

有明海の潮流シミュレーションにおけるパラメータ設定の比較

九州大学大学院 学生員 ○ Mukhsan Putra Hatta・田井 明 正会員 矢野 真一郎 フェロー 小松 利光

Ljubljana 大学 Rudi Rajar

1. はじめに

近年、有明海では二枚貝の減少やノリの色落ちなどの深刻な漁業被害が起こっており、原因究明のために現地観測や流れの数値シミュレーションが盛んに行われている。現地観測は気象条件や観測方法の違いにより結果の比較検討には慎重さが要求されるが、実現象を解明するために必要不可欠なものである。数値シミュレーションは、有明海の流動や物質輸送を許容される精度で再現・予測することができれば、有明海異変の原因究明のみならず環境改善対策を検討するための強力なツールとなる。しかし、数値シミュレーションでは乱流モデルや時空間解像度などの任意性により無数の計算結果が存在することになるため、結果を観測値と比較し、その妥当性を検討する必要がある。

本研究では、上述した任意性のあるパラメータの違いによる計算結果の差異を検討することを目的として有明海の3次元流動シミュレーションの結果を小田巻ら¹⁾による現地観測結果と比較した。パラメータの代表的なものとしては渦動粘性係数、空間解像度が考えられる。本報では、第一段階として水平渦動粘性係数の違いによる検討結果について報告する。

2. 数値シミュレーションの概要

本研究では、3次元流動モデルであり、Rajar²⁾らにより開発された計算コードであるPCFLOW3Dを用いて解析を行った。支配方程式は、静水圧近似、Boussinesq近似、ならびにf-平面近似を用いた非圧縮性粘性流体の連続の式(1)とRANS方程式(2)～(4)である。

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

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_v - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial u}{\partial z}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f_u - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial v}{\partial z}) \quad (3)$$

$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4)$$

ここで u, v, w は x, y, z 方向の流速、 f_v, f_u はコリオリパラメータ、 ρ は密度、 P は圧力、 g は重力加速度、 A_h, A_v はそれぞれ水平、鉛直方向の渦動粘性係数である。これらを有限体積法により陰形式で離散化し、移流項の差分にはPeclet数によって中央差分か風上差分を使い分けるハイブリッド法を用いている。計算領域はFig. 1に示すように有明海と八代海の全域で東シナ海上に開境界を設定した。また、Fig. 1には小田巻らによって行われた観測点も示している。地形データは、日本海洋データセンターの500m水深メッシュデータに、海図から読みとった浅海域のデータを加えて補間することにより作成した。その際、計算領域に9つある潮位基準面の補正を行っている。

総格子数は $169 \times 296 \times 20$ で格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$, $\Delta z = 5\text{m}$ の一定値を与えた。実際の計算領域での水深は東シナ海と有明海の一部で100mを越えるが今回は最大水深は100mとして行った。時間刻みは $\Delta t = 60\text{s}$ 、底面のManningの粗度係数は $n = 0.02$ 、鉛直渦動粘性係数は $A_v = 0.11\text{m}^2/\text{s}$ の一定値を与えた。なお河川の影響、干潟の干出、密度差の影響は考慮していない。開境界の潮汐条件として樺島水道と阿久根の検潮所の調和定数により M_2 潮を内挿して与えた。

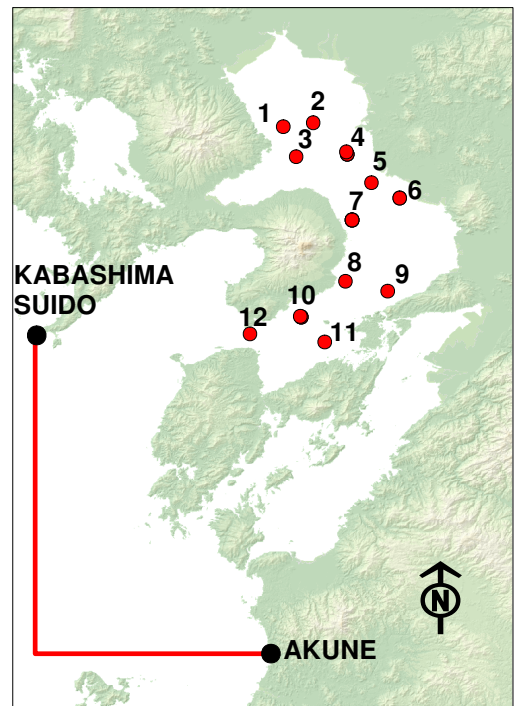


Fig. 1. 計算領域と小田巻らによる観測点

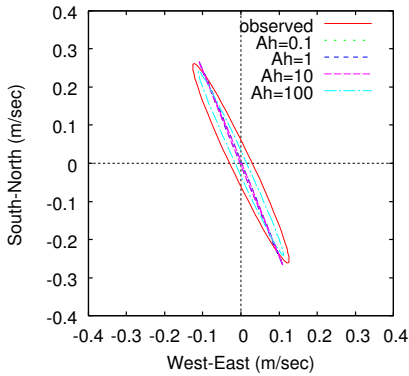


Fig. 2. 潮流楕円 (st-1)

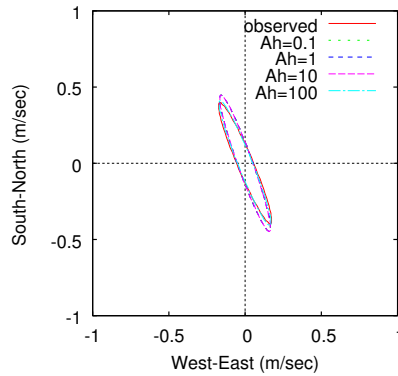


Fig. 3. 潮流楕円 (st-2)

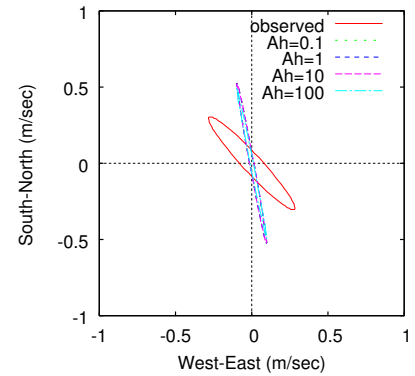


Fig. 4. 潮流楕円 (st-3)

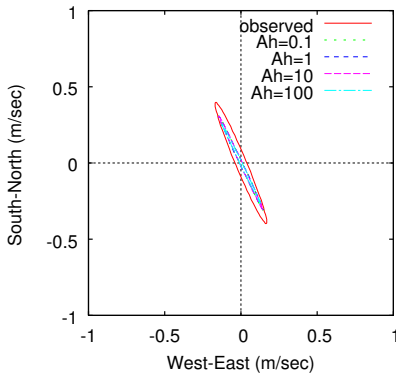


Fig. 5. 潮流楕円 (st-6)

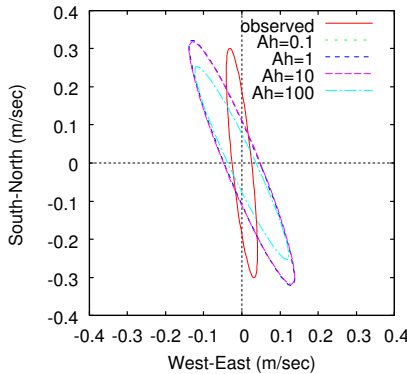


Fig. 6. 潮流楕円 (st-7)

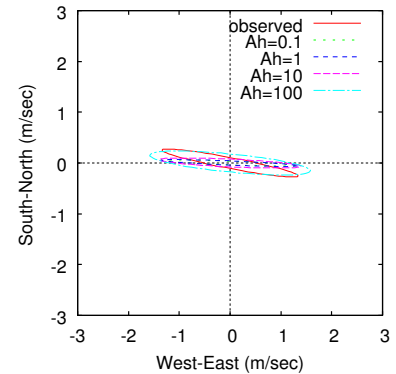


Fig. 7. 潮流楕円 (st-12)

3. 結果および考察

解析は水平渦動粘性係数 A_h を 0.1, 1.0, 10.0, 100.0 m^2/s と変化させた 4 パターンについて行った。小田巻らによる観測結果と比較するために station 1, 2, 3, 6, 7, 12 の M_2 潮の潮流楕円をそれぞれ Fig.2~Fig.7 に示す。潮流楕円は数値解析で得られた時系列データを最小自乗法による調和分解を行って描いた。

まず、観測値との比較を行う。station-1, 2, 6 では潮流楕円の大きさと主軸の方向が共に良く観測値と一致している。諫早湾の湾口である station-3 では潮流楕円の向きや東方流速と北方流速の位相差が大きく異なっていた。station-7 では解析結果は観測値に比べて反時計回りにずれていた。この傾向は Asai³⁾ らが MEC (Marine Environmental Committee) モデルを用いて行った結果と極めて一致していた。有明海湾口の station-12 も潮流楕円の向き大きさは良く一致していた。本研究では、最大水深を 100m としたため東シナ海の地形再現性が悪いにもかかわらず流動構造の再現が比較的精度良く行えていた。

次に、水平渦動粘性係数の違いによる潮流楕円の変化を考察する。図示した station で $A_h = 0.1, 1.0, 10.0 \text{m}^2/\text{s}$ と変化させた場合には、ほぼ同じ潮流楕円を示した。一方、 $A_h = 100.0 \text{m}^2/\text{s}$ の場合には、station-12 で長軸が大きくなった以外は他の A_h の場合と比べて小さくなった。また、値の変化に対する流向の変化は大きくないことも分かった。

4. まとめ

本研究では PCFLOW3D を用いて有明海の流動シミュレーションを行い、観測値と比較することで、このモデルの有明海への適用性を確認した。また全解析領域に水平渦動粘性係数を一定値として与える場合、その値を変化させても計算結果に大きな違いは無いことが分かった。今後は、干潟モデルの組み込みや水平格子の解像度を変化させることで地形の再現性に対する計算結果の応答性を調べていきたい。

参考文献

- 1) 小田巻ら : 有明海の潮流新旧比較観測について, 海洋情報部研究報告 第 39 号, 2003
- 2) Rajar ら : Hydrodynamic and Water Quality Modeling, Ecological Modeling, 101, 1997
- 3) Asai : On the time scale of sea water exchange in Areake Sea, Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management, pp.563-569, Balkema, 2005