

# 論文審査の結果の要旨

氏名 田中 祐希

オホーツク海と北太平洋とを隔てる千島列島海峡域では、日周潮を主体とする強い潮汐流が急峻な海底地形と相互作用することで、活発な鉛直乱流混合が誘起されている。この鉛直乱流混合は、北太平洋亜熱帯循環域に広がる塩分極小で特徴づけられた北太平洋中層水の起源となる水塊の形成、および、その輸送に重要な役割を担っている可能性が指摘されているが、千島列島海峡域における鉛直拡散強度の分布は明らかではない。本論文は、数値モデルを用いて千島海峡内における鉛直乱流拡散係数の空間分布を見積もるとともに、得られた鉛直拡散係数分布を海洋大循環モデルに組み込むことで、千島海峡域の鉛直混合が北太平洋中層水の形成に果たす役割を再評価しようとするものである。

本論文は、5つの章から成る。

まず、第1章は導入部であり、北太平洋中層水の形成に対する千島海峡域での鉛直混合の役割、さらに、本論文の目的と構成が述べられている。

第2章では、水平2次元数値モデルで計算されたオホーツク海の潮位と衛星海面高度観測との比較を通じて、千島海峡内で内部波へエネルギー変換され失われる潮汐エネルギー量を評価した。数値モデルで計算された潮位は、北太平洋においてほぼ正確に観測結果を再現できるのに対し、オホーツク海内部では観測結果との差が大きい。申請者は、この差を解消するために必要な千島海峡域での潮汐エネルギー散逸量を見積もった。千島海峡域で最も振幅が大きい  $K_1$  潮汐は、太平洋からオホーツク海へと流入する潮汐エネルギーのうち 20.4 GW が千島海峡域で失われ、そのうち 16.4 GW が内部波エネルギーへ変換されること、主要4分潮を合計した順圧潮汐から内部波へのエネルギー変換量が 36.6 GW に達することを示した。

第2章で見積もられたエネルギー変換量をもとに鉛直拡散係数を見積もるには、励起された内部波エネルギーのうち局所的に散逸する割合(局所散逸係数)、および、その鉛直方向の減衰スケールを明らかにする必要がある。第3章では、 $K_1$  潮汐による内部波の励起・伝播・散逸過程を再現しうる3次元数値モデルで得られた計算結果のエネルギー解析から、大部分の内部波エネルギーが千島海峡内で散逸すること、すなわち、局所散逸係数がほぼ1となることを示した。局所散逸係数が大きくなるのは、 $K_1$  潮汐の周波数が局所的な慣性周波数以下となるために、励起された内部波エネルギーが島の周りに捕捉されながら散逸することに起因していた。沿岸捕捉波により海底近傍に形成された強い流速シアに伴って、鉛直方向の減衰スケールが約 200 m の強い混合域が形成された。第2章で見積もられた潮汐エネルギー変換量と、第3章で得られた局所散逸係数、および、エネルギー散逸率の鉛直方向の減衰スケールに基づいて鉛直拡散係数を見積もった結果、海底近傍で局所的には  $1000 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  に達するが、千島海峡域で平均した鉛直拡散係数は約  $25 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

となった。この値は、これまで数例の海洋大循環モデルにおいて千島海峡域で仮定された鉛直拡散係数  $200 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  と比べて1 オーダー小さい。

第4章では、第3章までに評価した千島海峡域の鉛直乱流拡散係数を渦許容海洋大循環モデルへ組み込み、千島列島域の潮汐混合が北太平洋中層水形成に果たす役割を再評価した。従来の低解像度の海洋大循環モデルでは、千島海峡域で一様に  $200 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  という大きな鉛直拡散係数を与えた場合に、北太平洋中層水の再現性が高くなることが指摘されていた。一方、渦許容海洋大循環モデルを用いた数値実験によれば、オホーツク海北西部での海水形成に伴う水塊特性を規定し、本研究で見積もられた鉛直拡散係数を千島海峡域に与えることで、北太平洋中層の塩分分布の再現が可能となることが示された。また、千島海峡域での局所的な潮汐混合が直接駆動する熱塩循環や北太平洋中層水の低塩分化は、 $200 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  という大きな鉛直拡散係数を仮定した既存研究に比べて1 オーダー近く小さかった。これらの結果は、北太平洋中層水形成に対する千島海峡内の鉛直乱流混合の効果が、いくつかの既存研究で仮定されたよりも小さく、渦許容モデルによって再現可能となる黒潮-親潮混合水域での中規模渦による等密度面混合などの重要性を示唆するものと考えられる。

第5章では、論文全体のまとめと今後の課題について述べられている。

以上のように、本論文は、数値モデルを用いて千島海峡域での潮汐起源の鉛直混合強度を初めて定量的に見積もるとともにその背後の物理過程を示し、さらにその大規模な循環場への影響を評価することで、北太平洋の中層循環の研究に大きく貢献した。この成果は、従来の研究で仮定された鉛直乱流拡散係数を、物理過程を踏まえてより正確に評価し、海洋大循環モデルの高度化への道を切り拓いた研究として、高く評価できる。

なお、本論文の第2章、および、第4章は、指導教員である日比谷 紀之 教授、丹羽 淑博 博士、第3章は、日比谷 紀之 教授、丹羽 淑博 博士、岩前 伸幸 博士との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって研究を行ったもので、その寄与が十分であると判断できる。

従って、審査員一同は、博士（理学）の学位を授与できると認める。