HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	斜面積雪の挙動の研究　ＸＩ：積雪の塑性ポアソン比　１
Author(s)	大泉，三津夫；藤岡，敏夫
Citation	低温科學．物理篇，41，43-53
Issue Date	1983-03-22
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18455
Type	departmental bulletin paper
File Information	41_p43-53.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Mitsuo OOIZUMI and Tosio HUZIOKA 1982 Studies of the Behavior of a Snow Cover on a Mountain Slope XI. Poisson's Ratio of Snow. 1. *Low Temperature Science, Ser. A, 41.* (With English Summary p. 52)

斜面積雪の挙動の研究 XI*

——積雪の塑性ポアソン比 1——

大泉三津夫
(北海道大学大学院　理学研究科)
藤岡敏夫
(低温科学研究所)

(昭和57年10月受理)

I. はしがき

低温科学研究所雪害科学部門の研究員は，冬期間を通じて，斜面積雪内の雪の歪速度を測定し，主応力の方向と大きさを求めている[1]。しかし，主応力の決定に用いた仮定は何時でも成り立つ訳ではなく，主応力の方向と大きさのうち，主応力の大きさが必ずしも正しい値とは限らないことを吉田[2]がすでに指摘している。それで著者達は，積雪内に雪圧計を挿入することによって主応力を求めることを試みた。

著者達は，雪圧計を平地積雪の中の一つの層のポアソン比νの決定と，斜面積雪の最大傾斜線を含む鉛直面の雪に働く圧力（横圧力）の測定との両方に用いた。この2つの量がわかれば，雪を圧縮性粘性流体として，主応力の大きさを決定することができる。

ポアソン比は，元来，物体の変形が弾性変形か塑性変形であるかにかかわらず，物体の形の変化のみで定義される量である。しかし，今の場合，雪の塑性変形からポアソン比を求め，応力も雪が圧縮性粘性流体であるとして求めているので，雪の塑性変形領域におけるポアソン比の意味で塑性ポアソン比とよぶことにする。

II. 塑性ポアソン比と横圧力から主応力の大きさを求める方法

積雪の一つの層内では，雪は力学的に等方性であると考えてよい。従って，主応力の方向は，上記雪害科学部門の研究員によって，雪の歪みから得られた主歪速度の方向と一致する。雪の歪の測定は，約2週間毎に行なわれているが，このような期間における雪の変形や歪においては，吉田[3]が述べているように，雪を圧縮性の粘性流体として取扱えばよい。

右下りの斜面の最大傾斜線を含む鉛直面上で，斜面上に座標原点をとり，水平にx軸，鉛直上方にz軸，面に垂直にy軸をとる。雪の深さに比べて，斜面の横幅が充分に広ければ，zx面は雪の運動についての対称面となり，主歪速度$\dot{\varepsilon}_2$と主応力の一つσ_2は，この面に垂直で，かつ$\dot{\varepsilon}_2=0$となる。他の主歪速度$\dot{\varepsilon}_1$, $\dot{\varepsilon}_3$及び主応力σ_1, σ_3はzx面内にある。これらの量と，粘

* 北海道大学低温科学研究所業績　第2478号

性係数 η, 塑性ポアソン比 ν との間に次の関係がある。

$$\dot{\varepsilon}_1=\left\{\sigma_1-\nu(\sigma_2+\sigma_3)\right\}\Big/\left\{2\eta(1+\nu)\right\} \tag{1}$$

$$\dot{\varepsilon}_2=\left\{\sigma_2-\nu(\sigma_3+\sigma_1)\right\}\Big/\left\{2\eta(1+\nu)\right\}, \tag{2}$$

$$\dot{\varepsilon}_3=\left\{\sigma_3-\nu(\sigma_1+\sigma_2)\right\}\Big/\left\{2\eta(1+\nu)\right\}. \tag{3}$$

ここで, $\dot{\varepsilon}_1>\dot{\varepsilon}_3$, $\sigma_1>\sigma_3$ とし, 歪速度については, 伸びを正, 縮みを負, 応力については, 引っ張りの力を正, 圧力を負とする。(1), (2), (3) 式の右辺の分母は, 弾性変形の場合のヤング率に相当する。なお, (1)～(3) 式は主応力と主歪速度について, 斜面でなくても成り立つ一般的な関係である。

(1)～(3) 式において, $\dot{\varepsilon}_2=0$, $\dot{\varepsilon}_1$ と $\dot{\varepsilon}_3$ は雪の歪の測定によって求められるから, zx 面に雪圧計を挿入して σ_2 を測定し, ν を何等かの方法で与えることができれば, σ_1, σ_3, η の 3 つの未知量が (1), (2), (3) の 3 つの式から決定できることになる。塑性ポアソン比 ν は, 雪の密度, 温度, 雪質等によって変るであろうと想像される。

III. 塑性ポアソン比

斜面積雪内の一つの雪の層内の主応力を決定することが本来の目的であるから, その層の雪の塑性ポアソン比 ν を直接測定できれば最も都合がよいことは言うまでもない。しかし, 斜面積雪では, 流動に伴う回転があるため, 雪圧計を zx 面に垂直に入れても, 受圧面の法線は zx 面内で回転する。従って, 雪圧計の傾斜角の測定ができるまでは斜面の雪の塑性ポアソン比 ν を直接測定することはできない。著者達は, 斜面の雪について ν を求める代わりに, 平地積雪の雪で ν を求めることにした。

平地積雪においては, 鉛直軸が 1 つの主軸の方向で他の 2 つの主軸は鉛直軸に垂直な水平面内にある。水平面内の 2 つの主軸を第 1, 第 2 主軸, 鉛直方向の主軸を第 3 主軸とし, 雪の中の一点を通る水平面に働く圧力を P_v, この点を通る鉛直面に働く圧力を P_h とすれば

$$\dot{\varepsilon}_1=\dot{\varepsilon}_2=0,\quad \sigma_1=\sigma_2=P_h,\quad \sigma_3=P_v$$

であるから, (1) 式により

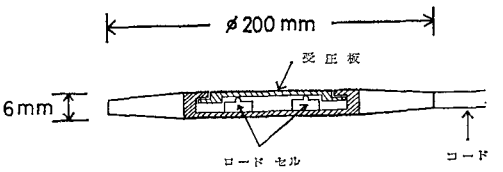
$$\nu=\frac{\sigma_1}{\sigma_2+\sigma_3}=\frac{P_h}{P_h+P_v} \tag{4}$$

が得られる。P_h, P_v を測定するために, 次に述べる雪圧計を製作した。

IV. 雪 圧 計

雪の中の圧力測定は, かつて de Quervain[4] が著者達と同じ目的のために行っている。de Quervain は直径 16 cm, 厚さ 3 cm の円筒形の土圧計を利用した。しかし, この圧力計で測定された P_v は, 積雪の上部荷重から求めた値の数倍の大きさになり, 正しい値を示さなかった。圧力計が厚すぎて, 雪の塑性縮みを妨げた結果によるものとされている。

第1図に著者達の円盤型雪圧計の断面を示した。直径20 cm，厚さ6 mm，受圧板の直径は9 cmで，受圧板で受けた力を3個の小型荷重変換器で電気的に測定するようになっている。厚さの薄いことがこの雪圧計の特徴である。斜線の部分は硬質アルミニウムの枠で，その外側に硬質発泡材製で縁の方が薄いつばが取り付けてある。防水のために受圧板の外側にゴム膜をはり付けた。コードを除いた雪圧計の重量は160 g，比重は0.96になった。雪圧計の検定は，水圧によって行ったが，水圧と荷重変換器の電気出力との間には直線関係が成り立った（温度ドリフトは±0.02 gw/cm²·°C）。



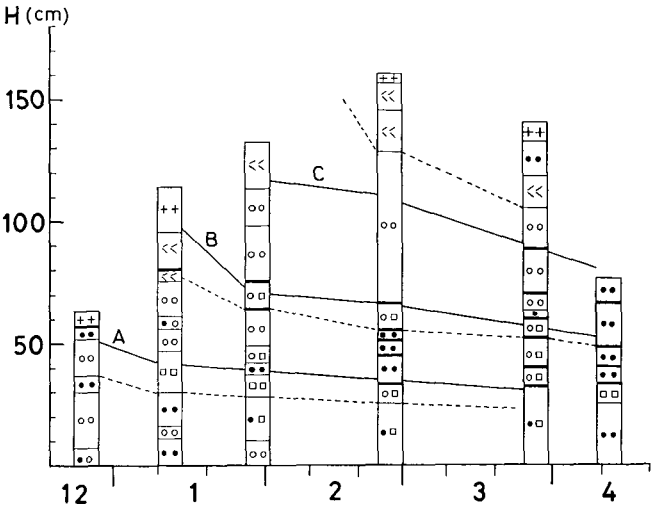
第1図　雪圧計の断面

V.　平地積雪における鉛直方向，水平方向の雪圧の測定

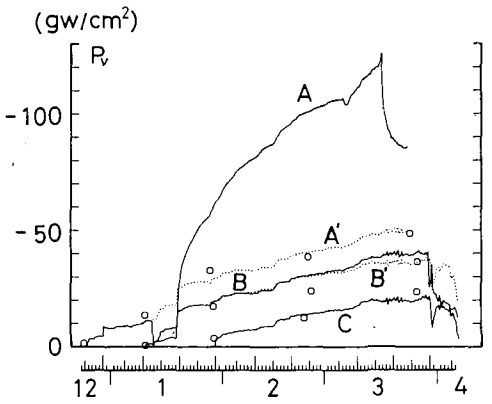
平地積雪でのνの測定は，北大天塩地方演習林庁舎裏で行なわれた。斜面積雪について各種の測定を行っている雪崩観測所からは，ほぼ3 km程離れた地点である。測定期間は1981年12月下旬から翌年4月上旬までである。

積雪の一つの層に，雪圧計を水平に（受圧面を水平に）挿入して雪の鉛直圧力P_vを，又，雪圧計を鉛直に挿入して横圧力P_hを測定した。この他に，雪圧計と形，目方は同じで，荷重変換器を省いた模擬円盤を数組，同一の雪の層の中に，雪圧計から少し離して，水平及び鉛直に設置した。測定期間中に掘り出して，雪圧計の代わりに，埋雪状態，地上高，雪質等を調べるためである。なお，模擬円盤の一つには温度歪ゲージを貼り付け，雪温を測定した。上記の雪圧測定を積雪の3つの層の雪について行った。

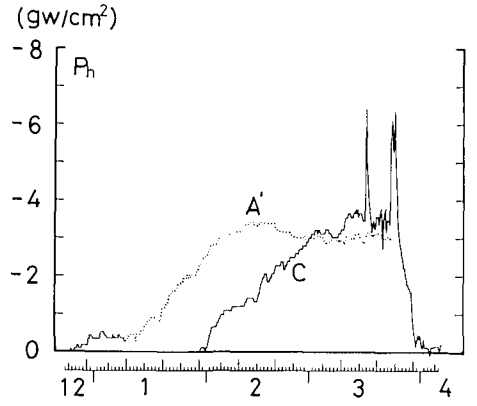
第2図に積雪の成層構造と雪圧計の位置を示した。横軸は日付け，縦軸は地面からの高さを表わす。実線で結びA, B, Cと書き入れた位置に雪圧計が入っている。点線は雪の層の境界を結んだ線である。この測定を行った庁舎裏の積雪は，建物の風下に当るため，積雪深は一様ではなく，第2図の雪の状態はAの雪圧計が埋め込まれた場所のものである。Cの雪圧計の場所では，4月11日の積雪深は86.5 cmで，雪圧計は雪面から10 cm下にあった。各雪圧計の電気出力は，演習林庁舎内にお



第2図　積雪構造と雪圧計の位置。A, B, Cが雪圧計の位置。＋は新雪，＜はこしまり雪，○はしまり雪，□はこしもざらめ雪，●はざらめ雪，━━は氷板を表わす



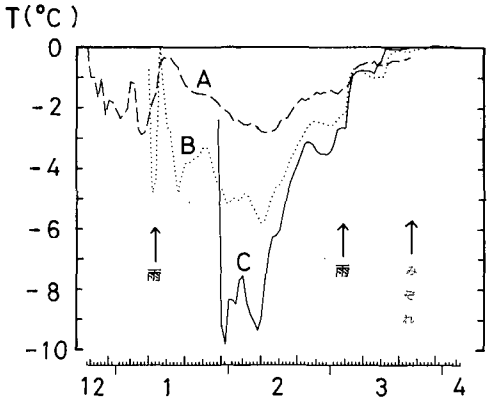
第3図 鉛直圧力 P_v。A, B, C は測定値。A′, B′ は補正を行った値。○ 印は積雪水量から求めた値



第4図 横圧力 P_h。A′ は雪圧計の傾きを第3図の A′ によって補正した値

かれた記録器に，6時間毎に自動記録された。

第3図に鉛直圧力 P_v を，第4図に横圧力 P_h を，第5図に A, B, C の雪圧計が置かれた雪の層の温度を示した。第3，第4図は圧力を示したので，縦軸には負の符号が付いている。これ以後圧力が増加したと言う時には，絶対値が増加したことを表わすことにする。



第5図 各層の雪の温度

雪圧計は，それぞれの雪の層に水平と鉛直に挿入されたのであるが，測定が終って掘り出された時には多少傾いていた。鉛直圧力を測定する雪圧計の正常な水平位置からの傾きを θ_v，横圧力を測る雪圧計の正常な位置からの傾きを θ_h とすると，A では3月26日に $\theta_v=10°$, $\theta_h=9°$, B では4月11日に $\theta_v=1°$, $\theta_h=25°$, C では4月9日に $\theta_v=5°$, $\theta_h=4°$ であった。B の横圧力測定用雪圧計の傾きは余りにも大きく，一部に隙間も出来ていたために，その測定値を採用しなかった。他の測定値には，雪圧計の傾きに対して次の補正を行った。今，σ_1 を真の横圧力，σ_3 を真の鉛直圧力，P_h を横圧力の測定値，P_v を鉛直圧力の測定値とすれば

$$\left.\begin{aligned} P_h &= \sigma_1 \cos^2\theta_h + \sigma_3 \sin^2\theta_h, \\ P_v &= \sigma_1 \cos^2(90-\theta_h) + \sigma_3 \sin^2(90-\theta_v) \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

となる。θ_v, θ_h は，雪圧計を設置してから掘り出すまでに一様に傾きが増加したものとした。第3図，第4図の P_v, P_h にはこのような補正を行った σ_3, σ_1 が載せてある。

第3図で A の鉛直圧力が1月12日に急激に低下し，14日以後急激に増加している。第5図に見られるように，1月12日には雨が降った。P_v の低下はこの雨のためであるが，その後，模擬円盤を掘り出してみると，円盤の上は氷でおおわれていた。3月24日，A の鉛直圧力測

定の雪圧計の上には逆円錐台の形の氷化したかたいざらめ雪が発達していた。点線で示したA′は，Cの測定値から推定したAのP_vの値で，A′の線の上下にある○印は，雪圧計の位置より上の雪の荷重から直接求めたP_vの値である。A′の推定方法は後で述べる。

第3図のCの値は，全期間を通じてほぼしまり雪の中にあった雪圧計の値で，○印で示した積雪荷重から直接求めた値ともよく一致している。

BのP_vの値では，2月25日の雪圧計の測定値と，○印で示した積雪荷重の直接測定値との間に約7 gw/cm^{2}の差がみられる。1月29日，Bの模擬円盤を掘り出してみたところ，円盤上に薄く固いざらめ雪の層があり，2月25日には固いざらめ雪の範囲が広がっていた。Aの場合と同様に，受圧板よりも面積の広い固い雪によって，P_vの値が大きくなったものと思われる。A，B，Cは積雪の中のP_vの値であるから，互に平行に推移するはずのものである。Cの値の信頼度がよいので，Cの雪圧計を設置した1月29日から1カ月間のBとCの差の平均をとり，この平均値の分をCのP_vの値に加えたものがB′の点線である。BのP_vの値に較べてB′の値の方が○印の直接測定値に近くなった。

B′と同様な操作をAにほどこして求めたものがA′の点線である。但し1月10日から1月29日まではCは測定していないので，Bの値を参考にした。A′は直接測定による○印の値にほぼ一致している。

第4図に横圧力P_hを示してある。Bの値は上述したように，雪圧計が雪の中で傾き過ぎたために測定値を使用しなかった。

A，Cの測定値P_hは，鉛直圧力P_vと同様な傾きの補正を(4)式を使って行ってある。但し，AについてはP_vの値として第3図のA′の値を使ったので，第4図にはA′として記入されている。

Aの横圧力測定用の雪圧計の近くに鉛直に設置された4個の模擬円盤では，1月10日に受圧板の近くの雪がまわりの雪よりも少し固くなり，1月28日には受圧板付近の雪は脆くなっていた。さらに2月24日には脆い雪の部分がいっそう拡がり，雪圧計を掘り出した3月26日には雪圧計の発泡材製のつばの部分が受圧板とは反対側に2 cm程曲げられ，雪と円板との間に一部で隙間が生じていた。鉛直方向の雪圧を受けたためである。第4図のA′値が2月中旬以後増加しなくなったのは，受圧板の前の雪の変質とつばの変形のためであろうと思われる。

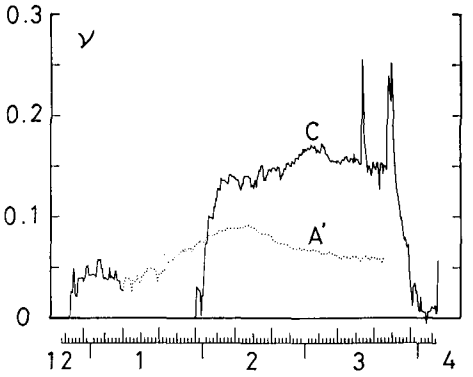
Cの横圧力用雪圧計は，測定終了時の掘り出しの時も，2月23日の模擬円盤の状況でも，雪の状態に異常は見られなかった。従って，終始しまり雪の層に入っていたCのP_h，P_vの測定値が最も信頼のおける値である。

VI. 塑性ポアソン比νの決定

第3図の鉛直圧力P_v，第4図の横圧力P_hの値を(4)式に入れて求めた塑性ポアソン比νの値を第6図に示した。A′の値を与えた層の雪質は，測定期間を通じて変化したが，A′はほぼざらめ雪に対するνであり，Cはしまり雪のνである。A′のνは1月下旬から3月中旬まで，0.05～0.1の間にあった。ここで2月14日以後A′の値が減少しているが，その理由は，前節で述べたように横圧力を測定した受圧板の前の雪のざらめ雪化が顕著であったこと，雪圧計の

つばの変形に伴って雪圧計の後面の一部に隙間が生じたことによるものと思われる。

しまり雪について得られたCの値は，2月の初めから3月半ばまで，ほぼ0.15になっている。それ以後，雪温が0°Cに上昇したが，それに伴い大幅に変動し，3月終りから4月初めにかけて雪がざらめ雪に変るとともに減少した。Cのνがほぼ0.15の値を示している期間の雪の密度は，0.28から0.33 g/cm³であった。

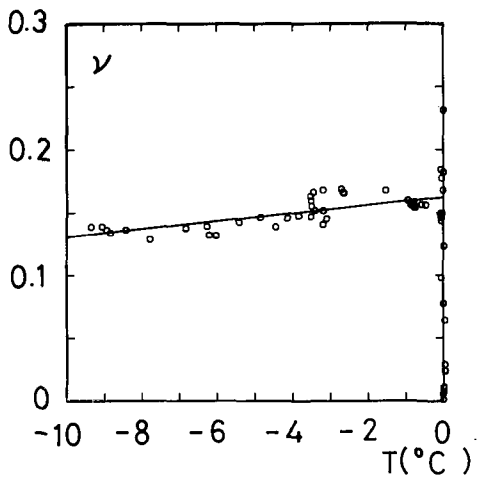


第6図 塑性ポアソン比νの推移。A′は第3図，第4図のA′から求めた値

Cのνと温度との関係を2月6日以後について第7図に示した。横軸はCの層の日平均温度である。0°Cの温度ではνの値はかなり変動する。雪がぬれしまり雪からざらめ雪に変るためである。この部分の値を除くと温度の低下につれてνの値は緩やかに減少する。−0.5°C以下の3月15日までのνの値について温度T°Cとの間の回帰直線を求めると，

$$\nu = 0.162 + 3.18 \times 10^{-3} T$$

となる。特に厳密なことが必要でなければ，−10°C以上の負の温度で，密度0.3程度のしまり雪に対して，$\nu = 0.15$である。



第7図 しまり雪の塑性ポアソン比νと温度T (°C) との関係

VII. 斜面積雪内での横圧力の測定

雪崩観測所の実験斜面のうち，従来から積雪内の歪速度の測定が最も多く行なわれている北斜面D点の近くで，第II節で述べたσ_2の雪圧の測定を雪圧計を用いて行なった。なお，雪圧計を挿入した場所の近くでは，雪害科学部門の研究員が積雪内の歪速度を穿孔法で測定し，斜面の最大傾斜線をふくむ鉛直面内での主応力σ_1, σ_3の方向と大きさを求めている。

雪圧計は斜面に垂直な高さ75 cmのこしまり雪の内に等高線に垂直に（受圧板の法線が等高線方向（y軸）と一致するように）挿入した。測定期間は1月13日から4月6日までで，測定値は雪崩観測所の他の観測値と共に，1時間毎にデーター集録装置の磁気テープに記録された。

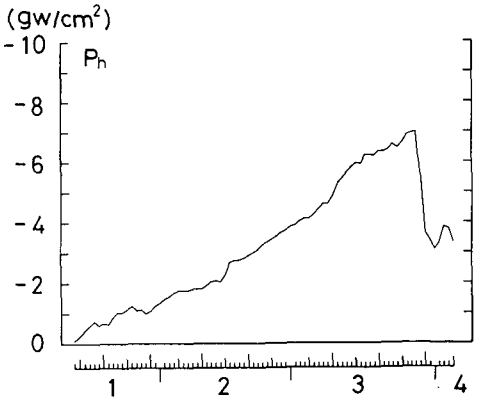
第8図はこのようにして得られた横圧力の毎日の平均値の推移を描いたものである。一日内での値の変動は極めて少なかった。P_hは積雪の増加と共に増加したが，3月下旬融雪期に入ると急激に低下した。

雪圧計は，上述した様に，受圧板の法線が等高線（y軸）と一致するように挿入されたが，

測定終了の4月6日には，この法線はyz面内にはあったが，y軸に対して11度傾いていた。この傾きθ_hは，全期間を通じて一様に増加したものと仮定し，雪圧計の傾きに対する補正を次のように行った。

雪害科学部門の測定が約2週間毎に行なわれており，その測定結果から鉛直軸方向の応力σ_zを求め，約2週間の期間内ではσ_zが一様に変化すると仮定する。測定値P_hとθ_h，σ_2，σ_zとの間に

$$P_h = \sigma_2 \cos^2\theta_h + \sigma_z \sin^2\theta_h$$



第8図　斜面積雪内の横圧力P_hの推移

の関係が成り立ち，正しい値σ_2が得られることになる。しかし，この補正を行なっても，第8図のP_hの値には僅かの違いしか現われない。

VIII.　従来の方法と今回の方法による主応力の比較

雪害科学部門の積雪内の歪速度の測定は，次のようにして行なわれている。積雪に穴を掘ってzx面の壁を作り，一つの雪の層に，正三角形の3つの頂点と中心の位置にzx面に垂直な孔をあける。この4つの孔のx，z座標を斜面上の一点を原点として読む。測定後，雪を埋め戻し，約2週間後前回の壁よりも少し掘り進んだ壁面で孔の座標を再測する。孔の座標を均質歪の仮定の下に解析して主歪速度$\dot{\varepsilon}_1$，$\dot{\varepsilon}_3$の方向α，$\alpha+90°$と大きさを求める。αはx軸より反時計回りにz軸の方向へ測った角度である。この解析で必要なのは，3つの点の移動であり，4つの測定点がある場合，4組の主歪速度が得られることになる。2つの主応力σ_1，σ_3の主軸方向は，雪が等方性であると仮定すれば，αと$\alpha+90°$にある。σ_1又はσ_3の主軸方向に垂直な単位面積の底面をもち，積雪表面に達する雪柱を考え，その雪柱にふくまれる雪の目方のσ_1又はσ_3方向の分力を各々の主応力の大きさとする。このσ_1，σ_3の求め方を従来の方法と呼ぶことにする。

今回の方法は，$\dot{\varepsilon}_1$，$\dot{\varepsilon}_3$は雪の歪速度の測定から得られた値を使用し，σ_2は雪圧計の測定値，νは平地積雪で得られた0.15の値を用い，(1)～(3)式によってσ_1，σ_3を求めるものである。

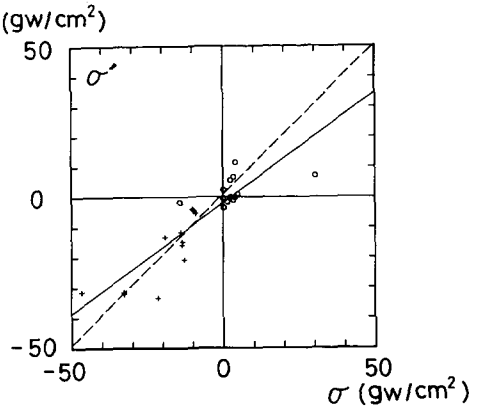
このようにして得られた結果を第1表に示した。第1表の期間は孔の位置の移動を測定した期間，積雪深，雪圧計の地上高は，各期間の初日の値でいずれも斜面に垂直に測った高さで単位はcmである。$\dot{\varepsilon}_1$，$\dot{\varepsilon}_3$の単位はday^{-1}，αの単位は度である。σ_1，σ_3の単位はgw/cm^2，ηの単位は$gw\cdot day/cm^2$である。

第1表のηのうち，III期の3番目，V期の3番目，VI期の2番目の値は，負になっている。1つ1つの孔の位置の座標は，もとより誤差を伴っている訳であるが，3つの孔の位置の組合せによっては，互の孔の座標の誤差のために上の3例のような結果になるのではないかと考えられる。以下の議論では，この3つの負のηを持つ孔の組合せは除外することにする。

第1表　2つの方法による σ_1, σ_3 の比較

測定期間	積雪深 M	測定点の地上高 m	測定点での雪の密度	雪温	$\dot{\varepsilon}_1$ ($\times 10^{-3}$)	$\dot{\varepsilon}_3$ ($\times 10^{-3}$)	α	従来の方法		今回の方法			雪質
								σ_1	σ_3	σ_1'	σ_3'	η	
I 期	117	75	0.231	−2.5	3.15	−19.7	−7	2.56	−9.63	−0.076	−4.46	95.9	こしまり雪
(1/12～1/26)	(cm)	(cm)	(g/cm³)	(°C)	1.55	−24.9	0	0.13	−10.1	−0.469	−4.06	68.0	
					6.79	−20.6	−12	4.91	−9.01	0.880	−5.41	115	
					1.88	−14.0	−10	3.96	−9.79	−0.188	−4.35	131	
II 期	117	71.6	0.283	−3.3	2.55	−5.00	−5	2.37	−13.4	5.44	−14.8	1340	しまり雪
(1/26～2/9)					2.13	−5.92	−1	0.225	−13.9	2.29	−11.7	868	
					3.38	−5.12	−8	4.19	−12.8	11.4	−20.8	1890	
					2.21	−4.03	−7	3.37	−13.6	6.58	−16.0	1810	
III 期	119	70.6	0.291	−5.0	−1.11	−11.4	0	0.189	−19.0	−3.58	−13.3	472	め雪こしもざら
(2/9～2/25)					−3.96	−14.4	48	−12.0	−61.4	−5.08	−11.8	322	
					13.4	−11.7	−2	0.976	−18.4	−95.6	78.7	−3470	
					−3.93	−14.2	−27	90.7	−14.8	−5.09	−11.8	326	
IV 期	153	69.3	0.335	−1.8	−0.306	−6.72	−32	1690	−18.9	−4.78	−21.7	1320	め雪こしもざら
(2/25～3/9)					−2.33	−5.62	48	−16.6	−85.8	−9.40	−17.1	1170	
					2.13	−5.73	−19	30.3	21.4	6.99	−33.5	2570	
					−0.0321	−9.43	51	−17.7	−117	−4.03	−22.4	979	
V 期	152	67.8	0.316	−1.4	3.54	−3.98	−23	63.0	−24.8	214	−253	31100	しもざらめ雪＋ざらめ雪
(3/9～3/24)					−1.40	−5.88	22	−12.1	−41.4	−11.1	−27.9	1880	
					11.5	−4.10	−14	21.5	−26.7	−48.4	9.29	−1850	
					5.10	−6.12	41	−18.4	−68.8	131	−170	13400	
VI 期	150	65.5	0.356	0.0	1.10	−8.89	−2	1.47	−32.7	−1.70	−31.6	1490	め雪こしもざら＋しまり雪
(3/24～4/6)					5.64	−2.81	52	−22.3	−176	−51.4	18.1	−4110	
					1.34	−11.1	25	14.1	−46.5	−1.79	−31.5	1190	
					2.59	−18.2	−3	3.48	−32.6	−1.13	−3.21	746	

第1表の応力のうち，従来の方法で得られた値で特に絶対値の大きなものは，III期の2番目の $\sigma_3=-61.4$，4番目の $\sigma_1=90.7$，IV期の1番目の $\sigma_1=1690$，2番目の $\sigma_3=-85.8$，4番目の $\sigma_3=-117$，V期4番目の $\sigma_3=-68.8$ 等である。これらの主応力を与えた時の α の絶対値はいずれも大きな値を示している。これらの主応力に対応する今回の方法で求めた主応力の値は小さな値で，唯一つの例外はV期4番目の $\sigma_1=131$，$\sigma_3=-170$ である。



第9図　従来の方法による σ と，今回の方法による σ' との対応。　○印は第1主応力，＋印は第3主応力

吉田[2]は，α の値が0から離れるに従って，従来の方法では主応力の大きさが正しい値から外れていくことを示している。今回の方法による結果は，吉田の理論をほぼ裏付ける結果になった。

これらの主応力の絶対値が大きいものを除いて，従来の方法で求めた主応力 σ の大きさを横軸に，今回得られた主応力 σ' の大きさを縦軸に示したものが第9図である。○印は σ_1，＋印は σ_3 で，大体の傾向は合っているが，回帰直線は

$$\sigma' = -1.95+0.735\,\sigma$$

となり，第9図の実線で示されている。第9図に載せられた σ について得られている粘性係数は，68～2570 の範囲にある。

第1表の雪質の項に示されているように，雪圧計の入れられていた層の雪は，I期にこしまり雪，II期にしまり雪であり，その後，こしもざらめ雪に変わった。平地積雪で $\nu=0.15$ の値を得たしまり雪に最も近い雪は，I期とII期の雪である。I・II期に限って第9図の応力について回帰直線を求めると

$$\sigma' = 0.91+0.997\,\sigma$$

となり，σ と σ' とはほぼ一致する結果となった。この回帰直線は，第9図に破線で示してある。

第1表の α の値は，I期，II期では，大体そろっているが，III期以後はバラつきが大きい。III期以後，雪はこしもざらめ雪に変わったが，こしもざらめ雪は，しもざらめ雪ほどではないにしろ，小粒の霜の結晶を持った雪である。従って，この雪の層が力学的な等方性を減少させたことが α の変動の原因になっているのではないかと推定される。

IX. ま と め

直径20 cm，厚さ6 mm の厚さを薄くした雪圧計を製作し，自然の平地積雪内で，鉛直圧力と水平圧力（横圧力）を測定し，雪の塑性ポアソン比 ν を求めた。しまり雪について $\nu=0.15$ を得た。

斜面積雪においても横圧力を測定し，他の測定で得られた主歪速度としまり雪について得

られたν=0.15を利用して，しまり雪の層における主応力と雪の粘性係数を求めることができた。この方法で得られた主応力の値は，雪害科学部門で従来の方法で得られた値に較べて，しまり雪の層のαの小さい範囲ではよく合った結果となった。

本研究に際し，雪害科学部門の方々，天塩地方演習林の方々に大変お世話になった。ここに記して，深く感謝します。

なお，この研究は文部省雪崩特別事業費で行なわれた。

文　献

1) 藤岡敏夫・他 1982 斜面積雪の歪速度と応力 V. 低温科学，物理篇，資料集，**41**，(印刷中).
2) 吉田順五 1981 斜面積雪の挙動の研究 VIII. 論文 VII の補遺. 低温科学，物理篇，**40**，25-35.
3) 吉田順五 1980 斜面積雪の挙動の研究 VII. 単独鉛直主応力状態. 低温科学，物理篇，**39**，1-16.
4) de Quervain, M. R. 1965 Measurements on the pressure at rest in a horizontal snow cover. International symposium on scientific aspects of snow and ice avalanches, 154-159.

Summary

The authors obtained the Poisson's ratio ν of snow by measuring both the vertical pressure P_v and the lateral pressure P_h in a snow cover on the ground by use of snow pressure gauges, taking the signs of P_v and P_h as negative. Meanwhile, concerning a snow cover on a mountain slope they measured P_h of snow and obtained the magnitudes of three principal stresses, using values of ν, P_h and those strain rates of the three principal axes which were measured by another method.

1. Snow pressure gauge and ν on the ground

Figure 1 shows the cross section of the snow pressure gauge. It is a circular disk, 20 cm in diameter, 6 mm in thickness and 160 g in weight. The snow pressure to the upper pressure plate of the figure is transmitted to the three load cells of the small size.

The authors inserted one pair of pressure gauges in each of three snow layers of a snow cover on the ground. As for P_v and P_h, the former is shown by A, B and C in Fig. 3 and the latter by A and C in Fig. 4. Near the snow gauges they set dummy gauges in the snow to check the state of the gauges in the snow and the state of snow around the gauges.

Values of P_v of C are in good agreement with the white circles which are pressure obtained from the weight of snow above the gauge. The gauge C was in a layer of settled fine- grain snow with the density of 0.28 at the end of December and 0.33 g/cm^3 at the end of March. It rained, out of season, on January 12 and March 4. Then the rain water froze into an ice plate on the gauge A; on the gauge B the rain water changed fine-grain snow into hard coarse-grain snow. The white circles are on the dotted lines A′ and B′ in Fig. 3 which were drawn parallel to C.

Figure 4 shows plots of P_h (the pressure at rest) of snow on the ground. The P_h of C increases with increasing height of the snow cover; and after mid-March when snow temperature rose to 0°C (Fig. 5) the P_h fluctuates and then decreases. The authors dug out the snow gauge A from the snow cover at the end of March, finding that it had an inclination

of 10 degrees from the vertical position. The dotted line A′ is the pressure after the correction was made to this inclination using Mohr's circle. The P_h of A′ increases with increasing snow height and after mid-February it decreases. At the end of March they dug out the gauge and found that the fringe of the gauge, made of a hard porous plastics, had bent backward and a gap had been made partially between the backside of the gauge and snow. The snow gauge B, inserted upright in the snow, inclined too much. So the P_h of B was omitted from the figure.

The poisson's ratio of ν calculated from the equation $\nu=P_h/(P_h+P_v)$, is shown in Fig. 6, where ν marked by A′ is derived from P_h and P_v of A′ in the previous figures. The ν of C for settled fine-grain snow decreases with lowering temperature (Fig. 7) and was about 0.15 when the snow was dry.

2. Measurement of snow pressure on a mountain slope.

On a mountain slope, the snow cover flows down the slope like a compressible viscous fluid. The principal axes of strain rates $\dot{\varepsilon}_1$ and $\dot{\varepsilon}_3$ are in the vertical plane perpendicular to the slope's contour line which has the same direction as the second principal axis $\dot{\varepsilon}_2$ $(=0)$. When the snow in a snow layer can be assumed to be mechanically homogeneous, these principal axes of strain rates represent the principal axes of stresses.

The authors inserted a snow gauge in the snow on a slope to measure P_h $(=\sigma_2)$. The angle of slope inclination was 32°. Near this site Huzioka and others measured strain rates of snow in the same snow layer; and calculated the directions and the magnitudes of $\dot{\varepsilon}_1$, $\dot{\varepsilon}_3$ and then σ_1, σ_3. Figure 8 shows P_h. The manitudes of σ_1, σ_3 and values of η, the coefficient of snow viscosity, were derived from eqs. (1), (2) and (3) of the present report, with assuming $\nu=0.15$ (Table 1).

The magnitudes of σ_1 and σ_3 obtained by Huzioka and others agreed with those the present authors obtained in the first half of the winter when the snow was dry and was settling or settled fine-grain snow. But when the snow changed into fine-grain particles of flat facets, the magnitudes of principal stresses were fairly different between both the methods.