

論文審査の結果の要旨

氏名： 岩前 伸幸

深層海洋大循環は、主に海洋の中・深層における鉛直乱流混合によって駆動されていると考えられている。しかしながら、海洋内部領域におけるこれまでの乱流観測からは深層海洋大循環を維持し得るような強い鉛直乱流混合はみつかっていない。本論文の主題である深海における局所的な強い潮汐混合（海底境界混合）は、海洋内部領域における鉛直乱流混合の不足分を補うものとして、近年注目を集めている。しかしながら、海底境界混合に関する既存のパラメタリゼーションは、潮汐から乱流に至るまでの物理過程の詳細を考慮しておらず、一部の海域における観測結果から経験的に提案されたものであり、全球海洋に適用できるものなのかどうかは明らかではない。そこで本論文では、海底境界混合の強度や鉛直スケールが様々なパラメータに対してどのように依存するのかを調べ、これまで無視されてきた力学過程を考慮した新しいパラメタリゼーションのフレームワークを提案している。

本論文は全4章で構成されている。第1章では、これまでの潮汐混合の研究に関する総括的なレビューと海底境界混合の既存のパラメタリゼーションについての解説がなされ、問題点が提起されている。第2章では、詳細な地形データを組み込んだ高解像度数値モデルを用いて大西洋中央海嶺付近における海底境界混合の強度と鉛直スケールを初めて再現し、比較実験の結果から海底地形の粗さの重要性について議論している。第3章では、アイコンナル・アプローチと呼ばれるレイトレーシングの手法に基づいて広範なパラメータ領域にわたる数値実験を行い、海底境界混合の強度と鉛直スケールを評価する実験式を提示している。第4章は結語である。

まず、第2章では、高解像度の非静水圧モデルに粗さの違う二種類の海底地形データを組み込んで比較実験を行うことにより、海底境界混合の強度や鉛直スケールに与える海底地形の粗さの影響を議論している。その結果、水平 2km 以下のスケールの細かい地形を含まない実験では、海底付近での強い混合は見られなかった。一方、マルチビーム観測から得られた水平 2km 以下のスケールの海底地形を含めた実験では、効率的に励起された水平数 100m スケールの内部波が砕波することで、海底付近での局

所散逸係数が増大し、結果として、乱流観測と整合的な海底境界混合の強度と鉛直スケールを再現することができた。このように、海底境界混合の強度と鉛直スケールは海底地形の粗さに敏感に依存しており、特に、水平 1km 以下のスケールの海底地形により励起される内部波が海底境界混合域の形成に重要な役割を果たしていることがわかった。これらの結果は、従来のパラメタリゼーションを全球海洋に適用することは妥当ではないことを示している。

第3章では、前章の結果を踏まえて海底境界混合のパラメータ依存性をさらに詳細に調べている。前章で用いた数値モデルでは多大な計算コストが必要となるため、広いパラメータ範囲にわたって実験を行うことは困難である。本章では、アイコンナル・アプローチの手法を用いて計算コストを抑えることで詳細なパラメータ実験を可能とした。数値実験の結果、海底境界混合の強度と鉛直スケールは海底地形の粗さのみでなく、密度成層の強さにも敏感に依存することがわかった。また、成層が弱い場合ほど、より小さいスケールの内部波でなければ海底境界混合域を形成し得ないことが示された。これらの計算結果は、内部潮汐波が背景の内部重力波との非線形相互作用を通じて砕波するまでの時間のパラメータ依存性を反映したものとして説明できる。最後にすべての実験結果のまとめとして、内部潮汐波の水平波数と成層の強さをパラメータとして海底境界混合の強度と鉛直スケールを見積もる実験式を示した。

以上、本研究は、水平 1km 以下のスケールの海底地形や内部波の効果を陽に考慮することにより、深海での潮汐混合における寄与を初めて明らかにした。この結果は、既存の経験的なパラメタリゼーションに警鐘を鳴らすものであり、今後、全球的な海底境界混合のパラメタリゼーションを行っていくための重要な基礎を与えたものとして高く評価できるものである。なお、本論文の第2章は指導教員の日比谷紀之教授、第3章は日比谷紀之教授と渡辺路生博士（東京大学気候システム研究センター）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・解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与は十分であると判断できる。したがって、審査員一同は、博士（理学）の学位を授与できると認める。