

1984年4月山形県西川町で発生した小雪崩による死傷事故

中村 勉*・中村 秀臣**・阿部 修**

国立防災科学技術センター新庄支所

An Accident due to a Small Snow Avalanche Which Occurred on 22 April, 1984 at Nishikawa-machi, Yamagata-ken

By

Tsutomu Nakamura, Hideomi Nakamura and Osamu Abe

Shinjo Branch, National Research Center for Disaster Prevention

Shinjo, Yamagata 996, Japan

Abstract

At about 11:45 a.m. on April 22, 1984 a small avalanche attacked a group of 15 women who were walking on a roadway of elevation 300 m above sea level (38°26.5'N, 140°06'E) and one person was killed and another wounded. The size of the area from which the snowpack released was about 200 m² in a triangular shape with 0.8 m thickness. The running path was about 45 m long with an inclination angle of 40 degrees.

Density of the snowpack by the slope was 0.52 g/cm³, which was measured the next day. Force by which one woman was killed was estimated at 4×10^4 N, which value was calculated by use of the following equations;

$$F = C \frac{\rho}{2g} SV^2$$

where, C is the drag coefficient, F the force, ρ the snow density, g the gravitational acceleration, S the impacted cross-sectional area, and V the snowpack velocity.

The avalanche release was attributed to weakening of the snowpack strength due to snow metamorphism which was enhanced by rainfall three days previous, which amounted to about 116 mm.

By the International Classification the avalanche was classified as follows;

A2 B4 C2 D1 E2 F0 G2 H2 J1.

* 新庄支所, ** 雪害防災研究室

目 次

はじめに	74	5. 最大静止摩擦係数ならびに 気温と積雪深の日変化	85
1. 雪崩とその事故のあらまし	74	6. 結論	86
2. 雪崩の種類	81	あとがき	87
3. 雪崩による衝撃力の推定	81		
4. 当雪崩の質量階級(M. M.)と ポテンシャル階級(P. M.)	84		

はじめに

雪崩の発生機構の解明のためには、一つでも多くの発生時の雪崩の記録が役に立つ。しかし雪崩の発生は不意であり、仲々その発生条件等も不明のものが多い。不幸にして災害を伴った雪崩についての記録は残るが、これととも数は少く、又発生した雪崩それ自体についての記述はそれ程詳しくはないのが通常である。

ここに述べるのは、死亡者1名を含む小雪崩といっても雪の崩落といった方が正しいかと思うが、それについての記述である。必ずしも発生機構についての正確なデータがある訳ではないが、上述の理由により記録に止めておく。

1. 雪崩とその事故のあらまし

小雪崩が発生したのは、1984年4月22日午前11時45分頃であり、その場所は山形県西村山郡西川町水沢の町道(水沢・小沼線)わきにある山の斜面で、路面上垂直高度にして約30m、標高にして約300m、北緯38°26.5′、東経140°06′の所である(緯経度は5万分の1の地形図から求めた)。雪崩の日撃者の話によれば、雪崩は長さ約30m、幅約5mで歩行中の地元の人会(小沼地区婦人会、飯野トミ会長)の17人のうち15人を襲った。15人のうち13人は頭から雪をかぶったりあるいは下半身が雪の中に埋ったりしたものの自力脱出した。残る2人のうち1人は雪崩によりガードレールに打ちつけられ、かつ道路を埋めた厚さ2mの雪の下敷きとなり、まもなく救出されたが胸などを強く圧迫され、約3時間後に全身打撲などで病院で死亡した。もう1人は雪崩と一緒に約70m下方の川縁まで流され、右足骨折はしたが一命はとりとめたものである(山形・朝日新聞、1984と寒河江警察署での調査による)。路上のデブリの一番厚い所は2m位、少い所で50cm位であったという。

我々は翌23日現地調査ならびに聴聞調査をした。調査時刻は12時10分～13時10分であった。天気は快晴であった。婦人会の人々が歩いていた理由は次の通りであった。婦人会の人々をのせた送りのマイクロバスが事故発生地点へさしかかった時、路上に雪崩のデブリの雪が30cmほど長さにして約5mあった。この残雪の上にはタイヤの跡は無かった。マイクロバスのタイヤは夏タイヤであったので雪をのりきれぬと思い、後方へ戻り、そこで人々を降ろした。

婦人会の人々は歩いて自分たちの部落(下小(お)沼部落は前方800mの所にある。上小沼部落は過疎のため廃村)まで帰るつもりで歩き始めた所を雪崩に襲われたという。

図1, 2に雪崩の発生した地点を示す。ここは月山の頂上から南南東へ13.2km, 国道112号(通称月山道路)から町道水沢・小沼線に沿って約1.2km入った所である。写真1は発生地点を対岸から見た所で, 白矢印は雪崩の発生点を示す。写真2はこの部分の拡大写真である。雪崩発生個所の下方の残雪表面には雪崩の擦過傷が見える。このはげ落ちた部分は, 底辺・高さ共にそれぞれ約20mとする三角形状であったからその面積は約200㎡となる。積雪の厚さを0.8mと考えたので体積は160㎡と計算される。雪崩の発生個所のすぐ脇には雪崩防止柵が三段, 6ないし8列になって設置されている(写真1参照)。写真1の黒矢印の個所には斜面積雪のグライドとその跡の黒い地肌が見られる。写真3は雪崩の発生斜面のやや下方の様子を示す。疎林とブッシュと残雪がみられる。写真4は雪崩発生点の右側斜面と残雪落し作業中の風景を示す。写真5はこの地点の近くの残雪の近接撮影の様子を示す。写真6は雪崩が襲った道路(簡易舗装の町道)とガードレール。このガードレールと雪とはさまれて圧死した。負傷者は斜度約30度の斜面(写真7)を70mほど転落したが, 幸に川の手前約10mの所で止まった(写真8)。写真9は町道脇のカットされた法面を示す。上方には雪崩防止柵がみられる。

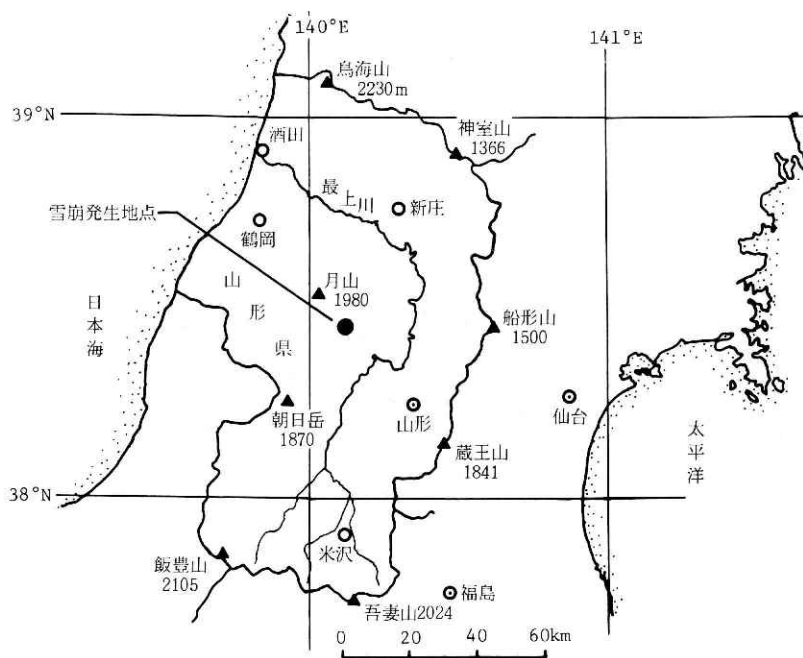


図1 雪崩の発生点(北緯38°26.5', 東経140°06', 標高約300m)

Fig. 1 Starting point of the avalanche (38°26.5'N, 140°06'E, at about 300 m above the mean sea level).

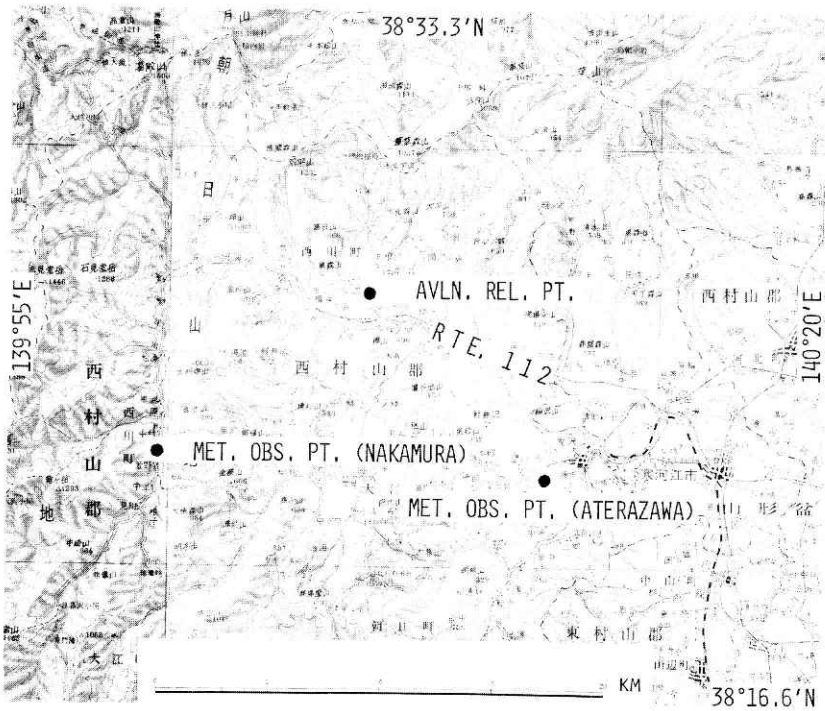


図2 雪崩の発生点と近くの気象観測点2個所の位置関係。RTE. 112は国道112号を意味する。
Fig. 2 A topographical map of the area where the snow avalanche started, and relative locations, including two meteorological observation points.

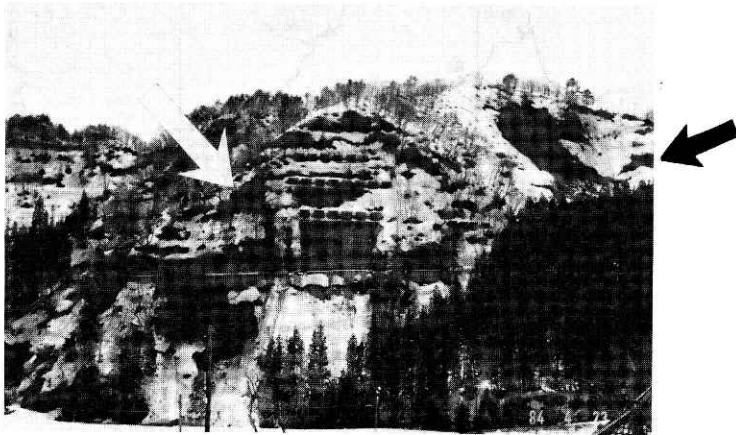


写真1 雪崩の発生斜面。白矢印の所の雪が落ちた。その右側には雪崩防止柵がみえる。最上段の柵の上にはグライドしてきた雪がのっているのがみえる。黒矢印の個所には斜面積雪のグライド跡の黒い地肌が見えている。

Photo 1 The slope on which the avalanche started. The snowpack designated by a white arrow slid down. At the right-hand side can be seen avalanche bridges, which are very effective. A crack of snowpack designated here by a black arrow was also seen.



写真2 写真1中の雪崩発生点の拡大写真。雪崩発生箇所の下方の残雪表面には雪崩の爪跡がみえる。

Photo 2 Enlarged slope where the snowpack slid down. Scratched traces due to movement of the avalanche were seen on the snow cover below the starting point.



写真3 雪崩発生斜面下方の様子。疎林とブッシュと残雪がみえる。

Photo 3 Appearance of the slope below the point where the avalanche started. Thin trees, bushes and snowpack can be seen.

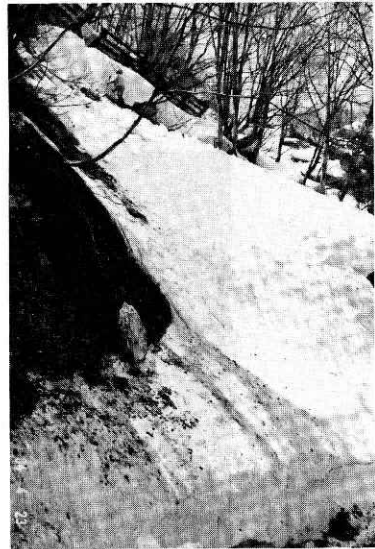


写真4 雪崩発生斜面のすぐ右隣の雪崩防止柵とその下の残雪落し作業中風景。

Photo 4 Avalanche bridges and the job of snowpack removing by hand.



写真 5 雪崩発生斜面近くの残雪の様子。
厚さ0.8 m位の雪が地表の凹凸に
応じた形をみせている。

Photo 5 Snowpack on a slope close to the
point where the avalanche started.
The snowpack was about 0.8m in
depth.

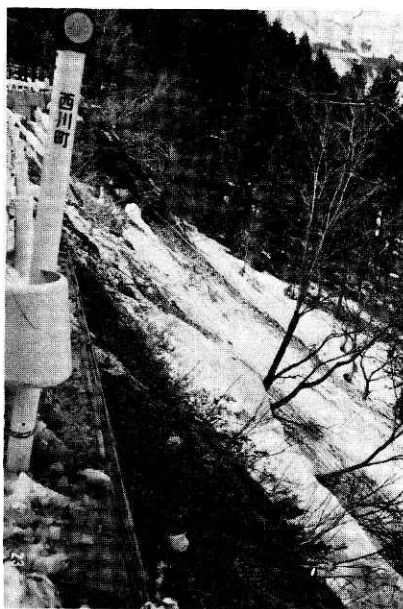


写真 7 負傷者が転落した斜面。約30度。
実際の転落斜面はこの写真のより
手前である由。

Photo 7 The slope (about 30 degrees) where
one wounded woman slid down.



写真 6 雪崩が襲った道路とガードレール。このガードレールの手前
端と雪にはさまれて圧死した。

Photo 6 The point of the accident where the avalanche fell. One
woman was killed, another wounded.

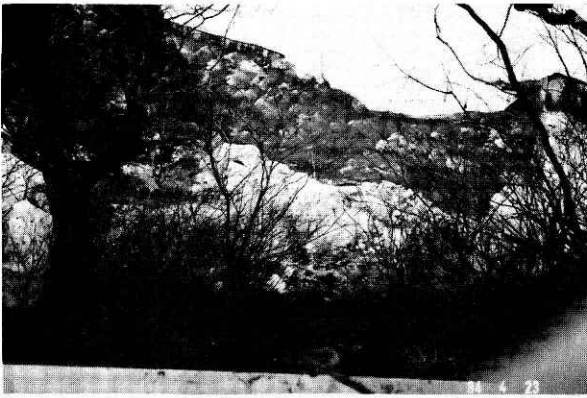


写真8 負傷者が転落した川辺.

Photo 8 The riverside where the wounded woman was found.



写真9 町道脇のカットされた法面。上方には雪崩棚がみえる。シャベルカーは作業員によって落された残雪を処理中のもの、ブッシュや低立木の根曲りの様子が良く見える。

Photo 9 Cut of rocks by the road.

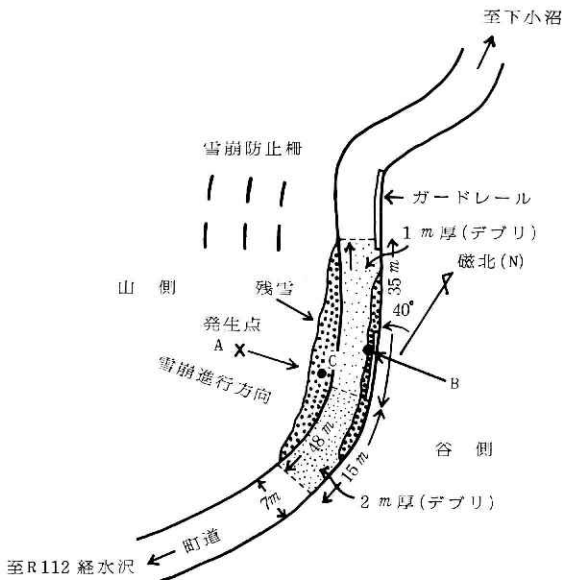


図3 雪崩並びに事故の発生地点の水平見取図。雪崩は地点A (×印)で発生し、死亡者はB点のガードレールと雪崩にはさまれ、救出はされたものの約3時間後に死亡した。

Fig. 3 Plan of the starting-point of the avalanche and of the place where the accident occurred. A wounded woman was found at point B under cover of snow about 1m deep by the guardrail. She died about three hours later in hospital.

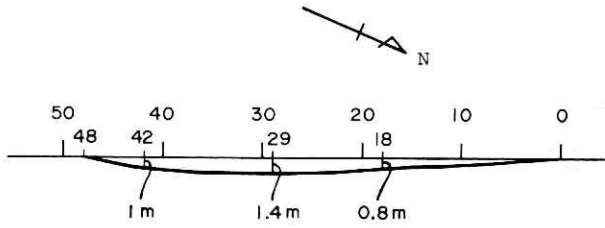


図4 雪崩災害地点の道路(町道)の曲率

Fig. 4 Curvature of the road where the accident occurred.

図3は雪崩ならびにそれによる事故の発生点を示す水平見取図である。地点Aで発生した雪崩は直下の歩行者を直撃したようである。路上のデブリの厚さは、南側15m位では約2m、北側の35m位は約1mであったという。図4は雪崩が直撃した所の道路の曲率を示す。図5は事故発生点のスケッチである。

雪崩発生地点は疎林地帯であり、滑り落ちた雪崩はブッシュの上に載っていた雪塊と断定した。雪塊の厚さは23日当時、その周辺の雪塊落しをしていた作業員の話によると80cm位のものであったという。雪崩発生地点の斜面の角度は、クリノメーター使用による遠視測定法により40度と計測された。

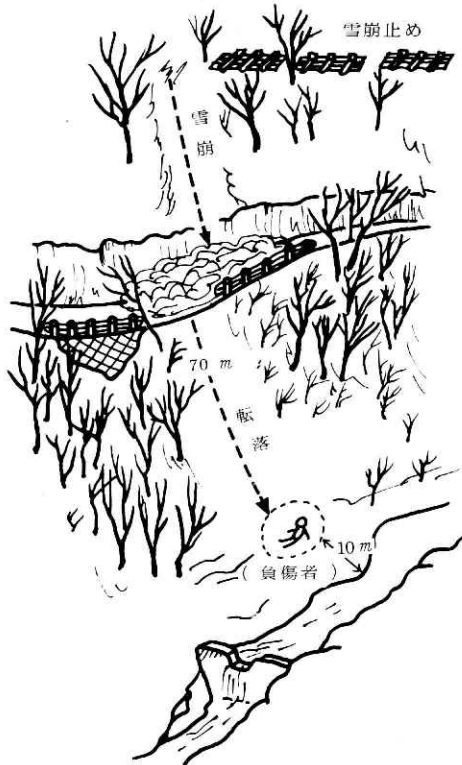


図5 事故発生地点のスケッチ(西川町職員によるものへの一部修正加筆転写)

Fig. 5 Sketch of the place where the accident occurred.

2. 雪崩の種類

当雪崩は湿雪全層雪崩である。

国際分類法によれば次の通りである。

A 2, B 4, C 2, D 1, E 2, F 0, G 2, H 2, J 1.

上記の分類は、雪崩発生翌日の現地調査ならびに聴聞調査の結果による。

3. 雪崩による衝撃力の推定

雪崩による衝撃力を推定してみる。図6は、落下した斜面上の雪とその雪が在った斜面の断面を示す。高さや水平距離および斜面上の積雪の長さなどは、16mm映画フィルムならびに35mmスチール写真から推定したものである。この推定には写真上に写し込んだ道路上のガードレールの実測長(20m)を基にしてある。斜面勾配はクリノメータで実測した値である。

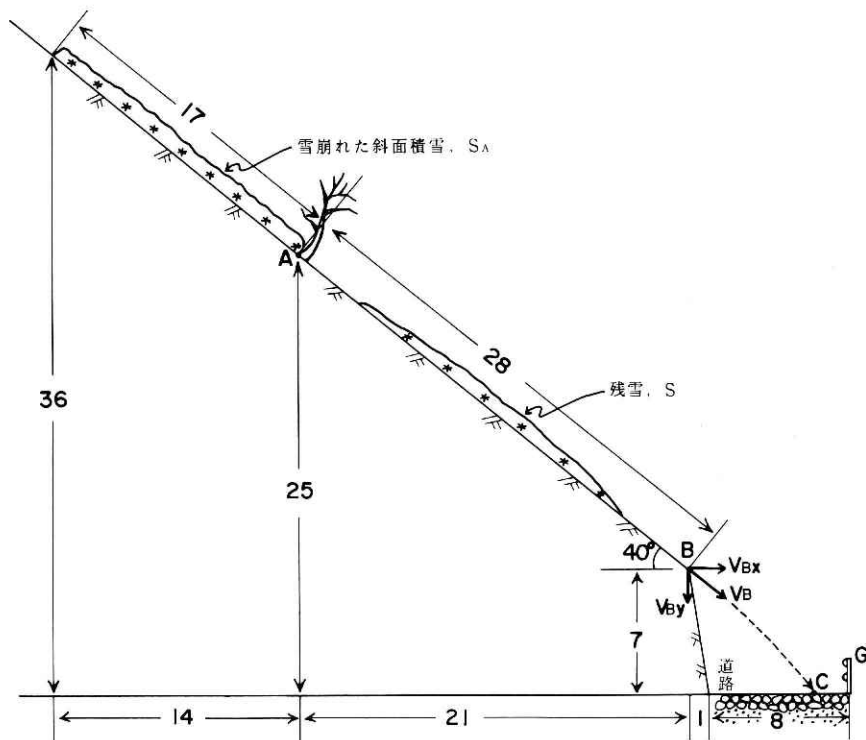


図6 雪崩の発生斜面断面図。数値は写真上のガードレール長(20m)を基に推定した値(単位:m)。

Fig. 6 Cross section of the slope where the snow avalanche started, and the snowpack (S_A) which slide down (unit: m).

雪崩れた斜面上の積雪、 S_A は下方の残雪、 S 部分を乗り越えて落下したものである。今、斜面上の積雪が水平角 θ 上の斜面上を動摩擦係数 μ をもって滑落するとすれば、その斜面方向の運動方程式は次式で表わされる。

$$m\alpha = mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta \quad (1)$$

ただし、 α 、 m はそれぞれ滑落中の雪の加速度、質量とする。 g は重力の加速度。他方、初速度 v_0 、加速度 α で運動中の雪が斜面上を距離 l だけ運動した後の速度 v は次式で与えられる。

$$v^2 = v_0^2 + 2\alpha l \quad (2)$$

今、図6のA点の雪が、路面上のC点に衝突した時の力を求めることにする。雪は斜面上を滑落した後、B点からは或初速度をもって放物運動をするので、雪の運動を二つの部分に分けて考えなければならない。

B点における速度を V_B と書く。今、初速度 $v_0=0$ 、 $g=9.8\text{ m/s}^2$ であり、 l 、 θ は測定からそれぞれ28m、40度であったから求める V_B は(1)(2)両式から、次式で求められた。

$$V_B = \sqrt{2g(\sin \theta - \mu \cos \theta)l} = 11.9\text{ m/s} \quad (3)$$

ただし、動摩擦係数には0.5を用いた(荏田, 1968)。

V_B の水平、垂直成分はそれぞれ次式で求められた。

$$V_{Bx} = V_B \cos 40^\circ = 9.1\text{ m/s} \quad (4)$$

$$V_{By} = V_B \sin 40^\circ = 7.6\text{ m/s} \quad (5)$$

次にB点から飛び出した雪が鉛直距離にして7.0 m下にある道路面に衝突した時の衝突箇所と衝突速度、ならびに衝突角度を求める。B点で速度 V_B をもって空中に飛び出した雪が、鉛直方向に距離 H だけ落下した時の y 方向の速度 V_y は、次式で求められる。

$$V_y^2 = V_{By}^2 + 2gH \quad (6)$$

ただし、 V_{By} は V_B の y 成分である。

今、道路面に達した時の y 方向の速度成分を V_{Ry} と書き表わし、 $V_{By}=7.6\text{ m/s}$ 、 $H=7.0\text{ m}$ を(6)式に代入すれば、

$$V_{Ry} = 14.0\text{ m/s}$$

と求められる。またB点で飛び出した雪が路面に衝突するまでに要する時間を t とすれば次式が成り立つ。

$$V_{Ry} = V_{By} + gt \quad (7)$$

V_{Ry} と V_{By} とは上に求められているから、これらと(7)式から t は0.65秒と求められる。今、空中を飛行する雪の速度 V_B の水平成分 V_{Bx} は空気抵抗による減衰がないとすると、B点を出た後も不変であるから、道路上の衝突箇所 L (B点からの水平距離)は次式で求められる。

$$L = V_{Bx}t \quad (8)$$

(8)式に上の(4)式で求められた $V_{Bx}=9.1\text{ m/s}$ と $t=0.65\text{ 秒}$ を代入すると L は 5.9 m と求められた。更に、この時の雪の路面に衝突する時の速度 V_R は次式から 16.7 m/s と求められた。

$$V_R = \sqrt{V_{Rx}^2 + V_{Ry}^2} \quad (9)$$

ただし、 V_{Rx} は V_R のX成分であり、 V_{Bx} に等しい。

以上で、斜面を滑落してきた雪の路面に衝突する時の速度とその個所が求められた。

次に、この時の衝撃力を計算する。今、雪は $\rho\text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3})$ という密度で連続的に流れてきたものとする。そうすると、この様な流れる雪による衝撃力 $F\text{ (kg重)}$ は荘田(1968)を参考にすれば次式で与えられる。

$$F = C \frac{\rho}{2g} AV^2 \sin \varphi \quad (10)$$

ただし、

C : 抵抗係数

g : 重力の加速度

A : 衝突面積 (m^2)

V : 衝突速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

φ : 物体と衝突する雪とのなす角

次に具体的な数値を求める。雪の衝突面積を 0.5 m (人体の幅) $\times 0.8\text{ m}$ (雪の厚さ) $\div \sin \varphi = 0.73\text{ m}^2$ と仮定する。他方、この雪崩の進行方向に直角な面への投影面積は $A \times \sin \varphi = 0.73 \times \sin 33^\circ = 0.4\text{ m}^2$ である (なんとすれば $\tan \varphi = V_{Rx}/V_{Ry}$ だから)。密度 ρ は雪崩発生の翌日の現地調査の際に、上方から落下してきた雪のうちで雪崩の運動による圧縮変形を受けていないと思われる雪塊の密度測定値を用いた。その値は $517\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。抵抗係数 C については柱状物体に作用する値として 1.4 を採用した (荘田, 1968)。これらの値を(10)式に代入すると、

$$\begin{aligned} F &= 1.40 \times \frac{517}{2 \times 9.80} \times 0.4 \times 16.7^2 = 4.12 \times 10^3 \text{ kg重} \\ &= 4.12 \times 10^4 \text{ N} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。

以上の計算において動摩擦係数 μ に 0.5 を用いたが、これを検討してみる。

幸いに 16mm フィルムに当斜面積雪上方 (斜面滑落距離 45 m) から自然落下してくる小雪塊が写っていたので、これを解析した。この小雪塊が路面へ到達するまでの時間を実測したところ、この小雪塊は2~3回木立に衝突しながら滑落していたがそれは 7.5 秒 であった。他方、同高度から落下する雪塊の路面までの所要時間を $\mu = 0.5$ と仮定して計算で求めたところ 6.6 秒 であった。すなわち上記の(3)式に $\theta = 40^\circ$ 、 $\mu = 0.5$ 、 $l = 45\text{ m}$ を代入すると、 V_B

= 15.1 m/s と求まる。他方、初速度 0 で加速度 α で運動する物体が、速度 V_B をうるまでに要する時間 t は

$$t = V_B / \alpha = \frac{V_B}{g(\sin \theta - \mu \cos \theta)} \quad (12)$$

であるので、これを求めると 5.9 秒となる。これは雪塊が斜面上を滑落してきて B 点に達するまでの時間である。この後の空中を落下する所要時間は(6)式から 0.7 秒と求められた。上記の 5.9 秒と 0.7 秒の計は 6.6 秒となる。

16mm フィルムからの実測値 7.5 秒とこの計算値 6.6 秒とを比較する。実測値は木立に雪塊がぶつかりながら落ちたことなどを考えると、動摩擦係数を 0.5 とした事にはそれほど大きな誤ちがあるとは思えない。

4. 当雪崩の質量階級とポテンシャル階級

雪崩の質量階級 (Mass Magnitude, 略称 M.M.) とポテンシャル階級 (Potential Magnitude, P.M.) は、それぞれ次式で定義されている (荘田, 1965 ; 清水, 1966)。

$$M.M. = \log_{10} M \quad (13)$$

$$P.M. = \log_{10} Mgh \quad (14)$$

ただし、 M は雪崩の質量 (ton), g は重力の加速度, h は落差 (m) を表す。上の (13), (14) 式それぞれを用いて当雪崩の M.M. と P.M. を求めると、質量は 82.7 ton, h は 30.5 m だから、それはそれぞれ 1.9 と 4.4 となる。これは雪崩としてはごく小さいものである。ちなみに、1962 年のペルーのワスカランの大雪崩は質量 300 万 ton であり、その質量階級 (M.M.) は 6.5, ポテンシャル階級 (P.M.) は 11.3 である (清水, 1978)。

$$\mu_s = \tan \theta_{\max}$$

$$\theta = 40^\circ$$

$$\mu_s = 0.84$$

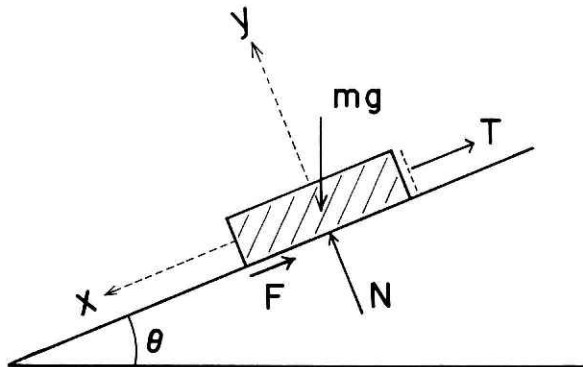


図 7 斜面上の積雪の平衡

Fig. 7 Forces which act on a snow mass.

5. 最大静止摩擦係数ならびに気温と積雪深の日変化

図7は、斜面上の積雪の支持力 T が無くなり、底面摩擦のみで積雪が支持されている様子を示す。x, y方向それぞれに対して次式が成り立つ。

$$mg \sin \theta - F = 0 \tag{15}$$

$$-mg \cos \theta + N = 0 \tag{16}$$

また、雪が動き出す直前の摩擦係数、即ち最大静止摩擦係数 μ_s は、

$$\mu_s = \frac{F}{N} \tag{17}$$

で定義されるものであり、この時の角度を θ_{\max} とかけば、

$$\mu_s = \tan \theta_{\max} \tag{18}$$

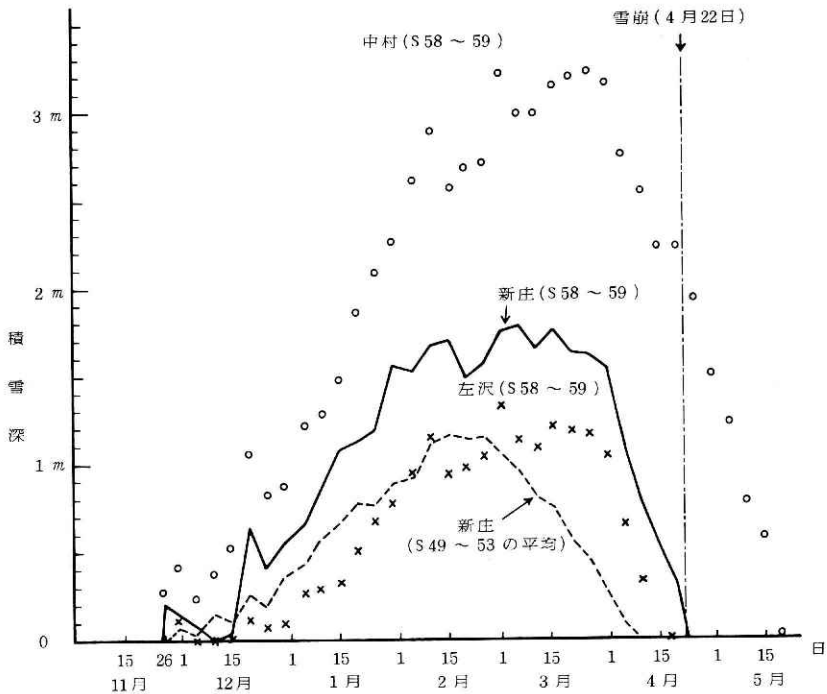


図8 中村, 左沢, 新庄における積雪深の日変化。積雪深のデータは約5日毎の値のみをプロットしてある。(昭和58~59年冬。新庄については平均値も載せてある)

Fig. 8 Diurnal change of snow depth on the ground at Nakamura, Aterazawa and Shinjo in the winter of 1983/1984. An average of the snow depth from 1974 to 1978 was also drawn.

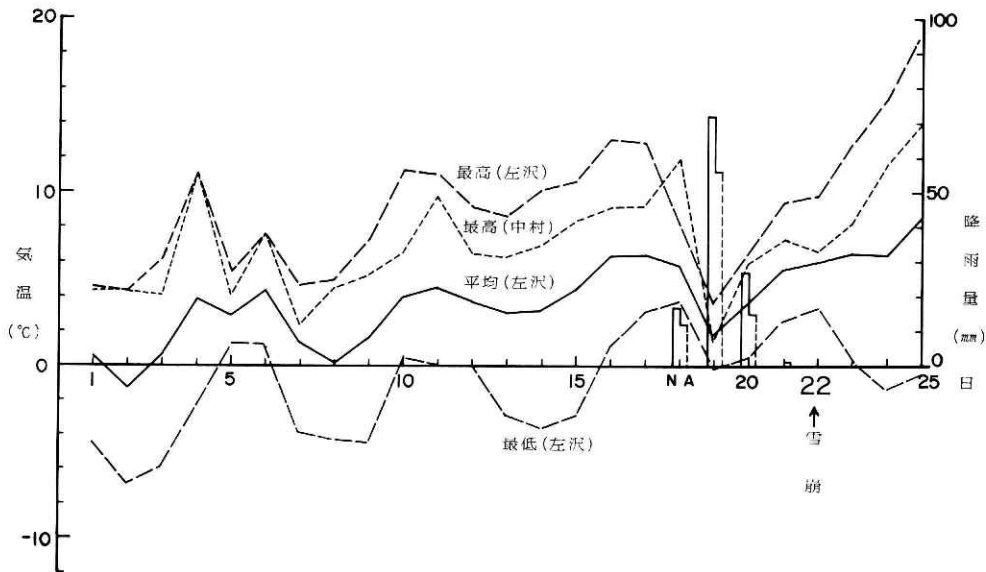


図9 1984年4月の左沢と中村における気温並びに雪崩発生日前の18日から21日までの降雨の日変化。中村は最高気温のみ、降雨の下端のN、Aはそれぞれ中村、左沢を表わす。

Fig. 9 Diurnal variation of the air temperatures; the max., the min. and the mean, at Aterazawa. Only the max. air temperatures are shown at Nakamura. The amount of the rainfall which occurred just before the start of the avalanche was also drawn.

となる。θは40度であったから、これから μ_s は0.84と求められた。

図8は左沢(あてらざわ)と中村における積雪深の日変化を示したものである。この図から分るように山稜一つ越えただけ(図2参照)で積雪深が大きく変ることが知られる。雪崩発生点での積雪深の変化は測点が無いので不明であるが、調査日の4月23日の発生地点の田圃上のおおよそ30cm程度の残雪量と図8とから推定すると雪崩発生地点の積雪量は左沢と中村での測定値の中間の値であったろうと推定される。即ち、雪崩発生地点の平地での最大積雪深は2m前後であったろうと推定される。

図9は4月1日から小雪崩発生日22日を含む25日までの気温の日変化を示す。小雪崩発生地点から一番近い気象観測点、即ち左沢と中村で観測された値を示す。ただし左沢と中村は図2に示す通り、雪崩発生地点からそれぞれ南東へ約11km(38°22.2' N, 140°11.4' E, 標高137m)、南西へ約12km(38°23.4' N, 139°59.9' E, 標高440m)の地点にあり、それぞれ丘陵を一つ越えた所にある。

6. 結 論

この雪崩が発生したのは例年のない豪雪のため融雪が遅れ、平地では2週間程度の、山地

では1カ月以上の遅れとなったため4月の末に至るまでも多量の残雪があったことに一因がある。そして雪崩発生の数日前に降った、かなりの雨のため積雪のざらめ化が促進され積雪の破断強度が小さくなった事と、積雪底面でのグライドの促進があったためであろう。又、ブッシュの斜面鉛直方向への持ち上げ作用による斜面積雪の破断、及びブッシュ上の雪との摩擦抵抗の小なる事などもその発生誘因として考えられる。

性質の知られた雪の或厚さのものが、降雨により変態する過程と積雪強度の弱化の程度を知ることができれば、雪崩発生の予知への一助となる。

あとがき

この人身事故は誠に不運な出来事といわねばなるまい。小雪崩発生斜面の対岸の人々は雪がいつ崩落するか危いと考えていたそうであるが、どういう現象からそう考えていたかは不明である。発生点のすぐ脇には雪崩防止柵が設置されていたから平年並の雪では雪崩は発生しなかったのであろうが、まれにみる大雪のため雪崩となったものである。将来の防災対策としては、平年値の積雪と異常多雪とでそれぞれどの程度の雪崩が発生するかをあらかじめ調べておく必要がある。

災害雪崩の事実の確認について御便宜を図っていただいた山形県警察本部警務部の大泉光弥参事官をはじめ佐藤巨寒河江警察署長ならびに刑事防犯課長井上照雄警部の諸氏に御礼を申し上げるものである。又、現地調査に御協力下された西川町役場の職員にも感謝する。

最後に、不幸にして死亡された方の御冥福と、事故に遭遇された方々の1日も早い心身の御回復を御祈りするものである。

参考文献

- 1) 清水弘(1966): なだれの階級. 低温科学, 物理篇, 26, pp. 143-168.
- 2) 清水弘(1978): なだれ. 気象研究ノート, 136号, pp. 63-123.
- 3) Shoda, M. (1965): An experimental study on dynamics of avalanching snow. IASH Publication, No. 69, pp. 215-229 d.
- 4) 荘田幹夫(1968): なだれ. 防雪工学ハンドブック, 日本建設機械化協会編, pp. 47-79.
- 5) 山形, 朝日新聞社(1984): 4月23日付の朝刊.

(1984年11月21日 原稿受理)