

4次元変分法による密度場修正が水質予測精度に及ぼす影響

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○永野 隆紀
大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江 政安

1. 研究背景および研究目的

赤潮や貧酸素化などの水質環境問題を抱える沿岸水域の水質予測精度は様々な要因によって低下する。例えば、大阪湾の夏季底層で発生する貧酸素水塊が中層まで発達する現象は、現状の3次元流動水質モデルでは再現が難しく、その原因は密度成層の再現性不足および水質モデル自体の構造やパラメータ設定の不完全性などがある。水質モデルパラメータの調整は比較的容易に行えるが、その際、密度成層の再現性不足による影響を無視して調整を行うと、不適当なパラメータを設定することとなり、将来的な予測精度低下につながる可能性がある (Löptien et al, 2019)。そのため、密度再現要因と水質モデル要因を切り分けた検討が必要である。そこで本研究では、高度なデータ同化手法である4次元変分法により、大阪湾モニタリングポストによる鉛直分布観測データを同化し、水温および塩分の予測精度を向上させることで、密度再現性が溶存酸素 (DO) 濃度の再現性に与える影響についての検討を実施する。

2. 手法

本研究では、オープンソースの流動水質モデル ROMS (Regional Ocean Modeling System) および同モデルに実装されている4次元変分法 (4DVar) を用いる。4DVar では、同化ウィンドウと呼ばれる同化区間内の全ての観測データに対し、数値モデルの計算値が時空間的に最も近づくように、シミュレーション変数の修正を行う。

3. 計算条件

本研究では、流動水質モデルに ROMS, および図-1 に示す窒素-リン-酸素循環モデルを用いる。計算期間は2012年8月1日から9月1日までの1か月間とし、外力・境界条件は観測データをもとに与えた。同化する観測データは大阪湾定点自動観測システムが配信している毎時データから水温と塩分を用いる。計算領域および観測地点を図-2 に示す。同化ウィンドウは24時間であり、同化によって修正する変数は水温および塩分の初期分布とした。観測値、計算値の信頼度を表す観測誤差標準偏差および背景誤差標準偏差は永野ら (2020) と同様の手順で設定した。

4. 結果

図-3 に計算期間全体で平均した、水温、塩分および DO の鉛直分布を示す。図示した地点は大阪港波浪観測塔 (Sta.12) である。水温について、観測値では水深-3m 付近から水温が低下しているが、同化前の計算では観測ほど低下しておらず、最下層では約 0.8°C 高い。一方、データ同化後では、躍層以深の再現性が向上している。塩分については上中層の変

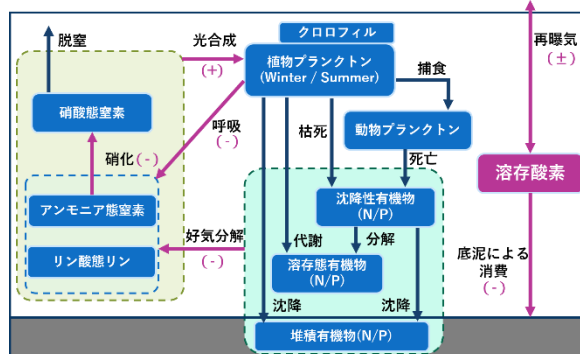


図-1 水質モデルの概略図

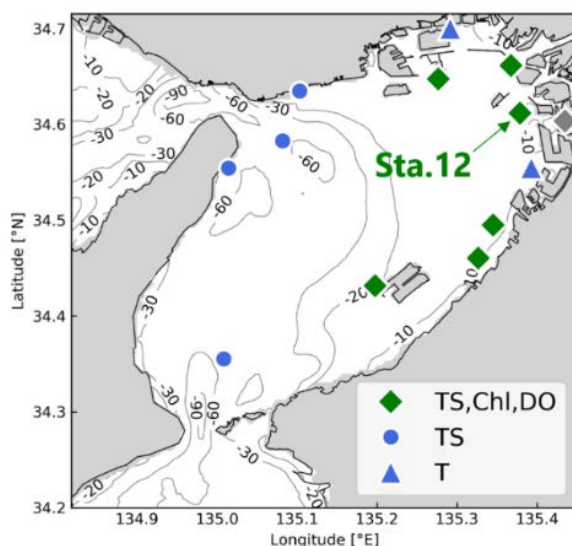


図-2 観測地点と観測項目。

T: 水温, TS: 水温・塩分, Chl: クロロフィル, DO: 溶存酸素濃度(%)

キーワード 大阪湾, データ同化, 貧酸素水塊, 4次元変分法

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学工学研究科 TEL 06-6879-7606

化は小さいが、底層においてわずかに増加し、観測値に近づいている。状態変数の空間分布に修正を施していない DO についても、水深-2 m 以下の鉛直分布が観測値に近づいていることがわかる。

また、図-4 に期間内の全観測データと計算値との二乗平均誤差平方根 (RMSE) の時系列を示す。図中 U, B は水深 6 m で分けた上層および下層をそれぞれ表している。同化前計算における下層水温の RMSE は、8 月 5 日から 15 日にかけて減少し、21 日から再び増加している。一方、同化後には、ほとんどの期間で RMSE が 0.5°C を下回っている。次に、上層塩分の RMSE は、14 日から 1 週間程度の間増加しており、同化後の RMSE も同様に増加している。この期間は大雨によって大規模な出水があった時期であり、河口域の淡水挙動を正確に再現できていないことを示唆している。DO の RMSE には、ほとんどの期間で、大きな変化が見られないが、8 月 24 日から 30 日は下層 DO の減少に伴って RMSE も減少している。この期間は下層水温、下層塩分のいずれも密度成層が強化される方向へ修正されており、これに伴い鉛直混合が抑制されることで DO が低下したと考えられる。入江ら (2012) では同化ウィンドウが 1 時間と短く、そのたびに初期値の修正が加えられていたが、本検討のように同化ウィンドウを長くしても、同化は中層 DO が減少し、改善する効果をもたらしている。同化ウィンドウや水質モデルが異なる場合でも、データ同化による密度修正効果は DO の鉛直分布に良好な影響を与えると推察される。

5. 結論

本検討では、大阪湾を対象に、4次元変分法によって水温および塩分を修正することで、現状のモデルの再現性能を検証すると同時に、密度場の修正効果が水質予測に及ぼす影響について検証した。データ同化の結果、夏季の大阪湾奥部における水温躍層および底層塩分の再現性が向上した。また、鉛直密度分布の修正によって、下層の DO 鉛直分布が観測値に近づくことが示された。DO の鉛直分布が改善した水深は水温の再現性が向上した水深と概ね一致していることから、修正後の下層水温の低下に伴って鉛直混合が抑制されることで、DO の再現性が向上したと考えられる。また今回の解析期間では、密度修正による DO の予測精度向上効果が、大規模出水から数日後の下層で確認された。このことから、出水による密度場の再現性低下は、その後数日間継続し、貧酸素化などの密度成層の影響を受けやすい現象の再現性を劣化させていることが示された。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP16KK0128, JP21H01435, 統計数理研究所共同研究プログラム (2020-ISMCRP-1004, 2021-ISMCRP-1008) の助成を受けて実施したものです。

参考文献 Löptien, U., & Dietze, H., *Biogeosciences*, 2019.

永野隆紀, 入江政安, 岡田輝久, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.76 (2), 2020.

入江政安, 西田修三, 辻陽平, 岡田輝久, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68 (2), 2012.

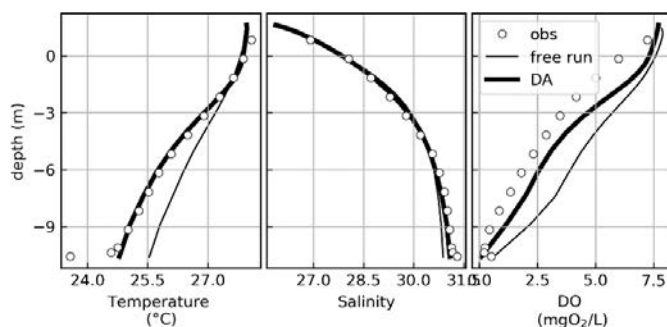


図-3 Sta.12 における水温 (左), 塩分 (中央) および DO (右) の鉛直分布. 白丸は観測値, 細線は同化なし計算, 太線は同化後の結果を示す。

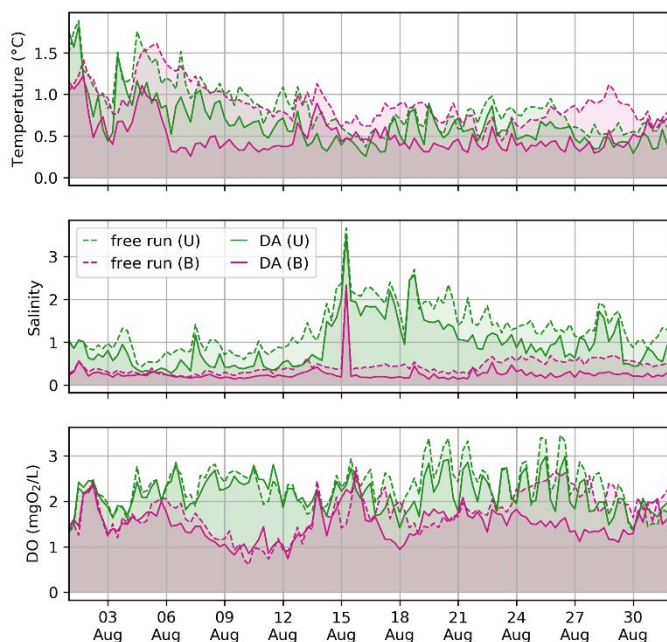


図-4 同化前後の計算値と観測値の RMSE の時系列. 上から水温, 塩分, DO であり, 緑は水深 3m 以上, 紫は 3m 以下を表す. また, 破線は同化なし計算, 実線は同化後の結果を示す。