# 3. 南鳥島、小笠原父島におけるエーロゾル濃度

## 伊藤朋之\*

### 3.1 はじめに

開発された測定器の,基準観測所設置候補地として有望な地域での,野外実用テストにおいて取得され たデータのうち,現時点での汚染状況の資料として整理保存しておいたほうが良いと思われる観測値や, 将来基準観測所建設の際参考になると思われる観測資料を報告し,若干の説明を加える。ここで報告する 観測項目は,光散乱型大粒子計数器による直径 0.3 µm 以上の大粒子濃度と,今回改良されたポラック・ カウンターによる小粒子濃度についてである。

#### 3.2 観 測

観測は、1975年南鳥島で夏と晩秋それぞれ約2週間、1976年晩秋の父島で約2週間、計3回行なった。

南鳥島で行なった第1回目の観測は、1975年7月25日から8月9日までの期間であった。測定器は、 島の北東側にある旧高層観測室から少し海岸の方へ下った浜に、日除け小屋を作って、その中に設置した。 設置点は、波打ち際から約50m、外リーフの泡立ち域から約150mそれぞれ離れている。空気は直径40 mmのステンレス・パイプを通して、地上3mの高さから吸引採取して測定した。

南鳥島での第2回目の観測は、1975年10月19日から11月2日までの期間であった。測定器は、気象観測所の庁舎の南150m、東側海岸の波打ち際から約150mの地点に設置した。設置点は、外リーフの 泡立ち域からは約350m内陸にはいっており、まわりは、約2~3mの高さの熱帯樹木のモンパの林に囲 まれている。測定器を設置する日除け小屋や、空気を導入するステンレス・パイプ等は全て、第1回目と 同様である。

第3回目の観測は,1976年10月30日から11月12日まで、小笠原父島で行なった。測定器は、島の北西端 にある三日月山を西に少し下った地点の旧高層観測気球充填室内に設置した。この地点の西側は、高さ 100 mの崖になって海に至り、東側は、銀ネムの林を通して島の居住区を見下ろす高台になっている。空 気は、地上約2mの高さから南鳥島のときと同様ステンレス・パイプを通じて吸引採取した。

ポラック・カウンターは、南鳥島、父島とも約5分毎の自動測定を行ない、正時をはさんで前後30分、 あわせて1時間の間に得られた測定値のうち、最大値と最小値を除いて計算した平均値を毎時の観測値と した。

光散乱型大粒子計数器は,第1回目の南鳥島観測では,約3分毎の自動測定を行なったが,その後の第 2回目の南鳥島観測,第3回目の父島観測では,測定器を改造して10分間毎の自動測定を行なった。測定 値は,ポラック・カウンターの場合と同様,正時をはさんで,前後30分,合わせて1時間の間に得られた

\*物理気象研究部

測定値のうち、最大値と最小値を除いた平均値を毎時の値とした。

### 3.3 結 果

#### 3.3.1 濃度変動の特徴

図3.1~図3.3は、1時間毎の濃度値を、それぞれの島の気象観測所で観測された気象要素とともに 図示したものである。グラフの横軸は時刻が6時間1目盛で目盛ってあり、日付を示す数字が毎日の0 時の位置に記してある。各図のグラフは、上から順に、ポラック・カウンターによる小粒子濃度測定値 の毎時の平均値、光散乱型大粒子測定器による直径0.3 µm 以上の粒子濃度の毎時の平均値、同じく直 径2 µm 以上の粒子濃度の毎時の平均値、毎時の10分間平均風向、10分間平均風速、毎時の温度湿度を 示している。



いったときに対応しており、風上にある発電施設等からの汚染の影響を受けているとみられる。

大粒子濃度は、弱い南寄の風が吹く、前半の期間は低濃度で、一様に5m/s前後の東風の吹く後半の期間は高濃度であった。この後半期間のうち、8月4日から9日にかけて、夜0時近くに高濃度、日中12時近くに低濃度といった、かなり明瞭な日変化が現れている。この日変化は、この期間の温度、湿度の日変化とぴったり対応して現れている。簡単な概算によれば湿度変化に伴う粒径変化が、エーロゾル濃度の測定値の日変化の原因になっているようである。すなわち、湿度が低いときは測定されなかった最小可測粒径より小さな粒子が、湿度が上って膨潤して測定にかかるようになって濃度値が増大する

- 125 -

効果である。ポラック・カウンターによる小粒子濃度には、このような日変化は現れていない。これは、 大粒子の場合,最小可測粒径より小さな粒子の濃度が極めて高いのが普通であるのに対し,ポラック・ カウンターの最小可測粒径以下の粒子は極めて少ないからである。

図32は、南鳥島での第2回目の観測結果である。小粒子濃度は、第1回目の観測結果と同様、単調 な記録である。10月23日0時前後にみられる濃度の乱れは、風速が弱く風向が大きく変化した時に起っ



図 3.2 エーロゾル濃度と気象要素の時間変化。南鳥島, 1975 年 10 月 19 日~11 月 2 日

ており,観測点の北側に位置する庁舎や発電棟からの汚染の影響を受けたのであろう。10月26日~27日 にみられる濃度値の乱れは、南~西の風の時に起っており,観測点の南南西にある米国沿岸警備隊の 施設からの汚染の影響であろう。一方,10月24日~25日の高濃度は、局地的な汚染の影響を受けたので はなく、高濃度エーロゾルを含んだ気団がやってきたためである。この点については、あとでふれる。

一方大粒子の記録は、変化に富んでいる。第1回目のように、湿度との明瞭な対応関係は見られない。 代りに10月24日以後の記録をみると、風向との対応が良いことがわかる。すなわち、風向が東から南、 西へと変ると濃度が減少し、逆に北側に向うと増加する。島内の大粒子濃度の地域分布を調べるための、 移動観測結果によれば大粒子濃度は海岸から内陸に入るに従って減少するようである。ここでみられる 濃度値の風向依存性も、それぞれの風向によって、海岸から観測点までの距離のちがいによって生じる ものとして、充分説明がつく。

図3.3は、父島における観測結果である。小粒子濃度には激しい濃度変動がみられる。測定器の設置 場所が島の居住区の西側に位置しているので、この島での主風向である東寄りの風のとき、居住区から

-126 -



図 3.3 エーロゾル濃度と気象要素の時間変化。父島,1976年10月30日~11月12日

の汚染の影響を受ける結果となった。さらに、そこは島の観光コースになっているため、観光客を運ぶ 自動車の排ガスによる汚染の影響をも受けている。しかし、10月31日から11月6日にかけての高濃度か ら低濃度への大きなトレンドは、島から発生する汚染の影響の強弱によって生じたのではなく、エーロ ゾルを含んだ陸性の南島島の10月24日、25日と同じく、高濃度の気塊がやってきていて、その後次第にエ ーロゾル濃度の低い海洋性の気塊へと交替して行った様子を示しているのである。このことについても あとでのべる。

大粒子については、小粒子ほど居住区からの影響や、気団によるちがいなどが明瞭でない。ただし、 11月10日以後の高濃度は、近くで道路工事が始まり、たき火の煙などが観測点にくることがあり、小粒 子、大粒子とも、これらの影響を受けたものと思われる。大粒子にだけみられる11月8日の高濃度は原 因不明である。

図3.2,図3.3で、局地的な汚染を受けていないと思われる場合の、小粒子の高濃度を、気団で説明 したのは、以下に示す流跡線による解析にもとずいている。図3.4 ~ 図3.6に示す流跡線は、地上の印 刷天気図を用いて、12時間毎に、3日前までさかのぼったもので、実線は9時を起点に、点線は21時を 起点にしたものである。出発点では、その時の風速に12時間掛けた距離だけ、風向を逆にたどってさか のぼり、そのあとは、近くの観測点(大部分が船舶からのデータ)での風向、風速を内挿して用いた。

図 3.4 は、南鳥島の第 1 回 目の観測期間中のものである。期間を通じて中緯度海洋性気団からの気塊 が観測点にやってきていたことがわかる。このことは、先の図 3.1 でみられたように小粒子濃度が、こ

- 127 -



図 3.5 流跡線図。南鳥島 1975 年 10 月 19 日~11 月 2 日

の期間中ほぼ一定してこの海域のバックグランド濃度を示していたことと一致している。

図3.5は、南鳥島での第2回目の観測期間に対するものである。この図が示す流跡線によれば、10月 24日9時~25日21時に測定された空気は、日本あるいは中国大陸の側から大平洋上を渡ってやってきた 陸性の気塊であったことがわかる。その他の期間のものは全て海洋性の気塊であることを示している。 このような流跡線のちがいによる気塊の起源の区別は、図3.2でみられた24~25日の高濃度、その他の

- 128 -

日の一様な低濃度という小粒子の観測結果とよく対応している。

図3.6は、父島観測の期間のものである。この図の示す流跡線によれば、父島にやってきた気塊は、 10月30日から11月4日の9時までは、流跡線の長さの長短はあるが、いずれも陸性の気塊である。4日 の21時以後は完全に海洋性の気塊になっている。ここでも以下のように、小粒子濃度と流跡線が極めて



図 3.6 流跡線図。 南鳥島 1976 年 10 月 31 日~11 月 11 日

よい対応関係を持つことが示される。すなわち図3.3で、先にのべたような現地風向との関連から生じる局地的汚染の影響を考慮して、小粒子濃度の低濃度側の輪郭線だけに着目すると、濃度値は10月30日から増大して31日をピークに次第に減少して行き、11月5日、11月6日の低濃度につながっているのである。

このように、南鳥島では10月24~25日、父島では10月30日~11月4日の期間にそれぞれ出現したこ の海域のバックグランド値よりはるかに高い濃度値は、流跡線との対応関係から、陸地起源のエーロゾ ルが、海上を西風に乗って輸送されてきたものであるとみなせる。そしてさらに、この期間の高濃度は、 5分毎の濃度値のばらつきが極めて小さいという特徴を持っており、局地的な汚染源からの影響が明ら かな場合の観測値と全く異なっている。このことは、上記の期間に観測されたエーロゾルが発生後長時 間かけて、充分に混合されたものであることを示しており、このこともまた、この期間の高濃度が、島 の周辺にある局地的な汚染源の影響で生じた高濃度ではないことの証拠を与えている。

以上にのべたように、小粒子濃度については、気塊の種類によって濃度値がはっきり異なり、局地的 な汚染を含んだ気塊、海洋性気団からの気塊、陸性気団からの気塊といった区別が、濃度の観測記録を みただけである程度推定できるほど、濃度値と気塊との対応関係がはっきりしている。一方、大粒子に ついては、気塊固有の濃度値の保存性は弱く、他の原因による濃度変化が大きくて、少なくとも今回の

- 129 -

観測結果には、気塊との対応関係は明瞭には現れていない。従って、この点に関する限り、ポラック・ カウンターによる小粒子濃度のほうが、大粒子濃度よりも、人間活動による大気のエーロゾル汚染の、 はるかに敏感な指標であるといえる。

3.3.2 大粒子濃度,小粒子濃度の統計

図で示した,大粒子,小粒子の1時間値を用いて,それぞれの観測期間について頻度分布を調べたも が図3.7 ~図 3.10である。

図3.7,図3.8は、それぞれ、小粒子、大粒子の、各観測期間中に出現した濃度値の累積頻度を示す。



横軸には濃度値がリニャ目盛で目盛ってある。縦軸は累積頻度の百分率が正規確率目盛で目盛ってある。 観測値の累積頻度は各観測毎にそれぞれの印でプロットしてある。このプロットをもとに、5点分位法 で推定した母集団平均と、母集団標準偏差をそれぞれのプロットのそばに記入した。プロットにそった 実線は、推定した正規分布をする母集団の累積頻度分布である。ただし第2回目の南鳥島観測で得られ た小粒子濃度は、正規分布からのずれが大きいので、対数正規分布の母集団累積頻度分布の曲線を示し た。

この例を除いて、図37、図38で示した頻度分布は、ほとんど全部、正規分布に近い分布をしてい ることがわかる。普通、都市や田舎で測定した濃度値は、対数正規型に近い分布をすることが多いので あるが、清浄大気中では、様子が少し異なるようである。今回の観測のように、いろいろな型の分布が でるのであれば、たとえば、期間中の代表的な濃度は、平均値よりもむしろ、累積頻度50%の濃度値で 表示するほうが良いかも知れない。同様に標準偏差よりも例えば累積頻度25%の濃度値と75%の濃度値 といった形でデーターのバラッキを示したほうが良いかもしれない。

観測毎の濃度の平均値や標準偏差の大きさの順序は、大粒子も小粒子も同じ様子になっている。すな わち、大粒子、小粒子とも南鳥島の夏が最も低濃度で、データのばらつきも最も小さい。父島は、平均 濃度も高く、ばらつきも大きい。もとより、この父島の様子は今回の観測点固有の様子を示すものであ って、島の東海岸で観測が行なわれたならば、少なくとも小粒子については、南鳥島の第2回目のよう な様子がみられるものと考えられる。

図3.9と図3.10に、風向別の濃度出現頻度を示す。図3.9が小粒子、図3.10が大粒子についてである。



図 3.9 小粒子濃度の風向別濃度出現頻度

- 131 -



図3.10 小粒子濃度の風向別濃度出現頻度

小粒子,または大粒子の濃度値を,そのときの風向(16方位)に従って,NNW~NE, ENE~SE, SSE~SW, WSW~NW, の4 グループに分けた後, それぞれの風向のグループ毎に濃度の出現頻度 を求めたものである。小粒子については 20 個/cc 毎の濃度階差で,また大粒子については1個/cc 毎の濃度階差で分け、観測期間中の全データーについての百分率で表示した。またそれぞれの風向グル ープについて,風速3m/s以下のときの濃度頻度を黒塗りで記入し,3m/sより強い風のときの頻

न्द्र नम	• '	風			向 向	
电 点		NNW~NE	ENE~SE	SSE~SW	WSW~NW	CALM
南鳥島(I)	m n o c	$\begin{array}{c} 35( 10) \\ 298( 262) \\ 91( 83) \\ 31( 32) \end{array}$	$\begin{array}{ccc} 258(&17)\\ 254(&257)\\ 71(&87)\\ 28(&34) \end{array}$	$\begin{array}{ccc} 7(&37)\\ 277(&251)\\ 121(&137)\\ 44(&55) \end{array}$	$ \begin{array}{ccc} 0 & ( & 0 \\ - & ( & -) \\ - & ( & -) \\ - & ( & -) \\ \end{array} $	0
南鳥島(11)	m n or c	$\begin{array}{ccc} 61(&10)\\ 726(&382)\\ 1,163(&130)\\ 160(&34) \end{array}$	$\begin{array}{ccc} 144(&32)\\ 327(&334)\\ 94(&73)\\ 29(&22) \end{array}$	$\begin{array}{ccc} 41(&8)\\ 308(&280)\\ 116(&49)\\ 38(&18) \end{array}$	5(19) 3,649(787) 6,462(495) 177(63)	3 2,1 5 3 1,2 8 4 60
父 島	m n or c	$\begin{array}{c} 105(\ 48)\\ 1,199(\ 1,151)\\ 848(\ 727)\\ 71(\ 63) \end{array}$	$\begin{array}{r} 36(7) \\ 1,393(2,125) \\ 865(1,990) \\ 62(94) \end{array}$	13(10) 600(1,002) 284(1,611) 47(161)	$\begin{array}{r} 0(12) \\ -(1,054) \\ -(523) \\ -(50) \end{array}$	$\begin{array}{r} & 6 \\ 2,4 \ 4 \ 5 \\ 1,4 \ 7 \ 1 \\ & 6 0 \end{array}$

表 3.1 小粒子の風向・風速別平均濃度

m

n o

m : データ数 n : 平均濃度(ケ/cm<sup>3</sup>) σ : 標本標準偏差 c : 変動係数 括弧内の値は風速 3m/s以下の場合

- HA - LE			風,			
地点		N NW~N E	ENE~SE	SSE~SW	WSW~NW	CALM
南鳥島(I)	m n o c	$\begin{array}{ccc} 30 (&8) \\ 6.2 (& 5.0) \\ 1.9 (& 2.0) \\ 31 (& 40) \end{array}$	$\begin{array}{c} 246(11) \\ 88(66) \\ 2.4(3.4) \\ 27(52) \end{array}$	5( 35) 3.2( 32) 1.0( 1.4) 31( 44)	0( 0) -( -) -( -) -( -)	0 
南鳥島(II)	m n o c	$\begin{array}{ccc} 61(&11)\\ 12.5(&7.1)\\ 2.8(&3.7)\\ 22(&52) \end{array}$	149(34)102(7,8)2.4(3.1)24(40)	$\begin{array}{ccc} 43(&8)\\ 5.0(&5.9)\\ 2.2(&2.0)\\ 44(&34) \end{array}$	6( 19) 4.6( 3.9) 12( 2.0) 26( 51)	3 4.9 1.5 31
父 島	m n o c	127(49) 18.6(20.2) 7.6(10.3) 41(51)	$\begin{array}{r} 42(6)\\ 16.1(22.8)\\ 5.8(14.2)\\ 36(62) \end{array}$	$\begin{array}{cccc} 17( & 14) \\ 9.3( & 7.0) \\ 3.4( & 1.8) \\ 37( & 2.6) \end{array}$	$0(14) \\ -(27.7) \\ -(21.3) \\ -(77)$	11 9.2 8.0 87

表 3.2 大粒子の風向・風速別平均濃度

m:データ数

n:平均濃度(ケ/cm<sup>3</sup>)

o:標本標準偏差

c:変動係数

括弧内の値は風速3m/s以下の場合

度をその上に積み上げて表示した。

表3.1,表3.2には、このようにしてふるい分けしたデータグループ毎の平均値、標準差、データ 数、変動係数を表にした。

## 3.4 まとめ

南鳥島の夏と秋, 父島の秋, にそれぞれ2週間ずつ行なった観測において得られた大粒子濃度と小粒子 濃度の測定結果を報告した。

小粒子濃度については、気象状態によっては、南鳥島、父島のあたりまで、日本からでる汚染と思われ る高濃度が出現することがわかった。従って、いずれの島に基準観測所を設けるにしても、気塊に乗って 運ばれてくる都市汚染があることを考慮したサンプリング方法データ解析法を考える必要がある。

大粒子濃度については、南鳥島に比べて父島が高濃度であった。一般に大粒子の濃度は海面から発生す る一次粒子濃度に支配され易いので、この期間の父島周辺海の海面状態が影響しているかもしれない。海 面状態の海域別の特徴など調べる必要がある。