HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海氷の結晶方位の測定
Author(s)	河村, 俊行
Citation	低温科學. 物理篇, 41, 173-178
Issue Date	1983-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18469
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p173-178.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Toshiyuki KAWAMURA 1982 Measurements of Crystallographic Orientations of Sea Ice. *Low Temperature Science, Ser. A, 41.* (With Englich Summary p. 177)

海氷の結晶方位の測定*,**

河村俊行
(低温科学研究所)

(昭和57年10月受理)

I. まえがき

海氷は純氷の薄板からできている。薄板は何枚かが平行に並んでひとかたまりの結晶粒を作っている。そのような結晶粒がいろいろな向きに複雑に寄り集まって海氷特有のモザイク構造をなしている[1]。各結晶粒の結晶主軸 (c 軸) の方位は薄板に垂直である。ある程度成長が進んだ海氷では，薄板はほぼ鉛直方向に延びている。従ってc軸はほぼ水平面内にあることになる。一方，海氷の結晶副軸 (a 軸) の方位については，河村・小野[2]による熱腐蝕法での測定が唯一である。そのため海氷の結晶粒の成長機構もc軸のみを考慮して議論されている[3]が，その解明にはa軸をも考える必要があるだろう。

ここでは，海氷の結晶粒の成長と結晶方位との関係を調べるために，熱腐蝕法より精度のよいX線ラウエ法により，海氷の結晶方位を詳細に調べた結果について述べる。

II. 測定試料および測定方法

1981年2月下旬，北海道サロマ湖において約20 cmに成長した平坦氷を切り出し，およそ1.5×1.5 mのプールを作り，2昼夜にわたって厚さ5.3 cmに成長させた新生海氷を主な試料とした。表面から3.6 cmのところに，昼間成長が止ったことを示す気泡の層があったが，結晶の構造には影響はないようであった。その海氷の表面から1 cmごとに5層の水平断面を作り，X線ラウエ法により，結晶粒の結晶方位を測定し，結晶粒を追跡した。5つの層を上より第1層から第5層とよぶ。第1層，第3層および第5層の水平断面の薄片写真を第1図に示す。

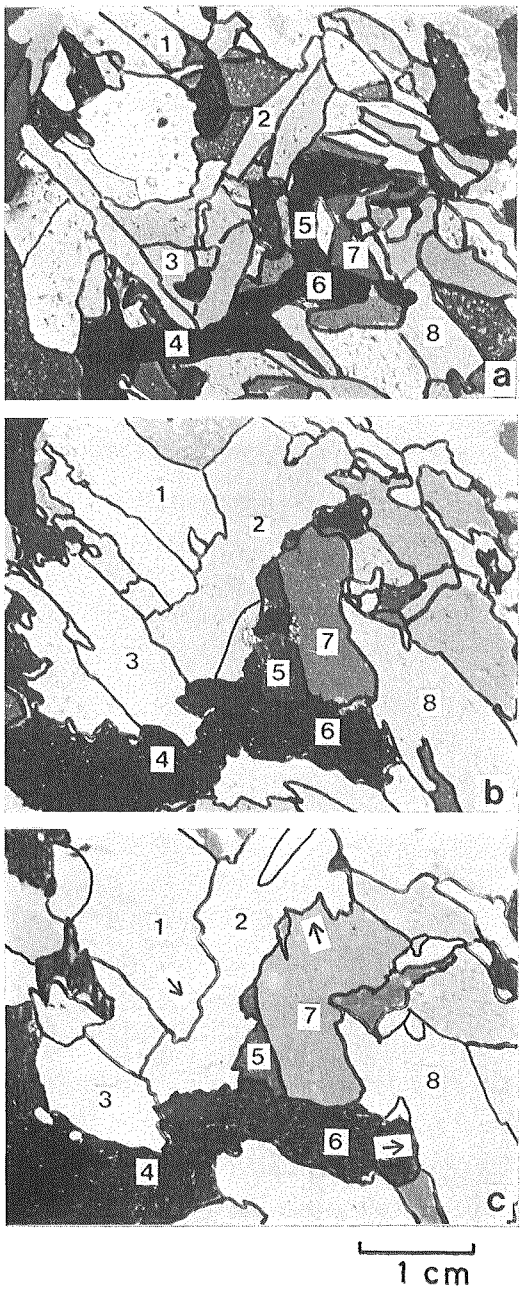
上記の新生海氷と比較するため，成長が極めて進んだと思われる南極における海氷の底層部も試料として用いた。すなわち第17次南極地域観測隊によりラングホブデ湾において採取された海氷である。その海氷は最も厚い時に採取され，氷厚は約2 mで，そのうち約1 mがその冬新たに成長した部分である。その下面から10 cmの水平断面を試料とした。

III. 測定結果および考察

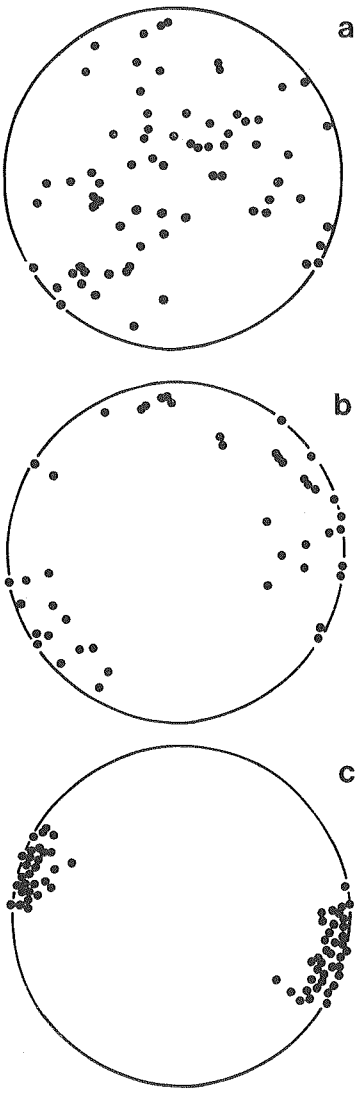
1. 結晶方位の分布

第2図にc軸の方位を標準投影法で示す。c軸の鉛直線からの角度の平均値はサロマ湖の海氷で上層より60°, 73°, 78°, 80°, 81°で，上層ほどその変化が激しい。南極の海氷では，平均86°とさらに水平面に近づいた。

* 北海道大学低温科学研究所業績　第2482号
** 北海道大学低温科学研究所　附属流氷研究施設　研究報告　第100号



第1図 サロマ湖の海氷の水平断面
(a: 第1層, b: 第3層, c: 第5層)
(番号は代表的な結晶粒で同一番号は各層で対応)

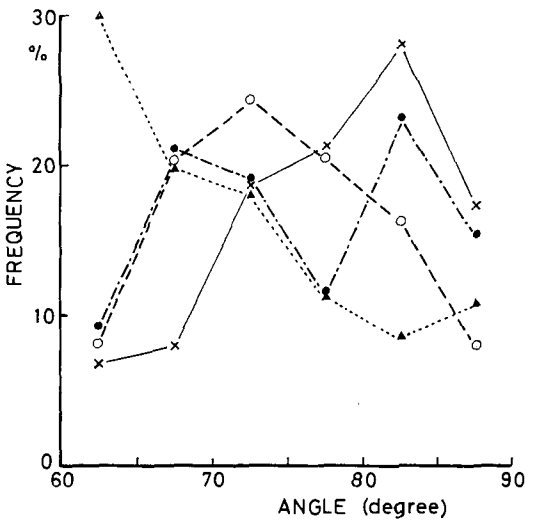


第2図 c軸の標準投影図
(a: サロマ湖海氷第1層, b: 同第5層,
c: 南極海氷)

c軸の方位角については, サロマ湖の海氷では著しい卓越方向はなく, 成長にともなう分布の変化もほとんどなかった。しかし, 南極の海氷には標準偏差16°という卓越方向があった。最近, Weeks[4]らは北極海の定着氷に, c軸の卓越方位があり, それが海流の主方向に一

致すると唱えている。サロマ湖の現場付近での流速の連続測定では，流れは全くなかった。南極では約1km離れた地点で，結氷期に一回だけ流速の観測がなされたが，流れはほとんどなかった。それにもかかわらず，c軸の卓越方位角が存在した。このことと Weeks らの説と矛盾するかどうかは，定期的な海流観測がなされていないので，今のところ何とも言えない。

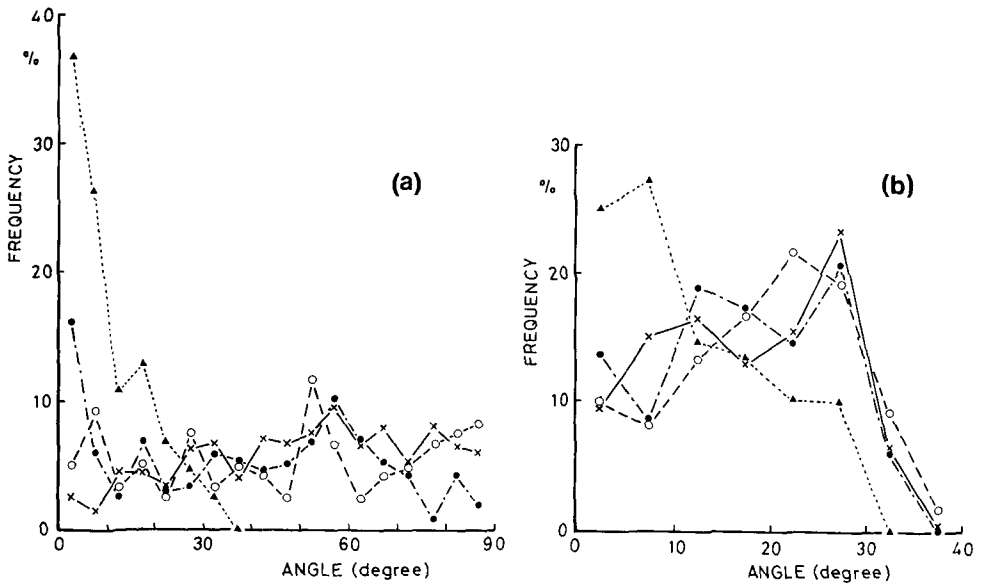
3本のa軸のうち水平面に最も近いa軸の，鉛直線となす角度の分布を第3図に示す。サロマ湖の海氷の第1層にある85°付近のゆるい山は，それ以下の層ではなくなり，幅広く分布している。南極の海氷ではそれほど強くないが，60°付近に卓越しており，サロマ湖の海氷の第1層とは全く異なった分布をしている。成長が進むとa軸が鉛直方向を向く結晶が残りやすいことを示しているようである。サロマ湖の下層でそうなっていないのは，成長がまだ充分でないためで，a軸の優先方位が表われるには，c軸の場合に比べて充分な成長が必要なのかもしれない。しかしこの南極の試料もごく小さな面積での測定であるので，今後さらに研究する必要がある。



第3図　a軸の鉛直線からの角度の分布
(×：サロマ湖海氷第1層，○：同第3層，●：同第5層，▲：南極海氷)

2. 隣接結晶の結晶方位

隣接している2つの結晶の結晶方位が，空間的に作る角度の分布を第4図に示



第4図　隣接結晶の結晶方位間の角度の分布
(a：c軸間，b：a軸間)（図中の記号は第3図と同じ）

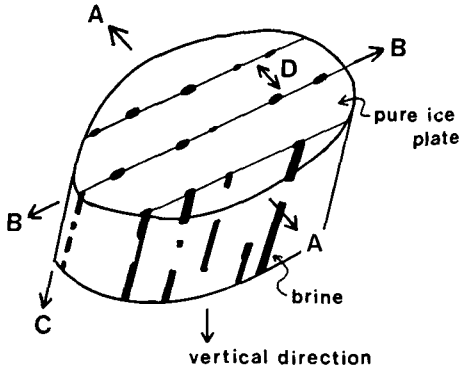
す。c軸間の角度については，サロマ湖の海氷ではどの層でも60°付近で度数が多いが，下層ほど5°以下で接しているものが多くなっている。南極の海氷では最大でも37°と小さい角度のものが圧倒的に多いが，これはc軸自身に卓越方位があることによる。さらにa軸間の角度も，サロマ湖の海氷では広く分布しているが，南極の海氷では小さな値をもつものが多い。成長が進んだ南極の海氷は，結晶方位が似た結晶が多く，それらが隣接していることを示している。さらに中尾が指摘しているように[5]，光学的には同じ結晶粒であると思われるものの中にも結晶方位のわずかに違っている部分もみられた。サロマ湖の海氷の下層でも，一部の領域で詳細に調べたところ，そのような結晶も存在していた。この種の結晶は成長が進むと多くなるのであろう。この論文で述べている結晶粒とは光学的に同一結晶であると思われる部分のことである。

3. 海氷の結晶粒の成長

サロマ湖の海氷で，第1層から第5層の結晶粒の平均面積はそれぞれ18, 29, 34, 38, 38 mm^2と成長に従って増大している。増大の割合は上層ほど大きい。結晶方位から，各層に現れた結晶粒を対応させ追跡することができた。第1層の結晶が第2層に達する前に消滅している割合は面積の約40%である。一方約40%が最下層まで達している。第2層からの最下層までの生存率は約85%と急激によくなる。消滅した結晶が占めていた部分は，他の結晶の拡大および新たに発生した結晶によってうめられる。上層ほど消滅する結晶が多く，結晶粒の平均面積の変化が著しいのは，c軸が水平面から離れた結晶がまだ多く存在し，水平面に近い結晶によって侵食されるためであろう。このことは前に述べたc軸の鉛直線からの角度の急激な増大に表われている。そして成長しにくい結晶と接している結晶ほど，その面積を拡大することになる。最下層に注目すると，そこに存在する結晶の85%が既に第1層に存在しており，第2層以下で発生し最下層まで達しているものは多くない。中間のある層，またはある数層のみに現れる結晶の数は多くなく，面積は小さい。

海氷の成長にともなって結晶粒界が移動する様式は，第5図に模式的に示したように，(A) c軸の方向へ薄板の枚数を増加させる場合，(B) c軸と直角に薄板方向へ成長する場合，(C) 薄板が鉛直方向からずれている時，薄板自身が成長することによる場合，(D) 薄板自身の厚さを増す場合が考えられる[6]。(C)では薄板の傾きがあまり大きいと，他の結晶に食われ消滅してしまう。この試料では(D)は明らかでなかったが，(A)～(C)は単独で起っているのでなく，それぞれが複合して海氷の結晶どうしの食い合いが起っている。

純氷の優先成長について，Ramseier[7]はc軸およびa軸を考慮した説をとなえている。それをサロマ湖の海氷に適用してみると，合う場合も合わない場合もあった。その他，単純な例でも実際の海氷の成長と合わないことがあるの



第5図 海氷結晶の構造と成長の模式図
(符号は本文中のものと一致)

で，それをそのまま海氷に適用することはできないようである。しかし，成長下面に出ている結晶粒界の方向が違えば，同じ隣接結晶であっても優先成長の結晶が違う場合があることが彼の考えから出てくる。サロマ湖の海氷の結晶粒の成長と結晶方位を検討すると，それと同じように隣接の方向によって食い合いが異なっているようである。c軸間の角度が直角に近い2つの結晶が接している時，(A) よりも (B) の形式で粒界の移動が起っているようである。その例を第1図に矢印で示す。これについては今後さらに検討したい。

IV. あとがき

X線ラウエ法によって海氷の結晶方位を詳細に測定した。成長にともなう結晶粒界の移動はいろいろな様式が複合して起っている。今のところこの結晶の食い合いと結晶方位との関係はうまく説明されない。またその際のa軸の役割も不明確である。その他にも究明されるべき課題が残った。今後それらを明らかにしたい。

X線回折装置の使用の便宜，およびその取り扱いについては，水野悠紀子助手にお世話になった。大学院生大伴武都美氏には，計算に用いたプログラムの一部を提供していただいた。南極の海氷は若土正暁助手に提供していただいた。海洋部門の皆様には議論をしていただき，助言をいただいた。以上の方々に心から感謝いたします。

なお計算の一部は大型計算機センター (HITAC M-200H) を用いた。

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) 河村俊行・小野延雄 1980 極域厳寒期における海面凍結過程 III. 新生海氷の結晶軸の測定．低温科学，物理篇，**39**, 175-180.
3) 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
4) Weeks, W. F. and Gow, A. J. 1980 Crystal alignments in the fast ice of arctic Alaska. *J. Geophys. Res.*, **85**, 2, 1137-1146.
5) 中尾正義　私信.
6) 田畑忠司 1977 海氷．海洋物理 IV. 東海大学出版会，150.
7) Ramseier, R. O. 1968 Origin of preferred orientation in columnar ice. *J. Crystal Growth*, **3**, 4, 621-624.

Summary

It is well known that sea ice has a characteristic structure. Vertical thin ice sheets are standing parallel side by side constituting an ice grain and the grains are interlocked each other resulting in the type of mosaic structure. Crystallographic c-axis orientation of the grain is perpendicular to these thin ice sheets and tends to be in the horizontal plane. However, few observations of its a-axis orientation have been made. In the present paper, the c-axis and a-axis orientations of sea ice were measured by means of x-ray Laue photography.

Newly grown ice on an artificial pool in Lake Saroma and the bottom part of antarctic sea ice were examined. A freshly grown sea ice block in Lake Saroma, 5.3 cm thick, was sliced horizontally at every 1 cm depth. The orientations of grains on each horizontal thin section

were measured and the grains were followed as to how their shape and size changed with the depths.

The average inclination of the c-axis to the vertical direction increases with growth as shown on a standard Wulff projection net (Fig. 2). C-axes of grains in Lake Saroma ice direct randomly in the horizontal plane, but an antarctic sea ice sample exhibits strong c-axis alignment within that plane. It seems that the angle between the a-axis and the vertical direction has a maximum distribution around 60 degrees in the antarctic sample, whereas it distributes randomly in the lower layer of Lake Saroma samples. It is found that, in the Lake Saroma samples, the distribution of the angle between c-axes of neighboring grains has a broad peak around 60 degrees and that neighboring grains with a small angle increase with depth. In antarctic ice, the small angle is predominant as a result of strong c-axis alignmen and a-axis misorientation also has a tendency to make small angles. Grains with preferred orientation encroach other grains in several forms which are often combined. It seems that which grain is preferable depends not only on the relation between the orientations but also on the state of contact with neighboring grains.