



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海水の研究（第9報）： 滲雪法による海水上の凍結採鹹実験
Author(s)	福富, 孝治; FUKUTOMI, Takaharu; 楠, 宏 他
Citation	低温科学, 4, 29-36
Issue Date	1948-10-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17456">https://hdl.handle.net/2115/17456</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_p29-36.pdf



---

---

Takaharu FUKUTOMI, Kou KUSUNOKI and Tadashi TABATA 1948 Study of Sea-Ice. (The 9th Report). An Experiment for the Condensation of Salinity of Sea-Water by Freezing Method, carried out using the Thin Snow Layer on the Coastal Land-Ice. *Low Temperature Science* 4. (With English résumé p. 35)

---

## 海水の研究(第9報)

### 滲雪法による海水上の凍結採鹹實驗\*

福富孝治 楠 宏 田畑忠司

(低温科學研究所 海洋學部門)

#### 緒 言

冬季北海道においては採鹹法として天然の寒氣を利用する凍結採鹹法の利用が望ましいのであるが、従來の凍結法では水池式或は流下式にしても之を企業化するのには次の如き困難があつた。

1) 北海道の冬季の氣温は左程低くない。従つて北見地方、釧路地方等の氣温が低く、降雪の少ない地方でも日平均氣温が $-10^{\circ}\text{C}$ 以下になるのは7~10日位で極めて僅かの日數であり、又採鹹に適する期間は12月20日~3月10日頃までの凡そ80日であつて降雪等の影響もあり實際に操業しうる日數は60日位と考へられること

2) 従つてこの短期間に多量の鹹水を得るためには相當の施設と面積とが必要であり、これらの施設は一年中の10ヶ月は使用出来ないから經濟上、また施設の保存上種々の困難が伴ふこと

3) 操業中には多量の氷が生ずるが、この除去に困難があること

以上の困難を切抜ける方法として、筆者等は北海道オホツク海沿岸の海水上において採鹹を行ふことを試みた。その方法並びに現地における實驗の結果について以下に概略を報告する次第である。

#### I 方 法

北海道オホツク海岸の沿岸海水は年により多少の差はあるが、略々12月末頃から3月上旬頃まで南は根室附近から北は濱頓別北方まで殆んどオホツク海岸全域に亘つて存在し、最盛期にはその厚さも數十糎に達する。従つて氷上の作業可能日數も採鹹時期と略々一致してゐる。沿岸海水上は平坦でありその面積も非常に廣く何等障害物もないので大層都合である。又同

---

\* 北海道大學低温科學研究所報告 No. 62. 昭和22年5月9日。日本物理學會年會において發表。

方面は気温も北海道沿海方面としては最も低く降雪量も北海道西側の地方に比較して極めて少く、北方に行く程条件は良好である。又海水下は直ちに海水であるから氷に孔をあければ到る所で直ちに結氷温度に近い海水を得ることが出来る。

さて、その採鹹法であるが海水上にある数種の積雪に海水を廣く滲潤せしめ、この降雪の面に搔き目を入れてその表面積を廣くすれば冷却効果が大となる。これをそのまま数時間乃至一夜位放置し、雪に滲潤した海水を凍結させ、なるべく気温の低い間にその滲雪を搔集めて現場で直ちに遠心分離機にかけて鹹水を分離採取しようとするのである。排出された雪は再び海水を滲潤せしめて使用することが出来る。

## II 実験の経過並びに結果

実験は昭和21年2月19日～3月3日北見紋別内港の結氷上に於て行つた。當時の結氷の厚さは凡そ25 cm、積雪量は4～8 cm位であつて、方法としては上記の方法以外に海水上に浅い氷池を作つて海水を満たす方法等も行つた。期間中気温はあまり低くなく平均  $-7.1^{\circ}\text{C}$  であつたので（この冬は気温は一般に低くなかつた）期待した程多くの濃厚な鹹水は得られなかつたが、その方法の可能性についての判定は充分得られたと信じてゐる。

### (i) 新しい積雪による実験

海水の一ヶ所に  $1\text{m}^2$  位の孔をあけ、海水をバケツで汲出し周囲の新しい積雪中に（直徑凡そ15 mの圓形面積）滲潤せしめ1～2晝夜放置した後その面積中の所々の  $1\text{m}^2$  の面積から雪を搔集めて遠心分離機にかけて鹹水を分離し、その鹹水量を測定した。又硝酸銀滴定法により海水及び鹹水中のCl含量を測定し、Knudsenの実験式がこの場合にも成立つものとして鹽分量を求めた。気温は氷上に設置した自記寒暖計の記録から讀取つた、風は携帶用風向風速計によつて測定したものである。その結果は第I表に示した通りである。

第 I 表

実験 番號	実験の始及終の 時 刻	毎 時 平均気温	積雪量	經 過 時 間	滲 潤 海 水 量	採 取 鹹 水 量	鹹 水 鹽 分 量	海 水 鹽 分 量	濃 縮 比
1	20日 12.0時～ 23日 14.2時	- 6.6°C	6.1cm	50.2h	10.86ℓ/m <sup>2</sup>	2.6ℓ/m <sup>2</sup>	87.05%	31.38%	2.78
2	23日 10時～ 24日 10時	- 7.9	4.0	24	4.5	1.7	54.9	31.00	1.77

即ち第1回の実験では平均気温  $-6.6^{\circ}\text{C}$  所要時間50.2時間で海水鹽分の2.78倍の鹹水が  $1\text{m}^2$  の面積に對し2.6ℓの割で得られた。第2回は平均気温  $-7.9^{\circ}\text{C}$ 、所要時間24時間で海水の1.77倍の濃度の鹹水が  $1\text{m}^2$  當り1.7ℓの割で得られた。

### (ii) 自然滲潤積雪による実験

海水の比重は0.95、氷の比重は1.03位であるから海水面は氷の表面から氷の厚さの0.08

倍位の所に來てゐる。紋別に於ては實驗中氷厚は 25 cm 位であつたから海水面は海水面下僅か 2 cm 位である。従つて數 cm 以上の積雪が海水面上にあると尙海水面は高くなり、満潮の際には海水が滲出して雪に滲潤してゐることが多い様であつた。従つて多くの場合は人爲的に海水を汲揚げて滲潤させなくても自然に雪は海水で滲潤してゐるのである。

このような雪を採取して上と同様の方法で鹹水を採取した。その結果は第 II 表、第 III 表に示した通りである。第 II 表は遠心分離機を用ひず、ざるの上に滲雪をのせて重力滴下により鹹水を採取した場合及び手で絞つて鹹水を採取した場合であり、第 III 表は遠心分離機によつて鹹水を採取した場合である。

第 II 表 筭又は手紋りによる採鹹結果 (自然滲雪)

實驗 番號	採雪時刻	採取 量	採鹹量	鹹水 鹽分量	海水 鹽分量	濃縮比	氣		溫
							採雪時	採取前24 時間平均	前6時間 平均
1	14.0~15.3	25ℓ	0.63ℓ	60.3%	31.93%	1.89	-7.3~-7.4°C	-5.0°C	-5.8°C
2	15	—	極少量	76.9	32.19	2.39	-8.5	-8.6	-8.6

第 III 表 遠心分離機による採鹹結果 (自然滲雪)

實驗 番號	月 日	採雪時刻	採取* 量	採鹹量	鹹水 鹽分量	海水 鹽分量	濃縮化	氣		溫
								採雪時	前24時 間平均	前6時 間平均
1	11 22	14.3~17.7	180ℓ	35.4ℓ	73.5%	32.2%	1.28	-8.5~ -9.5°C	-8.6°C	-8.6°C
2	22	10.5	20	2.1	81.4	32.2	2.53	-8.6	-8.6	-9.4
3	23	14.5~15.0	100	18.2	59.2	—	—	-7.2	-8.6	-7.3
4	25	11.5~12.1	165	37.5	74.0	31.6	2.34	-5.3	-4.9	-5.5
5	25	15.5~16.0	175	44.6	59.1	31.6	1.87	-6.2~ -6.8	-5.5	-5.7
6	26	9.6~10.3	190	29.5	97.1	33.5	2.90	-9.0	-10.9	-14.2
7	26	13.7~14.3	190	40.0	72.1	33.5	2.15	-4.7	-10.9	-7.2
8	26	15.0~15.7	190	45.0	51.1	33.5	1.52	-4.1	-10.9	-5.3
9	27	9.8~10.3	190	23.5	55.1	31.7	1.74	+0.1	-5.8	-3.9
10	27	10.7~11.0	190	33.0	43.4	31.7	1.37	+0.1	-5.2	-2.6
			計	計	加重平均	平均		平均		
			1590ℓ	308.8ℓ	64.8%	32.4%		-5.4°C	-8.0°C	-7.0°C

\* 1 m<sup>2</sup> よりの採雪量は凡そ 20 ℓ で、従つて第 III 表の總採取雪量は 79.6 m<sup>2</sup> よりの採雪量に當る。

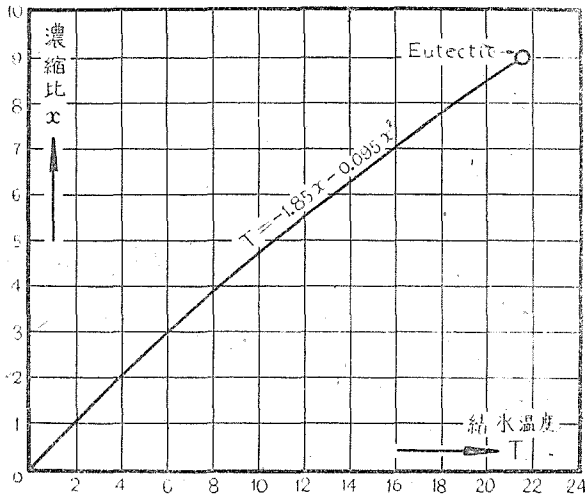
即ち、第 II 表、第 III 表から判る様に自然滲雪からも充分採鹹可能であることが判る。しかし滲雪よりの採鹹には手紋り、又はざるによる自然滴下等は遠心分離機による方法に比較してその能率が著るしく悪いから使用出來ないことも第 II 表、第 III 表の結果から知られる。

遠心分離機を用ひて行つた自然滲雪よりの採鹹は總採取雪量 1590 ℓ について行つたが、第 III 表から判るように、採取前 6 時間の平均氣温が -7.0°C の場合、1 m<sup>2</sup> の面積から平均して鹹水量  $\frac{308.8 \ell}{79.6} = 3.88 \ell$ 、濃度 64.8% (海水鹽分の 2.06 倍) の鹹水が採取された割合となつた。

## III 実験結果に対する論議

## i) 鹹水濃度と経過時間・気温との関係

気温が時間的に餘り激しい變化をせず略一定と考へられる場合には、時間が経過する程鹹水濃度が大きくなることは申す迄もない。第I表の経過時間24時間と50時間との場合において、



第1圖 海水の結氷温度と濃縮比との近似的關係

前者は海水の1.77倍の濃度であるに對して、後者は2.78倍となつてゐる。然しこれには限度があつてある気温ではこの限度以上には濃くなり得ない。この濃縮限度と気温との關係は第1圖に示す通りである、(圖においてはNaCl溶液をもつて海水の代りにしてあるが、この點についての議論は文献<sup>1)</sup>参照)。即ち気温が $-5^{\circ}\text{C}$ では海水鹽分の2.5倍、 $-7^{\circ}\text{C}$ では3.4倍、 $-10^{\circ}\text{C}$ では4.7倍である。

實際の場合においては気温は相當日週變化を行つて、深夜から早朝にかけて最低温度を示すが、日中は比較的高温である。従つてこのような場合には夜分は凍結して濃縮が行はれても日中は再び融解して舊に戻り、いくら時間が経過してもあまり濃縮されない恐れがある。例へば第III表の中で2月26日の實驗番號6, 7, 8の3つの場合について考へると、何れも採取前24時間の平均気温は $-10.9^{\circ}\text{C}$ で一定であるのに朝10時頃気温が $-9.0^{\circ}\text{C}$ の時採取した鹹水は鹽分量が97.1%もあるが、14時頃気温が $-4.7^{\circ}\text{C}$ に上昇した時に採取した鹹水は鹽分量72.1%に減じ、15時半頃気温が $-4.1^{\circ}\text{C}$ の時に採取した鹹水は51.1%となり非常に減少してゐる。即ち日週變化の様な短週期の気温變化がある場合には気温が一定不變の場合とは可成り異つた結果となるものと思はれるのである。

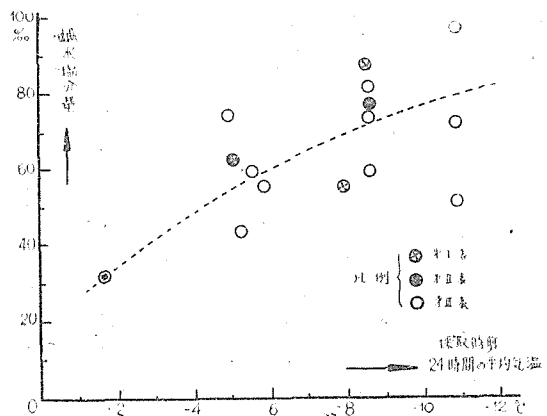
従つて次に鹹水濃度には採取前何時間位の間気温が最も影響を與へるかを吟味してみる。第2圖、第3圖、第4圖は縦軸に

前者は海水の1.77倍の濃度であるに對して、後者は2.78倍となつてゐる。然しこれには限度があつてある気温ではこの限度以上には濃くなり得ない。この濃縮限度と気温との關係は第1圖に示す通りである、(圖においてはNaCl溶液をもつて海水の代りにしてあるが、この點についての議論は文献<sup>1)</sup>参照)。即ち気温が $-5^{\circ}\text{C}$ では海水鹽分の2.5倍、 $-7^{\circ}\text{C}$ では3.4倍、 $-10^{\circ}\text{C}$ では4.7倍である。

實際の場合においては気温は相當日

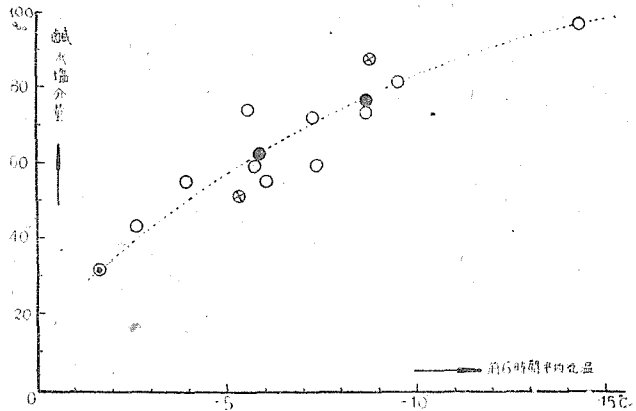
週變化を行つて、深夜から早朝にかけて最低温度を示すが、日中は比較的高温である。従つてこのような場合には夜分は凍結して濃縮が行はれても日中は再び融解して舊に戻り、いくら時間が経過してもあまり濃縮されない恐れがある。例へば第III表の中で2月26日の實驗番號6, 7, 8の3つの場合について考へると、何れも採取前24時間の平均気温は $-10.9^{\circ}\text{C}$ で一定であるのに朝10時頃気温が $-9.0^{\circ}\text{C}$ の時採取した鹹水は鹽分量が97.1%もあるが、14時頃気温が $-4.7^{\circ}\text{C}$ に上昇した時に採取した鹹水は鹽分量72.1%に減じ、15時半頃気温が $-4.1^{\circ}\text{C}$ の時に採取した鹹水は51.1%となり非常に減少してゐる。即ち日週變化の様な短週期の気温變化がある場合には気温が一定不變の場合とは可成り異つた結果となるものと思はれるのである。

従つて次に鹹水濃度には採取前何時間位の間気温が最も影響を與へるかを吟味してみる。第2圖、第3圖、第4圖は縦軸に

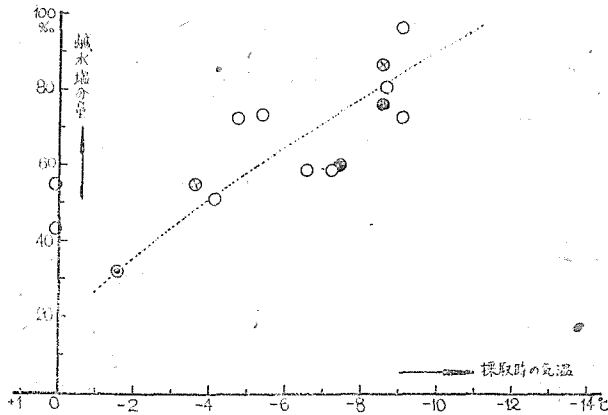


第2圖 鹹水採取前24時間の平均気温と鹽分量との關係

鹹水鹽分量をとり、横軸に夫々鹹水採取前 24 時間及び 6 時間の気温の平均値又は採雪時の気温の値をとつて第 I 表、第 II 表、第 III 表の總てについてそれらの間の關係を吟味したものである。これら 3 つの圖を比較してみるに、鹹水鹽分量と気温との相關關係は第 2 圖第 4 圖ではあまり明瞭でないが、第 3 圖においては相當の相關關係



第 3 圖 鹹水採取時前 6 時間の平均気温と鹽分量との關係



第 4 圖 鹹水採取時の気温と鹽分量との關係

を示してゐる。この相關の程度について定量的に吟味を進めるために次の如き近似的方法をとつた。即ち原海水の結氷點に相當する  $(x_0, y_0)$  を通り、これらの點からの偏差が最も少いと思はれる二次曲線  $y = a + bx + cx^2$  ( $b, c$  は任意の常數) の形の實驗式で表はされる曲線を目測で一本引いた。それを圖中に點線で示した。次にこれらの線からの偏差を測り  $\frac{\sum(\text{偏差})^2}{n}$

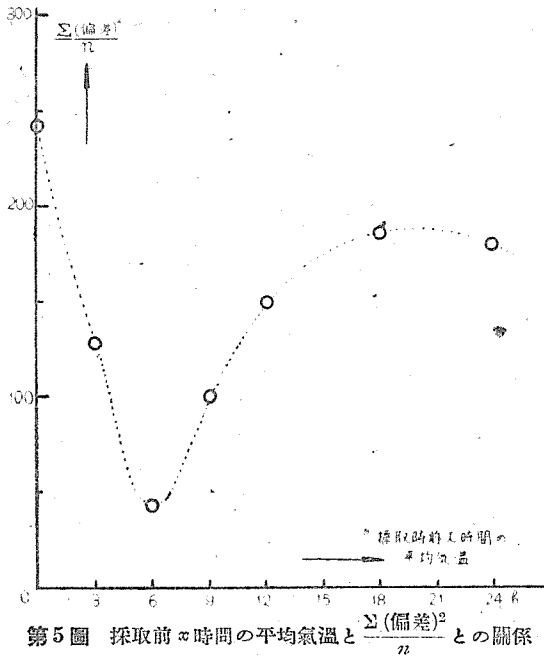
( $\sum$  は各偏差の自乗の和を、 $n$  は點の數を表はす) の値を計算してこれを縦軸にとり、横軸には採取前 0, 3, 6, 8, 12, 16, 24 時間の平均気温をとつて第 5 圖に示した。この圖から採取前 6 時間の平均気温が鹽分濃縮に最も影響が大きいことが近似的に推定せられる。即ちこれらの結果を綜合すれば次の結論が得られる。

1) 日週變化の著しい場合には前日の夕刻滲雪せしめて午前 6 時頃気温が最低となるから朝 8 時頃採鹹を行ふのが最も能率的である。日中気温が引續いて寒冷な場合は朝再び滲雪せしめて夕刻今一度採鹹することも出来る。

2) 鹹水鹽分量と鹹水採取前 6 時間の平均気温との關係は凡そ次表の如き關係がある。

第 IV 表

鹹水採取前 6 時間の平均気温 $-^{\circ}\text{C}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
鹹水鹽分量 %	50	57	63	69	74	79	84	88	91	94	96	98
”(32.0%の海水を標準として)	1.56	1.78	1.97	2.16	2.31	2.47	2.63	2.75	2.84	2.94	3.00	3.06



第5圖 採取前 x 時間の平均気温と  $\frac{\Sigma(\text{偏差})^2}{n}$  との関係

北海道オホツク海沿岸においては日平均気温が  $-10^{\circ}\text{C}$  以下となる日は極めて僅かであるが、1日の中引続いた6時間の平均気温が  $-10^{\circ}\text{C}$  以下となる様な日は決して少ない。従つて海水の2.8倍位の鹽分量の鹹水は可成り多量得られる筈である。この冬の如き高温の場合は寧ろ特別な場合である。

### ii) 積雪量と滲潤海水量の適量

積雪量は5~10cm位が適當である。積雪量が餘り大となると雪の熱傳導率は小さいから、海水の滲透してゐる部分の雪温が高くなり、従つて雪中の海水の凍結は能率が悪くなる。従つて積雪量が大なる場合に

は之を除去しなければならない。

滲潤海水量の適量は未だあまり明瞭ではないが、第I表の實驗1については積雪量6cmに對して自然滲潤量は  $10.9 \text{ l/m}^2$  位であつた。また4cmの積雪に對して6.3; 12.5; 18.8;  $25 \text{ l/m}^2$  の滲潤を行つたのに對し、一晝夜後の測定では夫々5.4; 4.8; 3.5;  $3.9 \text{ l/m}^2$  平均  $4.5 \text{ l/m}^2$  に減少した。即ち、4~6cm位の積雪に對し  $1 \text{ m}^2$  當り5~10l位(水深0.5~1cmに當る)が適當にして且自然な滲潤量であるように思はれる。

### iii) 濃縮率と採鹹量との關係

濃縮率と採鹹量との關係は現地における實驗結果では餘り明瞭でないが濃縮率1.7~3.0(鹹水鹽分量50~90%)の範圍で  $2\sim5 \text{ l/m}^2$  位の鹹水量が得られた。之等の定量的な關係については更に研究を進めたい考である。

## VI 摘 要

緒言に述べた如き凍結採鹹法の諸困難を出来るだけ避けるために、沿岸海氷上を利用する降雪凍結法とも稱すべき一採鹹法を考へ、昭和21年2月中旬から3月初旬に亘り北海道オホツク海岸の紋別町内港の海氷上においてその實驗を行つた。その方法は海氷上の積雪に海水を滲潤せしめて一夜放置し雪中の海水を凍結させ、朝早くその雪を掻集めて現場において直ちに遠心分離機にかけて鹹水を分離しようと云ふ簡単な方法である。その結果は第I, II, III表に示した。本年は概して冬季の気温高く實驗期間中の日平均気温も  $-7.1^{\circ}\text{C}$  に過ぎなかつたが、 $1 \text{ m}^2$  に

つき海水鹽分量の凡そ 1.7~3.0 倍の鹹水を 2~5 ℓ 位の割合で得ることが出来た。

採取した鹹水鹽分量は採取時前 6 時間位の間の平均気温と著しい相関がある。その関係は第 IV 表又は第 3 圖, 第 5 圖に示した。この結果から気温が 6 時間位引續いて  $-8^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$ ,  $-12^{\circ}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$  を示した後は夫々 2.3; 2.6; 2.8; 3.0 倍の鹹水が得られることになる。

實際に日平均気温が  $-10^{\circ}\text{C}$  以下となることは少いが 6 時間の平均気温が  $-10^{\circ}\text{C}$  以下となる場合は平年においても決して少くない。今一例として前日の夕刻雪に鹽分が 32.4% の海水を滲潤せしめた場合, 翌朝早く採鹹するとして採鹹前 6 時間の平均気温が  $-10^{\circ}\text{C}$  であれば 84% の鹹水が  $1\text{m}^2$  當り 2~5 ℓ 得られることになる。鹹水量を  $2\ell/\text{m}^2$  と少く見積つてもその面積が  $10000\text{m}^2$  とすれば (紋別内港の面積は凡そ  $200 \times 100 = 20000\text{m}^2$  はあるが, この半分について行ふとしても) 鹹水は  $20000\ell$  得られることになり, これを鹽に換算すれば 1.68 噸となる。

實際上の問題として例に示した  $20000\ell$  にも及ぶ多量の雪を短時間に集積すること, 更に之から鹹水を分離するために用ひる連続操作を行ふ遠心分離機, 鹹水貯藏等の諸問題が生ずる。しかし, 今少し小規模に行ふとすれば上述の如く連続操作の出来る遠心分離機があれば充分可能性がある。又この方法は海氷上でなくても海濱にも應用し得る可能性がある。筆者等は將來低温實驗室での補足的研究を行ひ, 且上述の如き遠心分離機を試作して再び現地實驗を行ひたいと考へている。

終りに臨み, 本研究は現地の方々及び吉田敬一, 故松村好基の兩理學士, 齋藤光郎, 櫻井常吉, 吉田英三の三君, 松浦艶子, 富田靜の兩嬢の援助に依り行はれたものである。又要した費用の一部は服部報公會研究費によつた。此所に記して厚く感謝の意を表する次第である。

## 文 献

福富孝治, 吉田敬一 1944 凍結に依り海水鹽分を濃縮する實驗. 低温科學, 1, 133~140.

## Résumé

The winter season of Hokkaido is about half a year, but only 60-80 days are favourable for condensation of salinity of sea-water by freezing method. Without wide area and vast equipments, it is impossible to enterprise on a large scale for condensation of salinity by that method. To overcome these difficulties, an experiment was schemed and held on the coastal land-ice of Monbetsu in the Okhotsk sea coast of Hokkaido in the winter of 1946.

The method of experiment was very simple; the fresh snows of 5-10 cm thickness covering the land-ice were immersed by sea-water and left during one night and were gathered in the next early morning. They were centrifuged to separate the brine from them.

For mean air temperature of  $-8^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$ ,  $-12^{\circ}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$ , brine of 2.3, 2.5, 2.8, 3.0 times concentration as that of sea-water obtained in the rate of 2-5 ℓ per  $1\text{m}^2$  area. Concentration of

brine had large correlation to the 6 hours mean of air temperature before separation.

The surface of coastal land-ice is very wide, then if the centrifugal separator which separates continuously the brine from snow could be obtained, this method would become very effective for enterprise.