



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	札幌オリンピック冬季大会の雪
Author(s)	吉田, 順五; YOSIDA, Zyungo
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 1-55
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18192
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p1-55.pdf



札幌オリンピック冬季大会の雪

吉 田 順 五

(低温科学研究所)

低温科学 物理篇 第 29 輯 付録

低温科学研究所は札幌オリンピック冬季大会のため、スキー競技場の雪を四冬にわたり調査研究した。その結果をとりまとめたのがこの論文である。株式会社日立製作所発行の「日本のスキー科学」に掲載されたものであるが、積雪の科学的研究報告として価値あることを認め、低温科学研究所の業績のひとつとしてここにも掲載する。

低温科学編集者 木下誠一

昭和 46 年 (1971)

目 次

1. は し が き	1
2. 雪が固まる理由	2
(1) スキー競技場の雪かための要点	2
(2) 氷の粒と粒との結合	3
(3) 新雪としまり雪	5
(4) 雪の氷の粒の焼結	6
3. オリンピック競技用の雪の規格	7
(1) オリンピック競技場の雪が備えるべき規格	7
(2) 北海道アルペンスキー大会競技場の雪	8
(3) 雪 層	10
(4) 一般スキー場の雪	12
(5) 北海道の硬化雪(Ⅰ)	15
(6) 北海道の硬化雪(Ⅱ)	17
(7) 本州の硬化雪	18
4. 雪 の 性 質	20
(1) こしまり雪とざらめ雪(組織と構造)	20
(2) こしもざらめ雪としもざらめ雪	21
(3) 雪 の 密 度	23
(4) 硬度, 粒度, 薄片	23
5. 雪かため予備試験	25
(1) 雪かため第1回予備試験	25
(2) 雪かため第2回予備試験	26
(3) 雪かため第2回予備試験の結果	29
(4) 雪かため第2回予備試験結果の検討	31
(5) 踏みかためた雪の顕微鏡組織	33
6. スキー競技場の雪かため	36
(1) つぼ足雪かためと雪上車による雪かため	36
(2) 雪のブロックのはりつけ	39
(3) 雪上車でかためられた雪, 全日本競技大会直前的大雪	41
(4) 回転, 大回転競技場全体にわたる雪の表面硬度	44
(5) 滑降競技場と飛躍競技場との雪の表面硬度	47
(6) 雪の温度と硬度との関係, 融解による雪の軟化	50
(7) 非常に硬い雪とスキーとの摩擦係数, スキーによる新雪の変形	51
7. あ と が き	53

札幌オリンピック冬季大会の雪

吉 田 順 五

北海道大学低温科学研究所 札幌市北 19 条西 8 丁目

Researches on Snow for the XI Olympic Winter Games, Sapporo, 1972

Zyungo YOSIDA

The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo

This is the final report of the investigation on (a) the snow conditions required for skiing games, especially for slalom and downhill races, and (b) the techniques for the realization of such conditions, which have been carried out in this Institute since 1968 for the XI Olympic Winter Games, Sapporo, 3-13 February, 1972.

It has been concluded from field investigations that the ideal conditions would be that (1) the hardness of snow is between 7 and 10 kg/cm² in Kinosita's scale (S. Kinosita: Low Temperature Science A 19 (1960) 119), (2) the density of snow is not much less than 0.5 g/cm³, and (3) the snow cover is not less than, but not very much more than, 40 cm in thickness. The last condition is required in order to keep the bottom of the snow cover at low temperatures.

In order to realize such snow conditions, it is recommended to stamp the snow surface with men's feet as often as possible, *at least once* before the depth of the new snow layer on the stamped old snow surface reaches 30cm. The snow layer should be beaten to pieces while it is new and soft, so that the snow flakes are tightly packed together. Snow flakes or grains are sintered even at -5°C, which is the average temperature in Sapporo in early February, to form a three dimensional network. If the snow layer is well stamped, it will become sufficiently hard and solid at this temperature in a few days.

The details of the field investigations as well as the experiences in the preparation of the racing fields for the Sapporo International Winter Sports Week, February, 1971 are described.

1. は し が き

来年の昭和 47 年 2 月 3 日から 13 日までの 11 日間、第 11 回オリンピック冬季大会が札幌で開かれる。北海道大学低温科学研究所は、札幌オリンピック冬季大会組織委員会からの依頼によって、オリンピック競技に適する雪や氷の調査研究にあたった。以下に書くのは、そのうち、スキー競技の雪についての調査研究の話である。

自然に積ったままの雪は軟らかすぎてスキーの滑りが悪く、競技には向かない。高速度で滑降できるように、しかもスキーに削られて表面が荒れないように、よほど

硬く固めなければならない。そのために、スキーをはいた足で踏んだり、スキーを外した靴だけの「つぼ足」で踏んだりして雪を圧縮する。雪上車、つまり雪の上を走る自動車でも圧縮することもある。圧縮された雪は、もとより、圧縮される前の雪よりは硬い。しかしそれだけでは、まだ、競技用として十分な硬さをもつには至らない。ところが、そのまま放置しておくと、0°C 以下の温度にあって決して融けることのない札幌の乾いた雪でも、はじめの圧縮さえ充分ならば、数日のうちに競技に使えるような非常に硬い雪に変わる。結局、競技に使える硬い雪を作るには、圧縮のほかに「時」が必要なわけである。

以下の話は、圧縮された乾いた雪が時とともに次第に硬くなる理由の説明から始める。次いで、オリンピックのスキー競技のためには雪がどの程度に硬くなければならないかを調査した結果を述べる。そしてそのあとに、雪かための予備試験の話と実際の競技場の雪かための話とを続ける。

話の中に、雪氷学で使う専門語がしばしば現われる。しかし、専門語とはいっても、名前からだいたいの意味がわかるものが多い。それで、別段の説明をつけないままで専門語を使った。ただ、あとで話がそれに適当と思われる所に来たとき、正確な意味を説明するよう心がけてある。

2. 雪が固まる理由

(1) スキー競技場の雪かための要点

北海道では、冬ごとに、スキー競技会があちこちで開催される。それで、スキー競技場の雪をどのように整えるかについては、今さら問題はないものと低温科学研究所では考えていた。ところが、札幌オリンピック組織委員会の話によると、オリンピック競技場の雪が満たさなければならぬ条件はたいへん厳しい。普通のスキー競技会の場合の雪では軟らかすぎて、到底間にあわないとのことである。

しかし、雪が満たすべき条件が数量的にいい表わされているわけではない。普通の競技場の雪に比して遥かに硬く、かつ、スキーで荒らされにくい雪でなければならないというだけである。それで、低温科学研究所では、どの程度の硬さの雪ならばオリンピック競技用の雪としての資格を備えるかを、硬度計によって定めることにした。硬度計を使えば雪の硬さが数量的に表わされる。ただ、オリンピック競技用としての雪の資格の判定がむずかしい。低温科学研究所の研究員は、一応、スキーをはいて滑ることはできる。しかし、スキー競技に出場できるほどのスキーの達者はひとりもないから、低温科学研究所には雪の資格判定能力が全くない。それで、スキー選手にいろいろな硬い雪の上を滑ってもらっては、雪の硬度を測定することにした。自然に硬くなった雪や、さまざまな方法で人為的に固めた雪の上を滑ってもらうわけである。こうすれば、選手の判定と硬度の測定値とから、オリンピック競技に耐える雪がもつべき硬度が数量的に定められるであろう。

硬度、つまり数量的に表わされる硬さを計るとともに、雪の密度や温度も測定した。オリンピック競技用として使える硬い雪が見つかった場合、その雪が硬い理由を知ること、また、どのような経過でそのように硬くなった



図1 断面観測のため積雪に穴を掘ったところ

かを推量する必要がある。理由と経過とがわからないと、競技場の雪を人為的に固めるにしても、その方法が考えにくいからである。硬度以外にも温度や密度を測定したのは、この理由と経過とを知るためである。積雪の中に地面まで届く穴を掘ると、穴の壁には、雪を形成しているすべての雪層の断面が現われる。硬度、密度、温度の測定は、穴の壁に現われた雪層の全部について行なった。表面にある雪層だけでなく、内部にある雪層の性質も、雪が競技に適するか否かに関係すると考えたからである。この穴の壁によって全部の雪層を観測することを「断面観測」という。穴の壁が積雪の断面であるところから、この名がついた。

図1の写真は、山の斜面に積った雪に穴を掘って、断面観測をまさに始めようとしているところである。穴の壁によせて地面に直角に立てた物指しから、雪の厚さが147 cm であることがわかる。後ろ向きの人物の左手、下の方には、北海道の山をおおう根曲り竹が雪に押し伏せられたまま、葉や茎をのぞかせている。

これからあとの話は雑多ではあるが、みなオリンピックスキー競技用の硬い雪を作ろうとするための調査や研究の話である。それで、ここに前もって、硬い雪の作り方を書いておこうと思う。調査研究の結論ともいえるべきものを、先に述べておくわけである。

硬い雪の作り方の要点、つまり自然の雪の固め方の要点は、新雪が20 cm か30 cm の厚さに積ったら、つば

足でかき乱したあと丹念に踏みつけることである。かき乱してから踏みつけると、新雪を構成している氷の粒はばらばらにはぐされたあとで圧縮されるから、氷の粒と粒との間の隙間がせまい密度の高い雪ができる。これを数日間そのままにしておくと、氷の粒同志が結合して、隙間のせまい氷の骨組を作りあげる。この氷の粒同志が結合する現象を「焼結(しょうけつ)」という。1.のまえがきで雪かためには時が必要だといったが、その時とは、この焼結が進行するための時間である。ところで、隙間のせまい氷の骨組となった雪が非常に硬くて丈夫なことはないまでもない。そして、このような雪ならオリンピックのスキー競技用として十分に使える。

圧縮せずにそのままにしておいても、氷の粒が焼結して氷の骨組を形成し、新雪は「しまり雪」と呼ばれる雪に変わる。しかし、はじめの新雪の中の隙間が広がったから、できあがったしまり雪の氷の骨組も隙間が広い。それで、しまり雪にはスキー競技に耐えるほどの硬さがない。結局、自然の新雪を氷の粒がよくつまった密度の高い雪に、一度、圧縮すること、そして数日間待つことが雪かための要点であるといえる。

隙間のせまいよくつまんだ雪さえ作ればよいのなら、新雪ではなくしまり雪を踏み碎いて圧縮しても間にあうはずである。しかし、しまり雪はすでにある程度硬くなっているから、つぼ足で踏んでも碎かれにくいし、たとえ碎かれても氷の粒が完全にばらばらにははぐされない。それで、しまり雪を密度の高い雪に圧縮するのは無理なこととなる。新雪ならば非常に軟らかいから、つぼ足で踏みさえすれば容易に密度の高い雪に圧縮されるわけである。しかし、新雪でも40cm以上の厚さのものになると、底の10cmか20cmの厚さの雪が圧縮されずに残ってしまう。しかも、上の方の雪も、軟らかい台の上で踏まれるのと同じことになるから、あまり強くは圧縮されない。それで厚い新雪は、つぼ足で踏んで数日おいたとしても、表面近くだけがある程度硬くなるにすぎない。それゆえ、さきほど書いたように、厚さが30cmに達しないうちに踏むことが肝要である。結局、表面から底まで全層こわたって硬い雪を作るには、冬の初めから、雪が積るごとにつぼ足で踏んで、硬い雪層を積み重ねるようにしなければならないことになる。雪が長く降り続くときは、降っている最中でも踏む必要が生ずる。スキー競技用の雪は、全層が硬くなければならないのである。さもないと、転倒したときスキーが雪に突きささって、選手が大怪我をすることになる。

スキーをはいた足で踏んだり、雪上車を歩かせても新雪はある程度圧縮され、日がたつと、自然のしまり雪よ

り硬い雪になる。しかし、つぼ足で踏んだ雪に比べれば硬度の点で全く劣り、オリンピックのスキー競技用としての資格に欠ける。おまけにこの雪は、しまり雪よりも硬いから、つぼ足で踏み碎いてさらに硬くすることもできない。あとで述べるように、スキー競技場はあまりに広いため全体の雪をつぼ足で踏むわけにもいかず、ある部分の雪かためには雪上車が使われる。しかしそれは、競技にとってあまり重要でない部分に限られる。結局、今のところ、オリンピックのスキー競技用として申し分ない雪を作るとすれば、新雪のうちに充分につぼ足で圧縮するよりほかはない。スキーや雪上車で踏む場合のように圧縮が充分でないと、それ以上には硬くすることのできない中途半端な硬さの雪ができてしまう。始めが大切だということになろう。人間に悪い癖がつくと、その癖はなかなか直せないという。それと事情が似ている。

このあとの話にでてくる雪は、特に断わりがない限り、すべて温度が0℃以下の、湿り気の全然ない乾いた札幌の雪である。乾いた雪を構成している氷の粒でも、接触しあっていると、時がたつにつれ互いに結合する。つまり焼結する。これからさき2.の終わりまでは、焼結がどのように進行するかの話である。オリンピックのスキー競技用の雪が備えるべき資格の話は3.に送る。

もう一つ断わっておくことがある。札幌オリンピックで行なわれるスキー競技は、距離と飛躍とのノルディック2種目、回転と大回転と滑降とのアルペン3種目およびバイアスロンの都合6種目である。どの種目の雪にもそれぞれ問題はあがるが、アルペン種目の雪の問題がいちばんむずかしい。競技場が広くて雪かために多大な労力があるうえ、よほど硬く固めておかないとスキーの速度がでないばかりかスキーの回転で雪が荒らされるからである。それで調査研究は、ほとんどアルペン種目競技場の雪だけに限られた。

(2) 氷の粒と粒との結合

第11回オリンピック冬季大会が開かれる札幌の雪は、乾いた固めにくい雪である。札幌市の1月と2月との平均気温は、それぞれ、-5.5℃と-4.7℃とである。最高気温の平均値にしても-1.4℃、-0.4℃で、0℃よりは低い。それでも、2月の初めごろ、1日か2日の短い間に限られるとはいえ、暖気がきて雪が少し融けて湿めることがある。しかし、オリンピック競技場の雪は、暖気がきても、湿ることはないであろう。競技場は山の中、低地にある札幌市より350m以上は高いところにあるからである。回転と大回転との競技場は、札幌市の中心部から西の方へ13km離れた海拔1,024mの手稲山(ていねやま)の北斜面の上、標高550mから980mの間に作

られた。滑降競技場は支笏湖(しこつこ)の北岸にそびえる海拔 1,320 m の恵庭岳(えにわだけ)にある。出発点の標高は 1,180 m, 決勝点の標高は 350 m である。大気温度は、100 m 高くなるごとに 0.5°C か 0.6°C 低くなる。それゆえ、350 m 以上の高さにある競技場の気温は札幌市の気温より 2°C 以上は低いはずである。これが、一時的な暖気がきても競技場の雪は湿るまいと考える理由である。

自然のままに積った雪は、もとより、軟らかすぎて、速度を競うスキー競技には向かない。それで、踏んだり押しつけたりして硬くしなければならぬが、上に述べたように、札幌の雪は湿り気がないため固まりにくい。温度が 0°C 以下の雪だから、その中には水が全く存在しない。仮に水がまぎれこんだとしてもたちまち凍ってしまう。つまり、札幌の雪は完全に乾いた固体の水の粒からできている。乾いた固体の粒は接触しても、一般には結合しない。圧縮して固めようとしても、粒同志が結合しなければ、粒の集まりは硬くならないわけである。しかし、札幌の雪が固まりにくいというのは湿った雪と比べてのことである。実は、固体の粒の中でも氷の粒は特別で、次にあげる例からわかるように、接触させておくと、乾いていても互いに固く結合するのである。ただ、結合の進行が、湿った氷の粒に比べるとたいへんおそい。

地面に積った雪を「積雪」という。積雪の表面にある雪層は、降り積ったばかりの雪が降り積ってから間もない雪だから、一般に軟らかい。楽に指が突きさせる。このような軟らかい雪を「新雪(しんせつ)」という。新雪層の下には、指がさし込めないほど硬い雪層が何枚も、地面まで厚く積み重なっている。この硬い雪が、前にでてきた「しまり雪」である。しまり雪は、もとより、新雪

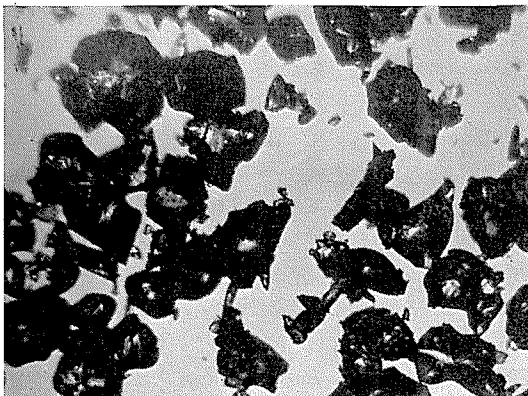


図2 しまり雪を作っている氷の粒。
しまり雪の塊を二つ互いにすり合わせてほぐすと、こんな氷の粒になる。

が変化した雪である。しまり雪の層から、手でつかめるくらいの大きさの四角な塊を二つ切り取る。塊を両手に持ってこすり合わせると、つながりあってしまり雪の氷の骨組を作っている氷の粒がほぐされてばらばらと落ちる。図2が、ほぐれて落ちた氷の粒の顕微鏡写真である。粒は丸みをおびて玉砂利の形に似ている。一つの粒のさしわたしは 0.3 mm から 0.5 mm ぐらいである。

ほぐした氷の粒をよせ集める。よせ集めた雪は、非常に軟らかい。これを、あとの 4.(4) で説明する方法に従ってアニリンで固め、厚さ 0.2 mm ほどの薄い板に切った。この薄い板を「雪の薄片(はくへん)」という。図3のaがこの薄片の顕微鏡写真である。写真の右下隅に書き入れた直線の長さが実際の 1 mm である。図2の氷の粒はみな薄く切られて、その切断面を現わしている。図2を見て受ける感じほどには氷の粒が丸くないことがわかる。注意すべきは、氷の粒と粒とが、粒同志が接触したところで細い氷の橋でつながっていることである。雪の塊をこすり合わせて氷の粒にほぐすのも、アニリンで固めて薄片に削るのも、すべて温度が 0°C 以下の低温実験室の中で行なった。氷の粒が融けることは決してなかったはずである。それにも拘わらず、氷の粒は互いに、ごく弱くではあるが、細い氷の橋を介して結合した。雪の塊をほぐしてから薄片を作るまでに20分か30分かかっている。その間に、このような氷の橋が粒の間にかけられたわけである。しかし氷の橋は細くて弱いから、ほぐした氷の粒をよせ集めた雪は、なお、非常に軟らかい。

しまり雪の水の粒をよせ集めたこの雪を -3°C の低温実験室の中に放置した。指でさわると、1日ごとに、雪が少しずつ硬くなっていくのがわかる。6日たったとき、相当硬くなったところで、雪を薄片に切った。その顕微鏡写真が図3のbである。氷の粒と粒とをつなぐ氷の橋が太くなったのが目につく。太くなくても長さは伸びていないから、橋というのはふさわしくないほどである。図3のaの場合と比べると、氷の橋は5倍ぐらい太い。橋は切断面が丸い棒である。それゆえ橋の太さが5倍になったことは橋の切断面の面積が25倍になったことを意味する。したがって、橋の方向に押したり引いたりする力に対しては、25倍も丈夫な橋ができあがったことになる。湾曲しようとする力に対する丸い棒の強さ、すなわち曲げの強さは棒の太さの4乗に比例する。それゆえ、氷の橋は曲げの力に対しては625倍も丈夫になったことになる。結局、 -3°C の温度のもとで6日間過ごしただけで、氷の粒と粒とは強く結合し、引張りや押しに対しては25倍の強さ、曲げに対しては625倍の強さの氷の橋で結ばれるようになったわけである。この氷の粒が太い氷の橋

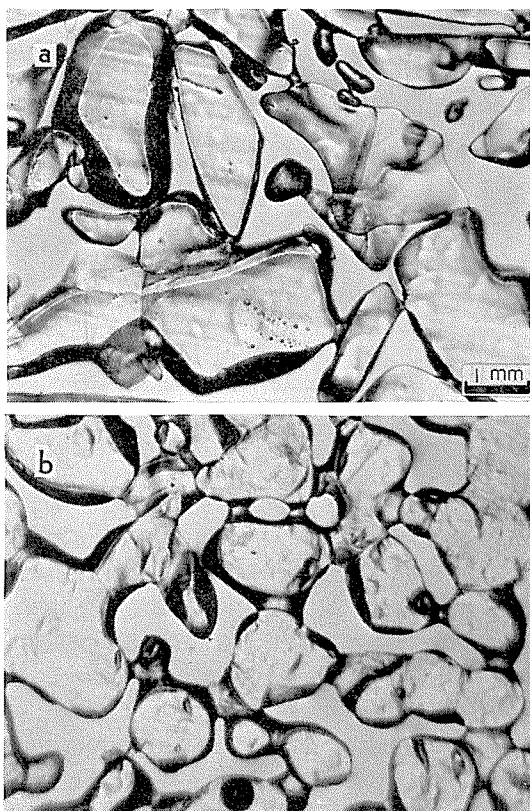


図3 a. ほぐしたしまり雪の粒をよせ集めてア
ニリンで固め、0.2mm ほどの厚さの薄片に切
って顕微鏡でみた有様。氷の粒と粒との接触
点が細い氷の橋でつながっている。

b. しまり雪の氷の粒をよせ集めたまま、
6日間、 -3°C 温度に保っておいたあとの薄
片。氷の粒と粒とは太くて短い丈夫な氷の橋
で結ばれるようになった。

でつながれた図3 bの組織の雪ならば、オリンピックの
スキー競技用として十分な硬さをもっている。そして、
この雪はしまり雪から作られた。しかし、しまり雪をつ
ぽ足で踏むだけでは、上にいったように、氷の粒が1個
ずつにはぐれないから、このような丈夫な雪にはならな
い。

はじめは、ただしまり雪の氷の粒をよせ集めただけだ
った雪が硬くなったのは、以上のような事情による。積
ったばかりの新雪も、空で生まれた雪の結晶の単なる集
合である。それが時間がたつにつれ次第にしまり雪に変わ
っていく。新雪の雪の結晶同志も接触点に氷の橋がかか
って結合するからである。しかし、それだけでは、雪の
結晶は玉砂利の形をしたしまり雪の氷の粒にはなれない

だろう。雪の結晶は弱々しい姿のもので、ずんぐりした
しまり雪の氷の粒とは形がまるで違う。これには、何か、
氷の別な性質が関係しているに相違ない。それを次の
(3)で考察しよう。

(3) 新雪としまり雪

前の(2)にあげた例から、ばらばらに一度ほぐした
しまり雪の氷の粒が接触すると、氷の粒は全然融けない
にも拘らず、接触点に氷の橋がかかって氷の粒同志が結
合することがわかった。もう一つの例をあげる。液体
空気の温度は -200°C ぐらいである。魔法瓶に入れた液
体空気の中に霧吹きで吹いた霧の粒を落とすと、霧粒は
たちまち凍って、直径が0.1mm か0.2mm のまん丸な氷
の玉になる。低温実験室の中で、氷の玉を取り出してガ
ラス板の上にのせる。低温実験室は 0°C 以下の温度に保
たれた実験室だから、氷の玉は決して融けない。ところ
で、互いに軽く接触させた2個の氷の玉を顕微鏡で見て
いると、まず、玉と玉との接触点に細い氷の橋がかかる。
橋はだんだん太くなって、二つの玉はひょうたん形に
なる。ひょうたんは、くびれがさらに太くなって、蚕の
繭の形になる。そしてついには、両方の氷の玉は完全に
融合し、1個の卵形の氷の粒にまとまってしまう。氷の
玉と玉をつなぐ最初の橋ができるのには数分しかかか
らない。しかし、その後の変化は緩慢である。完全に融
合して卵形になるのには、少なくとも、数日はかかる。

二つの氷の玉がひょうたん形になってしまったら、こ
れはもう2個の氷の粒というよりは、一つの氷の粒と
考えた方がよい。すると、ひょうたん形から繭形へ、
繭形から卵形への形の変化は、氷の粒に丸い玉になろう
とする傾向があることを示すことになる。実際、ひょう
たんは形が玉からひどく外れている。繭形もかなり外れ
ているが、ひょうたん形に比べれば玉に近い。卵形は玉
の形とたいして変わらない。氷の粒が丸い玉の形になろ
うとする傾向は非常に一般的な傾向である。その著しい
例を、新雪からしまり雪への変化で見ることができる。

本や雑誌によく写真がのるから、空から降ってくる雪
の結晶がどんな形のものか、たいていの人は知っている
であろう。いちばんよく知られているのは、中心から六
方に枝のでた星状結晶と六角の板の形の板状結晶とであ
る。この二つは平面的な結晶で平たい。ほかに立体的
な、いろいろな形の結晶が知られている。しかし、どの
種類の結晶の形も丸い玉の形にはほど遠い。空から落ち
てきたこのような形の雪の結晶が積み重なったのが、積
雪の最初の姿である。ところで雪の結晶も氷の粒であ
る。それで雪の結晶は丸い玉に変わろうとする。それと
同時に、隣の結晶との間に氷の橋をかけて、一つの氷

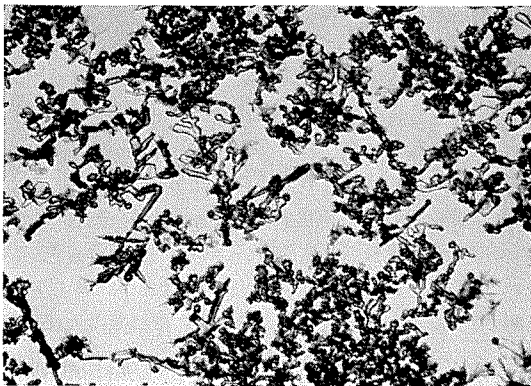


図4 新雪の薄片の顕微鏡写真(15倍)

の粒にまとまろうとする。この二つの傾向が同時にはたらくため、新しい積雪は、玉砂利の形の氷の粒がつながりあったしまり雪に移行する。

星状結晶が積った場合について、もう少し詳しく考察してみよう。星状結晶の六本の枝、またその枝から出たたくさんの小枝は、ところどころでくびれて、いくつかの小さい玉に分かれる。この分かれた氷の玉は隣の氷の玉とつながって、ひょうたん形になり繭形になって、一つの玉にまとまる。するとこのまとまった玉が、その隣にあるこれも2個の玉からまとまった氷の玉と、同じ経過によって融合する。雪の結晶の単なる集合にすぎなかった新しい積雪がしまり雪に変わるのは、このようにして、氷の玉の融合が何回も繰り返されるからである。しかし、一つ一つの雪の結晶ごとに、枝のくびれる速さが違う。それで、星状結晶が積ってから2日か3日たった所で薄片を作ると、図4の顕微鏡写真が示すように、ところどころに多少形のくずれた星状結晶が見つかる。枝のくびれ方が遅かった結晶である。「新雪(しんせつ)」とは、このように、はじめの雪の結晶の形の名残りをとどめた氷の粒を含む積雪である。積ったばかりの積雪では、結晶の形の名残りをとどめる粒が残っているところか、すべての氷の粒が降ってきた結晶そのままの形である。この全く新しい積雪も新雪の中に入れるのはもとより、これこそ真正銘の新雪である。

図5が、自然の経過をたどって新雪から変わった「しまり雪」の薄片の顕微鏡写真である。これから、しまり雪の組織が玉砂利の形の氷の粒を丈夫につなぎ合わせた氷の骨組であることがわかる。組織が氷の骨組になっているために、しまり雪は新雪に比べれば固い。しかし隙間の広い骨組である。空から落ちてくる雪の結晶は非常に軽い、軽いうえに嵩張った形である。それゆえ、雪の

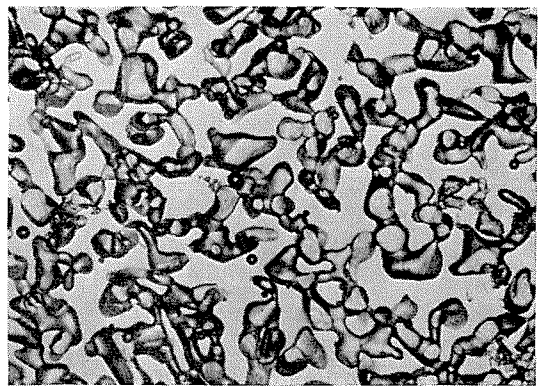


図5 しまり雪の薄片の顕微鏡写真(15倍)

結晶は隙間の多い積雪として積み重なる。実際、新しく積ったばかりの積雪では、その体積の9割以上が隙間である。このように非常に広い隙間のある雪から出発するために、自然にできるしまり雪には隙間が多いわけである。それで、雪かためでは、新雪を押しつぶして隙間をせばめておき、隙間の少ない硬いしまり雪に変える。

(4) 雪の氷の粒の焼結

融けることなく氷の粒が丸い玉になると同時に粒同志が互いに結合する現象を「焼結」という。氷のように冷たいものに焼結という言葉は似つかわしくない。それにも拘わらずあえて焼結というのは次の理由による。前にも述べたように、一般の物質の場合、乾いた固体の粒は、接触させても結合しない。しかし温度を上げて固体の融解点近くまで熱すると、まだ融解点に達しないため固体のままであるにも拘わらず、粒は丸くなり接触した粒同志は結合する。焼結とは、この一般的現象につけられた名前である。焼結の現象は、実用上広く利用される。一つの例をあげれば、鉄の粉銲の焼結がある。粉銲は、そのままでは熔銲炉に投入できない。それで、まず粉銲を熱して焼結させたあと、大小の塊にくだいてから熔銲炉に入れる。積雪の温度はマイナス数度かマイナス十数度で、氷の融解点の 0°C に近い。このため、融解点近くにある他の固体の粒と同様に、積雪を構成する氷の粒は丸くなり、粒同志が結合する。したがって、氷の粒の融合は、人間の立場から見れば低い温度で起こるけれども、現象としては焼結にはかならないわけである。前に、固体の粒の中でも氷の粒だけは「特別」で、接触させておくとも結合するといったが、このように見てくると、氷の粒に本質的な特殊性があるわけではないことになる。自然状態では、一般の固体は融解点より遥かに低い温度にある。しかし氷は融解点のすぐ下の温度にあるという点

で「特別」だ、というにすぎない。

焼結が起こるためには、固体の粒を形成している分子が移動する必要がある。液体の分子は動くけれども、固体の分子は動かないのが普通である。そのために、液体は流動し固体は流動しない。しかし、固体の分子でも、温度が上がって融解点に近づくにつれ、きわめて少しずつだが動けるようになる。そして温度が融解点に達すると急に分子の運動が自由になり、固体は液体に変わる。焼結は、この、融解点の近くで、融解点に近いほど固体の分子が運動しやすくなるということのために起こるわけである。それゆえ焼結は、温度が高くて融解点に近いほど進行が速い。雪の氷の粒も例外ではなく、雪の温度が 0°C に近いほど焼結しやすい。したがって、雪かためには温度が高いほど都合がよいといえそうである。しかし、他方、雪の材料である氷は温度が融解点の 0°C に近づくほど強度が落ちる。つまり軟らかくなる。したがって、簡単に、温度が高ければ高いほどよいともいえない。スキー競技場の雪かかためにとっては、競技の前は暖かい日が続く、競技の始まる2日前あたりから気温が下がって雪が冷えるのと都合である。暖かい日が続く間に焼結が進んで氷の粒同志が頑丈につながり合い、雪は丈夫な組織になる。その後、寒くなれば組織の点からみても、材料である氷の点からみても、丈夫な雪ができあがるからである。競技の当日も暖かいと、組織は丈夫でも材料の氷が弱いため、雪自体は硬くならない。

融解点の 0°C 近くでは氷の分子が動きうるとはいても、その動きは極めて緩慢である。それゆえ、大きい氷の塊をたくさんよせ集めて焼結させても、氷の塊の集合全体は丈夫な一つの氷にはまとまらない。氷の塊と塊との接点にも、確かに焼結現象によって氷の橋がかかる。しかし、氷の分子の運動が緩慢なため、氷の塊の大きさに比べると問題にもならないくらい細い氷の橋にしかならないからである。積雪のように小さい氷の粒の集合の場合には、これに反し、氷の粒同志をつなぐ橋は細くても、その太さが氷の粒の大きさに匹敵する。それで、小さい氷の粒の集合である積雪は、全体が丈夫なものとしてまとまりうるわけである。このように、焼結現象が雪かかために利用できるのは、積雪が小さい氷の粒でできていることによる。氷以外の物質の場合も同じで、物質が細かい粒の粉の形になっていないと焼結現象は有効に働かない。

しかし、大きい氷の塊も、温度が 0°C で表面に氷の膜をかぶっているときには、簡単に融合する。家庭用冷蔵庫で凍らせた四角な氷の塊を鉢に入れておくと、いつのまにか塊同志が融合して、解きほぐすのに苦労すること

は、たいていの人が経験しているであろう。積雪の氷の粒も同じで、積雪が少し融けて湿ると、氷の粒同志はすみやかに結合する。したがって、湿った雪は固めやすい。今までに何度か札幌の雪は乾いているため固めにくいといったが、それは、先ほども注意したように、湿った雪に比べてのことであった。しかし、湿った雪が固めやすいというのは、組織を丈夫にしやすいという意味である。確かに組織の点では丈夫な雪になるが、温度が 0°C であるため材料の氷が弱く、固められた湿り雪はあまり硬くない。それに、湿った雪はスキーに対する摩擦が大きく、スキー競技に適さない。しかし、固められた湿り雪も、温度が下がって含んでいる水が凍れば、スキーがよく滑る硬い雪に変わる。それで、雪かための作業にとっては、スキー競技場の整備期間中に、1回でも2回でも、雪が湿るような暖かい日があると都合なわけである。しかし、前に述べたように、札幌オリンピック大会スキー競技場の場合には、それを期待するわけにいかない。

3. オリンピック競技用の雪の規格

(1) オリンピック競技場の雪が備えるべき規格

2. の(1)で、いろいろな雪の上をスキー選手に滑ってもらうと同時に、雪の硬度や密度を測ってオリンピック競技に適する雪の規格を定めた述べた。この章では、そのようにして定めた規格をはじめにあげ、そのあとで、この規格に達するまでに行なった調査研究の経過の説明に移る。

調査研究は昭和42年の暮に始め、ふた冬過ぎた昭和44年4月に、次の規格を作って札幌オリンピック組織委員会に報告した。

- (a) 硬度は7ないし10であること
- (b) 密度は0.5付近であること
- (c) 固めた雪の厚さは30 cm ないし40 cm であること

硬度が7ないし10であるとは、底が平らな物体で雪を押しつぶすとき、底の面積の 1cm^2 につき7 kg ないし10 kg の抵抗力が雪が表わすということである。底の面積が 10cm^2 であれば、雪は押しつぶされながらも、70 kg ないし100 kg の力で抵抗するわけである。 1cm^2 あたりの抵抗力が大きいほど雪が硬いことはいうまでもない。それで、この 1cm^2 あたりの抵抗力を雪の硬度として使う。硬度が7以上の雪になれば、スコップも突き立てられないほど硬い。硬度の測定法は、あとの4.(4)で説明する。

密度が0.5であるとは、雪の重さが 1cm^3 あたり0.5 g であるということである。札幌の自然積雪の最下層は、

かなり強くしまったしまり雪である。それでも密度が0.4を越えることは稀である。したがって、自然のままに放置したのでは、0.5という大きい密度の雪は得られない。雪は隙間の多い氷、つまり多孔質の氷といえる。密度が0.5の非常につまった雪でも、まだその体積の半分近くが隙間で占められている。隙間の全然ない氷の密度は0.917である。

硬度の高い雪ほど密度が大きいのが普通である。しかし、硬度が同じなら密度も同じであるというような明確な関係はない。それを示す例が、あとで、たくさん現われる。ところで、同じ硬度の雪なら、密度が大きいほどスキーで削られにくい。すなわち、密度が大きいほど雪は荒れにくい。それで、密度が0.5付近にあるべきことと指定した。密度の指定には、もう一つの意味がある。硬度に比べると密度の方が測定しやすい。硬度の測定には特別な硬度計が必要だが、密度なら物指しと秤とがあれば測定できる。したがって、密度を指定しておけば、硬度計を持ちあわせていなくても、雪の適否の дайたいの判定がつけられる。

雪の厚さについての(c)の規格は厳しいものではない。しかし、競技中に地面が露出するおそれがあるから、雪の厚さを30cm以下にするのは避けるべきである。ただ、ことさらに雪を40cm以上に厚くする必要はない。雪が厚ければ厚いほどたくさんの雪を固めなければならない、手間がかかるからである。しかし、手間の問題とは別に、40cmぐらいの厚さにしておくと、次のような利点がある。雪は熱の不良導体である。それで雪が非常に厚いと、雪の表面は寒気にさらされて低い温度になっても、地面に接する雪の底は地熱で暖められて少し融ける。雪の底の温度が0℃になることはいうまでもない。ひどいときは、ところどころがえぐられて、雪の底に空洞が現われる。こういう雪は地面との着きがわるく不安定である。しかし、厚さが40cmほどの薄い雪ならば、寒気が雪を通して地面に達し、土を凍結させる。そして雪と地面とを固く結合する。

ことし昭和46年の2月7日から14日までの8日間、来年のオリンピック冬季大会の予行演習の意味も含めて、札幌国際冬季スポーツ大会が開かれた。いわゆるブレオリンピック大会である。九分どおりで上がったオリンピック施設を使って、外国の選手も交じえた競技が行なわれた。滑降競技場、回転競技場、大回転競技場の雪をあの6.で説明するようにして固めた。ところが、固めた雪を調べたら、さきにあげた規格を厳格に満たす雪は、競技場の一部分にししか見つからなかった。競技場をおおう雪の大部分は、規格どおりの雪に比べるとかなり

軟らかい雪であった。詳しいことは6.の(4)と(5)とで述べる。それにも拘わらず、競技は無事に行なわれたし、今までのところ悪い雪であったとの評判も聞かない。こうなると、先にあげた規格は不必要に厳しいものであったといわなければならないかも知れない。前に述べたように、低温科学研究所の研究員はスキーが下手で、雪が競技に適するかどうかの判定ができない。それで、試験滑降を依頼したスキー選手の言葉に従って適否を判断した。ところで、この雪は良いか悪いかと聞かれた場合、はっきり良いといい切るのはむずかしいことではあるまいか。すると、選手が雪に辛すぎる評点をつけ、それをもとにして低温科学研究所が厳しすぎる規格を作りあげたということになるのかも知れない。しかし、オリンピック競技関係者といろいろ話しあったことから想像すると、この規格に達しない雪は少なれば少ないほどよいとの考えらしい。できるならば、競技場全体の雪を規格どおりのものにしたいというような口吻である。こんなわけで、この規格は、多少厳しすぎるきらいがあるかも知れないが、それほど間違ったものでもあるまいと考えられる。それで今後の話は、この規格をそのままの形で使いながら進めることにする。

(2) 北海道アルペンスキー大会競技場の雪

これから先の(2)は、低温科学研究所の研究員がいろいろなスキー場におもむいて、雪の規格を定める目的で雪を調べた話である。スキー競技会が行なわれている場合は、出場選手や競技役員から、その競技場の雪がどの程度に競技に適しているかの判定をしてもらった。スキー競技会が開かれていないスキー場に行くときは、できるだけ、スキー競技に出場した経験のある人に同行を願って意見を聞かせてもらった。

北海道の中央部に富良野(ふらの)市がある。昭和43年1月28日から30日までの3日間、富良野市の北の峯という山で北海道アルペンスキー競技大会が開かれた。北の峯は1,075mの標高で、その斜面に平均傾斜27~28°、長さ300mの回転競技場が作られた。手始めとして、この競技場の雪を調査した。

回転競技場の雪は、厚さ1.5mほどに積った積雪を、競技開始の前の3日間に、数十人の高等学校の生徒がつぼ足で踏んで固めたものであった。大会の間に、また、大会終了後に、選手や役員から聞いた話を総合すると、この3日前からつぼ足で踏んだ雪では、到底オリンピック競技の用には立たないということになった。硬さが足りないため、速度が出ないうえ雪が荒れやすい。荒れ方の程度を見るため、4人の選手に頼んで、同じ路すじを回転しながら2回ずつ滑ってもらった。都合8回の回転滑

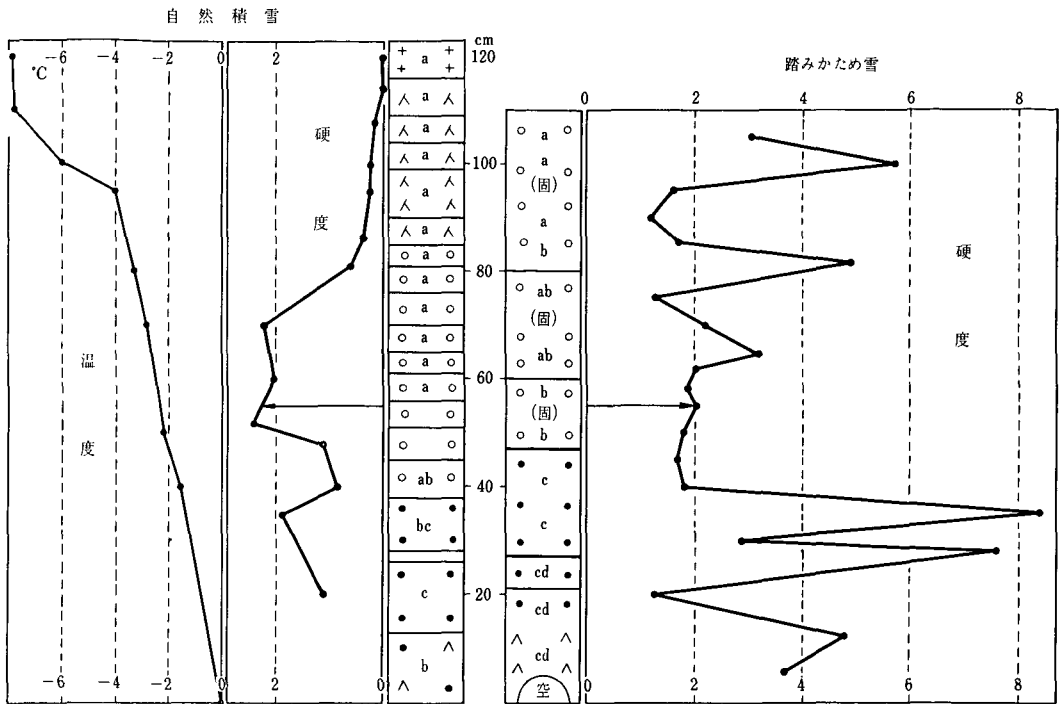


図6 北海道アルペンスキー競技大会の雪（昭和43年1月31日、北の峯）
左：自然に積ったままの雪。右：つば足で踏みかためた競技場の雪

降で、雪の表面が10cmも削られてへこんでしまった。ある選手は、滑っている途中に、雪が上下に揺れるように感じるところがあったと話していた。

不合格といわざるを得ないこの競技場の雪に、大会終了のあとで穴を掘り、穴の壁に沿って行なった断面観測の結果が図6の右半分である。比較のため、競技場の決勝点の外の平らな地面に積った自然のままの積雪を調べた結果も、図6の左半分に示してある。図の中央の数字は、cmで表わした地面からの高さである。傾斜した地面からの距離は図1の写真のように、物指しを地面に直角に立てて測る場合と、物指しを鉛直に立てて測る場合とがある。図6の高さは、物指しを鉛直に立てて測った地面からの距離である。地面から積雪の表面まで、地面と直角に測った長さを積雪の「厚さ」、鉛直に測った長さを積雪の「深さ」という。平らな地面に積った積雪では、厚さと深さとは同じである。しかし、斜面に積った積雪では、厚さは深さより、いつも値が小さい。

図6の高さを示す数字の両側にある、いろいろな記号を書き入れた四角な細長い柱は、積雪の「構造図」である。ところどころに入れてある横線は雪層と雪層との境界を表わす。雪層とは、同じ性質の雪の層のことで、も

う少し詳しく次節で説明する。積った雪は時がたつにつれ変質する。これを雪の「変態」という。前に新雪がしまり雪に変わることを述べた。これも変態である。変態が進むにつれて、いろいろな種類の雪ができる。新雪やしまり雪のほかに4種類の雪が区別される。図7の左側に、各種類の雪を表わす記号がのせてある。図6の積雪構造図に書き入れた十字や白丸、黒丸は、この雪質記号である。雪の種類を「雪質(ゆきしつ)」といいならわしている。新雪としまり雪以外の雪質の説明はあとにまわす。

雪質が同じでも大きい氷の粒でできた雪層もあるし、小さい氷の粒でできた雪層もある。そして、一つの雪層の氷の粒も一定の大きさに揃っていない。しかし、どの粒の大きさもある範囲内には収まっている。それで、この範囲を「粒度」と名づけて、粒度によって氷の粒の大きさを表わす。図7の右側が粒度を示すローマ字と氷の粒の大きさの範囲との対照表である。たとえば、さしわたしが0.5mmから1mmの間にあるいろいろな大きさの氷の粒でできたしまり雪の雪層には、しまり雪を表わす白丸印とともに、粒度を示すローマ字bがつけられる。氷の粒の範囲が二つの粒度にまたがる場合は、両方の粒度のローマ字を並べて書く。たとえば、粒のさしわた

雪 質 記 号				粒 度	
+	+	+	新 雪	mm	
△	△	△	こしまり雪	a	0.5以下
○	○	○	しまり雪	b	0.5～1
●	●	●	ざらめ雪	c	1～2
□	□	□	こしもざらめ雪	d	2～4
△	△	△	しもざらめ雪	e	4以上

図7 雪質記号と粒度記号

しが0.3mmから0.8mmまでに散らばっていたらabとする。

図6の積雪構造図からわかるとおり、自然のままの積雪と踏み固めた競技場の雪とは構造がかなり違う。自然積雪では、上 $\frac{1}{2}$ が新雪とこしまり雪、中 $\frac{1}{2}$ がしまり雪、下 $\frac{1}{2}$ がざらめ雪としもざらめ雪とであるのに対し、踏みかため雪では上 $\frac{1}{2}$ がしまり雪で、下 $\frac{1}{2}$ がざらめ雪としもざらめ雪とである。踏みかため雪の構造図にある(固)の印は、つば足での踏みつけの影響が及んだことを意味する。このことから、新雪とこしまり雪とであった自然積雪の上層部が、踏みつけによってしまり雪に変わったことがわかる。新雪はもとよりのこと、こしまり雪もしまり雪より軟らかい。したがって、踏み固めの効果は確かにあったわけである。自然積雪と踏みかため雪との差異は、積雪構造図の両側にある硬度の図にさらにはっきり現われる。硬度は図に書き入れた矢印の長さで示される。つまり、自然積雪の硬度の大きさは、硬度の図の枠の右の縁から屈曲した太い線までの水平距離で、踏みかため雪の硬度の大きさは図の枠の左の縁から屈曲線までの水平距離で表わされる。図の枠の上と下との縁に沿って、硬度の目盛がきざんである。自然積雪では、全体の $\frac{1}{2}$ にあたる上層部の硬度が0.5以下の小さい値である。表面の新雪層の硬度はほとんど0に近く、0.015しかない。しまり雪でできた中層部も、2の硬度に達しているにすぎない。これに反し、踏みかため雪では、表面から10cmの深さまで、硬度が3から6にも達する。それから下、地上50cmの高さあたりまでも、踏みつけられた雪である。しかし、この中層部の雪の硬度は、高さ80cmのところ一度5に達するとはいえ、全体としては2にすぎない。さらにその下、地面まで続く自然のままのざらめ層としもざらめ層とでは、非常に激しく硬度が変動

している。

以上の第1回調査から、自然のままの積雪の上層部を形成する軟らかい新雪やこしまり雪も、3日間のつば足による踏みつけで硬度が3ないし5のしまり雪に変わることに、しかし、この程度の硬さの雪ではオリンピック用には使えないことがわかった。図6にはのせてないが、雪の密度も測定した。自然積雪の中層部のしまり雪の密度は、平均して0.35であった。このしまり雪の硬度は、図にみられるとおりの2である。一方、踏みかため雪の中層部のしまり雪は、平均密度が0.39であった。この踏まれたしまり雪の硬度も2である。密度が大きいくほど、普通は、硬度も高い。それゆえ、密度が0.35と0.39と違うのに、硬度が両方のしまり雪で変わらないのは、不合理とはいえないまでも不自然である。これは踏みつけられたしまり雪の焼結が、まだ充分進んでいなかったためと解釈される。踏まれたしまり雪は氷の骨組が碎かれているから軟らかい。しかし、碎かれた氷の骨組が次第に焼結するため、長い時間がたてば、踏まれる前よりも硬くなる。ただ、それには時間がかかる。いまの場合は、雪ふみを始めたのが競技大会開始の3日前であった。断面観測は3日にわたる大会のあとで行なった。結局6日間では焼結が充分進行する時間としては不足だったわけである。このことから、上層部の雪も、もっと早くから雪踏みを開始していたら、3ないし5という硬度よりもっと高い硬度の雪になっていたであろうと考えられる。

図6の左半分の自然積雪の図には、積雪内部の温度の測定値が書き入れている。積雪表面の温度は -8°C である。深くなるにつれて温度は上り、雪が地面と接する積雪の底で 0°C となる。踏みかため雪の温度も同じような分布であった。この温度分布からみて、踏みつけられた積雪の上半分が -3°C 以下の低温にあったことがわかる。この低温が焼結を遅らせる原因となっていたに相違ない。図6の踏みかため雪の構造図の下端にある「空」は空洞の意味である。積雪の底のところどころが下からえぐられた形の空洞になっていた。空洞の天井からは霜の結晶がたれ下がっていた。積雪の底が少しずつ融けながら 0°C になるのも、空洞ができるのも地熱のためである。底の融けた積雪、まして空洞のある積雪は地面との結合が弱く、斜面の上にあるときは地面に沿って滑りやすい。なだれる危険がある。先ほど述べたように、ひとりの選手が雪が揺れるようだったといった。下層が空洞のある弱い雪であるため、実際に揺れたのかも知れない。

(3) 雪 層

たいへん労力がいるけれども、雪を固めるには、つば足で踏むのがいちばん実際的である。特別な道具はいら

ないし、急な斜面でも行なえる。しかし、スキーで滑ったりスキーで叩いたりしても雪は硬くなる。もしスキーで十分に硬くなるのなら、スキーを使った方がつぼ足で踏むより遥かに効果的である。次に、つぼ足で踏んだときとスキーで押したときとで、雪がどんなことになるかを比較してみよう。

新雪で厚くおおわれた雪の表面に、スキー靴をはいた足で踏んで穴をあけた。そばをスキーをはいて通った。そのあとにスコップで穴を掘り、踏んだところとスキーで通ったところを通る雪の切断面を出し、切断面をインキで染めたのが図8の写真である。Aが足で踏んだ穴、BとCがスキーで作られたへこみである。穴のまわりの雪もへこみのまわりの雪も、積雪の表面に平行にはしる細かい縞模様に染められている。この縞模様のある雪は、足やスキーで乱されなかった自然のままの雪である。穴Aの底には、穴を満たしていた雪が圧縮されてできた層が乱雑に染められている。隣に立ててある物指しで、穴の深さが約20cm、圧縮された雪の層の厚さが6cmほどであることがわかる。それゆえ、はじめ $20+6=26\text{cm}$ の厚さであった雪が20cmだけ圧縮されたことになる。「圧縮率」で表わすと、 $\frac{20}{26}$ 、すなわち77%の圧縮である。スキーで作られたへこみBとCとでは、へこみの深さと圧縮された雪の厚さとは、だいたい等しい。それゆえ圧縮率は50%である。

圧縮率が大きいほど、雪のつめられ方がひどいから、圧縮された雪の密度は大きい。したがって、スキーで押すより足で踏む方が、密度の大きい雪を作るのには有効である。そればかりでなく、足で踏んだ雪の方がくずされ方がひどい。図8の写真からわかるように、スキーで圧縮された雪には整った縞模様が残っている。自然のままの雪に見える縞の幅が、ただ狭くなっただけである。つまり、スキーで押された雪はあまりくずされていない。これに反し、足で圧縮した雪では、縞の跡が多少は認められるとはいえ、縞のすじが曲りくねって、雪がひどくくずされたことを示している。以上のことから、足で踏んだ雪の方が氷の粒のつまり方も氷の粒のほぐされ方も、スキーで押した雪よりひどいといえる。それゆえ、時間がたって氷の粒の焼結が進めば、足で踏んだ雪の方がスキーで押した雪よりも遥かに硬くなる。

つぼ足で踏んでも、穴は地面まで届かない。穴は浅く、図8の写真のとおり、圧縮されるのは表面の限られた厚さの雪だけである。何べんも踏めば穴も深くなり、圧縮される雪も厚くなる。しかし、深さ1m以上もの自然積雪を底まで圧縮することは、実際上不可能である。どうしても圧縮された雪と地面との間に自然のままの厚い

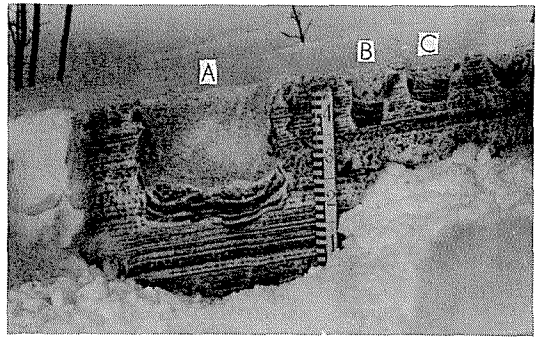


図8 A：つぼ足で踏んだあと。B、C：スキーで通ったあと。いちばん右のくぼみはストックで突いたあと。

雪の層が残る。それに、数多く踏んでも、踏みつけの効果が深いところでは発揮されにくい。踏みつけの力が分散されて弱くなるからである。それゆえ、競技会のすぐ前になって雪を隙間なく何度か踏んでも、表面近くだけは硬いが、それから下は軟らかい腰の弱い雪にしかない。前節の北海道アルペンスキー競技場の雪がその例である。全層が硬い雪を作るには、冬の初めから、雪が降るごとに踏み固めるよりほかない。図8からわかるように、1回のつぼ足踏みで圧縮されるのは、せいぜい30cmの厚さの雪である。したがって、雪が降るごとに踏むとしても、前にいったとおり、新雪が30cmの厚さに達しないうちに踏まなければならない。

積雪断面を染めるには、インキを水で4倍か5倍にうすめた色水(いろみず)を、手持ちの霧吹きで積雪断面に吹きかける。インキは青でも赤でもよい。吹きかけただけでも、図8の写真に近いものになる。しかしインキがにじんでいて、染め出された模様が鮮明でない。それでインキを吹きかけたあとを、手持ちのガソリンバーナーの焰で撫でる。すると、インキのにじみが消えて、図8の写真のようなはっきりした模様が現われる。気温が 0°C 以下であっても、霧吹きを布で包んでおけば、中の水はなかなか凍らない。ただ霧吹き霧の出口が凍ってつまることがある。そのときは、ガソリンバーナーの焰で融かせばよい。色水にアルコールを混入して凍結温度を下げ、色水の凍結を防ぐこともできる。しかし、アルコールを混ぜると、積雪断面の上で色水がにじみやすくなり、焰であぶっても図8の写真で見るほどには明瞭な模様がでない。

自然に積ったままの積雪に掘った穴の壁、すなわち積雪断面は、ただ白いだけである。よほど目を凝らせば、細い線が水平に何本も走っているのがわかりはする。し

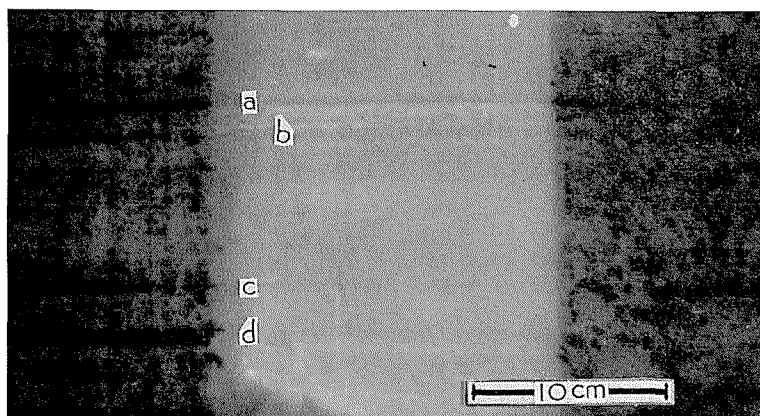


図9 すかしで見る層界線とインキで染めた層界線

かし、あまりにかすかな線だから、ただ眺めただけでは見分けられない。穴の壁の背後の雪を注意深く掘り取って、壁の一部を厚さ2cmほどの板にした。中央部を残して両側をインキで染めた。それを写真にとったのが図9である。雪の板の背後が明るいから、雪の板のすかし写真である。こうすると、穴の壁ではかすかにしかわからなかった線がはっきり見える。a, b, c, dの印をつけた線が1回の降雪でできた雪の層を境する線である。1回の降雪で1枚の雪の層ができると、次の降雪までの間に、雪の層は変態して、こしまり雪あるいはしまり雪になる。したがって、次の降雪でその上に新雪が積ると、前回の降雪でできたこしまり雪あるいはしまり雪の層と新しく積った新雪の層との境目に雪質の断絶が現われる。この雪質の断絶がa, b, c, dの線として現われたわけである。それゆえ、aとb, bとc, cとdとの間にはさまれた雪の層が、それぞれ、1回ごとの降雪で積った雪である。1回の降雪でできる雪の層を「雪層」という。そして、雪層と雪層とを境するa, b, c, dのような線を「層界線」と呼ぶ。

図9の写真から、層界線がインキに濃く染まることがわかる。実際a, b, c, dなどの層界線の左右の延長線がきわだって黒い。それで、積雪の穴の壁にインキをかければ、簡単に層界線が見つけられることになる。1枚の雪層でも、その上部と下部とでは、雪層ができてからの経過時間が降雪の継続時間だけ違う。したがって変態の進行の度合いが同じでない。雪が3時間降り続いてできた雪層なら、下部より上部の方が3時間だけ若く、変態も3時間だけ遅れている。しかし雪層ができてから数日もたてば、この変態の遅れも雪層全体にわたって起こる変態の裏にかくれてしまう。それゆえ、数日以上経

過した雪層は、その全体が均一な性質の雪であると考えてよい。

しかし、ただ1回の降雪の途中でも、雪の降り方は強くなったり弱くなったりする。また、降る雪の結晶の種類も、いろいろに交替する。それで、細かくみると、1枚の雪層も性質が少しずつ違う薄い雪の層が重なったものとなる。図9の写真で、層界線と層界線との間に、かすかな条がたくさんインキで染めだされている。これが薄い雪の層と層との境目である。図8では、この条が非常に鮮明である。それは、図8の雪が積ってから間もない新雪だからである。時がたって変態が進むにつれ、薄い層同志の間の性質の差異は次第にうすれ、薄い層を分ける条はインキに染まりにくくなる。それゆえ、厚く積った積雪の穴の壁をインキで染めると、上の方にある雪層には条がたくさん現われ、下の方にある雪層には少ししか現れない。

(4) 一般スキー場の雪

前々節(2)の富良野市北の峯には、北海道でも有数な一般スキー場がある。スキー場への出入りのためスキーヤーが頻繁に通るところの雪が硬かった。スコップも突き立てられないほどである。アルペンスキー競技場の雪の調査のかたわら、この硬い雪も調べてみた。

硬くてスコップでは掘れないから、氷を切る鋸で雪をひいて穴を作った。図10の写真が穴の壁をインキで染めた有様である。雪の厚さは35cmしかない。自然のままの積雪に比べるとインキの模様が乱れてはいるが、3本の層界線がはっきり見える。図8の写真からわかるように、スキーで踏んでも、雪層が縦に縮むだけで、雪はあまりくずれない。図10の雪に層界線が残っているのはそのためである。つぼ足で踏んだ雪の切断面に、この

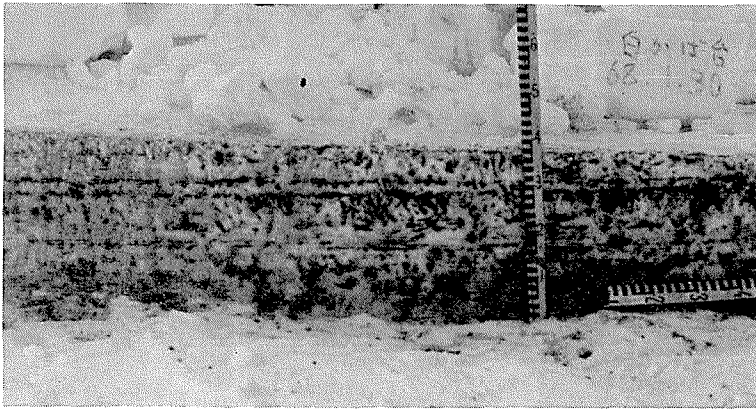


図10 スキーヤーに絶え間なく踏まれて固まった北の峯一般スキー場の雪の切断図(昭和43年1月30日)

ような層界線が現われることはない。

このあたりの雪は、表面が波のようにうねって、厚さが一定していない。それで厚さが35cmと60cmとの所で断面観測を行ない、その結果を図11に示した。図の書き方は図6と同じである。上の図の厚さ35cmの雪では表面層の硬度が8.4もある。下の図の厚さ60cmの雪でも表面層は硬度7である。アルペンスキー競技大会の役員は、この程度に硬い雪ならオリンピック競技用とし

て合格だろうとの意見であった。つぼ足で踏み固めたアルペンスキー競技場の雪の表面の硬度は3ないし5で、いまの雪の硬度の半分ぐらいに過ぎなかったわけである。ただ、厚さ35cmの雪も厚さ60cmの雪も、中層部があまり硬くない。硬度が、やっと2である。図11の左側の温度の図からわかるように、中層部の雪の温度は -6°C より低い。もし気温が上がって雪が暖まれば、中層部の雪の硬度は2以下に下るであろう。そうなった

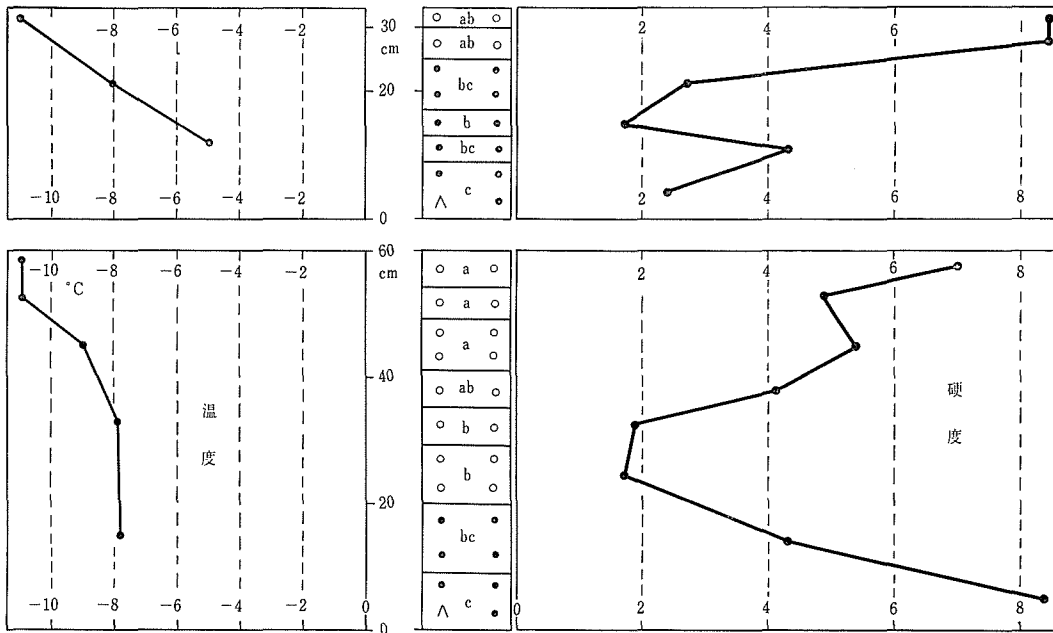


図11 スキーヤーに絶え間なく踏まれて固まった北の峯一般スキー場の雪の構造図と硬度と温度。

中層部の硬度の小さい雪の密度: 0.37~0.40, その他の雪の密度: 0.42~0.52 (昭和43年1月31日)

ら、表面の硬い層は、あまり厚くもないから、スキーの衝撃で割れたり落ち込んだりするかも知れない。

スキーが雪の中に深く沈まないのは、スキーと雪との接触面が広く、スキーヤーの体重が広い接触面に分散されるからである。スキーの長さを1 m 90 cm、幅を8 cmとして計算すると、片方のスキーの接触面の面積はだいたい1,500 cm²となる。スキーヤーの体重を60 kgとしよう。すると、体重が片方のスキーにかかったときにスキーの裏が雪を押す力は、1 cm²あたり60 kg÷1,500 cm² = 40 g/cm²となる。この雪を押す力の1 cm²あたりの値を「接地圧」という。雪との接触面が広いほど接地圧は小さく、雪の表面の沈み方も弱い。スキーで滑っているとき、体重が両方のスキーに平均してかかることは少ない。それで、上に求めた片方のスキーに全体重がかかったときの接地圧40 g/cm²を、スキーの接地圧の値として使うことにしよう。片方のスキー靴の底の面積は、およそ250 cm²である。それゆえ、片方の足に全体重がかかった時のつば足の接地圧は60 kg÷250 cm² = 240 g/cm²となる。つば足の接地圧はスキーの接地圧より6倍も大きい。

すでに何度か述べたとおり、厚さが30 cmに満たない新雪の層ならば、つば足で踏むと全層が底まで十分に圧縮される。しかしスキーでは、図8の写真が示しているように、表面近くの10 cmほどの厚さしか圧縮されない。しかも、その圧縮率は小さい。これが、スキーの接地圧が小さいためであることはいうまでもない。それで、あとで実例によって示すように、ある程度厚く積った雪は、スキーで踏んでもオリンピックのスキー競技に耐えるほどの硬さにはならないのである。ところが、北の峯のスキー場の雪は、スキーで踏まれた雪であるにも拘わらず、オリンピックのスキー競技用として十分な硬さになっていた。これは、降雪中もスキーヤーが頻繁に通るため、雪が膜のように薄く積るとすぐにスキーで踏まれてしまうからである。硬い雪の表面に薄く積った雪の膜にスキーが乗ると、スキーの接地圧が膜の厚さ全体にまるまるかかる。そのため、接地圧が小さくても、雪の膜はよく圧縮される。こうして、スキー場では、よく圧縮された雪の膜が次々に重ねられる。そして、それが焼結し、硬くて厚い雪の層を作りあげる。

すでに厚く積った新雪にスキーが乗る場合は事情が違う。スキーの接地圧がまるまるかかるのは、スキーのすぐ下であってスキーの下面と直接に接触している薄い雪の膜に限られる。この膜だけは、確かに強く圧縮される。しかし、スキーの下面から離れた下の方にある雪にかかる圧力はスキーの接地圧より小さい。スキーの下面から

離れるにつれ接地圧が雪の中に分散されるからである。厚い雪がスキーでは強く圧縮されないのは、このような理由による。つば足の接地圧も分散される点では変わりが無い。ただ、つば足の接地圧は大きいから、分散された接地圧でもなお十分に雪を圧縮する力をもっている。それで、つば足なら厚い新雪でも強く圧縮できることになる。

図11の断面観測図に見られるように、北の峯の一般スキー場の雪は、中層部の雪があまり硬くない。これは断面観測を行なった1月30日より半月か1か月以前に大雪が降り、スキーヤーに踏まれないうちに厚い新雪の層ができてしまったためと想像される。実際、北の峯の自然積雪の深さの記録を見ると、1月の初めの5日間に、雪の深さが80 cmから2 mへと120 cmも急に増している。このとき積った新雪が、固められそこなったまま、中層部にはさまっているのであろう。

前節で述べたように、北の峯のアルペンスキー競技場の雪は、地面と接する底の温度が0℃で、底のところどころには空洞があいていた。これに反し、一般スキー場の雪は、底の温度が0℃以下である。底の温度を実際に計ったわけではないが、図11の温度分布図から、そう考えられる。地面が硬く凍っていた点からみても、これは間違いなことである。雪は熱の不良導体である。密度が小さく軟らかいほど熱を伝えにくい。厚く積った軟らかい雪では、外の寒気が雪の底まで浸透できない。それで、雪の底は地熱に融かされて温度が0℃に保たれる。しかし、硬くてあまり厚くない雪の場合は、寒気が雪を通り抜けて地面を凍らせる。アルペンスキー競技場の雪が前の場合の例であり、一般スキー場の雪があとの場合の例である。このことから、スキー競技場の雪を30 cmか40 cm以上あまり厚くしない方が得策であると考えられる。地面が凍っていると、雪と地面との結合が強いからである。

宮城県と山形県との境にそびえる蔵王山は、冬になるとスキー客で非常に賑わう。その賑わいからみると、北海道北の峯スキー場は人影まばらといってもよいくらいである。翌年の昭和44年2月20日、樹氷観測のため蔵王山に出向いたついでに、スキー客に踏まれた雪を調べた。頂上から少し下った所に、ざんげ坂という斜面がある。ざんげ坂はスキー客の通り道で、幅20 mにわたって雪が固められていた。この通り道の縁の1箇所雪に穴を掘り、断面観測を行なった。雪の厚さは60 cmである。厚さ13 cmの表面層は粒度cのざらめ雪からなる。この表面層のうちでも表面から2 cmか3 cmまでにある雪は、密度は北の峯スキー場の表面の雪の密度と同程度の0.5

でありながら、硬度は21にも達していた。北の峯の雪の表面の硬度8.5の2倍半もの硬度である。しかし、ざんげ坂の雪の表面全部がこのように硬いわけではない。幅20mのスキー客の通り道を横断しながら表面の硬度を計ったら、7から16に至るいろいろな値が得られ、平均12となった。この平均値でも、北の峯の雪の硬度の値を5割がた上回る。

断面観測を行なった場所の硬いざらめ雪の表面層の下には、地面まで、粒度はaないしb、密度は0.34から0.38までのしまり雪の層が重なっていた。硬度が1.3ないし1.6しかない軟らかいしまり雪であった。この断面観測の日の20日前に、ひどい低気圧が日本を襲って、各地に大雪を降らせた。その雪が押し固められずに残って、この軟らかいしまり雪となったのであろう。この点で、前年調べた北の峯一般スキー場の雪と同じである。スキー客に任せるばかりでなく、大雪のときもスキーで盛んに滑りまわる計画を立てれば、全層が硬い雪が得られるであろう。それはそれとして、接地圧の小さいスキーによってでも頻繁に圧縮しさえすれば、オリンピック競技用として使える雪が作られる例を、蔵王山でもまた見ることができたわけである。

蔵王山の断面観測の日は、気温が -2.3°C の暖かい日であった。しかし通常は非常に寒い所に違いない。雪の温度は、表面でこそ -2.7°C という高い値を示したとはいえ、深くなるにつれて下がって、雪の底では -8°C に達していた。地面は完全に凍っていた。

低温科学研究所のある札幌にも、スキー場はいくつかある。なにも遠く北の峯や蔵王山まで出向かなくても、地元のスキー場の雪を調べればよさそうである。しかし、スキー場の断面観測は実行しにくい。掘った穴を埋めも

どしても、それに引っかかって、あまり上手でないスキーヤーが転んで怪我をする心配があるからである。それで、スキー場がありさえすればいつでも断面観測ができるといふわけにはいかないことになる。

(5) 北海道の硬化雪 (1)

冬の高い山には、雪が非常に硬く固まった場所がところどころにある。表面の凹凸(おうとつ)が激しく、図12の写真のような有様である。まだ呼び名がはっきり決まっていないから、仮にこの雪を風成雪ということにする。風が強いところによく見かけるからである。風成雪とは別に、凹凸がなくて遠くからは表面が鏡のように滑らかに見える硬い雪がある。これも仮に、硬化雪と名づけよう。登山家がよくいう、アイスパーンという雪である。ヨーロッパアルプスの山には風成雪や硬化雪が発達し、それを利用してアルペンスキー競技が生まれたと聞いた。それで、昭和43年2月18日から一週間、北海道大雪山系にある旭岳に登って風成雪や硬化雪を調べることにした。旭岳の頂上は標高2,290mである。山腹1,600mの高さのところに姿見(すがたみ)池があって、そのかたわらの噴気口から、いつも噴煙が立ち上っている。

姿見池のそばの尾根の傾斜 15° ほどの斜面に、長さ100m、幅20mばかりの硬化雪が見つかった。最大傾斜の方向に細長く伸びた硬化雪である。それから約100m下った比較的平らな場所には、もっと広い面積にわたって風成雪が広がっていた。

この旭岳の登山には、外国で行なわれたオリンピック冬季大会に出場の経験がある大平義博氏に同行してもらった。大平氏が硬化雪の上を高速度で回転しながら滑っても、雪の粉が少しばかり飛ぶだけで、雪の表面はほとんど削られない。これなら、100人ぐらゐの選手が滑っても



図12 風成雪

雪は荒れないだろう。大平氏は、この硬化雪なら、オリンピック競技にとって申し分ないという意見であった。

硬化雪を鋸でひいて作った穴の壁にインキを霧吹きでかけた。図13がインキで染まった穴の壁の写真である。高さ50cmの穴の壁の全部にわたって、2cmか3cmおきに、インキに濃く染まった平行線が水平にたくさん走っている。硬化雪を厚さ3cmほどの板に切り出してすかして見ると、間隔2cmか3cmの透明な平行線が何本も見える。さらに薄く1mmほどの薄片に削って偏光顕微鏡でとった写真が図14である。図14の写真のa点からb点にかけて、さしわたし5mmほどの氷の粒がつながりあって、上下の表面はでこぼこでありながらも、一応氷の板を形成している。この氷の板が、3cmの厚さの硬化雪の板をすかしたとき、透明な平行線として見たわけである。また、図13の硬化雪の切断面の平行線は、氷板の上にたまったインキのために現われた。

図14のような雪の組織は特殊なものである。(2)の図7にあげた6種類の雪の組織のどれとも違う。それで、図14の組織を仮に「硬化雪組織」と呼ぶことにしよう。図15が断面観測の結果である。積雪構造図にある横線は、先ほど述べた氷板を表わす。粒度は示してあるが雪質記号は書き入れてない。硬化雪の記号がまだ定められていないからである。積雪構造図の右の図には、硬度とともに密度も示してある。硬度と密度との大きさは、それぞれ、硬度と密度との図の枠の下と上との縁にきざんだ目盛で読む。図6の北の峯アルペンスキー競技場の雪の断面観測図および図11の北の峯一般スキー場の雪の断面観測図と図15とを比べると、硬化雪の硬度が北の峯のどちらの雪の硬度より遥かに高いことがわかる。地面から15cmほどの高さまでを除くと、硬度が8を越える。表面下10cmの深さの雪は10.5の硬度である。つまり、厚さが35cmもある非常に硬い雪の板が、多少硬度が落ちるとはいえ、なお充分に硬い15cmの厚さの雪の層の上のっているわけである。これほど硬くて厚い雪の板なら、オリンピック競技のスキーの衝撃を受けても、こわ



図13 北海道旭岳の硬化雪の切断面(昭和43年2月)

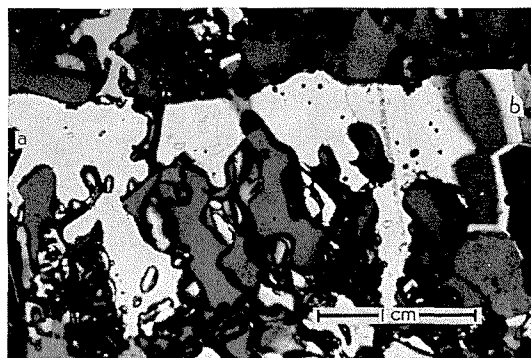


図14 北海道旭岳の硬化雪の顕微鏡組織(昭和43年2月)

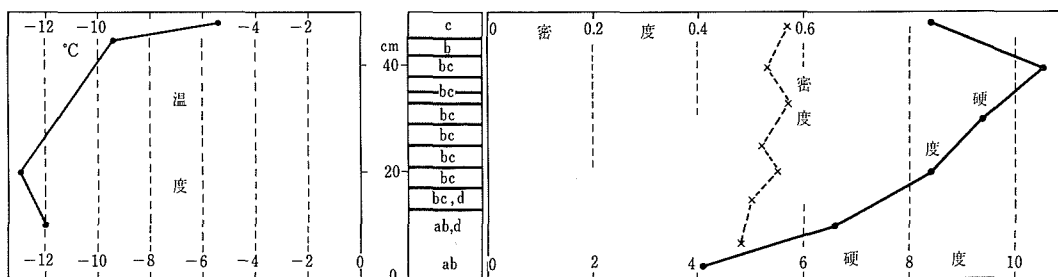


図15 北海道旭岳の硬化雪の断面観測図(昭和43年2月)

れることはあるまい。

図15に見られるように、雪の密度が、地面近くで少しばかり0.5を下回る点を除けば、雪全体にわたって0.5を越えている。表面では0.57という大きな値である。硬化雪は自然にできた雪である。普通、自然のままにおかれた雪の密度が0.5に達することはない。たいてい0.4が止まりである。この意味で、硬化雪の密度は異常に大きいといえる。

図15の左側に温度の図がある。表面の温度は -5.4°C でさほど低くはないが、中層部の温度は -10°C より低く、 -13°C にも達する。この硬化雪は、旭岳の山腹、標高1,600 mのところにあった。それゆえ、2月の20日前後の雪の平均温度が -10°C 以下であっても不思議はない。断面観測を行なった日は、よく晴れて日射が強かった。硬化雪の表面が -5.4°C の温度に上ったのは強い日射のためで、一時的な昇温にすぎない。それにしても、来年のオリンピック競技場の雪が、これほどの低温になることはないであろう。雪の硬度は温度が上れば下がる。それゆえ、たとえオリンピック競技場の雪を硬化雪と同じものにすることができたとしても、図15に示されたとおりの高い硬度の雪にはならない。しかし、温度が -5.4°C の表面でも硬度が8.4であることから、全体の温度が -5°C 近辺に上っても、8付近の硬度には保持されるだろうと考えられる。温度と硬度との関係は7で改めて考察する。

硬化雪の下は、苔桃(こけもも)や岩高蘭(がんこうらん)でおおわれた地面であった。もちろん硬く凍っていた。したがって硬化雪と地面との結びつきは固い。

硬化雪のかたわらに広がっていた風成雪はオリンピック競技用として不適当と判定された。表面の凹凸がひどいうえ、硬いのは表面近くの雪層だけだったからである。雪質は粒の細かいしまり雪であった。風成雪についての

これ以上の説明は省略する。

(6) 北海道の硬化雪 (II)

前節で述べた硬化雪は、オリンピック競技出場の経験のある大平氏から、オリンピック競技用として申し分ないといわれた雪である。それで翌年の昭和44年に、もう一度硬化雪を調べるため旭岳に登山した。調査した日は3月の11日と12日とである。前年の場所には硬化雪がなかった。しかし、そこから50 mほど尾根に沿って登ったところに、見たところは前年のと変わらない硬化雪を見つけた。

前年と同様に、鋸でひいて穴を作り断面観測を行なった。その結果が図16である。前年の硬化雪とは組織や構造がだいぶ違う。前年の硬化雪の中には氷板がたくさんあったが、今回の硬化雪には3枚しかなかった。図16の積雪構造図の横線がその氷板である。前年の硬化雪は、図14の顕微鏡写真のような特異な組織であった。しかし今回の硬化雪は、図7の表にあるしもぎらめ雪で形成されていた。図17が、この硬化雪を鉛直方向に切って1 mm以下の厚さの薄片とし、顕微鏡で写した写真である。しもぎらめ雪については、次の次の節(8)で説明する。このように雪の組織は違うけれども、今回の硬化雪は、硬度が前年の硬化雪を上回る。ただ下層部が前年のものより弱い。この年は、大平氏にもその他のスキー選手にも一緒に登山してもらえなかった。したがって、スキー選手による雪の良否の判断は得られなかった。しかし、表面の硬度は9.4で、表面下5 cmから15 cmにかけては14にも達する硬度の層があるのだから、オリンピック競技用の雪として満足なものであることに疑いはない。

前々節(4)で述べたように、北の峯の一般スキー場で、オリンピック競技用として一応及第点のつけられる雪を見つけた。そのあと、ほぼ満点といってよい硬化雪に旭

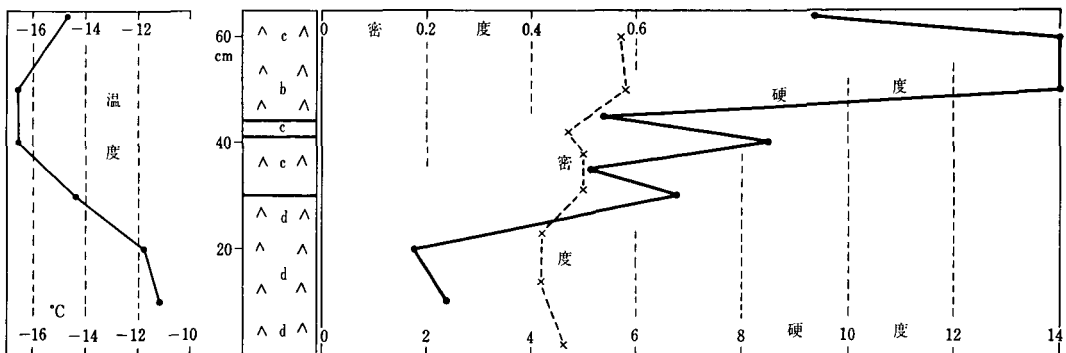


図16 北海道旭岳の硬化雪の断面観測図(昭和44年3月)



図 17 北海道旭岳のしもざらめ型硬化雪の組織
(昭和 44 年 3 月)

岳で 2 回めぐりあった。この両種の雪の硬度から、オリンピック競技用の雪は、この章の(1)の始めにあげたように、7 ないし 10 の硬度であるべきこととの規格を立てたわけである。硬度の測定法はあとで説明するが、スコップが突き立てられないほどの雪だったら 7 以上の硬度の雪とみてよいであろう。ただし、硬度が高くて薄い雪ならば、スコップは破って突き抜ける。図 6 の北の峯アルペンスキー競技場の雪では、地面の上 28cm と 35cm のところに硬度が 8 前後の雪の層があった。しかし層が薄かったため、簡単にスコップで突き破られた。それゆえ、オリンピック競技場の積雪に関する規格は、地面に近い下層部はともかく、中層部と上層部とはその全体が硬度 7 ないし 10 の雪でなければならないという意味になる。

硬化雪は特殊な組織の自然積雪である。なにか特別な条件のもとでできる雪に違いない。その条件がわかれば、さらに、その条件のもとで硬化雪が生成する経過がわかれば、人為的に硬化雪を作る方法が考え出せるかも知れない。それで、低温科学研究所では、第 3 回、第 4 回の調査を昭和 45 年、46 年に、同じく旭岳の姿見池付近で行なった。第 3 回の調査では、姿見池から旭岳頂上までの間を広く探し、7 個所に硬化雪を発見した。いずれも風が強くあたると思われる場所にあった。しまり雪が固くつまった組織のものと、しもざらめ雪が固くつま

った組織のものと 2 種類の硬化雪のあることも判明した。第 1 回の調査のときの硬化雪は、特異な組織であると前に述べたが、しまり雪型としもざらめ型との中間型であるらしい。第 2 回目の調査のときの硬化雪は、明らかにしもざらめ型である。今年の第 4 回調査で、硬化雪に関する知識はさらに積み重ねられた。しかしまだ、硬化雪の成因をはっきりつかむにはほど遠い感じがする。それで、せっかく 4 年も続けて調べたにも拘わらず、来年のオリンピック大会の雪かために、硬化雪についての知識は応用できないことになってしまった。

(7) 本州の硬化雪

本州の長野県八方尾根の雪は、ほとんど全部が硬化雪、いわゆるアイスバーンであると聞いた。スキー回転競技には最適な雪であるという。それで、昭和 44 年 2 月 15 日と 16 日とに八方尾根に出かけた。前節で述べた北海道旭岳での第 2 回硬化雪調査の約 1 カ月前である。

八方尾根は長野県と富山県との境界にある標高 2,696 m の唐松岳から東にのびる長い広い尾根である。麓の長野県北安曇郡細野まで 7.5 km の間に標高 1,974 m の八方山がある。標高 1,500 m と 1,700 m との間は急傾斜で黒菱の壁といわれる。この雪は非常に硬く、アイスバーンと呼ばれるものに相違ない。大ぜいのスキーヤーが滑降していた。黒菱の壁の上部で雪に穴を掘って断面観測を行なった。その結果、同じくアイスバーンといわれながらも、次に述べるように、構造も組織も北海道旭岳の硬化雪とは全く違う雪であることがわかった。

図 18 が断面観測の結果である。この図の地面からの距離は、図 1 の写真のように物指しを傾斜した地面に直角に立てて測ったものである。雪の厚さは 90cm であった。積雪構造図が示すように、地面から 60cm のあたりに厚さ 10cm のしまり雪の層があるほかは、全層がざらめ雪でできている。表面の下 8cm のところに 2cm の厚さの丈夫な氷板がある。この厚い氷板の下の方の横線のうち、氷と印した線も氷板を表わす。ただし厚さは 1mm か 2mm しかない。氷の印のついていない横線は層界線である。

この八方尾根の硬化雪の表面は極端に硬く、45 という硬度であった。それを、図 18 の硬度の図の棒の右上隅に (45) として表わした。しかしこの大きい硬度も、5cm ほど奥にはいれば 14 に下がった。それにしても、厚い氷板の上のざらめ雪は全体がすこぶる硬いわけである。ところが、厚い氷板の下の方の雪では、図の屈曲線が示すように、硬度は小さい。地面から 55cm のところで 5 に近い値にはなるが、その他のところでは 3 前後の値にすぎない。結局、あまり硬くない 80cm ほどの厚さのざらめ雪

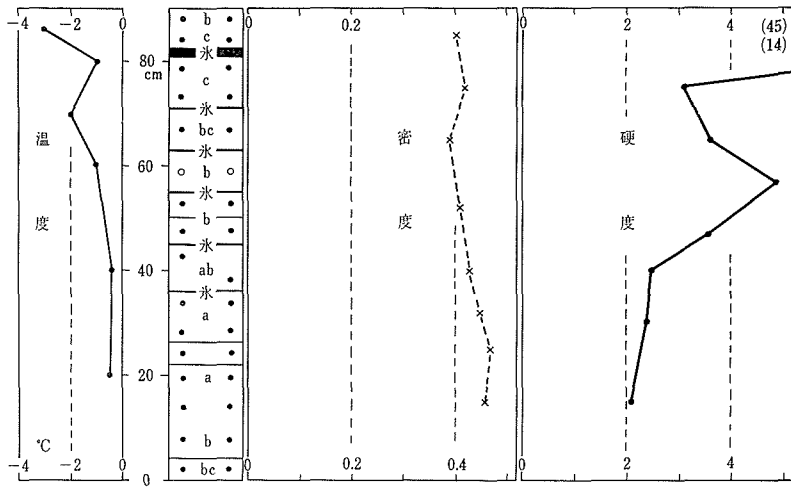


図 18 長野県八方尾根の硬化雪の断面観測図 (昭和 44 年 2 月)

の層の上に、丈夫な氷板を底とする厚さが 10cm にも満たない極端に硬い雪の層がのった構造である。表面のうす皮だけが硬く、なか味の肉は軟らかい雪だといえる。これに反し、北海道の硬化雪は肉自体が硬い雪であった。

北海道の硬化雪と比較して、密度はほとんど変わらないが気温は高い。表面でも、せいぜい -3°C である。全層がざらめ雪であることは、この高い温度によるに違いない。次章の(1)で述べるように、ざらめ雪になるのは温度の高い雪である。

厚い氷板の上のざらめ雪が非常に硬いのは、風の作用のためではなく、スキーヤーによって固められたためらしい。黒菱の壁より高度にして 100 m 以上登った所にある八方池山荘の裏で、スキーヤーに踏まれていない自然のままの積雪を調べた。積雪の深さは 70cm で、表面から 20cm の深さに厚い氷板があった。この氷板が黒菱の壁の硬化雪にあった厚い氷板と同じものであることに疑いはない。しかし、自然積雪の厚い氷板の上にあるざらめ雪の硬度は 3.5 にすぎなかった。スキーヤーに踏まれなかったならば、黒菱の壁の硬化雪の表面層も、この程度の硬度にとどまっていたらと考えられる。自然積雪の厚い氷板の下は、硬度の点でも、密度の点でも、また温度の点でも、黒菱の壁の硬化雪の厚い氷板の下は雪とほとんど変わりがなかった。

黒菱の壁の硬化雪の表面層、つまり厚い氷板の上にあるざらめ雪を鉛直に切って作った薄片の顕微鏡写真が図 19 である。図 14 と図 17 との北海道の硬化雪の薄片の写真と比べると、全く違う組織であることがわかる。ことに図 17 のしもざらめ型の硬化雪との差がはなはだしい。

しもざらめ型の硬化雪では氷の粒の輪廓が直線的であるのに対し、八方尾根の硬化雪の氷の粒は丸味をおびている。氷の粒が丸いのは、比較的暖かい土地柄のため、ときどき雪が少し融けては凍ったためであろう。北海道の山でも、風のない晴れた日には、日射が強くあたる所で雪が少し融けることがある。しかし、これは特別な場合で、北海道の冬山の雪が全層ざらめ雪になるようなことは到底あり得ない。

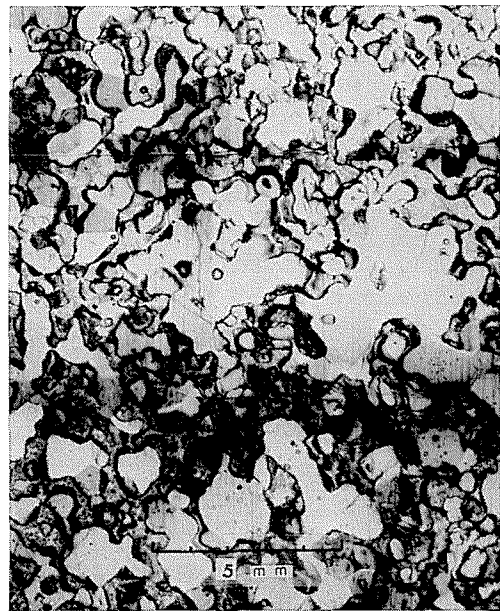


図 19 長野県八方尾根の硬化雪の組織 (昭和 44 年 2 月)

薄片は雪をアニリンで固め、鉋で削って作る。その方法は次章で説明することとして、薄片を作るには雪を -20°C ほどの低温に冷やす必要がある。この温度の低温実験室があれば薄片製作もむずかしくはない。しかし、八方尾根から雪を融かさずに、札幌の低温科学研究所の低温実験室まで運ぶわけにはいかなかった。それで、気温が下がる夜を待ち、宿屋の庭でドライアイスを使って雪を冷やした。図19の薄片の写真が、いままでに出したいくつかの薄片の写真のように鮮やかでないのは、低温実験室内でのように雪がうまく削れなかったからである。

厚い氷板の上に重なった雪がスキヤーに踏まれて八方尾根の硬化雪になったとすれば、この硬化雪ができるのに強い風はいらなかったわけである。一方、北海道の硬化雪の形成に強い風の力がはたらくことに、ほとんど疑いない。このように、組織や構造の点のみならず、成因においても、八方尾根の硬化雪と北海道の硬化雪とは違う。しかし、調査は八方尾根の1個所で行なったにすぎない。八方尾根でも別の個所には、さらに本州のほかの山々には、北海道の硬化雪と同じもの、あるいは似たものがあるかも知れない。それはとにかく、同じくアイスバーンといわれる雪にも、いろいろな種類のあることを知り得たのは大きな収穫であった。

4. 雪の性質

(1) こしまり雪とざらめ雪(組織と構造)

3.の(2)で、図7の中に積雪の種類の名をあげておいた。つまり雪質の名である。雪質には6種類ある。そのうちの新雪としまり雪については、すでに説明した。「こしまり雪」は少ししまった雪という意味で、新雪からしまり雪への変態の途中にある雪につけられた名前である。積雪は、降雪中でなければ、時とともに表面が沈下して薄くなる。この表面が沈下することを雪がしまるといふ。積雪がしまるのは、積雪を形成している各雪層が薄くなるため、つまり、しまるためにほかならない。それゆえ、雪がしまるとは雪の変態が進むことと、だいたいにおいて、同じ意味になる。こしまり雪の組織は、図5の顕微鏡写真にあるしまり雪の組織を、もう少し細かくしたものと思えばよい。氷の粒が小さいだけで、氷の粒の形と氷の粒同志の連結のしかたは、しまり雪の場合とほとんど変わらない。こしまり雪は、軽く押せば指がもぐる程度の硬さである。

こしまり雪は、あまり厚くない層をなして、積雪表面の新雪層のすぐ下に広がっているのが普通である。こしまり雪の層の下には、しまり雪の雪層が何枚も厚く積み

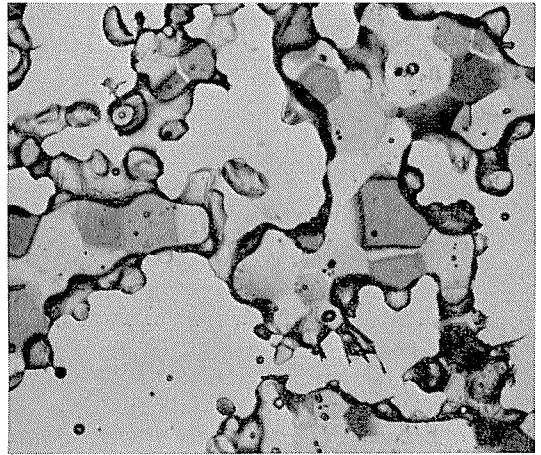


図20 ざらめ雪の薄片の顕微鏡写真(15倍)

重なっている。そのうちでも、下の方にある雪層はよくしまっていて非常に硬い。この特に硬いしまり雪を「かたしまり雪」ということがある。かたしまり雪の組織も、しまり雪の組織と性質上ほとんど同じである。しまり雪の組織を、ただ大柄にしたものといってさしつかえない。

前章の硬化雪の話の中に、「ざらめ雪」と「しもざらめ雪」とがでた。まず、ざらめ雪について考えよう。図20がざらめ雪の薄片の顕微鏡写真である。新雪やしまり雪の氷の粒に比べると、ざらめ雪の氷の粒は非常に大きい。うえ、形が整っていない。ざらめ雪は、新雪やしまり雪が、次のような経過をたどって変態したものである。あまり寒くない季節には、日中の気温はプラスで夜中の気温はマイナスである。それで、日中は積雪の表面が少しずつ融け、融けた水は積雪の内部にしみ込んで、薄い膜となって積雪の氷の粒を包む。すると、水の膜の表面張力で氷の粒は互いに引きよせられ、いくつかの氷の粒が一つの大きな粒にまとまる。夜になって氷の粒をまとめていた水が凍ると、そこに大きな氷の粒ができあがる。このような融解と凍結とが毎日繰り返される結果として、新雪やしまり雪からざらめ雪が作られるわけである。このような経過によるのだから、ざらめ雪の氷の粒が不整形なのは当然のことといえるだろう。ざらめ雪の氷の粒は、凍る前には水の膜でおおわれていた。水の表面は滑らかである。その水の膜がそのまま凍るから、ざらめ雪の粒の表面は、非常にでこぼこしているが、鋭くとかった所がなく滑らかに湾曲している。図20の写真に見られるざらめ雪の氷の粒の切断面の輪廓が、複雑に入り込んでいるにも拘わらず曲線的なのはこのためである。

この点で、ざらめ雪としもざらめ雪とは、次節で述べるように大に違う。

北海道でも、冬の初めは比較的暖かいから、地面をおおった新雪がざらめ雪に変わる。その上に、長い寒い冬にわたって降る雪が積る。この冬の雪は融けることなく、新雪からこしまり雪へ、こしまり雪からしまり雪へと変態する。それで、北海道では、しまり雪の雪層が厚く重なった下に、地面に接するざらめ雪の層を見るのが普通である。春が近づけば、厚いしまり雪もざらめ雪に変わり、積雪全体がざらめ雪になる。本州の八方尾根の硬化雪は、図 18 の断面観測結果が示すように、ほんの一部を残して全体がざらめ雪である。八方尾根の雪を観測したのは、冬のさなかの 2 月中旬であった。それにも拘わらず、観測された雪の温度は 0°C に非常に近かった。このことから、八方尾根の気候が比較的暖かいことがわかる。それで、冬の間でも、新雪にせよ、たまたま寒い日が続いたためにできたしまり雪にせよ、間もなくざらめ雪に変わってしまうのであろう。

特に説明しないで、「組織」という言葉と「構造」という言葉を、今までに、なんだか使った。組織と構造とは、日常語として、似た内容の言葉である。しかし、雪の組織または雪の構造というときは、全く異なる意味で使われる。雪を構成する氷の粒の形や氷の粒同志の連結のしかたが雪の組織である。したがって、雪の組織とは、顕微鏡を使ってはじめて見分けられるような雪の細かい構成のことであるといえる。今までに新雪、しまり雪、ざらめ雪の薄片の顕微鏡写真を見た。この 3 種類の雪では氷の粒の形も粒同志の連結も、それぞれ違う。それゆえ新雪、しまり雪、ざらめ雪など雪質が違う雪は組織の異なる雪であるといわれる。逆に、組織の違いをもとに分類して雪質を区別したともいえる。組織は薄片に見られるような複雑なものだから、細かくも大まかにも区別をたてることができる。雪質は組織を大まかに区別して定めたものである。同じくしまり雪といわれる雪でも、さらに細かく分けることができる。たとえば、しまり雪の粒度を測定することは、氷の粒の大きさを使って、しまり雪を細かく区別することにほかならない。

積雪は、たくさんの雪層が積み重なったものである。北海道の積雪では、表面に新雪層があり、その下にこしまり雪の層が広がる。こしまり雪の下には幾重にもしまり雪の層が重なって、地面に接する最下層はざらめ雪である。このように、積雪がどんな雪質のどれほどの厚さの雪層で構成されているかを表わすのに、構造という言葉を使う。それゆえ、構造は大きな枠でみた積雪の構成といえる。今までにあげた数枚の断面観測図には、どれ

にも、積雪構造図が書き入れてある。積雪構造図は、まさに、上に述べた構造を表わす図である。組織と構造との二つの言葉を、ここに説明した意味にはっきり区別して使うと、積雪全体の構成を表現するのに便利である。

(2) こしもざらめ雪としもざらめ雪

北海道の積雪は寒気にさらされているから、表面が 0°C 以下のマイナスの温度である。しかし、硬化雪のような特別な場合を除くと、積雪の底は地熱で暖められて、雪としてとりうる最高温度の 0°C に保たれる。それゆえ、積雪内部の温度は、図 6 のいちばん左の図にあるように、表面から下に向かうにつれ上昇する。つまり積雪の内部には温度の坂、すなわち温度の勾配がある。この温度勾配が強いと、しまり雪が別の雪質の雪に変わる。それが「こしもざらめ雪」と「しもざらめ雪」とである。

しもざらめ雪を作っている氷の粒は、図 21 の写真のような形である。その形から、この氷の粒が霜の結晶であることがわかる。寒い夜、空気中の水蒸気が地面にあるいろいろな物体の上に結晶して霜となる。霜の結晶は、場合々々で形がさまざまに違うが、図 21 の写真の氷の粒のような形をとることも稀ではない。しもざらめ雪の氷の粒は、ざらめ雪の氷の粒と同じくらい大きさである。さしわたしが 2mm 、 3mm を越える。氷の粒がざらめ雪と同じくらい大きく、かつ、霜の結晶であるところか

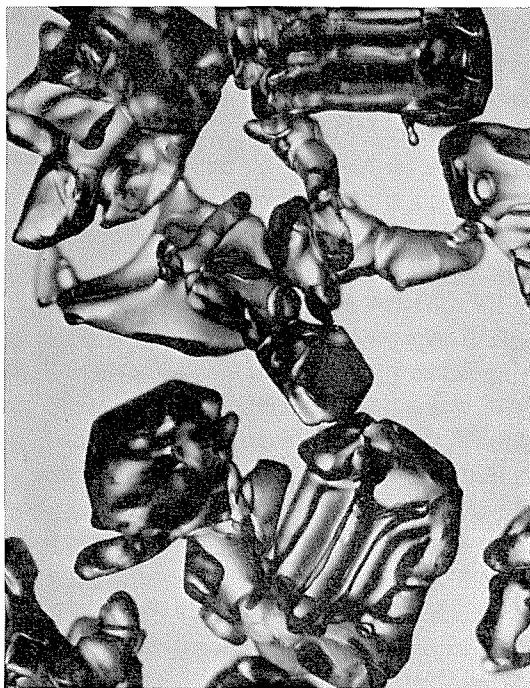


図 21 しもざらめ雪の薄片の顕微鏡写真 (15 倍)

ら、しもざらめ雪の名がついた。図 21 は、霜の結晶である水の粒が切断されないよう、比較的厚く作ったしもざらめ雪の薄片の写真である。

温度勾配のために、しまり雪の水の粒が霜の結晶に変わるのには次のようなしかけによる。積雪の中では下へゆくにつれ温度が昇るから、上下に隣あう 2 個の水の粒を考えると、下にある粒の方が上にある粒より温度が高い。一つの粒の中でも、尻つまり粒の下端の方が、頭つまり上端よりは温度が高いはずである。しかし、氷は割合に熱をよく導くから、頭と尻との温度の差はほとんど平均される。それで、1 個の水の粒の中には温度の差が全くなく、水の粒全体が同じ温度であるとしても、たいして事実にもそわかない。それで、上下に隣あう二つの水の粒では、下の粒の頭が、せまい隙間をへだてて、温度の低い上の粒の尻と向かいあうこととなる。このため、温度の高い下の粒の頭は蒸発して水蒸気となり、隙間を満たしている空気の中を通り抜けて、温度の低い上の水の粒の尻に凝固して霜の結晶となる。その結果、積雪の中の無数の水の粒は、どれもが、次第に頭が欠け、尻が霜の結晶としてせり出す。温度勾配が長い期間解消されずに存続すると、ついには、元からあったしまり雪の水の粒は全く消えうせ、その代わりに霜の結晶が残る。こうして、しもざらめ雪ができあがる。

蒸発とは、液体の分子が液体の表面からとび出して、空気の中にまぎれ込んでしまうことである。固体では、分子が固体の表面に固く結びつけられている。それで、固体の分子は、液体の分子のようにはとび出せないのが普通である。つまり固体は蒸発しない。ところが氷は特別な固体で、分子が表面からとび出せる。それで、氷は蒸発することができるわけである。氷のほかにも蒸発する固体がいくつかある。固体の蒸発を、特に「昇華蒸発」という。液体の蒸発でも、固体の蒸発でも、分子は外から引ずり出されてとび出すのではない。自らとび出す。そして、液体や固体の温度が高くなるほど分子のとび出しは盛んになる。一方、空気の中にまぎれ込んでいた分子が、液体や固体の表面に衝突することもあるだろう。衝突すると、分子は液体や固体の表面に落ちて、液体や固体と合体する。これが「凝結」または「昇華凝固」である。空気中にまぎれ込んで気体になっていた分子が液体になることを凝結、固体になることを昇華凝固というわけである。液体が固体となること、たとえば水が凍って氷になることが、ただの「凝固」である。

以上のことから、温度勾配のある積雪の中の氷の粒の頭が欠け、尻が霜の結晶としてせり出す理由がわかる。粒の頭は蒸発で分子を失う。しかし、すぐ上にある氷の

粒の尻から蒸発して両方の粒の間の隙間の空気にまぎれ込み、その空気を通過してきた分子が粒の頭に昇華凝固する。しかし、粒の頭から蒸発する分子の方が粒の頭に昇華凝固する分子よりも多い。粒の頭の方が、上の粒の尻より温度が高いため、余分の分子を蒸発させるからである。つまり、粒の頭では支出が収入を上回る。このため粒の頭は欠ける。粒の尻では、この分子の収支関係が逆になり、結果として分子が蓄積される。この蓄積される分子が霜の結晶となるわけである。

霜の結晶だから、しもざらめ雪の水の粒は、図 21 の写真のように形が直線的である。完全に直線的とはいえないにせよ、結局は水が凍ってできる図 20 のざらめ雪の粒と比べれば、格段に直線的だといえる。こしもざらめ雪は、温度勾配があまり強くない積雪の中にできる。そのしかけは、しもざらめ雪ができるしかけと同じである。ただ、氷の粒の尻で水蒸気の昇華凝固が緩慢なため、霜の結晶の形がよく整う。それで、こしもざらめ雪の水の粒は、しもざらめ雪の水の粒より輪廓がさらに直線的である。図 22 が、こしもざらめ雪の薄片の顕微鏡写真である。

温度勾配が非常に弱くても、上に述べたしかけは働くから、積雪の水の粒の尻には霜の結晶が生えようとする。しかし氷の粒には、2. (3) で説明したとおり、元来、

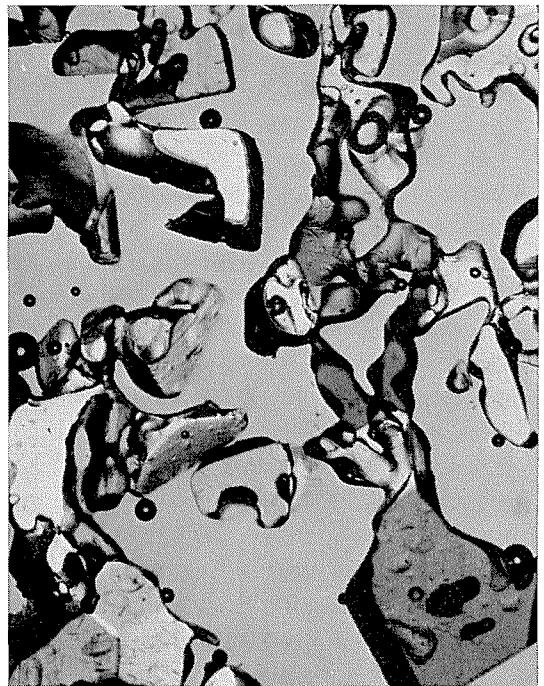


図 22 こしもざらめ雪の顕微鏡写真 (15 倍)

丸い形に変わろうとする傾向が備わっている。それで霜の結晶の成長があまり緩慢だと、この傾向がまさって、霜の結晶の形をくずしてしまう。それで、温度勾配の弱い積雪の中では、しまり雪の水の粒はその丸い形を保持したまま大きくなる。

(3) 雪の密度

以上で、新雪からしもぞらめ雪に至る6種類の雪質の説明を終わった。ところで雪質によって氷の粒のつまり方、すなわち密度が違う。もっとも、ある雪質の雪の密度が一つの値にはっきり定まっているわけではない。雪質ごとに、それぞれ密度の値の範囲があるということである。その密度範囲は次の表のとおりである。

雪 質	密 度 (g/cm ³)
新 雪	0.03~0.15
こ し ま り 雪	0.15~0.25
し ま り 雪	0.2 ~0.5
ざ ら め 雪	0.3 ~0.5
こ し も ざ ら め 雪	0.2 ~0.4
し も ざ ら め 雪	0.25~0.4

この表は、人里の多い平地に自然に積る里雪についてのものである。高い山にできる硬化雪のような特別な雪や、人為的に圧縮した雪などは考えていない。また、水を含んで濡れた雪と北海道の雪のように乾いた雪とを一緒にしたもの密度範囲を示している。前にも述べたように、乾いたしまり雪に限ると、密度範囲の上限は0.5ではなく0.4あたりまで下がる。

体積のわかった雪を積雪から取り出し、秤で重量を計る。重量を体積で割れば「密度」になる。100 cm³の雪の重量が30 gならば、密度は0.3 g/cm³である。雪が軟かいときは、薄い鉄板製の内容積のわかった箱を積雪にさし込めば、体積のわかった雪が取れる。硬い雪の場合は、鋸で四角に雪を切り出し、寸法を物指しで計って体積を計算する。

密度が大きいくほど、氷の粒がつままって雪の中の隙間はせまい。雪の体積のうち、隙間の体積が占める比率を「空隙率」という。100 cm³の雪の体積のうち、30 cm³が氷の粒で占められ残りの70 cm³が隙間ならば、空隙率は70%である。密度の値に109をかけて100から引くと空隙率が得られる。3.の(4)で述べた北海道富良野市北の峯一般スキー場の雪は、スキーヤーに踏まれてスコップがささらないほど硬かった。そして密度の最高値は0.5であった。上のようにして密度0.5の雪の空隙率を計算すると45.5%となる。スコップがささらないほ

どに固められた雪でも、なお、その体積の半分近くが隙間になっているわけである。

北海道の自然のままの積雪は、表面層の新雪を除けば、しまり雪としまり雪から変態したしもぞらめ雪とでできていると考えてよい。山の雪は、中層部と下層部とがことにしもぞらめ雪に変わりやすい。山の中では寒気がきびしく、積雪内部に強い温度勾配の現われる機会が多いからである。しまり雪としもぞらめ雪とを比べると、密度が同じでも、しもぞらめ雪の方が遙かにもろい。それは、両方の雪の薄片の写真図5と図21とを見ればわかるように、しもぞらめ雪では氷の粒同志の連結が非常に弱いからである。下層部のしもぞらめ雪が、山雪のなだれの原因となることが多い。しかし圧縮して密度を大きくしておくと、しまり雪がしもぞらめ雪に変態しても、かなり高い硬度が保持される。ことに、こしもぞらめ雪に変態した場合には、硬度が増大することも珍らしくない。図17の北海道旭岳のしもぞらめ型硬化雪は、人為的に密度を大きくしたわけではないが、しもぞらめ雪でありながら、密度が大きいため、硬度が10を越える。

(4) 硬度、粒度、薄片

この節では硬度の測定法、雪の薄片の作り方、雪の粒度の決め方を、詳しいことは省いて簡単に説明する。

硬度の測定 図23の写真が積雪表面の硬度測定の有様である。雪の表面に直径20cmのジュラルミンの円板を置く。その中心に、下端につばのついた真鍮(しんちゅう)棒を片手で立てる。まん中に孔のあいた円筒形の真鍮のおもりを真鍮棒にはめ、他方の手である高さに支えてから放す。おもりは落ちてつばにあたる。その衝撃で円板が雪の中に沈む。雪が硬いほど円板の沈みは浅い。それで、この円板の沈みを物指しで計り、その結果をもとにして簡単な計算をすると硬度が得られる。以上は低温科学研究所の木下誠一教授が考案した硬度測定法である。そのため、このようにして定められる硬度を「木下式硬度」という。

直径20 cmのジュラルミンの円板のほかに、直径7.5 cmの円板も付属している。雪が硬くなるにつれ高いところからおもりを落とすようにするとともに、円板を小さい方に取り替え、円板の雪の中への沈みが7 mmか8 mm以上30 mm以下に収まるよう加減する。非常に硬い雪の場合は円板を使わず、真鍮棒のつばの底を直接雪の表面にあてる。積雪内部の硬度を計るには、積雪に掘った穴の壁に1枚の鉄板を水平に突きさす。鉄板の上の雪を取りのけて鉄板を外せば、水平な雪の面が現われる。この面の硬度を計れば、それが積雪内部の硬度となる。

積雪用の硬度計には、ほかの種類のものもある。しか



図 23 木下式硬度計による雪面硬度の測定

し、木下式硬度計は、図 23 の写真のようなもので、こわすにも骨が折れるほど頑丈なうえ、使用法は簡単である。それで、現在、いちばん広く使われている。前にも述べたことだが、木下式硬度とは、底が平らな物体で雪を押し沈めるとき、雪が示す抵抗力の 1 cm^2 あたりの値を kg で表わしたものである。

雪の薄片 雪の組織は細かいから、雪を $\frac{1}{10}\text{ mm}$ か $\frac{2}{10}\text{ mm}$ の薄い板に削って顕微鏡で観察しないと、はっきり見えない。しかし、雪は隙間が多いためにもろく、刃物を直接あてて削るわけにいかない。それで隙間を丈夫な固体でつめて、雪全体を丈夫にする。アニリンという氷を融かさない液体がある。アニリンは -10°C で凝固する。温度が -5°C ぐらいの低温実験室の中で、金物をひくのに使う鋸で雪をマッチ箱ほどの大きさに切り、アニリンに浸す。アニリンは雪の中に吸い込まれ、雪の中の隙間を満たす。アニリンを吸い込んだこの雪を -20°C ぐらいの温度の低温実験室に移すと、アニリンは雪の隙間を満たしたまま凝固するから、雪は非常に丈夫になる。それをよく切れる鉋で削って薄い板、すなわち薄片にする。少し練習すれば、 $\frac{1}{10}\text{ mm}$ あるいはそれ以下の厚さにも削れるようになる。しかしこのままの薄片では、氷の粒と粒との間につまった固体のアニリンが不透明なため、顕微鏡観察には不便である。それで薄片を -5°C の低温実験室に戻し、アニリンを融かして透明にしてから顕微鏡で見た写真にとったりする。

気温が 0°C 以下で -10°C 以上ならば、屋外でも薄片は

作れる。屋外自体が -5°C の低温実験室の役目をする。温度 -20°C の低温実験室の代わりには、ドライアイスを使えばよい。ドライアイスの温度は -78°C だから、アニリンを吸い込んだ雪にドライアイスを押しつけて、雪の中のアニリンを凝固させることができる。こうして丈夫になった雪を、暖まってアニリンが融けださないうちに、手早く鉋で削る。図 19 の八方尾根の硬化雪の薄片は、こうして作った。

アニリンは、非常に弱いながらも毒性がある。毒性のないほかの液体を使いたいのだが、適当なものが見あたらない。結局、 -10°C 近辺で凝固し、しかも氷を融かさな液体ならよいわけである。原理上は零下何度で凝固する液体でもかまわない。しかし、凝固点が -10°C より高くても低くても、実際問題となると使いにくい。それに、値段が安く手に入れやすいものでないと困る。こんな条件がつくため、アニリンを除外すると、適当な液体はなくなってしまうのである。

粒度の決め方 雪層を構成している氷の粒の大きさを表わすのが粒度 a, b, c, d, e である。粒度と氷の粒のさしわたしとの関係は、3. (2) の図 7 に書いてある。図 24 のような「粒度板」を用意する。1 mm 目盛の方眼紙から、適当な写真操作で、黒地に白線で方眼を書いた方眼紙を作る。それをビニール製の定期券ばさみに入れたのが粒度板である。

雪層を氷の粒にほぐして粒度板の上にばらまく。方眼紙の 1 mm おきの白線を使って、肉眼で氷の粒の大きさの範囲を決めれば粒度がわかる。氷の粒は大小さまざま

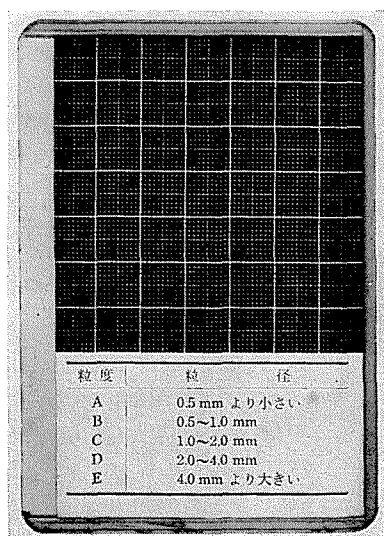


図 24 粒 度 板

まだから、たくさんの粒を見て、粒のさしわたしが何 mm から何 mm までの間にはいるかを定めるわけである。粒度板の上の水の粒の形を見ると、ほぐした雪層の雪質がわかる。なれると、ただ雪層を見たときの感じや雪層にさわったときの感じだけで雪質は決められる。しかし、決めかねる場合もある。そんなときは、ほぐした粒の形から判断するといふ。

5. 雪かため予備試験

3. では、昭和43年と昭和44年との二冬にかけて、どれほどの硬さの雪ならばオリンピック競技用として使えるかを調査した結果について述べた。ここで、またこれから先でも、昭和43年の冬あるいは44年の冬というのは、昭和42年から43年に、昭和43年から44年にまたがる冬のことである。この調査と平行して、実際にオリンピック競技大会が開かれる手稲山の雪を固める予備試験も行なった。この5.は、その予備試験についての話である。第3回目の冬、すなわち昭和45年の冬からは、札幌オリンピック組織委員会、日本スキー連盟、自衛隊によって、ほぼできあがった競技場全体にわたる雪かための本格的試験が開始された。それについては、次の6.で述べる。

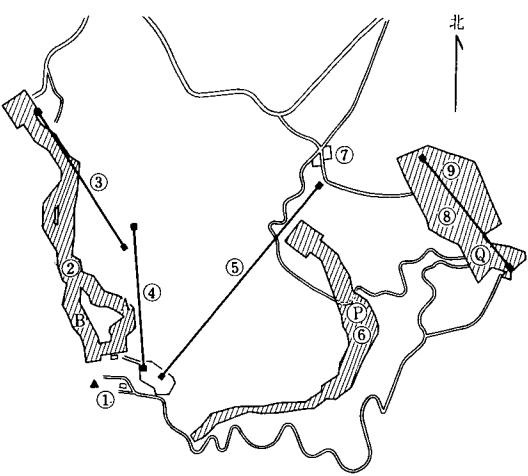
図25が手稲山スキー回転競技場の地図である。男子大回転、女子大回転、男女回転の3個の競技場が、いずれも、山の北側の斜面に造成された。各競技のコースの全長と斜度とを表わすと次の表のようになる。

	男大回転 子大回転 A	男大回転 子大回転 B	女大回転 子大回転	男子回転	女子回転
全 長	1,168 m	1,176 m	1,228 m	491 m	439 m
平均斜度	22°22'	22°18'	17°06'	25°29'	24°17'
最大斜度	37°	37°	27°	34°	29°

(1) 雪かため第1回予備試験

雪かための第1回予備試験は昭和43年1月23日に、図25のP、Qと印した2個所で開始した。競技場は、ただ樹木を切りはらっただけの未完成の状態であった。

女子大回転競技場のP点に積っていた自然のままの積雪の断面観測結果が図26である。積雪の深さは160 cmであった。上層の1/3は新雪で、中層の1/3はこしまり雪で、下層の1/3はしまり雪、ざらめ雪、こしもざらめ雪でできていた。みな硬度1以下の軟らかい雪である。2.の図6には、この手稲山での調査のあと1週間たって行なった富良野市北の峯の自然積雪の断面観測結果がのせてある。



① 手稲山頂(海拔 1,024 m). ② 男子大回転, ⑥ 女子大回転, ⑧ 男女回転, ③④⑤⑨ リフト, ロープウェー, ⑦ 駐車場, P ④ 雪かため第1回予備試験を行なった場所。

図25 手稲山アルペンスキー競技場地図

北の峯の雪の硬度は2に達していて、手稲山の積雪よりは硬い。しかし、これから、北の峯の雪の方が手稲山の雪よりいつも硬いということとはできない。積雪の深さや硬度や密度は、同じ場所でも、年により時期によっていろいろに変わるからである。それにしても、1月下旬の北海道の山の自然積雪は、だいたい、図6や図26で表わされる性質のものであると考えてよいであろう。

厚さが160 cmもあるP点の自然積雪表面に1 m四方の区画を3個所作り、第1の区画では「素かため」第2区画では「水かため」第3の区画では「塩かため」を行なった。ここで素かためとは、雪をスキーを外した靴だけの足で踏むこと、つまり、つぼ足でただ踏むことである。水かためは10ないし20 lの水をまきながらつぼ足で踏むこと、塩かためは1 kgほどの塩をまきながらつぼ足で踏むことである。素かためでは20回踏み、15分かかった。踏んだ所は40 cmの深さの穴になり、雪の密度は0.36に、硬度は3ないし10に上昇した。踏む前の雪の密度と硬度とは、図26に示されているように、それぞれ0.2および1以下であったわけである。

いま踏んだ雪の硬度が3ないし10に上昇したと書いた。これは、踏んだ雪の表面上いろいろに場所を変えて硬度を計ったら、計るたびに測定値が違い、3から10までの間のいろいろな値が得られたということである。つまり踏んだ雪は均一でないということである。つぼ足で踏むのだから、どこでも雪が同じ力で圧縮されるというこ

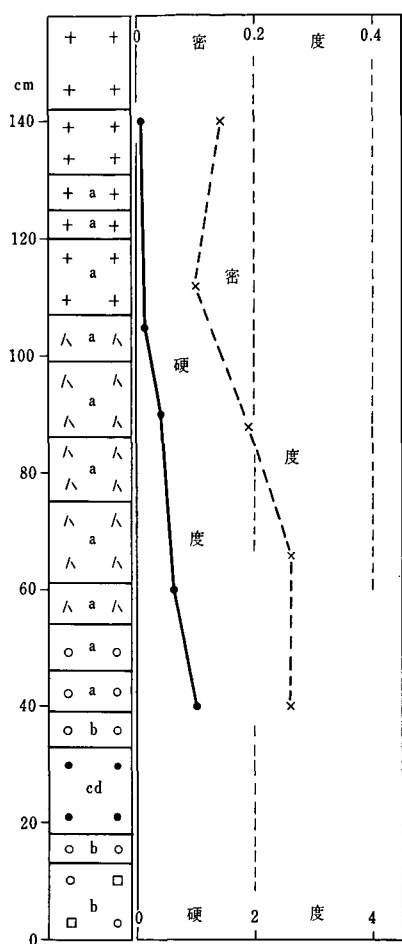


図 26 手稲山の自然積雪の断面観測結果。
図 25 の P 点の雪 (昭和 43 年 1 月 23 日)

とはあり得ない。それゆえ、これは当然の結果といえる。スキーで圧縮する場合でも、雪上車で圧縮する場合でも同様である。それで、圧縮された雪の硬度は、上と同じように、測定値の分散範囲で表わすのが適切であろう。しかし、これは少し煩わしい。それで今後は、たいていの場合、たくさんの測定値の平均値を使って硬度を表わすことにする。硬度がただ 1 個の数値で与えられていたら、それは平均値であって、実際の測定値はその数値の上下 5 割ぐらいの範囲内に分散しているものと考えてほしい。たとえば硬度 6 とあったら、実際の測定値が 3 から 9 までの間に分散していたと考えるわけである。自然のままの積雪はだいたい均質だから、硬度の測定値はあまり分散しない。分散範囲は平均値の 1 割か 2 割の程度にとどまる。

1 月 23 日に素かためした雪をそのままにしておいて、2 週間たった 2 月 6 日に再び調べた。この 2 週間の間に密度はほとんど変わらず、0.36 から 0.37 となったにすぎなかった。しかし、雪の中の氷の粒の焼結によって、硬度は 5 ないし 35 になっていた。全体としてみると、硬度が 2 倍から 3 倍に増したわけで、好ましい結果である。ただ硬度のむら、つまり硬度の測定値の分散の割合が非常に増大した。これは雪が非常に不均一だということで、歓迎すべきことではない。しかし、これでとにかく、1 月下旬に手稲山の雪を踏んで 1 週間か 2 週間おけば競技に適する硬さの雪が得られる見当はついたわけである。

水かため雪も塩かため雪も、素かため雪と全く同様にしておいた。踏んだ直後の水かため雪の密度は 0.36 で、素かため雪の密度と同じであった。しかし硬度は 3 以下にとどまり、素かため雪に比べると非常に劣っていた。ところが 2 週間たったら、密度は 0.45 に増し硬度の最高値は 45 にも達した。これで見ると、素かためより水かための方が確かに効果大きい。しかし、水の得にくい冬の山で水をまく手間を考えると、この程度の効果では引きあわないことになるかも知れない。塩かため雪では踏んだ直後の密度、最高硬度が 0.39 および 9 であり、2 週間後のものが 0.42 と 21 とであった。硬度が素かため雪に大分劣る。それで、塩かためは、手間がかかるだけで得にはならないと判断した。

P 点の雪を 2 回目に調査した 2 月 6 日に、図 25 の Q 点で新たに素かため、水かため、塩かためを行なった。P 点は傾斜が比較的ゆるい場所であるが、Q 点は傾斜が非常に急である。斜度が 30° を越え、踏むたびに雪がくずれ落ちる。急な斜面では雪を十分に圧縮することの困難を経験した。この Q 点の雪を、それから 1 週間たって、もう一度調べた。詳しいことは省略するが、結局、P 点で得たのに似た結果となった。つまり、素かためでも、1 週間おけば雪が十分に硬くなること、水かため雪は素かため雪より硬いこと、塩かため雪は素かため雪に硬度の点で劣ることが再び確かめられた。

以上あげた密度や硬度の数値は、すべて、積雪表面近くの層についてのものである。固められた表面層の下は、自然のままの硬度 2 以下の軟らかい雪である。この点で、この予備試験で固めた雪は、3. (2) で述べた北の峯アルペンスキー競技場の雪と変わらない。

(2) 雪かため第 2 回予備試験

この (2) で述べるのは、昭和 44 年の冬に行なった第 2 回目の雪かため予備試験である。前年の第 1 回予備試験によって、つば足でただ踏むだけの素かためでも、雪

に充分な硬度を与えることが判明した。それで、この第2回予備試験は、もっぱら素かためで行なうことにした。前節で述べたとおり、塩かためには何らの利点もないし、水かためは素かために比べ効果が大きいけれども水をまく手間がたいへんである。

この第2回の予備試験を始めるにあたっては、さらに、前年行なったオリンピックスキー競技用の雪が満たすべき条件の調査の結果も考慮に入れた。2.(1)にあるとおり(a)硬度が7ないし10であること(b)密度が0.5付近であること(c)雪の厚さが30 cm ないし40 cm であることが、オリンピック競技用の雪に対する規格である。このうち(c)の規格は、主としてあまり厚い雪では全層にわたって雪を固めるのに、作業上よけいな手間がかかるとの考えによって立てられたものである。しかし、手間の問題は別にしても、あまり厚くない方が、地面が凍って雪と地面との結合が強固になるという利点がある。その他、まだ知られていない得失があるかも知れない。それで、雪が積りすぎたら雪を取り除き、雪が足りないときは雪を補って、いつも雪の厚さが一定になるようにして踏み固める試験も行なった。

厚く積った積雪はいくら踏んでも、表面近くの雪しか固まらないことが、前年の予備試験によっても、また前年の北の峯アルペンスキー競技場の調査からもわかっていった。前年の予備試験では、実際、同じ1 m²の雪を20回も踏んだのである。それでも、厚さ10 cmほどの硬い雪が表面にできただけで、その下には自然のままの軟らかい厚い雪の層が残った。全体にわたって硬い積雪を作るには、雪が積るあとからあとから頻繁に踏むよりはかあるまい。それで、この第2回予備試験では昭和23年の暮の12月23日に始めて昭和44年1月31日までに8回の素かため、つまり、つぼ足雪踏みを実施した。平均すると5日に一度の雪踏みとなる。もっと頻繁に踏みたかったが、途中に正月休みがあるうえ、手稲山の試験地は札幌の低温科学研究所からはかなりの距離にあり、思うようにはならなかった。

試験地は手稲山の中腹にある一般スキー場の頂上近くの平らな所に選んだ。海拔450 mで、リフトを利用すれば楽に着くことができる。スキー回転競技場の中に選んだ前年の試験地へは、交通の便が悪く、到底通いきれない。試験地を、一つが面積5 m×8 m=40 m²の4個の長方形に区画し、第1の区画では雪を積るに任せた。この区画を「自然区画」と名づけよう。自然のままの雪がある区画という意味である。第2の区画では、雪を除いたり加えたりしないで、自然に積るままに雪を踏んだ。この区画を「圧雪区画」と名づける。普通、雪を踏んで

圧縮するとすれば、この区画でと同じ踏み方になるからである。第3と第4との区画では、雪を加えたり除いたりして、いつも雪の厚さが40 cm または20 cm になるように踏んだ。第3区画と第4区画とを、それぞれ「40 cm 区画」「20 cm 区画」と呼ぶことにする。

以上の雪かため予備試験の結果の説明は、かなりの紙数を要するため、次の(3)以下に送る。この予備試験の機会を利用して、雪をつぼ足で踏む場合とスキーで踏む場合とで、雪かための効果にどれほどの差がでるかを一度調べてみた。次に、それについて述べる。

6人か7人の男子が互いに肩を組んで1列に並び、細かく足を運びながら、ある距離を横に歩く。そのあと同じようにして始めの位置に戻る。こうすると雪が、幅がスキー靴の底の長さに等しい帯の形に踏まれる。次に、全員がスキー靴の底の長さだけ前に出て、上と同じように横歩きで往復する。こうすれば、広い面積の雪をまんべんなく踏むことができる。「つぼ足踏み」はこうして行なった。1個所の雪はひとりによって、右足で2回左足で2回つごう4回踏まれる。それゆえ6人が肩を組んだとすれば、24回踏まれることになる。ずいぶん丹念な踏み方だが、それでも、ひとりが1時間に踏む面積は15 m²になった。つぼ足で踏んだあとは、スキーをはいた足で叩いて平らにしあげた。

スキーをはいては肩が組めない。それで一人ずつが、次々にスキーで叩きながら、踏み残しがないように雪の上を横に歩いた。1個所の雪が叩かれる数を、つぼ足踏みのときと同じになるようにした。これが「スキー踏み」である。

つぼ足踏みもスキー踏みも、1月28日に、深さ80 cmの自然に積ったままの雪について行なった。この自然の雪は、地面から33 cmの高さまで、密度が0.3、硬度が0.2の軟らかいしもざらめ雪で、その上は表面まで新雪であった。新雪の密度と硬度とは、それぞれ0.08ないし0.2、0.01ないし0.13である。結局、上から下まで全部が非常に軟らかい雪でできた積雪である。3日たった1月31日に、踏んだ雪に穴を掘り断面観測を行なった。水でうすめたインキを霧吹きで吹きかけたあとを炎であぶった穴の壁の有様が図27の写真である。写真Aがつぼ足踏みの雪で、深さは40 cmである。踏む前の自然の雪の深さは80 cmであった。写真Bはスキーで踏んだ雪である。墨で書き入れた点線の上は、3日の間に新たに積った新雪だから、スキー踏みの雪の表面は地上60 cmの点線の位置にある。つぼ足踏みの雪の断面写真Aでは、新たに積った雪が取りはらってある。

写真A、Bに現われているように、つぼ足踏みの雪と

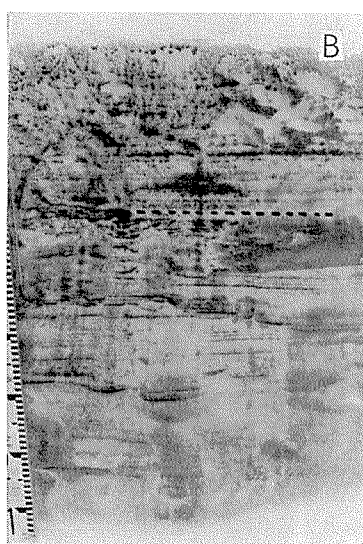
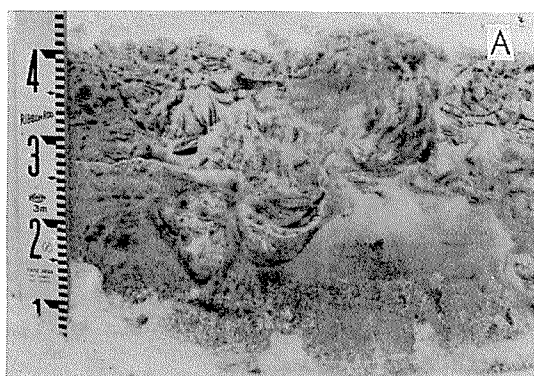


図 27 つぼ足で踏んだ雪Aと、スキーで踏んだ雪Bとの、3日あとでの断面の写真(昭和44年1月31日) Aでは踏んだあとで積った新雪を除去してある。Bでは点線から上に踏んだあとで積った新雪が残っている。

スキー踏みの雪とは構造が全く違う。写真Aで見ると、積雪の厚さの上半分がつぼ足でかき乱されている。ところどころに、下半分にまで、つぼ足の力が侵入したあとがある。つぼ足の力が及んでかき乱された雪には、自然の雪で認められる図9の縞模様が全然見えない。これに反し、写真Bのスキー踏みの雪では、あちこちに食い違いができたとはいえ、縞模様がはっきり残っている。だいたい点線から下20cmあたりまでがスキー踏みの力の及んだ範囲である。この二つの断面写真からだけでも、つぼ足踏みの方がスキー踏みより、雪かための効果で遥かにまさることがうかがえる。そして実際に、次の表にあるとおり、つぼ足踏みの雪の硬度は、スキー踏

みの雪の硬度の数倍から十倍以上にも達した。

地面からの高さ (cm)	踏む前の硬度	1時間後の硬度		3日後の硬度		
		つぼ足	スキー	つぼ足	スキー	自然
60	0.007	1.5	0.4	4.3	0.5	0.08
45	0.04	1.4	0.13	3	0.5	0.2
20	0.15	0.4	0.14	2.4	0.2	0.13

この表のいちばん左の行は、硬度を調べた雪の地面からの高さを示す。それも、踏む前の自然のままの積雪内での高さである。たとえば高さ60cmの雪は、自然積雪の中で地面の上60cmの所にあった雪で、踏まれたあとは60cmよりずっと地面に近づいた。しかし、踏まれたあとの高さは、表が混雑するから書き入れてない。第2行から右にある数字は、すべて硬度を表わす。第2行にある数字は踏む前の自然積雪での硬度、第3行の数字は踏んでから1時間後に計った硬度、第4行の数字は踏んでから3日後の硬度である。いちばん下の列に、つぼ足踏みの雪とスキー踏みの雪との区別が示してある。3日後の行の最下列にある「自然」は、その上の数字が踏まなかった雪の硬度であることを表わす。

先ほどいったように、つぼ足踏みの雪はスキー踏みの雪に比べ、地面からどの高さでも、踏んでから1時間後でも3日後でも、硬度が数倍以上大きい。自然のままにおかれた雪も、3日の間に少しばかり硬度がふえた。そして、硬度は上で小さく下で大きい。しかし、踏まれた雪ではこの関係が逆である。硬度は上で大きく下で小さい。上にある雪ほど強い力を受けて、こわされる程度も圧縮される程度も高いからである。しかし、この程度も、つぼ足踏みの場合とスキー踏みの場合とではたいへんに違う。表にでている雪の中でいちばん高い60cmの雪に注目すると、スキー踏みの場合の硬度は1時間後に0.4で、3日後に0.5である。つまり踏まれた直後に硬度は確かに増したが、そのあとはほとんど上昇しなかった。これは、スキー踏みでは雪があまり強くはこわされないため、氷の粒と粒との焼結が短時間のうちに完成してしまうからである。一方、つぼ足踏みの場合には、1時間後に1.5であった硬度がその後の3日間に4.3まで3倍にも増した。つぼ足踏みでは、雪が、氷の粒が一つ一つばらばらになるまでほぐされたあと、よくつまった密度の大きい雪として落ち着く。そのため焼結が完成するまで長い時間がかかる。その代わり、焼結が完了したときには丈夫な雪ができあがる。

地上60cmの雪は、はじめ硬度が0.007しかない非常

に軟らかい新雪であった。それが、つぼ足で踏まれたあと3日間放置されたら硬度が600倍に及ぶ硬度4.3の雪となったわけである。しかし、このことから、つぼ足踏みの硬度増大効果が600倍であるというのは適当でない。この雪は、踏まれずに自然のままにおかれても、3日間に硬度を10倍の0.08に増大したからである。それで、つぼ足踏みの硬度増大効果としては、3日後のつぼ足踏みの雪と自然のままの雪との硬度の比 $4.3 \div 0.08 = 54$ 倍をとるのがよいであろう。同じようにしてスキー踏みの硬度増大効果を計算すると $0.5 \div 0.08 = 6$ 倍となる。つまり、スキー踏みの効果はつぼ足踏みの効果の $\frac{1}{9}$ にすぎない。

これでスキー踏みでは到底、オリンピックのスキー競技に耐えられるほどの硬さにまで雪を固められないことがわかる。スキーと雪上車とでは接地圧がたいして違うから、雪上車を走らせればスキー踏みをしたときと同じ程度に雪が固まるだろう。それに、スキー踏みをするくらいなら、雪上車を使う方が能率の点で遙かに有利である。スキー競技場は広く、その中には雪の硬度が2ないし3ぐらいでも間にある所がある。そのような所の雪かためには、次章で述べるように、実際に雪上車が使われた。もっとも、スキー踏みでは雪が十分に固められないとはいっても、このスキー踏みは間歇的なスキー踏みのことである。新雪がある厚さに積るごとに数回スキーで踏むことにすぎない。これに反し、一般スキー場のように、雪が降るあとからあとから大ぜいのスキーヤーによって直ちに踏まれる場合には、前に述べたように、スキー踏みによっても雪は充分硬くなる。

つぼ足踏みとスキー踏みとの比較に使った上の雪は、すでに80cmの厚さに積っていた自然積雪である。上の表にあるとおり、つぼ足で踏んで3日おいても、下部の硬度は2をわずかに越えるほどにしかならなかった。上部でも4の程度になったにすぎない。これも、厚く積ってしまった雪は、オリンピックのスキー競技に適するほどに固めることができないことを示す一つの例である。次の(3)は、これとは違って、新雪が厚くならないうちに踏みかため、硬い雪の層が次々に重なるようにした場合の話である。

(3) 雪かため第2回予備試験の結果

前節(2)のはじめに述べた圧雪区画、40cm区画、20cm区画の3区画で、12月23日から1月31日にわたって8回行なったつぼ足雪踏みの結果をまとめたのが図28である。雪を踏むには、前節にあるように、6人か7人の男子が肩を組んで細かく横に歩いた。雪踏みが終わったあと1時間ほどして、踏まれた雪の断面観測を行な

った。図28の上の縁に、雪を踏んだ日付が入れてある。日付の下に、縦縞のあるやや広い帯と横縞のある細い帯とが並べてある。縦縞の帯と横縞の帯とは、それぞれ、断面観測の結果知られた、踏んだ雪の硬度と密度との鉛直分布を表わしている。

縦縞の帯を硬度図、横縞の帯を密度図と呼ぶことにしよう。1月1日の日付の下にある縦の目盛は地面からの高さである。硬度と密度との大きさは、今までのグラフ方式によらず、細い縞、太い縞、塗りつぶしの3段階を使って表わした。いちばん上の圧雪区画の図の中央上部に書き入れた図にあるように、塗りつぶしは、硬度では8以上、密度では0.45以上を表わす。したがって、塗りつぶしの雪は、3で述べたオリンピック競技用の雪の規格を満たしている。太い縞は硬度が5から8まで、密度が0.40から0.45までの雪を表わす。この雪でもかなり硬い。スコップも突きさしにくいほどである。細い縞は硬度5以下、密度0.40以下を示す。しかし、40cm区画の12月23日の硬度2の雪の場合を除けば、ほかはみな、3以上の硬度、0.30以上の密度である。なお、雪踏みは1月25日にも行なった。しかし、その日の断面観測結果は図29に書き入れてない。

オリンピック競技大会は2月3日から始まる。その3日前の1月31日に、競技場の雪が図28の右端の図のような硬さになっていれば、だいたい間にあるのではあるまいか。なかでも40cm区画の雪なら充分だといえるだろう。深さ45cmの雪が、下部の20cmの厚さを残して5以上の硬度であるうへ、表面には硬度が8を越える厚さ10cmの硬い雪の層がある。密度は、ほとんど全体にわたって0.40より大きい。これならスキーはよく滑るし、スキーにもあまり削られないであろう。20cm区画の雪でも、なお、良いと思われる。雪の厚さを20cmにするつもりではあったが、図26にあるとおり、1月31日のこの区画の雪は28cmの厚さになっていた。上半分の13cmは硬度5以上であり、表面には、40cm区画の雪と同様、ほぼ10cmの厚さの硬度8以上の硬い雪の層がある。ただ、実際の競技場の地面は凹凸がひどいから、雪を20cmの厚さにしたのは、ところどころで雪の上に地面が顔をだす心配がある。なお、40cm区画と20cm区画との雪の図にある「加」と「除」との記号は、それぞれ、雪が足りないため雪を加えて踏んだことと雪が多すぎるため雪を除いて踏んだことを意味する。

1年前、北海道富良野市北の峯の一般スキー場の雪を調べた結果が、3.(4)に図11として表わしてある。この雪は、当時同じく北の峯で行なわれていた北海道アルペンスキー競技大会の役員がオリンピック競技用として

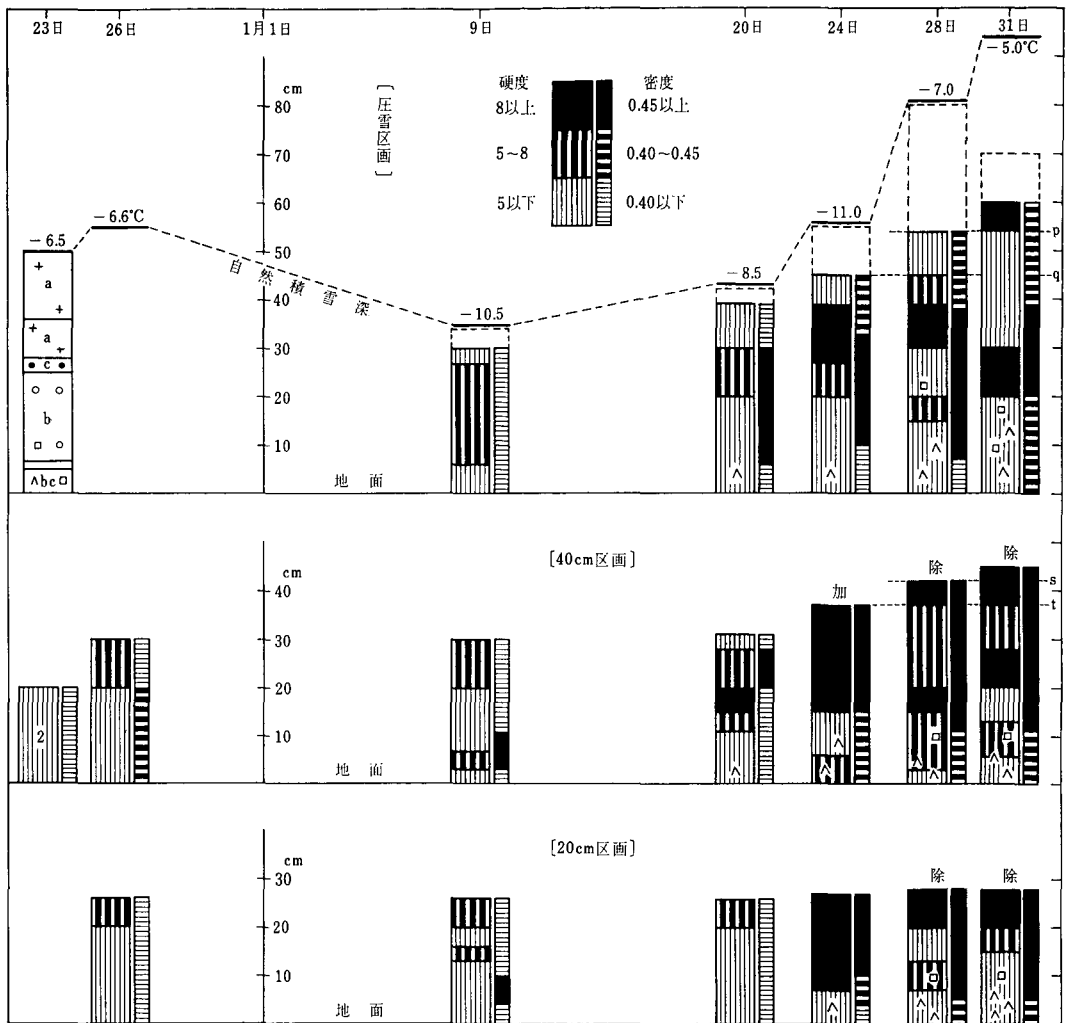


図 28 平均 5 日おきにつぼ足で踏み固めた雪の硬度和密度。手稲山で行なった第 2 回雪かため予備試験の結果である。試験期間は昭和 43 年 12 月 23 日から昭和 44 年 1 月 31 日に至る。

充分使えと判定した雪である。図 11 を図 28 と同じ形式で書き直すと図 29 の (a) と (b) になる。どちらの図の雪も、表面に硬度 8 以上の硬い雪の層があって、それぞれ、図 28 の 1 月 31 日の 20 cm 区画と 40 cm 区画との雪に似ている。しかし、北の峯の雪は、数字 2 を書き入れて表わしたように、中層部は硬度が 2 から 2 以下の雪である。これに反し、雪かため予備試験で作ったつぼ足踏みの図 28 の雪には、このような軟らかい中層部がない。したがって、このつぼ足踏みの雪の方が北の峯一般スキー場の雪よりも全体として硬く、オリンピック競技用としてさらに適しているといえる。しかし、つぼ足踏

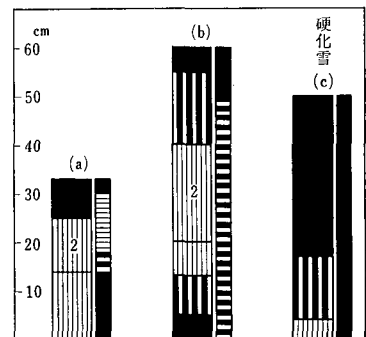


図 29 (a)(b): 北の峯一般スキー場の踏み固められた雪の硬度和密度 (c): 大雪山の硬化雪の硬度和密度

みの雪も、大雪山にあった硬化雪にはかなわない。3. (5)で述べたように、この硬化雪には、外国で行なわれたオリンピック回転競技出場経験のある大平氏が、オリンピック競技用として申し分ないと折紙をつけた。硬化雪の硬度と密度とを示す図15を書き直したのが図29の(c)である。硬度図は下部の $\frac{1}{2}$ を残して塗りつぶしてある。つまり、全体の厚さの $\frac{1}{2}$ が硬度8以上の雪である。密度は、上から下まで0.45を越えている。

前にいったように、図28に示した硬度や密度は雪を踏んだあと1時間たって測定したものである。1時間の間に、新たに踏まれた表面の雪は、氷の粒の焼結がある程度進んで、かなり硬くはなる。しかし氷の粒が十分に焼結するには少なくとも3日か4日はかかる。それゆえ、前の段落の考察では、その当日に踏まれた表面の雪を除外して考えるべきだったであろう。競技当日に雪を踏むことはおそらくないと思われるからである。図28の40cm区画の1月31日の雪についてみると、水平点線sとtとの間にある雪を3日前の1月28日に新しく踏み固められた雪とみてよい。新しく積った雪を踏んでも、その下にある前に踏んだ雪は、硬くなっていて、ほとんど沈下することがないからである。こうして、40cm区画の雪で1月31日に新たに踏み固められたのは、水平点線sの上にあるわずか3cmの厚さの表面層であることがわかる。3cmの厚さしかない雪だから、これを考慮に入れても入れなくても大勢には影響がない。それで、先ほど得た40cm区画と20cm区画との雪がオリンピック競技用として使えるという結論を変更する必要はないであろう。20cm区画では1月31日に新たに踏まれた雪はなかった。

図28の最上段の庄雪区画の雪でも、なお、オリンピック競技用として、危うくではあるにせよ、間にあるのではあるまいか。この区画では、雪の厚さを加減しないで雪が積るに任かせて踏んだ。1月31日の硬度密度図の上に破線の罫いがある。罫いの上縁の高さは地上70cmである。この日、地上54cmの水平点線pから罫いの上縁まで、厚さ16cmの新雪があった。それを黒く塗りつぶした6cmの厚さの雪に踏み固めた。この部分を上に述べたことによって除外すると、1月31日の雪は、中層部に硬度8以上の硬い雪の層のある、全体としては硬度3以上、5以下の比較的軟らかい雪となる。1年前に北の峯で開かれた北海道アルペンスキー競技大会の雪の図6を書き替えたのが図30である。この競技大会の雪には硬度が8を越える部分がない。しかも大部分の雪が、印2で示したように、2を下回る硬度である。図28の庄雪区画の雪に比べると硬度の点でも密度の点でも遙かに

劣る。それでも図30の雪で北海道アルペンスキー競技大会が無事に行なわれた。それで、この競技大会の雪にまさる庄雪区画の雪なら、オリンピック競技用として全く不適当なことにもなるまいと考えるわけである。

自然区画の雪、つまり全然踏み固めない雪についても、雪踏みの日ごとに断面観測を行なった。その結果を見ると、1を越える硬度が測定されたことが一度もない。比較的硬い下層部の雪でも、硬度は0.1ないし0.3にすぎない。自然のままにしておけばこんなにも軟らかい雪が、つば足踏みによって、図28に示したような硬い雪になったわけである。この第2回雪かため予備試験では雪踏みの日数がさほど多くなかった。ことに、年末から正月の20日にかけては1回の雪踏みがあっただけである。それでもオリンピック競技用として使える雪ができた。実際のスキー競技場は広いから、この予備試験でのように丹念に雪を踏むわけにはいくまい。しかし雪踏みの日数はふやせるであろう。それによって、この予備試験で得た程度の雪が作られることになるだろうと期待される。

図28に示したように雪全体が硬くなったのは、雪の積み始めから何回にもわたって雪を踏んだからである。厚く積ったあと踏んでも、中層部と下層部とが硬くならないことは、今までにあげたいくつかの例から明らかである。

(4) 雪かため第2回予備試験結果の検討

この節は、(2)、(3)で述べた雪かため第2回予備試験結果の細かい点についての検討である。

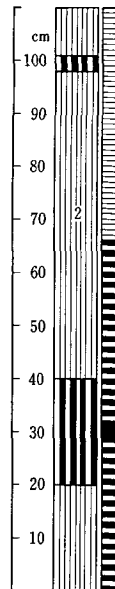


図30 北の峯アルペンスキー競技場の雪の硬度と密度

図 28 最上段の圧雪区画の図の左隅にあるのは、12 月 23 日に自然区画に積っていた自然積雪の構造図である。構造図に書き入れたいろいろな記号の意味は、3. (2) の図 7 に示してある。構造図の上の縁から右に向かって破線がでて、1 月 9 日から 1 月 31 日までの 5 箇の硬度密度図の上方に引かれたやや太い水平線をつないでいる。この水平線は自然積雪の表面の位置を表わす。5 箇の硬度密度図の上には、また、それぞれの日に新雪があった範囲が破線で四角に囲ってある。1 月 31 日の場合を除くと、囲いの上の縁が自然積雪の表面を示す水平線と一致する。つまり、圧雪区画の雪と自然区画の雪とで深さが同じであった。踏むたびに圧雪区画の雪はへこむ。ところが、この予備試験地は風が強くあたる所であった。それで踏まれて低くなった圧雪区画も、次の雪踏みの日までに、風に送られた雪で自然区画の雪と同じ高さまで埋められていたわけである。ただ 1 月 28 日から 1 月 31 日までは強い風が吹かなかった。そのため、1 月 31 日には、雪の深さが自然区画では 94 cm もあったのに圧雪区画では 70 cm しかなかった。実際のスキー競技場の雪を踏んだ場合、高い所と低い所とができるに違いない。低い所には雪が厚く溜る。そこは特に念入りに踏まなくてはなるまい。

各区画で断面観測を行なうとき、雪に掘った穴を水でうすめたインキを吹きかけて染めた。図 31 の A, B, C, D が、それぞれ、自然区画、圧雪区画、40 cm 区画、20 cm 区画の穴の壁の写真である。1 月 31 日のものである。自然区画では、雪が全然乱されていないから、雪層と雪層との境界が水平な縞として整然と染めだされた。圧雪区画の写真 B では、墨で書き込んだ点線から上が、前回雪踏みが行なわれた 1 月 28 日以後に積った自然の新雪である。縞に染まっている。点線から下が 1 月 28 日までに踏まれた雪である。40 cm 区画、20 cm 区画の写真 C, D に比べると、インキの模様が自然区画の写真 A の模様に近い。圧雪区画では、毎回、かなり厚く積った自然のままの新雪を踏まなければならなかったからである。なお写真 B は、圧雪区画に積っていた新雪を 1 月 31 日に踏み固める前に撮った。これに反し、写真 C, D は 40 cm 区画、20 cm 区画に積っていた新雪を大部分取り除いて踏んだあとで撮った。写真 C では 5 cm か 6 cm の厚さの、写真 D では 1 cm ほどの厚さの、とり残されて踏まれた新雪層が雪の表面に区別される。

再び前の (3) の図 28 に戻る。最上段の圧雪区画の図にある自然積雪表面を表わす水平線にマイナスの数字がつけてある。これは自然積雪表面の雪の温度である。気温と一致はしないが気温に近い。最高値が -5.0°C 、最

低値が -11.0°C だから、全体としてかなり低い温度である。それにこの温度は、断面観測のときに測定した温度、すなわち昼間の温度である。1 月、2 月の札幌では、毎日、気温が 10°C ほど上下する。つまり最高気温と最低気温との差が約 10°C である。手稲山でもこの程度あるいはこれ以上の気温の上下があるに違いない。このことから、夜間の低温を考慮にいれて、手稲山の積雪の平均表面温度を -10°C 以下と推定してよいであろう。2. (4) で述べたように、雪の中の氷の粒は温度が高く 0°C に近いほど焼結しやすい。手稲山の雪かため予備試験地の雪も、もう少し温度が高かったら、図 28 に示した硬度を大分上回る硬度をもつようになっていたであろう。

踏まれた雪は、氷の粒の焼結が時とともに進んで、どんどん硬くなるはずである。あと戻りして硬度が減少することはないはずである。ところが、図 28 を見ると、硬度が減る場合もあることがわかる。図 28 中段の 40 cm 区画の雪に注目しよう。一度踏まれた雪は硬いから、あとで踏まれても沈下しないことを前に述べた。それゆえ、40 cm 区画の図で、地面から同じ高さにある雪は、どの日の硬度密度図についても同じ雪である。ところで、地上 35 cm の雪は 1 月 24 日には硬度が 8 を越えていたのに 28 日には硬度 5 ないし 8 の雪に軟化した。同じことが他の高さの雪についても、ところどころに見られる。

この雪の軟化は、雪の中に強い温度勾配があるためである。4. (2) で、強い温度勾配がしまり雪をしもぎらめ雪に変えることを述べた。そして 4. (3) にあるように、しもぎらめ雪は、しばしばなだれの原因となるほどに弱い雪である。手稲山の積雪は、表面が平均 -10°C ほどの低温に保たれているのに対し、底が地熱で暖められるから、内部に強い温度勾配が発生せざるを得ない。この温度勾配による軟化作用が、ときに焼結の硬化作用をしのごため、雪の硬度が減少するわけである。理由は省略するが、地面に近い雪ほどしもぎらめ雪に変わりやすい。したがって軟化は、雪の上部でよりも中部や下部でよく起こる。図 28 の 1 月 20 日以後の硬度図には、どの区画のものにも、下部に、こしもぎらめ雪を表わす角印としもぎらめ雪を表わす山印とを書き込んで、そのことを示した。ただ、自然のままに積った雪から変わったしもぎらめ雪に比べると、踏み固めた雪からできたしもぎらめ雪は比較にならないほど硬い。自然からのものは硬度が 0.05 ないし 0.1 しかないのに対し、踏んだ雪からのものの硬度は 3 を越える。

雪が薄いと内部の温度勾配がきつから、雪は軟化しやすい。20 cm 区画の雪が 40 cm 区画の雪に硬度の点で

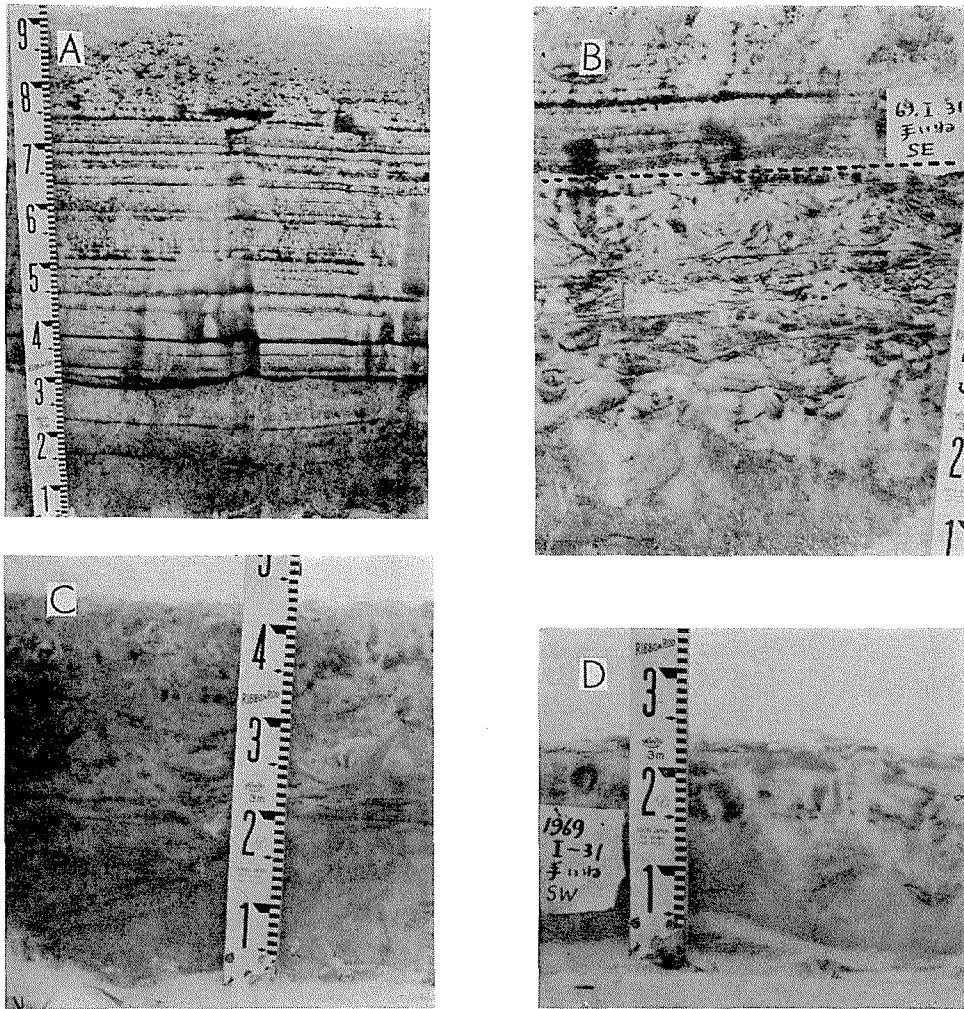


図 31 A: 自然区画 B: 圧雪区画 C: 40 cm 区画 D: 20 cm 区画の雪の断面写真 (昭和 44 年 1 月 31 日)
手稲山雪かため第 2 回予備試験

劣るのはこのためである。一方、圧雪区画の雪の硬度があまり高くなかったのは、雪かためごとに厚い新雪を踏まなければならなかったからである。40 cm 区画の雪が最良なのは、このような理由による。しかし、広いスキー競技場の雪を 40 cm 近くの厚さに保ちながら踏むことは、実際上不可能である。ただ、以上のことを知っていることは、踏みかための実行にあたって参考にはなるに違いない。なお、雪の底が地熱で暖められて雪の内部に強い温度勾配が現われたとはいえ、手稲山の雪かため第 2 回予備試験地の雪の底はマイナスの温度であった。そして地面は凍っていた。

(5) 踏みかためた雪の顕微鏡組織

踏みかため雪も、しまり雪やしもざらめ雪などと、雪質によって分類すると便利である。しかし、同じ雪質ではあっても、自然のままの雪と組織が多少違う。図 32 は、手稲山の雪がため予備試験地の 40 cm 区画の雪から作った薄片の顕微鏡写真である。上段の写真 1, 2, 3 が上層部の雪、中段の写真 a, b, c が中層部の雪、下段の写真 A, B, C が下層部の雪である。縦の列は、列の上にある日時が示すように、左から右へ向かって日がたっている。各段の薄片は、地面からの高さが正確に一致する雪から作ったわけではない。したがって、必ずしも同一の雪の変態過程を示してはいない。しかし、上層部、

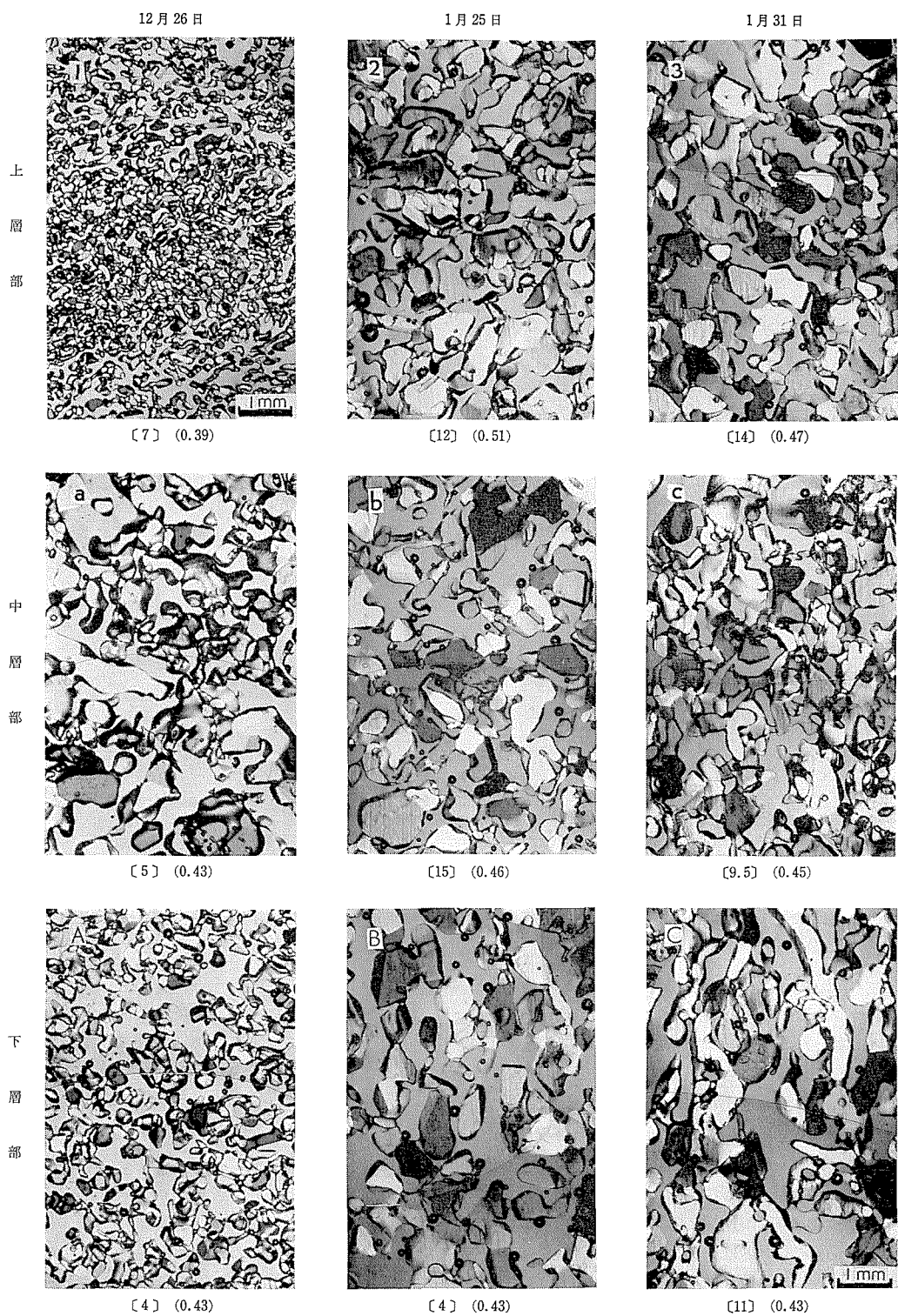


図 32 雪かため予備試験地 40 cm 区画の雪の組織の変化。[] 内は硬度, () 内は密度

中層部、下層部の雪の変態の傾向ならば、各段の写真を左から右へたどることによって窺うことができる。

12月26日、40cm区画の雪の表面に20cmほどの厚さに自然のままの軟らかいこしまり雪が積っていた。それを踏み固めたものの薄片が図32上段の写真1である。2.(3)の図3にある自然のしまり雪の薄片の写真と、氷の粒の形がほとんど変わらない。ただ粒と粒との間の隙間が大部せまい。いうまでもなく、つぼ足踏みで圧縮されたためである。踏まれたときには氷の粒はばらばらにはぐされたはずである。しかし、氷の粒が連結しあっていて、写真1にははぐされたことの痕跡も見られない。これは、つぼ足踏みのあと薄片を作るまでの1日か2日の間に氷の粒が焼結したからである。薄片は、踏んだ雪の試料を手稲山の試験地から札幌市の低温科学研究所に持ち帰り、翌日か翌々日に切った。

40cm区画の雪の第1回踏みかためは3日前の12月23日に行なった。その日の自然積雪の構造図が(3)図28の上段圧雪区画の図の左隅にある。まん中に、黒丸印で示した粒度cのざらめ雪の層がある。23日に、このざらめ雪の層も当然ふみつぶされた。この踏みつぶされたざらめ雪の層から26日に薄片を作った。それが図32中段の写真aである。自然にできるざらめ雪の薄片の写真は、4.(1)の図20にでている。これに比べて、写真aでは氷の粒と粒との間隔がせまいばかりでなく、氷の粒の形は頑丈だし、粒同士の連結も強い。3日の間に焼結が進んだ結果である。組織の点からみると、しまり雪にかなり近い。ざらめ雪としまり雪との中間の雪質といったらよいであろう。踏まれる前のこのざらめ雪の硬度は0.14しかなかった。それが、組織が写真aのように変わった結果、5に上昇した。

図32下段の写真Aは、3日前の23日に踏みつぶされた、こしもざらめ雪になりかけのしまり雪である。自然積雪の下層にあって、硬度が0.05密度が0.2に過ぎない軟らかい雪であった。それが踏みつぶされて3日を経たら、硬度4密度0.43の硬い雪に変わった。写真1のしまり雪と氷の粒の形が似ている。しかし写真Aの氷の粒は輪郭が多少直線的である。こしもざらめ雪に変わろうとする段階にあるからである。

図32の左の列と中の列との間には1箇月を越える時が経過している。この間に焼結が進んで、上層部、中層部、下層部の雪は、どれも、氷の粒が肥大してさしわたしが1mmを越えるほどになった。中の列と右の列との間は1週間で、その間の組織の変化はあまり著しくない。上段の写真2と写真3とは、2.(2)の図3bの写真と似ている。しまり雪をばらばらにはぐした氷の粒を集め、

-3℃の低温実験室に6日間おいたら、氷の粒は固く焼結して、この図3bの組織の雪になった。手稲山の予備試験地でも雪を踏みくだいてばらばらな氷の粒にし、それを焼結させたわけである。ただ、予備試験地で砕いたのはしまり雪ではなくこしまり雪であった。この点が実験室での場合と違う。それにしても、だいたい、低温実験室内で観察したとおりのことが予備試験地の雪にも起こったといってよいだろう。もっとも、予備試験地の実際の雪の焼結には、低温実験室内の雪の焼結に比べ5倍以上の日数がかかった。これは、予備試験地の雪の温度が平均-10℃ほどで、低温実験室の温度より7℃も低かったためである。

中層部、下層部の雪は、図32の写真b、c写真B、Cに見られるように氷の粒が上下に細長く伸びている。写真Cではことにそれが著しい。この上下方向の伸びは、中層部、下層部の雪の中にある強い温度勾配の作用による。4.(2)で説明したように、温度勾配があると、雪の中の氷の粒の頭が欠け尻がせり出す。踏まれない自然のままの雪では氷の粒と粒との間の隙間が広いので、せり出した氷の粒の尻は独立した霜の結晶となり、雪はしもざらめ雪に変わる。しかし踏まれた雪では、氷の粒同士が接近しているから、隣あった粒の尻から霜の結晶になろうとせり出した氷はぶつかりあって互いに干渉する。その結果、自然のままのしもざらめ雪の氷の粒のように整った形の霜の結晶にならない。それで、薄片にすると図32の写真Cのように見える組織の雪ができあがる。この組織の雪も、なんにせよ霜の結晶でできた雪なのだから、しもざらめ雪の中に入れてよいであろう。

先ほど温度勾配には雪を軟化する作用があるといった。実際、図32の中の列と右の列との写真から、温度勾配の作用が強くはたらい下の方にある雪ほど組織が弱いことがわかる。しかし、弱いとはいっても、氷の粒同士はかなり強固に連結している。したがって踏まれた雪から変わったしもざらめ雪は、自然のしもざらめ雪とは比較にならないほど硬い。4.(2)の図21、図22の薄片の写真にあるように、自然の積雪の中のしもざらめ雪やこしもざらめ雪では、氷の粒の連結がはなはだ弱い。もっとも、踏まれた雪でも温度勾配があまりに強いと、図33の写真のようなあまり丈夫でない組織の雪になる。1月24日に20cm区画の下層部の雪に見られた組織である。雪が薄いため非常に急な温度勾配が現われたことの結果である。厚さ20cmというような薄い雪では、地面が露出するおそれのほかに、このように雪が軟化する危険が多い。このことから、オリンピック競技用の雪に対する規格の一項目としてあげたように、雪の厚さは

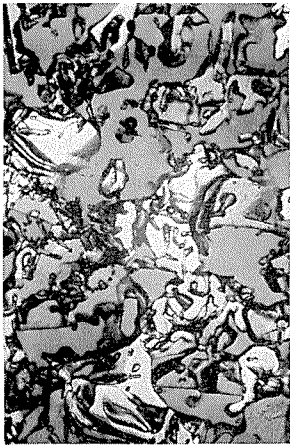


図 33 雪かため予備試験地 20 cm 区画の雪の下層部から作った薄片 (昭和 44 年 1 月 24 日)

40 cm ほどにするのがよいことになる。

6. スキー競技場の雪かため

以上 5. まで、北海道大学低温科学研究所が昭和 43 年の冬と 昭和 44 年の冬とに行なったオリンピックスキー競技用の雪の調査研究について述べた。その結果をもとにして、3. (1) にあげたオリンピック競技場の雪が満たすべき規格が作られた。また、この規格に合うように雪を固め得ることも、小規模な雪かため予備実験で確かめられた。それには冬の初めから、新しく積るごとに雪を丹念につぼ足で踏み続けければよい。次いで昭和 45 年の冬には、札幌オリンピック組織委員会のスキー関係の仕事を担当する日本スキー連盟が、実際のオリンピックスキー競技場の雪かためを開始し、自衛隊がそれを支援した。自衛隊は札幌オリンピック支援集団準備本部において 400 名の隊員を動員し、雪かため実作業の大部分を受け持った。

昭和 45 年 2 月 8 日から 15 日まで、手稲山で全日本冬季競技総合大会が開かれた。昭和 47 年の本番のオリンピック競技大会に 2 年先だつ競技大会であるところから、プレプレオリンピックとも呼ばれた。翌昭和 46 年には、ほぼ完成したオリンピック競技場を使って、札幌国際冬季スポーツ大会が 2 月 7 日から 14 日まで、外国選手参加のもとに開催された。いわゆるプレオリンピックである。スキー競技場の雪かためは、この二つの大会を目標として、今この原稿を書いている昭和 46 年 4 月までに、2 回行なわれたわけである。この 6. では、まず、実施された雪かための方法を、スキー連盟の幹部や自衛隊

の指揮官から聞いた話をもとにして説明する。そして、そのあとで、固められた雪について低温科学研究所が行なった調査の結果について述べる。

(1) つぼ足雪かためと雪上車による雪かため

雪かためには、12 月にはいって雪が降り始める早々、着手した。なにしろ広い競技場のことだから、全部の雪をつぼ足で踏みかためるとしたらたいへんな労力がいる。それで、雪上車が登れる程度の緩傾斜のところは、毎日雪上車に雪の上を歩かせたあと、最後の仕上げとして自衛隊員がつぼ足で踏み固めた。雪の状態によって左右されるが、斜度がだいたい 20° を越えない斜面なら雪上車が登れる。雪上車の運行は札幌オリンピック組織委員会が受け持った。急斜面では、始めからつぼ足で踏みよりほかはない。しかし、雪が斜面をくずれ落ちるから、ただ踏みばよいというほど簡単にはゆかない。それで、いろいろ工夫が施された。

雪が降って軟らかい新雪が積ったとき、それをすぐにつぼ足で踏むのは得策でない。ぬかりがひどいからである。山の雪はむらに積る。深く積った所では、腰まで雪の中に沈んでしまう。それで新雪が積ったときは、まずスキーで軽く踏み固め、翌日つぼ足で踏んだ。5. (2) の表にあるように、スキーで踏んだ新雪も、1 時間のうちに、焼結によって硬度が数十倍に上る。したがって 1 日おけば、つぼ足で圧縮できないほどではないにせよかなり硬化し、ぬかりが大幅軽減される。前にスキー踏みは全然役に立たないようなことを書いたが、このような場合には有効に使えるわけである。図 34 の写真は、4 列横隊を組んでつぼ足で雪を踏む自衛隊員である。斜面が急だから、みな、スキー用の杖で体を支えている。5. (2) の平らな雪かため予備試験地でのように、肩を組んで踏むわけにはゆかない、

回転スキー競技コースの途中には斜度が 30° を越える



図 34 つぼ足で雪を踏む自衛隊員。4 列横隊。70 名

急斜面が随所にある。このような急斜面には、あまり厚く雪が積らない。落ちてしまうからである。それで、コースの両側の林の中から樋（とい）で運んで雪を補給した。鉄管で作った図 35 の形の杵をたくさん、脚を雪に突きさして前後 1 列に立て並べる。杵の円弧状のくぼみになまこ板、つまり波状にうねらせた亜鉛引き鉄板を置くと長い樋になる。この樋の中を傾斜を利用して滑らせれば多量の雪を遠くまで運ぶことができる。斜面には、競技コースを横断して、木の板で低い垣を作ったり雪のブロックを積み重ねて堤を築いた。樋で運ばれた雪は垣や堤の上部にためてから踏んだ。こうしないと、せっかく運んだ雪も斜面を落下してしまう。図 36 の写真がこの作業を行なっている有様である。札幌市郊外の大倉山にはスキー飛躍競技が行なわれる大きなジャンプ台があ

る。飛躍距離が 90 m を越える競技ができるように大改修を加えたこの大倉山ジャンプ台の着地点付近は、斜度が 39° にも及ぶ。ここに雪をつけて固めるのも同じ方法によった。

斜度が 30° を越える急斜面になると、立って歩くこともむずかしい。その雪を踏んで固めるとなれば、たいへんな難作業である。図 37 の写真のように、地面に打ち込んだ杭（くい）に結びつけた綱を斜面に沿ってたらし、それにつかまって踏んだ。

つぼ足踏みは、新雪が積るたびに 2 回ずつ行なった。昭和 46 年の札幌国際冬季スポーツ大会の場合には、315 名の自衛隊員によって、回転、大回転 3 箇の競技場を合わせて延べ $318,900 \text{ m}^2$ の面積の雪が踏まれた。これに要した時間は 10,778 人時である。つまり、ひとりで踏

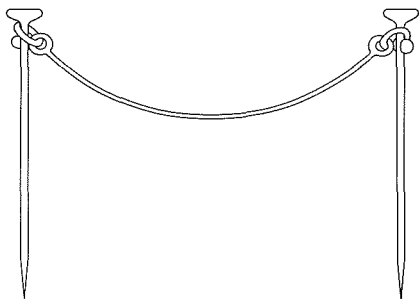


図 35 雪樋の支持わく。両側の柱は直径約 3 cm、長さ約 70 cm の鉄棒。円弧状の樋受けは直径約 1 cm、長さ約 1 m の鉄棒製



図 37 急斜面でのつぼ足踏み



図 36 雪樋による雪の輸送

んだとしたら 10,778 時間かかった。これから、ひとりが 1 時間に踏んだ面積が 30 m^2 と計算される。

先ほどいったように、ゆるやかな斜面の雪かためには雪上車を使った。雪上車は、車輪の代わりに幅の広い無限軌道を取り付け、接地圧を小さくして雪に沈まないようにした自動車である。接地圧は 30 g/cm^2 しかなく、スキーマの接地圧 40 g/cm^2 より小さい。それゆえ、雪上車を走らせても、スキーで踏むのと同様で、雪はあまり硬くならないだろう。しかし、3.(4)で述べたように、頻繁にスキーヤーに踏まれる一般スキー場の雪は非常に硬い。雪上車も、頻繁に走らせれば、雪を固めるのに使えないことはあるまい。図 38 が雪かために使った雪上車である。右が頭、左が尻である。片方の無限軌道の幅は 80 cm だから、雪上車が 1 回走れば両方合わせて幅 160 cm の雪が踏まれる。しかし、これでは能率が悪い。それでローラーを取り付けた。図 38 の写真で、雪上車の尻に 2 本の棒が斜めに立って、その先に円筒形のかごがついている。このかごがローラーである。棒を倒すとローラーは図 39 の写真のように無限軌道の外側の雪の上に置かれ、雪上車が動けばころがりながら雪を圧縮する。ローラー 1 箇所は重さが 60 kg 、幅が 70 cm である。両側の無限軌道の間の雪を圧縮するため、雪上車の頭にもローラーを取り付けた。図 38 の写真の右の方に、持ち上げられた前部ローラーの上半分が見える。前部ローラーは幅 120 cm 、重さ 120 kg である。図 40 の写真が前部ローラーを雪の上に置いた有様である。3 箇所のローラーを使うと、雪上車が 1 回走るごとに、幅 3.8 m の雪が隙間なく踏まれる。

積ったばかりの厚い新雪の上に雪上車を 1 回走らせた。そのあとの轍を横切って穴を掘り、その壁をインキで染めたのが図 41 の写真である。右端の印 a のところが自然積雪の表面である。印 b の範囲が後部ローラーで圧縮された。無限軌道は印 c の範囲を、前部ローラーは印 d の範囲を通過した。規則正しい横縞が現われているところは、自然のままの雪である。表面近くの縞の乱れた部分が、無限軌道やローラーでかき乱され、かつ押しつけられた雪である。立てかけてある物指しから、無限軌道によっては 30 cm ほどの厚さの雪が、ローラーによっては 20 cm ほどの厚さの雪が押しつぶされたことがわかる。3.(3)に、つぼ足とスキーとで踏んだ新雪の切断面の写真が図 8 としてでている。インキで染めだされた模様から、雪上車で押しつぶされた雪は、スキーで踏まれた雪とつぼ足で踏まれた雪との中間の乱れ方であることがわかる。無限軌道にもローラーにも雪を引っ掛けるための爪がついているから、また無限軌道は推進力で雪

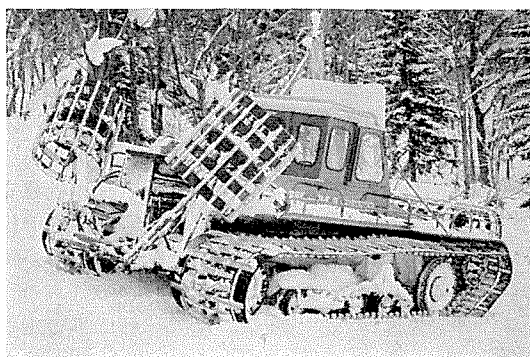


図 38 圧雪用ローラーを取り付けた雪上車。右が頭、左が尻である。単に移動するときは、このようにローラーを持ち上げて走る。

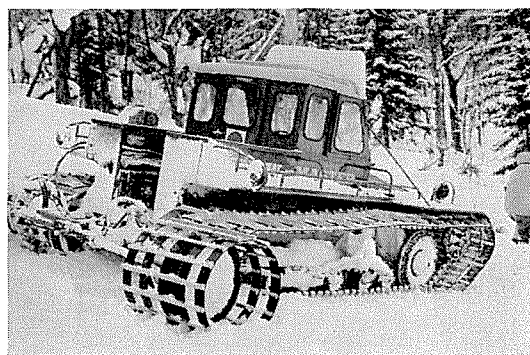


図 39 圧雪のためローラーを雪の上に置いた有様。幅 3.8 m にわたって圧雪される。

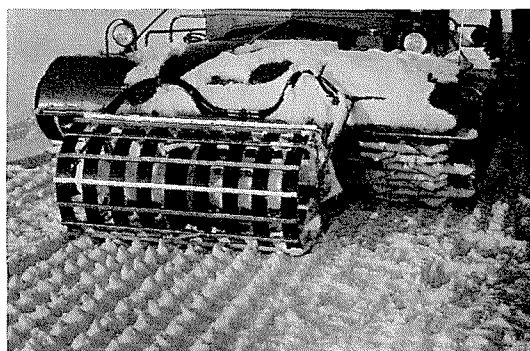


図 40 両側の無限軌道の間の雪を押しつけるための前部ローラー

を後方に押すから、このようなことになるのであろう。

雪が圧縮される程度は雪上車の速度によって大幅に変

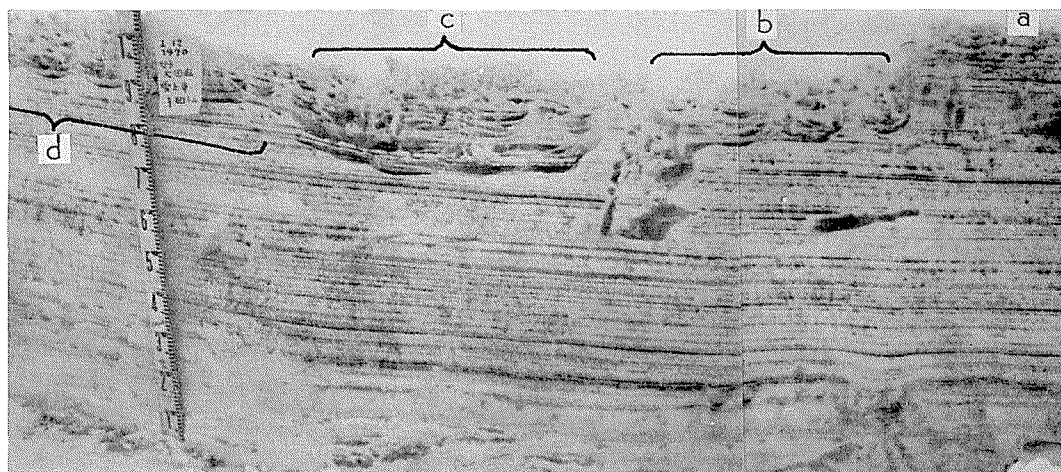


図 41 雪上車が 1 回通過した新雪の切断面。 a: 自然のままの雪面 b: 後部のローラーが通過した所
c: 無限軌道が通過した所 d: 前部ローラーが通過した所

わる。硬度 0.05, 密度 0.20 の新雪の上を時速 20 km と時速 5 km とで雪上車を 1 回ずつ走らせた。次の表は、その直後測定した雪上車で圧縮された雪の硬度と密度との値である。無限軌道で押された雪でも、ローラーで押された雪でも時速 5 km のときの硬度が時速 20 km のときの硬度を数倍も上回る。密度も時速 5 km のときの方が 5 割がた大きい。時速 5 km のときは時速 20 km のときに比べ、雪が押される時間が 4 倍長い。速度が小さいと硬度も密度も大きくなるのは、主としてこのためであろう。

	速 度 (km/h)	無限軌道	前部ローラー	後部ローラー	自然積雪
硬 度	20	0.22	0.10	0.11	0.05
	5	0.80	0.73	0.65	
密 度	20		0.25	0.23	0.20
	5	0.36	0.35	0.33	

雪上車を低速で 1 回走らせるのと、高速で数回走らせるのとどちらが有効かがここで問題となる。この点まだよく調べてないが、2 回同じ道を走らせても硬度はあまり大きくならなかった。せいぜい、1 回走らせたときの 2 倍になったに過ぎない。2 割か 3 割しか増大しないこともあった。これで見ると低速で走らせた方が有利らしい。なお、上の表にあるのは、雪上車が通過したあとすぐに測定した雪の硬度の値である。みな 1 にも満たない小さい値である。しかし、日がたてば焼結によって硬度は昇る。少なくとも 2 以上にはなるであろう。

雪上車は、冬の初めから毎日 1 回ずつ、競技場の緩斜

面の雪をくまなく踏むように走らせた。新雪が厚く積ったときは 2 回走らせた。斜面の緩急や新雪の深さによって変わるから、速度がいくらであったか正確にはわからない。人の歩く速さのだいたい 2 倍に見えたから、時速 10 km 前後だったのではあるまいか。この雪上車による競技場雪かための結果については(3)で述べる。

(2) 雪のブロックのはりつけ

図 25 の地図で 8 と印した位置にある 男女回転スキー競技場の上部は、急斜面であるうえ風が強く、雪がほとんど積らない。風の通り道にあたっているらしい。下では風が弱い日でもここまで登ると、斜面を吹き上げる風のため盛んに雪煙が舞い上がるのが見える。図 42 の写真のように、至るところで、岩が顔を出している。

オリンピック競技大会の雪の調査を開始した昭和 43 年の冬、低温科学研究所は防雪柵でこの雪を止める試験を行なった。高さ 60 cm の 2 種類の柵を競技コースを横切って立てた。一つは、幅 9 cm, 高さ 60 cm の木の板を 10 cm ずつの隙間をおいて長い横木に縦に取り付けたものである。もう一つの柵は、寒冷紗を張った木枠をいくつも横に立て並べて作った。風はどちらの柵も通り抜けるけれども、力が弱くなるため柵の背後に雪を落として雪の小山、いわゆる吹溜り(ふきだまり)を作る。3 月 6 日に柵を立て 3 月 19 日に調べたら、木柵の背後 7 m の長さにならって平均 23 cm の厚さに雪が溜っていた。密度 0.25 の軟らかい雪である。しかし同じ厚さで溜ったわけではない。柵に直角に吹溜りを切断すると鯨の背の形になる。背のいちばん高いところは雪の厚さ 45 cm で、柵から 3 m 離れた所にあった。寒冷紗の柵の吹溜り



図 42 男女回転スキー競技場の上部。風が強く雪が積らない(昭和 44 年 1 月 24 日)

は柵のすぐ後ろでいちばん厚い。柵から遠ざかるにつれ次第に薄くなる。10 m ほどにも伸びて平均の厚さが 25 cm にもなる吹溜りができるにはできた。しかし、ほとんど雪を止めない柵もたくさんあった。結局、寒冷紗の柵は、軽くて運搬にも取付けにも便利だが、雪止め柵としては木柵に劣ることが判明した。

全日本冬季競技総合大会、いわゆるプレブレオリンピックが行なわれた昭和 44 年の冬には、図 42 の写真の左上部に見えるように、組織委員会が多数の木柵を立てた。前々年の試験のときの柵では板を縦に取り付けたが、このたびの柵では取り付けが横である。この方が製作にも設置にも便利である。柵に近づいて撮った図 43 の写真で見ると、手前にある柵はかなりの量の雪を溜めた。いちばん溜ったところでは雪の厚さが 80 cm もあった。しかし遠方の柵は、ほとんど雪止めの用をなしていない。風の吹き方を詳しく調べ、柵の配置をいろいろに変えて試験をすれば、もっと多量の雪を止めることができるようになるであろう。しかし、その試験には年月がかかる。それで組織委員会では、次に述べるようにして、この裸の急斜面に雪のブロックをはりつけることにした。

裸の急斜面の上端が回転スキー競技の出発点となる。そこから林の中を少し登ると、手稲山の頂上へつながる尾根へでる。林のかげにもなっているから、尾根の近くには雪が積る。この雪を、登山道を迂回して登らせた雪上車で踏みつけた。翌日になればある程度硬い雪に固まっている。それを氷を切る鋸でひいて 1 辺 50 cm ほどの四

角な雪のブロックを作り、かたわらに積み上げた。2、3 日そのままにしておくと、表面が固まってブロックは硬い皮をかぶった形になる。これを裸の斜面に運び降ろし、斜面に隙間なく敷きつめてつぼ足で踏む。その上にまた敷きつめて踏むということを 3 回か 4 回繰り返した。図 44 はブロックを斜面に積み重ねて作った堤の写真である。この堤を支えにして、その上の斜面にブロックを敷くのである。これで裸の斜面も完全に硬い雪でおおわれ回転競技が予定したとおりのコースによって行なえることになった。ところが、大会 1 週間前の 1 月 31 日と 2 月 1 日とに大雪が降ったうえに猛吹雪が襲来して、せっかく敷きつめた雪を厚い新雪でおおってしまった。それを急扱、つぼ足で踏んで一応競技大会の間にあわせ



図 43 木柵の背後に溜った雪

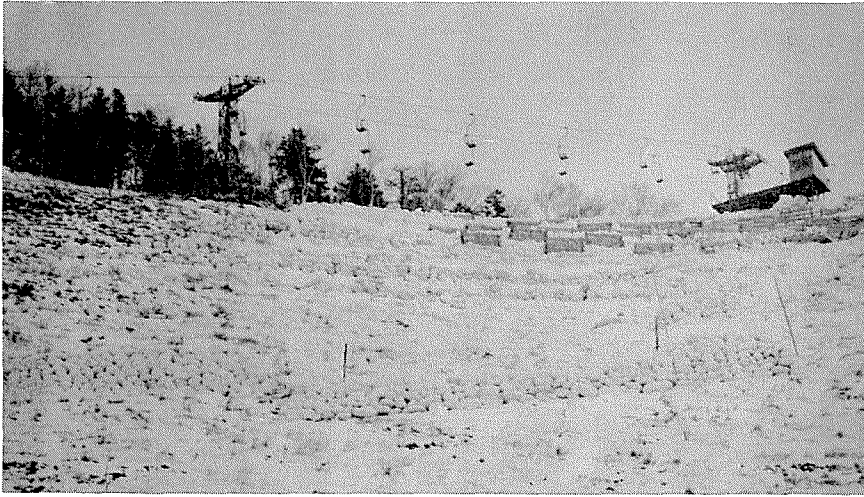


図 44 雪のつかない裸の急斜面に作った雪堤。この雪堤を足がかりにして斜面に雪のブロックを敷きつめる。

たが、満足な程度にまで固められなかったことはいうまでもない。この大雪と猛吹雪については、あとで詳しく述べる。

翌昭和46年は札幌国際冬季スポーツ大会いわゆるブレオリンピックの年である。この雪のつかない急斜面には、前年同様、自衛隊の手によって雪のブロックが敷き詰められた。ただ、敷きつめてつば足で踏んだだけのブロックは硬度の点で充分でない。それで、敷きつめた雪に水平な溝を2mか3mおきに何本も掘り、水を注ぎ込んだ。注いだあとの溝は雪で埋め戻した。水は上の方、尾根近くの林の中に夏のうちに作っておいた貯水池からホースで引いた。

水は雪の中にしみ込んで凍り、雪を固めるとともに雪と地面とを強く結合した。ところが試走したスキー競技関係者の意見では雪が硬すぎる。それで塩をまいた。塩に触れると雪は少し融けて軟らかくなる。大倉山ジャンプ台の雪を踏み固めるときも、水を混ぜ込んだら硬くなりすぎた。この場合にはレーキ、つまり農耕に使う鉄製の熊手で掻いて雪を軟らかくした。

このように雪が硬くなりすぎることもあるが、雪かためにとって水は有効である。このことは、5.(1)の雪かため第1回予備試験の話のときにも述べた。ただ予備試験のころは、山の上に水を上げるのはたいへんな手間だから、「水かため」はおそらく実行できまいと考えていた。ところがこのように実行されたわけである。男女回転競技場上部の裸の急斜面の雪かためには300tもの水を使った。女子大回転競技場でも少し使い、男子大回転競技

場では全然使わなかった。そして、札幌国際冬季スポーツ大会に出場した選手の意見を総合すると、男女回転競技場の雪がいちばんよく、次が女子大回転競技場の雪、最後が男子大回転競技場の雪となった。

ただ、冬の山の中で水を用意するのは容易でない。男女回転競技場上部にはりつけた雪を固めるための300tの水は、先ほど述べたように、夏のうちに満たしておいた貯水池から引いた。地面に掘った穴に防水布とビニール布とを内張りした貯水池である。手稲山の中腹には、同様な貯水池が2個作られ、橇競技用の氷を張るために沢の水が溜めてある。水は、ここから撒水用自動車に積んで運び上げた。貯水池の水には発泡ポリエチレンの断熱板を隙間なく浮かべ、それをさらにビニール布でおおった。こうしておけば、冬になって雪が降っても、雪は水の中にはいないし、また、水は凍らない。水は断熱板の間からホースをさし入れれば取り出せる。女子大回転競技場のための水は、ガソリン運搬用の小型タンクにつめ、必要の都度、中腹の貯水池から現場まで雪上車で運んだ。

(3) 雪上車で固められた雪。全日本競技大会直前の大雪

(1)では、新雪の上を1回雪上車が走った場合、どの程度に雪が硬くなるかについて述べた。ここでは、冬の初めから何回にもわたって雪上車で踏まれた競技場の雪を考察することにしよう。

札幌オリンピック組織委員会が、女子大回転スキー競技場決勝点付近の雪を昭和44年12月20日から、前述の

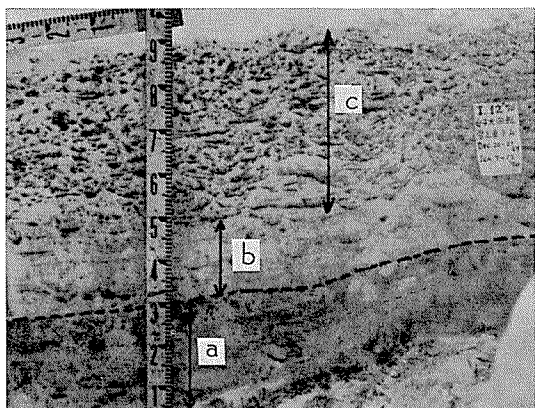


図45 毎日雪上車を走らせて固めた雪。中間層bは雪上車の運転を休んだ1週間に積った雪である。女子大回転競技場決勝点付近(昭和45年1月12日)

ローラーをつけた雪上車で固めだした。全日本冬季競技総合大会のためである。雪上車は、普通の日には1回ずつ、雪が特にたくさん降る日には2回ずつ、毎日、踏み残す所がないように走らせた。踏み始めてから22日たった昭和45年1月12日に、この雪に穴を掘り、壁をインキで染めた。それを写したのが図45の写真である。雪の厚さは90cmであった。インキが染めだした模様から、全体をa, b, cの3層に分けることができた。写真に書き入れた点線から地面までのa層は、12月20日から27日までの1週間に踏まれた雪である。正月休みのために12月28日から1月6日まで雪上車の運転が休止された。その間に積った雪が中間層bを形成してい

る。その上、表面までのc層が1月7日以後の1週間に踏まれた雪である。

図46がこの雪上車によって固められた雪の断面観測結果である。雪上車が運転を休止した間に積った中間層bの雪の硬度が特に小さいのが目立つ。a層, c層では硬度が4を越えているのに、b層ではその1/2の1.3にすぎない。自然のままにおかれる雪の硬度は、せいぜい大きくなっても2である。たいていの場合1を越えない。この雪上車に踏まれなかったb層の雪もその例にもれない。回転スキー競技にとっては、硬度4の雪でもまだ軟らかすぎる。まして、その雪の間に1.3という小さい硬度の雪の層がはさまれているのは、ますます覚束ないことになる。積雪表面近くの雪も硬度が小さく1をわずかに越えるにすぎない。しかし、これは雪上車に踏まれてまだ間がないからである。日がたてば焼結によって硬くなるに違いない。密度が0.4もあるから4程度の硬度にはなるだろう。図46のいちばん右にある図は、同じ雪の硬度と密度との分布を次の図47の様式に従って表わしたものである。

正月休みにも雪上車を走らせるようにすることはできるだろう。しかし、あまりにも天気が悪く、雪上車によるにせよ、つぼ足によるにせよ、どうしても雪踏みができないこともあるに違いない。そして実際に、そのような日が、やがてやってきた。1月30日の夕方から激しく雪が降り出した。31日も降り続き60cmにも達する厚さの新雪を積らせた。そればかりではない、翌2月1日にはみぞれ混じりの猛吹雪が襲い、さらに50cmほどの厚さの雪を上積みした。結局2日間に1mを越える厚さの新雪が、それまでにつぼ足や雪上車で固めてあった雪

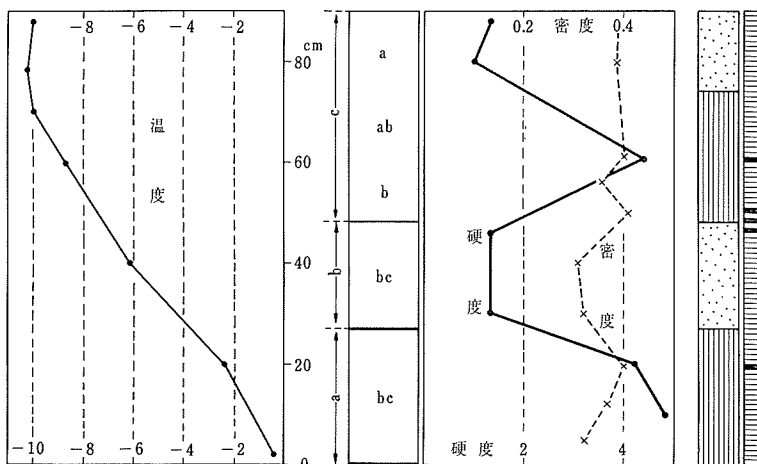


図46 前の図45の雪の断面観測の結果

の上に重なってしまったわけである。この大雪と猛吹雪とをもたらしたのは台湾坊主といわれる型の低気圧である。あとになって、この低気圧に45年1月低気圧という名がつけられた。プレブレオリンピックの全国冬季競技総合大会の開会は1週間後に迫っている。しかし、この雪あらしの間、手稲山登山道は全く封鎖され、つば足による雪踏みも雪上車による雪かためも、全く行なうことができなかった。前の(2)の、男女回転競技場に敷きつめた雪を深くおったのも、このときの雪である。

雪あらしの前の1月19日と29日とに、男女回転競技

場の下部の雪の断面観測が行なっていた。それで、雪あらしのあとの2月5日にも同じ場所で断面観測を行ない、雪あらしのために雪がどのように変わったかを調べた。また、全国冬季競技総合大会の終了日に近い2月13日にも観測した。以上4回の断面観測の結果をまとめたのが図47である。5.(3)の図28と同じ形式で硬度と密度とが表わしてある。ただ、この雪は全体として硬度も密度も小さかったから、図47の左上隅の凡例にあるように、5以下の硬度範囲と0.40以下の密度範囲とを3段階に分割した。

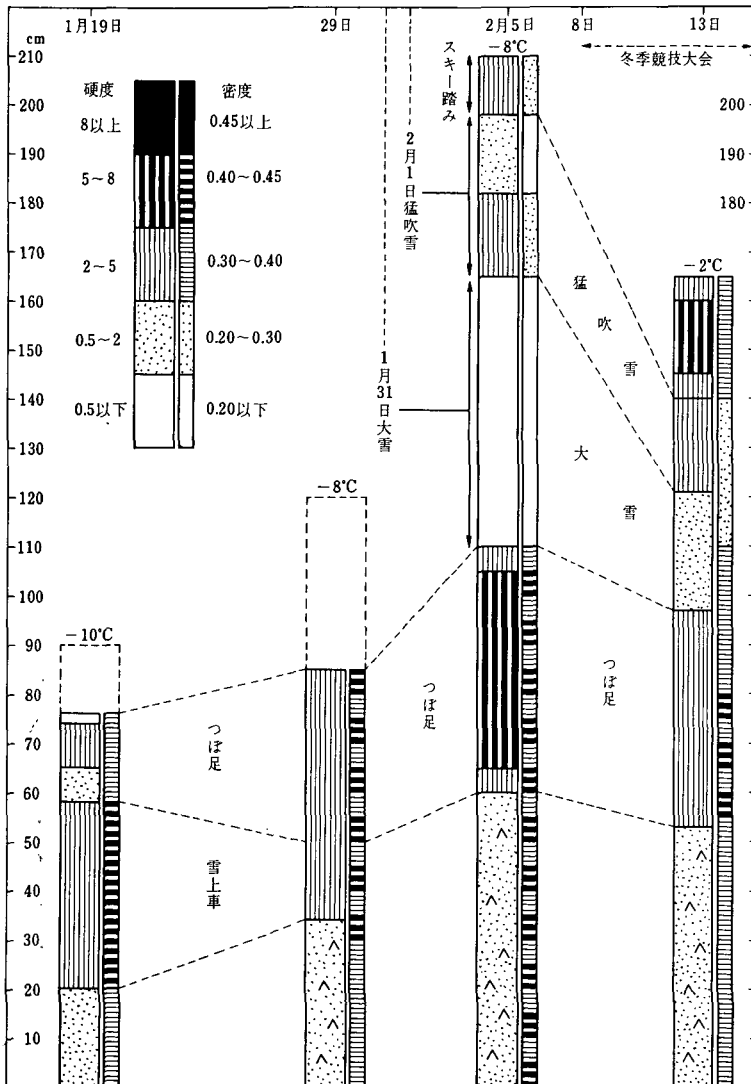


図47 雪上車とつば足とで固めた男女回転競技場の雪の構造の変化過程。

1月末に雪あらしがあった。(昭和45年1月~2月)

ここの雪は、斜度 15° ないし 20° の斜面にあって、1月6日から12日までの1週間雪上車で固め、そのあとを自衛隊員がつぼ足で踏んだ。底には1月6日までに積った雪が自然のままに残っている。図47には「つぼ足」「雪上車」と書き入れて、つぼ足で踏んだ範囲と雪上車で固めた範囲とが破線でつないで示してある。1月29日に見たときは、底にある自然の雪の層とその上の雪上車で固めた雪との境界が見分けられた。しかしそのあとは、両方の層の雪がしもざらめ雪に変態したため、境界は消失した。雪あらしのあと2月5日に調べにいったら、29日には深さが1mにも満たなかった雪が2m 10cmの深さになっていた。雪あらしのあとで積った表面の雪は自衛隊がスキーで踏んであった。この雪の厚さが12cmである。その下に33cmの厚さの吹雪で積った雪の層、さらにその下に55cmの厚さの大雪のときに積った雪の層があった。図に表わされているように、大雪のとき積った雪は硬度0.5以下、密度0.2以下の非常に軟らかい新雪である。しかし吹雪で積った雪は割合に硬い。吹雪の2月1日は風が強かったばかりでなく温度も高かったからである。この日の午前9時の札幌市の風速は19.5 m/s、

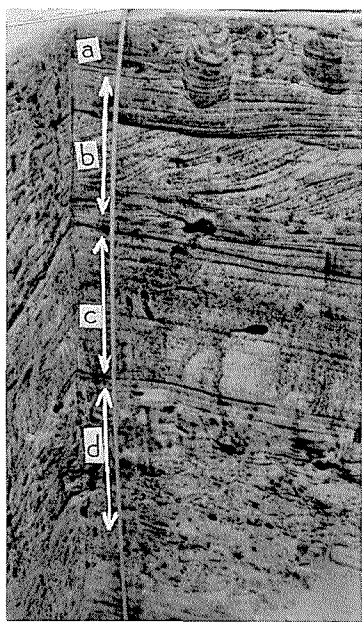


図48 雪あらしのあとの積雪断面。b: 猛吹雪でできた雪層 c: 大雪のとき積った雪層 d: 1月13日から30日までつぼ足で踏んだ雪。男女回転競技場（昭和45年2月5日）

気温は $+3.8^\circ\text{C}$ であった。競技場のある手稲山の風は、これより遥かに激しかったに相違ない。男女回転競技場決勝点付近では、1月31日の夜半、 $+0.5^\circ\text{C}$ まで気温がのぼった。

図48が、雪あらしのあとの2月5日に掘った穴の壁をインキで染めた有様である。矢印bの範囲が猛吹雪の日にできた雪層、同cの範囲がその前日の大雪で積った雪層である。大雪の日は風が弱かったから、雪は水平に積った。それでインキで染め出された縞が水平である。これに反し、猛吹雪でできた雪層の縞は傾いている。強い風に吹きよせられながら斜めに次々と重なったから、このような縞模様をだしたのであろう。矢印dの範囲が1月13日から30日までにつぼ足で踏まれた雪、その下にあるのが雪上車で固めた雪である。

このような雪では到底スキー競技は行なえない。自衛隊員が盛んにつぼ足で踏んで雪を固め競技大会に間に合わせた。図47のいちばん右にある2月13日の硬度図、密度図は、回転競技が全部終了した直後に断面観測を行なって書いたものである。猛吹雪のあとで積った雪が5ないし8の硬度にまで固められて厚さ25cmの表面層を形成している。大雪の日にできた厚い雪の層も自然にしまつて、0.5を越える硬度になった。5.(3)の図30に、昭和43年1月北の峯で開かれた北海道アルペンスキー競技会の雪の硬度図、密度図がでている。この北の峯の雪と2月13日の手稲山男女回転競技場の雪とは、両方とも厚く積った自然の雪を短時日につぼ足で踏んだものだから、構造が似ている。どちらも、表面だけが硬く内部は軟らかい腰の弱い雪である。ただ、表面の硬い層が厚いという点で、手稲山の雪の方がスキー競技用として勝っているといえるだろう。北の峯の雪踏みは、1月末の -10°C 以下の日中気温のもとで行なわれた。雪あらしのあとの手稲山の日中気温は -5°C あたりであった。硬い表面層が手稲山の方で厚いのは、この温度の差によるのであろう。しばしば述べたとおり、温度が高いほど雪の中の氷の粒の焼結が速く進み、雪の固まり方が速い。

(4) 回転、大回転競技場全体にわたる雪の表面硬度

前節は、男女回転競技場の1個所と女子大回転競技場の1個所とでの雪の観測結果の話であった。雪の積り方も雪の踏み方も競技場内の場所々々で違うから、この観測結果が競技場の雪全体にそのままあてはまるとは、もとより考えられない。それで、全日本冬季競技総合大会の女子大回転競技が終わった直後、競技場全体の雪の硬さを見わたすため、途中で雪の表面硬度を測定しながら女子大回転競技コースを下ってみた。次の表がその測定

結果である。

第 1 区		第 2 区		第 3 区	
上 部	下 部	上 部	下 部	上 部	下 部
2.5~3.5	3~4	5~7	5~7	4~6	4~6

全長 1,228 m の女子 大回転コースは、中ごろが 30° に近い斜度の急斜面の連続である。この急斜面が連続した区間を第 2 区とし、それから上、出発点までを第 1 区、下、決勝点までを第 3 区とした。表面硬度は各区の上部と下部とで測定した。表にあるように、第 1 区では硬度が 4 以下にとどまっている。この区の雪は、主として雪上車で固めた。急斜面の第 2 区は、選手の技術がいちばんよく発揮される重要な区間である。つば足踏みで念入りに固められたのであろう、硬度は 5 ないし 7 とかなり高い。しかしなお、7 以上の硬度であるべきという 3. (1) の規格は満たしていない。第 3 区の雪も、第 1 区の雪と同様、主として雪上車で固めた。しかし、第 1 区の雪に比べ硬度がだいぶ大きい。第 1 区と第 3 区とでは 300 m ほどの高度差がある。したがって第 1 区の方が 2° 以上温度が低いはずである。また風も第 1 区の方が強い。このような気候の差が硬度の差をもたらしたのかも知れない。あるいは単に、雪上車の運行回数が違ったためかも知れない。それにしても、雪あらしで厚く積った軟らかい雪が、4 日か 5 日の作業で、表面に上の表の硬度の雪層ができる程度にまでは固められたわけである。

翌昭和 46 年のプレオリンピック すなわち 札幌国際冬季スポーツ大会は、2 月 7 日から 14 日まで好天気のもとで行なわれた。会期中ひどい障害となるほどの雪も降らなかったし、前年のプレプレオリンピックのときのように、開会数日前になって雪あらしに見舞われることもなかった。競技場の雪かためも (1) および (2) で述べたようにして順調に進行した。

プレオリンピックの大回転競技は 11 日から、回転競技は 13 日から始まった。それに先だつ 10 日に競技コースの雪の表面の硬度を測定した結果が図 49 と図 50 とである。両図とも、左から右に向かって硬度の大きさが、上から下に向かって出発点からの距離がとってある。表面硬度は、出発点から決勝点に向かって下りながら、一定距離ごとに、旗門で示されているコースを水平に横断して、横断線上で場所を変えながら何回も測定した。図の左側にふってある数字は、出発点の 0 番から始まる表面硬度測定場所の番号である。横断線上の場所が違くと硬度も違い、硬度の値はかなり広い範囲にわたって分布し

た。図の太い横線がその範囲を示している。太い線の両端から左右に伸びてた細い線は、ごく小数の測定値が現われた範囲である。つまり、全体の測定値は細い線の両端の間にわたって分布したが、そのうちの大部分は太い線の範囲内に収まっていたということである。それゆ

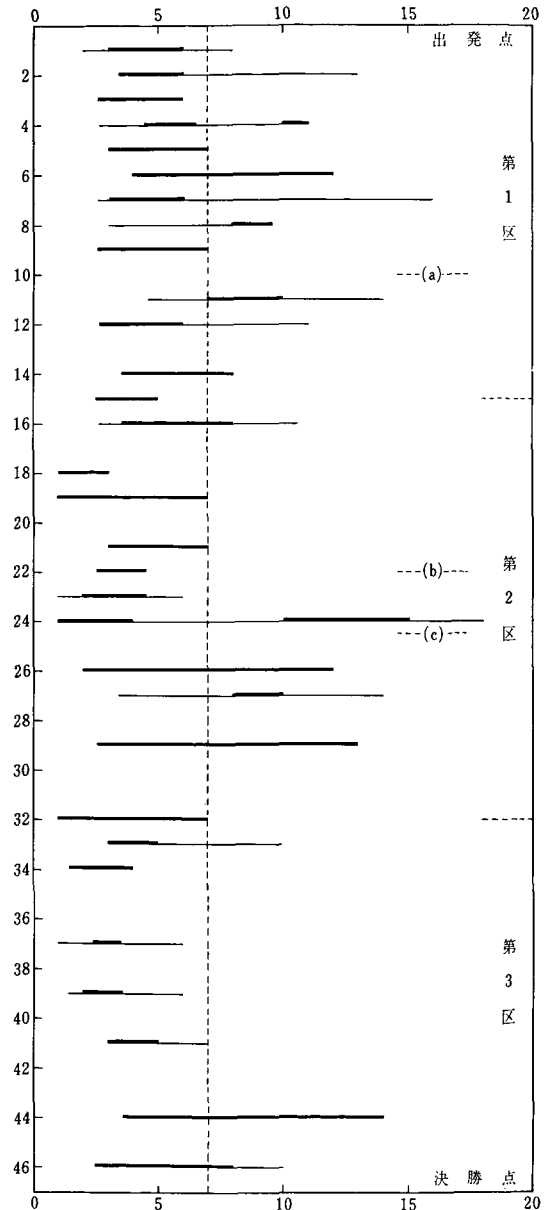


図 49 札幌国際冬季スポーツ大会女子大回転競技場(手稲山)の雪の表面硬度。横軸が表面硬度、縦軸は上から下へ向けて出発点からの距離。競走距離 1,228 m (昭和 46 年 2 月 10 日)

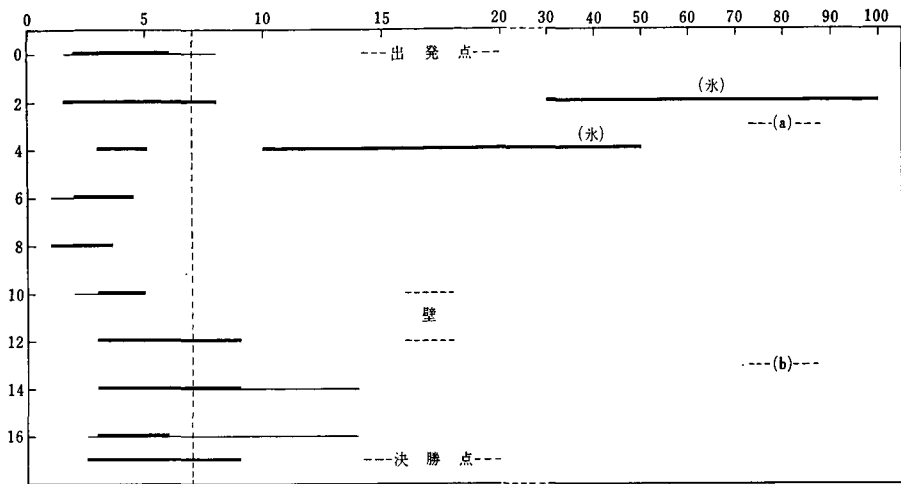


図 50 札幌国際冬季スポーツ大会男子回転競技場(手稲山)の雪の表面硬度。
競走距離 491 m (昭和 46 年 2 月 10 日)

え、表面硬度の平均値は、だいたい、太い線の中央点で表わされると考えてよい。前に、オリンピック競技用の雪の硬度は 7 以上であるべしとの規格を立てた。図の縦の点線は、硬度 7 を示す線である。

図 49 に見られるとおり、女子大回転コースの表面硬度はコース上の場所々で大幅に違い、同じ場所でもコース横断線上の位置によってかなりひどく変動した。結局、コース全体にわたって硬度が非常にむらであるといわなければならない。8 番と 27 番の測定場所では太い線が硬度 7 以上の範囲にあって、しかも短い。コースを横断する水平線上どこで測定しても表面硬度はだいたい同じ値となり、しかも規格にあう値だったわけである。全コースにわたり、どこもこのような硬度分布になっているなら、申し分ない競技コースといえるのであろう。図の右側にあるように、全コースは 3 個の区間に分けられる。第 2 区は急斜面の連続する区間である。第 1 区と第 3 区とは、主として雪上車で雪を固めた。前の年は、第 1 区でより第 3 区での方が雪の硬度が高かった。今回は両区間の間にたいした差異が見られない。第 2 区の上半分では硬度が小さすぎる。下半分では、水を混ぜながらつぽ足で踏んだため、7 を越える硬度の雪が多い。

図 50 が男女回転競技場の男子競技コースに沿って作った雪の表面硬度の分布図である。強い風で吹きとばされてしまうため、この競技場の上部には雪が積らない。それで、前の(3)で述べたように、雪のブロックを敷きつめてつぽ足で踏み、さらに水を加えて凍らせた。図 50 の上の方に(氷)と印した硬度が 10 から 100 にも達

する横線が 2 本引いてある。これが水を加えて凍らせた雪である。雪というより氷といった方が適切だから(氷)の印をつけた。硬度が数十から百にまで達するようでは

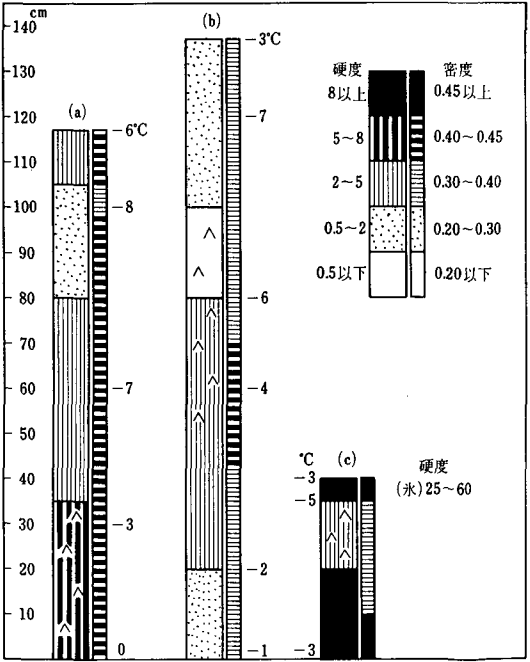


図 51 女子大回転競技場(手稲山)の雪の硬度密度鉛直分布図。分布図のかたわらにつけたマイナス記号の数字は雪の温度である。札幌国際冬季スポーツ大会 (昭和 46 年 2 月 15 日)

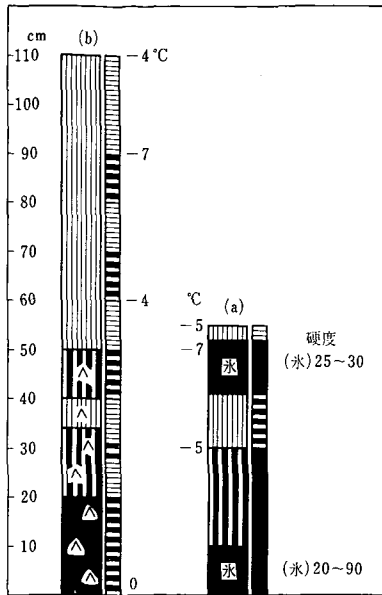


図 52 男子回転競技場(手稲山)の雪の硬度密度鉛直分布図。札幌国際冬季スポーツ大会(昭和 46 年 2 月 15 日)

あまりに硬すぎるため、前に書いたとおり、試合が始まる直前に塩をまいて少し軟らかくした。壁と書き入れた表面硬度測定場所 10 番と 12 番との間は傾斜がことに急である。壁から上(氷)の所までの斜面では表面硬度が小さすぎる。この部分の雪はオリンピックのスキー競技用としては不適格であるといわなければならぬ。

スキー競技場の雪かため作業の管理にあたったスキー連盟の幹部や自衛隊指揮官の話によると、図 49 と図 50 との表面硬度分布は雪かため作業量の分布をよく反映している。つまり、念入りに固めた所では表面硬度が大きく、少し手を抜いた所では小さい。表面硬度分布図は、来年の本番オリンピックのための雪かため作業を進めるにあたって、いろいろな点で参考となるであろう。

競技場の雪の表面硬度は試合開始前に測定したが、断面観測は、雪に穴を掘らなければならないから、全試合終了後の 2 月 15 日に行なった。その結果を図 51 と図 52 とに表わした。図 51 は女子大回転競技場の硬度密度図で、その(a), (b), (c) はそれぞれ、図 49 に(a), (b), (c) と書き入れた場所のものである。観測場所(a)は第 1 区に、観測場所(b)は第 2 区の上部にあって、ともに表面硬度の小さい地点である。(a)では、地面から 80 cm の高さまでの雪は一応硬い。しかし、その上に硬度が 2 に達しない厚さ 25 cm の軟らかい雪層がある。

80 cm の厚さの硬い雪の上にその後積った新雪が厚くなってから圧縮したため、この軟らかい層が残ってしまったのであろう。地点(b)ではさらに状況が悪い。厚さ 80 cm の一応は硬い雪の上に、硬度が 0.5 にすら達しない新雪同様の軟らかい雪が 20 cm もの厚さで層をなしている。それから上、表面までも硬度が 2 以下の雪である。それに中層部は、山印をつけて表わしたように、ある程度しもぎらめ雪に変態している。雪の深さは 137 cm もある。ここでは圧雪がほとんど行なわれなかったのではあるまいか。

表面硬度が大きい第 2 区下部にある地点(c)の雪では、硬度密度図(c)が示すように、厚さ 5 cm の非常に硬い層が表面を形成している。氷といってもよいくらいに密につまった層で、硬度は 25 から 60 にも達していた。水を混ぜてつぼ足で踏み固めた層である。ただ、この硬い表面層の下は硬度が 5 以下の比較的軟らかい雪で、しかもしもぎらめ雪になりかかっている。水をまいて踏む前夜に強い寒気がきたのではあるまいか。

男子回転競技場では雪のブロックを敷きつめて踏み固めた競技場上部の(a)点と、競技場下部にある(b)点とで断面観測を行なった。地点(a), (b)の位置は図 50 に書き入れてある。図 52 の(a)と(b)とが、それぞれ、地点(a)と(b)とでの硬度密度図である。地点(a)の雪は、地面の上 30 cm から 40 cm までの間を除けば全体が硬い。ことに上部と下部とは硬度が 20 を越える非常に硬い層がある。前に述べたように、ここでは水をかなり多量に使って雪を固めた。非常に硬い層は水を含ませて凍らせた雪層である。試合開始直前に雪が降り、それをコースから除去したことがあった。表面にある厚さ 3 cm の比較的軟らかい層は、その残りであろう。硬度密度図(b)に現われているように、地点(b)の雪は、下は硬いが上は軟らかい。始めのうちはよく固めたが、あとでは手が回らなくなったのであろう。

(5) 滑降競技場と飛躍競技場との雪の表面硬度

札幌オリンピックの滑降スキー競技は、札幌市の南およそ 30 km の所にある標高 1,320 m の恵庭岳の西向き斜面で行なわれる。この斜面の雪の調査は、昭和 43 年 2 月の第 1 回調査以来いままでに 4 回行なった。その結果、恵庭岳の自然積雪は深さが 1 m 半ほどで、全層の 1/2 ないし 2/3 がしもぎらめ雪であることがわかった。表面にある積ったばかりの新雪層を除くと、その下が全部しもぎらめ雪になっている場合すらあった。恵庭岳の雪も、深さの点では回転競技と大回転競技との行なわれる手稲山の雪とあまり変わらない。しかし、手稲山の雪に比べると非常にしもぎらめ雪に変わりやすいわけである。しもぎ

らめ雪はたいへんにもろいから、踏めばすぐくだかれる。しかし、新雪と違って氷の粒が大きいので、踏んでも密度の大きい雪には圧縮されない。したがって、踏んだしもしもざらめ雪は、日がたって氷の粒が焼結してもあまり硬い雪にはならないわけである。それで、恵庭岳の雪は、しもしもざらめ雪への変態を防ぐためにも、積ったら直ちに圧縮しなければならない。圧縮された雪はしもしもざらめ雪

に変わりにくいし、たとい変わったとしても、自然のままの雪から変態したしもしもざらめ雪に比べれば遥かに丈夫である。

恵庭岳の雪も手稲山の雪と同様いろいろな方面から調査したが、だいたい手稲山の雪の調査結果と同じ結果を得た。それで、それについての細かい説明は省略して、次に、昭和46年2月に開かれた札幌国際冬季スポーツ大

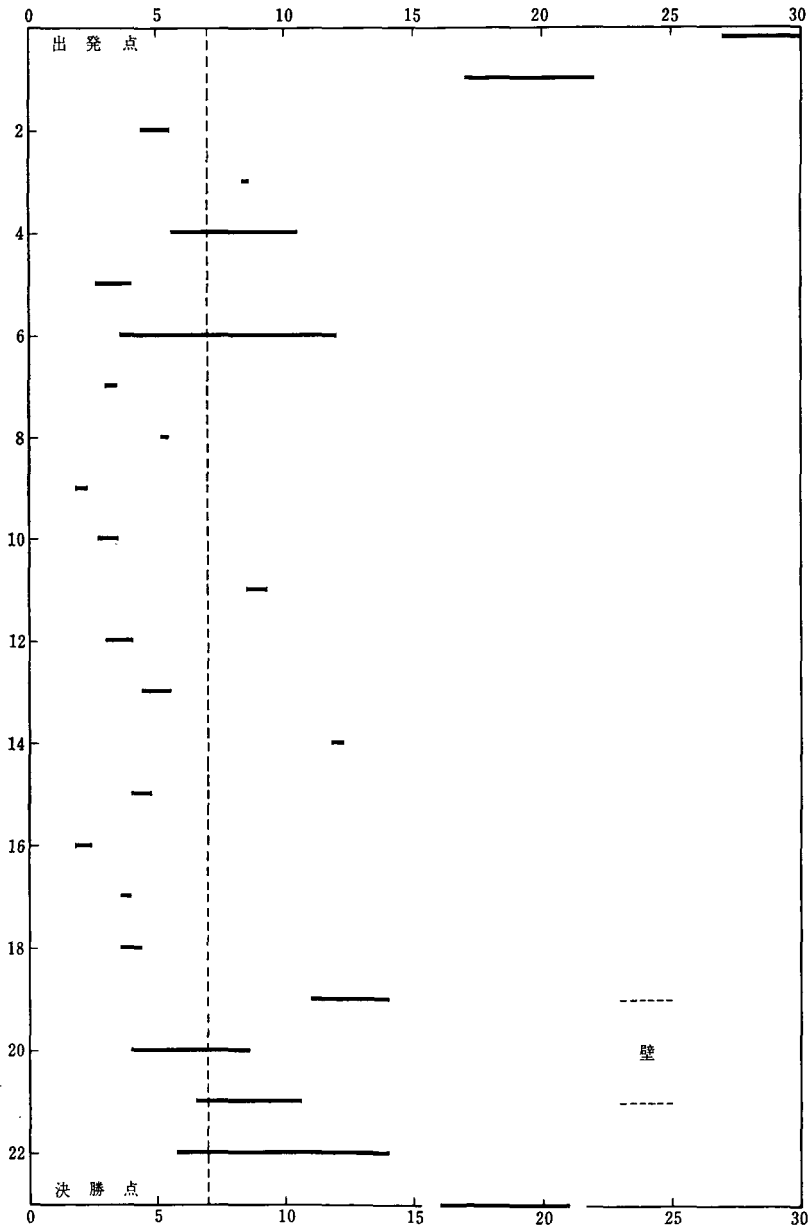


図 53 札幌国際冬季スポーツ大会男子滑降競技場 (恵庭岳) の雪の表面硬度。競走距離 2,780 m (昭和 46 年 2 月 9 日)

会るとき、試合終了直後に行なった滑降競技場の雪の硬度測定の結果を述べる。

滑降競技のコースには長さ2,780 mの男子用と長さ2,104 mの女子用との2本がある。いずれも回転競技大回転競技のコースに比べて倍近くに、あるいは倍以上に長い。それゆえ雪かためにもたいへんな労力がかかることになるが、滑降競技では多少雪が軟らかくてもかまわない。選手が滑降しながら行なう方向転換が回転競技や大回転競技の場合ほど頻繁でないからである。それで、出発点付近の急斜面と決勝点近くにある急斜面とを除いた中間部は雪上車で圧雪した。雪上車は決勝点のすぐ上にある急斜面の壁を迂回して緩傾斜の中間部に出、毎日2回ないし3回は雪の上をくまなく歩いた。多いときは10回にも達したと聞いている。急斜面の雪は、前節で述べたとおりの方法によってつぼ足で固めた。

図53が、2月9日試合が終了したすぐあと、男子滑降

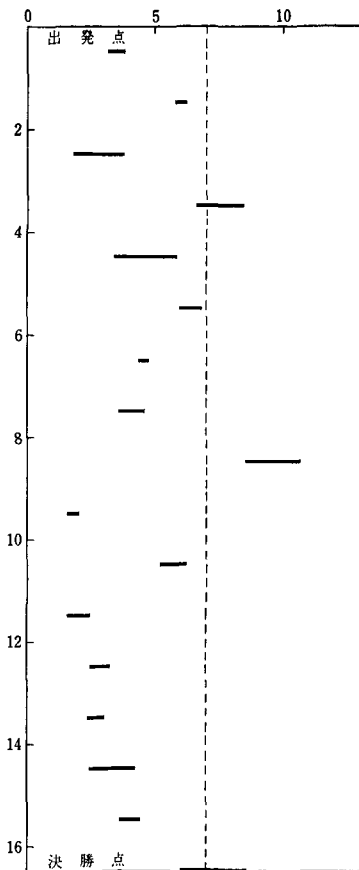


図54 札幌国際冬季スポーツ大会女子滑降競技場(恵庭岳)の雪の表面硬度。競走距離2,104 m (昭和46年2月7日)

競技のコースを下りながら測定した雪の表面硬度である。つぼ足で踏み固めた出発点近くと決勝点近くとでは表面硬度は高く、だいたい7を越えている。しかし、雪上車だけで圧縮した中間部の雪の硬度は低い。雪上車による圧雪は、上に述べたように、かなり丹念に行なわれた。しかし、図にあるように、中間部の雪の硬度は大きくても5である。これから、雪上車圧雪で達しうる最高硬度は5であるといってもよさそうである。第11番と第14番の硬度測定場所では硬度が9と11とであるが、この二つの場所では特別につぼ足踏みが実施された

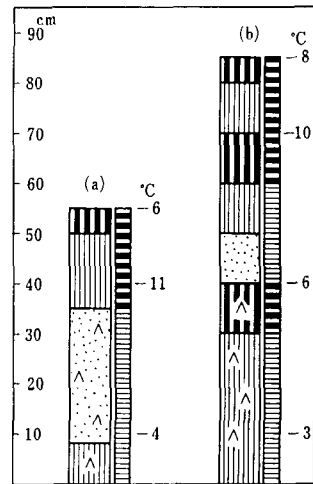


図55 札幌国際冬季スポーツ大会滑降競技場(恵庭岳)の雪の硬度密度鉛直分布図。(a)男女競技場、(b)女子競技場。いずれも出発点から少し下がった地点でのもの。

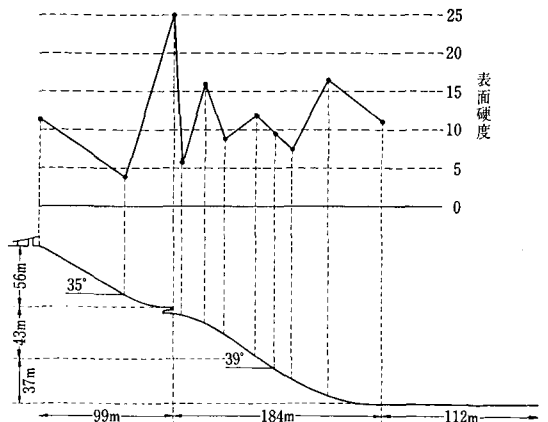


図56 札幌国際冬季スポーツ大会飛躍競技場の雪の表面硬度。大倉山ジャンプ台。気温 $+0.5\sim+1.0^{\circ}\text{C}$ 、雪温 -1.5°C (昭和46年2月14日)

のである。図 54 は女子滑降競技コースの表面硬度である。この表面硬度も 2 月 7 日の試合終了を待って直ちに行なった。男子滑降競技場の雪に比べ全般的に硬度が小さい。ことに、出発点および決勝点付近のつぼ足で固めた雪でも、なお、7 の硬度に達していないのが目立つ。

男子滑降、女子滑降の両方の競技場の出発点を少し下がった所で雪に穴を掘り、硬度、密度、温度の断面観測を行なった。その結果が図 55 の図(a)と図(b)とである。男子滑降競技場の図(a)を見ると、地上 8 cm から 35 cm までは、硬度が 2 以下の厚さが 30 cm 近くにも及ぶ軟らかい雪である。しかもしもぎらめ雪に変態している。女子滑降競技場の図(b)にも、厚さが 10 cm にすぎないとはいえ、ちょうど中央の高さに同じく軟らかい層が見える。前節の女子大回転競技場の雪の図 51 にも硬度 2 以下の雪が現われていた。雪かためは、このような軟らかい層が内部に残らないよう注意して行なう必要があらう。

大倉山ジャンプ台の雪の表面硬度も、試合終了日の翌日に測定した。図 56 の下半分にジャンプ台の縦断面が書いてある。測定は滑走飛躍路に沿う 11 個所で行なった。各測定個所での表面硬度が、縦の点線でつないで図の上半分に示してある。助走路の下部を除くと全体にわたって硬度が高い。硬度が 10 を越える所が多い。前に述べたように、硬すぎるためレーキで雪の表面を搔いて軟らかくしたほどである。この表面硬度を測定したときは暖かく、気温がプラス 1℃ ほどであった。雪の表面の温度もマイナス 1.5℃ という札幌の雪としては高い値を示した。次の(6)で説明するように、雪の硬度は温度

が下がるとかなり急速に増大する。この大倉山ジャンプ台の雪も、表面硬度を測定した日より寒かった試合当日には、図 56 に現われている値よりも大きい硬度であったに違いない。

(6) 雪の温度と硬度との関係。融解による雪の軟化

今までに何度か、温度が下がると氷が硬くなるため、雪の硬度も温度降下とともに増大すると述べた。それならば、その硬度の増大率、つまり温度が 1℃ 下がったときの硬度の増し高はどれくらいのものであろうか。増大率は雪が変われば変わるに相違ないから、一概にこれこれの値であるというわけにはいかない。しかし、次にあげる例からそのだいたいの値はつかむことができるであらう。

地面に積った自然の積雪からしまり雪の大きな塊を切り出して低温実験室に入れ、低温実験室の温度を -4℃ から -25℃ までの範囲内でいろいろに変えながら雪の塊の硬度を測定した。こうすれば同一の雪の硬度が温度によって変わる有様が知られる。図 57 は密度 0.35 のしまり雪の塊を使って得た結果である。横軸にマイナスの温度が、縦軸に硬度がとってある。同じ温度でも、測定を繰り返すと、繰り返すたびごとに硬度の値が少しずつ違う。しかし硬度の値はある範囲内に収まる。図 57 の縦の太い線分はこの硬度の値の範囲を示している。この図から温度降下による雪の硬度の増大がかなり急速であることがわかる。図に書き入れた右上がりの破線は、温度が 1℃ 下がるごとに硬度が 0.3 ずつ大きくなることを示す線である。この破線は硬度の値の範囲を示す縦の太い線分の全部をだいたい公平に貫いているから、この破線に温度降下による硬度増大の有様を代表させてもよいであらう。すると温度降下による硬度の増大率は 1℃ につき 0.3 であるということになる。同様な測定を密度が 0.33 と 0.47 とのしまり雪の塊を使っても行ない、それぞれの硬度増大率を求めた。これら 3 個の測定結果をまとめたのが次の表である。

密度	-5℃ での硬度	硬度増大率
0.33	2	0.2
0.35	4	0.3
0.47	21	1.4

表には -5℃ での硬度の値も示してある。-5℃ での硬度が高いほど硬度増大率も高い。つまり、硬い雪ほど温度降下に伴う硬度の増大が激しいわけである。この測定に使った試料は 3 個とも自然のままのしまり雪で、スキー競技場の圧縮して固めた雪とは違う。しかし人為的に圧縮した雪もだいたい同ような硬度増大率を示すと

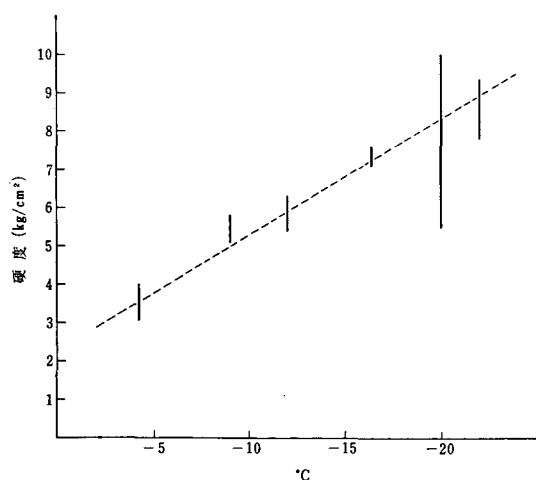


図 57 雪の硬度と温度との関係。密度 0.35 のしまり雪。硬度増大率 0.3/℃

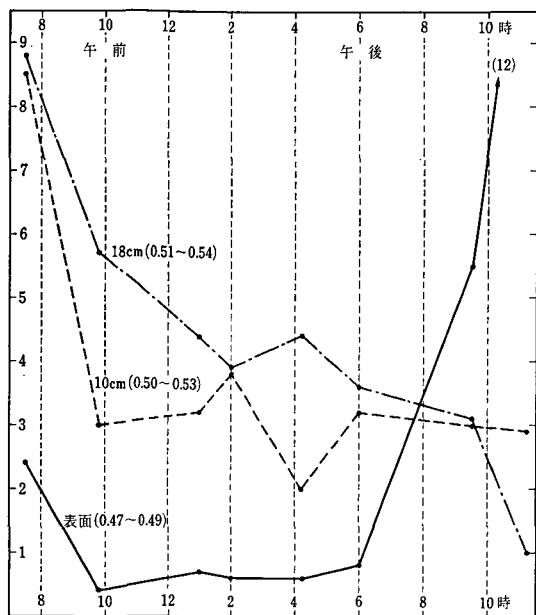


図 58 湿り雪の硬度の日変化。実線：積雪表面の雪、破線：表面下 10cm の雪、一点鎖線：表面下 18cm の雪。ざらめ雪。() 内の数字は密度。北海道母子里 (昭和 43 年 4 月 20 日、晴)

予想してよいであろう。(4)と(5)とで見たように、スキー競技場の雪の硬度は非常にむらである。場所ごとに硬度が違ふ。この硬度のむらは、硬度の大きい雪ほど硬度増大率が高いから、温度が下がれば下がるほどひどくなる。スキー競技にあたっては、このような点も考慮に入れておく必要があろう。

前に述べたように、自然のままの乾いた雪の密度は大きくても、普通、0.4 を越えない。それにも拘わらず、上の表にあげた 3 種類の雪のうちの一つは密度が 0.47 もある。これは例外の雪といわなければならない。ある実験に特に密度の大きい雪が必要だったため、札幌の近くの山に出かけて 2m を越える厚さの積雪の下部から採出したものである。

2. で述べたように、気温がプラスになってスキー競技場の雪が融けることは、札幌オリンピック会期中まずあるまいと考えられる。しかし、雪が融けた場合硬度がどのように変わるかを知っておくことも参考にはなるであろう。春の積雪は、日中は融け夜間は凍るために、1 日の間の時刻によって硬度が激しく変動する。その変動の有様の一例を図 58 に表わした。横軸が午前 7 時から午後 11 時半に至る時刻で、縦軸は硬度である。積雪は 50 cm の厚さで全体がざらめ雪であった。実線が表面の雪

の硬度を、破線が表面下 10 cm の深さの雪の硬度を、点線が表面下 18 cm の深さの雪の硬度を表わしている。観測を始めた午前 7 時半には日がすでに昇って雪が融けだして、表面の雪の硬度は 2.4 という小さい値になっていた。時がたつて融解が進むにつれ硬度はさらに下がって午前 10 時には 0.5 となった。しかし、それ以後は夕方までその付近の値にとどまった。この間の含水率は 10% を越えた。20% に達したこともあった。日没とともに雪の表面は冷えて凍り始めた。そのため、午後 6 時ごろから表面の硬度は急上昇し始め、最後の観測時刻の午後 11 時 15 分には 12 という大きい値に達した。

深い所にある雪は表面の雪と硬度変化の様子が少し違う。深さ 10 cm と 18 cm との雪は、図が示すとおり、午前 7 時半でも 8 ないし 9 の硬度を保持している。気温が上がり日射しが強くなっても、その影響がこれらの深さにまでは届かなかったからである。しかし、そのあとはだんだん硬度が下がり、日没を過ぎてても下がり続けた。日没後でも硬度が回復しないのは、夜の寒気が雪の中、深い所にまで浸透して雪の中の水を凍らせるには長い時間を要するからである。日中、硬度が下がる主な原因は、雪の表面が融けてできた水が降下して深い所の雪の含水率を増大させることである。雪の温度が上昇したためではない。雪の温度は、雪が水を含んで湿っている限り正確に 0℃ に保たれるからである。観測開始の午前 7 時半でも雪は少し湿っていたから、図 58 に表わした硬度変化は、午後 6 時以後の表面の雪の硬度上昇を除くと、全部 0℃ の温度で起こったのである。

気温が上がって雪が湿ると、スキーの抵抗が増してスキーの速度が落ちることはしばしば経験するところである。その原因のひとつは、上のように雪が軟化してスキーが雪の中に沈むことであろう。また、雪に含まれる水がスキーの摩擦を増大させる作用を持っているとも考えられる。ところで雪には、手稲山の男女回転競技場の頂上付近の水を混ぜて踏み固めた雪のように、硬度が 100 近くのもの、あるいは 100 を越えるものもある。このように硬い雪になると、気温が上がって雪が湿っても、スキーの抵抗が増大しないという実験結果が得られた。次の(7)で述べるのはその実験の話である。

(7) 非常に硬い雪とスキーとの摩擦係数。スキーによる新雪の変形

昭和 44 年 2 月の 12 日と 13 日とに、低温科学研究所は日本楽器製造株式会社スポーツ用品部研究課との協同のもとに、標高 1,400 m の長野県戸隠スキー場でスキーの滑走抵抗の研究を行なった。斜度 11~12° の緩斜面の上に斜度 20° の急斜面が続く場所を実験場を選んだ。熟練

したスキー走者が急斜面上から出発して緩斜面の上へと直滑降を行なう。緩斜面の走路上12mをへだてたA点とB点とに、スキー走者の足から反射される光を光電管で受けて走者の滑走速度を測定する装置を置いた。走者がA点、B点を通過するときの速度 V_A 、 V_B を測定すると、それをもとにしてスキーと雪との間の摩擦係数が計算できる。摩擦係数が大きいほどスキーの抵抗は大きい。急斜面の上、高い点から滑降し始めるほど V_A も V_B も大きくなるから、滑走速度の増大に伴って摩擦係数がどのように変わるかも調べられる。

積雪は厚さが77cmで、表面から16cmの深さまでは一般スキーヤーに踏まれた湿ったしまり雪、つまり踏まれた「ぬれしまり雪」であった。12日の午後2時ごろ含水率を計ったら13%という値を得た。100gの雪を取ると、そのうち13gが水で残りの87gが氷だったわけである。硬度は1.7、密度は0.41であった。ぬれしまり雪の下には厚さ6cmほどの氷板があり、その先地面まではざらめ雪であった。ざらめ雪の温度は -2°C ないし -3°C であった。このことから、表面の雪が融けて湿るのは日中だけのことで、夜になれば気温が下がって表面の雪も凍ることがわかる。

つぼ足で踏んで表面のぬれ雪を固めて密度を0.45、硬度を5.1にした。踏んでから40分か50分たっても一度硬度を測定したら6.5に増加していた。1時間足らずの間に3割も硬度が増したわけである。前に、湿った雪では氷の粒の結合が速いため硬化速度が大きいといったが、これはそのことを示す一つの例である。このつぼ足で固めたぬれしまり雪の上をいろいろな速度で滑走し

て摩擦係数を求めたあと、翌日の朝もう一度同じ実験を繰り返した。翌朝は雪が凍って硬度が150という大きな値に上がっていた。凍った雪はよく滑るはずだから、摩擦係数は小さくなっているだろうと考えていた。ところが予想に反して、前日の湿った雪で得た摩擦係数とほとんど変わらない摩擦係数が得られた。そのことを示すのが図59である。

図59の縦軸は摩擦係数、横軸はm/sで表わした滑走速度である。白と黒との丸印と三角印とが書き入れてあるが、しばらく印の形は考えずに、印の白黒だけに注意しよう。白い印はつぼ足で踏んだぬれしまり雪の上を滑ったときの摩擦係数を、黒い印は翌朝の凍った雪の上を滑ったときの摩擦係数を表わしている。白い印も黒い印も入り混じっていて、どちらが上にあるとか下にあるとかいられない。つまり、ぬれしまり雪の場合と凍った雪の場合とで摩擦係数に差が認められなかったわけである。朝は凍っていたこの雪も、日が高くなるにつれ融解が進んで軟化し、硬度の値は午後1時には20となり、午後3時には3にまで下がった。しかし滑走速度を16m/sの一定値に保って測定した摩擦係数は、多少増大の傾向を示したとはいえ、ほとんど変化しなかった。以上の実験結果をもとにして、さきに、 0°C 以下で100を越えるような硬度をもつ非常に硬い雪は、融けて湿ってもスキーに対する抵抗を増さないとといったわけである。ところで、雪が湿っているか凍っているかによる差はないとはいえ、摩擦係数の滑走速度による変化はかなり大きい。図59の摩擦係数の値を表わす印は、全体として、右にあるものほど位置が高い。つまり滑走速度が大きくなると摩擦係数が上がりスキーの抵抗はかなり急速に増す。

実験には2種類のスキーを使った。一方は滑走面にポリエチレンの薄板を貼りつけただけのもの、他方ははったポリエチレンの薄板の上にホルメンコーレン青のワックスを塗ったものである。図59の丸印はワックスを塗らないスキーの場合の、三角印は塗った場合の測定値である。全体として、丸印の方が三角印より位置が高い。つまり、ワックスを塗らないスキーの摩擦抵抗の方が大きいといえる。だいたい、ワックスを塗ったら摩擦係数が0.01ほど小さくなったといっていよいであろう。

上の実験結果だけで考えると、水を混ぜてつぼ足で踏み、手稲山男女回転競技場出発点付近の雪の程度にまで固めておけば、仮に暖気がきて雪が融けたとしても競技にさしつかえは起こらないといえるかも知れない。しかし、この実験では直滑降しか行なわなかった。それゆえ、回転しながら滑降する実際のスキー競技の場合のことにまで、上の実験結果をあてはめて考えるのには危険があ

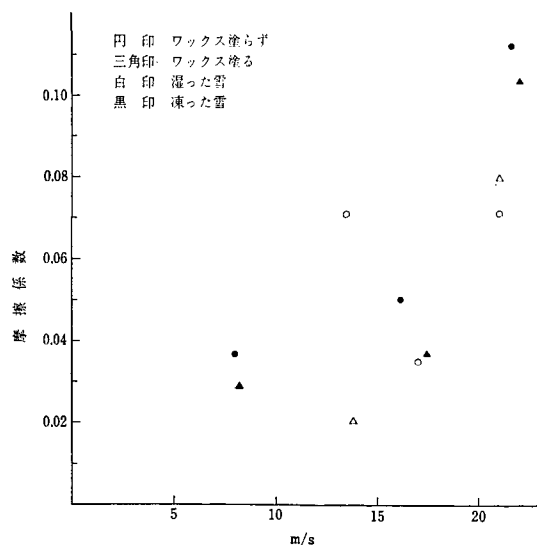


図59 非常に硬い雪とスキーとの間の摩擦係数

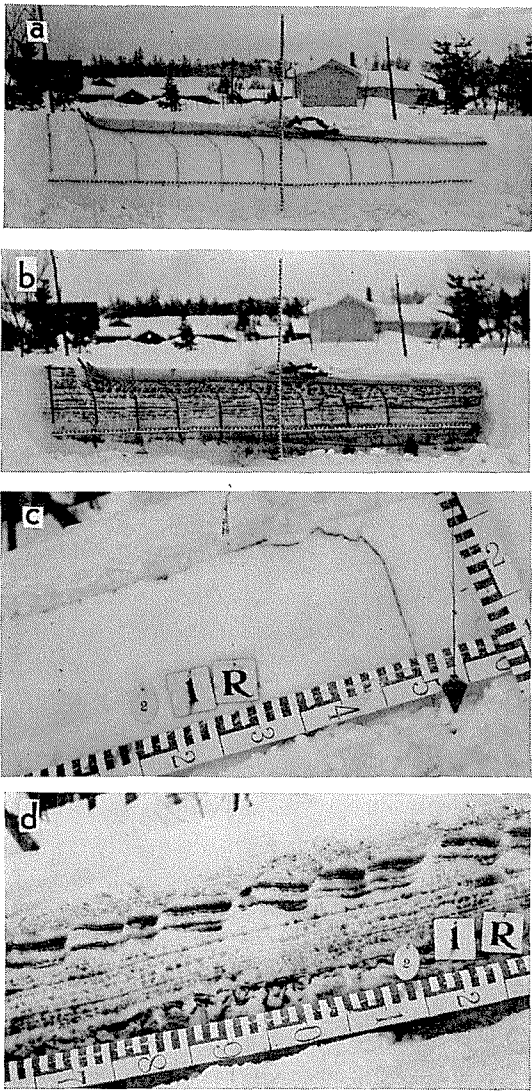


図 60 スキーによる新雪の移動とゆがみ

ろう。前に述べたように、札幌オリンピック大会の場合には、雪が融ける必配はまずないといってよい。たとい融けることがあるにしても短い間に限られる。それに、男女回転競技場出発点付近の雪は硬すぎたため、札幌国際冬季スポーツ大会のときには試合前に塩をまいて軟らかくした。これらのことがらを考え合わせると、札幌オリンピック競技用の雪は、硬度が7よりは大きい10をあまり越えない程度に固めるのが適当であると思われる。

スキー競技場の雪は、その上をスキーで滑ってもほとんど動かないほど硬く固められている。掻き削られて多少へこむだけである。しかし軟らかい新雪は、スキーが

通れば大きく移動し、かつ、ひどくゆがむ。スキー競技と直接の関係にはないけれども、スキー自体に関する問題の一つに違いないから、付録として、スキーによる新雪の変形を示す写真を図60としてつけ加える。この写真は、次に述べるようにして撮った。

厚さ1mmほどの四角な鉄板を新雪の表面に縦にさし込んで引き抜くと、雪の中に板の広さだけの隙間が残る。その隙間にベンガラ（赤い粉）を落とし込むと、粉が隙間の壁に付着するから、雪の中に赤い幕をたれ下げた形になる。この幕を何枚も前後に並べておいた所へスキーで滑って行って止まり、スキーの下側の雪の切断面をだした。図aがその切断面の写真である。9枚の赤い幕をたらしおいたから、その切口が9本の赤い線として写真に現われている。初めは全部の幕が、いちばん左の線で表わされるように、まっすぐにたれていたわけである。ところが、雪が移動し、かつ、ゆがんだため、スキーの下にある8本の線の上の方は複雑に屈曲しながら左の方へ傾いた。この傾いた線の形から雪の変形のしかたを、すなわち、雪がどのように移動したかを知ることができる。図bの写真は雪の切断面を水でうすめたインキを霧吹きでかけて染めた有様である。雪の変形のさらに細かい点が見えるようになった。

写真aとbとの実験は平地で行なったからスキーの速度が小さかった。斜面に積った新雪の中にベンガラの赤い幕をたらしおき、その上を高速度で通り過ぎたあとの切断面が写真cである。写真dは、その切断面をインキで染めた有様である。写真cの赤い線も写真dのインキの模様も、それぞれ、写真aのスキーの本体の下にある赤い線と写真bのスキーの本体の下模様と、同じといつてよいくらいに似ている。それゆえ、スキーが通り過ぎたあとに残る雪の変形は、スキーの速度の大小にはかわりなく同じであるといつてよい。斜面での実験の場合には、スキーが通り過ぎてしまうから、スキーの先端がどのように雪を変形しながら進んでゆくかが見られない。しかし、上のことから、つまりスキーが通り過ぎたあとの雪の変形が同じであることから、スキーの頭部は写真a、bに現われたとおりにして雪を押しつぶしながら進んでいったと考えてよいであろう。

7. あとがき

以上、来年の昭和47年2月に札幌で開かれる第11回オリンピック冬季大会の準備のために行なったスキー競技場の雪の調査研究について述べた。調査研究には、4.(4)で説明した「木下式硬度計」が主要な測定手段として使われた。これによると、雪の硬さを数量的に硬度と

して表わすことができる。3.で述べた経緯によって、まず、オリンピック回転、大回転スキー競技場の雪は木下式硬度が7ないし10であるべきだとの規格を立てた。この硬度の雪になると、スコップも突き立てられないほど硬い。ところが、オリンピック大会の予行演習ともいわれる今年の昭和46年2月に開かれた札幌国際冬季スポーツ大会の回転競技場、大回転競技場では、雪の表面硬度が7にも達しない所がたくさんあった。それにも拘わらず、競技は無事に行なわれた。こうなると、上に定めた競技場の雪の硬度に関する規格は厳しすぎるのではあるまいかとの疑惑が生まれる。しかし、あとで競技関係者と話しあったときに受けた感じでは、硬度が7以下の場所では、スキー選手の技倆が充分に発揮されなかったと考えているように受け取られた。オリンピック競技大会のために新たに作られた競技場では、昭和45年と46年とに、つば足踏みや雪上車によって、すでに2回、雪かためが実施されている。来年は、本番のオリンピック競技大会のために3回目の雪かためが行なわれる。いままでに得た経験が生かされて、軟らかい雪の少ないすぐれた競技場が作られるものと期待される。

5.および6.にあげたいくつかの硬度鉛直分布図が示すように、十分に踏み固められて硬度が高い雪でも、表面から内部へ下るにつれ硬度が落ちる。これは、踏まれたあと氷の粒が焼結して一度は硬くなった内部の雪も、温度勾配のためにしもざらめ雪に転化するからである。これは、北海道のように寒さの厳しい所では防止できない現象である。オリンピック競技大会は会期が2月上旬で時期が早いから、まだ幸いである。2月の下旬あるいは3月にもなれば、しもざらめ雪への転化が大幅に進行して、底近くの雪は相当弱いものになるであろう。それにしても、圧縮された雪ならしもざらめ雪に転化しても、かなりの硬度は保つ。しかし、自然に積ったままの雪から転化したしもざらめ雪は全くもろい。軽くさわっただけでくずれるほどである。それゆえ競技場の雪の中に、人為的に圧縮されたことのない雪の層を残すことは危険である。そのためにも、競技場の雪は、冬の初めに雪が積り始めたときから、途中で休むことなく踏み続けなければならない。

競技場の雪は硬度7以上であるべきとの規格を作ったとしても、表面から底までの雪全体を硬度7以上に保つ必要はあるまい。第一、下層の雪は温度勾配のためにしもざらめ雪に転化して軟化するから、雪全体を硬度7以上にしておくことは実際にはなほだ困難である。将来は、たとえば雪全体を上層、中層、下層に分けて、それぞれの層がある値以上の硬度をもつべきとの形に規格を訂

正する必要があるであろう。この種の規格設定には、来年のオリンピック大会競技場の雪の硬度測定が大いに役立つことと思われる。ただ、この測定は、オリンピック大会のためにすでに用意されてしまった雪の調査となるから、オリンピック大会そのものの役には立たない。しかし、北海道のスキー競技の将来の発展のためには寄与する所があるに違いない。

6.(5)で述べたように、雪上車で圧縮された雪の硬度は、せいぜい5にしか達しない。たいていの場合3前後にとどまる。雪上車はもともと雪に沈まずに雪の上を走るように作られた無限軌道車だから、接地圧が小さく雪を圧縮する力が弱い。何にせよ冬の初めから雪が積るごとに圧雪するのである。それゆえ、接地圧の大きい無限軌道車を使った方がよいかも知れない。新雪は積るごとに次々に固められるから、重い車でも深い軟らかい雪にぬかって動けなくなることはないだろう。前方にある雪をかき込んで粉々にくだき遠くへ投げとばすロータリー除雪機械がある。飛ばされてから堆積した雪は密度が大きいから焼結すると丈夫な雪になる。硬度0.05未満の新雪をこの除雪機械で投げとばして堆積させ、2日後に硬度を計ったら1ないし5の値が得られた。一週間後には2ないし6の硬度の雪に固まっていた。これは3月上旬に行なった実験の結果である。2月のうちなら気温が低いから、硬度がもっと大きい雪になっていたであろう。競技場の中の場所によっては、この方法を雪かために使うと便利なのがあるかも知れない。

この小文は、札幌の雪をオリンピックスキー競技のために固める話であった。冬のさなかの札幌地方の山の雪は、温度が -10°C に近く、全然氷気を含まず乾いている。これに反し、本州の雪は湿っていることが多いし、たとい湿ってなくても温度が融解点の 0°C に近い。氷の性質は、温度が 0°C に近いから 0°C から遠いかにによって著しく変わる。それゆえここに書いた調査研究の結果を、そのまま、本州の雪の場合に当てはめることはもとよりできない。3.(7)では長野県八方尾根スキー場の雪についての、6.(7)では長野県戸隠スキー場の雪についての簡単な調査結果を述べた。どちらの雪でも温度は 0°C に近く、雪の表面の下10cmあたりの深さに厚い氷の板が広がっていた。この硬い氷の板があるために、その上の雪は踏まれると強く圧縮されて非常に硬く固まる。札幌の雪に、このような氷の板が現われることはない。本州のスキー場の雪の詳しい調査結果がないため、はっきりしたことはわからないが、札幌の乾いた雪が本州の湿った雪に比べ固めにくいということに間違いはないと思う。

以上の調査研究は、次にあげる文献の著者である多く

の北海道大学低温科学研究所の研究員が行なった。詳しいことは、これらの文献に書いてある。また、調査研究に際しては札幌オリンピック組織委員会、日本スキー連盟、自衛隊のかたがたから多大な援助を受けた。ここに記して感謝の意を表わす。

文 献

低温科学(物理篇)第 26 輯 昭和 43 年 (1968)

吉田順五 「札幌オリンピック冬季大会のための雪氷調査の解説」 231-247

黒岩大助, 小林禎作, 若浜五郎, 藤野和夫, 堀口 薫, 田沼邦雄, 鈴木重尚, 成瀬廉二, 北原武道, 佐藤尚之 「下藤野リュージュコース, 北の峰アルペン競技コース及び大雪山アイスパーンの雪質調査」 249-267

藤岡敏夫, 清水 弘, 秋田谷英次, 成田英器, 木下誠一 「恵庭岳雪質調査報告 I」 269-275

太浦浩文, 小林大二, 小林俊一, 成瀬廉二, 藤岡敏夫, 清水 弘, 秋田谷英次, 成田英器 「手稲スキー回転コースの雪踏み効果および集雪柵の効果」 277-296

低温科学(物理篇)第 27 輯 昭和 44 年 (1969)

黒岩大助, 若浜五郎, 藤野和夫 「手稲山における雪ふみ試験」 213-228

黒岩大助, 若浜五郎, 藤野和夫, 棚橋良次 「薬剤で処理した雪面及び踏みかためた雪面のスキーの実走試験による動摩擦係数の測定」 229-245

黒岩大助, 若浜五郎, 藤野和夫 「大雪山及び八方尾根における硬化雪の調査」 247-254

藤岡敏夫, 清水 弘, 秋田谷英次, 成田英器 「恵庭岳雪質調査報告 II」 255-266

低温科学(物理篇)第 28 輯 昭和 45 年 (1970)

山田知充, 対島勝年, 油川英明, 佐藤尚之, 中尾正義 「大雪山における硬化雪の研究」 155-164

黒岩大助, 若浜五郎, 遠藤八十一 「1969~1970 年冬実施された雪上車による圧雪試験」 215-223

黒岩大助, 若浜五郎 「1969~1970 年冬実施された手稲山回転コースにおける雪ふみ試験」 225-234

藤岡敏夫, 秋田谷英次, 成田英器 「恵庭岳雪質調査報告 III」 225-242

(「低温科学」は低温科学研究所の和文研究報告である。毎年 1 回発行される。)