



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大雪山及び八方尾根における硬化雪の調査
Author(s)	黒岩, 大助; KUROIWA, Daisuke; 若浜, 五郎 他
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 247-254
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18115">https://hdl.handle.net/2115/18115</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p247-254.pdf



## 大雪山及び八方尾根における硬化雪の調査\*

黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫

(低温科学研究所)

(昭和44年8月受理)

### I. ま え が き

従来、わが国の山岳地帯における積雪調査は主に水資源という立場から積雪水量の調査が行なわれてきた。山岳地帯の積雪は、平地の積雪とは異なった気象条件にさらされている。したがってその雪質や物理的性質は平地積雪のそれとは異なった様相を呈することが予想される。山岳地帯には、通称アイスバーンとよばれている硬化雪や、風成雪とよばれる特有な堅雪が見出される。アイスバーンの硬さは、時にはスキーのストックの先がささらないぐらいである。通常、平地の雪を機械的に圧縮してもなかなか硬くはならない。平地積雪を踏みかためて天然のアイスバーンと同じぐらいの密度と硬度を附与するには別に報告<sup>1)</sup>するように多くの人手と日数をかけねばならない。山岳地帯にみられる硬化雪は人間によって踏みかためられたものではなく、自然の条件のもとで硬化したものである。なぜ天然にアイスバーンのような硬化雪ができるか、その機構はまだよくわかっていない。天然の硬化雪の物理的性質を調査しておくことは、人工的に雪を硬化させる場合の有効な参考資料となる。

われわれは1972年に開催される札幌オリンピックのための雪氷の基礎的調査の一環として、1968年の冬、大雪山の硬化雪の調査を行なった<sup>2)</sup>。大雪山の主峯、旭岳の中腹、姿見池(標高1670 m)附近の尾根筋に典型的なアイスバーンを見出したので、雪質、粒度、密度、硬度、雪温の調査、薄片による組織の観察などを行なった。主な観測結果は次のようであった。アイスバーンの表面硬度の平均値は、木下式硬度計で10 kg/cm<sup>2</sup>、平均密度は0.53 g/cm<sup>3</sup>、積雪深は約50 cm、粒度はb~c (0.5~2 mm)で、薄片観察によると、ところどころに結晶面が観測されるしもざらめに近い組織であった。そしてこのような硬化雪がオリンピックのスキー競技には理想的であるということ報告した<sup>2)</sup>。

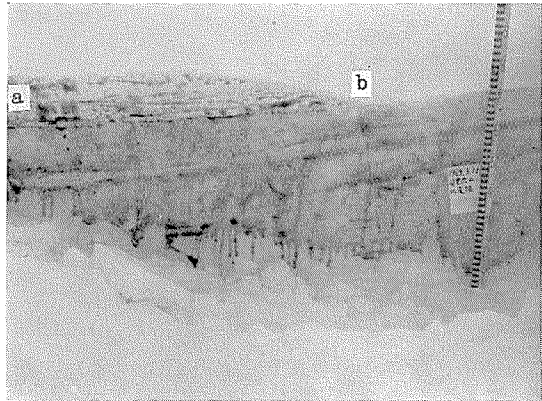
今回の硬化雪の調査目的は、大雪山において前年1968年の冬に見出されたと同じ場所に同じようなアイスバーンが見出されるか否か、もし構造組織が異なっているとすればどの程度に異なっているかを調べることにあった。また、大雪山の調査と前後して、長野県北アルプスにおける八方尾根のアイスバーンをも調査した。寒冷地である大雪山の硬化雪と比較検討するためである。

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第984号

II. 調査結果

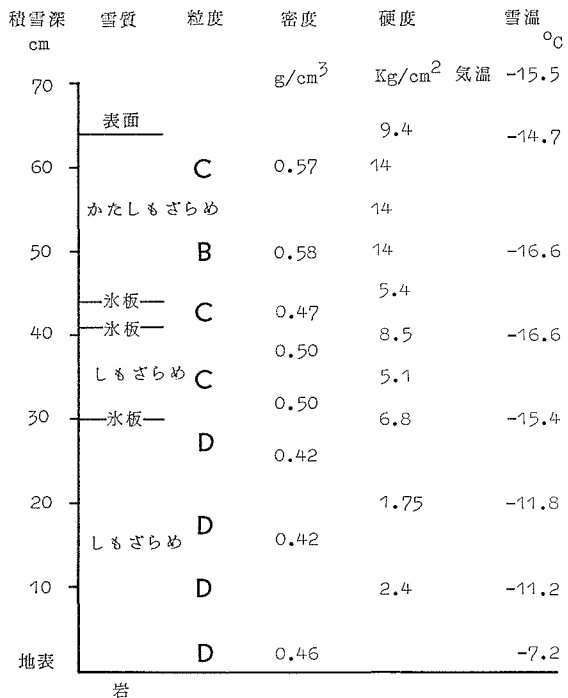
1) 大雪山アイスパーンの調査

調査地点は昨年同様、大雪山の主峯旭岳（標高 2290 m）から西方にのび、地獄谷爆裂火口の南側を通過して姿見池（標高 1670 m）に達する全長約 2 km に及ぶ尾根筋である。調査時期は去年は 2 月 18~25 日であったが、今回は 3 月 10~11 日に行なった。調査地点の景観は前報告<sup>2)</sup>の第 18 図を参照されたい。この尾根筋は旭岳への主要な登山路の一つであって、冬は強い季節風のため積雪量はきわめて少なく、ところどころ露岩がでてくるくらいである（前報告<sup>2)</sup>第 19 図をみよ）。1968 年におこなった第 1 回の観測では、この尾根の最大傾斜面に沿って長さ約 100 m、幅 20~30 m のアイスパーンが見出された。しかし、今回の調査では、前年と同じ場所にはアイスパーンはなく、この場所から高度で約 50 m のぼった同じ尾根筋の、露岩地帯の北西斜面に、昨年とほぼ同じようなアイスパーンを見出すことができたので、それについて調査を行なった。



第 1 図 大雪山のアイスパーンの断面を色水で染めたところ。図に a, b と印した点を結ぶ線上の雪は風送雪

第 1 図は今回のアイスパーンの断面を示す写真である。層構造を示すために青インキで着色した。第 2 図はこの断面について行なった雪質、粒度、密度、硬度、雪温の垂直分布を示す。積雪深は約 65 cm であった。昨年調査したアイスパーンのなかには、2~3 cm の間隔で平行にうすい氷板がほぼ 10 枚入っていたが、今回調査したアイスパーンのなかには、第 2 図に示すように氷板は 3 枚しか観測されなかった。粒度については、前回のアイスパーンでは b~c (0.5~2 mm) であったが今回のものではほとんど全層が c~d (1~4.0 mm) で大きく、雪質はしもざらめであった。その代表的な薄片の顕微鏡写真を第 3 図に示す。平地積雪内に見出される通常のしもざらめの硬度は 0.1~1 kg/cm<sup>2</sup> の程度である。しかし、



第 2 図 大雪山のアイスパーンの断面観測結果

このアイスバーンを構成しているしもぎらめ層の硬度は、ごく地面に近い層を除き  $7\sim 14\text{ kg/cm}^2$  であった。みかけ密度は第2図に示すように下層を除き中層から表面までの間は  $0.5\sim 0.57\text{ g/cm}^3$  であった。密度も平地積雪中に見出されるしもぎらめ層の値より大きい。断面観測を行なったときの雪温は第2図に示す通り  $-11^\circ\text{C}\sim -16^\circ\text{C}$  であって、アイスバーンと地面との境界の温度は  $-7.2^\circ\text{C}$  で、地面は勿論かたく凍結していた。これは積雪深がうすいために、寒さが地面深くまで浸透して凍結させているものと考えられる。第3図の薄片写真にみられるようにほとんど全層が結晶面を示すしもぎらめで構成されている。このことは、このアイスバーンが形成される途中で層全体が融解をほとんど経験しない昇華変態をこうむってできた



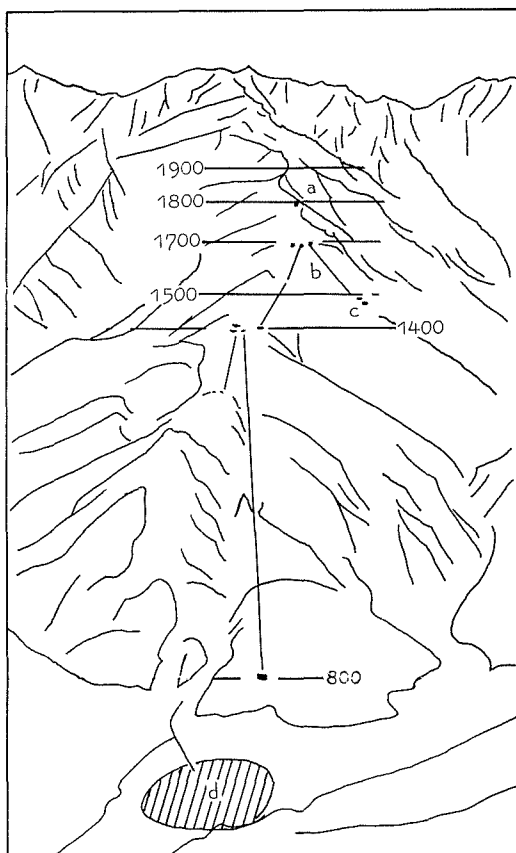
第3図 大雪山のアイスバーンの顕微鏡組織  
写真上方が積雪の鉛直上方に当る

と解釈される（この点がこのあとでのべる八方尾根のアイスバーンと大いに異なる点である）。積雪深がうすいとアイスバーン全体は強い温度勾配のもとにおかれることになる。秋田谷<sup>3)</sup>は実験的に同じ密度のしまり雪でも強い温度勾配をかけてしもぎらめ化すると弱い温度勾配のもとでもぎらめ化した雪に比べ硬度が数倍も大きくなることを示した。一般にしもぎらめの硬度は同じ密度のしまり雪に比べ著しく小さいといわれている。大雪山のアイスバーンがしもぎらめで構成されているのに硬度が大きいのは、密度が大きいうえに強い温度勾配のもとで形成されたことによるものと考えられることができる。

なお、第1図の写真で a, b と印した雪は、アイスバーンの上をとところどころ覆っている風送雪の一部である。この風送雪は密度  $0.2\sim 0.3\text{ g/cm}^3$ 、硬度  $1\sim 3\text{ kg/cm}^2$  のしまり雪であった。断面が楔状になっているのは、強風によって表面が削られるからである。

大雪山の姿見池附近の尾根筋に見出されたアイスバーンが、果してどのような機構と過程のもとに形成されたかは甚だ興味ある問題の一つであるが、正しい結論は将来の研究にまつとして、昨年と今回との2回の観測から共通していえることは次のとおりである。昨年と今年とではアイスバーンの見出された位置に多少のズレがあったが、何れも露岩の多い、したがって常に強風によってふきさらされてる尾根筋にあった。積雪深は  $65\text{ cm}$  で昨年のアイスバーン

(50 cm) とあまり変わらない。姿見池附近の 3~4 m の積雪深に比べればきわめて浅い。積雪組織の薄片の所見によればほとんど全層しもぎらめで、輻射融解によってできるうすい氷板を除いては融解を経験していない。みかけ密度は  $0.5\sim 0.55\text{ g/cm}^3$  であり、硬度は  $10\text{ kg/cm}^2$  の程度



第4図 八方尾根の略図、数字は海拔(m) a; 八方池山荘, b; 黒菱の壁, c; 黒菱小屋, d; 細野村



第5図 黒菱の壁 アイスバーン表面の凸凹を示す

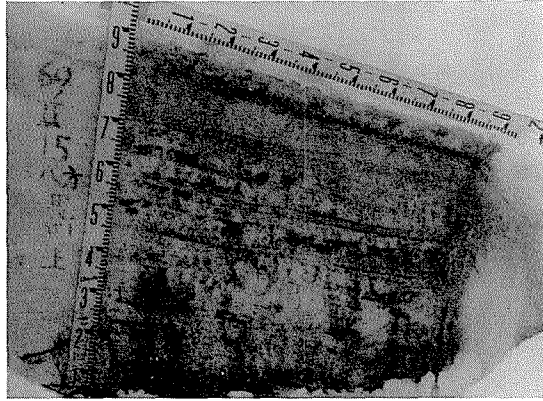
で昨年のアイスバーンと同様である。山岳地帯の積雪量は、山岳全体に一律な降雪があったとしても決して一律にはならない。風によって吹きとばされる場所もあれば、吹き溜る場所もある。前者をかりに消耗域、後者を蓄積域とよぶことにすれば、強風にさらされる尾根筋は消耗域であり、風下の凹地や谷間は蓄積域である。アイスバーンは特に消耗域に発達しているように見える。消耗域では積雪深は蓄積域に比べはるかにうすい。しかし、このことが北海道のような寒冷地では積雪層内部の温度勾配をつよめ内部での昇華変態を促進してゆくものと考えられる。北海道の平地積雪内に普通にみられるしもぎらめ層の密度は  $0.3\sim 0.4\text{ g/cm}^3$ 、硬度は  $2\sim 3\text{ kg/cm}^2$  の程度であって、山岳のアイスバーンに比べれば、密度も硬度も共に小さい。アイスバーンのしもぎらめ層の密度がなぜ  $0.5\sim 0.55\text{ g/cm}^3$  という大きい値を示していたかといえば、しもぎらめに変態する以前のしまり雪の状態のときにすでにこの程度に圧密されていたと考えるべきである。この圧密は消耗域に特徴的な強風によって、いわゆる wind packing が起こったと考えることができる。

## 2) 八方尾根のアイスバーン調査

八方尾根は北アルプス北部山塊に属する唐松岳 (2696 m) から東方にのび、八方山 (1974 m) を経て長野県北安曇郡細野に下る全長約 7500 m に及ぶ長大な広尾根である。第4図にそのスケッチを示した。八方尾根は古くからスキー場と

して有名であり、ここにはスキーの滑降回転競技に適したアイスバーンが発達しているといわれている。今回われわれが調査した場所は、第4図でbと印した通称黒菱の壁といわれている所と、これよりやや上方のaと印した位置にある八方池山荘附近とである。黒菱の壁から下の尾根や斜面は、冬の初めから多くのスキー客によって踏みかためられていて、自然状態での硬化雪をさがすことは困難であった。それでわれわれはa点の八方池山荘裏のなるべくスキーヤーでふまされていない雪面でも観測を行なった。

まず、黒菱の壁附近のスキー客によって踏まれた硬化雪についてのべる。この壁は、最大斜度 35°、北東に向った急斜面である。この斜面は平らではなく第5図に示すように、多くのスキーヤーの回転滑降のため波状の凹凸ができていた。観測はこの壁の上方、比較的傾斜のゆるい場所で行なった。第6図は、断面の層構造を示す写真である。斜面に対し垂直に測った積雪深は約 90 cm であった。第7図に雪質、粒度、密度、硬度、雪温の垂直分布を示す。雪質は表面がかたざらめ雪、表面下約 10 cm のところに厚さ約 2 cm の氷板があり、それから下の雪質はほとんど大部分がざらめであった。そして層と層との境界には厚さ 2~3 mm の氷板が観測された。密度は 0.4~0.47 g/cm<sup>3</sup>、硬度は表面のかたざらめ雪を除き 2~5 kg/cm<sup>2</sup> の程度であった。もっとも測定時の雪温は表層のかたざらめ雪が -3°C であったが、深い部分は融点に近い値であり、地面は熊笹と灌木で覆われていて、凍結はしていなかった。表面のアイスバーンから切りだした薄片の顕微鏡的所見(第8図)によれば、ざらめゆきの粒子はすべて丸味をおび、大雪山のアイスバーンを構成しているしもざらめのように結晶面は全く観測されなかつ



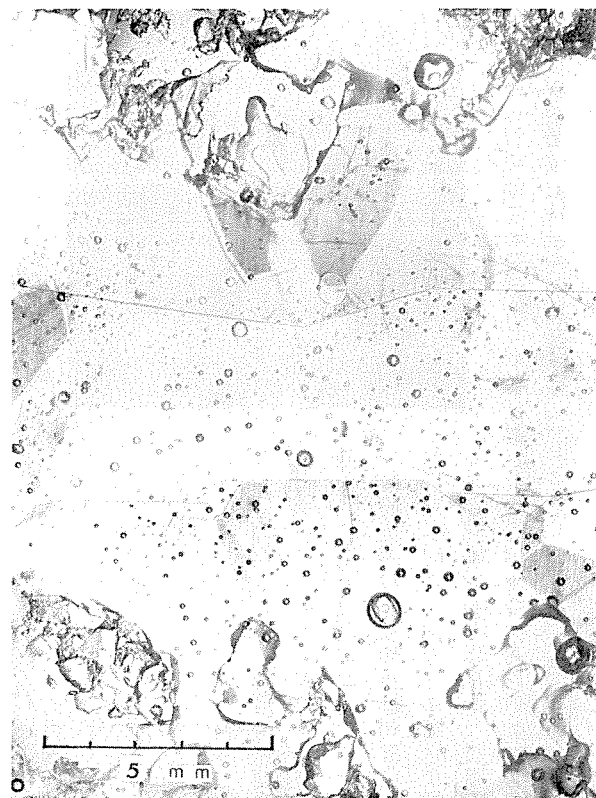
第6図 黒菱の壁上部における積雪断面写。真色水で染めたところ。表面がアイスバーン

積雪深 cm	雪質	粒度	密度	硬度	雪温 °C 気温
90	表面		g/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-3.2
	かたざらめ	B	0.399	45	-3.0
	大氷板	C		14	
80	ざらめ	C	0.416	3.1	-1.0
70	氷板				
	ざらめ	BC	0.388	3.6	-2.0
60	氷板				
	かたしまり	B		4.9	-1.0
	氷板				
	ざらめ	B	0.408		
50	氷板	B		3.6	
40	氷板	AB	0.427	2.5	-0.4
	ざらめ	A	0.447	2.4	
30	ざらめ	A	0.466		
20	ざらめ	A		2.1	-0.5
10	ざらめ	B	0.455		
地表	ざらめ	BC			

第7図 黒菱の壁上部で行なった断面観測結果



第8図 黒菱の壁上部の表面，アイスバーンから切りだした鉛直薄片



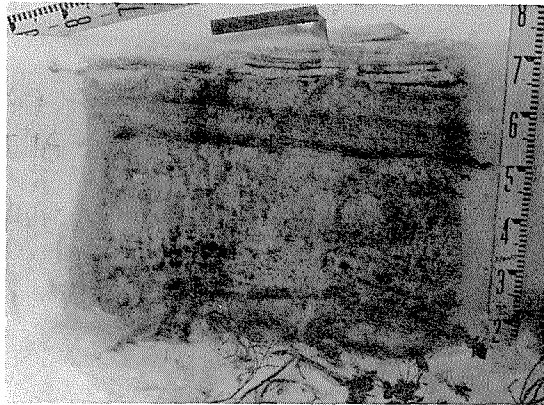
第9図 黒菱の壁，表面下10 cm 附近の大氷板の顕微鏡組織（部分偏光）

た。この意味でほとんど全層が融解変態をこうむってきたと考えることができる。この点が大雪山のアイスバーンと大いに異なる点である。表面下約 10 cm のところに観測された厚さ 2 cm の氷板はあきらかに降雨による融解水が凍結してできたものである。そのうえにのっているざらめ雪は、前回の暖気によって水をふくみ、これがスキーヤーによって圧密され、夜間の冷却によって凍結したものと考えられる。硬度が 45 kg/cm<sup>2</sup> という大きな値を記録したのもそのためと考えられる。このかたざらめ雪の薄片の写真が第 8 図である。第 9 図は表面から 10 cm 下のところにある厚さ約 2 cm の大氷板の薄片の写真である。大きな結晶粒は無数の気泡をふくみ、融解→凍結過程で形成されたことを裏付けている。

第 10 図は、第 4 図で a と印した八方池山荘裏の、スキーヤーによって踏まれていない積雪の断面を示す写真である。第 11 図はこの断面について行なった雪質、粒度、密度、硬度、雪温の測定結果である。積雪深は約 70 cm であった。第 7 図の黒菱の壁の断面でみられた厚さ 2 cm の大氷板に相当する氷板は、ここでは表面から深さ 20 cm のところに観測された。雪質は表層の新雪を除きほとんどざらめであった。硬度は大氷板の直上のざらめ層が 6~7 kg/cm<sup>2</sup> の値を示した他はすべて小さい値を示した。八方池山荘附近の高度は約 1800 m であるが、ここでも積雪に覆れている地面は凍結していなかった。

### III. ま と め

寒冷地の山岳でできるアイスバーンの一例として大雪山、姿見池附近の尾根筋に発達している硬化雪を調べた。積雪深は 50~65 cm、平均密度は 0.5~0.55 g/cm<sup>3</sup>、硬度は 10 kg/cm<sup>2</sup> であった。全層しもざらめ層であって融解を経験しない昇華変態によって形成されたものであ



第 10 図 八方池山荘附近、自然積雪の断面写真。色水で染めたところ

積雪深 cm	雪質	粒度	密度	硬度	雪温 °C
80			g/cm <sup>3</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	気温 -4.5
70	表面			g/cm <sup>2</sup>	0.0
	新雪	A	0.224	3.5	
60	ざらめ	C		3.0	-2.2
	氷板			6.2	
50	ざらめ	C	0.388	7.1	-2.3
	大氷板			7.1	
40		C	0.475	3.1	-1.2
30	ざらめ				
20		C	0.408		
				1.1	-0.6
10	ざらめ	C	0.389		
	ざらめ	C			
地表					

第 11 図 八方池山荘附近の自然積雪について行なった断面観測結果

ることがわかった。積雪の下の地面はかたく凍結していた。これに反し今回調査した八方尾根のアイスバーンは融解変態したざらめ雪で構成され、表面硬度は、スキー客による圧密のため高められているように思われる。積雪深は70~90 cmであって、積雪下の地面は凍結していなかった。しかし、この八方尾根のアイスバーンの調査は今回が初めての調査であり、詳しい研究は今後は俟たなければならない。

この調査に当って、札幌オリンピック雪氷小委員会委員長である当研究所吉田順五教授にいろいろと助言をいただいた。

八方尾根アイスバーンの調査に際しては、日本楽器製造株式会社 FRP 研究課の国田佳資課長、棚橋良次、小山司朗両氏の御協力を得た。

大雪山アイスバーンの調査に際しては、旭岳観光開発株式会社、及び同パトロール隊の御協力を得た。積雪観測には、当研究所の八木鶴平氏、同大学院生の鈴木重尚、北原武道、河村俊行、油川英明の諸氏の御協力を得た。

以上の方々に厚く御礼申し上げる次第である。

この調査に要した費用の一部は、札幌オリンピック組織委員会の委託研究費から支出された。

## 文 献

- 1) 黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫 1969 手稲山における雪ふみ試験. 低温科学, 物理篇, **27**, 213-228.
- 2) 黒岩大助・他 1968 下藤野リュージュコース, 北の峯アルペン競技コース, 及び大雪山アイスバーンの雪質調査. 低温科学, 物理篇, **26**, 249-267.
- 3) 秋田谷英次 1968 しもざらめ雪の形成. 雪氷, **30**, No. 5, 25-31.

## Summary

In mountainous regions densified hard snow is often found at a summit or narrow ridges of a mountain where strong winds pack the snow. In spite of the fact that the approximate depth of such a wind packed snow is 50 to 60 cm even in mid-winter, the values of apparent density and hardness of the snow sometimes exceed  $0.5 \text{ g/cm}^3$  and  $10 \text{ kg/cm}^2$ . In such a case, the overlying snow load may have little or no effect on the densification or hardening process of the snow. In order to study the mechanisms of densification and hardening of such hard snow observations were conducted at Mt. Daisetsu (Hokkaido Island) and Mt. Happo-one (Nagano Prefecture) before the spring thaw. Microscopic observation of snow textures revealed that the hard snow found in Mt. Daisetsu consisted of densified depth hoar, suggesting that this snow was metamorphosed without any melting, but the hard snow found in Mt. Happo-one was composed of large grained ice particles which had been subjected to melting and refreezing.