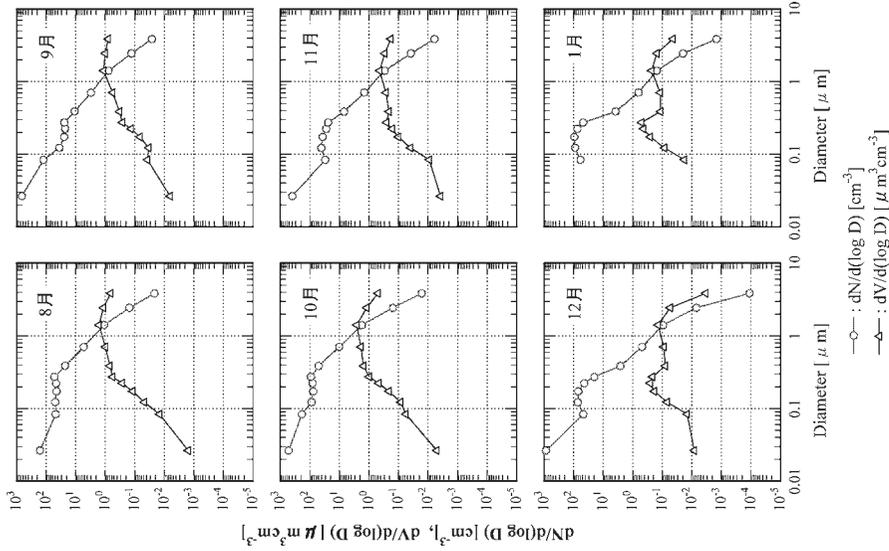


図9 昭和基地における月別平均粒径分布 (続き)
1997年8月~1998年1月

Fig. 9. Monthly averaged size distribution at Syowa Station (continued).
August, 1997-January, 1998

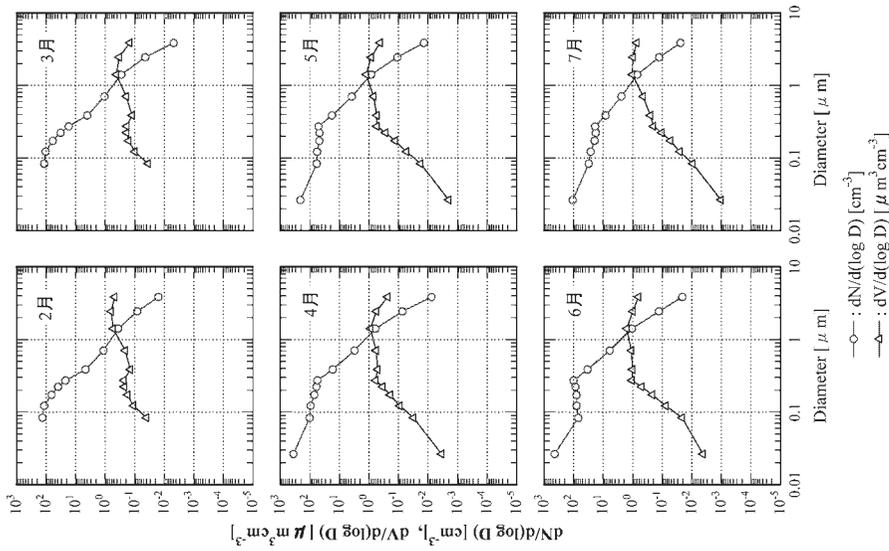


図9 昭和基地における月別平均粒径分布
1997年2-7月

Fig. 9. Monthly averaged size distributions at Syowa Station.
February-July, 1997.

ど)の輸送が主要な要因と考えられる(伊藤, 1983; 長田ほか, 2010 など)。

4.2. ドームふじ観測拠点におけるエアロゾルの変動

4.2.1. 粒子数濃度と各気象要素の日々変動

ドームふじ観測拠点でのエイトケン粒子 ($D > 0.003 \mu\text{m}$) および大粒子 ($D > 0.3 \mu\text{m}$) の粒子数濃度の日中央値, 風速, 現地気圧, 気温, 全天日射の日平均値の時系列を図 10 に示す。ここでは, 標準状態の気圧, 温度の状態への補正は行わず, 現地観測状態の濃度を示している。ドームふじ観測拠点は, 南極基地の中で最も標高の高い場所に位置する。1997 年の年平均現地気圧は 597.6 hPa である。年平均風速は 6.1 m/s であり, 最大風速と最大瞬間風速にほとんど差がない。4 月 24 日~8 月 29 日までは, 太陽光の全くない極夜期となる。年平均気温は -54.4°C であった。最低気温は 7 月 8 日に観測した -79.7°C であった。

エイトケン粒子の濃度は, 昭和基地と同様に夏に高濃度, 冬に低濃度となり, 数日程度の時間スケールの濃度の増加, 減少が見られる。濃度増加は, 特に 4 月中旬~7 月中旬に顕著に見られる。さらに, 6 月と 8 月には, その濃度が数個/cm³ 程度にまで低下することがあった。一方, 大粒子濃度は 7-11 月に高濃度となるとともに, 年間を通じて数日の時間スケールの濃度変化があった。しかし, 昭和基地とは異なり, 冬季の大粒子の濃度の増加と各気象要素の変化との間には明確な関係は見られなかった。また, 大粒子, 大エイトケン粒子の急激な濃度増加や, 濃度低下と小エイトケン粒子の濃度増加の多くは同時に起きていたが, 小エイトケン粒子のみの急増, 急減が起きることもあった。

4.2.2. 粒子数濃度の季節変化

図 8 と同様に, ドームふじ観測拠点におけるエイトケン粒子と大粒子の数濃度の 745 日間 (31 日間) の移動平均値を図 11 (上, 下) にそれぞれ示す。

エイトケン粒子濃度は, 昭和基地と同様に夏季に高濃度, 冬季に低濃度となった。また, この季節変化は, 大エイトケン粒子でも小エイトケン粒子と同様に明瞭であった。今回の観測で得られたエイトケン粒子 ($D > 0.003 \mu\text{m}$, $0.011 \mu\text{m}$, $0.07 \mu\text{m}$) の年平均値 (中央値) はそれぞれ 113 個/cm³, 97.5 個/cm³, 11.1 個/cm³ であった。南極点での 1977-1985 年のエイトケン粒子数濃度の年中央値は, 90 個/cm³ 程度であった (Samson *et al.*, 1990)。

大粒子濃度の季節変化は, 夏季に低濃度, 高濃度となり, エイトケン粒子のそれとは著しく異なる。そして, 昭和基地の大粒子の季節変化(図 8)と似ている。また, 冬季の中でも 3-6 月は比較的安定した濃度であり, 7 月中旬~11 月に高濃度となる傾向がある。類似の傾向は, 昭和基地における気球観測による自由対流圏の大粒子濃度の季節変化にも見られる(木津ほか, 2010)。大粒子 ($D > 0.3 \mu\text{m}$, $0.5 \mu\text{m}$) の粒子数濃度の年平均値 (中央値) は, それぞれ 0.14 個/cm³, 0.028 個/cm³ であり, 昭和基地の濃度の 10 分の 1 程度であった。

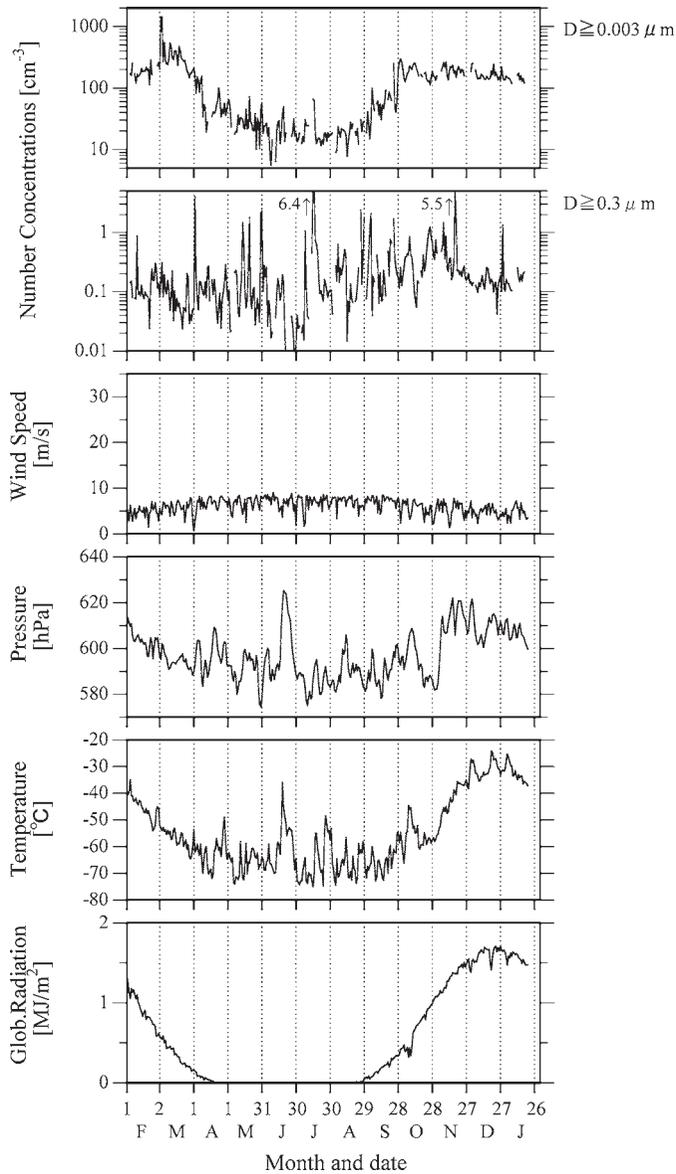


図 10 エアロゾル数濃度の日中央値と各気象要素の日平均値
(ドームふじ観測拠点, 1997年2月~1998年1月)

Fig. 10. Daily median of aerosol concentrations and daily average of meteorological conditions at Dome Fuji Station, from February, 1997 to January, 1998.

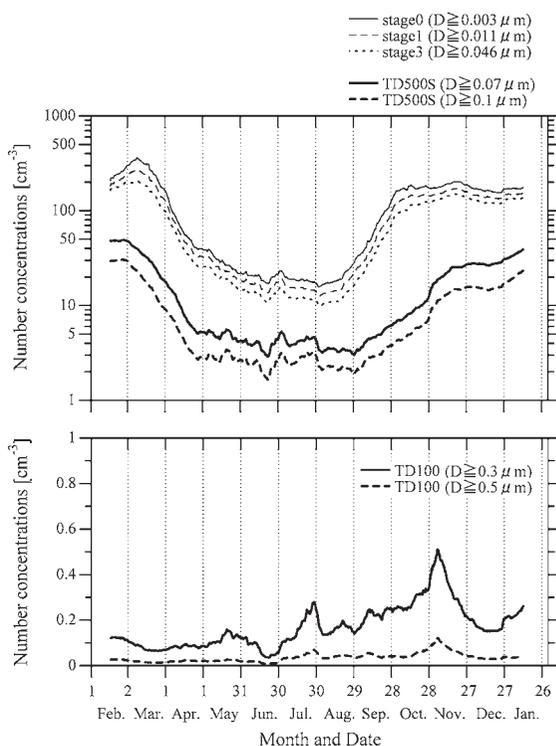


図 11 ドームふじ観測拠点におけるエアロゾル数濃度の季節変化 (745 時間移動平均値)
 上: 直径 $0.003 \mu\text{m}$ 以上, $0.011 \mu\text{m}$, $0.046 \mu\text{m}$, $0.07 \mu\text{m}$ 以上, $0.1 \mu\text{m}$ 以上
 下: 直径 $0.3 \mu\text{m}$ 以上, $0.5 \mu\text{m}$ 以上

Fig. 11. Seasonal variation of aerosol concentration at Dome Fuji Station from February, 1997 to January 1998 with 745-hour running mean.
 upper: $D > 0.03 \mu\text{m}$, $0.11 \mu\text{m}$, $0.046 \mu\text{m}$, $0.07 \mu\text{m}$, $0.1 \mu\text{m}$
 Lower: $D > 0.3 \mu\text{m}$, $0.5 \mu\text{m}$

4.2.3. 粒径分布の季節変化

図 12 にドームふじ観測拠点における 2 種類の OPC による $D=0.07\text{--}5.0 \mu\text{m}$ の月別平均粒径分布を示す。その季節変化は昭和基地のそれと類似している。夏季は体積粒径分布で $D=0.3\text{--}0.4 \mu\text{m}$ 付近に谷があり、大エイトケンモードと大粒子モードが明瞭な二山分布を示す。大粒子モードは、冬~春に高濃度となり、大エイトケンモードは冬に低濃度となる。その結果、冬季には大粒子モードがやや卓越する一山分布となる。図 13 は拡散バッテリーと CNC によって得られた個数基準の月平均粒径分布である。TD 500S 及び TD 100 から得られた粒径分布も同時に示した。12-2 月は、小エイトケンモードと大エイトケンモードが顕著なバイモード分布である。両モードとも年間の最高濃度に近く、大エイトケンモードのモード径 ($D=0.1 \mu\text{m}$ 付近) は他の季節 ($D=0.07 \mu\text{m}$ 付近) に比べて大きい。3 月に

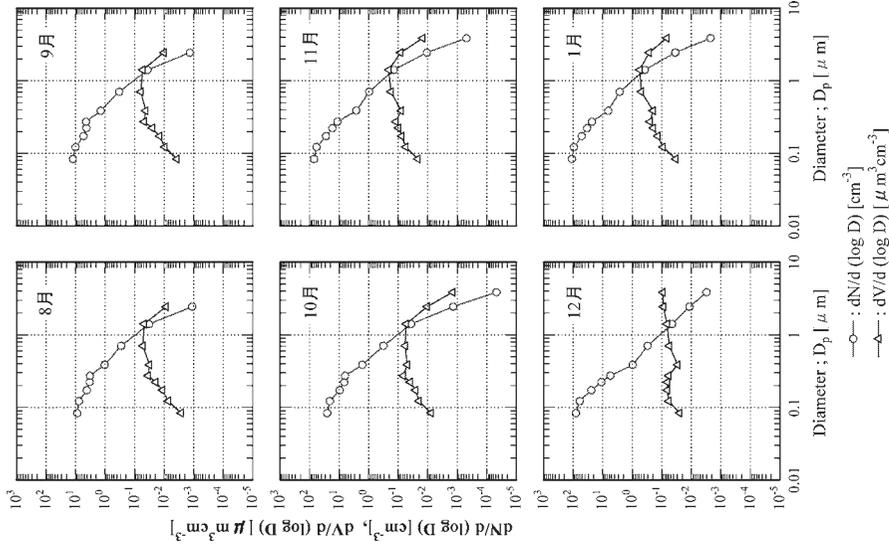


図 12 ドームふじ観測拠点における月平均粒径分布 (続き)
 1997年8月~1998年1月
 Fig. 12. Monthly averaged aerosol size distributions at Dome Fuji Station.
 (continued) August, 1997–January, 1998

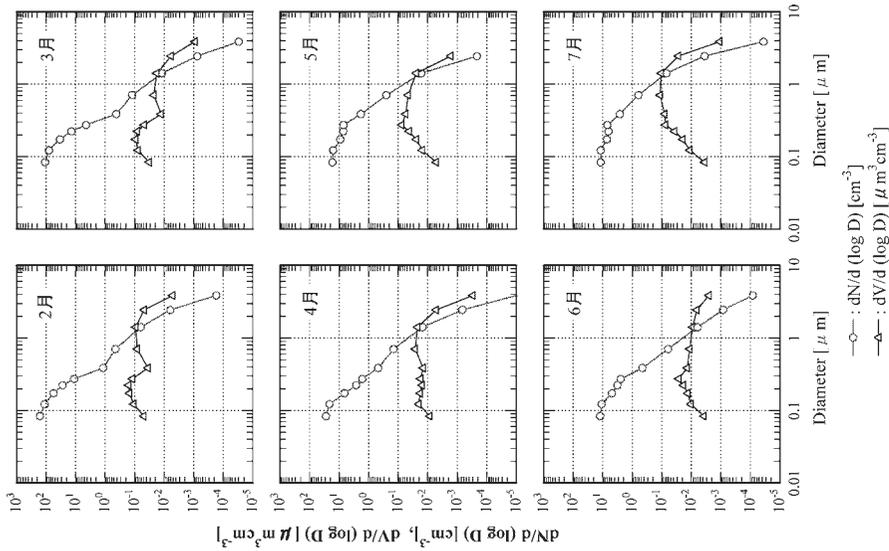


図 12 ドームふじ観測拠点における月平均粒径分布
 1997年2-7月
 Fig. 12. Monthly averaged aerosol size distributions at Dome Fuji Station,
 February–July, 1997.

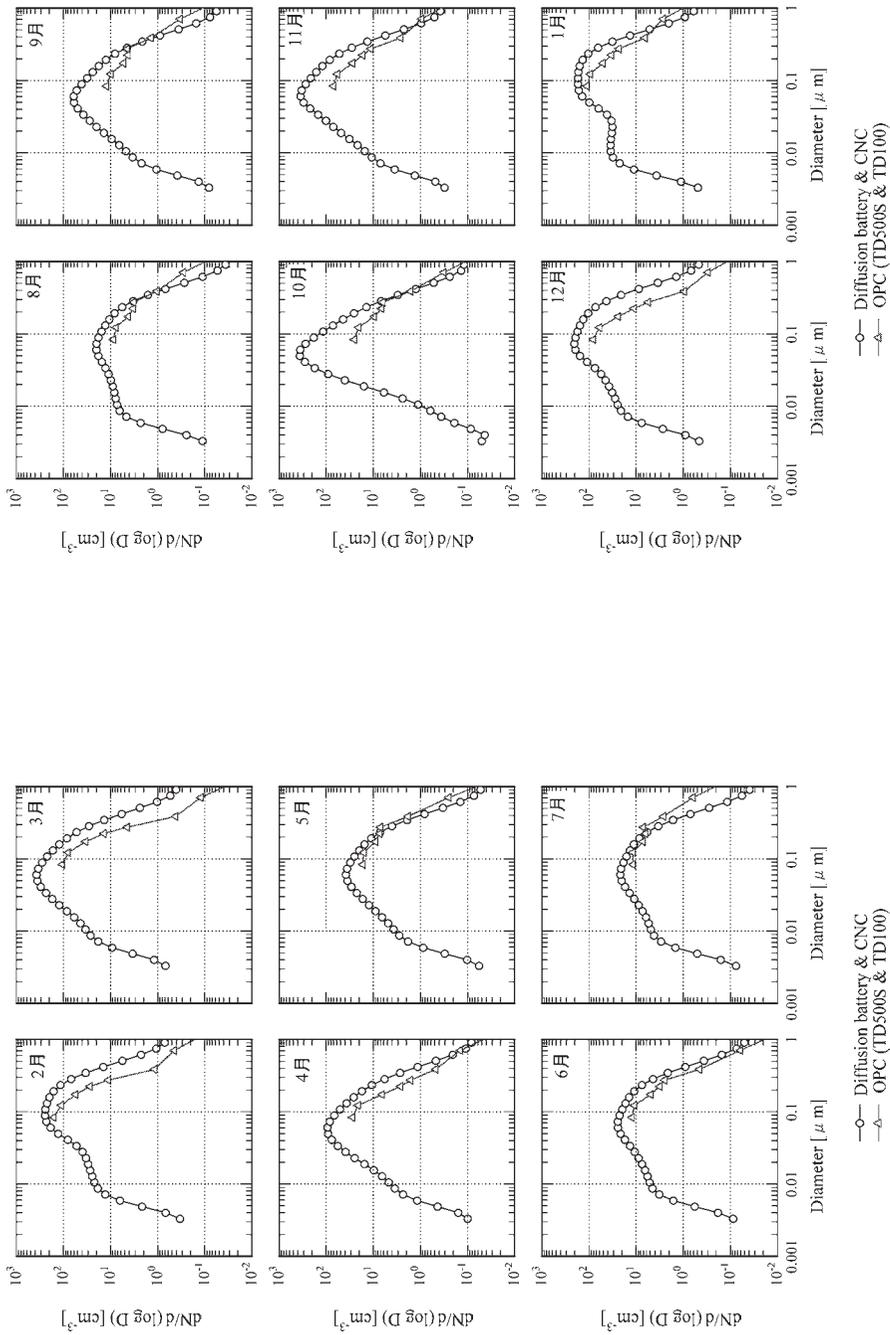


図 13 ドームふじ観測拠点におけるエアロゾル粒子の月別平均粒径分布 (続き)
 1997年8月~1998年7月
 Fig. 13. Monthly averaged size distributions for Aitken particles at Dome Fuji Station from August 1997 to January 1998.

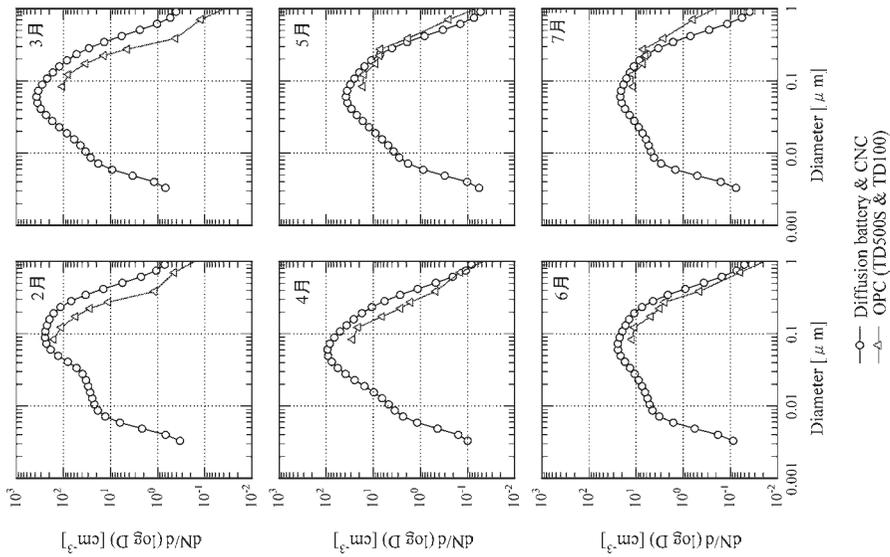


図 13 ドームふじ観測拠点におけるエアロゾル粒子の月別平均粒径分布
 1997年2-7月
 Fig. 13. Monthly averaged size distributions for Aitken particles at Dome Fuji Station from February to July, 1997.

は大エイトケンモードのモード直径は0.1-0.06 μm まで小さくなり、濃度は年間最高となる。4月以降は分布形状は大きな変化をせずに濃度が低下する。極夜となる5月ごろに小エイトケン粒子モードは最低濃度となるが、大エイトケン粒子モードはさらに濃度低下を続け、6-8月に最低濃度となる。日射が回復する8月になると、小エイトケンモードで若干の濃度上昇が見られる。9-11月に大エイトケンモードの濃度の上昇がみられ、極渦の崩壊と大気循環場の変化の時期に、夏の粒径分布(12-1月)へと変化している。なお、日照時間が長くなる9-11月は、他の季節と比べてOPCによる粒径分布との差がやや大きく、特に10月に顕著である。この時期は、小エイトケン粒子と大エイトケン粒子の濃度比がもっとも大きい時期でもある(図11)。逆変換法による粒径分布決定の際に、残差10%以下にならず、最大繰り返し回数(100回)で、計算を停止している。光化学反応に伴う新粒子生成により、幅が狭く高濃度の小エイトケンモードが形成され、粒径分布の推定誤差が大きくなっている可能性もある。

4.3. 内陸部と沿岸部のエアロゾル濃度

表2に、各地の観測から得られたエイトケン粒子数濃度と大粒子数濃度の年平均値、中央値を示す。内陸部のドームふじ観測拠点と南極点のエイトケン粒子数濃度は、他の沿岸部の基地に比べて低い。モーンソン基地の濃度も他の沿岸基地に比べてわずかに低い。モーンソン基地の通年の風向頻度の85%が内陸側からの風であり(Gras, 1993)、内陸部の空気の特徴を反映しているためと考えられる。沿岸基地である昭和基地やゲオルク・フォン・ノイマイヤー基地における濃度は、Miura *et al.* (1996) によって観測された南極海でのエイトケン粒子数濃度と同程度であった。エイトケン粒子数濃度は、南極大陸内陸部で低く、大陸周辺部では海洋性の空気の影響により濃度が高いと推測される。大粒子($D > 0.3 \mu\text{m}$)

表2 南極域および南極海で観測されたエイトケン粒子、大粒子数濃度の比較
Table 2. Concentrations of Aitken particles and large particles in Antarctic area.

粒子	地点(海拔)	緯度・経度	濃度 (cm^{-3})	集計期間	文献
エイトケン 粒子	ドームふじ(3810 m)	77°S, 39°E	113	1997.2-1998.1	
	南極点(2800 m)	90°S, -	59-108	1974-1985	Samson <i>et al.</i> (1990)
	ゲオルク・フォン・ノイマイヤー	70°S, 8°E	349	1982-1989	Jaenicke <i>et al.</i> (1992)
	昭和	69°S, 49°E	230	1977.2-1978.12	伊藤(1983)
	モーンソン	68°S, 62°E	160	1981.7-1984.5	Gras and Adriaansen(1985)
	南極海	64°-65.5°S, 140°E	280	1994.12.19-12.27	Miura <i>et al.</i> (1996)
大粒子 ($D \leq 0.3 \mu\text{m}$)	ドームふじ(3810 m)	77°S, 39°E	0.14	1997.2-1998.1	
	昭和	69°S, 49°E	1.30	1997.2-1998.1	
	南極海	64°-65.5°S, 140°E	7.5	1994.12.19-12.27	Miura <i>et al.</i> (1996)
			6.1	1995.1.14-1.21	

の数濃度については、ドームふじ観測拠点での数濃度は昭和基地より1桁程低い。南極大陸内陸部の表層大気中における大粒子の長期的な観測は、これまでに昭和基地以外で行われた例がない。しかし、伊藤（1983）は、夏季の南極点とマクマード基地での気球搭載型粒子計数装置による観測及び第17次、19次隊の通年観測結果から、南極大気中の大粒子数濃度は大体1個/cm³前後の値が代表的な濃度であろうと推測しており、ドームふじ観測拠点の濃度（0.14個/cm³）はこれらよりもかなり低い。

エイトケン粒子濃度は、両観測地点で、夏に高濃度、冬に低濃度となった。同様な季節変化がこれまでの南極の多くの観測地点でも見られる。Bigg *et al.* (1983) は、同様な季節変化はサモア（14°S, 17°W）、ケープグリム（41°S, 145°E）など、南極域だけでなく広く南半球で見られること、一方、サモア、ケープグリム、モーソン基地、南極点の夏季のエイトケン粒子数濃度は、南極点を除く地点では同じ程度で、南極点では低いことを示している。

なお、大粒子の数濃度、小エイトケン粒子濃度は内陸部の方が明らかに低濃度となるのに対し、図8、図11に示すように、夏季における大エイトケン粒子の数濃度は両基地とも数10個/cm³程度であった。ドームふじ観測拠点は平均気圧が595 hPaであり、夏季の大エイトケン粒子の混合比はドームふじ観測拠点の方が高い可能性もある。

4.4. 時間スケールの短い変動

両観測地点において冬季を中心に、1日~数日のタイムスケールで高濃度や低濃度になる現象が見られる。これらの現象には全計測粒径にわたって同時に増加あるいは減少するものと、小エイトケン粒子のみが増加するものがある。そこで、小エイトケン粒子数濃度の擾乱成分を(2)式における $R(d)$ で定義して(3)の条件により高濃度、低濃度現象を抽出した。(2)式における $N(d)^*$ は、日中央値 $N(d)$ の時系列に31日間の移動中央値を算出して平滑化したものである。

$$R(d) = N(d) / N^*(d) \quad (2)$$

$N(d)$; d 日の濃度中央値

$N^*(d)$; 31日平滑処理後の d 日の濃度

$$\text{急増; } N(d) > R(d)^* + 1.5\sigma, \text{ 急減; } N(d) < R(d)^* - 1.5\sigma \quad (3)$$

ここで、 $R(d)^*$: 4月-9月の $R(d)$ の平均値

σ : 4月-9月の $R(Dp)$ の標準偏差

以上の処理を行った結果を図14に示す。図中に見られる下向き矢印が急増現象、上向き矢印が急減現象であり、表3にこれらの日付をまとめた。両観測地点において濃度が顕著に極大、あるいは極小を示す日が多々みられ、いくつかは同期している。

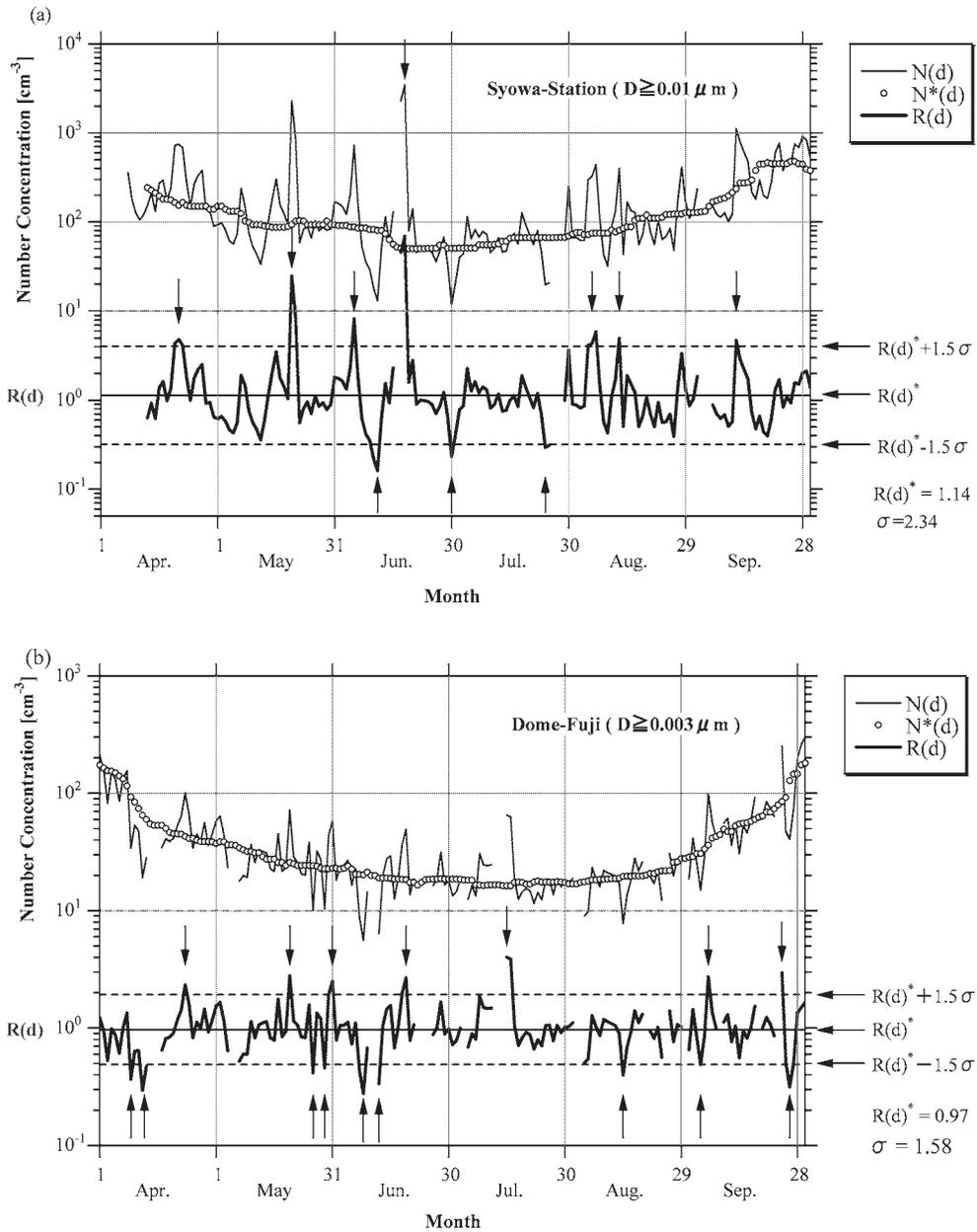


図 14 日平均濃度 ($N(d)$) と濃度の 31 日移動中央値 ($N^*(d)$), 及びその比 ($R(d)$) (1997 年 4-9 月)

図の下向き矢印は顕著な濃度極大, 上向き矢印は顕著な濃度極小を示す。

(a) 昭和基地 $D > 0.01 \mu\text{m}$, (b) ドームふじ観測拠点 $D > 0.003 \mu\text{m}$

Fig. 14. Daily averaged aerosol concentration ($N(d)$), 31 days running mean ($N^*(d)$) and their ratio ($R(d)$), from April to September, 1997.

Downward and upward arrows show high and low concentration events, respectively.

(a) Syowa Station $D > 0.01 \mu\text{m}$ (b) Dome Fuji Station $D > 0.003 \mu\text{m}$

表3 エイトケン粒子数濃度における急増・急減の起きた日
(昭和基地およびドームふじ観測拠点)

Table 3. Dates for enhancement and sudden decrease in Aitken particle concentrations at Syowa Station and Dome Fuji Station.

昭和基地		ドームふじ観測拠点	
急増	急減	急増	急減
			4/8
			4/12
4/20-4/22			
		4/23	
5/20-5/21		5/20	
			5/26
			5/29
		5/31	
6/5			6/8
	6/11		
			6/12
6/17-6/18		6/18-6/19	
	6/30		
		7/15-7/16	
	7/24		
8/4-8/6			
8/12			
			8/14
			9/3
		9/5	
9/11			
		9/23	
			9/26

4.4.1. 急増現象

伊藤 (1983) は昭和基地において、ブリザードに伴いエイトケン粒子が急増すること、それらのエイトケン粒子には、不揮発性粒子、海塩粒子が多数含まれていることを報告している。本研究でも同様の現象が昭和基地において観測された。その一例(1997年5月18-22日)を図15(上:20分間隔のエロゾル数濃度の1分積算値,中・下:各気象要素)に示した。小粒径側で測定全粒径範囲にわたって顕著な濃度増加が見られる。この時の最大風速は30 m/sを越え、相対湿度は90%以上で気温は上昇し、気圧は急激に低下している。昭和基地で見られた急増現象時の気象状況は、全てにおいて同様な変動を示し、急増日とブリザード日は全て一致していた。

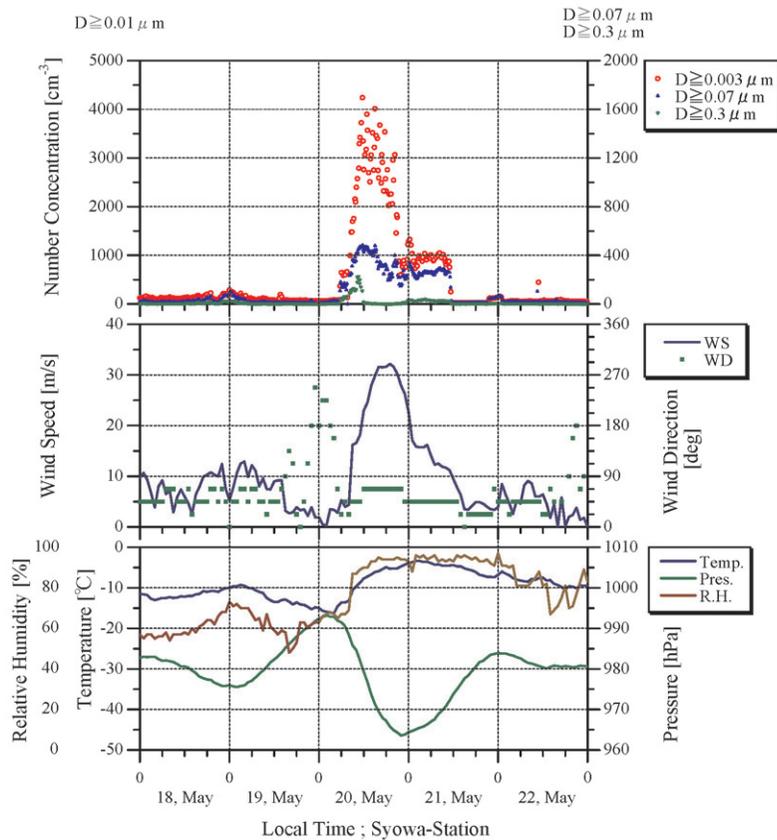


図 15 昭和基地におけるエアロゾル急増現象
 上: エアロゾル粒子数濃度
 中: 風向, 風速
 下: 気温, 相対湿度, 気圧

Fig. 15. Aerosol enhancement observed at Syowa Station.
 top: aerosol concentration
 middle: wind speed and direction
 bottom: temperature, relative humidity and pressure

昭和基地においては、ブリザードは主に低気圧によってもたらされる。低気圧には中緯度からの暖かい湿った海洋性の空気が流入する。このため、ブリザード中は気温や湿度が上昇するが、同時に、海洋や海水起源の海塩粒子を運んできていることが指摘されている。昭和基地で観測される数日スケールのエアロゾル濃度増大は、低気圧による海洋性エアロゾルの昭和基地への輸送現象と考えられる。

図 16 は、ドームふじ観測拠点においてエアロゾル粒子数濃度が急増する一例(1997 年 5 月 18-23 日)を示したものである。この時の気象状況は大きな変動はなかったが、気圧がわずかに上昇していた。ドームふじ観測拠点で観測された急増では、昭和基地で見られた

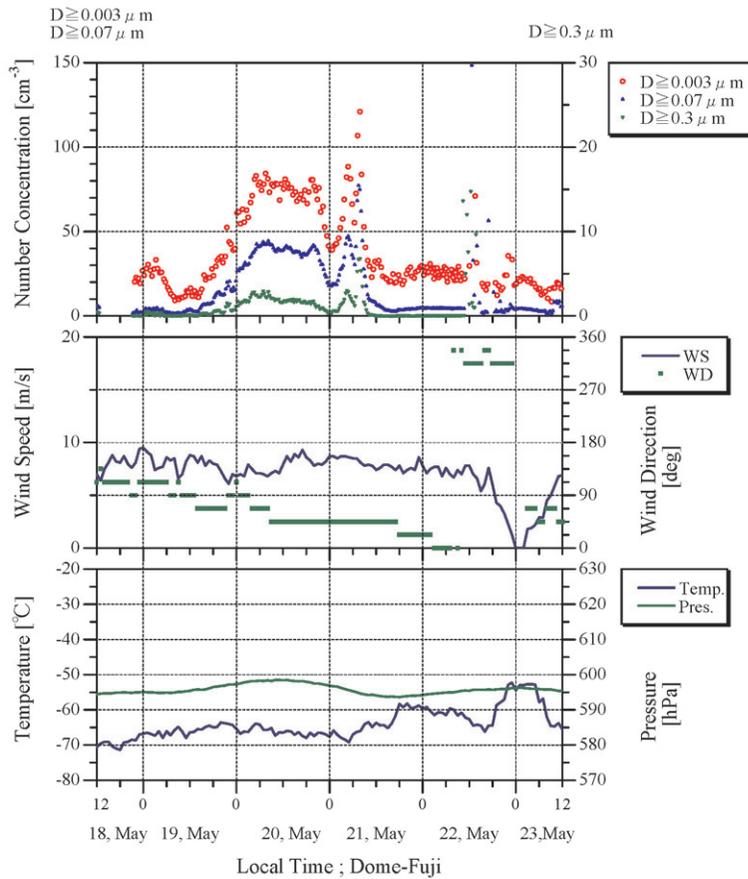


図 16 ドームふじ観測拠点で観測されたエアロゾル急増現象
 上: エアロゾル粒子数濃度
 中: 風向, 風速
 下: 気温, 気圧

Fig. 16. Aerosol enhancement observed at Dome Fuji Station.
 top: aerosol concentration
 middle: wind speed and direction
 bottom: temperature and pressure

ようなブリザードとの一致は、6月17日の1日だけであった。一方、急増現象7例のうち4例(4月23日, 5月20日, 5月30日, 6月18日)が、500 hPaの等圧面高度場におけるブロッキング高気圧の形成に同期していた。典型例として5月20日1200 UT (1500 LT)の前後4日の500 hPa気圧面高度場を図17に示す。ブロッキング高気圧の形成に伴い、その等高度線が大陸内陸部に入り込んでいる。このことは、ブロッキング高気圧の形成に伴って、それまで南極周辺域を円周状に流れていた風が南極内陸部に入り込み、低緯度側から南極への暖気及び大気微量物質の輸送が起きている可能性を示している。

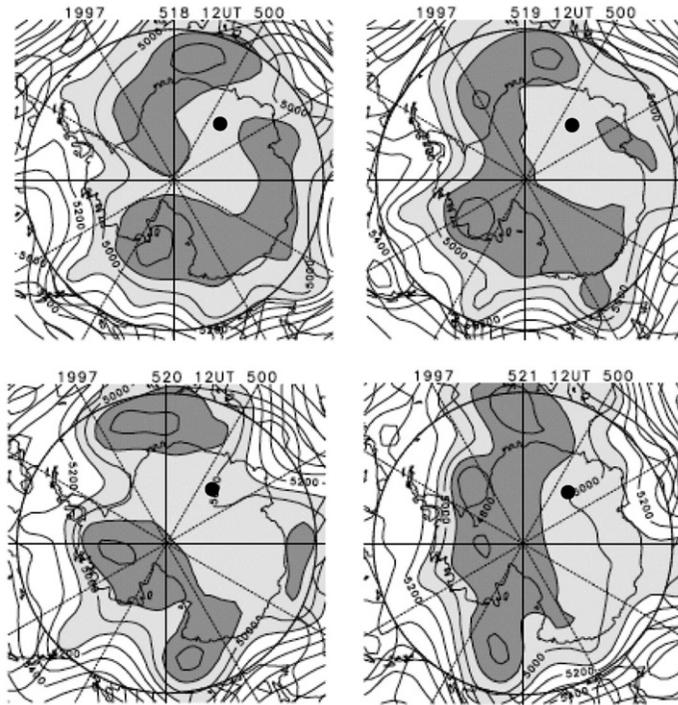


図 17 500 hPa 面高度分布

(a) 5月18日 (b) 5月19日 (c) 5月20日 (d) 5月21日の
1200 UT (ドームふじ 1500 LT) の分布

●: ドームふじ観測拠点

Fig. 17. The geopotential map at 500 hPa, 1200 UT (1500 LT at Dome Fuji Station) on (a) May 18, (b) May 19, (c) May 20 and (d) May 21, 1997.

●: Position of Dome Fuji Station

ドームふじ観測拠点で見られた急増現象には、図 18 に示すようなエイトケン粒子数濃度だけが急増し、大エイトケン粒子、大粒子の濃度が低下するパターンがあった。類似の事例は昭和基地でも起きていることが Ito and Iwai (1981) によって報告されている。この事例はこのほかに 1 回観測された。2 例とも日射が強くなった 9 月に現れた。既存粒子濃度が低い条件において光化学反応による原料物質の生成が活発化した場合の、二次粒子生成による小エイトケン粒子急増である可能性が高い。

4.4.2. 急減現象

図 19 は、昭和基地で観測された直径 $0.01 \mu\text{m}$ 以上の粒子の濃度が急減する一例(1997 年 6 月 27 日~1997 年 7 月 1 日)を示したものである。6 月 30 日 0000 LT から、十数個/cm³ の低い濃度が 6 時間ほど続いている。同様の現象が他に 2 回観測された。これらに共通する気象状況は、相対湿度が上昇し、風速が弱いことであった。

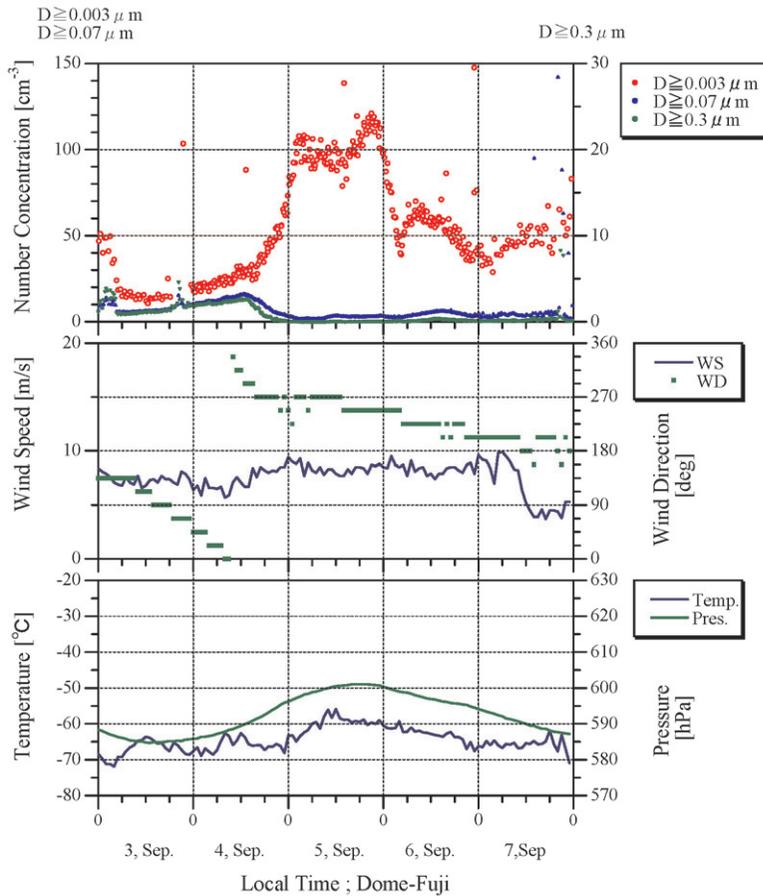


図 18 ドームふじ観測拠点において観測されたエイトケン粒子急増現象
 上: エロゾル粒子数濃度
 中: 風向, 風速
 下: 気温, 気圧
 Fig. 18. Aitken particle enhancement observed at Dome Fuji Station.
 top: aerosol concentration
 middle: wind speed and direction
 bottom: temperature and pressure

一方, 図 20 はドームふじ観測拠点において, エイトケン粒子数濃度が極めて低くなる一例 (1997 年 6 月 5-10 日) を示したものである。数個/cm³ 程度の低い濃度が 1 日程度続いている。この他にも同様な現象が見られたが, それらに共通した各気象要素の変動は見られなかった。南極点でも, 冬季にエイトケン粒子が検出されないほど減少することが報告されている (Hogan and Barnard, 1978)。さらに, 昭和基地でも冬季にエイトケン粒子が 10 個/cm³ 前後の濃度で 10 時間以上続いて見られることが報告されている (伊藤, 1983)。これらの濃度が高い, あるいは低い期間は 1 日~数日である。ドームふじ観測拠点の安定し

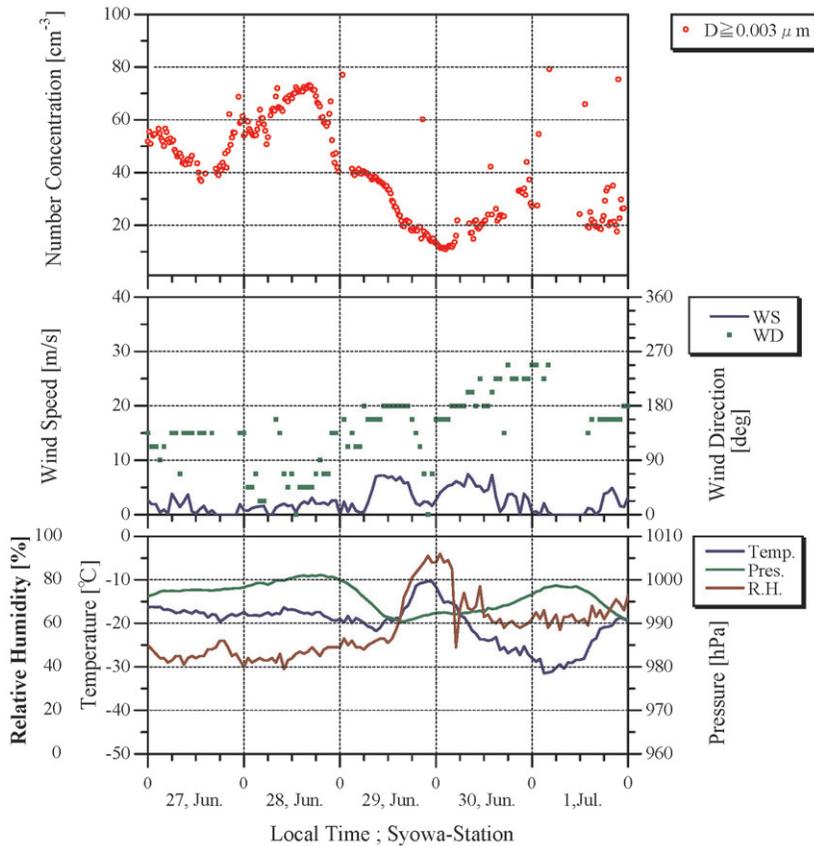


図 19 昭和基地におけるエイトケン粒子急減現象
 上: エイトケン粒子濃度
 中: 風向, 風速
 下: 気温, 相対湿度, 気圧

Fig. 19. Low concentration event of Aitken particles observed at Syowa Station.
 top: Aitken particle concentration
 middle: wind speed and direction
 bottom: temperature, relative humidity and pressure

た風を考慮すると、高濃度、低濃度の気塊の空間スケールは 1000 km 前後と推定される。また、ドームふじ観測拠点で観測される急減現象は、数十時間かけて低濃度となっている。Hogan and Barnard (1978) は南極点基地における類似の現象について、雪面やダイヤモンドダスト表面への沈着により、数十時間でエイトケン粒子濃度が計測限界以下にまで低下する可能性があることを指摘している。

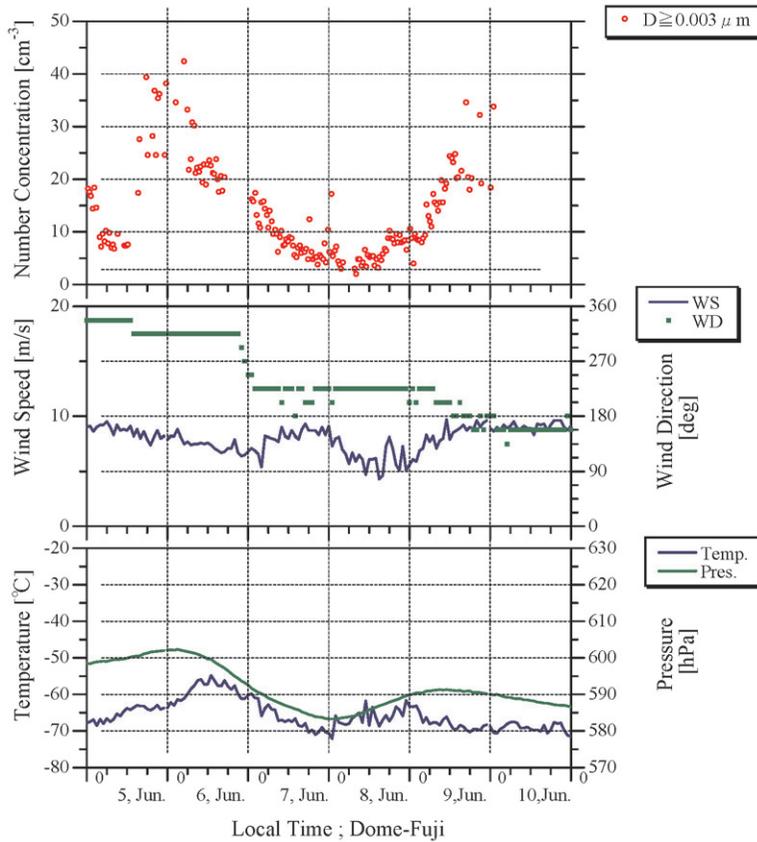


図 20 ドームふじ観測拠点で観測されたエイトケン粒子急減現象
 上: エロゾル粒子数濃度
 中: 風向, 風速
 下: 気温, 気圧

Fig. 20. Low concentration event observed at Dome Fuji Station.
 top: Aitken particle concentration
 middle: Wind direction and speed
 bottom: temperature and pressure

5. ま と め

1997年2月~1998年1月に、第38次隊により昭和基地及びドームふじ観測拠点において直径0.003-5 μmのエロゾル粒径分布の連続観測を行い、以下の結果を得た。

- ドームふじ観測拠点と昭和基地のOPCによる直径0.07-5 μmの体積エアロゾル粒径分布は、大エイトケンモード(直径0.07-0.3 μm)と大粒子モード(直径0.3 μm以上)が顕著で、夏季にバイモード、冬季に幅の広いモノモード分布であった。濃度はドームふじ観測拠点の方が一般的に低い、夏季の大エイトケンモードの濃度はドームふじ観測拠点の方が高かった。

2. 拡散バッテリーと CNC によるドームふじ観測拠点のエイトケン粒子の数濃度粒径分布は、春季、夏季の小エイトケン粒子濃度の増大と夏季の大エイトケンモードのモード径の増大を示した。
3. 数日スケールの数濃度の急増はドームふじ観測拠点、昭和基地ともに見られ、冬季に顕著であった。また、急増は昭和基地では低気圧の接近、ドームふじ観測拠点ではブロッキング高気圧の形成に伴って起きている例が多かった。
4. 昭和基地とドームふじ観測拠点において、数十時間で小エイトケン粒子が数個/cm³程度まで低下することがあった。
5. ドームふじ観測拠点において、日射の回復した9月に大エイトケン粒子と大粒子の濃度低下に伴い、小エイトケン粒子だけが急増する現象が見られた。

謝 辞

厳しい環境下での観測を成功させるために惜しめない協力をしていただいた、第38次日本南極地域観測隊の皆様深く感謝致します。

文 献

- Bigg, E.K., Gras, J.L. and Evans, C. (1983): Origin of Aitken particle in remote regions of the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Chem.*, **1**, 203-214.
- Gras, J.L. (1983): An investigation of a non-linear interation procedure for inversion of particle size distributions. *Atmos. Environ.*, **17**, 883-894.
- Gras, J.L. and Adriaansen, A. (1985): Concentration and size variation of condensation nuclei at Mawson, Antarctica. *J. Atmos. Chem.*, **3**, 93-106.
- Gras, J.L. (1993): Condensation nucleus size distribution at Mawson, Antarctica: seasonal cycle. *Atmos. Environ. A-Gen.*, **27**, 1417-1425.
- Hinds, W.C. (1999): *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York, Wiley, 182-205; 278-303.
- 林 政彦・長田和雄・原圭一郎・矢吹正教・小林 拓・猪原 哲・和田 誠・山内 恭・橋田 元・塩原匡貴 (2010): 昭和基地における地上エアロゾルモニタリング, *南極資料*, **54**, 474-486.
- 平沢尚彦 (2000): ドームふじ観測拠点における風向観測値のエラーと補正, *南極資料*, **44**, 249-264.
- Hogan, A.W. and Barnard, S. (1978): Seasonal and frontal variation in Antarctic aerosol concentrations. *J. Appl. Meteorol.*, **17**, 1458-1465.
- Ito, T. and Iwai, K. (1981): On the sudden increase in the concentration of Aitken particles in the Antarctic atmosphere. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **59**, 262-271.
- 伊藤朋之 (1983): 南極大気中のエアロゾルの性状と起源に関する研究, *気象研究所研究報告*, **34**, 151-219.
- Ito, T. (1993): Size distribution of Antarctic submicron aerosols. *Tellus*, **45B**, 145-159.
- Ito, T., Ono, A. and Iwai, K. (1982): On the origin and nature of antarctic aerosols. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **24**, 289-296.
- Ito, T., Morita, Y. and Iwasaka, Y. (1986): Balloon observation of aerosols in the antarctic troposphere and stratosphere. *Tellus*, **38B**, 214-222.
- Iwai, K., Ono, A. and Ito, T. (1981): On the composition and origin of large and giant particles observed at Syowa Station, Antarctica. *Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **19**, 131-140.
- 木津暢彦・林 政彦・山内 恭・岩坂泰信・渡辺征春 (2010): エアロゾルゾンデによる南極昭和基地上空の成層圏・対流圏エアロゾル濃度の季節・経年変化の観測, *南極資料*, **54**, 760-778.

- Legrand, M.R. and Delmas, R.J. (1986): Relative contributions of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow. *Tellus*, **38B**, 236-249.
- Miura, K., Nakae, S., Matsuda, K., Tsuge, N. and Aoki, K. (1996): Size distribution of aerosol particle over the Western Pacific Ocean and the Southern Ocean. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **10**, 102-110.
- 長田和雄・林 政彦・原圭一郎・矢吹正教・和田 誠・塩原匡貴・山内 恭・藤田耕史 (2010): 昭和基地における大気中粗大粒子濃度の季節変化. *南極資料*, **54**, 487-497.
- Samson, J.A., Barnard, S.C., Obremski, J.S., Riley, D.C., Black, J.J. and Hogan, A.W. (1990): On the systematic variation in surface aerosol concentration at the South Pole. *Atmos. Res.*, **25**, 385-396.
- 東野 達 (1997): エアロゾル計測におけるデータ逆変換. *エアロゾル研究*, **12**, 281-287.
- 東野 達・朴 廷鎬・笠原三紀夫 (1996): 低圧インパクトを用いた大気エアロゾルの粒度分布測定におけるデータ処理. *エアロゾル研究*, **11**, 137-144.
- Twomey, S. (1975): Comparison of constrained linear inversion and iterative non linear algorithm applied to the indirect estimation of particle size distributions. *J. Comput. Phys.*, **18**, 188-200.
- Voskresenskii, A.I. (1968): IAdra kondensatsii v Raione Mirongo. *Sovet. Antarkticheskaia Eksped., Trudy*, **38**, 194-198.
- Winklmayr, W., Wang, H.-C. and Jhon, W. (1990): Adoption of the Twomey algorithm to the inversion of cascade impacton data. *Aerosol Sci. Tech.*, **13**, 322-331.