

「低気圧性雪崩」とその予測システム－悲惨な雪崩事故を繰り返さないために－

上 石 眞（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）
中 村 一 樹（国立研究開発法人防災科学技術研究所気象災害軽減イノベーションセンター）

1. はじめに

2017年3月27日に栃木県那須町の那須岳東斜面において、登山講習中の高校生7名、教員1名の計8名が犠牲となり、40名の負傷者を出す悲惨な雪崩事故が発生した。調査の結果、この雪崩は、低気圧の通過に伴って降った単純な形の結晶からなる弱層をすべり層として発生した表層雪崩であったことがわかった。低気圧の通過によって雪崩の原因となる弱層が形成されることは、これまであまり周知されていなかった現象である。この低気圧性の降雪による表層雪崩（以下「低気圧性雪崩」）は、今回の那須だけでなく、2014年2月の関東甲信地域を中心とした大雪の時にも多発しており、2015年2月の妙高山域での雪崩事故のように太平洋側だけでなく日本海側の山域でも発生していることがわかってきてている。低気圧性雪崩の発生メカニズムはまだまだ不明な点が多いが、那須雪崩の調査結果や、過去の低気圧性雪崩の発生状況を解析することにより、低気圧性雪崩の発生しやすい場所と時期をマクロ的に推定する手法を導きだし¹⁾、低気圧性雪崩の予測システムを開発してきた。

2. 低気圧性雪崩の発生状況

(1) 2017年3月27日、栃木県那須町で発生した雪崩事故^{2), 3)}

この雪崩災害について、科学研

費助成事業（特別研究促進費）を頂き、全国11機関、計31名の体制で調査研究を進めている（研究代表者：上石眞）。調査では、現地調査、資料収集、各種解析などから雪崩の発生状況を解明し、雪崩の予測手法開発や雪崩教育などの啓発活動など、今後このような事故を繰り返さないための方策を検討してきた。

現地調査では、発生直後から現地に入り、積雪観測、雪崩流下状況調査、上空からの観測を行った（図1）。雪崩発生個所近くでの積雪断面観測からは、積雪表面から22~25cmに極端に強度の弱い層があり、その上の積雪がこの弱層を境に崩れ落ちた表層雪崩だったことが推定された（図2）。この弱層は、低気圧の通過に伴って降った形が単純で雲粒（うんりゅう：上空で0℃以下でも凍らない小さな水滴が雪結晶に付着して凍結したもの）が付いていない降雪結晶から形成されていることが分かっている（図2、図3）。

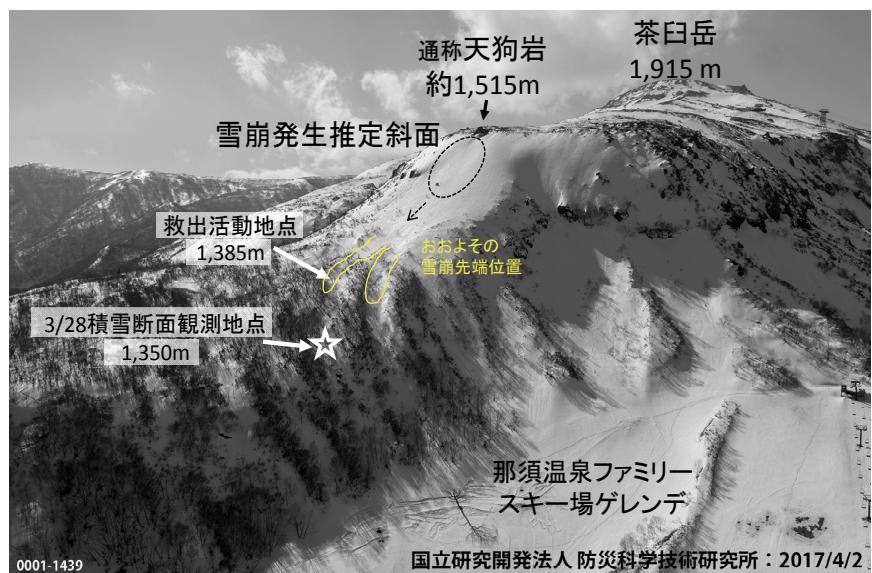


図1 2017年3月27日 那須雪崩発生状況

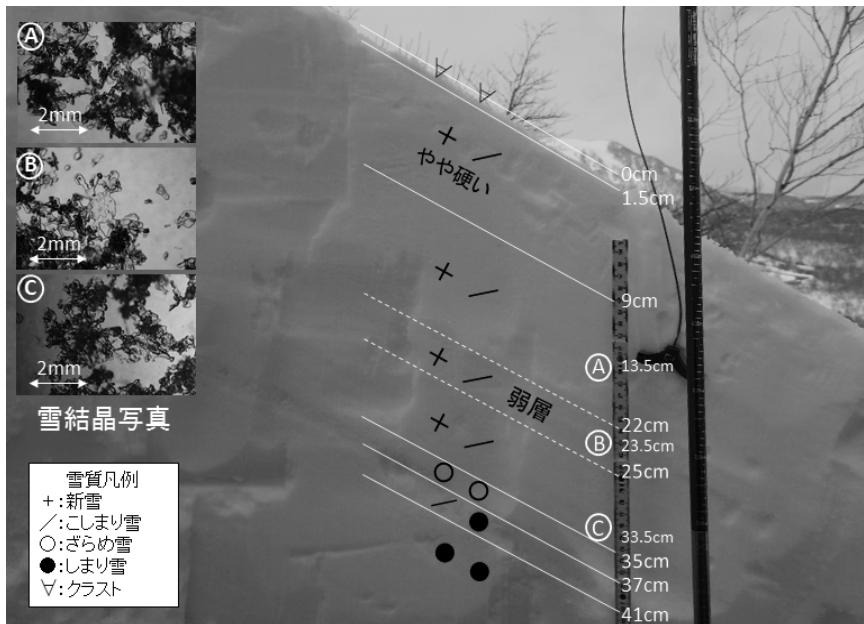


図2 2017年3月28日 那須雪崩発生箇所近くでの積雪観測結果

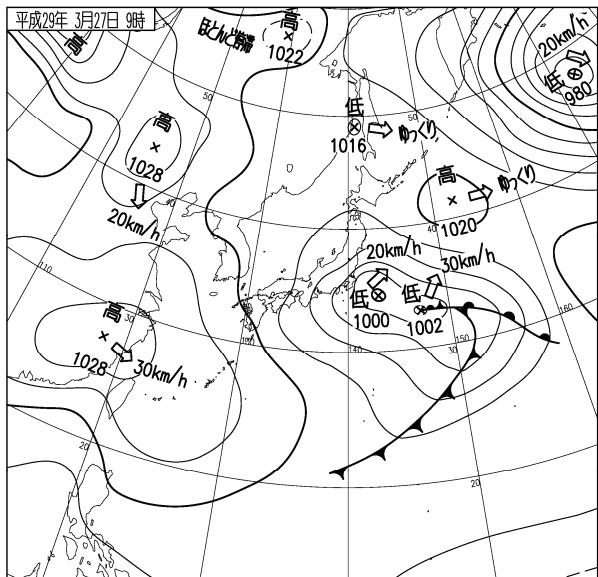


図3 2017年3月27日9時 那須雪崩発生時の気圧配置(気象庁資料)



図4 2017年4月2日 那須雪崩の推定雪崩発生斜面

また、雪崩は、勾配38度で植生がほとんどない斜面から発生し、2つの沢に分かれて、300m前後は流下したと推定されることなどが現在のところ判明している(図1、図4)。

(2) 2015年1月17日、新潟県妙高市で発生した雪崩事故⁴⁾

2015年1月17日に標高1,192mの粟立山(妙高市西野谷)の標高800m付近でスノーボーダー2名が雪崩に巻き込まれ、翌18日に救助されたが1名の死亡が確認された。同じ17日午後に、

標高1,932mの前山(妙高市田切)の

スキー場のコース外で、スキーヤー1名が雪崩に巻き込まれ死亡した。また同日、妙高市燕温泉付近では数か所で雪崩が発生して県道に到達し、駐車中の



図5 2015年1月17日 新潟県妙高市雪崩発生位置

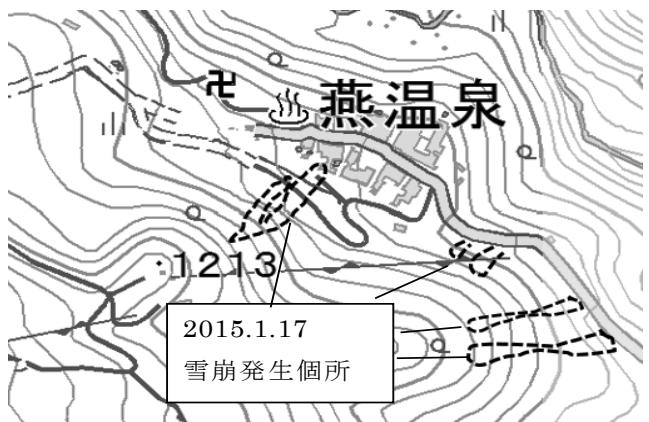


図6 2015年1月17日 新潟県妙高市燕地区雪崩発生位置

2. 登山医学・生理学・雪氷学に関する調査研究

車を襲った。3つの雪崩事故は同時期に妙高山域で発生した（図5）。燕温泉付近での雪崩は、5か所確認されており（図6）、樹林帯や雪崩予防柵が設置されている斜面からも発生していた（図7,8）。



図7 2015年1月17日 新潟県妙高市燕地区での雪崩発生状況
(樹林帯からの雪崩発生状況を破線で示す)



図8 2015年1月17日 新潟県妙高市燕地区での雪崩発生状況
(雪崩予防柵設置斜面からの雪崩発生状況を破線で示す)



図9 2015年1月17日 新潟県妙高市燕地区での積雪観測
表面から80cmに形が単純な崩れやすい雪からなる層

燕温泉付近の雪崩発生個所近くでの積雪観測の結果、表面から80cmのところに、鼓型や広幅六花のような形が単純で絡み合いづらく、崩れやすい雪があることが確認された（図9）。この時は、本州上を低気圧が通過しており、その影響で降った雪が弱層となり、その後の冬型によって大量に降った雪が弱層を境に崩れ落ち、表層雪崩となったものと推定された（図10,11）。

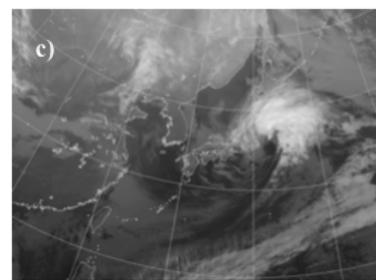
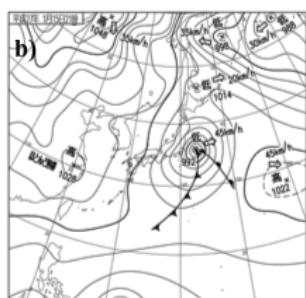
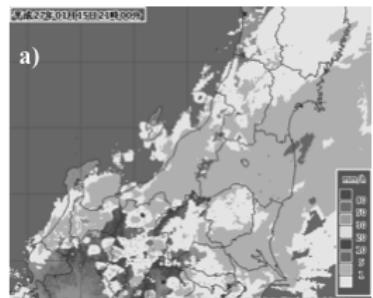


図10 2015年1月15日21時の気象条件(気象庁資料)
a)気象庁解析雨量, b)地上天気図, c)衛星赤外画像

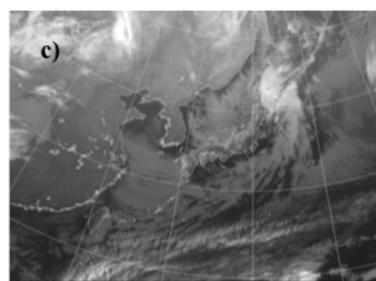
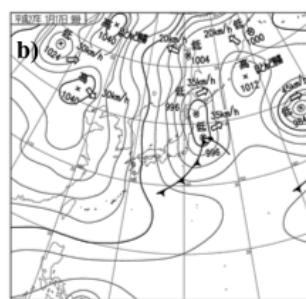
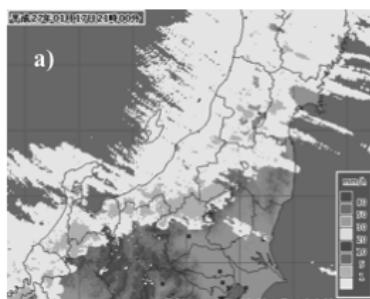


図11 2015年1月17日9時の気象条件
a)気象庁解析雨量, b)地上天気図, c)衛星赤外画像

(3) 2014年2月14, 15日 南岸低気圧による雪崩被害の発生状況^{4), 5)}

2014年2月14, 15日の南岸低気圧による大雪では、関東甲信をはじめ、東日本太平洋側で雪崩が多数発生した。雪崩による人的被害は幸いにも少なかったが、少なくとも10名以上の方が、雪崩遭遇直後の対応で九死に一生を得ている。南岸低気圧の速度が遅く、関東甲信をはじめ、各地で記録的な大雪となつた(図12,13)。低気圧による降雪が起因の雪崩は、長野県、群馬県、山梨県、栃木県北西部、神奈川県

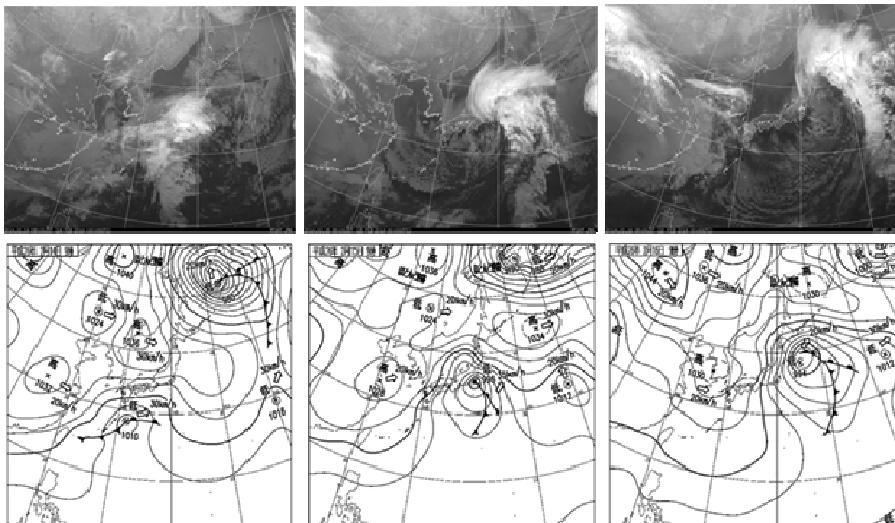


図12 2014年2月14日～16日9時の気象衛星赤外画像(上)と地上天気図(下)(気象庁資料)

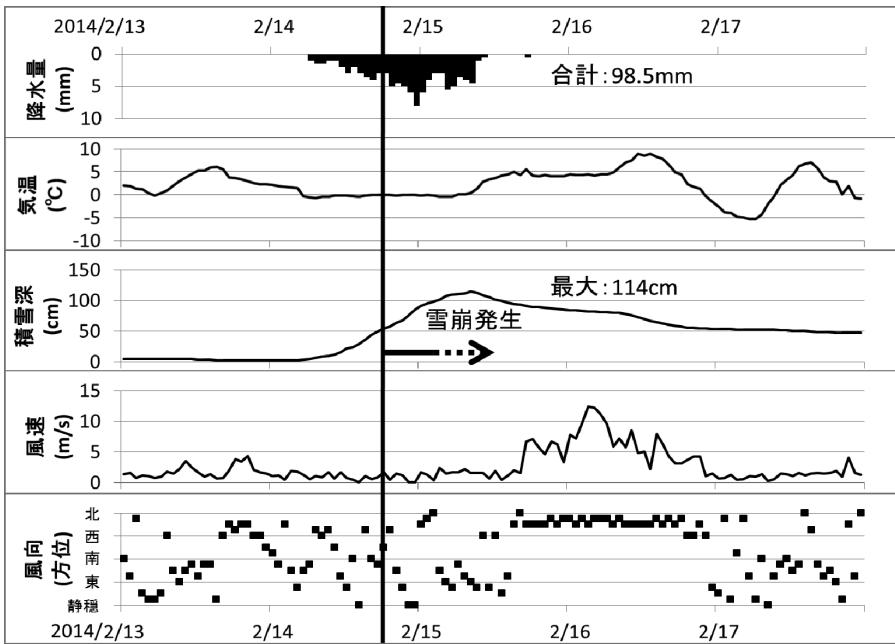


図13 甲府(甲府地方気象台)の気象経過と甲府市古関雪崩発生地点における表層雪崩発生時間帯(概ね矢印の期間に表層雪崩が断続的に発生)

西部、東京奥多摩地域、埼玉県秩父地域、福島県会津地方、宮城県西部、岩手県北東部など広範囲で発生が確認された(図14)。

山梨県内では、道路沿いに勾配40～50度の斜面や法面が隣接している個所で、雪崩が連続的に発生した(図15)。山梨県甲府市古関では2014年2月14日19時に雪崩発生のため県管理道路で4台が雪崩によって埋まった。4名がすぐに車から脱出し2人は救助されたが、との2人は、一晩中雪崩発生箇所の近くで救助待つことになった。埋まった車の上には15m

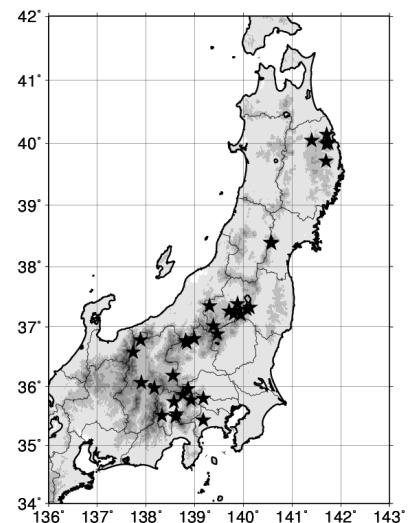


図14 南岸低気圧による雪崩発生個所
(2014年2月14日～16日)



図15 山梨県内の雪崩発生状況
(2014年2月20日調査)

2. 登山医学・生理学・雪氷学に関する調査研究

もの雪崩デブリが堆積し、大破して5日後に発見された。被救助者からのヒヤリングによると「サー」という音とともに雪崩が複数回発生していたとのことである（図16）。

栃木県日光市奥鬼怒温泉日光市栗原女夫淵～加仁湯温泉の林道では、子供3名大人1名が雪崩によって埋まった車に2月14日夜から58時間も閉じ込められた。一酸化炭素中毒防止のためにすぐにエンジンを停止し、空気穴をスコップで開け、また、平素から車内に毛布やスコップを積んでいたことも大惨事にならなかつた要因である。奥鬼怒温泉の関係者からの聞き取りによれば、雪崩は林道沿いに多数発生し、通常発生しない箇所でも雪崩が発生したということである。また、福島県桧枝岐村でも2月15日に、樹木が比較的密生して、樹林帯などの通常が発生しない個所から表層雪崩が多数発生したことが確認されている。



図16 道路上に堆積した雪崩の厚さ15mのデブリ(左)と
雪崩に埋没して破壊された車(右) (甲府市古関2014年2月23日調査)

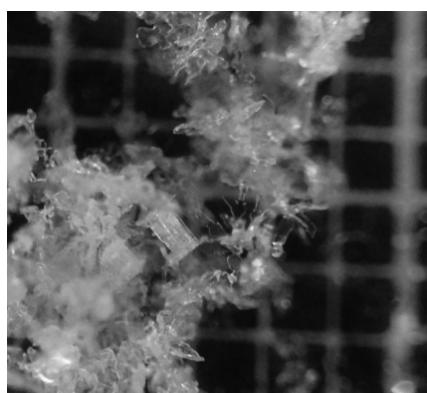


図17 南岸低気圧による崩れやすい雪の
結晶(長野県諏訪市2014年4月5日)

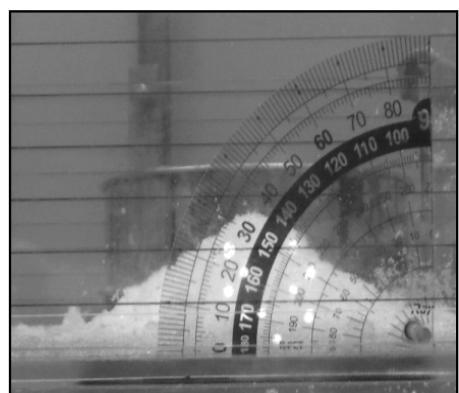


図18 南岸低気圧による降雪の安息角

低気圧性雪崩が多発したのは、南岸低気圧通過時に気温がマイナスで推移して雪が大量に降った箇所である。図17は2014年4月5日に長野県諏訪市で採取した南岸低気圧による降雪で、鼓型や角柱の結晶が見られる。この雪を「ふるい」にかけて積もらせて測定した安息角（あんそくかく）は40度（室温-5°C）と通常の降雪よりも小さい結果が得られた（図18）。2014年2月14日～15日にも、このようなグラニュー糖のようにさらさらとして、崩れやすい結晶の降雪が連続して大量に降ったことにより、広範囲に多数の雪崩が発生したものと推察される。また、崩れやすい性質のため、通常雪崩が発生しない樹林帯からも雪崩が発生したものと考えられる。

3. 低気圧性雪崩の予測システム

低気圧性雪崩については、まだ、未解明な点が多いが、2. 低気圧性雪崩の発生状況に示したよう

低気圧による降雪に起因していることがわかっている雪崩の発生状況の解析をもとに、つぎのような条件を考慮した低気圧性雪崩予測システムを試作している。

①気温がマイナスで降雪（気温がプラスになると結晶同志が付着しやすく、弱層になりづらい）

②大気下層の風向が東成分（低気圧性の降雪を表現）

③低気圧性の降雪の開始からの降水量20mm以上

防災科学技術研究所では、気象庁で計算している5kmメッシュの気温や降水量、風向・風

速の数値予測データ（MSM：メソスケールモデル）と①②③の条件を重ね合わせ、低気圧性雪崩の発生の危険度を面的に表すシステムを開発している。2017年3月27日の雪崩発生危険度の解析結果では、那須岳の周辺では、午前3時頃から危険度が上昇し、雪

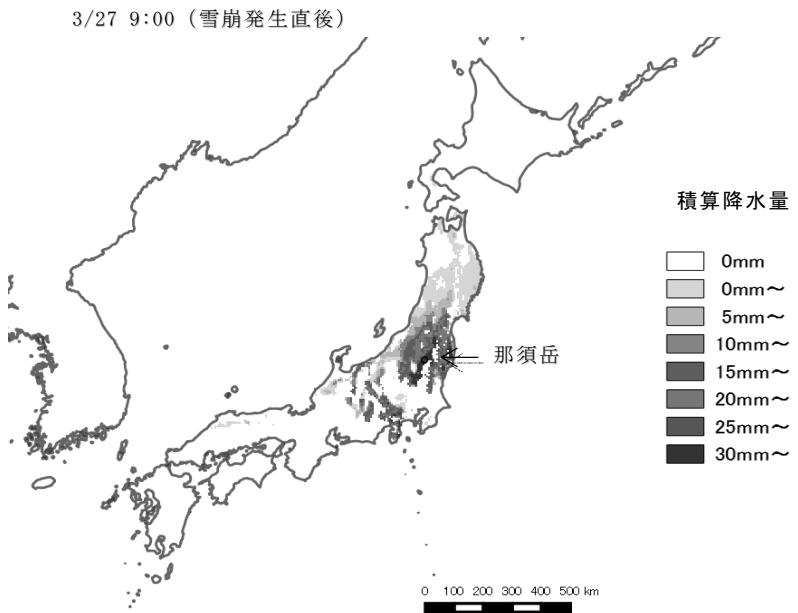


図19 低気圧性の降雪による雪崩危険度情報の検討例
(2017年3月27日午前9時 那須岳)

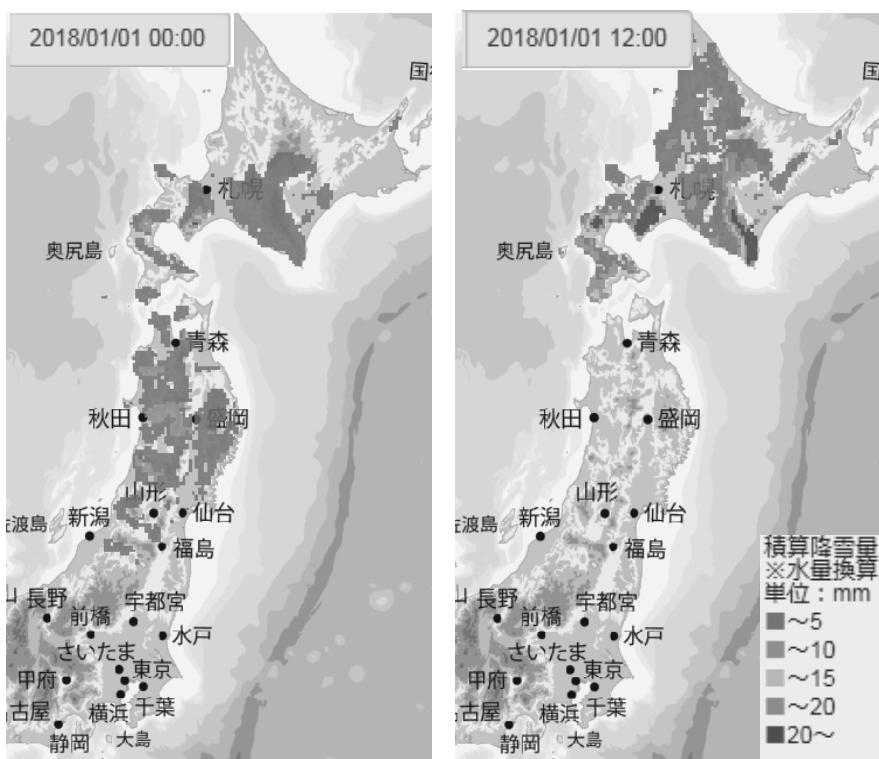


図20 低気圧性雪崩危険度表示システムによる危険区域の変化
(2018年1月1日0時及び12時の表示例)

崩発の午前9時ごろ（雪崩発生は8時30分～45分頃）には、危険度が上昇している結果となった（図19）。また、図20は本システムの試験運用の画面で低気圧性雪崩の危険度を表したもので、低気圧の位置によって雪崩の危険範囲が移動していることが示されている。本システム開発には、参考としている低気圧性雪崩のデータ数も少ないため、今後は、低気圧の位置と降る雪の結晶形、低気圧性雪崩の発生・非発生などのデータを収集して検証を行い、精度の高いシステムとするこことを目指している⁵⁾。

4. おわりにとお願い

防災科学技術研究所では、気象データから積雪の内部の雪質や強度、雪崩の危険度を算定する積雪変質モデルの研究と試験運用も行っている⁵⁾。今後、降る雪の結晶形によって積雪の強度を変えて雪崩の危険性を求めるモデルへ改良し、低気圧性雪崩なども含めいろいろなタイプの雪崩にも対応した予測手法を開発していきたいと考えている。

なお、本研究の一部は科学研究費助成事業（特別研究促進費）「2017年3月27日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究」（研究代表者：上石勲）より補助を受けている。

以上、紹介した低気圧性雪崩の予測システムは2018年1月下旬か

2. 登山医学・生理学・雪氷学に関する調査研究

ら試験運用と検証を開始する予定である。2017年3月の那須のような悲惨な雪崩事故を繰り返さないためにも、山岳関係者からもこの活動にご協力をお願い申し上げる。また、高校登山部の顧問の先生方や高校生を対象とした雪崩教育も開始しているので、ご興味のある方は私どもまでお問い合わせいただきたい。

参考文献

- 1) 中村一樹他, 低気圧性の降雪が原因の表層雪崩について –降雪結晶の形状に起因する雪崩危険度の予測に向けて–, 雪氷研究大会 (2014・八戸) 講演要旨集, 2014.9.
- 2) 中村一樹他, 那須町雪崩災害調査, 第1回調査 (2017.3.28) 2017.4, http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyousaigai/2017/report_20170328_NasuOnsen.pdf.
- 3) 上石勲他, 那須町雪崩災害調査, 第2回調査 (2017.4.2), 2017.4, http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyousaigai/2017/report_20170410_NasuOnsen.pdf.
- 4) 防災科学技術研究所, 2014年2月の南岸低気圧による広域雪氷災害及び2014-15年の雪氷災害に関する調査報告, 2016.2.
- 5) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター, 雪氷特集, 防災科研ニュース, No.199, 2017.12, http://www.bosai.go.jp/activity_general/news.html.