

3次元直交格子座標系モデルを用いた有明・八代海の流動場の数値シミュレーション

熊本大学工学部環境システム工学科	学生会員	○山崎 大輔
熊本大学大学院自然科学研究科	学生会員	塚水 隆
熊本大学沿岸域環境科学教育センター	正会員	滝川 清
熊本大学工学部環境システム工学科	正会員	田中 健路

1 はじめに

有明海・八代海は、東シナ海に接した閉鎖性の非常に高い内湾である。両海域における流動場の空間3次元構造は、海域の物質循環を強く支配し、海域の環境変動メカニズムを解明する上で非常に重要であるとされている。有明海に関しては、干潟域を考慮した3次元数値シミュレーションが多数行われるようになってきているが、その南に隣接する八代海の流動場については議論されてきていない。また、閉鎖性が高い海域とはいえ、外海や有明・八代両海域の相互作用は少なからず流動場へ影響をもたらすはずであるが、その定量的評価まで至っていない。本研究では、有明・八代海全域の流動場の3次元構造を解明することを目的として、直交格子系3次元数値モデルの一つである MEC モデルを用いて数値シミュレーションを行った。

2 MEC モデル

MEC モデルは、日本造船学会海洋環境委員会 (Marine Environmental Committee) によって開発された、直交座標系 3次元流動モデルである。MEC モデルの主な特徴として、数 km スケールの広範囲の計算(静水圧モード)と数 m の構造物周りにあたる局所的規模(Full-3D モード)の同時ネスティング計算が可能であることである。また、MEC モデルは水水平方向において不等間隔格子により解析できることから、外海と内湾部との格子間隔を別々に与えられる利点がある。本研究では、有明海・八代海全域を対象とするため、静水圧モードのみを使用した。

静水圧モードは、鉛直方向について、静水圧平衡が成り立つと仮定し、鉛直方向の流速は連続の式より求める手法をとる。基礎方程式系は、以下の(1)~(5)で構成される。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + f_x \tag{2}$$

$$-\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_M \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} + f_y \tag{3}$$

$$-\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_M \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \tag{4}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -u \frac{\partial \theta}{\partial x} - v \frac{\partial \theta}{\partial y} - w \frac{\partial \theta}{\partial z} + A_c \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_c \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \tag{5}$$

ここで、式(1)は連続の式、式(2),(3)はそれぞれ x,y 方向の運動方程式、式(4)は静水圧平衡の式、式(5)は温度や塩分濃度などのスカラー量に関する拡散方程式を表す。

3. 有明・八代海への適用

3.1.モデルの改良

有明海・八代海における数値シミュレーションを行う前に、以下の点に関して MEC モデルの改良を施した。

まず、内湾の水深 10m 以下の浅海域と湾口付近で水深 100m 以上の領域が混在するため、格子生成段階において、従来の等間隔メッシュから、ストレッチングを行えるように改良した。

また、MEC では、温度・塩分輸送方程式(5)において、大気側の境界条件として、上空の風速・日射加熱・降水・気圧などの気象要素を取り込んで計算

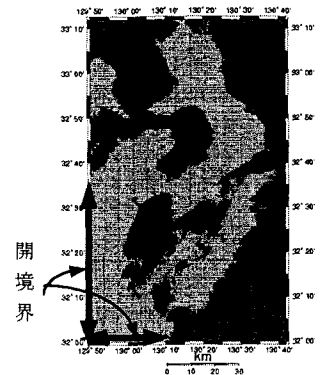


図-1 : 計算領域

できるようになっているが、時刻・緯度経度情報を計算に組み込むことにより、気象庁配布の客観解析データやレーダーアメダス降水データなど、各種外部データを導入しつつ、数値シミュレーションを行うことが可能となる。外部データの導入は今後更なる改良を施す必要があるが、今回は日射加熱のコントロールができる段階まで改良を施した。

### 3.2. 解析領域及び計算条件

解析領域は図-1に示すように、x（東西）方向に90km, y方向140kmを設定し、外海の東シナ海については、最深部を150mと一定にした。格子点数はx,y,z方向にそれぞれ、150×200×15個とし、格子間隔はそれぞれ、600m,700m,3~19.5m(鉛直方向のストレッチングを実施)とした。計算時間ステップは2.0秒とし、72時間後まで計算を行った。開境界域において、振幅0.5m, 周期12時間の潮位振動をあたえ、最初の1潮汐を助走期間として振幅をコントロールした。

### 3.3. 計算結果

図-2、図-3はそれぞれ、上げ潮最大時、下げ潮最大時における、表層付近の流速分布をあらわしている。有明・八代海の連結部分に注目すると、上げ潮時には八代海から有明海へ、下げ潮時には有明海から八代海へと海水の流動が見られる。この連結部分については、従来の計算ではあまり考慮に入れられていないが、その存在が、湾口から天草上島北側の最も流速の大きい領域の流向に少なからず影響を与えていることが考えられる。

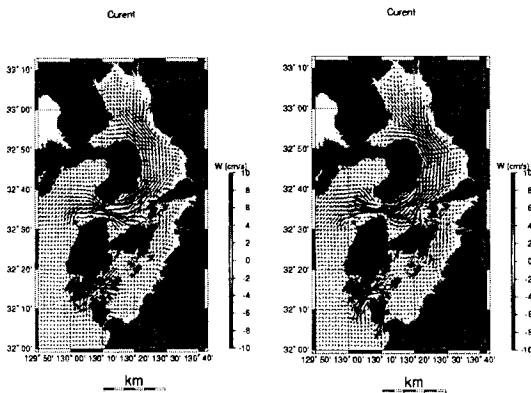


図-2 流速分布図  
上げ潮最大時

図-3 流速分布図  
下げ潮最大時

また、図-4,図-5はそれぞれ東経130° 23'の地点を南北方向に切り出した、水温・塩分濃度の鉛直分布図である。今回、水温・塩分濃度を解析する上で、位置時刻情報プログラムを組み込み、日射による加熱を考慮した。これらの図は2000年1月1日午前0時を解析開始時刻とした、48時間後の結果である。水温・塩分濃度共に、過去の有明海の現地観測データに見られる、加熱に伴った層状の分布を得ることができた。

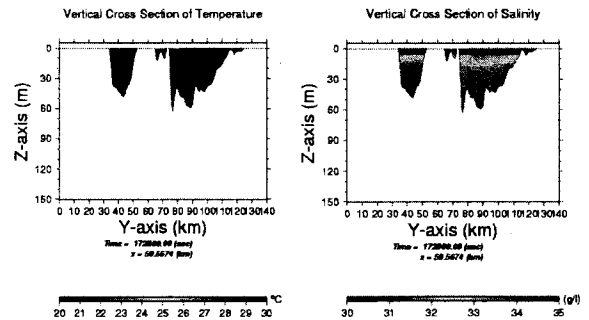


図-4 水温鉛直分布図 図-5 塩分濃度鉛直分布図

### 5 おわりに

本研究において、有明海・八代海を同一領域内に取り込んで計算した。その結果、大矢野島付近の有明海と八代海との接続領域の存在が、特に有明海側の流動特性に少なからぬ影響を与えていることが確かめられた。

### 参考文献

- MEC Ocean Model 専門委員会：MECモデルワークショップ(第1回)(2002)
- 滝川清, 田中健路, 西岡律恵, 外村隆臣, 青山千春：有明海の過去25年間における海域環境の変動特性, 海岸工学論文集第50巻, pp1001-1005(2003)
- 松尾貴史:  $\sigma$ 座標系を用いた3次元流動モデルの浅海域への適用に関する研究(2002)