

大阪大学工学部 学生員 ○藤井裕司
大阪大学大学院工学研究科 学生員 入江政安

大阪大学大学院工学研究科 正会員 岡田輝久
大阪大学大学院工学研究科 正会員 西田修三

1. はじめに

本研究の対象領域である大阪湾では浮遊ゴミやタンカー事故による石油の流出といった水環境問題が発生している。この問題の対策として、湾内の流動を数値モデルのシミュレーションを用いて予測し、汚染の分布を把握して、効率よく回収活動を行うことが挙げられる。そこで本研究は、湾内の流動を正確に予測することを目的として、海洋短波レーダーから算出した表層流速のデータ同化を行う。データ同化とは数値計算に実測のデータを取り込み、計算結果を補正する手法である。再現精度の高い流動予測を目的とするため、高度なデータ同化の手法として4次元変分法を採用し、表層流速のデータ同化の効果を検証する。簡易なデータ同化の手法としてナッジング法も合わせて検討し、異なるデータ同化手法を用いた際の流況の比較も行う。

2. 計算方法

データ同化には海洋モデル ROMS (Regional Ocean Modeling System) と海洋短波レーダーから算出した表層流速データを用いる。図-1は海洋短波レーダーによる表層流速の観測領域である。図-1内の黒い点は図-2で表層流速の比較を行った地点である。

データ同化に用いる4次元変分法とは、ある同化期間内の様々な時刻に観測された観測データを用いて、観測値と最も整合性のとれた制御変数(初期値, 境界条件, 外力条件等)を求め、計算値を修正する手法である。具体的には観測値と計算値とのずれ(データミスマット)の大きさを表す式(1)の評価関数 $J(\delta z)$ を最小にするような制御変数を、処理計算を繰り返して決定する手法である。¹⁾ 評価関数の最小化を行い、制御変数を修正する処理を Inner-loop と呼び、得られた制御変数の条件下での元の支配方程式による非線形計算を Outer-loop と呼ぶ。4次元変分法ではこれらの処理を繰り返して、力学条件を満たそうとしながら計算値を修正していく。それに対し、ナッジング法は観測値と計算値との誤差に係数をかけ合わせたものを付

加するという簡易な手法であるため、データ同化の際に力学条件を満たしていない。

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

ここで、 J_b : 背景評価関数, J_o : 観測評価関数, D : 背景誤差共分散行列, R : 観測誤差共分散行列, G : 観測地点における接線形モデル, δz : 制御変数の修正量, d : 観測値と修正前の計算値の差, Y : 観測値, H : 観測演算子である。

本検討では予備計算を20日間行った後、2010年8月21日0時から24時まで表層流速のデータ同化を行っている。本研究で対象としている大阪湾は流動の変化が大きいため、24時間を24サイクルに分割し、1同化期間を1時間と、短めに設定した。また海洋短波レーダーによる表層流速データは1時間に1回のデータである。各同化サイクルにおける Inner-loop と Outer-loop の回数はそれぞれ10回、1回とした。誤差項について述べる。背景誤差標準偏差は大きすぎると修正量が大きくなりすぎてしまい、モデルの安定性低下につながるが、小さすぎると修正量が小さくなり、望む結果が得られない。そのような特性を考慮して、流動の激しい明石海峡付近で0.2とし、湾央で0.1、湾央から湾奥に近づくに従って低下するような水平分布を与えた。観測誤差標準偏差とはデータ同化に用いる観測値のばらつきの範囲であり、一律に0.05を与えた。

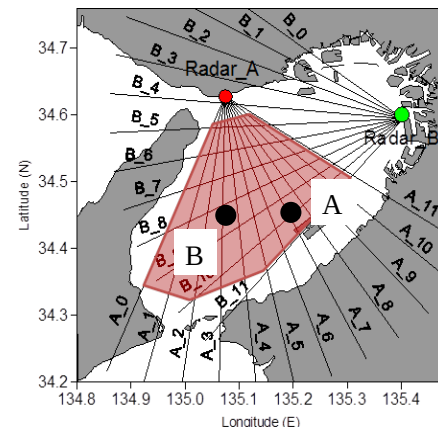


図-1 海洋短波レーダーの観測領域

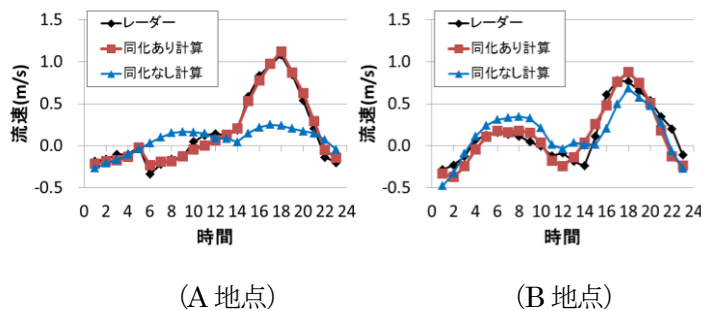


図-2 定点での表層流速の比較

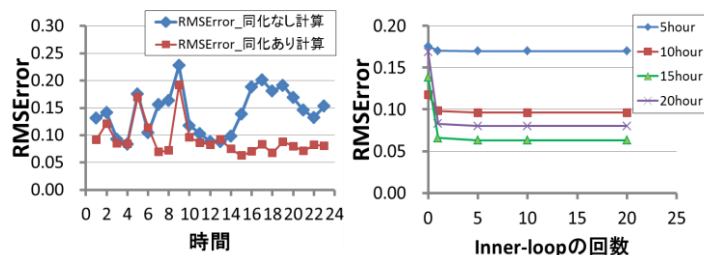


図-3 RMSEError の変動

(左図：RMSEError の時間変化

右図：RMSEError の Inner-loop の回数による変化)

3. 計算結果

図-2 のグラフは図-1 に示す2つの地点での海洋短波レーダー・同化ありの計算・同化なしの計算による南北方向表層流速の時系列変化である。どちらの地点においても海洋短波レーダーと同化あり計算の流速が漸近しており、4次元変分法による同化の効果が現れていることが分かる。

同化による再現性向上については流況の変化による判断だけではなく、定量的な評価が必要である。そこで全同化箇所による二乗平均平方根誤差 RMSEError (Root Mean Square Error) によって評価を行う。

RMSEError の値を同化あり計算と同化なし計算で比較して、同化あり計算の RMSEError が小さければ、データ同化の効果があると言える。図-3 の左図は同化なし計算での RMSEError, 4次元変分法による同化あり計算での RMSEError を比較したものである。この図から、5～9時間目と14～24時間目あたりで同化の効果がよく見られることがわかる。RMSEError にあまり変化が見られない時間帯は初期値等の修正が流速の補正に反映されてない時間及び場所があることが考えられる。Inner-loop の回数を変化させたときに、5, 10, 15, 20時間目の RMSEError がどのように変化するかを図-3 右図に示す。この図より Inner-loop が1回で、かなり

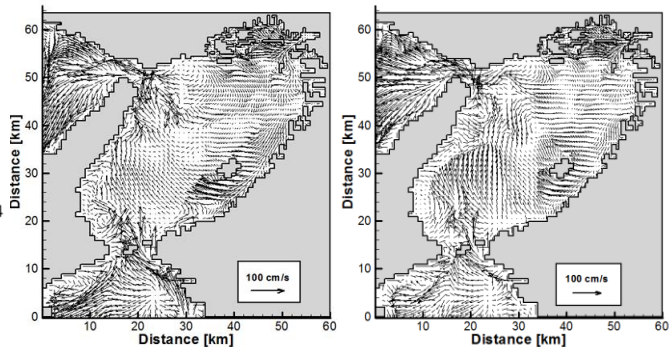


図-4 8月21日6時の表層流速の水平分布
(左図：ナッジング法, 右図：4次元変分法)

RMSEError が減少していることがわかる。これから Inner-loop の回数が少なくとも4次元変分法を適用すれば、同化の効果は得られるということがいえる。また Inner-loop の回数が増えれば、RMSEError は減少しているため、Inner-loop の回数が多いほうが同化効果は大きいと言える。しかし Inner-loop の回数が10回と20回では、ほぼ RMSEError の値に変動がなかったため、Inner-loop を10回行えば同化の効果は十分得られると考えられる。

ナッジング法と4次元変分法の比較を行う。図-4 に8月21日6時の表層流速の水平分布を示す。左図がナッジング法、右図が4次元変分法でのデータ同化による結果である。図-4 を比べると、ナッジング法によるデータ同化では同化領域と領域外との境界で流速差による不連続面が見られた。一方で、4次元変分法では流速の差による不連続面は見られなかった。これはナッジング法では観測面のある領域のみに同化の影響が現れるのに対し、4次元変分法においては同化の影響が全領域に及ぶことが要因である。

4. まとめ

本研究では4次元変分法による表層流速のデータ同化の効果を把握し、流況の再現性に及ぼす効果を明らかにした。また、Inner-loop の回数がデータ同化による計算値の補正に影響することを把握した。ナッジング法による同化とは異なり、4次元変分法は不連続面のない流速の水平分布を表現することが可能であることを示した。

<参考文献>

- 1) 淡路敏行, 蒲地政文, 池田元美, 石川洋一: データ同化, 京都大学学術出版会, 284p., 2009.