

3. 流水と気象 —オホーツク海が育むもの—

北海道大学低温科学研究所
 附属流水研究施設教授

青 田 昌 秋

(1) 流水と海水の違いは？

「流水」とは、狭義には、その出生地、母体となる水のいかに関わらず「海を流れ漂っている氷」を意味しています。これに対して、岸にへばりついて動いていない氷を「定着氷」と呼びます。氷の運動形態による分類です。「海水」は、海水が凍ってできた氷です。陸で生まれた「冰山」や河川生まれの「河川氷」などは出生地、母体の違いを区別した用語です。冰山は、もちろん、海水ではなく「陸氷」です。冰山も海に漂っている氷ですから、さきの定義によって、出生地分類では「陸氷」であり、運動形態からは「流水」と呼ばれるのです。一方、広義に使われる「流水」があります。これは、海に浮いている氷は、漂っていても、定着していても、海で生まれた氷であろうと、湖や河川から流れ出てきた氷であろうと、すべて流水と呼ぶ一般用語の流水です。私見です。学問が体系化されるときには、当然のことですが、用語の定義が重要になります。ことばは文化です。後から定義された専門用語が、その母体となった用語、つまり、一般用語をまちがいであるとして安易に死語化させるべきではないと思います。流動している「氷」は、「漂流氷」とでも名付けるべきだと思います。ここでは、必要でない限り広義の流水という言葉を使います。

(2) 流水南限の海

北緯45度：北海道の北部を北緯45度線が横切っています。だから、北海道沿岸で見られる大半の流水は、極点よりも赤道に近い氷ということになります。世界的にもオホーツク海は、流水のできる海では最も赤道に近い、流水南限の海です。例年、12月初めには、オホーツク海の北部、シベリア大陸沿岸は既に凍っています。水域はどんどんオホーツク海の南に向かって広がっていきます。1月中旬になりますと、紋別付近の海水も凍り始めます。ほとんどの人が、北海道沿岸で見られる流水はすべてオホーツク海の遙かかなたから流れ着いたものと思っていますが、地場産の道産子流水もあるのです。オホーツク海の氷域が最も広がる

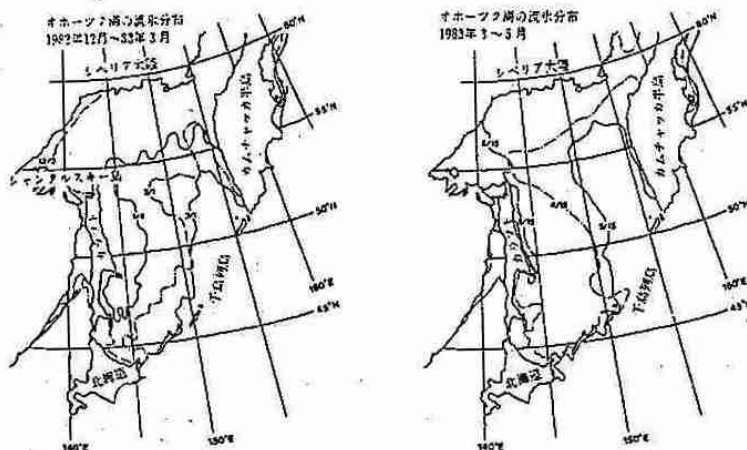


図1. (a)オホーツク海の流水分布 (拡張) (b)オホーツク海の流水分布 (後退)

のは、3月中、下旬で、オホーツク海の面積の約80%、北海道の面積の10数倍に相当する面積が氷野になります。春になると流氷は南側からだんだん融け始め、流氷の限界は北へ北へと後退していきます。オホーツク海の流氷は6月いっぱいですべて融けてしまいます。つまり、オホーツク海の流氷はすべて一年氷で、夏を越すことはありません(第1図(a)、(b))。

(3) オホーツク海のなぞ

さて、同じ緯度でありながら、オホーツク海だけが凍り、日本海や太平洋側には流氷は生まれません。なぜでしょう？

池と海の凍り方：真水が最大密度になる温度は4℃、結氷温度は0℃です。だから池は、4℃以下では対流を起こすことなく表面から冷えていき0℃で凍り始めます。ところが、海水は塩分を含むためにマイナス1.8℃まで冷えなければ凍りません。また、海水は塩分が濃いほど、冷たいほど高密度になります。シベリア降しの寒風が吹き続けると、海水は冷えて重くなります。海は対流を起こしながら、除々に深くまで冷えていき、全層がマイナス1.8℃になってようやく凍り始めるのです。だから、海を凍らせるには、池よりはるかに大量の熱を奪わなければなりません。海は深ければ深いほど凍りにくいことになります。一冬の間、オホーツク海からどれほどの熱量が奪われるのでしょうか。冷却の法則を適用して、気温と風速からこれを計算してみました。困ったことに、一冬で、平均800m以上もあるオホーツク海を凍らせることはできないという結果になります。凍り始める前に春が来てしまうのです。これでは、例年、オホーツク海の80%が氷野になるという事実と矛盾します。これぞオホーツク海のナゾです。

海洋観測が続けられました。観測の結果、オホーツク海の表面約50~60mの塩分は非常にうすくそれ以深は濃い二重構造の海であることが分かりました。冬、オホーツク海は対流を起こしながら、次第に深くまで冷えていきます。ところが、対流は60mで停止します。なぜなら60m層の下には塩分の濃い、重い水があるからです。オホーツク海は、流氷が生まれるという点からは、たかだか、60mの浅い海といえます(第2、3図)。

アムール川は流氷の産みの親：これには何か特別な理由があるのでしょうか。シベリア大陸の大河・アムール川から流れ込む大量の雨水や雪解け水はオホーツク海の表面を覆います。このために塩分の二重構造がつくられるのです。アムール川はオホーツク海の流氷の生みの親です(第2図)。

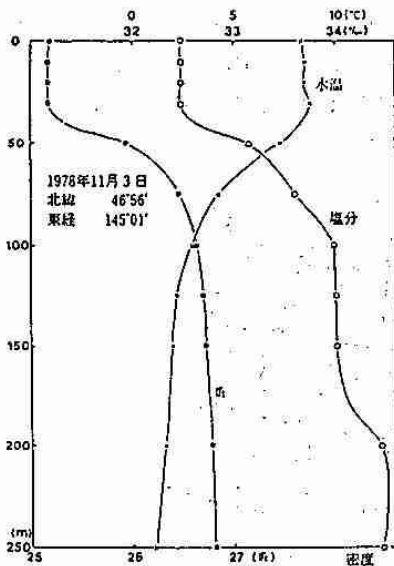


図2. オホーツク海の結氷前の水温、塩分および密度の鉛直分布

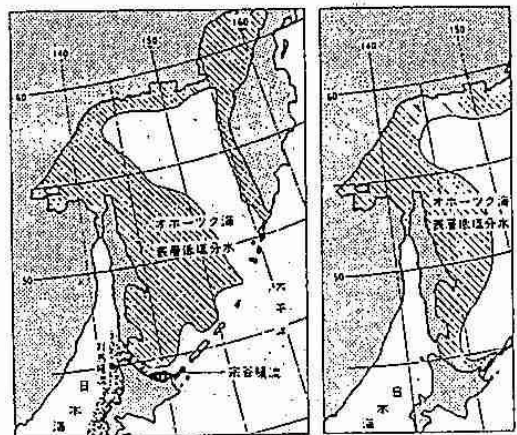


図3. オホーツク海の低塩分水の広がり
左図は夏、右図は秋の表層低塩分水の広がりを示す。(渡辺(1967)による)

(4) 流氷はアムール川から冬の使者？

よく新聞やテレビで「今年もアムール川から冬の使者、流氷がやってきました」と報道されます。人びとは、流氷は、どこからかやってくるものだと思い込んでいるようです。1994年の冬、衛星ブイを使ってオホーツク海の流氷の動きを調べました。この観測の目的は、北海道沿岸の流氷は、本当にアムール川から来るのか、という素朴な疑問をはっきりさせるためでした。11月初めにアムール川河口は凍り始めました。ここに投入したブイは、間宮海峡を北へ向かい、サハリン北部東岸沖まで北上した後、動かなくなり、やがて電波の発信を止めました。そこは1m以上の厚い氷が重なり合った氷野になっていました。アムール川の水が、オホーツク海を凍りやすくしていることは事実ですが、アムール川で生まれた氷が、そのまま北海道までやってくることはないようです。だけど、やはり流氷はアムール川からの冬の使者であって欲しいという声が絶えません。敢えて北の海のロマンを壊す気もありません。そっとしておきましょう（第4図）。

Buoy trajectories around Sakhalin Island and
in the south-western part of the Okhotsk Sea

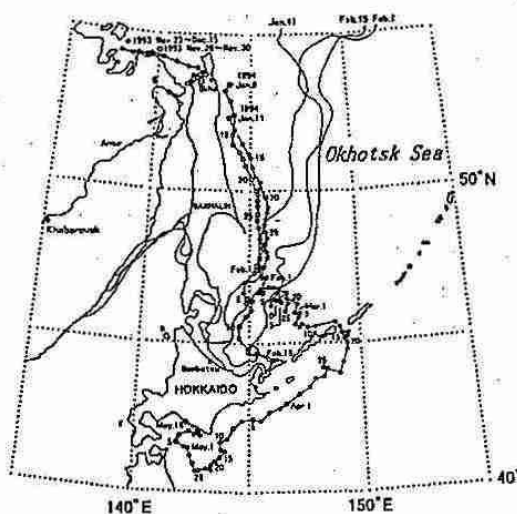


図4. アルゴス・ブイによる漂流図

(5) 北海道で眺められる流氷は舶来品か地場産か？

しかし、北海道沿岸の流氷はどこから来るのかという問題はまだまだ残っています。気象衛星による流氷分布図を連続的に見ますと、12月上旬、オホーツク海北部・サハリン東岸に姿を現した氷域は、次第に南に広がっていきます。正月頃、氷域の先端はカラフトの南端に達し、北海道に接近する様子を示します。氷域の広がり方を見る限り、たしかに、北方の流氷が南へ向かって移動してくるよう見えます。ところが、1月下旬には、すでに北海道沿岸の海水も結氷温度（マイナス1.8℃）まで冷えていて、流氷誕生の条件を備えています。果たして、北海道沿岸の流氷は、国産品なのですか、それとも舶来品でしょうか。アムール川河口の漂流調査後の1994年1月上旬、今度はサハリン北部・オホーツク海側の2カ所の氷野にブイを載せて追跡しました。流氷は北風に乗って、毎秒30数cm、すなわち、風速の2～3%の速さで南へ漂流しました。

1月下旬、2台ともカラフト南端の東側を通過、その後、一台は氷野を脱出して東に向かいましたが、もう1台は、さらに南下を続け北海道に接近しました。これによって、これまで謎であった東樺太海流が真冬にも流れていることが判明しました。2月1日、氷板に乗ったまま漂流中のブイが、砕氷巡視船“そうや”によって奇跡的に発見されたのです。ブイを乗せた氷板の周りは、薄い新生氷で囲まれていました。ブイは、さらに南下して知床半島の北を通り、2月中旬、ついにクナシリ島に漂着しました。

サハリン北部東岸で生まれ、海岸沿いに南下したロシア生まれの舶来氷と北海道沖生まれの国産氷は一緒

になって、北海道沖の美しい氷野をつくりだしていることが明らかになりました。流氷は日露を結ぶ友好の懸け橋です。とはいいながら、この事実は、もしもサハリン北部で石油漏えい事故が起こると、我が北海道沿岸も汚染海域になる恐れがあることを示しています。十分な対策が必要です。

(6) 地球温暖化とオホーツク海の流氷

北海道・オホーツク海沿岸の流氷観測についてお話をします。北大流氷レーダーによる32年間の日々、年々の流氷量の変遷をみると、近年流氷の勢力(?)が減少傾向にあります(Internet <http://www.hokudai.ac.jp/lowtemp/sirl/allhenka.html> をご覧ください)。

わずか30数年のデータでは長期的傾向を見出すことはできません。網走地方気象台の皆様にご多大なご苦労をお掛けして貴重なデータを掘り起こすことができました。

網走測候所(現網走地方気象台)は1892年から、つまり、110年前から目視による流氷観測を続けています。これは世界最長の貴重な流氷の連続観測記録です。この資料に基づいて、平均気温と流氷の勢力の関係を調べることにしました。まず、新しく「流氷の勢力」を定義しましょう。

広い面積が流氷で覆われ、その期間が長いほど、流氷勢力が大となるように定量化を考えました。すなわち、日々の流氷量の総和をもって、その年の流氷勢力としました。長期間、かつ、広域に流氷が存在するほど、海と大気との熱交換、水塊構造、海洋生物環境への影響は大と考え、この定量化は妥当と思われる。

第5図に、網走における110年間の気温(年平均および冬期間)と流氷勢力の変動を、第6図に流氷勢力と冬期間(1~3月)の平均気温との関係を示します。第6図から気温上昇に伴って流氷勢力の減少傾向が視えます。敢えていうと、将来、平均気温が過去110年間のそれよりも4~5℃上昇すると、統計的には流氷勢力がゼロ!に、つまり、流氷が発生しないことを暗示しています。

気温および流氷勢力の年毎の変動は激し過ぎて長期的傾向が分かりません。そこで第5図の気温と流氷勢力変動に30年間の移動平均を施して長期的傾向を見ました(第7図)。この100年余の間に気温は約0.4℃も高くなり、流氷勢力は40%も減少していることが浮かび上がります。

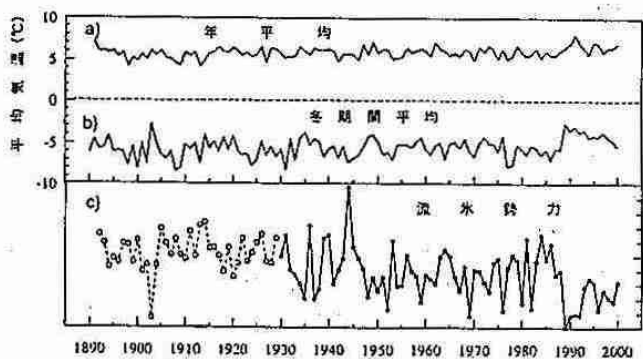


図5. 網走における109年間のa) 年平均気温、b) 冬(1~3月)の平均気温および流氷勢力の年々変動

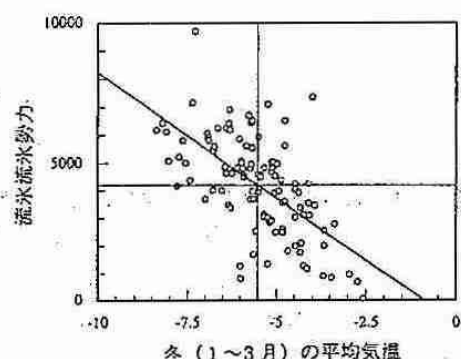


図6. 網走における冬の平均気温と流氷勢力の関係

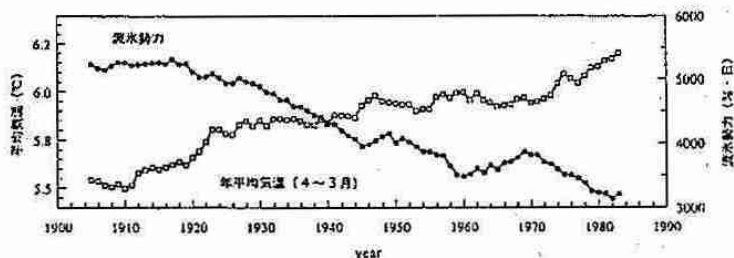


図7. 年平均気温と流氷勢力の長期変動(第5図の両変動に30年移動平均を施してある)

少し物理的考察を行いました。海水温の降下は、秋以降の気温と風速の関数として表すことができます。つまり、冷却の法則を適用して気温、風速データから岸結氷開始日（水温が -1.8°C になる日）を推定できることを確かめました。この方法で、過去110年間の平均的気温変動（第8図）を基準にして、 1°C 、 2°C 、 3°C ……と気温を上げていき、結氷初日の変化を追いました（第9図）。これからも、気温が 4°C 上昇したら、この沿岸は非結氷域になってしまうと推定されます。

1995年、気象研究所は、炭酸ガスなどの温室効果ガスの増加化によって、50年後オホーツク海の気温は 4°C 以上上がりそうだと発表、その後、その値はさらに上方修正されています。この報告と私の単純な思考結果を重ね合わせると、将来オホーツク海から流氷が消える恐れ、無きにしもあらずとなるのです。No more warming! It is warning from nature.

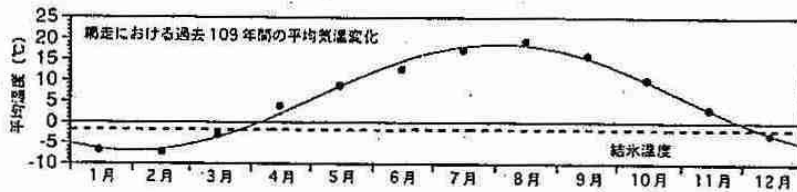


図8. 網走における109年間の平均的気温変動

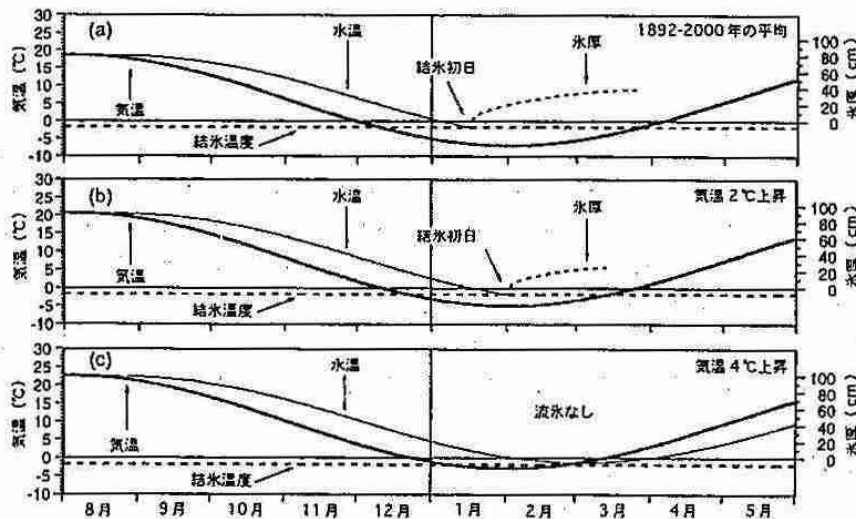


図9. (a) 網走における109年間の平均的気温変動に対する水温、結氷初日、氷厚の変化（推定）
 (b) 平均気温が 2°C 上がったときの水温、結氷初日、氷厚の変化（推定）
 (c) 平均気温が 4°C 上がったときの水温、結氷初日、氷厚の変化（推定）

(7) 地球の環境と流氷

きわどい熱的バランス：太陽を取り巻く惑星の中で、生命が存在するのは、地球だけです。水星、金星は太陽に近過ぎて灼熱地獄です。一方、火星、木星……は太陽から離れすぎ酷寒の氷の世界で、ここにも生命は存在していません。地球は太陽からの距離が適当であることと、周りを循環する水と空気によって覆われているために、かろうじて生物が生存できる条件を維持しているのです。

大気の大循環：赤道付近の空気は強く熱せられて成層圏付近まで上昇、そこから南北両極へ移動し、そこで降下して極地の寒気を緩和します。一方、極地から赤道へ向かう冷たい大気が熱帯の暑さを和らげています。大気を循環させている駆動力は、赤道と極地の温度差です。極地の寒さが大気循環を支配していると言えます。

極地はなぜ寒い：ところで、極地はなぜ寒いのでしょうか。当たり前のように、なぜかと問われると

よく分からなくなります。

空気の長いトンネル：極地には、太陽光線が斜めに入射します。極地の大地が受ける太陽のエネルギーは、もともと低緯度地域より少ないのです。また、太陽光線が斜めに入射するため、光は低緯度よりも長い大気層（空気のトンネル）を通らなければなりません。空気中にはたくさん水蒸気や塵が浮いています。太陽エネルギーは、水蒸気や塵に吸収されたり散乱されます。地表に達する太陽のエネルギーは、はるかに少なくなってしまうので、だから極地はもともと非常に寒いのです。これが第1の原因です。

光の反射板：極域の海は流氷で覆われます。流氷はその大きな反射能（アルベド）によって、到達した太陽熱の80%以上を宇宙空間に反射してしまいます。だから、氷野を覆う空気も暖まりません。流氷は太陽光線の反射板だということができます。これが第2の原因です。

流氷は海のフタ：流氷は効率のよい断熱材です。流氷の下の海水の温度は気温よりはるかに高温です。しかし、流氷が海を覆うと海にフタをしたことになり気温は上がりません。流氷は海のフタの役をして寒冷化を維持します。これが第3の原因です。しかし、これだけでは、まだ極地の寒さを説明できません。

潜熱効果：極地といえども、夏には太陽高度も高くなり、比較的多くの太陽熱を受けます。しかし、太陽エネルギーのほとんどは流氷を溶かすためにだけ消耗（潜熱）され、極地の海は暖まりません。したがって、冷たい海水に接している気温も上がりません。流氷の潜熱効果—これが第4の原因です。

このように、流氷は極地を寒冷に保ち、大気循環の駆動力を生み出し、地球環境に大きな影響を与えています。

(8) 海洋の大循環

極地の海は凍ります。氷が成長するときには、ブライン（海水から排出される塩水）が海中深く沈んでいきます。これは重いので、沈んで深海に溜っていきます。それを深層水といいます。深層水は深層流となって赤道に向かってゆっくり移動していきます。南極と北極の周りから沈み込んだ深層水は、2000年もの旅の後、インド洋や太平洋で表面に浮上します。そして再び極地に向かって2000年の旅をします。つまり、4000年かかって海洋の大循環が行われているわけです。深層流と入れ替わりに、表面の温かい水が、赤道から極に向かって移動し、海水の地球規模の循環が発生します。海流はゆるやかですが、大量の熱量を運ぶことができます。地球規模の海水の流れは世界の気候に大きな影響を与えています。

(9) 流氷と水産資源

流氷の底を見ますと、茶褐色をしていることがあります。これは植物性プランクトンの一種の珪藻類です。流氷の下は、藻類にとっては心地のよい住みかです。春になりますと、植物性プランクトンは大増殖します。それをオキアミなどの動物性プランクトンが食べます。さらに小魚や貝やカニもプランクトンを餌に繁殖します。そこに回遊魚もやってきます。この植物プランクトンの繁殖によって、流氷の海は豊かな漁場となるのです。ベーリング海、親潮、三陸沖など世界の好漁場が流氷の海に接しているのもこのためです。流氷は、大気の大循環を支配し、地球規模の海洋の大循環をつくりだし、地球の気候に大きな影響を与えています。また、海の生物の基礎的となる植物プランクトンの繁殖をもたらし、われわれ人類の水産資源とも深く関わっています。流氷—それは海からの素晴らしい贈り物です。