



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu; 楠, 宏 他
Citation	低温科学, 3, 193-206
Issue Date	1950-12-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17434
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_p193-206.pdf



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 *

福富孝治, 楠 宏, 田畑忠司

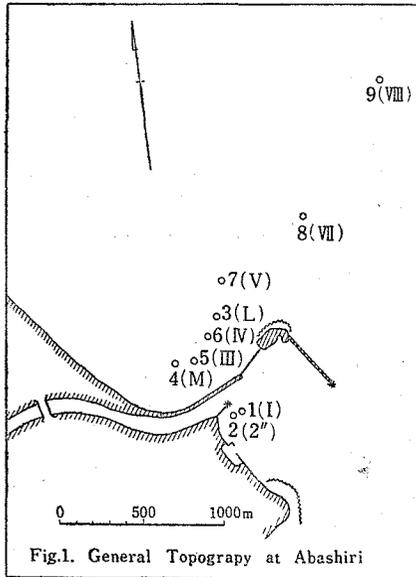
(低温科学研究所 海洋学部門)
〔昭和 22 年 11 月受理〕

I. 緒 言

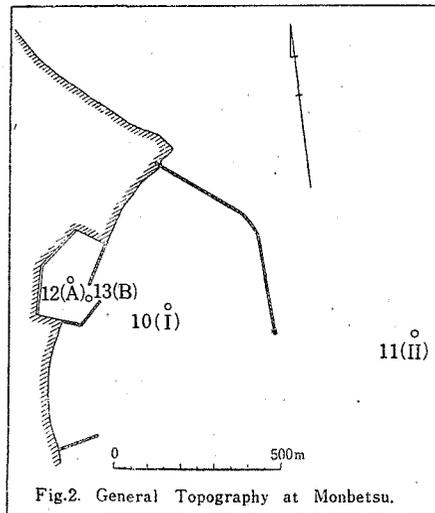
昭和 19 年, 20 年, 21 年 2 月中旬から 3 月上旬にかけて, 北海道オホツク海岸の網走, 紋別の沿岸海水に就いて海水観測を行つたが, その際沿岸結氷下の海水に就ても温度と鹽分の測定を行つた. 以下にその結果の概略に就いて述べ多少の論議を加へて見ようと思ふ.

II. 観測の方法並に結果

第 1 圖, 第 2 圖は夫々網走港, 紋別港の略圖で丸印は観測點の位置, それに附した數字は第 1 表中の測點番號である. 第 1 圖網走到に於ける測點 1~4 は昭和 19 年の観測, 測點 5~9 は昭和 20 年の観測, 第 2 圖紋別に於ける測點 10, 11 は昭和 20 年, 測點 12, 13 は昭和



第 1 圖

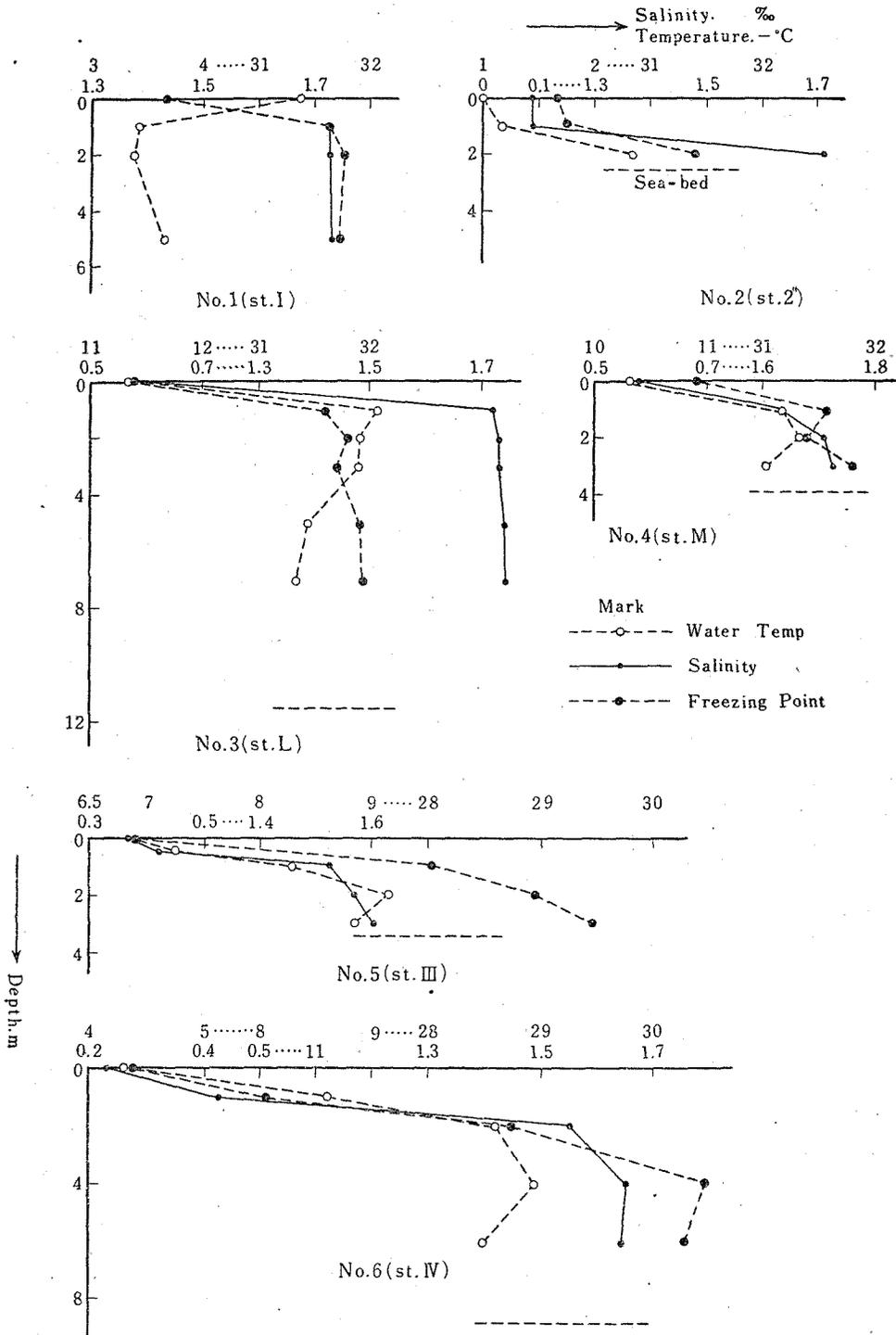


第 2 圖

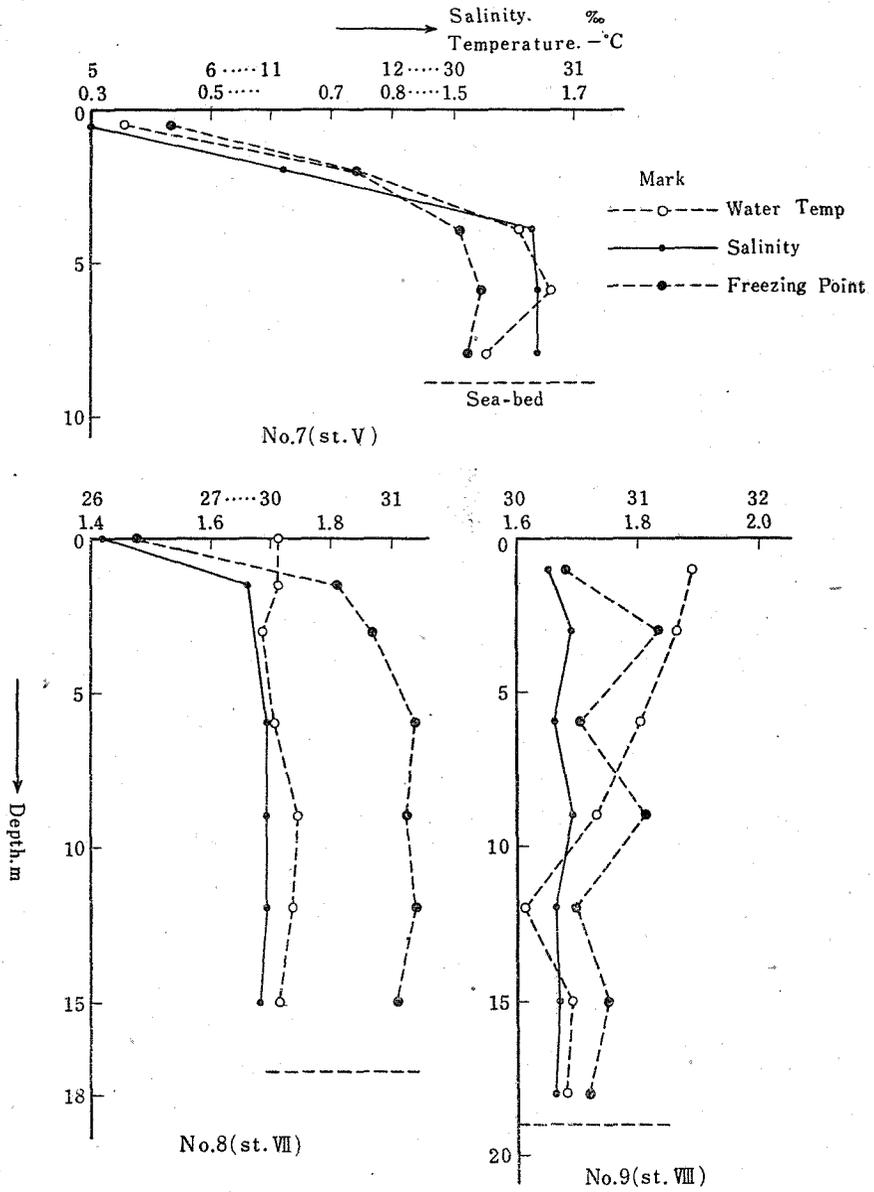
* 北海道大學低温科学研究所業績 第 61 號. 昭和 22 年 5 月 9 日 日本物理學會年會に於て發表.

Station	Date	Depth of Sea	Depth of Sea in meter.																	
			Surface	0.5	1	1.5	2	3	3.5	4	5	6	7	8	9	11	12	15		18
1 (I)	II, 23(1944) 12h	6.0m	1.68 3.67 0.19		1.39 31.63 1.72		1.38 31.76 1.73				1.43 31.72 1.73									$t=8.5$ °C
2 (2'')	II, 24(//) 10h 20	2.5	0.00 1.66 0.09		0.03 1.75 0.09		1.37 31.43 1.71													$t=+0.6$ $d=36.7$ cm
3 (L)	II, 24(//) 13h 50	11.5	0.57 11.42 0.61		1.51 1.75 0.09		1.48 31.82 1.73	1.48 31.73			1.39 31.91 1.74		1.37 31.93 1.74							$t=+1.6$ $d=21.4$
4 (M)	II, 26(//) 11h 10	3.9	0.57 10.92 0.58		1.64 31.60 1.72		1.67 31.43 1.71	1.61 31.80												$d=38.8$
5 (III)	II, 18(//) 12h 10~ 53m	3.4	6.91 0.37 0.37	8.13 0.43	28.04 1.52		1.63 28.96 1.57	1.57 29.47 1.60												$t=10.4$ $d=31$
6 (IV)	II, 18(//) 13h 54~ 15h	6.9	0.26 4.36 0.23		1.12 8.06 0.43		1.42 28.73 1.55		1.49 30.46 1.65		1.40 30.28 1.64									$t=10.2$ $d=27$
7 (V)	II, 18(//) 15h 30~ 16h 30	9.0		0.36 5.68 0.30			0.74 11.69 0.62		1.61 30.05 1.63		1.66 30.23 1.64		1.55 30.10 1.63							$t=12.2$ $d=29$
8 (VII)	II, 25(//) 13h	17.3	1.71 26.37 1.42			1.70 30.52 1.60		1.68 30.84 1.67			1.70 31.17 1.69		1.74 31.10 1.69		1.73 31.17 1.69	1.71 31.00 1.68				$t=6.0$ $d=61$
9 (VIII)	II, 20(//) 14h~15h 10	19.0			1.89 30.39 1.65			1.86 31.18 1.69			1.80 30.52 1.66		1.73 31.06 1.69		1.61 30.46 1.66	1.69 30.73 1.67	1.68 30.59 1.66			$t=11.4$ $d=35$
10 (I)	III, 2(1945)	2.7	1.50 32.02 1.74	1.62 32.05 1.74	1.70 31.89 1.73	1.68 31.85 1.73	1.62 31.85 1.73													$t=2.6$ $d=15.5$
11 (II)	III, 2(//)	12.0	1.58 30.90 1.68		1.58 31.67 1.72		1.55 31.80 1.73				1.60 31.80 1.73		1.61 32.21 1.75		1.61 31.98 1.74					$t=3.8$ $d=13$
12 (A)	II, 20 (1946) 9h~10h	3.9	1.54 31.44 1.71		1.30 31.42 1.71		1.24 31.44 1.71	1.43 31.42 1.71	1.40 31.42											$t=0.7$ $d=25$
13 (B)	II, 25(//) 15h40~ 16h30	7.0	0.98 31.83 1.73		0.69 32.07 1.74			0.50 32.38 1.76		0.50 32.09 1.74		0.68 31.35 1.70								$t=6.8$ $d=14.5$

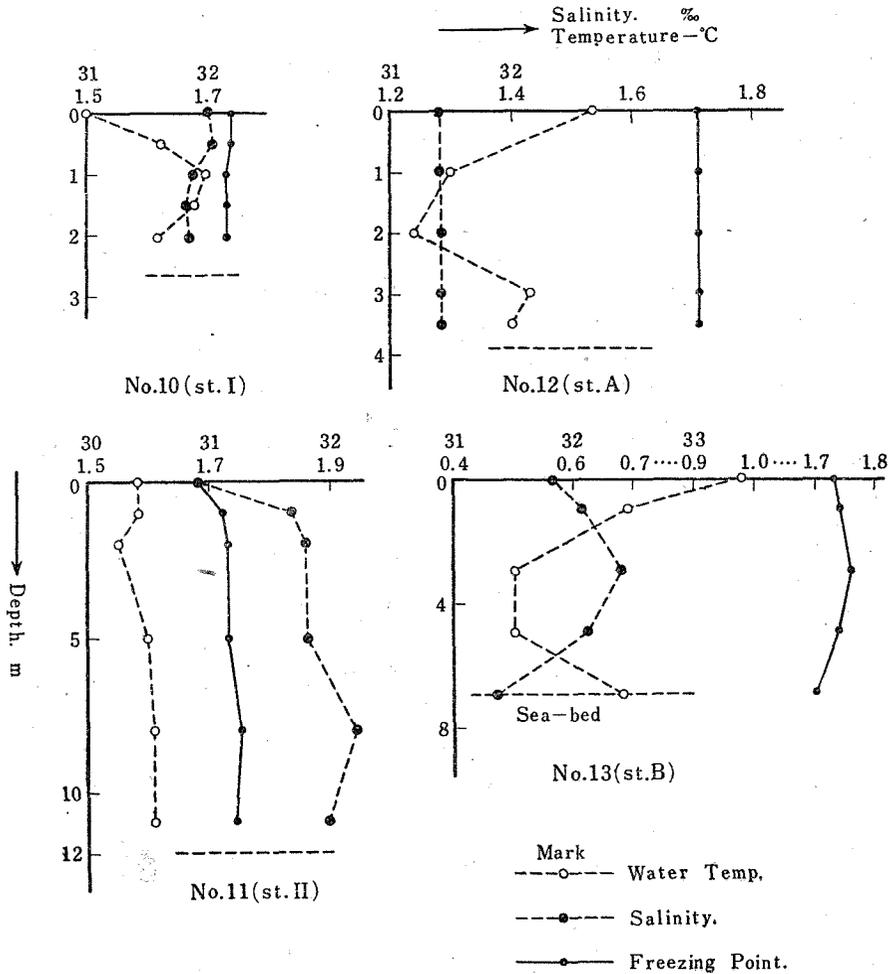
Each values show { Temperature of sea-water in °C (the uppermost column), Salinity of sea-water in ‰ (the middle column), d : Thickness of ice, in cm.
Freezing point of sea-water that calculated from salinity by Knudsen's formula in °C (the lowest column), t : Air temperature in °C when the observation was held.



第 3 圖 (A)



第 3 圖 (B)



第 4 圖

21年の観測である。観測點に於ては沿岸結氷に50cm×50cm位の面積の穴を開け、これから海底までの種々の深さで採水測温を行つた。水深は2.5m~19mであつた。採水にはエクマン型湖水用顛倒採水器を用ひ測温には顛倒寒暖計(渡邊製)を採水器に裝備して用ひた。然し表層では直接採水瓶で採水し測温には $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ 目盛の標準寒暖計を使用した。顛倒寒暖計の水曝時間は5~10分、讀取値には器差、温度の更正を施した。採水した海水は採水瓶につめて歸校後これについて普通の海水分析の方法によりClの定量分析を行ひ、Knudsenの公式により鹽分を求めた。分析に用ひた硝酸銀溶液は標準海水を用ひて檢定したことは申す迄もない。第1表はその結果であるが、水深、観測時の氣温、氷厚も参考のため記載して置いた。又表中にはその鹽分に對する海水の結氷温度 τ (此所で τ は $\tau = -0.0086 - 0.064633\sigma_0 - 0.0001055\sigma_0^2$, $\sigma_0 = -0.069 + 1.4708\text{Cl} - 0.001570\text{Cl}^2 + 0.0000398\text{Cl}^3$ なるM. Knudsenの式

から求めた)の計算値も掲げた。第3圖,第4圖には縦軸に觀測層の深さをとり,横軸にはそれに對應する水温(白丸),海水の鹽分(黒丸點線)とその鹽分に對する海水の結氷温度(小黒點實線)をとつてそれらの垂直分布を示したものである。第3圖は網走,第4圖は紋別の結果である。

III. 論 議

1) 沿岸海水下の海水の温度は近似的には結氷温度である。

網走到於ては第1圖に示した様に河が港内に注いでゐるので,港内や又港外でも港の近くでは海水と下の海水(鹽分は29~32%で殆ど一樣である)の間に厚さ0.5m~1m位の鹽分の極めて薄い水の層が見られる(第3圖參照)。その淡鹽分層の鹽分は港内では1~5%位で,港外では港から隔てるにつれて次第に鹽分を増して測點8,9位では殆ど影響がなくなる。紋別に於ては附近に大きな河がないので海水は表面から底まで31~32%の殆ど一樣な鹽分を示してゐる(第4圖參照)。各層に於ける水温は2つの場合(測點No.1の表面とNo.6の1m層)を除外すれば何れもその鹽分に對する結氷温度と $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ の範圍で一致してゐる。(第1,第2,及び第3表參照)。昭和21年の紋別の觀測の際はその年の冬季の氣温が例年に比較して温暖であつたためか,内港を除いて見渡す限りの海面には結氷,流氷がなく,港内の結氷の下にも沖の暖水が流入して結氷は融解しつつあると思はれる狀況であつたので,此の場合をも除けば水温は $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 位の範圍で結氷温度と一致してゐる。即ち盛氷期に於ける沿岸の水深20m以下の海域の結氷下の水温は近似的には表面から底までその鹽分に對する結氷温度にあるといふことが推察出來よう。

鹽分が24.7%以上の海水に於ては其の最大密度を示す温度は海水の結氷點以下にあり,それより温度が高ければ高い程密度が小さいので,秋になつて氣温が水温より低くなると冷却された表層の海水は下の海水より密度が大となつて沈み,下層の暖い海水が浮き上つて來て水深の浅い海域では水温が表層から底層迄一樣になる。又風波による攪亂や風による海岸の上昇流,下降流がこの作用を助長する。従つて氣温が低下するにつれて水温は遂に全層が結氷温度となる迄漸次低下する筈である。尙氣温が下ると水の表面に結氷を生じ其の下面に氷が成長して行く。即ち外から暖い水が流入することがなければ結氷下の海水は底まで鹽分が一樣で水温が結氷温度になつてゐると考へられるのである。其の後上昇臨界日¹⁾を過ぎて氣温が海水の結氷温度より上昇し始め,沖の結氷が破碎されて流れ出し,海面が露出する様になると,日射により表面の水温が上昇し風波や風による海岸の上昇流,下降流により漸次下層の水温も上昇するものと考へられる。此の度の觀測の結果に就て網走の測點8,9及び紋別の測點10,11に就て結氷下の海水の鹽分,水温が表層から下層まで殆ど一樣で水温が結氷温度に近似的には一致

してゐたことや, 紋別の測點 12, 13 に於て鹽分は略, 一様であつたが, 温度が結氷温度より 0.5°C 位高かつた事實は上に述べた様な現象が略, 實際に行はれてゐることを示すものと思はれる。

網走の測點 1~7 に於て見られる海氷直下の淡鹽分層は筆者等が海氷中の鹽分の垂直分布の研究²⁾の際に指摘した通り結氷生成後に結氷温度の河水の流入により生じたものと考へられるから, 其の下層の海水に就ては上に述べたと全く同様に近似的には結氷温度にあることは期待せられることであり, 観測の結果も略, この関係を満足してゐるのである。

2) 結氷直下の海水の過冷却現象と下層の海水の温度が結氷點より多少高いことについての考察。

顛倒寒暖計による此の度の測温の誤差は $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 位のものであり, 鹽分測定 of 誤差による結氷温度の計算値も同程度の誤差であると思へられるから, 観測の結果を今少し嚴密に見れば水温がその層の鹽分に對應する結氷温度より低温で所謂過冷却を呈してゐる部分や, その結氷温度より多少高温な部分があることを知ることが出来る。即ち

i) 紋別の測點 11, 12, 13 に於ては海水の全層に互つて水温が $0.1\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 結氷温度より高いことである。12, 13 の場合に於ては既に上に述べたから省くが, 11 の場合は 3 月初旬の気温の比較的高い時の観測であり, 而も場所が沖の開水部に近いために 12, 13 の場合と同様な現象が起つたのであらうと考へてゐる。

ii) 網走の測點 1, 6, 7, 8, 9 の表層に於ては $0.01\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ に及ぶ過冷却の現象が見られた。その他測點 5 の表層に於ても 0.02°C 程度の過冷却があり, これらの 6 つの場合を平均すれば, 0.47°C となる。過冷却の現象が見られたのは主として結氷直下の 1 m 以内の淡鹽分層中であるが, 網走では昭和 19 年には 4 測點の中 1 測點, 昭和 20 年には 5 測點全部に於て過冷却が起つてゐた。紋別に於ては昭和 20, 21 年ともに過冷却の現象は全く見られなかつた。

iii) 又網走の測點 1, 2, 3, 6 に於て淡鹽分層の下の海水層中で水温が $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 位結氷温度より高いことが認められる。

ii), iii) の現象を尙よく吟味するために紋別の 12, 13 (前に述べた如く之等の場合は沖に氷が全然無く沖から温度の高い水が流入して氷が融解してゐることが明らかであるから除く)を除く全測點の各層に就て其の鹽分に對する結氷温度と水温との差を求め第 2, 第 3 表に示した(過冷却の場合を正とする)。又過冷却の現象が見られる個所は主として網走の淡鹽分層のある沿岸近くの部分であるから, この関係を吟味するために最上層の海水鹽分が 15% 以下の場合と 25% 以上の場合の 2 つに分けて, 各層毎に結氷温度と水温との差の平均値を求めた。その結果は又第 2, 3 表中及び第 5 圖に示した。圖中白丸は $S < 15\%$ の場合で黒丸

は $S > 25\%$ の場合である。即ち海水最上層の鹽分が 25% 以上で淡鹽分層の影響の少ない海域

第 2 表 海水最上層の鹽分が 15% 以下の場合の過冷却度 (正)

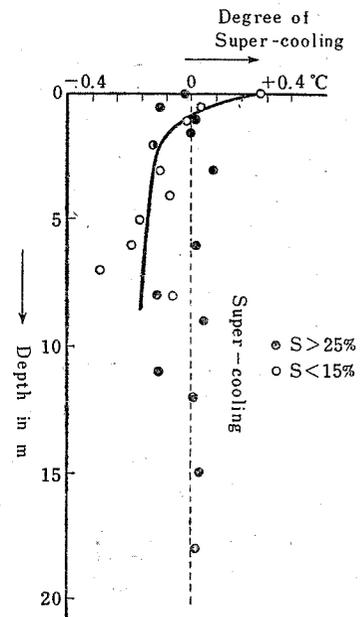
Station \ Depth of layer	0 m	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
No. 1	+1.49	—	-0.33	-0.35	—	—	-0.30	—	—	—
2	-0.09	—	-0.06	-0.34	—	—	—	—	—	—
3	-0.04	—	-0.21	-0.25	-0.25	—	-0.35	—	-0.37	—
4	-0.01	—	-0.08	-0.04	-0.12	—	—	—	—	—
5	—	+0.02	-0.06	+0.06	-0.03	—	—	—	—	—
6	+0.03	—	+0.69	-0.13	—	-0.16	—	-0.24	—	—
7	—	+0.06	—	+0.12	—	-0.02	+0.02	—	—	-0.08
Mean	+0.28	+0.04	-0.01	-0.15	-0.13	-0.09	-0.21	-0.24	-0.37	-0.08

第 3 表 海水最上層の鹽分が 25% 以上の場合の過冷却度 (正)

Station \ Depth of layer	0	0.5	1	1.5	2	3	6	8	9	11	12	15	18
No. 8	+0.29	—	—	+0.05	—	+0.01	+0.01	—	+0.05	—	+0.03	+0.04	—
9	—	—	+0.24	—	—	+0.17	+0.14	—	+0.04	—	-0.05	+0.02	+0.02
10	-0.24	-0.12	-0.03	-0.05	-0.11	—	—	—	—	—	—	—	—
11	-0.10	—	-0.14	—	-0.18	—	-0.13	-0.14	—	-0.13	—	—	—
Mean	-0.02	-0.12	+0.02	0.00	-0.15	+0.09	+0.01	-0.14	+0.05	-0.13	-0.01	+0.03	+0.02

では平均すれば海水の上層から下層まで殆ど結氷温度になつてゐるが、最上層の鹽分が 15% 以下で、即ち淡鹽分層が氷の直下に存在する海域では淡鹽分層の部分で平均しても 0.3°C に達する過冷却が起つて居り、下の海水層の部分では結氷点より $0.1\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ 位温度が高くなつてゐることが判るのである。Altberg³⁾ のソ聯邦内諸川に就ての研究によれば河水の過冷却の度は僅かに千分の數度からたかだか 0.05°C の程度に過ぎないことが知られてゐるが、海水直下の海水に就て上述の様な可成り大きな過冷却が観測されたことは眞に著しいことと言はなければならない。以下にこの原因に就て少し考察を加へてみようと思ふ。

網走の港に近い海域に就ては結氷の始まる少し以前には沖の鹽分の濃い海水と網走川其の他から流出した淡水とが風波や海の表面の冷却に起因する對流や其の他の作用で攪



第 5 圖

拌されて, 表面から底まで鹽分や水温も略: 一定で均質な沿岸水塊(鹽分は其の年や場所で多少異なつて居り 29~32% 位である)を形成して居り, 尙冷却がすゝむと海面に結氷を生ずる. 其の後は結氷のために風波による攪拌作用がなくなるので, 流出した結氷温度に近い河水は結氷とその下の結氷温度の海水との間に 0.5~2.5m の薄層となつて存在する. これらに就いては海水の研究第 10 報⁴⁾にも注意したが, 第 4 表に淡鹽分層の厚さ d_1 , その平均鹽分 S_1 , その平均過冷却度 $(+)\Delta\theta_1$, 下の海水層の厚さ d_2 , その平均鹽分 S_2 , その結氷温度からの昇温の度 $\Delta\theta_2$, 又淡鹽分層と海水層との境界に於ける温度傾度 $\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m$ を測點毎に示して置いた.

第 4 表 淡鹽分層及び海水層の厚さ, 鹽分, 過冷却度, 結氷點よりの昇温, 境界層に於ける温度傾度

Station No.	d_1	S_1	$\Delta\theta_1$	d_2	S_2	$\Delta\theta_2$	$\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta z}\right)_m$
1	0.5 m	3.7 %	1.49°C	4.5 m	31.7%	0.33°C	$0.29 \times 10^{-2} \text{°C/cm}$
2	1.5	1.7	-0.07	1.0	31.4	0.20	1.34 "
3	0.5	11.4	-0.04	10.0	31.8	0.29	0.94 "
4	0.5	10.9	-0.01	3.5	31.6	0.08	1.07 "
5	0.8	7.5	0.02	2.5	28.8	0.01	2.02 "
6	1.5	7.0	0.36	5.5	29.8	0.18	0.30 "
7	2.5	10.0	0.09	6.5	30.1	0.03	0.87 "
Mean	1.1	7.5	0.18*	4.8	30.7	0.18*	0.97×10^{-2}

* Weighted mean in regard to the thickness of the layer.

河水層と下の海水との堺に於ては多少の渦動があつて水温, 鹽分の交換が行はれ連続的變化を示し, そのため河水層には多少の鹽分を含むものと考へられる. 第 6 圖は問題の海域の垂直断面の略圖で, 圖中には横軸に温度をとり, 當時の水温並びに平均水温の垂直分布を實線で模型的に示した. 即ち水温は淡鹽分層の中心部並に上部で最高で 0°C か又はそれより多少の低温を示し, 下方に行くに従つて水温は低下し海水層の中心部で最低で -1.6~-1.7°C (海水の鹽分に對する結氷温度) になつてゐる筈である. 普通の海水中の温度分布の問題では熱傳導に比較して渦動による熱の移動が極めて大きく, 前者による熱の移動は無視されるのが常であるが, 此の場合は渦動の影響は僅かであり, 而も渦動によつては水自身の交換が起るのであるから過冷却は起らない. この場合にはむしろ僅かであつても熱傳導による熱の移動が問題になる. 即ち始め結氷温度の淡鹽分層から下の海水層に向つて傳導による熱の移動が起りその結果淡鹽分層の下部の温度はその鹽分に對する結氷温度より徐々に低下するが, 此の部分は何等結氷に接してゐないので何か動搖でも起らない限り過冷却の現象を生ずる. 又海水層の上層部

の水温はその鹽分に對する結氷温度より多少高まることになる。この場合の温度の垂直分布は圖中に點線で示した。この場合淡鹽分層の過冷却による最低温度 θ_i は海底や横方向からの熱の供給がなければ近似的に

$$\theta_i = \frac{k \frac{d_1}{d_2} \theta_1 + \theta_2}{1 + k \frac{d_1}{d_2}} \quad (1)$$

で與へられる。こゝに θ_1 及び θ_2 は夫々淡鹽分層及び下の海水層の鹽分に對する結氷温度、 $k = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}$ で (k は 1 に近い値である)、 ρ は密度、 c は比熱、 d は層の厚さで Suffix 1 又は 2 を附したものは夫々淡鹽分層及び海水層の値である。即ち θ_i は θ_2 を越えない。今淡鹽分層の過冷却の限度を $[\Delta\theta_1]$ 、海水層の温度上昇の限度 (その鹽分に對する結氷温度よりの上昇) を $[\Delta\theta_2]$ とすれば、近似的には

$$[\Delta\theta_1] = \theta_1 - \theta_i = \frac{1}{1 + k \frac{d_1}{d_2}} (\theta_1 - \theta_2) \quad (2)$$

$$[\Delta\theta_2] = \theta_i - \theta_2 = \frac{k \frac{d_1}{d_2}}{1 + k \frac{d_1}{d_2}} (\theta_1 - \theta_2) \quad (3)$$

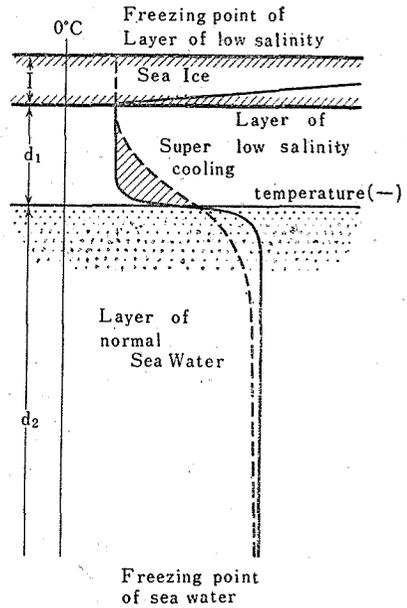
で與へられる。

一般に淡鹽分層の厚さ d_1 は海水層の厚さ d_2 に比較して小であるから斯様な場合には $\Delta\theta_1 \approx \theta_1 - \theta_2$ となり、 $\Delta\theta_2$ は $\Delta\theta_1$ に比較して可成り小となる筈である。

網走の場合には淡鹽分層の鹽分は 2~26% で海水層の鹽分は 29~32% であるから過冷却の限度 $\Delta\theta_1$ は 0.3~1.6°C 位となる。觀測せられた淡鹽分層の過冷却及び海水層の温度上昇は第 2 表及び第 4 表に示した如くであつて、過冷却は 1.5°C 以下、温度上昇は 0.4°C 以下であつて上に述べた考察の結果とよく一致してゐる。

淡鹽分層の過冷却の現象は上述の機構で起つてゐるとして觀測時にこれだけの値になつてゐるためにはどの位の時間を要したかを次に検討してみよう。勿論その order を知るのが目的であるから次の如く大ざつばな計算を試みることも許されることと思ふ。

今觀測當時に淡鹽分層が存在した海域全體を考へて近似的にその平均の状態がこの面積 A なる海域全體に一様に擴がつてゐたものと假定しよう。前に述べた様に初めて結氷が生じたとき、即ち時間 $t=0$ では淡鹽分層の厚さは零であり海水層はその鹽分に對する結氷温度にあ



第 6 圖

つた。その後これも結氷温度 (0°C) の鹽分を殆んど含まない河水が漸次入つて来て海水層の上に一樣に擴がり多少の渦動により海水層から鹽分を受けて淡鹽分層を生じたものとする。そして時間 t 即ち觀測當時には第 4 表の最下欄に示した様に淡鹽分層の厚さ $d_1=1.1$ m, 鹽分 $S_1=7.5\%$, その過冷却度 $\Delta\theta_1$ は 0.18°C (淡鹽分層の水域全體に對する平均値), 海水層の厚さ $d_2=4.8$ m, その鹽分 $S_2=30.7\%$, その結氷點からの温度上昇 $\Delta\theta_2=0.18^\circ\text{C}$ (海水層の海域全體に對する平均値), 兩層の境界に於ける平均温度傾度 $\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m = 0.97 \times 10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ であつたとする。又淡鹽分層・海水層ともに温度・鹽分は殆んど一樣であつたとし, その間の温度傾度も簡単に時間に關係なく一定であつたとする。この境の部分の熱傳導度を k とすれば $k=1.35 \times 10^{-3}$ (鹽分 19% として), 従つてこの境の面を通じて單位時間に淡鹽分層から海水層に流れこむ熱量は $k\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m = 1.35 \times 10^{-3} \times 0.97 \times 10^{-2} = 1.30 \times 10^{-5} \text{ cal}/\text{cm}^2\text{sec}$ である。渦動により此の面を通じて熱の移動も起るが, これは實質部分の交換に原因するから温度が變化すると共に鹽分も伴つて變り, このためには過冷却の現象は起らないから考へる必要はない。又淡鹽分層と結氷との接觸面には常に結氷温度の薄層が存在して結氷の表面から空氣中に放出される熱の影響は只此の層中で結氷の厚さを増すだけであると考へる。又海底からも熱の供給はないものと假定する。

先づ淡鹽分層全體に就て考へれば, t 時間中に $k\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m At$ だけ熱量を失つた結果 $\Delta\theta_1=0.18^\circ\text{C}$ の過冷却が起つたのであるから, 密度を ρ_1 , 比熱を c_1 とすれば次式が成立する。

$$A d_1 \rho_1 c_1 \Delta\theta_1 = k \left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m At \quad (4)$$

故に $\rho_1=1.006$, $c_1=0.96$ ($S_1=7.5\%$ に對し) として t を求むれば

$$t = \frac{d_1 \rho_1 c_1 \Delta\theta_1}{k \left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m} = \frac{110 \times 1.006 \times 0.96 \times 0.18}{1.30 \times 10^{-5} \times 8.64 \times 10^4} = 17 \text{ (日)} \quad (5)$$

が得られる。

次に海水層全體に就て考へれば t 時間に $k\left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m At$ なる熱量が流入した結果, 温度が $\Delta\theta_2=0.18^\circ\text{C}$ だけ上昇したことになる。但し海水層の厚さは最初 (d_2+d_1) で t には d_2 であるが, d_1 は d_2 に比較して小さいからその厚さを時間に關係なく $\left(d_2 + \frac{d_1}{2}\right)$ としても近似的には差支へない。

$$\therefore A \left(d_2 + \frac{d_1}{2}\right) \rho_2 c_2 \Delta\theta_2 = k \left(\frac{d\theta}{dz}\right)_m At \quad (6)$$

なる關係式が成立する。故に海水の密度 $\rho_2=1.025$, 比熱 $c_2=0.94$ ($S_2=30.7\%$ に對し) として代入し t を求むれば

$$t = \frac{\left(d_2 + \frac{d_1}{2}\right) \rho_2 c_2 \Delta\theta_2}{k \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta z}\right)_m} = \frac{(480+55) \times 1.025 \times 0.94 \times 0.18}{1.30 \times 10^{-5} \times 8.64 \times 10^4} = 82(\text{日}) \quad (7)$$

が得られる。

淡鹽分層の過冷却と海水層の温度上昇とから求められた t の値は上記の如く可成り異つてゐる。しかし淡鹽分層に於ては後述の如く結氷の成長のために多少過冷却が失はれた場合もあるのであらうし、観測の際凍結した採水器で水を攪亂して過冷却を減ぜしめたことも考へられるので實際の過冷却度の平均値は 0.18°C よりは多少大であつたであらう。又海水層に於ては水深が平均 6m 程度で浅いから海底からの熱の供給も多少あつて、實際に淡鹽分層から流入した熱で上昇した温度は 0.18°C よりは多少小であつたとも考へられる。従つて 2 つの t の値は上の値よりは近づく可能性がある。今兩者の t の値を平均すれば $t=49$ (日) となつて大體 t はこの order のものであらう。

筆者等が第 4 表の測點の観測を行つたのは第 1 表に示した如く昭和 19 年、20 年ともに 2 月 18 日から 2 月 26 日までの間であり、又網走に於て沿岸結氷の初期は平均して 1 月初めであるから、経過日数は 49~57 (日) 位である。即ち、この値は上の計算値とその order に於ては一致してゐる。

海水の鹽分が海水の直下から海底まで略：一樣な場合には、上に述べた様な機構では過冷却は起らない筈である。此の度の観測によれば第 3 表に示した如く測點 No.9 に於て多少過冷却が起つてゐる様でもあるが 4 測點の平均としては過冷却は起つてゐない。斯様な場合に過冷却が起るか否かは未だ観測の数が不足でよく判らないが、將來の観測の結果を俟つて論じたいと思ふ。

昭和 20 年の網走に於ける観測中、気づいたことであるが、淡鹽分層のある場所の結氷を切り取つて穴を開けて海面を出してその海水をスコップ等で攪拌すると、下方から羽毛状のモヤモヤした小氷片が盛に浮び上つて來たことを屢々經驗した。今にして思へばこれは過冷却した淡鹽分層がスコップに附着した氷片を核として又は攪拌による動搖で過冷却が破れて小氷片を生じたものと思はれる。又同じ測點 No.5 附近の結氷を切り出した際、結氷下面に長さ 10cm、幅 5~6cm、厚さ 1~2mm 位の薄片状の氷が氷の下面に垂直に延びてゐたのを 1 回だけ観測したことがあるが、これも淡鹽分層の過冷却と関係があるのではないかと考へてゐる。

兎に角海水の表面に淡鹽分層が存在する場合には河水の場合に比較して大なる過冷却が起り得ることが判つた。北方の海に於ては結氷開始期や解氷期の沿岸海域に於て河水の流入のため、又盛氷期解氷期の沖の開水面に於ける降雪や海水の融解により斯様な層状構造は屢々起り

得る筈であり,従つて上に述べた様な機構で淡鹽分層の下半部に過冷却が起つてゐる場合に,うねりやその他の原因で水の動揺が起れば過冷却が破れて急にこの部分に氷が生ずることが起り得る筈である。Mauerstad⁵⁾ は斯様な層状をなした淡鹽分層の下部に針狀結晶や蓮葉狀海氷が生じてゐるのを觀察したことを報告して居り,筆者の一人福富も曾つて亞庭灣に於てくらげ狀海氷が海面下 20~50cm 位の高さに多く漂つてゐるのを觀察したことがある。又河水の流入する沿岸海域で結氷開始期に最初アイスクリーム狀海氷が屢々觀察せられることがある。これらは矢張り上に述べた過冷却の現象に關係があるものと思ふ。

IV. 結 語

昭和 19 年, 20 年, 21 年に行つた北海道オホツク海岸の網走, 紋別の沿岸海水の觀測に於て結氷下の海水の温度, 鹽分含量の測定を行つた。その主な結果を挙げれば以下の如きものである。

1. 盛氷期に於ける沿岸海水下の海水の温度はその鹽分に對する結氷温度に $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 位の範圍内で近似的に一致してゐること。
2. 紋別では結氷下の海水は其の鹽分が 31~32.5% 位であつたが, 網走では港の近くには結氷と鹽分が 29~32% の海水との間に 1.5~26% の淡鹽分層(厚さ 1~2m) がはさまつてゐて, その鹽分含量は港内に注いでゐる網走川の河口附近で最小で港を隔たるにつれて増大してゐること。
3. 詳細に見れば網走に於ては結氷直下の淡鹽分層中で最大 1.5°C , 平均して 0.18°C 位の過冷却現象が見られ, その下の海水層中では 0.4°C 以下で平均して 0.18°C 位の水温上昇が觀測せられたこと。
4. 河水ではたかだか 0.05°C 程度しか過冷却しないことが知られてゐるが, 海水中で斯様な大きい過冷却の起るのは上に述べた様な層狀構造が原因であることを注意したこと。

尙筆者等は今後精密な觀測を多く行つて此の研究の不充分な點を補ひたいと考へてゐる。

終りに臨み, 長島富雄, 吉田敬一の兩理學士, 齋藤光郎, 吉田英三, 櫻井常吉の三君, 松浦艶子, 半澤和子, 青木敬の三嬢は筆者等と現地に同行され觀測に協力された。又現地の方々からは種々の御援助を得た。又此の研究に要した費用の一部は文部省科學研究費, 日本學術振興會研究費及び服部報公會研究費に依つた。此所に記して厚く感謝の意を表する次第である。

文 獻

- 1) 福富孝治, 楠宏, 1948. 海水の研究 (第 5 報) オホツク海南部沿岸に於ける流水終期の一近似的豫報法. 低温科學, 3, 159.
- 2) 福富孝治, 楠宏, 田畑忠司, 網走, 紋別に於ける沿岸海水中の鹽素量について, 1947 年 5 月 9 日 日本物理學會年會に於いて發表. 低温科學 6 に發表の豫定.
- 3) Altberg, W. J., 1936. Twenty years of work in the domain of underwater ice formation (1915-1935). Trans. Meet. Intern. Commis. Snow. Glacier., 373.
- 4) 前出 2) に同じ.
- 5) Mauerstad, A., 1935. Atlas of sea ice.

Takaharu FUKUFOMI, Kou KUSUNOKI and Tadashi TABATA :
Study of Sea-Ice. (The 8th Report).

On the Vertical Distribution of Temperature and Salinity of Sea-Water under
the Coastal Land-Ice at Abashiri and Monbetsu.

Résumé

In our observation of coastal land-ice at Abashiri and Monbetsu in the Okhotsk sea coast of Hokkaido, we measured the vertical distribution of temperature and the salinity of sea-water under the ice. Our results are summarized as follows :—

1) The temperature of sea-water under the ice is approximately equal in the range of $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ to the freezing point of sea-water that corresponds to its salinity.

2) At Monbetsu, the salinity of sea-water was nearly constant to 31~32.5‰ from the surface to the bottom. But at Abashiri, the layer of low salinity of less than 15‰ and of thin thickness 1~2 m exists between the ice and the sea-water of salinity 30~32‰. This layer was mostly developed in the neighbourhood of the mouth of Abashiri-river.

3) In this layer, we observed the phenomenon of supercooling that attained 1.5°C at maximum and 0.3°C in mean, whilst in the underlying layer of normal sea-water the temperature was higher than its freezing point and its range was less than 0.4°C . According to Altberg's study on riverwater, the grade of supercooling is only about 0.05°C . Concerning the above mentioned excessive supercooling at Abashiri, we can recognize that it was caused by the layer structure of the water of different salinity.