

瀬戸内海全域を対象とした数値流動モデルの構築

香川高等専門学校 学生会員 ○住田一晃
香川高等専門学校 正会員 柳川竜一

1. 背景および目的

水域に対する環境意識の高まりから、研究者レベルのみならず行政や市民レベルでも環境保全・修復に関する活動が各地で活発である。とある NPO では、尼崎港内にてワカメを養殖し、それを堆肥に菜の花やサツマイモを育て、天ぷらにして食する栄養塩循環をテーマとした活動を実践している。和歌山では、アサリの資源量増加を目的として「和歌山あさり姫プロジェクト」と題して、竹筒にアサリ稚貝を投入し現存量増加を図っている。これら活動を含め海域の環境問題を定量的に評価・解決するには海水の質ならびに流況を明らかにする事は大きな意義がある。それらを踏まえ、本研究では、瀬戸内海全域を対象とした数値流動モデルを構築し、瀬戸内海とりわけ備讃瀬戸海域周辺での一般的な潮流場の特長を明らかにする事を目的とした。

2. 数値流動モデルおよび諸条件について

本研究では、中田ら（1983）により開発され Taguchi(1999)により改良を重ねられたマルチレベル流動モデルを用いた。本モデルの基礎式は、運動量保存の式(1) (2)、流量保存の式(3) (4)、熱および塩分の保存式(5) (6)、状態方程式(7)であり、Knudsen 式を用いて海水密度を算定した。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(vu) + \frac{\partial}{\partial z}(wu) = -f_0v - g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uv) + \frac{\partial}{\partial y}(vv) + \frac{\partial}{\partial z}(wv) = -f_0u - g\frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-H}^{\zeta} u dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-H}^{\zeta} v dz \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uT) + \frac{\partial}{\partial y}(vT) + \frac{\partial}{\partial z}(wT) = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uS) + \frac{\partial}{\partial y}(vS) + \frac{\partial}{\partial z}(wS) = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (6)$$

$$\rho = \rho(S, T) \quad (7)$$

u, v, w は x, y, z 方向の流速, ζ は水位, H は水深, ρ は密度, f_0 はコリオリ係数, g は重力加速度, P_a は大気圧, T は水温, S は塩分, $A_x \cdot A_y \cdot A_z$ は x, y, z 方向の渦粘性係数, $K_x \cdot K_y \cdot K_z$ は同様に渦拡散係数である。図-1および図-2では、計算領域の水深図およびメッシュ図を示す。また、計算対象期間、領域および計算パラメータ等は、表-1に取り纏めた。

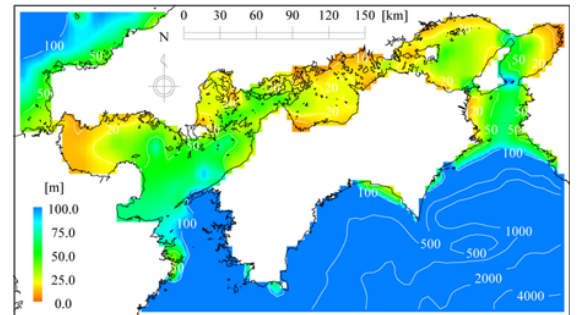


図-1 瀬戸内海の水深

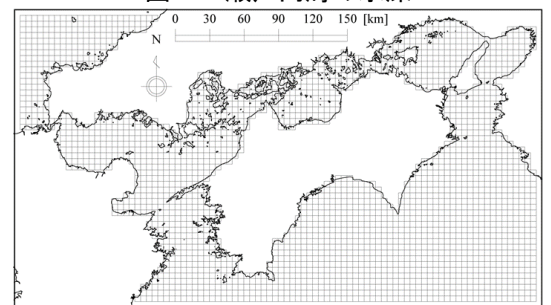
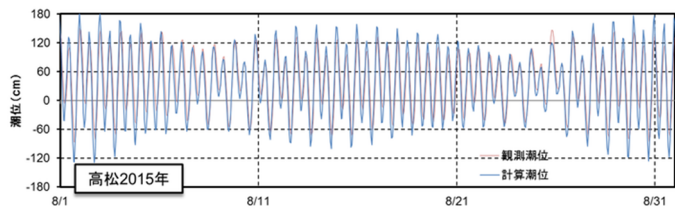


図-2 計算メッシュ図

表-1 数値モデル計算の条件一覧

設定項目	設定値
再現期間	2010年9月26日～2016年12月24日（7年間）
対象領域	瀬戸内海全域：460km×260km
水深	日本水路協会 M7017_瀬戸内海東部V2.0 日本水路協会 M7018_瀬戸内海西部V2.0.1
空間解像度 格子分割数	5km×5km (93メッシュ×53メッシュ)
鉛直層区分 (層番号・ 層厚・ 水深帯)	第1層：4m：海面～-4m 第2層：2m：-4m～-6m 第3-15層：3m：-6m～-45m 第16層：15m：-45m～-60m 第17層：20m：-60m～-80m 第18層：-：-80m～海底面
淡水流入	考慮せず
境界潮汐	Naotide99jbから各計算メッシュ潮位を推定
境界水温塩分	JODC水温・塩分統計を線形補間
気象要素	気象再解析値に基づくMSM-Sデータ
コリオリ値	メッシュ毎の緯度で換算
水平渦動粘性 水平拡散係数	グリッドサイズに対して Richardsonの4/3乗則より設定
海面摩擦係数	0.0013
海底摩擦係数	0.0026
時間解像度	12秒（大領域）



年月	回帰直線の 比例定数	決定係数 R ²
2014. 8	1.095	0.806
2015. 8	1.000	0.816
2016. 8	1.018	0.824

図-3 8月の観測値と計算値との比較および精度検証

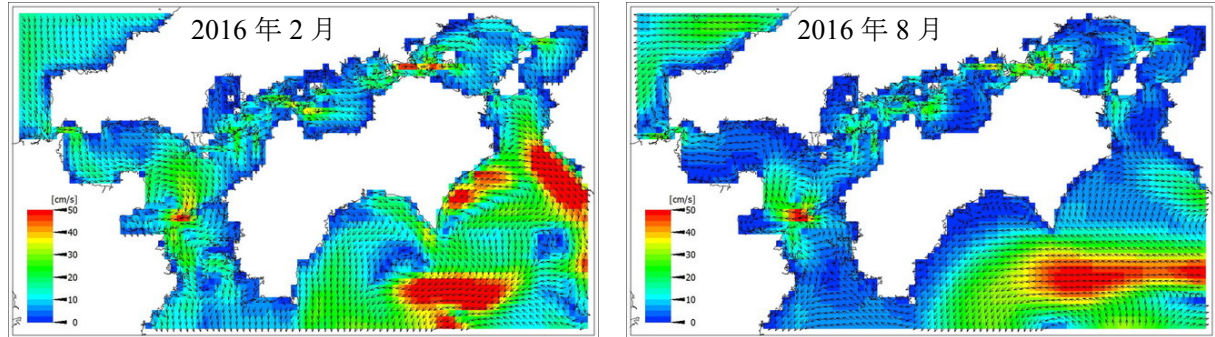


図-4 2016年2月および8月の平均流速ベクトル図

3. 流動モデルの精度検証と流況特性

結果例として、高松港での精度検証結果を示す(図-3)．回帰直線の比例定数は1.000～1.095で推移し，決定係数も常に0.8を上回っていることから，本計算結果は現地の状況を概ね再現したと考えられる．潮位振幅の誤差が大きくなる地点や時期も確認されたが，瀬戸内海の複雑な海岸地形や小島の再現，気象条件の高度化により，再現性を高めることができると考えられる．図-4は，2016年2月と8月での1ヶ月平均流速である．瀬戸内海では佐田岬地先での時計回りの循環流や，明石海峡，しまなみ海道周辺，備讃瀬戸航路，鳴門海峡付近での強い流れが表現されており，流況のパターンは季節によってやや変化していることも明らかとなった．

4. 流動モデルの活用事例

本結果の活用して，流れに完全に依存する粒子群の輸送先を粒子追跡モデルにより評価した．粒子初期配置は坂出市～倉敷市児島に挟まれた備讃瀬戸最狭領域表層に格子状に95個配置し，各月14日後に到達する湾を予測した．7年間分の計算結果から(表-2)，12～3月は粒子の多くが東進し紀伊水道から太平洋へと放出されたが，4～11月では西寄りにも漂流し，10月には安芸灘にも到達することが予測された．この傾向は検討対象とした7年間で大きな違いが認められず，漂流ゴミのような漂流物は時期によって到達先が異なることが示唆された．

5. まとめ

瀬戸内海全域を対象とした数値流動モデル構築と再現計算を行った．本計算モデルは瀬戸内海全域での大まかな状況を把握するに足る再現性を有していることを示した．また，活用事例として漂流ゴミの輸送先をイメージした粒子追跡モデルを組みこみ，季節によって輸送先が異なることを示唆した．本モデルの更なる精度向上および活用を図るため，河川流量の考慮や海表面での気圧の変化を盛り込んだモデル開発を継続する．

参考文献

1) 中田喜三郎，堀口文男，田口浩一，瀬戸口泰史：追波湾の三次元潮流シミュレーション，公害資源研究所彙報，Vol.12. No3, pp.17-36. 1983.

2) Koichi Taguchi, Kisaburo Nakata and Tetsuya Ichikawa, A 3-D simulation of long-term variability in the flow field and T-S structure in the Ise-Mikawa Bay estuary, J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci. Vol.5, No.1&2, pp37-48.,1999

表-2 2週間後の粒子輸送先

月	粒子数の到達割合 (%)							
	安芸灘	燐灘	備後灘	備讃瀬戸	播磨灘	大阪湾	紀伊水道	太平洋
1	0.0	0.0	0.0	1.1	83.8	0.0	5.0	10.2
2	0.0	0.2	0.2	9.6	78.0	0.5	3.9	7.7
3	0.0	0.0	0.3	10.4	59.5	0.0	24.1	5.7
4	0.0	0.9	1.2	26.0	65.1	0.0	0.0	6.8
5	0.0	0.2	1.7	24.2	69.3	0.0	0.0	4.7
6	0.0	0.3	1.2	41.8	50.8	0.0	0.0	5.9
7	0.0	0.0	0.3	27.1	67.4	0.0	0.0	5.3
8	0.0	1.8	3.0	40.2	48.4	0.0	0.0	6.6
9	0.0	10.4	6.9	42.6	30.1	0.0	0.5	9.6
10	0.9	6.3	2.9	32.3	50.1	0.0	0.0	7.5
11	0.0	0.3	1.2	34.3	57.3	0.0	0.5	6.5
12	0.0	0.0	0.0	15.3	74.1	0.0	4.1	6.5