HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	斜面積雪の挙動の研究　III : 接地面での雪の移動（グライド）
Author(s)	秋田谷, 英次
Citation	低温科學. 物理篇, 32, 97-104
Issue Date	1974-03-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18249
Type	bulletin (article)
File Information	32_p97-104.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Eizi AKITAYA 1974 Studies on the Behavior of Snow Cover on Slope III. —Glide Motion of Snow—. *Low Temperature Science, Ser, A, 32.* (With English Summary p. 103)

斜面積雪の挙動の研究 III

——接地面での雪の移動（グライド）——

秋田谷英次
（低温科学研究所）

（昭和49年10月受理）

I. まえがき

筆者を含む雪崩研究班の人達は，雪崩の基礎的研究として，北海道北部の山中にある，通称問寒別雪崩観測所の実験斜面で，斜面の雪の性質，積雪内部の歪，歪速度に関する研究を行なってきた[1]。斜面積雪のうける歪，歪速度，応力等は雪崩の発生機構に関する問題である。又実用面からは，雪崩予防施設である柵や杭に加わる雪圧を求める際の基礎資料となる。

斜面に積った雪は，内部での塑性流動と接地面での滑りの2つの運動をしている。前者はクリープ，後者はグライドと呼ばれている。今まで，スイスをはじめ[2]，我国では，北陸や[3]東北地方でグライドの測定が行なわれてきたが，北海道ではほとんど行なわれていない。ここでは，上記の実験斜面で行なわれた1973年12月から1974年3月までの，一冬を通してのグライド測定結果と，グライドの機構について考察した結果を報告する。

II. 測定場所と測定方法

グライド測定は30度前後の傾斜角をもつ，真南をむき最大傾斜の方向にも，又横方向にも起伏の少ない斜面で行なわれた。この斜面には木がなく，高さ1mあまりの笹におおわれていて，毎年春先には，尾根近くから全層雪崩が発生している。

アルミ製のそり（幅15 cm，高さ5 cm，長さ30 cm）を測定に用い，そりの後端に結んだ細い針金を地中に埋めた発振器につないだ。そりが0.5 cm移動する毎に，発振器で1パルスの電気信号を発生し，近くの尾根の上にある観測所内の電磁カウンターの数字を1駒進ませる。このそり，発振器，電磁カウンターの組み合わせた装置をグライドメーターと名付けた。そりを雪の積る前に地面上に置く。雪が積り積雪が接地面で滑ると，そりもいっしょに動き，その移動量を観測所内で読取ることができる。そりに結んだ針金の長さは約3mなので，読取ることができる移動量も3mあまりである。なだれが発生すると，そりもいっしょに流される。

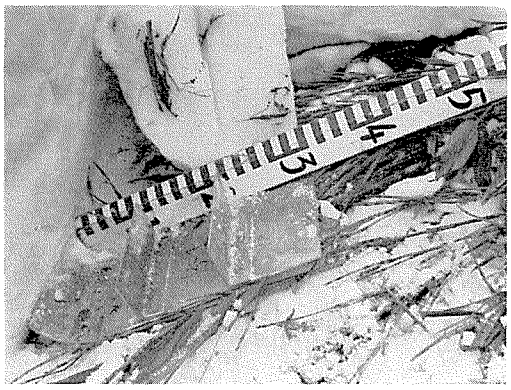
斜面のA，B2カ所の観測地で5個ずつのそりを設置した。A，Bとも尾根近くから最大傾斜線にそって8m斜面を下る毎にそりと発振器を1個づつ設置し，そりには上から順にA-1，A-2，……A-5，B-1，B-2，……B-5と番号をつけた。観測所内のカウンターの数字を通常1日

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1320号

に2回カメラで自動撮影した。観測者が観測所に滞在するときは，適宜読取りを行なった。

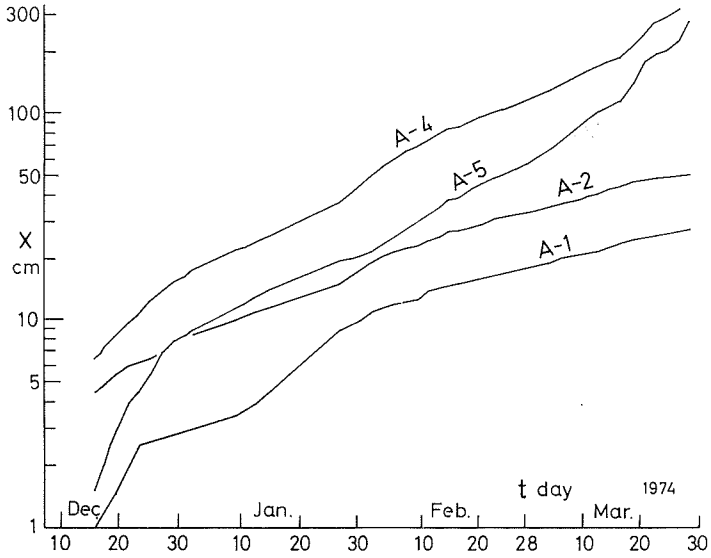
III. 測定結果

北陸や東北地方では，以前から木球やそりによるグライドの測定が行なわれてきた。この方法は春先に，木球やそりが地面にくい込み，グライド量を正しく示さないことが指摘されている[4]。この点を改良し，最近では歯車型グライドメーター[5]（大きな歯車を地面に設置しておき，積雪底面の移動にともなう歯車の回転を測る）やガイドレールとそりを組み合わせたものが用いられている。筆者もそりが地面へくい込むことを懸念し，測定終了直後に雪の中からB-1のそりを掘出して調べた。第1図にみられるように，そりは積雪下で，完全にねている笹の上を地面にくい込むことなく滑っていた。北海道では冬期間の融雪が少ないため地中水分も少なく，地面が軟弱になっていないことや，植生の違い（カヤと笹）がこのような良い結果をもたらしたのであろう。



第1図 グライド測定用そり
3月10日 B-1地点から掘出す

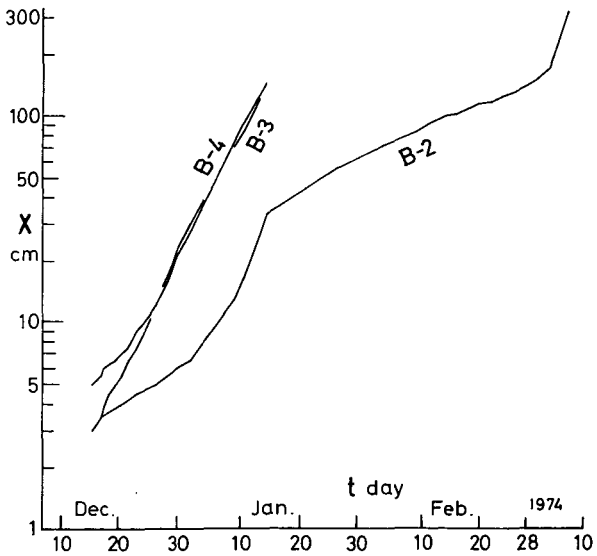
第2図，第3図はA，B地点における時間とグライド量の関係を示したもので，縦軸はグライド量（cm）を対数目盛で，横軸には時間（日）を直線目盛でとってある。A-3，B-1，B-5の3つのグライドメーターは発振器が故障し，データーは得られなかった。



第2図 A地点におけるグライド量の時間的変化
A-4，A-5附近で3月末になだれが発生し，そりは流された。

根雪は12月7日頃から始まり，日平均気温は12月末に一度プラスになった他は，3月末までマイナスであった。1，2月の日平均気温は −5〜−9°C の範囲内にあった。12月19日に観測所付近の他の南斜面で，今冬最初の全層雪崩を観測したが，例年より発生時期はかなり早い。

A地点の尾根に近い A-1，A-2 では，グライドはゆっくりと進行し，観測終了の3月末までにそりはそれぞれ 27.5 cm，50.5 cm 移動した。尾根から A-2 点までの間にクラック（雪の割れ目）は入らなかった。尾根から斜距離でそれぞれ約 32 m 及び 40 m 下った A-4，A-5 点のグライド量は，A-1，2 の地点のものより大きく3月14日までにそれぞれ，186 cm，116 cm であった。その後この2つのグライド速度は急に大きくなり，A-4は3月26日に 314 cm，A-5 は3月27日に 275 cm を示し，グライドメーターの測定範囲を越えたため，それ以後の記録はえられなかった。3月29日には A-4 の少し上端から雪崩が発生したが，クラックの入った時刻は不明である。なお A-5 の3月27日2時から18時までの平均のグライド速度は，1時間あたり 2.3 cm であった。



第3図 B地点におけるグライド量の時間的変化
B-3, B-4 附近で1月中旬なだれが発生した。3月4日に B-1 と B-2 の間にクラックが発生し，後になだれとなって落下した。

B地点は A地点より約 90 m はなれた場所にあり，例年A地点より早い時期に雪崩が発生する。ここでは前述のA地点よりグライド速度が大きく，特に B-3，4 のものは大きかった。1月14日にすでに B-3，B-4 でそれぞれ 139 cm，146 cm のグライド量を示し，その後停電のために，1月26日までカメラによる記録はとれていない。しかしグライドメーターは乾電池で作動しているため，カウンターは正常に動作し，1月26日の観測日には B-3 は 312.5 cm，B-4 は 291 cm を示して止まっていた。1月14日から26日までの間になだれが発生し，そりが流されたものと思われる。B-3 付近になだれが発生すると電池式時計のスイッチが切れ，時計が止まるように配線しておいたところ，この時計は1月16日午前2時で止まっていた。1月27日の斜面状態の観察では，吹雪で埋まったため，雪崩のあとは明瞭でないが，一たん埋まっていた笹がかなりの面積にわたり，先端部が雪面から出ており，これ以前に雪崩が発生したことはたしかである。

尾根に近い B-2 は1月14日以後グライド速度は小さくなったが，3月4日頃から再び大きくなった。3月4日の午前中に B-1 と B-2 の間で，幅 1 cm に満たないクラックを発見したので，クラックの開く早さを直接，物差で測定した。3月5日6時45分から17時21分までの10時間36分の間に，クラックは 17.3 cm 広くなった。同じ時刻内にグライドメーターで測定した B-2 のグライド量は 18 cm でクラックの広がりとほぼ等しい。3月7日午前中に，B-2 は

312 cm のグライド量を示し，グライドメーターの測定範囲を越えた。

クラックの広がる速さを3月10日まで継続して観測した。速度は日がたつにつれて速くなり，又日中は夜間よりも速かった。得られた最大の速度は3月10日の日中で，1時間当り4.7 cm であった。この時点ではまだ，雪崩は発生していなかった。その後観測者が引上げたため，経過は不明であるが，3月29日の再観測時には，前記のクラックの下の雪はなだれ，地面が露出していた。

IV. 結果に対する考察

斜面に積った雪は緩慢ではあるが，絶えず斜め下方に向って移動している。この運動にはクリープ現象とグライド現象の2つの運動があることを最初にのべた。ここでは単純なモデルを仮定して，グライドの実測結果とモデルの運動との比較を行なっている。

傾斜角 θ でその上に厚さ h の雪が一様に積っている斜面を考える。地面に垂直にはたらく応力を σ，地面にそって雪をすべらそうとするせん断応力を τ とすると，斜面が横方向に起伏がなく，応力状態が斜面方向で変化がなければ，$\sigma=\gamma gh\cos\theta$, $\tau=\gamma gh\sin\theta$ の関係がある。ただし γ は雪の平均密度である。

斜面上の積雪が接地面での摩擦のみによって支えられていると考えると，グライドが全くないときには，次の条件が成立つ。

$$\gamma hg\sin\theta \leqq \mu\gamma hg\cos\theta \qquad (1)$$

ただし　μ；雪の底面と地面との静止摩擦係数
　　g；重力加速度

この雪が速度 v で斜面上を滑っているとき，この動きを妨げる力として次の2つを仮定する。

1；摩擦力……動摩擦係数はグライド速度 v に比例して小さくなるものとする。第4図はクラックが入り，グライド速度がかなり大きくなった場所の，積雪底面の写真である。雪は左から右へ滑っていたもので，滑った方向に多くの細いすじが入っており，又斜めに小さなクラックの跡が見える。この雪は笹の上を滑っていたもので，すべり面は非常になめらかになっている。グライドが進むにつれて，このような底面での平滑化が起る。

第4図　積雪底面の状況
左から右に向って笹の上を滑っていた
右端のスケールは1目盛1 cm

今，v に比例して動摩擦係数が小さくなるとし，動摩擦係数を $(\mu-\alpha_1 v)$ で表わす。係数 α_1 は正の値で，α_1 が大きいほど，グライドは促進される。

2；速度の一乗に比例する抵抗力が雪の運動に働くものとし，この抵抗力を $\alpha_2 v$ とする。係数 α_2 は正で，α_2 が大きいほどグライドは妨げられる。

上の2つの抵抗力を仮定すると，v なる速度で運動している斜面上の積雪について次の運動方程式が得られる。時間を t, $\gamma h=m$ とおくと，

$$m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=mg\sin\theta-(\mu-\alpha_1 v)\,mg\cos\theta-\alpha_2 v \tag{2}$$

ここで　$\beta=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$,

$$\rho=\alpha_1 g\cos\theta-\frac{\alpha_2}{m}$$

とおくと，上式は次のように書きかえられる。

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\beta+\rho v \tag{3}$$

雪が斜面の上を動きだすためには，(1)式から $\mu<\sin\theta/\cos\theta$ でなければならない。したがって $\beta>0$ である。

$t=0$ で $v=0$, $x=0$ (x はグライド量) の初期条件を用いて(3)式をとくと，

$\rho\neq0$ の場合

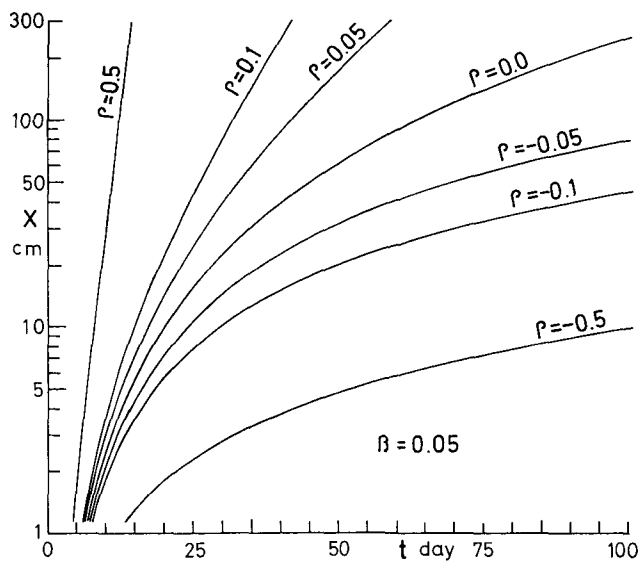
$$x=\frac{\beta}{\rho^2}(e^{\rho t}-1-\rho t) \tag{4}$$

$\rho=0$ の場合

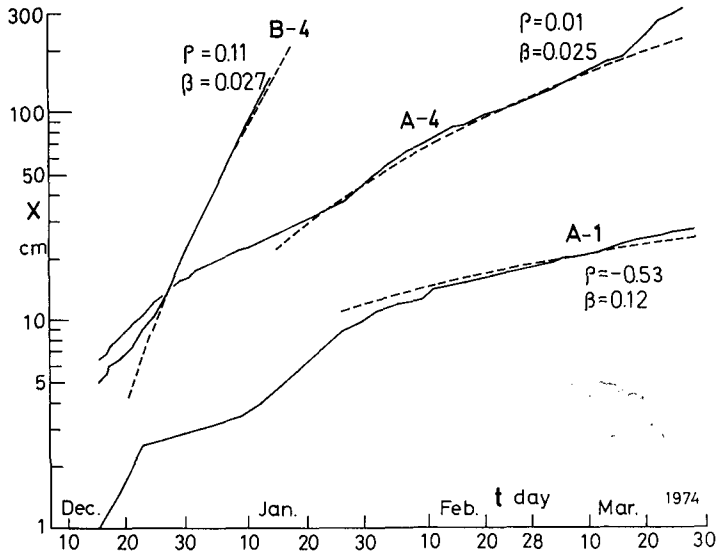
$$x=\frac{1}{2}\beta t^2 \tag{5}$$

が得られる。

上の2つの式からグライド量 x の時間的変化は ρ, β の2つの値によって変ることがわかる。1例として，第5図には，β が一定のとき ($\beta=0.05$) ρ の変化につれて x がどのように変るかを示した。時間 t は日，グライド量 x は cm でとってある。この図から ρ が正のときはグライド速度は大きく，負になると小さくなることがわかる。



第5図　(4), (5)式によるグライド量の時間的変化



第6図 グライドの実測値と計算値の比較
実測は実測，破線は計算値

実際のグライド測定結果から，一番安定なグライドをしたもの (A-1)，かなり安定なもの (A-4)，一番不安定なもの (B-4) の典型的な3例をえらび，上の計算結果を適用してみた。A-1は最後まで雪崩が発生しなかったもの，A-4は3月末に雪崩となり，B-4は1月中旬に雪崩となったものである。これら3つのグライド量の変化の中で，比較的一様な動きをした部分について，(4), (5) 式をあてはめ，β と ρ を求めた。第6図の実線は実測値，破線は計算から得られたもので，そのときの β と ρ の値は図に示してある。

結果によると ρ が -0.5 では，斜面積雪は安定な動きをし，0.1 では非常に不安定で，冬の早い時期に雪崩が発生している。β の値からは，安定，不安定を表わす傾向は得られなかった。

V. まとめ

東北や北陸地方でのグライド測定例はかなりあるが，北海道での一冬を通しての測定はほとんどなされていなかった。そり式のグライドメーターによる測定結果から，今冬のように雪崩が多く，しかも冬の早い時期から発生した年では，日射をうける南斜面では，かなりのグライドのあることがわかった。年による雪崩発生の遅速は降雪時，降雪後の気象条件，植生の条件などによると考えられるが，今後はグライドと関連づけて研究する予定である。

簡単なモデルにより，グライドに関する運動方程式をたてた。式の中で2つの定数 β, ρ を適当に選ぶことによって，ほぼ実測値と一致する曲線が得られた。しかし，もとの運動方程式の妥当性，α_1, α_2 及び β, ρ の物理的な意味については，今後の観測結果を吟味しながら検討しなければならない。

我国では雪崩防止構造物の設計計算に，グライドに関する係数をスイスで得られた値をそのまま用いることが多かった。しかし本州ではグライド量が大きく，この係数をもっと大きく

とることが検討されている。実用面からも，北海道において色々な条件下での，多くのグライド測定例が必要であろう。

終りにこの研究に関して御指導下さった藤岡敏夫教授，清水弘助教授，成田英器助手，ならびに御協力下さった北大天塩地方演習林の方々に深く感謝します。

なおこの研究の費用は文部省雪崩特別事業費から支出された。

文　献

1) 藤岡敏夫・他 1971 斜面積雪の挙動の研究 I —積雪内の歪，歪速度—. 低温科学，物理篇，**29**，125-134.

2) in der Gand, H. and M. Zupancic 1966 Snow gliding and avalanches. *IUGG, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., Publ.* **69**, 230-242.

3) 高橋喜平 1960 群杭に対する斜面積雪のクリープの研究. 鉄道技術研究所速報，No. 60-75, 39-64.

4) 高橋喜平・佐藤正平・片岡健次郎 1971 多雪地帯の経済的治山工法の研究（第1報）復旧工法の試験（I）. 林業試験場研究報告，**No. 238**, 31-75.

5) 山田 穣・荘田幹夫 1974 歯車型グライドメーターによる斜面積雪グライド量の測定. 昭和49年度日本雪氷学会講演予稿集.

Summary

The down-slope glide motion of a snow cover on the ground was investigated at Toikanbetsu, northern Hokkaido, in the winter of 1973-74. Glide shoes were used for the measurement of glide motion of the snow cover as shown in Fig. 1. The movement of a glide shoe was transferred by means of a steel wire tied thereto to a transmitter anchored under the ground. An electrical signal was generated by the transmitter every 5 mm movement of the glide shoe and was recorded by an electrical digital counter in the station.

Two sites A and B were used to observe the glide movement on the south slope inclined about 30°. The glide shoes A-1～A-5 were on site A and aligned at an interval of 8 m along the fall line of the slope, starting at the ridge downwards. The same arrangements were made for the glide shoes B-1～B-5 on site B. The distance of sites A and B was 90 m horizontally.

Glide movements with time at sites A and B are shown in Figs. 2 and 3. An avalanche occurred near B-3 and B-4 at the end of January, near B-2 at the beginning of March, and near A-4 and A-5 at the end of March But it did not occur near A-1 and A-2 in this winter season.

Fig. 4 is a picture of the bottom surface of the snow cover near site B, which was gliding for some distance on the slope of bamboo bushes. It has moved from the left to the right hand side in this picture, and the bottom surface looks very smooth and slippery by the glide motion as shown.

We assume from this observation of the slippery bottom surface of snow that the coefficient of gliding friction decreases in proportion to the glide velocity v. Another assumption adopted is that the resistant force working on the gliding snow cover increases in proportion to v.

The following equation of the glide motion is derived from the above mentioned

assumptions:

$$\gamma h \frac{dv}{dt} = \gamma hg \sin\theta - (\mu - \alpha_1 v)\gamma hg \cos\theta - \alpha_2 v,$$

where γ: density of the snow cover

h: thickness of the snow cover

μ: coefficient of static friction

α_1 and α_2: coefficients of gliding friction and resistant force regarding the glide velocity, respectively.

When we write $m=\gamma h$, $\beta=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$, $\rho=\alpha_1 g\cos\theta-\frac{\alpha_2}{m}$, the equation becomes:

$$\frac{dv}{dt} = \beta + \rho v.$$

Resolving this equation for the initial conditions:

$$v=0 \quad \text{and} \quad x=0 \quad \text{at} \quad t=0 \qquad (x \text{ is the glide distance}),$$

we can get the following equations:

when $\rho \neq 0$, $x = \frac{\beta}{\rho^2}(e^{\rho t} - 1 - \rho t)$,

when $\rho = 0$, $x = \frac{1}{2}\beta t^2$.

Fig. 5 shows, for example, the value of x for different value of ρ, when $\beta=0.05$. Fig. 6 is obtained by applying the above equations to the result of glide measurements of A-1, A-4 and B-4. As indicated by the figure, it shows a close agreement between the measurements (solid lines) and calculations (broken lines) for such β and ρ.
ρ is positive (0.11) at B-4, where the avalanche occurred at the end of January and negative (−0.53) at A-1, where it did not occur in this winter.