

鳥取大学大学院 正会員 松原雄平
 鳥取大学大学院 正会員 黒岩正光
 鳥取大学大学院 学生員 森川真圭

1. はじめに

近年、日本においては、タンカー座礁による原油の流出や海洋ごみ等による海洋汚染、エチゼンクラゲの大量発生など、海洋における環境問題が深刻化している。汚染物質排出等の人為活動や船舶、海洋構造物等が自然環境に及ぼす影響評価は数値モデルを用いて解析されるが、従来は、狭域での構造物周りの流れの解析と広域での流れと拡散の解析は別々に行われてきた。そこで、これらを連立して連続的に解析する目的で、日本造船学会・海洋環境研究委員会が開発したものが、MEC モデル(Marine Environmental Committee Model)¹⁾である。本研究では、この MEC モデル(静水圧モデル)を用いて日本海の流動計算を試み、計算結果の妥当性を検討する。

2. MEC モデル(静水圧モデル)の概要

海洋における流れでは時間スケールが非常に大きく、そのため水平方向のスケールが水深と比較して非常に大きいという性質を利用し、圧力は静水圧しか考慮しないという、静水圧近似が成立する。これを適用した流動モデルを静水圧モデルといい、さらに、浮力項でのみ密度変化を考えるブシネスク近似を適用すると、海水の運動は以下の支配方程式で表すことができる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (\text{静水圧近似}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{連続の式}) \quad (4)$$

ここに、 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向流速、 p は圧力である。また、 ρ は海水密度、 f はコリオリパラメータ、 A_M, K_M は水平および鉛直渦動粘性係数である。

水平渦動粘性係数 A_M ・水平渦動拡散係数 A_C は、リチャードソンの 4/3 条則に従うものとし、格子幅の関数とする。

$$\frac{A_M}{A_{M0}} = \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (5)$$

$$\frac{A_C}{A_{C0}} = \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (6)$$

ここで、 A_{M0}, A_{C0} は基準格子幅 $D_0 = 1 \text{ m}$ に対応する水平渦動粘性係数・水平渦動拡散係数である。

鉛直渦動粘性係数 K_M ・鉛直渦動拡散係数 K_C は、次式のように、成層化関数による表現を用いる。

$$\frac{K_M}{K_{M0}} = (1 + \beta_M R_i)^{\alpha_M} \quad (7)$$

$$\frac{K_C}{K_{C0}} = (1 + \beta_C R_i)^{\alpha_C} \quad (8)$$

ここで、 K_{M0}, K_{C0} は中立時の値である。 R_i は勾配型リチャードソン数であり、次式で表される。

$$R_i = -\frac{g \frac{\partial \rho}{\partial z}}{\rho_0 \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2} \quad (9)$$

ここで、 ρ_0 は基準となる密度である。リチャードソン数が大きい程、成層が発達し、鉛直混合が妨げられている状態と考えることができる。

$\alpha_M, \alpha_C, \beta_M, \beta_C$ については様々な値が提唱されているが、ここでは渦動粘性については Webb(1970)の値、渦動拡散については Munk(1948)の値を使用し、 $\alpha_M = -1$ 、 $\beta_M = 5.2$ 、 $\alpha_C = -1/2$ 、 $\beta_C = 10/3$ とする。

3. 日本海における流動解析

1) 概要：日本海において流動計算を行い、その結果について実際の流動や従来の研究と比較し、計算結果の妥当性を検討した。日本海は、日本列島、サハリン、ロシア沿海州および朝鮮半島に囲まれた半閉鎖的な海域であり、対馬海峡から対馬暖流が流れ込んでいる。計算領域は、図-1 に示すように、x 方向、y 方向ともに 2000km とし、最大水深は 3812m となっている。また、初期条件として、対馬海峡に流速 0.4m/sec を与えた。計算条件は表-1 に示すとおり設定した。なお、今回の計算においてリマン海流、潮汐は考慮していない。

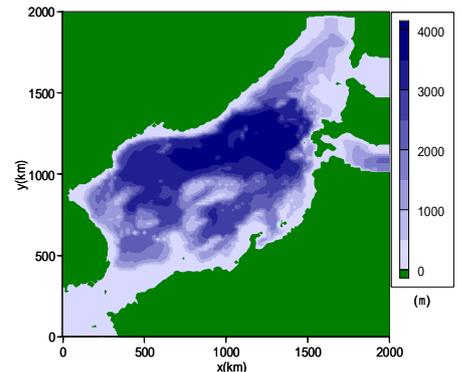


図-1 計算領域と海底地形²⁾

2) 計算結果と考察：図-2～図-5 はそれぞれ 1 カ月後、3 カ月後、6 カ月後、12 カ月後の日本海の表層における流速図であり、また、図-6～図-9 は日本海の表層における水温図である。図-4 を見ると、日本海盆に 2 つの大きな冷水渦が見られる。冷水渦が発生するという事は、その場所の水温が周囲より低いことを表しており、図-8 を見てもそのことが確認できる。また、これらの渦を避けるように北上する蛇行した流れが発生している。さらに、12 カ月後の表層の流速図を従来の研究³⁾による観測を基にした日本海の夏季の表層循環の概略、海洋大循環モデル RIAMOM による日本海の 7 月の平均流速場⁴⁾や実際の日本海の流れ図と比較した結果、リマン海流や潮汐を考慮していないが、日本沿岸を北上する対馬暖流や日本海北部の亜寒帯循環がよく再現されていることがわかった。また、ロシア沿岸を南下する沿海州寒流や朝鮮半島を南下する北鮮寒流、さらには、蛇行はしているものの、日本海中央部を北上する東鮮暖流など比較的小さな海流も再現できている。

表-1 日本海の流動解析における計算条件

| 項目 | | 設定値 | | | |
|-----------|---------------|--|------|------|------|
| 格子分割 | 水平・鉛直方向格子数 | 100 (x) × 100 (y) × 10 (z) | | | |
| | 水平・鉛直方向格子幅 | x = y = 20km, z = 400m | | | |
| 初期条件 | 水温 | 1層 | 30.0 | | |
| | | 2層 | 15.0 | | |
| | | 3層～7層 | 4.0 | | |
| | | 8層～10層 | 1.0 | | |
| 境界条件 | 塩分 | 30.0‰ | | | |
| | 潮汐 | 考慮していない | | | |
| | 水温 | 境界 | 境界 | 境界 | |
| | | 1層 | 28.0 | 22.0 | 18.0 |
| | | 2層 | 15.0 | 10.0 | 8.0 |
| | | 3層～7層 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 8層～10層 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | |
| 塩分 | 30.0‰ | | | | |
| コリオリパラメータ | | 8.3 × 10 ⁻³ rad/sec (緯度 34° 30' N) | | | |
| 渦動粘性係数 | 水平方向 A_{M0} | 5.0m ² /sec | | | |
| | 鉛直方向 K_{M0} | 1.0 × 10 ⁻³ m ² /sec | | | |
| 渦動拡散係数 | 水平方向 A_{C0} | 10.0m ² /sec | | | |
| | 鉛直方向 K_{C0} | 1.0 × 10 ⁻³ m ² /sec | | | |
| 海底摩擦係数 | | 0.0026 | | | |
| 差分時間間隔 | | 60.0sec | | | |
| 総計算ステップ | | 525600step = 365日 | | | |

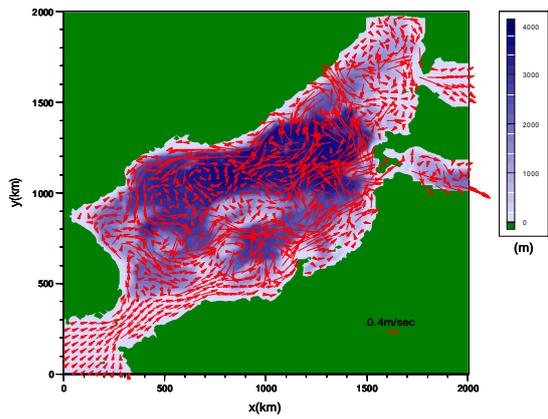


図-2 1ヵ月後の表層の流速図

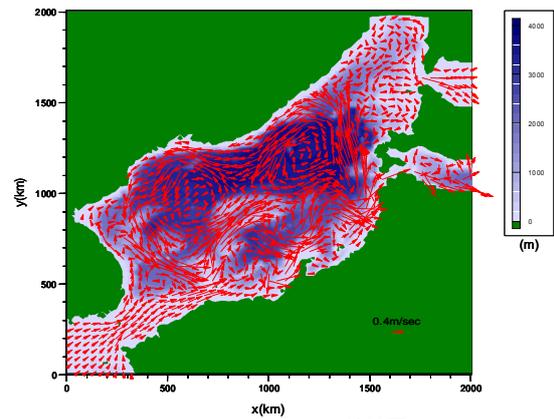


図-3 3ヵ月後の表層の流速図

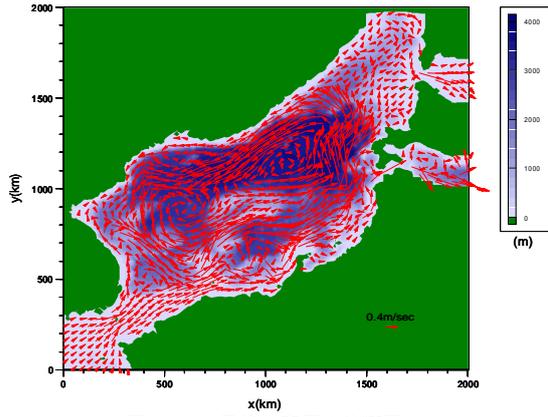


図-4 6ヵ月後の表層の流速図

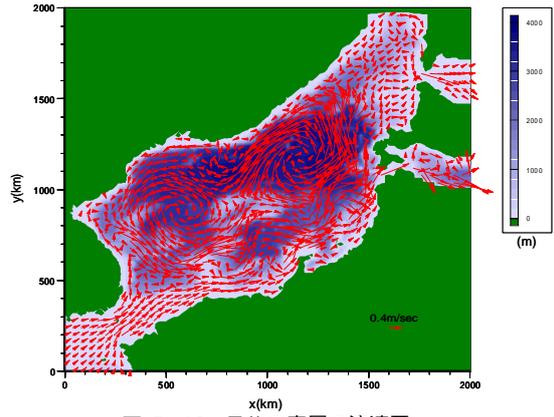


図-5 12ヵ月後の表層の流速図

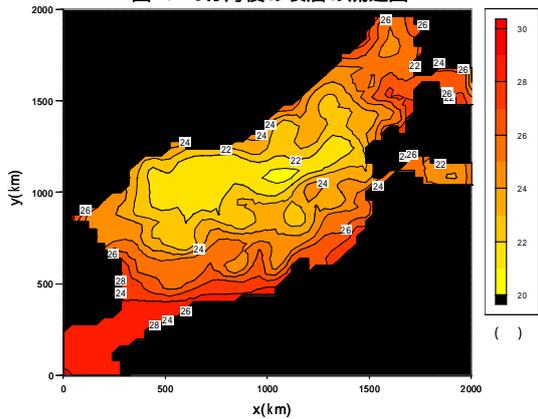


図-6 1ヵ月後の表層の水溫

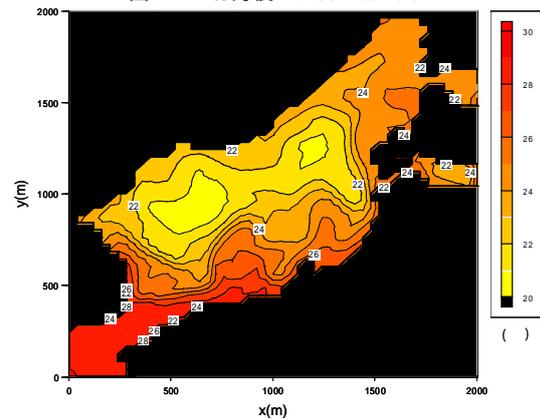


図-7 3ヵ月後の表層の水溫

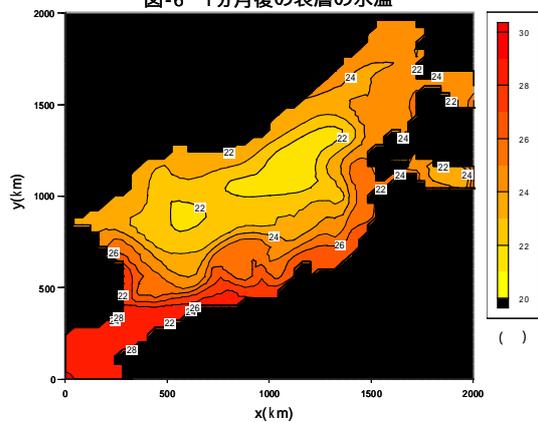


図-8 6ヵ月後の表層の水溫

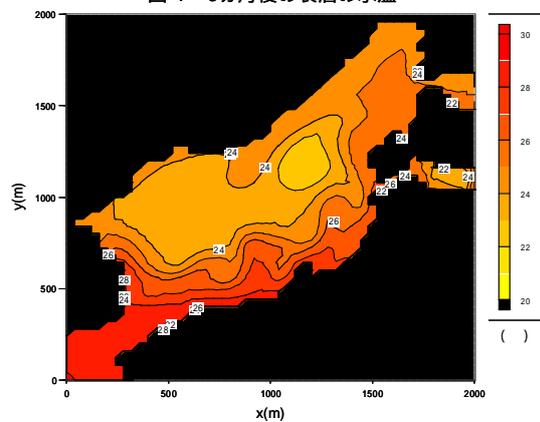


図-9 12ヵ月後の表層の水溫

4. おわりに

本研究では、MEC モデルを用いて、モデル地形と日本海において流動計算を行った。モデル地形において計算テストを行うことで、流速の再現が可能であることがわかった。一方、日本海における流動解析においては、冷水渦や暖水渦の発生により、水温の変化に伴って流れも変化していることがわかった。また、海洋流動場に対しては海底地形が大きく影響を及ぼすので、本研究において、日本海における多くの循環現象や様々な海流が再現できたのは、緯度経度 30 秒グリッドの水深データを用いたことで、実際の海底地形に近いものが表現できたためと考えられる。今後、リマン海流や潮汐を考慮することでさらに精度の良い結果が得られると考えられる。

最後に、本研究は、鳥取県農林水産部との共同研究「日本海流動モデルの開発に関する共同研究」の成果の一部であることを付記する。

【参考文献】

- 1) 日本造船学会・海洋環境研究委員会：MEC モデルワ - クショップ（第1回）（平成12年11月30日）
- 2) 海洋情報研究センター，（財）日本水路協会：MIRC-JTOP030 日本近海 30 秒グリッド水深データ
<http://www.mirc.jha.jp/products/JTOP030/>
- 3) Yarichin(1980)：Status of the research of the Japan Sea water circulation.
Trudy DVNIGMI80:46-61.
- 4) 笹島雄一郎（九州大学大学院 総合理工学府）：海洋大循環モデルによる日本海循環の再現
<http://www.cc.kyushu-u.ac.jp/publish/kohobkno/genkoVol6No2/14-sasajima2.pdf#search='海洋大循環モデル RIAM OCEAN MODEL'>