

# 論文審査の結果の要旨

氏名 浦川 昇吾

全球熱塩循環は、北大西洋深層水や南極底層水など、海洋の大部分を占める深層水塊の分布を決めるとともに、大量の熱や溶存物質を輸送することによって気候の熱収支や物質循環において重要な役割を果たしている。しかしながら、全球熱塩循環の実態には未解明の部分が多く残されており、その駆動メカニズムも十分には解明されていない。全球熱塩循環は大きく分けて、北大西洋深層水の南下を伴うものと、南極底層水の北上を伴うものの2つからなるが、前者は南大洋での風応力に強く依存し、後者は南極底層水の形成過程でもある南大洋での混合過程に強く依存することが指摘されている。このような循環の駆動メカニズムの解明にはエネルギー収支を論じることが直接的であるが、観測データの制約や手法的な困難さのため、海洋エネルギー収支の全体像を統一的に扱った研究はほとんど存在していない。本論文は、数値シミュレーションを通じて、全球熱塩循環の駆動における南大洋の役割をエネルギー収支の観点から解明したものである。

本論文は全4章と補遺2章からなる。

第1章は序章であり、全球熱塩循環の実態に関するこれまでの知見、循環の駆動や深層水塊の変質という観点からの南大洋の重要性、エネルギー収支を用いて全球熱塩循環を論じることの意義が述べられるとともに、本研究の位置づけと目的が記述されている。

第2章では、低解像度の数値シミュレーションに基づいた全球熱塩循環のエネルギー収支が議論されている。具体的には、全球海洋のエネルギー収支が提示され、様々な観測的知見からその妥当性が検討された上で、特に、南大洋の中規模渦の効果についての考察が展開されている。その結果、従来その重要性が指摘されていた海水混合のキャベリング効果(混合によって密度が混合前の平均値より高くなる現象)による重力位置エネルギー消失よりも、非断熱的移流に伴う再成層効果の方が大きな重力位置エネルギー消失をもたらすことが明らかにされた。続いて、全球熱塩循環のうち北大西洋深層水の南下を伴う部分について、南大洋上の風による駆動メカニズムがエネルギー収支の観点から論じられている。熱塩循環は、重力位置エネルギーが運動エネルギーへ変換されることで駆動される循環と定義される。風応力の注入は海洋の運動エネルギー獲得を意味し、それがそのまま循環のエネルギーになる場合には、その循環は熱塩循環とは呼べない。本研究では、南大洋での風応力の変化に対するエネルギー収支の変化を海盆別に調べることで、風応力から注入さ

れた運動エネルギーが南大洋でのエクマン湧昇／沈降を通して重力位置エネルギーに変換され、それが選択的に大西洋に輸送された後に運動エネルギーに変換されている図式が初めて明らかにされた。

第3章では、南大洋の中規模渦がもたらすキャベリング効果が、全球熱塩循環のうち南極底層水の北上を伴う部分に対して果たす役割について記述されている。第2章で用いた低解像度シミュレーションでは、中規模渦はパラメータ化されている上、南極底層水の形成過程に非現実的な側面が存在する。本章では南大洋のみを対象とする高解像度シミュレーションを実施し、中規模渦の効果をより現実的かつ定量的に把握することを試みている。水塊変質の観点から見た場合、低解像度シミュレーションの結果とは異なり、周極深層水から南極底層水への水塊変質においてキャベリング効果に伴う重力位置エネルギー消失の大きさは南極底層水の北上を伴う循環のエネルギー収支の各要素と比肩するものとなり、この循環を顕著に弱める働きを持つことが示された。なお、補遺 A, B では、本章で用いられる解析手法や本章の結果を解釈する際に重要となる数値シミュレーションの移流誤差の問題が論じられている。

第4章は結論であり、本論文全体をまとめ、全球熱塩循環の駆動における南大洋の役割をエネルギー収支の観点から統一的に述べた上で、全球熱塩循環の研究に関する今後の展望が述べられている。

以上、本研究は、全球熱塩循環をエネルギー収支の観点から統一的に論じた点、およびそのために必要とされる解析手法を確立した点で、極めて独創的であり、今後の全球熱塩循環の研究に新たな方向性をもたらしたものとして高く評価することができる。

なお、本論文は指導教員である 羽角 博康 准教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値実験とその結果の解析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。したがって、審査委員一同は、博士（理学）の学位を授与できると認める。