



Title	スケートリンクの氷質調査
Author(s)	小林, 禎作; KOBAYASHI, Teisaku; 北原, 武道 他
Citation	低温科学. 物理篇, 26, 297-314
Issue Date	1969-03-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18092">https://hdl.handle.net/2115/18092</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	26_p297-314.pdf



## スケートリンクの氷質調査\*

小林 禎 作

(低温科学研究所 物理学部門)

北 原 武 道

(北海道大学大学院 地球物理学専攻)

(昭和 43 年 10 月受理)

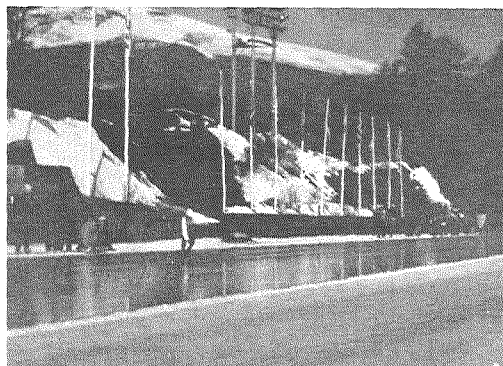
### I. は し が き

スピードスケート競技のためのリンクとしては、つぎの二つの条件が充たされることが望ましい。即ち、

1. リンクの氷が、競技に適した(あるいは、“よく滑る”とか“よい記録を生むような”とかいってもよい)物理的条件(温度、硬度、平滑度など)を具えていること。
2. ある種目の競技時間中、全選手が同じ条件で滑れるよう、上の物理的条件が一定に保持されること\*\*。

の二つである。

最近の競技会は、冷却パイプを埋設した人工リンクで行なわれることが多いから、どのような性質の氷がよく滑るかを知りさえすれば、それを人為的に再現し、そしてある時間保持することも不可能なことではなくなった。ところが、どのような氷がよく滑るかの問題については、これまで経験と勘に頼ってきた以上には、科学的な調査はほとんどなされていないようである。「蓼の海の氷がよく滑る。」とか、「よく滑るのは氷温が $-3^{\circ}$ から $-5^{\circ}\text{C}$ のときである。」とかはスケート関係の人々からよく聞くが、その湖の氷の温度やそ



第1図 軽井沢リンクにおける全日本選手権第3日目、男子500m競技で、バックストレート交叉線附近を滑る鈴木恵一選手。このレースで、鈴木はケラー(西独)と組んで39.2秒の世界新記録(非公認)を出したが、トラックの氷温は $-2^{\circ}\text{C}$ と推定され、滑走には最適の条件にあった

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第928号

本研究は札幌オリンピック冬季大会組織委員会の依頼により、日本スケート連盟、北海道スケート連盟の協力を得て行なわれた。

\*\* スピードスケート競技は、原則として400mのダブルトラックを使い、2人ずつの選手が一周ごとにトラックを入れ替って走り、各人のタイムによって順位を決定する。全日本選手権を例にとれば、一つの競技の所要時間は、500mで45分、10,000mでは氷の整備の時間を含めて2時間30分の程度である。

の他の物理的性状については何の知見も得られていない。氷の温度にしても、「 $-3^{\circ}$ から $-5^{\circ}\text{C}$ がよく滑る。」とは言っても、それがどのような方法で測られたものかは全く問題にされていない。我が国での大きな競技会では、これまでも氷温が公式記録としてのこされてはいるが、測定条件、規準が一定していないため、これらの記録も科学的な資料としては役に立たないのが実情である。

われわれは、1972年札幌冬季オリンピックのスピードスケートリンクを競技に最適な条件に整備するのを目的に、まずどのような氷がよく滑るかを知るため、競技会の実際の場での氷質調査を行なった。調査を行なったのは、1968年1月25日～28日、帯広市緑ヶ丘特設リンクでの第23回国民体育大会スケート競技会と、1968年2月27日～3月2日、軽井沢スケートセンターでの第36回全日本スピードスケート選手権大会の第3日目までである。帯広のリンクは、陸上競技場に撒水し自然の寒気で凍らせたリンク、軽井沢のは、パイピングをして人工的に結氷させたリンクである。調査項目としては、(i)“滑りよさ”と“氷の硬さ”についての選手の印象調査、(ii)気温及び氷温の測定、(iii)氷の硬度の測定、(iv)軽井沢においては、コアサンプルによる氷縦断面の顕微鏡観察、その他を行なった。

## II. 調査の方法

### 1. 帯広国体スピード競技会\*

#### i) 氷質についての選手の印象調査

予選・決勝を問わず、ほとんど全種目にわたり、1・2着でゴールに入った選手に個々に面接し、アンケート用紙(表-1)にもとづいて“硬度”と“滑りぐあい”について回答を求めた。

#### ii) 氷温測定

リンク中央と、ゴール直前のトラック外側付近の2カ所に、それぞれ1 cm, 5 cm, 10 cmの



第2図 帯広リンクにおける国体スピードスケート競技のスタート。シングルトラックを使った集団出発で行なわれる



第3図 帯広リンクにおける国体スピードスケート競技。1500m以上の長距離種目では、規定回数の責任先頭を果さなければならない

\* スピードスケート競技は、原則としてダブルトラックを使い、選手2人づつによって行なうタイムレースであるのに対し、国体は選手8～16人がシングルトラックを廻って走る変則的競技である。

第1表 水質調査アンケート用紙。全日本スピードスケート選手権で使用したもの。帯広園体用のものもほぼ同じである

水質調査アンケート用紙

札幌オリンピック冬季大会組織委員会  
全日本スケート連盟  
北海道大学低温科学研究所

○選手氏名 県名

○番号

○出場種目

○時刻 日 時 分

次の各項目に○をつけて答えて下さい。

※水 質 ※滑りぐあい

- ・非常に硬い ・大へんよく滑る
- ・硬 い ・よく滑る(滑り易い)
- ・普通 ・普通
- ・軟 い ・滑らない(滑りにくい)
- ・非常に軟い ・大へん滑らない

※滑らない(滑りにくい)理由

- ・コースが荒れている
- ・土・砂で汚れている



第4図 帯広リンクでの氷温測定。アルミ板製の三角屋根は、直接氷上に置くと日射を受けて沈んでゆくので、四隅に雪を積んで、屋根を氷から浮してある

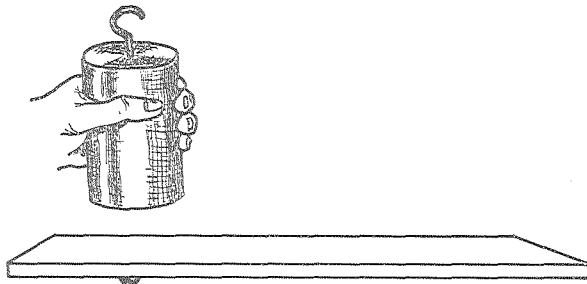
深さに曲管温度計を埋設し、競技開始1時間前から競技終了まで、ほぼ30分ごとに各深さの温度を測定した。氷表面温度としては、サーミスター素子を1mmφのステンレスパイプに納めたものを、氷表面スレスレに埋めて

測定した。各温度計には、直射日光を避けるためアルミ板製の小さな屋根をかぶせた(第4図)。

氷温が0°Cに近づいたときに、氷表面が融けて水で濡れているかどうかを検知するため、ウォーターブルー試験紙を用いた。これはウォーターブルーをガソリンに溶かして濾紙にしましたもので、乾いている時は白い紙のままだが、一旦水に濡れると鮮やかな青に変わる。

### iii) Brinell 法による硬度測定

直径6.35mmの鋼球を18×26cmの亚克力板にアラルダイトでとりつけ、板の短かい方の一辺が氷に接するように平らな氷面を選んで球を置く。球の直上に真鍮製1.5kgの分銅を載せると、亚克力板は氷とその一辺及び球で接触しているから球の滑りは防止され、かつ球は支点から充分遠く離れているため、荷重は球と氷の接点に垂直に働いたとみなし得る。荷重は30秒間かけた。氷の表面につけられた球のこん跡の直径を讀取るため、現場でフォームボール



第5図 Brinell 法による硬度の測定

レプリカを作り、あとから実体顕微鏡を使ってその直径を測定した。Brinell 硬度は次式によって算出される。

Brinell 硬度  $H$ :

$$H = \frac{2K/\pi D}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$

$K$ : 荷重 (1.5 kg)

$D$ : 鋼球の直径 (6.35 mm)

$d$ : こん跡の直径 (mm)

球のこん跡と Brinell 硬度との関係は第 6 図に示される。

#### iv) リンク状態の写真記録

リンク全般について氷の亀裂や気泡の濃淡、また競技中随時、レーストラックの“荒れ”ぐあいなどを写真に記録した。

## 2. 軽井沢全日本スピード選手権

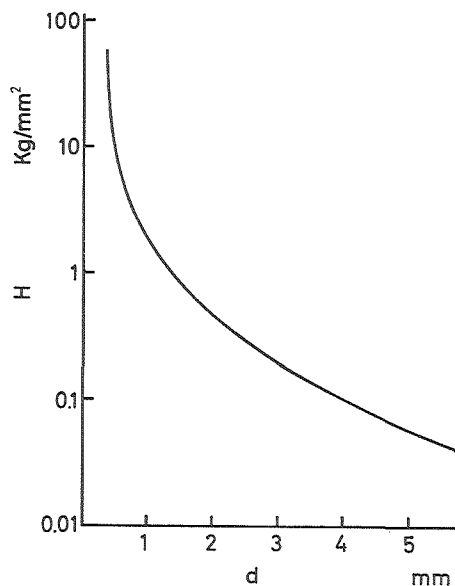
### i) 氷質についての選手の印象調査

第 1 日目の女子、500 m、1,500 m 両種目の全出場選手から、第 1 表に示したアンケート用紙を使い、“硬度”と“滑りぐあい”についての回答を求めた。

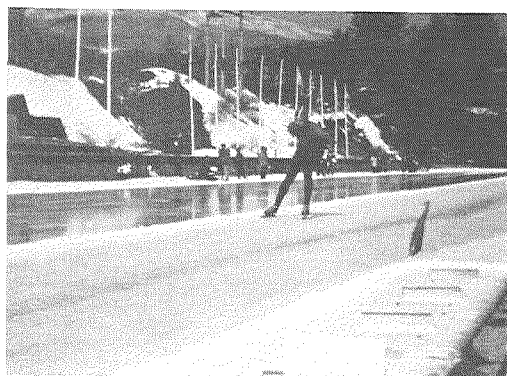
### ii) 氷温測定

帯広固体で主催者の公式発表する氷温と、われわれが測定した氷表面温度との間には、最大 6°C にも及ぶ違いがあったが、これは後で論議するように、主催者側の測定法が適当でなかったためである。過去に世界選手権大会で氷温測定を行なった札幌管区气象台や軽井沢測候所の測定法もいずれもまちまちで、またスケート連盟にも氷温測定の規準がないことがわかった。

氷の表面温度測定は、それ自体難しい問題ではあるが、リンク整備の上で、最も基礎的な資料となる重要なものである。それで今回は、これまで各地で用いられた方法を吟味し、比較的簡便に氷表面温度を測るにはどうすればよいかを調べるため、つぎのように氷の表面は勿論、氷の内部にもいろいろな工夫をこらした温度計をたくさん設置し比較測定を行なった。測定を行なった場所はアップリンクのバックストレ



第 6 図 球のこん跡 (直径:  $d$ ) と Brinell 硬度 ( $H$ ) との関係 (負荷時間; 30 秒)



第 7 図 軽井沢リンクでの氷温測定。中央スノーラインから手前白くみえる所が着霜したアップリンクで、測定はアップリンクの一隅で行なわれた。スノーラインの向う黒くみえる所が、ゼンボニーで整水したレーストラックである。氷温測定露場の手前には、日蔭を作るための衝立て、その向うには逆 L 型の屋根 3 ヶがみえる。練習中の人物はケラー選手 (西独)

ート中央附近である(第7図)。

#### 表 面

サーミスター温度計	1 mm $\phi$ ステンレスパイプ入り, アルミ板製屋根付き
棒状水銀温度計	屋根なし
〃	ベニヤ板, 表面アルミ箔の屋根付き
〃	衝立を置き, 日蔭に入れる
〃	屋根なし, 水銀溜めを黒く塗装

これら棒状温度計は氷表面に平行に置き, 管の半分が氷に埋まるように設置し, 感温部は薄い氷の膜で包んだ(第10図)。

#### 深さ1 cm

曲管温度計	屋根なし
〃	アルミ板製屋根付き
〃	ベニヤ板, 表面アルミ箔の屋根付き
〃	屋根なし, 水銀溜めを黒く塗装

#### 深さ3.5cm

曲管温度計	屋根なし
〃	ベニヤ板, 表面アルミ箔の屋根付き
〃	屋根なし, 水銀溜めを黒く塗装

#### 深さ5 cm

曲管温度計	屋根なし
〃	ベニヤ板, 表面アルミ箔の屋根付き

#### 深さ10 cm (氷とコンクリートとの界面)

曲管温度計	屋根なし
〃	ベニヤ板, 表面アルミ箔の屋根付き
〃	屋根なし, 水銀溜めを黒く塗装

各曲管温度計は, 木工用ドリルで氷に垂直にあけた穴に差し込み, 水を流し込んで凍りつかせた。

#### iii) 硬度測定

帯広で使った測定器に改良を試みたが, 手違いのため間に合わなかったので, 今回は携行した木工用ドリルで代用した。ドリルの全重量は1.2 kg, 鋼球の代りに使った刃は12 mm 規格のものである。これを氷上に垂直に立て, 10 秒間手で保持したのち, 刃の後を实体顕微鏡で直読した。刃の跡はラセン形になるが, 最大径をもって直径と考えた。

低温実験室内で氷の同一試料について, 帯広と軽井沢との二つの方法の測定を同時に行なった。これらの測定から両者の間の相関を求め, 軽井沢での測定値を帯広での測定方式に変

換したのち、Brinell 硬度を計算した。

iv) リンク状態の写真記録

リンクの亀裂、気泡、着霜の状態、スケートのトレース、ザンボニィによる整氷状況などを写真に記録した。

v) コア サンプリングによる氷の断面観察

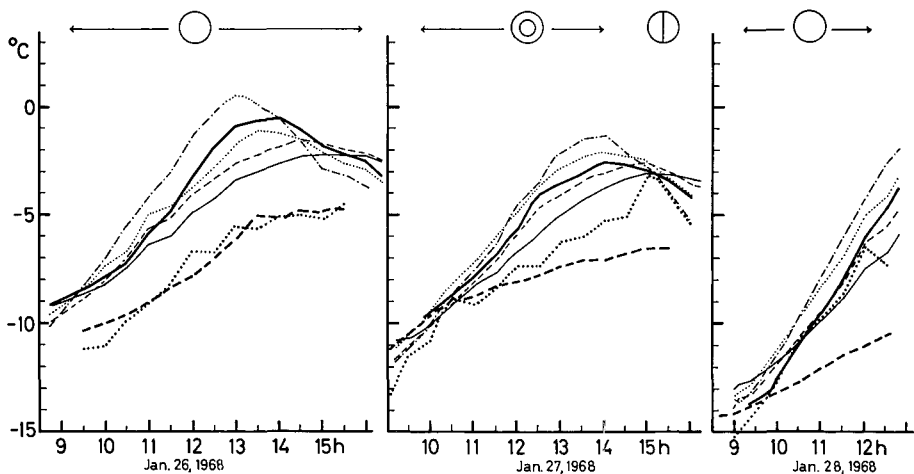
アップリンクのバックストレートで2カ所、及びレーストラックのバックストレート中央スノーラインが切れる付近で1カ所、それぞれ直径75mmの氷の円筒試料を表面から底まで採取した。深さはいずれも10cmであった。この試料を縦に切断して、厚さ5mm程度の薄板を成形し、実体顕微鏡によって、気泡の分布状態、氷結晶粒の大きさを調べた。

III. 調査結果と考察

帯広と軽井沢との2回の調査結果をとりまとめて、以下項目別に考察する。

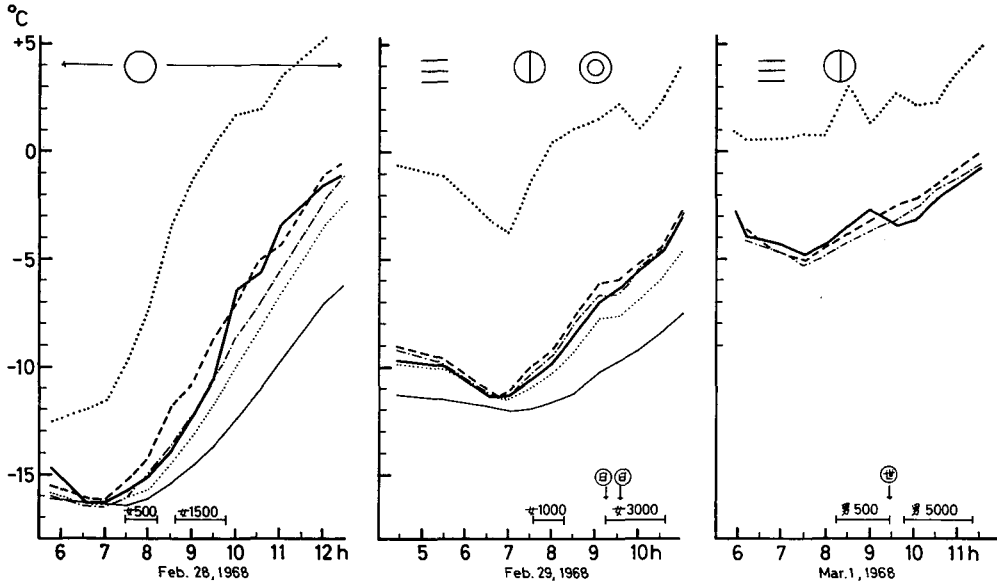
1. 氷盤内の温度分布

第8図は帯広リンクの中央で測定した氷の表面及び内部の温度の時間的変化を示す。この図で氷温7cmとあるのは、氷と土との界面、10cmは土中の温度である。軽井沢リンクについての氷温の時間的変化は、第9図に示す。氷表面から1cm以上の深さの温度計については、屋根のあるもの、屋根のないもの、水銀溜めを黒く塗ったものの中に、その示度に誤差の範囲を越えるような差異はなかった。気温はアスマン通風温度計で測った氷上1mの高さのものである。第8図には、主催者側によりリンク中央で測定され、公式記録として発表された氷温も示してある。



第8図 帯広リンクにおける氷温の時間的変化 (1968年, 1月26日~28日)。

- サーマスターによる表面氷温,
- - - 1 cm,
- ..... 5 cm,
- · - · 7 cm (氷と土との界面),
- 10 cm (土中),
- - - 公式記録の氷温,
- ..... 気温



第9図 軽井沢リンクにおける水温の時間的变化  
(1968年, 2月28日~3月1日)。

- サーマスタによる表面水温,      ..... 5 cm (Feb. 29は3.5 cm),
- - - 棒状温度計による表面水温,      - - - 10 cm (氷とコンクリートとの界面),
- · - · 1 cm,      ..... 気温,

⊙ は日本新記録, ⊕ は世界新記録を示す

第8図をみてまず気が付くことは、公式発表の水温が、われわれの観測値に比し非常に低いことであるが、これについては次の表面温度の項で論議する。

つぎに注目されるのは、日射のある場合、氷の表面温度は氷の中の最高温度とはならず、氷の最高温度は表面から下1~5 cmのある深さにあることである。この傾向は、軽井沢での観測では、帯広におけるほど顕著ではなかった。これは、帯広の気温が水温より低かったのに対し、軽井沢では、気温が水温よりかなり高かったためと考えられる。

リンクに日光があたると、投射光線の一部は表面で反射されるが、残りは氷の内部に入って吸収され熱となる。この熱量は、表面での日射の強さを  $I_0$ 、表面での日射の反射係数を  $r$ 、氷内部での日射の減衰率を  $\alpha$ 、表面からの深さを  $X$  とすると

$$\alpha(1-r)I_0e^{-\alpha X}$$

と表わされる。常数  $\alpha$  の値は氷の性質によって、ここでは特に気泡の含まれ方によってきまると考えられる。氷内部の温度  $U(X, T)$  は、つぎの熱伝導微分方程式

$$c\rho \frac{\partial U}{\partial T} = k \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \alpha(1-r)I_0e^{-\alpha X}$$

で与えられる。上の式で  $c$  は氷の比熱、 $\rho$  は氷の密度、 $k$  は氷の熱伝導率をあらわす。

この式の解は、積雪については吉田<sup>1)</sup>、南極の氷については Budd<sup>2)</sup> によって与えられてお

り、温度が最高になる場所は氷の表面下ある深さの所に現われることがわかる。吉田の計算方式に従い、積雪の代りに、氷についてつぎのような常数値を入れて計算してみよう。

第 2 表

	積 雪	氷
密 度 $\rho$	0.35 g/cm <sup>3</sup>	0.92 g/cm <sup>3</sup>
熱 伝 導 率 $k$	$5.0 \times 10^{-4}$ cal/cm·s·°C	$5.2 \times 10^{-3}$ cal/cm·s·°C
表 面 反 射 率 $r$	0.7	0.01
日 射 減 衰 率 $\alpha$	0.5/cm	0.005/cm
日 射 強 度 $I_0$	50 cal/cm <sup>2</sup> ·hr = $1.4 \times 10^{-2}$ cal/cm <sup>2</sup> ·s	

上の値を用い、氷のはじめの温度を  $-10^{\circ}\text{C}$  として温度の最高の現われる深さ  $x_{\max}$  を求めると、日射が当たりはじめてから 28 時間後、約 60 cm の深さとなり、リンクでの実測と合わない。軽井沢リンクのように外からみる限りかなり透明と思われるものでも、顕微鏡で調べると氷は多くの小さな気泡を含んでいるので、実際の日射の減衰率は上の値よりも大きく、また熱伝導率も悪いことが想像される。気泡をふくむリンクの氷について、 $\alpha$  や  $k$  の実測値はないが、仮りに  $\alpha=0.05$ ,  $k=1 \times 10^{-3}$  として計算すると  $x_{\max}=8$  cm となる。これでもまだわれわれの実測  $x_{\max} \approx 1$  cm とはかなりくい違う。

上の計算では、日射の減衰率は深さによらないと仮定しているが、実際にリンクの氷を抜き取ってその縦断面を顕微鏡で観察すると氷には気泡の密な層と疎な層とがサンドイッチ状に入っており、吸収は一様にはおこり得ない。表面近くに気泡の密な層があると、そこで日射の散乱、吸収がはなはだしく、温度の最高点はその深さに現われるであろう。

このように日射のある場合、氷の温度は表面が最高ではなく、表面から少し入った所が最も高くなることは、スケートの滑走に大きな影響を与える。

日射を受けて氷の温度が上がってゆくと、表面が氷点以下であっても、内部で  $0^{\circ}\text{C}$  に達し融解をおこすことがありうる。気泡の密な部分が表面ごく近くにある時は、そこで融解がおこり、スケートは氷の薄板を割りながら進んでゆくことになり、競技に大きな支障を与えることになるであろう。帯広リンクでみられたように(図版 I, 第 1~4 図)、氷の大きく割れた例はたぶんこのような原因によると思われる。

また氷の内部で融解がおこると、融解にともなう体積の減少のために空洞を生じ、再凍結に際してそれは氷の中に閉じこめられることになる。こうして空洞の密度が増加してゆくが、この空洞は更に日射の吸収を促すから、氷はますます悪化してゆくであろう。

あとで述べるように、氷は温度が上るにつれて軟くなるが、 $0^{\circ}\text{C}$  近くでは急激に軟くなる。リンク表面が  $0^{\circ}\text{C}$  になったとき、内部はそれより早く  $0^{\circ}\text{C}$  になっているから、氷の温度は表面からある厚さはすべて  $0^{\circ}\text{C}$  である。スケートはこの場合、この厚みのごく軟弱な氷を押しつけて進むことになり、非常に大きな抵抗を受ける。3 月 1 日, 11 時 25 分, 軽井沢での男子 5000 m, 9 組の競技は、スケートのトレースから判断して、このような条件のもとにあったと思われる(図版 III, 第 19~21 図)。

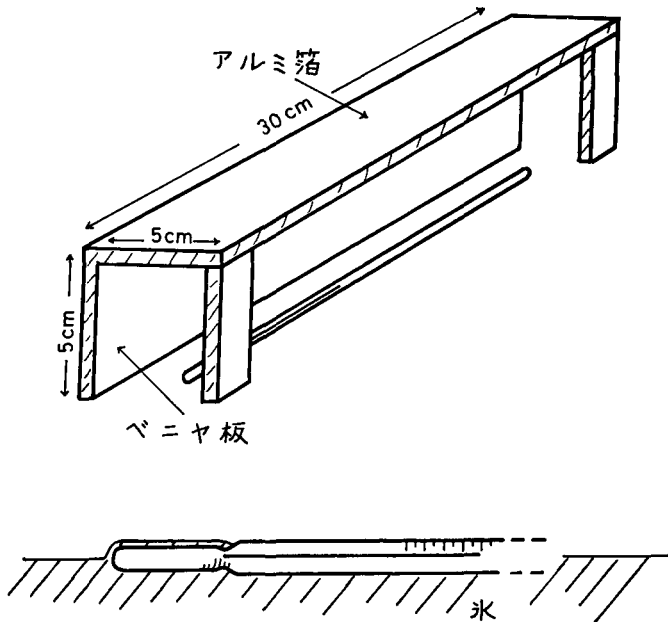
## 2. 氷表面温度の測定について

氷の表面温度をきめる因子としては、空気からの熱伝達、氷内部への熱伝導、日射及び放射冷却、空気中の水蒸気の表面への凝結と、表面からの蒸発などが考えられるが、これら因子に影響を与えないようにして表面温度を測定することは非常に困難である。またスケート競技の運営、リンク管理の上から、取り扱いが難しく高度の専門技術を要するような測器の使用も実用的立場から好ましくない。

スケート競技会の水温測定を標準化するという意味から、われわれは従来行なわれてきた水銀温度計による測定と、サーミスター温度計による測定との比較を試みた\*。

比較測定を試みたのは、II-2-(ii)にあげた、サーミスター温度計1本と、水銀棒状温度計4種である。サーミスター測温体はビード型素子を1mmφのステンレスパイプの先端に入れたもので、メーター指度は0.2°C目盛りのものを用いた。水銀温度計は水銀溜めの太さ6.5mm、長さ3cm、温度範囲+50~-30°C、1/2°C目盛りのものである。サーミスター測温体も水銀温度計も、あらかじめ氷表面に掘った細い溝に水平に横たえ、感温部の半分が氷の中に埋まるよう、隙間には水と氷のかき屑をつめて凍り着かせた。また水銀溜めの上半分、氷の上に出る部分は、周りの氷盤と蒸発あるいは凝結の条件が同じになるよう、薄い氷の膜で包んだ(第10図)。

このようにして埋設した温度計は、表面ごく近くの、温度計の太さの1/2に相当する厚み



第10図 日除けの屋根と表面用温度計の埋設の仕方

\* サーミスター温度計には表面測定用と称する圧着型の測温体が市販されているが、氷表面用としては特別な測温体を試作することが必要なため、今回の比較測定では除外した。適当な測温体を使えば、この形式の温度計は氷表面の測定に便利なものと考えられる。

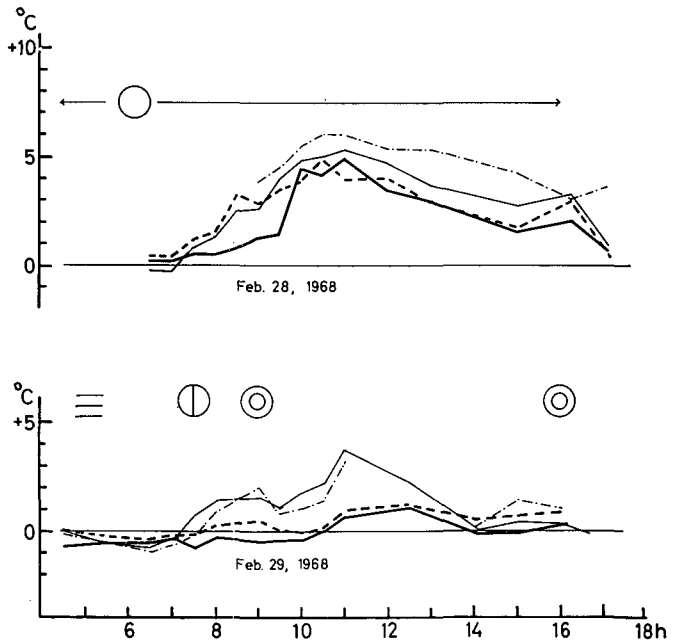
熱電対を使用する温度計は、0°C接点の保守が面倒なので、試験の対象から外した。

の氷層の平均温度を示すもので、——従って、むしろ表層温度と呼んだ方が適当だが——これは表面温度に近いと考えてよいだろう。

ここで問題になるのは感温部に対する日射の影響である。気温を測る場合、感温部が直接日射を受けないよう、温度計を通風のよい百葉箱に入れたり日蔭に置いたりするのは常識である。それだからといって、スケートリンク全面が日射を受けている時に、リンク内の特定の場所に遮蔽物を置いて日蔭を作り、そこに温度計を置いて氷温を測ろうとするのは適当でない。

もちろん氷表層での日射の吸収率と温度計水銀溜めの吸収率とは異なる。氷の上に温度計を横たえた場合、温度計の方がよく日射を吸収して暖まるから、温度計のまわりでまず融解がはじまり、温度計は氷の中に沈んでゆく。この影響を避けるため、われわれは温度計感温部への日射を遮るような小さな屋根をかけた。こうすることによって、温度計示度は、周りの日射を受けている氷の温度よりやや低目になるであろう。つまり日射のある場合の氷表層の真の温度は、屋根をかけずに日射にさらした温度計の示度と、この小さな屋根付き温度計の示度との中間にある筈である。屋根なしと小さな屋根付きの温度計示度の差がどの位になるかは、第11図の軽井沢、2月28日の測定結果にみられるように、高々1°Cである。したがって真実の氷表層温度はこの1°Cの幅の間にあったと言える。

勿論この温度の幅は、温度計にどのような屋根をかけるかによって異なる。余り大きな屋根をかけると、つぎに述べる  
衡立ての蔭に置くと同様な結果になる。また余り小さな屋根で覆うと、今度は通風が悪くなり、日射を受けて暖まった屋根のために内側の空気の温度が上がり、温度計は日蔭にあるにかかわらず、かえって高い温度を示すことにもなる。理想的には、温度計の感温部をつねに日射を受けている氷と接触させながら、感温部の上には日射が当たらないよう、太陽高度に応じて動く屋根をかければよいのだが、これは簡単には実現出来ない。



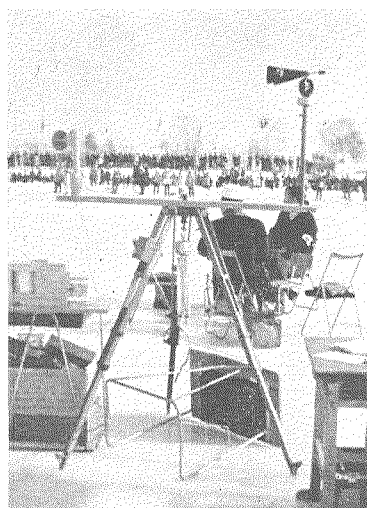
第11図 日蔭の温度計示度に対する各種表面温度計の偏差

- サーマスタ 屋根付き,
- 棒状温度計 屋根付き,
- 棒状温度計 屋根なし,
- · - · 棒状温度計 球部黒塗り, 屋根なし

われわれはこれらの事柄を予想し、通風をよくするために第10図のような逆L型

の屋根をかけ、材質としては、日光をよく反射するよう表面にはアルミ箔を、屋根本体には、表面で吸収した熱を内側に伝えないよう断熱のよい木材を使用した。このような工夫から得られた $1^{\circ}\text{C}$ の幅は、今回の測定の精度からして満足すべきものと考えられる。

第11図は、氷の上に高さ20cmの衝立てを日差しに面して立て、その蔭に置いた温度計の示度に対する各種表面温度計の偏差を表わしている。図にみられるように、日蔭に置いた氷表層の温度計は、日射を受けている氷表層の温度計に対しかなり低く、最大で $5^{\circ}\text{C}$ も低くなることがわかる。帯広での快晴の日に、公式氷温がわれわれの測定に対しつねに低く、その差が最大 $6^{\circ}\text{C}$ に及んだのも、第12図のようにリンク内に約 $1\text{m}^2$ の日蔭を作り、その氷温を測定していたためで、日射を受けているリンクの真実の氷温を示すものでないことが、上の結果からよく理解されよう。



第12図 国体主催者側による公式氷温測定。机を横に倒して、その日蔭に曲管温度計が埋設してある

第11図には、日射を特に吸収するよう水銀溜めに黒ラッカーを塗ったものとの比較もしてある。黒く塗ったものと、塗らないものとの差が、空気中にさらした場合に較べて小さいのは、氷に包まれた場合の方が空気中にさらした場合よりも、吸収した熱が氷の熱伝導によって周囲に速かに伝達されるからであろう。

サーミスターと棒状温度計とには、それぞれアルミ板製三角屋根とベニヤ製表面アルミ箔の逆L型屋根とをかけているが、その示度はよい一致をみせている。2月28日、 $8^{\text{h}}00\sim 10^{\text{h}}00$ の間、サーミスターの示度がやや低く出ているが、その原因はわからない。

第11図にはまた軽井沢2月29日の観測例を示すが、 $10^{\text{h}}00\sim 13^{\text{h}}00$ を除き、終日、キリ又はクモリの天気であった。サーミスター、棒状温度計の示度はよい一致をみせ、当然のことながら、衝立ての蔭の温度計示度ともよく一致している。 $10^{\text{h}}00\sim 13^{\text{h}}00$ にかけて屋根なしの棒状温度計が高い温度を示しているのは、水銀溜めの部分が氷から乾いて浮き上がっていたためである。サーミスター又は水銀温度計を氷表面に横たえて測温する場合、蒸発によって感温部が浮き上らないよう、また水銀溜めの上部がつねに氷で薄く包まれているよう温度計の保守に注意が必要である。

以上の観測結果から、氷の表面温度は、細い棒状サーミスター測温体、あるいは棒状水銀温度計を氷表面に平行に浅く埋設して測定するのが、簡便でよい方法と考えられる。この時第10図に示したような、通風を遮げない形の小さな屋根を感温部にかけることが望ましい<sup>3)</sup>。なお圧着型のサーミスター表面温度計との比較は次の機会に行ないたいと考えている。

### 3. 氷の硬度

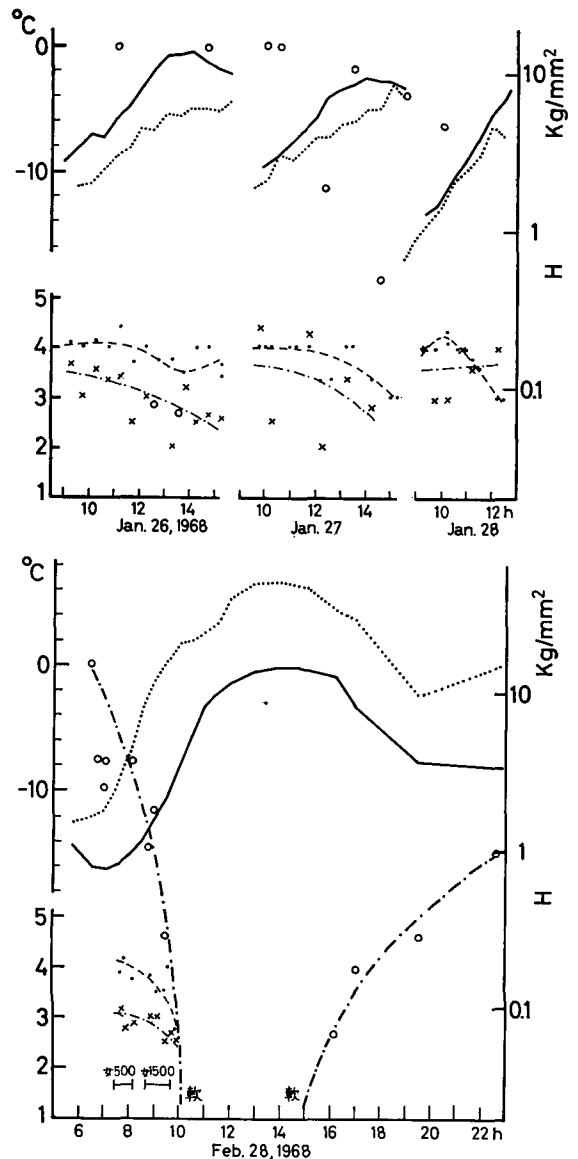
氷の硬度を測定する場合、氷の塑性変形に対する抵抗という意味で硬度を測るか、氷の破

壊に対する抵抗という意味で硬度を測るかがまず論議されるだろうが、スケートが氷の上を滑る物理的機構や、滑走技術の分析には立入って考えられていないので、スケートに関してはいづれの立場で硬度を測った方が適当か判断することができない。そこで測定の基礎的な意味はあいまいではあるが、まず測定の簡便さから Brinell の硬度測定法をとりあげてみた。

今回の帯広、軽井沢での硬度の測定には、いろいろと問題があり誤差も大きい。帯広の測定では、氷表面のレプリカから鋼球のこん跡を見つけるのが困難であった。これは表面の凹凸や気泡との区別が明確でなかったりすることによる。軽井沢での測定では、ドリルの刃の跡がラセン形になり明確な値の読取りが難しかった。

つぎに問題となるのは、鋼球あるいはドリルの刃の温度が氷の温度と等しくないことである。このため硬度を測ろうとして球や刃を氷に接触させた時、これらの中で熱の授受を生じ、実際に測定した氷は、もはや附近全体の氷を代表するものではない。測定しない間は、球を日蔭に置いたり、刃を雪の中に差し込んでおいたりして、なるべくこの温度差を小さくするよう気を配ったが、帯広の測定値の中には、球が氷を融かして異常に大きな跡を残した可能性もある。

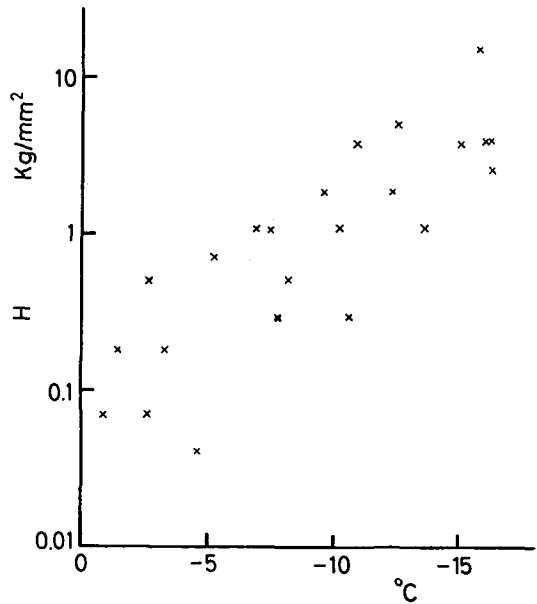
上に述べたように、硬度の測定にはかなりの誤差を含み、また測定の例数も少ないが、実測された硬度と、アンケートによって調べた選手の硬度に対する印象との間には、第13図(b)にみられるように、かなりよい平行関係がある。硬度の印象については、“非常に硬い”を5とし、“非常に軟い”を1とする5点法によって表記してある。



第13図 氷の温度、硬度と、選手の氷に対する印象調査の結果。上が(a)、下が(b)

- 表面水温,
- ..... 気温,
- ○ ○ Brinell 硬度 (H),
- × × × 氷の硬さについての印象,
- \* \* \* 滑りぐあいについての印象

氷の Brinell 硬度と温度との関係をまとめたのが第 14 図である。測定には誤差が大きく、かなりのバラつきを示しているが、硬度は温度に対して指数函数的に変化しており、特に  $0^{\circ}\text{C}$  近くで急激に軟くなるのがみられる。Brinell の硬度は荷重をかけた時間によって変わるから、荷重時間をきめて定義しない限りその数値にはあまり物理的意味はない。こん跡の直径が球の直径と等しいとき、即ち  $D=d$  で硬度は最小(われわれの測定では  $0.024 \text{ kg/cm}^2$ )となり、 $d>D$  ではもはや意味をもたない。第 13 図で“軟”と記したのはこの範囲の観測を示す。



第 14 図 氷の硬度と温度との関係

Butkovich<sup>4)</sup>は  $-50^{\circ}\text{C}$  までの温度範囲にわたって、氷単結晶の Brinell 硬度を測定しているが、測定器具、負荷時間も異なるので、そのまま比較にはならない。硬度について

の今回の調査は参考程度のもので、詳しいことは今後の調査に待ちたい。

#### 4. よく滑る氷とは？

本年度の調査の大きな目的は、よく滑る氷とはどのような氷かを知ることであった。調査するわれわれ自身は、スケートの技術も経験も持たないので、まず氷の好し悪しに対する判断を選手の氷に対する印象を通じて求めることにした。

第 1 表に示したアンケートに対する選手の回答を、“滑りぐあい”と“硬度”についてそれぞれ 5 段階に分けて 5 点法によって表記し、競技の進行につれ、30 分ごとの時間帯の平均\*を求めた。したがって競技の種目により、各 30 分帯における回答数は一定していない。また表記の上で、“硬度”に関しては“非常に軟かい”を 1、“非常に硬い”を 5 とし、滑りぐあいについては“大へん滑らない”が 1 で、“大へんよく滑る”を 5 としたから、“滑りぐあい”については、5 が最も好い状況を表わすのに対し、“硬度”については、3 が最適の状況を表わしていることに注意しなければならない。

帯広の氷の硬度については、3 日間を通じ朝のうちは気温も低く、ほとんどの選手が、“非常に硬い”あるいは“硬い”と答えたが、水温が上昇するとともに、“非常に硬い”が減り“軟い”と答えるものが現われ、平均として 4 から 3 に変わる傾向を示した(第 13 図, (a))。それにもかかわらず、“滑りぐあい”については、4 から 3 へと悪い方へ変わる傾向を示した(第 13 図, (a))。これは氷の質そのものよりも、多勢の人が滑るために氷盤が荒れ、競技の進行につれて滑りにくくなったことを示していると思われる。事実、個々の選手に面接してみると、コー

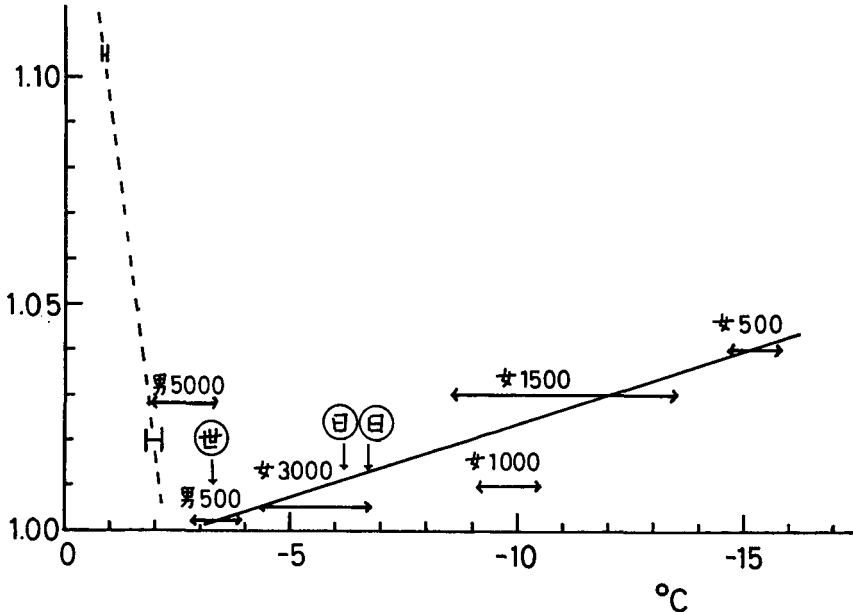
\* 軽井沢、2 月 28 日の例については、15 分ごとの時間帯に分け平均した。

スの荒れ (図版 I, 第 5, 6 図), 氷上の泥やススによる汚れ (図版 II, 第 7 図) を指摘するものが非常に多かった。

ここでコースの荒れとっているのは, スケートで滑ったきずあとのことであるが, 表面近くに気泡の密な層があったり, 製氷に際しての亀裂があると, これにスケートを引っかけて大きな割れを生ずる (図版 II, 第 8 図)。軽井沢リンクでも, 全日本選手権第 1 日目には, 整氷の不完全さと氷温が低すぎたことのために, このような荒れが所々にあった (図版 II, 第 9~13 図)。多人数が出場する国体の場合, コースが荒れるのは仕方がないことであるが, 反面, 荒れにくい氷をどうして作るか検討してみる必要がある。帯広国体では, 記録面からみても好記録は生まれなかったが, これは氷の質そのものよりも, コースの荒れ方に左右されたものであろう。

比較のために軽井沢全日本選手権における競技中のスケートの滑り跡 (図版 III, 第 14, 15 図), とザンボニィによる整氷状況 (図版 III, 第 16, 17 図) を写真に示す。

氷の良し悪しを判断する資料に選手の印象を借りる他に, 競技記録の面からとり上げることできよう。ある競技種目について, 個々の選手の身体的・精神的コンディションには, いい人も悪い人もあろうが, 平均としてよい記録が出れば, その時の氷の条件は良かったと判断



第 15 図 スケートの滑りと氷の表面温度との関係。氷温はアップリンクにおける測定値。レーストラックの氷温はこれよりも約  $1^{\circ}\text{C}$  高かったと推定される。縦軸の値はつぎの比を示す。実線部分については,

$$\frac{\text{各レース上位 5 人の 500 m 換算タイムの平均}}{\text{軽井沢リンクでのベストタイム}}$$

破線部分については,

$$\frac{\text{男子 5000 m 各個人のタイム}}{\text{再レースのタイム}}$$

するのである。全日本選手権第3日目までの記録について、次のような比をとり、氷表面温度との関係を調べてみた。

$$A = \frac{\text{各レース上位5人の500m換算タイムの平均}}{\text{軽井沢での500m換算ベストタイム}}$$

この値はふつう1より大きな値で、上位5人が全部新記録を出して、はじめて1より小さくなるような値である。この値が小さいほど氷はよく滑ると考えてよいだろう。この値と氷表面温度との関係を示したのが第15図である。女子1500m競技には約1時間10分を要し、氷温はこの間に $-13.5^{\circ}\text{C}$ から $-8.5^{\circ}\text{C}$ まで変化したが、上位5人の記録は、この温度の幅の中で特別の偏りを示してはいない。それで比の値Aと、氷表面温度との関係を表わすのに点ではなく、この温度幅をおおう横線で示した。

女子4種目と男子500mの5種目を通じ、氷温は $-16^{\circ}\text{C}$ から $-3^{\circ}\text{C}$ にわたって変化しているが、氷の温度が高くなるにつれ前記の比Aは1に近づき、氷はよく滑る条件になったといえる。これは従来からもよく言われていたことで、この図はそれを数値的に裏づけたものである。過去の幾多の競技についても、これと同じ検討を試みたかったが、信頼できる氷温測定資料がないので果せなかった。

全日本選手権3日目、男子500mに引き続いて行なわれた男子5000mは、氷温が上がり氷が軟弱となったため、11時25分第9組のレースをもって中止し、再レースとなった。中止になるまでに出場した選手で、再レースにおいても上位に入った1位から4位までのものについて、上記の比Aを求めると1.028となる。参考までにこの値も第15図に記してある。再レースは同日夜行なわれたが、われわれの調査は、同日朝で打ち切ったので、夜の再レースについては氷温のデーターがない。男子5000mについては、さきの5種目と同じ重みでAの値を求めることはできないので、この競技の中止直前に走った選手で、上位に入った個々の人につき、その500m換算タイムを再レースのタイムと比較してみた。10<sup>h</sup>33、10<sup>h</sup>44にスタートした第5組(大塚・根本)、第6組(石幡・小松)は、その比が平均1.02、11<sup>h</sup>25の第9組(伊藤・富原)についてはその比が1.10と極めて悪い。この1.10という数値は、伊藤(総合3位、5000m4位)についていえば、11<sup>h</sup>25の記録9'01"6に対し、再レースは8'08"2ということである。この1分近くも悪い記録は伊藤の実力からみて、氷の条件の悪さによるとしか考えられない。

このとき、アップリンクに設置したサーミスター温度計は $-0.8^{\circ}\text{C}$ であったが、ザンボニィを使い温水を撒いて整氷したレーストラックの氷温は、この示度よりも高かったことが想像される。事実11<sup>h</sup>20、第9組スタート直前に、ウォーターブルー試験紙を使ってレーストラックのスタート付近を調べたところ、試験紙は濡れて青くなり、たしかに氷表面に水のあることを示した。つまりレーストラックの氷温はこのとき $0^{\circ}\text{C}$ で、アップリンクでの示度はそれより約 $1^{\circ}\text{C}$ 低かったことがわかる。

この誤差を考慮して第15図の結果をみると、スピードスケートに対する氷の最適温度は $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$ で、これより高くなると急激に滑りが悪くなるのがわかる。よく言われるように、スケートが滑るには、氷とスケートとの間で氷が融け、融けた水が潤滑油の働きをしてい

るとすれば、氷温が高い程氷は出来易く、スケートはよく滑る筈である。ところが氷は $0^{\circ}\text{C}$ 近くになると急に軟くなる。そのためスケートは氷の中に埋まるような形で滑ることになり著しく抵抗を増す。第15図にみられるように、 $-2^{\circ}\text{C}$ より氷温が高くなると、急にスケートが滑らなくなるのはこの理由によると考えられる。これはスケートの滑り跡からもうなづける(図版III, 第18~21図)。

第9回冬季オリンピックを行なったインスブルクの Sulzer リンク<sup>5)</sup>では、スピードスケートのための理想的な表面温度として、日射のもとで $-1.5\sim-2.5^{\circ}\text{C}$ としている。この表面温度は写真から判断して、圧着型の表面用サーミスターで測定したと考えられる。この温度は、われわれが第15図から得た最適温度とよく一致している。

### 5. 氷盤の垂直断面観察

軽井沢リンクでは、コアー サンプラーを使って直径75 mmの氷の円筒を掘り抜き、その垂直断面を厚さ5 mm位の薄板に切り出し実体顕微鏡によってその構造を調べた。

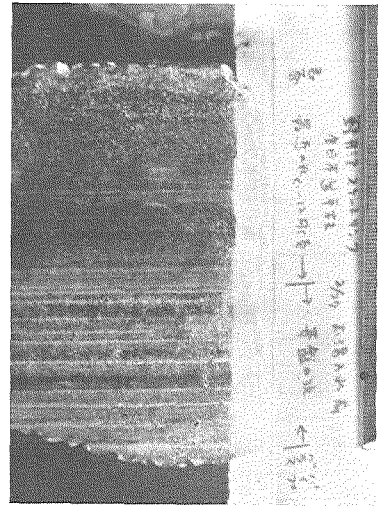
氷盤は厚み約10 cmで、表面から底まで大きく分けて3つの部分から成っていた(第16図)。

一番底の約5 cmは、直径 $0.5\sim 1$  mmの気泡が密に並んだ層が水平に約8層入り、層と層との間の氷にも $0.1$  mm程度の気泡がかなり分布している。図版IV, 第24図はこの部分の氷の顕微鏡写真である。この部分はリンクの基盤をなす、いわゆる根氷で、気層の入り方は、リンクの氷作りの過程と関連していると思われる。

中間の2.5 cmは、透明で気泡は比較的少なく、その大きさも直径 $0.07\sim 0.1$  mmと極めて小さい(図版IV, 第23図)。リンク整氷係りの人によれば、この部分の氷が軽井沢リンク本来の氷ということで、競技に際しては、このような氷が表面にあるのが望ましい。

最上部の氷2.5 cmは(図版IV, 第22図)、 $0.3\sim 1$  mm程度の気泡が不規則に散在している層で、スケートに適した氷層とはいえない。軽井沢は営業リンクであるため、日曜日には1~2万人が入場し、1日で表面から5 cm位の氷が削られてしまうという。その後厚く水を入れて急速に凍結させるとのことで、このような状態の氷層になるものと思われる。

氷に気泡が入ると、日射がそこで散乱され吸収されて氷の温度を高め、氷を軟弱にすることはすでに述べた。リンクの氷の断面を調べてわかる通り、製氷の問題点は、いかにして気泡を含みぬ氷を作るかにあるようである。この点については、今後テスト用リンクで凍結実験を行なうなどして研究してゆきたい。



第16図 軽井沢リンクの氷の縦断面。白く光って見えるのが気泡である。最上部の大きな気泡が不規則に入った部分、中間の比較的透明な部分、一番底の気泡と氷がサンドイッチ状に層構造をなす部分とからなる

## あ と が き

この調査の旅費その他は、オリンピック組織委員会よりの依託研究費によった。

帯広国体での調査を行なうに当っては、北海道スケート連盟谷木繁太郎、本田義延両氏のお力添えによるところが多い。軽井沢の全日本選手権での調査には、日本スケート連盟及び軽井沢スケートセンターの好意ある御協力を得た。ここに記してこれらの方々には厚く感謝の意を表わす。

## 文 献

- 1) 吉田順五 1960 日射による積雪の内部融解. 低温科学, 物理篇, **19**, 97-110.
- 2) Budd, W. 1966 Ablation from an Antarctic ice surface. *In* Physics of Snow and Ice, Part 1 (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 431-446.
- 3) 日本スケート連盟 1968 水温測定の手引き. 東京.
- 4) Butkovich, T. R. 1954 Hardness of single ice crystals. *SIPRE Res. Paper*, **9**, 1-12.
- 5) The Sulzer Ice Skating Rinks at the IXth Olympic Games in Innsbruck, 1964 というパンフレットによる。

## Summary

Preliminary investigations for the 11th Olympic Winter Games were made at Obihiro and Karuizawa skating rinks to determine the optimum conditions of ice for skating. Various methods were tested to measure the surface temperature of rink ice, and the most reasonable results were obtained by the use of a thermister thermometer and an ordinary thermometer placed on the ice surface and covered partly with a thin ice slab (Fig. 10). In this case, a small shade covering the entire length of thermometer was used to shade the thermometer.

The surface temperature and Brinell hardness of ice were measured and discussed in relation to personal impressions of skaters on the ice condition and time records of the highly skilled athletes. The optimum condition of the surface temperature for skating was found to be  $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$  at 36th All Japan Speed Skating Championship at Karuizawa.

## 図 版 説 明

## 図 版 I

1. 帯広リンクの気泡の分布状態。第1コーナー附近、白くみえる部分が気泡の密に入った層である
2. 氷表面直下で内部融解をおこして踏み抜かれた跡
3. 気層の上を滑ったときの氷の割れ
4. 滑走にともなうひび割れ
5. スケートの滑り跡 (帯広国体, スタートライン附近)
6. スケートの滑り跡 (帯広国体, 第1コーナー附近)

## 図 版 II

7. スタートライン附近に残された泥靴の跡
8. コースの荒れ。リンクの凍結に際して入った亀裂に、スケートを引かけて大きくなった割れ目
9. 軽井沢, 全日本選手権第1日のリンクの状態。前日までの営業につづいて急いで製氷したため, かなりの亀裂がみられる
10. 表層のひび割れ
11. 補修の終わっていない大きな割れ目。このような割れ目は, 第2日目からは完全に姿を消した
12. スケートで蹴った後の割れ。氷温が低く, 氷が硬すぎたためにできたもの
13. 第1日目競技終了後のリンクの荒れの状況。スケートの滑った跡が浅く割れているのは, 氷が硬すぎたためである

## 図 版 III

14. 軽井沢, 全日本選手権第2日目, 女子1000m 競技中のリンク状態
15. 軽井沢, 全日本選手権第3日目, 男子500m 競技終了時のリンク状態
16. 男子500m 終了後, 鈴木・ケラー組500m 特別競技に備えて整備中のリンク状況。一番左側のアップリンクは一面に着霜している。中央はレース用インコースでザンボニーで整氷を終え, 表面はすでに結氷している。右端のコースはザンボニーで温水撒布直後で, 表面はまだ水で濡れている
17. 整氷中のザンボニー。ザンボニーは整氷用の自動車で, 前に氷を削るブラウ, 中央に温水タンク (25~40°C) を持ち, 後に沢山並んだ小さなノズルから温水を噴き出しながら, 氷面に雑巾がけをしてゆく。この整氷直後のリンクで, 鈴木は39.2秒の500m 非公認世界新を記録した
18. 軽井沢, 全日本選手権第3日目, 11h07 男子5000m 競技中止直前のリンク状況。着霜したアップリンクの一部が, 日射を受けて融け出したのがみられる
19. 男子5000m 競技中止直前に滑った伊藤・富原組の滑り跡。スケートが軟い氷に埋まり込んだ様子がよくわかる
20. 男子5000m 競技中止後の滑り跡
21. 男子5000m 競技中止後の滑り跡。スケートが軟い氷に埋り込んだ様子がよくわかる。図版 II, 第13図と較べてみよ

## 図 版 IV

22. 軽井沢リンク最上部の氷の縦断面顕微鏡写真 × 9
23. 軽井沢リンク中間部の氷の縦断面顕微鏡写真 × 9
24. 軽井沢リンク基底部の氷の縦断面顕微鏡写真 × 9

