

台風時における海塩粒子の内陸への輸送について

田中 正昭

PRODUCTION ON THE SEA SURFACE AND TRANSPORT OVER LAND OF SEA-SALT PARTICLES DURING PASSAGE OF A TYPHOON

By *Masaaki* TANAKA

Synopsis

Estimations of the distribution of sea-salt number concentration, the amounts of salt sedimentation, salt impaction near the coast at Hofu, Hiroshima, Mizushima during passage of the typhoon 9119 were carried out. As to the production rate, and the number concentration of sea-salt particles on the sea surface, new expressions by Iida et al. (1992), by way of a nondimensional parameter including the wind stress and the spectral peak frequency of wind waves were applied. The effect of the fetch where wind blew on the sea surface and sea-salt particles were produced were taken into consideration. The impaction amounts of salt inland were calculated using Tanaka's 1966 theory.

The estimated total amounts of salt impaction near the coast can explain well with the distribution of the observed values.

1. ま え が き

海塩粒子は、海面で風と波の相互作用により生成され、乱れによる拡散、自重による降下、風による輸送、内陸へ侵入、地表への落下と物体への付着によって地上に運ばれ、冬期の季節風や台風のさいは塩害をもたらす。

台風 9119 号は中国地方を中心に大きな塩害をもたらした¹⁾。中国電力が事後行った碍子等の付着塩分量測定の結果、広島県の海岸近くでは、この台風によって 0.35 mg/cm^2 程度の塩分付着量があった。内陸にはいるにつれて塩分付着量は減少し、海岸から 10 km 程度の内陸で 2 割程度の値であった。広島県に比べて風の弱かった、山口県、岡山県は、この台風 9119 号時に測定された海岸、内陸部での塩分付着量は少なかった。また塩分付着量の多い地域、広島、山口の海岸部は、発電所、変電所、送電線路、配電設備など、電気施設の事故、植物の変色、落葉、枯死など植物被害の多い所と一致していた。さらに県毎の 10 分間当たりの電気事故発生件数（短絡、地絡）は、1）台風の東北進にともない、そのピークが、山口県、広島県、岡山県と東へ移動し、2）ピークの発生時刻はその地域の強風時と一致する、3）ピークと風向の関係は、山口では南東、広島は南南東ないし南南西、岡山は南西でいずれもその地域で海からの風向、気流の長い海上吹走距離に対応する、ことがみられた¹⁾。これらのことは電気事故は海からの海塩によって生じたことを示している。

本研究では、最近まとめられた Iida, Toba et al. (1992) の海面での海塩粒子生成と海面境界過程の状況をあらわす無次元量の関係を取り入れ、以前におこなわれた、鳥羽・田中による海上、陸上での海塩粒子輸送、地上物体への付着の研究を適用して、台風 9119 号通過後、実測された海岸や内陸部での塩分付着

量が、その時の海上の風、風波の状況を条件にして、どの程度定量的に説明できるか、山口、広島、岡山の違いを明らかにしながら検討する^{2~4)}。

2. 台風9119号時における瀬戸内海上の風と海面の状況

台風9119号の進行右側にあった広島、岡山両県は台風の進行とともに南東、南、南西の強風が吹いた。17時30分から21時までに防府、広島、水島に到達する空気粒子の経路をみるため、Fig. 1に藤井によって開発された傾度風速の分布を利用して計算した流跡線を30分間おきに示した¹⁾。この台風9119号時、瀬戸内海海域での詳細な風、波（波高、周期）の分布は岡田（1993）によって5 km 間隔毎に計算された⁵⁾。波に関しては、Toba（1978）が提案した東北波浪モデル、すなわち風波は単一パラメータ発達方程式に支配され、うねりに関してはスペクトル成分に対して伝搬、減衰を行うとの基本的な考えに基づいている⁶⁾。さらにこの研究では内海での波浪推算するため、海底摩擦を考慮されている。岡田の計算結果から、防府、広島、水島に18時から22時の毎正時に到達した空気粒子についてその流跡線上の風速、波の値を見ることができた。

防府、広島、水島に毎正時に到達した気流について、瀬戸内海上の風速 U 、風向 D 、波高 H 、周期 T 、海上吹走距離 (Fetch) を読みとり Table 1 に示した。これらの値はもちろん場所によって異なるが、一時間毎にみることにより、その間は一定として空間平均値を求めた。さらに Table 1 にはこれらの値から、田中（1994）で示した手順で計算された海面の状態を表す無次元量 $U_*^2/\nu\sigma_p$ の値も示した⁷⁾。ここで U_* 海上大気の摩擦速度、 ν は空気の動粘性係数、 σ_p は風波のピーク角周波数である。

この無次元パラメータは Toba and Koga（1986）によって提案され、碎波および気泡、水滴の生成の現象に関する重要な量である⁸⁾。

この台風時、山口県、広島県、岡山県に塩分をもたらした台風の海上での無次元量 $U_*^2/\nu\sigma_p$ の値は18時、水島に到達した気流の 4.2×10^3 から、20、22時、広島の 9.3×10^4 の範囲であり、この台風によってみかん園に多大な塩害による被害を受けた豊後水道の中島

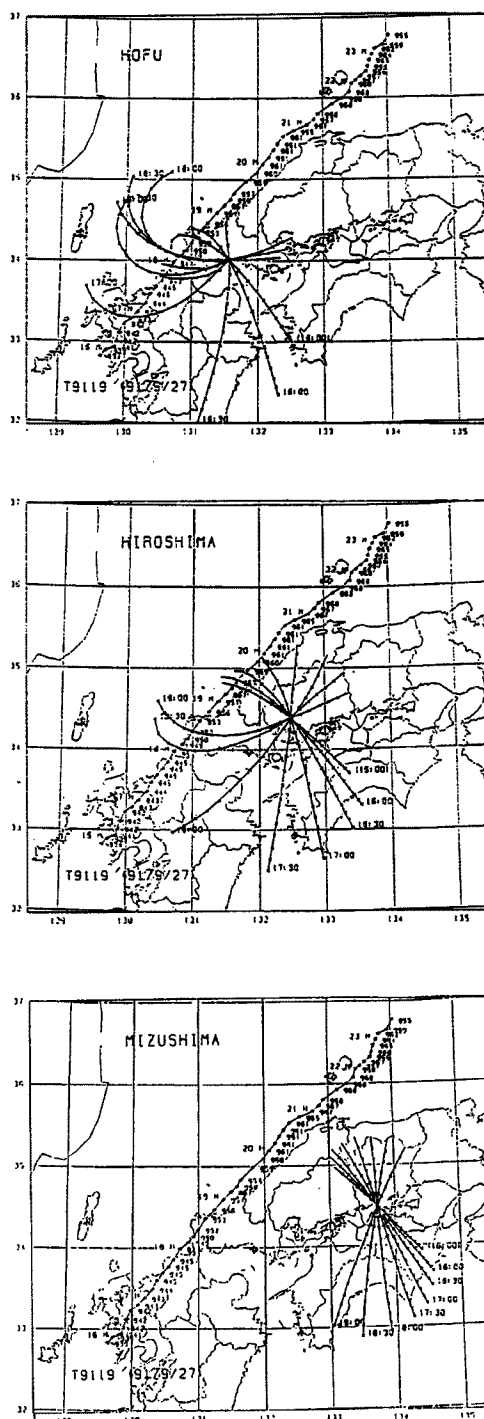


Fig. 1. Air mass trajectories every 30 minutes passing at Hofu, Hiroshima, Mizushima. The marks (x) show position at 10 minutes interval. Numbers indicate startig (upper) and arriving (lower) times.

Table 1. Characteristic values of the wind (speed, direction), wave (height, period), fetch and estimated parameter $U_*^2/\nu\sigma_p$ on the sea surface in the cases of air mass passing at Hofu, Hiroshima, Mizushima for every hour during passage of the typhoon 9119.

a) Hofu

Arrival time	Wind		Wave		Fetch (km)	Parameter $U_*^2/\nu\sigma_p$
	Speed (m/s)	Direction	Height (cm)	Deri. (sec)		
18	20.1	SSE	270	7.0	over 134	6.4×10^4
19	16.8	SW	161	4.7	49 (Kyushu)	2.7×10^4
20	24.7	WSW	214	4.4	46 (Kyushu)	7.6×10^4
21	25.1	W	228	4.7	37 (Kyushu)	8.4×10^4
22	18.9	W	206	4.7	43 (Kyushu)	3.7×10^4

b) Hiroshima

Arrival time	Wind		Wave		Fetch (km)	Parameter $U_*^2/\nu\sigma_p$
	Speed (m/s)	Direction	Height (cm)	Deri. (sec)		
18	13.2	SSE	96	3.3	68 (Shikoku)	1.0×10^4
19	24.1	S	182	4.1	over 167 (Bungosuido)	8.1×10^4
20	22.9	SSW	316	6.2	126 (Kkyushu)	9.2×10^4
21	25.9	SW	289	4.8	132 (28 in land) (Kyushu)	8.1×10^4
22	26.7	SW	301	5.6	139 (36 in land) (Kyushu)	9.3×10^4

c) Mizushima

Arrival time	Wind		Wave		Fetch (km)	Parameter $U_*^2/\nu\sigma_p$
	Speed (m/s)	Direction	Height (cm)	Deri. (sec)		
18	10.2	SE	49	2.5	19 (Shikoku)	4.2×10^3
19	11.4	SSE	61	2.7	21 (Shikoku)	5.9×10^3
20	14.2	S	73	2.7	21 (Shikoku)	1.0×10^4
21	18.7	SSW	132	3.8	55 (Shikoku)	2.9×10^4
22	22.5	SW	215	4.8	74 (Shikoku)	6.0×10^4

での最盛時 21 時の値 1.8×10^5 よりは小さかった⁷⁾。

3. 海面上での海塩粒子生成率, 個数濃度, 塩分生成率

海面上での海塩粒子生成率 F_s , 個数濃度 θ_s は, 海面上での風の応力と風波の周期を含む無次元パラメータ $U_*^2/\nu\sigma_p$ がもともと, Iida, Toba et. als (1992) がまとめた次の関係式から核質量クラス別にもとめる

ことができる,

$$\left. \begin{aligned} \log \theta_c &= C_0 \log(U_*^2/\nu\sigma_p) + C_1 \\ \log F_c &= C_0 \log(U_*^2/\nu\sigma_p) + C_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで (1) 式の C_0, C_1 は核質量別に異なる係数である²⁾。無次元パラメータが 10^4 の場合について、海塩粒子生成率 F_c 、個数濃度 θ_c 、生成率に塩質量 M を乗じた塩分生成率 MF_c を核質量別にもとめて Table 2 に示した。海塩粒子生成率は定常状態では海塩粒子落下率に等しい、すなわち、海水滴の終速度を W_s とすると、 $F_c = W_s \theta_c$ である。すべての核質量の和から総塩分降下率をもとめると、無次元パラメータ $U_*^2/\nu\sigma_p = 10^4$ で、 2.4×10^{-9} g/cm²sec, 式(1)の関係から、無次元量の値とともに海面上の濃度、生成率は指数関数的に増大する。また (1) 式と Table 2 から明かなように、海上の状態

Table 2. Number concentration θ_c , production rate F_c , of sea-salt particle, salt sedimentation rate MF_c , for each salt mass class calculated from Eqs. (1) at the sea surface for parameter $U_*^2/\nu\sigma_p$ of 10^4 .

Range of log M (10^{-12} g unit)	θ_c Partiles/cm ³	F_c Particles/cm ² sec	MF_c 10^{-10} g/cm ² sec
- 1.25	6.5×10^{-1}	1.3×10^{-1}	0.013
1.25 - 1.75	4.5×10^{-1}	1.9×10^{-1}	0.060
1.75 - 2.25	6.5×10^{-2}	6.0×10^{-2}	0.060
2.25 - 2.75	3.3×10^{-2}	6.7×10^{-2}	0.21
2.75 - 3.25	1.45×10^{-2}	6.3×10^{-2}	0.63
3.25 - 3.75	7.2×10^{-3}	6.6×10^{-2}	2.1
3.75 - 4.25	4.0×10^{-3}	7.2×10^{-2}	7.2
4.25 -	1.3×10^{-3}	4.4×10^{-2}	13.9

を表す無次元量 $U_*^2/\nu\sigma_p$ が大きな値となる、台風や強い季節風の場合、海面上の個数濃度 θ_c 、生成率 F_c は小さな粒子の数量が圧倒的に多数を占める、しかし降下塩分量 MF_c に寄与する海塩粒子の大きさは、塩質量 3.16×10^{-9} g、海水滴の直径 55μ 、終速度 $W_s = 9.1$ cm/sec 以上のものである。

これが風速の弱い小さな粒子しか存在しない通常時と塩害を生じさせる強風のさいの塩分の輸送を考えるさいの違いで、注意が必要な点である。

4. 海岸での海塩粒子濃度鉛直分布

海面上の生成率 F_c がわかれば、海面 ($z=0$) から常に供給を受けつつ、風 U による水平移流、鉛直拡散 D による拡散、粒子の自重による落下 W の項がバランスして輸送される。海上大気中の海上吹走距離 x でのある質量クラス $\theta(x, z)$ は一時間程度の時間間隔で現象をみて、その間はすべての量、 θ_c, F_c, U, D, W は一定とし、さらに無次元の個数濃度 $\Theta = \theta/\theta(\infty, 0)$ 、吹走距離 $\xi = W^2 x / 4 DU$ 、高度 $\zeta = Wz / 2D$ 、を導入すると、

$$\begin{aligned} \Theta &= e^{-2\zeta} - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\xi} - \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}}\right) e^{-2\zeta} - \left(\frac{1}{2} + \zeta + 2\xi\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\xi} + \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}}\right) \\ &\quad + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\xi} e^{-\left(\sqrt{\xi} + \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}}\right)^2} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

となる、ただし $\theta(\infty, 0)$ は海上を十分吹走し水平方向の濃度勾配がなくなり、海面での生成と自重による落下がバランスしている海面での濃度である⁴⁾。Fig. 2 に無次元化した走吹距離 ξ をパラメータとして、ある質量クラスの無次元個数濃度の鉛直分布を示した。点線は水平に一樣に達した後の鉛直濃度分布 $\Theta(\infty, \zeta) = \exp(-2\zeta)$ である。これから無次元吹走距離 ξ が 2.0 程度以上の値になると事実上、水平に一定の状態とみなせることがわかる。無次元量 ξ は、 W, x, D, U に依存し、終速度 W の大きい、すなわち大きな粒子は、吹走距離 x がそんなに大きくなくても濃度は一定となり、粒子が小さく、風速 U 、拡散係数 D が大きくなると水平に一定となるには長い走吹距離 x が必要となる。

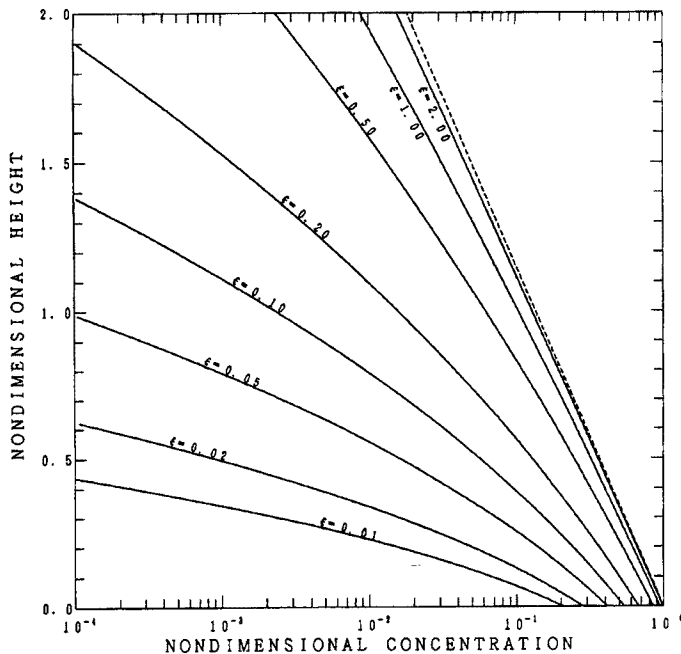


Fig. 2. Vertical distributions of nondimensional number concentration of sea-salt particles over sea $\theta(\zeta)$ with nondimensional fetch ξ calculated from Eq. (2). The broken line: $\theta = \exp(-\zeta)$ expresses the distribution at the infinite fetch.

台風 9119 号時に広島、水島に毎正時に到達した気流はそれぞれ四国、九州方面から吹いてきたものである、Table 1 に示した風速 U 、吹走距離 x 、 3.16×10^{-9} g クラスの海水滴の落下速度 $W_s = 9.1$ cm/s、と拡散係数 $D = 2 \times 10^2$ m²/s を用いて、三地点、毎正時の無次元吹走距離 ξ を求めると、後に示す Table 3 のようになる。 10^{-8} g、 3.16×10^{-8} g クラスの落下速度は約 2 倍、4 倍であるから、それぞれのクラスの ξ の値は 4 倍、16 倍となる。この ξ の値と Fig. 2 から塩質量 3.16×10^{-8} g 以上の最も大きな粒子は海岸で十分に平衡に達している、 10^{-8} g クラスの粒子濃度は 100 km 程度の吹走距離があった広島、防府 18 時は平衡になっている。吹走距離が 50 km 以下の防府 19 時から 22 時、水島 18、19、20 時では、濃度はまだ吹走距離の影響がみられる。より小さい 3.16×10^{-9} g クラスはすべて

吹走距離の影響を受け、海岸の濃度は 100 km 程度で定常の場合の約 9 割、50 km 程度で約 7 割となる。

5. 陸上における海塩粒子の輸送、地表物体への付着

海岸 ($x = 0$) から風速方向に風下距離 x における、ある質量クラスの海塩粒子濃度 θ とし、風速 U 、鉛直拡散係数 D 、粒子の落下速度 W 、とすると、その輸送は定常状態で次のように、

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} = w \frac{\partial \theta}{\partial z} + D \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

表せる。Toba and Tanaka (1966) は陸上における地表物体は海塩粒子のシンクとして作用することを考慮し、地表面に捕捉吸着される量を、地表面付近を単位時間に通過する粒子個数に比例すると考えて地表境界条件を次式、

$$D \frac{\partial \theta}{\partial z} = \lambda u \theta(x, 0) \quad \dots \dots \dots (4)$$

で定義した⁹⁾。ここで、 λ は捕捉係数で、地表面の性質、粒子の性質、などによって異なるであろうが、平均的地表構造と言ったものを考えて定数とした。 λ の値は内陸での海塩粒子の鉛直輸送、地表への付着を決める重要な量で、われわれの実測に基づく研究の結果、 $\lambda = 3 \times 10^{-2}$ 程度である¹⁰⁾。

海岸 ($x = 0$) では、ここでは水平に一様になった時の鉛直分布、

$$\theta = \theta(\infty, 0) \exp(-Wz/2D) \quad \dots \dots \dots (5)$$

とする。ここで $\theta(\infty, 0)$ は空間的に定常状態に達した海面付近の海塩粒子個数濃度で、2章で議論した θ_c に等しく、海上の応力と波によって決まる $U_*^2/\nu\sigma_p$ による。(3)式を境界条件(4),(5)式、さらに上空で濃度ゼロ、すなわち、 $z \rightarrow \infty$ で $\theta \rightarrow 0$ なる条件で解き、以下の濃度、距離、高度、捕捉落下比を表す無次元量、

$$\Theta = \theta/\theta(0, 0), \quad \xi = W^2 x/4DU, \quad \zeta = Wz/2D, \quad \gamma = \lambda U/W, \dots\dots\dots (6)$$

を導入する、ただし $\theta(0, 0)$ は海岸 ($x=0$)、地上付近 ($z=0$) での海塩粒子個数濃度で十分海上を吹走してきた気流では θ_c に等しい、解は

$$\begin{aligned} \Theta = & \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\xi} - \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}} \right) e^{-2\zeta} - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) \operatorname{erfc} e^{-\left(\sqrt{\xi} + \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}} \right)^2} \\ & + \left(1 + \frac{1}{2\gamma} \right) e^{2\gamma(\zeta + 2(1+\gamma)\xi)} \operatorname{erfc} \left\{ (1+2\gamma)\sqrt{\xi} + \frac{\zeta}{2\sqrt{\xi}} \right\} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

となる。

Fig. 3 に捕捉落下比 $\gamma=5$ の場合の海塩粒子個数濃度 $\Theta(\zeta)$ の鉛直分布を無次元距離 ξ をパラメタとしてしめた。さらに地表付近でのある質量クラスの家塩粒子個数濃度 $\Theta(\xi, 0)$ の減衰の状態を捕捉落下比 γ をパラメタとして **Fig. 4** に示した。地表物体への付着があると、ある高さに最大値をもつ鉛直濃度分布になり、また地上付近の濃度の減衰は付着の大きさに大きく依存していることがわかる。

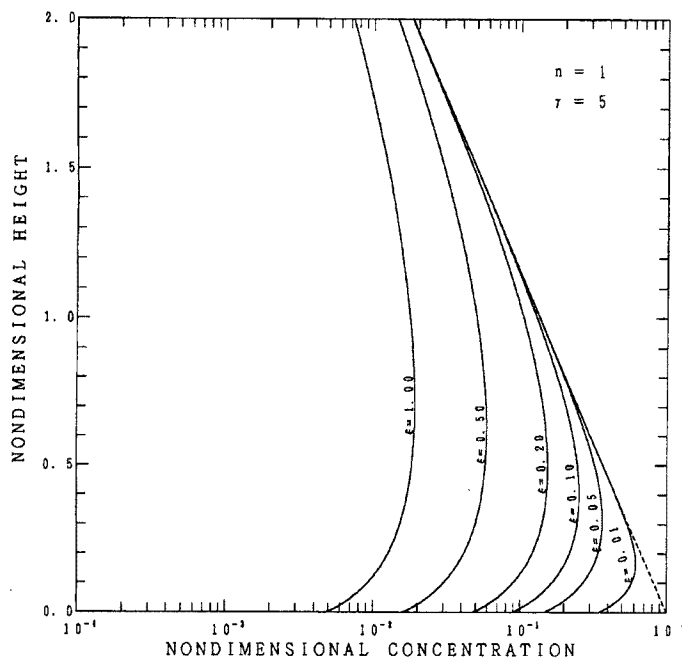


Fig. 3. Vertical distributions of nondimensional number concentration of sea-salt particles inland $\Theta(\zeta)$ with nondimensional distances for $\gamma=5$, calculated from Eq. (7). The broken line: $\Theta=\exp(-\zeta)$ expresses the distribution at the coast.

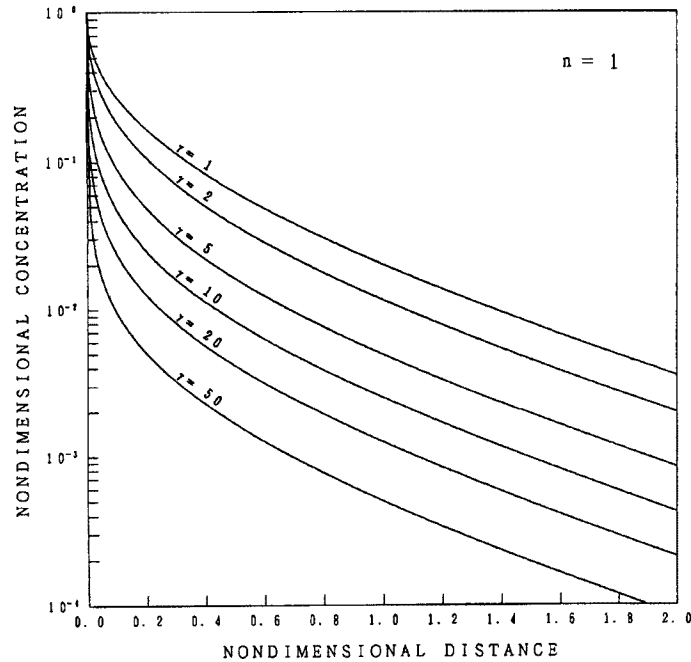


Fig. 4. Horizontal distributions of nondimensional number concentration of sea-salt particles at surface inland $\theta(\xi, 0)$ for several values of the impaction-sedimentation ratio γ calculated from Eq. (7).

6. 考 察

台風 9119 号通過後、中国電力が測定した、パイロット碍子塩分汚損量 (○)、窓ガラス塩分付着量 (△)、配電線高圧ピン碍子塩分付着量 (+)、発電所での自動塩分測定装置による塩分付着率を台風期間積分した量 (●) を、県毎に海岸からの距離に対して Fig. 5 に示した。得られた値は、台風通過後 10 日以上経過してから測定で、場所によってはその間に降水の影響を受けていること、9 月 14 日に近くを通過した台風 9117 号による塩分が残っている可能性があること、海岸からは距離は気流の流跡線に沿ったものでないことなどの問題がある。しかし、1) 台風 9119 号がもたらした海岸での塩分付着量は各県毎に異なった状況を示している、2) 内陸での陸上への塩分付着量は海岸から内陸に入るにしたがい減少している状況等が各県ともみられる¹⁾。

この特徴は 3 章、4 章、5 章で述べた海面での海塩粒子生成、吹走距離を考慮した海岸での海塩粒子濃度分布、地表物体の粒子捕捉を取り入れた内陸の輸送理論から求めた地上濃度減衰の特徴を表している。

Table 1 に示した防府、広島、水島に毎正時、到達した気流について台風 9119 号通過時における塩分量に寄与する 3.16×10^{-9} 以上の三つのクラスの海面での海塩粒子個数生成率 F_c 、吹走距離 ξ 、Fig. 2 から求めた海岸での定常濃度と平衡濃度との比 $\alpha = \theta(\xi, 0)/\theta(\infty, 0)$ 、捕捉落下比 γ 、海岸での塩分落下量 αMF_c 、塩分付着量 $\gamma \alpha MF_c$ を求めて Table 3 に示した。この計算結果によれば、この台風による海岸での塩分付着量は、17 時 30 分から 22 時 30 分の間に防府 0.62 mg/cm^2 、広島 0.92 mg/cm^2 、岡山 0.21 mg/cm^2 であった。この値は Fig. 5 に示した各県の海岸 ($x = 0$) で測定された実測値に比べて 2 ないし 3 倍大きい、しかし広島県が最も多く、山口県、岡山県、がそれに続くことは良く再現されていることを注目すべきである。また塩分落下量は、防府 0.23 mg/cm^2 、広島 0.26 mg/cm^2 、水島 0.09 mg/cm^2 となった。

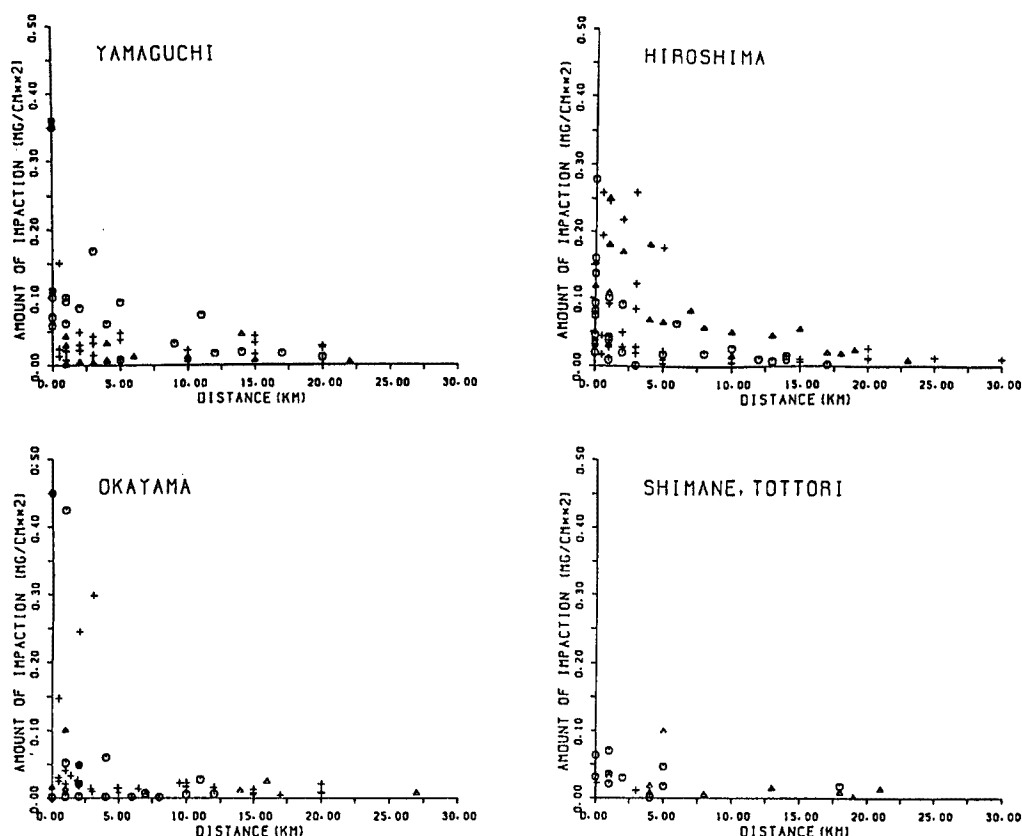


Fig. 5. Relations between the observed amount of the impacted salt during the typhoon 9119 and the distance from the coast. Mark (○) indicates the amount impacted by pilot insulator, mark (△) by window glass, mark (+) by high voltage pin insulator, mark (●) total amount measured by detector at the power stations.

したがって、この台風によって広島、山口両県の海岸部には、付着と落下で、 1 mg/cm^2 程度の塩分が海から運ばれたと推定される。

つぎに内陸の塩分付着量 $\gamma WM\theta(x, 0)$ の減衰をみる、付着量は Fig. 3 に示した個数濃度 $\theta(x, 0)$ に比例し、地表個数濃度は捕捉落下比 ($\gamma = \lambda U/W$)、無次元距離 $\xi = W^2 x / 4DU$ による。いま鉛直拡散係数 $D = 20 \text{ m}^2/\text{s}$ として、毎正時に各地点に到達した気流風速がそのまま内陸に 10 km 侵入するとして各質量クラスは無次元距離 ξ_{10} を求め Table 3 に示した。粒子が大きいと無次元距離 ξ が急激に増大し、また地表物体への付着が大きいと早く減衰する。値はかなりちらばっているが Table 3 の ξ_{10} , γ の値と Fig. 3 から内陸 10 km 程度内陸にはいるとほぼ 1 割程度に減少している、これもまた Fig. 5, でみた特徴をしめしている。計算値の方が実測値より内陸に入るにしたがい早く減衰していることは、もちいた λ の値が大きく評価されすぎているためかもしれない。

以上、台風 9119 号の瀬戸内海通過にともない発生した海上での風波、風から海塩粒子の生成率を飯田らの方法でもとめ、田中による吹走距離を考慮した海上輸送理論、地上物体の付着を取り入れた内陸輸送理論を使って、海岸、内陸点での塩分落下量、付着量を計算した。その結果を実測値と比べると 2 ないし 3 倍程度計算値の方が大きい、しかし地域差などはよく現れていた。最後にこの研究を行うにあたり、絶えず暖かいご指導と御激励をいただいた鳥羽良明東北大学名誉教授に深く感謝いたします。また図の作成には京都産業大学藤井健教授に協力いただいた、お礼申し上げます。

Table 3. Values of the salt sedimentation rate αMF_c , salt impaction rate $\gamma \alpha MF_c$ for each salt class near the coast at a) Hofu, b) Hiroshima, c) Mizushima for every hour during passage of the typhoon 9119 at each time. Production rate F_c calculated Eq. (1), nondimensional fetch ξ , nondimensional distance for 10 km inland ξ_{10} and impaction-sedimentation ratio γ are also shown.

a) Hofu

18:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-9}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-9}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	4.16×10^{-1}	0.67	0.05	0.9	6.6	1.19	7.79
3.75 – 4.25	4.57×10^{-1}	over 2	0.2	1.0	3.3	4.57	15.08
4.25 –	2.88×10^{-1}	over 2	0.8	1.0	1.6	9.10	14.56
Total (g/cm ² h)						5.35×10^{-5}	1.34×10^{-4}

19:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-9}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-9}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	1.79×10^{-1}	0.29	0.06	0.6	5.5	0.40	2.16
3.75 – 4.25	1.95×10^{-1}	1.16	0.24	0.9	2.7	1.85	5.03
4.25 –	1.23×10^{-1}	over 2	0.95	1.0	1.4	3.89	5.25
Total (g/cm ² h)						2.21×10^{-5}	4.48×10^{-5}

20:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-9}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-9}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	4.90×10^{-1}	0.18	0.04	0.6	8.1	0.93	9.54
3.75 – 4.25	5.37×10^{-1}	0.72	0.16	0.9	4.0	4.83	19.33
4.25 –	3.39×10^{-1}	over 2	0.65	1.0	2.0	10.71	21.42
Total (g/cm ² h)						5.93×10^{-5}	1.74×10^{-4}

21:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-9}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-9}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	5.50×10^{-1}	0.15	0.04	0.6	6.2	1.04	8.56
3.75 – 4.25	6.03×10^{-1}	0.60	0.16	0.9	3.1	5.31	21.72
4.25 –	3.8×10^{-1}	over 2	0.64	1.0	1.5	12.01	25.22
Total (g/cm ² h)						6.61×10^{-5}	2.00×10^{-4}

22:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-9}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-9}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	2.40×10^{-1}	0.22	0.05	0.7	6.2	0.531	3.29
3.75 – 4.25	2.63×10^{-1}	0.88	0.21	0.9	3.1	2.37	7.34
4.25 –	1.66×10^{-1}	over 2	0.84	1.0	1.5	5.25	7.88
Total (g/cm ² h)						2.93×10^{-5}	6.66×10^{-5}

b) Hiroshima

18:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 - 3.75	6.76×10^{-2}	0.52	0.076	0.85	3.7	1.79	6.73
3.75 - 4.25	7.41×10^{-2}	over 2	0.31	1.0	1.8	7.41	13.34
4.25 -	4.68×10^{-2}	over 2	1.22	1.0	0.9	14.78	13.30
Total (g/cm ² h)						8.63×10^{-6}	1.20×10^{-5}

19:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 - 3.75	5.25×10^{-1}	0.70	0.076	0.9	8.0	1.16	9.3
3.75 - 4.25	5.75×10^{-1}	over 2	0.31	1.0	4.0	5.75	23.0
4.25 -	3.63×10^{-1}	over 2	1.2	1.0	2.0	11.47	22.9
Total (g/cm ² h)						6.62×10^{-5}	2.08×10^{-4}

20:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 - 3.75	5.96×10^{-1}	0.58	0.046	0.87	7.7	1.64	12.6
3.75 - 4.25	6.53×10^{-1}	over 2	0.18	1.0	3.8	6.53	25.0
4.25 -	4.12×10^{-1}	over 2	0.74	1.0	1.9	13.02	24.7
Total (g/cm ² h)						7.63×10^{-5}	2.24×10^{-4}

21:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 - 3.75	5.22×10^{-1}	0.53	0.04	0.85	8.6	1.40	1.21
3.75 - 4.25	5.74×10^{-1}	over 2	0.16	1.0	4.3	5.74	2.47
4.25 -	3.61×10^{-1}	over 2	0.64	1.0	2.1	11.41	2.40
Total (g/cm ² h)						6.68×10^{-5}	2.19×10^{-4}

22:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 - 3.75	5.98×10^{-1}	0.51	0.037	0.83	8.9	1.57	1.39
3.75 - 4.25	6.56×10^{-1}	over 2	0.15	1.0	4.4	6.56	2.89
4.25 -	4.14×10^{-1}	over 2	0.59	1.0	2.2	13.08	2.88
Total (g/cm ² h)						7.64×10^{-5}	2.58×10^{-4}

c) Mizushima

18:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	2.69×10^{-2}	0.19	0.1	0.63	3.3	0.54	1.77
3.75 – 4.25	2.95×10^{-2}	0.76	0.4	0.90	1.6	2.16	4.25
4.25 –	1.86×10^{-2}	over 2	1.6	1.0	0.8	5.88	4.70
Total (g/cm ² h)						3.27×10^{-6}	3.86×10^{-6}

19:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	3.80×10^{-2}	0.19	0.09	0.63	3.7	0.76	2.80
3.75 – 4.25	4.17×10^{-2}	0.76	0.36	0.90	1.9	3.75	7.13
4.25 –	2.63×10^{-2}	over 2	1.45	1.0	0.9	8.31	7.89
Total (g/cm ² h)						4.61×10^{-6}	6.42×10^{-6}

20:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	6.61×10^{-2}	0.15	0.671	0.60	4.6	1.25	5.76
3.75 – 4.25	7.24×10^{-2}	0.60	0.29	0.85	2.3	6.15	14.11
4.25 –	4.57×10^{-2}	over 2	1.14	1.0	1.1	14.44	15.90
Total (g/cm ² h)						7.87×10^{-6}	1.29×10^{-5}

21:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	1.91×10^{-1}	0.30	0.054	0.75	6.2	0.45	2.81
3.75 – 4.25	2.09×10^{-1}	1.2	0.21	0.95	3.1	1.99	6.16
4.25 –	1.31×10^{-1}	over 2	0.86	1.0	1.5	4.13	6.20
Total (g/cm ² h)						2.36×10^{-5}	5.46×10^{-5}

22:00

Range of log M 10^{-12} g unit	F_c Particles/cm ² s	ξ	ξ_{10}	α	γ	αMF_c $\times 10^{-10}$ g/cm ² s	$\gamma \alpha MF_c$ $\times 10^{-10}$ g/cm ² s
3.25 – 3.75	3.89×10^{-1}	0.34	0.046	0.75	7.5	0.95	7.10
3.75 – 4.25	4.27×10^{-1}	1.36	0.18	0.95	3.8	4.06	15.21
4.25 –	2.69×10^{-1}	over 2	0.74	1.0	1.9	8.50	15.98
Total (g/cm ² h)						4.86×10^{-5}	1.38×10^{-4}

参 考 文 献

- 1) 田中正昭・鳥羽良明：台風 9119 号による塩害と内陸への塩分侵入量について，京都大学防災研究所年報，第 36 号 B-2，1993，pp.103 – 119.
- 2) Iida, N., Toba, Y. and M. Chaen : A new expression for the production rate of sea water droplets on the sea surface. Jour. of Ocean., Japan. Vol. 48, 1992, pp. 439 – 460.

- 3) 鳥羽良明・田中正昭：塩害に関する基礎的研究（第 1 報），京都大学防災研究所年報，第 10 号 B，1967，pp. 331 - 342.
- 4) Tanaka, T : On the transport and distribution of gaiant sea-salt particles over land (1). Theoretical model., Special Contr., Geoph. Inst., Kyoto Univ., 6, 1966, pp. 313 - 344.
- 5) 岡田弘三：内海の波浪予測に関する研究，東北大学理学博士学位申請論文，1993.
- 6) Toba, Y : Stochastic form of the growth of wind waves in a single-parameter representation with physical implications. Jour. of phys. oceanor., Vol. 8, 1978, pp. 494 - 507.
- 7) 田中正昭：台風時における海岸での海塩粒子濃度分布について，京都大学防災研究所年報，第 37 号 B-2，1994，pp. 165 - 172.
- 8) Toba, Y. and M. Koga : A parameter describing overall conditions of wave breaking, whitecapping, sae-spray production and wind stress. Oceanic Whitecaps, Eds. : E. C. Monahan and G. MacNiocail Reidel, 1986, pp. 37 - 47.
- 9) Toba, Y. and M. Tanaka : A model of the transport and distribution of giant sea-salt particles over land. Jour. de Rech. Atmo. 1968, pp. 17 - 18.
- 10) 田中正昭：塩害に関する基礎的研究（第 6 報），京都大学防災研究所年報，第 15 号 B，1972，pp. 295 - 304.