

氏 名	おおくほけんじ 大久保賢治
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2197 号
学位授与の日付	平 成 元 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	湖における吹送流と密度流の発生・流動機構に関する研究

論文調査委員 (主 査)
教授 村本嘉雄 教授 中川博次 教授 岩佐義朗

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、湖沼の水温変化や物質の流動・拡散に対して支配的な影響を及ぼす吹送流と密度流の発生・流動機構を、琵琶湖を対象とした現地観測と数値解析および水温成層と地球自転の効果に注目した湖流の基礎実験・模型実験に基づいて研究したものであって、緒論、本文4章および結論から構成されている。

緒論では、研究の背景および吹送流・密度流の実証的研究に重点をおく本研究の立場と論文各章の概要を記述している。

第1章では、湖流の無次元支配方程式と基礎実験から、自転効果に注目して湖流の分類を行うとともに、回転系における密度流の挙動と抵抗特性について考察している。まず、湖流の基礎式に移流時間あるいは慣性時間を用いて無次元式を導き、琵琶湖の流系では後者の時間スケールが重要であって、ロスビー数 R_o と鉛直エクマン数 E_v が支配パラメータになることを示している。つぎに、 R_o と E_v を広範に変化させた交換密度流実験を行い、回転による流量の減少率に注目して $R_o < 1$ を強回転域、 $R_o > 4$ を非回転域に区分し、さらに強回転域を $E_v = O(10^{-3})$ 以上と以下の範囲に分けて浅水・深水領域を定義している。また、下層密度流のフロントの伝播速度と横偏差に対する R_o 、 E_v の影響について考察している。一方、回転に伴う流量減少と密度流の混合層の特性を検討するために、それぞれ回転系の管路流実験と一次元・二次元界面波に関する密度流実験を行い、界面抵抗係数を評価するとともに、界面波の形態と碎波限界の影響について説明している。

第2章では、浅水湖の吹送流について検討するために、琵琶湖南湖を対象とした数値解析と現地観測を行い、水面抵抗則と渦動粘性係数に重点をおいて考察している。南湖の湖流解析には、3層位モデルを用いて風と放流量が一定および湖流観測時の条件で計算を行い、1層モデルとの比較、一様風と分布風による計算結果の相違および鉛直循環流に注目した湖流の基本パターンについて説明するとともに、風速をパラメータとした層別渦動粘性係数の式を提示している。つぎに、吹送流の流速の鉛直分布式と水面抵抗則について、有効動粘性係数の導入が有用であることを既往の実測値の再整理によって示し、水面粗度長・渦動粘性係数・安定成層場のシア関数との関連性について考察している。一方、琵琶湖南湖で気象要素と

水温・濁度・流速の鉛直分布に関する連続観測を行い、流速分布に対する水温成層の影響、水面粗度と流速の関係、水温・濁度拡散係数と成層指標の関係などについて考察するとともに、表層流の抵抗と風向からの偏差をロスビー数相似則から論じている。

第3章では、浅水湖と深水湖の間で湖面冷却期に発生する下層密度流の発生・流動機構を、琵琶湖大橋付近での観測と熱収支・水理解析に基づいて考察している。まず、大橋周辺部の水温・流速実測値と風速・気温などの気象要素から冬季密度流の発生時期と流動形態について検討するとともに、回転系の斜面上での下層密度流に関する積分モデルを用いて計算を行い、密度流の流量と流心線の偏向の関係を示している。つぎに、湖水の移流を考慮した日単位の熱収支計算を琵琶湖南湖に適用し、密度流の発生と下層水温の予測を行い、また密度流の破壊限界風速を求めている。一方、密度流の流量を予測するために、界面付近の流速分布、抵抗係数、渦動粘性係数および自転による流れの偏向について考察したのち、密度流の界面形状と流量に関する実用的な予測モデルを提案し、観測結果との比較を行っている。

第4章では、成層湖に発生する水平循環流について熱成論の観点からの実験的研究の成果が述べられている。実験は、湖水の成層化と環流の発生の相互関係を明らかにするための基礎実験と琵琶湖模型を用いた年間の環流模擬実験に分けられ、前者では環流に対する各種の地形要素の影響についても考察されている。一方、模型実験では、北湖の第1環流を対象として力学的相似律の検討を行ったのち、水温の実験値と観測データの比較から熱的相似と渦動拡散係数の鉛直分布およびその年間変化について考察を行っている。

結論では、以上の各章の研究成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

湖沼の水理に関する研究は、近年、数値モデルを中心に著しく発展し、湖水温の変化や物質の流動・拡散過程の予測が国内外を通じて広く行われている。しかし、モデルに含まれるパラメータの同定や予測結果の検証が十分になされていないために、数値解析法の妥当性が明らかでない場合が多く、湖沼水理に関する実証的な研究の重要性が指摘されている。

本論文は、琵琶湖における観測、湖流に関する基礎実験と模型実験およびそれらの水理解析に基づいて、浅水湖・深水湖の主要な流系である吹送流と密度流の発生・流動機構について考察したものであって、得られた主な成果はつぎのとおりである。

1. 湖流の支配方程式に移流時間と慣性時間を用いて無次元式を導き、琵琶湖の流系では後者の時間スケールが重要であり、ロスビー数と鉛直エクマン数が支配パラメータとなることを明らかにした。また、これらの無次元数を広範に変化させた交換密度流の実験から回転による流量減少効果に注目した密度流の特性区分図を提示した。

2. 浅水湖における吹送流の特性を検討するために、琵琶湖南湖を対象として風域分布を考慮した3層位モデルによる湖流解析を行い、従来多用されている一様風の1層モデルと比較して水平循環流の強度と減衰時間が変化することを指摘するとともに、観測結果との対応を明らかにした。また、湖流の渦動粘性係数に対して風速をパラメータとした層別分布式を提案した。

3. 琵琶湖南湖において、気象要素と水温・濁度・流速の鉛直分布に関する連続観測を行い、水温差1°C以下の弱成層が吹送流の流速分布に影響することを実測値と理論的考察から明らかにするとともに、水面粗度長の風速による変化、水温・濁度拡散係数と成層指標の関係、風向と吹送流の流向との偏差などに関して多くの有用な知見を得た。

4. 湖面冷却期に間歇的に発生する下層密度流の発生・流動機構を検討するために、琵琶湖南北両湖の境界付近で詳細な観測を行い、密度流の界面形状と流下形態にコリオリ力が影響することを指摘し、その流量と流向の関係を回転系の積分モデルから明らかにした。また、湖水の移流を考慮した熱収支計算から密度流の発生と水温の予測を行うとともに、密度流の破壊限界風速を求めた。さらに、密度流の流速分布、抵抗係数および渦動粘性係数について考察し、密度流の界面形状と流量に関する実用的な予測モデルを提案した。

5. 成層湖に発生する大規模な水平環流の形成因を熱成論の立場から実証するために、回転水槽を用いて加熱環流の基礎実験を行い、水温躍層と環流の発達過程および湖の地形要素と環流の配列の関係を明らかにした。また、湖岸に熱源と冷源を設置した琵琶湖模型を用いて環流の年間変化に関する実験を試み、循環期を除いて実際の環流および成層と運動学的・熱的相似関係が成り立っていることを示した。

以上要するに、本論文は湖における吹送流と密度流の発生・流動機構を、現地観測と室内実験に基づく実証的研究に重点をおいて考察するとともに、湖流に関する予測モデルと模型実験手法の改良・開発を行ったもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和63年11月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。