

論文審査の結果の要旨

氏名 竹内 絵美利

海洋表層には海表面の冷却や蒸発から生じる密度対流や風による乱流混合によって、海面から密度・温度・塩分が鉛直方向に一様化された海洋表層混合層が存在する。混合層は大気・海洋内部の双方に直接関わる重要な存在であるが、その形成や時間変動の実態、メカニズムの理解は未だ不十分である。

従来、混合層は加熱・弱風期の夏季に浅く、冷却の始まる秋季から強冷却・強風の冬季にかけて深くなると考えられてきた。しかしながら、月毎の気候値データを用いた申請者らの研究によって、混合層が浅くなる海域が全大洋の亜熱帯海域 20-30 度の緯度帯に存在することが見出された。冷却を受けているにもかかわらず混合層が浅くなる現象は、月平均データに基づいた混合層理論では理解できない現象で、その実態と、背後に存在するメカニズムについては全く明らかにされていなかった。

本論文は 5 章から構成されている。第 1 章では導入部として、混合層の重要性、および、先行研究において示されてきた冬季混合層の実態、申請者自身の修士論文で得られた冬季混合層の浅化現象が紹介されるとともに、本研究の目的が述べられている。第 2 章では、様々な海洋観測データを用いて冬季混合層の浅化の実態を検討した研究成果が示され、冬季混合層浅化現象が実在することが明らかにされている。これらの解析から得られた描像をもとに、第 3 章では冬季混合層の浅化のメカニズムが鉛直 1 次元モデルを用いて検討されている。第 4 章では高解像度大循環モデルのデータに基づき、冬季混合層浅化に対する水平的な効果が検討されている。第 5 章では全体のまとめと議論、さらに、今後の課題が述べられている。

申請者は、まず、これまで使用されて来た気候値データよりも高精度な海洋観測データを用いて様々な角度から冬季混合層の浅化現象を考察した。特に、同じ海洋混合層を長期にわたり連続的に追跡できるプロファイリングフロートによる観測データを用いることで、北太平洋北緯 20-30 度の緯度帯における冬季混合層が、周期 2 週間程度の短期的な変動を伴いながら、1 ヶ月の時間スケールをかけて、次第に浅くなることを明らかにした。

日平均の海面熱フラックス・データの解析からは、冬季にも海面が加熱される日が数日程度あることが明らかになった。海面が加熱されると海面付近の水温が上昇し、風が弱ければ表面付近に躍層が形成され混合層が浅くなる。この理論的なシナリオが成立しているかどうかを確認するため、申請者は、日平均の熱フラックスと風速観測データを鉛直1次元バルク混合層モデルに入力し、冬季混合層の浅化の再現性を定量的に評価した。その結果、観測された現象のうち、主に冬季後半に起きる、海面水温の上昇を伴う混合層の浅化に関しては、その変化値、分布、頻度がよく説明できることを示し、1ヶ月未満の比較的短期的な加熱が冬季混合層浅化に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

一方、海面水温の低下を伴う混合層の浅化については、鉛直1次元混合層モデルによる結果は、分布も頻度も観測値と比べ過小評価であり、1次元過程には含まれない水平物理過程が重要であることが示唆された。そこで、申請者は、水平的な過程の効果を調べるため、日平均のフラックスで駆動した高解像度大循環モデルによるデータの解析を行った。モデルでは、ハワイ風下海流と亜熱帯反流に伴う渦列に対応して混合層深度が東西に変化していた。この渦列は西方伝播するため、それに伴って東西に変化する混合層深度も西方伝播する。つまり、同じ場所で見ると、渦列の伝播に伴い混合層が浅くなったり深くなったりする。これは短期的な加熱を必要としない混合層の変動過程であり、渦列の伝播によって海面水温の低温化を伴った浅化を説明できる可能性が示唆された。

本研究は、従来、深くなると考えられてきた冬季の混合層が浅くなるという、これまで全く認識されていなかった現象を対象に、その実態とメカニズムを追求した独創的な研究である。観測データの解析から抽出された現象の実態を、単純化したモデルで問題点を絞り込む一方で、複雑なモデルを用いて現実との対応を検討し原因を追求するなど、様々な階層のモデルを巧みに融合させることで現象の本質を引き出した優れた研究と評価できる。冬季の混合層の変動の理解に貢献した本研究は、長期海洋変動や気候変動、さらに、生物資源変動への貢献も期待できる。以上から、学位論文として十分な成果であると判断する。

なお、本論文における成果は、指導教員である安田 一郎 教授との共著論文として投稿予定であるが、申請者が主体となって研究を行ったもので、その寄与が十分であると判断する。したがって、申請者に博士(理学)の学位を授与できると認める。