

## 地表付近における巨大海塩粒子存在量の変化について

茶 円 正 明\*

### On the Variation of the Amount of Giant Sea-Salt Particles near the Ground

Masaaki CHAEN

#### Abstract

The number concentrations of giant sea-salt particles for each salt-mass class near the ground were observed in Kagoshima, in the period of Sept. 4, 1962 through Oct. 1, 1963.

The particle number concentration often increased during the approach and the passage of cyclones or fronts, and of typhoons. The low number concentrations of sea-salt particles occurred under the meteorological conditions of the comparatively long period of rainfall, such as Bai-u, and the partly cloudy condition due to anticyclones. It is found that there is a seasonal variation in the monthly mean particle number concentration, which has maxima in winter and summer and minima from late spring to early summer and autumn. The amount of the monthly mean particle number concentration may be related to both the monthly mean wind speed and precipitation. The salt-mass distributions of sea-salt particles in several characteristic meteorological conditions are presented.

Aspects of the increase of particle number concentration caused by the approach and the passage of cyclones or fronts depend largely on the increase or the decrease of the distance from coast, as well as on the amount of precipitation, in comparison with those in the previous one or two days.

The impaction-sedimentation ratio,  $r$ , is estimated from the observations of particle number concentrations in different wind directions under the anticyclonic meteorological conditions. The value of  $r$  estimated is 2-5 for 2, 3, 4 m/sec, and 3-20 for 5, 6, 7m/sec in wind speed, respectively.

#### 1. ま え が き

大気中における海塩粒子は、凝結核としての濃度の分布や、海洋から大気への電荷の供給、地球上の物質循環、塩風害といった問題にも関連して重要なものであり、海面境界過程の1つである海塩粒子生成に関連して、海上大気境界層での海塩粒子分布について別に論じた (Chaen, 1971). 本論文は、鹿児島における海塩粒子の観測をもとに、地表付近における海塩粒子の存在量が如何なる条件によって支配されているかを論じたものである。

この海塩粒子の観測は、1962年9月4日より1963年10月1日までの13ヵ月間にわたって実施されたもので、鳥羽が提唱した日本各地における巨大海塩粒子共同観測の1箇所を分担したものである。本観測期間中の地上及び高層気象資料としては、鹿児島県気象月報 (日本気象協会鹿児島支部) 及び Aerological Data of Japan (気象庁) 記載のものを用いた。

\* 鹿児島大学水産学部漁場海洋学研究室 (Laboratory of Oceanography, Faculty of Fisheries, Kagoshima University)

## 2. 海塩粒子の観測方法

本観測で用いた海塩粒子の測定方法は、Chaen (1971) が海上での観測に採用した Toba と Tanaka (1967) によって記述されている方法である。観測を行った場所は、鹿児島大学水産学部屋上で、海拔約 15 m、地上約 13 m の高さのところである。観測を行った時刻は、毎日 14 時から 15 時の間を原則とした。やむを得ずこの時間以外行った観測の回数は、全観測数の 5% に満たない。14 時から 15 時頃は、Toba と Tanaka (1965) の、京都での夏の平穏な天気の日における毎時観測の結果によると、海塩粒子の重力による降下が最小になる時刻である。なお、雨中の観測は雨傘の下で行った。試薬フィルム面上に捕集された海塩粒子の 1 例を Fig. 1 に示す。

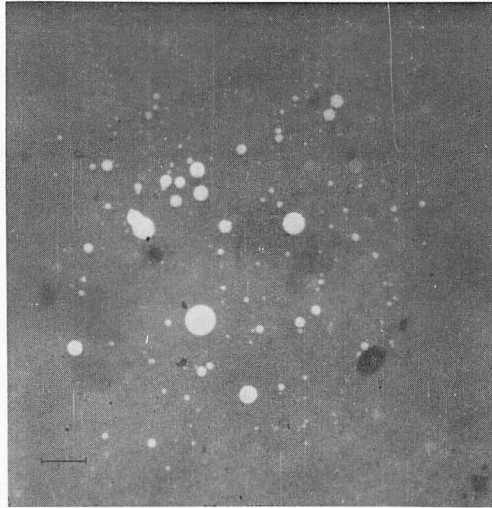


Fig. 1. Example of the sampling surface with white circular spots developed by sea-salt particles. Sampling at 14:00—14:15, 29th Aug., 1963. The scale indicates 100  $\mu$ .

この観測では、個数濃度算出のため選び出した資料は、4 l、6 l など吸引空気体積の大きいものが多かったので、すべて、4 l の空気を吸引したときの粒子個数に換算した（粒子保留係数 0.33, Toba と Tanaka, 1967）。従って、実際の個数濃度は、これらの値を約 3 倍にしたものに相当する。

## 3. 鹿児島における海塩粒子個数濃度変化の一般的傾向

### 3.1. 海塩粒子個数濃度の変化と気象状況

Fig. 2 に、鹿児島において、13 カ月にわたって観測された 331 回の海塩粒子について、乾燥した粒子の質量（塩質量） $m$  が  $1.9 \times 10^{-11}$  gm ( $m$  を  $10^{-12}$  gm 単位で表わして、 $\log m = 0.5$ ) 以上のものの個数濃度を示した。また、同図中に、鹿児島上空約 1,500 m (850 mb 面) における 8 時 30 分と 14 時 30 分の 2 回の観測の平均風速、14 時 30 分における風向、そして日降水量の 3 つの気象要素を記入した。図中に記入された風向、風速は、海塩粒子の生成に関係ある海上での風の強さ、および、海塩粒子が輸送されてくる方向の指標となり、降水量は、海塩粒子が降水によって洗い

落されるのを知る目安となる。図に明らかなように、海塩粒子個数濃度の日々の変化は、きわめて大きく、風向、風速、日降水量などの個々の気象要素との関係は、一見しただけでは見いだしがた。田中 (1964) は、海塩粒子共同観測の京都における観測結果について解析し、海塩粒子個数濃度の日々の変化の大なることと、降水によって、個数濃度の減少がみられることを報告している。また、Toba と Tanaka (1963) は、京都における冬季の夜間、海塩粒子の重力による降下量と米子上空 1,500 m の風速との間に相関のあることを見出したが、これは、夜間の全降下量であり、しかも、冬季の風向がほぼ一定している時期に限られていたためと考えられる。海塩粒子が、発生源の海洋から陸地の 1 点に輸送されてくる間、種々の要因によって変化するものと考えられるので、先ず、気象条件をより大きな規模で考え、天候の状況などで、海塩粒子個数濃度に大小がみられるかどうかを検討する。各月、各旬の気象状況は、鹿児島県気象月報の気象概況を参照し、また、毎日の天気図を調べ、鹿児島の天気に関係した低気圧、前線、台風、高気圧を、Fig. 2 の中に、それぞれ、L, F, T, H の文字で記入した。以下、各月ごとに、海塩粒子個数濃度の大小と気象状況について概観する。

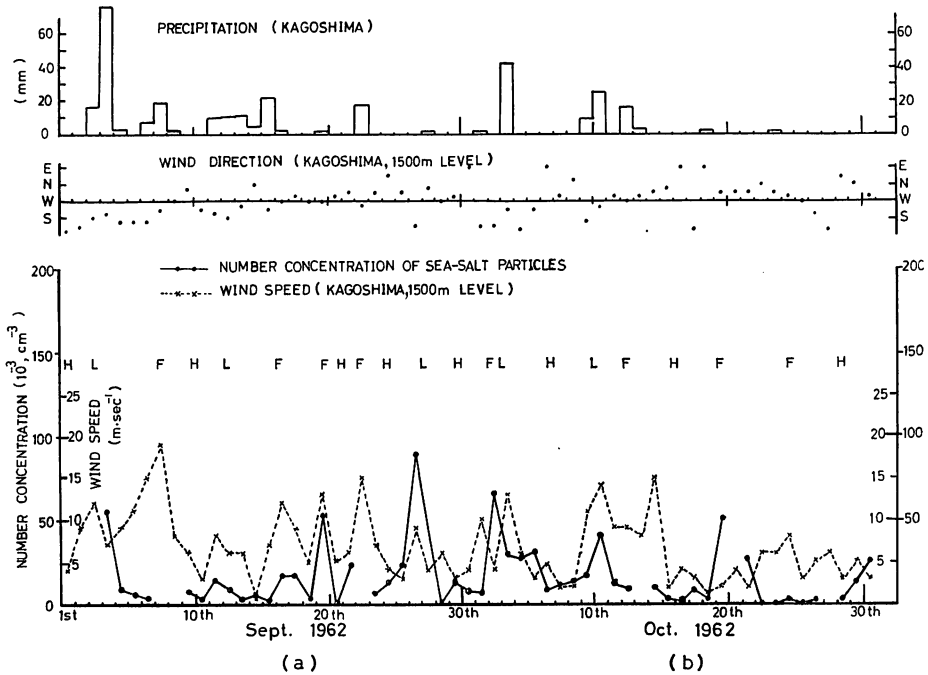
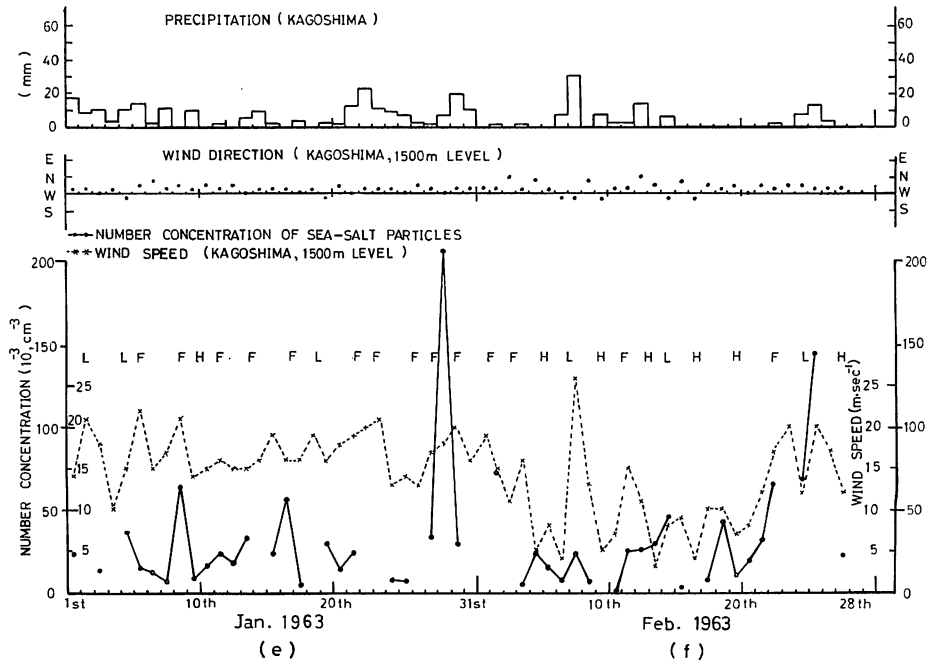
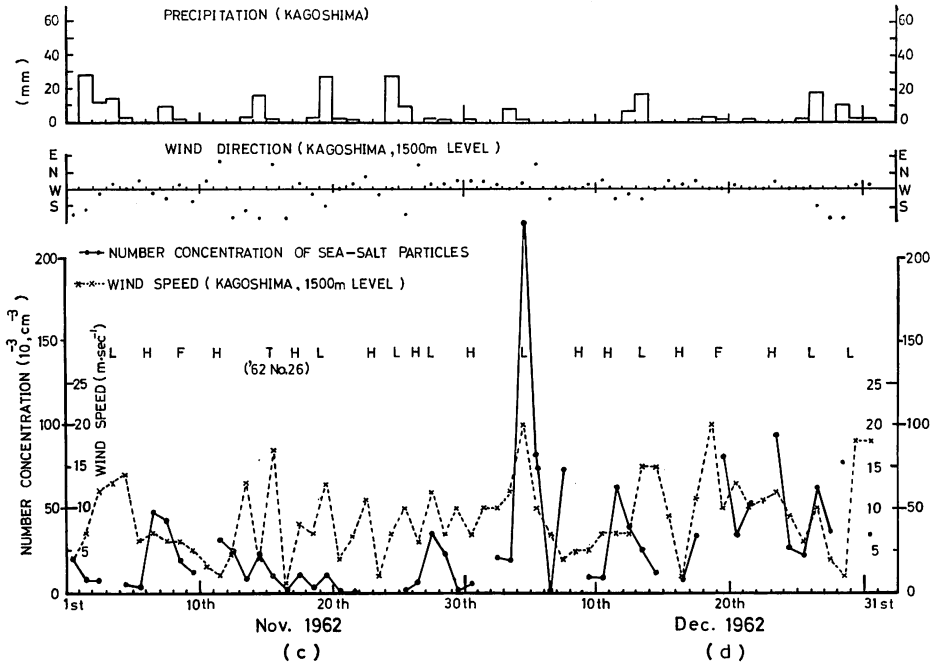
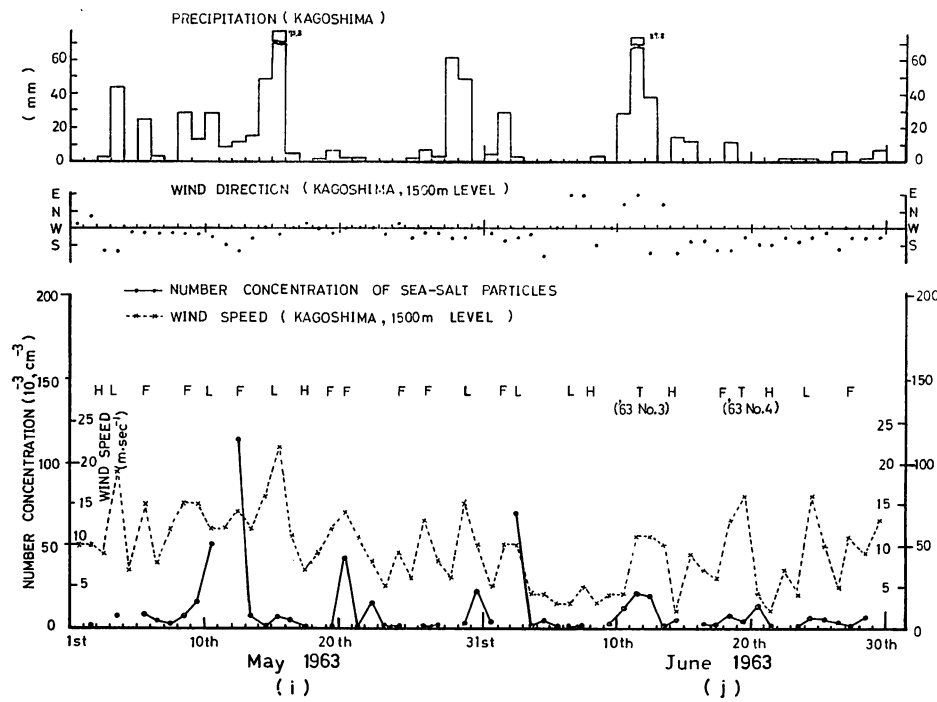
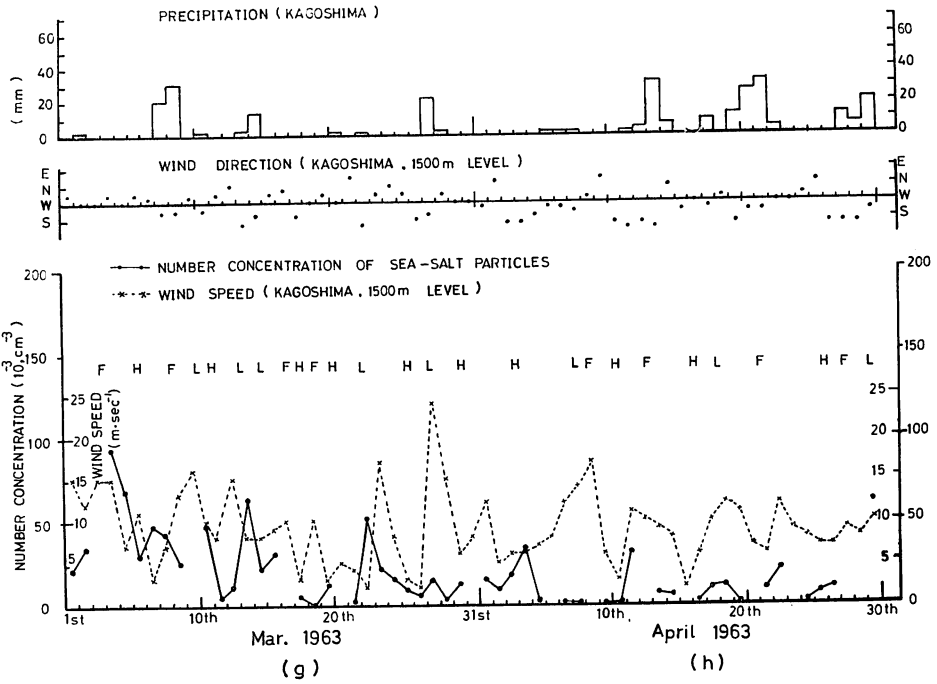
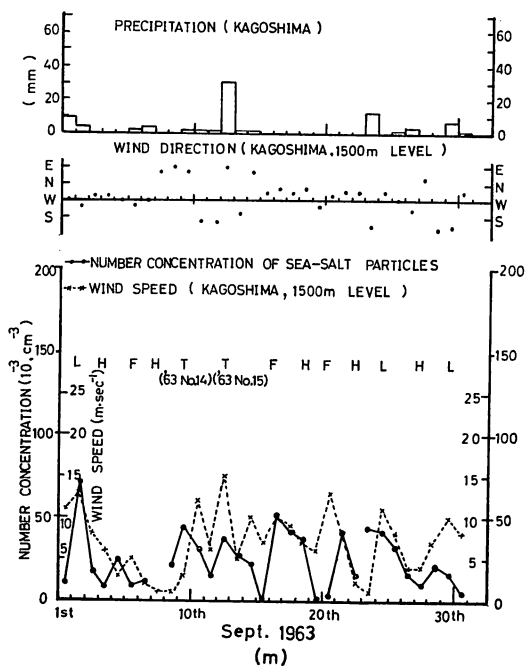
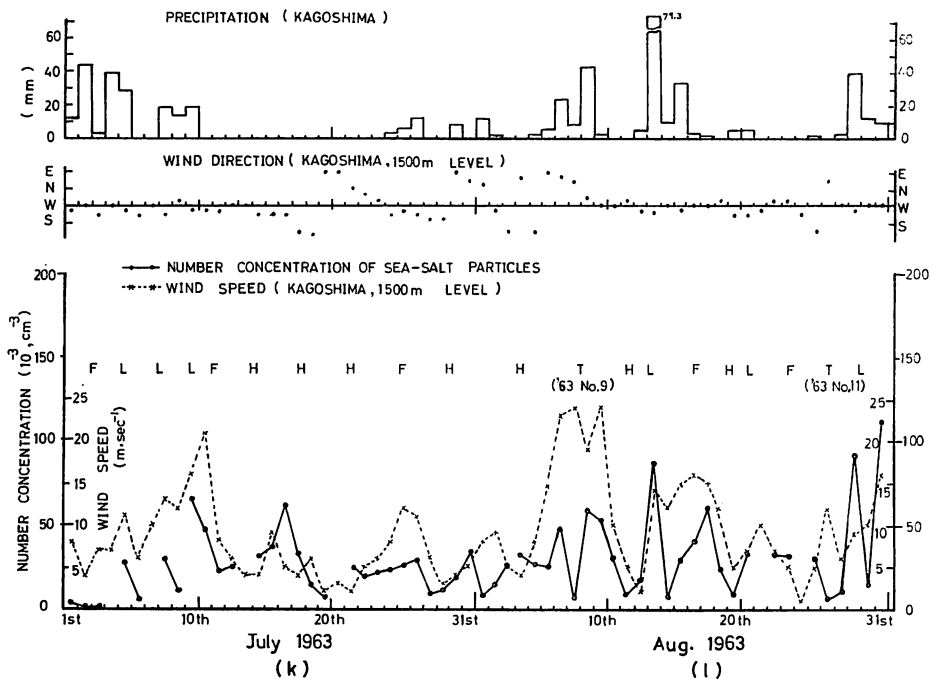


Fig. 2. Number concentration of sea-salt particles of  $\log m > 0.5$  in Kagoshima, wind speed and wind direction at about 1500 m level above Kagoshima, and daily precipitation in Kagoshima. Capital letters. L: cyclone, F: front, H: anticyclone, T: typhoon.







## (a) 1962年9月

4日、海塩粒子個数濃度に、高濃度がみられるが、低気圧が通過した日にあたる。この外は、上旬、下旬とも個数濃度低く、また、日々の変化は小さい。この期間は、前線が停滞し、雨天が続く、風速も弱い日が続いた。下旬、20日と27日に、高濃度がみられるが、これらの日は、前線、低気圧の通過がみられ、雨量は比較的少ない日である。

## (b) 1962年10月

3日、11日、20日に高濃度がみられるが、いずれも低気圧、あるいは、前線が通過している。この外は、上旬の晴天続き、中旬の秋雨前線による長雨、そして、下旬の秋晴れの時は、個数濃度低く、日々の変化も小さい。

## (c) 1962年11月

7日に高濃度がみられるが、この日は、低気圧通過後の高気圧におおわれた日である。28日の高濃度は、低気圧が接近している。この外にも、低気圧、前線が接近通過しており、中旬には、台風の影響により風速が増大したが、高濃度はみられない。11月は、風速が比較的弱く、雨天の日が多い。

## (d) 1962年12月

12月は、前3カ月にくらべ高濃度の日が多く、日々の変化が大きい。気圧配置は、冬型に近づき、風向は、ほぼ一定になっている。高濃度は、低気圧、前線の通過前後に多くみられるが、大陸高気圧が張り出した時も高濃度がみられる。5日は、本観測期間中で最高濃度を示している。この日は、低気圧が通過し、西北西の強風が吹き、東支那海は大荒れの日である。

## (e) 1963年1月

1月は、12月にくらべ冬型の気圧配置強く、前線がたびたび通過し、北北西から西北西の強い季節風が吹き続き、雪の日が多い。今月の降雪量は、平年の3～4倍である。海塩粒子個数濃度は、12月にくらべ、大きな日々の変化はみられない。9日と17日に高濃度がみられるが、これらの日は、降雪の無い日であり、また、29日に個数濃度の急増がみられるが、この日は、下旬のうちで唯一の降雪の無い日にあたる。

## (f) 1963年2月

2日に高濃度がみられるが、冬型気圧配置強く、前線が通過し、小雪の日である。その後は、14日頃まで個数濃度に大きな変化はみられない。15日の高濃度の時は、低気圧が通過している。23日の高濃度は、春一番の時であり、26日は、冬型の気圧配置が再び強まり、低気圧が通過している。

## (g) 1963年3月

3月に入り、天気は、周期的に変わり、風向、風速とも大きく変化している。4日、5日に個数濃度の増加がみられるが、前日に前線が通過している。11日、14日、23日の高濃度の日は、低気圧が接近している。28日は、低気圧が通過しているが、個数濃度は低い。この日の雨量は、20 mm以上である。

## (h) 1963年4月

4月は、著しい高濃度の日はなく、また、個数濃度に大きな日々の変化はない。上旬、下旬は、高気圧による晴天と前線の影響による悪い天気を繰り返し、中旬は、ほとんど雨天である。

## (i) 1963年5月

11日、13日に高濃度がみられる外、個数濃度は、全般的に低い。5月は、前線が停滞し雨の日が

多く、はしり梅雨のような天気が続いている。11日、13日の高濃度の日は、前線を低気圧の通過があり、雨量の少ない日である。

(j) 1963年6月

6月における個数濃度は、全般的に低い。天気状況は、梅雨前線による雨天、台風の接近による雨天、太平洋高気圧におおわれた晴天である。3日に唯1回、高濃度の日があるが、梅雨前線を低気圧が接近した時で、しかも、雨量の少ない時である。その外は、台風接近時に、僅かに濃度の増大がみられる。

(k) 1963年7月

上旬は、全般的に濃度低い。この旬は、梅雨前線が停滞し雨天が続いた。10日、11日に高濃度がみられるが、梅雨前線を低気圧が通過している。17日の高濃度は、夏型気圧配置で南西風のときである。その他は、低濃度で、天気は、太平洋高気圧におおわれた晴天である。

(l) 1963年8月

8月は、個数濃度の日々の変化が大きい。高濃度の時は、台風、低気圧、前線の接近通過がみられ、低濃度は、太平洋高気圧におおわれた晴天時にみられる。

(m) 1963年9月

9月も8月と同様、個数濃度の日々の変化は大きい。高濃度は、低気圧、前線が接近通過した時みられ、低濃度は、高気圧におおわれた時にみられる。上旬末から中旬にかけての台風接近時は、個数濃度に増大がみられる。

以上、各月ごとに、海塩粒子個数濃度と気象状況との関係を概観したが、高濃度は、低気圧、前線、台風等の接近通過時に多くみられ、低濃度は、秋雨、春雨、梅雨などの長雨時と、高気圧におおわれた晴天時に多くみられる。海上においても、Chaen (1971) によるインド洋上での巨大海塩粒子の観測結果によると、高濃度は、スコール、前線等が多くみられた海域で、しばしば観測され、低濃度は、風弱く、平穏な海域で観測された。降雪期は、長雨時にくらべ、前線の通過が多く、風速は大で、高濃度である。特に、この期の降雪の無い日は、降雪のある日の濃度にくらべ著しい高濃度を示す。Isono ら (1966) による、北陸地方における巨大海塩粒子の観測結果も、大量の降雪があるとき、海塩粒子濃度の減少がみられたことを報告している。

### 3.2. 海塩粒子個数濃度の季節変化

1年間の気象状況は、季節によって固有のものがあるため、海塩粒子個数濃度を月単位でみると、季節変化の存在が予想される。Fig. 3 に、月平均個数濃度、月平均風速と月平均雨量を示した。各月の観測日数は、最低が1963年4月の22日、最高が1963年8月の29日とひらきはあがるが、各月の平均個数濃度は、冬季と夏季に高濃度になり、晩春から初夏にかけてと、秋季が低濃度になる季節変化を示している。これは、各月ごとに概観してきた気象状況から説明される。すなわち、冬季は、風向がほぼ一定で、かつ、風速大で、大きな低気圧、前線の通過が多い。夏季は、台風の影響であり、晩春から初夏にかけてと、秋季は、雨量が多かったためである。Toba と Tanaka (1965) は、京都において、1962年から1965年までの3年間、海塩粒子の沈降を観測し、その降水量は、冬季に大で、夏季に小になる季節変化のあることを見出した。本結果では、夏季が冬季に次いで、高濃度になっているが、夏季から秋季にかけては、1962年9月と1963年9月の濃度と気象状況にみられるように、長雨が続くか、晴天が続くか、また、台風が来襲するかにより、個数濃度に大小があらわれると考えられる。各月平均個数濃度と月平均風速、月平均雨量との関係は、Fig.



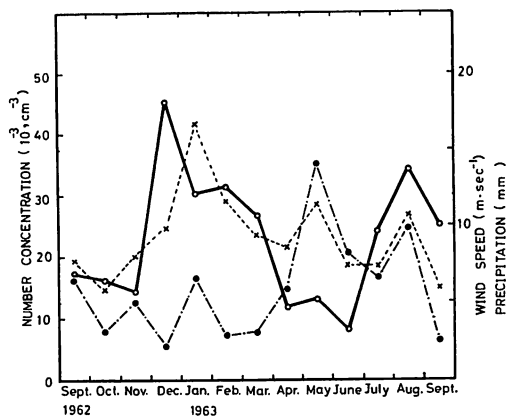


Fig. 3. Seasonal variation of monthly mean number concentration of sea-salt particles of  $\log m > 0.5$  (—○—), monthly mean wind speed (---x---) and monthly mean precipitation (—●—).

3 にみられるように、最高濃度の月である12月は、風速は  $9.9 \text{ m/sec}$  で、13カ月平均風速  $9.3 \text{ m/sec}$  より僅かに大であるが、雨量は  $2.1 \text{ mm}$  で、13カ月のうち最低を示している。最低濃度の月である6月は、風速は  $7.4 \text{ m/sec}$  で、13カ月平均風速より弱く、かつ、雨量は  $8.2 \text{ mm}$  で、5月の  $14.0 \text{ mm}$ 、8月の  $9.8 \text{ mm}$  に次いで多く、12月の約4倍を示している。このように、月単位で見ると、その月の平均個数濃度の大小は、気象要素の面からでは、風速の強弱と雨量の多寡とに関係があると考えられる。

### 3.3. 低気圧と前線、台風、長雨時、降雪期、晴天時の塩質量分布

海塩粒子個数濃度の変化に関係があるとみられる気象条件、低気圧と前線、台風、長雨、降雪、晴天時について、Table 1に、それぞれの気象条件の出現数、または、期間、観測日数、平均風速、平均雨量と平均個数濃度を示した。各気象条件の観測日数は、それぞれの気象条件の影響があると考えられる日についても加えた。個数濃度の最高は、低気圧と前線の接近通過時であり、次いで、台風、降雪、高気圧による晴天、最低が長雨時である。Table 1より、各気象条件の個数濃度の塩質量分布を Fig. 4 に示す。低気圧と前線の接近通過 (LとF) は、各質量にわたって最高濃度を示している。その他の気象条件では、おおよそ、 $\log m = 1.75$  を境にして、小さい塩質量のもので、台風 (T)、降雪 (S) の順に低濃度になり、長雨 (R) と晴天 (H) は同程度で最低濃度になっている。大きな塩質量のものでは、降雪、次いで台風と晴天時がほぼ同程度、最低濃度が長雨時となっている。低気圧、前線による高濃度は、強い風により多量に生成された海塩粒子が濃縮された形で運ばれてくるためと考えられる。降雪期に大きな塩質量のものの濃度が高いのは、冬季の強い季節風で海塩粒子が多量に生成され、かつ、雨量が台風などに比較して少ないためと考えられる。長雨時に各塩質量にわたって個数濃度が低いのは、風速が弱く、海洋での海塩粒子生成も少なく、かつ、多量の降水により、海塩粒子が洗い落されてしまうと考えられる。

Table 1. Several characteristic meteorological conditions and the mean number concentration of sea-salt particles. Values of number concentration are normalized as in the case where 4l of air is impacted, and where the retention factor is about 0.33.

Meteorological conditions				Number concentration of sea-salt particles ( $10^{-3}$ , $\text{cm}^{-3}$ )				
Kinds	Number of occurrence or period	No. of obs. (days)	Mean wind speed (m/sec)	Mean precip. (mm)	Total	$\log m=1$	$\log m=2$	$\log m=3$
Cyclone or front approach, passage (L and F)	43 (except period of rainfall and snowfall)	97	10.0	6.8	36.6	9.4 6.6 5.6 4.5 3.6 2.5 1.8 1.4 0.7 0.5		
Typhoon approach, passage (T)	7	25	11.4	12.3	24.3	6.9 4.7 5.1 3.0 1.7 1.0 0.9 0.5 0.3 0.2		
Period of rainfall (R)	early and mid Sept., mid Oct. in 1962; May, early and late June, early July 1963	69	9.9	11.9	15.0	3.6 3.0 2.8 2.3 1.6 0.7 0.5 0.3 0.2		
Period of snowfall (S)	Jan.5—Feb. 4, 1963 (except the day of no snowfall in the period)	19	16.6	5.5	21.7	4.5 3.7 3.0 3.2 2.2 2.0 1.4 0.9 0.5 0.3		
Partly cloudy due to anticyclone (H)	51	109	6.0	—	15.9	3.5 2.7 2.8 2.2 1.8 1.1 0.9 0.5 0.4 0.1		
Mean number concentration of total observations, 331 days					23.7	5.7 4.3 3.9 3.1 2.3 1.6 1.3 0.8 0.5 0.2		

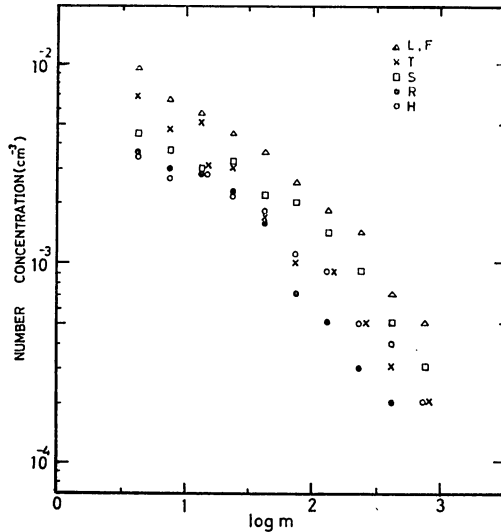


Fig. 4. Mean salt-mass distributions of sea-salt particles in several characteristic meteorological conditions. Values are entered for the ranges of  $\log m=0.25$ . Symbols: triangles, cyclone and front (L, F); crosses, typhoon (T); squares, snow (S); black circles, rain (R); circles, anticyclone (H).

#### 4. 低気圧、前線の接近通過と個数濃度の増加

前章までに、海塩粒子と気象条件との関係を検討してきた結果、低気圧、前線の接近通過時に個数濃度の増加が多くみられることがわかった。本章において、低気圧、前線の接近通過と海塩粒子濃度の増加との関係について、更に検討する。方法として、低気圧、前線が接近通過する時は、風速が増加するものとして、風速が最大になった日の個数濃度が、その前日、あるいは、前々日（前日が欠測の場合）の濃度に対する増加の状態を調べた。Fig. 2 に記入されているように、本観測期間中の低気圧、前線の接近通過（L と F）の回数は、13 カ月で 92 回である。このうち風速が最大になった日、あるいは、その前日、前々日のいずれかに欠測のあるものが 14 回ある。従って、78 回について検討した。風速が最大になった日の個数濃度が、前日、あるいは、前々日のそれにくらべ増加したものが 55 回、増加のみられなかったものが 23 回であり、百分率で示せば、増加のみられたもの 71%，増加のみられなかったもの 29% である。これらについて、風速が最大になった日の個数濃度が、前日、あるいは、前々日のそれよりの増加率  $\Delta\theta/\theta_Y (\Delta\theta = \theta_T - \theta_Y; \theta_T, \theta_Y$  は、それぞれ風速最大日と、その前日、あるいは、前々日の個数濃度) と風速の増加率  $\Delta u/u_Y (\Delta u = u_T - u_Y; u_T, u_Y$  は、それぞれ風速最大日と、その前日、あるいは、前々日の風速) を求めた。そして、Fig. 5 に 78 回の観測について、それぞれの  $\Delta\theta/\theta_Y$  と  $\Delta u/u_Y$  とで点を記入した。図にみられるように、風速が最大になった日に、個数濃度の増加のみられなかったものも含めて、 $\Delta\theta/\theta_Y$  と  $\Delta u/u_Y$  による点は、 $\Delta u/u_Y$  が 2 以下、 $\Delta\theta/\theta_Y$  が 5 以下の範囲に多くみられる。この範囲以外は、 $\Delta u/u_Y$  は小さい値だが、 $\Delta\theta/\theta_Y$  が大きな値をとるものと、 $\Delta u/u_Y$  は大きな値であるにもかかわらず、 $\Delta\theta/\theta_Y$  が小さな値をとるものとに分けられる。風速が最大になった日に、個数濃度の増加がみられなかった 23 回の

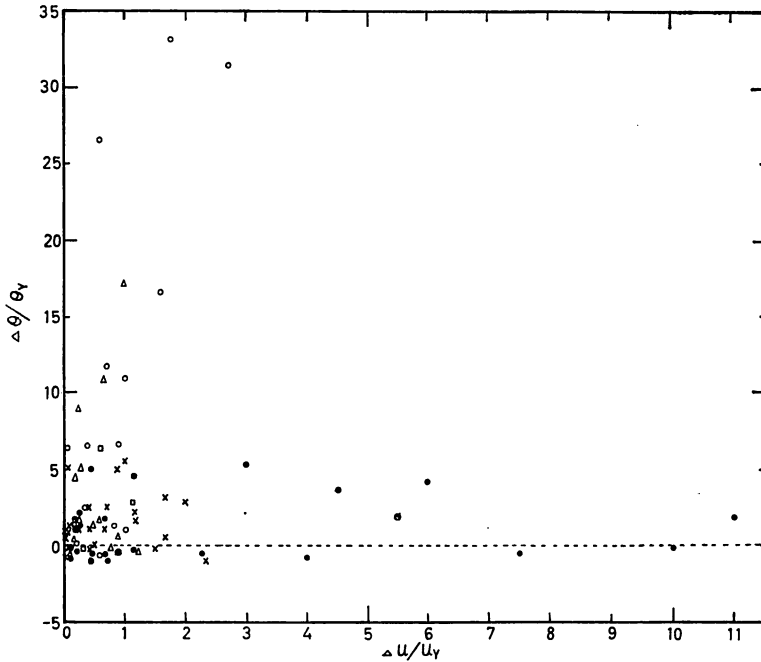


Fig. 5. Relation between  $\Delta\theta/\theta_\gamma$  and  $\Delta u/u_\gamma$ . Symbols are listed in Table 2.

$\Delta\theta/\theta_\gamma$  の値は、全部 0 から -1 の範囲にあるから、濃度の著しい減少はなかったことを示している。

次いで、風向と雨量とを用い、 $\Delta\theta/\theta_\gamma$  と  $\Delta u/u_\gamma$  による点の分類を行った。まず、風向により、風速が最大になった日に、海塩粒子が輸送されてくる海岸から観測点までの陸上距離（風の陸上吹送距離）が、前日、前々日のそれに比較し増大したか、減少したか、また、変化しない、の3つに分けた。更に、これらを雨量によって、風速が最大になった日の雨量が、前日、前々日に比較し、増加したか、減少したか、によって分けた。それらを Table 2 に観測回数で示した。（ ）内の数字は、風速が最大になった日に、濃度の増加がみられなかったものである。また、この分類を記号で

Table 2. Number of observations under the meteorological conditions of cyclone and front classified according to the change of conditions of distance from coast and the precipitation. The values entered in parentheses indicate the number of observations in the case where  $\Delta\theta-\theta_\gamma$  is negative value.

Distance \ Precip.	Distance	Increase	Decrease	Not change	Total
	Increase	●	19 (10)	× 24 (4)	⊗ 6 (3)
Decrease	△	12 (3)	○ 15 (2)	□ 3 (1)	30 (6)
Total		31 (13)	39 (6)	9 (4)	78 (23)

表わし、すでに、Fig. 5 には、その記号で記入してある。78回の観測のうち、風速が最大になった日と前日の雨量が同じであるものが3回あるが、この時の雨量は、いずれも0.0 mmであり、雨量増加のものに加えた。Fig. 5 と Table 2 とにより、風速が最大になった日に、個数濃度の増加がみられたものについてみると、 $\Delta u/u_T$  が2以下、 $\Delta \theta/\theta_T$  が5以下の範囲には、風速が最大になった日の陸上吹送距離は、前日、前々日に比較し減少したが、雨量が増加しているもの（記号、×）が多い。この範囲以外のもので、 $\Delta u/u_T$  が小さく、 $\Delta \theta/\theta_T$  が大きな値をとるものは、距離、雨量ともに減少したもの（記号、○）が多く、次いで、距離は増加したが、雨量が減少したもの（記号、△）が含まれる。これらに対し、 $\Delta u/u_T$  は大きな値をとるにもかかわらず、 $\Delta \theta/\theta_T$  が小さな値をとるものは、距離、雨量ともに増加したもの（記号、●）で、唯1回、距離は変化せず、雨量増加のもの（記号、⊗）がある。風速が最大になった日に濃度の増加のみられなかったものは、距離、雨量ともに増加したもの（記号、●）が約半数をしめており、次いで、距離は減少したが、雨量が増加したもの（記号、×）である。

以上のように、低気圧、前線の接近通過による濃度増加の状況は、風速が最大になった日の風の陸上吹送距離の、前日、前々日に対する増減、および、同じく雨量の増減に多く依存していると考えられる。なお、 $\Delta u/u_T$  が大きな値をとるにもかかわらず、濃度増加率の小さい場合、前日、前々日の風速をみると、 $\Delta \theta/\theta_T$  が負になる場合を含めて、風速が4 m/sec 以下にかぎられている。このことは、前日、前々日の風速が弱く、低気圧、前線の接近通過による風速の増加が著しい場合は、降水量も多く、 $\Delta \theta/\theta_T$  は、小さい値か、あるいは、負の値になることを示している。従って、本観測結果では、 $\Delta u/u_T$  は小さな値で、 $\Delta \theta/\theta_T$  が大きな値をとるものと、 $\Delta u/u_T$  は大きな値であるが、 $\Delta \theta/\theta_T$  が小さな値をとるものとの中間に相当する関係は見出されていない。

## 5. 海上から陸上への海塩粒子の輸送

### 5.1. 16方位別の海塩粒子個数濃度

陸上の1点における海塩粒子個数濃度は、気象条件の外に、前章でみられたように、海岸から観測点までの陸上吹送距離に関係すると考えられる。本研究の観測地点である鹿児島島の周囲は、Fig. 6の地図にみられるように、各方位で、観測点から海岸までの距離がことなっている。そこで、全観測結果を、観測時の風向（14時30分観測の約1,500 m上空の風向）により、16方位に分け、それぞれの方位ごとに、最大、最小、そして平均の個数濃度を算出し、Fig. 7に示した。各方位の距離は、観測点から外洋までの陸上距離であり、内湾を含む方位のそれは、かりに湾の部分を引きいたものを示した。また、それぞれの方位に島がある場合、その陸上距離も考慮した。図から明らかのように、風向によって個数濃度に差がみられる。すなわち、観測点から外洋までの陸上距離に関係がある。最大個数濃度の方位による差異は、観測された回数による出現頻度にも関係すると思われるが、方位別の最大、平均個数濃度に3つの山がみとめられる。その1つは、NNEからENEの方位で、桜島以北の鹿児島湾を除いては、観測点から外洋までの距離は、他の方位にくらべ長い。陸地をみのNNE方位と桜島が入るE方位の個数濃度は、鹿児島湾上を通るNE、ENE方位のそれより小さい。次の山は、ESEからSにわたる方位である。この方位の陸地は、大隅半島、薩摩半島の一部と島がある。鹿児島湾上を通るESE、SE、SSE、S方位の個数濃度は、EとSSW方位のそれより大である。次の山は、SSWからNNWにわたる方位である。この方位には、内湾は無く、薩摩半島をへだてて外洋と接している。他の方位にくらべ、外洋まで

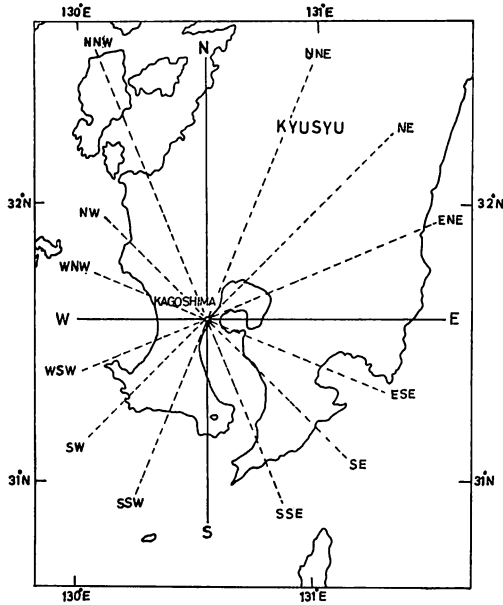


Fig. 6. Map showing the point of observation (Kagoshima) and 16 directions.

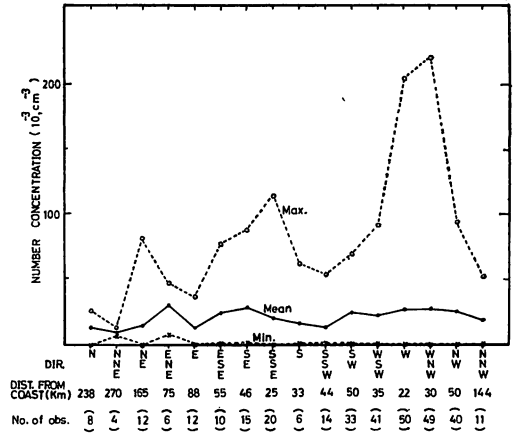


Fig. 7. Maximum, mean and minimum number concentrations of sea-salt particles of log  $m > 0.5$  for 16 directions.

の距離は短い。また、この方位群の中で、W, WNW 方位は、外洋までの距離が短かく、個数濃度は大きい、以上のように、海塩粒子濃度は、粒子が輸送されてくる陸上距離の長短に関係がみられ、また、内湾の影響もうかがえる。

### 5.2. 本観測結果に基づく捕捉落下比 $r$ の推定

海洋から陸上へ輸送された海塩粒子が、内陸へ進むにつれ、地表付近での濃度減少を説明するものとして、Toba (1965), Tanaka (1966), 鳥羽・田中 (1967) による理論モデルがある。すなわち、地面での粒子のシンク (海面での生成に対し、地表面に粒子が吸い込まれる意味) は、降水の無い場合、粒子の重力による落下のシンク  $w\theta_0$  ( $w$  は粒子の落下速度,  $\theta_0$  は地面付近での個数濃度) の他に、空気が地表近くの樹木や建物等の間を通り抜けていく際に、粒子が地表物体に捕捉されて生ずるシンク  $\lambda u\theta_0$  ( $\lambda$  は捕捉係数,  $u$  は風速) を加えたもので表わされる。この両者の比を  $r = \lambda u / w$  (捕捉落下比) といい、内陸での海塩粒子濃度分布を規定するのに重要な値としている。Tanaka (1966) は、 $\lambda u\theta_0$  を地表面の境界条件として、粒子の拡散方程式の解を得た。その結果、地表の海塩粒子濃度を表わす無次元数  $\theta_0 = \theta / \theta_{00}$  ( $\theta_{00}$  は海岸での地面付近の個数濃度) は、距離を表わす無次元数  $\xi = w^2 x / 4 D u$  ( $x$  は海岸からの距離,  $D$  は渦動拡散係数) とともに減少し、また、 $r$  比が大きくなれば、濃度は、大いに小さくなることを見出した。  $r$  比の値を算出するため、田中・鳥羽 (1969), 田中 (1970) は、海塩粒子の鉛直分布の測定と、海岸近くでの水平分布の測定を行い、風速が 6 m/sec のとき  $r$  比を 10~30 であるとした。

本観測では、外洋海岸での観測から次第に内陸へ進む海塩粒子濃度の水平分布観測は、行っていないが、観測点から外洋までの陸上距離が各方位でことなることから、水平分布に相当するものを

求め、海岸での個数濃度として、洋上の濃度の値を代用して、 $\gamma$  比の推定を行った。用いたのは、高気圧による晴天時の結果のみである。16方位のうち、桜島以南の鹿児島湾に面した方位、S、SSE、SEは除外した。風速は、1,500 m におけるものを用い、2, 3, 4 m/sec と 5, 6, 7 m/sec の2つに分けた。それぞれの方角ごとに2回から数回の濃度測定値があり、塩質量が  $\log m = 1.0 \sim 2.0$  のものを各方位ごとに平均した値を示したのが、Fig. 8 である。図中に示されていない

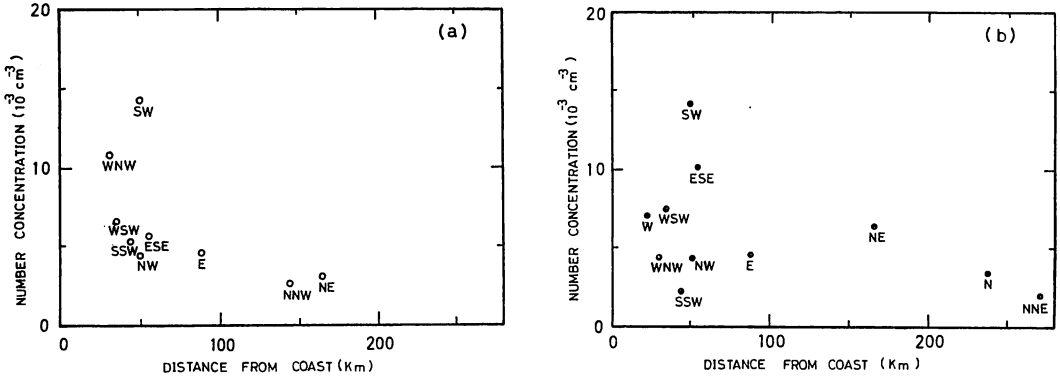


Fig. 8. Mean number concentration of sea-salt particles of  $1.0 < \log m < 2.0$  for different wind directions under the meteorological condition of anti-cyclone, wind speed of 2-4 m/sec (a), and of 5-7 m/sec (b).

Table 3. Values of  $\xi$ ,  $\theta_0$ ,  $\theta_{00}$  in the wind speed of 2-4 m/sec (a) and 5-7 m/sec (b). Values of  $\theta_{00}$  is one determined over the ocean by M. Chaen (1971). Values of  $\theta_0$  and  $\theta_{00}$  are normalized as in the case where 4 l of air is impacted, and where the retention factor is about 0.33.

(a)					
Direction	Dist. from coast (Km)	$\xi$	$\theta_0$ $1.0 < \log m < 2.0$	$\theta_0 = \frac{\theta_0}{\theta_{00}}$	$\theta_{00}$ $1.0 < \log m < 2.0$
NE	165	$1.4 \times 10^{-1}$	$3.04 \times 10^{-3}$	$1.22 \times 10^{-1}$	9m
E	88	$7.3 \times 10^{-2}$	4.55 "	1.83 "	$22.34 \times 10^{-3}$
ESE	55	$4.6 \times 10^{-2}$	5.50 "	2.21 "	4m
SSW	44	$3.7 \times 10^{-2}$	5.10 "	2.05 "	$25.33 \times 10^{-3}$
SW	50	$4.2 \times 10^{-2}$	14.26 "	5.73 "	2m
WSW	35	$2.9 \times 10^{-2}$	6.00 "	2.41 "	$27.03 \times 10^{-3}$
WNW	30	$2.5 \times 10^{-2}$	10.72 "	4.31 "	mean
NW	50	$4.2 \times 10^{-2}$	4.35 "	1.75 "	$24.90 \times 10^{-3}$
NNW	144	$1.2 \times 10^{-1}$	2.60 "	1.04 "	Wind force 3
(b)					
Direction	Dist. from coast (Km)	$\xi$	$\theta_0$ $1.0 < \log m < 2.0$	$\theta_0 = \frac{\theta_0}{\theta_{00}}$	$\theta_{00}$ $1.0 < \log m < 2.0$
N	238	$9.9 \times 10^{-2}$	$3.35 \times 10^{-3}$	$0.96 \times 10^{-1}$	9m
NNE	270	$1.3 \times 10^{-1}$	1.90 "	0.54 "	$31.91 \times 10^{-3}$
NE	165	$6.9 \times 10^{-2}$	6.30 "	1.80 "	4m
E	88	$3.7 \times 10^{-2}$	4.50 "	1.29 "	$35.71 \times 10^{-3}$
ESE	55	$2.3 \times 10^{-2}$	10.05 "	2.88 "	2m
SSW	44	$1.8 \times 10^{-2}$	2.22 "	0.64 "	$37.20 \times 10^{-3}$
SW	50	$2.1 \times 10^{-2}$	14.13 "	4.04 "	mean
WSW	35	$1.5 \times 10^{-2}$	7.40 "	2.12 "	$34.94 \times 10^{-3}$
W	22	$9.2 \times 10^{-3}$	6.96 "	1.99 "	Wind force 4
WNW	30	$1.3 \times 10^{-2}$	4.32 "	1.24 "	
NW	50	$2.1 \times 10^{-2}$	4.25 "	1.22 "	

方位は、前記3方位と測定値の無かった方位である。  $\xi = w^2 x / 4Du$  の計算は、  $w/D = \alpha$  として、田中 (1970) が採用した  $\log m = 1.0 \sim 2.0$  のものの  $10^{-5}$  を、  $w$  として、  $D = 10^5$  のときの値である1を用いた。  $u$  としては、2, 3, 4 m/sec と 5, 6, 7 m/sec のそれぞれの中央値、3 m/sec と 6 m/sec とした。  $\theta_0 = \theta / \theta_{00}$  の計算は、  $\theta_{00}$  として、Chaen (1971) が洋上の海塩粒子観測から得た、降水時を除外し、さらに、風速変化の小さい時の、風力3と4の2, 4, 9 m 3高度の平均濃度 (吸引空気体積を4lのときに換算したもの) をそれぞれ、3 m/sec と 6 m/sec のときのものとした。 Table 3 に以上の値で計算した  $\xi$  と  $\theta_0$  の値、そして、  $\theta_0$  とそれに対する洋上の濃度を示す。このようにして求めた  $\theta_0$  と  $\xi$  の値とで、理論モデルより計算された、  $r$  をパラメータとした  $\theta_0$  と  $\xi$  の図 (田中, 1970) に点を記入した (Fig. 9)。図にみられるように、  $u = 3$  m/sec の

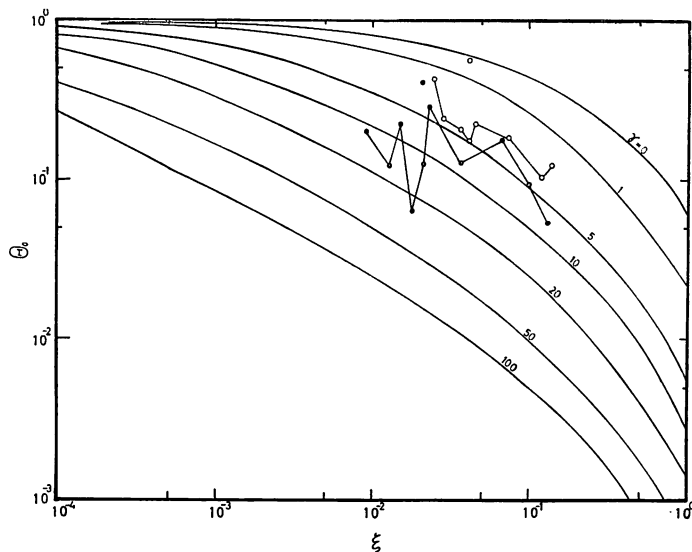


Fig. 9. Observed normalized horizontal distribution of the number concentration of sea-salt particles from Fig. 8. Curves are calculated from Tanaka's theoretical model.

- :  $1.0 < \log m < 2.0$ , wind speed 3 m/sec;
- :  $1.0 < \log m < 2.0$ , wind speed 6 m/sec.

ときのもは、  $r = 2 \sim 5$  のところにみられる。  $u = 6$  m/sec のものは、3 m/sec のときに比較し変化巾が大きく、  $r$  は  $3 \sim 20$  に及んでいるが、田中 (1970) が海岸近くでの海塩粒子水平分布観測から求めた値に近いものが得られた。  $r$  比の変化巾が大きいのは、用いた資料が同時観測のものでないことや、観測点周囲の地形の複雑性によるものと考えられる。

## 6. 要 約

陸上の1地点 (鹿児島) において、巨大海塩粒子の観測を、1962年9月4日から1963年10月1日までの13ヵ月間にわたって実施し、次の結果を見出した。

海塩粒子個数濃度は、低気圧、前線の接近通過時、次いで、台風時に高濃度が多く観測され、高気圧による晴天時と長雨時に低濃度になる。降雪期は、晴天時、長雨時に比較して高濃度である。特に、この期の降雪の無い日は、著しい高濃度を示す。



月平均個数濃度には、冬季と夏季に高濃度になり、晩春から初夏にかけてと秋季の長雨時に低濃度になる季節変化がみられる。

海塩粒子塩質量分布は、低気圧、前線の接近通過時に最高濃度であり、個数濃度についての大小順と同様な順序で各気象条件に従って低濃度になっている。但し、降雪期は、おおよそ  $\log m=1.75$  より大きな塩質量で、低気圧、前線の接近通過の場合に次いで高濃度を示している。

低気圧、前線の接近通過による個数濃度増加の状況は、風速が最大になった日の、風の陸上吹送距離の、前日、前々日に対する増減と、同じく雨量の増減に多く依存している。

洋上での観測結果 (Chaen, 1971) を基礎に、晴天時の陸上の捕捉落下比  $\gamma$  を求めると、 $\log m=1.0\sim 2.0$  の塩質量について、風速 2, 3, 4 m/sec のとき 2~5, 風速 5, 6, 7 m/sec のとき 3~20 であり、田中 (1970) が日本海沿岸で求めた値に近いものが得られた。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた本学高橋淳雄教授、東北大学鳥羽良明教授に心から感謝致します。また、本研究の開始時からご激励を下さっている東海大学海洋学部長速水頌一郎博士、研究の途上いろいろとお世話になった京都大学国司秀明教授、同防災研究所田中正昭氏にお礼申し上げます。高層気象資料の使用については、鹿児島地方気象台高層課の方々にご教示をいただいた、ここにお礼申し上げます。

## 文 献

- Chaen, M. (1971): Observations of the distribution of giant sea-salt particles in the sea-surface boundary layer, *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, **20**, (1), 55-72.
- Isono, K., M. Komabayashi, T. Takahashi and T. Gonda (1966): A physical study of solid precipitation from convective clouds over the sea: Part IV-Importance of giant sea-salt nuclei in formation of solid precipitation, *Jour. Met. Soc. Japan*, Ser. II, **44**, (6), 308-319.
- 田中正昭 (1964): 海塩核の観測, 京都大学大学院理学研究科修士論文.
- Tanaka, M. (1966): On the transport and distribution of giant sea-salt particles over land [I] Theoretical model, *Special Contr. Geoph. Inst. Kyoto Univ.*, **6**, 45-57.
- 田中正昭・鳥羽良明 (1969): 塩害に関する基礎的研究 (第3報) 海塩粒子の三次元分布の解析, 京都大学防災研究所年報 第12号B, 201-212.
- 田中正昭 (1970): 塩害に関する基礎的研究 (第4報) 海岸近くにおける海塩粒子の分布. 京都大学防災研究所年報 第13号B, 445-456.
- Toba, Y. and M. Tanaka (1963): Study on dry fallout and its distribution of giant sea-salt nuclei in Japan, *Jour. Met. Soc. Japan*, Ser. II, **41**, 135-144.
- Toba, Y. (1965): On the giant sea-salt particles in the atmosphere. I. General features of the distribution, *Tellus*, **17**, 131-145.
- Toba, Y. and M. Tanaka (1965): Dry fallout of sea-salt particles and its seasonal and diurnal variation, *Special Contr. Geoph. Inst. Kyoto Univ.*, **5**, 81-92.
- Toba, Y. and M. Tanaka (1967): Simple technique for the measurement of giant sea-salt particles by use of a hand-operated impactor and chloride reagent film, *Special Contr. Geoph. Inst. Kyoto Univ.*, **7**, 111-118.
- 鳥羽良明・田中正昭 (1967): 塩害に関する基礎的研究 (第1報) 海塩粒子の生成と陸上への輸送モデル, 京都大学防災研究所年報, 第10号B, 331-342.