



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|------------------|---|
| Title | アラスカ沿岸定着氷およびラグーン氷のコア解析 |
| Author(s) | 河村, 俊行; KAWAMURA, Toshiyuki |
| Citation | 低温科学. 物理篇, 43, 163-170 |
| Issue Date | 1985-03-18 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18510 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 43_p163-170.pdf |



アラスカ沿岸定着氷およびラグーン氷のコア解析^{*,**}

河村 俊行

(低温科学研究所)

(昭和59年10月受理)

I. ま え が き

海氷は特有の結晶構造を持っている。海氷の成長とともにc軸が水平面に近い結晶粒が優先的に成長し、そうでない結晶粒は成長の途中で、他の結晶粒に喰われて消滅してしまう¹⁾しかし、c軸が水平面内にあるか、それに極めて近い結晶粒どうしても、さらに侵蝕が起っている²⁾。

我々の主な野外調査現場である、オホーツク海沿岸の塩水湖、サロマ湖では、海氷は高々30 cm にしか成長しない。このため、ここでの海氷結晶は十分に喰い合いが起ったとはいえず、その途中の形であるといえる。一方、アラスカ北岸では、毎年、氷厚が1.5 m を超える定着氷がみられる。そのためサロマ湖の海氷ではみられない喰い合いの進んだ結晶がみられる可能性がある。

そこで、著者は1984年4月、アラスカ、バロー付近の沿岸定着氷、およびこれと比較のためラグーンでの海氷を採取し、その塩分量、結晶構造についての解析を行なった。

II. コア採取地点と測定項目

第1図にコア採取地点を示す。コア試料は2カ所において採取した。1つはチクチ海に面したバローの海岸から100 m ほど沖に出た沿岸着氷(これを試料Iとする)であり、他はエルソンラグーンの、岸から50 m ほどの地点の氷(試料IIとする)である。このラグーンは砂洲の間の広い水路でビューフォート海と通じており、海氷の塩分量は外海のものと同しい。

試料I、IIの氷厚はそれぞれ169、110 cm であった。試料IIの採取地点の水深は浅く、氷の底は海底に着いていた。

コア採取は1984年4月3日に行なわれた。得られたコア試料(直径7.5 cm)は、その場で適当な長さに切断され、ドライアイスをつめた断熱箱に入れられ、紋別の流水研究施設まで空輸された。

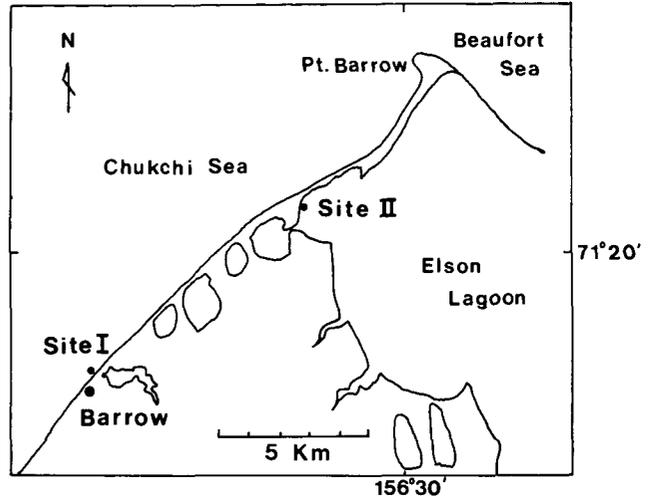
コア試料から、約10 cm ごとの水平断面の薄片を作成し、これらを観察し、結晶粒の面積、ブライン列の間隔とその方向を測定した。さらに薄片作成時に採った氷の屑を融かし、その塩

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2679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106号

分量を屈折計により測定した。

薄片観察に基づき、類似の結晶構造を持つ層から代表的な層を選び、結晶粒の結晶軸方位の分布をX線ラウエ法により測定した。



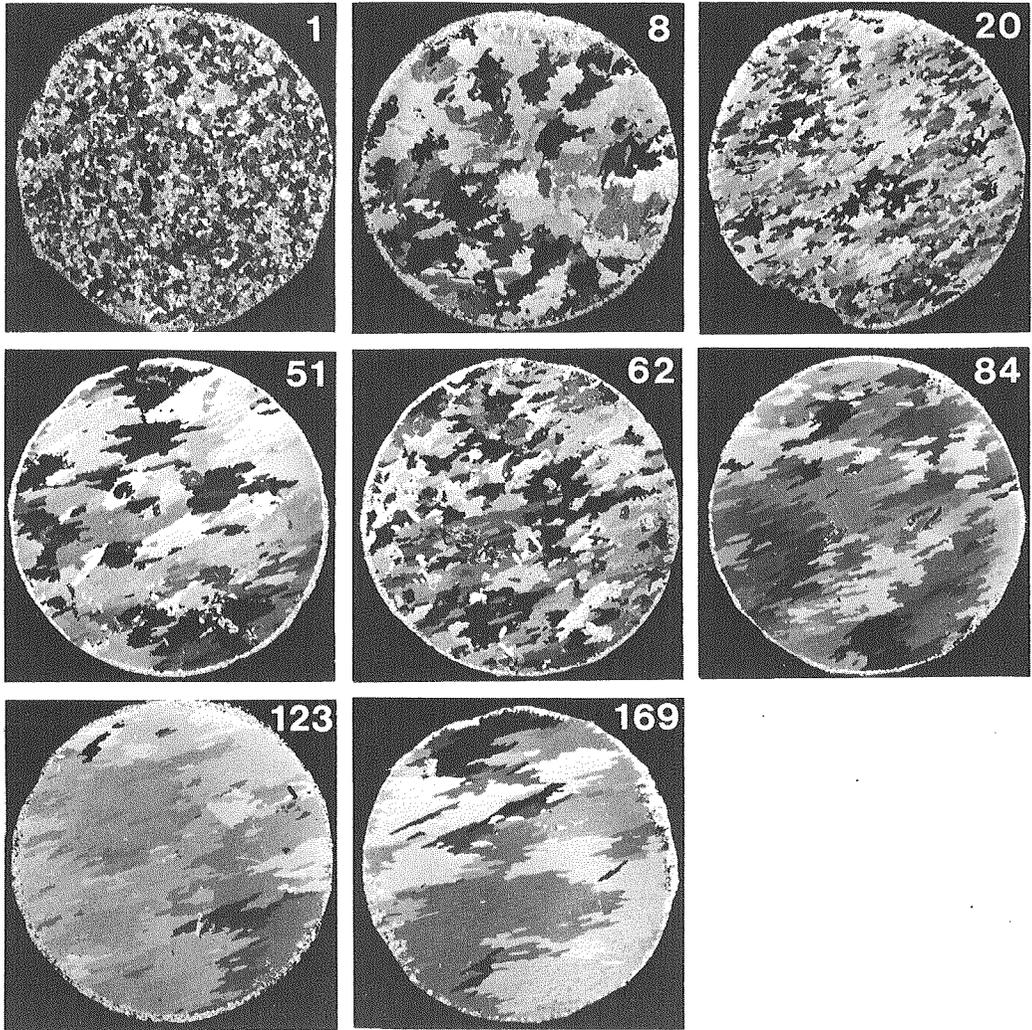
第1図 コア採取地点

III. 測定結果および考察

第2図および第3図に、それぞれコア試料I、IIの薄片写真を示す。いずれも表層およびX線にて結晶軸方位を調べた層のものである。表層は積雪が氷化した上積氷としての「ゆき氷」からなり、その結晶粒は極めて小さい。このため通常のX線ラウエ写真をとるには不適當であったが、おそらくその結晶軸方位は無秩序に分布しているものと思われる。このゆき氷の部分はコア試料Iで約5 cm、IIでは12.5 cmであり、我々がオホーツク海沿岸のサロマ湖で見えるものよりも、かなり薄い。特に結氷初期の降雪が少なかったことが想像される。

第4図に、コア試料Iの各層の塩分量 S および結晶粒の平均面積 \bar{S}_g 、ブライン列の平均間隔 \bar{a}_0 の鉛直分布を示す。塩分量は表層および最下層で高く、中間の層では低い値となっている。これは、1年氷に極めてよく見られる分布の形である。表層で高塩分なのは、ゆき氷への海水のしみ上がりの影響であろう。中間の層はいわゆるブラインの押し出しによって塩分量が低下したのであろう。結晶粒の平均面積は、薄片写真で見られるように、表層では極めて小さな値となっており、72 cm 深まで約0.1~0.2 cm²/個の範囲にあるが、それ以深で急激に大きくなっている。ブライン列の平均間隔は51 cm に極大があり、それ以深で何度も増減をくり返しながら減少し、123 cm で極小値を持ち、その後再び増大している。

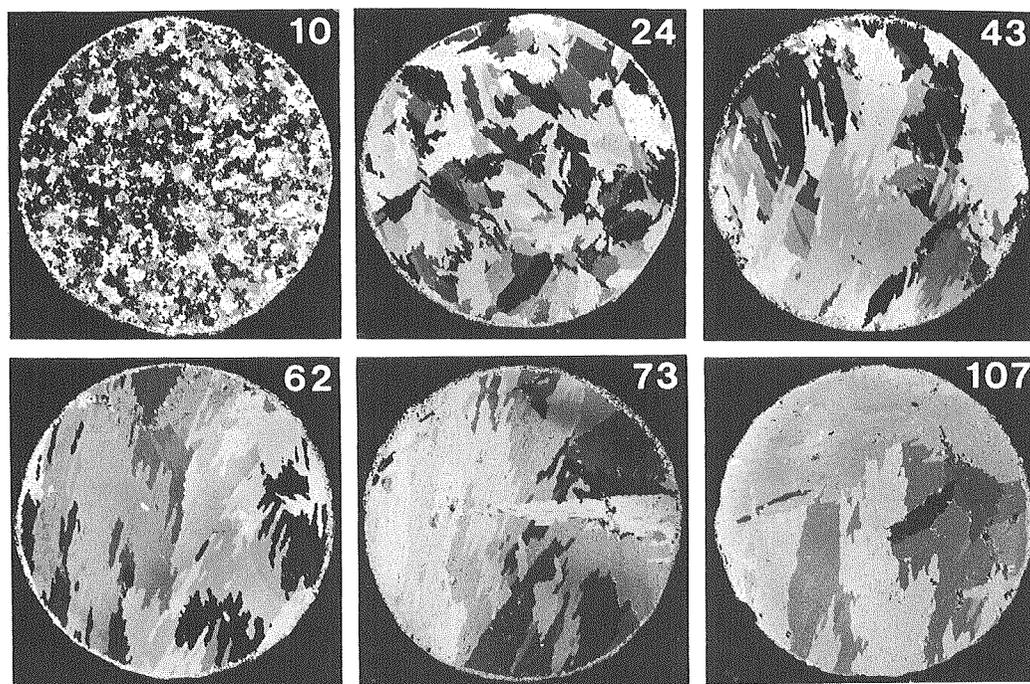
上述の3つの量について、深さ40~100 cm の間を詳細に見てみる。 S は51, 84 cm に極小値, 62~72 cm, 94 cm に極大値を持っている。一方、 \bar{S}_g は51, 82 cm に極大値を、62 cm に極小値を持つ。さらに、 \bar{a}_0 は51, 84 cm に極大値, 72, 94 cm に極小値を持っている。Nakawo and Shinha³⁾はカナダ北西準州、パフフィン島の北部での海水の観測結果から、底層の部分を除いて、 S と \bar{a}_0 との間に逆相関の関係があることを述べている。この試料の40~100 cm の範囲でも、それらに逆相関関係がみられる。しかし、100 cm 以深では、 \bar{a}_0 には極大・極小が現われているが、 S にはそれに対応するものがなく、最下層を除いてほぼ一定となっており、40~100 cm でみられるような関係は得られない。さらに、 \bar{S}_g は S とは50~90 cm で極大値と極小



第2図 コア試料Iの水平断面薄片写真, 直径7.5 cm, 右肩の数字は深さ (cm) を示す

値に対応がみられる。しかし、この対応も100 cm 以深では全く認められない。

これらの50~100 cm での変動は62~72 cm の層が特異な層であることを示している。第2図の51 cm 層と62 cm 層の薄片とを比較すると、62 cm 層の結晶構造は51 cm 層の結晶粒の中に、丸味を持った結晶粒が多数入り込んだ構造となっている。このことはX線による結晶軸分布の測定の結果からも確かめられる。第5図に、このコア試料の各層のc軸の鉛直線からの角度 θ_c の平均値、およびc軸の方位角 φ_c の標準偏差の鉛直分布を示す。海水の場合、成長とともに θ_c が 90° に近い(つまりc軸が水平面に近い)結晶粒が、それ以外の結晶粒を喰いその面積を拡大する。従って、 θ_c の平均値は、深さとともに 90° に近づく。一方、 φ_c は、水平面内に任意の方向を持つことができるが、Weeks and Gow⁴⁾は、アラスカ北岸のチクチ海とビューフォート海のいろいろな地点で採取した海水について、 φ_c に強い方向性のあることを見つけ、その原因を海流の影響とした。そして深さとともに、その方向性は強くなると述べている。従っ

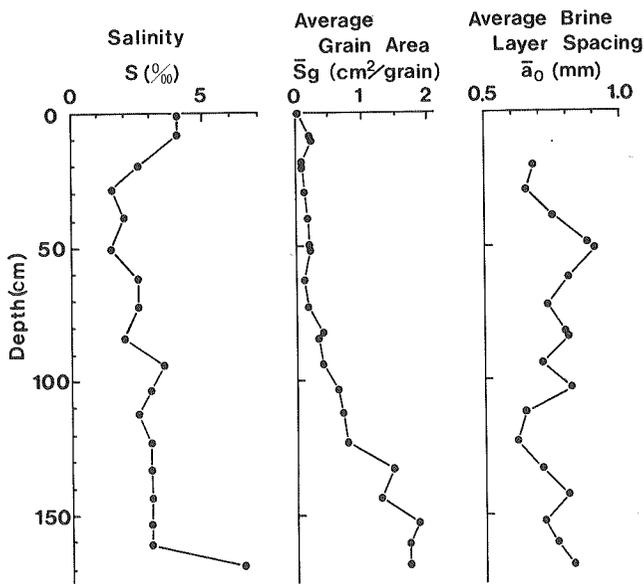


第3図 コア試料IIの水平断面薄片写真,直径7.5 cm, 右肩の数字は深さ (cm) を示す

て深さとともに ϕ_c の標準偏差は小さくなる。コア試料Iについては、上述の一般的な傾向が62 cm層を例外として認められる。62 cm層は上下の層と比較して、 θ_c の平均値の小さな、 ϕ_c の標準偏差の大なる層であることが分かる。また51 cmと62 cm層との間で、結晶軸方位の対応から、同一結晶粒とみなされる結晶粒も見出された。以上のことから、62~72 cm層は52 cm層の結晶粒の中に、 θ_c の小さな結晶粒が入り込んでできている層であるといえる。

Nakawo and Shinha³⁾ は

海水の塩分量と成長速度に正の相関があると述べている。その関係がこの海水にも当てはまるとすると62~72 cm層がその上下の層と比較して高塩分であることから、この層の形成時に成長速度が増大したと考えられる。このことが直接または間接的な原因となり、例えば、海水結



第4図 コア試料Iの塩分量 (S), 結晶粒の平均面積 (\bar{S}_g), ブライン列の平均間隔 (\bar{a}_0) の鉛直分布

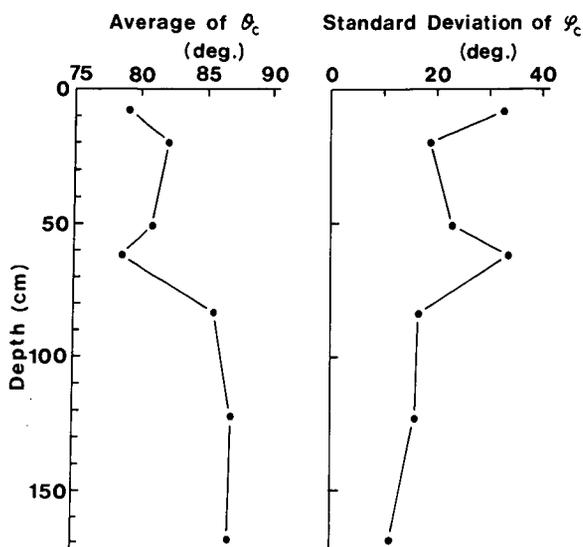
晶の樹枝状成長の枝が曲がったり折れたりしたか、海氷中で新たに発生した氷晶が浮き上がり、固液界面に付着したことも考えられる。このような結晶粒の結晶軸方位は無秩序であり、 θ_c の小さな結晶粒は、成長とともに他の結晶粒に喰われ84 cm層ではほとんど存在しなくなっているものと思われる。

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ヒストグラムを第6図に示す。52 cm層は84 cm以下の層の分布と似ているが、62 cm層は上層のものに類似している。

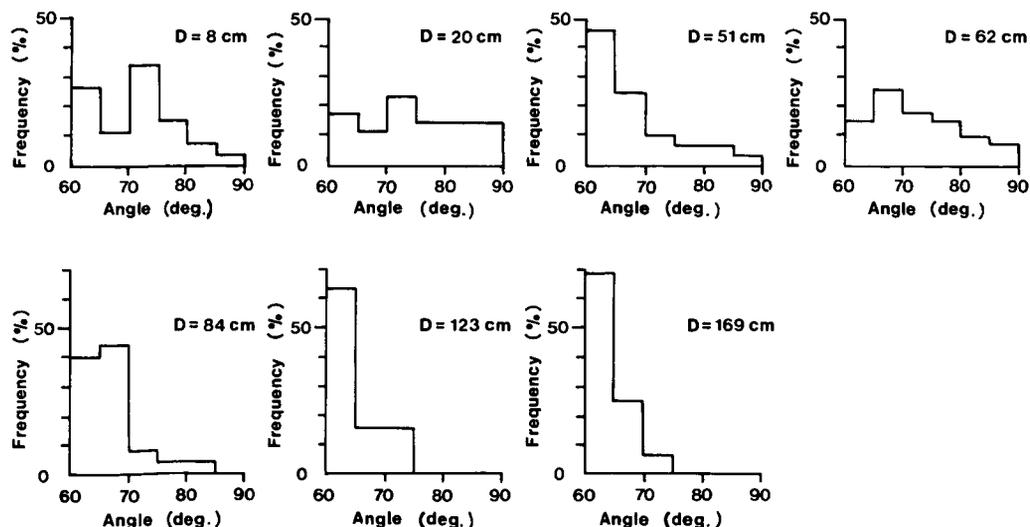
このことから62 cm層はその上下のものとは異なることが裏付けされる。

第6図から下層ほど60°に近いものが多くなる。これらの層ではc軸はほとんど水平面内にあるので、a軸が鉛直線（従って成長方向）に近いものが、優先的に成長することを示している。著者は以前、バロー沖で人為的に作ったプールに結氷した新生海氷（厚さは約20 cm）における測定で、a軸が鉛直方向を向く結晶粒とともにb軸鉛直のものも優先的であるという結果を得た⁵⁾。今回の試料ではb軸鉛直のものは下層では見られなかった。成長が進むとa軸鉛直の結晶粒がより優先的に成長するのかも知れない。

第7図に、コア試料IIの塩分量 S 、結晶粒の平均面積 $\overline{S_g}$ およびブライン列の平均間隔 \overline{a} の鉛直分布を示す。 S は試料Iと同様、中間の層に極小値を持っている。しかし試料Iとは異

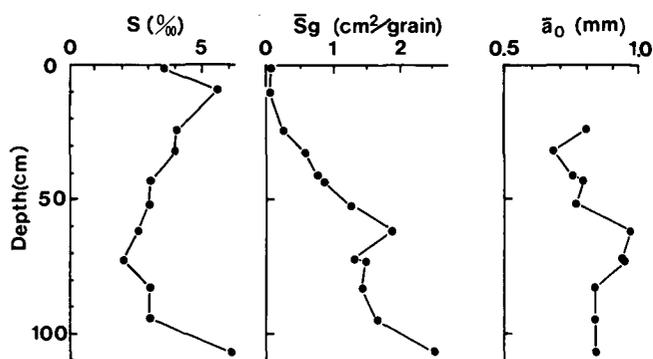


第5図 コア試料Iのc軸の鉛直線からの角度(θ_c)の平均値とc軸の方位角(ϕ_c)の標準偏差の鉛直分布



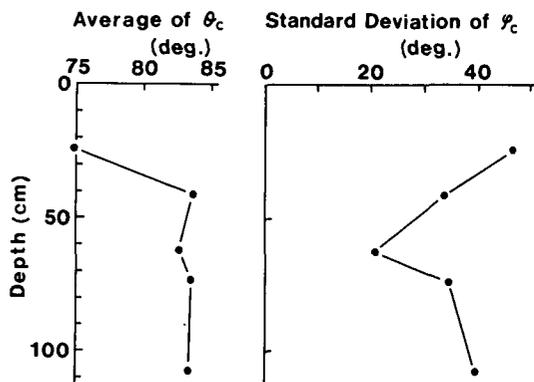
第6図 コア試料Iのa軸の鉛直線からの角度の分布

なり、最上層が極大となっていないのは、ゆき氷の部分が多く、海水のしみ上がりが充分でなかったためであろう。 \bar{S}_g は24 cmから急激に増大し、62 cmで、試料Ⅰの底層よりも大きな値となっているが、70~80 cmで少し減少し、それ以深でさらに増大している。 \bar{a}_0 は62~73 cmで大きくなり、ここでも S とは逆相関となっている。



第7図 コア試料Ⅱの塩分量 (S)、結晶粒の平均面積 (\bar{S}_g)、ブラインの平均間隔 (\bar{a}_0) の鉛直分布

第8図に、この試料の c 軸の鉛直線からの角度 θ_c の平均値と、 c 軸の方位角 φ_c の標準偏差の鉛直分布を示す。 θ_c の平均値は、41 cm で急激に増大するがそれ以深でほとんど一定の値となる。 φ_c の標準偏差は、62 cm まで急激に減少するが、それ以深で逆に増大している。このことと、第3図の薄片写真とから、62 cm 層以深で、コアの外部から、全く別の c 軸の方位角を持つ結晶粒の θ_c は、固有の結晶粒と同じ程度の値を持っており、その面積を拡大していることが、試料Ⅰの62~73 cm 層とは異なるところである。62 cm まで顕著になってきた c 軸の方向性が再び悪くなったのは、コアの外部から侵入した結晶粒のためである。



第8図 コア試料Ⅱの c 軸の鉛直線からの角度 (θ_c) の平均値と c 軸の方位角 (φ_c) の標準偏差の鉛直分布

a 軸の鉛直線からの角度の分布では、コア試料ⅡはⅠと異なり、明確な優先方位はなかった。海流が a 軸にも影響しているのかも知れないが、確かなことは今のところよく分らない。今後の課題としたい。

IV. ま と め

アラスカ、バロー付近の沿岸定着氷およびラグーンでの氷を採取し、解析した結果、これらのコア試料は以下の特徴を持っていることが分った。

(1) 沿岸定着氷およびラグーン氷の中間の層で塩分量とブラインの平均間隔との間に負の相関があったが、下層では明確な関係はなかった。

(2) 沿岸定着氷では62 cm 層を例外として、下層ほど c 軸の方位角に著るしい方向性がみられたが、ラグーン氷では下層で顕著でなくなった。

(3) 沿岸定着氷の62~72 cm 層に何かの擾乱によって、別の結晶粒が入り込んでいること

が認められた。しかし、この結晶粒は成長とともに消滅した。

(4) ラグーン氷では、コア外部から別の結晶粒が入り込んでおり、成長とともに拡大した。

(5) 鉛岸定着氷では a 軸が鉛直方向を向く結晶粒が下層に多く存在したが、ラグーン氷では明確ではなかった。

今回のコア採取にあたっては、アラスカ大学の J. F. Kelley 博士、T. A. Gosink 博士には多大な御協力、御助言をいただき、緒々の便宜を与えていただいた。心より感謝いたします。アラスカ、バローのノース・スロープ・ボローの皆様には現場への案内などに御協力をいただいた。また青田昌秋教授には現場での作業と海水の運搬についての交渉に御尽力いただいた。さらに福士博樹氏には現場での作業に御協力いただいた。併せて深く感謝の意を表します。

この調査に要した経費はアラスカ調査旅費によった。

文 献

- 1) Perey, F. G. J. and Pounder, E. R. 1958 Crystal orientation in ice sheets. *Canadian J. Phys.*, **36**, 494-502.
- 2) 河村俊行 1982 海水の結晶方位の測定, 低温科学, 物理篇, **41**, 172-178.
- 3) Nakawo, M. and Sinha, N. K. 1984 A note on brine layer spacing of first-year sea ice. *Atmosphere-ocean*, **22**, 2, 193-206.
- 4) Weeks, W. F. and Gow, A. J. 1980 Crystal alignments in the fast ice of arctic Alaska. *J. Geophys. Res.*, **85**, C 2, 1137-1146.
- 5) 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, 新生海水の結晶軸の測定, 低温科学, 物理篇, **39**, 175-180.

Summary

Two core samples were collected near Barrow, Alaska, in April 1984. One was shore fast sea ice off Barrow, 162 cm long, and the other was fast sea ice at Elson Lagoon, 102 cm long (Fig. 1). The average grain area (\bar{S}_g), average brine layer spacing (\bar{a}_0) and salinity (S) of the samples were measured at every 10 cm in depth. Further, crystallographic orientations were determined by means of X-ray Laue photography. The following characteristics have been disclosed:

(1) The value of S is inversely correlated to \bar{a}_0 at depths ranging from 40 to 100 cm for the shore ice (Fig. 4). For the lagoon ice, the similar relation holds between S and \bar{a}_0 in the middle layers (Fig. 7). In both samples, however, the above relation is not significant in the lower layers.

(2) The crystals of the shore fast ice have striking c -axis alignments within the horizontal plane except in the layer 62 cm deep (Fig. 5). On the other hand, in the lagoon ice, although this alignment becomes stronger with increasing depth as far down as the middle layer, it is not clear below it (Fig. 8).

(3) The layers 62 cm and 72 cm deep of the shore ice are different from the layers between them; for example, smaller average angle between the c -axis and the vertical line as well as larger standard deviation of the azimuth of the c -axis, these values being similar to those in the surface layer (Figs. 4 and 5). From the results of the above and the observation of thin sections, it is concluded that

different grains are contained in the layers between 62 and 72 cm in depth. The contained grains do not have preference of growth; thus, as they grow, they are wedged out by other grains.

(4) Although the standard deviation of the azimuth of the *c*-axis in the lagoon ice decreases markedly with growth up to 62 cm, it increases below this layer (Fig. 8). The photographs of thin sections of the lagoon ice show that the grains with the quite different azimuth of the *c*-axis break into the inherent grains and increases in area. Therefore, the standard deviation of the azimuth has its minimum in the middle layer.

(5) The angle between the *a*-axis and the vertical line seems to have the maximum distribution around 60 degrees in the lower layer of the shore ice (Fig. 6), whereas it distributes randomly in the lagoon ice.