

# 第10章 積雪と雪崩

登山における雪のリスク、特に雪崩事故のリスクを低減するためには、雪についての科学的知識を身につけることがまず重要である。降雪・積雪の性質や変化について理解し、雪崩とはどのような現象か、発生条件は何か、発生を予測する手段は、等について十分に知ることができれば、雪崩事故は減らすことができる。

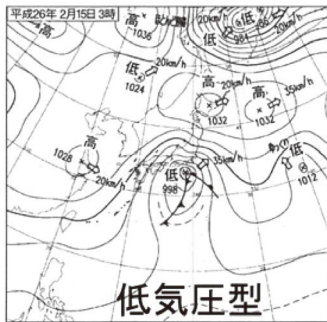
## 1 登山と雪

雪は、登りにくい地形を覆い登山ルートを提供してくれる反面、登山に困難や危険をもたらしている。吹雪による低体温症、深雪のラッセル、堅雪での滑落、雪崩、雪庇の崩落、クレバスやシュルンドへの転落、スノーブリッジの崩落等、そのリスクは多岐におよぶ。そこで本稿では、登山における雪のリスクを低減し雪を上手に利用して困難や危険の少ない登山を実施するために、降雪や積雪、雪崩についての基本的性質を身に付けることを目的とする。

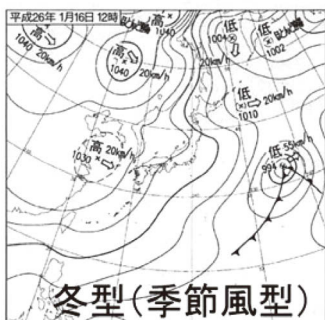
## 2 降雪と気象

### (1) 雪をもたらす気圧配置型

日本の降雪は、主に二つの型に分類される。一つは「季節風型」による降雪であり、他の一つは「低気圧型」(図1)による降雪である。これらの降雪により1日間で積雪深が数10cm以上増すような場合は、雪崩発生に対する注意が必要となる。



太平洋側に大雪と多くの表層雪崩をもたらした南岸低気圧による低気圧型の天気図 (2014年2月15日3時)



北海道ニセコアンヌプリ山で表層雪崩が発生した日の季節風型の天気図 (2014年1月16日12時)

図1 低気圧型と冬型の天気図

### (2) 季節風型

「季節風型」の場合、低気圧が日本付近を通過して東海上に抜けた後、大陸からの北西の季節風の吹き出しに伴う寒気が日本海で水蒸気の供給を受けて筋状の雲となって発達し日本海側に大雪をもたらす。

「季節風型」はさらに「山雪型」と「里雪型」に分けられる(図2)。

「山雪型」では、等圧線が南北(縦)に混んで強い北西風が吹き、日本海で筋状の雲が発達する。陸地に流れ込んだ雲は、脊梁山脈にぶつかり上昇してさらに発達し、山沿いから脊梁山脈に大雪をもたらす。北アルプス等の高山では1日で1m以上積雪深が増すこともある。

「里雪型」では、強い寒気が入って日本海上空で積乱雲が発達し、平野部の降雪量が多くなる。季節風が大陸の長白山脈で二つに分けられ、それが風下の日本海上でぶつかることにより活発な雪雲(帯状対流雲)が形成されることが多い。この雲は日本海上で発達しながら、山陰地方や北陸地方の平野部や山沿いに大雪をもたらす。

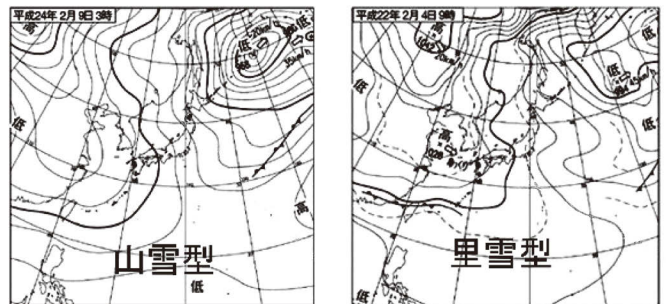


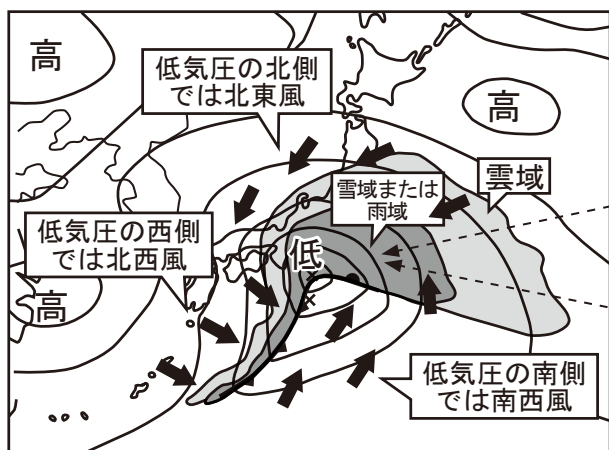
図2 山雪型と里雪型の天気図

(図1, 2は気象庁ホームページより)

### (3) 低気圧型

「低気圧型」はその経路により、「日本海低気圧型」と「南岸低気圧型」に分けられる。

このうち「南岸低気圧型」は、本州南岸沿いから日本列島の東海上に北東進し、気温が低い場合太平洋側の平野部や山岳に大雪をもたらす(図3)。2017年3月27日に栃木県那須岳で発生した雪崩事故も「南岸低気圧」の通過による大雪により雪崩が発生した。この事故では、低気圧の北側に広がる層状雲から降るさらさらの雪結晶が雪崩発生 of 要因となったことがわかった。



(猪熊隆之「山岳気象大全」\*2より引用・改変)

図3 南岸低気圧型の天気図  
(『雪崩教本』より引用)

サラサラした雪が降りやすい  
温暖前線や低気圧北側から東側に広がる温暖前線面の降雪域から、雲粒の付着が少ない針、さや、角柱、交差角板、鼓などの結晶から構成される、まるでグラニュー糖のようにサラサラした降雪が確認されている。

弱層となる雲粒なし板状結晶が降ることがある  
温暖前線や低気圧北側から東側に広がる温暖前線面の降雪域では、表層雪崩の弱層となる雲粒の付着が少ない板状結晶が降ることがある。

たれる場合が多い。このような積雪内の温度差を温度勾配(°C/cm)という。

積雪内の温度勾配が大きくなると、暖かい層の雪粒から昇華蒸発した水蒸気が冷たい層へ移動して、冷たい層の雪粒に霜が成長する。この過程を「しもざらめ化」という。霜系の結晶は角張っていて面的に発達するため、雪粒同士の接触点が少ないため焼結が進まず、積雪を不安定化する要因となる(図5)。

### 3 積雪とその変化

降雪が地表に達すると積雪が形成される。積雪は、積もったときの状況で粒の形や密度が異なっていて、さらに堆積した後も温度、雪の重さ、水の浸透などで絶えず変化している。

#### (1) 積雪を安定化する変化

積雪は融けなくても時間を経ると変化していく。

積雪内に温度差がない場合、樹枝状等の降雪結晶は昇華蒸発により枝の部分が無くなり、丸みを帯びた雪粒へと変化する。それと同時に、雪粒同士の接触部分が焼結現象によって結合し、次第に太く丈夫になる(等温変態)(図4)。

さらに上に雪が降り積もると、その重みにより下の積雪は圧密される。圧密が進むと雪粒間の接触点が増えるので、焼結はさらに進行して丈夫な積雪が形成される。

圧密、焼結が進むと積雪は安定化する。積雪の温度が0°Cに近いほど圧密、焼結が速く進み、積雪はより速く安定化する。

#### ■圧密 自重で圧縮され密度を増す。



#### ■焼結 結合部が太くなり丈夫になる。0°Cに近づくほど早く進む。

図4 積雪を安定化する変化

#### (2) 積雪を不安定化する変化

積雪の表面の温度は放射冷却により-20°C以下に低下することがある。一方、地表面の温度は0°Cに保

### ■蒸発と凝結

温度差がないとき 凸部で蒸発、凹部に凝結 球形化



温度差があるとき 高温部で蒸発、低温部に凝結 → 霜成長

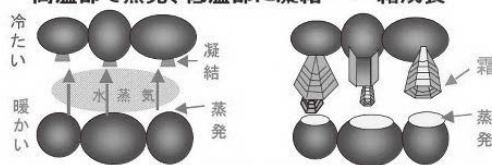


図5 積雪を不安定化する変化

温暖になり積雪の温度が0°Cまで上がると、融解が進んで積雪内に融解水が浸透する。しかし夜間にまた冷えると、積雪中の水は再び凍結する。このように融解と再凍結を繰り返すと、やがて丸みを帯びた大きな雪粒が形成され、これを「ざらめ雪」と呼ぶ。

融解水が浸透して濡れたざらめ雪(濡れざらめ雪)は、粒がばらばらになり弱くなる。一方、夜間に冷やされて積雪中の融解水が再び凍結すると、たいへん固いざらめ雪(かわきざらめ雪)に変化する。

濡れざらめ雪は積雪を不安定化させるが、かわきざらめ雪は積雪を安定化させる(図6)。

### ■融解と再凍結

水が関与し粗大化。  
ぬれざらめ雪 → 脆弱になる。  
かわきざらめ雪 → 丈夫になる。

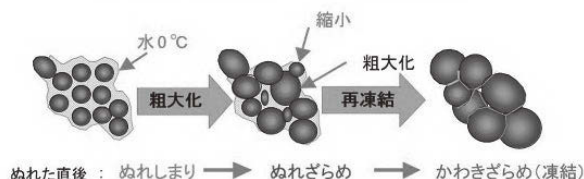


図6 融解と再凍結による変化

### (3) 積雪(雪質)の分類

図7に、日本の積雪(雪質)分類を示す。雪粒の大きさや形と変態過程の違いにより分類している。

#### ●新雪

積もってから数日程度の雪で、降雪時の雪の結晶形を残している。

#### ●こしまり雪

新雪としまり雪の中間で、降雪結晶の形はほとんど残っていないが、しまり雪にはなっていないものという。小さな粒が網目状に繋がった状態。

#### ●しまり雪

雪粒はやや丸みを帯びる。粒が網目状によく結合していて丈夫。

#### ●ざらめ雪

水を含んで粗大化した丸い雪粒や水を含んだ雪粒同士が再凍結して大きな雪粒になったもの。

#### ●こしもざらめ雪

積雪内部で雪粒に霜の結晶が成長しはじめたもの。平らな面を持った結晶からなる。

#### ●しもざらめ雪

霜の結晶がさらに発達し、もとの雪質と置き換わったもの。コップ状や板状の結晶形をしている。

#### ●氷板

融解水や雨水が止水面に停滞し氷化した板状の氷。

雪質(ゆきしつ)	記号	説	明
新雪	+	降雪の結晶形が残っているもの。みぞれやあられを含む。結晶形が明瞭ならその形(樹枝等)や雲粒の有無の付記が望ましい。大粒のあられも保存され指標となるので付記が望ましい	
こしまり雪	/	新雪としまり雪の中間。降雪結晶の形は殆ど残っていないが、しまり雪になっていないもの	
しまり雪	●	こしまり雪がさらに圧密と焼結によってできた丸みのある氷の粒。粒は互いに網目状につながり丈夫	
ざらめ雪	○	水を含んで粗大化した丸い氷の粒や、水を含んだ雪が再凍結した大きな丸い粒が連なったもの	
こしもざらめ雪	□	小さな温度勾配の作用でできた平らな面をもった粒、板状、柱状がある。もとの雪質により大きさは様々	
しもざらめ雪	△	骸晶(コップ)状の粒からなる。大きな温度勾配の作用により、もとの雪粒が霜に置き換わったもの。著しく硬いものもある	
氷板	-	板状の氷。地表面や層の間にできる。厚さは様々	
表面霜	∨	空気中の水蒸気が表面に凝結してできた霜。大きなものは羊歯状のものが多い。放射冷却で表面が冷えた夜間に発達する	
クラスト	∨	表面近傍にできる薄い硬い層。サンクラスト、レインクラスト、ウィンドクラストなどがある	

(1998, 日本水雪学会)

注1) ひらがなの付いた名称(○雪)は雪を省略してもよい。例:ざらめ、こしもざらめ  
 注2) 1つの雪の層が一種類の雪質からできているとは限らない。2種類の雪質が、ときには3種類の雪質が混在していることもある。

図7 積雪(雪質)の分類

### (4) 雪質の変化

雪質が変化する過程には3種類がある(図8)。等温に近い状態で圧密と焼結が進行する等温変態、融解と再凍結を繰り返して進行する融解変態、温度差の大きな積雪中で進行する温度勾配変態である。

新雪からしまり雪に変化し、さらに融解を経てざらめ雪に変化する場合が多いが、その過程の途上で温度勾配が強いときがあると、しもざらめ雪やこしもざらめ雪に変化する。しもざらめ雪は、新雪からも、しまり雪からも、ざらめ雪からも変化する可能性がある。

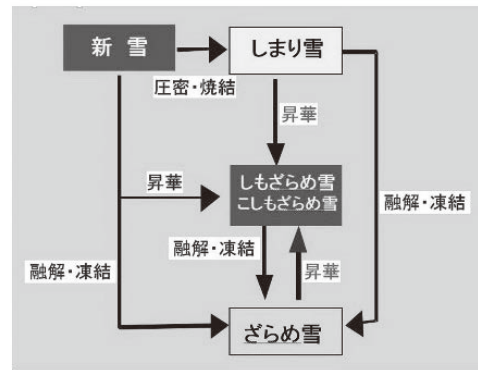


図8 積雪(雪質)の変化

### (5) 積雪層の形成

図9に積雪層が形成されていく様子を模式的に示す。

積雪は多くの層からできている。1回のまとまった降雪で1つの層ができる。日本海側の山岳では、冬型の気圧配置の際に積雪が急激に増加する。冬型の気圧配置は冬期間に頻繁に出現し、1回毎に数10cm程度の積雪深の増加が見られる。

降雪中断期に積雪は沈降して積雪深が減る。この時期に表面近くで弱層が形成されることがある。次の降雪で積雪層や弱層が雪中に埋まる。弱層が弱い間に上載積雪が積もると、雪崩発生の危険が高くなる。

融雪期になると融雪水が浸透し湿雪となる。弱層は時間がたつと圧密と焼結で丈夫になり解消していく。やがて全層ざらめ雪となり積雪が消失する。

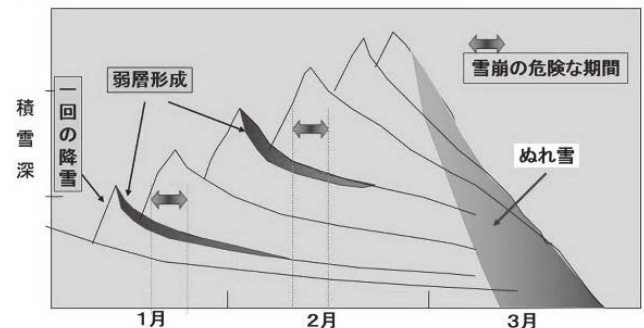


図9 積雪層の形成の模式図

## 4 雪崩

登山における雪のリスクで一番に取り上げられるのが雪崩であろう。ここでは雪崩から身を守るためにまず雪崩について知ることからはじめよう。

### (1) 雪崩の分類

日本では、発生区の3つの要素より雪崩を8種類に分類している(図10)。発生の形により、①点発生雪崩と②面発生雪崩に、滑り面の位置によって①表層雪崩と②全層雪崩に、雪崩層の積雪状態(始動積雪の含水の有無)によって①乾雪雪崩と②湿雪雪崩に分けられる。

これらを組み合わせて、例えば点発生湿雪表層雪崩、面発生乾雪表層雪崩などと表現する。

以上の分類のうち、表層雪崩は前兆現象がほとんどなく発生することから、予測が困難である。特に、面発生乾雪表層雪崩は大規模になりやすく、スキーマー・スノーボーダー、登山者が巻き込まれる事故が多く発生していて、最も警戒しなくてはならない雪崩である。

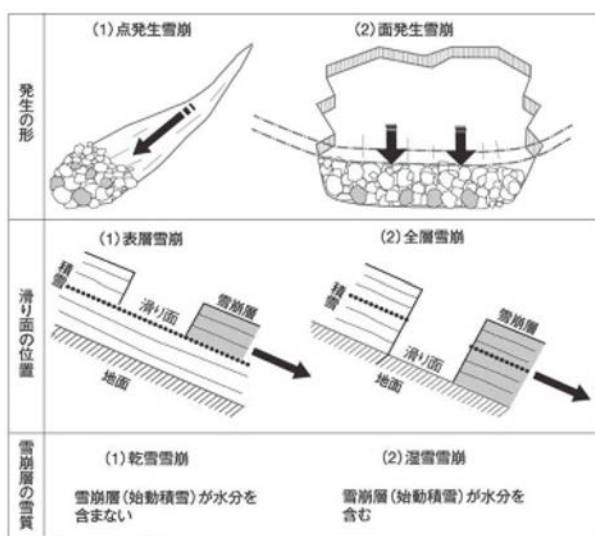


図10 雪崩の分類要素と区分

### (2) 点発生表層雪崩

1点から発生し、くさび状に広がりながら落下する雪崩である(図11)。この雪崩は、ほとんど結合力を持たない雪が積もっている場合に発生しやすい。新雪が斜面に大量に堆積した場合や日射、降雨により表面付近の雪が融かされ結合力が減少して流動性を増したときなどにみられる。

面発生雪崩と比べ、雪崩層の厚さと幅は小さく、落下速度も遅いため、大事故になることは少ないともいわれている。

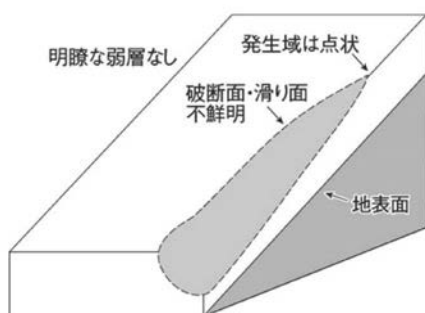


図11 点発生表層雪崩の模式図

### (3) 面発生表層雪崩

結合力を持つ積雪が、積雪内部のある層を境に広い面積にわたって一齐に滑り出す雪崩である(図12)。発生区には通常写真に示すような明瞭な破断面が出来る(写真1)。

面発生雪崩は何の前兆もなく突然発生し、大規模になりやすく、速度が速く、破壊力が大きいいため、最も警戒しなければならない雪崩であり、大きなものは数kmも流れ下ることもある。

剪断の力に弱い層が結合力の強い積雪内にサンドイッチ構造で含まれている場合、面発生表層雪崩の要因となることが多い。このような層を弱層と呼ぶ。弱層は同一斜面で広く形成されることが多いので、ある箇所で起きた破壊が引き金となって弱層内を破壊が伝搬し、弱層から上の比較的結合力の強い積雪層を一齐に崩壊させる。

では、どのような傾斜の斜面で面発生表層雪崩が起きているのだろうか。米国、スイス、カナダ、日本で起きた比較的大きな面発生雪崩についての解析から、面発生乾雪表層雪崩のほとんどは、傾斜30~45度の斜面で発生していて、その頻度のピークは40度付近にあることがわかった。25度以下の緩斜面や55度以上の急斜面での発生はきわめてまれである。急斜面で面発生雪崩が起きにくい理由は、降雪がすぐに崩れ落ちてしまい雪崩が起きるほど雪が積もらないためである。

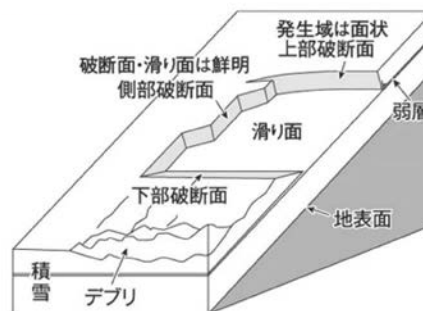


図12 面発生表層雪崩の模式図



写真1 面発生表層雪崩と破断面(劔岳池ノ谷)

(4) 弱層の種類

弱層となる雪層の特徴は、雪粒子がまばらで密度が小さいことである。

これまでの研究から、弱層を形成する典型的な雪として、しもざらめ雪・こしもざらめ雪、表面霜、降雪結晶、あられ、濡れざらめ雪の5種類が知られている。このうち、霜の結晶形をしているしもざらめ雪・こしもざらめ雪、表面霜を霜系、降雪時の結晶形に由来する降雪結晶、あられを降雪系、濡れざらめ雪を湿雪系と呼ぶ。

図13に弱層の種類と特徴について示す。

実際に表層雪崩発生に関係した弱層の種類はどのようなものが多いのだろうか。1996～2016年に日本全国の山岳域で発生した雪崩の観測結果をまとめると、こしもざらめ雪・しもざらめ雪（霜系）の弱層が60%を占めて最も多く、降雪結晶（降雪系）の弱層が40%であった。

一方、スイスやカナダの表層雪崩の観測事例では、霜系（こしもざらめ雪・しもざらめ雪、表面霜）が82%を占め、その中でも表面霜の弱層が多く、降雪系（降雪結晶）の弱層は10%と少ない。

地域による積雪特性の違いから弱層の種類も異なることに注意が必要である。

弱層の種類	結晶の形	形成条件または特徴
降雪結晶	広幅六花	弱風/無風・降雪強度小
表面霜	しだ状	夜放射冷却、弱風
しもざらめ	骸晶、コップ	表面に新雪、昼日射、夜放射冷却、無風
あられ	固い球状	時間が経ってもばらばら対流性の雲から
ざらめ雪	丸い大粒	日射融解、結合弱い

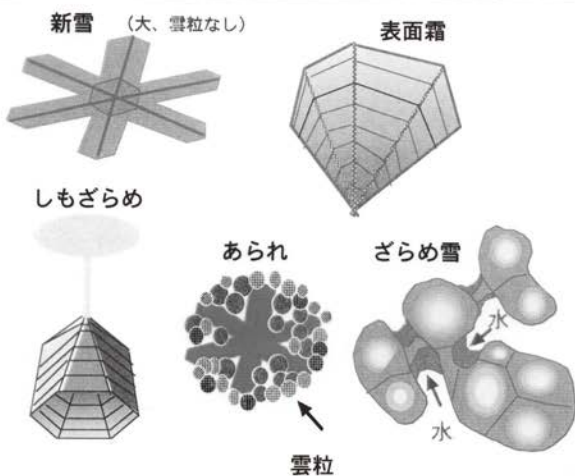


図13 弱層の種類と特徴

(5) 弱層の形成メカニズム

どのような条件でどの種類の弱層が形成されるかを知ることは、雪崩の発生予測にとってたいへん重要なことである。ここでは、各弱層の形成メカニズムについて知ろう。

●しもざらめ雪・こしもざらめ雪

積雪層内の上下で大きな温度差があるとしもざらめ雪が発達する。

しもざらめ雪は通常、寒冷で積雪が比較的少ない地域で、冷たい積雪表層と暖かい地表面との間で大きな温度差が長く続くことで発達する。しかし、日本の中部山岳地域の様な積雪が厚い地域でも、積雪表層付近でしもざらめ雪（こしもざらめ雪）が形成され雪崩の原因となることがわかってきた。ではどのようなメカニズムで厚い積雪の表層付近にしもざらめ雪（こしもざらめ雪）が形成されるのだろうか。

雪面直下に1℃/cmを超える大きな温度勾配が生じると、一晩で表層付近にしもざらめ雪が形成される。表層にしもざらめ雪が成長しやすい条件は以下のとおりである（図14）。

- ・古い雪の上に数cmの新雪が積もる。
- ・その後晴れると日射は雪面直下の新雪内に吸収されその温度が上昇する。
- ・その後の晴れた夜間に、雪面の温度は放射冷却により急速に低下して、雪面と上層の新雪の間に大きな温度勾配ができる。
- ・このような状態が続くと、積雪上層の新雪が霜の結晶に置き換わり、霜系（しもざらめ雪、こしもざらめ雪）の弱層が形成される。
- ・弱層が形成された後、この上に大量の積雪が積もると（上載積雪）、表層雪崩が発生しやすくなる。

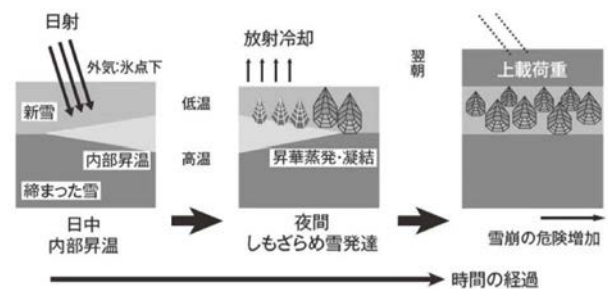


図14 しもざらめ雪による弱層形成の模式図

●表面霜

よく晴れた朝に新雪が降らなかったのに雪面がきらきらと輝いていることがある。これが表面霜である。

表面霜も放射冷却で雪面温度が下がったときに積雪表面に形成される。シダ状やコップを切り取った様な形状を示し、雪面から柱が立つように成長する。しもざらめ雪と異なるのは、空気中の水蒸気が冷えた積雪表面に凝結して成長することである。

表面霜のできる条件として、以下の3つがあげられる (図15)。

- ・放射冷却で表面温度が低下すること
- ・空気中の湿度が高いこと
- ・弱い風が吹いていること

大きさが1～2mmを超えると弱層になりやすく、海外では1cmを超える表面霜もしばしば観測され、表層雪崩の主要な原因となっている。日本では数mmまで成長することはまれである。

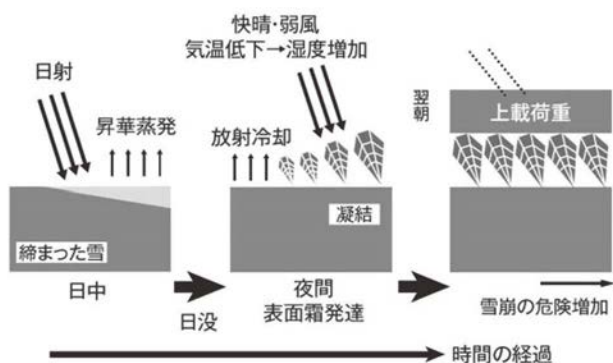


図15 表面霜による弱層形成の模式図

●降雪結晶

風が弱い条件で雲粒が少ない大きな雪結晶 (広幅六花など) が積もると、空隙が多い弱い層が形成され弱層となる (図16)。このような雲粒の付着の少ない結晶は、層状雲や発達していない対流雲から降ることが多い。

これに対して激しい降雪のときの降雪結晶は、雲粒が付着しやすく結晶が風で破碎されるため弱層にはなりにくい。

低気圧が通過するときにも弱層となる雲粒なし結晶が積もることがあり、注意が必要である。2017年3月27日に栃木県那須岳で発生した表層雪崩がその例で、南岸低気圧が通過したときに低気圧の進行方向の前面で弱層となる様なさらさらの降雪結晶が降り積もり、その後の降雪が上載積雪となって雪崩が発生したと考えられている。

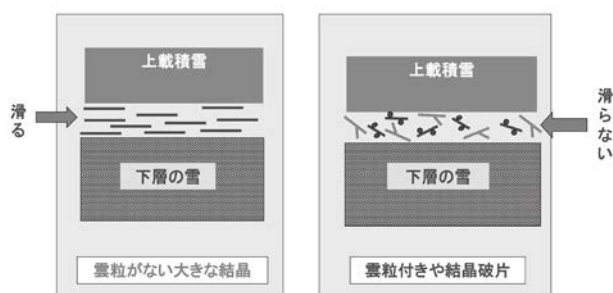


図16 降雪結晶による弱層形成の模式図

●あられ

雪結晶に雲粒がびっしりと付着して球状になったも

のがあられである。

あられは、表面が凸凹で、空隙が多く粒同士の接触点が少ないため安定化しにくく、弱層になることがある (図17)。また固い粒のため急斜面では転がりやすく傾斜35～45度の斜面に溜まって弱層を形成することがある。

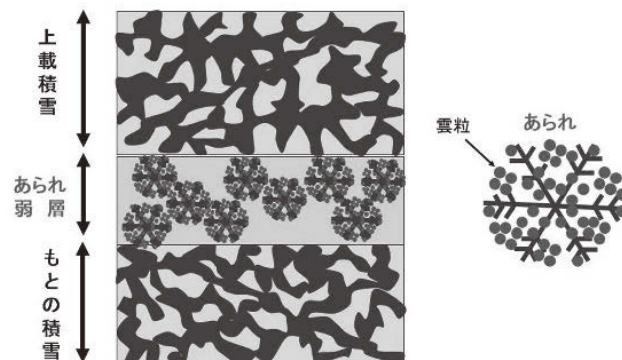


図17 あられによる弱層形成の模式図

●濡れざらめ雪

濡れざらめ雪の弱層が形成されるのは、積雪表面が日射や気温上昇で急激に融解して、雪粒同士のつながりの少なくもろい粒状の濡れたざらめ雪となり、その直後に多量の雪が積もったときである (図18)。新雪は断熱性が高いため、積雪内には濡れざらめ雪がしばらく保存される。

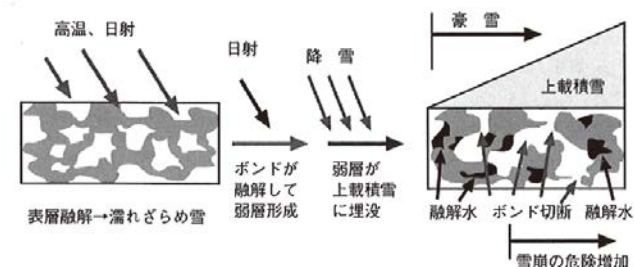


図18 濡れざらめ雪による弱層発生 の模式図

●弱層がない表層雪崩

豪雪のときには、特に弱層がなくても表層雪崩が発生することがある。一般的には、上載積雪が増加すると下の層は圧密により強くなって積雪は安定化する。しかし一気に雪が積もると、下層の雪が強くなる速度以上に上載積雪が増加して破壊が起きることがある。

例えば、35度の傾斜の場合、毎時8cmの降雪強度が3時間続くと雪崩が発生するという計算結果がある。

また、45度の場合、毎時6cmの降雪強度でも3時間で雪崩が発生するという結果になった。

(5) 全層雪崩

全層雪崩は、発生区において地面から上の積雪全てが崩落して流れ下る雪崩である。発生の前兆として、積雪上にクラックや雪しわ、こぶ状隆起が出現するこ

とが多い。また、コブ状起伏にタテ割れ目が出来ると、全層雪崩の危険が高くなる（図19）。

これらの現象は、斜面上の積雪が地面との間で動いたり、積雪層内部で変形したりする運動の速度が速いときに発生する。温暖で融雪水や雨が多量に地面まで流れ込むような状況下で、全層雪崩が発生しやすい。

このような条件となるのは春先が多いが、北陸などの標高の低い山岳では、真冬でも気温上昇や降雨により全層雪崩が発生することも珍しくないで、前兆現象についての注意が必要である。

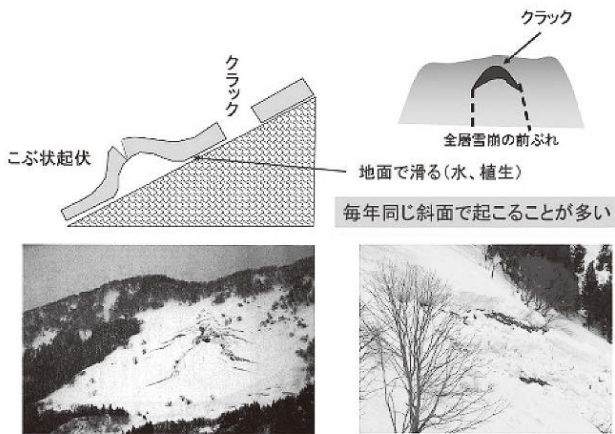


図19 全層雪崩の前兆現象

### (6) 雪崩の運動形態

雪崩をその運動形態から分けると、雪煙を舞い上げて高速で流れ下る「煙型」と、大小の雪の塊が斜面を比較的低速で流れる「流れ型」に分類できる（図20）。

「煙型」は「面発生乾雪表層雪崩」に対応することが多く、「流れ型」は「全層雪崩」や「点発生湿雪表層雪崩」に対応することが多い。

「煙型」の速度は、80m/sに達することもある。これは時速300kmにあたり、新幹線に匹敵する。たとえスキーでも逃げるのがたいへん困難な速度である。

「流れ型」は10～30m/sと比較的低速だが、それでも時速にすると36～108kmにあたり、人間が逃げるのは難しい速度を持つので、油断は大敵である。

#### ■運動の形態から

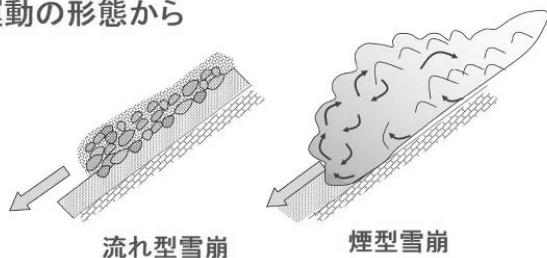


図20 雪崩の運動形態

## 5 雪崩リスクマネジメント

雪崩リスクマネジメントでは、積雪、地形、気象を適切に評価し、適切な行動をし、雪崩事故に対する装備やレスキューの方法を身につけることが必要となる。

本稿では、雪崩ハザード評価に用いる情報と、情報収集のための積雪観察について触れる。

### (1) 雪崩ハザード評価

雪崩ハザード評価に用いる情報の3つの要素は不安定性要素、積雪要素、気象要素である。

評価する対象により直接的に関連する重要性の高い情報を順に並べると、不安定性>積雪>気象となる。一方、これらの3つの要素の情報が有効とされる地理的な適応範囲は、通常、気象>積雪>不安定性の順になる（図21）。

各要素について次に解説する。

#### ア 気象要素

気象要素は、個人の観察やアメダスデータ等の公的な気象観測データから収集可能である。気象要素の中でも、積雪要素と関連する、降雪（および降雨）、風（風速、風向）、日射の項目が特に重要だ。



図21 雪崩ハザード評価の3つの要素  
（『雪崩教本』より引用）

#### ●降雪および降雨

降雪では、降雪量、降雪結晶の種類に特に留意する必要がある。多量の降雪が弱層の上に載ると雪崩発生の駆動力が増す。1時間で2.5cm以上の降雪量の増加がある場合は、積雪不安定性が増すといわれている。

降雪結晶では、弱層を形成する雪粒無しの広幅六花や角板、あられに留意する。また、雲粒有りの場合は焼結が速く進みスラブ化しやすい。

#### ●風速、風向

小さな樹木がゆれる程度の7m/s以上の風速となると雪の移動がはじまると言われている。それ以上の風速になると、雪は削剥、移動、堆積を繰り返し、吹きだまりが形成される。吹きだまりは雪崩発生に関連するので、風向、風速等の気象データからその位置を予

測することが重要である。

また、現場での風紋、吹きだまり、雪底等の観察から、その地域の局所的な卓越風向を知ることが出来、同じような標高帯の局所的な風向、吹きだまりの形成を推測することができる。

#### ● 気温

積雪変態や雪崩にとって、気温がプラスかマイナスかは重要だ。平野の気温から、気温減率により山岳高所の気温を予測することは、降水が雪なのか雨なのか、積雪が湿雪なのか乾雪なのか等を推測する手がかりになる。

0℃以上の気温が予想される場合、積雪表面が融解し、その後の降雪により埋没、凍結して温度の高いクラスト層や氷板が出来る。その上下にはこしもざらめ雪が形成されやすい。また、気温の寒暖差が激しい場合、表面霜やしもざらめ雪が形成されやすくなる。

#### ● 日射

日射は、積雪の表面や表層の温度を急激に上昇させ、大きな変化を与える。表層の雪の焼結を促進しスラブ化を進めたり、0℃まで上昇して雪を融解させたりする。融解した表層の雪がその後の降雪により埋没した場合は、上記のとおり、急な温度勾配が生じてこしもざらめ雪が形成されやすくなる。

### イ 積雪要素

積雪要素では、雪崩に直結する積雪の不安定要素につながる情報を観察することが重要である。特に、弱層の存在、弱層の上載積雪の結合状態等の観察が重要となる。

#### ● 積雪観測

積雪要素の情報収集には、通常、積雪断面観測を行い、層構造、雪質、粒径、密度、硬度、雪温等を観察する。収集したデータは、観察時のみならずその後の積雪構造の変化を推測する重要なデータとなる。

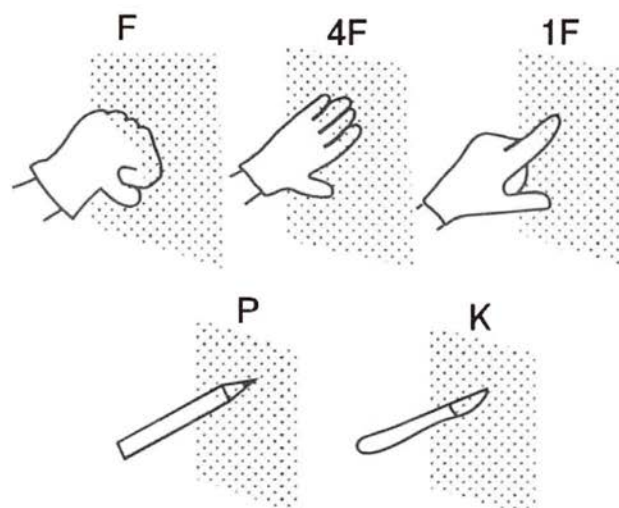
積雪断面観測での簡易な硬度測定の方法について図22に示す。

また、積雪の状態は、行動中に登山靴やスキー、ストックなどがどのくらい貫入するかで簡易的に確認することができる。表層の雪を手でつかんで握り雪玉を作って結合状態や水分の有無を観察することもできる。

### ウ 不安定性要素

不安定性要素とは、積雪の不安定性に関する直接的な情報のことである。具体的に収集するデータは、雪崩の痕跡、雪面に出来る線状の割れ目（シューティングクラック）、弱層が破壊される時に発する音（ワッフ音）、積雪テスト（弱層テスト）の結果、などである。

雪崩の痕跡では、発生斜面の向きや破断面の有無を観察することも重要である。



雪の中に拳、指、ペン、ナイフを抵抗があまりないように差し込む

図22 積雪断面観測での簡易な硬度測定の方法

#### ● 積雪テスト

積雪テストにはいろいろな方法があり、雪崩との関連性の評価も異なるが、一般的にコンプレッションテストが行われることが多い。

コンプレッションテストは、30cm角に切り出した雪柱の上に載せたシャベルを手でたたくことにより、弱層が破壊されるとき荷重と破壊の特徴を観察して、積雪の安定性を評価する方法である。コンプレッションテストの方法と結果の評価について図23に示す。

### (2) 地形

地形は、地形そのものが雪崩と直接的に関わるのみならず、気象要素と組み合わせると積雪の不安定性に影響を及ぼす。

雪崩ハザード評価において重要な地形要素として、斜度、植生、形状があげられる。また、積雪への影響として標高、斜面方位が重要である。

#### ● 斜度

雪崩の発生区となる斜度は25～60度といわれる。

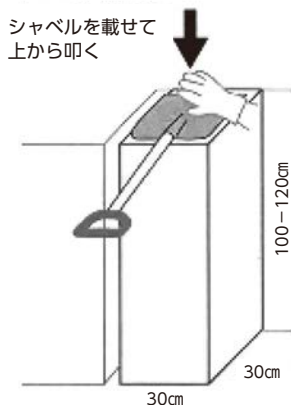
カナダの1984～2006年の雪崩事故データからは、約70%が30～40度で起きている。45度を超える斜面では、降雪後すぐに自然発生雪崩が起きてしまう頻度が高く、また60度を超える斜面では雪そのものが溜まりにくいいため、雪崩は起きにくくなる。

雪崩の堆積区から発生点を見上げた角度を見通し角とよび、雪崩到達距離の目安となる。乾雪雪崩では18度、湿雪雪崩では24度の地点まで雪崩が到達することがあると言われている。

#### ● 植生

植生の有無は雪崩発生と関わりが深い。森林限界を越えた高度の斜度30～40度の広い斜面は、雪崩ハザー





コード	説明
CTV	雪柱を切り出している最中に破壊する
CTE#	手首を支点到1～10回叩くと破壊する
CTM#	肘を支点到1～10回叩くと破壊する
CTH#	肩を支点到1～10回叩くと破壊する
CTN	破壊が起こらない

図23 コンプレッションテストの方法と結果の評価  
 (『雪崩教本』より引用)

ドの高い斜面である。植生があっても、樹木間の距離が離れている場所では、斜度によって雪崩が起きる。

樹木が雪崩のアンカーとなるのは、樹木間の距離が5m以内と言われている。

● 形状

凸状地形（ノール地形）は、屈曲による積雪へのストレスが生じているため破断しやすく発生区となることがある。また、逆に斜度が緩くなる地点では雪崩が堆積しやすいので注意が必要である。

● 雪崩被害を増大させる地形

発生区の下部にある狭い谷では、雪崩の速度が速くなり危険度が増す。また、谷筋の底では雪崩のデブリがたまり深い埋没になりやすい。斜度が緩くなる場所でも雪崩が堆積しやすく深い埋没になりやすい。走路にある樹木や岩などは、雪崩に流された場合に衝突して深刻な外傷をもたらす。崖が下部にある場合も深刻な被害となる。

(3) 雪崩対策装備

雪崩対策装備には、雪崩遭遇者を救助するために必要な装備と、雪崩ハザード評価のための観察に必要な装備がある。

その中でも、雪崩トランシーバー（ビーコン）、シャベル、プローブは雪崩発生の可能性のある山岳に入山する際に欠かせない重要な装備となっている。図24に雪崩対策装備を示す。



図24 雪崩対策装備(左から雪崩トランシーバー(ビーコン)、シャベル、プローブ)

参考文献

- ・『雪崩教本』雪氷災害調査チーム・雪崩事故防止研究会，山と溪谷社（2017）
- ・『山岳雪崩大全』雪氷災害調査チーム，山と溪谷社（2015）
- ・『雪崩リスク軽減の手引き』日本雪崩ネットワーク，東京新聞（2010）

（飯田 肇）