

水質項目のデータ同化に関する種々の検討と課題

大阪大学大学院工学研究科 入江 政安

1. はじめに

気象学や海洋学分野で先行するデータ同化技術は主に状態推定、つまり再現と将来予測のために用いることが多い。水質のデータ同化を考えた場合、水質の再現予測よりむしろモデルパラメータの修正やモデル自体が持つ課題を抽出できることのほうが有意義である。しかし、その実現に当たっては課題が多い。本報では、水質項目のデータ同化において、これまで得られている課題について整理する。

2. データ同化

データ同化は、逐次型と非逐次型に分けられる。逐次型の代表例はアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) 法であり、新たな観測値が得られるたびに同化して、同化対象をアップデートする。同化終了後から次の同化まではパラメータや外力条件、境界条件など、不確実性を含む制御変数を変更した複数アンサンブル (10~100 アンサンブル?) を計算し、次の同化時点では、アンサンブルと観測値の差から修正量を算出する。非線形モデルをそのまま使用することができ、新たなコーディングが必要ないことが長所である。一方、非逐次型の代表例は4次元変分法 (4D-Var, アジョイント法) である。4D-Var は時間進行方向に進行させるタンジェントリニアモデルと時間後退方向に逆進させるアジョイントモデルを用いて、同化一期間内の複数の観測値と整合の良い同化結果を得る。時間後退を実現するには、モデルを線形化する必要があり、修正分は線形化モデルで近似的に求めることができると仮定し、線形モデルで進行と後退を行う。この結果、モデルが本来持つ非線形性が同化結果に良くない影響を及ぼす。これを回避するため、4次元変分法に EnKF 法を組み合わせる線形化しない手法などが提案されている。

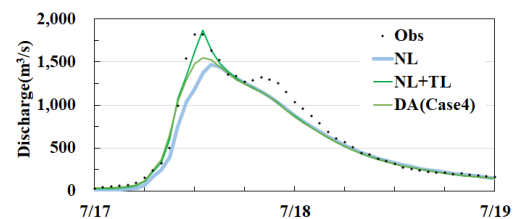


図-1 分布型流出モデルで洪水をデータ同化した結果、NL+TL と DA の差がモデルの非線形性の影響を表している。(小田ら, 2018)

3. 水質項目自体の特殊性

海洋におけるデータ同化では、流速や水位以外には、水温や塩分、クロロフィルが同化対象とされる場合が多い。塩分は負の値に近づくことがなく、水温が負になることは稀である。また、それらの誤差が正規分布から大きく外れることはない。クロロフィルはゼロになる可能性があるが、クロロフィルのデータ同化は内部生産がある水域で行われる

ことが多く、問題が生じる可能性は多くない。一方で、国内の沿岸域や湖沼の貧酸素化研究において溶存酸素濃度 (DO) を同化するとき、無酸素に近い水塊があるのに DO の誤差が正規分布であると仮定してしまうと、同化後の DO は負の値になる可能性が高くなる。そ

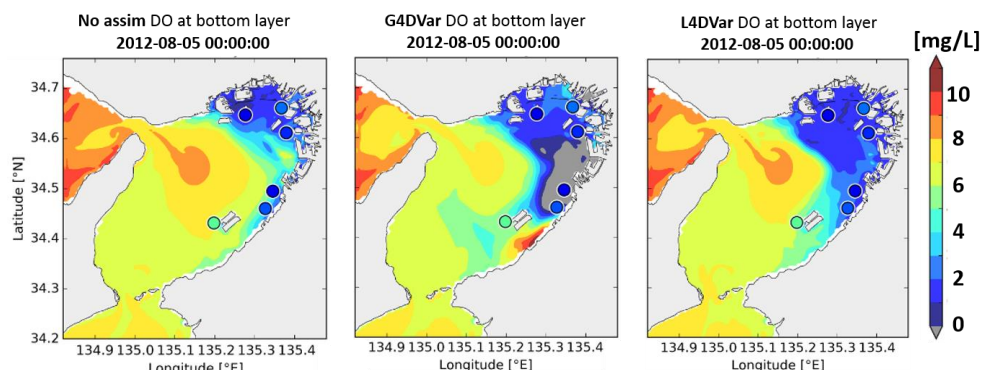


図-2 底面 DO の同化結果. 左: 同化なし, 中: 正規分布を用いた同化あり, 右: 対数正規分布を仮定した同化あり, の結果であり, 平面分布は計算値, ○印の中の色は観測値を, 図中灰色部は負の値を示す。(Irie ら, 2019)

キーワード データ同化, クロロフィル, DO

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 irie@civil.eng.osaka-u.ac.jp

ここで、一つの方法として、DO を含む水質項目については対数正規分布（水温・塩分は正規分布）を仮定する（入江ら，2017）．図-2，図-3 に，大阪湾の定点自動観測システムによって常時観測されている1時間間隔，5地点のDO・クロロフィルの鉛直

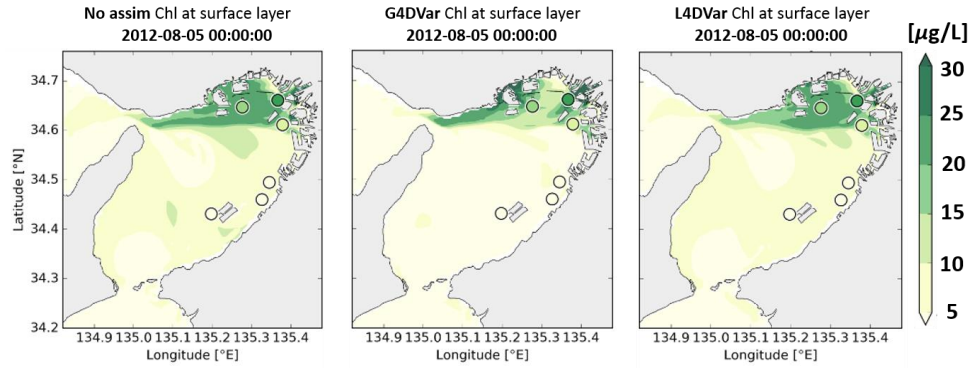


図-3 表層クロロフィルの同化結果. 左：同化なし，中：正規分布を用いた同化あり，右：対数正規分布を仮定した同化あり，の結果. (Irieら，2019)

分布を同化した場合の結果を示す (Irieら，2019)．底層のDO分布を見ると，正規分布を仮定した場合には負の領域が見られるが，対数正規分布の場合はこの領域が解消されている．その一方で，表層クロロフィルにおいては，正規分布の場合，同化後の値が観測値にかなり近づいているのに対し，対数正規分布にすると，その効果が弱くなっていることが分かる．対数正規分布を仮定することによりかえって再現性が低下する現象は中層のDOについても見られた．

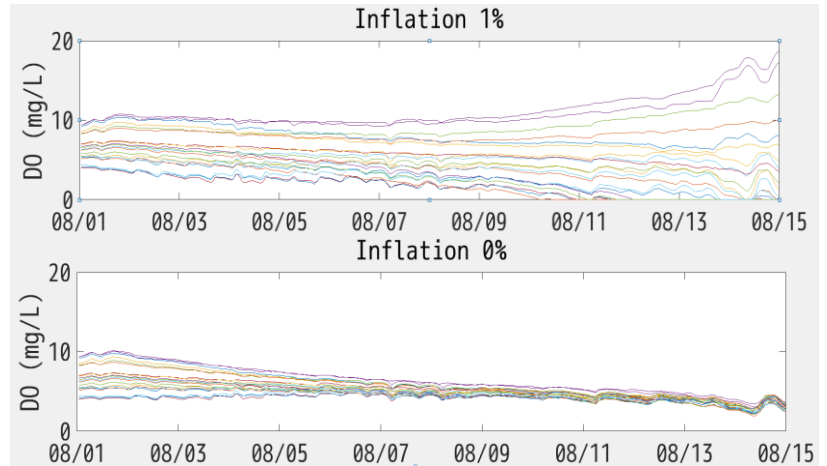


図-4 大阪湾中央部でのアンサンブルメンバーの時間変化. 上：インフレーション率1%，下：0% (吉野ら，未公表)

さらに、もう一つの課題はEnKF法で観られるアンサンブルメンバーがシュリンクする（ばらつきが小さくなる）現象である．気象場のデータ同化に比べ海域の同化ではシュリンクしやすいと言われているが，一度シュリンクしてしまると，次に状態変数が大きく変動するときに追従できなくなり，再現性が低下する．沿岸域や湖沼では外洋に比べて日変動が大きいこともあり，シュリンクは大きな問題となりえる．そのため，EnKF法ではシュリンクを防ぐために，新たな同化前後にアンサンブルの共分散を広げる「インフレーション」という手法が採られる．図-4に大阪湾でDOをEnKF法により同化するときインフレーションの割合を変化させた場合の，湾中央付近の貧酸素ではない地点のアンサンブルメンバーの拡がりを示す．この地点はもともとDOが大きく変動しない地点であるが，0%の場合はシュリンクしている様子が確認できる．その一方で，1%の場合，アンサンブルメンバーは広がっており，下がる方向の一部のアンサンブルがゼロに張り付く結果となっている．その結果，アンサンブルの平均で見た場合，DOは8/11ごろより一転上昇傾向となり，最終的にはあり得ない数値となる．感度解析の結果，DOのインフレーション率は0.5-0.6%程度が良いことが分かった．

4. まとめ

本報では主に大阪湾での水質項目のデータ同化の例を示し，外洋ですでに実施されているデータ同化の手法を沿岸域・湖沼で使用した場合に新たに発生する課題について述べた．特に，無酸素に近い水塊がある水域での計算は，同化パラメータの感度解析や観測値の持つ誤差分布の表現法の入念な検討が必要であり，今後も検討を進めていく予定である．

謝辞：本研究の一部はJSPS 科研費 JP16KK0128, JP17K06576により実施された．記して謝意を表する．

参考文献：小田ら(2018)．アジョイント法を用いた分布型流出モデルのパラメータ推定，土木学会論文集 B1(水工学)，74(5)，I_145-I_150．／入江ら(2017)．対数正規4次元変分法を用いた水質鉛直分布のデータ同化：双子実験による評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，73(2)，I_1243-I_1248．／Irie et al. (2019)．Assimilation of vertical chlorophyll and oxygen profiles using the lognormal four dimensional variational method: A case study in Osaka Bay, Japan. Ocean Predict 19, Oral presentation.