



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海水の研究（第21報）：北海道オホツク海沿岸の海水調査
Author(s)	新富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu; 楠, 宏 他
Citation	低温科学. 物理篇, 13, 59-103
Issue Date	1954-12-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17890
Type	departmental bulletin paper
File Information	13_p59-103.pdf



Takaharu FUKUTOMI, Kou KUSUNOKI and Tadashi TABATA 1954 Study of Sea Ice (21st Report). A Report on the Survey of Sea Ice on the Okhotsk Sea Coast of Hokkaido. *Low Temperature Science, Ser. A, 13.* With English résumé p.102)

海 氷 の 研 究 (第 21 報)

北海道オホツク海沿岸の海水調査*

福富孝治** 楠 宏*** 田畑忠司***

** (北海道大學理學部地球物理學教室, 低溫科學研究所)

*** (低溫科學研究所 海洋學部門)

(昭和 29 年 12 月 受 理)

1942 年以來ほとんど毎冬 2 月初旬から 3 月上旬の間に 1~3 週間、北海道オホツク海沿岸の網走、紋別その他において海水の研究を行なつてきた。そしてその結果の主なもの、海水に関する理論的研究や統計的研究と共に海水の研究 第 1 報~第 20 報 其他として既に報告した。しかし、現地における観察、測定の結果で未だ資料が充分でないとか、断片的事項であつたために未発表のものも少なくない。

しかし、最近、航海、水産業、凶冷等の見地から海水についての関心が高まり、水路部、函館海洋气象台、稚内・網走・根室測候所等の方々による調査研究も段々活潑になつてきたので、上記の資料も発表すれば幾分研究者の参考になると考えて未完成のものではあるが、ここに

- | | |
|----------------------|---------------------|
| I. 観測時の海水の状況 | VIII. 氷の短周期上下運動の観察 |
| II. 海水下の海水の温度と塩分 | IX. うねりによる氷の破碎 |
| III. 海水温度の測定 | X. 蓮葉氷に関する 2, 3 の観察 |
| IV. 海水の塩分 | XI. 氷の縞模様を観察 |
| V. 海水の密度測定と純氷率の推定 | XII. 氷の中に見られる砂粒 |
| VI. 海水の機械的性質 | XIII. 海水の写真 |
| VII. 氷の運動速度に関する数回の測定 | |

なる 13 項目の調査の結果を一括報告した。

海水の写真は海水の状態の記録として、又海水の terminology 等の見地からも重要であるが、今迄その僅かの部分を発表したに過ぎなかつた。従つてこの機会に一部を掲載しておいた。

* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 275 號

これらの現地調査に際しては吉田敬一氏、長島富雄氏、(故)松村好基氏、鹿島利治氏、松村信男氏、藤木忠美氏、須川明氏、新見長夫氏、齋藤光郎氏、田畑艶子氏(旧姓松浦)、半沢和子氏、青木敬氏、富田静氏、桜井常吉氏、吉田英三氏、工藤義夫氏、齋藤永純氏、に手伝つて戴いた。又網走市役所、紋別市役所、日魯網走工場、北海道水産試験場紋別分場、海上保安庁釧路保安部紋別分室、其の他現地の方々から種々便宜を戴いた。又本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費に依つた。ここに厚く感謝の意を表する。

I. 観測時の海水の状況

1942年から北海道オホツク海沿岸の網走、紋別などにおいて海水の研究をおこなつてきた。この期間中に観察したその当時の海水の状況についてのべることにする。

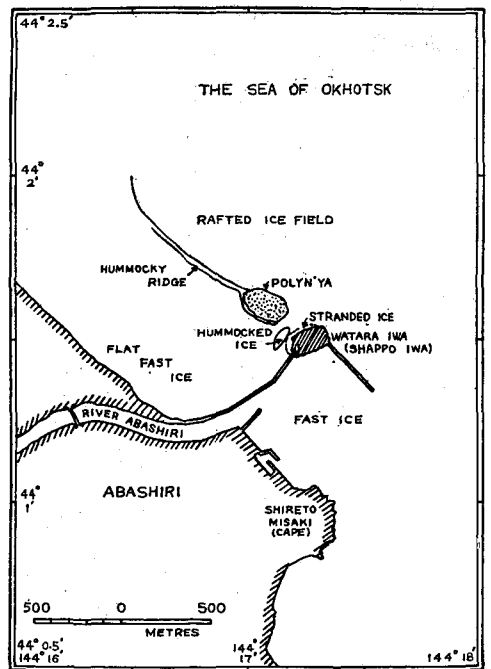
海水の状況については、そのために特別の観測をするというようなことはしなかつた。つまり氷上でほかの目的のための仕事をしている合間に氷の状況を記載しておいたものを収録したにすぎない。したがつて、観察する高さが氷上、海辺、あるいは防波堤の上などに限られているため、視界もいたつて狭く、時間的にも昼間の作業中にかぎられている。このため、海水の状況といつても時間的・空間的にきわめて限られたものであることをおことわりしておきたい。

1. 網 走 1942年2月26日(第1図)、(写真1)

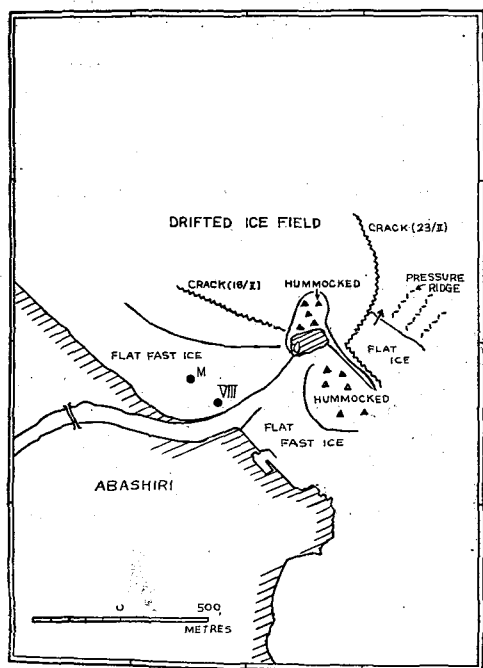
沿岸には厚さ約20cmの不動氷(fast ice)があり、これに接して遙か沖合まで氷丘(hummocked ice, hummock)や氷丘脈(pressure ridge)の多い氷丘野(hummocky field)が広がっていた。この両者の境界には小規模の氷丘脈や氷湖(polyn'ya (Russ.))がみられた、氷湖には軟氷(sludge)や蓮葉氷(pancake ice)がはつていた。

2. 網 走 1944年2月16~27日 (第2図)、(写真2)

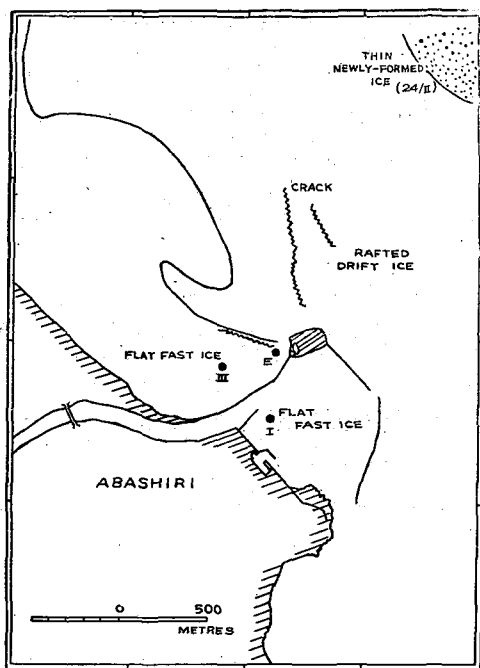
この期間の前半は海辺から沖合まで見渡すかぎりの氷で占められていた。ワタラ岩(別名ジャッポ岩)の西方では、沖からの流水野と沿岸の平坦な不動氷とが接しており、その境界は図中に実線でしめした。ワタラ岩東部では不動氷がかなり沖合まで発達しているようであつた。ワタラ岩北部と港内北東部に氷丘があり、



第1圖 海水状況圖(網走, 1942, II, 26)



第2圖 網走 (1944, II, 16-27)



第3圖 網走 (1945, II, 17-27)

ことにワタラ岩のすぐ近くには大きな坐氷 (stranded ice) があつた。沖合の流水原は沿岸の不動氷のように氷丘や氷丘脈が少なく、平らな部分が多かつた。積雪量は多くなく歩行にあまり不便を感じなかつた。

2月18日には図に示されたような割目 (crack) が生じていた。23日13時20分ごろ¹⁾、ワタラ岩東方に割目が生じ矢印の方向に運動したため防波堤との間には海面 (water opening) が現われた。25日には730mmの低気圧のため暴風雪となり、ごく岸近くや港内の氷を残して氷は砂砕された。

3. (1) 網走 1945年2月17—27日 (第3図), (写真3)

図に示されたような平坦な不動氷と氷丘の多い流水野とに分けられる。流水原中の氷丘は高さ2~3mに達するものが多数みられた。また小さな割目も各所に走っていたが積雪が20~30cmあつたので詳細は不明であつた。しかし、その二・三を図に示しておいた。図の右上部の流水原は24日16時ころ流出し、そのあとの開水 (open water) には厚さ10cm以内の薄い氷が生じた。27日には前夜半の風によつて流水原が小さく砕かれていたのを見た。

3. (2) 紋別 1945年3月2—4日 (第4図), (写真4)

紋別の船溜 (内港) は例年ほとんど結氷をみる、そしてきわめて安定している。当時はかなり沖合まで沿岸の不動氷が発達していた。内港の入口には小さな割目 (これは例年みられる)

があり、外防波堤の突端にも割目があつて図中の氷丘脈や氷湖より沖合には氷丘の多い流氷があつて移動していた。図中の数字は氷厚であつて場所によつて生成時期が異なつてゐることをしめしている。この図には1946年の状況も示しておいた。

4. 紋別

1946年2月17—27日(第4図)

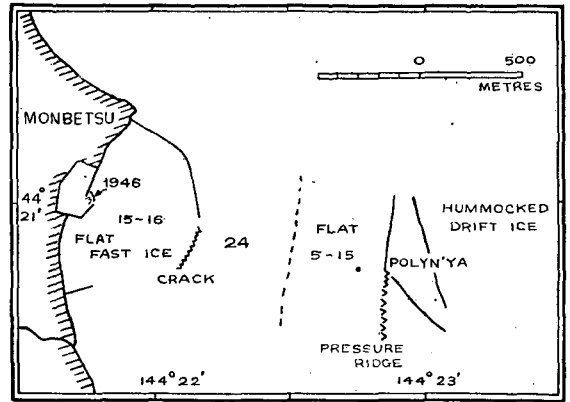
内港には氷厚約30cmの平坦な氷がはつていたので、その外には全く氷がなかつた。図にはその氷縁(ice edge)が示されている。港内には蓮葉氷も多少あつた。日がたつにつれて、波浪、うねり、温度の上昇などのため氷の破壊が著るしく27日には総ての観測を中止せざるをえなくなつた。

5. 網走 1948年2月12—21日(第5図, 写真5)

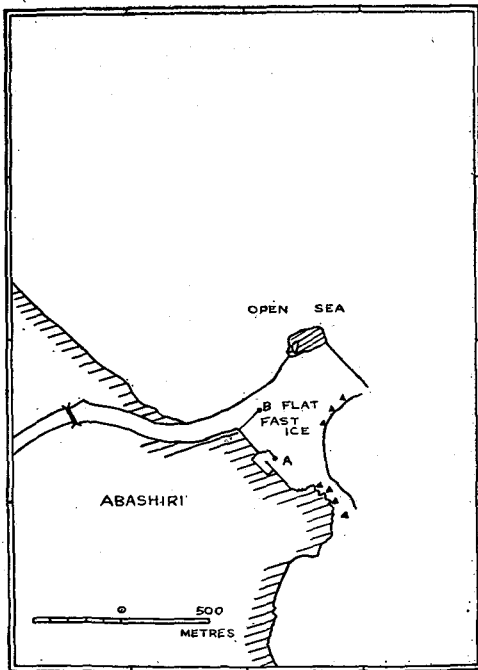
全期間を通じて沿岸の不動氷は港内だけに発達していた。その厚さは15cmくらいで、港の入口附近、シレット岬の岩礁附近には小さな氷丘、氷丘脈、坐氷があつた。外海には厚さ数cmの薄氷がはつていた。沖合には流氷がみえていたがなかなか接岸しなかつた。12日14時30分ごろ流氷原が襲来したが不動氷や陸岸に接しなかつた。同日夜半流氷原は沖に去り、17日まで沖で見えかくれしていた。18日には再び接近した。19日は強い風雪があつて港内の氷も一部がゆるみ歩行困難の所もできた。20日に流氷原は接岸した、氷丘の多い錯綜した様相を呈していた。21日陸からの南よりの風によつて流出した。

6. (1) 下湧別 1949年3月2日(写真6)

この日10時30分より正午ごろまで下湧別市街の海辺で海水状況を視察した。沿岸の不動氷は発達していなかつた。沖合には氷丘の多い種々の大きさの流氷塊(floe-brash, block, bergy bit, growler, cake etc.)が浮遊しており、海面も至るところに見えていた。海辺には水面上



第4図 紋別 (1945, III, 2-4; 1946, II, 17-27)

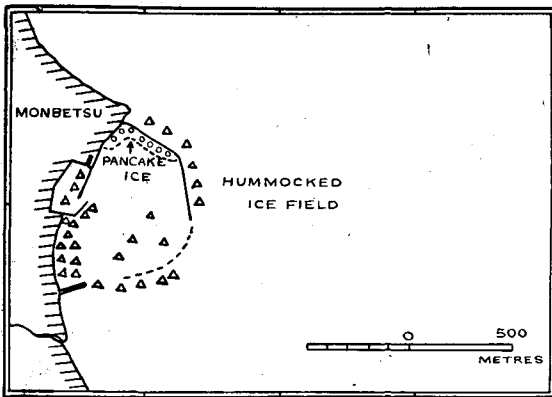


第5図 網走 (1948, II, 12-21)

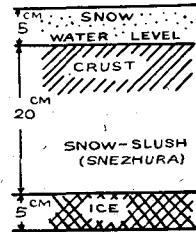
- 2 m 以上もある坐氷があり、海岸近くの海面には氷厚約 15 cm の混合軟氷 (sludge ice) があつた。流水塊は海岸に打ちあげられて砂上に残つているものもあつた。

6. (2) 紋別 1949年3月3-5日 (第6図), (写真7)

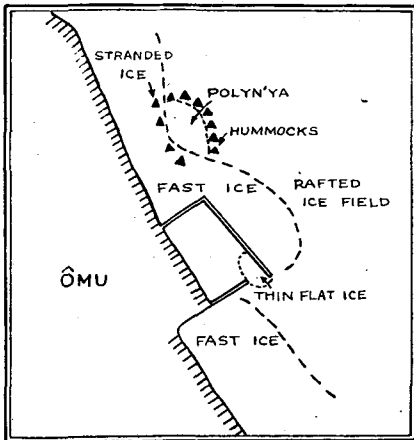
港内一帯に平坦な積雪のあるきわめて軟かい氷があつた。沖合には遙か彼方まで、氷丘野となつている流水があり、開水や氷湖などは見えなかつた。港内の氷は第7図に示したような、ほとんど雪と海水の混合物といえるようなものであつた。厚さは 30 cm 位あつたが、氷



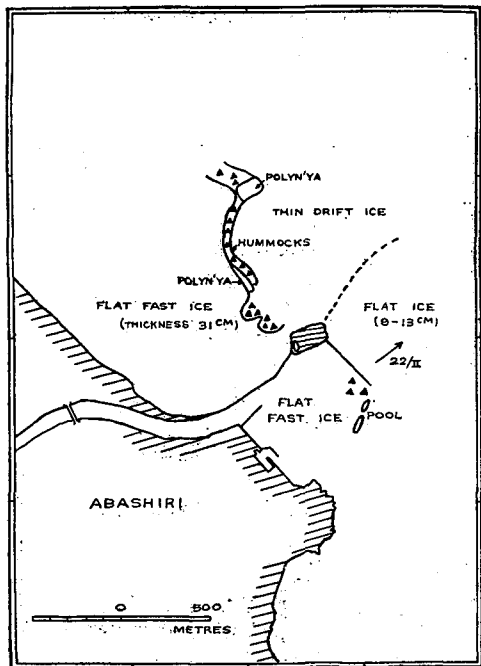
第6圖 紋別 (1949, III, 3-5)



第7圖 海氷の構造
紋別, (1949, III, 3-5)



第8圖 雄武 (1949, III, 6)



第9圖 網走 (1951, II, 20-25)

の部分は底の5 cm 位と海水面下約数 cm のところにあつて、歩行はほとんど困難であつた。所々に流水が残っていたと思われる氷岩 (growler) があり、その一部は坐氷となつていた。外防波堤の北隅には蓮葉氷がみられた。3日夜半には流水原は沖合約1 裡に去つた、また港の入口附近の氷も流れ出していた。

6. (3) 雄 武 1949年3月6日 (第8図), (写真8)

海岸の不動氷は岩礁の存在している範囲のみに限られていたようであつた。そのさきには氷丘野がつかつていた。至るところに坐氷や氷丘がみられた。また小さな氷湖もあつた。

7. 網 走 1951年2月20—25日 (第9図)

図に示したように沿岸の不動氷に続いて沖合まで氷厚約10 cm の板状軟氷 (young ice) が発達していた。ワタラ岩より東部にある防波堤の外側の氷は鏡のような表面をもち歩くとよく滑つた。この部分は22日夜半に沖へ流出した。24日、25日にはワタラ岩西部に流水が接し、この境界には氷湖、氷丘、氷丘脈が生じた。沖合の流水原にはところによつては厚さ3 cm 位の薄氷の部分もあつた。

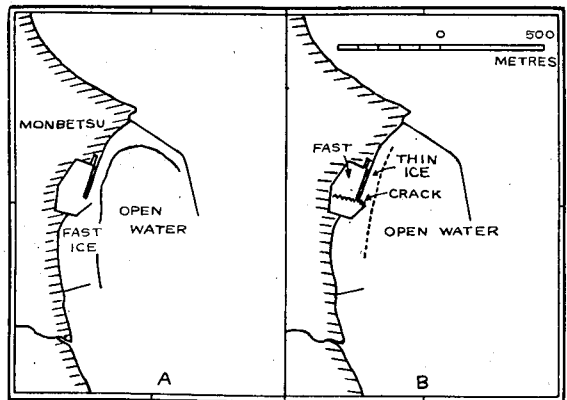
8. 紋 別 1953年2月26日—3月2日 (第10図(A)), (写真9)

内港およびその外縁部に氷厚30~50 cm の不動氷がはつていた。日がたつにつれてうねりなどによる破壊があつてその面積は縮少していった。外港内には薄い (氷厚5 cm 位) 氷がはつていたが、外海へ流出した。

9. 紋 別 1954年2月26日—

3月5日 (第10図(B))

内港のみに不動氷があり、しかも港口附近は氷厚もうすく歩行にかなり危険であつた。さらにそれに続いて薄



第10図 紋 別

A 1953, II, 26-III 2 B 1954, II 26-III 5

い氷がはつていた。沖合には流水があつたが、破碎されているものが多く、接岸はしなかつた。

なお、25日の網走の海水状況は次の通りであつた。港内には膜氷から板状軟氷の程度の結氷があり、一部には蓮葉氷の生長したものもあつた。氷縁は1948年(第5図)に近い状態で、外海には流水がなかつた。

II. 海水下の海水の温度と塩分

1946年迄に筆者等の測定した沿岸海水下の海水の温度、塩分については既に報告した²⁾。それ迄の測定において、沿岸海水下の海水の温度は近似的に結氷温度であること、又海水が僅かではあるが過冷却する場合のあることがわかり、それらについて論議を行なつた。

その後 1948 年に同じ測定を行なつたのでその結果について報告する。この年にも降水にはエクマン型湖水用顛倒採水器を用い、測温には顛倒寒暖計を用いた。

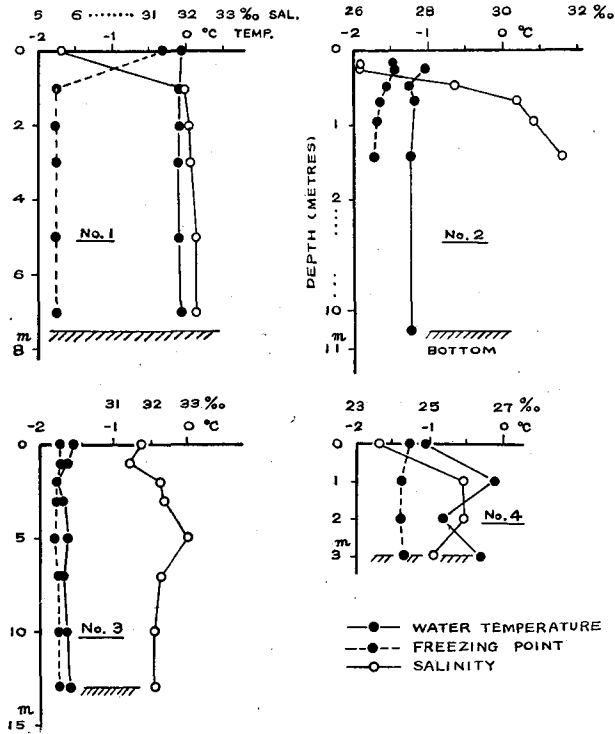
測定の結果は第 1 表及び第 11 図に示すとおりである。なお図中の結氷温度は塩分より Knudsen の式を用いて算出したものである。

測定例の No. 1 において表層に淡塩分層の見られるのは、網走港内に注いでいる川のために生じたものである。この淡塩分層では水温は殆んど結氷温度になつて居り、ice crystal が多数発生しているのが認められた。1 m 以深の部分では水温が結氷温度より可成り高いが、これは当地沖合に大規模な流氷源がなく海水面が露出していたことによるのかもしれない。しかし結氷の直下では結氷温度になつて居り、結氷板は成長を続けている。その後数日経つて沖合に流氷が押しよせて来た時に港外で測定した No. 2, No. 3 の例では水温は海底まで殆んど結氷点近く迄冷却されている。殊に No. 3 では結氷温度に達していると思ふことが出来る。塩分は No. 2 では表層近くに川の影響による淡塩分層が見られるが No. 3 では見られないがこれは位置の違いによる。

第 1 表 海水下の海水の温度、鹽分

No. 1 1948, II, 12. 網走港内 <i>Ice crystal</i> が多数発生していた 水深=7.5 m				No. 3 1948, II, 20. 網走港外 (赤燈臺の東 200 m) 水深=13 m 氷厚=18.5 cm			
深さ (m)	水温 (°C)	鹽分 (‰)	結氷温度 (°C)	深さ (m)	水温 (°C)	鹽分 (‰)	結氷温度 (°C)
0	-0.06	5.63	-0.30	0	-1.53	31.77	-1.72
1	.08	31.96	-1.74	1	.62	.41	.70
2	.08	32.09	.74	2	.75	32.26	.75
3	.08	.09	.74	3	.67	.37	.76
5	.08	.25	.75	5	.62	.99	.79
7	.07	.25	.75	7	.67	.26	.75
				10	.63	.06	.74
				13	.60	.03	.74

No. 2 1948, II, 20. 網走港外 (ワタラ岩の北 150 m の流氷原中) 水深=10.5 m 氷厚=17 cm				No. 4 1948, II, 22. 能取湖 水深=3 m, 氷厚=43.2 cm			
深さ (cm)	水温 (°C)	鹽分 (‰)	結氷温度 (°C)	深さ (m)	水温 (°C)	鹽分 (‰)	結氷温度 (°C)
17	—	26.20	-1.41	0	-1.05	23.64	-1.27
25	-1.03	.15	.40	1	-0.12	25.90	.39
48	-1.25	28.71	.55	2	.83	.91	.40
68	.17	30.34	.64	3	.32	.06	.35
94	—	.88	.68				
143	.24	31.61	.72				
1050	.22	—					



第11圖 海水下の水温、鹽分の垂直分布

これらの測定結果は1946年以前になされた測定結果と併せ考えると、盛水期の沿岸海水下の海水温度はその塩分に対する結氷温度に略々一致しているという既に述べた結論と一致すると云うことが出来る。

No. 4は能取湖における測定であるが、中層で塩分が多いのは興味深い、その原因はよくわからない。又水温は表面では略々結氷温度であるがそれ以外では結氷温度より可成り高い。湖には厚い氷が一面に張り詰めており、あまり水の流動も考えられない状態なので理解に苦しむが、或いは潮汐によって外海の割合に高い水温の海水が流入しているのかもしれない。

III. 海水温度の測定

1945, 1946年に網走および紋別において海水温度を測定した。

測定には地中温度の測定に広く使用されている水銀入曲管寒暖計を水中の所要の深さに埋め、一定時刻にその示度を読みとつた。ただし、表面温度、気温、積雪下の温度には棒状寒暖計を用いた。表面温度の測定には寒暖計を氷の表面にやや斜めにさしこみ、球部の下半分は水中に、上半分の空中に露出した部分は氷の細片でうすく被つた。気温は氷上約1mの高さで測つた。また積雪下の温度は、積雪最下部と氷の表面との境界に棒状寒暖計をさしこんで測定した。

氷上に積雪のある場合が多かつたが、常に直径数 m の範囲を除雪し(網走においては測定前および前日、紋別においては前日)その中心部に曲管寒暖計を埋めた。したがつて、前述の積雪下の温度はこの裸地の周辺の積雪部で測定されたものである。寒暖計を埋めた上部には被いをしなかつた、このため太陽の直射の影響もいらか入つているものと思われる。

測定をおこなつた海水は沿岸に発達した平坦な不動水で、その厚さは 30~60 cm、塩素量は 0.2~4‰ であつた。

寒暖計の読みとりをおこなつたのは、日出から日没までの昼間のみであつた。したがつて氷温の日変化の半分しかとらえていない、また氷層の深い所では極値の遅れがあるが、これも測定時間の短かいためはつきり記録できない場合もあつた。いろいろと不備な点の多い資料ではあるが後日の参考のためえられた結果を第2表(第12図)~第7表(第17図)としてしめしておく。

第2表 海水温度測定結果

(網走, 1945, II, 21)

測點 I. 氷厚 32 cm, 水中鹽素量 0.18%, 海水鹽素量 2.26%.

time (h. m.)	air tem- perature (°C)	depth in cm			time (h. m.)	air tem- perature	depth in cm		
		3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)			3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)
06.30	19.7	12.7	10.1	6.0	12.00	9.7	5.0	5.1	4.2
06.45	—	13.0	10.0	6.0	13.00	9.2	4.6	4.4	3.5
07.00	20.8	12.6	10.1	5.8	13.45	9.8	4.5	3.9	3.1
07.30	18.4	12.5	10.3	6.0	14.00	10.1	4.3	3.8	3.1
08.00	17.7	12.2	10.4	6.2	14.30	10.2	5.2	4.0	2.9
08.30	17.3	12.3	10.2	6.1	15.00	10.9	5.6	4.3	2.7
09.00	15.6	11.9	10.0	6.1	15.30	11.4	6.0	5.2	2.7
10.00	12.2	9.0	8.5	5.6	16.00	11.6	6.6	5.0	2.8
11.00	9.8	6.8	6.7	4.3	16.30	11.5	7.1	5.1	2.9

第3表 海水温度測定結果

(網走, 1945, II, 24)

測點 III. 氷厚 47 cm, 水中鹽素量 0.34%, 海水鹽素量 3.81%.

time (h. m.)	air tem- perature	depth in cm			time (h. m.)	air tem- perature	depth in cm		
		3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)			3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)
06.50	11.3	2.0	1.8	1.4	11.30	6.1	2.6	1.6	1.2
07.10	11.0	2.0	1.7	1.4	12.00	5.5	2.5	1.5	1.1
07.30	10.6	2.0	1.7	1.4	12.30	4.8	2.3	1.4	1.1
07.50	10.2	2.0	1.7	1.4	13.00	4.6	2.2	1.4	1.0
08.10	10.1	2.2	1.6	1.4	13.30	4.9	2.2	1.4	1.1
08.30	10.5	2.3	1.6	1.3	14.00	4.6	2.2	1.6	1.1
09.00	9.0	2.6	1.6	1.3	14.30	4.7	2.3	1.6	1.2
09.30	7.9	2.6	1.6	1.2	15.00	5.6	2.2	1.7	1.2
10.00	8.6	2.7	1.4	1.2	15.30	6.3	2.4	1.7	1.2
10.30	6.9	2.7	1.6	1.3	16.00	6.6	2.6	1.7	1.0
11.00	6.6	2.8	1.5	1.3					

第4表 海水溫度測定結果

(網走, 1945, II, 25)

測點 E. 氷厚 57 cm, 氷中鹽素量 0.34%, 海水鹽素量 3.81%.

time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm			time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm		
		3.3 (°C)	8.5 (°C)	ice-snow boundary (°C)			3.3 (°C)	8.5 (°C)	ice-snow boundary (°C)
06.45	15.1	1.3	1.1	4.9	12.00	5.2	1.5	0.9	1.4
07.00	14.4	1.1	1.0	4.6	12.30	4.9	1.2	0.8	2.0
07.30	12.9	1.0	0.9	4.2	13.00	2.5	1.2	0.8	1.8
08.00	11.7	1.3	0.9	4.0	13.30	3.0	1.2	0.7	2.2
08.30	11.8	1.7	0.8	3.6	14.00	3.2	1.1	0.8	2.4
09.00	10.1	1.9	0.8	3.8	14.30	3.2	1.2	0.9	2.5
09.30	8.0	2.0	0.8	0.8	15.00	3.3	1.3	0.9	2.5
10.00	7.6	2.0	1.0	2.4	15.30	6.2	1.3	1.0	1.8
10.30	7.6	1.9	1.0	2.2	16.00	7.3	1.3	1.0	2.1
11.00	3.9	1.7	1.0	1.6	16.30	9.1	1.5	1.0	2.0
11.30	4.8	1.6	1.0	1.5					

第5表 海水溫度測定結果

(網走, 1945, II, 26)

測點 III. 氷厚 47 cm, 氷中鹽素量 0.34%, 海水鹽素量 3.81%.

time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm			time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm		
		0 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)			0 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)
06.40	13.9	13.0	7.1	4.9	12.00	6.4	1.0	1.4	1.4
07.00	—	—	6.9	4.8	12.30	6.6	1.8	1.1	1.4
07.30	13.8	12.7	6.6	4.9	13.00	6.3	1.4	1.0	1.3
08.00	14.0	11.3	6.5	4.8	13.30	6.4	1.0	0.9	1.1
08.30	12.6	10.6	5.8	4.2	14.00	6.8	1.0	0.9	1.1
09.00	11.6	9.4	5.4	4.0	14.30	6.9	1.2	0.8	0.9
09.30	10.2	8.2	4.3	3.5	15.00	6.9	1.1	0.6	0.9
10.00	8.4	6.8	3.6	2.9	15.30	7.1	2.2	0.7	1.0
10.30	6.9	5.3	2.8	2.5	16.00	7.4	2.5	0.8	1.0
11.00	4.7	1	2.1	2.1	16.30	9.2	4.6	0.8	1.0
11.30	6.5	1.2	1.5	1.4	17.00	10.4	5.8	1.2	0.8

第6表 海水溫度測定結果

(網走, 1945, II, 26)

測點 E. 氷厚 57 cm, 氷中鹽素量 0.34%, 海水鹽素量 3.81%.

time (h. m.)	depth in cm				time (h. m.)	depth in cm			
	0 (°C)	3.4 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)		0 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)
07.10	13.1	9.8	6.4	1.8	09.10	8.9	7.6	5.7	1.1
07.40	12.9	9.1	6.2	1.2	09.40	7.9	7.2	5.5	1.0
08.10	11.2	8.8	6.2	1.2	10.10	6.5	6.4	5.2	0.9
08.40	10.6	8.2	6.1	1.1	10.40	5.2	6.7	5.2	0.9

time (h. m.)	depth in cm				time (h. m.)	depth in cm			
	0 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)		0 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)	15 (°C)
11.10	4.5	5.0	4.6	0.9	14.40	1.9	2.0	2.6	1.8
11.40	1.6	3.5	3.9	2.2	15.10	1.8	1.9	2.5	1.7
12.10	2.2	3.2	3.7	1.8	15.40	2.0	1.8	2.3	2.1
12.40	2.2	2.9	3.5	1.8	16.10	2.9	2.3	2.3	2.2
13.10	2.0	2.6	3.2	1.6	16.40	4.9	2.5	2.3	2.2
13.40	1.8	2.3	3.0	1.8	17.10	5.0	2.4	2.3	2.4
14.10	1.8	2.1	2.7	1.7					

第7表 海水温度測定結果

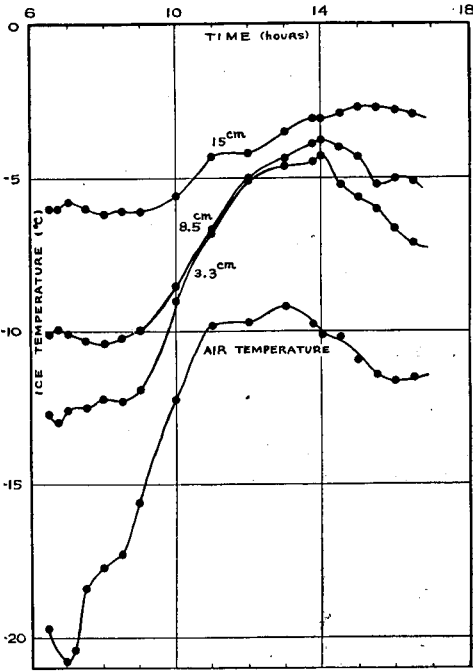
(紋別, 1946, II, 26)

測定場所 内港中央部. 氷厚 27 cm, 氷中鹽素量上層=3.1%,

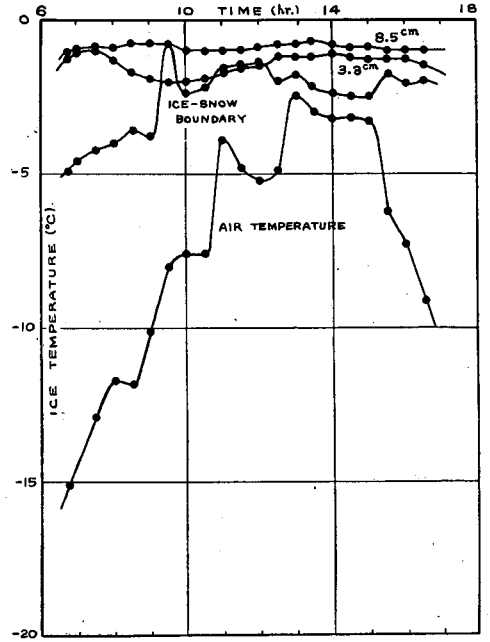
中層=1.9%, 下層=1.7%, 海水鹽素量 17.72%.

time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm			time (h. m.)	air temperature (°C)	depth in cm		
		1.8 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)			1.8 (°C)	3.3 (°C)	8.5 (°C)
06.18	—	—	10.7	7.8	13.00	6.2	6.7	6.9	6.2
06.33	16.5	11.7	10.7	7.4	13.15	6.1	6.7	6.9	6.0
06.48	16.8	11.8	10.7	7.5	13.30	5.7	6.7	6.7	5.9
07.03	16.2	11.9	10.7	7.6	13.45	5.7	6.7	6.6	5.9
07.18	14.9	11.8	10.8	7.7	14.00	5.6	6.7	6.6	5.8
07.33	14.4	11.6	10.7	7.7	14.15	5.9	6.7	6.5	5.7
07.48	14.3	11.4	10.5	7.7	14.30	6.0	6.6	6.3	5.7
08.03	12.8	11.3	10.5	7.8	14.45	6.0	6.7	6.2	5.6
08.18	12.1	11.1	10.4	7.8	15.00	5.9	6.6	6.1	5.6
08.48	11.1	10.7	10.2	7.8	15.15	6.0	6.5	6.1	5.5
09.18	8.8	10.2	9.5	7.6	15.30	5.8	6.5	6.1	5.5
09.48	7.2	9.7	9.1	7.5	15.45	6.1	6.5	6.1	5.4
10.18	4.2	9.1	8.5	7.2	16.00	6.2	6.5	6.1	5.4
10.48	5.9	8.2	8.1	7.0	16.15	6.0	6.4	6.0	5.4
11.18	6.2	7.6	7.7	6.8	16.30	6.2	6.5	6.0	5.4
11.48	5.8	7.1	7.3	6.5	16.45	7.0	6.5	5.9	5.3
12.00	6.0	7.1	7.2	6.4	17.00	7.1	6.6	6.0	5.3
12.30	6.0	6.8	7.0	6.3	17.15	7.1	6.7	6.1	5.3
12.45	5.9	6.8	6.9	6.2	17.30	7.5	6.7	6.1	5.3

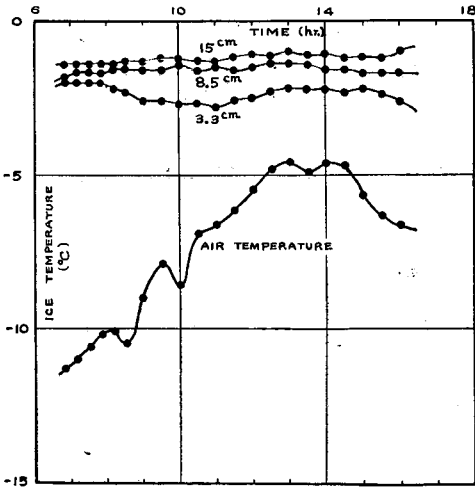
注意: 第2~7表中の気温及び水温の値には, すべて負符號が略してある。



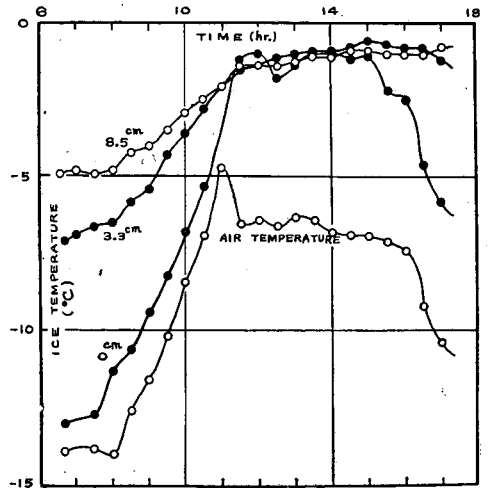
第12圖 海水溫度變化



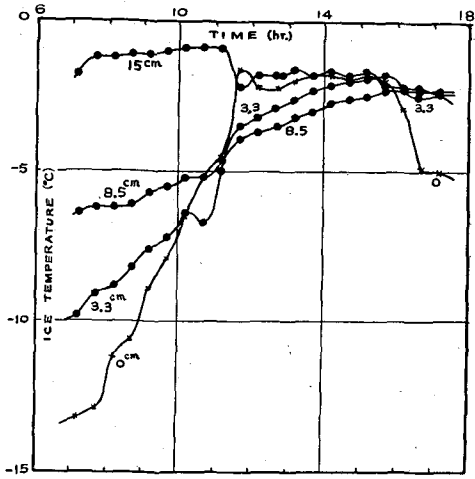
第14圖 海水溫度變化



第13圖 海水溫度變化

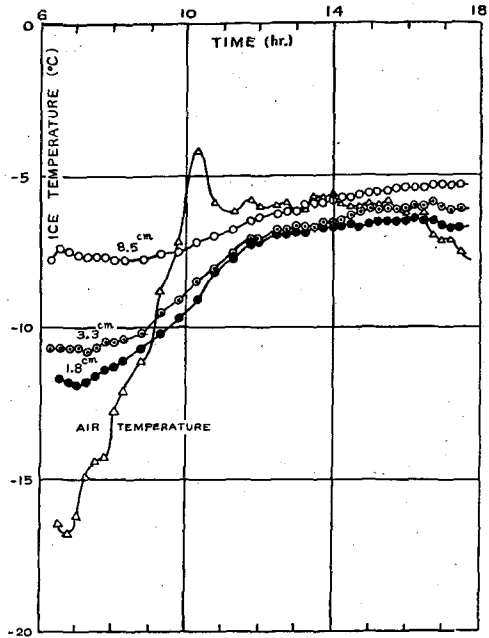


第15圖 海水溫度變化



第16圖 海水温度変化

各表の測点の位置は第3図に I, III, E と記入しておいた。なお、測点 I, III は“海水の研究”第8報³⁾の第1図と同じ場所である。また第3~6表において水中塩素量と海水塩素量の値がすべて共通して等しいのは、2月22日に測点 III において測定した値を掲げたためである。水中塩素量や海水塩素量は時間的にも変動しているのであるが、同日以後測定されていないので一応の目安として示しておいた。

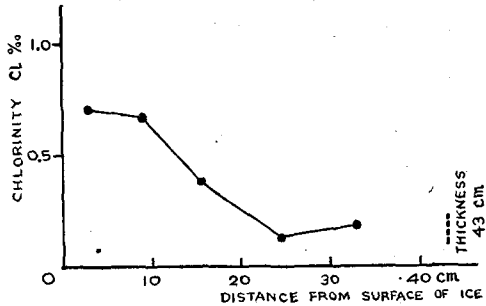


第17圖 海水温度変化

IV. 海水の塩分

海水の塩分については多くの研究者によつて研究が行なわれている。筆者等も亦その測定を行なつて来たが、そのうち 1939~1948 年に得られた測定結果については既に報告したので⁴⁾その後 1950 年に溝沸沼で行なつた測定結果について報告する。

測定の結果は第8表及び第18図に示すとおりである。表及び図から明らかな様に氷の塩素量は 0.7% 以下である。この値は筆者等が以前に網走港内の海水の測定で得た値と略々等しい。網走港内では氷の下を川が流れているために氷の塩分は極めて少くなつたのであるが、溝沸沼も殆んど同じ様な条件にあるので氷の塩分も殆んど等しい値になつたものと思われる。即ち溝沸沼は汽水湖であり、底には海水が侵入しているが、表面近くでは満潮時に海水が逆流し、その他の時には沼の略々



第18圖 天素量の垂直分布

第 8 表 濤沸沼の水の鹽素量 (195 年 3 月)

深 さ (cm)	鹽 素 量 (%)	日	氷 厚 (cm)	鹽 素 量 (%)	表面海水鹽素量 (%)
表面～6	0.70	10	43	0.18	
6～12	0.67	11	36.7	0.54	6.31
12～19	0.37	12	47.5	0.10 (下の20cm)	0.20
19～30	0.13			0.28 (上の27.5cm)	
30～36	0.18	13	28	0.38	1.93
		14	31	0.26	1.19
氷厚=43 cm, 表面海水 Cl=13.92%, 3月11日		海岸に打ち上げられていた氷の鹽素量 0.29% 3.73%			

中央をとおつてゆるやかな流れが海に注いでいる。そのために氷の塩分が少ないばかりでなく、氷の下の水の塩分も可成り大きく変動しているのがこの表からわかる。

この測定がなされた後に筆者等の行なつた海水塩分の測定に用いる試料の採取方法についての吟味によると、海水を鋸で切り出して必要な試料を得るという方法にはいろいろの問題が含まれており、したがつて正確な塩分量を求めることが難しい場合のあることが判つた。しかし大凡の値を知るには勿論差支えない。

V. 海水の密度測定と純氷率の推定

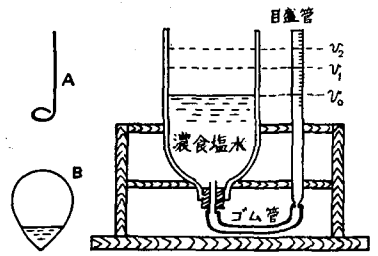
海水の密度の測定には以下に述べる 3 つの方法を用いた。

第 1 法：これは平坦な結氷の平均密度を求める方法で従来行なわれてきた方法である。即ち、平坦な結氷をその上下の氷面に垂直な平面で切つて多角柱をつくり、その厚さ D を測り、海水中に浮べて上表面から海水面までの高さ D_1 を測定する。海水の比重を ρ_w とすれば海水の平均密度 $\bar{\rho}_i$ は

$$\bar{\rho}_i = \rho_w \frac{D - D_1}{D} \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。海水の密度 ρ_w は水温と塩分とを測定すれば判るから、(1)式により $\bar{\rho}_i$ は求められる。氷の上の面には多少こまかい凹突があるので厚さの薄い氷では D_1 が小であるから、このための測定誤差が大きく影響する。

第 2 法：測定しようと思う海水を適當の大きさ（装置の壁に触らない程度に大きくした方が誤差が小さい）に切出して手早く第 19 図に示した装置の飽和に近い濃食塩水中に入れる。投入前の水位を目盛管で読んだ値を v_0 とする。氷を濃塩水中に浮べて読み v_1 を測り A（第 19 図参照、針金製）を用いて氷を塩水中に押込み読み v_2 を測



第 19 図 海水密度の測定装置

る。この操作は出来るだけ早く行なう必要がある。何故なれば氷が塩水に融解してその体積が変化し且つ濃塩水の密度が変化するからである。飽和に近い濃食塩水を用いたのは低温な外気中での測定であるので、その凍結を防ぐためである。

いま、硝子容器と硝子目盛管との断面積の和を S とし、最初氷を浮べたとき塩水中にある氷の体積を V_w 、氷の全体積を V とすれば

$$\left. \begin{aligned} V_w &= S(v_1 - v_0) \\ V &= S(v_2 - v_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

である。然るに海氷の密度を ρ_i 、濃塩水の密度を ρ_w とすれば

$$\rho_i V = \rho_w V_w \dots\dots\dots (3)$$

なる関係が成立するから

$$\rho_i = \rho_w \frac{v_1 - v_0}{v_2 - v_0} \dots\dots\dots (4)$$

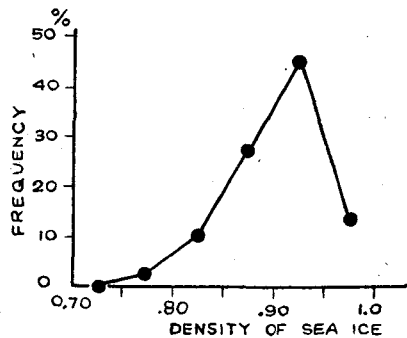
となり、塩水の密度 ρ_w が判つておれば v_0, v_1, v_2 を測定すれば海水の密度 ρ_i は求められる理である。

しかし、斯様な実測を繰返していると濃塩水の比重は段々小となるから、これを検定することが必要である。そのために第19図中に B として示した硝子器中に一部水を入れて密封したもの(以下、標準密度浮標と呼んでおく)をあらかじめ用意し、この密度は純水について求めておく。この密度を ρ_0 とする。実際の測定に際しては海氷の密度を測定する前後にこの標準浮標 B を用いて海氷の場合と全く同様に v'_0, v'_1, v'_2 及び v''_0, v''_1, v''_2 を測定した。この2回の測定から得られた濃塩水の平均密度 $\bar{\rho}_w$

$$\bar{\rho}_w = \frac{\rho_0}{2} \left(\frac{v'_2 - v'_0}{v'_1 - v'_0} + \frac{v''_2 - v''_0}{v''_1 - v''_0} \right) \dots\dots\dots (5)$$

を(4)式に代入して ρ_i を求めた。筆者らが実測に用いた標準密度浮標の密度は $\rho_0 = 0.738$ 及び 0.916 であつた。

第3法：海氷の一部分をとり大体長方形に切り、カンナを掛けてなるべく正確な長方形とする。その各辺の長さを測定し体積を求め、それを上皿天秤にかけて重さを秤り密度を計算する。この方法は海氷を切出してから測定までにかかなり時間を要するので、その間に *brine* が落下し密度が実際よりも小にでる傾向があつたと正確な長方形を作るのが仲々困難であるためにかかなりの誤差を伴うのであまり良い方法とは思われなかつた。



第20圖 海氷密度の頻度分布

以上の3つの方法によつて測定した海水の密度の値を第9表に示した。

かくして得られた海水の密度の頻度分布をしらべてみると第20図のようになる。即ち、0.75~1.00の範囲内に変化していたが、0.85~0.95位の値が多かつた。これを純氷の密度0.917と比較すれば0.917より大なるもの54%、小なるもの46%であつた。

さて、このようにして海水の密度が判れば、その海水の含塩量及び温度を測定すれば海水の純氷率 α (単位体積の海水中で純氷の占める割合)を次のようにして推定することができる。いま単位体積の海水中で夫々純氷、brine及び気孔の占める割合を α 、 β 、 γ とし、純氷、brine及び空気の密度を夫々 ρ_0 、 ρ_b 、 ρ_a とすれば、海水の密度 ρ_s は

第9表 海水の密度と純氷率

測定年月日	場 所	密度 ρ_s (平均値)	海水中鹽素量 (鹽分量) (%)	純氷率 α	備 考
1944, II, 17	網走測點II 上層	0.97 (5)	0.14 (0.28)	Ca. 1	第2法 } 第3法 } 氣温 -10.4°C 第2法 } 水温 0.0°C 第3法 } 海水鹽分 1.66%. 第2法 } 氷厚 = 33.9cm 第3法 }
	” ”	0.96 (1)	0.14 (0.28)	”	
	” 中層	0.93 (5)	0.13 (0.26)	”	
	” ”	0.91 (1)	0.13 (0.26)	”	
	” 下層	0.96 (6)	0.12 (0.25)	”	
	” ”	0.93 (1)	0.12 (0.25)	”	
1944, II, 20	網走測點VIII 上層	0.94 (1)	1.67 (3.05)	0.98	第2法 } 氣温 -6.7°C ” } 水温 -0.2°C ” } 氷厚 = 29.0 cm
	” 中層	0.94 (1)	—	—	
	” 下層	0.95 (1)	1.49 (2.72)	0.92	
1944, II, 19	網走測點M 上層	0.91 (1)	1.22 (2.23)	—	第2法 } 水温 -0.57°C ” } 海水鹽分 10.92%. ” } 氷厚 = 38.8 cm
	” 中層	0.80 (1)	0.63 (1.16)	—	
	” 下層	0.78 (1)	0.54 (1.00)	—	
1948, II, 16	網 走 港 内	0.88 (1)	—	—	第1法 } 氷厚 17.7cm, 水温 -0.2°C ” } 氷厚 10.0cm, ”
	”	0.86 (1)	—	—	
1948, II, 17	網 走 港 内	0.94 (8)	1.30 (2.39)	Ca. 1	第1法 { 氣温 -3.2°C, 水温 -0.27°C 海水鹽分 9.08%.
1948, II, 22	能 取 湖 上層	0.85 (2)	2.41 (4.43)	0.82	第2法 } ” } 氣温 -2.0°C, 水温 -1.0°C ” }
	” 中層	0.88 (2)	2.03 (3.70)	0.82	
	” 下層	0.90 (3)	3.17 (5.75)	0.67	
	” 其他	0.92 (1)	—	—	第2法 } ” } 氣温 +0.3~0.6°C
	”	0.92 (2)	—	—	
1949, III, 4	紋 別 港 内	0.88 (1)	—	—	第3法
	”	0.92 (1)	—	—	”
1951, II	網 走 港 外	0.85 (1)	—	—	第1法

(註) 第1法では $\rho_w = 1.025$ を用いた。

$$\rho_i = \rho_0 a + \rho_b \beta + \rho_a r \quad \dots\dots\dots (6)$$

で与えられる。但し

$$a + \beta + r = 1 \quad \dots\dots\dots (7)$$

である。一般に海水では気孔の占める割合は小さく且つ ρ_a も ρ_0 , ρ_b に比較して非常に小さいから(6)式は

$$\rho_i \doteq \rho_0 a + \rho_b \beta \quad \dots\dots\dots (6')$$

と考へて差支えない。いま、海水の含塩量を S_i , brine の塩分を S_b (S_i , S_b はいづれも海水塩分と同様に単位質量中の塩分量とする) とすれば単位体積の海水中の塩分量は

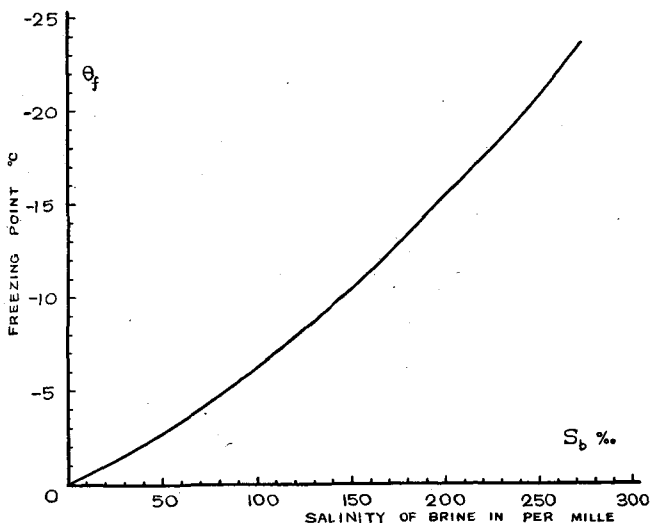
$$\rho_i S_i = \rho_b \beta S_b \quad \dots\dots\dots (8)$$

で与えられるから、(6') と (8) の両式から $\rho_b \beta$ を消去して

$$a \doteq \left(\frac{\rho_i}{\rho_0} \right) \left(1 - \frac{S_i}{S_b} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

が得られる。

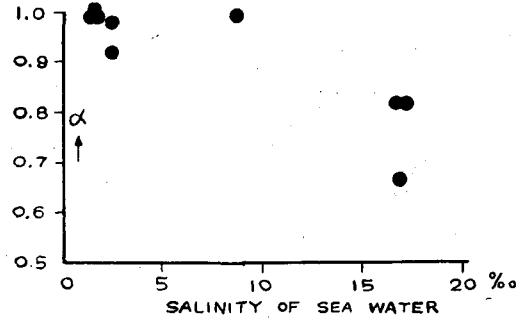
純水の密度 ρ_0 は $0 \sim -15^\circ\text{C}$ の範囲では 0.92 と採つて大差ない。海水の密度、塩分は実測して求められる。氷中の brine の塩分濃度 S_b はその氷温 θ_f に対する凍結温度になつてゐることが判つてゐるから、現場の氷温を測定しておけば第21図の関係から求めることが出来る。従つて海水の純氷率 a は(9)式によつて求められるわけである。



第21圖 Brine 濃度 (S_b) と結氷點 (θ_f) との関係

上記の比重測定の際には海水中の塩素量を多くの場合測定したので氷中の塩素量は近似的には Knudsen の公式に従うものとして、これにより塩分量 S_i を推算した。現場の氷温はほとんど測定しなかつたので、ここでは気温と結氷下の海水温度を用い氷中ではこの両温度の間を

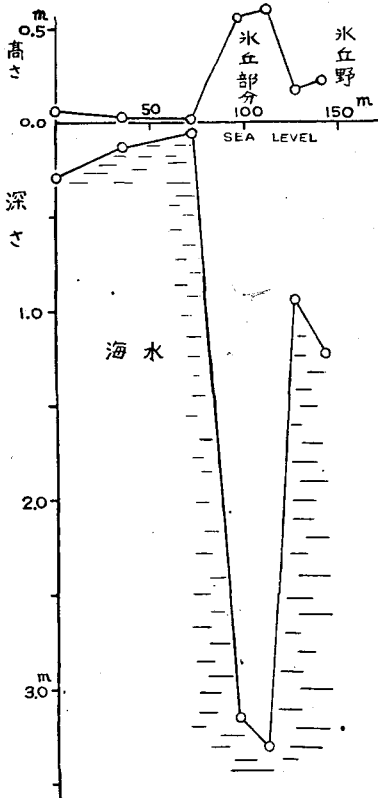
直線的に変化するものと考えて氷温を推定し S_0 を求めた。斯様な値を用いたので a の値にも多少の誤差は免れないがその程度は知りうる筈である。かくして得た a の値も第9表中に掲げた。測定の数が少なくてよくは判らないが、純氷率 a は 1~0.6 位の範囲内にあり、海水下の海水の塩分が薄いもの即ち氷温が 0°C に近い海水から凍結した氷では a の値が 1 に近く、海水の塩分が濃いもの即ち氷



第22圖 純氷率 α と海水下の海水塩分との關係

温が -1.8°C の方に近い海水から凍結した氷では概して a が小さい傾向のあることが判る。第22図はこの關係を示したものである。この結果は海水の研究(第16報)第2図⁹⁾の結果と似ている。然し、同じ塩分の海水から凍結した氷でもその履歴や氷温によつて a の値がある程度変化することは申す迄もない。

次に海水密度の応用について述べる。接岸した流水野中では結氷が数枚重なつたり、一面



第23圖 水準測量による氷厚分布の測定結果の一例

の氷丘野を形成している部分があり、その厚さが数mにも達することがある。このような場所では氷厚の測定は仲々困難である。かような場合に氷厚の概値を知る一方法として平坦で氷厚の比較的薄い部分で第1法又は第2法を用いて平均密度を測定し、又氷面から水面までの高さの差を測定する。それから、その点を基準点として氷厚の大きい所へ水準測量を行い 20~30 m 毎に氷面の高さを測定する。海水の研究(第15報)⁷⁾によれば、凡そ 10 m 位の平均としては連続した氷野の一部であつてもアルキメデスの原理が成立つていることが判つているから、海水の密度をどこでも等しいと考えれば各点の氷厚の概値 D は

$$D = D_1 \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \dots\dots\dots (10)$$

によつて求められる。但し D_1 は氷面と水面との高さの差で基準点における D_1 の値と、基準点と求める点との氷面の高さの差から求められる。 ρ_i 及び ρ_w は氷及び海水の密度であるが、これらには基準点における値を用いる。

第23図は 1951年2月24日網走港外の沿岸海水か

ら接岸流水帯にかけてかような方法で推定した氷厚の分布図である。

VI. 海水の機械的性質について

海水から生成された氷は既に報告した様に⁹⁾小さな“たんざく状”の淡水氷の薄片の間に塩分細胞即ち brine を閉ぢ込めた構造を有している。このことから海水の種々の機械的性質が淡水氷のそれと可成り異なることが直ちに気がつく。実際には、例えば、淡水氷ではその上をスケートで走るのに充分な厚さは3~4cmであるが、海水では厚さが10cmになつて辛うじて歩くことが出来るということからも想像が付く。更に海水では厚さが増して強度が大きくなつても表面の硬さはスケートで走るのに充分な位にはならない。

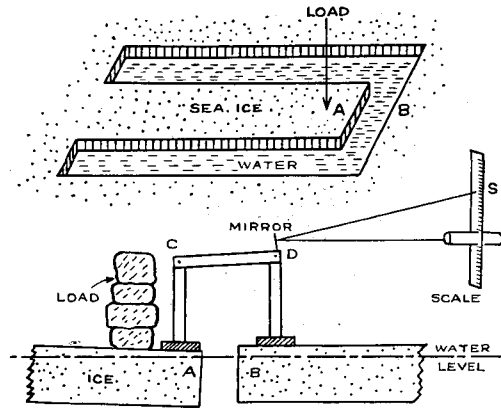
筆者等はいろいろの機械的性質のうちで、弾性係数の測定を1948年網走港及び能取湖、1950年溝漕沼で、又 Sharpy 衝撃試験機による強度試験を1944年に網走で行なつたのでそれらについて報告する。尚弾性係数の測定の際に得られた測定結果から粘性係数をも求めた。

1. 弾性係数及び粘性係数の測定

測定方法

海水は切り出して空気中に持ち上げると brine が滴下してしまうので、測定は現場に張り詰めた状態のままの氷について行なうことが望ましい。そのために原理としては一端を固定した棒の撓みによつて弾性係数を測定する方法を採用して、測定には第24図による方法を用いた。

先づ図に示す様に結氷板を“コの字形”に切り取つて一端を固定された氷の bar を作る。この bar の先端 A に荷重を加えて沈下せしめ、その沈下量を B を基準にして読み取るのである。この沈下量を読み取るために始めは A の部分にスケールを立てて遠くから固定した望遠鏡で読み取つた。しかしこの方法では測定の精度があまり良くないのでのちには第24図に同時に示した方法によつた。図の C、D はピボットで支えられてをり自由に廻転する。荷重による A の沈下に伴



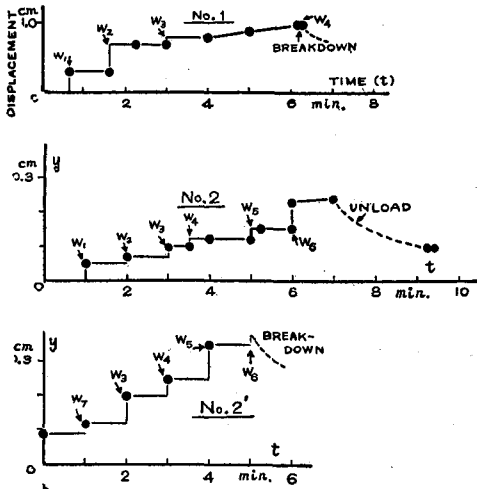
第24圖 海水の弾性係数の測定方法

つて D の上に取り付けた鏡が廻転する様になつてをり、A の沈下量はスケール S の読みから求めることが出来る。この装置では $CD=25\text{ cm}$ 、D と S の間隔は $80\sim 100\text{ cm}$ であつた。のちに述べる測定例のうち前者の方法によるものは No. 1, 2, 2' である。測定は何れも戸外で行なつたので風が強い時にはスケールがゆれたり、氷の bar 自身が振動したりしたのでなるべく風の無い日をえらんで測定を行なう必要があつた。又天氣の良い日には測定装置と氷の面の

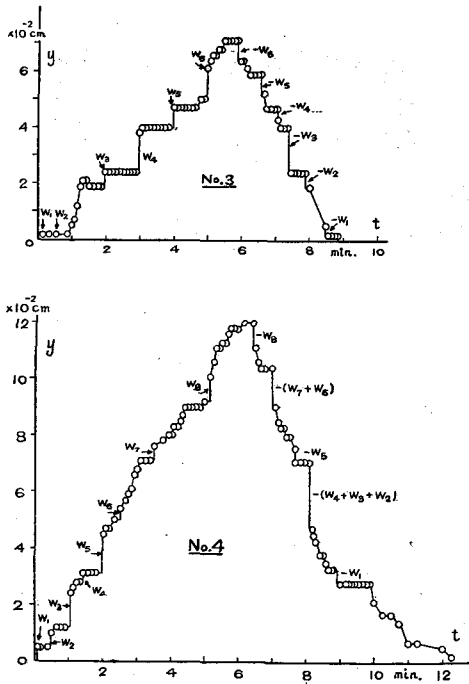
接触部に用いた金属が測定途中に氷面に僅かにめり込んで行くのが認められたことがあつたので充分注意した。

測定は前後12回行なつたがその経過を第10表及び第25図の時間—歪曲線で示す。表及び図でわかる様に測定に際してはある重さの荷重を加えたのちにAの変位をある時間測定したのちに次の荷重を追加して再びAの変位をある時間読み取つた。この様にして数個の荷重を

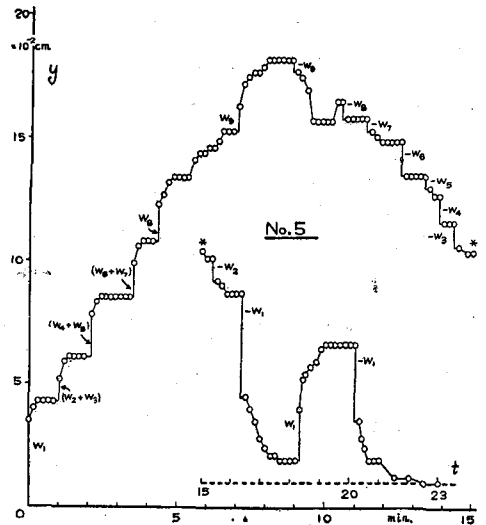
次々に加えて変位を読み取つたのちにそれらの荷重のうち一個を取り去つてその時の変位を測定し、又次のを取り去つて測定を行なつた。すべての荷重を取り去つたのちに数分間変位を測定して一回の測定を終了した。尚実際にはこの一回の測定後暫くしてから同じbarに再び荷重を加えて最初の場合と略々同様な測定を行なつた。この様に同じbarを用いて測定を2度或いは3度行なつたのは疲労による弾性係数の変化を求め様としたためである。荷重には附近の結氷板から切り出した海水を用いてその体積と密度から重量を計算した。



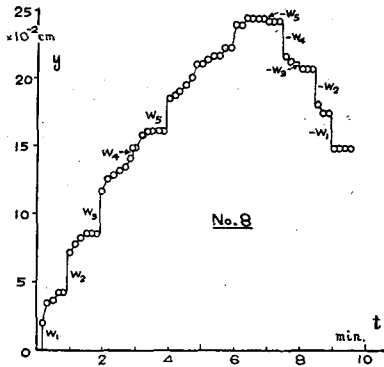
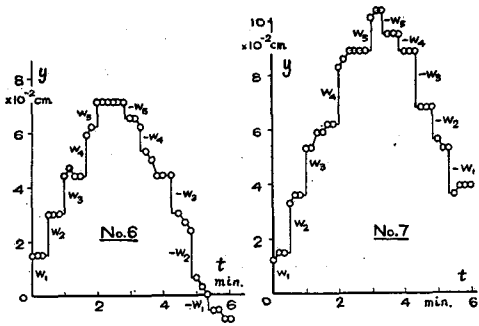
第25圖(1) 變位—時間曲線



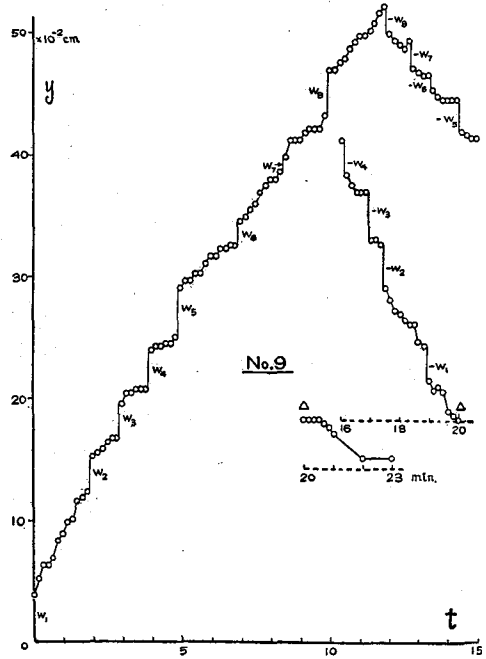
第25圖(2)



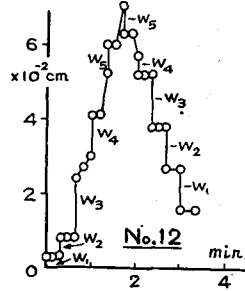
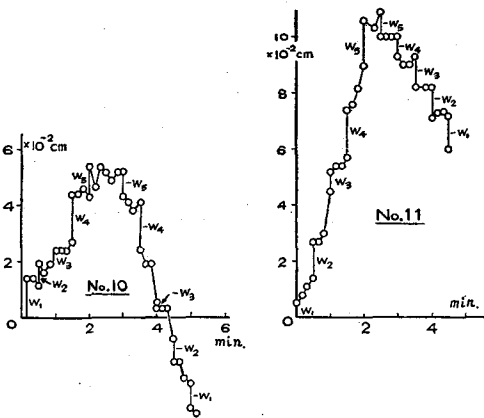
第25圖(3)



第 25 圖 (4)



第 25 圖 (5)



第 25 圖 (6)

No. 3 1950, III, 11. 瀞沸沼

$l=217.3$ cm $b=39.43$ cm $d=36.74$ cm
 $Cl=0.54\%$ $\rho_i=0.90$ 表面海水 $Cl=6.31\%$ 表面海水温 0.0°C

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
5	—	(W ₁) 3.3	3.3
10	0.2		"
20	"		"
35	"	(W ₂) 4.2	7.5
55	"		"
1.00	0.5		"
05	0.7		"
10	1.2		"
15	1.9		"
20	2.1		"
25	"		"
30	1.9		"
35	"		"
55	"		"
2.00	2.4	(W ₃) 4.8	12.3
05	"		"
55	"		"
3.00	3.8	(W ₄) 4.5	16.8
05	4.0		"
55	"		"
4.00	4.7	(W ₅) 5.0	21.8
05	"		"
45	"		"
50	5.0		"
55	"		"
5.00	6.1	(W ₆) 6.0	27.8
05	6.4		"
10	6.6		"
15	"		"
20	6.8		"
25	"		"
30	7.1		"
35	"		"
55	"		"
6.00	6.4	(W ₆) -6.1	21.7
05	"		"

T (m. sec)	變位 (cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
6.10	6.1		"
15	5.9		"
20	"		"
35	"		"
40	5.2	(W ₅) -4.9	16.8
45	4.7		"
50	"		"
55	"		"
7.05	"		"
10	4.3	(W ₄) -4.6	12.2
15	4.0		"
20	"		"
30	"		"
33	2.4	(W ₃) -4.8	7.4
40	"		"
55	"		"
8.00	1.9	(W ₂) -4.2	3.2
30	0.5		"
35	0.2	(W ₁) -3.2	0
40	0		"
50	0		"

以上

No. 4 1950, III, 11. 瀞沸沼

No. 3 に用いた Bar に再び荷重を加えた

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0	0	0
5	0.5	(W ₁) 3.3	3.3
10	"		"
25	"		"
30	1.0	(W ₂) 4.2	7.5
40	1.2		"
1.00	"		"
05	2.4	(W ₃) 4.8	12.3
10	2.6		"
15	2.8		"
20	"		"
30	3.1	(W ₄) 4.5	16.8
35	"		"
55	"		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)	T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
2.00	4.5	(W ₅) 5.0	21.8	50	"		"
05	4.7		"	7.00	"		"
10	"		"	05	1.0	-12.3 (W ₆ +W ₇)	21.6
20	5.0		"	10	8.5		"
30	5.4	(W ₆) 6.0	27.8	15	8.3		"
40	5.7		"	20	"		"
45	5.9		"	25	8.0		"
50	6.1		"	30	"		"
55	6.6		"	40	7.6	(W ₈) -5.0	16.6
3.00	6.8		"	45	7.8		"
05	7.1		"	50	"		"
10	"		"	8.05	"		"
25	"		"	10	4.7	-13.5 (W ₂ +W ₃ +W ₄)	3.1
30	7.5	(W ₇) 6.2	"	13	4.5		"
45	7.8		"	15	4.3		"
55	8.0		"	25	3.8		"
4.00	"		"	30	"		"
05	8.3		"	35	3.5		"
10	"		"	40	3.3		"
15	8.5		"	55	"		"
20	8.7		"	9.00	2.8	(W ₁) -3.1	0
25	9.0		"	05	"		"
30	"		"	55	"		"
55	"		"	10.00	2.1		"
5.00	9.2		"	15	1.7		"
10	10.1	(W ₈) 8.1	42.1	30	"		"
15	10.6		"	45	1.4		"
20	11.1		"	11.00	0.7		"
25	"		"	15	"		"
30	11.3		"	12.00	0.5		"
35	"		"	15	0.2		"
5.40	11.6		42.1				以上
45	11.8		"				
50	"		"				
6.00	"		"				
10	12.0		"				
15	"		"				
25	"		"				
30	11.1	(W ₈) -8.2	33.9				
35	10.6		"				
45	10.4		"				

No. 3, No. 4 の > 印はこの間の5秒毎の測定が一定なることを示す。

No. 5 1950, III, 11. 澇沸沼

No. 3, No. 4 に用いた Bar に三度び荷重を加えた。

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	3.5	(W_1) 23.5	23.5
10	4.0		"
20	4.3		"
30	"		"
50	"		"
1.00	5.2	(W_2+W_3) 7.5	31.0
10	5.9		"
20	6.1		"
50	"		"
2.00	—	(W_4+W_5) 9.4	10.4
05	7.8		"
15	8.3		"
25	8.5		"
3.25	"		"
30	9.9	(W_6+W_7) 10.9	51.3
40	10.6		"
50	10.8		"
4.10	"		"
20	12.3	(W_8) 6.3	57.6
30	12.7		"
40	13.2		"
50	13.4		"
5.00	"		"
20	"		"
30	14.1		"
40	14.4		"
50	"		"
6.00	14.6		"
10	"		"
20	14.9		"
30	15.3		"
50	"		"
7.00	16.3	(W_9) 7.9	65.5
10	17.2		"
20	17.5		"
30	17.7		"
40	"		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
50	17.9		"
8.00	18.2		"
10	18.4		"
50	"		"
9.00	17.7	(W_0) -8.2	57.3
10	17.5		"
20	17.0		"
30	15.7		"
40	"		"
10.10	"		"
20	16.5		"
30	"		"
40	15.8	(W_5) -6.2	51.1
50	"		"
11.20	"		"
30	15.3	(W_7) -6.1	45.0
40	15.1		"
50	14.9		"
12.30	"		"
40	13.5	(W_6) -4.9	40.1
13.20	"		"
30	13.0	(W_5) -4.6	35.5
40	12.7		"
50	"		"
14.00	11.6	(W_4) -4.8	30.7
20	"		"
30	10.6	(W_3) -4.2	26.5
50	10.4		"
15.10	10.1		"
20	"		"
30	9.2	(W_2) -3.1	23.4
40	9.0		"
50	8.7		"
16.20	"		"
30	4.5	(W_1) -23.4	0
40	4.0		"
50	3.5		"
17.00	2.8		"
10	2.4		"
20	2.1		"
30	"		"

<i>T</i> (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
40	1.9		0
18.10	”		”
20	4.0	(W ₁) 23.6	23.6
25	5.2		”
30	5.4		”
40	5.7		”
50	5.9		”
19.00	6.4		”
10	6.6		”
20.10	”		”
20	3.5	(W ₁) -23.6	0
25	2.8		”
30	2.4		”
40	1.9		”
21.00	”		”
30	1.2		”
22.00	”		”
30	1.0		”
23.00	”		”

以上

>印はこの間の10秒毎の測定値が一定なることを意味する。以下の測定についても同じ。

No. 6 1950, III, 13. 瀧沸沼

$l=144.0$ cm $b=30.56$ cm
 $d=27.96$ cm $\rho_i=0.92$

No. 6, 7, 8, 9 の測定に用いた氷の上面は水面上 2.43 cm。

<i>T</i> (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	1.5	(W ₁) 8.3	8.3
10	”		”
20	”		”
30	3.0	(W ₂) 9.0	17.3
40	”		”
50	”		”
1.00	4.4	(W ₃) 8.1	25.4
10	4.7		”
20	4.4		”
30	”		”

<i>T</i> (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
40	5.9	(W ₄) 7.5	32.9
50	6.2		”
2.00	7.1	(W ₅) 3.9	36.8
50	”		”
3.00	6.5	(W ₅) -3.9	32.9
10	”		”
20	6.2		”
30	5.3	(W ₄) -7.6	25.3
40	5.0		”
50	4.4		”
4.00	”		”
15	”		”
30	3.0	(W ₃) -8.1	17.3
40	2.7		”
50	2.4		”
5.00	0.6	(W ₂) -9.0	8.3
10	0.3		”
20	0		”
30	-0.6	(W ₁) -8.3	0
40	”		”
50	-0.9		”
6.00	”		”

以上

No. 7 1950, III, 13. 瀧沸沼

No. 6 の測定に用いた Bar に再び荷重を加えた。

<i>T</i> (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	1.2	(W ₁) 8.3	8.3
10	1.5		”
20	”		”
30	3.3	(W ₂) 9.0	17.3
40	3.6		”
50	”		”
1.00	5.3	(W ₃) 8.0	25.3
10	”		”
20	5.9		”
30	”		”
40	6.2		”
50	”		”

T (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)	T (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
2.00	8.3	(W ₄) 7.5	32.8	20	8.3		17.2
10	8.6		"	30	8.6		"
20	8.9		"	50	"		"
30	"		"	2.00	11.8	(W ₃) 8.1	25.3
40	"		"	10	12.6		"
50	"		"	20	12.9		"
3.00	10.1	(W ₅) 8.3	41.1	30	13.2		"
10	10.4		"	40	13.5		"
20	"		"	50	14.1		"
30	9.5	(W ₅) -8.3	32.8	3.00	14.9	(W ₄) 7.5	32.8
40	"		"	10	15.8		"
50	"		"	20	16.1		"
4.00	8.9	(W ₄) -7.5	25.3	50	"		"
10	"		"	4.00	18.4	(W ₅) 8.2	41.0
20	"		"	10	18.7		"
30	6.8	(W ₃) -8.1	17.2	20	19.0		"
40	"		"	30	19.5		"
50	"		"	40	20.1		"
5.00	5.6	(W ₂) -9.0	8.2	50	21.0		"
10	5.3		"	5.00	"		"
20	"		"	10	21.3		"
30	3.6	(W ₁) -8.2	0	20	21.6		"
40	3.9		"	30	"		"
50	"		"	40	22.2		"
6.00	"		"	50	"		"
		以上		6.00	23.9		"
				10	"		"
				20	24.4		"
				50	"		"
				7.00	24.2	(W ₅) -8.4	32.6
				20	"		"
				30	21.6	(W ₄) -7.5	25.1
				40	21.3		"
				50	—	(W ₃) -8.1	17.0
				8.00	20.7		"
				10	"		"
				20	"		"
				30	18.1	(W ₂) -9.0	8.0
				40	17.5		"
				50	"		"
				9.00	14.9	(W ₁) -8.0	0

No. 8 1950, III, 13. 澇沸沼

$l=157.0$ cm $b=21.89$ cm $d=26.45$ cm
 $\rho_i=0.92$ $Cl=0.38\%$ $t=-1.8^\circ\text{C}$
 表面海水 $Cl=1.93\%$ 。 表面海水温 $=-0.10^\circ\text{C}$

T (<i>m. sec</i>)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0	0	0
10	2.0	(W ₁) 8.3	8.3
20	3.5		"
30	3.7		"
40	4.3		"
50	"		"
1.00	7.2	(W ₂) 8.9	17.2
10	7.8		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)	T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
8.10	14.9		0	4.50	25.0		32.4
20	"		"	5.00	29.0	(W ₅) 8.2	40.6
30	"		"	10	29.6		"
			以上	20	"		"
				30	30.2		"
				40	"		"
				50	31.0		"
				6.00	31.6		"
				10	"		"
				20	32.2		"
				30	"		"
				40	32.5		"
				50	"		"
				7.00	34.5	(W ₆) 3.9	44.4
				10	34.8		"
				20	35.4		"
				30	35.9		"
				40	36.8		"
				50	37.4		"
				8.00	37.9		"
				10	"		"
				20	38.5		"
				30	39.7	(W ₇) 6.1	50.5
				40	41.1		"
				9.00	"		"
				10	41.7		"
				20	42.0		"
				40	"		"
				50	43.1		"
				10.00	46.9	(W ₈) 7.2	57.7
				10	"		"
				20	47.5		"
				30	47.8		"
				40	48.6		"
				50	49.2		"
				11.00	49.7		"
				10	"		"
				20	50.0		"
				30	50.6		"
				40	51.5		"
				50	52.0		"

No. 9 1950; III, 13. 瀧沸沼

No. 8 に引き續いて再び荷重を加えて測定を行つた。時間の 0 sec は No. 8 の 9 m 40 sec に相當し、變位の零點は No. 8 の 14.9×10^{-2} cm である。

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0	0	0
0	3.7	(W ₁) 8.0	8.0
10	5.2		"
20	6.3		"
30	"		"
40	6.9		"
50	8.3		"
1.00	8.9		"
10	9.8		"
20	10.1		"
30	11.5		"
40	11.8		"
50	12.4		"
2.00	15.2	(W ₂) 8.8	16.8
10	15.5		"
20	15.8		"
30	16.4		"
40	16.7		"
50	"		"
3.00	19.5	(W ₃) 8.1	24.9
10	20.4		"
20	"		"
30	20.7		"
50	"		"
4.00	23.9	(W ₄) 7.5	32.4
10	24.2		"
20	"		"
30	24.4		"
40	"		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
12.00	49.7	(W ₈) -7.4	50.3
10	49.2		"
20	48.9		"
30	48.6		"
40	49.2		"
50	46.9	(W ₇) -6.1	44.2
13.00	46.6		"
10	46.3		"
20	"		"
30	45.1	(W ₆) -3.9	40.3
40	44.6		"
50	44.3		"
14.20	"		"
30	41.7	(W ₅) -8.3	32.0
40	41.4		"
50	41.1		"
15.00	"		"
10	38.2	(W ₄) -7.5	24.5
20	37.4		"
30	36.8		"
50	"		"
16.00	32.8	(W ₃) -8.0	16.5
10	"		"
20	32.5		"
30	28.8	(W ₂) -9.0	7.5
40	27.9		"
50	27.0		"
17.00	26.7		"
10	26.2		"
20	25.9		"
30	"		"
40	24.4		"
50	24.1		"
18.00	21.3	(W ₁) -7.5	0
10	20.4		"
20	20.7		"
30	20.4		"
40	18.7		"
50	18.4		"
19.00	18.1		"
30	"		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
19.40	17.8		0
50	17.5		"
20.00	16.9		"
21.00	14.9		"
22.00	"		"

以上

No. 7, 8 の測定に用いた氷には略中央に軟らかい層が見られた。又氷の下面から六華板状の氷 (最長 5 cm 位) が成長しているのが澤山見られた。

No. 10 1950, III, 14. 瀧沸沼

$l=145.2$ cm $b=20.5$ cm $d=31.00$ cm
 $\rho_i=0.89$ $Ct=0.26\%$ $t=1.3^\circ\text{C}$
 表面海水 $Ct=1.19\%$ 表面海水温 $=0.1^\circ\text{C}$

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0	0	0
10	1.4	(W ₁) 5.4	5.4
20	"		"
30	1.1 1.9	(W ₂) 7.1	12.5
40	1.6		"
50	1.9		"
1.00	2.4	(W ₃) 7.7	20.2
20	"		"
30	2.7 4.4	(W ₄) 8.2	28.4
40	"		"
50	4.6		"
2.00	4.3 5.4	(W ₅) 8.6	37.0
10	4.6		"
20	5.4		"
30	5.2		"
40	4.9		"
50	5.2		"
3.00	5.2 4.3	(W ₆) -8.6	28.4
10	4.1		"
20	3.8		"
30	4.1 2.4	(W ₇) -8.2	29.2
40	1.9		"
50	"		"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
4.00	0.5	(W_3) -7.7	12.5
20	0.3	"	"
30	-0.8	(W_2) -7.1	5.4
40	-1.6	"	"
50	-2.2	"	"
5.00	-2.4	(W_1) -5.4	"
10	-3.3	"	"
	-3.5	"	"

以上

)印は荷重が變化したために變位が變つた量を示す。

氷の下面から下方に薄い六華の結晶が澤山成長していた。

No. 10, 11, 12 の測定の際に反射用鏡の支持臺が少し氷にめり込んだのが認められたので、測定の精度はあまり良くない。

No. 11 1950. III, 14. 瀧沸沼

No. 10 に用いた Bar に再び荷重を加えた。

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0.5	(W_1) 5.4	5.4
10	0.8	"	"
20	1.1	"	"
30	1.4	(W_2) 7.1	12.5
40	2.7	"	"
50	3.0	"	"
1.00	4.5	(W_3) 7.7	20.2
10	5.2	"	"
20	5.4	"	"
30	5.7	(W_4) 8.1	28.3
40	7.4	"	"
50	7.6	"	"
2.00	8.2	(W_5) 8.6	36.9
10	9.0	"	"
20	10.3	"	"
30	10.9	(W_5) -8.6	28.3
40	10.0	"	"
50	10.0	"	"
3.00	10.0	(W_4) -8.2	20.1
10	9.3	"	"
	9.0	"	"

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
20	"	"	"
30	9.3	(W_3) -7.7	12.4
40	8.2	"	"
50	—	"	"
4.00	8.2	(W_2) -7.1	5.3
10	7.1	"	"
20	7.3	"	"
30	7.1	(W_1) -5.3	0
	6.0	"	"

以上

No. 12 1950, III, 14. 瀧沸沼

No. 10, No. 11 に用いた Bar に三たび荷重を加えた。

T (m. sec)	變位 ($\times 10^{-2}$ cm)	追加荷重 (kg)	總荷重量 (kg)
0	0.3	(W_1) 5.4	5.4
10	"	"	"
20	0.3	(W_2) 7.0	12.5
30	0.8	"	"
40	0.8	(W_3) 7.7	20.2
50	2.4	"	"
1.00	2.7	(W_4) 8.2	28.4
10	4.1	"	"
20	5.2	(W_5) 8.6	37.0
30	6.0	"	"
40	7.1	(W_5) -8.7	28.3
50	6.3	"	"
2.00	6.3	(W_4) -8.1	20.2
10	5.7	"	"
20	5.2	(W_3) -7.7	12.5
30	3.8	"	"
40	3.8	(W_2) -7.2	5.3
50	2.7	"	"
3.00	2.7	(W_1) -5.3	0
10	1.6	"	"
20	1.6	"	"

以上

海氷の弾性係数及び粘性係数

これらの測定結果から海氷の弾性係数及び粘性係数を次の様にして求めた。

1回の測定の間(荷重を加え始めてから全部の荷重を取り去るまでの間)では疲労によつて氷の弾性係数が変化することはないと考えると、同じ荷重を加えた時と取り去つた時に氷の bar に生ずる弾性変形は同じ筈であるからある荷重を加えた時と取り去つた時に測定された弾性変形の量の平均をその荷重によつて起つた弾性変形と見做した。又各荷重をそれぞれ独立なものとして取り扱つたが、筆者等の測定では **creeping** が停止したのちに即ち氷の bar が一度安定な状態になつたあとで次の荷重を加えているからこのことは差支えない。

この荷重の重量とそれに対応する氷の bar の弾性変形から弾性係数 E は次の式で与えられる。

$$E = \frac{4Pl^3}{y d^3 b} \dots\dots\dots (11)$$

P は荷重の重量, l は氷の bar の長さ, d は厚さ, b は幅, y は弾性変形の量である。但し bar は荷重による沈下で水中に沈むことにより浮力が増大するから荷重による bar の曲げの moment は変化するので、その場合場合に依じた浮力の補正を施す必要があるのは申す迄もない。筆者等は次々に荷重を追加して測定を行つたので1回の測定においてもそれぞれの荷重に対応する弾性変形から数個の弾性係数が求められた。そのうち最大及び最小の値を示したのが第11表である。表には同時にのちのべる方法によつて求めた粘性係数及び氷の密度、塩素量も記した。

第11表 海氷の弾性係数及び粘性係数

測定番號	弾性係数 ($\times 10^{10} \text{ dyne/cm}^2$)	粘性係数 ($\times 10^{10} \text{ dyne}\cdot\text{min/cm}^2$)	密度	鹽素量 (%)
No. 1	5.6~1.0		0.91	0.97
2	2.0~0.4		0.89	2.51
2'	2.2~0.4			
3	2.6~1.0	1.1~4.2	0.90	0.54
4	2.2~1.0	0.5~1.6		
5	2.1~1.1	1.2~4.2		
6	2.7~2.3	1.2~1.5	0.92	
7	3.5~1.9	1.6~2.6		
8	2.9~1.4	1.4~3.2	0.92	0.38
9	1.5~1.0	0.6~2.6		
10	5.8~1.9	1.0~3.2	0.89	0.26
11	2.6~2.4	0.3~1.5		
12	4.0~1.9	1.9~4.0		

註 No. 2, 2'; No. 3, 5; No. 6, 7; No. 8, 9; No. 10~12 は夫々同じ試料に就いて測定を繰返したものである。

この表から海氷の弾性係数は大凡 $1 \sim 5 \times 10^{10}$ *dyne/cm²* の程度であることがわかる。尚、測定時の気温は何れも割合に高く $-5 \sim 0^\circ\text{C}$ 位であったから測定に用いられた氷の温度は殆んど結氷温度に近かつたと見做すことが出来るであろう。この測定の精度の範囲内では一番始めに加えた荷重から求めた弾性係数と次々に追加した荷重より求めたそれとの間には意味付けられる様な相違は見られなかつた。測定例も少いし、温度範囲も極めてせまいので温度による弾性係数の変化、氷の密度又は塩素量との関係も明らかではない。

既に説明した様に、以上の測定では *transient creep* は測定されたが、*permanent creep* は殆んど起つていないし、追加荷重は前に加えた荷重によつて生じた氷の *bar* の変位が停止してから加えている。このことから、各荷重を加えた時に起つた *transient creep* はその荷重だけによるものであると見做すことが出来る。この *creeping* の量は氷の粘性係数と荷重の重量及びそれが作用していた時間の函数であることは言うまでもない。第 25 図を見ればわかることであるが、この程度の精度の測定ではこの函数形を測定結果から厳密に求めることが出来ないが、*creeping* は時間と共に直線的に増大していると考えてもそう大きな誤りはなさそうである。そうすると粘性係数 η は

$$\eta = \frac{4t^3}{y'd^3b} Pt \dots\dots\dots (12)$$

であらわされる。 t は荷重 P が作用していた時間であり、 y' はその間に生じた *creeping* の量である。

この様にして求めた粘性係数を弾性係数の場合と同様に 1 回の測定のうち最大及び最小の値を第 11 表に示した。明らかに海氷の粘性係数は略々 $0.5 \sim 4 \times 10^{10}$ *dyne \cdot min/cm²* であることがわかる。

Weinberg⁹⁾ の摘要によると、多くの研究者によつて求められた淡水氷の弾性係数は $5.9 \times 10^9 \sim 1.8 \times 10^{11}$ *dyne/cm²* であり、長い角柱の氷の振動と爆発音の伝播速度による方法で求めた同じく淡水氷の弾性係数は $4.8 \sim 9.4 \times 10^{10}$ *dyne/cm²* である。小島¹⁰⁾ によると積雪の弾性係数は 10^7 *dyne/cm²* の程度で粘性係数は 10^7 *dyne \cdot min/cm²* である。

吟 味

筆者等は *bar* の変位を測定するために次々に荷重を追加して測定を行なつた。この様な測定の方法は加えた荷重とそれによつて生じた弾性変位の間には何時でも一定の関係があるということ仮定していることになる。測定の結果をよく吟味してみると僅かではあるが、総荷重量が多くなるとこの比が減少する (即ち弾性係数が少い) 傾向が認められる場合と逆の場合がある。この様な傾向は積雪の粘弾性係数を測定した小島も指摘している所であり、今後測定を行なう場合には注意する必要がある。

以上の測定では *permanent creep* は殆んど観測されていないし、*transient creep* についてもその時間一歪曲線について更につき進んだ議論を行なうには精度が足りない。もつと大き

な力を加えたならば *creeping* は当然氷が破壊するまで続くであろうと思われるが、将来の実験によつて確め度い。

この方法による測定の本格的な問題は、力が *bar* の根元の所で最も大きく加わり、*bar* 全体に平均して加わらないことである。*creeping* が起つている時の時間—歪曲線が複雑になつているのは測定の精度以外にこのことにも原因するのかも知れない。出来得るならば試料全体に一樣に力を加える方法が望ましいのは勿論であり、更に進んだ方法による測定が望まれる。

この測定では *bar* の先端 A の変位は第 24 図の B に対して求めており、*bar* の根元では力は最も大きくかかるが、上下何れにも変位は起つていないものと仮定した結果になつている。もし *bar* の根元が変位を起しているとしても恐らくあまり大きな量ではあるまいと思われるが測定に際して一応の検討は必要であろう。

以上の他にも未だ 2, 3 の吟味すべき点が見出されるが、異なつた場所に別の年に生じた勿論厚さも化学成分も違う海水についての測定結果が上に述べた程度に一致することから、海水の弾性係数は略々 10^{10}dyne/cm^2 、粘性係数は $10^{10} \text{dyne} \cdot \text{min/cm}^2$ の程度であることがわかる。更に精細な測定を続けるつもりである。

2. 衝撃試験について

1944年2月下旬に、網走の沿岸に張つた平らな不動氷から海水の試料をもとめ、Sharpy 衝撃試験機によつて氷を折断した、この結果についてのべる。

試料を採取した地点は第 2 図中の測点 VIII と M である。使用した装置は写真のものと同一方式のものであるが、材料には木を用いた。ただし、試料の折断にもちいる振り型の錘は写真に示された試験機のものそのまま用いた。振り子の廻転軸中心と重心との距離は 20 cm、重さは 1.5 kg である。

海水の試料は大きさが $2 \times 2 \times 10.5 \text{ cm}$ の角柱で両端 2.5 cm が支えられている、したがつて支点距離は 5.5 cm である。一般に金属材料の場合では試料の寸法は $1 \times 1 \times 5.5 \text{ cm}$ と定められている (日本工業規格)。またその中央に 2 mm の切込部があつてその背後から衝撃することになつている。海水の場合には金属に比べて約 2 倍の大きさになつているわけである。しかも、海水の試料では切込部を正確な形に仕上げることは困難なためこれをつけなかつた。

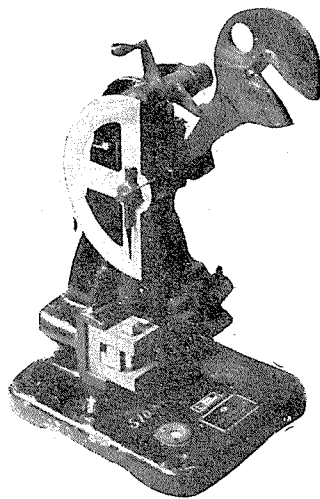
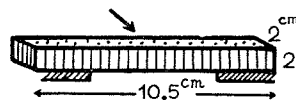


写真 Sharpy 式衝撃試験機



第 26 圖 海水の試料と衝撃方向

衝撃方向は第 26 図に示したように結晶の生長方向と直角である。

振子を最初角 α (この測定では常に鉛直線から 140° にした) に引揚げておき試料を折断する。試料の変形と切断に最初の位置のエネルギーが消費され、その余勢で振子は角 β まであがる。 β の値から衝撃に対する海水の強度がわかることになる。いま振子の重さを W 、廻転軸の中心から錘の重心までの長さを L とすれば、変形や切断に使われた仕事 T は次の式で表わされる。

$$T = WL(\cos \beta - \cos \alpha) - \Delta T \dots\dots\dots (13)$$

ここに、 ΔT は廻転軸や空気による摩擦損失である。この量は試料をおかずに種々の角度で振子をふらせることにより、あらかじめ求めておくことができる。

通常、金属材料の衝撃値といえば、上記の T を切込部の原断面積で割つて $[\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2]$ の単位で現わす習慣となつている。海水の場合には切込部をつけなかつたし、衝撃値の物理的意味がはつきりしないので、金属材料の場合の表現方法を採用せず、折断に消費されたエネルギーの値をそのまま用いることにした。

測定はわずか 2 回よりおこなわれなかつたが、その結果を次の第 12 表 (1), (2) としてしめしておく、

表中の上, 中, 下層とあるのは海水の上下両面間を約 3 等分して試料を求めたことを意味している。

海水の衝撃値についてはすでに Nazarov¹¹⁾ が測定をおこなつている。海水の強度は生成の状態、衝撃方向、温度、海水中の塩分量などに左右されることが予想され、Nazarov は 10

第 12 表 海水の衝撃試験結果

(1) 1944年2月20日, 氷厚30cm, 気温 -6°C						(2) 1944年2月26日, 氷厚39cm, 気温 -6°C					
上層 (Cl=0.95%) ($\rho_i=0.95$)		中層 (Cl=0.56%) ($\rho_i=0.95$)		下層 (Cl=0.40%) ($\rho_i=0.95$)		上層 (Cl=1.22%) (密度=0.91)		中層 (Cl=0.63%) (密度=0.80)		下層 (Cl=0.54%) (密度=0.78)	
測定 番號	衝撃値 (kg·cm)	測定 番號	衝撃値 (kg·cm)	測定 番號	衝撃値 (kg·cm)	測定 番號	衝撃値 (kg·cm)	測定 番號	衝撃値 (kg·cm)	測定 番號	衝撃値 (kg·cm)
1	29.6	1	26.0	1	29.6	1	28.1	1	23.9	1	24.4
2	18.4	2	33.3	2	43.1	2	11.5	2	15.5	2	23.9
3	20.0	3	26.0	3	33.5	3	11.5	3	24.4	3	15.9
4	18.4	4	42.1	4	28.9			4	12.7	4	30.1
		5	36.9	5	39.5			5	17.8	5	29.1
		6	27.1					6	22.8	6	19.5
		7	26.5					7	17.2	7	17.8
		8	34.0							8	32.1
										9	33.5
平均	21.6	平均	31.5	平均	34.9	平均	17.0	平均	19.2	平均	25.1

×10×30 cm の試料について支点距離 10 cm でわれわれと同様の測定をした。その結果、荒天時に生じた氷は静かに凍つた氷より弱い、温度と塩分量が増すと弱くなる、結氷面に平行な衝撃を加えると、それが直角に加えられた場合よりも小さな抵抗値を示すなどの結論を示している。今回の測定では温度、塩分量には大差なく、衝撃方向も一定であつて、各層間の差について検討していることになる。(1), (2) の両者とも上層は下層に比べて小さな衝撃値を示している。すなわち、上層は脆弱であつて、これは積雪と海水とが凍結してもろい組織となつていたためと考えられる。

衝撃値は試料を破壊せしめて得られる値であつて、破壊現象の物理的意味がまだ不充分の今日においては、衝撃値そのものの意味はつきりしない。しかし実際問題との関聯が深いので将来機会を得て更に検討してみるつもりある。

VII. 氷の運動速度に関する数回の測定

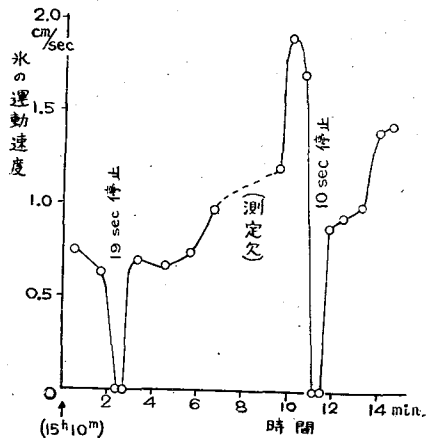
網走における 1944 年、1945 年の海水の状況は第 2 図、第 3 図に示したように盛水期においては海岸から見渡す限り接岸した氷野があり比較的安定な状態を示したが、1948 年、1951 年には盛水期においても沿岸の海水は港内及び港外の一部に過ぎず、流水は接岸したり離れたたりその出入が激しく不安定な状態を示した。かように氷の状態の不安定な年にはこの流水の出入に伴い沿岸の結氷の破碎や氷丘脈の成生が行なわれることは前報¹³⁾に報告した。このような場合、沿岸の氷の運動速度の測定を数回試みたので此処に報告しておく。

(1) 1948 年 2 月 12 日網走港帽子岩防波堤沖で厚さ 20 cm 内外の結氷が破碎されているとき、その速度を測定した。16^h30^mには 8~10 cm/sec、17^h00^mには 9 cm/sec であつた。

(2) 1948 年 2 月 18 日網走港防波堤先端の赤燈台沖で 11^h00^mから 12^h30^mまでの平均速度は 1.85 cm/sec であつた。

(3) 1948 年 2 月 18 日 15^h10^mから約 15 分間に亘り、網走帽子岩北沖 150 m の氷上で厚さ 17 cm の平坦な氷の上に薄い氷殻が直角にのし上がつて滑つて行く速度を毎 50 cm を通過する時間から求めた。縦軸に速度をとり横軸に時刻をとつてこの結果を図示すると第 27 図が得られた。図から判るようにその速さは普通 0.6~2.0 cm/sec であつたが、折々急にその運動が停止するのが認められた。この断続現象の機構については前報¹³⁾に述べたから、ここにはその論議は省略するが、極めて興味ある現象である。

(4) 1948 年 2 月 20 日 14^h00^m頃網走赤燈台



第 27 圖 1948 年 2 月 18 日
網走港外において観察された氷の
運動速度の變化。

から S75°E 方向に約 500 m の氷上で沖から厚さ 18 cm の氷が内港に向つて運動し氷丘脈を生ずるのが認められた。その速度は多少場所によつて異なり 1.82~1.16 cm/sec であつた。

(5) 1951 年 2 月 25 日網走帽子岩北方沖 300 m の地点で沖から 1~3 cm の氷殻が流氷に押されて移動し高さ凡そ 60 cm の氷丘脈を形成した。その運動は 9^h 頃に初まり運動しながら破碎された氷殻の氷厚は 1.0 cm でその速度は 6.7 cm/sec であつたが、10^h 05^m 頃には厚さ 3 cm となりその速度は 3.3 cm/sec となり、10^h 10^m 頃停止した。

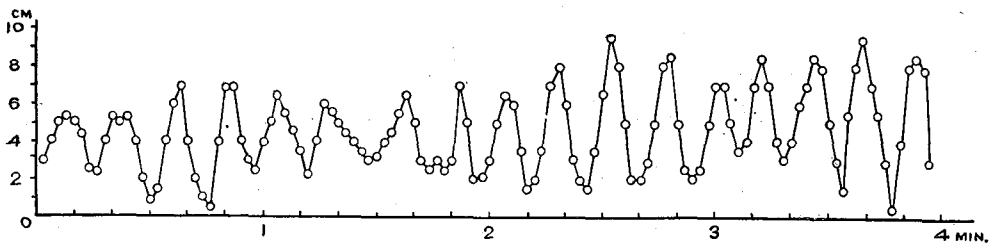
VIII. 氷の短週期上下動の観察

1948 年 2 月 13 日に網走港内の平坦な厚さ約 15 cm の氷上で作業中に防波堤との間に相対運動を認めたので、その振幅と週期を測つてみた。この結果について報告する。

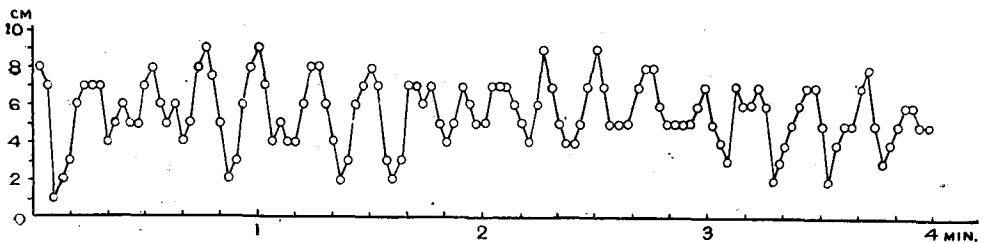
当時の結氷状況は第 5 図に示しておいたように、港内に平坦な海水があるのみで、遙か沖合まで流氷は認められなかつた。海面状況は波浪階級 1 の程度で小さな波が立っているくらいであつた。また目立つたうねりもなかつた。気象状況は、風向 N、風速 2 m/sec で気温は -2 °C 位であつた。

第 5 図に示した (A) 一小船入潤の防波堤先端と (B) 港内白色灯台のある防波堤先端とで氷の上下運動を測定した。防波堤に折尺を固定し、これに対する氷の上下運動を 2 sec 間隔で読みとつた。氷の水平方向の運動は極めて僅かであつた。この読み取りを 4 分間続けた。その結果を第 28 図 (A), (B) としてしめしておく。

測定結果から、全振幅は (A) で 3~9 cm, (B) では 1~7 cm であることがわかる。週期を求めるために、2 sec おきに自己相関係数を求めてみると第 29 図のような結果がえられた。この図から (A), (B) ともに約 14 sec の週期のあることがわかる。なお 72 項の調和解析をおこなつ



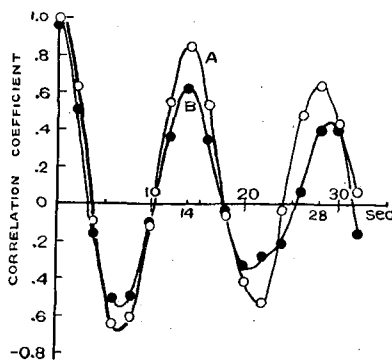
第 28 圖 (A)



第 28 圖 (B)

てみても 14 sec 前後の週期が卓越していることがわかつた。

ところでこのような氷の振動の原因としては防波堤にかこまれた築港内の静振が考えられるが、静振とすれば週期は最低 1 分位であつて (平均水深 5 m, 長さ 100 m) とうてい 14 sec のような値はとりえない。はじめに外海からのうねりは殆んど認められないと述べたが、氷の運動の振幅が数 cm の振動であることから海面を見ただけでは感知されないうねりが氷の上下動を起していたのではないかと考えられる。



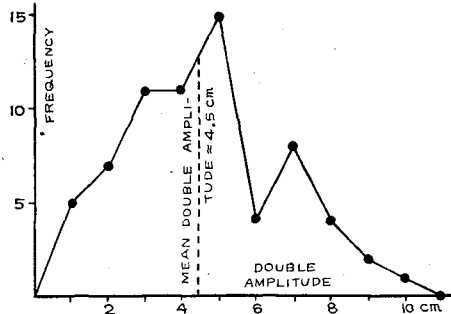
第 29 圖 自己相関係数

IX. うねりに依る氷の破碎

1946 年 2 月紋別港附近の海水調査の際、うねりに依つて港内の結氷に多くの割目を生じたので、うねりと氷の破碎について多少の実測を行ない、これらの関係を少し調べてみた。

当時の海面の状態は外港より沖は全海面氷は見えず沖から侵入したうねりにより内港の結氷はうねり運動を示していた。

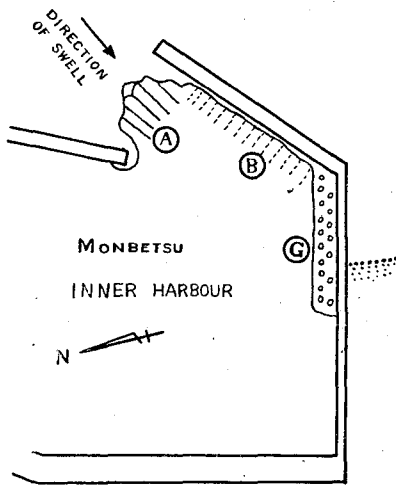
2 月 20 日内港出口附近で結氷中を伝播するうねりの上下運動を岩壁を基準として測定し週期 $T=4.0$ sec (5 回平均) を得た。又波の進行方向にとつた 20 m の距離をうねりが伝播する時間として 4.0 sec を測定したので、従つて波の速度 $v=5.0$ m/sec を得た。故にうねりの波長 $\lambda=vT=20$ m であつことになる。2 月 17 日にも同様の測定を行なつたが平均として $T=3.5$ sec, うねりの半振幅は最高 5 cm であつた。2 月 21 日 12^h~12^h 30^m に同じく南防波堤附近でうねりを測定した。うねりの週期は 1.8~7.1 sec の範囲で平均して $T=4.7$ sec (14 回の平均), 波の進行方向にとつた 10 m の距離を波の山が伝播するに要した時間 1.9 sec (18 回の平均) から波の速度 $v=5.3$ m/sec を得た。従つて波長 $\lambda=25.0$ m となる。又 14^h 00^m~15^h 15^m 頃附近 4 箇所



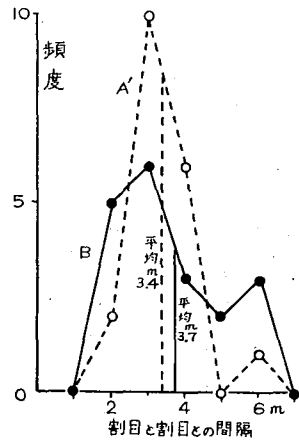
第 30 圖 1946 年 2 月 21 日紋別内港の結氷中を伝播したうねりの全振幅の頻度分布

4 cm (31 回の平均), 4.7 cm (11 回の平均), 4.4 cm (11 回の平均) で減衰はほとんど認められなかつたから総平均をつくと 4.5 cm (68 回の平均) となる。第 30 図はこの全振幅の頻度分布図であるが 1~10 cm の拡がりがあつたことが判る。

2 月 17 日のうねりでは港口の氷厚 9.5 cm の板状軟氷に亀裂が入つたが、2 月 20~21 日にはうねりにより内港の結氷 (氷厚港出口附近 14.5 cm, 港内 32.6 cm) にも小さい割目が入つ



第31圖 1946年2月20~21日紋別内港出口附近でうねり生じた割目の状況



第32圖 A'及びBにおける割目と割目との間隔の頻度分布

たのでその割目と割目との間隔の測定を行なつた。第31図には2月20~21日における割目の状況を示した。図中A部は氷厚14.5cmの板状軟氷でうねりの進行方向に平行な割目を生じていた。その割目と割目との間隔は4.5~8.5mで平均6mであつた。B部は氷厚32.6cmの平坦海水でうねりの進行方向に直角な割目が多く生じていた。第32図中BはB部の割目間隔の頻度分布である。即ち間隔は2.0~6.0mで平均3.7mであつた。2月17日にA部附近にあつた9.5cmの板状軟氷に生じていた割目もうねりの進行方向に平行なものであつた。その間隔の頻度分布を第32図中にA'で示した。その間隔は2.0~6.4mで平均3.4mであつた。

以上の結果を簡単に表示すれば第13表となる。

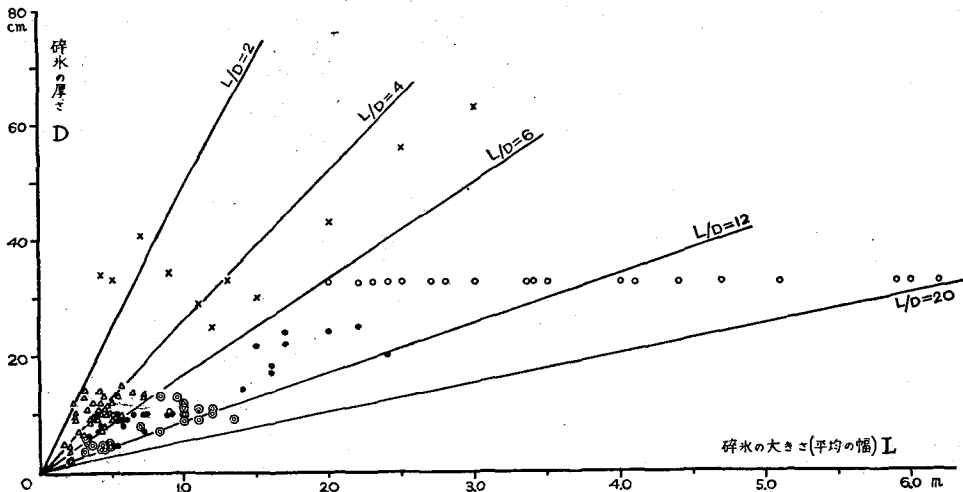
第13表 うねりの要素とうねりにより生じた割目

月日 (1946)	うねり				氷の割目と割目との間隔		うねりの進行方向に對する割目の方向	氷厚 (cm)	L/Dの値	
	周期 T (sec)	速度 v (m/sec)	波長 λ (m)	全振幅 (cm)	範圍 (m)	平均 (m)			範圍	平均
2-17	3.5	—	—	5 (最高)	2.0~6.4	3.4	平行 (A')	9.5	21~67	36
2-20	4.0	5.0	20	—	4.5~8.5	6.0	平行 (A)	14.5	34~65	46
2-21	4.7	5.3	25	4.5 (平均)	2.0~6.0	3.7	直角 (B)	32.6	6~18	11

表によれば結氷中でうねりの全振幅が大体4~5cmになると割目が生ずることが判る。この場合割目と割目の間隔は何れも波長の1/2と比較してもかなり小である。一般に割目間隔Lと氷厚Dとの間には正の関係があると思われるから、L/Dの値を求めてみると表に示した様にA'では21~67で平均して36、Aでは34~65で平均して46、Bでは6~18で平均して11となる。即ち、L/Dの値はうねりの進行方向に対し平行な割目では割合に大きく、うねりの進

行方向に直角な割目では割合に小さいことが判る。

流氷となつて遠方から沖を流れて漂着した碎氷について、その平均の幅 L を横軸に、その厚さ D を縦軸にとつて測定結果を図示すれば第 33 図が得られる。即ち、沖で長時間波溝にもまれた碎片の L/D の値は凡そ 2.0~12.0 の範囲内にあることが判る。沖で氷野が破碎されて碎氷となる場合には、波長の短い風浪は流水原の中にはあまり入らないから、うねりや比較的波長の長い風浪が主として影響するのであろうと考えられる。しかも、沖ではこれらの波の進行方向に直角な割目が生じ易いと考えられるから、比較のために第 13 表の B の L と D との値を第 33 図中に白丸で記入しておいた。B の L/D の値は沖から漂着した碎氷の L/D の値より稍々大きく 6~18 の範囲で平均して 11 であつた。この B の値は沿岸特に港内の如き比較的うねりの弱い場所で初めて生ずる割目の値であつて、これらの割目で分離して碎片となり沖に流出し漂流する間には第 33 図のように L/D の値が小になるのであろうと思われる。



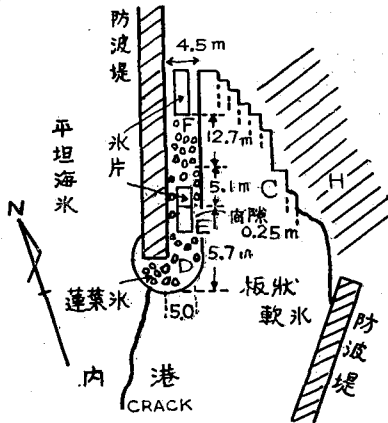
第 33 図 沖で破碎された碎氷の大きさ (平均の幅 L) と氷厚 D との関係と、紋別内港でうねりによつて生じた割目と割目との間隔と氷厚との関係の比較

- | | | | |
|------|---|----------------------------|-------------------------------|
| 沖の碎氷 | { | ● 網走 (1942, 2, 26) における測定値 | |
| | | ◎ 大泊港外 (1943, 2, 9) 〃 | 港内の割目 {○ 紋別 (1946, 2, 20-21)} |
| | | △ 同上 (1943, 2, 10) 〃 | |
| | | × 雄武 (1949, 3, 6) 〃 (青氷) | |

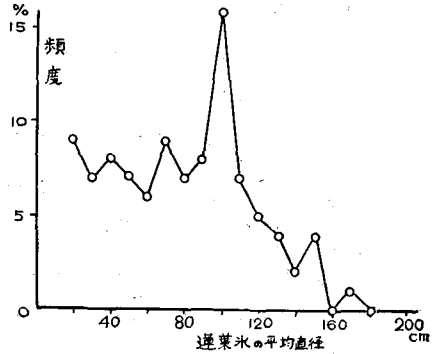
X. 蓮葉氷に関する 2~3 の観察

1946年2月紋別内港附近で蓮葉氷について2~3の観察を行つたので簡単に報告する。

第 34 図は 2 月 17 日 10^h 45^m~11^h 40^m 頃の紋別内港出口附近の見取図である。当内港出口附近には氷厚 9.5 cm の板状軟氷 C があり、その沖には厚さ 5 cm 以下の軟氷 F があり、所々に小さい塊を生じて蓮葉氷初期の状態を示していた。C と北防波堤との間は幅 5 m 位海面が露出し、矩形状の C の碎片が 2 個浮いており、その間の海面に多くの蓮葉氷が出来ていた。

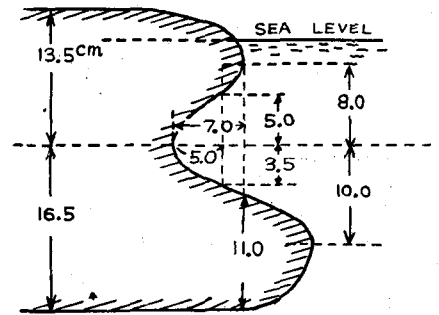


第34圖 1946年2月17日紋別内港北防波堤附近に生じた蓮葉氷の状況見取圖



第35圖 1946年2月21日紋別内港G附近に生じた蓮葉氷の平均直径の頻度分布

当日は波高最高5 cm位のうねりがあり、湾内には多少二次振動が誘起されていたようで蓮葉氷は北防波堤の長軸方向に数分位の週期で運動するのが認められた。図中D部の蓮葉氷は平均直径60 cm、氷厚4.5 cmでその数は74個位、E部の蓮葉氷は平均直径15~20 cmで円に近い形で移動とともに廻転しつつありその数は50個位、F部では平均直径60~70 cm、最大のものは120 cm位、その数は250個位あった。



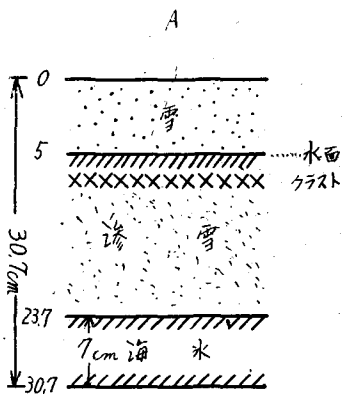
第36圖 蓮葉氷の縁の形の一例

2月20~21日も第IX章に述べたようにうねりが大きかったが、2月21日には遂に南防波堤内港側の平坦氷(氷厚32.6 cm)が第31図中G附近で割れて動揺により衝突廻転の結果凡そ100個の蓮葉氷を生じていた。その平均直径の頻度分布を第35図に示した。1個の蓮葉氷を切つてその縁の形を調べてみると第36図のようであつた。当時の氷上における日平均気温は18日: -8.0°C, 19日: -7.9°C, 20日: -2.1°C, 21日: -6.4°Cであり、附近の海水は5 cmの深さで水温 -1.54°C, 塩分 31.44%, この塩分に対する結氷点は -1.71°C, 水深1.0 mでは水温 -1.30°C, 塩分 31.42%, この塩分に対する結氷点 -1.71°Cであつた。即ち、海水の温度は海水の結氷点より5 cmの深さでは0.17°C, 1 mの深さでは0.41°C高かつた。従つて海氷は多少融解の状態にあり特に開水部に接した結氷の端では融解しつつあつたことが判る。

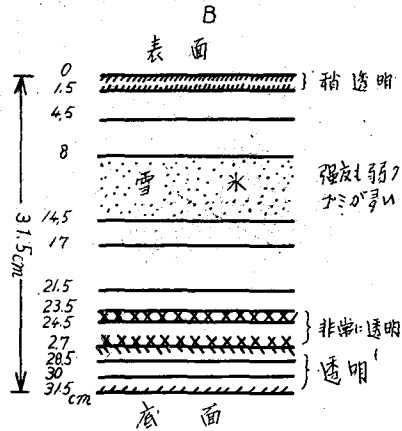
XI. 氷の縞模様の観察

海の氷の中に含まれる brine の占める体積の割合は、氷の表面では小さく下面では約4割にも達する。雪のあまり多く降らない時に生長した海水では brine の含有量の変化は氷の上面

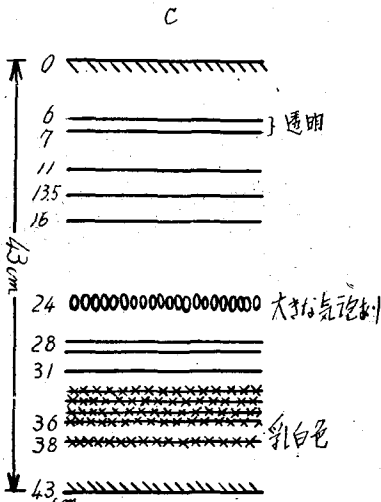
から下面に向つて徐々に起つてゐるのが普通である。したがつてこの様な場合には氷の垂直断面を見てもあまりはつきりした構造上の不連続は見られない。しかし、氷の生長の途中に大量の降雪があると、雪の重量のために氷が沈下して時には全く水面下に没してしまう場合も屢々起る。この時には海水が氷の上に浸出して氷の上にある雪と混り合つて所謂“シブ”になる。この“シブ”が凍結すると大抵の場合には少し白つぽい“雪氷”になる、



1949 III 5 綾別

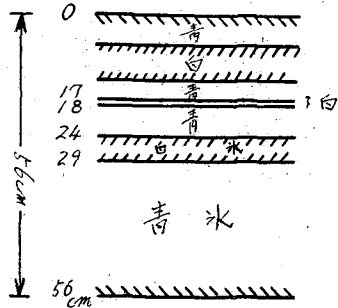


1950 III 14 清浦沼
CL=0.26%



1950 III 10 清浦沼
CL=0.18%

細長い気泡の混じりから出来た綿模様の気泡は気泡が壊れてから綿模様の気泡になった。



1949 III 6 雄武港
氷立氷

第37圖 氷の断面の見取圖

勿論この間にも結氷板の下面では氷の生成が行われている。この様にして出来る“雪氷”の量は降雪量が多くて、結氷の厚さが薄い程多い。

第37図は非常に不均質な海水の例である。図中の(A)は上に述べた様にして出来たもので始めに出来た結氷は厚さが約7cmであつたが、積雪のために水中に沈下してその上に滲雪による氷が20cm近くも出来て、氷としての厚さは見掛け上25cmにも達している。この例では滲雪と下の海水との境界面近くでは滲雪はあまり良く凍結していなかつた。急に大量の降雪があるとこの様な極端な例も珍らしくはない。

図の(B)の上の方に見られる雪氷もこの様にして出来たものと考えられる。一般に滲雪が凍結した部分は、海水から凍結した氷に比べると可成り白い上に、強度も弱いので氷の断面を作つてみると割合容易に区別することが出来る。

春になつて日射が強くなつて氷の上面又は氷の上に積つた雪が融解したり、雨が降つたりして塩分の極めて少い又は殆んど塩分を含まない水が氷の上面を覆う場合が屢々起る。これらの水が再び凍結すると、淡水から出来た氷と同様に青味を帯びた透明な硬い氷になる。図の(B)の表層、(C)の上部に見られるのはその様にして出来た氷である。

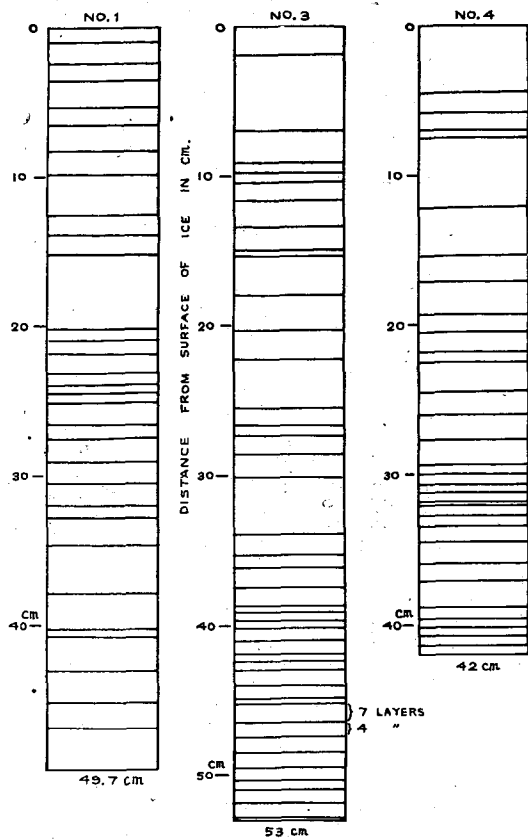
又有機質の底質をもつた浅い岸边に生成された氷の内部では気泡が多く見られる。勿論、海水の中には多くの空気が閉ぢ込められていることが指摘されているが¹⁾、ここで言う気泡とは37図の(C)の様に結氷内部のある面にはつきりと見られる気泡群のことである。この様に気泡がある面をなして並んでいる原因は次の様と考えられる。即ち、水底におけるガスの発生が一様であるとすれば、氷の厚さが増加している途中に気温が上昇して氷の生長が殆んど停止したために氷の下面に多くのガスが吸着し、そのガスが次に始まつた氷の生長のために閉ぢ込められたものと見做すことが出来る。言いかえると、この気泡のある面と面の間では氷が一息に成長し、一休みして又成長した。即ち、この気泡のある面は各結氷期間中に訪れた割合に気温の高かつた期間の繰返しを示すと考えることが出来る。氷は熱の不良導體であるから、厚さが厚くなればなる程、同一の気温に対する成長の量は少くなるから上の考えが妥当であるとすればこの気泡による縞模様の間隔は次第に狭まつて来る筈である。これは図(C)の例ではあまりはつきりしないが、のちに述べる紋別の水池(冷凍用の淡水氷採取のための浅い池)で採取された淡水氷の例(第38図)では非常にはつきり認めることが出来る。この他に、水底からのガスの供給の異常な増加が起つたとしても同じ現象が見られることになるが、この様な原因はあまり考えられないから、この気泡による縞模様は寒波の週期的襲来に由るものと考えられる。

37図の(D)は空気中に長時間さらされた氷丘の氷の一例である。筆者等の観察によると長時間空中にさらされた氷は例外なしに青味を帯びている。brineは殆んど滴下し、昇華によつて氷は丸味を呈している。氷丘の氷は多くは流水として押し寄せたものであり、生成された位置も条件も全く不明であるが、この例は雪が殆んど降らない時に出来る様な氷とは可成り異

なつている。ただ、この厚さから考えるともつと寒い即ち北の地方で出来たものであると思われる。北海道オホーツク沿岸地方の人達はこのような厚い青味がかつた氷丘の氷を“舶来氷”と名付けているのももつともである。

引用した例は極端なものをあげたのであるが、天然に海水が出来る際に雪が全く降らないということが殆んど望めないのは勿論である。春先になると雨が降ることもあり又海も必ずしも平穩ではない。したがって現地で見られる海水は大抵の場合は、多かれ少なかれ、内部の構造に不均質な部分があり、その境界面にいくらかの縞模様が見られるのが普通である。

淡水氷に見られた縞模様



第38圖 紋別氷池の氷の縞模様

第38図は既に述べた様に、紋別の冷凍用の淡水氷を採取するための氷池で採取された氷の断面のスケッチである。池の深さは50cm~1.9m位で極めて浅く、底は有機質様の泥である。氷の内部には図の様に小気泡による非常にはつきりした縞模様が見られる。この池では氷の生長を能率良くするために雪は降る度毎は取り除いており氷が適当な厚さに達したならば切り出して再び凍結させている。氷の厚さが異なるのはそのためである。先に説明した様にこの縞模様は温暖の変動に対応するものであるということが出来るが、紋別における気温の長期観測の資料がないので、この例から氷厚係数を求めることは出来ない。

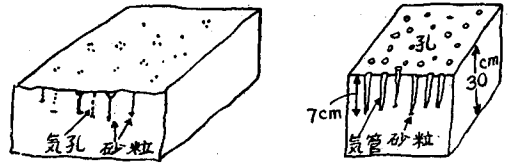
XII. 氷の中に見られた砂粒

流水の中には稀に土砂等を含んでいるものがあつて、これは氷の生成地に対する手掛りを与えるものとして注意せられている。1949年3月2日北海道オホーツク海岸下湧別の砂丘上に大分古くなつて角の丸くなつた流氷碎片がかなりあり、その大きさは $10 \times 10 \text{ cm}^2 \sim 50 \times 100 \text{ cm}^2$ で厚さは6~30cmで平均17cmであつた。この上の表面からいづれも7cm位の深さに直径が1mmより少し大きい砂粒が所々に入りこんで、この砂粒と氷表面との間は細い気管で連つているものと、氷にとちこめられてはいるが小さい球状の気孔が一列に並んで元の穴を

暗示しているものとあつた。その1~2の見取図を第39図に示した。当時の附近の状況は積雪少なく所々に海岸の砂が露出している状態で雪の上にも砂が風で四散している状態であつた。従つて、この氷の中の砂は流氷が遠方から持つて来たものではなく、この海岸

に氷の碎片が打上げられて後附近の砂が風で氷の表面に運ばれ、これが日射をうけて水中に沈んだものと考えている。これについては実験中であるから別に報告する予定である。

珍しい現象であるので一寸報告しておく。



第39圖 1949年3月2日下湧別海岸の砂丘上にあつた砕氷中の砂粒の状態の見取圖

文 献

- 1) 福富孝治・楠 宏 1951 海水の研究 (第15報). 氷丘脈とその生成に就いて. 低温科学, 8, 59-88.
- 2) 福富孝治・楠 宏・田畑忠司 1950 海水の研究 (第8報). 網走, 紋別に於ける沿岸海水下の海水の温度, 鹽分について. 低温科学, 3, 193-206.
- 3) 同 上.
- 4) 福富孝治・楠 宏・田畑忠司 1951 海水の研究 (第11報). 網走, 紋別に於ける沿岸海水中の鹽素量に就いて. 低温科学, 6, 71-83.
- 5) 楠 宏・田畑忠司 1954 海水の試料採取方法について. 低温科学, Ser. A, 12, 87-94.
- 6) 福富孝治・齋藤光郎・工藤義夫 1952 海水の研究 (第16報). 海水の組織特に氷殻における純氷率と短冊状氷片, 氷片集塊に就いて. 低温科学, 9, 113-123.
- 7) 1)に同じ.
- 8) 6)に同じ.
- 9) Zubov, N. N. 1945 L'dy Arktiki. 北氷洋の氷 第V章, §75 弾性的性質, 140. Moskva, 360p.
- 10) 小島賢治 1954 積雪の粘弾性. 低温科学, Ser. A, 12, 1-15.
- 11) Nazarov, V. S. 1938 K izucheniyu svoystv morskogo l'da (海水の諸性質の研究). Trudy Arkticheskogo Instituta, 110, Part 1, Art. 8, 101-108.
- 12) 1)に同じ.
- 13) 同 上.
- 14) 9)の §66. 密度と多孔度との關係. 127-130.

Résumé

Since 1942 studies of sea ice on the Okhotsk Sea coast of Hokkaido have been carried out. From bases at Abashiri and/or Monbetsu, field observations were made from one to three weeks in almost every winter. The important results of field observation, as well as theoretical and statistical studies, have been reported as "Study of Sea Ice, 1st-20th Report" and so forth. However, a great amount of observation materials has not been arranged because of the insufficiency of data and the fragmentary nature of many items.

The present report was written to bring together those raw materials without any detailed discussion. Some photographs which were taken during the field observations are appended.

The items of this paper are as follows:

- I. Conditions of sea ice during the period of field observations.
- II. Temperature and salinity of sea water.
- III. Measurement of the temperatures of sea ice.
- IV. Salinity of sea ice.
- V. Measurement of the density and the estimation of pure ice content in sea ice.
- VI. The mechanical properties of sea ice.
- VII. Several measurements of the velocity of movement of sea ice.
- VIII. Observation of short period vertical movement of sea ice.
- IX. Breaking of ice caused by the swell.
- X. Some observations on pancake ice.
- XI. Observation of horizontal striped patterns in ice cover.
- XII. Sand particles found in an ice block.
- XIII. Photographs of sea ice.



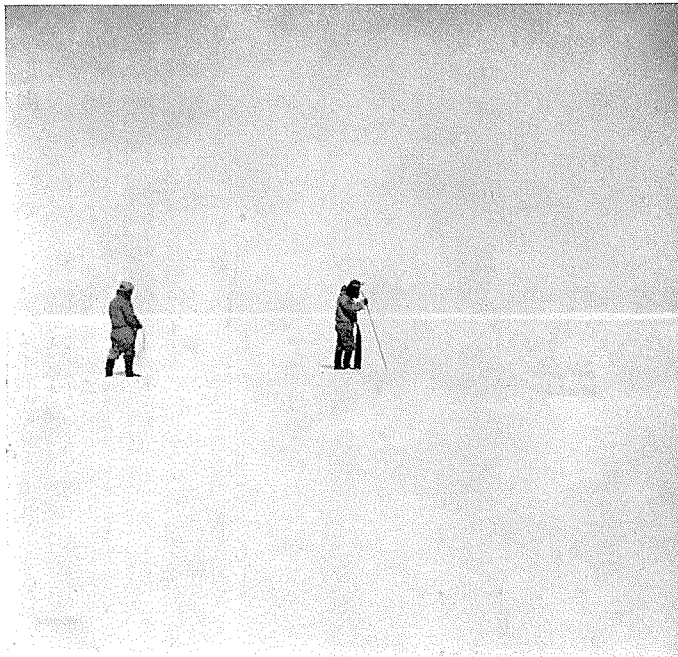
寫眞 1 網走ワタラ岩西部の流水原, 氷湖, 氷丘 (1942, II, 26)



寫眞 2 網走ワタラ岩北部の流水原 (1944, II)



寫眞 3 接岸した流水原 (右方) と開水面に生じた新氷 (左方)
(1945, II, 網走)



寫眞 4 紋別沖合の板狀軟氷 (氷厚 8~10 cm)
(1945, III)



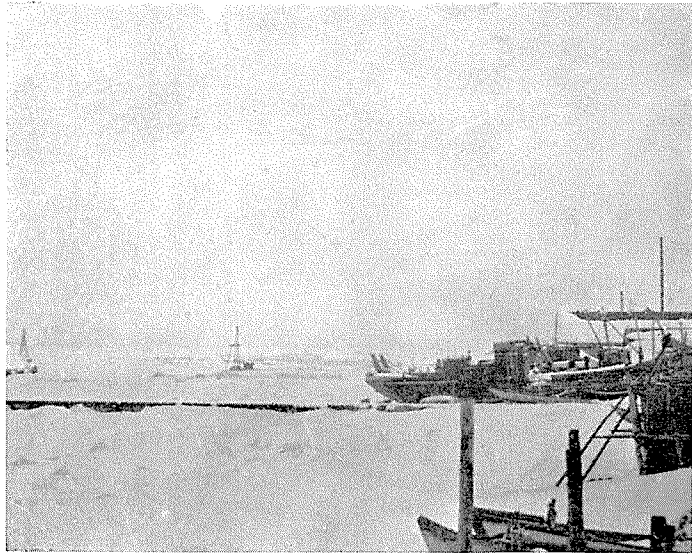
寫眞5 網走港内の結氷状況
(1948, II)



寫眞6 流水原と氷塊
(1949, III, 2, 下湧別)



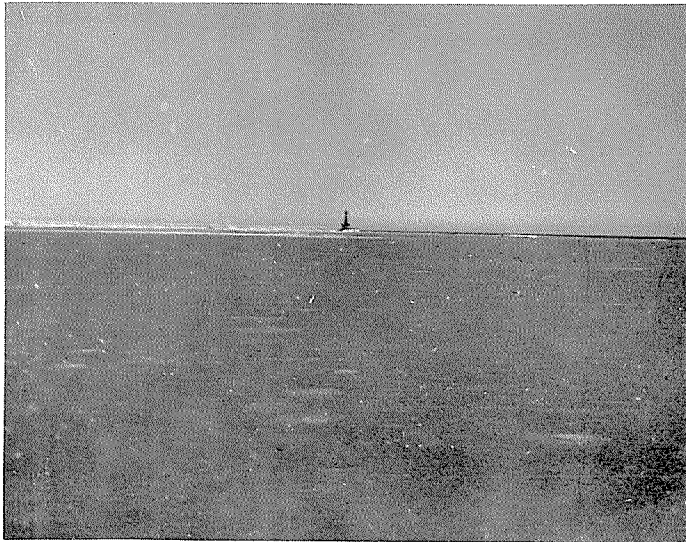
寫眞 7 紋別の結氷状況 (所々に坐氷が見える)
(1949, III, 3)



寫眞 8 雄武港の結氷状況
(1949, III, 6)



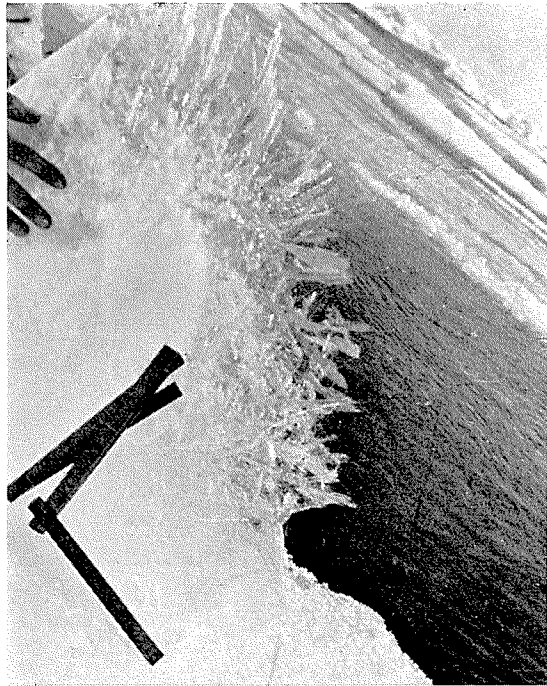
寫眞 9 紋別港内の結氷 (手前) と開水面
(1953, II)



寫眞 10 膜 氷
(1953, III, 紋別)



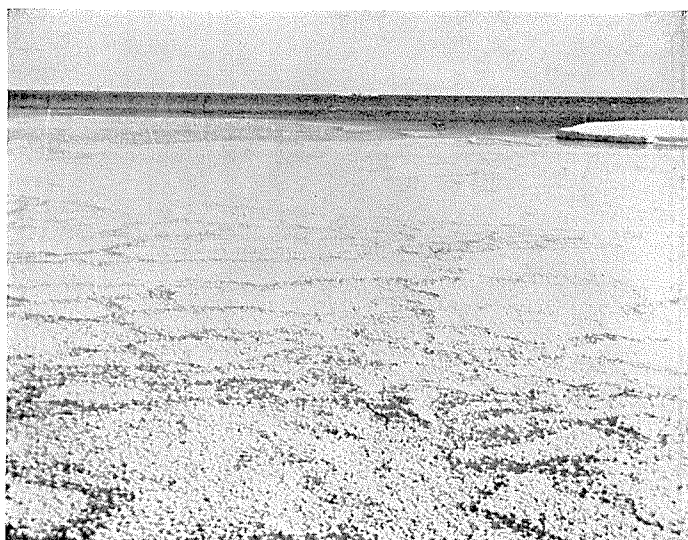
寫眞 11 アイスクリーム状海氷から出来た
Pancake ice (1946, II, 紋別)



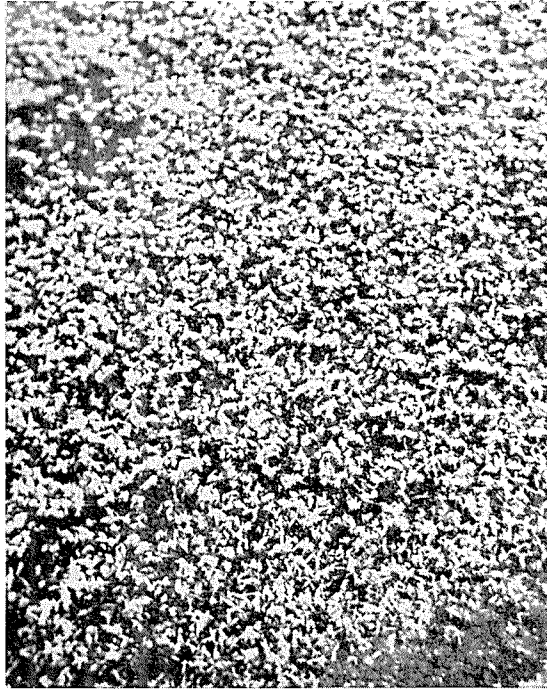
寫眞 12 海氷の下面に発達した晶氷
(1948, II, 網走)



寫眞 13 氷湖に張つた板状軟氷 (厚さ 10 cm)
(1945, II, 網走)



寫眞 14 新しい海水の上に出來た氷華
(1948, II, 網走)



寫眞 15 氷 華 (網走)



寫眞 16 氷丘脈の生成 I

横圧によつて持ち上がった平坦海水 (1948, II, 網走)



寫眞 17 氷丘脈の生成 II

更に壓力が加わつてくだけて持ち上つた海氷の断面 (1944, II, 網走)



寫眞 18 氷丘脈の生成 III

出來上つた氷丘脈 (1948, II, 網走)



寫真 19 氷 丘
(1945, II, 網走)



寫真 20 海氷下の採水測温
(1945, II, 網走)



寫真 21 接岸流冰原
(1948, II, 網走)



寫真 22 流冰原
(1948, II, 網走)



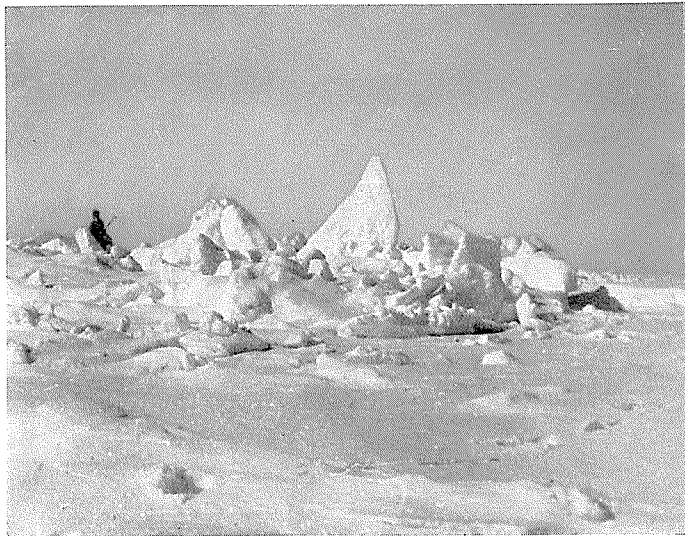
寫眞 23 氷丘の多い流氷原
(1948, II, 網走)



寫眞 24 氷丘の多い流氷原
(1945, II, 網走)



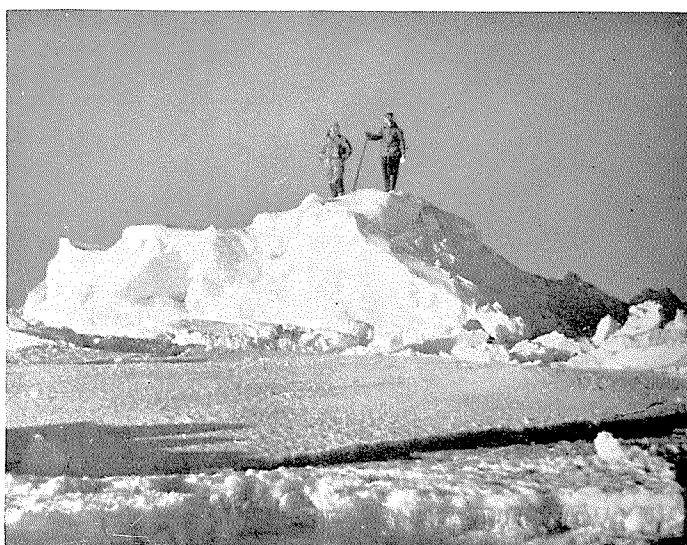
寫眞 25 氷丘の多い流氷原
(1948, II, 網走)



寫眞 26 劍 氷 Ropaki
(1948, II, 網走)



寫真 27 氷 湖
(1944, II, 網走)



寫真 28 坐 氷
(1948, II, 網走)



寫眞 29 網走ワタラ岩西側の坐氷
(1944, II, 網走)



寫眞 30 防波堤に打上げられた海氷
(1949, II, 紋別)



寫眞 31 流 氷 原
(1948, II, 網走)



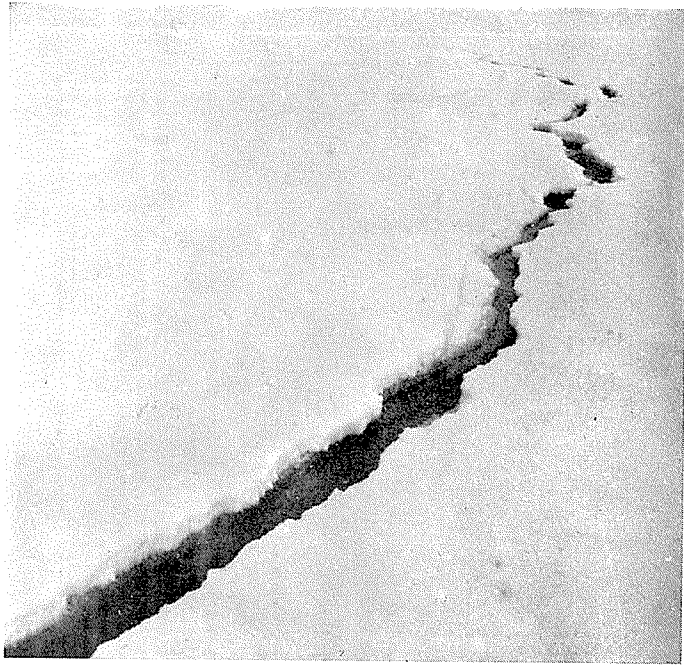
寫眞 32 嵐で破碎された流水原
(1944, II, 網走)



寫眞 33 嵐で破碎された流氷原
(1944, II, 網走)



寫眞 34 表面が融けてきた海氷
(1953, III, 紋別)



寫眞 35 平坦海氷に生じた割れ目
(1944, II, 網走)



寫眞 36 うねりで碎かれた平坦海氷
(1953, III, 紋別)



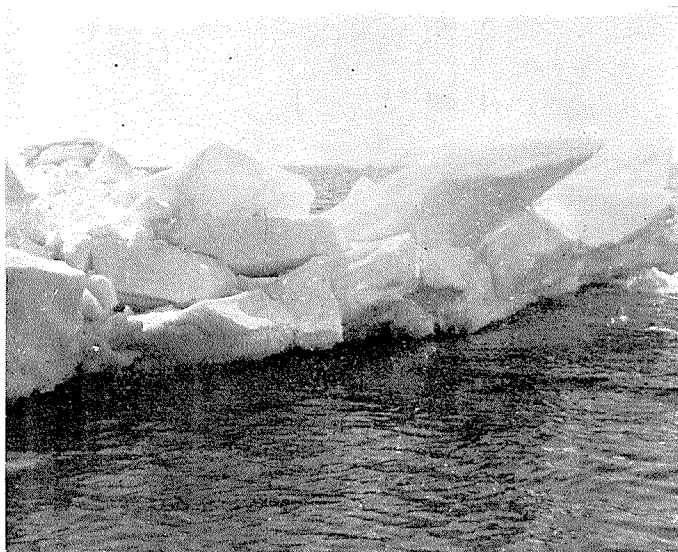
寫眞 37 うねりで小さく分けられた平坦海水
(1949, III, 紋別)



寫眞 38 平坦海水から出来た Pancake ice
(1949, III, 紋別)



寫眞 39 融けかかつた海氷に生じたうねりによる割れ目
(1953, III, 紋別)



寫眞 40 氷 岩
(1948, II, 網走)