



Title	斜面積雪の挙動の研究 I : 積雪内の歪、歪速度
Author(s)	藤岡, 敏夫; HUZIOKA, Tosio; 清水, 弘 他
Citation	低温科学. 物理篇, 29, 125-134
Issue Date	1972-03-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18176">https://hdl.handle.net/2115/18176</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	29_p125-134.pdf



## 斜面積雪の挙動の研究 I\*

—積雪内の歪, 歪速度—

藤岡敏夫・清水 弘

秋田谷英次・成田英器

(低温科学研究所)

川田邦夫

(北海道大学大学院 理学研究科)

(昭和46年10月受理)

### I. ま え が き

著者達は、北海道天塩郡幌延町間寒別の北大天塩地方演習林に設置されている低温科学研究所雪崩観測実験室(通称雪崩観測所)の実験斜面で、従来、斜面の雪の性質、積雪内部の歪、歪速度等雪崩に関する基礎的研究を行ってきた。このうち、斜面積雪の性質についての調査は、今迄に4回にわたって報告した<sup>1)~4)</sup>。一方、積雪内の歪、応力については、藤岡その他<sup>5)</sup>の報告、清水<sup>6)</sup>の報告が出されている。斜面積雪のうける歪、歪速度、応力等雪崩の基礎的研究は今後も引きつづいて行なわれるので、本報告以後は表題を“斜面積雪の挙動の研究”とし、番号及び副題をつけて発表することにした。

上記の清水の報告では、斜面の積雪に雪穴を掘り、その1つの壁を斜面の最大傾斜線をふくむ鉛直面に仕上げ、その壁に垂直に、すなわち、等高線に平行に8つの穴をあけた。穴は1つの円周上に等間隔にならび、8つの穴で代表されるこの円は、ある日数を経た後楕円に変形した。雪は均質歪をうけたことを示しているが、円の直径が20 cmにもなるため、積雪の1つの層内にはおさまらない欠点があった。積雪の性質は、1つの成層の中では、ほぼ一定とみなすことが出来るけれども、層がちがえば、性質、殊に力学的な性質は異なり、2つの層にまたがって画かれた円は、不規則な形に変形することをまぬがれなかった。この報告では、1つの雪の層に4つの穴をあけ、これらの穴の移動から雪のうけた歪を求める方法、及びその測定結果をのべる。

### II. 測定場所と測定方法

雪崩観測所は東西に走る尾根の稜線にあって、両側は30°前後の傾斜角をもつ、真南及び真北をむいた平坦な斜面である。両斜面とも笹地で、南斜面には木がなく、北斜面は白樺、イタヤの疎林になっている。南斜面にA, B, 北斜面にC, Dの合わせて4つの観測地をえらん

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1156号

だ、A、B地点は尾根から斜面を、それぞれ約20 mと30 m下ったところ、C、D地点は約10 mと60 m下ったところである。C、D地点は、幅10~15 mの、尾根から下っている帯状の空地の中にえらんだ。

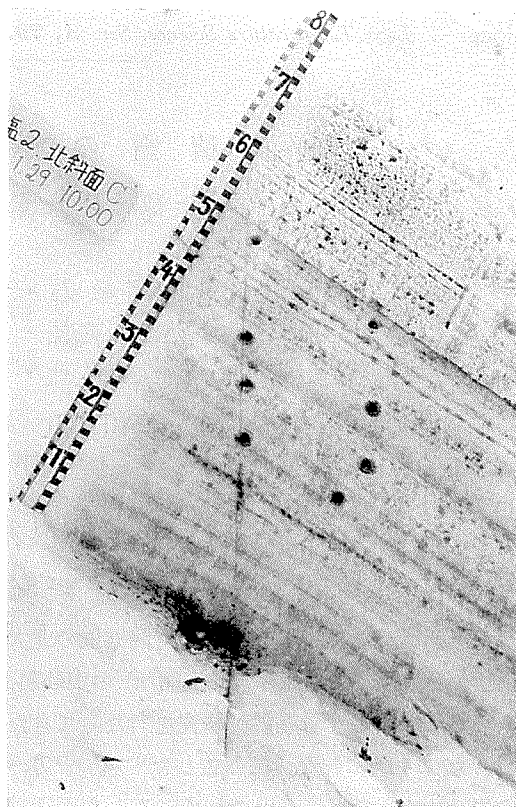
秋の終わり、各測定地の笹を払って凹凸をならして整地した後、等高線に平行に、長さ5 mのL型鋼を、一面が地面とおなじ高さにして固定した。L型鋼の直角の角の線を、測定の際の基準線にするためである。1月中旬、積雪深が1 m程度に達した時、L型鋼の1つの端付近に雪穴を掘り、1つの壁をL型鋼の基準線に垂直な鉛直面に仕上げる。雪の壁には積雪の層構造があらわれるが、各層について、L型鋼に平行な4つの穴をあけた。穴の深さは約1 m、直径は1.3 cmであった。L型鋼に垂直な雪の鉛直断面の作り方、L型鋼に平行な穴のあけ方等については、清水が詳しく述べているのでここでは省略する。

第1図に1月29日のC点における雪の壁の様子を示した。物差しの右側の雪は、成層構造が見やすくなるように着色されている。雪の壁には8つの穴があげられているが、上の方の平行四辺形の頂点にあたる4つの穴は、物差しの34 cmと50 cmに境界をもつ雪の層にあけられた穴である。一方、下の逆台形の頂点をしめる4つの穴は、24 cmと34 cmに境界をもつ雪の層にあけられた穴である。

雪の壁の手前の、雪をうすくかぶった地面に見えている細い線は、L型鋼の直角の角の基準線で、この線と雪の壁との交点を座標の原点にして、水平右側に $x$ 軸、鉛直方上に $y$ 軸の空間座標をきめた。 $y$ 軸の位置は雪の壁に細い線で示されている。L型鋼は、斜面の雪の移動の妨げにならないように、地面の上には出ないように埋められていた。L型鋼に接している壁の雪の部分が黒く見えるのは、鉛直線を引くために使う下げ振りのおもりが雪に触れないように、雪を削り取った跡で、L型鋼を埋めたために地熱が伝わりやすくなり、雪がとけたのではない。

雪に層毎に4つの穴をあけた後、それぞれの穴の空間座標 $(x_i, y_i)$ をステンレス製1 mm目盛りの物差しと曲尺を用いて測定した。又、積雪の性質(温度、密度、硬度、成層構造、雪粒の大きさ、雪質)の調査も、おなじ壁の雪をつかって行なった。

以上の測定が終わった後、雪穴をうめもどした。壁の雪が外気にさらされ、穴を掘られて



第1図 C点における積雪断面。物差しの右の部分の雪は着色されている。  
昭和46年1月29日

いない、斜面のほかの場所の雪とはちがった温度状態になることを防ぐためと、壁近くの雪が、穴の中へ流動するのを防ぐためである。2週間乃至3週間後再び穴を掘り、前の壁の位置よりも約30 cm掘り進んで新たな壁を作り、穴の空間座標  $(x'_i, y'_i)$  を測定した。

### III. 雪の歪の数学的な取扱い

雪の中にあけられた穴が、 $t$  日間に空間に固定された座標で  $(x_i, y_i)$  から  $(x'_i, y'_i)$  にうつる移動は、雪のしまりによる鉛直方向の縮み、斜面方向の塑性流動、接地面での迂りの結果である。

幅の十分広い、平坦な斜面の積雪では、最大傾斜線をふくむ鉛直面が対称面となり、対称面を境として、両側の雪が剪断的な歪をおこすことはないし、対称面に垂直な雪の移動もない。したがって、対称面に垂直な方向が歪及び応力の主軸の1つの方向で、この方向の歪の大きさは0である。積雪の歪は対称面内、前節の  $x, y$  面内での平面歪となる。勿論、対称面に垂直な主応力の大きさは0ではなく、応力については3次元の取扱いをしなければならない。

前節でのべたように、雪に掘った雪穴は、測定後再び雪で埋めもどし、等高線方向の雪の移動を防ぐようにした。しかし、埋めもどしによって、完全に自然状態に帰すことは不可能で、実際、歪をしらべるためにあけられた水平な穴は、雪の壁近くで約2週間後には多少変曲していた。ただし、この変曲部の深さは、多い時でも5 cm程度で、新しい壁を以前の壁から30 cmも進んだ所に作れば、穴は真直ぐで、雪穴を掘ったことによる影響はないものと考えてもよい。したがって、歪の3つの主軸のうち、1つは  $xy$  面に垂直で大きさは0、他の2つの主軸は  $xy$  面内にある。

清水がのべているように、 $xy$  面の雪で、均一な性質をもつ部分の雪に円を刻み込んでおくと、円はある日数を経た後楕円にか変わった。すなわち、この日数のあいだに雪は均質歪をうけたわけである。均質歪の性質については、教科書<sup>7)</sup>に書かれているし、藤岡<sup>8)</sup>、清水<sup>6)</sup>が報告にのべているので、ここでは省略する。

第I節でのべたように、清水が雪に刻んだ円の直径は20 cmで、1つの雪の層に円を画くことは困難であった。今回の測定では4つの穴を1つの層内にあけることにし、雪の性質の均一性を向上させることにした。今後この報告では、1つの雪の層内では、雪は  $xy$  面内で均質歪をうけるものと仮定する。

第1図の雪の断面には、雪の2つの層にそれぞれ4つの穴があけられていた。そのうちの1つの層、例えば下の層の穴に番号をつけ、左下の穴を1番、左上の穴を2番、右上の穴を3番、右下の穴を4番の穴とよぶことにする。そして、 $i$  番目の穴の空間座標を  $(x_i, y_i)$ 、この穴の  $t$  日後の座標を  $(x'_i, y'_i)$  とする。

4個の穴から3個、例えば1, 2, 3番の穴をえらび出し、この3つの穴を通る円の中心の位置を  $(x_0, y_0)$ 、半径を  $r$  とすると、

$$(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 = r^2, \quad (1)$$

$i=1, 2, 3$  である。この円が均質歪と移動によって、中心を  $(x'_0, y'_0)$  にもつ楕円になったとすれば、 $x_i, y_i$  と  $x'_i, y'_i$  との間には、

$$a(x_i - x_0) + b(y_i - y_0) = x'_i - x'_0, \quad (2)$$

$$c(x_i - x_0) + d(y_i - y_0) = y'_i - y'_0, \quad (3)$$

の関係がなり立つ。ここで、 $a, b, c, d$  は均質歪の特性をあらわす常数である。(1), (2), (3)の式に、 $i=1, 2, 3$  に対する  $x_i, y_i, x'_i, y'_i$  を代入すれば、9つの式がえられ、 $a, b, c, d$  の4つの常数と、 $x_0, y_0, x'_0, y'_0, r$  を求めることが出来る。

円の中心の移動速度  $v$  とその方向  $\theta$  は、穴のあけられている雪の層の移動速度の大きさと方向を与えるもので

$$v = \frac{1}{t} \left\{ (x'_0 - x_0)^2 + (y'_0 - y_0)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y'_0 - y_0}{x'_0 - x_0}, \quad (5)$$

で与えられる。 $\theta$  は  $x$  軸から反時計廻りにはかった角度である。

円が変形した楕円の長軸、短軸の半分の長さを、それぞれ  $rA, rB$  とすれば、

$$(A+B)^2 = (a+d)^2 + (b-c)^2, \quad (6)$$

$$(A-B)^2 = (a-d)^2 + (b+c)^2, \quad (7)$$

の関係がある。 $r$  はもとの円の半径の長さで、 $r=1$ 、すなわち、はじめに単位円が画かれていたとすれば、 $A, B$  は単位円が変形した楕円(歪楕円)の半長軸、半短軸の長さである。長軸と短軸は直交しているわけであるが、この2つの方向は、歪をうける前にも直交していたことが証明される。この歪をうける前の2つの方向が歪の主軸の方向で、 $x$  軸となす角を  $\alpha, \alpha+90^\circ$ 、歪楕円の2つの主軸が  $x$  軸となす角を  $\alpha', \alpha'+90^\circ$  とすれば

$$\tan(\alpha' + \alpha) = \frac{b+c}{a-d}, \quad (8)$$

$$\tan(\alpha' - \alpha) = \frac{c-b}{a+d}, \quad (9)$$

である。但し  $\alpha, \alpha'$  は  $x$  軸から反時計廻りに測った角度で、又、 $\alpha'$  が長軸、短軸の何れの方向を示すかは、実際の変形を考慮して決めなければならない。

均質歪の特性をあらわすものは  $a, b, c, d$  の4つの常数であるが、 $A, B, \alpha, \alpha'$  はこの4つの常数を、直観的にわかりやすい幾何学的な量に書きかえたものである。尚、雪の層に刻まれた円の移動、楕円への変形を、平行移動、中心点のまわりの廻転、単純な歪にわけるとする場合の平行移動は(4), (5)式で、廻転は(9)式の  $\alpha' - \alpha$  で与えられる。

#### IV. 測定結果

A地点における観測結果の1例を第1表に、その時の雪の状態を第2図に示した。第2図の縦軸Hは、鉛直にはかった地面からの高さで、F, D, R, G, Tは、それぞれ、雪の形、粒の大きさ、硬度、密度をしめす積雪の国際分類の記号<sup>1), 2)</sup>である。

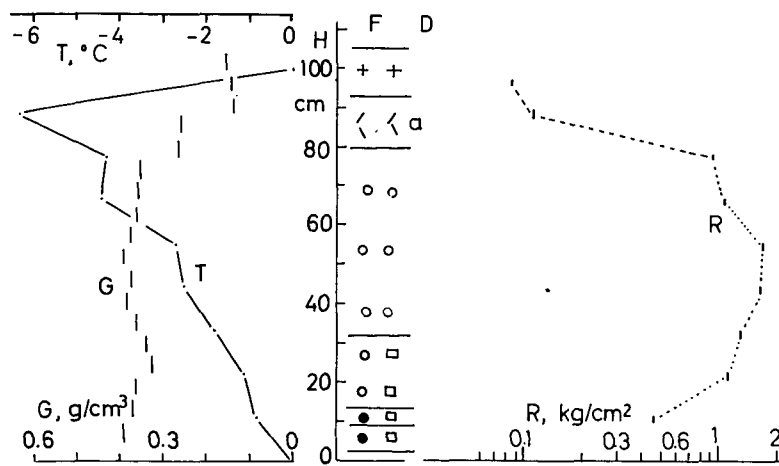
積雪深Hは1m6cmで、第1表に示した4つの穴は、第2図のH=32cmの層の境より上の、白丸であらわされたしまり雪の層にあげられた。第1表には、1月28日にあげられた4

つの穴の位置が記入されている。第4の穴の $y_4$ の値が26.7 cmとなっているが、地面からの高さは $y_4 - x_4 \tan \beta$ である。 $\beta$ は斜面の傾斜角で、A点では $\beta = -26^\circ$ であったから、地面からの高さは39.5 cmである。 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ は4つ穴の座標の平均値で、 $\bar{y}$ の地面からの高さは53.8 cmである。第2図によると、この高さの雪の密度 $G$ は $0.38 \text{ g/cm}^3$ 、木下式硬度計による硬度 $R$ は $1.5 \text{ kg/cm}^2$ で、雪は十分にしまったしまり雪である。

第1表 歪の解析。昭和46年A地点

	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$	$x_4$	$y_4$	$\bar{x}$	$\bar{y}$
1月28日	3.1	33.0	4.5	51.5	26.7	43.4	26.2	26.7	15.1	38.7
2月17日	7.5	24.0	10.8	39.6	33.3	30.9	31.2	16.5	20.7	27.8
組合せ	1-2-3		1-2-4		1-3-4		2-3-4		平均	
$a$	1.050		1.053		1.052		1.048		1.051	
$b$	0.099		0.099		0.094		0.094		0.097	
$c$	-0.082		-0.093		-0.089		-0.076		-0.085	
$d$	0.849		0.850		0.865		0.865		0.857	
$A$	1.054		1.058		1.056		1.052		1.055	
$B$	0.853		0.855		0.869		0.868		0.861	
$\alpha$	5.1		3.7		3.6		5.3		4.4	
$\alpha'$	-0.3		-2.0		-1.9		2.0		-1.0	
$v$	0.63		0.65		0.59		0.57		0.61	
$\theta$	-63		-63		-63		-63		-63	
$d$	-0.10		-0.10		-0.09		-0.09		-0.10	
$\alpha' - \alpha$	-5.4		-5.7		-5.5		-5.1		-5.4	
$\dot{\epsilon}_A$	0.0032		0.0034		0.0033		0.0036		0.0033	
$\dot{\epsilon}_B$	-0.0087		-0.0086		-0.0078		-0.0078		-0.0082	
$\dot{\epsilon}_S$	0.0000		0.0005		0.0006		0.0005		0.0005	

単位  $x_i, y_i$ : cm,  $\alpha, \alpha', \theta$ : °,  $v$ : cm/day,  $\dot{\epsilon}_A, \dot{\epsilon}_B, \dot{\epsilon}_S$ : day<sup>-1</sup>



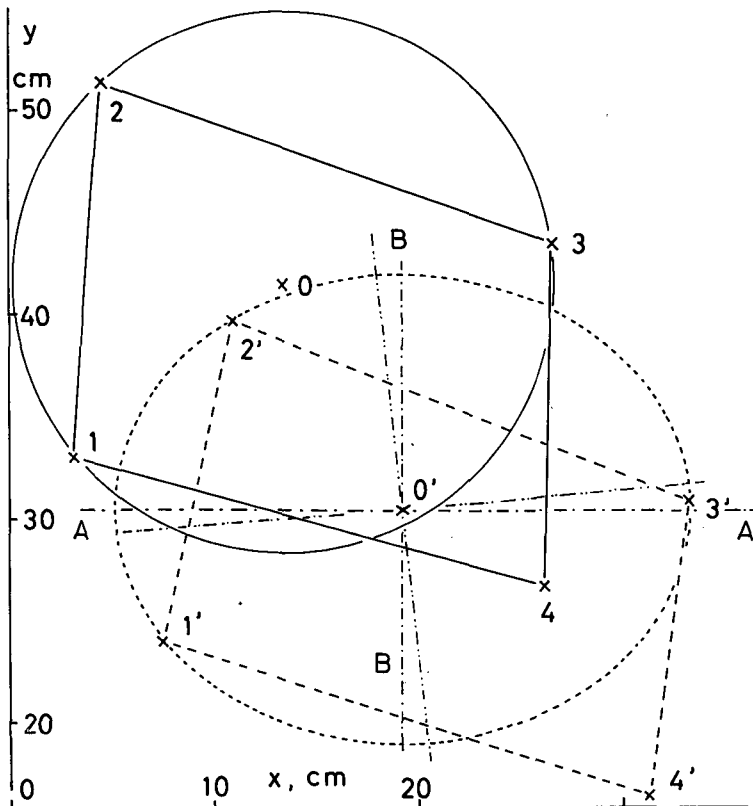
第2図 昭和46年1月28日のA点の雪の性質。Hは地面からの鉛直高さ、Fは雪粒の形、Dは雪粒の大きさ(aは直径0.5 mm以下)、Rは硬度、Tは温度、Gは密度

4つの穴をあけた1月28日より20日を経た2月17日、再び雪穴を掘って測定した4つの穴の位置も第1表に記入しておいた。前節でのべた $x_i, y_i$ の値である。穴は平均として水平方向に5.6 cm、鉛直方向に10.9 cm移動した。

前節でのべたように、歪の特性 $a, b, c, d$ は、歪をうける前後の3つの穴の位置がわかれば求めることができる。3つの点があれば、1つの円が画かれるからである。4つ目の穴は、予備にあけられた穴である。第1表のように、4つの穴の全部が利用できる場合には、4つの穴から3つの穴をえらぶ4通りのえらび方がある。第1表に1-2-3, 1-2-4等と書き入れたのは、このえらび方を示したもので、それぞれ、第1, 第2, 第3の穴の組合せ, 第1, 第2, 第4の穴の組合せの意味である。各組合せの下の欄に、その組合せで求められた歪の特性を示した。一番右の欄は平均値である。

歪の常数 $a, b, c, d$ は、もし雪が歪をうけないならば、 $a=d=1, b=c=0$ になる。歪楕円の長軸の長さ $A$ は、1.052から1.058迄の値をとり平均として1.055で、はじめの単位円の半径1に対して5.5%の伸びになった。一方、短軸の長さ $B$ は0.861で14%の減で、この方向で、雪は14%圧縮されたことになる。

歪楕円の長軸 $A$ の方向 $\alpha'$ は、平均として $-1.0^\circ$ で、 $x$ 軸と時計廻りに $1^\circ$ の角をなし、 $B$ の方向は、したがって、反時計廻りに $x$ 軸より $89^\circ$ の方向である。歪の主軸の方向の角 $\alpha$ , す



第3図 第1表1-2-3の穴を通る円0とそれの変化した楕円0'。A-A, B-Bは楕円の長軸と短軸。2点鎖線は歪の主軸の方向

なわち、長軸  $A$  が歪前にあった方向は、平均として、 $4.4^\circ$ 、もう 1 つの歪の主軸は  $94.4^\circ$  で、前節でのべたように、第 3 の歪の主軸は  $xy$  面に垂直で、大きさは 0 である。

第 3 図に 1, 2, 3 の穴を通る円 0 と、この円が変形した 1', 2', 3' を通る楕円が画かれている。円の中心 0 は、楕円の中心 0' に移動し、円はほぼ水平な、楕円の長軸  $A-A$  方向に最大の引きのばし、鉛直に近い、楕円の短軸  $B-B$  の方向に最大の縮みをうけた。2 点鎖線は歪の 2 つの主軸の方向を示している。

円の中心 0 は 20 日間の間に 0' に移動した。第 1 表に  $v$  として 1 日当たりの移動速度を示してある。 $v$  は平均として  $0.61 \text{ cm/day}$  で、その方向  $\theta$  は  $-63^\circ$  であった。

第 1 表の  $d$  は  $AB-1$  の値で、円の面積の歪を示し、平均として  $d=-0.10$  となっているのは、円が楕円になった時、面積に 10% の減少があったことを示している。面積の減少は、この部分における雪の密度の増加を意味するわけで、1 月 28 日及び 2 月 17 日における  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  の地点における密度は、それぞれ、 $0.38, 0.41 \text{ g/cm}^3$  で密度の増加率は 7.9% であった。

$\alpha'-\alpha$  は前節でのべた廻転角で、平均として  $-5.4^\circ$ 、すなわち、雪は山側から谷側へ  $5.4^\circ$  廻転したことになる。

$\dot{\epsilon}_A$  は長軸方向の長さの歪速度で、 $t$  日の間に、単位円の 1 の長さの半径が、楕円の長軸  $A$  になったのであるから、 $\dot{\epsilon}_A=(A-1)/t$  である。 $\dot{\epsilon}_B$  は同様に短軸方向の歪速度で、第 1 表によると、 $\dot{\epsilon}_A, \dot{\epsilon}_B$  は平均として、それぞれ、 $0.0033, -0.0070 \text{ day}^{-1}$  で、絶対値としては短軸方向、すなわち、ほぼ鉛直方向にあたる雪のしまりによる歪速度が大きいことになる。

## V. 斜面方向の歪速度

雪崩の発生地点に残っている雪の切れ目や斜面の雪に発生した割れ目の大部分は、雪の面に垂直になっている場合が多い。この形から、雪は斜面方向に引っぱられて引きちぎられたと考え勝ちである。一方、斜面積雪を 3 つに区分し、山裾付近の雪を圧縮区、中腹の雪を中立区、稜線近くの雪を引っ張り区の雪とする考え方がある。積雪の斜面方向の圧縮、引っ張りを想定して分けた分け方である。この分け方にしたがえば、A 点のように、稜線近い地点の雪は引っ張りの区域に入り、雪に割れ目が入るのは、引っ張りの力によることになる。

第 1 表の  $\alpha, \alpha'$  の角度が示すように、A 地点における最大の引き伸ばしの歪は、水平方向におこっている。したがって、その他の方向である斜面方向では、水平方向の引き伸ばしよりも歪は小さい筈である。斜面方向の歪速度  $\dot{\epsilon}_S$  は次の式で与えられる。

$$\dot{\epsilon}_S = \frac{1}{2}(\dot{\epsilon}_A + \dot{\epsilon}_B) + \frac{1}{2}(\dot{\epsilon}_A - \dot{\epsilon}_B) \cos 2(\alpha - \beta). \quad (10)$$

$\beta$  は斜面の傾斜角  $-26^\circ$  で、 $\alpha - \beta$  は歪の主軸と斜面とのなす角である。

第 1 表にかかげた  $\dot{\epsilon}_S$  の値は、いずれも小さく、平均として  $0.0005/\text{day}$  で  $\dot{\epsilon}_A, \dot{\epsilon}_B$  にくらべて殆んど 0 と考えてもよい。普通は引っ張りをうけると考えられている A 地点のような所でも、斜面方向の歪速度は主軸方向にくらべて小さく、したがって、斜面方向の引っ張りによって雪が切れると考えることは出来ない。

第 1 表にかかげた  $\dot{\epsilon}_S$  の値は、A 地点における 1 月下旬から 2 月中旬の観測によってえた

第2表 冬のいろいろな時期における A, B, C, D 地点における歪速度

地 点	期 間	1月14日～ 1月28日	1月28日～ 2月17日	2月17日～ 3月3日	3月3日～ 3月20日	3月20日～ 3月31日
A	$\bar{y}'$ (cm)	24.5	21.0	33.1	29.3	
	$\dot{\epsilon}_A$ (/day)	0.0029	0.0026	0.0015	-0.0002	
	$\dot{\epsilon}_B$ (/day)	-0.0075	-0.0063	-0.0039	-0.0039	
	$\dot{\epsilon}_S$ (/day)	0.0010	-0.0002	0.0001	-0.0008	
B	$\bar{y}'$		46.4	43.4	40.5	
	$\dot{\epsilon}_A$		0.0035	0.0012	0.0019	
	$\dot{\epsilon}_B$		-0.0200	-0.0056	-0.0048	
	$\dot{\epsilon}_S$		-0.0004	-0.0002	0.0013	
C	$\bar{y}'$	50.8	49.5	49.1	49.2	50.4
	$\dot{\epsilon}_A$	0.0003	0.0009	0.0018	0.0012	0.0044
	$\dot{\epsilon}_B$	-0.0032	-0.0025	-0.0021	-0.0038	-0.0048
	$\dot{\epsilon}_S$	-0.0011	-0.0002	0.0015	0.0005	0.0037
D	$\bar{y}'$	33.7	33.4	32.6	32.4	32.2
	$\dot{\epsilon}_A$	0.0041	0.0023	0.0035	0.0045	0.0052
	$\dot{\epsilon}_B$	-0.0078	-0.0037	-0.0045	-0.0167	-0.0032
	$\dot{\epsilon}_S$	0.0006	0.0001	0.0018	0.0017	-0.0009

$\bar{y}'$  は4つの穴の平均地上高

値であった。冬のいろいろな期間の A, B, C, D 各点における  $\dot{\epsilon}_S$  の値を第2表に示した。第1表と同様に、各地点において、1つの層にあげられた、4つの穴の移動から求めた  $\dot{\epsilon}_A$ ,  $\dot{\epsilon}_B$ ,  $\dot{\epsilon}_S$  の平均値で、 $\bar{y}'$  は4つの穴の地面からの鉛直高さの平均値である。

$\dot{\epsilon}_S$  の値は、どの地点においても  $\dot{\epsilon}_A$ ,  $\dot{\epsilon}_B$  に比べて小さく、正又は負の値をとり、全期間を通じて正又は負になることはなかった。すなわち、雪は、斜面方向には伸びたり、縮んだりしながら斜面を流下したことになる。この積雪の塑性的な斜面流動が、層流になることは、斜面積雪の層構造が、冬の期間を通じて地面に平行であることから容易に想像される。一方、このことは斜面の積雪が均質歪をうけるとする見方からは、次のように説明される。

均質歪をうける物資に刻みこまれていた直線は、歪後、方向がかわっても直線のままであり、その物資に、2本の平行線が刻み込まれていれば、歪によって線の方向、間隔がかわっても2本の線は平行を保つ。したがって、積雪の  $xy$  面で、1つの層の雪に2本の平行線を刻んでおこなれば、積雪が歪をうけた時、2本の線は平行性を保つが、間隔と方向は一般に変化する。

歪をうける前に  $x$  軸と  $\phi$  の角度をなしていた平行線が、歪後  $\phi'$  の角度になったとすると、 $\tan \phi = m$  として、

$$\tan \phi' = \frac{c+dm}{a+bm},$$

となる。常数  $a, b, c, d$  に第1表の値を用い、 $\phi = -26^\circ$  とすると、 $\phi' = -26.4^\circ$  となり、誤差の範囲内で  $\phi$  に等しいと見なしてよい。すなわち、斜面に平行な線が歪後も斜面に平行になるような歪がおこっているわけである。しかし、普通の粘性流体の場合とちがって、積雪では密度が変化し、これにともない平行線の間隔はちぢまる。

## VI. む す び

雪崩観測所の真南、真北に向いた斜面で積雪の移動をしらべ、歪の3つの主軸の方向と大きさをもとめた。主軸はほぼ鉛直方向(第3主軸)、等高線方向(第2主軸)、第1、第2の主軸に垂直で、ほぼ水平な方向(第1主軸)をもっていた。第1の主軸が引き伸ばし、第2の主軸は歪が0、第3の主軸の歪は縮みになっていた。斜面の最大傾斜線方向の歪速度は0に近い小さい値で、冬の期間正又は負の値を変動していた。

この研究に当っては、北大演習林事務局、北大天塩地方演習林の方々に御援助をいただいた。ここに記して感謝の意を表わす。この研究は文部省雪崩特別事業費によって行なわれた。

## 文 献

- 1) 藤岡敏夫・清水 弘・秋田谷英次・成田英器 1966 北大天塩地方演習林山地積雪の雪質調査報告 I. 低温科学, 物理篇, **24**, 177-200.
- 2) 藤岡敏夫・清水 弘・秋田谷英次・成田英器 1968 北大天塩地方演習林山地積雪の雪質調査報告 II. 低温科学, 物理篇, **26**, 187-214.
- 3) 藤岡敏夫・清水 弘・秋田谷英次・成田英器 1970 北大天塩地方演習林山地積雪の雪質調査報告 III. 低温科学, 物理篇, **27**, 資料集, 15-22.
- 4) 藤岡敏夫・秋田谷英次・成田英器 1971 北大天塩地方演習林山地積雪の雪質調査報告 IV. 低温科学, 物理篇, **28**, 資料集, 37-42.
- 5) Huzioka, T., Shimizu, H., Akitaya, E. and Narita, H. 1967 Observation of creep rate of snow on mountain slopes. *In* Physics of Snow and Ice, Part 2 (H. Ôura, ed.), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1177-1183.
- 6) 清水 弘 1968 斜面積雪の内部歪 I. 低温科学, 物理篇, **26**, 143-168.
- 7) Jaeger, J. C. 1956 Elasticity, Fracture and Flow. Methuen Co., London, 152 pp.  
飯田波事訳 1968 弾性・破壊・流動論. 共立全書, 213 pp.
- 8) 藤岡敏夫 1959 スキーの研究(4). 低温科学, 物理篇, **18**, 59-76.

## Summary

Observations of the internal strains of snow covers on slopes were carried out at Avalanche Research Station, Toikanbetsu. As the slopes are sufficiently uniform and wide, one of the principal axes of strain can be considered parallel to the contour line of the slope and the other two in the plane perpendicular to it. The horizontal  $Ox$  and vertical  $Oy$  axes were taken in this plane and the origin  $O$  at the intersection of the plane and the reference line set on the slopes in parallel with the contour line in the previous autumn.

Three years ago, Shimizu, one of the present authors, reported some experiments on strain and stress in the snow cover of Toikanbetsu. He bored eight holes with circular configuration in a single snow layer, perpendicularly to the  $xy$ -plane mentioned above using a boring instrument. Two weeks later, the circle was deformed into an ellipse, which gave the magnitudes and the directions of the two principal axes of strain in the snow cover. Unfortunately as the circle 20 cm in diameter, was sometimes too big to be put in a single snow layer, the deformation of the circle into the

ellipse, i. e., the homogeneous deformation was not performed perfectly.

The present authors bored four holes, 1.3 cm in diameter and 1 m deep each, in each snow layer perpendicularly to the  $xy$ -plane and measured their coordinates  $(x_i, y_i)$  every two or three weeks through the winter season of 1970~1971 (Fig. 1). Under the assumption that a circle passing through the three holes would be deformed into an ellipse (Fig. 3), the following quantities were calculated:

$\dot{\epsilon}_A$ : the rate of strain of snow along the major axis of a strain ellipse,

$\dot{\epsilon}_B$ : the rate of strain of snow along the minor axis of a strain ellipse,

$\alpha$ : the angle of one of the principal axes of strain measured counterclockwise from the  $x$  axis, and

$\alpha'$ : the angle of the major axis of a strain ellipse measured counterclockwise from the  $x$  axis.

An example of the calculations is given in Table 1 which was obtained at Site A, on the south slope, 20 m down the slope from the ridge. One of the principal strains was extensive and nearly horizontal and another was compressive and nearly vertical. The strain rate of snow in the direction of the slope was quite small in magnitude and, moreover, it changed its sign during the winter season occasionally (Table 2). Site B in Table 2 was 10 m down the slope from Site A, and Sites C and D were 10 and 60 m down the north slope from the ridge respectively. As the slopes were 250 m long, four sites might be considered to be in the extensive zone of the snow cover.