

論文審査の結果の要旨

氏名 野口 尚史

海洋の密度の鉛直分布にはしばしば数 m スケールで階段状に変化している場所が見られる。この階段構造の成因として有力なものは、密度が分子拡散率の異なる水温と塩分で決まる海水などで生ずる二重拡散対流である。階段構造の形成・維持機構と時間発展及びこれに伴う物質の鉛直拡散は海洋物理学の極めて興味深い課題であるが、現象の時間スケールが長く、混合に関わる流速も小さいために、海洋中で系統的な観測を行うことは難しく、現在も十分に解明されていない。また、二重拡散対流による階段構造の形成の研究は、これまで主に室内実験により行われてきたが、外部から熱・塩分の流束を与えたものがほとんどで、海洋内部での階段構造の成因を調べるには適切とはいえなかった。

論文提出者は、二重拡散対流が可能な流体中では、境界からの流束がなくとも自発的に階段構造が形成される可能性があるのではないかと考えた。そこで、温度と塩分の一様な鉛直勾配を基本場として持つ無限の流体を考え、これに重なる温度・塩分・速度の擾乱は、水平・鉛直方向に周期的と仮定した2次元鉛直面内の数値実験を考案した。ここで、基本場は上ほど低温低塩分で、拡散型対流が生ずる成層を考えている。提出者は最初に線形理論を用いて、溶媒・溶質が決まっているときには擾乱が発達する条件は、密度勾配比のみで決まり、臨界値より大きいときの増幅率最大の擾乱(FGM)は、水平波長がプラントルの浮力境界層の程度、鉛直波数が0の柱状の擾乱であることを示した。次に、数値実験において、初期にランダムな温度擾乱を与え、その時間発展を調べた。その結果、擾乱の発展はそのエネルギーが、線形安定論から予想されるような発達率で指数関数的に増幅する段階、爆発的に増加する段階、緩やかに増加する段階の3つに分かれることがわかった。ここで、第2段階は階段構造の形成、第3段階は形成された階段構造の合併・成長に対応していた。

第2段階についてスペクトル空間での非線形相互作用を解析した結果、階段構造の生成には、FGMの波に加えて、線形的に増幅可能な波、層構造を与える2種の波の計4つの波が主に関わっていることがわかった。

この4波のみからなる切断スペクトルモデルが数値実験の結果を非常に良く再現することから、階段構造はこの4波の非線形相互作用により形成されることが明らかになった。

第3段階で階段構造の中の層同士が融合し時間と共に厚さを増す形態には、隣り合う層の間の境界面での密度差が小さくなる境界面消滅型と、2つの境界面に挟まれた層の厚さが消滅する層消滅型の2つの型があることがわかった。数値実験で得た層内の運動エネルギーと歪度を調べることにより、境界面でのエントレインメントがいずれの型の消滅にも重要な働きをしていることが明らかになった。そこで、層内の対流プルームがエントレインメントに寄与する簡単な層モデルを作成したところ、数値実験で得られた多数の境界消滅型と層消滅型の層発展が統一的に再現できることがわかった。

提出者は更に、初期安定成層に外的に強制された乱流で成層が変形された場合に生ずる運動を、砂糖-塩系による室内実験と数値実験により調べた。初期に乱流を与えた室内実験では、乱流が減衰した後に、弱い層状の成層が残り静止状態になる。その後、突然プルーム状の対流運動が層状の領域に発生し始め、周期約に対流が発生・消滅を繰り返す脈動現象が生じた。数値実験で再現された脈動現象を解析したところ、この現象は初期に乱流で変形した砂糖・塩分場のうち、塩分場が大きな拡散により早く線形に戻されるために、密度で静的に不安定な成層となり対流が生じ、対流による密度輸送で静的不安定が解消されると、塩分の拡散により再び密度場が静的に不安定になることで生ずることがわかった。

本研究で見出された、一様な成層場からの二重拡散効果による層構造の形成と発達、及び変形された成層場からの脈動する対流は論文提出者が初めて発見したもので、極めて独創性が高く、優れた研究と評価できる。また、これらの現象の成因についても、現時点で考える解析は十分尽くされており、現象の理解に大きく貢献した点が評価できる。

なお、本研究の成果は新野 宏氏との共著論文として近々投稿予定であるが、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。