

京都大学	博士（工学）	氏名	秋山 真作
論文題目	Measurement of the flow past a sphere descending at a constant speed in a salt stratified fluid（塩分成層流体中を一定速度で降下する球を過ぎる流れの計測）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、塩分によって密度成層した流体中を一定速度で降下する球の周りに生じる流れを対象として、流速分布および密度分布を水槽実験により観察・計測し、発生する流れの形成過程や成層強さとの関係について考察したものであって、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、流体力学の発達の歴史を踏まえながら、流体中の密度成層が着目を浴びたきっかけ、およびその後の研究の動向について概説し、加えて密度成層流体中を鉛直に移動する物体によって生じる流れに関する先行研究に言及すると同時に、本論文で当該流れ場の詳細な計測を実施する意義についても述べている。また、流れの計測手法の発達の歴史についても言及している。</p> <p>第2章では、本論文の研究で使用した実験装置の構成の概要、実験で使用する塩分成層流体の作成方法、流れ場の可視化、速度場の計測および密度場の計測に用いた実験計測手法の原理並びに得られた実験データに対するデータ解析の手法と手順について述べている。</p> <p>第3章では、密度成層流体中を一定速度で降下する球の後方に軸対称なジェットが形成される場合を対象とし、ジェット内部および球面近傍の速度境界層内部に対してPIV法による高解像度での速度場計測および既往の軸対称数値計算結果との定量的な比較を実施し、流体運動を支配する無次元パラメタであるフルード数 Fr およびレイノルズ数 Re に対する速度場の依存性を検討している。得られた主な成果は、以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 密度成層流体中を一定速度で降下する球の後方に形成される内部重力波の波形に関して、対称軸の近傍以外では線形理論による予測と高精度で一致することを実証した。 2. ジェット内部の速度分布及び球面近傍の速度境界層内部の速度分布を初めて詳細に計測した。その結果、ジェットの長さはフルード数 Fr に比例し、また、ジェットの最大速度がフルード数 Fr に反比例することを示した。これより、ジェットの有次元長さが物体の大きさには依らず成層強さと物体の鉛直速度に依存することを示した。 3. ジェットの太さおよび速度境界層厚さは、成層流体に特有の長さスケールを用いた簡単な次元解析から得られる式 $(Fr/Re)^{1/2}$ によって見積もられることを明らかにした。 4. これらの結果は、軸対称数値計算と定量的に一致し、既往研究における軸対称性の仮定の妥当性を検証することとなった。 <p>第4章では、非常に強い密度成層流体中で球を一定速度で降下させた際に、球の後方に軸対称性の崩れた不安定な流れが発生することを新規に発見した事を述べ、不安定な流れの発生条件の調査および発達過程の観察並びに考察を、シャドウグラフ法による可視化実験および速度分布の計測によって行っている。得られた主な成果は、以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 極めて強い成層下においては、レイノルズ数が $10 \leq Re \leq 100$ と極めて小さい場合でも後流ジェットの不安定化が生じる事を発見した。また、不安定化の発生条件を表す式を実験から求め、$Fr/Re=1.57 \times 10^{-3}$ で表されることを示した。 2. 不安定ジェットの形成過程に関して、始めに軸対称な流れを形成するが、時間の経 			

京都大学	博士 (工学)	氏名	秋山 真作
<p>過に伴い、球面の境界層付近から不安定化が生じることを明らかにした。</p> <p>3. 安定ジェット・不安定ジェットにかかわらず、ジェットの長さがフルード数 Fr に比例する、つまり内部重力波の波長に依存することを示した。</p> <p>4. 不安定ジェット発生 of 閾値に対応する、ジェットの最大速度の臨界値が存在することを見出した。</p> <p>第5章では、密度成層流体中を一定速度で降下する球の後方に軸対称なジェット流れが生じる場合を対象とし、ジェット内部および球面近傍の速度境界層内部に対して LIF 法による高解像度での密度場計測および既往の軸対称数値計算結果との定量的な比較を実施し、成層の強さを表す無次元パラメタであるフルード数 Fr に対するジェットの発達過程および密度場の依存性を検討している。得られた主な成果は、以下の通りである。</p> <p>1. 成層が弱い場合には、ジェットの形成初期に軸対称渦の形成および鉛直方向への引き伸ばし・放出が見られるが、成層が強い場合には軸対称渦の形成が観測されない。即ち、成層効果によって渦の形成が抑制されることを示した。</p> <p>2. ジェット内部および密度境界層内部での密度攪乱は、フルード数 Fr の増大に伴って大きくなることを定量的に示した。この結果は、ジェットの形成に際してジェット内部及び密度境界層内部での密度拡散が大きく寄与していることを示唆するものである。</p> <p>3. これらの結果は、軸対称数値計算と定性的に一致し、既往研究における軸対称仮定の妥当性を保証することとなった。</p> <p>第6章は総括であり、本研究で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、塩分濃度差によって生じた密度成層流体中を一定速度で降下する球のまわりの流速及び密度分布を水槽実験により測定し、細い鉛直ジェットなどの特徴的な構造が浮力効果によって現れる流れ場を解析したものである。得られた主な成果は、以下の通りである。

1. 球まわりの速度場を粒子画像流速計測法 (PIV 法) により計測し、密度成層流体の流れを支配するパラメタであるフルード数 Fr およびレイノルズ数 Re への依存性を調べた。特に、球の上方に形成されるジェットと、球面上の境界層の構造に注目して解析を行った。その結果、内部重力波の波長とジェットの長さは Fr に比例し、ジェットの太さと速度境界層の厚さは、次元解析から得られる予測と一致し、 $(Fr/Re)^{1/2}$ で見積もられることがわかった。

2. 極めて強い密度成層を持つ流体を対象に、シャドウグラフ法と PIV 法による計測を行った。その結果、レイノルズ数 Re が 10 以下の低レイノルズ数流れにおいても、球の上方のジェットが不安定化する場合があることを発見した。

3. レーザー誘起蛍光法 (LIF 法) により、塩分濃度 (密度) 分布を計測した。その結果、成層が弱い場合には、ジェットの形成初期に軸対称渦が発生するが、成層が強い場合には、初期渦が全く発生しないことがわかった。また、密度分布で定義されるジェットの太さ、および、密度境界層の厚さは、フルード数 Fr の減少と共に小さくなることがわかった。

本論文は、(1) 研究例が非常に少ない、主流方向が鉛直である成層流体の流れを研究している、(2) 成層が非常に強い流体において、低レイノルズ数下でも流れが不安定化しうることを新たに発見している、(3) 塩分成層流体における薄い境界層や細いジェットのように、観測が非常に難しい領域の測定を行っているなど、成層流においてこれまで研究の進んでいなかった基本現象の解明を行っており、新規性も高いため、学術上、實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 30 年 7 月 24 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。