



Title	種々の氷の結晶主軸方向の分布の測定
Author(s)	田畑, 忠司; TABATA, Tadashi; 小野, 延雄 他
Citation	低温科学. 物理篇, 20, 199-214
Issue Date	1962-03-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17991">https://hdl.handle.net/2115/17991</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	20_p199-214.pdf



## 種々の氷の結晶主軸方向の分布の測定\*

田畑忠司・小野延雄

(低温科学研究所 海洋学部門)

(昭和36年11月受理)

### I. ま え が き

氷の結晶構造の研究は、生成および存在の条件の違いによる結晶構造の相違や結晶構造の違いと氷の物理的諸性質との関係を知るなどに関連して、数多くの研究者によって行なわれている。

それらの研究の結果、湖や川の氷では結晶主軸(c軸)は水平または鉛直方向を向くものが最も多く、海水では表面近くの数層をのぞけばc軸はほぼ水平面内に分布していることが確かめられた。氷河の氷ではc軸の分布は複雑であるが、氷河内部の剪断応力に垂直な方向を向くものが多いことが知られている。

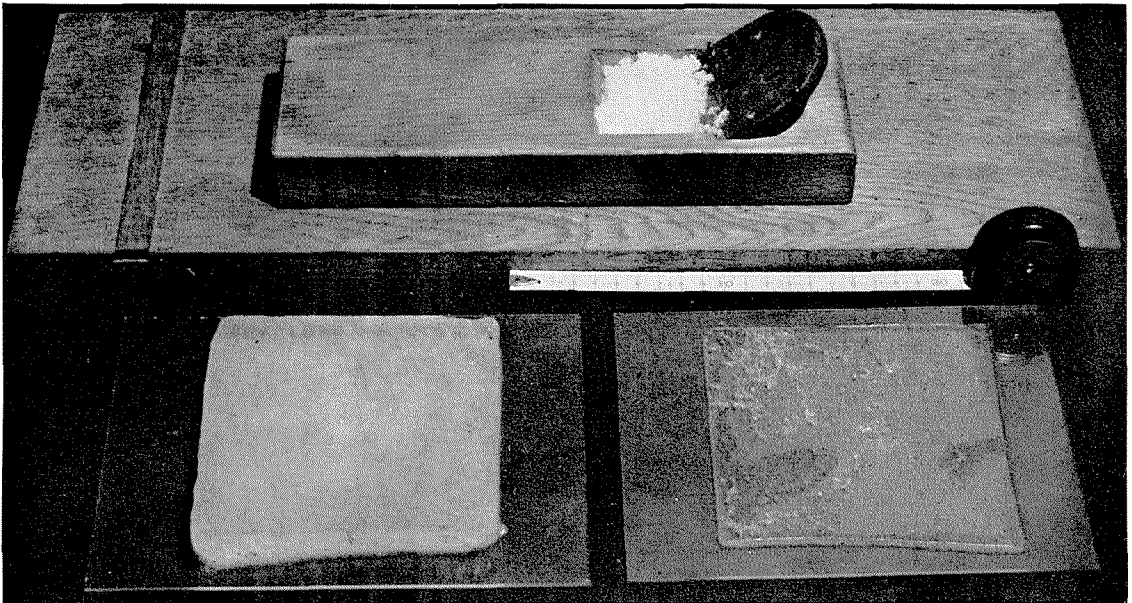
筆者は、数年前から折にふれて、氷の結晶構造の観測を行なって来た<sup>1)</sup>。この報告では、筆者が用いている氷の薄片の作り方と、その方法で作った薄片を利用して測定したオホーツク海の海水、特異な結晶構造を示している氷柱、昭和基地付近で採取した定着氷上のパドルの氷および氷山の氷のc軸の分布について述べる。氷山の氷ではc軸の分布のみでなく、結晶粒(グレイン)の体積別の頻度分布も観察し、また海水では厚さの増加に伴う結晶粒の成長について測定を行なったので、その結果も報告する。

### II. 氷の薄片を作る方法

氷の薄片の作り方にはいろいろの方法がある。熱した金属板に氷を接触させながら徐々に融かしたり、氷を水中に入れて静かに動かしながら少しづつ融かしたり、マイクロームを用いて機械的に削ったり、また紙やすりなどで丹念に削ることもある。これらの方法のうち、氷を融かしながら薄くする方法では気温が0°C以下のときには融解水が他の器物にかかって凍着することが多く、それ以後の操作に不便を及ぼすことがあり、また一樣なあるいは所定の厚さの薄い試料を作るのが困難なこともある。紙やすりで削る方法ではひとつの試料を仕上げるのに長い時間かかるし、マイクロームによる方法は装置自体の制約のためにどこでも何時でも使える方法と言うわけにはいかない。

筆者は氷の薄片を作るのに大工が日常用いている鉋で氷を削る方法を数年前から用いてい

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第601号



第1図 氷の薄片をつくるのに用いる鉋，削り台  
およびガラスに凍着させた氷

るが簡便でしかも能率がよい。第1図はそのための道具を示しているが，薄片が出来上がるまでの操作は次のとおりである。

A) 氷塊の目的とする位置から必要な面積をもった厚さ1~2 cmの氷板を切り出す。この操作は普通の手動の氷鋸あるいは電動鋸を用いて行なう。

B) 鉋でこの氷板の片面を平坦にする。氷を適当な方法で動かないようにしておいて，木材に鉋をかける時と全く同じ要領で行なってもよいが，鉋の刃の出ている面を上にして机の上に置き，氷を手を持ってこの鉋の上を向う側に滑らせながら削ってもよい。場合によっては後者の方法のほうが良い結果を得ることがある。何れの場合でも，はじめは鉋の刃をやや多く出して削り大体平らな面をつくる。それから刃の出ている量を出来るだけ少なくして削って仕上げる。このときに鉋を二丁用意しておいて片方を荒削り専用，他のを仕上げ用としておくと非常に能率が良い。

C) 平らになった面を板ガラス(厚さ1~2 mm)に凍着させる。ガラス板に凍着させるには，あらかじめ30°~40°Cに温めておいたガラス板を用意し，氷板を今削った平らな面を下にして静かに乗せると氷の融け水を介して氷とガラス板が密着する。このときに氷とガラスの接着面に気泡が残っていると，氷を薄く削ったときに割れることが多い。完全に密着したかどうかはガラスの下面から見るとすぐわかるから必ず確認する必要がある。氷とガラスが接する面に気泡が残っているときにはガラス板を温めなおしてもう一度やり直したほうがよい。氷の融け水が氷の周辺からほんの少ししみ出した程度のときに氷の融解が止まるようにガラス板を暖

めるのが最も良い。もしガラス板が熱しすぎて融け水が氷の周囲に流れ出したときには氷はガラス板に密着しない。このときには氷をガラス板に押しつけながら前後左右に動かして密着させ、余分の水を吸取紙に吸着させて取除く。以上の状態で放置すると、氷は以後の作業に充分に堪える強さで間もなくガラス板に凍着する。更に氷板の周辺に $0^{\circ}\text{C}$ の水を筆で付けたりスポイトで滴下させて凍らせるとより完全に凍着する。

D) ガラス板に凍着させた氷板を削り台に載せて、木材に鉋をかけるのと同じ要領で必要な厚さまで削る。氷の厚さが $2\sim 3\text{ mm}$ になるまでは荒削りをし、その後は慎重に削って仕上げる。削るときには鉋をガラスの面に平行に動かさなければならないことは言うまでもない。氷の厚さの不均一はノギスまたはマイクロメーターで知ることが出来る。しかし厚さは実測しなくても厚さが不均一な氷を互に消光位にある2枚の偏光板のあいだに挿入すると、厚さの不均一による色調と結晶軸方向の違いによる色調があらわれる。この両者は容易に区別出来るから、前者の色調がなくなるように氷を削って均一な厚さに仕上げるほうが便利である。

使用する鉋の刃が十分に研磨してなかったり、刃を出しすぎていると氷の表面に貝殻状の劈開孔が出来る。この孔は試料を拡大してみるとときには観測のさまたげになるので、氷の面を仕上げるときには十分に鋭利な刃を用いて、しかも刃の出し方を少なくして、すなわち鉋の一回毎の削り作業で削る量を出来るだけ少なくすることが必要である。特になめらかな面を必要とするときには、鉋で削ってから更に絹布で軽く磨き上げるとよい。

氷を鉋で削ることに習熟すれば、氷板をガラス板に貼り付けないで、すなわち、氷を削り台の上に直接置いたままで $1\text{ mm}$ 位の厚さまで削ることが出来る。もし氷を削るときに気温が $0^{\circ}\text{C}$ に近ければ、氷板はガラスに凍着しにくいので、このようにして削らなければならない。

観察や諸種の測定にもっとも適当な試料の厚さはグレインの大きさによって異なるが、この報告でのちに示す第14図の程度の大きさのグレインでは $0.6\sim 0.8\text{ mm}$ で、第11図の試料では $0.4\sim 0.6\text{ mm}$ ぐらいである。積雪粒子のように観察に顕微鏡を必要とする場合には $0.1\text{ mm}$ もしくはそれ以下の厚さを必要とする。氷をガラス板に凍着させて削るならば、たとえば、 $0.1\text{ mm}$ の厚さまで削るのは容易である。削るに要する時間は長さ $30\text{ cm}$ 、幅 $10\text{ cm}$ ぐらいの氷でも10分以内である。

上に述べた諸操作は $-10^{\circ}\text{C}$ ぐらいの低温実験室内で行なうのがもっとも具合がよい。

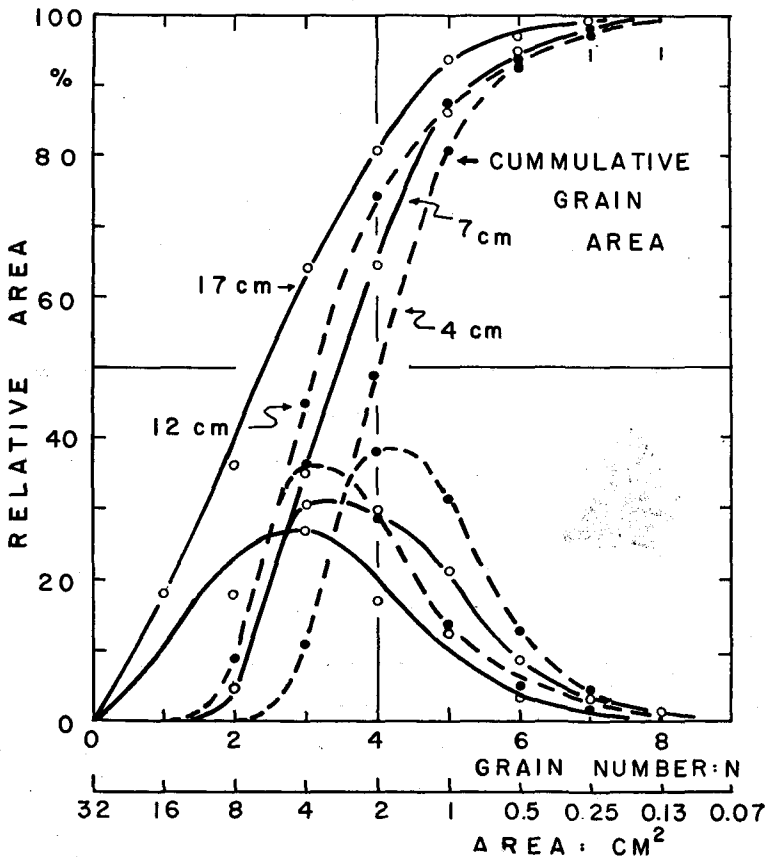
### III. 海 氷

海氷は表面近くの数種の部分では複雑な結晶構造を示しているが、それより下の部分では鉛直方向に細長い柱状の結晶粒(グレイン)から出来ている。更に個々のグレインは、ほぼ鉛直に立っておりしかも互に平行に並んだ短冊状結晶の集りであることが知られている。しかも、一定の水平断面積内にあるグレインの数は氷の厚さが増すとともに減少すること、すなわちグレインの平均の面積が氷の厚さが増すにつれて大きくなることが知られている。更に結晶の主軸(c軸)はこの短冊状結晶の広い面に垂直であり、したがって空間的にはほぼ水平面に分布

していることが確められている。また、海氷は多くのブラインや気泡を含んでいる。

Weeks<sup>2)</sup>は氷の厚さの増加とグレインの面積の増加との関係を測定して、氷の厚さが60 cm までの間では、氷の厚さが増すにつれてグレインの面積が直線的に増大するという結果を得ている。筆者は厚さ18 cmの海氷について同様な測定を試みてほぼ似た結果を得た。

厚さ18 cmの海氷の表面から4, 7, 12, 17 cmの各層の水平断面の薄片を、前節で述べた方法でつくり、それらの各断面におけるすべてのグレインの面積をいちいち測定した。グレインの面積を適当な大きさ毎に区切り、それらが全面積中で占めている面積比をあらわしたのが第2図である。いずれの断面でもc軸の水平面からの傾斜は極めて少なく、たとえば4 cmの断面では大部分のグレインの傾斜は5°以下であった。グレインの面積の測定にはJohnson<sup>3)</sup>が提唱した方法を用いた。図の横軸はグレインの面積で、グレイン指標 $N$ はその面積が $2^{5-N}$  cm<sup>2</sup>であることを意味する。たとえば $N=3$ の場合にはグレインの面積が2<sup>2</sup> cm<sup>2</sup>とゆうことである。 $N$ が2.5と3.5のあいだの面積、すなわち、2<sup>1.5</sup>~2<sup>2.5</sup> cm<sup>2</sup>の面積をもっているグレイン全部を同一視してすべて2<sup>2</sup> cm<sup>2</sup>の面積をもっているものとみなしている。同様に $N=5$ には面積が2<sup>-0.5</sup>~



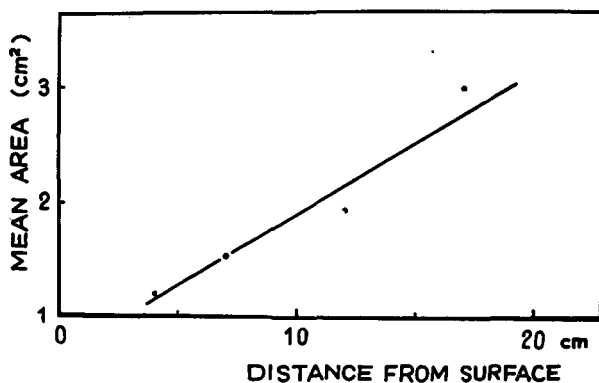
第2図 海水中の種々の深さにおけるグレインの面積の頻度分布

$20.5 \text{ cm}^2$  すなわち、 $0.7 \sim 1.4 \text{ cm}^2$  のあいだの面積をもっているグレイン全部が含まれている。また  $N$  がひとつふえると面積は2倍になる。

第2図から、氷の表面から遠ざかるにつれて大きな面積のグレインがあらわれてくるのが明らかであり、また深さが増すとともに最大の面積比を占めるグレインの面積は次第に大きくなっていくことがわかる。更に同図に同時に示された積算曲線を見ると、たとえば、グレイン指標4すなわち面積  $2 \text{ cm}^2$  以上のグレインで占められている面積が、表面から4 cmの面では50% 足らずであるが、深さが7, 12, 17 cm と増すにつれて、65%, 74%, 80% と次第に増加していることがわかり、氷の厚さが増すにつれて面積の大きなグレインが優勢になっていることが明らかである。このことは測定に用いた面積約  $80 \text{ cm}^2$  の薄片中のグレインの総数が表面から4 cmの層では203個であったのが、深さが増すにつれてそれぞれ177, 162, 98個と次第に減少していることから容易にわかる。このグレインの総数の減少は、すでに良く知られているように、氷の厚さが増すとともにグレインの選択的淘汰が行なわれる結果である。

以上述べたように、氷の厚さが増すとともに大きなグレインが優勢になる傾向が著しいにもかかわらず、第2図からもわかるように、指標が7以上の小グレインはすべての層で観測さ

れている。これらの小グレインは消滅直前のものか、あるいは新たに発生した直後のものであり、氷が筆者の観測した氷より以上に厚くなっても観測されるであろうと思われる。面積比が5% 以下の小グレインをのぞいて求めた平均のグレインの面積と氷中の深さとの関係が第3図に示してある。測定に用いた氷板はあまり厚くないので両者の関係は量的にはあまりは



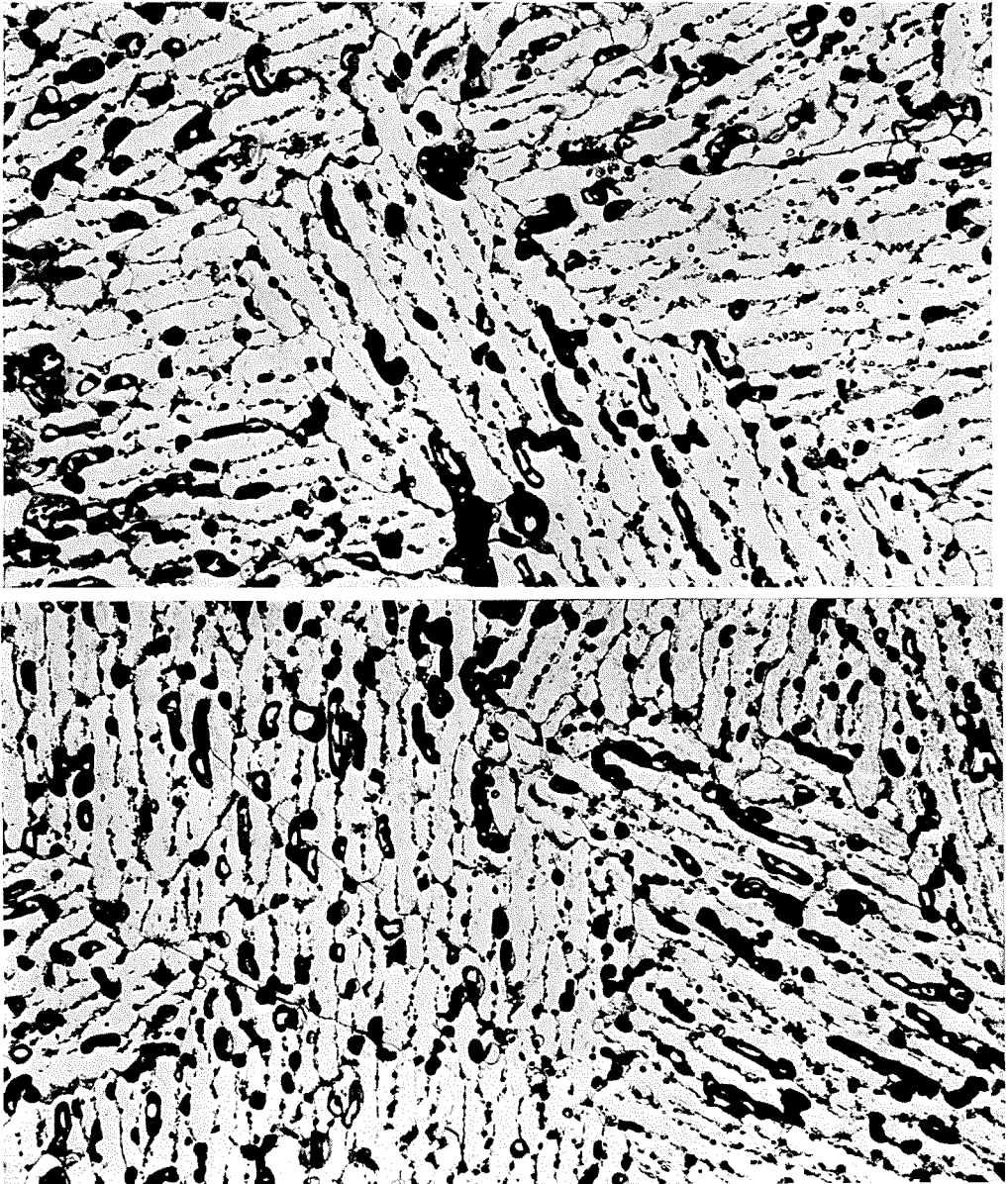
第3図 氷の厚さの増加とグレインの平均面積の関係

つきりしないが、氷が厚くなるにつれてグレインの平均面積がほぼ直線的に増加していることがわかる。第3図はグレインの平均面積の増加率を示したものであり、その平均の中には深さとともに面積の減少しているグレインも含まれている。したがって、深さと共に面積が増大しているグレインのみについて考えると面積の増加率をもっと大きいものもある。測定に用いた4層の各断面で明らかに同一のグレインの切り口と認められるものがいくつかあり、それらを比較した結果では、表面から17 cmの層での面積が4 cmの断面での面積の8倍にも達しているグレインが4個認められた。

同じグレインの各層における切り口を比較してみると必ずしも相似形ではない。深さとともに面積がふえている場合では、平行に並んでいる短冊状結晶の長さの方向のみが長くなるもの、またはそれと直角の方向の寸法だけが大きくなるもの、更にそれらの両者が同時に起って

いるものも認められた。

海水のグレインを形成している短冊状結晶の厚さは、Anderson, Weeks<sup>2)</sup>によると 0.2~0.8 mm で平均して 0.45 mm である。第4図は、表面から 17 cm (下から 1 cm) の水平断面の一部で黒い所はブライン細胞である。同一のグレイン中ではブライン細胞が平行にならんでいるように見える。すなわち、それらのブライン細胞で境されているところの短冊状の結晶も全体



第4図 海水の水平断面 ×4

としては互に平行にならんでいることは疑いない。従来はこの短冊状結晶はブラインの列に平行な方向に細長い板状のもので、短冊状結晶がそのグレインを横切るほど細長いものと考えられていた。しかし詳細に見ると、第4図に示したように、数多くのあまり長くない、むしろ紡錘形に近い断面をもつ小氷片から成り立っており、それが互い違いに並んでいることがわかる。しかもそれらの小氷片の厚さは必ずしも一定ではない。この図に示したほどはっきりはしないが、似た構造が鉛直方向の断面でもみとめられる。この様な構造は金属の結晶の成長途中でも認められているものであるが、その成因は明らかにされていない。

氷の成長に伴ってグレインのあるものではその水平断面積が次第に大きくなることはすでに述べたとおりである。グレインが写真に示したような小氷片から構成されているので、同じような小氷片の附加される度合が何らかの原因によって左右されることによって、グレインの水平断面積が増したり、または逆に減少したりする。

グレインを構成している小氷片は水平断面でみるとほぼ紡錘形に近い形をしているので、その最大の幅を前述した4層の水平断面について測定した。各断面毎にそれぞれ約300個の測定を行なった結果は第I表に示すとおりである。

第1表 氷の成長に伴う氷片の厚さの変化

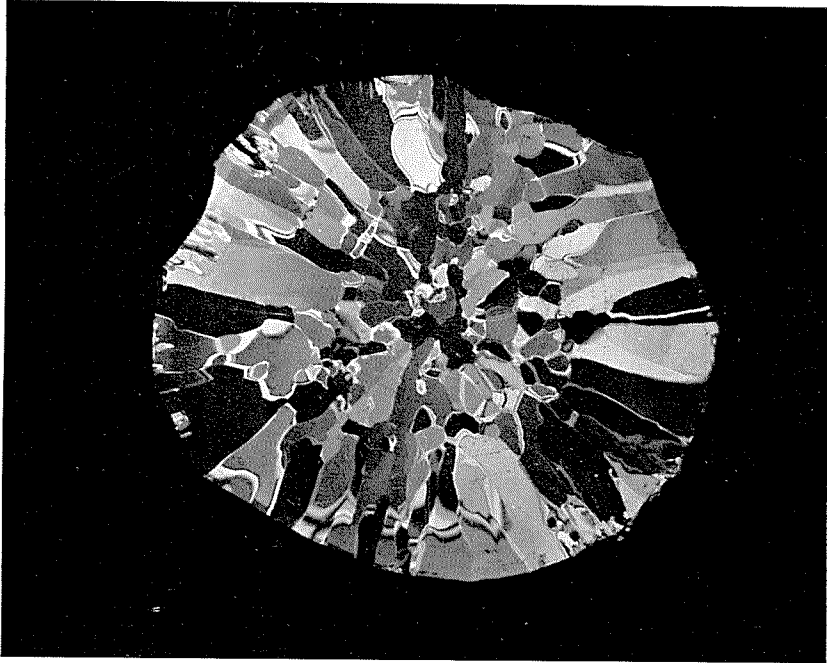
	表面から 4 cm	7 cm	12 cm	17 cm
最小及び最大の厚さ	0.4~1.4 mm	0.5~1.3 mm	0.5~1.2 mm	0.5~1.3 mm
平均	0.65 mm	0.76 mm	0.82 mm	0.87 mm

表から、氷の厚さの増加に伴って、グレインを構成している小氷片の厚さも増す傾向にあることがわかる。表に示した測定値は、Anderson, Weeks の求めた値よりも可成大きい。この違いは氷の塩分、成長速度などの相違に原因するのかも知れないが、現在の段階では相違を指摘するにとどめるほかはない。

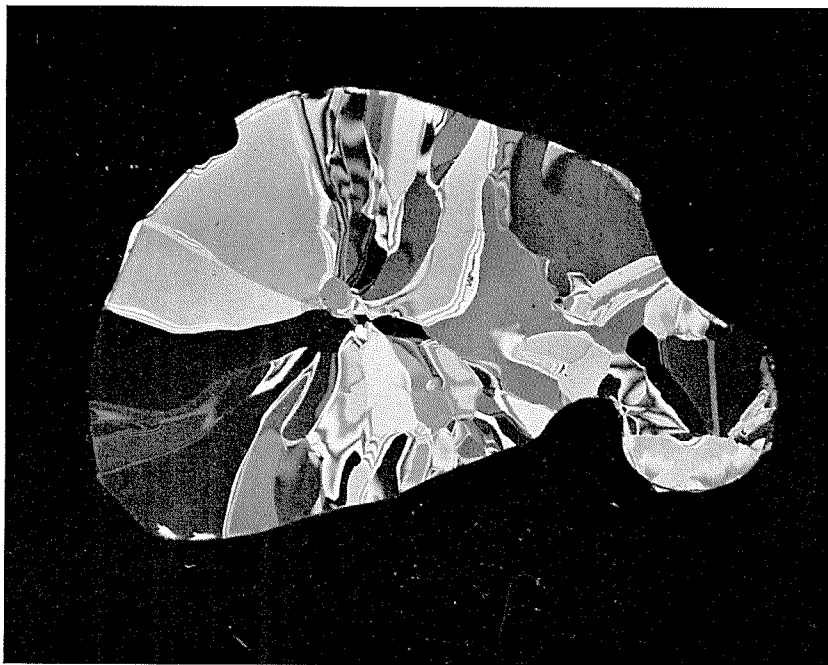
#### IV. 氷柱の結晶構造

氷柱は、水が氷の表面を伝わって流下するうちに凍結して直径と長さがふえながら成長する。氷柱の水平断面を示したのが第5, 6図である。氷柱は小さな結晶粒(グレイン)の集まりで、しかも個々のグレインは水平断面のほぼ中心から周囲に向って拡がっている扇形を作りながら放射状に成長していることがわかる。第7図は氷柱の中心を通る鉛直断面である。この写真から、扇形をなしている各グレインは氷柱の上下方向にはあまり長くなく、しかもほぼ一定の長さを保ちながら水平方向に成長しているように見える。第5図における各グレインのc軸の方向をSchmidtの網に記入したのが第8図である。c軸の空間的分布は、鉛直方向に近いものが少ないが、氷柱を構成している各グレインの形状から期待されるとおりに、円周方向にはほぼ一様に分布しているのがわかる。

個々のグレインの成長方向とc軸の向きを第5, 6図の各グレインについて求めた



第5図 氷柱Aの水平断面



第6図 氷柱Bの水平断面

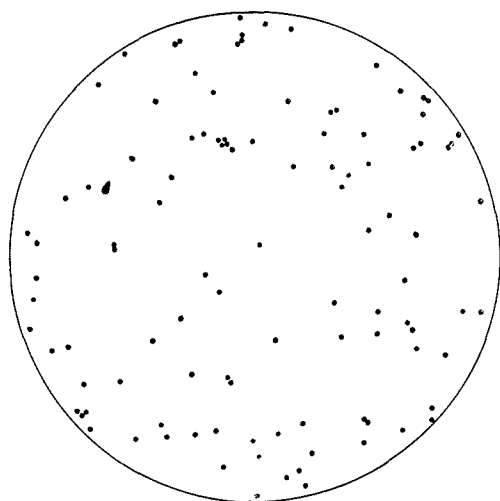


第7図 氷柱の鉛直断面

結果が第9, 10図である。各グレインの成長方向としては、グレインが水平にしかも半径方向に成長していると考えられるので、水平でしかも第5, 6図に見られる個々のグレインの扇形の平均の方向を採用した。

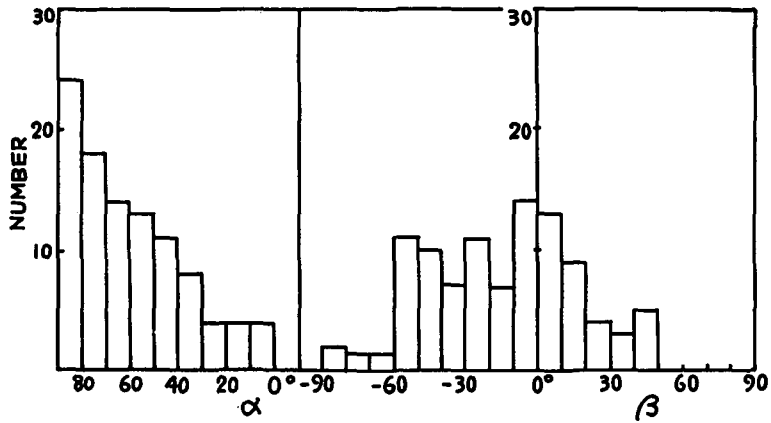
第9, 10図には上記のように定義した成長方向を基準として測定した水平面内の $c$ 軸のふれ $\alpha$ (但し鋭角であらわす)と、水平面からの傾斜(dip) $\beta$ の頻度分布を示してある。 $\alpha$ は時計廻りのものと反時計廻りのものとがほぼ同じ数だけあったがそれらを同一に取扱っている。 $\beta$ の正の符号は氷柱の外側に向って $c$ 軸が下向き、負の符号は上向きであることを示している。

第9, 10図では $\alpha$ が $60^\circ$ 以上のものはそれぞれ56%, 48%で、図には示さなかったが別の氷柱Cでは43%であった。すなわちほぼ半数近くのグレインでは $c$ 軸は成長方向に対して垂直に近い面内にあることがわかる。 $\beta$ が負のもの、すなわち、氷柱の外側に向って $c$ 軸が上向きのものは、氷柱Aでは66%, 氷柱Bでは39%, 氷柱Cでは62%であった。このことから、各グレインの $c$ 軸が氷柱の外側に向って特に上かあるいは下を向くと言う傾向はないことがわかる。ただ $\beta$ が $\pm 30^\circ$ 以内にあるものは氷柱Aでは58%, 氷柱B, Cではそれぞれ48%, 63%であることから、 $c$ 軸が水平面に近いグレインは全体の約半分を占めていると云うこと

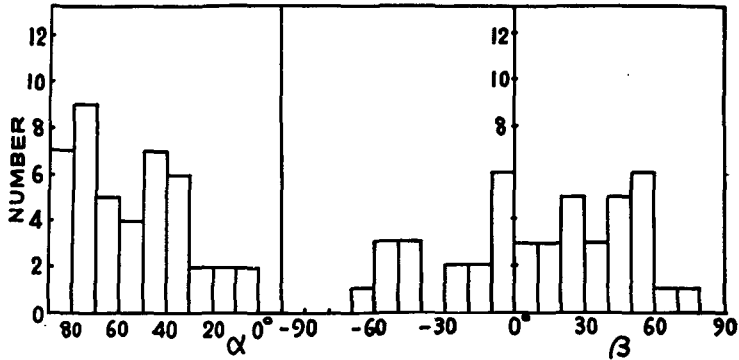


第8図 氷柱Aの水平断面(第5図)の各グレインの結晶主軸方向の分布

が出来よう。しかし、 $\alpha$ と $\beta$ のあいだには意味のある関係は見られなかった。



第9図 氷柱 A (第5図) のグレインの成長方向と結晶主軸方向との関係



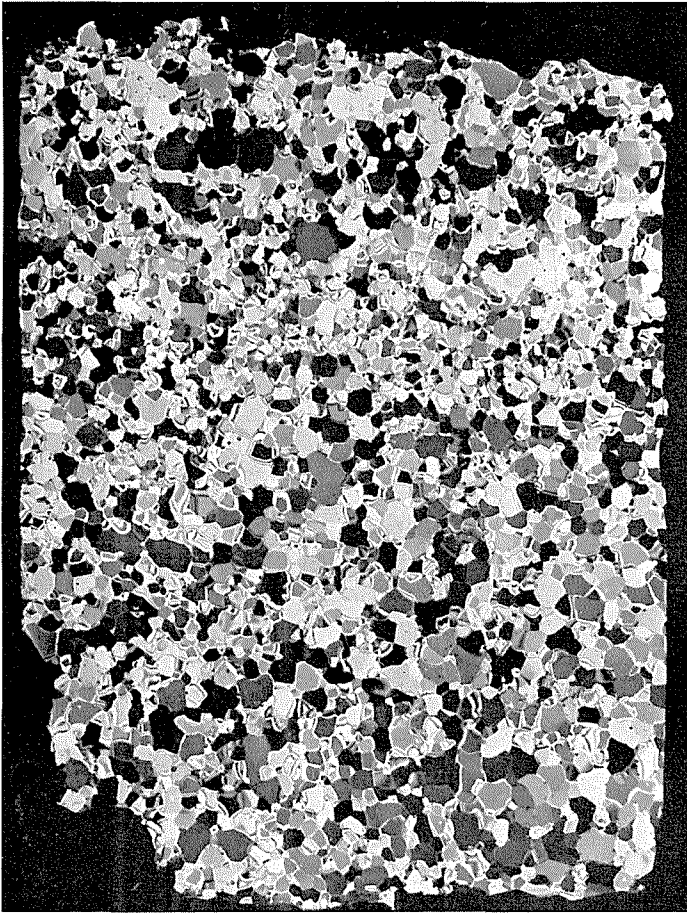
第10図 氷柱 B (第6図) のグレインの成長方向と結晶主軸方向との関係

結局、氷柱では個々のグレインはほぼ水平でしかも半径方向に成長しており、各グレインのc軸は氷柱全体としては空間的にほぼ一様に分布している。個々のグレインについてみるとc軸は水平面に近いものが多いが、グレインの成長方向に対し垂直に近い面内にあるものが多いが、このふたつの傾向は互に独立に起っていることがわかった。

c軸の方向を測定するための基準として採用して形態的な成長方向が、氷柱の各グレインの真の成長方向であるならば、氷柱の氷の成長方向は氷の結晶学的に意味のある特定の方向とは一致していないことになる。また、第5図で見られるように、成長の途中であるグレインが消滅し、それに引続いて結晶主軸の方向の全く異なるグレインが発生、成長しているのは興味深いことである。

## V. パドルの氷

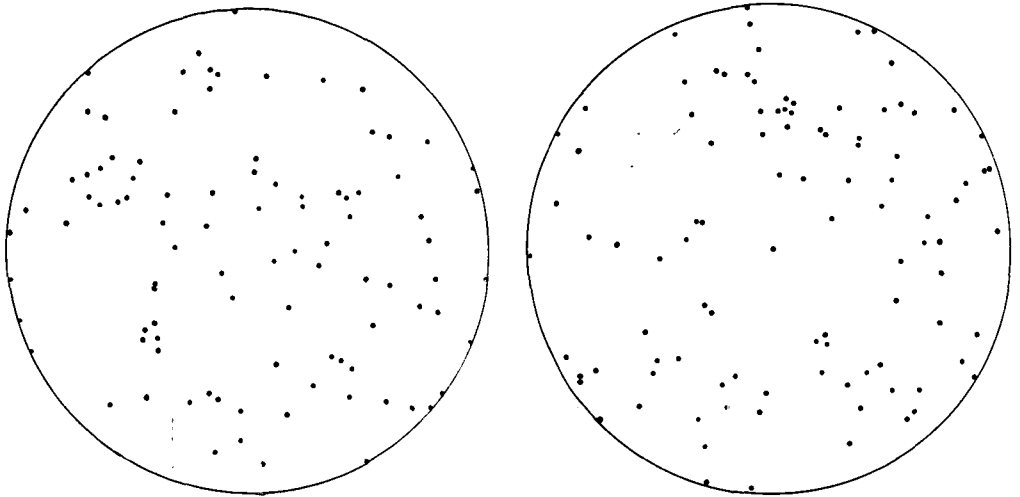
この氷は昭和基地 (69°00'22"S, 39°35'24"E) 付近の海水上のパドルの表面に出来た氷で、次の節でべる氷山の氷と共に筆者の一人・小野が第3次南極観測 (1958~1959) のときに持ち帰ったものである。



第11図 バドルの氷の鉛直断面 ×1

氷の厚さはほぼ 12 cm, 密度 0.82 である。一見して球状のグレインから成り立っていることがわかるが、垂直断面を第 11 図に示した。この写真から、この氷は下面近くでグレインが僅かに大きくなる傾向があるが、表面から下面までほぼ一樣な大きさのほぼ球形のグレインから出来ていることがわかる。多くの気泡が含まれているが、それらもほぼ同じ大きさでほとんど完全な球形である。気泡の直径は 0.5~1.0 mm でグレイン内にもまた結晶粒界にも存在し、しかも氷板中にほぼ均一に分布している。この氷の表面及び下面の水平断面について測定した c 軸の分布は、第 12, 13 図に示したが、氷の表面近くでも下面でも c 軸は空間的にほぼ一樣に分布しているのは明らかである。

積雪に氷が滲み込んで出来た氷では、この氷のような球状グレインからなる結晶構造を示すことがあるが、そのときには気泡の形は不規則なものが多い。この氷をバドルから採取したときには氷の下面に球形の粒氷が一面に緩く附着しており、手でとり除くことが出来た。この



第12図 パドルの氷の表面近くの結晶主軸方向の分布 第13図 パドルの氷の底面近くの結晶主軸方向の分布

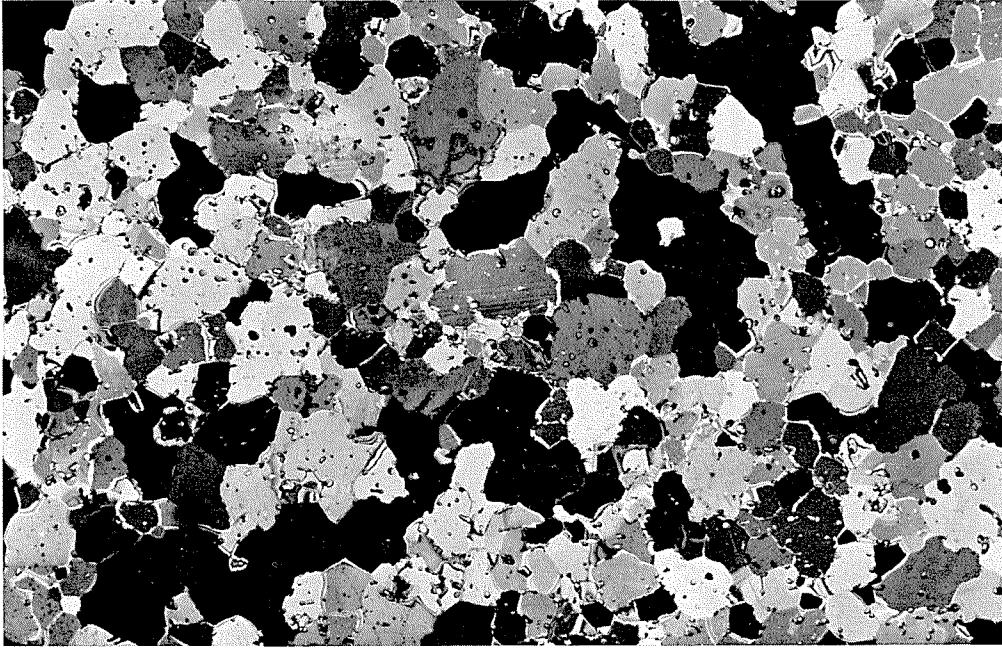
ことと第11図にみられるグレイン構成から、この氷の成長は氷の下面に出来る粒状の氷が、次々に氷の下面に氷着することによって行なわれているように思われる。この氷は池の氷や海水などと同様に氷の表面に出来た氷であるにもかかわらず、どのような機構でこのような特異な成長のしかたを示すのか明らかでない。

## VI. 氷山の氷

氷河の氷のc軸の分布については、すでにまえがきに述べたことが知られており、個々のグレインの大きさは氷の年齢、温度、氷が受けている応力の違いなどによって千差万別であることがわかっている。

第14図に示したのは、前記のパドルの近くに攔坐していた氷山の表面に平行な断面である。写真にはあらわれていないが、写真の面をいくつかの気泡の列が横切っており、互に相交っているものもある。第14図の断面のc軸の分布を示したのが第15図である。c軸の分布が特定の方向に集中していることがわかる。残念なことに、試料を採取した氷山の表面とこの氷山が含まれていた氷河の流れの方向、あるいは上下の方向との関係を知ることが出来なかった。そのため、第15図に示されているc軸の特異な方向が氷が受けた応力の方向あるいは流れの方向などと関係づけすることは出来ない。この氷の密度は0.80である。

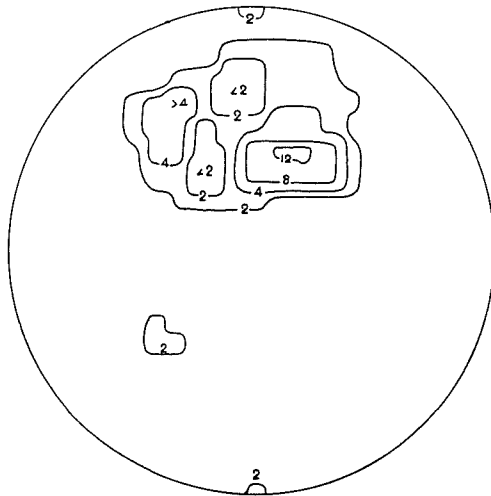
第14図の断面の各グレインの面積を第III節で述べたJohnson<sup>9)</sup>の方法で測定して面積別の頻度分布で示したのが第16図の破線である。横軸のグレイン指標 $N$ はグレインの面積をあらわす指標で、グレインの実際の面積が $2^{5-N} \text{ cm}^2$ であることを意味する。第14図に見られる氷山の氷の各グレインがほぼ球形であると見做すことが出来ると、第16図の破線で示した任意の断面におけるグレインの切り口の面積の頻度分布にJohnsonが実用化したSheil<sup>9)</sup>の理論を利用して、グレインの体積別の頻度分布及び表面積の頻度分布を求めることが出来る。それ



第14図 氷山の氷の断面 ×1

らの結果は同じ図中に実線および点線で示してある。

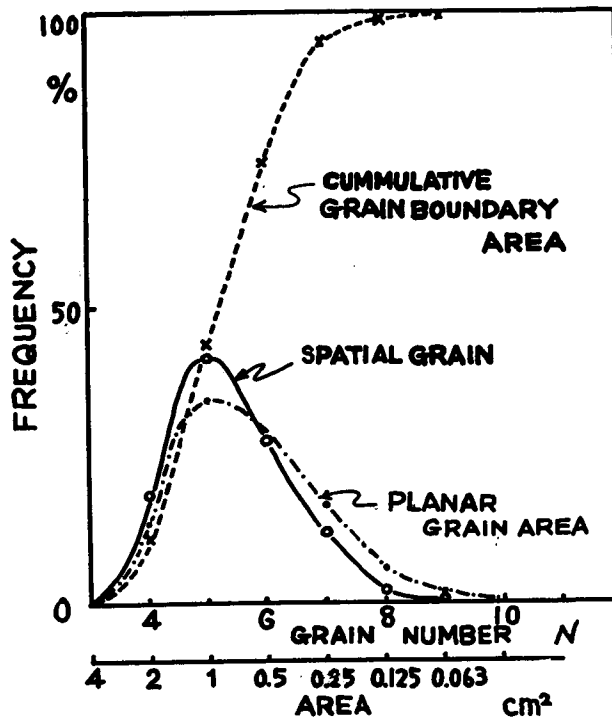
図における体積の頻度分布(実線)は、最大断面積が横軸のそれぞれの値であるようなグレインが実際に占めている体積比のことである。また、表面積をあらわす点線も同様に最大断面積が横軸のそれぞれの値のグレインの表面積の和が全グレインの表面積の和のなかで占める頻度を意味している。第14図のようなある断面では、あるグレインはその中心を通る面で切られているのでその最大断面積があらわれているが、他のものでは中心を通らない面で切られた



第15図 氷山の氷(第14図)結晶主軸方向の分布

断面があらわれているであろう。それ故、グレインの任意の断面における切り口の面積の大きさの分布とグレインの実際の体積の分布とは当然違ったものになる。たとえば第14図に示した断面では、切り口の面積が $1\text{ cm}^2$ のものが全断面積のほぼ35%を占めているが、氷全体から見ると最大断面積が $1\text{ cm}^2$ のグレインが全体積の42%を占めているのである。

氷河もしくは氷山の氷について、上に述べた方法を利用してグレインの大きさを測定する



第16図 氷山の氷(第14図)のグレインの大きさの頻度分布

ことはあまり行なわれていないようであるが、氷のグレインの消長を研究する場合に有力な方法のひとつと思われる。

#### あとがき

種々の氷の結晶構造の測定結果について報告したが、海水のグレインが氷の厚さの増加に伴って選択的に成長したり消滅したりする原因についてはふれることができなかった。また、パドルの氷の特徴ある粒子構造の成因についても同様である。このような点については別の機会に吟味したいとおもっている。

おわりにあたり、南極地域での氷の採取およびそれらの氷の安全な輸送に御協力を戴いた日本南極観測隊および巡視船宗谷の乗員諸氏、日本冷蔵株式会社に厚く感謝致します。又、海水の採取に御協力いただいた低温科学研究所海洋部門の諸氏、紋別市漁業協同組合、紋別市役所、北海道開発局紋別港湾修築事務所にも厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 田畑忠司・小野延雄 1957 海水の構造について. 低温科学, 物理篇, **16**, 197-210.
- 2) Weeks, W. F. 1958 The structure of sea ice: a progress report. Arctic Sea Ice., NAS-NRC., U.S.A., 96-99.

- 3) Johnson, W. A. 1946 Estimation of spatial grain size. *Metal Progress*, **49**, 87-92.
- 4) 小野延雄 1959 昭和基地周辺の氷 I. 低温科学, 物理篇, **18**, 179-187.
- 5) Scheil, E. 1935 Statistische Gefügeuntersuchungen I. *Zs. f. Metallkunde*, **27**, 199-210.  
Scheil E. 1936 Statistische Gefügeuntersuchungen II. *Zs. f. Metallkunde*, **28**, 340-343.

### Résumé

The crystallographic study of sea ice, icicle, puddle ice and ice-berg ice was made by utilizing thin plate of these sorts of ice and the universal stage. Puddle ice and ice-berg ice were collected in the Antarctic region near Showa Base by one of the present author N. ONO.

A thin plate of ice, thickness about 0.6~0.8 mm, was made by using a Japanese style carpenter's plane which is shown in figure 1. A slice of ice, thickness is about 1~2 cm, was sawed out from a block of ice. One surface of this slice was planed and then pressed on to a warm glass plate. A thin film of melt water was produced between the ice and the glass plate. It freezes within a short time and the slice of ice is firmly fixed to the glass plate. The ice then was made thin by shaving with the carpenter's plane. An ice plate of several tenths millimeter was easily obtained thus. This method is useful either in the field or under laboratory conditions.

Sea ice is comprised of long vertical grains except near the surface layer. Each grain itself consists of several thin parallel plates developed vertically. The individual grain area was measured in each of four horizontal sections which were 4, 7, 12 and 17 cm below the surface. The thickness of the sea ice was 18 cm. Figure 2 shows the relative area of each grain in every four sections. The abscissa is the grain size number  $N$  and is connected with actual area by the following relation.

$$\text{Grain area} = 2^{5-N} \text{ cm}^2.$$

From the figure, the tendency of increase of each grain area with the depth of the ice sample is obvious. The relation between the mean grain area and the depth of ice is shown in figure 3. Grain area seems to increase linearly with the depth as was also reported by Weeks (2).

Horizontal sections of sea ice are shown in figure 4. It is recognized that the elemental thin plate which stands vertically has not long horizontal dimensions such as are found across the grain but has a relatively short length and stands like a brick wall. The thickness of these thin plates is also increased slightly with the depth as is shown in table I.

An icicle has an interesting crystallographic structure. Figures 5 and 6 are horizontal cross sections while figure 7 is a vertical one. It seems that all grains grow horizontally but within a horizontal plane each grain grows radially; their own growth direction is estimable. The distribution of the dip  $\beta$  of c-axis and strike  $\alpha$  measured from the growth direction are seen in figures 9 and 10. For icicles A, B and C respectively, 56%, 48% and 43% of the total number of grains have strikes which exceeds 60 degrees. The ratio

of grains which have a dip less than 30 degrees are counted as 58, 48 and 63% for icicles A, B and C respectively. No uniform relation was found between dip and strike.

Puddle ice was formed on the surface of a puddle near Showa Base and the thickness was 12 cm. This ice consists of granular grains of nearly equal dimension. Vertical section is shown in figure 11 and the orientation of c-axis of each grain obtained from the horizontal surface and the bottom layer are seen in figures 12 and 13 respectively. No preferred orientation of c-axis is clear. Density of this ice is 0.82.

Figure 14 is one of the sections of ice-berg ice. The orientation of c-axis obtained from figure 14 is shown in figure 15. The ice-berg was a very small one. A correlation between the section shown in figure 14 and the surface or the direction of movement of the glacier, in which this ice-berg was included, is unfortunately not known. The physical meaning of preferred orientation of c-axis seen in figure 15, therefore, is not obvious.

This ice consists of fairly large grains. The area of each grain as in figure 14 was measured and its distribution is shown in figure 16. An actual volume distribution and cumulative relative grain boundary area of each grain can be obtained by applying Scheil's theory (5) and Johnson's method (3) to the observed distribution of grain area in any section. In figure 16, both relative spatial grain size distribution and cumulative relative grain boundary area are shown. In this ice-berg ice it is seen that the grain, its largest cross sectional area is grain size number 5, i.e., actual area equals  $1 \text{ cm}^2$ , occupies 42% in volume.