



Title	海水の透水性 II : 新生氷におけるブライン排水路
Author(s)	斎藤, 隆; SAITO, Takashi; 小野, 延雄 他
Citation	低温科学. 物理篇, 39, 127-132
Issue Date	1981-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18421
Type	departmental bulletin paper
File Information	39_p127-132.pdf



海水の透水性 II^{*,**}

— 新生氷におけるブライン排水路 —

齋藤 隆

(北海道大学大学院 理学研究科)

小野 延 雄

(低温科学研究所)

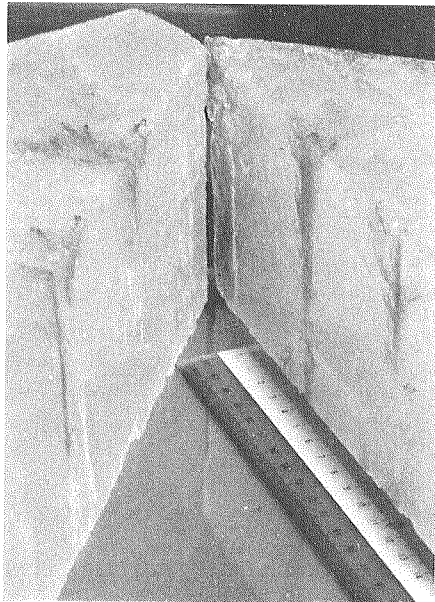
(昭和55年10月受理)

I. 緒 言

海氷中には樹木の形態をしたブライン排水路のあることが報告されている^{1,2)}。薄い氷に見られるブライン排水路の断面形態を第1図に示した。海水の成長に伴う氷層からのブライン排出や、新生海氷から多年海氷に至る間の海氷塩分量の急激な減少は、このブライン排水路を通して行なわれていると考えられている。ブライン排水路に関するこれまでの研究や報告は、多年海氷や厚い1年海氷についてのものが多い。新生海氷についての研究は、Eide and Martin³⁾ や Niedrawer and Martin⁴⁾ が厚さ3~6 mm という薄い鉛直成長容器で NaCl 水溶液を凍らせて、強制的にブライン排水路を発生させ観察したのがあ

るだけである。

新生海氷のブライン排水路は小さく細いため、氷試料を切り出して低い気温にさらすと凍結してその形態が変化してのまうので、調べるのは難しい。しかし、前報⁵⁾で NaCl 氷に着色した灯油を通して透水係数を測定したさいに、灯油で置換されたブライン排水路は、その形態が保存されて観察に適していることが分った。ブライン排水路の多くは、NaCl 氷の結晶粒界の付近に分布していたので、ブライン排水路の数は粒界の密度、したがって結晶粒の大きさや形状に依存しているように思われた。



第1図 着色したオルトクロロアニリンでブラインを置換したブライン排水路の断面

* 北海道大学低温科学研究所業績 第2286号

** 北海道大学低温科学研究所 流水研究施設研究報告 第88号

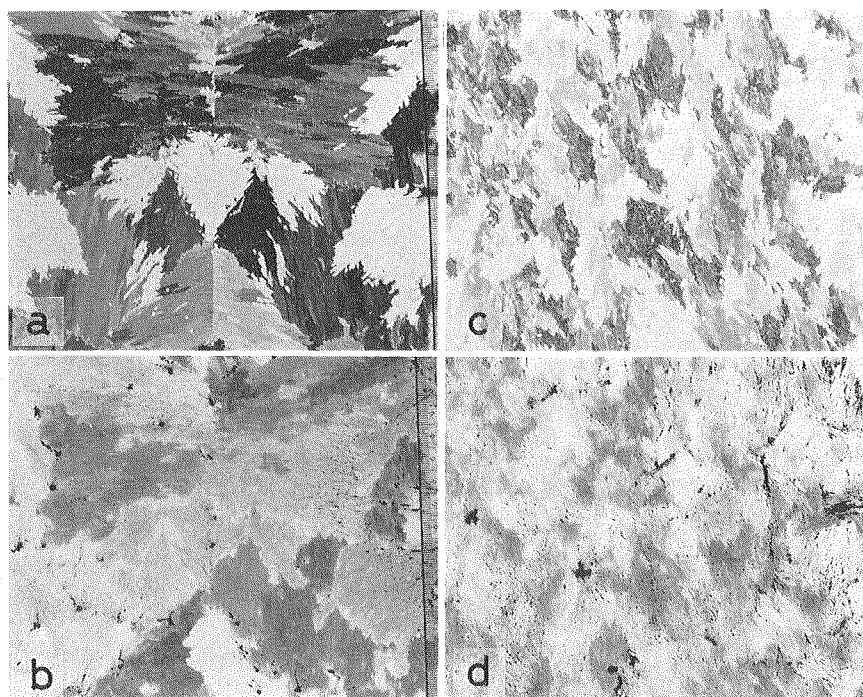
それゆえ、本研究では、新生氷に生じるブライン排水路の発生箇所や発生密度が、結晶粒の形や大きさと成長速度とのいずれに強く依存するかを明らかにすることを目的とした。種水を使って結晶粒の形や大きさを制御しながら、種々の成長速度で凍らせた NaCl 氷の水層内部に発達したブライン排水路を調べた。また、天然の新生海水に生じたブライン排水路を観察して、その結果をこの実験結果と比較した。

II. 実験方法

前報 I⁵⁾ で用いた試料成長装置に、濃度 32‰ の NaCl 水溶液 125 l を入れ、室温を一定に保った低温実験室に置いて冷却した。結氷開始直前の水面に、厚さ 5 mm の板状の種水を、表面水温にほぼ等しい温度にして静かに浮かせ、上方から風を吹かせて、鉛直一方向に 9~10 cm の厚さまで NaCl 氷を成長させた。

成長速度としては、生成した NaCl 氷の厚さを成長に要した時間で割った全層平均の成長速度を用いた。一定に保つ室温をさまざまに変えることで、種々の成長速度を得た。

通常、成長速度が速くなるにつれ、成長した海水の結晶粒は細くなる。このゆえ、結晶粒の大きさが同一で、成長速度の異なる氷試料を得るために、粒径のほぼそろった種水を使って、その下に成長する NaCl 氷の結晶粒の大きさや形を制御した。種水としては、成長方向に対して直角に切り出した海水の薄い板を用いた。このため、種水の結晶粒の c 軸はほぼ水平面



第2図 種水 (a, c) とそれから成長した NaCl 氷の下面近くの水平断面 (b, d)

- a. 平均結晶粒断面積 5 cm^2 , c. 同 2 cm^2
 b. 平均成長速度 0.38 cm/h , d. 同 0.18 cm/h

内にある。種氷の結晶粒の平均断面積は、サロマ湖海氷の 2 cm^2 から南極海氷の底近くの氷を使って $7 \sim 10 \text{ cm}^2$ まで変化させた。なお、ただ1例の試みではあるが、結晶粒の平均断面積が 0.05 cm^2 で c 軸が水平にそろっていないゆき氷も用いてみた。

第2図には、結晶粒の平均断面積が 5 cm^2 の種氷 a から平均成長速度 0.38 cm/h で成長させた NaCl 氷 b と、 2 cm^2 の種氷 c から 0.18 cm/h で成長させた NaCl 氷 d との下面付近の水平断面の偏光写真を示した。これらの写真から、成長速度が速くとも、種氷の結晶粒が大きければ結晶粒の大きい氷が成長し、また、成長速度が遅くとも、種氷の結晶粒が小さければ結晶粒の小さな氷が成長することがわかる。しかも、成長する氷は種氷の影響を強く受け、その結晶粒は種氷の結晶粒の結晶構造にほぼ完全に支配されている。

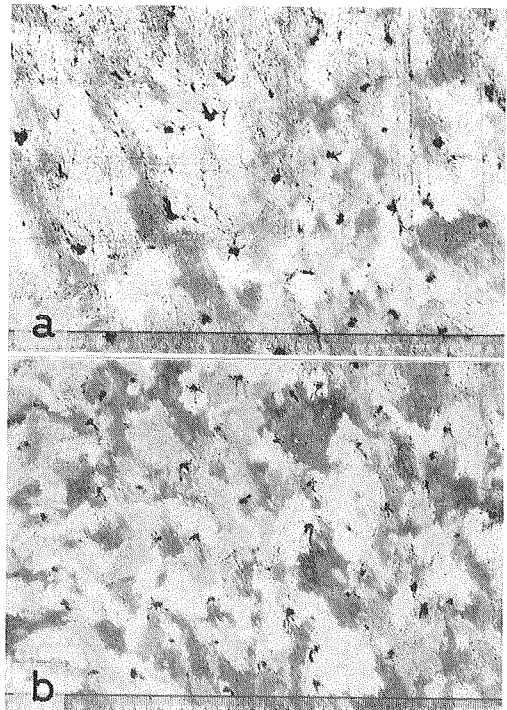
すでに述べたように、生成した NaCl 氷をそのまま切り出すとブライン排水路の形態が変化する。それで、試料成長装置に付いている圧力抜きのパイプから、氷の下の NaCl 水溶液を抜き出すと、成長容器内が減圧され、氷層内のブライン排水路からブラインが強制的に排除されて、その構造が保存される。この後、 -10°C の実験室で NaCl 氷を取り出し、バンドソーで水平に厚さ約 1.2 cm の何層かに切った。そして、それらの表面をカンナで削って平らに仕上げ、すず (XEROX 黒粉のペースト) をブライン排水路の断面に塗り込んだ。それらの氷板試料を2枚の偏光板の間にはさんで写真に撮った。得られた写真から、氷板試料 100 cm^2 当りのブライン排水路の数を求め、それをブライン排水路数と名付けた。

III. 結 果

第3図には、第2図 c と同じ種氷を使ってそれぞれ成長速度が 0.26 , 0.38 cm/h で成長させた氷の下面近くの水平断面写真 a, b を示した。また、前出の第2図 d は同じ種氷から 0.18 cm/h で成長させたものであった。これら3枚の写真から、ブライン排水路は成長速度が大きくなるにつれて増えていることがわかる。

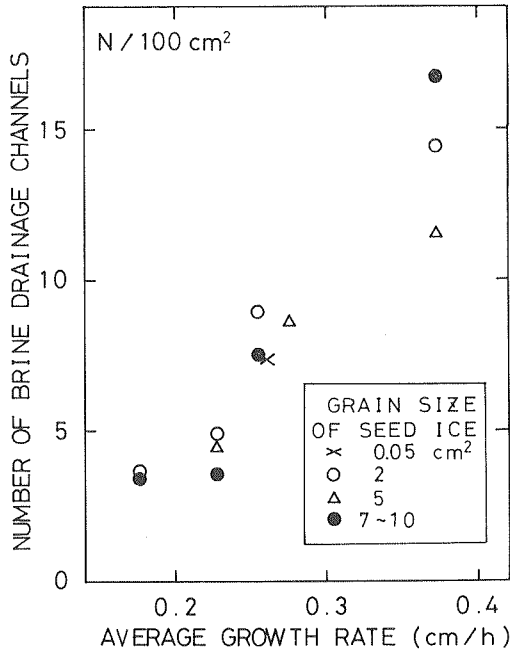
種氷の平均結晶粒断面積と、それぞれの下に成長した NaCl 氷のブライン排水路数とを平均室温や平均成長速度と共に、第1表にまとめて示した。この表から、ブライン排水路数は種氷の結晶粒の大きさにはあまり関係せず、成長速度と共に増大していることがわかる。

第4図には、このブライン排水路数を平均成長速度と種氷の平均結晶粒断面積との関係として示した。およそ $0.2 \sim 0.4 \text{ cm/h}$ の成



第3図 種氷 (第2図 c) から成長した NaCl 氷の下面近くの水平断面

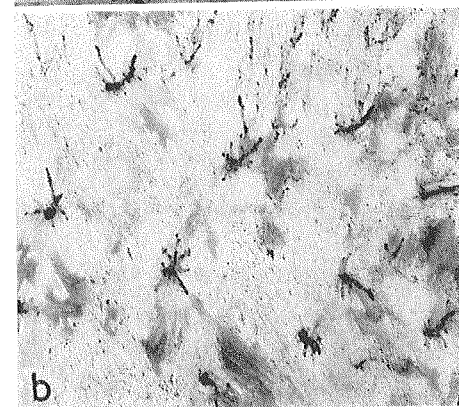
a. 平均成長速度 0.26 cm/h , b. 同 0.38 cm/h



第4図 NaCl 氷のブライン排水路数と平均成長速度や種氷の平均結晶粒断面積との関係

第1表 測定結果

平均室温 [°C]	平均成長速度 [cm/h]	種氷の平均結晶粒断面積 [cm²]	ブライン排水路数 (100 cm² 当り)
-11.9	0.18	2	3.6
-11.9	0.18	10	3.4
-16.7	0.23	2	4.9
-16.7	0.23	5	4.4
-16.7	0.23	7	3.6
-21.8	0.26	2	8.9
-21.8	0.26	10	7.5
-22.1	0.26	0.05	7.4
-22.1	0.28	5	8.6
-31.1	0.38	2	14.4
-31.1	0.38	5	11.6
-31.1	0.38	7	16.7



第5図 a. 開水面に成長したサロマ湖海水の下面から5 cm 上の水平断面
b. 種氷(第2図c)から平均成長速度0.18 cm/hで成長したNaCl氷の下面から3 cm 上の水平断面

長速度の範囲ではブライン排水路数は平均成長速度と共に、ほぼ直線的に増加する傾向が見られる。×印は種氷としてゆき氷を使って成長させた氷である。この氷の下面の平均結晶粒断面積は0.6 cm²で種氷の0.05 cm²に比べてかなり増加していたが、それでも海水を種氷とした氷と比べるとかなり小さい。それにもかかわらず、ブライン排水路数と成長速度との関係は、結

晶粒の大きな氷の場合とよく一致した結果が得られた。

IV. 天然海水での観察

1980年2月に、サロマ湖では風のために氷盤が割れて開水面が生れ、その後、その開水面に新生海氷が成長した。その新生海氷が厚さ19.5 cmに達したときの、下面から5 cm上の水平断面のすずぬり写真を第5図aに示す。氷試料を切り出した時の気温が比較的高かったために、ブライン排水路からブラインが抜け落ちて、その構造がよく保存された。その結果、放射状に伸びた枝を伴ったブライン排水路の断面が明瞭に現われている。この海氷は平均結晶粒断面積が 4.3 cm^2 とかなり大きいので、比較的ゆっくりと成長したと考えられる。

第5図bには、第2図cの種氷から成長させたNaCl氷の下面(第2図d)から3 cm上の水平断面写真を示した。このように、室内実験で凍らせた氷にも下面から少し離れると、このような放射状の枝が常に見られる。そして、この枝は成長速度が遅い程良く発達する傾向にあった。

第5図のaとbとを比較すると、結晶粒の大きさは異なるが、ブライン排水路数は天然海氷aで2.5本、NaCl氷bで3.6本とbの方が多い。第4図の結果が天然の海氷にも適用できるなら、この新生海氷はbの成長速度 0.18 cm/h よりも遅く、2.5本に相当する成長速度のほぼ 0.15 cm/h で成長したと考えられる。

今後は、より遅い成長速度の実験を行なって、ブライン排水路の数や放射状の枝の発達の成長速度依存を調べていく予定である。

V. 結 語

32‰の一定濃度のNaCl水溶液に種氷を浮かせ、種々の成長速度でNaCl氷を成長させた。実験した $0.18 \sim 0.38 \text{ cm/h}$ の成長速度の範囲で、種氷はその下に成長するNaCl氷の結晶構造を支配していた。

結晶粒の大きさが異なる種氷を使って、それぞれ同じ成長速度で凍らせた氷には、一定面積当りほぼ同数のブライン排水路が観察された。しかし、氷の成長速度が 0.18 cm/h から 0.38 cm/h へと増すにつれて、ブライン排水路数は増大した。したがって、ブライン排水路数は、種氷の結晶粒の大きさにはあまり関係せずに、氷層の成長速度に強く関係していることがわかった。

1980年2月に、サロマ湖の開水面に成長した新生海氷の断面観察を行なった。その氷のブライン排水路数は 100 cm^2 当り2.5本であった。室内実験の結果から推測すると、この天然海氷の成長速度は 0.18 cm/h よりも遅く、 0.15 cm/h 位であったろうと見積られた。

この研究にあたって、御指導、御便宜を頂いた田畑教授、南極海水を提供して頂いた若土助手、野外観測で御協力を頂いた海洋学部門、流氷研の皆様にご感謝の意を表します。

文 献

- 1) Bennington, K. O. 1967 Desalination features in natural sea ice. *J. Glaciol.*, **6**, 845-857.
- 2) Lake, R. A. and Lewis, E. L. 1970 Salt rejection by sea ice during growth. *J. Glaciol.*, **3**, 583-597.
- 3) Eide, L. and Martin, S. 1975 The formation of brine drainage features in young sea ice. *J. Glaciol.*, **14**, 137-154.
- 4) Niedrauer, T. M. and Martin, S. 1979 An experimental study of brine drainage and convection in young sea ice. *J. Geophys. Res.*, **C3**, **84**, 1176-1186.
- 5) 斎藤 隆・小野延雄 1978 海水の透水性 I. NaCl 氷の透水係数の測定. 低温科学, 物理篇, **37**, 55-62.

Summary

It is known that brine drainage channels formed within sea ice distribute at or near the boundaries of ice grains and that the average size of the ice grains decreases with increasing growth rate of sea ice.

A laboratory experiment was performed to investigate it that either the grain size or the growth rate of young sea ice affects predominantly the number and the spatial distribution of brine drainage channels. To control the grain size of a newly formed ice, a seed-ice plate of 0.5 cm in thickness cut out from various sea ice blocks was floated on the surface of a 32‰ NaCl solution in a 125-liter polyethylene tank. It was found that, when the c-axes of the seed-ice grains are oriented horizontally and the grain size ranges from 2 to 10 cm², new ice grown to 9~10 cm in thickness under the seed-ice has the similar shape and size of grains to those of the seed-ice even at various growth rates between 0.18 and 0.38 cm/h.

To conserve the feature of brine drainage channels, the brine was let out of brine channels by drawing the NaCl solution under the ice from the tank. Then, the sample of ice was taken out and cut into several horizontal layers. The surface of each layer was planed and rubbed with a black paste of a XEROX toner in order that the number of brine channels was counted easily.

Although a large number of channels were observed at or near the boundaries of the grains, the number of brine drainage channels formed within young sea ice relates strongly to the average growth rate than to the average grain size (Fig. 4).