



| | |
|------------------|---|
| Title | 極域厳寒期における海面凍結過程 III : 新生海水の結晶軸の測定 |
| Author(s) | 河村, 俊行; KAWAMURA, Toshiyuki; 小野, 延雄 他 |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 39, 175-180 |
| Issue Date | 1981-03-18 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18427 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 39_p175-180.pdf |



極域厳寒期における海面凍結過程 III^{*,**}

— 新生海水の結晶軸の測定 —

河村俊行・小野延雄

(低温科学研究所)

(昭和55年10月受理)

I. はじめに

海水はほぼ鉛直にのびる純水の薄板と薄板とのすきまに、氷の成長によって排出され高塩分化した海水(ブライン)を閉じ込めた構造をしている。純水の薄板は何枚かが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な向きで複雑に寄せ集まって海水特有の結晶構造となっている¹⁾。各結晶粒の結晶主軸(c軸)の方向は純水の薄板に垂直であり、ほぼ水平面内にある。しかし、そのような結晶の副軸(a軸)方向がどんな分布をしているのかについては、これまでほとんど調べられていない。そのため海水の成長機構もc軸のみを考慮して論議されているが^{2,3)}、その解明にはa軸をも考えに入れることが必要である。

淡水氷では熱腐蝕法で作ったいわゆる蒸発ピットの形からc軸方向ばかりでなくa軸方向も決定することが簡単にできる^{4,5)}。しかしながら海水に関しては、そのような蒸発ピットを作って結晶軸方向を調べたという報告は見当たらない。

1980年3月、極域厳寒期における海面凍結過程の研究^{6,7)}の一環として、海水試料に蒸発ピットを作り、c軸およびa軸方向の分布について調べた。

II. 測定方法

アラスカの北極海沿岸のパロー沖、岸から約100m、厚さ約1.5mの定着氷に報告I⁶⁾で述べたようにして2×2mのプールを作った。その水面にできた海水試料を採取した。試料を実験室に運び、比較的高い温度(-5~-10°C)に少なくとも丸一日おき、海水の中に含まれているブラインを落下させた。

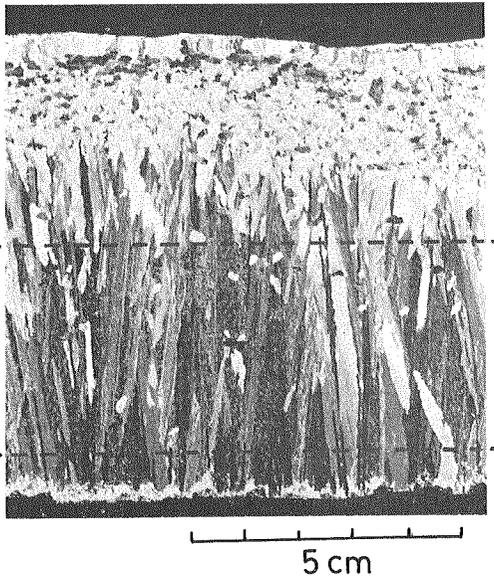
その試料の薄片を作り、偏光で結晶構造および結晶の大きさ等を観察した。その後、1%の“レプリカ液”(二塩化エチレンにフォルムバルを溶かした液)を試料の表面にかけた。しばらくすると氷の表面に蒸発ピットができたので、それを顕微鏡で観察した。そしてピットの形および辺の長さの比からc軸およびa軸方向を決定した。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2289号

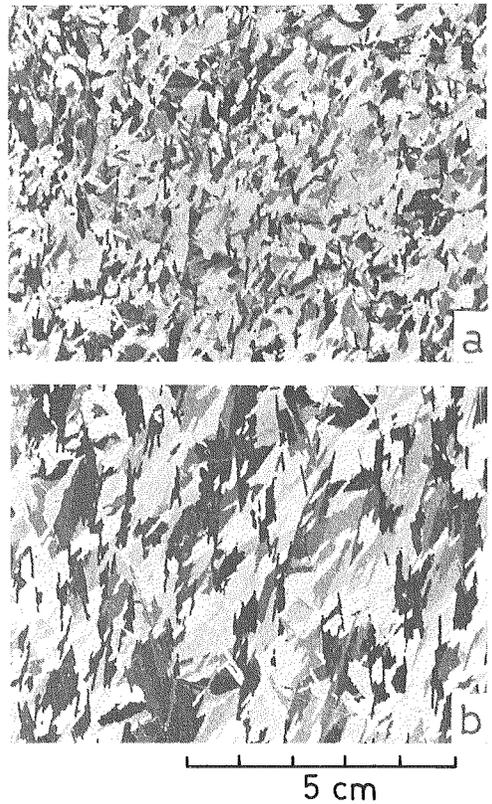
** 北海道大学低温科学研究所 附属流水研究施設研究報告 第94号

III. 測定結果

第1図に海氷試料の垂直断面の薄片写真を示す。表面下数 cm は結晶粒の極めて小さな粒状の氷があり、その下から下面までは海氷特有の短冊状の氷のある構造となっている。各試料



第1図 試料 4-A の垂直断面



第2図 試料 4-A の水平断面

(a) 上層 (b) 下層

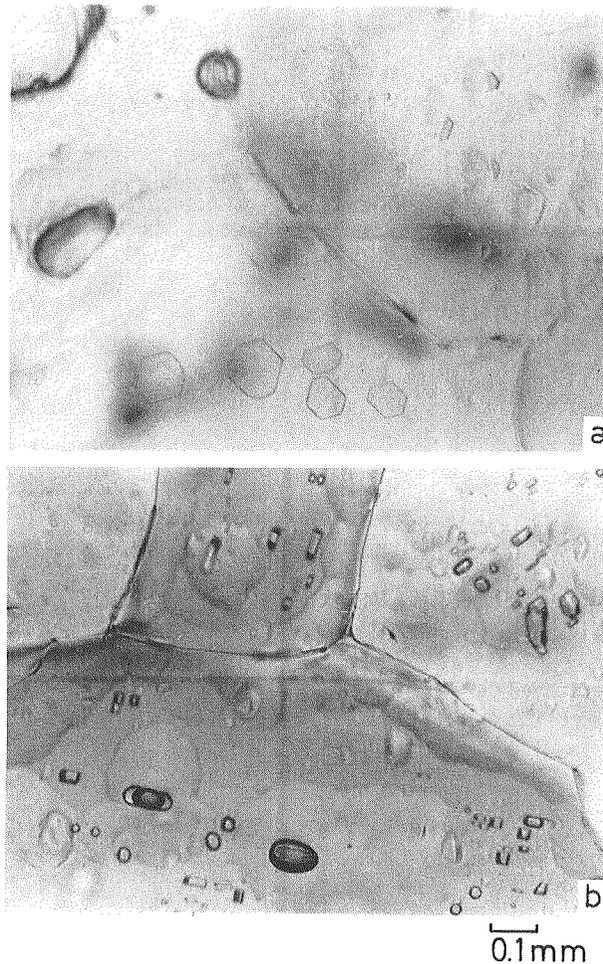
第1表 試料の成長条件と結晶構造

| 測定 No.* | 成長期間 | 氷厚 (cm) | 成長時間 (hr) | 成長速度 (cm/hr) | 海氷表面 からの厚さ (cm) | 結晶粒の 平均面積 (cm ²) | ブライン 列の間隔 (mm) |
|---------|----------|------------|--------------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|
| 1 A | 3月16~17日 | 4.5 | 18.3 | 0.25 | 2.0 | 0.11 | 0.51 |
| | | | | | 3.4 | 0.22 | 0.48 |
| 1 B | 16~17 | 5.8 | 18.0 | 0.32 | 2.5 | 0.10 | 0.57 |
| | | | | | 4.3 | 0.38 | 0.52 |
| 2 A | 17~18 | 7.5 | 18.2 | 0.41 | 3.0 | 0.12 | 0.47 |
| | | | | | 6.5 | 0.28 | 0.45 |
| 2 B | 17~18 | 7.8 | 17.6 | 0.44 | 3.0 | 0.11 | 0.42 |
| | | | | | 6.5 | 0.31 | 0.40 |
| 3 A | 18~19 | 7.7 | 17.0 | 0.45 | 3.5 | 0.22 | 0.43 |
| | | | | | 6.2 | 0.46 | 0.40 |
| 3 B | 18~19 | 8.5 | 17.8 | 0.48 | 3.5 | 0.20 | 0.44 |
| | | | | | 7.0 | 0.40 | 0.40 |
| 4 A | 19~21 | 7.5 | 41.3 | 0.18 | 4.0 | 0.25 | 0.47 |
| | | | | | 6.5 | 0.29 | 0.50 |
| 4 B | 19~21 | 5.5 | 41.7 | 0.13 | 3.0 | 0.30 | 0.51 |
| | | | | | | | |
| 5 A | 21~22 | 4.0 | 17.6 | 0.23 | 3.0 | 0.10 | 0.39 |
| | | | | | | | |
| 5 B | 21~22 | 4.5 | 16.6 | 0.27 | 3.5 | 0.10 | 0.43 |
| | | | | | | | |

* A: 蒸発抑制プール B: 自然状態プール

の短冊状の氷の約 1 cm の層 (上層とよぶ) と下面から約 1 cm の層 (下層) の水平断面を作った (いずれの層も図に破線で示した)。その例を第 2 図に示す。結晶粒は互いに複雑に入り組んで結合している。それぞれの試料の成長条件と結晶粒の大きさ、ブライン列の間隔を第 1 表に示す。海氷成長中の気温は $-18 \sim -33^{\circ}\text{C}$ であり、気温、積雪その他の条件により、積雪に海水がしみ上ってできた部分を除いた海氷の厚さは 4~9 cm であった。蒸発抑制の有無による試料の厚さの差はあまり大きくなかった。ブライン列の間隔は、純氷の薄板の厚さと同じ意味であるが、それはどの試料でも 0.4~0.5 mm とほとんど差がなかった。一方、結晶は下層ほど大きくなっている。このことからこの程度の厚さの間は成長とともに、薄板の幅は一定で、その枚数が増加したことが推測される。

蒸発ピットができるのは、レプリカ液の二塩化エチレンが蒸発し、氷の表面をおおったフォルムボールの薄膜に小さな穴があいており、そこから水分子が昇華することによると考えられている。海氷の表面がブラインによってぬれていると、蒸発ピットはできないか、できたと



第 3 図 海氷にできた蒸発ピット

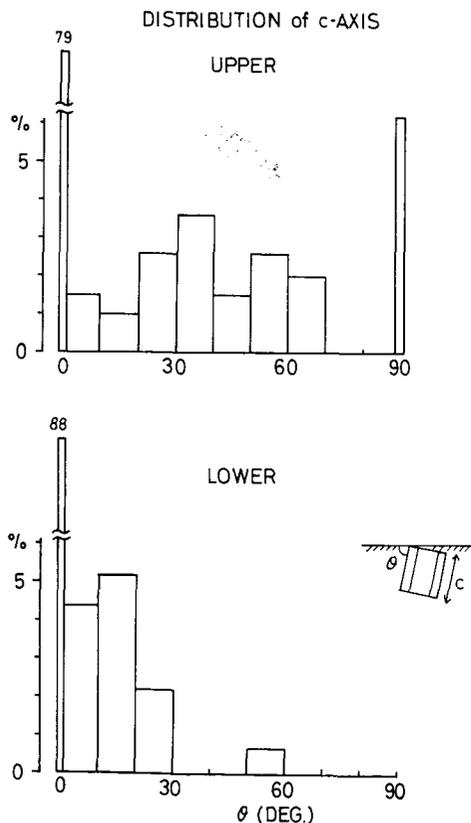
しても丸味をもった辺のピットとなってしまいます。これは表面をおおうブラインによりピットを作るのに必要なフォームールの薄膜がうまく形成されないためであろう。そのため表面をなるべくぬらさないよう、カミソリの刃で整形した直後にレプリカ液をかけた。その作業は低温で行なうほど表面の液体膜が形成されにくくて結果はよいが、蒸発ピットの成長が遅いので -15°C 付近で行なった。ピットの成長を促進させるため、氷の表面に風を送ったが、ピットの形がくずれやすく、あまり効果はなかった。またブラインを落下させる時間は長ければ長いほど、ピットの形成にはよかった。

蒸発ピットの顕微鏡写真の例を第3図に示す。同図(a)は上層の例で、c軸は垂直に近く、(b)は下層の例で、c軸は水平面内にある。

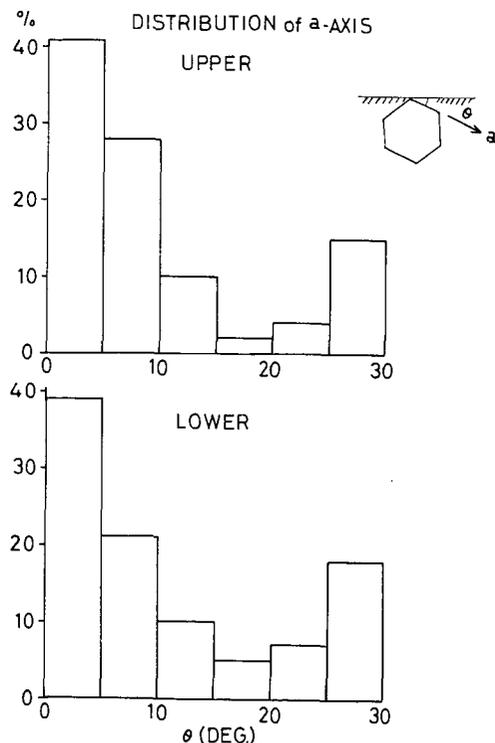
第4図、第5図にそれぞれc軸およびa軸の分布をとった。蒸発ピットを作った試料1, 3および4の結果は、成長条件の違いにもかかわらず、ほぼ似ていたもので、図にはそれらの結果をまとめてある。c軸は水平面に平行のものが圧倒的に多い。上層ではc軸が垂直のものもあるが、そのような結晶は成長とともに喰われてしまっており、下層には全く見られない。また同様に水平面に対して傾いた結晶も傾き方の大きな結晶ほどなくなる割合が大きくなっている。a軸は水平面に対して 0° および 30° に近いものが多い。すなわち成長方向がa軸又はa軸に近いものが多く中間のものが少ない。Pounder²⁾はc軸が水平面内にある結晶が優先的に

成長するという機構を提案している。a軸に

関しても同様な優先的成長の方向があるよう



第4図 c軸の分布



第5図 a軸の分布

に思われるが、これに関してはさらに研究してゆかねばならない。

以上述べたように海氷にも蒸発ピットを作り a 軸方向の分布もとることができた。しかし今のところ全ての結晶にピットができた訳ではない。今後は完全にピットを作る方法を確立し、結晶軸方向と海氷の成長の関係について調べる必要がある。

現地での調査にあたっては J. F. Kelly 博士, T. Hall 氏をはじめ NARL の皆様, アラスカ大学の R. Metzner 氏からは終始暖かい御協力をいただいた。これらの方々には厚くお礼申し上げます。また野外での観測に御協力いただいた若土正暁助手に感謝いたします。

この研究はアラスカ調査費によった。

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) Pounder, E. R. 1962 Crystal growth rates as a function of orientation. *In Ice and Snow*, (W. D. Kingery, ed.) M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 226-231.
- 3) Weeks, W. F. and Gow, A. J. 1978 Preferred crystal orientations in the fast ice along the margins of the arctic ocean. *J. Geophys. Res.*, **83**, 10, 5105-5121.
- 4) Higuchi, K. 1958 The etching of ice crystals. *Acta Metal.*, **6**, 636-642.
- 5) Matsuda, M. 1979 Determination of a-axis orientations of polycrystalline ice *J. Glaciol.*, **22**, 86, 165-169.
- 6) 小野延雄・若土正暁・河村俊行 1980 極域厳寒期における海面凍結過程 I. 結氷初期の蒸発の役割と塩のふるまい. 低温科学, 物理篇, **39**, 159-166.
- 7) 若土正暁・小野延雄 1980 極域厳寒期における海面凍結過程 II. 生長しつつある海氷から流下するブラインの塩分量とその流量の測定. 低温科学, 物理篇, **39**, 167-174.

Summary

It is well known that sea ice has a characteristic structure. Vertical thin ice sheets are standing parallel side by side constituting a small ice grain and the grains are interlocked each other resulting in the type of mosaic structure. Condensed salt water, which is rejected during freezing, or the so-called brine is captured between the ice sheets. Crystallographic c-axis orientation of the grain is perpendicular to these thin ice sheets and tends to be in the horizontal plane with random direction in that plane. However, few observations of its a-axis orientation have been made.

The etch pit formed during thermal etching is a useful method to determine the crystallographic axis. The author made thermal etch pits on sea ice and measured the distribution of the crystallographic orientation from the shape of etch pits as a part of field experiments in Barrow, Alaska, in March 1980.

The thickness of the ice sheet, about 100 m off shore, was about 1.5 m. Several blocks of ice were cut out from the upper 1 meter ice sheet to make pits with a dimension of about 2×2 m. Some cores were drilled at the bottom surface of the pits to fill with sea water. Sea ice was grown on their pools generally for about 18 hours. The range of air temperature was from -18 to -33°C and the thickness of ice samples accordingly was from 4 to 8.5 cm when they were collected.

The collected ice samples were kept at higher temperature, i. e. from -5 to -10°C, at

least for a whole day to drop the brine. Horizontal and vertical thin sections of these samples were made by a plane to observe the grain structure by means of polarized light.

Thereafter the horizontal surface was coated with a 1% solution of polyvinyl formal (Formvar) dissolved in ethylene dichloride. After a while etch pits were produced on the surface. It is considered that they may be formed by evaporation of water molecules through tiny holes in the plastic film after evaporation of the solvent. As the surface of sea ice is wetted with liquid from brine, the etch pits are not developed, or, if developed, their edge are rounded. The reason may be that the formation of the thin plastic film is inhibited by the liquid layer on the surface. Therefore the surface has to be shaved by a razor to remove the brine just before coating the solution. The observation procedure described above was operated at about -15°C . Figure 3 shows the etch pits on the ice surface observed microscopically. The crystallographic orientation of the a-axis as well as the c-axis can be determined by means of the shape and the ratio of the edges.

The distributions of the c-axis and a-axis orientation are shown in Figs. 4 and 5, respectively. As the results of six specimens were similar despite that growth conditions were different, they were combined into same figures. They show the results in about 1 cm upper and lower layers of the columnar ice separately.

It is shown that most of c-axis tend to be in the horizontal plane. Some grains with the vertical c-axis were in the upper layer. They might be the remainder of the grains in the upper granular ice and they vanished in the columnar ice zone, accordingly there are not such grains in the lower layer. The grains with the inclined c-axis also disappeared with growth. It seems that the grains, whose a-axis makes an angle in the neighborhood of 0 or 30 degrees to the horizontal plane, are more than the others. In other words, the growth direction is close to $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ or $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ orientation.