



Title	海氷の研究（第1報）：亞庭灣の海氷についての二、三の觀察
Author(s)	福富, 孝治
Citation	低温科學, 2, 1-6
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/17392
Type	bulletin (article)
File Information	2_p1-6.pdf



[Instructions for use](#)

海水の研究(第1報)*

亞庭灣の海水についての二、三の觀察

福 富 孝 治**

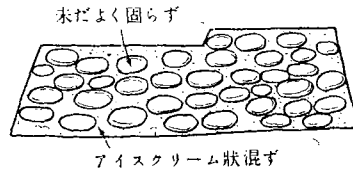
昭和 18 年 2 月上旬約 2 週間に亘つてオホツク海亞庭灣に赴く機會を得て、蓮葉狀海水の生成過程、海水中の鹽分垂直分布、海水の強度等に關し二、三の觀察を試みる事が出來た。此處に其の結果の概要を御報告する次第である。

I. 蓮葉狀海水の生成に關する觀察

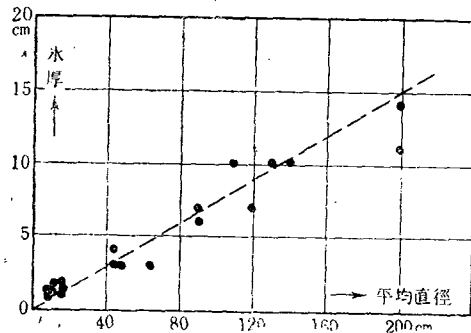
蓮葉狀海水 (pancake-ice) は氷野の縁邊の流水帯に極めて普通に見られる海水である。Maurstad⁽¹⁾ 等によれば其の生成の順序から見て 2 種類あることが指摘せられてゐる。第 1 の場合は海水に運動があつて氣温が低いとき、アイスクリーム狀海水 (slush) は小さい塊となり段々其の大きさを増し縁の捲れ上つた圓盤となる。縁が捲れ上つてゐるのは圓盤が互に衝突することやアイスクリーム狀海水が縁にくつつく爲めと考へられてゐる。又第 2 の場合は氷殻 (ice-rind) や板狀軟氷 (young ice) が波で同じ大きさの片に割れて出來るのであらうと述べてゐる。然しながら之等の過程に就ては別に具體的な證據は擧げられてゐない。

筆者は此度の觀測に際して幸にも上に述べた兩機構の蓮葉狀海水を觀察する機會を得た。以下に簡単に觀察の結果に就いて述べる。

第 1 種の場合は第 1 圖に其の見取圖を示したが、前日氷を切取つた 1m×3m 位の氷中の穴に蓮葉狀海水の初期のものが生じて居た



第 1 圖



第 2 圖 蓮葉狀海水の大きさと厚さとの關係

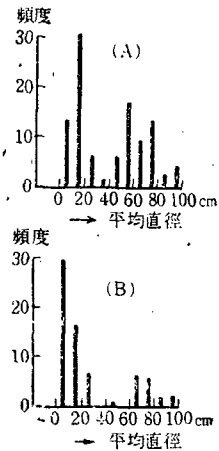
* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 15 號, 日本海洋學會誌, 3 (昭和 18 年), 79~83.
Takaharu Fukutomi: Study of Sea Ice (The 1st Report), Some Notes on the Sea Ice in Aniwa Bay, Okhotsk Sea.

** 低溫科學研究所。

(1) A. Maurstad: Atlas of Sea Ice (1936).

のが見られた。色は鉛白色で平均直径は 8~22cm で 16 cm 位のものが最も多くあつた。當時の気温は凡そ -8°C 、風は 3~4m/sec で海中には多少アイスクリーム状海水が混じり、 -1.6°C 位の水温を示した。又同日附近の氷中の割目（廣さ 1m×6m 位）に直径 20~60 cm 位の蓮葉状海水が見られた。之等の蓮葉状海水の大きさと厚さとの関係を示せば第 2 圖の如くである。此の種の蓮葉状海水に就ては低温實驗室に於て生成の實驗を行つて見たいと考へて居る。

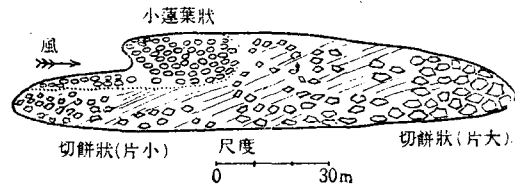
次は第 2 種の蓮葉状海水に就て述べる。觀察の場所は亞庭灣の中央部で當時附近海面は氷厚 7 cm の板状軟氷であつたが、其の縁邊部には切餅状海水と蓮葉状海水とが存在した。切餅状海水とは平らな氷であるが切餅状に（菱形の如く）角の尖つた破片になつてゐるものを便宜上斯く呼んだのである。其の形は種々であつたがその大きさの頻度分布を知るために夫と面積の等しい圓盤状の海水を考へて直径を目測し其の頻度分布を第 3 圖 (A) に調べた。即ち、平均直径は凡そ 5~100 cm であるが頻度に 10~20 cm 位と 50~80 cm 位の 2 つの山があることが判る。これは切餅状海水は氷野(ice-field)の縁邊が波に依つて破碎せられて生じたものと考へられるが其の破碎の機構に當時 2 種あつたものの如く 2 種の大きさの破砕片を生じたものと考へられるのである。



第 3 圖

切餅状海水を觀測した同日、附近に存在した蓮葉状海水に就いて全く同様に其の大きさの頻度分布の觀察を行つた。その結果は第 3 圖 (B) の如くであつて平均直径が 5~20cm 位と 60~80 cm 附近との 2 箇所に頻度の山があつた。之を切餅状海水の場合と比較すれば兩者の頻度の極大の位置は概ね一致し、従つて當時見られた蓮葉状海水は主として切餅状海水より發達したものであることが推察される。

之に關聯して興味あることは當時流水帯に於いて第 4 圖に其の 1 例を掲げた如き風向に長く延びた切餅状海水・蓮葉状海水の混合流水帯が觀察せられたことである。其の最も風下には切餅状海水の片の大きいものが存在し、風上の方へ漸次大きさが小となり、或る部分では小蓮葉状に變化して居るのが見られたのである。これは切餅状海



第 4 圖

氷から蓮葉状海水の生成に當つて風があづかつて力あることを示すものである。切餅状海水では可成り大きさに大小があるのに、それから發達した蓮葉状海水では其の大きさは時と所に依つて異なるが一箇所では兎に角同じ位の大きさのものが揃つて居るのは周知のことであつて、これは

最初同じ厚さの切餅状海氷が風によつて移動し漸次蓮葉状海氷に變化する道程に於て上述の如く風に依つて面積の大なるもの程風に依る偏流が大となり漸次選擇せられて同じ大きさ位のものが同一場所に集合しつゝ衝突により丸みを帯び縁の捲れ上つた蓮葉状海氷に發達するものと考へられるのである。

同じ厚さの切餅状海氷の片の大小によつてその風壓流の異なる現象は以下の如く説明せられるのである。

今板状海氷の風壓流の流速を v (v は風速に比較してあまり大でないと考へる), 風速を V , 空氣中の受壓面積を S , 水中の受壓面積を S_w , k を常數とすれば風壓流速と風速との關係は近似的には船の風壓流と全く同様に次式で表される。

$$v = k \sqrt{\frac{S}{S_w}} V. \quad (1)$$

平板状海氷の場合に S , S_w を求めるのであるが, 氷厚を d として空氣中に出てゐる部分の厚さを α とすれば

$$\alpha = \frac{\rho_w - \rho_i}{\rho_w} \quad (2)$$

である。但し ρ_w , ρ_i は夫々海水及海氷の密度である。

簡單なため海氷を圓盤状 (其の半径を r とす) であると假定すれば空中及水中の受壓面積は夫々側壁の風向に又は流向に直角な投影面積と上面又は下面に存在する小突起の受壓面積との和であると考へることが出来る。氷の上面又は下面にある受壓面積は小突起の數に比例すると考へられ, 其の小突起が表面に一樣に分布するとすれば其の面積に比例すると考へられる。上面と下面に於てこの比例常數は異なるかも知れないから此等を夫々 β , γ とすれば S 及 S_w は (π は圓周率である)

$$\begin{aligned} S &= 2r\alpha d + \beta\pi r^2, \\ S_w &= 2r(1-\alpha)d + \gamma\pi r^2. \\ \therefore \frac{S}{S_w} &= \frac{r + \frac{2\alpha}{\pi\beta}d}{r + \frac{2(1-\alpha)}{\pi\gamma}d} \cdot \frac{\beta}{\gamma}. \end{aligned} \quad (3)$$

従つて半径 r の大なる氷盤の風壓流速が半径の小なるものの風壓流速より大なるためには

$$\frac{1-\alpha}{\alpha} > \frac{\gamma}{\beta}$$

即ち

$$\frac{\rho_i}{\rho_w - \rho_i} > \frac{\gamma}{\beta} \quad (4)$$

(2) 安井善一: 船舶の風壓流に關する一實驗. 海洋の科學, 1 (1941), 41~43.

なる関係が成立てばよいことになる。今實際の値として $\rho_w=1.03$, $\rho_i=0.92$ とすれば、 $\frac{\gamma}{\beta} < 8.4$ 即ち γ が 8.4β より小であればよいことになる。實際には γ と β とは略々等しい程度の値と想像せられるのであつて、勿論 (4) 式の関係は満足せられてゐると考へられるのである。

II. 海水中の鹽分垂直分布

北氷洋や其他の場所の海水に就て其の鹽分の垂直分布は屢々報告せられてゐるが、本邦附近の海水の鹽分含量に關しては筆者の知る限りに於ては根室港の海水に就て須田博士の報告せられたものがあるばかりの様である。今度の觀測中亞庭灣大泊港附近の 9 地點に於て氷の種々の深さの資料 (氷厚を 5 等分しその各區分毎に資料を採取した) と 2 地點の氷丘 (hummocked-ice) の資料とを採取することが出来、歸つて後其の融解水中の Cl 含量の滴定を行ひ Knudsen 公式によつて鹽分を計算した。滴定に使用した硝酸銀の濃度は標準海水によつて檢定したことは申す迄もない。其の結果を擧げれば第 1 表の通りである。

表中 (1), (2), (3) の地點は明かに河水の混入の認められる地點であり (其の海水鹽分濃度も下表の如く小である), (4) 乃至 (11) の地點は外洋に面した海岸であり海水鹽分濃度は 30.2% 位である。

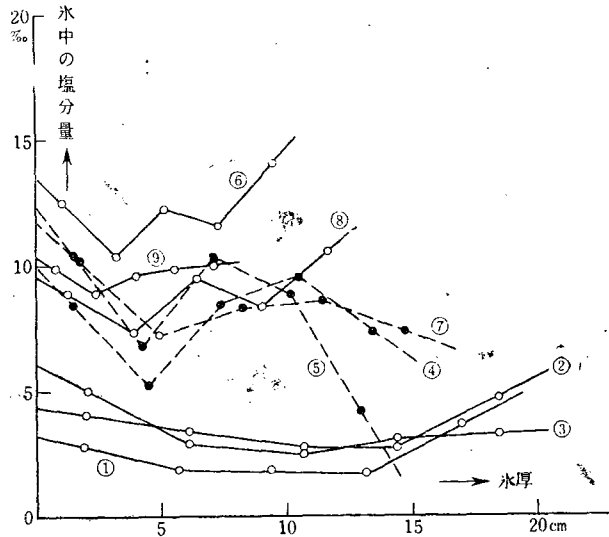
鹽分の平均含量より見れば、明かに河水の混入したと考へられる場所の海水の鹽分は少なく、又氷丘上に堆積して永く空氣に曝されたものも鹽分が少ない。

第 1 表

測點 番號	距岸 距離	水 深	氷厚	氷 層 中 の 鹽 分 含 量						海水 鹽分	備 考
				①表層	②	③	④	⑤底層	平均		
1	m 30	m 5.1	cm 19.0	% 2.83	% 1.85	% 1.85	% 1.62	% 3.60	% 2.35	—	河水混入明瞭
2	170	5.9	20.5	4.00	3.39	2.66	2.59	4.56	3.44	24.4	〃
3	350	6.1	20.5	5.00	2.85	2.36	3.05	3.24	3.30	〃	〃
4	10	2.0	15.0	8.43	5.14	8.40	9.54	7.34	7.70	30.2	沿岸性結氷
5	50	3.0	14.4	10.40	6.69	10.33	8.85	4.16	8.09	〃	〃
6	100	2.6	10.5	12.56	10.27	12.21	11.49	14.03	12.11	〃	沖より來りたる海水
7	350	下に氷あり	16.5	10.19	7.16	8.27	8.66	7.35	8.33	〃	〃
8	500	〃	13.0	8.91	7.20	9.52	8.27	10.49	8.88	〃	柔かい結氷 (2日位?)
9	500	〃	8.0	9.87	8.88	9.59	9.77	10.02	9.63	〃	割目中の柔かい新結氷 (1日位)
10	—	—	—	—	—	—	—	—	4.02	—	氷丘上の氷
11	—	—	—	—	—	—	—	—	4.47	—	〃

(3) 須田皖次: 根室港海水中の鹽分に就いて。海洋時報, 4 (1932), 265~267.

次に上記の9地点に於ける水中の鹽分垂直分布を示せば第5圖の通である。鹽分の垂直分布は決して簡単ではないが、概して2つの傾向がある様に見える。第1の型は表層に鹽分多く中層に鹽分少なく底層に又鹽分が多いと云ふ型であり、9箇所の中6箇所はこれに屬する。第2の型は表層に鹽分多く漸次下に減少すると云ふ型であつて残りの3地點が之に屬する。この型は既に Malmgren や Brennecke 等によつて報告せられて居るものである。Malmgren⁽⁴⁾ は此の第2型の説明として表層は寒氣酷烈の間に氷結したために凍結速度が早く純水の結晶の間に濃鹽水が閉ぢ込められることが多いが、一度氷殻が出来るとそれが



第5圖 海氷中の鹽分垂直分布

が熱の不良導體であるために氷殻下の凍結速度は案外に遅く濃鹽水の閉ぢ込められることが少いためであると考へた。

第1型の存在とその説明は尙今後の観測研究に俟たなければならないが、第2型の分布の影響と其の外に今一つ、氷層の底部程結晶の生成が新しく其の間隙が粗く海氷が海水中に浮いて居るために其の間隙に海水が毛管現象的に滲透したものが資料採取後にも尙残留してゐると云ふ影響があり、此の兩影響が重つて第1型の如き分布をなしたものと考へられるのである。Brenneckeによれば古い海氷では下層程鹽分が増加する場合のあることが報告されてゐるが、第1型の海氷の多くは極めて新しい結氷であり、Brenneckeの指摘した場合は考へ難い。但し氷丘をなす氷の鹽分が結氷野のものより少ない事實はこの Brenneckeの機構に依るのであらう。

III. 海氷の貫通抵抗

氷上を人馬が歩行したり重いものを高所から氷上に落下すると云ふ様な場合、氷の破壊を論ずるには氷の貫通強度とでも云ふべきものを知ることが必要である。筆者は現場に於てこの様な意味の氷の強度を測定する一つの試みとして、第6圖に示した様な鐵製の重錘(質量 7235 g)を

(4) F. Malmgren: On the properties of sea-ice. [The Norwegian North Polar Expedition with the "Maud" 1918-1925, Scientific Results, Vol. I, No. 5.]

大泊港附近の種々の厚さの海氷上に種々の高さから自由落下せしめ、丁度貫通する高さ（氷面上の） h を測定しそれと氷厚 D との関係調べた。（當時の気温は $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ であつた。）第7圖には横軸に高さ h を、縦軸に氷厚 D をとつて其の測定値を黒丸で表してある。當時氷の最下層にはブヨブヨの強度にはあづからないと考へられる氷厚の部分 d_0 が $3\sim 4\text{ cm}$ あつた。従つて其の有效氷厚を d とすれば d は次の如く表はされる。

$$d = D - d_0$$

理論的に、重錘の自由落下によつて失はれた位置のエネルギーは氷に弾性歪を起し遂に其の極限を越えて破壊が惹起されたものと考へて、 d と h との間の近似的關係を求むれば

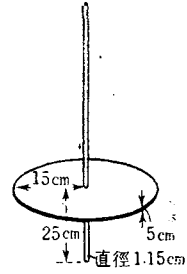
$$d^{\frac{5}{2}} = \frac{M}{f} h \quad (5)$$

が得られる。但し、重錘棒の先端の面積が氷厚 d に比較して極めて小さい場合でなければならぬ。ここに M は重錘の質量、 f は海水のヤング弾性率やポアソン比や結氷板の許容曲げ應力によつてきまる常數である。

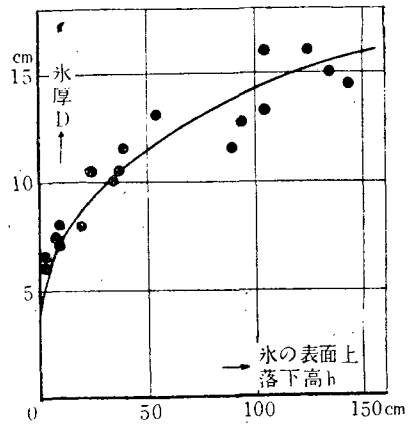
第7圖の測定値を最もよく満足する様に(5)式の右邊の係數 $\frac{M}{f}$ の値を決定すれば、その關係は第7圖中實線で示す如くなり $\frac{M}{f} = 3.445$ 、 $d_0 = 3.6\text{ cm}$ が得られる。今 $M = 7.285\text{ kg}$ を代入して f の値を求めると $f = 2.11\text{ kg/cm}^3$ が得られる（此の海水の平均鹽分含量は $S = 9.12\%$ である）。即ち、 $M = 1\text{ kg}$ の重錘を氷厚 1 cm の海氷上に $h = f\text{ cm}$ の高さから自由落下させれば丁度氷を貫通することを意味する。

終りに臨み、此の研究費の一部は昭和17年度前期日本學術振興會援助金に依つたものである。ここに當局に對し厚く感謝の意を表する次第である。

(5) この項は先に日本海洋學會誌, 3 (昭和18年), 第2號, 83頁に記載したものに訂正を加へてある。



第 6 圖



第 7 圖

低 温 科 学 第 二 輯 (第 一 刷) 正 誤 表

(頁)	(行)	(誤)	(正)	(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富	90	13	写真 12	写真No.30
3	12	α	αd	94	28	" 7	" No.25
6	第6圖	5 cm	0.5 cm	99	16	示すと	みると
"	20	$\frac{3}{\text{kg/cm}}$	$\frac{3}{\text{kg/cm}^2}$	"	"	写真No.1の如く	トル
24	22	相対温度	相対湿度	"	22,23	写真1に見られる	トル
26	第1表の5	<105	>105	100	2	写真と同様に	トル
27	4	写真 2	写真No.2	101	27,28	写真No.2に示す様に	トル
"	10	" 1	" No.1	101,102	30,1	写真に示す如く	トル
"	14	" 3	" No.3	102	13	第1表及び写真No.2を	第1表を
"	19	F	下	108	26	写真 1	写真No.31
"	30	写真 4,5	写真No.4,5	"	29	" 4	" No.34
28	4	T_c	T_a	"	29	" 4	" No.34
"	5	T_c	T_a	109	3	" 4	" No.34
"	23	写真 6,7,8	写真No.6,7,8	"	"	" 5	" No.35
"	29	" 8	" No.8	"	"	" 2	" No.32
29	2	" 9,10,11	" No.9,10,11	112	3	" 3	" No.33
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが	113	17	" 6	" No.36
59	第13圖	---細土含有量	---細土含有量	"	18	" 7	" No.37
"	"	-x-粘土含有量	-x-粘土含有量	"	29	" 8	" No.38
70	24	b c	b : c	115	27	" 9	" No.39
71	3	写真No.1	写真No.12	116	4	" 9	" No.39
"	3	" No.2	" No.22,13	120	13	$1.0 \times 10^{-7} V$	$1.0 \times 10^{-2} V$
"	16	" No.1	" No.21,12	121	7	30cm	130cm
74	6	第2圖(A)	" No.14	128	14	3m	4.8m
"	"	" (B)	" No.15	136	第1表の1	左右對線	左右對稱
"	"	" (C)	" No.16	142	1	打點式によつて	自記的に
"	8	写真 (A)	" No.14	159	6	Ag	Aq
"	10	写真 (B)	" No.15	164	25	$\Delta t'g > t_w$	$\Delta t'g > \Delta t_w$
"	18	" (C)	" No.16	166	27	0.001N	0.001/N
"	20	" (A)	" No.14	171	3	9桁	6桁
75	9	第4圖(D)及(E)	" No.17, No.18	"	16	$\frac{T_l}{T_a} Vt$	$\frac{T_l}{T_t} Vt$
"	11	写真 (D)	" No.17	172	2	$R-I = \frac{e}{e_{sat}} 100$	$RH = \frac{e}{e_{sat}} 100$
"	12	" (E)	" No.18	"	22	a), b)	写真No.40, No.41
77	脚註3	Seron	Screen	174	第3表	相対温度	相対湿度
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r) d^2(r) pr$	$\int_0^\infty \varphi(r) p^2(r) dr$	180	6	$B_{nap} s$	B_{napus}
88	10	写真 1	写真No.19	181	2	<i>Fabianobras-sica</i>	<i>Raphanobras-sica</i>
"	20	" 2	" No.20	182	4	<i>Horde m</i>	<i>Hordecum</i>
89	1	" 3	" No.21	183	13	<i>nap s</i>	<i>napus</i>
"	3	" 4	" No.22	244	19	單位生殖	單爲生殖
"	12	" 5	" No.23	248	15,16	溫度氏はでも	湿度でも
"	"	" 6	" No.24	"	16	尙松島	尙松島氏は
"	14	" 4	" No.22	252	13	Schwarkinowa	Schwarnikow
"	22	" 7	" No.25	257	6	写真1-5	写真No.56の1-5
"	27	" 8	" No.26	259	8	写真4-5	写真No.56の4-5
"	28	" 9	" No.27	260	6	" 6	" No.56の6
90	3	" 12	" No.30				
"	10	" 8	" No.26				
"	11	" 11	" No.29				
"	12	" 9	" No.27				