

論文審査の結果の要旨

氏名 文屋信太郎

地表の 7 割を占める海洋の中でも、沿岸域は人間活動と海洋が相互に影響を及ぼし合う最も重要な海域である。その沿岸域で人々が快適に暮らすために工学が取り組むべき問題は大きく二つに分類されると考えられる。一つは、生態系の保全・再生、水質管理、汚染物質の拡散などの環境問題である。もう一つは台風による高潮や洪水、地震時に発生する津波などが人工構造物へ与える被害などの自然災害である。これらの現象を理解し、適切な対策を施すためには、それらの現象に共通して関係する海水の流動について定量的に理解することが不可欠である。しかしながら海洋の流動現象は空間・時間スケールが大きいいため、その実験を行うことは不可能であるか、あるいは非常に大規模な装置を必要とする。そこで数理モデルを用いた数値実験によってそれを代替する研究が盛んに行われているが、数値実験特有の困難さから、様々な時間・空間スケールを持つ流動現象を汎用的に精度良く表すことのできる解析手法は確立されていないのが現状である。そこで、本研究では、数値モデルを用いた数値実験によって沿岸域の諸現象を理解・予測することを目的とし、特に沿岸域の海水の流れに注目してそれを高精度に解くための計算手法を提案し、さらに東京湾を含む実海域に適用し、その有効性を示している。

本論文は 8 つの章から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と課題、目的について述べている。また、既存の各種数値モデルについてのレビューを示している。さらに、本研究が主に扱っている偏微分方程式系の浅水方程式について説明している。

第 2 章では、まず、本研究の初期段階で作成された、eco-hydrodynamics モデル、すなわち、流動系と生態系を結合したモデルについて説明されている。数値モデルの説明の後、いくつかのテスト問題によってその数値モデル及び計算プログラムの基本性能を検証している。最後に三番瀬と盤洲干潟を含む東京湾をモデル化し、両干潟の海水浄化機能を評価している。この解析自体は、干潟の浄化機能を定量化しようとする試みとして意義深いものであるが、同時にこの解析を通して、海水流動モデルにおける数値的減衰効果が指摘され、これが次章以降で高精度な数値計算手法を開発する上での動機となっている。

第 3 章では、数値的減衰効果を減らすべく擬似気泡関数要素を用いた混合型有限要素法による浅水方程式の数値スキームが構築されている。擬似気泡関数要素自体は既存のものであるが、著者はそれが浅水方程式系に有効であること

をはじめて示す一方で、特定の境界条件との組み合わせによって解が不安定化することを新たに指摘している。その結果を受けて、擬似気泡関数法の特徴については数値的、解析的手法によって詳細に議論されている。

第 4,5 章では、開境界で課される水位境界条件が引き起こす不安定性への対処法を新たに提案している。潮流を計算する際にはその水位境界条件が流れを直接的に駆動するため、そこで生じる不安定性を除去することは大変重要である。Discontinuous Velocity/Surface-elevation Boundary Implementation (DVBI, DSBI) と名づけられた提案手法は、浅水方程式中の空間一階微分項を部分積分することによって現れる境界積分項を有効活用することによって境界付近での解の精度を高め、安定化を図るものである。新しい計算技法の整合性は解析的、数値的手段によって詳細に議論され、確認されている。

第 6 章では、提案された DVBI, DSBI の両手法を、2 次元のテスト問題に適用し、解析解と比較することによって、提案手法の有効性を確認している。

第 7 章では提案手法を東京湾と相模湾を含む海域に適用し、潮流計算を行っている。まず、境界条件の実装法の違いによる解の精度、安定性の差異を検証している。この中で、境界形状が複雑な場合には DVBI 法は安定性に課題があることが確認された。一方、DSBI 法については解の安定化に大変有効であることが確認された。次に、DSBI 法と擬似気泡関数法とを組み合わせる構築された計算スキームと、第 2 章の流動モデルで採用された手法とが比較されている。この比較によって第 2 章で問題提起されていた解の減衰が、擬似気泡関数法では解消され、高精度な解が得られていることが確認された。さらに、詳細な計算格子を用いた東京湾・相模湾の潮流計算が提示されている。この計算結果から、顕著な数値減衰の無い高解像度な解が提案手法で得られることを示している。有限要素法がこの種の計算において採用されにくい理由の一つはこの数値的な解の減衰であるので、この点が擬似気泡関数法によって解消できることを示したことは意義深い。

第 8 章は結論であり、上記の内容が総括され、提案手法の有効性がまとめられている。

以上を要するに、本論文では、従来の有限要素法を用いた浅海域解析の問題点を明らかにし、擬似気泡関数法と独自の安定化手法を組み合わせることにより、高精度と安定性の両者を兼ね備えた独創的な浅海域流動解析手法を提案し、その有効性を解析的、数値的手法を駆使して実証しており、数値流体力学の観点から本論文は価値が高い。今後の沿岸域における海水流動場の予測やその海流の上での生物、汚染水、底泥等の輸送現象の理解に関する研究に対する寄与も少なくない。よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。