

# 論文審査の結果の要旨

氏名 森 厚

大気・海洋などの地球流体中には、水平方向の密度差を原因として駆動される「水平対流」が至るところに見られる。例えば、近年注目を浴びている都市域の高温化に伴うヒートアイランド循環、海陸風などがこれに当たる。水平対流の力学については古くから多くの研究があるが、その多くは定常状態に関するものであり、非線形性の大きな水平対流の時間発展に関する力学的な研究はほとんど見当たらない。論文提出者は、理論と数値実験によりこの問題の解明に取り組んだ。

論文は、5つの章からなっている。第1章は序章で、これまでの研究と問題の背景が述べられている。第2章では、非回転系における非線形時間発展問題を扱っている。底面を持つ半無限の一様成層2次元流体中で底面の半分の温度をある瞬間に下げたときの流体の時間発展である。論文提出者は理論的考察により、この時間発展が3つの基本的なレジーム—拡散レジーム、重力流レジーム、重力波レジーム—の間の遷移によって起こることを示した。レジーム間の遷移は、無次元の成層パラメータに依存する。成層パラメータが小さい（成層が弱い）ときは、時間の経過と共に拡散、重力流、重力波レジームの順で遷移が起きる。一方、成層パラメータが大きい（成層が強い）ときは、拡散レジームは重力流レジームを経ないで重力波レジームへと遷移する。提出者は更に、3つのレジームを記述する近似的な支配方程式が相似解を持つことを発見した。拡散・重力流・重力波レジームにおける流れの鉛直スケールはいずれも拡散長さ $\delta$ で、水平スケールはそれぞれ、 $\delta$ 、 $\delta$ を鉛直スケールとする重力流の伝播距離、 $\delta$ を鉛直スケールとする重力波の伝播距離によって与えられる。数値実験により、非線形の時間発展を再現したところ、成層パラメータに応じて、理論的予想の通り相似解を有する各レジーム間の遷移が実現することがわかった。得られた相似解と3つのレジームは、有限の大きさをもった「島」に対する定常解の形成過程とその解の構造の物理的理解にも非常に有用であることがわかった。

第3章では、前章の非回転系での水平対流の問題を、地球の回転の効果を考

慮した回転系に拡張した。非回転系では時間と共に循環のサイズが拡大するのに対し、回転系では1慣性周期が経過すると、循環はほぼ定常になることがわかった。1慣性周期に比べて、経過時間が十分短い場合には、循環の時間発展は非回転系と同様となる。回転が遅く1慣性周期が長い場合には、拡散・重力流レジームを経て重力波レジームに遷移してから初めて回転の効果が効いて定常状態に達する。回転がやや速い場合は、重力流レジームで初めて回転が効いて定常状態に達し、回転が非常に速い場合には、拡散レジームで既に回転が効いて、定常状態になる。数値実験の結果、成層パラメータと慣性周期に応じて、これら3つのレジームが理論的予想と合致して再現されることがわかった。

第4章は、回転系の水平対流の力学的安定性を調べる室内実験についての記述である。前章までの理論は曲率のない2次元流体に対するものであるが、実験は軸対称2次元で行った。前章から、力学的に不安定となりうるのは、非線形である重力流レジームだけであることが予想される。このレジームの定常状態は相似解を持つので、その安定性は相似解についてだけ調べればすむ。しかしながら、室内実験の結果は、回転と底面の差分冷却に応じて、安定な場合と不安定な場合があることを示した。両者を分ける境界線は、変形半径とクールアイランドの半径の比から定義される熱ロスビー数が一定の線で与えられ、この比が大きい（曲率の効果が大きい）ほど安定であった。この結果は、曲率のない通常の2次元流体の重力流レジームは常に不安定であることを示している。最後に第5章で全体のまとめが述べられる。

このように論文提出者は、非線形水平対流の時間発展問題に、相似解を持つ3つのレジームがあることを理論的に示し、数値実験によりこれらのレジームと相似解が実現することを示した。また、この結果を用いて、回転系の非線形水平対流の力学も明確に理解できることを示した。更に、室内実験により、回転系の非線形水平対流が、曲率が効かない場合には不安定であることを示した。これらの研究は、水平対流という地球流体力学の普遍的過程の新しい側面を開拓したものであり、極めて独創性が高く、優れた研究と評価できる。

なお、本研究の成果の一部は新野 宏・木村龍治・三沢信彦・丁 享斌氏との共著論文として印刷済みであるが、論文提出者が主体となって問題の設定、数値実験、室内実験、解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。