

## 東京から南極地域までの海洋上でのエアロソール 粒子濃度の観測 —序報—

岩井邦中\*・伊藤朋之\*\*・小野 晃\*\*\*

### Concentration of the Aitken Particles in the Oceanic Areas between Tokyo and the Antarctic Region —A preliminary report—

Kunimoto Iwai\*, Tomoyuki Ito\*\* and Akira Ono\*\*\*

**Abstract:** Continuous measurements of Aitken particle concentration were carried out by using an improved Pollak type automatic counter on board the FUJI between Tokyo and the Antarctic region from November 25 to the end of December, 1976. Very low concentrations of about  $100 \text{ cm}^{-3}$  were recorded in the Indian Ocean around  $30^\circ\text{S}$  of the western coast of Australia. However, these low concentrations are considered to be the effect of washout by precipitation. Concentrations of  $300$  to  $600 \text{ cm}^{-3}$  were predominant between  $60^\circ\text{S}$  and  $64^\circ\text{S}$ . Concentrations over the sea in the south of  $64^\circ\text{S}$  where pack ice was present were relatively high ( $300$ – $2000 \text{ cm}^{-3}$ ) and diurnal variations of them were observed. Concentration of  $220 \text{ cm}^{-3}$ , the lowest in the northern hemisphere, was observed in the Pacific Ocean around  $10^\circ\text{N}$ .

**要旨:** 1976年11月25日から12月末にかけて、東京から南極地域までの海洋上におけるエアロソール粒子の濃度の連続測定を行った。オーストラリア西方の $30^\circ\text{S}$ 付近のインド洋上において、 $100 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 前後の低濃度を記録した。この低濃度は降水によるwashoutの結果である可能性がある。 $60^\circ\text{S}$ ～ $64^\circ\text{S}$ では $300$ ～ $600 \text{ 個}/\text{cm}^3$ で比較的安定して低濃度であった。 $64^\circ\text{S}$ 以南の海洋上、特にパックアイス中では、濃度に日変化があり、 $300 \text{ 個}/\text{cm}^3$ から $1800 \text{ 個}/\text{cm}^3$ まで変化することがあった。このことは南極地域の夏の海洋上でエアロソールが形成されていることを示す。北半球における最低値は、ミンダナオ島付近の $10^\circ\text{N}$ の太平洋で観測された $220 \text{ 個}/\text{cm}^3$ であった。

### 1. はじめに

エアロソール粒子の濃度は、人間活動により生じる大気汚染の度合いを示す1つの指標にな

\* 信州大学教育学部地学教室 Department of Earth Science, Faculty of Education, Shinshu University, Nishi-Nagano, Nagano 380

\*\* 気象研究所物理気象研究部 Meteorological Research Institute, 35-8, Koenji-kita 4-chome, Suginami-ku, Tokyo 166

\*\*\* 名古屋大学水圏科学研究所 Water Research Institute, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464

ることが知られている (OHTA and ITO, 1973). JUNGE (1972) によると, 北大西洋においては, 陸地から遠く離れていても, もはや人間活動によるエアロゾルは無視できなくなっており, それらによる自然発生のエアロゾルの変質が問題になってきている. 一方南半球の陸地から遠く離れた海洋上では, 人間起源によるエアロゾルの影響はほとんどないと言われている. しかし陸地から遠く離れた海洋上での観測例はそれほど多くなく, その実態は必ずしもよくわかっていない. 特に南半球での観測は少なく (KOJIMA and SEKIKAWA, 1974; ELLIOTT *et al.*, 1974; MÉSZÁROS and VISSY, 1974), 今後も多くの観測を行い実態を把握する必要がある.

この小論は, 1976年11月25日から12月の末にかけて「ふじ」の船上において行った東京から南極地域までの海洋上におけるエートケン粒子濃度の測定結果についての序報である.

## 2. 観測装置と方法

使用した測定装置は ITO (1976) によって開発されたポラック型のエアロゾル自動測定装置である. この装置には直径 1 mm, 長さ 1 m の真ちゅう管を 100 本束ねた拡散管と呼ばれる装置が付属しており, 全粒子個数 (粒径範囲は約 0.003  $\mu\text{m}$  から約 0.1  $\mu\text{m}$ ) のほかに約 0.02  $\mu\text{m}$  から 0.1  $\mu\text{m}$  までの大きさの粒子の個数濃度も測定できる. この 2 つの測定からエアロゾルのおよその粒径分布を知ることができる. これらの 2 つの測定は 6 分間隔で交互に行い, 自動記録される. この装置は観測船「ふじ」のブリッジの後の上甲板に設置された. 試料空気の入力口はブリッジの上部 2 m のところまでビニールホースを延ばして空気を吸引した. 船に相対的な風向が前方からななめ前方のときには船の汚染はほとんど無視できるが, 後方からの風の場合は船による汚染を受けた. 汚染を受けたときの濃度は, 1 回 1 回の測定が非常にばらつくので, 汚染があるかどうかの判断はできる.

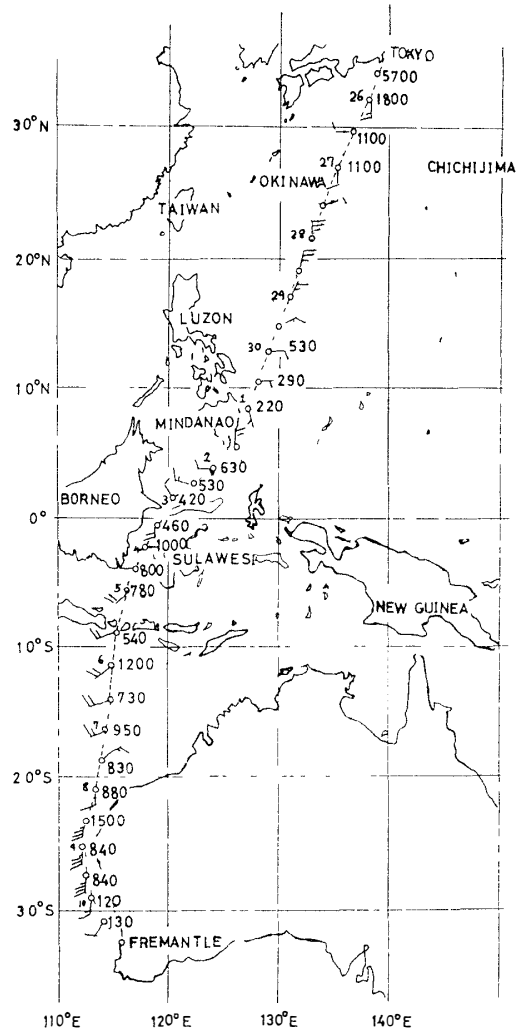
## 3. 結果と考察

### 3.1. 東京とフリマントル間のエートケン粒子濃度

図 1 に東京からフリマントルまでの航路およびグリニッジ時刻の 0 時と 12 時におけるエートケン粒子の個数を示す. 東京出港時における濃度は約  $10^5$  個/ $\text{cm}^3$  であったが, 本州から遠ざかるにつれ漸次減少し, 27 日の 00 G.M.T の沖縄の東方約 500 km の洋上では 1100 個/ $\text{cm}^3$  になっている. 図の影をほどこした部分は追い風のため明らかに船の汚染を受けた

図 1 東京からフリマントルまでの「ふじ」の航路とグリニッジ時刻 0 時と 12 時におけるエアトケン粒子濃度. 小さな数字はグリニッジ 0 時の日付け, 大きな数字はエアトケン粒子濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ ), 矢羽根は 1 本最大 10 ノット.

Fig. 1 The route of the voyage from Tokyo to Fremantle and the concentration of Aitken particles at 00 and 12 of G M T. Small numerals are the date at 00 of G M T. Large numerals are the concentration of Aitken particles ( $\text{cm}^{-3}$ ). Each arrow represents 10 knots at maximum.



場所であるので  $20^{\circ}\text{N}$  付近の正確な値はわからない. しかし, 海洋観測のため船が反転して船の汚染がないときの値は,  $800 \text{ 個}/\text{cm}^3$  であった. この値は OHYA and ITO (1973) が夏の間父島近海で測定した  $250 \text{ 個}/\text{cm}^3$  に比べるとかなり多いが季節が異なること, また大陸から移動性高気圧が張り出してきたことなど気象状態が異なるためであろう.  $10^{\circ}\text{N}$  付近では  $220 \sim 300 \text{ 個}/\text{cm}^3$  であり, これまでに観測されたエアロゾル濃度のバックランド値に相当する (HOGAN *et al.*, 1973; ELLIOTT *et al.*, 1974). セレベス海からマカッサル海峡を通り, シャワ海までの赤道の南北  $5 \sim 6$  度の地域の濃度は,  $400 \sim 1000 \text{ 個}/\text{cm}^3$  であり, 船がセレベス島のすぐ近くを航行しているわりには比較的低濃度であると考えられる.  $8^{\circ}\text{S}$  のロンボック海峡を通過する直前に  $10^4 \text{ 個}/\text{cm}^3$  の高濃度を記録したが, これはシャワ島かバリ島の影響であろう. ロンボック海峡を通過してインド洋に出た直後に  $300 \text{ 個}/\text{cm}^3$  と少ないがその後増加した. 風は南西でインド洋上からであり, また向かい風で船の汚染はまったく考えられ

ないにもかかわらず、 $700\sim 1200$  個/cm<sup>3</sup> とかなり濃度が高い。このオーストラリアの北西のインド洋上でエートケン粒子の濃度が高い理由については、今のところよくわからない。SHIRATORI (1934) (cf. JUNGE, 1972) はカーネギー号上で大気電気伝導率の測定をしており、その値からエートケン粒子の濃度を推定しているが、この領域では約  $1000$  個/cm<sup>3</sup> の比較的高濃度値を算出している。おそらくかなり以前より濃度が高いものと考えられる。20°S で一度  $400$  個/cm<sup>3</sup> まで下がるが、風速の増加と共に濃度は増加し、23°S 付近では  $1500$  個/cm<sup>3</sup> になっている。その後はフリマントルに入港するまで漸次減少し、最低値は 30°S 付近で  $120$  個/cm<sup>3</sup> であった。この値はこれまで北半球ではほとんど観測されたことのない低い値である。しかし、ここでは詳しくは述べないが、この低濃度は降水による洗浄作用の結果である可能性もある。ともあれ、南半球の中緯度帯では低濃度であることは間違いないであろう。

### 3.2. フリマントルから南極地域までのエートケン粒子の濃度

図 2 にフリマントルから昭和基地近くまでの航路とグリニッジ時間の 0 時と 12 時のエアロゾル個数濃度の値を示す。フリマントルの出港は 12 月 16 日の 10 時（地方時）である。出港後、濃度は急速に減少し、最低値は  $70$  個/cm<sup>3</sup> であった。この値はフリマントル入港前

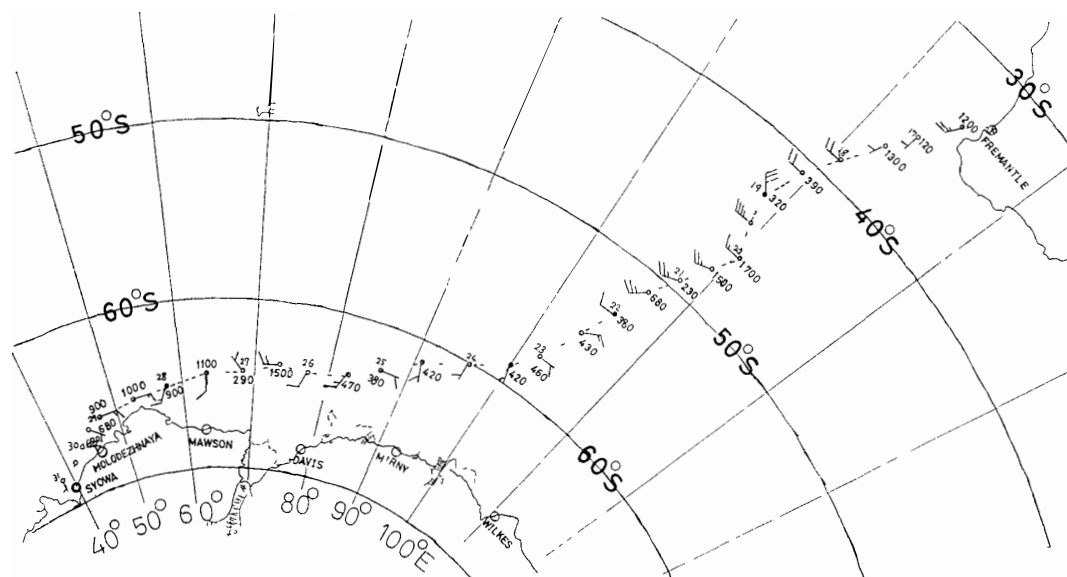


図 2 フリマントルから昭和基地近くまでの航路とグリニッジ時刻 0 時と 12 時におけるエートケン粒子濃度。数字と矢羽根は図 1 に示したものと同一である。

Fig 2. The route of the voyage from Fremantle to the Antarctic region near Syowa Station and the concentration of Aitken particles at 00 and 12 of G. M. T. Numerals and the arrows are the same as those in Fig 1.

に記録した値よりも低いが、この場合も、降水があったことから、その影響と考えられる。40°S を通過すると風速は 20 ノットをこえるが、濃度は 200~400 個/cm<sup>3</sup> であった。45°S を過ぎると 1500~1700 個/cm<sup>3</sup> とかなり多い。50°S 付近では 300 個/cm<sup>3</sup> と低い。これらのことからわかるように、エートケン粒子濃度は暴風圏で多いこともあるが、必ずしも風速の大きい所で多いとは言えないで、場所的な変動があるように思える。55°S から 60°S まで 300~1000 個/cm<sup>3</sup> と変動幅がかなり大きい。60°S から 64°S の間は 300~600 個/cm<sup>3</sup> と変動幅は小さく安定して低濃度であった。64°S から船は氷縁に沿って西に進むが 26~27 日は午後から増加し、明け方にかけて減少する明らかな日変化が見られた。その最大値は 1500~2000 個/cm<sup>3</sup> まで増加した。64°S 以南では全体として 60~64°S 間に比べて大きいのが本観測の最大の特徴であった。この海域で何故多いのか理由はよくわからないが、日変化が見られたことから、この海域で日中、エアロソルが生成されている可能性が強い。12 月の末のこの地域は白夜に近く、太陽が出ている時間が長いので光化学反応によりエアロソルが形成されているかも知れない。特にパックアイス中で多いことが見い出されているが、パックアイスの底には氷が茶かっ色に見えるほど植物性のプランクトンが繁殖している(星合, 1973)。LOVELOCK *et al.* (1972) および BIGG and TURVEY (1978) は海藻から放出される有機物性のカス状硫化物(シメチルサルファイト)から光化学反応により、粒子が形成される可能性について議論している。小野他(1978)はこの海域で採取したエアロソルを薄膜蒸気法により同定したところ、0.1 μm より小さい粒子の大部分が硫酸塩粒子であることを見い出している。MÉSZÁROS and VISSY (1974) もこの論文で述べた南極の海域に近い所でエートケン粒子の濃度の測定を行い、日変化のあること、および電子顕微鏡によるエアロソル粒子の形状観察から、硫酸塩粒子が多いことを見い出している。岩井(1979)は昭和基地でエートケン粒子の通年観測を行ったが、1977年3月昭和基地の周辺が開水面になったと考えられるとき、濃度に日変化のあること、またその最大値は 3000 個/cm<sup>3</sup> になることを見い出した。これらのことから、南極地域の海洋上では、光の豊富な夏の間、光化学反応によってカスから粒子が形成される可能性はかなり大きいと考えられる。

表 1 に左の欄に示した海域における  $N_{10}$ ,  $N_{50}$ ,  $N_{90}$ , および  $N_{10;d}$ ,  $N_{50;d}$ ,  $N_{90;d}$  を示す。 $N_{10}$  は全粒子濃度を累積度数分布で表したとき、低濃度から 10 パーセント目の値(10 パーセンタイル)であり、 $N_{50}$  はメティアン、 $N_{90}$  は 90 パーセンタイルを示す。 $N_{10;d}$ ,  $N_{50;d}$ ,  $N_{90;d}$  は拡散管を通したときの  $N_{10}$ ,  $N_{50}$ ,  $N_{90}$  である。この表からわかるように 46°S から 50°S の暴風圏では全粒子個数が大きい、拡散管を通した濃度との差が大きく、粒径が小さい方にか

表 1 左の欄に示した海域における全粒子濃度 ( $N$ ) と拡散管を通した粒子濃度 ( $N_d$ )  $N_{10}$ ,  $N_{50}$ ,  $N_{90}$  はそれぞれ観測数のうち濃度を累積度数分布で表したとき, 低濃度より 10 パーセント目, 50 パーセント目 (中央値), 90 パーセント目を表す.  $N_{10)d}$ ,  $N_{50)d}$ ,  $N_{90)d}$  は  $N_d$  の同様の値である.

Table 1. Total aerosol concentration ( $N$ ) and the particle concentration through the diffusion pipe ( $N_d$ ) in the areas indicated in the left column.  $N_{10}$  means the concentration below which lay only 10% of observations,  $N_{50}$  the median;  $N_{90}$  the concentration above which lay only 10% of observations.  $N_{10)d}$ ,  $N_{50)d}$  and  $N_{90)d}$  are the same as  $N_{10}$ ,  $N_{50}$  and  $N_{90}$  for  $N_d$ , respectively.

	( $\text{cm}^{-3}$ ) $N_{10}$ $N_{10)d}$	Ratio	( $\text{cm}^{-3}$ ) $N_{50}$ $N_{50)d}$	Ratio	( $\text{cm}^{-3}$ ) $N_{90}$ $N_{90)d}$	Ratio	Ob- serva- tions	Mean wind speed (knot)
Tokyo — 23.5N 133.5E	950 620	1.53	1530 1300	1.18	15000 6900	2.17	261	9.5
15.5N — 5.5N 130.5E — 125.5E	260 190	1.37	510 320	1.59	900 530	1.70	160	8.9
5.5N — Equator 125.5E — 119.5E	440 300	1.47	700 430	1.63	1200 800	1.50	148	16.9
Equator — 8.5S 119.5E — 116.0E	450 340	1.32	980 730	1.34	2700 1350	2.00	135	15.9
8.5S — 15.0S 116.0E — 114.5E	650 560	1.16	800 650	1.23	1250 770	1.62	105	17.7
15.0S — 23.5S 114.5E — 113.0E	470 290	1.62	690 470	1.47	1310 1000	1.31	185	19.1
23.5S — 32.0S 113.0E — 115.0E	180 120	1.50	380 280	1.36	1050 620	1.69	241	15.5
32.5S — 41.5S 115.0E — 109.5E	140 90	1.56	450 280	1.61	1350 780	1.73	132	16.3
46.0S — 50.0S 110.5E — 107.5E	490 150	3.27	1450 540	2.69	1710 800	2.14	121	22.8
50.0S — 54.0S 107.5E — 104.5E	280 180	1.56	380 280	1.36	840 420	2.00	86	22.1
55.0S — 59.5S 104.0E — 97.5E	360 220	1.64	620 350	1.77	880 450	1.96	154	9.9
60.5S — 64.0S 95.0E — 79.5E	330 180	1.83	420 290	1.45	510 360	1.42	176	8.4
64.0S — 64.5S 76.0E — 60.0E	290 175	1.66	880 350	2.51	1640 720	2.28	193	7.9
64.5S — 65.5S 60.0E — 50.0E	690 420	1.64	930 530	1.75	1660 800	2.08	84	11.3
65.5S — 68.0S 50.0E — 41.0E	600 250	2.40	1120 420	2.67	1600 690	2.32	213	8.4

たよっていることを示している. KOJIMA and SEKIKAWA (1974) は暴風圏において, 粒子濃度が増加し, また大粒子の濃度は風速に比例することを見い出している. 全粒子濃度が増大することは本観測と一致しているが, 粒径の大きい方が増大するという点では本観測と異なっているように見えるが, 本観測においても他の地点に比べて暴風圏で大粒子が増加してい

ると考えられるので必ずしも矛盾しているとは言えない。また、65.5°S 以南においても全粒子濃度と拡散管を通した粒子の濃度差が大きい。これは前述のごとく、ガスから形成された粒径の小さな粒子が相対的に増加したと考えれば矛盾なく説明できる。KOJIMA and SEKIKAWA (1974) は南極域でエアロソール粒子濃度が増大することを報告していないが、彼らの測定は 62°S までに限られているからであろう。

#### 4 ま と め

1976 年 11 月 25 日から 12 月の末にかけて東京から南極地域までの間、エアロソールと拡散管を通した粒子濃度の測定を行った。その結果をまとめると次の通りである。

1) オーストラリアの西方のインド洋上 30°S 付近に濃度約 100 個/cm<sup>3</sup> の低濃度域があった。しかしこの低濃度は降水による洗浄作用の結果の可能性がある。

2) 46°S から 50°S の暴風圏では濃度がかかなり高いが、拡散管を通した粒子濃度から推察すると相対的に小さな粒子が多かった。

3) 60°S から 64°S の間は 300~600 個/cm<sup>3</sup> で安定して比較的低濃度域であった。

4) 64°S より南のバックアイスの存在する地域では濃度に日変化があること、全体として個数が多かった。

5) オーストラリアの北西部の 85°S から 235°S のインド洋上では 700~1200 個/cm<sup>3</sup> と多かった。

6) 北半球における最低値はミンダナオ島の東の太平洋上の 10°N 付近で 220 個/cm<sup>3</sup> であった。

7) 日本近海とジャワ海のバリ島近くでは人間起源の汚染の影響がかかなりあると考えられる。

#### 謝 辞

本観測にあたり、便宜を与えていただいた第 18 次日本南極地域観測隊隊長楠宏教授に感謝いたします。また観測を計画し推進に努力された元気象研究所の斎藤博英博士、名古屋大学名誉教授磯野謙治博士に感謝いたします。また観測を可能にした「ふじ」の乗組員に感謝いたします。

## 文 献

- BIGG, E. K. and TURVEY, D. E. (1978): Sources of atmospheric particles over Australia *Atmos. Environ*, **12**, 1643-1655.
- ELLIOTT, W. P., FRED, L. R. and JOHNSTON, R. (1974): Particle concentrations over the oceans. *J. Rech Atmos*, **8**, 939-945.
- HOGAN, A. W., MOHNEN, V. A. and SCHAEFER, V. J. (1973): Comments on "Oceanic Aerosol Levels Deduced from Measurements of the Electrical Conductivity of the Atmosphere". *J. Atmos Sci*, **30**, 1455-1460.
- 星合孝男 (1973): 海の生態系. 南極, 楠他編, 共立出版, 502-524.
- ITO, T. (1976): An automatic pollak counter improved for routine field operation. *J. Meteorol Soc Jpn.*, **54**, 81-90.
- 岩井邦中 (1979): 昭和基地におけるエアロゲン粒子濃度について一序報一. *南極資料*, **67**, 172-179.
- JUNGE, C. E. (1972): Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment. *J. Geophys Res*, **77**, 5183-5200.
- KOJIMA, H. and SEKIKAWA, T. (1974): Some characteristics of background aerosols over the Pacific Ocean *J. Meteorol Soc Jpn*, **52**, 499-506.
- LOVELOCK, J. E., MAGGS, R. J. and RASMUSSEN, R. A. (1972). Atmospheric dimethyl sulphide and the natural sulphur cycle *Nature*, **237**, 452-453.
- MÉSZÁROS, A. and VISSY, K. (1974): Concentration, size distribution and chemical nature of atmospheric aerosol particles in remote oceanic areas *Aerosol Sci*, **5**, 101-109.
- OHTA, S. and ITO, T. (1973): Method of measurement of the background concentration of submicron aerosols and some results from the observations around the Ogasawara Islands and Marcus Island. *Pap. Meteorol. Geophys.*, **24**, 111-137.
- 小野 晃・伊藤朋之・岩井邦中 (1978): 対流圏エアロゾルの地球規模での挙動に関する研究 (I) 第1回南極気水圏シンポジウム予稿集, 49-51.
- SHIRATORI, K. (1934): Ionic balance in air and nuclei over ocean. *Mem. Fac. Sci. Agr. Taihoku Imp. Univ.*, **10** (5), 175-202 (cf. JUNGE, C. E. (1972): Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment. *J. Geophys Res*, **77**, 5183-5200).

(1979年3月30日受理)