HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	雪の結晶の變形　III.　：變形に及ぼす温度勾配の影響
Author(s)	小島, 賢治
Citation	低温科學, 9, 205-214
Issue Date	1952-12-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17536
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_p205-214.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Kenzi KOZIMA 1952 Change in Shape of Snow Crystals III. *Low Temperature Science*, *9*. (With English résumé p. 208)

雪の結晶の變形 III.

(変形に及ぼす温度勾配の影響) *

小 島 賢 治

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和 27 年 9 月 受 理)

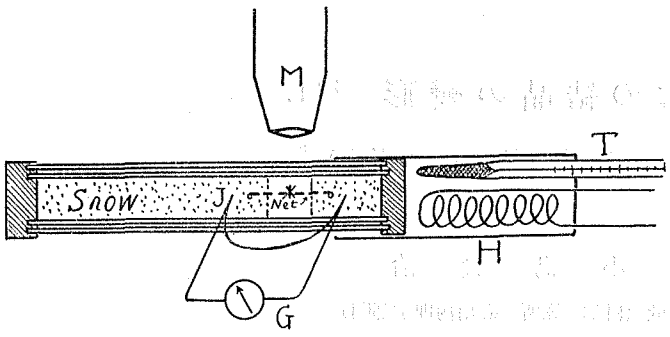
I

第2報〝雪の結晶の変形 II〟では，いろいろな種類の結晶がその周囲の溫度が一様な場合に，どんな経過をたどつて変形するかについて述べた。併し實際の積雪では，融雪期を除いて全層一様な溫度が続くことは稀である。

地面に接している積雪の下面は，根雪の全期間を通じてほぼ 0°C に保たれているため，それから積雪の表面に近ずくにつれて溫度が下つていることが多い。雪の表面のごく近くでは，気溫の変化につれて雪の溫度も変化するが，この変化は雪の下面までは伝らないから，表面から或る深さより下では常に上向きに溫度が下ると云う勾配が続くことになるのである。そのため，上下に隣りあう雪粒の間には常に溫度差が出来て，下の雪粒の上面では水蒸気の蒸発が起り，上の雪粒の下面には水蒸気が凝結するということが起る。この凝結がさかんに行われると，そこには新に霜の結晶が発生して，時にはこれが大きな霜の結晶に生長することがある。その場合，この霜の結晶は Depth hoar といわれる。Depth hoar の生長の過程を實験によつて調べた結果の一部はすでに第1報に報告した。實際の積雪のなかの Depth hoar は主に地面近くにある大粒のざらめ雪が，上に述べたような理由で長い期間一定の向きの溫度勾配のもとにおかれる結果出来るものである。しかし，大きな溫度勾配はむしろ積雪の表面近くにある新雪の層の間に短い時間のあいだではあるがあらわれ易い。從つて，新雪の結晶も当然その影響を受けるものと考えられるので，二，三の種類の結晶について，それを溫度勾配のなかにおいた場合どのような変化をするかをみるため，次のような實験を試みた。

第1図は内容積 6.5 cm × 2 cm × 0.45 cm の平たい箱の側面図である。上下の面は熱の出入を防ぐため二重のガラス板をはつてある。この箱に雪をつめ，雪の中に小さい穴をあけて絹の網を張

* 北海道大学低温科学研究所業績 第172号



第　1　圖

りその上に雪の結晶をのせた。低溫實驗室の中で箱の一方の端を電熱線Hであたためると，雪の中に溫度勾配があらわれる。そして，網の上の雪の結晶もこの溫度勾配のなかにおかれるわけである。溫度勾配の大さは結晶をのせた網をはさんで熱電對Jを箱の側面の小さい穴から 2.5 cm の間隔をおいて差し込んで測つた。

II

寫眞1（a）～（c）は降つてから幾分変形してまるくなつた樹枝状結晶を絹の網にのせて 0.3 ℃/cm の溫度勾配の下においた場合の変形である。24時間後には暖かい方を向いた枝の先端に結晶形があらわれ，反對側の枝は蒸発して小さくなつている。48時間後には新しく出来た結晶部分はますます明瞭になり，溫度が低い方を向いた枝は全部蒸発してしまつている。この場合の 0.3 ℃/cm というような大きな溫度勾配が積雪の中に2日も引続いてあらわれることは殆どないのであるが，新雪が積つた後に急に気溫が下ると，その中に相当大きな溫度勾配が現れる。そのような場合，實際の積雪のなかに（b）のような結晶が見出されることも珍しくない。しかし一般には，新雪の層の中では，気溫の日変化につれて溫度勾配の方向が変るので，表面に向つて溫度が下つている場合には，結晶の下向きの部分に凝結が起り，次に溫度勾配の方向が逆になると上向きの部分に凝結が起るということがくりかえされる。だいたい雪の表面から 30cm の深さのところあたりまではこのような状態にあるので，この部分では普通（c）のような極端な形の結晶は見られない。しかし，形の上には溫度勾配の影響がはつきりみとめられないとはいえ，このようなことのために，結晶の変形が非常に促進されていると考えるべきである。

III

寫眞2は霰を0.4℃/cmの溫度勾配のもとにおいた場合の変形で，勾配を與え始めてから34時間後の（b）では暖かい方をむいて多数の六角柱状の結晶が生長している。これらの結晶の中にはとなり同志数箇がひとつになつて大きな結晶に生長するものもあり，又，まわりの結晶からぬき

んでて特に速かに大きく伸びているものもある。寫眞（b）のあと更に溫度勾配を與えたままにして，最初から10日間たつた狀態が寫眞（c）で，一つの霰は幾つかの大きな結晶の集りに變つている。そして，絹の網目に對する位置からはつきりわかる通り，この樣な變形がおこると同時に霰全体が暖かい方え移動している。（c）のようになつてから溫度勾配をとり去ると，数日の中に結晶はまるみを帶びて，普通しまり雪にみられるような形になるのである。つまり第2報でのべた溫度勾配のない場合の變形の結果と同じものになるわけである。しかしこれは氷の粒の形についてだけいえることで，粒の大きさは兩方の場合で非常にちがい，同じ日数をかけたとして溫度勾配をうけて變形したものの粒は，溫度勾配をうけずに變形したものの粒にくらべて著しく大きい。このように.溫度勾配は雪の結晶の變形をはやめるという効果を持つているわけである。

IV

寫眞3は，ざらめ雪の中から比較的小さい粒をとり出して網の上にばらまき，0.7℃/cmの溫度勾配を與えた場合である。はじめに，まるい粒の暖かい方をむいた表面に水蒸気の凝結が起つて，（a）のように所々に結晶形が現れる。その中から特に生長の速いものが現れて，（b）に見られるような霜の結晶となつてつき出てくる。これが次第に生長して（c），（d）のようなコツブ状の大きな骸晶になるが，これが depth hoar である。一方この一つの霜の結晶が大きく生長すると，その近くにある他の粒は次第に蒸発して終には（d）のようにひとつの大きな結晶だけが殘る。もとのざらめ雪の粒も，はじめに出来たたくさんの小さな霜の結晶も皆大きな霜の結晶を生長させるのに消費されてなくなつてしまつたわけである。

言いかえれば，小さい粒を犠牲にして大い結晶がますます生長したのであつて，これは前項3に述べた霰の場合にも見られることである。積雪の中のしまり雪で次第に大きい粒が増えるということには，粒と粒との結合の他に，上に述べたような現象も重要な役割を果しているものと思われる。

これまで depth hoar が出来るのは主として大粒のざらめ雪の中であつて，これは，ざらめ雪の中の大きなすき間が水蒸気を通し易くするからであると言われていた。併しすでに第1報で注意したように，霜の結晶を作る水蒸気は雪粒のすき間を縫つて移動することによつて供給されるよりも，むしろ一つの雪粒から蒸発した水蒸気がすぐ隣りの雪粒に凝結すると言うようにいわば手渡式に移動するのである。したがつて，しまり雪の間にも，溫度の勾配がある限りは新しく結晶が生長するはずで，實際に気溫が低い日が長く続いた後などに，かたしまりの中にも溫度勾配によつて出来た霜の結晶がたくさん見出されることがある。ただ，しまり雪は粒が小さい上に密につまつているので，となりあう粒の間の溫度差が小さく，そのためひとつずつの隙間については，そこに生長する霜は depth hoar と言われるほど大きくはならないのが普通である。

V

降つて間もない結晶が非常に小さい溫度勾配のもとにおかれた場合には，必ずしも新に結晶が生長するとは限らない，例えば，寫眞4Aの（a）のような結晶は溫度勾配がない場合でも変形が速いのであるが，これを0.08°C/cmという小さな溫度勾配のもとに4日間おいた結果は（b）の如くで，外見上溫度勾配の影響は殆ど見られない。しかし，おなじく樹枝状結晶であつても，寫眞Bのような massive なものは比較的ゆつくり変形する性質を持つているため，これを同じ条件においた場合，B－(b) に見られるように暖かい方をむいた枝の端には元の輪郭が保たれている。つまり，2で述べた勾配が大きいときの変化がこの場合にはゆつくり起つていると言えるのである。

寫眞5（a）のようなざらめ雪の小さい粒を，0.08° C/cm の溫度勾配の下においたところ，別に変化がみとめられなかつた。それで，更に溫度配勾を0.15°C/cmに高めた結果57時間で (b) のような結晶形になつた。前項の depth hoar の場合の溫度勾配は 0.7°C/cm であつたが，この0.15 °C/cm 程度の溫度勾配であると，別に新しい結晶が生ずることはなく，もとの粒全体が体積を少し増しながら六角の結晶形になるだけである。積雪の中のしまり雪の粒には，このようにして出来たと思われる形の結晶がよく見られる。尤も，この實験では，3日目で観察を止めたのであるが，引つづき何日間も溫度勾配を與えておけば，やはり大きい骸晶に生長するかも知れない。

VI

以上の實験に用いた装置では，雪を入れた容器を水平にして一方の端から暖めるので，容器内に空気の對流が起つてそのために水蒸気の擴散が促されているのではないかと気づかわれる。そこで，変形を調べる結晶を二枚の絹の網の間にはさんでおいて，容器を鉛直にたて，上方から暖めるようにした。こうすれば空気の對流は起らない筈である。このようにしても同じ溫度勾配で容器を水平においた場合と比較して，霜の結晶の生長する速さには殆ど変りなかつた。從つて，雪のなかの水蒸気の移動は雪粒の間の溫度差のために生じた水蒸気圧の勾配にもとずく擴散によつて行われているというはじめの考えが確められたわけである。又，積雪のなかの溫度勾配はその方向が水平であつても，また鉛直上向きであつてもあるいは鉛直下向きであつても，重力の方向とは関係なしに，そのときどきの方向に常におなじ効果を現わすことが知られたわけである。

たお以上の研究は，吉田教授の指導の下に行つたもので，茲に厚く感謝する次第である。

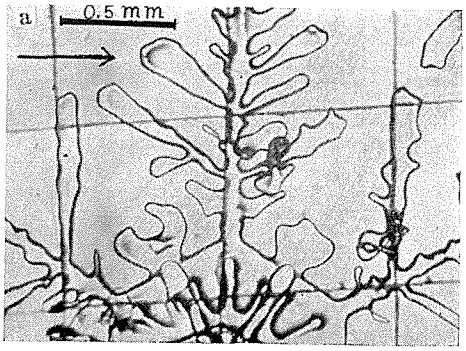
Résumé

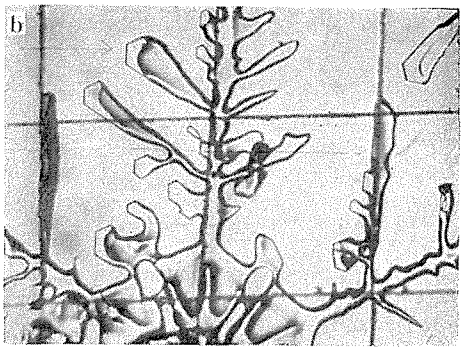
Influence of temperature gradient upon the change in shape of snow crystals was studied. A flat box (2 cm wide, 6 cm long, 6 mm high) filled with snow was placed

on the table of a microscope in a cold chamber. The upper and the lower side of the box were each covered doubly with glass plates. A vertical hole was made in the snow just underneath the objective lens of the microscope. A net made of single silk fibers was stretched in the hole and several snow crystals were put upon it. An electric heater placed at one end of the box produced a horizontal temperature gradient in the snow. Tiny crystals of ice grew on those sides of the crystals put on the net which faced the heater and the other sides of them receded. This phenomenon was observed most clearly on dendritic snow crystals as shown in Photos. 1 (a) ~ (c). The arrows drawn on the photographs show the direction of heat flow. Many tiny crystals grew on each branch of the crystal on its side facing to the heater and the twigs on the opposite side of it vanished. Graupel changed its form as shown in Photos. 2 (a) ~ (c). At first many tiny crystals grew out from its surface pointing to the heater. Meanwhile some of them began to grow faster than others and the crystals which grew faster gradually took in their small neighbours. In the last stage a few number of large crystals were left and the graupel had been displaced a small distance in the direction of the heater as a whole.

Large cup crystals are found frequently in the interior of the snow cover and they are called "depth hoar". These depth hoar crystals were produced here experimentally under a large temperature gradient 0.7°C/cm by placing on the silk net gravel-like ice particles composing old snow cover. They are shown in photos. 3 (c) or (d). In the case of a temperature gradient much smaller than this no crystal grew on the gravel-like ice particles but these simply swelled out on the sides which faced the heater. This swelling must have been produced also by the condensation of water vapour which would have made crystals grow if the temperature gradient were large. This fact suggests that water vapour is always diffusing through snow cover from its warmer part to its colder part although the ice particles composing it do not always show crystal form. It is however to be noted that the water vapour does not diffuse a long way along the narrow canals in the snow cover but diffuses only a shortway between the adjacent snow particles situated along the direction of the temperature gradient.

No.1





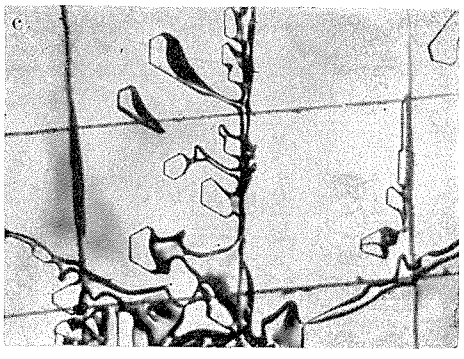
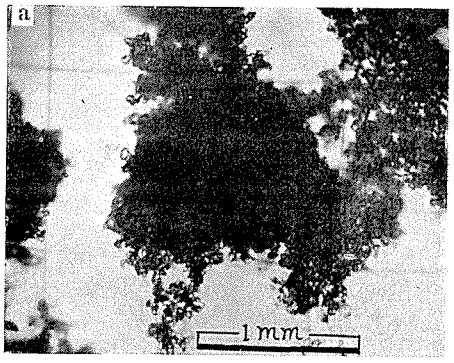
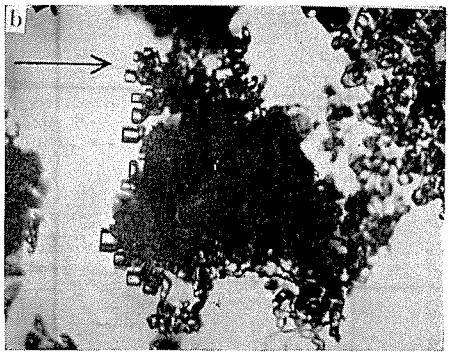


写真１．　樹枝状結晶．その１
（−15°C，温度勾配 0.3°C/cm）
矢印は温度勾配の方向を示す．
a) はじめ　b) 24時間後　c) 48時間後

No.2





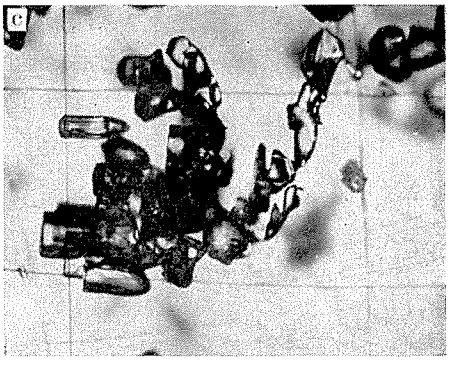


写真２．　霰
（−15°C，温度勾配 0.4°C/cm）

a) はじめ　b) 34時間後　c) 10日後

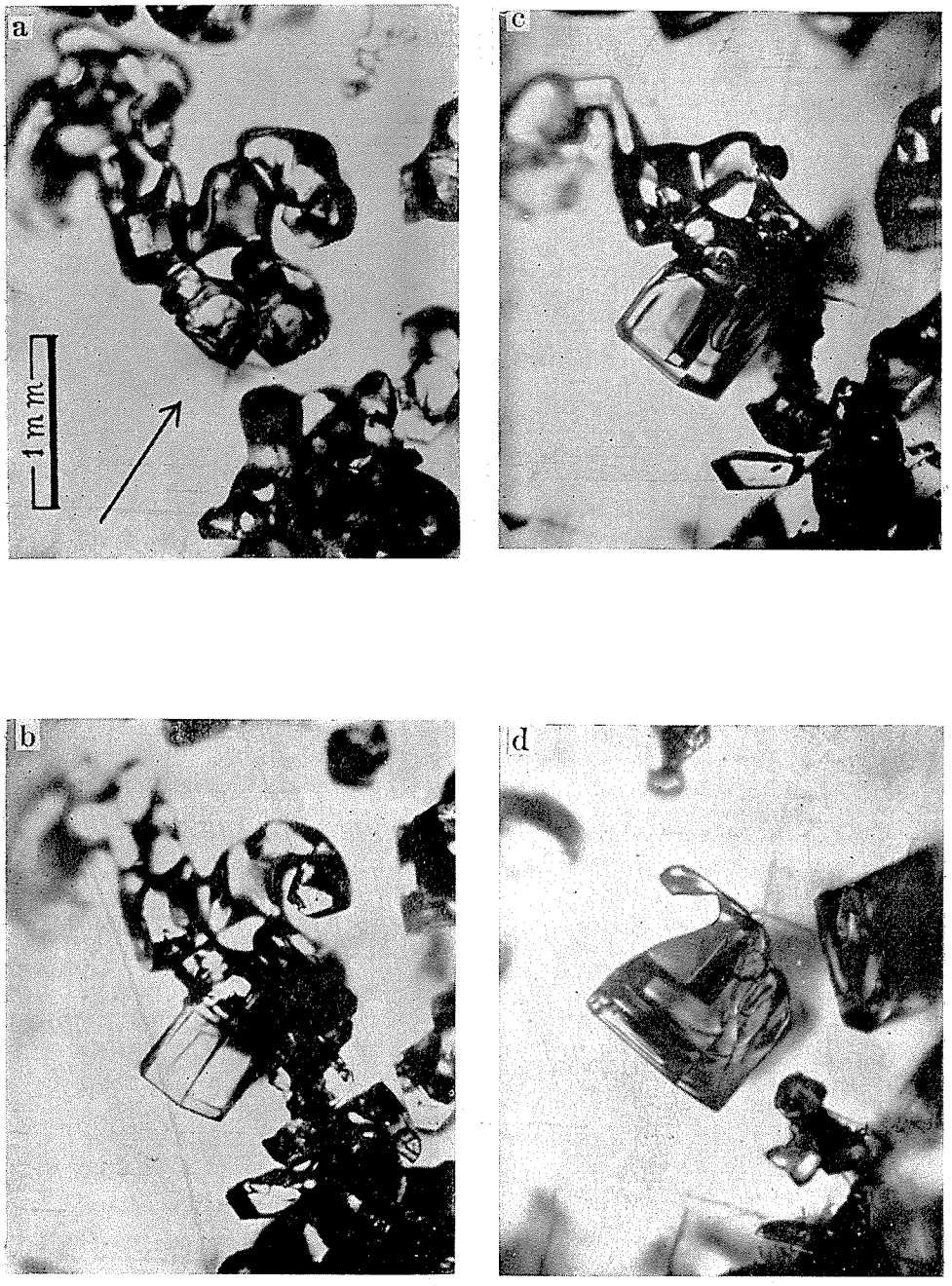


写真3．　ざらめ雪（Depth hoar の生長）
（−15°C，温度勾配 0.7°C/cm）
a) 30時間後　b) 3日後　c) 7日後　d) 12日後

No.4　　A　　B

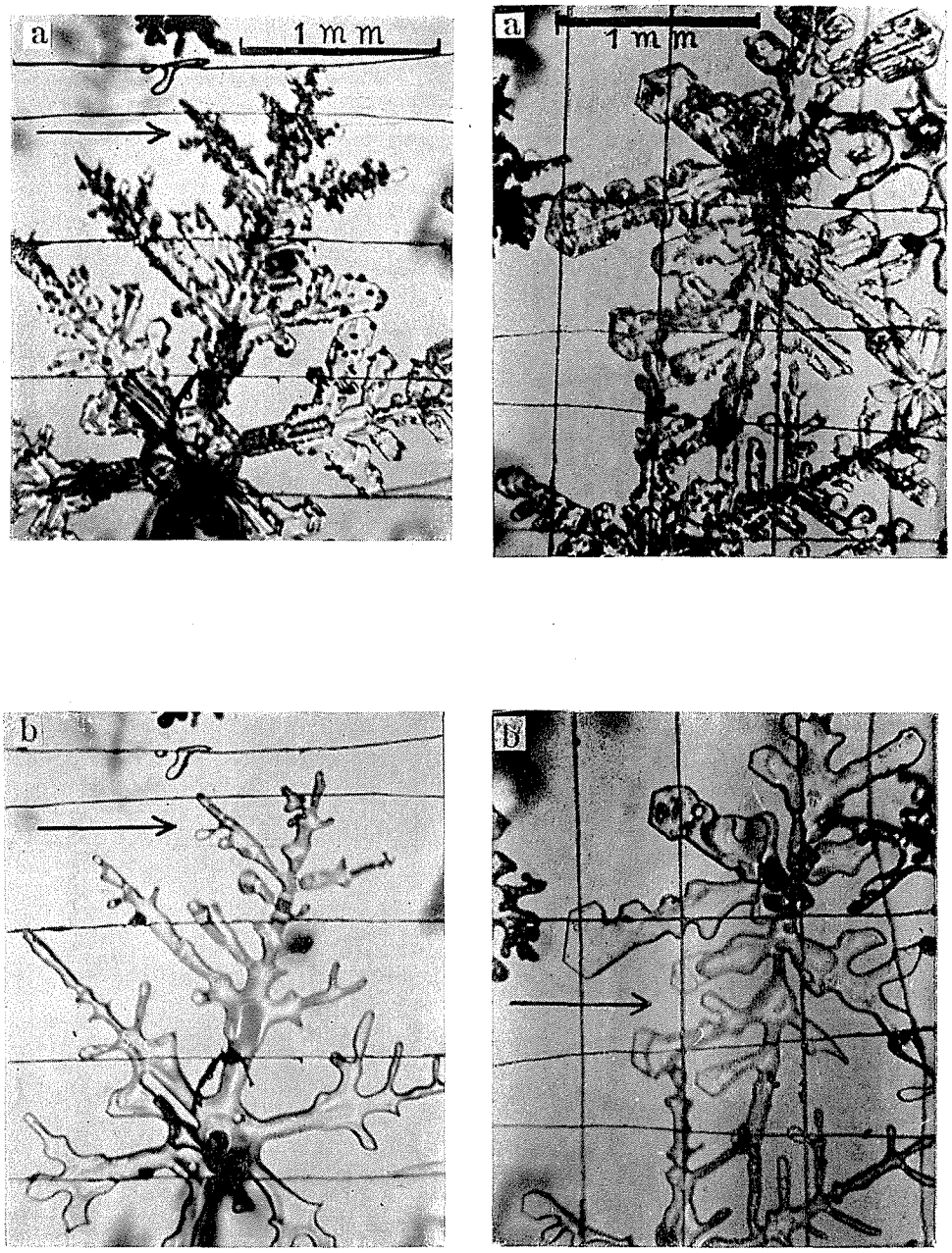


写真４．　樹枝状結晶．その２
（A，B 共温度　−15°C 温度勾配 0.08°C/cm）
A：　a) はじめ　　b) 4 日後
B：　a) はじめ　　b) 4 日後

No.5

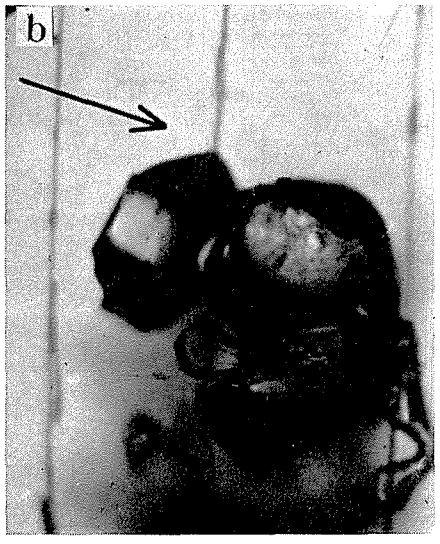


写真5．ざらめ雪
（−15°C，温度勾配 0·15°C/cm）
a) はじめ　　d) 57時間後