

## 論文審査の結果の要旨

氏名 川崎 高雄

熱や二酸化炭素などを輸送することで地球の気候に大きく影響している海洋の熱塩循環は、海水の鉛直混合の影響を強く受けており、その強さや構造は鉛直混合の強さや分布によって大きく変わる。現実の海の鉛直拡散係数がわかれば、それに基づいて海洋循環を議論できるが、実際にはよくわかっていないので、仮想的に与えた鉛直拡散係数の違いで海洋循環がどのように変わるのかを調べるのが重要となる。これまでも、北太平洋中層水の源になる海水がオホーツク海から流出する現象に対する千島列島海峡部での鉛直拡散の重要性が調べられ、局所的に強い鉛直混合がオホーツク海と太平洋の間の活発な海水交換をもたらし、北太平洋中層水の形成に大きく寄与していることが指摘されている。特に、Nakamura et al. (2006) は、千島列島周辺での局所的な海水の鉛直混合が北太平洋の中層に南下流を引き起こし、低塩分で特徴づけられる北太平洋中層水の輸送を促進する可能性を示した。鉛直拡散係数に関する知識が少ないことから、この研究では、千島列島の周囲に海面から海底まで一様に強い鉛直拡散係数を仮定したが、その後の乱流観測や潮汐モデルによる計算では、強い鉛直拡散は海面付近までは達していないことが示唆された。こうした経緯をふまえ、本論文では、千島列島周囲での強い鉛直混合が海面に達する場合とそうでない場合の違いを数値実験で調べ、さらに、その強い鉛直混合が太平洋熱塩循環に与える影響について調べた。

本論文は4章からなる。第1章は導入部であり、第2章と第3章で2種類の海洋循環モデル（全球海洋モデルと太平洋ボックスモデル）を使った研究を展開し、第4章でこれらの研究成果をまとめて本論文の結論を述べている。

第2章の数値実験では、千島列島の周囲に  $0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  という小さな鉛直拡散係数を鉛直一様に与えた場合(BG), Nakamura et al. (2006) のように  $200 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  という大きな係数を鉛直一様に与えた場合(CONST), CONST の 200m, あるいは 300m, 500m 以浅を  $0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  にした場合(200M, 300M, 500M)について調べ、千島列島周囲の強い鉛直混合が海面に達するかどうかで海洋循環が大きく変わることを示した。すなわち、CONST では局所的な湧昇が海面近くまで達するのに対し、200M, 300M, 500M では湧昇は 1000m 以深に留まり、1000m 以浅では局所的な下降流が生じ、向きの異なる二つの南北鉛直循環が形成される。この下降流は、鉛直拡散で下層の水と混合した海水が周囲の水より重くなり、その境界域に北向きの地衡流が形成され、地衡流が北壁にぶつかることで生じている。これは、海面冷却による表層水の沈降とは異なる、本研究で初めて指摘された下降流の形成機構である。また、下降流と湧昇のぶつかる深さ、すなわち向きの異なる二つの南北鉛直循環の境界の深さが、200M, 300M, 500M のいずれの場合でも約 1000m であり、鉛直拡散係数が大きく減

少する深さによらないという興味深い結果が得られた。この原因については十分には解明されていないが、鉛直方向の密度交換のみを考慮した場合には、南北鉛直循環の境界深度は 200M, 300M, 500M 等で異なることを明らかにし、南方の西岸域に生じる弱い湧昇が境界深度の決定に関与している可能性を指摘した。

第 3 章では、千島列島周囲の強い鉛直混合が太平洋の海洋循環に与える効果について議論した。千島列島の周辺海域では強い鉛直混合によって深層水が湧昇し、その補償流として太平洋赤道域を西岸に沿って北上する流れが深層上部(深さ 1960–3500m)に生じる。小さな鉛直混合を与えた BG の場合には弱い南下流になっており、観測で明らかにされたような北上流は、強い鉛直混合によって形成されることが明らかになった。千島列島の周辺海域で湧昇した海水は、中層下部(深さ 940–1960m)を太平洋の西岸に沿って南下する。ただし、湧昇した海水は直ちに南下するわけではなく、一旦東方に輸送され時計回りのループを描いてから西岸域を南下する。これは、湧昇した海水が風による海洋循環によって運ばれるからであり、風成循環の移流速度とロスビー波の伝播速度の釣り合う経度まで東方に運ばれることが明らかにされた。こうして、深層上部の北上流と千島列島海域での湧昇と中層下部の南下流で構成される南北鉛直循環が、千島列島周囲の強い鉛直混合によって作られることが明らかになった。

これらの研究成果は、局所的な強い鉛直混合が太平洋海洋循環に大きな影響を与えており、海洋循環の実態を説明するための重要な要素のひとつであることを明確に示している。こうした知見は、本論文で明らかにされた現象や機構とともに、今後の海洋研究を大きく発展させるものと高く評価できる。

なお、本論文の第 2 章と第 3 章は羽角博康氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。