



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	スケートリンクの氷質調査 II
Author(s)	小林, 禎作; KOBAYASHI, Teisaku; 北原, 武道 他
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 267-287
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18117">https://hdl.handle.net/2115/18117</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p267-287.pdf



## スケートリンクの水質調査 II\*

小林 禎 作

(低温科学研究所)

北原 武道・河村 俊行

(北海道大学大学院 理学研究科)

(昭和44年7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調べることからはじまった。第1年度(1967~1968年の冬)は、実際の競技の場での氷の温度・硬度の調査に重点をおいた。そして、i) 競技に最適の表面温度は $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$ であること、ii) 氷の内部の気泡の分布状況が氷の良し悪しに大きく影響することを指摘した<sup>1)</sup>。またこの調査結果にもとづいて、氷の表面温度の測定法を統一することを提案し、それは“氷温測定の手引き”<sup>2)</sup>として日本スケート連盟から各関係者に通達された。

氷がよく滑る、滑らないについては、その温度、硬度が重要な物理的因子として考えられるが、また「<sup>なま</sup>海の氷がよく滑る。」などという言葉もよく耳にするように、氷の質そのものにも差異があるのかも知れない。そこで第2年度(1968~1969年の冬)としては、国内の代表的なスケートリンクを廻って、氷のコアサンプルを採集し、氷結晶の粒度、気泡の分布状況、氷の純度などを調べた。調査したリンクは天然氷の湖4カ所、人工氷のパイピングリンク6カ所であるが、両者の間には特徴的な差異が認められた。各地の現場責任者からは、整氷の実際について話を聞くことができ、また実験室内及び千葉県松戸市の日立プラント建設株式会社のテストリンクにおいては、いろいろに処理した水の凍結実験を行なったので、これらを総括してリンク氷の作り方について若干の考察を試みた。

### II. 調査したリンクの概要

調査したリンクの名称、所在、施設の概要はつぎの通りである。これらのリンクでは、氷温、硬度の測定を行ない、またコアドリルを用いて、各リンクで2~3カ所ずつ、直径75 mmの円筒形の氷サンプルを表面から底まで掘抜き、その試料を札幌まで持ち帰った。

#### 1. 天然氷のリンク

- i) ウトナイ湖 面積 $3.75\text{ km}^2$ 、水深1 m。

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第978号

北海道苫小牧市郊外の湿原にある浅い沼。札幌―苫小牧の国道沿いで交通の便がよいため、最近スケート場として賑わうようになった。

ii) 松原湖 長野県南佐久郡，国鉄小海線の中程にある松原湖駅の近くにある湖沼群。

これらのうち，猪名湖，貯水池，長湖がスケート場として古くから有名である。

貯水池（大月湖） 海拔 1183 m，面積 0.03438 km<sup>2</sup>，最深 3.55 m，平均深度 2.36 m\*。

ここには，小海町南佐久実業高校が管理する 400 m のスピード競技用コースがある。1969 年 2 月 2 日に調査を行なったが，1 月 26 日以来の暖気のため，氷は全層 0°C で，滑走不能の状態であった。

長湖 海拔 1126 m，面積 0.0292 km<sup>2</sup>，最深 3.6 m，平均深度 2.29 m。

例年 12 月 15 日頃結氷し，3 湖のうち一番早い。解氷は 3 月末。昔は食用氷として切出されたという。

猪名湖 海拔 1123 m，面積 0.1172 km<sup>2</sup> で湖群中最大，最深 7.7 m，平均深度 4.98 m。

1969 年 2 月 2 日の調査の折には，岸の一部で解氷し水面が広がっており，氷上での調査ができなかった。

iii) 蓼の海<sup>なつみ</sup> 長野県諏訪市郊外，海拔 1250 m。

諏訪市で管理する 400 m スピード競技用コースならびに附属の施設がある。最近人工のペイピングリンクができるまで，日本のスピード記録の多くはここで作られたほど，よく滑る氷として定評がある。

1969 年 2 月 3 日夕から 5 日午前にかけて調査を実施した。4 日には，第 8 回全国実業団スピードスケート選手権大会第 1 日目の競技が行なわれたが，4 日夜の吹雪と，朝方にかけての湿雪のため，大会は中止となった。

## 2. 人工のリンク

i) 苫小牧スピードスケート競技場

(第 1 図) 苫小牧市。

これは札幌オリンピックの時には，各国選手の練習会場となる施設で，400 m ダブルトラック，コンクリート床下に鋼管を埋込み，ブラインによって冷却する。1968 年 10 月 31 日，リンクの製氷開始の時点で，撒水・結氷作業を見学した。12



第 1 図 苫小牧リンク

月 23～24 日，全日本選抜スピードスケート競技会が行なわれ，この間氷温・硬度を測定し，氷のコアサンプルを採取した。

ii) 富士スバルランド スケートセンター 山梨県河口湖町 海拔 1050 m。

ブライン冷却方式，鋼管配管の 400 m ダブルトラックのコースである。1969 年 1 月 27～28 日，第 24 回国体スケートのスピード競技の一部が行なわれたが，前日からの異常暖気のため

\* 松原湖群については，氷況の観測をも含む，1914～1941 年にわたる田中阿歌麿の研究<sup>3)</sup>がある。これらの数値は文献<sup>3)</sup>による。

め、レースは27日深夜と、28日早朝から午前にかけて、霧のなかの悪条件下で行なわれた。

iii) 富士急ハイランド総合スケートセンター 山梨県河口湖町

国体フィギュア、ホッケー両競技がここで行なわれた。このホッケーリンクは今シーズン完成したばかりの、我が国で最初のアンモニア直接膨張方式のリンクである。鋼管はコンクリート基盤上に露出配管し、直接氷のなかに埋め込まれている。競技終了後、氷コアサンプルの採取のみを行なった。

iv) 瑞浪高原国際スケートリンク 岐阜県瑞浪市 海拔330 m。

ブライン冷却方式、ポリエチレン1 $\frac{1}{4}$ インチのチューブを9 cm 間隔でコンクリート床面上に露出配管した400 m ダブルトラック コースである。1969年1月30日、調査にあたった。

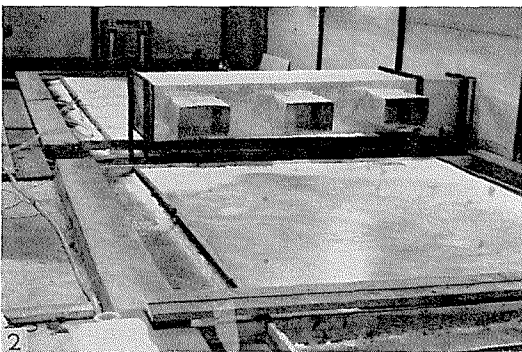
v) 木曾駒高原スケートリンク 長野県木曾福島町 海拔800 m。

ブライン冷却方式、鋼管をコンクリート床面上に露出配管した400 m トラックである。1969年2月1日、氷温、硬度の測定と氷コアサンプルの採取を行なった。

vi) 日立テストリンク (第2図)

千葉県松戸市日立プラント建設株式会社工場内。

空調設備をもつ屋内に、ブライン冷却方式による2×4 m、コンクリート仕上げリンク1面と、同じく2×4 m オール



第2図 松戸市、日立プラント建設株式会社テストリンク

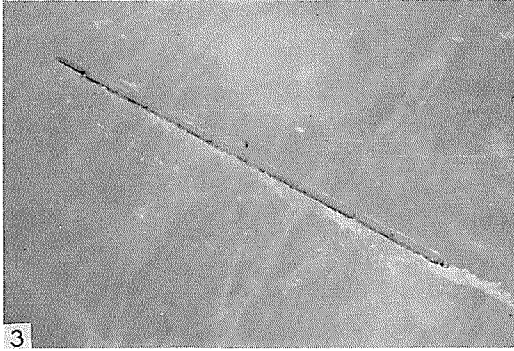
ウェザー仕上げリンク1面とがある。日立プラント建設研究課の協力を得て、このコンクリート仕上げリンクの一部2.0×1.5 m を仕切り、1968年12月半ばから1969年1月半ばにかけて、脱気処理した水の凍結実験を行なった。

### III. 氷温及び硬度の測定

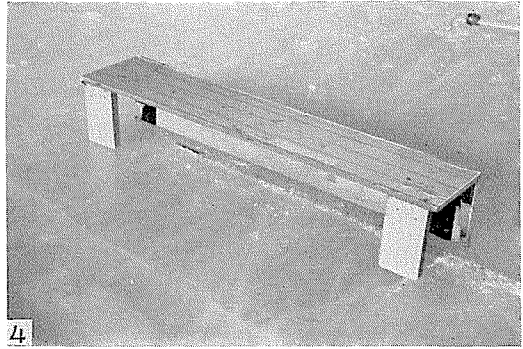
氷の表面温度の測定法は、前報<sup>1)</sup>及び“氷温測定の手引き”<sup>2)</sup>に述べた通りである。詳しくはこれらを参照されたい。1/2°C 目盛りの水銀棒状温度計を+40°C 位の湯に浸して全体を暖めこれを氷上に水平に横たえ、くるくる廻して周りの氷を融かしながら、温度計の太さの半分が埋まるよう氷の中に沈める。温度計が冷えたら再び湯に浸して暖め、三回位これを繰返せば、温度計は所定の深さに埋まり、そのまま放置すれば周囲の氷にぴったりと凍着する(第3図)。

日中は水銀溜めへの日光の直射を避けるため、アルミ箔を張った木製の小さな屋根をかける(第4図)。また夜間晴天の場合はこの屋根を除いた方がよい。これは、氷面は天空への放射によって冷却するが、屋根をかけると放射が遮られ、周囲より温度が高くなるからである。河口湖富士スバルランド スケートリンクで1月27日19時30分頃、晴天のものとの測定例によると屋根をかけた方が、かけないのに比べ、約2°C 高かった。

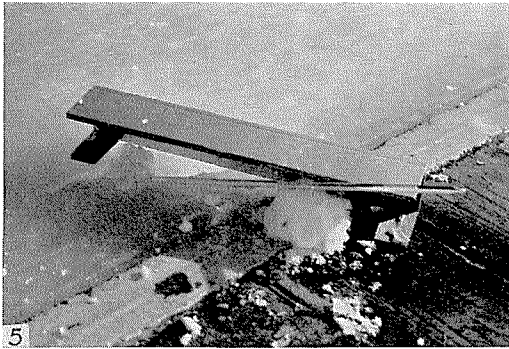
第5図はある競技会において、リンク管理者が氷温測定のために設置した温度計である。



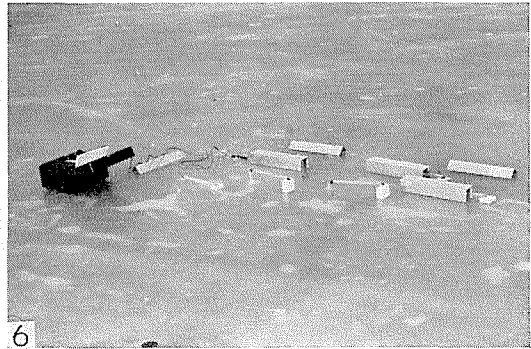
第3図 表面温度測定用の水銀棒状温度計。  
あたためた温度計を氷上に横たえ、くるくる廻して氷を融かしながら、太さの1/2まで埋めこんだところ



第4図 日除けのための、アルミ箔をはった木製の小屋根（屋根の側板は日射しに面して置く。写真では温度計が見えるよう、わざと向きを反対にしてある）



第5図 氷温測定の悪い例



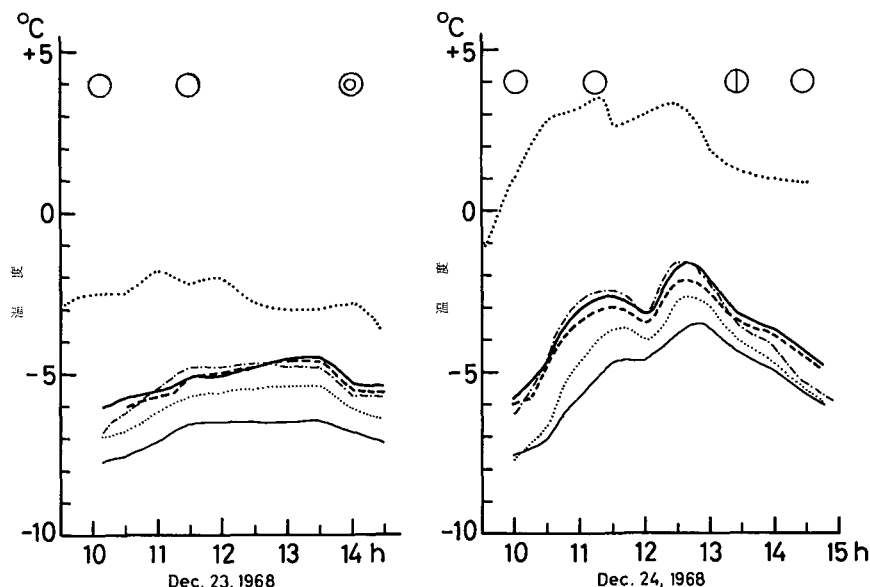
第6図 蓼の海での氷温測定

氷の表面を大きくえぐった穴に温度計を差入れ、その感温部に氷の塊が載せてあるが、これでは氷の表面温度を測定していることにはならない。氷温の適否が競技の記録を大きく左右することは前報に述べたが、リンクの氷を最適温度に保つためには、まず正しい方法による氷温の測定が大事なことを、リンク及び競技関係者に強く訴えたい。

氷表面温度の測定には、このほか、サーミスター素子を外径2mmの細長いステンレス管の先端に収めた温度計を、上記水銀温度計と同様に横たえ使用した。両者の指度は大体においてよく一致した。

苫小牧選抜競技会、河口湖スバルランド国体スピード競技会、及び蓼の海実業団競技会の期間中は、氷表面温度のほか、曲管温度計を氷のなか適当な深さに埋め、各深さの温度を測定した(第6図)。

第7, 8図は苫小牧及び河口湖における各深さの氷温の時間的変化を示す。人工パイピングリンクでは、 $-10\sim-13^{\circ}\text{C}$ のブラインを流して氷の底を冷却するが、気温はこれよりかなり高いのが普通である。したがって氷の中の温度は底から上へゆくほど高い。ところが日射があると、氷は透明な物体であるから日射は氷内部にも入り、そこで吸収されて温度を高める。そのため氷表面の温度よりも、表面からある深さに入った所の温度の方が高くなる。これについて



第7図 苫小牧リンクにおける氷温の時間的变化 (1968年, 12月23~24日)

- サーマスタによる表面氷温,
- - - 棒状温度計による表面氷温,
- · - · 1 cm,
- 5 cm,
- · — 8.5 cm,
- 気温

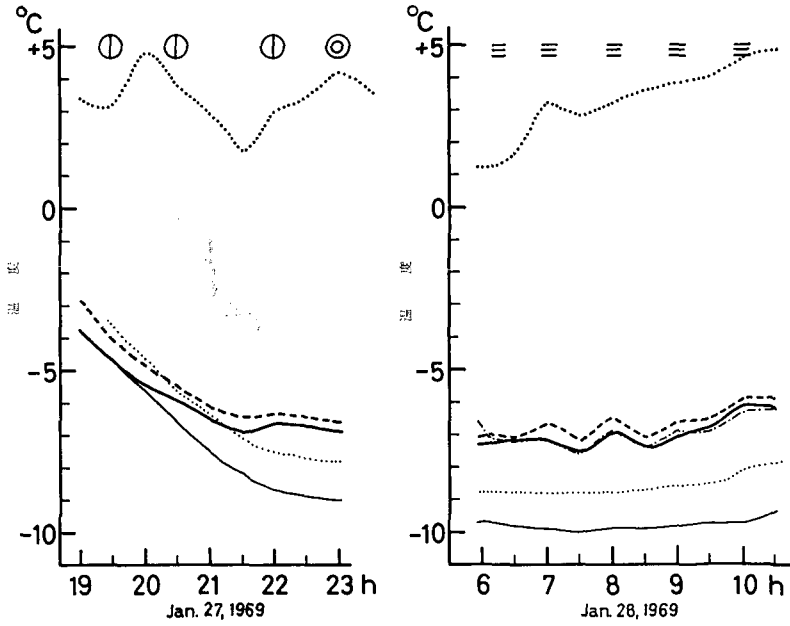
は前報ですでに述べたが、1968年12月23~24日、苫小牧での観測例でも、表面から1cmの深さの温度計が最も高い温度を示している。

人工パイピングリンクに対して、湖が自然に結水した場合には、氷の底には常に0°Cの水が接しており、気温は結氷期間を通じこれより低いのが普通である。したがって氷の中の温度は、人工リンクとは逆に、底から上へゆくほど低い。第9図は蓼の海での観測例で、第10図はこれをもとに、各時間における氷内部の温度の垂直分布を描いたものである。

氷の表面温度と競技記録との関係については、昨年輕井沢リンクでの全日本選手権大会の資料から、-2~-3°Cの氷が滑走に最適で、これより温度が低くても、高くても記録が悪くなることを示した。本年度も2月18~22日の間、瑞浪リンクで行なわれた全日本スピード選手権の記録について、昨年同様、各種目上位5人の500m換算タイムの平均と、日本選手権記録(500m換算)との比\*を求め、これと氷温との関係を第11図に示した。図には昨年度の結果も掲げた。図中M(W)500とあるのは男子(女子)500m競技をさす。

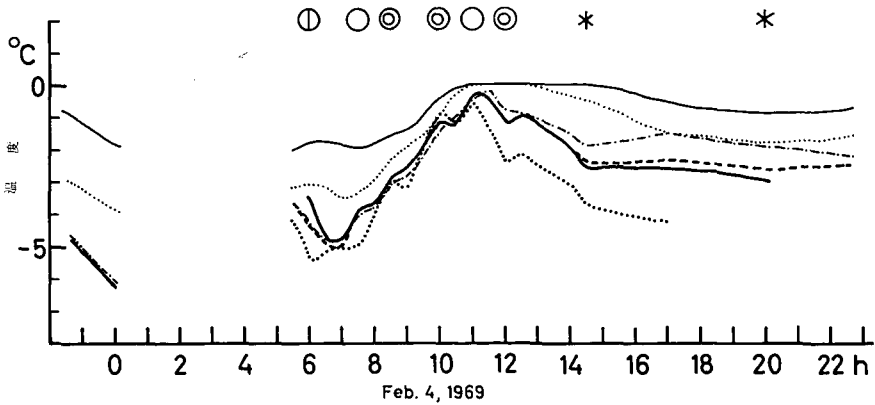
この大会中の氷温測定は、同リンクの整氷責任者中根幸男氏によってなされたが、大会に先立って、同氏には温度計の埋め方、測定法など十分に習得して頂いたので、この測定値は信頼し

\* 前報では競技の開催地である輕井沢リンクでのベストタイムとの比を求めた。瑞浪リンクは開設後日が浅く、大きな競技会を催したことがないので、このリンクのこれまでの記録はレベルが低い。一方輕井沢のベスト記録は、すべて現在の日本選手権記録でもある。



第8図 河口湖富士スバルランドにおける水温の時間的变化 (1969年1月27~28日)

- サーマスタによる表面水温,
- - - 棒状温度計による表面水温,
- · - 1 cm,
- 6 cm,
- · — 9 cm,
- 気温



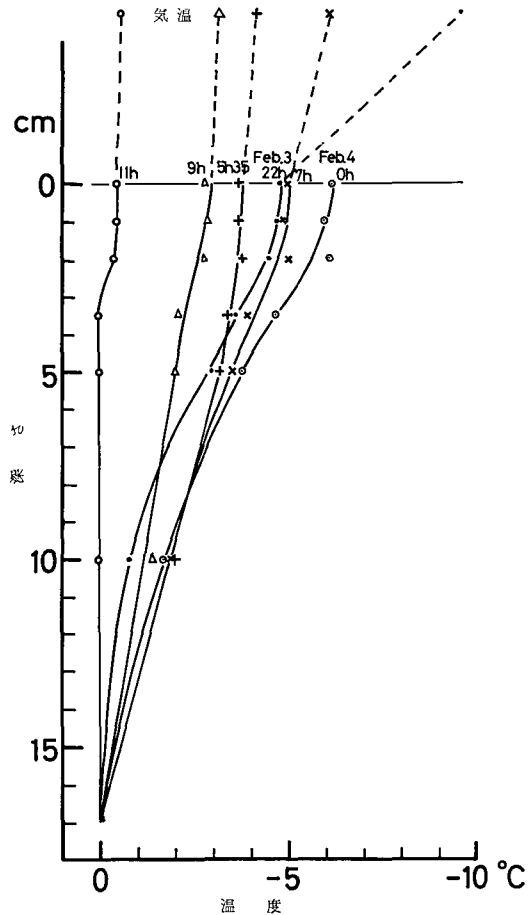
第9図 蓼の海リングにおける水温の時間的变化 (1969年2月3~4日)

- サーマスタによる表面水温,
- - - 棒状温度計による表面水温,
- · - 1 cm,
- 5 cm,
- · — 10 cm,
- 気温

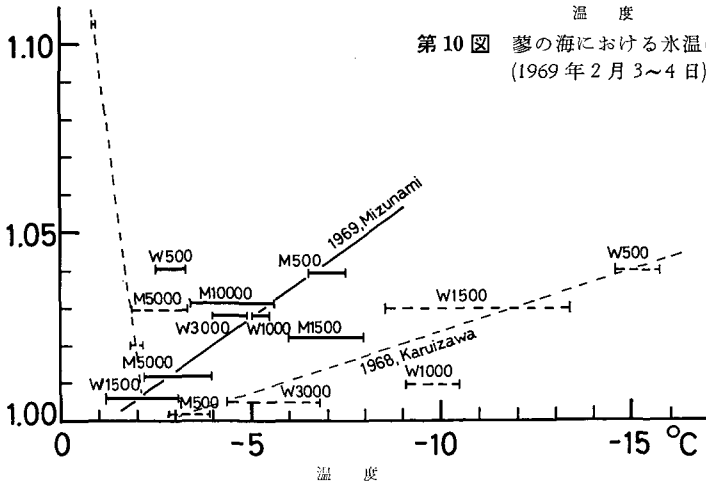
得るものとする。競技期間中に霧がかかったり雨が降ったりして、記録は全体として低調であったが、氷温  $-1 \sim -3^{\circ}\text{C}$  で行なわれた女子 1500m で上記比の値が 1.006 と最も小さく、氷温が低くなるにつれてこの比が大きくなり、スケートが滑らなくなる傾向を示している。

昨年、今年と 2 回の全日本選手権大会の調査結果からみて、 $-2^{\circ}\text{C}$  前後の氷が競技に最適であるとの結論は動かないものと思う。これについては、氷の硬度の実験室的研究から、これを裏付けるような興味ある結果が得られている。詳しい報告は別の論文<sup>1)</sup>にゆずり、ここにはその結果だけを述べる。

氷の硬度は、氷の上に鋼製の球又は円錐を置き一定の荷重をかけたとき、一定時間に表面からどれだけ沈むかによって表わされる。昨年度の調査では、鋼の球を使い、これが氷の表面に印したこん跡を測った（これを Brinell の方法という）。今年の調査では円錐の沈みそのものを、ダイヤルゲージの読みから直接求められるよう装置を改良した（これ



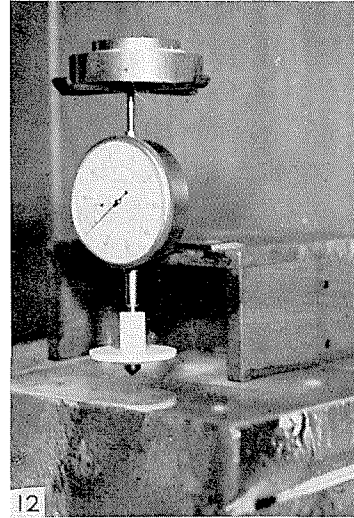
第 10 図 蓼の海における氷温の垂直分布 (1969年2月3~4日)



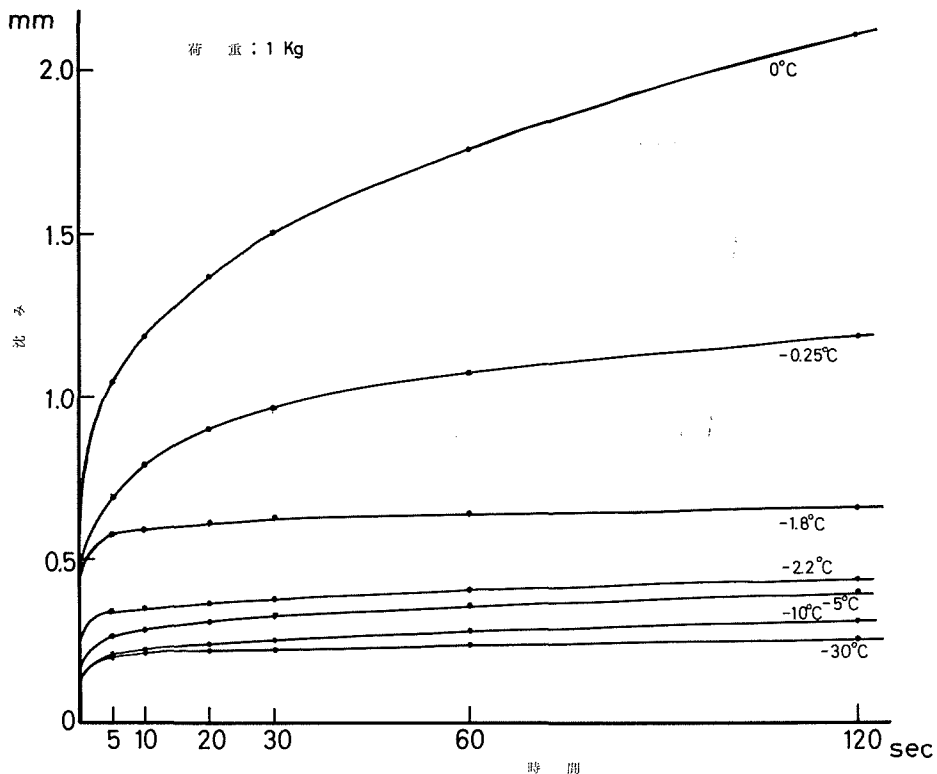
第 11 図 スケートの滑りと氷の表面温度との関係。縦軸の値はつぎの比を示す。  
各レース上位 5 人の 500 m 換算タイムの平均  
日本選手権記録 (500 m 換算)  
実線は、1969 年瑞浪リンクにおける全日本選手権競技成績により、破線は 1968 年若井沢における全日本選手権競技成績より求めたもの<sup>1)</sup>

は Rockwell の硬度測定の一様である)。第 12 図はこの装置で氷の硬度を測っているところである。この装置によれば、荷重をかけた時の円錐の沈みを、時間の経過につれて読み取ることができる。第 13, 14 図は、ある氷の試料を  $-30$ ,  $-10$ ,  $-5$ ,  $-2.2$ ,  $-1.8$ ,  $-0.25$  及び  $0^{\circ}\text{C}$  の各一定温度におき、 $1\text{ kg}$  の荷重をかけたときの、沈み一時間曲線である。測定は低温実験室内の恒温箱中で行なわれた。

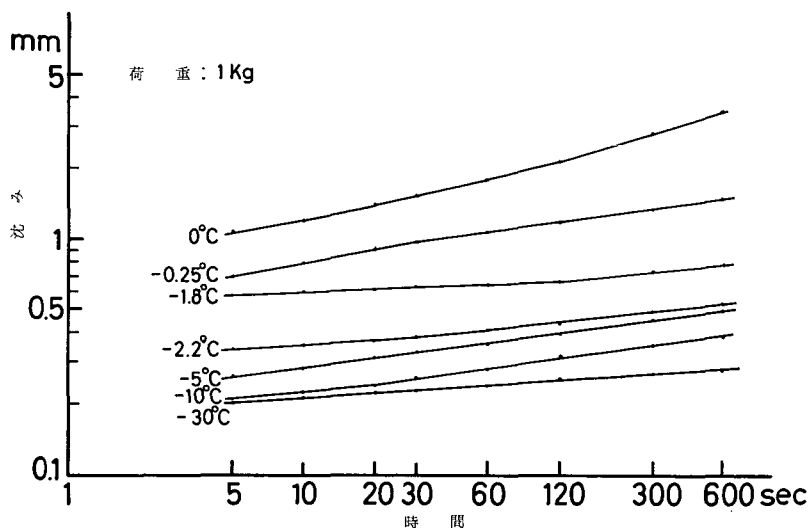
第 13 図に示されるように、鋼の円錐を氷に接触させると、その瞬間に円錐は大きく沈む。この沈みは、低い温度の氷では小さいが、温度が高くなるにつれ大きく、 $0^{\circ}\text{C}$  近くでは非常に大きい。荷重をかけたままにしておくと、円錐はじわじわと沈んで行く。時間を経ても、沈み方は非常に緩かになるが、なお続く。第 14 図は、荷重をかけて 5 秒から 10 分の間の、沈み一時間曲線を両軸とも対数目盛にとって表わしてある。この図をみると、沈みの時間に対する割合、即ち各線の勾配が、低い温度から高い温度に移るにつれて、急になってゆく傾向のうちに、 $-2.2\sim-1.8^{\circ}\text{C}$  で逆転があるのに気付く。 $-2.2\sim-1.8^{\circ}\text{C}$  の氷は、荷重をかけた瞬間には大きく沈むが、これは  $2\sim3$  秒も



第 12 図 氷の硬度測定



第 13 図 第 12 図の硬度計による測定結果。沈み一時間曲線



第14図 第12図の硬度計による測定結果。沈み—時間曲線

すれば落付き、5秒過ぎてからの沈みの速さはこれより低い温度の水よりも逆に小さい。この曲線の勾配をもって硬度を定義するとすれば、 $-2.2\sim-1.8^{\circ}\text{C}$ の水は最も硬いことになり、この温度範囲を除けば、氷は低温度から高温になるにつれ軟らかくなり、 $0^{\circ}\text{C}$ の表面の融けている氷では特に軟らかい。

荷重を変えて(0.2~3 kg)実験しても、氷試料を代えて実験しても、この傾向は変わらない。 $-2^{\circ}\text{C}$ の水が“剛体を押し込んだ時、最初の瞬間には軟らかいが、その後の押し込みに対しては、他のどの温度の水よりも硬い”。という特異な性質を示すことは、スケートの滑走にとってたいへん興味深い。

スケートは片足の蹴りによって前進力を得るが、上述のような性質の水は蹴り足に対してその蹴りを柔らかく受けとめ、それを前進力に活かすのに好都合である。

また、スケートが、スケートと氷との間にできる水を潤滑剤として滑るとすれば、氷の温度が融点に近いほど水はでき易く、滑り易い。ところが $0^{\circ}\text{C}$ 近くになると、氷は急激に軟らかくなり、スケートが氷の中に埋まり込んで抵抗を増し、滑りにくくなるだろうということは前報に述べた。今回の実験で、 $0^{\circ}\text{C}$ 近くの水が急激に軟らかくなることは確かめられた。しかし $-1.8\sim-2.2^{\circ}\text{C}$ の水が、一たん体重の乗ったスケートに対しては、他のどの温度の水よりも硬いことは、滑走するうえにきわめて好条件である。

残された問題として、実際のスケートに一定荷重をかけて滑らせ、 $-2^{\circ}\text{C}$ の水と、その他の温度の水とについて滑りの度合を比較測定するとともに、スケーティングの機構についてもこんど考えてみたい。

#### IV. 氷コアサンプルの断面観察

試料の採取には、特に氷の掘さく用に作られた内径75 mmの手廻しコアドリルを使った(第15図)。人工パイピングリンクでは、氷厚も5~10 cm程度で、一部の露出配管のリンク

では、パイプを傷つけないよう注意が必要ではあったが、底まで簡単に掘抜くことができた。天然の湖水では氷が厚く、掘抜き途中で横に割れ目が入り、数個のブロックに折損することが多かった。特にウトナイ湖の場合は、表面水温は $-3^{\circ}\text{C}$ とそれほど低くはなかったのに、氷は薄く劈開するように砕けてしまい、ドリルで掘ることが不可能であった。それで、



15

第15図 コアードリルによる氷試料の採取

のみと金鎚を使って $15 \times 15 \text{ cm}$ 、深さ $10 \text{ cm}$ の氷のブロックを切出して試料とした。各地で採取した氷は、試料ごとにビニール袋に入れ、断熱箱にドライアイスと共に納めて札幌まで持帰った。

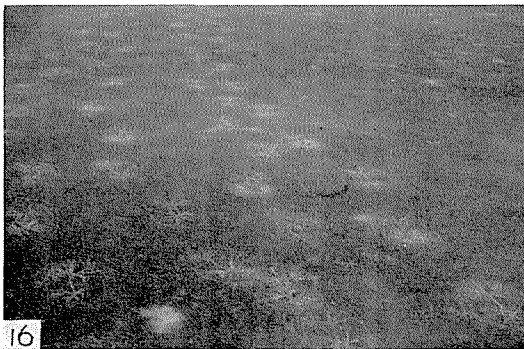
試料は低温実験室内で、バンドソーを使って、まず縦割り厚さ $5 \text{ mm}$ 程の板に切出す。ついでECガラス(ガラス面に $\text{Sb}_2\text{O}_3$ を含む $\text{SnO}_2$ 膜を蒸着し、表面に電気伝導性を与えたもの。透明な面状のヒーターとして使われる。)の電流を調節して適当な温度に保ち、切出した氷の板をこれに密着させ、ゆっくりと融かしながら断面をきれいに仕上げる。片面ずつ融かして、最後に厚さ $2 \sim 3 \text{ mm}$ の板に仕上げる。こうして作った氷の縦断面試料を二枚の直交ポラロイド板の間に置き、結晶粒の大きさ、並び方を写真に撮って観察した(図版 I~XVI の a)。

氷の中の気泡の分布を調べるには、上の氷の板を黒いシオンベルベットの上に置き、斜め上方から光を入射させ、気泡を白く光らせて写真に撮った(図版 I~XVI の b)。この時氷の板の表面に着霜していたり、こまかい凹凸があると、これも白く光って写るから、特に念入りに面を仕上げる必要がある。以下各地の湖及びリンクの氷の縦断面の観察例について説明する。

図版 I-a, b (試料 No. 12)

ウトナイ湖, 1969年1月8日14時採取, 気温 $-3^{\circ}\text{C}$

切出した氷ブロック( $15 \times 15 \times 10 \text{ cm}$ )の一縦断面である。aにみられるよう、これは全体



16

第16図 松原、長湖の“二枚氷”に残された“足跡”

一つの単結晶で、直交ポラロイド板の間に挟んで $360^{\circ}$ 廻転しても真暗であるから断面は結晶主軸にはほぼ垂直であることがわかる。気泡は、氷の上部 $4 \text{ cm}$ 程の層には水平的な配列がみられ、それより下の層では、縦方向に連なる傾向がみられる。

図版 II-a, b (試料 No. 23)

松原 長湖, 1969年2月2日8時採取, 気温 $-2.5^{\circ}\text{C}$ , 氷厚 $26 \text{ cm}$ 。

表面から約 $2 \text{ cm}$ は暖気のため一たん融けた水が再凍結した、いわゆる“二

枚氷”になっており、歩くと第16図にみられるような面白い足跡を残して割れた。氷温は全層 $0^{\circ}\text{C}$ であった。氷の底まで掘り抜いて試料を採ったが、表面の二枚氷の部分を除き、5ブロックに壊われた。割れ目を合わせて原形に復し、縦断面を観察したのが**b**である(復元したものは全長21 cm)。気泡はごく少ないが、表面から7 cmほどの深さまでには、日射による内部融解によってできたと思われる“水みち”が大きな空洞となって残っている。**a**は折損した試料5ブロックのうち、上部3ブロックの偏光写真である。真中の断面は色が少し異なっているが、これは復元に際して向きが多少狂ったため、この3枚の断面は一つの単結晶を構成していたものと思われる。

**図版 III-a, b**, (試料 No. 25)

松原 貯水池, 1969年2月2日7時採取, 気温 $-3^{\circ}\text{C}$ , 氷厚25 cm。

表面氷温は $-0.2^{\circ}\text{C}$ , 1 cm以下は全層 $0^{\circ}\text{C}$ であった。コアサンプルは大きく上下二つに壊われ、一部はこまかく崩れたので、採取したものの全長は20 cmであった。**a**にみられるように、断面は二つの大きな単結晶からできている。その結晶境界に沿ってはかなり融解が進んでいるのが認められる。また上のブロックでは、長湖と同じく内部融解による“水みち”が縦に連なって大きな空洞となっている。この氷は他の湖の水と異なり、小さな気泡が水平に縞状にたくさん入っているのが特徴的である。

**図版 IV-a, b** (試料 No. 22)

夢の海, 1969年2月4日13時30分採取, 気温 $-2.5^{\circ}\text{C}$ , 氷厚17 cm, 表面氷温 $-1.2^{\circ}\text{C}$ 。

コアサンプルは上下二つに壊われたが、ほぼ原状のまま抜き取ることができた。**a**にみられるように、全体は縦長い板状の大きな結晶から構成され、ひとつひとつの結晶は幅1~2 cm, 長さ数 cm から10 cmの大きさである。気泡は**b**にみられるよう、縦方向に連なっているが、その多くは結晶境界に析出して並んでいることがわかる。表面近くの5 mm程の厚さには、結晶粒の乱れた、気泡の多い氷の部分があるが、これは自然に結氷した後、リンクの撒水、手入れによってできた層であろう。

**図版 V-a, b** (試料 No. 11)

苫小牧リンク, 1968年12月24日14時30分採取, 気温 $+0.9^{\circ}\text{C}$ , 氷厚9 cm。

氷温は表面で $-4.5^{\circ}\text{C}$ , 底で $-5.7^{\circ}\text{C}$ であった。苫小牧はじめ各地の人工リンクの氷は、**図版 V~X**の**b**にみられるように、比較的透明な氷の層と、小さな気泡が密に入った白く不透明な気泡層とが、幾重にも水平に積層構造をなしているのが、湖の天然氷に対して特徴的である。

人工リンクで氷を作る場合は、特殊なノズルから霧状の水を一面に撒いて薄く水を張り、これが凍結するのを待って、再び撒水を繰返しながら氷を厚くしてゆく。水を凍らすと、氷は空気をほとんど含むことができないので、水の中に溶けていた空気は、凍結の進行と共に凍結面に追出される。リンクに薄く張った水は、下から凍結が進むにつれ、次第に空気の濃度を増してゆき、凍結の最終段階では、空気濃度はある極限を越して気泡の発生をみる。

また、一旦張った水が凍結し、次の撒水を行なうまでの間、しばらく時間がおかれるのが普通であるが、この間に氷の表面には霜がおきる(第17図)。微細な構造をもった霜の表面に

は、空気が吸着されたり、からみあった枝と枝との間の空気は、撒水、凍結を行なう際に、そのまま氷の中に閉じ込められたりするだろう。以上二つの理由から一回の撒水でできた氷と、次の撒水でできた氷との間には、不透明な気泡の層が薄く介在することになる。これを以下では気泡層と呼ぶ。

**a** でみられる通り、結晶粒の大きさも、2~3 mm 程度、大きくても 1 cm の程度で、湖の天然氷と較べて非常に小さい。気泡層を境に、上下の結晶粒の結晶方位は一般に無関係である。

**図版 VI-a, b (試料 No. 15)**

河口湖富士スバルランド、1969年1月29日8時30分採取、雨、氷厚 11 cm。

氷の積層構造は苦小牧の例で述べた通りである。この試料の表面から約 10 mm と、底から約 1/3 の高さの厚さ 17 mm の透明な気泡を含みぬ二つの層は、この近くにあるハイランドホッケーリンクとフィギュアリンクの氷にも丁度相対応する層がみられるので(図版 VII と VIII)、これは雨水がたまって凍結したものと考えられる。雨水の凍結層は、後述の木曽駒リンクに著しい。

**図版 VII-a, b (試料 No. 18)**

河口湖富士急ハイランド ホッケーリンク、1月29日10時採取、雨、氷厚 9.5 cm。

アンモニア直膨、鋼管露出のリンクなのでコアの採取には、特に注意を要した。試料の下端は、配管のすぐ上縁で切り取った。直膨であるからといって、氷に他と特に異なる様相は認められない。

**図版 VIII-a, b (試料 No. 16)**

河口湖富士急ハイランド フィギュアリンク、1月29日12時30分採取、雨、氷厚 11 cm。

試料の氷の底から 3 cm はたくさんの気泡を含むが、水平の積層構造はみられず、気泡の数は底で少なく、上へゆくほど多い。これは、「根氷の 3~5 cm は一ぺんに水をためて凍結させた。」というリンク管理者の説明と一致する。根氷の部分を除けば、ここの氷は各層に含まれる気泡が比較的少なく透明である。これも管理者が言うように、「根氷の上の氷は、60°C 位のお湯を薄く撒いて凍らせた。」ためであろう。

空気の水に対する溶解度は温度が高いほど小さく、60°C の水が含むうる空気量は、0°C の水のそれに対し約 1/3 である。湯を使うということは、空気の含有量の小さい水を凍らすことになり、気泡の発生を減らすことができる。湯を凍らす場合には、0°C の水を凍らすのに比べて余計の熱を奪ってやらねばならないが、これは凍結の際の潜熱 1 g 当り 80 cal に比べてそれほど大きくはない。80°C の湯を凍らすとして、必要な吸熱量は 0°C の水を凍らす際の 2 倍である。



17

第 17 図 撒水、凍結後のリンク面の結霜。黒い部分はまだ凍っていないところ

**図版 IX-a, b (試料 No. 13)**

瑞浪リンク, 1月31日13時30分採取, 気温 +5.8°C, 氷厚 7.5 cm, 表面氷温 -2.1°C。

ブライン冷却, ポリエチレン チューブ露出配管のリンクである。表面近くに降雨による約1cmの水厚増が認められるが, それでも氷厚は調査したリンク中では最も薄く, 気温・日射の変動に対する冷却操作と, 表面氷温との応答に遅れがないよう配慮した整氷管理がうかがえる。

このリンクでは根氷を作るに当って, まずポリエチレン管を空気中にさらしたまま冷却して結霜させ, 霜で太くなった管と管とが相接するようになってから水を入れ, 全体を白く凍結させたという。**b**の写真右下には, パイプを包む同心円状の層構造が一部みえている。この氷では透明な氷の層の中に, 上下にこまかいクラック状のものがたくさん走っているのに気がつく。特に管の上にあたる部分では, 二条のクラックがパイプの部分から発生したかのようにみられる。これはコンクリート基盤や, 鋼管を露出配管した他のリンクと異なり, 比較的軟らかいポリエチレンチューブを使用しているため, また氷厚も薄いため, 滑走に際して, その重みでチューブが歪み, そのため微細なクラックが氷の中に生じたのでなかろうか。これは整氷管理者が, 「雨水の凍ったままの透明な氷は軟らかくて, 多勢の人が滑るとすぐ削られてしまう。ところがこの氷の上を適当に滑って傷をつけたり, 強く冷却して“焼入れ”したりすると, 多勢滑っても充分耐えられる硬い氷になる。」と語っていたことを裏付けているようである。一般に氷の中に破断が生じそれが再び凍着すると, 氷は硬くなる。

**図版 X-a, b (試料 No. 17)**

木曾駒リンク, 2月1日10時30分採取, 気温 +8.2°C, 氷厚 15 cm, 表面氷温 -0.4°C。

ブライン冷却, 鋼管露出配管のリンクである。ザンボニーを持たぬため, 雨水が凍結して上積みした氷層を削り取ることができず, 15 cmもの厚い氷となっていた。表面2 cmの透明な氷は, 1月31日夜から2月1日にかけて降った豪雨によるものである。

雨水の凍結した氷が気泡を含まぬ理由は次のように考えられる。雨水は, 飽和に対し85~95%とかなり濃い空気を含んでいる<sup>5)</sup>。雨水が溜るにつれ下からは凍結が進むが, 凍結の前面には絶えず降雨によって新鮮な水が補給され, 同時に水の中はとび込んでくる雨滴自身によって攪拌されるから, 凍結前面の空気濃度は, 雨水の空気濃度よりそれほど大きくなることはない。雨水の温度は冬でも+5°C位のことが多いから, 仮りに飽和に近い空気を含んだ雨が降ったとしても, 凍結前面の水(0°C)が飽和を越えることはないであろう。

また降雨の続く限り, 乾いた氷面がでて結霜をみることもない。こうして雨の降り止むまで凍結は気泡を含まぬままに進行する。このことは後述するように, 無気泡氷を作るについて大事な示唆を与えている。

各リンクの氷の断面写真を示しながら, それらについての所見を述べたが, 湖の天然氷と人工氷との違いについて以下にまとめてみよう。

**V. 天然氷と人工氷との比較**

湖の天然氷と人工リンクの氷との, それぞれの特徴をあげるとつぎのようである。

第1表 氷試料を融かした水の比抵抗及び化学分析の結果

リンク名称	コア- サンプル (No.)	比抵抗 ( $\times 10^5$ $\Omega \cdot \text{cm}$ )	$\text{Cl}^-$ (mg/l)	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	4.3 Bx (主として $\text{HCO}_3^-$ ) (meq/l)	$\text{Na}^+$ (mg/l)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	pH	備 考
ウトナイ湖	12	6.2	0.4	0.4	0.1	0.4	0.52	0.12	5.6	図版 I
松原、長湖	23-a b c d	6.2 7.7 7.7 15.5	<0.2	0.4	0.1	0.30	0.41	0.05	6.1	図版 II 5ヶのブロックのうち 上から3ヶをa, b, c, 下の2ヶをdとした。
松原、貯水池	25-上 下	12.4 7.7								図版 III
松原、貯水池	24-上 下	4.1 3.1	0.2	0.4	0.1	0.25	0.55	0.10	6.2	
蓼の海	22-上 下	10.3 10.3								図版 IV
蓼の海	21-上 中 下	15.5 15.5 10.3	<0.2	0.5	0.1	0.08	0.27	0.04	6.6	
苫小牧リンク	11	0.28	2.5	3.7	0.60	2.9	5.5	1.24	6.8	図版 V
河口湖スパルランド	15	0.39								図版 VI
河口湖スパルランド	19	0.44	0.7	1.3	0.51	1.9	4.5	0.96	6.4	
河口湖ハイランド	18	0.36								図版 VII
ホッケーリンク										
河口湖ハイランド	16	0.25								図版 VIII
フィギュアリンク										
瑞浪リンク	13	2.1	0.7	1.7	0.1	0.45	0.85	0.15	5.6	図版 IX
瑞浪リンク	14	2.1								
木曾駒リンク	17-上 下	1.9 0.35								図版 X
松戸、日立(市水)	8	0.14	8.7	22	0.41	3.6	12.9	2.4	6.3	図版 XII
松戸、日立(市水)	9	0.17								
松戸、日立(脱イオン水)	7	1.55	0.2	0.3	0.1	0.13	1.3	0.04	6.0	図版 XVI

## i) 結晶粒の大きさと積層構造

天然氷はウトナイ湖、松原湖のように、サンプル全体が単結晶であったり、蓼の海のように幾つかの縦長い板状結晶から出来ているものでも、一つの結晶は数 cm の程度と大きい。それに対し、人工リンクの氷は、透明な氷の層と、気泡を密に含んだ層とを幾重にも積み重ねたサンドイッチ構造をしており、結晶粒も数 mm 程度と非常に小さい多結晶氷である。

## ii) 気泡の分布

湖の天然氷は気泡が少なく透明である。気泡は縦に連なって並ぶ傾向を示すが、**図版 IV** (蓼の海) の例にみられるように、これらの気泡は縦長い結晶と結晶との間に析出してきて、境界に沿って並んでいることがわかる。人工リンクの氷では、水平に幾重にも気泡の密な層ははいつているので、深さの方向には不透明である。この気泡層は前述したように、一回の撒水で凍結した氷と、次の撒水との界面に入ったものである。一回の撒水に当る透明氷の中でも、下から上に向かって気泡の密度は濃くなっている。

## iii) 氷の純度

氷の純度を比較するため、氷サンプルの一部を蒸留水でよく洗って表面の汚れを落した後、これを融かした水の直流電気抵抗を測定した。純粋の水は電気を通し難く、その比抵抗は、イオン交換樹脂を通した水で  $10^5 \sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$  の程度である。各試料についての比抵抗測定値は、第 1 表に示す通りで、天然氷の方が 1 桁以上大きい——つまり天然氷の方が純度が高い。木曾駒リンクの氷の上半分、即ち雨水を多く含む層は、撒水による層よりも約 5 倍比抵抗が大きい。瑞浪リンクの氷は他のリンクよりも純度が高く、木曾駒の雨水の層と同程度である。

氷を融かした水の一部は、北海道教育大学化学科の那須研究室に依頼して化学分析を行なった。その結果も第 1 表に掲げたが、傾向は比抵抗の測定とよく一致している。

氷を融かした水についての測定結果から、湖の水の方が、人工リンクの水よりも純度が高かったとは云えない。氷に含まれる不純物の多少は、凍結の仕方によって大きく左右されるからである。

以上三つの相違点を、湖と人工リンクの凍結の仕方から考察してみよう。

水を凍らすには、その水の温度を  $0^\circ\text{C}$  にまで下げ、ついで水 1 g 当り 80 cal の凍結の潜熱を奪ってやる必要がある。湖の場合、これは自然の寒気によってなされる。湖の水は、密度が最大になる  $4^\circ\text{C}$  まで冷えると、対流が止み、あとは表面からの伝導によってのみ冷えてゆく。表面が  $0^\circ\text{C}$  に達し、気温がマイナスになると凍結は表面から始まる。凍結の進行は気温によって大きく左右されるから、その目安としては、積算寒度と呼ばれるものが使われる。これはマイナスの気温を、時間について積分したものである。マイナスの気温が続くと凍結は進むが、日射は凍結を阻む働きをする。逆に夜間は放射冷却によって凍結は促進される。表面での蒸発あるいは凝結も凍結の進行に影響を与えよう。

凍結の初期は気温は比較的高い。氷が厚くなるにつれ、気温も次第に低くなるから、氷の中の温度勾配はほぼ一定で、氷の中を下から上へ流れる熱量も一定、したがって凍結の進行速度はほぼ一定と考えてよからう。松原猪名湖 (1930~1931 年) の観測<sup>9)</sup>によると、その速度は、

結水のはじめから約 40 日間にわたり 0.3 mm/hr $\approx$ 0.08  $\mu$ /sec (10 日で 6 cm の割合) である。これは人工リンクの凍結速度に較べて極めて小さい。

湖はまた水温 4°C になると、対流が止むから、水の中への空気の補給は、風のない場合は表面からの拡散によってなされるだけである。水中での空気の拡散は極めて遅い (拡散係数は 0°C で、 $1.1 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/sec)。そのうえ結水が始まると、表面からの空気の補給も絶たれてしまうから、氷の下の水の空気は高々 4°C での飽和量で、0°C については未飽和になる。凍結の進行につれ、凍結前面での空気濃度は増大するが、凍結速度が 1  $\mu$ /sec 以下では、気泡が発生して氷の中に捕捉されることはない (前野<sup>6)</sup> の実験による)。従って湖の場合、氷は気泡を含むことなく厚みを増してゆく。

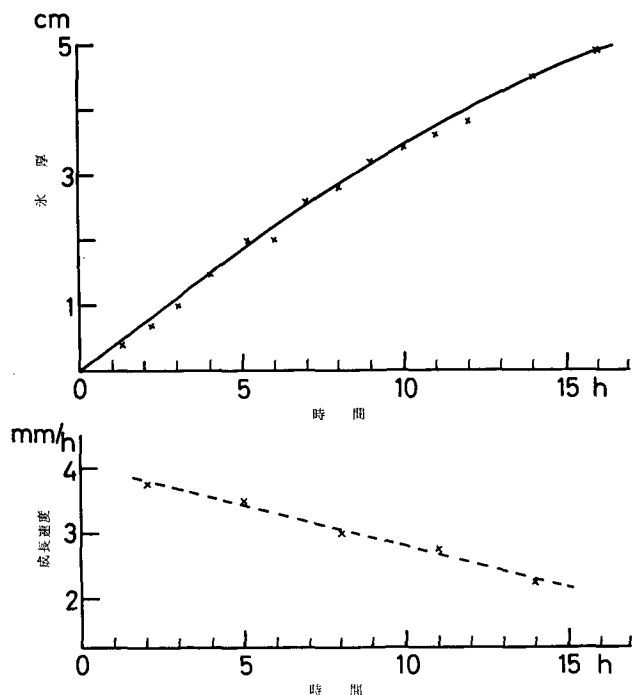
水が凍る場合、空気に限らずその他の不純物も氷の中へは入らず、氷-水の界面に押し出される。これは一般に融液の一部からゆっくり固化が起る場合にいえることで、この原理を使って、融液から純粋な結晶を作る方法——帯融解法——がよく用いられる。

湖の水が大きな単結晶の集まりであることは、結氷初期の冷却速度が小さいため、氷の結晶の芽の発生が抑えられ、ごく少数の氷の芽がゆっくりと成長したことを物語っている。

つまり、湖の水が i) 大きな単結晶からできており、ii) 気泡も少なく、iii) 純度も高いことは、すべて凍結速度が極めて小さいことにその原因を帰することができる。

人工リンクでは、パイプの中に -10 $\sim$ -13°C に冷却したブラインを流して、熱を奪い浅く張った水を下から凍らせてゆく。水の上面からも凍結が起ると、最後に真中に残された水は、その凍結に際して大きな圧力を及ぼし氷に亀裂を入れる。それを避けるため、人工リンクでは気温がプラスのうちに氷作りがはじめられる。熱は空気から水に入り、水から水、コンクリートを経てブラインへと、湖の場合とは全く逆に、上から下へと伝わる。

リンクの水を一定の厚みで保持するには、空気からの熱伝達、日射によって入ってくる熱量、それと水表面での蒸発・凝結の潜熱の出入りに見合うだけの冷凍能力が必要であるが、普通のリンクではその経済性をも考え、吸熱量としては 250 Kcal/m<sup>2</sup>・hr で設計される。11 月初旬札幌での日射量は



第 18 図 松戸、日立テストリンクにおける氷厚と成長速度の時間的变化。

室温： +5°C  
ブライン温度： -13°C

200 Kcal/m<sup>2</sup>·hr の程度であるから、吸熱量としての上の設計値では、日中は氷の保持も難かしい。従ってリンクの製氷は夜間実施される。

実際のリンクでの凍結速度を求めたものはないが、松戸の日立テストリンクでの観測例をつぎにあげる。冷却能 250 Kcal/m<sup>2</sup>·hr, ブライン温度 -13°C, 気温 +5°C, 日射のない条件下で、コンクリート基盤のリンクに深さ 5 cm の水を張った時の凍結曲線は第 18 図に示す通りである。これから求めた凍結速度は、凍結初期で 4 mm/hr (=1.1 μ/sec), 凍結終期で 2 mm/hr である。この冷却能で一晩 (14 時間) に大体 5 cm の氷が作れる。これに比べ松原猪名湖の凍結速度は 0.3 mm/hr であった。この値は約 40 日間の平均であるから、日射のない夜間の凍結速度はこれより大きく、日射のある昼間はこれより小さく、時には融けることもあったろう。これを考慮に入れても、人工リンクの凍結速度は、湖の凍結速度に比べ 10 倍近く大きい。

人工リンクの氷が、粒の小さい多結晶から出来ていて、気泡を多く含む原因は、一つにはこの大きな凍結速度に帰すことができる。松戸のオールウェザー\*仕上げのリンクの氷 (図版 XI) と、同じ条件で作ったコンクリート仕上げリンクの氷 (図版 XII) との試料を比較してみる。これらは松戸の市水を薄く溜め、層を重ねて凍らせたものである (オールウェザーの氷に水平に顕著に入っている薄い層は、着色のために撒いた青の色素である)。オールウェザーの氷の方が著しく気泡が少なく、また結晶粒も比較的大きいのは、一種の断熱材であるオールウェザーを張ったため、コンクリート面に比べ凍結速度が遅かったことによるのであろう。

人工リンクの氷が粒の小さい多結晶であることは、撒水・凍結の間に着霜させていることにも原因があると考えられる。下地が結晶粒の大きい氷であったとしても、つぎの撒水までに時間をおくと、乾いた表面に霜がおきる。この霜は下地の結晶方位に従って伸びるが、撒水の際に融けたりこわれたりして、無数の氷のかげらとなって水の中にばらまかれる。この中のあるものは、凍結の核となって上層の氷の結晶方位を支配する。したがってこの霜の層を境に、それから上は、下の結晶方位とは無関係に、小さな沢山の結晶粒として成長する。

人工リンクの氷は、それを融かした水の比抵抗が、湖の水に比べて非常に大きい、つまり不純物を多く含んでいた。化学分析の結果も同様であった。これは使用された水が、湖の水より不純物を多く含んでいたためとは云えない。一回の撒水で下から凍結が進むと、氷はそのものは純度の高い氷として成長する。不純物はこうして一部は結晶粒界にとじ込められると共に、まだ凍っていない水の不純物濃度を高めてゆく。

凍りきった時には、はじめ水の中に溶けていた不純物は、結晶粒界と表面に全部集められ

\* オールウェザーというのは、スケートリンクを夏季陸上競技その他の運動場として転用する場合を考え、コンクリートの上に施す一種の舗装材である。熱伝導率その他の諸特性をコンクリートと比較するとつぎの通りである。

	熱伝導率 (kcal/m h°C)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比熱 (kcal/kg °C)	温度拡散率 (m <sup>2</sup> /h)
オールウェザー	0.44	1.780	0.197	0.00125
コンクリート	1.2	2.150	0.20	0.00279

た形になる。表面に出たものは、次の撒水によってまた水の中に溶けこんで、その水の不純物濃度を高めるが、一部は折出した気泡と共に氷の中にとじこめられる。

この凍結過程を繰り返して最後に出来上った人工リンクの氷は、それを融かして比抵抗を測定すれば、最初の水とそれほど変わらないであろう。湖の水が不純物を下層に落とし純化された氷だけを取り出し、融かして比抵抗を測定されたのと比べ大きな違いである。

湖の天然氷は断面写真でみられるように、上から下までほぼ一樣な氷であるから、ザンボニーで削ってどの部分が表面に露出しても、競技条件には大きな差はないであろう。

人工リンクでは比較的結晶粒の大きい、気泡の少ない透明な水の層と、こまかな気泡と霜とでできた不透明な層（気泡層）とがサンドイッチ状に積み重ねられているから、ザンボニーで削って競技に使用する場合、どちらの層が表面に出ているかでかなりの違いがあろう。この二つの水の滑り工合をテストした実験はないが、夢の海の水がよく滑るといふ経験的な判断からして、気泡の少ない透明な氷の方がよく滑ると予想される。そこでこのような氷を人工リンクで作るには、どうすればよいかがつぎの問題となる。最近天然リンクに代って、人工リンクで新記録がでるようになったのは、人工リンクの方が、ある程度天候に左右されずに氷が保持されることと、ザンボニーなどの機械力によって氷の手入れが充分になされることとにより、レベルの高い競技会が天然リンクで行なわれなくなったためである。これは氷の質の問題とは別であると思われる。

## VI. 無気泡水の作り方

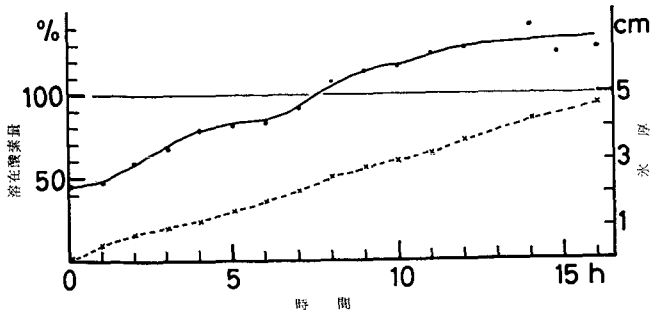
透明な無気泡氷を作るという立場からすれば、従来パイピングリンクで行なわれている、撒水して薄い氷の層を重ねてゆくやり方は検討し直さなければならない。これは露地に水を撒き、自然の寒気で凍らせてリンクを作る技術がそのままとり入れられたのであろう。

自然の寒気で溜め水を凍らす場合は、凍結は表面から進行するから、凍結が進むにつれ下の水は圧力を増し、遂には表面の水を押し破って、表面に盛り上って凍る。これを避けるためには、薄く水を撒いて凍らせ、大きな歪をためないようにしてゆくことが必要である。

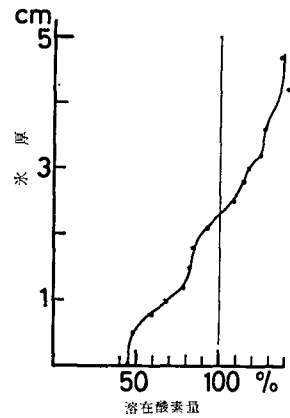
パイピングリンクの場合は、底から凍結が進むから、水→氷の体積変化に伴う圧力は、上に向かって開放され亀裂を生ずる恐れはない。松戸のテストリンクで、一度に50 mmの深さに水を溜めこんで一晩で凍結させる実験を何度か試みているが、亀裂は生じなかった。木曾駒リンクでも、雨水が一晩に20 mm溜まり、これがそのまま凍結して気泡のない氷になったが亀裂は認められなかった。一度に溜め水して凍らせても差支えがないとすると、徹夜で撒水作業をするより仕事が楽である。

一度に溜め水して下から凍らす場合は、凍結の進行につれ上層の水は空気濃度を増す。この時水の中には、底で $0^{\circ}\text{C}$ 、表面で $+2\sim+3^{\circ}\text{C}$ の温度差による対流を生じるから、氷-水界面の濃い空気層は対流で薄められるが、同時に表面からは新たな空気を取り入れられる。

気泡の発生を抑えるには、使用する水から予め空気を抜いておくのも一方法である。脱気処理した水の凍結は、1968年12月半ばから1969年1月半ばにかけて、松戸の日立テストリンクで行なった。実験はコンクリート基盤上で気温 $+5^{\circ}\text{C}$ 、凍結速度は $4\sim 2\text{ mm/hr}$ で行なわれ



第19図 減圧脱気した水をリンクに溜め、下から凍結させた場合の、氷-水界面附近の水に溶在する酸素量(実線)と氷厚(破線)の時間的变化



第20図 減圧脱気した水を凍結させた場合の、氷厚と溶在酸素量との関係(第19図を書き換えたもの)

た。図版 XII (試料 No. 8) は松戸の市水を無処理のまま撒水を繰り返して、凍結させた氷のサンプルで対照として掲げた。

イオン交換樹脂を通した純水を、真空槽内で減圧脱気する。脱イオン、脱気した水をリンクに深さ 50 mm 溜めこみ、凍結が進むにつれて、氷-水界面から採水して、ウィンクラーアジ化ナトリウム変法によって溶在酸素量を測定した。水の中に溶けている空気量は直接測定できないので、これは溶在酸素量に比例するとした。

第19図は、時間に対する氷厚と溶在酸素量の増加を示す曲線で、第20図は氷厚に対する溶在酸素量に書き換えたものである。リンクに水を張った直後は、酸素は飽和に対し50%以下であるが、氷厚が25 mmを越える頃には100%を越え、結氷の終期には140%近くにも達する。図版 XIII (試料 No. 4) はこの時の氷の断面写真である。気泡の発生状況は第20図の傾向とよく合っている。

この結果から、脱気処理した水も、一度溜め込んだままでは、表面から空気を取り込んでかなりの気泡が入ることがわかる。そこで気泡を入れないためには、上層の水の空気濃度が飽和に近くなったら、新鮮な脱気水と置換して凍結を続ければよい。その例が図版 XIV (試料 No. 1) の水である。途中4回置換を行なったもので、この時の溶在酸素の測定は第21図の通りである。これによって殆んど気泡の入らない氷を作ることができた。

同様な操作を無処理の市水について行なっても、かなりよい結果が得られた。図版 XV (試料 No. 3) がその例で、第22図が、この時の溶在酸素の測定結果である。これは50 mmの厚さの水を作るまでに6回の置換を行なった。結氷の完了までに21時間を要し、置換を行なわなかった場合の14時間より50%余計にかかっている。

実際のリンクについて、空気濃度の高くなった水を、空気濃度の低い水と置換するのは大変であろうから、前述の雨水の凍結例にみられたように、新鮮な水を絶えず撒水補給しながら、一定の深さ以上の水は over flow させればよい。空気濃度の低い水としては、湯を用いればよく、水表面に追い出されてきた気泡や、ゴミ、不純物を洗い流すようにして撒水、補給を行なえばよいと思われる。

図版 XIV 及び XV の例にみられる、水平に並んだ気泡の列は、下の端は不揃いであるが

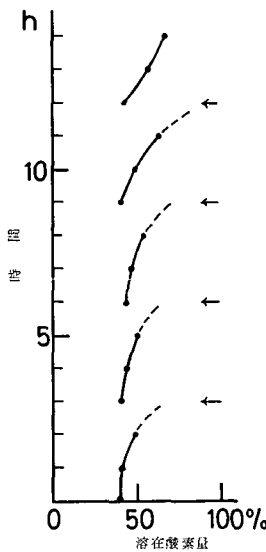
上の端は一線に揃っている。これらの気泡は、水に溶けていた空気が析出してきたもので、気泡の頭が一線に揃っているのは、新しい水とここで置換されたことを示している。またこれらの **a** の写真にみられるように、各結晶粒は大きくて湖の氷に近く、新たな水と置換した境界で結晶方位が変わることもない。図版 XVI は脱イオンしたまま脱気してない水を 6 回に分けて注水し、凍結させたものである。脱気してないから凍結の進行につれ縦長い気泡をたくさん発生しているが、人工リンクに特徴的な気泡層がサンドイッチされてはいない。これは下の層の凍結終了と、次の注水との間で、表面に結霜させなかったためである。これは **a** の偏光写真からも云える。結晶方位は注水とは無関係に、下から上へと連続している。

これはリンク氷に特徴的な気泡層の横縞が、水に溶けていた空気の析出によるよりも、凍結後の表面の結霜に多く原因していることを示す。リンクの洩水などのため、溜め水ができず、撒水を重ねて氷を作る場合でも、表面に結霜しないうちに、つまり一度撒いた水が表面まで凍りきらぬうちに、次の撒水を行わなければならない。表面に結霜した時は、湯を撒いて、霜を融かし去ってから凍らすべきである。

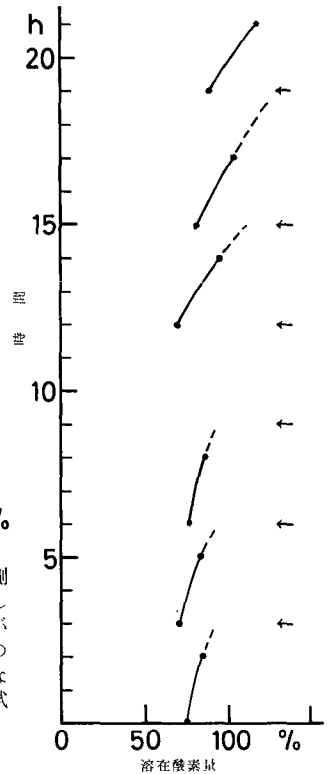
透明な氷を作るには上に述べたようにすればよいが、透明なリンク氷にも問題がない訳ではない。特に根氷の作りはじめ、氷の充分厚くない場合には、夜間リンクを凍結させても、氷が透明であるため、日中は日射が底まで透り、コンクリート面で吸収されて氷を底から融かす。そのため氷はリンク全面にわたり浮上ってしまう。

リンク氷の表面を白く結霜させ、また氷の間に気泡層を重幾にもサンドイッチすると、日射はここで反射、吸収され、氷の温度を高めはするが、氷-コンクリート界面にまで透ってそこで融解をひきおこすことはない。瑞浪のリンクで、はじめにポリエチレンチューブに結霜させてから水を張ったのも、このような効果をねらったのかも知れない。これらの方法は、しかしながら、氷の熱伝導率を低下させるので賢明な方法とは云えない。

氷の浮上りの例は、苫小牧リンクの場合にみられ、施工者はコンクリート面に白セメントを塗って、氷-コンクリート界面での日射の吸収を減らし、浮上りを防止した。



第 21 図 溶在酸素量の測定結果。凍結が進行して、上水の酸素濃度が増してきたら、矢印のところで上水を新鮮な脱気水と置換する(試料 No. 1 の凍結過程)



第 22 図 溶在酸素量の測定結果(試料 No. 3 の凍結過程)。水の置換と置換との間に測定が二点づつしかないが、第 21 図にならって傾向を示した)

この調査から推論されたこと、また実験的に確かめられたことがらを、実際のリンクに適用するに当っては、このほかにもいろいろ問題があろう。関係する方々の御協力を得て更に研究を進めてゆきたい。

### あ と が き

この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、調査旅費その他は同委員会よりの依頼研究費によった。

調査を行なうに当っては、日本スケート連盟から種々便宜をはかって頂いた。また調査に協力して頂いた各リンク関係者には心からお礼申し上げる。

脱気処理水の凍結実験に協力された日立プラント建設株式会社松戸工場研究課、氷サンプルの化学分析を担当して頂いた北海道教育大学那須研究室の御好意に厚く感謝の意を表わす。

### 文 献

- 1) 小林禎作・北原武道 1968 スケートリンクの水質調査. 低温科学, 物理篇, **26**, 297-313.
- 2) 日本スケート連盟 1968 氷温測定の手引き. 東京.
- 3) 上野益三編修(理学博士 田中阿歌麿の観測資料に基づき) 1954 松原湖群の湖沼 南佐久教育会, 440 pp.
- 4) 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
- 5) Komabayashi, M. 1959 Dissolved oxygen in rainwater and its relation to the raincloud structure (1). *J. Met. Soc.* **37**, 22-34.
- 6) 前野紀一 1966 水氷界面における気泡の発生と捕捉. 低温科学, 物理篇, **24**, 91-109.

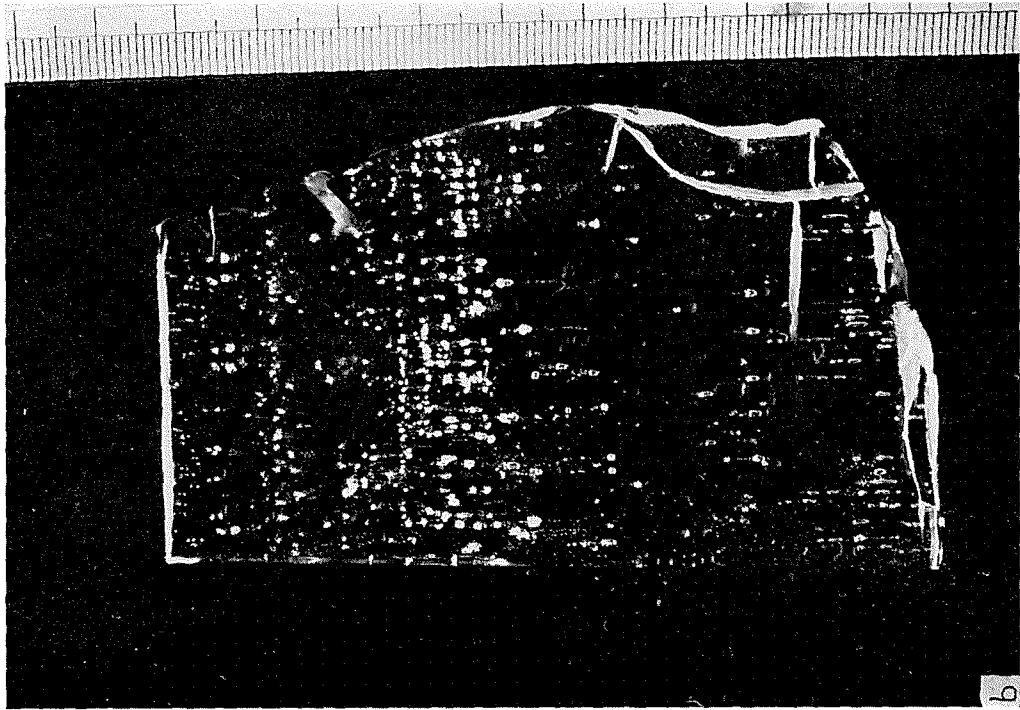
### Summary

Many samples of rink ice were collected from different places, natural lakes (Utonai-ko, Chō-ko and Ōzuki-ko in the Matsubara-ko area and Tateno-umi) and artificial rinks (Tomakomai, three rinks in the Kawaguchi-ko area, Mizunami and Kisokoma). The ice texture and structure were examined under crossed-polaroids and the stratification of transparent and bubbly ice layers were studied by reflected light. The purity of ice samples was measured by means of electrical resistivity and also by chemical analysis.

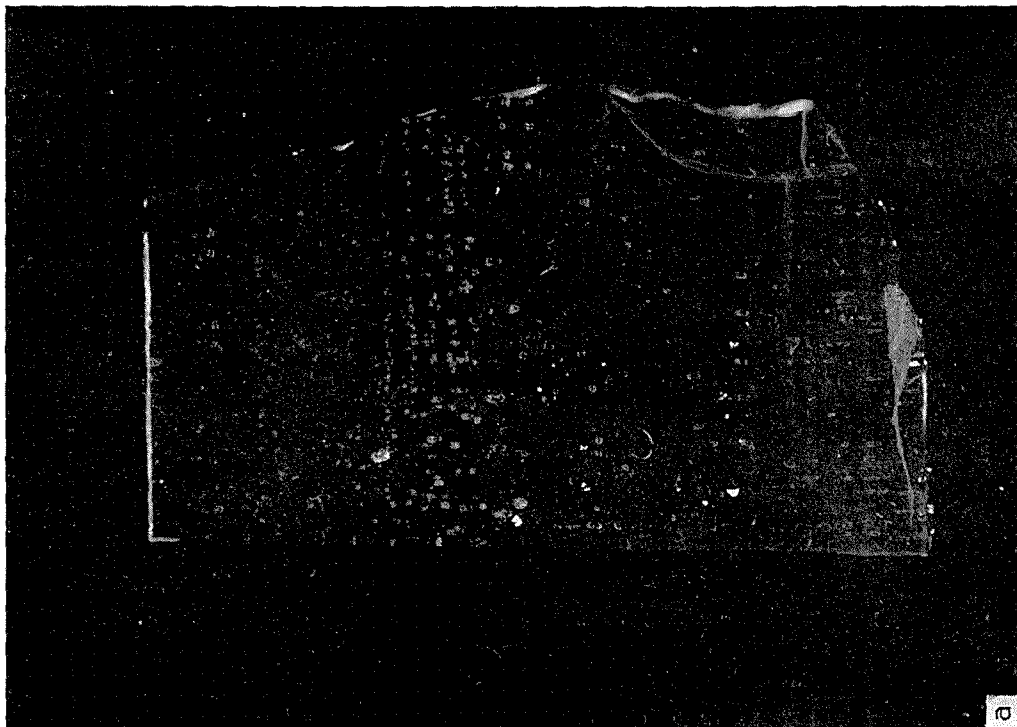
Distinct features were found to exist between lake ice and artificial rink ice which may be attributed to the differences of the freezing process and mechanisms. Some technical considerations and suggestions are presented in this paper to produce transparent and bubble-free rink ice.

Some additional data showing the temperature range of  $-2\sim-3^{\circ}\text{C}$  as optimal for speed skating were obtained at 37th All Japan Speed Skating Championship Meet at Mizunami. This was also confirmed from laboratory experiments on hardness of ice.

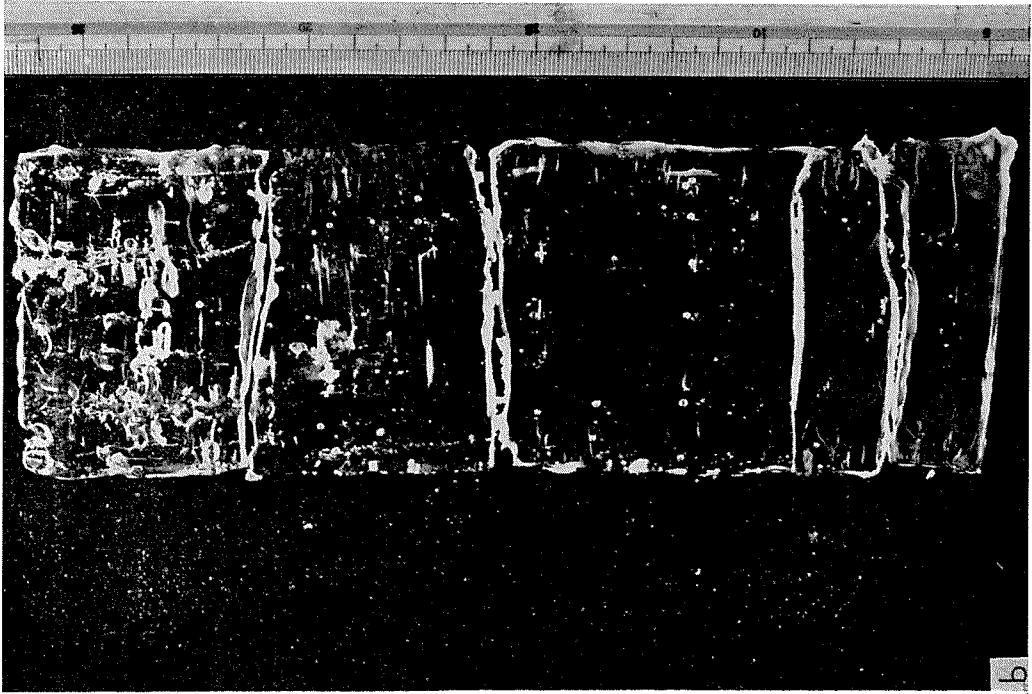




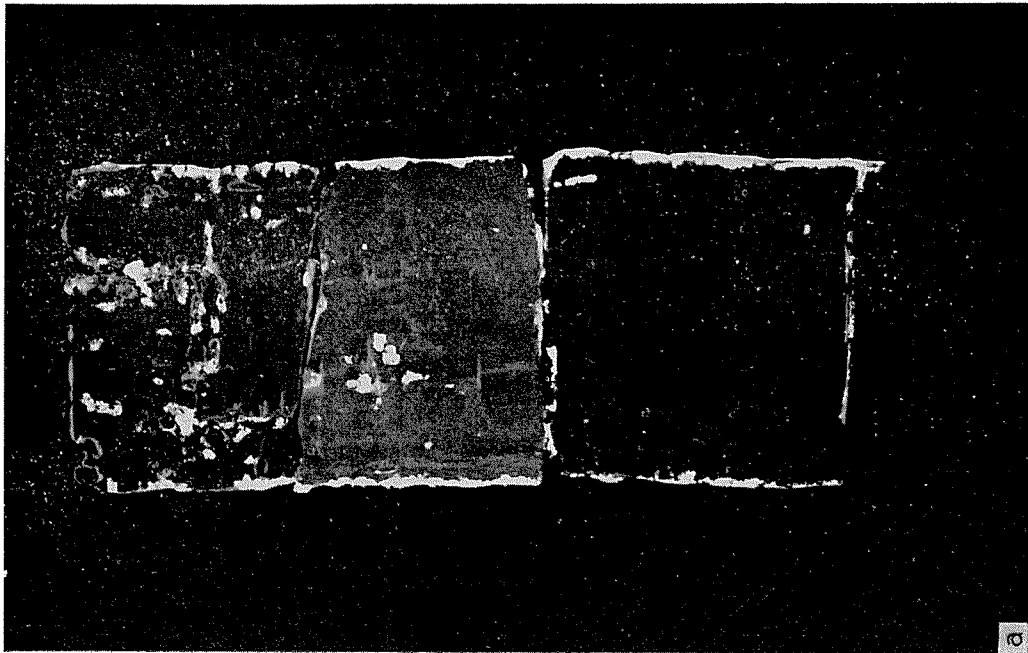
湖  
ナイ  
ナ  
ト  
ウ



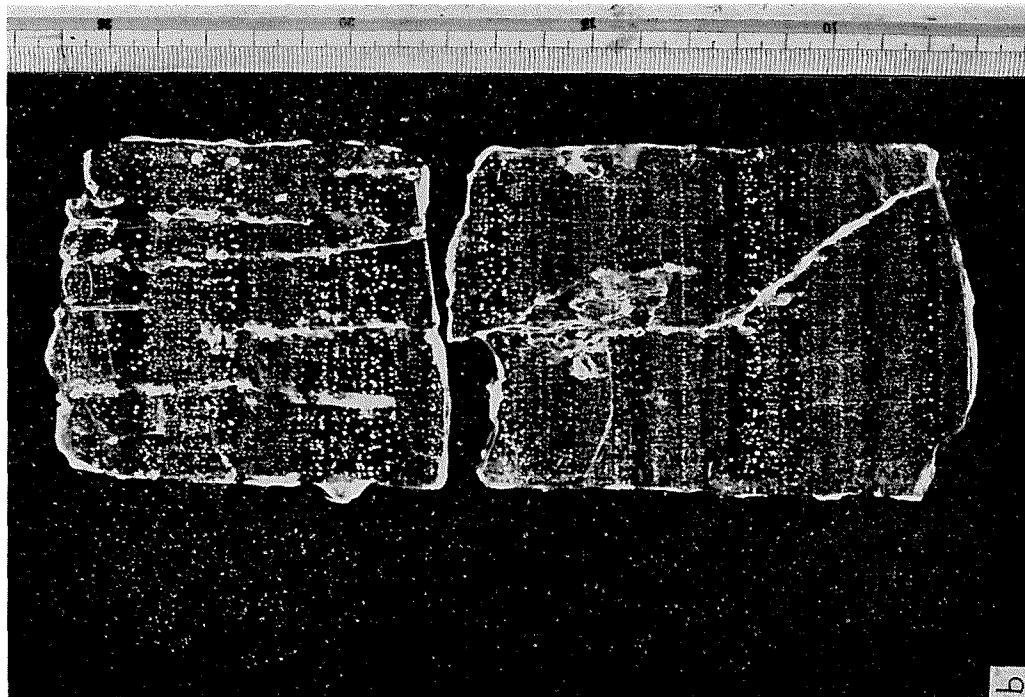
試料 No. 12



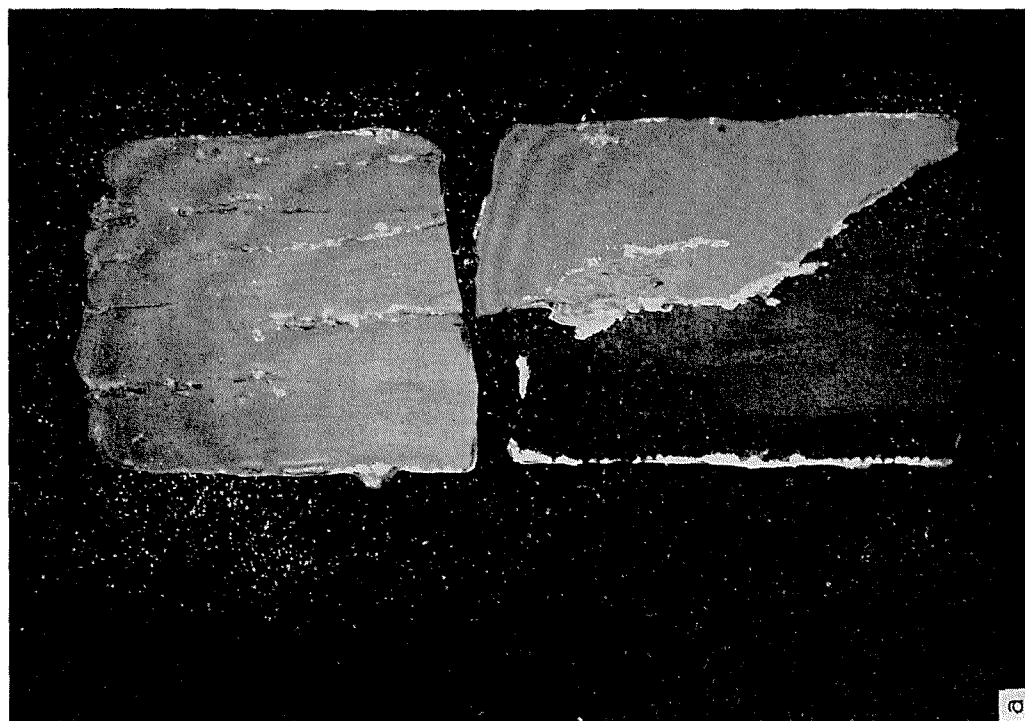
湖 松原 長



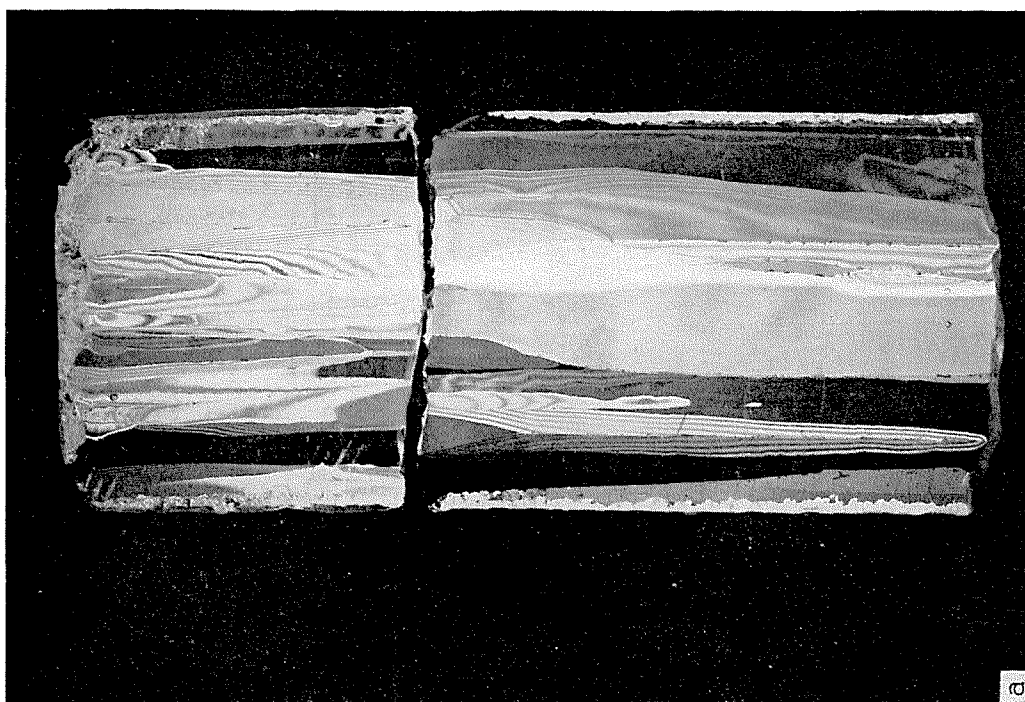
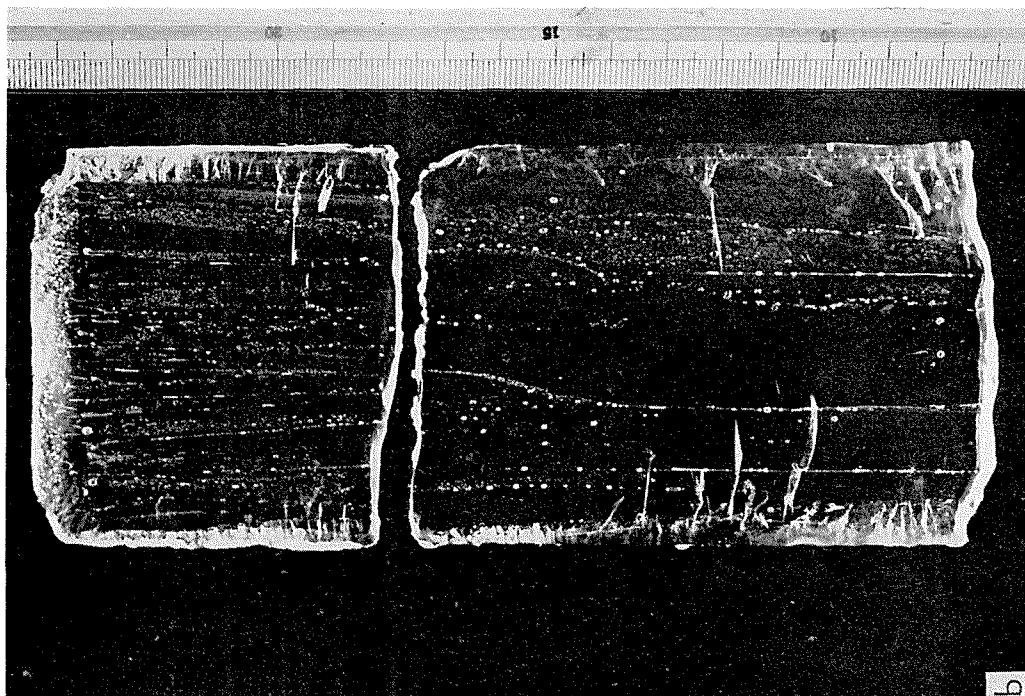
試料 No. 23



松原貯水池

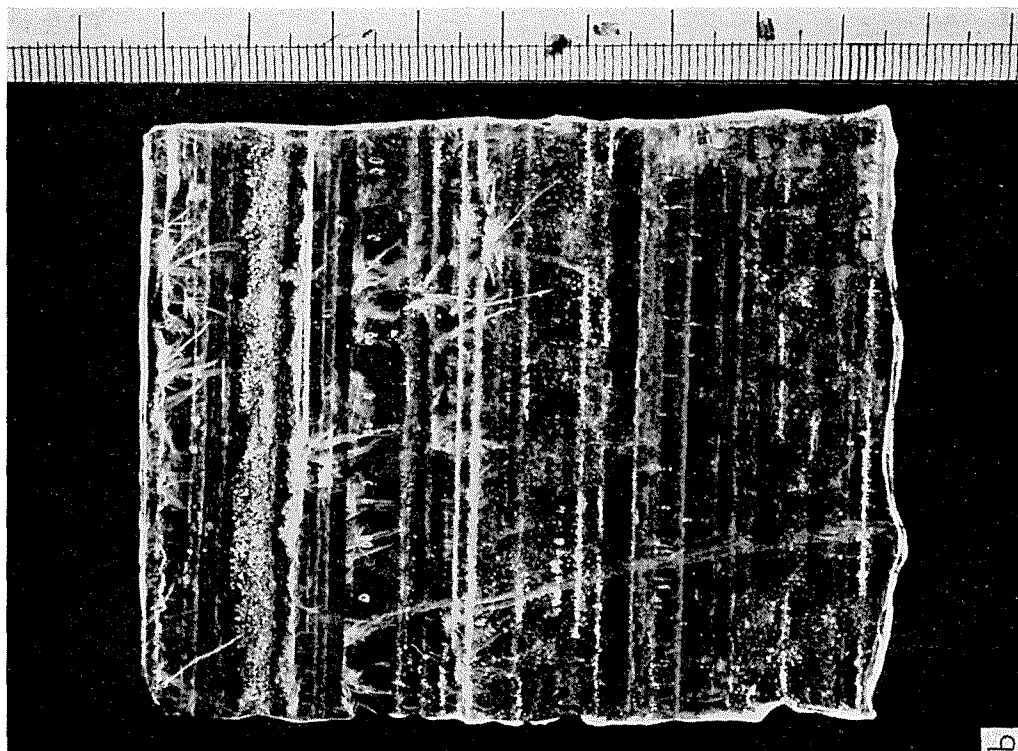


試料 No. 25



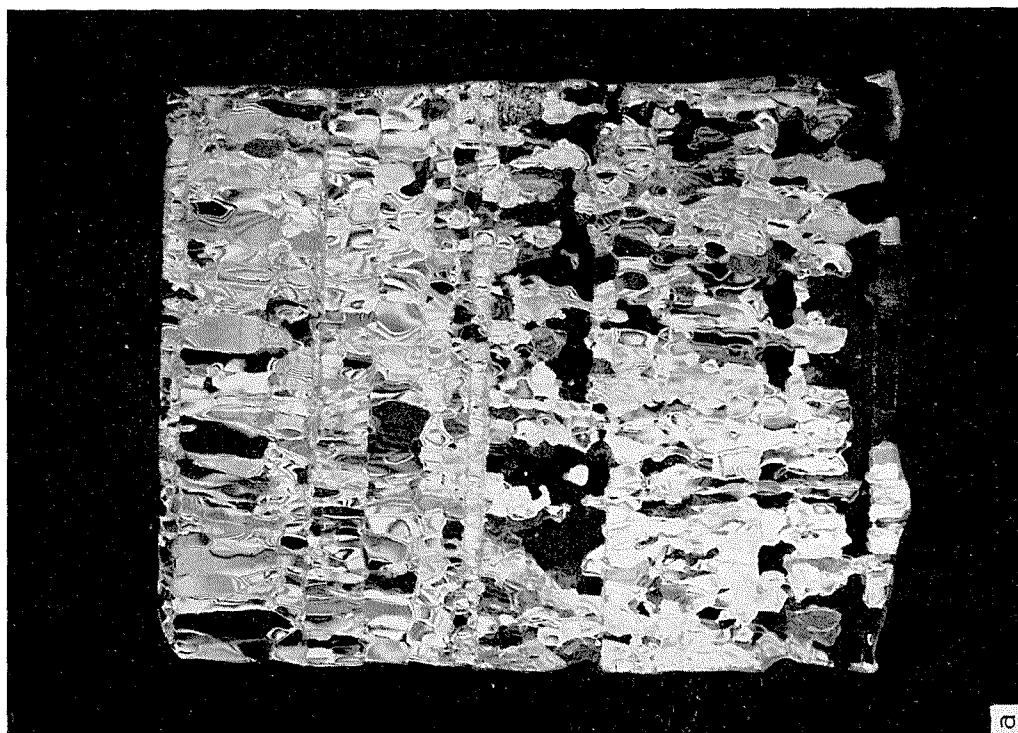
海  
の  
夢

試料 No. 22



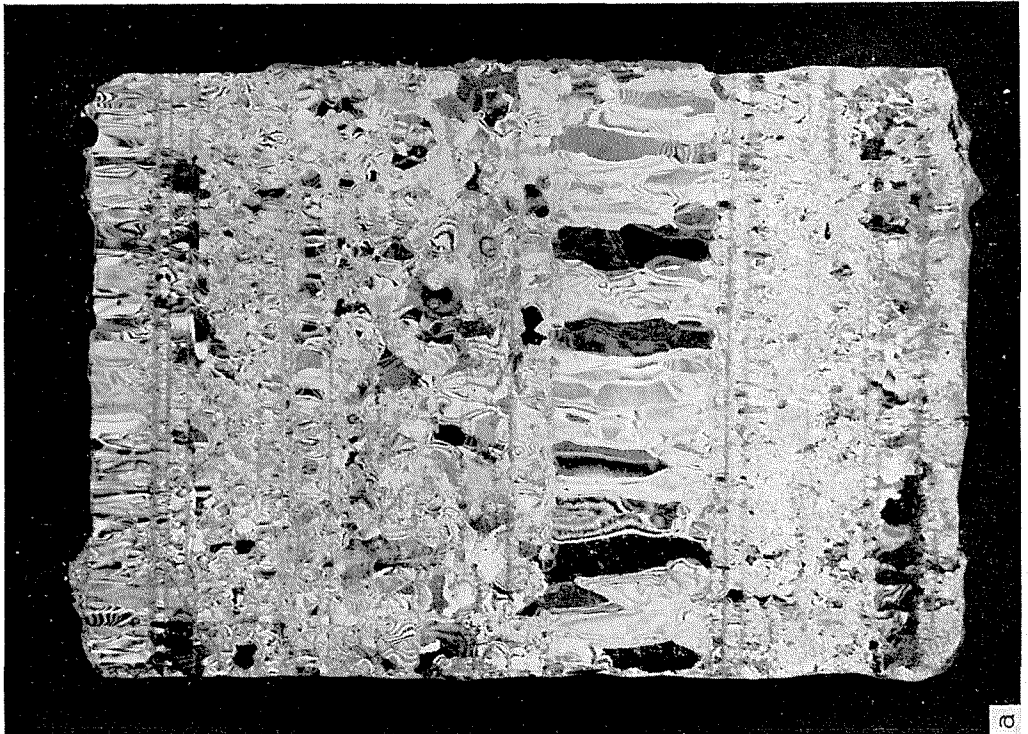
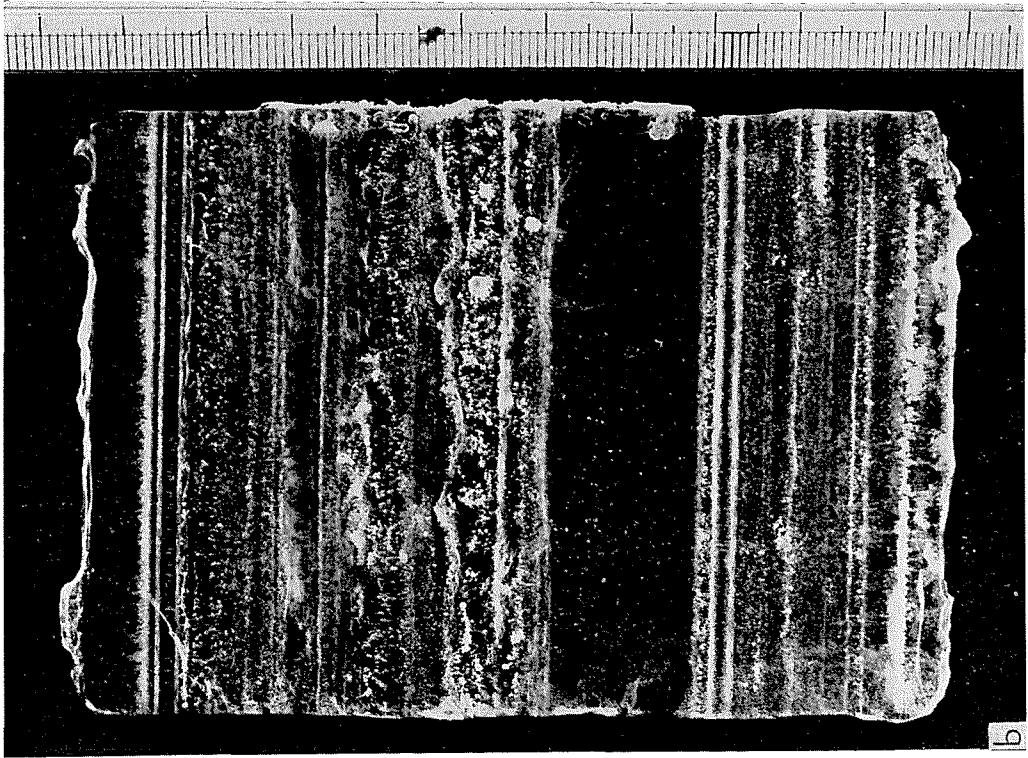
b

苦小牧



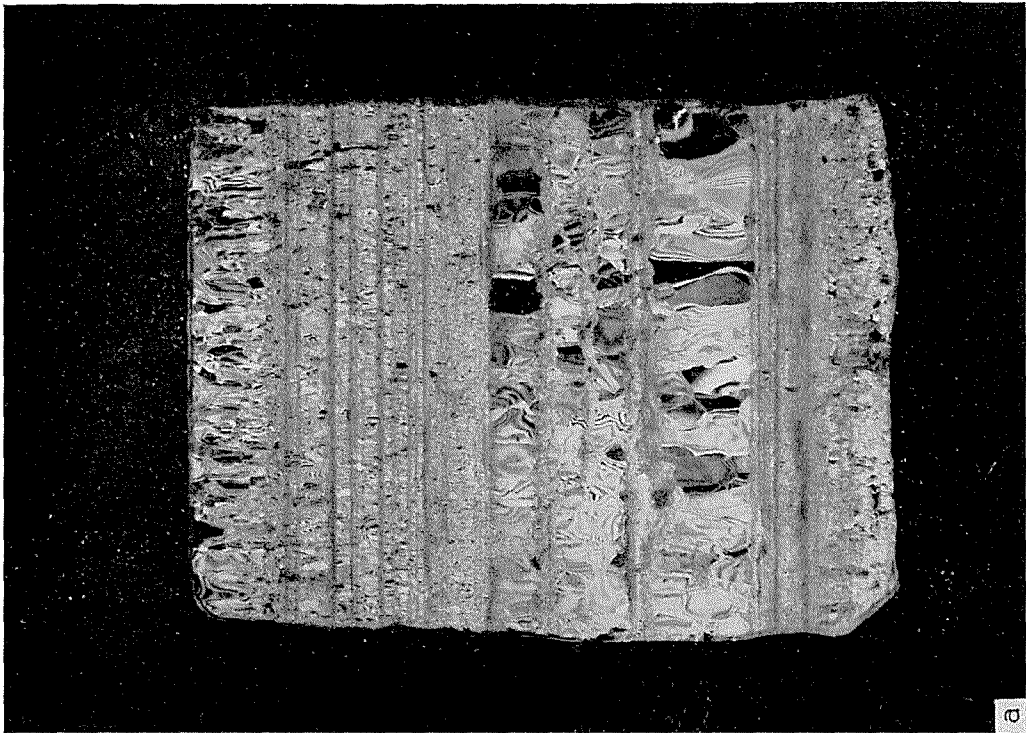
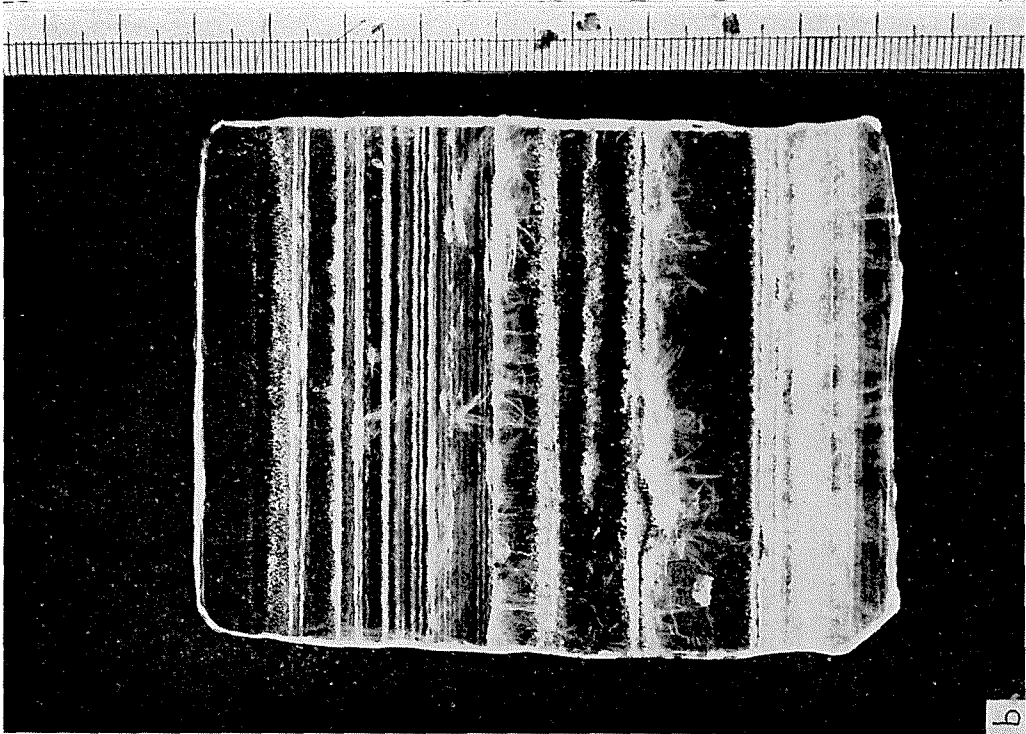
a

試料 No. 11

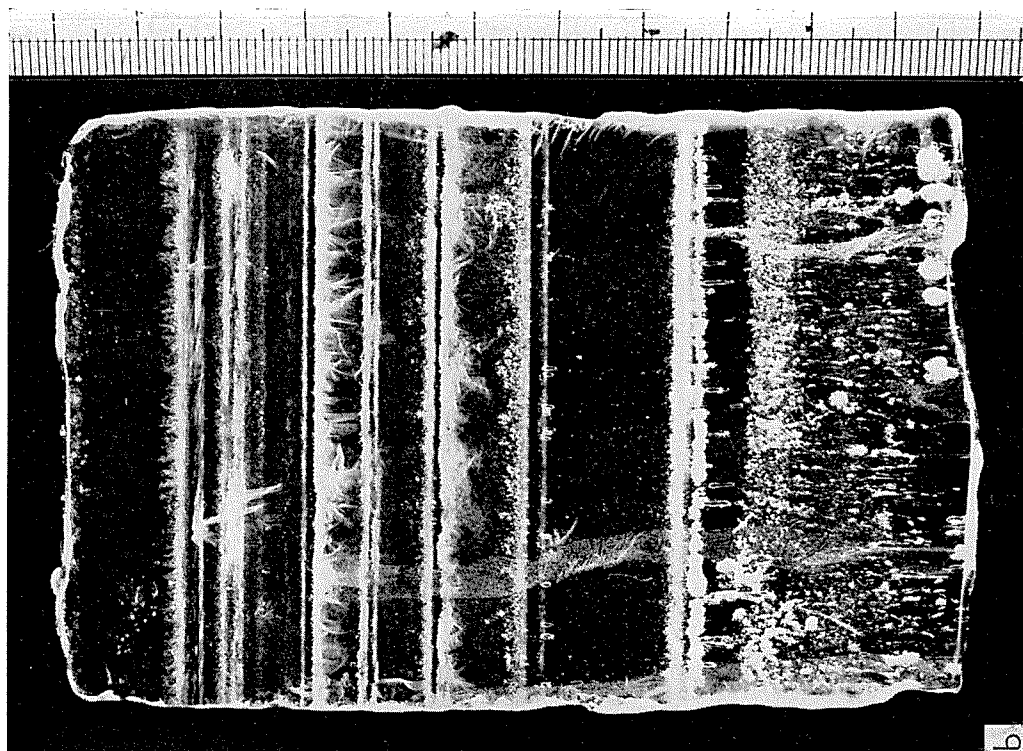


河口湖富士スバルランド

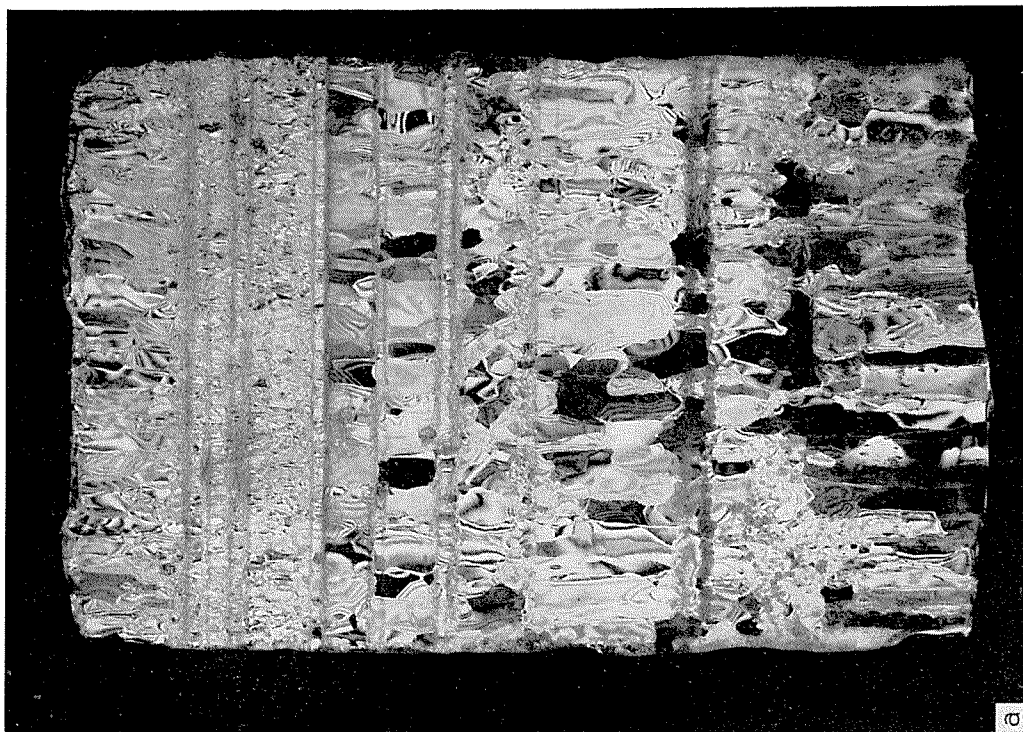
試料 No. 15



試料 No. 18 河口湖富士急ハイランド ホッケーマーリンク

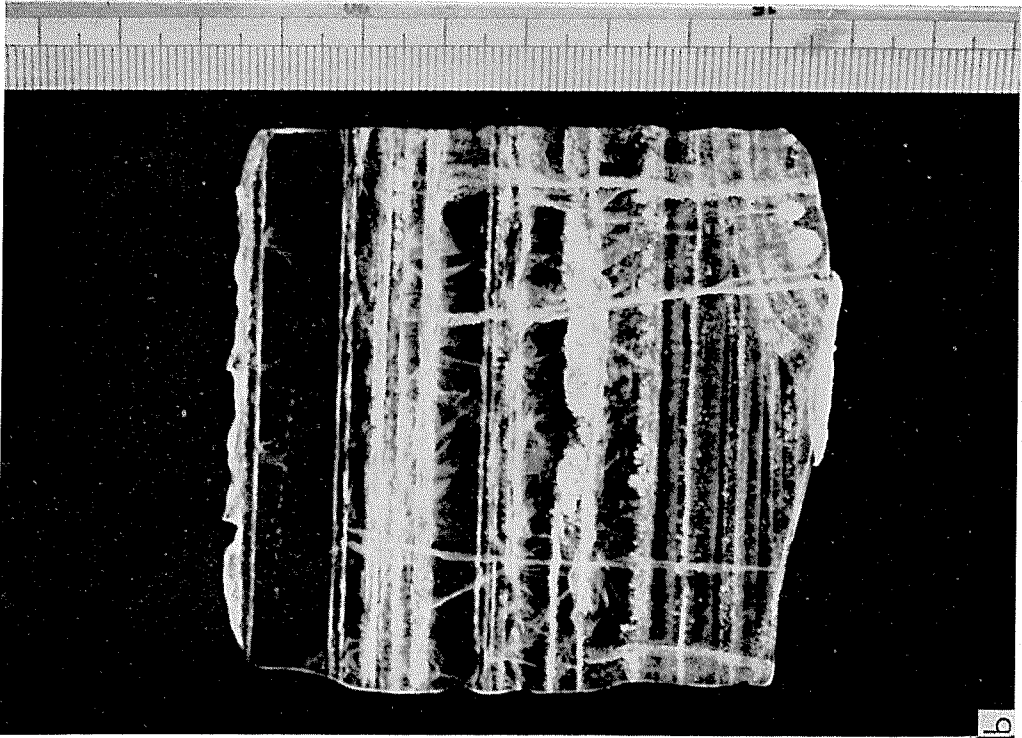


b

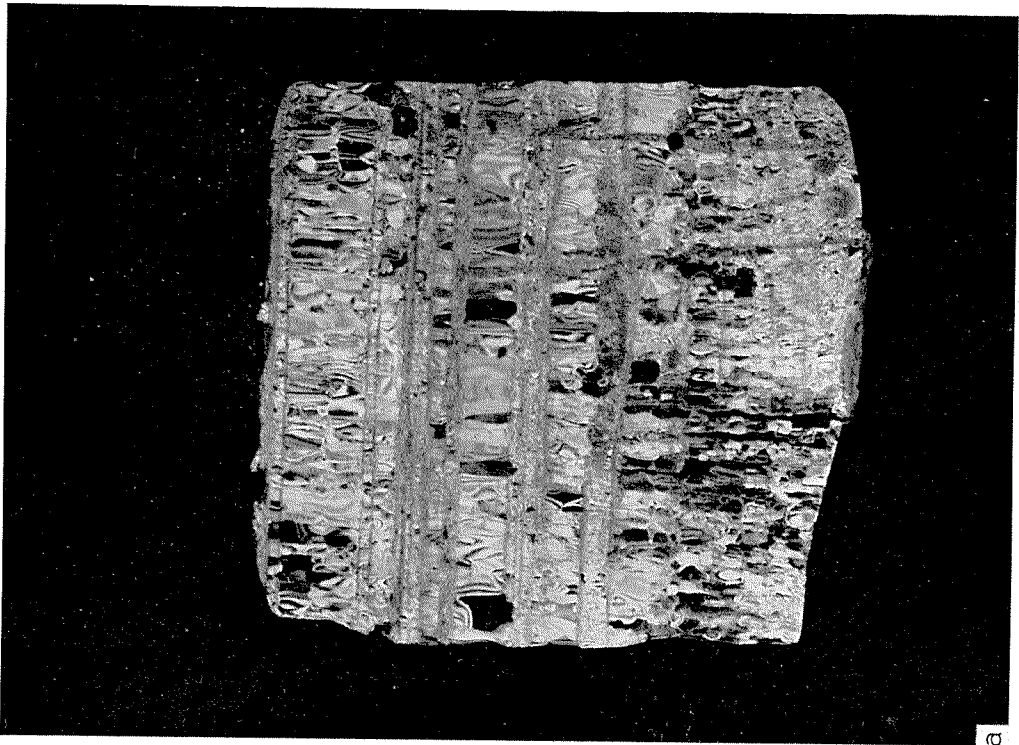


a

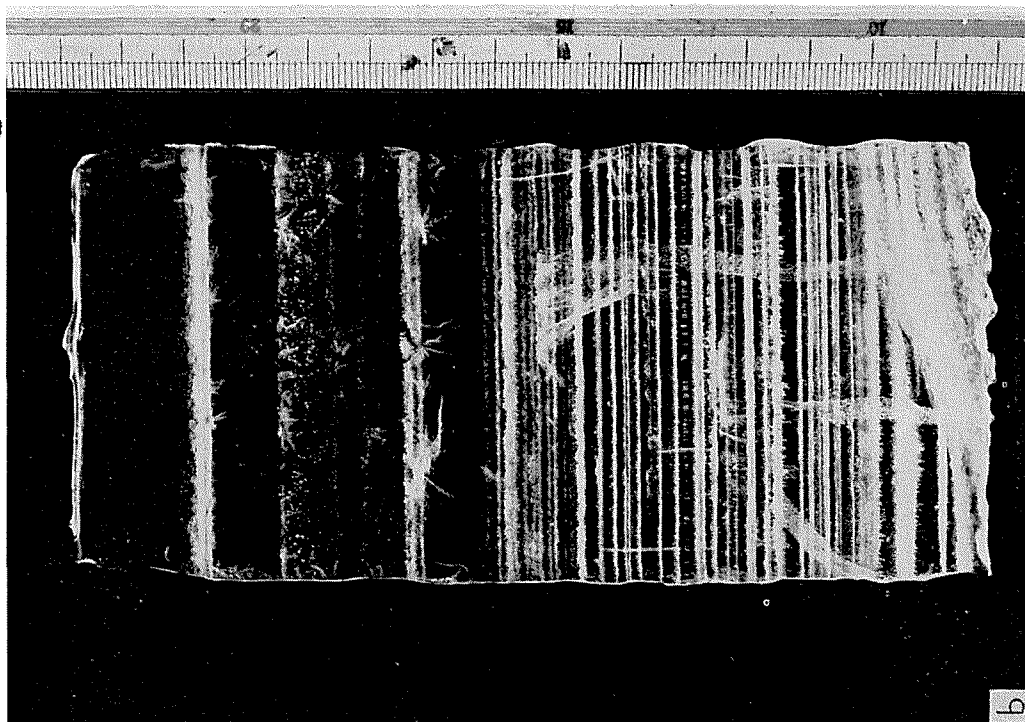
試料 No. 16 河口湖富士急ハイランド・ファイギュアリング



瑞浪

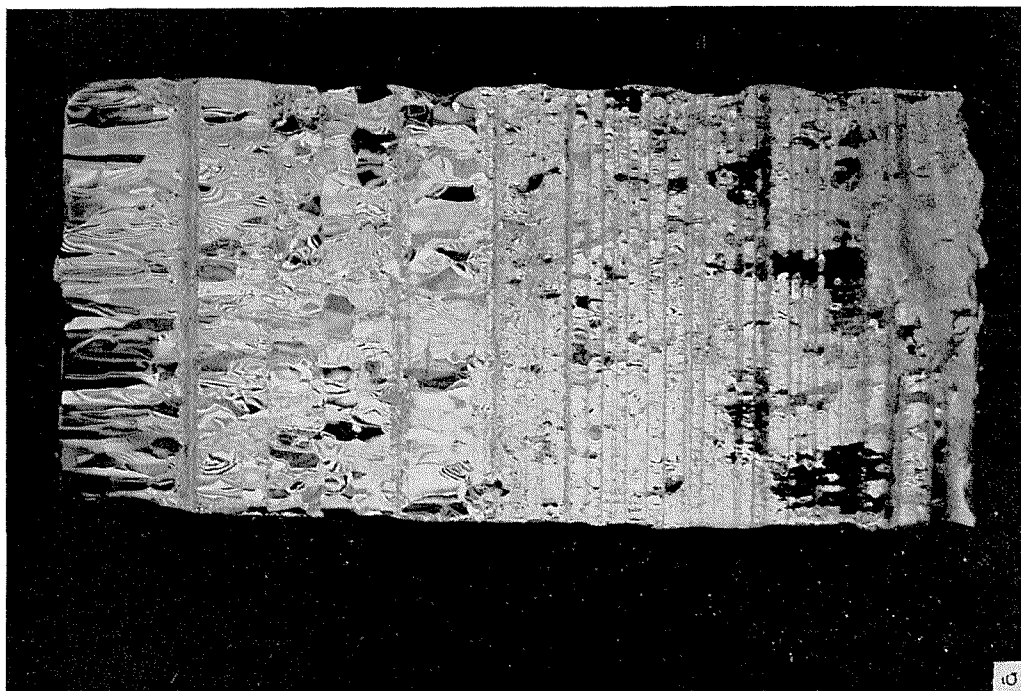


試料 No. 13



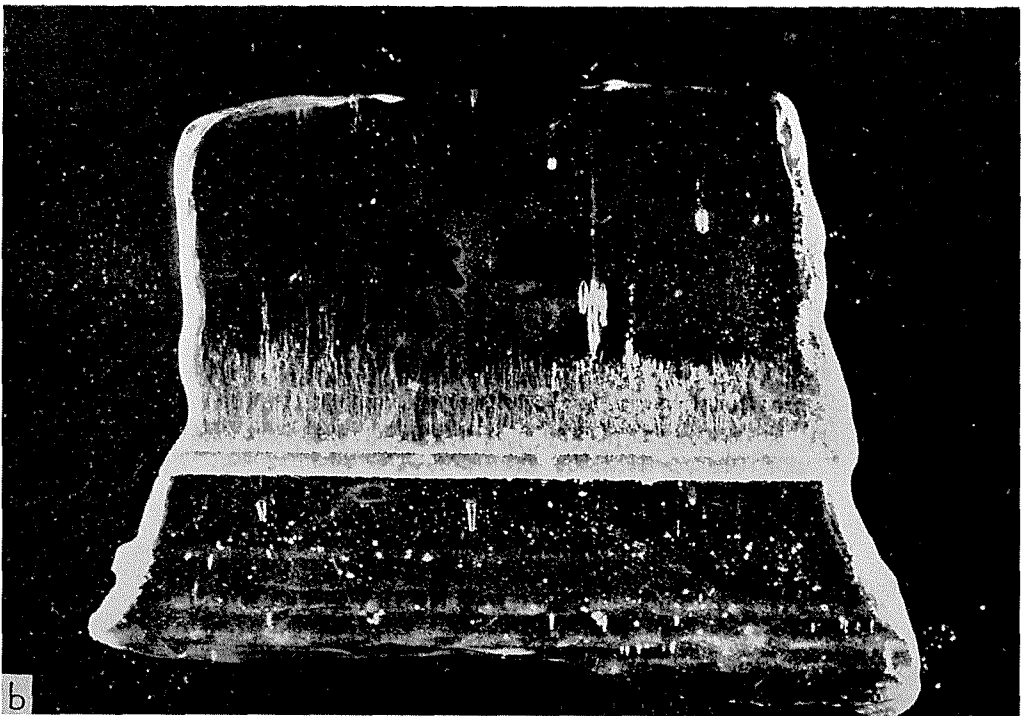
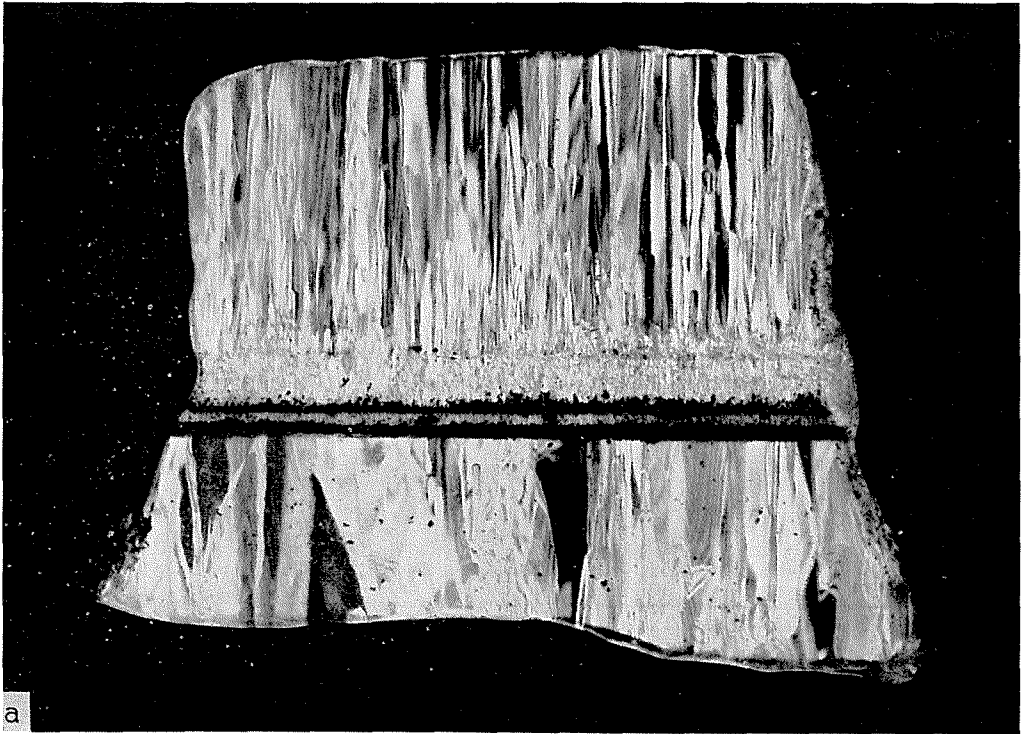
b

木曾駒



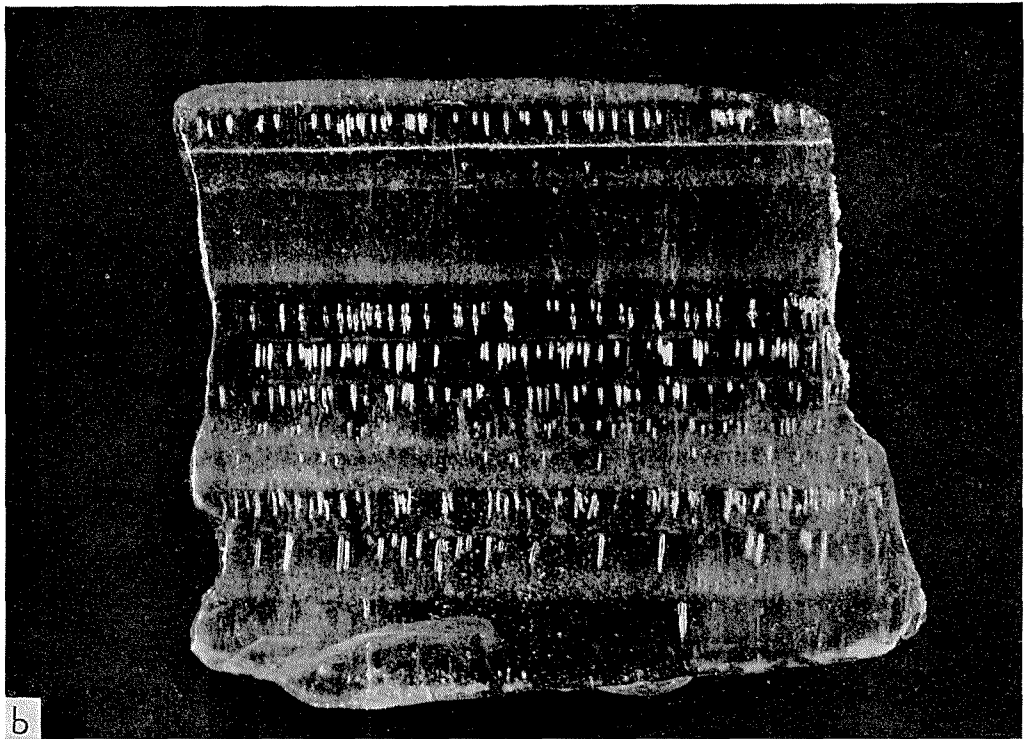
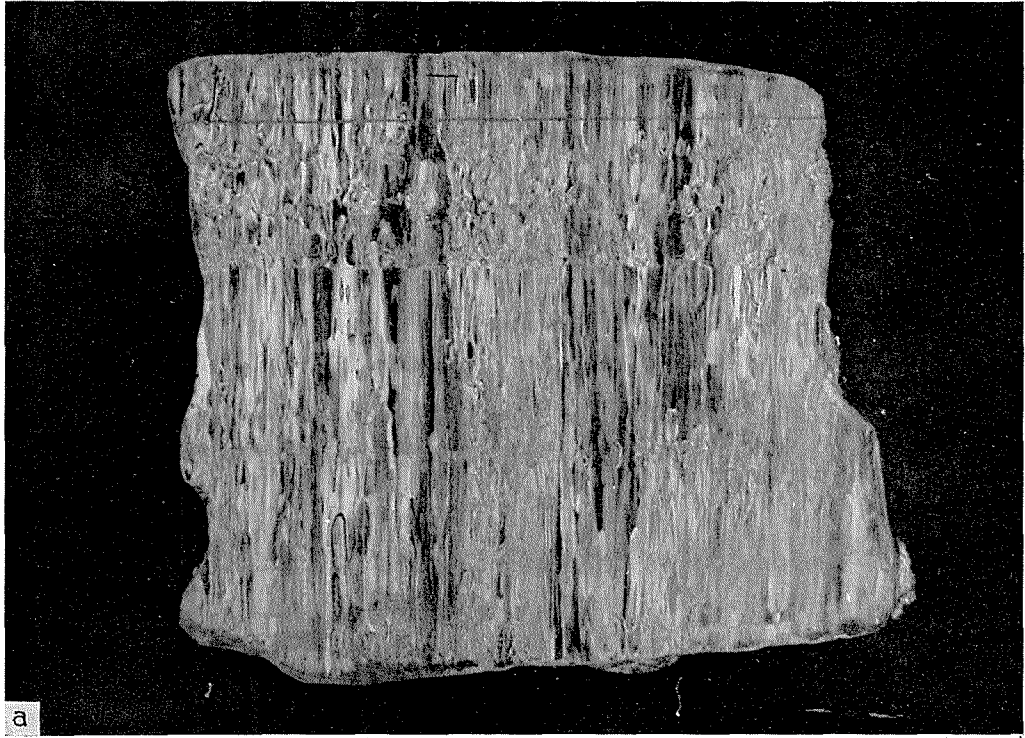
a

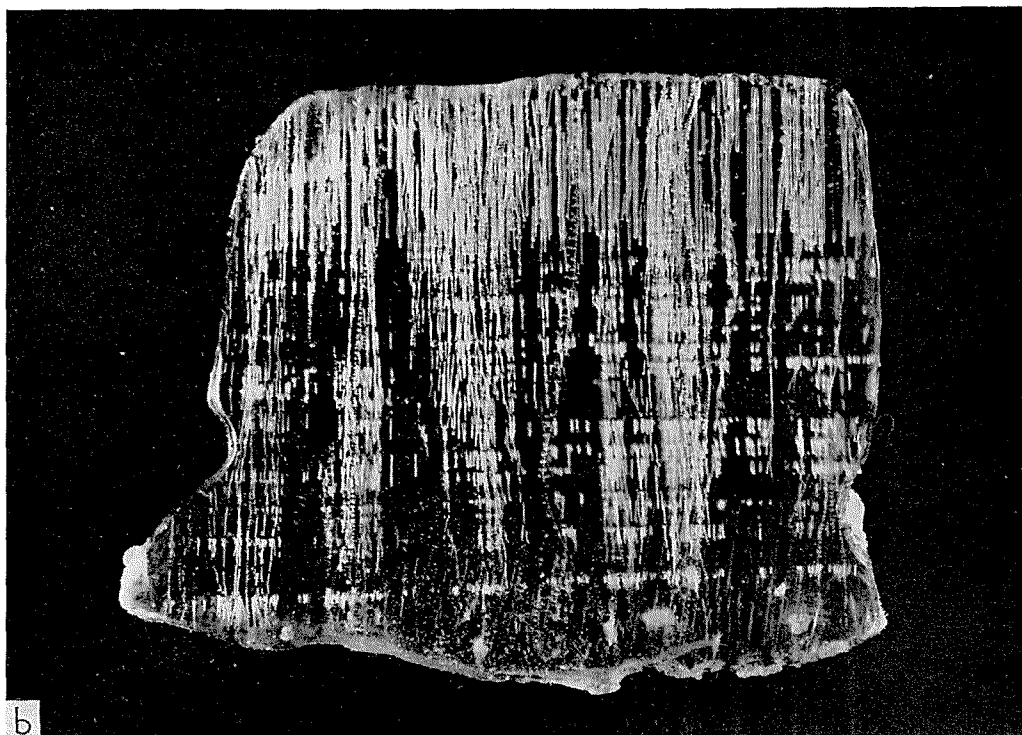
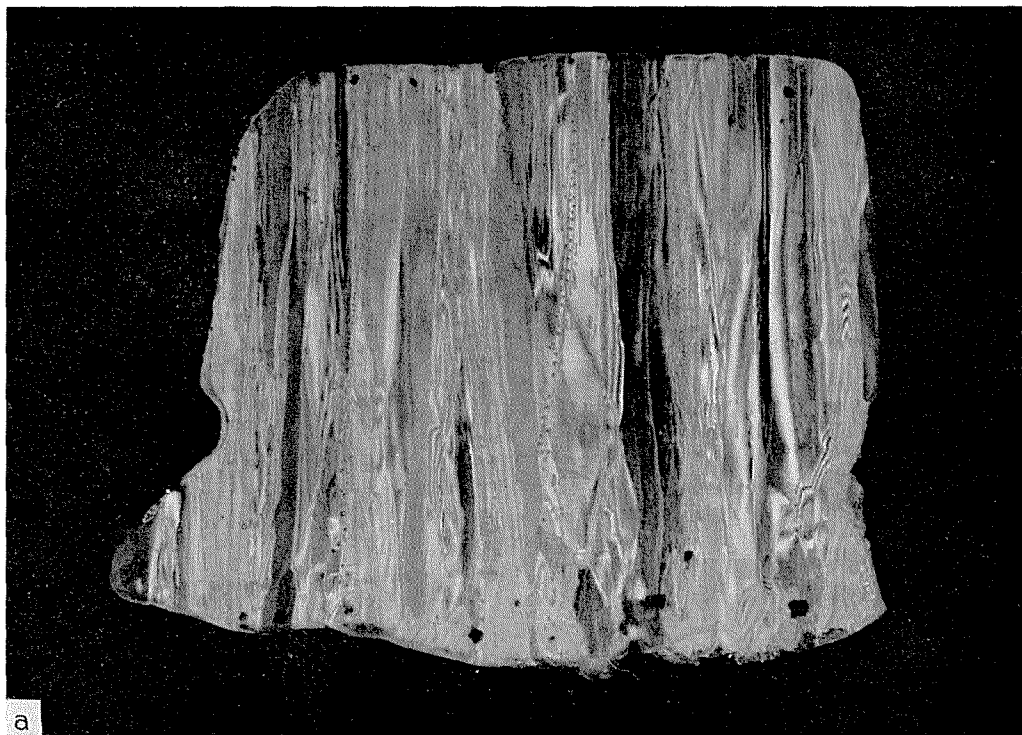
試料 No. 17



試料 No. 2 松戸 日立テストリンク

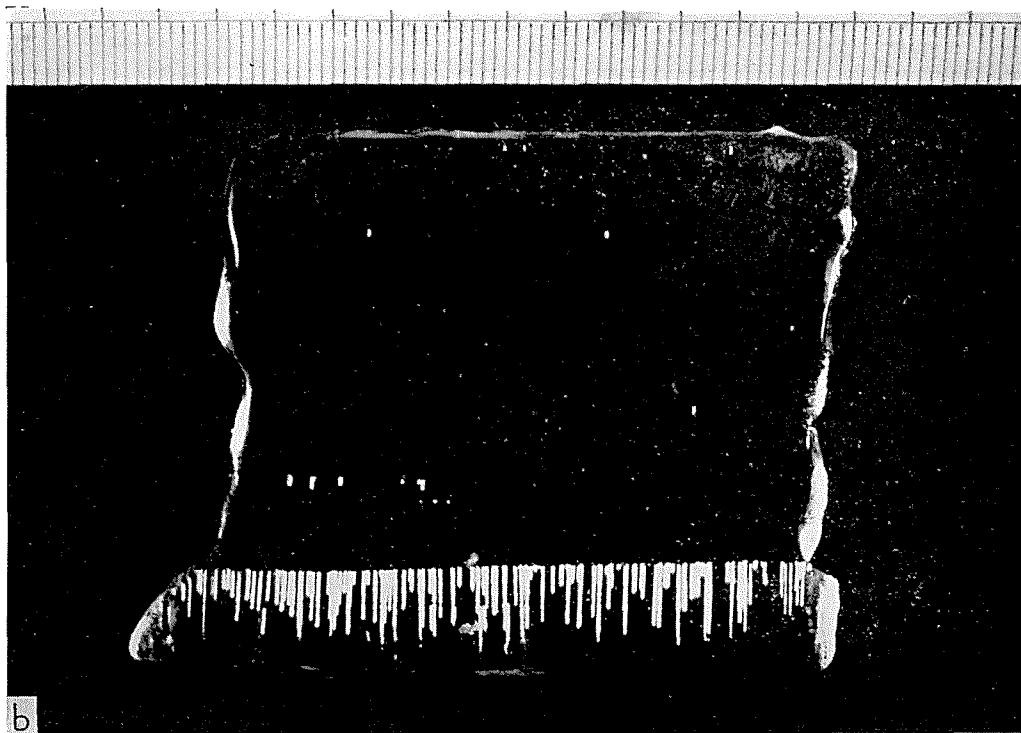
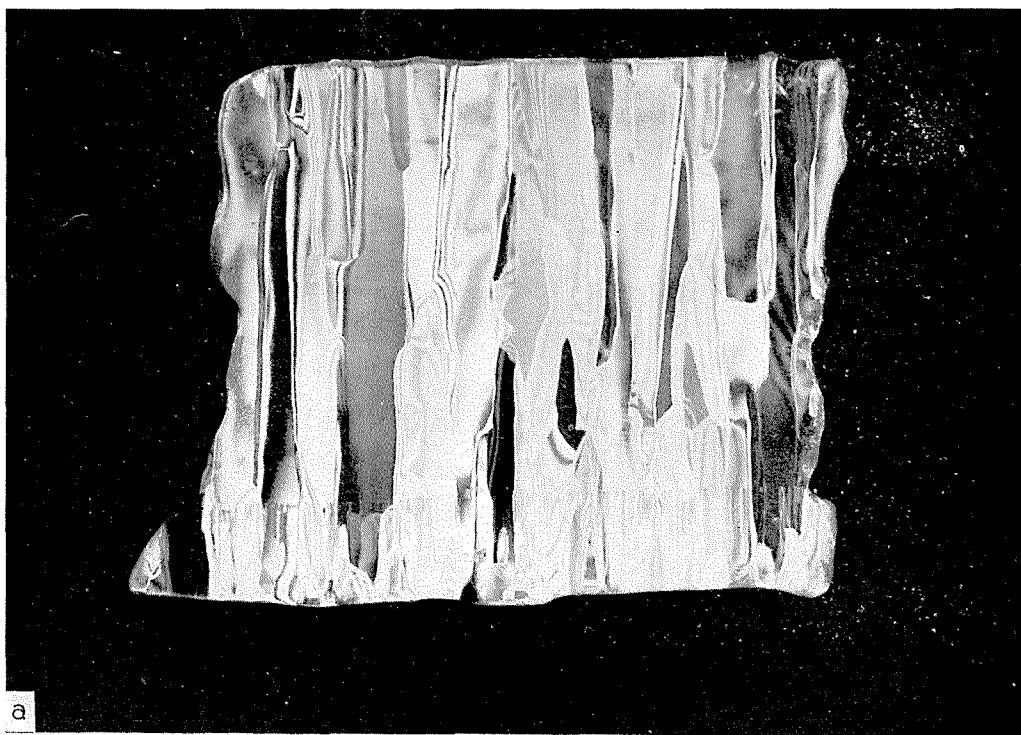
×1.5

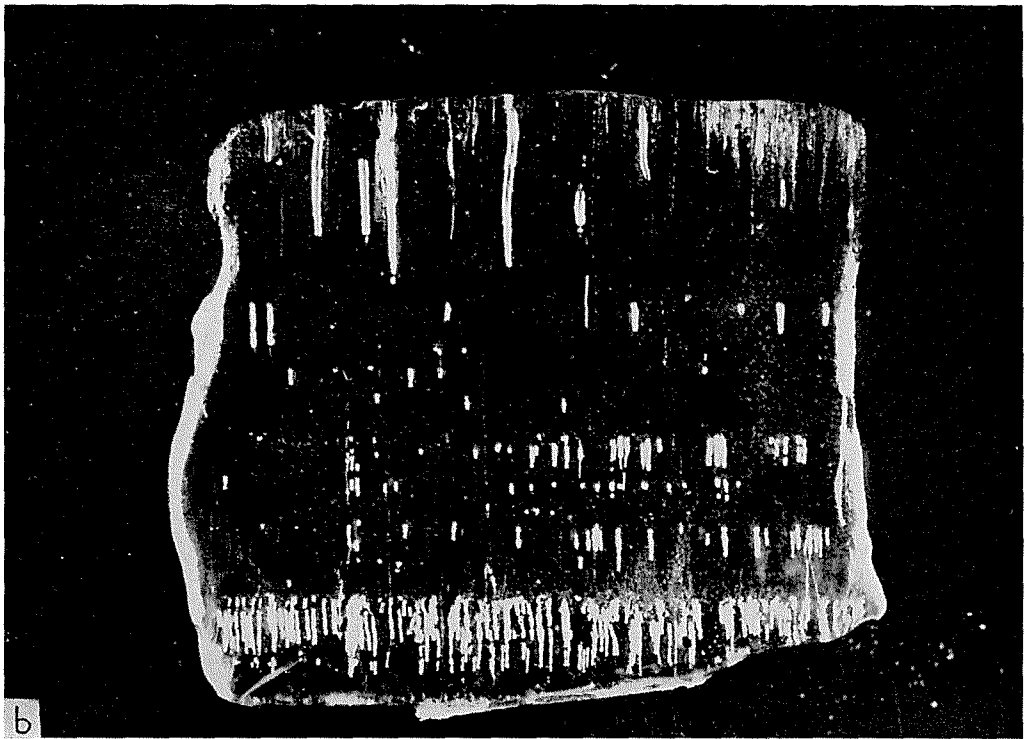
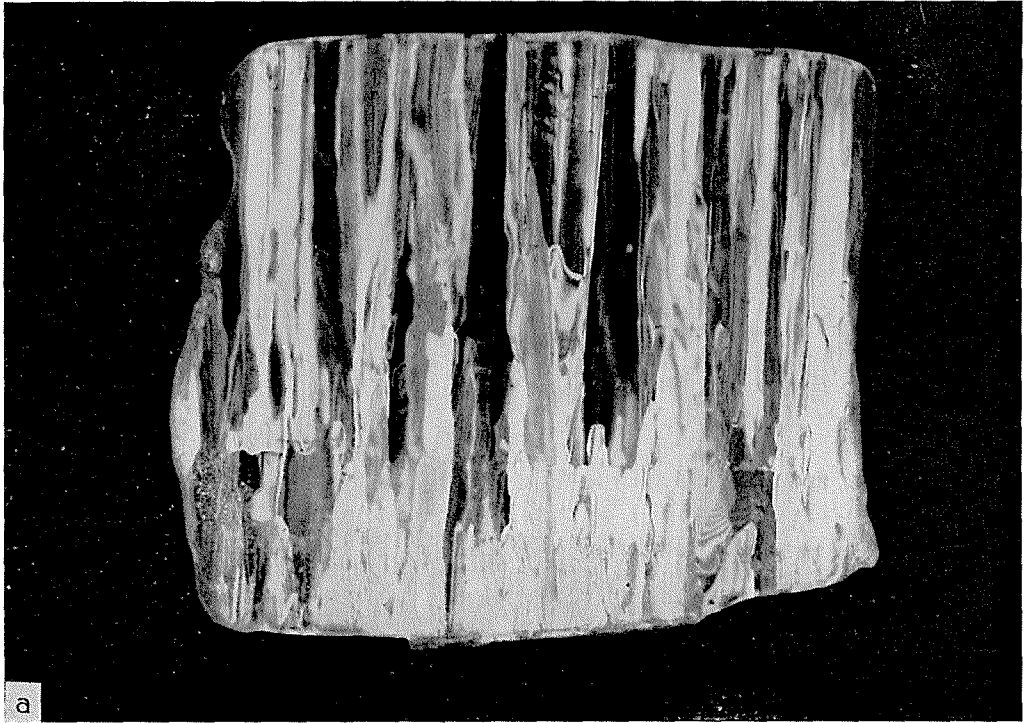




試料 No. 4 松戸 日立テストリンク

×1.5





試料 No. 3 松戸 日立テストリンク

×1.5

