



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	パドルの形成から消滅まで
Author(s)	遠藤, 八十一; ENDO, Yasoichi
Citation	低温科学. 物理篇, 28, 203-213
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18152
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p203-213.pdf



パドルの形成から消滅まで*

遠藤 八十一
(低温科学研究所)
(昭和45年8月受理)

I. はじめに

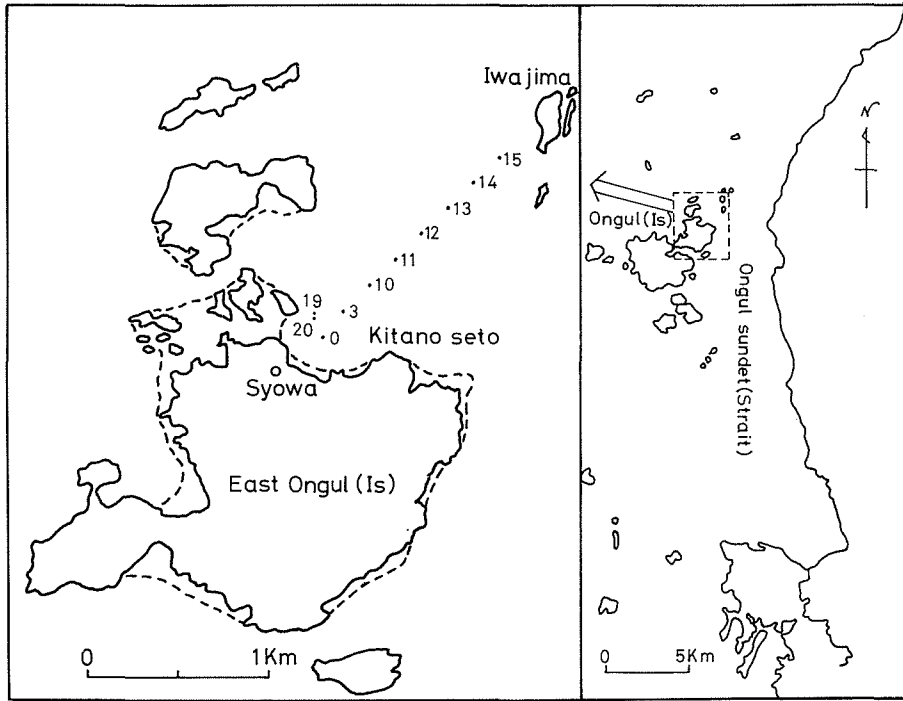
南極昭和基地周辺の海氷上には、毎夏パドルが形成される。パドルとは、氷の上に来る水溜りのことである^{1),2)}。高橋は、第一次南極観測隊の報告をもとに、パドルが、積雪や氷の内部融解によって形成されることを指摘した³⁾。しかし、高橋の論文には、形成期以後のパドルの詳しい観察が記載されていない。そこで、筆者は、昭和基地周辺の海氷上に出来るパドルについて、その形成から消滅までの過程を観察した。

II. 観測場所

筆者は、1968年2月から1969年1月まで昭和基地で越冬し、パドルを観察した。パドルの観察は、主に昭和基地と岩島とにはさまれた北の瀬戸の氷の上で行なった(第1図)。第1図の0, 3, 10, ……20の点は、観測点の位置である。北の瀬戸の氷野には、厚さ50cmほどの雪が積もっていたが、岩島から南西にかけて、雪が風で吹き飛ばされ、氷が表面に現われている所が帯のようにのびていた。特に観測点10, 11, 12, 14, 15では、一年中雪が積もらなかった。パドルは、このような裸氷帯に最もよく発生した。裸氷帯は、大部分、表面が滑らかな透明な青氷の板から成り立っていたが、所々に高さ20~30cmの丘状の白く不透明な氷の盛りあがりがあった。第2図は、1月の末、パドルが一番発達したときの北の瀬戸の有様である。遠方の黒い山が岩島である。

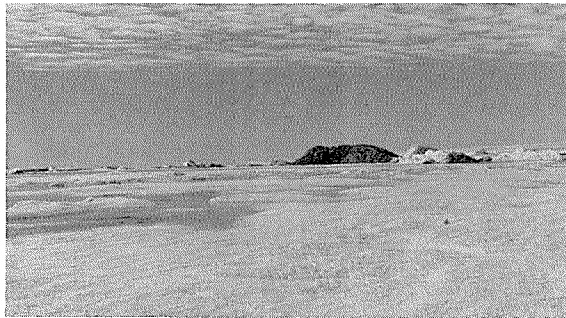
図版Iの2は、冬の間裸氷帯の透明な氷から鉛直に切り出した氷の板の透過光写真である。透明な氷といっても、透明なのは表面から20cm程までで、その下は不透明な氷であった。図版Iの3のa, bは、透明部分と不透明部分とからとった氷の薄片を直交ポラロイドにはさんでとった写真である。この写真に示された組織から、透明部分の氷が真水か極めて塩分の少ない海水が凍って出来た氷であること、また、不透明部分の氷が典型的な海水であることがわかる。なお、表面から40~50cm下の不透明な氷の中には、藻類等による黄又は茶色の着色層が認められた。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1078号



第1図 昭和基地周辺の地図

北の瀬戸の氷の上につけた0, 3, 10, … 20の数字は各観測点の位置を示す

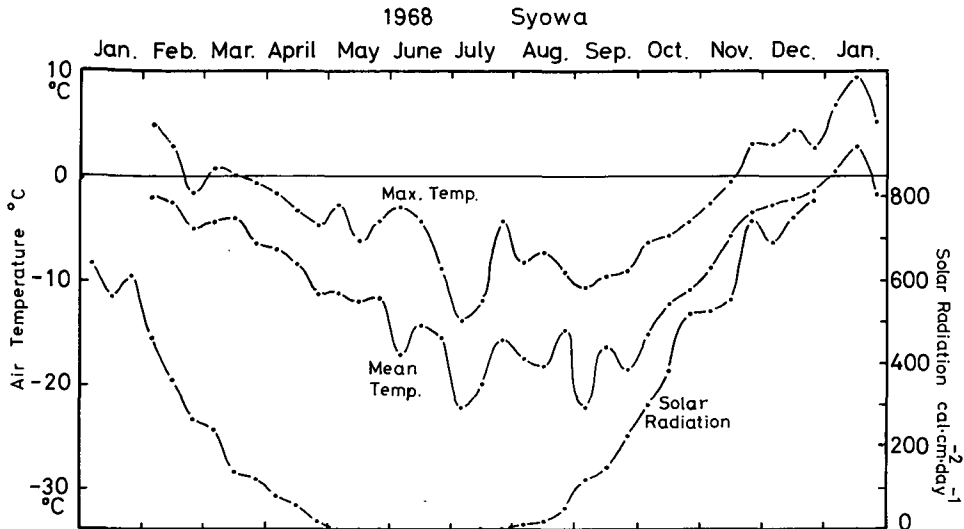


第2図 北の瀬戸の氷の上に来たパドル。パドルがいちばん発達した1月末の写真。左側の黒く凹んでみえる部分がパドル。パドルの中に、島のような形にとりのこされた白い氷の盛り上がりが見える。遠方の黒い山が岩島である

III. パドルの形成

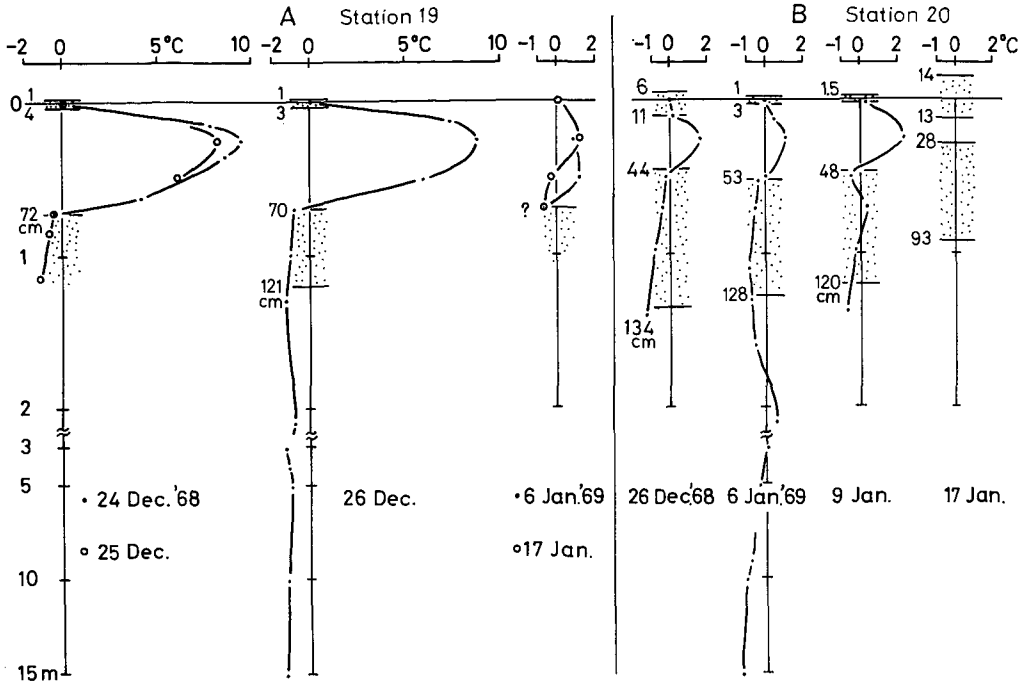
北の瀬戸のパドルの観察は、11月始めから行なった。第3図に、昭和基地の1968年、1年間の旬平均気温と旬最高気温を示した⁴⁾。最高気温は11月21日にはじめて 0°C を越え、12月に入ると盛んに 0°C 以上の値を示した。しかし、12月末までは、北の瀬戸で水溜りを見ることが一度もなかった。水面を見たのは、日平均気温が 0°C 以上になる日が多い1月に入ってからであっ

たが、水面が見つかったときには、既に水溜り（パドル）の深さは70 cmにも達していた。実は、これより先、12月22日に筆者は、氷の内部に厚さ数十 cm の水の層が出来ているのを見つけた。1月に入って初めて氷の表面に水面が現われたのは、この氷の内部に出来た水溜りが、その上の氷を融かした結果である。パドルが見つかったあたりに、積雪や氷山の融け水が流れ出してくる恐れは全くなかったから、このパドルは、高橋が指摘したように、氷の内部融解によるものと考えなければならない。



次に11月から12月までの北の瀬戸の氷の変化を述べて見よう。11月28日にみたら、青く透明であった氷の表面が、所々白っぽくなっていた。図版 I-1 が、白くなった所の写真である。右上隅と左下隅の殊に白い所は、裸氷帯のなかにある不透明な氷の盛りあがり、左上隅のうす黒い部分は透明な氷である。白くなった所の表面には多くの割れ目が走り、目を近づけると、氷の内部にある結晶粒界が融けて白く見えた。耳を氷の表面にあてるとブスブスという気泡のはぜるような音がした。この日の最高気温は -1.5°C であったから、気温による氷の融解はおこらない。結晶粒界が日射を選択的に吸収して融け、結晶粒界を流れる融け水の中の気泡が大気と接するとき破裂して音を出したのであろう。その後、氷の表面は日がたつと共にますます白く、ガサガサになっていった。

12月22日、北の瀬戸のいろいろな所で穴を掘った。雪におおわれていない裸氷帯では、内部に厚さ数十 cm の水の層が形成されていた。しかし、裸氷帯のなかでも不透明な氷の盛りあがり部分や、裸氷帯の外の積雪でおおわれた部分では、水溜りはなく雪が湿っているだけであった。第4図の A と B とに、それぞれ観測点19と20のパドルの断面図を示した。縦軸は、パドルの水面から測った水深、横軸は温度で、点を打った部分が氷を表わす。表面の氷と水中にある氷とはさまれた部分が、氷の内部融解によって出来た水溜り（パドル）である。この水は飲んで味をみた限りでは真水であった。A 図と B 図の12月26日のパドルをみると、A 図の観測点19では深さ3 cm から70 cm にわたって63 cm の厚さの水溜りがあるのに対し、B 図の観測点20では、その約半分の厚さの水溜りが深さ11~44 cm の位置にあるにすぎない。表面の氷は透明で、厚さは観測点19では4 cm、観測点20では17 cm であった。ただ、観測点20の表面の氷は上部の1~2 cm が曇っていた。この曇った氷が日射の侵入をさまたげたため、観測点20では内部融解がおくれ、観測点19と比べて、水溜りは薄く表面の氷は厚くなったのであろう。パドルの底の水中の氷は、どちらの観測点でも不透明で、厚さは観測点19で51 cm、



第4図 前半期のパドルの断面と水温分布

縦軸は、パドルの水面から測った深さ、横軸は温度を示す。点を打った部分が氷。表面の氷と水中の氷にはさまれた部分がパドル。水中の氷の下は海水である

Aは観測点19、**B**は観測点20にできたパドルである。観測点19(**A**)の表面の氷は全層透明であったが、観測点20(**B**)の表面の氷は、その上部1~2cmが白く不透明であった。観測点20においてはパドルの表面の氷は、1月15日頃なくなった。**B**図の右端の図(1月17日)は、観測点20のすぐ近く、まだ表面の氷が融けきっていない所の断面図である

20で90cmであった。図版I-4は、1月16日に観測点20から鉛直に切り出したパドルの上と下の氷を透過光でとった写真である。**a**がパドルの表面の氷、**b**が水中の氷の一部である。表面の氷**a**が黒っぽく見えるのは、透明な氷が日射によって結晶粒界で融かされたためである。パドルの上と下との氷の薄片を直交ポラロイドにはさむと、それぞれ図版I-3の**a**及び**b**と同じ組織を示した。それゆえ、パドルの表面の氷は真水に近い氷が凍った氷であり、水中の氷は海水であることがわかる。

IV. パドルの発達及び消滅過程

パドルは12月に出現し、翌年4月に消滅する。この期間を通じての観測はできなかったが、1968年の2月から4月にわたる後半期と、1968年12月から1969年1月までの前半期に、パドルの消長及び垂直温度分布の変化を観測することができた。このふたつの観測を継ぎあわせれば、全期間にわたっての観測と同等なものになるであろう。もっとも、後半期と前半期とでは観測点をかえた。後半期の観測は第1図の観測点0で、前半期の観測は観測点19, 20で行なった。1968年の12月には、観測点0に雪が積もって、そこにパドルが発生しなかったからである。第4図が前半期の観測結果である。さきに述べたように、第4図**A**は観測点19での観

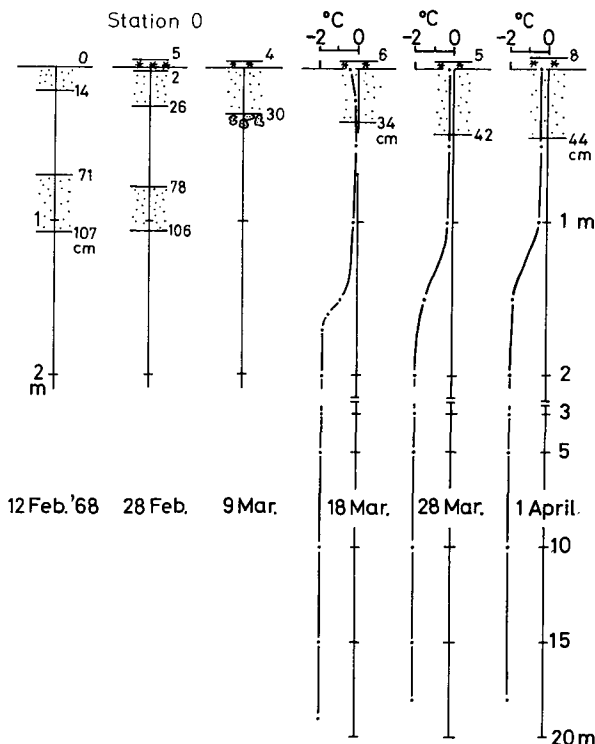
測結果で、この点ではパドルの上の表面氷は全部透明であった。第4図Bは観測点20での観測結果で、この点の表面の氷は、最上層1~2cmが不透明であった。どちらの図でも、日が経つにつれ、パドルの表面の氷は少しずつ薄くなってゆくが、パドルの深さ、すなわち水中にある氷の上面の位置は、ほとんど変化しない。すなわち、パドルの底では氷はほとんど融解せず、パドルの水が厚くなるのはもっぱらパドルの表面の氷の融解による。もしも、パドルの下の氷がその上面で融けるとしたら、パドルの水は逃げ場がないから、パドルの底、すなわちパドルの下の氷の上面は低下するはずである。しかし、パドルの下の氷も、その下面、すなわち海水との境では、かなり急速に融解することが図に表われている。実際、海水がその底でも融解することは、オングル海峡の海水でも観測することが出来た。表面の氷が全く融けて、パドルの水面が現われたのは、観測点19で1月6日、観測点20で1月15日頃であった。

第4図Bのいちばん右にある1月17日のパドルの断面図は、観測点20のすぐ近く、水面が現われていない所のものである。パドルの底は、凹凸が激しく、穴ぼこだらけの蜂の巣状の氷であった。パドルの底の凹所には白い藻のようなものが溜まっていた。パドルの底の氷は完全に融けることなく夏を過ごすことが多い。

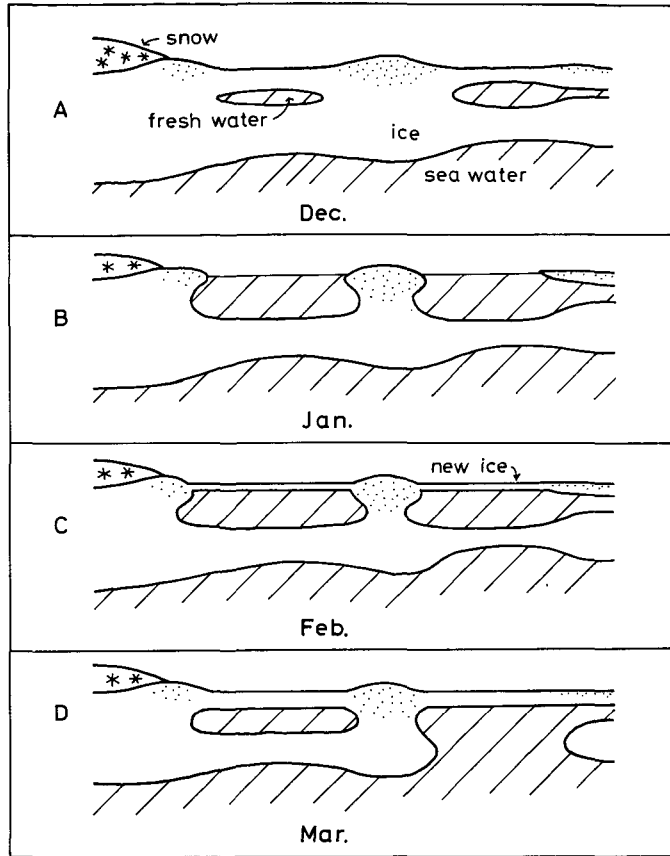
第5図がパドル期間の後半の観測結果である。この図に示されているように、秋がくるとパドルの表面に新しい氷がはる。パドルの水は、ほとんど真水に近いから、新しい氷は透明

で気泡の少ない氷であった。この新生氷は、次第にその厚さを増していったが、パドルの下の氷は、逆に薄くなってゆき、3月9日には消滅した。同時に、パドル表面の新生氷の下面に、大きさ3~7cm程のこわれた蜂の巣氷が浮き上がっていた。これはパドルの下の氷の残骸である。こうして、パドルの底は抜け、パドルは完全に消滅した。第6図は、第4図と第5図とをもとにして、パドルの形成から消滅までの過程を模式的に示したものである。

しかし、どのパドルも底が抜けるわけではない。それで、第6図にも底の抜けるものと抜けないものとを、示してある。実際、観測点0では3月9日にパドルの底の氷が消滅したが、他のパドルではこの時期に底の氷のなくなることは稀であった。3月23日に北の瀬戸でパドルの



第5図 観測点0で観測した後半期のパドルの断面と水温分布。縦軸が水深、横軸が温度を示し、点を打った部分が氷、星印が積雪を表わす



第6図 パドルの形成から消滅まで

A, Bは第4図を, C, Dは第5図をもとにして, パドルの形成から消滅までの経過を模式的に示した

水が凍って出来た新生氷に穴をあけたところ, ほとんどの場合, まだ凍ってないパドルの水をへだてて, 水の下に蜂の巣状の氷がみいだされた。このパドルの下の水中の氷には, 厚さ 90 cm にも達するものがあった。このような所では, パドルの下の氷は全期間を通じ消滅することがないのであろう。

V. パドルの水温

第4図, 第5図の黒点または白円は温度の測定値である。曲線は, 黒点, 白円を継いだ, 温度の垂直分布曲線である。パドルの生成過程では, 第4図Aに示されているように, パドルの水温は $+10^{\circ}\text{C}$ に近い高温に達し, パドルの表面の氷が融けきるまで続いた。表面の水がなくなると, 水温は急に $+1\sim 2^{\circ}\text{C}$ にさがり, その後はほとんど上がらなかった。このことは, パドルの表面の氷が, パドルの水温保持に大きな役割りをしていたことを示している。表面の氷の最上層 2 cm 程が白くなっていた観測点 20 のパドルの水温は, 観測点 19 でのようには高温にならず, せいぜい $+2\sim 3^{\circ}\text{C}$ にとどまった。昭和基地の北北西 80 km の海面にはった白く

不透明な海氷に出来たパドルの水温は、 0°C か 0°C 近くの負の値を示した。このように、パドルの水温は、その表面氷が透明であるか、不透明であるかによって大きく異なる。不透明な表面の氷は、太陽輻射の大部分を反射、吸収するため、その下の水はあまり暖まらない。しかし、透明な表面氷は太陽輻射をあまり吸収せず、太陽輻射の大部分がその下の水に吸収されるために、水温が非常に高くなるものと一応考えられるが、これについては、更に考察を深める必要がある。

VI. 氷の構造とパドルの発生

観測点0での観測結果を示した第5図によると、3月18日から4月1日まで、氷の下には、厚さ1m程の 0°C に近い水の層がある。しかも、この期間、表面の氷は下方に成長を続けているから、この厚さ1m程の水の層は凝固点が 0°C に近い塩分が極めて稀薄な水であるにちがいない。事実、星合は北の瀬戸の海氷直下に極めて塩分の少ない水の層が夏に形成されることを観測し、それが秋まで存続することを報告している⁵⁾。観測点0の低塩分の水が凍った氷は、4月1日には44cmの厚さになったが、全層透明であった。しかし、それ以後は、この厚さ44cmの透明な真水の氷の下に不透明な氷が成長した。これは、真水の氷の生長に伴って低塩分の水の層の塩分が増加し、その塩分の増加した氷が凍ったためである。図版I-2の氷の上部の透明部分と下の不透明部分は、このようにして出来たのである。上部の透明氷の厚さは場所によって異なった。北の瀬戸の湾の内側にある観測点0では、その厚さは44cmであったが、湾の外側にあたる観測点12, 15では、その半分の22cmであった。

夏の間いろいろな場所でパドルを調べたところ、表面の氷は全層透明な真水の氷であったが、パドルの水中の氷は全層不透明な海氷であった。このことから、氷の内部融解はまず最初、氷の透明部分と不透明部分との境界面近くで始まるものと推定されるが、日射を強く吸収するのは不透明部分である。それゆえ、境界面の近くとはいっても、内部融置の開始点は境界面より少し下の不透明部分のなかにあるだろう。この点をもう少し詳しく調べてみよう。

第1表のいちばん右の行には、パドルの消滅する冬季の氷の状態が書いてある。表の中央部の数字は、パドル成長期における表面の氷層、パドルの水層、パドルの下の水中の氷層それ

第1表 パドル及びその氷の位置

観測場所	観測日 (月日)	パドル及び氷の位置 (cm)			冬季の氷の状態	
		表面の氷	水溜り	水中の氷		
北の瀬戸	No. 15	12. 22	0~13	13~41	41~	透明部分の厚さ 22 cm " 44 cm*
	裸氷帯 No. 19	12. 26	0~ 4	4~71	71~122	
	No. 20	12. 25	0~17	17~50	50~140	
	氷山 No. 10	12. 25	0~10	10~23	23~	
昭和基地北北西 80 km の海上	12. 30		0~ 7	7~24	24~ 59	一 冬氷 平坦氷
			0~11	11~17	17~ 79	
			0~10	10~19	19~ 74	
			0~10	10~30	30~220	氷丘状

*.. 観測点19と20の近くにある観測点0での値

ぞれの上下面の、氷表面からの深さである。冬季、表面から 22 cm まで透明な氷からできていた観測点 15 の氷では、表に示した観測日に表面から 13 cm と 41 cm の間が融けて水になっていた。また、表面から 44 cm まで透明であった観測点 19 では、表面下 4 cm から 71 cm の間が水であった。すなわち、上層部が透明な氷にできたパドルの底は、いずれの場合も、冬季における透明部分と不透明部分との境界の下 20~30 cm の位置にあった。第 1 表にはまた、昭和基地の北北西 80 km の海上の氷に出来たパドルについての観測結果も記載されている。この氷は、全層不透明な普通の海氷からなり、北の瀬戸の氷のように上部に透明部分をもっていなかった。この氷では、パドルは表面下 10 cm から 20~30 cm の間にあった。この氷は上層部に透明氷がないから、氷の表面自体を透明部分と不透明部分との境界とみなすことができる。すると、以上の三つの例では、パドルの底の位置が、いずれの場合も透明部分と不透明部分との境界の下 20~30 cm にあることになる。そのうえ、まえに述べたようにパドルの底、すなわち水中の氷の表面はパドルがある程度形成されたのちはほとんど融解しない。従って、内部融解の開始点は、透明氷と不透明氷との境界面から下 30 cm 以内になければならないことになる。一方、昭和基地北北西 80 km の氷の観測結果によれば、内部融解は境界面下 10 cm よりなお深い所になければならない。よって、内部融解開始点は不透明な氷層の上面から深さ 10~30 cm の間で起るという結論がえられる。北の瀬戸では、この深さの氷の中に藻類等による着色層のある場合が多かった。氷の内部融解に対して、この着色層が何らかの影響を及ぼしているかもしれない。

VIII. いろいろな所に出来たパドル

昭和基地の北北西 80 km の海上の氷は一冬水で平坦な氷原をなし、観測場所からすこし離れた所から先には氷丘の多い氷原が広がっていた。平坦な氷原には、所々、数 cm の積雪があった。前にも述べたように、この氷は全層が典型的な海氷構造をもった不透明な氷であった。この氷の中に出来たパドルの表面の氷は、日射によって非常に脆くなっており、手で触れると海氷特有の短冊状結晶に分解した。そして、パドルの水の中には短冊状結晶のなごりの小薄片が多量に含まれていた。

北の瀬戸の観測点 10 は、直径 30 m 程の古い平坦な氷山の上に設けられた。この氷山の他にもパドルが形成された。1968 年 12 月 25 日にみた所では、表面下 10 cm から 23 cm の間に水溜りがあり、水の中には直径 0.5~2.0 cm の丸みをおびた氷の粒が多量に含まれていた。また表面の氷は、手で簡単に氷粒にほぐすことが出来た。

以上述べたように氷山や全層海氷で出来た氷の内部のパドルには、その氷の構成要素である氷粒や氷の薄片が多量に含まれていた。しかし、裸氷帯の透明氷に出来たパドルには、そのような氷粒は存在しなかった。

積雪にできたパドルを 12 月 23 日にオングル海峡でみつけた。積雪の凹所が水を含み黒ずんでいたのを掘ってみたら、表面から 30 cm 程までが水溜りで、雪はスノージャムのようになっていた。

VIII. ま と め

パドルをその全存続期間にわたって観察し、成長消滅の経過を模型的に第6図に表した。パドルは氷の内部融解によって形成されることを確かめると共に内部融解の開始点が不透明な氷層の上面の下10~30 cmの深さにあることを確めた。氷におおわれたパドルの水は太陽輻射を吸収して暖まるが、特にパドルをおおう氷が透明な場合には、温度が+10°C近くまで昇った。パドルの下の氷は、常に不透明な氷であったが、パドルがある程度成長するとこの氷は融解を停止し、パドルは表面の水が融けることによって厚くなった。12月末から1月初め頃にかけて、パドルの表面の水が消えるとパドルの水温は急に+1~2°Cに低下した。2月になるとパドルの表面に氷がはり、どんどん厚くなった。しかし、パドルの下の氷は厚さを減じた。観測点0においては、3月9日、下の氷は全く消失しパドルは底がぬけた。

終りに、観測実施にあたって、ご協力を賜った第9次南極越冬隊各位、とりわけ地学、気象グループの各位に厚く感謝します。また、この原稿を読み討論、批判していただいた吉田順五教授に厚く御礼致します。

文 献

- 1) 気象庁 1959 海水用語解説. 10 pp.
- 2) ズーボフ 1945 北氷洋の水 (低温科学研究所訳) 附録ソビエト海水用語集. 25 pp.
- 3) Takahashi, Y 1960 On the puddles of Lützow-Holm Bay. *In Antarctic Meteorology, Proceedings of the Symposium Held in Melbourne, February 1959*, Pergamon Press, Oxford, 321-332.
- 4) 南極地域観測統合推進本部 1969 日本南極地域観測隊第9次越冬隊報告. 141 pp.
- 5) 星合孝男 1969 昭和基地における海水下のクロロフィル a 量と環境条件の季節変化. 南極資料, 35, 52-67.

Summary

As one of the members of the IX Japanese Antarctic Research Expedition, the present author was stationed at the Syowa Base in Antarctica from January 1968 to January 1969. Observations were made on puddles forming in the ice fields covering the sea water of the straits of Kitano-seto (Figs. 1 and 2). The ice field was generally covered with about 50 cm of snow, but the snow was blown off by the wind and the ice field remained uncovered during the whole year in a narrow zone stretching along the line marked with numerical figures such as 10, ..., 15 in Fig. 2. The surface of the uncovered ice was flat and clear with white patches of bubbly ice (2-3 m in diameter) inlaid here and there. Puddles formed and developed in large numbers on the flat and clear parts, but few puddles were found in the white patches and on the general ice field covered with snow. Although the ice in the flat and clear parts was transparent when viewed from above, it consisted of two layers, namely the upper transparent layer and the lower opaque layer, as seen from its vertical section shown in Pl. I-2. When observed through crossed polaroids, the transparent ice appeared as in the photograph of Pl. I-3a while the opaque ice appeared as that of Pl. I-3b. From the textures shown in these photographs it can be concluded that the transparent and the opaque ices were respectively

frozen from fresh water and also from sea water.

The maximum daily air temperature rose above 0°C on Nov. 21 for the first time and thereafter it frequently exceeded 0°C . On Dec. 22 the author found an under-ice puddle or an enclosed puddle at a depth of 10–20 cm below the surface in the flat and clear parts of the uncovered zone. At the beginning of January, ice layers covering some of the enclosed puddles disappeared and water pools, namely open puddles, could be seen. These were several decimeters deep. The mode of formation of the puddles suggests that the cause giving rise to puddle formation is sun light absorbed in the interior of ice.

For the sake of brevity, let the top and bottom surfaces of the upper ice layer covering an enclosed puddle and the top and bottom surfaces of the lower ice layer separating the enclosed puddle from the sea water below respectively be denoted as A, B, C and D. In Fig. 4 A the positions of the surfaces A, B, C, D are given for an enclosed puddle formed at point 19 shown in Fig. 1. The upper and lower ice layers are indicated by the dotted areas. As seen from Fig. 4A, the upper ice layer became thinner as the days advanced and disappeared by the middle of January, while the surface C remained at almost the same level, indicating that the lower ice layer did not melt at its top surface C. Fig. 4 B is for an enclosed puddle formed at point 20. In this case the top of the upper ice layer was cloudy due to the presence of numerous bubbles. This cloudy surface may well have weakened the sun light penetrating into the ice with the result that melting of ice in the case of Fig. 4 B was slower than in the case of Fig. 4 A. With the arrival of autumn at the beginning of February, upper ice layers newly formed on the surface of open puddles and grew thicker and thicker, whereas the lower ice layers of the puddles remaining up to this time melted gradually. Fig. 5 shows the changes in the levels of surfaces A, B, C, D of a puddle found at point 0. As seen from this figure the lower ice layer disappeared completely on March 9. But it is noted that the lower ice layers of some puddles did not thin so much as to disappear but seemed to continue to remain until the following spring.

The formation, development and disappearance of puddles are schematically outlined in Fig. 6.

In Figs. 4 A and 4 B are also shown the vertical distributions of temperature. As seen from Fig. 4 A, the temperature of puddle water rose as high as $+10^{\circ}\text{C}$ while the puddle was enclosed and suddenly decreased to $+1\sim 2^{\circ}\text{C}$ when the upper ice layer melted away. The puddle of Fig. 4 B had an upper layer with a cloudy top surface. In this case the temperature of the puddle water stayed below $+2\sim 3^{\circ}\text{C}$.

In the uncovered zone of the straits of Kitano-seto, the upper and lower ice layers of enclosed puddles were always found to be clear fresh water ice and opaque sea water ice respectively. This suggests that the internal melting of ice would have started in spring near plane E which had separated the clear fresh water ice and opaque sea water ice in winter when the puddle water was frozen completely. It was found at both points 19 and 15 that surfaces C lay 20–30 cm below plane E. On one occasion observations were made on enclosed puddles formed in a sea ice sheet floating 80 km offshore. This ice sheet consisted of opaque sea water ice from the top to bottom. In this case the top of the ice sheet may be regarded as the above mentioned plane E and the puddle

water was found between the levels of 10 cm and 30 cm below the surface. From these facts the author considers that the internal melting starts within the opaque sea water ice at some level lying in the range of depths 10 to 30 cm below surface E.

図 版 説 明

図版 I

1. 北の瀬戸の裸氷帯の透明な氷の上に行った変化。右上隅と左下隅以外の部分は、もとは青く透明であったが、11月28日には、写真中央部から右下にかけてみられるようなヒビ割れがはいり、白く不透明になっていた。中央の四角な箱はマッチ箱である。
2. 1968年7月29日、観測点15から鉛直に切出した氷の透過光写真。上部20cm程が透明、その下は不透明であることがわかる。
- 3-a. 2の透明部分から切出した氷の薄片を直交ポラロイドにはさんでとった写真。
- 3-b. 2の不透明部分から切出した氷の薄片を直交ポラロイドにはさんでとった写真。
4. 1969年1月16日、観測点20の近くから切出したパドルの表面の氷(a)と水中の氷(b)。

