

氏名	やま しき よう すけ 山 敷 鷹 亮
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	工博第1859号
学位授与の日付	平成11年7月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科環境地球工学専攻
学位論文題目	Development of A Numerical Prediction Model for Currents and Suspended Particles in Lake Biwa and its Application on Eutrophication Analysis (琵琶湖における湖流及び懸濁態粒子予測モデルの開発と富栄養化解析への適用)

論文調査委員 (主査) 教授 松井三郎 教授 瀬津家久 教授 高橋 保

### 論文内容の要旨

本論文は、琵琶湖における湖流と懸濁粒子の輸送について、新しい3次元湖流解析モデルを開発し、富栄養化現象の予測にモデルを適用する事を目的とした論文で、以下の9章からなっている。

第1章は序論であり、本論文の執筆にあたる経緯と論文の全体構成について述べられている。

第2章は「琵琶湖の富栄養化と凝集性粒子の寄与」と題して、(1)南湖赤野井湾の富栄養化に水田の代掻きによる懸濁水が大きく寄与していると考えられる経緯(2)赤野井湾の水理学的・栄養塩分布特性より赤野井湾がアオコ発生に適している事、(3)琵琶湖北湖においては野洲川等の流入河川からの懸濁粒子流入が同水域に対する栄養塩供給の鍵を握っている点、およびこれらの河川水が相対密度の関係で湖水に潜り込む点について述べられており、以下の章に至る序節となっている。

第3章は、「支配方程式と歪み数値モデルの導入」と題して、本論文で申請者により提案された歪み数値モデルの定義と、密度変化を伴う回転系における基礎方程式群の導出とSGS応力の定義、そして本論文での数値計算の時間積分法・圧力方程式解法・境界条件等について述べられている。

第4章は、「SGSモデルと密度変化流れ場への適用」と題して、様々なSGSモデルの紹介が行われている。まず、密度一定場の基礎方程式を用いて、ダイナミックモデルの導出過程が示され、続いて申請者の提案するMixed Scaling Formulation Model (MSFM)が密度一定と密度変化を伴う流れ場それぞれに対して定式化されている。またMSFMをSGSモデルに用いたLESによる計算結果と瀬津らの行ったキャピティブ水路におけるLDV計測結果との比較が行われており、このモデルの妥当性が結論づけられている。

第5章「琵琶湖北湖における温度による環流生成過程の議論と数値シミュレーション」では、琵琶湖北湖で定常的に観測される環流をLESおよび歪み数値モデルを用いて解析がわかれており、歪み数値モデルによる結果が、Smagorinskyモデルを用いたLESの結果よりも適切である点、またMSFMを用いたLESの結果が良く現象を再現している点が強調されており、LESの適用においては、非等方性効果を表現したSGSモデルを適用すべきである点が述べられている。

第6章「成層湖における濁水流入の数値解析」においては、MSFMを用いて、BITEX '93にて観測された成層湖への野洲川からの濁水流入の数値計算が行われている。流れ場の基礎式の中に濁質による密度変化として考慮されており、栄養塩及びクロロフィルaの輸送方程式についてもSGS項を用いた定義が行われている。またBITEX '93による観測結果との比較検討が行われ、懸濁粒子、溶存態リンのブリューム及び、クロロフィルa濃度分布等の予測が行われており、N点における観測地を説明する計算結果を得ている。

第7章では、「水田から琵琶湖・赤野井湾への懸濁粒子の流入の調査」と題して、平成8年5月3日～5日の間に、赤野井

湾にて行われた現地観測結果について述べられており、代掻き期間中の赤野井湾水中の懸濁粒子分と全リンの濃度との間、底泥中のリン濃度とゼータ電位、全炭素量と粒径、ゼータ電位とリン含有量との間に高い相関がみられることが示されている。また比ゼータ電位という無次元数を用いて懸濁粒子の凝集粒径を予測する式が提案され、底泥の表層部分の粒径が懸濁粒子の粒径とゼータ電位から予測されており、まずまずの結果を得ている。また同水域に歪み数値モデルと水質解析モデルによる数値計算結果が示され、現象がある程度予測されている。

第8章「アオコ増殖機構の研究とそのモデル化」では、平成8年8月の赤野井湾観測を通じて、流入河川から大量に水が流入する事により湾内のクロロフィルa濃度分布が減少することが観測結果を通じて示されている。また同年9月の同湾内における48時間観測の結果を通じて、湾内のクロロフィルa濃度分布と、それぞれの場所での優勢種の分布状況について述べられ、湾内と湾外の優勢種に違いが見られること、湾内においてプランクトン増殖が著しい事が述べられている。最後に、歪み数値モデルと6章で用いられた水質解析モデルを用いたクロロフィルa濃度の予測が行われ、ある程度の現象説明に成功している。またアオコ発生モデルを、(1)ラグランジュ型輸送方程式で表現可能なフェイズ、(2)2次元の方程式で表現可能なフェイズ、(3)3次元の混相流方程式で表現可能なフェイズ、と3つに分類し、今後のモデル化の方向性を示唆している。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、琵琶湖を対象とした3次元湖流解析モデルの開発と懸濁粒子の電位的特性に着目した凝集効果を導入することによって、富栄養化現象を予測するシミュレーションを行った研究であり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 申請者の提案する歪み数値モデル及びLarge Eddy Simulation (LES) を用いて琵琶湖における環流発生の数値計算を行った。この計算では成層期における鉛直方向の差分加熱をDriving Forceと仮定し、既に行われた ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) による観測結果と同じ傾向の環流を再現する事に成功している。LESの計算においては複数のSub Grid Scale (SGS) モデルが用いられており、いずれも琵琶湖においては初めての試みである。また、北湖第一環流の位置についても、他の研究者による観測結果を用いることによって、より観測結果に近い北寄りの環流の生成が再現されており、計算が妥当である事が示唆された。

2. この論文には、複数のSGSモデルが導入されており、この中のMixed Scaling Formulation Modelは申請者の導き出した方法である。この手法は今後の環境流体解析における熱輸送問題において様々な利用が可能であると考えられる。本モデルシミュレーションとキャピティ-水路の一次元LDA (Laser Doppler Anemometer) を用いた別の実験結果と比較が行われ、本モデルの計算が流れ場の性状をよく表現していることが確認された。

3. 富栄養化水域である琵琶湖・赤野井湾において春・夏の観測を行い、懸濁粒子濃度と全リン濃度の相関から春先の代掻きによる懸濁粒子流入が湾へのリンの供給に大きく寄与している事、及び夏期のプランクトン増殖において、同湾内は湾外に比較して藻類増殖が卓越している事を明らかにしている。また懸濁粒子の粒径と比ゼータ電位により凝集粒子の粒径を予測する式が提案され、ある程度の予測結果を得ている。またこれらの現象を3次元水質解析モデルによりシミュレーションし、いくつかの点において現象の説明を成功している。

以上本論文は、3次元湖流の解析と富栄養化現象のシミュレーションで有効な成果をあげており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年3月18日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。