

氏 名	すが た せい じ 菅 田 誠 治
学位(専攻分野)	理 博 第 1496 号
学位授与の日付	平 成 5 年 11 月 24 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	理 学 研 究 科 地 球 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Numerical and theoretical studies on thermal convection in a rotating annulus of fluid

(主 査)
論文調査委員 教授 廣田 勇 教授 光田 寧 教授 木田 秀次

論 文 内 容 の 要 旨

地球流体力学の分野において、この数十年の間、回転系における熱対流を調べるために、2つの同軸円筒間に実験流体を満たし内・外壁に温度差を与えて流れを駆動する、回転水槽実験が行われてきた。これまで流れ場や温度構造の実験パラメータ依存性が詳細に調べられてきたが、このような回転系での熱対流を理解することは、大気大循環の力学を解釈する上で重要な基礎を与えるものと考えられている。

申請者は、回転水槽中の流体運動を記述する数値モデルを作成し、回転系での熱対流に関する数値的・理論的研究を行った。学位申請論文は4部から成り、その第一部と第二部は流れパターンの遷移を主題とした研究で、第三部と第四部は熱輸送形態を主題とした研究である。

第一部では、定常軸対称流から定常波動流への遷移を特に高粘性流体の場合を中心に調べた。二次元軸対称数値モデルを作成して定常軸対称流を求め、その微小な波動擾乱に対する安定性を線型化方程式の時間発展により調べた。得られた結果はシリコンオイルを用いた室内実験と一致したが、遠心力項を無視した場合には、遷移曲線の形が室内実験と異なっていた。この違いが実験パラメータによって軸対称流の遠心力項または波動擾乱の遠心力項に起因することを数値実験により明らかにした。また、従来、遷移曲線の形状は実験流体のプラントル数に依存すると考えられてきたが、本研究でそれが誤りであることを指摘し、それに代わる適切な無次元数を導入した。

第二部では、三次元セミスペクトルモデルを作成して、流れパターンの段階的遷移を調べ、分岐理論による考察を加えることにより、定常軸対称流—定常波動間の遷移は、ヒステリシスによって特徴づけられることを明らかにした。すなわち、得られた定常波動は、軸対称流が不安定化することから分岐するのではなく、別の臨界点(極限点)が存在して、そこで定常波動解が消滅する。また、定常波動—バシレーション間の遷移は、定常波動が不安定化するところでのホップ分岐(周期解の定常解からの分岐)によることを示した。

第三部では、二次元モデルを用いて、定常軸対称流の熱輸送形態(速度場と温度場)が実験パラメータにどう依存しているかを広いパラメータ領域で調べた。そして、速度場と温度場が与えられたパラメータ

に対してどのように決まるかを直感的に理解できる簡単な診断モデルを構築した。この簡単モデルは熱伝導が支配的な流れと対流が支配的な流れの両方に適用できて、どのように熱輸送形態が決まるかを定性的に説明できる。また、このモデルを用いて、子午面循環の強さ、東西流の強さ、および内部領域での水平温度差といった、定常軸対称流を特徴づける諸量のパラメータ依存性を求めることができる。

第四部では、三次元セミスペクトルを用いて、定常波動流における熱輸送をラグランジュ的な視点から調べた。ある定常波動の三次元流速場から求めた流体粒子の軌跡はカオス的であるが、その位置によって特徴的な挙動をする。流体粒子の挙動によって流れの場を7つの領域に分割し、粒子がそれぞれの領域に滞在する時間的割合と領域間の遷移頻度を調べて、外壁境界層→上層ジェット域→内壁境界層→下層ジェット域または下端境界層→外壁境界層のルートが最も頻繁に出現することを見出した。さらに、軌跡に沿って流体粒子の温度変化を求めて熱輸送量を評価し、熱輸送のほとんどが上記のルートによることを見出した。

論文審査の結果の要旨

大気大循環の原理を理解するための回転水槽熱対流実験は、これまでに様々な角度から研究が続けられてきたが、近年、数値実験の発展により、定量的な議論が可能となってきている。

申請者は、回転系における熱対流の諸問題を、数値実験により詳しく検討し、流体力学的に興味あるいくつかの理論的解釈を与えることに成功した。

申請論文の第一部では、流れのレジームの遷移に対する粘性率と遠心力の効果と比較検討し、従来、プラントル数に依存すると考えられていた流体運動の遷移過程が遠心力項の効果に強く支配されることをはじめて明らかにした。第二部では、流れのパターンの遷移を分岐理論の立場から詳しく検討し、新しい解釈を与えている。

申請論文の第三部と第四部は、流体運動に伴う熱輸送のメカニズムに焦点を合わせた研究で、まず速度場と温度場が各種パラメータにどう依存するかを見るための診断モデルを作り、それを用いて、子午面循環・水平温度差・平均流等の諸量を定性的に表現した。これは熱対流の原理を理解する上で評価できる貢献といえる。さらに第四部では三次元数値実験の特長を活かして波動を含む流れの場における流体粒子の軌跡についての統計的解析を行い、熱輸送に寄与する流体運動の実態を具体的かつ定量的に示すことに成功した。これは、従来の回転系熱対流の理解を一段と高めた研究成果である。

よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。

なお、主論文に報告されている研究実績を中心に、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。