

## 低気圧性の降雪により 2014年2月9日に山形県西川町で発生した雪崩の特徴

中村一樹\*・小杉健二\*

### Characteristics of Avalanches Caused by a Cyclonic Snowfall on February 9, 2014 at Nishikawa-machi, Yamagata Prefecture

Kazuki NAKAMURA and Kenji KOSUGI

\* Snow and Ice Research Center;

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

kazuki.snow@bosai.go.jp

#### Abstract

Avalanches occurred along Route 112 at Nishikawa-machi, Yamagata Prefecture at about 07:00 JST on February 9, 2014. This route was closed for snow removal for 5 h. A weak layer was formed in the upper part of the snowpack with unrimed snow particles from stratus clouds that formed in the northern part of a low-pressure system under weak wind conditions in the afternoon of February 8, 2014. We concluded that the snowpack became unstable due to snowfall on the weak layer coming from clouds that developed around the center of the low-pressure system during the night of February 8 to the morning of February 9 and natural avalanches occurred consequently.

**Key words:** Avalanche, Cyclonic snowfall, Weak layer, Unrimed snow particles

#### 1. はじめに

2014年2月9日午前7時前に、通行車両から国土交通省へ山形県西川町大字砂子関地内の国道112号沿いで雪崩が発生したとの通報があった(図1参照)。雪崩が確認されたため通行止めとなり、堆積した雪の除排雪作業が行われ、約5時間後に通行可能となった。2014年2月8日～9日にかけて通過した南岸低気圧がもたらした降雪により生じたこの雪崩の特徴を明らかにするために本調査を実施した。

#### 2. 調査方法

2014年2月10日11時50分～13時10分に、西川町砂子関の現地において雪崩発生状況調査、及び表層雪崩破断面での積雪断面調査(N38°27'27.2", E140°02'45.9", 標高410m)を実施した。表層雪崩発生地点の写真と断面観測位置をそれぞれ図2に示す。



図1 調査地点位置

Fig. 1 Location of the Shinjo Cryospheric Environment Laboratory, Snow and Ice Research Center, NIED (circle in the upper part) and avalanches (circle in the lower part).

\* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

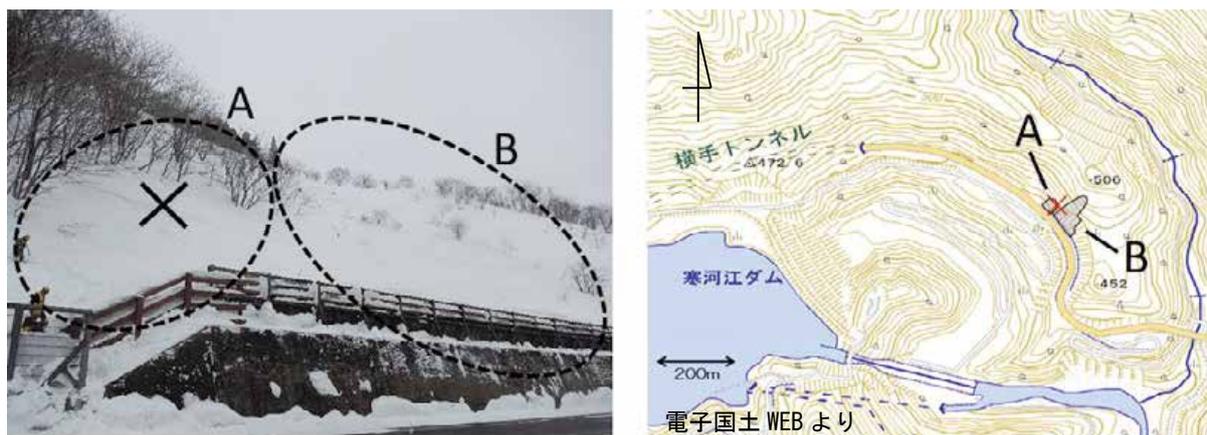


図2 西川町国道112号沿いの表層雪崩発生地点(左写真真点線内にA, Bの2つの雪崩を確認, ×は破断面の積雪断面観測位置を示す)。

Fig. 2 Avalanches observed along Route 112 at Nishikawa-machi (two avalanches A and B, ×: Site of snow pit observation at the starting zone of avalanche A).

### 3. 調査結果

雪崩発生状況調査結果と積雪断面調査結果を以下に示す。

#### 3.1 雪崩発生状況調査結果

雪崩発生状況調査により雪崩発生状況や雪崩斜面の積雪状況について把握した。大小2カ所の雪崩は、南西向き約35度の法面で生じ、破断面を有し発生区のすべり面が積雪中であったこと、及び雪温が氷点下であったこと(後述)から面発生乾雪表層雪崩と判断された。

図2左写真の斜面に向かって左の雪崩Aは、雪崩全長の水平距離約30m、堆積区幅約33m、発生区斜面に向かって右の雪崩Bは雪崩全長の水平距離約100m、堆積区幅約74m(国土交通省現地調査資料図より読み取り)であった。発生区、堆積区の標高も含め調査結果を表1に示す。

表1 雪崩発生状況調査結果。

Table 1 Result of our field observation of avalanches in Nishikawa-machi, Yamagata Prefecture on February 10, 2014.

要素	雪崩A (破断面調査)	雪崩B
発生区傾斜角 <sup>※1</sup>	約35°	
斜面方位 <sup>※1</sup>	南西	
雪崩全長(水平距離) <sup>※1</sup>	約30m	約100m
堆積区の幅 <sup>※1</sup>	約33m	約74m
発生区標高 <sup>※1</sup>	約410m	約470m
堆積区(国道路面)標高 <sup>※2</sup>	約390m	約390m

※1 国土交通省現地調査資料及び地形図より推定

※2 ハンディGPSにて位置を測量し、地形図より標高を推定

#### 3.2 積雪断面調査結果

図3に雪崩Aの破断面における積雪断面観測結果(重力方向に対する深さ)を示す。また、図4に破断面の写真と雪質(左)、及び高さ120cm付近の雲粒付着無し降雪結晶(右)を示す。

積雪深は145cmで、地面から108~118cmにやや硬いこしまり雪・新雪の層、その上の118~123cmに角板状、扇状、樹枝状結晶等から構成される雲粒無し降雪結晶の弱層があり、不明瞭なすべり面となっていた。123~134cmの新雪・こしまり雪と134~140cmの新雪・こしまり雪・ざらめ雪の層が雪崩発生時の上載積雪に該当したと考えられる。140~145cmは新雪であった。積雪表面を除き、80cmより上の層は氷点下を保っていた。高さ120cmと130cmの密度(120cm:0.09g/cm<sup>3</sup>, 130cm:0.09g/cm<sup>3</sup>)と硬度(120cm:0.02kg·f/cm<sup>2</sup>, 130cm:0.02kg·f/cm<sup>2</sup>)は積雪表面の新雪を除くと最も小さい値となった。

積雪安定度SIを求めるために必要なせん断強度(SFI: Shear Frame Index)の測定は、シアーフレームを用いて積雪を破壊してせん断強度(Pa)を直接測定するのが一般的である。ただし、積雪層内の層ごとに細かく測定するためには、ある程度の広さと時間が必要になる。

本調査では、短時間で、場所を取らずにSFIを測定し、積雪安定度SIを求めるために、プッシュゲージを用いて積雪の硬度H(Pa)を測定し、せん断強度に変換する方法を選択した。式(1)に硬度をせん断

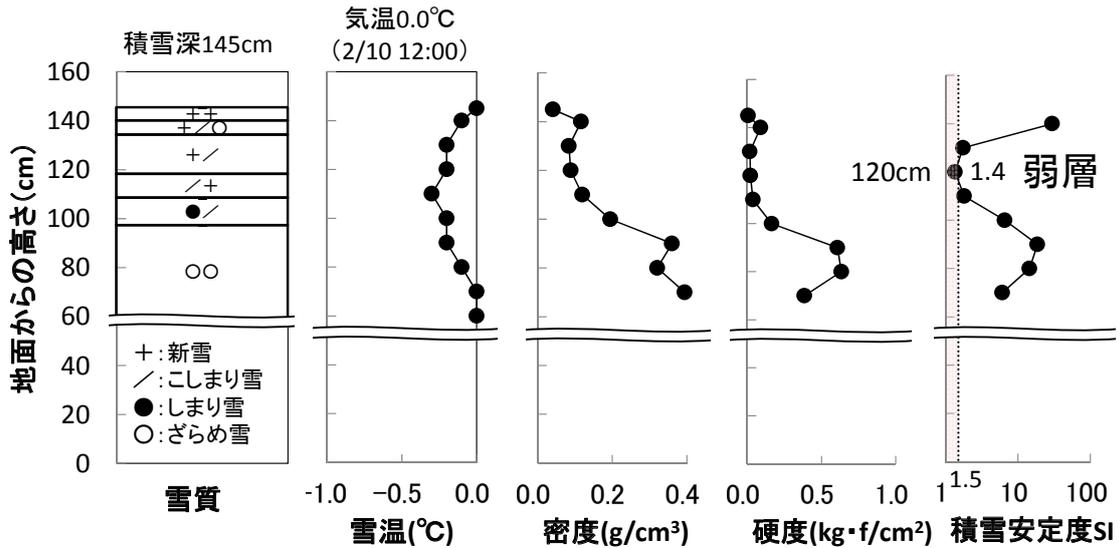


図3 破断面における積雪断面観測結果(地面からの重力方向の高さ)  
 Fig. 3 Result of snow pit observation (height of the gravity direction from the ground) at starting zone of avalanche A along Route 112 on February 10, 2014.



図4 破断面と雪質(左), 及び高さ 120 cm 付近の雲粒付着無し降雪結晶(角板状, 扇状, 樹枝状結晶)(右)  
 Fig. 4 Left photograph: Crown snow surface of the avalanche along Route 112 at Nishikawa-machi (February 10, 2014). Right photographs: Unrimed snow particles (plate-type crystal, sector-type crystal and dendrite-type crystal) at approximately 120 cm high in the snowpit.

強度に変換する式を示す(山野井ら, 2004).

$$\text{せん断強度 } \sigma(\text{Pa}) = 0.0180 H^{1.18} \quad (1)$$

ここで,

H: 直径 15 mm の標準アタッチメントを用いた  
 プッシュゲージによる硬度の測定値(Pa)

積雪安定度は, 式(2)で表される.

$$\text{積雪安定度 } SI = \frac{\sigma}{W \sin \theta \cos \theta} \quad (2)$$

ここで,

$\sigma$ : せん断強度(Pa)

$W \sin \theta \cos \theta$ : せん断応力(Pa)

W: 水平単位面積当たりの上載荷重(Pa)

$\theta$ : 斜面の傾斜角(°)

式(1)で求めたせん断強度を式(2)に代入すると、積雪安定度を求めることができる。

図3に示すように、雲粒無し降雪結晶の弱層に対応して、高さ120 cmの積雪安定度SIが1.4となった。統計的にはSIが2~4程度の低い値の場合に雪崩が発生することが多く、アメリカやカナダでは、SI=1.5を基準値として用いている。このことから、雪崩発生現場では、積雪は不安定な状態であったと判断される。ただし、今回算定したSI=1.4は、雪崩発生後に降ったと考えられる140~145 cmの新雪を含む2月10日の調査時12時前後の値である。140~145 cmの新雪を除いて算定したSIは1.8となり、やはり雪崩の危険性が比較的高い値となった。9日の雪崩発生時には、雲粒無し降雪結晶の弱層により積雪が10日よりも不安定で、雪崩の危険性はさらに高かったと思われる。

#### 4. 考察

2月8日午後から9日にかけて、本州の南岸を発達した低気圧が通過し、山形県内でも広い範囲で降雪となった。新庄市では、8日18時~20時頃に雲粒無し結晶の降雪を確認した。この降雪による積雪の形成を確認するために、2月9日10時~11時に防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所敷地内(N38°47'24.8", E140°18'41.8", 標高127 m)で積雪断面観測を行った。図5に新庄における積雪断面観測結果を示す。なお断面観測は平地で行ったため、積雪安定度SIは他項目をそのままに傾斜角35度として試算した。また、図6に高さ134 cmの雲粒無し降雪結晶と138 cmの雲粒付き結晶を示す。どちらも主に角板状結晶である。西川町雪崩破断面と同様に、雲粒無し降雪結晶に対応した低密度、低硬度の弱層が135 cm付近に認めら

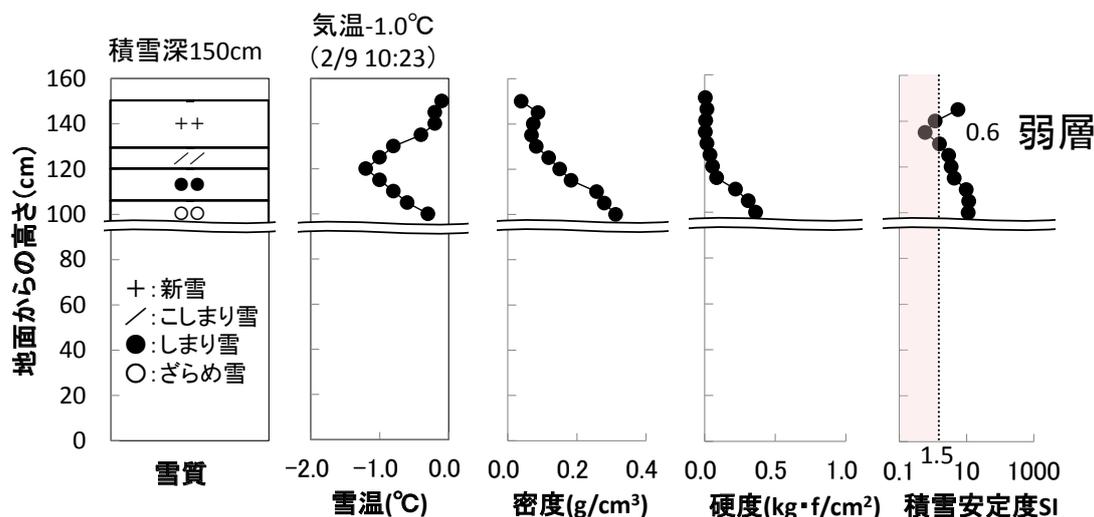


図5 新庄における積雪断面観測結果(積雪安定度は他項目をそのままに傾斜角35度として試算)  
 Fig. 5 Result of snow pit observation at Shinjo on February 9, 2014 (the Snow stability index was calculated at an inclination angle of 35°).

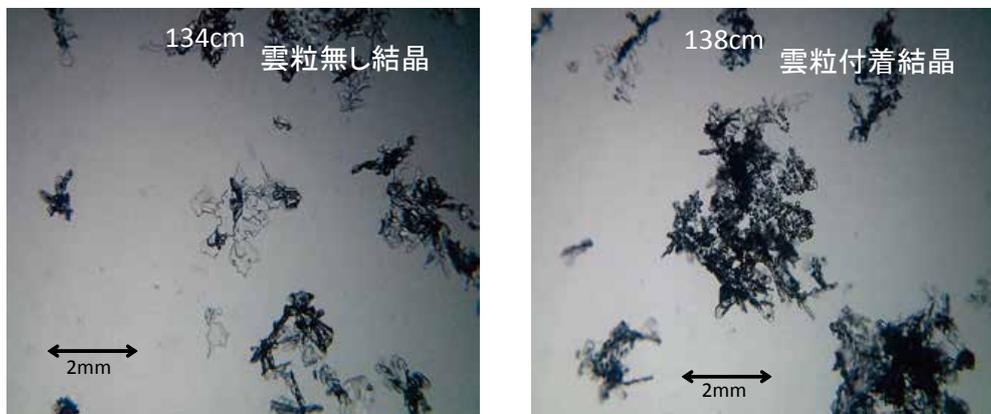


図6 新庄で観測された高さ134 cmの雲粒無し降雪結晶(左)と138 cmの雲粒付き結晶(右)(矢印は2 mm).  
 Fig. 6 Left photograph: unrimed snow particles at 134 cm high in the snowpit. Right photographs: rimed snow particles at 138 cm high in the snowpit at Shinjo (1 scale is 2 mm).



図7 気象の検討に用いた気象観測所 大井沢アメダス(南西に約9 km, 標高440 m), 月山姥沢観測所(北西に約7 km, 標高1,150 m)

Fig. 7 Location of automatic weather stations (circle (○) in the upper part: Gassan-Ubasawa Station, NIED, circle (○) in the lower part: Ohisawa automatic weather station (AMeDAS), JMA, circle (●): location of the avalanches).

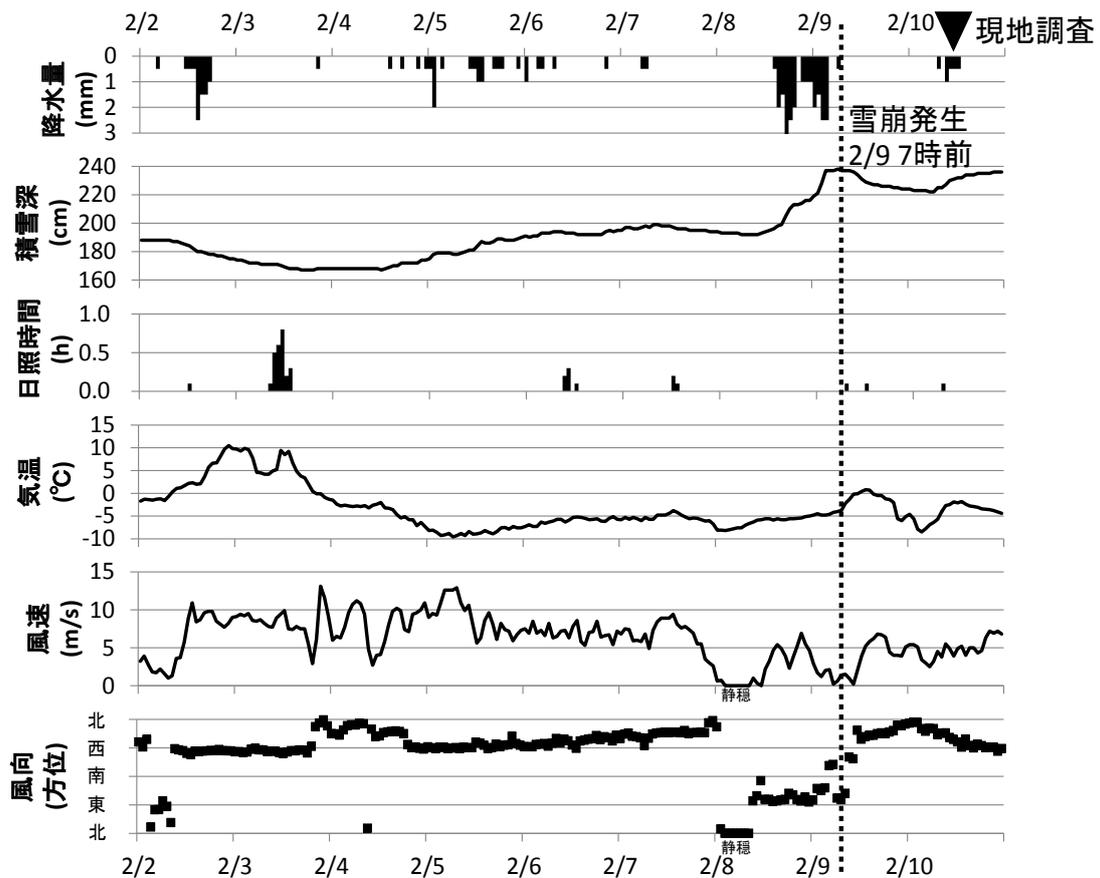


図8 2014年2月2日～10日の気象の経過(雪崩発生2/9 7時前, 現地調査2/10 12時前後)  
(降水量, 積雪深, 日照時間, 気温は大井沢アメダス, 風向, 風速は月山姥沢観測所)

Fig. 8 Hourly variations of meteorological elements at Ohisawa station (precipitation, snow depth, actual sunshine duration and temperature) and Gassan-Ubasawa Station (wind direction and wind speed). Occurrence time (at about 07:00 JST on February 9, 2014) is for the avalanche along Route 112 at Nishikawa-machi.

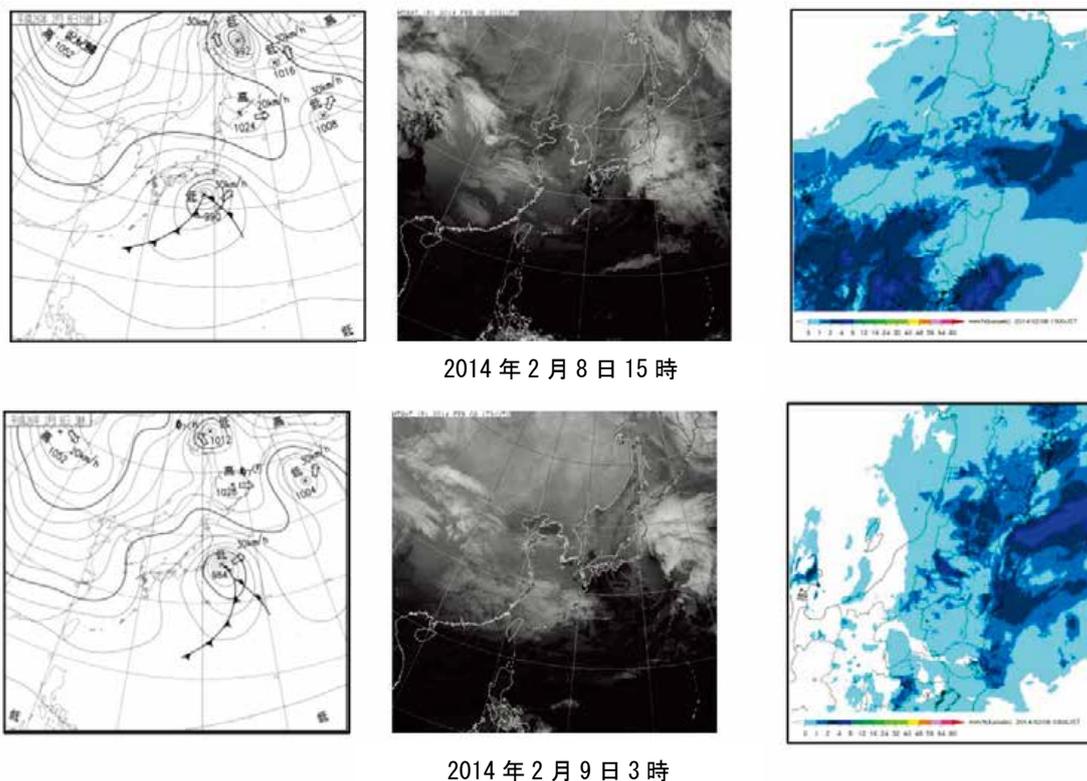


図9 2014年2月8日15時(上)と9日3時(下)の地上天気図, 気象衛星赤外画像, 解析雨量 (仙台管区気象台, 2014: 宮城県災害時気象資料 平成26年2月8日~9日の大雪より).  
 Fig. 9 Surface weather charts, satellite infrared imagery and Radar/Raingauge-Analyzed Precipitation at 15:00 JST on February 8, 2014 (upper figure) and 03:00 JST on February 12, 2014 (lower figure) provided by the JMA.

れた。傾斜角35度として試算したSIは0.6と低い値を示した。新庄では上載積雪が15 cmと少ないものの、広域に積雪が不安定になっていた可能性がある。なお、高さ138 cmの雲粒付き結晶は、8日20時以降の降雪に対応すると考えられる。

図7に気象の検討に用いた気象観測所を示す。気象の検討には、雪崩発生地点と標高がほぼ等しい大井沢アメダス(雪崩地点から南西に約9 km, 標高440 m)の値を使用した。ただし、大井沢アメダスは南北方向の沢状地形内に位置するため、風向風速は月山姥沢観測所(雪崩地点から北西に約7 km, 標高1,150 m)の値を使用した。図8に、2014年2月2日~10日の気象の経過を示す。また、図9に、2014年2月8日15時と9日3時の地上天気図, 気象衛星赤外画像, 解析雨量を示す。

図7~9と図3, 4の断面観測結果から弱層形成と上載積雪形成を考察する。2月8日12時~9日7時は、氷点下5度前後であり、降水は全て乾雪であると判断できる。

図4の高さ97 cm以下のざらめ雪は、図8で気温がプラスになった2月3日以前に形成されたと判断できる。図4の高さ97~118 cmは、融解していないしまり雪・こしまり雪、及びこしまり雪・新雪の層である。97~108 cmのしまり雪・こしまり雪は、変態が進んでいることから、降ってから時間が経過していると考えられる。また、108~118 cmは、現地でのハンドテストにより118~123 cmの新雪・こしまり雪層に比べ明らかにやや硬いことを確認した。したがって、108~118 cmのこしまり雪・新雪層は、降ってからやや時間が経過していると推定される。これらのことから、図8で気温が氷点下で降水量が観測されている2月4日~7日午前の降雪が、図4の高さ97~118 cmの層に対応していると考えられる。

以上より図4の高さ118 cm以上の積雪は、2月8日午後以降の降雪であると考えられる。118~123 cmの雲粒無し降雪結晶の新雪・こしまり雪層は、断面観測結果から4.5 mm相当になる。図8の降水

量の時系列と併せて考えると、2014 年 2 月 8 日午後 12 時過ぎ～17 時過ぎの弱い降雪が雲粒無し降雪結晶に該当すると推定できる。図 9 より、この時の降雪は低気圧北側の低気圧による降雪の初期に該当すると判断できる。また、図 8 の気象観測結果から、この降雪は、東風の比較的弱い風の時に降ったと言える。

一方、降水量と積雪深及び雪質から判断すると、2 月 8 日 17 時過ぎ～9 日 7 時までの降水が上載積雪となった。図 9 より、この降雪は低気圧の中心付近が接近している時の降雪に該当すると判断できる。図 8 の気象観測結果から、上載積雪を形成する降雪が降っている時は、概ね東寄りの 5 m/s 前後の風である。なお、134～140 cm の新雪・こしまり雪・ざらめ雪層は、9 日午後に気温が 0℃を超えたことで形成され、140～145 cm の新雪は、10 日の降雪に対応していると考えられる。

## 5. まとめ

西川町で発生した雪崩は、弱い風の中、2014 年 2 月 8 日の午後に低気圧の北側に位置する雲から雲粒無し結晶の降雪が降ったことで弱層を形成し、8 日の夜から 9 日朝にかけて降った低気圧中心付近の降雪が上載積雪となることで積雪が不安定になり、2 月 9 日 7 時前に面発生乾雪表層雪崩が自然発生したと考えられる。

このように、低気圧の接近に伴い、雲粒無し結晶の弱層と上載積雪が形成されるパターンが認められ

た。弱層を形成する雲粒無し結晶がいつ、どれくらい降るのか定量的な推定をすることが、雪崩危険度予測の気象に関わる次の課題である。

また、普段この地域は冬型の気圧配置で降雪となることが多く、南西向きのこの斜面は、西寄りの季節風で吹き払われることが多い。低気圧による降雪の場合は、風向きが逆の東寄りの風になるため、普段あまり堆積しない斜面に雪が堆積し、雪崩発生の危険性が増すということもこの事例で示された重要な教訓のひとつである。

## 謝辞

現地調査に際し、国土交通省東北地方整備局山形河川国道事務所に協力いただいた。ここに感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 国土地理院 電子国土 Web, <http://geolib.gsi.go.jp/>.
- 2) 山野井克己・竹内由香里・村上茂樹(2004): プッシュゲージを用いた斜面積雪安定度の推定. 雪氷, 66, 669-676.
- 3) 仙台管区気象台 (2014): 宮城県災害時気象資料 平成 26 年 2 月 8 日～9 日の大雪. 仙台管区気象台, 8pp.

(2015 年 10 月 16 日原稿受付,  
2015 年 11 月 16 日改稿受付,  
2015 年 11 月 16 日原稿受理)

## 要 旨

2014年2月9日午前7時前に、山形県西川町大字砂子関地内の国道112号沿いで雪崩が発生し、除雪のため約5時間にわたり車の通行ができなくなった。西川町で発生した雪崩は、弱い風の中、2014年2月8日の午後に南岸低気圧の北側に位置する雲から雲粒無し結晶の降雪が降ったことで弱層を形成し、8日の夜から9日朝にかけて降った低気圧中心付近の降雪が上載積雪となることで積雪が不安定になり、2月9日7時前に面発生乾雪表層雪崩が自然発生したと考えられる。

**キーワード：**雪崩，低気圧性降水，弱層，雲粒なし結晶