

オホーツク海と流氷



大塚 夏彦 (おおつか なつひこ)

道立オホーツク流氷科学センター 所長、笹川平和財団上席フェロー

1958年函館市生まれ。1981年北海道大学工学部卒業、2001年北海道大学工学研究院博士課程後期修了。2016年7月より北海道大学北極域研究センター教授、2024年4月より現職。港湾施設の耐震設計、ロシア極東地域の資源開発、氷海域における油流出に関する研究、北極航路の研究などに従事、現在は北極域の持続可能な利用をテーマに研究。

はじめに

オホーツク海は、北半球において冬期に結氷する最も南の海域です。北極圏のなかでも、ノルウェー海やバレンツ海の南部は凍りません。また、親潮海域と並んで世界で最も単位面積当たりの生物生産量の高い海域でもあります。漁業においては、日本の漁獲量の約8%、北海道の漁獲量の約3割を占める豊穡の海であり、同時に流氷観光でも内外からの多くの観光客を楽しませています。冬季にこのオホーツク海を覆う流氷は、オホーツク海の海洋物理的構造だけでなく、海洋生態環境においても重要な役割を占めています。本稿は、この流氷をめぐるオホーツク海の特徴について、2回に分けて紹介します。

オホーツク海の地理的特徴

オホーツク海は、北海道の北東沿岸、ユーラシア大陸、サハリン島、カムチャツカ半島、千島列島などに囲まれた面積約153万km²、平均水深838mの海洋です。千島列島および国後水道を通じて太平洋とつながり、宗谷海峡および間宮海峡を経て日本海とつながっています。オホーツク海の北限となるユーラシア大陸（ロシア・マガダン州）沿岸から南に向かって水深が深くなり、サハリン島東沖のオホーツク海中央部は水深

1,000~1,600mの海盆となり、さらにその南には千島列島に沿って北海道沖まで北東~南西につづく千島海盆が、さらに深い海底（最深部3,658m）を形成しています。

オホーツク海の海流

北海道から眺めると、日本海から対馬海流が分岐して宗谷海峡を東流して宗谷暖流となり、オホーツク海沿岸に沿って南東に流れて知床岬まで達します。その後、一部はオホーツク海を北上、一部は根室海峡および国後水道を経て南下していきます。サハリン島と大陸の間宮海峡は非常に浅く、またアムール川の河口から大量の淡水流入があるため、海水の流出入は多くありません。一方、千島列島と太平洋を結ぶ海峡のうち、ブツソール海峡（北ウルップ水道）は最深部が2,000mを超え、潮流も速い海の難所となっています。

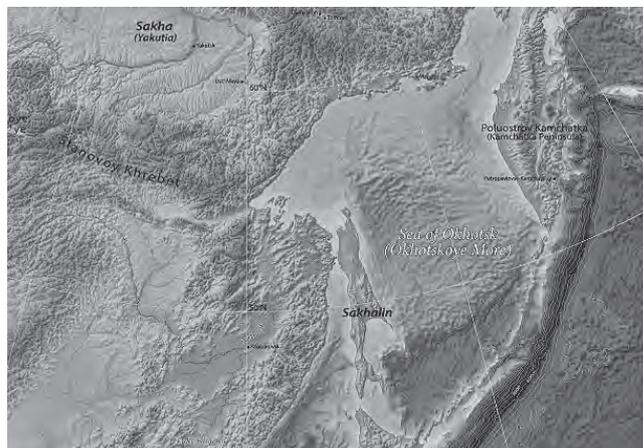


図1 オホーツク海¹

このオホーツク海全体の海流や海洋構造については、長らく詳しいことが知られていませんでした。それを明らかにしたのは北大低温科学研究所を中心とする研究グループで、米露の研究機関と協力してアムール・オホーツクプロジェクト(1997~2002年)を実施し、東樺太海流、オホーツク還流、太平洋へ流れ出す様子、さらには北太平洋水との関係、ならびにアムール川流域との関係に至る海洋学・海洋生態学的な多くの特徴を明らかにしました²。図2にオホーツク海の流れの様子を示します。図中、サハリン島東沖を北から南へ流れる東樺太海流は、深さが1,000mに達する強大な流れで、北海道まで到達するものと、サハリン島テルペニア岬沖から東に分岐する流れがあります。この流れは冬に最大となりますが、夏にはかなり弱くなります。またオホーツク海中央から北に向かう反時計回りの還流があります。千島列島近傍では、ブツソール海峡から太平洋に向かって大量の海水が流出していることがわかっています³。



図2 オホーツク海の流れ
(高橋⁴に著者加筆)

海水の凍結

オホーツク海がどうして凍るのかを紹介する前に、まず、海水の凍結と、流水が成長する様子について紹介します。海水が凍る温度は、その塩分濃度が薄いほど高くなるものの、一般的な海水では約 -1.8°C です。また、海水の密度は、塩分濃度が高いほど大きく、かつ温度が低いほど大きくなる性質を持っています。また、結氷温度付近では、温度よりも塩分濃度のほうが、密度増大に影響します。ここで海水が凍るといっても、実際に氷を形成するのは真水成分で、海水が凍結する際には塩分濃度の大きな塩水(ブライン)が生成され、氷の外に排出されるか、あるいは一部が氷中に閉じ込められた状態になります。

海水が生成される過程は、まず海水温が約 -1.8°C になり、さらに熱が奪われていくにつれて真水部分が結晶し、短冊状あるいは針状の形状の晶氷とよばれる氷ができます。晶氷は波や流れによって互いにつつかり合いながら結合し、グリース状(グリースアイスと呼ばれる)のドロツとした状態になります。さらに寒さが続くと、海面が静穏な場合は表面が固くなり、5~10cm程度の板状の氷(ニラス)となり、その後波や流れで重なり合いながら成長していきます。波がある場合は、グリースアイスが徐々に円形状に集まりながら、ぶつかり合ってふちが少し捲りあがって蓮の葉状の氷(蓮葉氷)に成長します。このときの大きさは約0.3~3.0m程度、厚さは10cm程度となります。そ



図3 海水の生成

の後さらに寒さが続くと、どちらの場合も氷の底面側の海水が徐々に凍って厚さが増していきます。同時に波によって重なり合ったりしながら、さらに成長して、立派な流水が形成されます。

北海道沿岸で見られる流水の厚さは0.5m程度、オホーツク海北部では1.0m程度です。ただし波や海流によって流水が重なり合い、氷の丘（氷丘）や山脈状に連なった氷丘脈ができることがあり、その高さが数m、あるいは下面までの厚さが10m以上となることもあります。また海面上を波・風・海流によって漂流する流水だけでなく、海岸に定着して動かない定着氷も形成されます。



図4 さまざまな流水

このように冬期にオホーツク海で成長する流水は、春になると融解してなくなります。このような海水を1年氷と呼びます。一方、北極海や南極海では1年中凍ったままの海域があり、その氷の寿命は複数年にわたります。このような海水を多年氷と呼んでいます。なので、オホーツク海は1年氷のみが存在する海域です。

オホーツク海が凍るしくみ⁶

オホーツク海が、どうして北半球で最も南の結氷海域となっているのでしょうか。その背景には冬の気象だけでなく、海底地形、海洋構造、アムール川などさまざまな要因が関連しあっています。

冬期、オホーツク海北部沿岸では大陸から低温の北風が吹き、沿岸の海面水温を低下させます。この沿岸域にはアムール川から大量の淡水（オホーツク海の面積で厚さ20cm分に相当）が流入しています。淡水は海水より軽いので、表層の海水と混合されて塩分濃度の低い海水層が生まれます。薄い海水が形成されるもう一つの理由は、冬季に生まれた海水は、前述のようにブラインを排出して低塩分となっており、それが春に融解することで、海水の塩分濃度を低下させるためです。こうして形成される塩分濃度の低い海水は、結氷温度が高くなっているため、冷たい北風とともに、海水ができやすい条件がそろっているのです。

オホーツク海の流水形成には、もうひとつ特徴的な理由があります。表層で冷やされた塩分濃度の薄い海水は、密度が大きくなって沈降します。しかしオホーツク海の水深50m付近より深いところには、より塩分濃度の濃い海水の層があり、この層の密度は表層の冷やされた海水よりも大きいため、沈降してきた海水はこの境界より下には届きません。この2層構造によって、海面で冷やされて密度が大きくなった海水の対流は、表層から水深50m付近までに限られています。

こうして塩分濃度の薄い海水層の中で対流が繰り返され、この層全体が結氷温度に達すると、海水ができ始めます。海水が凍る現象からは、オホーツク海は水深50mのとても浅い海で、この範囲が冷えることによって海水が生まれているわけです。一方、太平洋などの大洋では、この対流が深いところまで達するために、海水が全部冷やされる前に春がきてしまい、凍ることがないわけです。



図5 オホーツク海が凍る理由

こうしてオホーツク海で形成された海水の2層構造は、カムチャツカ半島および大陸沿岸、サハリン島・北海道沿岸および千島列島からオホーツク海中央部にわたる広い範囲に広がっています(図6)⁷。ただし広い範囲と述べましたが、オホーツク海が地理的に大陸と島に囲まれて閉ざされた海であり、外洋の暖かい海水の流入が限られるために冷えやすいことも、この特徴的な海洋構造の成因の一つとなっています。



図6 オホーツク海の塩分二重構造⁷

流氷はどこから？

図2には、オホーツク海の結氷の始まる11月からほぼ最大となる3月の間の海水の範囲を示してあります。結氷はアムール川河口域から始まって大陸沿岸に拡大した後、南に拡大していきます。あたかもアムール川河口から流氷が南に漂流してくるのようになります。

しかし実際は少し違います。大陸沿岸およびサハリン東岸では北西の冷たい季節風が海に吹き出し、そこで海水がどんどん冷やされて海氷が生成され、次々と沖合へ流されていきます。ここでは海面が露出するとまた結氷することを繰り返し、オホーツク海の海水生成場所となっているのです。この海水域の中の海水面はポリニヤと呼ばれ、ここでは大気と海面の間で熱交換が盛んに行われることがわかっています。

ポリニヤで生まれた海氷は厚く成長しながら、東樺太海流などの海流や風によって南下し、北海道沿岸に到達するわけです(図7)。北海道の沿岸部では、宗谷暖流に沿って南西方向に流下し、知床半島に到達し、一部は根室半島、ときには太平洋にも流れ出します。また、北海道の沿岸でもニラスや蓮葉氷は発達します。また、オホーツク沿岸の汽水湖ならびに港湾や漁港の中にも結氷します。

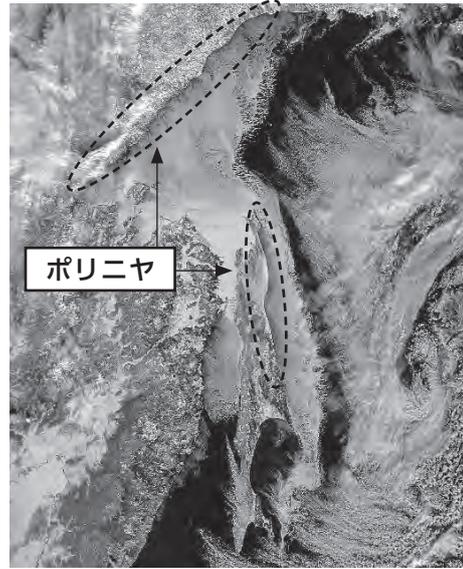


図7 衛星画像による2015年1月の海氷⁸

次回は？

次回は、流氷と密接にかかわるオホーツク海の生態系、北海道のオホーツク海沿岸域社会や生活、地球温暖化と流氷の変化などについて紹介したいと思います。

- 1 北極環境研究コンソーシアム・国立極地研究所、北極域地図、<https://www.nipr.ac.jp/aerc/map.html>、2025.1.10閲覧
- 2 戦略的基礎研究「オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明」(研究代表者：若土正暁)
- 3 大島慶一郎、第1章3. オホーツク海と海氷：その特殊性と重要性、朝倉世界地理講座-大地と人間-2巻:東北アジア、朝倉書店
- 4 高橋修平、雪氷百選038 オホーツク海の海氷
- 5 第一管区海上保安部海氷情報センター、海氷の知識、https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/drift_ice/knowledge/yougo_1.html、2025年1月閲覧
- 6 北海道立オホーツク流氷科学センター、北方圏国際シンポジウム流氷ミニ百科事典
- 7 青田昌秋、オホーツク海の流氷について、日本工業教育協会誌、33巻4号、1985.
- 8 Jeff Schmaltz, NASA earth observatory, January 4, 2015, the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on NASA's Terra satellite