

# あられの弱層について

飯田 肇 (立山カルデラ砂防博物館)

面発生表層雪崩の要因となる積雪内の弱層には、1)降雪結晶 2)しもざらめ雪 3)表面霜 4)濡れざらめ雪 5)あられ の5種類が知られている。このうち、あられの弱層に着目して、その強度と雪崩事故例、近年の傾向について、これまでの研究等を概観してみる。

## 1. あられ弱層の特性

あられは雪結晶に過冷却雲粒がびっしりと付着したものだ(写真1)。球状で硬く、粒径が1cm近いものまでみられる。このため粒同士の接触点が少ない、また硬いため圧密が進まず、長時間弱層として残存することが知られている。

図1に雪崩弱層としてどんな種類の雪質が多いかについて調査した結果を示す(馬場, 2004)。これを見ると、北海道の例ではあるが、降雪結晶の弱層、こしまり雪の弱層に続いて、あられは3番目に多くなっている、1冬期間で16回出現している。日本海に面し冬期に雷が多く発生する北陸地方等では、積乱雲が発達してよりあられが多く降ることが予想され、積雪内におけるあられ層の出現頻度がより高くなると考えられる。

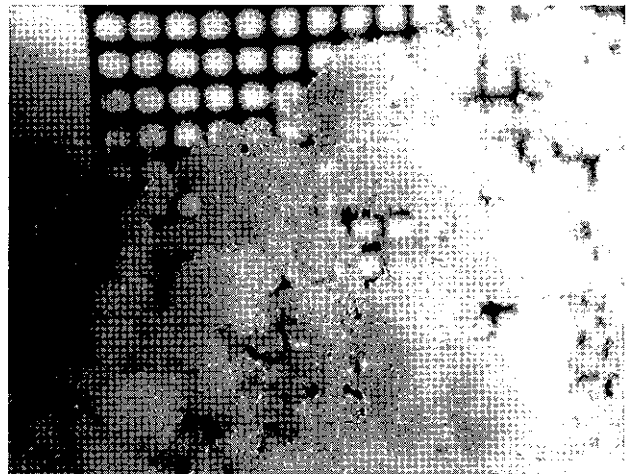


写真1 あられ

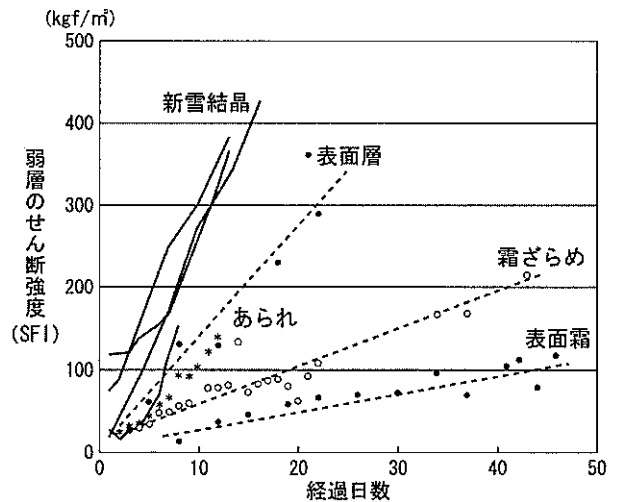


図2 弱層の寿命(海原, 1999)

また、図2に弱層の寿命について調査された結果を示す(海原, 1999)。新雪結晶、あられ、しもざらめ雪、表面霜の弱層についてせん断強度(SFI)の時間変化を観測した例だが、50日間におよぶせん断強度の変化をみると、時間を経ても弱いままなのは、表面霜、しもざらめ雪、あられ、表面霜、新雪結晶の順となり、あられは5種類の弱層のちょうど中間に位置している。

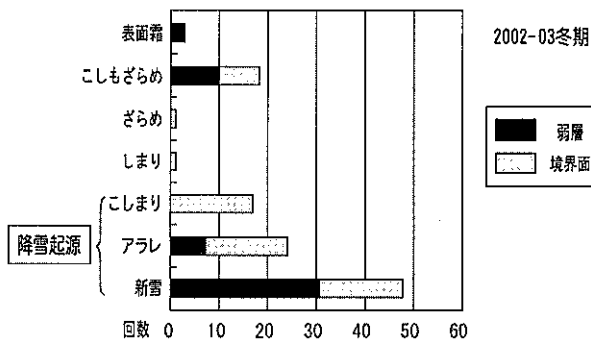


図1 雪崩弱層の出現頻度(馬場, 2004)

#### 4. 雪崩に関する調査研究

また、最近の研究として、札幌周辺で多量のあられが観測された際、2深度のあられ層についてせん断強度の変化を測定した例がある(山野井, 2005)。このあられは、2004年12月23日および2005年1月13日の降ったもので、12/23の層は厚さが9cm、粒径は5~10mmにも達した。また、1/13の層は厚さ4cm、粒径2~5mmであった。

図3に測定されたせん断強度と雪温の変化を示す。初期の10日間程度では、せん断強度は小さい値で維持され、粒径による違いはみられない。その後雪温が上昇するにつれて、1/13のあられ層はせん断強度が急激に上昇した。12/23のあられ層も雪温の上昇に伴うせん断強度の増加はみられたが、せん断強度が1000Pa以下の状態が約1ヶ月間維持されて、弱層として残存していた。これらの結果から、あられ層は、雪温の急激な増加を受けるまでは、かなり長期間にわたりせん断強度が弱い状態で弱層として維持されると考えられる。

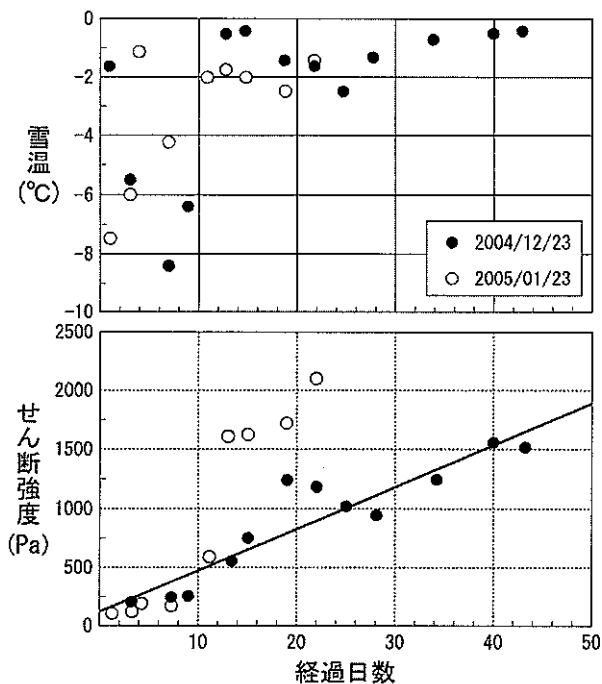


図3 あられ層のせん断強度と寿命  
(山野井, 2005)

#### 2. あられの弱層による雪崩事故

次に、あられの弱層が要因となって発生したと考えられる雪崩事故について見てみる。

##### (1) 劔岳早月尾根

1997年12月31日、北アルプス劔岳早月尾根の標高2850m付近の稜線にて、東京の岩峯登高会、新潟の三条山岳会のパーティー6名が雪崩にまき込まれ、うち5名が行方不明になる事故が発生した。事故報告書(1998)より雪崩の状況を見てみる。

事故発生時、稜線上から雪が崩れたことより雪庇の踏み抜き事故との報道がなされた。しかし、事故当時の写真(写真2)をよく見ると、稜線上のトレースを境に雪面が切れ落ち、その延長上に厚さ50cm程度の破断面が顕著にみられ、典型的な面発生表層雪崩の跡と思われた。もし、

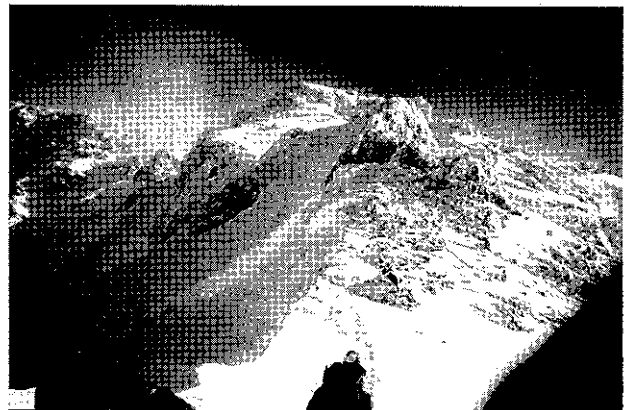


写真2 劔岳遭難事故現場

庇状の雪庇を踏み抜き転落し雪崩を誘発したなら、雪崩の破断面は稜線のトレースと連続せずそれよりも下側の斜面になければならないので、この事故は雪庇踏み抜き事故ではなく雪崩事故ということになる。発生した雪崩の規模は、流路延長約2000m、高度差約1000m、幅約60~100mに及ぶ大規模なものであった。

まず当時の気象状況を見てみる。近隣の立山室堂平(標高2450m)における1997年12月の積

雪深と降雪深（前日9時から当日9時までの積雪深の差：1日に降った雪の深さ）および気温、風向・風速を図4に示す。また、事故前の天気状況を表1に示す。図4、表1より、事故前低気圧の通過後午後から一時的に冬型となる

が、翌31日の早朝には急速に弱まり好天となった。この期間顕著な降雪があったのは、12月21日に20cm、26～27日に10cm、30～31日に40cmであった。劔岳早月尾根上部では、これよりも多い降雪が予想されるが、降雪時期や傾向は類似

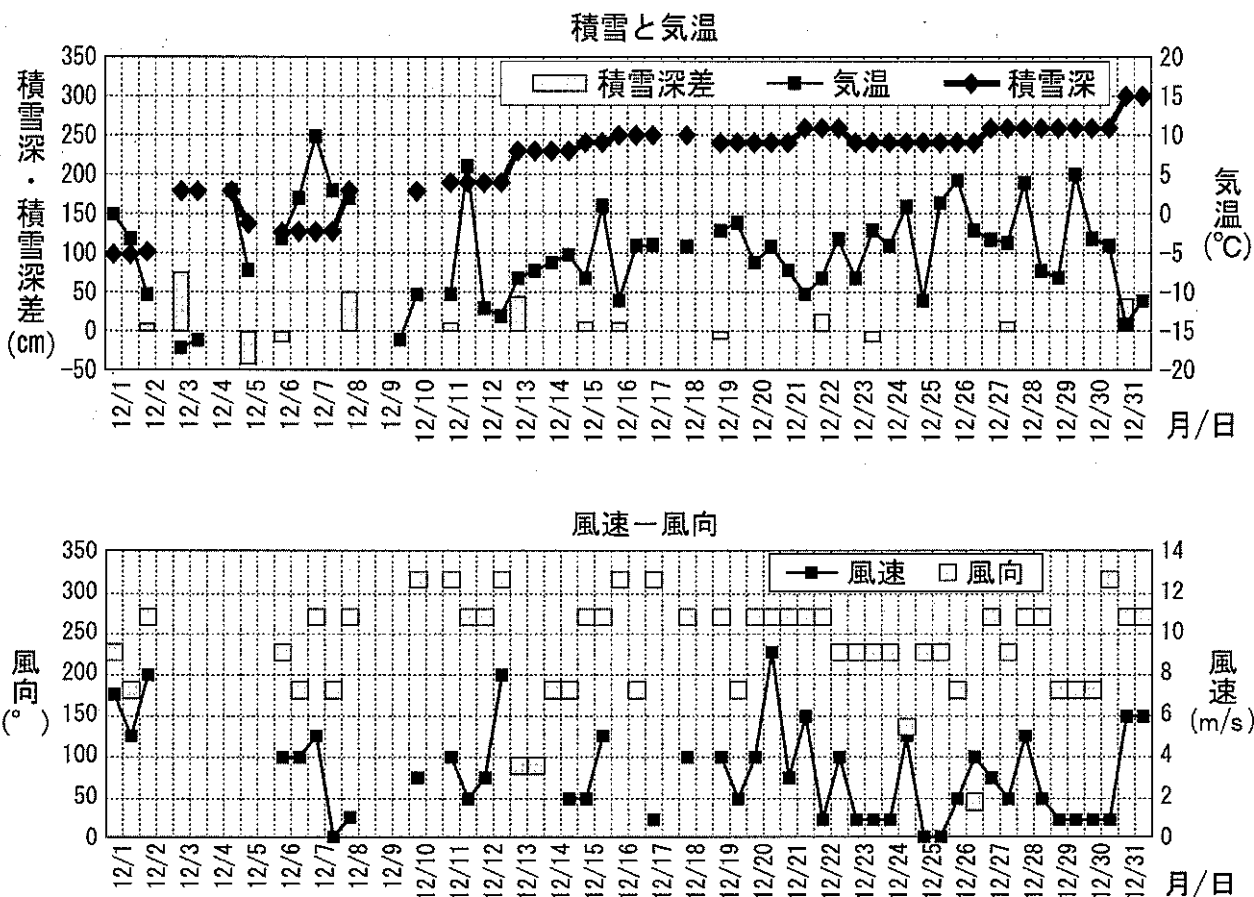


図4 立山室堂平における気象状況（1997年12月）

表1 立山・室堂平での天気変化と気象状況（天気：立山黒部貫光調べ）

月日	天気	概況
12月20日	曇→雪	寒冷前線通過
21日	曇→雪	冬型
22日	晴→曇	移動性高気圧接近
23日	晴	移動性高気圧
24日	快晴	移動性高気圧
25日	快晴	移動性高気圧
26日	快晴→曇→雪	移動性高気圧，17:30 輪島で強風（瞬間風速40.2m/s）
27日	雪→曇	夜に北日本を低気圧が通過
28日	曇時々小雪	弱い冬型
29日	快晴→曇→雪	移動性高気圧，夜半に南岸低気圧通過
30日	雪	南岸低気圧の通過→午後から一時的に冬型 16:20 雷波浪注意報発令
31日	雪→晴→曇	冬型急速に弱まる

#### 4. 雪崩に関する調査研究

していたと思われる。また、気温、風について見ると、12月20日以降は全般に気温が高く風速も弱く穏やかな日が多かったことがわかる。しかし、低気圧の通過に伴い29日後半から気温が上がり、30日には冬型へと移行し気温が低下し風速が増している。31日は弱い冬型で気温が低く風の強い状態が続いた。

では、雪崩の要因となった弱層は何だったのだろうか。事故当時劔岳に入山した福岡山の会島津氏が、事故前と事故後に劔岳周辺で積雪断面観測を実施し、貴重なデータを得ている（島津，1998）。図5に、観測結果を示す。●はしまり雪、○はざらめ雪、+は新雪、∧はこしまり雪をそれぞれ示す。図より、まず12月28日の積雪層をみると、表面から10cm下までは、26～27日朝までの降雪と考えられる新雪の層がある。そしてその下に、40cmにもおよぶざらめ雪層があり、その中に弱層（かなり丈夫で今回の雪崩の直接の原因とはなりにくい）がみられる。ざらめ雪層は、融解・再凍結を繰り返して大粒となるもので、暖かい時期があったことの証拠となる層である。12月21日の降雪が22～26日にかけて高気圧に覆われ日中の気温が上がった時期にざらめ雪化したと考えられる。その上部の層は、26～27日早朝までの新雪であろう。この時

の積雪層には、事故の原因となった弱層はまだ含まれていない。

次に、事故の翌日の1月1日に事故現場に近い劔岳早月尾根で行われた断面観測結果をみてみる。図中、下から20～30cmにざらめ雪層があり、その中かなり丈夫な弱層がみられる。これは28日の断面のざらめ雪層と対応していると考えられ、21日の降雪が22～26日にざらめ雪化したものであろう。さらに、下から30～60cmのこしまり雪層は、26～27日の降雪と30日の低気圧通過およびその後の冬型の降雪を反映していると考えられる。

問題は、その上部の0.2cmの薄いあられ層である。この層は、福岡山の会の行った弱層テストでは手首で引くと切れた。この層こそ、今回の事故を誘発した雪崩の弱層である可能性が高い。

あられは、寒冷前線通過時などに発達した積乱雲から短時間にまとめて降ることが多く、粒の大きさがそろっているので、短時間に層を形成しやすい。これまでの観測でも、北アルプス北部の立山・劔岳周辺では、海との距離が近いためか降雪中にあられが降ることが多い。30日の16:20に富山県に雷波浪注意報が発令されているが、この時間帯に対流性の積雲が特に発達してあられが降ったことが予想される。このあられ層の上の雪は、30～31日早朝にかけて降った新雪で、この層が上載積雪となり雪崩が発生したと考えられる。

今回は、事故後の積雪断面観測が実施されていたので、雪崩誘発のきっかけとなった弱層に対して予測がついた。しかし、この観測がなかったら、しもざらめ雪の弱層の可能性も考えられた。厚い積雪層中でもしもざらめ雪が形成され

事故現場近くでの積雪構造  
(原図：島津(1998)を加筆)

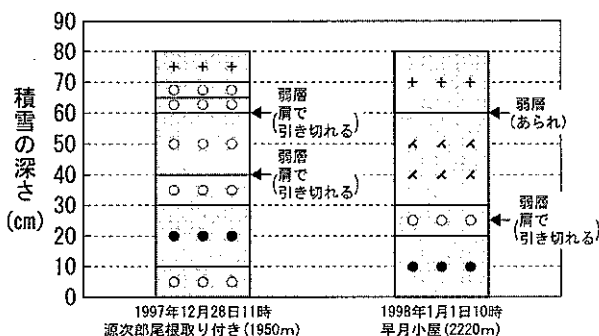


図5 劔岳での積雪断面観測結果

る条件は、①昼間の日射 ②夜間の放射冷却 ③わずかな新雪 の3点である。今回のケースでは、22～26日および29日にこの条件を満たす可能性のある日がみられたが、実際には条件がそろわずしもぎらめ雪は形成されていなかったようだ。

現在のところ、山岳地域で、気象条件のみから弱層の形成を正確に予知することは難しい。やはり積雪断面を見るのが一番であり、現場で弱層テストを実施することがたいへん重要となる。

### (2) 立山浄土山

2005年11月23日午前11時頃、立山浄土山の北側斜面（標高約2700m付近）で雪崩が発生し、付近でスキーをしていた10数名が巻き込まれ、そのうち横浜市の社員が生き埋めとなった。このとき雪崩に巻き込まれたパーティのほとんどは雪崩ビーコンを携行していて、遭難者もビーコンにより約15分後に発見され富山県山岳警備隊員により搬送されたが、約4時間後に病院で死亡した。死因は窒息とみられる。

この雪崩の翌日に、現場に近い室堂平（標高2450m）で積雪断面観測を実施した。結果を図6に示す。積雪深は150cmでこの時期としては平年並みであったが、積雪中・上層にあられ混じりの雪層が多くみられたのが大きな特徴であった。特に90～100cm付近のあられ層は顕著で、弱層テストでも手首で破断した。また、この層の上部の積雪中にもあられが多く含まれ、上載積雪自体も脆い状態であった。さらに雪温は上層で $-5^{\circ}\text{C}$ 程度と寒冷で、積雪の変態も進みにくい状況だったと考えられる。

また当時の天候を見ると、10月下旬より寒気が入り冬型の気圧配置の頻度が増し、寒冷な状

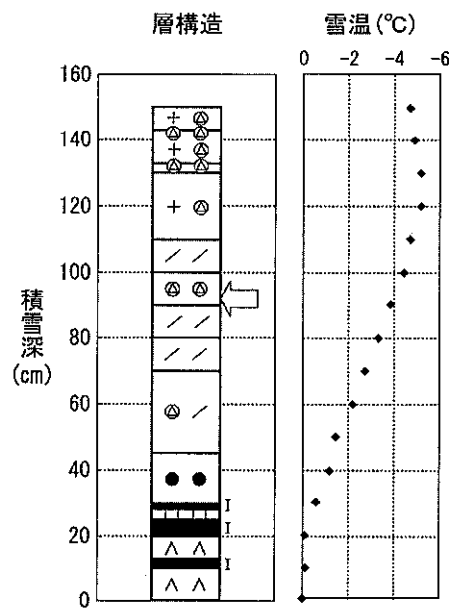


図6 室堂平での積雪断面観測結果  
(△はあられ、⊖はあられ弱層を示す)

態が続いていた。上空に寒気が流入した際に大気が不安定となり対流性の積乱雲が発達し、あられの降る頻度が高くなっていったものと考えられる。

これらより、この雪崩の発生要因として、あられの弱層による表層雪崩を誘発した可能性が高い。また、事故現場が吹きだまりで積雪上層全体にあられが集中して堆積し、上載積雪もたいへん脆かったと考えられる。これらより雪崩の発生様式は、典型的な面発生表層雪崩というよりも複合型（面発生と点発生の間中型）であった可能性が高い。

### (3) 劔岳長次郎谷

事故例ではないが、季節はずれの時期に厚いあられ層が堆積し、雪崩事故の危険度が増した例が報告されている。

2005年5月26日、文部科学省登山研修所夏山研修の事前偵察メンバーの小林亘氏、佐伯岩雄氏が劔岳長次郎谷左俣を登り稜線のコル付近に達した際、異様に脆い積雪に遭遇した。雪崩の

#### 4. 雪崩に関する調査研究

危険を感じた一行は行動を中止し、付近で断面観測を実施した。その際、コルの斜面では、断面中に数層の厚いあられ層が確認された（写真3）。あられ層の厚さは10cm、粒径は3～5mmに達した。スコップを入れると崩れ落ちるほど脆かった。またコル付近の吹きだまりでは、積雪全層があられで、砂山のように崩れる場所もみられた。場所によっては十分に雪崩の危険があったと考えられる。

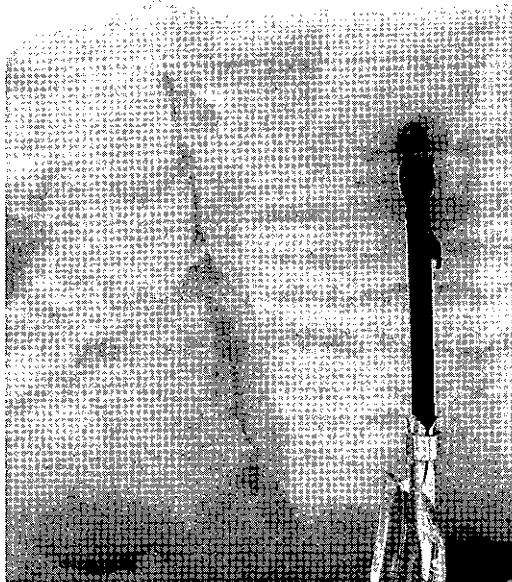


写真3-1 積雪内のあられ層



写真3-2 あられ層

当時の天候をみると、5月に入ってからでも数回低気圧の通過に伴う寒冷前線の通過がみら

れる。特に、18～19日に日本海低気圧の寒冷前線が北陸地方を通過し、この際大気が不安定となり多量のあられが降った可能性がある。あられは転がりやすいため、強風時に吹きだまりに集中的に堆積しやすい。観測現場はちょうどそのような危険地帯になっていたのだろう。

このように、5月下旬という時期になっても条件が整えばあられの弱層による雪崩が発生する可能性があることが示唆された。

他にも、岩木山における2002年1月19日の雪崩事故も、当時付近で雪崩講習会を開催していた日本雪氷学会の和泉 薫氏（新潟大学積雪地域災害研究センター）により、あられの弱層が要因になったと推測されている（阿部, 2003）。

#### 3. 最近の天候とあられ

冬期間日本海側の山岳地域に降雪をもたらす天気図型には、冬型と低気圧型がある。

図7に、冬型と低気圧型（L型）の出現頻度の経年変化を示す。従来冬季は、冬型の気圧配置が発達し数日間以上継続することが多く、日本海側の地域に豪雪がもたらされるといわれた。例えば北陸地方が豪雪であった1980～81年冬季をみると、冬型が低気圧型の1.5倍の頻度で出現している。ところが、1980年代後半より、冬型と低気圧型の頻度に逆転がみられるようになった。1988年以降、低気圧型の頻度の方が高い冬季が続いている。

このことは、多野（2003）でも指摘されている。

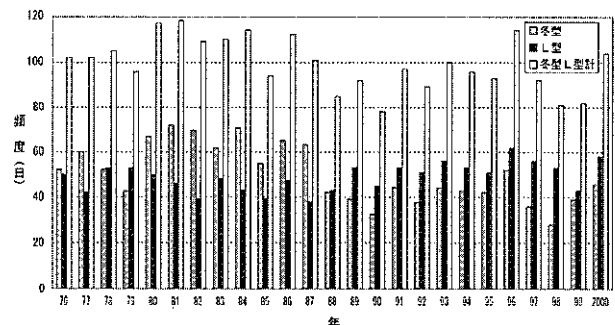


図7 冬型と低気圧型の出現頻度

近年の日本付近の冬季気象の特徴は、低気圧が日本海で急発達するパターンが多く、1月でも南岸を東進する低気圧が発生しやすいことがあげられる。また、冬型の気圧配置が長続きしないことも特徴である。

このような気象条件下、日本海側の山岳地域では、低気圧通過に伴う寒冷前線の通過等により対流性の積乱雲の活動が活発となり、あられを伴って降る降雪がより多くなると考えられる。雪崩についても、あられの弱層に対する注意がより必要となるであろう。

以上、あられの弱層についてその研究事例や事故事例を見てきたが、どの山域で積雪中にどのくらいあられ層が形成されるかについてのデータがあまりに不足しているのが現状である。今後、調査事例を収集するとともに、登山者間でも雪崩弱層等に関する情報ネットワークが発展することを期待したい。

## 参考文献

- 阿部幹雄(2003)：ドキュメント雪崩遭難，山と溪谷社。
- 海原拓哉(1999)：しもざらめ雪弱層の強度変化及び圧縮に関する研究，平成10年度北海道大学大学院地球環境科学研究科修士論文。
- 島津好男(1998)：1997. 12. 31北アルプス劔岳雪庇踏み抜き雪崩誘発事故前後の積雪構造と天気，せりふ，福岡山の会。
- 多野正一(2001)：近年の北陸地方における冬季気象の変化と特徴，登山研修VOL.17，58-62。
- 劔岳遭難経過報告書(1998)：岩峯登高会劔岳池ノ谷遭難対策委員会。
- 劔岳遭難経過報告書(1998)：三条山岳会劔岳池ノ谷遭難対策委員会。
- 馬場恵美子(2004)：雪崩の発生予測に関する研究，平成15年度北海道大学大学院地球環境科学研究科修士論文。
- 山野井克也(2005)：あられ層のせん断強度と寿命，2005年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集，83。