



Title	積雪がものを支える力
Author(s)	吉田, 順五; YOSIDA, Zyungo; 藤岡, 敏夫 他
Citation	低温科学, 3, 109-121
Issue Date	1950-12-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17427">https://hdl.handle.net/2115/17427</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_p109-121.pdf



# 積雪がものを支える力\*

吉田 順五, 藤岡 敏夫

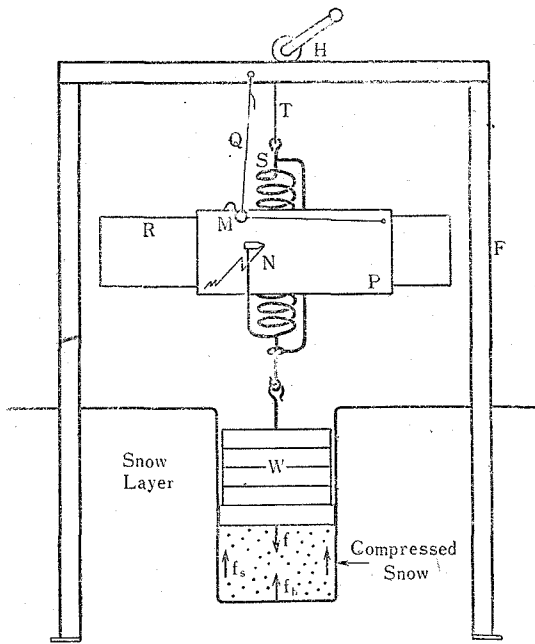
(低温科学研究所 応用物理学部門)

[昭和 22 年 8 月受理]

## I.

(1) 積雪の表面に物をのせると積雪はある深さ  $D$  だけ沈んで物を支える。いつぱんに物が重いほど  $D$  は大きい。

重さがおなじでも、物の底のひろさ  $a$  がちがえば  $D$  もちがう。それで重さと  $D$  の関係をもとめるためには、 $a$  を一定に保つたまま重さをいろいろにかえて  $D$  を測る必要がある。このために第 1 図のような装置を作つて実験した。丈夫な鉄の棒  $F$  からロープ  $T$  でスプリング



第 1 図

$S$  をつるし、そのしたに鉄の圓板のおもり  $W$  をつける。ハンドル  $H$  をまわして、 $S$  の上端をゆつくりおろしてゆくと、 $W$  のおもさがしだいに雪にかかってくる。 $P$  は紙をはつた記録用の板で、レール  $R$  にそつて左右にうごく。細い紐  $Q$  の一端を  $P$  の肩にとりつけ、圖に示したように輪  $M$  をとおし、上の方で棒  $F$  に結びつけてあるので、記録板  $P$  は、 $S$  の上端がおりにつれて右から左へ移動し、そのうえに鉛筆  $N$  によつてスプリングのびが記録される。

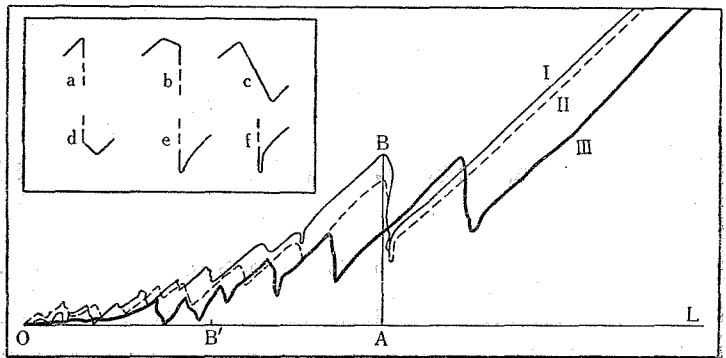
この装置を積雪のうえにおき、スプリング  $S$  が  $W$  を吊してのびたままの

状態で  $W$  の底が積雪の表面にさわるようにする。このとき雪には力がかからない。 $H$  をゆつくりまわしながら  $T$  をまきもどしてゆくと、 $S$  はちぢんで雪にかかる力  $f$  がだんだん増してくる。 $M$ 、 $P$ 、 $R$  は  $S$  の上端とつしよにさがるので、板  $P$  は  $S$  の上端がさがつた長さ

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 55 号。

だけ左の方へうごく。鉛筆 N は S の下の端とおなじに動くから、この場合にはとまつたままである。それで、P のうえには水平方向と  $45^\circ$  の角度の右あがりの直線がかかれる。S がちぢんで、 $f$  がある大きさになると急に雪は落ち込んで W はとまる。この間に鉛筆 N は縦の直線をかく。なおつづけて、ロープ T を捲きもどしてゆくと、おなじことがくりかえされる。

(2) 記録の例を三つ、第 2 圖にしめした。線は鋸の歯のような形で、歯の先の山の頂にあたるところで雪がものをささえる力（これは  $f$  にひとしい）が極限に達して雪が落ち込んだのである。水平な直線 L は鉛筆のはじめの位置、すなわち S がのびきつていたときの位置である。



第 2 圖

山

の頂きのひとつ B を例にとつて、B から L におろした垂線の脚を A とする。スプリング S ははじめより  $\delta = \overline{AB}$  だけちぢんでいるわけだから、雪には  $\delta$  だけの縮みに相當する力がかかっていることになる。したがつて  $\delta$  にスプリングの常數  $k$  をかけると雪にかかる力  $f$  になる。L の左の端 O は出發點で、 $\overline{OA}$  が S の上の端がさがつた長さである。ところが、S は、 $\delta = \overline{AB}$  だけちぢんでいるから、S の下の端は  $\overline{OA} - \overline{AB}$  だけさがつたことになる。圖のように、L の上で  $\overline{AB'} = \overline{AB}$  になるように B' をとれば、 $\overline{OB'}$  が S の下の端のさがつた長さ、すなわちおもり W が雪のなかに沈んだ深さ  $D$  になる。

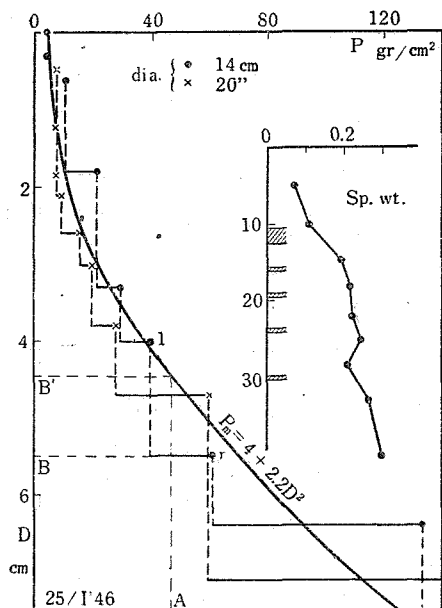
このことは山の頂きの點だけにはかぎらない。線のうえのどの點でも、それから L までの長さ  $\delta$  に  $k$  をかければ  $f$  となり、O 點からの水平距離から  $\delta$  をひいたものが  $D$  になる。

(3) 記録の線の山の頂きに對する  $f$  を  $f_m$ 、そのときの沈みの深さを  $D$  とすれば、 $f_m$  は雪が  $D$  だけ沈んだときに支えうる最大の重さである。全部の山の頂きについて  $f_m$  をもとめれば、 $f_m$  と  $D$  との関係が得られる。

第 3 圖にその例をしめした。ただし、 $f_m$  それ自身でなく、おもりの底の面積  $a$  で  $f_m$  をわつた壓力  $p_m = \frac{f_m}{a}$  と  $D$  との関係にしてある。縦軸に上から下にむけて  $D$  をとり、横軸に  $p_m$  をとつた。圓い印は、おもり W の底の徑が 14cm の場合、ばつ點は直徑 20cm の場合の測定點で、直徑 20cm の面積は、14cm の面積の 2 倍になる。

圓い印もばつ點もたがいに同様な分布をして、だいたい

$$p_m = 4 + 2.2D^2$$



第 3 圖

の曲線であらわされる。

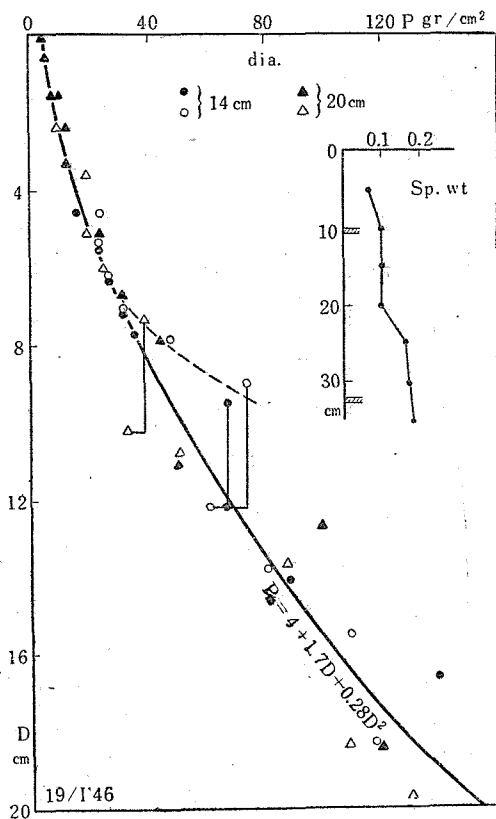
雪にある物をのせたとき、雪に加えられ  
る圧力  $p = \frac{f}{a}$  がわかるが、そのときの沈  
み  $D$  がこの式に  $p$  を入れて計算した  $D$

になるわけではない。たとえば第 3 圖の圓い印の場合について、 $p$  の値として圖に示した  $A$  をとつたとすると、うえの式によれば  $D$  の値は  $B'$  となる。しかし、實際の  $D$  の値は、 $A$  の右にあつて、 $A$  に一番近い點  $r$  のもつ  $D$  の値、 $B$  になるはずである。 $A$  のすぐ左の點  $1$  に對する壓力をすこしでもこえれば雪は落ち込んで、 $D$  は  $r$  に對する點にうつるからである。それで、 $\frac{f_m}{a} = p_m$  との関係ではなく、 $\frac{f}{a} = p$  と  $D$  との関係をかけば、圖に示した階段状のグラフになる。

積雪の深さと密度との関係も圖に示した。斜線をほどこした部分はクラストを表わす。

積雪の密度分布がかわれば、 $p_m$  と  $D$  との関係もちがってくる。第 4 圖は、まだ降り積つてから間もない積雪についてのもので、4 つの測定を含んでゐる。 $p_m$  と  $D$  との関係だけを  
示し、 $p$  と  $D$  との関係を示す階段状のグラフは省いた。圓い印はおもりの直徑 14cm、三角  
の印は 20 cm のときのもので、おのおの同じ條件で二度ずつ測定したもので、それを印の白  
黒で區別した。

この場合も、全體の點の分布はひとつの式でだいたいあらわせる。第 3 圖のときにくらべ  
て、おなじ  $p_m$  に對する  $D$  の値が大きい。圓と三角もたがいに近く分布しているが白黒の點



第 4 圖

は、圓なら圓、三角なら三角同志でなお一層近く分布している。おなじ條件で測定するとかなり再現性のある結果が得られることがわかる。

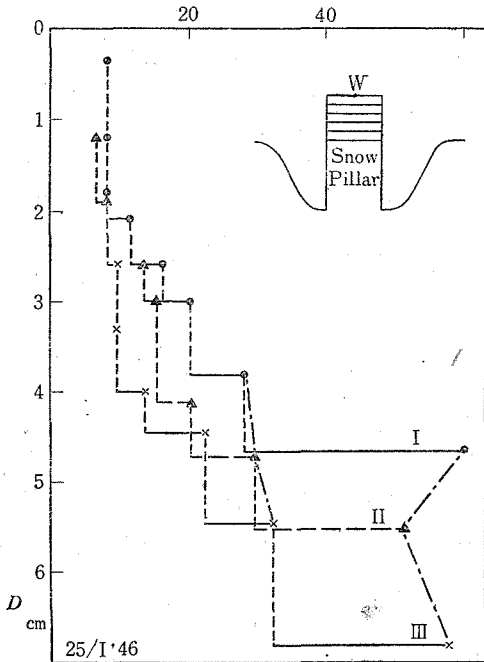
一般に、 $p_m$ は  $D$  と共にまし  $\frac{4p_m}{4D} > 0$  であるが、第 4 圖の  $D=10$  の近くに  $\frac{4p_m}{4D} < 0$  の場合が 3 つある。線でむすんで示しておいた。密度分布の圖によると深さ 10cm のところにクラストがあるが、クラストは少し丈夫だから、そのうえでは  $p_m$  が大きくなり、クラストをこわしてそのしたにでると、また  $p_m$  が小さくなつたものとして説明される。

(4) 第 3 圖では、 $D$  の最大の値が 7cm であるが、力の影響はこれよりすつと深くまでとどいている。測定がすんだあと、雪を縦に切つてみたら、クラスト 1 (クラストに上から番號をつけて 1, 2, … とする) が、丁度おもりのましたのところだけ落込んでいた。直径 14cm のおもりのときには 4cm, 20cm のおもりのときは 2cm の落込みである。また、14cm のおもりのときはクラスト 2 も 2cm 落込んでいた。それゆえ、おもりの下には、おもりとおなじ直径で厚さが 7cm~10cm の筒形のつぶれた雪があるわけである。このつぶれた雪の密度は約 0.25 であつた。第 4 圖の場合にも、クラスト 2 まで落込んでいたから、つぶれた雪の厚さは 10cm 以上になる。第 3 圖と第 4 圖との場合、表面から 10cm の深さまでは雪の密度がいずれも 0.07 でおなじである。もし、雪の變化がこのように深くまでとどいていないものとするれば、第 3 圖と第 4 圖との間にみられるような大きな差は現れないはずである。

(5) 實驗につかつたおもりは、おもり臺にのせてあるが、臺の直径の方がおもりの直径よりすこし大きい。それゆえ、おもりが雪の中に沈んでも、おもりの側面と雪のあいだには隙間がある (第 1 圖)。したがつて、おもりは、臺の底だけで支えられているわけで、そのしたにはつぶれた雪があり、これは密度が大きくじょうぶである。それで、直接におもりを支えているのはつぶれた雪で、このつぶれた雪を支える力は、このつぶれた圓筒形の雪の底にはたらく力  $f_0$  と、まわりの圓筒面にはたらく力  $f_s$  とのふたつと考えられる (第 1 圖)。つぶれた雪は、まわりの雪とよく接觸しているので、 $f_s$  があることにうたがいはない。

第 3, 4 圖でみたように、おもりの沈み  $D$  はおもりが雪に加える壓力  $\frac{f}{a}$  と直接關係している。したがつて、おもりを支える力、すなわちおもりがつぶれた雪に加える力  $f$  は、おもりの面積  $a$  に比例する。ところでつぶれた雪を支える二つの力  $f_0, f_s$  は、それぞれつぶれた雪の底の面積  $a$ 、その周囲の長さに比例するので、おもりの直径 (つぶれた雪の直径と同じ) を  $d$  とすれば、 $f_0$  は  $d^2$  に、 $f_s$  は  $d$  に比例する。第 3, 4 圖の測定は、 $d=20$  cm と 14cm との場合であるが、 $20^2:14^2=2:1$  で  $20:14=1.3:1$  である。したがつて、おなじ  $D$  の値に對して、 $d=20$  cm の場合は  $d=14$  cm の場合にくらべて、 $f_0$  は 2 倍になり、 $f_s$  は 1.3 倍になる。しかるに、 $f$  は、だいたい 2 倍になつたのであるから、 $f$  のうちの大部分が  $f_0$  でうけもたれていることがわかる。しかし、第 3, 4 圖にも、 $d=14$  cm の測定點のほうが  $d=20$  cm の

測定点よりもすこし上の方に分布しているのがあらわれている。すなわち、おなじ  $p$  に対する  $D$  が、直径が小さいほど小さいわけで、これは  $f_s$  が存在すると考えることによつて説明される。直径  $d$  が 20 cm から 14 cm になると、 $f_s$  は半分になるが、 $f_s$  は 1.3 分の 1 にしかならず、 $d=14$  cm の場合の方が  $d=20$  cm の場合にくらべて  $f_s$  のききめが大きい。そのために、 $D$  が少なくてすむわけである。



第 5 圖

第5圖の左うゑに示したように、おもりの直径20 cmとおなじ直径の雪の柱をつくり、それについて同じ測定を行つた。この場合には、あきらかに  $f_s$  は 0 である。第2圖の曲線 III が そのときの記録で、 $p$  と  $D$  との関係は第5圖の III にあらわした。第5圖の I はおなじ雪を、積つたままの状態とつたものである。したがつて、I と III とのちがいは、 $f_s$  のあるなしによつてあらわれた効果をあらわす。II は、直径 28 cm のトタン板の圓筒を雪のなかに上からさしこみ、そのなかにおもりをおろしてとつた曲線である。おもりの直径は 20 cm で、おもりとトタンの圓筒との間は 4 cm ある。おもりのしたの雪がおされて、わきにはみでようとしても、トタンの圓筒に妨げられる。

第2圖で、曲線は3本とも似た形をしていて、左の方のはじめのうちは細かい山がたくさんあつて複雑であるが、右のおわりの方では、山が大きく数がすくなくなり、おのおの曲線の山のあいだに對應がつけられる。曲線 III では、對應する山が、ずつと右にずれている。第5圖で、たがいに對應する山にあたる點を鎖線でつないだ。

$f_s$  が 0 になるようにしても、記録曲線におなじ形の山があらわれることから、積雪がおもりの重さを増すにつれて間歇的に落込むのは、おもりの下にある雪の性質できまるのであつて、まわりの雪が及ぼす力  $f_s$  によるものではないことがわかる。

おなじ  $p_m$  に対する  $D$  が III の場合に大きいことは、 $f_s$  の存在をものがたるものである。しかしこの實驗結果から、 $f_s$  の大きさを出すことはできない。これをだすためには、すくなくともおもりの下のつぶされた雪の底の位置を知る必要がある。

トタン板と雪との摩擦の力は、雪と雪との摩擦の力より小さい。したがつて、II の場合の

$f_s$  は I の場合の  $f_s$  より小さくなる。それで II は I と III とのあいだの位置をしめる。

(6) いままでは簡単のため、雪が落込むときの記録曲線の形を鉛直な直線と考えてきた。実際にほとんど直線とみられる場合もあるが、おおくの場合はもう少し複雑である。それは第 2 圖をみてもわかる。

第 2 圖の左上に落込みのときの曲線の典型をしめた。a, b, c は落込みのはじめの段階の部分である。a はいちばん簡単な直線であつて、わりあいに密度の大きい雪におもりをかける場合、はじめのうちはこの型があらわれる。たとえば、第 3 圖の雪で、クラスト 2 から上の雪をとりぞき、密度 0.2 の雪に直接おもりをかけたなら、この型がでた。b, c の型は第 2 圖にたくさんみられ、いちばん普通である。d, e, f は落込みのおわりの段階の部分で d, e が普通にあらわれる。f は第 2 圖の曲線 I, II の最後の落込みにでている。これは、おもりが落込んでから、ある程度またもちあげられることをしめすもので、雪の弾性によるのであろう。第 2 圖の場合、この持ちあがりは 4 mm ほどである。c も f の程度の軽いものとみなされる。

おもりの質量を  $m$ 、スプリング S の常数を  $k$ 、S の縮みを  $\delta$  (おもりを吊したときの長さからの縮み)、雪がおもりに及ぼす力を  $f$  とすれば、 $\alpha$  をおもりの下向の加速度として

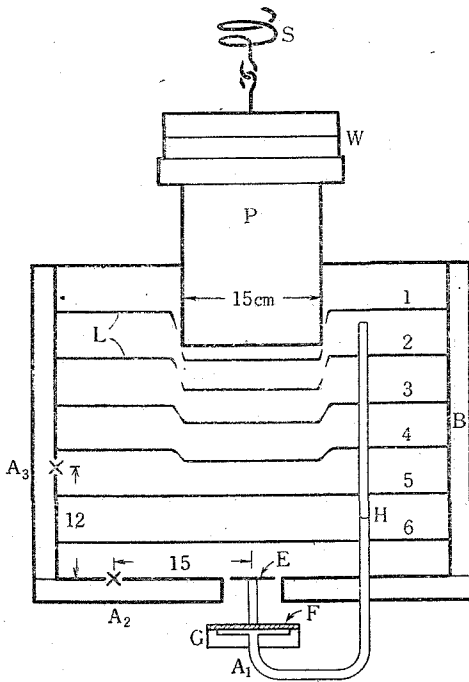
$$m\alpha = k\delta - f$$

の関係がなりたつ。 $\alpha$  が大きいほどおもりの落込む速度が一般に大きい。第 1 圖の測定装置のロープ T をまきもどす速度はほぼ一定にしたから、第 2 圖の直線 L にそつて O から右への距離は時間に比例している。したがつて、記録の曲線が鉛直に近ければ近いほど、落込みの速度が大きく、 $\alpha$  が大きいことになる。落込みの曲線が鉛直の線であれば、 $\alpha$  が大きく  $f$  が非常に小さいことになる。第 2 圖の a の場合は、おもりの下の雪がある厚さすつかりこわれてしまつて、支える力をほとんど失い、おもりは雪の抵抗をうけないで落ちたのである。b の場合は、こわれはじめても、すぐには全くこわれてしまわないで、しばらく抵抗し、それからすつかりこわれてしまつた。c は最後まで抵抗をつづけたわけで、これは新しい雪によくみられ、流體の抵抗に似た性質である。d は落込みの最後になつて抵抗をあらわしている。e, f は、おもりが落込みの間にえた運動量で雪を押しつけたが、雪の弾性でおしもどされたのである。

## II

うえに見たように、かかつた重みによつて積雪のくずれかたはなかなか複雑なので、それをもつとくわしくしらべる必要がある。そのためにつぎのような方法をとつた。

(1) 厚さ 6 mm の有機ガラスの板を 25 mm へだてて平行に立て、兩側と下とを木の板で



第 6 圖

かこつて、ひとつのうすい箱をつくる。第 6 圖の B がこの箱で、うちのりで高さ 34 cm, 幅 42 cm である。積雪から、ちょうどこの箱にはまるような雪の板をきりとつて、表面に煤で 5 cm おきに平行な線をかき、箱の中に入れる。第 6 圖の 1, 2, 3, …と番號をつけた線 L が煤の線である。P は幅 15 cm の木の板で、第 1 章の第 1 圖のおもりの下に固定してあり、これで雪の板に力を加へる。まえと同じようにして W を吊してゐるスプリングの伸びで、力の大きさを記録した。

雪がくずれるとともに煤の線の形がかわるのを 16 mm の活動寫眞にとり、積雪が落ち込むときの破壊のようすをしらべた。

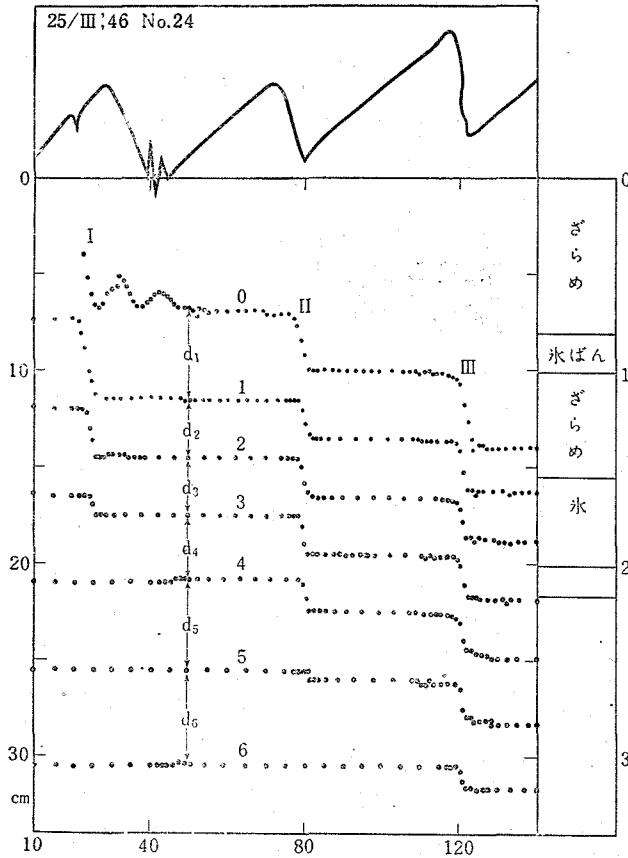
第 6 圖の A<sub>1</sub> は壓力測定器で、厚さ 1 cm の鐵板を淺くえぐつた G のうゑに、有機ガラ

スの板 F をかぶせてある。H は目もりのついた硝子毛細管で、鐵板と有機ガラスとのあいだの隙間につながり、この隙間にはアルコールの水溶液が入れてあるので、F に力がかかると、H 中のアルコールの柱の頭があがる。E はブリキ板で、これに雪の壓力がかかり、それが F につたえられる。こうして、雪の底にあらわれる壓力をはかつた。圖の A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> の位置にもおなじ壓力測定器をとりつけた。A<sub>3</sub> で側壓をはかれる。

(2) 第 6 圖の煤の線 1, 2, …が上から力をかけるとともにくずれて行く有様を活動寫眞にとつてしらべた結果の一例をあげる。場合によつていろいろちがうので、くわしいことは別にまとめて發表する豫定である。

板 P の眞下のところでは、煤の線の形はくずれずに水平な直線として下へさがつていく。活動寫眞のこまをひとつひとつしらべて、中央の點をとる鉛直線のうゑで、煤の線の位置の變化を測定し、グラフにしたのが第 7 圖である。縦軸には、雪のはじめの表面からの距離がとつてあり、横軸は活動寫眞のコマ數である。ひとこまの間隔は 1/16 sec であるから、横軸は 1/16 sec を單位にとつた時間軸とおなじである。この積雪の板は、積雪をたてに切りとつたので、その構造を右側の圖に示した。上の圖はスプリングの縮みのグラフである。

落ち込みが 3 回おこつたので、それに I, II, III と番號をつけた。煤の線の位置には、第 6 圖とおなじ番號をつけてあるが、0 としたものは板 P の下の面の位置である。また、煤の線



第 7 圖

と線との間の距離を、圖に示したように  $d_1, d_2, \dots$  であらわす。落込み I は複雑で、P は落ちてから二度も跳ねかえつている。雪のなかに氷の板があるためにおこつたことで、これについては別の機会に説明する。落込み I では第 3 線までにしか届いていないが、落込み II で第 5 線がさがり、次の III の落込みで第 6 線が落ちてゐる。このように、落込みは、回数がかさなるにつれて深いところへ進んでゆく。第 8 圖 (a) に、落込みのたびに各層の厚さ  $d_1, d_2, \dots$  が變化する有様を最初の厚さに對する % であらわした。I, II, III の記號は、落込みによつておこつた變化を示すものである。これで見ると、落込み I では第 5, 6 の層は破壊されていないで、第 1, 2, 3, 4, がこわれて縮んだ。II の落込みでは第 2, 3, 4 はほとんどこわれず、第 1, 5, 6 がこわれている。III の落込みでは第 1, 2, 6 の層が破壊した。だいたいのところ、いちどこわれた層は、そのあと丈夫になつてそれ以上はこわれにくくなるということが出来る。

第 8 圖 (b) は、落込み I を擴大して示したものである。左の方のは第 7 圖の煤の線、1, 2, 3, 4 の變化をそのまま大きくしたものであるが、線 1, 2, 3 の落込みは、1, m, n と印した點ではじまつている。すなわち、雪の破壊は、上の方からつきつきにつたわつてくるのであつて、このことは、 $d_2, d_3, d_4$  の變化をあらわした右側の圖をみれば、なお明らかになる。第 2 層の破壊がはじまつてから  $2/16 \text{ sec}$  のあいだ第 3 層は變化をうけてゐない。  $2/16 \text{ sec}$  のちはじめて第 3 層が破壊しはじめるが、そのごの  $2/16 \text{ sec}$  たつてはじめて第 4 層の破壊がはじまる。そして第 2 層の破壊はとまる。ひとつの層の厚さは 5 cm で、この厚さを破壊がつたわるのに  $2/16 \text{ sec}$  かかるのであるから、破壊の進行速度として  $40 \text{ cm/sec}$  という値が得

られる。これは、筆者のひとり<sup>(1)</sup>がきめた積雪のなかの音波の速さ 100 m/sec にくらべるといぢるしく小さい。

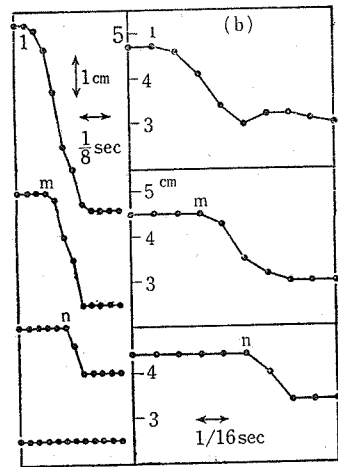
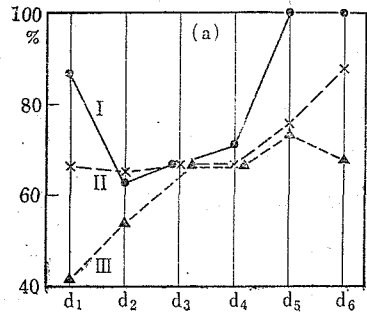
落込み II では破壊するのは第 1, 5, 6 の 3 つの層であるが、まず第 1 層が破壊し、それから 2/16 sec たつて第 5 層の破壊がはじまる。この場合 2/16 sec で破壊が第 2, 3, 4 の 3 つの層の厚さをつたわつたことになるが、第 2, 3, 4 の 3 つの層は変化をうけず、ただ力をつたえただけで破壊をつたえたわけではない。したがつて、落込み II の場合でも、破壊の進行速度は I の場合と同じである。落込み III では、まず第 2, 6 層が同時に破壊しはじめ、それがおわつてから第 1 層が破壊した。

このほか、破壊の進み方にはいろいろな型があるけれども、だいたいの傾向はここに説明したようなものである。

(3) 第 6 圖の壓力計 A<sub>1</sub> は、力をうける板 F の中心にかかる力が 100 gr ますと、H のなかの液の頭が 13 目もり (1 目もり=約 2 mm) あがるが、こ

のとき、F の中心が押されてうごく長さは  $4 \times 10^{-4}$  mm しかない。実験をはじめるとき、板を雪に接觸させるが、力はほとんどうけない状態にしておく。しかし、もし、おもり W をおろして雪に力をかけても、雪が非常に丈夫でほとんど變形をおこさず、かかつた力が E の兩側の木の底に支えられてしまえば、E には壓力がかからない。したがつて、この方法で雪の壓力をはかるためには、E をとりさつて、E のところを穴にしておいておもりをかけたとき、この穴のなかに雪がはみだしてくることが必要である。そして、このはみだしが、壓力をうける板 F の中心がうごく長さにくらべてずつと大きくなければならぬ。こういうことになつていれば、E がなければ大きい變形がおこるのを、E によつて妨げるのであるから、その變形をおこすべき力、すなわち雪の壓力が E にかかることになる。

木の底を 4cm の長さに切りとつて穴とし、雪を入れておもりをかけたなら雪は穴にはみだした。穴の兩方の縁に糸をかけたような形にはみだしたのではなく、四角な形にはみだしてくる。見やすいように、雪の下面に黒い粉をすこしまいておいて、その位置を顕微鏡でみて、はみだしをはかつたら、おもりが雪のなかに 11cm めりこんだとき 0.07mm, 18cm めりこんだと

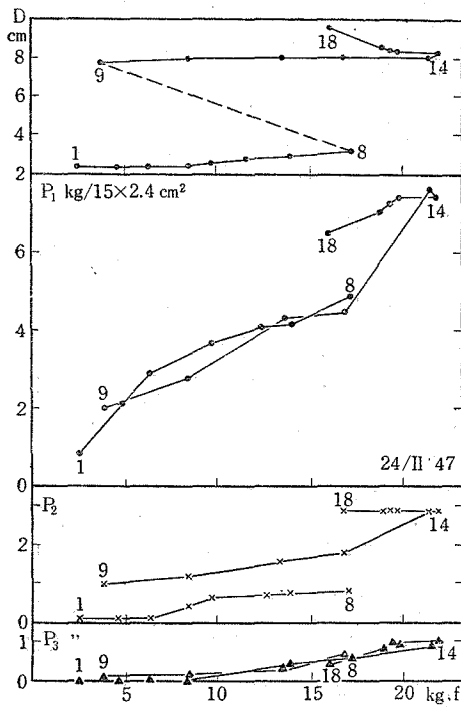


第 8 圖

きは 0.9 mm のはみだしであつた。E に 100 gr の力がかかるのは、おもりのめりこみが 2 cm ぐらいのときである。それゆえ、このときのはみだしは 0.02 mm ほどになる。しかるに、まえにのべたように、100 gr の力では F の中心は、この 50 分の 1 の  $4 \times 10^{-4}$  mm しかうごかない。したがつて、E には実際に雪の圧力がかかる。

この圧力測定器は、液體寒暖計とおなじ構造であるから、毛細管 H のなかの液の頭は温度があがればあがる。1°C で 22 目もりあがる。それで、温度變化の影響をのぞくために、壓力計を、H 以外の部分を全部雪でかこつておいた。あとに説明する測定結果の例からもわかるように、規則的な結果がえられたから、温度の影響はほとんどあらわれなかつたと考えられる。

(4) 第 9 圖は、おもりを吊すスプリングの上の端をゆつくりだんだんにさげて、雪にかかる



第 9 圖

る力  $f$  をましていつたときのグラフで横軸が  $f$  である。第 6 圖の板 P の底の面積は  $15 \times 2.4$   $\text{cm}^2$  であるが、壓力計  $A_1, A_2, A_3$  で測定した壓力を、 $15 \times 2.4$   $\text{cm}^2$  を面積の單位としてあらわして縦軸にとつてある。  $P_1, P_2, P_3$  がこの壓力である。また板 P の下の面が雪のなかに沈んだ深さ  $D$  を圖のいちばん上に示した。

$f$  がすこし大きくなつたところで、2 cm ほどの小さい落込みがあつたが、それについての測定値はとれなかつた。そのあとは圖にみられるとおりで、測定點に番號をつけて経過の順序をあらわしてある。 $f$  が 17 kg になるまで、 $P_1$  は だいたい直線的にまし、 $P_2, P_3$  は  $f=6.5$  kg までは一定のあたいを保ち、それから増しはじめている。 $D$  はこのあたに 0.8 cm ぶえた。 $f$  が 17 kg をすこしこえたところで、大

きな落込みがおこり、測定點は 8 から 9 にうつる。そこで、 $f$  がふたたび増すとともに、 $P_1, P_3$  は落込みのまえとおなじ経過をとるが、 $P_2$  だけは、落込みのまえの値がそのままのこつて、そのうえで新たな變化が重なつている。 $f$  が 22 kg になつたら、また落込みがおこりそうになつた。それで、スプリングの上の端をおろすのをとめておいたら、 $D$  はまして  $P_1, P_3$  はへり、 $P_2$  は一定の値をもちつづけた。測定點 14 から 18 までにこの経過を示す。

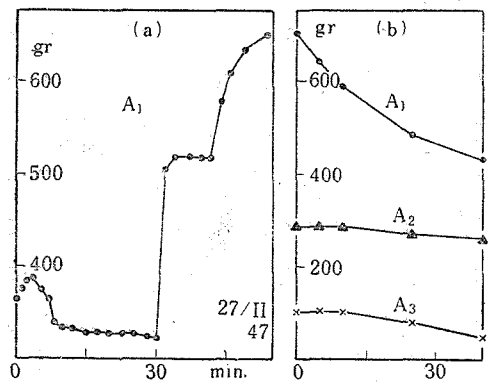
測定點 13 を考えるのに、雪には上から  $f=22$  kg の力がかかつている。底に及ぼされる壓力は、だいたい  $P_1+2P_2$  であらわされるが、この値は  $7+2 \times 3=13$  kg しかない。したがつ

て  $22-13=9\text{kg}$  は前後の有機ガラスの板によつて支えられているとみななければならない。A<sub>3</sub> は第 6 圖からわかるように、 $f$  がかかっているところから 10 cm 以上もはなれたところの側圧であるが、それすらかなり大きいのであるから、 $f$  がかかっているすぐそばにある有機ガラスの板には相當大きな圧力がかかっているはずで、有機ガラスが雪を支える力は、この圧力があるためにあらわれる。

第 I 章では、雪のうえに底の圓い荷をのせた場合をとりあつかつた。そして、この荷を支えるのは、荷の下の圓筒形をつぶれた雪の側面に働く力  $f_s$  と底に働く力  $f_b$  であると考え、 $f_s$  は  $f_b$  にくらべて小さいという結果をえた。だいたいのところ  $f_s$  はつぶれた圓筒形の雪の底のまわりの長さ  $S$  に比例し、 $f_b$  はつぶれた雪の底の面積  $a$  に比例する。實驗につかつた荷の圓い底の直径は 14 cm, 20 cm の二種類で、 $\frac{S}{a}$  の値はそれぞれ 0.018, 0.013/cm であつた。しかるに、いまの雪の板の實驗では  $\frac{S}{a}$  が 0.97/cm もあり  $\frac{f_s}{f_b}$  はまえのときにくらべて 50 倍近くになつている。いまの場合、 $f_s$  は、つぶれた雪の前後の面で有機ガラスから及ぼされる力と、兩側の面でその外の雪から及ぼされる力とふたつであるが、このあとのものは有機ガラスからの力にくらべると小さいから、省略して考える。そうすると、うえにみたとおりの、 $f_s$  は荷の大きさ、すなわち  $f$  の 40% にしか達しない。もちろん  $\frac{f_s}{f_b}$  の比と  $\frac{S}{a}$  との関係は荷の底の形によつてかわるはずであるが、大まかなところはその関係が一定であると考へてよいであらう。それで、特別に細長い底面をもつた、 $\frac{S}{a}$  の大きい荷をかける場合でないかぎり、 $f_s$  は  $f_b$  にくらべて遙かに小さいものを考へてよい。

以上第 9 圖の例は比重 0.35 のかなりかたい雪についての結果である。もうすこしやわらかい比重 0.29 の雪では、 $P_1$  と  $P_2$  との比が約 5:4 になつた。また、 $P_1$  と  $P_3$  の関係も、第 9 圖の場合にくらべて  $P_3$  が大きく、 $P_1:P_3=5:1.5$  である。底の圧力が、一様に近いこと、測壓も大きいことは、流體のなかの壓力分布に近いことを示している。

壓力  $P_1, P_2, P_3$  の測定をするのにはかなりの時間がかかるが、そのあいだに雪は少しずつ沈んで、壓力もすこしばかりかわる。すなわち匍匐がある。それで、この匍匐のために壓力がどのように變るかを別にしらべた。おもりを吊すスプリングをとりさり、雪がしすんでも  $f$  に變化がないようにして壓力の變化をしらべた結果が第 10 圖 (a) である。A<sub>1</sub> にあらわれる壓力變化を示したもので、はじめに  $f=6.4\text{kg}$  にしたら、壓力は 3 分



第 10 圖

ぐらいの間にはましたが、それからへり出して、はじめの半分以下になつた。30分たつてから、 $f$ を12.4kgにました。このときは、壓力はすぐに大きくなつてそのまま一定の値を保つたが、なお14.4kgにましたら、こんどは非常にゆつくり壓力がましつづけた。第10圖の(b)は、おもりを直接にロープで吊し、板Pをある深さに沈めて、その位置でロープで吊つたままとめた場合である。したがつて、雪が變形したあと、板Pがどのような力を雪にあたえているかわからない。 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ にかかる壓力は、全部時間とともにへつている。 $A_1$ の壓力のへりかたがいちばん速い。

このように雪に荷をかけたときの雪のなかの壓力は時間とともに變化する。したがつて、雪のなかにあらわれる歪や歪の力は、いつまでも一定なものでなく、一時間ぐらいのうちに非常にかわるはずである。そして、そのかわりかたは、歪の力になるべく一樣になるよりにかわるのであろう。

### 摘 要

雪にある重さ  $f$  の物體をのせたとき、物體はある深さ  $D$  だけ雪のなかに沈んで支えられる。 $f$  と  $D$  との關係をいちどにもとめるため、底面が直径 20 cm, 14 cm の二種類の圓形のおもりをスプリングで吊して雪のうえにおき、スプリングを一定速度でおろして行きながら、スプリングののびを自動的に記録した。スプリングをおろすにつれて、雪にかかる荷がまして、あるところで雪は落込み、なおスプリングをおろすとふたたびあるところで落込むというようにして、おもりは次第に雪のなかに沈んでゆく。そのときのスプリングののびから雪にかかる力がわかり、 $f$  と  $D$  との關係が得られる。おもりの底の面積を  $a$  とすると、直径が 20 cm でも 14 cm でも、 $\frac{f}{a}$  と  $D$  との關係はほぼおなじ關係になつた。

雪が落込む様子を見るために、厚さ 2.5 cm の雪の板をたて、それをうえとおなじようにして、スプリングで吊したおもりでうえからおした。雪の板の面には、あらかじめ煤で、5 cm おきの水平な線を引いておいて、これを 16 mm の活動寫真でうつして雪の板の變形をしらべた。また、雪の板の底に 2 カ所、側の縁に 1 カ所壓力計をつけて、雪の板のなかにあらわれる壓力をしらべた。これによつて、雪が破壊して落込むとき、破壊は上から下へとつたわが、その速さは 40 cm/sec ぐらいで、雪のなかの音の速さ 100 m/sec にくらべると著しくおそいことがわかつた。なお、雪が物體を支えるのは、物體のしたに押しつぶされた雪の塊ができて、その塊をまわりの雪が支え、その上に物體がのつているという形になる。ところで、このつぶされた雪は、その底と側面とでまわりの雪から支えられているのであるが、側面で支える力は底で支える力にくらべるとはるかに小さいことがわかつた。

この研究は文部省科學研究費、日本學術振興會補助によつて行つた。

## 文 獻

- (1) 吉田順五, 内海威彦, 笹谷雅信 1948. 積雪の弾性と匍匐, 低温科學, 4, 11.

Zyungo YOSIDA and Tosio HUZIOKA : Load Supporting Force of Snow Layer.

## Résumé

I. When a load of weight  $w$  kg is put on the surface of a snow layer, the load sinks to a depth  $D$  cm in it and is supported there. The relation between  $w$  and  $D$  was investigated as follows.

A cylindrical weight of about 40 kg is hanged by a spring over the surface of snow layer. The upper end of the spring is slowly lowered with a constant speed. After the weight has touched the snow surface the spring begins to contract and the weight begins to press the surface with increasing force  $f$ . When  $f$  reaches some value  $f_0$  kg the snow breaks down and the weight falls  $D_1$  cm abruptly. At the same time the spring is lengthened and the force  $f$  is decreased. As the upper end of the spring is lowered further,  $f$  again increases with the weight at this new position. When  $f$  reaches a value  $f_1$  kg, the snow breaks down again. Thus the snow bears the force  $f_0$  at the depth  $D_0 (=0)$  and bears the force  $f_1$  at the depth  $D_1$ . Lowering the spring further, the force  $f_n$  which the snow can bear at the depth  $D_n$  can be found. The length of the spring is recorded automatically as it is lowered by a simple device.

Cylindrical weights of diameters 14 cm and 20 cm were used. The relation between  $f_n$  and  $D_n$  was expressed in a simple algebraic formula such as

$$\frac{f_n}{a} = 4 + 1.4 D_n + 0.28 D_n^2$$

where  $a$  is the area of the base of the weight.

II. A sheet of snow ( $2.5 \times 35 \times 40$  cm<sup>3</sup>) is cut of a snow layer and set up vertically between two sheet of glass plate, its bottom and two sides being held by an wooden frame. Black lines are drawn with soot on the surface of the snow sheet at intervals of 5cm. A wooden plate 15cm wide is fixed under a weight which is hung by a spring. As the upper end of the spring is lowered, the wooden plate touches the snow sheet on its top surface and presses it gradually. The snow sheet breaks down as explained in the above experiment I. Pictures of the soot lines were taken cinematographically as they were deformed and displaced. The manners of their deformation and displacement were determined by measuring their positions on each piece of photograph.

Cutting off small portions of the wooden frame of the above experimental devise, three plate pressure gauges were applied to the snow plate on its lower and side edges. In this way pressures in the snow sheet which were produced by pressing it from above were determined.