

学 位 論 文 題 名

Numerical Study of Eastern Boundary Ventilation  
and Its Effects on the mid-latitude Ocean Circulation.

（東岸からのベンチレーションと

その中緯度海洋循環に及ぼす影響の数値的研究）

学位論文内容の要旨

中緯度海洋の密度構造、特に水温躍層の生成維持機構を説明しようとする試みは、1980年代に飛躍的な進歩を遂げた。これは主に Luyten et al (1983) による通気水温躍層理論と Rhines and Young (1982) による渦位一様化理論に始まる一連の研究による。

Luyten et al(1983) による通気水温躍層理論では、亜熱帯域では海表面で与えられた密度分布が、海面に加えられる風応力の効果により、鉛直方向の密度分布に置き換えられるとする。一方、西岸境界付近の亜表層には、通気水温躍層理論では海表面の密度の露出線から流線が到達しない領域が生じるため、閉じた流線内で渦位が一様化するという Rhines and Young(1982) の理論が適用され、この両者を組み合わせることにより、亜熱帯域の上部水温躍層の構造が説明される。これらの理論的な枠組は、その後観測データの解析や数値実験による検証を経て定説となってきたが、一方、上記の理論が適用できない下部水温躍層の構造や、東岸境界付近の亜表層の構造は未解明のままとなっている。

その後、通気水温躍層理論は、Huang(1989) や Pedlosky and Robbins(1991) などにより海洋混合層含むように改良されてきたが、未だ東岸境界条件に不整合を含んだままとなっている。この東岸境界の密度構造は、Pedlosky(1984) などでも指摘されているように、内部領域の密度構造の決定に寄与する可能性があり、中緯度海洋の循環理論を構築する上での課題となっている。

本研究では、これら理論的枠組の整備に寄与すべく、理想的な条件下に於ける海洋東岸での密度構造と、その内部領域への影響を調べた。

まず、東岸境界付近の密度構造について、海洋大循環モデルを用いた数値実験によって調べた。その結果、理想的な状況下に於いては、東岸境界付近では、混合層内上部に生じる東向きの流が、境界近傍で下方へ輸送され、混合層下部で内部領域へと戻るような構造となっていることが明らかになった。このような構造は、水温躍層と混合層の間に密度の jump が生じることにより実現される。本研究では、この東岸での密度構造の定式化を試み、海表面

密度分布と海洋の基本成層から、東岸に沿う混合層の深さが決定されることを示した。これにより海洋内部の理論的な枠組に対し、流量収支の面で整合性がある境界条件を東岸で与えることができる。

次に、上記のような東岸に沿った構造が海洋内部に与える影響について詳細な解析を行ない、密度 jump に起因する高渦位水の内部領域への流入と、東岸に沿った南北流の形成メカニズムを調べた。東岸に沿った密度 jump により形成される高渦位水は、亜熱帯域で通気される領域の外側をまくような形で内部領域へと侵入する。また亜寒帯で露出している密度面においては、東岸沿いで循環境界を横切り亜寒帯から亜熱帯への海水の流入をもたらすことが明らかとなった。

これら一連の結果は、海表面に南北密度傾度が与えられた際に生じる帯状循環が東の境界でどのように閉じるか、という問題の回答を与えると同時に、その結果として、海表面や深層水の形成場所以外に、海洋の密度構造の決定に寄与する海水の source があることを示すものである。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 久保川 厚

副 査 教 授 池 田 元 美

副 査 助教授 大 島 慶一郎

副 査 助教授 山 中 康 裕

副 査 領域長 竹 内 謙 介 (地球観測フロンティア)

## 学 位 論 文 題 名

### Numerical Study of Eastern Boundary Ventilation and Its Effects on the mid-latitude Ocean Circulation.

(東岸からのベンチレーションと

その中緯度海洋循環に及ぼす影響の数値的研究)

海洋上層の密度構造(水温躍層構造)の生成維持機構に関する理解は、1980年代に急速に進展した。これは主に Luyten et al. (1983)による通気水温躍層理論と Rhines and Young (1982)による渦位一様化理論に始まる理想流体水温躍層理論と呼ばれる一連の研究による。Luyten et al. (1983)は、亜熱帯域では海表面で与えられた密度分布が、海面風応力に起因する鉛直流によって亜表層に運ばれることにより上部水温躍層の密度構造が決定されうること示した。また、Rhines and Young(1982)は、下部水温躍層や密度の露出面からの流線が到達しない循環西部の亜表層では、閉じた流線内で渦位が一様化するという理論を提出した。これらの理論的な枠組は、その後一つにまとめられ、さらに、混合層を含むような形に改良されてきた。しかしながら、これらの理論は非粘性非拡散の極限を考えることにより構築されたものであるため、東岸境界付近の亜表層の構造とその内部領域への影響は未解明のままとなっている。特に東岸の構造は、上記理論的枠組みにおける東の境界条件を与えるものとして重要である。そこで、申請者は、海洋大循環論の整備と発展に寄与すべく、理想的な状況下での数値実験を中心的な手段として、海洋東岸近くでの密度構造と、その影響についての研究を行った。

申請者は、まず、海洋大循環モデルを用いた数値実験によって、東岸付近の密度構造を調べ、理想的な状況下に於いては、南北密度傾度に伴い混合層内上部に生じる東向きの流れが境界近傍で下方に輸送され、混合層下部で内部領域へと戻るような構造となっていることを示した。このような流れは、水温躍層と混合層の間の急激な密度変化により実現される。さらに、申請者は、地衡流平衡と質量フラックスの保存を基にこの東岸での密度構

造の理論的定式化を行い、数値実験結果と比較した。理論は海表面密度分布と海洋の基本成層によって東岸に沿う混合層の深さ分布が決定されることを示すものであるが、その理論は数値実験結果と良く一致した。この東岸での理論を用いることにより、海洋内部の理論的な枠組に対し、流量収支の面で整合性がある東岸での境界条件を与えることが出来るものと期待される。

次に、このような東岸に沿った構造が海洋内部に与える影響について詳細な解析を行い、東岸での密度分布に起因する高渦位水の内部領域への流入と、東岸に沿った南北流の形成メカニズムを調べた。まず、数値実験結果より、東岸で形成される高渦位水は、亜熱帯域で通気される領域の外側をまくような形で内部領域へと侵入することと、亜寒帯で露出している密度面上では、東岸沿いに循環境界を横切り亜寒帯から亜熱帯へ流入していくことを見出した。特に後者の循環境界を横切る流れの生成は興味深い。また、風応力を与えない実験も行い、この東岸近くでの南下流に風応力は本質的でないことを示した。さらに、この南下流の成因を明らかにするために、ポテンシャル渦度方程式における項のバランスの解析、線形理論モデルによる考察、流れ場のパラメータ依存性の検討を経て、この南下流の生成には鉛直密度拡散が重要であることを示した。

これらの結果は、海洋東岸での整合性のある境界条件を与えるとともに、形成される東岸での密度構造の結果として循環境界を横切る流れが生じること、また、海表面から押し込められる水や深層水とともに、東岸から沈降・流入する海水が密度構造の決定に影響する可能性を示すものであり、海洋循環論の発展に大いに寄与するものと考えられる。

審査員一同は、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、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。