

氏 名	ひらまつけん 平 松 研
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	論 農 博 第 2230 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Hydraulic and Environmental Modelling of Density Stratified Shallow Waters (密度成層浅水域の環境水理モデリング)

(主査)

論文調査委員 教授 河地利彦 教授 青山咸康 教授 高橋 強

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、鉛直方向に特徴的な近似手法を導入する、三次元多項式有限要素モデル化手法および流れ幅方向に積分した鉛直二次元サイドビュー (Side-View) 有限要素モデル化手法を用いて、浅水域における非定常密度成層流とその影響下にある水質環境を再現する汎用的な数値解析モデルの開発を試み、それらの有効性を検証したものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景として水資源と環境の問題を環境水理学の立場から捉えて、数値モデリングの位置づけを明らかにするとともに、本研究の目的と接近手法について述べている。

第2章では、水温または塩分、あるいは両者により発生する密度成層流と水質・低次生態系を中心とする環境水理問題について、従来の研究を幅広く渉猟、整理して、本研究の意義を述べている。

第3章では、ダム湖、溜池などの貯水池における水温成層解析を目的として、水平方向に二次元線形基底関数、鉛直方向にチビシェフ (Chebyshev) 多項式基底関数を用いた、鉛直方向に離散化を必要とせず、また鉛直方向の近似次数を任意に変えることのできる三次元有限要素モデルを開発している。本モデルでは、水温輸送方程式に付加項を設けることによって、バルク (Bulk) 法に基礎を置いた水面熱交換と水体内に進入する短波放射を考慮している。また、水面近傍で発生する密度の不安定成層を解消する合理的な方法として熱量平均化の手法を考案し、境界下層部における低温水侵入に対してはその水温分布を最小自乗法によって近似表現するなど、さまざまな工夫によってモデルの適用性を向上させている。そして、実貯水池への適用を通じて、モデルが実用的にも十分な再現性を有することを確認している。

第4章では、前章のモデルを修正、拡張することによって、汽水域、沿岸海域など塩分と水温の両者で密度形成がなされる水域での流れ、塩分、水温が連成解として高精度にかつ安定に再現できる新たな三次元密度成層流モデルを構築している。すなわち、圧力ポアソン方程式による流速の修正という形でソレノイダル (Solenoidal) な条件を満足させる流速修正法の導入によってモデルの高精度化を図り、移流項が卓越する場合の解の不安定性を解消するために、ペトロフガレルキン (Petrov Galerkin) 法による空間積分を試みている。モデルの再現性の検証では、キャベリング (Caballing) 効果と地形性貯熱効果を取り上げ、密度分布に敏感な流れ現象も十分に再現可能であることを明らかにしている。

第5章では、ダム湖における流れと水温の長期間解析が可能となるような、鉛直方向と水平方向の両者に線形一次基底関数を用いたサイドビュー有限要素モデルを開発している。本モデルでは、湖軸が枝状に分岐する場合でもダム湖全体にわたって水理・水温の鉛直構造が解明できるよう旧来のサイドビューモデルの改良を図り、さらに三角形のサイドビュー要素を導入することにより、湖底の地形変化の影響がより正確に解に反映されるような離散化法を考案している。そして、モデルを実際の農業用ダム湖に適用して長期間解析を試み、実用上問題のない程度に鉛直水温分布の時間変化が再現できることを確認している。

第6章では、前章のサイドビューモデルを基礎として、流れ・水温、プランクトンを中心とする低次生態系、溶存酸素濃度を規定する水質因子の相互関係を考慮して、ダム湖における溶存酸素解析モデルを開発している。本モデルでは、水温成

層と水質（特に溶存酸素濃度）分布との相関を明らかにしてその特性をモデルに反映させるとともに、水質の鉛直構造を的確に表現するために、鉛直渦動粘性係数および鉛直渦動拡散係数をブランドバイサラ（Brunt - Vaisala）周波数によって関数表現する手法を導入している。農業用ダム湖に対する適用計算から、モデルは水温、溶存酸素ともにほぼ観測値と一致する良好な結果を与えることを明らかにしている。

終章である第7章では、前章までに示した4つのモデルの特性と得られた結果を要約・整理し、併せて今後の課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

水域の水理・水質環境を論じるには、流れと水質因子の双方について、水平方向の分布とともに鉛直構造を解明することが不可欠である。このためには、流れと物質輸送を連成させた三次元あるいは準三次元モデルの開発が必須である。本論文は、貯水池、湖沼、汽水域などの浅水域における密度成層流とその影響下にある水質環境を再現する汎用的で安定な、三次元多項式有限要素モデルおよび鉛直二次元サイドビュー有限要素モデルを開発して、モデルの実用性の観点からそれらの有効性を検証したものである。評価できる主要な点は以下のとおりである。

- (1) 水体内に侵入する短波放射と水面における熱交換の影響を的確に再現し、表層に出現する密度逆転層を合理的に正順化する、鉛直方向の解が多項式関数として得られる貯水池の三次元水理・水温解析モデルを構築した。
- (2) 塩分と水温によって成層化される汽水域などの水理、水温、塩分の三次元連成解析が可能な多項式有限要素モデルの定式化において、流速修正法を用いれば圧力ポアソン（Poisson）方程式経由でソレノイダル条件を満たすことが可能であることを示し、鉛直方向の流速が加速度項を無視することなく決定できる方法を提示した。
- (3) 鉛直方向および湖軸方向の変動が顕現するダム湖の流れ・水温・水質解析を行うために、サイドビュー有限要素モデルを修正、再構築し、樹枝状のダム湖が扱え、また湖底の地形変化の影響がより忠実に解に反映するような鉛直二次元モデルを誘導した。
- (4) ダム湖における水質鉛直分布が水温成層に密接に関係していることを明らかにし、ブランドバイサラ周波数によって鉛直渦動粘性係数および鉛直渦動拡散係数を表現する手法が流れと水質の構造を的確に再現する上できわめて有効であることを示した。
- (5) 流れ、水温、プランクトンを中心とする低次生態系、溶存酸素を中心とする水質因子の相互関係に注目してそれぞれにサブモデルを構築し、これらを統合して、ダム湖の環境水理因子の長期間解析が可能となる実用的な鉛直二次元モデルを開発した。

以上のように、本論文は、密度差による成層化が顕著な浅水域での流れと水質の連成問題に対して、いくつかの三次元あるいは準三次元モデルを提案し、それらの再現性を検証したものであり、水資源工学、環境水理学の発展、並びに水質予測の実際面に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。なお、平成11年2月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。