



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	1969～1970年冬実地された手稲山回転コースにおける雪ふみ試験
Author(s)	黒岩, 大助; KUROIWA, Daisuke; 若浜, 五郎 他
Citation	低温科学. 物理篇, 28, 225-234
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18154
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p225-234.pdf



1969～1970年冬実施された手稲山オリンピック 回転コースにおける雪ふみ試験*

黒岩大助・若浜五郎

(低温科学研究所)

(昭和45年8月受理)

I. ま え が き

われわれは1972年の冬札幌で行なわれる第11回冬季オリンピック大会組織委員会の要請によってスキークの回転、滑降、バイアスロン競技などのためコースの雪を硬化させる方法について研究調査を行ってきた。雪が粉雪で軟らかいと競技が困難になるからである。いろいろな調査の結果、上記のスキー競技に適した雪としては密度が $0.45\text{ g/cm}^3\sim 0.5\text{ g/cm}^3$ 、木下式硬度で 10 kg/cm^2 程度の硬さをもっていること、コースの雪の厚さは $30\sim 40\text{ cm}$ がよいことなどを報告した¹⁾。これにもとずき1968～69年の冬には手稲山回転コースに近い場所で、小規模ではあったが約 125 m^2 の試験地をもうけ、上に述べた条件をそなえた硬化雪をつぼ足とスキーで圧雪してつくり、これを冬の初めからオリンピックが開催される2月中旬頃まで、維持するために必要な処置と所要人数について試験を行なった²⁾。その結果を要約すると次のようになる。

- 1) 雪ふみは、まずつぼ足で行ない、その後スキーで表面の凹凸を平らに仕上げること。
- 2) つぼ足でふむ時、雪をよくかきまぜ、雪の粒と粒との接触を、できるだけよくすること。
- 3) 雪のふり初めからふむこと。すなわち、最初の積雪深が 30 cm をこえた頃第1回の雪ふみを行なうこと。これ以後は $20\sim 30\text{ cm}$ 積もるごとに第2回、第3回と雪ふみを行なうこと。つまりコースの基礎となる雪かためを十分にすること。
- 4) 基礎の雪の密度が $0.45\sim 0.5\text{ g/cm}^3$ 程度になるように最初よく踏んでおけば、その後急な温度勾配にさらされて雪質が変化しても硬度は 10 kg/cm^2 の程度に維持できる。
- 5) 雪面は踏み残しのないように一様に踏みかためる必要がある。そのための労力は 1 m^2 あたり1時間に 0.07 人で、つまり1人1時間当り 15 m^2 の雪ふみができる。ただし、この労力は平地での値であるから、傾斜地ではもっと多くの労力を見込む必要がある。
- 6) コースの雪の厚さは $30\sim 40\text{ cm}$ 位が理想的である。これより薄いと土に接した雪の層のなかに霜ざらめが発達し脆くなる恐れがある。逆にこれより厚くすると労力がよけいにかかる。雪の厚さが 40 cm 位になったらそれ以上積もった雪は除雪することが望ましい。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1089号

1968～69年の試験では、手稲山回転コースの設備及び整地が未完成であったので、やむをえず回転コースに近い平坦な場所を選んで行なった。しかし1969～1970年の冬には、回転コースの整地及びリフトの設備が完成したので、オリンピック組織委員会は雪上車及び自衛隊の協力によって実際の回転コースの大規模な雪のふみかため実験を行なった。われわれは委員会の要請により、これら圧雪試験の調査を行なうが、雪上車による圧雪効果については別に報告³⁾したので、ここでは自衛隊が行なったつぼ足とスキーによる踏みかための調査結果を報告する。調査は1970年1月19日、29日、2月5日、13日に行なわれた。なおこの報告の最後に2月19日山形県蔵王スキー場で行なった硬化雪の調査結果をつけ加えておく。これはスキー場の雪を硬化する方法の一つの示唆を与えるであろう。

II. 調査結果

1) 1970年1月19日の調査

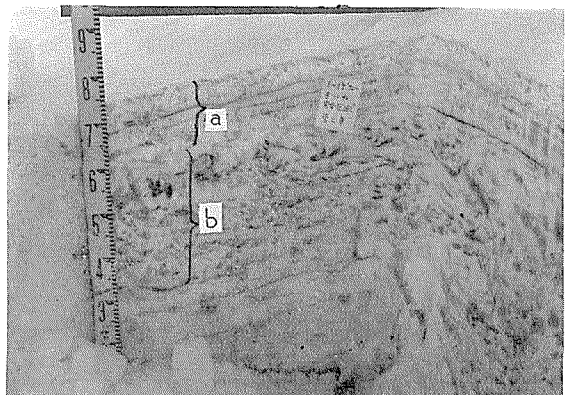
第1図は圧雪試験の行なわれた手稲山男女回転コースの全景である。当日は気温は -6.9°C であった。第2図は自衛隊員70人が4列横隊で並び、 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の斜面をつぼ足でふみかためている写真である。約 $50\text{m}\times 60\text{m}$ の斜面を約1時間半で上下1往復して踏みかためた。第3図及び第4図にふむ前とふんだ後の積雪層の垂直断面を示す。第3図はふむ前の試験地の積雪断面である。この試験地は1970年1月6日から1月12日の間に雪上車で圧雪してあり(第3図, b), その上に12～15cmの厚さの新雪(第3図, a)で示



第1図 手稲山男女回転コース全景

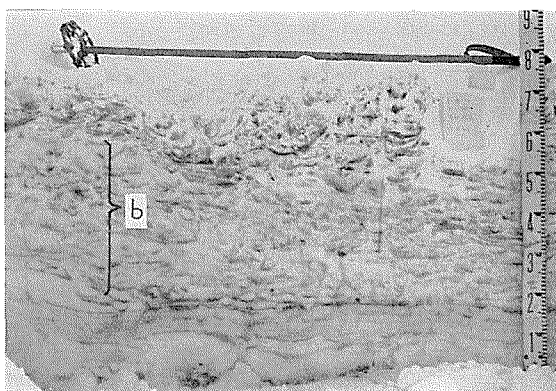


第2図 自衛隊員70名が4列横隊でつぼ足で雪ふみをしているところ



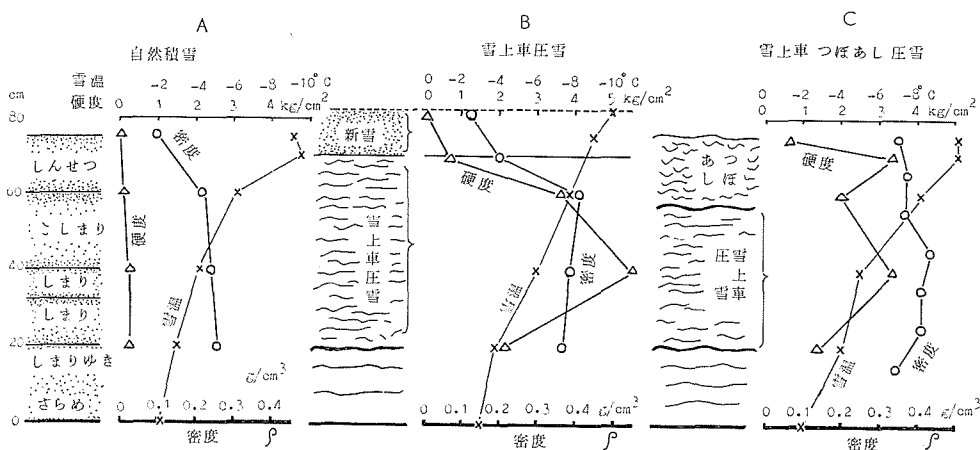
第3図 つぼ足でふむ前のコースの断面。
a は新雪の層
b は雪上車により圧雪された層

す)が積っていた。全積雪深は75 cmであった。雪ふみはこの新雪の上を午前10時から12時頃まで自衛隊員がうえに述べた速度で行なった。第4図はそのふみあとを示す断面写真である。つぼ足で踏んだ後は、スキーで平らにしていなくて、表面は凸凹している。つぼ足でふんだあとともムラがあって、ある場所では雪上車で圧雪した**b**層に達しているが、ある場所では達していない。雪ふみにムラができるのは斜面では平地の場合と違って足場がわるく一様に踏むことが難しいからである。



第4図 つぼ足でふんだあと。ふみあととは**b**層にまで達している

第5図は第3図、及び第4図の積雪断面にそって測定した密度と木下式硬度及び雪温の垂直分布を示す。第5図で特にAは、回転コースの近くの全くふまれていない自然積雪の断面の密度、硬度、雪温の分布を比較のために示した。Bが雪上車で圧雪した層の上に新雪の層がのっている第3図の断面、Cはその上をつぼ足でふみかためた第4図の積雪断面にそっての測定値である。図にみられるように踏まれていない自然積雪層Aでは硬度の値は非常に小さくて、地面近くのしまり雪でさえ0.3 kg/cm²をこえない。密度も0.27 g/cm³以下である。ところで雪上車でふまれた層Bでは、密度は大体0.35~0.4 g/cm³となっていて、硬度は場所によって異なるが、2~3 kg/cm²、ところによっては5 kg/cm²をこえるところもある。しかし、この層の上ののっている新雪の層は硬度も密度も小さい。つぼ足でふんだ後の断面はCに示すようであって、踏みあとにはムラがあるが平均すると、表面から深さ約30 cmがふみかためられ



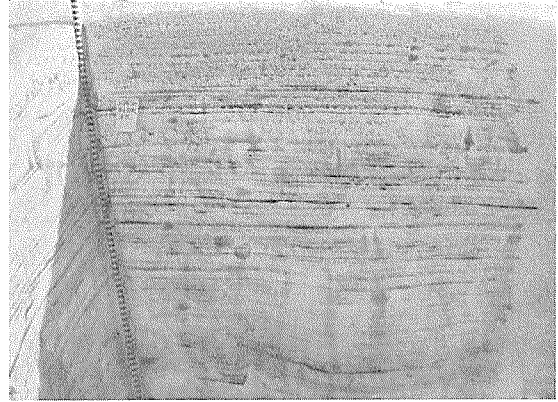
第5図 第3図及び第4図の断面と自然積雪の断面にそって測定した硬度、密度、雪温の垂直分布

A 自然積雪 B 第3図の断面 C 第4図の断面

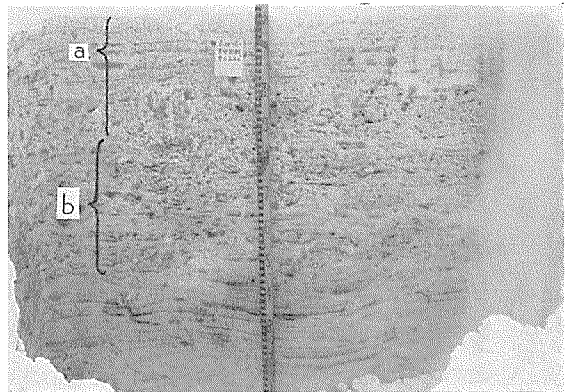
ていた。ふまれた部分の密度は $0.35 \sim 0.37 \text{ g/cm}^3$ であった。硬度も場所によってムラがあり 1 kg/cm^2 以下のところもあれば、 3 kg/cm^2 以上になっている場所もあった。しかし、この硬度の値はふみ終ってから、1~2時間後に測定されたもので、雪温も $-8^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$ でかなり低かった。したがってつぼ足でこわされた積雪の粒子と粒子とは十分に結合していないので、硬度は小さい値を示しているのである。

2) 1月29日の調査

前回の雪ふみより10日たった1月29日に同じ手稲山男女回転コースの積雪調査を行なった。第6図はコースに近い全く踏まれていない場所の自然積雪の断面を示し、第7図は回転コースの雪ふみのあとの断面を示す写真である。第7図の**b**で示した部分が自衛隊員がつぼ足とスキーでふみかためた部分である。**a**で示した部分はその上にふり積もった新雪の層である。新雪層はふまれていない。前回、1月19日の調査では自然積雪の深さは約80cmであったが29日には約140cmに達していた。第8図は自然積雪と、ふみかためたコースの断面とについ



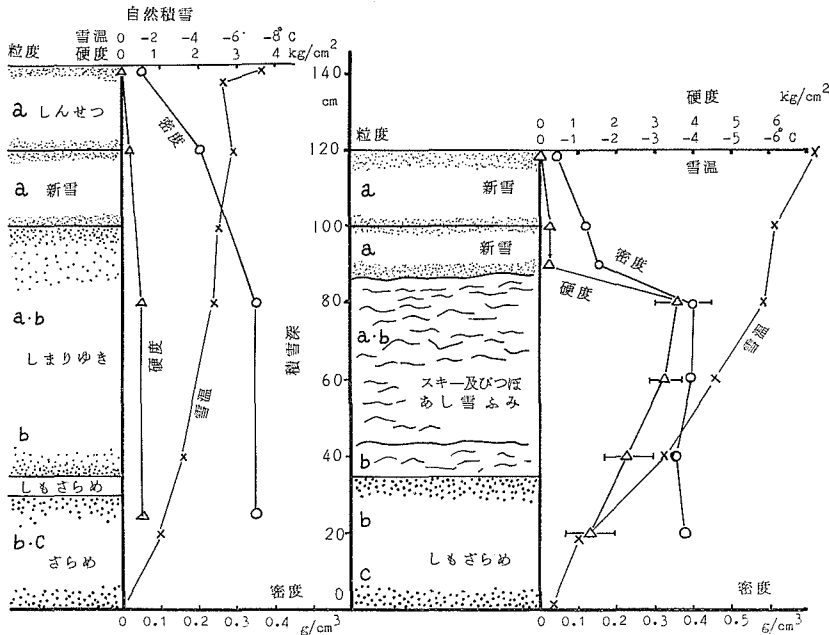
第6図 1970年1月29日の手稲山男女回転コース近くの自然積雪



第7図 1970年1月29日の男女回転コースの断面

- a. 新雪層
- b. つぼ足でふんだ層

て、密度、硬度、雪温、粒度を調べたものである。図にみられるように自然積雪では、雪の自重によって密度が深さと共に増えてゆくが、最も地面に近いざらめ層でも 0.35 g/cm^3 である。自然積雪なので硬度の値もきわめて小さい。深いところの雪でも、たかだか 0.5 kg/cm^2 の程度である。ところで自衛隊員がつぼ足とスキーでふみかためた雪の密度は 0.4 g/cm^3 で、硬度は $2.5 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ となっている。横棒は測定値のバラツキを示す。ふみかためた雪の上に積もっていた新雪の硬度は 0.2 kg/cm^2 、密度は $0.1 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ であった。一般にふみかためた後の雪の硬度は、雪自身の“時効硬化作用”で時間と共に大きくなってゆく筈である。しかし、第8図の測定値を1月19日の測定値(第5図)と比べてみるとあまり違ってない。これは時効硬化の作用がすまなかつたのではなくて、1月19日に測定した場所と1月29日に測定した場所とのちがいによるものと思われる。

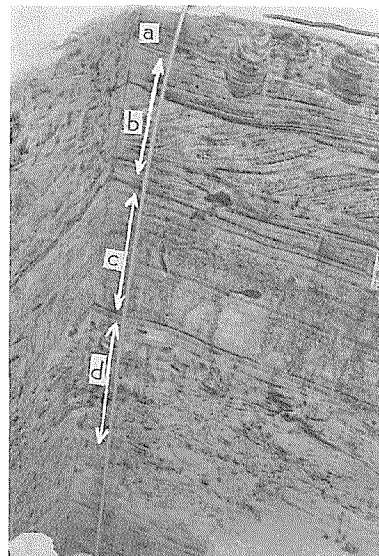


第8図 第6図及び第7図の断面にそって測定された
硬度、密度、雪温、粒度の垂直分布

粒度 a. 0.5 mm 以下 b. 0.5~1.0 mm c. 1.0~2.0 mm

3) 2月5日の調査

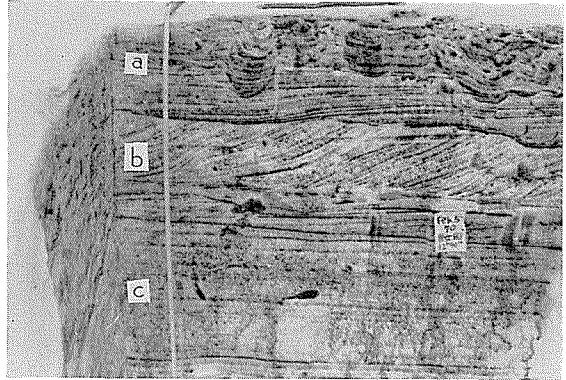
前回1月29日の調査のあと、1月30日の夕方から1月31日にかけて、45年1月低気圧とよばれる低気圧(通称台湾坊主という)が北海道に接近して大雪をもたらした。そして翌2月1日もひきつづき風速20 m/sをこえる猛吹雪が続いた。このため手稲山男女回転コース附近の積雪量は一挙に2 mを超えたのである。第9図は2月5日にわれわれが調査したときの積雪断面を示す。この写真の中でdと印した部分がこの1月下旬まで自衛隊員がつぼ足とスキーでふみかためた圧雪層である。cと印した部分が1月31日の台湾坊主がもたらした降雪、bと印した部分がこれに引き続く翌2月1日の猛吹雪による風成雪である。第10図は台湾坊主によってもたらされた降雪部分を接写拡大した写真である。この図にみられるごとく、台湾坊主の接近によって最初に積もった約50 cmに及ぶc層の雪は、すべて地面に平行な成層構造を示すが、後半の猛吹雪によってもたらされたb層は層構造がひどく乱れた模様を示している。事実、雪は低気圧の接近と共に30日



第9図 45年1月低気圧(台湾坊主)による手稲山男女回転コースの積雪

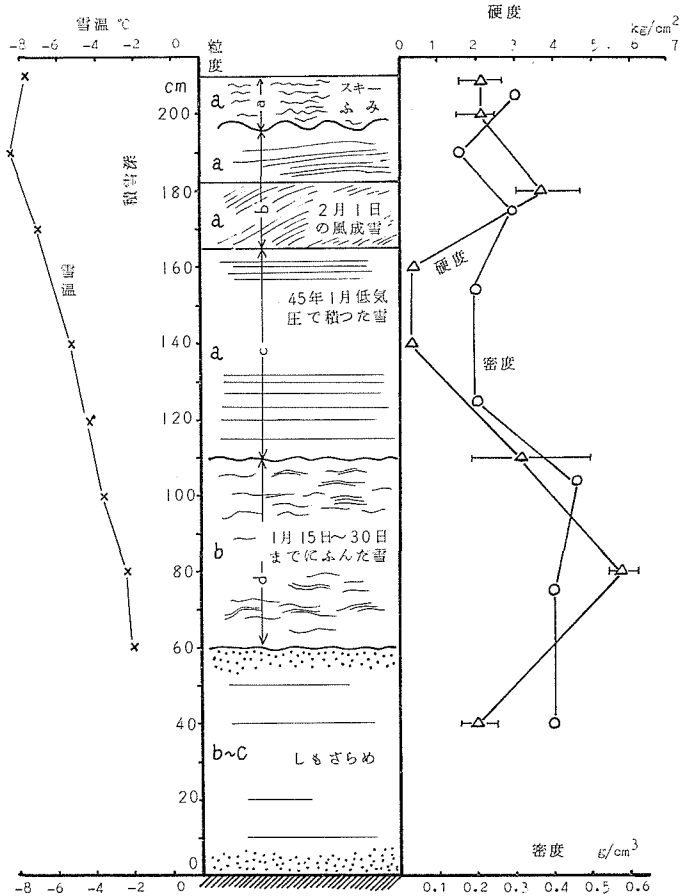
- a. つぼ足でふんだ部分
- b. 2月1日にできた風成雪
- c. 45年1月低気圧による積雪
- d. 1月6日~30日の間に自衛隊員がふんだ雪

の夜より降り始めた。風速は弱く 3 m/s の程度であった。31 日の朝 9 時には気温は -0.8°C に上昇し、雪は湿雪に変わった。風速はまだそれほど大きくはなかった。第 9 図の c 層の雪は多分 30 日~31 日にかけての比較的風の弱い間にふり積もったものと想像される。しかし、31 日夕方から風は強くなり始め、21 時には 9 m/s となり、気温は $+2.8^{\circ}\text{C}$ に上昇した。翌 2 月 1 日の朝 9 時には、風速は札幌の平地で 19.5 m/s をこえ気温は $+3.8^{\circ}\text{C}$



第 10 図 第 9 図の積雪断面の一部を示す

に上昇した。みぞれまじりの大吹雪であった。21 時には風速は 27 m/s を超えた。したがって手稲山回転コース附近の風速の値はこれ以上であったものと想像される。第 9 図の断面にみら



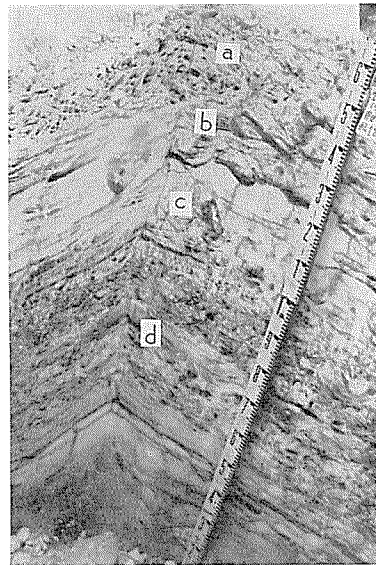
第 11 図 第 9 図の断面にそって測定された硬度、密度、雪温、粒度の垂直分布

れる **b** 層の乱れた層構造は風が如何にはげしかったかを示している。われわれが調査した 2 月 5 日には第 9 図に **a** と印した表面の雪が自衛隊員によってふみかためられていた。この積雪断面にそって測定した硬度、密度、雪温、粒度の垂直分布が第 11 図に与えられている。この 1 月中旬から下旬までに自衛隊によって圧雪されてきた層は、**d** と印したように、はるか下に埋もれてしまった。しかし、この層の硬度は第 11 図に示すように 5.8 kg/cm^2 であった。台湾坊主がもたらした雪の中で積層構造が乱れている **b** と印した部分の雪の硬度がふまれていないのに 3.6 kg/cm^2 という比較的大きな値を示しているのは風成雪だからである。この値は風が弱いときに積もった **c** 層の硬度に比べるとはるかに大きい。

4) 2月13日の調査

1970年2月8日より15日まで手稲山において全日本冬季競技総合大会が行なわれた。この大会で行なわれる回転競技のため45年1月低気圧によってもたらされた大雪は自衛隊員によって急ぎふみかためられた。われわれは回転競技の最終日である2月13日に調査を行なった。

第12図は男女回転コースの積雪断面である。約1週間前の2月5日に調査したときの断面写真(第9図)と比較してみると45年1月低気圧によってもたらされた積雪の構造が踏みかためによってどのように変わったかがわかるであろう。第12図に印した **a, b, c, d** は第9図の **a, b, c, d** に対応する。自衛隊員のつぼ足によるふみかための効果は表面の **a** 層と風成雪 **b** 層に及んでいたが **c** 層には達していなかった。この断面につき密度、硬度、雪温、粒度を測定したデータが第13図に示されている。第13図にみられるごとく、硬度の値はふまれていない **c** 層と、一番深い地面近くのしもざらめ層とが最も小さい。表面近くのふみかためられた層の硬度は $4 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ であった。密度は上から下まで大体 $0.3 \sim 0.4 \text{ g/cm}^3$ の程度であった。

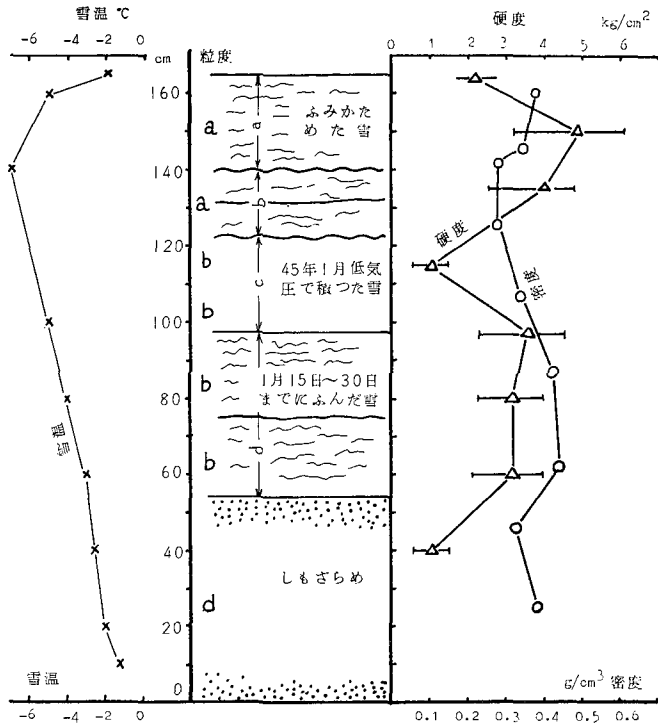


第12図 1970年2月13日における手稲山男女回転コースの断面。第9図と比較せよ

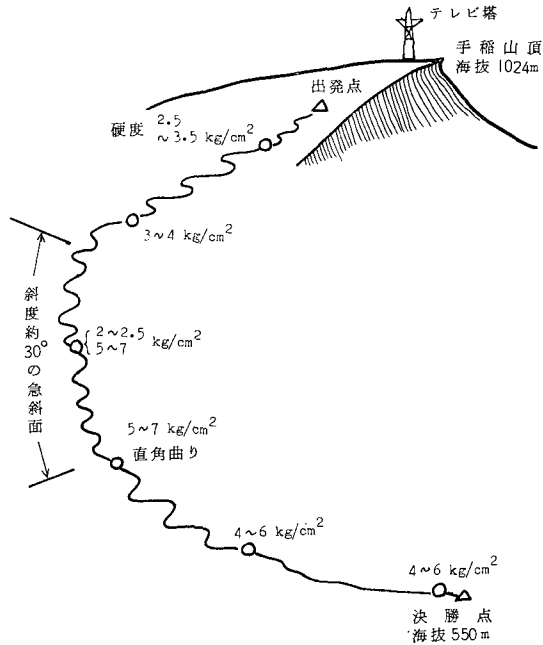
第14図は女子大回転競技コースの手稲山頂に近い出発点からコースに沿って決勝点まで(高度差約450m)、6カ所の表面硬度を測定した値を図示したものである。測定値はバラついていて硬度の最高値は 7 kg/cm^2 、最低値は 2 kg/cm^2 であった。われわれが提案してきたように 10 kg/cm^2 という値には達していなかった。このように硬度にムラがあると回転コースとしてはあまり良い条件とはいえないであろう。

5) 山形県蔵王スキー場、ざんげ坂の表面硬度

1970年2月20日、山形県蔵王スキー場の樹氷調査の帰途、山頂より通称ざんげ坂と呼ばれる急斜面を数百m下った場所で、表面硬度の測定を行なった。蔵王スキー場は日本有数の著名なスキー場で、冬の初めから数多くのスキー客が登山し、山頂よりざんげ坂を滑り下る。そのためざんげ坂の積雪表面はスキーで圧密硬化されている。スキー客の滑走によって自然に

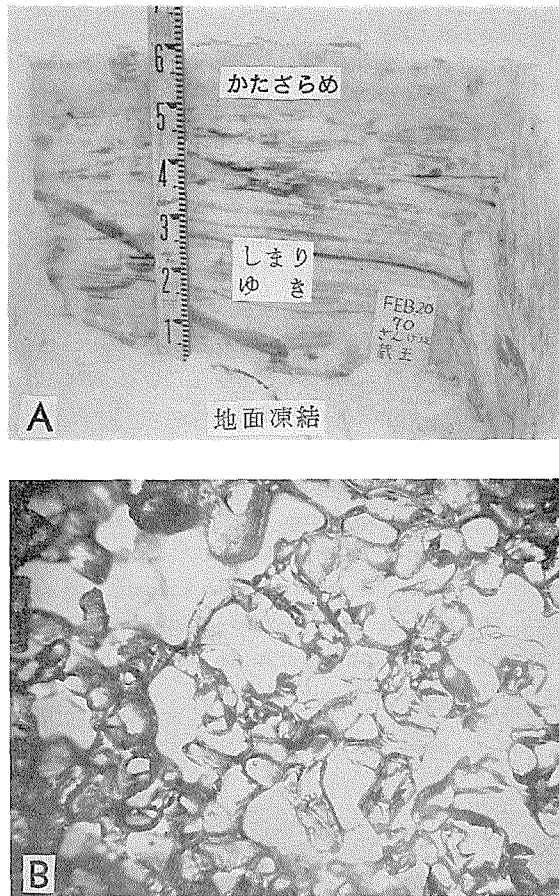


第13図 第12図の断面にそつて測定された硬度、密度、粒度、雪温の垂直分布



第14図 1970年2月13日、手稲山女子大回転コースに沿つて測定した表面硬度

かためられたコースの幅は凡そ 20 m である。コースを横断しつつ 4 カ所で表面硬度を測定した。測定値は場所により 7~16 kg/cm² のバラツキがあったが平均すると 12 kg/cm² であった。測定時の気温は -2.3°C であった。コースを少し外れた場所の積雪を掘り、断面と表面の雪の粒子構造を示したのが第 15 図の写真である。積雪の深さは A に示すように約 60 cm であった。表面から約 13 cm の深さまでが固いざらめ雪で平均密度は 0.46 g/cm³ であった。このかたざらめ雪の表面硬度は 21 kg/cm² もあった。B がこの表面のかたざらめ層の薄片の顕微鏡写真を示す。粒度はクラス c であったから 1~2 mm の大きさである。写真にみられるように粒子と粒子とは太い氷のポンドでつながっていたので、密度が 0.5 に達していなくても硬度は 21 kg/cm² という大きな値を示したものと思われる。このかたざらめ雪の下は粒度が a~b のしまり雪であって密度は 0.38~0.34 g/cm³ であった。なお測定したときの雪温は表面で -2.7°C であったが、深い地面に接した層では、-8°C であった。地面は完全に凍結していた。このざんげ坂の雪の状態はわれわれがこれまでオリンピック競技用として理想的であると答申してきた条件に近いものである。このことは、スキーコースの雪はつば足や雪上車で計画的に踏みかためなくても、コースを冬の初めから多くのスキー客に開放してすばらせておけば、コースの雪は自然に圧密硬化されうることを示唆しているものと思われる。この点に関しては、すでにわれわれが北海道北の峯スキー場で行なった第 1 回の調査結果にもあきらかにされていることがらである。



第 15 図 山形県蔵王スキー場、ざんげ坂の積雪断面 (A) と、表面のかたざらめ雪の粒子構造 (B)

この調査は第 11 回札幌オリンピック冬季大会組織委員会の依頼によって行なったもので、調査費の一部は組織委員会より支出された。なお調査に協力された藤野和夫、遠藤八十一、山田知充、対島勝年、他大学院学生諸君に感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 黒岩大助・若浜五郎, 他 1968 下藤野リュージュコース, 北の峯アルペン競技コース, 大雪山アイスバーンの雪質調査. 低温科学, 物理篇, 26, 249-267.

- 2) 黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫 1969 手稲山における雪ふみ試験. 低温科学, 物理篇, **27**, 213-228.
- 3) 黒岩大助・若浜五郎・遠藤八十一 1970 1969~1970年冬実施された雪上車による圧雪試験. 低温科学, 物理篇, **28**, 215-223.

Summary

In the winter of 1969-1970, snow hardening tests were carried out at the Mt. Teine slalom courses prepared for the 1972 Olympic Winter Games. Snow lying on the slope (mean gradient 20°) was compressed by trampling. 70 men from the Japanese Defense Forces were enlisted to do the work. And the trampling was conducted at the rate of once per day from 15th to 19th January, 1970. The men were deployed in 4 lines on the slope and the snow surface was trampled at a speed of $2,000 \text{ m}^2/\text{hour}$. After the compression, the snow surface was smoothed over by skiers. The profiles of density, hardness, temperature and grain size of compressed snow were obtained by making vertical sections of the snow. The snow structure disturbed by compression was investigated by spraying blue ink on the wall of snow. When newly fallen snow was compressed at $-8 \sim -10^\circ\text{C}$, the values of hardness and apparent density of compressed snow were found to be $2 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ and $0.3 \sim 0.35 \text{ g/cm}^3$, respectively. On February 13th, the surface hardness of snow was measured from the start line to the finish along the women's slalom course as shown in Fig. 14. The maximum and minimum values of hardness were 7 and 2 kg/cm^2 .