HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	手稲スキー回転コースの雪踏み効果および集柵の効果
Author(s)	大浦, 浩文; OURA, Hirobumi; 小林, 大二 他
Citation	低温科學. 物理篇, 26, 277-296
Issue Date	1969-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18091
Type	departmental bulletin paper
File Information	26_p277-296.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Hirobumi ÔURA, Daiji KOBAYASHI, Shun'ichi KOBAYASHI, Renji NARUSE, Tosio HUZIOKA, Hiromu SHIMIZU, Eizi AKITAYA and Hideki NARITA 1968 Hardening of Snow by Trampling and Accumulation of Induced Snow Drifts by Fences Set Up along the Slalom Course at Mt. Teine. *Low Temperature Science, Ser. A, 26.* (With English Summary p. 295)

手稲スキー回転コースの雪踏み効果および集雪柵の効果*

大浦浩文・小林大二
小林俊一・成瀬廉二
(気象学部門)

藤岡敏夫・清水　弘
秋田谷英次・成田英器
(雪害科学部門)

(昭和43年10月受理)

I. まえがき

手稲山には札幌冬期オリンピック大会の男子大回転コース，女子大回転コース，男女子回転コースが作られることになっている。しかし，これ等のコースには種々の問題がある。その1つはここの雪質が競技に耐えられるかどうかであり，もう1つは，このコースの出発点附近に必要な雪が溜ってくれるかどうかである。

アルペン競技用の雪質は固い程よいというのが選手の意見である。それは固い程滑りがよいということと，多人数の選手がほぼ同一の条件で競技出来るという2つの理由からである。ところが手稲山の雪質は明らかに軟質であり，このままでは競技を行なうことが出来ない。どうしても人手を加える必要がある。どうせ人手を加えるものならば，最高の雪質にしたいと考えるのが当然である。しかし，この最高の雪質がどんなものであるかは数量的には全然わかっていない。つまり雪の粒子はどんな大きさで，どんな形をしているか，粒子間の絡りがどうなっているか，密度，硬度はどの程度がよいのか等の資料は全くない。温度は人工ではどうにもならないものであるが，しかしどの温度が最適か等の資料もほしい。この様な資料なしに今年は先ず雪踏みでどの程度の固さの雪ができるのか見当をつけてみた。

一方コースの出発点付近の雪は風で吹き飛ばされるので仲々積らないということをオリンピック委員会の人達から聞いた。しかし，1月末に現場を見たが結構30 cm程度の雪は積っていた。ただ地ならしが出来ていないので部分的にはずっと薄い所もあるようであった。ここでも問題が2つある。1つは地ならしをすれば30 cm程度の積雪で充分競技ができるのか，もう1つは積雪の絶対量が足りないのか，である。第1の問題は雪質との関係もあることなので，

* 北海道大学低温科学研究所業績　第933号

いまのところ回答できない。第2の問題つまり絶対量が足りないのならば，研究の余地がある。ここの地形ではコース側の斜面に向って吹きつける風は麓から上に向ってはい上る。その風が雪粒を運んで上方に吹くので山頂付近に適当な集雪柵を設ければ，その雪を推積させることができる。こうして積雪の不足を補うことができる筈である。

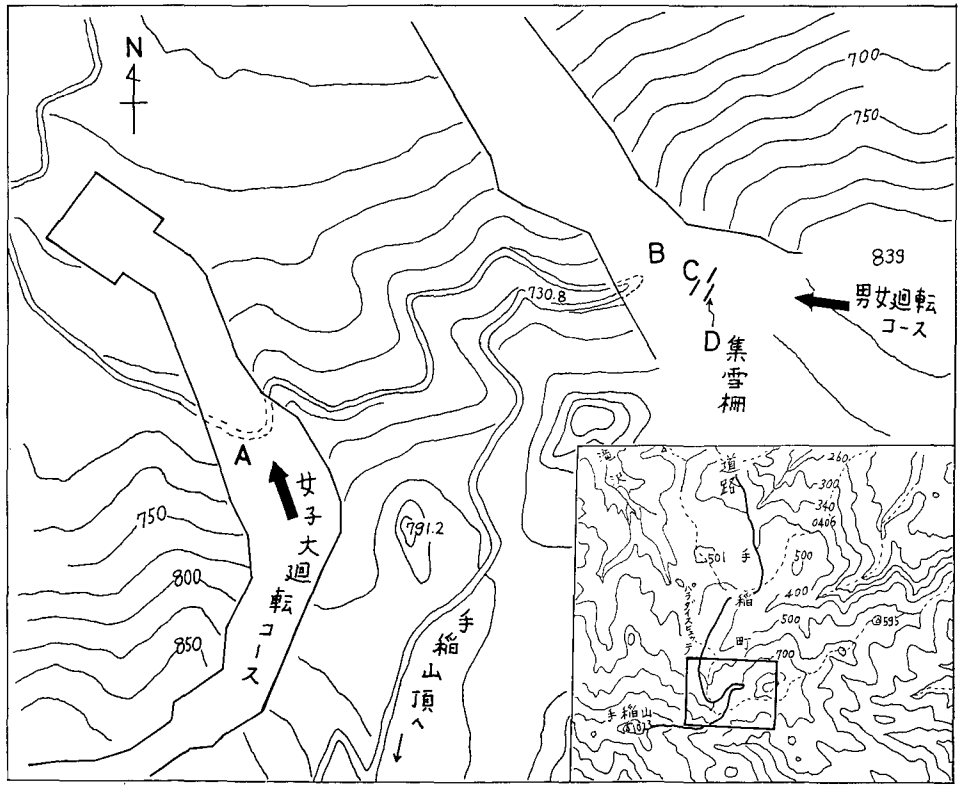
以上のように踏み固めの研究と，雪寄せの研究とを行なったのでその報告をする。

II. 雪踏み効果

男女子回転コースおよび女子大回転コースの雪を踏み固めたときの実験結果を示す。実験の日程は第1表に示すとおりである。

第 1 表

	雪踏み日	調査日	場所
1	昭和43年1月23日	2月6日	女子大回転コース 第1図 A 点
2	2月6日	2月14日	男女子回転コース B 点
3	2月14日	3月19日	〃 C 点



第1図 踏み固め地点，集雪柵設置点の地図

A, B, C: 踏み固め試験地点 D: 木柵，寒冷紗柵設置点

雪踏み試験には1×1 m 程度の面積3カ所を用意し,

(1) 積雪をそのまま踏み固める方法

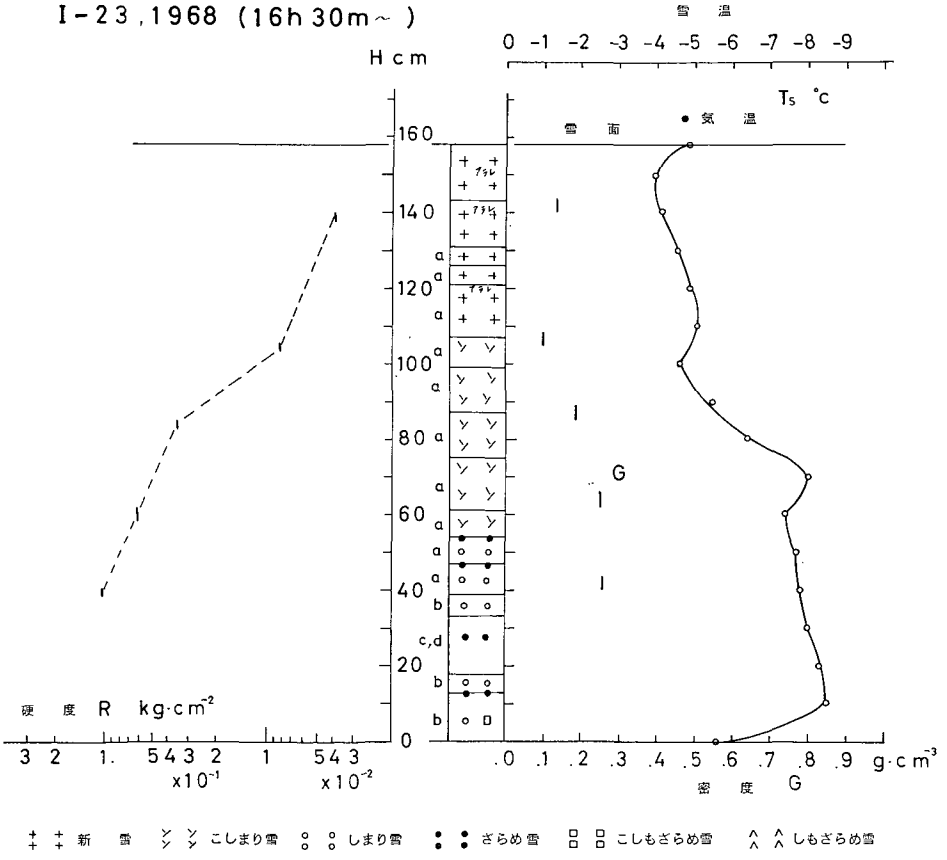
(2) 約10 l の水を散きながら踏み固める方法

(3) 約1.2 kg の塩を播きながら踏み固める方法

の3種の方法を採用した。踏み方は約60 kg の体重の者がスキー靴で1カ所を約20回踏んで固めた。踏み固めて1週間後，または1カ月後に効果を確かめるため垂直断面を作り，温度・密度・硬度（木下式硬度計による）を測定した。又その部分の雪粒同志の結びつきを調べるため，そこの試料から薄片を作り顕微鏡で観察した。

II-1 女子大回転コース

試験地は女子大回転コースが手稲山登山自動車道路と交叉する所で,（第1図A点）1月23日に踏み固め，2月6日に断面測定をした。1月23日の積雪深は160 cm で，そのときの温度・密度・硬度・雪質は第2図に示してある。踏み固め作業の内容および結果の概略を第2表に示してある。



第2図　女子大回転コース A 点（第1図）での自然のままの雪温・密度・硬度・雪質。昭和43年1月23日写す

第 2 表

	踏み固め作業*	平均沈下 (cm)	作業直後の雪面 密度 (g/cm³)	作業直後の雪面 硬度 (kg/cm²)	2 週間後 密度** (g/cm³)	2 週間後 硬度** (kg/cm²)
# 1	素踏み (20 回, 約 15 分)	40	0.36	10	0.37	35
# 2	素踏み 10 回 水 5 l/m² 散布 更に 3 回踏みこみ	40	0.36	3.2	0.45	45
# 3	素踏み 10 回 塩 1.2 kg/m² 散布 更に 10 回踏みこみ	40	0.39	3.2	0.42	21

* 体重 60 kg の者がスキー靴で行なった

** 最高値を示す。第 6 図, 第 7 図, 第 8 図参照

註 # 2 (水処理) では, 更に左半分に水 10 l を散布した。そこは 17 l/m² となる

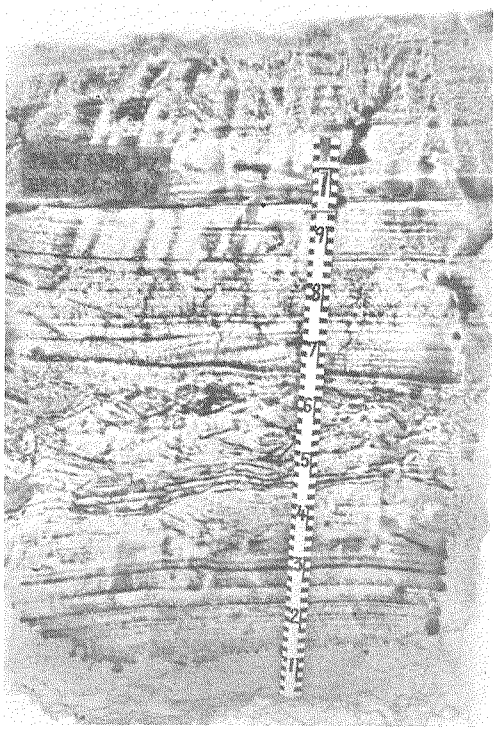
こうして踏み固めた所を 2 週間後の 2 月 6 日に調べた。第 3 図, 第 4 図, 第 5 図はその時の断面写真で, 第 6 図, 第 7 図, 第 8 図はその時の密度・硬度である。ここでの雪温の測定は無いが, ほぼ 1 時間前の測定 (第 13 図参照) から −2〜−4°C であったと考えられる。自然状態で硬度が 1 kg/cm² 以下であったものが (第 2 図), 踏み固め直後に 3〜10 kg/cm² になっている (第 2 表)。更に 2 週間後には最も硬い所が #1 で 35 kg/cm², #2 で 45 kg/cm², #3 で 21 kg/cm² になった (第 6 図, 第 7 図, 第 8 図)。何れも踏み固め層の上層は硬いが, その厚さはきわめて薄く, 下層では硬度が急激に小さくなっている。

また積雪の薄片を第 9 図, 第 10 図, 第 11 図, 第 12 図に示す。第 9 図は 1 月 23 日の踏む前の状態, あとの 3 つは踏み固めた箇所の 2 月 6 日の状態である。素踏みのもの, 塩を加えたものの 2 つは, 同じ大きさ, 形の粒子が詰っているだけであるが, 水を加えたものは粒度が大きくなっているばかりでなく, 粒子間に浸入した水が凍って大きな塊になっているところに特徴がある。

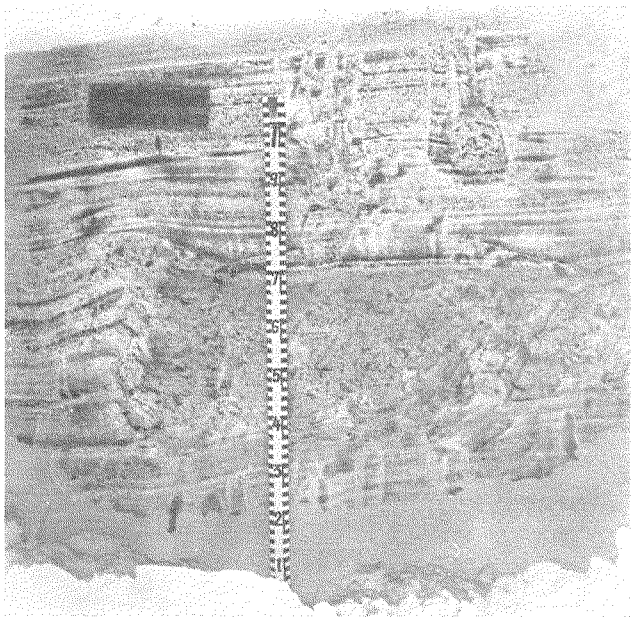
II-2 男女子回転コース

2 月 6 日に男女子回転コースの出発点下部 (第 1 図 B 点) で踏み固めを行なった。踏み固めるまえの積雪の断面写真が第 13 図であり, その状態での雪温・密度・硬度・雪質が第 17 図に示されている。踏みかため作業の内容および作業直後の密度・硬度, それに 1 週間後つまり 2 月 14 日の硬度の最高値を第 3 表に示してある。2 月 14 日の断面写真は第 14 図, 第 15 図, 第 16 図に, 温度・密度・硬度と深さとの関係は第 18 図, 第 19 図, 第 20 図に示してある。中層にしもざらめ層があったため, 又斜面が 30° ないし 35° 程度であったため, 踏むたびに雪が崩れるので踏み固め作業はあまり入念に行なわれなかった。

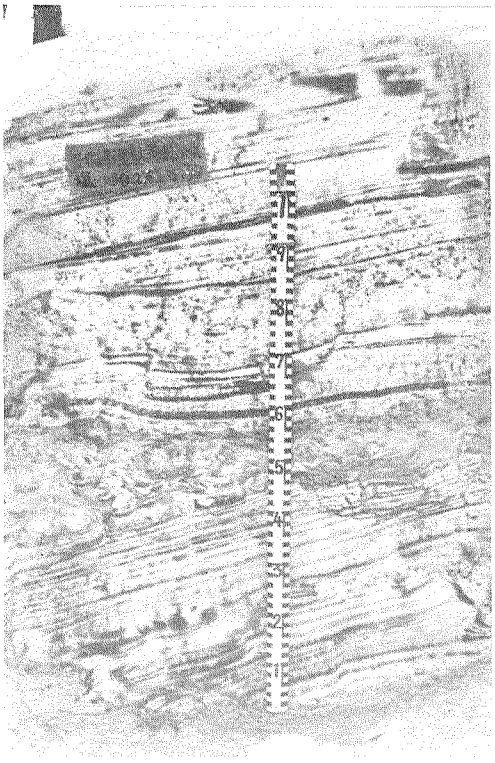
2 月 14 日には, このコースのもう少し高い所第 1 図 C 点で踏み固め作業を行なった。其所の断面写真を第 21 図に示す。積雪深は約 68 cm である。踏み固め作業内容を第 4 表に示す。硬度の測定を 3 月 19 日に行なったのでその結果を第 22 図, 第 23 図, 第 24 図に示す。踏み固



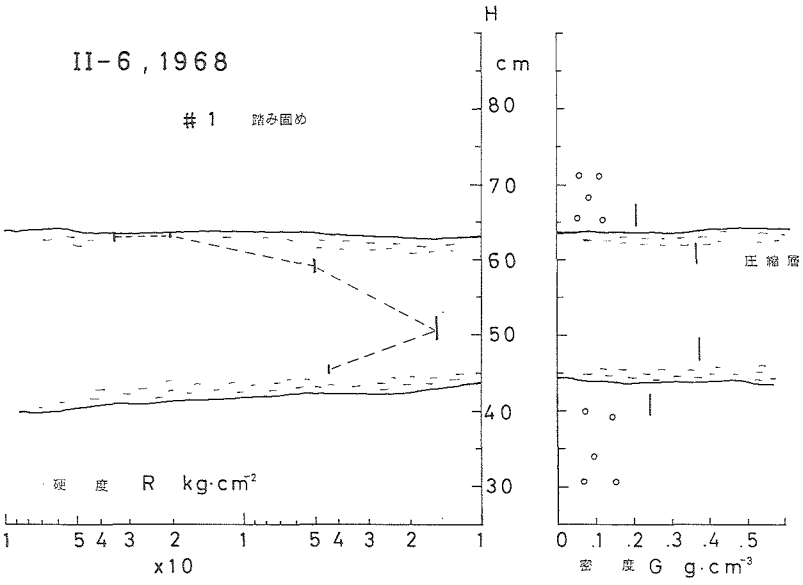
第3図　踏み固めて2週間後。添加物の無い場合。
A 点にて。昭和43年2月6日写す



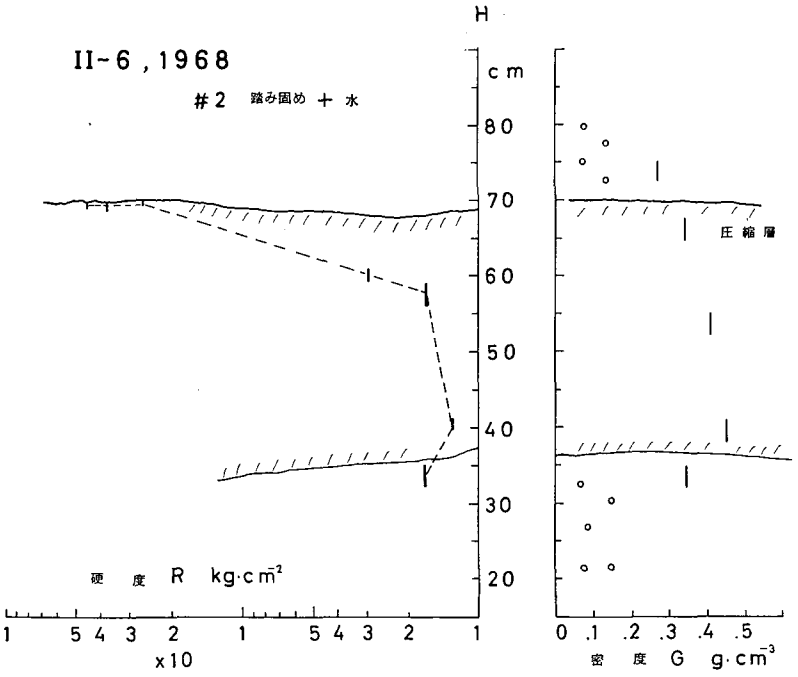
第4図　第3図に同じ。ただし水を添加の場合



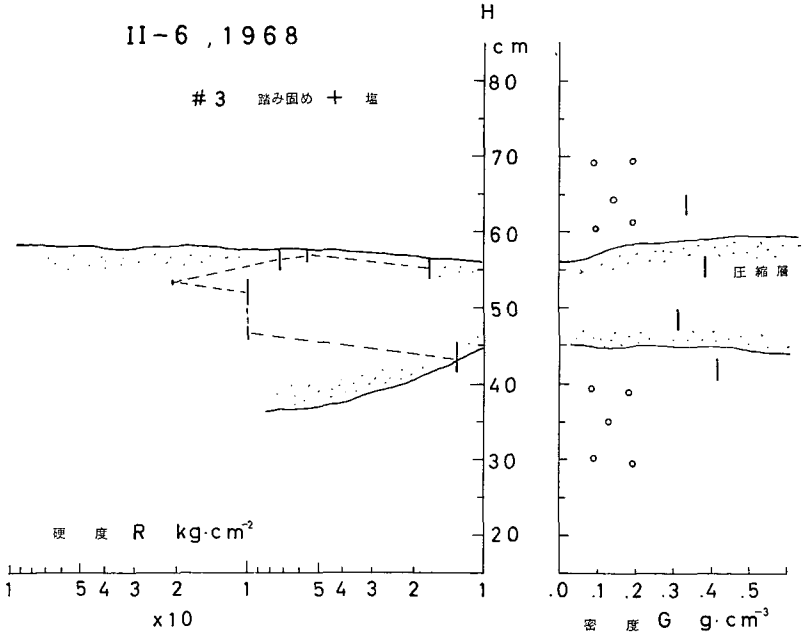
第5図 第3図に同じ。ただし塩を添加の場合



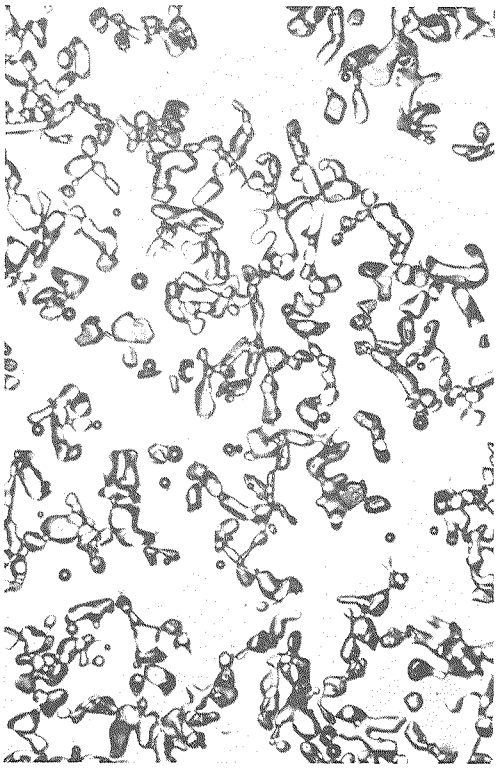
第6図 第3図にみられる積雪の密度・硬度・雪質



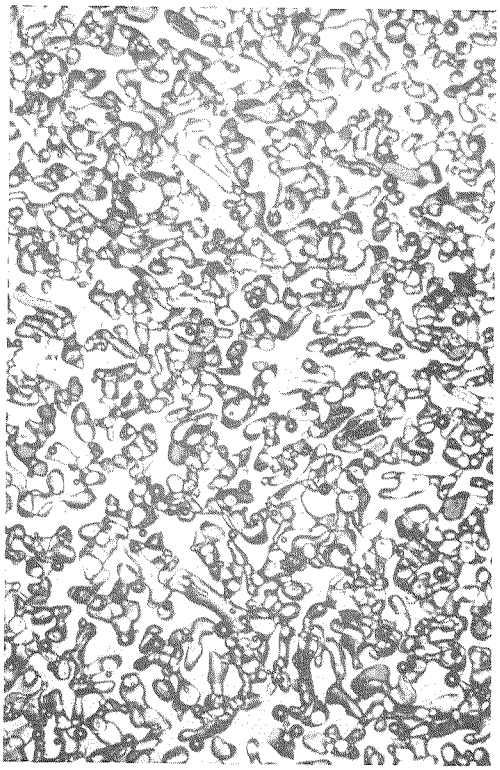
第7図 第4図にみられる積雪の密度・硬度・雪質。
水を添加した場合



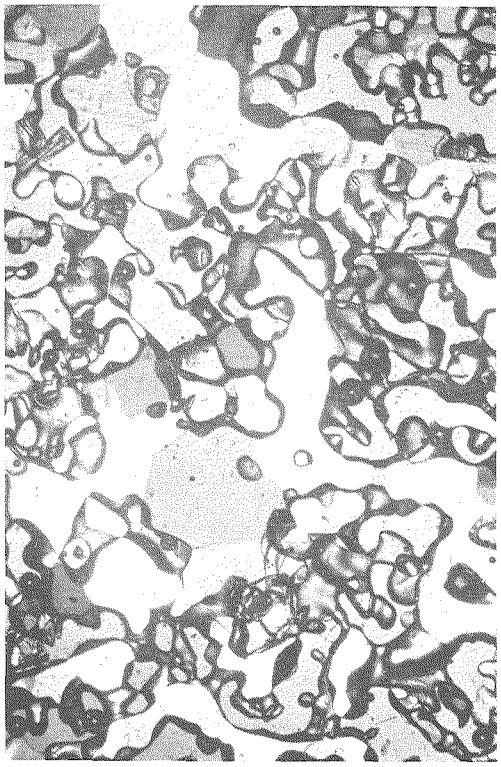
第8図 第5図にみられる積雪の密度・硬度・雪質。
塩を添加した場合



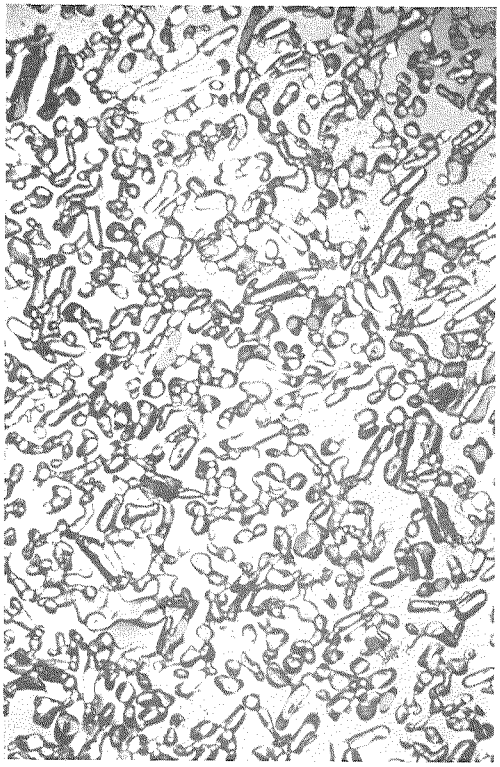
第9図 踏み固め前の雪の薄片の顕微鏡写真。昭和43年1月23日。(写真の横幅がほぼ5mm)



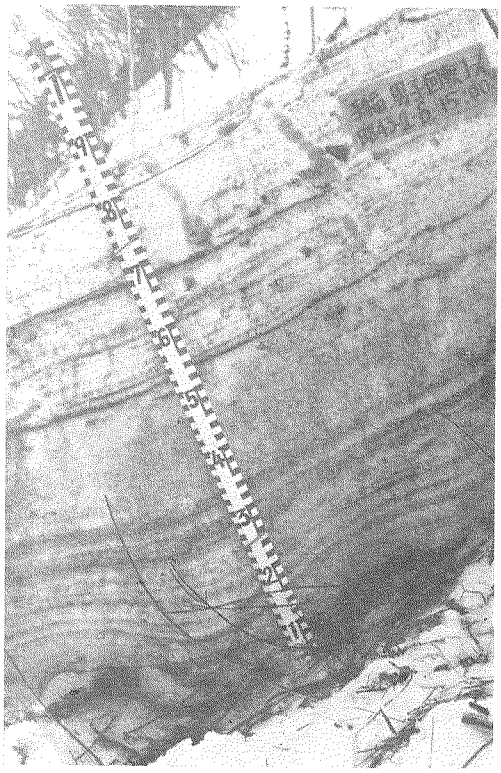
第10図 踏み固めて2週間後の雪の薄片の顕微鏡写真。昭和43年2月6日。倍率は第9図に同じ。添加物の無い場合



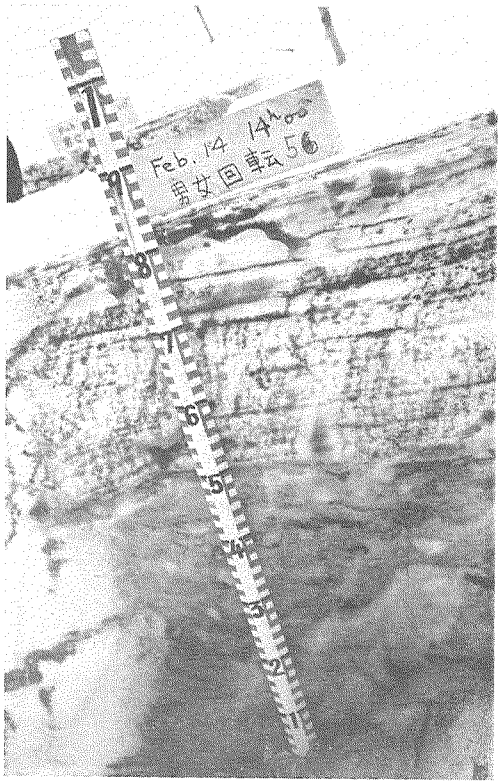
第11図 第10図に同じ。ただし水を添加した場合



第12図 第10図に同じ。ただし塩を添加した場合



第13図　男女子回転コース B 点での自然積雪断面。昭和43年2月6日写す

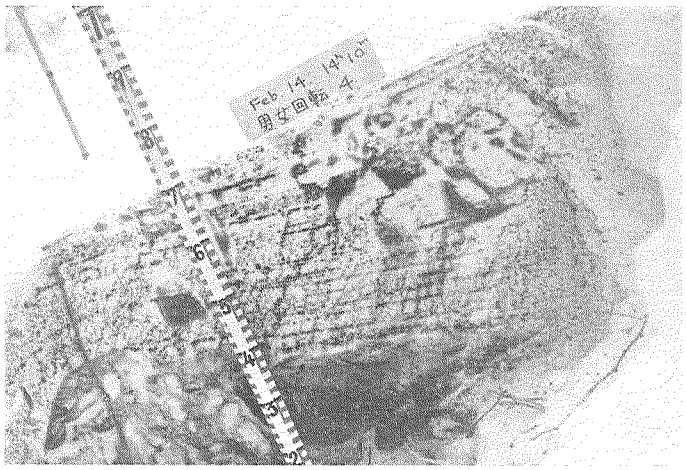


第14図　第13図の状態の雪を踏み固めて1週間後。添加物の無い場合。昭和43年2月14日写す

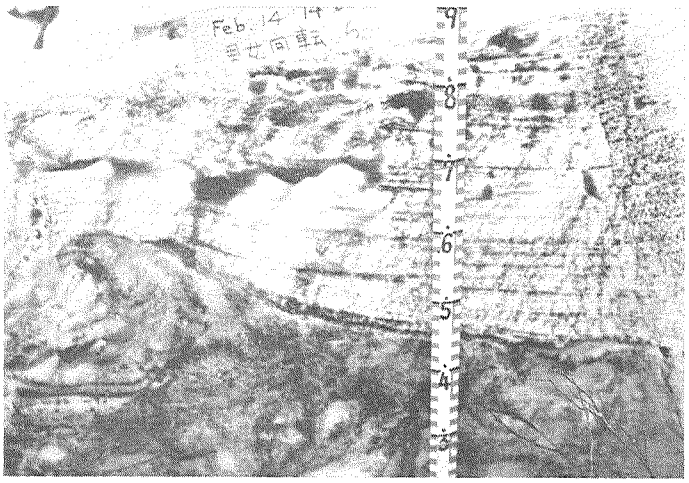
第3表　2月6日の踏み固め作業

	面積	作業	加えたもの	作業直後		1週間後*	
				密度 (g/cm³)	硬度 (kg/cm²)	密度 (g/cm³)	硬度 (kg/cm²)
#4	1m×1m	素踏み20回	なし	0.47	0.5	0.50	3.2
#5	〃	素踏み10回	水 10l	0.59	2.9	0.52	11
#6	〃	素踏み10回	塩 1.2kg	0.62	0.6	0.47	2.1

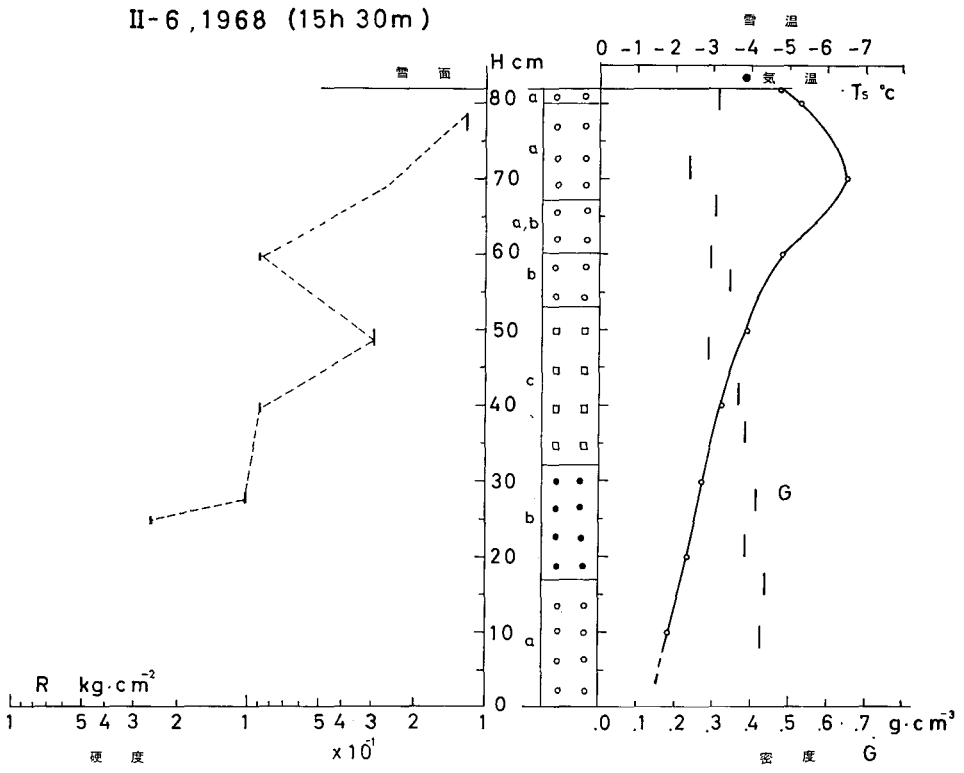
*　2月14日調査時の最高値



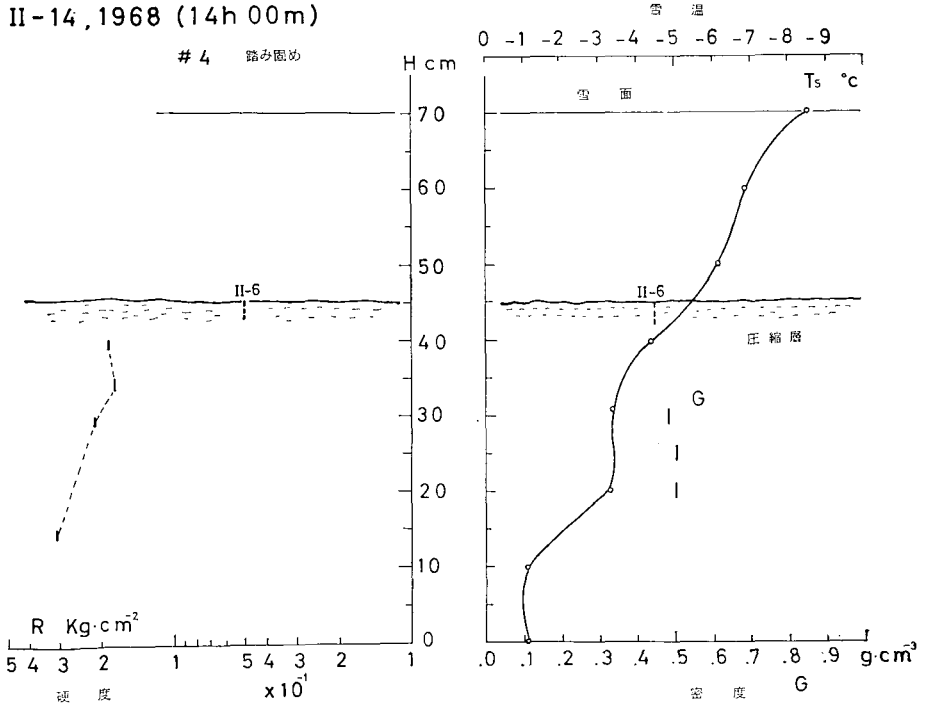
第15図　第14図と同じ。ただし水を添加した場合



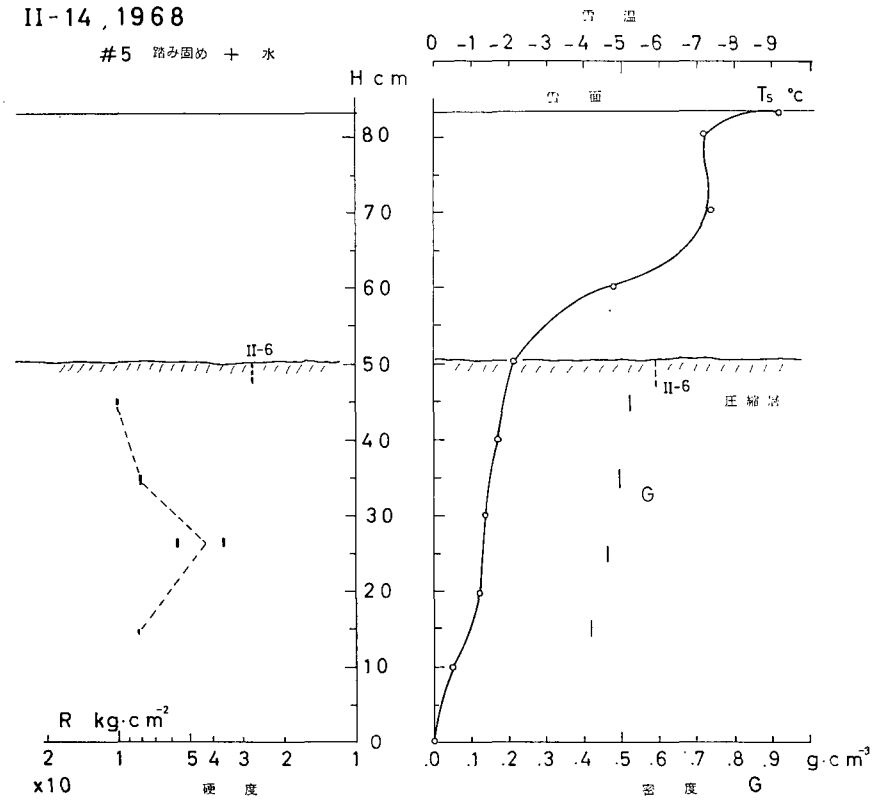
第16図　第14図と同じ。ただし塩を添加した場合



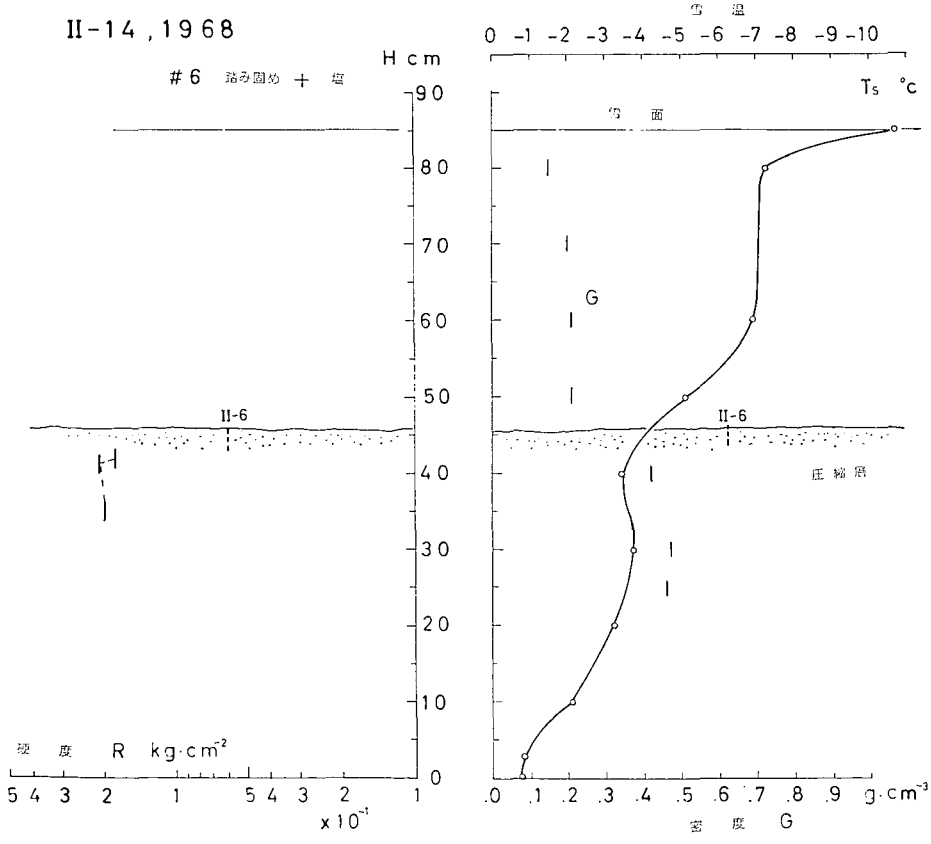
第17図 第13図に対応する雪の状態。温度・密度・硬度。昭和43年2月6日



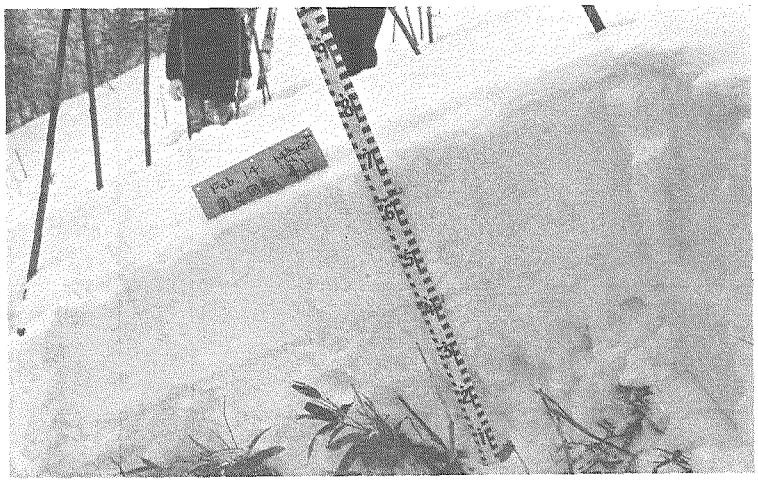
第18図 踏み固めて1週間後，2月14日における雪の状態。男女子回転コースB点。ただし添加物の無い場合。第14図に相当



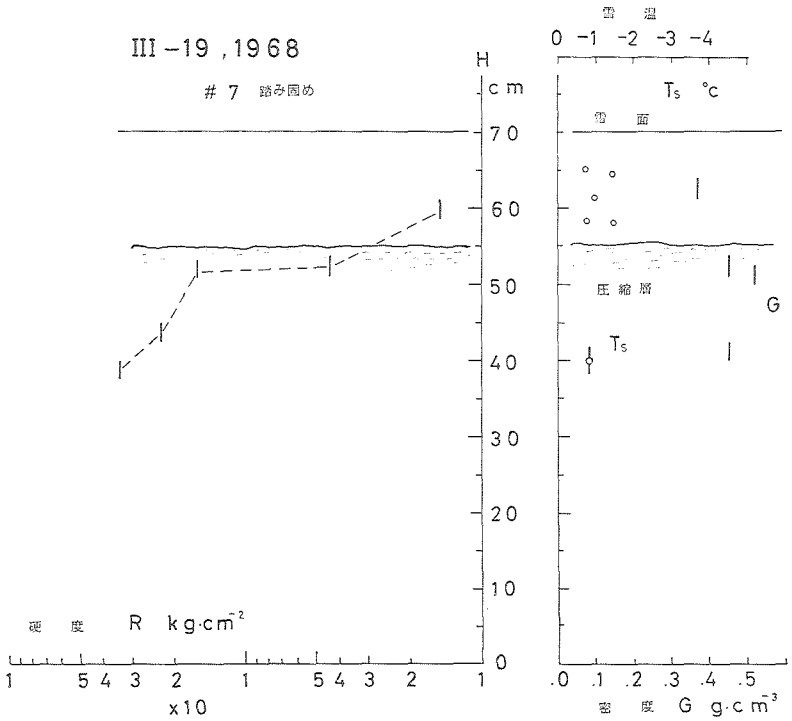
第19図 第18図と同じ。ただし水を添加した場合。第15図に相当



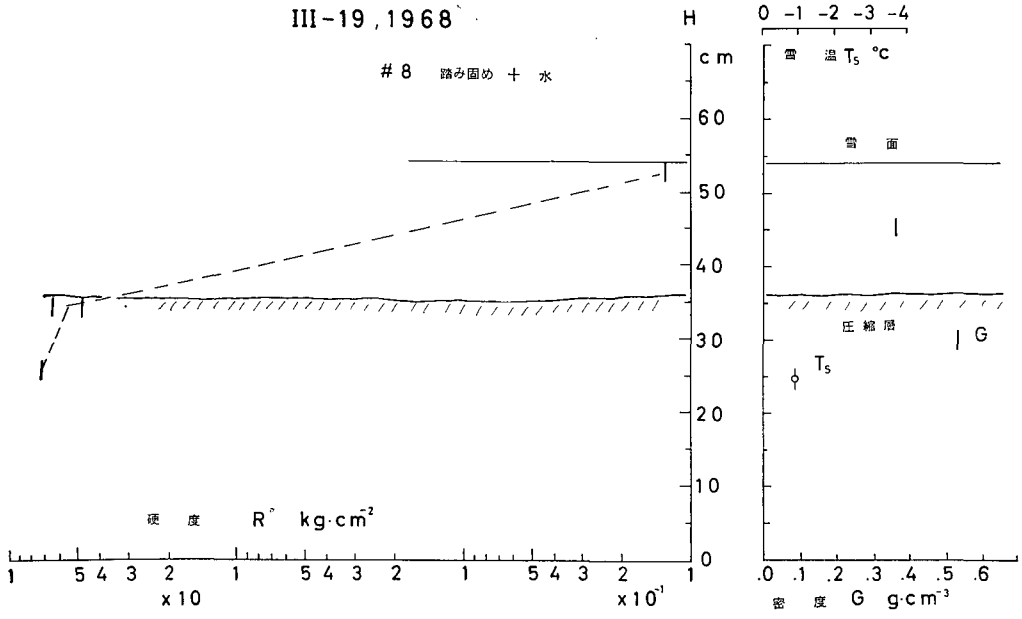
第20図 第18図と同じ。ただし塩を添加した場合。第16図に相当



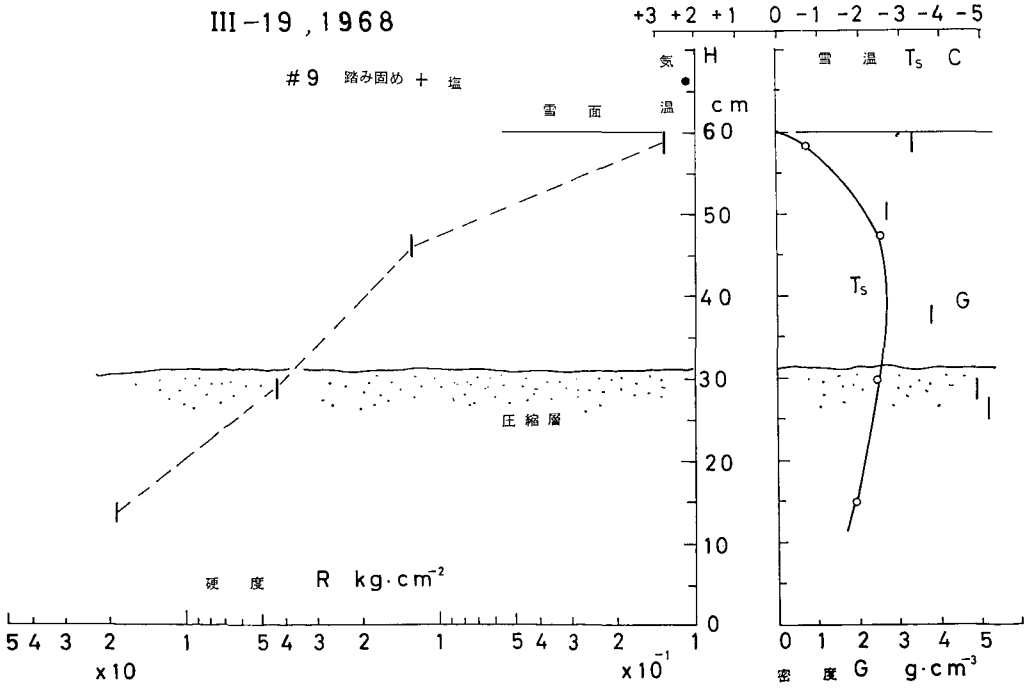
第21図　男女子回転コースC点（第1図）の踏み固め前の断面写真。
昭和43年2月14日写す



第22図　踏み固めて約1ヵ月後，3月19日。男女子回転コースC点における雪の状態。ただし添加物の無い場合



第23図 第22図に同じ。ただし水を添加した場合



第24図 第22図に同じ。ただし塩を添加した場合

第4表　2月14日踏み固め作業

	面　積	作　業	加えたもの	1カ月後の 密度* (g/cm³)	硬度* (kg/cm²)
♯ 8	1m×1m	素踏み20回	な　し	0.45	34
♯ 9	〃	〃	水　10l	0.53	70
♯ 10	〃	〃	塩 1.2kg	0.52	19

*　3月19日調査時の最高値

めが充分であったので，圧縮層の硬度は最低値でも 4.4 kg/cm² で，最高値はその 16 倍程度になっている。

II-3　ま と め

上に述べた3回の踏み固め作業の結果をまとめてみると，

(1)　素踏み回数は多い程 (10回程度より20回の方が) 硬くなる。

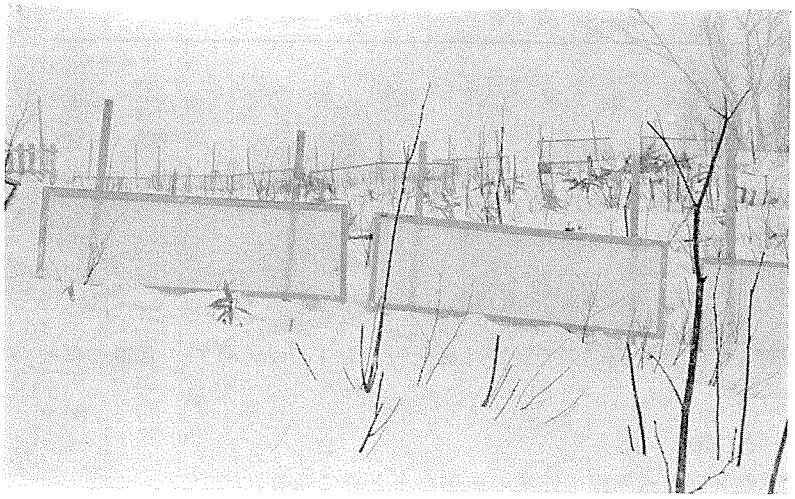
(2)　水の効果はある。素踏みだけより硬くなる。

(3)　塩の効果は無い。素踏みだけよりむしろ悪い。

III.　雪集め効果

男女子回転コースの出発点付近の雪が少なくて，これを増さなければならない場合の準備として，集雪柵の効果を調べた。集雪柵で集めた雪を踏み固めて風で吹き飛ばされない様にしようというわけである。実際は2月14日に平均30 cm 程度の積雪があったので平均して一様に積るようにすれば集雪の必要は無いかも知れないが，昨年は石ころが露出していたとのことなので，オリンピックの年にそのようなことが起こることも予想して準備しなければならないと考えた。

第25図　木柵設置直後。昭和43年3月6日写す



第26図 寒冷紗柵設置直後。昭和43年3月6日写す。

III-1 集雪柵の構造

集雪柵は滑降の邪魔になるので長期間立てて置くわけにはいかない。持ち運びの便利なものであることが望ましい。また集雪と云っても深さ30 cm程度を目標にすれば充分であるから柵はあまり高くなくてよい。そういうわけで柵の寸法は高さ60 cm，長さ180 cmと決めた。2種類の柵を作ったがその1つは幅9 cm，高さ60 cmの木の板を10 cmの間隔で並べて作った柵で，もう1つは寒冷紗を60×180 cmの木枠に取りつけたものを使った柵である。寒冷紗の目は1 cmに6目および7目で透過率は50%および30%であった。木柵の透過率は50%であった。第25図，第26図にこれらの柵を設置したところの写真を示す。

III-2 取り付け位置

第1図D点付近に各列の長さ約20 mの3列の柵をコースに直角に設置した。木柵はコースの右側(上から見て)に1列，寒冷紗柵はコースの左側に上下2列に並べた。上下の関係は寒冷紗柵の2列の間隔は約21 m，木柵は寒冷紗柵の2列の中程，上の列から7.5 m下ったところに並べた。各列とも11枚の柵を使った。柵を立てるには2本の杭を100～150 cm離して立て，それに柵を針金で縛りつけた。柵の下縁と雪面との間に10～20 cmの間隔をあける様にしたが，実際は雪面すれすれのもの，30 cm程の間隔のもの等があった。下が岩や倒れた木の幹であったため杭がうまく立たず11枚の柵をひと続きの長い柵のようにきれいに並べることは出来なかった。

III-3 吹き溜りの大きさ

柵を取り付けたのは3月6日で，その効果を調べたのが3月19日であった。札幌気象台の風速記録からみるとこの間，10日頃小さい地ふぶき，15，17日には半日以上続いた地ふぶきがあったと考えられる。柵の風下(風は斜面の下から吹くので，風下とは山側である)に積った雪の様子を第27図，第28図，第29図，第30図に示す。

木柵の風下側に出来た鉛直断面が魚形の吹き溜りは第27図からわかるように，柵から約

3 m 離れたところに約 45 cm の高さのなだらかな頂上があり，柵から 7 m 位の所まですそが伸びている。これは柵から 7 m 風下までの間に平均して約 23 cm の深さの雪を集めたことになる。寒冷紗柵の風下側の溜り方にはむらがあり，溜っている所と溜らない所とある。概して風下側の柵，つまり上列の柵では溜り方が少ない。これは，麓から這い上って来た流雪が下列の柵で取り去られるため，上列に達する雪粒が少ないことによるとも考えられるが，上列の柵が設置された場所の地形が斜面に出来た瘤状をしているため，流雪が避けて通るためとも考えられる。しかし溜り方のむらは寒冷紗柵そのものの欠点かも知れない。寒冷紗柵の後ろに出来た吹き溜りの形は，木柵の場合とは違った特徴がある。吹き溜りの頂上が柵のすぐ後，場合に

第 27 図　木柵の風下側吹き溜りの断面。約 7 m の長さ
昭和 43 年 3 月 19 日写す

第 28 図　寒冷紗柵上列の吹き溜り。昭和 43 年 3 月 19 日写す

第29図 寒冷紗柵下列の吹き溜り。昭和43年3月19日写す

第30図 寒冷紗柵下列の吹き溜りの断面。約10mの長さ
昭和43年3月19日写す

よっては柵に接した所にあることである。これは透過率が悪いためであろう。実際の透過率は30～50%であっても雪粒が目に詰って透過率を悪くしているのではないだろうか。また，そのためでもあろうと思われるが，柵の風上側にもわずかではあるが雪が溜っていた。第30図は下側の柵の吹き溜りの断面であるが，約1m風下側の吹き溜り深さ70cmを頂上にして約10mの長さ伸びており，この長さの間の平均の積雪深（吹き溜り分だけの）はほぼ25cmであった。柵を設置した3月6日の少し前，暖気が来て積雪表面が一度融けて再凍結し，硬くなっていたので，吹き溜りの雪と3月6日以前の積雪との区別は，垂直断面を作って層をあぶり出せば容易にわかる。特に柵の近所は設置のため人が踏み荒したのでより一層はっきりする。調査

した日は3月半ばすぎの暖かな時期であったので3月15,17日に積ったと思われる表面の積雪密度は0.27 g/cm^{3}で，3月10日頃と思われる積雪は表面から10 cm位の深さで0.19～0.23 g/cm^{2}であった。しかし，その場合でも吹き溜り深の大きい所では，表面から20～30 cmの深さで0.27 g/cm^{3}の密度を示した。平均すると吹き溜り積雪の密度は0.25 g/cm^{3}であった。

III-4 まとめ

(1) 高さ60 cm透過率50%の木柵と，同じ高さで透過率30～50%の寒冷紗柵とを設置し，3月6日から19日までの吹き溜りを見た。最も効果の上ったもので，柵から風下側7～10 mまでの間に平均25 cm積った。柵の高さから考えて，これがほぼ限度のように思う。

(2) 木柵の吹き溜りの頂上は柵の後方3 m位のところにあったが，寒冷紗の吹き溜りの頂上は柵から1 m以内，多くは柵にくっついていた。

(3) 木柵の効果はどの柵もほぼ同じであったが寒冷紗では当りはずれがあり，吹き溜りの出来ないものもかなりあった。このことは寒冷紗柵を設置する場合には設置方法に細心の注意を必要とすることを教えている。

この仕事に当り種々の対外交渉をして仕事の便を計って下さったオリンピック委員会の方方，手稲オリンピヤから現場まで，雪上車輸送をして下さった市役所土木部の方々にお礼を申し上げる。

Summary

The snow is soft on Mt. Teine and it is not suitable for Slalom games. It is desrable to harden it artificially. The snow in a test area of 1×1 m or 1.2×1.2 m was hardened by trampling. Three test areas were used in one test. The first area was compacted by trampling merely trampled on. The second area was trampled after sprinkling with 10 l/m^2 of water and the third area was trampled on after 1.2 kg/m^2 of salt was spread over the area. The same area was trampled 20 times by a man weighing 60 kg. One test, for example, showed that the hardness of natural snow before trampling was not more than 1 kg/cm^2 (Fig. 2), but it became harder after two weeks. The hardness was 35 kg/cm^2 for the first area, 45 kg/cm^2 for the second area and 21 kg/cm^2 for the third area (Figs. 6, 7 and 8). Other tests are shown in Figs. 17, 18, 19 and 20, and the last test is shown in Figs. 21, 22, 23 and 24. The conclusions obtained are as follows: —

1. The more the snow is trampled on, the harder it becomes.
2. The area sprinkled with water became harder than the non-treated area.
3. The area sprinkled with salt not only failed to become harder but became somewhat softer than the non-treated area.

The hardness increases with the amount of trampling.

The snow is generally blown off and does not accumulate at the upper reaches of the Slalom course. Three rows of fences of 60 cm in height, 180 cm in length were set up along the course. One row consisted of fences made of wooden slats of 9 cm in width, the other two rows were made of gauze of 6 or 7 strings per 1 cm. The density ratio of the fence was 50% in the wooden fence and 30 or 50% in gauze fence. On the

leeward side within seven or ten meters from the fence, a snow drift formed. The average accumulation in the area was about 25 cm within two weeks. The accumulation seems to be the limit for a fence of 60 cm in height. In the case of the wooden fence, the peak of the snow drift was about 3 m to the leeward of the fence, but in the case of the gauze fence, the peak was within 1 m from the fence and in an extreme case, the peak was in contact with the fence. In the case of the wooden fence, the forms of the drifts formed were similar with each other, but in the case of the gauze fence, the forms of drifts were not the same with each other. Special care must be taken in setting up the gauze fence, since the lower gap of the gauze fence from the snow surface seems to be more effective for the formation of drifts than the wooden fence.