

# 日向灘海岸における海塩粒径分布の観測について

野中善政（教育文化学部）



## 要 旨

近い将来、多数の風力発電施設が海岸に設置されると予測されるが、設備劣化への対策のために、海塩粒子の発生・輸送・拡散機構に関する、より十分な知識が求められる。海岸における海塩粒子の発生機構や挙動を解明するため、その一環として宮崎市近郊の郡司分・堀切峠の海岸において塩分を採集し分析を行った。これにもとづき、①海洋上と海岸付近における粒子発生機構の違い、②塩分発生量・粒径分布に見られる明瞭な季節差、③秋期北東風下で粒径分布が指数関数型の2つ山パターンになること、また④空中塩分量・粒径分布に及ぼす防風林の影響等について論じている。

### 1. はじめに

宮崎平野は日向灘に面する長い海岸線と防風林を有し、海岸線に沿って農地や重要な施設が点在する。さらに、現在、化石燃料に依存しない自然エネルギー発電として風力発電が有望視されており、実用化に向けての試みが行われている。海陸風など常時風の吹いている海岸部は風力発電に適した場所であり、近い将来海岸に沿って多数の発電施設が設置されるものと予測される。長期安定的に発電を行うためには、特に海塩粒子が原因で生じる設備劣化への対策が不可欠であり、海塩粒子の発生・輸送・拡散機構について十分な知識が求められる。また対策の一環として防風林の有効活用を図るということも考えられるだろう。

本報告では2000年10月から2001年8月にかけて宮崎市近郊の郡司分、堀切峠の海岸においてサンプラーにより塩分採集し、分析を行った結果について述べる。なお塩分採集と

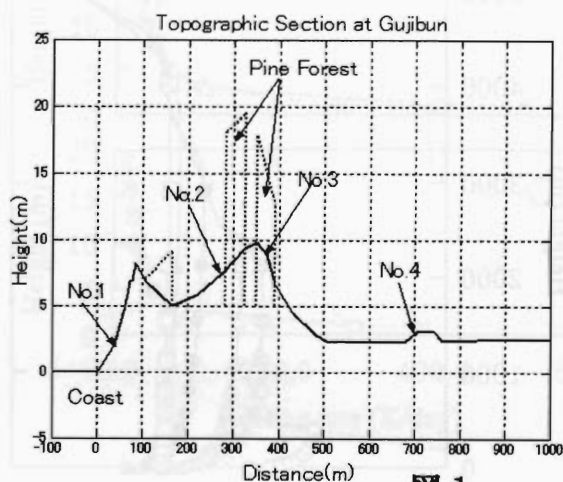


図 1

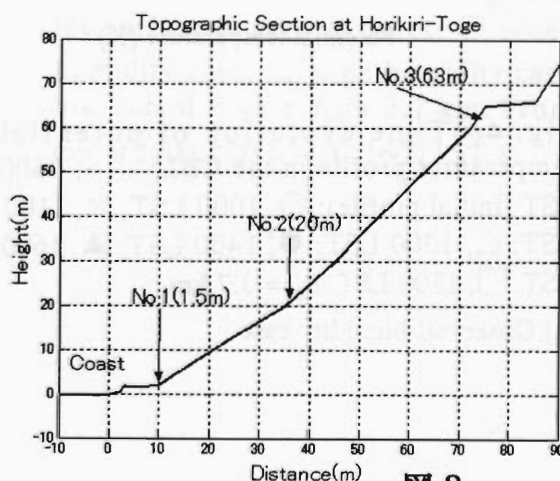


図 2

定量は教育文化学部地教室学生の卒論研究として行われたものである。観測点付近の地形断面図を図1，図2に示す。図中のNO.1～NO.4は塩分採集地点の番号を示し，以下で度々引用する。海岸からの水平距離及び高度に対する塩分濃度の変化を見る目的で郡司分地域と堀切峠地域を選んだ。両地域の海岸線は共通して北北東から南南西の方向に走っている。

## 2. 観測方法とデータ処理法

### 2-1 サンプラー及び塩分定量法

塩分採集にはアンダーセン・ノンバーブル・サンプラー (MODEL AN-2000) を用いた。本器は多孔ジェットノズルを備えた8ステージのプレートから成り，各ステージ (下段～上段) に216～800個 (直径：0.225～1.261mm) の孔がある。吸引空気のジェット気流速度  $V_c$  が上段から下段に増大するようになっており，吸引空気が各ステージを通過する際，サイズの大きい粒子から順に捕捉されることになる。各段での衝突効率が50%となる動力的粒径 (直径)  $D_{p50}$  は

$$D_{p50} = \sqrt{\frac{18\mu D_c \psi}{C V_c \rho}} \quad , \quad V_c = \frac{Q}{\pi \left( \frac{D_c}{2} \right)^2 N} \quad (1)$$

により計算される。ここで  $\mu$ ， $\rho$ ， $Q$  は空気の粘性，粒子の密度，空気吸引量， $D_c$ ， $N$  は孔の直径，孔の数である。また  $C$ ， $\psi$  はカニンガムの補正係数，慣性パラメータで，衝突効率50%の場合  $\psi = 0.14$  とする。 $Q = 28.3 \text{ l/min}$ ， $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  に対して， $D_{p50} = 0.43, 0.65, 1.1, 2.1, 3.3, 4.7, 7.0, 11.0 \mu\text{m}$  である。

サンプラーで捕集した塩分を乾燥させた後，定量した純水に溶解させ，溶液中の塩分量 (NaCl を基準とする) を原子炎光分光器で測定する。最後に空気総吸引量を考慮して大気塩分濃度 ( $\mu\text{g/m}^3$ ) に換算する。

### 2-2 塩分粒子の湿度補正と粒径分布の計算法

様々な湿度で塩分を採集する関係上，比較のため標準湿度 (80%) における粒径に換算する。また採集時の動力的粒径が粒子密度に影響されるため [(1) 式]，粒子密度の湿度補正が必要である。相対湿度  $RH$  での粒径 (半径)  $r(RH)$ ，粒子密度  $\rho(RH)$  について次式を用いる。

$$r(RH) = \frac{r(0)}{(1 - RH)^{0.26}} \quad , \quad \rho(RH) = 1 + 1.2 \times (1 - RH)^{0.78} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \quad (2)$$

ここで  $r(0)$  は  $RH=0$  における粒径である。さらに実際に定量するのは塩分質量であるが，習慣上，体積濃度に換算する。定量塩分質量が  $M$  のとき，相対湿度  $RH$  における塩分粒子体積  $V$  を

$$V = \frac{M}{\rho(0)} f(RH)^3 \quad , \quad f(RH) = (1 - RH)^{-0.26} \quad (3)$$

とし， $\rho(0) = 2.2 \text{ g/cm}^3$  おく。カスケード・インパクト型サンプラーから直接推定される量は，離散的累積塩分濃度  $V(r_n)$  ( $r_n=1 \sim 8$  は各ステージの動力的粒径) であ

る。粒径分布として明示するため、 $V(r_n)$ をスプライン補間した連続曲線  $V(r)$ を数値微分することにする。微分値の不連続的変動がない離散幅を  $\delta r=0.25\mu\text{m}$  として

$$\frac{dV(r)}{dr} = \frac{V(r+\delta r)-V(r)}{\delta r} \quad (4)$$

により粒径分布を求める。「粒径」は「半径」,「直径」いずれの意味でも用いられているが、以下では「半径」を意味するものとする。

### 3. 観測結果及び考察

#### 3-1 海岸における塩分粒径分布の季節差

図3は郡司分, 堀切峠の NO.1 地点で採集した塩分量をもとに算出した粒径分布 [横軸: 粒径  $\mu\text{m}$ , 縦軸: 体積濃度  $(\mu\text{m}/\text{m})^3 \mu\text{m}^{-1}$ ] である。比較のために, 海岸から離れた海洋上で観測された粒径分布 (C.W.Fairall ら, 1983) を図4に示す。図4の曲線群右端の数値は観測時の平均風速である。海洋上の塩分量は風速を  $U$  とした場合,

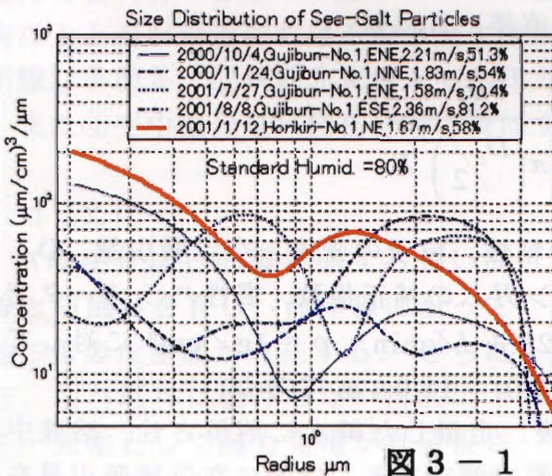


図 3-1

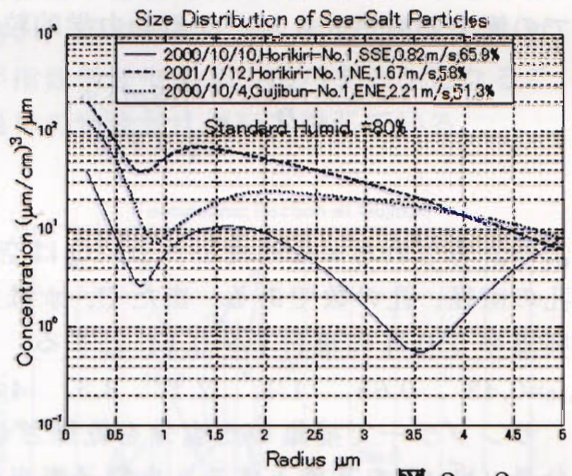


図 3-2

およそ  $U^{3.41}$  に比例して増大するが, 粒径分布そのものは風速にあまり依存せず, 体積濃度 (あるいは質量濃度) は風速  $3\sim 10\text{ m/s}$  に渡って2つ山型の分布であることが読み取れる。濃度の最大値は粒径約  $2\mu\text{m}$  にあり, また最小値は約  $0.3\mu\text{m}$  にある。粒径  $2\mu\text{m}$  における最大値,  $0.1\mu\text{m}$  における極大値はそれぞれ海面における粒子生成率 (約  $2\mu\text{m}$  で最大) と海面への粒子沈降速度 (約  $0.1\mu\text{m}$  で最小) に原因すると考えられる。図4と比較しながら, 図3-1の分布の特徴について考察しよう。

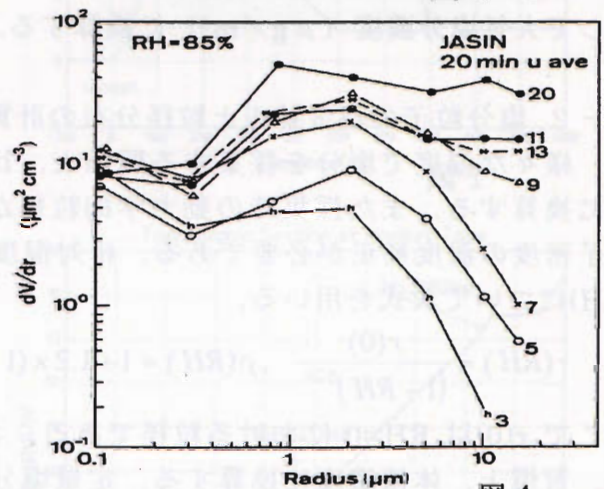


図 4

粒径  $2\mu\text{m}$  付近の塩分量で比較した場合, 図3-1秋期観測例が図4 ( $U=3\text{m/s}$ ) のケースに近いが, それぞれ  $20, 4(\mu\text{m}^2 \text{cm}^{-3})$  で5倍の開きがある。ただし後者が海洋混合層における平均値とされていることに注意しなければならない。

次に、図3-1に示した5例のうち1, 2例を除いては、粒径  $2\sim 3\mu\text{m}$  域に濃度極大値があり、また  $0.2\sim 0.9\mu\text{m}$  域に濃度最小値が位置するような分布になっている。しかし、濃度が最大・最小となる粒径が測定例ごとに変動し一定しないという点で、図4と様相を異にする。図4において  $1\mu\text{m}$  以下のサンプリング点が少ないことによる見掛け上の違いも考慮に入れる必要があるが、海洋上と海岸付近における粒子生成機構・拡散機構の違いが反映されている可能性があるだろう。例えば、海岸付近では海洋上に比べて、より混合層が発達するために、図4の濃度極小粒径  $0.3\mu\text{m}$  が  $0.5\sim 0.9\mu\text{m}$  にシフトするという解釈が成り立つかもしれない。

図3-1において、次に注目すべき点は  $4\sim 9\mu\text{m}$  域の夏期（7～8月）における塩分量が秋期（10～11月）のそれと比べて、約5倍程多いという点である。さらに夏の積算塩分量は、秋期の約2倍に達している（秋期： $88.7, 55.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，夏期： $141.7, 152.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

海岸付近の塩分濃度を決定する要因として、気象条件（風向・風速・温度・湿度）に加え、海岸における波高・砕波の状態が考えられる。最初に「風速」については、採集時風速にほとんど差がないので（秋期： $2.21, 1.83\text{m/s}$ ，夏期： $1.58, 2.36\text{m/s}$ ），風速が夏期・秋期の塩分量差の直接的原因であるとは考えにくい。次に「風向」については、

①海岸付近の塩分濃度に寄与する塩分粒子有効発生源と採集地点の距離に係わること（図6）、②海岸付近の波高に影響する、という理由で季節間差の原因である可能性が高い。しかし、秋期（10月4日）、夏期（7月27日）の採集時風向はENEで共通しているにも拘わらず、積算塩分量等に大きな差が生じていることから、風向による輸送距離差が季節間差の主たる原因ではない。一般に夏期には南東季節風が卓越し、秋期に比べ海岸の波高が高くなる。この違いが塩分発生量の差に結びついている可能性が高い。波高を正確に観測していないので不確定であるが、海岸の波高は局地的風向には必ずしも左右されないと考えざるを得ない。さらに、「湿度」・「気温」については、一般に気温－海水温度差は海岸付近における混合層の発達に影響するので、相対的に大きなサイズの粒子が夏期に増加する可能性がある。秋期・夏期の湿度はそれぞれ

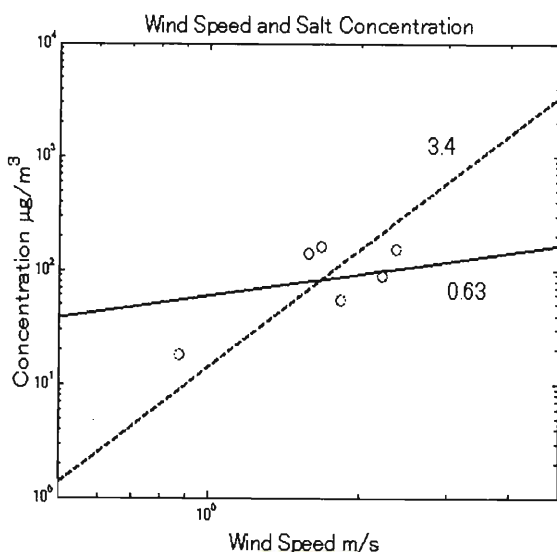


図5 風速と積算塩分量の相関。○は測定値を示し、勾配 0.63, 3.4 の直線はそれぞれ、6 個のデータに対する回帰直線（実線）と、海洋上における塩分濃度－風速の関係（点線）を表わす。データ数が増えるにつれて、勾配 3.4 の直線上に分布する傾向も見られる。

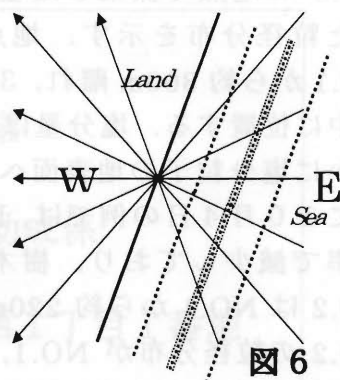


図6

れ、50～55%，70～80%で違いは確かに大きい。サンプリングに及ぼす湿度の影響（動力学半径），および湿度による空気中の粒径変化については（2）式により補正済みであるが，（2）式の妥当性について，さらに検討を要する。湿度補正の問題でないとするれば，波高・温度・湿度が関与する塩分粒子の発生機構・塩分粒子の挙動に係わる可能性が高まる。最後に10月4日（郡司分），1月27日（切峠海岸）で採集された粒径分布（図3-2：片対数プロットであることに注意）は明瞭な指数関数的な2つ山型のパターンであり，粒子発生・拡散過程に係わる比較的単純な統計則がこれら粒径分布の背景にあることを想像させる。

### 3-2 防風林による粒径分布の変化

図7，図8に郡司分のNO.1～NO.3の地点で採集した塩分量に基づいた粒径分布を示す。地点NO.3はNO.1から約300m離れ，3段目の松林の中に位置する。塩分量はNO.1に比べ全体として10分の1近く減少している。明らかに塩分粒子の地表面への沈降，また樹木等への付着により減少した結果である。特に10月4日の例では，NO.1の粒径分布形状が保たれる形で全粒径域に渡って一定の率で減少しており，樹木による除去がその主たる要因であると推定される。地点NO.2はNO.1から約220m離れ，2段目の松林の東端付近に位置する（図1）。地点NO.2の粒径分布がNO.1，NO.2に比べて複雑になっているのは，1段目の松林上を通過した粒子が地表に回り込むという要因が加わるからであり，0.7～0.8 $\mu\text{m}$ 域の塩分量が増加する特徴など全体として，図7，図8のNO.2地点の粒径分布に共通点があり，防風林に係わる粒子拡散についての何らかの仕組みが背景にあると推定される。

### 4. 今後の課題

本報告をまとめる中で，サンプリング時の動力学粒径に塩分粒子密度に係わるという点で，また粒径そのものが湿度に敏感に反応するという点において湿度補正が極めて重要であることが認識できた。適切な補正式を見出すために空中塩分粒子モデルに立ち返っての再検討も必要であろう。さらに塩分生成に海岸付近の波の状態が大きく関与していることは確実であるので，波高観測法の確立，また海岸地形・気象条件と波高・碎波など波の状態に関する力学・統計モデルを導入する必要がある。

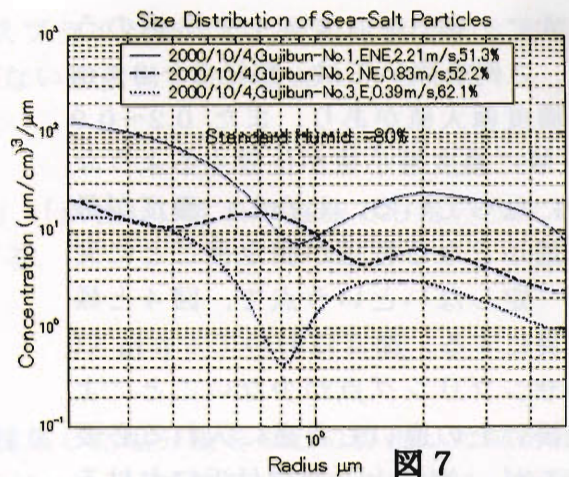


図 7

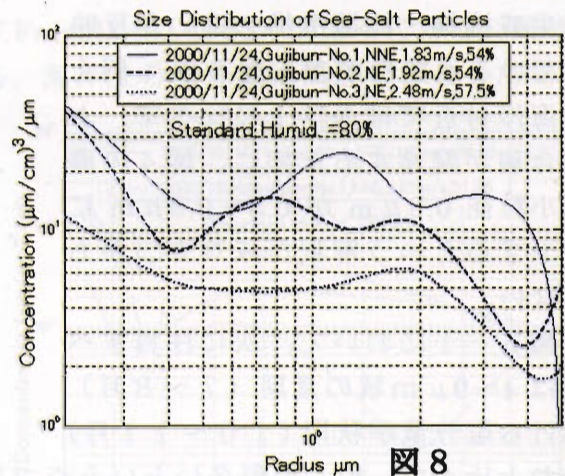


図 8