

沿岸域観測データを同化した広領域・高解像度計算による 東京湾の流動・水質の解析

松崎 義孝

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

1. はじめに

閉鎖性水域の流動や水質の数値シミュレーション（例えば、[1]、[2]）による海上ゴミや海上流出油の漂流予測、青潮や赤潮の発生予測を精緻に行うことが期待されている。一方で、閉鎖性水域では、湾口を経由する外洋水の流入や内湾水の流出が流動や水質の構造に強く影響するため、物理モデルによる数値シミュレーションのみで精度よく予測を行うことは限界がある。精度向上のためには観測データを物理モデルに組み込むことが有効である。観測データを物理モデルに取り込む方法としてデータ同化という手法がある。データ同化はレーダーや衛星で観測されたデータを用いて、気象学や海洋学の分野を中心に活発に開発、利用されている。近年、閉鎖性水域を含む沿岸域においてもデータ同化手法を用いた研究が開始されており、今後さらなる発展が期待されている。

著者は、東京湾を対象とし沿岸域観測データを同化した広領域・高解像度計算を行うことにより、東京湾全体の流動及び水質の3次元構造を再現することを目的とした研究を進めている。特に、外洋水の湾内への流入、内湾水の流出といった流動、塩分、及び水温の構造に着目する。本稿ではその研究内容について紹介する。

2. 東京湾の環境データ観測状況

閉鎖性水域の流動・水質を理解する上で東京湾口の流動・水質の観測データは重要である。著者の所属する港湾空港技術研究所では東京湾の湾口を航行するフェリーに流速計、水質計を搭載し、継続して観測を行っている[3]（図1参照）。フェリーに設置している流速計：ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler）は超音波を発射することにより鉛直方向に

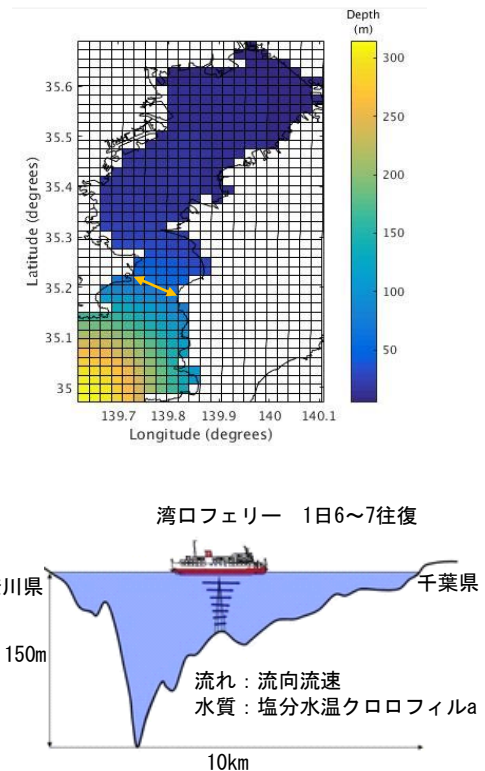


図1：東京湾口を航行するフェリーの航行場所（上）と、観測の模式図（下）。上図の矢印の位置をフェリーが航行している。船底に設置したADCPにより鉛直方向に多層で流速を観測しながら湾口を横断することで、東京湾の水塊の流入出を観測することができる。ADCPによる流速のほか、水質計による塩分、水温、クロロフィルaの観測を行っている。

多層で流速を計測することができる。フェリーは湾口を1日6~7往復しているため、これによって東京湾への水塊の流入出を計測できる。フェリーで観測されたデータを同化に用いることで、湾内の流動及び水質をより詳細に予測することが可能であると考えている。また、観測データは携帯電話回線で研究所のサーバーに転送されており、リアルタイムでデータを活用できる体制が整っている。フェリーの観測は日中のみ行われており、観測データ単体の解

析では連続的な流動の再現に至らないけれども、データ同化により連続的なデータの再現が可能となる点も本研究の特徴である。

また、東京湾では海洋短波レーダーと呼ばれる観測機器を用いた海表面の流速の観測や、環境モニタリングブイを用いた流速及び水質の観測を行っており、これらのデータも研究に使用できる状況にある。

3. 東京湾の数値シミュレーションとデータ同化

3.1 低解像度の計算格子を用いたデータ同化のテスト計算

著者は流動水質モデル ROMS(Regional Ocean Modeling System) [2]及びそのデータ同化モデル ROMS 4D-Var[4]を用いたデータ同化の研究に取り組んでいる。研究の第1段階として、粗い計算格子を用いて東京湾を対象としたデータ同化のテスト計算を行った。計算条件は表1の通りである。同化する観測値は環境モニタリングブイで観測された水温とした。

図2は東京湾を対象とした海面水温の数値シミュレーション結果とデータ同化の結果を示している。東京湾では湾口東側（千葉県側）が温かく、湾口西側（神奈川県側）が冷たいという特徴がある。その特徴を数値シミュレーションのみでは再現できなかった（上側）。一方で、東京湾内の定点観測水温データを数値シミュレーション結果に同化すると、湾口付近の温かい海水の分布が再現できた（下側）。

図3は湾口東側にある環境モニタリングブイの観測点（富浦湾）における水温に関する数値シミュレーション及びデータ同化結果と観測値の比較である。数値シミュレーション（青色線）は観測値（黄色マーカー）よりも2—3度低い値となっている。一方で、データ同化結果（赤色マーカーと線）は観測値に近くなるように水温が高く修正されている。

以上の結果から、データ同化により数値シミュレーションの結果が観測値に近くなるように修正されることが確認された。一方で、黒潮等海流の影響による外洋水の湾内への流入も含めた計算を実施し、湾内の流動水質を詳細に解析するためには、計算領

域に外洋を含める必要がある。また、東京湾の地形を正確に再現するには高解像度の計算を実施する必要がある。そこで次節の広領域・高解像度の数値シミュレーションを実施した。

表1：計算条件

計算領域	経度：E139.4350°—E140.2408° 緯度：N35.0294°—N35.7651° 計算領域は32度回転
計算期間	2014年11月11日から3日間 (助走期間3年11か月)
時間間隔	30 s
格子数	水平方向：20×34 鉛直方向：30（S座標系）
格子サイズ	水平方向2000 m
開境界条件	水温、塩分：北西太平洋海洋長期再解析データセット[5] 潮位：TPX08-atlas[6] 流速：外洋の影響は考慮しない
大気境界条件	風、気温、降水、大気圧：気象庁メソ客観解析データ 日射、大気放射：気温、水温、相対湿度、雲量から推算
河川流入条件	流量、水温：主要6河川（江戸川、荒川、中川、多摩川、鶴見川、隅田川）を対象に国土交通省水門水質データベースから算出[7] 塩分：ゼロ

3.2 広領域・高解像度の計算格子を用いた数値シミュレーション

計算領域は図4のように設定した。海流の影響による湾外から湾内への外洋水の流入を計算する場合、外洋も含めた計算が必要となる。そのため、ネスティング格子を採用して、まず外側領域を計算し、その計算結果を反映させて内側領域を細かい計算格子で計算する。計算条件は表2の通りである。

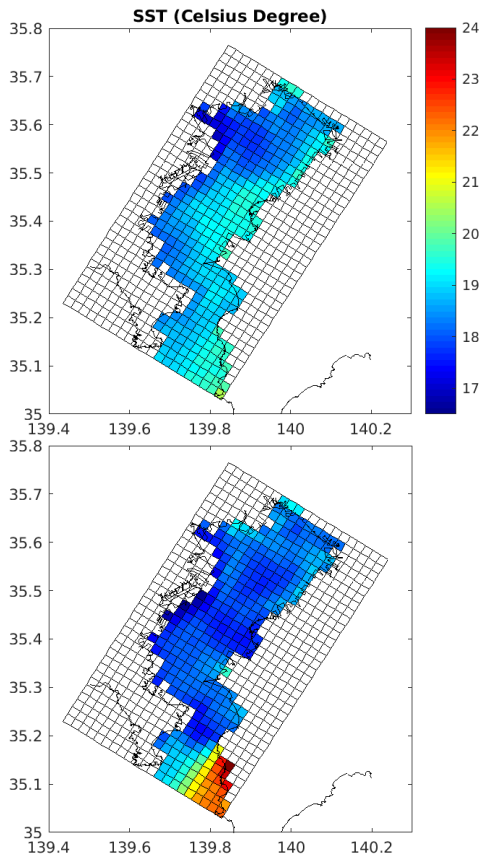


図2：東京湾を対象とした数値シミュレーション（上）とデータ同化（下）の結果の海面水温の比較

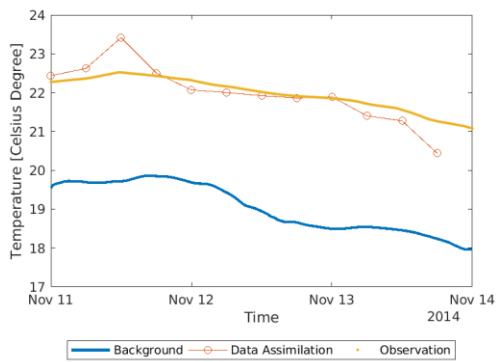


図3：湾口東側の観測点における水温に関する数値シミュレーション及びデータ同化結果と観測値の比較

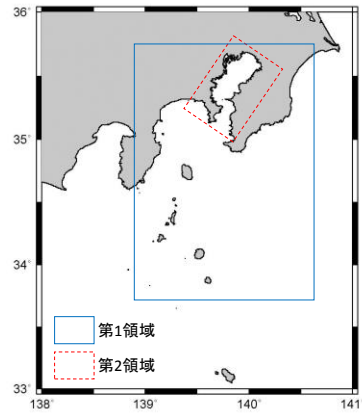


図4：計算領域

表2：計算条件

計算領域	第1領域 経度：E 138.9000°—E 140.5648° 緯度：N 33.6700°—N 35.6980° 第2領域 経度：E 139.4350°—E 140.2332° 緯度：N 35.0318°—N 35.7612° （32度回転）
計算期間	2014年11月11日から3日間 （助走期間2年11か月）
時間間隔	30 s
格子数	第1領域 水平方向：100×150 鉛直方向：40（S座標系） 第2領域 水平方向82×138 鉛直方向：40（S座標系）
格子サイズ	第1領域 水平方向1500 m 第2領域 水平方向500 m
開境界条件	第1領域 水温、塩分、流速：北西太平洋海洋長期再解析データセット[5] 潮位：TPX08-atlas[6] 第2領域は第1領域と接続
大気境界条件	風、気温、降水、大気圧：気象庁メソ客観解析データ 日射、大気放射：気温、水温、相対湿度、雲量から計算
河川流入条件	流量、水温：主要6河川（江戸川、荒川、中川、多摩川、鶴見川、隅田川）を対象に国土交通省水門水質データベースから算出[7] 塩分：ゼロ

数値シミュレーション結果の例を示す。図5はフェリー航路における観測と数値シミュレーションの断面平均流速を表す。正が外洋から東京湾内への流入、負が東京湾内から外洋への流入を表す。数値シミュレーションでは上層で流出、中層で流入、下層で流出するという流動構造が再現されており、フェリー観測値と定性的に一致している。図示しないものの、粗い計算格子では東京湾湾口のような水深変化が大きく複雑な地形を再現できない。500 m 程度のメッシュで再現可能となってくるため、高解像度の数値シミュレーション及びデータ同化は重要である。フェリー観測では表層約10mは観測機器の制約上観測できないが、数値シミュレーションは再現できている。データ同化により重要な表層の情報を含めて再現することは、東京湾の解析を行う上で重要である。

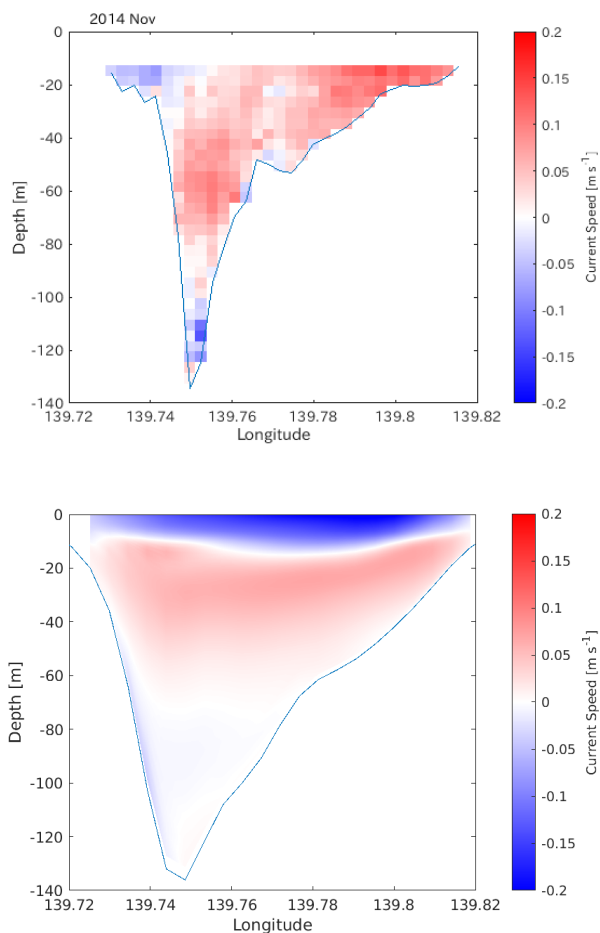


図5：フェリー航路における断面流速。(上) 観測値、(下) 数値シミュレーション値。

4. おわりに

本研究において、東京湾を対象とした低解像度の計算格子を用いたデータ同化のテスト計算と、高解像度の計算格子を用いた数値シミュレーションを実施した。今後は本検討で得られた高解像度の数値シミュレーション結果にフェリー観測値を同化し、東京湾の流動解析を進める予定である。

参考文献

- [1] 田中, 鈴木, 密度流湧昇流の計算を目的とした三次元沿岸域流動モデルの開発について, 港湾空港技術研究所報告, vol. 49, no. 1, pp. 3–25, 2010.
- [2] A. F. Shchepetkin, J. C. McWilliams, The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model, *Ocean Modelling*, vol. 9, no. 4, pp. 347–404, 2005.
- [3] 鈴木, 竹田, 東京湾口フェリーによる海洋環境の2003-2005年の観測結果とその特性, 港湾空港技術研究所資料, no. 1134, p. 37, 2006.
- [4] A. M. Moore et al., The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4-dimensional variational data assimilation systems, *Progress in Oceanography*, vol. 91, no. 1, pp. 34–49, 2011.
- [5] N. Usui et al., Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30), *Journal of Oceanography*, vol. 73, no. 2, pp. 205–233, 2017.
- [6] G. D. Egbert, S. Y. Erofeeva, Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 183–204, 2002.
- [7] 鈴木, 東京湾の海水交換と貧酸素化に及ぼす淡水流入と風の影響について, 港湾空港技術研究所資料, no. 1276, p. 97, 2013.