

地球気候システムの解明に欠かせない 北極海域での観測研究

海氷の減少が進行する北極海で いま、何がおきているのか？

取材協力：
海洋観測研究部

2000年夏、ニューヨークタイムズ紙に、北極の海氷が非常に薄く、例年ならば海氷に覆われているはずの北極点付近にも大きな海水面が見られるとの記事が掲載された。記事は、気候変動に関する国連の調査グループの報告に基づいたものであり、研究責任者のひとり、この現象を「地球温暖化の影響」と発表し、世界的にも大きな注目を集め、日本でも話題となった。

地球温暖化の影響かどうかは明らかではないが、1990年代以降、観測事実として北極海の海氷が減少していることから、多くの北極研究者らが、北極で何らかの大きな変化が生じているとの認識を抱いているといわれる。北極域で、いま、何がおきつつあるのだろうか。そして、その影響は地球全体の気候変動にどのように関係しているのだろうか。

北極海に形成される 海氷に覆われた多年氷海域

北極海は、北極点を中心に広がる海洋で、その周囲をユーラシア大陸、北アメリカ大陸、グリーンランドの北岸や北岸に続く島々によって囲まれている。日本語では北極海と呼ばれるが、英語のArctic Oceanが示すように、本来は大洋に含まれる。その中心部には、深さ4,000m以上の北極海盆があり、周囲に広大な大陸棚が存在する。これらの沿岸部には、バレンツ海、カラ海、ラプテフ海、東シベリア海、チュクチ海（ユーラシア側）、ポーフォート海（北アメリカ側）などの付属海があ

り、これらを含めた北極海の面積は約120万km²、体積は130万km³であり、大洋のなかでは最も小さい。

北極海は、フラム海峡、バレンツ海によってグリーンランド海、アイスランド海、ノルウェー海（これら3つの海を北極海に含む考え方もある）を介し、またカナダ多島海やバフィン湾を介して大西洋とつながり、一方ではベーリング海峡によって太平洋とつながっている。だが、フラム海峡以外はいずれも水深が浅いため、北極海と南の海洋との水交換は、主にフラム海峡で生じているとされる。北極海の水深約200m～1,000mに存在する大

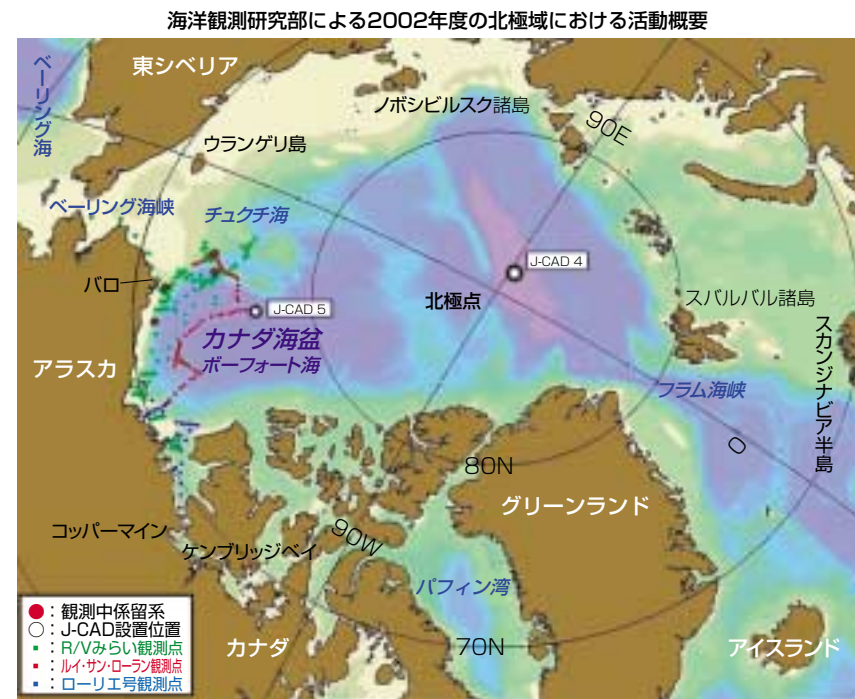
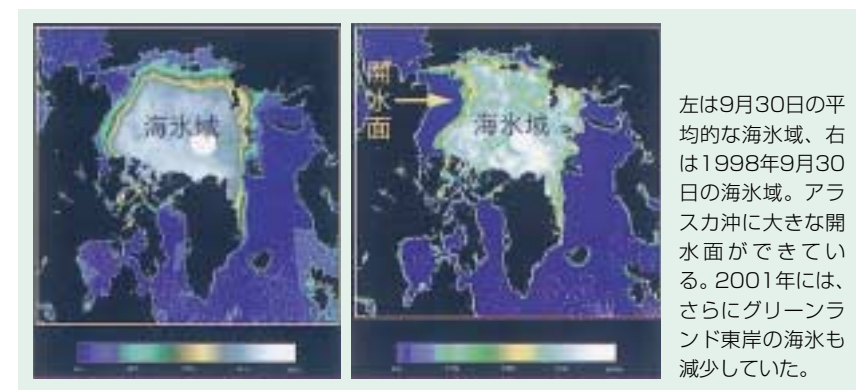
西洋から流入する比較的温かい海水も、主にフラム海峡から入ってくる。

海底地形を見ると、北極海盆は、ユーラシア側から北極点付近を通りグリーンランド側へと走るロモノソフ海嶺によって大きく二分され、さらに、太平洋側（アメラシア海盆）は、メンデレーエフ海嶺、アルファ海嶺によって分けられ、カナダ側にカナダ海盆、極点側にマカロフ海盆がある。一方の大西洋側（ユーラシア海盆）も、北極中央海嶺をはさんで、極点側にアムンセン海盆、大西洋側にナンセン海盆がある。こうした海底の地形も、北極海の海水の構造に深く関わって

いるものと考えられている。

もうひとつ、北極海の環境に大きく影響しているのが、大陸から流れ込む河川水だ。ユーラシア大陸のオビ川、レナ川、北アメリカ大陸のマッケンジー川などのような大河から流入する大量の河川水（地球上の河川水の約10%といわれる）は、北極海（地球上の海水の約1%）の表層水を低塩化し、凍りやすくしている（結氷温度を上昇させる）。さらに、河川から流れ込んだ淡水は、低塩化による表層水の密度の低下をもたらし、下層水との成層を強めて鉛直混合をおにくくさせ、下層に存在する比較的温かく高塩分の大西洋水の熱を表層に運び働きを抑えてしまう。これらの作用によって、河川水は北極海に海氷が成長しやすい状況をつくり出している。

こうした海水の特性や、気温がマイナス50℃にまで達する非常に寒冷な気候によって生まれるのが、北極海の大きな特徴である大量の海氷だ。南極大陸を取り囲む南大洋では、海氷の大部分が夏季に融けてしまうのに対し、北極海の海氷は、大陸棚周辺では融けるものの北極海盆では夏も残り、広大な多年氷域を形成している。この海氷は、一枚の板のように海面に浮いているのではなく、風や海流によって流され、絶えず移動している。そのため、海氷が割れて開水面が現れたり、重なり合って氷の山脈をつくるなど、厚さや分布は常に変化している。そして、北極海盆の多年氷海域で夏を越え、冬に成長して厚みを増した海氷はゆっくりと流され、主にグリーンランドとスピッツベルゲン諸島の間のフラム海峡を通過



グリーンランド海から北大西洋へと流れ出ていく。

減少する海氷が 気候変動を加速させる!?

近年、北極海の海氷が減少していることに、研究者たちは注目している。衛星観測データの解析によれば、1978年以降の北極海の海水域面積は、10年に約3%の割合で減少しているという。また、北極海中央部の多年氷海域の面積が、1978～1998年の20年間で約14%減少したという報告もある。さらに、米国の潜水艦による観測（SCICEX）では、1990年代の海氷の厚さは、1960～1970年代の値に比べて平均で約40%減少したと発表されている。こうしたことから、多くの研究者らが、北極海に何か重大な変化が生じているのではないかと考えている。

実際に、これまでの平均的な夏の北極海の海水域と最近の夏の海水域を比較してみると、アラスカ沖に平均値に見られない大きな開水面が広がり、また、2001年にはフラム海峡からグリーンランド東岸に伸びていた海氷も大きく減少していた。特徴的なのは、どちらも北極海が他の海洋とつながっているところで大きな変化がおきているということだ。

2000年夏に、「地球温暖化で北極海の氷が融けている」といったマスコミ報道が大きな話題となった。だが、もし大気の温度が上昇したことによって北極の氷が融けているとしたら、アラスカ沖とグリーンランド海で大きな減少が見られるといった地域性が生じていることに疑問が残る。また、2000年4月、海洋科学技術センターが北極点付近の多年氷海域に設置した、氷海観測用小型漂流ブイ（J-CAD）の観測データを見ると、夏の北極点付近の表層で、塩分が平年値よりも高くなっていたことが分かった。もしも海氷が大量に融けたのであれば、真水に近い融解水の影響で、塩分濃度は低下するはずだ。では、なぜ海氷は減少したのだろうか。その理由としてあげられるのは、氷が融けたからではなく、北極海で氷ができにくくなっているからではないか、氷ができにくい環境を海洋がつくっているのでは

ないかという考え方だ。

塩分が低く鉛直混合をおこしにくい表層部分の海水は、氷点に達するまで対流し、表層の水塊全体を冷却しながら凍っていく。だが、表層の塩分が高まると、その下の塩分の高い海水と混合しやすくなる。その結果、海水をつくるためには、さらに深いところまで対流して結氷温度に下げなければならない、より強い冷却が必要になる。そのため、海水ができにくくなっていることが推測される。

海水の減少に地域的な特性が生じていることについては、さらに詳しい観測や解析が必要だが、アラスカ沖の海水の減少では、アラスカ沿岸流に乗って北上し、ベーリング海峡を越えて北極海に流入する高水温の太平洋水の影響が予想される。また、グリーンランド海での減少については、北極海盆で十分に成長できなかった薄い海水がグリーンランド海に放出され、一気に融け崩れ、海水が残らないと考えられる。どちらにしても、直接的な原因としては、大気の上昇よりも海水の状況が問題のカギを握っているといえそうだ。

海水の減少に関するもうひとつの大きな問題は、北極海域が地球熱機関の冷却源として、地球の気候システムの安定に重要な働きを担っているということだ。海水は大気と海洋との間の断熱材・反射材として、熱移動の制御という大きな機能を果たしている。もしもこのまま海水の減少が続けば、北極の気候システムのみならず、

地球規模で大きな気候変動をもたらす一因となる可能性もある。特に、北極域の気候システムは、海水の存在による正のフィードバック機能を内包している。これは、氷アルベドフィードバック効果と呼ばれるもので、海水のアルベド(太陽光の反射率)が海洋より非常に高いことによって生じる増幅効果だ。つまり、太陽光をより反射する海水が減少すると、それまで海水に覆われていた海面のアルベドが大きく低下し、大量の太陽熱を吸収する。その結果、水温や大気温度が上昇し、周囲の海水を融かし、さらに気温や水温を上昇させてしまうのだ。この結果、北極の気候システムは、海水の減少によって劇的に変動することも予想される。そして、全球的な大気・海洋相互作用に大きな変化をもたらすことも十分に考えられる。

北極海域における観測研究の重要性

北極域に関する最新の研究を見ると、海水の減少ばかりでなく、大気・海洋・陸域において様々な物理的変化がおきていることが明らかになっている。これらが北極気候システムの本来持っている自然のゆらぎなのか、それとも地球温暖化などのような全球的な気候変動の前兆なのか、それはまだ分かっていない。だが、北極域が大きく変化していることは間違いない。そして、その変化は、やがて日本を含めた北半球規模での気候や生態系・生物資源の変化として、社会・経済活動に影響を及ぼす可能性もあり、「エル・ニーニョ現象に匹敵する大きな問題」ともいわれている。

こうした状況のもと、世界各国の研究者らが、北極域の気候システムの解明とその

全球的な気候変動に及ぼすメカニズムを明らかにするための観測・研究が続けている。海洋科学技術センターも、北極域の気候変動に対する海洋の役割を中心に、様々な北極海域の観測・研究を推進している。なかでも注目しているのは「冷たい塩分躍層」の形成・変動メカニズム、「大西洋水」の循環・変動メカニズム、そして「夏季太平洋水」の移流経路についてだ。

「冷たい塩分躍層」とは、北極海表層にある混合層の直下に存在する、ほぼ結氷温度で深度とともに急激に塩分が増加する層のこと。この塩分躍層は、海面冷却による鉛直対流をこく表層に抑える働きがあり、海水が形成・維持されやすい環境をつくり出している。これまでの観測によって、「冷た

い塩分躍層」が弱まり、海水が生成されにくい状況が続いていることが示されている。この「冷たい塩分躍層」の下層にあるのが「大西洋水」だ。これは北極海に流れ込む大西洋からの高温・高塩分な海水で、北極海中層に水温極大層を形成している。1990年代に大西洋側で通常より「大西洋水」の水温が上昇していることが発見されたが、これまでの観測・解析で、これが2000年にはアラスカ沖海域にまで到達したことが確認されている。一方の「夏季太平洋水」は、太平洋(ベーリング海)から北極海に流れ込む夏季水。西部北極海における混合層直下の水温極大層を形成している。その空間分布と熱の放出過程は、海水の融解に大きな影響を与えるため、その動きを明らかにす



2002年日本・カナダ国際共同研究(JWACS 2002)には、「みらい」とともにカナダの砕氷船も2隻参加して観測が実施された。

ることが重要な課題となっている。これらを解明するために、現在、海洋科学技術センターでは、JWACS(日本・カナダ国際共同観測)、NPEO(北極点環境観測)プロジェクトなどの国際共同観測を実施し、観測データの蓄積やその解析研究を進めている。

北極海観測で期待される自律型無人潜水機 深海巡航探査機「うらしま」 世界で初めて燃料電池による航走に成功

北極海域での海洋観測の難しさは、夏でも気温が氷点下になで下がる環境の厳しさ、観測船を妨げる海水が存在することだ。こうした状況下で観測を行うために、いま、大きな期待がかけられているのが、自律型無人潜水機(AUV)の開発だ。AUVは母船からの操作を必要とせず、自力で位置を確認しながら三次元的に海中を航行する無人探査機で、事前にプログラミングされた海水の採水分析や海底探査(海底地形のマッピングや撮影など)を行うことができる。実現すれば、これまで海水に阻まれて観測が困難だった北極海多年氷海域の海水データや海水の厚さなども測定することができ、海洋構造の変動や海水と海洋の相互作用のメカニズム解明に大きく貢献するはずだ。

海洋科学技術センターでは、こうした極域観測や活動する海底火山の周辺調査のように、調査が困難な海域や危険が伴うような海域での観測・調査を可能にするため、1998年に深海巡航探査機「うらしま」の開発・建造を開始し、実用化に向けて様々な実験を行っている。すでに、2001年には第3世代のAUVとして世界で初めて深度3,518mの潜水試験に成功し、2002年には、深度800mを保持しながら約29時間かけて距離132.5kmの自律航行を達成、

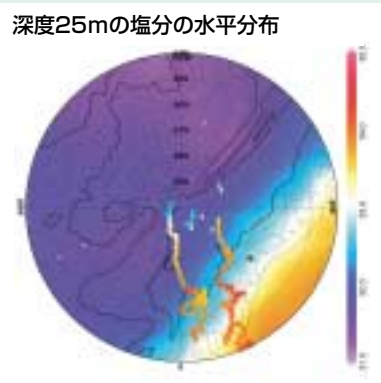
AUVの実用化に向けて大きな一歩を踏み出した。昨年秋からは、航続距離をさらに延ばすために、これまでのリチウム電池に代えて燃料電池の搭載を進めてきた。そして、今年8月12日、駿河湾において、燃料電池を動力源とした「うらしま」の潜航試験が実施され、燃料電池の発電性能をはじめ、各種の性能試験が行われた。「うらしま」は深度300mまで潜航し、AUVとして世界で初めて燃料電池による航走に成功した。今後も継続して海域試験が行われ、来年度には、300kmの長距離自律航行を達成するための航走試験が実施される予定だ。



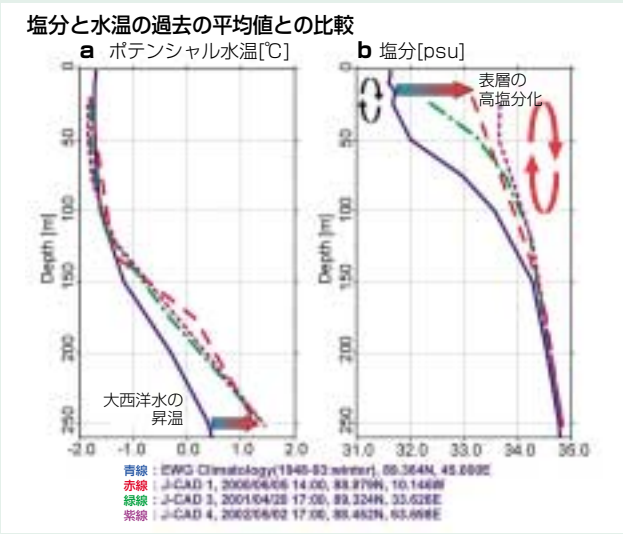
「うらしま」に搭載されているチタン合金製耐圧容器に収まった燃料電池



燃料電池による潜航試験に成功した「うらしま」



2000～2002年のJ-CADによる観測を含むNPEOプロジェクトによって得られた、深度25mの塩分の分布(点および線)。背景は過去の平均値。表層付近の塩分が高く、海水ができにくくなっていることが分かる。



J-CADの観測データと過去の平均値(青線)を比較すると、表層の高塩分化によって対流が深まり、海水生成に不利な状態にあること、また、中層の大西洋水が昇温化していることが分かる。