



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大雪山の雪渓調査 IV (第4, 5年度)
Author(s)	若浜, 五郎; WAKAHAMA, Gorow; 成瀬, 廉二 他
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 181-194
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18111">https://hdl.handle.net/2115/18111</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p181-194.pdf



## 大雪山の雪溪調査 IV\* (第4, 5年度)

若浜五郎・清水 弘・秋田谷英次  
成田英器・田沼邦雄  
(低温科学研究所)

山田知充\*\*・成瀬廉二\*\*・北原武道  
佐藤尚之・石川信敬・河村俊行  
(北海道大学大学院 理学研究科)  
(昭和44年8月受理)

### I. ま え が き

北海道中央部、大雪山系の高根ヶ原が南東に落ちこむ谷頭には、毎夏、きまった場所にいくつかの雪溪がみられる。われわれはそのうちのひとつ、通称雪壁雪溪について、昭和38年(1963)の予備調査以来、毎夏、雪氷学的調査を行なってきた。昭和39年、40年、41年に行なった調査の結果は、すでに前報告 I~III にのべた。昭和42年(第4年度)、43年(第5年度)も従前に引きつづき、年に4~5回、同じ雪壁雪溪の調査を行なった。これら兩年度には雪溪の消耗過程および雪溪内における雪の組織、昭和41(1966)年の調査で確認された2年雪(1964~65年の冬の雪)のその後の状態に重点をおいて調査を行なった。

以下に、これら兩年度にえられた調査結果をまとめて報告する。

なお、雪溪調査を行なった日時と観測に参加した者は次の通りである。

#### 第4年度(1967)

第1回 5月26~28日; 山田知充, 北原武道

第2回 7月31日~8月2日; 成田英器, 成瀬廉二, 北原武道, 佐藤尚之

第3回 9月1~4日; 黒岩大助, 若浜五郎, 清水弘, 成田英器, 田沼邦雄, 水野悠紀子, 渡辺興  
亜, 成瀬廉二, 北原武道, 佐藤尚之

第4回 10月9~11日; 成田英器, 成瀬廉二

#### 第5年度(1968)

第1回 6月28~30日; 成田英器, 山田知充, 石川信敬

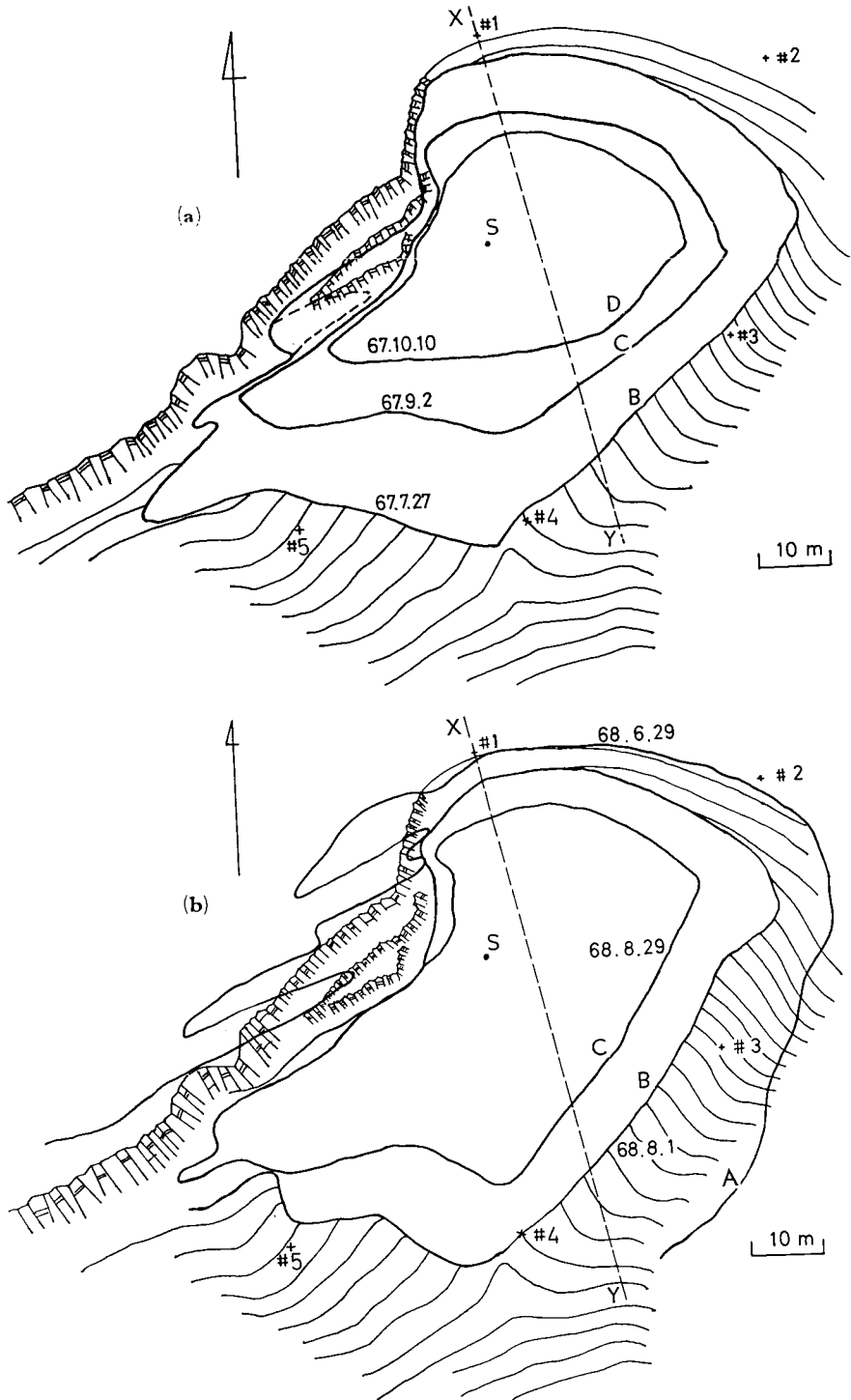
第2回 7月31日~8月2日; 成田英器, 田沼邦雄, 山田知充

第3回 8月28~31日; 木下誠一, 若浜五郎, 成田英器, 田沼邦雄, 小林大二, 小林俊一, 八木  
鶴平, 山田知充, 対馬勝年, 石川信敬, 河村俊行, 油川英明

第4回 10月17~19日; 若浜五郎, 清水弘, 成田英器, 田沼邦雄, 石川信敬, 河村俊行

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第994号

\*\* 現在 低温科学研究所

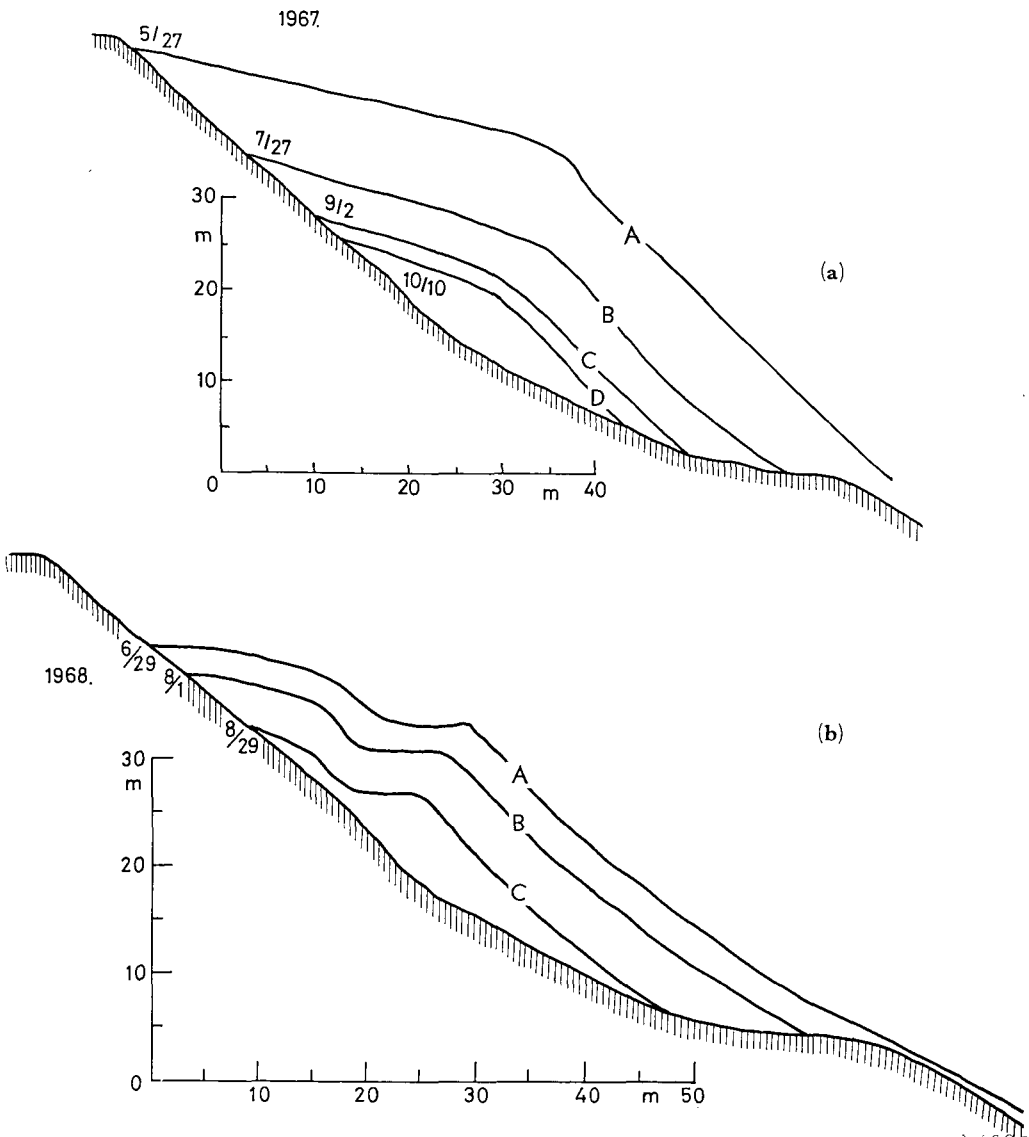


第1図 (a) 1967年5~10月の雪壁雪溪の平面図。B; 7月27日, C; 9月2日, D; 10月10日における輪廓。5月27日にも測量を行なったが, そのときの輪廓は, この図からはみだしているため記入していない。(b) 1968年6~8月の平面図。A; 6月29日, B; 8月1日, C; 8月29日における輪廓

II. 観測方法と結果

1) 雪渓の規模と形

昭和39年(1964)以来, われわれは毎年融雪のはじまる5月から, 降雪のはじまる10月までの間, 4~5回にわたって, 測地的な方法で雪壁雪渓の消耗過程を調べてきた。昭和42, 43年度にも, ひきつづき同様な調査を行なった。第1図に測量で求めた雪渓の消耗過程を平面図で示す。図(a)の太い実線 B, C, Dはそれぞれ1967年7月27日, 9月2日, 10月10日, 図(b)の A, B, Cはそれぞれ1968年6月29日, 8月1日, 8月29日の雪渓の輪廓である。多数の細



第2図 雪壁雪渓の最大傾斜線(第1図の鎖線XY)にそつ縦断面図。A, B, Cはそれぞれ, 第1図(a)(b)のA, B, Cに対応する

5-4-3291

い実線は、雪溪下の岩盤および雪溪周辺の、2 m おきにひいた等高線である。測定の基準点を #1, #2 などの記号で印した。

雪溪の最大傾斜線、第1図の破線 XY にその雪溪の縦断面を第2図に示した。この破線 XY は、1965 年以來、雪溪の縦断面を求めめるために用いてきた基準線と同一のものである。実線 A, B, C, … は第1図の A, B, C, … にそれぞれ対応する。ただし、第1図(a)に1965年5月27日の雪溪の輪廓 A は画かれていない。これは曲線 A がこの図からはみ出しているためである。

雪溪は従前と同様、斜度約 10° の緩やかな上半部と、斜度 35~40° の急な下半部とから

なっていた。ただ、1968 年には、雪溪上半部に大きな凹凸がみられたことが、これまでには観察されなかった特異な点である。

第2図をみると、いずれのばあいも、雪溪がはじめの形に相似な形を保ちつつ、一様に消耗したことがわかる。

これらの測量結果を用いて、雪溪の面積、体積、重量を求め、第1表に示した。比較の便宜のため、1964~66年の値をもまとめて掲げた。ここで、面積は、雪溪を水平面上に投影した面積である。重量は、雪溪の雪の平均密度を 0.7 g/cm<sup>3</sup> として求めた。

## 2) 雪溪の消耗

第2図の測量結果から、雪溪の消耗速度がえられる。1967年には、5月27日から10月10日までの136日間に雪溪表面の厚さ約16mの雪が消失した。1日平均12cm、水量にして約7cm/dayであった。1968年では6月29日から8月29日までの61日間に7.9m、1日平均13cm、水量にして約8cm/dayである。

つぎに、雪壁雪溪の雪面での平均熱伝達率を求めよう。それには温度1°C当りの雪面の消耗速度を求めればよい。現場での気温の実測値がないので、大雪山に近い旭川地方気象台における日平均気温を用いた。気温減率を -0.6°C/100m と仮定し、雪溪の高度1730mに換算して雪溪での日平均気温を求めた。その0°C以上の積算値、すなわち積算温度は、1967年5月27日から10月10日までの間で1000°C·day、1968年6月29日から8月29日までの間で600°C·dayであった。一方、上と同じ期間における雪溪の消耗量は、それぞれ960g/cm<sup>2</sup>、475g/cm<sup>2</sup>であった。従って、上の期間における雪面の平均熱伝達率  $K$  は、1967年で

$$K = 80 \text{ cal/g} \times 960 \text{ g/cm}^2 / 1000^\circ\text{C}\cdot\text{day} \\ \approx 76.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}\cdot\text{day} \approx 0.053 \text{ cal/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}\cdot\text{min},$$

1968年で

$$K = 80 \text{ cal/g} \times 475 \text{ g/cm}^2 / 600^\circ\text{C}\cdot\text{day}$$

第1表 雪壁雪溪の規模の変遷

年 月 日	面 積 (m <sup>2</sup> )	体 積 (m <sup>3</sup> )	重 量 (トン)
1964. 8. 27	688	805	560
1965. 8. 27	2,060	10,500	7,000
9. 3	1,890	8,570	6,000
9. 23	1,530	5,730	4,000
1966. 8. 6	3,910	29,400	17,600
9. 13	1,980	10,100	7,600
10. 10	1,670	7,360	5,500
1967. 7. 27	3,430	24,000	16,800
9. 2	1,720	7,000	4,900
10. 10	980	3,900	2,700
1968. 8. 1	3,080	15,200	10,600
8. 29	1,900	4,300	3,000

$$\approx 63 \text{ cal/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{day} \approx 0.044 \text{ cal/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{min}$$

である。

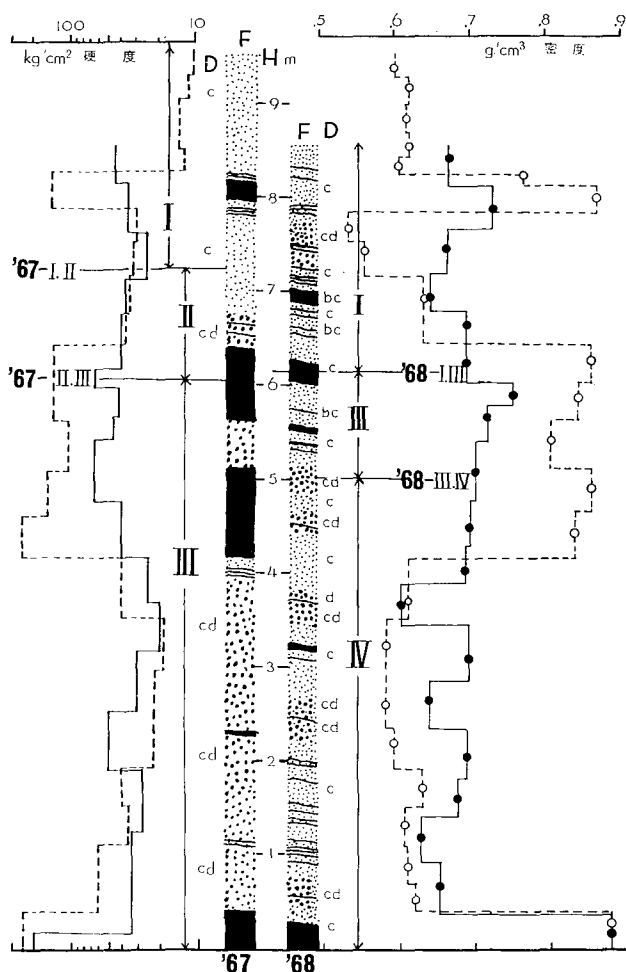
### III. ボーリングで得たコア試料の解析結果

雪渓の雪は、夏季の数カ月間、全体がとけ水でぬれ、 $0^\circ\text{C}$  に保たれている。積雪は氷の融点  $0^\circ\text{C}$  に保たれていると特異な変態をおこす。また、数  $10 \text{ g/cm}^2$  ていどの小さな荷重のもとでも氷化することが知られている<sup>4)</sup>。われわれは雪渓内でおこっている積雪の変態や氷化過程を調べるために、雪渓の中央、第1図の S 点でボーリングを行ない、コア試料を採取した。

ボーリングは、内径  $70 \text{ mm}$  の SIPRE 型手廻し掘さく器を用いて行なった。得られたコア試料について、従来と同様、層構造、粒度、密度を調べるとともに、1967 年度からあらたに木下式硬度をも測定した。雪壁雪渓の雪は、ふつうの自然積雪に比べて非常に硬いので、標準の木下式硬度計では測定できなかった。それで、木下式硬度計の下端に、標準の  $1/10$  の底面積をもつアダプターをとりつけて硬度を測定した。

得られた結果を2年分まとめて第3図に示した。図の下端の太い実線が雪渓の底で、底からの高さ  $H$  を図の中央、上に向かって  $\text{m}$  単位で示してある。中央左側に1967年9月2日、右側に1968年8月29日に観測した層構造、雪質を示す。ボーリング地点における雪渓の厚さは、1967年で  $9 \text{ m } 50 \text{ cm}$ 、1968年で  $8 \text{ m } 60 \text{ cm}$  であった。

これら層構造の図の両側に記したローマ数字 I, II, III, ... は、その部分の雪がそれぞれ1年雪、2年雪、3年雪、... である



第3図 1967年9月2日および1968年8月29日にボーリングで得られたコア試料の解析結果を示す。図の中央に層構造、雪質、右半分に密度、左半分に硬度を示す。1967年、1968年の別は、破線と実線とで表わした。層構造の図に67-I・IIなどを印した水平の実線は年層境界、それらの間のI, II, IIIなどは、1年雪、2年雪、3年雪を表わす

ことを示す。これらの間を区分する水平の実線は年層境界を示す。たとえば、67-II・III と印したものは、1967年に観測された2年雪と3年雪とを分ける年層境界である。

図の右半分に、乾き密度、左半分に木下硬度の鉛直分布を示した。いずれも、破線が1967年、実線が1968年の分である。

次に、これらの観測結果のそれぞれについて少し詳しくのべよう。

### 1) 雪質、層構造、年層境界

1967, 68の両年とも、雪渓は、ざらめゆきと氷とからなり、全層がぬれていた。第3図の層構造、雪質を示す図で、黒点をまぶした部分がざらめゆき、黒くぬりつぶした部分が氷、細い水平な実線は氷板である。

ここで、ざらめゆきとはいっても、後に述べるように、ふつうの平地積雪のざらめゆきの数十倍もの硬度をもったものである。氷河源流域で積雪が氷河水にうつり変わる中間段階の雪で、フィルムに当る。

雪渓全層を通じ、粒度は国際分類でc-d、粒径にして1~2mmであった。

コア一試料をとりだした第1図のS点附近は、1965年以来、毎年、雪渓が最もやせる10月上~中旬に、着色した「おがくず」を散布した場所に当る。従って、S点附近でボーリングをして得られたコアには、黄、赤等に着色したおがくずの層が見出された。このおがくず層は、非常に明瞭で、容易に識別できた。おがくずは消耗末期の雪渓表面に散布したので、そのとき表面に露出していた古い雪と、次の冬にあらたに積った雪との境界に挟まれている。従って、おがくずの層は、年層の境界を示す。

着色おがくず層は、1967年には、雪渓の下の岩盤上7.2mと6.0mに、1968年には6.2mと5.0mに見出された(第3図)。これらおがくず層、つまり年層境界の位置、色などを基準にして、雪渓内部の雪がいつ堆積したものかを吟味し、次の結論を得た。

1967年では、岩盤上7.2m(年層境界67-I・II)から雪渓表面までが1年雪(1966~67年の冬の雪)、6.0m(年層境界67-II・III)から7.2mの間が2年雪(1965~66年の冬の雪)、6.0m以下雪渓底面までが3年雪(1964~65年の冬の雪)である。また、1968年では、岩盤上6.2m(年層境界68-I・III)から上、雪渓表面までが1年雪(1967~68年の冬の雪)、5.0m(年層境界68-III・IV)から6.2mまでが3年雪、5.0mから雪渓底面までが4年雪(1964~65年の雪)で、2年雪は観測されなかった。

1967年9月2日にボーリングをしたときの1年雪の厚さは、第3図からわかるように、2m10cmであった。その年の消耗の末期、10月10日に測量した結果によると、9月2日から10月10日までの間にボーリング地点で消耗した雪の厚さも丁度2m10cmであった。従って、1966~67年の冬に積った雪は、1967年の消耗末期までにすっかり消えてしまったことになる。このようなわけで、1968年には2年雪が見出されなかったのである。

1967年の2年雪、3年雪は、1968年にはそれぞれ3年雪、4年雪となった。1967年の年層境界67-II・IIIは68年の年層境界68-III・IVに対応する。

1967年の3年雪が1968年に4年雪となる間に、厚さが6.0mから5.0mに約1m減少した。この1mの減少分は、雪渓底面での融解および1年間における3年雪の圧密によるもので

ある。そのうち、圧密化による分は、この1年間における密度の増加から推算できる。次項でのべるように、1967年の3年雪の平均密度  $0.6 \text{ g/cm}^3$  が、1968年には  $0.65 \text{ g/cm}^3$  となった。それゆえ、密度増大によるこの層の厚さの減少量は約  $55 \text{ cm}$  である。のこりの約  $45 \text{ cm}$  が、雪渓底面での融解で消耗したことになる。これは約  $1.2 \text{ mm} \cdot \text{水/日}$  の融解速度にあたり、ふつうの平地積雪の底面における融解速度の実測値にほぼひとしい<sup>5)</sup>。なお、雪壁雪渓の底面での融解速度は1969年度から測定をはじめた。

年層境界 68-I・III を除く他のすべての年層境界には、氷板、雪質の不連続など、顕著な層境界がみられなかった。これらの年層境界には、わずかの土砂の混入は認められたが、もし「おがくず」がなかったなら、そこを年層境界と断定することは困難だったであろう。

## 2) 密度分布

第3図の右半分に雪渓の雪の乾き密度分布を示した。白丸を破線でつないだのが1967年、黒丸を実線で結んだのが1968年に得られた結果である。

雪渓は全層ぬれていたため、測定値は、水を含んだ雪の密度すなわち「ぬれ密度」である。しかし、雪渓の雪の圧密過程、氷化過程などを論ずる場合には、水を除いた雪だけの密度、すなわち「乾き密度」が必要である。ぬれ密度から乾き密度を求めるには、雪の含水率を知らなければならない。そこで、1967年度から、結合式熱量計<sup>6)</sup>で、「ぬれ密度」を測定したのと同じコア試料について含水率を測定した。しかし、1967年には、測定の途中で器を破損したため、表面から  $1.5 \text{ m}$  下までしか含水率の値が得られなかった。この間で得られた5個の実測値は、いずれも  $15 \sim 17\%$  の範囲に入り、平均  $16\%$  であった。雪渓の全層はほぼ一様にぬれていたため表面下  $1.5 \text{ m}$  から下の雪も、表面近くの雪と同じ程度の水を含んでいたと仮定しても、大きな間違いはなからう。それで、1967年では表面下  $1.5 \text{ m}$  から下の全層で、含水率が  $15\%$  と仮定し、乾き密度を算出した。ただし、氷の層は、気泡が独立しており、とけ水を含みにくいので含水率を  $0$  とした。こうして求めた乾き密度が、図の白丸である。

乾き密度は、氷化した部分で  $0.8 \sim 0.85 \text{ g/cm}^3$ 、ざらめゆきの部分では、1年雪、2年雪、3年雪を通じて  $0.6 \text{ g/cm}^3$  前後である。

1968年度には、雪渓全層について含水率が測定できた。その値を用いて実測のぬれ密度から算出した乾き密度が、図の黒丸である。

1968年の密度は、雪渓上層から下層まで約  $0.7 \text{ g/cm}^3$  で、ほぼ一様な値をもつ。これに対し、1967年では、 $0.55 \sim 0.85 \text{ g/cm}^3$  の範囲の値をとり、変動がはげしい。兩年を通じ、新しい1年雪でも密度は  $0.6 \sim 0.7 \text{ g/cm}^3$  のていどである。これは、自然積雪でふつう観測される密度の最大値  $0.5 \text{ g/cm}^3$  よりもずっと大きい。

1967年の2年雪の密度  $0.6 \sim 0.65 \text{ g/cm}^3$  は、1968年に3年雪となったときには、 $0.7 \sim 0.75 \text{ g/cm}^3$  に増大した。1967年の3年雪が1968年に4年雪になったばあい、上半部の  $0.75 \sim 0.8 \text{ g/cm}^3$  が  $0.7 \text{ g/cm}^3$  に減少し、下半部では  $0.6 \sim 0.65 \text{ g/cm}^3$  が  $0.7 \text{ g/cm}^3$  に増えている。

1967年と1968年ではボーリング地点が約  $2 \text{ m}$  はなれていた。それゆえ、兩年の密度を詳しく比較することはできない。それにしても、雪渓下部の雪の密度が、1年の間に  $0.6$  から  $0.65 \text{ g/cm}^3$  にふえたことだけは間違いはない。

兩年を通じ、年層境界のところで密度が不連続的に変化していることはなかった。従って、密度分布だけから年層境界をきめることは不可能である。

3) 硬度分布

雪溪全層について測定した木下硬度の分布を第3図の左半分に示した。硬度は氷の層では130~200 kg/cm<sup>2</sup>、ざらめゆきでは20~50 kg/cm<sup>2</sup>であった。

1年雪の表面近くおよび氷の部分のをぞき、1967, 68の兩年とも、また、2年雪、3年雪、4年雪を通じて、硬度に大きな変化はみられなかった。年層境界のところで硬度が不連続的に変わることもなかった。

4) 密度と硬度との関係

第3図に示したように、雪溪雪の密度は0.5~0.75 g/cm<sup>3</sup>の範囲に分布していた。これは、ふつうの平地積雪で観測される最大密度0.5 g/cm<sup>3</sup>と、純氷の密度0.917 g/cm<sup>3</sup>との中間に位する。0.5~0.75 g/cm<sup>3</sup>の密度をもつ雪の硬度と密度との関係は、まだ調べられてない。そこで、

今回得られた雪溪の雪の密度と硬度との関係を調べてみた。

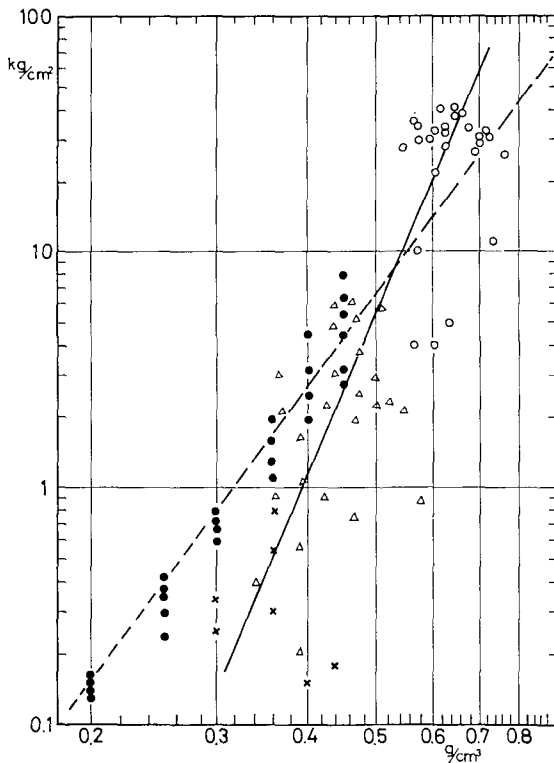
第4図の白丸がそれである。両対数グラフの縦軸は木下硬度、横軸は乾き密度である。この図で、黒丸は、平地積雪の乾いたしまりゆき、×印はぬれしまりゆきについて木下<sup>7)</sup>が得た値である。また、白三角は、筆者の一人(若浜)が、平地積雪のぬれかたしまりゆきについて得た値である<sup>8)</sup>。破線は、硬度  $H$  (kg/cm<sup>2</sup>) と密度  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>) との関係について木下の得た経験式  $H=100\rho^4$  を図示したものである。この図で、乾き雪の値を示す黒丸を除いた、ぬれ雪の値だけに注目して、硬度と密度との概略の関係を表わしたが、太い実線である。これを数式にすると、近似的に

$$H = 700\rho^7 \quad (H; \text{kg/cm}^2, \rho; \text{g/cm}^3)$$

となる。ぬれ雪の硬度は、密度0.55 g/cm<sup>3</sup>以下で乾き雪の硬度より小さく、0.55 g/cm<sup>3</sup>以上では、木下の式から求まる値よりも大きい。

5) 雪溪の雪および氷の組織

ボーリングで得られたコア試料の一部をドライアイスで冷やしつつ低温科



第4図 雪溪の雪の乾き密度と硬度との関係を示す図。白丸；今回、雪溪の雪について得られた値。白三角；平地積雪のぬれたしまりゆきについて得られた値。×印と黒丸は、それぞれ平地のぬれしまりゆき、乾きしまりゆきについて木下の得た値。破線は木下の得た経験式  $H=100\rho^4$  (本文参照) を図示したもの。太い実線は、ぬれゆきでえられた値に合うようにひいた

学研究所にもち帰り、薄片にして雪、氷の組織の観察および、粒径の測定を行なった。

図版 I, II に、それぞれ、1967 年、1968 年の、雪溪の上層から下層にかけての顕微鏡組織を示した。各写真の左上隅に、その試料をとりだした表面からの深さを示した。薄片はすべて鉛直面にそって切りだし、写真の上方が鉛直上方に当る。また、倍率はこれらすべての写真に共通である。各図版の下に物指しをつけた。

図版 I の深さ 0.7 m, 1.6 m の写真は 1967 年度の 1 年雪、3.5 m, 3.8 m は 2 年雪、6.0 m から 9.1 m までの 4 枚は 3 年雪である。また、図版 II の、深さ 0.5 m, 2.0 m は、1968 年度の 1 年雪、2.5 m と 3.2 m とは 3 年雪、3.8 m から 8.2 m までの 4 枚が 4 年雪である。これら両図版の最後の写真、深さ 9.1 m と 8.2 m とは、いずれも雪溪底面の氷の組織を示す。

図版 I の 2 年雪 (3.5 m と 3.8 m) は、図版 II の 3 年雪 (2.5 m と 3.2 m) に対応し、いずれも 1956~66 年の冬に堆積した雪である。また、図版 I の 3 年雪 (6.0 m, 7.2 m, 8.1 m, 9.1 m) は、図版 II の 4 年雪 (3.8 m, 5.7 m, 7.6 m, 8.2 m) に対応し、いずれも 1964~65 年の冬の雪である。

1 年雪の組織は網目構造をもち、ふつうの「かたしまりゆき」のそれと変わらない。粒径は 0.5~1 mm のていどである。

3 年雪では、ほぼ氷化した雪をのぞけば、しまりゆきの組織が、かなり明瞭にのこっている (図版 I の深さ 7.2 m, 8.1 m, 図版 II の 2.5 m, 3.2 m)。しかし、1 年雪に比べると粒子の融合と空隙の孤立化が目立つ。また、雪粒を構成する単結晶粒の粒径が 1 年雪の 0.5~1 mm から平均 1 mm に、粒子間連結部が 1 年雪の約 0.3 mm から 0.5~1 mm に成長している。

4 年雪では、3 年雪までにみられた積雪特有の網目組織は、ほとんどみられない。圧密が進んで空隙がせばまり、ついには粒子同士が直接癒着して多結晶氷の組織に近い。結晶粒は、3 年雪の平均粒径 1~1.5 mm から 1.5~2 mm にまで成長している。

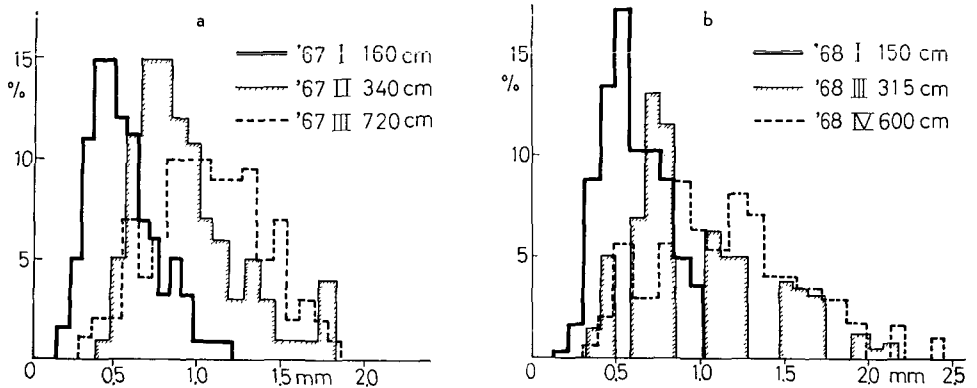
ただし、4 年雪に属していても、雪溪の底に近い部分の氷では、粒径が 1 mm 前後で、同じ 4 年雪の上、中層部での粒径より小さい。同じようなことは、1967 年の 3 年雪でもみられる。雪溪底面直上の氷の結晶粒径は 0.5~1 mm である (図版 I の右下隅の写真)。これは、3 年雪の上、中層部における平均粒径 1 mm に比べて小さい。前回報告した 1966 年の 2 年雪についても、これと同様なことが観察された。実験によれば、雪や氷が力をうけて変形する際に、結晶粒はいったんは成長して粗大化するが、変形が大きくなると、逆に細分化して小さくなる (若浜<sup>9)</sup>、木下<sup>10)</sup>、Rigsby<sup>11)</sup>)。雪溪底面近くの氷にみられる結晶粒の細分化は、雪溪上中層部より下層部で流動変形が大きいことを示唆している。

## 6) 多年性越年雪の粒径分布

雪溪の各年層から切りだした薄片の顕微鏡写真を用いて、各年層の雪、氷の粒径分布を調べた。薄片に現われた結晶粒の切断面を等面積の円におきかえ、その円の直径をもって粒径とした。ひとつの粒径分布を求めるのに用いた結晶粒の個数は 300~400 個であった。第 5 図 (a) に 1967 年の 1 年雪、2 年雪、3 年雪の、また、同図 (b) には 1968 年の 1 年雪、3 年雪、4 年雪の粒径分布をまとめて示した。

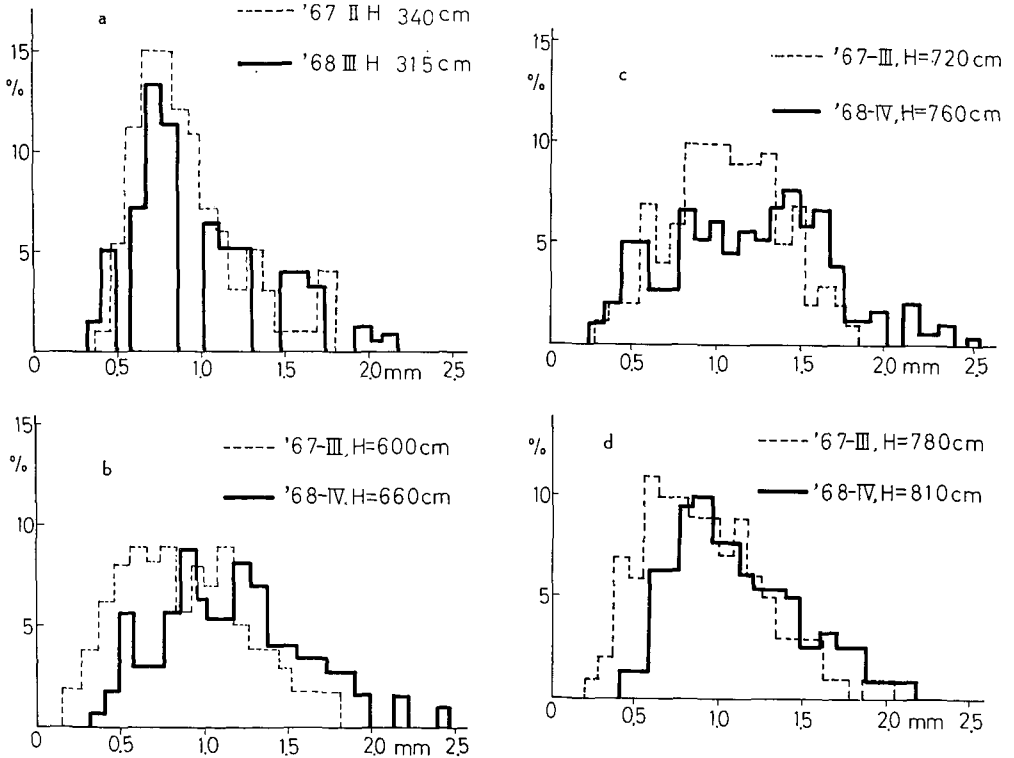
これらの平均の粒径と、粒径の分布のしかたを量的に示す目安として、中央値と中央誤差

を求め、第2表にまとめた。たとえば、1967年の深さ160cmの1年雪では、中央値が0.55mm、中央誤差が±0.15mmである。これは、粒子全体の50%の粒径が0.55±0.15mmの範囲内に入っていることを意味する。これら中央値、中央誤差と雪の年齢との関係を第7図に示した。この図で縦軸は粒径、横軸は雪の年齢である。白丸が粒径の中央値、白丸を通る実線の長さが中央誤差を示す。雪が古くなって、年をとると、粒子が大きくなるとともに、粒径分布が幅広



第5図 雪壁雪溪の粒度分布

(a); 1967年の1~3年雪, (b); 1968年の1, 3, 4年雪



第6図 同じ層内の雪が1年たつ間に、粒径がどのように変化したかを示した。

(a); 2年雪から3年雪, (b), (c), (d); 3年雪から4年雪のばあい

第2表 1~4年雪の粒径の中央値と中央誤差

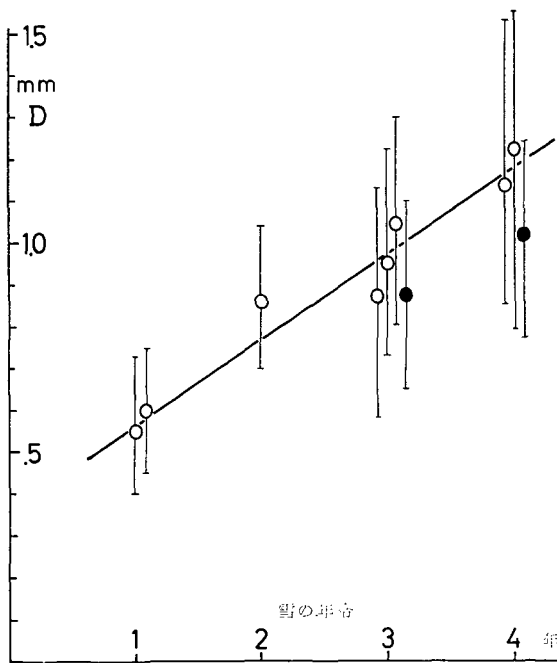
雪年齢	1967. 9. 2			1968. 8. 29		
	深さ cm	中央値 mm	中央誤差 mm	深さ cm	中央値 mm	中央誤差 mm
1年雪	160	0.55	±0.15	150	0.60	±0.15
2年雪	340	0.87	±0.17			
3年雪	600	0.86	±0.27	315	0.97	±0.24
	720	1.05	±0.25			
	780	0.88	±0.23			
4年雪				660	1.13	{-0.28 +0.40
				760	1.22	{-0.43 +0.33
				810	1.01	±0.24

くなることがわかる。これらの白丸は図の太い実線によくのっている。これから求めた結晶粒の平均成長速度は、0.21 mm/年である。

図の黒丸は、雪渓底面直上の氷について得られた値である。同じ3年雪、4年雪に比べて粒径が小さいことがわかる。このことについては、上の第5項ですでにのべた。

第2表にかかげた平均粒径(中央値)を用い、結晶粒の形を球と仮定して、結晶粒の平均体積を多年性雪について求めた。その結果平均体積が、1年雪が2年雪になる間に約4倍に、2年雪が3年雪になる間に2.6倍に、3年雪が4年雪になる間に2.4倍に増大したことがわかった。

第6図には、同じ層内の雪が1年歳をとる間に、粒径分布がどのように変化したかを示した。図(a)は、2年雪が3年雪になったとき、図(b), (c), (d)は3年雪が4年雪になったときの粒径分布を比較して示す。図(a), (c)では、粒径分布が大きい方にわずかしき移動していないが、図(b), (d)では、全体として、明らかに粒径の大きい方に向かって移動している。図(d)の雪渓底部、深さ8m附近の雪の粒径は、その上層6~7.5m附近の粒径(b図, c図)よりも全般的にやや小さい。



第7図 雪の年齢による粒径Dの変化。白丸とそれを通る実線は粒径の中央値と中央誤差を示す。黒丸は、雪渓底面直上について得られた値

IV. ま と め

1963年(昭和38年)以来、われわれは、大雪山系高根ヶ原南東斜面に毎夏みられる通称雪壁雪渓の調査を行ってきた。1966年までの調査結果はすでに報告された。1967, 68の両年もひきつづき調査を行なった。その主な目的は、雪渓の消耗過程および多年性の雪の組織を明らかにすることであった。得られた結果を以下にまとめる。

1) 測量で求めた雪壁雪渓の平面図および最大傾斜線にそった縦断面図を、それぞれ、第1図、第2図に示した。また、第1表に雪渓の水平投影面積、体積および重量をまとめた。

2) ポーリングで得たコア試料について、雪渓全層にわたり、層構造、雪質、粒度などを調べた(第3図)。前年度の雪渓の消耗末期に雪面上に散布したおがくずが発見された。

これは、新旧両年度の雪を分ける年層境界にあたる。1967年、1968年とも、それぞれふたつの年層境界が見つかった。これら年層境界を基準にして、雪渓内の雪、氷の年齢を調べた。

1967年には、雪渓下半部に、この雪渓の調査を開始して以来はじめて3年雪の存在を確認した。これは、1964~65年の冬に堆積した雪である。この3年雪は、翌1968年には4年雪として観測された。

3) コア試料を用いて、雪渓全層にわたり密度、含水率を測定した。第3図の右半分に示した密度は、含水率を用いて補正した「乾き密度」である。雪渓の雪は、乾き密度が $0.6\sim 0.7\text{ g/cm}^3$ で、ふつうわれわれが接する自然積雪と氷河水との中間に位する。

4) 1967年にはじめて雪渓全層にわたり、硬度を測定した。第4図に密度と硬度との関係を示し、また、木下がふつうの自然積雪について得た結果と比較した。密度 $0.3\sim 0.75\text{ g/cm}^3$ のぬれ雪の木下硬度 $H(\text{kg/cm}^2)$ と密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$ との間に、 $H=700\rho^2$ の関係がえられた。

5) 年層境界を境にして、雪質、密度、硬度が不連続的に変わることがなかった。年層境界をきめる証拠は、雪の中に見出された「おがくず」の層である。おがくず層なしに年層境界を判別することは、到底できなかったであろう。

6) コア試料から顕微鏡薄片を切りだし、雪渓の雪、氷の組織を観察した。1年雪から3年雪までには、しまりゆきの組織がみられたが、4年雪にはも早みられなかった。4年雪は、雪というよりはむしろ、気泡を多量に含む多結晶氷に近い。

7) 1967年、68年とも、雪渓底面に近い氷の層の結晶粒径は、同じ年齢の他の部分の粒径より小さい。同様なことは、1966年にも観察された。これは、雪渓のごく下層部での流動変形が他の部分よりも大きいことを示す。

8) 各年層について粒径分布を調べた。第5図(a)に1967年、図(b)には1968年の粒径分布を、雪の年齢別に示した。1年雪から4年雪について、単結晶粒の平均粒径と、粒径の分布のしかたを量的に示す目安として、中央値および中央誤差を求め、第2表にまとめた。また、これら中央値、中央誤差と雪の年齢との関係を第7図に示した。雪が歳をとるにつれ、粒子が大きくなると共に、粒径分布が幅広くなる様子がわかる。

雪粒の平均の体積成長率は、1年雪が2年雪になる間に約4倍、2年雪が3年雪になる間に2.6倍、3年雪が4年雪になる間に2.4倍であった。

第6図(a)から(d)には、1967年に観測された粒径分布が翌68年にどのように変化したかを示した。

この報告を書くにあたり、吉田順五、黒岩大助両教授に有益な助言をいただいた。現地での調査に際しては、大雪観光開発株式会社の大久保喜平、福井保宏両氏にいろいろな御協力をえた。以上の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

なお、本研究に要した費用の一部は、文部省科学研究費(積雪災害に関する特定研究費)から支出された。

## 文 献

- 1) 木下誠一・他 1965 大雪山の雪渓調査 (第1年度). 低温科学, 物理篇, **23**, 121-127.
- 2) 木下誠一・他 1966 大雪山の雪渓調査 (第2年度). 低温科学, 物理篇, **24**, 201-210.
- 3) 若浜五郎・他 1968 大雪山の雪渓調査 (第3年度). 低温科学, 物理篇, **26**, 215-235.
- 4) 若浜五郎 1965 水を含んだ雪の変態. 低温科学, 物理篇, **23**, 51-66.
- 5) 小島賢治 1957 積雪層の粘性圧縮, III. 低温科学, 物理篇, **16**, 167-196.
- 6) 吉田順五 1959 積雪含水率測定用熱量計. 低温科学, 物理篇, **18**, 17-28.
- 7) 木下誠一 1960 積雪の硬度, I. 低温科学, 物理篇, **19**, 119-134.
- 8) 若浜五郎・中村 勉・遠藤八十一 1968 積雪内における融雪水の移動, II. 低温科学, 物理篇, **26**, 53-76.
- 9) 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-II. 低温科学, 物理篇, **19**, 37-96.
- 10) 木下誠一 1962 塑性圧縮による積雪の氷への転化. 低温科学, 物理篇, **20**, 131-157.
- 11) Rigsby, G. P. 1960 Crystal orientation in glacier and in experimentally deformed ice. *J. Glaciol.* **3**, 589-606.

## Summary

Glaciological studies have been made over the past several years on one of the glacierets named "Yukikabe" in Mt. Daisetu (1,730 m above sea level). The results obtained in the first (1964), the second (1965) and the third (1966) years of research have already been reported in the previous papers I,<sup>1)</sup> II<sup>2)</sup> and III<sup>3)</sup>.

During the ablation season of 1967 and 1968, the investigation for the fourth and fifth years were carried out four times at intervals of about one month, respectively. The main object was to observe the metamorphism of snow texture and the process of ablation of the entire glacieret.

(1) The thick solid lines A, B, ... in Fig. 1 and 2 respectively give the outlines and the longitudinal sections of the glacieret at the time of the investigation. (B; July 27, C; Sept. 2, D; Oct. 10, 1967 in Figs. 1(a), 2(a), A; May 27 in Fig. 2(a), A; June 29, B; Aug. 1, C; Aug. 29, 1968 in Fig. 1(b) and Fig. 2(b).)

(2) The surface area, the total volume and total weight of the glacieret are tabulated in Table 1, together with those obtained in 1964, 1965 and 1966.

(3) By use of the longitudinal sections shown in Figs. 1(b), 2(b) (Geodetic method), it was found that the mean value of daily snow melt of the glacieret was 7 cm-water/day in 1967 and 8 cm-water/day in 1968 throughout the ablation season.

(4) Measurements were made on density, grain size, hardness and stratification of the firn snow throughout the entire thickness of glacieret. Snow cores obtained by a hand auger were used for these measurements. The boring site is indicated by S in Fig. 1. The stratification and the vertical distribution of grain size, density and hardness observed on September 2, 1967, and August 29, 1968 are shown in Fig. 3. The broken lines (1967) and the solid lines (1968) indicate the distributions of density (right) and hardness (left), respectively. In the diagram of stratification, the solid lines and the black bands respectively indicate ice sheets and thick ice plates. The solid lines denoted as 67-I·II, 68-I·III, ... show the levels of annual snow boundaries. For instance, the

line 67-I-II is the boundary dividing two annual snow covers, the snow cover one year old deposited during the winter of 1966~67 and the snow cover two years old deposited during the winter of 1965~66. These annual boundaries were identified by sawdust scattered on the surface of the glacieret at the end of the previous ablation season and which had become embedded in the snow. In 1967, the snow cover three years old (deposited in the winter of 1964~65) was found in the lower part of the glacieret. The same snow cover was found again in 1968 as four year old snow.

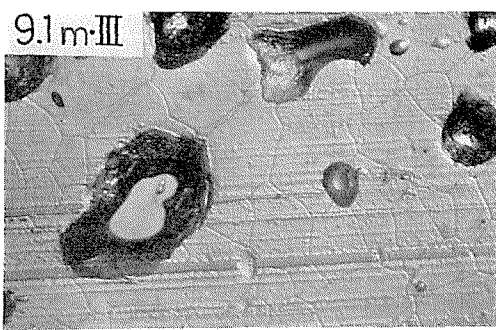
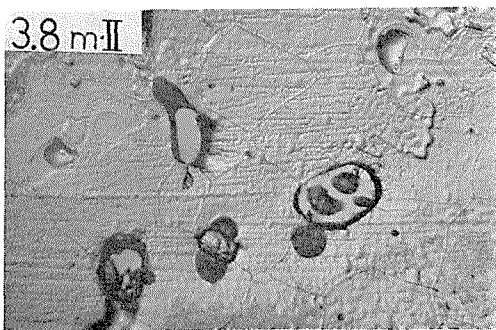
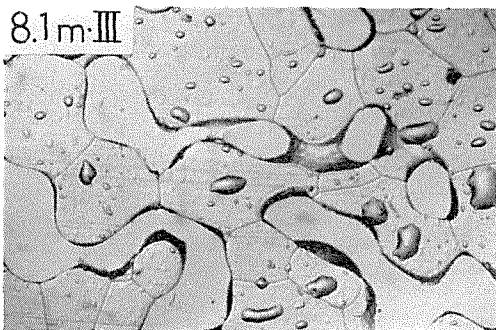
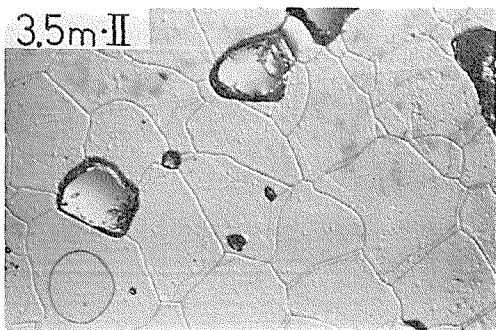
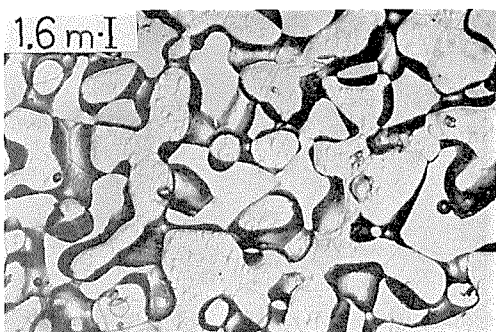
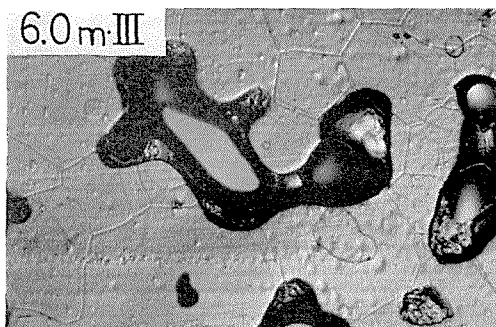
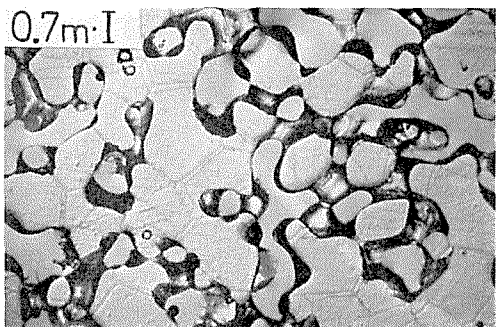
(5) The dry density and the Kinoshita's hardness of the snow, respectively, range from 0.6 to 0.75 g/cm<sup>3</sup> and from 20 to 50 kg/cm<sup>2</sup> throughout the entire thickness of the glacieret independent of the age of snow.

(6) It was found that the relationship between the hardness ( $H$ , kg/cm<sup>2</sup>) and the dry density ( $\rho$ , g/cm<sup>3</sup>) of the firn snow in this glacieret was represented by  $H=700\rho^2$ , which is shown by the solid line in Fig. 4. The broken line in this figure shows a relationship ( $H=100\rho^4$ ) similar to that obtained by Kinoshita<sup>7)</sup> for dry fine-grained snow.

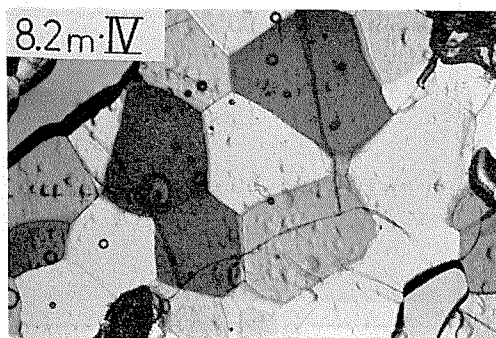
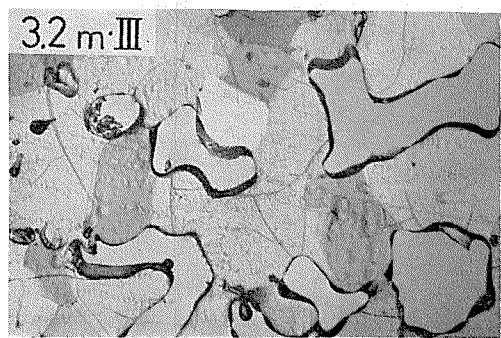
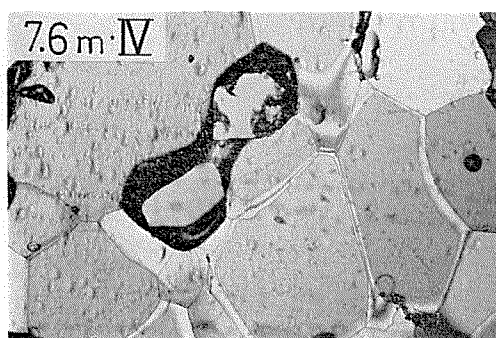
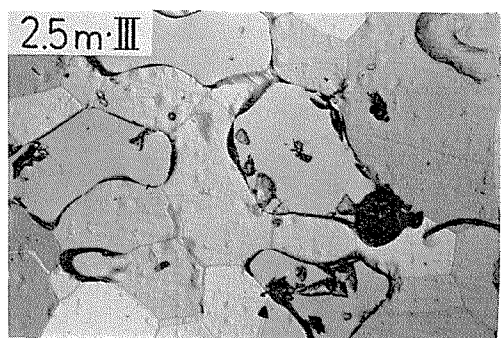
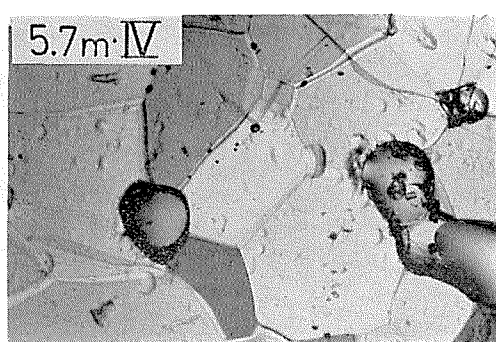
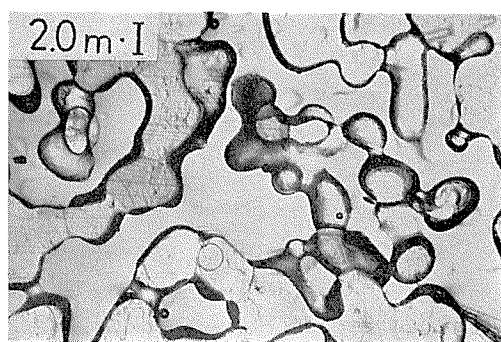
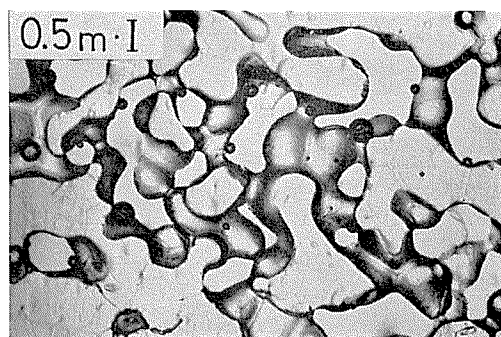
(7) The diagram, D, of grain size in Fig. 3 gives the average grain size taken for each of the snow layers. A more detailed study on grain size distribution was made on some selected layers of the I, II, III and IV year old snow, by cutting thin sections for microscopic examination of the ice grains. The results are shown in the histograms of Figs. 5, 6. It may be seen from these diagrams that the mean grain size grows larger with the increase in depth of the glacieret, or with the increase in age of the snow. In Fig. 7 is shown the detailed relationship between the diameter of ice grain and the age of snow. The growth rate was found to be of an order of 0.2 mm/yr.

### 図版説明

- 図版 I 1967年9月2日のボーリングで得たコア試料から切りだした顕微鏡薄片。各写真左上隅にある数字は、薄片を切りだした深さと、その雪の年齢を示す。たとえば、1.6 m-I, とあるのは、表面下 1.6 m の深さからの試料で 1 年雪なることを示す
- 図版 II 1968年8月29日に得たコア試料から採取した顕微鏡薄片 (部分偏光)。各写真につけた数字は、図版 I に同じ



6.0mm



6.0mm