HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	札幌オリンピック冬期大会のための雪氷調査の解説
Author(s)	吉田, 順五
Citation	低温科學. 物理篇, 26, 231-247
Issue Date	1969-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18088
Type	departmental bulletin paper
File Information	26_p231-247.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Zyungo YOSIDA 1968 Studies on Snow and Ice for the Olympic Winter Games, 1972. *Low Temperature Science, Ser. A, 26.* (With English Summary p. 246).

札幌オリンピック冬季大会のための雪氷調査の解説*

吉田順五
(低温科学研究所　応用物理学部門)

(昭和43年8月受理)

I. まえがき

四年あとの昭和47年 (1972) 2月4日から14日まで，札幌市およびその近郊で，第11回オリンピック冬季競技大会が催される。準備，運営のために設けられた財団法人札幌オリンピック冬季大会組織委員会の内部組織として科学技術専門委員会が発足し，昭和42年4月26日に第1回の会議をひらいた。その席で，他の小委員会とともに，雪氷調査小委員会が組織され，筆者が小委員長に推された。構成員は各種競技関係者と北海道大学低温科学研究所の研究員とである。この報告は，低温科学研究所員によって，昭和43年1月から3月にかけて行なわれた調査結果の概要である。雪氷専門家以外の方がたにも理解して頂けることを願いつつ，解説的にまとめた。詳細は，この報告のあとにつづく調査分担者の論文に書かれている。

冬季大会の競技は，すべて，雪か氷のうえで行なわれる。雪や氷はよく滑るものでなければならないし，また，同一種目の競技が行なわれている間おなじ状態に保たれなければならない。しかし，雪も氷も天候の影響をうけて変わりやすい。したがって，競技場にこれらふたつの条件を満足させるのは容易なこととは言われない。しかし，雪氷についての科学的知識を利用すれば，ある程度，この要請にもこたえられるはずである。低温科学研究所は，なが年，雪や氷の科学的研究にたずさわってきた。それで，札幌オリンピック冬季大会のための雪氷調査を分担したわけである。

昭和42年から43年にかけての冬は，雪氷調査小委員会にとって初めての調査期間であった。この第1回調査では，科学的にみてどんな性質の雪や氷が競技に適するかの解明に主題をおいた。回転，滑降スキー競技場の雪は，一般スキーヤー向きの雪とちがって，非常に硬いといわれる。一方，ほんとうの氷では硬すぎる。ところが競技関係者に聞いても，どの程度の硬さがよいのかはっきりしない。それに，硬い方がよいといわれても，元来，硬さにはいろいろな種類の硬さがあるので，頗るあいまいである。それで，スキーの選手にいろいろな雪の上を滑ってはよしあしの判定をしてもらい，そのたびに科学的観察測定をおこなうことにした。こうすれば，どんな性質の雪が競技に適するか判るであろう。スケートの氷についても同様である。どんな組織の氷が，なん度の温度の氷が，スケート競技に適するかが明確にされていない。それで，氷についても選手の協力をえて調査をすすめることにした。

* 北海道大学低温科学研究所業績　第927号

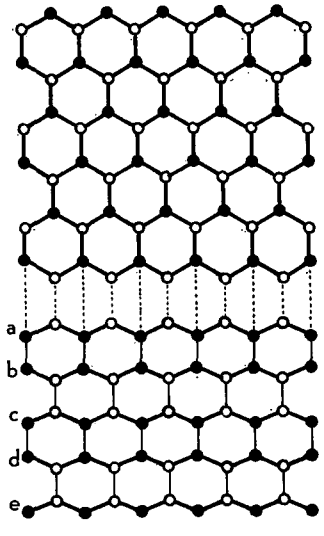
この調査概要報告，および，あとに続く各分担者による詳細な報告の理解には，雪氷の性質，雪氷の科学的観察測定についてある程度の予備知識が必要と思われる。それで次の章で，それについての簡単な解説をこころみる。

II. 氷と雪

1. 氷のなかの分子の配列

水は酸素原子1個と水素原子2個とが結合した分子が無数にあつまったものである。分子と分子との間隔は一定でなく絶えず変動していて，分子の分布状態に規則性はない。しかし温度がさがって凍ると，分子は規則正しい配列をとって固体にかわる。これが氷である。氷を四角に切って，上半分にその上面の，下半分にその側面の分子配列を示したのが第1図である。白丸も黒丸も共に同じ分子で，分子と分子とをつなぐ線は水素結合と呼ばれる化学結合をあらわす。

上面では分子が，蜂の巣のような，正六角形の目の網をつくっている。ただ全部の分子がおなじ平面のなかにはない。黒丸分子は白丸分子より少し下にさがっている。それで，この分子の網を横からみると，第1図の下半分の最上列 **a** のようにみえる。このいちばん上の分子の網 **a** の下には，**a** の上下を返した構造の分子の網 **b** がひろがり，その下には，再び，**a** と同じ構造の分子の網 **c** がひろがる。以下同様に **d**, **e**, …… と繰返される。それで，分子の網を紙にみたてると，氷は本のように紙を重ねたものと考えることができる。ただし本とちがって綴目はない。この紙，つまり分子の網の面を底面（ていめん）といい，底面に直角な方向を主軸という。第1図の上半分は主軸の方向に分子配列をながめたものに他ならない。



第1図 氷の分子配列。上半分は底面の分子の網。下半分は分子の網の重なりを横からみたところ

隣り同志の分子の間は非常にせまく，1億分の3 cm ぐらいしかない。それで，このような分子配列は顕微鏡でもみるわけにゆかない。X 線をしぼって細い線束にして氷にあてる。X線の大部分は氷を透過するが，極めて僅かは氷の分子にあたって脇へそれる。その外れた X 線をしらべた結果，氷が上のような規則正しく配列した分子でできていることがわかったのである。

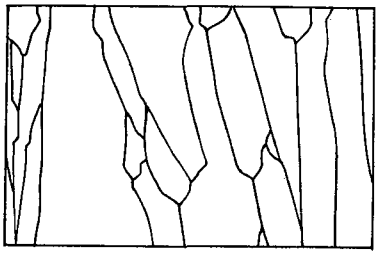
2. 結晶質

雪の結晶は六方対称の整った形である。空の高いところで水蒸気が凝固して小さな氷の粒ができ，その上にあとからあとから水蒸気が凝固して成長したのが雪の結晶である。この成長ではまわりから邪魔がはいらない。それで氷の分子配列の規則性が外形にまで現われて，整った形の結晶ができる。水が凍るときも，小さな氷の粒から始まる。ただその粒は数が多く互に接近している。そのため少し成長すると衝突し，やがて連なりあって氷の塊になる。このように成長の途

中で邪魔しあうので，水が凍った氷の形は，雪の結晶のようには整っていない。しかし，こうしてできた氷のなかの分子の配列も，雪の結晶のなかの分子配列も，ともに第1図の配列である。つまり，外形がどんなものであっても，氷である限り分子の配列に変わりはない。ただ成長のときに邪魔されないと，外形の整った結晶になる。それで氷を結晶質という。結晶質の物質は氷のほかにもたくさんある。形式は氷のとちがっても，なにしろ規則的配列をもった分子からなる固体なら，すべて結晶質と呼ばれる。これに反し，固体ではあっても，分子配列の不規則なものがある。たとえばガラスである。そのようなものはガラス質といって結晶質と区別する。

3. 単結晶氷と多結晶氷

池に厚くはった氷をたてに切って，切口を少しとかすと，第2図のような線があらわれる。切口は線によっていくつにも区画されている。しらべると，区画ごとに氷の主軸の方向がちがう。つまり，ひとつひとつの区画のなかでは隅から隅まで，平らな分子の網を積重ねた分子配列である。しかし，ひとつの区画から隣りの区画へうつるとき，分子の網は折れたり切れたりしている。それで各区画の氷は互に独立した氷とみなければならない。その意味で，一区画のなかの氷を単結晶という。池の氷はたくさんの単結晶氷の集合体である。それで多結晶氷とよばれる。

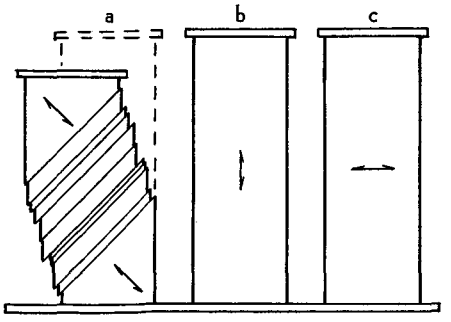


第2図　池の氷の切断面

たいていの氷は多結晶氷である。それを作っている単結晶氷には，なん分の1 mm という小さいものから数 cm に達する大きなものまでいろいろある。人工的に，特に大きな単結晶氷だけでできた氷もつくれる。その単結晶氷をひとつとりだして整形すれば，全体が一個の単結晶氷の円柱になる。この円柱をつかって次のような実験をこころみる。

4. 氷　と　力

第3図の **a**, **b**, **c** は3本の単結晶氷の円柱である。ただし氷の主軸の方向がそれぞれで違う。**a** では，矢印で示したように，主軸が傾いている。**b** では鉛直，**c** では水平である。これらの円柱を上から押すと，円柱 **a** は主軸に直角な底面ですべって，破線で示した初めの形から，実線で示した形に崩れる。押すのを止めても初めの形にもどらない。前に氷は紙を重ねたようなものであると述べた。実際，紙を斜めに積んで上から押せば，紙と紙との間がすべって，同じようなことになるであろう。**b** の円筒では主軸が鉛直だから，水平な紙を積重ねたのと変わらない。これでは上から押しても紙はすべらない。実際，この氷の柱 **b** は，目にみえないほど僅か縮むだけである。そして押すのをやめると伸びて元へもどる。**c** の円柱は主軸が水平だから紙は鉛直に立っている。このばあいにも紙はすべるわけにゆかな



第3図　単結晶氷の柱の圧縮

い。それで，**c** の氷の柱も少し縮むだけで，力をとれば元へかえる。

多結晶氷で作った円柱のばあいは複雑である。各単結晶氷の主軸はいろいろな方向にむいているから，ある単結晶氷は底面ですべるであろうし，ある単結晶氷は一向に縮もうとしない。その結果，複雑な力で互に押しあったり引きあったりすることになる。結局，柱全体はゆっくり縮むが，その縮みかたを簡単にいい表わすのはむつかしい。

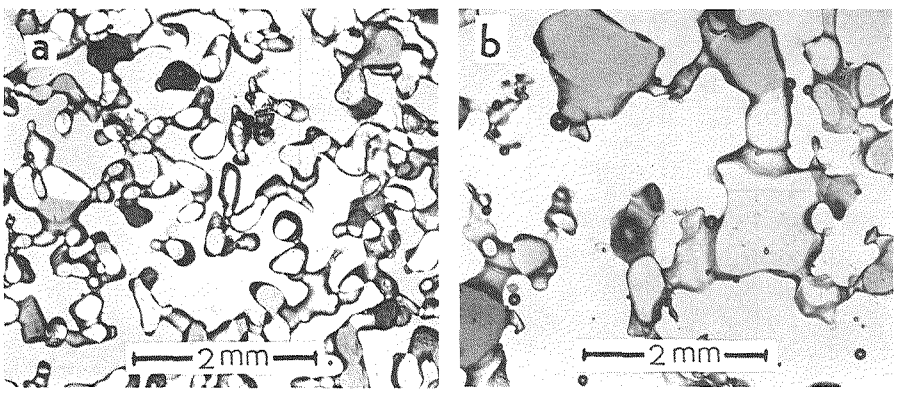
5. 組織と構造

多結晶氷を作っている単結晶氷がどんな形か，どんな大きさか，また主軸のむきが単結晶ごとにどのように違うかを表わすのに「組織」という言葉をつかう。ひとしく氷といわれるものでも，そのできかたによって組織がちがう。そして上のことから，組織がちがえば氷の性質が変わることがわかる。氷には，普通，空気の泡がふくまれている。泡の多寡が氷の性質に影響することはいうまでもない。また，凍る前の水に不純物があると，不純物は単結晶氷と単結晶氷との境に押出されて，そこに貯る。このため，境はすべりやすくなる。これもまた氷の性質に変化をあたえる。泡や不純物が氷のなかに分布する有様もまた，「組織」のうちにふくまれる。

寒さは厳しくなったり緩んだりしながら水を凍らせる。それゆえ，氷は組織のちがった氷の層の重なったものになる。この氷の層の重なりかたを「構造」という。スケート場の氷は，時々で，また場所場所で，組織も構造もちがうであろう。この違いのため，スケートによい氷と悪い氷との区別が生れる。もちろん氷の温度も大いに関係する。温度の低いときはこの組織構造の氷が，温度の高いときはあの組織構造の氷がよいという具合になっているものと思われる。この関係がわかれば，スケートによい氷を張るための指針がえられるにちがいない。

6. 雪

ここにいう雪は降る雪ではなく，積った雪つまり積雪である。空から降ってきた雪の結晶は，地面につもると，すぐに形をかえはじめる。四五日もたつと，はじめの雪の結晶の形は消え失せ，玉石の形の小さな氷の粒がつながりあった組織になる。この組織の雪を「しまり雪」という。しまり雪の粒はしだいに大きくなり，それとともに雪は硬くなる。第4図の **a** は，し



第4図　**a**：しまり雪の顕微鏡組織。**b**：ざらめ雪の顕微鏡組織

まり雪をうすく切って顕微鏡でみた写真である。隙間が多い。氷の粒は，それぞれが1個の単結晶氷である。それゆえ雪は，多孔質の多結晶氷といえる。

単に雪の結晶が集まったものにすぎない新雪がしまり雪に変化するのは，融けるからではない。北海道や，本州でも高い山の上では，寒さがきびしいので，冬のあいだ雪はとけない。この変化は，主として，雪の結晶が蒸発して水蒸気となり，その水蒸気がふたたび氷に凝固することによる。

雪はいちどにではなく間歇的につもる。それで，多くのばあい，雪の表面は新雪でおおわれている。新雪の下，地面近くまでは厚いしまり雪の層である。しまり雪は下にゆくにつれて硬くなる。いちばん下，地面に接するところの雪は「ざらめ雪」である。これは冬のはじめにつもって，昼間の暖気でとけては夜の寒気で凍った雪の残ったものである。第4図**b**の写真のように，不規則な形の大きな氷の粒が弱い氷の橋でつながった組織をもっている。春になると，積雪は上から下までが昼間はとけ夜は凍るようになり，全体がざらめ雪にかわる。そして最後には消える。

7. 里雪，山雪，しもざらめ

上にのべたのは，比較的気候のおだやかな平野部の雪，すなわち里雪の組織構造とその変化の経過である。山の雪も，だいたい里雪とおなじ経過をたどって変化するが，つぎにのべるような大きな違いも現わす。

尾根すじのような風の強いところには，非常にかたい硬化雪とか風圧雪とかいわれるものができる。スキーのストックはもちろんスコップもささらない。ヨーロッパアルプスにはこの硬い雪がよく発達するので，それを利用してスキー競技が盛んになったのだといわれる。

山には逆に，「しもざらめ」といわれる非常に軟かくて脆い雪がよくできる。北海道の山では，硬化雪や風圧雪はむしろ稀だが，しもざらめ雪は一般的である。雪の表面は寒気にさらされているため温度がひくい。しかし地面は地熱のため，たいてい0°Cに保たれている。このため，深い所の雪はさかんに蒸発して，雪をつくっている氷の粒はやせる。蒸発した水蒸気は，雪のなかのあちこちに凝固して霜になる。こうしてできるのが霜ざらめで，指で軽くさわっても崩れるほど脆い。しもざらめが発達すると雪崩がおこりやすくなることは言うまでもない。

里雪型の雪は，一般スキーヤーにはよいが，スキー競技には適さない。軟かすぎて滑りがよくないうえ，スキーで削られて滑降路が荒れ，競技のあいだ同じ状態に保てないからである。オリンピックを行なうとすれば，天然のままの雪を，よほど硬くすることを考えなければならない。ことに北海道の雪は，霜ざらめが発達して弱くなる傾向にあるので，特に注意が肝要である。しかし，雪は多結晶氷であるうえ多孔質であるから，その性質を広い範囲にわたって変化させることができる。それゆえ，競技に適する雪にかえる方法も見出されるにちがいない。ただ，今までの雪の研究は生活に関係の深い面から行なわれてきた。除雪には雪が軟かい方がよい。それで雪を固める研究は，ほとんど行なわれていない。なだれの研究でも，しもざらめには注意をむける。しかし，硬化雪や風圧雪は，ほとんど顧られなかった。したがって，オリンピック冬季大会の開催にあたっては，雪の硬化に重点をおいた調査研究を新たに行なう必要

がある。

8. 密　　度

第 III 章以下にも，また，この概要報告のあとの各研究分担者の論文のなかにも，雪や氷の「密度」と「硬度」とがしばしば現われる。密度とは体積 1 cm^3 の雪または氷の重さを g で表わしたものである。泡や不純物の全くない体積 1 cm^3 の氷の目方は 0.917 g である。よって密度は 0.917 となる。正確には 0.917 g/cm^3 と単位をつけて書くべきだが，簡潔のため，単位を省略することも多い。氷に泡があれば当然，密度は小さくなる。しかし，密度が 0.9 を相当に下まわるほど泡の多い氷はめったにない。ところが，雪となると密度は格段にさがる。硬くて緻密な硬化雪でも密度は 0.5 を少し越えるにすぎない。

密度が小さい雪ほど隙間は多いわけで，空隙率と密度とは次の表の関係にある。空隙率とは，雪のなかの空隙の割合を % で表わしたものである。この表でわかるように，密度が 0.5 より少し大きい硬化雪でも，その体積の 40% 以上が空隙である。ドイツ語のアイスバーン (Eisbahn, 氷の道) は，氷で作った競技用の滑降路のことらしいが，日本では，しばしば硬化雪をアイスバーンという。しかし，こんなに空隙が多くては，とても氷と呼ぶわけにはゆかない。

密　　度	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
空　隙　率	67	62	56	51	46	40	35

軟かい雪なら密度の測定は簡単である。内容積の知れた四角または円い筒を雪にさしこみ，一定体積の雪をとりだす。その目方をはかって体積で割れば密度がえられる。硬い雪や氷では，筒がはいらない。それで，鋸で雪や氷を切りとり，刃物で四角に整形し，寸法をはかって体積を計算する。この体積で目方を割って密度とする。

密度が大きい雪ほど硬い傾向はたしかにある。しかし，ただ傾向であって，いつもそうであるとは限らない。たとえば古いしまり雪とざらめ雪とでは密度はあまり変わらない。しかし古いしまり雪の方がはるかに硬い。組織がちがうからである。それで硬い雪を作るにしても，ただ圧縮して密度を大きくするだけでは足りない。丈夫な組織にすることを考えなければならない。

9. 硬　　度

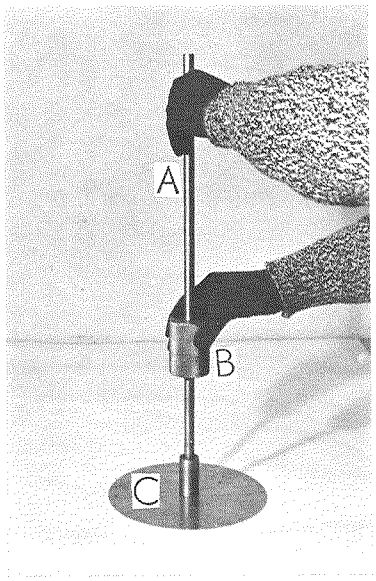
スキーで踏んだとき，凹みの少ない雪ほど堅いといえる。それで，雪の硬さ，すなわち硬度をはかるには，固い物体を一定の力で雪に押込んだ時の凹みを測ればよいであろう。ところが同じ力で押込むにしても，物体の形で凹みかたはちがう。それのみならず，力を急にかけるか次第に大きくしてゆくか，長時間かけるか短時間かけるかで，いちいち凹みには差異がでる。したがって雪の固さといっても一定でない。それにしても，物体の形や力のかけかたを常に同じにすれば硬さの比較はできるはずである。それで今回の調査では，もっぱら，低温科学研究所の木下教授が考案した硬度計を使うことにした。

第 5 図が木下式硬度計の写真である。まず，円い鉄板 C を雪の上におく。真鍮の棒 A を

鉄板の上に左手でささえ，棒にはまったおもりBを右手である高さまであげて落すと，円板Cは雪のなかに沈む。その沈みの深さと，おもりの目方と，おもりを落した高さとを使って簡単な計算をおこなうと，円板が沈んだときの雪の抵抗力が求められる。硬い雪ほど抵抗力は強い。それで，この抵抗力を雪の硬度とする。硬度は1 cm² につきなん kg の力という形で表わされる。たとえば1 cm² につき5 kg であれば硬度は5である。

分担者による詳しい報告のなかには，硬度を 600 g/cm² とか 2×10^3 g/cm² とか 10^4 g/cm² とかのように書いたものもある。これはそれぞれ，1 cm² につき 0.6，2，10 kg の硬度とおなじである。それで，0.6，2，10 の硬度と読みかえればよい。

スキーは速いので雪を衝撃的に押す。木下式硬度計も雪を衝撃力で凹ませる。したがってこの硬度計は今回の調査に適したものであったといえる。



第5図　木下式硬度計

10. 雪の構造，断面観測

北海道の雪は，前にのべたように，最上部と最下部とを除けば，しまり雪の厚い層である。しかし，しまり雪といっても，細かい組織のもの粗い組織のものなどいろいろある。この厚いしまり雪の層も，実は，組織のちがうしまり雪のうすい層が幾重にも重なった構造である。

雪に穴を掘り，穴の壁に，インキを水でうすめた色水を霧吹きでかけ，そのあとを焔であぶると，たくさんの縞があらわれる。組織のちがう層と層とのあいだは特によく色水を吸うからである。それで，これによって，雪の構造を見わけることができる。たとえ，あとから積った新雪がかくしていても，つぼ足で歩いた跡はもちろん，スキーの通ったあともストックでついたあとも，インキの縞が乱れているのですぐに判る。

穴の壁は雪の断面である。それで，この断面に色水をかけ，また，断面の上から下にかけて密度や硬度を測定することを断面観測という。

調査の結果

これからあと，第III章から第VIII章にわたって，昭和43年のはじめの冬に行なった各種調査の結果を，あらまし説明する。

III. スキー回転競技に適する雪

調査日　昭和43年1月28～30日。場所　北海道北の峯。

北海道の中央部の富良野（ふらの）町に標高1075 m の北の峯という山がある。その斜面がスキー場として使われている。北海道でも有数のすぐれたスキー場である。ここで，1月28日

から30日まで，全北海道アルペンスキー競技会がひらかれた。それを利用して，スキー回転競技に好適な雪がどんな性質のものかを調査することにした。一般むけのスキー場でスキーヤーの通路にあたる所の雪と，競技会のために臨時に踏固めて作った滑降路の雪とをしらべた。その結果，冬のはじめから絶えずスキーで押し固められてきた一般スキー場の雪の方が，競技用として遙かに適していることがわかった。

1. 競技場の雪

競技開始の前3日間，50人から100人の高等学校生徒が，自然のままに積った雪を，つぼ足で踏みかためたものである。踏んだあとの雪の厚さは約1mであった。表面の雪は温度−13.7℃を示した。一般に，雪は踏んでも，表面からある深さまでしか圧縮されない。下の方，地面近くの雪は，もとの自然状態のままに残される。この競技場では，上層の半分たらずが，つまり表面から40～50 cmの深さまでが踏固められていた。しかし，この踏固められた雪も，密度は平均して0.386，硬度も2.46の程度で，あまり大きい値ではない。その下の自然状態の雪はざらめ雪で，密度は0.44付近にあり，硬度は1.3から8までの間を大幅に変動した。地面は笹におおわれ，温度は0℃で，凍っていなかった。地面から地面の直上10 cmまでの雪は，「しもざらめ」に変わり，そのなかには，ところどころ，空洞があいている。結局，ある程度丈夫な雪でできてはいるが，雪の底が非常に弱い滑降路ということになる。

競技会出場選手に，おなじ道筋にそって8回滑ってもらったら，雪の表面が10 cmも掘れてしまった。これでは，同一競技のあいだ，滑降路を同一状態に保つことはむつかしい。また，選手のなかには，滑降中雪が動揺するように感じるという者もいた。地面直上の雪が弱い構造であるためであろう。以上のことから，競技の直前になって雪を踏んだだけでは，競技用としてよい滑降路は作れないことがわかる。

2. 一般スキー場の雪

スキーヤーの通路にあたるため，12月下旬から絶えず，降っては固められ降っては固められた雪である。厚いところで60 cm，うすいところでは40 cmと，全体としては余り厚くない。しかしスコップも突きたてられないほど堅い。表面の雪の温度は−11℃であった。

表面から地面の上20 cmまでのあいだは堅いしまり雪，その下地面までは堅いざらめ雪であった。硬度1.7の弱い雪層がはさまってはいるが，全体としては硬度4以上の雪である。ことに，表面では，硬度が7.5以上8.75にも達するところがあった。この値は，前記競技場の表面の雪の硬度の3～4倍にあたる。地面は凍っていて，最下層の雪の温度は−3～−4℃であった。空洞はなく，雪は地面に密着している。このような，表面から地面まで丈夫な雪でできている競技場なら，だいたい，オリンピック用にも使えるのではあるまいか。全北海道アルペンスキー競技会の役員のひとりも，そのような意見であった。以上のことは，雪も，降りはじめから休みなく踏みかためれば，競技に適したよい雪になることを教える。

この一般スキー場の雪は，厚さ40～60 cmで，雪としてはうすい方であった。そして，密度が大きかったため，寒気が速かに浸透して地面を凍らせ，地面に密着した丈夫な雪になった。このことから，スキー競技場の雪は，あまり厚くしない方がよいのではないかと考えさせ

られる。

IV. 天然にできる堅い雪の調査

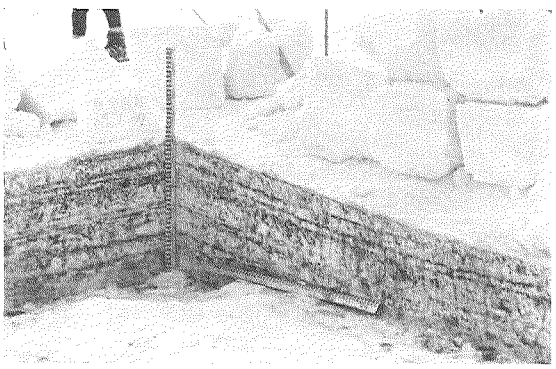
調査日　昭和43年2月18～24日。場所　北海道大雪山旭岳。

冬山にのぼると，ストックが突きささらないほど堅い雪におおわれた場所にであうことがある。表面は滑かで，晴れた日に遠くから見ると，特に光ってみえる。登山家のなかにはアイスバーンという人もいるが，ここでは硬化雪と呼ぶことにする。ヨーロッパアルプスで行なわれたスキー競技にでた人の話では，滑降競技や回転競技には，この硬化雪が最適であるとのことである。また，冬山には風圧雪といわれる硬い雪がある。硬化雪ほどには表面が滑かでない。不規則に波うったところもある。硬化雪も風圧雪も，風が強いところによくできる。

このような雪がどんな性質のものか調べておけば，冬季オリンピックの滑降路の造成に役立つ知識がえられるにちがいない。それで，冬季オリンピック競技会に出場した経験のある大平義博氏に同行をねがって，北海道大雪山系の主峰旭岳に硬化雪，風圧雪を求めて登山した。

1. 硬　化　雪

旭岳の頂上(2290 m)と，その中腹にある姿見の池(1600 m)との中間に，長さ100 m，幅10～20 mの範囲にひろがる硬化雪があった。ストックはもちろん，スコップも突きさすことができない。大平氏に回転滑降してもらったところ，好適な雪との評であった。表面はほとんど削られない。北の峯の競技場の雪とちがって，100人滑降しても掘られることはあるまいと思われた。



第6図　積雪断面観測。北の峯白樺台

雪は，厚さ50 cmで，表面から地面にいたるまで全部堅く，地面に密着している。平均密度も平均硬度も，それぞれ0.53，8という大きな値である。表面はことに硬い。硬度は平均10で，12に達するところもあった。調査したときの気温は−9°Cで，地面は固く凍っていた。雪全体が，なん枚もの雪の層とうすい氷の板とが交互に積重なった構造である。その雪の層も，里雪にみられる雪とは顕微鏡組織がちがう。ざらめ雪は，大きな氷の粒が細くて短かい氷の橋でつながった組織である。硬化雪の粒も，大きさはざらめ雪の粒とあまり変わらない。ただ，粒と粒とのつながりが非常に強固である。硬化雪の密度は，大きいとはいっても，0.53付近なので，その体積の40%以上は空隙である。したがって氷というには程遠い。それにしても，上にのべたように非常に丈夫である。おそらく，かなり空隙があるため弾力がつよく，スキー競技に適するのであろう。

2. 風　圧　雪

硬化雪の場所から100 mほどさがった所に風圧雪が広く発達していた。表面は堅くスコッ

プも通らない。しかし，表面の雪をとりのぞいたあとは，地面までスコップで掘ることができた。厚さは170 cm あった。表面から地面まで全部しまり雪であるが，表面の下20 cm のところに明瞭な境界がみとめられる。境界の上の雪は堅く，硬度は平均8.5もあり，密度も0.50と大きい。これに反して，境界の下では，硬度も密度も，それぞれ2.6と0.35とにおちる。結局，この風圧雪で堅いのは表面ちかくに限られる。それに表面があまり平滑ではないので，スキー競技に適した雪とは考えられない。

競技に適した硬化雪の構造や組織がわかったことは，競技場の雪の人工造成に対してひとつの目標が与えられたことを意味する。雪氷に関する在来の知識をつかって，そのような構造組織の雪を作りだす方法が見つけられるかもしれない。それにしても，まるで性質のちがう硬化雪と風圧雪とが隣りあわせに接近して存在したことは注目に値する。硬化雪は尾根ちかく，せまい範囲に限られていた。ここだけ，特殊な気象条件の下にあったにちがいない。その特殊条件を知れば，人工造成法を工夫する上の大きな助けになるはずである。なお，硬化雪の厚さが50 cm にすぎなかったことは，雪を余り厚くしない方が得策であることを，再び暗示する。

V. 回転および大回転競技予定地の雪

調査日　昭和43年1月22日から3月19日まで数回。場所　北海道手稲山

どんな組織，どれほどの密度硬度の雪が回転競技に適しているか正確に判っていないとはいえ，硬い雪でなければ使えないことは確かである。それで手稲（ていね）山の斜面にあるオリンピック回転競技および大回転競技予定地で，何はともあれ雪を固めることを目標とする小仕掛な実験をはじめた。またこの予定地には，例年，雪が吹とばされて裸になる所がある。これに対する手当ても考えておかなければならない。手稲山は標高1024 m で，札幌市の中心部から西約13 km のところにある。

雪を固めるにはいろいろな方法があろう。しかし，実際的なのは踏むことである。それで1 m^2 ほどの面積の雪を，スキー靴をはいた足で，塩や水をまぜたりまぜなかったりして，10回から20回踏んだ。踏んだ直後はそれほどでもなかったが，1週間以上たつと非常にかたくなり，硬度が10をはるかにこえ，時には70にも達した。前にのべた大雪山旭岳の硬度10の硬化雪が競技にとって最適であるとすると，これでは硬すぎるかもしれない。それに踏み雪は表面が平らでなく硬度も一様でない。数 cm もはなれると硬度にかなりな差が認められる。これらの点が競技にとってどの程度の障害になるかは，踏み雪のうえを運動選手に実際に滑ってもらって判定するよりほかないであろう。雪が吹払われるのを防ぐ試験には集雪柵をつかった。雪はたしかに止められて貯った。ただ非常にむらに貯るので，ならすとすれば相当手間がかかるであろう。

競技予定地は木を切到しただけで整地はしてない。傾斜は30～35°である。自然積雪の深さは，少ししか離れていない場所のあいだでも大きな差を示した。これは山の雪の通有性である。しかし，だいたいのところ，80～100 cm の深さとみこまれた。

1. 雪かための実験

雪の表面に約1m角の区画を3箇所つくった。第1の区画では，ただ雪を踏んだ。第2の区画では10～17lの水をまきながら踏んだ。第3の区画では1.2kgの塩をまきながら踏んだ。これを素かため，水かため，塩かためということにする。

1月22日，2月6日，2月14日に場所をかえておなじことを行なった。それゆえ素かため，水かため，塩かためとも3回ずつ施したことになる。踏固めたあと直ちに密度や硬度をはかるとともに2月6日，2月14日，3月19日に前回踏んだ雪を再び調査した。

第1回目に踏んだ雪は厚さ150cm，温度 −5℃，密度0.3，硬度は1以下の「しまり雪」であった。踏んだら密度は0.35～0.4，硬度は3～10になった。そして2週間あとに行なわれた次回の測定のときには，密度は0.45～0.6，硬度は20～45にも増大していた。もっともこれは雪の表面近くの硬度で，内部には硬度2にも達しない所もあった。塩かための方が，素かためより却って効果が少ないが，その差は大きくない。しかし，水かための効果は格段で，密度も硬度も著しい増加を示した。ところが，第2回目に踏んだ雪は，中層が霜ざらめに変わっていて，素かため塩かためではどんなに踏んでも固まらない。硬度が，やっと0.5～0.6になっただけである。しかし水かためでは硬度3になった。それから1週間たって調べたときでも，素かため塩かための雪の硬度は2～3にすぎなかった。水かための雪だけは，硬度が11にのぼっていた。3回目に踏んだ雪も少し霜ざらめにかわっていた。しかし，このときは，どの踏みかたによっても雪はかたまり，1カ月後の次回の調査のときは硬度が20以上になっていた。ただ塩かための雪だけは成績が悪く，表面の硬度が5にすぎなかった。水かための雪の硬度は50～70もあった。

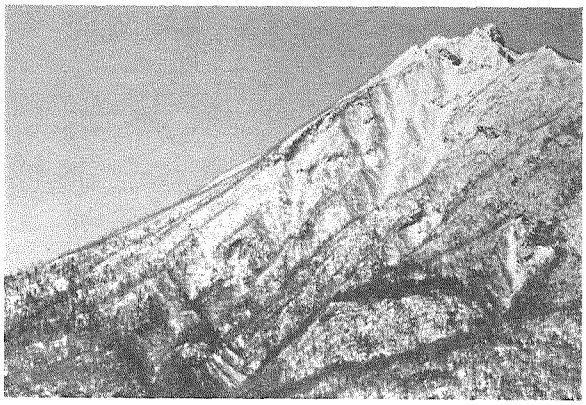
以上でみると，雪の固まりかたは，踏まれる前の雪の性質，踏みかた，踏んだあとの経過時間などによっていろいろに変わる。温度も大いに影響するにちがいない。競技に丁度よい雪に固めるにはどのように踏んだらよいか，さらに調べる必要がある。ただ，塩は使う値うちがなさそうであることと，踏んでから少なくとも1週間はおかないと雪は充分な固さにならないこととがはっきりした。実際，まえに述べた通り，3日前から踏みだした北の峯のアルペンスキー競技会用滑降路の雪は，競技にとって軟かすぎた。

2. 雪止めの実験

競技予定斜面の上部，いつもは風で雪が吹払われる所にも，ことしは30cmほどの雪がつもっていた。しかし念のため，簡単な吹雪防止柵を風上に立て，雪が飛ぶのを防げるかどうかの試験をおこなった。元来，吹雪防止柵はその下手に雪をためない為のものである。しかしへたをすると，逆に雪をためてしまう。今のばあいは，このへたにできた防止柵を集雪柵として使うことになる。

高さ60cm，長さ180cmの柵を33枚，適当に配置した。22枚は寒冷紗をはったもの，残りは幅9cmの板を，板の幅だけの隙間をあけて縦にならべ，打つけたものである。3月6日に柵をたて，3月19日に調べたら，木の柵の背後には，7mの長さにわたり平均23cmの厚さに雪が貯っていた。この期間に強い風が3回は吹いている。寒冷紗の柵は雪を貯めたり貯めな

かったりで，効果は不確かであった。風が相手であるから，1回や2回の試験で確かな判定はできないが，今回の試験結果からみるかぎりでは，板の柵に効果があると認めてよいと思う。



第7図　恵庭岳。左むきの斜面がオリンピックスキー滑降競技予定地

VI. 滑降競技予定地の雪

調査日　昭和43年2月22，23日。
場所　北海道恵庭岳

オリンピック冬季大会のスキー滑降競技は，支笏湖畔にそびえる海抜1320 mの恵庭（えにわ）岳の西斜面でおこなわれる。滑降路の道筋がきめられただけで，未だなんの手も加えられていない。この場所は，現在，行くにも不便で泊るにもよい所がない。それで今回は，ただ，自然につもる雪の性質を調べるだけに止めた。

滑降路は長さ2600 m，標高差750 m，平均斜度17°である。出発点，中間点，決勝点予定地の付近3箇所で断面観測をおこなった。斜面に直角な方向の雪の厚さは，上の観測箇所から下の観測箇所へと，それぞれ174，128，82 cmであった。山の雪の深さは場所によって変動が激しいから，この雪の厚さも見当をつけるのにしか役立たない。実際，出発点の観測箇所では厚さが174 cmもあったのに，そこから僅か10 mはなれた所に前から立っていた雪尺は，80 cmしか雪に埋まっていなかった。

出発点の雪は，厚さ70 cmの新雪表面層をのぞくと全部しもざらめであった。地面ちかくの霜ざらめは硬度1.2でまだしもだが，その上の霜ざらめの硬度は0.6にすぎない。中間点へさがると「霜ざらめ」と「しまり雪」または「ざらめ雪」との混合になる。しかし霜ざらめの比率は高い。下層の雪では，硬度が，まだ0.6～1.8の値を保っているが，上層の雪になると0.08のまことに小さい値にさがってしまう。決勝点でも，下半分は硬度0.3～1.8の霜ざらめである。その上に硬度2.4のしまり雪が重なっていた。

北海道の山の雪は霜ざらめになりやすいとはいえ，この恵庭岳の雪はその度合いが強すぎる。前章でのべた手稲山での経験が示すように，いちど霜ざらめになった雪は踏んでもなかなか固まらない。冬のはじめから踏つづければ，霜ざらめへの変換も防げるであろう。それにしても，これほどにも霜ざらめになりやすいのであるから，よほど用心しなければならない。

VII. リュージュ滑走路の調査

調査日　昭和43年1月9日。場所　北海道下藤野

リュージュ（luge）は木製の橇である。競技では，橇の全重量20 kg以内，幅48 cm以内に制限される。氷で内張りした長さ1000 mから2000 mまでの屈曲した溝のなかを時速80～

90 km で滑降する。滑降路の弯曲部では橇が外へ跳びだそうとするから，溝の外側の壁を高くしてそれを防ぐ。

札幌市の中心部から南 15 km の地点，下藤野の山間部に練習用の滑降路がつくられた。地面に溝を掘り，底と壁とに雪をスコップで叩きつけ，水をまいて自然の寒気で凍らせたものである。弯曲部では，溝の外がわの縁にそって木柵をたて，それに雪をスコップで叩きつけ水をかけた。しかし，水を吸って凍り氷化した雪は，2 cm から 5 cm の厚さの表面層にすぎない。この氷化層自体は，硬度が 220 もあって非常に丈夫である。しかし氷化層を下から，あるいは外側から支える雪の硬度は 0.75 しかない。皮だけは丈夫だが，中味は軟かいわけである。これでは，橇は氷化層を破り，転覆するであろう。はじめから氷を積重ねて作るのが最良であろうが，この方法で滑走路を作るとしても，表面の雪だけでなく奥深くの雪まで氷化させるよう工夫する必要がある。

VIII. スケート滑走路の氷

調査日　昭和 43 年 1 月 25～28 日，2 月 27 日～3 月 2 日。場所　北海道帯広市，長野県軽井沢

1 月 25 日から 28 日まで，第 23 回国民体育大会スケート競技会が帯広市で，また 2 月 28 日から 3 月 2 日まで第 36 回スピードスケート選手権大会が軽井沢スケートセンターでひらかれた。この機会を利用して，出場選手の意見を徴しつつ，滑りやすい氷とはどんなものかを調査することにした。

帯広市のスケート場は陸上競技場に水をまき，自然の寒さで凍らせて作ってあった。氷の厚さは約 7 cm である。軽井沢のは地面に冷却管を敷きつめ，その上に水を張って凍らせた露天人工スケート場である。氷の厚さは 10 cm である。帯広は寒く，朝 9 時の気温は −10℃ から −15℃ で，昼をすぎても −5℃ ぐらいにしか昇らなかった。これに比べると軽井沢は暖かい。スケート競技は，気温があまり昇らない朝早くから昼まえまでの間におこなわれた。それでも 10 時をすぎると気温はプラスになった。

人手を充分にまわせなかったので，この第 1 回調査では氷の組織の観察はおこなわず，氷の温度の測定に重点をおいた。そして，スピード競技用の氷の表面温度としては −2℃ と −3℃ とのあいだがよいという結論に達した。氷温がこれより昇ると急にわるくなり，さがると次第にわるくなる。しかし以下に説明するように氷温の測定に多少の欠陥があるうえ，氷にふくまれる空気の泡に関する問題が残っている。それゆえ，この第 1 回調査の結論は，こんごの調査研究により変更されるかもしれない。

1. 氷温の測定

元来，空気や氷のような透明体の温度を正確にはかることはむつかしい。透明体は日光を通過させて吸収しないため，日光自体によっては暖まらない。一方，寒暖計は不透明だから，日光を吸収し暖まる。したがって，寒暖計を読んでも，それは暖まった寒暖計自体の温度で，空気や氷の温度より高い。それで普通は，風通しのよい日蔭を作り，そこに寒暖計をおく。こうすれば寒暖計も日光を吸収しないから，寒暖計は正しい温度をさすであろう。ところが，ス

ケート場の氷では，この方法も適当でない。スケート場の氷は，空気の泡がまざっているため中途半端に透明で，日光をある程度吸収し，氷自体が暖まるからである。日蔭を作って氷の温度を正しく測っても，それは日蔭の氷の温度であって，スケート競技が実際におこなわれる日なたの氷の温度にはならない。

以上のことが予想されたので，寒暖計には，寒暖計だけが日蔭にはいるような小さな屋根をかけることにした。屋根といっても，幅5 cm，長さ30 cm のベニヤ板を横にして氷の上にたて，その上の縁から同じ寸法の板を水平にさしかけたものである。表側には，日光をよく反射させるため，アルミ箔をはった。しかし，こんなに小さい日蔭でも，寒暖計のまわりの氷の温度をさげるかも知れない。それで，すぐそばに，屋根をかけない寒暖計もおいて，両方の温度を比較した。屋根をかけない寒暖計の温度は高すぎるはずである。実際，屋根の蔭の寒暖計より約1°C 高い温度を示した。これから，小さな屋根のため氷の温度がさがるとしても，1°C はこえないことがわかる。おそらく0.1°C か0.2°C 低くなるだけであろう。

今までにおこなわれたスケート競技会の記録には氷温が記載されている。説明がないので，どのようにして測定した氷温か，はっきりは判らない。だいたいのところ，机を氷の上に横にねかせて大きな蔭をつくり，そこの氷温を測っていたらしい。1月末の帯広の競技会でも，そのようにしていた。この大きな蔭での氷温と，上の小さな蔭ではかった氷温とを比べると，大きな蔭の氷温は3°C から4°C もひくい。曇りの時はさほどでもないが，晴天の日にはその差が6°C にも達した。

結局，大きな蔭をつくるくらいなら，全然作らない方がよいことになる。蔭がなくても，まえにのべたように，寒暖計の温度は氷温より1°C 以上は高くならないからである。これは，空気とちがって氷は熱を導きやすく，寒暖計が日光から吸収した熱を速かに奪いさることによる。実際，表面から1 cm 以上の深さの氷温は，寒暖計に屋根をかけてもかけなくても，また日光を殊さらよく吸収するように寒暖計を黒くぬって測っても，ほとんどちがわない。しかし，表面温度をはかる寒暖計では事情がちがう。寒暖計の下がわしか氷に接触していない。それで，小さな屋根のあるなしで1°C の温度差がでる。

2. 表面氷温，内部氷温

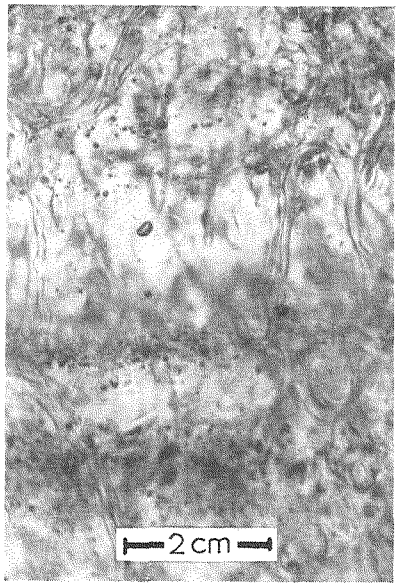
測ったのは氷の表面温度と，氷のなか1，5，10 cm の深さの温度とである。氷のなかの温度測定には曲管水銀寒暖計をつかった。表面温度の測定は，直径1 mm の鋼管にはいったサーミスターを表面すれすれに埋め，氷の膜をうすくかぶせて行なった。深さによって氷温はちがう。朝早くはそれほどでもないが，昼ちかくになると最高温度と最低温度との開きが5°C 以上にもなる。最高または最低温度になる深さは，ばあいによりいろいろに変わる。

まえに，スピード競技に最適の氷温は −2〜−3°C であるといったが，これは屋根つきサーミスターで測った氷の表面温度である。出場選手に，滑りやすさと氷の固さについての印象を問う質問票を渡して得た回答と，各選手の作った競技記録と，測定した表面氷温とを突き合わせてきめた最適温度である。競技主催者が発表した公式氷温も表面氷温である。これは，机で作った大きな日蔭に水銀寒暖計を横たえて測ったものである。まえにのべたように，この公式

氷温は，われわれの得た表面氷温より数度ひくい。

3. 氷のなかの泡

水を凍らせると，たいてい泡のはいった氷になる。水はかなりの空気をとかしこんでいるが，氷は全然空気をとかさない。それで，水にとけていた空気は押出されて泡となり氷のなかに散らばる。今回しらべたスケート場の氷も，かなり泡をふくんでいた。泡氷は日光を吸収して暖まるが，いちばん温度のあがるのは表面ではない。1 cm か 2 cm 深いところである。表面は日光を吸収しても，冷たい空気がすぐその熱を奪ってしまうからである。実際，1 cm の深さの氷温が表面氷温より 1°C か 2°C 高いときが多かった。



第8図　氷のなかの泡。一番すくないところでも，この程度に泡がある。泡は層をなして氷のなかにまざっている。うねった筋は単結晶氷のさかい目

氷は温度がのぼると弱くなる。それで，うえのような内部昇温があると，表面は固いがなかは軟かい氷になって，スケートの力がかかるとすぐ割れる。もっと具合のわるいのは気温が次第にのぼってゆくときである。表面が 0°C 近くになるころには，表面の下の氷はとっくに 0°C になっている。スケートは 1～2 cm の厚さの軟かい氷の上を走らなければならないことになる。極端ないいかたをすれば，ぬかるみを滑るのとかわらない。滑りにくいことはもとより，氷が全く荒れてしまう。

氷を荒らす原因はいろいろあるが，今回の調査で，内部昇温が原因のうちでかなりな比重をもつと観測された。内部昇温がなくても泡氷は透明氷より弱い。泡の少ない氷を張る工夫をする必要があろう。

IX. ま と め

回転，滑降スキー競技用の雪としては，高い山に局所的にできる硬化雪がもっともよいらしい。密度は 0.5 をこえ，硬度も 10 に近い。一応，この密度と硬度とを目標にして，雪を固めることを考えるべきであろう。ただ，硬化雪は山のなかでも気象条件が特別なところにできるものだから，人工的に硬化雪そのものを作りあげるのは困難とおもわれる。密度や硬度では硬化雪に劣っても，競技には適した組織構造の雪がありそうである。競技者の協力をえて，その種の雪をみつけだし，作りあげるのが得策であろう。

北海道の山の雪は脆い「霜ざらめ」にかわりやすい。このたび調査した場所の雪には，例外なく霜ざらめが認められた。ことに，スキー滑降競技予定地の恵庭岳では，発走点付近では雪全部が，決勝点付近では雪の下半分が霜ざらめに変わっていた。霜ざらめができると，なだれの危険が増すし，踏んでも雪はなかなか固まらない。霜ざらめへの変換を防ぐには，冬のはじ

めからスキーで走ったり踏んだりして，雪を押しつけるより他あるまい。

踏んで雪を固めるにしても暖い日ほど効果があがる。雪は踏まれると破壊するが，再び融合して固まる。この融合は温度が高いほど速く進むからである。冬のあいだでも，なん日に1回かの割あいで暖かい日がまわってくる。その時に雪踏みができるような体制を作ることが望ましい。

スピードスケート競技用の氷の表面温度は −2℃ と −3℃ との間が最も適しているとの結果をえた。これより温度が高いと急に滑りにくくなり競技成績はおちる。温度の低い方へむかっての悪くなりかたは徐々である。

氷温は，日射の与える影響に特に注意して測定した。氷の表面温度のみならず，いろいろな深さの温度も測定した。その結果，競技主催者が公式氷温として発表した氷温と，われわれの得た表面温度との間に 3～4℃，ひどいときは 6℃ にも達するくいちがいがでた。公式氷温の方がひくい。簡単でしかも正確な氷温測定法を考案中である。

スケート競技場の氷には空気の泡がまざっている。この泡のため，氷は日光を吸収して表面から 1～2 cm の深さのところで温度がのぼる。この内部昇温がおこると，氷は割れやすくなる。内部昇温がなくても，泡のある氷はもともと弱い。泡がなく適当な組織の氷を張れば，競技好適温度の幅は，もっと広がるであろう。

今回の調査に際しては，札幌オリンピック事務局，各種競技団体競技大会関係者，また各方面の方がたから御援助をうけた。深く感謝するしだいである。調査費用のある部分も，オリンピック組織委員会支出の調査費でまかなわれた。

Summary

The XI Olympic Winter Games are to be held at Sapporo in 1972. On request by the Organizing Committee for the Sapporo Olympic Winter Games, the Institute of Low Temperature Science commenced its study in 1968 on the physical properties of snow and ice suitable for the games. In this report are outlined the results of our preliminary studies from January through to March, 1968. The details will be given in papers written by our researchers later.

Snow was investigated at various places, and whether the conditions were favourable or not for the games was adjudged by the skiers who participated in the trial runs. According to their opinion, the best snow was *wind packed slab* found on one of the ridges at Mt. Asahidake (2290 m above sea level). This was 50 cm in thickness and extended over an area 20×100 m. It was evenly packed from top to bottom with a considerable hardness, adhering firmly to the frozen ground. The average density was 0.53 g/cm^3 and the average hardness was found to be 8 kg/cm^2 by Kinosita's hardness-meter. The snow was composed of numerous hard snow layers (2～3 cm thick) and numerous thin ice plates (2～3 mm thick) compacted together in layer formation.

The next best was found on paths leading to a skiing ground. In such places the snow is packed down by the constant passage of skiers from the beginning of the skiing

season. The snow was generally 40～60 cm thick and had a two-layered structure: the upper layer of hard compact snow and a lower layer of hard granular snow. The hardness was in excess of 4 kg/cm^2 on an average. The ground was frozen and the connection between the snow and the ground was strong.

A ski meet happened to be held on a slope near the above test ground. The snow was trampled down to a thickness of about one meter by one hundred high school students for three days before the meet. The layers in the lower half of the snow remained intact and the lowest layer was composed of depth hoars with many cavities in it. The ground was unfrozen. Such snow conditions are highly unsuitable for the Olympic Winter Games.

Depth hoars do not readily harden by trampling. It was an unwelcome finding to know that the natural snow on all of the slopes selected for the Olympic games were more or less converted to depth hoars.

The temperature of ice was measured during actual skating matches. The surface temperatures in a range of −2 to −3°C were found to be the best for speed skating: the participants obtained the best records at these temperatures and stated that the ice was in a favourable condition. On both sides of the above optimums, the condition of the ice became rapidly worse for increasing temperatures while becoming gradually worse for decreasing temperatures.

The surface temperatures mentioned above was measured by a thermister with a small shade for protection from sunshine. When the shade was removed, the temperature rose by a little less than 1°C. Sponsors of the skating matches measured the surface temperature with a mercury thermometer placed in large shadow behind a table. This temperature was 3～4°C lower than that of the thermister with a small shade. The large shadow may have cut off sunshine to such an extent that it brought about an undesirable cooling of the ice itself.

As an additional test mercury thermometers were buried at various depths in the ice. No difference was found in their temperature regardless of whether they were provided with small shade or not. The thermometers buried at a few centimeter depth often showed the highest temperature. This may be due to the absorption of sun heat by air bubbles dispersed in the ice. This internal heating caused the ice to weaken below the surface bringing about an aggravation in the ice condition which may result in the skates breaking the surface.