

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○金 漢九
 大阪大学大学院工学研究科 フェロー 中辻 啓二
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 西田 修三

1. はじめに

大阪湾の栄養伝達過程で一次生産を支える栄養塩は陸域からの流入や内部生産・底泥からの溶出が主な原因だと考えられてきた。しかし、最近の研究により、紀伊水道沖合を流れる黒潮蛇行による影響が紀淡海峽付近にまで及び、黒潮離岸期には外洋から低温・高栄養塩を含んだ水塊が進入している可能性が示唆され、外洋起源の栄養塩の挙動に注意が払われだした。本論文では、「3次元バロクリニック流動モデル」と「オイラー・ラグランジュ法による3次元粒子追跡モデル」を用いて、黒潮蛇行が大阪湾周辺海域の流動及び密度・水質に及ぼす影響を調べた。とくに、黒潮離岸期において紀伊水道の流動構造や低温・高栄養塩をもつ外洋水が大阪湾へ流入するメカニズムについても明らかにした。

2. 数値実験の内容

今回適用した3次元バロクリニック流動モデルは中辻ら(1991)と本質的に同じである。図-1に計算格子を示す。計算条件は、水温・塩分の初期条件や境界条件として浅海定線データを用いた。また、水位の境界条件としては、図-1に示す播磨灘側の境界と紀伊水道沖合側の境界で、それぞれ6分潮を考慮し線形補間することにより設定した。河川の境界条件としては周辺海域の1級河川の流量を考慮した。

粒子追跡のためには3方向の流速や拡散係数をより正確に表現する必要があることから、格子間隔を鉛直方向(海表面から海底)は2m×5層, 4m×22層にした。また、水平方向には1km間隔にした。

粒子追跡の計算には、流動モデルで得られた3方向流速ならびに乱流による移送を表現するために u_E と u_i' を用いた。時間ステップ Δt 毎の移動量は以下の式で与えられる(石塚, 2001)。

$$X_{i+1} = X_i + u_E(X_i, t) \cdot \Delta t + [\nabla_i u_E(X_i, t) \cdot \{u_E(X_i, t) \cdot \Delta t\}] \cdot \Delta t + u_i' \cdot \Delta t$$

右辺第1項はiステップの粒子の位置、第2・3項は流速と流速のせん断による移流、そして第4項は乱れが次のマルコフ過程に従うとしたときの乱流拡散を示す。

$$u_i' = \rho u_{i-1}' + N(0, \sigma_o) \quad \rho = \exp(-\Delta t / T_L) \quad \sigma_o^2 = (1 - \rho^2)(K / T_L)$$

ここで、Nは正規乱数、Kは渦拡散係数、 T_L は積分時間スケール、 $\Delta t = 30\text{sec}$ 、 $T_L = 30$ 分に設定した。

3. 数値解析結果および考察

図-2には水面下3mの黒潮離岸期の残差流と水温の計算結果を示す。大阪湾の残差流系を再現していることが確認された。また、潮流楕円や水位の計算結果と観測結果も良い相関関係を示していた。大阪湾から流出した沿岸水は紀淡海峽を抜け出し、徳島県を沿って外洋側に流出する構造となっている。外洋水は紀伊半島を沿って北上するこ

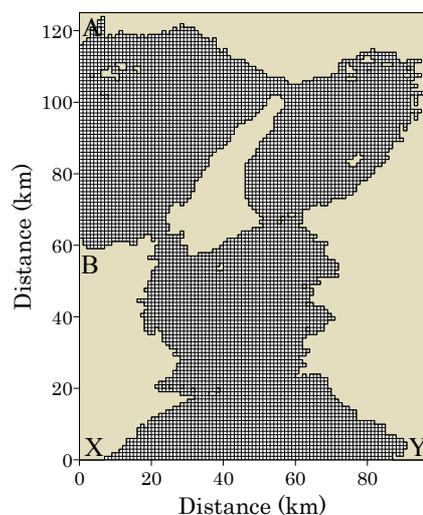


図-1 計算格子

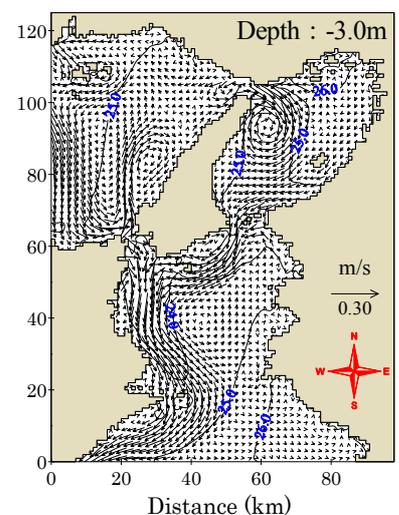


図-2 15日間の残差流と水温の計算結果(離岸期)

とがわかった。この結果、紀伊水道中央では反時計回りの循環流が生じていることがわかった。

図-3 は小潮時の紀淡海峡での残差流と1日間平均した水温の計算結果を示す。ベクトルの矢の方向は上下は北流・南流、左右は西流・東流を示す。残差流系は東岸側では、西向きの流れが現れているものの、水深が深く潮流が速い西岸側では上層では南向き、下層では北向きの流れを有していることがわかる。この計算結果は金(2003)らが黒潮離岸期に紀淡海峡で実施した観測結果とも良く一致している。また、平均水温は成層状態にある。

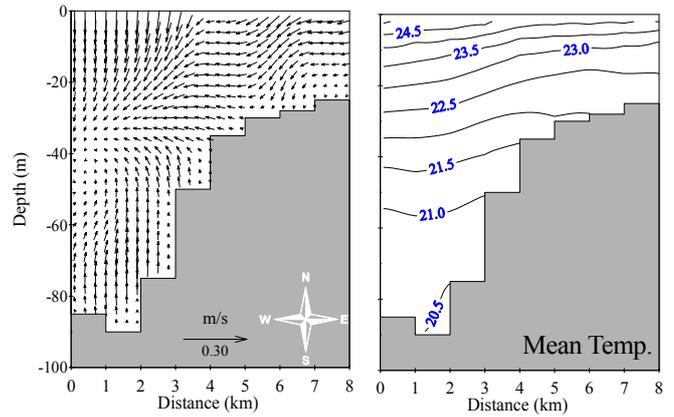


図-3 紀淡海峡での残差流と平均水温の計算結果
(小潮時, 黒潮離岸期)

図-4 は黒潮離岸期における紀伊水道沖合底層水塊の移動分布特性を示す。3次元の表現が難しいことから計算結果を平面ならびに鉛直断面の投影で示した。初期設定粒子数は128個であり、流量を粒子の個数で表すために、初期設定粒子と同じ位置で流速に比例した個数の粒子を計算1時間ごとに追加投入した。紀伊水道沖合底層水塊の挙動は、紀伊水道内では成層化し、鉛直方向には拡散に依存しているものの、約200時間後には紀淡海峡に到達し鉛直混合されながら一部の粒子が大阪湾南部海域に進入することがわかった。本計算により、黒潮離岸期には低温・高栄養塩の特性をもつ外洋水が紀伊水道の底層に流入し、紀淡海峡を通じて大阪湾南部海域まで進入することが明確になった。紙面の都合上、本文では黒潮離岸期のみ言及したが、黒潮接岸期には次の機会にしたい。

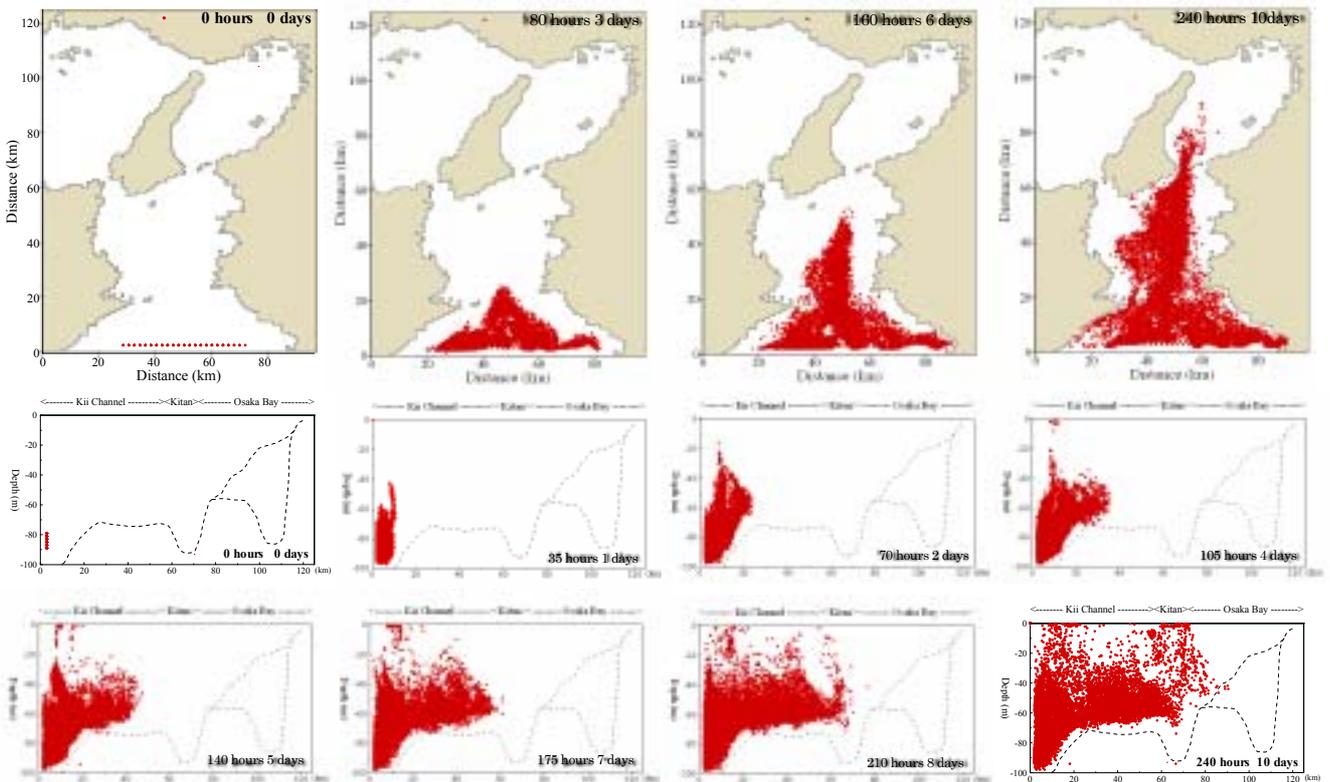


図-4 黒潮離岸期における紀伊水道沖合底層水塊の移動分布特性 (上段: 平面分布, 下段: 鉛直分布)

参考文献:

- 1) 金 漢九・西田修三・中辻啓二 (2003) : 海岸工学論文集, 第50巻, pp.926-930.
- 2) 中辻啓二・許 再寧・室田 明 (1991) : 土木学会論文集, 第432号, II-15, pp.29-38.
- 3) 石塚正秀 (2001) : 水理公式集例題プログラム集, 第6編, 例題6-9, 土木学会