

有明海における流れと物質輸送の数値解析

中部大学 学生員 ○中嶋 大次郎
 中部大学 正会員 武田 誠
 中部大学 フェロー 松尾 直規

1. はじめに 2000 年冬季に生じたノリの不作問題に端を発して有明海の異変が大きく報道され、諫早湾潮受け堤建設問題と絡めて議論されてきた。また、潮受け堤建設後の赤潮発生が増えている状況が観測されており¹⁾、有明海の水質変動における潮受け堤の影響は無視できないと考えられている。しかし、有明海全域でみれば、流れと水質に及ぼす潮受け堤の定量的な影響は十分に明らかにされていない。そこで、本研究では、これらの影響を検討する第一段階として、潮受け堤の有無による流れと物質輸送の違いを平面二次元解析により明らかにすることを目的としている。

2. 解析モデル 解析に用いる支配方程式には、以下に示す浅水方程式を用いる。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial M}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial M}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + fN \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial N}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial N}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - fM \quad (3)$$

ここに、 u, v ：それぞれ x, y 方向の断面平均流速、 h ：水深、 M, N ：それぞれ、 x, y 方向の流量フラックス（ $M = uh, N = vh$ ）、 H ：水位、 τ_{sx}, τ_{sy} ：水表面でのせん断応力の x, y 方向成分、 τ_{bx}, τ_{by} ：水底面でのせん断応力の x, y 方向成分、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ ： x, y 方向の渦動粘性係数、 ρ ：水の密度、 t ：時間、 x, y ：平面の座標である。数値解析には差分法を用い、時間項には前進差分、移流項にはドナースキーム、その他の項には中央差分を用いる。淡水流入や日射による密度成層が発達する場合、鉛直方向の流動構造が大きく変化するため、三次元解析が必要となるが、ここでは平面二次元解析が適用できる鉛直方向に一樣とみなせる期間を対象とする。

3. 解析モデルの検証 計算領域は後述する図3の領域（開境界：口之津）であり、日本海洋データセンター²⁾より水深を入手したが、陸域近傍ではデータが存在しないため、干潟を考慮しながら海図から補正した。2002 年 8 月 1 日～6 日までの検潮所における潮位の解析結果と推算天文潮を比較することで解析精度の検証を行った。図1は竹崎島の推算天文潮と解析結果の水位変化である。計算の初期では初期条件の影響により解析結果が大きく振動しているが、それ以外はほぼ両者が一致していることから解析モデルが妥当であると判断される。また、 M_2 潮を用いた解析による潮汐残差流と観測値とを比較し、概ね良好な結果が得られた。

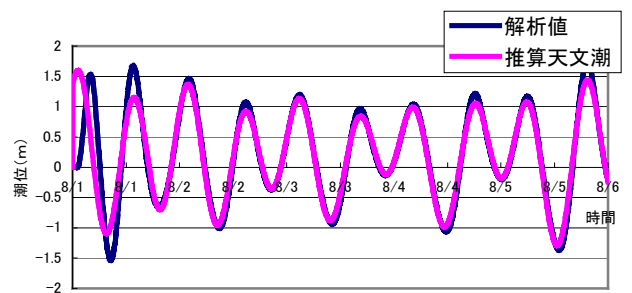


図1 竹崎島における水位変動の比較

4. 潮受け堤の有無による水位と流動の変化 水位と流動に関する潮受け堤の影響を検討した。まず、2002 年 8 月 1 日～6 日の水位変化に関して、潮受け堤の有無による影響は小さいものの、熊本県側で若干の差異が認められた。また、流動に関しては、潮受け堤近傍での差異はみられたが、有明海全体での際立った差異は認められなかった。さらに、 M_2 潮を対象とした潮汐残差流では、有明海全域の潮汐残差流に変化はないものの、諫早湾付近の潮汐残差流には明らかに変化が見られた。そこで、潮受け堤がある場合の潮汐残差流が

キーワード：有明海、潮受け堤、流動、物質輸送、数値解析

連絡先：中部大学、〒487-8501、愛知県春日井市松本町 1200、TEL 0568-51-1111、FAX 0568-52-0134

ら無い場合の潮汐残差流を差し引いた値（潮受け堤が有ることによる潮汐残差流の変化量）を図化した。有明海全体では、口之津周辺の湾口部、陸境界付近、諫早湾内で差が生じていたが、それ以外では大きな差は認められなかった。さらに、諫早湾を拡大した図2から、諫早湾湾口部の北部および南部で湾外に、湾口部の中央で湾内に向かう流れが認められ、湾口部における非一様な流れが潮受け堤の建設により強まったものと考えられる。

5. 粒子追跡による物質輸送特性とその影響の考察 流れにより輸送される粒子（初期配置：図3）の移動を次式を用いて解いた。

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u^* \Delta t, y^{t+\Delta t} = y^t + v^* \Delta t$$

(4) 図2 諫早湾の潮汐残差流の差

ここに、 x, y, z は粒子の位置、 t は時間、 u^*, v^*, w^* は x^t, y^t, z^t における流速、 Δt は計算時間間隔である。流速にはM₂潮を対象とした5分毎の解析結果を使用した。図4に20日目の満潮と干潮の粒子分布を示す。本図から、潮受け堤が無い場合は、湾外の粒子が多少諫早湾内部に流入してくるものの大きな水交換が行われないのに対し、潮受け堤が有る場合は、湾外から多量の粒子が諫早湾内部に流入してくることが分かる。これは、潮受け堤が有る場合には、湾内の水域が狭くなり、無い場合に比べて早く水位上昇および水位低下が生じるため、南方から水理量が変化する諫早湾湾口部では、上げ潮時に南方から入り北方から出て、下げ潮時には北方から入り南方から出る傾向が顕著になり、この結果として図2で示した潮汐残差流の差が生じたものと考えられる。なお、これは有明海全域からみればわずかな変化量ではあるが、潮汐残差流や粒子の移動、すなわち平均流とそれによる物質輸送の面からみると、明確な一つの変化とみなされる。

これらの結果を考慮しながら水質悪化問題を考察すると、潮受け堤が無い場合は、諫早湾内の水交換は少ないものの、干潟が存在したためその浄化作用によって水質悪化は余り進まなかったと考えられる。ところが、潮受け堤が有る場合は、栄養塩の高い有明海北部の水が流入しやすくなると同時に干潟の浄化作用が減少したため、必然的に水質悪化が進むことが考えられ、今後詳細かつ注意深い監視と検討が必要である。なお、実際には密度変化に起因する流れの状況を検討する必要がある、その結果を踏まえなければ一般的な議論にはならないものとする。

6. おわりに 有明海において流動と物質輸送に関する潮受け堤の有無による比較を行い、水理量の鉛直分布の一様性が満足される場では、潮受け堤が有る場合の方が無い場合に比べて外部の水が諫早湾に入り込みやすいという結果になった。有明海北部の栄養塩の高い水が入り込んだ場合、浄化作用の減少した諫早湾では水質悪化が進行することが予想されるため、今回の有明海の水問題に対して、ここで示した流動機構が一要因となっている可能性は十分にあると考える。

参考文献 1)「有明プロジェクト」代表 小松利光：有明プロジェクト中間報告書（その1）、10月、2002。
2)日本海洋データセンターホームページ：<http://www.jodc.go.jp/>。

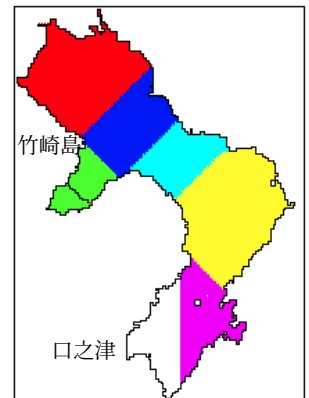
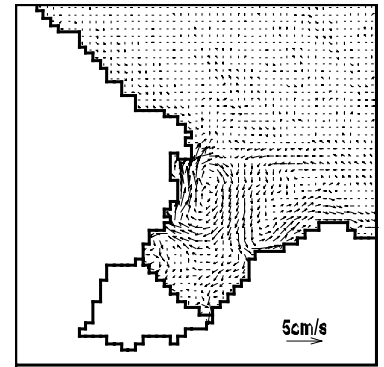


図3 水粒子の初期配置

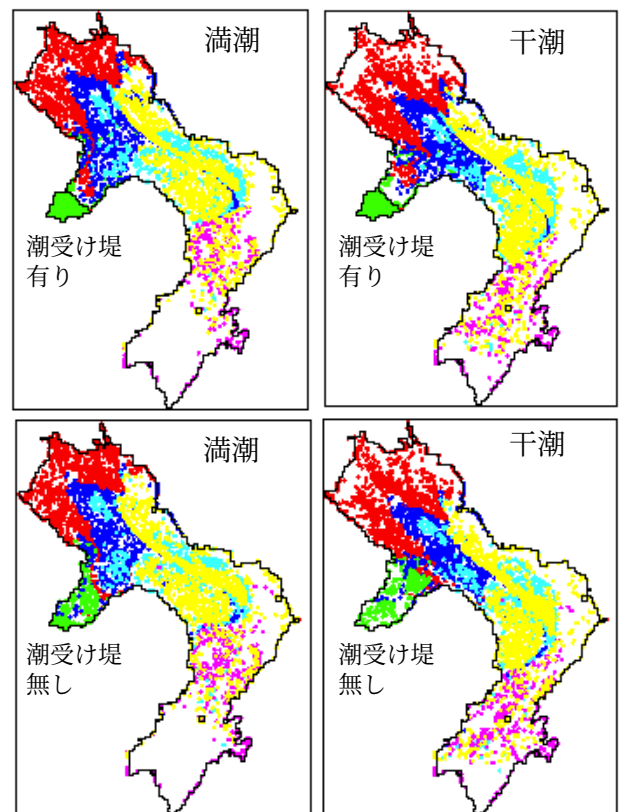


図4 20日目の粒子分布図