

学 位 論 文 題 名

Water Characteristics in the Kuril Basin
of the Sea of Okhotsk, with emphasis
on low density water

（オホーツク海千島海盆域の海洋構造 一特に低密度水に注目して一）

学位論文内容の要旨

オホーツク海は北半球の海水南限海域である事が知られている。また近年の研究では北太平洋の $\sigma_\theta = 26.8$ 面付近に分布する北太平洋中層水（NPIW）の起源水の形成域であると考えられている。以上の様にオホーツク海は海洋物理学的に重要な意味を持つ海域であるにも関わらず、観測の難しさから現在まであまりデータがなく、研究も進んでいなかった。本研究は既存の全てのデータを使用してグリッドデータセットを作成し、オホーツク海主に千島海盆域の海洋構造とその形成機構を明らかにした。また、その結果を踏まえて数値実験を行って、オホーツク海の海洋構造をシミュレーションし、水塊形成に与える風成循環・熱塩循環の効果について議論した。

まず初めに、主にJODC（Japan Oceanographic Data Center）に納められているデータを元にしてオホーツク海の水温・塩分・溶存酸素に関するグリッドデータセットを作成した。範囲は $44.3 - 55.0^\circ\text{N}$, $144.0 - 154.0^\circ\text{E}$ で、グリッドサイズは南北方向 0.33° 、東西方向 0.50° とした。データは季節毎（春：4－6月、夏：7－9月、秋：10－12月、冬：1－3月）に分けて、各グリッド毎にデータ密度によって決められた影響半径（約200－250 km）内のデータを重み平均して各季節・各グリッドの値を求めた。

データセットを用いてオホーツク海と北太平洋の鉛直密度構造を比較すると、オホーツク海の方が等深度において全体的に密度が小さい。特に千島海盆内の4

00-600 m 付近が最も北太平洋との密度差が大きく、低密度な水塊が多量に存在している。この水塊の密度は $26.8-27.0\sigma_\theta$ 程度であり、本研究では「低密度水」と呼称した。表層から 1000 m までの水塊の量的見積もりをすると、太平洋では $\sigma_\theta = 27.3$ の水塊が最も多く存在しているのに対して、オホーツク海の千島海盆内では量的に多い密度が $\sigma_\theta = 26.9$ と 27.3 の二つ見られる。後者は北太平洋系の水塊と考えられる。前者は「低密度水」であり、全水塊の 40% 以上を占めている。よって「低密度水」はオホーツク海特有の水塊でありこの密度の水塊がオホーツク海で多量に形成されているものと考えられる。これまで研究によると、オホーツク海では冬季の冷却による Ventilation では $\sigma_\theta \geq 26.8$ の水塊を形成するのは難しく、オホーツク海の NPIW の起源水がオホーツク海のどこで形成され、その密度がどの程度であるのかは明らかでなかったが、本解析によってオホーツク海ですでに $\sigma_\theta = 26.8-26.9$ の密度であることが示された。

次に、等密度面解析を行って、「低密度水」がどこでいつ形成されているのかを調べた。それによると千島海盆南西域の北海道沿岸域で冬季及び春季に形成されていることが明らかになった。密度面毎に見ていくと $\sigma_\theta \leq 26.7$ ではオホーツク海北域全体に高酸素水域が分布しており、この海域で水塊が多く形成されていることが示された。 $26.7 \leq \sigma_\theta \leq 26.8$ では北西域に高酸素水域が分布していた。以上の事から大気の冷却による Ventilation では $\sigma_\theta \leq 26.7$ の水塊しか形成できず、冬季の海水生成によるブライン排出の効果か加えられる事によって $26.7 \leq \sigma_\theta \leq 26.8$ の水塊が形成されることが示された。ところが「低密度水」の密度である $26.8 \leq \sigma_\theta \leq 26.9$ ではそれまでとは全く異なる千島海盆南西域の北海道沿岸域が最も高酸素になっていた。北西域も春季に限って高酸素を示していたが、量的・循環場的に考えて、千島海盆内の「低密度水」は北海道沿岸域で形成されていると考えられる。

次に北海道沿岸域でどのような過程で「低密度水」形成が行われているのかを調べた。北海道沿岸では冬季に中層 (200-600 m) がほぼ均一な水温・塩分構造 ($\sigma_\theta \approx 26.9$) になる事によって多量の同質の水塊が形成されている。このような水塊形成は二つの水塊の混合によって説明できる。一つは、大気の冷却

でVentilationされた低密度の水塊 ($\sigma_\theta \approx 26.8$) で、冬季には季節風による西岸における沈降流及び南下流のため表層から中層約600 mまで占めるようになることが示された。もう一つは冬季冷却されて高密度化した宗谷暖流である。宗谷暖流は高温・高塩で通常は低密度水塊であるが、冬季沿岸付近の宗谷暖流は強く冷却され高密度水塊 ($\sigma_\theta \geq 26.9$) になる。以上の二つの水塊が北海道沿岸域に共に存在しており、それらが鉛直混合することによって「低密度水」が形成される。ここで、水塊形成の成因を風成循環・熱塩循環と言った立場で考えると、前者の水塊は風の影響によるものと言え、後者は熱塩の影響によるものと考えられる。従って「低密度水」は風成・熱塩の両方の効果が働くことによって形成されていると考えられる。

最後に、前述の結果を検証するために数値実験を行った。使用したモデルはGFDLの海洋大循環モデルである。領域はグリッドデータセットと同様で千島海峡・宗谷海峡は閉じた。海表面の境界条件は、風・熱塩両方入れた場合、熱塩のみの場合、風のみの場合の3通りを与え比較した。その結果数値実験では「低密度水」の密度・分布位置を完全には再現できなかったが、風・熱塩の両方の効果を入れた場合が最も良く再現され、両者がオホーツク海の海洋構造の形成に大きく寄与していることが確認された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 若 土 正 暁

副 査 教 授 金 成 誠 一

副 査 教 授 竹 内 謙 介

副 査 助 教 授 大 島 慶 一 郎

学 位 論 文 題 名

Water Characteristics in the Kuril Basin of the Sea of Okhotsk, with emphasis on low density water

(オホーツク海千島海盆域の海洋構造 一特に低密度水に注目して一)

北太平洋が世界の海洋におけるCO₂の主要な吸収域の一つであることはよく知られている。そのCO₂の吸収に「北太平洋中層水」が大きく関わっているのではないかと最近注目されている。それは、北太平洋のどこか、或いは縁辺海のどこかの海面に中層水が顔を出しているところがあり、そこで中層水の起源水が形成する際に大気中のCO₂を大量に吸収して、それが中層水の循環とともに北太平洋全域に拡散していつているのではないかというものである。そのため、北太平洋中層水の起源を探り、その形成過程を明らかにすることは重要である。

オホーツク海は、地理的に近いことから、また水塊形成域を有していることから、北太平洋中層水の起源域の有力な候補地として以前から注目されてはいた。しかしながら、冬季には海が海氷で広く覆われてしまうことや旧ソ連との政治的制約から、今までに得られた海洋観測データは極めて少なく、北太平洋との関連はもちろんオホーツク海自体に関しても我々の理解ははなはだ貧弱なものであった。このような背景の下で本研究は始められ、以下に示すようないくつかの成果が得られた。(1) 過去に得られた海洋観測データを基にして、オホーツク海の水温・塩分・溶存酸素に関するグリッドデータセットを作成した。個々の航海によって得られた観測データだけでは季節変動・経年変動はもちろん、海洋構造の実態を把握することさえも不十分であ

る。従って、このデータセットの作成は、今後オホーツク海について本格的に研究を推進していく上で極めて有用である。(2) データセットを用いたデータ解析から、オホーツク海特有の「低密度水」が、オホーツク海南西海域で冬季に形成される事を明らかにした。また、その生因として冬季に発達する北西季節風が重要な役割を果たしており、その風によるEkman Transportによってオホーツク海全域の表層低塩分水が南西海域に運び込まれ、そこで沈降することによってもたらされる事を示した。(3) オホーツク海南西海域で冬季に大量に生成される低密度水とそこに貫入する高温高塩な宗谷暖流水との混合によって、密度的に北太平洋中層水の起源になり得る水が容易に形成し得ることを示した。

以上のような主テーマとは別に、本研究はいくつかの付随的だが重要な研究成果ももたらした。一つは申請者自身が参加した巡視船「そうや」による冬季流水域での海洋・海水観測から、毎年冬の初めに北海道沿岸沖に近づく流水野が実はその先端で融解しつつ南下している、という興味ある事実を明らかにした。また、従来から大きな疑問であった、日本列島沿岸域の中でオホーツク沿岸だけが、冬季に再び潮位が上昇するという現象も、冬季オホーツク海南西海域への低塩分水の流入という観測事実によって説明し得ることを示した。

以上述べてきたように、本研究はオホーツク海における海洋学に多くの新知見をもたらした点で高く評価できるものである。これらのことから、審査員一同は申請者が博士(理学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認定した。