

第 II 部門

アンサンブルカルマンフィルタによる大阪湾における水温・塩分鉛直分布の同化と水質再現に及ぼす影響

大阪大学工学部 学生会員 ○高橋祐馬
大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江政安

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 林政宏

1. はじめに

大阪湾などの沿岸部においては、赤潮や青潮といった水環境問題が未だに存在し、こういった問題の解決のため、湾内の流況や水質を把握しておくことは重要である。そこで現地観測と数値シミュレーションを組み合わせるデータ同化が行われてきた。また、大阪湾は河川流入の影響を受けやすく、水質が鉛直方向に大きく変化するため、流動および密度の構造は水質項目の再現性にも影響を及ぼす。そのため流動の変化が水質項目の再現性に及ぼす影響を定量的に把握することは重要である。そこで本研究ではデータ同化手法の 1 つであるアンサンブルカルマンフィルタ¹⁾を用いて水温および塩分の鉛直分布データの同化を行うことで、密度および流動構造の再現性が向上した際、水質項目にどのような影響が及ぶのかについて評価を行った。

2. 数値モデルおよびアンサンブルカルマンフィルタの概要

本研究の流動モデルには ROMS (Regional Ocean Modeling System) を用いた。ROMS は静水圧 3 次元流動モデルを基に、様々なモデルと結合させることが可能である。また、鉛直渦動粘性・拡散係数の決定の際、3 種の乱流モデルから選択できる。各乱流モデルに関して比較を行い、大阪湾水質定点自動観測システムによる水温・塩分の鉛直分布や、海洋短波レーダーによる残差流の流動観測と比較した結果、より再現性の優れていた Mellor-Yamada level 2.5 モデル²⁾を用いることにした。水質モデルには、Fennel ら³⁾による水質モデルを用い、水質項目は直接同化せず同化によって修正される水温・塩分の場合が水質再現に及ぼす影響のみを評価した。アンサンブルカルマンフィルタは、時間発展が線形で与えられたモデルに対し、一期先予測分布とフィルタ分布を解析的に導出するカルマンフィルタ⁴⁾が基となっている。非線形モデルにも対応可能とするため、アンサンブル近似が用いられており、その結果の更新式

は次のように表される。

$$x_k^a = x_k^f + K_k(y_k - H_k x_k^f)$$

ここで、 x_k^a : モデルの状態変数の解析値、 x_k^f : モデルの状態変数の予報値、 K_k : カルマンゲイン行列、 y_k : 観測値、 H_k : 観測演算子である。この式において K はカルマンゲインと呼ばれる観測値とモデル予報値の加重平均であり、以下で示される。

$$K_k = P_{xx,k}^f H_k^T (H_k P_{xx,k}^f H_k^T + R_k)^{-1}$$

ここで、 $P_{xx,k}^f$: 予報誤差共分散行列、 R_k : 観測誤差共分散行列である。表-1 に実際に行った同化計算の計算条件を、図-1 に計算領域と観測地点を示す。

表-1 同化計算条件

計算格子	水平方向: 117×124 鉛直方向: 20
アンサンブルメンバー	20
同化計算期間	2012 年 8 月 1 日 0 時 ～8 月 12 日 0 時
観測データ	11 地点での水温 10 地点での塩分 (図-1)
同化間隔	1 時間毎

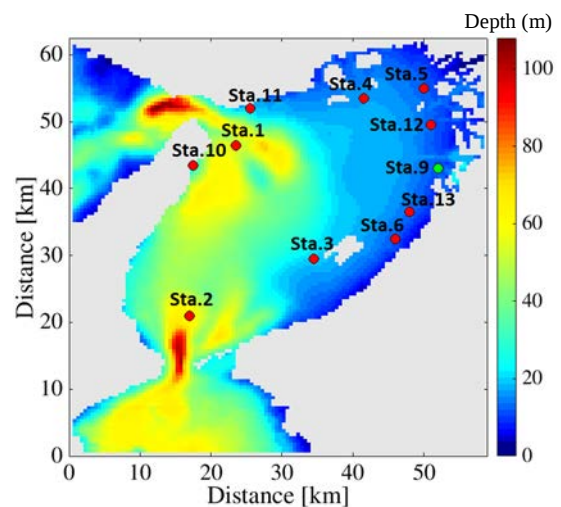


図-1 計算領域および観測地点

(● : 水温・塩分, ● : 水温)

3. 水温・塩分の同化効果と水質再現への影響

図-2 に 2012 年 8 月 12 日 0 時における Sta.6 (阪南沖窪地) での水温・塩分・クロロフィルの鉛直分布を示す。水温・塩分に関しては、直接同化していることもあり、同化計算の結果が観測値に沿った分布をしている。クロロフィルに関しては、直接同化を行っていないが、同化結果が同化を行わない場合の結果と比べて、表層において観測値に近づいている。図-3 に同化計算終了直前の 8 月 11 日～8 月 12 日までの 1 日を平均した表層の密度と流速および表層クロロフィルの平面分布を示す。水温・塩分の同化により密度分布が修正され、その影響により湾内の水平面内の流動構造も変化している。特に同化を行うことで沖からの海水が湾奥に流入しにくくなっている (図中赤丸)。同化なし計算では湾奥に流入してきた分、東岸に沿って沖合に流出する流量も大きく、湾奥に存在するクロロフィルの高い水塊が Sta.6 の周辺にも到達する一方、同化を行うことで、クロロフィルの値の高い水塊が湾奥で留まったため、Sta.6 表層でのクロロフィルの値が小さいままとなっていることが分かる。また、図-2 においてクロロフィルの同化ありの計算値が、同化なしに比べて中底層で高い。これは、同化を行うことで、南西からクロロフィル濃度の低い

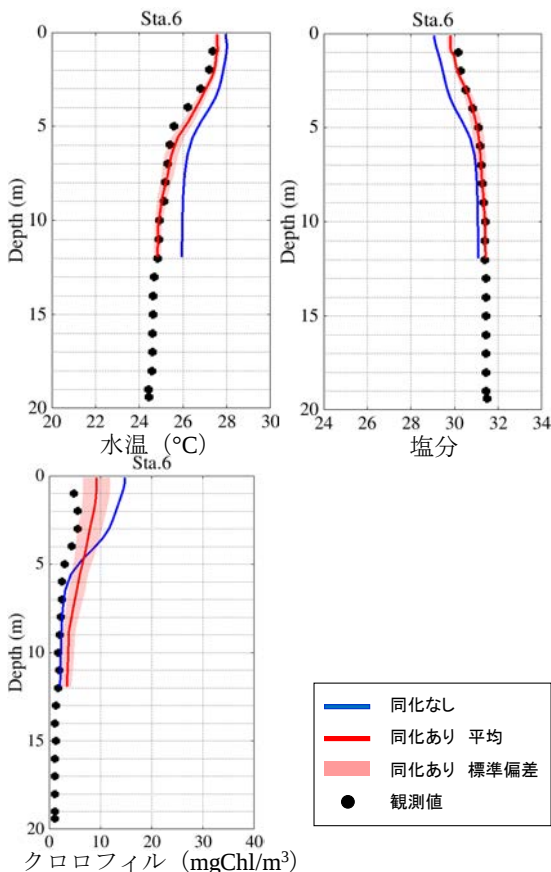


図-2 Sta.6 における鉛直分布

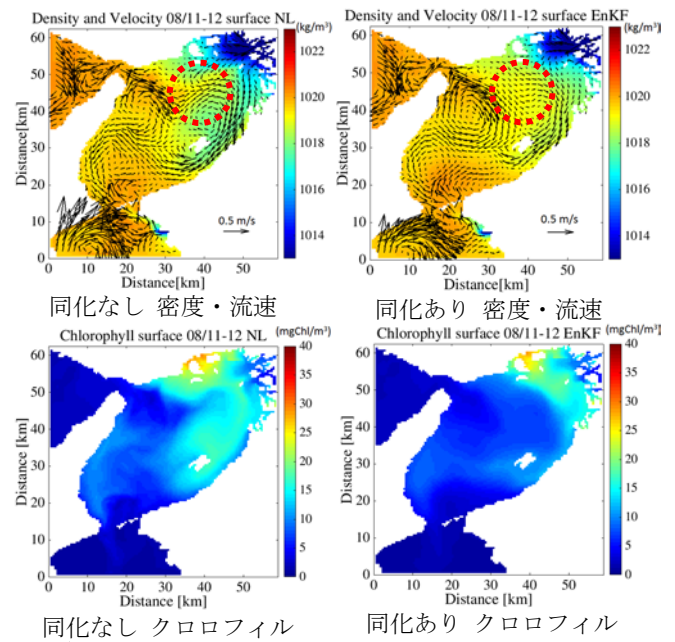


図-3 8 月 11 日～8 月 12 日までの平面分布図

水塊がより入ってくるはずが、逆に高くなっていることから、移流のみではなく表層においてクロロフィルによる光の消散が少なくなったことなど、生物化学的な現象によるものではないかと推察できる。

4. まとめ

本研究では、流動構造の再現性向上のためアンサンブルカルマンフィルタを用いて水温・塩分鉛直分布の同化を行った。また、それによって生じた流動の変化が水質項目の再現性に及ぼす影響を評価した。同化計算により密度および流動構造が修正され、特に表層クロロフィルの再現性が向上した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16KK0128 の助成を受け実施したものである。記して深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) Geir Evensen: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics, Journal of geophysical research, vol.99, No.C5, pp.10,143-10,162, 1994
- 2) G.L.Mellor and T.Yamada: Development of Turbulent Closure Model for Geophysical Fluid Problems, Rev.Geophys.Space Phys., 20, 851-875, 1982.
- 3) K.Fennel, J. Wilkin, J.Moisano, J.O' Reilly and D.Haidvogel: Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: Results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget, Global Biogeochemical Cycles, 20, GB3007, doi: 10.1029/2005GB002456, 2006.
- 4) Kalman, R. E.: A new approach to linear filtering and prediction problems. J. Basic Eng., Trans. ASME, 82D, 35-45, 1960.