

地震計に記録された表層雪崩

和泉 薫*・小林 俊一*

The movement of a powder snow avalanche as recorded on a seismograph
by

Kaoru IZUMI and Shun'ichi KOBAYASHI

(Abstract)

A large disaster due to a powder snow avalanche occurred in Maseguchi, Now-machi, Niigata Prefecture on January 26, 1986. On the same day, another powder snow avalanche occurred in Shimamichi-Kosen about 3.5km distance from Maseguchi.

This avalanche only caused damage to trees and four electric poles (Photo 1 to 3), but its movement happened to be recorded by chance on a vertical seismograph which was set in the Shimamichi-Kosen Inn which was only about 5 m from the avalanche track (Fig.4).

On the basis of this fact, it was pointed out that the occurrence, speed and route of a powder snow avalanche could be caught by the arrangement of several seismographs.

Key words : Powder snow avalanche, Seismograph, Avalanche speed
キーワード : 乾雪表層雪崩, 地震計, 雪崩速度

I はじめに

1986年1月26日23時頃, 新潟県西頸城郡能生町柵口の集落を, 標高1,108mの権現岳から発生した大規模な乾雪表層雪崩が襲い, 民家11戸が全半壊し, 死者13名を出す惨事が起こった。この雪崩については, 既に研究成果がまとめられている(小林, 1986)。この約2時間半前, 柵口集落から西北西に3.5km程離れた能生町島道鉾泉で同じく乾雪表層雪崩が発生していた。この雪崩では幸い人家への被害はなかったが, コンクリート電柱4本が倒され, この影響で柵口集落は雪崩災害前に停電となった(停電時刻20時26分)。

島道鉾泉(標高260m)は, 能生町の海岸線から

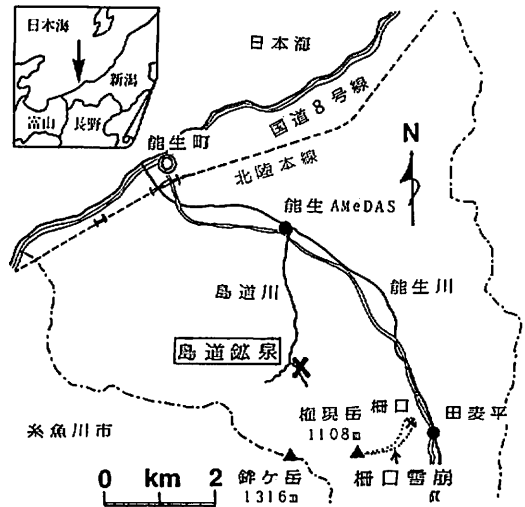


図-1 島道鉾泉の位置

Fig.1 The location of Shimamichi-Kosen

*新潟大学積雪地域災害研究センター

能生川沿いに約4 km入り、さらに支流の島道川沿いに約4 km南下した山間地にある(図-1)。ここには島道川から比高で約60 m上がった出尾根の上に一軒の温泉宿がある。上流には柵口の権現岳に連なる鉾ヶ岳(標高1,316 m)が聳え、島道鉱泉はそれらの山への登山口の一つとなっている。

島道鉱泉では東京大学地震研究所によって地震観測が行われており、その地震計にすぐ脇を通過した表層雪崩の運動が記録されていた。本稿では、この島道鉱泉で発生した表層雪崩について報告する。

II 気 象 状 況

島道鉱泉での気象観測は行われていないが、温泉宿の能登夫妻によって天候が詳しく記録されている。そこには、1月15日から20日にかけての好天と気圧の谷の通過による降水(雨、みぞれ)、21日以降の連続した激しい降雪が記載されている。これは、柵口表層雪崩発生時の気象経過と一致している(西村ほか, 1986)。柵口表層雪崩の場合、雪崩発生前後のひと続きの降雪は、異常低温のため、降雪の深さの合計値に対する積雪深の増加の比率が著しく大きかった。すなわち、この期間、積雪は降り積もった時の雪の状態をほぼ保存しながら増加していった。柵口から約3.5 kmしか離れていない島道鉱泉での気象状況も、これと同様なものであったと考えられる。なぜならば、フワフワした雪は年に2~3回降るものの、この雪崩前にはそれがいつもなく多量に積もったという能登夫妻の記録があるからである。このほとんど圧密していない厚い新雪層が、乾雪表層雪崩となって流下したと想像される。

III 雪 崩 状 況

雪崩の種類は地元で“ウワボウ”と呼ばれる面発生乾雪表層雪崩である。雪崩の発生源や走路については、発生直後の確認がなされていないが、地形解析、1986年1月30日撮影の航空写真解析、及び3月4日、4月29日、5月8日の現地調査から、図-2に示すような範囲が推定できた。

発生源の推定には、「この場所は平らで雪庇が発達し易く、以前にもここから表層雪崩が起こった。今回の雪崩もここから発生したに違いない」という能登氏の経験を参考にした。事実、発生源と考えられた場所は、急峻な尾根筋が多い中で、その上部だけがかなり平坦な地形をしており、冬期季節風によって風下斜面に雪庇や吹き溜まりが形成されやすい地形である(図-2)。また、1月30日撮影の航空写真によれば、確かにこの場所の上端に雪庇が顕著に発達していた。なお、ここでの雪庇の発達には柵口の権現岳の山頂よりも著しく、発生源上部には、積雪のグライドによるクラックも認められた。

地形や航空写真から、崩落した雪の水平投影面積をおよそ $1.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ と見積もった。崩落した雪の厚さは、すべり面を1月15日から20日にかけての好天と降雪で形成された脆いざらめ雪層と考えて推定した柵口表層雪崩の雪の厚さと同じく、2.5 mとした(和泉ほか, 1986)。したがって崩落した雪の体積は約 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ と推定した。



図-2 島道鉱泉雪崩の走路
Fig. 2 Track of the powder snow avalanche which occurred in Shimamichi-Kosen

雪崩の走路は倒木の状況などから判断し、その地形断面を図-3に示した。発生源は傾斜30~45°の斜面で、大きな木は生えていない。また標高620m付近の雪崩発生点からデブリ末端までの経路に沿った水平距離は約1.3km、比高は約440mであった。デブリ末端からの見通し角の実測値は21°で、表層雪崩の最大到達の見通し角と言われる18°(高橋, 1960)より大きかった。

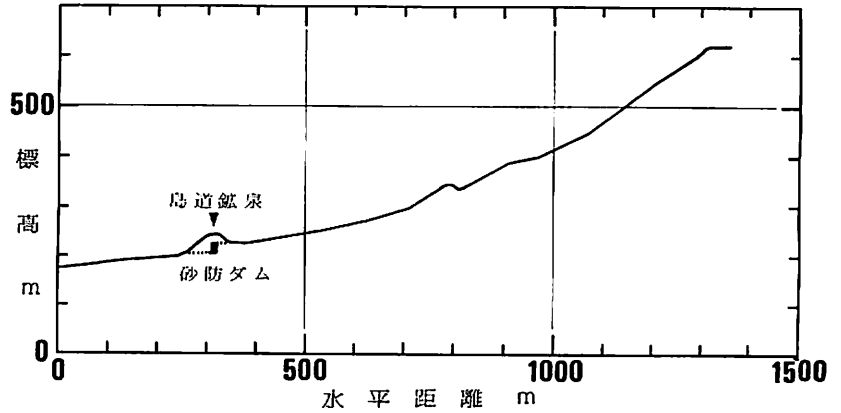


図-3 雪崩走路に沿った地形断面
Fig. 3 Vertical section along the avalanche track

雪崩は発生後、図-3の水平距離800m付近で一部が沢の屈曲部をそのまま直進して左岸を乗り越えた。そして砂防ダム上流の平坦な河原に出て広がった後、一部は島道鉱泉の出尾根を乗り越え、一部は砂防ダムの方に迂回して流下し、コンクリート電柱4本と十数本の桜並木(植栽後50年位)を倒壊させた。これらの状況を写真-1~3に示す。このほかにも走路上には多くの倒木が見られた。

雪崩は出尾根を乗り越える時、島道鉱泉の建物から5mと離れていない下の部分を通過しているが、能登夫妻は雪崩自体の音には気付かなかった。だが、引込み電線の取り付けボルトが抜けた際の音と振動、それに停電によって“ウワボウ”が発生したことを直感したという。このようにすぐ近くであっても通過時の音が聞こえないことは、乾雪表層雪崩の特徴を表している。

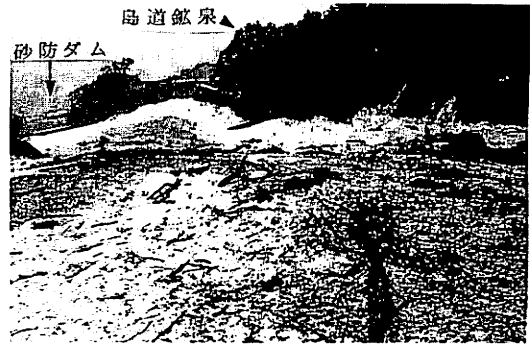


写真-1 砂防ダム上流の河原における倒木飛散状況と出尾根上の島道鉱泉の建物 (1986年5月8日撮影)

Photo. 1 Scattered trees in the river bed and the Shimamichi-Kosen Inn viewed from the upper stream



写真-2 コンクリート電柱の倒壊状況 (1986年4月29日撮影)

Photo. 2 Concrete pole for electric wires broken by the avalanche



写真-3 桜並木の倒壊状況 (1986年4月29日撮影)

Photo. 3 Roadside cherry trees broken by the avalanche

IV 地震計に記録された雪崩の運動

島道鉦泉の建物の中には、東京大学地震研究所の速度型上下動地震計が設置され、信号は電話回線で長野にある同研究所の信越地震観測所に送られている。この信号は電話回線が島道鉦泉の雪崩で切断されたため、1月26日20時26分5.5秒に途切れたが、その前50秒程にわたって振幅の大きな波形が地震計に記録されていた。20時00分から回線切断までの記録を図-4に示す。

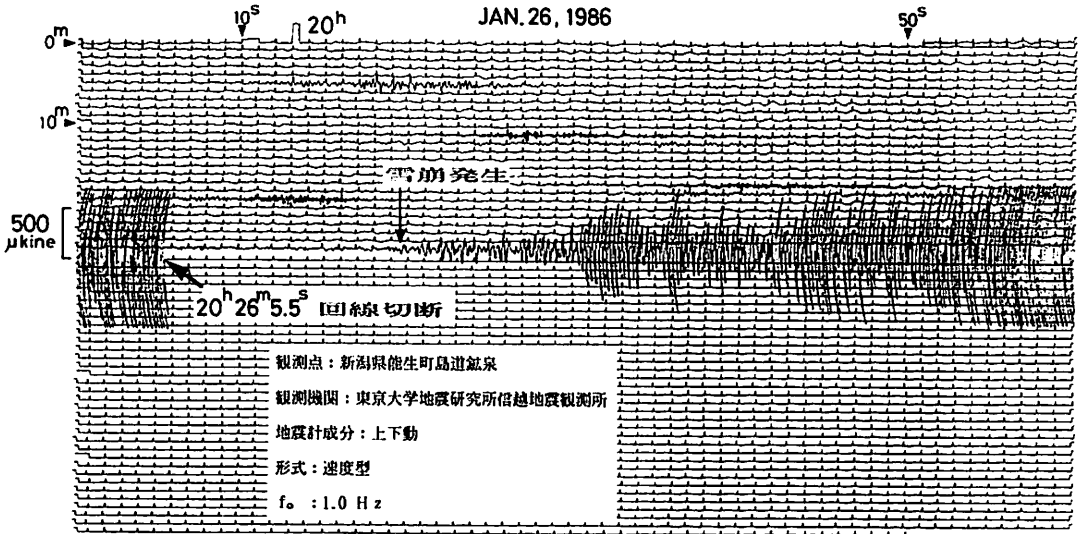


図-4 地震計に記録された雪崩の運動

Fig. 4 A record of the avalanche motion caught by the vertical seismograph (fo=1.0Hz) placed in the Shimamichi-Kosen Inn

記録は横幅が60秒間で、20時00分から下へ1分毎に書かれている。20時25分19.5秒から振幅が時間とともに増大する波形が見られ、25分55秒位から振り切れ、回線が切断した26分5.5秒まで続いている。これは明らかに地震による波形とは異なっており、この時刻にこの付近での地震は観測されていないことからしても、島道鉦泉の建物のすぐ脇を通過した雪崩の運動による波形である。このように表層雪崩の運動が地震計に捉えられたという報告は、おそらくこれが日本で始めてであろう。

図中に示したように20時25分19.5秒を雪崩発生時とすると、発生点から島道鉦泉までの間の雪崩の平均速度は、経路に沿った距離(1,120m)を経過時間(46sec)で割った値、24m/secと考えることができる。

ところで、柵口表層雪崩を剛体モデルによって動力学的に取り扱った前野ほか(1986)の結果によれば、柵口表層雪崩のモデル計算において空気抵抗は無視でき、また底面摩擦も0として大きな誤りはなとされている。島道鉦泉の表層雪崩もこれと同様に考えると、雪崩の運動方程式は、 m 、 u 、 g 、 θ をそれぞれ雪崩の質量、速度、重力加速度、斜面傾斜角とすると、

$$m \frac{du}{dt} = mg \sin \theta - \beta u^2 \quad (1)$$

と表される。ここで β は、空気抵抗と底面摩擦を0としているので、雪の圧密抵抗だけの係数で、

$$\beta = A \rho_0 \{ 1 + \rho_0 / (\rho_1 - \rho_0) \} \quad (2)$$

である。ただし、 ρ_0 と ρ_1 は雪崩通過前と後の雪の密度、 A は雪の圧密が作用する断面積である。(1)式の解は、定常の時($du/dt = u \, du/dx$),

$$u = \{ (u_0^2 - mg \sin \theta / \beta) \exp(-2\beta x/m) + mg \sin \theta / \beta \}^{1/2} \quad (3)$$

となる。ただし、 u_0 は $x = 0$ での初速度である。

雪崩が島道鉾泉の建物脇に達するまでの走路は図-3から、傾斜 29° 長さ560 mの上流側急斜面と傾斜 14° 長さ540 mの下流側緩斜面とに大きく分けられる。(3)式をもとにし、この急斜面と緩斜面とで β の値は等しいと仮定し、雪崩の到達時間を地震計記録から得られた46秒となるよう計算すると、雪崩の質量 m に対する雪の抵抗 β の比 β/m は 5.5×10^{-3} となる。また、発生源の雪の密度を 100 kg/m^3 と仮定すると上述の発生源の雪の体積から、 m は $3 \times 10^6 \text{ kg}$ となり、これを使うと β は 1.7×10^4 となる。 β がこの程度の値の場合には、雪崩の規模が小さくとも遠方まで到達することが前野ほか(1986)によって示されている。事実、今回の島道鉾泉での表層雪崩は、崩落した雪の体積の少ない割にはかつてない程速くまで到達しており、この雪崩の運動が剛体モデルで近似できることを示している。

なお、この β の値を使い雪崩通過前後の雪の密度をそれぞれ100, 150 kg/m^3 とすると、上流で雪崩幅50 mの時、圧密作用深さが1.7 m、下流で雪崩幅200 mの時、圧密作用深さが0.4 mとなり、これらも考えられる値となっている。

V 過去の雪崩状況

能登夫妻からの聞き取りによって島道鉾泉での過去の雪崩状況を調べた。島道鉾泉から上流の山は60年位前まで炭焼が行われ、大きな木のない“カンバ山”となっていて雪崩や出水が頻繁に起こっていた。豪雪であった昭和2年には、現在の砂防ダムの下流にある橋の付近まで達する雪崩が起きている。これは今回の雪崩の規模に匹敵する。しかしその後、炭焼で荒れた山も樹木が回復してきたため、戦後、電気が引かれてからは島道鉾泉に停電をもたらすような大きな雪崩は発生していない。

だが、昭和36年に島道鉾泉の出尾根の先に砂防ダムが完成した後、その上流側がしだいに土石で埋められ平坦な河原と変わり、雪崩が流下してきた場合出尾根を乗り越えやすい状態となってきた。このため昭和40年代後半には、被害はなかったが出尾根斜面を乗り越えた雪崩が起きている。そして今回の雪崩は、ほとんど圧密しない厚い新雪層が堆積するという稀な気象条件があったものの、こうした地形変化があったため、出尾根を乗り越え更に砂防ダムの下流300 mの地点にまで到達したものと考えられる。これは地形の人為的な改変が雪崩の流下状況に影響を及ぼした一例ということができる。

VI あとがき

柵口集落では1月26日の降雪はことのほか激しく、その日5回もの道踏みをしなければならなかったという。この道踏みや屋根雪下ろしで疲れきった上、停電となったため、災害時にはほとんどの人が就寝中であった。このため寝間で一面雪をかぶって亡くなった人のように、もし起きていれば助かったかもしれない例もあった。その逆に、窓から雪が入って家中埋められながら、唯一窓のない寝間で、停電のため早めに寝ていて無事であった例もあった。このように、柵口表層雪崩の被災状況にも停電という形で大きな影響をもたらした島道鉾泉の表層雪崩について報告した。ただし、柵口雪崩の惨事の陰にかくれた形で、発生後すぐに調査が及ばなかったため不明の点も残されている。

しかし一方で、乾雪表層雪崩の運動が地震計に捉えられるという貴重な結果が得られた。この結果をもとに、地震計の適切な配置によって、これまで把握が困難であった乾雪表層雪崩の速度や流下経路など、動態について調査することを考えている。また、雪崩の発生がわかることから、発生点付近に地震

計を設置することによって、集落到達する直前に雪崩の襲来を知ることができる。すなわちこれまで有効な方法のなかった乾雪表層雪崩の警報システムを地震計を使うことで現実化できる可能性がある。この点についても今後検討してゆきたい。

なお、島道鉱泉では過去の状況や地形から見ても、再び乾雪表層雪崩が発生することは十分考えられるので、これからも調査を継続する予定である。

調査にあたって島道鉱泉の能登清治・一枝夫妻、東北電力罫糸魚川営業所の方々に多大な協力をいただいた。また、東京大学地震研究所信越地震観測所からは貴重な地震記録の提供をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。

文 献

- 和泉 薫・川田邦夫・佐藤和秀・西村浩一・矢野勝俊・佐藤 修・鈴木幸治・小林俊一（1986）： 柵口表層雪崩の規模とデブリの雪氷学的特質．新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究，文部省科学研究費（No60020051），自然災害特別研究突発災害研究成果，11-17．
- 小林俊一（研究代表者）（1986）： 新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究，文部省科学研究費（No60020051），自然災害特別研究突発災害研究成果，1-90．
- 前野紀一・西村浩一（1986）： 柵口表層雪崩の流動性と動力学的考察．新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究，文部省科学研究費（No60020051），自然災害特別研究突発災害研究成果，65-70．
- 西村浩一・小林俊一・前野紀一（1986）： 柵口表層雪崩発生時の気象．新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究，文部省科学研究費（No60020051），自然災害特別研究突発災害研究成果，48-56．
- 高橋喜平（1960）： 雪崩の被害，雪氷，22，7-9．