

論文審査の結果の要旨

氏名 松 田 拓 朗

南極周極流は、大陸により遮られることなく経度方向に地球を一周する唯一の海流系であり、各海盆内の南北循環を接続することで海盆間のエネルギーや熱、物質の輸送に重要な役割を果たし、全球規模の気候変動にも大きな影響を及ぼしている。南極周極流の構造や変動には不安定により励起される中規模渦擾乱に伴う渦-平均流相互作用が影響を及ぼしており、周極流の流量や等密度面の南北勾配が外力である風応力の変動に対して鈍感である「渦飽和」や「渦補償」の過程が働くことが指摘され、多くの研究が進められてきた。しかし、多くの先行研究では南極周極流を東西一様とする理想化モデルを用いており、渦擾乱が空間的に非一様である観測特性を考慮して調べることができない。また、渦擾乱の空間分布を考慮した理想化モデルにおいても、渦活動が活発な海域の空間構造を現実的に再現しておらず、定性的な議論に留まっている。本論文は、南極周極流域の中規模渦擾乱を現実的に再現する高解像度海洋大循環モデルの結果を用いて、南極周極流域における渦-平均流相互作用の空間非一様性を定量的に見積るとともに、空間構造を決定するメカニズムを詳細に調べたものである。

本論文は5章から構成されている。第1章は導入として南極周極流域の渦-平均流相互作用に関する先行研究の理解と問題点が整理され、本論文の目的が示されている。第2章では、用いたモデルや観測データの詳細が記述されている。

第3章では、南極周極流域でのエネルギー輸送の観点から、渦-平均流相互作用の空間非一様性を定量的に見積もった。まず、エネルギー輸送を定量的に表すローレンツのエネルギー・ダイアグラムを南極周極流域へ適用する場合、従来の評価法では等密度面の傾きが大きいため生じる誤差により、傾圧エネルギー変換項を過小評価することを指摘した。この誤差を小さくするために線形近似をしない修正を取り入れたエネルギー・ダイアグラムを用いて、南極周極流域の約3割を占めるに過ぎない中規模渦擾乱が顕著な5ヶ所の海域（ホットスポット）において、南極周極流全体での渦運動エネルギーの生成および散逸の約7割を担っていることを明らかにした。また、太平洋のホットスポットでは順圧エネルギー変換の寄与もあること、インド洋や太平洋では傾圧不安定を起こすに十分なエネルギーを風応力が局所的に与えている一方、大西洋では非局所的な効果も重要であることなど、個々のホットスポットの違いも明らかに

した。

第4章では、前章で得られたエネルギー輸送を担っている過程の詳細な解析を行い、ホットスポットの東西幅を決定するメカニズムを明らかにした。まず熱収支解析から、主要な海底地形によって励起される定在蛇行が地形の下流側で南北密度勾配を強化して傾圧不安定に適した状況を作り、不安定に伴う時間変動渦がこの南北勾配を緩めることでバランスしていることを示した。また渦運動エネルギー収支解析から、東西幅が限られたホットスポット内で渦運動エネルギーの生成と散逸がともに発生していること、また、圧力フラックスが渦運動エネルギーを下方へと輸送し、海底付近で強い散逸をもたらしていることを示した。このホットスポット内での渦運動エネルギーの効率的な鉛直再分配により、従来理想化モデルで示されていた渦運動エネルギーの「下流への発達 (downstream development)」傾向とは異なり、現実的な南極周極流では「下流への減衰 (downstream decay)」が実現されることを初めて明らかにした。さらに、この過程がホットスポットの東西幅や渦-平均流相互作用の度合いを決定していることを示した。

第5章では、上記の結果を踏まえ、現実的な風応力変動の範囲内では、渦運動エネルギーや渦-平均流相互作用の変動がホットスポット内のみに限られること、そのため「渦飽和」や「渦補償」の過程もホットスポット内のみで実現されている可能性を示すとともに、全体のまとめと残された課題について議論を行っている。

以上のように、本論文は、現実的な南極周極流域における渦-平均流相互作用の空間非一様性をエネルギー輸送の観点から定量的に明らかにし、活発な渦-平均流相互作用をもたらすホットスポット内での渦運動エネルギーの生成、再分配過程の詳細を明らかにすることで、南極周極流域における渦-平均流相互作用の力学過程の理解に大きく貢献するものであり、学位論文として十分な水準に達していると判断できる。なお、本論文の第3~5章の内容は、升本順夫氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、その寄与が十分であると判断できる。

上記の理由から、博士（理学）の学位を授与できると認める。