

大規模雪崩の発生予測に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
研究期間：平 19～平 21
担当チーム：雪崩・地すべり研究センター
研究担当者：石井 靖雄、伊藤 陽一、
富樫 香流

【要旨】

雪崩の中でも到達距離が長く被害が大きくなりやすい大規模雪崩について、発生予測手法の検討を行った。大規模雪崩に関する観測事例や災害事例から発生時の気象状況や発生箇所の地形・植生状況を調査し、雪崩発生への寄与が大きい気象や地形・植生の要素を抽出した。この結果を用いて、航空レーザ計測によって得られる地形・植生データから大規模雪崩の発生危険度を計算して地図上に表示し、従来の手法より詳細に雪崩危険箇所を絞り込むことが可能な手法を提案した。また、雪崩の発生を検知し警戒・避難に活用するため、雪崩危険箇所に設置した地震計のデータから雪崩による振動と地震動を簡便に識別して雪崩発生を検知する手法を提案した。

キーワード：雪崩、発生危険度、航空レーザ計測、地震計、検知

1. はじめに

雪崩災害の中でも、大規模な雪崩によるものは被災範囲や人数が大きくなりやすい。最近でも平成 18 年豪雪時に雪崩が長距離を流下し集落や道路が被災した事例もあり、対策技術の向上が求められている。

本研究では、実際の大規模雪崩事例について、発生時の気象状況や発生箇所の地形・植生状況などについて整理し、その特徴から大規模雪崩の発生予測手法を検討することを目的とした。また、大規模雪崩の発生を検知し、警戒・避難などに活用するため、雪崩検知手法についても検討を行った。

なお、「大規模雪崩」の数量的な基準は日本には存在しない。カナダでは質量・走路の長さ・衝撃圧によって雪崩のサイズを 5 段階に分類し、雪崩事例を報告す

る際の目安として用いるシステムが用いられている（表 1）。ここで、分類要素のうち雪崩の走路長（流下距離）は、質量・衝撃圧に比べて比較的容易に計測できることから日本での報告事例も多く、大規模雪崩の基準として適当と考えられる。災害となるような「大規模雪崩」は、表 1 の size4 以上（走路長 2,000 m）に相当すると考えられるが、日本においては山岳地と集落が近く、走路長が短くても大きな被害が出る場合も考えられ、表 1 の数値をそのまま日本に適用することは難しい。日本における過去の雪崩災害事例では、到達距離 500 m 程度でも集落や道路が被災した事例もあることから、本研究では到達距離 500 m 以上を大規模雪崩とした。

2. 研究方法

2. 1 雪崩に関する現地観測データの蓄積

大規模雪崩に関するデータを蓄積するために、過去に大規模雪崩が発生している新潟県糸魚川市柵口地区および長野県白馬村白馬八方地区の 2 箇所で雪崩観測を実施した。

新潟県糸魚川市柵口地区では、1986 年 1 月 26 日に権現岳（標高 1,108 m）中腹から流下距離 1,800 m の大規模雪崩が発生し、死者 13 名を出す雪崩災害があった。その後、当地区では雪崩発生に関する基礎データや雪崩対策施設の効果事例を収集するため、2000-01 年冬期から権現岳山頂部・山麓部および柵口集落付近で雪崩映像・気象・振動の観測を行っている（図 1）。

表 1 カナダの雪崩サイズ分類システム¹⁾

size	定 義	質量 (t)	走路長 (m)	衝撃圧 (kPa)
1	人にはおおよそ被害なし	< 10	10	1
2	人が埋まる、怪我人や死者が出る場合がある	10 ²	100	10
3	自動車が埋まる、小さな建物が破壊される、木が何本か倒れる場合がある	10 ³	1,000	100
4	列車、大型トラック、複数の建物、4 ha までの範囲で森が破壊される場合がある	10 ⁴	2,000	500
5	知られる限り最大の雪崩、村落や 40 ha の森が破壊される場合がある	10 ⁵	3,000	1,000

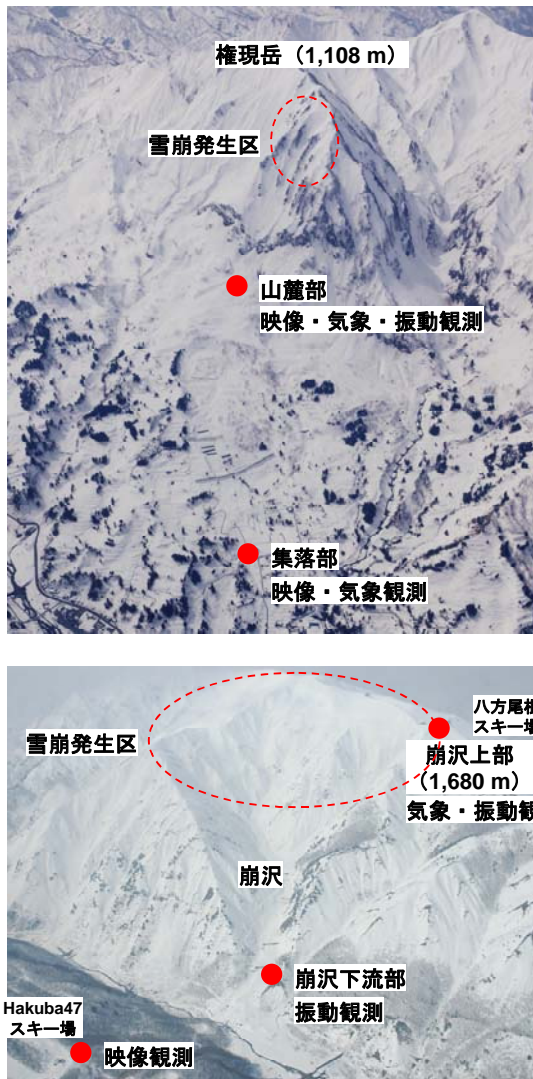


図 1 雪崩観測地と観測機材の配置の様子（上：柵口地区、下：白馬八方地区）

長野県白馬村白馬八方地区では、姫川流域平川左支崩沢の既存砂防施設が雪崩で破損した事例がある。そのため、当地区では 1996-97 年冬期から雪崩発生斜面の対岸から雪崩映像観測を開始し、2002-03 年冬期からは崩沢上部および下流部で気象・振動データの収集も行っている（図 1）。

2. 2 大規模雪崩の発生要因抽出

大規模雪崩の発生に寄与する要因を抽出するため、大規模雪崩の観測データや、過去の大規模雪崩災害事例を整理し、雪崩発生時の気象状況や、発生箇所の地形や植生などの状況を調査した。

発生時の気象状況については、白馬八方地区における大規模雪崩 11 例について、発生前 72 時間からの気象要素（気温・湿度・風向・風速・積雪深・気圧など）の増減値や増減傾向を整理した。

発生箇所の地形・植生状況については、平成 18 年豪雪で大規模な雪崩が発生した新潟県湯沢町土樽地区・長野県栄村秋山郷地区（図 2）において、積雪期（2006 年 2 月）および無雪期（2006 年 11 月）に行われた航空レーザ計測データを解析し、地形要素（標高・傾斜・侵蝕量）および植生要素（樹高・樹林密度）の分布図を作成した。また、土樽・秋山郷地区については、航空レーザ計測と同時に撮影された空中写真から大規模雪崩の発生痕跡を判読し、上記の解析結果と重ね合わせることで、大規模雪崩発生箇所の地形・植生状況がわかるようにした。

2. 3 大規模雪崩の発生予測手法

前節で得られる大規模雪崩発生要因を用いて、従来の雪崩危険度評価手法を改良し、新たな大規模雪崩の発生予測手法の提案を検討することとした。

従来の雪崩危険度判定については、61 箇所の積雪観測データと、約 1500 単位斜面の空中写真判読および現地補足データをもとに、数量化 II 類による分析で得ら

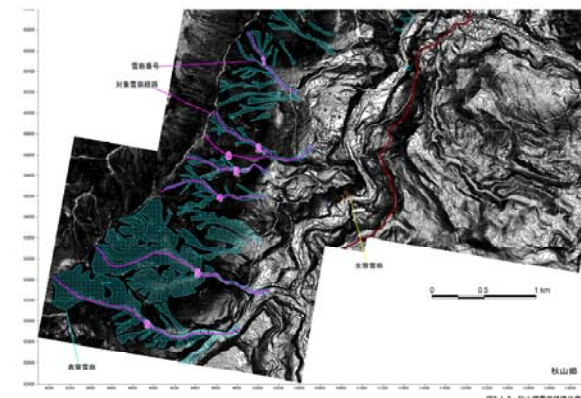
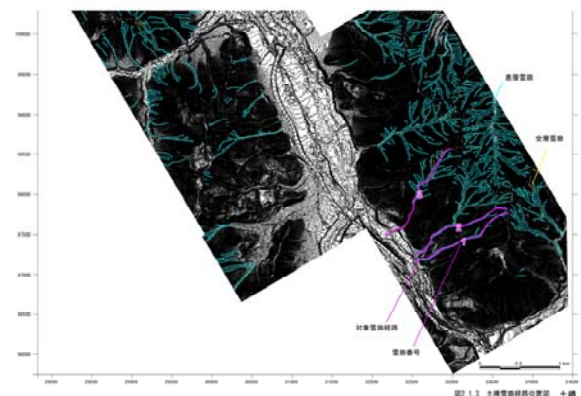


図 2 航空レーザ計測による数値標高データと雪崩発生箇所の重ね合わせ（上：土樽地区、下：秋山郷地区、□：空中写真判読による表層雪崩発生箇所、—：解析を行った大規模雪崩の経路）

表 2 従来の要因別階級別評価得点²⁾

要因	階 級	評価得点
傾 斜	30°未満	4
	30°~40°未満	7
	40°以上	10
植 生	裸地、草地、樹高2m未満の 灌木、樹冠疎密度20%未満	10
	低木：疎密度20~100% 中木：疎密度20~50%未満	9
	中木：疎密度50%以上 高木：疎密度20~50%未満	7
	高木：疎密度50%以上	4
積 雪 深	100cm未満	0
	100~200cm未満	6
	200~300cm未満	7
	300cm以上	9

れた要素（表 2）にもとづいて行われている²⁾。すなわち、斜面の傾斜・植生・積雪深についてそれぞれ点数付けを行い、各評価得点の合計が高くなるほど雪崩発生危険度が大きいとするものである。

本研究では、前節で求められた地形・植生状況と雪崩発生との関係を用いて、地形・植生状況から雪崩発生危険度を算出し、地図上に詳細に表示することで雪崩発生危険区域を従来より詳細に絞り込む手法を試みた。

2. 4 雪崩検知システムの開発

大規模雪崩による被害を防止するためには、発生予測のほか、雪崩の頻発などを検知し早期に避難や通行止め等の措置を行う手法が考えられる。しかし、日本では雪崩の発生を検知する手法は確立されておらず、最近では土石流の検知に用いられているワイヤー式センサを設置した事例が報告されているだけである³⁾。

しかし、1986年の柵口地区における雪崩災害の際には付近の地震計に振動が記録された事例もあり⁴⁾、地震計を利用して道路などに達する雪崩を検知して警報につなげるシステムが海外で開発されている^{5) 6)}。ただし、地震計には雪崩のほかに地震動や落石などに起因する様々な振動も記録されることから、雪崩とその他の振動源を識別する方法が重要となる。既存のシステムでは、既知の振動波形等とのファジィ論理による比較⁵⁾や10個のパラメータ計算結果の組み合わせ⁶⁾で振動源を識別する手法が用いられているが、簡便とはいえ緊急時にシステムを構築するのは難しい。そこで本研究では、雪崩災害が予想される豪雪時に地震計を雪崩危険箇所を設置し、雪崩による振動を簡便に識別して発生を検知する方法を提案するために、柵口地区で計測された振動データの解析を行った。

3. 研究結果

3. 1 雪崩に関する現地観測データの蓄積の結果

新潟県糸魚川市柵口地区および長野県白馬村白馬八方地区で雪崩観測を行った結果、2009年1月14日に白馬八方地区で大規模な雪崩の発生が確認された。ここでは、この雪崩の概要を紹介する。

2009年1月14日2時35分頃、白馬八方地区で雪崩が発生したことがビデオ映像で確認され、発生後の調査から、この雪崩は流下距離約1,600mの大規模雪崩であることが判明した。

発生区では、標高1,700mの地点に高さ1m程度の破断面が確認され、破断面における積雪観測の結果、融解再凍結した硬い層の上に発達したこしもざらめ雪の層が弱層となって面発生乾雪表層雪崩が発生したことがわかった。

発生区付近の気象観測点のデータでは、12日頃から積雪深が増加しており（図3）、この雪崩は弱層の上に多量の降雪が降り積もったことがきっかけとなって発生したものと推定された。

今回の雪崩を含め、白馬八方地区で発生した雪崩は表3のように11例観測された。この結果を用いて、次節で発生時の気象状況について解析を行った。

3. 2 大規模雪崩の発生要因抽出結果

3. 2. 1 気象に関する要因

白馬八方地区で観測された大規模雪崩（表3）のうち、発生区で気象観測を開始した2002-03年冬期以降に発生した8例について、雪崩発生時の気象状況を整理し、発生に寄与する要因の検討を行った。気象デー

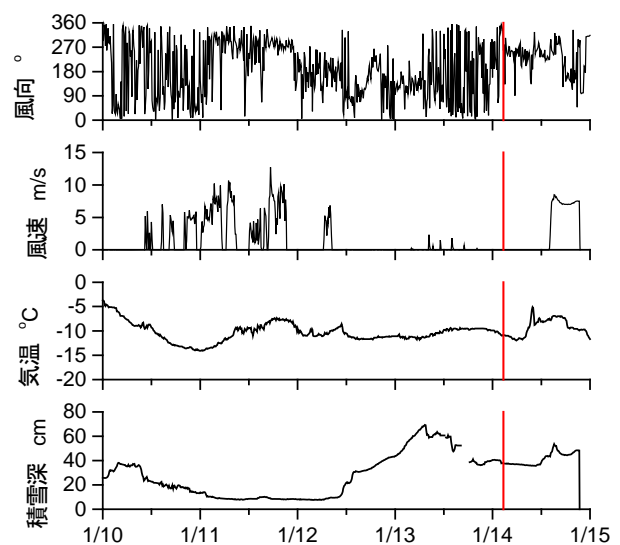


図 3 白馬八方地区崩沢上部における2009年1月14日付近の気象状況（赤線は雪崩発生時刻）

表 3 白馬八方地区における大規模雪崩発生事例

	発生日月日				雪崩種類	水平距離 (m)
	年	月	日	時間		
1	2000	2月	5日	13:10	面発生乾雪表層	2,450
2	2000	2月	23日	1:37	"	1,950
3	2001	3月	21日	6:35	面発生湿雪表層	810
4	2002	1月	5-6日	-	面発生乾雪表層	>2,000
5	2003	3月	19日	8:27	"	670
6	2003	12月	20日	12:56 13:44	"	1,250
7	2004	1月	24日	0:15	"	>2,000
8	2005	1月	12日	5:50	"	2,600
9	2006	1月	12日	8:20	"	1,600
10	2007	1月	9日	7:06	"	>2,000
11	2009	1月	14日	2:35	"	1,600

表 4 白馬八方地区の大規模雪崩発生と相関の大きい気象要素の例

雪崩発生直近の気象データ	風速 12h増加値	気温 6h増加値	積雪深 72h増加傾向	気圧 48h増加傾向
2003/03/19 8:30	3.65	2.3	0.0415	0.2606
2003/12/20 13:00	3.55	1.4	0.7635	0.0857
2003/12/20 13:40	7.69	2.5	0.7794	0.1026
2004/01/24 0:20	0.4	0.2	0.7402	0.4145
2005/01/12 5:50	0.47	0.3	0.7671	-0.1002
2006/01/12 8:20	9.88	1	0.184	0.2656
2007/01/09 7:10	2.48	0.5	0.6126	1.5078
2009/01/14 2:30	0.01	-1.4	0.2753	-0.0573
	増加 8 減少 0	増加 7 減少 1	増加 8 減少 0	増加 6 減少 2

タは、気温・湿度・風向・風速・積雪深・降水量・降雪検知数・気圧・日射量（上向き・下向き）・放射収支量を使用した。これらのデータについて、雪崩発生前3, 6, 12, 24, 48, 72時間前の増減値と、Microsoft ExcelのSLOPE関数で求まる増減傾向を計算した。

その結果、発生時にほぼ一致した増減傾向が得られた気象要素として、風速12時間増加値、気温6時間増加値、積雪深72時間増加傾向、気圧48時間増加傾向があげられた（表4）。気温については発生時刻が明け方～午後の初め頃が多いため、気温の単純な増加を示していることも考えられるが、気圧の増加は冬型の気圧配置（シベリア高気圧の張り出し）による気象の変化と関係があると思われる。また、風速の増加は発生区への雪の吹きだまり、積雪深は弱層上部の積雪荷重の増加による雪崩発生に結びつくものと考えられる。

3. 2. 2 地形・植生に関する要因

白馬八方地区・新潟県湯沢町土樽地区・長野県栄村秋山郷地区の航空レーザ計測で得られた2×2 mメッ

シュのDEM（数値標高モデル）を解析し、発生に寄与する地形・植生要因の検討を行った。解析した項目と計算方法は以下のとおりである。

- ① 傾斜－雪崩発生区における約200件の調査によると、雪崩発生区の斜面傾斜角は40°付近の場合が最も多いことが知られている¹⁾。数値標高データのあるメッシュにおける斜面傾斜角Sは

$$S = \tan^{-1} \sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2}$$

と計算できる。ここで、 Δx は東西方向のメッシュ間隔、 Δy は南北方向のメッシュ間隔、 Z は該当メッシュの標高値[m]、 Z_N, Z_S, Z_E, Z_W は該当メッシュの東西南北に位置する各メッシュの標高値[m]である。

- ② 侵蝕量－侵蝕量は、谷地形を埋めた仮想の地表面（接峰面）と標高データとの差であり、侵蝕量の大きい地形（谷地形）は雪崩の走路になりやすいことが想定される。接峰面の高度は、数値標高データにある領域を設定し、中心にその領域の平均標高を代入することを全メッシュについて行い、平均標高の方が元の標高値よりも低いメッシュに元の標高値を代入する作業を標高の変化が少なくなるまで繰り返すことで求まる。
- ③ 樹高－樹高は、数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）と同座標となるように2 mグリッドの数値表面モデル（DSM: Digital Surface Model）を作成し、各グリッドにおけるDSMとDEMの差から求め、10 m×10 m（25グリッド）単位で平均し各グリッドの樹高とした。
- ④ 樹林密度－樹林密度は、レーザ光の反射から算出した。樹木に対しレーザ光が入射した場合、枝葉や地表面でレーザ光が反射するため複数のデータが取得される。一方、樹木や構造物のない平坦な地形では、地表部のデータしか取得されない。ここでは、複数の反射データが取得された場合に「樹木あり」、1つの反射データしか取得されなかった場合には「樹木無し」とし、レーザ光毎の樹木の有無を判定した。この樹木の有無の判定結果より、斜面ごとの全データ数に対する「樹木あり」のデータ数の割合を樹林密度とした。

図4～6に、秋山郷地区においてそれぞれ傾斜・侵蝕量・樹冠密度の分布と雪崩発生箇所を重ね合わせた結果の例を示す。傾斜・侵蝕量の大きい箇所、樹冠密度

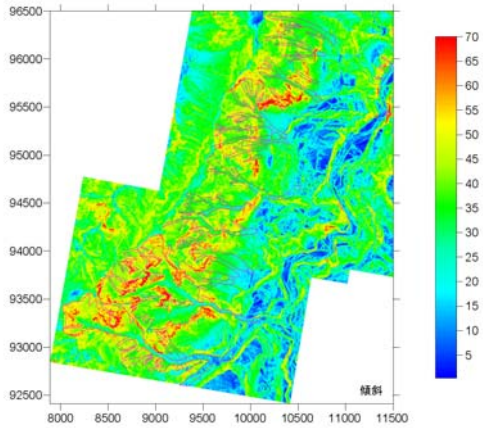


図 4 航空レーザ計測データから算出した傾斜と雪崩発生
の関係（秋山郷地区）

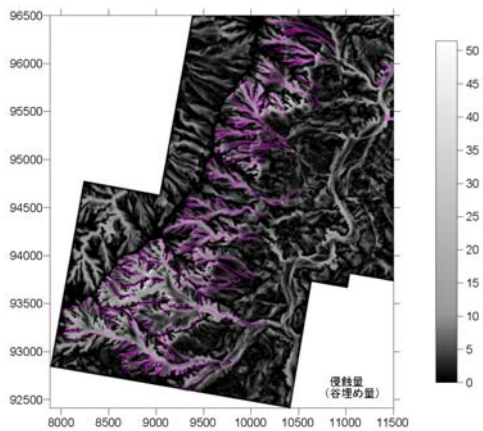


図 5 航空レーザ計測データから算出した侵蝕量と雪崩発生
の関係（秋山郷地区）

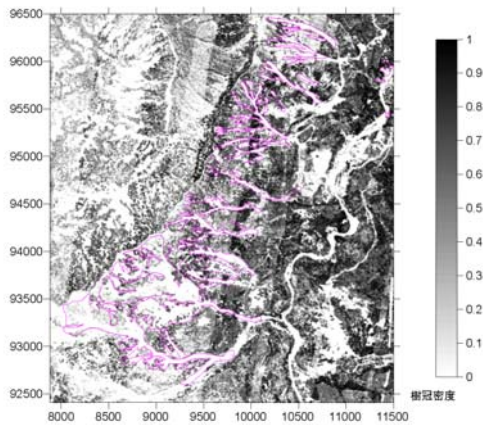


図 6 航空レーザ計測データから算出した樹冠密度と雪崩発生
の関係（秋山郷地区）

の低い箇所に雪崩発生が集中しており、これらの要素が雪崩発生と関係が深いと推測された。

3. 3 大規模雪崩の発生予測手法の研究結果

前節の結果から、傾斜・侵蝕量・樹高・樹冠密度と雪崩発生との関係が深いことが判明したので、ここで

はこれらの地形・植生要素と雪崩発生の関係を定量的に求め、従来の雪崩危険度判定表との比較を行った。また、地形・植生要素から雪崩発生危険度を計算し地図上に表示する手法を試みた。

表 5 に傾斜と雪崩発生率との関係を示した。傾斜が 30°以上になると雪崩の発生が多くなり、35~50°付近で雪崩発生率がピークとなっている一方で、傾斜が 60°以上となると雪崩発生率が極端に小さくなる傾向を示した。レーザ計測データを用いた場合、表 2 とは一部異なる階級を用いることが望ましい可能性がある。

また、植生と雪崩発生率との関係の例（表 6）では、樹高が低く樹林密度が小さい斜面において雪崩発生率が大きい傾向がみられ、裸地・灌木（0~2 m）、低木（2~4 m）では樹林密度が低くなると雪崩発生率も徐々に大きくなった。傾向としては従来の評価手法は妥当なものと考えられるが、レーザ計測データを用いて階級区分の改良を図ることにより、危険度評価の精度向上が図れる可能性がある。

さらに、これらのデータを用いて雪崩発生危険度の計算を行なった。雪崩発生率は、地形・植生要素毎にメッシュの全数に占める雪崩発生区内のメッシュ数を計算して求めた。たとえば、傾斜 40~45°、樹高 0~2 m

表 5 秋山郷地区 6 斜面、土樽地区 3 斜面における傾斜と雪崩発生率の関係（青文字は雪崩発生率 20%以上、背景の色は表 2 の評価得点 10 点（橙色）、7 点（黄色）、4 点（水色）に相当）

傾斜 (°)	秋山郷						土樽		
	斜面1	斜面2	斜面3	斜面4	斜面5	斜面6	斜面1	斜面2	斜面3
0~5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
5~10	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
10~15	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
15~20	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
20~25	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.4%	2.3%	0.0%
25~30	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.2%	1.9%	0.6%	9.0%	0.0%
30~35	2.0%	17.6%	19.2%	13.5%	2.6%	5.3%	1.1%	8.4%	5.8%
35~40	21.3%	38.8%	55.3%	46.9%	18.7%	6.7%	7.4%	16.3%	22.6%
40~45	48.2%	35.7%	18.8%	30.8%	20.1%	8.0%	21.3%	22.2%	35.6%
45~50	21.3%	6.4%	5.4%	8.3%	17.8%	17.5%	47.3%	22.3%	23.8%
50~55	3.9%	1.5%	0.7%	0.6%	17.0%	32.2%	20.4%	14.8%	10.2%
55~60	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	13.3%	17.1%	1.5%	4.1%	1.9%
60~65	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	6.1%	8.4%	0.0%	0.5%	0.0%
65~70	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	2.7%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%
70~75	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
75~80	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

表 6 秋山郷地区 1 斜面における植生と雪崩発生率の関係の例（青文字は雪崩発生率 50%以上、背景の色は表 2 の評価得点 10 点（橙色）、9 点（薄い橙色）、7 点（黄色）、4 点（水色）に相当）

樹高 (m)	樹林密度 (m)										
	0%~	10%~	20%~	30%~	40%~	50%~	60%~	70%~	80%~	90%~	
裸地・灌木	0~2	59.5%	9.7%	10.4%	4.9%	4.2%	4.3%	1.1%	0.5%	0.1%	0.0%
低木	2~4	0.5%	0.3%	0.7%	0.7%	0.9%	0.6%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%
	4~6	0.1%	0.0%	0.4%	0.7%	0.8%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%
中木	6~8	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.4%	0.3%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
	8~10	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
高木	10~12	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
	12~14	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	14~16	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	16~18	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	18~20	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	20~	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%

における雪崩発生率は、

傾斜 40~45°、樹高 0~2m に該当し雪崩発生区内に位置するグリッド数

傾斜 40~45°、樹高 0~2m に該当するグリッドの全数

と求められる。これと同様の方法で、傾斜・侵蝕量・樹高・樹冠密度の4要素それぞれの値に対する確率を求め、実際のグリッドにおける地形・植生状況に該当する確率を表示することで、雪崩の発生危険度を算出した。図7に秋山郷における雪崩発生危険度の計算結果を示す。雪崩の発生区と雪崩危険度はよく一致している。よって、本手法により雪崩危険箇所を従来より詳細に特定することが可能になると考えられる。

3. 4 雪崩検知システムの開発結果

雪崩と同様に、土石流についても地震計による検知が可能である⁷⁾が、この分野では地震・ノイズとの識別手法として「RMS エンベロープ比」(RMS:二乗平均平方根)を用いる方法が提案されている⁸⁾。RMS エンベロープは、ある一定時間における RMS 値を順次ならべたもので、振幅の大きさの変化を表現するものである。

実際の RMS エンベロープ比は、以下に示すようにローパスフィルタ (0.1~10 Hz) およびハイパスフィルタ (10~500 Hz) にそれぞれ通した振動データの RMS エンベロープの比である。

$$\text{RMS エンベロープ比} = \frac{\text{RMS}_{(10-500\text{Hz})}}{\text{RMS}_{(0.1-10\text{Hz})}}$$

土石流は 10 Hz 以上の高周波成分を多く含むため、土石流による振動データの RMS エンベロープ比を計算すると地震動によるものと比べ大きな値となり、振動源の識別が可能となる。

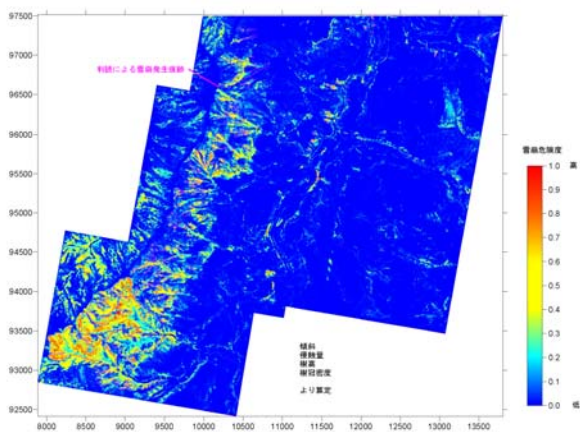


図7 雪崩発生危険度と雪崩発生の関係 (秋山郷地区)

表7 2006年1~3月に観測された振動データ (最大振幅 10 mkine 以上)

No.	月/日	時刻	振動源	最大振幅	
1	01/04	16:44:54	雪崩	20.4	
2		16:58:25	雪崩	13.3	
3	01/05	00:05:49	雪崩	42.3	
4		00:26:39	雪崩	15.5	
5	01/14	23:51:55	雪崩	13.6	
6	01/15	00:29:51	雪崩	16.9	
7		03:41:29	雪崩	16.4	
8	01/17	20:34:24	雪崩	49.3	
9	01/18	23:26:18	地震	11.3	宮城県南東沖 M5.7
10	01/28	02:06:11	地震	11.5	地震あり M7.2
11	02/01	20:36:20	地震	77.2	千葉県北部 M5.1
12	02/03	13:37:34	地震	28.1	茨城県東方はるか沖 M5.9
13		15:10:45	地震	10.7	茨城県東方はるか沖 M5.3
14		18:28:20	雪崩	16.2	
15	02/11	02:26:30	雪崩	54.9	
16	02/13	17:23:46	地震	43.9	山形県北部 M4.8
17	02/14	19:06:13	雪崩	25.4	
18	02/15	07:49:43	雪崩	17.9	
19	02/20	08:51:10	雪崩	23.5	
20		11:27:08	雪崩	28.4	
21	02/24	10:47:17	雪崩	10.6	
22	02/26	12:59:57	雪崩	10.1	
23		19:22:50	雪崩	18.6	
24	03/07	12:46:53	地震	17.6	新潟県中部 M3.8
25	03/10	09:21:10	雪崩	26.1	
26	03/14	12:01:58	地震	101.1	新潟県南西部 M3.5
27	03/23	07:12:20	地震	72.9	新潟県南西部 M2.6
28	03/26	09:44:27	地震	22.7	能登半島 M3.9
29		16:22:27	地震	17.8	新潟県中部 M3.2
30	03/30	17:21:15	地震	17.6	新潟県中部 M3.7

[mkine]

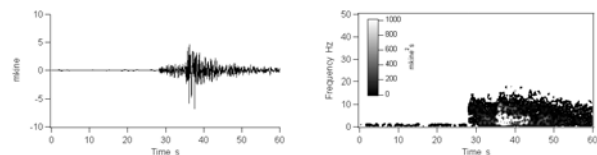


図8 地震 (No.30) の波形 (左, 上下動) と時間一周波数分布 (右)

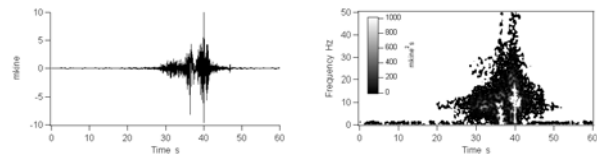


図9 雪崩 (No.2) の波形 (左, 上下動) と時間一周波数分布 (右)

柵口地区の山麓部に3成分地震計を用いた雪崩による振動の観測例として、平成18年豪雪時の2006年1~3月における10 mkine以上の比較的振幅の大きいデータを表7に示す。30例のデータのうち、雪崩18例、地震12例であった。なお、雪崩の発生時刻をみると夜間の発生が半数であり、目視が困難な雪崩の発生も捕えられていることがわかる。

そこで、表7の雪崩・地震データについてRMSエンベロープ比を計算し、雪崩と地震が識別できるか検討した。雪崩および地震データの時間一周波数分布をみると、地震には15 Hz以上の周波数成分が非常に少ない(図8)一方、雪崩は50 Hz付近まで達する周波数成分が確認できる(図9)。ただし、雪崩にも地震と同様に高周波成分が少ない場合も2例確認された(表

1のNo.1, 4)。

雪崩と地震を区分するのに適当な周波数を検討するため、5 Hz 毎のバンドパスフィルタに雪崩・地震データを通して波形全体の RMS 値を求めて結果を図 10 に示す。0~5 Hz では地震の RMS が雪崩より大きい一方、20~25 Hz では雪崩の RMS が地震より大きくなることがわかった。そこで、雪崩・地震データを 0~5 Hz および 20~25 Hz のバンドパスフィルタ (バターワース 10 次) に通し、両者の RMS エンベロープ比を計算した。その結果、雪崩は 2 例をのぞいて RMS エンベロープ比が 0.08 以上の範囲におさまっており (図 11)、RMS エンベロープ比を雪崩判定の指標として使用できると考えられる。

4. まとめ

大規模雪崩が発生した斜面で雪崩観測や航空レーザ計測を行い、大規模雪崩が発生しやすい気象状況や地形・植生状況を調査した。その結果、傾斜・侵蝕量・樹高などの地形・植生要素と雪崩発生との関係を求めることで、従来の雪崩危険度判定手法より詳細に雪崩危

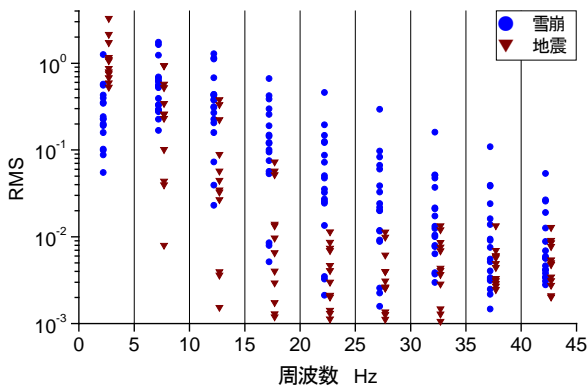


図 10 5 Hz 毎のバンドパスフィルタに通した雪崩・地震データ全体の RMS

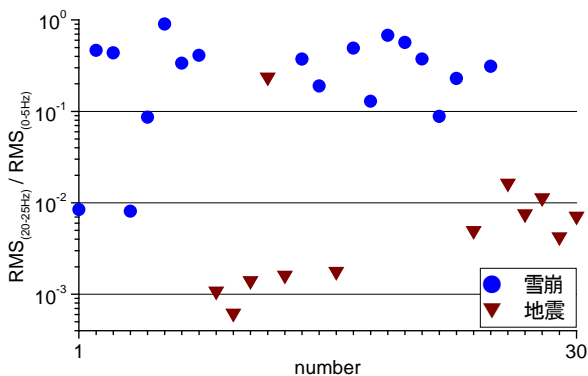


図 11 雪崩・地震データの RMS エンベロープ比 (横軸は表 1 の No. に対応, トリガ後 10~20 s の平均)

険箇所を絞り込むことが可能なことを示した。今後、雪崩多発地域のデータを幅広く収集・解析し、地形・植生状況と雪崩発生との関係を求めることで、任意の地域の雪崩危険度を算出することが可能になると考えられる。

また、雪崩の発生を検知する手法として、雪崩発生斜面の近傍に設置した地震計データの RMS エンベロープ比を計算することで、雪崩による振動を検知することが可能なことを示した。地震計と周波数解析を一体化したシステムを構築することで、雪崩危険箇所付近の住民の警戒・避難の判断や、道路の通行止め等に使用することが可能になると考えられる。

参考文献

- 1) McClung, D. and Schaerer, P. 著・特定非営利活動法人日本雪崩ネットワーク 訳:「雪崩ハンドブック」、東京新聞出版局 (中日新聞東京本社)、342pp、2007
- 2) 建設省河川局砂防部 監修・社団法人雪センター:「集落雪崩対策工事技術指針 (案) 本編」、170pp、1996
- 3) Ito, Y., T. Nakano, K. Iwasaki, M. Hanaoka and Y. Ishii: “Selection method of emergency measures for snow avalanche in Japan”, In: Proceedings of the first world landslide forum, Poster session volume, 43-46, 2008
- 4) 佃為成・溝上恵:「地震計が捉えた雪崩震動」、地震、第 2 輯、第 41 巻、47-57、1988
- 5) Leprettre, B.J.P., J.P. Navarre and A. Taillefer: “First results from a pre-operational system for automatic detection and recognition of seismic signals associated with avalanches”, Journal of Glaciology, Vol.42, No.141, 352-363, 1996
- 6) Bessason, B., G. Eiríksson, Ó. Thórarinnsson, A. Thórarinnsson and S. Einarsson: “Automatic detection of avalanches and debris flows by seismic methods”, Journal of Glaciology, Vol.53, No.182, 461-472, 2007
- 7) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム:「振動検知式土石流センサー設置マニュアル (案)」、土木研究所資料第 3974 号、28pp、2005
- 8) 大角恒雄・長山孝彦・榎納智裕:「振動センサーによる土石流・地震・ノイズ識別検知に関する開発」、こうえいフォーラム、第 16 号、93-101、2007