

令和元年6月24日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01340

研究課題名（和文）気象モデルからの雲物理過程を考慮した新積雪物理量推定手法の開発

研究課題名（英文）Development of estimation methods of physical quantities of new snow considering cloud microphysical processes using numerical meteorological model

研究代表者

中井 専人（Nakai, Sento）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究部門・総括主任研究員

研究者番号：20360365

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：新雪のSSA(比表面積)の測定を行い、102事例のデータを取得、解析した。新雪のSSAの値は降雪粒子のタイプによって大きく変化し、かつ気象条件や総観場、レーダーによる雪雲の種類にも依存することを示した。降雪起源の弱層になる可能性がある低気圧型で降った新雪のSSAの値は、冬型で降った新雪の値に比べて小さかった。また、長岡において観測と経験式を用いて得られた新雪SSAと数値実験から得られた雲粒寄与率とを比較した結果、日平均値においては雲粒寄与率の推移がSSAのそれと似た傾向を示し、数値モデルからのSSA推定の可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新雪のSSAという新しい指標を使うことで、今まで記述できなかった、降雪粒子が持つ履歴情報を積雪変質モデルに導入できる可能性を示すことができた。これは、社会的には、降雪起源の弱層になりやすい降雪となりにくい降雪を区別した予測の可能性を示唆したものである。

さらに、数値気象モデルそのものについても、本研究の雲物理過程寄与率の診断手法は、将来の雲物理スキーム改良による新積雪物理量の予報の可能性を示した。これは例えば2014年の関東甲信の大雪の時に多発したような、降雪種起源の表層雪崩の予測にも役立つと期待される。

研究成果の概要（英文）：The specific surface area (SSA) of newly fallen snow (NS) was measured and the data of 102 cases were compiled and analyzed. The SSA of NS varied depending on the types of falling snow particles, local meteorological and synoptic conditions, and types of snow cloud deduced from radar observations. The SSA values of NS from low-pressure systems were smaller than that of NS from winter monsoon clouds. A comparison was made between observationally derived SSA of NS using empirical functions and cloud-particle contribution ratio derived from numerical experiments. Both parameters showed similar variation in daily-mean basis. It means that the estimation of the SSA using numerical meteorological models would be possible.

研究分野：メソ気象学

キーワード：降雪 新積雪 SSA 雲物理 レーダー メソ気象学 雪氷学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 積雪内部において、たとえば南岸低気圧で起こる雪崩は特定のタイプの降雪粒子からなる弱層に起因している。弱層の強度は、降雪粒子形状によって変化する初期積雪物理量(密度等)に関係する。この初期積雪物理量を面的に推定するためには、降雪粒子を成長させる気象場の変数を3次元的に得られる気象モデルからの推定が必要であった。

(2) 一方、気象モデル内の雲物理スキームは実際の降雪粒子の物理量を十分表していなかった(雹と霰と雪という分類以外に粒子形状に関する予報変数がなかった)。モデル改良を行い粒子形状に関する物理量を得られるようにするためには、モデルの結果と実測とを比較することが不可欠であるが、モデルの結果と比較するだけの降雪の物理量の測定、及び積もった直後の初期積雪物理量の測定も、充分なされていなかった。

(3) 降水系の種類によって卓越する降雪粒子の形状は異なる。例えば、北陸季節風時の雪雲では雲粒付き樹枝状結晶からなる雪片や霰、南岸低気圧前方では雲粒の付かない角板、角柱や鼓状結晶などが卓越する。この卓越晶癖が定量的なパラメータとなっていなかったため、気象モデルによる気象要素の分布から初期積雪の特性を面的に得るすべがなかった。

### 2. 研究の目的

表層雪崩や着雪などの災害を事前に予測するためには、新積雪の物理量が必要である。そのためには、現在の気象モデル内では十分に表現されていない降雪形状の物理量を広域で予測する必要がある。そこで本研究では、実際に測定された降雪・初期積雪物理量と気象モデル内で予測される変数との関係について、レーダーによる降雪雲の構造と対応づけて明らかにする。また、気象モデル内で予測される変数を用いて、初期積雪の物理量を診断的に推定するためのアルゴリズムを開発する。

### 3. 研究の方法

降雪の SSA と新積雪密度  $\text{init}$  について実測を行い、測定データを蓄積する。偏波レーダー観測に基づき、降雪雲の構造等を解析する。数値気象モデルによる雲物理量(雪、霰、雲氷、雨、雲水の混合比と数濃度)及び気温、過飽和度から、大気下層における降雪粒子特性を診断的に推定するアルゴリズムを試作し、実測された SSA やレーダー観測との比較によりそれを改良する。

### 4. 研究成果

(1) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター(SIRC)にある降雪粒子観測施設の天井の開く低温室(-5 )内に設置したテーブル上に自然降雪を堆積させ、堆積後の変化の影響をできるだけ排除するため降雪後1-2時間程度でサンプリングを実施し、その SSA の測定を行い、102事例のデータを取得した。

(2) 新雪の SSA の値は降雪粒子のタイプによって大きく変化し、降雪結晶の雲粒付着度合いに密接に関係すること(雲粒付着度合いが小さい場合には SSA も小さく、雲粒付着度合いが大きい場合には SSA も大きくなる)ことを示した。

(3) 測定試料が堆積した時間帯に対応する気象要素と SSA との関係性を調べた結果、気温並びに相対湿度と SSA との間には弱い負の相関が見られ、風速と SSA との間には比較的強い正の相関が見られるなど、気象要素によって相関の正負、強さが異なることが分かった。また、総観規模の気象場が新雪の SSA にどのような影響を与えるか調べるため冬型で降ったタイプ(M-type)と低気圧型で降ったタイプ(C-type)の二つに分類し、解析を行なった。その結果、C-Typeで降った新雪の SSA は M-type で降った新雪の SSA に比べると小さい値を示すという結果が得られた。降雪起源の弱層になる降雪は C-type で降ることが多いと言われている。

(4) 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で災害雪崩が発生し、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したことが明らかになっている。この雪崩の弱層形成について、レーダーと気象モデルによりそれぞれ独立に推定したところ、解析結果として得られた弱層形成の時間帯が一致した(図1)。これは、本研究により、気象モデルから上空の降雪粒子の形状を表す物理量を出力するよう改良がなされたこと、及び、レーダー降雪分布パターンを模式化、定量化できるようになってきたことによる。

(5) 2015年1月27日から2月1日にかけて、長岡では、総観規模擾乱の通過に伴い、いくつかの降雪イベントが観測された。1月27日は低気圧前面、28-29日は低気圧後面の降雪、30日夕方から再び低気圧前面、31日から2月1日にかけて低気圧後面の降雪がもたらされた。低気圧前面では比較的広範囲にわたる降水分布、後面で筋状の降水分布が観測され、数値実験はそれぞれの特徴をよく再現していた。長岡で観測された地上風速と湿球温度をもとに、(3)項により得られた経験式を用いて新雪の SSA が計算された。図2は、この比表面積と数値実験から得られた雲粒寄与率の、それぞれ、日平均値を表している。雲粒寄与率の推移は、比表面積のそれと似た傾向を示しており、二つのパラメータの間には相関があると考えられる。

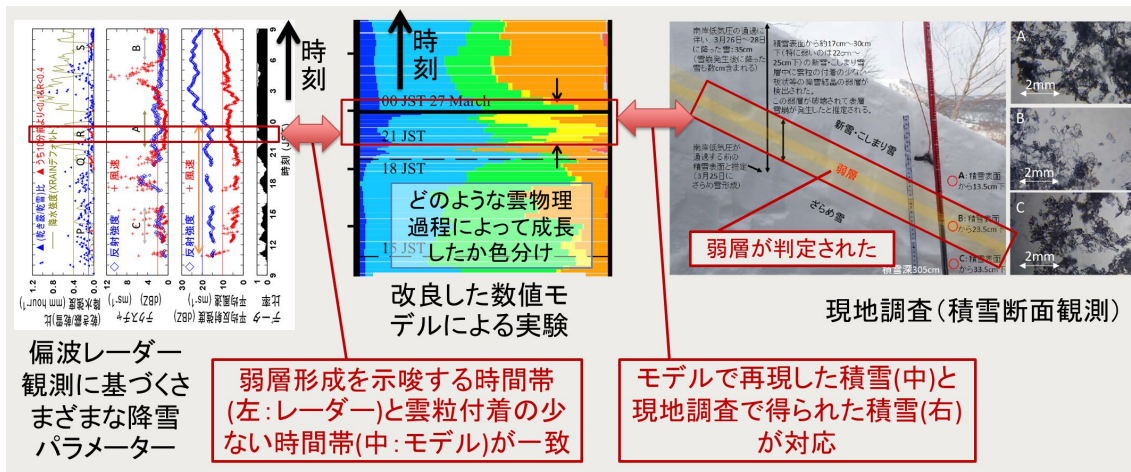


図1 那須町における災害雪崩事例に見られた、(左)レーダー降雪分布特性から得られた弱層形成を示唆する時間帯、(中央)改良した気象モデルによる雲物理情報に基づく雲粒付着の少ない(弱層となる危険が高い)時間帯、及び(右)現地調査による弱層、の対応。

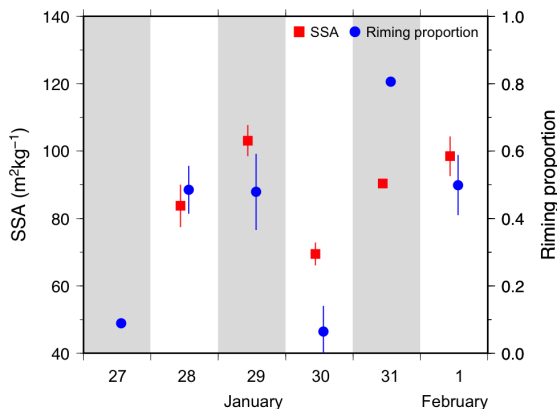


図2 観測と経験式に基づいて求めた SSA ( )と数値実験から得た雲粒寄与率 ( )の日平均値。実線は標準偏差。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

Yamaguchi, S., M. Ishizaka, H. Motoyoshi, S. Nakai, V. Vincent, T. Aoki, K. Yamashita, A. Hashimoto, and A. Hichikubo, Measurement of specific surface area of falling snow, Proceedings, International Snow Science Workshop, 査読無, 巻無, 2018, 527-530  
[https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018\\_006.5.pdf](https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018_006.5.pdf)

Nakamura, K., S. Yamaguchi, M. Nemoto, H. Motoyoshi, and I. Kamiishi, First attempt at prediction of avalanches resulting from non-rimed falling snow crystals in Japan, Proceedings, International Snow Science Workshop, 査読無, 巻無, 2018, 967-970  
[https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018\\_P10.21.pdf](https://arc.lib.montana.edu/snow-science/objects/ISSW2018_P10.21.pdf)

橋本明弘, 本吉弘岐, 三隅良平, 折笠成宏, 数値気象モデルによる降雪粒子予測の高度化, 北海道の雪氷, 37 巻, 2018, 63-66

Hashimoto, A., M. Niwano, T. Aoki, H. Motoyoshi, S. Yamaguchi, and S. Nakai, Numerical weather prediction experiment in collaboration with research activities in glaciology and snow disaster prevention, CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 査読無, 47 巻, 2017, 5.11-5.12.

Ishizaka M., H. Motoyoshi, S. Yamaguchi, S. Nakai, T. Shiina, and K. Muramoto, Relationships between snowfall density and solid hydrometeors, based on measured size and fall speed, for snowpack modeling applications, The Cryosphere, 査読有, 10 巻, 2016, 2831-2845

doi:10.5194/tc-10-2831-2016

[学会発表](計 3 4 件)

Hashimoto, A., Narihiro Orihara, H. Motoyoshi, and R. Misumi, Process-tracking model for snow particle formation based on bulk microphysics, 2018 AGU fall meeting (国際学会), 2018, Washington, D.C.

橋本明弘, 折笠成宏, 本吉弘岐, 三隅良平, 山岳性降雪雲における降水形成過程に関するバルク法雲微物理モデルを用いた解析, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018, 仙台  
Hashimoto, A., H. Motoyoshi, R. Misumi, and N. Orikasa, Multivariable Scheme for Diagnosing Ice Particle Features in a Bulk Microphysics Model, AMS 15th Cloud Physics Conference (国際学会), 2018, Vancouver

橋本明弘, 本吉弘岐, 山口悟, 中村一樹, 河島克久, 庭野匡思, 中井専入, 降雪系弱層形成に関する気象数値モデルを用いた再現実験, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018, 千葉

橋本明弘, 本吉弘岐, 三隅良平, 折笠成宏, バルク法雲物理モデリングにおける降水粒子特性の精緻化, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018, つくば

Hashimoto, A., H. Motoyoshi, K. Nakamura, S. Yamaguchi, K. Kawashima, M. Niwano and S. Nakai, Transition of falling snow characteristics causing weak layer formation simulated by a numerical weather model, in avalanche disaster events on March 27, 2017 in Japan, EGU General Assembly 2018 (国際学会), 2018, Vienna

中井専入・本吉弘岐・熊倉俊郎・石坂雅昭・山下克也・村上茂樹, 降雪種ごとの Zh-R : 雲粒の少ない粒子についての観測的検討, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018, つくば

山下克也・山口悟・本吉弘岐・中井専入, 長岡市での南岸低気圧通過時の降雪特性調査: 2018 年 1 月の事例, 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018, つくば

中井専入・本吉弘岐・山下克也・山口悟, 2018 年 1 月から 2 月の大雪時の降水系, 2018 年度(公社)日本雪氷学会北信越支部大会, 2018, 富山

山下克也・中井専入・本吉弘岐, 新潟県で測定した南岸低気圧に伴う降雪時と冬型気圧配置時の降雪時の降雪種 - 2018 年 1 月 22 日から 24 日の事例 -, 2018 年度(公社)日本雪氷学会北信越支部大会, 2018, 富山

中井専入・本吉弘岐・山下克也・山口悟, 2018 年 1-2 月大雪時の北信越地方における降雪分布と降水系, 雪氷研究大会(2018・札幌), 2018, 札幌

山下克也・中井専入・本吉弘岐, 新潟県上越市で測定した降水粒子の落下速度変化, 雪氷研究大会(2018・札幌), 2018, 札幌

中井専入・本吉弘岐・山下克也・山口悟, 2018 年 1 月大雪時の新潟県における降水系と降雪時気温, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018, 仙台

本吉弘岐・山下克也・山口悟・中井専入, 南岸低気圧通過時の降雪結晶の連続観測と粒子の落下特性, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018, 仙台

本吉弘岐・山下克也・山口悟・中井専入・石坂雅昭, 長岡における地上観測による降水系と降雪粒子の比較, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 17 回)』, 2018, 長岡

石坂雅昭・本吉弘岐・中井専入・山下克也, 2018 年北陸集中豪雪時の降雪粒子と雲物理過程の現象論, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 17 回)』, 2018, 長岡

中井専入・橋本明弘・山口悟・本吉弘岐・山下克也, 降雪粒子情報からの新積雪物理量推定は可能か: Introduction, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 17 回)』, 2018, 長岡

山口悟・石坂雅昭・本吉弘岐・山下克也・中井専入・橋本明弘・Vionnet Vincent・八久保晶弘・青木輝夫, 降雪の比表面積の測定 - 降雪の形状を表す物理パラメータを探して -, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 17 回)』, 2018, 長岡

橋本明弘・本吉弘岐・山口悟・中井専入, 気象モデルを用いた新積雪物理量推定の試み, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 17 回)』, 2018, 長岡

Nakai, S., H. Motoyoshi and T. Kumakura, S. Murakami, K. Yokoyama, Radar estimation of solid precipitation intensity: A disdrometer reference method and problems, International Workshop of falling snow and snow cover, 2017, Nagaoka

- ②① Hashimoto, A., Application of cloud microphysics model to estimation of snowpack parameters, International Workshop of falling snow and snow cover, 2017, Nagaoka
- ②② Motoyoshi, H., On empirical parameterizations of characteristics of falling snow particles and its applications, International Workshop of falling snow and snow cover, 2017, Nagaoka
- ②③ Ishizaka, M., Acquisition of snowfall characters, and their relationships with density of newly fallen snow, for snowpack modeling applications, International Workshop of falling snow and snow cover, 2017, Nagaoka
- ②④ Yamaguchi, S., Measurement of Specific Surface Area of falling snow for description of falling snow properties, International Workshop of falling snow and snow cover, 2017, Nagaoka
- ②⑤ 橋本明弘, 本吉弘岐, 山口悟, 中井専入, 降雪による弱層形成に関する雲・降水数値モデルを用いた新雪特性の推定, 雪氷研究大会(2017・十日町), 2017, 十日町

- ②⑥ 橋本明弘, 林修吾, 伊藤純至, 山田芳則, 折笠成宏, 本吉弘岐, 石坂雅昭, 山下克也, 山口悟, 中井専人, 三隅良平, JMA-NHM 降雪種再現性の評価, 日本気象学会 2017 年度春季大会, 2017, 東京
- ②⑦ 橋本明弘, 三隅良平, 折笠成宏, バルク法雲物理モデルを用いた粒子特性診断の精緻化に向けて, 第 19 回非静力学モデルに関するワークショップ, 2017, 富山
- ②⑧ 橋本明弘, 本吉弘岐, 山口悟, 中井専人, 雲・降水モデルを用いた降雪系弱層形成に関する新たなアプローチ, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第 16 回)』-雪崩につながる不安定積雪を作る降雪-, 2017, 長岡
- ②⑨ 橋本明弘, 雲・降水数値モデルを用いた新積雪粒子の推定, 北海道大学低温科学研究所共同研究集会「グリーンランド南東ドームアイスコアに関する研究集会」, 2017, 札幌
- ③⑩ 山口悟, 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山下克也, 中井専人, 橋本明弘, Vinnet Vincent, 八久保晶弘, 青木輝夫, 新雪の比表面積に関する研究(2), 雪氷研究大会 (2017・十日町), 2017, 十日町
- ③⑪ 石坂雅昭, 本吉弘岐, 山口悟, 中井専人, 椎名徹, 村本健一郎, 降雪情報のみから新雪密度を推定する, 2017 年度(社)日本雪氷学会北信越支部大会, 2017, 十日町
- ③⑫ 中井専人, 本吉弘岐, 熊倉俊郎, 石坂雅昭, 山下克也, 村上茂樹, レーダー・降雪粒子同時観測に基づく降雪種ごとの Zh-R, 日本気象学会 2017 年度春季大会, 2017, 東京
- ③⑬ 中井専人, 清水慎吾, 前坂剛, 岩波越, 木枝香織, 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量と風の分布, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017, 北海道
- ③⑭ 中井専人, 清水慎吾, 前坂剛, 岩波越, 木枝香織, 板戸昌子, 増田有俊, 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, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡(第 16 回)』, 2017, 長岡

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 in 長岡 (第 17 回)』雲物理過程と新積雪物理量 その表現と計測

[http://yukibousai.bosai.go.jp/others-files/KouWS\\_FY2018Nagaoka/](http://yukibousai.bosai.go.jp/others-files/KouWS_FY2018Nagaoka/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 橋本 明弘

ローマ字氏名: HASHIMOTO Akihiro

所属研究機関名: 気象庁気象研究所

部局名: 予報研究部

職名: 主任研究官

研究者番号(8桁): 20462525

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: 山口 悟

ローマ字氏名: YAMAGUCHI Satoru

研究協力者氏名: 本吉 弘岐

ローマ字氏名: MOTOYOSHI Hiroki

研究協力者氏名: 山下 克也

ローマ字氏名: YAMASHITA Katsuya

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。