

大島慶一郎の研究

低温科学研究所 大島 慶一郎

温暖化で変わる オホーツク海 弱まる北太平洋へのポンプの働き

最近北極海では、夏に海水（流水）が大きく減っており、夏には早晚海水はなくなってしまうという予測も出ている。温暖化の影響は同じ海域であるオホーツク海にも深く出ていることが最近の研究でわかってきた。

北半球の海水域の南限

オホーツク海の北海道沿岸には毎冬海水が到来する。実は、このような緯度で本格的な海水が見られるのはここだけである。図1には、地球全体での二月の海水分布の平均値を白で示している。オホーツク海は本格的な海水域としては北半球の南限であることがわかる。

では、なぜオホーツク海が海水域の南限となるのか？図1には、二月の平均気温をカラーの等値線で示し

ている。北半球の寒極（最も寒い地域）がオホーツク海の風上にあることがわかる。秋季から冬季、この寒極からの厳しい寒気がオホーツク海上に季節風として吹き込んでくること、海水域の南限となっている一番の要因なのである。

北太平洋で一番重い水ができる海

海水ができる時には、塩分の一部しか水に残らないので、冷たくて塩分の高い水が掃き出されることになり、海水は冷たいほど、また塩分が高いほど重くなる。オホーツク海では、大量に海水が作られるため、北太平洋で（表面で作られる海水としては）一番重い水が生成されることになる。

海洋の中深層まで及ぶ鉛直循環（対流）は密度差で駆動される。すなわ

ち、重い水が沈み込んでそれが徐々に湧き上がってくるという循環である。北太平洋では深層にまで及ぶような重い水は作られないが、中層（水深二〇〇〜八〇〇m位）にまで及ぶ程度の重い水がオホーツク海で海水生成に伴って作られる。この重い水が沈み込むことで北太平洋でのゆっくりにした中層（鉛直循環）が作られるのである。いわば、オホーツク海は北太平洋の心臓・ポンプの役割を果たしているわけである。このようにして、オホーツク海でできた冷たくて重い水は、オホーツク海の中層から千島海峡を抜け北太平洋の中層全域に拡がっていく。

地球温暖化とオホーツク海

オホーツク海の海水面積は、人工衛星により正確な観測が可能になっ

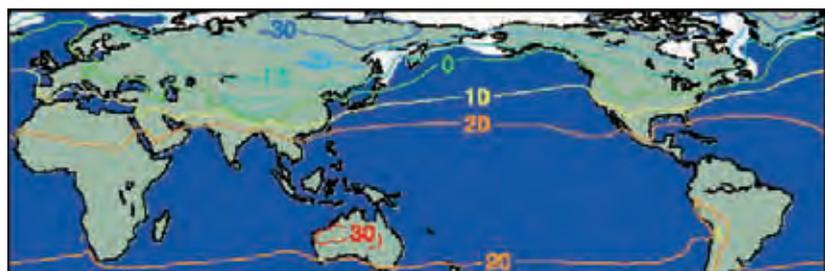


図1：地球全体での2月の平均海水分布(白)と平均気温(等値線)。



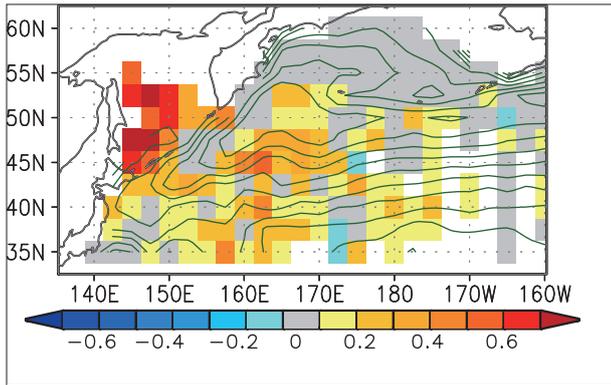


図4：北太平洋及びオホーツク海の中層水温のこの50年の変化。中層のある密度層(水深約300-500mの層)で、この50年間で何度変化したかを示す。

てからの三〇年で、約一五万km²減少しており、この値はオホーツク海全体の面積のおよそ一〇%に相当する(図2の青線)。オホーツク海の海水の拡がりは、その風上(寒極)での地上気温(図2の赤線)とよく対応していることもわかってきた。注目されるのは、この気温が五〇年で約二・〇℃上昇していることである。この二・〇℃という値は、地球全体の平均気温の上昇率(過去一〇〇年で〇・七四℃の上昇)よりずっと大きく、温暖化の影響が強く出る場所であることがわかる。この気温と海水面積の相関から推定すると、海水面積の減少傾向は衛星観測以前から生じていたことが推定される。

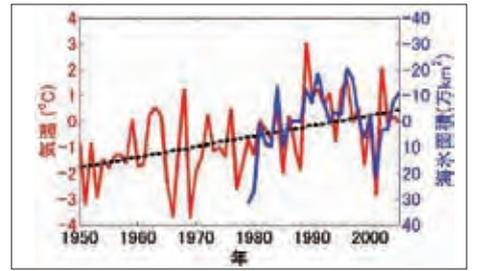


図2：オホーツク海の2月の海水面積(青線)とその風上での地上気温(赤線)の年々変動。偏差(平均からのずれ)で示しており、海水面積(右端の軸)は上ほど小であることに注意。地上気温は10-3月の平均。

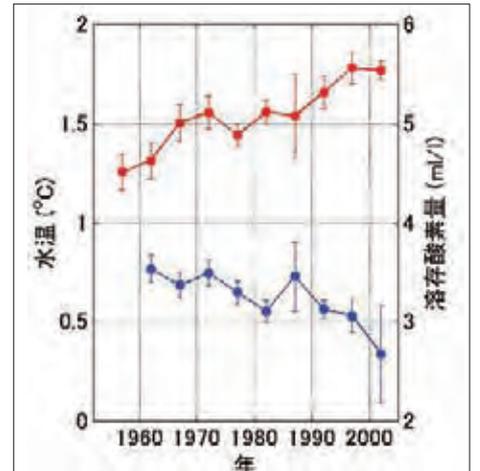


図3：オホーツク海の中層水の水温(赤)と溶存酸素量(青)のこの50年の変化。中層のある密度層水深約500mの層)で比べたもの。

海水減少が北太平洋の中層循環を弱める

海水が減ると重い水の生成量も減るのか？北大が中心となって取得した最新の海のデータに過去のデータを合わせて解析すると、この五〇年でオホーツク海の中層水は、水温が上昇、溶け込んでいる酸素の量が減少、という顕著な変化をしていることがわかってきた(図3)。これは、低温で酸素を多く含んだ表層水の中層へ潜り込む量が減少したことを意味する。すなわち、海水の生成量が減って冷たい重い水の生成量も減ったことを示している。

オホーツク海でできる冷たくて重い水の潜り込みが北太平洋の中層(鉛直)循環を作っているために、オホーツク海の変化は北太平洋の循環にまで影響することも最新の研究でわかってきた。図4は、オホーツク海を含む北太平洋中層でのこの五〇年間における水温の変化を見たものである。昇温傾向はオホーツク海で最も強いが、昇温域はオホーツク海から流出した海水の循環経路(図4の緑線)に沿って北太平洋まで拡がっている。これは、オホーツク海での水の沈み込みの減少が北太平洋の中層(鉛直)循環までも弱めていることを示唆するものである。

さらなるシナリオ

以上まとめると、オホーツク海は温暖化の高感度域であり、この五〇年で海水生成量が減少、それに伴って重い水の沈み込みが減少、それが北太平洋規模での中層循環の弱化を引き起こしている、というシナリオになる。簡単に言うと、近年の温暖化でオホーツク海のポンプの働きが弱まっている、ということである。

海水の循環が弱まると様々な影響が出てくる。特に注目されるのが、最近の研究から、生物生産量を決める重要因子であるとされる鉄の循環である。オホーツク海でできる重い水が中層に潜り込む際に、同時に鉄分も送り込まれることがわかってきており、この鉄分が北太平洋西部域にも供給され、そこで高い生物生産を支えている、という仮説が提案されている。とすると、温暖化でオホーツク海の海水生成が弱まると、北太平洋まで含めて鉄分の供給が弱まり、生物生産量さらには漁獲量まで減少する、というシナリオも可能性としては描ける。北大では、これらの仮説・シナリオの検証のために、物理・化学・生物水産の分野の枠を超えた学際的な研究が始まっている。

(おおしま けいいちろう)

オホーツク海の最大海氷面積の予測モデル

2005/2006年シーズンの冬、オホーツク海の流氷(海氷)面積が観測史上最小に近い値を記録し、温暖化でオホーツク海氷はどんどん減少していくのでは、とも言われている。本当にそうなるのか？ もっと直接的に、今年(2006年)の海氷の広がりはどうなるかは予測できるのであろうか？

我々は2007年よりオホーツク海の海氷予測を試みている。現在我々の行っている予測はオホーツク海全域での海氷面積が最大になる2-3月の面積(最大海氷面積)である。なお、各海域(例えば、北海道オホーツク沿岸域)でも最大海氷面積と同様な変動をするとは限らない。風と東樺太海流による漂流が最重要となる北海道・サハリン沖での海氷の予測は、現在準備中である。

人工衛星の観測により海氷面積がモニターできるようになってから約30年経つ。衛星観測によると、オホーツク海海氷面積は確かにこの30年で約20%減少という結果になり、これはオホーツクの風上域の温暖化によると考えられる⁽¹⁾。しかし、オホーツク海海氷面積はこのようなトレンド(長期の傾向)のほかに、年々の変動が大きく、例えば、2000/2001年は最近の減少傾向とは逆にこの20年で最大の海氷面積を記録している。

最近の研究から、オホーツク海海氷面積は何で決まるかがわかってきた。まず、**初期(12-1月)の海氷面積は、オホーツク海の北西部(海氷が最初に出現する海域)で秋(10-11月)にどれだけ海面が冷やされたかで概ね決まる**⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。これに対して、**最大拡大期(2-3月)の海氷面積は、この影響に加えて、オホーツク海へ流入する太平洋水の初冬(11-12月)の水温が、重要な決定要因である**ことがわかってきた⁽⁵⁾。

12月初旬の時点で、10-11月の北西部の熱条件と11月のオホーツク上流域の太平洋の海水温度はわかるので、その冬の最大海氷面積は2-3ヶ月前に予測できることになる。具体的には、10-11月のオホーツク北西部の熱条件(NCEPによる850hPaの気温)と11月のオホーツク上流域の太平洋の海面水温(HadISSTおよびOISSTデータより取得)の二つを変数として、重回帰式を用いて最大海氷面積の予測モデルを作る⁽⁵⁾。

図1は、過去31年間の予測モデルによる最大(2-3月)海氷面積と実際の観測値を比較したもの。予測モデルは相関係数にすると0.84という高さで現実の観測値をよく説明する。予測を開始してからの2008-2010年の3年間の最大海氷面積の予測も概ね当たっていると見える。2009年に関しては気象庁の発表によると、積算海氷面積*は観測史上最低であったが、最大海氷面積は最低にはなってはいない(*積算海氷面積とは、海氷が出現し始めてなくなるまでの面積を1日ごとにすべて積算した面積)。

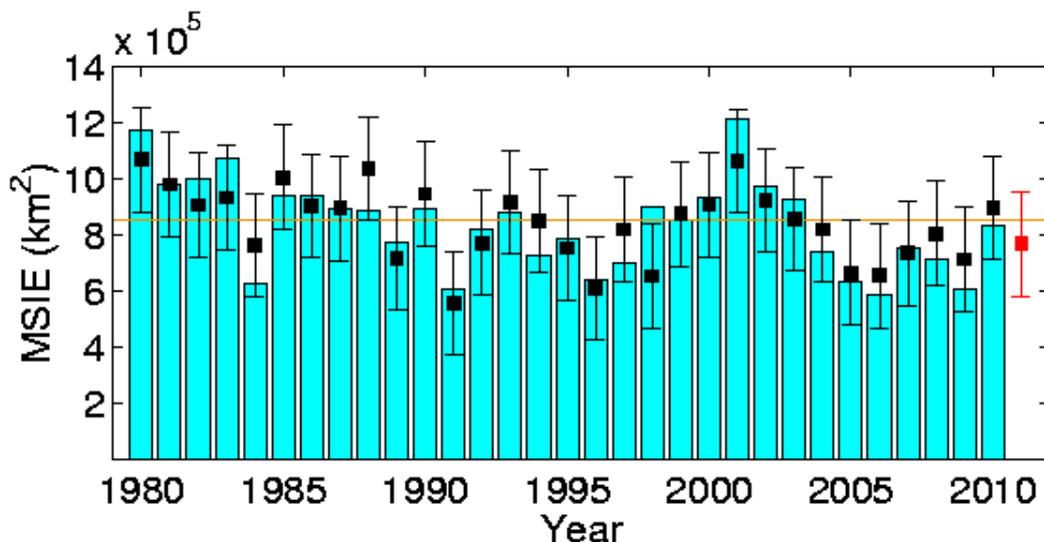


図1: 1979年から2010年までのオホーツク海の最大(2-3月)海氷面積の実測値(青色棒)と重回帰モデルによる予測値(黒色四角)。予測値にプロットされているエラーバーは予測精度の誤差(観測された海氷面積と予測された海氷面積の差の2標準偏差)を示す。黄色の横線は最大海氷面積の気候値(平均値)。図には2011年の予測値を赤四角で示している。

オホーツク海南部域(北緯 48 度以南)の海氷面積の予測モデル

前ページでは、オホーツク海全域での海氷面積が最大になる 2-3 月の面積(最大海氷面積)の予測を行っている。最大(2-3 月)海氷面積は、10-11 月のオホーツク海の風上の気温と、11 月のオホーツク海へ流入する太平洋水の水温で概ね決まっており、それらを用いることで 12 月初旬の時点(2-3 ヶ月前)で予報可能となる。しかし、北海道オホーツク沿岸域における海氷面積が、オホーツク全域での最大海氷面積と同様な変動をすることは限らない。風と東樺太海流による漂流が重要となる北海道・サハリン沖での海氷の予測は簡単ではない。

今までの研究によると、12 月初旬の時点で、オホーツク海南部域の 2-3 月の海氷面積を予測するとすると、10-11 月のオホーツク海の風上の気温を用いるのが最もよいことがわかっている。具体的には、10-11 月のオホーツク海の風上・北西部の熱条件(NCEP による 850hPa の気温)を変数として、回帰式を用いて海氷面積の予測モデルを作る。

図 2 は、この予測モデルを用いたオホーツク海南部域(北緯 48 度以南)での 2-3 月の海氷面積と、実際の観測値を過去 31 年間で比較したものである。予測モデルと観測値の相関係数は 0.58 で、最大海氷面積の場合(図 2 参考)の 0.84 という精度に比べると、高くはない。図には今冬 2011 年の海氷面積の予測も示している(赤四角)。南部域に限った予測でも、今冬の家氷面積はかなり小さいという予測になる。

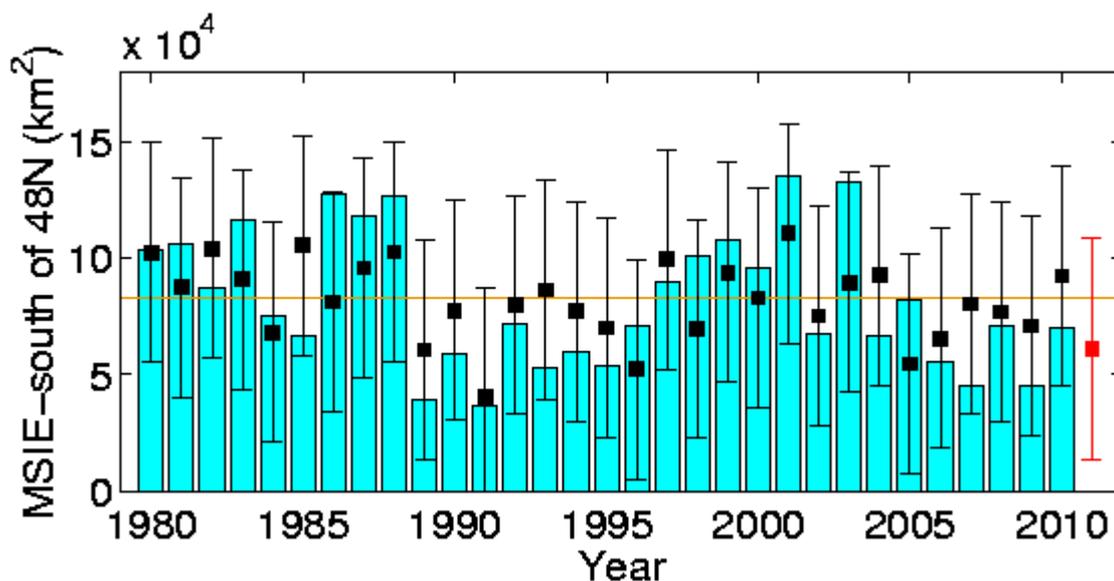


図 2: 1979 年から 2010 年での、オホーツク海南部域(北緯 48 度以内)の 2-3 月の海氷面積の実測値(青色棒)と回帰モデルによる予測値(黒色四角)。予測値にプロットされているエラーバー(縦線)は予測精度の誤差(観測された海氷面積と予測された海氷面積の差の 2 標準偏差)を示す。黄色の横線は海氷面積の気候値(平均値)。2011 年の予測値を赤四角で示している。

(参考文献)

1. Nakanowatari T., K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi, 2007: Geophys. Res. Lett., 34, L04602.
2. Ohshima, K. I., S. C. Riser, and M. Wakatsuchi, 2005: Geophys. Res. Lett., 32, L06607.
3. Ohshima, K. I., S. Nishiyama, E. Hashiya, and T. Watanabe, 2006: J. Meteorol. Soc. Japan, 84, 907-919.
4. Sasaki Y. N., Y. Katagiri, S. Minobe and I. G. Rigor, 2007: J. Oceanogr., 63, 255-265.
5. Nakanowatari, T., K. I. Ohshima, and S. Nagai, 2011: J. Geophys. Res., 115, C12031.