

#6/22

133

No. 122

日本海~~近~~海の海水に関する物理的諸問題

宇 田 道 隆

133

第3卷 昭和16年1月 第1號刷抜

日 本 雪 氷 協 會



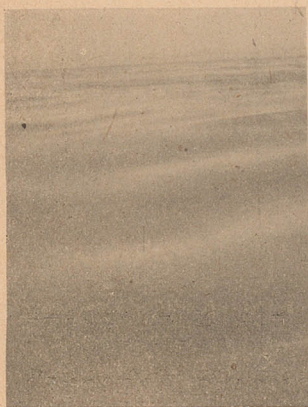
南氷洋の氷は日本近海にない氷山など含むので之等名稱の決定は他日の研究に残されてゐる。

併せて海水は兩極を中心に全地球の 14%、全海面の 23% を占め交通氣候水産上重要な關係を持つてをり、其れらしい記載は紀元前 350 年の PYTHEAS の航海記に始まるかと云はれるが學問的に研究されて來たのは、16、17 世紀に英佛獨米各國が極地探險を始めてからであり、殊に實際海水を觀察する機會の多い露西亞<sup>(3)</sup>や諾威<sup>(4)</sup>、芬蘭等の國々に發達したのは當然で海水學(Oceanocryology<sup>(5)</sup>)といふ名まで出來てをるが、物理的方面では諾威の Maud 號の北氷洋探險で熱傳導率比熱等諸要素の測定をした MALMGREN 氏の研究<sup>(6)</sup>が有名である。吾が國では實地の測量は以前から海軍で行つてをり水路誌にも記載されてあるが物理學的方面の研究發表は藤原咲平博士の理論的研究<sup>(6)</sup>、須田院次博士の調査<sup>(7)</sup>の外に文献は餘り多くない。次に筆者は北洋航海の經驗を基として海水が生れてから如何に成長して行き變轉し消滅するに至るかといふ『海水の生活史』を第 1 表に就て廻り乍ら種々の問題を指摘して見たいと考へる。

### 海水の一生

海水は鹽水の中で凍結して出來るのであるから理論上 1 立中 30% の鹽分の溶けてゐる海水では  $-1.6^{\circ}\text{C}$ 、34% では  $-1.8^{\circ}\text{C}$  位で凍り始める。結氷の最初は所謂 ice crystal 氷子(晶氷)であつて數 mm.乃至數 cm. の大いさの圓盤狀\*か針狀の結晶で之れは元より純水が凍るのであつて、結氷の急速な時は析出された濃厚な鹽水の滴である brine が滴下する暇がなく閉ぢ籠められて了ふと考へられてゐる。

第 1 圖



膜氷

(氷子の集合で漣は消えてゐる)

樺太近海で昨冬觀察したのは圓盤の晶氷狀であつた。この晶氷が未だ氷着し合はない前は最初大觀すると海面が灰色か鉛色の油膜を張つたやうに見え、摩擦によりエネルギーを消散されるため、漣も立たず「膜氷」と名付ける形態をしてゐる(第 1 圖)。この晶氷が段々密着して來るとグリースか軟泥に似た所謂「アイスクリーム狀海水」\*になる。氷の粥の様でもある。遠望すれば鉛色で漣は消されるがウネリは傳へて行くので圓味を帯びた砂丘のウネる砂漠のやうな外觀を呈してゐる。粘性を有し船に對する抵抗が著しく大なるため船速は數割も減少される。「アイスクリーム狀海水」に雪が降り込んで密になつたものを Snow Slush\*と呼んでゐる。

斯様な膠質に似た半流動體のアイスクリーム狀海水が成長して鉛色の所々が斑斑に白く氷結し始めたものを brash

- (3) ロシヤ水路部: Album of Ice Forms, (第 2 回水路會議決定 1928); 須田氏紹介 海洋時報 2 (1931)  
 (4) J. Zukriegel: Cryologia Maris, Praha (1935). The Geographical Inst. of the Charles IV. Univ  
 (5) Finn Malmgren: On the Properties of Sea ice, The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-25. Se. Results. 1, 5 (1927) 須田氏紹介, 海洋時報 1, 2.  
 (6) 藤原咲平: 中央氣象臺觀文彙報, 3 (1910)  
 (7) 須田院次: 海洋時報 3 (1931, 1932), 4 (1932), 海と空 14, (1934), 185.  
 \* 針狀の氷子が先づ出來て、これから多少動搖のある圓盤狀に集合するさも考へられる  
 \*\* 過冷却の海水中での結氷の進行に對しては降り込んだ雪片が有力な核の作用するも考へられる

第 2 圖 a



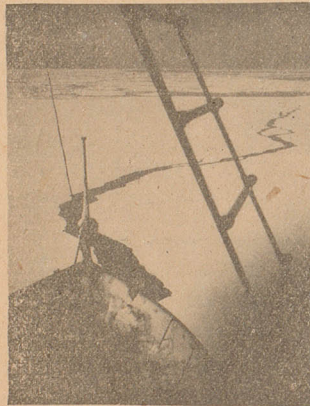
膜氷がアイスクリーム状海水を経て斑氷となり氷殻に轉せんとするところ、厚さ 1~3cm 鉛色なるも龜甲状白色條紋あり、魚鱗状の重なり合ひ見え、船の進行による波動を受けてヒビ割れを示す。

第 2 圖 b



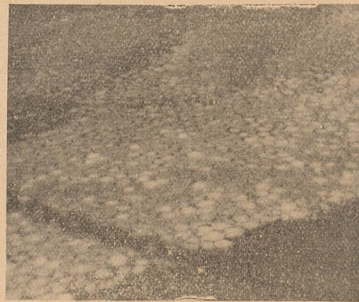
氷殻が船の進行に伴ひ船側に起る波動によつてバリバリと硝子状にこわれるありさま

第 3 圖



氷殻が相當の厚さに發達し平坦海水をなせる薄氷野に船首突入して電光形の割れ目を開きたるところ。

第 4 圖



徑 10cm 位の小蓮葉状海水と小クラゲ状海水の集合。

ice といひ譯せば「斑氷」とでも名付け得る(第 2 圖 a)。之れが進展して全く密に氷着し合ふと「氷殻」(ice-rind)と名付ける彈性を有する硝子様の固體氷に變化する。厚さは普通 5cm 以下であるが船の通過に際して硝子の破れる様にバリバリとヒビが這入つて壊れて行くので船の進行に對して受ける抵抗は案外小さい(第 2 圖 b)。熟視すると氷殻の薄い間は或る程度までウネリの形を傳へて撓み曲るが其の極限には波の峰に當る部分から張り裂けて壊れるのが見られた。アイスクリーム状海水が其のまゝ、少しくつき合つてザクザクの氷粥の固まりかけた様な軟氷それは人や海驢など載せることは出来ない位軟弱な「軟氷」(Sludge ice)で之に「アイスクリーム状海水」を混在したものを「混合軟氷」(Sludge)と名付ける。

少し風波  
かも水面に  
ice)と云つ  
くれ上つて  
ひに衝突し

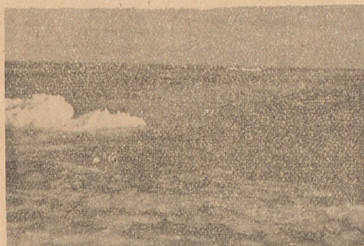


直徑  
ている  
2m の

ない證據に  
で人の足跡  
中に沈んで  
當るもの  
斯様な圓  
長すると移  
んで「板状  
この氷の  
方へジグザ  
板状軟氷の  
少し位の重  
度は結氷の  
と質が緻密  
度は上下の  
不透明な白  
の脆い氷層  
之れは氣温  
而して各々  
へられ包含  
するに至る  
氷輪から氷

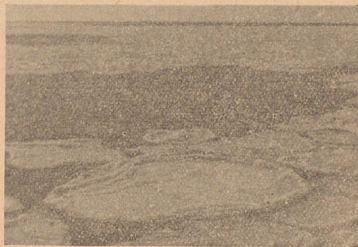
少し風波があつて其の上気温が低いと軟氷や板状の氷殻のこわれが所々に塊つて圓盤状をなし恰かも水面に白色の睡蓮の葉が浮いてゐる様に見える(第4, 第5圖)。之れを「蓮葉状氷」(Pancake-ice)と云つてをり直徑 10cm 位の小蓮葉状から數米にも及ぶ鬼蓮葉状の海水がある。其の縁邊のまくれ上つてゐるのは周邊の波の爲めに飛沫が掛つて凍り付くのと、圓盤状の氷塊が回轉し乍らお互ひに衝突し合つて細かい碎片が氷着するため出来るものと思はれる。このくつき方が大して強く

第5圖



直徑 10~20cm の蓮葉状海水(フチまくれ  
ている)の集つた流水帯中處々に高さ 1~  
2m の氷岩を混えてゐる。

第6圖



直徑 3~5m の複合蓮葉状海水の集合帯

ない證據に氷盤上に波が掛ると其の水で容易に洗ひ去られる。大蓮葉状海水になると未だザクザクで人の足跡が付く位柔かくても上に乗つても沈まない位の浮力を持つてゐる。又殆んど大部分が水中に沈んでゐてほんの小部分だけ水面から頭を出してゐるクラゲに似た氷片の群があり外國名の相當するものはないが之を「クラゲ状海水」と名付けてゐる。

斯様な圓盤状の蓮葉状海水や軟氷が幾つか次第に寄り集つて其の間隙が凍り氷着し合つて段々成長すると複合大蓮葉状海水(第6圖)が恰かも菊目石狀の外観を呈する様になり(第8圖),更に進んで「板状軟氷」(Young-ice)と呼ばれる龜甲形の氷紋を残した厚さ 5~20cm の氷の板になる。

この氷の板の中へ船首を突き込んで船が進んで行くと丁度稲妻の走るやうに瞬く間に船首から前方へジグザグの電光形の割れ目が走り出て船の進路を開くさまは實に面白い眺めである(第3圖)。板状軟氷の新生氷は水分を多く含んで濕つてゐるため綠色を帯びた色で軟質であるが弾力性を有し少し位の重量を加へてもこわれぬ。この氷片を探つて鹽分を測ると 4~15% 位であり、其の程度は結氷の速さと結氷後の時間的經過に依り異なる。この雪が段々發達して厚さ 20cm 以上にもなると質が緻密になつて固くなり、更に厚氷になると上中下三段或は數段の柱狀節理を現はして來て硬度は上下の層位によりかなり著しい差異がある。最上部には雪が積つて氷化してをり其下には極く不透明な白色氷の層があり、其の次には青味を帯びた極く堅い氷層其の更に下に少し不透明で白色の脆い氷層があるといふ工合に、霜柱狀の縦の節理が横に走る條で境されて重つてゐる(第12圖)。之れは気温の低下に伴つて海水の成長が數回に亘り反覆せられ不連続的に起つてゐるからである。而して各々の成長の場合に其の時の温度と冷却の速さが異なることが鹽分のブラインと小氣泡の捕へられ包含される様様が異なり且晶氷の大いさに差異がある爲め氷の組織に部分的に硬軟の差を生ずるに至るものと考へられる。そしてこの氷の成長が一旦停止した時横の黒條が作られるのでこの氷輪から氷齡、氷の古さを知り得る見込がある。斯様な厚い氷は平坦に廣々と張りつめて「平坦海

波動によ  
ありさま

クラゲ状海

氷着し合ふと  
5cm 以下であ  
の進行に對し  
ネリの形を傳  
アイスクリー  
は人や海驢な  
氷」を混在し

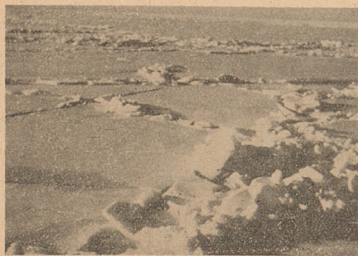
氷」(Level-ice)となり一面の「氷野」\*、「氷原」\*(ice-field)を形成し、遂に碎氷船と雖も容易に突破し難いやうになる。斯様な氷野、氷原中に氷片や氷塊を押し上げ積み重ねた「氷丘」(Hummocked-ice),そして同じく氷温低下に伴ふ氷の膨脹に依る壓力の爲めに出来た恰も廣い田圃を走る畦のやうな氷の土堤即ち「氷丘脈」(Pressure-ridge)が現はれる(第8,9圖)。之れには瓦のや

第7圖



厚さ5cm位の板状軟氷上に走る氷丘脈の幼態たる氷繩(高さ數cm)

第9圖



厚さ20~50cmの堅氷野上に田の畦の如く縦横に走る氷丘脈

屢々あり波長3~5mのものを數回實見した。氷面が氷化して「氷化雪殻」を作るもの、白い「漣状の雪紋」を示すものもある。氷野の厚さは0.5mより普通2.5m位にも成長するが極限では北氷洋で4m位にもなると報告されてゐる。以上は結氷初期より盛氷期に至る氷狀變化の概況である。

\* 氷野と氷原の區別は氷原は一望際涯なき廣さを有するもので氷野の大きいものを云ふのである。

\*\* 結氷初期に於ても氷壓のために特異の氷紋の現はれる例がある。宇田：科學 10, 1940, 122~123 「氷湖」の小規模なるものは「氷池」、「氷窟」と稱すべく其の寫眞は同じ報文中にある。

第8圖



厚さ2~20cmの板状軟氷の氷野の態をなしつつあるもの。氷面上に龜甲形氷紋あり、複合運葉状海水の集合體なる事を明示す。氷丘脈走る。

うな板氷の破碎された氷塊を積み上げて高さ1mもあるものも見られ小さい氷堤(ice-barrier)に近いものさへある。氷丘脈の幼態なる氷繩は薄い板状軟氷にも現はれてゐる(第7圖)\*\*。

氷野の中には氷の無いかなりの廣さを持った「氷湖」(Polynya)の出来ることもあり\*、其の中では船の振動などで特殊の漣の立つ場合が見受けられる。又厚い氷野の面に降り積んだ雪が

cycloidal waveのやうな「雪浪」を示すことが



群氷  
氷丘



群氷  
理數

面から太

て来る。

斯うし

つて見る

出来、「雪

うにして

れる位脆

この時

内では消

して第二

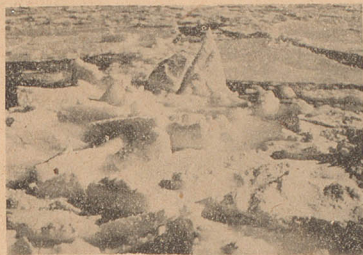
3mもある

解氷が起

\* 氷

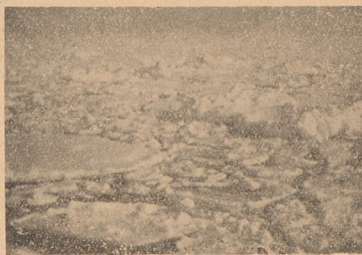
氷

第 10 圖



群氷をなせる流水野の一部 (犬牙錯雜の氷丘と氷層厚さ 10~30cm)

第 11 圖



群氷をなせる流水野の一部 (大氷岩大水鏡見ゆ)

第 12 圖



群氷中にある厚さ 2m を越える氷塊柱状節理數層を認む。

又盛氷期にも流氷が集つて群氷(後述)をなすことが屢々ある(第 10, 第 11 圖)。群氷の中には頗る堅硬な氷岩もある(第 12 圖)。

#### 解氷期の海水

嚴冬の結氷期も終りになつて春になると急に暖氣と日射が加つて來るので其のため海水中の小さな氣泡が加熱せられて所々から飛び出して來て氷面がザラザラになり、アバタのやうに孔があき氷の結合が緩んで來る。又氷の溫度が昇ると收縮が起り隙間が出來て來る\*。氣泡の飛び出した後へ海水が浸み込んで組織を益々脆弱化する。氷塊の縁邊では一番水が浸み易く且水面から太陽熱と水溫の影響及對流的効果が働いて融解が早く従つて氷塊の形が杵形に水際でエグれて來る。

斯うして水縁の水面下の所では組織は海綿狀となり或は蜂巢狀となる。この海綿狀氷塊を掬ひ取つて見ると恰かもザラメ糖の塊りのやうである。又水面上に浮んだ水面の所々に「水溜」(Pool)が出來、「雪水」(Snow water)が出來、直徑數 cm の「氷孔」(Ice-hole)があいたりする。斯のやうにして春の解氷期になると厚さ 30~50cm もの大氷塊が一寸堅いものにぶつかると容易にこわれる位脆弱になつてゐる。

この時分に氷原に對して最も大きく且有効な破壊力を逞しうする者はウネリである。風波は氷圈内では消されて利かないので、水野の縁邊から逐次に破壊を進めて行くのには役立つがウネりに比して第二次的なものである。沿岸では潮汐に伴ふ水位の變化氷に大潮時のオホツク海沿岸のやうに 3m もある潮位の變化が起るとすると沿岸の方で先づ張りつめた氷原を破壊し、沖の方よりも早く解氷が起り無氷の水帯を現はすことになる。そして近岸では河川から氷雪の融けた濁つた暖かい陸

である。氷原水野に於ける氷溫の昇降による收縮と膨脹は氷原水野の中で均一に行はれず破壊を生じ或ひは氷丘脈を或ひは割目をつくるこゝになる。

\* 氷原水野に於ける氷溫の昇降による收縮と膨脹は氷原水野の中で均一に行はれず破壊を生じ或ひは氷丘脈を或ひは割目をつくるこゝになる。

雪と雖も容易に  
氷丘) (Hum-  
廣い田圃を走  
これには瓦のや



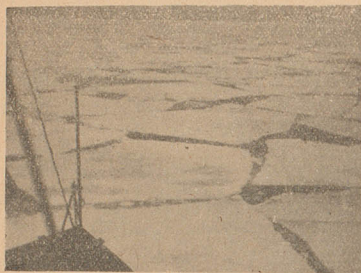
水野の態  
に龜甲形  
集合體な

み上げて高さ  
堤 (ice-barri-  
の幼態なる氷  
(第7圖)\*\*。  
の廣さを持つた  
もあり\*、其の  
立つ場合が見  
り積んだ雪が  
を示すことが  
の、白い「漣  
極限では北氷  
の概況である。

である。

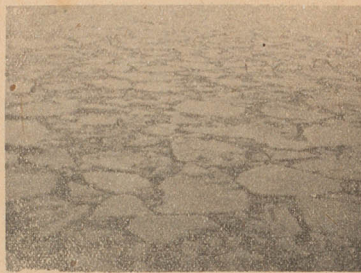
水を排出することも之れに與つてゐる。破壊された氷塊は海流、潮流、風壓に依つて運び出される。しかし乍ら解水の力學上最も注目すべき外力を與へるものはウネリである。ウネりは低氣壓に伴生するから春季日射を増し氣温の零度を越へて氷の組織の緩みかけた時分に低氣壓の通過する毎にウネリが氷圏の内奥まで傳つて來て氷野の下から氷を持ち上げて破壊力を作用さすのである。氷野の厚い場合には其の氷丘脈の走つてゐる脆弱部（地殻の場合斷層とか地質構造線に當る）から先づ破壊され始めるが、氷野の稍薄い場合には三角四角の大氷盤の集合にバラバラにこわされて了ふ。遠望すると一見畦で仕切られた田圃の様で田氷と云つてもよいかと思はれるが、廣い意味で破氷野 (Broken Ice-field) といへるであらう(第 13 圖, 第 14 圖)。

第 13 圖



氷野が破壊せられたばかりの壘状の大氷盤破氷野といへる。

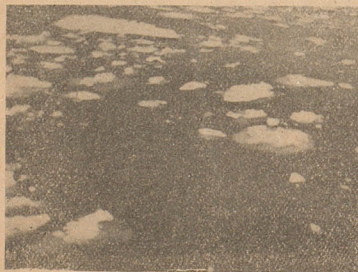
第 14 圖



破壊が相當進行した流水野。しかし未だ破氷野の態を残してゐる。

氷野が一旦こわれた後でも又靜穩で寒冷な日が來れば其の氷盤の間隙部が再び薄く板狀に凍り直ることがあり、其の場合には融解途中にあつた海水面に膜氷が再現し、結氷初期の理象を再現する。各々の氷盤の周りにも斯う云つた現象が見られる。解氷は大體に結氷の逆の行程を辿るものであつて、遅く凍つた脆弱部から早く破壊が進行し、早く融解が進むものと見てよいのである。(昭和 14 年 5 月 10 日にはオホツク海に厚さ 30~50cm で大いさ 5~10m の龜甲形の氷盤を連ねる破氷野

第 15 圖



氷塊の融解の進行して末期に近きありさま。海船狀に融けつつある水に浸つた部分に注意。

を見出した)。

やがて海流と潮汐流それに風が働いて壘のやうな形の「氷盤」や 1m 以上のもの高さを持つた「氷岩」(Growler) 其他様様の形の小氷塊が「流水」(Drift-ice) になつて運ばれて行く。期様な氷盤上をよく注意して見ると歪みのあるものでヒツ割れのあるもの、「氷化雪殻」や「雪浪」が見られる。流水の融けなかつたものには白鳥狀や饅頭形、御椀形、アーチ形、角筒形など色々面白い形の氷塊が澤山見られる。拳骨大のものや西瓜大のもの其他色々大いさの小浮氷が點々として存在し(第 15 圖) 重湯狀乃至片栗狀の「アイスクリーム狀氷」の氷盤の間隙點

在し、更に帯を造る。原、「流水」に通じ難い。な大石狀の波の爲め。氷野の融んで鉛色なのである。ロした破。右せられ。ある。

日本近海。來て動け。と海上で。バレル)。

(1) 底部の方。めた處。氷塊の。つて日射。しこの植。り、南氷。である。

(2) 色の穢な。主とする。泥に由來。流して來。沈澱さす。うな場所。

(3) カプリの。の部分。

(4)

(8)

在し、更に膜氷及クラゲ氷が再結氷の状態に應じて見られる(第4圖)。又流水が狭い長い一列の帯を造ることもあり、之れを「流水帯」と唱へる(第5圖)。氷盤や氷岩などが密集すると、「流水原」、「流水野」となり(第3, 4圖) 到る處氷塊が犬牙錯綜し、草叢のやうに凹凸して船舶の容易に通る難い所謂「群氷」(Pack-ice)を形成する(第10, 11, 12圖)。の外観は積などで見るやうな大石状の氷塊がゴロゴロして宛然氷の積のやうであるが、流水原の氷盤に於ける氷丘が氷壓や風波の爲め山のやうに積み上げられて氷壘の形をなすものもある。

氷野の融解が大變静かな状態で起る場合には、其の儘次第に氷が溶せて厚みを減じ海水が浸み込んで鉛色になり之れに伴ふて次第に軟雪泥に見るやうな粘性を増して氷の減速を増大するに至るものである。反對に氷野が破壊せられて動亂の激しい裡で解氷の起る場合には大石状の氷塊がゴロゴロした積のやうな外観を呈して解氷が進行するのである。流水の集まり方は渦流に依つて大いに左右せられるのであつて、樺太東岸の中知床沖では斯様な渦流の存在に依つて群氷を屢々現はすのである。

日本近海の北洋に出現する氷の性状は大體上述の如きものである。流水が港内や岸近くに寄つて來て動けなくなった所の「碇氷」(Anchor-ice)の例もある。海水ではないが寒海に於ける「霧氷」と海上で波の飛沫がかゝつて凍結し、氷が段々成長して厚さを増し船を苦めるので、北海道で「シバレル」と云はれる現象がある。細い數mmの針金が直徑0.5m迄大きくなる。

#### 變つた海水

(1) **赤い氷** オホツク海の解氷期に盛んに見られるもので氷塊の間のみならず氷塊迄其の下部底部の方が赤茶色に汚れてをり、集つたものは赤茶色の繩切れのやうに見える。採集して檢鏡を求めた處の植物性プランクトンの珪藻類が非常に繁殖してゐた爲めであることが判明した。

氷塊の周りに海水の對流が旺盛なため下層から栄養鹽類の充分に供給せられてゐるため、春になつて日射の増加があると其處に殆んど爆發的と思はれる程急激な植物性プランクトンの繁殖を招致しこの植物性プランクトンを食餌とする動物性プランクトン例へばアミの如きものの繁殖原因となり、南氷洋の氷山附近にアミを求めて鯨の大群が集まり漁場を展開するのも斯様な機巧に依るものである。

(2) **黒い氷** オホツク海の北部や日本海北部で屢々流水盤上に相當廣い區域に互つて黒い泥土色の穢ない氷が見られる。この黒い部分を採集して調べて見ると砂濱で見られる極粒の細かい砂を主とするもので少じ泥分があつた。之れは石炭殻の投下された様なものは全然異なり、陸岸の砂泥に由來するものなる事は明らかである。このオホツク海で見た黒い氷はソヴィエツト沿岸から漂流して來たものであらう。斯くの如き流水が沖合遠く泥砂を運搬しやがて氷が融けると共にそれを沈澱させ作用は北洋では特に注目すべきものであつて、渦流部に流水が塊つてゐて融解してゐるやうな場所の底質は斯様な事情を大いに考慮する必要がある。

(3) **靑い氷** 堅厚な氷盤の縁や氷塊が晴天の日に綺麗な靑色に見える事が多い。之れは恐らくカブリの琅玕洞と同じ機巧で、水面を潛つて瀘されて來た靑色の光線で氷塊の日光が直射しない蔭の部分明るく照らすためであらう。

(4) **光る氷** オホツク海の流水野を夜間航海中舷側の氷が所々螢のやうな發光を示した。之れ

(8) 丸川久俊：水産研究誌 34, (1939) 219,

は氷塊に附着した動物プランクトン(撓脚類の一種)が船の進行に伴ふ刺激に依つて發光するものと認められる。

#### 海水に関する今後の研究問題

(1) 結氷初期に於ける海水發達の物理 海水が凍結して氷子の出来る場合對流は如何に起り、海水中の鹽分は如何なる經路を辿つて移動するか。結氷の際に出来る高鹹水塊は工業的に製鹽に利用される。冬のオホツク海では對流は表層下 150m 深に及ぶから眞夏でも 50~100m 深には 0°C 以下の中冷水が見出され、溶解酸素量も鹽分も冬季の表層に見るとの等しい。斯様な結氷初期に氷子→膜水→アイスクリーム状水→氷殻と變態する段階を低温室内で實驗し觀察して組織の顯微鏡的検査と共に其の物理的性質の變化を詳かに測定すべきである。例へば氷子、膜水の出來方と結氷速度の遲速との關係、アイスクリーム状海水の粒子と粘性抵抗との關係、氷殻の厚さと弾性可塑性及破壊極限との關係等恰かも金屬の力學的研究と似たものがあるであらう。化學的には海水中の鹽分組成が變つてをり SO<sub>2</sub> 鹽が割合多くなることがモード號の探險報告にあるが、斯様な方面にも新しい未知の領域がある。

(2) 結氷盛期に於ける海水發達の物理 蓮葉状海水、海月状海水も實驗室内で中谷博士の人工雪に於けるが如く作り出して其の成因と變化を仔細に研究する必要がある。板状軟氷に就ては其の電光形割目は割れ目學的統計研究を要し、更に其等氷の負載力をも調べるべきである。氷の厚さと質の變轉と共に弾性質の變化し行く事は氷の成長と共に低温室内の實驗題目である。成長過程による氷の柱狀節理成生も探究せられねばならない。氷殻の出来る前に發疹狀の斑水の出来ることも物理的に興味ある事柄である。尙應用的方面では氷海の航海と關連して大切なことは氷原に於ける氷質及氷塊の分布、厚さ等に依り船速が如何に抵抗を受け且減速されるか、理想的の碎氷船の設計に必要な問題の研究等がなされねばならない。

(3) 氷丘脈 氷丘脈の出來方は其の幼態たる氷紋、氷繩の成生と共に實驗的研究が必要であつて、電光形割目と同様な不連続的割目現象であつて、其の氷温と氷形分布により生ずる氷の内部壓力に關しては光弾性學的研究を行ふべきである。氷湖や開水路と氷丘脈とは密接な關係があつて之等は氷海の航海にも、又氷原上の飛行機着陸場を求むるためにも氷原上冬營の爲めにも基本的研究が是非必要である。

(4) 氷の出来る時軋るやうな音や物の壊れるやうな音が發するといふ。又氷がこわれる時は北氷洋などでは素晴らしい釣瓶打ちの砲撃に似た音を聞くといふ。之等の音響學的研究は全然ない。又「高緯度地方では氣温が次第に降下して結氷の始まる直前には海面上 1 呎位上方に小さい火花が飛び薄明時に殊に良く見える」といふ記載があるが果して空中放電現象で結氷と關係あるものかどうか其の本態は全然分つてゐない。

(5) 結氷の進行状態 は其時の氣温降下風波の状態等の條件で異なるが、兎も角現場のある一定場所で觀察を續け現場と實驗室内で高速度映畫に撮影して研究する事が望ましい。

(6) 海水の熱學 一體どれ位の水温鹽分でどれ位の氣温の遞下のあるに伴ひ氷が成長されるかといふ事の逆として、どれ位水温が上昇し氣温が上昇し日射を増加すれば、氷塊は如何に融解し變質して行くか、靜穩の場合と風波等の動搖のある場合に分けて研究すること、之れは氷山、氷岩の危険防止と氷原の徒涉冬營等への利用、寒流増勢の研究上直接の關聯を持つ問題である。

(7) 氷  
なる役割を  
ると思はれ  
(8) 海  
第2表に  
近く且之よ

海區

日本  
海北部韃  
靼  
海  
灣オ  
ホ  
ツ  
ク  
海

平均

海水

氷塊の水

(7) 氷野の破壊 解氷期に於て氷野、氷原の破壊に對してウネリ、風波の自然力の作用が如何なる役割をつとむるか更に物理的に突き込んだ研究が望ましい。之れは工學的の見地からも興味あると思はれる。

(8) 海水の密度 現在色々の測定法があるが更に精確な測り方を考案して行くべきである。

第2表に示す通り海水の密度は日本近海で 0.9 前後が多いが、鹽分の多い新生氷は幼態程海水に近く且之より軽く 1 位であるから浮いてゐるが、古く堅い氷になる程密度を減じ 0.87 位になる。

第2表 昭和 14 年冬春日本近海北部海水の密度と浮沈度

海區	結 氷 期			解 氷 期						
	月	海水の種類と符號	海水の密度 $\rho_1$   $\rho_2$	沈部 浮部 $V_2/V_1$	月	海水の種類	海水の密度* $\rho_1$   $\rho_2$	沈部 浮部 $V_2/V_1$ *		
日本 海 北 部	2月	○複合蓮葉狀海水	0.87	0.79	5.3	*密度測定法説明 海水塊密度 $\rho_1, \rho_2$ 試料海水塊全容積 $V = V_1 + V_2$ " 浮部容積 $V_1$ " 沈部容積 $V_2$ " 氷塊重量 $W$ 周圍海水密度 $\rho'$ 第1法 $\rho_1 = W/V$ 第2法 $\rho_2 = V_2/V \times \rho'$				
	"	□板狀軟氷	0.87	0.89	6.6					
	2月	□板狀軟氷	0.85	0.89	6.3					
	"	●アイスクリーム狀海水 氷殼(板狀軟氷を混在)	1.00	0.96	13.5					
	"	△氷盤	0.78	0.77	3.2					
	"	●アイスクリーム狀海水 (板狀軟氷含む)	0.92	0.96	13.0					
韓 靑 海	"	□板狀軟氷	0.95	0.90	7.0					
	"	△薄氷野	0.91	0.91	8.2					
	"	□板狀軟氷	0.93	0.89	6.5					
	2月	△堅氷野	0.90	0.91	7.7	4月	△流水原	0.94	0.88	6.0
オ ホ ツ ク 海	"	△堅氷原	0.88	0.89	6.4	5月	△流水帯	0.92	0.88	5.8
		●大蓮葉狀海水破氷野	0.94	0.90	7.0	"	△流水原	0.88	0.88	5.9
		△堅氷原	0.97	0.92	8.7	"	△群氷	0.90	0.89	6.5
		○柔かい蓮葉狀海水	0.91	0.90	7.0	"	△群氷	0.90	0.89	8.3
						"	△氷野	0.83	0.81	4.0
						"	△氷野(解氷 鉛色海綿狀)	0.93	0.92	8.3
					"	△龜甲形破氷 野	0.94	0.92	8.7	
					"	△流水盤浮氷	0.95	—	7.3	
平均			0.91	0.89	6.6 (順字を除く)		0.91	0.88	6.1	
海水符號		平均 $\rho$	$V_2/V_1$	初生氷を除き沈部は浮部の 6 倍餘、 海水密度は 0.9 前後 初生氷より盛氷期に至る間含有鹽分の減少と硬度の増加に伴 ひ密度減少し浮部を増す。						
●		0.96	13.3							
○		0.90	6.4							
□		0.90	6.6							
△		0.89	6.8							
		△ (0.78~0.97)		結氷初期のものゝ解氷期のものを含む。						

氷塊の水中有る部分容積は水上に出てゐる部分容積の 6~7 倍で、堅い古い氷程輕いから餘計に

上方へ浮び出るやうになる。

(9) 海水の硬度 この測定には未だ良法の案出されたものを知らない。ブリネル式硬度測定器を海水測定に便利なやうに改造すること、或る一定高度より異なる重量階級の紐を付けた鉄丸を落して氷面の破壊状態凹み工合を調べて見ることなど考へて見た。

(10) 氷量 只今の所報告に便利なやうに雲量と同様の出し方をしてゐて、測者が附近海面を見渡して云ふことになつてゐるが、雲量とは違つて測者の眼高や、氷塊の高さなどで視野が著しく變化するから本當は飛行機氣球上の觀察でないといふと真に近いものを得難いであらう。この點何等か改良する名案を得たいものである。

(11) 海水と氣象氣候との關係 本項は古くから知られてゐる事でロシアが最も熱心に研究してゐる。高氣壓低氣壓、氣温、風、雨雪、氷霧との關係、流入する暖流との關係など専門家に依つて大いに研究し長期豫報の鍵を求むべきである。特に冷害に關係のあるオホツク海高氣壓の發達が同海の結氷の異常に多量なると重要な關係を持つてゐる。

(12) 海水と水産の關係 間接的に最も大きい關係をもつのは親潮等の榮養鹽類を豊富に含有する大寒流の源泉を構成し大洋循環の源動力になる點である。北洋の海水と之れに基く寒流の發達は日本水産の生産力の根源に與かるものといふべきである。

直接的な關係では氷山とクヂラ漁場、解氷とカニ、サケ、マス漁期の遲速豊凶などあり、又北海道千島の昆布では流氷の多い年には岩磐をこすつて行くので其年の作は大變不作になるが磯掃除になり雜藻が除れるので翌年には豊作になるといふ面白い關係がある。水産の方では解氷期の4、5月の海況の研究が殊に大切である。又毎年の結氷、解氷期の遲速の豫報が欲しい。

(13) 氷害防止と海水の利用 毎年樺太北海道間やオホツク海の交通を妨げる海水、港灣を閉す海水に就き其の害を除去し其の海水を利用することにつき工業物理學的な研究が更に突き込んで行はれねばならない。寒冷な冬季の大氣に依つて海水の天然に造られる量は莫大なものでオホツク海の面積 150 萬 km<sup>2</sup> の 2/3 の 100 萬 km<sup>2</sup> を厚さ 30 cm の氷が埋めてゐるとせば 300 km<sup>3</sup> (三千億萬噸) の氷塊が存在することになる。この莫大な氷が融けて 0°C の水になるに要する熱量は比熱を鹽分 2% 温度 -4°C の氷につき 1 として  $3 \times 10^{10} \times 80$  kg. cal である。

斯くの如き多量の冷水が寒流となつて流出し暖かい海水をどれ位冷却し、南方へ豊富な榮養を運んでゐるか驚くべきものである。この夥しい天然水の利用こそ興味する將來の問題であつて、經濟的にこの天然の遺利たる水を氷藏用として採取する工夫をなすべきであらう。

### 結 語

日本海水學の將來は次の様にして發展して行くものと考へる。第一に周年北洋を航海調査し得る優秀なる碎氷船により海水と海水、氣象、水産に關する綜合的研究を行ひ、一方性能の優秀で一日にオホツク海を南西より北東に斜斷する海水限界線を空中寫真より大觀せしめ得て氷の性状を空中より探知し得る調査用大型飛行機を活用することである。斯くして海陸より海水を現場で調査すれば氷の面積厚さより其全量と消長も明瞭となる。第二に樺太、北海道などで定地點で冬營し氷の生活史を科學的に精査する調査班を出勤せしめる事、第三には低溫實驗室内で各種の海水に就き之れを人工的に作り出して根本的な研究を行ふ事、第四には海水に關する工學的、氣象學的、水産學的應用方面の研究を進めて行くことである。

北洋に發展  
終りに本稿の  
す。

海水の生活  
的にまとめて  
海水の密度  
した。  
最後に氣象  
しこれの研究

The de  
Table 1 an  
The au  
the partial  
Many p  
navigation

北洋に發展し資源を開發してゆく吾が國のために之等の研究の進められて行くことを希望する。終りに本稿の資料を得るにつき多くの便宜を與へられた海軍殊に水路部の關係各位に深謝の意を表す。

#### 梗 概

海水の生活史とでも云ふべき海水が生れてから滅びるまでに經過する各段階の性状と變態を系統的にまとめて見た(第1表及寫眞参照)。

海水の密度、浮部と沈部の比率などを測定した結果(第2表)に就て水の變態に伴ふ變化を注意した。

最後に氣象豫報や水産、航海、海工業等實際問題に關係のある海水の物理に關する諸問題を指摘しこれの研究の進行について意見を述べた。

### PHYSICAL PROBLEMS ON THE SEA-ICE IN THE NORTHERN WATERS ADJACENT TO JAPAN

Mititaka UDA

The development and metamorphosis of sea-ice were described in each stages as shown in Table 1 and the photographs (Fig. 1~15).

The author noted some physical elements characteristic to sea-ice such as the density and the partial volume in water to that exposed in air (Table 2).

Many problems on the physical nature of sea-ice in relation to the weather-forecast, fisheries, navigation and sea-engineering were remarked.