

学 位 論 文 題 名

Formation and distribution of Okhotsk Sea  
Intermediate Water

(オホーツク海の中層水の形成とその分布)

学位論文内容の要旨

北太平洋の中緯度には、深さ約 500m に厚い塩分極小水が存在する。これは北太平洋中層水と呼ばれ、海面で大気と接した水が深くまで沈みこんでいる北太平洋では唯一の例である。北太平洋中層水は、大気中の二酸化炭素など温室効果ガスの中層に送り込んでいる可能性も指摘されており、気候変動の視点からも注目されているが、北太平洋では表面水の密度が最も重くなる冬でも、その密度まで達する沈み込みは起こっていないため、形成場所は明らかになっていなかった。最近の研究で、オホーツク海北部で、海水ができる時に沈み込む結氷温度の重い水(ブライン)がオホーツク海中層に広がり、千島列島の海峡から太平洋に流出して北太平洋中層水の元になっていることが指摘されており、定性的には正しいだろうというのが近年の知見ではあるが、観測も少ないため、定量的なことなど詳しい事は全く分かっていない。また、春に日本海から宗谷海峡を通して南西部に流入する高密度の宗谷暖流の影響の寄与の可能性も指摘されており、海水形成と宗谷暖流のどちらの効果が大きいのか、さらに千島列島に沿って流れる親潮にどの程度の影響を与えるのかは、結論が出ていない。

そこで、本研究では、独自に作成した気候値データと、自身が参加した海洋データを用いて、オホーツク海の中層水の形成機構を明らかにすることを目的とする。具体的には、北西部の海水起源水、南西部の宗谷暖流水の、オホーツク海中層水の形成への寄与、流入量、平均滞留時間はどの程度か。さらに、形成されたオホーツク海中層水の、太平洋への流出量、親潮の変質への影響はどの程度かを事を明らかにする事を目的とする。

解析には、オホーツク海全域と太平洋側の一部をカバーする格子サイズ約 20km の水温、塩分、溶解酸素の気候値データセットを作成した。この気候値を作成したことで、以下のような 3 つの利点がある。まず、NODC が最近、新しく提供した観測データを収録した World Ocean Data Base 1998 に、自身が参加した過去 10 回の観測データを加え、観測が少ない北部のデータを補う事で、ほぼ全域を網羅したデータセットが作成できたこと。次に、近年北太平洋、大西洋で用いられている、中、深層の解析に適した等密度面で平均化した気候値をオホーツク海で作成したこと。さらに、既存の一度格子のデータセットに変わり、オホーツク海の沿岸域を解像できるような細かい格子のデータセットを作成したことの 3 つがあげられる。さらに、気候値を計算する事で、量的な議論も可能になった。

まず、オホーツク海全域の中層の特徴は、北部の海水起源水、南西部の宗谷暖流水ともに、表面水の沈み込みの影響は、同程度の密度  $26.75 \sim 27.05 \sigma_{\theta}$  まで達している。北部は低温、低塩、高溶存酸素、南部は高温、高塩、高溶存酸素の特徴がある。北部の海水起源水の広がりには海底地形と良く一致しており、陸棚斜面に沿って南に広がっているように見える。それに対して南西部の方はその影響は北海道のごく沿岸に限られている。また千島列島の海峡では、太平洋からの流入水の影響の高温、高塩、低溶存酸素の特徴がある。

オホーツク海にはカラフト東岸の中層に、幅約50kmの5~30cm/sの南下流がある。この流速が上流から下流までカラフト東岸全域にあると仮定すると、流れの速い冬は3ヶ月程度、遅い夏でも6ヶ月程度で、海水起源水は北部の陸棚から千島海盆に到達する事が可能で、速やかに千島海盆に注いでいると予想される。北部海水起源水の形成量は、過去の研究で熱収支等から、年平均で  $0.2 \sim 1.0 \text{ sv}$  と見積もられている。今回、気候値データから得られた春、夏に広く分布する中層の低温域は海水起源水の影響と仮定すると年平均で約  $0.7 \text{ sv}$  という値が得られた。

次にオホーツク海南西部に、日本海から宗谷暖流水が流入している。宗谷暖流は、夏に流量が多く、冬には少ない。宗谷海峡は深さ50mと非常に浅い海峡であるが、日本海の水はオホーツク海よりも高塩分で、温度が低い春は高密度になり、中層に潜り込む。北海道沿岸域にのみ注目して、過去のデータから平均的な温度、塩分、密度、溶存酸素、宗谷暖流の断面積の季節変動を調べてみると、密度  $26.75 \sim 27.05 \sigma_{\theta}$  の高密度の宗谷暖流水の流入は4~6月のみ起こり、流速から流入量は年平均で約  $0.08 \text{ sv}$  と算出される。

このように北部、南西部とも、それぞれ表面水の沈み込みが同じ程度の密度まで達しているが、形成量は、北部は南部の10倍の量と予想される。オホーツク海の千島海盆に存在する、オホーツク海独自の特徴を持った中層水は、太平洋からの流入水に、オホーツク海の南西部、北部の表面水の沈み込みで変質が起こり、形成されると考えられるが、この二つの効果のうち、北部が重要であると言える。北部海水起源水、宗谷暖流水の沈み込み量は、本研究で算出した  $0.7 : 0.08$  の比で固定し、千島海盆の中層の水を形成するための、太平洋、北部海水起源水、宗谷暖流水の混合比を見積もると、混合比はおおよそ  $1 : 1 : 0.01$  と算出される。さらに混合比から、オホーツク海の中層水の形成量は  $0.7 \text{ sv}$  と見積もる事ができる。さらに気候値から、より正確なオホーツク海内の中層水 ( $26.75 \sim 27.05 \sigma_{\theta}$ ) の存在体積が算出されたので、北部、南西部分の沈み込み水の形成量から平均滞留時間を見積もると約7年となる。千島海峡に沿って流れる親潮の変質に寄与する、オホーツク海北部海水起源水の効果を見積もると、オホーツク海の影響を受ける前の上流の親潮(東カムチャッカ海流水)に対して、オホーツク海中層水の混合比は、おおよそ  $0.65 : 0.35$  と見積もる事ができる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 池 田 元 美

副 査 助 教 授 大 島 慶 一 郎

副 査 助 教 授 安 田 一 郎 (東京大学大学院理学系研究科)

学 位 論 文 題 名

## Formation and distribution of Okhotsk Sea Intermediate Water

(オホーツク海の中層水の形成とその分布)

北太平洋の中層には、深さ約 500 m に厚い塩分極小水が存在する。この水は北太平洋中層水と呼ばれ、北太平洋では海面で大気と接した水が最も深くまで沈みこんで形成される水塊である。北太平洋中層水は、大気中の二酸化炭素など温室効果ガスを中層に送り込んでいる可能性も指摘されており、気候変動の視点からも注目されている。しかし、北太平洋では表面水の密度が最も重くなる冬でも、その密度まで達する沈み込みは起こっていないため、形成場所は明らかになっていなかった。最近の研究で、オホーツク海北部陸棚上で、海水ができる時に沈み込む結氷温度の重い水がオホーツク海中層に広がり、オホーツク海中層水を形成し、その水が千島列島の海峡から太平洋に流出して北太平洋中層水の元となっていることが指摘されている。定性的には正しいだろうというのが近年の知見ではあるが、観測も少ないため、定量的なことなど詳しいことは全くわかっていない。また、春に日本海から宗谷海峡を通過して南西部に流入する高密度の宗谷暖流の影響の寄与の可能性も指摘されており、海水生成と宗谷暖流のどちらの効果が大きいのか、さらに千島列島に沿って流れる親潮にどの程度の影響を与えるのかは、結論が出ていない。

本研究は、北西部の海水生成でできる陸棚水、南西部の宗谷暖流水がそれぞれ量的に、オホーツク海中層水の形成にどの程度寄与しているのか、さらに、形成されたオホーツク海中層水の、太平洋（親潮）への流出量・寄与はどの程度かを明らかにすることを目的としたものである。申請者はまず、オホーツク海全域と太平洋側の一部をカバーする水温、塩分、溶存酸素の気候値データセットを作成した。このデータセットは計 10 回申請者自身が観測に参加してデータを取得することによって、従来のデータセットでは不十分であった重要な海域でのデータを補って作成したものである。また、(従来のような等深面ではなく) 中・深層の解析に適した等密度面で平均化したデータセットである。オホーツク海のデータセットとしては決定版といえるものであり、このデータセットを作ったことで、水塊形成に関わる量

的な議論も可能になった。

このデータセットから、(1) オホーツク海全域の中層の特徴は、北部の海水生成陸棚水、南西部の宗谷暖流水ともに、表面水の沈み込みの影響は、同程度の密度  $26.75 \sim 27.05 \sigma_\theta$  まで達していること、(2) 北部の海水生成陸棚水は、陸棚斜面に沿って南下した後、中層に拡まっていること、などが明確になった。さらにこのデータセットと流速の情報から、海水生成陸棚水は1年以内に千島海盆に注いでいると仮定することによって、この水の中層への流入量は年平均で約  $0.7 \text{ Sv}$  という値が得られた。一方、オホーツク海南西部では、高密度の宗谷暖流水の流入は4~6月のみ起こり、その断面積と流速から流入量は年平均で約  $0.08 \text{ Sv}$  と算出された。

以上から、オホーツク海独自の特徴を持った中層水は、太平洋からの流入水に、オホーツク海の北部の海水生成陸棚水、南西部の宗谷暖流水の、二つの表面水の沈み込みで変質が起こり形成されると考えられるが、量的にみると北部の効果がほとんどであることが示唆された。この点が本研究で最も強調したい結論の一つである。オホーツク海の中層の水を形成するための、太平洋、北部海水生成陸棚水、宗谷暖流水の混合比を、等密度面混合を仮定して見積もると、混合比はおよそ  $1 : 1 : 0.1$  と算出される。さらに混合比から、オホーツク海の中層水の形成量は  $1.5 \text{ Sv}$ 、中層水の平均滞留時間は約7年と見積もられる。この7年という値は溶存酸素消費速度の観点からもっともらしい値である。本研究の価値は、今まで定性的の域を出なかつたり一部の海域でしか行われていなかったオホーツク海の中層水の形成を、このように、はじめてオホーツク海全域で量的に議論した点にある。

オホーツク海中層水が、千島海峡に沿って流れる親潮の変質に寄与する効果を見積もると、オホーツク海中層水は35%の寄与率を持つことがわかる。さらにこの量から中層の親潮水の流量は  $4.1 \text{ Sv}$  と見積もられる。これら親潮域での値は全く別の観点から見積もられた他の研究の値と矛盾がなく、本研究で行ったオホーツク海内での見積もりの妥当性を示すものである。なお、申請者が作成したオホーツク海のデータセットからは、以上の示した中層水の形成の他にも多く

の新しい知見を引き出すことができ、今後の更なる研究の進展が期待される。

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)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。