

## 大阪湾における3次元モニタリングデータの同化と予測計算に及ぼす影響

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○岡田 輝久  
 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 正会員 西田 修三

### 1. はじめに

大阪湾をはじめとする閉鎖性内湾は、潮汐変動が大きく、複雑な流動および密度場を有する。国内では水質管理や防災の観点から、沿岸海域における観測体制が整備され始めている。一方で、数値計算によって近い将来を予測しようとした場合、河川流入、気象擾乱、外洋水等の情報に含まれる誤差が問題となる。そこで観測データを数値モデルに統合するデータ同化が有用であるが、海洋分野ではエルニーニョ現象や中規模渦等を対象とした外洋における研究例が多く、閉鎖性内湾での有用性は十分に議論されていない。

そこで本研究では、大阪湾において定点観測された流速、水温、塩分の鉛直分布データを流動モデルに同化するため、必要な誤差パラメータの推定および、再現および予測計算の精度向上を試みた。

### 2. 観測データ

大阪湾では、近畿地方整備局によって観測塔や浮標に取付けた観測機器による定点自動観測システムが整備されている。観測項目は、流速、流向、水温、塩分、溶存酸素、クロロフィル a と多岐にわたり、1時間毎の連続的なデータが蓄積されている。本研究では、水平方向流速6点、水温9点、塩分7点(図-1)における0.5~1m間隔の鉛直分布データを同化に用いた。

### 3. 数値モデル

得られた3次元分布データの同化を可能にするため、4次元変分法によるデータ同化システム(Moore et al., 2011)が導入された海洋モデルROMSを用いる。ベースとなる流動モデルは連続式や運動方程式、水温、塩分の拡散方程式によって構成され、計算領域の水平解像度は500m~1km、鉛直方向にはs座標系で20層とした(図-1)。水温、塩分の初期および開境界条件は周辺の観測値を線形補間し与えた。水位は開境界において主要6分潮による天文潮位を与え、開境界の流速は水位差、風応力およびコリオリ力によって求めた。気

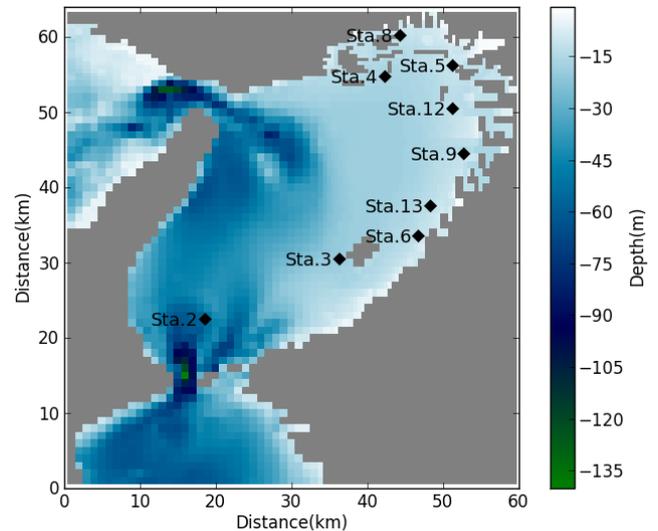


図-1 計算領域と観測地点. 水平方向流速: Sta. 3, 4, 5, 6, 12, 13, 水温: 全点, 塩分: Sta. 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13.

象条件は気象庁による大阪の気象観測値で代表させた。風速・風向については海上風を考慮するため、同じく気象庁のGPV気象予報値を使用した。流入河川は、33河川を考慮し、淀川と大和川では、H-Q式により流量を決定した。

### 4. データ同化法 - 4次元変分法

4次元変分法は、同化ウィンドウ内における場の誤差を下に示す評価関数 $J$ を用いて評価し、 $J$ を最小にする制御変数(初期条件や境界条件)を求める手法である。

$$J(\delta z) = \frac{1}{2} \delta z^T \mathbf{D}^{-1} \delta z + \frac{1}{2} (\mathbf{G} \delta z - \mathbf{d})^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{G} \delta z - \mathbf{d}) \quad (1)$$

ここで、 $\delta z$ は制御変数の修正ベクトル、 $\mathbf{D}$ は背景誤差共分散行列、 $\mathbf{R}$ は観測誤差共分散行列、 $\mathbf{G}$ は接線形モデル、 $\mathbf{d}$ は観測データと再現計算結果との差である。本研究では、同化ウィンドウは1時間とし、観測データは互いに独立するとの仮定のもと $\mathbf{R}$ は対角行列とした。

### 5. 背景誤差共分散行列 $\mathbf{D}$ の推定

背景誤差は制御変数の各値と真値との差のことであるが、自然界における真値を得ることは不可能であるため、何らかの方法で推定する必要がある。そこで本

キーワード: データ同化, 4次元変分法, ROMS, 大阪湾, 鉛直分布データ

連絡先: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1, TEL: 06-6879-7603, E-mail: okada@civil.eng.osaka-u.ac.jp

研究では, Hollingsworth and Lönnberg (1986)が用いた  $d$  から背景誤差を推定する手法を利用した.

$$d_j = (\varepsilon_y)_j - H_j(\varepsilon_x) \tag{2}$$

$$\overline{d_j^2} = \overline{(\varepsilon_y)_j^2} + \overline{(H_j(\varepsilon_x))^2} \tag{3}$$

$$\overline{d_j d_k} = \overline{(H_j(\varepsilon_x))(H_k(\varepsilon_x))} \tag{4}$$

ここで,  $d_j$ は観測点  $j$ における観測データと計算結果との差,  $(\varepsilon_y)_j$ は  $j$ における観測誤差,  $H_j(\varepsilon_x)$ は  $j$ における背景誤差である. 図-2に, 表層流速データの各2点間の誤差共分散を示す. 2点間距離が大きくなれば相関が減衰し, 5.0 km程度で十分に小さくなる事が分かる.

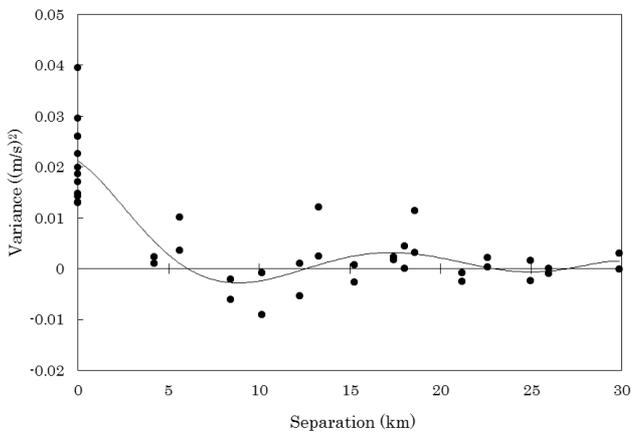


図-2 表層における水平方向流速の2点間の誤差共分散. 縦軸が誤差共分散, 横軸が2点間距離. 実線は多項式近似曲線.

### 6. 同化および予測計算結果

2012年8月1日0時からの1週間(期間1)における(1)同化なしの計算と,(2)同化計算を行った後の水温の鉛直分布を観測データと共に図-3に示す. 同化計算の結果が観測データとよく合っていることが分かる.

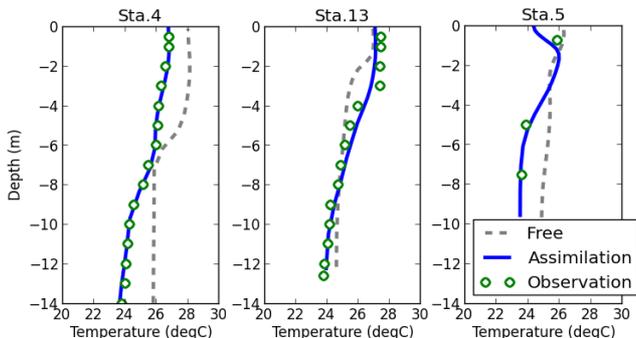


図-3 各観測点の2012年8月8日0時における水温の鉛直分布. 灰色の破線: 同化なしの計算, 青い実線: 同化計算, 緑の丸: 観測データ.

さらに, 2012年8月8日0時からの1週間(期間2)において,(1),(2)の計算に加え,(3)予測計算(期間1

では同化計算, 期間2では同化なしの計算)も並行して行った. 観測データの同化が計算結果に及ぼす影響を, 観測データと計算結果との二乗平均平方根誤差 RMSE を用いて評価し, 各変数における RMSE を図-4に示す. 同化なし計算よりも同化計算結果の RMSEの方が小さくなる事が分かる. また, 水温と塩分における予測計算においても, 同化なしの計算結果より小さな RMSE を示すことが分かった. このことから, 閉鎖性内湾においても4次元変分法を用いることで, 3次元モニタリングデータの同化が有用であり, 特に水温, 塩分の予測精度を向上させる可能性が示唆された.

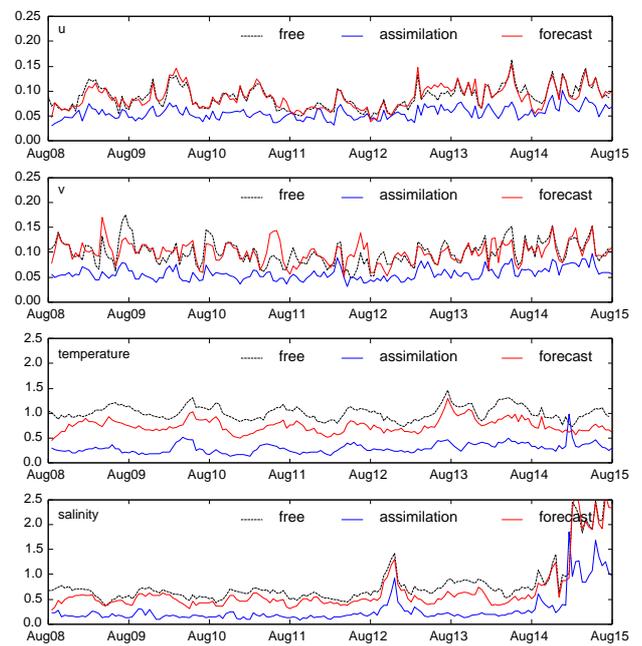


図-4 RMSEの経時変化. 上図から東西方向流速(m/s), 南北方向流速(m/s), 水温(°C), 塩分のRMSEを表す. 破線が同化なしの計算, 青い実線が同化計算, 赤い実線が同化後の予測計算におけるRMSEを表す.

**謝辞** 本研究は JSPS 科学研究費(若手研究(A) 25709042)の助成を受けて実施したものであり, 記して深甚の謝意を表す.

### 参考文献

- 1) Moore, A.M., et al.: The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation systems Part II – Performance and application to the California Current System, Progress in Oceanography, Vol. 91, pp. 50-73, 2011.
- 2) Hollingsworth, A. and P. Lönnberg: The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind field, Tellus, Vol. 38A, pp. 111-136, 1986.