

# MP レーダー解析による 2017 年 3 月 26-27 日那須近辺における降水と風の分布 MP Radar analysis of the distribution of the wind and precipitation around Nasu area on March 26-27, 2017

中井 専人<sup>1)</sup>, 清水 慎吾<sup>2)</sup>, 前坂 剛<sup>2)</sup>, 岩波 越<sup>2)</sup>, 木枝 香織<sup>2)</sup>  
S. Nakai<sup>1)</sup>, S. Shimizu<sup>2)</sup>, T. Maesaka<sup>2)</sup>, K. Iwanami<sup>2)</sup>, K. Kieda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

<sup>1)</sup>*Snow and Ice Research Center, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

<sup>2)</sup>防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門

<sup>2)</sup>*Storm, Flood and Landslide Research Division, National Research Institute for earth Science and Disaster Resilience*

---

*Abstract:* Time series of distribution of snowfall intensity, wind velocity, and hydrometeor are analyzed using the data of X-band multi-parameter (MP) weather radars. Although the radars are at far distances from the location of the avalanche, several characteristics of snowfall were described by applying analysis methods developed in the field of radar meteorology. The volume-velocity processing (VVP) method was used for the wind analysis. Hydrometeor classification algorithm using fuzzy-logic technique was applied to the polarimetric moments observed by the MP radars. A specific period, characterized by weak precipitation intensity, rather uniform reflectivity and wind speed, and small snow/graupel ratio, can be identified. The criteria of these characteristics were decided empirically assuming poorly rimed snowfall forming the weak layer in the snowpack. These characteristics can be clues to judge the formation of possible poorly rimed weak layer of snowpack in conjunction with improved quantitative precipitation estimation. Analysis of three-dimensional structure of wind field and the distribution of each type of hydrometeor is a hopeful method. Radar-modeling cooperative researches will be necessary for the analysis.

*Key words:* MP radar, VVP, Hydrometeor classification

---

## 1 はじめに

2017 年 3 月 27 日に那須温泉ファミリースキー場付近の山岳地(以後「現地」と記述)で発生した災害雪崩については、

- ・ 26 日夕方から 27 日午前中にかけてのこの時期としては稀な大雪による新雪荷重がある状態
- ・ 積雪表面から 17cm~30cm 下の雲粒付着の少ない板状等の降雪結晶の弱層が破壊されて表層雪崩が発生

と推定されている(中村ほか, 2017). このときの弱層となった降雪, 新雪荷重となった降雪の特性を検知できるかどうか, MP レーダーデータを用いた降雪と風の解析を行った.

## 2 研究方法

### 2.1 降水量分布と VVP 風解析

国土交通省 X バンド MP レーダー(XRAIN)の極座標低仰角データをもとに, 降水量分布と volume-velocity processing (VVP)による風を解析した. 具体的には, 2 分毎の反射強度とドップラー速度を使用し, 2 変数簡略化 VVP 法(立平・鈴木, 1994; 瀬古, 2010)を用いて上空の風向, 風速を推定した. この手法は, 一定の領域の風ベクトルが一様であると仮定し, 方位角の変化によるドップラー速度値の変化から, 最小二乗法により風速の 2 成分を求めるというものである. 上の仮定のため十数 km 四方程度の領域を必要とするため, 得られる風の分解能は粗くなり, 10km スケールの大まかな分布を見るのに適している.

風速場のほかには、観測データに含まれている2分毎の降水強度( $\text{mm hour}^{-1}$ )を2分間継続したものとみなして、積算した降水量( $\text{mm}$ )を求めた。風向、風速、降水量はレーダーを中心とした1km格子に内挿した。現地近傍ではXRAIN 田村レーダーの仰角 $1.6^\circ$ データが最も広い範囲で風を解析できたので、仰角 $1.6^\circ$ の解析結果を示す。雪崩発生地点に近い「天狗岩」は田村レーダーからの距離約62.5kmであり、この近傍における仰角 $1.6^\circ$ のビーム中心は海面高度約2500m、すなわち現地上空約1000mである。

## 2.2 降雪粒子判別

XRAINの極座標全仰角データを用いて、Kouketsu et al. (2015)に準拠した降雪粒子判別(HC)を行った。このとき前処理として、ZhとZdrについては雨観測データ(7事例)を用いたバイアス補正、 $\rho_{HV}$ についてはSNRなどを用いた補正とフィルタリング、KDPについては異常値の除去を行った。現地近傍を解析可能なレーダーとして氏家、田村の2サイトを検討したが、田村レーダーではバイアス補正に用いたデータの期間と本研究の対象とする解析期間の間でバイアス値が同一ではなかったため、氏家レーダーについてのみ解析を行った。直交座標への変換にはCressman内挿を使用し、緯度経度座標系(「2分の1地域メッシュ」、約500m分解能)に5分毎の値を出力した。

## 3 結果

### 3.1 積算降水量分布

仰角 $1.6^\circ$ の降水量分布をアニメーションにしたところ、期間Ⅰ：26日には北西-南東走向のバンド構造が見られるなど様々な変化をする期間、期間Ⅱ：日付が変わる前後約2-3時間、現地上空が比較的一様な弱い降水域となりその東側に降水強化が見られた期間、期間Ⅲ：その後、現地上空にやや強い降水域が停滞した期間、という特徴的な変化が見られた。それぞれの期間について積算降水量を求めたものが図-1である。

期間Ⅰにおいては現地から東方にかけて全体的に降水が分布し、特徴的なパターンは見られない。スナップショットで見られたバンド構造は停滞しておらず、レーダー観測範囲を次々と通過していた。積算である図-1左で特に降水の集中が見られないのはそのためと考えられる(図-1左)。期間Ⅱにおいては現地上空の降水量は少なくかつ分布が一様である一方、その東側30~40km(標高500m線付近)に降水が集中していた(図-1中)。期間Ⅲでは約5時間にわたって、現地上空すぐ東側の降水量が多かった(図-1右)。鉛直断面を取ると、この強い降水域は高度が下がるほど西に中心があるように傾いていたこと、かつ高度が下がるほど降水が強く

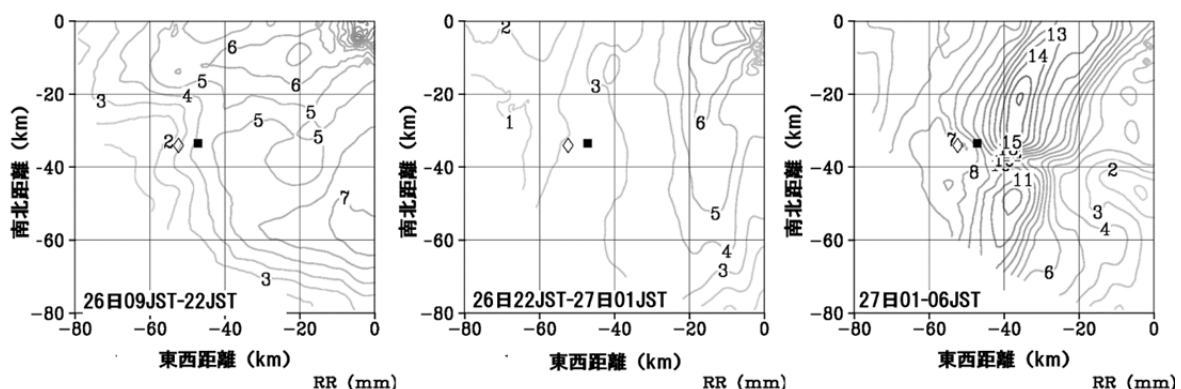


図-1 2017年3月(左)26日09JSTから22JSTまで、(中)26日22JSTから27日01JSTまで、(右)27日01JSTから06JSTまでの、仰角 $1.6^\circ$ の積算上空降水量分布。図の範囲はレーダーを原点とした東西、南北距離の座標系のレーダー南西象限である。陰影はレーダー反射因子(dBZ)、等値線は標高を表す。◇と■はそれぞれ現地とアメダス那須高原を示す。レーダーから距離80kmまでが観測範囲である。

なっていたことがわかる(図-2). 期間Ⅲの強い降水域は同じ場所に停滞しており, 降雪粒子が風に流されながら成長し, 現地近傍に強い降水をもたらし続けていたと考えられる.

### 3.2 VVP 解析

VVP 解析によると, 26 日午後の降り始めは西風であったが, 夕方頃から, 現地西側などに西風が残りながらも全体的には南東～南の風に置き換わり(図-3 左), 特に 26 日 21 時ごろからは南東風が卓越する傾向となった. その後 27 日 0 時ごろにかけて現地上空はかなり一様な南東風の間となった(図-3 中). 27 日 1 時ごろから降水の強まりとともに風速が増加し, 5 時 30 分ごろから北東風の領域が広がったが, この間, 現地付近の風はあまり一様ではなく, 収束が見られることが多かった(図-3 右). 現地上空では 6 時ごろに南成分の風が北東風に置き換わった後, 北北西へと変化し風速はさらに強くなった. 雲粒無し結晶の降雪による弱層が形成された時間帯は, 雪崩発生よりかなり以前のはずであり, 上空の風速は雪崩発生時刻より弱く, 風向も大きく異なっていたと考えられる.

降水強度と風の場について, 時系列を解析した. VVP 解析値から現地近傍の値を求めたところ, 反射強度は 27 日 0 時頃までは 15dBZ-20dBZ, 0 時以降はほぼ 20dBZ 以上と明瞭な差があった. 平均風速は 26 日 13 時から 21 時ごろまでが  $5 \text{ m s}^{-1}$  以下と弱く, 22 時以降は  $5-10 \text{ m s}^{-1}$ , 27 日 7 時以降は  $10 \text{ m s}^{-1}$  と強い風になっていた(図-4).

特徴的だったのは風速のテクスチャである. テクスチャとは画像処理の分野で 2 次元的な

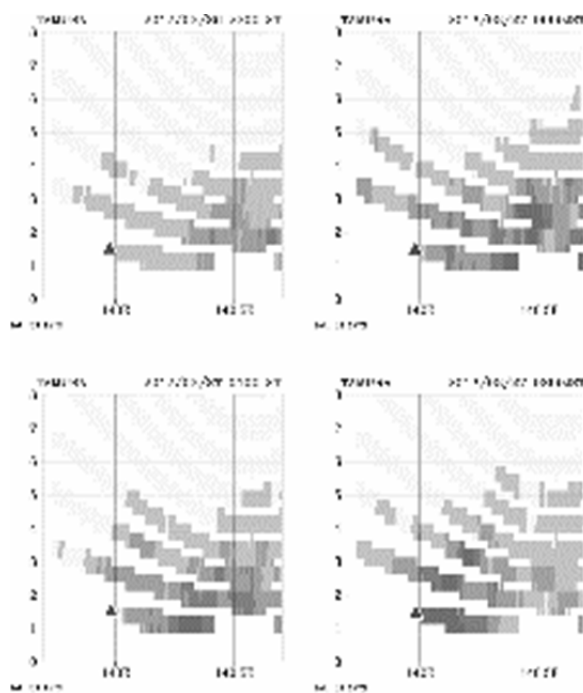


図-2 現地上空を通る東西鉛直断面. 降水強度を強いほど濃い色で示す. 最も薄い色は無降水, 白はデータの無い領域である. 仰角間隔に対して内挿の度合いを控えめにしているため, 仰角の間にギャップがある. 天狗岩の位置を▲で示す.

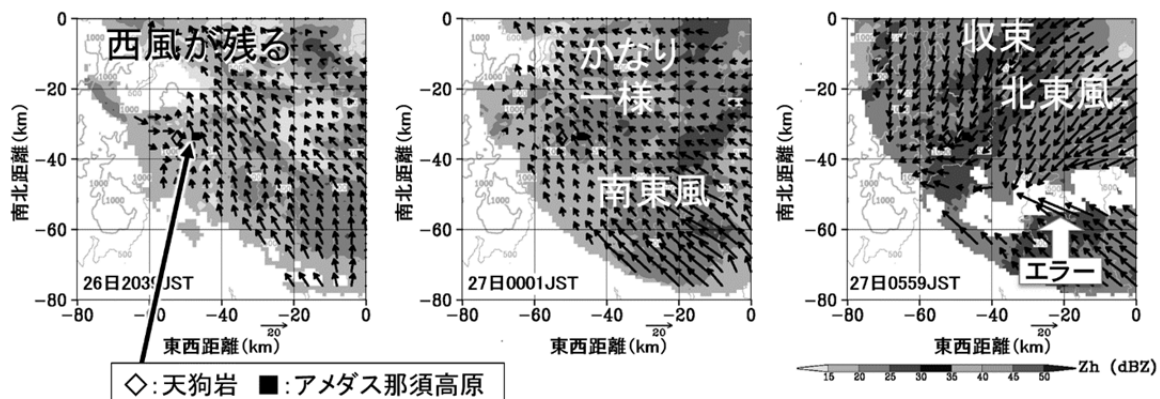


図-3 簡略化 VVP 法で求めた田村レーダー仰角 1.6 度の風ベクトルの分布. 図の範囲や記号等は図-1 に同じ. 各格子点を中心とする  $5 \times 5$  格子全てが 0dBZ 以上の点のみ風をプロットしている.

分布や模様の特徴を広く意味する用語であるが、ここでは、Ruiz et al. (2015)等で用いられている隣の格子との値の差の二乗平均平方根(Kessinger et al., 2003)を特徴量として「テクスチャ」と呼ぶことにする。Kessinger et al. (2003)の方法は極座標レーダーデータのレンジ方向についてのみ値の差を計算するが、ここでは東西方向、南北方向の両方について計算したものの平均を用いた。風速のテクスチャはこの計算を風の東西成分、南北成分それぞれについて行った値を平均して求めた。

風速のテクスチャは26日21時30分から27日1時までの間(図-4のA)、非常に小さい状態が安定して継続し、現地付近上空の風速分布が一様であったことを示している。また、この時間帯の中で23時から23時30分の間、一時的に反射強度のテクスチャも小さくなり、反射強度、風速の両方が現地上空を中心とした20km四方で非常に一様であった。27日6時から8時半にかけても風速のテクスチャは非常に小さいが、仮にZh<20 dBZ、風速テクスチャ<2 m s<sup>-1</sup>、風速<10 m s<sup>-1</sup>という条件で“降水と風が比較的弱く一様な期間”を抽出すると、期間Aが抽出され、その中でZhのテクスチャ<2dBZの期間が、特にZhの一様性が高い期間となる。ただし、図-4のCの期間も抽出される。

### 3.3 降雪粒子判別

氏家レーダーデータを用いたHCの結果について水平、鉛直断面を作図して概観したところ、現地近傍では氷晶、乾雪が多く分布し、その中に乾き霰が少し混じっていた(図略)。湿雪、湿り霰、雨滴などは、レーダー近傍や南方の関東平野には多く解析されたが、現地近傍ではほとんど見られなかった。そこで、VVP解析と同様に現地近傍20km四方、かつ高度幅1500mから2500mの領域を取り、その中で10%以上の格子に降水がある時刻について、判別された各粒子ごとの格子数を求めた。10%というしきい値は観測後半の欠けが大体無くなることを目安としており、値が小さいのは無降水域やビームブロックによる観測のない格子も含むためである。

降り始めから27日1時ごろまでは冠雪と氷晶の格子数がほぼ同数で、乾き霰の格子数がそれより一桁少ない状態が続いた。1時以降は氷晶と判別された領域が多くなり、降水の強い時間帯に対応して一時的に乾き霰の格子数が増加した(図-5)。27日に氷晶格子が多かったことから、氷晶という分類は明らかにこの事例に関しては雲粒なしとの対応はつけられない。一方、乾雪と乾き霰の比率(本稿では雪霰比と呼ぶ。)は一時的にその値が0.1以下で

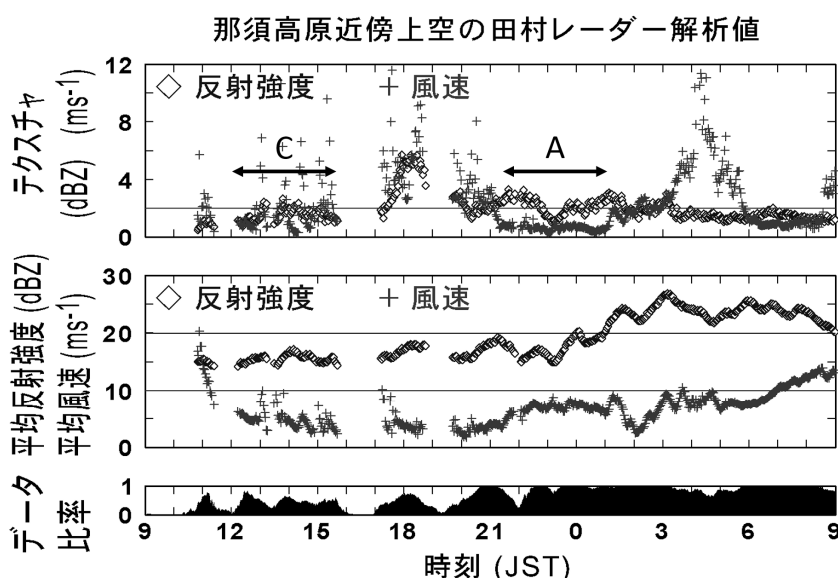


図-4 田村レーダーVVP解析値より求めた、那須高原近傍上空の20km四方(21x21格子)のうち観測値あり格子数(データ比率)が33%以上を有効として求めた平均反射強度(dBZ)、ベクトル平均風速(m s<sup>-1</sup>)、反射強度と風速のテクスチャの時系列。図中C、Aについては本文参照。

安定することがあり、雪霰比が10分前から継続して $<0.1$ 、かつ降水強度 $0.4 \text{ mm hour}^{-1}$ 以下、という条件を用いると、図-5のP、Q、R、Sの4期間が抽出された。

このうち期間R(26日22時~23時30分)は図-4の期間Aに含まれている。このことは、期間Rが、降雪が弱く、降雪強度も風の場合も同様、雪霰比が小さいという条件を安定して満たしており、雲粒が少なく弱層となる積雪層の形成に対応することを示唆する。図-5の期間Pも同じ条件を満たすが、時間が短くまた弱層形成時と考えるには時間的に早すぎる。

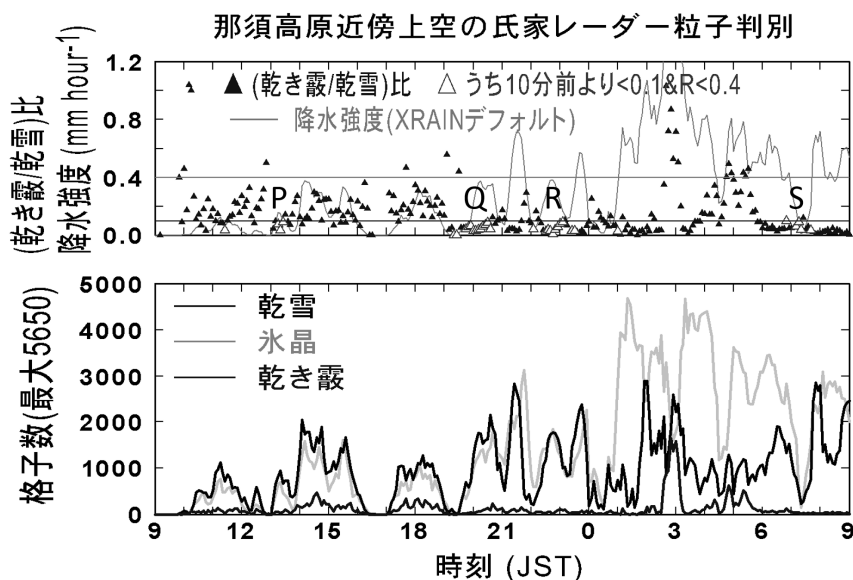


図-5 氏家レーダーデータを用いた降水粒子判別より求めた、那須高原近傍上空の約20km四方、高度1500mから2500mの領域内における、氷晶、乾雪、乾き霰の格子数(下)、及び、乾き霰と乾雪の比(雪霰比)と降水強度(上)。雪霰比のうち赤で示したのは雲粒付着の少ない弱い降水を想定した条件で抽出したもの。本文参照。

#### 4 考察とまとめ

VVP解析による風の場合、降水強度、偏波パラメーターを用いた粒子分類を併用し、現地近傍の降水と風の場合の時系列を解析した。その結果、降水強度が弱く、反射強度と風速が同様、かつ雪霰比が小さいという条件で、特定の期間を抽出可能なが分かった。今回抽出された26日22時~23時30分という期間は、表層雪崩の弱層となった雲粒付着の少ない降雪に対応することが示唆される。

この期間を中心とした期間IIの降雪と風の分布の特徴は、現地東側30~40kmの標高約500m付近に比較的強い降水域が停滞し、その西側の弱く一般的な降水域であったこと、及び、レーダー観測高度においても弱く非常に一般的な南東風の場合であったことである。抽出された期間の継続時間は1時間30分と短く、低気圧からの風の変化と地形の影響などにより、現地付近に形成された数十kmスケールの降水系の構造が特に雲粒付着の少ない降雪粒子を成長させることに寄与したものと考えている。

上記の期間はしきい値を決めることにより抽出されたが、現状そのしきい値は経験的に決めたものであり、今後の事例の積み重ねによって、もっと一般的な条件で雲粒付着の少ない降雪域を特定できるようにすることが望ましい。そのためには、今回の事例に対しても、弱層となった雲粒付着の少ない降雪の時間帯、そのような降雪がもたらされたプロセスについて、他の研究と結果との比較も含めて、さらに解析を進める必要がある。

弱層形成後の新雪荷重となった降雪については、期間IIIの降雪が対応するものと考えている。この期間には東に傾いた強い降雪域が現地上空に移動、停滞し、下層ほど降雪が強くなる構造を保ちながら現地付近に強い降雪をもたらしていた。この降水系も停滞する特徴を持って

おり、地形の影響でどこにこのような雪雲が停滞するかが、そのプロセスの解明と予測につなげることが今後の課題である。

弱層となる降雪、新雪荷重となる降雪のいずれについても、低気圧の時間変化の中で形成された停滞性の強い降雪域が存在していた。そのスケールは数十 km 程度である。そのような降雪域の形成条件、ひいては一般的に弱層となり得る降雪がもたらされる過程を明らかにするためには、降雪粒子分布と気流の 3 次元的な特徴を把握する必要がある。図-6 はそれを試行した例である。このような、レーダー解析とモデリングを併用した研究を今後進展させて行くことが必要と考えられる。

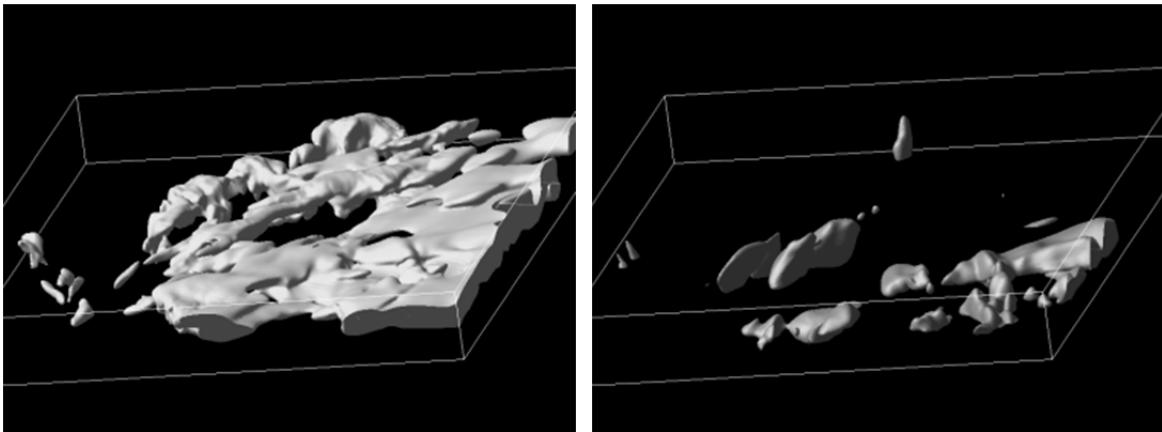


図-6 レーダー観測された風を数値気象モデル CReSS(Tsuboki and Sakakibara, 2007)に同化させて求めた(左)雪と(右)霰の 3 次元分布の例. 等値面は  $0.5 \text{ g kg}^{-1}$ . レーダーデータを用いた粒子判別による雪、霰と数値モデルで定義されるそれらとの比較など、今後の研究を必要とする部分は多い。

#### 謝辞

降雪粒子分類にあたっては、日本気象協会の板戸昌子、増田有俊の両氏にお世話になりました。利用した XRAIN データは国土交通省より提供されたもので、DIAS の枠組みによるものです。

#### 引用文献

- Kessinger, C., S. Ellis, and J. Van Andel, 2003: The Radar Echo Classifier: A Fuzzy Logic Algorithm for the WSR-88D. 3rd Conference on Artificial Intelligence Applications to the Environmental Science, P1.6. (<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/54946.pdf>, 2018 年 2 月 24 日確認)
- Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi, M. Oue, H. Takeuchi, T. Shinoda, K. Tsuboki, M. Kubo, and K. Muramoto, 2015: A hydrometeor classification method for X-Band polarimetric radar: Construction and validation focusing on solid hydrometeors under moist environments. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 32, 2052–2074, doi:10.1175/JTECH-D-14-00124.1.
- 中村一樹・小杉建二・根本征樹, 2017: 那須町雪崩災害調査: 第 1 回調査(2017. 3. 28). ([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 年 2 月 24 日確認)
- Ruiz, J. J., T. Miyoshi, S. Satoh, and T. Ushio, 2015: A quality control algorithm for the Osaka phased array weather radar. *SOLA*, 11, 48–51, doi:<https://doi.org/10.2151/sola.2015-011>.
- 瀬古弘, 2010: 中緯度のメソ  $\beta$  スケール線状降水系の形態と維持機構に関する研究. 気象庁研究時報, 62, 1-74.
- 立平良三・鈴木修, 1994: 単一ドップラーレーダーによる上層風推定の精度. *天気*, 41, 761-764.
- Tsuboki, K. and A. Sakakibara, 2007: Numerical prediction of high-impact weather systems. The Textbook for Seventeenth IHP Training Course in 2007, 281pp.