HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ボスニア湾海氷調査　III ： 大結晶氷の観察
Author(s)	小野, 延雄; 田畑, 忠司
Citation	低温科學. 物理篇, 33, 207-213
Issue Date	1976-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18287
Type	departmental bulletin paper
File Information	33_p207-213.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Nobuo ONO and Tadashi TABATA 1975 Ice Study in the Gulf of Bothnia. III. Observations on Large Grains of Ice Crystal. *Low Temperature Science, Ser. A, 33.* (With English Summary p. 212)

ボスニア湾海氷調査 III*,**

—— 大結晶氷の観察 ——

小野延雄・田畑忠司
(低温科学研究所)

(昭和50年10月受理)

I. まえがき

天然における比較的大きな氷の単結晶は，1950年代のはじめにアラスカのメンデンホール氷河で長径60 cmに達する大きな単結晶氷が発見されていらい，主として温暖氷河で採取され，氷の物性の研究に用いられてきた[1,2]。海氷や湖氷の結晶粒構造を調べたこれまでの論文[3-7]には，水平断面積が100 cm^{2}を越すような大きな結晶は報告された例がない。

筆者らは，1975年3月，スエーデン東岸のノルビシャー島 (Norrbyskär, 63°34′ N, 19°52′ E) 周辺において，ボスニア湾の海氷調査を行なった[8,9]。そのさいに，開水面に結氷した薄い氷が長径で数十cm，水平断面積で数千cm^{2}という大きな結晶であるのを見つけ，その氷を観察した。

この報告は，その大結晶氷の観察結果と，その氷の生成条件の考察とについて述べたものである。

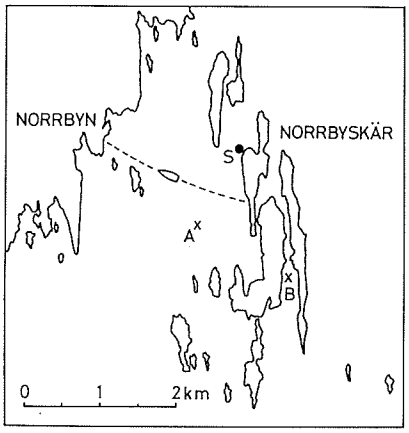
II. 大結晶氷の観察

前報[8]で述べたように，この年の3月初めのノルビシャー島周辺の結氷状況は，島の東側には氷が見られず，島と本土とのあいだの海峡や島の入江などが35～50 cmの厚さの氷で覆われているだけであった。その氷の全層平均塩分量は約0.7‰で，海水の塩分量は4‰であった。3月に入ると日中の気温がプラスになることが多く，氷の温度は全層ともー1°C以上となって，表面に水溜りが見られるようになった。氷が割れてできた開水面には，夜間に薄い氷が張り，日中にそれが割れたり融けたりしていた。

その薄い氷を採取したのは，ノルビシャー島の北端に近い第1図のS点で，3月16日朝の気温がまだ上らぬときであった。第2図は，その採取地点の氷の状況を示す写真である。白く見える融けかけた厚い氷のあいだの水面に，気泡をほとんど含まない透明な氷を見ることができる。

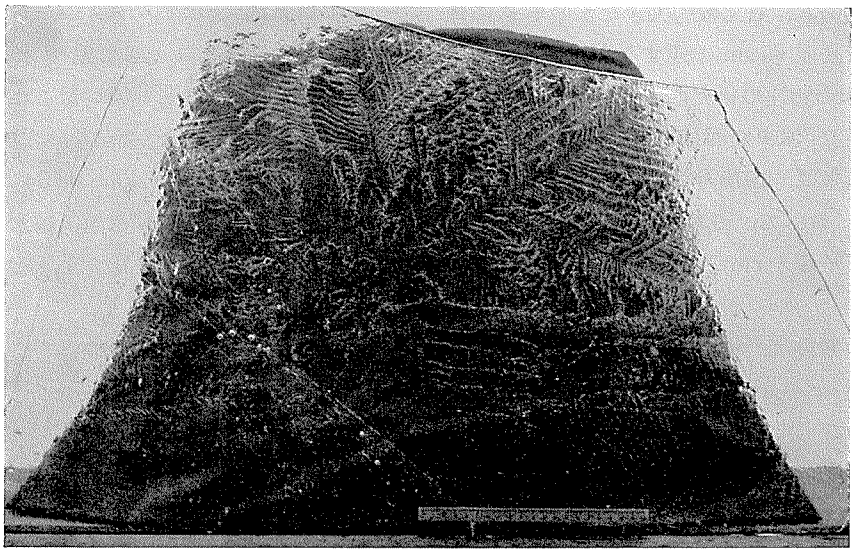
その氷の厚さは約8 mmであり，この氷を融かした水の塩分量は0.014‰であった。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1709号
** 北海道大学低温科学研究所 流氷研究施設 研究報告 第46号



第1図 ノルビシャー島周辺図

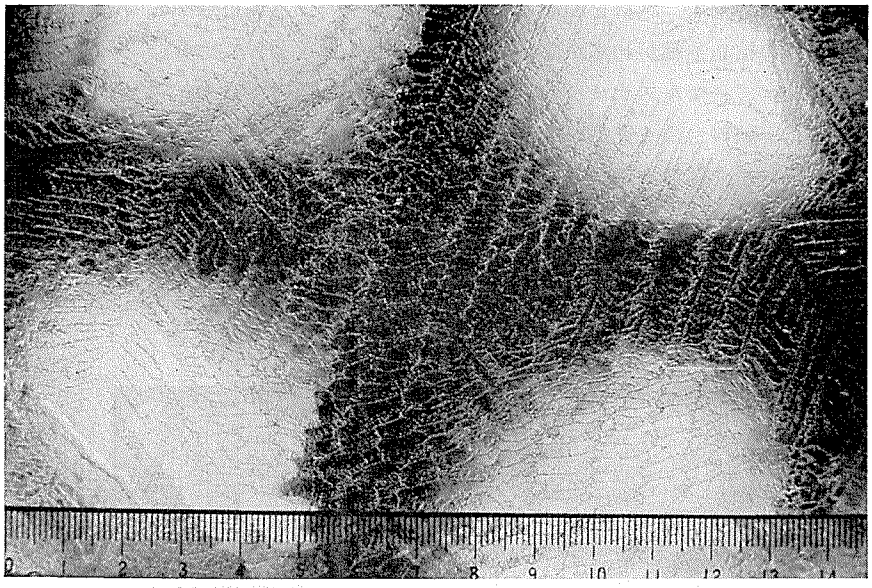
第2図 採取地点付近の状況



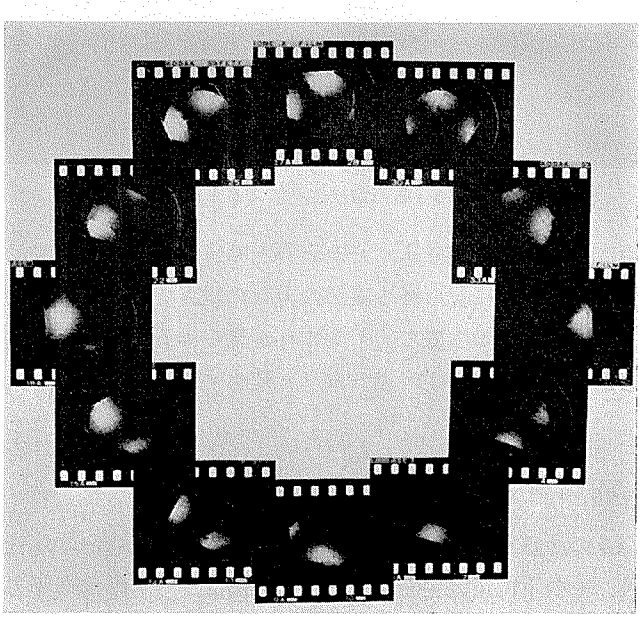
第3図 大きな樹枝状模様．ものさしの長さは 20 cm

この薄い氷を採り上げて日光に当てていると，大きな樹枝状模様が現われた。第3図はその写真である。樹枝状模様は切りとった試料いっぱいに拡がり，試料の長径 80 cm を越える大きさであることを示していた。そして，この樹枝状模様の形とチンダル空像の形や分布から，この氷は結晶主軸（C 軸）が凍結水面に垂直な単結晶として成長したものであることがわかった。

結晶主軸が垂直な単結晶薄片を白色光を光源とした偏光で観察すると，黒十字で貫かれた種々の色の同心円輪が現われる。これは干渉像あるいはコノスコープ像と呼ばれるもので，結晶粒の小さい鉱物結晶では偏光顕微鏡に高倍率の対物レンズをつけて観察されるものである。第4図は，この薄い氷を偏光で観察したときに現われた干渉像である。これは顕微鏡を使わずに大きな偏光板の上に氷を置き，下から白い板で反射させた太陽光をあてて，偏光フィルター



第4図　偏光観察で現われた干渉像の黒十字．ものさしの単位はcm



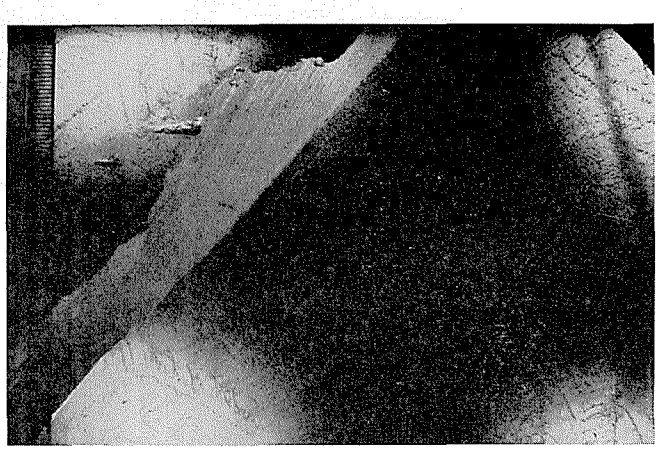
第5図　試料を回転させたときの干渉像の変化

をつけたカメラで撮影した写真である。焦点を氷に合わせて，樹枝状模様と一緒に干渉像を写したものである。

黒十字は偏光方向と一致するので，氷の試料を回転させてもその方向は変らない。しかし，黒十字の交点は結晶主軸の方向に関係し，結晶主軸が薄片に垂直な方向となす角をδとすれば，ωを通常光の屈折率とするとき，黒十字の交点は視野中心から$\omega \sin \delta$に比例する距離

に現われる。したがって，試料を回転させたとき黒十字の交点が視野中心のまわりを回る動きをすれば，試料の結晶主軸がわずかながら傾いていることを示している。

この氷をユニバーサルステージに載せ，光軸に垂直な面内でこの試料を 10° ずつ回転させて写真を撮った。試料台の大きさに合わせて氷を切ったために，黒十字の交点付近しか見ることができなかったが，試料の回転につれて黒十字の交点が視野中心のまわりを回る様子を見ることができた。第 5 図は，30° ごとの写真を使って合成したものである。この氷の結晶主軸方向と薄片に垂直な方向すなわち鉛直方向とのなす角 δ は，ユニバーサルステージによる軸方位の測定によって 1～2° という値が得られたが，主軸が垂直に近いので測定の精度はあまり良くない。



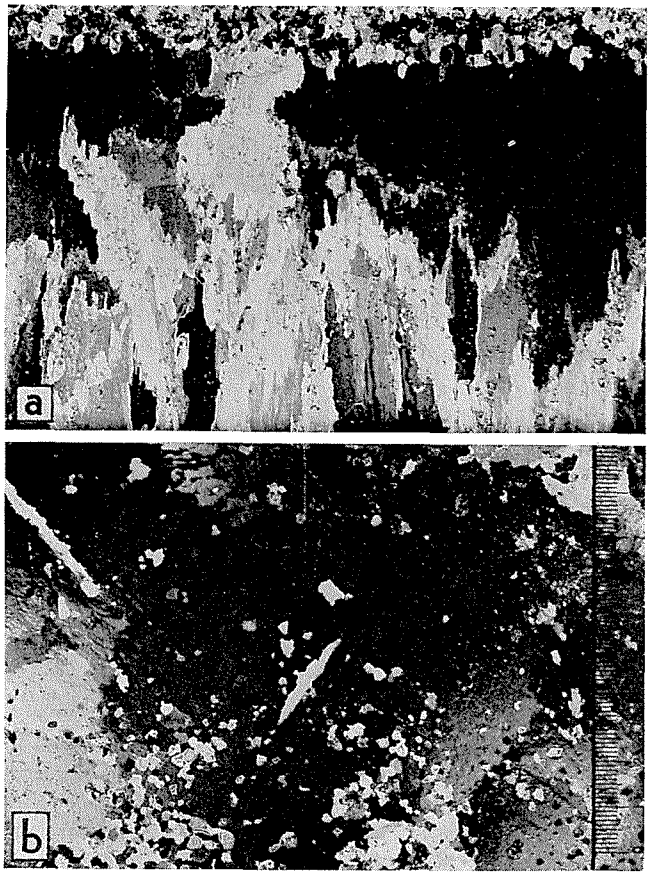
第 6 図　異結晶の割り込みによる干渉像のずれ

大きな結晶の中に別の結晶が割り込んだ部分の干渉像の写真を第 6 図に示した。割り込んだ氷の結晶主軸方位は，その氷に見られる縦縞の方向に垂直で，水平から約 10° の傾きを示していた。この氷の左右で黒十字の位置に若干のずれが見られるが，これはこの氷の割り込みによって左右の氷が結晶主軸方向のわずか違う氷へと変化するような応力を受けたものと考えることができる。

III.　生成条件の考察

静かに凍った海氷の結晶粒構造は，表面の 1～2 cm に結晶主軸がほぼ鉛直で直径 1 cm 以下の結晶粒が見られ，その下に結晶主軸が水平の氷の結晶がくさび形に下方に伸びて成長するのが普通である。下方に伸びる結晶のすきまには，濃縮された海水が液体のまま閉じ込められて，海氷に特有の構造をつくりだす。ノルビシャー島の周辺に見られた厚さ 40～50 cm の海氷は，塩分量が 0.7‰ と少ないにもかかわらず，このような海氷特有の構造を示していた。

しかし，よく観察すると，第 1 図の島の入江の観測点 B の氷には，上層部に比較的大きな結晶が見られた。第 7 図はその部分の偏光写真で，**a** は鉛直断面，**b** は水平断面である。雪に水が滲みて凍った表層の氷の下にある結氷当時の表面付近に，結晶主軸がほぼ鉛直で厚さが 4～5 cm にまで成長した大きな結晶粒を見ることができる。水平断面では小さな結晶の入り込



第7図　島の入江の氷に見られた大結晶．**a**：鉛直断面，**b**：水平断面

みは見られるものの，直径 10 cm 以上の大きさを持つ結晶として凍りはじめていたことがわかる。

このような大きな結晶の氷が生まれる原因を考察すると，

(1)　氷の生成時に塩分対流が起らないような密度安定の場であること

(2)　凍結初期に現われる氷の結晶の数が少なく，まばらであること

(3)　成長時に新たな結晶の発生が起らないようなゆっくりした凍結であること

の3つの条件をあげることができる。

ノルビシャー島周辺の塩分量 4‰ の海水は，結氷温度よりも最大密度温度が高いために，表面から冷やされるとき，氷が生まれるまで密度的に安定である。この年の3月には，前節に述べたように日中に氷が融け，塩分量 0.7‰ という氷の融け水が開水面の表層を覆って，密度的に極めて安定な状態を作りだしていたと考えられる。また，日中の融解と夜間の凍結とのくり返しが，日中に融けきらない大きな結晶を選択的に成長させる結果になったと推論することができよう。

この推論を用いれば，ノルビシャー島の入江では，結氷の初期にも凍結と融解のくり返しが起り，それから厚い氷への成長がはじまったと考えることができる。

IV. 結　　語

1975年のボスニア湾海氷調査のさいに，開水面に結氷した薄い氷が長径で数十 cm，水平断面積で数千 cm^2 という大きな単結晶氷であることを見つけた。その氷の塩分量は 0.014‰ で，結晶主軸はほぼ鉛直であった。島の入江に張っていた厚さ 50 cm の氷の上層部にも，4～5 cm の厚さにまで成長した大きな結晶が見られた。

ボスニア湾の低塩分海水と凍結融解のくり返しとが，このような大きな単結晶氷を生む要因であろうと推論した。この大結晶氷の生因に関しては，今後，低温室内の実験によって確かめていきたいと考えている。

この調査は，昭和49年度文部省科学研究費補助金海外学術調査として行なったものである。現地での調査にあたっては，スエーデン気象海洋研究所の Thompson 博士をはじめ，研究所の方々に大変お世話になった。また，氷試料や海水の塩分量も同研究所で測定して頂いた。ここに記して厚く感謝の意を表します。この観察にさいして有益な御助言と御協力を頂いた石田完教授，鈴木義男助教授，青田昌秋講師の調査隊員諸氏に深く感謝いたします。

文　　献

1) Butkovich, T. R. 1953 Density of single crystals of ice from a temperate glacier. *SIPRE Res. Paper*, **7**, 7 pp.
2) Nakaya, U. 1956 Properties of single crystals of ice, revealed by internal melting. *SIPRE Res. Paper*, **13**, 80 pp.
3) 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.
4) Bennington, K. O. 1963 Some crystal growth features of sea ice. *J. Glaciol.*, **4**, 669-688.
5) Ragle, R. H. 1963 Formation of lake ice in a temperate climate. *CRREL Res. Rept.*, **107**, 22 pp.
6) Knight, C. A. 1962 Studies of Arctic lake ice. *J. Glaciol.*, **4**, 319-335.
7) Muguruma, J. and Kikuchi, K. 1963 Lake ice investigation at Peters lake, Alaska. *J. Glaciol.*, **4**, 689-708.
8) 田畑忠司 1975 ボスニア湾海氷調査．低温科学，物理篇，**33**, 191-198.
9) 田畑忠司・鈴木義男・青田昌秋 1975 ボスニア湾海氷調査．II. 曲げ強度の測定．低温科学，物理篇，**33**, 199-206.

Summary

In the middle of March 1975, large grains of ice crystal were found in new ice formed on melt pools among shore-ice floes around the Norrbyskär islands (63°34′ N, 19°52′ E), in Swedish shore of the Gulf of Bothnia.

Thicknesses of shore-ice around the islands ranged from 35 to 50 cm, salinity of the shore-ice was 0.7‰ and that of sea water 4‰. Since air temperature rose above 0°C in the daytime from the beginning of March onward, the shore-ice started to melt and break. New ice formed in the nighttime on melt water among ice floes (Fig. 2). Samples of new ice were taken at the site S in Fig. 1. The thickness of the ice samples was less than 1 cm, and their salinity 0.014‰.

A large dendritic pattern appeared on each sample under transparent sunlight as large as 80 cm in diameter (Fig. 3). It is found from the pattern that each of them is a large grain of ice crystal with the c-axis perpendicular to the ice surface.

Interference figures of three ice samples under crossed polaroids are shown in Figs. 4~6. Figure 5 shows how the dark cross of the interference figure rotates around the center of the scope, when a sample is rotated horizontally around its center. This indicates that the c-axis of the ice inclines from the vertical direction slightly by 1~2°.

Figures 7 **a** and **b** show the vertical and horizontal cross sections under crossed polaroids of the shore-ice collected at the site B in Fig. 1. Large grains of ice crystal with the vertical c-axis are also seen in the upper layer of the ice.

It is considered that the low salinity of sea water and the cycles of melting and refreezing of new ice are causes of formation of such large grains of ice crystal.