

論文審査の結果の要旨

氏名 勝又 勝郎

オホーツク海は、気候変動に重要な役割を果たす北太平洋中層水の起源水の形成場所として近年大きな注目を集めている。しかし、オホーツク海と北太平洋との海水交換量の評価とその物理機構の解明は十分とはいえない。両海域を分けるクリル諸島は多数の海峡を持つが、最大深度 1500m を越える深い海峡はムシル海峡と北ウルップ水道の 2 ケ所だけである。これらの海峡では冬季の厳しい気象条件や政治的な問題に阻まれ、ほとんど観測がなされてこなかった。一方、理論的にも、海峡内の強い潮汐流のために、従来の積分則（島法則）や力学計算による正確な見積もりが不可能な海域であった。本学位論文は、ムシル海峡と北ウルップ水道内を通じての海水交換量の直接観測に初めて成功するとともに、両海峡での潮流の効果を理論的考察に基づいてパラメーター化し、従来の積分則に組み込むことによって、観測結果が矛盾なく説明できることを示したものである。

本論文は 6 章から構成されている。

第 1 章は導入部であり、オホーツク海と太平洋の海水交換の研究の重要性及び過去の関連研究がレビューされている。

第 2 章では、1999 年 8 月～9 月に申請者が参加して行なった、両海峡における初の直接流速観測について記述されている。ムシル海峡では潮汐を取り除いた残差流が 2 層交換流であること、上層が 1.6Sv の流量でオホーツク海から太平洋に向かい下層は 1.3Sv で逆向きに流れていること、小潮でも残差流と潮汐流は同程度の強さをもつことなどが明らかにされている。

第 3 章では、この観測結果を踏まえ、オホーツク海と北太平洋の海水交換の数カ月から季節スケールの時間変動を支配する力学過程を 2 層モデルを用いて考察した。ここでは北太平洋を仮想的に、内部領域と西岸境界域に分け、前者は海底地形の影響下で風によって駆動され、後者は前者からの流入出によって駆動されるとした。順圧流量は非発散であるから、未知数は島の周りの流線関数 1 つであり、西岸境界域の渦度バランスを考察することによって、内部領域の量として表せる。これは伝統的な積分則（島法則）の自然な拡張である。一方、傾圧流量は非発散ではないため、ムシル海峡の上層の流量と北ウルップ水道の上層の流量の 2 つの未知数を陽に求めなければならない。そのため、渦度収支に加え質量収支を考慮することによって、新たな積分則を導出した。内部領域としては、緯度経度 0.5 度の格子間隔を持つ 2 層モデルを 80 年間にわたって気候値の風で駆動したものを用いた。また、海峡における渦位の値はクリル諸島付近で分解能の良い最新のデータを用いて与えた。上層の流れに注目すると、従来、一年を通じてムシル海峡からオホーツク海に北太平洋水が流入し北ウルップ水道からオホーツク水が流出していると推測されていたが、夏季にはそれが逆転しうることが明らかとなった。この結果は観測結果とも一致するものである。一方、順圧流量は海峡における潮汐と海底地形の効果の無い場合には 20Sv を越え、過去の様々な見積もりより大きすぎる。

これは積分則の導出に際して無視した項の中で無視すべきではなかった項があったことを意味している。実際、数値計算の結果の解析を行なうことによって、海底地形項（海底圧カトルク項）と摩擦項（水平拡散）は無視できないことが示唆された。

第 4 章では、鉛直 2 次元の線形 2 層モデルによる海峡での内部潮汐波の解析解を求めることで、これまで認識されていなかった潮汐残差流を求めた。この場合、海底地形が小さいという線形近似のもとで、順圧潮汐流に対する海底地形上での応答の解析解を得ることができる。これらの解を特性曲線を用いて書き直すと、外力が時空間的に非一様に分布するため、長時間平均を取っても残差流が存在することが示される。

第 5 章では、第 3 章と第 4 章の結果を合わせ、海峡部における潮汐の効果を陽に取り入れた、縁辺海と大洋の海水交換モデルの新しい定式化を試みた。ここでは、潮汐の時間スケール（～日）は積分則の時間スケール（～数カ月）に比べて十分小さいため、前者は時間平均した形（すなわち残差流）で後者に影響を及ぼすと仮定した。海峡断面を長方形で近似すると、定常流は流量を海峡幅と層厚で割れば得られる。残差流は定常流の関数であるから、海峡における地形、海峡幅、基本成層、潮汐流が与えられれば、順圧の積分則の 1 式、傾圧の積分則の 2 式の合計 3 式に対し未知数が 3 つとなるので問題が閉じる。このようにして、それぞれの海峡における流量を求めると、上層流量はほとんど変化を受けないのに対して、順圧流量は大きく減少した。つまり、海峡における潮汐と海底地形の効果は下層の流れを妨げるように働くことが明らかとなった。また、現実的な風応力を用いた計算では、上層流の向きが夏と冬とで逆転する年（1998、1999 年等）と逆転しない年（1993 年から 1997 年等）が存在することが示され、経年変動の存在が示唆された。

第 6 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。

以上をまとめると、申請者は、クリル諸島のムシル海峡と北ウルップ水道の観測を初めて行なうとともに、従来の理論に含まれなかった海峡での潮流の効果を理論に組み込むなど、斬新的な発想に基づく定式化を試みることで、オホーツク海と太平洋との海峡を通じた海水交換について観測と整合的な理論結果を得ることに成功した。これは、海洋内部領域におけるグローバルな力学に、海峡でのいわば局所的な力学を巧みに融合させることによって、従来の理論の枠組みでは説明できなかった観測事実の解釈に初めて成功したという特筆すべき研究であり、今後の海洋物理学が発展すべき方向づけをし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、第 3 章、第 5 章は、指導教官である安田 一郎助教授との共同研究、第 4 章は、日比谷 紀之教授との共同研究であるが、何れも、申請者が主体となって研究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、博士（理学）の学位を授与できると認める。