HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	手稲山における雪ふみ試験
Author(s)	黒岩, 大助; 若浜, 五郎; 藤野, 和夫
Citation	低温科學. 物理篇, 27, 213-228
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18113
Type	bulletin (article)
File Information	27_p213-228.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Daisuke KUROIWA, Gorow WAKAHAMA and Kazuo FUJINO 1969 Snow-hardening Tests at Mt. Teine Ski Area for Sapporo Olympic Games, 1972. *Low Temperature Science, Ser., A, 27.* (With English Summary p. 226)

手稲山における雪ふみ試験*

黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫
(低温科学研究所)

(昭和44年7月受理)

I. まえがき

昭和47年 (1972年) の1月下旬から2月上旬にかけて，冬季オリンピック大会が札幌で開催される。冬季オリンピックの主要な競技種目は，スキーとスケートである。これらの競技が円滑に行なわれ，オリンピックを成功させるには，競技場での雪，氷の状態が競技に適したものでなければならない。われわれは，札幌オリンピック組織委員会の要請をうけて，昨年度以来，オリンピック競技にとって最も適した雪，氷がどんな性質のものかを追究してきた[1]。スキーの滑降，回転競技を行なうばあいには，雪が軟らかすぎれば摩擦が大きくて滑降速度が小さくなる。逆に，雪が極端に硬いと，スキーのエッジが立たなくなって，回転が困難となる。従って，雪の硬さ，密度等の物理量がある値をとったときに，オリンピック級の選手にとって最も適したものとなろう。

昨年度は，競技に適した雪の性質を見きわめることに重点をおき，天然の硬い雪，あるいはスキー場の踏み固められた雪を調査した結果，次の結論をえた[2]。

(イ) 雪の密度が 0.45 g/cm^3 のていどで，
(ロ) 雪の木下硬度 (木下式硬度計による硬度) が 10 kg/cm^2 のていどであり，
(ハ) 雪は，あまり厚くないほうがよく，雪厚が 40 cm ていどあればよい。

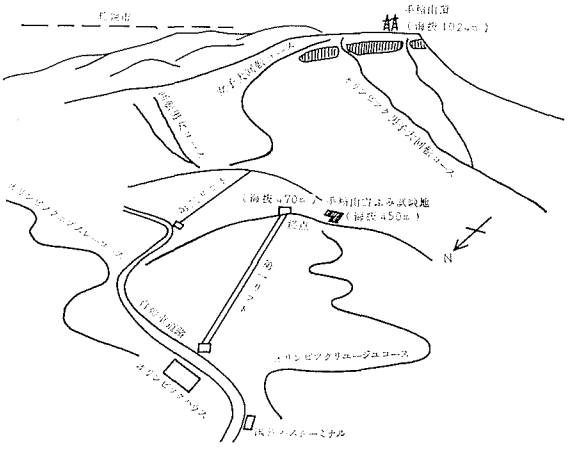
本年度は，このような雪を人為的に作り，しかも，それを長期間維持するには，どうすればよいか，という点に重きをおいて研究を進めた。

オリンピックのスキー競技が行なわれる手稲山の自然積雪は，1月はじめのころには，密度が 0.2 g/cm^3, 木下硬度が 100 g/cm^2 のていどである。従って，何らかの方法で雪を固めて，密度，硬度を増す必要がある。弱い雪に手を加えて硬くする実験は，従来，いくつか行なわれた。その結果，弱い雪の粒子間の連結を切って雪の粒子をばらばらにし，それをつみ重ねておけば，硬い強い雪ができることが知られた。雪にこの処理をほどこす方法として，機械 (たとえば，ブルトーザー，スノープラウ) を用いることと，人間が踏むことが考えられる。今年度は，先ず，人間が「つぼあし」で踏む方法と，スキーで踏む方法とを試みた。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第976号

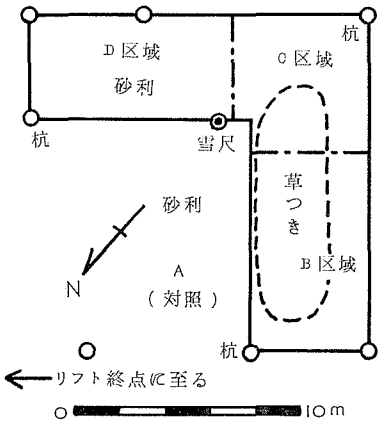
II. 雪ふみ試験地の概略と試験期間

上記のような雪ふみ試験なら，札幌市内，例えば北大の構内でもできるし，また，そうすれば，観測に最も便利である。しかし，気象条件，積雪状態等が，実際にオリンピックのスキー競技が行なわれる会場の条件に少しでも近い条件下で試験することが望ましい。そこで，オリンピックの回転，大回転競技が行なわれる手稲山の北斜面，手稲オリンピア第一リフトの終点から南西方約200 m の地点を試験地に選んだ。ここは，海抜約 450 m の，平坦開かつ地である。第1図は，手稲山北斜面一帯の俯瞰図である。その中に，雪ふみ試験地の位置も示した。実際のスキーコースは，斜度が 20～36° の急斜面であるが，試験がしやすく，人員資材および雪試料の運搬に便利な地に適当な斜面が得られなかったため，このような平坦地を選んだのである。



第1図 手稲山北斜面一帯の俯瞰図。オリンピックコースと雪ふみ試験地の地理的関係を示す

第2図 雪ふみ試験地の全景



第3図 雪ふみ試験地の略図

第2図に雪がつもる前にとった雪ふみ試験地附近の情景を，また，第3図には試験地の区劃を模式的に示した。南に向って逆 L 字型の試験地は，広さが約 125 m^2 である。破線で囲った部分は枯れた雑草で，それ以外は砂利で蔽われていた。雪の降る前に，試験地の各隅に高さ 3 m の赤ぬりの杭と，雪尺を立てた。この試験地を図の鎖線で示したように，B, C, D の3つの区域に分けて雪ふみと各種の測定を行なった。なぜ3つの区域に分けたかは，次の第 III 節でのべる。A と印した附近では，雪ふみ試験の対照として，自然積雪の状態を調べた。

雪ふみ試験およびそれに付随する作業を行なった期日と，参加者，天候状態，作業項目等を第1表にまとめた。

第1回の雪ふみは昭和 43 年 12 月 23 日に行ない，最終回（第8回）は同 44 年1月 31 日に実施した。このような日程で試験を行なったのは，主に次の理由による。第一に，実際のオリンピックは2月上旬に行なわれるので，1月末には，コースの雪は整備を完了していなければならない。第二には，従来の経験によると，雪を踏み固めて選手用のコースを作るには，雪が 20～30 cm つもる毎

第1表 雪ふみ試験実施表

	年月日	天候	作業	参加研究者
1.	昭和43年10月8日	くもり	試験地下見	黒岩大助，若浜五郎，藤野和夫
2.	11月26日	くもり	試験地測量 雪尺，杭立て	黒岩大助，若浜五郎，藤野和夫，八木鶴平
3.	12月23日	地ふぶき	第1回雪ふみ・断面観測	若浜五郎，小林大二
4.	12月26日	地ふぶき	第2回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	若浜五郎，藤野和夫
5.	昭和44年1月9日	雪	第3回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	黒岩大助，若浜五郎，藤野和夫
6.	1月20日	俄か雪	第4回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	若浜五郎，藤野和夫，八木鶴平
7.	1月24日	地ふぶき	第5回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	若浜五郎，藤野和夫，田沼邦雄
8.	1月25日	はれ	第6回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	藤野和夫
9.	1月28日	ふぶき	第7回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	藤野和夫
10.	1月31日	くもり	第8回雪ふみ 断面観測・雪試料運搬	若浜五郎，藤野和夫，八木鶴平
11.	2月1日	ふぶき	摩擦試験用のふみかため雪を大量に運搬	藤野和夫
12.	3月18日	はれ，くもり	断面観測・雪試料運搬	吉田順五，若浜五郎，藤野和夫

に，たんねんに踏み固めなければならないことがわかっているからである。そのためには，冬，根雪が20～30 cm の厚さになったら，すぐ雪ふみを実施し，その後も，あるていど雪がつもる度毎に雪ふみをしなければならない。この冬は，根雪になるのがおそく，雪がかなり積ったのは，やっと12月下旬にはいってからであった。それで12月23日に第1回の雪ふみを実施したわけである。2月上旬から3月中旬に至る間，1回も調査しなかったのは，筆者らが全員，オリンピックのための他の調査に出かけて，札幌にいなかったことによる。

同じ雪でも，いわゆる暖気が来て気温が高い時ほど，踏み固めの効果が大きい[3]。われわれも，このような機会が来るのを待っていた。しかし，今回の試験期間中は，その機会に恵まれなかった。

III. 雪ふみ試験の方法

すでに第3図の説明で述べたように，雪ふみ試験地は，B, C, D の3つの区域に分けた。これは，踏んだ雪の厚さをどのていどにすればよいかを調べる目的で，区域毎に雪の厚さを変えたためである。試験期間中，余分な雪があれば取り除き，雪が足りなければ加えて，踏み固

めた雪の厚さを，B 区域では 40 cm に，C 区域では 20 cm に保つようにした。D 区域は，雪の厚さをきめずに，積った雪をそのまま踏み固めた区域である。

この試験地は風が強く，雪がつもってもすぐ吹き飛ばされるため，有効降雪量が少なかった。実際に B 区域では 1 月 20 日になっても，踏み固め雪の厚さが 40 cm に達しなかった。それで，1 月24 日に，試験地周辺から雪を大量に運んで B 区域につみ上げては踏み固め，雪厚が 40 cm になるようにした。図版 I—1 に，このときの集雪のようすを示す。1 月 24 日以降は，かなり大量の雪が降ったので，厚さが 40 cm の踏み固め雪の上に積ったしんせつを，観測のたびに除雪した。

C 区域では，雪厚が 12 月 26 日に，すでに 20 cm をこえてしまったので，それ以後は，観測のたびに除雪した。

D 区域では，B, C 区域のように雪厚をきめずに，堆積した雪を毎回ふみ固め，集雪も除雪もしなかった。各区域の試験期間中における新積雪と，踏みつけ雪の厚さとは，後の第 6 図に示した。このほかに，第 3 図に A と印した附近で，雪ふみ試験の対照として，自然積雪の状態を調べた。

これら各区域について，第 1 表に示した日に，雪ふみ，断面観測等をおこなった。作業は，次の順序と要領で行なった。

(イ) 対照点における自然積雪深をよみとる。

(ロ) 雪ふみ試験区域内の新積雪深分布を測定する。前回ふみ固めた雪の表面上に積った新雪は，風で吹きとばされ易く，新積雪深は場所によって非常にちがった。たとえば，1 月 20 日には，1～15 cm, 1 月 24 日には 6～19 cm, 1 月 28 日には 21～44 cm の範囲に分布していた。

(ハ) 「つぼあし」で試験区域内の雪を充分よくふむ。前回踏み固めた雪は非常に硬くて，いくら強く踏んでも雪を踏み抜くことはできない。これに反して，その上に新たに積った新雪は弱いので，その層の底まで踏み抜くことはたやすい。しかし，よほど注意深く踏まないと，踏み残しの領域ができてしまう。図版 I-2 に，踏み残しの例を示した。踏んだあと，断面を作って，色水法で雪の構造を観察したところである。写真の右半分では，底までよくふんであるが，左半分の半ばから下には，成層構造がみられ，充分よくふんでないことがわかる。そこで先ず，図版 I-3 に示したように，6～7 名がスクラムを組み，横方向に「かに歩き」をする。この際，新雪層の底に至るまで雪を充分に乱し，組織を完全にこわしてしまうことが肝要である。この「かに歩き」を，左に右にくり返して実施し，踏み残しのないように努める。最後に，スキーをはいて，表面を平らに仕上げる (図版 I-4)。

(ニ) B 地区 (雪厚を 40 cm に維持) および C 地区 (雪厚を 20 cm に維持) では，雪厚が，それぞれ 40 cm, 20 cm 以上になったばあい，前述のように，その分だけ除雪して雪厚を一定に保つ。

(ホ) 対照点 A および B, C, D の各区域ごとに穴を堀り，それぞれについて成層構造，雪質を観察し記録する。雪温，密度，木下硬度，粒度を測定する。

(ヘ) 各区域ごとに，顕微鏡薄片用の雪の試料を採取し，低温科学研究所の低温実験室に運搬し，薄片を作る。

IV. 試験の結果

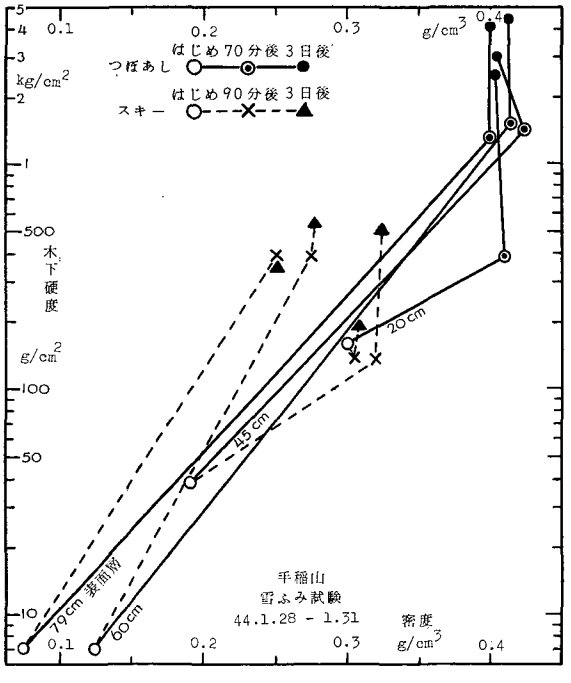
1)「つぼあし」による雪ふみと,「スキー」だけによる雪ふみの比較

自然積雪を人為的に踏んで雪をかためるばあい,「つぼあし」で踏んだのち，表面をスキーでならして仕上げる方法（これを単に「つぼあし」とよぶ）と，はじめからスキーでふむ方法（スキーふみ）とが考えられる。そこで，この両者の雪ふみをしたばあいに雪の性質におこる変化を比較した。

昭和44年1月28日，積雪深が79 cm の自然積雪について，このような雪ふみ試験を実施した。図版 I-5, 6 に，それぞれ，「つぼあし」と「スキーふみ」を行なった雪を，1月31日に切ったときの断面を示す。ただし，このうち 図版 I-6 は「スキーふみ」の断面写真で，地上 60 cm より上の層は，1月28～31日の間に積った「しんせつ」の層である。これら二種のふみ方によって積雪の構造がうけた変化の差異が明らかにわかるであろう。

これらの雪ふみを行なう前に，もとの自然積雪について行なった断面観測の結果は，後の第6図(a)の1月28日の欄にまとめてある。表面（地上79 cm）から，地上33 cm に至る間は，密度が 0.08～0.20 g/cm³, 硬度が 10～130 g/cm² のしんせつ，それ以下の層は，密度が 0.30 g/cm³, 硬度が 200 g/cm² 前後のしもざらめ，あるいはそれに近い弱い雪であった。

このような雪に「つぼあし」および「スキーふみ」を実施する前後における雪の密度，硬度の変化を，表面層（地上79 cm），地上60 cm，45 cm，20 cm の各層別に示したのが第4図である。縦軸は木下硬度，横軸は密度である。図の上部の凡例に示したように，白丸が雪ふみを行なう前の値を示す。この白丸と，中黒丸および黒丸とをつないだ実線が「つぼあし」，白丸と×印および黒三角形を結ぶ破線が「スキーふみ」のばあいの各層における密度と硬度の変化の過程である。中黒丸は「つぼあし」を実施してから70分後，×印は「スキーふみ」をしてから90分後の値である。



第4図　「つぼあし」と「スキーふみ」による雪の密度および硬度の変化を比較した図

「つぼあし」のばあい，地上45 cm から79 cm の表面層に至る「しんせつ」層の密度は，0.1 g/cm³ 前後から 0.40～0.42 g/cm³ に増大し，これに伴って木下硬度も70分後には，はじめの値の約200倍に当る 1.3～1.5 kg/cm² に達した。さらに，3日後の1月31日には，硬度が 3～4.5 kg/cm² に増大していた。これは時効硬化（age hardening）のため，つまり焼結作用が進行した結果と

考えられる。

これに対し，「スキーふみ」のばあいには，雪ふみの効果が「つぼあし」ほど顕著ではなかった。表面層 (79 cm) および地上 60 cm の層では，密度が 0.25 g/cm³ に，また，ふんでから約 90 分後の木下硬度は，はじめの値の約 60 倍に当る 400 g/cm² に増したにとどまった。3 日後の 1 月 31 日の測定でも，せいぜい 500～600 g/cm² ていどに増大したにすぎないことがわかった。

地上 45 cm の層では，スキーふみの効果は更に弱く，硬度がもとの 40 g/cm² から 140 g/cm² に増大したにとどまった。1 月 31 日には，これが約 500 g/cm² に増していた。

さらに下層の，地上 20 cm の層になると，「つぼあし」の効果もぐっと弱まり，硬度がはじめの 160 g/cm² から 70 分後の 400 g/cm² に増えたにとどまった。しかし，3 日後には，上層部の硬度に匹敵する 2.5 kg/cm² に迄増加していた。「スキーふみ」のばあいには，その効果が 20 cm の層にまでは全く及んでいないことがわかる。これは，90 分後でも 3 日後でも，密度，硬度とともに事実上増えていないことで判断できる。

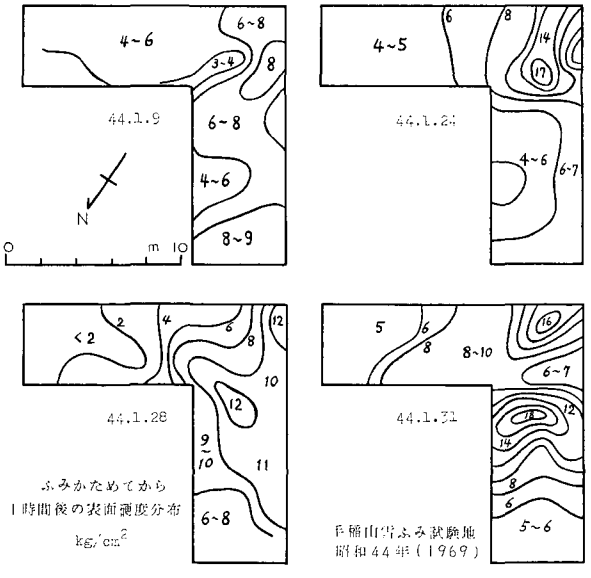
このように，「つぼあし」と「スキーふみ」とを比較すると，密度，硬度とも「つぼあし」の方がはるかに優れていることがわかる。これは「つぼあし」で雪をふみつける力約 700 g/cm² が，スキーの場合の約 150 g/cm² に比べて 5 倍も大きいからである。また，雪ふみの影響をうける範囲（影響圏）も，「つぼあし」では 79 cm の積雪全層に及ぶのに対し，「スキー」では，表面下 50 cm ていどまでにとどまり，それ以下では雪ふみの効果が全く現われない。

2) 「つぼあし」の雪ふみによる試験地積雪の密度と硬度の増加，および，それらの時間的推移

上にのべたように，手稲山雪ふみ試験地で，昭和 43 年 12 月 23 日から同 44 年 1 月 31 日までの間に，通算 8 回にわたって「つぼあし」による雪ふみを実施した。毎回，雪をふむ前に，新雪深の分布を調べた。次に，「つぼあし」で雪をかき乱しつつ充分によくふみ，さいごにスキーで表面の仕上げをした。

このように雪を踏み固めるのに要した労力は，1 m²，1 時間当り 0.07 人であった。つまり，1 人 1 時間当り 15 m² の雪ふみが行なえたわけである。但し，試験地は平地だったので，実際の斜面ではもっと多くの労力を要することは明らかである。

スキーによる仕上げを終ってから約 1 時間後に，踏み固めたばかりの表面について硬度分布を測定した。1 月 9 日，24 日，28 日および 31 日に得た



第 5 図 雪ふみを行なってから約 1 時間後に測定した表面の硬度分布。図中の数字は kg/cm² の単位で表わした木下硬度

値を用いて，等硬度線を引いて，第5図に示した。図中の数字は kg/cm² の単位で表わした木下硬度である。逆L字型の試験地の，曲り角の附近で硬度が大きく，両端附近で小さいのが目立つ。これは，主に，断面観測を両端附近で実施し，それに用いた雪の穴を埋め戻した後に充分よく踏まなかったことによる。勿論そのような場所で，次回の断面観測を行なうことはさけた。それにしても，第5図の硬度分布図をみると，硬度のばらつきがかなり大きい。最大値 16～18 kg/cm² から，最小値 4～5 kg/cm² まで大きな幅がある。これから，かなり意識的に踏んでも，なお硬さに大きなむらがあることがわかる。

表面硬度の測定がおわったのち，ふみ固めた雪および自然状態の雪（対照）について，断面観測を実施した。1月9日以後は，試験地を雪厚 40 cm に保つ B 区域，20 cm に保つ C 区域および，つもっただけそのまま踏む D 区域（蓄積区）に分け，そのそれぞれの区域について観測を行なった。1月31日の今年度最後の雪ふみのあと約1月半たった3月18日にも同試験地を訪れて断面観測を行なった。断面写真のうちのいくつかを，図版 I–7 から図版 III–24 まで掲げた。断面観測で得られた結果を，第6図 (a), (b), (c), (d) に夫々，対照，B, C, D 区域の順にまとめて示した。各図とも，横軸は日付，縦軸は積雪深を示す。以下，これらの図について簡単に説明しよう。

第6図 (a) は対照である。毎回の観測でえられた成層構造，雪質（国際記号），粒度（国際分類と記号による），表面雪温，密度および硬度が記入してある。$\frac{0.12}{(0.07)}$ などと書いてあるのは，上の数字が g/cm³ で表わした雪の密度，括弧内の数字が kg/cm² で表わした木下硬度である。日がたつにつれ，下層で発達したしもざらめ雪が，漸次中層部から上層部にさえ及んだことがわかる。最大密度，最大硬度は全積雪深を通じ，また1月末までの全期間を通じて 0.35 g/cm³, 0.56 kg/cm² である。全般的には，密度が 0.2 g/cm³ 前後，硬度が 0.2 kg/cm² 前後である。

次に，踏み固めた雪について，図 (b) の B 区域のばあいを例にとって説明しよう。左端に12月23日の欄がふたつあるが，左側が踏む前，右側が踏み固めた後の状態である。硬度 10 g/cm² の雪が，踏んだ後で，約 200 倍の 2 kg/cm² ていどの雪に強化されたことがわかる。12月26日以後では，各欄に，その日の積雪表面の位置を破線で示し，その近くに表面雪温を付記した。それを踏み固めてできた硬い雪の表面を，各欄に太い実線で示した。ただし，1月20日には，隣りの C 区域から新雪を B 区域に移動し，それも同時に踏んだ。さらに1月24日には，雪厚を人為的に 40 cm にするために，試験地の近くから大量の雪を B 区域に搬入して踏み固めた。1月28日，同31日には，逆に，踏み固めた硬い雪の上につもった新雪の大部分を除去し，雪厚がほぼ 40 cm になるようにした。

各欄の斜線をほどこした部分は，硬度が 5 kg/cm² 以上，二重に斜線をほどこした部分は 8 kg/cm² 以上の雪を示す。各欄の左側に，黒と白の棒を記入してあるが，黒い領域が，密度が 0.45 g/cm³ 以上，白い領域が 0.40～0.45 g/cm³ の雪であることを示す。雪質は，1月20日以降，下層部に「しもざらめ」，「こしもざらめ」が発達したほかは，すべて「かたしまりゆき」であった。

図 (c)，図 (d) は，それぞれ，雪厚を 20 cm に保った C 区域，および，つもった雪をそのまま踏み固めた D 区域についての図である。

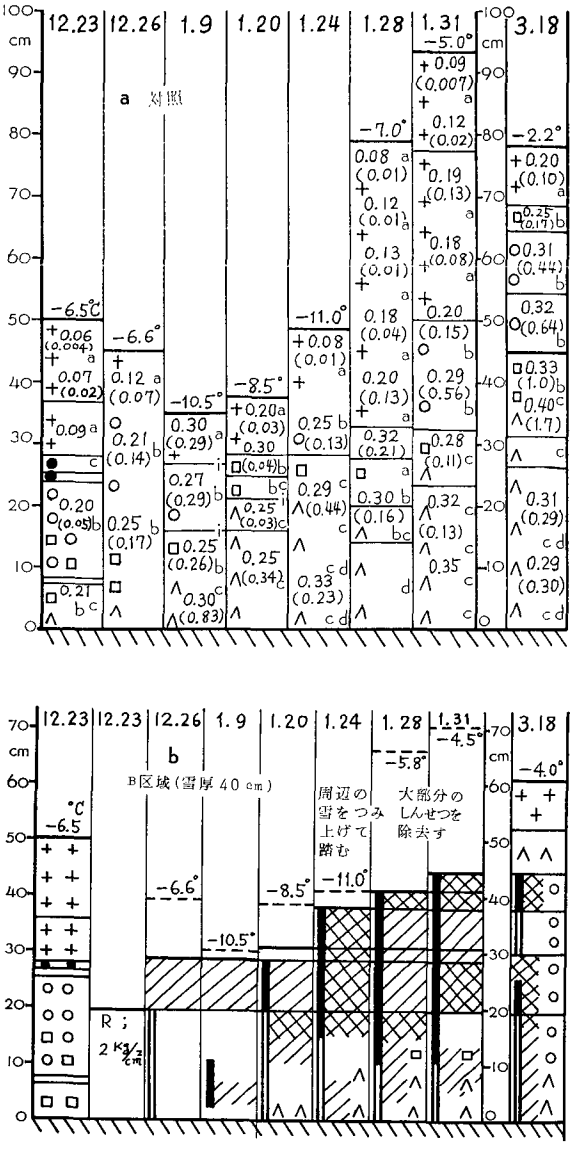
これらの図(b), (c), (d)を比較してみると，次のことが目につく。

(イ) これらのうちで，オリンピック選手にとって適当な硬さと密度とを最もよく保ったのは，図(b)に示したB区域である。つまり，雪厚を40 cmに保った区域が最も成績がよかったわけである。ついで，雪厚を20 cmに保ったC区域がよく，蓄積区であるD区域は最も成績がわるかった。

(ロ) 雪ふみ試験がおわった1月末日において，硬度が5 kg/cm² 以上の層の厚さは，B区域で25 cm，C区域で12 cm，D区域で6 cmであった。

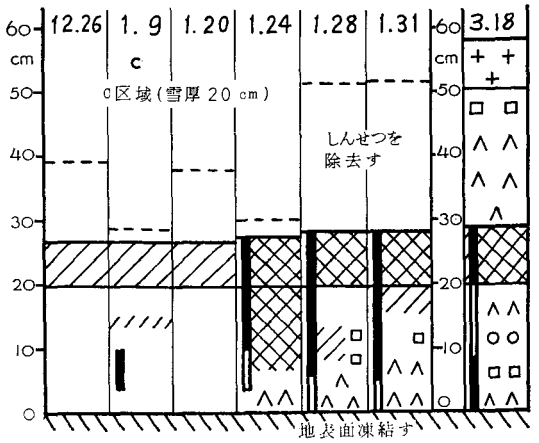
(ハ) 踏んだ雪は，日が経ったにつれて，いったんは硬さをますが，その後，しもざらめ雪の発達によって漸次弱まる傾向がある。

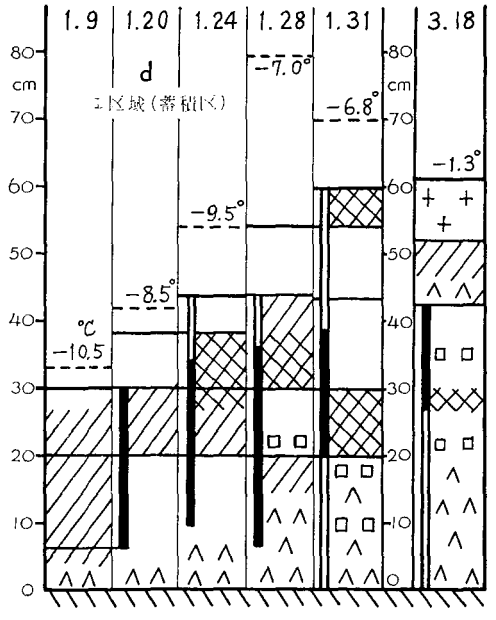
これら第6図(b), (c), (d)には，各区域ごとにおける密度，硬度，しもざらめ雪の発達等の全般的な状況が一目見ただけでもわかる利点がある。しかし，密度にせよ硬度にせよ，たとえば，5 kg/cm² 以上，あるいは0.40～0.45 g/cm³ といった表現を用いているので，具体的な正確な値を知るには不便である。そこで，雪ふみを実施した雪層の硬度が，時間の経過とともに，どのように変ったかを見てみよう。



第6図 雪ふみ試験期間中における各区域の雪質の変化図。(**a**); 対照，(**b**); 雪厚を40 cmに保ったB区域，(**c**); 雪厚を20 cmに保ったC区域，(**d**); 蓄積区であるD区域。各図とも，縦軸は地表面からの高さ，横軸にそって，12月23日から3月18日までの間に8回に亘って行なった断面観測の結果を示す。(**a**); 各観測日とも，成層構造，雪質(各欄とも左の端に国際記号で示す)，表面温度，粒度(各欄の右の端に国際記号す示す)および密度(単位はg/cm³)，硬度(kg/cm²，硬度の値は，括弧内の

第7図(a)には，12月23日に踏んだ雪の，地上19 cmと10 cmにおける硬度の時間的推移をまとめた。踏む前に0.01 kg/cm² の雪が，地上19 cmの層で2.0 kg/cm² (図の中黒丸)，10 cmの層で1.8 kg/cm² (図の三角印)に増大した。この19 cmの層は，12月23日には表面層だったが，第6図(b)を見てわかるように，その後，その上に雪がつもるにつれて，漸次，雪の中層部，さらに下層部へと推移した。たとえ





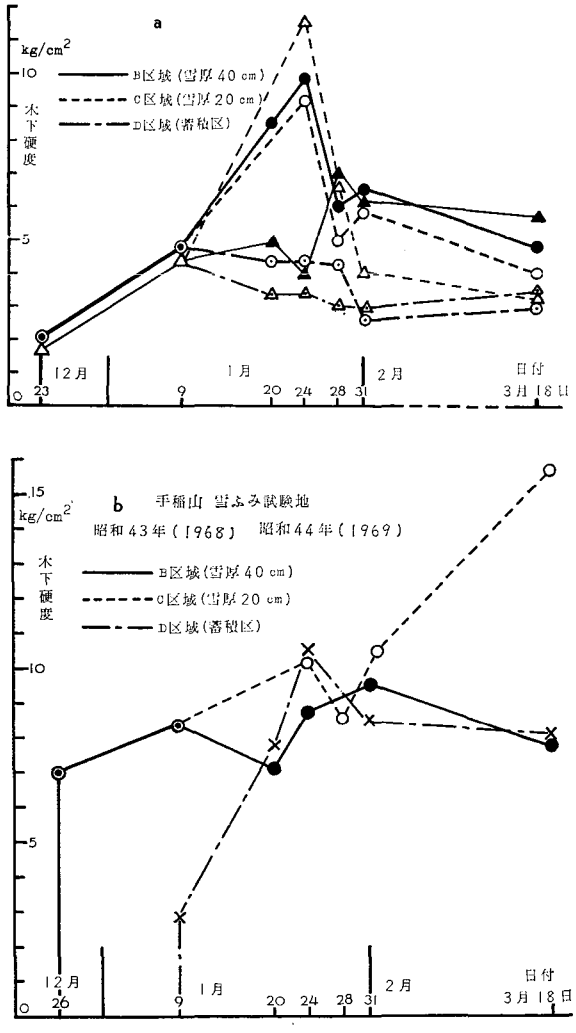
数字で示す) を示してある。図(**b**), (**c**), (**d**)で，破線はその日雪ふみを行なう前の雪の表面の位置，破線の近くに記した数字は雪の表面の温度をあらわす。各欄の左側に，白と黒で区分した細長い棒は，雪の密度を示すもので，白が 0.40～0.45 g/cm³，黒が 0.45 g/cm³ 以上の領域である。何も記入していない部分は，密度が 0.4 g/cm³ 未満の層である。また，各欄，斜線をほどこした部分は，硬度が 5～8 kg/cm²，二重に斜線をほどこした部分は，硬度が 8 kg/cm² 以上の領域である

保持していたのは注意に値する事実である。

ば，1月末日にはB区域で表面下 26 cm，C区域で表面下 10 cm，D区域で表面下 40 cm になったのである。

これら 19 cm 層，10 cm 層の硬度が，17日後の1月9日には，それぞれ 4.8 kg/cm², 4.3 kg/cm² に増大していた。1月20日以降は，B, C, D 区域に分けて測定したので，19 cm 層，10 cm 層の硬度線は，ともに3本に分かれている。たとえば，黒丸を太い実線でつないだのが 19 cm 層の B 区域での硬度の変化，白三角形を破線でつないだのが 10 cm 層の C 区域における変化を示す。また，第7図(b)には，12月26日に踏んだ雪の表面層(地上 29 cm)，および1月9日に踏んだ雪の D 区域における表面層(地上 30 cm)の硬度の時間的推移を示した。これらの図を見ると，12月23日に踏んだ雪の B, C 区域での表面層 (19 cm 層) は，1月24日に最大値の 10 kg/cm² に達したのちはいずれも減少し，3月18日には，いずれも 5 kg/cm² になっている。その下の 10 cm 層も同様の傾向をたどったことがわかる。

はじめは表面層だった 19 cm 層の雪も，10 cm 層の雪も，次第に積雪の深い部分となるにつれて硬度が漸減したのは，しもざらめが発達したことによると考えられる。事実，これらの層には，いずれも顕著なしもざらめが発達したことが，次にのべる顕微鏡薄片によっても確かめられた。しかし，自然積雪のしもざらめが非常に脆く弱いのにくらべて，ふみ固めた雪はしもざらめ化してもなお非常に硬く，つねに 3～4 kg/cm² の硬度を



第7図 雪ふみを実施したあとの硬度の変化図。(**a**); 12月23日にふんだ雪のうち，表面層(中黒の丸印)および地上10 cm附近(三角形印)の硬度変化を実線で示す。1月20日以降は，各区域ごとに分けて観測した結果を示す。(**b**); 12月26日にふんだ雪の表面層および1月9日にふんだ雪の表面層の硬度変化を示す

V. 顕微鏡薄片による踏み固め雪の組織の観察

第II節でのべたように，雪ふみを実施したそれぞれの区域から，雪の試料を切りだし，北大低温科学研究所の低温実験室に運び，アニリン薄片を作成した。薄片はすべて鉛直方向にそって切りだした。図版IV-25からVI-43に，これらの薄片の顕微鏡写真のうち，代表的なものを選んで掲げた。

1) 昭和43年12月26日の薄片組織

図版IV-25, 26, 27は，雪ふみをはじめた初期の12月26日に採取した踏み固め雪の組織である。そのうち，図25は，最上層の密度が0.06 g/cm³，硬度が約10 g/cm²の新雪を踏んでできた密度が0.39 g/cm，硬度が7.0 kg/cm²の硬い雪である。写真中央からすこし下に，水平にやや密につまった層がみられる。これは，踏みかたにあるていどのむらがあることを示している。

図26は，自然状態で地上25～29 cm附近にあったざらめゆきの層(第6図(a)参照)を12月23日に踏んでから，3日たった12月26日に採取した雪である。本来のざらめゆきの組織がほとんどそのまま残っているようにみえるが，密度が0.43 g/cm³，硬度が4.9 kg/cm²で，ふつうのざらめゆきよりは，はるかに硬い。

図27は，同じ12月26日，踏み固めた雪の下層部，地上10 cmから切り出した薄片の顕微鏡写真である。あちこちに，しもざらめ化した「こしもざらめ」がみられる。12月23日，この雪層を踏み固める前は，密度が0.20 g/cm³，硬度が53 g/cm²しかなかったものが，この薄片を作った時点では密度が0.43 g/cm³，硬度が4.0 kg/cm²になっていた。

2) 昭和44年1月24, 25日の薄片組織

図版IV-28, 29, 30は，1月24日に，試験地周辺から雪を掘り出してB地区につみ上げ，それを踏み固めてから1日おいて採取した雪の薄片の写真である。また，図版Vは，1月24日

に，雪厚を 20 cm に保った C 区域および蓄積区である D 区域から採取した薄片を示す。

これらのうち，まず，雪厚を 40 cm に保った B 区域の雪の薄片をみよう。図版 IV-28 は，この厚さ 40 cm の雪の表面附近から切り出した薄片である。この表面層の雪は，粒径が 1 mm ていどのかなり大きな粒でできていることがわかる。この雪の密度は 0.51 g/cm^3, 硬度は 12 kg/cm^2 であった。この薄片を切り出した前日の 1 月 24 日に踏み固めたばかりの雪なのに，このように粒子が大きい。これは，この雪が元来，試験地周辺の，主にしもざらめ雪からなる自然積雪を切り出してつみ上げ，踏み固めた雪だったからである。

図版 IV-29 は，地上 20～23 cm から切り出した雪の薄片である。各粒子はかなり角張って，こしもざらめに似てはいるが，密度が 0.46 g/cm^3，硬度が 15 kg/cm^2 の非常に硬い雪である。図版 IV-30 は，地上 5～10 cm の層から切りだした薄片の写真で，もともとは，前年の 12 月 23 日に踏み固めた雪である。図版 IV-27 は，これと同じ層から 12 月 26 日に切りだした薄片の写真であった。それから 1 カ月後の 1 月 25 日には，この写真にみられるように，かなりしもざらめ化したことがわかる。但し，しもざらめにも拘わらず，密度が 0.43 g/cm^3，硬度が約 4 kg/cm^2 の硬い雪であった。

雪厚を 20 cm に保った C 区域や，蓄積区である D 区域の雪を，今のべてきた B 区域と比べると，密度や硬度には大差がないにも拘わらず，その組織にはかなりの相違がみられる。

図版 V-31, 32, 33 は C 区域，同 34, 35, 36 は D 区域の，それぞれ，上，中，下層部から切りだした雪の薄片である。先ず，雪厚の薄い C 区域についていえば，表面層では，粒径が 0.5～0.6 mm の組織の中に，当日踏んだ新雪が混入している (図版 V-31)。密度は 0.46 g/cm^3, 硬度は 10.3 kg/cm^2 であった。この層の下，地上 10～15 cm の雪は，細長い粒子が上下に連なった組織のもので (図版 V-32)，一見するとしもざらめ雪に似ている。しかし，密度が 0.45 g/cm^3, 硬度が 10 kg/cm^2 の非常に硬い雪である。さらに下層の，地上 5 cm 附近の層は，薄片で見る限りでは (図版 V-33) 典型的なしもざらめ雪ではあるが，密度 0.41 g/cm^3, 硬度 4.7 kg/cm^2 の，かなり硬い雪である。

このしもざらめ雪を，さきに述べた B 区域の同じ深さの雪 (図版 IV-30) と比べると，同じしもざらめ雪でも，B 区域では，中のつまった結晶なのに比べ，C 区域では，がい晶が目立つ。これは両区域の雪厚のちがいによる雪層内の温度勾配のちがいに起因するのであろう[4]。平均の温度勾配は，B 区域での 0.26 ℃/cm に対し，C 区域ではその 2 倍の 0.50℃/cm であった。

次に，同じ 1 月 24 日の蓄積区である D 区域の薄片を調べてみよう。厚さが 43 cm の雪の地上 38 cm 附近から切りだした薄片の写真を図版 V-34 に示す。この層は，1 月 20 日に踏み固めた雪でできている。緻密な組織で，密度が 0.43 g/cm^3，硬度約 10 kg/cm^2 であった。

地上 25 cm の，密度が 0.47 g/cm^3，硬度が 6.5 kg/cm^2 の雪から切りだりした薄片の写真を図版 V-35 に示した。この雪はもともと，12 月 26 日に踏み固めた雪で，当時は図版 IV-25 に示したような組織だったのである。1 カ月の間に，粒子が粗大化し，多少角ばったことが目立つ。下層部には，しもざらめ雪がかなり発達していたが，硬度はやはりかなり大きく，3～4 kg/cm^2 のていどであった (図版 V-36，密度は 0.36 g/cm^3)。

3) 昭和 44 年 1 月 31 日の薄片組織

われわれは，今冬最後の雪ふみを1月31日におこなった。実際のオリンピック大会は，2月上旬に行なわれる予定だから，1月末日の踏み固め雪の組織がどんなものになっているかは非常に興味深い。断面観測の結果，B, C, D のどの区域でも，上半部を除き，下半部にしもざらめの発達が目立った。一例を雪厚 40 cm の B 区域で示そう。図版 VI-37, 38, 39 は，それぞれ B 区域の上，中，下層から切りだした薄片の写真である。1月25日の図版 IV-28, 29, 30 に比べて，上層部（図版 VI-37）の組織はあまり変化していないが，中層から下層にかけて，粒子の上下のつながりが目につく。特に，下層部（図版 VI-39）において顕著である。しかしながら，硬度には上中下層を通じてあまり大きなちがいがなく，上から 14 kg/cm², 9.5 kg/cm², 10.5 kg/cm² の値を示した。このように，積雪の組織が，かなりひどく変ったのに，その機械的な性質があまり変らないことは注目すべきことであろう。この問題は，圧密されて緻密になった組織をもつ積雪の変態と関連して，将来，さらに詳しく研究する予定である。

4) 昭和44年3月18日の薄片組織

2月はじめから，3月中旬に至る間は，われわれは，オリンピックのための別の仕事で札幌を離れていたため，手稲山雪踏み試験地のその後の調査はできなかった。しかし，1月31日以来，約1カ月半の間に，踏み固めた雪の組織がどのように変化したかを調べることは，踏み固め雪の維持という点でいろいろ参考になるであろう。そこで1月31日以来，自然条件下に放置されていた雪を，3月18日に調べてみた。この日に行なった断面観測結果は，すでに第6図にまとめ，また第2表にも掲げてある通りである。

図版 VI-40 は，雪厚を 40 cm に保った B 区域の1月31日における表面層附近から切りだした硬い雪の薄片の写真である。この層は，1月31日にふみかためた雪で，密度が 0.47 g/cm³, 硬度が 12 kg/cm² あり，1カ月半，放置しておいても，オリンピック選手の滑降や回転にまだ充分耐えることがわかった。これは，ひとつには，この層の上を，そのご積った雪が約 16 cm の厚さで蔽っていたことによるのかも知れない（第6図(b)参照）。

次に，図版 VI-41 は，同じ区域の地上 35 cm 附近の雪の薄片写真である。この層は，もともと，1月24日に試験地の周囲から掘りだしてつみ上げた雪の層で，前にのべた図版 IV-28 の写真に示したのと同じ層にあたる。粒径が 1～1.5 mm の，ややしもざらめ化した粒が目立つ。密度は 0.42 g/cm³, 硬度は 4.4 kg/cm² であった。

次に，図版 VI-42 は，雪厚を 25 cm に保った C 区域の地上 25 cm 附近の雪の組織を示す。密度が 0.49 g/cm³, 硬度が 16.0 kg/cm² の非常に硬い，緻密な組織の雪である。この薄片を切り出した3月18日には，この層の上に，約 30 cm の厚さの雪が堆積していたが，そのためか，ふみ固め雪の組織，硬さとも非常によく保存されていた。

蓄積区（D 区域）の例として，地上 42 cm 附近の顕著な層境界を含む雪の薄片写真を図版 VI-43 に示した。上方（写真の上では左方），粒子が比較的大きな層は，1月28日にふんだ部分，下方の粒子の微細な部分は1月24日にふんだ層である。上半部の雪の密度は 0.38 g/cm³, 硬度が 5.2 kg/cm², 下半部ではそれぞれ 0.52 g/cm³, 4.1 kg/cm² であった。

以上，B, C, D 区域を通じて，1月末にふみ固めたのち，約1カ月半，自然状態に放置しておいても，密度，硬度，組織ともに，大きな変化がなかったといえよう。

VI. ま と め

以上，手稲山雪ふみ試験地において行なった試験結果をのべてきたが，それをまとめると次のようなことがいえる。

1) 雪ふみは，先ずつぼあしで行ない，スキーでふんで仕上げるのがよい。スキーだけでふむのは，つぼあしに比べてふみ固めた雪の硬さ，ふみ固めの及ぶ深さの両方共成績がわるかった。

2) つぼあしでふむばあい，なるべく雪の層をかき乱し，できるだけ粒子間の結合を破壊するようにする。そうした方が，雪がより硬くなるからである。

3) 冬のはじめ，積雪深が 30 cm をこえるころに第1回の雪ふみを行ない，以後，20～30 cm つもる毎に，第2回，第3回と雪ふみを行なうのがよい。積雪深が 70～80 cm 以上になってから雪をふむと，雪にうまって踏む労力がかかるばかりでなく，雪を一様に踏むことおよび下層の雪までをふみ固めることがむづかしい。

4) ふみ固めるべき雪が，しんせつであろうと，しもざらめであろうと，つぼあしで踏んで，密度が 0.45 g/cm^3，硬度が 10 kg/cm^{2}ていどの硬い雪にすることはたやすい。われわれの試験地では，雪をこのように踏み固めるのに要した労力は 1 m^2，1時間当り 0.07 人であった。つまり1人，1時間当り 15 m^2 の雪ふみが行なえるわけである。但し，われわれの試験地は，平地であったので，実際の斜面ではもっと多くの労力を要することは明らかである。ただし，かなり注意深く一様に踏んだつもりでも，ふんだ雪の硬度等にかなりのばらつきがみられるので，踏み残しのないように努めなければならない。

5) このようにして踏み固めた雪の厚さは，全体で 40 cm 位にするのがよい。それより薄くすると，下層部に霜ざらめが発達して脆くなる傾向がみられ，逆に，それより厚くすると，労力がその分だけ余計にかかる。第6図にまとめたように，雪厚を 40 cm に保った B 区域で，密度，硬度とも，最も成績がよかった。従って，ふみ固め雪の厚さが，なかなか 40 cm に達しないときには，周辺の雪をかき集めてつみ上げ，それをふんで 40 cm になるようにすれば理想的である。雪厚が 40 cm になってから以後，その上に積った雪は，できるだけ除去するようにするのがよい。

6) 雪厚の大小によって，下層部にしもざらめが発達する度合がことなる。しかし，いずれのばあいでも，生じたしもざらめは，自然積雪の下層部に発達するしもざらめに比べると，はるかに硬い。自然積雪のしもざめの硬度が 200～300 g/cm^2 しかないのに比べ，ふみ固め雪がしもざらめ化したものでは，3～4 kg/cm^2 の硬度が観測された。

7) 12月下旬から1月末日まで通算8回に亘ってふみ固めた雪を，2月はじめから3月中旬まで自然条件の下に放置し，3月 18 日に断面観測を行なってその雪の変化を調べた。一般的に，硬度がわずか減少し，下層部のしもざらめ化が進んだほかは，大きな変化はみられなかった。

おわりに，この試験を実施するに当り，オリンピック科学技術委員会雪氷小委員会委員長吉田順五教授から終始，御指導をいただいた。また，低温科学研究所の雪氷研究グループの方

方から，いろいろと協力をいただいた。また，株式会社手稲オリンピアは快く試験地を貸して下さった。以上の方々に厚く御礼を申し上げる次第である。

なお，この調査に要した費用の一部は，オリンピック組織委員会から支出された。

文　献

1) 吉田順五 1968 札幌オリンピック冬季大会のための雪氷調査の解説．低温科学，物理篇，**26**，231–247.
2) 黒岩大助・他 1968 下藤野リュージュコース，北の峯アルペン競技コース及び大雪山アイスバーンの雪質調査．低温科学，物理篇，**26**，249–267.
3) 黒岩大助・若浜五郎・藤野和夫 1969 薬剤で処理した雪面および踏みかためた雪面のスキーの実走試験による動摩擦係数の測定．低温科学，物理篇，**27**，229–246.
4) 秋田谷英次 1968 しもざらめ雪の形成．雪氷，**30**，No. 5，25–31.

Summary

Based upon preliminary investigations conducted in the winter of 1967～68, the physical conditions of snow which are considered to be favorable for the Olympic Ski Games were proposed as follows: 1) the density and hardness of snow should be 0.5 g/cm^3 and 10 kg/cm^2 or more, 2) the total depth of snow should be maintained at 30 to 40 cm in thickness.

The snow found in the Teine ski area (450 m above mean sea level) is usually too soft and seems to be unsuitable for the Olympic slalom games, unless the snow is hardened artificially. During the winter of 1968～69, a number of tests of snow-hardening by trampling were carried out. The obtained results and further suggestions are as follows;

(1) The snow with our proposed conditions can be readily made by trampling even in the case of newly fallen snow or depth hoar.

(2) The trampling should be done in such a way that the texture of snow is completely crushed and recompacted. The surface of trodden snow should be smoothed with skis.

(3) Compression of snow with skis alone does not produce a suitably hard snow because of the lesser compressive force.

(4) The trampling should be applied from an early stage of settled snow, and should be repeated after every new snow fall to ensure the desired state.

(5) The thickness of hard snow should be maintained approximately at 40 cm or thereabouts in order to avoid melting at the interface between snow and ground.

(6) A rough estimation of the necessary man power for trampling was that one preson can work on approximately 15 m^2 of snow surface per one hour.

図 版 説 明

I— 1; 昭和45年1月24日，手稲山雪ふみ試験地B区域における雪あつめ作業

I— 2; 各人がばらばらに雪ふみをしたあとで雪を切って色水でそめた断面。雪の底までよくふんだ部分と，ふみ残しの部分とがはっきりわかる

I— 3; スクラムを組んでつぼあしで雪ふみをしているところ

I— 4; つぼあしでふんだあと，スキーで表面を仕上げているところ

I—5, 6; 昭和44年1月28日，積雪深が79 cmの自然積雪を，つぼあしでふんだ所 (I-5) とスキーだけでふんだ所 (I-6) とで，3日後の1月31日に断面を切って比較した。I-6の地上60 cmより上の雪は，1月28～31日の間につもった新雪層である。

I—7, 8; 昭和43年12月23日，第1回の雪ふみを行なう前の自然積雪 (I-7) と，それをふんだ後の積雪の断面 (I-8)

II— 9; 昭和43年12月26日，第2回の雪ふみを行なった直後の雪の断面 (写真左側) と，自然積雪の断面 (写真右側，スキーで多少乱されている)

II—10; 昭和44年1月9日，雪ふみを行なった直後の断面

II—11; 1月20日，雪ふみ後のB区域の断面

II—12; 同日，D区域 (畜積区) の断面

III—13, 14, 15; 1月24日にふんだあとを1月25日に切った断面。それぞれ，B区域，C区域，D区域の断面写真

III—16; 3月18日，B区域の雪の底，地面と接する部分の雪にみられたしもざらめ雪

III—17, 18, 19, 20; 1月31日，最後の雪ふみを行なったあとの断面写真。それぞれ，対照，B, C, D区域の断面である。ただし，III-20のD区域のは，雪ふみをする前の断面である

IV—21, 22, 23, 24; 最後の雪ふみを行なった1月31日から約1ケ月半，自然条件下にさらしたのち，3月18日に切った，それぞれ，対照，B, C, D区域の断面写真

IV, V, VI; これらの図版に掲げた写真は，すべて，ふみ固めた雪の層から鉛直に切りだした薄片を部分偏光でとった顕微鏡写真である。それぞれ，写真の上方が鉛直上方に当り，倍率もすべて同じ12倍である

IV—25, 26, 27; それぞれ，昭和43年12月26日におこなった雪ふみ後の表面層 (密度0.39 g/cm^3, 硬度7.0 kg/cm^2)，地上19 cm (密度0.43 g/cm^3, 硬度4.9 kg/cm^2) および地上10 cm (密度0.43 g/cm^3, 硬度4.0 kg/cm^2) からの薄片

IV—28, 29, 30; 昭和44年1月24日にふんだB区域の雪から切りだした薄片。それぞれ，表面層 (地上40 cm，密度0.51 g/cm^3, 硬度12 kg/cm^2)，地上21 cm附近 (密度0.46 g/cm^3, 硬度15 kg/cm^2) および地上8 cmの層 (密度0.43 g/cm^3, 硬度4 kg/cm^2) からの薄片である

V—31, 32, 33; 図版IVと同じ1月24日に，ふみかためたのちのC区域から切りだした薄片の写真。それぞれ，表面層 (密度0.46 g/cm^3，硬度10.3 kg/cm^2)，地上13 cm附近 (密度0.45 g/cm^3, 硬度10 kg/cm^2)，および地上5 cmの層 (密度0.41 g/cm^3, 硬度4.7 kg/cm^2) から切りだしたものである

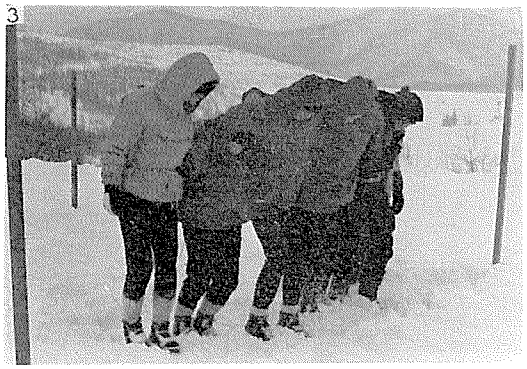
V—34, 35, 36; 図版 IV と同じ 1 月 24 日に，ふみかためたのちの D 区域から切りだした薄片の写真。それぞれ，表面近く（地上 38 cm，密度 0.43 g/cm^3，硬度 10 kg/cm^2），地上 25 cm（密度 0.47 g/cm^3，硬度 6.5 kg/cm^2）および地上 10 cm の層（密度 0.36 g/cm^3，硬度 3～4 kg/cm^2）から切りだした

VI—37, 38, 39; 雪ふみの最終日 1 月 31 日に B 区域の上，中，下層から切りだした薄片の写真。37; 密度 0.47 g/cm^3，硬度 14 kg/cm^2，38; 密度 0.45 g/cm^3，硬度 9.5 kg/cm^2，39; 密度 0.43 g/cm^3，硬度 10.5 kg/cm^2

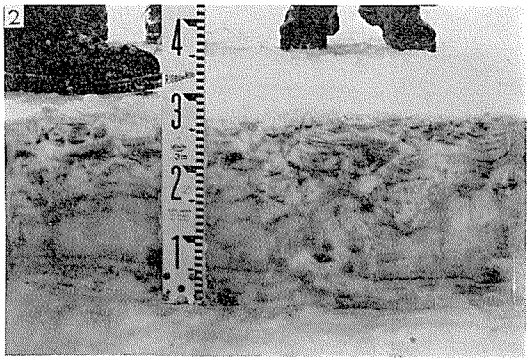
VI—40, 41, 42, 43; 1 月 31 日に最後の雪ふみを行なってから約 1 ヵ月半，自然条件の下に放置しておいた雪から，3 月 18 日に切りだした薄片の写真。40; 1 月 31 日における B 区域の表面層だった部分から切りだした薄片（密度 0.47 g/cm^3，硬度 12 kg/cm^2），41; B 区域の地上 35 cm の雪。もともと，1 月 24 日に試験地の周囲から積み上げた雪の層で，当時の薄片はすでに図版 IV-28 に示した。3 月 18 日における密度 0.42 g/cm^3，硬度 4.4 kg/cm^2。42; C 区域の地上 25 cm 附近の雪，密度 0.49 g/cm^3，硬度 16.0 kg/cm^2。43; D 区域の地上 42 cm 附近の顕著な層境界を含む雪の薄片。写真の上方，粒子が粗い部分は 1 月 28 日にふみ固めた部分（密度 0.38 g/cm^3，硬度 5.2 kg/cm^2），写真下方の粒子の微細な部分は 1 月 24 日にふんだ層である（密度 0.52 g/cm^3，硬度 4.1 kg/cm^2）

1

3

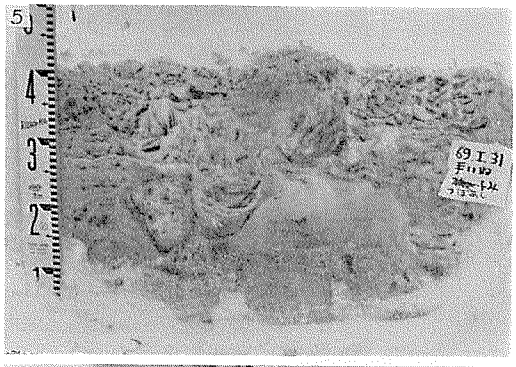


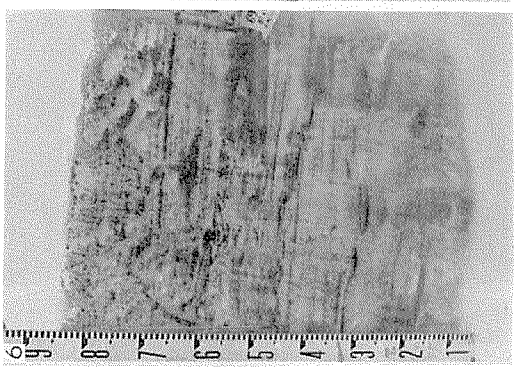
2



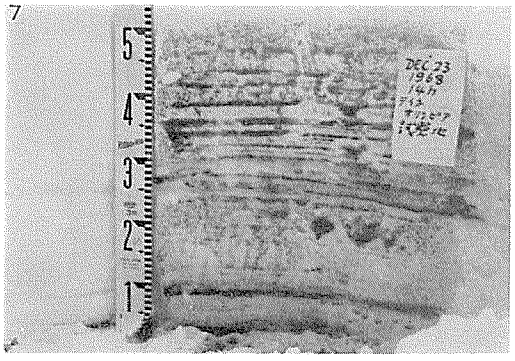
4

5

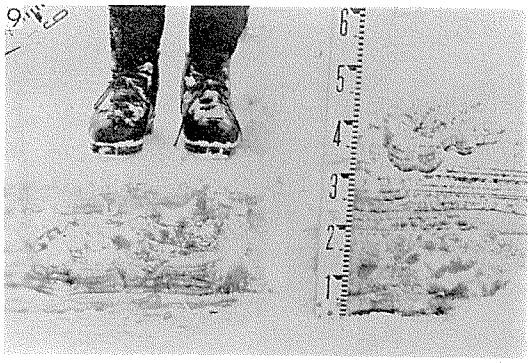


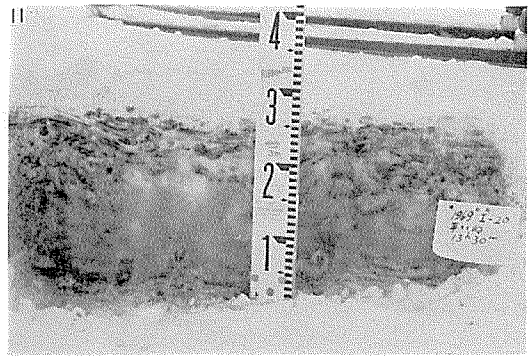


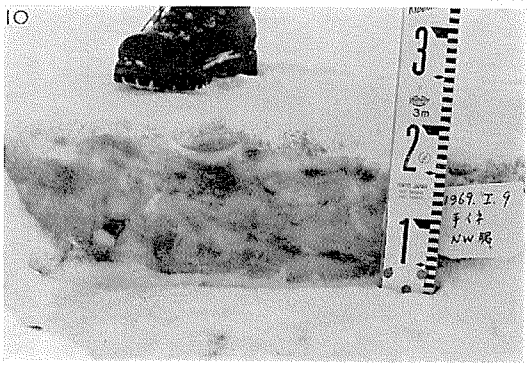
7

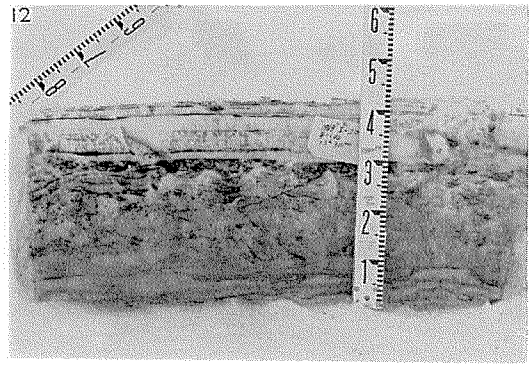


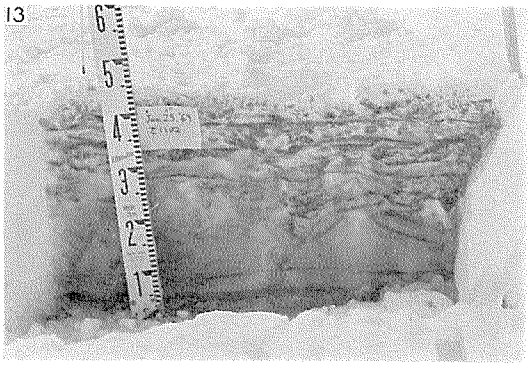
8

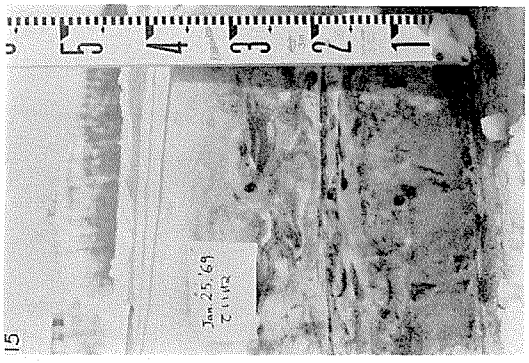

9

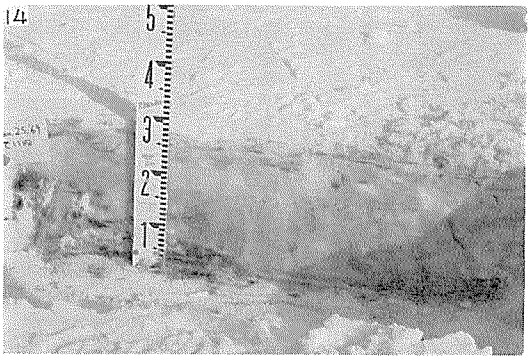

11

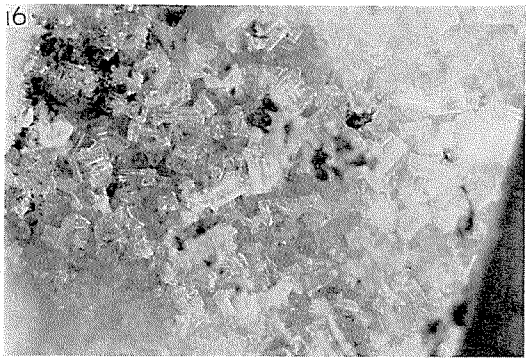

10


12

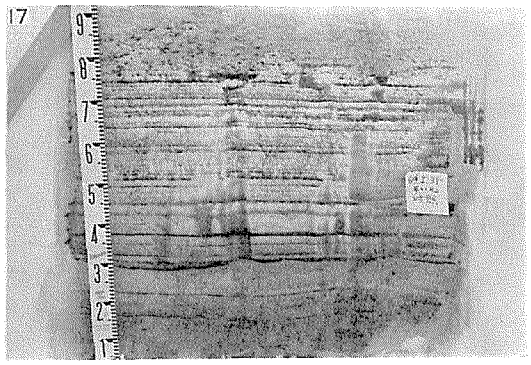

13


15

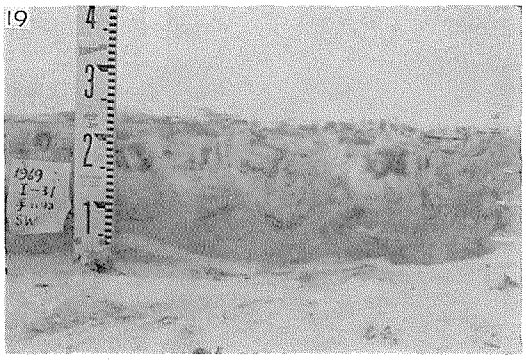

14


16

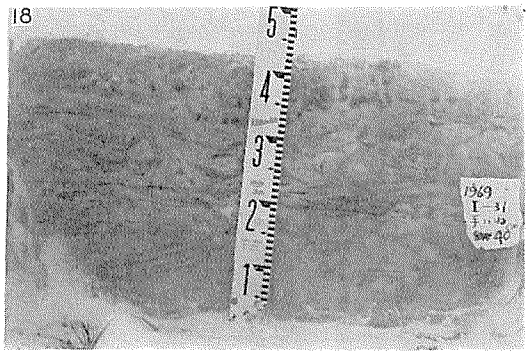
17



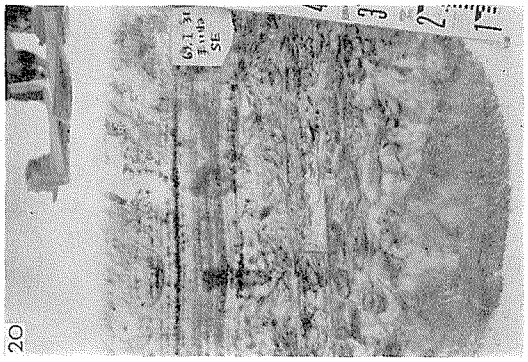
19



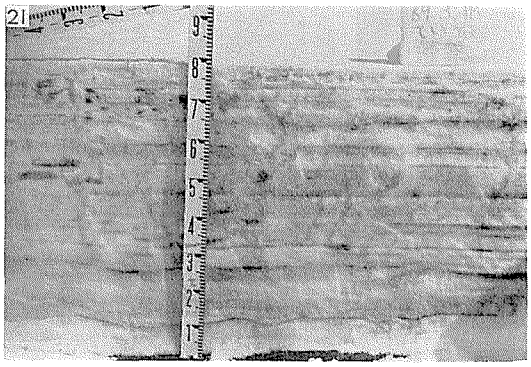
18



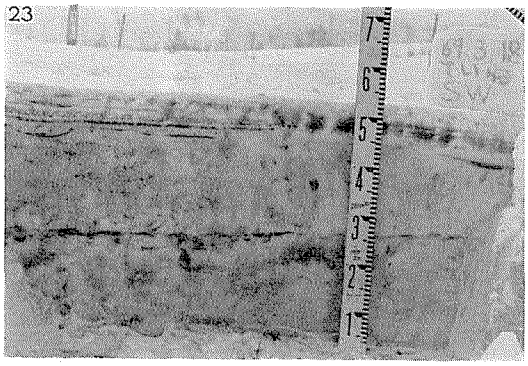
20



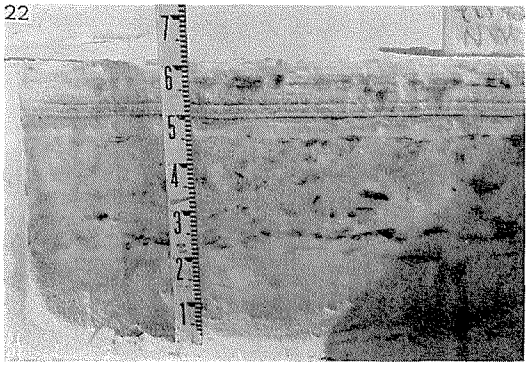
21



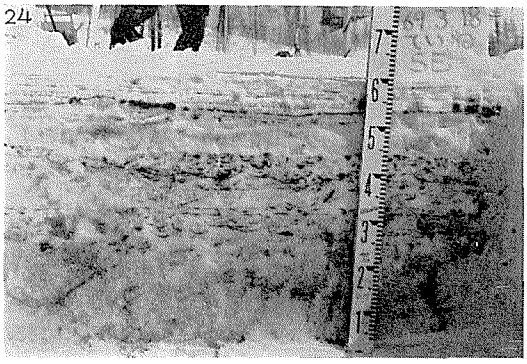
23

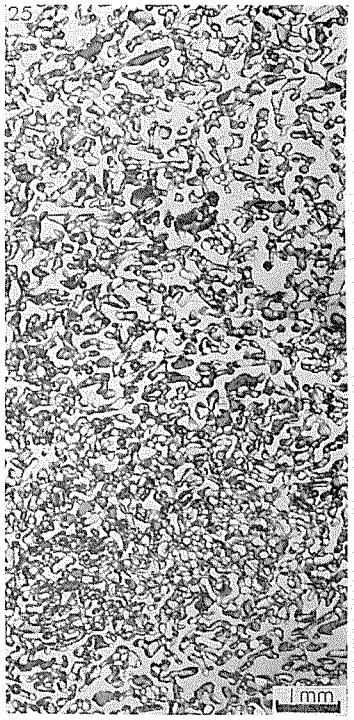


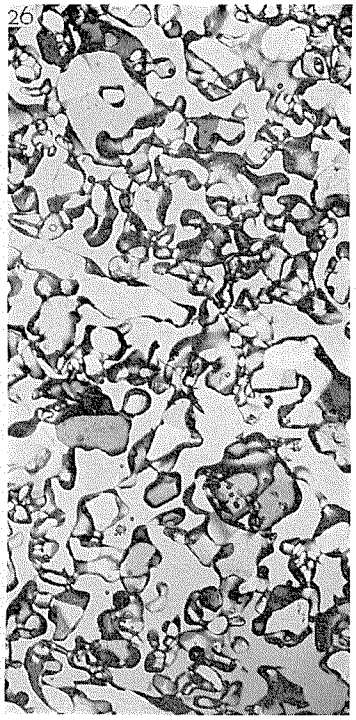
22

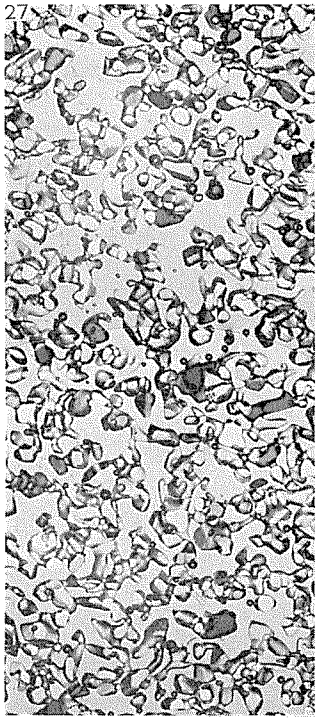


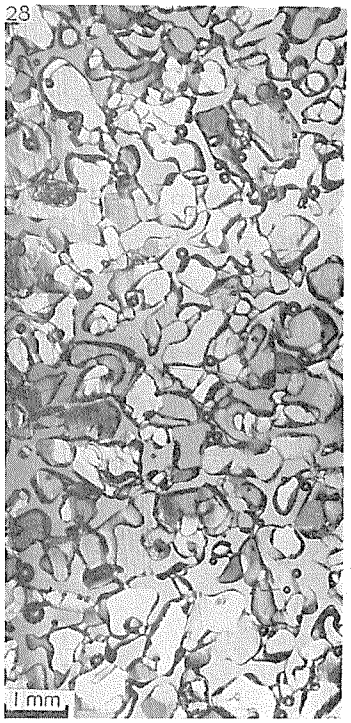
24



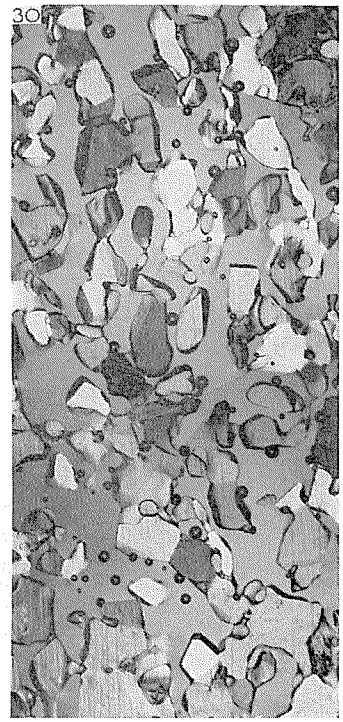

25
1 mm


26


27


28
1 mm

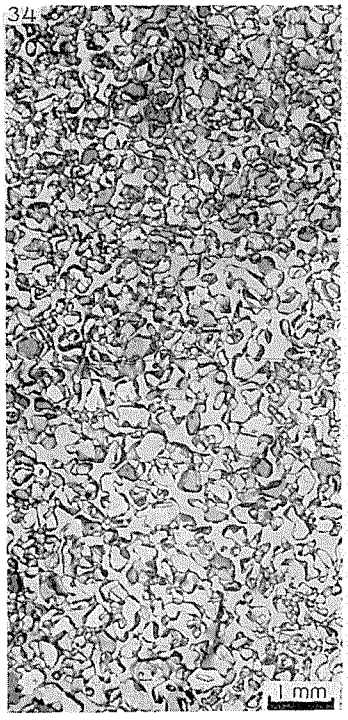
29


30

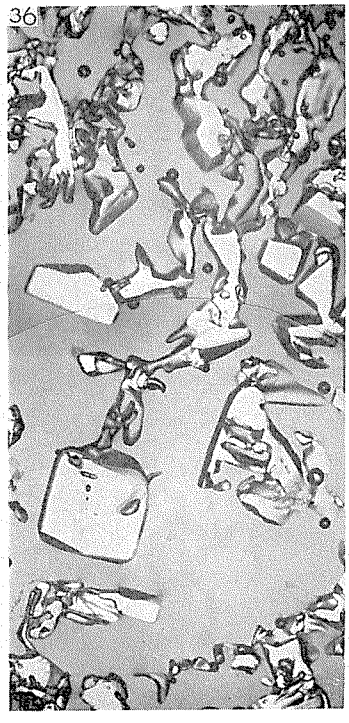
31
1 mm

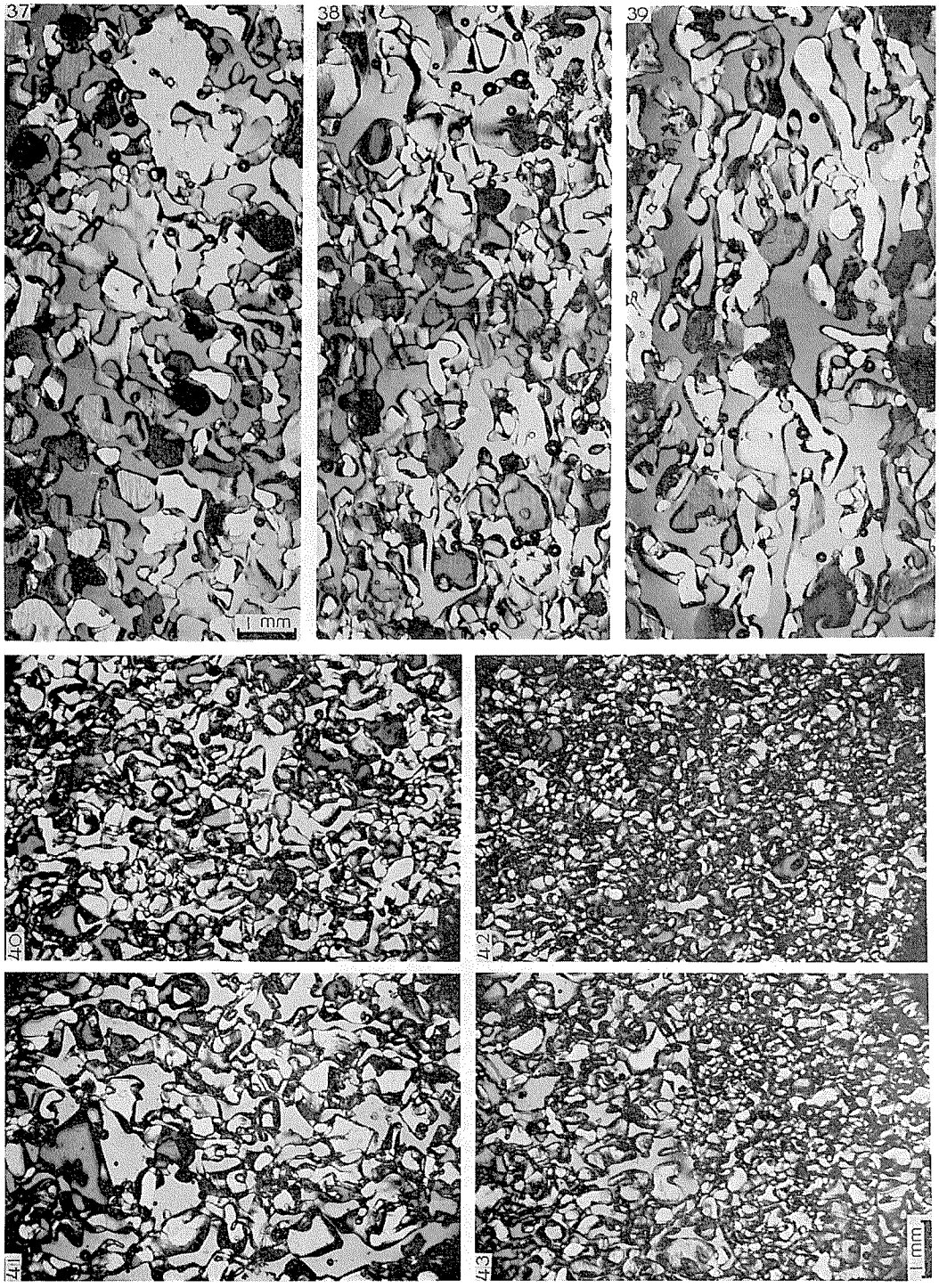
32

33


34
1 mm

35


36


37
38
39
1 mm
40
42
41
43
1 mm