

レーダー降水量データの活用 一次世代の雪崩対策技術に向けて

伊藤陽一* 富樫香流** 石井靖雄***

1. はじめに

降雪が長時間続くと、*表層雪崩が発生する危険性が高くなる。雪崩の発生しやすい山間部においては気象観測点が少なく、表層雪崩の予測や警戒に必要な降雪状況の把握が難しい箇所が多いが、近年はレーダー降水量（解析雨量）データにより広域の降水状況が把握できるようになってきている。レーダー降水量は、気象レーダーによって推定された降水量をアメダス降水量等で較正することにより作成される1時間降水量分布であり、現在は約1 kmメッシュで30分毎にデータが得られる。

レーダー降水量データを活用して表層雪崩の発生危険度を推定する手法はすでに提案されている¹⁾が、実際の雪崩災害との検証事例は少ないのが現状である。そこで、雪崩災害が多数発生した平成18年豪雪時のレーダー降水量データから求められた雪崩危険度と、雪崩災害発生状況との比較を行い、レーダー降水量データの雪崩対策への活用の可能性について検討した結果を報告する。

2. 検討方法

平成18年豪雪時に発生した6件の雪崩災害事例（表-1）について、図-1に示す雪崩発生箇所周辺約30 km四方を対象に雪崩危険度の分布や時間変

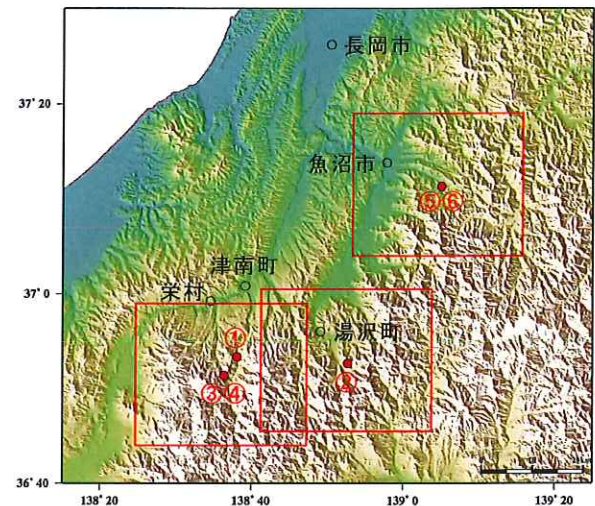


図-1 雪崩災害発生箇所（番号は表-1に対応、□は解析範囲）

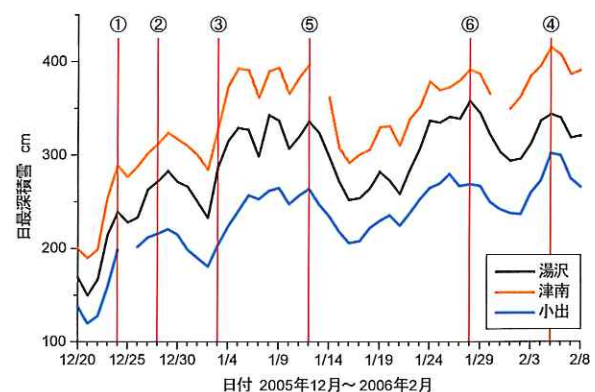


図-2 平成18年豪雪時のアメダス（湯沢・津南・小出）日最深積雪（┃は表-1の番号に対応する雪崩発生日）

表-1 雪崩災害事例の概要

	雪崩発生箇所	発生日	概要
①	新潟県津南町 秋山郷前倉地区	2005.12.24	通行車両1台巻き込まれる
②	新潟県湯沢町 土樽	2005.12.28	道路埋塞、電柱倒壊
③	長野県栄村 秋山郷屋敷地区	2006.1.3	家屋一部損壊
④		2006.2.5	家屋一部損壊
⑤	新潟県魚沼市 上折立・大湯温泉	2006.1.12	道路通行止め
⑥		2006.1.28	道路通行止め 未明～早朝に3箇所が発生

化を求め、雪崩発生状況との比較を行った。これらの雪崩は、図-2に示す雪崩発生箇所付近のアメダス積雪深データと雪崩発生日の関係からわかるように、すべて降雪により積雪深が増加する中で発生しており、また表層雪崩であることが報告されている²⁾。

雪崩危険度は、水津（2002）¹⁾による、レーダー降水量および数値標高モデルデータから積雪安定度（*SI*: Stability Index）を計算する手法により求めた。

ここで、*SI*は

$$SI = \frac{\sigma}{W \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

と定義され、積雪のせん断強度 σ と、積雪荷重 W および斜面傾斜角 θ で表されるせん断応力との比である。よって、 SI は多量の降雪による積雪荷重の増加などにより、値が小さくなるほど雪崩発生の危険が増すことになり、一般に $SI < 1.5$ を雪崩発生基準として用いるケースが多い³⁾。

式(1)は、積雪荷重の増加による積雪密度の時間変化式およびせん断強度と積雪密度の関係式を用いて

$$SI_i = \frac{B \left(\frac{n}{C} \cos^2 \theta \int W_i dt + \rho_0^n \right)^{\frac{m}{n}}}{W_i \sin \theta \cos \theta} \quad (2)$$

と表すことができる³⁾。ここで、 B 、 C 、 m 、 n はせん断強度等の実測から求められた定数、 SI_i は積雪 i 層の安定度、 W_i は i 層上の積雪荷重、 ρ_0 は積雪の初期密度（新雪密度）である。

ρ_0 を 50 kg/m^3 と仮定すると、積雪荷重 W は $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ （積雪荷重） $= 20 \text{ mm/h}$ （積雪深） $= 1 \text{ mm/h}$ （降水量）と換算できる。よって、降水量に対応した厚さの新雪層を積み重ねた積雪を設定し、各層の SI_i を計算したときの最小値が 1.5 未満になると、雪崩発生の危険性が高いと評価できる。

また、式(2)に含まれる斜面傾斜角 θ は、国土地理院刊行の数値標高データ（ 50 m メッシュ）を用いることで、地形を考慮した広域にわたる積雪安定度の分布を求めることが可能となる。すなわち、平坦な市街地に降水が集中しても雪崩の危険性は少ないが、急峻な山岳域ではある程度の降水でも雪崩の危険性が高まることを表現できることになる。ここで、メッシュ毎の θ の求め方や、その他の定数や計算方法は水津（2002）¹⁾にしたがった。また、降水量はレーダー降水量データを用いて2005年12月は約 2.5 km メッシュ、2006年1月以降は約 1 km メッシュで、1時間毎の値を算出した。例として、図-3に土樽（表-1の②）における発生前72時間累加雨量・斜面傾斜角・ SI の分布図を示す。降水量・斜面傾斜角ともに大きい箇所では SI が減少し、雪崩が発生しやすくなっている様子が見られる。

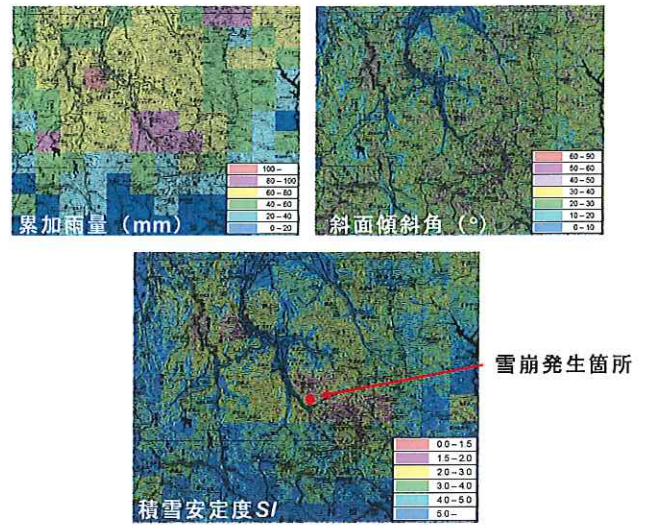


図-3 土樽の SI 分布の計算例

3. 結果と考察

3.1 積雪安定度 SI の推移

表-1の各雪崩災害における SI の変化および分布を、発生の48時間前から計算した結果のうち、代表的な例を図-4、5に示す。

秋山郷前倉地区・土樽・秋山郷屋敷（1月3日、図-4）では、雪崩発生時に雪崩発生箇所周辺で SI が 1.5 付近まで減少している様子が確認された。発生区における SI とレーダー降水量の変化のグラフ（図-4右下）からは、 2 mm/h 程度の降水が継続すると SI が大きく減少し、雪崩発生時に $SI < 1.5$ となった様子がわかる。

一方、秋山郷屋敷（2月5日、図-5）・上折立・大湯温泉では、雪崩発生時の SI の減少は少なかった。これは、雪崩発生前から降水がほぼ連続してあったものの、降水量が少ないために SI の減少量が小さかったためと考えられる。そのほか、上折立・大湯温泉（1月12日）についてはあられによる弱層の存在が示唆されており⁴⁾、このために比較的少ない降水量でも雪崩が発生した可能性が考えられる。

よって、本研究で行った手法は、雪崩発生前に多量の降雪が続いて新雪層自体が崩壊するような表層雪崩には適用可能であるが、降水量が小さくても弱層が原因となって発生するような雪崩には向かないと考えられる。ただし、 $SI < 1.5$ にいたらない場合でも、発生の24～48時間前にいったん SI が減少し、発生後に増加する傾向がすべての事例でみられることから、雪崩災害への警戒にあたっては有益な情報になると思われる。

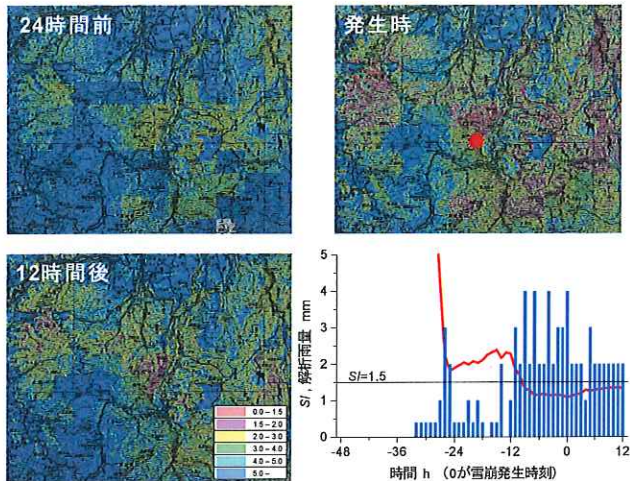


図-4 秋山郷屋敷（1月3日）の SI 分布の変化（左上：24時間前、右上：雪崩発生時、左下：12時間後、右下：発生区の SI （—）とレーダー降水量（|）の変化）

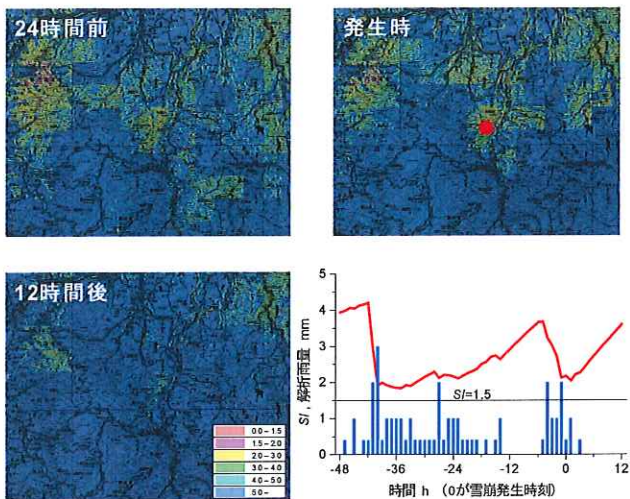


図-5 秋山郷屋敷（2月5日）の SI 分布の変化（左上：24時間前、右上：雪崩発生時、左下：12時間後、右下：発生区の SI （—）とレーダー降水量（|）の変化）

3.2 なだれ注意報との比較

レーダー降水量を用いた雪崩危険度評価手法の雪崩発生予測への適用性を検討するために、気象庁のなだれ注意報発令状況との比較を行った。平成18年豪雪時には、表-1に示す雪崩発生箇所の二次細分区域である新潟県魚沼北部・魚沼南部・十日町地域、長野県飯山地域は2005年12月11日からほぼ連続してなだれ注意報が発令され、2006年5月まで継続した。

表-1の⑤、⑥を除く箇所について、 SI を12月初めから2月末まで計算した結果は図-6のようになる。 SI は降水の有無によって大きく変化し、雪崩発生基準である $SI < 1.5$ となった日数は、最小で90日間で5日（秋山郷前倉地区）、最大で17日間であった（土樽）。

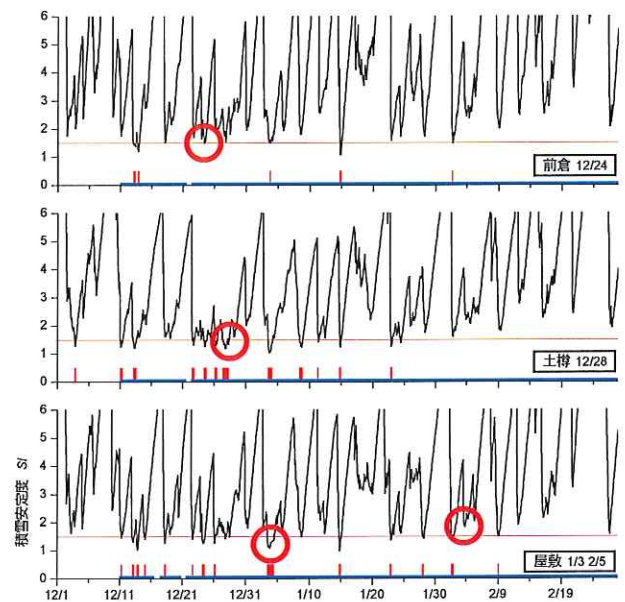


図-6 秋山郷前倉地区（上）、土樽（中）、秋山郷屋敷地区（下）の雪崩発生区における2005年12月～2006年2月の長期 SI 変動（○：雪崩災害発生日、|： $SI < 1.5$ の期間、—：なだれ注意報発令期間）

よって、多量の降雪により新雪層が崩壊して発生する表層雪崩の警戒には、レーダー降水量を用いた雪崩危険度評価を行うことで、なだれ注意報より期間を短く限定して対策をとることが可能になると考えられる。

3.3 広域の積雪安定度 SI の分布

レーダー降水量を用いた雪崩危険度評価手法により、危険度の高い地域を絞り込むことが可能か検討するため、広域の SI 分布図を作成した。作成範囲は、図-1の左下2つの□が重なる新潟県南部から長野県北部にわたる約 60×30 kmの部分である。

図-7、8には図-6でいずれの箇所でも SI の減少がみられた1月3日と14日の分布図を示す。1月3日（図-7）は山岳域を中心に SI が減少しており、秋山郷屋敷地区（図中●印）で雪崩が発生したほか、新潟県湯沢町のスキー場や道路でも小規模な雪崩が多発した（図中▲印）。屋敷地区の雪崩発生箇所付近では SI が1.5以下（赤色）の危険な部分が多い一方、スキー場・道路付近の SI は全般に2～3程度（黄色）であったが、局所的に SI が1.5程度まで減少している箇所も点在しており、小規模な雪崩発生の危険性があったことが確認できた。

一方、1月14日（図-8）は平地付近でも SI が減

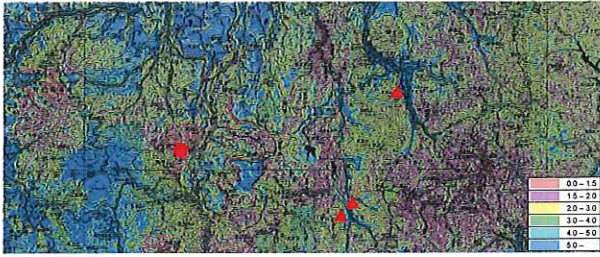


図-7 2006年1月3日19時の広域SI分布 (●: 秋山郷屋敷地区の雪崩災害発生箇所、▲: 雪崩が発生したスキー場・道路)

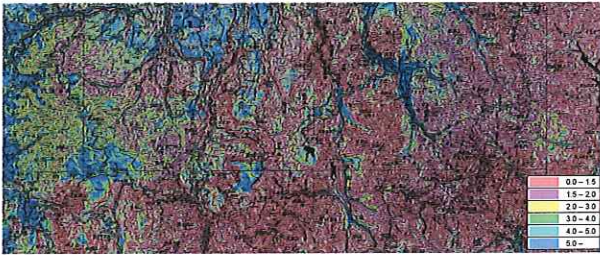


図-8 2006年1月14日19時の広域SI分布

少しているが、図中の範囲では雪崩災害の報告はなかった。ただし、新潟・富山・岐阜県などで道路や鉄道など市街地に近い場所での雪崩災害事例が報告されている。

以上のことから、広域のSI分布図のみから雪崩災害の危険性が大きい箇所を絞り込むことは困難な場合もあるが、SIが減少している範囲の変化から危険度が高くなる傾向を把握することにより、警戒体制をとることが可能になると考えられる。

4. まとめ

平成18年豪雪における雪崩災害事例を用いて、レーダー降水量を用いた雪崩危険度評価手法の適用性を検討した。

雪崩発生箇所周辺のSI分布の変化から、雪崩発生前に2 mm/h以上の降水が継続した3事例ではSIが雪崩発生基準となる1.5以下まで減少する

様子が示された。一方、降水量が少なく、また雪崩発生に弱層の関与が示唆される3事例ではSIの減少量は小さかった。このことから、本手法は強い降雪が連続する中で発生する表層雪崩の予測に適切と考えられる。

なだれ注意報発令状況との比較を行った結果、本研究で用いた雪崩発生危険度評価手法は、雪崩発生危険度の大きい時期を短期間に限定して評価できることがわかった。また、広域にわたってSI分布を求めた事例からは、雪崩災害の危険性が高い箇所を特定するのは困難な場合もあるが、危険度の高い範囲の広がりから雪崩発生危険を予測し、警戒体制をとることが可能になると考えられる。

本研究では過去の事例との比較を行ったが、今後は現場でSIの計算結果と雪崩発生状況を常時モニタリングすることなどにより、警戒避難などの雪崩対策の精度向上に寄与できると考えられる。

参考文献

- 1) 水津重雄：激しい降雪による乾雪表層雪崩危険度モデル、雪氷、64 (1)、pp.15-24、2002
- 2) 和泉薫、河島克久、伊豫部勉：平成18年豪雪による雪崩災害の発生状況と特徴、平成17年度科学研究費補助金研究成果報告書「2005-06年冬期豪雪による広域雪氷災害に関する調査研究」、pp.75-87、2006
- 3) 前野紀一、遠藤八十一、秋田谷英次、小林俊一、竹内政夫：雪崩と吹雪、古今書院、236p、2000
- 4) 河島克久、和泉薫、伊豫部勉、西村浩一、山口悟、平島寛行：平成18年豪雪により新潟県中越地方で厳冬期に発生した雪崩災害の現地調査、平成17年度科学研究費補助金研究成果報告書「2005-06年冬期豪雪による広域雪氷災害に関する調査研究」、pp.101-109、2006

伊藤陽一*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
雪崩・地すべり研究センター
研究員
Yoichi ITO

富樫香流**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
雪崩・地すべり研究センター
交流研究員
Kaoru TOGASHI

石井靖雄***



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所土砂管理研究グループ
雪崩・地すべり研究センター
上席研究員
Yasuo ISHII