



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地球温暖化オホーツク海の流氷
Author(s)	三寺, 史夫
Description	平成20年度北海道大学公開講座 持続可能な社会と北海道発見—地球環境と私たちの暮らし—. 平成20年7月3日～平成20年7月31日. 札幌市
Relation	平成20年度北海道大学公開講座持続可能な社会と北海道発見 : 地球環境と私たちの暮らし. pp.43-47.
Issue Date	2008-07-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/34617
Type	other
File Information	47-A9.pdf



三 寺 史 夫

三 寺 史 夫（みつでら ふみお）北海道大学教授（低温科学研究所）

昭和57年東北大学理学部卒業、昭和59年同大学大学院理学研究科博士課程前期2年の課程修了、昭和62年同研究科博士課程後期3年の課程修了、豪州ニューサウスウェールズ大学、CSIRO、海洋科学技術センター、ハワイ大学国際太平洋研究センターを経て、平成15年より現職。専門は海洋海氷物理学であるが、オホーツク海周辺の陸域海域における気候変動、物質循環、生態系を含めた環境問題に取り組んでいる。理学博士。

1. はじめに

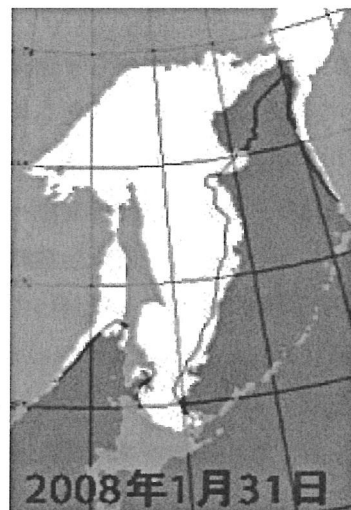
オホーツク海は大規模な海氷が見られる最も南の海である。これは、オホーツク海の西方のシベリアに、北半球の寒極（一番寒い場所）があるためである。そこでは、2月の月平均気温（日中も含めたもの）は -40°C にも達することが知られている。12月になって西高東低の冬型の気圧配置が強まったときに、その寒極から強い寒気が吹き出し、オホーツク海の北西部が凍結しはじめる。そして3月には、平年でオホーツク海の3分の2程度、多いときには全面を海氷が覆ってしまう。オホーツク沿岸にも1月末ぐらいに流氷として到達し、冬の北海道観光の大きな目玉となっている（図1）。

このような、海氷（流氷）の運動や環境への役割を考えるのが、今回の講座の目的である。オホーツク海の大部分は旧ソ連領あるいはロシア経済水域内であることから、日本に近い海にもかかわらず長らくベールに包まれた海でもあった。しかしながら、1997年から始まった低温科学研究所を中心とする国際共同研究で、一挙にそのベールがはがされようとしている。また、1970年代後半から始まった海氷の衛星観測によって、海氷全体の運動の様子や年毎の相違などが詳細に分かるようになってきた。

それらの成果をもとに、ここでは

- ・ 流氷はどこで生まれ、どのように流れているのか
 - ・ 海氷の生成と海洋循環はどのように関わっているのか
 - ・ 海氷がもたらす海洋環境へのインパクトと温暖化の影響
- について考えてみたい。

図1 オホーツク海における海氷の分布。白い部分が2008年1月31日の様子を示す。線で示されているのは平年の広がり。気象庁ホームページより。



2. 流氷—どこで生まれ、どのように流れているのか

流氷とは漂流する海氷のことを指す一般的な用語である。海氷は海水が凍ってできる。たびたび流氷の起源はアムール川の水が凍って流れてくるものである、という説明がなされる場合があるが、それは正しくない。また、テレビなどでよく南極大陸上にある氷が崩壊し、海に流れ出てくる様子が映し出されるが、それは氷山である。海氷とは、あくまで海水が凍ったものを指す。

海水には塩分が含まれているため0℃では凍らず、-1.8℃になって初めて凍る。海水が凍り始めるとまずシャーベット状の細かい結晶となる。この段階では、海上に波が立ちにくくなるため海面が滑らかになり、「グリースアイス」と呼ばれる状態となる。さらに結氷が進むと海表面に氷が浮かんでくるが、波の作用で数メートルほどの氷板に分かれる。それは互いにぶつかり合い円形になるとともに、端がめくれたような形状になる。ちょうどそれが蓮の葉に似ていることから、「蓮の葉氷」と呼ばれている。それが次第に集まり、またのり上がって大きく厚い流氷ができてくる。

さて、海氷はどこでできているのであろうか。それを調べるために衛星データから海氷の動きを解析したところ、海氷がもっとも大量にできるのはオホーツク海北部の沿岸域であることがわかった。そこは寒極に接した海域であり、冷たい季節風に常にさらされている。また200km沖合いまで広く浅い大陸棚が発達しており、海底まで容易に冷えることができる。そのため水温が結氷点まで急激に下がり、海氷が作られるのである。

さらに重要なことは、北西からの季節風によってできた氷は沖に流される、ということである。そのため、北部沿岸域では海面が常に開き、海水が寒風にさらされるため氷が効率よく生産される。このように沖向きの風によって海表面が開いている海域を沿岸ポリニヤといい、そこは海氷の生産工場となっている。沿岸ポリニヤで最も代表的なものは上に述べたオホーツク海北部の大陸棚のもので、その海氷生産量だけでオホーツク全体を多量に尽くすことができるほどである。実際には流された先で融解もしているので、全体の半分程度がそのポリニヤで生産されているのであろうと考えられている。

では、北海道沿岸に達する流氷はどこでできているのだろうか。海氷の運動を詳細に検討したところ、サハリン島北部の沿岸域、南部のテルペニア湾、アニヤ湾であろうということが分かってきた。これらの海域もオホーツク海北部ほどではないが浅い大陸棚が広がっていて沿岸ポリニヤが発達し、海氷が盛んに生産されている。またサハリン島沿岸には「東樺太海流」と言う親潮に相当する大海流が流れており、流氷はそれにのって流れてくるのである。一方、オホーツク海北部の最も大きなポリニヤからの氷は、北西風に流されむしろオホーツク海全体へと広がっている。

3. 海氷生成がもたらす海洋循環

海氷が地球環境にもたらす影響はさまざまである。そのひとつは、海氷は白く太陽からのエネルギーの入射を跳ね返してしまう、という効果である。オホーツク海では海氷の面積が年毎に大きく変化しており、このため気候変動への影響も大きいと考えられている。

もうひとつは、海氷生成時に重たい水がつくられる、ということである。氷は水の結晶なので塩分は不純物であり、したがって海氷が作られるとき濃縮された塩水が排出される。これは、ブラインと呼ばれる。ブラインの水温は結氷温度の-1.8℃であり塩分も濃いので、密度も大きい（すなわち重い）。これが周りの水と混ざり合いながら大陸棚上に溜まって重い水を作っている。このようにできた重い海水が大陸棚から流れ出て、世界の海洋の深層を満たしている。

現在の気候や大陸の分布のもとでは、世界で最も重たい水は南極大陸の大陸棚やグリーンランドの

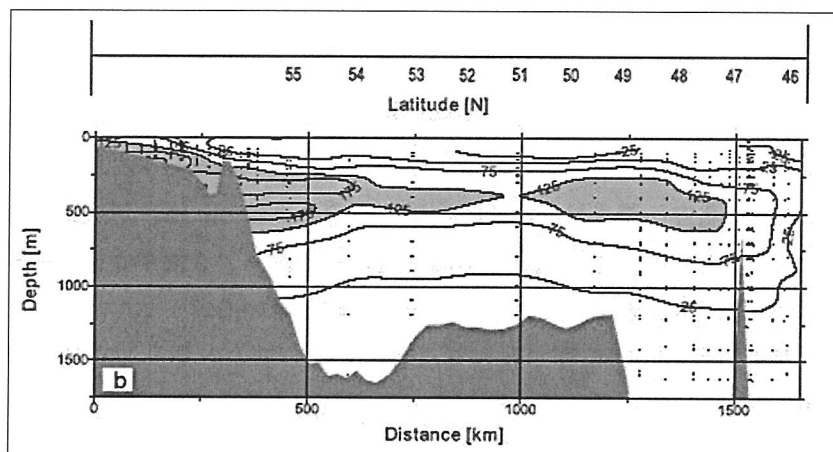


図2 オホーツク海におけるフロン濃度の南北断面。北太平洋亜寒帯域の平均分布を引いて、高密度水にあたる深度の濃度を強調するよう工夫している。図の左側が陸棚域、右側が親潮域に当たる。Yamamoto-Kawai et al. (2004) より引用。

沖合で生成されている。これが深層水であり、海洋の1500m以深のほぼすべてを占めている海水である。それがベルトコンベアといわれる、地球を2000年かけてゆっくりと一周する流れに乗って世界の海を廻っており、北太平洋がその終着点であるといわれている。

では、太平洋およびその周辺ではどこで一番重たい水が作られているのだろうか？

それがオホーツク海北部の沿岸ポリニヤであることが、最近の研究でわかってきた。そのようにして生成された重い水は「高密度陸棚水」と呼ばれ、「北太平洋中層水」という北太平洋全域の500mから1000mを占める海水の起源になっている。高密度陸棚水は生成されるときにさまざまな物質を溶かす。例えば二酸化炭素であり、北太平洋中層水はその貯蔵庫として有力視されている。もうひとつは酸素である。北太平洋はベルトコンベアの終着点であるため酸素は使われてしまっており、貧酸素状態になっている。一方高密度陸棚水は生成時に大気と接して高濃度の酸素を含むので、それが太平洋に流れ込むことで中層の貧酸素状態は大きく緩和されている。このように、オホーツク海は北太平洋の肺と言うべき役割を果たしているといつてよい。

高密度陸棚水生成の観測は2000年に、日米露の共同で初めて行われた。この海域は旧ソ連およびロシアの経済水域内のため、それまでは観測できなかったのである。その中で、大陸棚の海底に温度、塩分、流速の測器を置いて長期間監視する、という観測も行った。この年の冬は、1月から氷が張り始めた。それに対応するように1年半ばから塩分が高くなり始め、2月末に最高塩分に達し、その後ほぼ一定値をとりつつ高密度陸棚水ができていたことがわかった。

重くなった海水はサハリンの北方で大陸斜面を下る。そこには親潮に匹敵する大海流、「東樺太海流」が存在する。北西部でできた高密度陸棚水は、その東樺太海流に合流して南下する。そのような様子はフロンの濃度で見ることができる（図2）。フロンは人工的に製造された物質であり、冷却材として多く使われたが、その後オゾンホールの原因となることが判明したために使用されなくなった物質である。そのため、溶けた水の年代がわかる。その濃度を見ると北部で形成された陸棚水が潜り込み、200mから500m深に高フロン濃度のところが存在し、オホーツク南部の千島列島まで達していることがわかる。それが、千島列島での潮汐混合によって太平洋起源の水と混ざりあった後、北太平洋全域へと広がってゆく。

4. 海氷がもたらす環境へのインパクトと温暖化の影響

オホーツク海の塩分は上層ほど薄い。これは、アムール川や海氷融解水が大量の真水を供給しているためである。一方塩分を補給しているのは千島列島沿いの強い潮汐混合で、深さ数百メートルの中層からかき混ぜることによって高塩分水を湧き上げている。この高塩分水はオホーツク海の風による循環に乗ることによって北方へ流され、北西陸棚域に塩分を供給し、海氷形成に伴って高密度陸棚水が作られている。このように、北西陸棚域の高密度水→オホーツク海中層循環→潮汐混合→北方への風成表層循環、が一連の流れとなっており、中層循環を形成している。

そのオホーツク海中層がここ50年間で大きく温暖化していることが、ごく最近の研究で明らかとなった。地球温暖化のため近年シベリアでは冬季の気温が高くなっており、それに伴いオホーツク海の海氷生産が落ち、同時に高密度水生成量が減っていることが、中層温暖化の原因である可能性が高い。すなわち、上に述べたオホーツク海の中層循環が弱まっていることを示している。また、オホーツク海中層の溶存酸素量も減少しており、これも中層循環弱化を示唆している。このような中層の変化はオホーツク海のみならず北太平洋の亜寒帯全域に広がっている。

このような変化を通して危惧されているのは海洋基礎生産、すなわち植物プランクトン量が親潮域で減少していることである。植物プランクトンの豊富な北太平洋亜寒帯域は海の中の草原ともいえるもので、食物連鎖の中で最も基礎を担っている海域である。したがって当海域の植物プランクトンの減少は食物連鎖を通し、水産資源の減少をもたらすことにつながってしまう。また、生物生産により固定された炭素は、この海域で新たに形成される中層水に取り込まれて海洋中に数十年―数百年のスケールで滞留し、CO₂の大気からの隔離に大きく寄与している事も重要である。

私たちは植物プランクトンの変動をもたらす要因のひとつとして海洋の鉄分に注目している。鉄分は植物プランクトンの光合成に欠かせない物質である。北太平洋亜寒帯海域では、硝酸、リンなどの栄養塩が表層に余っている状態で植物プランクトンの増殖が突然止まってしまうという現象が見られるが、これは鉄分が欠乏するためであることが明らかになってきた。しかしながら親潮や西部北太平洋では北太平洋亜寒帯の他の海域に比べると春季増殖がまだ大規模であり基礎生産力も高い。したがって、その生産力を支える鉄の供給源を見出しその変動を明らかにすることが非常に重要となる。

鉄は陸起源の物質であり、従来、黄砂に伴って飛来するものと考えられていた。しかし、親潮表層には黄砂飛来前から高濃度の鉄が分布していること、オホーツク海の中層（200m―500m深）には他の海域の10倍もの濃度の鉄が分布していること、からオホーツク海中層が重要な供給源であることが分かってきた。また2006年に行ったオホーツク海におけるロシアとの共同観測では、アムール川河口が位置する北西陸棚域からサハリン東岸にかけての高密度陸棚水に、高濃度の鉄が分布していることを発見している。冬季の対流や千島列島沿いの強い潮汐混合により中層の鉄分が表面に供給され、親潮域・北太平洋亜寒帯の植物プランクトンに利用されている可能性が高い。

以上より、鉄は大陸棚から高密度陸棚水に乗り、それが冬季混合や潮汐混合により亜寒帯海域表層に供給されることによって、当海域における世界有数の基礎生産を支えていることが判明しつつある。ただし、オホーツク海中層からの鉄供給は循環の弱化によって減少しているのかもしれない。今後、鉄分循環のモニターを続けるとともに、その変動のメカニズムを解明することが大変重要である。

5. おわりに

オホーツク海の海氷は地球温暖化に対して大変敏感で、その影響はすでに現れつつあるといえる。気候モデルの中には、オホーツク海の氷はなくなる、という予測をしているものさえある。本当にオホーツク海の海氷はなくなってしまうのだろうか？この間に答えを出すことは、上述のように日本の近くで起こる水産資源や二酸化炭素の問題を考えるための重要な科学的基盤を与えることになる。今後とも、オホーツク海の海氷（流氷）の変動を注意深く見つめて行きたい。