

第三部

源太ヶ岳雪崩事故所見

(当事者の証言、写真および気象データからの雪崩解析)

北星学園大学教授

秋田谷英次

源太ヶ岳雪崩事故所見（当事者の証言、写真および気象データからの雪崩解析）

北星学園大学教授 秋田谷 英次

2002年1月13日、岩手県源太ヶ岳（1545m）で大学山岳部の教官2名と学生2名が雪崩に遭遇し教官1名が死亡した。この報告は本雪崩の当事者から得られた雪崩発生状況、埋没者捜索時の現場写真、その後融雪期までの雪崩事故斜面の現場写真と気象データから、本雪崩の発生原因を推定した。さらに、今後、この種の雪崩事故に遭わないために、登山者自らが雪や雪崩の特性を理解し、事前に雪崩の危険予知をする手助けとなる事を念頭においた報告書である。

雪崩発生状況

図1に雪崩事故の翌日、不明者の捜索時に撮影した空中写真を示した。

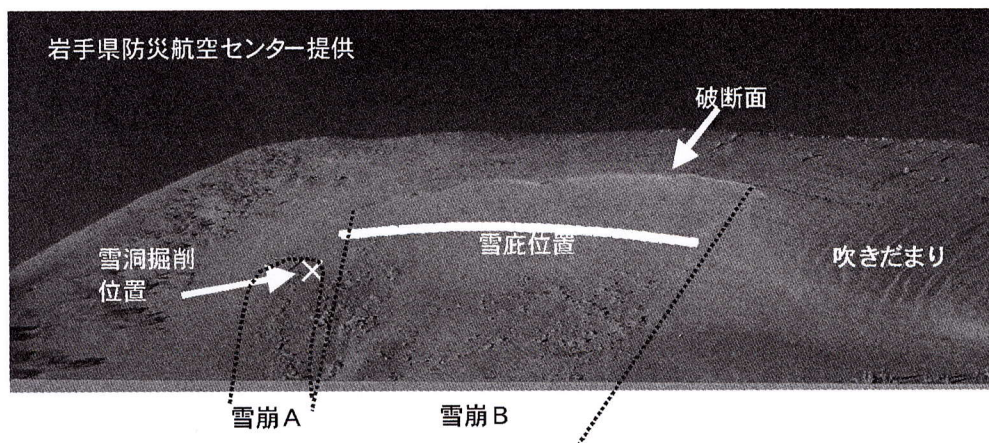


図1 雪崩斜面の全貌

写真中の書き込みは雪崩遭遇者の報告をもとに作成した。この登山パーティー一行4名は雪洞を雪庇の左側（×印）付近で掘りはじめた。雪庇崩壊による雪崩を避けるために雪庇の左側で雪庇から離れた場所を選んだ。雪洞を掘り始めて間もなく、足元の雪が動きはじめ雪崩となった。4人とも約200m流され、雪崩停止時に3名の体は埋没することなく雪面上に出て助かった。1名の姿は埋没して見当たらなかった。直ちに不明者の捜索を開始したが発見できなかった。彼らは周囲の雪の状況から2種類の雪崩が起こったと判断した。それはデブリが細かな雪塊からなる雪崩Aと大きな雪塊からなる雪崩Bとである。不明者は翌日、雪崩Bのデブリの中から発見された。生存者の停止位置から約20mあまり下方の、深さ1mの雪の中から捜索隊のゾンデで発見された。

白い点線で示した雪庇の位置は生存者の記憶によるが、右端の吹きだまりの延長と考えると、その位置は不自然でなく妥当であろう。また雪洞掘削点（×印）は雪庇を避けた位置であるが、そこは庇状に発達してていないが吹きだまりと推定される。

この雪崩の姿・形

図1に示した写真は雪崩発生翌日のもので、雪崩B上端の破断面（クラウン）が明瞭であることから、面発生乾雪表層雪崩である。雪崩Aが流れた跡には小さな雪塊が散乱していたが、Bの跡には雪塊の散乱がなかった。雪崩Aの吹きだまりの形成が新しく、まだ雪が十分に固化していないため、流れはじめてすぐに雪は小さく破碎したためであろう。また、雪崩Aに関して彼らは破断面は確認していないが、雪崩Bほど厚くなかったためかも知れない（Bで約1.5m）。雪崩Aも面発生表

層雪崩なので破断面はあったはずだ。図1は翌日の写真なので厚さの薄い雪崩Aの破断面は吹雪ですぐに埋まったのであろう。

一般に面発生表層雪崩は積雪中に弱い層（弱層）があり、その上に積もった積雪（上載積雪）が弱層の上を滑って落下したものである。上載積雪に働く重力の斜面方向の成分が弱層の強度を上回った時に雪崩となる。今回の事故は、滑ろうとする力（上載積雪の斜面方向の力）と弱層強度が均衡を保っていた時、4人の登山者の体重や雪洞掘削の衝撃が弱層破壊のきっかけを作った誘発雪崩である。弱層の上に雪庇が発達したため、その重量が弱層を破壊させるのに十分であったことになる。彼らのスケッチを基にこの雪崩の概念図を図2に描いた。

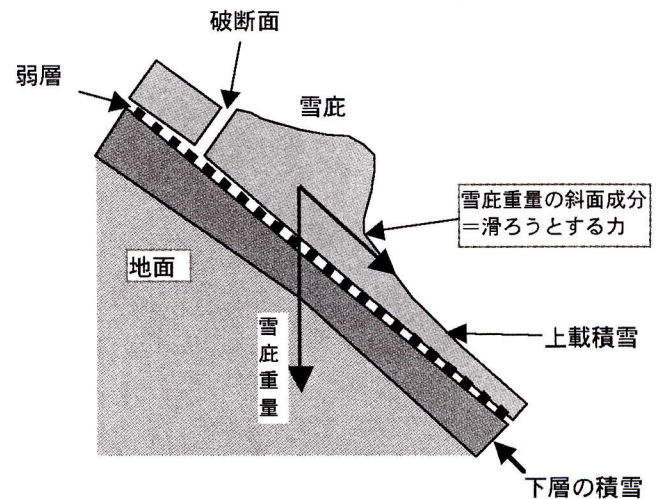


図2 雪崩の概念図

雪崩の破断面がはっきりと見え、滑り面（雪崩が流れた跡）もなだらかなのは ①積雪中に弱層があり、②それが破壊したため、上載積雪が一気に滑りだし、③滑った雪の上端に引っ張り破壊が生じてあのような明瞭な破断面が現れた、と考える。これが一般的な面発生表層雪崩の発生にいたる過程である。

雪庇または吹きだまりの概念

雪崩に遭遇した彼らは、雪洞の上3m位の所に水平方向への雪面が盛り上がった縁が見え、足元の雪が動き出したと記録している。雪洞の掘削中のため視線が低く、斜面上部の破断面は見えずに雪面が盛り上がったように見えたのだろう。これまで、雪崩Aは吹きだまりが、雪崩Bは雪庇崩壊による雪崩と述べてきた。いずれにしても吹きだまりや雪庇という大量の上載積雪が雪崩発生原因の一つであることは間違いない。ここでは雪庇の概念とその特性について解説する。雪氷辞典（1990、日本雪氷学会）によると、雪庇は地表面の起伏が緩斜面から急斜面に変化する場所に、風下側に形成される吹きだまりの一種。ときにはひさし（庇）が片持ちばりのように長く伸び、その巻き込みを伴う、とある。一方、雪氷関連用語集（1999、雪センター）によると、稜線の風下側にできる庇状の雪、と定義されている。雪庇Bは風下斜面ではあるが稜線よりもかなり下方である。雪崩後の写真を見る限りでは、積雪のため地表の起伏が緩傾斜から急傾斜に変化する場所かどうかは分からない。当事者は事故後も度々現地を訪れ、積雪や地形の調査をし多くの資料を集めた。それらの資料の中から、融雪後の雪庇のあった付近の地形が分かる写真を図3に示した。



図3 雪庇が発達した斜面形状

斜面上部の緩傾斜部分にはハイマツが、その下の急傾斜部分は笹地となっている。

稜線直下ではないが傾斜が変わる地点であるのは明らかである。当時の記憶をもとに彼らが描いた雪庇の形状も、けして庇のように伸びてはいない。

雪氷辞典によると、雪庇は吹きだまりの一種とあるが、これを「吹きだまり」とするか、また「雪庇」とするかは基準は特にない。

典型的な雪庇の断面は雪や雪崩の古典的教科書として有名な” Snow structure and ski fields” (Gerald Seligman,初版1936、3版1979) に載っている(図4)。今回の雪崩となった雪庇は図4のような庇はないので吹きだまりと言うこともできる。我が国では図4に示した雪庇各部の名称の日本語訳もなく、また雪庇の研究事例も少ない。今後、登山者等の雪庇関連の事故を防ぐには雪庇の特性や安全性に関する研究が必要ではなからうか。

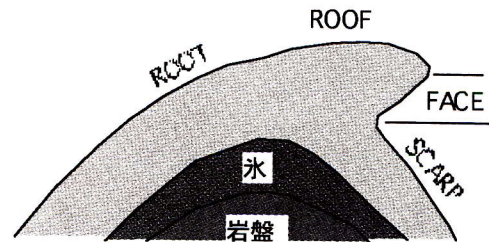


図4 雪庇各部の呼称

雪崩の原因推定

彼らは雪崩の破断面(クラウン)の厚さを1.5mとしているし、写真からもその程度の厚さと推定できる。雪庇の雪は風で飛ばされ、細かく破碎した雪粒子が堆積するのでその密度は一般の積雪より大きいのが一般的である。したがって、破断面の厚さ1.5mの雪庇重量は雪崩の駆動力として十分な大きさである。この雪崩は弱層を境にして、その上に積もった雪庇が滑落したのであるが、その弱層はどの様にして形成されたかを検討する。

弱層となる雪質は次のものが知られている。

- ①雲粒のない新雪、弱風または無風時に積もった大きな降雪結晶である。この結晶はトランプを重ねたように水平に積もるので、横からの力で簡単に滑る。一方、雲粒付結晶や強風下の降雪はランダムに積もり、枝状結晶が絡み合い簡単には滑らない。
- ②しもざらめ系統の雪(表面霜、しもざらめ)、強い放射冷却の条件でできる。積雪の表面や雪の中にできた霜の結晶でその根元は細く、簡単に壊れる。
- ③ぬれたざらめ雪、急激な気温上昇か強い日射で表面が短時間に融解してできる。日射などで雪粒子の結合部が最初に溶け、粒子同士の連結が少ないので弱い。
- ④大きなあられの層。あられそのものは硬いが、その集合はボールベアリングのように横からからの力(剪断)に弱く簡単に滑る。

これら4つの弱層の中で、1月の気象条件から③の”ぬれざらめ雪”の弱層は考えられない。①と④は現場での観察がないので、その有無は分からない。③の「しもざらめ」系の弱層は放射冷却で形成されるので気象データがあれば形成時期の推定が可能である。

図5は寒冷地や高山地帯に多いと考えられている弱層の模式図である。いずれの場合も、上載積雪の重さによって弱層内に生ずる応力が、弱層の強度を超えたときに弱層が破壊し雪崩となる(自然発生)。今回の雪崩は応力と強度が均衡していたとき登山者の刺激で均衡が破れて発生したと考えられる(誘発雪崩)。

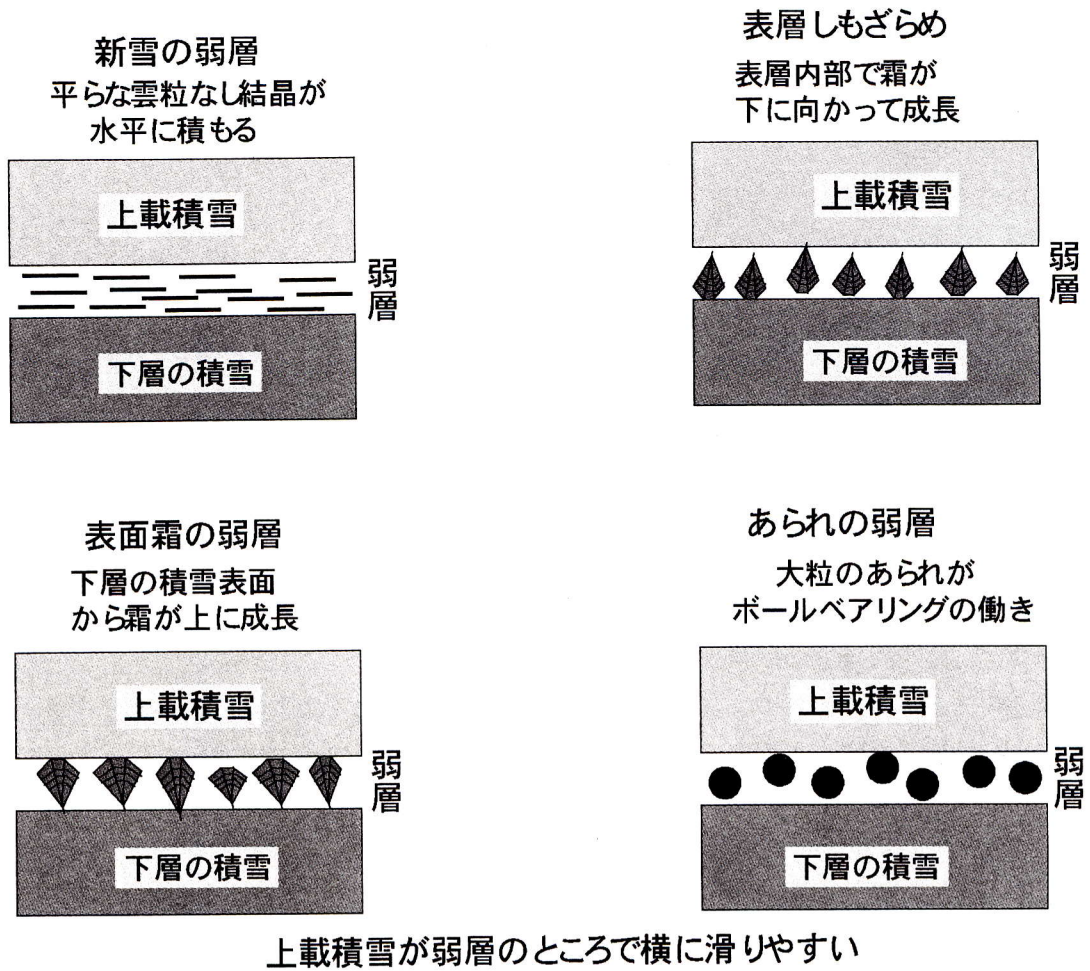


図5 4種類の弱層模式図

図6は松尾村のアメダスデータの気温と積雪深である（阿部修、2002、源太ヶ岳雪崩発生条件解析）。

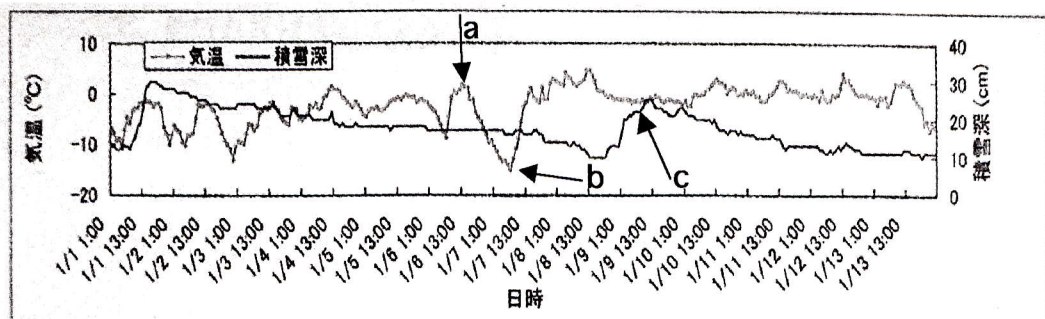


図6 松尾村のアメダスデータ（阿部修、2002）

阿部によると1月6日13時に1.7℃ (↓ a) だった気温が7日7時には-15.1℃ (← b) となっている。気象観測点の松尾村は標高275mで1000以上高い源太ヶ岳では気温はプラスにはならなかったと考えられる。6日に気温が急に上がり、7日夜には急に低下している。このような直線的な気温低下は放射冷却によるもので、6日から7日は雲が無く晴れていて風もなかったことを示している。実際、7日の風速は0～2 m/s程度であった。このような気象条件では表面には「表面霜」ができたり、積雪の表面層（最上層）の内部に「しもざらめ雪」ができる。これら2つの雪は典型的な弱層となる。8日は気温が高い状態で推移し、そのため圧密で積雪深は減少している。また8日は風速が2～6m/sとやや強い風が吹いている。表面にできた表面霜は、高温とやや強い風で消滅した可能性がある。しかし、表面の層内にできた「しもざらめ雪」は消滅せずに残っても不思議ではない。9日には強風下（7m/s前後）で降雪があり、積雪深は急に増加している（↑ c）。風下斜面には吹きだまりや雪庇ができ、雪崩となる上載積雪が一気に形成されたと考えられる。

気象条件から判断した弱層形成と雪崩発生過程（図7）

上に述べた弱層と上載積雪の形成を模式図で示し、雪崩の発生にいたる経過を再現した。

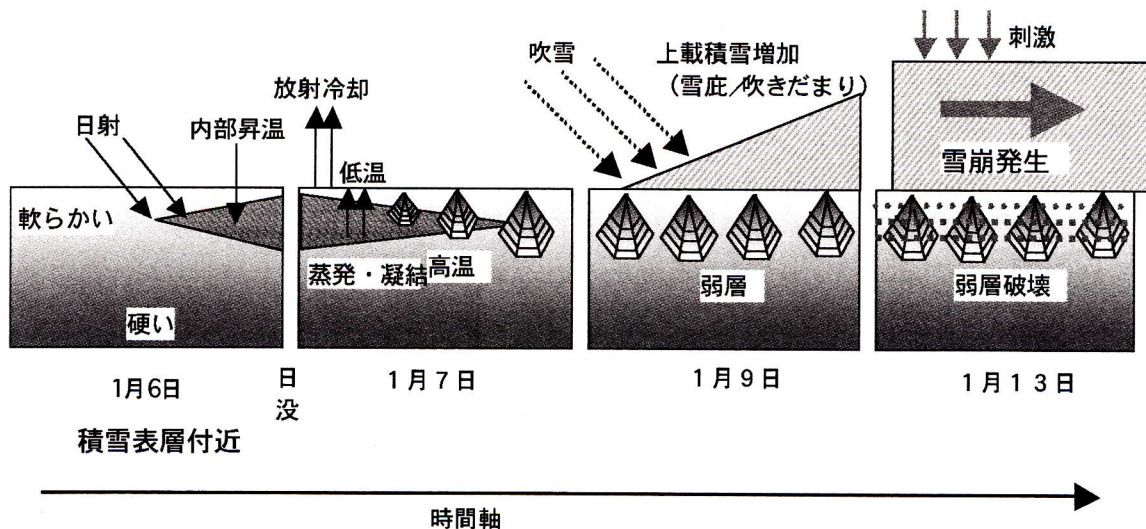


図7 今回の雪崩の原因となった弱層形成と雪崩の発生模式図

1月6日：晴天で日射があった。日射は表面の軟らかい雪を透過し、積雪内部の温度が上昇した。日射が強ければ、外気温が低くても内部の温度は上昇する（温室効果）。

1月7日：6日夕方、太陽が沈むと放射冷却で積雪表面の温度が急激に低下する。雪の熱伝導が小さいので、内部の温度低下は遅い。表面が低温、少し下が高温となる。温度の高い雪粒から蒸発が起こり、上の低温の雪粒に凝結して霜の結晶ができる。一晩で表層に弱いしもざらめの層（弱層）ができた。

1月9日：吹雪で弱層の上に吹きだまりができた。

1月13日：弱層の上の吹きだまり（雪庇、上載積雪）は不安定な状態で斜面に積もっていた。登山者による力学的刺激が弱層破壊のきっかけとなった。上載積雪は一気に弱層の上を滑り落ちた（誘発による表層雪崩）。

上に述べた雪崩発生経過は気象データから判断できる一つの可能性であるが、あられや新雪の弱層も否定できないが、アメダス気象データからそれらの推定は難しい。

2つの雪崩が同時に発生したか

前に述べたように雪崩に流されて脱出できた3人は、デブリの形態から2種類の雪崩が同時に発生したのではないかと考えた。彼らが流されたのは向かって左の小さな雪崩（幅16m）でそのデブリは小さな雪塊からなっていた（雪崩A）。雪崩Aの右側が雪崩の主流（雪崩B、幅143m）で、こ

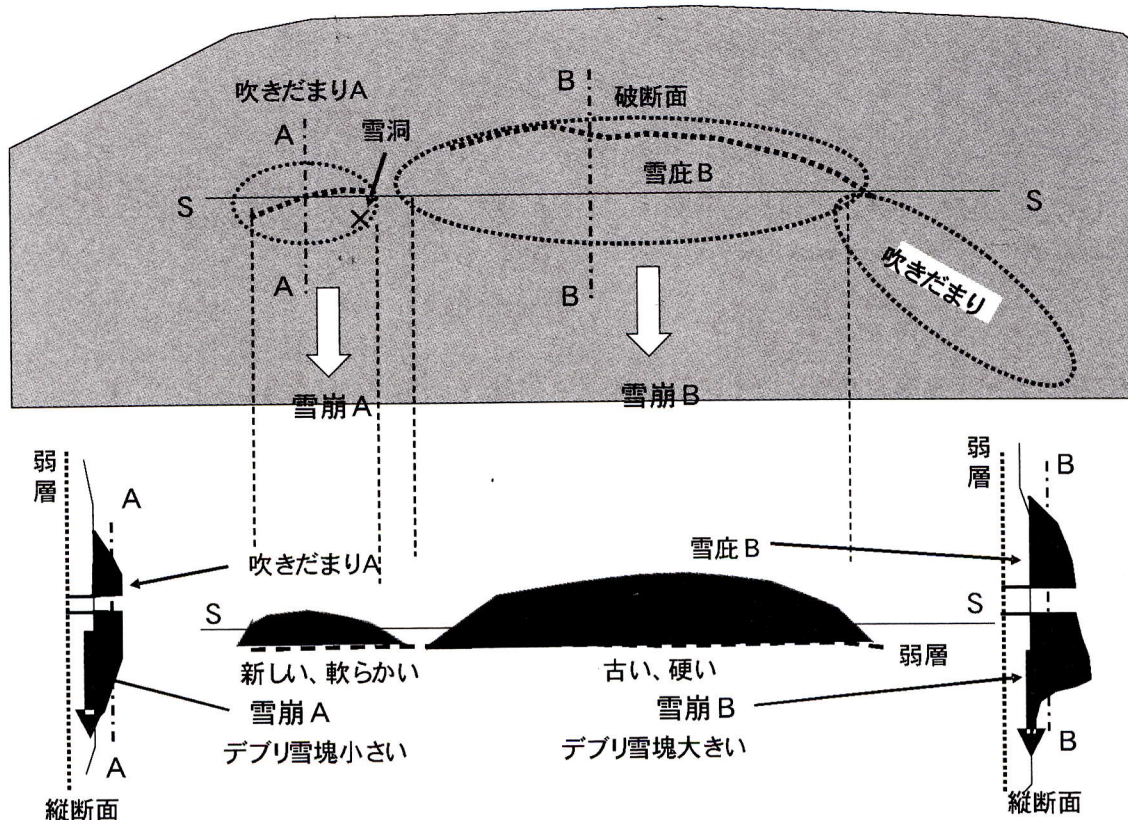


図8 2種類の雪崩の可能性

上の図のS-S線での断面を下の図に示した。最初に雪庇Bができ、その後風向が変わって吹きだまりAができた。AとBで異なった形態のデブリとなった。吹きだまりA、雪庇Bの破断直後の縦断面を左右に示した。A、Bとも弱層の上で滑っている。

のデブリは大きな雪塊からなっていて、その違いは目視でもはっきりしていたという。残り1名の遺体は、翌日雪崩Bのデブリから発見された。はたして2つの雪崩が同時に発生したのであろうか。今となってはそれを検証する材料は何もない。しかし、2つの雪崩があったとしても、それらは同じ斜面から、ほぼ同時刻に相前後して発生したのは間違いのない。2つであったか、全く同時であったかの議論は、本雪崩の発生機構や予知を考える上で重要なことではない。

ここではなぜ、雪崩のデブリが左側が小さな雪塊（雪崩A）、主流が大きな雪塊（雪崩B）からなっていたかを考える。この雪崩の発生域は吹きだまりと雪庇の上で吹雪で形成された積雪である。風的作用を受けた積雪は密度が大きく硬い。硬い雪ほど雪崩のデブリは大きな塊となる。同じ風的作用を受けても風速が大きいほど、また積もってからの時間が長いほど硬くなる。雪の粒子同士が接触して時間がたつと、接触部が太くなり強固に連結するのは焼結現象として知られている。以上の雪の特性を考慮すると、図8のように最初に雪庇Bが形成された。その後、風向が変わって最初の雪庇Bの左側に新しく吹きだまりAができたと考えられる。こうしてできた雪が崩落すると、最初にできた雪庇Bは大きな塊、あとからできた吹きだまりAは十分に硬くないので、より細かく碎け、その小さな破片の一部は斜面の途中で止まり、残りは彼らが目撃した小さな雪塊のデブリとな

ったと考えられる。

この雪崩の予知はできなかったか

彼らが雪崩の危険を事前に予知し、十分な警戒をしていれば、あるいは今回の雪崩事故は避けられたのではないかという疑問が残る。今回の登山の行動記録によると、雪崩発生の警戒をしていなかったことがわかる。同行した2名の教官にとって、この山は何度も冬季に登った実績がある山で、いままでここでは表層雪崩に遭ったことも見たこともなかった。したがって、この山では雪崩は起きないと考え、特別な警戒をしていなかったようだ。雪崩の知識がなかった訳ではなく、弱層が表層雪崩の原因であることも、弱層テストで雪崩の危険を予知できることも知っていた。雪洞を掘る位置も、雪崩の危険を避けて雪庇をはずれた位置を選んでいる（たとえば最新雪崩学入門の記述）。また、彼らは今まで冬山登山で雪崩に遭ったことがないため、警戒心がうすく、ゾンデ、ビーコン、シャベルのいわゆる3種の神器といわれている雪崩用の装備を持って行かなかった。弱層テストのことも考えたようだが、広い斜面のどこでテストをしたら良いのか、1箇所や2箇所の弱層テストで全斜面のことが分かるのかという疑問もあった。

今までこの山では雪崩は起きていないから大丈夫というのは正しくない。一般に気象で言う平均値は、過去30年間の平均を用いている。したがって、5年や10年の、しかも、年2、3回の山行では、その山の気象や積雪状態の平均値すら体験していないことになる。今までこの山で表層雪崩の跡すら見たことがないから、この山は雪崩の起こらない山と判断するのも危険である。今回のような厳冬期の表層雪崩は1回の吹雪で雪崩跡は雪で埋まり跡形も残らない。したがって、ここでは雪崩を見たことがないから、ここでは雪崩は起きないと断定するのは危険なことである。たとえ30年間その山で雪崩が本当に発生していなくても、31年目に雪崩が起こることは否定できない。自然現象では平均からずれることは当たり前のことなのだ。

次に広い斜面で1、2箇所の雪を調べても、斜面全体のことは分からないだろうというのは正しいのだろうか。吹きだまりは局所的現象なので、1、2箇所の観測で斜面全体の吹きだまりを知ることはできない。今回の雪崩の原因となった弱層はしもぎらめ雪の可能性が最も高い。しもぎらめの発達する気象要素は昼間の日射、夜間の放射冷却である。斜面の向きさえ同じなら、日射も放射冷却も場所によって大きく異なることは少ない。したがって、今回も雪崩の発生点に到着する前に弱層テストでしもぎらめを発見できた可能性は高い。弱層の上に積もっている上載積雪は、同じ斜面でも場所による違いが大きい。もし、しもぎらめが見つかり、そこでの上載積雪が数センチなら、そこでは、雪崩の危険は少ない。しかし、これから自分たちが登る途中に吹きだまりがあれば、そこでの雪崩の危険は高くなる。この斜面の麓で、あるいは雪洞地点の近傍で、あらかじめ弱層テストをしていれば弱層を発見でき、雪崩に対して警戒し、事故を回避できた可能性は大きい。

この斜面で過去に雪崩は起きていないか

彼らは、ここで雪崩に遭遇したことはなかった。だから、この斜面は雪崩が起こらない斜面だというのは正しくない。なぜなら、彼らが見ていないときに雪崩が起こった可能性を否定できないからだ。春先の全層雪崩はその痕跡が長く残るので、目にする機会は多い。しかし、厳冬期に表層雪崩が起こっても翌日吹雪けば、もはやその痕跡は残らない。図3の斜面形状や、ここでの積雪量から表層雪崩と全層雪崩のどちらが起こっても不思議はない。さらに、図3のように木がなく笹で覆われた斜面では、融雪期の全層雪崩は頻繁に起こっている可能性がある。彼らが撮影した融雪期の写真（図9）には折れた樹木が写っている。折れた位置は地面ぎりぎりではないので、表層雪崩で

折れた可能性もある。折れた木のそばに、それよりも細い（若い）木が見える。この細い木の年輪から、何年前に雪崩が起こったとは直ちに言えない。小さな木はしなやかで、雪崩に遭っても折れにくいからだ。もちろん、雪崩以外でも木が折れる要因はある。しかし、このように折れた木があることから、「ここでは雪崩は起こらない」と断定はできない。毎冬、同じ山に数回行っただけで、その山の全貌を知ることはできないのだ。

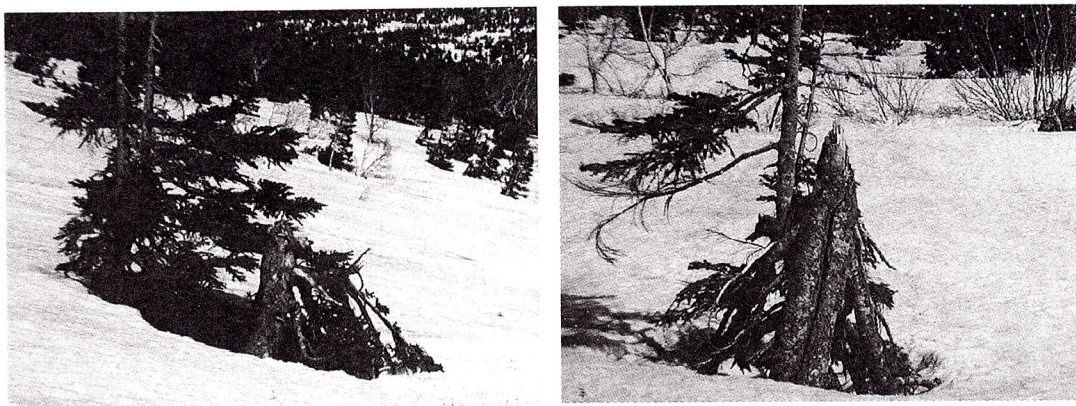


図9 雪崩斜面末端付近の折損した樹木

まとめ

雪崩当事者による雪崩前後の目撃情報、融雪期および融雪後の写真や観察記録、さらにアメダス気象データから以下のことが分かった。

雪崩の種類：面発生乾雪表層雪崩（誘発雪崩）

雪崩の発生原因：表層しもざらめ雪による弱層形成とその後の吹雪による上載積雪の増加（雪庇または吹きだまり）、さらに雪洞掘削作業による刺激。

この雪崩の予知の可能性：事故現場到達以前に弱層テストを実行していれば、弱層が見つかり、雪崩の危険を予知できた可能性は大。

埋没者の生存救出の可能性：シャベル、雪崩ゾンデ、雪崩ビーコンがあれば生存救出の可能性があった。

この雪崩から学ぶこと：

- ①雪崩の知識だけでは雪崩を避けることはできない。いざという時のために危機感をもって対処すること（弱層テストの実施、シャベル・ゾンデ・ビーコンの救出装備を持参）。
- ②ここでは雪崩を見たことがない、また雪崩に遭遇したことがない、だからここでは雪崩は起こらないと考えるのは危険。
- ③我々は山の自然に関して知らないことは沢山ある。
- ④雪崩事故直後の観察は原因究明に役立つ（弱層の種類、デブリの形状、等々）
- ⑤埋没者の生存救出のために、いわゆる3種の神器（シャベル、ゾンデ、ビーコン）は不可欠。

この報告を書くに当たり、雪崩の当事者である岩手医大の黒瀬顕氏、およびアメダス気象データを解析された防災科学研究所新庄雪氷防災研究所・阿部修氏から多くの資料を、さらに岩手県山岳協会・及川安氏撮影の写真提供を受けたことに感謝いたします。残念ながら亡くなられた岩手医大堀口教授のご冥福をお祈りいたします。最後に、登山者やスキーヤーが悲惨な雪崩事故に遭わないことを心から願います。

参考資料

源太ヶ岳雪崩発生条件解析. 阿部修. 2002. 防災科学研究所 雪氷防災研究部門

Snow Structure and Ski Field (The third edition). Gerald Seligman. 1979. International Glaciological Society.

最新雪崩学入門. 北海道雪崩事故防止研究会編. 1996. 山と溪谷社

決定版雪崩学. 北海道雪崩事故防止研究会編. 2002. 山と溪谷社

岩手医大ホームページ「源太ヶ岳雪崩事故」

本雪崩当事者のメモと説明

表層雪崩、ビーコンがあれば. 岩永晶子. 岳人、2003. 1. 中日新聞東京本社