HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	１９６９～１９７０年冬実地された雪上車による圧雪試験
Author(s)	黒岩，大助；若浜，五郎；遠藤，八十一
Citation	低温科學．物理篇，28，215-223
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18153
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p215-223.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Daisuke KUROIWA, Gorow WAKAHAMA and Yasoichi ENDÔ 1970 Snow Compaction with Snow Vehicle (Snow Master). *Low Temperature Science, Ser.*, ***A*, *28*.** (With English Summary p. 223)

1969～1970年冬実施された雪上車による圧雪試験*

黒岩大助・若浜五郎・遠藤八十一
(低温科学研究所)

(昭和45年8月受理)

I. 緒　　言

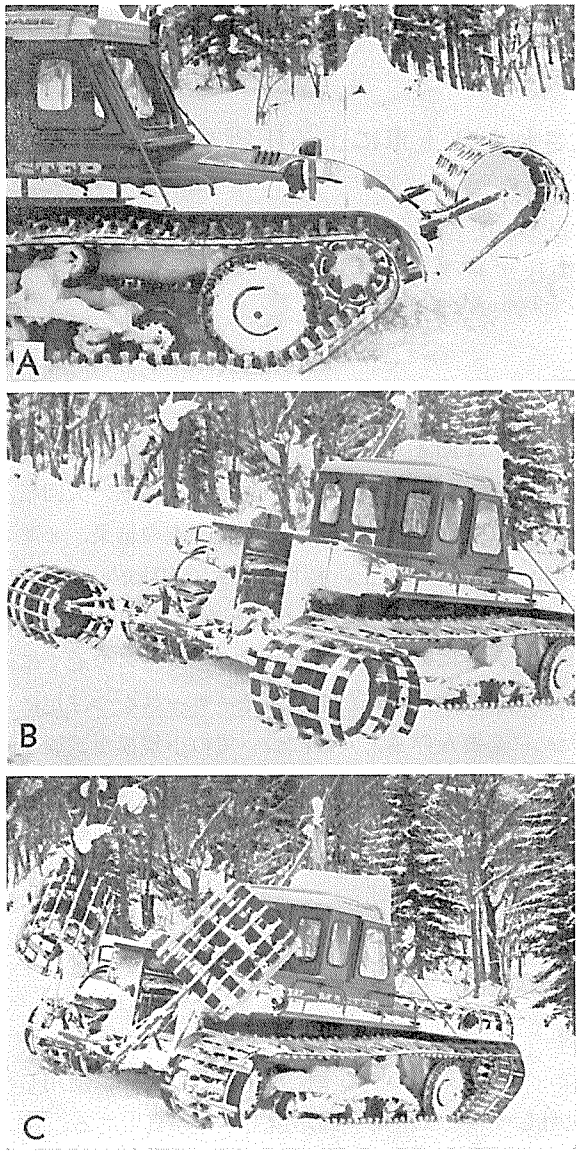
われわれは1972年2月札幌で開催される第11回オリンピック冬季大会組織委員会の要請によって1968年冬からスキーコースの雪質調査を行なってきた[1),2)]。スキーの回転，大回転，滑降などの競技のためには，密度の小さいかるい粉雪は不適当である。調査の結果，オリンピック競技のためには積雪は密度にして0.45～0.5 g/cm^{3}以上，木下式硬度で10 kg/cm^{2}以上の硬度がのぞましく，コースの積雪深は30～40 cmあれば十分であることなどを知り，その旨を組織委員会に答申した。また，1968～1969年の冬には手稲山オリンピックコースの近くに適当な試験地を設定して，われわれが提案した上記の条件をそなえたスキーコースをつぼ足による雪踏みによってつくり，かつ維持するために必要な作業と人数についての小規模な試験を行なった[3)]。しかしスキーコース全体にわたる広い面積を人力による雪踏みによって圧雪するのはいかにも非能率的である。それで組織委員会は1969年～1970年の冬，手稲山大回転コースと真駒内バイアスロンコースとで雪上車 (Snow Master, スウェーデン製) による圧雪試験を開始した。それでわれわれは，その圧雪効果の調査を行なった。以下はその報告である。

II. 調 査 結 果

1) 手稲山女子大回転コースにおける試験

圧雪試験は1970年1月12日におこなった。結果をのべるまえに，圧雪のために使用した雪上車 (Snow Master) について簡単に説明しておこう。第1図が雪上車の写真である。雪上車の全長は3.76 m，幅は2.6 m，キャタピラーの幅は80 cm，車両総重量は1.4 ton，キャタピラーの接地圧は0.03 kg/cm^{2}である。雪上車の前部には第1図Aに示すように，キャタピラーとキャタピラーの中間の雪を圧雪するために中央ローラーがとりつけてある。そして雪上車の後部にはBに示すように2個の側方ローラーがついていて，キャタピラーより外側の雪を圧雪できるようになっている。ローラーは油圧で作動し，圧雪の必要のないときにはC図のようにローラーを雪面から持ち上げておく。ローラーが雪を押しつける力は中央ローラーで120 kg，側方ローラーでは1個当り60 kgである。ローラーの圧雪幅は，中央ローラーが120 cm，後部側方ローラーで70 cmであるから，この雪上車が走行すると，全体として3.8 mの幅の雪が圧

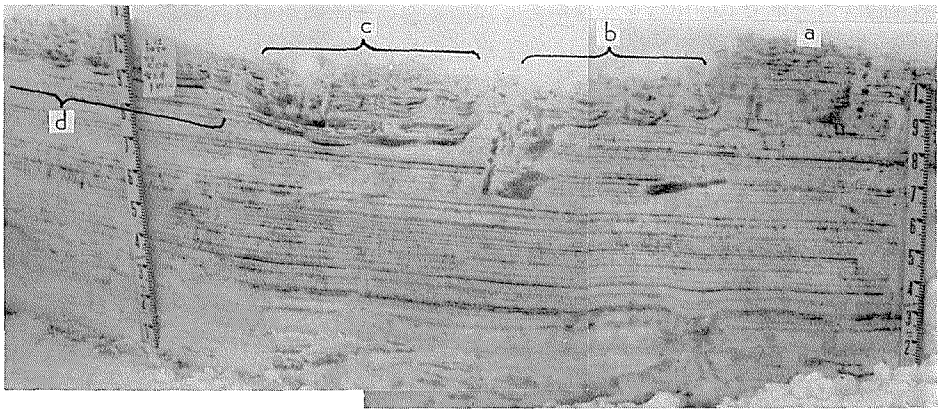
* 北海道大学低温科学研究所業績　第1077号



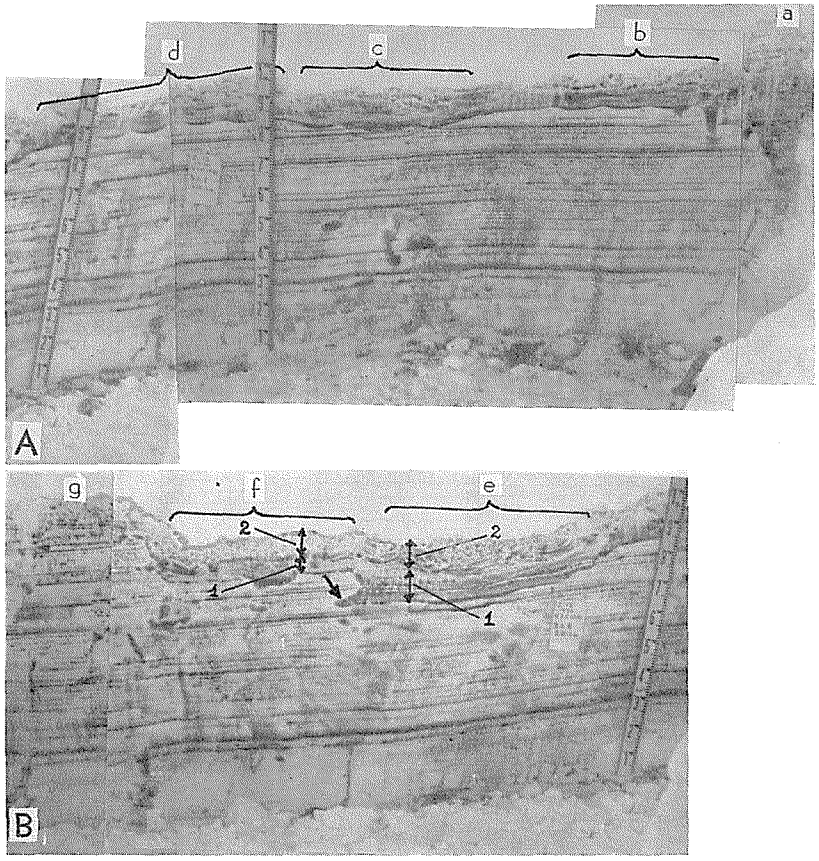
第1図 圧雪用ローラーを装備した雪上車 (Snow Master)

雪されることになる。しかし，ローラーとキャタピラーの構造は図に示すように 7.5 cm～12 cm の幅のゴムベルトと雪掻き用のピンからできているので，わだちができ道路工事用のローラーのように平らに圧雪することはできない。

圧雪試験は手稲山女子大回転コースのゴールに近いやや平坦な場所で行なった。積雪深は 100～110 cm で，上層約 30 cm の厚さに密度 0.06～0.07 g/cm^3 のしんせつが積もっていて，その下には密度 0.2 g/cm^3 のしまり雪があった。気温は −10°C，表面雪温は −9.8°C であった。この新雪の上を雪上車を 8 km/h の速度で走らせて圧雪効果を調べた。第2図は雪上車の1回の走行によって圧密された積雪層の断面を示す。この場所はほとんど平らで雪上車もほぼ水平に走行したから，圧雪効果は左右均等であろうと考えられる。写真には雪上車の通過したあとの中央部から右半分の雪の断面が示されている。積雪の断面にインキを噴霧し，トーチランプであぶることによって層構造をはっきりと示したものである。写真で a と印した部分は雪上車で圧密されなかった自然のままの雪である。括弧の範囲で示した b, c, d がそれぞれ，側方ローラー，キャタピラー，中央ローラーによって圧密された部分である。圧縮されて密につまった部分はよくインキに染まっていて，圧縮効果がどこまで及んだかが一目瞭然である。雪上車の重量がかかるキャタピラーの真下（括弧 c）の雪がもっとも深く圧密されている。圧縮部は地上から約 72 cm のところを水平に走る層に達している。積雪深は約 110 cm であったから，キャタピラーの真下では表面から深さ約 38 cm の雪が約 20 cm に圧縮されたことになる。中央ローラーとキャタピラーの外につきでたローラーの真下では，それぞれ表面から深さ 25 cm までの雪が約 13 cm に圧縮されたことになる。

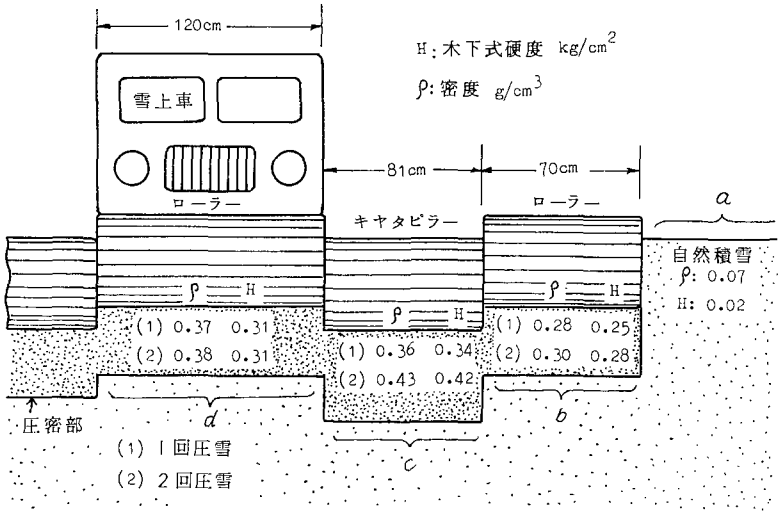


第2図　雪上車の1回の走行によって圧密された積雪の断面
a）自然積雪　　b）側方ローラーによる圧雪
c）キャタピラーによる圧雪　　d）中央ローラーによる圧雪



第3図　雪上車によって2回圧縮をくりかえしたときの傾斜地の積雪断面
(A) 山側の圧密状況
a）自然積雪　　b）側方ローラーによる圧雪
c）キャタピラーによる圧雪　　d）中央ローラーによる圧雪
(B) 谷側の圧密状況
e）キャタピラーによる圧雪　　f）側方ローラーによる圧雪
g）自然積雪
数字の1, 2はそれぞれ第1回目及び2回目の圧密を示す

第3図は雪上車で2回圧雪をくりかえしたあとの積雪断面を示す。この場所は平らでなく5°～10°のゆるい傾斜地であったから，雪上車は少し谷側にかたむいて最大傾斜線に直角に走行した。したがって圧雪効果は雪上車の中央からみて山側と谷側とで多少異なる筈である。第3図でAは山側の圧雪状況，Bは谷側の圧雪状況である。斜面はa→b→c…f→gの方向に低い。図でa及びgと印した部分はそれぞれ山側及び谷側の圧密されなかった自然積雪の断面，括弧bとfはそれぞれ山側，谷側の側方ローラーによる圧雪部，cとeは，それぞれ山側，谷側のキャタピラーによる圧雪部，括弧dは中央ローラーによる圧雪部でここでAとBの2枚の写真が連続する。この写真に示すように，雪上車が谷側にかたむいて走行すると谷側の雪が山側の雪に比べてよけい圧密される。雪上車の大部分の重量が谷側にかかるからである。たとえばA図のキャタピラーの圧縮部cとB図のキャタピラーの圧縮部eとを比べてみると谷側では地上70 cmの層にまで達しているのに，山側では80 cmの層にまでしか達していない。B図で数字1及び2で示した部分は，それぞれ1回目の圧縮量及び2回目の圧縮量を示す。また太い矢印で示した舌状の模様は雪上車が谷側にかたむいて走ったとき，谷側にずれて生じた圧縮模様である。この第3図Bと第2図とを比べてみると，雪上車で同じ場所を2回くりかえし圧雪しても圧縮される雪の深さはあまりちがわないことがわかる。第1回の走行によって圧密された積雪層の硬さが十分雪上車の接地圧に打ち勝ってしまうので，くりかえし圧縮しても圧縮部はそれ以上深くは進行しないのであろう。

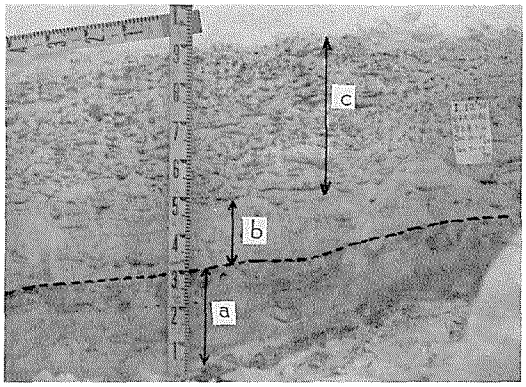


第4図 雪上車による1回目と2回目の圧縮効果を比較した模式図

第4図は雪上車の2度にわたる圧雪効果を模式的に示したものである。図でaは自然積雪，bは外側のローラー，cはキャタピラー，dは中央ローラーによる圧縮部である。これらの下に書き入れた数値でρは密度，Hは木下式硬度で単位はそれぞれg/cm^3，kg/cm^2である。番号の(1)及び(2)は，それぞれ第1回目及び第2回目の圧縮によってこれらの値がどのように変化したかを示すものである。たとえばキャタピラーの真下では，$\rho=0.07$, $H=0.02$であった新雪が第1回の走行によって圧縮され$\rho=0.36$, $H=0.34$になった。そして第2回目の走行によっ

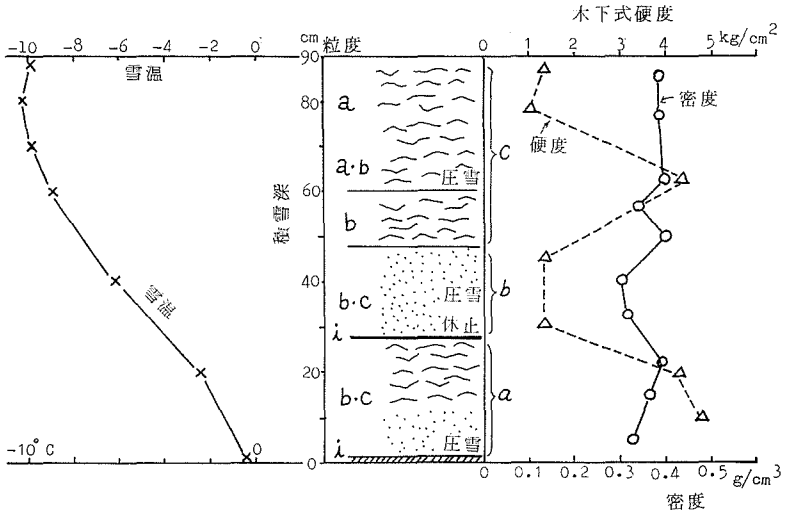
てそれらの値は $\rho=0.43$, $H=0.42$ に増加したことを示す。ここにかかげた数値はそれぞれ3個所の測定値の平均である。

オリンピック組織委員会は同じ手稲山女子大回転コースのゴールに近い場所で，1969年12月20日からこの雪上車を使って毎日少なくとも1回，多量の降雪があったときは，2回圧雪するという割合で，12月27日まで同じ場所をくりかえし圧雪した。12月28日～1970年1月6日までは年末年始のため圧雪を休止，1月7日より再び圧雪を開始して1月12日まで圧雪をつづけてきた。第5図はそのような場所の断面である。積雪深は90 cmであった。インキによる着色によって圧密された部分とされなかった部分とがはっきりと区別できる。図でaと印した部分が12月20日～27日の間に圧密された部分で，bの部分は翌年1月6日まで圧雪を休止した部分，cが1月7日から12日までの間に圧雪された部分である。



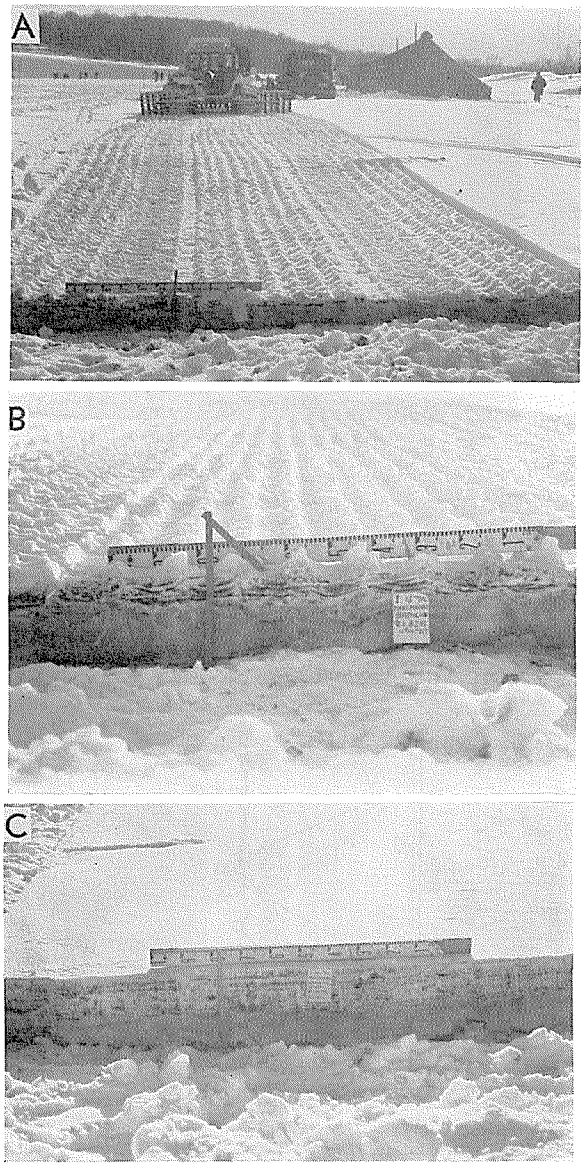
第5図　手稲山女子大回転コースゴール付近で1969年12月20日～1970年1月12日まで毎日1回の割合で圧雪をくりかえしたときの積雪断面
a) 12月20日～27日の圧雪
b) 12月28日～1月6日年末年始のため圧雪を休止した間に積った雪
c) 1月7日～1月12日の圧雪

第6図はこの断面について測定した密度硬度，雪温の垂直分布を示す。密度の垂直分布をみると，圧密された雪の密度は下の方から上まで大体0.4 g/cm³位であるが，圧雪が中止されていた層bの密度が小さい。硬度の垂直分布もこれとほぼ平行していて，b層で極小値を示す。硬度は下のa層でもっとも大きく，b層で小さく，c層に入ると再び大きくなるが，表面に近ずくと急に小さくなっ



第6図　第5図の積雪断面にそって測定した密度，硬度，雪温の垂直分布　(1970年1月12日)

ている。しかし表層では密度は決して深い所にくらべて小さくはないのである。この硬度の値の一見でたらめにみえる大きなバラツキこそ積雪の圧密硬化を考えるのに非常に重要な意味をもつのである。これは圧密された積雪の硬度が時間の経過と共に大きくなってゆくといういわゆる時効硬化によって説明されるのである。1月12日試験当日に圧縮された表面の雪の密度は確かに大きい。しかし，圧密されて時間がたっていないので雪の粒と粒との間の結合が十分発達していないため硬度は非常に小さいのである。この日より数日前に圧密された地上より約60 cm 位の深さの雪は時効硬化によって硬度は 4.5 kg/cm² という大きな値に増加しているのである。しかし，それより時間的には更に古いはずのb層の雪の硬度は小さい。その理由は，この層の雪は圧密されなかったからである。雪は一度機械的にかきまぜ，つきかためると時効硬化によって硬度が時間と共に増してゆくことが知られている。各層の粒度は記号で示されていてa＝0.5 mm以下，b＝0.5～1 mm，c＝1～2.0 mm，iは氷板を意味する。



第7図 真駒内バイアスロンコースでの圧雪試験
(1970年1月16日)
A) 1回圧雪　B) 2回圧雪　C) 自然積雪

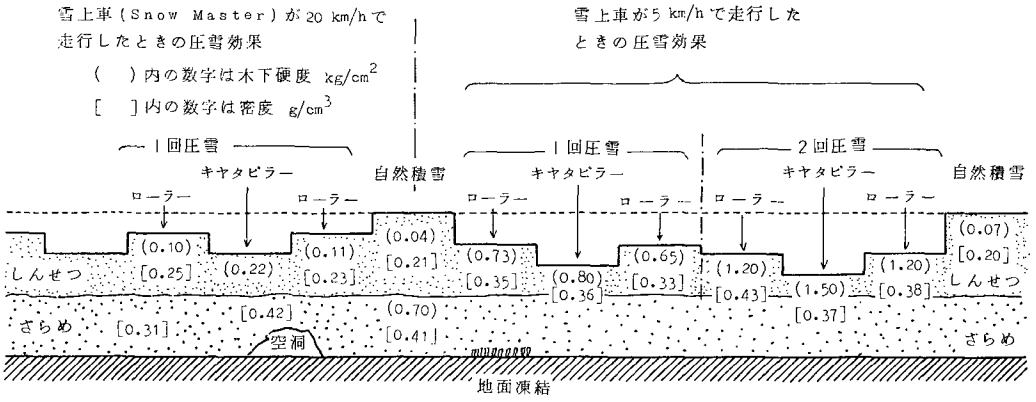
2) 真駒内バイアスロンコースにおける圧雪試験——圧雪速度効果

オリンピック組織委員会は1969年12月20日より真駒内バイアスロンコースでも雪上車で圧雪試験を行なってきた。バイアスロンコースは斜面ではなく平坦な場所であったので，ここでは雪上車の圧雪速度を変えて圧雪効果を調査した。

1970年1月16日の真駒内バイアスロンコースの積雪量は第7図Cに示すごとく約30 cmであった。地上より約15 cmはしもざらめ雪でその上に約15 cmの新雪があった。雪の下の地面は凍結していた。気温は11時～14時の間は－6°C，15～16時には－10°～－12°Cに下った。第7図でAは写真Cに示したような新雪の上を走行速度

5 km/h で1回圧雪したときの断面，Bはその上を同じ速度で2回圧雪したときの断面を示すものである。写真に示すように圧雪面にはローラーとキャタピラーのわだちができて一様に圧雪されない。インキで着色してみると圧密されていたのは上の新雪層だけで，下のしもざらめの層はほとんど圧縮されていなかった。雪上車で同じ場所を2回くり返して圧雪したときは，キャタピラーの真下だけがざらめ層まで圧縮されたが，ローラーの下では圧縮部はざらめ層には達しなかった。

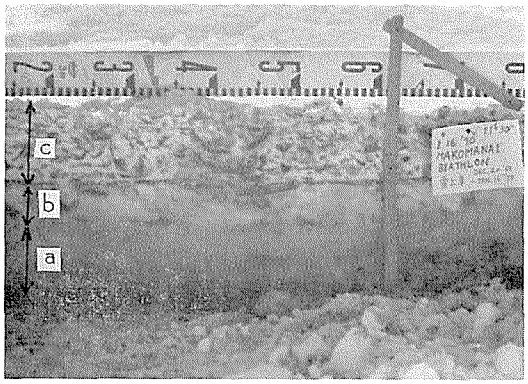
次に雪上車の速度をもとの4倍の20 km/h に上げて圧雪してみた。その結果，高速度圧雪の場合は低速度圧雪に比べて圧雪効果がやや劣ることがわかった。第8図は低速及び高速での



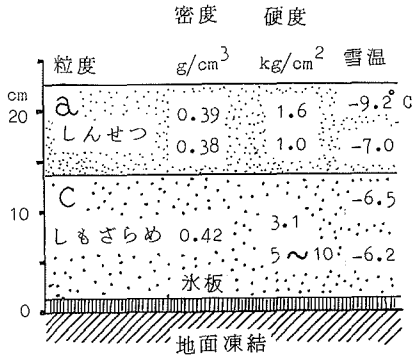
第8図　雪上車の圧雪速度を変えたときの圧雪効果，高速の場合が低速に比べ圧雪効果が小さい。

圧雪効果を比較して図示したものである。圧雪されなかった自然積雪の密度及び木下式硬度はそれぞれ新雪層では $\rho=0.21$ g/cm³, $H=0.04$ kg/cm², しもざらめ層では $\rho=0.41$ g/cm³, $H=0.7$ kg/cm² であった。まず速度が5 km/h で走行したときの圧雪効果に注目しよう。雪上車が1回圧雪するとキャタピラーの下では新雪が圧密されて $\rho=0.36$ g/cm³, $H=0.8$ kg/cm² にふえた。また2つのローラーの下では $\rho=0.35\sim0.33$ g/cm³, $H=0.73\sim0.65$ kg/cm² にふえた。同じ速度で2回圧雪を行なうとキャタピラーの下では $\rho=0.37$ g/cm³, $H=1.5$ kg/cm² に増加した。ローラーの下でも密度，硬度ともに増加した。ところで20 km/h の高速で圧雪したときのデーターと比べてみると，密度及び硬度共に数倍も大きくなっている。なぜ20 km/h で圧雪すると，雪の圧密化が5 km/h で圧雪した場合に比べて劣るかをこの1回の試験結果から正しく説明することはできない。しかし，5 km/h の速度で圧雪した場合には雪上車の圧力が雪にかかっている時間が20 km/h の速度で圧雪した場合に比べて約4倍も長いということが一つの原因であろうと思われる。

この真駒内コースでも1969年12月20日より雪上車で1日に1回，日曜祭日を除いて圧雪が実施されてきた。12月28日から1月6日まで年末年始の間圧雪を休止したことも手稲山大回転コースの場合と同様である。第9図でa層は1969年12月20日～12月27日の間に圧雪された部分，b層は12月28日～1970年1月6日まで圧雪を休止した部分，c層が1月7日より1月16日までに1日1回の割合で圧雪してきた部分である。b層とa層は共にしもざらめ化し



第9図 真駒内バイアスロンコースで1969年12月20日～1970年1月16日の間に1日1回の割合で圧雪した積雪の断面
a) 12月20日～12月27日の間の圧雪
b) 12月28日～1月6日の間の圧雪休止期間中に積った雪
c) 1月7日～1月16日の間の圧雪



第10図 第9図の断面にそって測定した密度，硬度，雪温の分布
(1970年1月16日)

ていた。a層が地面と接する部分には氷板や霜柱が観測され，またところどころ空洞もあった。地面は積雪量が少ないため寒気が浸透してかたく凍結していた。第10図は第9図の断面にそって測定した密度と硬度の垂直分布である。表層近くの圧雪されてまだ十分時間がたっていない層の硬度は小さいが，下層の時効硬化がすすんだしもざらめ層の硬度は大きい。

3) 雪上車による圧雪効果に対する考察

雪上車 (Snow Master) の圧雪作業幅は3.8 mで，平坦な場所では最高20 km/hの速度で圧雪が可能である。しかし，この雪上車は本来圧雪を目的としたものではなく，雪上輸送のために設計されたものであるから接地圧は小さい。したがってこれを圧雪機械として使うためには圧雪圧力が小さすぎる。また，オリンピックのスキーコースのように急斜面の雪を圧雪するとなると登坂能力にも限界がある。そんなわけで密度の小さいかるい新雪でもせいぜい1回の走行によって10～20 cmが圧縮されるにすぎない。そして一度圧縮されるとその上をくり返し走行しても圧密はそれ以上にはほとんど進行しない。したがって雪上車で圧雪を行なうときは，降雪量が20 cmに達しない前に圧雪を行なう必要がある。この雪上車をつかって冬の初めから1日1回の割合で圧雪がくりかえされてきた手稲山女子大回転コースと真駒内バイアスロンコースの雪はともにオリンピック競技用コースの雪として理想的な値と考えられる$\rho=0.45$ g/cm³ 以上，$H=10$ kg/cm² という値には達していなかったのである。

アメリカ海軍はグリンランドのような極地雪氷の上に飛行場をつくる必要性からいろいろな圧雪法及び圧雪機械を開発してきた。要するにある深さまでの自然の成層構造を破壊し，かき乱しておいて圧雪し，あとは時効硬化させるのである。飛行場の場合，飛行機の車輪の接地圧7 kg/cm² に耐えるようにするためには，表層から約60 cmまでの層が処理され加圧される必要があるといわれている。彼等はまず Snow mixer を使って深い雪をかきまぜ，その上をあらかじめ雪ならし機で大体平らにし，雪上車で特別に設計したローラーをひっぱって平らに圧雪

した。ローラーの直径と長さはそれぞれ2.4 m，重さは4650 kgという大きなものを使用した。温度が−17°Cというような低い時でも，3日も放置すると時効硬化で圧雪された雪の硬度は6倍に増加したという。また，1960年アメリカのSquaw Valleyで行なわれた第8回オリンピック冬季大会では約50人の人数で5台の雪上車，4台のmixer，3台の圧雪ローラー，2台の平滑車，2台の雪削車，その他を使って約0.5 km²の深雪を圧雪し，約11,000台の自動車を駐車させることに成功したという。この場合強い日射によって圧雪表面がくずれるのを防ぐためオガクズを用いている。このような圧雪法を傾斜の急なスキーコースの圧雪にそのまま適用するわけにはゆかないが，大いに参考にはなるであろう。

文　献

1) 黒岩大助・他9名 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.
2) 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.
3) 黒岩大助・他 1969 手稲山における雪ふみ試験. 低温科学，物理篇，**27**, 213–228.
4) Moser, E. H. 1963 Navy cold-processing snow-compaction techniques *In* Ice and Snow (W. D. Kingery, *ed*), M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 459–484.

Summary

Snow compaction tests with a snow vehicle (Snow Master) were made at Mt. Teine and Makomanai where the slalom and biathlon will be performed respectively during XIth Olympic Winter Games. As seen in figure 1, the vehicle was equipped with three convenient snow compacting rollers operated by oil pressure. These rollers made it possible to pack a 3.6 m width of snow surface in one pass. The total weight of the vehicle is 1.4 tons and compressive load applied to snow is 0.03 kg/cm².

After the compression of newly fallen snow, a vertical section of snow cover was made and blue ink was sprayed on the wall to reveal how deeply the snow was compressed (see figures 2, 3 and 7). The compression of snow was not uniform along the whole width of the pass. The snow showed a higher compression underneath the tracks of the vehicle treads than beneath the rollers. Immediately after compression, the same area of snow surface was compacted repeatedly with the vehicle, but further compression of snow layers was hardly attained. In order to investigate the difference of compaction of snow at different velocities of the vehicle, snow was compressed at two rates of 5 km/h and 20 km/h. The results indicated that when snow was compressed at a low speed, it was more compacted than in case of high speed compaction. From the beginning of this winter, snow compaction with this vehicle was carried out at a rate of once a day, but the obtained values of apparent density and hardness of compressed snow were approximately 0.4 g/cm³ and 4 kg/cm².