



野中善政 (教育文化学部)

要 旨

近い将来、風力発電施設が海岸に多数、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、より正確な知識が求められる。海岸における海塩粒子の発生機構と挙動を解明するため、前年度に引き続き、宮崎市近郊の海岸において塩分採集を行い解析した。今年度得られた成果は、①アンダーセン・サンプラーの仕様に基づいた質量サイズ分布計算法を新たに開発し、前年度報告書で提示した、データ解釈における問題の一部を解決したこと、②湿度・波高と塩分濃度の間に有意な相関があること、夏期における塩分濃度増加は主に湿度に原因することが究明できたことである。

1. 質量サイズ分布の推定法

サンプラーの各段で捕集される粒径に幅があることから、各段で捕集される質量と50%分離動学的粒径 D_{p50} の関係をそのまま質量粒度分布に読み替えることはできない。JIS/K0302(1982)の衝突率の実験データに基づき、上から第 n 段目の捕集質量 M_n と、質量サイズ分布 $dM(r)/dr$ (未知関数とする) の関係を以下のようにおく。

$$M_1 = \int_0^{\infty} \eta_1(\sqrt{\psi(r)}) \frac{dM(r)}{dr} dr$$

$$M_2 = \int_0^{\infty} \eta_2(\sqrt{\psi(r)}) (1 - \eta_1(\sqrt{\psi(r)})) \frac{dM(r)}{dr} dr \quad (1)$$

$$M_9 = \int_0^{\infty} (1 - \eta_8(\sqrt{\psi(r)})) (1 - \eta_7(\sqrt{\psi(r)})) (1 - \eta_6(\sqrt{\psi(r)})) \dots (1 - \eta_1(\sqrt{\psi(r)})) \frac{dM(r)}{dr} dr$$

ここで、 η_1 は第1段目の衝突効率であり、第1段目のノズルの直径 D_{c1} とノズルの数 N_{c1} から定まる空気の流速 V_{c1} に依存する。(1)は自動的に次の関係

$$\sum_{i=1}^9 M_i = \int_0^{\infty} \frac{dM(r)}{dr} dr \quad (2)$$

を満たす。2台のサンプラーで同時採集したデータを対等に扱う場合、連立方程式の次元は倍になる。(3)をガラーキン法により数値的に解く。基底関数として、3次Bスプライン関数 $S(x; \xi)$ を採用し、

$$\frac{dM(r)}{dr} = \sum_{i=1}^n c_i S_i(r; \xi_{-3}, \xi_{-2}, \dots, \xi_n) \quad (3)$$

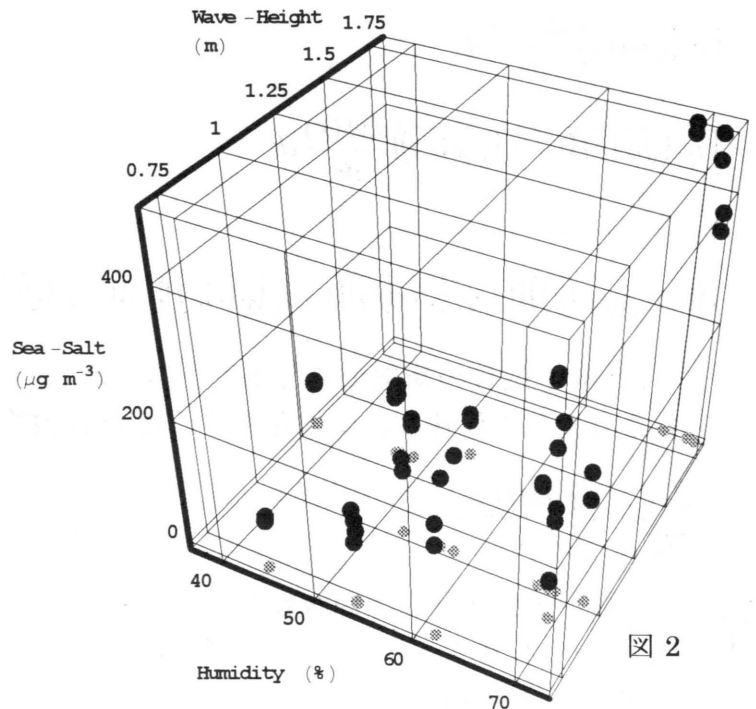
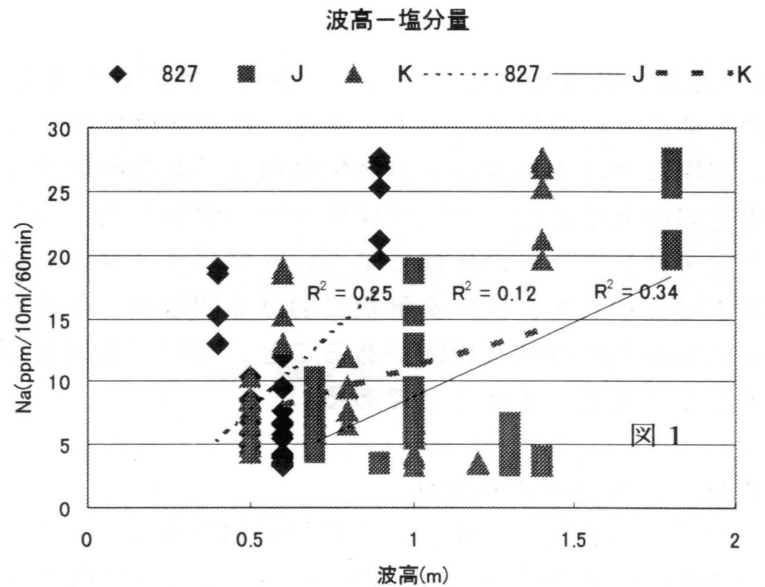
とおく (ξ_i は節点を示す). データに含まれる誤差を考慮し, 重み係数 $c_i (i=1 \sim n)$ についての最小自乗法解を求める. 数値解を求めるにあたって積分の上限 R_{\min} , 下限 R_{\max} を設定する必要があるが, 粒子密度 $\rho=1$ のとき, $R_{\min}=0.05 \mu\text{m}$, $R_{\max}=20 \mu\text{m}$ とした. 同時に, 積分の上下限において, サイズ分布及びサイズ分布の勾配が 0, という条件を与えた. さらに, 動力学粒径は上段で粗く, 下段で密になっており, 数値処理の安定性の面から対数サイズ分布

$dM(r)/d(\log r)$ を計算することにする.

2. 解析結果及び考察

2-1 塩分濃度と波浪・気象条件

海岸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), 波浪の波高・周期, また潮汐による潮高が考えられる. 2002 年 8 月から 10 月に得た海岸における塩分量の 43 個の観測例と, これらの要因との相関を調べた. ただし, 潮高は潮汐計算に基づくものであり, 波浪の波高・周期は気象庁の午前 9 時のデータを用いている. 宮崎市付近の波浪状態に関連しそうな 3 つの波浪観測点 827 (佐多岬付近), J (土佐湾), K (鶴御崎付近) を選んだ. 図 1 に示すように, 観測点 J の波高と塩分量の相関が最も高いことが分かった. 827 点, K 点は岬に位置しており, 宮崎市付近の砂浜とはやや状態が異なる



ことによるものであろう。気象条件については、相対湿度－塩分量の相関が最も高いことが分かった。その他の因子と塩分量、相対湿度の相関係数を表 1 に示す。ここで「風向」とは、観測場所海岸線に垂直な方角（東南東）からのずれ（度）の絶対値である。

表 1 塩分量・気象・波浪条件の相関係数

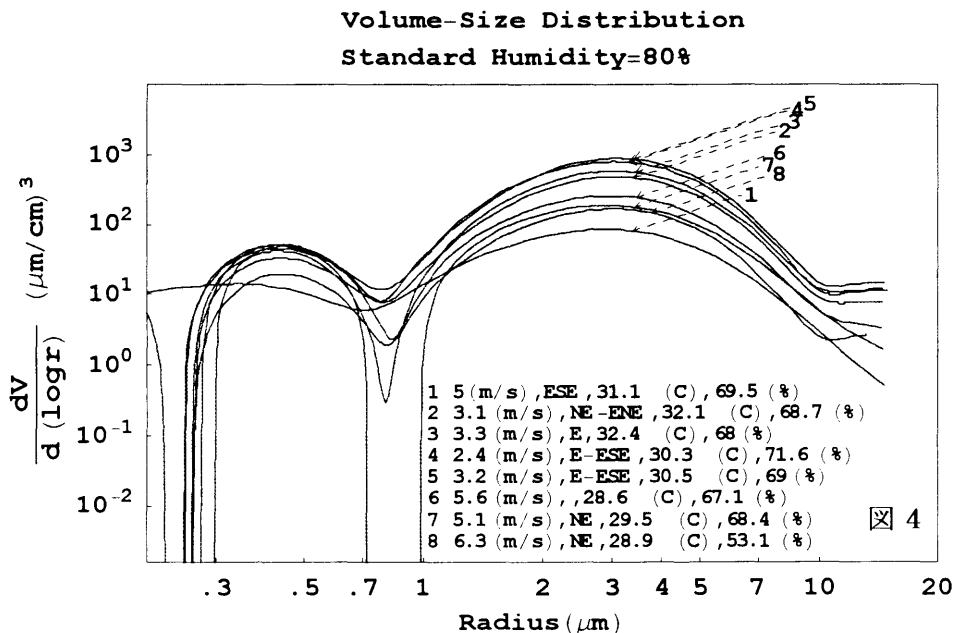
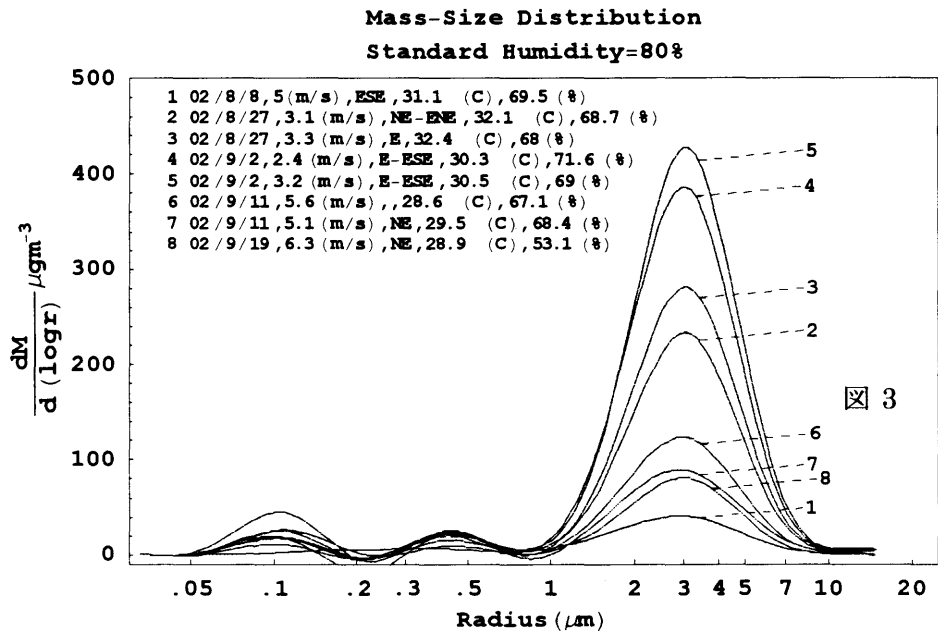
	気温	相対湿度	風速	風向	波高(J)	周期(J)	潮高
塩分量	0.43	0.66	-0.18	-0.44	0.59	-0.32	0.38
気温		0.60					
風向		-0.33					
波高		0.18	-0.43				
潮高		0.06					

塩分量との相関が相対的に高い因子は、①湿度、②波高、③風向、④気温、⑤潮高、の順になることが分かった。ただし、気温－湿度は正相関であり、気温は独立因子とは言えない。また、この場合、風向－湿度は負相関であり、見掛け上、塩分量－風向が負相関を示す原因となっている。今回の観測例では、風速－波高、風速－塩分量が負相関という結果になった。洋上と異なり、沿岸では風速が波高を決定していないことによる。以上から、データ数は限られているが、湿度が高く波高が高い状態で塩分量が増加することが予想される。塩分量－湿度・波高の相関関係を図 2 に示す。

2-2 海塩粒子サイズ分布

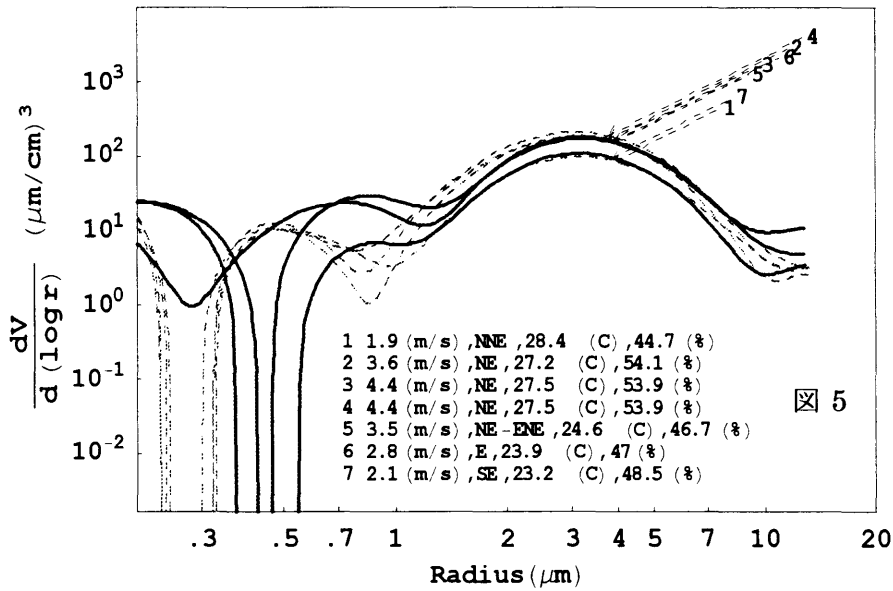
第 1 節で述べた方法により、粒子サイズ分布を推定した。図 3、図 4 は 8 例のデータ（2 台のサンプラーで同時採集）から推定した、質量／体積－サイズ分布 [横軸：粒子半径 μm 、縦軸：質量濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$] である。図 3 のサンプル 8 を除いて、湿度はほぼ一様である（67～72%）が、積算塩分量には 63～482 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の違いがあり、この場合の塩分濃度の差は主に波高の違いによるものである。サンプル 1、5 の波高はそれぞれ、0.9m、1.8m である。0.2、0.7 μm に極小値、0.4、3 μm に極大値が現れる特徴は 8 例に共通する。分布の極大・極小値に対応する粒径がサンプル毎にばらばらにならない点はもっともらしく、前報告書の解析結果と比べ、著しく改善された点である。洋上で観測された体積サイズ分布 [P.K.Quinn et al.(1996), Fig.6]（光散乱法による個数サイズ分布を体積サイズ分布に換算したもの、横軸直径で表示、掲載省略）と比較してみよう。図 3、Fig.6 の横軸は、それぞれ半径、直径の違いがあるが、分布の最大位置が共に約 3 μm にあるので、調整湿度差を考慮すると、横軸の目盛はそのまま対応しているとしてよい。まず、図 4、Fig.6 の最大値を比較すると、調整湿度差を考慮しても、図 4（本推定値）の方が約 10 倍程度大きいことが分かる。次に、図 3、図 4 の極小位置 0.2、0.7 μm は Fig.6 の極小位置 0.1、0.45 μm とは明らかに対応しない。これらの難点は、C.W.Fairall et al.(1983)の観測例との比較により、前報告書で指摘したことと共通する。積算塩分量差の原因は、前報告書で述べたように、主に洋上・沿岸の波浪状態の違い、観測場所、統計方法の違いなどに帰着すると思われる。一方、

分布の極大・極小値粒径の差はサンプラーの分級精度とサイズ分布推定方法に原因する可能性が高い。これらの難点を解消するため、2台のサンプラーで同時採集する際に、それぞれ異なった吸引流量に設定し、分離粒径を変更することで、分級精度を改善する試みを行った。図5において破線、実線は、それぞれ、2台のサンプラーの流量を標準 28.3 l/min に揃えた場合、一方のサンプラーの流量を 16.1 l/min に変更した場合の推定体積サイズ分布を示す。吸引流量を変更した場合、 $0.7\mu\text{m}$ の分布極小が解消し、新たに、 $0.4, 1.4\mu\text{m}$ に分布極小が現れる結果となっている。図5の極小位置、約 $0.4\mu\text{m}$ は Fig.6 の極小位置 $0.41\mu\text{m}$ に対応すると考えてよい。半径 $1.4\mu\text{m}$ 付近に目立たない極小値が現れる傾向は Fig.6 の一部のデータにも見られる。

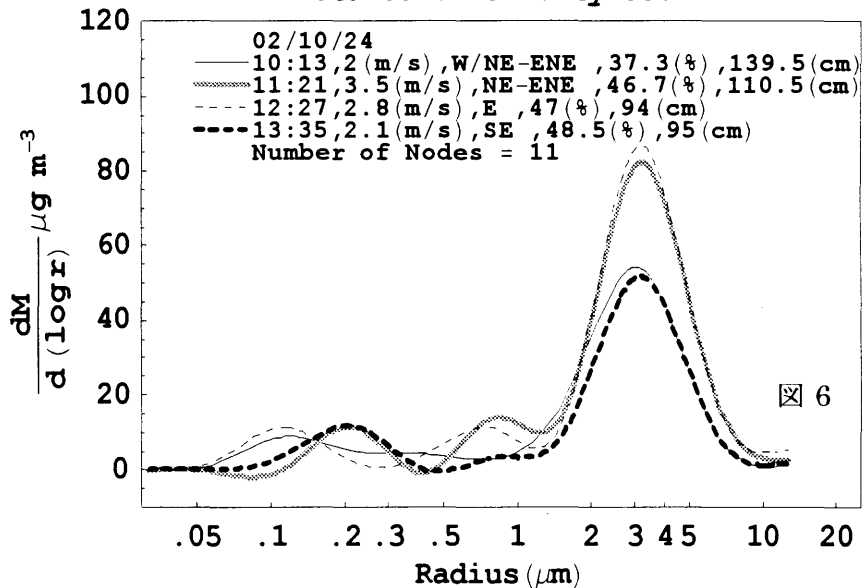


2-3 海塩粒子サイズ分布の日変化

Volume-Size Distribution
Standard Humidity=80%



Mass-Size Distribution
Standard Humidity=80%



今年度観測では、海塩粒子サイズ分布の時間変動を調べるため、海岸で1日3~4回の1時間採集を実施した。図6は10月24日の観測結果である。同日午前9時のJ地点の波高は1.3mであり、8月~10月の観測時J地点の波高が0.7~1.8mであるので波浪条件は中間に位置する。塩分濃度は10時10分~12時30分に掛けて、74→111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と増加し、13時30分以降の1時間値では63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に減少した。相対湿度は10時~14時に掛けて増加しているため、2-1節で述べた湿度との関係で言えば、塩分濃度は増加し続けるはずであるが、13時30分以降に減少した原因として、引き潮に伴う潮高変動(140→95 cm)と、風向変動(NE→SE)が考えられる。この場合の潮高・風向の変動傾向は共に、海塩粒子の有効発生源と観測地点を遠ざける方向にあり(前報告書 p.135)、その結果、塩分濃度の減少に至っているものと考えられる。