

AMTEX '75 における沖縄本島辺土名海岸での 海塩粒子の観測結果—II

塩害防止林による海塩粒子の捕捉効果

茶 円 正 明*

Observations of Sea-Salt Particles at the Seashore of Hentona, Okinawa during the AMTEX '75—II

Impaction effect of Sea-Salt Particles by
Groves for Salt-Damage Prevention

Masaaki CHAEN*

Abstract

For the purpose of obtaining a impaction effect of sea-salt particles by groves for salt-damage prevention, observations of sea-salt particles were carried out at the seashore and the arable land between the groves, Hentona, Okinawa during AMTEX '75. It is found that there is a clear relation between the impaction effect and wind speed, that is, the ratio of the concentration at obs. spot 2 to that of obs. spot 1, θ_2/θ_1 decreases linearly with the wind speed on the $\log \theta_2/\theta_1-U_{10}$ diagram. The sedimentation of sea-salt particles, P , is expressed by the product of the concentration, θ , and the fall velocity, w , for the salt-mass class larger than $\log m=2$. Sedimentations of salt on the arable land between the groves are estimated.

1. ま え が き

AMTEX '75 で 鹿児島大学水産学部が観測所を設営した沖縄本島国頭村、辺土名、桃原海岸は、二重三重と塩害防止林（標柱に塩害防止林と記されてある）があり、冬季の強い季節風を防ぐには最適の場所であった。塩害防止林（以後、単に林と記す）の間ではそ菜やさとうきびの耕作が行なわれている。この林がどの程度海塩粒子の捕捉効果を持っているかを知ることに関心を抱いた。幸い AMTEX '75 で、太気海洋相互作用の研究に関連して、海岸での海塩粒子存在量を求める観測を行なったので（CHAEN, 1978）、この観測と並行して林間の2点で海塩粒子の観測を行なった。観測期間は1975年2月19日から28日までの10日間である。本報告はこの観測結果から林による海塩粒子の捕捉効果と林間の耕作地への降塩量（塩分沈降率）を求めたものであるが、海岸域海面で生成された海塩粒子がどの程度大気中へ運ばれて行くかを知る上にも役立つものと考えられる。

* 鹿児島大学水産学部海洋環境物理学研究室 (Laboratory of Physical Oceanography, Faculty of Fisheries, Kagoshima University)

観測期間中は沖縄県の多くの人々に大変お世話になった。観測所を設営した周辺の耕作地の人々には朝夕心暖まる援助を受けた。ここに記して深謝する次第である。本報告が沖縄県の農業と海岸地域の構築物等の塩害防止に少しでもお役に立てば幸いである。

2. 観測場所と観測の状況

海塩粒子の測定方法は、観測結果 I と、くわしくは CHAEN (1973) により記述されているので、ここでは観測場所と観測の状況について記す。海塩粒子観測点 (obs. spot) と海岸、林との位置関係を Fig. 1 に示す。また、林の写真を Fig. 2 に示す。林は主として沖縄地方に多い小高木のアダマンチよりなり樹木の茂みは濃い。

観測は、インパクトによる海塩粒子の捕集を、観測点 1, 2, 3 の順に行ない、全部の観測を終了するのに平均 15 分を要した。また、海塩粒子の重力による地表への落下、沈降率 (田中, 1970) を求めるために、径 7 cm, 高さ 6 cm の空カンの底に試薬フィルムを露出する方法を用いた。インパクトによる観測が 20 回、沈降率の観測が 6 回である。風速、相対湿度等は観測結果 I で用いたもので、観測点 2 と 3 では、これらの測定は行なわなかった。インパクトによって観測された海塩粒子濃度と気象資料は、観測結果 I の Table 1 に示されている。林に対する風向は、同じく Table 1 の column 8 に、林を示す点線に対して矢印で示さ

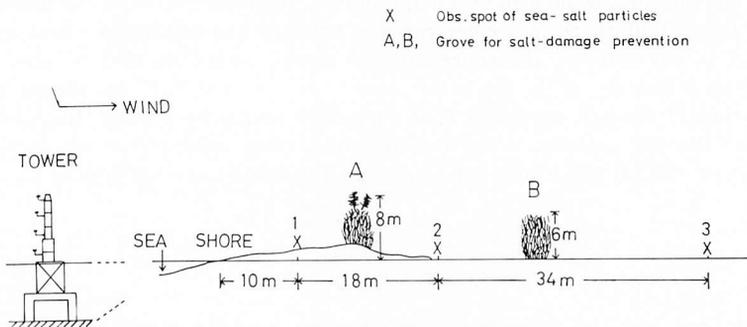


Fig. 1. Sketch of the sectional observation site at Hentona, Okinawa.



Fig. 2. Photographs of groves for salt-damage prevention, (A) and (B) in Fig. 1.

ている。風力3以上の場合、風は海からで林に対してほとんど直角に吹き込んでいる。沈降率の観測結果とその時の気象資料を本報告の Table 1 に示す。Run no. には ' 印を付した。Run no. の番号は、観測結果 I の Table 1 のインパクターの観測番号に対応するものである。

3. 塩害防止林通過後の海塩粒子濃度の減少

Fig. 3 にインパクターによる海塩粒子の塩質量分布の1例を示す、縦軸は海塩粒子濃度, θ , (海塩粒子個数 cm^{-3}) であり、横軸は海塩粒子の塩質量で、 10^{-12} gm を単位として表わしてある。観測点1 (海岸) では、各塩質量の海塩粒子とも観測点2, 3に比較し高濃度である。海塩粒子濃度は、観測点2, 3の順に減少している。20回の全観測を、風力毎に平均し、 $\log m = 1$ 以上の海塩粒子濃度について、観測点1, 2, 3での濃度をみると Fig. 4 のようになる。風力2, 3, 4, 5, 6と7の観測回数はそれぞれ、2, 2, 4, 4, 7と1回である。風力2では、観測点2と3で1より高濃度である。風力2のもとでの海面状態では、海塩粒子の生成は無いので、海岸で低濃度であっても矛盾はない。風力3では、観測点1で高

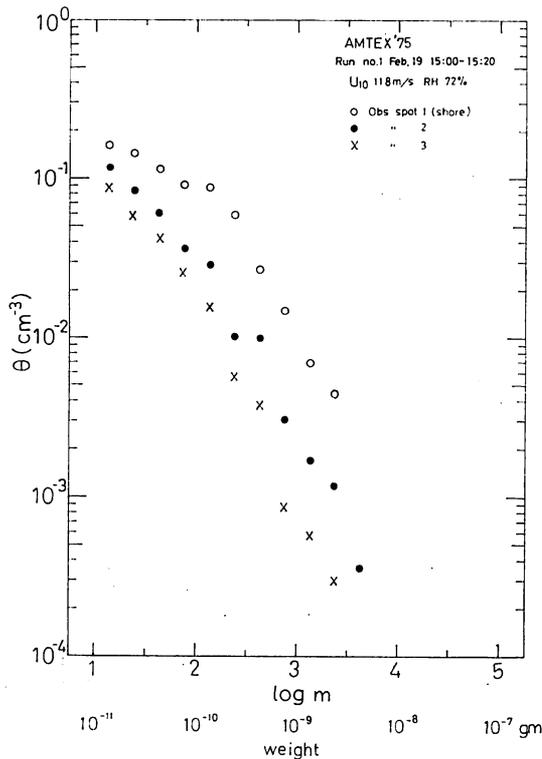


Fig. 3. Salt-mass distribution of the number concentration of sea-salt particles, θ , at run no. 1. Values are entered for ranges of $\log m = 0.25$.

Table 1. Main data of observation of fallout. The U_{10} represents the wind speed at 10 m level, RH the relative humidity at the seashore, P the sedimentation ratio of sea-salt particles (10^{-3} no. sec^{-1} cm^{-2}).

Run No.	Date Feb. '75	Time	U_{10} (m sec^{-1})	RH (%)	Obs. St. No.	P (10^{-3} no. sec^{-1} cm^{-2})	Wind Direction	Sea-Surface Condition
1'	19~20	20:25	6.0~9.9	61(09:00)	1	85.2	NW~NNW sea breeze	whitecaps
		08:20			2	25.0		
					3	15.2		
7'	21~22	20:50	10.2~11.7	81(20:55) 79(05:50)	1	47.3	NW~NNW sea breeze	whitecaps
					2	44.3		
		05:50			3	30.3		
10'	23~23	02:48	7.5~9.6	60(02:55) 53(08:50)	1	136	NNW sea breeze	whitecaps
					2	0.948		
		08:40			3	39.2		
11'	23~24	18:15	0.4~3.1	49(18:00) 72(03:00)	1	11.9	NE~SSE	smooth sea
					2	2.95		
		08:28			3	2.73		
12'	24~25	18:10	0.6~5.2	68(21:00) 64(03:00)	1	8.90	E~SW land breeze	smooth sea
					2	8.26		
		05:30			3	7.22		
16'	26~27	18:10	0.1~2.8	86(03:00) 84(06:00)	1	9.47	NE~WSW	smooth sea
					2	6.42		
		06:00			3	4.15		

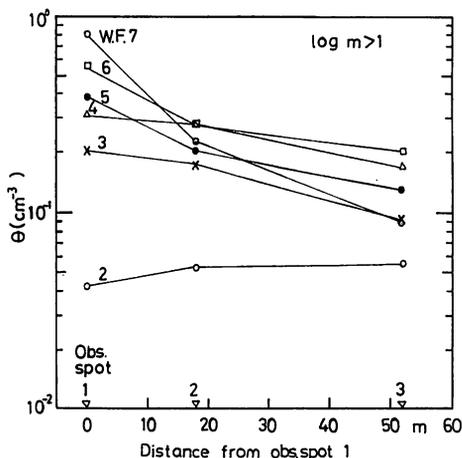


Fig. 4. The number concentration of sea-salt particles, θ , at obs. spot 1, 2 and 3 for each wind force.

濃度になり、海面で海塩粒子の生成が行われ始めたことを示している。風力3と4では、観測点2、3の順に濃度は減少している。風力5、6と7になると、観測点1での濃度は、風力3、4の状態より更に増大するが、観測点2で濃度は急減し、風力3、4と同程度かそれ以下

になる。この事実は、風が強くなるに従い海岸での海塩粒子の生成は増大するが、林を通過する際、多く捕捉されることを示している。この捕捉効果を表わすものとして、観測点2と3の海塩粒子濃度に対する観測点1のその比を濃度減少率として用いる。観測点2と3における濃度減少率を風力毎に平均して示すと Fig. 5 のようになる。横軸は風速であり、各風力は、それぞれの風速中央値で示した。図には、塩質量を $1 < \log m < 2$ と $2 < \log m < 3$ の二つに分けて示した。風速が大になるに従い海塩粒子濃度の減少率、すなわち、林による海塩粒子捕捉効果が大になることが明らかに認められる。また、観測点2では、塩質量の大きな海塩粒子 ($2 < \log m < 3$) の減少率が小さなもの ($1 < \log m < 2$) より大である。観測点3では、この傾向は認められないが、これは第1の林を通過して来た後であり、海塩粒子濃度が低くなったことと大きな塩質量は第2の林以前で多く落下してしまうためと考えられる。栗原等 (1974) は千葉県千倉海岸と山形県吹浦海岸で、防風林による海塩粒子捕捉効果の観測を行ない、観測点2の結果と同様の結論を得ている。これらの結果は、先に鳥羽・田中 (1967) が理論的に海塩粒子の地表物体による捕捉は、地表付近の風速と海塩粒子濃度との積に比例することを示した結論を支持する。更に鳥羽・田中は捕捉係数なる考えを導入しているが、この値は海塩粒子の大きさ、風速、捕捉する物体で異なる。従って本研究の場合も、減少率を単に風速のみに関係づけるのではなく、相対湿度をも考慮し分類すべきであるが、資料不足からできなかった。減少率と風速との関係式を求めておいた。ただし、風力2の場合は海面で海塩粒子の生成

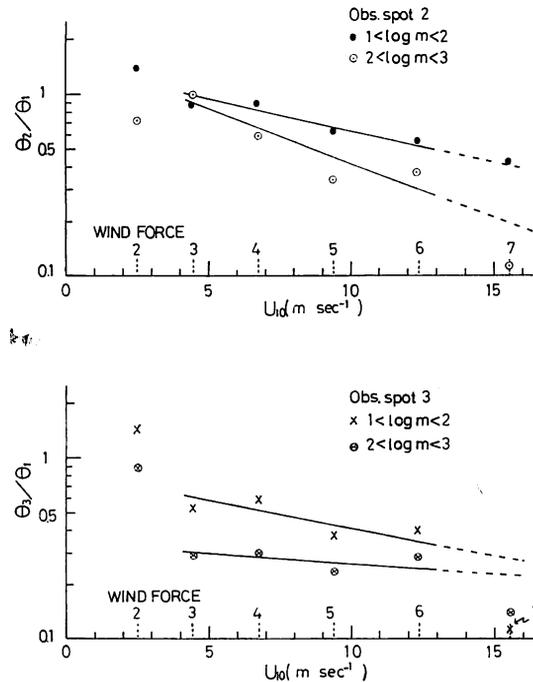


Fig. 5. Relation between the ratio θ_2 to θ_1 , θ_3 to θ_1 and wind speed. The straight lines indicate the formulas.

が無いこと、また風力7の場合は、観測が1例であったことから関係式を求める計算から除外した。関係式を以下に示す。

$$\theta_2/\theta_1 = 1.41 e^{-0.080U} \quad (1 < \log m < 2)$$

$$\theta_2/\theta_1 = 1.71 e^{-0.143U} \quad (2 < \log m < 3)$$

$$\theta_3/\theta_1 = 0.81 e^{-0.067U} \quad (1 < \log m < 2)$$

$$\theta_3/\theta_1 = 0.34 e^{-0.024U} \quad (2 < \log m < 3)$$

4. 塩害防止林間耕作地への降塩量

地表付近の空気中を浮遊している海塩粒子は、地表物体に捕捉される外は、大気中の乱れにより上空へ運ばれるか、重力により地表面に落下する。この海塩粒子の重力による落下を沈降と呼び、沈降率（海塩粒子個数 $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ ）は、 $w\theta$ ($=P$) で表わされる。ここに、 w は海塩粒子落下速度であり相対湿度に依存する。 θ は地表付近の海塩粒子濃度である。沈降率の簡単な測定は、空カンの底に試薬フィルムを置くことによってできる。ただしこの方法では、試薬フィルムが感光性であるため夜間に限られる。試薬フィルム面上に付着した海塩粒子を顕微鏡写真に撮影する場合、ランダムに数多く撮影し、観測地域を代表する沈降率を求めるようにしなければならない。TOBA と TANAKA (1965) は昼間も使用できる海塩粒子沈降計を作成、観測し好結果を得ている。Fig. 6 に試薬フィルム面上の海塩粒子の落下付着反応の1例を示す。観測点1における沈降率の塩質量分布を Fig. 7 に示す。観測点2と3においては、沈降率は順次低下して行くが沈降率の塩質量分布型はいずれも $\log m = 2$ 付近に最大値を持つ分布型をしている。

次に、沈降率 P が $w\theta$ で表わされるかをみるため、Run no 1' について、この観測に最も近いインパクトによる観測 Run no 1 の θ とその時の相対湿度による w を用いて $w\theta$ を求めた。Fig. 8 に Run no 1 と 1' の θ , P と $w\theta$ を観測点 1, 2, 3 の別に示した。 $\log m = 2$ より大きな塩質量の海塩粒子については、 P と $w\theta$ がほぼ一致し、沈降率は θ と w の積で表わされることを示している。 $\log m = 2$ より小さな塩質量の海塩粒子については、 P と $w\theta$ とが一致せず、 P は $w\theta$ に比べ小さい値である。また観測点 2, 3 になるに従い P と $w\theta$ との差は大きくなる。このことは、空カンによる方法では小さな塩質量の海塩粒子の捕捉率が悪いことも考えられるが、小さな海塩粒子は海面から生成され、陸上へ運ばれる間に早く水分を蒸発し、軽くなり地上へ落下するものが少なくなることを示している。Fig. 8 より $w\theta - P$ の部分が沈降せず大気中に浮遊する量になる。地上へ沈降する海塩量は、 $\log m = 2$ 以上の大きな海塩粒子が寄与していることになり、その量は地表付近の海塩粒子濃度が高いほど、また相対湿度が高いほど多いことになる。

地表面への全降塩量は、樹木など地表物体により捕捉されるものと、重力による落下によるものの和になるが、ここでは耕作地への降塩量を知るため、塩分沈降率 mP (m は塩質量) のみを降塩量とする。海塩粒子沈降率の観測は6回のみであり、風力毎に分けて求めることができない。しかし、Fig. 7 にみられるように6回の観測結果を、風の強い場合、Run no 1', 7' と 10' (風速 $6.0 \sim 11.7 \text{ m sec}^{-1}$) と風の弱い場合 Run no 11', 12' と 16' (風速 0.1

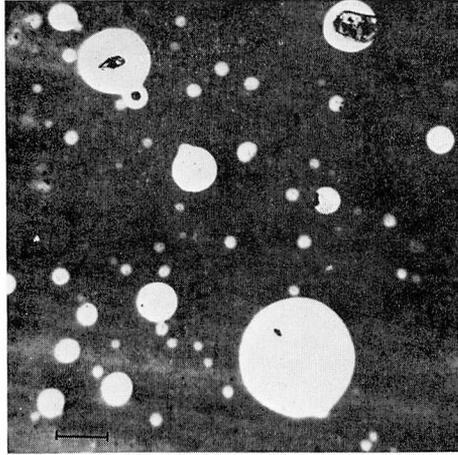


Fig. 6. Examples of the sampling surface of the reagent film with white circular spots developed by sea-salt particles. The line entered indicates 100μ . The largest spot has 1.3×10^{-8} g salt mass contained.

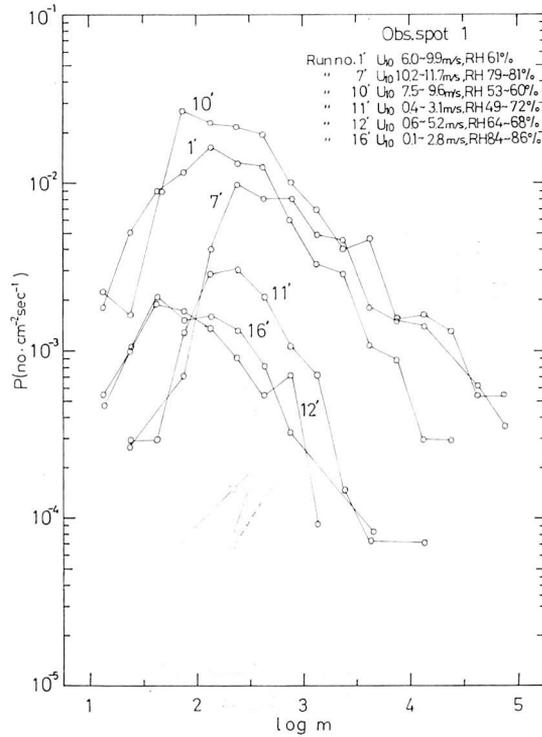


Fig. 7. Salt-mass distribution of P at obs. spot 1. Values are entered for ranges of $\log m = 0.25$.

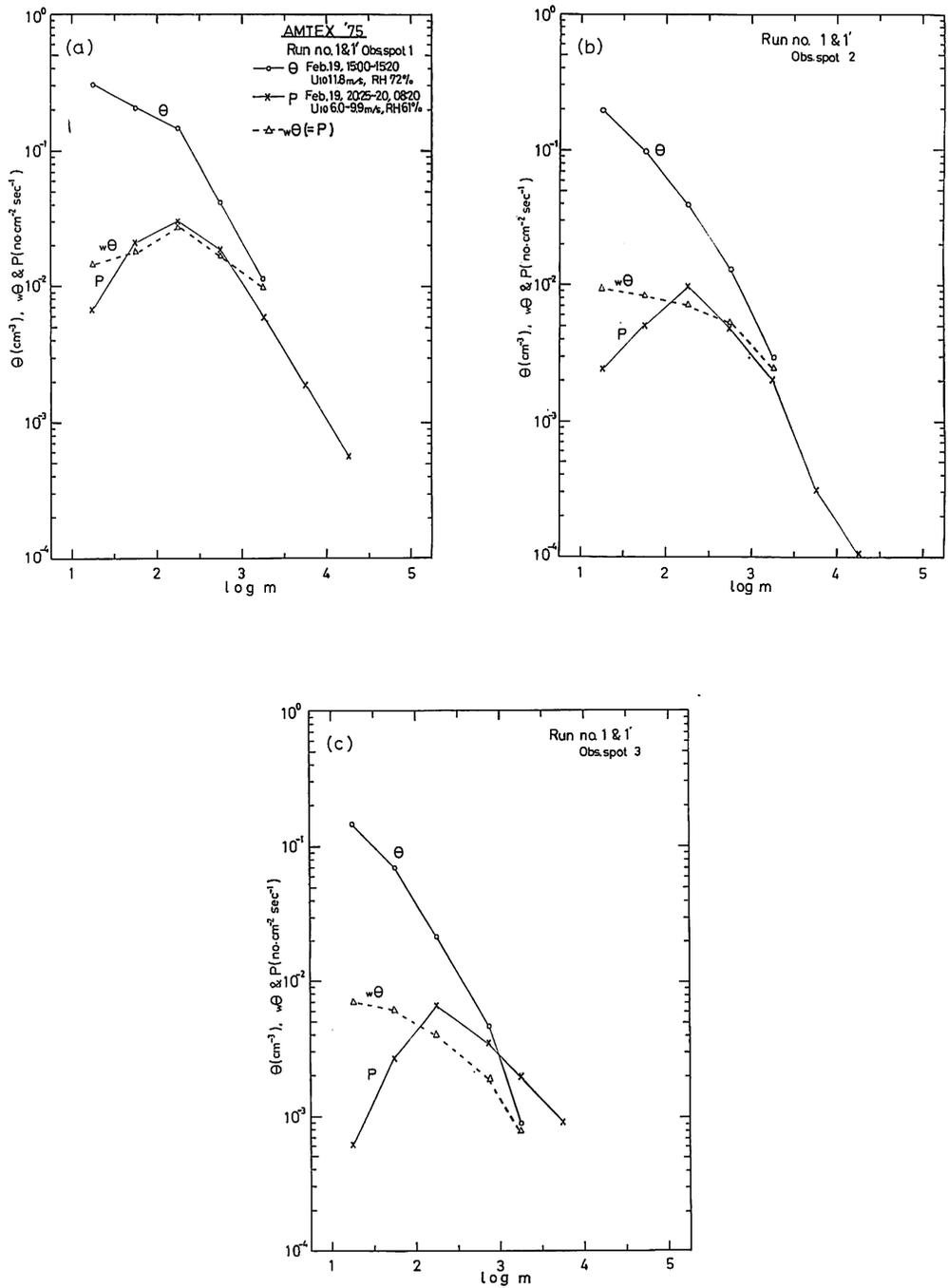


Fig. 8. Salt-mass distributions of θ , $w\theta$ and P at obs. spot 1 (a), 2 (b) and 3 (c). Values are entered for ranges of $\log m=0.5$.

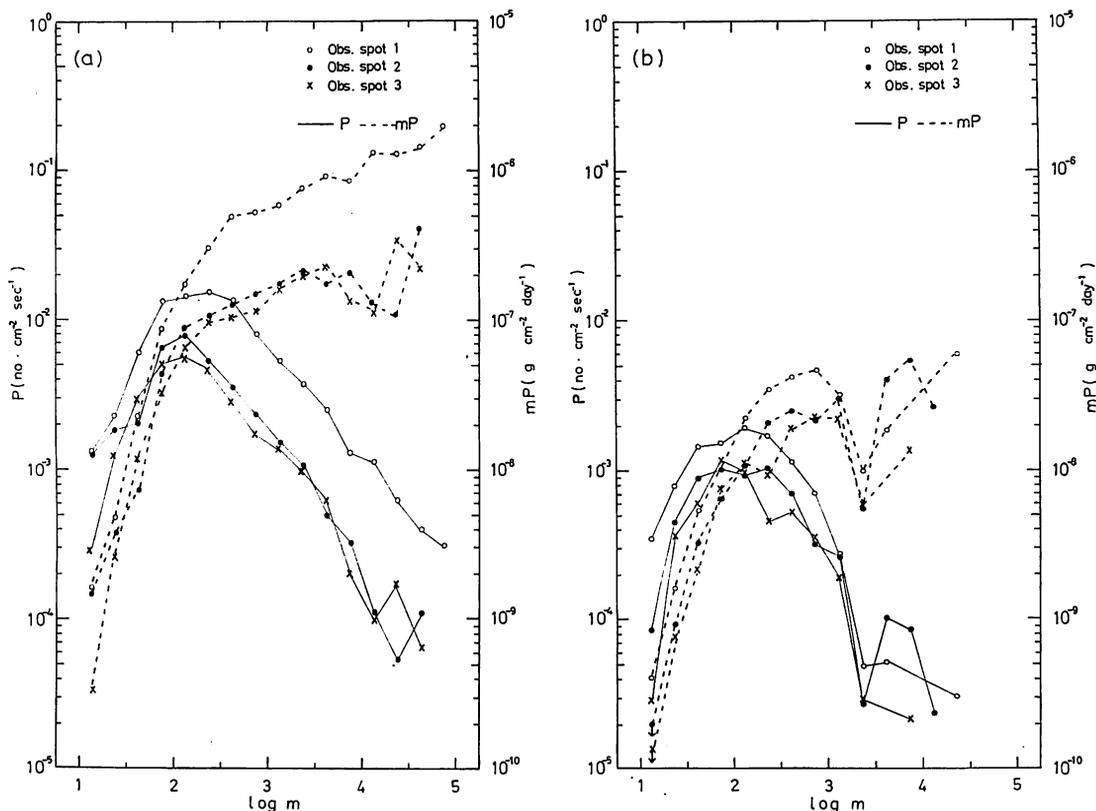


Fig. 9. Mean salt-mass distribution of P and mP at obs. spot 1, 2 and 3 in moderate to strong wind (a) and calm to gentle breeze (b).

Table 2. Sedimentation of salt, mP ($10^{-2} \text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$) for $\log m > 1$ at obs. spot 1, 2 and 3.

	Obs. spot		
Wind condition	1	2	3
Moderate to strong wind	10.7	2.0	1.9
Calm to gentle breeze	0.29	0.25	0.12

~5.2 m sec⁻¹) の2つに分けることができる。この2つの場合について、観測点1, 2, 3毎に平均した、海塩粒子沈降率 P と降塩量 mP の塩質量分布を Fig. 9 に示した。 mP は1日当りの量を求めた。風の強い場合、観測点1で沈降率は大きく、観測点2と3ではほぼ同程度である。風の弱い場合、三観測点ともほぼ同程度の沈降率である。 $\log m = 3.5 \sim 4$ の沈降率が大きくなっているが、 $\log m = 3$ 以上の大きな海塩粒子になると個数が少なくなるため、有意なものとは考えられない。降塩量 mP は、風の強い場合、弱い場合とも $\log m = 2$ 以上の海塩粒子が大きく寄与していることが明らかである。 $\log m = 1$ 以上の降塩量を1日、1 m² 当たりに概算して Table 2 に示した。風の強い場合、林間の耕作地への降塩量は

1日, 1 m^2 当り約 $2 \times 10^{-2}\text{ g}$ であり, 海岸の観測点1の約1/5である. 海塩粒子濃度の減少は, Fig. 4と5から, 風の強い場合に相当する値は, 第1の林を通過後約1/2になる. 降塩量の減少が大きいのは, 林の捕捉効果もあるが, 大きな塩質量の海塩粒子は海岸沖合海面で生成された後, 第1の林前面で多く落下してしまうことを示している. 風の弱い場合, ほとんど海塩粒子の生成が行なわれていないため, 観測点1と2で 0.29 と $0.25 \times 10^{-2}\text{ g}$ で同程度であり, 観測点3で減少し, それは観測点1と2の約1/2になっている.

5. 結 論

1975年2月19日から28日まで10日間, AMTEX '75の観測中, 沖縄本島国頭村, 辺土名, 桃原海岸において, 塩害防止林による海塩粒子の捕捉効果と林間の耕作地への降塩量を求めるため, 海岸と林間で海塩粒子の観測を実施した. 風力3以上になると海面で海塩粒子の生成があり, 風が強くなると共に海岸での海塩粒子濃度は増大するが, 林による海塩粒子捕捉効果も大となり, 林による海塩粒子捕捉効果の大きいことが認められた.

海塩粒子の沈降率 P は, $\log m = 2$ 以上の大きな海塩粒子については, 海塩粒子濃度 θ と海塩粒子落下速度 w との積で表わされる. $\log m = 2$ より小さな海塩粒子は海岸より陸地へ入るに従い次第に沈降が少なくなっていく, これは水分を蒸発し軽くなり上空へはこぼれる海塩粒子が多くなることを示すものである. 林間耕作地への降塩量 mP を求めた. 降塩量には, $\log m = 2$ 以上の大きな海塩粒子の沈降が寄与している. 風の強い場合, 林間耕作地へは1日, 1 m^2 当り, $2 \times 10^{-2}\text{ g}$ の降塩がある, これは海岸での約1/5である.

文 献

- Chaen, M. (1973): Studies on the production of sea-salt particles on the sea surface. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, **22**, 49-107.
- Chaen, M. (1978): Observations of the sea-salt particles at the seashore of Hentona, Okinawa during the AMTEX '75-I. On the amount of sea-salt particles at the seashore. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, **27**, 231-238.
- 栗原孝行・末永昌久・阿部友三郎 (1974): 防風林による海塩微粒子の捕捉について. *天気*, **21**, 97-102.
- 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, *京大防災研年報*, **13 B**, 445-456.
- 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.
- 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. *京大防災研年報*, **10 B**, 331-342.