



Title	4次元変分法を用いた沿岸域における低次生態系モデルのデータ同化に関する研究
Author(s)	岡田, 輝久
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61743
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (岡田 輝久)	
論文題名	4次元変分法を用いた沿岸域における低次生態系モデルのデータ同化に関する研究
論文内容の要旨 人々は沿岸域から多大な生態系サービスの恩恵を受けている。一方、人為的要因による富栄養化や貧酸素化などの水環境問題を抱え、沿岸域の持続可能な開発を行うためには、環境変化のメカニズムを理解し、適切な対策を講じる必要がある。しかし、瀬戸内海などの閉鎖性の強い海域では、潮汐変動や気象擾乱の影響を受けて複雑な流動水質構造を示し、時空間的に精度の高いシミュレーションは難しい。そこで、シミュレーションの精度を向上させる新たなアプローチとして、観測データを利用したデータ同化手法が注目されている。中でも4次元変分法は、力学条件を満たしながら連続する観測データを取り込む手法であり、各国の気象予報にも用いられ、その有用性から海域の流動予測への適用が試みられている。しかし、時空間変動の大きい河口沿岸域や閉鎖性内湾の流動水質を対象とした水質データの直接同化の研究は殆どみられない。そこで本研究では、沿岸域の観測データを有効利用することで、より高精度な流動水質シミュレーションを行うための新たな手法を開発し、4次元変分法による低次生態系モデルへのデータ同化の適用性について検討を行った。 本論文は、以下の6章から構成されている。 第1章では、序論として本研究の背景、目的、および論文の構成について述べた。 第2章では、沿岸域を対象とした流動水質シミュレーションにおける課題点を抽出するため、瀬戸内海東部における約30年間の観測データを用いて季節変動調整法による時空間解析を行い、水質変動特性の把握を試みた。近年、富栄養化の傾向が指摘されている瀬戸内海において、表層CODに明らかな減少傾向は見られなかった。一方で、大阪湾では淡水と塩水の混じり合う潮汐フロントを境に表層CODの季節変動や不規則変動に明確な違いが見られた。そこで、その詳細を明らかにするために大阪湾を対象に3次元流動水質シミュレーションを行った結果、湾奥部における流動構造や水質分布に及ぼす河川水流入の影響を捉えることができたが、夏季の表層クロロフィル濃度の過大評価や貧酸素水塊の空間構造の再現に課題が残った。 第3章では、流動水質シミュレーションの再現性向上を目的に、4次元変分法によるデータ同化手法を導入し、流速・水温・塩分データの同化計算を行った。海洋レーダやADCPによる流速データを同時に同化したことにより、流動構造の再現性が向上した。しかし、計算の不安定性により、長時間の逆伝播計算が行えず、4次元変分法の利点を十分に活かすことができなかった。これまでの研究により外洋を対象とした4次元変分法の有用性が示されてきたが、本研究で明らかとなった4次元変分法の適用性に関する課題は、内湾の流動水質解析において解決しなければならない新たな課題と言える。解決手法の一つとして、同化計算中における水位変化を固定し、密度の逆伝播のみを行うよう簡易化することで数値的安定性が向上し、12時間以上の逆伝播計算においても安定した解が得られるようになった。水温・塩分データの同化による流動・密度構造の再現性向上は、水質構造の再現性向上にも繋がった。そして、水質変動の再現性向上には水温・塩分データだけでなく、水質データを直接同化する必要性が示唆された。 第4章では、4次元変分法を用いて沿岸域の低次生態系モデルにおける状態変数の初期値およびモデルパラメータを推定することで、水質変動の再現性を向上させるため、新たに低次生態系モデルの誤差を逆伝播させるためのアルゴリズムを構築した。このアルゴリズムの適用性を評価するため、仮想データの同化計算実験を行った。その結果、水質変動の再現性向上のためには、状態変数の初期値とモデルパラメータの推定を同時に行うべきであることが示唆された。さらに、初期値に十分な精度が見込める場合は、モデルパラメータの推定だけでもクロロフィルや栄養塩濃度の再現性が向上することが示された。 第5章では、第4章で構築した新たなアルゴリズムを用いて実際の観測データを流動水質シミュレーションに同化した結果、高い再現性を有するクロロフィルおよびD₀の計算結果を得ることができ、観測データを同化させていない栄養塩の再現性をも向上させることが示された。さらに、初期値の修正量や推定されたパラメータ値の変化から、境界条件やモデル誤差に起因する再現性低下の要因の存在が示され、本アルゴリズムの改良の余地が示唆された。 第6章では、各章で得られた知見をもとに結論を述べ、今後の課題について言及した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (岡 田 輝 久)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	西田 修三
	副 査	教授	青木 伸一
	副 査	准教授	入江 政安
	副 査	准教授	荒木 進歩

論文審査の結果の要旨

閉鎖性の強い海域では、潮汐変動や気象擾乱の影響を受けて複雑な流動水質構造を示し、時空間的に精度の高い流動水質シミュレーションは難しい。シミュレーションの精度を向上させる新たなアプローチとして、観測データを利用したデータ同化手法が注目されている。中でも 4 次元変分法は、力学条件を満たしながら連続する観測データを取り込む手法であり、海域の流動予測への適用が試みられている。しかし、時空間変動の大きい河口沿岸域や閉鎖性内湾の流動や水質を対象としたデータ同化の研究は殆どみられない。本研究では、沿岸域の観測データを有効利用した、より高精度な流動水質シミュレーションを行うための新たな手法を開発し、4 次元変分法による低次生態系モデルへのデータ同化の適用性について検討を行っている。

第 1 章では、序論として本研究の背景、目的、および論文の構成について述べている。

第 2 章では、沿岸域を対象とした流動水質シミュレーションの課題点を抽出するために、瀬戸内海東部における約 30 年間の観測データを用いて季節変動調整法による時空間解析を行い、水質変動特性の把握を試みている。解析の結果、近年、貧栄養化の傾向が指摘されている瀬戸内海において表層 COD に顕著な減少傾向は認められないが、大阪湾に形成される潮汐フロント周辺では表層 COD の季節変動などに明確な違いが生じていることを明らかにしている。

第 3 章では、流動水質シミュレーションの再現性向上を目的に、4 次元変分法によるデータ同化手法を導入し、流速・水温・塩分データの同化計算を試みている。海洋レーダや ADCP による流速データを同時に同化することにより、流動構造の再現性は向上するが、計算の不安定性により長時間の逆伝播計算が破たんすることを明らかにしている。4 次元変分法を適用する際のこの課題は、内湾の流動水質解析において解決しなければならない新たな課題と言える。この課題の解決手法として同化計算の簡易化が提案され、この手法により 12 時間以上の逆伝播計算においても安定した解が得られることを明らかにしている。また、水温・塩分データの同化により、水質構造の再現性も向上することが示され、水質変動の再現性向上に向けて水質データの直接同化の必要性についても言及している。

第 4 章では、水質変動の再現性向上のために 4 次元変分法を用いた低次生態系モデルのデータ同化を試みている。新たに低次生態系モデルの誤差逆伝播のアルゴリズムを構築し、双子実験によりその適用性を評価している。その結果、状態変数の初期値とモデルパラメータの推定を同時に行うべきであるが、初期値の精度が高い場合は、モデルパラメータの推定だけでも水質計算の再現性が向上することを明らかにしている。

第 5 章では、第 4 章で構築した新たなアルゴリズムを用いて実際の観測データを流動水質シミュレーションに同化した結果、クロロフィルおよび D0 の計算結果に高い再現性が認められ、さらに、観測データを同化させていない栄養塩の再現性も向上することが示されている。

第 6 章では、各章で得られた知見をもとに結論を述べ、今後の課題について言及している。

以上のように、本論文は沿岸域の流動水質シミュレーションの精度向上に向けて、4 次元変分法を用いた低次生態系モデルへのデータ同化の新たなアルゴリズムを構築し、その適用性と課題について検討を行い有用な成果を得ている。今後、水域のモデルパラメータ値の推定や生態系モデルの改良にもつながる研究として高く評価できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。