

多層モデルによる鹿児島湾の流動と密度場の数値解析

九州大学大学院 学生員 ○岩切 幸幸

九州大学総理工 正 員 経塚 雄策 胡 長洪

1 はじめに

これまで沿岸域は、人間活動の場として、さまざまな方面で利用され、将来的にも、さらにその利用価値は高まっていくであろう。しかし、それに伴う海洋開発は益々大規模化しており、周辺海域の環境に多大な影響を与えることは想像に難しくない。近年の海洋開発構想の1つとして、沿岸域に超大型浮体を設置し様々な目的に利用しようという構想がある。しかしこの実現にも、いわゆる環境アセスメントが求められ、周囲の海洋環境および生態系に与える影響を事前に評価しておくことが必要となる。本講座ではこれまで、超大型浮体が内湾の海水流動に与える影響評価の一環を数値解析等により行ってきたが、今後は、沿岸域を1つの生態系と考えるエコシステムモデルによる評価を行う必要がある。

本研究では、その前段階として、密度変化を考慮した多層モデルを開発し、これを夏季の鹿児島湾に適用したので、その結果を報告する。

2 モデルの概要

数値モデルでは、以下に示す支配方程式を陽解法により差分計算した。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + f v + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - f u + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

ただし、 f はコリオリパラメーター、 ρ は海水の密度、 ρ_0 は海水の代表密度(定数)、 p は圧力、 g は重力加速度、 $A_M \cdot K_M$ はそれぞれ水平・鉛直方向の渦動粘性係数である。密度変化を考慮するときは、次のような水温 T ・塩分濃度 S の移流拡散方程式を同時に解く。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = A_C \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_C \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = A_C \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_C \frac{\partial S}{\partial z} \right) - \frac{R S}{V_R} \quad (6)$$

ここで、 $A_C \cdot K_C$ はそれぞれ水平・鉛直方向の渦拡散係数、 R は単位時間当たりの河川からの流入量で V_R

はそれが流入する体積である。海水の密度 ρ は水温 T と塩分 S のみの関数として表した次式を用いる。

$$\rho = 1028.14 - 0.0735T - 0.00469T^2 + (0.0802 - 0.002T)(S - 35.0) \quad (7)$$

境界条件は、陸地との境界では no-slip の境界条件を用い、熱流量も塩分流量もないとした。開境界では強制水位を与え、 $T \cdot S$ については流入時に固定値を与え、流出時には自由流出とし、速度勾配はないものとした。海底では海底の摩擦応力を与え、海面では風の応力及び以下のような塩分と熱のフラックス Q_S 、 Q_T を与える。

$$Q_S = S(E_{\text{vap}} - P_r) \quad (9)$$

$$Q_T = Q_s - (Q_b + Q_e + Q_c) \quad (8)$$

ここで、 E_{vap} は蒸発量、 P_r は降水量である。また Q_T は、短波放射量 Q_s 、長波放射による有効逆放射量 Q_b 、蒸発による潜熱輸送量 Q_e 、熱伝導や対流による顕熱輸送量 Q_c の4つの項からなるとし、これらは風速、気温、蒸気圧、雲量等の気象データから適当に求め、表層の水温の関数として各メッシュ毎に時々刻々計算した。密度成層の効果をモデルに取り入れるために、 $K_M \cdot K_C$ に対して次のような成層化関数を適用した。

$$\frac{K_M}{K_{M0}} = (1 + 5.2R_i)^{-1} \quad (10)$$

$$\frac{K_C}{K_{C0}} = (1 + \frac{10}{3}R_i)^{-1.5} \quad (11)$$

ここに、 $K_{M0} \cdot K_{C0}$ は均質流体(中立安定場)の鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数である。また、 R_i は次式で定義される勾配型リチャードソン数である。

$$R_i = -\frac{g \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right)}{\rho \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2} \quad (12)$$

3 鹿児島湾への適用

3.1 計算条件

計算領域は、図1に示す鹿児島湾で、これを水平方向には $1km \times 1km$ メッシュに、鉛直方向には5層(0, 20, 40, 90, 150, 海底)に分割した。初期条件として、各値それぞれ全域一定値を与えた。また、開境界では M_2 潮の強制水位を与え、 $T \cdot S$ については、流入時に湾口での観測値を与え、流出時には自由流出とした。計算は、ほぼ定常に達したと思われる25潮汐まで行った。

3.2 計算結果及び考察

図2は、図1の湾中央A点での密度の時系列である。下層を除いては定常に達しているのが分かる。下層で収束しないのは、湾口が湾中央よりも水深が浅く、開境界条件が効かないためと思われる。図3は、A点での T, S, ρ の鉛直分布の、観測値との比較である。Sに関しては計算値のほうが成層が少し弱い。これは、河川流量について年平均値を用いたためと考えられる。Tに関しては良い一致を示しており、結果として密度も良い結果が得られた。湾全体としては、図4から分かるように、夏季の成層状態が、水深100m以浅にみられ、図5に示す表層流出・中層流入・下層停滞という鹿児島湾の夏季の流動場が再現された。

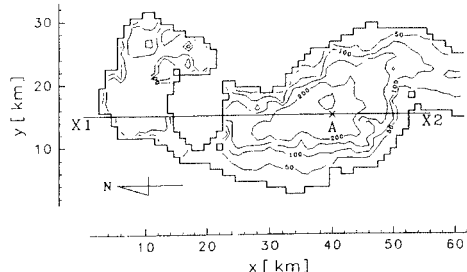


図1. 鹿児島湾の水深図

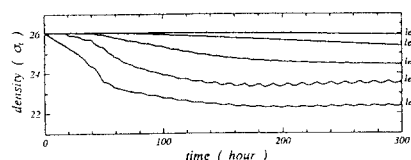


図2. A点での各層の ρ の時系列

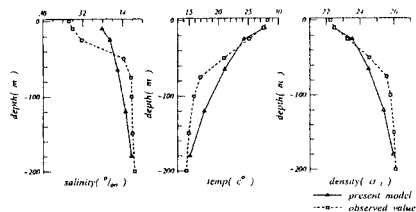


図3. T, S, ρ の鉛直分布

4 おわりに

今回は、モデルの開発を兼ね、夏季の典型的な流況を再現した。モデル自体は、水深変化・計算時間等に対して十分耐え得るものとなっており、今後、エコシステムモデルの構築を念頭に、内湾に超大型浮体を設置した場合の流況を解析できるモデルに改良していく方針である。

参考文献

- [1] 藤野正隆, 多部田茂 (1991): 多層モデルによる海水流動の数値解析, 日本造船学会論文集, 第170号, pp.379-393.
- [2] 高橋淳雄 (1977): 鹿児島湾の水理, 沿岸海洋研究ノート, 第14巻, pp.19-24.

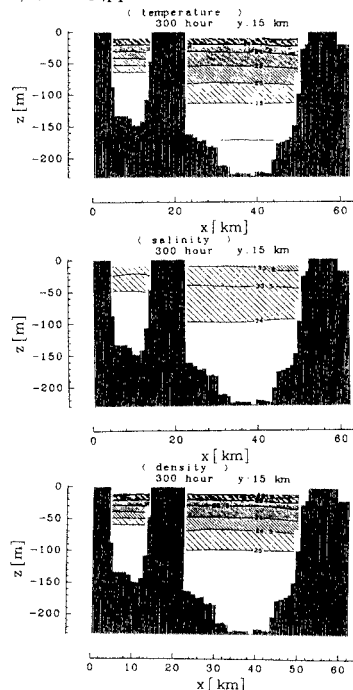


図4. X1-X2lineでの T, S, ρ の鉛直断面

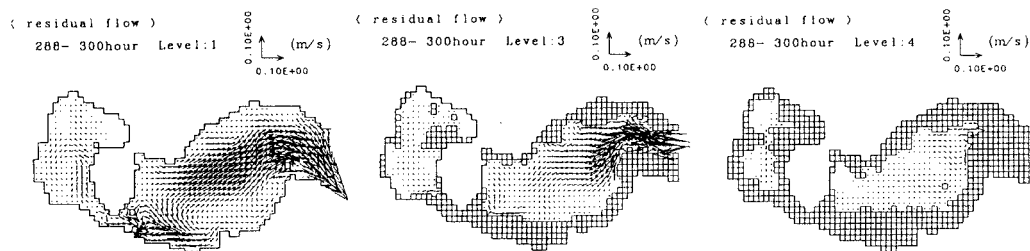


図5. 各層の残差流 (左から表層, 中層, 下層)