

「雪崩」についてわかってきたこと

西村 浩一

1. はじめに

1999年1月14日現在の札幌の積雪深は約1m, 昨年の中頃はまだ50cm程度であったからおよそ2倍である。本州の日本海側も7日から襲った寒波の影響で軒並み大雪に見舞われた。豪雪は18年周期で訪れるという統計結果があるが、どうやら今冬もまたその例外ではないらしい。これまでのところ幸いにも大きな雪崩事故は発生していないが、大雪に加えて寒暖の差が大きかった3年前には、新聞に報じられただけでも実に57件を数えたことを思い出して欲しい。大雪と書いたが、実はこの年の積雪量は統計の上では平年並みであったに過ぎない。このところの暖冬少雪にすっかり慣れてしまった我々には大雪と感じられたのである。事故の数は過去3年に比べると2~4倍多かったのであるが、雪崩によって奪われた命は11名で大きな違いはなかった。雪崩事故が増加したなかで、死者の数が横ばいであったのは、集落、道路、鉄道など直接人間生活に関わる分野で雪崩対策が進んだ成果と言って間違いのないであろう。しかしその一方で浮かび上がってきたのが、ついに犠牲者の7~9割を占めるにいたったスキー・登山など冬季のレジャーに関連した雪崩災害である。

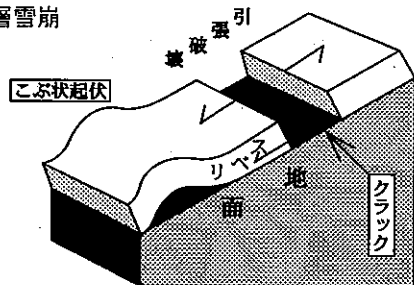
2. 雪崩の発生

雪崩はいつ発生するのだろうか。レジャー関連の雪崩事故の統計結果から、時期や時刻に何か規則性があるかどうかを見てみよう。まず月別の発生件数であるが、これは3月に最も多く、ついで1月、12月、5月の順となる。すぐ気がつくのは、これらの期間が、ちょうどそれぞれ春休み、正月、そしてゴールデンウィークに対応していることである。つまりこの時期に大勢の人が山に入るため事故も多くなっているのである。また雪崩に遭遇した時刻は、6時から18時の日中が全体の94%と圧倒的に多く、18時から翌朝6時までの夜間はわずか6%にすぎない。これも日中は雪崩危険地帯へ立ち入る機会が多いため、決して夜間は雪崩の危険が少ないことを意味していない。天候も「雪」および「吹雪」で雪が積もりつつある時が56%を占めるが、「快晴」や「くもり」でも42%の雪崩が発生している。雪崩は斜面につもった雪が崩れ落ちるのであるから、現在の天候だけからその危険性を判断できないのは至極当然である。新聞などでしばしば「この時期に、こんな場所で雪崩がおきるなんて……」という話を耳にするが、雪崩が発生しやすい特定の季節や時刻はないと理解しておくべきであろう。

雪崩は「斜面に降り積もった雪が崩れ落ちる現象」すべてにあてはまる表現であるが、それが発生するメカニズムだけに着目すると「表層雪崩」と「全層雪崩」に大きく分けることができる。その名が示すとおり、前者は滑り面から下の積雪を残して上層部の雪のみが崩落する雪崩で、後者は積雪の

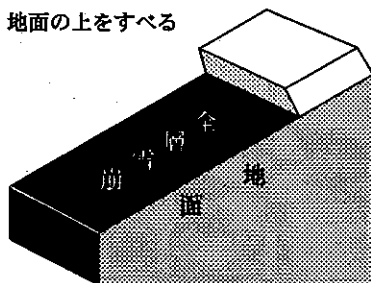
3. 論文

全層雪崩

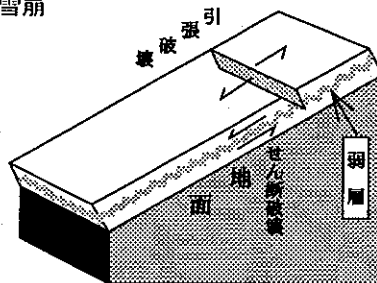


数時間～
数日後

地面の上をすべる



表層雪崩



瞬時

積雪の上をすべる

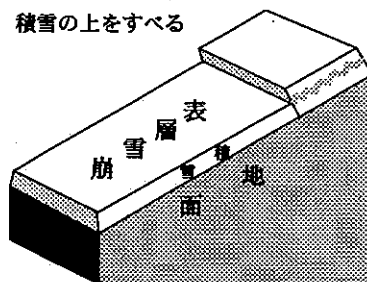


図1 全層雪崩と表層雪崩の模式図

表面から地面までの全体が崩壊して落下する雪崩である（図1参照）。

全層雪崩は、春を迎え気温が上昇するにもなつて発生が増加する。これは雨や融雪水が底面まで浸透し地表面をすべりやすくするためと考えられている。草地や笹地では、とりわけ危険性が大きい。滑りが大きくなると、斜面の雪には割れ目が発生し、それが大きくなるにつれて今度は下方に「こぶ状の起伏（雪しわ）」ができる。雪崩発生の日時を直接予知することはできないものの、「割れ目」や「こぶ」は遠くからもはっきり認識できるため、雪崩の危険性を容易に知ることができる。このように、前兆現象が比較的明瞭にあらわれることから、全層雪崩に関連した人身事故は少ない。

一方、表層雪崩は積雪内にある特殊な雪結晶からなる強度の小さい薄い層「弱層」の破壊が直接の原因となる。表面の雪がいくら硬く丈夫であっても、その下に弱層があれば雪崩の危険性は大きい。これまでの研究成果から以下のような特殊な雪の結晶が、弱層の原因となることがわかっている。

1. 雲粒のない降雪結晶——風の弱いときに降る「大きな美しい結晶」。
2. 表面霜——積雪表面に降りる霜の結晶で、夜間の放射冷却、高い湿度に加えて適度な風が吹くと、一晩で数mmから1cm程度の表面霜が急速に成長する。
3. 霜ざらめ雪——積雪内に大きい温度差がある時に形成される。寡雪・寒冷地では積雪の下部で発達するが、山岳地域の南斜面では、昼間の日射と夜間の放射冷却という条件がそろると表面付近で一晩に数cm成長することもある。

4. 大粒のあられ

5. 濡れざらめ雪——積雪が日射等で急激に融けて多量の水分を含み、雪粒同士の結合が切れて強度が低下した球状のざらめ雪。本州で報告がある。

このようにして形成された弱層は、その後の降雪で埋没し一般には強度もしだいに増加していく。図2は剪断強度の指標であるShear Frame Index (SFI) の変化を各種の弱層について観察した結果である。新雪（雲粒のない降雪結晶）弱層のSFIは短期間の内に増大し安定化しているが、霜ざらめ雪は3週間以上にわたり強度が非常に小さく

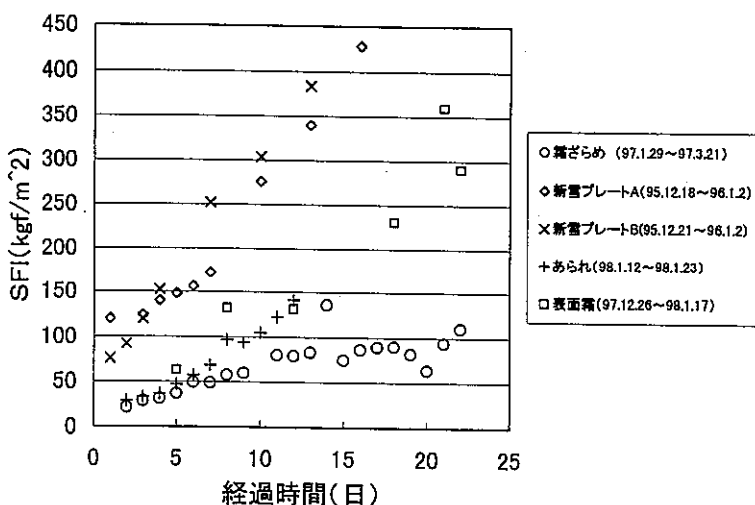


図2 弱層の強度 (SFI) の経時変化

雪崩が発生しやすい状態が維持されているようすがわかる。そして、降り積もった雪の重さ「上載荷重」と弱層の強度のバランスが崩れると、何かをきっかけとして破壊がおこり一瞬のうちにそれが面的に伝播する。その結果、弱層より下の雪を残して上の雪のみが滑り落ちる表層雪崩が発生する。発生域の破断面の厚さは3 m以上になることも珍しくなく、規模が大きく強大な破壊力をもつ雪崩に発達する潜在能力をもっている。しかし全層雪崩と違って明瞭な前兆現象がないことから、綿密な積雪構造の観測を行う以外に発生の予測が難しい。このため、遭難事故は表層雪崩によるものが圧倒的で、雪底の崩落、地震などに加えて、登山者やスキーヤーなど人間の行動が雪崩を誘発した例も数多い。

3. 雪崩の運動

次に動き出した雪崩の性質をしてみることにしよう。運動という立場からは、雪崩は大小の雪の塊が斜面を比較的ゆっくり流れる「流れ型雪崩」と、より高速で雪煙を巻き上げて斜面を駆け下る「煙り型雪崩（粉雪崩）」（図3）に分類することができる。1938年黒部峡谷の志合谷で90名にのぼる死傷者を出し、吉村昭の小説「高熱隧道」にも

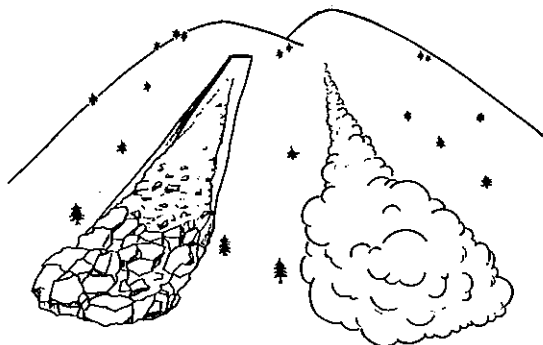


図3 流れ型雪崩(左)と煙り型雪崩(右)の模式図

登場するホウと呼ばれる雪崩や、1986年新潟県能生町柵口で13名の犠牲者を出した雪崩は後者に対応

3. 論文

する。全層雪崩の速度は一般に10~30m/sと比較的小さいが、表層雪崩それも煙り型になると80m/sに達する場合もある。これは時速に換算すると300km/h、実に新幹線を超える速度である。

煙り型雪崩といっても実際には、図4に示すように雪面付近の高密度の流れ（流れ層）とそれを覆う雪煙部という2層構造をもつ場合が多い。も

くもくとした雪煙部分の密度は、空気（約1kg/m³）よりは少し大きい、最大でもその10倍程度と報告されている。一方、個々の雪粒までバラバラになって流動化した雪と多数の雪の塊から構成されている流れ層の密度は、これまでの観測の結果を総合すると50~300kg/m³と推定される。人間の密度はほぼ水（1000kg/m³）と同程度であるから、万が一雪崩に巻き込まれた際に、内部から浮力で浮き上がるという効果はちょっと期待できそうもない。ただし流動化した雪の粘性はほぼ水に等しいという実験結果もあるから、「雪崩のなかで泳ぐ」ことは可能であるかもしれない。もうひとつ、大きい粒子の方が小さい粒子に比べて表面近くに集まるという粒子の流れの不思議な性質もプラスの作用をもたらしてくれそうである。実際、欧米では雪崩に巻き込まれた際に圧縮ガスの栓を開いて背中中のバルーンを膨らませる「Avalanche balloon」が開発され、すでに実用化の段階に至っている。バルーンを背負って体積が大きくなった人間は雪崩の流れの表面付近へとしだいに移動する。これだけでもデブリの深いところに埋没しないという大きな利点があるが、これに加えて流れの速度は一般に表面の方が速いため大きい物体（人間+バルーン）は流れの中で相対的に前へ前へと移動していく。このため捜索を行う際にもデブリ先端付近に範囲を絞り込むことができるのである。

誤解しないでいただきたいのは、以上はあくまでも理想的で幸運な場合の話に限るということである。仮に雪崩の速度が60m/sあったとしよう。雪煙りの部分の密度は空気とさほど変わらないとはいえ、台風でも瞬間最大風速が60m/sを超えることはめったにないから、これだけでも大変な事態には間違いない。では、空気より100倍以上大きい密度をもつ流れ層が新幹線並みの速度で襲来したとき、それがいかに破壊的で、そしてどのような惨事をもたらすかは決して想像にかたくあるまい。

4. あとがき

スイス、フランス、イタリア、オーストリア、ノルウェー、アメリカ、カナダそして日本を含めた世界の多くの雪崩国では、防災面からの要請もあり雪崩そのものの観測や室内実験と並行して、その発生や運動を記述する数値モデルの開発も数多く試みられてきた。その結果、今日ではたとえば気温、風速、降水量、日射量などの気象条件を入力して、ある点での積雪層構造を再現したり弱層形成の予知を行うこともある程度可能となってきた。しかしそれを面的な雪崩発生予測へと拡張するためにはまだまだ乗り越えなくてはならない大きな課題を抱えている。雪崩の運動モデルも一応の成

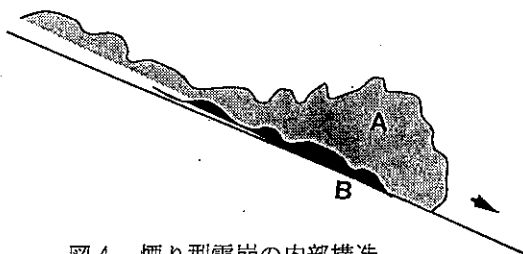


図4 煙り型雪崩の内部構造
A：雪煙部 B：流れ層

3. 論文

果はあげてはいるが、雪崩の内部構造、雪の取り込みや堆積等に関連した未知のパラメータが依然として多数含まれている。

忘れてならないのは、我々は、まだまだ雪崩という自然現象のほんの一部を理解したにすぎないという現実である。

(北海道大学低温科学研究所)