HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	斜面積雪の挙動の研究　VI：「こぶ」状起伏の形成とその機構
Author(s)	遠藤, 八十一; ENDO, Yasoichi; 秋田谷, 英次 他
Citation	低温科學. 物理篇, 34, 99-110
Issue Date	1977-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18303
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_p99-110.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Yasoichi ENDO and Eizi AKITAYA 1976 Studies of the Behavior of a Snow Cover on Mountain Slope. VI. Formation and Mechanism of Bump-Shaped Undulation. *Low Temperature Science, Ser. A, 34.* (With English Summary p. 110)

斜面積雪の挙動の研究 VI*

——「こぶ」状起伏の形成とその機構——

遠藤八十一・秋田谷英次*
(低温科学研究所)

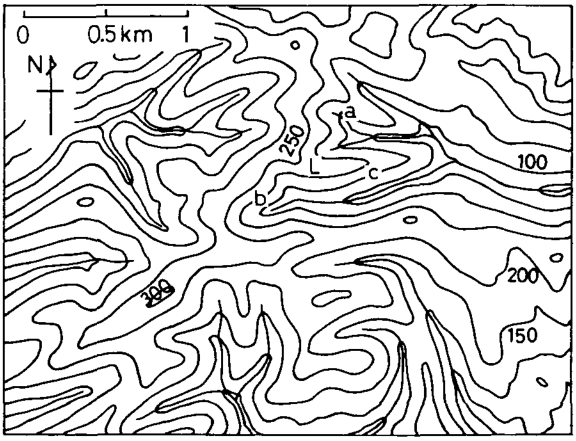
(昭和51年10月受理)

I. はじめに

北海道北部の問寒別には，北海道大学低温科学研究所の雪崩観測実験室（通称雪崩観測所）がある。筆者らは，毎冬12月から4月始め頃まで，のべ6～7回この観測所に行き，この周辺の山々で起る全層なだれや斜面積雪の地表面での滑り（これを積雪のグライドという）等を調査，観測して来た。

また，筆者らの一人，秋田谷[1,2]は，数年前より観測所わきの南斜面にソリ型のグライド測定器を設置，その上に積った雪の動きを調べると共に，その雪の表面の変化も自動カメラをもちいて撮影して来た。（グライド測定装置については，文献[1,2]を参照されたい。）

観測所わきでのこれらの測定と周辺の山々での調査観測の結果，斜面に積った雪が全層なだれとなって崩落するまでの間に，積雪表面でどのような現象が起るかがおおむねわかって来た。また，これらの現象の一つである雪面上に現われる「こぶ」状起伏について，その形成機構をほぼ明らかにすることが出来た。そこで，斜面積雪が全層なだれとなって崩落するまでの過程と，その過程で雪面に形成される「こぶ」状起伏の形成機構を，この論文に報告する。



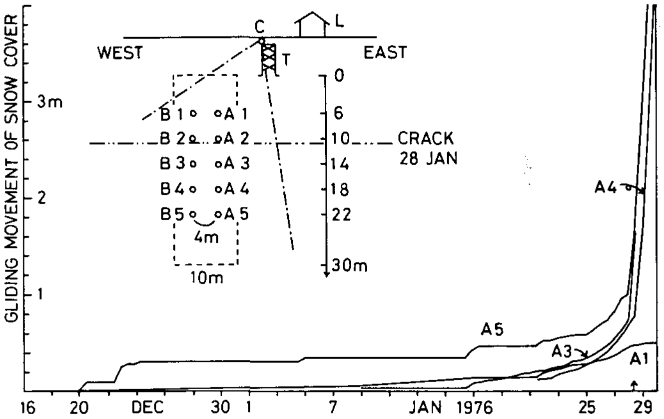
第1図　北海道問寒別にある雪崩観測所周辺の地形。図中のLが雪崩観測所である

II. 調査地域の概況とグライド観測場所

観測は，主に北海道問寒別にある北大・雪崩観測所の周辺の山々で行なった。第1図は，この地域の地図である。図からわかるように，この地域の山々は，標高250m程度の山で，尾根はほぼ東西に伸びている。この尾根の北側の斜面は，直径20～30cmのト

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1806号

ドマツやダケカンバ，ミズナラ等からなる森林であるが，南側斜面は，地表面を高さ約1mのチシマザサでおおわれた笹地で，木は高さ2m程度のものが点在するのみである。この笹でおおわれた南向き斜面のほとんど全ては，発生時期の早遅こそあれ，毎冬全層なだれの発生する所である。南向き斜面は，傾斜方向にも横方向にも一様で，尾根から谷底までほぼ同じ30～35°の傾斜が続いている。



第2図 グライド計設置場所と各地点での積雪のグライド量（昭和50～51年冬）

A-1, ……, A-5, B-1, ……, B-5 がグライド計である。一点破線は，自動カメラ C の撮影範囲，二点破線は1月28日に出来たクラックの位置，破線は地形測量の範囲を示す。クラックの下の雪は1月30日全層なだれとなって崩落した

雪崩観測所は，上の調査地域の中の一つの尾根上に位置（第1図のL点）し，そのわきの南向き斜面にはグライド計と自動カメラが第2図のように設置されている。図のA-1からA-5, B-1からB-5がソリ型グライド計の設置場所で，A-1, B-1は尾根の下約12m（ヤグラTからは6m下）の所にあり，斜面下方に向って4m間隔でA-2・B-2, A-3・B-3, … と続いている。A列のグライド計とB列のそれとは，等高線方向に4mはなれて設置されている。自動カメラCは，図のヤグラTの上に設置し，上記グライド計の上に積った雪の表面を1日5回自動的に撮影するようになっている。

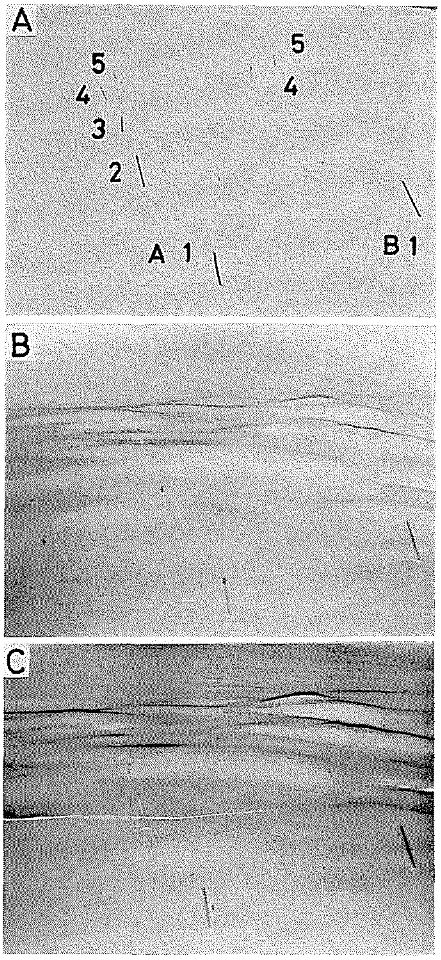
III. 全層なだれ発生までの過程

観測所わきの南斜面における積雪のグライドとそのグライドに伴なう雪面の変化の測定，及び周辺の斜面で起った全層なだれに関する諸現象の調査観測の結果をもちいて，斜面に積った雪がどのような経過をへて全層なだれとなり崩落するかをたどってみよう。

この地域が根雪となるのは，12月始めころである。斜面に積った雪は，非常にゆっくりした速度ではあるが，根雪当初から地面上を滑っている。第2図に，その様子を示した。同図は，図の左上に示したA-1, A-3, A-4, A-5地点での積雪の滑り（グライド）を示している。この年は12月16日に根雪となり，1月30日，地点A-2, B-2より下の雪が全層なだれとなり崩落した。図に示されているように，斜面に積った雪は，根雪当初からゆっくり滑っており，わずかずつではあるが，時間の経過と共にその速度を増す。一方，自動カメラは，降雪毎に積雪が増加する様子とその増加につれ，笹が次第に埋って行く様子を撮した。その後，笹は雪の下にかくれてしまった。この頃の雪面は，凹凸のない平らな面で，特別な変化は起らなかった。

この間も，斜面上の積雪は滑っており，第2図によれば，根雪以来1月25日までに約30～50cm動いている。この頃より，積雪のグライド速度が速くなり，今まで平らであった雪面に

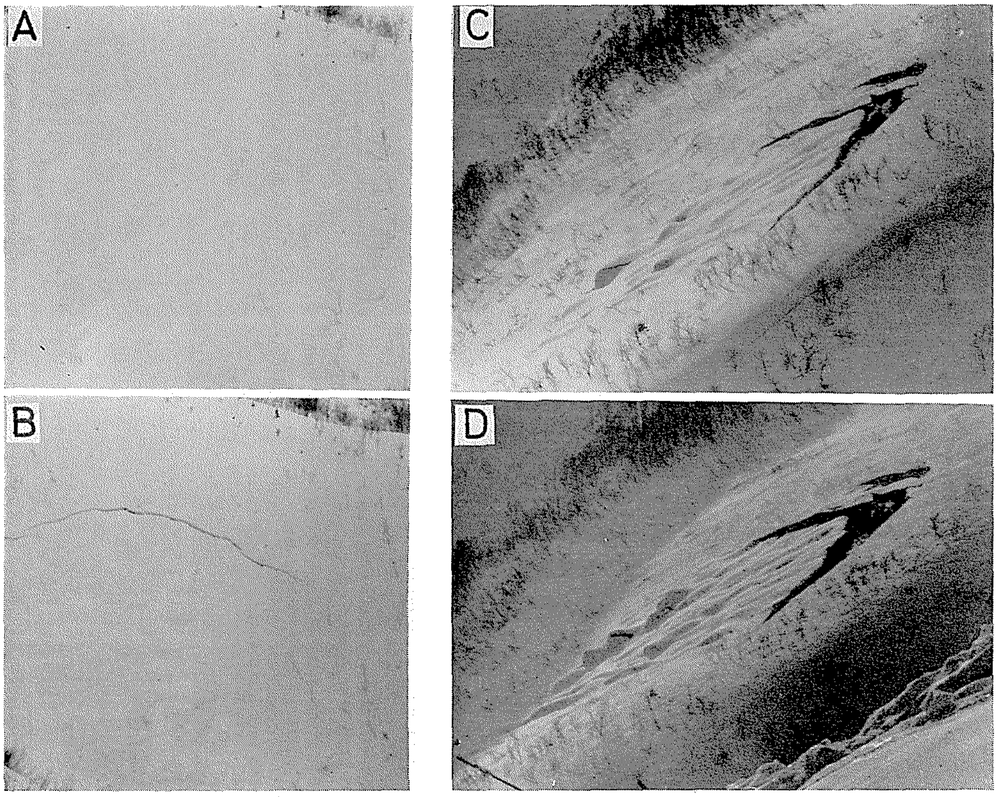
起伏が現れ始めた。その様子を示したのが第3図である。写真は第2図に示したヤグラTの上から斜面下方に向って撮ったもので，写真の上方が斜面の下方である。図中のA-1～5, B-1, B-4, B-5はグライド計A-1～5, B-1, B-4, B-5の設置場所を示すために立てた塩化ビニールのパイプである。起伏は次第に大きくなり，1月28日，A-3～5地点の積雪のグライド量がおよそ1mになった頃，A-2地点の直下でクラックが発生した。雪面の起伏は，クラックの下部のものの方が大きいが，クラックの上部にも形成されている。クラックが出来ると，クラックの下の積雪のグライド速度は，第2図に示したように非常に速くなる。その結果，1月29日には，第9図Aのように，クラックが大きく開がり，その間から笹が見え出した。そして，雪面の起伏は，さらにその大きさを増した。この地点では，1月30日，このクラックの下の部分の雪が全層なだれとなって崩落した。



第3図　観測所わき南斜面における雪面の変化 (1月28日)

図中のポールの下に，グライド計A-1～5, B-1, 4, 5が埋っている。クラックは1月28日22時に発生した (C図)

このような雪面上の起伏は，観測所わきの南斜面に限らず，全層なだれの起る斜面には，程度の差こそあれほとんどの斜面で形成される。第4図のA·Bは第1図のa地点，C, Dはb地点に出来た起伏を，日時をおいて撮った写真である。場所は異なるが，第3図と同様，斜面に積った雪が，そのグライドの進行につれて，いかに変化し崩落するかを示している。第4図Aは，クラックの発生する2日前の雪面の写真で，雪面にはいくつかの起伏が出現し，それは斜面の上方から下方にかけて，ある大きさの広がりとなって分布している。そして，同図Bからわかるように，その分布領域の上縁近くにクラックが発生した。クラックの発生によって，雪面の起伏は，一段とその数を増している。クラックが出来ると，その下の積雪のグライド速度は急に速くなり，クラックはその口を大きく拡げる。この頃になると，同図C·Dに示されているように，クラックの近くの雪面の起伏はさほど大きくならないのに，斜面下方の起伏が著しく増大し始める。そして，大きく盛上った起伏の凸部に，割目が出来る。グライドの進行につれ，斜面の下方には，このような起伏が増加し，この盛上り部分は割れ裂けていく。そして，ある時，クラックと斜面下方に出来た大きな起伏とに狭まれた部分の積雪が突然落下する。これが全層なだれである。第4図A·B及びC·Dの積雪が，いつ全層なだれとなって崩落したかは不明で，3月9日には，すでに崩落したあとであった。



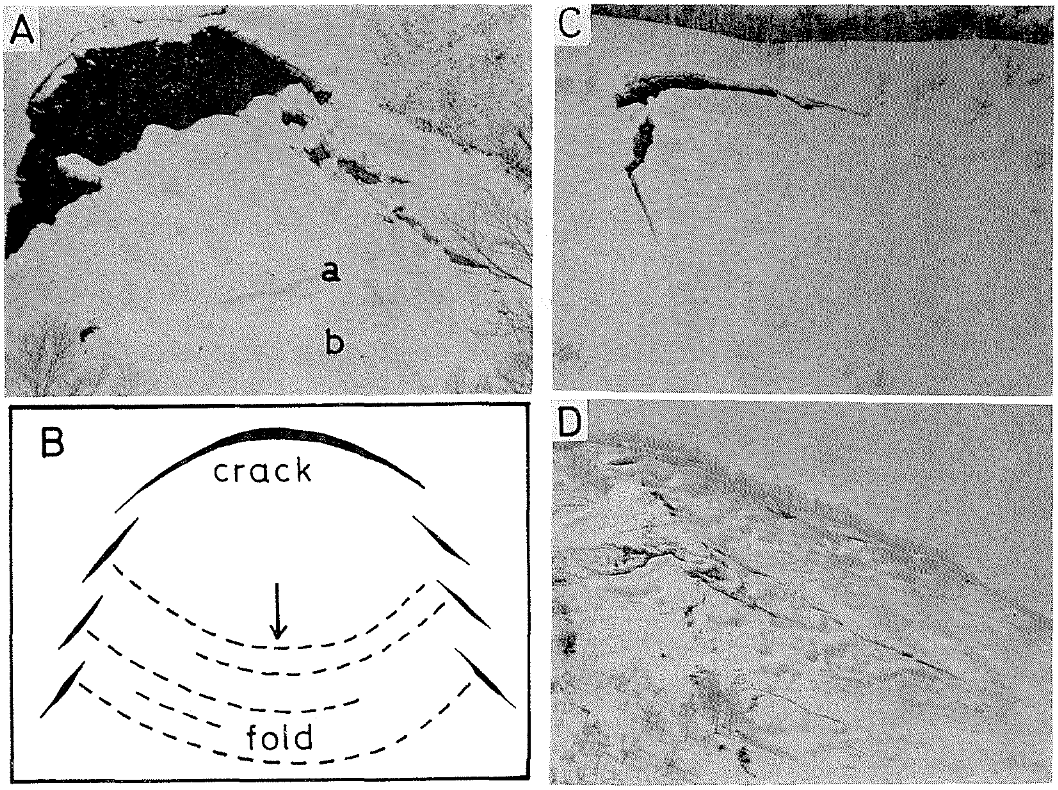
第4図 「こぶ」状起伏の変化

A 図： 第1図a地点（2月25日撮影）
B 図： 第1図a地点（2月27日撮影）
C 図： 第1図b地点（2月25日撮影）
D 図： 第1図b地点（2月26日撮影）

斜面の上方にクラックが出来てから全層なだれとなって崩落するまでの期間はまちまちである。雪面の起伏もあまり大きくならずクラックが出来てから1～2時間で崩落するものもあれば，起伏の高さが2m以上になっても遂に崩落しなかった場合もある。

以上，斜面上に雪が積り，それが全層なだれとなって崩落するまでに，雪面上でどのような事が起るかを述べて来た。雪面上に現われる主な現象は，グライドの進行の順に，1. 起伏の形成，2. クラックの発生，3. 斜面下方の起伏の増大と破壊の三つである。ただし，1と2の順序は，逆の場合も多い。このことについては，後に述べる。

ところで，筆者らが今まで述べて来た雪面上の起伏は，従来から知られていた第5図Aのaやbのような「しわ」について述べて来たのではない。一般に，積雪のグライドによって現われる雪面上の起伏は，その形の違いによって二つまたは三つに分けられるようである。一つは第5図Aのa・bのような起伏で，雪面の盛上り部分が斜面の横方向に長く伸びたもので，これにはaのような波長と振幅の大きなものと，aに較べそれらが極端に小さいbのようなものの二つがある。他の一つは，同図C・Dまたは第3図，第4図などのような起伏で，その盛上り部分の長さが斜面方向と横方向であまり違わず，ほぼ円形をしているものである。そこ



第5図 雪面上の起伏の種類

A 図: a が「しわ」, b が「小じわ」
B 図: 「しわ」及び「小じわ」の形成機構
C 図: 間寒別 c 地点に出来た「こぶ」
D 図: 羊蹄山の近くの尻別岳に出来た「こぶ」

で, 第5図Aのaのような雪面の盛上りを「しわ」, bを「小じわ」と呼び, C·D図のような盛上りを「こぶ」と呼んで区別することにしよう。筆者らが今まで述べて来たのは, このうちの「こぶ」についてであり, その形成過程や分布域について記述して来たのである。

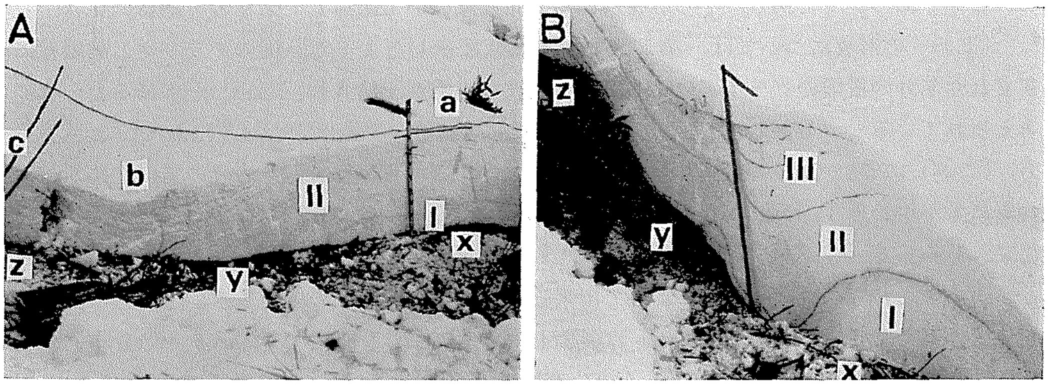
「しわ」の形成については, 第5図Bの模式図に示したように, 図のクラックと破線とに狭まれた部分の積雪のグライドによって, 破線部分の雪が圧縮され「しわ」が出来ると一般に考えられている[3]。(しかし, 「しわ」に関する詳しい調査・研究は未だ行なはれていない。) 一方, 「こぶ」については, 北海道 (第5図C·D) だけでなく東北や北陸[4] のどの雪崩地にも見られるにもかかわらず, ほとんど注意が払われなかった。たとえ, 注意が払われていたとしても, 従来「しわ」と「こぶ」が区別せず使われていたことから考えると, 「しわ」も「こぶ」も同じ原因, すなわち, 積雪の圧縮によって出来ると考えられていたのであろう。ところで, 今まで述べて来たように, 雪面の「こぶ」は斜面上にある広がりをもって分布し, その分布域の上縁にクラックが出来る。それゆえ, その分布域の下方の「こぶ」, 例えば第4図C·Dの斜面下方の大きな「こぶ」は, 積雪の斜面方向への圧縮によって出来たと考えることができる。しかし, 斜面上方のクラックのすぐ近くに形成された「こぶ」は, クラックが形成されたことか

らわかるように，積雪が斜面方向に引張りを受けている地域に出来ているのである。したがって，少なくともクラックの発生前にその近くに出来た「こぶ」は，積雪の圧縮以外の別の機構によって形成されたものでなければならない。実際の斜面の地形は複雑で凹凸があるため，積雪が引張りを受けている地域と圧縮を受けている地域はあまり離れていないかもしれない。しかし，それにしても，第3図，第4図などの「こぶ」はあまりにもクラック（積雪の伸張域）に近いだろう。そこで，この雪面上に現われる「こぶ」の形成機構を調べてみた。

IV. 「こぶ」状起伏の断面構造

「こぶ」状起伏の形成機構をさぐるため，クラックの近くに出来たいくつかの「こぶ」状起伏をもつ積雪を切り，その縦断面を調べてみた。第6図A・Bが「こぶ」の縦断面で，共に左手が斜面の上方，右手が下方である。同図Aは，第5図Cに示された「こぶ」状起伏の1つで，約3m開いたクラック直下の「こぶ」の縦断面である。図からわかるように，雪面abcは，aで凸，bで凹，cで凸となっており，その下の地面xyzも，xで凸，yで凹，zで凸になっている。この起伏のある地面xyzの上に，積雪層IとIIがのっている。しかし，積雪層Iは凸地xにのっているだけで，凹地yにはない。積雪層IIは，ほぼ同じ厚さで，積雪層I及び積雪層Iのない所では地面の上に一様にのっている。なお，地面の凹地yでは，積雪層IIとのの間に小さなすきまが出来ていた。第6図Bは，観測所わきのヤグラの東側下方に出来た「こぶ」で，クラックの上部に位置していた。A図と同様，地面xyzは起伏に富み，その凸地xにだけ積雪層Iがある。また，積雪層IIは，ほぼ同じ厚さで，地面又は積雪層Iの上にのっかっており，地面の凹地yと積雪層IIとの間は空洞になっている。A図と違う点は，積雪層IIのくぼみに積雪層IIIがのっていることで，他は全て同じである。なお，この地点の積雪のグライド量は，約1mである。これは，この写真より約1m等高線方向に離れて地面上に数cm頭を出していた木抗により，その上の積雪の底に長さ1mにわたって滑った跡が残されていたことから判明した。

第6図A・Bの層構造をみてまず言えることは，この「こぶ」状起伏は，斜面方向への積

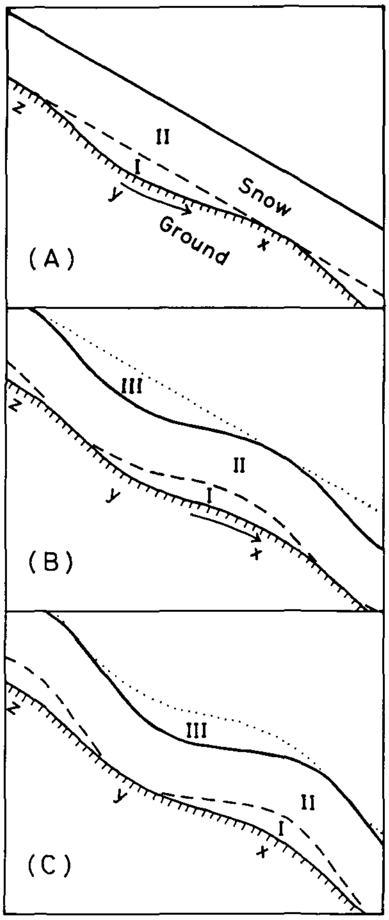


第6図　「こぶ」の縦断面

A図：第5図Cのクラック直下の「こぶ」の断面（第1図c地点）
B図：クラックの上方に出来た「こぶ」の断面（第2図のヤグラの下方東側）

雪の圧縮によって起るかもしれない積雪層の厚みの増加や積雪層の褶曲によって出来たのではないと言うことである。斜面方向への圧縮のために積雪の厚みがまし「こぶ」が出来たのならば，積雪層IIの厚さが「こぶ」の盛上り部分で厚く，くぼみの部分で薄くなければならない。また，積雪の褶曲によって出来たのならば，「こぶ」の盛上り部分の下の地面と積雪の間に空洞が出来，その上の雪が持上がっていなければならない。ところが，実際は，積雪層IIの厚さはほぼ同じと見なされるし，空洞は雪面のくぼみの下，地面の凹地に出来ている。それゆえ，これらの「こぶ」は，斜面方向への積雪の圧縮によって出来たものではないと言える。そこで，他の形成機構を考えてみよう。

第6図A·Bを見て問題になるのは，積雪層Iが何故地面の凸地xにのみあり，凹地には存在しないかということである。無風状態で雪が降る場合には，雪はいたるところ同じ厚さに積り，凹地も凸地も同じ厚さの積雪層Iでおおわれるはずである。一方，風を共なって雪が降る場合は，風の吹きはらいのために雪は凹地から積り始める。そして凹地が満され，すなわち積雪層Iが出来，雪面は平らになる。雪面が平らになってからは，風による雪面の影響を受けず，その後に積る積雪層IIはいたる所同じ厚さで，その雪面は平坦である。山岳地方では無風状態で雪の積ることはまれで，普通，降雪には風を伴なう。そこで，積雪層I·IIは，第7図Aのように積ったとしよう。そうして，この積雪層I·IIが斜面をグライドしたとしよう。なぜなら，第6図のAは約3m，Bは約1mグライドした後の積雪の縦断面だからである。そうすると，積雪のグライドの進行につれて，積雪層I, IIは，第7図B·Cのように変化し，実線で示した積雪層IIの表面には起伏が現われる。そして，地面の起伏の半波長分，積雪をずらせると（図C)，積雪層Iは地面の凸地x·zの上にのり，積雪層I·IIがつくる積雪の層構造は，第6図A·Bの積雪層I·IIの層構造によく似かよって来る。それゆえ，雪面の「こぶ」状起伏は，第7図Aのように起伏のある地面に平らに積った雪が，地面にそって下方にずったために出来たものと考えられる。このことを確かめるには，第6図A·Bに示された積雪層I·IIを，それぞれの地点のグライド量だけ，地面にそってひきずり上げ，積雪層I及びIIの表面が第7図Aのように平らになればよい。前に述べたように，第6図Aは約3m開いたクラックの直下の写真である。それで，この積雪の層構造は約3mグライドし



第7図 「こぶ」の形成機構

A: 起伏のある斜面に積った積雪の層構造

B: それがグライドによって変化する様子

C: 積雪が地面の起伏の半波長分グライドした状態

た結果できたものと考えられる。図の右端の雪面上にのせた1mの折尺をたよりに，積雪を3m斜面上方に動かしてみよう。そうすると，積層雪Iのある積雪の最も厚い部分が地面の凹地yにのり，雪面bの積雪の少ない部分が凸地zの方に動き，雪面がほぼ平坦になるだろう。同図Bの場合は積雪層IIIがあるが，これは今，除外して考えよう。この地点では積雪は約1mグライドしていた。そこで，積雪層I・IIのみを約1m上方に動かしてみよう。そうすると，A図と同様，積雪層Iが凹地に移り，積雪層IIの表面は平らになる。したがって，この場合も積雪層I・IIは始め平らであったということになる。積雪層IIIについては，積雪層I・IIがグライドし，第7図Bのように積雪層IIの表面に小さな凹凸が出来た頃に，その雪面の凹凸を埋めるように積雪層IIIが積ったと考えればよい。そうすると，その後の積雪のグライドによって，積雪層I・II・IIIのなす積雪の層構造は同図Cのようになるだろう。この層構造は，また，第6図Bの写真とよく似かよっている。

以上のことから，第6図A及びBの「こぶ」状起伏は，積雪の圧縮によって出来たのではなく，起伏のある斜面上での積雪のグライドによって出来たと言うことが出来るだろう。それでは，観測所わき南斜面に出来た第3図のような「こぶ」はどうして出来たのだろうか。

V. 観測所わきの「こぶ」の再現

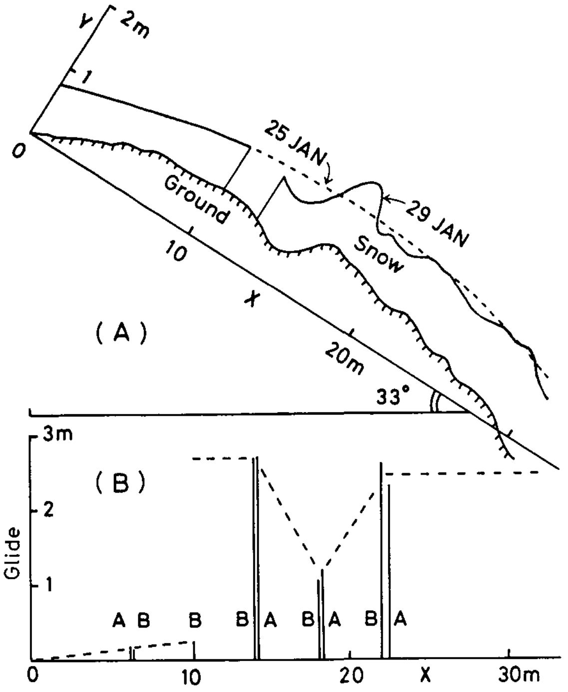
第9図Aは，観測所わき南斜面のグライド計設置場所に積った雪の1月29日の雪面状態を示したものである。前に述べたように，この雪面は1月25日頃までは平らであった。そこに「こぶ」が出来，29日には図のような雪面になったのである。

ところで，このような雪面の変化は，積雪の圧縮による褶曲などが起らなくとも，起伏のある地面を雪が単に滑るだけで起るというのが前節の考えである。この考えが正しければ，1月29日の第9図Aの雪面は，雪面が平らであった1月25日から29日までの積雪のグライド量とその雪の下の地形とによって図面上で再現出来るはずである。そこで，観測所わきの「こぶ」を，上記の考えに従って再現し，それを第9図Aと比較してみよう。

地形測量はヤグラから等高線方向に伸した線を基線とし，第2図の破線に囲まれた部分の地形を詳細に測量した。測量間隔は斜面方向に1m，等高線方向に2mとした。第8図Aは，こうして得た地形縦断面の一つで，測量範囲のほぼ中央の縦断面図である。地形の凹凸を拡大するため，この地域の平均傾斜33°をx軸に，それに直角な方向をy軸とし，y軸をx軸の4倍拡大してある。このような地形縦断面をもつ地域に積った雪が，1月25日頃まで凹凸のない平らな雪面を持っていたのである。そこで，1月25日の雪面は，第8図Aの破線のようであったとしよう。

一方，この地域に積った雪の1月25日から29日までのグライド量は，グライド計A-1～5，B-1～5より求まる。その様子を示したのが第8図Bである。図の横軸は，各グライド計の1月25日の斜面方向の位置を示し，縦軸は各グライド計の1月25日から29日までの移動量を示している。なお，横軸は第2図のヤグラより等高線方向に伸した測量基線を0mとした。この地点$x=0$ではヤグラのために積雪はグライドしなかったと考えられる。横軸上のほぼ同じ位置にあるA・B2つの移動量は，等高線方向に4mへだてて設置したグライド計A列と

B列の値である。図からわかるように，積雪の移動量は等高線方向では変らず，傾斜方向の位置の違いで変化している。そこで，傾斜方向の各位置の積雪の移動量は，破線のようであったとし，等高線方向には変わらないとしよう。図中の $x=10.5$ m 地点で，破線がとぎれているのは，この地点にクラックが出来たためである。また，図からわかるように，積雪は斜面方向にかなり圧縮あるいは伸張されている。例えば，$x=14$ m と $x=18$ m の間の雪は，1月25日から29日までに斜面方向に1.6 m，すなわち40% 圧縮されている。しかし，これによって起るかもしれない積雪の厚みの増加や雪の褶曲は起らなかったと考えよう。なぜなら，積雪は圧縮されやすい物質で，40% 斜面方向に圧縮されても，積雪の密度が0.30 g/cm^3 から0.50 g/cm^3 になれば，圧縮のために積雪が厚みを増す必要も褶曲する必要もないからである。また，斜面方向への積雪の伸張による厚みの減少もないと考えよう。



第8図 「こぶ」の形成機構に従って求めた1月29日の積雪断面（観測所わき南斜面）

A：第7図の「こぶ」の形成機構に従い，地形断面とB図のグライド量とから求めた1月29日の雪面（実線）。破線は1月25日の雪面を示す

B：各地点の1月25日から29日までのグライド量

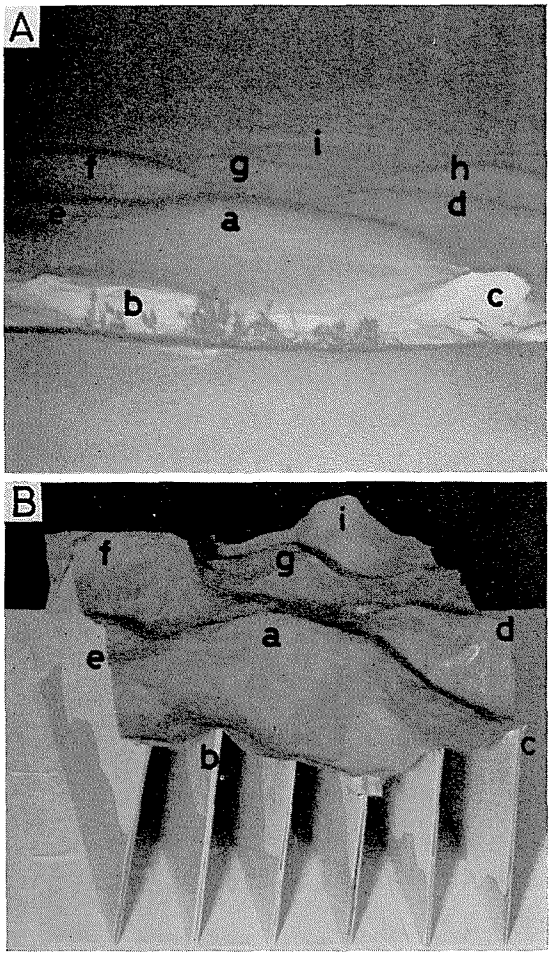
このような仮定のもとで，第8図Bの1月25日から29日までの積雪の移動量を使って，同図Aの1月25日の雪面から29日の雪面を求めてみよう。そのためには，斜面上の各地点の上にある1月25日の積雪を，その厚さを変えることなく，その地点の積雪の移動量だけ地形にそって動かせばよい。そうすると，1月25日の雪面は，実線で示された雪面に変化する。これが1月29日の雪面の1縦断面である。以上のような操作により，1月29日の雪面の縦断面を多数つくり，その雪面の模型を作製した。第9図Bがその模型の写真である。写真には，クラックより斜面下方部分の雪面の模型が撮されている。これを，実際の雪面写真Aと見較べてみよう。A図とB図に付つけたa, b, …, i の記号は，互に対応する点を示しているが，それらの形は微細な点まで非常によく一致している。また，雪面上の「こぶ」の高さについての実測はないが，模型雪面から得られる「こぶ」a の盛り上りの高さは65 cm である。これは，筆者らの目測と一致している。

第9図Bの雪面の模型は，斜面方向への圧縮や伸張によって起るかもしれない積雪の厚さの増減を考慮せず，また褶曲も考えずに，作製した。その模型が実際の「こぶ」の写真と一致したのである。それゆえ，観測所わきに出来た第9図Aの「こぶ」も，凹凸のある地表面上

の積雪のグライドによってのみ形成されたと言うことが出来る。ただ，前にも述べたように，この雪は斜面方向にかなり圧縮伸張されている。そのため，積雪の厚さの増減や褶曲が起った可能性がある。しかし，前に見積ったようにその可能性は少なく，第9図Bの模型の「こぶ」をほんのわずか変化させるにすぎないだろう。

VI. 「こぶ」状起伏の性質

第VI節及び第V節で述べて来たことからわかるように，少なくともクラックの近くに出来る「こぶ」は，起伏のある地面を積雪が滑るために形成されるということに，ほぼ間違いはあるまい。そして，クラック以外の場所の「こぶ」も，その形成の初期は，上記の機構で出来るものと考えられる。そこで，「こぶ」の形成機構からわかる「こぶ」の性質を述べておこう。



第9図 観測所わき南斜面に出来た「こぶ」の再現
A： 1月29日の実際の雪面写真
B： 第7図の「こぶ」の形成機構に従って地形測量とグライド量とから作製した雪面模型

まず言えることは，地面に凹凸がなかったり，斜面に樹木が生えていて積雪がグライドしなければ，「こぶ」状起伏は形成されない。しかし，実際の斜面で，20～30 cm の起伏をもたない斜面はまずない。それゆえ，雪面に出来た「こぶ」は，斜面積雪のグライドの目安となり，ほとんどの雪崩地で，この「こぶ」状起伏が見られるのは，このためである。しかし，雪面に「こぶ」が現われていないからといって，積雪がグライドしていないとは言えない。第7図からわかるように，「こぶ」状の起伏は，地面の起伏の半波長分，雪がグライドしたとき（その間に降雪がない場合のことだが），最大となり，その大きさは地面の起伏の2倍になる。したがって，地面の起伏の小さい斜面では，雪面の「こぶ」を識別できないことがある。また，地面の起伏の波長が長いときは，その上の積雪のグライド量がかなり大きくなって始めて「こぶ」が見えるようになる。このような場合には，大きなグライドのために雪面にまずクラックが発生し，その後に「こぶ」が現われることになる。第III節で述べた1.「こぶ」状起伏の出現，2. クラックの発生，の順序の入れかわることが多いのは，このためであろう。また，地面の起伏の2倍以上の大きな「こぶ」が雪面に出来てい

る場合は，積雪の圧縮などによる褶曲などの他の要因を考えねばなるまい。例えば，第4図C・Dに示した斜面下部の大きな「こぶ」は，その形成初期は第7図と同じ機構で形成されたと考えられるが，その後は斜面方向への積雪の圧縮による褶曲によって著しく増大し，その盛上り部分に割れ目が出来たものと考えられる。

雪面上の「こぶ」の出現は，次の意味で重要である。前に述べたように，「こぶ」がないから雪がグライドしていないとは言えないが，「こぶ」の形成された積雪は，すでにかなりグライドしていると考えられることである。それゆえ，クラックがまだ発生していない場合には，この「こぶ」の分布領域の上縁に，近々クラックが出来ると予想されることである。

VII. ま と め

斜面に積った雪を，その根雪当初から全層なだれとなって崩落するまでの間，観察・調査した。特に，雪面に現れる「こぶ」状起伏に注目した。そして，この「こぶ」の分布領域が，斜面の上部から下部にかけて分布し，クラックがその分布域の上縁に出来ることに疑問を感じた。なぜなら，今まで，この雪面に現われる「こぶ」状の起伏は，「しわ」と同じく積雪の斜面方向への圧縮によって形成されると考えられていたからである。そこで，クラックの近くの「こぶ」状起伏の断面の層構造を調べてみた。その結果，「こぶ」の下の地面に起伏のあることをみつけ，その上の積雪の層構造が第6図のようになっていることを知った。このことから，少なくともクラックの近くに出来る「こぶ」状の起伏は，積雪の圧縮による褶曲などによって出来るのではなく，第7図のように起伏のある斜面を積雪が単に滑べるだけで形成されるものだと考えた。もし，この考えが正しければ，雪面に現われる「こぶ」は，その雪のグライド量とその下の地形とがわかれば，その形を机上で予想・再現できるはずである。そこで，グライドを測定していた斜面に出来た第9図Aの「こぶ」状起伏を，この地のグライド量と地形とから再現した。それが，第9図Bの写真である。B図は実際の写真Aと非常によく一致している。それゆえ，雪面に現われる「こぶ」状起伏（圧縮領域の「こぶ」は除く）は，起伏のある斜面上を積雪がグライドするために出来るものと結論した。

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の方々に心から感謝いたします。また，この論文を校閲していただいた若浜五郎教授に深く感謝いたします。

文　　献

1) 秋田谷英次 1974 斜面積雪の挙動の研究 III —接地面での雪の移動（グライド）—. 低温科学，物理篇，**32**, 97-104.

2) 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.

3) R. Haefell 1963 Stress transformations, tensile strengths, and rupture processes of the snow cover. *In* Ice and Snow, M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 560-575.

4) 荘田幹夫 1963 なだれの発生機構. 国鉄技術研究所，39 p.p.

Summary

Two types of snow undulations have been observed when a snow cover is gliding down along a slope as illustrated in Fig. 5 A and C: the wash-board and the bump-shape undulations. The former like those labelled with a and b in Fig. 5 (A) are considered to be formed by a longitudinal compression of a snow cover along a slope, because such kinds of foldings are usually observed in a pressure zone of the lower part of the slope. The latter as illustrated in Fig. 5 C and D are often found immediately below a crack formed at the upper of the slope. The formation of those bump-shape undulations, therefore, seems to be difficult to explain by the longitudinal compression of snow.

In order to clarify the formation mechanism of bump-shape undulations of a snow cover on a slope, observations were made in situ on the development of these kinds of undulation. The snow cover on a slope was cut along the slope to observe the sections of the bump-shape undulations formed immediately below and above a crack, which are respectively shown in Fig. 6 A and B. As seen in these figures, the slope immediately beneath the snow undulations also undulates. The discontinuous layer of snow I was found only above the convexed surface of the ground undulation, while the continuous layer of snow II was fairly uniform in thickness and was extending partly over on snow layer I and partly on the ground.

When snow accumulates on the undulated slope in the mountain region, snow layers may be formed on the ground as shown in Fig. 7 A, because snowfalls are generally accompanied by strong winds. Figure 7 B and C show the growing processes of snow undulations when the entire snow cover shown in Fig. 7 A glides down along the undulated slope. The pattern of snow layers shown in Fig. 7 C is similar to those observed on the slope shown in Fig. 6 A and B. Therefore, it is considered that the undulations of the snow surface near a crack are formed by the process of gliding of the snow cover on the undulated slope, that is, such a process as shown in Fig. 7.

Glide motion of the snow cover were measured at points A-1~5, B-1~5 in Fig. 2, and the surface of the snow cover accumulated on these points were photographed five times a day automatically. The glide of the snow cover with the lapse of time are shown in Fig. 2. The snow cover in this area was flat until 25 January, but heavy undulations were observed on 29 January as shown in Fig. 9 A. If the undulations shown in Fig. 9 A was formed by such a process as shown in Fig. 7 the same feature of the undulations as observed in situ can be simulated by using a model with the same topography as the ground underneath the snow cover on the basis of the data of the gliding occurred from 25 to 29 January. A simple experiment was made by using a small model to test the above assumption. Figure 9 B shows the undulation formed on the model. The undulations seen in this figure coincide with those observed on the actual snow cover (Fig. 9 A). It may be, therefore, concluded that the bump-type undulations observed near a crack are formed by the gliding of a snow cover over bumps on the slope.