HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	涛沸湖の結氷調査
Author(s)	河村, 俊行; 小野, 延雄
Citation	低温科學. 物理篇, 37, 85-91
Issue Date	1979-03-26
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18373
Type	bulletin (article)
File Information	37_p85-91.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Toshiyuki KAWAMURA and Nobuo ONO 1978 A Study of Ice on Lake Tôfutsu. *Low Temperature Science. Ser. A, 37.* (With English Summary p. 90)

濤沸湖の結氷調査*, **

河村俊行・小野延雄
(低温科学研究所)

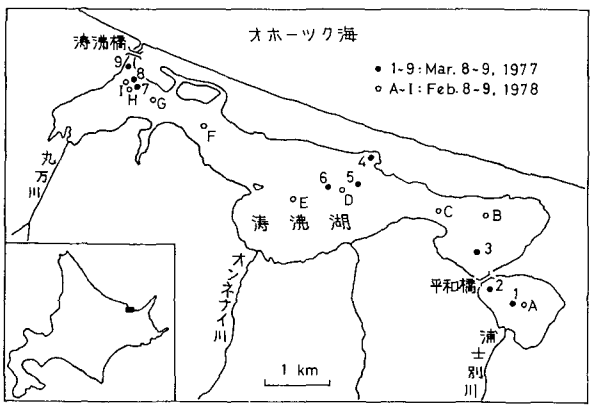
(昭和53年10月受理)

I. まえがき

海氷はほぼ鉛直にのびる純氷の薄板と薄板とのすきまに，氷の析出によって高塩分化した海水(ブライン)を閉じ込めた構造をしている。厚さが約0.5 mmのこの純氷の薄板は何枚か平行に並んでひとつの結晶粒を構成し，そのような結晶粒がいろいろの向きで寄せ集って海氷特有の結晶粒構造をつくっている[1]。各結晶粒の結晶主軸(c軸)方向は，純氷の薄板に垂直であり，ほぼ水平面内にある。このような結晶粒構造ができるのは成長中の海氷からブラインが排出されて氷の下に対流を生じるのが原因だと考えられるが，ボスニア湾の氷は母海水塩分量が4‰前後と少ないにもかかわらず，このような海氷型の結晶粒構造を示していた[2]。結晶粒内部に薄板構造が見えない淡水氷型の結晶粒構造からこの海氷型結晶粒構造への移行がどの位の母海水塩分量で起っているかを知るために，汽水湖の結氷調査を行なった。北海道内の凍結する汽水湖のうちから水理条件を考慮して濤沸湖を選んだ。この報告は，1977年3月と1978年2月とに行なった濤沸湖の結氷調査の結果をまとめたものである。

II. 調査地点および調査項目

濤沸湖は，北海道オホーツク海沿岸の網走市と斜里郡とにまたがるところにあって，第1図に示すように，長さ約9 km，面積およそ9.3 km^2，最大水深約2.5 mのほぼ東西に長く延びた浅い湖である。そしてその西端で幅数10 mの湖口を通してオホーツク海とつながっており，そこから海水が流入している。しかしその細長い形状と上流に流れ込む浦士別川の流入水のために，上流は淡水湖とほとんど同じであり，上流から下流にかけて塩分濃度が徐々に増加している水質構造となって



第1図 調査地点

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1968号
** 北海道大学低温科学研究所 流氷研究施設 研究報告第68号

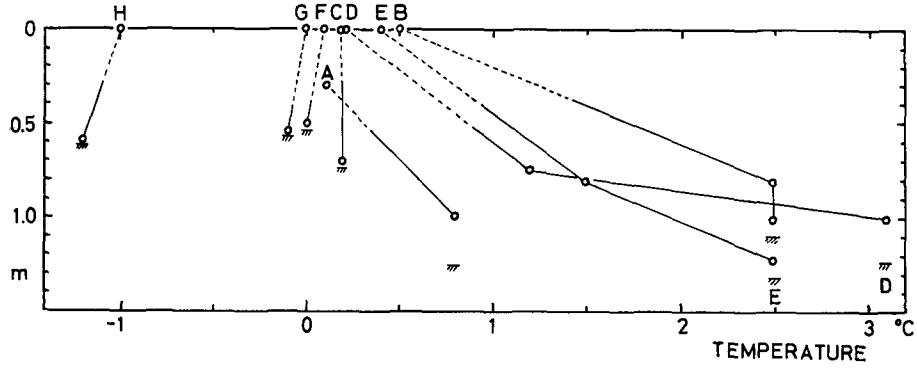
いる。

調査は1977年3月8, 9日と1978年2月8, 9日とに行なった。第1図に示したように,上流から下流に適当な間隔をおいて測点を選んだ。各測点において，氷の厚さ，氷の下の水温，電気伝導度（あるいは持ち帰った試水の塩素量）の鉛直分布を測定した。また,採取した氷の結晶粒構造を低温実験室で観察し，結晶方位の測定を行ない，さらに氷を融かした水の塩素量の測定も行なった。

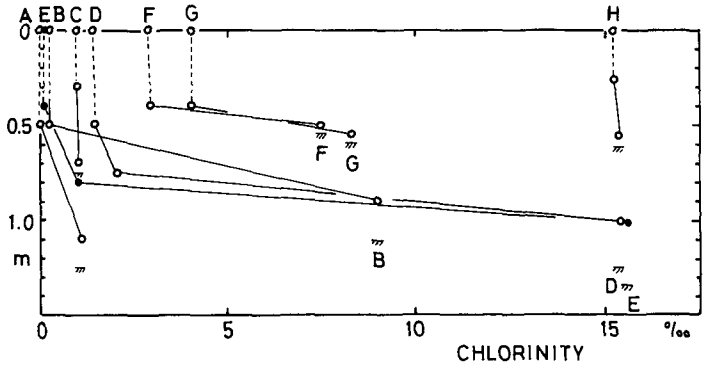
III. 調 査 結 果

1977年の調査時期は3月上旬であり，氷の融解の徴候はまだ顕著ではなかったが，すでに融雪が始まっていたため，調査期間としては最適ではなかったので，1978年には厳冬期を選んで調査した。ここでは1978年の調査結果を中心にして述べる。

第2図に1978年の各測点における水温の鉛直分布を,また第3図に採取した水の塩素量の鉛直分布を示す。塩素量は表層および氷の直下の中層においては，上流から下流にかけて徐々に大きな値を示した。湖口に近い測点Hでは他の測点よりも著るしく大きな値（約15‰）を持ち，海水が混合していることが分る。中層までの温度は全ての測点で結氷温度に近く0～+0.5°Cであった。測点Hは全層 −1°Cであるが，塩素量15‰の水の結氷温度は約 −1.5°Cで



第2図 観測点の水温の鉛直分布（1978年2月8, 9日）
点線は氷中の部分，横棒に斜線をつけて示したのは底である

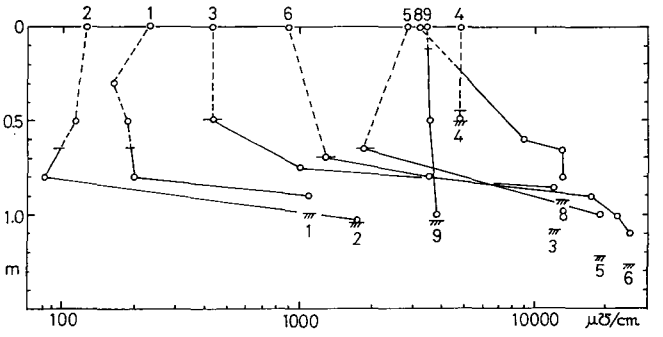


第3図 塩素量の鉛直分布（1978年2月8, 9日）

あり，やはり結氷点よりやや高い温度となっている。下層における塩素量は上流から下流への規則的な変化とはなっていない。上流から中流にかけての測点 B, D, E では中層までは 2‰ 以下という低い塩素量であるにもかかわらず，水深 1 m 前後においては，9～15‰ 以上の高塩素量となっている。しかも，この水は 1 °C 以上の暖かい水である。これらの測点 B と D, E との間にある測点 C や，下流との間の F, G 点では，水深が 80 cm よりも浅く，高温，高塩素量の水は底近くにも見られない。これらのことから，濤沸湖内の比較的深いところ，すなわち，中央部の D, E 点周辺や，その上流の B 点付近では，季節的に海水の流入があって海水に近い塩分をもつ水が湖底に溜っていることが推論できる。

上流の測点 A は全層塩素量 1‰ 以下と非常に低い値である。下層には少し暖かい水が存在するが B, D, E のものとは塩素量からみて異なった水であり，海水の流入は平和橋のところで終わっているものと思われる。下流の測点 F, G は非常によく似た温度および塩素量の鉛直分布をしている。

上に述べたことと同様な結果は 1977 年においてもみられた。第 4 図に 1977 年の現場で測定した各点における電気伝導度の鉛直分布を示す。やはり水深 1 m 以上の上流から中流にかけての測点 3, 5, 6 において，下層に高い電気伝導度（従って高塩分）をもつ水が存在した。そしてほとんど全ての水が結氷点に近い値をもっているのに，この深いところの水は 1.5°C 以上と高温であった。このことから，水深約 1 m 以上の湖の深い部分には，高温，高塩分の水が毎年存在することがわかる。



第 4 図　電気伝導度の鉛直分布（1977 年 3 月 8, 9 日）
測定温度（水温）は −0.5～+2.4°C で，90 cm 以深をのぞけば +0.5°C 以下である

第 1 表には，1978 年の調査のさいに採取した氷試料を融かして測った塩素量を氷厚とともに示してある。母海水の塩素量と極めてよい対応を示し，中流の測点 D まではほとんど検出できず，下流の測点にゆくに従い塩素量は増加している。また同じ測点の氷では下の層ほど塩素量は小さくなっている。

採取した氷を実験室で薄片にして観察した。結晶主軸の方向をエッチピットを作ってその形状から求めた[3]。氷の結晶構造は採取地点（従って母海水の塩素量）により極めて明瞭な相異がみられた。大別すると上流から中流にかけての A～D，中流から下流の E～G，下流域の H, I の 3 つのグループに分けられる。氷を融かした水の塩素量からも，そのようなグループに分類できる。それぞれのグループの代表として第 5 図には C, F, H 点の氷の垂直断面，水平断面の偏光写真を示した。

測点 C の氷は上積氷の部分と，小さな結晶柱をもつ薄い部分と，その下の部分に分けられる。下層には上から下に細かな縞模様がみられる。水平断面の写真から分るように直径 5 mm

から2, 3 cmの結晶柱がからみ合っている。それらの結晶粒の結晶主軸の方向はほぼ完全に鉛直方向を向いており，それぞれ副軸が少し異なった方向をもっており，各結晶粒間は小傾角粒界を作っている。そういった結晶が上から下まで連なっているという極めて特徴ある構造をなしている。中間の層は直径5 mm以下で，長さ1 cmほどの細かな結晶粒からなっている。この結晶主軸もほぼ鉛直方向を向いている。この層がA, Bにはみられなかったことを除いてはA～Dはほぼ同じ構造をしていた。

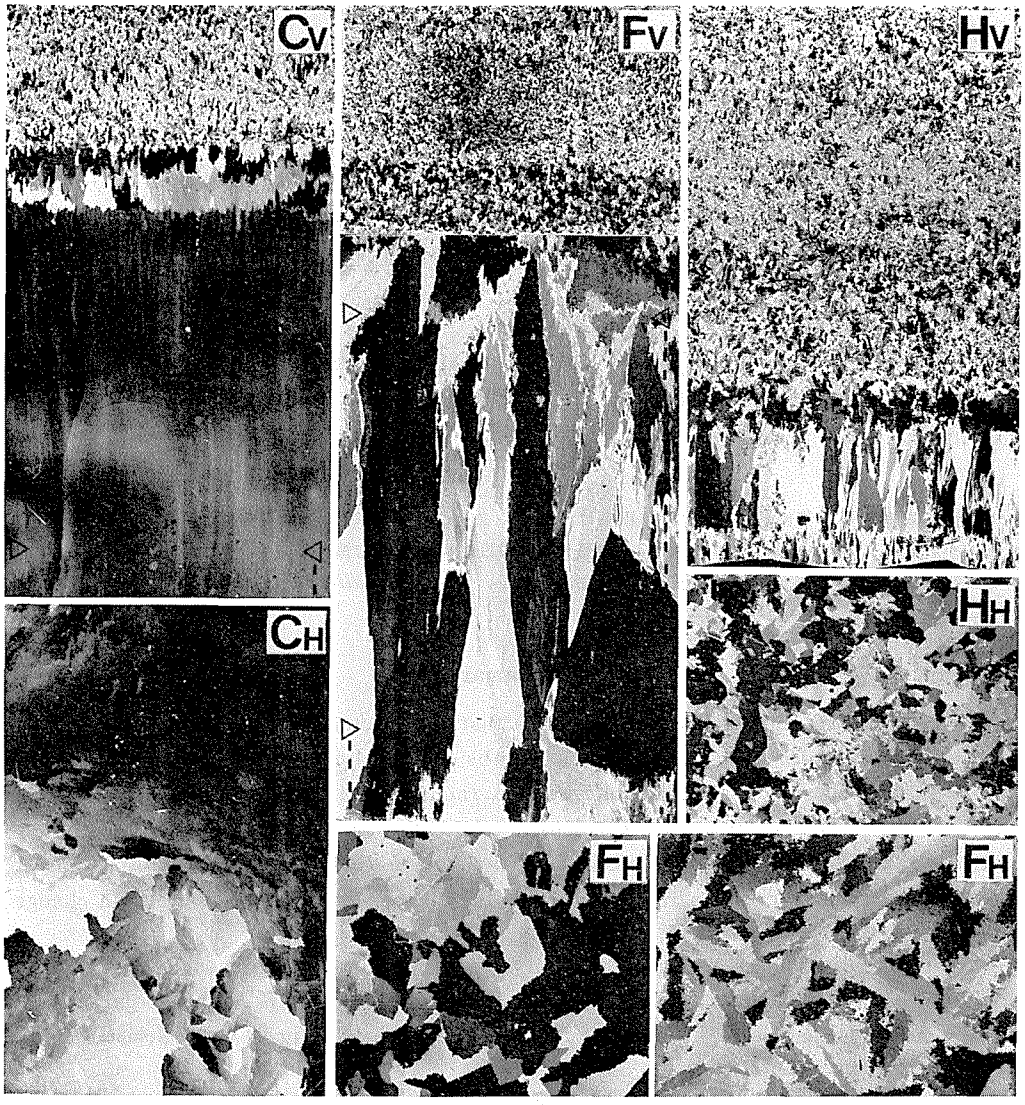
第1表 観測点の氷の中の塩素量および氷厚 (1978)

測点	層*	塩素量 (‰)	氷厚 (cm)
A	全	—**	35.5 (12)***
B	全	—	53.5 (31.5)
C	1	—	25.5 (8)
	2	0.12	
	3	—	
	4	—	
D	全	—	49 (20)
E	1	0.12	35.5 (14)
	2	—	
	3	0.12	
	4	—	
	5	—	
F	1	0.51	37.5 (11)
	2	0.27	
	3	0.20	
G	1	0.78	38 (17.5)
	2	0.58	
	3	0.21	
H	1	4.54	23 (16)
	2	2.27	
	3	1.04	
I	全	2.46	13 (13)

* 1から順に上層から下層へ，各層の厚さはほぼ同じ
** —は検出されず
*** カッコ内は上積氷の厚さ

測点Fの氷は，上積氷の部分と，中間の海氷的な部分と，さらにその下の単純な結晶粒の部分とに分けられる。中間の層の上部では結晶主軸は鉛直方向を向くものが多いが下にゆくに従がい水平方向を向くものが多くなっている。下層の結晶主軸も水平のものが多い。水平断面から明らかなように，中間の層は完全に海氷特有な構造をしているが，下層では結晶粒境界のからみ合いが単純な形になっており，純氷と海氷の中間的な構造となっている。GはFと母海水濃度も同じであり，構造も底近くに小結晶の層が見られたことを除いて全く同様であった。Eは母海水濃度が非常に小さいため，それらとは少し異なっている。すなわち，中間の層の上の部分は直径5 mm以下の非常に細かい結晶粒からなり，その結晶主軸の方向は，ほとんどが鉛直を向いている中に，所々水平方向を向いているものがみられた。下の方では，大部分が水平方向を向いた構造となっている。またFと同様最下層はなかった。

母海水の塩素量が15‰以上の測点Hの氷は，上積氷を除いた下の部分はほぼ水平方向の結晶主軸をもった完全な海氷構造をしている。とかした水の塩素量も最大4‰以上と大きな値となっている。測点Hのすぐ近くの I は上積氷のみで，下の部分が存在しない。これは，この部分が融解したのか，機械的に欠落したのか，はじめからなかったのか明らかではないが，多



第5図　測点 C, F, H の氷の垂直，水平断面（縮尺は全写真とも同じで，垂直断面の横幅が 14 cm）

左上：C 垂直，左下：C 水平（下面から 2.5 cm 上），中上：F 垂直，中下：F 水平（下面から 5 cm 上），右下：F 水平（下面から 23 cm 上），右上：H 垂直，右中：H 水平（下面から 3 cm 上）

分一度成長した後，何らかの理由でなくなったのであろう。

氷の厚さは測点により差が大きいが，これは上積氷の部分の差によるもので，それを除いた部分は H, I を除いてあまり差がないようである。

IV. 結　　語

1977 年 3 月上旬と 1978 年 2 月上旬にオホーツク海沿岸の濤沸湖で結氷調査を行なった。その結果，次のことが明らかになった。

1) 涛沸湖では，その表層水および中層水において上流から下流にかけての規則的な塩素量の増大が見られた。

2) 約1m以深の下層には塩水くさびによると思われる高温，高塩素量の水がかなり上流まで流入していた。

3) 母海水の塩分量により淡水氷型と海氷型の結晶構造がみられた。

ここで示した母海水の塩素量の値は氷の生成時のものとは異なっているので，この値をもって結晶構造の移行を論ずることはできないが，今後，研究を進める上での参考になるものと思われる。

おわりにのぞみ，野外調査に協力していただいた，北海道大学大学院理学研究科，白沢邦男，斎藤隆の両君に心から感謝します。

文　献

1) 田畑忠司・小野延雄 1957 海氷の構造について．低温科学，物理篇，**16**, 197–210.
2) 小野延雄・田畑忠司 1975 ボスニア湾海氷調査 III．大結晶氷の観察．低温科学，物理篇，**33**, 207–213.
3) K. Higuchi 1958 The etching of ice crystals. *Acta Metallurgica*, **6**, 636–642.

Summary

A well-known characteristic of sea ice is that its structure is clearly distinguishable from that of freshwater ice in that each sea ice grain is composed of thin crystal ice sheets developing vertically and standing parallel side by side, though varying a little in direction, resulting in the type of mosaic structure. Condensed salt water, or the so-called brine, is captured between the ice sheets. It is interesting to try to demarcate a boundary coresponding to a transition in type of crystallographic structure from sea ice to freshwater ice by a change in salinity of mother water.

In this connection, crystallographic observations of ice and measurements of both temperature and chlorinity under the ice cover were made in March 1977 and February 1978 on Lake Tôfutsu located along the Okhotsk Sea Coast of Hokkaido (Fig. 1) with its surface covered with ice in winter.

The lake elongated in shape from ESE to WNW is connected with the Okhotsk Sea at its mouth at the WNW end, allowing some sea water to inter therein, in addition to fresh water inflowing form four rivers. It makes distribution of salinity (or chlorinity) ununiform horizontally and vertically (Fig. 3). Though fewer salt was contained as the distance from the mouth increased, water high both in temperature and salinity existed in lower layers of water even at the upstream observation point. The temperature of water was near the melting point except at lower layers (Fig. 2).

The ice was divided into three groups, i. e. (1) ice from points A to D, (2) ice from points E to G, and (3) ice of points H and I. Typical vertical and horizontal sections of each group observed by a crossed polarizing microscope are shown in Fig. 5. The ice at point C had a structure of freshwater ice at the lower layer; its main axis of crystallization (C-axis) was directed vertically and each grain formed a small-angle grain boundary. As for the ice at point F, since its grain existed under the surface layer composed of granular ice called snow

ice at the early stage of its growth, the structure was almost the same as that of sea ice, but, as it continued to grow, the structure became similar to that of freshwater ice. The ice at point H, which existed near the mouth of the lake, had the structure of sea ice perfectly.