



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪層の組織の変態過程
Author(s)	木下, 誠一; KINOSITA, Seiiti
Citation	低温科学. 物理篇, 19, 111-118
Issue Date	1960-12-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17970
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p111-118.pdf



積雪層の組織の変態過程*

(薄片による観察)

木下 誠 一

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和 35 年 8 月受理)

I. 緒 言

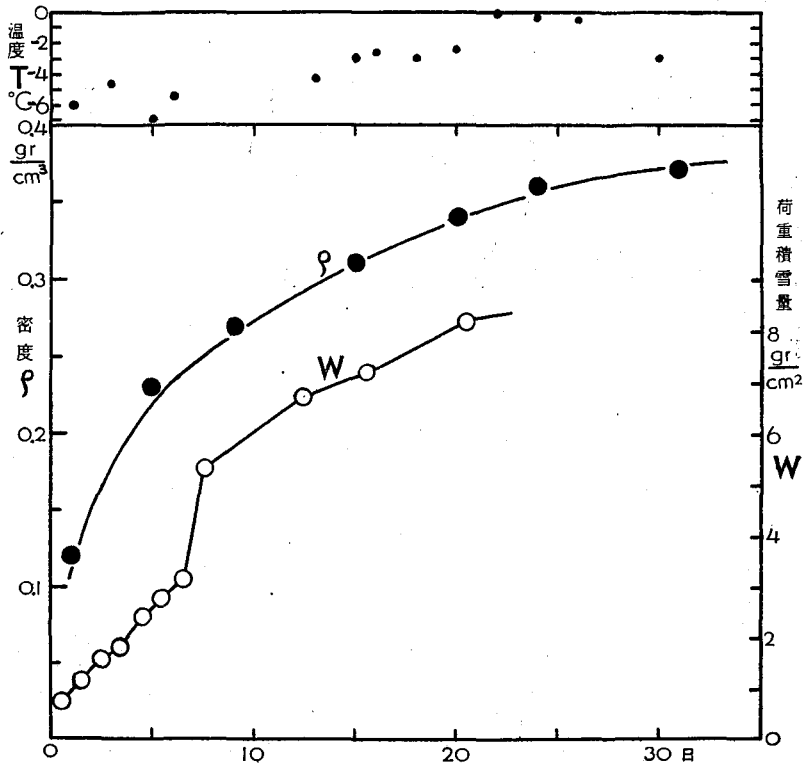
降つたばかりの軟かい新雪は、後からその上に降り積つて来る雪の荷重をうけて沈降し、硬いしまり雪に次第に変つて行く。それとともに、その顕微鏡組織も、始めは、細かい角ばつた雪の結晶同士の集合であつたものが、太い円味をおびた氷の棒の網目結合へと変る。このような変態は、接触する雪粒間の焼結、荷重による粘性圧縮、温度勾配による水蒸気の移動その他の物理的機構にもとづくものである。その機構については、黒岩¹⁾ 吉田²⁾ 及び小島³⁾ の研究があるが、未だ多くの問題が未解決のまま残されている。筆者は、その機構にはふれないが、アニリン法により簡単に積雪の薄片が作られることを利用し、積雪の顕微鏡組織の幾何学的な変態の過程を調べた。即ち、積雪を構成している多くの積雪層のうちのひとつに着目して、数日おきに、その層から薄片標本をとつて、顕微鏡写真に撮し、その薄片の写真から、組織の幾何学的変化を調べたのである。

積雪の薄片の製作は、余り容易なことではなかつたが、筆者及び若浜の考察したアニリン法⁴⁾ を用いると、大きさ $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 、厚さ 0.1 mm 位の薄片を割合短時間に容易に製作出来る。厚さは 0.01 mm にまでも出来るが、今の目的のためにはそれほどの必要がないので、 0.1 mm の厚さにとどめた。

II. J17 層の巨視的状态

昭和 35 年 1 月 17 日札幌に降つた雪で出来た層は、降雪時の厚さが約 50 cm の非常に厚い層で、そのほぼ中央に灰色の薄い層が目立っていた。この層を J17 層と名づける。灰色の層を目印にして、その上 5 mm 程の所から、水平に小さな薄い雪塊を切取つて、それから薄片標本を作つた。薄片もまた水平に切られたものである。採取部分の雪の密度 ρ 、温度 T 及びその上に積つた雪の水平 1 cm^2 あたりの質量、即ち荷重積雪量 W の、1 月 17 日以後の変化を第 1 図に示す。積雪層の粘性圧縮は、小島³⁾ によつて数年来研究され、 W の変化と ρ の変化との関係はよく解つている。第 1 図に示された W 、 ρ の変化の有様から判断して、筆者の着目した J17 層は、北海道における真冬の積雪層の標準型と考えられる。観察は、31 日間、2 月 17 日

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 573 号



第1図 J17層の密度 ρ 、温度 T 及びその上の積雪量 W の変化

まで続けられたが、その間の雪の温度は $0^{\circ}\sim-8^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり、雪が湿つたことは一度もなかった。

III. 薄片の写真

薄片はJ17層が出来た翌日の1月18日、5日後の1月22日、9日後の1月26日、15日後の2月1日、24日後の2月10日、31日後の2月17日に作った。これらの6枚の薄片(厚さ約0.1 mm)の顕微鏡写真を本文の後に掲載してある図版に示す。

層形成の日の1月18日(図版I-a)には、降つた雪の結晶の形がほとんど保存されている。雲粒つき六花の枝と思われるものが非常に多いが、六花や角柱の結晶も認められる。しかし、結晶同士は接触部ですでに融合している。はじめ50 cmもの厚い層であつたため、翌日には自重でかなり沈降しており、密度も0.12と、新雪としては大きめの密度を示した。

5日後の1月22日には、密度0.23の軟かいしまり雪になつた。図版I-bに見られるように、雪の結晶の形はもはや認められない。そして、雪粒は円味をおび、くびれを現している。雪粒の大きさは、図版I-aのとときと余り変りないが、雪粒同士のつながり方は緊密になつた。

9日後の1月26日には、密度0.27のしまり雪になつた。その薄片の写真図版II-cをみると、雪粒が大きくなつたのが注意される。雪粒同士の結合は強くなり、不規則な網組織を作り

始めた。以後は、15日後(図版 II-d)、24日後(図版 III-e)、31日後(図版 III-f)の写真にみられるように、雪粒が大きくなりつつ結合をつよめ、網組織に変る傾向が続く。

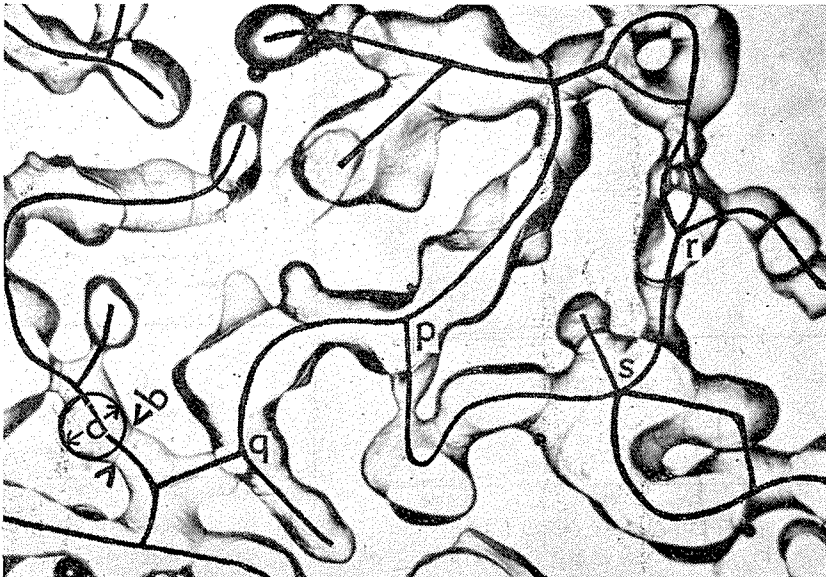
IV. 組織の量的表現

積雪のなかで氷の粒子が網状に連結している様子は、図版 I, II, III の写真に見る通りである。この連結の各段階を量的に表現することが出来れば、積雪の組織の変化を研究する上にも、又、組織から積雪の物理的性質を導き出す上にも役に立つであろう。筆者は次に述べる方法をとつたが、若浜⁹⁾も、筆者のとは異なる色々な方法で考察を試みている。

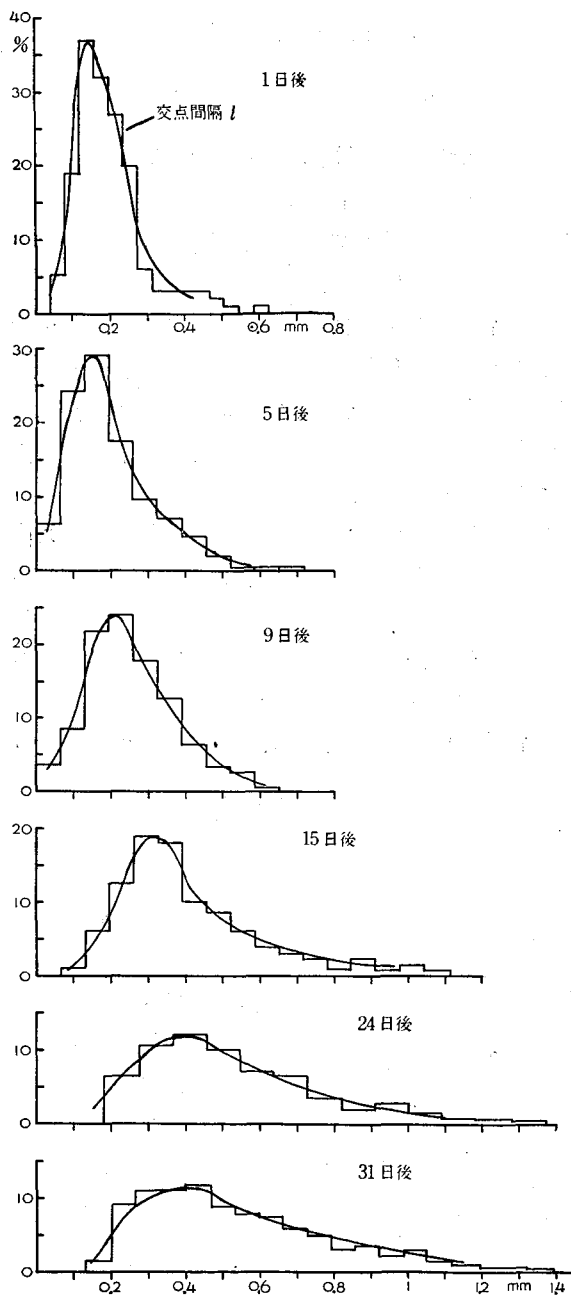
第2図は薄片の一部を拡大した写真である。雪粒の連結状態だけを抽象するために、雪粒の中心線を書きいれてある。中心線は多くの点で交わり、網模様を作るが、その交点のうち、例えば p, q のように3本の線が交わつた点を3交点、r のように4本の線が交わつた点を4交点、s のように5本の線が交わつた点を5交点と名づけることとする。そして、各種の交点の数を数えるとともに、交点間の中心線にそつて距離 l を測る。

なお、雪粒の太さを表わすために、第3図の左下隅に示してあるように、粒に内接する円をかき、その直径 d を氷の粒の太さ、即ち粒径とする。(この方法は小島⁹⁾、黒岩¹⁰⁾も用いている)。雪粒は多くの単結晶領域に別れており、その領域の境界の所では、氷の骨組が細くくびれていることが多い。第2図の写真の左下隅、氷の粒子の太さを示す円のすぐ右下、矢印ではさんだ所がこの単結晶境界のひとつの例である。この境界を示す線の長さを b で表す。

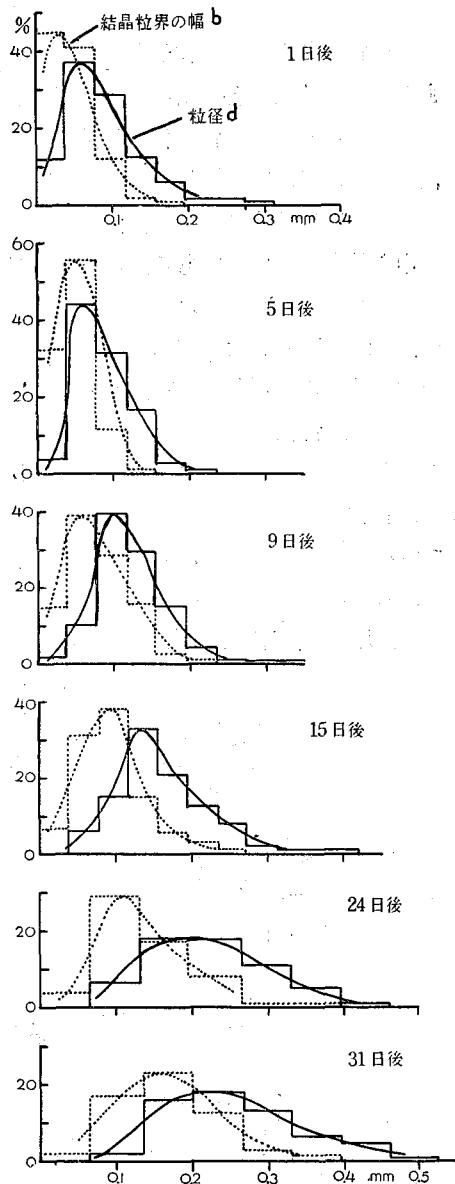
薄片は、上下の両面を鉋で削られるので、雪粒のなかには、鉋の切り口だけしか見えない



第2図 氷の粒子の結合状態 p, q: 3交点, r: 4交点, s: 5交点, d: 粒径, b: 結晶粒界の幅



第3図 氷粒子の中心線の交点間の(中心線にそつて測つた)距離 l の分布曲線



第4図 粒径 d 及び結晶粒界の幅 b の頻度分布曲線 実線: 粒径, 点線: 結晶粒界

ものがある。このような粒子では、上のようにして d や b をきめても、正しい値が得られるとは限らない。それで、匏の切り口が見られない氷の粒、及び匏の切り口があつても、それよりも広い幅をもつた雪粒だけをとつて、 d と b とを測つた。

以上のことは、薄片の上で行なわれることで、氷の粒の立体的な連結を直ちに示すものでないことは明らかである。しかし、このような平面に射影した連結状態でも、組織の量的表現としてのひとつの役は果すであろう。

雪層 J17 の薄片の写真 (図版 I, II, III) について数えた雪粒の中心線の交点の数を第 1 表に示す。 n は薄片の 1 mm^2 の中にある交点の数である。 $n/\rho^{2/3}$ については次節に説明がある。また、3 交点、4 交点などが、全体の交点のうちの何%を占めるかも表した。第 3 図、第 4 図は交点間の距離 l 、粒径 d 、結晶粒界の幅 b の頻度分布である。

第 1 表

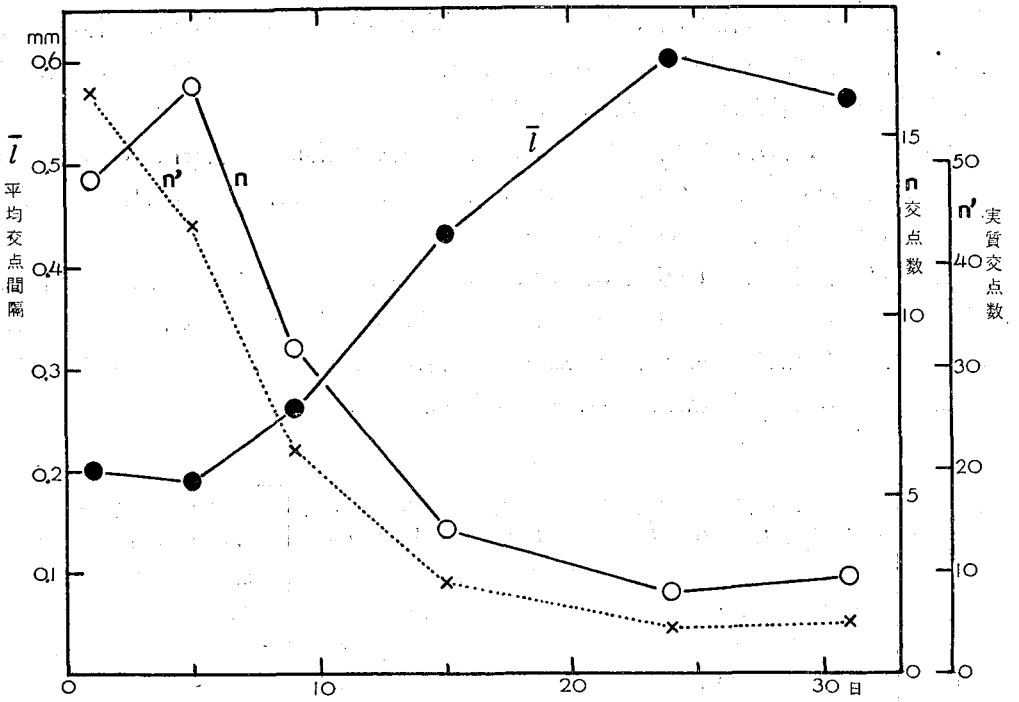
降雪後 の日数	雪の密度 ρ (gr/cm^3)	交点数 n ($1/\text{mm}^2$)	実質交点数 ($n/\rho^{2/3}$)	3 交点 (%)	4 交点 (%)	5 交点 (%)	6 交点 (%)	7 交点 (%)	平均 交叉度
1	0.12	13.9	57	73	22	3.5	0.6	0.3	3.40
5	0.23	16.5	44	67	27	6	0.2	0.1	3.40
9	0.27	9.2	22	66	29	4.7	0.3		3.41
15	0.31	4.1	9	73	26	1			3.28
24	0.36	2.3	4.5	73	24	3			3.30
31	0.37	2.7	5.2	75	20	4.7	0.5		3.34

V. 組織の発達

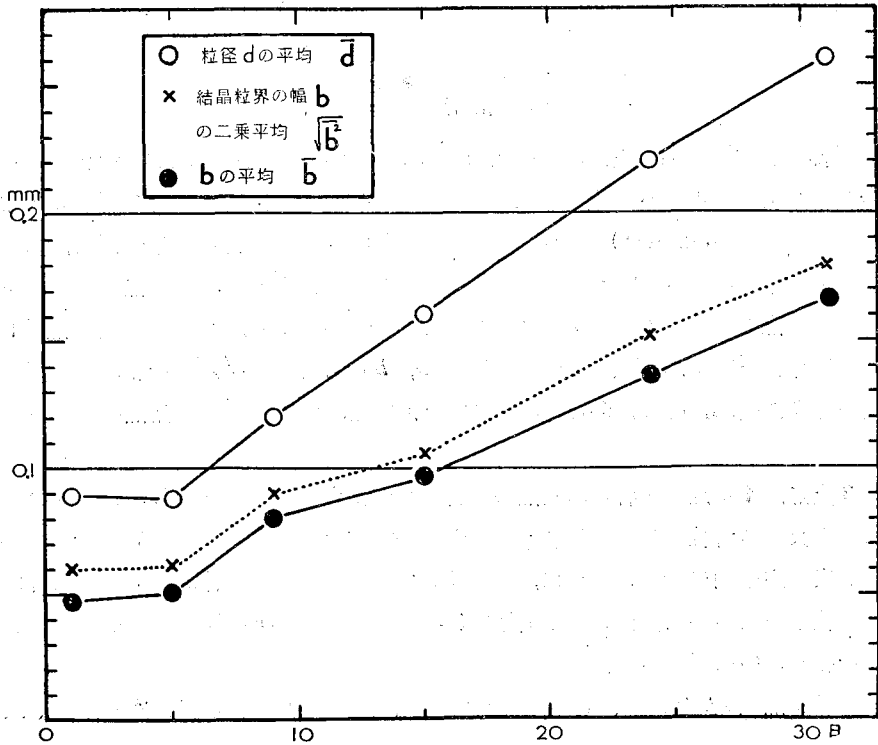
前節で得た組織の量的表現が、図版 I, II, III に示された積雪の組織の変化とともにどのように変わるかを考えてみよう。薄片の 1 mm^2 内にある雪粒の中心線の交点の数 n 、交点間隔 l の平均値 \bar{l} 及び $n/\rho^{2/3}$ (ρ は密度) の変化を第 5 図に示す。 $\rho^{2/3}$ は、薄片の単位面積内にある氷の量に比例する。従つて、 $n/\rho^{2/3}$ は同じ量の氷部分について、どれだけのある交点があるかを示す量で、実質的な交点数を表すものと考えてよいであろう。それで、これを実質交点数 (n) と名づける。平均粒径 \bar{d} 、結晶粒界の幅 b の平均値 \bar{b} 、 b の 2 乗平均 $\sqrt{\bar{b}^2}$ の変化は第 6 図に示してある。第 1 表及び第 3, 4, 5, 6 図から組織の変化過程について、次の諸点をあげることが出来る。

(1) 3 交点、4 交点など各種の交点の割合は日がたつても殆んど変らない。従つて、ひとつの交点で交叉する雪粒の数の平均値 (この平均値を平均交叉度と名付ける) も変らない筈で、実際、第 1 表の左端列に示したように、ほぼ 3.4 と一定である。立体的に考えた場合には、一点に会する粒子の数の平均値は 3.4 より大きくなるのはもとよりであるが、その値は一定で、日と共に変化しないはずである。

(2) 実質交点数 $n/\rho^{2/3}$ は、はじめ、日と共に急に減り、15 日後以後はゆるやかに減つてい



第5図 平均交点間隔 \bar{l} , 交点数 n , 実質交点数 n' ($=n/\rho^{2/3}$) の変化



第6図 平均粒径 \bar{d} , 結晶粒界の幅 b の平均値 \bar{b} , b の2乗平均 $\sqrt{\bar{b}^2}$ の変化

る。しかし、交点数 n 自体は 1 日後から 5 日後までは、逆にましている。これは、初期段階で雪の沈降が速いためである。5 日後以後は交点数も次第に減っている。

(3) 粒径, 結晶粒界の幅の平均値は第 6 図から解るように, はじめの 5 日間は余り変りなく, それ以後は日と共に直線的にまして行く。第 3 図, 第 4 図の分布曲線についても, 曲線の頂が次第に大きい方にずれて行くことに, このことはよく現われているが, なお, 分布曲線の幅が次第に広がるとともに, 小さい値のもの数が減って行くのが目立つ。ただ, d, b のいずれについても, 雪層が形成されてから 1 日後の方が 5 日後よりも, 分布曲線の幅が広い。1 日後ではまだ雪の結晶の形が保存されており, d, b の大きい六花や角柱の結晶がまざっているために, それらの量の値が広い範囲に分布されたのである。しかし, 雪の結晶は薄くて昇華し易いので, やがて消え, 5 日後の分布曲線は幅がせまくなったものと思われる。

(4) 交点間隔 l についても, 粒径 d , 結晶粒界の幅 b と同じことがいわれる。ただ分布曲線の幅が非常に広く, 大きい値の l の頻度が高い。 l の大きい値は若浜⁷⁾のいう雪の組織の弱線をまたぐ氷の粒と関係があるように思われる。

VI. 結 び

結局, 積雪の組織を構成している雪粒の網状連結の形式は, 新雪でもしまり雪でも同じで, ただ日と共に網目が大きくなり, 網目を作る氷の粒子が太く長くなるということが出来る。

このような積雪の組織の変化のしかたと, 積雪の物理量との関係の一例として, 積雪の硬度との関係が筆者の別の論文⁷⁾で考察されている。

最後に, この研究に際し色々とお指導をいただいた吉田順五教授, 又種々御助言をいただいた低温科学研究所雪氷研究グループの方々に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 黒岩大助 1960 積雪の ice-bonding に伴う弾性率と内部摩擦の変化並びに氷粒の焼結機構に関する研究. 低温科学, 物理篇, **19**, 1.
- 2) 吉田順五 1954 雪の結晶の昇華変形についての定量的考察. 低温科学, 物理篇, **13**, 11.
- 3) 小島賢治 1952 雪の結晶の変形 II. 結晶の種類と温度による変形の差異. 低温科学, **9**, 187.
小島賢治 1952 雪の結晶の変形 III. 変形に及ぼす温度勾配の影響. 低温科学, **9**, 205.
- 4) 木下誠一・若浜五郎 1959 アニリン固定法による積雪の薄片. 低温科学, 物理篇, **18**, 77.
- 5) 小島賢治 1957 積雪層の粘性圧縮 III. 低温科学, 物理篇, **16**, 167.
- 6) 若浜五郎 1960 積雪の薄片を応用した積雪の組織と内部歪の研究 I (静荷重による積雪薄片の圧縮). 低温科学, 物理篇, **19**, 37.
- 7) 木下誠一 1960 積雪の硬度 I. 低温科学, 物理篇, **19**, 119.

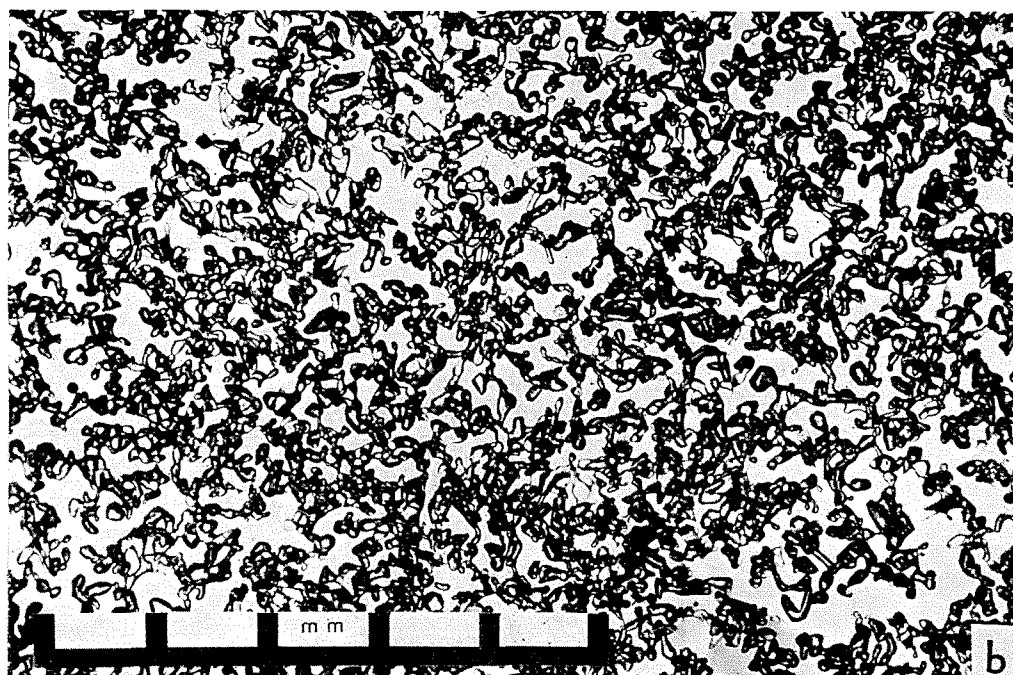
Résumé

It is well known that the microscopic texture of snow changes with time while it lies layer on layer upon the ground. In order to see the natural course of that change the author made microscopic observations on thin sections 0.1 mm thick cut horizontally from one and the same layer of snow deposited at Sapporo on Jan. 17, 1960. Six sections were made one day, 5, 9, 15, 24, and 31 days after the deposition of that layer. They are shown in the photographs **a, b, c, d, e** and **f** of Pls. I, II and III in the same order as they were made. The ice grains composing the snow became thicker and thicker with the days, at the same time joining with one another more and more firmly to make a strong network of ice. In order to know in what way they were joined together lines were drawn so as to halve each grain as shown in Fig. 2. The meeting points of the lines such as points **p, q, r** and **s** represent the joints of ice grains. The order of the joints is 3 at points **p** and **q**, 4 at point **r** and 5 at point **s**. The number n of the joints per 1 mm^2 of the section was counted on the photographs of Pls. I, II, III and listed in Table 1 of the text. That number decreased down to 2.7 during the thirty-one days of observation while it was more than ten at the beginning. But the mean value of the order of joints remained almost unchanged lying between 3.3 and 3.4 as shown by the figures in the extreme left column of the same Table.

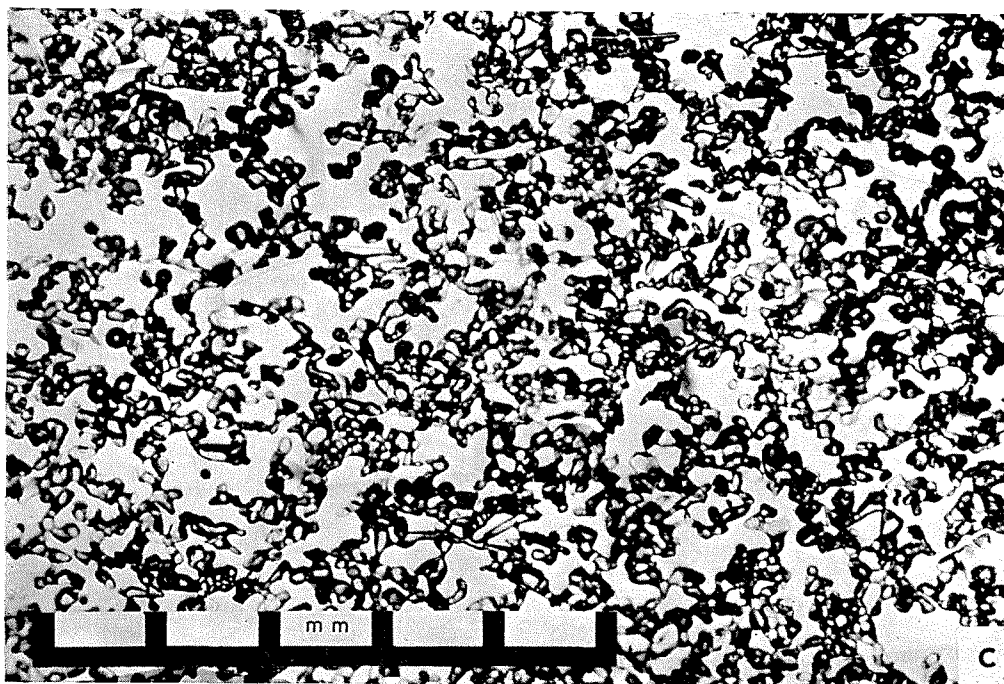
The length l of an ice grain can be represented by the length of the line connecting the two meeting points which stand at the extremities of that grain. For instance, the length of the long bent grain lying between points **p** and **q** of Fig. 2 is counted as the length of the curve connecting those points. The small circle at the lower left corner of the same figure touches internally the sides of the ice grain at its thickest portion. The diameter d of the circle represents the thickness of that grain. There is a constriction just to the lower right of the circle. The strength of the grain depends principally upon the width b of the constriction. Those three values, l , d , b were determined on each of the grains in the photographs of Pls. I, II and III; their frequency distributions are shown in Figs. 3 and 4. In Fig. 5 the mean value of l is, together with n , plotted against days. The mean value \bar{l} became in twenty-five days three times as large as it was initially while n decreased very much in the same period. In Fig. 6 are shown the mean values of d and b . Both two increased almost linearly with days.



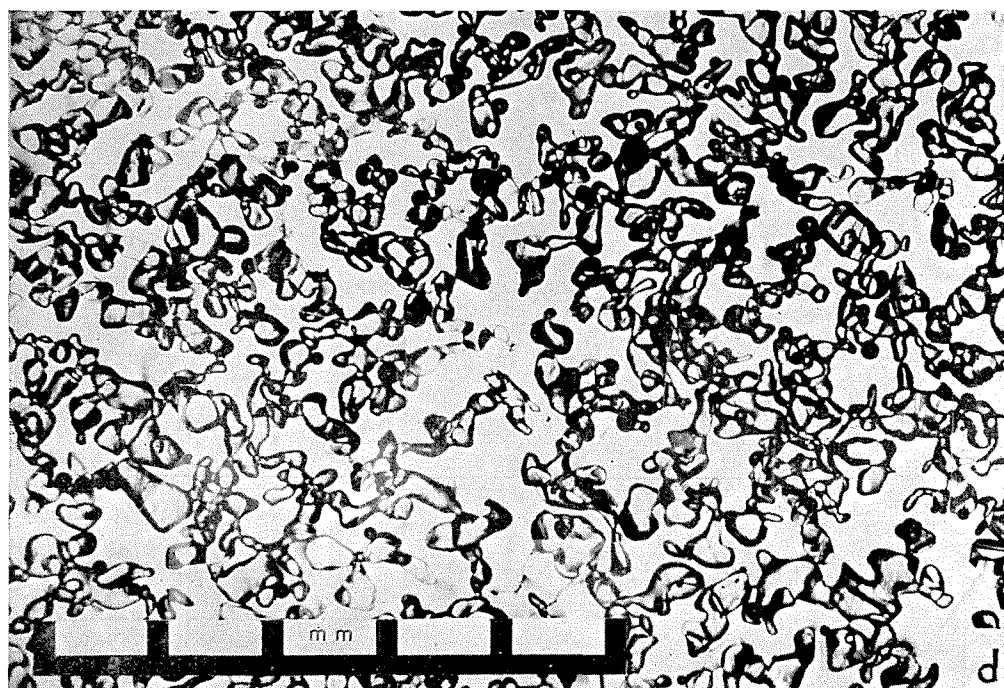
a J17 層の 1 日後の水平薄片. 密度 0.12. ものさしの全長が 5 mm.



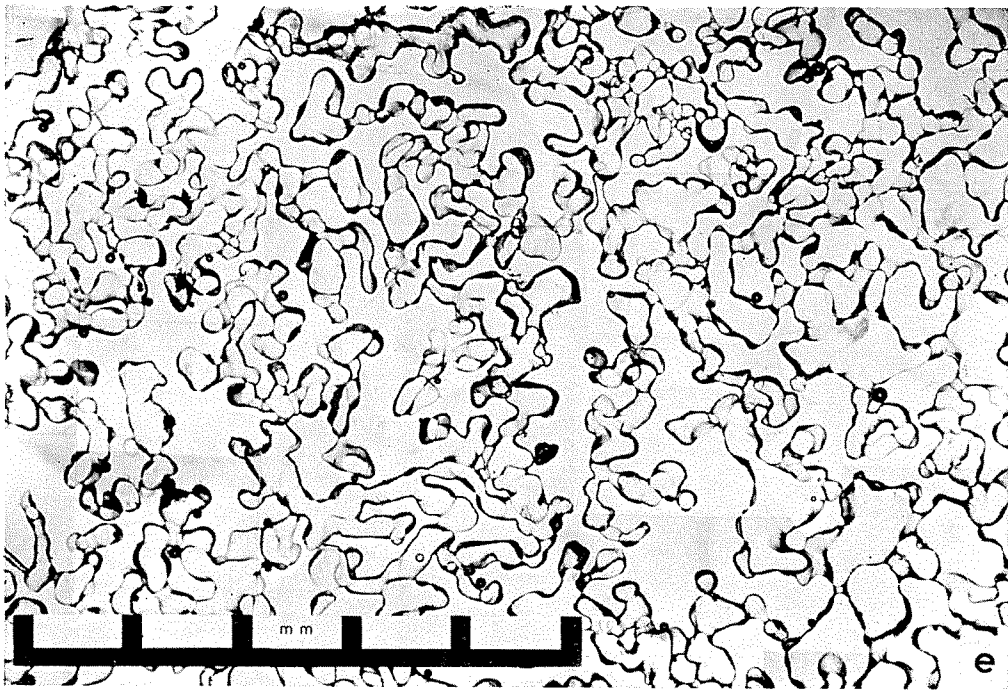
b J17 層の 5 日後の水平薄片. 密度 0.23.



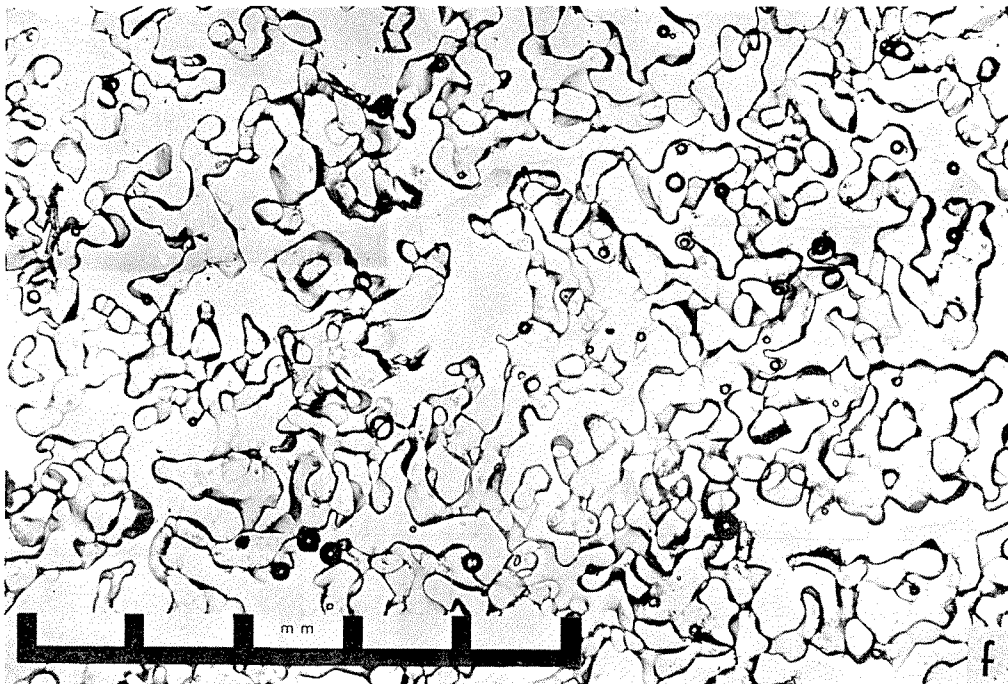
c J17 層の 9 日後の水平薄片. 密度 0.27.



d J17 層の 15 日後の水平薄片. 密度 0.31.



e J17層の24日後の水平薄片. 密度0.36.



f J17層の31日後の水平薄片. 密度0.37.