



Title	笹地斜面における積雪のグライド機構 I
Author(s)	遠藤, 八十一; ENDO, Yasoichi; 秋田谷, 英次 他
Citation	低温科学. 物理篇, 35, 91-104
Issue Date	1978-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18329
Type	departmental bulletin paper
File Information	35_p91-104.pdf



笹地斜面における積雪のグライド機構 I*

遠藤八十一・秋田谷英次

(低温科学研究所)

(昭和52年10月受理)

I. はじめに

斜面に積った雪は、ゆっくりとした速度ではあるが、常に地表面上を滑っており、これを積雪のグライドと言う。積雪のグライド現象は、全層なだれの原因として重要であるばかりでなく、斜面上の樹木や建造物に大きな力を及ぼすという意味でも重要である。このため、いろいろな人によって斜面積雪のグライド量が測定されて来た^{1)~5)}。しかし、いまだその機構は明らかにされないままである。

地表面での積雪の滑りをグライドという以上、その機構を明らかにするためには、積雪と地表面との接触部分の観察がまず必要である。そして、地表面のどのような物質が、滑り落ちようとする積雪に対して抵抗を及ぼし、積雪を支持しているのか。それらの抵抗がいかんして変化し、積雪のグライドを促進するのか、また逆にグライドによってその抵抗はいかに変化するのか等を知ることが大切である。そして、おそらくはこれらの抵抗が非常に小さくなった時に、斜面上の積雪は全層なだれとなって崩落するのだろう。したがって、上記の観察は、積雪のグライド機構のみでなく、全層なだれの発生機構の解明にとっても重要である。

北海道においては、全層なだれの多くは笹地斜面で起っている。そこで、笹地斜面で、しかも全層なだれの常習地を選び上記の観察を行なった。その結果、根雪当初からクラックの発生に至るまでに、斜面積雪の地表面近くでどのようなことが起るかをとおむね明らかにすることが出来た。また、これらの観察をとうして、斜面積雪のグライド機構を解明する糸口も見出すことが出来た。そこで、「笹地斜面における積雪のグライド機構 I」という題目で、上の結果を報告することにした。

II. 調査、観測地域の概略

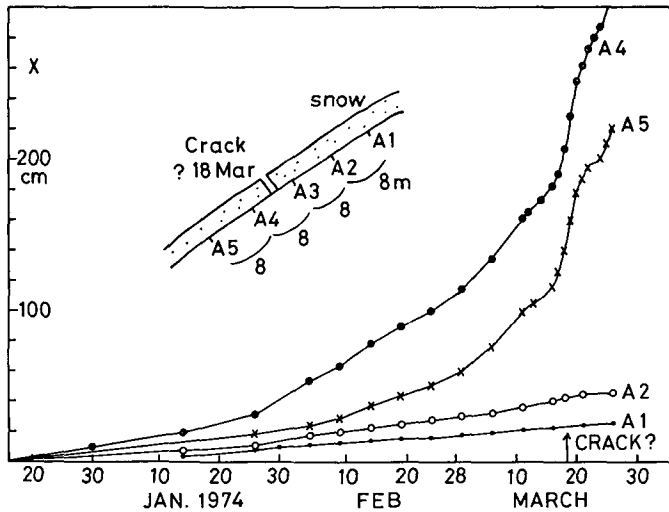
斜面積雪の調査及び観測は、北海道問寒別にある北大雪崩観測所のわきの斜面で行なった。この地域の山々は、標高250~300 m程度の山で、雪崩観測所はほぼ東西にのびた尾根の上にある。この尾根の北側の斜面には、直径20~30 cmのトドマツ・ダケカンパ、ミズナラ等の高木が立ちならび、その下には長さ2 m以上のチシマザサがおい茂っている。一方、南側斜面には、大きな木は全くなく、直径数 cm、長さ2~3 m程度の木がわずかに点在するのみで、地表面は長さ約80~100 cmのチシマザサでおおわれている。チシマザサの密度は、場所によ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1862号

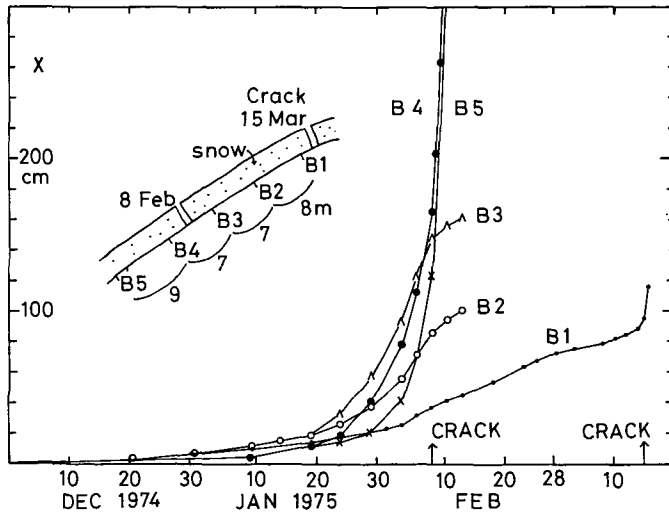
って異なるが、70~100本/m²程度である。斜面は傾斜方向にも横方向にもほぼ一様で、傾斜は30~35°である。この笹でおおわれた南斜面は、毎冬いたるところで全層なだれが発生する。

III. 斜面積雪のグライドの特徴

笹地斜面に積った雪の地表面付近の様子を述べるまえに、実際の斜面で積雪がどのような動き(グライド)をするかを述べておこう。笹地斜面における積雪のグライド量の測定は、1973~74年冬以来、前述の北大雪崩観測所わきの南斜面でなされて来た。それらの測定結果は著者ら^{3),4),5)}によってすでに発表されている。そこで、これらの文献に示されたグライド量の測定結果から、1973~74年冬と1974~75年冬の結果^{3),4)}を、それぞれ第1図及び第2図に転写した。



第1図 笹地斜面における積雪のグライド量(1973~74年冬)文献3)による

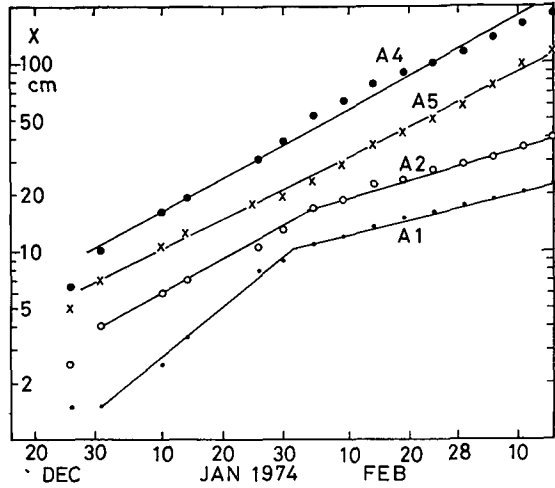


第2図 笹地斜面における積雪のグライド量(1973~75年冬)文献4)による

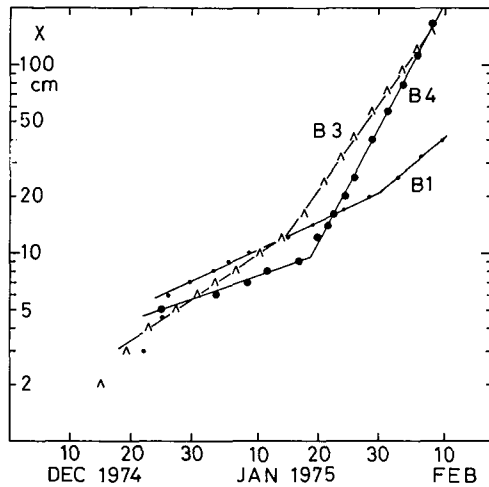
これらの図からわかるように、笹地斜面に積った雪は、始めはゆっくりとした速度で滑っているが、時間の経過につれてその速度は次第に大きくなる。そして、この傾向は雪面にクラックが発生するまで続く。雪面にクラックが発生すると、第2図からわかるように、クラックの下方(B-4地点とB-5地点)ではグライド速度が急に大きくなり、やがてクラックの下方の積雪は全層なだれとなって崩落する。一方、クラックの上方(第2図のB-1~3地点)では、クラックの発生によって、一時グライド速度が遅くなる。しかし、やがては、第2図のB-1地点のように時間の経過と共にその速度は次第に増加する。

クラックの発生に伴うグライド速度の急変は、積雪内部の応力状態がクラックの発生によって急に変化するためである。それゆえ、クラックの発生後しばらくの間のグライドを除外すれば、笹地斜面における積雪のグライド速度は、時間と共に次第に大きくなるということが出来る。そして、この傾向は尾根の近くでも斜面の下方でも変ることはない。

このようなグライド量と時間との関係をさらに詳しく知るために、今までに得たグライド量の測定結果を第3図に示すごとく片対数グラフ上に図示した。第3図³⁾及び第4図⁴⁾がその結果の一部で、縦軸にグライド量を対数目盛で、横軸に時間を直線目盛でとってある。図からわかるように、グライド量の時間変化は片対数グラフ上で直線で表わせる。ただし、一本の直線で表わせる場合は少なく、多くの場合、グライド量が10~20 cmになると直線は折れ曲り勾配の異なる別な直線となる。この原因は今のところ明らかではないが、いずれにしろ片対数上に直線で表わせることに変わりはない。それゆえ、笹地斜面におけるグライド量は、時間に対してほぼ指数関数的に増加するということ出来る。



第3図 グライド量の時間変化図(1973~74年冬 文献3)による



第4図 グライド量の時間変化図(1974~75年冬 文献4)による

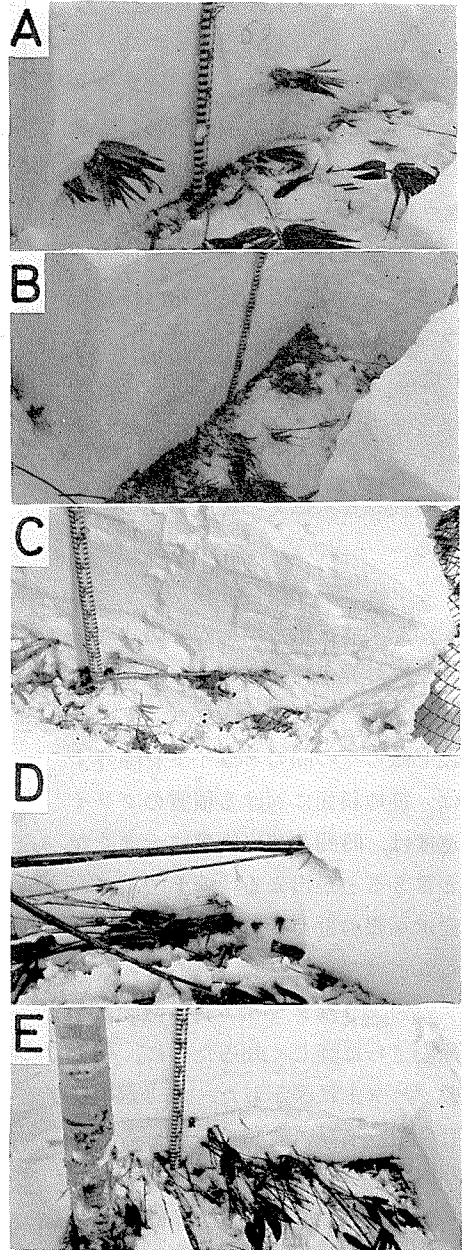
IV. 笹地斜面が積雪に及ぼす抵抗

笹地斜面に積った雪が、なぜ前節で述べたような動き(グライド)をするのかと言うことを知るためには、斜面を滑り落ちようとしている積雪に対して笹地斜面がどのような抵抗を及ぼし、積雪を支えているのかを調べる必要がある。そこで、雪崩観測所わきの笹地斜面のいろいろな場所に積った積雪の断面が観察された。その結果、積雪と笹地斜面とのかかわりに関して、次の2つの場合が存在することがわかった。

一つは、第5図Aのような場合で、斜面上の多くの笹は地表面と積雪底面との間に倒伏しているが、他の笹は積雪の内部に入り込んでいる場合である。これは、グライドのあまり進んでいない所で見られる状態で、したがって初冬にはいたる所でみられる。他の一つは、同図Bのような場合で、積雪内部には笹が見られず、全ての笹が地表面に倒伏している場合である。これは、グライドがかなり進行した場所、例えばクラックの下でよく見られる。A, Bどちらの場合も、地表面には多くの笹が倒伏しておりこのため地面の土や石、小さな凹凸等は、この笹におおわれ積雪とは直接に接触していない。それゆえ、このように多くの笹でおおわれた斜面においては、地面の土や石が積雪に及ぼす抵抗について考慮する必要はなく、その抵抗としては、地表面に倒伏した笹と積雪中に入り込んだ笹とだけを考えればよいことになる。

このうち積雪の内部に入り込んだ笹が積雪に及ぼす抵抗は、積雪の中に入り込んだ笹の長さとその本数とに依存するはずである。そして積雪中の笹の長さが短かく、その本数が少ない程、これらの笹が及ぼす抵抗は小さい。

一方、地表面に倒伏している笹は、第5図A, Bに示されているように多く、それらは地面上にすきまなく敷きつめられている。それゆえ、これらの笹が極端に少なくなり、地面の土



第5図 いろいろな場所における笹の埋没状況

A図は尾根から4m下った南斜面(笹地), B図は10m下った南斜面(笹地), C図は雪崩防止ネットの上方(南斜面, 笹地), D図は尾根の上, E図は北斜面の林の中である

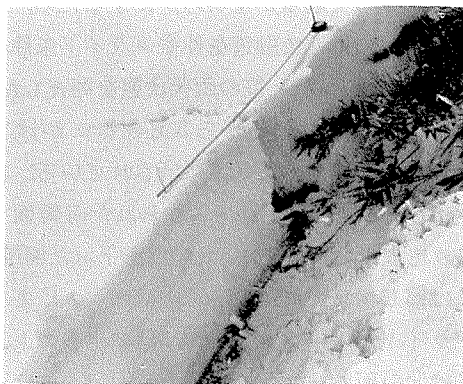
や石が積雪と接触するようにならない限りは、地表面に倒伏した笹の及ぼす抵抗は笹の長さや本数によってはほとんど変化しないと考えられる。

V. 笹の倒伏原因

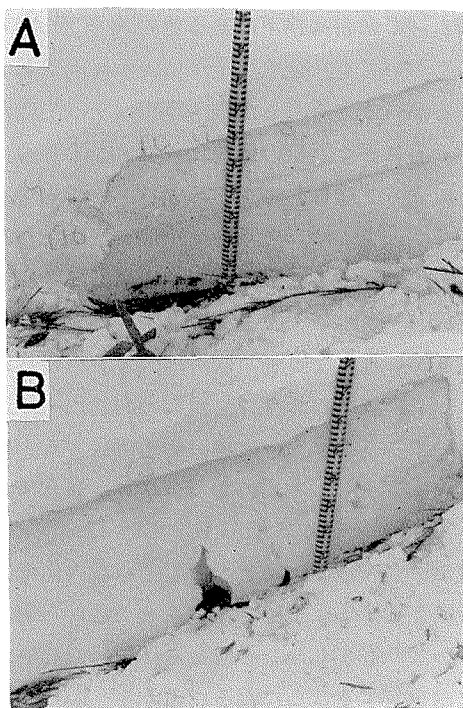
クラックの近くで積雪の断面を切ってみると、第5図Aの状態とBの状態が同時に観察される。第6図と第7図にその様子を示した。図からわかるように、クラックの上方では積雪内部に笹が入っているが、下方では笹は完全に倒伏している。そこで、どうして笹の埋没状態にこのような違いが起るかを調べてみた。

一つの可能性としては、根雪当初の降雪によって、クラックの下方の笹だけが何らかの原因で地表面に倒伏するということが考えられる。しかし、この可能性は、第6図のクラックが形成された場所を写した2枚の写真、第8図A, Bによって否定される。第8図Aは1977年1月末の写真で、雪面上のいたる所で笹が見られる。笹が雪面下に没したのとは2月初旬で、第8図Bは3月19日の雪面写真である。B図に見られるクラックの縦断面の写真が第6図である。A図とB図の比較からわかるように、クラックの下方の全ての笹が根雪当時の降雪によって地面に倒伏したわけでは決してない。他の場所と同様に、一部の笹は根雪当時の降雪によって倒伏するが他の笹は倒伏せずその後の降雪によって積雪内部にとじこめられるのである。それゆえ、根雪当時や初冬には、多かれ少なかれ積雪の内部に笹が入り込んでいるのが普通であるということになる。

それでは何故はじめは積雪の中に入り込んでいたはずの笹が、積雪中に見られないことがあったのだろうか。その原因には、(1)地熱による積雪底面の融解と、(2)積雪のグライドとの2つが考えられる。(1)の場合は、積雪底面からの融解が積雪中に入り込んだ笹の位置(高さ)まで進んだとき、笹は地面に倒伏することにな



第6図 クラックの近くの積雪断面
クラックの上方には多くの笹が積雪内部に入り込んでいるが、下方では積雪内部に笹は見あたらない



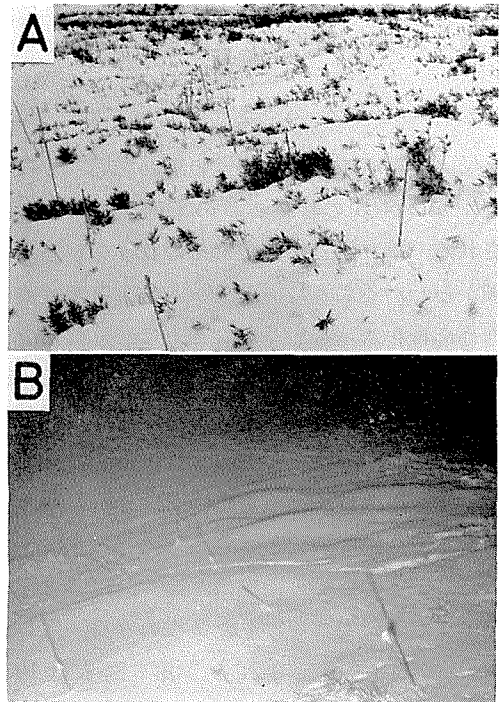
第7図 クラック近くの積雪の断面
A図はクラックの上方の断面、B図はクラックの下方の断面。B図には地面に向って開いたクラックがみえる

る。(2)の場合は、積雪中に入り込んだ笹の長さだけ積雪がグライドすれば、笹は積雪内部より抜け出し地表面に倒伏することになる。そこで、笹の倒伏が上記(1)、(2)のどちらの原因によって起るかを明らかにするため、雪崩観測所の近くで融雪条件やグライド条件の異なる場所を選び、笹の倒伏状態を調査した。調査は1976年2月末から3月初旬にかけて行なった。結果は第5図に示されている。第5図のA、Bは笹だけでおおわれた南斜面で各々尾根から4mと10m斜面を下った場所、Cは同じ南斜面だが雪崩防止用ネットによりグライドが阻止された場所、Dは尾根の上、Eは北斜面の林の中の積雪の断面である。図に示されているように、積雪中に笹が見られないのはB図である。それゆえ、もし笹の倒伏が積雪底面の融解によって起るならば、B図と同じ融雪条件下にある他の南斜面A、C図においても、全ての笹が地表面に倒伏しているはずである。しかし、事実はそうではない。それゆえ、笹の倒伏は主にグライドの進行によって起ると考えるべきである。実際、グライドがほとんど起らないと考えられる場所、C、D、E図では、多くの笹が積雪内に入り込んでおり、最も大きなグライド量が予想されるB図では、積雪中に笹はない。B図に示された積雪がどの程度グライドしたかは明らかではないが、この場所から等高線方向に5~6m離れた場所に幅約30cmのクラックが2本走っていたことから推察すると、笹が倒伏するにただけのグライドが起っていたと考えられる。

このようなわけで、積雪の内部に入り込んだ笹は、主に積雪のグライドの結果として、積雪の中より抜け出し、地表面に倒伏すると推論される。しかし、積雪底面における融雪も笹の倒伏に寄与しているにちがいない。観測所わきの南斜でなされた秋田谷の測定によれば、1968年1月18日から2月27日までの41日間に約2cm、1969年の同時期の43日間には約6cmの雪が積雪底面で融解している。積雪内部に入り込んだ笹の多くは、普通地面から30cmまでの所に存在するようである。このことから考えると1969年の冬には積雪底面の融解が笹の倒伏にかなり寄与したことになる。気温の高い本州方面の山では、積雪底面の融解がさらに重要な役割を演ずることになるだろう。

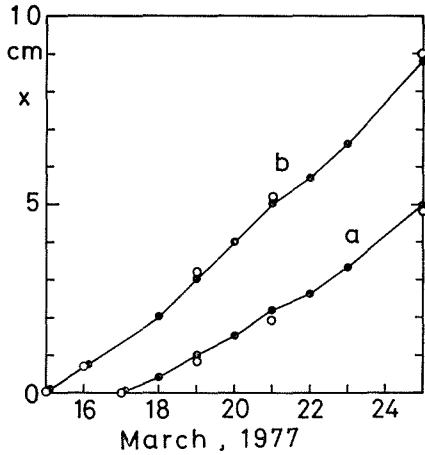
VI. 積雪内部の笹の観察

積雪の内部に入り込んでいる笹は、積雪のグライドによって積雪の中より抜け出し、地表



第8図 降雪による笹の埋没状況

A図は1977年1月末、B図は同じ場所の3月19日の写真である。第6図の写真は、B図にみられるクラックの断面写真である



第9図 積雪のグライド量と積雪中より
抜け出す笹の長さの関係

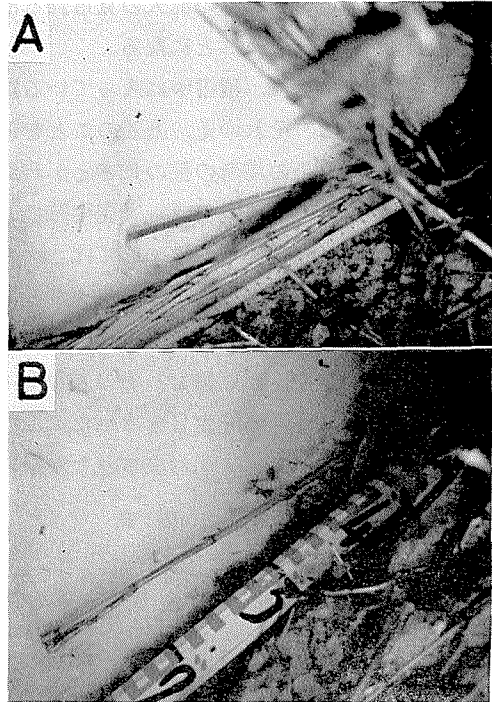
実線は笹 a 及び b が積雪より抜け出した長さを示す。白丸は笹 a 及び b のすぐ近くで測定されたグライド量である

面に倒伏すると前節で述べた。そこで、このことを確かめるために、斜面上に雪洞を造り、雪洞の壁に入り込んでいた笹 a 及び b が積雪より抜け出す長さを測定した。第9図の実線はその結果を示している。図中の白丸は、それぞれ笹 a 及び b のすぐ近くで測定された積雪のグライド量を示している。図から明らかなように、積雪から抜け出した笹の長さはそのすぐそばの積雪のグライド量と完全に一致している。それゆえ、積雪内部に入り込んでいた笹は、積雪のグライドによって抜け出すことにまらがないと言うことになる。第10図の2枚の写真は、笹 b が雪洞の壁から抜け出る様子を示したものである。

以上述べたように、笹は積雪のグライドによって抜けるので、積雪中に入り込んでいる笹の抵抗はグライドの進行につれて小さくなるであろう。第III節で、笹地斜面の積雪のグライドは時間と共に速くなると述べたが、これは、積雪中に入った笹の抵抗がグライドの進行によって小さくなるためと考えられる。

V. クラックの発生条件

第6図と第7図に示したように、クラック付近の積雪断面を見ると、クラック上方の積雪中には笹が見られるが、下方の積雪中には笹はなく全ての笹は地面に倒伏している。ところで、これらの写真はクラック発生後数日して撮られたものである。それゆえクラックの下方の笹がクラックの発生前にすでに地面に倒伏していたのか、クラック発生後の積雪のグライドによって倒伏したのかは不明である。もし、クラックの発生前にすでに笹が倒伏していたのなら、クラックは、笹が積雪からぬけ地面に倒伏すると発生するということになる。そして、その場所



第10図 笹 b が積雪中より抜け出す様子
A 図は 1977 年 3 月 15 日、B 図は 3 月 25 日の
写真である

は、斜面の上方でいまだ笹の混入の見られる積雪の部分とすでに地面に笹が倒伏した部分との境界で形成されると言うことになる。

前に述べたように、積雪中に入っている笹は、その雪が笹の長さだけグライドしたときに地表面に倒伏する。それゆえ、上述のことを確めるためには、クラック発生時のクラックの近くのグライド量とその場所の笹の長さとがわかればよいことになる。そこで、過去3冬間のグライド量の測定結果から、クラック発生時のグライド量を第1表にまとめてみた。そのうち、クラック発生時の不明なものについては、次のようにしてその日時を推定した。第III節で述べたように、クラックが発生すると、クラックの上方ではグライド速度が遅くなり、下方では速くなる傾向がある。そこで、第1図や第2図に示したようなグライド量の時間変化曲線より上のような変曲点をさがし出し、その点をもってクラックの発生日とした。表中の*印は、このようにしてクラックの発生日を求めたことを示している。また、表中の矢印は、グライド測定点のどの場所でクラックが形成されたかを示している。したがって、表中の1974年1月16

第1表 グライド量とクラックの関係

クラック発生日	グライド測定地点 (尾根からの距離)	グライド量 (cm)	クラック発生場所	クラック発生日	グライド測定地点 (尾根からの距離)	グライド量 (cm)	クラック発生場所		
1974年 1月16日	B-1 (8m)	—	←	1975年	B-1	96	←		
	2 (16″)	30~40		3月15日					
	3 (24″)	>136		1975年					
	4 (32″)	>140						3月15日	
	5 (40″)	—							
1974年 3月4日	B-1 (8m)	—	←	C-1	5.5m	102	←クラックのはし		
	2 (16″)	165						2	6
1974年 3月18日*	A-1 (8m)	23	←	1976年	D-1 (12m)	46	←		
	2 (16″)	42						1月28日	
	3 (24″)	—						2 (16″)	—
	4 (32″)	207						3 (20″)	98
	5 (40″)	140						4 (24″)	71
1975年 2月8日	B-1	37	←	1976年	E-1 (12m)	57	←クラックのはし		
	2	86						1月28日	
	3	148						2 (16″)	71
	4	123						3 (20″)	67
	5	165						4 (24″)	31
1975年 2月8日	C-1	42	←	5 (28″)	120	92			
	2	53							
	3	—							
	4	153							
	5	283							
	6	179							

日のクラックを例にとれば、そのクラックは測定点 B-2 と B-3 の間に形成されたことを矢印が示している。また、矢印の右側に“クラックのはし”と注意がきのあるもの、例えば、1976年1月28日のE列でみられたクラックは、等高線方向に走ったクラックの端がE-2とE-3との間にあったことを意味している。逆に言えば、E-2とE-3の間でクラックが止ったと言うことになる。笹の長さは、前に述べたように80~100 cmである。

そこで第1表よりまずクラック上方のグライド量を見てみよう。そうすると、1975年2月8日のB-3とC-4の値を除けば、他の全てのクラック上方のグライド量は笹の長さ80~100 cmには今だ到達していない。一方、クラックの下方の値は、“クラックのはし”と印した1976年1月28日のE列と同じ日のD-4とで笹の長さ80~100 cmより小さいが、他は全て笹の長さより大きい。それゆえ、1~2の例外を除けば、第6図や第7図のクラックの下方でみられる笹の倒伏は、クラックの発生前にすでに起っていたことになり、次の様に言うことができるだろう。積雪のグライドによってある領域の全ての笹が地面に倒伏すると、その上方で今だ混入の見られる積雪部分との境界にクラックが発生する。発生したクラックは等高線方向に広がって行くが、行く手に笹の入った積雪部分があらわれるとクラックはそこで止められると言うことになる。

上に述べたことから考えると、例外として除いた1975年2月8日のクラックは、B列ではB-2とB-3の間、C列ではC-2とC-4の間で形成されなければならないことになる。しかしこれについては次のような解釈がなりたつ。従来、クラックは雪面で発生し積雪底面に伝わりと考えられて来たが、第7図Bに示されているように、積雪底面で発生するクラックもかなり多い。それゆえ、このようなクラックがB-2とB-3、C-2とC-4の間の積雪底面に発生していたならば、雪面上からそれを見つけることは出来ないこれらの地点の積雪底面に、このようなクラックが発生していたかどうかは明らかではないが、多くのクラックが積雪底面で発生していることを考えると、上述の可能性はかなり高いものと考えられる。

以上のようなわけで、クラックは、斜面上方の笹の混入した積雪部分とその下方で全ての笹が地面に倒伏した積雪部分との境界で発生するとほぼ結論することが出来るだろう。言いかえれば、積雪内部に入り込んでいた笹が、積雪のグライドにより積雪から抜け出し地面に倒伏すると(時間の早い遅いはあるが)、その上方でクラックが発生するということになる。

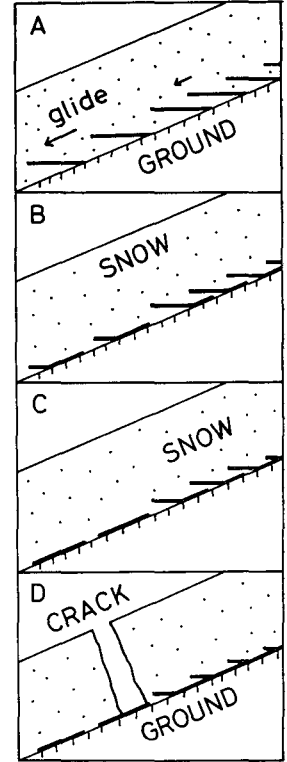
VI. 笹の倒伏の過程

今まで述べて来たことを基に斜面積雪と笹との関係が、積雪のグライドの進行によってどのように変化するかを、第11図にまとめてみた。

前に述べたように、笹地斜面上に雪が積ると、その重みによって多くの笹は地表面に倒伏する。しかし、いくらかの笹は倒伏せず、積雪の内部にとじ込められる。その様子を示したのが第11図Aである。煩雑さをさけるために、図では地表面に倒伏した笹は省略されている。しかし、地表面に倒伏したこれらの多くの笹は、地面上の土や石、小さな凹凸など積雪の滑りにとって抵抗となる諸々の要素をおおいかくし、非常に単純な斜面をつくるという意味で重要である。したがって、笹地斜面が積雪のグライドに及ぼす抵抗としては、積雪内部に入り込ん

だ笹と地表面に倒伏した笹とを考えればよい。このうち前者の抵抗は、積雪内に入り込んだ笹の長さが長いほど、またその本数が多いほど大きいと考えられる。A図の場合は、積雪内に入り込んだ笹の長さは同じだが、その本数が斜面下方で少ない場合を示している。斜面の傾斜や積雪水量は、場所や時間によって変わらないとすると、積雪のグライド速度は斜面の上方より下方のほうが速くなるだろう。そうすると、積雪中に入り込んでいた笹の長さはそれぞれの場所のグライド量だけ短くなり、積雪内部の笹の様子はB図ようになる。積雪内部に入り込んだ笹の長さが短くなると、その笹が積雪に及ぼす抵抗は小さくなり、その結果、積雪のグライド速度は増加することになる。すなわち、積雪がグライドすると笹の抵抗は小さくなり、抵抗が小さくなるとさらにグライドが進むということになり、積雪のグライド量は時間に対して加速度的に大きくなるものと考えられる。この傾向は、実際の笹地斜面におけるグライド量の時間変化とかなりよく似かよっている。それゆえ笹が積雪中から抜けるにつれ、どのように抵抗が減少するかが、グライド機構を解明するかぎと考えられる。

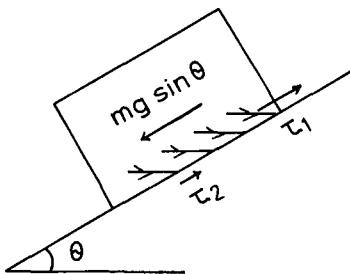
このようなグライドの結果、斜面下方のグライド量は上方のそれに比べ非常に大きくなり、斜面下方のグライド量が積雪中に入り込んでいた笹の長さより大きくなると斜面下方の笹は全て地表面に倒伏することになる。この様子を示したのがC図である。前に述べたようにある領域の全ての笹が地表面に倒伏するとその上方のいまだ積雪中に笹の混入がみられる部分との境界にクラックが発生し(第11図D)、クラック下方の積雪はやがて雪崩となって崩落する。



第11図 笹の倒伏の過程とクラックの発生

VII. 笹地斜面におけるグライド機構

今まで述べて来たことを基に、笹地斜面における積雪のグライド機構を考えてみよう。簡単のために、傾斜 θ の笹地斜面の上に重さ mg の雪塊がのっている場合を考える。雪塊には長さ l の笹が n 本入り込んでおり、地表面には多数の笹が倒伏しているとする。その様子を示したのが第12図である。図では煩雑さをさけるために倒伏した笹は省略されている。



第12図 笹地斜面上の雪のブロックに作用する力

ここで、笹と積雪との接触面には単位面積あたり次式で示されるような抵抗力 τ' が働くと仮定しよう。すなわち、粘性抵抗が働くと仮定したことになる。

$$\tau' = \eta \, dx/dt \quad (1)$$

ここで、 dx/dt は笹と積雪との接触面での積雪の速度で

あり、これは雪塊のグライド速度に等しい。 x は雪塊のグライド量、 η は比例定数である。

そうすると、雪塊に入り込んだ笹と地表面に倒伏した笹が雪塊に及ぼす抵抗力 τ_1 , τ_2 はそれぞれ (2) 及び (3) 式となる。

$$\tau_1 = \eta_1 n f(x) \frac{dx}{dt} \tag{2}$$

$$\tau_2 = \eta_2 s \frac{dx}{dt} \tag{3}$$

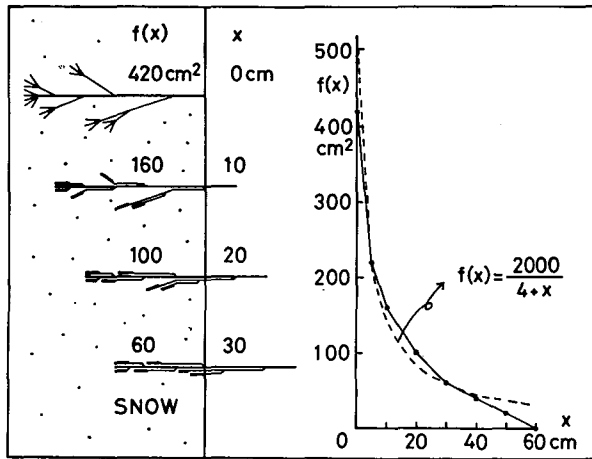
ここで、 $f(x)$ は雪塊に入り込んだ一本の笹についての笹と積雪との接触面積である。雪塊の中に入っている笹は、雪塊のグライドによって抜け出すため、 $f(x)$ は x の減少関数である。また、 s は地表面に倒伏した笹と雪塊との接触面積である。しかし、前に述べたように倒伏した笹は地表面にすきまなく敷き詰められているため、 s は雪塊の底面積にほぼ等しい定数と考えられる。

一方、雪塊を斜面にそって滑り落そうとする力は、 $mg \sin \theta$ であるから、第 13 図に示した雪塊に働く力の釣合いの式は

$$mg \sin \theta = \left\{ \eta_1 n f(x) + \eta_2 s \right\} \frac{dx}{dt} \tag{4}$$

となり、 $f(x)$ の関数が与えられれば解くことが出来る。そこで、積雪中入り込んだ笹の積雪との接触面積 $f(x)$ が、グライド量 x によってどのように変化するかを調べてみよう。

第 13 図の最上段の図は、積雪中に入り込んだ笹の最初の状態を示したものである。笹の形というのは、厳密に言えば一つとして同じものはない。しかし、概略としては最上段のような形をなしていると思われる。そこで、この状態の笹と積雪との接触面積を図上で測定した。その値が今 420 cm^2



第 13 図 $f(x)$ と x との関係

$f(x)$ は積雪中に入っている笹の積雪との接触面積、 x は積雪から引き抜かれた笹の長さで、これは積雪のグライド量に等しい

であったとしよう。これがグライド量 $x=0$ の $f(x)$ である。積雪が 10 cm グライドしたときの笹と積雪との接触面積を求めるには、最上段に示した笹を 10 cm 積雪から引き抜いた場合の笹の状況を図面に絵描き、その図から笹と積雪との接触面積を測定すればよい。上から 2 番目の図がその状態 ($x=10 \text{ cm}$ の状態) を示したもので、接触面積 $f(x)$ を測定すると 160 cm^2 であった。このような方法で $f(x)$ を求め、 x に対して図示したのが同図の右のグラフである。図からわかるように、積雪中に入り込んだ笹の積雪との接触面積 $f(x)$ は、ほぼ次の関数で近似できる。

$$f(x) = \frac{1}{a+bx} \quad \text{ただし } 0 \leq x < l \quad (5)$$

ここで、 a 及び b は笹の形で決まる正の定数である。言うまでもないが、 $x \geq l$ では $f(x) = 0$ である。

(5) 式を (4) 式に代入し、 $t=0$ で $x=0$ の初期条件のもとで解くと次式となる。

$$mg \sin \theta t = \frac{\eta_1 n}{b} \left\{ \log \left(x + \frac{a}{b} \right) - \log \frac{a}{b} \right\} + \eta_2 s x \quad (6)$$

これが、今までの観察事実と 1~2 の仮定を基に考え出した積雪のグライド量と時間との関係式である。

(6) 式で $\eta_2 s x$ の項が無視出来る場合、すなわち、地面に倒伏した笹の抵抗が積雪内部の笹の抵抗にくらべて極端に小さい場合には、積雪のグライド量は時間に対して指数函数的に増加することを、(6) 式は示している。これは、第 III 節で述べた実際の斜面でのグライド量の時間変化と全く同じである。地面に倒伏した笹の抵抗が (6) 式で無視できる程小さいかどうかは明らかではないが、第 2 図に示されているようにクラックが発生するとその下方の積雪のグライド速度が非常に速くなる (第 2 図の B-4 地点の速度は 70~100 cm/day であった) ことから考えると、その可能性はかなり高いものと思われる。

VII. ま と め

積雪のグライドがまだあまり進んでいない段階で、笹地斜面に積った雪の断面を切ってみると、多くの笹が地表面に倒伏しているが一部の笹は積雪の内部に入り込んでいる。地表面に倒伏した笹は、普通非常に多く、地面の土や石をおおいかくす。それゆえ、笹地斜面上を滑り落ちようとする積雪に作用する地面の抵抗としては、地表面に倒伏した笹と積雪内に入っている笹の 2 つだけを考えればよいことになる。このうち、積雪内に入り込んだ笹は、グライドの進行に共なって積雪より抜け出すのが観察された。それゆえ、積雪内の笹が積雪に及ぼす抵抗は積雪がグライドするにつれ減少するものとし、斜面上の積雪の力の釣合いを考えた。その結果得たグライド量と時間との関係は、実際の斜面での測定結果と定性的に一致していた。今後は、この論文に用いた仮説の実証が必要となる。

過去 3 年間の笹地斜面でのグライド量の測定結果を用いて、クラックと笹の倒伏との関係を調べた。その結果、クラックは、笹が積雪から抜け地面に倒伏したのちに発生することがおおむねわかって来た。そして、その発生場所は、全ての笹が地面に倒伏している領域の上縁であると考えられる。この問題に関しては、さらに多くの資料の集積が必要であろう。

終りに、この研究の調査・観測にあたりいろいろな協力と助言をたまわった雪害科学部門、応用物理学部門の方々に心から感謝いたします。

文 献

- 1) in der Grad, H. and M. Zupanci 1966 Snow gliding and avalanches. IUGG, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. 69, 230-242.
- 2) 山田 稔・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年度日本雪氷学会予稿集.
- 3) 秋田谷英次 1974 斜面積雪の挙動 III —接地面での雪の移動(グライド)—. 低温科学, 物理篇, **32**, 97-104.
- 4) 秋田谷英次 1975 斜面積雪の挙動の研究 V —斜面積雪のグライドとクラックの発生, 1974~1975 冬—. 低温科学, 物理篇, **33**, 103-108.
- 5) 遠藤八十一・秋田谷英次 1976 斜面積雪の挙動の研究 VI —「こぶ」状起伏の形成とその機構—. 低温科学, 物理篇, **34**, 99-110.

Summary

In order to clarify the glide mechanism of a snow cover on a slope covered with bamboo bushes, observations were made in site on such a slope in connection with snow gliding. At the initial stage of snow gliding as shown in Fig. 5 A, a small number of bamboo bushes are found not lying down buried in the snow, most of them lie down on the slope. As a snow cover starts gliding down on the slope, the former start unfastening themselves by slipping out of the snow pack around them. At the final stage they all fall down under the moved snow, which is shown in Fig. 6 as they are exposed at the bottom of a crack.

A relation between lying down of bamboo bushes and formation of a crack is studied using the data shown in Fig. 1 and 2. They show that when a crack is formed, the gliding distance of a snow cover on the slope upper than the crack is smaller than the lengths of bamboo bushes, 80~100 cm, and that the gliding distance on the slope lower than the crack is larger than the lengths. This relation indicates that a crack is formed at the upper edge of a place where all bamboo bushes lie down on the ground, because bamboo bushes do so on a slope when a snow cover glides more than the lengths of bamboo bushes. Therefore, it is considered that a crack is formed by such a process as shown in Fig. 11.

It may be concluded from these observations that two kinds of resistances work on the gliding snow: resistance by bamboo bushes not lying down buried within the snow and resistance by bamboo bushes lying down under the snow. The former is considered to decrease as a snow cover glides, because the bamboo bushes unfasten themselves by slipping out of the snow as gliding proceeds. Because a large number of bamboo bushes lying down on the ground form a smooth and slippery surface for snow gliding, the latter is generally considered to be so small that it is neglected in this paper.

Now assume that the resistive force τ_1 of bamboo bushes within the block shown in Fig. 12 is viscous, then

$$\tau_1 = \gamma_1 n f(x) \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

where γ_1 is constant, n is number of bamboo bushes within the block, $f(x)$ is contact area between a bamboo bush and snow, and $\frac{dx}{dt}$ is gliding velocity. Figure 13 shows how the contact between a bamboo bush and snow varies when a bamboo bush unfastens itself by slipping out of a snow as a result of snow gliding. As shown in this figure, $f(x)$ is given

approximately by $f(x) = \frac{1}{a+bx}$, whereby equation (1) becomes

$$\tau_1 = \eta_1 n \frac{1}{a+bx} \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

where a and b are constants.

Then, the following equation is derived for the glide motion of a snow block in Fig. 12:

$$mg \sin \theta = \eta_1 n \frac{1}{a+bx} \frac{dx}{dt}. \quad (3)$$

Resolving this equation for the initial condition ($x=0$ at $t=0$), we can get

$$x = \frac{b}{a} \left\{ \exp \left[\frac{bmg \sin \theta}{\eta_1 n} t \right] - 1 \right\}. \quad (4)$$

This equation agrees with the glide movement of a natural snow cover which is shown in Figs. 3 and 4. It may be concluded, therefore, that snow gliding is mainly controlled by bamboo bushes not lying down buried in a snow cover.