

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14255

研究課題名（和文）アンサンブルカルマンフィルタによる閉鎖性水域のデータ同化手法の定量化

研究課題名（英文）Quantification of assimilation condition for estuary with ensemble Kalman filter

研究代表者

松崎 義孝（Matsuzaki, Yoshitaka）

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・グループ長

研究者番号：10536684

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：伊勢湾のような沿岸河口域における、水温や塩分といった項目を数値シミュレーションすることは、港湾管理、漁業、レクリエーションの面で大変重要である。一方で、数値シミュレーションを実施するには様々な要因で誤差が生じるため、正確に数値シミュレーションを行うためには工夫が必要である。工夫の一つとして、観測値を数値シミュレーションに取り込んで精度を上げる、という方法が考えられる。このデータ同化手法を沿岸域で適用するための指針について研究開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって沿岸河口域において水温と塩分の観測値を数値シミュレーション結果に同化する際の指針が初めて示された。これは学術的・技術的な大きい成果である。本研究成果を基に、他の研究者や技術者がデータ同化を他海域で展開することが可能となる。本研究成果は、伊勢湾をリアルタイムでシミュレーション・データ同化する基盤技術として活用される。

研究成果の概要（英文）：Numerical simulation of water quality such as water temperature and salinity in coastal and estuary areas such as Ise Bay is extremely important in terms of port management, fishing, and recreation. On the other hand, when performing numerical simulations, errors occur due to various factors. Thus, some techniques are necessary to perform numerical simulations accurately. One possible method to improve accuracy is to assimilate observed values into numerical simulations. We conducted research and development on guidelines for applying the data assimilation method in coastal and estuary areas.

研究分野：海岸工学

キーワード：アンサンブルカルマンフィルタ 沿岸河口域 水温 塩分 データ同化

1. 研究開始当初の背景

伊勢湾のような閉鎖性水域における赤潮、青潮、貧酸素の発生に対応するために、閉鎖性水域の溶存酸素量やプランクトン量を予測する数値シミュレーションモデルの開発が行われている。応募者はシミュレーション精度をさらに改善し、かつ閉鎖性水域の物理・生物・化学過程の理解を進めるため、観測値を数値シミュレーションに融合するデータ同化という手法を用いた研究を進めている。データ同化を適用するには多くの条件設定が必要であるが、閉鎖性水域を対象としたデータ同化を行う際の条件設定に関する定量的知見が全く不足している。応募者は新たに定量的評価に基づいた閉鎖性水域のデータ同化の条件設定の指針を示すことを目指している。閉鎖性水域のデータ同化の条件設定のうち、本申請ではデータ同化において最も重要な背景誤差共分散に着目する。背景誤差共分散とは、数値シミュレーションの各モデル定義点における誤差と、モデル定義点間の相関関係を表すものであり、数値シミュレーションのモデル定義点に比較してデータ数の少ない観測値を数値シミュレーションモデル全体にどのように取り込むかを定めるものである。閉鎖性水域の背景誤差共分散の適切な導出方法は依然不明であり、どのように背景誤差共分散を算出すべきか、どのような誤差が閉鎖性水域のデータ同化に重要なのか、といった問題が、本研究課題の核心をなす学術的「問い」である。

2. 研究の目的

本研究では、データ同化手法で閉鎖性水域の物理過程を再現・解析するため、データ同化を行う際に最も重要となる背景誤差共分散の算出方法を定量的に示すことを目的とする。本研究で取り組む閉鎖性水域のデータ同化は検討事例が少ないうえ、背景誤差共分散を求める際の定量的指針を得るための研究事例がない。本研究は閉鎖性水域のデータ同化を行う上での重要な基礎的検討であり、従来進んでいなかった閉鎖性水域のデータ同化研究が進展する鍵となりえるため、独自性・創造性がある。

本研究で着目する背景誤差共分散が正確に得られると、閉鎖性水域のどこで、どのような観測を行えばデータ同化で閉鎖性水域全体を効率よく解析できるか、といった観測のスイートスポットが調べられる。従来、感覚的に行っていたブイや観測塔の設置位置の検討を、データ同化の観点で行うことにより、より効率的な観測体制の提案を行うことが可能となる。

3．研究の方法

応募者の研究は閉鎖性水域を対象とした物理・生物・化学過程に関するデータ同化の指針を得ることを最終目標としており、本申請ではそのうちの生物・化学過程の推定の基礎となる物理過程（水温、塩分、流動）を対象とする。研究は応募者の所属する研究所で開発された流動生態系シミュレーションシステム（通称 EcoPARI）と、それに実装したデータ同化モデルであるアンサンブルカルマンフィルター（EcoPARI-Data Assimilation）を用いて検討を行う。アンサンブルカルマンフィルターとは、複数のシミュレーション結果（アンサンブル）のばらつきから各モデル定義点の誤差分散と、モデル定義点間の共分散（すなわち相関係数）を算出し、それを背景誤差共分散として逐次同化を行う手法である。

アンサンブルカルマンフィルターでは、ばらつきを表現するために数値シミュレーションモデルの不確実な項に誤差を設定する。閉鎖性水域の数値シミュレーションを実施する際に、境界条件と言われる外海との流出入、河川流入、及び天候の状況を入力する必要がある。しかしながら、これらを正確に推定することは困難であり、境界条件に起因する誤差が大きい。そこで、本検討では境界条件が主要な誤差要因と仮定して、境界条件の誤差量の見積もりを行う。検討対象とする境界条件は全部で 11（大気：気温、短波放射、長波放射、大気圧、風向、風速、水蒸気圧、降水、開境界：水温、塩分、河川：流量、水温）である。このうち、大気気温、風速、開境界水温、塩分、河川流量、水温に着目して誤差を付加し、データ同化を実施した。同化する観測値は伊勢湾で実施されている長期連続定点観測の水温・塩分とする。実験期間は 2016 年の 1 月から 12 月の 1 年間とし、1 日に 1 回の観測値を同化した。

4．研究成果

提案した同化方法によって、1 年間を通じた水温と塩分の不自然な変動がない、安定したデータ同化結果が得られた。これまで 1 年間のような長期のデータ同化が沿岸河口域で安定的に実施できることを示した初めての事例となる。さらに、3 つの境界条件に摂動を適用することで Filter divergence と呼ばれるアンサンブルカルマンフィルターの不具合（アンサンブル同士の結果に差がなくなり、数値シミュレーション結果が非常に高精度であるとシステム上で判断され、観測値が同化されない現象）が発生せず、本手法の高い適用性とロバスト性が示された。

感度実験によると、気温と風速の両方の大気境界条件に摂動を付加した際に、特に表層付近で水温の ensemble spread が増加した。検討した境界条件の摂動のうち、風速は塩分の ensemble spread の大きさに最も大きな影響を及ぼし、その優位性は場所によって異なった。側方境界条件の摂動は、湾口近くのすべて

の水深で水温と塩分の ensemble spread を増加させ、観測は効果的に同化された。河川境界条件の摂動は、河口近くの水温と塩分の同化に寄与した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 松崎義孝 井上徹教	4. 巻 61
2. 論文標題 伊勢湾シミュレータに実装した領域沿岸データ同化法による通年のデータ同化実験：沿岸・河口域における適切なアンサンブルを作成するための境界条件の摂動	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 港湾空港技術研究所報告	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsuzaki Yoshitaka, Inoue Tetsunori	4. 巻 127
2. 論文標題 Perturbation of Boundary Conditions to Create Appropriate Ensembles for Regional Data Assimilation in Coastal Estuary Modeling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021jc017911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 海洋シミュレーションとその応用
3. 学会等名 令和4年 第46回横須賀市 市民大学 「世界に誇れる日本の港湾・空港の技術」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 領域沿岸データ同化における適切なアンサンブルを作成するための境界条件の摂動
3. 学会等名 第69回海岸工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 閉鎖性水域における水環境デジタルツインの実現に向けて:伊勢湾シミュレータのデータ同化モデル
3. 学会等名 港湾空港技術特別講演会2021in中部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 沿岸河口モデリングにおける領域データ同化:適切なアンサンブルを作成するための境界条件の摂動
3. 学会等名 第25回 海洋データ同化夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 流動生態系シミュレーションシステムによる水環境評価のための標準化プラットフォーム構築に向けたJHPCNの活動
3. 学会等名 スーパーコンピューティングジャパン 2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 アンサンブルカルマンフィルタによる水圏生態系モデルのデータ同化システムの開発
3. 学会等名 第60回環境工学研究フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松崎義孝
2. 発表標題 水環境総合評価システムによる水環境評価のための標準化プラットフォーム構築
3. 学会等名 JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第15回 シンポジウム
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関