

V-8 表層雪崩発生の前兆検知手法に関する調査

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 13～平 14

担当チーム：新潟試験所

研究担当者：秋山 一弥、武士 俊也

【要旨】

雪崩発生の前兆検知として、遠隔監視技術を含めた積雪挙動検知手法の検討および試験地を設定し、前兆現象の計測と雪崩発生状況の観測を行った。

その結果、画像や電磁波による監視技術は雪崩発生斜面には適用できないこと、雪崩発生斜面において直接的に震動計測を行う方法が有力であるが、走路で計測され前兆と思われる波形と雪崩発生には現状では明瞭な対応はなく前兆とは判定できないこと、積雪による動きが計測可能であることなどが判明したが、発生区で計測された波形は、積雪時の自然、人工的な微動レベルなどの基礎資料を得ることができたものの、期間中大型の雪崩が発生せず、継続観測による検証を行う必要性が認識された。

キーワード：表層雪崩、雪崩前兆、震動計測

1. はじめに

雪崩危険度予測手法については、雪崩発生事例とその近傍の気象データを用いて統計処理を行う方法で作成されているが、精度は低く確立された予測方法がないのが現状である。特に大規模な被害を及ぼす表層雪崩においてその傾向は顕著であり、雪崩現象そのもの自体についても、発生時の気象、積雪、流下記録が少なく、発生後の調査が主体となるために、現象の解明についても不明な点が多い。

大規模な表層雪崩は流下速度が毎秒百mにも及ぶことがあり、発生から停止までは1～2分程度しかなく、発生後の現象（流下）を検知したとしても、警戒避難に活用することは特定の条件以外では不可能であると考えられる。精度のよい雪崩発生予測を行うには、既存の気象や積雪状況による予測手法を高度化するとともに、発生後の雪崩流下状況を検知するのではなく、発生前兆を知ることが必要で、これを明確にすることで有効な警戒避難を行うことが可能となる。

このため、雪崩発生区での積雪状況変化として、遠隔監視技術のうち技術進歩の著しい画像監視・電磁波等や、積雪挙動の直接検知手法により雪崩発生前兆を捉えることにより、雪崩発生予知への適用性について検証を行うことが必要となっている。

以上のことから、本課題では高度な雪崩発生予測のため、前兆を検知する手法の雪崩への適用性の検討を行い、検知手法の検証のため、実際の雪崩発生斜面に

おいて雪崩観測を行った結果を報告するものである。

2. 研究方法

2.1 前兆検知手法の検討

春先に発生する面発生の全層雪崩は、斜面において上部の発生区にクラック、その下方にはこぶ状の起伏（雪しわ）が発生しその後流下するケースが多く、雪崩発生前に目視で発生前兆を把握することは可能である¹⁾。これに対して、大規模な被害を及ぼす面発生の表層雪崩については、厳冬期の斜面上部で発生するケースが多く、しかも降雪や吹雪時にも発生するケースがあることから、現在でも前兆現象そのものが明らかとなっていない。

しかし、雪崩現象は斜面上の積雪が目に見える早さで移動する現象であり、全層雪崩と表層雪崩はすべり面の下部が地表と積雪という違いがあるものの、積雪内の破壊、移動現象という観点からみると、雪崩発生前に起きている積雪の挙動を把握することにより予測が可能であると考えられる。

このため、雪崩発生前兆およびその検知手法について、国内外の事例を収集し、他分野で用いられている手法も合わせて検討を行うことが必要である。

本課題では、まず雪崩の流下する区域から離れて監視する方法と、雪崩が発生し堆積する区域内で監視する方法について検討を行うとともに、前兆として紹介されている既往の事例について以下の通り整理を行っ

た。

1) 遠隔監視による手法

雪崩の流下する区域から離れて監視する手法として、画像や電磁波を用い遠隔で検知する方法について、事例収集を行いその適用性について検討した。

2) 雪崩発生斜面で直接監視する手法

雪崩の発生区、走路、堆積区に検知機器を直接設置して検知する手法について、事例収集を行いその適用性について検討した。

3) 雪崩前兆事例

既存の雪崩関係資料のうち、雪崩前兆現象の可能性として指摘されている事例について収集を行った。

2. 2 前兆検知のための観測機器設置・観測

雪崩前兆を検知する手法を実験するには、検知可能な機器を設置しただけでは、記録が得られてもそれが雪崩の前兆かどうかの判定は不可能であり、同時に雪崩そのものの発生状況を正確に把握することが必要である。

このため、本実験では、いつ、どこで、どのような形態の雪崩が発生したのかという情報について確実に得ることが可能な箇所であること、大型の雪崩が頻発する箇所であること、選定した機器の設置が可能であることなどが条件となる。

2. 3 雪崩と前兆現象の関係把握および検知手法の効果検証

2. 1 で検討した結果に基づき、選定した検知手法を 2. 2 の試験地に設置し計測を行い、雪崩発生状況とその前兆現象についての関係を把握し、その効果の検証を行う。以上の研究方法について、そのフローを図 1 に示す。

3. 研究結果

3. 1 前兆検知手法の検討

3. 1. 1 遠隔監視による方法

現在、画像による監視手法としては、録画装置において映像を縦横の格子状に分割し、各区分内の映像の色調が変化することにより、物体の移動を検知する方法が主である。これを用いた事例として、平成 12 年 3 月 27 日に岐阜県吉城郡上宝村の神通川水系蒲田川支流左俣谷穴毛谷で発生した雪崩災害²⁾がある。

ここでは、工事現場の安全管理として、現場直上の斜面から発生する雪崩などを監視していたが、上流から大規模な雪崩が流下し、その際に 2 枚の画像が残っ

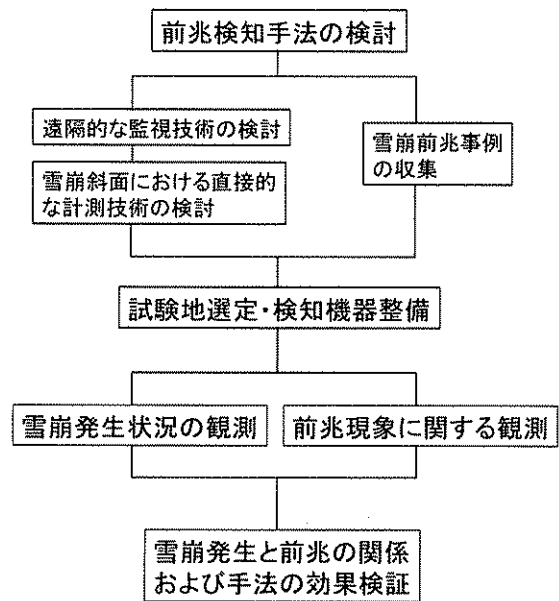


図 1 研究フロー

ており、雪崩速度や先端部の高さなどの算出が行われた。これは、流下する雪崩を検知した事例であり、発生区において雪崩の発生を検知しているわけではないが、応用することは可能であると考えられる。

しかし、映像による方法は、悪天候時は利用ができず、雪崩発生斜面から離れるほど解像度が悪くなるのが欠点である。設置場所は限定されるが、発生区近傍で観測を行うことが可能であれば、解像度の向上等により前兆となる積雪の動き（クラック発生等）は判別可能と思われるため、今後可能であれば実証することも必要であるといえる。

次に電磁波を用いる場合、ほとんどの波長帯は大気中を伝搬する際に、大気中の介在物質によって散乱、吸収等の作用を受けるが、マイクロ波帯は比較的これらの作用による減衰が小さいことが判明している。これは、各方面で物体の移動検知に利用され、気象条件に左右されず、降雨や降雪を通過する性質があるが、積雪内においては若干の反射がみられることが判明している。マイクロ波は周波数と波長により表 1 のとおり区分されており、研究段階ではあるが積雪層内の反射強度と含水率との比較や、パルス波ドップラーレーダーによる雪崩流下の検知を行っている事例が報告されている。

最近では、国内において落石・岩盤移動量計測など、斜面の監視においてマイクロ波の利用が実用段階に入

表 1 マイクロ波帯の種類

名称	周波数	波長	主な用途
ミリ波	30~300GHz	0.1~1cm	衛星通信、軍用レーザー
センチ波	3~30GHz	1~10cm	衛星通信、気象航空、船舶レーザー
極超短波	0.3~3GHz	10~100cm	UHFテレビ、衛星通信、気象レーザー、携帯電話、電子レンジ

っており、測定対象物から100m以内において、降雨・降雪・霧等に影響を受けず5mm以内の精度で物体の微小移動検知が可能となっている。

電磁波を用いる場合、雪崩発生前後の積雪の挙動を検知するには、①積雪層そのものの挙動を面的に観測する ②積雪の動きに追従する物体を観測するの2通りの手法が考えられる。

前者については、対象物を積雪として区間距離を20m前後に設定し実験した事例によれば、積雪の移動は微弱ながら検知可能であったが、雪崩発生斜面を監視する場合には、積雪の反射よりも地盤からのそれが強大で検知が困難となるため、適用することは不適當である。

また、後者については、外部からの影響を受けない電波暗室内において、約60m離れた地点にある反射板(リフレクタ)の変位量を6.6mmの精度で約±2mの範囲にわたって連続的に測定できることを確認した研究事例があり、理論的には雪崩発生斜面までの距離(500~1,000m程度)であってもcm単位で移動検知は可能である。

しかし、次の2点によりこの手法は適用が不可能と判断される。

1) 雪崩発生斜面上に積雪の動きを計測するための反射板を設置する場合、膨大な数が必要なうえ、動いた後に元の位置に戻すことなど保守が困難である。

2) 屋外ではノイズや反射等による精度低下は避けられない上に、雪崩発生斜面を監視する場合は測定距離が大きく、高出力型の送信機を用いなければならないため、機器の大きさや費用が必要であり、これを検証するための実験も非常に大がかりなものになる。

マイクロ波以外の他の周波数帯は、雪崩監視斜面までの距離(およそ1km以上)による減衰や、降雨、降雪による反射等があることから雪崩監視に活用できる可能性は極めて低い。

以上の事情を総合し、雪崩監視において画像や電磁波を利用して前兆としての積雪の動きを検知することは現段階の技術では妥当でないと判断した。

3. 1. 2 雪崩発生斜面で直接監視する方法

雪崩検知の手法としては、平成12年3月27日に岐阜県吉城郡上宝村の左俣谷で発生した雪崩災害における報告書において整理されている³⁾。この中で、雪崩検知システムの種類については表2のとおりとなっている。

これらを見ると、実施、研究例いずれもが雪崩の流下を検知するものである。グライドメータは、全層雪崩発生を予測するものであり、地表面に歯車型の計測器を露出するように設置し、地表上の積雪の動き(グライド量)を回転により検知する方法である。グライド量と全層雪崩発生との関係は山田ほか⁴⁾によって示されており、全層雪崩発生予測に有効な手法であること

表2 雪崩検知システムの種類

※文献 3)の第5章 p.56 表5-1を一部改変

	検知センサーの種類	目的	設置場所	特徴	適用の注意事項
実施例のあるもの	1 振動センサー	雪崩流下の検知	走路	小型振動センサー内蔵の柱を設置し流下を捉える	1回の雪崩で倒壊後は使用不可
	2 ワイヤセンサー	雪崩流下の検知	走路	ワイヤーの引っ張り、切断を電氣的に捉える	設置位置、高さなど現地にあった方法の検討が必要
	3 ワイヤ式振動センサー	雪崩流下の検知	走路	ワイヤー振動センサを設置し電気信号を捉える	振動等設定レベルの検討必要
	4 画像検知システム	雪崩流下の検知	発生区・走路を見通せる箇所	画像解析による変化の判断	悪天候時、夜間は不可 発生区や走路を撮影できる箇所にカメラを設置する必要あり
研究レベルのもの	4 グライドメーター	全層雪崩発生を予測 積雪底面のグライドを測定	発生区	積雪グライド量の増加より全層雪崩発生を予測	回転信号を電氣的に変換する装置が必要。発生区に設置可能な箇所に限定
	1 地震計	雪崩流下の検知・雪崩発生をの予知	発生区~堆積区	地震計を岩盤等に設置	雪崩発生の前兆と発生との検知の可能性はあるが、研究レベル
	2 圧力センサー	雪崩流下の検知	走路	ロードセルへの雪崩の衝撃圧を測定	走路に設置するが、柱等が必要
	3 気圧計	雪崩流下の検知	走路	雪崩通過時の正圧、負圧を測定	センサーを走路近傍に設置

がわかる。

しかし、表層雪崩は積雪中のすべり面で破壊するため、グライドメータを積雪中に設置する必要があるが、降雪後の積雪中に機器を設置することが困難であることや、グライド、クリープによる積雪の変形に機器が追従しない上、すべり面の特定ができないため利用はできない。

現状では表層雪崩を対象とした場合、研究レベルであるが、震動による予知の可能性が残されているといえる。

3. 1. 3 雪崩前兆事例

雪崩前兆の事例としては、登山やスキー場などで人間が積雪面に立ち上がったことにより表層雪崩を発生させた場合などがあるが、これは自然ではなく人工的に発生した雪崩であり、体系的に整理されたものもなく、信頼度が低いいため今回は採用しない。

雪崩観測時に前兆の可能性として紹介された事例としては、村松⁵⁾、今西ほか⁶⁾によって報告されている。

村松は、新潟県塩沢町において雪崩の発生する斜面の尾根の岩盤に地震計を設置し、雪崩による震動と地震動の分離や、波形と積雪内の動きに関する考察や、積雪深の急変時に不連続的にある大きさ以上の雪の動きがあること、走路直下に埋設した場合に明瞭な信号が得られる可能性があること、降雪や融雪の盛んな時には例外なく雪の動きが発生し、分の単位で変化し、この動きを監視することにより雪崩の前兆を捉えられる可能性を指摘している。

また、村松は海外の観測例との比較を行い、地盤のノイズレベルによる検知範囲の比較や、海外で計測された事例 (Sommerfeld R A, *et al.*: Snow Avalanches And Acoustic Emmissions, Annals of Glaciology, 4, International Glaciological Society, pp. 271-276) を紹介し、常時微動波形と比較して、積雪中のクラック発生時に瞬間的に発生するI型と、常時微動よりも震動レベルが大きく長時間続き、積雪底面および層間のすべりを表すII型があることを述べている。

今西ほかは、北海道において、地震計を複数台設置し、雪崩震動の検知を行っているが、雪崩発生の50分前から1分前までにパルス波が記録されている例が紹介されており、雪崩の前兆として起こるクラックに起因するものと推測している。

しかし、いずれの事例も、もともと前兆を捉えることを主目的としているわけではなく、計測されている

内容も現状では明確に雪崩発生の前兆と決定することはできないが、両者とも地震計を用いて積雪挙動を観測していることが特徴であるといえる。

以上の3.1.1から3.1.3の内容を総合的に勘案し、本調査では震動計測を表層雪崩発生の前兆検知手法として採用することとした。

3. 2 震動計測上の問題点

震動計測は天候に左右されないうえ、埋設すれば雪崩による損傷もなく常時利用が可能であるのが利点であるが、次のような問題点もある。

村松⁵⁾は、新潟県六日町とスイス・ダボスで行った地震計による雪崩の観測で、常時微動レベルの比較を行い、ノイズと雪崩に関する震動の比較を行っている。また、積雪の挙動を実験的に計測した事例としてV. Adam, *et al.*⁷⁾がある。これは、試験的に制作した積雪斜面において、マイクロフォンを積雪面や積雪中、地中に設置してその記録について比較を行ったものである。これによると、積雪を破壊した場合、感度は積雪面が最も良くなることが示されている。この音による方法は、雪崩の発生モニタリングとして、減衰の少ない低周波を用いている事例が西村⁸⁾により紹介されており、広範囲な検知が可能であると思われるが、国内では実施例がなく、前兆については不明である。

これらを用いる場合、計測を実際の雪崩発生斜面で行う場合、先のグライドメータのように、積雪面や積雪中に計測機器を常時同じ位置に保持することは物理的に不可能なうえ、積雪内のすべり面の特定が困難なため、地中に埋設する手法しか採用できない。

以上のことから、感度をいかに上げて常時のノイズと分離するかという点が重要となってくる。

3. 3 試験地の設定と機器の設置

土木研究所新潟試験所では、雪崩災害箇所や、大規模雪崩が発生している箇所において、ビデオカメラと、長時間録画が可能な装置を用いた映像観測を毎冬実施している。これらの雪崩発生状況については、秋山ほか^{8), 9)}により報告されている。

この中で、雪崩発生情報について確実に得ることが可能で、大型の雪崩が頻発する箇所であること、選定した機器の設置が可能であることなど、本課題の条件を満たす箇所として、雪崩発生回数の多い新潟県能生町柵口地先と、大規模表層雪崩が観測されている長野県白馬村八方尾根南斜面での雪崩観測地を試験地として選定し、前記の2. 1で検討した手法について、観

測機器の設置と観測を行うとともに、雪崩発生状況の把握も同時に実施した(図2)。

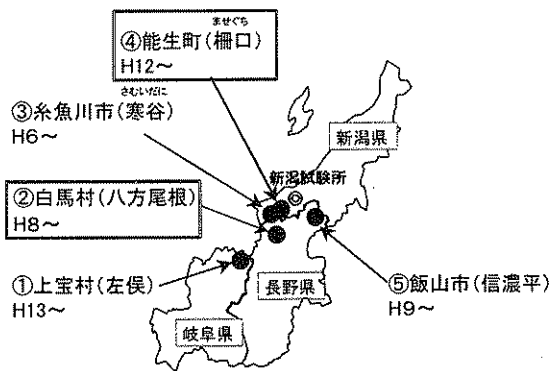


図2 雪崩動態観測地

試験地の詳細は次のとおりである。

1) 新潟県能生町柵口地先の試験地

当地は標高別の気象観測、雪崩映像観測、雪崩流下の震動観測など総合的な観測を行っている⁹⁾(図3)。震動計測は、流下する雪崩の震動を捉え、雪崩発生時刻を記録するとともに、映像録画開始のスイッチとして用いている。今回は前兆的な震動を計測するため、次のように設定を変更して観測を行った。

震動計測機器は、測定周波数1~50Hzの高感度振動計(速度計)を用いて3成分(上下、東西、南北)行っており、計測間隔は1/100秒で行い、あるレベル以

上の震動が入力された場合に記録を行うトリガー記録方式を用いている。柵口地先での通常の常時微動レベルは $2\sim 10\times 10^{-5}$ kine (cm/s)以下であり、村松⁵⁾が実施した新潟県塩沢町での結果に比べ、数倍程度レベルが高いが、これは、岩盤ではなく雪崩走路の地盤上に設置しているためと考えられる。今回はトリガーレベルを0.1~0.2mkineに設定し記録を行った。ここでは、秋山・武士¹⁰⁾により、当地で計測される震動の区分がなされているが、方法としては、記録された震動波形と記録日時から、映像や当地から北へ5kmにある地震観測所の記録などと照合し、雪崩震動以外の地震動などを区分している。

2) 白馬村八方尾根南斜面の観測地

当地では、映像観測により平成14年3月までの雪崩発生位置が図4のとおり特定されており、数事例の大規模な面発生乾雪表層雪崩も記録されている。当地は発生区近傍で計測が可能なため、今回は図4に示す尾根上(図中の黒●)で機器を設置し観測を行った。

設置した機器は、測定周波数範囲0.25~70Hzの広帯域型高感度微動計(速度計)を用い、上下方向のみ計測を行い、計測間隔は1/100秒とし常時記録する方式とした。地震動の分離は、斜面直下にある地震観測所の記録を用い、映像観測や雪崩震動により雪崩発生を特定している。

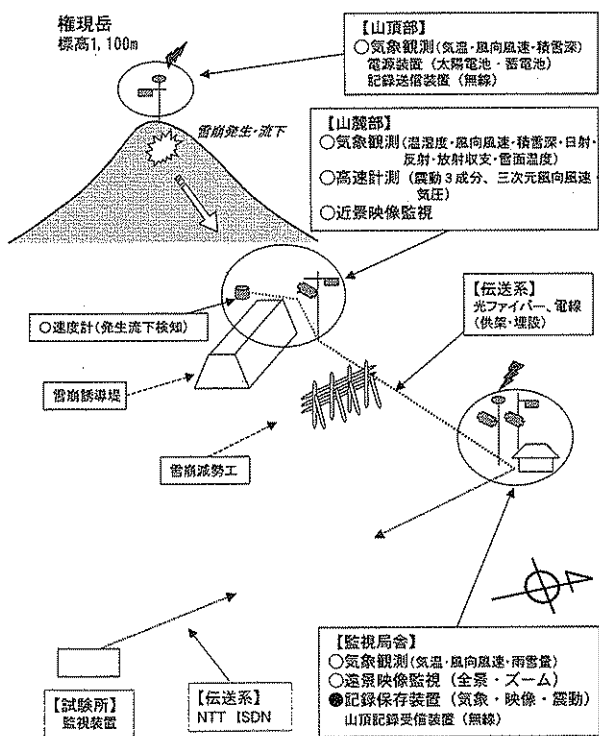


図3 観測システム概要図

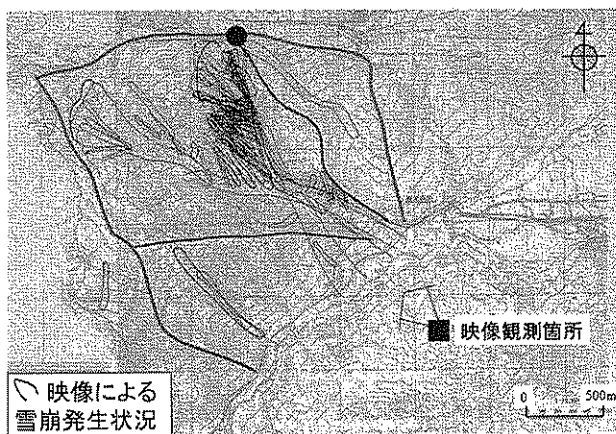


図4 白馬村八方尾根観測地

3. 4 試験地における観測結果

3. 4. 1 新潟県能生町柵口地先の結果

観測は平成13年12月~平成14年4月(期間1)、平成14年12月~平成15年3月(期間2)に実施した。期間1では、観測中(12/19~4/23)に雪崩の流下震動、地震動、雷音による地盤の震動、パルス状で継続時間が1~5秒の4種類の波形が記録された。パルス状の波形が記録された時間の映像(近遠景)において、雪

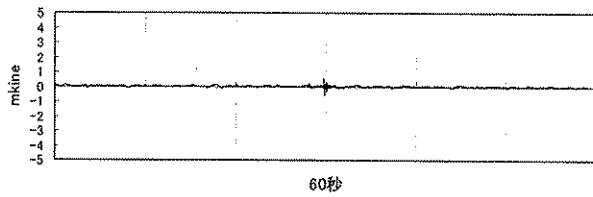


図5 パルス状波形の一例
(2002/2/19 09:33) 上下方向

崩は発生しておらず、その時刻に地震観測所においては地震動が記録されていない。当地は人間活動のある集落より1 km程度離れているうえ、周辺に樹木はなく、落雪等による震動発生も考えられないことから、何ら

かの雪の動きで、村松や今西ほか指摘している前兆と思われるパルス波であると考えられる。その一例について図5に示す。なお、トリガレベルは0.2mkineとした。

これらの雪崩流下や地震以外の波形については、図5のように、継続時間が非常に短いパルス状のものや、数秒続く形態のものがあり、村松による形態の違いを表している可能性もあるが、今回は1つのものとして評価した。

これらの波形と、雪崩発生との関係について、図6、7に示す。雪崩は、震動記録により判明した雪崩流下震動を用いて、雪崩映像や気象等により雪崩種別を判定しているが、悪天候や月明かりのない夜間は斜面監

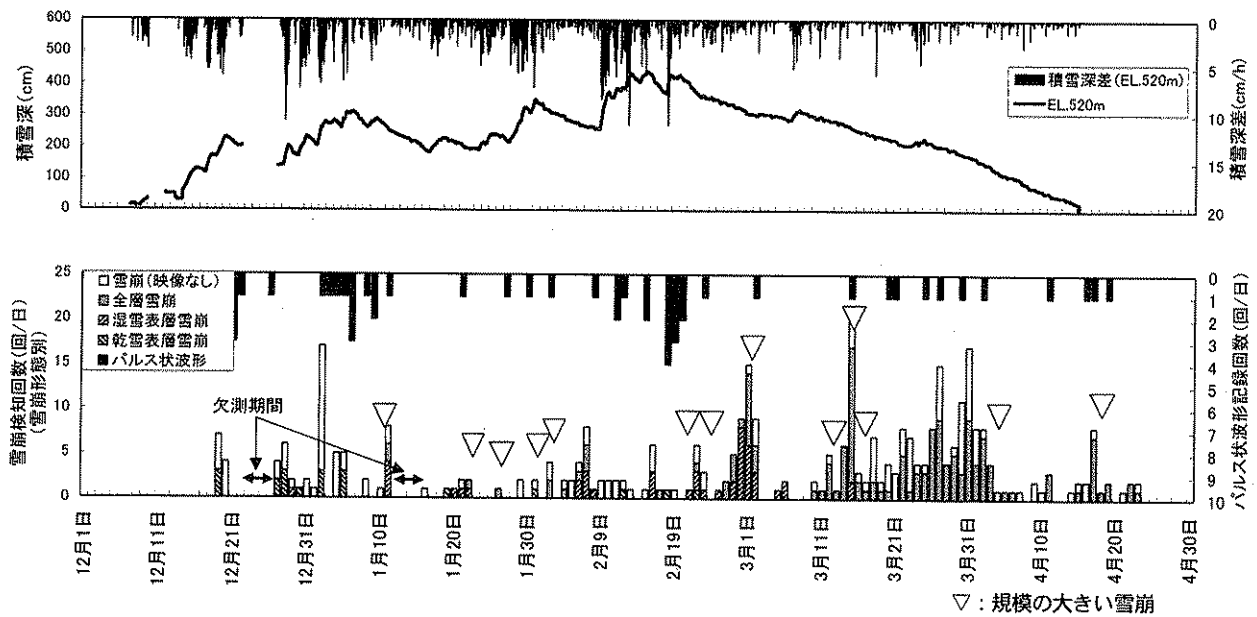


図6 観測地1における積雪と雪崩発生状況(平成13.12.19~平成14.4.23)

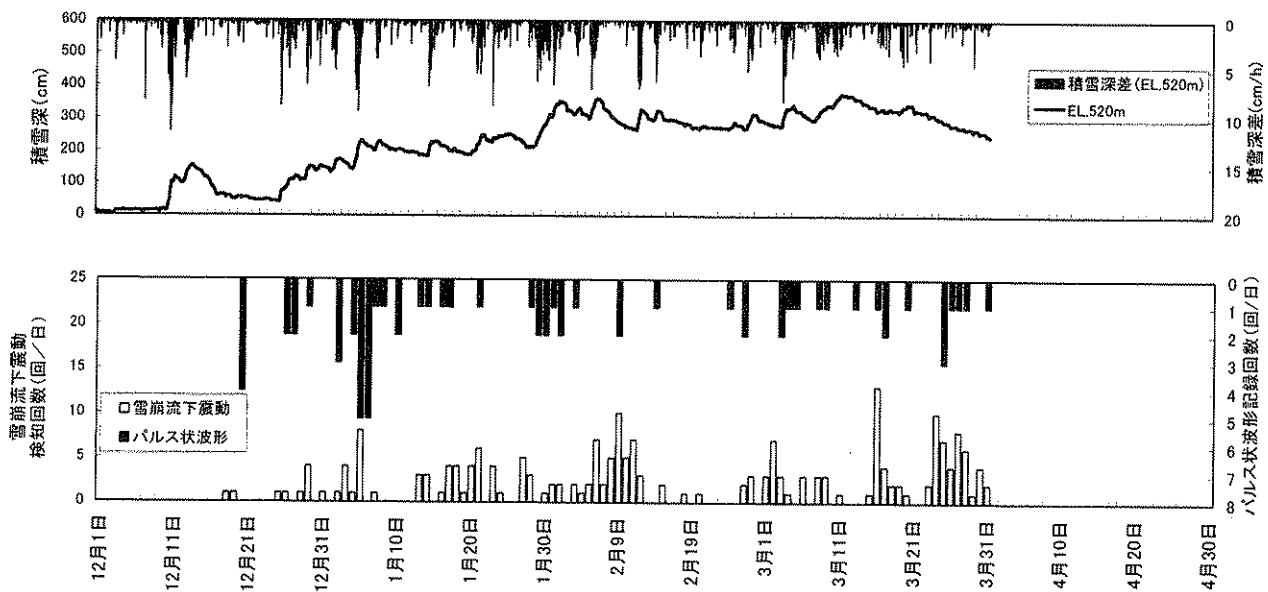


図7 観測地1における積雪と雪崩発生状況(平成14.12.18~平成14.3.31)

視が不可能なため、震動記録だけとなる。図6で示したように、表層雪崩は湿雪、乾雪両方の形態が発生している。映像により比較的規模が大きい雪崩が発生している場合は、図中▽印で示してある。なお、期間2(図7)については、平成14年12月19日より開始し、現在も観測中で雪崩種別の判定は行っていないため、雪崩流下震動により雪崩発生回数を把握している。

パルス状波形は1日の間に全くみられない場合もあるが、多いときには5回程度記録される。積雪深が増加する場合に回数が増えており、積雪の動きとも思われるが、3月中旬以降で全層雪崩が増加し、降雪のない場合でも発生する場合がある。表層雪崩発生前にパルス状波形がみられない場合があり、雪崩発生と前兆にはあまり明瞭な関係はみられない。なお、平成12年～13年の冬期は図3の山麓部での最大積雪深は5.5mであったが、期間1、2はいずれも4.2、3.7mで、本調査期間は少雪傾向にあったといえる。

次に、計測トリガレベルを0.1mkineに下げて計測を行った事例について図8に示す。この期間は、多量の降雪があり、積雪深差は12時間で60cmに達した。トリガレベルを超えて波形が記録された回数をみると、降雪開始より遅れて微動レベルが上昇し検知回数が多くなり、降雪終了後に少なくなっているのがわかる。このような現象は、天候(風)による場合も考えられるが、降雪開始後の風速はその後小さくなっており、積雪による動きが検出されたものと考えられる。このような現象はトリガレベルを0.2mkineに設定すると記

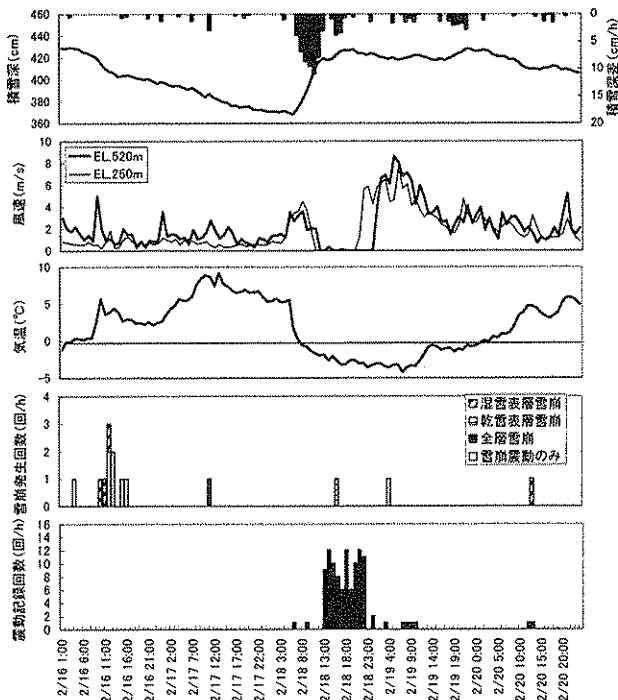


図8 気象・降雪と雪崩発生・震動記録状況(平成14年2月16日～18日)

録されないことから、常時微動レベルを少し超える程度の現象であることが判明した。

これらについては、今後の観測を継続し、さらに波形の詳細な区分を行った上で比較検討する必要があるといえる。

3. 4. 1 白馬村八方尾根南斜面の結果

観測は平成14年12月～平成15年3月に実施した。この期間中、映像観測により発生日時の判明している表層雪崩が36個観測された。それ以前の観測結果と合わせ、雪崩の発生から停止までの落差と水平距離の関係をみたものを図9に示す。

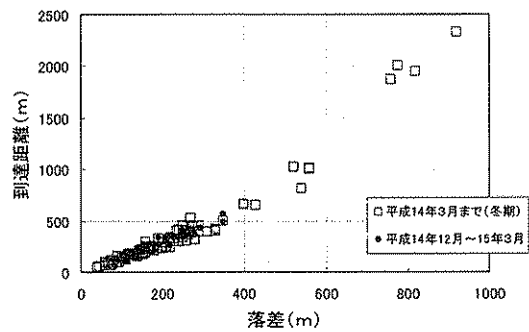


図9 表層雪崩の落差と到達距離(白馬村八方尾根南斜面)

到達距離が1km以上の雪崩は面発生の乾雪表層雪崩であり、例えば平成12年2月15日に発生した雪崩は、到達距離約2300m、平均速度17m/s(最大31m/s)であり、2月23日に発生した雪崩は到達距離約2000m、平均速度24m/s(最大67m/s)程度で、いずれも破断延長約400m、雪崩量が約10万m³程度の大規模な面発生乾雪表層であり、破断状況やその痕跡が明瞭であった。

これに対して、平成14年12月～15年3月では、1月上旬以降にまとまった降雪はなく、少雪傾向であったが、雪崩の数は例年より多く、表層雪崩主体であった。ただし、到達距離は短く平均速度も5～12m/s程度で小～中規模なもので、破断状況は映像では不明瞭であった。

当地で設置した微動計の常時微動レベルは、積雪期の静かな場合は10⁻⁴kineであり、卓越周期は0.3Hz前後で気象の影響を強く受けている。特に当地は尾根上のため風が非常に強く30m/sにも達することがあるため、強風時における微動レベルの上昇がみられた。連続記録をみると、地震動は明瞭に捉えていたが、一部の時間帯はスキー場の人工的なノイズが連続的に入っていた。しかし、これらのノイズが入っても、速度値は10⁻³kineレベルであり、村松⁵⁾が比較したスイス・

ダボスと同程度であった。

雪崩発生事例と震動記録を照合すると、微動レベルがやや大きく、大型の雪崩が発生せず小～中規模の雪崩だけであったので、対応は不明瞭であった。このため、積雪期における雪崩発生区近傍での地盤微動レベルを確認するにとどまった。現在でも観測を継続中であるが、今後は今回計測された記録を元に機器の最設置を行う予定である。

4. まとめ

本研究では、2ヶ年にわたり表層雪崩発生の前兆について検知する手法について検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

1) 遠隔監視技術のうち、天候の影響を受けないマイクロ波については、雪崩発生斜面を対象とした場合、距離の関係で積雪挙動検知に用いることは不相当である。

2) 震動により雪崩発生を検知する手法は、国内外で実験が行われており、雪崩流下震動の特性は比較的判明しているが、同時に計測され前兆と思われるパルス波や不連続な震動レベル上昇については、波形記録があるものの、詳細な特性や雪崩発生との関係が不明である。

また、音については、海外において伝搬に伴う減衰が少ない低周波を用いた雪崩発生検知も行われているが国内では事例がない。

3) 積雪の挙動を実験的に検知する手法として、地中に設置するよりも積雪内にセンサーを置く方法が感度が高く、積雪面が最も理想であるが、雪崩発生区において、降雪や沈降により深度の変化する積雪面や積雪中に常時水平に機器を設置することは困難で、地中に埋設する必要がある。

4) 雪崩流下域に高感度微動計を設置し、常時微動よりも大きい震動を検知したところ、雪崩流下震動や地震動ではないパルス波も計測されるが、雪崩発生状況と後者にはあまり明瞭な対応がみられない。

また、積雪深が増加する場合、連続的に微動レベルが上昇し、これは積雪の動きを捉えているものと考えられる。

5) 発生区近傍に広帯域型の高感度微動計を設置し連続計測を行ったが、まとまった降雪はなく、発生雪崩の規模も小さいため雪崩前兆と波形の関係を把握するには至らなかったが、積雪期間における雪崩発生区近傍での基礎資料を得ることができた。

以上のように、現状では雪崩発生の前兆としての現象を明確に捉えるに至っていない。しかし、本課題で整理したとおり、震動による計測手法は現在最も可能性が高いものであり、既往の報告事例と同等の現象を把握することができた。

しかし、表層雪崩は大面積で破断するものから小規模なものまで様々であるが、これと前兆現象の関係は依然不明であり、現状では“前兆ではないか”という現象を捉えているにすぎない。

今回本調査で実施した試験地は、実際の雪崩が多数発生し、雪崩発生区での計測が可能で、本調査に非常に適した箇所であるといえる。このため、今後も大規模雪崩発生時の状況を把握するとともに、震動だけでなく、減衰の少ない低周波音を用いた前兆検知の可能性についても検討することが可能であり、今後も継続観測を行い、精度のよい発生予測を目指す方針である。

参考文献

- 1) たとえば 北海道雪崩事故防止研究会編：「決定版雪崩学」、p.55、2002.2
- 2) 社団法人日本雪氷学会：「3.27 左俣谷雪崩災害調査報告書（概要版）」、p.4、2001.3
- 3) 社団法人日本雪氷学会：「3.27 左俣谷雪崩災害調査報告書」、pp.54-56、2001.3
- 4) 山田ほか：「総合的雪崩予知システムの開発」、豪雪地帯における雪害対策技術の開発に関する研究 研究成果報告書、pp.115-135、1998.3
- 5) 村松：「地震計による雪崩観測」、気象、37巻3号、pp.4-8、1993.3
- 6) 今西ほか：「雪崩によって生じる地震動の観測（Ⅱ）」、2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、p.116、2001.10
- 7) V. Adam, *et al.* : “Infrasonic Monitoring of snow-avalanche activity”, *Annals of Glaciology*, 26, pp.324-328, 1998
- 8) 秋山ほか：「動態観測による雪崩の発生状況」、2001年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集、p.179、2001.10
- 9) 秋山・武士：雪崩総合観測システムの構築とその観測事例について、平成14年度砂防学会研究発表会概要集、pp.332-333、2002.5
- 10) 秋山・武士：「雪崩震動を利用した雪崩自動観測システム(Ⅱ)」、2002年度雪氷学会全国大会講演予稿集、p.29、2002.10