



Title	岩屑を含む氷河水の構造と組織
Author(s)	遠藤, 八十一; ENDO, Yasoichi
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 177-184
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18180
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p177-184.pdf



岩屑を含む氷河水の構造と組織*

遠藤 八十一
(低温科学研究所)
(昭和46年10月受理)

I. 緒 言

氷河はその流動の際に、基盤岩石を破碎研磨し、それによってできた岩屑を取り込んで運搬する。氷河末端近くの氷崖には、岩屑を含んだ黒い氷がしばしば見られる。時には岩屑の分布が示す模様から氷にかかっておこった褶曲や断層を知ることができる¹⁻⁴⁾。このように、氷の中に岩屑が含まれている場合には、その過去の変形や流動を推定できる場合が少なくない。一方、氷の中に岩屑が混入すると氷の変形速度が著しく小さくなり、氷河の流動が大きな影響を受けることもわかってきた⁵⁾。

このように、岩屑を含んだ氷は氷河の流動や変形を知るための手がかりを与えるばかりでなく、ひいては氷河の流動機構の解明に大いに役立つであろう。しかし、今までのところ、岩屑を含んだ氷の構造の研究、特にその微細構造や組織の研究はほとんど行なわれていない。この報告は、南極昭和基地近くにあった黒い氷山から採取した氷の微細構造とその組織を調べた結果である。

II. 岩屑の成分

南極昭和基地の南約 10 km の海上に黒い氷山が浮んでいた。長さ 10 m、幅 10 m、高さ 3 m で、人頭大の石からシルトまでの岩屑を含み、全体が真黒に見えた。南極大陸の氷崖のなかに見られる黒い氷が離脱して海に浮んだものに疑いはない。この論文では、便宜上、直径 2 mm 以下の細かい岩のかけらだけを岩屑と呼ぶことにする。図版 I-1 がこの氷山から採取した、さしわたし 30 cm ほどの氷の試料の写真である。氷の中に含まれていた岩屑の割合は、重量比にして 5% であった。第 1 表が岩屑の成分である。これらの鉱物は、一種類の岩石の鉱物ではなく、何種類かの岩石の鉱物から成っている。昭和基地付近の大陸の露岩でこれらの鉱物を産出するのは、昭和基地の南約 70 km の海岸にあるスカーレン露岩だけである。大陸氷の下の基盤岩石の詳細が不明なため確かなことは言えないが、一応この黒い氷

第 1 表 氷山中の岩屑の成分

斜 長 石	角 閃 石	方 解 石
正 長 石*	斜 方 輝 石	ジ ル コ ン
微 斜 長 石	単 斜 輝 石	テ タ ナ イ ト
石 英	ざ く ろ 石	鱗 灰 石
黒 雲 母	ス ピ ネ ル	緑 泥 石
白 雲 母	か ん ら ん 石	

* パーサイト組織をもつ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1136 号

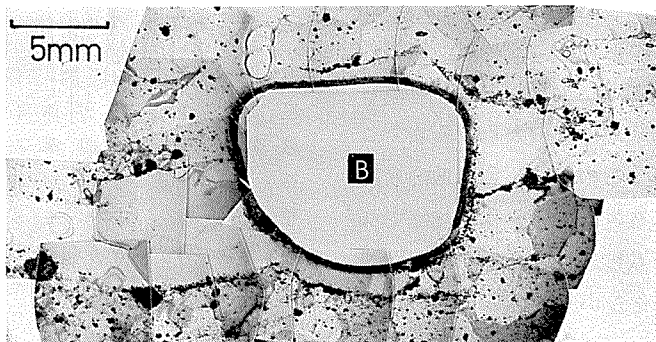
山は、スカーレンの露岩のかたわらで海に注ぐスカーレン氷河から流れ出したものと考えられる。

III. 岩屑を含んだ氷の構造

採取した試料を鋸切りで切断し、厚さ約2 cmの氷の板にした。図版 I-2 が、その氷の板を透過光で見た写真である。岩屑の量の多少が黒と白の縞を現わして、この氷が白い透明な氷の板と黒い不透明な氷の板とを交互に重ね合せた構造であるとの印象をあたえる。しかし、実際の構造はそのようなものではない。図版 I-2 の縞模様を直角に切断すると、透明な氷の断面は板状でなく、扁平な楕円形をしていることがわかる。図版 I-3 がその写真である。写真は反射光のもとで撮影したので、透明な氷の部分が黒く見えている。すなわち、図版 I-2 の白い縞は、横断面が楕円形の透明な氷のひもの縦断面なのである。ただし、図版 I-2 の左上にある幅2 cmの白い帯Cだけは透明な氷の板である。

氷の中に分散した岩屑は直径2 mm以下の細かい粒子であるが、直径が1 cmをこえる礫もまざっている。図版 I-2 の写真のA、Bで示した黒い部分がその礫である。透明な氷のひものは、この種の礫から左右に伸びだしているのである。

図版 I-2 の氷の板を熱した銅板で徐々に融かして礫Aを含む厚さ0.5 mmの薄片にした。図版 I-4 がその薄片の写真である。礫は薄片から取りはずした。Aと印した穴が礫Aのあった跡である。礫Aの穴の左下隅から左に向って2 cmあまりの長さにわたり、岩屑を含まない透明な幅5 mmほどの氷の帯が伸びている。これが礫Aから伸びだした透明な氷のひもの切断面である。不幸にして薄片を透明氷のひもの軸が薄片内にあるように作れなかった。それで薄片には透明氷の帯が根元に近い2 cmほどしか現われてない。透明氷のひものは図版 I-2 の写真からわかるように、実際には、礫Aから左の方に長く伸びているのである。礫Aの右肩から出発する透明氷のひものは、図版 I-4 の薄片では、その根元だけが見える。この右の方へのびる透明氷のひもの図版 I-2 の写真に認めることができる。図版 I-4 の薄片の写真の上縁にそって岩屑が存在しない。これは図版 I-2 の写真の透明氷の板Cの部分である。図版 I-5 の写真は図版 I-4 の薄片を直交ポラロイド板の間にはさんで見た有様である。礫Aからでる透明氷のひものが、岩屑をふくむ一般の氷の結晶粒にくらべて少し大きい透明結晶粒でできていることがわかる。透明氷の板Cを構成する結晶粒は一般の結晶粒にくらべるとかなり大きい。

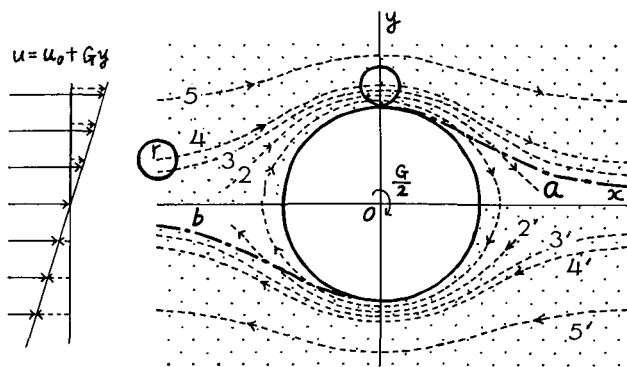


第1図 礫Bを含む薄片の偏光顕微鏡写真

礫 B は礫 A にくらべると表面から深い所にある。それで図版 I-2 の厚い板では板の表面近くに分散した岩屑にかくされて、礫 B からでる透明氷のひもを見ることができない。しかし、礫 B を含む薄片を作ると、礫 B の付近も礫 A のまわりと全く同じ状態であることがわかる。第 1 図が礫 B のまわりの薄片の顕微鏡写真である。礫 A の場合と同様、礫 B の右上隅と左下隅とに、右方向と左方向とに伸びだした透明な氷のひもの根元がみえる。分解能の高い顕微鏡でとった写真だから、図版 I-4 にくらべると岩屑の分布が明瞭に現われている。第 1 図の写真から透明氷のひもの周辺に多量の岩屑が沈積していることがわかる。また、薄片を作る際に取り除いた礫の表面にも多量の岩屑が付着していた。透明氷のひもを作りだした氷のなかに始めにあった岩屑が沈積したものと考えて間違いあるまい。

IV. 透明な氷のひもの生成についての考察

以上の観察から、透明氷のひもの生成について考えてみよう。黒い氷山が氷河の一部をなしていたとき、その氷が第 2 図の左端に示した速度分布に従って流動していたとしよう。流れの方向に x 軸をとり、 x 軸に直角に y 軸をとると、 x 方向の流れの速度 u は、 $u = u_0 + Gy$ で与えられる。水を粘性流体と考え、このいわゆるクエットの流れのなかに球形の礫があったとすると、礫のまわりの流線の形は、球の中心とともに移動しつつ眺めた場合、同図の矢印をつけた破線の曲線群で表わされる⁶⁾。図からわかるように、全ての流線 1, 2, ..., 5, 2', ..., 5' は、 y 軸上で礫に最も接近する。礫は回転速度 $G/2$ で回転するから、礫の表面近くにある氷も礫とともに回転する。従って、礫の近くの流線は曲線 1 のように閉じた流線となる。



第 2 図 クエットの流れの中におかれた球形の礫のまわりの流線

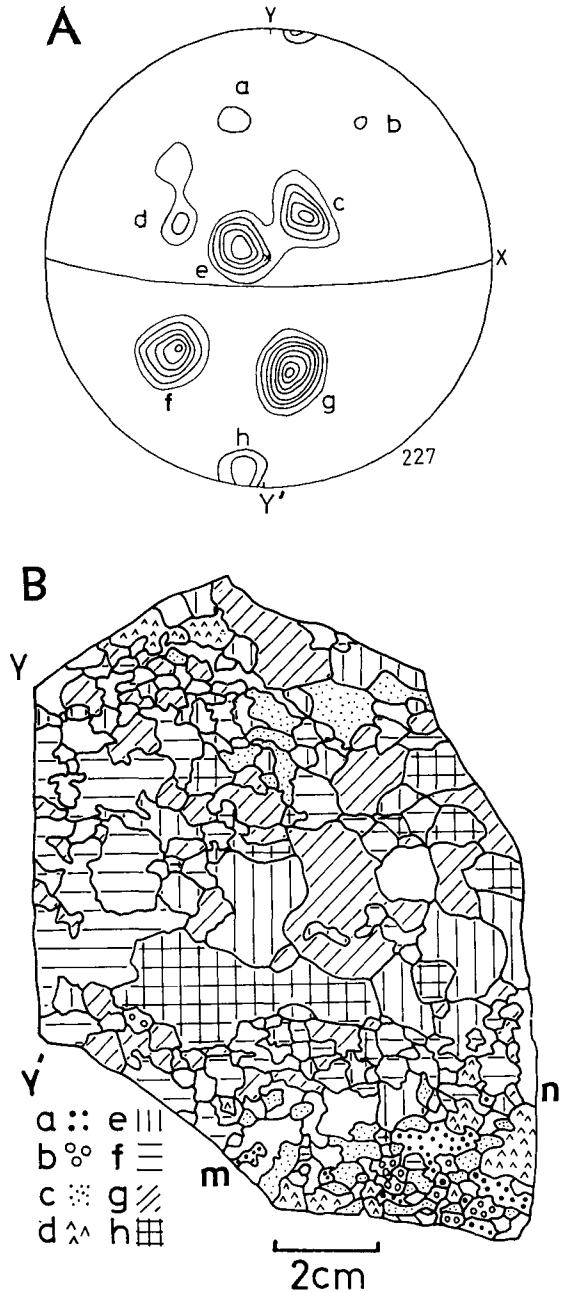
左端の図は礫が存在しない場合の氷の速度分布(クエットの流れ)を示す
 右の図の原点 0 にある大きい円が礫、小さい円が岩屑、破線 1, 2, 2', 3, 3', ...
 が礫のまわりの流線を示す。もし礫と岩屑との大きさの比がこの図の程度のも
 のであり、かつ、岩屑の中心が流線にそって移動すると仮定できるなら、礫と鎖線
 と x 軸とに囲まれた部分 a, b に透明な氷が出来ることになる。

今、礫の半径に比べると小さい半径 r の岩屑が、氷の中に一様に分布しており流線に沿って流れると考えよう。図の小さい円が一箇の岩屑を表わす。第 2 図に示されているように、流線 4 に沿って流れる岩屑は y 軸上に来たとき礫と接触する。流線 1, 2, 3, 2', 3', 4' 上の岩屑も当然礫と接触する。接触した岩屑は、礫と完全に付着して礫に捕獲されると考えると、第 1 象

限の鎖線と x 軸とにはさまれた部分 a と第 3 象限の鎖線と x 軸とにはさまれた部分 b は、岩屑のない透明な氷になる。礫によるこのような岩屑の捕獲が長年月つづけば、実際の場合にかなり似たありさまで透明な氷のひもが礫の左右に伸びることになるであろう。

しかし、礫の大きさに比べ岩屑が第 2 図の程度に大きい場合は、岩屑の中心が流線に沿って動くとは考えられない。岩屑自体がまた流れを変更し、その影響で礫のまわりの流線の形が第 2 図のものとは違ってしまふからである。また、今のところ x 軸付近を進む大きい岩屑を上記のようにして礫が捕獲するか、しないか、理論的に判断することが難かしい。しかし、図版 I-4 や第 1 図の写真にみられるように大きい岩屑の数は非常に少ない。それゆえ、仮に大きい岩屑が礫によって捕獲されるとしても、それだけでは透明氷の生成を説明することはできない。数の多いのは直径 0.1 mm 以下の小さい岩屑だからである。ただ、この種の小さい岩屑ならば、ほぼ第 2 図に示した流線に沿って動くと考えてよい。ところが、小さい岩屑はたとえ x 軸の近くを礫に向かって進んで来たとしても、礫とともに回転する氷の薄い層に距てられるため、 y 軸上に達しても礫の表面に接触できない。つまり、小さい岩屑には礫によって捕獲される機会がない。

以上のように、礫のまわりの氷の粘性流動そのものによっては、透明な氷の成因を説明することができない。しかし、礫から右に向う透明氷のひもが礫の右肩から発し、左に向うひもが礫の左腰から発することは、黒い氷山の氷が氷河のなかにあったとき、第 2 図の左端に示したような剪断流動をおこしていたことを強く示唆する。礫のまわりでは氷の応



第 3 図 岩屑を含んだ氷の結晶粒の結晶主軸方向

- A 主軸方向の分布を示す組織図 (等高線間隔は 2% 毎)
- B 組織図 A を作るために使った氷の薄片のなかにある結晶粒境界の見取図。各結晶粒の主軸方向は各結晶粒につけた模様によって示される

力が強いに相違ない。流動する氷が礫に近づくにつれ応力は増し、礫の近くを通りすぎると応力は次第に緩和する。この応力の変化のために再結晶がおこり、新しく発生した結晶粒が岩屑を排除しつつ成長したことが、透明な氷のひもの成因ではないかと想像される。

V. 結晶主軸方向の分布

黒い冰山から採取した図版 I-1 の試料から図版 I-2 の写真の氷の板を切りとるとともに、同じ写真の y と y' とを結ぶ線にそって氷の板と直角な一枚の薄片をつくった。この薄片のなかの氷の結晶粒の結晶主軸方向を氷用ユニバーサル・ステージで決定した結果が第 3 図である。同図の **A** は結晶主軸方向をシユミット・ネットに投影して得た組織図表 (Fabric diagram) である^{7,8)}。同図の **B** は結晶粒界の見取図である。中央横に走る大きい結晶粒からなる帯が透明氷の板 **C** にあたる。各結晶粒の主軸方向は、結晶粒につけた模様と図 **B** の下隅につけた凡例とから知ることができる。たとえば、縦に線をいれた結晶粒は図 **A** の e の方向に主軸をむけており、横線を入れた結晶粒の主軸は図 **A** の f の方向にある。組織図表からわかるように、主軸方向の分布密度には 4 個の極大 c, e, f, g と 4 個の重極大 a, b, d, h とがある。図 **B** の結晶粒の大半は e, f, g, h 方向の結晶粒で占められている。しかし、下端から 2 cm のところの m と n とを結ぶ線を境にして、それから下の結晶粒は突然に主軸方向を a, b, c, d 方向に変えている。図には示していないが、**B** 図の下に続く薄片の結晶主軸方向も全て a, b, c, d 方向であった。結晶主軸方向が突然に変化する境界は、結晶粒の大小による境界や岩屑によってできる境界と一致しない。

上の例が示すように、主軸方向がある境界で突然変化することに注意する必要がある。この種の境界が現われる理由は明らかでないが、氷河の流動と密接な関係にある境界にちがいない。主軸方向の分布を示す組織図を作るだけではこの境界は発見できない。第 3 図-**B** のような個々の結晶粒の配置にその主軸方向とを示す図を作る必要がある。

終りに氷の中の鉱物成分の岩石学的検査をしていただいた北大理学部地質学教室木崎甲子郎助教授ならびに礫のまわりの氷の粘性流について多くの御教示を賜った新潟大学工学部協屋正一教授に対し感謝の意を表します。また、当研究所の吉田順五教授、黒岩大助教授、若浜五郎助教授からは多大の御指導と御援助を受けた。ここに心からお礼申し上げます。ここに報告した氷の試料は第 9 次南極観測の際に採取したものである。この研究に要した費用の一部は、文部省科学研究費、第 9 次南極観測隊資料整理費によってまかなわれた。

文 献

- 1) Hooke, R. L. 1970 Morphology of the ice sheet margin near Thule, Greenland. *J. Glaciol.*, **9**, 303-324.
- 2) Swinzow, G. K. 1962 Investigation of shear zones in the ice sheet margin, Thule area, Greenland. *J. Glaciol.*, **4**, 215-229.
- 3) Bulton, G. S. 1970 On the origin and transport of englacial debris in Svalbard glaciers. *J. Glaciol.*, **9**, 213-228.

- 4) Bulton, G. S. 1970 On the deposition of subglacial and Melt-out tills at the margins of certain Svalbard glaciers. *J. Glaciol.*, **9**, 231-245.
- 5) Hooke, R. L. 個人書簡による。
- 6) Wakiya, S., Darabaner, C. L. and Mason, S. G., 1967 Particle motions in sheared suspensions XXI. *Rheologica Acta*, **6**, 264-273.
- 7) Langway, C. E. 1958 Ice fabrics and the universal stage. *SIPRE Tech. Rept.* **62**, 1-16.
- 8) 渡辺興亜・大浦浩文 1968 偏圧による氷結晶主軸の定方位性についての実験的研究. I. 低温科学, 物理篇, **26**, 1-28.

Summary

While staying at the Syowa Base in Antarctica, the author found a dark ice berg floating about 10 km off shore. He took from this ice berg a sample of ice (Pl. I, Photo. 1) and studied its internal structure and texture.

The ice contained an abundance of rock fragments smaller than 1 mm, which made the ice berg look dark. When the sample was cut into a plate 2 cm thick and looked at through transmitted light, black and white stripes appeared on its surfaces as shown in Photo. 2 of Pl. I. Photograph 3 of Pl. I is a cut surface of the sample sectioned at a right angle to the stripes. Black patches in the form of small circles or flat ellipses seen on the cut surface show transparent ice embedded within the dark ice containing rock fragments. The patches look darker than the surrounding ice, because the cut surface is looked at under reflected light. Photographs 2 and 3 suggest that thin and long cylinders of transparent ice circular or elliptic in the sectional circumference run throughout the sample of dark ice parallel to one another. That this is actually the case and that the cylinders start from pebbles sparsely scattered in the dark ice were shown by the following procedures. The black figures marked A and B in Photo. 2 of Pl. I are pebbles of about 1 cm in diameter. By melting the plate of Photo. 2 into slices of 0.5 mm in thickness between hot copper plates, the author found that long cylinders of transparent ice stretched out from each of the pebbles on both sides in the direction of the stripes. Photo 4 of Pl. I shows the slice containing pebble A and Photo. 5 shows the same slice observed through crossed polaroids. Pebble A had been located at the hole A in these photographs. In order to see the distribution of rock fragments more closely, parts of the slice containing pebble B were taken on a number of photographs under a microscope by displacing the slice little by little. Figure 1 in the text gives the microphotographs linked together to illustrate the state around pebble B. In both cases of pebbles A and B, one sees that a short band of clear ice having no rock fragments within starts to the right from the upper half of the right side of the pebbles while another band of the same nature extends leftward from the lower half of their left side. During the processes of thinning the plate of Photo. 2 of Pl. I into the slices, the author could see that long cylinders of transparent ice gradually disappeared leaving only those short bands of clear ice in the slices. Therefore the bands are nothing but the small portions of the transparent cylinders cut off near their starting points. Thick white band C in Photo 2 of Pl. I is certainly a section of a plate of clear ice, but the other white stripes seen in the same photograph are no more than sections of the long cylinders of transparent ice emerging

from the pebbles located here and there within the sample of dark ice.

From the above mentioned manner in which the cylinders of transparent ice start from the pebbles, it is supposed that the dark ice berg was subjected to a shear flow for a long time while it was in a glacier before floating out into the sea. Ice can be regarded as a viscous fluid in a rough sense. In Fig. 2 of the text, the large circle represents a pebble placed in a viscous fluid undergoing a shear flow and the broken lines give flow lines of the fluid in the neighbourhood of the pebble. As the rock fragments dispersed in ice are very much smaller than the pebble, they will move following these flow lines. If the fragments touch the pebble anywhere on its surface while going around it, they will be caught by the pebble with the result that two cylinders of transparent ice will be produced on both sides of it. But, judging from the form of flow lines, there can be no possibility for the capture of fragments. Those parts of ice that pass near the pebble will be subjected to high stresses which may cause recrystallization to occur. The author thinks the removal of the fragments from the ice grains newly growing due to the recrystallization makes the cause for appearance of the cylinders of transparent ice.

A fabric study was made on another slice cut from the sample of dark ice. Figure 3A shows the distribution of c-axis of ice grains illustrated in the usual fashion on the Schmidt net. There are four maxima c, e, f, g and four sub-maxima a, b, d and h. But this figure does not give the average distribution of the axes good for the whole area of the slice. Figure 3B is a sketch of the boundaries of ice grains composing the slice. Suppose a line connecting points m and n. The portion of the slice above this line is composed only of those grains which have the directions e, f, g and h, whereas below the line all grains are oriented in one of the directions a, b, c and d. Such a line on which a sudden change occurs in the orientation of ice grains must have a close connection with motion of glacier.

図 版 説 明

図 版 I

1. 岩屑の入った氷山水の試料
2. 写真1の試料を厚さ2cmの水の板にし透過光のもとで撮った写真
3. 写真2の縞模様に対し直角に切断した面
4. 碟Aのまわりの薄片写真
5. 写真4の薄片を偏光板にはさんで撮った写真

