

# 那須における表層雪崩発生に関わる低気圧性大雪の特性 Characteristics of heavy snowfall associated with cyclones causing surface avalanche in Nasu

荒木 健太郎<sup>1)</sup>

K. Araki<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>気象庁気象研究所

<sup>1)</sup>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

---

*Abstract:* A heavy snowfall associated with cyclones caused a surface avalanche in Nasu in Japan on 27 March 2017. It is known that large amounts of snowfall in a short time are important for occurrence of surface avalanches, however, understanding of snowfall characteristics in mountain regions during heavy snowfall events is lacking. In this study, a case study on this case was performed. In addition, we conducted statistical analysis on the cases in Nasu from 1989 to 2017 and investigated the characteristics of snowfall and meteorological conditions. As the result of the case study, low-level supercooled water clouds were formed by orographically-forced updraft in mountain regions in Nasu as moist northerly and easterly flows were intensified due to the cyclone approach on 27 March 2017. It is found that the heavy snowfall in a short time was caused the local snowfall intensification by the Seeder-Feeder mechanism associated with the low-level clouds and snowfall from upper clouds of the cyclone. As the result of statistical analysis, it is found that heavy snowfall events of similar amounts as this case occurred once every 3 years, and in March every 19 years. The surface pressure patterns in heavy snowfall cases in Nasu were about 63% in typical winter monsoon pattern and about 30% in cyclones. Although snowfall amounts became larger as snowfall duration was longer in both patterns, some heavy snowfalls in a short time exceptionally occurred in cyclone cases, where the occluded cyclones passed near the Kanto region.

*Key words:* South-Coast Cyclone, heavy snowfall, avalanche

---

## 1 はじめに

2017年3月27日に本州南岸を通過する低気圧に伴って那須で大雪が起こり、表層雪崩が発生した。現地調査結果から、雲粒付着の少ない弱層上部には一部雲粒付着した降雪結晶による多量の降雪が起こり、表層雪崩に至ったと推定されている（防災科学技術研究所，2017）。本研究では、この短時間での大雪に注目し、那須に大雪をもたらす降雪雲の環境場や降雪特性を理解することを目的に、数値実験等を通じた那須雪崩事例の解析、および再解析データ等を用いた統計解析を行った。詳細については荒木（2018a）を参照いただきたい。

## 2 2017年3月27日那須雪崩の事例解析

### 2.1 解析データ・数値実験の設定

降雪実況と環境場の解析には各種レーダー・地上・高層気象観測、気象庁メソ客観解析等を用いた。数値実験は気象庁非静力学モデル（Saito et al., 2006）を用い、まず水平解像度 1.5 km で東日本を覆う 1,425 km 四方を計算領域とした。初期値・境界値に気象庁メソ客観解析を用い、26日12時～27日21時（JST，以下同様）を対象に計算を行った（1.5km-NHM）。次に、この結果から初期値・境界値を作成し、26日21時～27日15時を対象に那須を含む 237.5 km 四方の領域で水平解像度 250 m の実験を行った（250m-NHM）。これらの実験では雲氷・雪・霰を 2-moment バルク法で扱う雲物理過程を用いた。また、降雪に対する地形の影響を確認するため、那須岳の標高を 500m にする実験（NASU500）と全地形を除去する実験（NOZS）を行った。

### 2.2 低気圧と降雪環境場の特徴

3月26～27日にかけて、上空の寒気トラフ通過に伴い、前線を伴う温帯低気圧（南岸低気圧）が本州南海上を通過した。那須に降雪をもたらした低気圧は南岸低気圧中心の西側で 27

日 0～3 時に発生したもので、前線を伴っていなかった。アメダス那須高原では 27 日 1 時には積雪深が 0 cm だったが、これ以降に積雪深が増え、10 時には 34 cm に達した。26 日午後には南岸低気圧の Warm Conveyor Belt (Browning, 1990) に対応する 850 hPa の水蒸気フラックス量の大きい領域が南岸低気圧中心の北側にのび、27 日 3 時には北東～東の風で那須に流入していた (図-1)。その後も那須周辺では後続の低気圧接近に伴う北～東風による水蒸気供給の多い状態が持続していた。

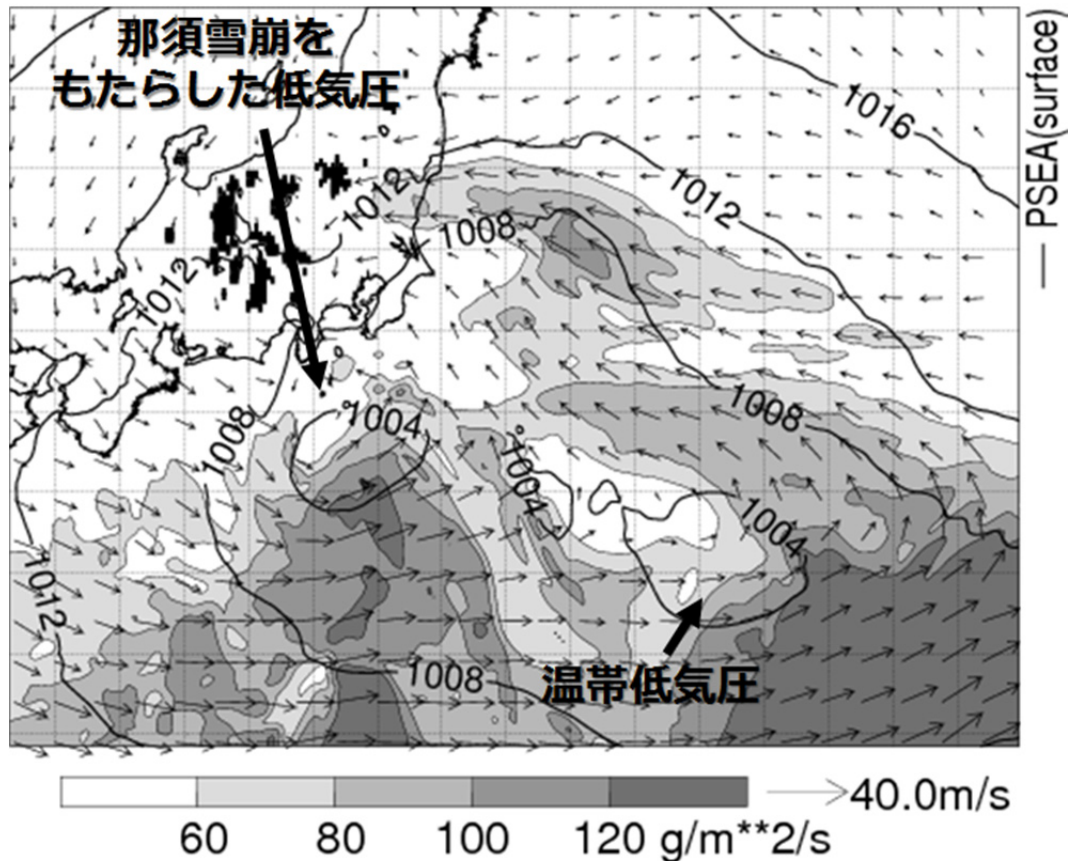


図-1 気象庁メソ客観解析による 3 月 27 日 3 時の 850hPa における水蒸気フラックス量 (陰影) と水平風 (ベクトル), 海面気圧 (等値線, hPa) .

### 2.3 降雪の集中と降雪種に対する地形の影響

数値実験で再現された気象場や降水状況は、実況よりやや遅れたものの観測とよく整合していた。那須周辺では特に那須岳の北～東側斜面に雪による総降水量が多く、降雪が集中していた (図-2)。那須岳周辺では降雪開始初期に高度約 3km 以下で南寄りの風だったが、徐々に東寄りの風に変わり、強い降雪が持続した時間では高度約 2～2.5 km 以下で北～東の風が吹き風速も強まった。この頃から那須岳の北東斜面上空では高度約 2 km 以下に 0.5～1 m s<sup>-1</sup> の地形性上昇流が継続的に形成され、雪混合比も大きくなった (図-3a)。この上昇流域では過冷却雲粒も発生していた (図-3b)。低気圧に伴う多量の水蒸気供給により降雪粒子の昇華成長が促進されたことに加え、地形性上昇流による過冷却雲粒形成で雲粒捕捉成長が効率的に行われ、Seeder-Feeder メカニズム (Houze, 2012) による降雪強化が山地斜面上空の気象下層で起こっていたことが示唆される。26 日 21 時～27 日 15 時の第 2 図青破線領域での雪による平均総降水量は 250m-NHM で約 26 mm, NASU500 で約 11 mm, NOZS で約 5 mm であり、後者 2 つの実験では降雪の集中は見られなかった。

これらのことから、那須岳や周辺地形が降雪の局地的な集中に非常に重要であることがわかった。地形影響を受けない降雪の後、山地斜面上空で発生した過冷却雲粒の影響を受けた強い降雪が持続し、現地調査結果の報告で述べられたものと同様に表層雪崩を起こしうる特性を持つ降雪が起こったと考えられる。

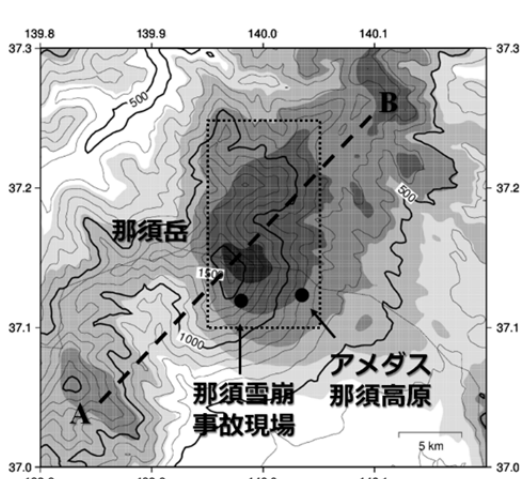


図-2 250m-NHMによる26日21時から27日15時までの雪による積算降水量(陰影). 等値線はモデルにおける標高(m).

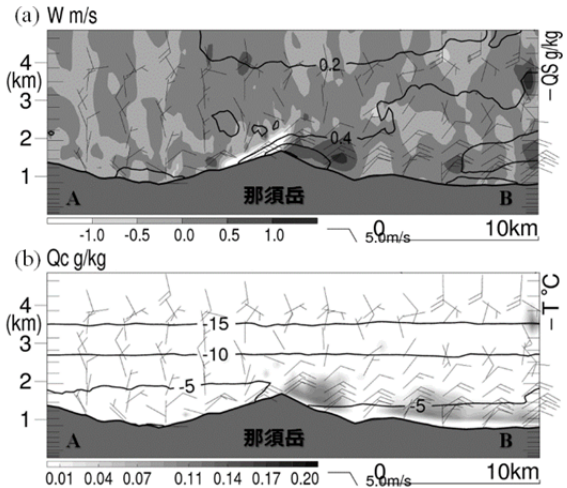


図-3 250m-NHMによる27日8時30分の図-2中AB線分の鉛直断面図. (a)鉛直流(塗分)・雪混合比(等値線), (b)雲水混合比(塗分)・気温(等値線). 矢羽は各高度における水平風を意味する.

### 3 那須大雪の統計解析

#### 3.1 極値統計解析

那須雪崩事例の特異性を把握し、那須大雪時の降雪・気象場の特性するため、アメダス那須高原の毎時の積雪深観測データのある1989年11月～2017年4月を対象に統計解析を行った。まず、この期間のアメダス那須高原における日降雪深が1cm以上の事例(1,665例)を抽出して極値統計解析を行った。日降雪深は1～24時の毎時の降雪深の合計とし、閾値統計であるHazen plotを採用した。日降雪深1cm以上の降雪日に対して再現期間を求め、これを那須での寒候年平均降雪日数(約59日)で割り、那須雪崩事例が何シーズンに1度の規模の大雪であるかを調べた(図-4)。その結果、那須雪崩事例の再現期間は約3寒候年であり、3シーズンに1度程度は起こる大雪だった。一方、3月の事例のみを対象とすると、那須雪崩事例の日降雪深は3月では最も大きく、再現期間は約19年だった。春の大雪としては稀な事例だったといえる。

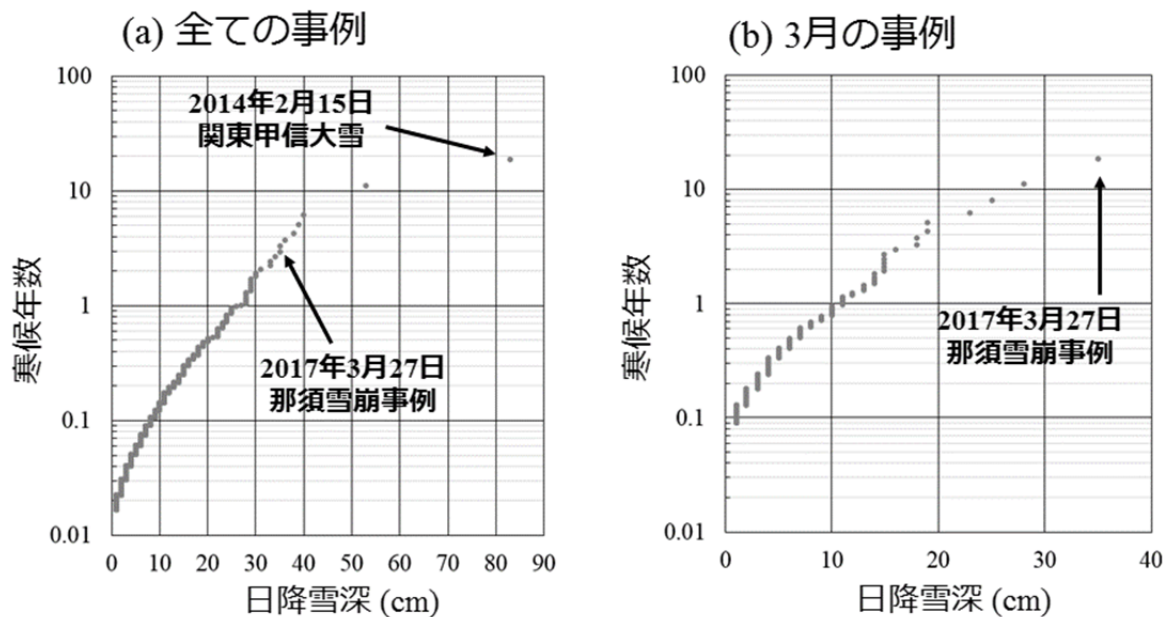


図-4 アメダス那須高原・日降雪深の再現期間曲線.

(a) 日降雪深1cm以上の全事例, (b) 3月のみ.

### 3.2 気圧配置パターン毎の環境場

次に、アメダス那須高原での日降雪深が 10cm 以上の 226 事例について、降雪特性と気象場の統計解析を行った。事例毎に気圧配置パターンを地上天気図で分類すると、冬型 (WIN) が 142 事例 (63%)、前線を伴う南岸低気圧 (SCC) が 57 事例 (25%)、那須雪崩事例のように前線を伴わない低気圧が 11 事例 (5%) だった (表-1)。

表-1 1989年11月～2017年4月のアメダス那須高原で、日降雪深 10cm 以上の事例について分類した気圧配置パターン。

略称	パターン	事例数	割合(%)	説明
WIN	冬型	142	62.8	冬型の気圧配置時の降雪
SCC	南岸低気圧	57	25.2	前線を伴う温帯低気圧 (南岸低気圧) による降雪
SCCNF	低気圧	11	4.9	前線を伴わない本州南岸の低気圧による降雪
Other	その他	16	7.1	停滞前線, 二つ玉低気圧 などによる降雪

パターン毎にアメダス那須高原での地上観測の特性を調べると、各事例の日最大降雪深を観測した時刻では WIN では西北西～北西の風, SCC と SCCNF では北北西～北北東の風が卓越するという違いが見られた (図略)。しかし、日最大降雪深や日降雪深などにはパターン間の有意な差は見られなかった。

また、事例毎の日最大降雪深を観測した時刻に最も近い時刻の気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55, Kobayashi et al., 2015) データを用い、気象場の特徴を調査した。SCC と SCCNF の平均場では、上空の気圧の谷の位置や低気圧の強さにやや違いが見られたが、同じような環境場だった。那須周辺の 850hPa の気温と水蒸気フラックス量を比較したところ、WIN については  $-5^{\circ}\text{C}$  以下のものがほとんどで、SCC と SCCNF はそれより高温の事例が多かった (図-5)。一方、水蒸気フラックス量は SCC では 3 事例が飛び抜けて大きな値だったが、その他はどのパターンでも大差はなかった。

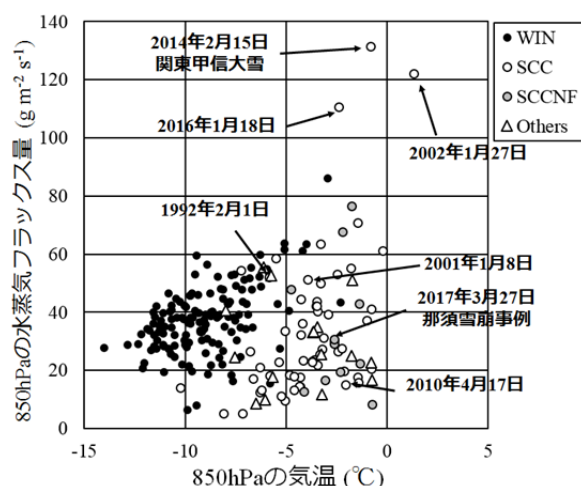


図-5 気圧配置パターン毎の那須周辺における気象場の特性. アメダス那須高原で日最大降雪深が観測された時刻付近の 850hPa における気温と水蒸気フラックス量の関係を表す。

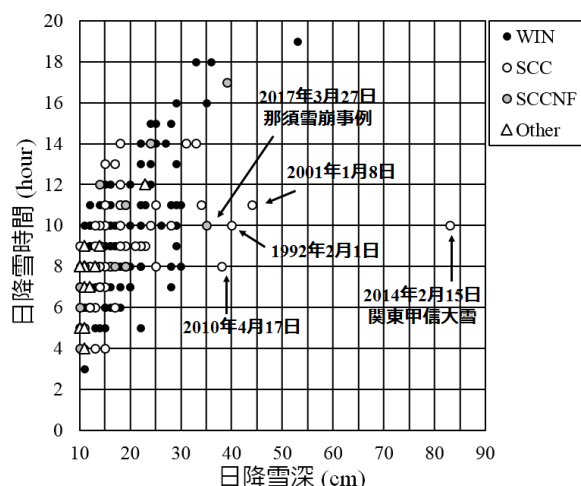


図-6 気圧配置パターン毎の日降雪深と日降雪時間の関係。

### 3.3 那須における短時間での大雪の環境場

那須における短時間での大雪について考えるため、各事例での降雪深 1cm 以上の時間の総和を日降雪時間とし、日降雪深との関係を調べた (図-6) . その結果、どのパターンでも基本的には日降雪時間が長いほど日降雪深も大きかったが、SCC と SCCNF では日降雪時間が短くても日降雪深の大きい事例が見られた. この特徴は 2014 年 2 月 15 日が顕著であり、他には 2001 年 1 月 8 日、1992 年 2 月 1 日、2010 年 4 月 17 日、そして那須雪崩事例がこれにあたる.

これらの事例の地上天気図を比較したところ、5 事例中 4 事例で前線を伴う低気圧が関東平野に近い海上などを発達しながら通過しており、日最大降雪深を観測した時刻付近で閉塞過程に入っていた (図-7) . いずれの事例でも那須はこの低気圧の北西象限にあたる. 閉塞過程の低気圧の北西象限では上空で生成セルが発生し、特に降雪が強まることがある (Colle et al., 2014 など) . 仮にこれらの事例でも那須雪崩事例のように Seeder-Feeder メカニズムが働いているのであれば、下層の水蒸気供給による Feeder Cloud の生成に加え、閉塞過程の低気圧中心が那須の南東に位置し、上空に十分な Seeder Cloud が存在することが那須での短時間の大雪に重要である可能性がある.

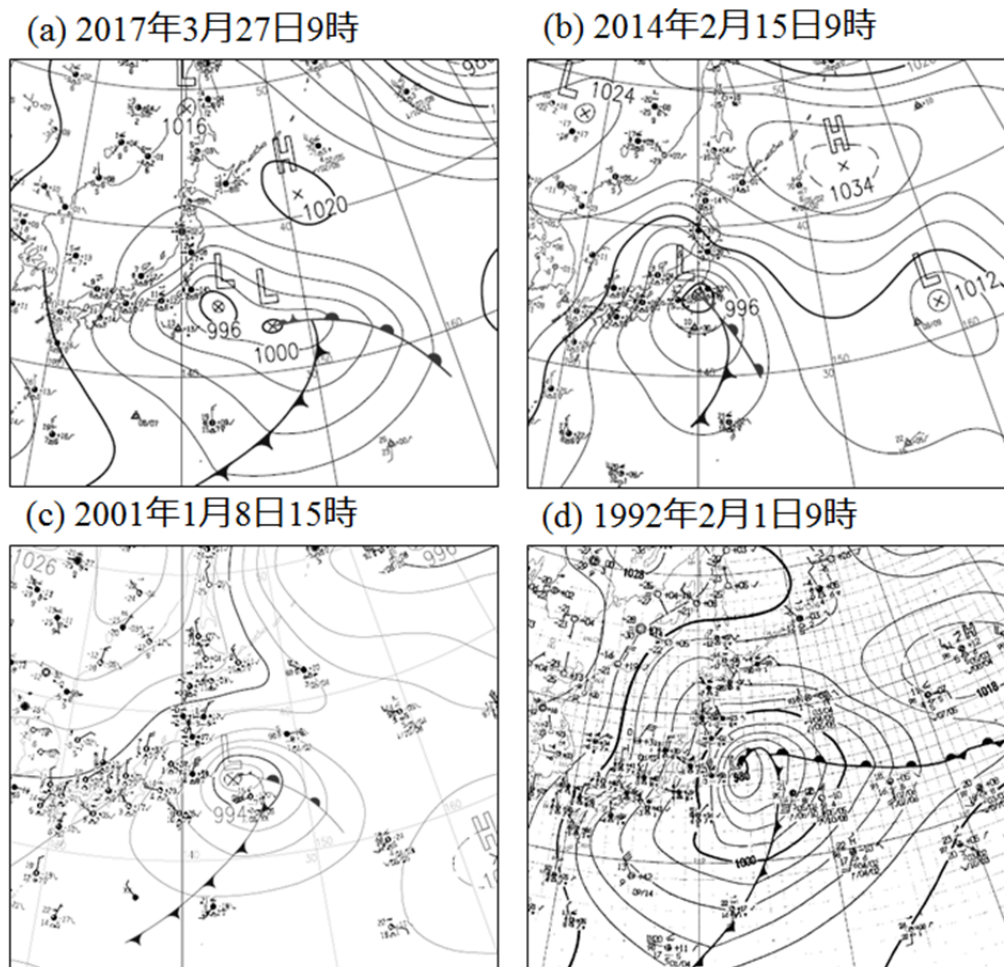


図-7 短時間大雪の発生した事例の地上天気図.

## 4 結論

本研究では、低気圧の通過に伴って那須で大雪となるときの降雪特性を理解し、表層雪崩発生との関係を把握することを目的として、事例解析と統計解析を行った. その結果、2017 年 3 月 27 日に表層雪崩が発生した大雪事例では、那須では湿潤な北～東風の強まりとともに地形性上昇流が過冷却の水雲を下層で生み、局地的に Seeder-Feeder メカニズムによる降雪の強化が起こっていた. これにより、那須岳の北～東斜面では降雪の集中と短時間での大雪がもたらされたことがわかった. 統計解析の結果、この事例と同規模の大雪は約 3 年に 1 度、3 月と

しては約 19 年に 1 度発生していることがわかった。那須で日降雪量が 10cm 以上となる気圧配置は冬型が 63%，低気圧が 30%であり，基本的には日降雪時間が長いほど日降雪深が大きくなった。しかし，低気圧による降雪の場合には例外的に短時間で大雪になる事例が確認され，これらの多くの事例では低気圧が閉塞過程で関東付近を通過していた。

表層雪崩発生に重要な弱層形成は，短時間での多量の降雪だけでなく，どのような降雪結晶がいつどこで降るのかも重要である。本研究で扱った那須雪崩事例で示されたように，地形の影響により降雪結晶の特性も局地的に変化していることが考えられる。しかしながら現状では，降雪結晶の実態把握に必要な観測データが極めて乏しいことから，市民科学による降雪結晶の観測の取り組み（荒木，2018b）などで得られたデータも上手く活用し，関東甲信地方における降雪特性を明らかにしていく必要がある。

本研究では那須における大雪は低気圧よりも冬型の気圧配置時のほうが頻度は高いことが明らかになった。冬型の気圧配置時に日本海上で発達する降雪雲は基本的に積乱雲であり，樹枝状雪片や霰が多く見られる。一方，低気圧に伴う降雪雲では低温型結晶と呼ばれるなだれやすい降雪結晶が多く，表層雪崩のリスクも高いと考えられる。これらのことから，那須で大雪が予想されるとき，冬型の気圧配置ではなく低気圧に伴う降雪現象である場合には，短時間大雪の起こりやすさや降雪結晶の関係から，表層雪崩発生のリスクが高まると考えられる。ただし，大雪が予想される場合には雪崩以外にも見通しの悪化や立ち往生のおそれがあるため，いずれにしても山岳域での活動には留意が必要である。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり，首都大学東京の藤部文昭氏と気象研究所の隈健一所長には，極値統計解析について大変有益なアドバイスをいただきました。この場をかりてお礼申し上げます。本研究は，文部科学省科学研究費補助事業「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」（課題番号：17K18453），「首都圏の高精度雨雪判別手法確立に向けた降雪機構の実態解明」（課題番号：17K14394）の一環として実施したものです。

#### 引用文献

- 荒木健太郎 (2018a) : 低気圧に伴う那須大雪時の表層雪崩発生に関わる降雪特性. 雪氷, 80, 印刷中.
- 荒木健太郎 (2018b) : 市民科学による超高密度雪結晶観測「#関東雪結晶プロジェクト」. 雪氷, 80, 印刷中.
- 防災科学技術研究所 (2017) : 那須町雪崩災害調査 (2017.3.28 実施) (速報詳細版). [http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu\\_naiyou/seppyouaigai/2017/report\\_20170328\\_NasuOnsen.pdf](http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyouaigai/2017/report_20170328_NasuOnsen.pdf) (2018.02.27 閲覧)
- Browning, K. A. (1990): Organization of clouds and precipitation in extratropical cyclones. *Extratropical Cyclones: The Erik Palmén Memorial Volume*, C. W. Newton and E. O. Holopainen, Eds., Amer. Meteor. Soc., 129-153.
- Colle, B. A., Stark, D. and Yuter, S. E. (2014): Surface microphysical observations within East Coast winter storms on Long Island, New York. *Mon. Wea. Rev.*, 142, 3126-3146.
- Houze, R. A. (2012): Orographic effects on precipitating clouds. *Rev. Geophys.*, 50, RG1001.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K. and Takahashi, K. (2015): The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93, 5-48.
- Saito, K., Fujita, T., Yamada, Y., Ishida, J., Kumagai, Y., Aranami, K., Ohmori, S., Nagasawa, R., Kumagai, S., Muroi, C., Kato, T., Eito H. and Yamazaki, Y. (2006): The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1266-1298.