



Title	しもざらめ雪の研究 Ⅱ
Author(s)	秋田谷, 英次; AKITAYA, Eizi
Citation	低温科学. 物理篇, 25, 37-47
Issue Date	1967-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18059
Type	departmental bulletin paper
File Information	25_p37-47.pdf



しもざらめ雪の研究 II*

秋田谷 英次

(低温科学研究所 雪害科学部門)

(昭和 42 年 8 月受理)

I. ま え が き

前回の報告, しもざらめ雪の研究 I¹⁾は, しまり雪に一定の温度勾配を与えて, 人工的にしもざらめ雪をつくり, その発達過程を薄片の顕微鏡写真によって調べたものである。その結果, 温度勾配の大きさによって発生するしもざらめ雪に 2 つの結晶型があることがわかった。中空の六角コップ状をした骸晶で skeleton 型結晶とよばれるものと, 六角柱状又は六角厚板状の内のつまった無垢の結晶の solid 型結晶とである。

しもざらめ雪のもろい積雪層は, 天然の場合, 積雪下層において発達する。これは積雪の下層の雪程, 降り積ってからの期間が長いと, 温度勾配の影響をうけた時間が長かった訳であるから当然の事である。しかし筆者等が行なった札幌での積雪断面測定²⁾や, 山地積雪調査³⁾によると, 最下層以外でもしばしば, しもざらめ雪が見られた。すなわち, 最下層がざらめ雪でその上がしもざらめ雪, 又は, しもざらめ雪としまり雪が交互に重なりあっている場合等である。これらの積雪観測は雪の降りはじめの 12 月から, 1 週間又は 2 週間毎に行なっているため, 各層の積雪が降り始めてからたどった変態過程を知ることができる。2 つのしもざらめ雪の層にはさまれたしまり雪の層は, 降り積ってから一度もしもざらめ雪になったことはなかった。このことから, 同じ様な条件のもとにおかれても, しもざらめ雪に変態しにくい雪質があることがわかる。

今回の報告は, 雪質の異なった積雪に温度勾配を与えて, 人工的にしもざらめ雪をつくり, 雪質によるしもざらめ雪の発達の差異を調べたものである。尚, 簡単のため, さきに発表した, しもざらめ雪の研究 I を, 単に報告 I とよぶことにする。

II. 実験方法

低温実験室内に恒温箱を置き, 恒温箱内部の温度を電熱ヒーター, ファン及び温度調節器によって任意の値に保った。この恒温箱の中に, 周囲を厚さ 10 cm の断熱材でかこった雪のブロックを入れ, 下方に熱源を入れ一定の温度に保っておく。熱源の温度を恒温箱の温度より高くすることにより, 積雪に自然状態と同様な鉛直方向の温度勾配を与えることができる。雪の下におく熱源としては次の 2 種類を用いた。一つは銅板でつくった縦, 横, 高さが, それぞれ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 841 号

30 cm, 30 cm, 2 cm の平たい密閉箱で、外から箱の中へ灯油を循環させるために、側面に2つの口があげてある。灯油はハーケ超恒温槽で、 0.1°C の精度で一定の温度に保たれ、2本の人造ゴムの管と、恒温槽附属のポンプで密閉箱に送り込まれた。この装置は作動が安定なため、ブロック下部の雪温を 0°C 近くに設定したばあいでも、誤って雪を融かすようなことはなかった。

もう一つの熱源は、ニクロム線を巻いてつくった、10 W の電熱ヒーターを上下2枚の銅板ではさんだもので、雪に接する銅板の温度を熱電対でとりだし、6打点電子管式記録計に付属したリレーでヒーターの電流を断続し、銅板の温度を一定にした。雪温測定には、銅-コンスタントン熱電対を用い、上に述べた記録計で記録した。しもざらめ雪の発達を観察は、アニリン固定法を利用して鉛直薄片をつくり、顕微鏡写真によって行なった。

しもざらめ雪の粒径の測定には、雪のブロックからしもざらめ雪の結晶をばらばらにして取出し、顕微鏡写真を撮って、写真上で測定した。報告 I では薄片の写真上で結晶の大きさを測定したが、この方法によると、雪粒の中心が薄片の厚さから外れた場合には、粒径が小さくあらわれる欠点がある。

不規則な形をした粉体の粒径を求めるには、その目的に応じて様々な方法が考えられる。ここでは、結晶成長という立場から、結晶の先端において、成長方向に垂直な粒子の幅をもって粒径とし、数 10 ケの測定値の平均を用いた。結晶型については、報告 I と同じく、skeleton 型と solid 型の2つの結晶型に分類した。

III. 実験結果

前節で述べた実験装置を用い、しんせつ、しまり雪、ざらめ雪の各雪質のブロックに温度勾配を与え、しもざらめ雪の発達の様子を調べた。雪のブロックの大きさは一定ではなく、縦、横、高さが 10 cm×10 cm×5 cm のものから 25 cm×25 cm×15 cm のものまで様々であった。

1. しんせつのばあい

図版 I-1 にしんせつ (密度 0.152 g/cm^3) の温度勾配を与える前の雪の薄片写真を示した。この雪は降り積ったばかりのしんせつを2ヶ月余り -20°C の低温室内に保存しておいたものである。写真にみられるように、降雪時の結晶形は消失し、むしろ、こしまり雪に近い粒子の形を示している。写真にみえている円形のは、アニリン液の中にとじこめられた空気の泡である。

図版 I の2と3は、この雪に16日間温度勾配を与えた後の雪の薄片である。雪の試料は鉛直に切りとられたもので、写真の下の方が温度が高く、上が低くなっていて、矢印の方向に熱は流れた。写真の倍率は1, 2, 3とも同じである。2は平均雪温 -2.0°C 、温度勾配 -0.22°C/cm 、実験後の密度は 0.205 g/cm^3 であった。3は平均雪温 -4.3°C 、温度勾配 -1.20°C/cm で実験後の密度は2より小さく、 0.189 g/cm^3 であった。これは平均雪温の低いために、圧縮粘性係数が大きく、2にくらべて自重による沈降量が小さかったためである⁴⁾。尚、平均雪温は雪の上面と下面の温度の平均値である。

結晶の形と大きさについてみると、温度勾配の小さな 2 では、skeleton 型の結晶が全体の 68% で平均粒径は 1.3 mm, solid 型は 32% で粒径は 0.8 mm であった。3 では全部が skeleton 型結晶で粒径は 2.8 mm と 2 の倍以上の大きさであった。2, 3 にみられた skeleton 型結晶には、天然のしもざらめ雪に見られるコップ状の結晶は少なく、コップ状結晶の一部分と思われるものや、骸晶状の角板が大部分を占めていた。

2. しまり雪のばあい

報告 I では、しまり雪に雪温 -4°C から -12°C の範囲で温度勾配を与え、しもざらめ雪の発達の様子を述べた。その結果、温度勾配の小さなばあいには solid 型の結晶が、大きいばあいには skeleton 型の結晶が成長した。そして、skeleton 型は降雪結晶のコップ状結晶に、solid 型は角柱又は極厚板結晶に対応していることを述べた。今回の実験は -4°C よりも高い温度で、しまり雪から発達するしもざらめ雪について調べたものである。

北海道でも冬期 1 m 以上の積雪がある所では、真冬においても、地面近くの積雪はこの温度範囲にあるものが多い。 $0^{\circ}\sim 4^{\circ}\text{C}$ で氷に対する水蒸気の過飽和度の高い範囲では角板結晶の発達することが知られている。しかしこの温度範囲で、過飽和度の極く低い領域での実験はほとんどなされていない。しかし成長速度が非常に遅いことから、solid 型の結晶が成長するものと考えられている。

図版 II の 4~7 に異なった大きさの温度勾配の下で、しまり雪から成長したしもざらめ雪の薄片写真を示してある。実験前の雪は密度が 0.35 g/cm^3 程度の普通にみられるしまり雪で、実験後も密度の変化はなかった。4 は平均雪温 -0.7°C で、 -0.17°C/cm の温度勾配を 10 日間与えた後の薄片である。一連の実験の中で、この 4 が雪温が一番高く、温度勾配が一番小さい。写真から明らかなように、大部分の結晶は、solid 型の結晶であり、報告 I で述べた -4°C 以下のばあいと同様な結果が得られた。この solid 型結晶からなる積雪は、日本雪氷学会で定めた、こしもざらめ雪に相当する。

図版 II の 5, 6, 7 はこの順序に従って温度勾配を大きくしたもので、温度勾配が大きくなるにつれて skeleton 型の結晶が増加し、その粒径も大きくなっている。7 は -0.89°C/cm の大きな温度勾配を 16 日間与えたもので、大きな skeleton 型結晶の他、写真の矢印で示した部分に、非常に小さな結晶の集合がみられる。実験後のこの雪は実験前に比べて非常に硬く、積雪断面観測に使用している厚さ 1 mm の鉄板で作った 100 cc の箱型の採雪器がようやく突きささる程度であった。

5 と 7 は同じ積雪を用い、同じ日数だけ温度勾配を与えたものであるが、5 の方は上記の採雪器で容易に採雪できた。5 の平均雪温は -2.0°C で 7 の -3.6°C より高く、温度勾配は、5 の -0.22°C/cm に対し、7 は -0.89°C/cm と 4 倍の大きさであった。7 が非常に硬くなった理由の一つとして、写真にみられるように、小さな結晶の集合が大きな skeleton 型の結晶同志をくっつけ合ったためと考えられる。なお、de Quervain の実験によると⁵⁾、密度 0.19 g/cm^3 の積雪に平均雪温 -5°C で、 -0.18°C/cm と -0.70°C/cm の温度勾配を 40 日間与えたばあい、その硬度は後者が丁度 2 倍の大きさになっている。

3. ざらめ雪のばあい

図版 III の 8~12 にざらめ雪の実験を示してある。8 は自然状態のままの、密度が 0.30 g/cm^3 のざらめ雪の実験前の薄片である。粒径及び個々の空隙の大きさがしんせつや、しまり雪に比べてはるかに大きい。このざらめ雪に平均雪温 -1.3°C で、 -0.32°C/cm の温度勾配を 12 日間与えた後の薄片を 9 に示してある。skeleton 型と solid 型の両方の結晶が成長し、特に skeleton 型結晶で大きなものがみられた。

上に述べたように、この実験に用いた試料は密度が 0.30 g/cm^3 で、ざらめ雪の中では密度の小さい方である。云いかえると、この試料の個々の空隙の大きさは、しんせつやしまり雪は勿論、普通のざらめ雪にくらべても特に大きい方である。そこで、空隙の大きさと、しもざらめ雪の発達の間係を調べるために、わざと空隙の小さなざらめ雪を人工的に作って実験を行なった。

春先、積雪に水が含まれる様になると全層ざらめ雪になる。この、水を含んだざらめ雪を低温室内に入れ、手で雪粒をばらばらにほぐし、しばらく時間が経ってから又ばらばらにほぐす。数回これをくり返すと、雪の中に含まれていた水は雪粒の表面で凍り、さらさらしたざらめ雪ができる。この雪を木で作った枠の中に、密度がなるべく一樣になるように詰め、そのまま温度勾配を与える試料とした。

この雪の試料の密度は 0.519 g/cm^3 と大きく、その薄片は 10 に示してある。雪粒の個々のつながりがたち切られた空隙の小さなざらめ雪ができたわけである。この雪に 16 日間温度勾配を与えた後の薄片を 11 に示した。平均雪温と温度勾配は、 -2.0°C と -0.22°C/cm であった。写真 11 から明らかなように、solid 型も skeleton 型の結晶も見られず、しまり雪に大きな温度勾配を与えたものと同様な、小さな結晶の集合のみが発達している。

11 の試料で温度勾配を与えてから 7 日後に雪粒をばらばらにし、雪の粒子 1 個をとり出して写した写真が 12 である。大きなざらめ雪の粒子の、温度の高い方へ向いた面から多くの小さな結晶が成長している。この小さな結晶がやがて、すぐ隣の雪粒に接触して 11 に示した構造になったのである。このざらめ雪は温度勾配を与えてから非常に硬くなり、実験をやめた 16 日目には、雪粒をばらばらにして取出すことはできなかった。勿論、前に述べた採雪器で採雪することは不可能であった。

11 と同じざらめ雪の試料に約 4 倍の大きさの温度勾配を与えたものは、更に小さな多数の結晶が成長して、もとの大きな雪粒同志をくっつけ合っていた。このざらめ雪の実験により、もとの雪の空隙が小さく、しかも密度の大きな積雪内には、もろいしもざらめ雪が発達しないことが明らかとなった。そこで密度、粒径及び空隙の大きさと、しもざらめ雪の発達の関係を定量的に調べるために次の実験を行なった。

4. 粒径が同じで密度が異なるばあい

この実験では、次の 4 種類の積雪ブロックに、平均雪温 -2.0°C で -0.37°C/cm の温度勾配を 11 日間与えた。

A. ざらめ雪；粒径が $1\sim 3 \text{ mm}$ で密度は 0.366 g/cm^3 。

B. 圧縮したざらめ雪；A のざらめ雪を密度 0.450 g/cm^3 に圧縮したもの、圧縮には万能圧縮試験機を用い、 1 mm/min 程度の遅い速度で圧縮した。雪は全層が一様に縮んだ。

C. しまり雪；粒径が 0.5 mm 以下で密度は 0.249 g/cm^3 。

D. 圧縮したしまり雪；C のしまり雪を A と同じ密度の 0.366 g/cm^3 になるまで圧縮したもの。

図版 IV の 13~16 に実験後の雪の薄片写真を示した。上に述べた積雪ブロックの種類 A, B, C, D は写真の 13, 14, 15, 16 にそれぞれ対応している。A, B, C, D の各々について、結晶型と粒径を測定し、その結果を第 1 表に示した。調べた粒子の数は、各ブロックにつき 60 箇である。結晶型についてみると skeleton 型の結晶はざらめ雪 A で一番多く、全体の結晶の半分が skeleton 型である。反対に一番少ないのは A と同じ密度に圧縮したしまり雪 D で、skeleton 型は 10%、残りの 90% は solid 型である。結晶の大きさは solid, skeleton 型ともざらめ雪 A が一番大きく、圧縮したしまり雪 D では、A のおよそ半分の大きさである。

この様に密度が同じ場合には、雪粒の大きなもの程、すなわち個々の空隙の大きなもの程大きな粒径のしもざらめ雪が発達した。写真 13 と 16 を比較すると、温度勾配と密度は同じであるが、しまり雪を圧縮した 16 には、小さな結晶が数多く成長している。ざらめ雪よりも小粒の粒子の集合であるしまり雪には、数多くの結晶が成長し、それだけ各々の結晶の成長量は少ないことになった。

第 1 表 しもざらめ雪の結晶型と大きさ

平均雪温 -2.0°C , 温度勾配 -0.37°C/cm に 11 日間おいたもの

積雪の種類	密度 (g/cm^3)	結晶型と粒径			
		solid 型 (%)	粒径 (mm)	skeleton 型 (%)	粒型 (mm)
A	0.366	49	1.0	51	2.0
B	0.450	84	0.8	16	1.3
C	0.249	75	0.8	25	0.9
D	0.366	90	0.6	10	0.9

5. 積雪中の空洞内に成長する霜の結晶

前節に述べた実験結果から、しもざらめ雪の結晶が十分に大きく成長するためには、大きな空隙の存在が必要であることがわかる。そこで、積雪に人工的に穴をあけて空洞を作り、その穴の中に成長する結晶と、穴以外の雪粒間の空隙内に成長する結晶とを比較する実験を行なった。

粒径が $0.5\sim 1.0 \text{ mm}$ で密度が 0.36 g/cm^3 程度のしまり雪のブロックに、直径約 8 mm の丸い円筒状の穴を数本水平にあけた。今までの実験と同様にブロック下面の温度を高く、上面を低く保っておく。熱の流れに対して、垂直に直径 8 mm の円筒状の空洞ができたわけである。数日後には、空洞の天井から下方に向かって、すなわち、温度の低い方から高い方向に向かって霜の結晶が成長した。

図版 V の 17 は実験後の雪のブロックの様子を示したものである。上面が -5.6°C 、下面が -1.0°C 、平均の温度勾配は $-0.92^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ で、実験をはじめてから 9 日後の状態である。空洞内の温度は直接測定していないが、ブロックが一様な温度勾配をもっていたとすれば、空洞 A, B, C の天井で約 -5 , -4 , -2°C となる。18, 19, 20 は空洞 A, B, C 内に成長した結晶をばらばらにして取出して撮った写真で、A では針状、B ではコップ状、C では角板の核晶が成長した。結晶の大きさを比較するために、図版写真の倍率は、図版 V の 17 以外は全て同じ倍率にしてある。

降雪の各種の結晶の成長条件を表わす T_a-s ダイアグラム⁶⁾ によると、針状結晶は $-4 \sim -6^{\circ}\text{C}$ で過飽和度の高い領域で成長し、これより過飽和度の低い所では、コップ状結晶が成長している。空洞 A, B の温度条件は丁度この範囲内にある。 $0 \sim -4^{\circ}\text{C}$ の範囲は角板領域となっており、空洞 C に成長した結晶と一致している。一方、空洞以外の積雪中に成長した結晶は全て skeleton 型で、大きさは空洞内に成長したものより小さかった。針状結晶が成長した A と同じ高さの空洞がない部分の雪の薄片を作って観察したが、針状結晶は見られなかった。

以上の結果より、大きな結晶が成長するためには、雪の粒子間にかなりの空隙が必要であることがわかった。又人工的にあけた空洞内にもみ針状結晶が成長したことから、この部分では、まわりの積雪内の小さな空隙より、過飽和度が高かったことを示している。

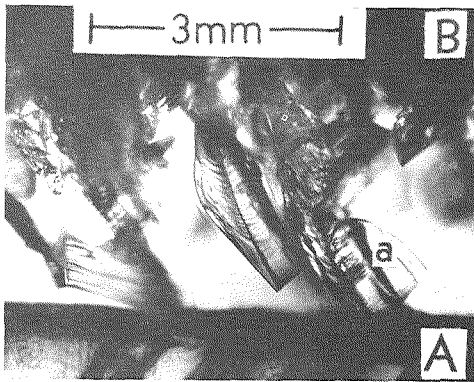
IV. 考 察

G. Seligman⁷⁾ (1962, 62-77 頁) は、しもざらめ雪の発達には温度勾配の他に、積雪中の空隙の大きさに支配されることを述べている。コップ状の結晶は、大きな空隙のある所で発達し、普通に積ったしまり雪の中では、空隙が小さいため、殻粒状の結晶が発達することを観察している。(殻粒状の結晶からなる積雪をスイスでは *Kornschnee* と呼び、こしもざらめ雪に相当する。) 更に大きな空隙内に成長する結晶として、氷河の割れ目 (クレバス) の中に見られる霜 (*crevasse hoar*) をあげている。

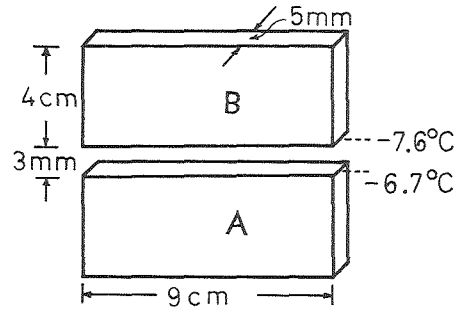
実験 4 に述べた様に、同じ温度勾配の下で、空隙の大きなざらめ雪の中では、skeleton 型の大きな結晶が発達し、小さな粒子からなるしまり雪には、solid 型の結晶が多く発達した。Seligman の観察結果が、この実験によって確かめられたわけである。

吉田その他⁸⁾ は、北海道の日高において、雪踏みによって、積雪を丈夫にし、雪崩の発生を防いだ。日高はしもざらめ雪の発達しやすい所で、雪踏みを行なった前年には、しもざらめ雪に起因すると思われる雪崩がおこり、多くの遭難者を出した。雪踏みは、しもざらめ雪からなる脆い雪の層を、踏み固め、丈夫にすることを目的として行なわれたものであったが、同時に、踏みつけによって、雪の粒子間の空隙を小さくし、その後のしもざらめ雪の発達を防いでいたことにもなる。

空隙が大きい程大きな結晶が成長する理由として次のことが考えられる。空隙中で結晶が成長してゆくと、やがて、その先端が水蒸気の供給源である温度の高い側にある雪粒と接触する。接触すると、氷は空気の 100 倍も熱伝導率が大きいため、大部分の熱は、結晶内を通過して



第1図 氷の板 A, B のすき間に成長した結晶



第2図 氷の板 A, B 大きさと温度

流れ、それ以上結晶は大きく成長できない。

第1図はこのことを示した実験で、厚さ 5 mm の 2 枚の氷の板 A, B を 3 mm のすき間をあけて並べ、その間に成長した結晶を示したものである。その時の条件は第2図に示した。第1図において、温度勾配を与えてから 5 日後に、氷の板 B から成長した結晶 a は、氷の板 A に接触した。その後、この結晶は大きくならなかった。

前節で、空洞内に成長した結晶形から、空洞では、水蒸気の過飽和度が、しまり雪の中の自然の空隙内より高いことを述べた。これは、空洞内での温度勾配が、自然の雪のすき間におけるものよりも、大きかったからにほかならない。

一様な媒質中に、熱の流れに垂直な一面をもつ四角な断面の穴をあけた場合、穴の壁の温度は、弛緩法 (relaxation method)⁹⁾ によって近似的に求められる。穴が熱を伝えない場合、熱の流れに垂直な穴の 2 つの面の温度差は、穴のない部分における同じ距離の温度差が 1.0°C の場合に、 1.8°C となる。穴の中では温度勾配が、穴のない場合の 1.8 倍になるわけである。積雪のぼあい、穴の部分にも、空気及び水蒸気によってはこぼれる熱の流れがある。しかし、このようにして運ばれる熱を勘定に入れても、穴の部分の熱伝導率は、雪の熱伝導率の $1/5$ 程度でその影響は小さい¹⁰⁾。

上にのべた 2 つの理由によって、積雪中に大きな空隙があると、その中では、大きなしもざらめ雪の結晶が成長し、しかも、温度勾配が大きいため、成長速度も早くなる。

V. 要 約

積雪のブロックに温度勾配を与え、もとの雪質がしもざらめ雪の発達に及ぼす影響を調べた。その結果、天然に普通見られる、しんせつ、しまり雪、ざらめ雪の 3 つの種類雪については、温度勾配を与えると、その内部に、しもざらめ雪が発達する。しかし、その発達の仕方は雪質によって異なる。

しもざらめ雪の結晶型についてみると

1. 同じ雪質では、温度勾配が大きい程、skeleton型が多く、小さい程、solid型の結晶が多く発達する。
2. 同じ温度勾配のとき、ざらめ雪でskeleton型が、しまり雪でsolid型の結晶が多く発達する。
3. 密度が同じならば雪粒の大きなもの、すなわち、大きな空隙があるもの程skeleton型が多く発達する。

結晶が大きく成長するためには

1. 温度勾配が大きいこと
2. 大きな空隙が存在すること

が必要である。

終りに、この研究を御指導下された藤岡敏夫教授に感謝の意を表わす。尚、この研究に要した費用の一部は、文部省科学研究費によって支出された。

文 献

- 1) 秋田谷英次 1965 しもざらめ雪の研究 I. 低温科学, 物理篇, **23**, 67-74.
- 2) 小島賢治・木下誠一・若浜五郎・清水弘・中村勉・秋田谷英次 1965 札幌の平地積雪断面測定資料報告, 昭和38~39年冬期, 低温科学, 物理篇, **23**, 99-119.
- 3) 藤岡敏夫・清水弘・秋田谷英次・成田英器 1966 北大天塩地方演習林山地積雪の雪質調査報告 I. 低温科学, 物理篇, **24**, 177-199.
- 4) 小島賢治 積雪の粘弾性. 低温科学, 物理篇, **12**, 1-15.
- 5) de Quervain, M. R. 1958 On metamorphism and hardening of snow under constant pressure and temperature gradient. IUGG Congress, 1957, Toronto, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., Vol. **4**, 225-239.
- 6) Kobayashi, T. 1963 The Growth of Snow Crystals at Low Supersaturations. *Phil. Mag.*, **6**, 1363-1370.
- 7) Seligman, G. 1962 Snow Structure and Ski fields, Reprinted in Belgium, Jos Adam, Brussels, 555 pp.
- 8) 吉田順五・藤岡敏夫・木下誠一・若浜五郎 1963 北海道日高の雪崩調査報告. 低温科学, 物理篇, **21**, 75-94.
- 9) Jakob, M. and Hawkins, G. A. 1957 Elements of Heat Transfer. 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 317 pp.
- 10) 吉田順五 1950 積雪内部の昇華. 低温科学, **3**, 89-100.

Summary

In the previous paper the author reported on an experiment on the process of metamorphosis of snow particles into depth hoar crystals (reference (1)). Blocks of compact snow were subjected to temperature gradients in a cold room and during several days the snow particles changed into depth hoar crystals. It was shown that two kinds of crystals developed, the skeleton type and the solid type.

Crystals of depth hoar are found in the snow layer near the ground in Hokkaido.

And sometimes a snow layer of compact snow is sandwiched by two layers of depth hoar in the lower levels of a snow cover. The compact snow might have a lesser tendency to change into depth hoar, while fragile or soft snow is easily metamorphosed into depth hoar. The snow density, dimension of air void in the structure of snow cover and grain size of snow particle may play an important role in the formation of depth hoar. From this standpoint, the development of depth hoar from fresh snow, compact snow and granular snow was studied experimentally.

Blocks of snow were placed in a cold room and kept at constant temperatures and under constant temperature gradients for several days. Pl. I-1 shows the micro-structure of fresh snow (density: 0.152 g/cm^3) before the experiment and Pl. I-2 and 3 show those of metamorphosed snow cut into thin sections by means of the aniline method. Mean temperature of the snow sample (T), temperature gradient ($\text{grad } T$), lapse of time of experiment (t) and density (ρ) were as follows.

Pl. I-2; $T = -2.0^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = -0.22^\circ\text{C/cm}$, $t = 16$ days, $\rho = 0.205 \text{ g/cm}^3$, Pl. I-3; $T = -4.3^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = -1.2^\circ\text{C/cm}$, $t = 16$ days, $\rho = 0.189 \text{ g/cm}^3$.

The majority of the crystals of depth hoar were of the skeleton type as shown in Pl. I-2 comprising 68% of the whole of the depth hoar crystals and 100% in Pl. I-3. Their grain size were 1.3 mm and 2.8 mm, respectively. The grain size was measured by the width of the tip of disengaged crystals.

Pl. II-4, 5, 6 and 7 are the metamorphosed structures from compact snow. The temperature gradients in these snow samples were -0.17 , -0.22 , -0.50 and -0.89°C/cm respectively. The depth hoar crystals in Pl. II-4 were almost of the solid type ($T = -0.7^\circ\text{C}$, $t = 10$ days, $\rho = 0.350 \text{ g/cm}^3$). As the temperature gradient increased the number of solid type crystals decreased while in contrast the number and grain size of skeleton type crystals increased. In Pl. II-7 ($T = -3.6^\circ\text{C}$, $t = 16$ days, $\rho = 0.348 \text{ g/cm}^3$) many tiny crystals indicated by arrows appeared near the large skeleton type crystals. The snow of Pl. II-7 was very hard after the experiment because they were cemented by these tiny crystals.

Pl. III-8 is the structure of granular snow and the snow metamorphosed into both types of depth hoar crystals as shown in Pl. III-9 ($T = -1.3^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = -0.32^\circ\text{C/cm}$, $\rho = 0.30 \text{ g/cm}^3$, $t = 12$ days). The density of this granular snow is rather small and each air void between the snow particles is larger than that of fresh or compact snow. Granular snow of a large density ($\rho = 0.519 \text{ g/cm}^3$) and small voids was prepared artificially (Pl. III-10) and this snow metamorphosed to the snow of Pl. III-11 ($T = -2.0^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = -0.22^\circ\text{C/cm}$, $t = 16$ days). Crystals of depth hoar were not found in Pl. III-11 and particles of granular snow were cemented by small crystals and the snow became very hard.

The above experiment shows that the snow density, the dimension of air void between snow particles and the grain size of snow particles play an important role in the development of depth hoar. This was also ascertained by the next experiment.

4 kinds of snow blocks were kept in the cold room under the same conditions ($T = -2.0^\circ\text{C}$, $\text{grad } T = -0.37^\circ\text{C/cm}$, $t = 11$ days).

A; granular snow, grain size = 1~3 mm, $\rho = 0.366 \text{ g/cm}^3$.

B; compressed granular snow, the snow A was compressed uniformly, $\rho = 0.450$

g/cm³.

C; compact snow, grain size is smaller than 0.5 mm, $\rho=0.249$ g/cm³.

D; compressed compact snow, the compact snow C was compressed uniformly to the same density as A.

The metamorphosed structure of A, B, C and D are shown in Pl. IV-13, 14, 15 and 16. Types of depth hoar crystals and their grain size are shown in Table 1. Large skeleton type crystals grew in granular snow A, but in compact snow D in which the density was the same as A, small solid type crystals grew under the same thermal conditions.

Pl. V shows the crystals of depth hoars grown in holes with a diameter of 8 mm which were made in the block of compact snow perpendicularly to the direction of heat flow. Large crystals grew from the colder wall to the warmer one of the holes as shown in Pl. V-17. ($T=-3.3^{\circ}\text{C}$, grad $T=-0.92^{\circ}\text{C}/\text{cm}$, $t=9$ days). Pl. V-18, 19 and 20 are the crystals taken out of the holes A, B and C respectively. According to Kobayashi's experiment, for the development of needle crystals, a higher supersaturation of water vapour to ice than in the skeleton type crystal is required. (reference (6)). In the snow near hole A, no needle crystals were found. The supersaturation of water vapour to ice necessary to develop needle crystals was brought about only in hole A.

Series of experiments showed that large voids between snow particles are required to grow large depth hoar crystals.

図版説明

図版 I しんせつのばあい

1. 実験前の薄片, 密度 0.152 g/cm^3
2. 16 日後の薄片, 平均雪温 -2.2°C , 温度勾配 -0.22°C/cm , 密度は 0.205 g/cm^3 に増加した
3. 16 日後の薄片, 平均雪温 -4.3°C , 温度勾配 -1.20°C/cm , 密度は 0.189 g/cm^3 に増加した

図版 II しまり雪のばあい

4. 10 日後の薄片, 平均雪温 -0.7°C , 温度勾配 -0.17°C/cm , 密度 0.350 g/cm^3
5. 16 日後の薄片, 平均雪温 -2.0°C , 温度勾配 -0.22°C/cm , 密度 0.348 g/cm^3
6. 12 日後の薄片, 平均雪温 -1.3°C , 温度勾配 -0.50°C/cm , 密度 0.360 g/cm^3
7. 16 日後の薄片 (実験前の雪は 5 と同じ), 平均雪温 -3.6°C , 温度勾配 -0.89°C/cm , 密度 0.348 g/cm^3

図版 III ざらめ雪のばあい

8. 実験前の薄片, 密度 0.30 g/cm^3
9. 8 の 12 日後の薄片, 平均雪温 -1.3°C , 温度勾配 -0.32°C/cm
10. 人工的につくったざらめ雪の実験前の薄片, 密度 0.519 g/cm^3
11. 10 の 16 日後の薄片, 平均雪温 -2.0°C , 温度勾配 -0.22°C/cm
12. 10 の試料から温度勾配を与えて 7 日目に取出した雪粒

図版 IV 粒径が同じで密度が異なるばあい

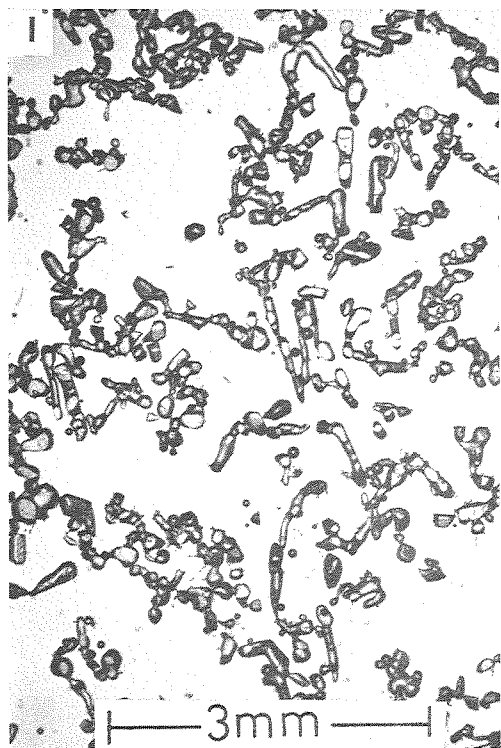
11 日後の薄片, 平均雪温 -2.0°C , 温度勾配 -0.37°C/cm

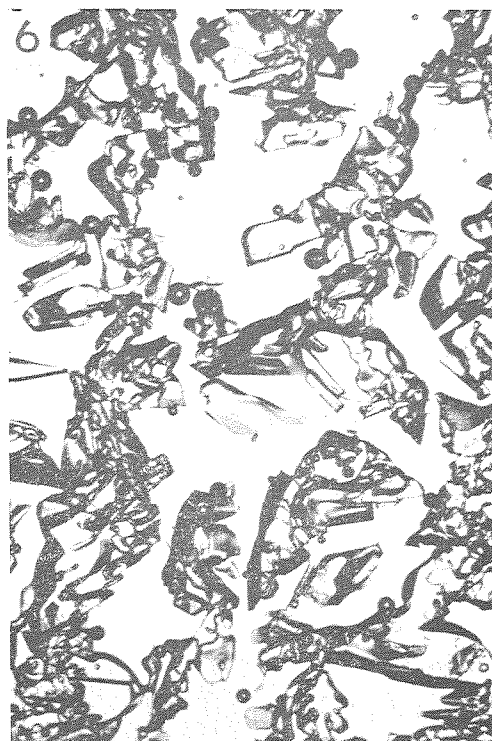
13. ざらめ雪, 密度 0.366 g/cm^3 (積雪の種類 A)
14. 圧縮したざらめ雪, 密度 0.450 g/cm^3 (積雪の種類 B)
15. しまり雪, 密度 0.249 g/cm^3 (積雪の種類 C)
16. 圧縮したしまり雪, 密度 0.366 g/cm^3 (13 と 16 は同じ密度), (積雪の種類 D)

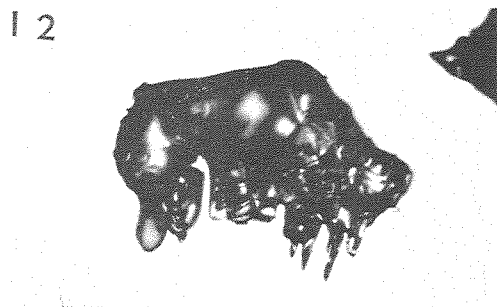
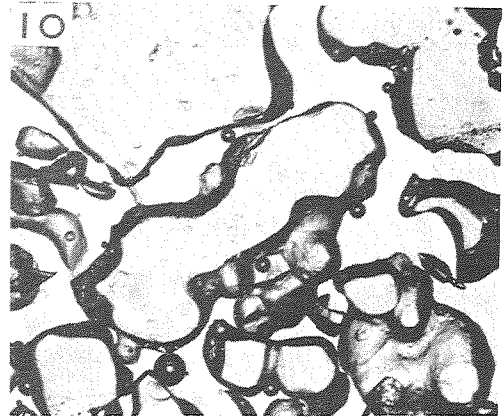
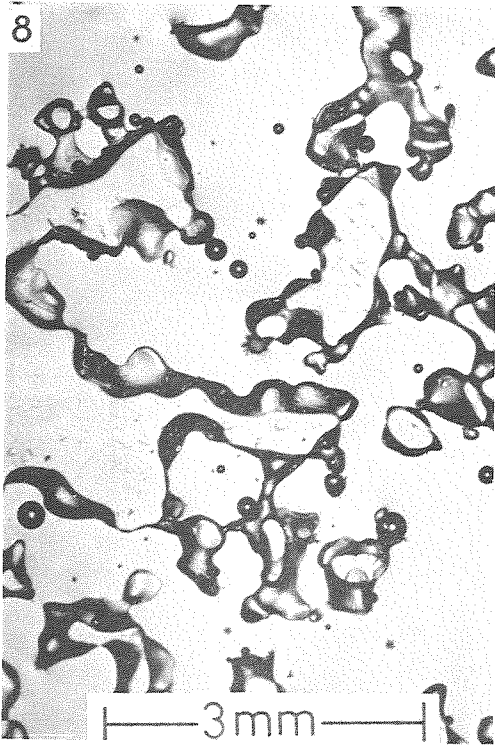
図版 V 積雪中の空洞内に成長した霜の結晶

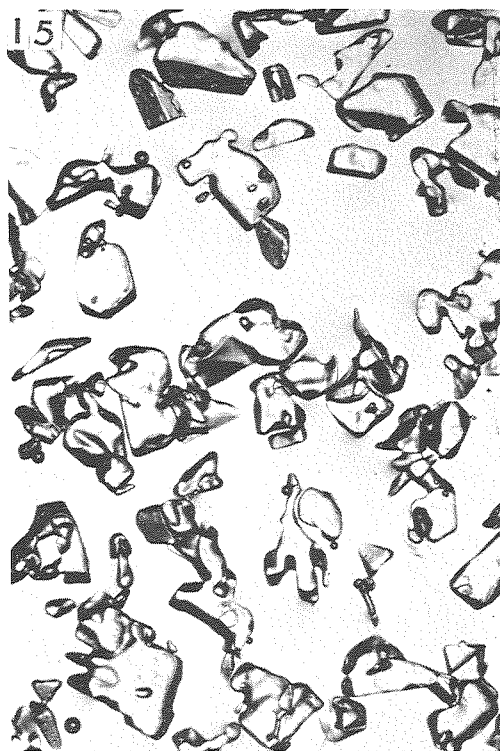
17. 実験後の積雪ブロック, もとの雪は密度 0.357 g/cm^3 のしまり雪, 平均雪温 -3.3°C で -0.92°C/cm の温度勾配を 9 日間与えた
18. 空洞 A に成長した結晶
19. 空洞 B に成長した結晶
20. 空洞 C に成長した結晶

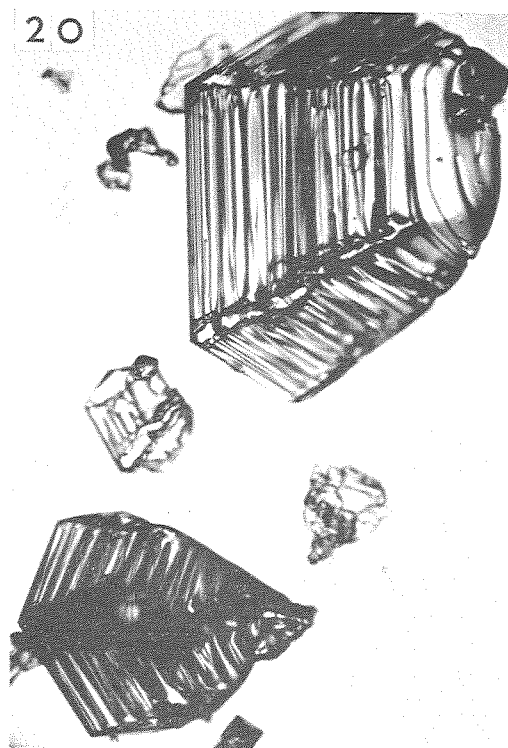
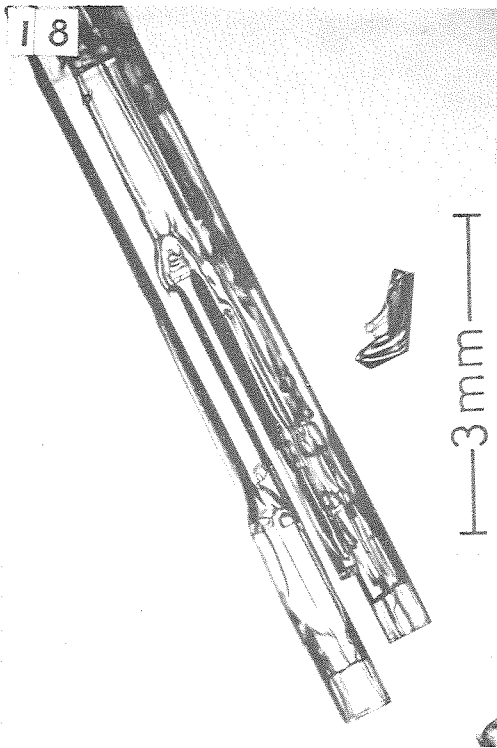
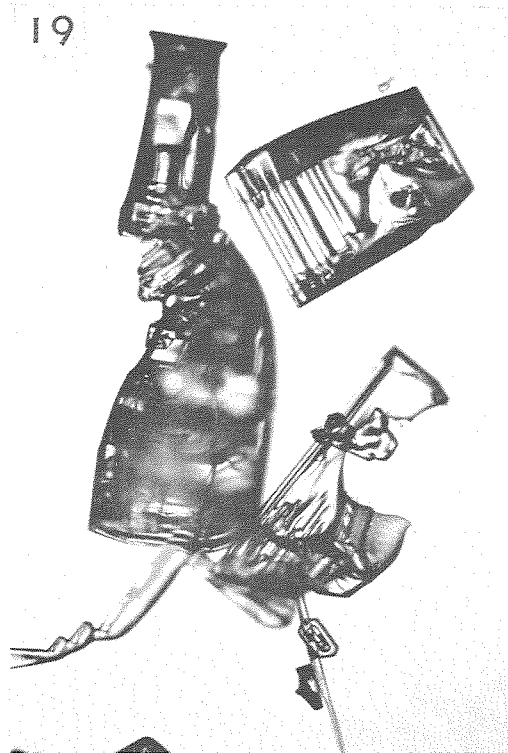
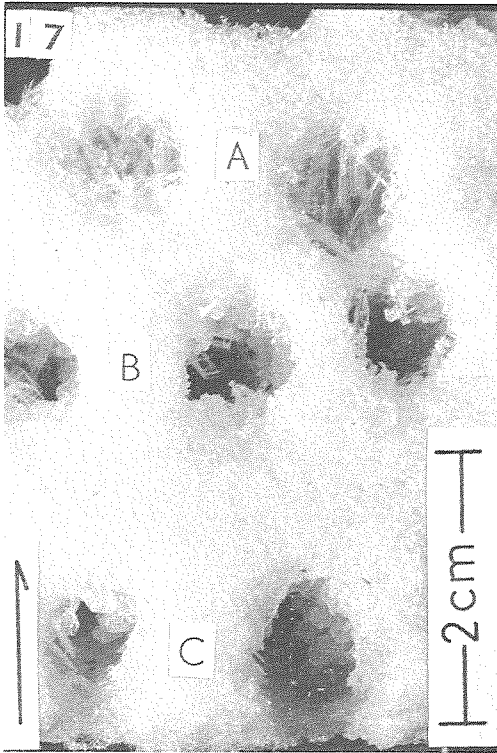
図版 V の 17 以外は全て同じ倍率











低温科学 物理篇 第23輯 訂正

頁	行	誤	正
17	1	1964	1965
67	1	1964	1965
99	2	adn	and
”	2	1964	1965
121	1	1964	1965
129	2	1964	1965

低温科学 物理篇 第25輯 訂正

頁	行	誤	正
37	脚註	第841号	第837号
187	5	できる。	できまる。
197	4	ヒマヤラの	ヒマラヤの
198	下から2	Socilty	Society
215	17	などを得て	などを経て
225	9	重量, 凍上との	重量, 凍土との
229	7	粒土分布	粒度分布

付 録

v	積雪分科会の著者	Dumani	Doumani
vii	氷分科会-1の座長	Bonson	Benson
ix	氷分科会の座長	L. Levi	C. S. Benson
xi	名簿, 8人目	*●新井	●新井
xiii	同, 下から6人目	●石原	石原
xiv	同, 11人目	●小泉	小泉
xviii	下から9行目	Hanovr	Hanover

viii ' 上から2行目 Luyet, B. J. の講演は前頁, 氷分科会-2
の同氏の講演に引続き行なわれた。