

—報告—

Report

昭和基地における大気中粗大粒子濃度の季節変化

長田和雄^{1*}・林 政彦²・原圭一郎^{3,5}・矢吹正教^{4,5}・和田 誠^{5,6}・
塩原匡貴⁵・山内 恭^{5,6}・藤田耕史¹

Seasonal variation of coarse aerosol particle concentration at Syowa Station, Antarctica

Kazuo Osada^{1*}, Masahiko Hayashi², Keiichiro Hara^{3,5}, Masanori Yabuki^{4,5},
Makoto Wada^{5,6}, Masataka Shiobara⁵, Takashi Yamanouchi^{5,6}
and Kouji Fujita¹

(2010年2月12日受付; 2010年3月10日受理)

Abstract: Number-size distributions ($D_p > 0.3 \mu\text{m}$) of atmospheric aerosol particles were measured at Syowa Station, Antarctica, from February 2004 to January 2006. Volume concentrations of coarse particles (D_p 1.0–5.0 μm) were low in December to January and high in the rest of the year. To identify factors controlling the seasonal variation of coarse particle concentrations at Syowa Station, seasonal variations of wind speed distribution over the Southern Ocean, sea ice extent, wind speed at the edge of sea ice and at Syowa Station, and seasonal patterns of backward air trajectories were compared with the volume concentrations of coarse particles. Patterns of backward air trajectories and changes in size distributions of coarse particles associated with sea ice extent suggest changes in major source areas of sea salt particles observed at Syowa Station: coastal areas near Syowa in February and March, but far north of the sea ice edge, around 60° south, in October.

要旨: 昭和基地において、直径 0.3 μm 以上の粒径別大気エアロゾル粒子

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601.

² 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.

³ (現所属 present affiliation): 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.

⁴ (現所属 present affiliation): 京大大学生存圏研究所, Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011.

⁵ 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.

⁶ 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.

* Corresponding author. E-mail: kosada@nagoya-u.jp

数濃度の観測をおこなった。2004年2月~2006年1月までの期間について、粗大粒子（直径 $1.0\text{--}5.0\ \mu\text{m}$ ）濃度の時系列変化について解析したところ、粗大粒子濃度は2-10月に高く、夏の12-1月には低かった。風速の季節変化や地理的分布、海水縁の位置との関係、後方流跡線解析、粒径分布の季節変化から、粗大粒子数濃度の季節変化の要因について検討した。その結果、2-3月には昭和基地に近い南極沿岸域から生成した海塩粒子の寄与が大きいのに対し、海水の最も発達する10月には、南緯60度以北の海域で生成した海塩粒子が長距離輸送されていることが示唆された。

1. はじめに

南極・昭和基地における直径 $1\ \mu\text{m}$ 以上（以後、 $D_p > 1\ \mu\text{m}$ と記す）の粗大粒子濃度は、ブリザード時のように風速の強い時に高くなる。しかし、昭和基地の地上風速と粗大粒子濃度との関係は一年を通じて同じわけではなく、夏に風速が強くても、粗大粒子濃度はそれほど増加しないことが報告されている（伊藤, 1983; Hara *et al.*, 2004）。一方、粗大粒子の多くは海塩粒子であると考えられている（Iwai *et al.*, 1981; Osada *et al.*, 1998; Hara *et al.*, 2004, 2005; 原ほか, 2010）。伊藤（1983）によれば、月平均粗大粒子濃度（ D_p $1.1\text{--}4.0\ \mu\text{m}$ ）と昭和基地上空 $850\ \text{hPa}$ における北成分の風速との関係は、12月や2月の夏季以外の月について良い相関が認められ、北からの空気塊の移流が多ければ粗大粒子濃度も高くなることが示唆された。このように、地上風速や北方からの輸送に着目した解析はあるが、昭和基地で観測される粗大粒子濃度の変動要因として、海水の張り出しや発生源強度の時空間分布に着目した解析はこれまでにない。そこで、昭和基地周辺の海水縁位置や海水縁付近での風速、後方流跡線解析による輸送条件の季節変化と、昭和基地で観測される粗大粒子濃度や粒径分布の季節変化との関係について解析し、粗大粒子濃度の変動要因について考察した。

2. 観測とデータスクリーニング

この報告では、清浄大気観測室の設置以後、データの質が揃っている2004年2月~2006年1月までの2年間（第45-46次隊における観測時）に得られた光散乱式粒子カウンター（Optical Particle Counter, YGK, TD100; 以後、OPC）の時系列データについて述べる。本装置は、大気エアロゾル粒子を $D_p > 0.3\ \mu\text{m}$, $> 0.5\ \mu\text{m}$, $> 1.0\ \mu\text{m}$, $> 2.0\ \mu\text{m}$, $> 3.0\ \mu\text{m}$, $> 5.0\ \mu\text{m}$ の6チャンネルに分けて、粒径別の粒子数濃度を計測することができる。観測場所やその他の観測機器、インレットの特性などについては既報（長田ほか, 2006）に詳しい。また、昭和基地でのエアロゾルモニタリングについては、今号の林ほか（2010）を参照されたい。

OPCによる個数粒径分布の測定値は、58秒間の積算値として記録されている。図1に、2004年11月1-11日にかけての観測例を示す。図1の上段がOPCによる $D_p > 0.3\ \mu\text{m}$ と

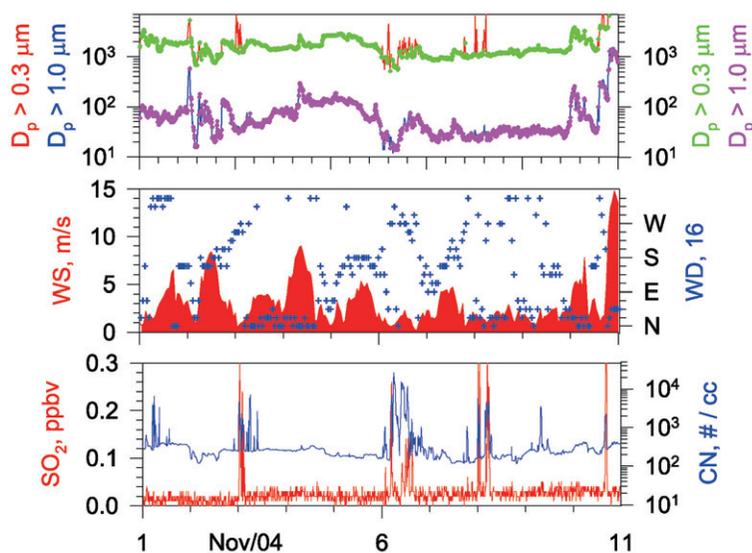


図1 昭和基地における2004年11月1-11日にかけての観測例。上段: スクリーニング前(赤と青)と後(緑と紫)の $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ と $D_p > 1.0 \mu\text{m}$ の大気エアロゾル粒子個数濃度, 中段: 風速(WS: 左軸, 赤)と風向(WD: 右軸, 青十字), 下段: SO_2 濃度(左軸, 赤)と総エアロゾル粒子数濃度(CN: 右軸, 青)

Fig. 1. Upper panel: Aerosol number concentrations for particles larger than $0.3 \mu\text{m}$ and $1.0 \mu\text{m}$ during November 1 to 11, 2004, at Syowa Station, Antarctica. Red ($D_p > 0.3 \mu\text{m}$) and blue ($D_p > 1.0 \mu\text{m}$) lines indicate data before data screening. Green ($D_p > 0.3 \mu\text{m}$) and purple ($D_p > 1.0 \mu\text{m}$) lines indicate data after data screening. Middle panel: wind speed (left axis, red) and wind direction (right axis, blue). Lower panel: SO_2 (left, red) and condensation nuclei (right, blue) concentrations at Syowa Station.

$D_p > 1.0 \mu\text{m}$ の粒子数濃度, 中段が風向と風速, 下段が SO_2 濃度とエアロゾル総粒子数濃度(以後, CN濃度)である。清浄大気観測室の西側約300 m付近に基地主要部が位置するため, 西よりの風向の場合や無風状態が長時間続いた場合には, ディーゼルエンジンなどの排気の影響を受け, SO_2 濃度やCN濃度が増加する。そのような場合には, OPCでの $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ 濃度の時系列変化にも急激でばらつきの大きい増加現象が見られる。これらのローカルな汚染の影響を除くため, $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ の粒子数濃度について, 58秒の生データ10個(10-11分間)あたりの相対変動率が10%以下の場合のデータのみを用いた。ただし相対変動率が10%以上のデータでも, ブリザード時のように, 風向・風速から考えて人為的な汚染が濃度変化の原因ではない場合にはその期間のデータも用いた。このようにしてスクリーニングしたデータについて, 1日のうち半分以上のデータがある場合に, 日平均値を算出した。

3. 結果と考察

図2に, 2004年2月~2006年1月にかけての, $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ と $D_p > 1.0 \mu\text{m}$ のエアロゾル

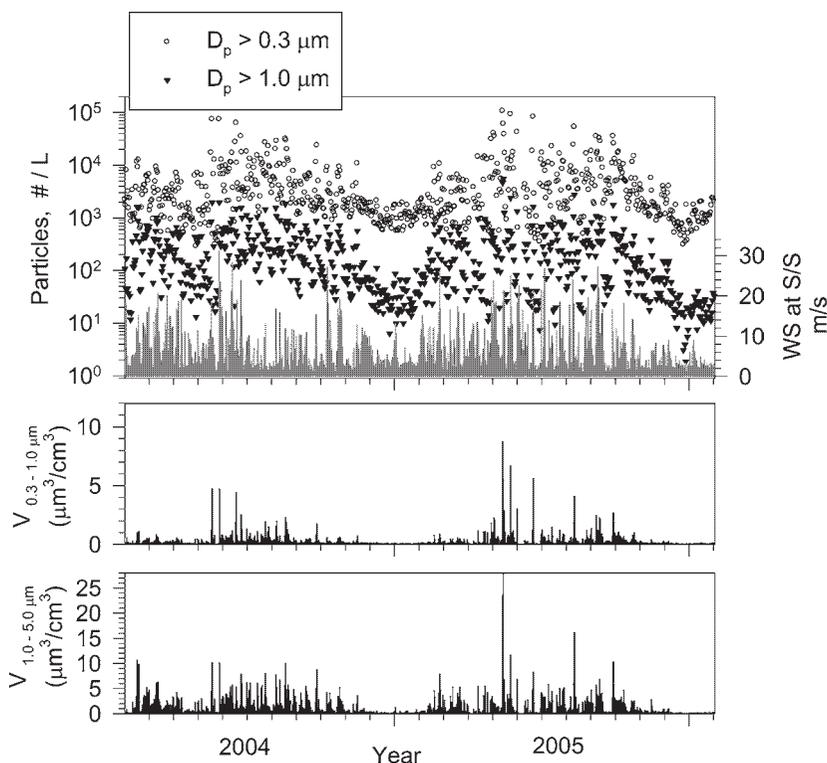


図2 昭和基地における2004年2月～2006年1月までのエアロゾル濃度日平均値。上段: $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ (○) と $D_p > 1.0 \mu\text{m}$ (▼) の粒子数濃度(左軸), 風速(右軸, グレー), 中段: $V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$, 下段: $V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$ 。

Fig. 2. Upper panel: Daily average number concentrations from February 2004 to January 2006 for $>0.3 \mu\text{m}$ (○) and $>1.0 \mu\text{m}$ (▼) at Syowa Station. Vertical bars indicate daily average of wind speed. Middle and lower panels: volume concentrations for size ranges $0.3-1.0 \mu\text{m}$ ($V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$) and $1.0-5.0 \mu\text{m}$ ($V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$).

粒子に対する日平均個数濃度と日平均地上風速(上段), 微細粒子($D_p 0.3-1.0 \mu\text{m}$)の体積濃度(中段; 以後, $V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$), 粗大粒子($D_p 1.0-5.0 \mu\text{m}$)の体積濃度(下段; 以後, $V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$)を示す。粒子数濃度の範囲としては, 伊藤(1983)が報告している値とほぼ同程度であった。図2上段から明らかなように, 秋～冬にかけての季節には, $D_p > 0.3 \mu\text{m}$ と $D_p > 1.0 \mu\text{m}$ の粒子数濃度がどちらも高く, 日平均風速が強い時に粒子数濃度の日平均値が高くなる傾向を示すのに対し, 春～夏にかけての季節では, 風速が強くても粒子数濃度はあまり高くない。OPCで計測された各粒径区分の幾何平均径を用い, 粒子を球と仮定した場合の微細粒子と粗大粒子の体積濃度を中段($V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$)と下段($V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$)に示した。仮にエアロゾル粒子の密度が 1 g cm^{-3} とすると, 図2に表示した数値はそのまま $\mu\text{g m}^{-3}$ として単位を読み替えて考えることができる。エアロゾル粒子の体積濃度で表示すると, この報告では直接触れないが, 大気中の粒子態化学物質濃度(例えば海塩粒子)との対応関係を知

る際に有用である。粒子数濃度の季節変化で述べたように、 $V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$ と $V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$ はどちらも秋～冬にかけて高めであり、12-1月の夏には常に低かった。

図3は、2年間の体積濃度データを月ごとに箱ひげ図としてまとめた結果である。季節変化の概要としては、先ほど図2ですでに述べたが、夏には常に濃度が低いのにに対して、それ以外の季節には濃度が高く、変化の幅も大きい。この図で $V_{0.3-1.0 \mu\text{m}}$ と $V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$ の季節変化を比べると、特に2-4月にかけての値の推移が異なっていることがわかる。 $V_{1.0-5.0 \mu\text{m}}$ は2月に一気に濃度が高まっているのが特徴であり、粗大粒子の輸送過程や起源を検討する有力な手掛かりとなる。

昭和基地で観測される粗大粒子の主たる構成成分は海塩粒子である (Iwai *et al.*, 1981; Osada *et al.*, 1998; Hara *et al.*, 2004, 2005)。海塩粒子の発生量は海上での風速に依存するので (Lewis and Schwartz, 2004)、南半球のどの海域で平均的に風速が強いのか、どのような季節変化をしているのかについて検討する。図4は、NCEP再解析データセットから1968-1996年までの長期平均値として作成した、南半球での925 hPa面における平均風速分布図である (Image provided by Physical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, NOAA, Boulder, Colorado, from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/>)

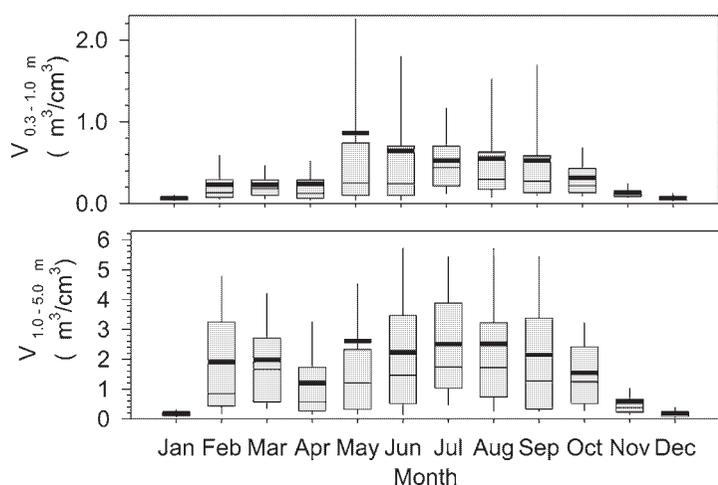


図3 昭和基地における微細粒子 (D_p 0.3-1.0 μm) と粗大粒子 (D_p 1.0-5.0 μm) の体積濃度の月別変化(2004年2月~2006年1月)。箱ひげ図は、箱の上下が25%と75%のデータ範囲、箱の上下の縦棒の範囲が10%と90%のデータ範囲、箱内の細横線が中央値、太線が平均値をそれぞれ示す。

Fig. 3. Monthly box plots of volume concentrations for fine (D_p 0.3-1.0 μm) and coarse (D_p 1.0-5.0 μm) particles during February 2004 to January 2006 at Syowa Station. The lower boundary of the box shows the 25th percentile, the line within the box marks the median, and the upper boundary of the box shows the 75th percentile. Whiskers above and below the box represent the 90th and 10th percentiles. The mean is also portrayed as a thick line.

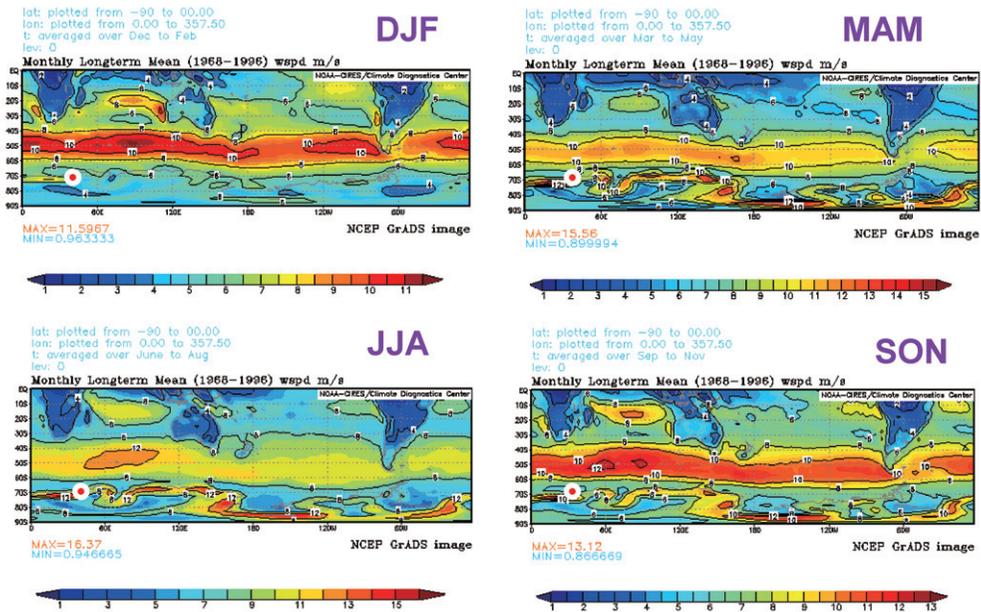


図4 NCEP再解析データによる、1958-1996年にかけての925 hPa面での南半球平均風速分布。左上: 12-2月, 右上: 3-5月, 左下: 6-8月, 右下: 9-11月。各図の左下の赤丸が昭和基地を示す。

Fig. 4. Average wind speed distribution at the 925 hPa surface for the southern hemisphere using NCEP reanalysis data from 1958 to 1996. Upper left: December, January, and February. Upper right: March, April, and May. Lower left: June, July and August. Lower right: September, October, and November. The red circle in each figure represents the location of Syowa Station.

psd)。図4各パネルの左下の赤丸が昭和基地の位置を示す。南緯40-60度付近は通年で強風帯となっており、そこでの風速は特に南半球の夏に強く、冬に弱まることがわかる。強風帯の南限は60度付近に位置し、夏には60度以南と以北とで風速のコントラストが強い。また、南緯60度以南の海域についてみると、夏以外の季節には風速の強い場所がまだらに存在するのに対し、夏には南極の沿岸域全体で平均風速が弱いことも大きな特徴である。平均風速の分布図からは、特に南緯40-60度の海域が通年で海塩粒子の発生源となっており、海塩粒子の生成強度は季節的に変化することが予想される。さらに、季節によっては60度以南でも海塩粒子の発生源になり得ることがわかる。

次に、2004年2月~2006年1月の観測期間について、昭和基地で観測した空気塊がどこから来たのか調べるために、NOAA HYSPLITモデルを用いて2日間の後方流跡線解析をおこなった(Draxler and Rolph, 2003)。ここでは、南極大陸の地形の影響を低減するために、トラジェクトリーの始点位置を南緯68度、東経39.6度から昭和基地の北方に1度ずらし、高度500mからの後方流跡線を日ごとに解析した。図5に、2-3月と7-8月、9-10月、

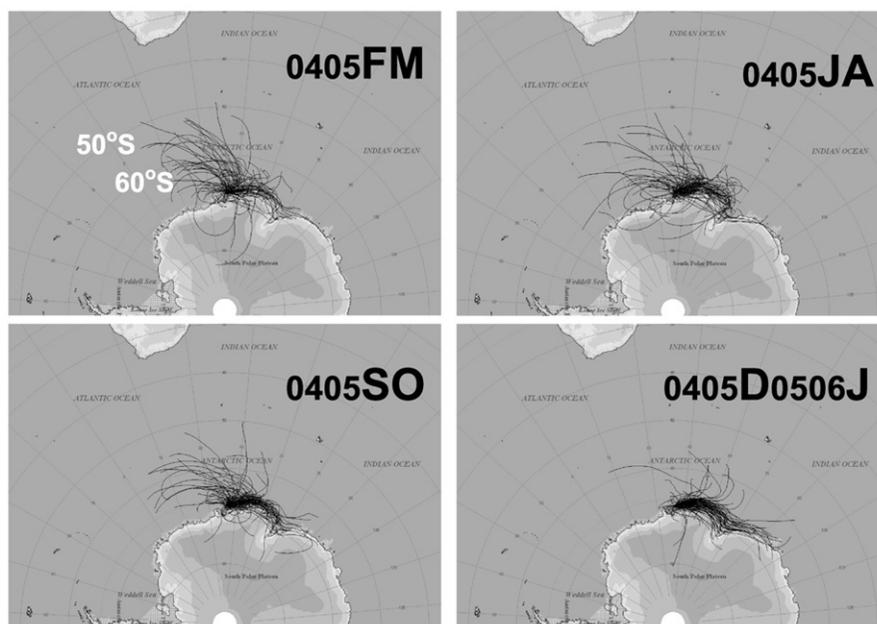


図5 昭和基地付近から2日間遡った後方流跡線。2004年2月~2006年1月にかけての(左上):2-3月,(右上):7-8月,(左下):9-10月,(右下):12-1月について解析した結果。

Fig. 5. Backward air trajectories for 2 days from near Syowa Station. Upper left: February and March in 2004 and 2005. Upper right: July and August in 2004 and 2005. Lower left: September and October in 2004 and 2005. Lower right: December in 2004 and 2005 and January in 2005 and 2006.

12-1月について2年分の解析結果を示す。3-10月にかけては、2日間でも60度以北から輸送されてくる経路が多く見られるのに対し、12-1月の夏季には、60度以南の南極沿岸域から反時計回りに昭和基地へ輸送される経路が支配的である。図4で見たように、南緯40-60度の海域では通年で活発に海塩粒子が発生していると考えられるので、空気塊の輸送経路の季節変化は、昭和基地で秋~春にかけての期間に粗大粒子濃度が高くなることと整合する。また、夏の南極沿岸域は風速が弱く、海塩粒子の発生が不活発であり、そのような南極沿岸域からの空気塊の頻度が夏に高いので、昭和基地での粗大粒子濃度が夏に低いと考えられる。

ところで海水域の形成は、開水面からの海塩粒子の生成を抑制すると考えられる。そこで、海水の広がりや海水縁での風速について、昭和基地での粗大粒子濃度との関係から検討する。海水の広がりについて検討するために、本研究では昭和基地へ輸送される海塩粒子の発生場所の南限を示す指標として、National Ice Center (<http://www.natice.noaa.gov/index.html>)による海水分布図に示された海水縁の位置を、東経40度に沿って読み取った。同様の方式で読み取った長期変動の解析結果は、牛尾(2006)に報告がある。

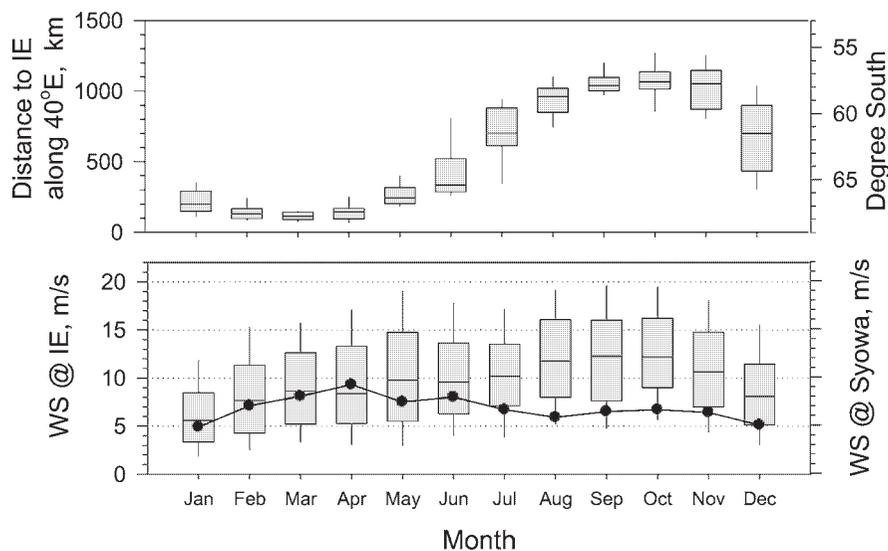


図6 東経40度に沿っての海水縁の位置(上段の箱ひげ図)と海水縁での風速(下段の箱ひげ図)、昭和基地での平均風速(下段の●)。海水縁の位置の統計は、1996-2006年のデータに基づく(牛尾, 2006)。海水縁での風速は、NCEP再解析データセットから925 hPa面についての値。箱ひげ図の表し方はこれまでと同様。

Fig. 6. Upper panel: Position and distance of sea ice edge along 40°E from Syowa Station (Ushio, 2006). Lower panel: Average wind speed at 925 hPa level at the sea ice edge and surface level at Syowa Station (circle). For box plot, see Fig. 3 for explanation.

図6の上段は、NICデータから東経40度に沿って読み取った海水縁の位置、下段は昭和基地での地上風速と、東経40度の海水縁付近における925 hPaでの風速の長期月平均値である。海水縁は5月頃から徐々に北上し、10-11月には昭和基地から約1,000 km付近へと移動し、11月下旬から急速に南下する。この海水縁付近での風速は2-11月にかけて長期にわたって高く、8-10月が最大となる。一方、昭和基地での地上風速は4月が最大となり、8月以後は海水縁での風速に比べるとはるかに弱い。昭和基地では10月ぐらいまでブリザードが来襲し(佐藤, 2004; Sato and Hirasawa, 2007)、その際に風速は強まるが、月平均としては4月以後比較的穏やかな風速となる。昭和基地でのローカルな風速は海水が発達し、海水縁が北上すると弱まるが、昭和基地での粗大粒子濃度が高い時期は2-10月と長期にわたる。特に、7-10月に粗大粒子濃度が高いことは、昭和基地が海水に囲まれていても、海水縁より北方の強風帯で発生した海塩粒子が輸送されてくることを示唆している。このように、昭和基地で観測される粗大粒子(海塩粒子)の発生源地域は、風速分布と海水縁の季節変化に応じて変化している可能性がある。

ところで、晩冬のように粗大粒子が発生源地域から1,000 kmもの長距離を輸送されてくるのであれば、自重による乾性沈着により粒径の大きなエアロゾル粒子ほど、選択的に大気から除かれてしまうことが予想される(e.g., Lewis and Schwartz, 2004; Kawakami *et al.*,

2008). 粒径の大きなエアロゾル粒子が選択的に除かれるのであれば、粒径分布の傾きが急になるはずである。逆に、昭和基地のすぐ近くが発生源の場合には、粒径の大きなエアロゾル粒子が乾性沈着によって除かれる前に観測されるはずなので、粒径分布の傾きは緩やかになると予想される。実際に、海水縁が最も南下して昭和基地に近づく3月には、粒径分布の傾きが緩やかである(図7)。ここでは、粒径分布の季節変化を考察するために、粗大粒子の粒子数濃度比 ($N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$) の時系列変化を見る。

図8の上段は $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ 、下段は $V_{1.0-5.0\mu\text{m}}$ の月平均値を、それぞれ箱ひげ図で示した

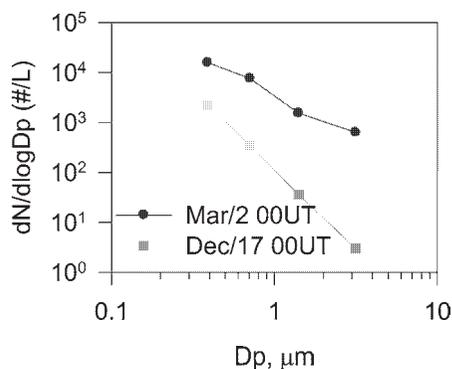


図7 2004年3月2日と12月17日に昭和基地で得られた個数粒径分布

Fig. 7. Number size distributions on March 2 and December 17, 2004 at Syowa Station.

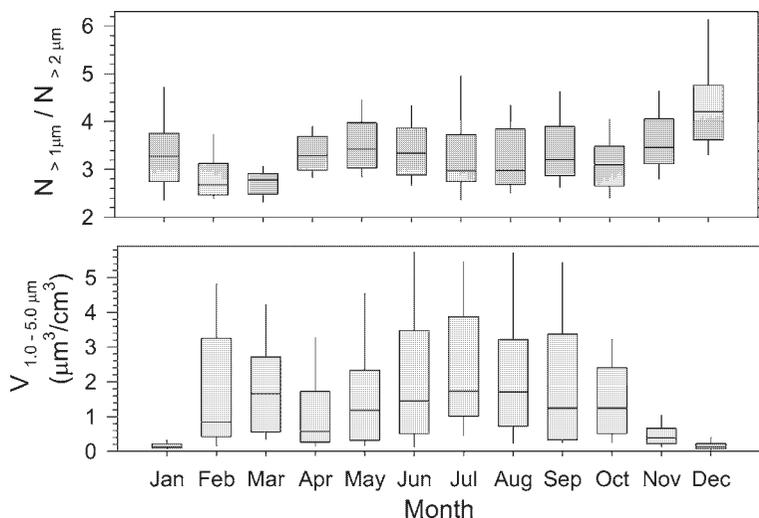


図8 粒子数濃度比 ($N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$) と、粗大粒子体積濃度 ($V_{1.0-5.0\mu\text{m}}$) の季節変化。箱ひげ図の表し方はこれまでと同じ。

Fig. 8. Upper panel: seasonal variation of concentration ratios as $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ at Syowa Station. Lower panel: seasonal variation of volume concentration ($V_{1.0-5.0\mu\text{m}}$) in coarse size range.

ものである。粗大域の粒径分布の指標としての $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ は、2-3月が低く、他の月においては12月が高いことを除けばほぼ同程度の値を示している。2-3月は海水縁が最も南極大陸に近い時期で、昭和基地の周辺も年によっては開水面となり、2月以後風速が強くなれば昭和基地近傍でのローカルな海塩粒子生成も可能である。海塩粒子の発生源が昭和基地に近ければ、大きなエアロゾル粒子が自重落下する前に観測される可能性が高くなり、 $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ は低くなる。一方、2-3月以外の季節には発生源からの距離が遠くなるので、大きなエアロゾル粒子が自重落下した後の空気塊を観測する可能性が高くなり、 $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ が高くなると考えられる。図7に示したように、12月の粒径分布は3月のそれに比べて傾きが急である。昭和基地周辺が開水面になりつつある12月にこの値がとりわけ高いのは、昭和基地周辺での風速が弱いために、近傍からの海塩粒子の生成は開水面が近くてもわずかであり、風速の強い遠方(南緯60度以北)から時間をかけて輸送されてきた海塩粒子の寄与が相対的に多くなってしまいうためではないかと推測している。夏季には粗大粒子数濃度がきわめて低いので、穏やかな気象条件で遠方から輸送されてきた海塩粒子が少しでも加わることで、 $N_{>1\mu\text{m}}/N_{>2\mu\text{m}}$ が高くなるのであろう。

4. まとめと今後の課題

2004年2月~2006年1月までの期間、昭和基地での光散乱式計測器を用いた粒径別エアロゾル粒子数濃度観測から、粗大粒子数濃度の季節変化を明らかにした。粗大粒子数濃度は2-10月に高く、夏の12-1月には低かった。粗大粒子数濃度の季節変化をもたす要因について、風速や海水縁の地理的分布、後方流跡線解析、粒径分布の季節変化から検討した。その結果、海水縁が最も縮退する2-3月には、昭和基地に近い南極沿岸域の海水面から生成した海塩粒子の寄与が大きいのに対し、海水の最も発達する10月には、南緯60度以北の海域で生成した海塩粒子が長距離輸送されていると考えられる。

昭和基地での粒径別エアロゾル数濃度のモニタリングを継続すれば、昭和基地へ運ばれてくる粗大粒子濃度の年々変化を知ることができる。本研究で明らかにしたように、粗大粒子濃度の年々変化や季節変化のパターンの経年変化は、海水の広がりや洋上の風速など、海塩粒子の生成と輸送の変化に関する情報を含むと考えられるので、粗大粒子濃度の長期変動を解析することは、大気-海洋間の物質循環の理解を深めることや、氷床コアデータの解釈を助けることにも有用だろう。そのような情報としてエアロゾルモニタリングのデータを用いるためには、今後より一層、毎年の観測を確実に点検・遂行していくことが必要である。

謝 辞

海水データの読み取りでは、牛尾収輝准教授(国立極地研究所)にご協力いただきました

た。記して感謝いたします。トラジェクトリー解析では、NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) を使用しました。南半球の長期平均風速データの図化には、Earth System Research Laboratory の Visualize CDC Derived NCEP Reanalysis Products Pressure Level Data (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>) を使用しました。海氷縁の位置情報は、National Ice Center (<http://www.natice.noaa.gov/index.htm>) 海氷分布図を使用しました。昭和基地の気象観測データは、日本南極地域観測隊の気象部門並びに気象庁南極観測事務室からご提供頂きました。最後に、昭和基地での清浄大気観測施設の建設から現地観測、施設の維持にご協力頂きました第 45-47 次隊の皆様をはじめ、関係の皆様深く感謝いたします。本研究はプロジェクト研究「南極域における地球規模大気変化観測」の一部として行われ、科学研究費(No. 15310012)による研究助成を受けた。

文 献

- Draxler, R.R. and Rolph, G.D. (2003): HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Hara, K., Osada, K., Kido, M., Hayashi, M., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Yamanouchi, T., Hashida, G. and Fukatsu, T. (2004): Chemistry of sea-salt particles and inorganic halogen species in the Antarctic regions: compositional differences between coastal and inland stations. *J. Geophys. Res.*, **109**, D20208, doi:10.1029/2004JD004713.
- Hara, K., Osada, K., Kido, M., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Hashida, G. and Yamanouchi, T. (2005): Variations of constituents of individual sea-salt particles at Syowa Station, Antarctica. *Tellus*, **57B**, 230-246.
- 原圭一郎・長田和雄・林 政彦・矢吹正教・橋田 元・山内 恭 (2010): 南極域での海塩粒子—大気中の変質過程と海水・積雪中の組成分別過程—. 南極資料, **54**, 668-696.
- 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.
- 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.
- Iwai, K., Ono, A. and Ito, T. (1981): On the composition and origin of large and giant particles observed at Syowa Station, Antarctica. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **19**, 131-140.
- Kawakami, N., Osada, K., Nishita, C., Yabuki, M., Kobayashi, H., Hara, K. and Shiobara, M. (2008): Factors controlling sea salt modification and dry deposition of nonsea-salt components to the ocean. *J. Geophys. Res.*, **113**, D14216, doi:10.1029/2007JD009410.
- Lewis, E.R. and Schwartz, S.E. (2004): Sea salt aerosol production: mechanisms, methods, measurement and models: a critical review. Washington, DC, American Geophysical Union, 413 p. (Geophysical monograph ; **152**).
- Osada, K., Hayashi, M., Ui, H. and Iwasaka, Y. (1998): Ionic constituents in aerosol particles at Syowa Station, east Antarctica, during 1996. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **12**, 49-57.
- 長田和雄・林 政彦・塩原匡貴・原圭一郎・和田 誠・橋田 元・森本真司・矢吹正教・山内 恭 (2006): 南極・昭和基地における清浄大気観測室の設置について. 南極資料, **50**, 86-102.
- 佐藤 薫 (2004): 南極昭和基地の気象. *天気*, **51**, 869-879.
- Sato, K. and Hirasawa, N. (2007): Statistics of Antarctic surface meteorology based on hourly data in 1957-2007 at Syowa Station. *Polar Sci.*, **1**, 1-15.
- 牛尾収輝 (2006): 南大洋インド洋区及びリュツォ・ホルム湾沖の海水消長の特徴. 南極資料, **50**, 142-151.