



Title	アニリン固定法による積雪の薄片
Author(s)	木下, 誠一; KINOSITA, Seiti; 若浜, 五郎 他
Citation	低温科学. 物理篇, 18, 77-96
Issue Date	1959-11-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17958
Type	departmental bulletin paper
File Information	18_p77-96.pdf



アニリン固定法による積雪の薄片*

木下 誠一 若浜 五郎

(低温科学研究所 応用物理学部門)

(昭和34年7月受理)

I. ま え が き

積雪は、新しいうちは雪の結晶の単なる集合体であるが、古くなると、小さな粒状あるいは柱状の氷が連結した網目組織のものに変る。積雪内部のいろいろな条件によつて、網目組織を構成する氷の粒の大きさ、形、粒同士の結合のしかたがちがひ、それにつれて、積雪の性質は、複雑な変化を示す。積雪の物理的あるいは力学的性質は、このような積雪の組織によつてきまるといつても言い過ぎではない。したがつて、積雪の物理、積雪の力学を研究するには、積雪を顕微鏡で観察して、その微細組織を明らかにする必要がある。

積雪の組織を顕微鏡で観察するとすれば、積雪を厚さ1 mm以下の薄片にしなければならない。厚さが2 mm以上もあると、雪粒子による光の強い散乱が組織をかくしてしまう。積雪は非常に脆いので、そのまま切るのは難かしいが、次の節のはじめにのべるようにして1 mmの厚さのものなら薄片もつくれる。しかし、それ以下の厚さのものとなると刃物で切断できるように、積雪を丈夫にする工夫をしなければならない。

II. 従来 の 薄 片 製 作 法

積雪の薄片製作技術の要点は、いかにして組織をこわさずに薄くするか、ということである。従来、何人かの研究者が、積雪の薄片を作ることに成功した。その方法を調べてみると、大体二通りあることがわかる。

第一は、積雪に力をかけないで切る方法である。細いニクロム線に電流を通し、電熱で少しずつ雪をとかしてゆけば、力をかけないで切ることができる。小島¹⁾はこの方法で、1 mm程度の厚さの薄片を作つた。積雪が網目組織であることは、こうして作つた薄片の観察によつて実証された。しかし、この方法では、1 mm以下の厚さに切るとは難かしい。さらに薄い薄片を作らうとすれば、刃物による切断、あるいはやすりによる研磨にたよらないわけには行かなくなる。そのため、積雪粒子の間隙を液体で充てんし、温度をさげて液体を固まらせて積雪を補強する。これが第二の方法である。次の条件をみだす液体なら、このために使うことが

* 北海道大学低温科学研究所業績 第533号

できるであろう。

- (1) 融点が 0°C 以下数度であること。
- (2) 氷を溶かさないうこと。
- (3) 氷をよく濡らすこと。
- (4) 粘性係数が小さいこと。
- (5) 凝固の際の体積変化が小さいこと。
- (6) 固体のときの硬さが氷と同じ程度であること。
- (7) 比重が氷の比重に近いこと。
- (8) 顕微鏡下で氷と容易に区別できること。

以上の条件をみたすものとして、スイスの Bader²⁾ は四臭化エタンを選んで、厚さ $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ の薄片を作ること成功した(1939年)。しかし、四臭化エタンは日本では入手困難で実用に適さない。また、臭素化合物であるため、鋸や鉋の金物がおかされやすいという難点がある。

オーストリーの Fuchs³⁾ は、充てん用の液体として水を選んだ。ただし、水は条件(5)と(8)をみたさない。とくに(8)が問題である。そこで Fuchs は、まず人造樹脂液を雪の中に注入して乾燥させ、氷の網目の表面に樹脂の膜をかぶせた。それから 0°C の水をしみこませ、冷やして水を凍結させ、マイクロームで薄く切つたのである。もとの積雪粒子と、補強に用いた氷の境界は、人造樹脂の被膜によつてすぐ区別できる。しかし、被膜で境された氷のどちら側がもとの雪の粒子であり、どちら側が空隙の部分にあたるのか判別することが困難であつた。この判別の問題を解決したのが清水⁴⁾である。清水は、多量のベンガラをまぜた人造樹脂液を雪の中に注入して溶媒を蒸発させ、樹脂で固められたベンガラで雪の空隙を充てんした。これを紙やすりで擦つて 0.01 mm の厚さの薄片をえた。空隙は、不透明なベンガラでうまつているので、雪の粒子と空隙の判別は一目瞭然である。

小島の方法は非常に簡便で、野外で自由につかえるものとしては、現在この方法が唯一のものであろう。しかし、 1 mm 以下の薄片にできないのが欠点である。清水の方法は充分にうすい薄片を作れる点ですぐれているが、充てん物の調製に手がかかり、薄片製作に長い時間がかかるという難点がある。それで筆者らは、第二の方法をできるだけ簡便に行うことを考え、つぎのような方法を試みた。

III. アニリン固定法による薄片の製作

化学恒数表を調べると、第II節で述べた8つの条件をほぼみたす液はかなりたくさんある。もちろん、これらの条件を完全にみたすものは少ない。しかし、ある程度みたしていれば、工夫によつて使うこともできるであろう。それで、多少毒性はあるが、安価な市販品であるアニリンを充てん用の液として選んで使うこととした。

[A] アニリンの性質

(1) 純粋なアニリンの融点は -6.2°C である。水を少しとかし、水で飽和したアニリンは、共融点 -11.7°C で凝固する。

(2) あらかじめ水で飽和させておいたアニリンは、雪にしみこませても、ほとんど氷をとかさない。

(3) 氷の表面を完全に蔽う。

(4) 粘性係数は 0°C で 10.2 センチポアズで、水の 10 倍にすぎない。表面張力は 42.6 dyne/cm で、かなり大きい。それで、積雪粒子間に急速にしみこんで行く。

(5) 凝固の際の体積変化は 8.5% の収縮であるが、急速に冷やして凝固させると、微結晶の集まりとなるため、見かけは 2% くらいの収縮にとどまる。

(6) 固体のときの硬さは、丁度鉋のかけ易い程度である。

(7) 比重は 1.02 で、アニリンにひたした積雪は僅かに浮き上る。しかし、浮き上っている部分の積雪粒子間にも、アニリンは完全にしみわたる。

(8) 微結晶の集まりとして凝固したアニリンは不透明で、氷と容易に見分けがつく。あとで述べるように、顕微鏡観察には、積雪粒子間を透明にした方が都合がよい。それで、観察するときにはアニリンをとかすが、液体になつても屈折率は 1.586 (18°C) もあり、氷の屈折率 1.31 とかなり異なるため、氷とアニリンとの境界ははつきり見える。

(9) 市販の一級品で 500 cc、340 円であるから、手に入れ易い。ただし、多少毒性があるので、不必要にその蒸気を吸わないようにとくに注意すべきである (第 IV 節 (1) 参照)。

アニリンは、以上のように、始めにあげた条件をはばみたしている。そして、実際に使ってみたところ、非常によい結果になつた。

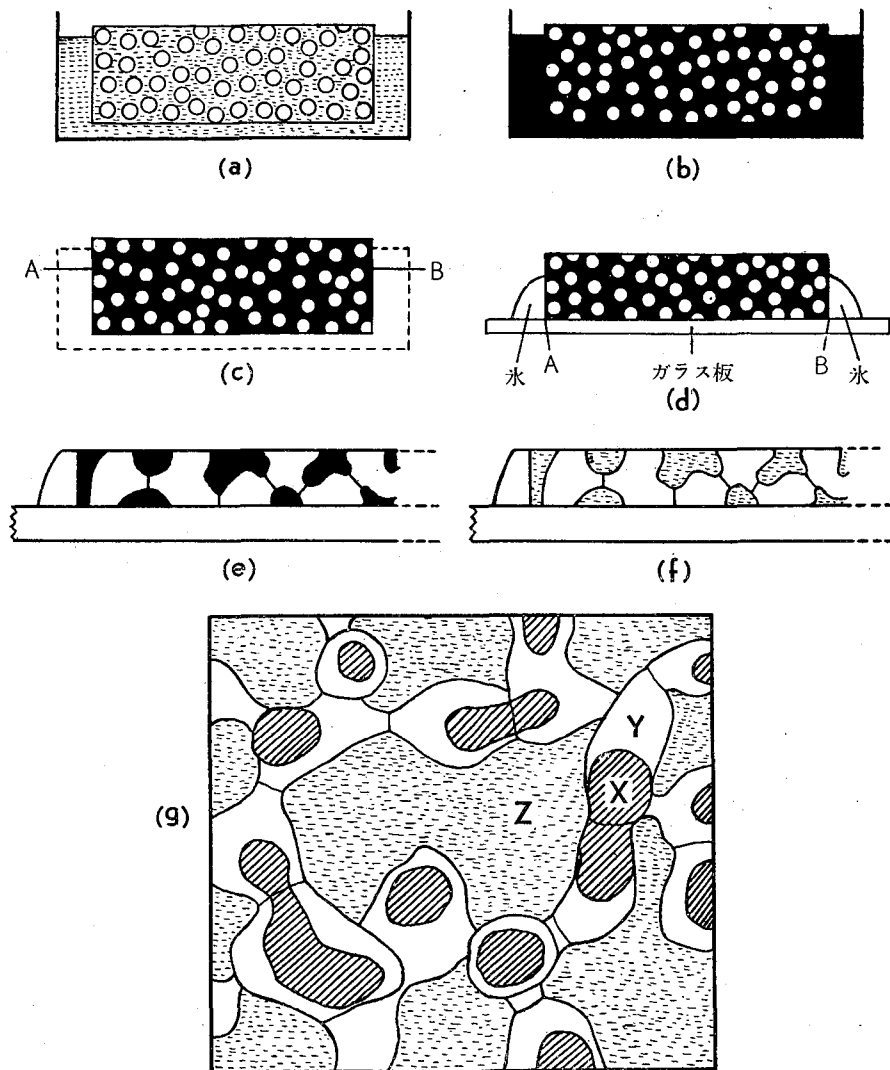
[B] 薄片の製作法

準備するもの： アニリン (酸化して多少赤味がかつたものでもよい)、鉋、シャーレ数個。

(1) アニリンを $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ に冷やし、その中に氷の塊を数個入れて十分かきまぜる。こうして、 $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ で水飽和のアニリン液を作つておく (アニリン液を保存する際には、容器を密封しておく)。

(2) 積雪を適当な面積 (3~4 cm 角が処理し易い) にわたつて、なるべく薄く (5~6 mm) 切りとる。この際、積雪層のどの部分から、どのように試料を切りとつたかを記録しておく。とくに、鉛直方向に試料を切りとるときには、上下非対称な形、たとえば梯形に切りとるとよい。こうしておけば、薄片にしてから、試料のどちら側が上で、どちら側が下であつたかがすぐわかる。

(3) シャーレ (ブリキ缶でもよい) の中に、前記の水飽和のアニリンを入れる。切りとつた積雪を静かにアニリンの中につけ、シャーレにふたをする。アニリンは 1 秒くらいで積雪内にしみわたる。 $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ で行う (第 1 図 a)。



第1図 アニリン固定法による薄片製作の順序

- (a) 積雪をアニリン液につける ($-5^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$).
- (b) アニリンを凝固させる (-20°C 以下).
- (c) シャーレから取り出して鉋をかけ、平らな一面 (AB) を作る (-20°C 以下).
- (d) 面 (AB) を下にしてガラス板にのせる。固体の周縁をアニリンと氷で固定する (-20°C 以下).
- (e) 鉋をかけて薄くする。図の黒い部分は固体のアニリンで不透明である (-20°C 以下).
- (f) アニリンがとけて透明となつた薄片 ($-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$).
- (g) (f) の状態の薄片の平面図。X: 氷の切断面, Y: 氷, Z: アニリン液.

(4) そのまま -20°C 以下に冷やす。20分くらいでアニリンは凝固して、全体が白い不透明な固体になる(第1図b)。アニリンは過冷却することがあるので、凝固させるには、なるべく温度を低くした方がよい。過冷却が破れないときには、固体アニリンの粉を少しふりかける。すると、すぐ凝固が始まる。

(5) シヤーレを外から手で少しあたため、アニリンの固体と容器との接触部をとかし、逆さにして固体をとりだす。

(6) 周縁のアニリン部分を鋸または鉋で切りとる。机のうえで、止め木にひっかけて鉋をかけ、平らな一面(AB)を作る(第1図c)。この面を反射光で見た写真が第2図(a)である。この種の断面のみを観察するのが目的なら、アニリンにあらかじめ色素を入れて、色をつけておくと見易い。

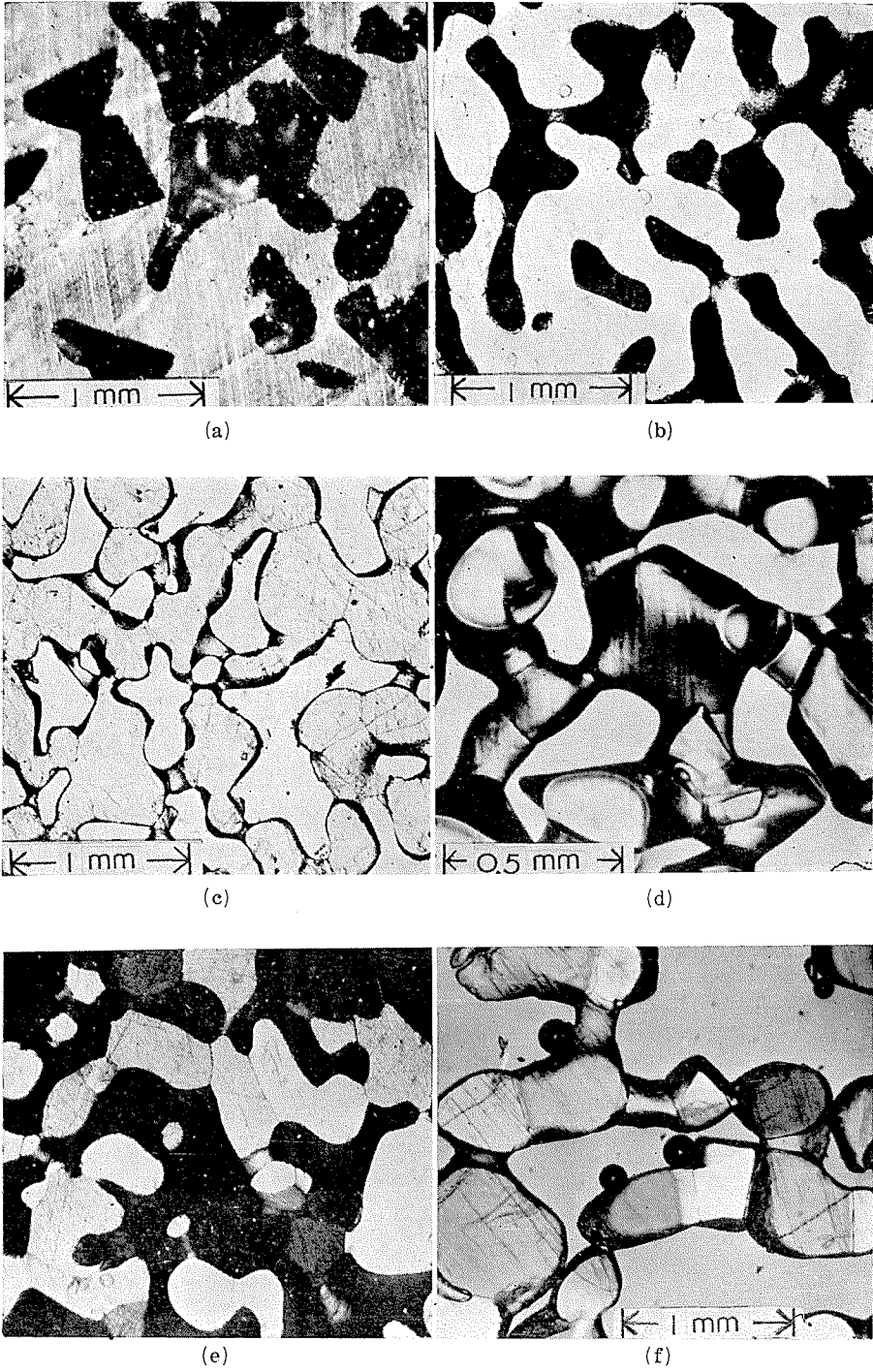
(7) 面(AB)を下にして、ガラス板にのせる。毛筆で水飽和アニリンを固体の周縁になでつけると、アニリンは直ちに固まる。ガラス板を手であたためるか、または $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ のところにしばらく放置すると、ガラス板に接触しているアニリンがわづかにとけ、面(AB)とガラス板の間のわづかな空隙に、とけたアニリンがしみわたる。それをもう一度 -20°C 以下に冷やして、アニリンを固まらせる。この周縁にさらに 0°C の水を筆でぬりつけて凍らせる。これは、あとでアニリンをとかして観察するとき、薄片がガラス板上を動かないようにするためである。このようにして、固体の周縁と面(AB)をガラス板に完全に固定させたい(第1図d)鉋をかけて薄片にする(第1図e)。鉋の刃がよくといてあれば、厚さを 0.05 mm 位までにすることは容易である。荒けずり用の鉋と仕上げ鉋とふたつ使うとよい。また、鉋をかける前に、あらかじめ機械鋸で厚さ 2 mm くらいに薄く切っておくと、仕上げまでに5分くらいですむ。仕上げ鉋を丁寧にかければ 0.01 mm の厚さの薄片にするのも困難ではない(第3図参照)。仕上げ鉋の代りに、きめの細かい紙やすり(240番以上)で研磨してもよい*。羽二重の衣きれで軽く表面をこすつて仕上げを行う。この薄片を透過光で見たのが第2図(b)の写真である。白い部分が氷、黒地は固体アニリンである。

ここまでの操作で、固体アニリンの切れはしや鉋くずが出る。それをすてないで、落し口のところに脱脂綿をおいた漉斗に入れ、 $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$ のところにおいておく。アニリンはとけて漉され、水飽和のアニリン液が再生される。こうして、何回でもアニリンは使える。

(8) この薄片の温度を上げて $-10^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$ にすると、アニリンはとけて透明になり、固体アニリンの下にかくれて見えなかつた部分も見えるようになる(第1図f, g および第2図c, d)。組織が重なつて見にくいときは、もう一度冷やしてアニリンを固め、鉋をかけて薄くすればよい。丁度見やすい厚さになつたとき、薄片にカバーガラスをかぶせ、周縁に 0°C の水をぬつて凍らせ、薄片を二枚のガラス板の間に密封する。

第2図(c), (d)の氷の粒の間の真白な部分には、とけたアニリンがつまつている。氷もア

* 「雪氷」21巻, 第3号(1959)の「アニリン固定法による積雪薄片の観察」中、「紙やすりを使つて、 0.1 mm 以下に擦りへらすことは難しい」と書いたのは、その後誤りであることがわかつた。



第 2 図

第 2 図 説 明

- (a) しまり雪 (密度 0.4) の断面の反射光写真。黒い部分が氷。
- (b) かたしまり雪 (密度 0.5) の薄片, -20°C , 厚さ 0.025 mm。白い部分が氷。
- (c) 温度を -10°C にあげ, アニリンをとかしたところ。試料は (b) と同じだが, ちがう場所である。
- (d) かたしまり雪 (密度 0.4), 厚さ 0.15 mm。雪粒の大きさ, 形, 粒のつながりかたなどがよくわかる。
- (e) かたしまり雪 (密度 0.5), 十字ポラロイドの偏光写真, 厚さ 0.03 mm, 倍率は (c) と同じ。
- (f) 霜ざらめにちかいしまり雪 (密度 0.3), ポラロイドを十字位置からわずかに外してとつた偏光写真。厚さ 0.05 mm。

アニリンも透明ではあるが, 透明度にはつきりした差があり, どの部分が氷で, どの部分がアニリンかの判定に迷うようなことはない。このように, アニリンをとかすと薄片の立体組織, 雪粒同士のつながりかたがよくわかる。

第 1 図の模型図 (g) は, 同図の (e) と (f) とを上から見たところを表わしている。アニリンが凍結して不透明な (e) の状態では, 氷の網目のうち, 斜線をほどこした氷の切り口 **X** の部分しか見えない。これでは, 氷がどのようにつながっているか解らないわけである。しかしアニリンを透明な液体にして (f) の状態にすると, (e) ではかくれていた部分 **Y** も現われて, 網目組織の全体が見えるようになる。これらを偏光顕微鏡で観察すれば, その結晶構造をも調べることができる (第 2 図 e, f)。

IV. 2, 3 の 注 意

(1) アニリンの毒性について

第 III 節 [A] の (9) でも述べたように, アニリンは人体に有害である。理科事典⁹⁾によると, 「アニリン液を呑めばもちろんであるが, その蒸気でもたくさん吸えばその吸収量によつて, 疲労感, めまい, 昏睡, けいれんをおこすと同時に体温が下る。」と記載されている。

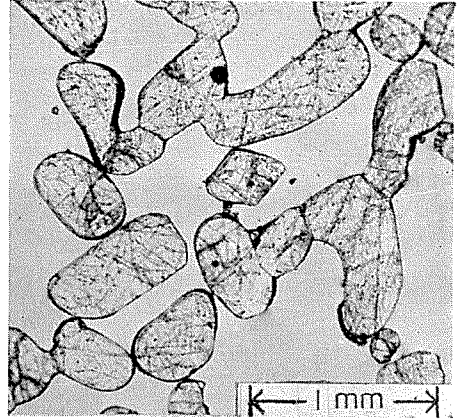
したがつて, 低温実験室のような密閉した部屋でアニリンを使うときは, あまり長時間にわたつて仕事をつづけないうほうがよい。また, 必要なとき以外は, アニリンを密封しておくこと, 時々部屋の換気をすること, 薄片製作中はマスクをすること, 薄片製作中に出了たアニリンの粉, 鉋くずなどを手まめに処理すること, 手袋, マスクなどは常に洗濯して清潔に保つことなどの注意が必要である。

(2) 薄片の厚さについて

第 III 節で述べたように, 厚さ 0.01 mm 程度の薄片を作ることにも困難ではないが, 積雪を作っている氷の網目の立体組織を見るためには, あまり薄くせず, 組織が上下に重なり合わない程度の厚さにとどめるほうが, かえつてよい。粒が小さくてよくしまつた「こしまり雪」では 0.05~0.1 mm, 「しまり雪」では 0.1~0.2 mm, 「ざらめ雪」では 0.2~0.3 mm, 粒が大きいクラストした雪では 0.4~0.5 mm くらいが適当である。

(3) 氷の粒の境界の観察について

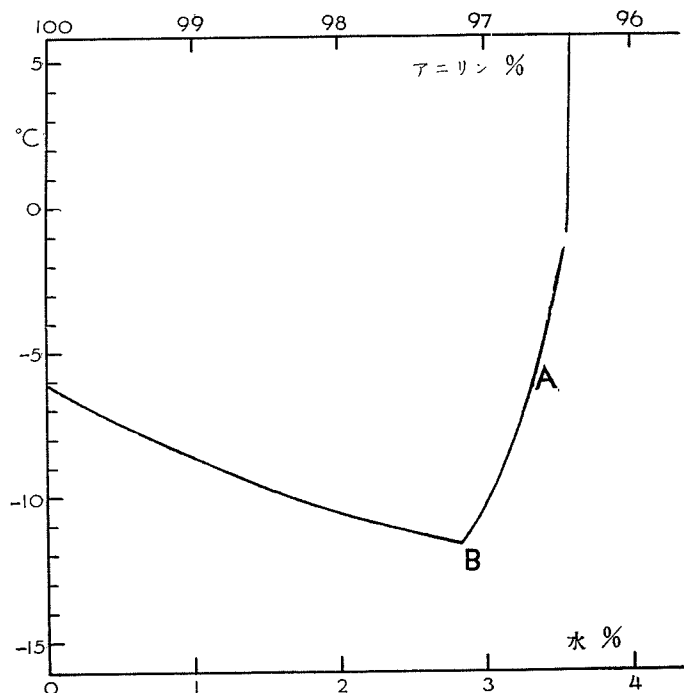
とくに氷の粒の境界を観察しようとするとき、あるいは偏光顕微鏡と自在廻転台を用いて雪粒の結晶軸をきめようとするときには、雪粒同士の結合が切れないでいどで、なるべく薄くした方がよい。かたい「しまり雪」では0.05 mmくらいが適当のようである。「霜ざらめ雪」などのような、雪粒同士の結合が弱い雪では、厚さを0.1 mm以下にすると、アニリンをとかしたとき、雪粒がばらばらになつて液中を動いてしまう(第3図)。こういう場合には、雪粒同士の結合が切れないでいどに厚さをとどめなければならない。どうしても厚さを0.1 mm以下にして測定したいときには、アニリンをとかさしないで(-20°C以下の場所)で、結晶軸方向を測定すればよい。



第3図 霜ざらめに近いしまり雪(密度0.3), 厚さ0.01 mm. 結合の弱い雪を薄くしすぎると、アニリンをとかしたとき雪粒がばらばらになつて、液中を動いてしまう。

(4) アニリンが氷をとかすことについて

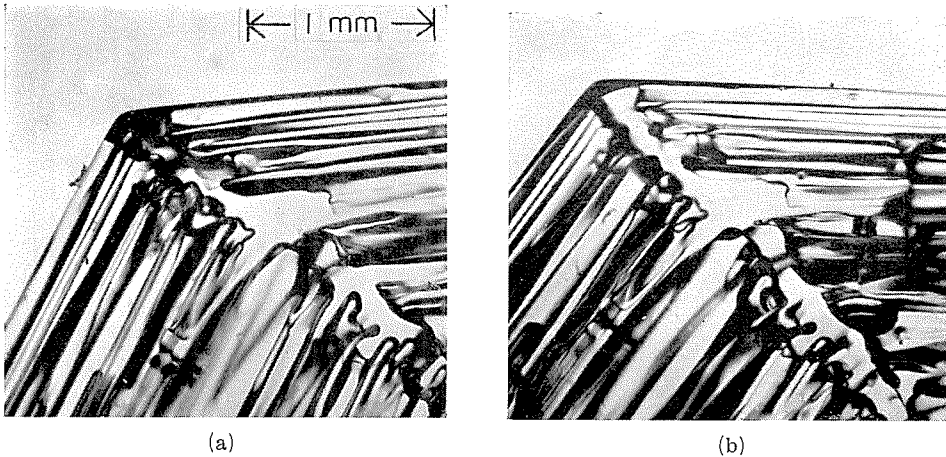
先に説明したように、純粋なアニリンは氷を少量とかすので、使うアニリンはあらかじめ水で飽和させておかなければならない。それでも、なお、氷をとかすおそれがないわけではない。アニリンと水との平衡図を第4図に示した。例えば、-5°C(図のA点)で水飽和しているアニリン液(水3.4%)を雪にしみこませ、それを共融点B点(水2.8%, -11.7°C)以下の温度に下げて凝固させると、AB間の濃度差0.6%に相当する氷がアニリンから析出するはずである。ここで薄片を作つたあと、アニリンをとかすためにA点の温度まで上げると、こんどは濃度差0.6%に相当する



第4図 アニリン-水の平衡図

だけの氷がアニリンにとける。アニリンから析出する氷の一部は、雪粒の表面に沈積するであろうし、またアニリンにとけこむ氷の一部は雪粒の表面から失われるであろう。それでこの操作の間に、雪粒が形を変える懸念がある。この懸念を去るには第 III 節 [B] でのべた薄片製作の操作中、(1), (3), (8) の諸操作を、共融点 -11.7°C にできるだけ近い温度 (-10°C ~ -12°C) で行えばよい。しかし第 4 図は平衡図であつて、アニリンに溶解しうる水の極限量を示すものである。それで、 -5°C ~ -10°C でも操作を迅速に行えば、氷の折出や溶解は上に述べたほどには起らない。事実、凝固、融解の操作を数日にわたつて、何度も繰返してみたが、雪粒の形に大きな変形は起らなかつた (第 5 図および第 10 図 (a), (b) を見よ)。

顕微鏡で観察するとき、光源に断熱フィルターをつけることは勿論であるが、光の強さを不必要に強くしたり、長時間薄片に光をあてておくことは、さげなければならない。



第 5 図

- (a) 霜の結晶の一部。まだアニリン液につけてない。
- (b) 水飽和のアニリン液につけてから約 6 時間後の同じ部分の写真。そのあいだにアニリンを凍らせたりとかしたりしたが、形はほとんど変つていない。

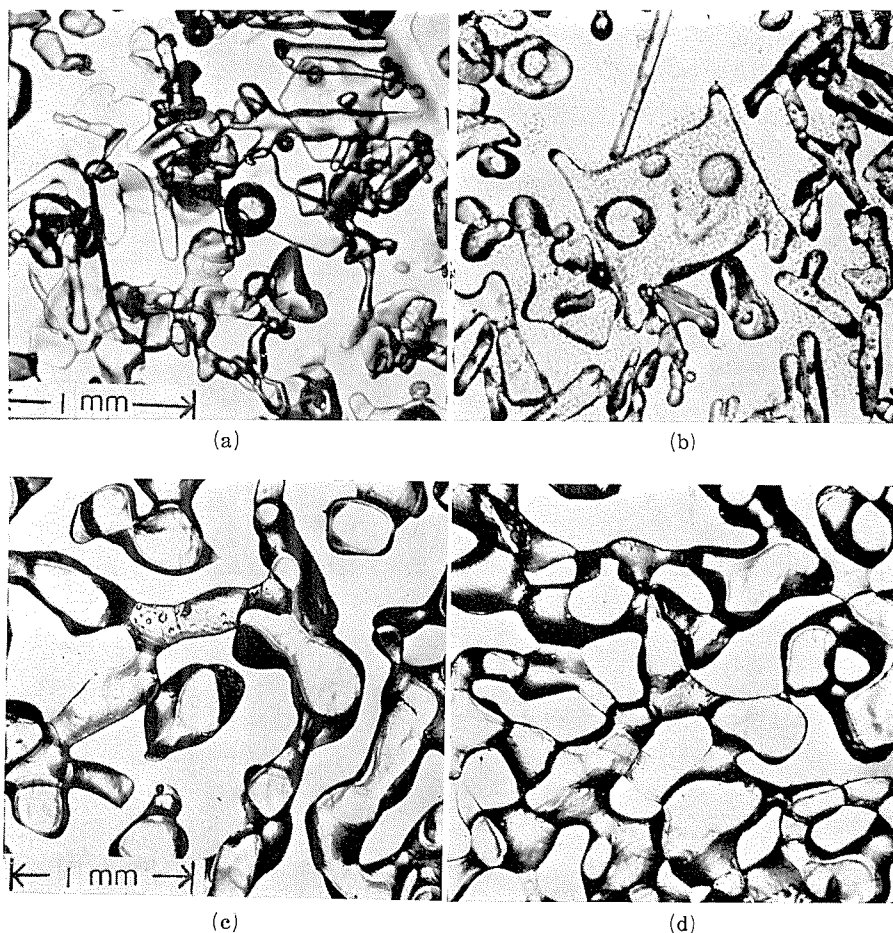
V. 2, 3 の 観 察

(1) 積雪の組織の観察

積つて間もない軟かい新雪でも、グリーンランドの氷冠の雪のような硬い雪にでも、この方法はつかえる。また、アニリン液は粘性が小さいため、氷板のせまい空隙にも入つてゆくので氷板も薄片にすることができる。

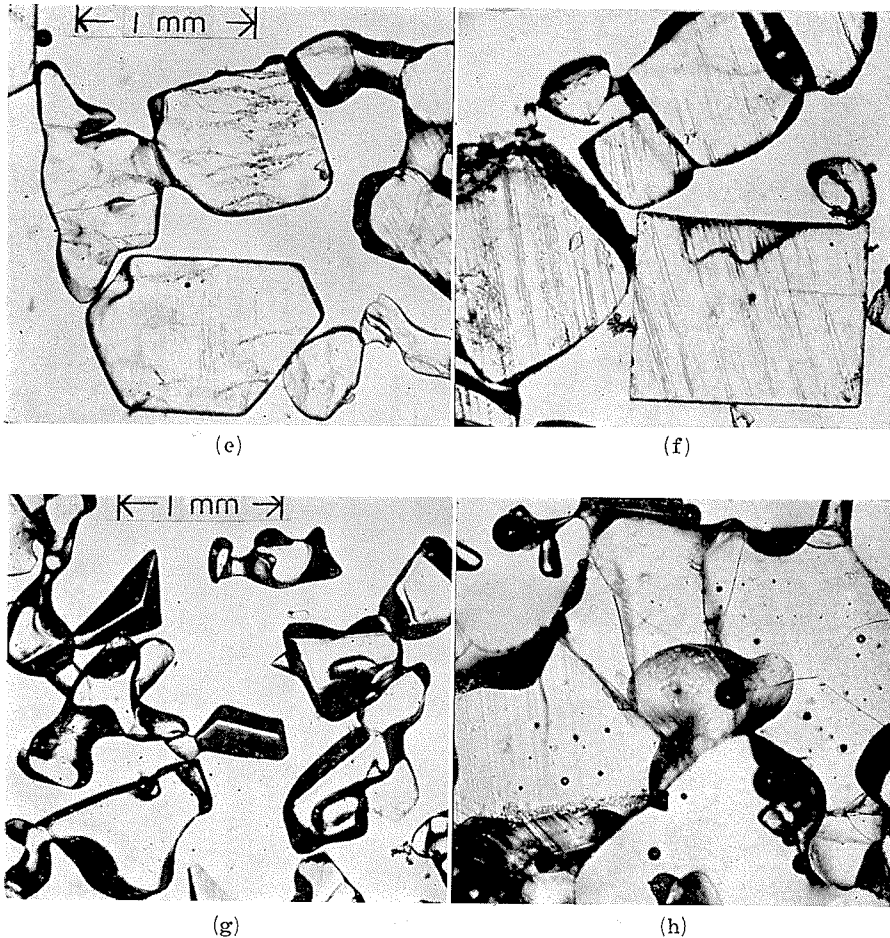
今冬、札幌に積つた、いろいろな種類の雪の薄片を作つて観察した。第 6 図はそのときの写真である。(a) は本年 1 月 9 日に降り積つてから約 1 日半たつた新雪の薄片である (雪面下約 5 cm の水平面にそつて切りとつたもの、密度 0.08, 厚さ 0.15 mm)。多少昇華変形した樹枝状結晶が見える。(b) は本年 2 月 11 日、積つてから間もない新雪の薄片 (密度 0.05, 厚さ 0.1 mm)。多数の針状、柱状の結晶にまざつて、つづみ形の結晶が見える。(c), (d) はしまり雪の薄片で

ある(密度0.32, 厚さ0.1 mm)。この積雪層はもともと、本年1月9日に降つた雪で、積つた当初は図(a)に示したように、主として樹枝状結晶の集合体であつた。それが約ひと月たつた2月6日に薄片を作つたときには、写真のような網目組織に変つていた。(e), (f)は霜ざらめ雪の薄片である。試料は本年2月中旬、当研究所構内に積つていたしまり雪を切り出して、 -25°C の低温室内に保存しておいたものの表面から切りとつたものである。約5ヶ月保存しておいたため、表面が霜ざらめとなつており、薄片では写真にみられるような六角柱状の結晶の切断面



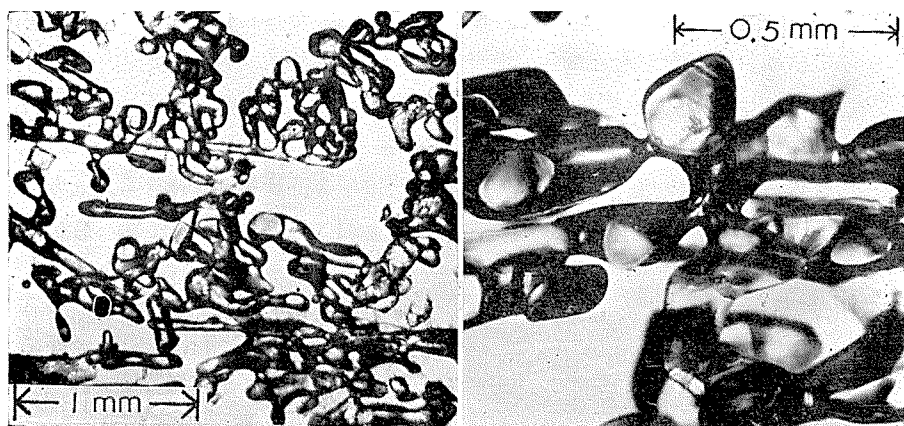
第6図の(1) 今冬(1958年12月~59年2月)、札幌に積つたいろいろな種類の雪の薄片の例。
 (a) 1月9日に降り積つてから約1日半たつた新雪の薄片(雪面下約5 cmの水平面にそつて切りとつたもの、密度0.08, 厚さ0.15 mm)。多少昇華変形した樹枝状結晶が見える。
 (b) 本年2月11日、積つてから間もない新雪の薄片(密度0.05, 厚さ0.1 mm)。多数の針状、柱状の結晶にまぎつて、つづみ形の結晶が見える。
 (c), (d) はしまり雪の薄片(密度0.32, 厚さ0.1 mm)。この積雪層はもともと、1月9日に降つた雪で、積つた当初は図(a)に示したように、樹枝状結晶の集合体であつた。それがひと月たつた2月6日に薄片を作つたときには、このように網目組織に変つていた。

が現われた。自在廻転台を用いて、(e)の下部に見えている六角形の結晶と、(f)の下部にある長方形の結晶の結晶主軸方向を定めたら、前者は紙面に垂直方向、後者は紙面内の左右方向を向いていた。図の(g)は地表面上約5 cm上の層から水平に切りとつた霜ざらめ雪の薄片である(密度0.35, 厚さ0.15 mm)。この層は、昨年12月27日にできた層で、雪の結晶は主として六角板付六角柱状結晶であつた。それが約40日たつた本年2月6日には霜ざらめとなり、写真(g)のように六角形の結晶が多数見られるように変つたものである。(h)は日中、気温が上昇し



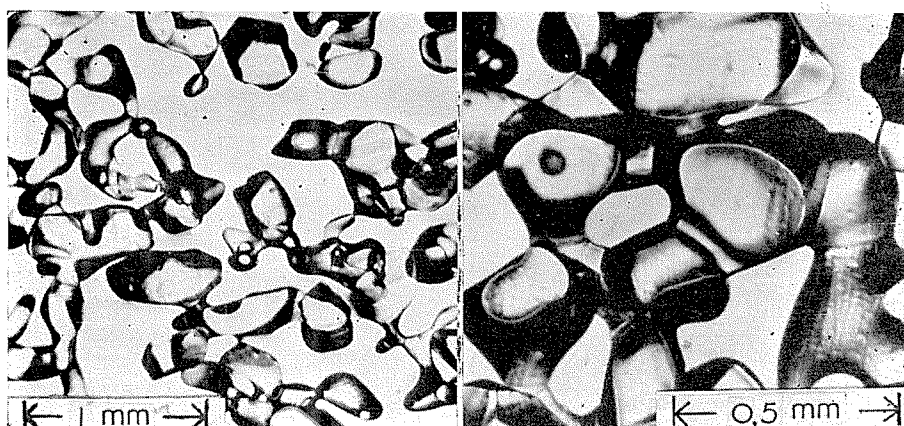
第6図の2

- (e), (f) 霜ざらめ雪(密度0.35, 厚さ0.06 mm). 霜ざらめに特有な六角柱状の結晶の切断面が見える。
- (g) 地表面上約5 cm上の層から水平に切りとつた霜ざらめ雪(密度0.35, 厚さ0.15 mm). この層は、昨年12月27日に主に角板付角柱状結晶の雪が降り積つた層であるが、約40日たつた2月6日には、このように霜ざらめになつた。
- (h) 積雪表面のクラストした雪(密度0.30, 厚さ0.15 mm, 1月30日に積つた層を2月6日に薄片にした。倍率は(g)と同じ)。



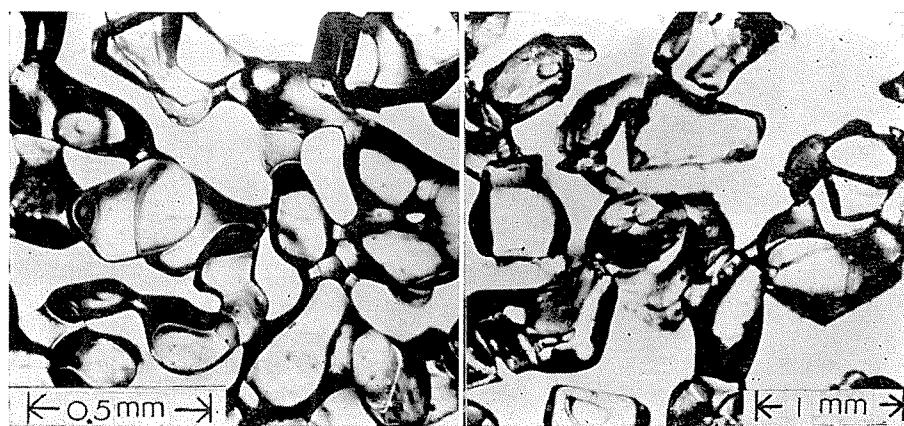
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

第 7 圖

第7図説明

北海道北部母子里の積雪。積雪層から鉛直方向に切りとつた薄片の写真で、写真の上方が積雪層の上方にあたる。

- (a) 新雪にちかい雪。雪面下 25 cm, 密度 0.18, 薄片の厚さ 0.2 mm.
- (b) しまり雪。雪面下 60 cm, 密度 0.30, 厚さ 0.15 mm.
- (c) しまり雪。雪面下 85 cm, 密度 0.37, 厚さ 0.1 mm.
- (d) しまり雪。(c)と同じ積雪層の下部から切りとつたもの。薄片の厚さ 0.1 mm.
- (e) かたしまり雪。雪面下約 1 m, 密度 0.41, 厚さ 0.1 mm.
- (f) ざらめ雪。雪面下 140 cm (地上 20 cm), 密度 0.36, 厚さ 0.3 mm.

たため、かなりとけた積雪表面層(本年1月30日に積つた層)が、夕方冷えて凍つたいわゆるクラストである(本年2月6日に薄片にして観察したもの)。数個の結晶粒が集つて、大きな氷の粒を形成しているのがわかる(小島も以上とおなじ札幌の雪について、前にのべた小島の方法で薄片を作っている。小島の論文⁹⁾参照)。

薄片製作には $-17^{\circ}\sim-18^{\circ}\text{C}$ 以下の温度が必要で、低温実験室があれば都合がよいが、天然の低温を利用すれば、野外でも作れる。筆者らは、今冬北海道北部の雨竜郡母子里の北大演習林において -20°C 以下に冷えた夜間に、約 160 cm の積雪層の上部から下部まで、全体にわたつて薄片を作ることに成功した。第7図はそのときのもので、積雪の各部から鉛直方向に切りとつた薄片の写真である(写真の上方が積雪の上方にあたる)。

粒子の大きさ、形、粒のつながりかた、粒同士をつないでいる、いわゆる氷の橋(ice-bridge)の太さなどが一目でよくわかる。

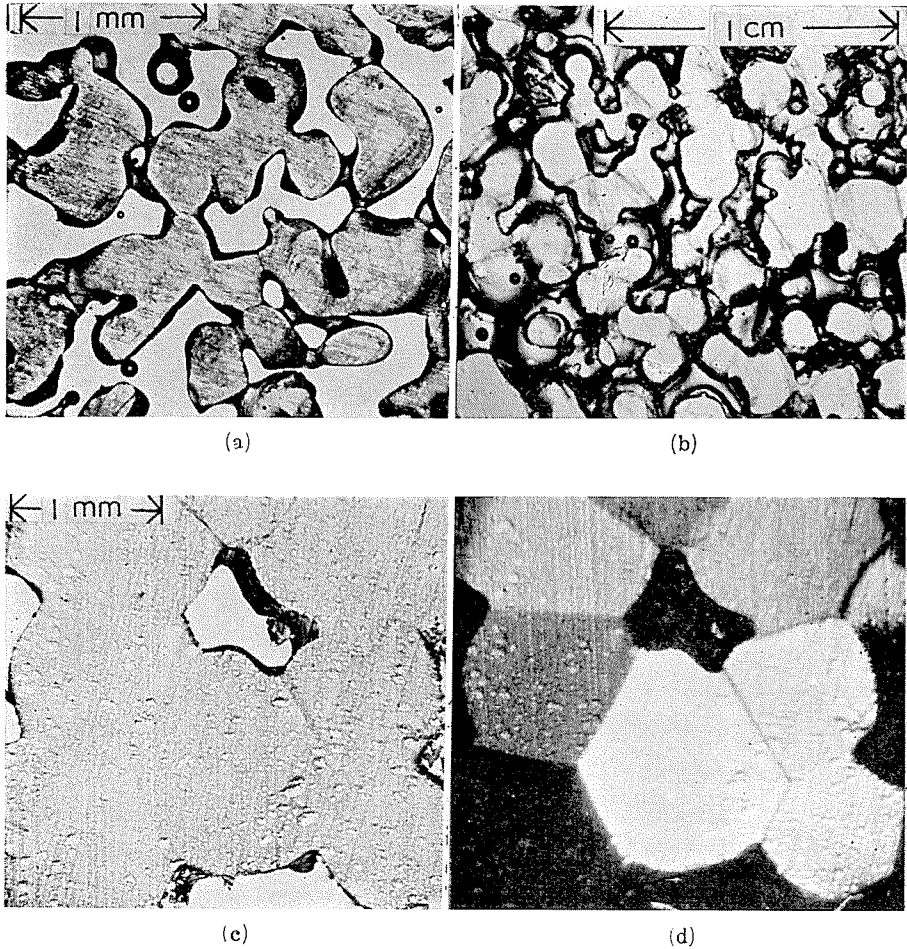
第8図の写真は、硬い雪の薄片(a)と、もろい雪の薄片(b~d)の例である。(a)は中谷教授がグリーンランドから札幌にもつて帰られた密度 0.54 の硬い雪の薄片の写真である(厚さ 0.1 mm)。(b)は筆者らが今冬、前記母子里の近くの雨竜湖の水面下約 50 cm のところに、成層して水中につかっていたこおり雪を採取して札幌にもち帰り、低温実験室内で薄片にしたものの接写写真である(厚さ 0.6 mm)。非常に脆い湖の氷だが、このように薄片にできる。(c)は(b)と同じ試料の一部の顕微鏡写真で、(d)は(c)と同じ部分の偏光写真である。結晶粒界が直線的なのが目立つ。

(2) 変形させた積雪の組織の観察

積雪を圧縮や曲げによつて変形させたのち、その薄片を作つて観察すれば、変形後、組織にどんな変化がおこつたかがわかる。

当研究所の黒岩は、しまり雪を角棒に切り、その一端を机に固定し、他の端におもりをかけて全体を第9図(a)のように曲げ、最大弯曲部(図のABCD)で、上下方向に、角棒の厚さ全体にわたつて、アニリン法を利用して薄片を作つた。(b)はその写真である。写真の上方(引張り側)から下方(圧縮側)に向つて雪粒の密度がだんだん増えているようすがよくわかる。

積雪に静的な力をかけて変形させたり、いろいろな大きさの速度で積雪を変形させたのち、その薄片を作つてくわしく観察すれば、積雪の氷の網目組織がうける変化を統計的に知ること



第 8 図 硬い雪の薄片(a)と、もろい湖の氷の薄片(b~d).

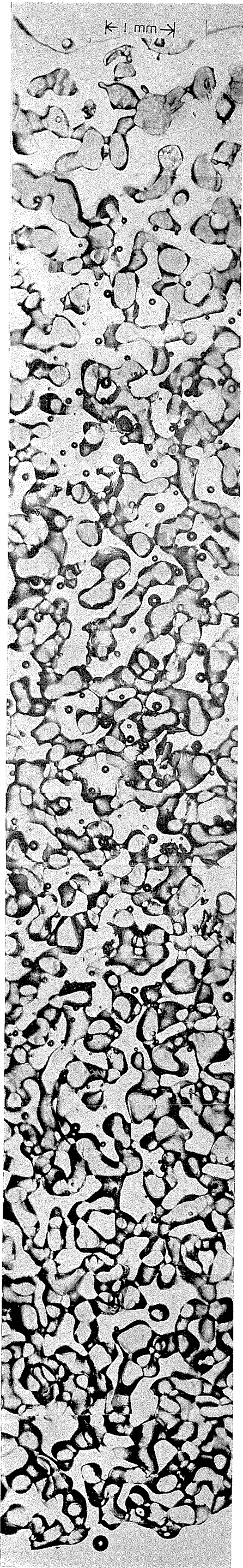
- (a) グリーンランドの雪(中谷教授が札幌にもつて帰られたもの), 密度 0.54, 厚さ 0.1 mm.
 (b) 北海道北部雨竜湖の水中, 水面下約 50 cm のところに成層してつまっていたこおり雪.
 薄片の厚さ 0.6 mm. 接写でとつた.
 (c) (b)と同じ試料の一部の顕微鏡写真.
 (d) (c)と同じところの偏光写真である. 粒界が直線的なのが目立つ.

ができるであろう。

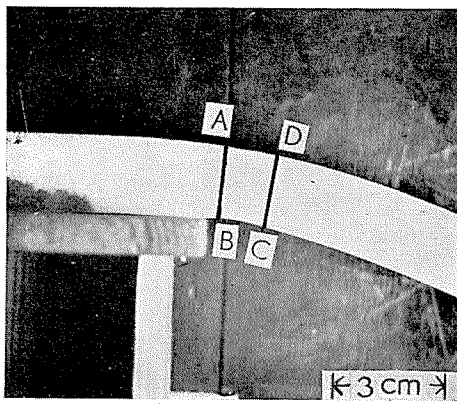
(3) 積雪の変形の直接観察

うえに述べた方法では、積雪が変形したあとの網目組織の状態しかわからない。網目組織が雪の変形の進行とともにどのように変るかを見るためには、薄片そのものに力をかけつつ観察すればよい。

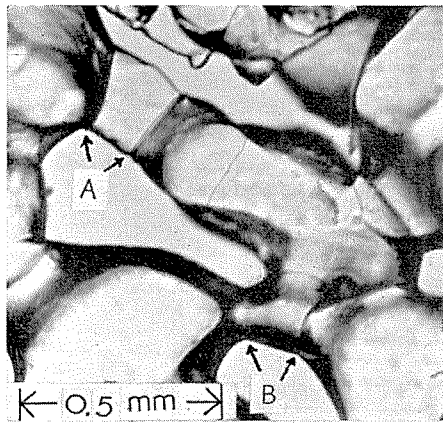
現在その実験を行つているが、詳しいことは他の機会にゆずり、ここにはその方法の概略と観察した一例をあげるだけにとどめる。



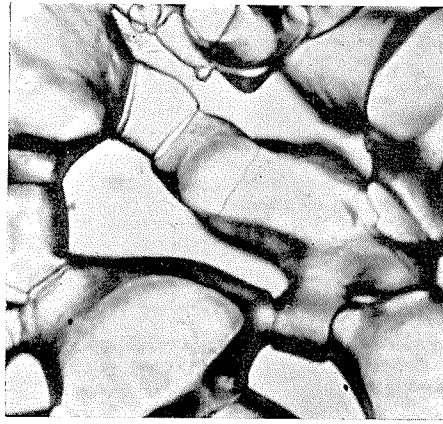
第9図 (b)



第9図 (a) 積雪の角柱が塑性変形で曲つたところ。図の ABCD 面を切りとり、それを薄片にしたのが (b) である。写真の上方が変形の引張り側、下方が圧縮側である。雪粒の密度が下に向つて増加していることがわかる。



(a)

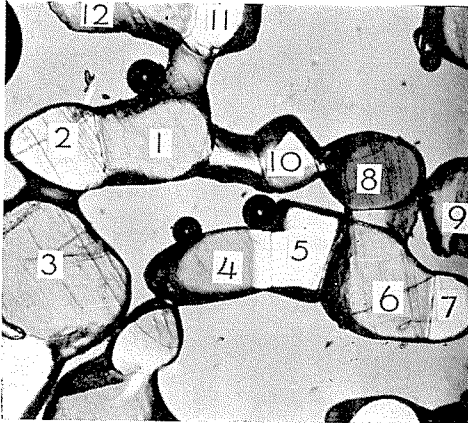


(b)

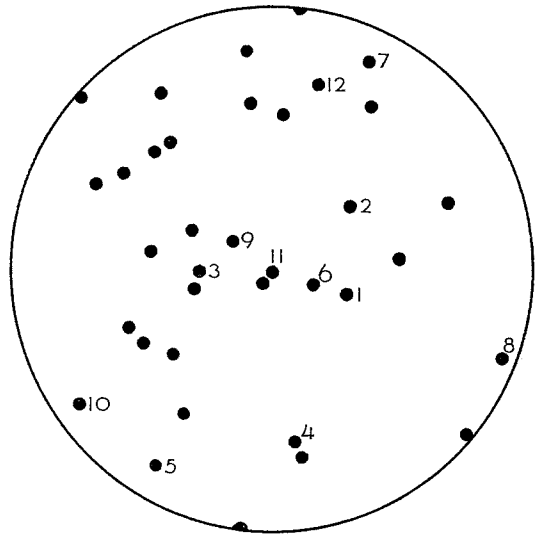
第10図 積雪の変形の直接観察

- (a) 力を加える前のしまり雪の薄片の一部、密度 0.5、厚さ 0.5 mm.
- (b) 図の左右の方向から力を加えて、全体を約 10% 塑性圧縮したのちの同一部分の写真。A、B の結晶粒界がすべつて食い違つた (力を加えてから約 3 時間後)。

アニリン固定法によつて、適当な厚さ (0.3~0.5 mm) の長方形の積雪の薄片を作る。アニリンをとかして液体とし、顕微鏡の下で、薄片のある部分に着目して観察し、写真をとつておく。次に、その一側面に水平方向の力を加えて、薄片を圧縮変形させる。適当な時間ごとに着目している薄片の部分を観察し、写真をとる。これらの観察と写真とを比較すれば、積雪のどの部分が、どのように変形したかがわかる。第10図にその一例を示す。図の(a)は力を加える



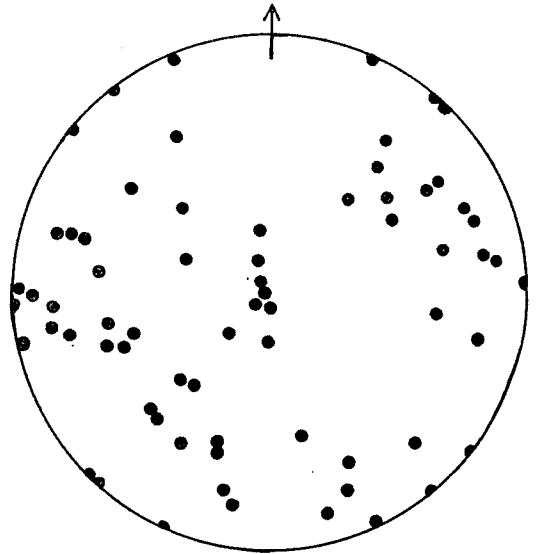
(a)



(b)

第11図 薄片の雪粒の結晶主軸方向を測定した結果を、シユミツの網に記入したもの。

- (a) 測定に用いた薄片の一部の偏光写真。
 (b) 積雪層の水平面にそつて切りとつた薄片のばあい。記入した番号は(a)に示した同じ番号の雪粒に対応している。
 (c) 鉛直方向に切りとつた薄片のばあい。



(c)

前の薄片の一部である(厚さ 0.5 mm)。約 1 kg-wt/cm² の力を図の左右の方向から加え、全体を約 10% 圧縮変形させたのちの同一部分の写真が図の (b) である。図 (a) の矢印 A, B をつけた結晶粒界が迂りをおこして、図 (b) では食い違っている。細かく見ると、氷の粒自体にも変形が認められるが、目立つのは結晶粒界の迂りである。

(4) 積雪粒子の結晶主軸方向の測定

薄片の雪粒子の結晶主軸方向をきめるには、偏光顕微鏡の載物台に自在廻転台をとりつけ、その上に薄片をとりつける。この際用いる薄片試料の作り方に関する注意は第 IV 節でのべた。結晶主軸方向を測定した結果を、岩石学で用いられる方式にしたがつて、シユミットの網に記入した例を第 11 図 (b), (c) に示した。これによつて、氷の粒の結晶主軸の空間分布がわかる。試料は今冬 2 月、当研究所構内に積つていたしまり雪を低温実験室に保存しておいたものから切りとつたもので、第 11 図の写真 (a) はその一部分である。この写真の番号をつけた雪粒の結晶主軸方向が図 (b) の同番号の点に対応している。写真 (a) および図 (b) は、積雪層の水平面にそつて切りとつた薄片のばあいであるが、積雪層に垂直な方向にも薄片をつくつて結晶主軸方向を調べた。その結果が図 (c) である(図 c の矢印の方向が積雪層の上方にあたる)。これらの図からみて、雪粒子の結晶主軸方向の分布は、空間的にだいたい一様であることがわかる。

VI. む す び

以上のべたアニリン固定法を、従来の薄片製作法と比べてみると、次のような特長がある。

- (1) 硬い、しまつた雪は勿論であるが、軟かい雪でも、脆いざらめ雪でも容易に薄片にできる。
- (2) 鉋をかけることができるので、薄片を作る操作が極めて容易である。誰でも手軽に、短時間内に、最小 0.01 mm くらいまでの任意の厚さの薄片が作れる。アニリンで固めた 5~6 mm の厚さの積雪に鉋をかけて、0.01 mm 程度の薄片にするまでに要する時間は、わずか 5~10 分である。
- (3) アニリンを不透明な固体のままにして観察すれば、積雪の一断面が見られる。アニリンをとかして透明な液体にすれば、雪粒の大きさ、形、粒同士の結合のしかたなど積雪の立体組織が見られる。
- (4) 薄片は、積雪の微細構造の観察や、雪粒の結晶軸方向の決定に使えるだけでなく、その薄片を使つて、圧縮試験などの実験ができる。
- (5) 薄片を作るために必要なものは、アニリン液、鉋およびシャーレだけである。固体アニリンのけずりかすは再生して何回でも使えるから、非常に経済的である。

アニリン固定法の欠点は、 $-17^{\circ}\sim-18^{\circ}\text{C}$ 以下の低温度が必要なことである。天然の状態での低温度が望めないときには、野外での薄片製作は不可能である。しかし、採取した積雪をとかさずに低温室にもち帰ることは容易である。

筆者らが調べた限りでは、アニリン液の特長をそのままのこし、かつ、 -10°C 以上の温度でも使える更に実用性の高い液はないようである。しかし、二つ以上の液をまぜて、共融点が $-4^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$ 程度の液を見出しうる可能性はある。

この研究に種々有益な御指導をいただいた吉田順五教授に、厚く感謝の意を表す。第6図(b)および第9図の写真を提供された黒岩大助助教授に謝意を表します。

文 献

- 1) 小島賢治 1958 積雪層の粘性圧縮 IV. 低温科学, 物理篇, **17**, 53.
- 2) Bader, H. 1939 Mineralogische und Strukturelle Charakterisierung des Schnees und seiner Metamorphose. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Ser. Hydrol., **3**, 1.
- 3) Fuchs, A. 1956 Preparation of plastic replicas and thin sections of snow. SIPRE Technical Report, **41**.
- 4) 清水 弘 1958 Red Paste 法による積雪の薄片. 低温科学, 物理篇, **17**, 81.
- 5) 理科事典 1950 平凡社, **1**, 47.
- 6) 小島賢治 1959 積雪層の圧縮粘性率及び衝撃破壊強度に及ぼす積雪温度勾配の影響. 低温科学, 物理篇, **18**, 29.

Résumé

For the fine network of ice composing deposited snow to be seen under a microscope the snow must be cut into a section as thin as a few tenths or a few hundredths of a millimeter. The authors succeeded in cutting snow with a carpenter's plane by reinforcing the snow with solidified aniline ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$). Fig. 1 of the text illustrates how to make the thin section.

- (a) A block of snow is placed in a shallow dish containing liquid aniline at $-5^{\circ}\sim-10^{\circ}\text{C}$. Driving out the air, the liquid penetrates quickly into the snow to fill the spaces in the ice network.
- (b) The temperature is lowered to below -20°C . The liquid solidifies as it is in the ice network. The block of snow becomes rigid.
- (c) The shallow dish is warmed from outside by placing the palm of the hand on its bottom. A thin layer of the solid aniline in contact with the bottom and the wall of the dish is melted. The rigid block of snow is drawn out of the dish. A flat plane AB is made on the block with a carpenter's plane. When viewed under a microscope, this plane looks like the photograph shown in Fig. 2 (a).
- (d) The block of snow is placed on a glass plate with plane AB in contact with it. Along the contact line of the block and the glass plate is put a small amount of liquid aniline. It freezes to fix the block to the glass plate. The glass plate is slightly warmed to melt plane AB of the block. The melted plane soon solidifies again to stick firmly to the glass plate. The block of snow is made more strongly stuck to the glass plate by putting along the contact line between them some

amount of water which immediately freezes.

- (e) The block of snow is shaved off with the plane on the side opposite to that stuck to the glass plate. By the use of a well-sharpened plane, the block can be thinned down to a thickness of 0.05 mm or less. It is not difficult to thin the block down to 0.01 mm by careful planing or by polishing with fine grain sandpaper. The spaces in the ice network of the thin section made in this way are filled with solidified aniline which is opaque. The photomicrograph in Fig. 2 (b) shows the section in this state of opaque aniline. Only the cut ends of the ice network are seen, its main part being concealed by the opaque aniline.
- (f) The solidified aniline is melted by being warmed up to $-10^{\circ}\sim-5^{\circ}\text{C}$. The aniline becomes transparent. The whole structure of the ice network can be seen as illustrated in the photomicrographs of Figs. 2 (c), (d), 3, 6, 7, 8 and 10.

Liquid aniline dissolves ice to about 3% in amount as illustrated by the phase diagram of aniline-water system shown in Fig. 4. The liquid aniline should be saturated with water before put to use. Then it will not dissolve the ice network of snow. When saturated with water, liquid aniline solidifies at the eutectic temperature -11.7°C (point B in the figure).

Any kind of snow, including the softest new snow as well as the layer of depth hoars, can be made into a section of any thickness down to 0.01 mm. Photomicrographs shown in Fig. 6 are thin sections cut out of the snow cover deposited at Sapporo in the winter of 1958~'59. In that figure, Photo. (a) shows a horizontal section (thickness d : 0.15 mm) of soft snow in which the dendritic form of the original snow crystals is still discernible. This section was made one day and a half after the deposition of the snow when its density ρ was 0.08. That same snow changed in the following forty days into compact snow of density $\rho=0.3$ having the ice network as shown in Photos. (c) and (d). Captions for the remaining photographs in Fig. 6 are—Photo. (b): new snow (ρ : 0.05, d : 0.1 mm), 1~2 hours after deposition, Photos. (e), (f) and (g): layers of depth hoars (ρ : 0.35, d : 0.2 mm), Photo. (h): ice crust (ρ : 0.30, d : 0.3 mm).

All the sections described above were made in the cold room attached to the authors' Institute. But sometimes the natural cold was also good for preparing sections. Photomicrographs of Fig. 7 show sections which were made in the field on nights of severe cold.

In another experiment a rectangular bar of snow was bent statically by applying a load at its end as shown in Fig. 9 (a). The long photograph Fig. 9 (b) is the section made at the most bent portion ABCD of the bar from top to bottom. The ice network is sparse near the top due to tension while it is dense near the bottom because of compression.

How the ice network of snow is deformed by an applied force can be seen under a microscope directly by applying a force to a section of snow. Photo. (a) of Fig. 10 shows a portion of the section before the application of force. Photo. (b) is the same portion after the section has been subjected to a contraction of about 10%. The boundaries indicated by arrows A and B between ice crystals have slipped.

Orientation of the optical axis was determined on each of the ice crystals composing an ice network by the use of a universal stage attached to a polarizing microscope. The results obtained are plotted on Schmidt's net in the two figures of Fig. 11.