



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Poleward transport of Circumpolar Deep Water off East Antarctica [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	山崎, 開平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第14766号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85789
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	YAMAZAKI_Kaihe_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士 (環境科学)

氏 名 山 崎 開 平

審査委員	主査	准教授	青 木 茂
	副査	教 授	三 寺 史 夫
	副査	教 授	大 島 慶一郎
	副査	特任教授	久保川 厚
	副査	教 授	吉 川 裕 (京都大学大学院理学研究科)

学 位 論 文 題 名

Poleward transport of Circumpolar Deep Water off East Antarctica
(東南極沖における周極深層水の極向き輸送)

南半球の高緯度では、南極大陸を取り巻いて、亜表層に周極深層水(CDW)を伴う南極周極流が流れている。CDWは中緯度外洋域から南極沿岸域への熱と塩分の供給源であり、その動態は棚氷の融解を通して南極氷床の流動にも影響を与える。南極周極流の南限におけるCDWの挙動は気候学的重要性をもつ一方で、遠隔地であることや海水の存在により実際の現場資料が少なくその理解は遅れていたが、近年の海洋観測技術の発展や高精度観測の蓄積により、これらを高度に利用することで理解の飛躍的な進展が可能となってきた。

第1章では、近年観測手段としての中心的存在となったArgoフロートによる現場データのさらなる高度活用により、東南極の大陸棚縁辺域、中でもオーストラリア南極海盆(AAB)における亜寒帯循環に対応する海域での循環像の確立を目指した。フロートのプロファイルのうち、海水下にあるなどして観測位置が正確に特定できないものが40%を占めるが、これを活用するために、新たに位置を地形に沿わせて内挿するアルゴリズムを開発した。フロートの軌跡から求めた流速場により、AABにおいて水温で定義される南極周極流の南限(SB)は、東向き流の極大域よりも系統的に南側に位置し、東西平均流が0となる領域がこれに沿うことを見出した。陸棚縁辺の循環は基本的には順圧的で等深線に沿っており、陸棚斜面上の海脚によって強制されて東西非一様な流れを形成していた。流速構造と水塊特性の比較により、海脚に沿って存在する南北平均流が水塊交換に本質的に関与していることを示した。一方で、SB付近の平均流の弱さと水塊交換の関係を説明するものとして、渦移流による水塊輸送が示唆された。

第2章では、AABにおいて2019年に開洋丸で行った1996年観測点の再観測を中心に、世界各国による船舶海洋観測、プロファイリングフロート・バイオロギング観測など、利用可能な深層水温観測データおよび数値実験の結果を統合して解析することで、東南極沖のSBの十年規模変動の実態を明らかにした。1996年と2019年の船舶観測データの比較から、SBは南極大陸に向かってこの間に50-120 km南下していることが分かった。さらに、南極周極流が南下するパターンは海底地形の構造に対応し、谷状地形を示す東経120度で最も南下距離が

大きくなっていた。SBの南下には、①ジオポテンシャルを用いて定量化した南極周極流の東向きジェットの南下、②子午面循環の強化による暖水の南下の2つの効果が同じオーダーで寄与していることを見出した。また高解像度数値モデルによるシミュレーションは低解像度モデルよりもSBの南下を適切に再現しており、現実の南下には渦の効果が重要であることを示唆している。

第3章では、2019年の物理環境を1996年の物理環境とより広範囲において詳細に比較した。陸棚外縁における200m以深の水温は、1996年と比べて2019年の方が $0.1-1^{\circ}\text{C}$ 程度暖かく第2章でみたSBの南下を示したが、同時にこのSBの南下に伴う水温上昇が海洋底層にまで及んでいることが示された。一方で南極底層水の塩分は、西南極氷床の融解水放出に伴うと考えられる淡水化の影響で、1996年から2019年にかけて僅かに減少していた。陸棚斜面上部では、表層の塩分が低下していた。同時に、表層の水温指標でみた西向きスロープフロントの位置は全般に沖側に移動し、かつスロープカレントの流量は減少していた。沿岸側の変動の時間スケールには注意が必要であるものの、沖側からの熱輸送の増加が沿岸近傍の海洋構造に影響を及ぼした可能性も考えられる。

第4章では、南極沿岸において、渦により陸棚斜面上の西向きスロープカレントを横切ってCDWが輸送する熱や塩分の評価を行った。混合距離理論に基づいて、利用可能な幅広い海洋観測結果と氷海域でのデータ取得を工夫した衛星高度計資料を用いることで渦拡散係数を評価した。CDWの等密度面上の渦拡散係数は $100-500\text{m}^2/\text{s}$ と、先行研究と整合的な評価が得られた。渦拡散係数の高い場所は局所的であり、AABにおける定在的なサブジャイアスケールの渦の存在と対応していた。等密度面の厚さを保存量としてこれを渦拡散係数に適用し、陸棚上へのCDWによる熱輸送を定量化した結果、CDWによる輸送量が大陸棚上での氷河融解と海水形成に必要な熱を供給していることが示唆された。

以上のように、近年の海洋観測の進展とその高度な活用により、南極沿岸における大規模海洋場や渦に伴うCDWによる熱塩輸送の理解に多くの進展がもたらされた。今後この手法や評価を広域に適用しかつ観測網を最適化することにより、CDWによる周極的な極向き輸送の役割をさらに解明することができると期待される。

審査委員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士（環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。