

Wetting and drying スキームを導入した
3次元 σ 座標系モデルによる諫早湾の流動解析
A three-dimensional sigma-coordinate ocean model
with a wetting and drying scheme and its application to Isahaya Bay

○ 紙屋雅雄*, 平松和昭**, 原田昌佳**, 森牧人**

○ Masao KAMIYA, Kazuaki HIRAMATSU, Masayoshi HARADA, Makito MORI

1. はじめに

有明海では多年にわたる諸要因によりそれを取り巻く環境が大きく変化してきており, その再生に向けた取り組みが急務となっている. 特に夏季における貧酸素水塊の発生は海域の生産性や生態系に悪影響を及ぼしている. その形成・解消要因等について明らかにするためには, 3次元モデルによる解析が有効であると考えられる. そこで本研究では海底地形を忠実に再現できる σ 座標系の海洋モデルを用いて, まずは諫早湾の流動解析を行い3次元モデルによる計算結果について検討した.

2. モデルの概要

(1) 3次元 σ 座標系モデル 本研究では3次元 σ 座標系海洋モデルである Princeton Ocean Model(以下 POM; Mellor, 2004)に wetting and drying scheme(以下 WDS; Uchiyama, 2004)を導入して諫早湾の流動解析を行った. 3次元 σ 座標系ではデカルト座標系における x, y, z 座標系が, 以下に定義される x^*, y^*, σ 座標系(Fig.1)へと変換される.

$$x^* = x, \quad y^* = y, \quad \sigma = (z - \eta) / D, \quad (1)$$

ここで, D は全水深($=H + \eta$, H : 水深, η : 水位)であり, $z = \eta$ のとき $\sigma = 0$, $z = -H$ のとき $\sigma = -1$ の値をとる. 静水圧近似, プシネスク近似された σ 座標系の連続の式と x, y 方向の運動方程式はそれぞれ以下のようにになる(変換後のアスタリスクは記していない).

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UV D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right) + F_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UV D}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma'} \right) d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) + F_y \quad (4)$$

ここで, U, V, ω はそれぞれ x, y, σ 方向の流速, g は重力加速度, ρ_0 は基準密度($1,025 \text{ kg/m}^3$), ρ は現場密度(密度は塩分とポテンシャル水温の状態方程式に従って決定される), f はコリオリパラメータ, K_M は鉛直渦動粘性係数, F_x, F_y はそれぞれ水平拡散項である. K_M は Mellor-Yamada レベル 2.5 モデル, F_x, F_y は Smagorinsky 型モデルを用いて評価する. POM では式(2), (3), (4)を水深について積分した方程式をあるステップ数解き(External Mode,

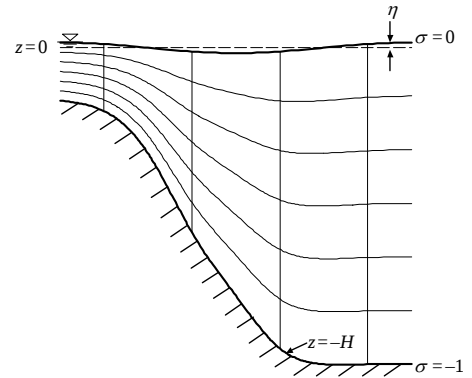


Fig.1 The sigma coordinate system

* 九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

**九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード: σ 座標系, wetting and drying scheme, 諫早湾, 流動解析

以下 EM), EM によって得られた流速, 水位などの値を用いて 3 次元計算(Internal Mode, 以下 IM)を行う(Mode Splitting Technique). また, 差分法により離散化された空間上の各変数はスタッガード格子に配置され, 時間積分は Leap Frog 法により行われる.

(2)WDS WDS は EM の各ステップで適用される. WDS では各格子に Land Mask Function(LMF)を定義し, 陸域で 0, 海域で 1 の値をとる. また全水深の閾値として d_{cr} (本計算では 0.2m に設定)を定義し, 各セルで $D_{i,j} \leq d_{cr}$ となったとき, 式(5)の条件を 1 つでも満たしたセルは陸域とみなされる. 海域セルが陸域セルとなったとき, 海と陸の境界では flux-blocking conditions が適用される. 以上のモデルにより諫早湾の流動解析を行った.

$$\begin{aligned} \min(\eta_{i-1,j}, \eta_{i+1,j}, \eta_{i,j-1}, \eta_{i,j+1}) &\leq \eta_{i,j} \\ \min(D_{i-1,j}, D_{i+1,j}, D_{i,j-1}, D_{i,j+1}) &\leq D_{i,j} \\ \max(LMF_{i-1,j}, LMF_{i+1,j}, LMF_{i,j-1}, LMF_{i,j+1}) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

3. 計算結果

Fig.2 に計算領域と流速観測地点, 計算結果と観測値との比較を示す. 本計算ではポテンシャル水温(10°C)と塩分

(30psu)は一定, すなわち密度一定とし, 風の影響, 河川からの流入などは考慮していない. また, 空間格子幅はそれぞれ $\Delta x, \Delta y = 200\text{m}$, 水深方向には σ レイヤーを 10 層とし, EM, IM の時間ステップはそれぞれ 5s, 50s, すなわち EM の計算を 10 ステップ行った後, IM の計算を 1 ステップ行った. 境界条件は Fig.2 の下部に示す潮位を諫早湾口で与えた. 計算値は観測値に比べ

て幾分値が小さく, 湾軸に平行に流れる傾向が見て取れる. これは本計算の場合, 湾口における流速の境界条件は湾軸方向のみを与えているため, 湾外の流れの影響を受けていないためと考えられる.

4. おわりに

本研究では WDS を導入した 3 次元 σ 座標系モデルを用いて諫早湾の流動解析を行い, 計算値と観測値を比較した. 結果として概ね流況は再現できていると考えられる. 今後の課題としては, 有明海全体を対象とし, 水温, 塩分, 風, 河川からの流入などを考慮した算を行い, 観測値との比較を行う予定である.

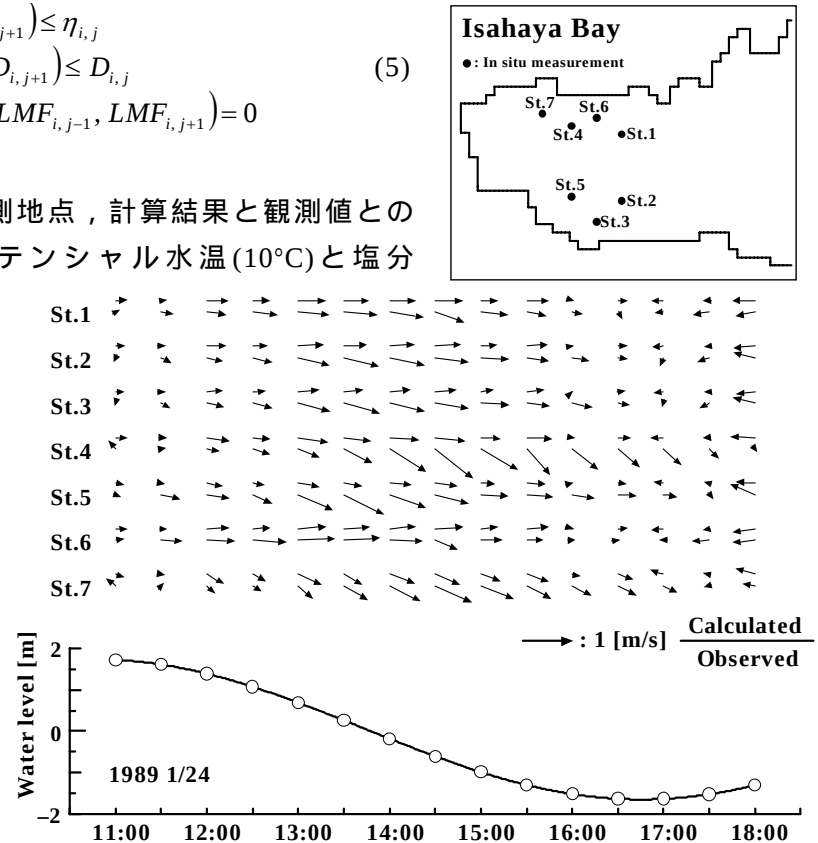


Fig.2 Comparison of flow vectors