HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 斜面積雪の滑動実験（序報） |
| Author(s) | 遠藤，八十一；秋田谷，英次 |
| Citation | 低温科學．物理篇，32，267-272 |
| Issue Date | 1974-03-31 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18265 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 32_p267-272.pdf |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

短　　報

Yasoichi ENDÔ and Eizi AKITAYA 1974 Short Report: Experimental Studies on Snow Gilding. *Low Temperature Science, Ser. A, 32.*

# 斜面積雪の滑動実験（序報）*

遠藤八十一・秋田谷英次
（低温科学研究所）

（昭和49年10月受理）

## I. はじめに

斜面に積った積雪は，地表面をゆっくり滑っている。斜面上の樹木や建造物が雪圧を受け，時には大きな被害を被る原因の一つは，この滑りによっている。また，春先に多い全層なだれも，この滑りの難易と密接な関係がある。ところが，斜面積雪の滑り機構に関する研究は今までほとんどなされていない。実際の斜面は，凹凸あり，樹木あり，岩ありと言った具合に非常に複雑であることが，この種の研究の遅れている理由の一つであろう。しかし，実際になだれの起こった場所を調べてみると，全層なだれは草や笹だけでおおわれた比較的単純な斜面で発生していることが多いようである。そこで，手始めとして，笹地と裸地とで次に述べるような斜面積雪の滑動実験を試みた。同種の実験は，今までに2，3行なわれている[1)~3)]が，そこでは滑りを摩擦としてしか取扱っておらず，実験で得られた摩擦係数も1（摩擦角45°）前後の大きな値である。

## II. 実験場所と方法

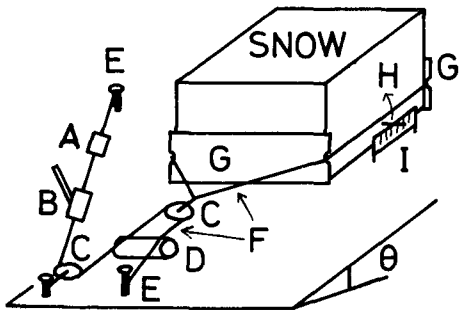
実験は，北海道問寒別にある北大雪崩観測所の南斜面で行なった。この斜面は，毎年全層なだれの発生するところで，地面は笹でおおわれている。平均傾斜は35°である。地面の種類としては，1）自然のままの笹地，2）あらかじめ笹を倒伏させた所，3）笹を刈って裸地にした所の3カ所を用意した。1）と2）を用意したのは，笹が積雪の内部に入り込んでいる場合とそうでない場合との滑りの違いを調べるためであった。しかし，今回の実験の際には，自然のままの笹地の笹も積雪内部に入ることなく，全て地面と積雪底面の間に倒伏していた。

これらの場所に積った積雪から，まず1m四方の雪のブロックだけを残し，周りをきれいに除雪する。この雪のブロックに，第1図に示したようにロード・セルA，チェン・ブロックB，滑車C，ワイヤーF等を取り付け，地面に物差しIを突き差す。チェン・ブロックBを始動さすと，雪のブロックに力が加わり始める。この力をロード・セルAをかいして10秒毎に読みとる一方，この力による雪の動きを物差しIによってまた10秒毎に読みとった。雪のブロックに付加した力は斜面に平行で，最大傾斜方向になるよう注意した。また，雪のブロックにはモーメントがかかるので，ワイヤーの作用点は出来るだけ地面に近づけた。それでも時々

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1338号

は雪のブロックが持ち上がることがあった。このような場合の結果は，この報告からは省かれている。

著者らの実験が，今までになされた実験と異なる点は，雪のブロックに加えた力の時間変化とその力による雪の動きを詳細に測定したことにある。

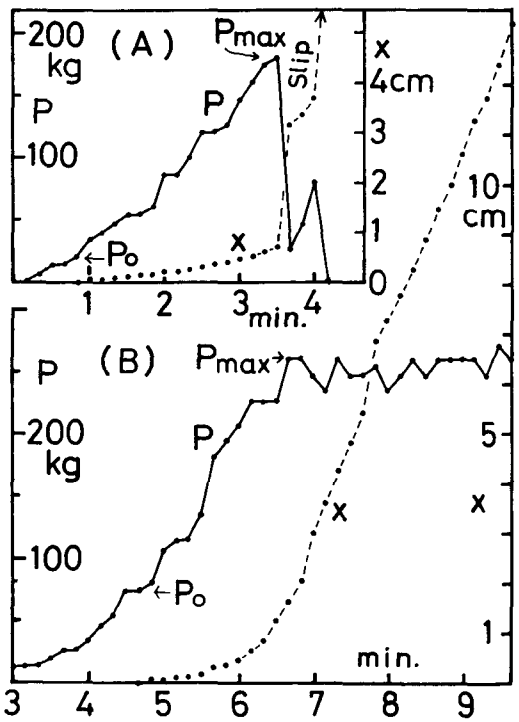



**第1図** 実験方法

**A**: ロード・セル，**B**: チェン・ブロック，**C**: 滑車，**D**: ワイヤー支持枕，**E**: 杭，**F**: ワイヤー，**G**: 木板，**H**: 目印，**I**: 物差し，$\theta$: 傾斜角。チェン・ブロック**B**を動かすと，雪のブロックは斜面下方に動きだす。

## III. 実験結果

今までにほぼ満足すべき実験ができたのは，笹地2回，裸地2回の計4回である。第2図にその実験例を示した。A図が笹地，B図が裸地の場合である。図中の実線が，雪のブロックに付加した力$P$の時間経過を，破線がブロックの動いた距離$x$を示している。A図とB図を比較すると，笹地と裸地とでは次の二点で明瞭な違いがある。一つは，雪のブロックが動き始める力$P_0$の違いである。図に示されているように，笹地の場合は付加した力が20 kgになった頃から始動したのに対し，裸地では73 kgになってようやく動き出している。第1表には，他の実験で得た$P_0$も記載されているが，ここでも$P_0$の違いは明らかで，笹地の$P_0$は裸地の$P_0$の半分以下の値である。しかし，$P_0$の物理的な意味は今のところ明らかではない。



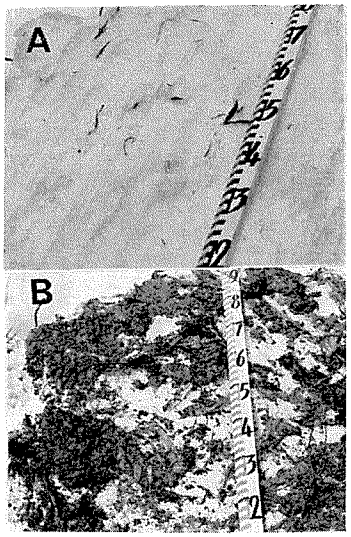

**第2図** 雪のブロックに加えた外力$P$とブロックの動き$x$の時間変化（測定日 1974年3月28日）。

A図は傾斜24°の笹地の場合で雪のブロックの重量は247 kgであった。B図は傾斜20°の裸地の場合で雪のブロックの重量は223 kgあった。

それぞれの雪のブロックは$P_0$の力で始動するが，雪のブロックに加えられる力$P$はその後も増加する。笹地の場合は，付加した力が187 kgになったとき数cmの滑りが起こり，力は25 kgに減少した。その後しばらくして雪のブロックは数10 cm滑落した。これに反し裸地では滑落することはなく，雪に260 kgの付加力が加わった頃よりずるずると動き出しただけで，その間雪にかかる力はほぼ一定値を保っていた。笹地と裸地とのこのような滑り様式の違いは，1973年の実験でも明瞭であった。以上の二点が笹地と裸

地との滑りの違いである。

実験終了後，雪のブロックを裏返し，底面の様子を調べた。ブロックの底面近くの雪質は，どの実験の場合もほぼ同じで，含水率数パーセント程度のしまり雪であった。底面の様子は第3図に示されている。図からわかるように，笹地の上の雪の底面には笹の茎によって出来た何本もの溝が斜面方向に並び，その面は薄く氷化し光沢をもっていた。ブロックの滑りによって笹が引き抜かれた様子はなく，わずかに笹の葉の小片が着いている程度であった。裸地の場合は，氷化しておらず，底面にはかなりの量の土が付着していた。



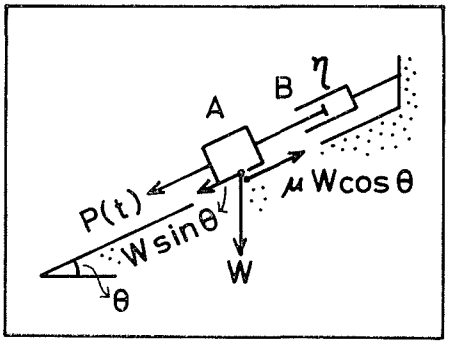

第3図　雪のブロックの底面写真。Aは笹地，Bは裸地の場合を示す

## IV. 考　　察

少ない実験例であるが，以上の結果から積雪の滑りについて考えてみよう。

### 1. 笹地の場合

実験によると，雪のブロックは付加力が$P_0$になったとき始めて動き出し，その後も力は増加した。$P_0$が何を意味するのかは不明であるが，笹地の場合の$P_0$は，笹と雪の間の摩擦力によって生じたものと考えることにしよう。(付加力$P$あるいは$P_0$は，雪の底面に働き，その向きは最大傾斜方向であったと仮定する。) しかし，摩擦だけでは雪のブロックが始動してから後の付加力$P$の増加は説明できない。そこで，笹地での滑り機構としては，摩擦の外に笹と雪の間にある水膜などによる粘性をも考えることにしよう。第4図は，この考えを模型で示したものである。Aがスライダー，Bがダッシュポットである。図の模型に外力$P_0$を加えたとき，スライダーが動き始めたとすると，$P_0$とスライダーの重量$W$，摩擦係数$\mu$，傾斜$\theta$との間には次の関係がある。




第4図　笹地における斜面積雪の滑り模型　Aはスライダー，Bはダッシュポットである

$$P_0 = \mu W \cos\theta - W \sin\theta \qquad (1)$$

また，スライダーが動き出した時間を$t=t_0$とすると，この模型に外力$P(t)$を加えたときに起こる変位$x$は

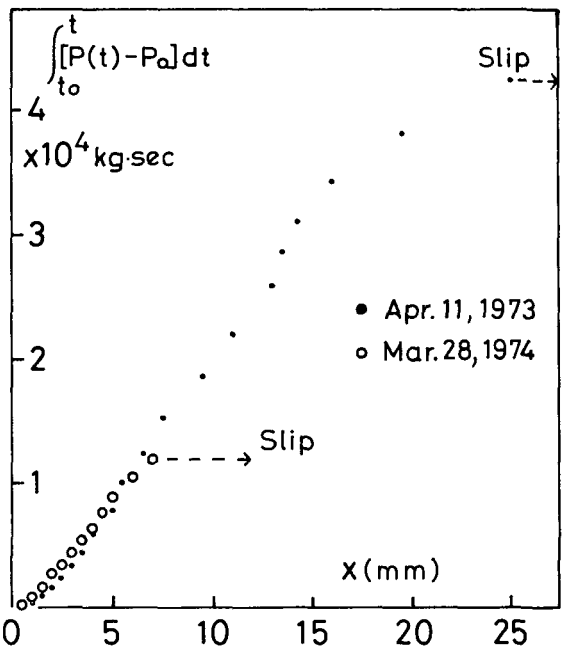
$$P(t)<P_0 \text{ であれば } x=0 \qquad (2)$$

$$P(t)>P_0 \text{ であれば } x=\frac{1}{\eta}\int_{t_0}^{t}\left[P(t)-P_0\right]dt \qquad (3)$$

である。ここで，$\eta$はダッシュポットの粘度である。

そこで，笹地における滑り実験が，上記の模型で表わせるかどうかを確かめてみよう。そのためには，笹地の実験から得た$P(t)$曲線から，いろいろな$t$における$\int_{t_0}^{t}\left[P(t)-P_0\right]dt$を求め，それが$x(t)$に対して直線関係にあるかどうかをみればよい。直線関係があれば，(3)式が成立つので，笹地での雪の滑りは，上記の模型で表わせることになる。第5図の黒丸は1973年の笹地，白丸は1974年の笹地の実験から求めた$\int_{t_0}^{t}\left[P(t)-P_0\right]dt$を$x$に対して図示したものである。図からわかるように，$\int_{t_0}^{t}\left[P(t)-P_0\right]dt$と$x$との関係は，ほぼ直線で近似できる。それゆえ，近似的には第4図の模型で，笹地での雪の滑りを表わすことが許されるだろう。

次に，この模型((1)式)から求まる笹地の摩擦係数$\mu$，言い換えれば摩擦角$\phi$の妥当性をためしてみよう。摩擦係数及び摩擦角の値は，第1表に示されている。表によれば，笹地の摩擦角は32°と28°であるから，この角度よりも緩い笹地斜面では，滑りや全層なだれは起きないことになる。そこで筆者らは，この実験を行なった同じ斜面上に残っていた全層なだれの跡地を調査し，傾斜が何度の所からなだれが発生しているかを調べてみた。調査は1973年4月11日に行なった。その結果は第6図に示されている。図で点々をほどこした部分がなだれの跡で笹の出ている所，白い部分は積雪の残っていた所を示す。図中の数字が地面の傾斜角を示す。図からわかるよう



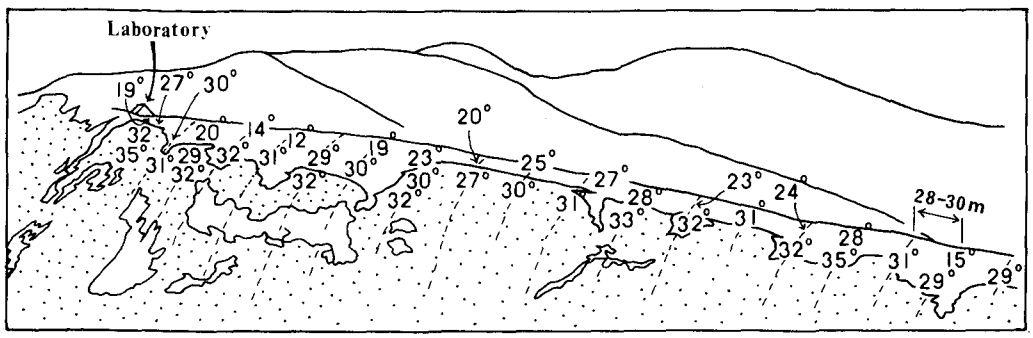

**第5図** $\int_{t_0}^{t}\left[P(t)-P_0\right]dt$と$x$との関係

黒丸印は1973年，白丸印は1974年の笹地における実験を示す

**第1表** 実験結果

| 測定日 | 地表 | 傾斜 $\theta$ (°) | 雪塊重量 $W$ (kg) | 斜面分力 $W\sin\theta$ (kg) | 垂直分力 $W\cos\theta$ (kg) | $P_0$ (kg) | 摩擦係数 $\mu$ | 摩擦角 $\phi$ (°) | $P_{max}$ (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1973. 3. 28 | 裸地 | 27 | 669 | 303 | 596 | 90 | (0.66) | (33.5) | 520 |
| 1973. 4. 11 | 笹地 | 29 | 534 | 259 | 467 | 35 | 0.62 | 32 | 420 |
| 1974. 3. 28 | 裸地 | 20 | 223 | 76 | 209 | 73 | (0.71) | (35.5) | 260 |
| 1974. 3. 28 | 笹地 | 24 | 247 | 100 | 226 | 20 | 0.53 | 28 | 180 |

ただし，摩擦係数$\mu=\tan\phi$は，$P_0+W\sin\theta=\mu W\cos\theta$として求めた。笹地ではこの式が成立つと考えられるが，裸地の場合は不明(本文参照)




**第6図**　全層なだれ跡地の傾斜角

場所：北海道間寒別にある北大雪崩観測所の南斜面。調査日：1973年4月11日。点を打った部分は雪が崩落し笹の出ている所，白い部分は積雪の残っていた所を示す。図中の数字が地面の傾斜角（雪面ではない）を示す

に，全層なだれのほとんどは，傾斜30°～32°を境に発生している。なだれ発生地で傾斜の最も緩やかな所は27°であった。調査日と同じ日に測定した笹地の摩擦角は32°，翌年の3月末に測定した値は28°であるから，摩擦角となだれ地の傾斜とは非常によい一致を示している。それゆえ筆者らの得た笹地の摩擦係数はかなり妥当なものと考えられる。しかし，27°～32°よりも緩い斜面に残っていた積雪が，全く滑りを起こさなかったかと言うことになると，甚だ疑問である。笹地の滑り機構や摩擦係数の値を明らかにするには，さらに多くの実験が必要である。

## 2. 裸地の場合

裸地の実験では，雪のブロックの底に多くの土が付着していた。このことから考えると，裸地での実験は土の剪断力を測定していたと考えるのが妥当と思われる。そうすると，第2図B（裸地）において，実験開始6～7分後に外力$P$が最大値$P_{max}$をとると雪のブロックの動きが急に速くなるのは，このとき土に作用している剪断応力$\tau_{max}$［=($P_{max}$+雪のブロックの斜面分力)/(ブロックの底面積)］が土の剪断強度に達したからだと言うことになる。そこで，この考えの正当性を吟味してみよう。第1表より，裸地で働いた最大剪断応力$\tau_{max}$を求めると，垂直応力$\sigma$=0.021 kg/cm$^2$のとき$\tau_{max}$=0.034 kg/cm，$\sigma$=0.060 kg/cm$^2$のとき$\tau_{max}$=0.082 kg/cm$^2$である。一方，土の剪断強度は，実験地の土について不明で土質も明らかでないため，ここでは山下ら[4]が簡易大型一面剪断試験機で得た笠島ロームと郷津砂との値を用いることにする。山下の値を採用したのは，試験方法が似ているためと，土の剪断面の面積（50×80 cm）が大きいためである。それによると，$\sigma$=0.02 kg/cm$^2$のとき砂及びロームの剪断強度は0.02～0.03 kg/cm$^2$，$\sigma$=0.06 kg/cm$^2$のときの強度は0.05～0.06 kg/cm$^2$である。実験地の土質が不明なため正確なことはわからないが，裸地の実験から得た最大剪断応力が砂やロームの剪断強度におおむね近いことと，何にもまして雪のブロックの底面に多量の土が付着していたことから判断すると，裸地での実験は土同士のずりによると考えられる。裸地での積雪の滑りを考える場合には，土の性質を十分に考慮しなければなるまい。

## V. おわりに

筆者らの行なった実験とほぼ同じ実験が過去になされたことは前に記した。そこでは，雪のブロックは摩擦だけで支えられていると考えていたためか，ブロックに加わえた力の時間変化やブロックの詳しい動きに関する記録がない。ただ，雪のブロックが“始動したときの力”だけが記されている。そしてこの“始動時の力”から摩擦係数が求められており，その値は1前後（摩擦角45°前後）の大きなものであった。この結果からすると，45°以下の斜面では積雪は滑ることなく，全層なだれとして崩落することもないと言うことになる。

過去の実験で摩擦係数が大きくなった理由は，雪のブロックの“始動時の力”として，第2図の $P_{max}$ の値を採用したためと推察される。雪のブロックの動きを詳細に測定していなければ，付加力が $P_{max}$ になったときブロックが始めて動き出したと考えるであろう。

それゆえ，斜面積雪の滑動実験においては，力と滑りの詳細な測定が必要である。また，今回はできなかったが，定速度，定荷重の実験も行なわれなければなるまい。

終りに，この実験に御協力いただき，種々の助言をいただいた藤岡敏夫教授，清水弘助教授に感謝の意を表します。また，この報告を書くにあたり，種々の助言と論文を校閲して下さった若浜五郎教授に感謝の意を表します。

### 文　献

1) 古川　巌 1960　雪崩発生底面における始動抵抗の研究．鉄道技術研究所速報，**60-75**，1-37.
2) 新井秀雄・生原嘉穀・今井篤雄 1957　頽雪防止林の研究．鉄道技術研究所中間報告，**8-78**，45.
3) 中俣三郎 1962　斜面雪圧．鉄道技術研究所報告，**322**，56.
4) 山下　宏・白石一夫 1971　簡易大型せん断試験機の試作と試験結果について．第6回土質工学研究発表会講演集，209-212.