



Title	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
Author(s)	小林, 禎作; KOBAYASHI, Teisaku; 中尾, 正義 他
Citation	低温科学. 物理篇, 28, 243-259
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18156
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p243-259.pdf



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 —

小林 禎 作

(低温科学研究所)

北原 武道・中尾 正義

(北海道大学大学院 理学研究科)

進 士 康 信

(サンエス・スケート株式会社)

(昭和 45 年 8 月受理)

I. は し が き

この研究は、1972 年札幌冬季オリンピックの準備として、スピード スケート競技に最適なリンク条件を見出すのを目的に、日本スケート連盟よりの要望に沿って行なわれた。

スケートの滑りは、リンクの氷の表面温度、硬度、平滑度、その他氷の物理的性質によってきまる。これらを総合的に判定する方法として、テスト用のスケートを一定の力で氷の上に打出し、その停止するまでの滑走距離から、氷の滑りの度合いを測定することが考えられる。このような試みは、これまでも競技関係者の間で幾度かなされたようであるが、実験方法が適当でなかったためか、はっきりした結果は報告されていない。この試みは、物理的にいえば、スケートと氷との間の動摩擦係数を測ろうとする実験にほかならない。

これまでにわれわれが行なってきた、スケートリンクの氷質調査^{1),2)}からは、つぎのことがわかった。すなわち、

(1) 1968, 1969 年度の全日本スピードスケート選手権大会での記録についてみると、氷の表面温度が低すぎても高すぎても記録は悪い。最もよい記録の出るのは、氷の表面温度が $-2 \sim -3^{\circ}\text{C}$ のときである。つまりスケートが一番滑るのは、氷温 $-2 \sim -3^{\circ}\text{C}$ と予想されること。

(2) 湖の天然氷と、パイピング リングの人工氷とでは、それらを作っている結晶粒の大きさ、気泡の分布のしかた、および氷の純度にかかなりの相違のあること。

これらの調査結果をさらに裏付けるために、スケートと氷との間の滑りの摩擦係数を、天然および人工のリンク氷について、いろいろな温度で測定してみることはたいへん有用である。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1088 号

また氷温が低くなると滑りが悪くなるが、これを防止する方法として、氷面を化学的に処理することが考えられる。その一つの方法として、エチレン グリコールをうすく塗布した氷について同様な実験を行なった。

テスト用スケートを一定の力で打出す装置の設計、試作は、(株)サンエス・スケート技術部が担当し、これを使っての測定、データの解析には低温科学研究所のグループが当たった。試験のためのリンクとしては、最良の氷質と表面仕上げが望まれる。このため、天然リンクとして長野県蓼の海^{なて うみ}、人工リンクとして岐阜県瑞浪^{みづなみ}リンクが実験場に選ばれた。

II. 装置と実験コースの整備

テスト用のスケートは、2本のブレードを架台に平行に取付け、これに16mm映画撮影機と鉛の錘りを積む。これを打出すには、一定の高さから一定の錘りを落とし、その位置エネルギーの変化をスケートの推力に変えた。スケートの打出してから停止までの滑走距離と時間は1回ごとに測定された。また氷上の実験コースには、発射台から1mおきに測線が引かれているので、スケートは滑りながら、一定の撮影駒速度で、測線を16mmフィルム上に記録してゆく。撮影フィルムを解析すれば、スケートの速度変化から、滑りの摩擦係数が求められる。測定は日の出前の氷温最低の時から、日中氷温が最高になる時まで、ほぼ10°Cの範囲にわたって繰返し行なわれた。

水の表面温度は、サーミスター温度計によって実験の全期間にわたり自記記録された。

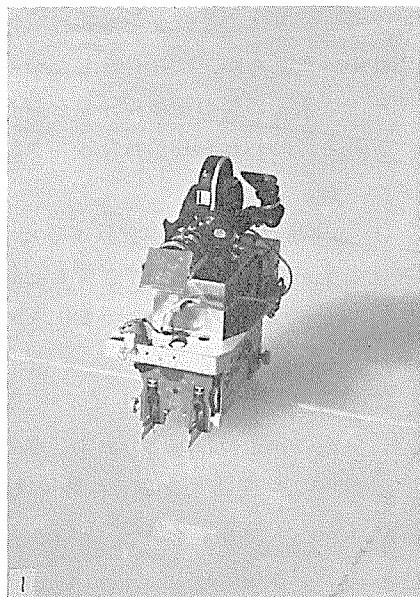
1. 装 置

a) テスト用スケート

使用したブレードは、サンエス・スケート製スピード競技用“Kings Power”(全長44cm、幅1.2mm)である。取付け架台は、サンエス製スケート研ぎ台“Custom”を補強、加工したもので、ブレードは調整器具を使って、平行に取付ける。取付けが平行でないと、スケートは滑走中に曲ってしまう。良い条件のもとでは、スケートは30m以上も滑るので、真直ぐ滑らすには、かなり入念な調整を要した。

架台の底には、29kgの鉛ブロックが6個に分けて積み込まれ、架台上には映写用の電源電池、その上にアリフレックス16mm撮影機が後向きに積まれる。カメラレンズの前方には、反射鏡が固定され、レンズは測線を横ぎるブレードの後端にピントを合わせられる。また架台の後縁には、測線を照射する小型の投光器が取付けられている。スケートの全備重量は52.9kgである(第1図)。

架台上板の下側には、ボールベアリングで回る



第1図 滑走中のテストスケート

小車輪4個がついていて、打出しの際にはこの車で発射台の案内板上を走り、氷の上ののりようにしてある(第2図)。

b) 発射台

発射台の構造は、第3図と第4図に見られる通りである。

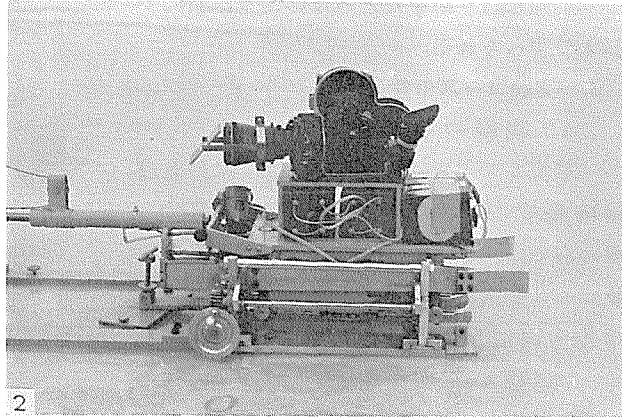
まずスケートを案内板(P)の上に後向きに滑らせ、打出し用の長い丸棒(B)を筒状のガイド(G)に沿って押し込む。ガイドには油抜きしたボールベアリングを使い、摩擦を小さくしてある。丸棒は押し込んだ所で、引き金(L)をフックにかけて固定される。

打出し棒の後端には、細い鋼索の一端が固定され、途中3個の滑車を経て、他端は鉛の錘りを一定の高さ(28 cm)に吊り下げる。

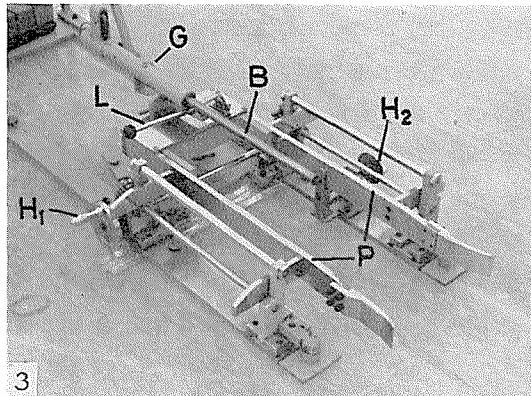
錘りは40 kgを標準とし、氷面の状況により、20 kg, 10 kgと減量した(以下ことわらない限り、落とした錘りの目方は40 kgである)。引き金を引くとフックがはずれ、錘りが落下する。落下する錘りは鋼索を引いて、打出し棒を前方へ引出し、棒はテストスケートを案内板に沿って前へ押し出す(第5図)。

錘りのもつ位置エネルギーの変化が、つねに一定の推力に変るよう、途中の摩擦部分に対しては十分な配慮がなされた。よい条件のもとでは、30 m滑走したスケートの停止位置が±数 cmの誤差、大きくてもほとんどが±50 cmの誤差の範囲に収まったことは、上の配慮がほぼ満足されるものであったことを示している。

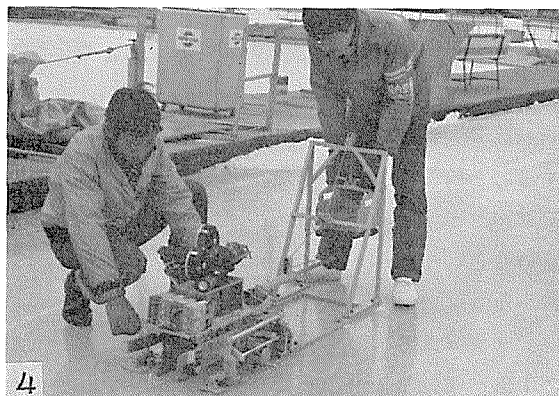
案内板はハンドル(H₁)および(H₂)によって平行のまま、上下、左右に動く。スケートのブレードは水面から紙一重浮き上がるよう、案内板の高さは調整され、また1回の打ち出しごとに、スケ



第2図 発射台におかれたテストスケート



第3図 発射台



第4図 打出し直前のテストスケートと発射台

ートが同じ滑り跡をたどらないよう、横に少しずつずらされる。

2. 実験コースの整備

a) 測線の設定

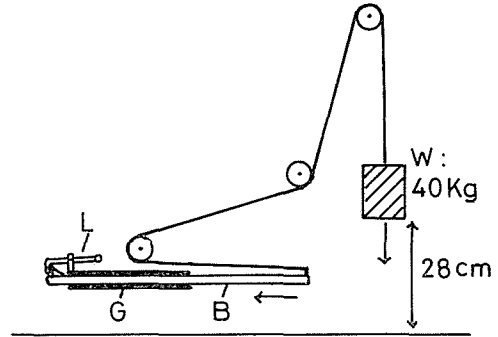
瑞浪リンクでは、400 mトラックの直線路内側に（第19図のハッチを施した場所）、蓼の海では、330 mリンクの直線路中央に実験コースを選定した。発射台の位置をきめ、滑走方向に長さ30 mのコース中央線をひく。つぎにスケートの速度変化を求めるための測線を、中央線に直交して1 mおきに入れた。

滑走するスケートから16 mm映画でこの測線を撮影するのであるが、スケートは初速が1.4 m/sec、撮影駒数は毎秒約30駒である。スケートは1駒の露光中に最大5 cm進むので、撮影・現像したフィルムの上で、それと容易に識別できるような測線でなければならない。測線を何本も横切るうちに、それがスケートの滑りに抵抗となるようなものであれば、もちろんいけない。

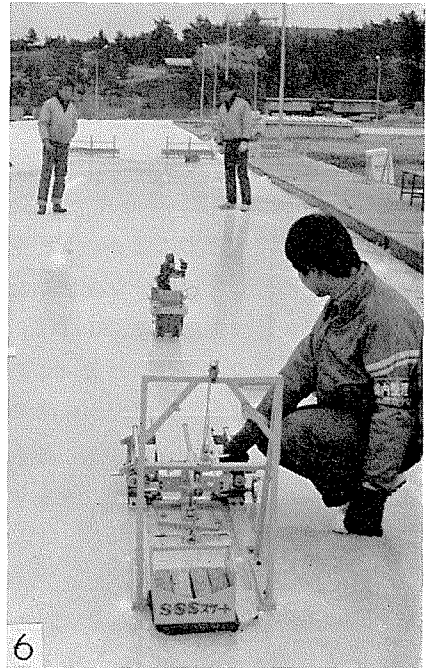
測線としては、アルミを蒸着したマイラーフィルム（リビックテープ、幅15 mm、日東電材製）を、あらかじめ紙テープに貼りつけておき、これを所定の長さに切った後、水に濡らして氷面に凍着させた。その上に撒水して、テープの上2~3 mmの厚さに結氷させた。

テスト スケートは滑走中、小型投光器でブレードの後縁部分の氷面を照射しながら、その部分を撮影してゆく。フィルムに写る視野の大きさは、滑る方向に約5 cmである。スケートがアルミテープ以外の氷の上を滑っている間は、氷の表面反射は弱いから、フィルム面にはほとんど感光しない。スケートの後縁がアルミテープの上にかかると、テープは光を反射し、フィルムは強く感光する。フィルムをあとで現像してみると、所々に強く感光した駒があるから、それらの間の駒数を数えれば、1 mごとを滑るに要した駒数、すなわち時間がつぎつぎと求まる。

スケートは打出し直後は速度が大きく、また遠くに行くと、中央線からそれる傾向にある。それで発射台から5 mまでは、測線のテープの長さは0.5 m、幅はテープ3本分（45 mm）、5~10 mの間はテープの長さ1 m、幅は2本分、それより先の幅は1本分とし、長さは順次長くして、30 mで3 mとした。



第5図 打出し装置の模式図



第6図 発射台から打出されたテストスケート（瑞浪リンク）

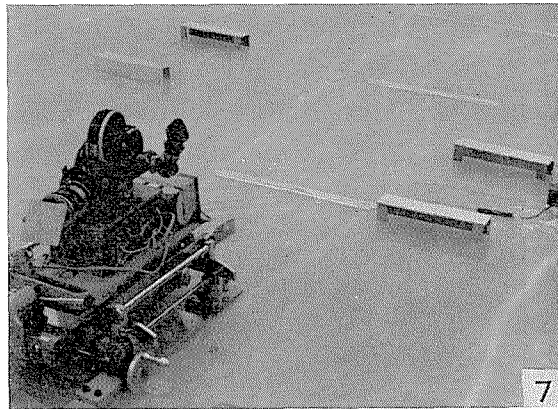
b) 氷面の仕上げ

実験コースは、実験前日に測線を入れ、撒水結氷させた後、一般の人の立入り、滑走を一切禁止した。実験日早朝、氷温最低の霜つき状態でまず滑走データをとった後、氷面をザンボニー、又は人手によって雑巾がけを行ない氷面を平滑にした。氷面上のごく小さい突起やゴミも、スケートの滑走を変針させる原因になるので、細心の注意をもって削り取った。瑞浪、夢の海の両リンクとも、普通の競技会に使われる氷面の仕上げよりは、さらに入念に整備され、文字通り磨き上げられた氷面だったといえよう。

エチレン グリコールを塗布する場合には、乾いた雑巾に少量のエチレン グリコールをしませ、上のようにして仕上げた氷面へ、強くこすりつけるようにして薄く塗布した。塗布した量は 1 m^2 当たり 2 cc 程度である。

c) 氷温の測定

氷の表面温度（以下、氷温という）は、発射台からコースに沿って 1.5 m の地点に、水銀棒状温度計とサーミスター温度計（ステンレス保護管；外径 2 mm 、長さ 20 cm ）とを、前報^{1),2)}に詳述した通りの基準で設置した（第7図）。サーミスター温度計の指示は、自動平衡型ペン書き記録器に自記させた。



第7図 発射台と実験氷面。測線の一部と氷温の測温体がみえる

テスト スケートを滑らせるコースの中には、これらの温度計を設置することはできないので、赤外輻射温度計（米国バーンズ社製、IT-3型、50サイクル用）を使って測温した。実験コースの温度分布の一例を第1表に示す。

第1表 実験氷面の温度分布（瑞浪, Jan. 23, 11:55）

スタートからの距離 (m)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
赤外輻射温度計示度 (°C)	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5.5	-5
サーミスター温度計示度 (°C)	—	-4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
スタートからの距離 (m)	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	
赤外輻射温度計示度 (°C)	-5	-5	-5	-5.5	-5	-6	-6	-5	-4.5	-6	
サーミスター温度計示度 (°C)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

この器械は氷表面に直接接触することなく、その表面温度を測れるので便利ではあるが、 0°C 以下については、1目盛が 2°C 、絶対値の精度は 4°C と悪いので、氷と水を混合した 0°C の水槽を用意し、絶えず 0°C を検定しながら測定する必要がある。また電源周波数が違うために、ガソリン発電機を使用したが、周波数の変動もあって、長時間にわたり、絶対値の精度を

維持することが困難であった。それで実験コースの水温を代表するものとしては、サーミスター温度計の自記記録紙からの読取り値を用いた。

III. 実験の概要

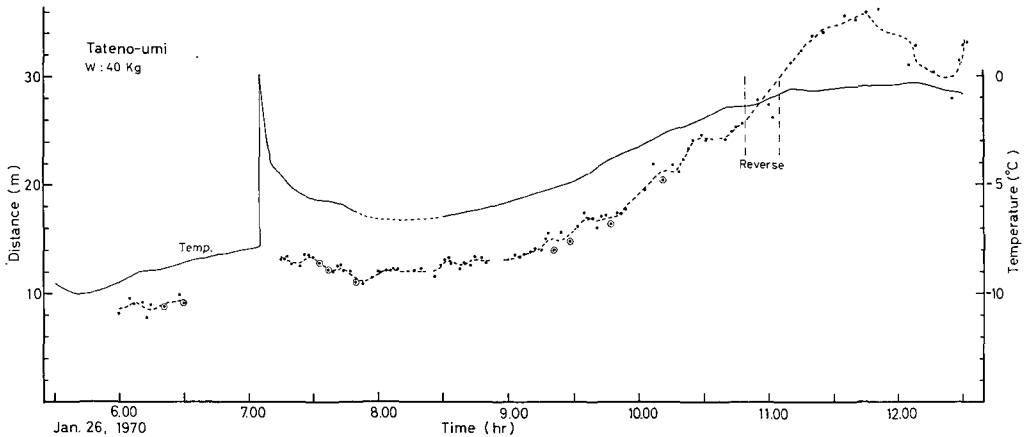
実験は、1970年1月21～23日の3日間瑞浪リンクで、1月26～27日の両日蓼の海リンクで行なわれた。説明の便宜上、蓼の海での実験から概要を述べる。

1. 蓼の海での実験

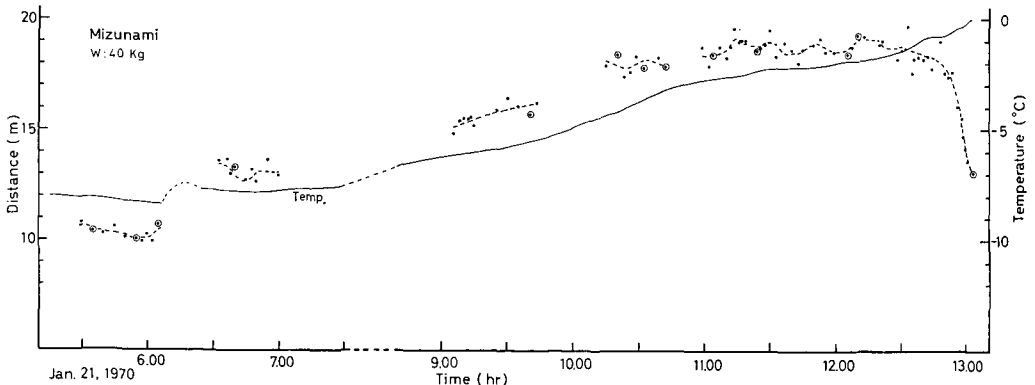
a) 純氷* について

1月26日、05:15に気温は最低で -10.2°C 、氷温が最高の -0.5°C に達した12:00で気温は -1.2°C 、天気は晴、無風、実験には最適の条件であった。

06:00から12:30まで水温の変化とともに、繰返しスケートを打出し、一回ごとに滑走距離が測定された。測定回数はぜんぶで101回、第8図は氷温と滑走距離の測定データを示したものである。黒点が一回ごとの測定結果、点線はそれを移動平均して平滑化したものである。



第8図 氷温と滑走距離 (蓼の海)



第10図 氷温と滑走距離 (瑞浪リンク)

* 以下エチレン グリコールを塗布した氷に対し、無処理のままのリンク氷を純氷とよぶ。

る。16 mm 映画による測線の撮影は、5~6回の打出しごとに行なわれ、そのうち解析に成功したものは、黒点を丸で囲んだ。

図について簡単に説明すると、06:00~06:30、氷温 -9°C 、うすい霜つき状態で、滑走距離は9 mであった。このあとザンボニーを3回通して雑巾がけしたため、氷温はいったん 0°C まで上がり、その後ゆっくり下降した。07:20~08:00にかけて氷温が下がる間は、滑走距離も氷温に平行して短くなったが、08:10の日の出後、氷温が上がるにつれて滑走距離はどんどん伸び、氷温が -0.5°C の11:40~11:50には距離は36 mにも達した。

この間11:00頃には、発射台を実験コースの反対の端に移し、逆方向に滑走させた。図にみられる通り、この試みは氷温が上昇しつつある、つまり滑走距離が増大している時点でなされたが、逆方向の滑走距離が、この時の順方向の滑走距離として内挿される値とよく一致していることから、実験水面は完全に水平とみなしてよい。

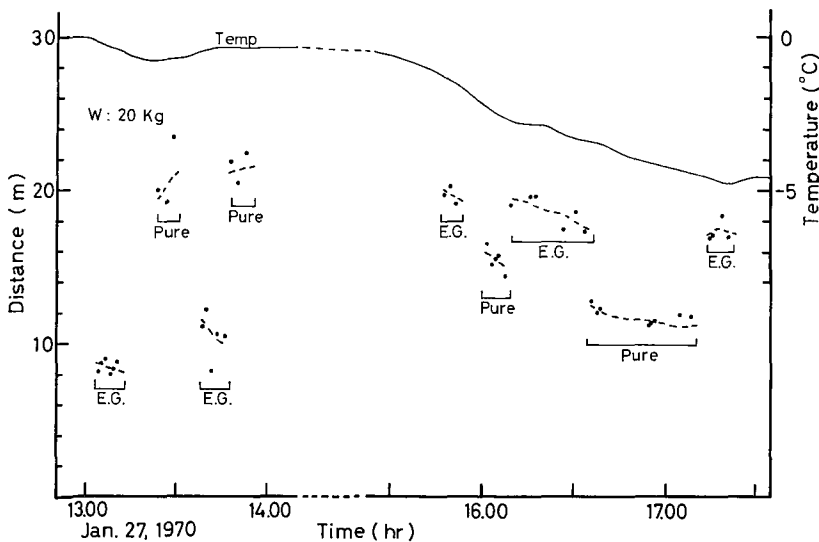
以上のデータをまとめ、滑走距離と氷温との関係を示したのが第11図の蓼の海、純氷(pure)とした実線である。

b) エチレン グリコールを塗布した氷について

1月27日、07:20に気温 -10.5°C 、氷温 -9.3°C で最低に下がった。日の出後、天気は晴で風もなく、氷温は12:30に 0°C 、気温は14:00に最高の $+0.3^{\circ}\text{C}$ に達し、その後気温、氷温ともに下降した。

06:00、ザンボニーで整氷の後、エチレン グリコールを塗り、午前中、氷温の上昇とともに繰返しスケートを打出し、92回の滑走距離の測定を行なった。

午後は、エチレン グリコールを塗った実験コースに平行して、純氷の実験コースを設け、氷温の下降とともに、エチレン グリコール面、純氷面と交互に測定を行なった。この測定の結果を第9図に示す。このとき打出しのために落とした錘りは20 kgである。



第9図 エチレン グリコールを塗った氷面と、純氷面との滑走距離の比較(蓼の海)

図にみられる通り、氷温 -0.5°C で純氷面では滑走距離 20 m とよく滑るのに対し、エチレン グリコール面では、ほぼ 10 m と滑らない。ところが、氷温が -2°C 以下に下がると、この関係は逆転し、エチレン グリコール面の方が純氷面よりよく滑る。純氷面では氷温が下がるにつれ、滑走距離はどんどん短くなるが、エチレン グリコール面ではそれほど滑りが低下しない。

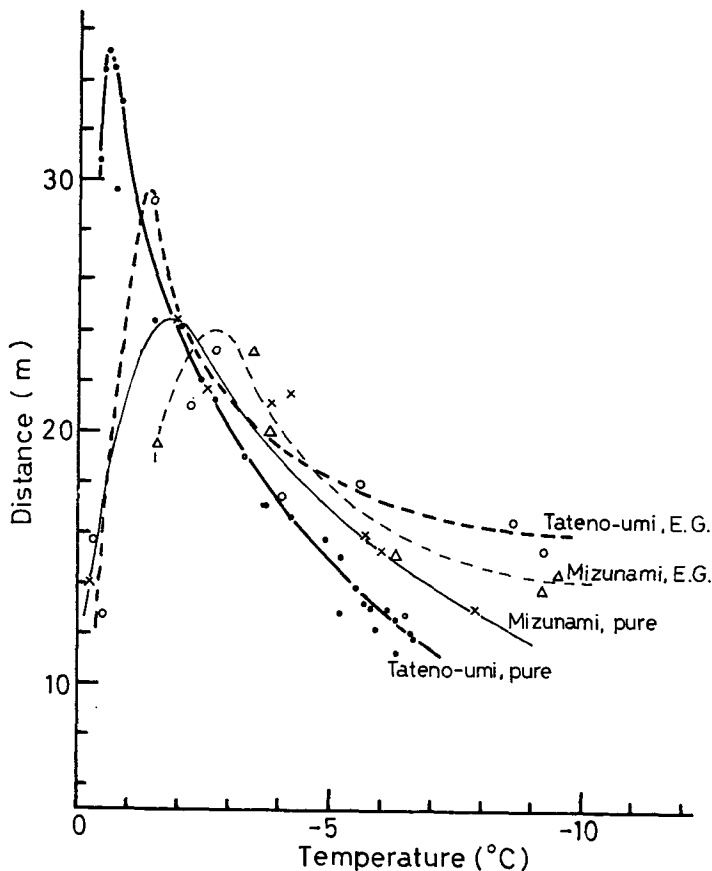
2. 瑞浪リンクでの実験

a) 純氷について

1月21日、気温は05:30に最低で -2.9°C 、氷温が 0°C 近くになった13:10で $+7.6^{\circ}\text{C}$ 、天気は晴、風はほとんどなく、時折吹いても1~2m程度であった。

05:30~06:00、氷温 -8°C でうすく霜がおりていた。滑走距離は、40 kg の錘りを落として10 mであった。この霜つき氷に雑巾をかけると、距離は13 mに伸びた。その後氷温が上がるにつれ距離はしだいに伸び、11:00~12:20、氷温 $-3\sim-2^{\circ}\text{C}$ で距離は19 mに達した。ところが氷温が -1.5°C を越えて 0°C に近づくにつれ、滑走距離は急激に減じ、13:00すぎには13 mに落ちた。第10図は氷温と滑走距離の測定データである。

瑞浪の滑走距離が最高で19 mと、同じ温度 (-2°C) での夢の海の24 mに較べてかなり短



第11図 氷温と滑走距離

かいは、実験コースが僅かながら上がり勾配であったためである。すなわち、翌22日エチレングリコールを塗った氷面について、順方向、逆方向の打出しが試みられたが、氷温 -3.5°C 、落下錘り 5 kg で、順方向の平均滑り 8.2 m に対し、逆方向には 15.7 m であった。また補遺 1) に述べるように、 16 mm フィルムの解析から、発射台から 11 m までの氷面は水平、それから先が $2/1000$ の様な上がり勾配であることもわかった。フィルムの解析から、 $0\sim 11\text{ m}$ の水平な氷面での動摩擦係数と、 12 m 点での速度が求められるから、氷面がそのまま水平で同じ摩擦係数を保持した時の、滑走距離が計算される^{補遺1)}。第11図の瑞浪、純水とした曲線は、このような補正を行なった場合の、氷温と滑走距離との関係を示す。

b) エチレングリコールを塗布した氷について

1月22日、05:30、氷面に雑巾をかけて後、エチレングリコールを塗り、前日同様、繰返しスケートを打出し測定を行なった。第11図の瑞浪 E.G. とした点線は、傾いた氷面についての測定生のデータを示したものである(この日は 16 mm 映画の撮影に失敗したため、滑走距離の補正ができなかった)。

IV. 動摩擦係数の測定

水平な氷面をスケートが滑るとき、空気から受ける抵抗を無視すると、テストスケートの全質量を M 、滑走速度を v 、スケートに働く抵抗(摩擦力)を MA として、スケートの運動方程式は

$$M \frac{dv}{dt} = -MA \quad (1)$$

であらわされる。動摩擦係数を μ_k とすると、

$$\mu_k = \frac{A}{g} \quad (2)$$

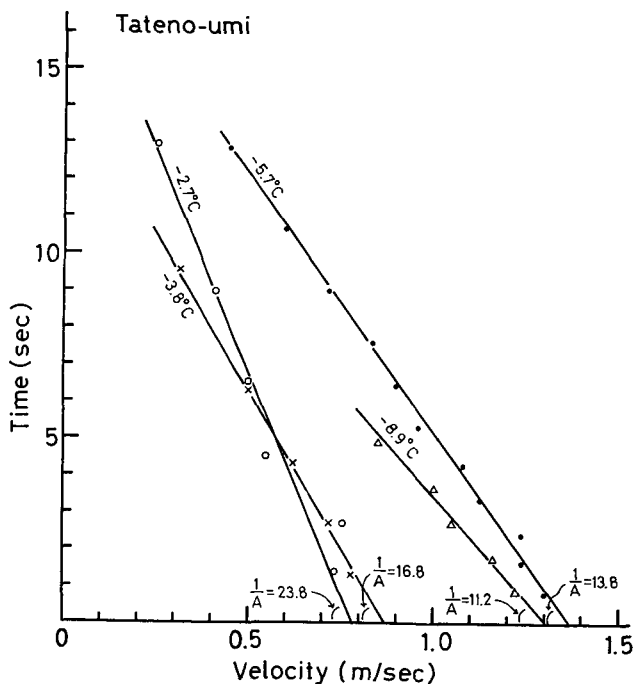
で、 g は重力加速度である。 A はあとで示されるように、その逆数 $1/A$ をもって“滑度”と定義される。

スケートの初速度を v_0 、スケートが停止するまで、すなわち $v=0$ になるまでの滑走距離を S とすると、(1)、(2) から

$$\frac{1}{A} = \frac{2S}{v_0^2}, \quad (3)$$

$$\mu_k = \frac{v_0^2}{2gS} \quad (4)$$

の関係が得られる。



第12図 テストスケートの速度—時間曲線 (藪の海)

われわれの実験では、16 mm フィルムの解析から、スケートが1 m おきに引いた測線の間を滑るに要した駒数がわかる。毎秒の撮影駒数は一定で、その値は撮影機のメーターで読取られ、またスタートから停止までの時間と、それに要した総駒数でチェックされるから、発射後スケートが各測線を通る時の時間と、その速度が求まる（例えば、発射台の1 m 点から2 m 点までの平均速度を2 m 点での速度とした）。

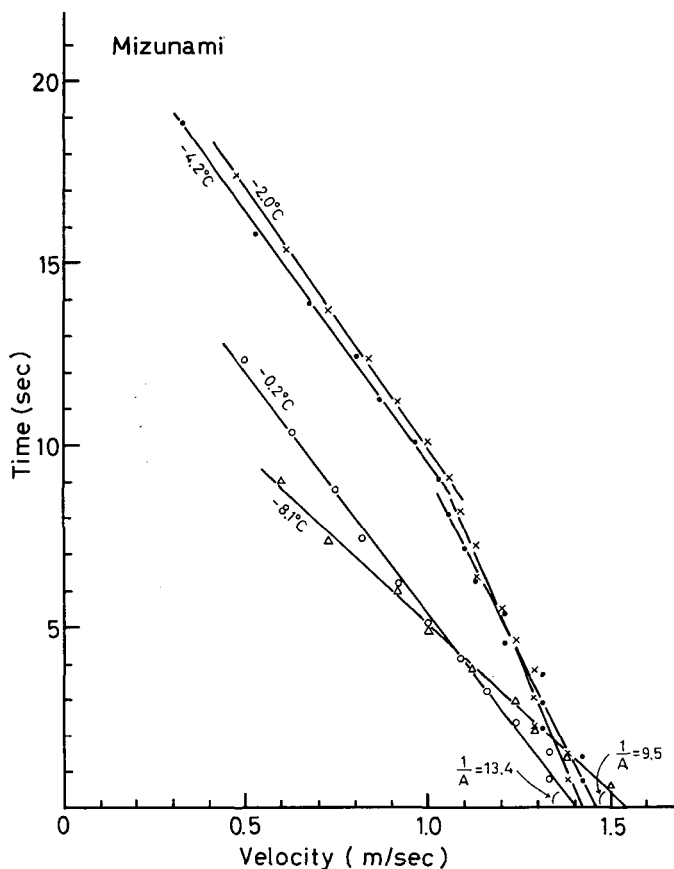
第12図と第13図に、各測線をスケートが通る時の時間と、そのときの速度との関係を異なる氷温について数例ずつ示した。いずれも純氷についてのデータである。

スケートはほぼ1.4 m/sec の初速度で打出されたが、発射から停止までの全部にわたってフィルムの解析ができるとは限らなかった。したがって、途中からしか解析できなかったフィルムについては、解析できた部分の始めを、図では時間の原点にとって描いてある（第12図）。

第12図の蓼の海の例にみられるように、それぞれの滑走において、速度は直線に沿って一定の割合で減少してゆく。つまり速度にはよらない、一定の摩擦力が働いていることがわかる。この図の上で、測定値を結ぶ直線が横軸となす勾配が $\frac{1}{A}$ ($= \frac{1}{g \cdot \mu_k}$) である。動摩擦係数 μ_k はこの勾配からすぐ計算できる。

この勾配 $\frac{1}{A}$ が大きいほど、スケートの速度の減少の割合が小さく（すなわち摩擦が小さく）氷はよく滑るといえる。図にみられるように $\frac{1}{A}$ の値は温度が高くなるほど、大きくなる。 $\frac{1}{A}$ と氷温との関係をまとめて示したのが第14図である。

同じように、瑞浪リンクでの実験例を示したのが第13図である。スケートが各測線を通る時の速度は、蓼の海の例と同じく、直線的に変化するが、発射から11 m を越える滑走については、直線に折れ曲がりが見られる。これは補遺1)で述べるように、11 m から先の氷面が



第13図 テスト スケートの速度—時間曲線
(瑞浪リンク)

一様な上がり勾配であったためである。
 11 m 点までの直線部分について、 $\frac{1}{A}$ と
 氷温との関係を、蓼の海のデータと共に
 図示すると、第 14 図のようになり、ほ
 ぼ同一の曲線にのることがわかる。

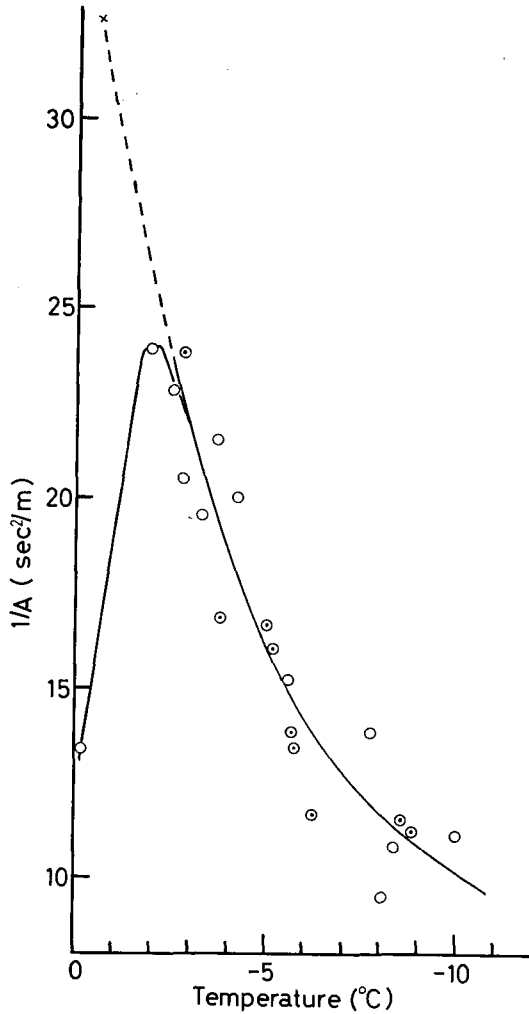
V. 実験結果と考察

以上の実験結果をまとめて、テスト
 スケートによるリンクの氷の滑り具合と
 氷温との関係を示したのが第 11 図およ
 び第 14 図である。

第 14 図の縦軸にとった $\frac{1}{A}$ (sec²/m)
 は、動摩擦係数 μ_k の逆数に比例するから、
 氷の滑りのよさを表わす量で、氷の
 “滑度” とよんでもいい。

第 14 図にみられるように、氷温
 -2°C 以下では瑞浪リンクの氷も、蓼の
 海の氷も滑度にほとんど差はないが、い
 ずれも氷温が低下するにつれ滑度は減
 る。-2°C で $\frac{1}{A}=24$ であるが、-10°C
 では $\frac{1}{A}=10$ と -2°C での値の半分以下
 に落ちる。この傾向は第 11 図の滑走距
 離と温度との関係にもみられる。滑度と
 滑走距離との間には (3) 式の関係がある
 が、われわれの実験では $v_0=1.4$ (m/sec)
 で打出しているの、滑度は数値的には
 滑走距離とほぼ等しい。

瑞浪リンクの氷では、滑度は -2°C を最高に、それより氷温が上
 がる急激に低下する。蓼の海の氷については、-2°C より高い氷温
 では、フィルムの解析による滑度の測定はできなかったが、滑走
 距離は、-0.5°C で最長 36 m に達した。この値から $v_0=1.4$ (m/sec)
 として滑度を求めると、 $\frac{1}{A}=32.6$ となる。



第 14 図 “滑度” ($\frac{1}{A}$) と氷温との関係
 ●蓼の海, ×蓼の海, 計算値
 ○瑞浪リンク

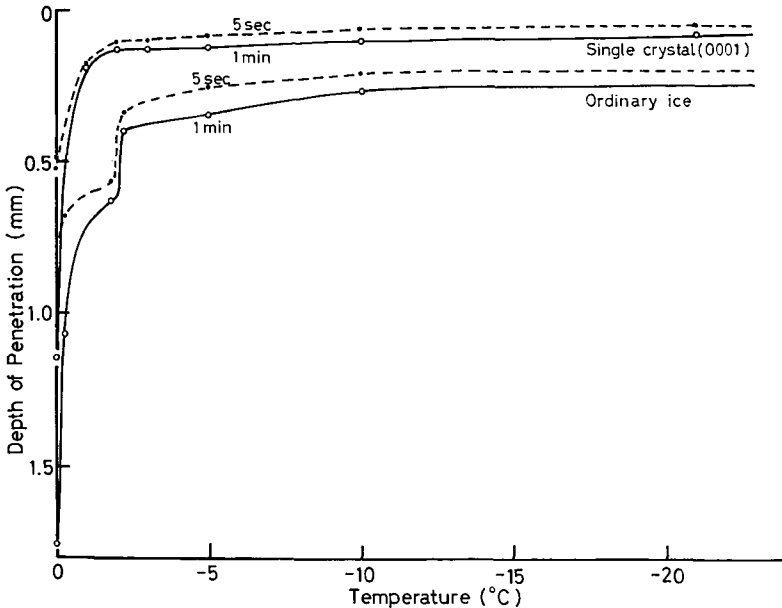
第 2 表 スケートと氷との間の動摩擦係数, μ_k

	-0.5°C	-2°C	-5°C	-10°C
蓼の海	0.0031	0.0042	0.0066	0.0102
瑞浪リンク	0.0078	0.0042	0.0066	0.0102

第2表には、第14図から求めた動摩擦係数と氷温との関係を示した。

前報^{1),2)}に述べたように、全日本スピード選手権競技会の記録の分析から、氷温 -2°C のときが、もっともよく滑ることを指摘したが、こんどの実験結果ははっきりとこれを裏付けている。瑞浪リンクでは -2°C 、蓼の海では -0.5°C で滑度が最大で、これより氷温が高くても低くても、滑りは悪くなる。 -0.5°C あるいは -2°C という氷の融点近くに、滑度最大のヤマが存在するのは、前報に述べたように、スケートと氷との間の潤滑剤としての水のでき易さと氷の硬度との兼ね合いによると考えられる。潤滑剤としての水は、低温よりも 0°C に近いほどでき易く、したがって、この点に限ってみれば、氷温が高いほどよく滑るといえる。しかし氷は 0°C 近くになると急激に軟化し、スケートは氷の中に埋まりこんで抵抗を増す。

滑度のヤマが蓼の海では -0.5°C 、瑞浪リンクでは -2°C と、かなり違うことはたいへん興味があることで、表面の氷の性質、たとえば、純度、結晶粒の向きと大きさ、それによる硬度の違いなどが関係していると思われる。しかし、これらをスケートリンクの現場で調べることは非常にむずかしい。



第15図 硬度計の沈みと氷温との関係

実験室内で市販の氷と、アラスカ・メンデンホール氷河の単結晶(0001)とについて硬度試験を行なったところ、第15図の結果が得られた。図の縦軸は、硬度計の円錐に1kgの荷重をかけて氷に押し込んだ時の、それぞれ5秒後および1分後の貫入の深さである。詳しくは別の報告^{3),4)}にゆずるが、市販の氷では -2°C で急激な軟化がみられるのに対し、単結晶ではみられない。これは瑞浪リンクと蓼の海の氷との相違を示唆するものかもしれない。

また実験に使われたテスト スケートの速度は、 1.4 m/sec 以下で、実際の競技のスピード 10 m/sec より一桁小さい。この違いのために、滑度の氷温に対する関係が全く違ってしまおう

いうことは考えられないが、これもこんご検討すべき点である。

氷温が低くなると、スケートは滑らない。またパイピングリンクでは、気温と氷温とにかなりの差ができ、氷面には霜がおり易い。この二点を防止するため、リンク氷面にエチレングリコールを塗ってみたが、結果は第11図の通りである。図の蓼の海 E.G. の曲線にみられるように、滑走距離の最大は、純氷の場合の -0.5°C より -1.5°C と 1°C 低い方へずれ、これより高い温度では、純氷よりも滑度はひどく落ちる。ところが、 -1.5°C より低い温度では、エチレングリコールを塗った氷の方が純氷よりもよく滑り、その差は氷温が低くなるほどいちじるしい。つまり低温では、純氷の滑度がどんどん悪くなるのに対し、エチレングリコールを塗った氷面では、余り滑度が落ちていない。これはエチレングリコールを塗った氷面では、氷温が下がっても、つねに“不凍液”（エチレングリコール水溶液）のうすい膜が存在して潤滑剤の働きをしているからである。また、いったんエチレングリコールを塗った氷面は、つねに不凍液の膜が存在するので霜もつかない。一晩おいた氷面でも、滑度はほとんど変らなかった。これらの結果から、競技用リンクの維持、競技運営のうえで、エチレングリコールの使用はきわめて有効といえよう。

第11図の測定結果は、温度の違う氷面に対して、同量のエチレングリコールを塗布したままのものである。エチレングリコールの水に対する平衡濃度は温度が高くなるほど薄くなるから、この場合表面の溶液層（エチレングリコールのしみこんだごく軟い氷の層）の厚みは、温度が高いほど厚くなっている。 0°C 近くでの滑度の極端な低下はこのためであろう。

400 m のトラック全面に、どうやってエチレングリコールを塗布するかの方法については、これから検討の要がある。

VI. む す び

今回のテストスケートによる滑走実験から、氷の滑度、あるいは動摩擦係数と氷温との関係が明らかとなった。蓼の海の氷が定評通りよく滑ることも、実験から確かめられた。とくに、瑞浪リンクが氷温 -2°C 以上で滑度が低下するのに対し、蓼の海では、 -0.5°C まで滑度が増してゆくのは興味ある現象である。氷温 -2°C 以下では、蓼の海も瑞浪リンクも滑度に差はないから、これは表面の粗さなど仕上げの問題とは思われない。蓼の海は別として、一般のパイピングリンクの氷は、瑞浪リンクと同じ傾向を示すと考えられるから、今回の実験結果から、スピード競技のためのよく滑る条件は、氷温 -2°C であるといっていよう。

氷温が低すぎる場合の滑度低下を防ぐため、またリンクへの着霜防止の対策として、エチレングリコールをうすく塗布することが有効なこともわかった。

この研究の実施にあたっては、岐阜県瑞浪高原国際スケートリンク、および長野県蓼の海リンクに、実験コースの提供をお願いし、両リンクの管理責任者の中根幸男、五味博一氏はじめリンク関係者の方々から終始リンクの整備、実験に協力して頂いた。またこの研究には、日本スケート連盟、倉町太郎、前田安雄、浜田道子の諸氏の示唆と協力に負うところが多い。以上の方々には心からお礼を申し上げる。

研究に要した費用の一部は、文部省科学研究費、および札幌オリンピック組織委員会よりの委託研究費によった。

文 献

- 1) 小林禎作・北原武道 1968 スケートリンクの氷質調査. 低温科学, 物理篇, **26**, 297-313.
- 2) 小林禎作・北原武道・河村俊行 1969 スケートリンクの氷質調査 II. 低温科学, 物理篇, **27**, 267-287.
- 3) 北原武道・河村俊行・小林禎作 1969 氷の硬度の測定. 低温科学, 物理篇, **27**, 289-293.
- 4) 北原武道・河村俊行・小林禎作 1970 氷の硬度の測定 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 81-96.

補 遺

1) 瑞浪リンク実験コースの傾斜と、滑走距離に対する補正

第13図にみられるように、 $\frac{1}{A}$ の値は発射台から11mまでの氷面と、12mより先の氷面とでは異なる。この変化はかならず、11mと12mの両地点の間で起り、11mまでの $\frac{1}{A}$ と、12mより先の $\frac{1}{A}$ の値との比は温度によらずほぼ一定で、平均1.47であった。つまり12mより先では、スケートの滑りに対する抵抗が増している。

この点を境に、氷面の状態、スケートと氷との間の動摩擦係数 μ_k が変わっているとは考えられないから、この点を境に傾斜が変わっていると考えるのが至当である。発射台から11m点までについての $\frac{1}{A}$ と氷温との関係を、蓼の海のデータと共に図示すると、第14図のようになり、 -2°C 以下ではほぼ同一曲線上にのる。蓼の海の氷面が完全に水平であることは、すでに確かめられているから、瑞浪の実験コースは、0~11mの間の氷面は水平で、それから先が一様な上がり勾配になっているとみてよい。

いま水平に対して小さな傾き θ をなす氷面を滑り上がるスケートの運動方程式は、

$$\begin{aligned} M \frac{dv}{dt} &= -M(\mu_k g \cos \theta + g \sin \theta) \\ &= -MA' \end{aligned} \quad (5)$$

であらわされる。この式を実験コースの12mより先の氷面に適用すると、傾き θ はつぎのように計算される。

$$\begin{aligned} \frac{A'}{A} &= \frac{\mu_k g \cos \theta + g \sin \theta}{\mu_k g} \approx \frac{\mu_k + \theta}{\mu_k} \\ \therefore \theta &\approx \left(\frac{A'}{A} - 1 \right) \mu_k \end{aligned}$$

$\frac{A'}{A}$ 、すなわち $(1/A)/(1/A')$ は第13図より求められるから、その平均値1.47にごく近い氷温 -4.2°C の場合($A'/A=1.44$, $\mu_k=0.0051$)を例にとると、

$$\theta = 0.0022$$

となり、実験コースの12mから先は、10m行って2cm上がるという上がり勾配であったことがわかる。

これをもとに、第11図に示された瑞浪リンク純氷面の滑走距離については、つぎのような補正がなされた。

0~11 m 間の滑走距離については、補正の必要がない。12 m 点を通る時の速度はフィルム
の解析からわかっている。これを v_0 とし、0~11 m の氷面についての $\frac{1}{A}$ を使って (3) 式によ
り水面が水平と仮定した時に、12 m 点を越えてとどれだけ滑るかが計算できる。これを S' とす
ると、求める滑走距離 S は、

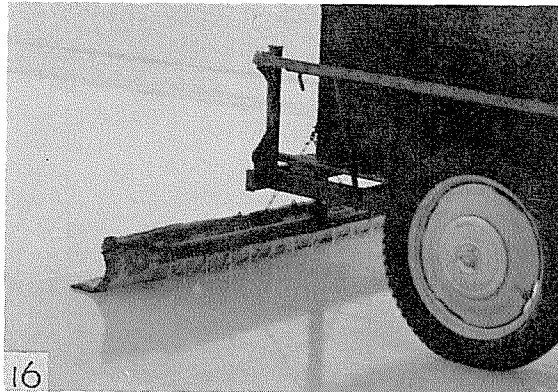
$$S = 12 + S'$$

で与えられる。

2) ザンボニーによる氷面整備と水温上昇

競技途中で、滑り傷や、霜を除くために、ザンボニーによる整氷作業が行なわれる。ザン
ボニーは水タンクを積んだ車で、後に厚い布や毛布を引き、その上にたくさんのノズルから
水を吹き出させ、走りながら氷面を濡れ
雑巾で拭いてゆく仕掛けである (第16
図)。使用される水の温度は、状況により
異なるが、+40°C ぐらいまでの湯のこ
が多い。

水温が低いときでも、ザンボニー通
過直後の表面温度は0°C まで上がる。氷
温がかりに -10°C とすると、ザンボニ
ー整氷の直前と直後に滑る選手では、
かなり氷の滑度が違う。ザンボニー整氷
直後に滑る選手の方が有利である。また
競技会の場で水温を測る際に、温度計を

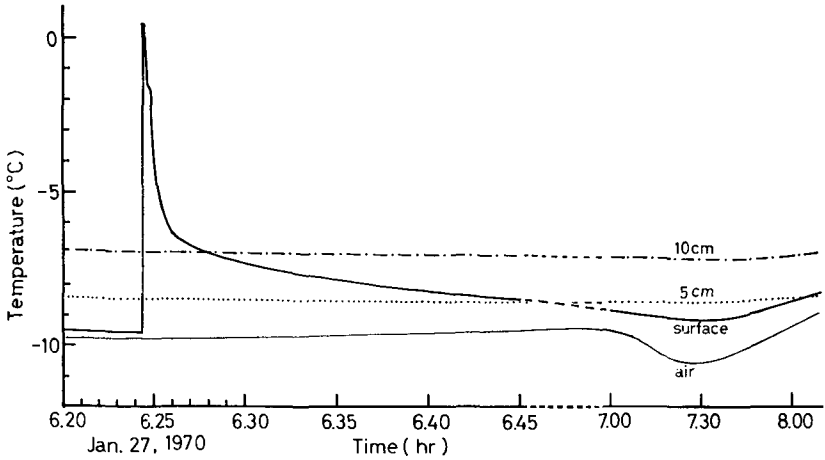


第16図 氷面の“雑巾がけ”(蓼の海、五味博一氏が考案、自製した“ザンボニー”)

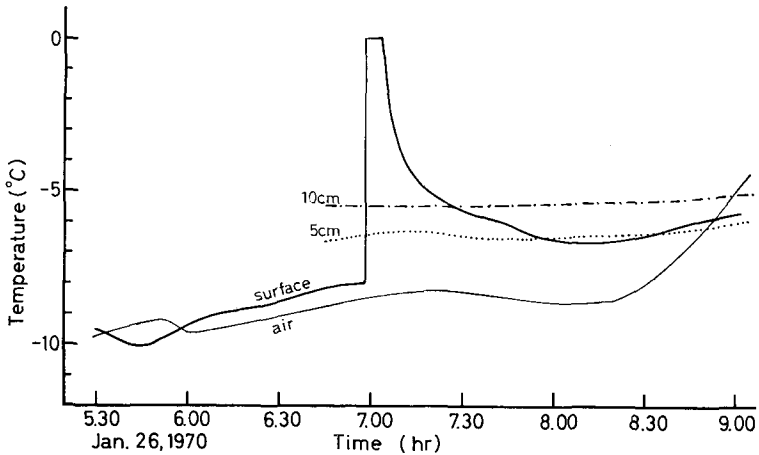
ザンボニーの通るレーストラックに設置することはできない。レーストラックを外れて設置し
た温度計の示度とザンボニーの通るレーストラックの氷温とは当然違っている。

実際にザンボニーが濡れ雑巾を引いて通ることにより、どのくらい水温が上がるか測定し
てみた。蓼の海での測定例が第17, 18図である。氷面スレスレに埋没したサーミスター温度
計の真上を、ザンボニーに通過してもらい、その温度変化を自記させたものである。第17図
はザンボニーによる雑巾がけをただ1回、第18図は連続して3回行なった場合の例である。
これによると、雑巾がけの余効がかなり長く、完全に消えるには、約1時間も要しているこ
とがわかる。

蓼の海で撒水に使う水は、湖水を割って汲み上げたものであるから、濡れ雑巾の水の温度
はほぼ0°Cに近い。またここに示した2回の実験は、早朝気温の低いとき、すなわち、いった
ん上がった水温の回復が比較的早いと期待される時点の例である。パイピングリンクの氷につ
いては測定しなかったので何ともいえないが、ザンボニーによる整氷の影響は、競技の運営
上、また競技時の水温を測定する上からも、注意すべきことであろう。



第 17 図 雑巾がけ 1 回による氷温上昇。氷の表面温度のほか、表面下 5 cm, 10 cm および気温を示す



第 18 図 雑巾がけ連続 3 回による氷温上昇。氷の表面温度のほか、表面下 5 cm, 10 cm および気温を示す

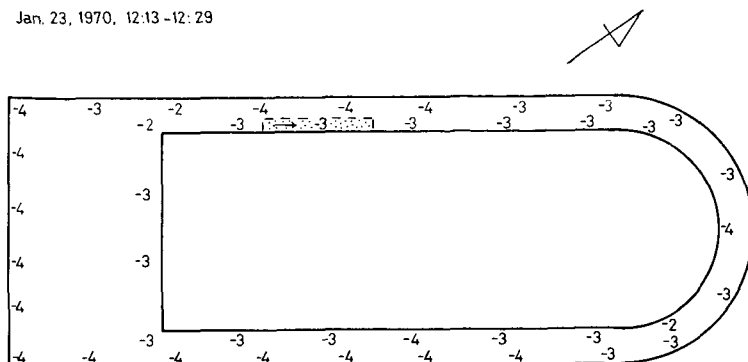
3) 瑞浪リンクの氷温分布

リンクの氷温が、400 mトラックの全面にわたり、どの程度違っているかを知ることは、リンクの氷温を測定するとき、どこを代表点に選ぶかに関連して重要である。

瑞浪リンクでは、ジープに赤外輻射温度計を積んで、トラックを周回しながら氷温を測定した。この器械は絶対精度が悪いので、バケツに入れた水と氷の混合槽で、たえず 0°C の検定をしながら测温した。ジープは平らな氷の上を徐行したので、振動による測定の誤差はない。

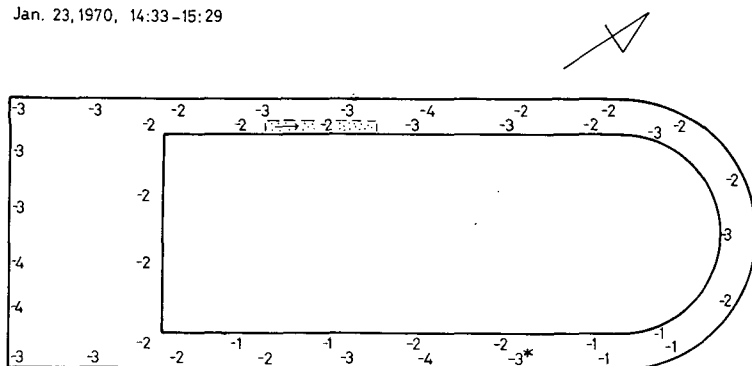
測定例を第 19, 20 図に示す。天気は午前中曇からす曇、12:30 から 14:00 にかけて晴、14:30 には再びうす曇であった。測定時、リンクには地物による日陰は、* 印の地点を除きなかった。

Jan. 23, 1970, 12:13-12:29



第 19 図

Jan. 23, 1970, 14:33-15:29



第 20 図

Summary

A series of measurements concerning the coefficient of sliding friction between test-skates and ice was carried out in Mizunami (artificial, piping) and Tateno-umi (natural, lake) rinks, using a set of test-skates (52 kg weight) and a specially designed catapult as shown in Figs. 1~6. The test-skates were ejected from the catapult at a constant initial velocity (1.4 m/sec) on well-prepared ice surfaces of different temperatures.

The sliding velocity of skates decreased with time because of dynamic friction between the skates and ice. The coefficient of sliding friction, μ_k , between the skates and ice was obtained from the analysis of 16 mm cine films taken by a camera mounted on the sliding skates. Values of μ_k against the surface temperature of ice are given in Table. 2. The minimum value of μ_k was obtained at temperatures -2°C and -0.5°C at Mizunami and Tateno-umi respectively.

When the ice surface was coated with ethylene glycol, the value of μ_k decreased considerably in comparison with that of non-treated ice surfaces at rather lower temperatures. The coating of ethylene glycol may prevent the surface of the rink ice from frosting.