



Title	第11回札幌オリンピックにおける雪氷調査報告
Author(s)	黒岩, 大助; KUROIWA, Daisuke
Citation	低温科学. 物理篇, 30, 145-162
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18206
Type	departmental bulletin paper
File Information	30_p145-162.pdf



第11回札幌オリンピック冬季大会 における雪氷調査*

黒岩大助
(低温科学研究所)
(昭和47年10月受理)

序

北大低温科学研究所は札幌オリンピック組織委員会の委嘱によって過去4年間、オリンピック競技のための雪氷調査を行なってきた。これまでの結果は低温科学第26輯(1968年)、から第29輯(1971年)までに十数篇の報告となって掲載されている。1971年に日立製作所によって発行された「日本のスキー科学」には、1971年2月におこなわれた国際冬季スポーツ大会(プレ・オリンピック)までの調査結果が吉田によってまとめられ「札幌オリンピック冬季大会の雪」と題して印刷されている。これと同じ内容のものは低温科学第29輯の巻末に附録として収められている。札幌オリンピックは1972年2月3日から13日までいよいよ本番をむかえ、そして成功裡に終了したのである。この報告はオリンピック大会中に組織委員会の特別許可を得て、アルペンスキーコースの雪と真駒内スピードスケートリンクの水質とを調査したものである。

アルペンスキーコースの整備作業はオリンピック雪氷調査小委員会の助言にもとづいて根雪になる1971年の12月上旬から始められた。作業に従事したのは自衛隊北部方面軍のなかから組織された札幌オリンピック支援集団である。支援集団は幹部、隊員を含め3,641名より構成されていたが、このなかから各競技毎に数百名の隊員が配置され整備作業にあたった。競技コースの雪のふみかためはプレ・オリンピックの場合と同様、傾斜のゆるい場所は雪上車で、傾斜の急なところはツボ足とスキーによって行なわれた。第1表は、札幌オリンピック支援集団の「札幌オリンピック冬季大会支援成果報告」より抜萃した作業内容である。第1欄～第3欄には各競技毎にそれぞれ、スキー、ツボ足、雪上車でふみかためた雪面の面積と、作業に要した人力を示す(単位は人数×時間)。第4欄は競技コースが完成してから降雪がある毎にコースから除雪した雪の量と人力である。第5欄は手稲山回転コースと恵庭岳の滑降コースのなかで強風のため雪がつかず裸地になっている場所を他から雪を運んできてはりつけ整備した面積、はりつけ作業に要した雪の量と人力が示されている。第6欄は回転及び滑降コースで競技中選手がコースの外にとび出さないようにコースに沿ってつくった安全雪堤に要した雪の量と人力、及びジャンプ競技とルーージュ競技場で整備した通路の長さで人力が記入されている。第7欄はバイアスロンとクロスカンントリーで保守されたコースの全長と人力、第8欄は手稲山回転コー

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1228号

第1表 第11回札幌オリンピックにおける整備作業一覧*

	スキーによる 圧雪面積と 人力	ツボ足圧雪 面積と人力	雪上車圧雪 面積と人力	スキーコース より除雪した 雪の量と人力	雪で覆った 裸地と積雪の 量及び人力	コース沿いの 安全を要した 雪の量と通路 の長さ及び人力	保守したの 長さ	散水面積 と人力	各競技場 に割り当て られた人数
バイアスロン			88,350 m ² 1,760 人時	1,580 m ³ 3,755 人時			490 km 12,768 人時		334 人
クロスカンントリー							1,053 km 21,760 人時		
回転競技	1,188,050 m ² 9,845 人時	3,485,625 m ² 43,263 人時		148,250 m ³ 36,369 人時	9,203 m ² 6,673 m ³ 13,425 人時	800 m ² 80 m ³ 1,116 人時		6,850 m ² 1,362 人時	504 人
滑降競技	471,400 m ² 3,624 人時	871,000 m ² 5,868 人時		15,600 m ³ 546 人時	47,200 m ² 27,100 m ³ 25,388 人時	10 m ³ 3,868 人時			334 人
ジャンプ	143,160 m ² 3,790 人時	125,110 m ² 3,781 人時		20,708 m ³ 11,823 人時		1,050 m 2,261 人時			244 人
ボブスレー				14,969 m ³ 3,068 人時					97 人
ルージュ				3,776 m ³ 1,437 人時		800 m 44 人時			113 人

*1972年札幌オリンピック支援集団「札幌オリンピック冬季大会支援成果報告」より

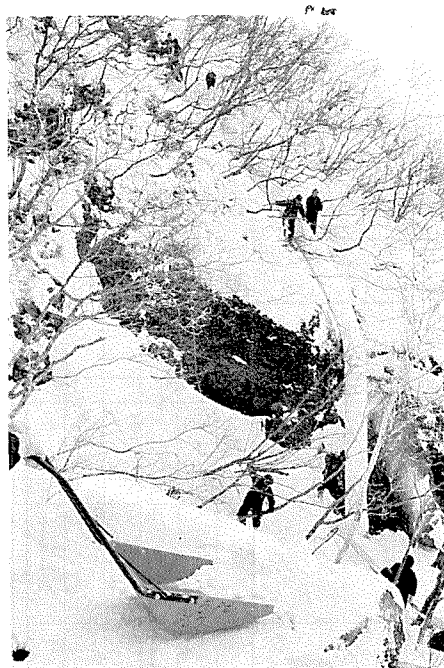
スの整備で散水した面積と人力、第9欄は各競技場で実際に作業に従事した支援団員数である。この表にみられるように支援集団の作業量はぼう大なものである。たとえば手稲山回転コースでツボ足だけでふみかためられた雪面は $3.5 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。この広さは真駒内スピードスケート競技場の220倍に相当する。



第1図 恵庭岳滑降コースの中程につくられた雪を溜める雪堤の柵 (札幌オリンピック支援集団提供)

I. 恵庭岳滑降コースの雪

恵庭岳には男女2つの滑降コースがつけられている。コースの全長と最大斜度は女子コースでは2,095 m, 35° 、男子コースでは2,559 m, 32° である。1971年12月初め30~40 cmの湿雪がふった。5人が一組になって毎日5回ふむというやりかたで両コースの基礎づくりが始まった。しかし、そのあとしばらくの間雪がふらず、かためた雪が風でふきとばされるような日が続いた。場所によっては全く雪がとばされて地面が露出した。そのような場所には次のような方法で雪を溜める工夫がなされた。まずコースの周辺の森のなかから30 cm×40 cm 角の雪のブロックを運びそれをつみ上げて一辺が2 m×2 mの矩形の柵をつくる。柵の一辺を構成する雪堤の高さは場所によってちがうがゴール付近では約1 m、スタート付近では30 cm位であった。第1図は滑降コースの中程の斜面につくられた雪を溜めるための柵目であ

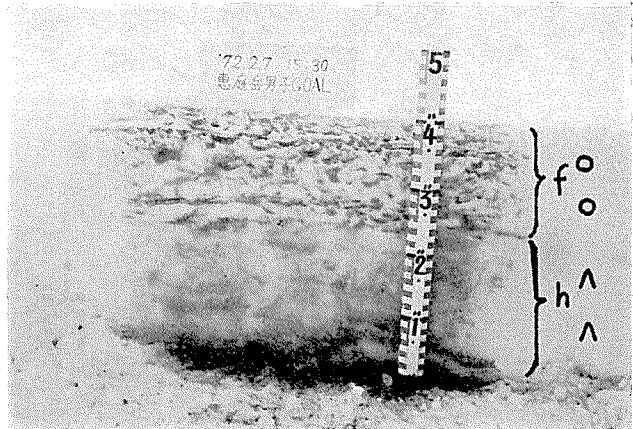


第2図 恵庭岳滑降コースに林のなかから雪を輸送するためのビニールチューブ (札幌オリンピック支援集団提供)

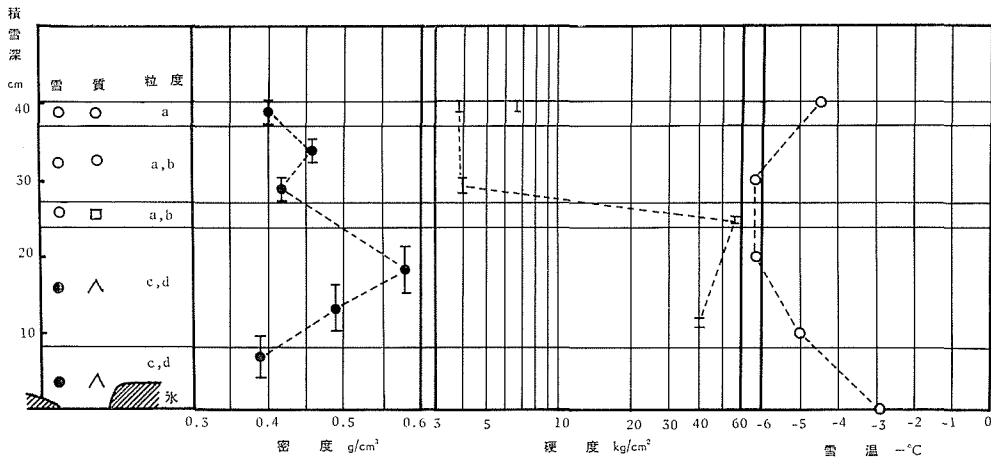
る。風が吹くと飛雪が樹のなかに落ちて溜る。溜った雪はすかさずふみかためるわけである。写真でコースの斜面を横切っているのは大きさが 90 cm×270 cm のアルミニウムの波板を曲げてつくった樋である。この樋のなかを雪をすべらせて運ぶのである。このような雪堤の柵目は雪を溜めるのに大いに有効であった。

1972年1月初旬、恵庭岳の頂上附近にわずかの降雪があつてからしばらく無雪の日がつづいてだけでなく、1月中旬には雨さえふつてかなりの雪がとけてしまった。それで裸地になったところへは林のなかから雪を輸送して埋めなければならなかった。雪を運ぶ手段は前記アルミニウム樋の他に第2図のような直径が40 cmのビニール袋のチューブ（スノーシューター）を使用した。まわりの林のなかの雪をこのチューブのなかに投げこみ必要な場所に誘導するのである。チューブの下からでてきた雪はまたアルミニウムの樋をすべって裸地に送られてゆく。使用された樋の全長はざっと2.1 kmに達した。第1表にみられる通り恵庭の滑降コースでは、このような手段で覆わねばならなかった面積は47,000 m²、使用された雪の量は27,100 m³に達した。このようにして輸送された雪はふみかためられ、スキーで平らにならされた。

1月29日～30日と2月2日～3日にかけて新雪があつた。しかしもはや競技開始直前であつたので、たとえ圧雪しても自然硬化によって十分な硬度に達する時間的余裕がない。それで全コースから新雪を除かねばならなかった。除雪した雪の総量は約15,600 m³であつた。



第3図 恵庭岳、男子滑降コースのゴール附近の雪の断面



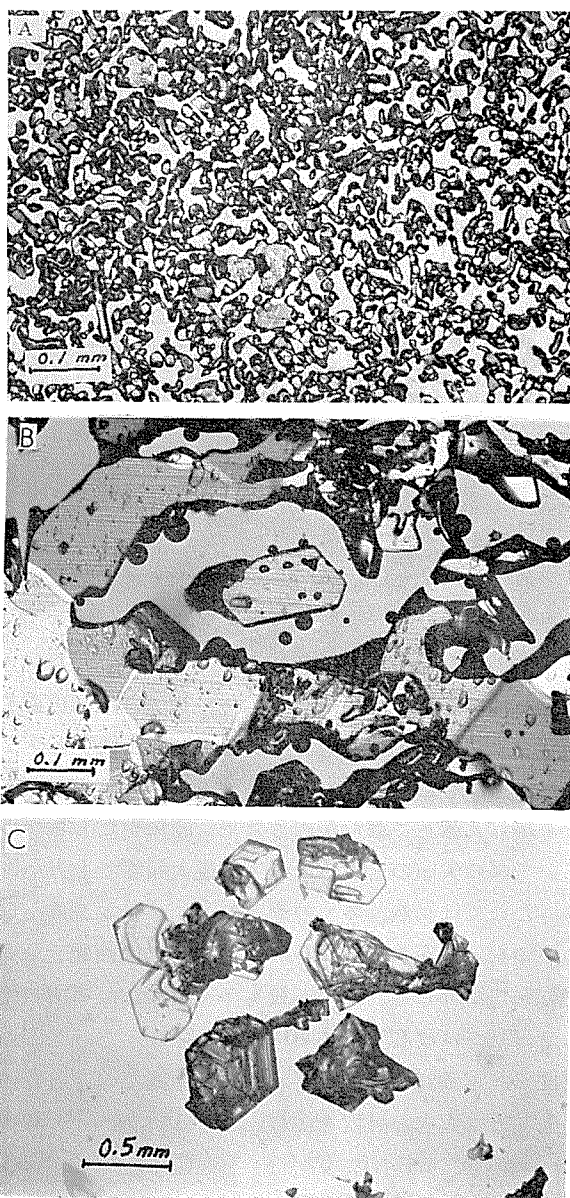
第4図 恵庭岳男子滑降コースのゴール附近の密度、硬度、雪温、粒度の垂直分布

恵庭岳滑降コースの雪氷調査は1972年2月5日と、2月7日の女子及び男子滑降競技が終了した直後に行なわれた。それぞれのコースの特定の場所に雪穴を掘り断面観測や表面硬度の測定を行なった。断面観測の結果は女子コースも男子コースも共に、コースの雪の厚さ、硬度、密度、粒度などほとんど同じであった。

第3図は男子ゴール附近の圧雪された雪の構造を示す。雪穴の壁の一部にインクを吹きかけ、トーチランプであぶると成層構造がみえてくるが、写真にみられるようにはっきりと2つの層に分れていることがわかる。hと印した部分が基礎の層で古くてかたい霜ざらめ雪である。上のfと印した層が雪上車で圧密されたしまり雪である。

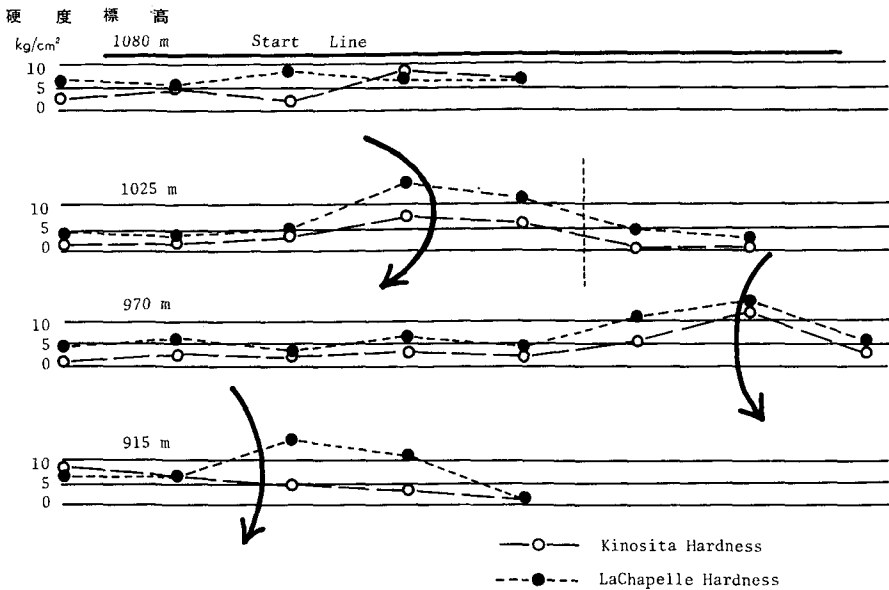
第4図はこの断面にそって測定された密度、木下硬度、温度、粒度の垂直分布を示す。積雪深は40 cmであったから寒気の浸透によって地面はかたく凍結していた。雪の平均密度と木下硬度はf層が 0.42 g/cm^3 、 4 kg/cm^2 、h層が 0.5 g/cm^3 、 47 kg/cm^2 であった。基礎のh層の木下硬度の値がf層に比べて大へん大きいのは、冬の初め雪が湿っているときふみかためられたからである。第5図のA及びBはそれぞれf層及びh層の粒子構造を示す顕微鏡写真である。この写真にみられるごとく、上層はよく圧密されたしまり雪、下層は粒径の大きい霜ざらめである。写真Cは、h層が地面と接している部分に発達していた霜の結晶である。この顕微鏡写真からも基礎のh層の硬度が如何に大きいか推定できるであろう。

2月8日、全滑降競技が終了したので男、女コースのスタート附近からそれぞれのゴールまでの表面硬度を合計20個所、測定した。1個所ではコー



第5図 恵庭岳、男子滑降コースのゴール附近の積雪の組織

- A. 第3図f層の組織
- B. 第3図h層の組織
- C. 第3図のh層と地面との界面に発達していた霜の結晶



第6図 恵庭岳男子滑降コースのスタート付近でコースを横断して測定した表面硬度分布

スを横断して2~3m おきに8~9個所の表面硬度が測定された。測定は木下式硬度計と、このあと第III節でのべるラシャペル型スキー・エッジ硬度計とで行なった。第6図の一番上の標高1,080mのものは男子コースのスタート付近でコースを横断しつつ測定した表面硬度分布である。縦軸は硬度で単位は kg/cm^2 、横軸は測定位置で任意スケールで示す。測定値は $5\text{ kg}/\text{cm}^2$ の値を中心に上下にバラついていて、木下硬度とラシャペル硬度との一致もあまりよくない。スタートから約55m下の、海拔高度1,025mの地点では、常に木下硬度の値がラシャペル硬度を下廻って測定されたが両方共平行関係をたもちつつ変化していた。この場所はコースが曲っていて図の矢印のところは選手が最大頻度で上方から左廻りにカーブしつつ通過した場所である。ここでは当然、多くの選手のシュプールが重なっている所以硬度は極大を示している。その下の記録は海拔高度970mの地点での表面硬度分布である。ここでは選手は上から左廻りに回転して滑降した。選手が最も多く通過した場所の硬度がもっとも大きく、測定値は木下硬度もラシャペル硬度も共に $10\text{ kg}/\text{cm}^2$ をこえている。以下順次このようにしてゴールまでの表面硬度が測定されたが、いずれの場所も当然のことながら多くの選手が滑ったシュプールのあとがもっとも大きな硬度を示し、 $10\sim 14\text{ kg}/\text{cm}^2$ の程度であった。通過頻度の少ない雪面では $4\sim 5\text{ kg}/\text{cm}^2$ であった(ラシャペル型スキーエッジ硬度計及びそれによって測定された表面硬度分布については第III節でのべる)。

II. 手稲山回転コースの雪

手稲山回転コースの全長と最大斜度は次の通りである。

男子大回転コース

1,177 m

42°

女子大回転コース	1,228 m	27°
男子回転コース	490 m	34°
女子回転コース	440 m	29°

手稲山回転コースの整備も1971年12月初め根雪と共にはじめられた。手稲山は恵庭岳とちがって雪が不足して困るということにはなかった。しかし、昨年の国際冬季スポーツ大会の時もそうであったが、男子大回転コースのスタート付近、女子大回転コース中間の急斜面、男女回転コースのスタート付近などはコースの下から吹き上げる強風によってほとんど雪のつかない場所があった。本番でもプレ・オリンピックの時の経験にもとづいて他から雪を運び水をまいて裸地に雪をはりつけるという方法をとることにした。このため本年度は男子回転コースのスタート付近には従来一基であった容量300tの散水用水プールが更に一基増設された。また女子大回転コースの海拔高度800m附近にも300t水槽一基、男子大回転コースには250t水槽一基がそれぞれ設置された。これらの水槽には根雪以前に給水車で水が輸送された。雪のはりつけ作業は次のように行なわれた。まず雪上車で平地の雪を圧雪し、これを30cm×30cm×40cmぐらいのブロックに切る。数日放置して自然に硬化させる。これを雪上車やリフトで裸地になっている場所に運び上げる。そして雪のブロックを斜面を横断して一列にならべ0.5~0.7mの間隔で雪堤の列をつくる。雪堤と雪堤との間の凹地に雪が溜ったとき散水してふみつけてゆくのである(既述のごとく、恵庭岳では雪堤で柵目をつくり雪をためたが散水はしなかった)。第7図はこのような作業状態を示す写真である。このようにして雪をはりつけた総面積は第1



第7図 手稲山男女回転コースのスタート付近での散水による雪のはりつけ作業
(札幌オリンピック支援集団提供)

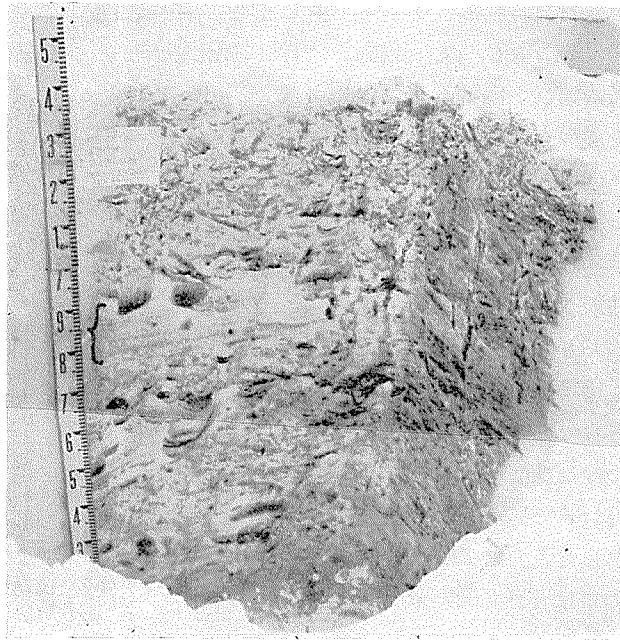
表によると、約9,203 m^2 である。そしてこの作業だけに要した人力は13,425人時、使用した雪の量は合計6,637 m^3

であった。しかし、このように水をまいて雪をかためると表面硬度にはムラができ均一なコースに仕上げることがむずかしい。このコースを予察にきた国際スキー連盟の技術顧問の勧告もあって散水によるコース造りは基礎づくりだけに限定された。雪がはりついてからはもっぱらツボ足とスキーとによって圧雪した。20~30名の隊員が一行横隊となりツボ足でふむ、そのあとをスキーをはいた隊員が平らにならすという作業を1日4回くりかえした。ツボ足による圧雪総面積は1,188,050 m^2 、スキーによる圧雪面積は3,485,625 m^2 であった。傾斜のゆるい場所は雪上車で圧雪した。コースが完成したあとでコースから除雪された雪の量は合計148,250 m^3 であった。

手稲山回転コースの雪氷調査は準備段階での調査をふくめ次のように前後5回の調査を行った。

調査日時	調査コースと調査内容
1972. 1. 5.	男女回転コースの断面観測と女子大回転コースの表面硬度
1972. 1. 24.	男子回転コースの表面硬度 600 m 附近の断面観測 女子大回転及び男子回転コースの表面硬度
1972. 2. 1.	男子回転コースのスタート附近での断面観測 女子大回転, 男子大回転及び回転コースの表面硬度分布
1972. 2. 9.	女子大回転コースでの断面観測ならびに表面硬度分布
1972. 2. 11.	男子大回転コースの表面硬度分布

しかし、ここにこれら調査結果の資料を全部をかかげる必要はないと思われるので、1月24日に行なった整備中の男子回転コースの断面観測結果と、競技が開始される直前の2月9日に行なった女子大回転コースにおける断面観測結果を簡単にのべる。

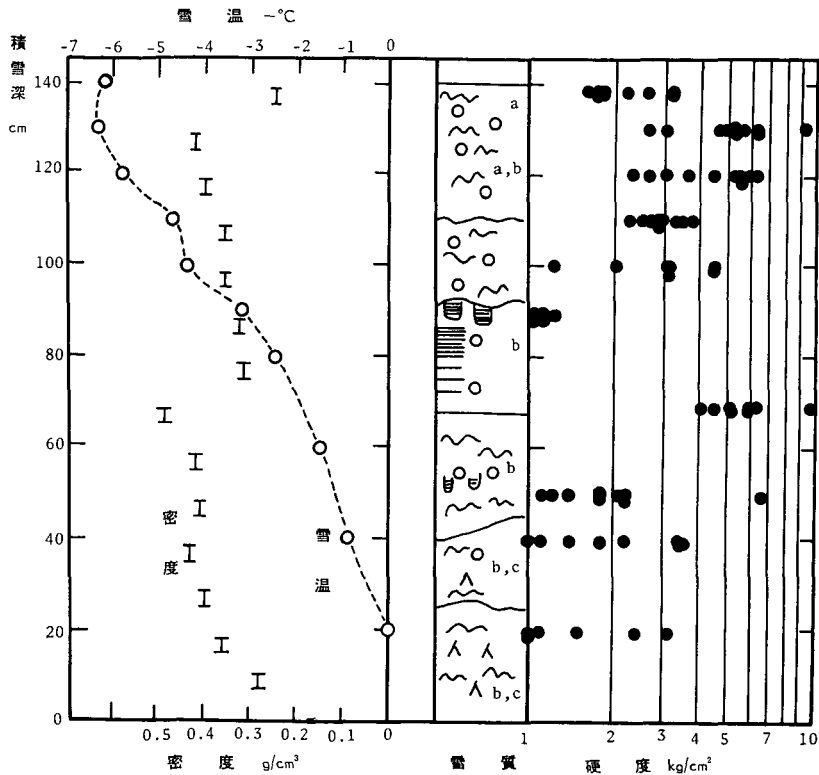


第8図 手稲山男子回転コースの積雪断面

括弧した層は年末、年始の間、圧密作業が休止されたため乱されていない。

第8図は1972年、1月24日に男子回転コースの途中、海拔高度680mの地点につくった断面である。積雪深は140cmであった。噴霧されたインキによって明瞭になった層構造をみると、ツボ足で圧密された部分とされなかった部分との区分が明らかである。写真のなかほど、雪の深さで75~90cmのあいだ(括弧をつけた部分)の層構造が乱されていないのは、年末から年始にかけて圧雪作業が休止されていたからである。第9図はこの断面にそって測定された、木下硬度、密度、温度、粒度などの垂直分布を示す。雪質は地面に接している下層の雪が霜ざらめになっていたが、その他はほとんど粒の小さいしまり雪であった。粒度でaは0.5mm

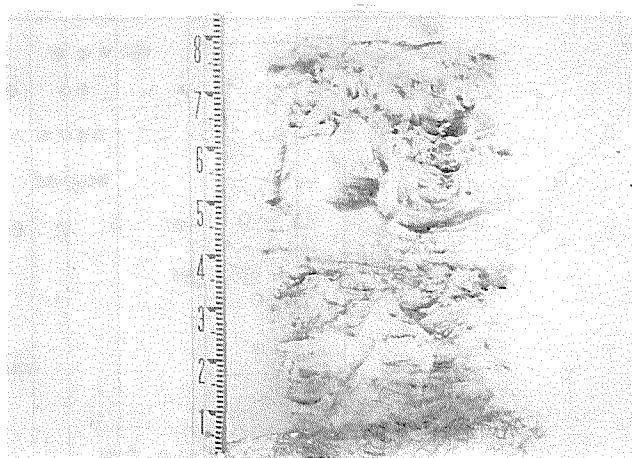
以下、bは0.5~1.0 mm, cは1.0~2.0 mmである。木下硬度の値は同じ深さの層でも大へんバラついているがこれはツボ足圧雪のためやむをえないことである。ただ年末、年始にかけて圧密されなかった深さ 80 cm 近辺の雪の硬度は大へん小さくてしかも硬度の測定値のバラつきも少ない。この日、男子回転コースと女子大回転コースについてスタート付近からゴールまで表面硬度を測定してみた。男子回転コースのスタート付近の散水で雪をはりつけた場所の表面硬度は4~9 kg/cm², コースの中程で2~4 kg/cm², ゴール附近の雪上車圧雪区域では4~7 kg/cm²の程度であった。また、女子大回転コースの表面硬度は、スタート真下の雪上車で圧雪された緩斜面で1.5~3.5 kg/cm², 中程のツボ足圧雪による急斜面で1.5~6 kg/cm², ゴール附近で1.5~6 kg/cm²の程度であった。測定時の雪温は-6.8~-8°Cであった。



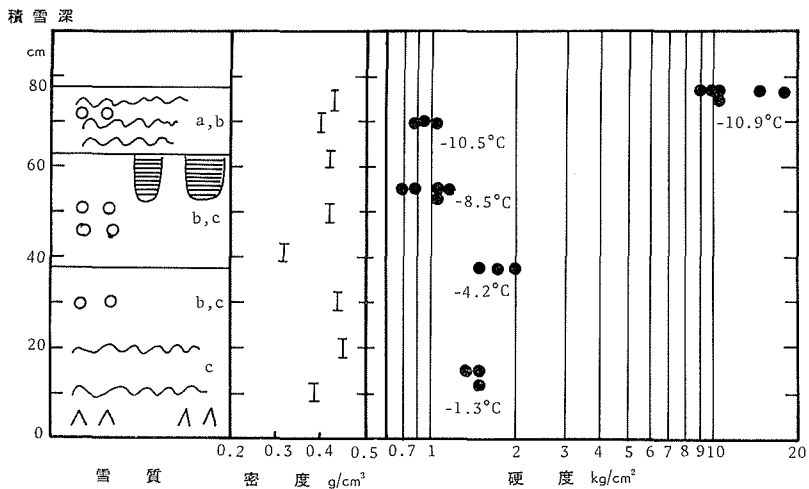
第9図 第8図の積雪断面にそつて測定された密度、硬度、雪温の垂直分布

さて、オリンピックが始まると競技中は勿論、競技のない日でも各国選手の公式練習などがあるがコースの調査は十分に行なうことができない。それで回転競技の2日前、2月9日に特別許可を得て女子大回転コースの調査を行なった。第10図はコースの中程の海拔高度760 m 附近の急斜面につくつた積雪断面である。この日も各国選手が練習中であつたので雪穴はコースの中心をやや外れた位置につくられた。第11図はその断面の密度、木下硬度、雪温、粒度の垂直分布である。この図にみられるように、雪質は下層のうすい霜ざらめを除いて全部しま

り雪である。積雪深は約 80 cm であった。硬度は表面のわずか数 cm の層が下層の雪に比べて 1 ケタ以上も大きい。回転コースとしての標準硬度 (10 kg/cm²) を上廻っているので十分であるが、すぐ下の層の硬度が大へん小さいのでコースとしては不安定である。しかし、オリンピック期間中は断面観測のための雪穴をコースのあちこちに掘ることは許されなかったので、第 10 図、第 11 図に示した断面構造が女子大回転コースの全体を代表しているとはいえない。この日も女子大回転コースの表面硬度をスタート付近からゴールまで測定した。スタート直下の雪上車による圧雪区域では 3.7~3.9 kg/cm² であった。しかし選手が頻繁に滑降しているシュプールに沿って硬度を測ると大体 6~7 kg/cm² であった。海拔高度 800 m 附近の急斜面では選手が頻繁に通過する雪面で 6~8 kg/cm²、ゴール附近では 7~8 kg/cm² であった。シュプールを外れた場所では 4~5 kg/cm² であった。測定時の雪温は大体 -11~-13°C であった。



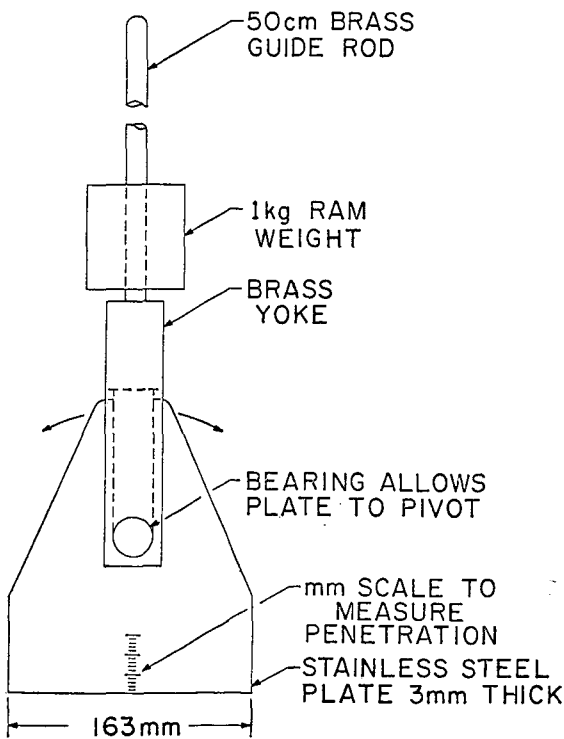
第 10 図 手稲山、女子大回転コースの海拔高度 760 m 附近の積雪断面



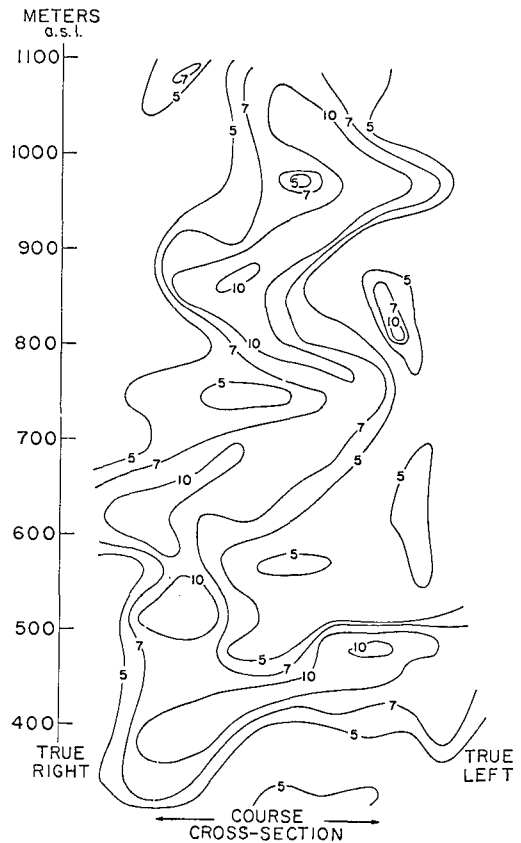
第 11 図 第 10 図の積雪断面にそって測定された密度、硬度、雪温、粒度の垂直分布

III. ラシャペル型スキー・エッジ硬度計による滑降コースと 男子大回転コースの表面硬度の測定

これまでオリンピック関係の雪氷調査では木下式硬度計（この測定器の詳細については吉田順五、札幌オリンピック冬季大会の雪をみよ）が使用されてきた。この硬度計は雪の硬さに応じて直径の異なる円板を雪面に水平に置き、この上に一定の高さから錘りを落して衝撃で凹んだ深さを測って硬度を求める方式である。ふみかためた雪面では、雪と接触する硬度計の先は断面の直径が 25 mm の円である。したがってツボ足でふみかためた不均一な雪面の硬度を測定するとなると測定値がバラつくのはやむをえないわけである。それで今回は、このようなバラつきをなるべく小さくするため、幅 3 mm、長さ 163 mm の矩形断面の金属板が、錘の衝撃で雪面にめりこむように工夫した硬度計が試作された。第 12 図がその略図である。この硬度計の雪に接触する面積は木下式硬度計と同じであるが、幅がせまい代わりに雪と接する長さが長くなる。したがって木下式硬度計に比べるとより平均的な意味での硬度が測定できることになる。またこの硬度計は幅がせまいのでスキーヤーが堅雪面にスキーのエッジをたてたとき感ずる雪の硬さをあらわすのに便利であろう。この意味でスキー・エッジ硬度計と名付けられた。



第 12 図 ラシャペル型スキー・エッジ
硬度計の略図

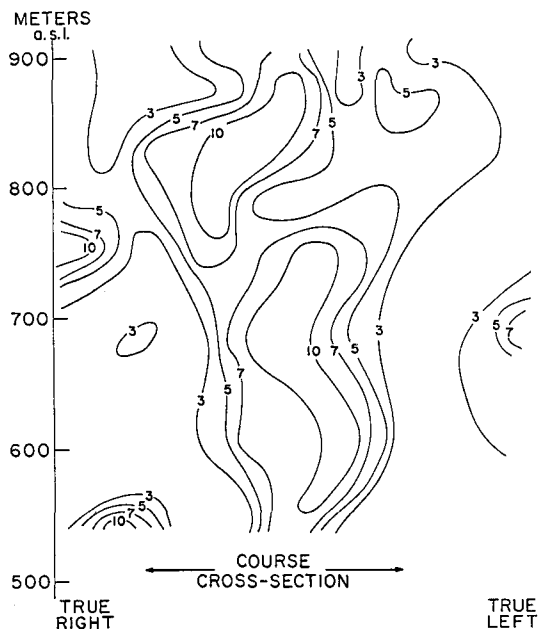


第 13 図 惠庭岳、男子滑降コースの表面硬度
分布図。スタート地点からみた時の
右側を図の左側に、左側を図の右側
にとってある。

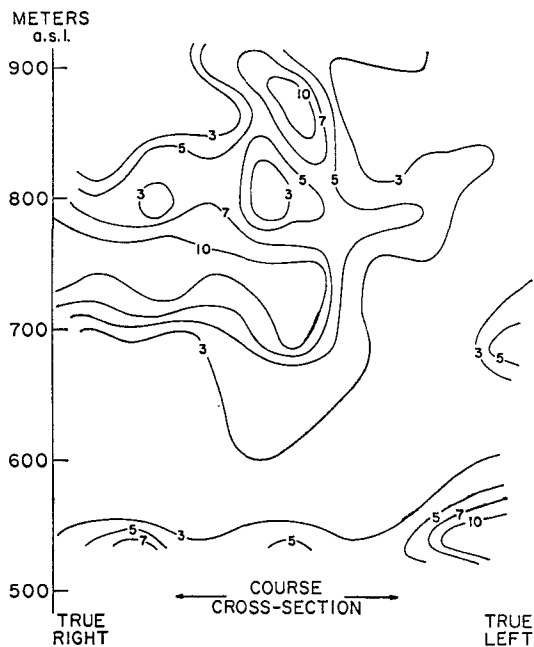
この硬度計はたまたま、1972年1月1日より3月末日まで流動研究員として北大低温科学研究所に赴任していたアメリカ、ワシントン大学の E. R. ラジャベル教授によって考案されたものである。

同教授は1976年コロラド州、デンバー市で開かれる予定の第12回オリンピック冬季大会の雪氷顧問として今回の調査に参加した。第13～第15図にこの硬度計で測定された、恵庭岳と手稲山のアルペンコースの表面硬度分布図が示されている。

第13図は、1972年2月8日に測定された恵庭岳、男子滑降コースの表面硬度分布図である。縦軸は、スタートからゴールまでの海拔高度、横軸はコースの横幅を任意スケールであらわした。97個所の測定値のなかから等しい値の場所をむすんで等硬度線を描いたものである。数字の単位は kg/cm^2 である。滑降競技が開始される前のまだ選手がすべっていない雪面の測定値がないので比較はできないが、この図にみられるように、上から下にかけてほぼ中央を蛇行する硬度が $10 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の帯がある。この部分は、選手がもっとも頻繁にすべり下った雪面をあらわすものと考えられる。第14図と第15図は1972年2月11日の男子大回転競技が開始される直前のコースの表面硬度分布である。第14図はAコース、第15図はBコースである。両コース共、選手はすべっていないので、第13図のように硬度の高い連続した帯はみられない。



第14図 手稲山、男子大回転コース(A)の表面硬度分布図



第15図 手稲山、男子大回転コース(B)の表面硬度分布図

IV. 真駒内スピードスケートリンクの氷質調査

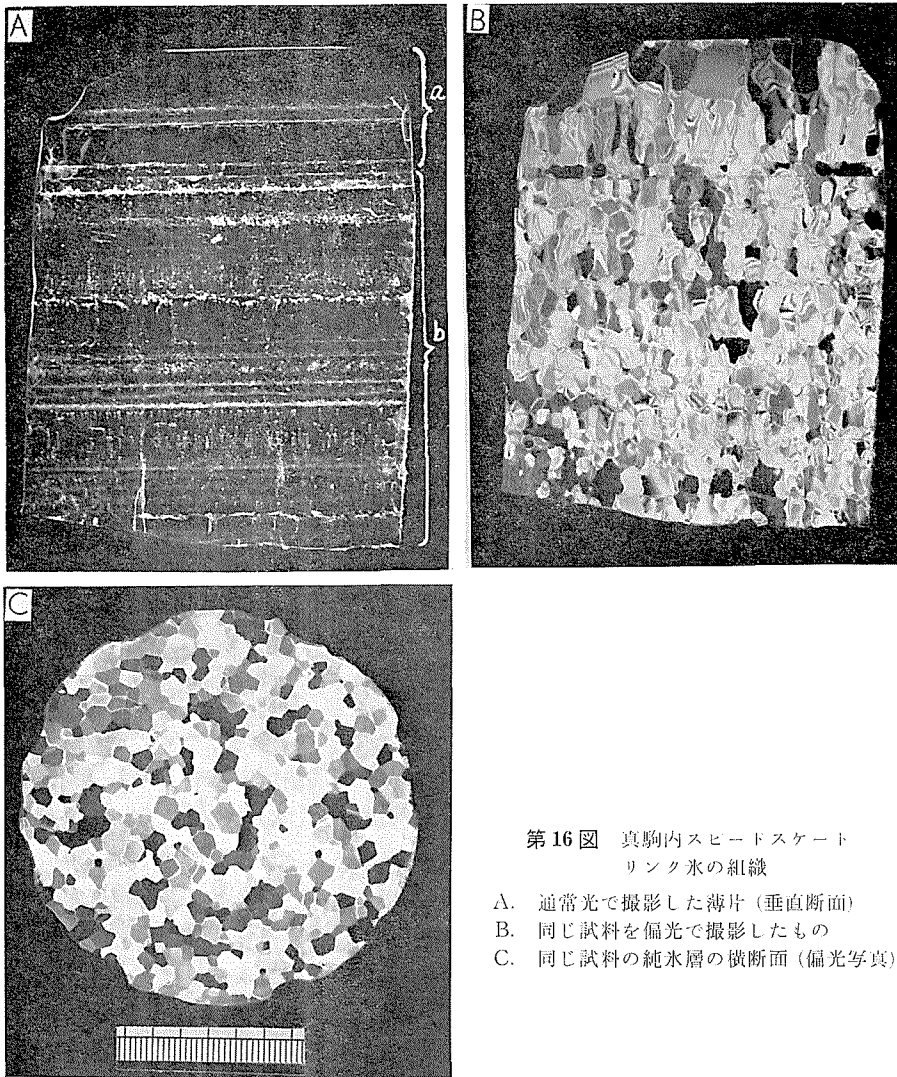
1971年2月札幌で国際冬季スポーツ大会(プレ・オリンピック)が開かれた。そのとき真駒内スピードスケートリンク

では期待されるほどのよい記録が生まれなかった。また、プレ・オリンピックに参加したスケート選手からも真駒内リンクの氷はすべりにくいという批判がでた。

氷がすべりにくい原因としては次のようなことが考えられる。まず第1には氷をつくるために使用した水の純度である。水道の水は一般にかなり多くの可溶性の不純物をふくんでいる。このような水を凍らせてゆくと、氷自身は内部にほとんど不純物を取りこまないで、大部分の不純物は氷と水との界面に追出されながら凍結が進行してゆく。氷が多くの結晶粒よりなる多結晶氷として成長してゆくときは、一部の不純物は結晶粒界にとりこまれたり、氷内部の気泡のまわりに折出したりする。スケートリンクのように散水された水が下の方から凍ってゆく場合は水が凍り終ったときには大部分の不純物は氷の表面に追出されていることになる。これがスケートの滑りをさまたげることになる。第2の原因はリンク表面の2次的な汚染である。たとえばリンク水の整氷中に整氷機などから不用意にこぼれおちる機械油やグリース、ペイント類による汚染である。あるいは風や雪によって運ばれてくる浮塵の氷面への沈積、附着である。プレ・オリンピックでよい記録がでなかった原因が上述の第1次的なものか第2次的なものか、またはその両方によるものかどうかははっきりときめにくい問題であるが、今回は日本スケート連盟の要望によってまず第1次の要因を取除くため、本番のオリンピックでは不純物を全く含まない純水によってリンク全面を覆うことが計画された。このため1時間当たり2tの純氷(脱イオン水)をつくる装置が新しく設置された。

真駒内のスピードスケートリンクの氷造りは1971年の冬の初めから始められた。しかし、厚さが8~9cmもあるリンク全体の氷を純水で作るわけにはゆかないし、またその必要もないので、基礎になる下層の氷は通常の水道水で作り表層だけを純水で覆うわけである。すべりやすい氷はいうまでもなく気泡を含まない透明な氷である。透明氷をつくるためにもっとも重要なことは散水する前に氷面の積雪を完全に除去しておくことである。不用意に雪の上に水をまいて凍らせると気泡入りの白い氷になってしまう。気象条件を考えに入れて冷却速度を調節しつつゆっくりと散水と凍結をくりかえし厚さを増してゆくのである。氷の厚さが7cmぐらいになったとき、散水を中止しザンボニーという整氷機で表面の氷を削り平らにならす。そして氷の削りくずは完全に取除く。次にザンボニーのタンクに純水を満しノズルから氷面に純水を散水しつつゆっくりと凍らせてゆく。これ以後は氷を厚くするには純水だけが使用された。

第16図、Aは1972年2月12日、女子3,000mスピード競技が終了した直後、リンクの氷を直径7cmのアイス・オーガーでボーリングしてコアを取り出し、これを縦にうすく切断して写真にとったものである。氷の厚さは約9cmであった。図で括弧bでかこんだ部分が水道水で作った基礎氷で括弧aで示した上層2cmの部分が純水である。氷のなかに横に水平にならんでいる白い点の列は、氷が成長中に捕捉した気泡である。気泡の列が何層にも重なっているのは散水によってだんだん氷が重ねられたことを示す。図にみられる通り表層aの純氷のなかに気泡の発生は少ない。写真Bは、同じ試料を偏光で撮影したものである。個々の結晶粒、その成長の様子がよくわかる。写真Cは純氷の部分の横に切断して偏光で撮影したものである。純氷の個々の結晶粒の大きさは平均して0.5cmぐらいである。



第16図 真駒内スピードスケート
リンク氷の組織

- A. 通常光で撮影した薄片(垂直断面)
 B. 同じ試料を偏光で撮影したもの
 C. 同じ試料の純氷層の横断面(偏光写真)

スケートリンクの氷の純度をしらべるためにリンクの異なった場所から4個の氷の試料がボーリングによって取出され、それぞれ、下の方から1cmの厚さに切断された。これら切断された氷の板は同一層毎に集められ、別々にとかして水にし、25°Cで電気伝導度が測定された。電気伝導度は氷に含まれている不純物濃度に比例する。このようにして各層毎に測定された電気伝導度の値を第2表に示す。 σ は電気伝導度、 c は実測された電気伝導度と等しい値をあたえる食塩水の食塩濃度を示す(1ppm=百万分の一)。この表にみられるとおり、上層の純氷の不純物含有量は下層の水道水の氷のそれに比べて数分の一である。ちなみに、この基礎氷をつくるために使ったもとの水道水の σ と c の値はそれぞれ

$$\sigma = 21.65 \times 10^{-5} \text{ mho/cm}, \quad c = 103 \text{ ppm}$$

であった。また、この水道水を純水製造装置を通して脱イオン水にすると σ と c はそれぞれ

第2表 真駒内スケートリンク氷の電気伝導率ならびに含有不純物濃度の垂直分布

切断した氷層	σ	c	
8~9 cm	2.000×10^{-5} mho/cm	9.5 ppm	} 脱イオン水
7~8	1.120	5.5	
6~7	2.480	13.8	} 水道水
5~6	5.945	28.5	
4~5	4.855	23.5	
3~4	3.195	15.0	
2~3	9.505	45.0	
1~2	13.50	64.0	
0~1	11.45	55.0	

$$\sigma = 2.045 \times 10^{-5} \text{ mho/cm}, \quad c \doteq 1 \text{ ppm}$$

に減ってしまった。しかし、この高純度の脱イオン水も一たび整氷機のタンクに入れられ、ノズルからとり出される時は汚染されていて不純物濃度は約10倍になっていた。第2表から次のことを注意しておきたい。すなわち基礎氷をつくるに使用した原水の不純物濃度は103 ppmという高い値であったが、現実の氷のなかの濃度は少なく、13.8~64 ppmの範囲であった。このことはリンクの氷をつくる際、凍結のさせかたによっては氷のなかに含まれる不純物濃度をかなり減少させることを示すものである。実際に、日本の湖水はかなり汚染させているが天然に氷がはるときはきわめてゆっくり凍結が進行するので湖水それ自身の不純物含有量は一般に原水よりはるかに少ないのである。

V. 第11回札幌オリンピック冬季大会の雪氷 に対する選手、役員の評価

以上は札幌オリンピックにおける雪氷調査の概要であるが、このようにして整備されたスキーコースやスケートリンクがオリンピックに参加した選手や役員にどのような印象をあたえたか、その評価を調査しておくことは将来、人工的に処理した雪氷をつかって競技を行なう場合に参考になるであろう。ところで札幌オリンピックに参加した選手の総数は1,128名、役員は1,655名であった。これらすべての選手、役員から1人1人の評価をきくことは到底不可能なことである。それでここには1976年デンバーオリンピックの雪氷顧問であるラジャベル教授の調査と、札幌オリンピック支援団体の成果報告にのべられている各国選手、役員の評価と批判を要約しておこう。

オリンピックアルペン競技技術顧問団のプラットナー氏及びスピース氏は1月21日~22日、整備中の恵庭岳の滑降コース及び手稲山の回転コースを視察し、また競技開始前日の各コースを点検し、オリンピック監督者会議の席上で人工的に処理されたスキーコースは大変良好であると公式にのべている。また競技レフェリーの一人であるノルデンスケルト氏は過去25年間のレースのうち最高のコースであるとの讃辞を送っている。勿論、これらの評価が、

コース整備を担当した組織委員会ならびにオリンピック支援集団に対する謝辞を多分にふくんでいたとはいえ、札幌オリンピックのスキーコースが競技用として使用に耐えるものであったことは確実である。しかし、実際に競技に参加した選手の評価は必ずしも十分なものとはいえなかった。ラシャペル教授が面接した選手たちの意見は、恵庭岳の滑降コースは別として手稲山回転コースの雪は、スラロームにとって少し軟かすぎるといふものが多かった。この点はわれわれが調査した各コースの表面硬度が、回転コースとしての一応の標準値(10 kg/cm²)よりも低い値であったことと照してうなづけることである。ヨーロッパアルプスのかたいアイスバーンの上で滑りなれている選手たちにとって、今回の人工処理された手稲山の雪がやわらかいという印象を与えたとしても無理はないであろう。しかしながら、雪は弾性と同時に粘性をそなえた典型的な粘弾性的物質である。したがってスキー選手が感じる雪の硬さ、やわらかさは、スコット・ブレイヤーが主唱するように多分に心理学的要素を含むいわゆるサイコロロジカルな感覚によるものと考えられる。したがって木下硬度やラシャペル型スキー・エッジ硬度計の示す硬さとは必ずしも比例しないであろう。将来、スポーツ科学の立場から雪氷が調査される場合にはサイコロロジの立場からの研究がのぞまれる次第である。

さて最後に真駒内スピードスケートリンクの氷に関する評価についてのべよう。今回の競技では第16図にみられるようにリンクの全表面が厚さ2~3 cmの純氷によって覆れた。スピード競技が全部終了してから一部の選手に真駒内リンク氷についての意見と感想をきいたところによると彼等は“真駒内リンクの氷は通常のスケートリンクの氷と比べて何か異質であるという感じを受けた。とくに温度が低いとスピードコントロールがむずかしい”と答えている。それにもかかわらず、今回のオリンピックでは多くの新記録が生まれたのである。第3表に各種レース毎に、公式に発表された氷温、天候、ならびに新記録の有無を示した。さきに小林が模型スケートをカタパルトで氷面に打出し、滑走距離を測定した実験によると、氷温が-2~-3°Cのときもっともすべりやすいと報告されている。第3表によるとこのような条件に合致しているのは2月6日の男子1,500 mの競技であって、このときには、第1位入賞者が新記録を樹立している。2月5日の男子500 mでは氷温が高すぎて氷面は一部ぬれていて新記録はでなかった。ところが、氷温が低い2月7日~9日の間に行なわれた競技でも多くの新記録

第3表 札幌オリンピックスピードスケートリンクの氷温、
天候と各競技におけるスピード新記録との関係

月 日	レ ー ス (m)	氷 温 (°C)	天 候	新 記 録 数
2/ 4	男子 5,000	-3.5~-3.0	降 雪	
2/ 5	男子 500	-2.0~-1.0	快 晴	
2/ 6	男子 1,500	-3.0~-1.0	快 晴	1位のみ
2/ 7	男子 10,000	-8.0~-4.0	快晴~高曇り	1位より5位まで
2/ 9	女子 1,500	-7.0~-3.0	高 曇 り	1位より5位まで
2/10	女子 500	-8.0~-6.0	快 晴	1位より7位まで
2/11	女子 1,000	-6.5~-5.0	降 雪~曇 り	1位より6位まで
2/12	女子 3,000	-6.0~-4.0	高 曇 り	1位のみ

がうちたてられたのである。とくに氷温が $-8 \sim -6.0^{\circ}\text{C}$ であった女子 500 m では第 1 位から第 7 位までの入賞者がことごとく新記録であった。しかし、この結果は氷温が $-2 \sim -3^{\circ}\text{C}$ のときスケートがもっともすべりやすいという実験結果と必ずしも矛盾しない。人間が自からコントロールしてすべる競技の場合と、すべて機械的にコントロールされた条件で行なわれる模型実験とでは滑走条件が異なるからである。また札幌オリンピックで多くの新記録が生まれたことについてその原因をただちに“純氷”に結びつけることも慎重を要すると思う。現に一部のスケート選手や役員は真駒内のリンク氷を“異質”と感じ、スピードコントロールがむつかしいという感想をのべている。真駒内の純水リンクがどんな点で選手に異質という感じをあたえたかもサイコロロジーとしては興味ある問題である。

札幌オリンピック開催中に行なわれたこの調査は、札幌オリンピック組織委員会及び自衛隊の札幌オリンピック支援集団の好意と援助に負うところが多い。またこの報告に掲載されている写真の一部は支援集団から提供されたものである。ここに記して謝意を表わす。

なおこの調査に参加した北大低温科学研究所員は次の通りである。

吉田 順五 黒岩 大助 若浜 五郎 藤岡 敏夫 小島 賢治
 清水 弘 遠藤 八十一 小林 大二 小林 俊一 秋田谷 英次
 前野 紀一 鈴木 重尚 対島 勝年 田沼 邦雄 油川 英明
 特別参加 E. R. ランシャペル (ワシントン大学)

この他、大学院理学研究科学生諸君の援助をえた。調査結果は黒岩がとりまとめた。

従来、オリンピック雪氷調査に関連して発表された論文報告は下の通りである。

(1) アルペンスキーコースに関するもの

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, 小林慎作, 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.

大浦浩文, 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棚の効果」. 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(物理篇) 第29輯 昭和46年(1971)

吉田順五 「札幌オリンピック冬季大会の雪」, 1-55. (この報文は日立製作所発行, 日本スキー科学研究会編「日本のスキー科学」に掲載されたものである).

(2) スケートリンクの氷質調査に関するもの

低温科学(物理篇) 第26輯 昭和43年(1968)

小林禎作, 北原武道 「スケートリンクの氷質調査」.

低温科学(物理篇) 第27輯 昭和44年(1969)

小林禎作, 北原武道, 河村俊行 「スケートリンクの氷質調査」.

小林禎作, 北原武道, 河村俊行 「氷の硬度測定について—特にスケート競技のために—」.

低温科学(物理篇) 第28輯 昭和45年(1970)

小林禎作, 中尾正義, 北原武道, 進士康信 「テストスケートによるリンク氷の動摩擦係数の測定—スケートリンクの氷質調査 III」.

低温科学(物理篇) 第39輯 昭和46年(1971)

小林禎作 「スケートリンクの氷質調査 IV」.

(3) 英文報告

Yosida, Z. 1971 Investigations on Snow Conditioning for the XI Olympic Winter Games, Sapporo. Scientific Study of Skiing in Japan. p. 115-125. Hitachi Co. Japan.

Kuroiwa, D. and LaChapelle, E. R. 1972 The Preparation of Artificial Snow and Ice Surfaces for the XI Olympic Winter Games, Sapporo. International Symposia on the Role of Snow and Ice in Hydrology. Banff, Canada.

Summary

This paper reports the result of investigations of artificially prepared snow and ice for the XI Olympic Winter Games held in Sapporo 3-13 February, 1972. In order to harden the soft snow surface, compression was applied by feet and skis. The total area of the processed snow surfaces was $4.7 \times 10^6 \text{ m}^2$ for the slalom courses and $1.3 \times 10^6 \text{ m}^2$ for the downhill courses. The Institute of Low Temperature Science had proposed that the standard values of hardness and apparent density of compacted snow should be 10 kg/cm^2 (Kinosita's Gauge) and $0.45-0.5 \text{ g/cm}^3$ for the alpine ski courses. In these investigations, a new hardness gauge designed by LaChapelle was used in combination with a Kinosita's gauge. The distribution maps of surface hardness of the ski courses were made immediately after the downhill events were finished (Fig. 13) and before the slalom events (Figs. 14 and 15). As seen in Figs. 14 and 15, the average value of surface hardness measured before the slalom games was lower than the standard value.

An apparatus for making de-ionized water was installed in the Makomanai Speed Skate Rink by the request of the Japan Federation of Skating to cover its entire area with de-ionized ice. Figure 16 shows the vertical and horizontal sections of the ice cores obtained by boring as soon as the speed skating events ended. The surface layer, 2 cm in thickness, consisted of de-ionized ice containing few air bubbles. The ice cores were sliced horizontally and melted separately to measure the vertical distribution of electrical conductivity of rink ice. As listed in Table 2, de-ionized ice contained very few impurities in comparison with those in the base ice made of tap water. Many new speed skate records were made on the de-ionized ice surface throughout the Sapporo Olympic Games.