

大阪大学大学院 学生員○白井正興

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

1. はじめに 大阪湾において、中辻ら(1992)による数値モデルが良好にその流動機構を再現している。しかしながら、底層汚泥、生態系にとって重要である底層近傍の流動は再現できない。なぜなら、それらは底層部分を階段状にモデル化(図-1)しているため、底層に沿った部分において、隣接する格子間の物質輸送を空間的に適切に表現することができないからである。そこで、底層近傍の流動を滑らかに表現できるσ座標系(図-2)を用いた数値モデルを導入し大阪湾に適用した。そして、それによる計算結果から流動構造の再現性、モデルの特性について検討した。

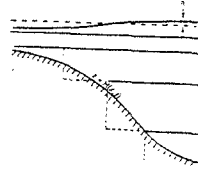


図-1 デカルト座標系

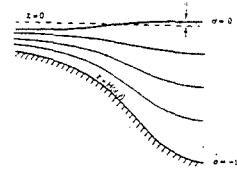


図-2 σ座標系

2. 座標変換について 基礎方程式は、連続式、3次元レイノルズ運動方程式、温度・塩分の拡散方程式、密度の状態方程式を用いている。次式のように、 z 座標系は、 σ 座標系に変換される。ここで、 η 水位変動量、 H は水深である。よって、偏微分も連鎖定理により、以下のようになり、基礎方程式はこれらを用いて σ 座標系に変換される。

$$x' = x \quad y' = y \quad \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad t' = t \quad (1)$$

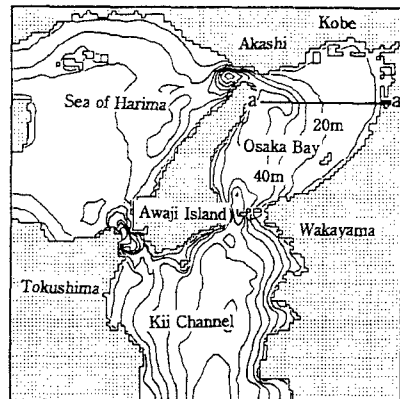
$$\frac{\partial G}{\partial x} = \frac{\partial G}{\partial x'} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left(\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x'} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial x'} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y} = \frac{\partial G}{\partial y'} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left(\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y'} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial y'} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z} = \frac{1}{D} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \quad (4)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = \frac{\partial G}{\partial t'} - \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left(\frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial t'} + \frac{1}{D} \frac{\partial \eta}{\partial t'} \right) \quad \text{ここで、} \quad D \equiv H + \eta \quad (5)$$

3. 数値実験の概要 計算領域は、図-3に示すように、 $106 \times 106\text{km}$ で水平格子間隔は 1km 四方の正方格子とし、鉛直格子数は全域で11層に分割している。また、計算を行うに際して、MODE SPLIT法を採用している。これは、バロトロピックな外部モードとパロクリニックな内部モードを分割して計算することにより、従来より大幅に時間を短縮することができる。そこで、大阪湾では、CFL条件を考慮して、外部モードの時間ステップを10秒、内部モードの時間ステップを800秒に設定している。河口部では、水温 28°C 、塩分20‰とし、流量は $571\text{m}^3/\text{s}$ を淀川河口部で与えた。初期条件と開境界部での条件として、水温 20°C 、塩分32‰とした。また、水平方向の拡散には

図-3 計算領域 ($106 \times 106\text{km}$)

Smagorinsky の SGS モデルを導入し、鉛直方向の拡散係数を与えるに際し、Mellor & Yamada(1982) の乱流クロージャーモデル、レベル 2.5 を用いている。

4. 残差流の検討 図-4 は、30 潮汐計算後の残差流で、大阪湾のみに着目している。同図は、水深 3 m、5 m、10 m である。水深 2、5 m では、河口部付近に比較的大きな渦が存在していることが分かる。これらは、藤原ら (1989) の観測で確認されている西宮沖環流に相当するものと考えられる。しかし、地形性の渦としてその存在が確認されている沖の瀬環流が再現されていない。一方、水深 10 m の層では明石沖から、神戸沖にかけて北岸に沿って東流が明瞭に見える。これは、神戸沖の海底の土質成分などからその流れの存在が示唆されており、底層近傍に関しての本モデルの妥当性がうかがえる。

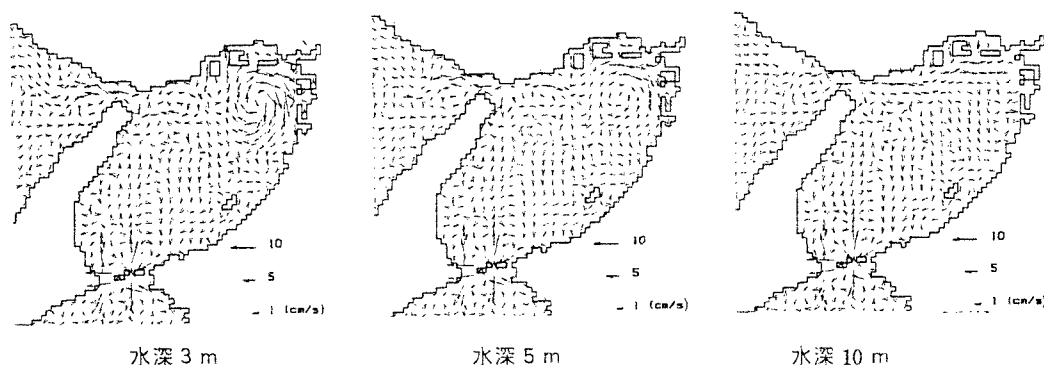


図-4 30 潮汐後の残差流の水平分布

5. 鉛直流動構造 図-5 は、図-3 の a-a 断面の鉛直流速分布である。それぞれ、30 潮汐計算後から 6 時間後、12 時間後の流速分布を示している。表層部分では、密度流が卓越しているため、一潮時の間ほとんど流れの向きは常に沖方向で一定である。一方、下層においては、上げ潮時には岸向き、下げ潮時には沖向きにと流向は変動する。上層と下層の流向が反対の時、中層では上向きの流れが生じていること分かる。これは、エスチュアリー特有の鉛直混合形態のエスチュアリー循環における連行現象であり、これらが大阪湾においても明瞭に見られることが分かる。

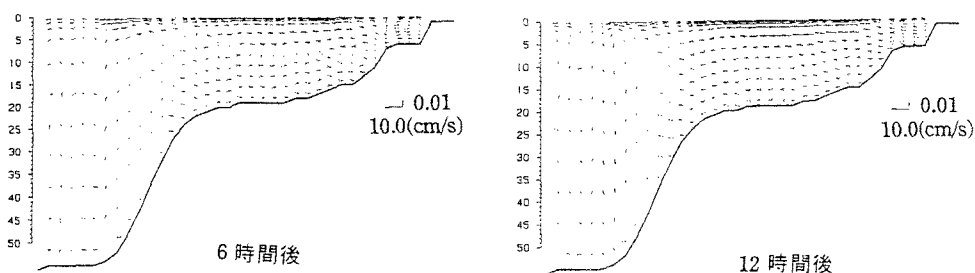


図-5 潮流の鉛直断面流速分布 (30 潮汐後)

6. まとめ の座標系を用いた数値モデルにより大阪湾のバロクリニック流動を再現した。本モデルにおいては、河口部の表層から中層にかけて、密度流とコリオリ力に起因する循環流が見られた。また底層近傍では、明石沖から神戸沖にかけて、北岸沿いに東流が存在していることがわかった。既往の観測結果などとの一致度は今一つであるが、浅海域での流動構造が細やか再現されており、今後の改良により本モデルの適用性は高められるであろう。

参考文献 中辻ら (1992): 大阪湾の恒流系に関する数値実験的研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp.906-910.

藤原ら (1989): 大阪湾の恒流と潮流・渦, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp.209-213.