

東北の雪と生活

第 36 号

2021

公益社団法人 日本雪氷学会東北支部

東北の雪と生活

目 次

巻頭言	衛星リモートセンシングの現状	若林裕之	1
論 文	全層雪崩の観測事例を用いた雪崩モデルのパラメータ決定とその適応性	田邊章洋・荒川逸人・安達 聖・伊藤陽一	3
	秋田県における観測開始から 2021 年までの積雪深の長期変動について	伊藤 驍・石井昭浩・武田 守	9
	東北 6 県における 2020-21 年冬季の降積雪の特徴	本谷 研	17
報 告	令和 3 年(2020/21 年)冬期における新庄の積雪変化について	小杉健二・荒川逸人・根本征樹・安達 聖・佐藤研吾・田邊章洋	22
	2020-2021 年青森県の雪況	小関英明	24
	山形蔵王における雪氷現象の観測(2020/2021 冬季)	沖田圭右・山谷睦・原田俊明・沼澤喜一	30
	山形蔵王の低標高にできる樹氷—2014/2015 冬季, 2019/2020 冬季—	沼澤喜一・山谷睦・沖田圭右・原田俊明	33
	地域気候モデルによる積雪の再現性	山崎剛・高橋直也・川瀬宏明・山口悟	37
	陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定(2)	岩波発彦・山崎剛	42
	衛星画像 MODIS を用いた積雪・融雪モデルのパラメータ算定	神戸智志・朝岡良浩	45
	無散水消融雪施設の効率的な稼働に向けた検討(その 3)	服部恭典・山口正敏・鈴木和則	51
	2020/2021 年冬期に発生した 3 件の雪崩調査報告	荒川逸人・安達聖	53
	着雪の現況把握手法の検討	佐藤研吾・中村一樹・富樫数馬	58
資 料	東北雪氷賞受賞理由		63
	公益社団法人日本雪氷学会 2021 年度東北支部理事会 議事録		65
	公益社団法人日本雪氷学会 2021 年度東北支部臨時理事会 議事録		66
	公益社団法人日本雪氷学会 2021 年度東北支部総会 議事録		67

2020 年度（公社）日本雪氷学会東北支部事業報告・収支報告書	68
2021 年度（公社）日本雪氷学会東北支部事業計画・収支予算案	71
公益社団法人日本雪氷学会東北支部 支部規程施行内規	74
東北雪氷賞受賞者選考規程	76
東北雪氷賞受賞者リスト	78
日本雪氷学会東北支部「東北の雪と生活」投稿規程	80
「東北の雪と生活」原稿執筆要項	81
「東北の雪と生活」著作権譲渡承諾書	83
2021・2022 年度 公益社団法人 日本雪氷学会東北支部役員	84
（公社）日本雪氷学会東北支部 特別会員	86
（公社）日本雪氷学会東北支部 賛助会員	87

巻 頭 言

衛星リモートセンシングの現状

公益社団法人 日本雪氷学会東北支部 支部長 若林 裕之



このたび 2021・2022 年度日本雪氷学会東北支部長を拝命いたしました。微力ではありますが、支部長としての使命を全うすべく、2年間東北支部の活動に貢献するように努力してまいります。日本大学工学部に来てから15年以上経過しましたが、日本雪氷学会東北支部との関わりは、2015年の日本大学工学部キャンパスでの東北支部大会開催のお手伝いと、2017・2018年度の事務局としての経験だけなので少々心もとありません。また、昨年度からの新型コロナウイルス感染症の影響も大きく、2022年度の東北支部大会や2023年度に予定されている東北での雪氷研究大会等の検討はほとんど進んでいません。今後東北支部会員皆様のご協力をお願いすることが多くなると思いますが、どうぞよろしく願いいたします。

私自身の日本雪氷学会との出会いは、1993年秋の山形県新庄市で開催された日本雪氷学会全国大会で、1992年に打ち上げられたばかりの地球資源衛星(JERS-1)によるサロマ湖の氷の観測結果を発表したことでした。当時の発表内容の多くは雪氷物理化学や雪氷災害関係という印象で、人工衛星搭載センサーで取得したリモートセンシングデータを使用した研究発表はほとんどなく、人工衛星からの観測で何がわかるのかという印象を持つ方が多かったと思います。もっとも、使用可能な地球観測衛星の数が少なく空間分解能も低く高価でしたので当然の事だったと思います。極端な言い方をすれば、「使えないデータ」だったと思います。

最近では、無償でインターネット経由で入手可能なオープン&フリー(Landsat や Sentinel シリーズ等)データが増え、まだ十分ではありませんが観測頻度も高くなっています。例えば、Sentinel-1は衛星2機体制で同一場所をおおよそ6日周期でデータ取得可能です。皆様に興味を持っていただくきっかけになればと思い、この場をお借りして衛星リモートセンシングの現状や最新の動向を紹介させていただきます。釈迦に説法の部分も多いと思いますがご容赦いただきたいと思います。

リモートセンシングは広義では観測対象物を非接触で計測する技術ですが、大学で教える際には狭義として電磁波を利用するものとしています。つまり、計測を行う媒体は光や電波ということになります。光や電波を使用して、雪氷の代表である雪を計測すると、土壌や森林等の他の観測対象物と比較すると、可視光の波長帯では反射が大きく、電波の波長帯では反射が小さくなります。

光で雪を観測する場合は、正規化雪指数(NDSI:Normalized Difference Snow Index)が使用されることが多く、分光反射率(波長毎の反射率)を考慮して、雪の反射が大きい可視光と小さい短波長赤外の差を利用します。短波長赤外では太陽光放射エネルギーが小さくセンサーへの入射光量が小さいため、出力信号の信号対雑音比(S/N)を大きくするためには1空間分解能あたりの面積を大きくする必要があります。オープン&フリーでデータ入手できるMODIS(空間分解能500m)、Landsat-8(空間分解能30m)、Sentinel-2(空間分解能20m)の光学センサーは、可視と短波長赤外の両方を観測していますので、これらのセンサーデータを使用してNDSIを利用することができます。

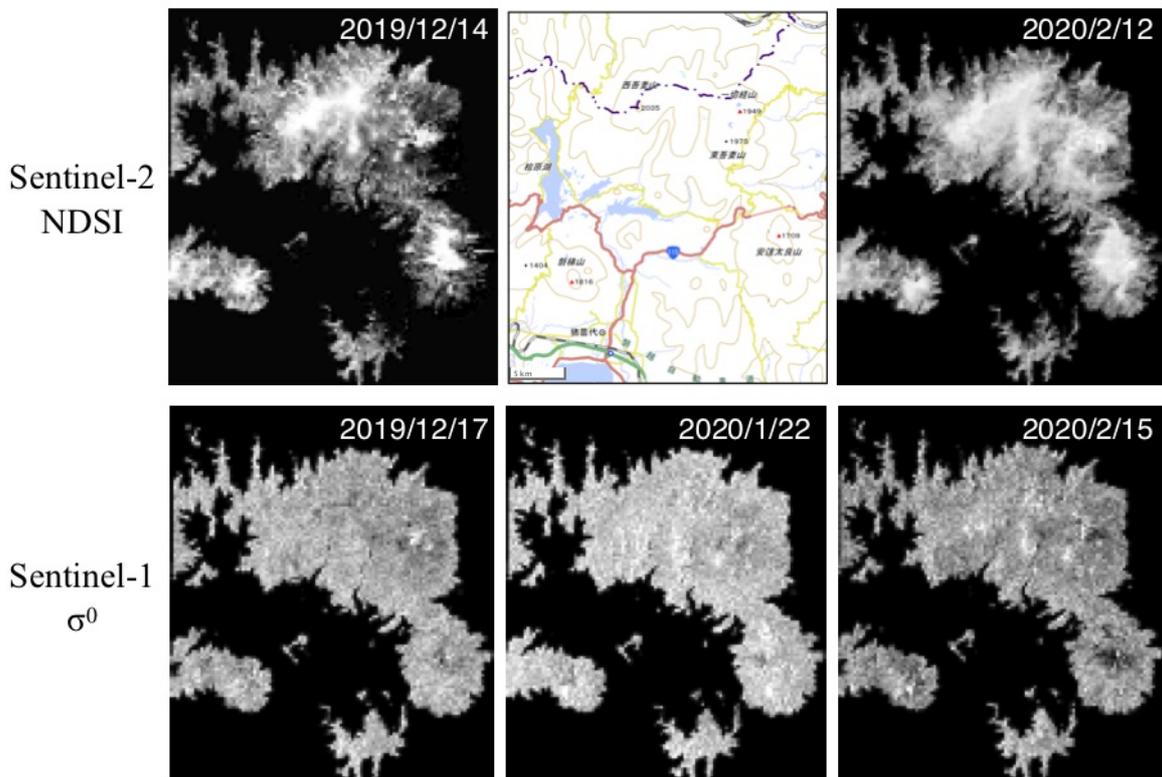
次に電波で観測する場合ですが、能動型高分解能センサーである合成開口レーダ(SAR)の観測波長は3cm~24cmです。この範囲における氷の比誘電率は3程度となり土壌等に比べて小さい値です。乾雪は空気と氷の混合物なので、空気と氷の間の比誘電率となり氷よりさらに小さい値(2程度)となりま

す。空気と雪の2層構造を考えると、両者の比誘電率の差が小さいので境界面での電波反射は非常に小さいのですが、積雪層が厚くなると乾雪は小さい氷の粒子で構成されるので体積散乱が生じます。電波の領域では、この体積散乱を計測することで雪の有無を計測するという仕組みです。レーダの送受信で異なる偏波の組み合わせが可能な場合、例えば、表面散乱, 2 回散乱, 体積散乱等の散乱のメカニズムを区別することができます。

身近な例として、2019 年度冬季 12 月から 2 月にかけての福島県中部から北部の標高 1000m 以上 (磐梯山, 安達太良山, 吾妻山) を切り出した光学センサ(Sentinel-2)と SAR(Sentinel-1)画像を示します。両者を比較するためなるべく観測時間の近いものを探しましたが、Sentinel-2 については光学センサの弱点である雲が多く 1 月中の良好なデータが見つかりませんでした。Sentinel-2 の画像は NDSI を、Sentinel-1 の画像は後方散乱係数(σ^0 :レーダの方向に戻ってくる散乱の大きさに関係)を示しています。画像上で確認できる画素値変化は積雪状態の変化に起因すると考えられます。実際には、雲や植生の影響、雪粒径変化、湿雪の影響等があり単純ではないのですが、光や電波で雪を計測する仕組みを紹介しました。

衛星リモートセンシングに関する最新の動向としては、小型で多数の衛星(コンステレーション)を使用した観測システムが出てきました。従来の重い頑丈な人工衛星のイメージではなく、軽い使い捨てのおもちゃみたいな人工衛星という印象です。具体的には米国 Planet 社(100 機以上)の光学衛星やフィンランド ICEYE 社の SAR 衛星(18 機)です。空間分解能 3m の光学衛星と空間分解能 1m 以下の SAR 衛星で、観測頻度は 1 日以内という従来の概念を覆す観測頻度が実現されつつあります。

約 30 年前は「使えないデータ」だったものが、観測頻度やコスト的にも「使えるデータ」になってきていると思います。衛星リモートセンシングデータを、問題を解決するための道具の一つとして、より多くの人に興味を持って使ってもらえたら幸いです。



2021.8.31

全層雪崩の観測事例を用いた雪崩モデルのパラメータ決定とその適応性

田邊章洋 (防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)
 荒川逸人 (防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)
 安達 聖 (防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)
 伊藤陽一 (防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

Optimal parameter distribution of snow avalanche simulation for a dense snow avalanche and its applicability

Takahiro TANABE (Snow and Ice Research Center, NIED)

Hayato ARAKAWA (Snow and Ice Research Center, NIED)

Satoru ADACHI (Snow and Ice Research Center, NIED)

Yoichi ITO (Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

雪崩や地すべり、土石流は微視的には雪や土などの固体で構成されているが、巨視的にはそれら固体同士および周囲流体との相互作用によって流体的に振る舞う。このような観点から巨視的な粒子の流れを連続体としてモデル化する試みが古くから行われており、連続体近似した運動方程式が導かれてきた。例えば Savage and Hutter (1989) では斜面での粒子流に浅水流近似を施し、質量・運動量の保存則で巨視的な流れを記述している。このようなモデルを数値的に解き、雪崩のダイナミクスを再現するためには、保存則に加えて摩擦則等の構成則を仮定する必要がある。モデルの振る舞いは構成則に含まれるパラメータに依存するが、与え方は経験に依存することが多く厳密に与えることは難しい。

そこで本研究では、阿部ら (2012) 等で報告されている防災科学技術研究所 (以下防災科研) の雪崩観測サイト (山形県最上郡大蔵村) で自然発生した全層雪崩を対象として、その雪崩を再現するモデルパラメータの推定を行った。対象とする雪崩は 2021 年 2 月 12 日に発生し、翌 13 日に UAV による撮影が行われた (図 1)。同雪崩は 1 秒ごとのタイムラプス画像でも撮影されていたため、これらを合わせて雪崩の発生箇所や滑走距離、先端速度等の解析を行ったところ、高低差約 90m、水平距離約 160m、最大先端速度約 18m/s と推定された。なお、対象とする雪崩の発生前日 (2 月 11 日) にも、ごく近くで別の雪崩が発生していたことも確認されている。

対象の雪崩を再現するパラメータ推定を行うために、Fischer *et al.* (2015) に倣って観測結果と数値計算結果を比較、評価することで再現性の高いパラメータ分布を構築した。さらに、この手法で構成されたパラメータ分布がほかの雪崩事例に対してどの程度当てはまるのか評価した。

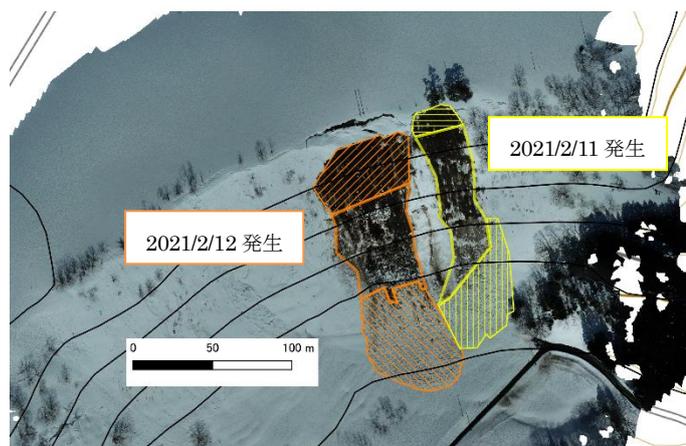


図 1 解析対象の雪崩。左側が 2021 年 2 月 12 日、右側が 2 月 11 日に発生 (撮影日 2 月 13 日)。それぞれの推定発生区、走路、堆積区を示す。黒線は 20 m 等高線を表す。

2. 手法

2-1 観測雪崩事例

本研究で再現対象とする雪崩は防災科研が雪崩観測を実施している雪崩サイト（山形県最上郡大蔵村）で2021年2月11日に自然発生した全層雪崩である。雪崩翌日のUAV撮影と1秒ごとのタイムラプス撮影を解析することで、数値計算で再現対象とする評価変数、雪崩の滑走距離 \hat{X}_r 、速度 \hat{X}_v 、デブリの厚さ \hat{X}_h および雪崩の成長率 \hat{X}_G を推定した（表1）。ここで、成長率は雪崩前後の質量比 $\hat{X}_G = m_{dep}/m_{rel}$ で定義し、滑り初めの質量 $m_{rel} = \rho A_{rel} h_{rel}$ に対して、デブリ質量を $m_{dep} = \rho_{dep} A_{dep} \bar{h}_{dep}$ とした。ただし、デブリ密度は圧密を考慮して $\rho_{dep} = 500 \text{ kg m}^{-3}$ とし、観測では $\bar{h}_{dep} = \hat{X}_h$ とした。また、 $A_{rel}, h_{rel}, A_{dep}$ はUAVによる空撮から推定し、これらの解析にはQGISを用いた。

2-2 連続体モデル

雪崩の動力学モデルとして、OpenFOAMをプラットフォームとするfaSavageHutterFOAMを用いた（Rauter *et al.*, 2018）。faSavageHutterFOAMは3次元空間に埋め込まれた地表面上で深さ方向に平均化した粒子流の質量、流れのせん断・鉛直方向の運動量の保存則を数値的に解く（図2）：

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h\bar{\mathbf{u}}) = \dot{q}, \\ \frac{\partial}{\partial t} (h\bar{\mathbf{u}}) + \nabla_s \cdot (h\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{u}}) = -\frac{1}{\rho} \boldsymbol{\tau}_b + h\mathbf{g}_s - \frac{1}{2\rho} \nabla_s (hp_b), \\ \nabla_n \cdot (h\bar{\mathbf{u}}\bar{\mathbf{u}}) = h\mathbf{g}_s - \frac{1}{2\rho} \nabla_n (hp_b) - \frac{1}{\rho} \mathbf{n}_b p_b. \end{cases}$$

ただし、未知変数 $h, \bar{\mathbf{u}}, p_b$ はそれぞれ雪崩の厚み、平均速度、底面圧力を表しており、 ∇ は地形に沿った微分作用素、添え字 n, s はせん断・鉛直方向を表す（Rauter and Tukovic, 2018）。また、 ρ は雪の密度である。質量保存則の右辺は底面からの雪の取り込み \dot{q}/ρ を考慮しており、本研究では堆積を考慮しない。この方程式系を解くためには、上記の保存則に加えて底面摩擦 $\boldsymbol{\tau}_b$ および雪の取り込み率 \dot{q} を構成則としてモデル化する必要がある：

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\tau}_b &= \mu p_b \frac{\bar{\mathbf{u}}}{|\bar{\mathbf{u}}| + u_0} + \frac{\rho g}{\xi} |\bar{\mathbf{u}}| \bar{\mathbf{u}}, \\ \dot{q} &= \begin{cases} \frac{\boldsymbol{\tau}_b |\bar{\mathbf{u}}|}{e_b} & h_{msc} > 0, \\ 0 & h_{msc} = 0. \end{cases} \end{aligned}$$

ここでは、底面摩擦 $\boldsymbol{\tau}_b$ として雪崩モデルでよく使われるVoellmy型の関数を与えた。 μ, ξ, e_b はそれぞれ摩擦係数、流体抵抗、雪の取り込みに関するパラメータを表している。 $\boldsymbol{\tau}_b$ の分母にある $u_0 \ll 1$ は0での除算による発散を防ぐために導入された、結果に影響を与えない微小な値である。 μ と ξ は雪崩サイズや地表の粗さに依存することが報告されている（例えば観測では和泉, 1985）。ほかのパラメータにも依存するが、 ξ が大きいと抵抗が小さくなり雪崩速度が増加し、小さいと抵抗が大きくなり速度が低下する。また、 e_b が大きい極限で $\dot{q} \rightarrow 0$ となり、雪の取り込みが無視される。 h_{msc} は地表面上の積雪深を表しており、時間発展を $\partial h_{msc} / \partial t = -\dot{q} / \rho$ として与える。

表 1 空撮から推定した評価変数の値と揺らぎ、重みおよび最良パラメータ θ_{max} での計算結果

	滑走距離 X_r	速度 X_v	デブリ厚さ X_h	成長率 X_G
推定値 \hat{X}	164 m	18 m s ⁻¹	1.1 m	1.2
揺らぎ $\sigma_{\hat{X}}$	± 1 m	± 2 m s ⁻¹	± 0.4 m	± 0.2
重み $w_{\hat{X}}$	2/5	1/5	1/5	1/5
最良パラメータ	163.9 m	18.3 m s ⁻¹	0.88 m	1.6

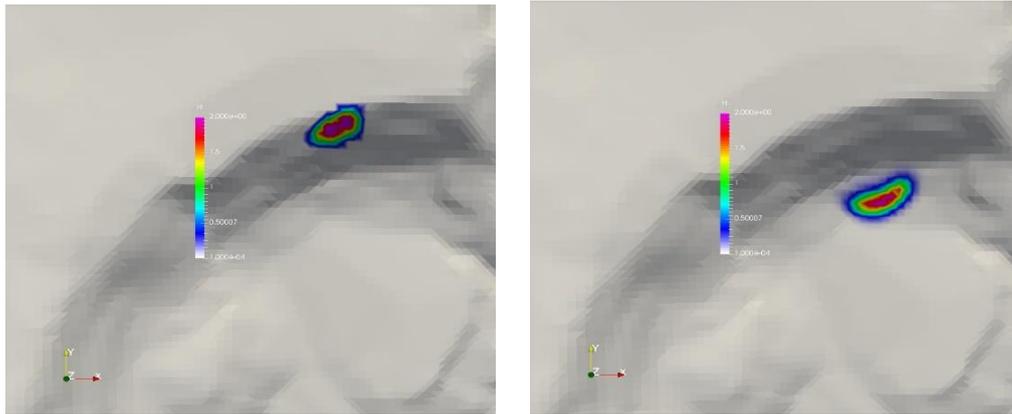


図 2 faSavageHutterFOAM を用いた計算例。(左) 初期条件, (右) 数値計算終了。カラーバーは流動の厚さを表す。

2-3 パラメータ分布の決定手法

雪崩モデルを計算するためにはパラメータの組 $\Theta = \{\mu, \xi, e_b\}$ を適切に与える必要がある。実験や理論から物理過程に即して与えることが最良であるが、概念的なパラメータもあるためすべてをそのように与えることは困難である。そこで本研究では Fischer *et al.* (2015) に倣い、以下の段階を踏むことで観測結果 (表 1) を再現するパラメータ分布を決定した。

まず, UAV による観測を解析することで初期条件となる崩壊面と積雪深を求めた (図 1)。同時に, 2-1 で示したように評価変数を推定し, それぞれの評価変数に適切な誤差 $\sigma_{\hat{x}}$ を与えた (表 1)。次に, 各パラメータ μ, ξ, e_b に適当な幅の初期分布を与え, パラメータの組 $\Theta = \{\mu, \xi, e_b\}$ をランダムに選択し, 数値計算を実行する (図 2)。この時, パラメータ空間を均一に効率よくサンプリングするためにラテン超方格法を用いた (Stein, 1987)。計算の出力は式 (1) の未知変数 h, \bar{u}, p_b であるので, これらから観測による評価変数 $\hat{X} = \{\hat{X}_r, \hat{X}_v, \hat{X}_h, \hat{X}_G\}$ に対応する変数 $X(\Theta)$ を算出する。観測値 \hat{X} と計算値 $X(\Theta)$ から “パラメータのよさ” を定量的に評価する。評価変数に対する評価関数として,

$$\alpha_x = \frac{N(X(\Theta)|\hat{X}, \sigma_{\hat{X}})}{N(\hat{X}|\hat{X}, \sigma_{\hat{X}})} = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{X(\Theta) - \hat{X}}{\sigma_{\hat{X}}}\right)^2\right),$$

を考える。ただし, $N(\cdot|\mu, \sigma^2)$ は平均 μ , 分散 σ^2 の正規分布を表す。 α_x をすべての評価変数について計算し, 重み w_x 付きの総和 $\alpha(\Theta)$ をパラメータ Θ に対する評価変数とした:

$$\alpha(\Theta) = \sum_x w_x \alpha_x.$$

$\alpha_x, \alpha(\Theta)$ は共に観測に近ければ 1, 外れていれば 0 に漸近する関数である。重みの付け方は評価変数の重要度や信頼性を表していると考えられるので, ここでは推定値が確実に求められている滑走距離の重みを他よりも大きく与えた (表 1)。

評価関数から再現性の高さを定量的に評価するためには, 閾値を与える必要がある。本研究では 5% の誤差を許容し, $X = (1 \pm 0.05)\hat{X}$ を評価関数に代入して得られる $\alpha_{lim} \approx 0.56$ を閾値として与えた。ランダムに選択された Θ を与えた数値計算結果が $\alpha(\Theta) > \alpha_{lim}$ を満たせば Θ を記録し, 満たさないものは棄却するという計算を N 回繰り返すことで, 再現性の高いパラメータからなる分布を構成した。

3. 結果と考察

パラメータ推定を行う雪崩事例とその評価変数は上述の通りである。各パラメータの初期分布を $\mu \in [0.1, 0.6], \xi \in [500, 40000], e_b \in [5, 10^5]$ で一様であるとした。積雪の密度は $\rho = 350 \text{ kg m}^{-3}$, 積雪深は全域で 2 m とし, 地形データとして 10 m メッシュの地理院 DEM を用いた。流動の初期位置は UAV による撮影とタイムラプス画像から決定した (図 2)。

3-1 最適パラメータ分布

計算の繰り返し回数を $N = 10^4$ として与えたところ、閾値を超えたパラメータの数 $N_{\alpha(\theta) > \alpha_{lim}} = 38$ となった。これらのパラメータの組 θ で再構成されたパラメータ分布を図3に示す。初期分布 $\mu \in [0.1, 0.6]$ として与えた底面摩擦 μ は、雪崩を再現するパラメータとして $0.4 < \mu < 0.47$ が適当となり、十分な収束性がみられた。残る2つのパラメータ、流体抵抗 ξ と雪の取り込み e_b は初期分布と比較して、分布の範囲はわずかに狭まるものの、ほぼ一様に幅広く分布した。これらの変数は先行研究では特に速度、デブリ厚さ、成長率との相関が指摘されている(Fischer *et al.*, 2015)。そこで $\alpha(\theta) > \alpha_{lim}$ なるパラメータの、各評価変数に対する評価関数 α_X を確認すると、特に成長率 \hat{X}_G を評価できておらず、また、速度や厚みの評価値のばらつきが大きかった。本研究では推定が容易な距離の重みを大きくしているため、それ以外の変数の影響は相対的に小さくなり、再現性の低い変数があっても全体の評価関数 $\alpha(\theta)$ としては閾値を超えることができたと考えられる。また、図1に示されるようにデブリは一部重なる場所があり評価変数の完全な推定が困難であったことや、デブリ密度 ρ_{dep} を仮定したことで、一部の変数で α_X が相対的に低い値になったと考えられる。また、推定精度を向上させるためには本研究で考えなかったデブリの面積などを考慮することが有効であると考えている。

重みの与え方の影響を調べるために、滑走距離だけを考慮し($w_{X_r} = 1$)、他を0とした場合(ケース1)と、すべての変数に等しく重みを与えた場合(ケース2)について評価関数を再計算した。ケース1では $\alpha_{lim} = 2.5 \times 10^{-15}$ となり、 $N_{\alpha(\theta) > \alpha_{lim}} = 1215$ と最適パラメータの組数は増大した。各パラメータ分布は図3と比較して広がり、 $0.33 < \mu < 0.49$ と摩擦係数については一応の収束がみられたものの、 ξ, e_b は初期分布の幅のままほぼ一様に分布したため、パラメータの拘束条件として有用ではなかった。ケース2では拘束条件が強く($\alpha_{lim} = 0.71$)、 $N_{\alpha(\theta) > \alpha_{lim}} = 0$ となった。これは先述の通り、一部の評価変数の推定がうまくできていないことが強く影響したと考えられる。

このように構成したパラメータ分布のうち、評価変数が最大を示したパラメータの組 θ_{max} を用いた数値計算結果を表1、図2に示す。重みが大きい滑走距離をよく再現する一方で、一致度が最も高い θ_{max} であっても成長率の再現はうまくできていない。また、雪崩速度との相関が指摘されている ξ の分布の収束性が低い一方で、 θ_{max} は雪崩速度をよく再現している。速度の評価変数 α_{X_v} は与えられた θ に依存して揺らぎが大きく、この大きな揺らぎが ξ の分布の収束性を悪くする原因の一つであると考えられる。また、先行研究で推定対象であった雪崩事例はkmオーダーの大規模で破壊的な雪崩であったのに対して、今回対象とした雪崩は小規模で、速度等が十分発達しないまま堆積区に到達し、その結果計算上 ξ の影響が小さく、推定が困難であった可能性がある。

これまで見たようにパラメータ θ は雪崩計算のダイナミクスを支配する。今回推定したパラメータはそれぞれを独立に選んで組にしたが、推定されたパラメータ間の相関係数 $\rho_{\alpha, \beta}$ を明らかにすることは、今後の雪崩計算のパラメータ決定の一つの指

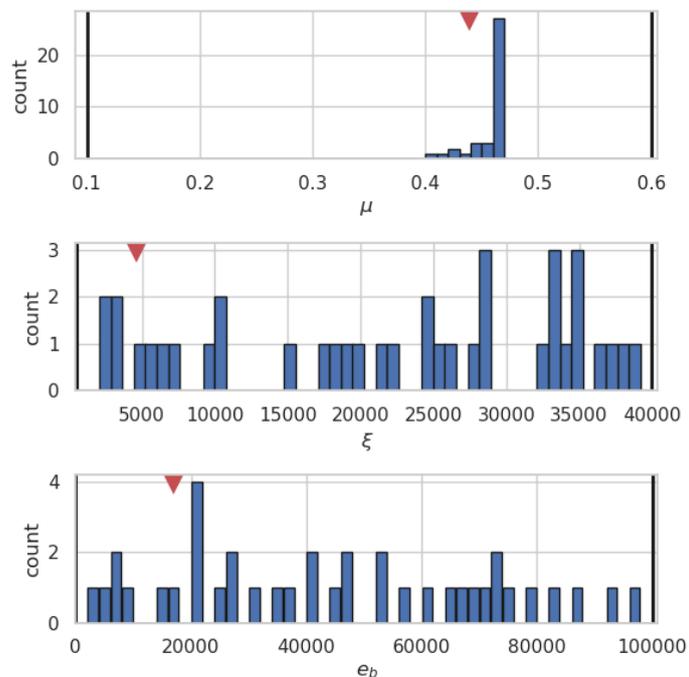


図3 推定の結果得られた各パラメータのヒストグラム。三角は評価関数 $\alpha(\theta)$ が最大となるパラメータ θ_{max} を表し、両端の黒線は初期分布の上端と下端を表す。

針となる。今回の推定パラメータ間の相関係数は $\rho_{\mu,\xi} = 0.76$, $\rho_{\xi,e_b} = 0.04$, $\rho_{e_b,\mu} = 0.03$ となり、摩擦係数と流体抵抗に正の相関がみられ、ほかの組ではみられなかった。相関性のあるパラメータは共に底面摩擦 τ_b に関するものであり、斜面方向の運動量保存則に影響しているため、これらの相関も分布の収束性や雪崩速度の再現性に寄与している可能性がある。

3-2 推定パラメータ分布を用いたほかの雪崩事例の再現

次に、3-1 で求めたパラメータ分布を用いて他の2つの雪崩事例の再現可能性を調べる。

対象とする1つ目の雪崩事例は、推定した雪崩が発生した前日2021年2月11日に同じ地域で発生したものである(図1)。デブリの厚さや雪崩速度の推定が困難であったため、比較対象として流動距離だけを考える。UAV撮影の結果から雪崩の滑走距離150mに対して、図3のパラメータ分布を用いた数値計算で滑走距離125-137m、平均134mであった。相対誤差は11%程度であり、この結果から特に流動距離だけを問題にする場合、時期と地域が異なればパラメータ流用ができるのではないかと考えられる。与えたすべてのパラメータで過小評価傾向が見られたことについては以下のように考えている。阿部ら(2012)の報告や図1, 2で表されているように、今回計算対象とした斜面の上部は台地になっており、この台地は斜面を下る方向に季節風が吹く吹雪の常襲地となっている。そのため、斜面上部にはしばしば雪庇が形成・発達する。2月12日の雪崩跡では雪庇が残っている様子が確認された一方で、11日の雪崩跡では雪庇が確認できず、雪庇の崩落が誘発した雪崩であると推測される。雪庇崩落は初期体積や運動量の増加につながるが、再現計算ではこの影響を考慮できないため過小評価になったと考えている。またケース1について同様に滑走距離を計算したところ、平均滑走距離134mとなり、相対誤差11%と同程度の再現性が確認された。

2つ目の雪崩事例は2019年1月7日夜中から8日未明に秋田県湯沢市の市営子安温泉スキー場(休業中)で発生した事例である(荒川ら2019)。人的被害はなく、防災科研によって雪崩発覚後翌9日に現地調査、15日にUAV空撮が行われている。面発生湿雪全層雪崩で破断面は高さ約1m、幅60m(図4破線)で、破断面からデブリ末端まで290mであった。斜面は急斜面と雪上車で圧雪された緩斜面からなり、急斜面中腹で発生した全層雪崩は、勾配変化点から圧雪面上を流れる表層雪崩となったことが報告されている。数値計算の境界条件は現地で行われた断面観測の結果と地理院のDEM、パラメータは図3のパラメータ分布からランダムに 10^3 組生成した。図4は各場所での最大流動高さを表示している。全層、表層の切り替わりとみられる勾配変化点付近で堆積しているが、本研究で推定に用いた雪崩が全層雪崩であることを考えると妥当な結果である。表層雪崩に対するパラメータ分布の構築や途中で全層、表層が切り替わる場合の取り扱いについては今後の課題として挙げられる。

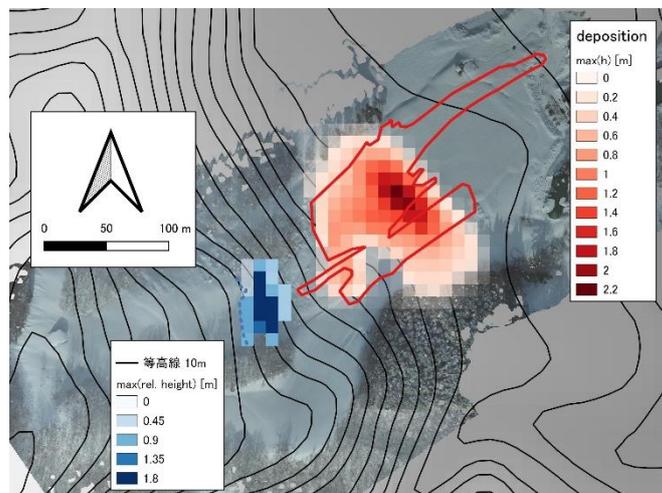


図4 2019年1月7日夜中から8日未明に発生した湿雪全層雪崩。青破線が破断面、赤実線がデブリ領域を表す。カラーマップは 10^3 回の数値計算で記録された最大流動高さ、黒実線は10mの等高線を表す。荒川ら(2019)に加筆。

4. まとめ

観測結果と数値計算結果を比較することで、実際の雪崩事例を再現するパラメータ分布を求める数値実験を行った。評価関数を適切に与えて推定を行うことで、パラメータの範囲を限定した分布を構成することができた。これらのパラメータは特に滑走距離をよく再現し、成長率の再現性が低かった。一部の評価変数の再現性が低かった要因が、モデル由来か観測結果の不足に由来するかは今後の雪崩事例に適応するうえで見極める必要がある。また、野外観測の結果から報告されているように、雪崩規模や全層・表層など雪崩分類はパラメータ分布に影響する。これらについては他の雪崩事例を同様に解析することで明らかにしていく必要がある。

また、推定パラメータを用いて同じ時期、同じ地域の雪崩の滑走距離について再現計算を実施し、再現可能性を確認した。今回のパラメータ分布が時空間的に異なる雪崩事例に対して適応できるか、事例を追加して評価することは今後の課題として挙げられる。また、推定パラメータの再現可能性を議論するためには、評価のための事例収集が必要である。このようなパラメータ分布を構築することは順方向の雪崩数値計算への貢献だけでなく、森ら(2018)で報告されているような数値計算ベースの雪崩のハザードマップの作成等への発展も期待される。特に今回推定したパラメータ分布の適応性が確認できれば、法面雪崩など比較的小規模な斜面でのリスク評価等につながると考えている。

【引用文献】

- 阿部修, 上石勲, 小杉健二, 根本征樹, 望月重人, 佐藤研吾, 伊東靖彦, 坂瀬修, 中村明 (2012): 山形県大蔵村で観測された自然発生の全層雪崩: その2. 東北の雪と生活, **27**, 87-88
- 荒川逸人, 小杉健二, 根本征樹, 安達聖 (2019): 災害調査 子安スキー場雪崩災害調査 (2019.1.9-15) (未公開)
- 和泉薫 (1985): 大規模雪崩の流動性. 新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報別冊, **7**, 187-194.
- Fischer, J., Kofler, A., Fellin, W., Granig, M. and Kleemayr, K. (2015): Multivariate parameter optimization for computational snow avalanche simulation. *Journal of Glaciology*, **61**(229), 875-888.
- 森啓輔, 西村浩一, 常松佳恵, 阿部修, Abani Patra (2018): 連続体モデル TITAN2D を用いた雪崩の運動のシミュレーション II—雪崩への適応と多項式カオス求積法を用いたハザードマップの作成—. 雪氷, **80**(4), 289-296
- Rauter, M. and Tukovic, Z. (2018): A finite area scheme for shallow granular flows on three-dimensional surface. *Computers and Fluids*, **166**, 184-199.
- Rauter, M., Kofler, A., Huber, A. and Fellin, W. (2018): faSavageHutterFOAM 1.0: depth-integrated simulation of dense snow avalanches on natural terrain with OpenFOAM. *Geoscientific Model Development*, **11**, 2923-2939.
- Savage, S. and Hutter, K. (1989): The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. *Journal of Fluid Mechanics*, **199**, 177-215.
- Stein, M. (1987): Large Sample Properties of Simulations Using Latin Hypercube Sampling, *Technometrics*, **29**(2), 143-151

秋田県における観測開始から2021年までの積雪深の長期変動について

伊藤 驍 (D・アカデミー東北)

石井昭浩 (大森建設株)

武田 守 (気象予報士)

Investigations on Maximum Depth of Snow Cover in Akita Pref., Japan from the Beginning of Observation to 2021

Takeshi ITO (D-Academy Tohoku)

Akihiro ISHII (Ohmori General Construction Co.,LTD.)

Mamoru TAKEDA (Weather Forecaster)

1. 諸元

秋田県地方の積雪観測は、気象庁資料によれば(気象庁, 1963: 気象庁仙台管区気象台, 1983), 秋田市での観測が一番古く、その観測は1890(明治23)年に遡る。その2年後の1892年に県内の多くの地点で雪の観測が行われた。積雪資料の中でも、寒候期に記録されたシーズン中の最深積雪(ここでは最大積雪深と呼ぶ)は、色々な社会的変動があったにも拘わらず継続的に観測され、秋田市に関しては2021年3月現在まで132年間に及ぶ膨大な観測資料が保存されている。初期の資料はいわゆる手動観測で手書きであるが、1986年以降はAMeDAS観測に切り替わった。時代の変遷と共に、こうした資料は観測点の移設や観測手法の切り替わり等で観測値には連続性を欠く等、均質でない面もみられる。しかしそのような変遷の中でも、気象庁が公表している積雪資料、例えば最大積雪深は各年の最大値として、積雪寒冷環境下にある地域社会や寒候期積雪現象を研究する上で極めて重要な資料であり、比較的連続性のある貴重な資料としても多方面で活用されてきた。

そこで秋田県内の主な気象庁観測地点について、観測開始から2021(令和3)年までの長期間にわたって積雪資料の収集を行い、その時系列的な変動について調査解析を行ってみた。その結果、秋田県内でも同一河川流域や地理学的に類似した地域では、積雪の時系列変動にもその地域特有の類似現象がみられ、それを分類すると秋田県内はいくつかの地域ブロックに分かれる等興味深い現象があることが判った。こうした現象は、当然のことと看過される。しかし本文では、2021年までの長期間に亘る積雪資料を統計的に分析分類すると、これは一概に看過できない興味深い積雪現象と考えられた。さらに近年山沿い盆地都市では、雪は増加傾向にある等興味深い現象も指摘できた。ここにそれら資料を整理し簡単に報告する。

2. 積雪資料 S_{max} について

本文で用いる積雪資料は、寒候期における最大値即ち最大積雪深(S_{max} と記し、その平均値を $\overline{S_{max}}$ 、最小値を S_{min} 、標準偏差を σ と略記する)である。積雪寒冷環境を議論するには、積雪量や降雪量、気温、日照時間や風等の他、さらに持続的な現象等様々な視点から気象要素を総合的に検討する必要がある。しかしこれら個々の物理単位が異なる現象を、総合的に検討するには膨大な解析時間を必要とする。そうした試みも筆者が行ったが((社)日本雪氷学会, 1999)、本文で用いる S_{max} はシーズン中に猛烈に多量に積もったかを示す値で、その土地の代表的「雪の指標」として捉えられている。幸い各地で観測された S_{max} については、長年にわたって記録が残されている。本文ではこうした点に鑑み、積雪深の変動現象調査資料として S_{max} を用いることとした。

3. 秋田県内における S_{max} の変動時系列

本文で取り扱う秋田県内の観測地点は、AMeDAS 観測以前から雪観測を継続的にこなっている地点が多く、概ね 100 年以上の観測歴史を持つ。こうした長年に亘る貴重な記録について、雪に関する時系列解析を行った統計学的研究事例(伊藤, 1981; 1992; 2011)は余り知見しない。そこで雪の観測が行われている秋田県内の中で、継続観測記録のある中の 12 の地点(大館, 大曲は 1985 年まで)を選び、 S_{max} の変動時系列を検討してみた。

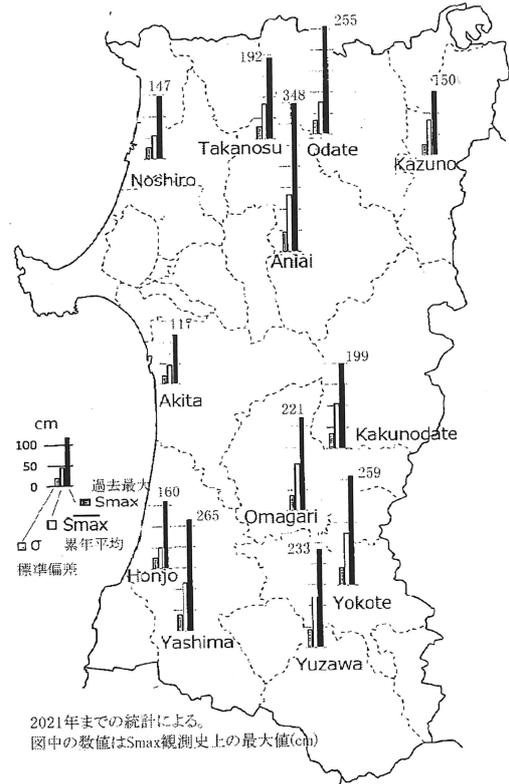
図 1 には、採用した観測地点とその統計記録を棒グラフで示す。図中の数値は観測開始から 2021 年 3 月までの過去最大の積雪深、 $\overline{S_{max}}$ は毎年記録される S_{max} の累年平均値、 σ は標準偏差を表す。

これら 12 地点について、大略的に県北の米代川流域、日本海沿岸地方、内陸山沿い地方の 3 つに大別しそれらの S_{max} 時系列の変動的特徴について以下に述べる。

3-1 米代川流域盆地

まず、県北の盆地部に位置する鹿角、大館、鷹巣の 3 地点を取り上げる。これら 3 地点における S_{max} の変動を図 2(a)~図 2(c)に示す。いずれの地点も西に流れ日本海に注ぐ米代川流域に位置し、 S_{max} の変動幅は余り大きくなく、全区間を通じてやや緩やかな減少傾向が見られる。ただし上流部の鹿角の場合は、最近数十年間若干右肩上がりの傾向を示していた。又、大館には過去 255cm、鷹巣に 192cm の記録がある。

この地域は、河口の能代から上流部の鹿角まで県内でも積雪深に変動が少ない言わば比較的変動係数の小さな地域であると言える。なお大館は AMeDAS 観測以来、雪の観測は行われておらず、図 2(b)が全記録となる。



2021年までの統計による。図中の数値は S_{max} 観測史上の最大値(cm)

図 1 秋田県内 12 地点の観測以来の積雪統計

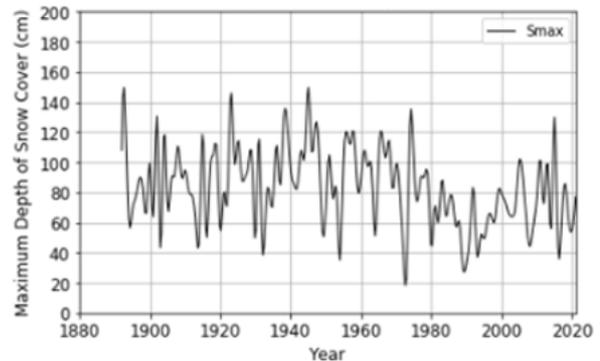


図 2(a) 鹿角における S_{max} の変動時系列(1892~2021 年)

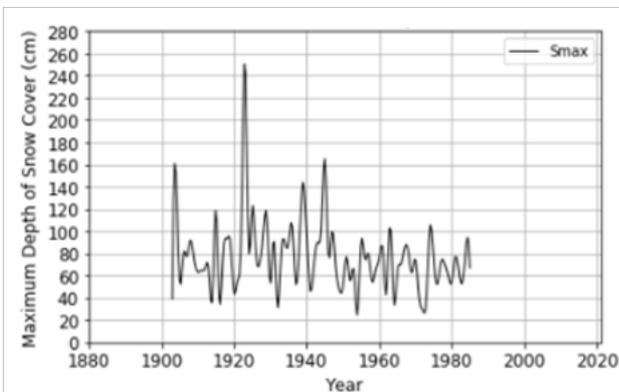


図 2(b) 大館における S_{max} の変動時系列(1903~1985 年)

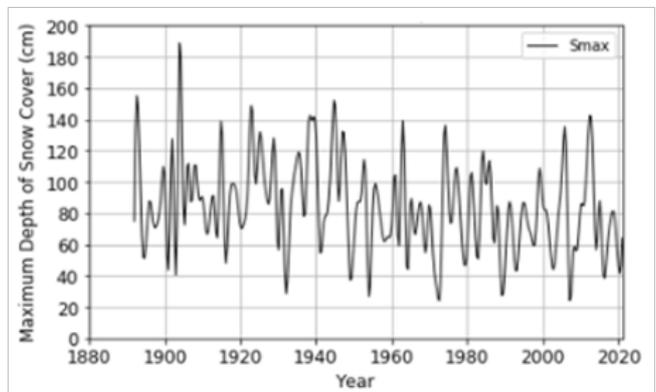


図 2(c) 鷹巣における S_{max} の変動時系列(1892~2021 年)

3-2 日本海側沿岸地方

次に日本海沿岸都市として先ず図 2(d)に能代, 図 2(e)に秋田, 図 2(f)に本荘を取り上げる. これら 3 地点はいずれも港湾都市の側面をもつが, 海拔高度が低く, 日本海低気圧の影響を大きく受けやすい.

過去の最大積雪深の最高記録を挙げると, 能代で 1923 年 147cm, 秋田で 1974 年 117cm, 本荘で 1945 年 160cm となる. いずれも季節風型の寒波が卓越し, 記録の寒波に襲われた年であった. この寒波は単発ではなく第 2 波, 第 3 波と続くことがあり, 1974 年の場合秋田県では第 2 波で観測史上最大値を記録した. この豪雪によって秋田県内至る所で交通途絶, 家屋倒壊, 陸の孤島化現象が相次ぎ, 「秋田県四九豪雪」として全国的に注目された.

上記沿岸 3 都市は, 往々にして突発的里雪型の豪雪にも見舞われる. 一方, 1920 年代前後の日本は, わが国に強い寒波が連続的に襲来した時期で, 豪雪と共に雪崩災害も頻発した. 特に 1918 年発生 of 雪崩災害は秋田県史に残る大災害として記録される. また 1945(昭和 20)年は, 日本全土が記録的な寒波に襲われ, その年の 8 月に第二次世界大戦が終りを告げている. 一方, 秋田県の雪害史上 1974 年の豪雪は, 三八豪雪を上回る積雪深となり, 近年は更に暖冬傾向の中で「平成 18 年豪雪」(気象庁命名) が襲来した. この豪雪は, 交通機関の高速化が進んだ中での寒波だけに, 至る所で新幹線や空路が遮断され, 全国規模で雪害が拡大した. さらに, 過疎化が進む農山村では高齢者に被害が顕著に出たことでも注目された. なお, 図 2(g)の矢島は子吉川の上流部に位置し, 出羽丘陵南端鳥海高原に在る. こゝも 1974 年に過去最大の 265cm を記録した.

3-3 内陸山沿い地方

秋田県の東に東北脊梁山脈が南北に走り, その西側に出羽丘陵が並走し, その合間の盆地に幾つかの都市が立地する. いずれも屈指の豪雪地帯に在り, 特別豪雪地帯に指定され, 県都秋田と異なる気象環境を持つ. それら S_{max} の時系列図は, 次の図 2(h)に阿仁合,

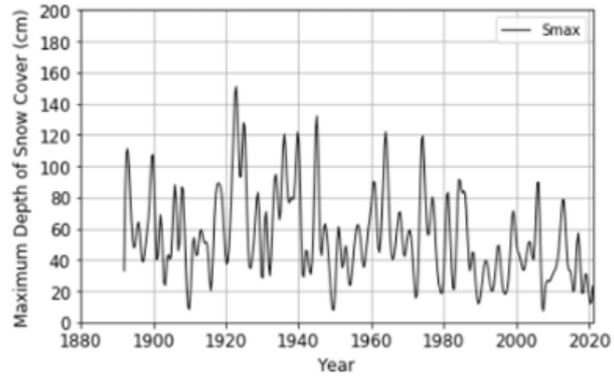


図 2(d) 能代における S_{max} の変動時系列(1892~2021 年)

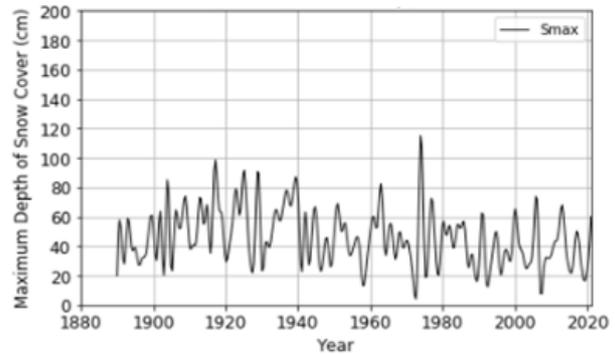


図 2(e) 秋田における S_{max} の変動時系列(1890~2021 年)

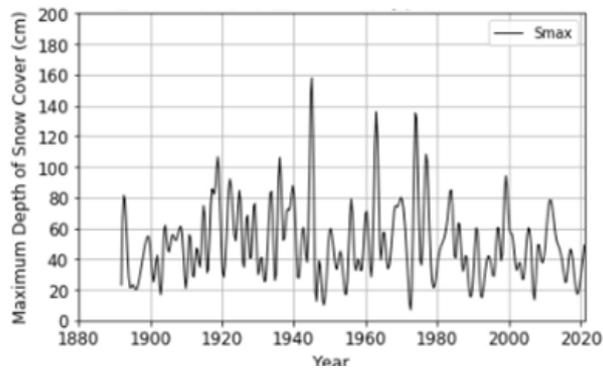


図 2(f) 本荘における S_{max} の変動時系列(1892~2021 年)

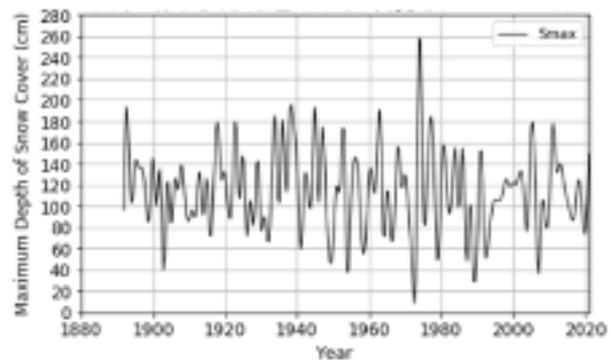


図 2(g) 矢島における S_{max} の変動時系列(1892~2021 年)

図 2(i)に大曲, 図 2(j)に角館, 図 2(k)に横手, 図 2(l)に湯沢を示す. この中で阿仁合は, 上記米代川支流で県央部を流れる阿仁川流域に位置し, 東に森吉山を控える. 付近には 1000m 前後の山が連座し, 1900 年代の観測開始以降, 秋田県内唯一記録的な積雪深を観測した所で, 近年まで冬は交通途絶が絶えず, 特別豪雪地帯に指定され, 過去最大の積雪深 $S_{\max} = 348\text{cm}$, 累年平均 $\overline{S_{\max}} = 133.7\text{cm}$, 標準偏差 $\sigma = 45.9\text{cm}$ と標高 120m ながら北陸豪雪地帯と変わらぬ記録を持つことで注目される.

上記 5 地点における累年平均値はいずれも 100cm を超す. 特に大曲, 横手, 湯沢は雄物川流域都市として発展し, 積雪累年平均値はその河口都市秋田の2倍をはるかに超す豪雪都市である. こうした豪雪都市が国道 13 号線沿いに連座し, 周辺には, 広大な水田地帯が広がる. この米所の南は, 山越えて山形に通じる. この地方周辺の生活環境をみると, いずれも雪を資源とした産業基盤を持ち, 雪に関わる特徴的文化圏を持つ地域として知られる. なお, 大曲は前記大館と同様, 近年雪の観測記録がなく, 積雪の「平年値」は得られていない.

以上, 秋田県で長期間わたって S_{\max} の記録が残されている地点を対象にその時系列を採ってみた. その結果, 河川流域によって類似の雪気象環境が形成され, 類似の生活圏が形成されていた等が明らかとなり, 河川流域による雪気象環境を取り込んだ地域分類の可能性が示された.

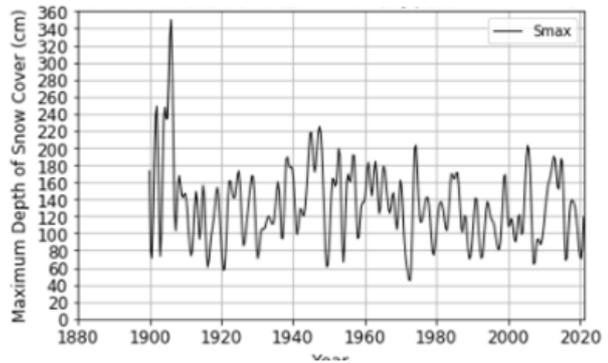


図 2(h) 阿仁合における S_{\max} の変動時系列(1900~2021 年)

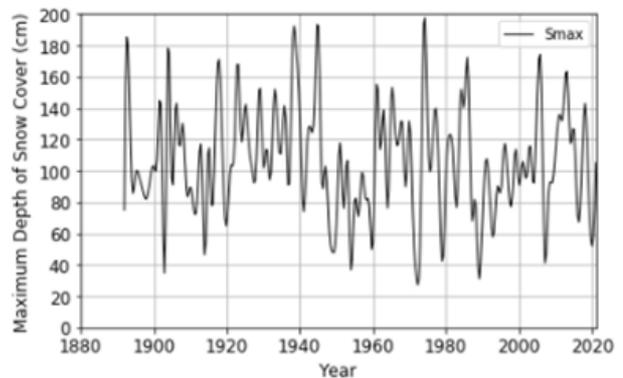


図 2(i) 角館における S_{\max} の変動時系列(1892~2021 年)

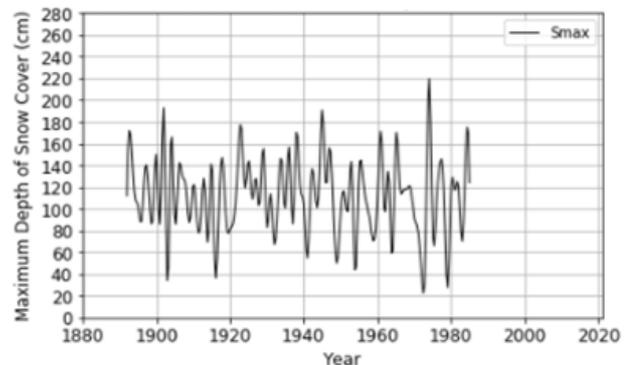


図 2(j) 大曲における S_{\max} の変動時系列(1892~1985 年)

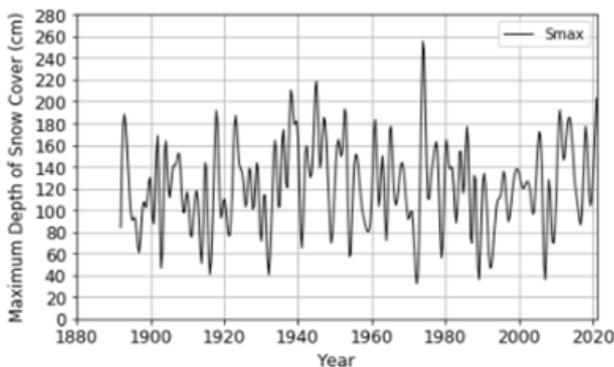


図 2(k)横手における S_{\max} の変動時系列(1892~2021 年)

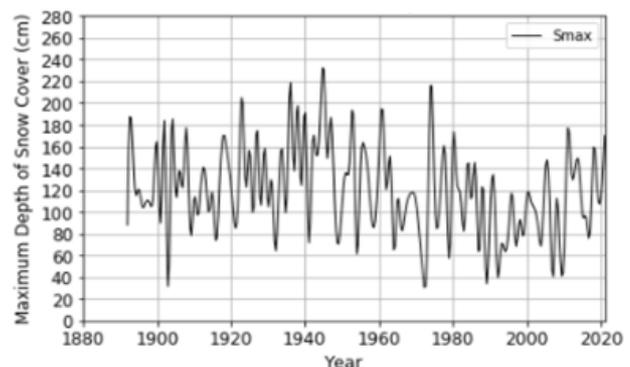


図 2(l)湯沢における S_{\max} の変動時系列(1892~2021 年)

4. 雪気象環境に基づく地域分類

秋田県は西に日本海、東に東北脊梁山脈を抱え、北に白神山系、南は鳥海山～丁岳山地に囲まれ矩形を成す。このような地形関係から、以前は豪雪が来る度毎に陸の孤島化を成し、冬は海路交通が主流であった。1945年以降になると、道路整備が進み、舗装や機械除雪の管理が進んで、山越えトンネルの築造計画も進んで陸路による県境越えが容易になった。

冬の交通機関が日本海側から陸路に転換移行したことで、交通機関の高速化が進み、これに科学技術が加速度的に進化する中で、生活文化の領域は、伝統的に維持され、特定の地域グループ化を成している。

こうした生活文化圏は地理的要因と雪気象関連の要因が共に深く関わっていると考えられ、秋田県内ではこれに基づくこうしたグループ分類が形成されている。

こうしたグループ分類の手法と

して数理的には一般に主成分分析法などが用いられる。筆者も試みたが、用いる要因によって複雑に変化する。

そこで本文では、一般的かつわかり易い要因、即ちその土地の気温と降水量を用いた。さらに河川流域毎に地域環境区分を試みたところ、日本海沿岸部とそこに注ぐそれぞれの大きな河川流域には、独立性の高い地域的集団グループが形成されていることが判明した。そのことを示したのが図3である。

この図を見ると、秋田県内は大きく次の4つの雪気象環境を要因とする地域に分類される。即ち、

- (1) 能代、秋田、由利本荘等の日本海沿岸地域のグループ
- (2) 秋田を河口とする雄物川流域のグループ
- (3) 米代川流域盆地のグループ
- (4) 以上の3地域以外のグループ

なお、図3に示す子吉川上流に位置する矢島や米代川上流部の十和田は、グループから外れ、(4)に該当するが、阿仁合は角館や湯沢のグループに入ることが示された。このように S_{max} の累年平均($\overline{S_{max}}$)、1, 2月の平均気温、降水量(平方根)を使うことによって、上記4つの地域にグループ分類され、それぞれが独立性の高い産業基盤や生活文化圏が構築されている地域であること、特に象潟や本荘の平均気温は真冬でも(+)になっていることが判る。

5. S_{max} の地点相関

このようなグループ化の中で、互いの地点はどのような関係にあるのか?それをさらに調べてみる手法の一つに地点相関分析法がある。表1は、毎年観測される S_{max} が、各地域間でどのような相関性を持っていたのかの地点相互の関係を調べてみたもので、上記グループ地点内では相関は互いに高い

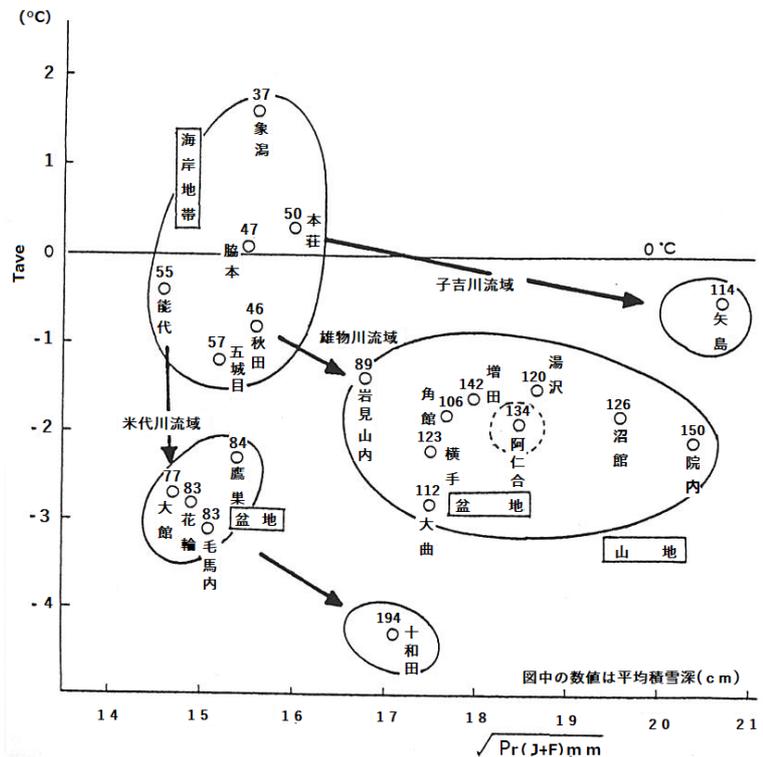


図3 秋田県の $\overline{S_{max}}$ と気温、降水量による地域グループ (伊藤 (1992) に2021年までの積雪深を加筆)

ことが判った. すなわち同一グループ内では, 雪の降り方, 積もり方が相似た現象となっていることが表1の相関関係で調べてみることができる.

この表を見ると, 前記グループの雄平仙地区は点線で囲って示したが, 雪の降り方や積もり方が相互に似ており, 数理的に互いに高い相関関係が維持されていることが判る.

これに対し, 例えば鹿角と本荘は相互にあまり関係なく, 阿仁合と県南の本荘も相関性が低い等が示されている.

表1 S_{max} を用いた秋田県内各地の地点相関係数行列 (伊藤, 1999)

	花輪 (A 1)	大館 (A 2)	鹿角 (A 3)	黒川 (A 4)	能代 (A 5)	五城目 (A 6)	秋田 (A 7)	三内 (A 8)	雄平 (A 9)	横手 (A 10)	湯沢 (A 11)	矢野 (A 12)	本荘 (A 13)	象潟 (A 14)	阿仁合 (A 15)
(A 1)	1.000														
(A 2)	0.716	1.000													
(A 3)	0.747	0.793	1.000												
(A 4)	0.430	0.575	0.567	1.000											
(A 5)	0.445	0.645	0.683	0.708	1.000										
(A 6)	0.441	0.561	0.705	0.612	0.750	1.000									
(A 7)	0.600	0.635	0.756	0.556	0.750	0.746	1.000								
(A 8)	0.713	0.658	0.775	0.523	0.681	0.630	0.819	1.000							
(A 9)	0.624	0.687	0.735	0.583	0.696	0.662	0.791	0.754	1.000						
(A 10)	0.678	0.591	0.753	0.509	0.605	0.620	0.755	0.859	0.712	1.000					
(A 11)	0.604	0.595	0.699	0.547	0.586	0.602	0.714	0.808	0.646	0.831	1.000				
(A 12)	0.584	0.561	0.697	0.605	0.642	0.685	0.781	0.806	0.683	0.810	0.827	1.000			
(A 13)	0.487	0.538	0.572	0.568	0.676	0.639	0.703	0.572	0.626	0.596	0.579	0.694	1.000		
(A 14)*	0.260	0.342	0.376	0.336	0.388	0.325	0.479	0.383	0.450	0.404	0.508	0.540	0.663	1.000	
(A 15)*	0.570	0.460	0.871	0.377	0.554	0.430	0.598	0.660	0.537	0.619	0.577	0.538	0.343	0.156*	1.000

(1892-1981, n=90)
*印は1902-1981, n=80の資料による。
×印は危険率5%で有意性が認められないもの
()は有意性の認められる時差相関の年数

6. 直線近似による S_{max} のトレンド

これまで見てきた S_{max} には長い観測期間中に様々な変動が見られた. 各地点でどのような変動があったかについて数値的に詳しく調べた研究事例は知見しない.

各地の S_{max} の時系列を見ると, ある時期に大雪が続き, ある時期に少な目の雪が続く等, 様々な変動が見られ, それらが合成されて変動している. そこで, 特定区間を設けてその変動状況を調べてみた. 本文では, 100年以上に亘る S_{max} の動向について, 秋田県内12地点に絞って調査してみた. その際, こうした変動を, 先ず以下の3期間に分けて調べてみた.

- (1) 観測開始から2021年まで
- (2) 1945年から2021年まで
- (3) 1991-2021年まで

世界の温暖化や日本の気温上昇傾向等の資料については直線近似による説明をよく散見する. 積雪が多くなっているのか減少しているのか流動的变化についてはいろいろな数値的解析方法がある. 本文では, その傾向分析として挙げられる鈴木栄一の文献に基づくトレンド指数(I_t) (鈴木, 1973)を算出する方法を採用した.

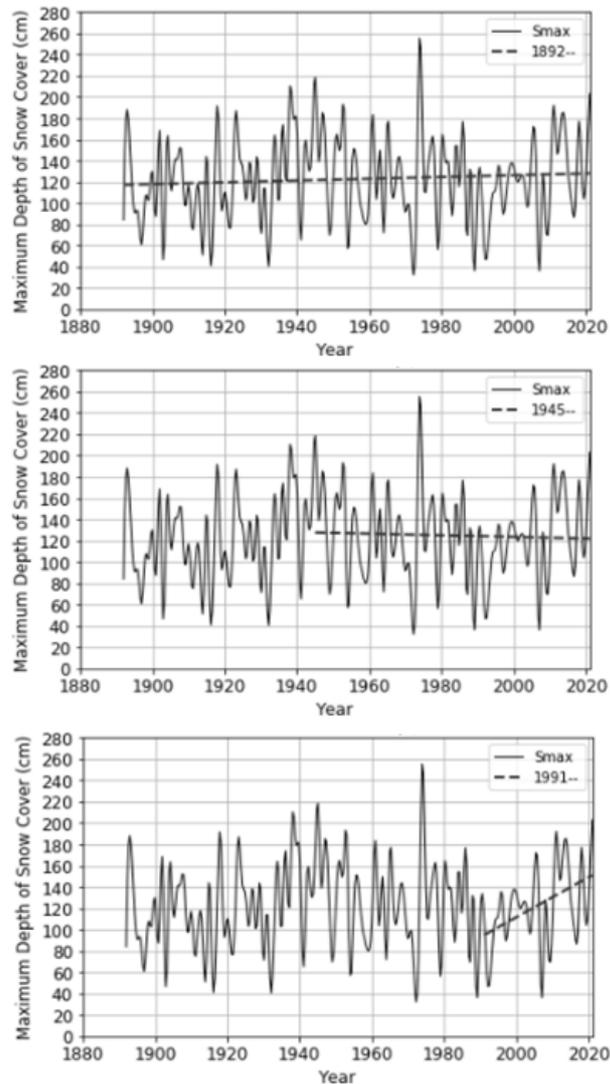


図4 区間別に見た S_{max} に関するトレンド (横手の事例)

S_{max} の変動傾向について、例えば図4には、横手の S_{max} の時系列を上記3区間に分けて調べてみた。図4には、観測全区間について3つの試行区間を採り、上から順に I_t を計算した事例を示している。横手の事例から判るように、(1)全区間、次に(2)1945年以降(いわゆる戦後以降)、そして(3)のほぼ平年値の区間ごとに分けてみた。そうすると横手は(1)、(2)に関しては、ほぼフラットと見られるが、しかし(3)に示す近年の31年間では、 S_{max} は上昇傾向にある。しかもこれら傾向を、トレンド指数で評価している。こうした手法を用いて秋田県内の12地点について同様に調査しそれらをまとめ、一括して示したのが表2に示す数値である。この表にはさらに各地の観測期間中の S_{max} の統計値も計算し、併せてそれら数値も示している。

即ち、表の(−)は S_{max} の減少傾向、(+)は増加傾向を示し、数値の大きさでそれらの変動が評価されている。トータル的に見ると横手の全区間に増減変動はあまり見られない。しかし、最近31年間を示す(3)の区間はプラス(右肩上がり)である。この現象は鹿角、阿仁合、角館、湯沢等の山沿い地方で共に同様に見られた。このことは、ここ31年間の傾向は、山沿い盆地にある地方都市では S_{max} が増加傾向にあったことを示している。子吉川上流の矢島についても微弱ながら上昇傾向が見られた。ところが日本海沿岸都市の能代や由利本荘では、若干減少傾向の数値が示され、秋田はほぼフラットとみられる。解析地点の全てについて図示できなかったが、最近までの雪の増減傾向はこの表に示すように、興味深い現象として示すことができた。

なお、各地点に対し、このような区間ごとの積雪増減に関する試行調査は、これまでほとんど知見していない。今後雪がどのように増減変動するかは推論の域を出ないが、過去の積雪現象の解明を行う上で簡便法として試行したこれらを、今回初めてここに提示できた。即ち S_{max} 変動について、長期、中期、短期の増減現象を数値で評価し、その変動を直線近似で理解する一方法として本文に提示した。

これに対し、秋田市の S_{max} 変動時系列解析によると(Ito, 1985)、 S_{max} は大略88年の波状周期フリーエ変動を示していたと考えられる。過去100数十年間の現象が曲線近似か直線近似かの適合性はさらなる数値的な試行を重ねる必要があるが、本文では S_{max} という長期変動現象について特定観測区間を設定して、その適合性を検定し、数理的に説明する手法として表示し、その増減変動を評価する方法を提案した。

表2 秋田県の12の地点における S_{max} の統計値と S_{max} の変動傾向調査表

観測所名	所在地	海拔高度	観測年数	最大値	発生年	最小値	発生年	平均値	平年値	σ	トレンド指数		
		m		cm		cm		cm	cm		cm	開始~2021	1945~2021
鹿角	鹿角市花輪荒田	123	130	150	1945	28	1973	83.2	69.9	26.1	-3.13	-3.40	1.14
大館	大館市出川上野	49	83	255	1923	25	1954	76.8	—	32.9	-1.65	-0.74	—
鷹巣	北秋田市旭町	29	130	192	1904	27	1954	84.1	74.8	30.2	-2.49	-1.12	-0.08
能代	能代市緑町	6	130	147	1923	10	1910	54.9	38.7	28.7	-3.47	-2.61	-0.66
阿仁合	北秋田市阿仁水無	120	122	348	1906	53	1972	133.7	122.2	45.9	-1.40	-2.38	0.80
秋田	秋田市山王	6	132	117	1974	10	2007	45.9	36.7	19.6	-2.76	-1.46	0.32
角館	仙北市角館町小勝田	56	130	199	1974	30	1972	106.3	103.3	35.5	-0.33	1.29	1.31
大曲	大仙市四ツ屋	30	94	221	1974	25	1954	112.3	—	36.8	-0.51	-0.27	—
横手	横手市横手町大樋	59	130	259	1974	35	2007	122.6	120.3	41.6	1.07	-0.21	2.26
湯沢	湯沢市金谷字樋野口	74	130	221	1974	30	1903	120.2	125.5	41.8	-2.29	-1.49	2.46
本荘	由利本荘市埋田	11	130	160	1945	13	2007	50.4	43.6	25.5	-0.30	-0.36	-0.42
矢島	由利本荘市矢島町城内	46	130	265	1974	36	2007	114.2	110.0	39.2	-0.70	-0.06	0.56

- * 1 観測年数は気象庁資料による観測が連続して行われた年数。
- * 2 平年値は1991~2020年の30年間における平均値。
- * 3 トレンド指数は鈴木栄一(1973)の文献による。
- * 4 この表の大館、大曲はAMeDAS観測法(1986年)に替わって以来、雪の観測は行われていない。

7. 結び

以上、積雪観測記録、特に最大積雪深 (S_{\max}) を用いて観測開始から最新の2021年まで、秋田県における長期的資料のそろった12地点について資料を収集し、各地点の S_{\max} の変動状況を調査し S_{\max} に関する統計値を算出し、これら数値を表2にまとめて提示した。その概要は以下のように纏められる。

- (1) 冬の気象環境の要因及び河川流域による地理的要因を考慮すると、秋田県内の各雪観測地点はほぼ4つの特徴的地域に分類できた。
- (2) これら地域グループ内の積雪環境は互いに相似的であり、 S_{\max} 大小の発生に対し互いに高い相関を持つ事が示された。
- (3) 観測開始の初期、特に1900年～1940年代にかけて全般的に寒波の強い冬が続き、1945年以降に積雪深は全体的に低くなる。しかし突発的豪雪が襲来し、特に1974年の「秋田県四九豪雪」により、県内各地では観測史上最大の S_{\max} を記録していた。
- (4) S_{\max} の変動特徴、例えば横手の S_{\max} について3つの時代区分に分けて各々の区間毎の状況を数値的に調べてみると、全区間及び1945年以降の区間はほぼフラットで変動していた。しかし最近31年間の S_{\max} は、横手のみならず鹿角、阿仁合、角館、湯沢等の山沿い盆地も右肩上がりの現象を示していた。これは観測記録がない大曲も相関係数の見地から同様と考えられる。雪の変動時系列を長期的に見た場合と、短期的に見た場合とで異なる現象があり、それが本文によってトレンド指数を用いて明らかにし、それら特徴を総括して表2にまとめて提示した。

以上、紙面の都合ですべての地点の統計解析図等について明示できなかったが、東北地方や全国各地の S_{\max} に関する資料についても解析を行った。それらについては別途報告したいと考えている。

謝 辞

本文の資料作成にあたり、気象庁秋田地方気象台の皆さん、(株)スリーアイバードの岩見千春氏、(株)ワークリンフの高野翔太氏、(株)エスパスの畠山寛人氏にお世話になった。ここに記して謝意を申し上げます。

【引用文献】

- 伊藤 驍 (1981): 秋田地方の積雪の特徴と確率分布、雪氷、**43** (3), 137-146.
- Ito, T. (1985): Regional characteristics of the maximum depth of snow cover in Japan, *Natural Disaster Science*, **17**, 1, 25-39.
- 伊藤 驍 (1992): 雪の環境情報とその応用、秋田大学教育学部情報科学研究紀要、**1**, 13-33.
- 伊藤 驍 (2011): 東北地方の気象統計値からみた降積雪の地域特性、東北の雪と生活、(社)日本雪氷学会東北支部設立25周年記念誌、38-43.
- 気象庁 (1963): 積雪累年気候表、気象庁、365pp.
- 気象庁仙台管区気象台 (1983): 東北地方の積雪と降雪—その3—、気象庁仙台管区気象台、134pp.
- (社)日本雪氷学会(1999): 雪氷工学の歴史II、9-18.
- 鈴木栄一 (1973): 気象統計学、地人書館、121-126.

東北6県における2020-21年冬季の降積雪の特徴

本谷 研 (秋田大学教育文化学部)

The characteristics of the snowfall and snow amount during the 2020-21 winters, on six prefectures in Tohoku region, Japan

Ken Motoya (Akita University)

1. はじめに

降積雪現象は空間的にも時間的にも変動が大きい自然現象で、いわゆる雪国であっても積雪量の年々変動は極めて大きい。このため、時々刻々と変化する積雪量の時間的・空間的分布とその変化を適切に把握することは重要である。例えば、2019-20年冬季は冬型が持続せずに記録的な暖冬、寡雪となり、ルーチン気象データと診断型積雪水量分布モデルにより見積もった東北6県の雪水総量はここ40冬季で最小となったが、これに続く2020-21年冬季では、2020年12月から翌年1月にかけて強力な寒気が日本付近まで南下し、降雪と低温が重なったことから豪雪となり雪崩や屋根からの落雪などの雪氷災害が多発したが、2021年3月以降の平地での降雪はほとんどなく、気温も平年よりかなり高い状態で推移したため雪解けは急速に進んだ。こうした2020-21年冬季の降積雪の推移と分布傾向について、ルーチン気象データと診断型積雪水量分布モデルや snow survey, 気象資料により考察したので紹介する。

2. 使用データ・積雪水量分布モデル

2.1 使用データ

日平均および最高・最低気温(°C)、日降水量(mm)、日平均風速(ms^{-1})、水蒸気圧(hPa)、日照時間(hr)、日平均気圧(hPa)などの気象要素分布をアメダス(図1の解析領域およびその周辺で約370地点)と気象官署(同約28地点)のルーチン気象データから推定した。つまり、空間的に離散したデータから距離重み付き内挿と高度分布を仮定することによって面的な気象要素の分布を推定した。毎日の気象データは、気象庁ホームページ(気象庁, 2021)から取得し、地点ごとのファイルに一度分割保存した後に全地点をマージした日別ファイルに変換して使用した。また、標高・土地利用などは国土地理院のデジタル数値地図(それぞれ50mおよび100m格子)から20万分の一地形図と同じ領域ごとのパラメータファイルとして事前作成してある。

2.2 積雪分布モデル・解析領域

前節で作成した入力気象データに基づいて、診断型積雪水量分布モデル(Motoya et al., 2001; 本谷, 2008)により東北6県(図1の太枠内、青森、秋田、岩手、山形、宮城、福島、面積約77000 km^2)における、日単位・1kmグリッド毎の積雪水量を、2020年10月1日から2021年3月31日まで、2020年10月1日を計算開始日として毎日その時点での前日まで計算した。

3. 結果

3.1 雪水総量の季節変化

図2に1980-81年冬季から2020-21年冬季までについての解析領域(東北6県)全体で積雪水量を合計した雪水総量(雪水資源量)の季節変化を示す。2020-21年冬季は12月から翌1月中旬までは平成18年豪雪(2005-06年冬季)や2017-18年冬季などに次いで積雪増加が顕著であるが、1月下旬以降ピークとなる2月中旬までは上位1/3に入る程度で推移し、2月下旬には下位半分相当まで減少した後、3月に入ると急激に減少して3月末には少ない方から6番目となった。雪水総量の最大値は、平年並みの $27.89\text{km}^3 (=27.89\text{Gt})$ 、2021年2月18日)であった。

3.2 2020-21年冬季における東北地方の積雪寡多分布

図3に東北6県の2021年1月における積雪水量寡多を、平年値との偏差を同期間の年々変動の標準偏差(σ)で規格化した比標準偏差で示した。秋田県南部の沿岸から内陸の東南東方向にかけての一带や山形の最上・村山から宮城県北西部で多雪が目立ったほか、青森市から下北・三八地域にかけての一带、中越一带で平年 $+\sigma \sim +2\sigma$ 程度の多雪が見られるなど、局所性の高い豪雪傾向があったことが分かった。さらに、図4に図3の積雪寡多分布の横手・湯沢付近(20万分の1地勢図、「秋田」と「新庄」に同じ)を拡大して示す。横手・湯沢周辺では、比標準偏差が $+2\sigma$ を超える領域が広く見られ、2021年1月3日に雪崩による人的被害が発生した横手市増田町狙半内(荒川・安達, 2021)では $+3.05\sigma$ 、同年2月13日に国道107号線を一時不通とした雪崩が発生した横手市山内小松川(安達・荒川, 2021)では $+2.2\sigma$ であった。

4. 考察

3.1節の図2で示した1月中旬までの急な積雪増加と2月中旬以降の急減という2020-21年冬季の雪水総量季節変化の傾向は、強力な寒気移流などにより前半豪雪傾向で進んだものの、3月以降は降雪がほとんどなく異例の高温傾向であったことと符号すると思われる。図3と図4から、2020年12月から1月の降雪はいわゆる里雪傾向が強く、2月下旬以降平年よりかなり高い気温で推移したため山地の積雪はやや伸び悩んだように思われた。このことを確認するため、横手・湯沢・湯の岱各アメダス地点における日最深積雪深観測値と平年値(単位:cm)、積雪水量の計算値(▲マーク, 単位:mm)と実測値(×マーク, 同mm)を図5に示す。横手アメダス(標高59m)から湯沢(同74m)、湯の岱(同335m)と南下するに連れて標高が増すが、これに反して積雪深・積雪水量ともに減少しており、里雪傾向であることが示唆された。そこで、2020-21年冬季に横手アメダスに日降雪深25cm以上をもたらした10イベント(2021年12月の15, 30, 31日、翌1月の1, 4, 18, 30日、同2月の3, 4, 24日)の各日9時(日本時間)の天気図を調べた(図6)。各日同時刻の一枚の天気図のみであるので、実際の降雪イベントとの対応は最大前後半日程度の不確実性があるが、図6よりそれぞれの天気図をパターン分類すると、直線的な等圧線の山雪型が1例(12/31)、低気圧型が3例(12/30, 1/18, 2/4)で、残り6例が等圧線の屈曲を伴う里雪型であることが見て取れる。以上より、少なくとも2020-21年冬季の秋田県南の積雪については、里雪傾向であったと言えるだろう。

5. まとめ

本研究で明らかになった事柄は以下の通りである。

- 1) 2020-21年冬季における東北6県全体で積雪水量を合計した雪水総量(雪水資源量)の季節変化は、12月から翌1月中旬までは積雪増加が顕著であったが、2月中旬に頭打ちとなり、その後3月に入ると急激に減少して3月末には少ない方から6番目となった。雪水総量の最大値は、平年並みの $27.89\text{km}^3 (=27.89\text{Gt})$ 、2021年2月18日であった。
- 2) 秋田県南の横手・湯沢周辺などでは比標準偏差が $+2\sigma$ を超える大雪になったことが確かめられた。道路の一時通行止めをもたらした雪崩が発生した2か所(横手市増田町狙半内と同市山内小松川)では積雪の比標準偏差は $+3.05\sigma$ と $+2.2\sigma$ と積雪が極めて多かったことがわかった。
- 3) 秋田県南の横手・湯沢・湯の岱各アメダスの積雪状況や横手の日降雪深25cm以上となった日の天気図から、2020-21年冬季の秋田県南の積雪については、里雪傾向であったことが確かめられた。

現在のところ、2020-21年冬季の秋田県南の里雪傾向をもたらした日本海上の寒気の流入や降雪雲の動きなどについては未だ不明であるが、今後寒気の流下のメカニズムや降雪雲の振る舞いについての多くの知見が得られることを期待したい。

【引用文献】

- 安達聖, 荒川逸人, 2021: 秋田県横手市山内小松川国道107号雪崩調査(2021.2.14.速報), 防災科研 雪氷防災研究センター ホームページ, <https://www.bosai.go.jp/seppyo/> (2021年8月6日確認).
- 荒川逸人, 安達聖, 2021: 秋田県横手市増田町狙半内雪崩調査 (2021.1.3), 防災科研 雪氷防災研究センター ホームページ, <https://www.bosai.go.jp/seppyo/> (2021年8月6日確認).
- 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/> (2021年8月6日確認).
- 本谷 研, 2008: 東北地方における積雪水量の27年平均値と豪雪・寡雪, 雪氷, **70**(6), 561-570.
- Motoya, K., T. Yamazaki, N. Yasuda, 2001: Evaluating the Spatial and Temporal Distribution of Snow Accumulation, Snowmelts and Discharge in a Multi basin Scale: An Application to the Tohoku Region, Japan, *Hydrol. Process.* **15**, 2101-2129.

謝辞

気象データ等や解説資料, 天気図等は気象庁ホームページから引用しました。なお, 本研究の一部は克雪技術研究協議会の受託研究(「秋田県周辺の遠隔地における診断型積雪分布モデルの検証観測に関する研究」)および新潟大学災害・復興科学研究所共同研究費(2020-02「1km メッシュ積雪重量分布情報の雪おろシグナルへの実装に向けた研究」)によりました。ここに記して感謝いたします。



図 1. 解析領域(上記太四角枠内)

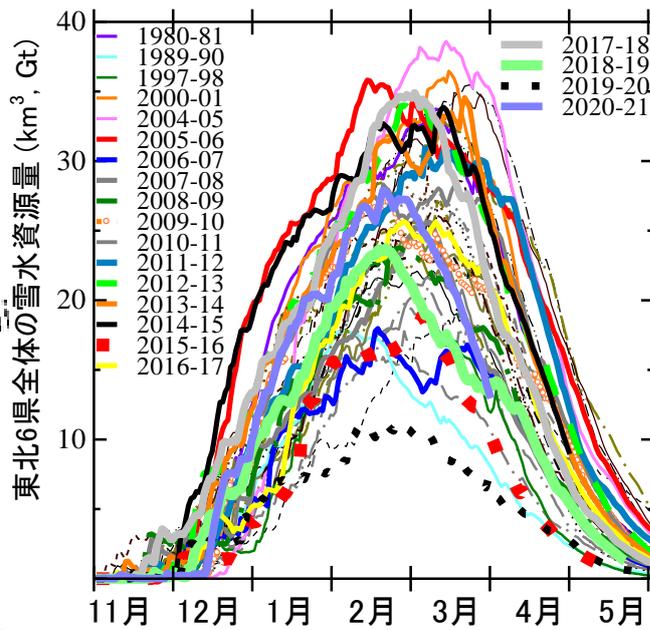


図 2. 解析領域全体の積雪水量総計 (雪水総量)の季節変化

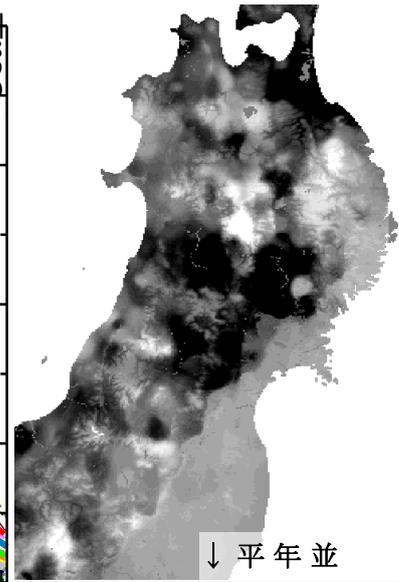


図 3. 積雪水量の寡多分布 (2021年1月の平均)

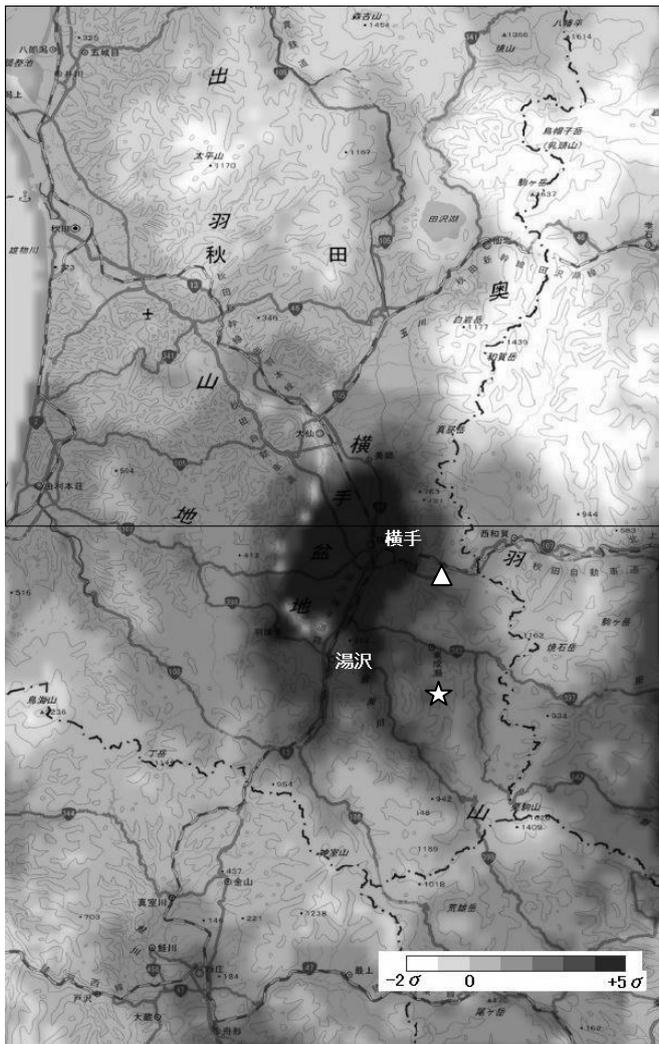


図 4. 図 3 に同じ。但し、横手・湯沢周辺の拡大。☆は狙半内、△は小松川の雪崩発生個所を表す。

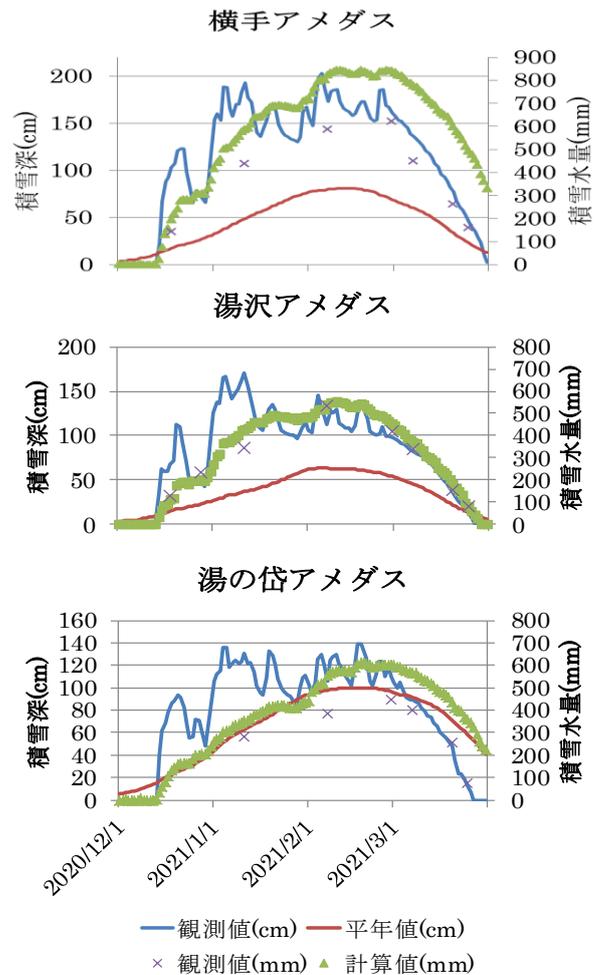


図 5. 横手・湯沢・湯の岱各アメダス地点における日最深積雪深(cm), 同平年値(cm), 積雪水量(mm), 同計算値(mm).

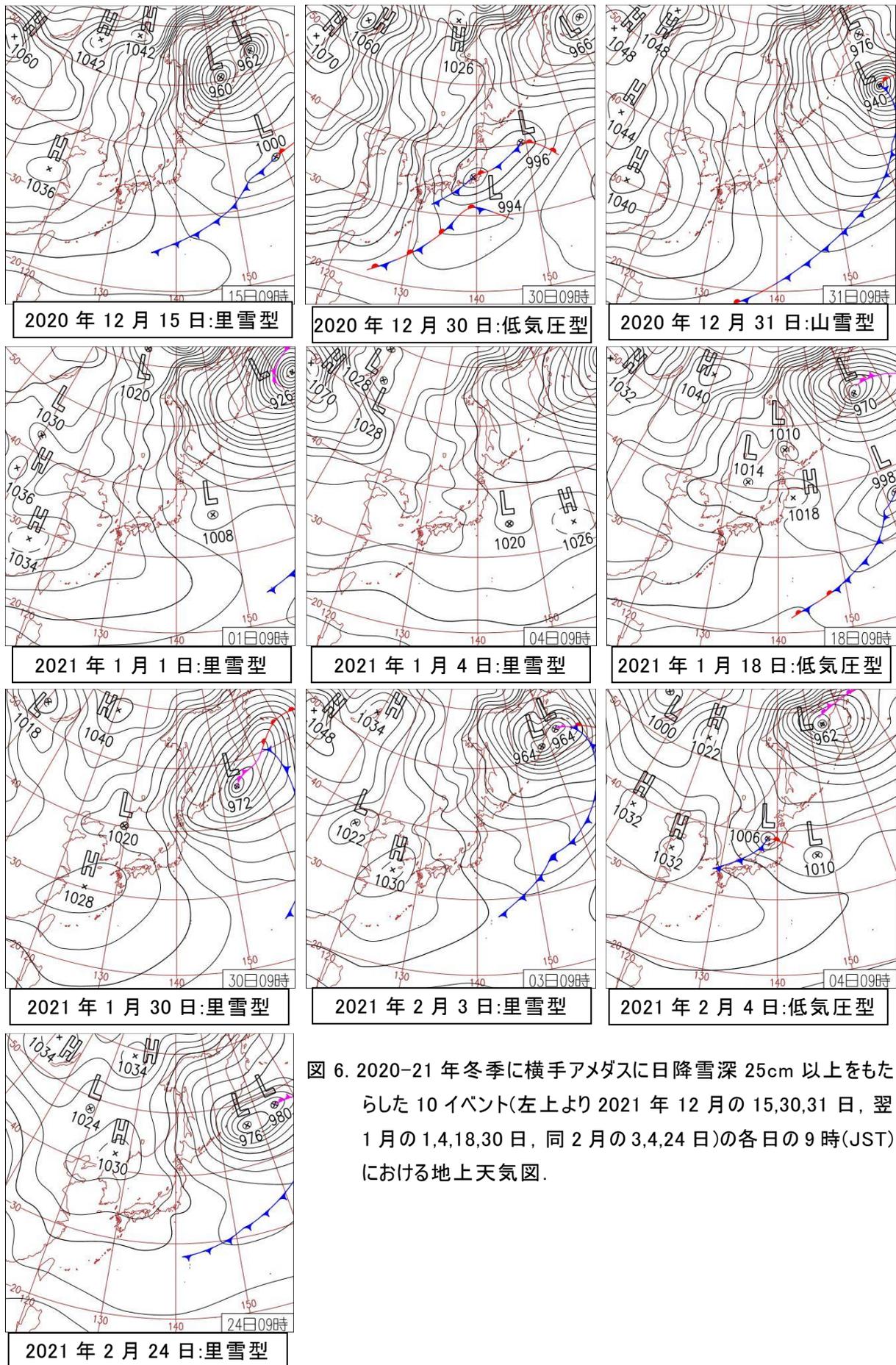


図 6. 2020-21 年冬季に横手アメダスに日降雪深 25cm 以上をもたらした 10 イベント(左上より 2021 年 12 月の 15,30,31 日, 翌 1 月の 1,4,18,30 日, 同 2 月の 3,4,24 日)の各日の 9 時(JST)における地上天気図.

令和3年(2020/21年)冬期における新庄の積雪変化について

小杉健二・荒川逸人・根本征樹・安達 聖・佐藤研吾・田邊章洋
(防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

Changes in snow cover structure at Shinjo in the 2020/21 winter
Kenji KOSUGI, Hayato ARAKAWA, Masaki NEMOTO, Satoru ADACHI, Kengo SATO
and Takahiro TANABE (Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

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では、雪氷災害に関する研究の基礎資料とするために、毎冬、降積雪および気象の観測を実施している。近年においては、2010/11年から2014/15年までの5冬期及び2017/18冬期に最大積雪深が平均値を超える大雪となった一方で、2019/20年冬期は著しい少雪となった。本稿では、2020/21年冬期の降積雪と気温の観測結果とその特徴について記すとともに、雪氷関連被害の発生状況についてもふれる。

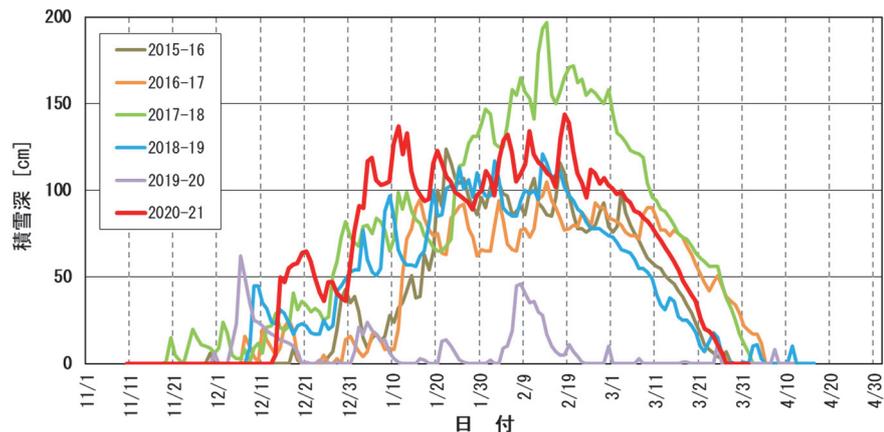


図1 新庄における2015/16年から2020/21年までの6冬期の積雪深の日変化

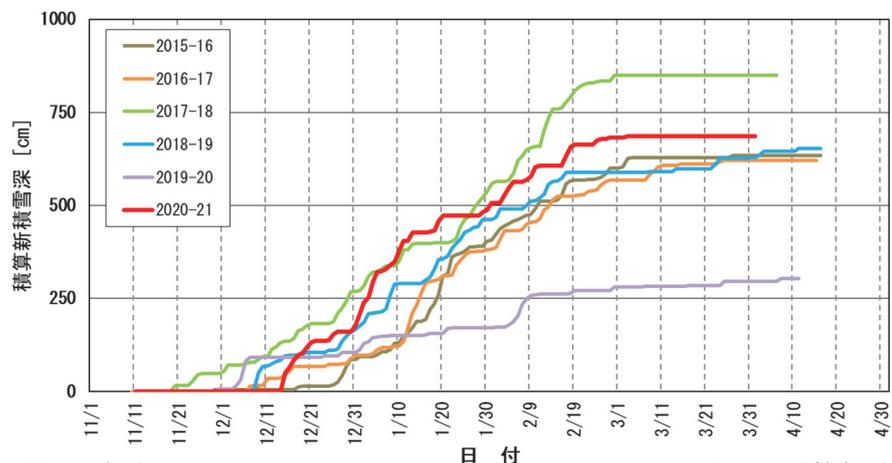


図2 新庄における2015/16年から2020/21年までの6冬期の積算新積雪深の日変化

2. 降積雪と気温の観測結果

2020/21年冬期の新庄における積雪深及び積算新積雪深の推移を過去5冬期の積雪深と併せて図1及び図2に、また、日平均気温の変化を図3にそれぞれ示す。2020/21年冬期においては12月から1月前半にかけて寒波の連続した襲来と例年を上回る降雪が続き、積雪深が急増した。1月後半に入るとたびたび暖気

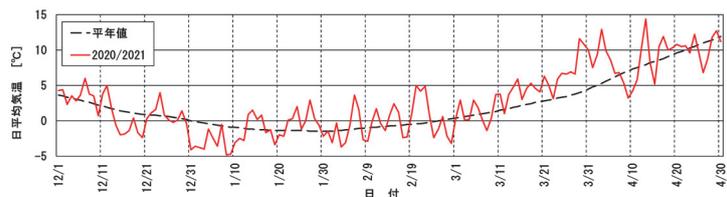


図3 新庄における2020/21年冬期の日平均気温の日変化 (気象庁新庄アメダスのデータを使用)

が入り積雪深と気温は増減を繰り返し、積雪深は2月18日の144cmが今冬期の最大値となった。この値は、新庄の最大積雪深の記録のある1934/35年から2019/20年冬期の平均値の135cmをやや上回るものとなった。3月に入る頃から降雪はほとんど無く、融雪が進み、3月下旬に消雪を迎えた。

3. 積雪構造の特徴

積雪断面観測により得られた、本冬期の積雪構造の推移を図4に示す。冬期の前半には新雪、こしまり雪及びしまり雪の下にざらめ雪があり、冬期後半の融雪期には積雪上部からざらめ化が進むという標準的な雪質変化が生じた事が分かる。その結果、2月中旬に積雪層の中程にしまり雪層が残されている。図5は、各冬期の2月中旬における雪質別の積雪層厚を表したものである。本冬期を含め、積雪深が比較的大きい冬期には2月中旬にまでしまり雪が残る傾向のある事が分かる。これは、積雪上部からざらめ化が進行するが、積雪深が深くしまり雪層が厚い場合はその全てがざらめ雪へ変態するのに長時間を要するためと考えられる。

また、融雪末期の2月末から3月に多数の氷板が観察された。積雪が深いために、融雪期に融解再凍結が長期にわたり繰り返された結果と考えられ、これも本冬期の積雪構造の特徴と言える。

4. 雪氷関連被害の発生状況

2020/21年冬期の山形県における雪氷関連被害の原因別発生状況を図6に示す。例年と同様に、ある程度雪が積もった時期に雪下ろしに伴う転落事故が多発している。本冬期は、それに加え落雪による事故や除雪作業中の事故が、まとまった降雪が続いた冬期前半に多発した。特に、落雪による死亡者は7名に達し、死亡原因の大きな割合を占めた。

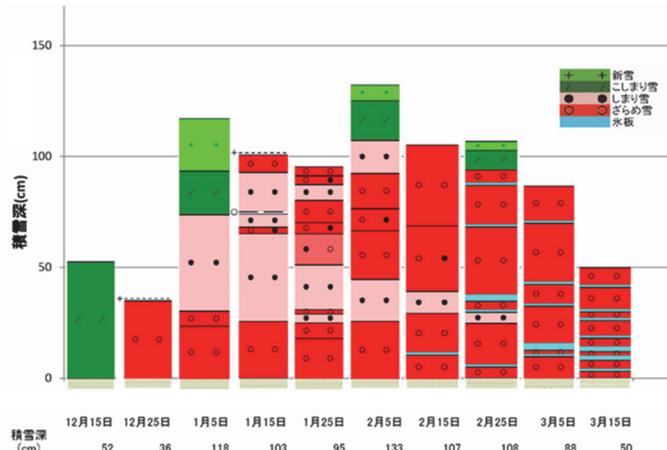


図4 新庄における2020/21年冬期の雪質変化図

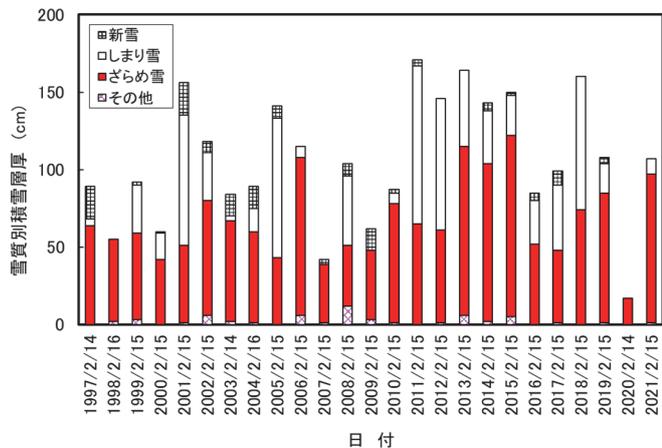


図5 新庄における1997年から2021年の2月中旬の雪質別積雪層厚。しまり雪は、こしまり雪を含む

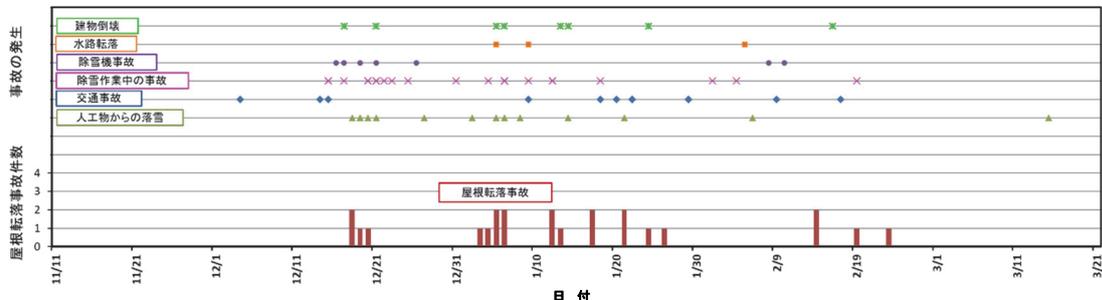


図6 2020/21年冬期の山形県における雪氷関連被害の原因別発生状況

謝辞

観測と機器保守を行っていただいた富樫数馬氏、鈴木紘一氏、大川元造氏、(株)双葉建設コンサルタントの方々、及びデータ整理にご協力いただいた青木里美さん、平向洋子さん、矢口瞳さんに深く感謝します。

2020 - 2021 年 青森県の雪況

小関 英明 (青森職業能力開発短期大学校)

A Profile of Snow-phenomena in Aomori(2020-2021)

Hideaki KOSEKI(Polytechnic College Aomori)

1. はじめに

青森県の2020-2021年冬期の雪況(気温, 降水量, 降雪量, 最深積雪深, 雪害被災者数)について, 青森市と弘前市を主として, 昨季(2019-2020年冬期)および平年値(1981年~2010年)と比較して報告する. 気象値については青森県内のアメダスデータを用いた(気象庁, 2021). また, 雪害については県内の各報道機関発表資料および総務省消防庁災害情報(2021)を用いた.

2. 2020 - 2021 年冬期の青森県の雪況

2020 - 2021 年積雪期('19, Dec. ~ '20, Mar. 以下今季)の青森県における雪況(気温, 降水量, 降雪量, 最深積雪深)について述べる. 表1に青森市と弘前市における昨季と今季の月別気象状況を示す. さらに, 図1には今季と昨季の両市の日平均気温の経過を示し, 図2には最深積雪深の経過を示す.

表1 青森市, 弘前市の2020-2021年積雪期月別気象状況

気象	青森市				弘前市			
	気温(°C)	降水量(mm)	降雪量(cm)	積雪深(cm)	気温(°C)	降水量(mm)	降雪量(cm)	積雪深(cm)
2019年12月	2.0(1.5)	153.0(151)	105(153)	38(51)	1.7(0.9)	145.5(117)	102(147)	48(29)
2020年1月	0.9(-1.2)	83.0(145)	56(225)	28(88)	0.3(-1.8)	102(121)	72(248)	34(61)
2月	1.2(-0.7)	66.5(111)	80(176)	31(107)	0.5(-1.3)	144.5(95)	140(208)	73(81)
3月	5.1(2.4)	81.0(70)	13(76)	7(80)	4.9(1.9)	84.5(77)	19(59)	14(59)
積雪深50cm以上の日数	0日(平年54.2日)				4日(平年36日)			
2020年12月	0.6	166.0	158	68(12/31)	0.3	130.5	107	45(12/20,31)
2021年1月	-1.9	146.5	183	129(1/11)	-2.4	105.5	100	66(1/8)
2月	-0.7	97	131	84(2/26)	-0.9	109.5	116	61(2/27)
3月	5.4	98.0	9	65(3/1)	5.4	80.0	8	50(3/1)
積雪深50cm以上の日数	71日				20日			

(気象庁, 2021)

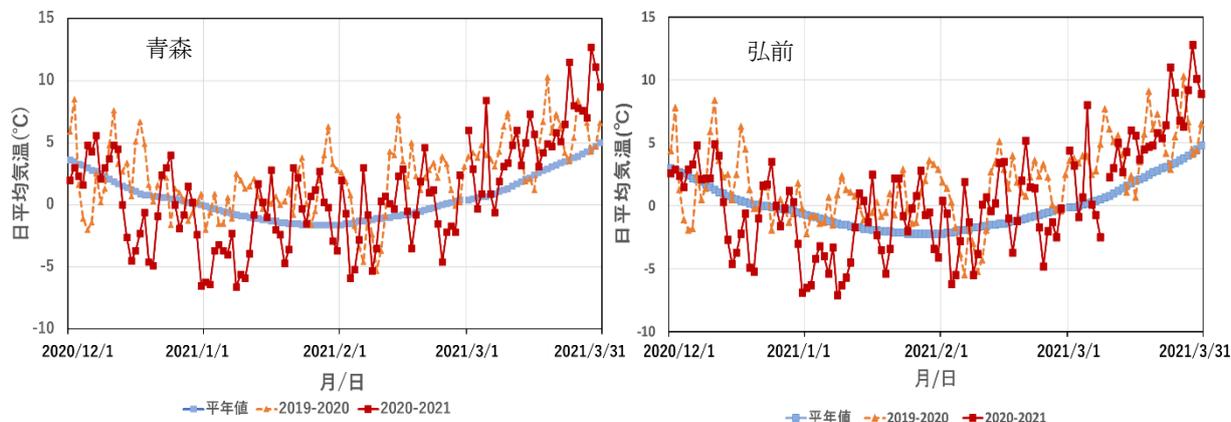


図1 青森市, 弘前市の日平均気温の経過

(気象庁, 2021)

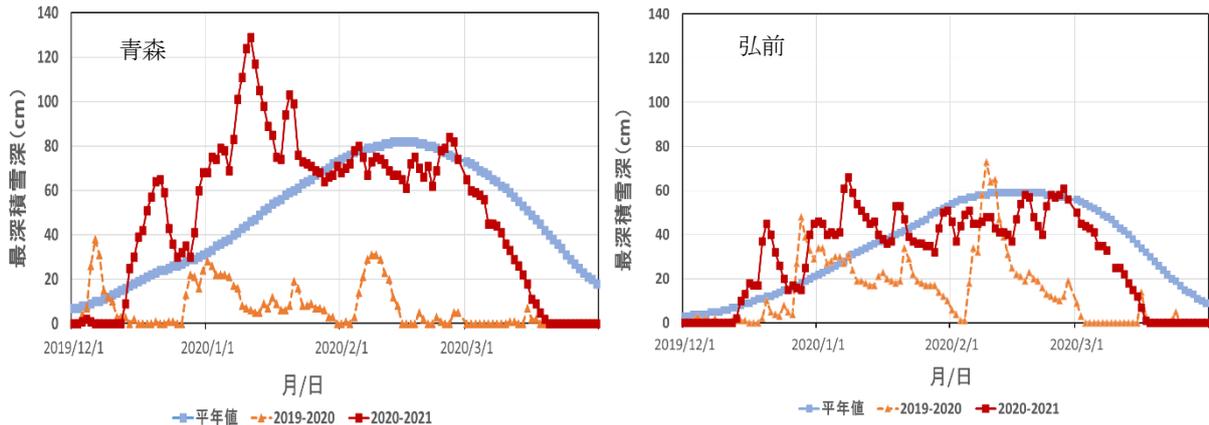


図2 青森市、弘前市の最深積雪深の経過 (気象庁, 2021)

表1より、気温は12月上旬から2月中旬にかけて強い寒気が断続的に流れ込んだことにより、12月、1月では平年に比べて低く、昨年と比較するとかなり寒くなった。2月の中旬以降は平年並みかやや高くなっている。3月に入ると平年より気温の高い日が多くなったため、両市ともに3月の平均気温は5.4℃となり、昨年を上回って3月としての過去最高を更新した。このほかにも、県内の観測点全域で3月の平均気温が過去最高となっている。降水量は12月では青森市で166mm、弘前市で130mmと両市ともに平年をやや上回った。1月では青森市が146.5mmでほぼ平年並みであるが、弘前市では105.5mmと平年よりやや少なくなっている。2月になると青森市で97mmと平年よりやや少ないが、弘前市では109.5mmと平年よりやや多くなった。3月では、青森市が98mmで平年よりやや多く、弘前市は80mmとほぼ平年並みである。降雪量では、青森市では12月で158cmと昨年に比べて約50%増加したがほぼ平年並みある。これに対して最深積雪深は68cmで昨年の2倍であり、平年と比べてもやや多くなった。1月の降雪量も183cmと昨年に比べると3倍以上であるが、平年に比べると約20%ほど少なくなっている。しかし、最深積雪深は129cmと平年を大きく上回っている。これは、図1、図2にあるように、年末から1月上旬にかけて断続的に強い寒気が入ったため気温が低く、冬型の気圧配置により大雪が続いたこととから急激に積雪深が増加したと考えられる。2月では降雪量は131cmと昨年よりは多いものの、平年に比較して約30%少なくなっており、最深積雪深も84cmと平年より20%ほど減少している。3月の降雪量は9cmと平年の1割ほどと非常に少なく、最深積雪深の65cmも3月1日に記録したものである。弘前市においては、降雪量について12月は昨年とほぼ同じ107cmで、平年に比べ約70%と少なくなっている。最深積雪深も45cmと昨年とほぼ同じくらいであるが、平年に比べると約50%増加している。1月の降雪量は100cmと平年の半分以下であるが、青森市と同様に年末から1月上旬にかけて気温の非常に低い日が続いたため、最深積雪深は66cmとなり昨年の約2倍となったが、1月としてはほぼ平年並みである。2月の降雪量も平年の半分ほどで、昨年よりも約20%少なくなった。最深積雪深についても、61cmと昨年の73cmより少なく、また、平年と比較しても25%少なくなった。3月の降雪量は8cmと青森市と同じく非常に少なく、最深積雪深も3月1日に50cmとほぼ平年並みを記録したが、その後は気温の高い日が多くなり青森市と同様に積雪は急激に減少した。また、青森市では積雪深が50cm以上となった日が71日と平年を16日ほど上回ったが、弘前市では20日と平年より16日少なかった。

図1、図2より県内では12月中頃から1月上旬にかけて気温の低い日が続いた。特に、12月14日から21日まで両市において日平均気温が氷点下の日が続いた。また、12月16日、19日には、県内のアメダス観測点すべてで真冬日となっている。さらに、両市ともに12月30日から1月11日までの14日間連続で真冬日となった。この間、青森市では1月8日に今季の日平均気温が-6.6℃、弘前市でも-7.1℃と今季の日平均気温の最低値を記録したほか、12月31日、1月2日に県内全域で真冬日を記録している。この強い寒気が流入したタイミングで冬型の気圧配置が強まり、大雪が続いたため、

青森市では12月21日に積雪深が65cmとなり、1月11日に今季最高の最深積雪深129cmを記録した。弘前市においても同様に、12月20日に積雪深が45cmとなり、1月8日には今季最高となる最深積雪深66cmを記録した。その後も、断続的に2月中旬までは気温の低い日が多く、積雪深もほぼ平年並みで推移した。2月下旬以降は、2月26日前後に強い寒気が伴って冬型の気圧配置が強まり積雪が増加し、最深積雪深が青森市で2月26日に84cm、弘前市では2月27日に61cmを記録した後は、気温が平年より高い日が続いたため、積雪は急激に減少し、青森市で3月20日、弘前市では3月18日に積雪0cmとなった。

次に、青森県内各地のアメダス観測点による降雪量合計と最深積雪深について比較する。平年値および一昨季から今季の各観測点の最深積雪深を図3に示し、降雪量合計を図4に示す。図3の黒石における最深積雪深については黒石市にあるりんご試験場の観測データを使用した。上北地方の野辺地については数年前に観測点が大きく移動したため、平年値が記載されていない。東青津軽地方の酸ヶ湯でも積雪を観測しているが、山岳部のため除いている。

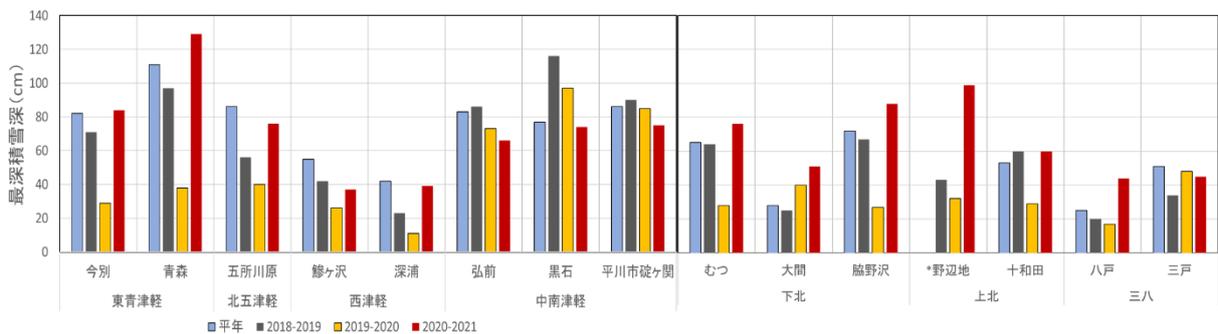


図3 青森県内のアメダス観測点における最深積雪深 (気象庁, 2021)

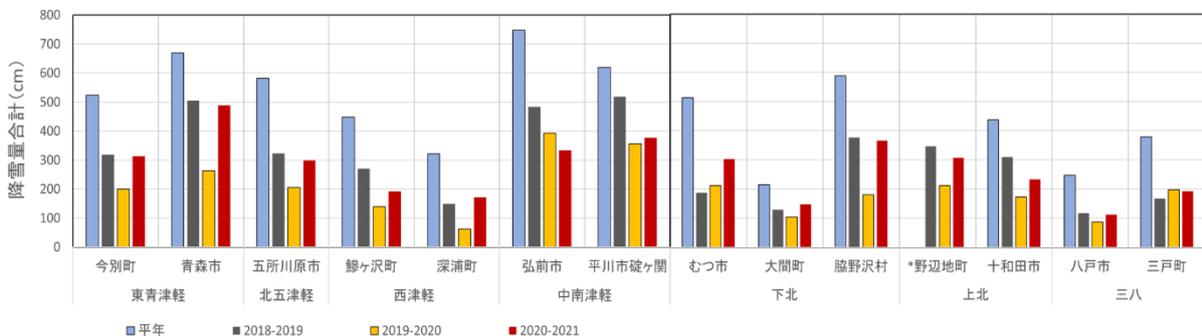


図4 青森県内のアメダス観測点における降雪量合計 (気象庁, 2021)

図3より、最深積雪深は、平年値と比較すると、東青津軽地方と下北地方、上北地方、三八地方の八戸で平年値より多くなった。特に大間では平年値の1.82倍、八戸では、1.76倍となっている。その他の地点では、ほぼ平年並みか、平年よりやや少なくなっている。極端に少雪だった昨季と比較すると、中津軽地方と三八地方の三戸を除いて、大間の1.3倍から青森の3.5倍と大きく増加した。さらに、平年的には2月上旬から中旬にかけて最深積雪深を記録しているが、今季は碓ヶ関を除くすべての地点で1月7日から1月11日に今季の最深積雪深を記録していることから、県内全域で12月中旬から約1か月の間に、降雪が集中したと考えられる。また、一昨季、昨季、今季と比較すると、特に中津軽地方では、一昨季が平年より最深積雪深が多く、昨季、今季と減少しているのに対して、三戸を除く他の地域では、一昨季が平年並みか少なく、昨季はかなり少なく、今季は平年並みか平年を上回っており、中津軽地方とそのほかの地方では、積雪深の状態が異なっている。

図4より、降雪量合計は県内全域で平年値より少なくなった。最深積雪深が129cmと多かった青森でも488cmで、他の地域と比較して多くなったが平年値の73%であった。平年値の60%を超えたの

は、青森のほかは今別 61%, 平川市碓ヶ関 60%, 大間 69%, 脇野沢 62%の 5 地点だけで、鯉ヶ沢では平年値の 43%, 弘前で 45%, 八戸が 45%と降雪量合計は大きく減少した。また、昨季と比較すると中南津軽地方の弘前と平川市碓ヶ関、三戸は、ほぼ同じか少なくなった他は、極端な少雪となった昨季よりは多くなっている。

3. 弘前における降雪量合計と最深積雪深との関係

小関 2019 は、2000 年以降、弘前において降雪量合計に対して最深積雪深が大きくなる傾向にあることを示した。さらに、小関 2020 では、最深積雪深 $H(\text{cm})$ と降雪量合計 $S(\text{cm})$ との比 $R_{H/S}$ を導入し、この経年変化を求めた。今季についても、降雪量合計と最深積雪深の関係について検討する。

図 5 に 1983 年から 2021 年における降雪量合計と最深積雪深の関係を示す。さらに、図 6 には 1983 年から 2021 年までの $R_{H/S}$ の経年変化を示す。

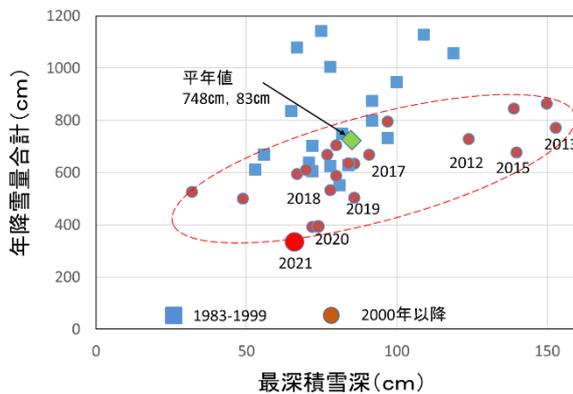


図 5 降雪量合計と最深積雪深の関係 (気象庁, 2021)

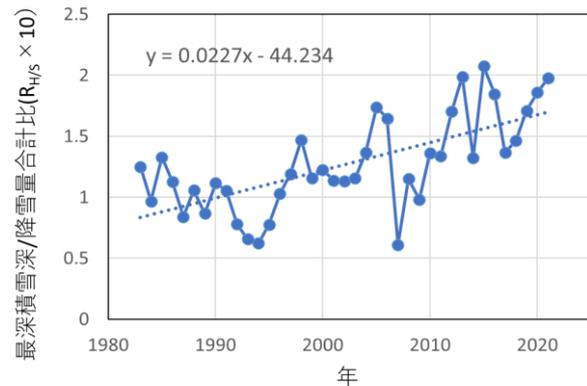


図 6 弘前の降雪量合計と最深積雪深の比 (気象庁, 2021)

図 5 では、1983 年～1999 年までが青○印、2000 年～2020 年までが黄○印、今季は赤○印、平年値 (1983 年～2010 年) が緑◇印で示してある。

図 5 に示すように、今季についても赤点線に示す領域にほぼ含まれている。次に図 6 に示すように、今季の降雪量合計は平年値の 45%であるのに対して、最深積雪深は平年値 80%となり、 $R_{H/S}$ の値は 4 年連続で高くなっている。図 6 中の数式は線形近似式であり、相関係数は $R = 0.67$ である。また、今季の各地域の降雪量合計と最深積雪深を比較すると最深積雪深は、ほぼ平年並みか平年より大きい地域が 14 地点中 8 地点であるが、降雪量合計はすべての地点で平年値を下回っていることから、降雪量合計と比較して、最深積雪深は大きくなる傾向にあると考えられる。特に今季のように、前半に強い寒気の流入と冬型の気圧配置により、短期間に大雪となった場合は $R_{H/S}$ の値が高くなると考えられる。

4. 雪関連の災害

青森県における、今季および昨季の総務庁消防庁発表の雪害による被災者数を表 2 に示す。また、青森県危機管理局防災危機管理課発表による原因別被災者数を表 3 に示す。ただし、凍結路面でのスリップなどの交通事故による死者は含まれていない。

今季は 12 月中旬から 1 月中旬にかけて、積雪が平年を大きく上回ったことから、雪害が多く発生した。表 2 に示すように、人的被害は 133 名となり記録的に雪の少なかった昨季の 28 名に比べて大きく増加した。人的被害が 100 名を超えたのは、2014-2015 年の 101 名以来 6 季ぶりである。死者数は 11 名で昨季より 8 名の増加となった。死者が 10 名を超えたのは 2012-2013 年の 16 名以来である。さらに負傷者は 122 名となり昨季を 97 名増加となった。表 3 より、被災者の多くは屋根の雪下ろし、除雪中で 127 名と最も多く、全体の約 95%を占めている。次に落雪による被災者が 4 名となった。死

者の原因としては、除雪中の病死と思われるものが3名、除雪中の屋根からの落雪によるものが3名、屋根の雪下ろし中に転落したものが3名、除雪中の事故によるものが1名、雪崩によるものが1名である。特に、死者および負傷者ともに、12月中旬から1月中旬集中しており、1月15日の段階で、死者7名、負傷者84名となっている。これは、図2にあるように、この期間に積雪が平年値を大きく上回ったことによると考えられる。

表2 青森県内における雪害の被災者数(交通事故を除く)

	死者(人)	重傷者(人)	軽傷者(人)	行方不明(人)	計
2019年12月	0	0	4	0	4
2020年 1月	0	1	5	0	6
2月	3	6	9	0	18
3月	0	0	0	0	0
2020年12月	2	9	22	0	33
2021年 1月	6	27	54	0	87
2月	3	8	2	0	13
3月	0	0	0	0	0

(総務省消防庁災害情報, 2021)

表3 雪害の原因別被災者数(交通事故を除く)

	屋根雪下ろし、 除雪中(人)	落雪(人)	雪崩(人)	倒壊家屋の 下敷き(人)	その他の 原因(人)
2019-2020年	27	1	0	0	0
2020-2021年	127	4	1	0	1
増減	100	3	1	0	1

(青森県危機管理局危機管理課, 2021)

このほかに、今季は気温が低い日が続いたことと、暴風雪となった日が多かったことから、吹雪による視界不良やスリップ等による交通事故で死者が4名発生している。

今季は暴風による被害が多く発生した。1月7日から8日にかけて、暴風により深浦町の住宅3棟で、屋根が剥がれたりガラスが割れるなどの被害があった。また、三沢市でもシャッターが破損する被害があった。この時、深浦では最大風速23.7m/s(観測史上10位)、三沢では瞬間最大風速22.7m/s(観測史上7位)を記録している。2月16日から17日にかけては、六ヶ所村では暴風で飛ばされたベニヤ板が当たり1人が負傷したほか転倒して3人が重軽傷を負った。五所川原市や藤崎町でも各1名の人的被害が発生した。また、建物被害では弘前市観光館の外壁にあった看板が飛んだり、住宅や車庫のトタン屋根が飛ばされるなど、住宅で160棟、非住宅で13棟の被害が発生した。この時は小田野沢で観測史上1位となる最大瞬間風速33.5m/sを記録したほか、大間では最大瞬間風速30.9m/s(観測史上2位)、六ヶ所村で最大瞬間風速23.1m/s(観測史上3位)、五所川原では最大瞬間風速27.2m/s(観測史上4位)など、各地で記録的な暴風となった。

また、前述のように、年末から年始にかけて真冬日が2週間続いたことから、各地で水道管の凍結や破裂が相次ぎ、一部では休校の措置をとる学校もあった。

今季の大雪や暴風での農業被害が上十三地区を中心に多く発生した。特に十和田市では、234棟の農業用ハウスに被害が生じた。また、五所川原市やつがる市などでも被害が確認され、最終的には3億8500万円に上った。

4. まとめ

今季の県内は、12月中旬から2月中旬にかけて、断続的に強い寒気が流れ込み、冬型の気圧配置が続いたため、前半は寒冷で雪の多い冬となった。特に12月30日から1月11日にかけて真冬日が続き、厳しい寒さとなった。さらに、この時期に大雪となり、県内全域で急激に積雪深が増え、平年を大きく上回った。特に青森市では、最深積雪深が2018年2月の110cm以来となる129cmを記録した

ほか各地で最深積雪深が平年を上回った。このため、青森市を含む12市町村で豪雪災害対策本部や豪雪災害警戒本部を設置した。自治体の除排雪費も多額となり、青森県としては、2018年の45億5500万円を超える54億円となり過去最高となった。2月中旬以降は比較的平年より気温の高い日が多く、3月の月平均気温は県内すべての観測点で過去最高を記録した。また、最深積雪深は平年を大きく上回った地域が多かったが、降雪量合計としては、青森市で平年値の73%、大間では69%となったほかは平年値と比較して約60%から45%ほどと少なかった。また、各地の最深積雪深と降雪量合計の比較すると、極端な少雪となった昨季では、中津軽地方とそのほかの地域で大きな差異があったが、今季は下北、上北地方と青森で最深積雪深が大きく平年を上回ったが、降雪量合計では昨季ほど地域による大きな違いは見られなかった。

次に、2000年以降、弘前市において降雪量合計に対して、最深積雪深が大きくなる傾向があることから最深積雪深 $H(\text{cm})$ と降雪量合計 $S(\text{cm})$ との比 R_{HS} について調べた結果、今季においても R_{HS} はこれまでの線形近似式に比較して大きくなる傾向が見られた。これは、今季のように短期間で大雪となり積雪深が急増する場合は R_{HS} が大きくなる傾向にあると考えられる。

今季の雪害については、この寒さと大雪により雪害も多く発生し、昨季の28(死者3名、重軽傷者25名)より大きく増加し、133名(死者11名、重軽傷者121名)となり、2014-2015年の101名以来であり、死者が10名を超えたのは2012-2013年の16名以来である。死者の中には、八甲田スキー場で発生した雪崩による死者1名が含まれている。このほか、低温と暴風雪により車のスリップや吹雪による視界の悪化による交通事故が多数発生し、3名の死者があった。また、暴風による被害も多く発生した。1月8日から7日の暴風では合わせて4棟に被害があったほか、2月16日から17日の暴風では転倒するなどにより6名が重軽傷を負った。さらに、住宅160棟、非住宅13棟で被害があった。今季の大雪や暴風による農業被害は3億5800万円となった。

最後に、中津軽郡西目屋村の乳穂ヶ滝は、今季前半の寒さで結氷まで1m弱まで迫ったが、その後の雨で崩落し3年連続で結氷しなかった。

謝辞

黒石市における積雪データを提供して頂いた、地方独立行政法人青森県産業技術センターりんご研究所、小林達様に感謝申し上げます。

【引用文献】

青森県危機管理局防災危機管理課，2021：雪害発生状況（令和2年度）

<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bosaikikikanri/files/R2setsugai.pdf>（2021年5月23日閲覧）
気象庁，2021：過去の気象データ検索，

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>（2020年4月9日閲覧）

小関英明，2019：2018-2019年 青森県の雪況，東北の雪と生活，**34**，67-72.

小関英明，2020：2019-2020年 青森県の雪況，東北の雪と生活，**35**，28-33.

総務省消防庁，2021：今冬の災害状況等(R1. 11. 1～R2. 4. 30)，

<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/setugai202104.pdf>（2021年5月14日閲覧）

りんご研究所，2021：2020-2021積雪，私信(メール提供)

山形蔵王における雪氷現象の観測(2020/2021 冬季)

沖田圭右・山谷睦・原田俊明・沼澤喜一*(日本地下水開発株式会社)

Observation of icing and snow accretion Jyuhyo (Ice Monsters) at Mt.Zao (2020/2021 winter)

Keisuke OKITA・Mutsumi YAMAYA・Toshiaki HARADA
and Kiichi NUMAZAWA (Japan Groundwater Development Co., Ltd.)

1. はじめに

当社では1997/1998 冬季から24シーズンに亘って山形蔵王の地蔵山付近で着氷雪現象及び積雪の観測を実施している。観測の目的は、山形大学地球環境研究会(1995)で矢野が指摘した地球温暖化に起因するとみられる樹氷形成下限標高の上昇が、その後どのように変化しているのかを明らかにすることである。観測内容は樹氷(Ice monsters)の高度変化観測、地蔵山頂付近での積雪断面観測、蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅気象データの収集・解析である。

2. 蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅付近での気象観測結果と樹氷形成状況

蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅における2020/2021 冬季の積雪深、気温及び平均風速を図1に示した。

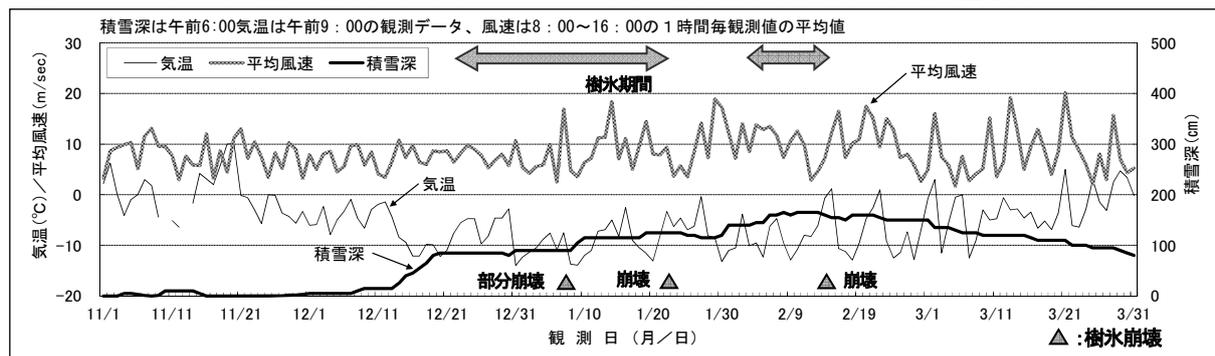


図1 蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅における2020/2021 冬季の積雪深、気温および平均風速



図2 樹氷形成状況(左上標高1660m付近・右上1630m付近・下段1560m付近(85番)(2021年1月6日))

枯れの状況が樹氷の形状や着氷雪の剥落しやすさに影響を及ぼしていると考えられる。

6. まとめ

気象庁(2021)によると、平地の山形市における今冬季12月～2月の降水量は平年値の116%である266mm、最深積雪は57cmで平年値(50cm)の114%であった。山形市の12月～2月の平均気温は平年値と同じ0.7℃であった。

地蔵山頂駅の観測による今冬季の最深積雪は165cmで、これまで24冬季の観測結果の平均値である240cmよりはかなり少ない値であった。平地(山形市)では降水量と最深積雪は平年値以上であり、気温は平年並みに推移したが、山地(地蔵山頂駅)では積雪が少なめで気温は多少高い状況であったことから、降雪パターンは里雪型であったと言える。今冬季の樹氷形成下限標高は1560mと24冬季の平均値1553mと同程度であった。地蔵山頂駅付近では6冬季ぶりに12月中から樹氷鑑賞が可能となり(図6)、途中崩壊はあったものの再形成されて、樹氷鑑賞期間は合計で約40日間であった。

謝辞

蔵王ロープウェイ株式会社から研究に必要な気象観測データを提供頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【引用文献】

気象庁(2021)：冬(12～2月)の天候，別紙。

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/stat/tenko2021djf_besshi.pdf (2021年3月2日)

山形大学地球環境研究会(1995)：検証・ヒトが招いた地球の危機，東京，講談社,37-56。

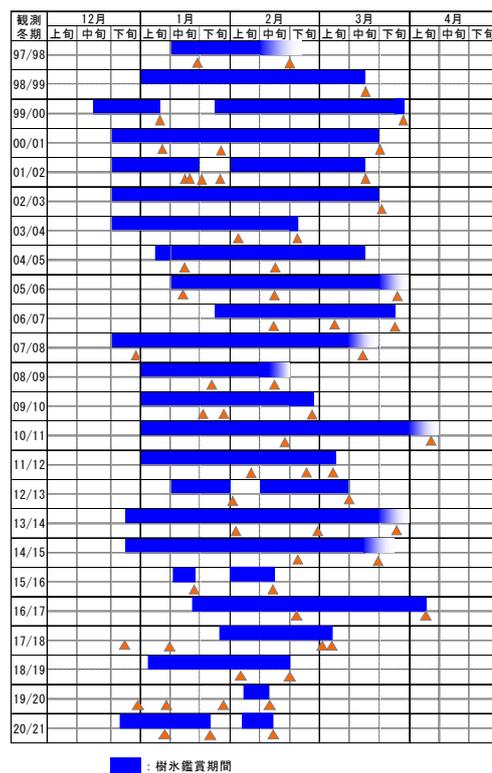


図6 地蔵山頂駅付近の樹氷鑑賞期間

山形蔵王の低標高にできる樹氷 -2014/2015 冬季~2019/2020 冬季-

○沼澤喜一*, 山谷睦, 沖田圭右, 原田俊明
(日本地下水開発株式会社 蔵王雪氷研究グループ)

Ice Monster formed completely at lower altitude of Mt.Zao - 2014/2015winter ~2019/2020winter -

Kiichi Numazawa, Mutsumi Yamaya, Keisuke Okita and Toshiaki Harada
(Mt.Zao Snow and Ice Research Group, JGD)

1. はじめに

山形大学地球環境研究会(1995)で矢野が指摘した、山形蔵王における地球温暖化に起因すると見られる樹氷形成下限標高の上昇が、その後どのように変化しているかを明らかにすることを目的に、観測地点を定め、1997/1998 冬季から 23 シーズン継続して樹氷の高度による変化を観測し、樹氷が形成される下限標高を調べている。調査を進めている中で地蔵山頂付近からの連続性は見られないが、低標高でも局所的に短期間、樹氷が形成されることがあり、2014/2015 冬季から低標高での観測地を設定し、観測を行っている。

2. 観測地点

1997/1998 冬季から続けている樹氷の高度変化観測は、山形蔵王地蔵山の蔵王ロープウェイ山頂駅からザング坂、樹氷原コースを経てユートピアゲレンデまでの区間で行っている。山頂駅からスキーコースに沿ってほぼ等間隔に指導番号標が設置されており、山頂駅近傍が 100 番(標高 1660m)で、ユートピアゲレンデの観測終了点が 45 番(標高 1340m)である。2014/2015 冬季からは低標高(55 番から 50 番まで:1420m~1390m)における樹氷形成観測に、広範囲に観測できるユートピアゲレンデ最上部の連絡コースを追加した(図 1, 2)。

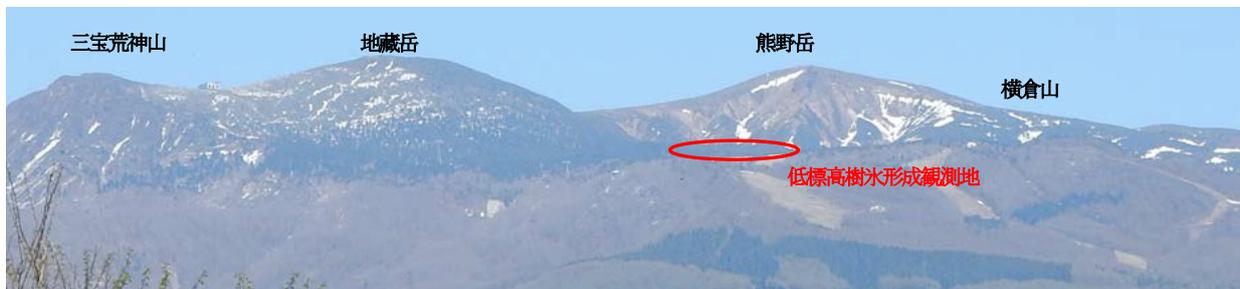


図 1 低標高(55 番から 50 番まで:1420m~1390m)における樹氷形成観測位置



図 2 ユートピアゲレンデ最上部の連絡コース(標高 1420m~1400m) 2020. 2. 12 撮影

3. 観測方法

樹氷形成の観測は、山頂駅からユートピアゲレンデまで徒歩で移動しながら、指導番号標近傍の樹氷をカメラで撮影するとともに、指導番号標の標高付近の樹氷の様子を目視観測している。同様の観測をシーズン中数回行い、樹氷形成下限標高を判定している。

樹氷形成下限標高は、阿部(1979)が述べている「蔵王山の樹氷はアオモリトドマツの大木が着氷と雪でおおわれて巨大な固まりに成長したもの」を判定基準としている。枝の分離がなく、着氷と雪で一体化しているものを目視で、同標高付近の樹氷個体の半数以上がこの条件を満たしているか否かを観測し、地蔵山頂付近から連続してこの条件を満たしている下限を樹氷形成下限標高としている。

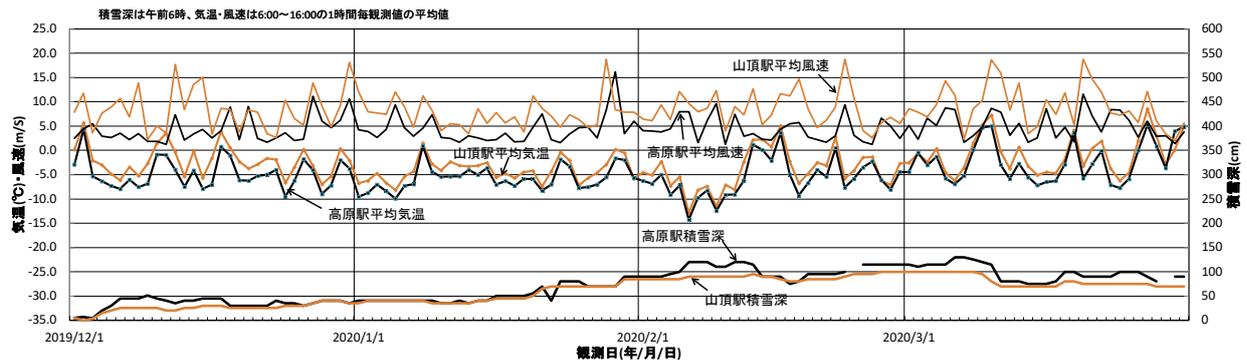


図3 蔵王ロープウェイ山頂駅・樹氷高原駅における2019/2020冬季の積雪深、平均気温及び平均風速の推移

山形蔵王における温暖化の影響を調べるため、1997/1998冬季から蔵王ロープウェイ山頂駅で日中定時観測している積雪深、気温、平均風速、風向等の気象データの提供を受け、データを整理し、解析を行っている。低標高での樹氷形成については、2014/2015冬季から番号標45番の近傍に蔵王ロープウェイ山麓線樹氷高原駅があり山頂駅と同内容の気象観測を行っているため、データの提供を受け、データを整理し、解析を行っている(図3)。

4. 低標高の樹氷形成

低標高での樹氷の形成については、2014/2015冬季から本格的に観測地点を追加し、観測を開始している。低標高で樹氷が形成される位置は、おおむね地蔵山から横倉山への稜線で季節風の流れが分かれるユートピアゲレンデ最上部(標高1400m)周辺にあたっている。1997/1998冬季から2013/2014冬季については観測写真で判定すると番号標55番(標高1420m)より低い標高で、規模の大きさや形成されている期間は不明であるが、17シーズンのうち7シーズンは樹氷形成が確認できる。これまでの観測写真で最低標高(番号標43番、標高1330m付近)に形成された樹氷は2010/2011冬季の2011年2月2日に撮影されたものである(図4)。



図4 観測写真で確認された最低標高に形成された樹氷(2011.2.2撮影)

2014/2015 冬季から低標高での樹氷形成の観測を開始してから 6 シーズンとなるが、2019/2020 冬季と 2015/2016 冬季は樹氷形成が不完全であった。他の 4 シーズンは短期間樹氷形成が確認された。樹氷形成期間が山頂付近と比べ短いのは樹氷崩壊の要因である晴れた日や南からの風の頻度が多く、気温が高いことが挙げられる(図 5, 表 1)。

2019/2020 冬季に樹氷形成が不完全であった要因として、降積雪が少なかったことが挙げられる。低標高では樹氷の土台形成は冠雪主体であり、風上側はえびのシッポが形成されていても、風下側への雪の回り込みによる着雪が成長せず枝毎分離しているものが多く、樹氷には至っていなかった(図 6)。2015/2016 冬季もほぼ同様であった。

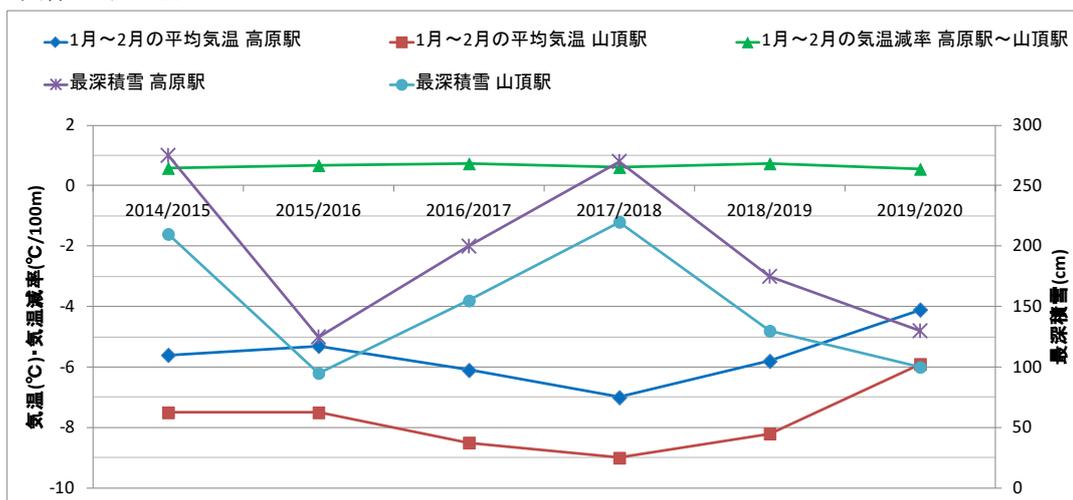


図 5 観測 6 冬季の 1 月～2 月の平均気温と気温減率および最深積雪
(1 日の平均気温は定時観測 8:00～16:00 の平均とした)

表 1 観測 6 冬季の 1 月～2 月の平均気温と気温減率および最深積雪
(1 日の平均気温は定時観測 8:00～16:00 の平均とした)

冬季	1月～2月の平均気温(°C)		1月～2月の気温減率 (°C/100m)	最深積雪(cm)	
	高原駅	山頂駅	高原駅～山頂駅	高原駅	山頂駅
2014/2015	-5.6	-7.5	0.58	275	210
2015/2016	-5.3	-7.5	0.67	125	95
2016/2017	-6.1	-8.5	0.73	200	155
2017/2018	-7.0	-9.0	0.61	270	220
2018/2019	-5.8	-8.2	0.73	175	130
2019/2020	-4.1	-5.9	0.55	130	100
平均	-5.7	-7.8	0.64	196	152



図 6 2019/2020 冬季の樹氷形成状況(2020. 2. 12) (標高 1400m 付近で撮影)

これまで6シーズンの観測で得た知見から低標高の樹氷形成は日平均気温が -5°C 以下の日が連続し、降雪が続き積雪深が150cmを超える条件が揃うことが重要であると推定される。2018/2019冬季に完全な樹氷が確認できた気象データと樹氷の写真を示す(図7,8)。

今後も観測を続け気象データをもとに、低標高での樹氷形成に必要な条件を見いだしていきたい。

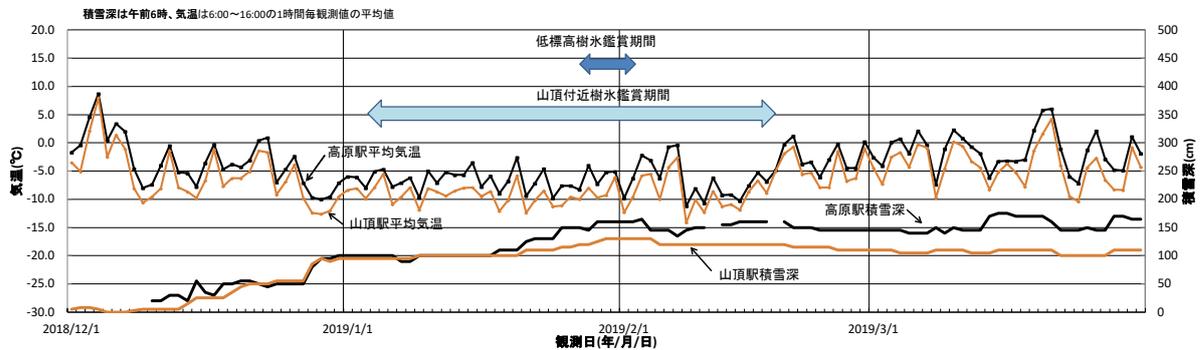


図7 蔵王ロープウェイ山頂駅・樹氷高原駅における2018/2019冬季の積雪深及び平均気温の推移



図8 2018/2019冬季の樹氷形成状況(2019.1.28) (標高1400m付近で撮影)

謝辞

蔵王ロープウェイ株式会社から研究に必要な気象観測データを提供頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

【引用文献】

- 山形大学地球環境研究会(1995)：検証・ヒトが招いた地球の危機。東京，講談社，37-56.
- 阿部正二郎ほか(1979)：蔵王樹氷のすべて。山形，東北出版企画，81-95.

地域気候モデルによる積雪の再現性

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科)

高橋直也 (ハワイ大学マノア校)

川瀬宏明 (気象庁気象研究所)

山口 悟 (防災科学技術研究所)

Reproducibility of Snow Cover Simulated by a Regional Climate Model

Takeshi YAMAZAKI (Graduate School of Science, Tohoku University)

Naoya TAKAHASHI (University of Hawaii at Manoa)

Hiroaki KAWASE (Meteorological Research Institute)

Satoru YAMAGUCHI (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

1. はじめに

温暖化に伴い、一般的に積雪は減少するとみられるが、中部日本の山岳域ではむしろ豪雪が強化し、極端化が起こる可能性が指摘されている (Sasai et al. 2019, Kawase et al. 2020). これらの将来予測には地域気候モデルが用いられているが、積雪に関するモデル再現性の検討は観測データが限られる山岳域では十分に行われていない. 将来と現在気候のモデル同士での差を見ることにより、モデルの癖の影響を軽減しているのが現状である. そこで、広く気候の将来予測に使われている気象庁気象研究所の地域気候モデル NHRCM について、防災科学技術研究所で実施している山岳域の積雪観測などにより再現性、バイアスの評価を行った.

2. 方法と使用したデータ

気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) によって地域気候モデル NHRCM により作成された水平解像度 5km のシミュレーション結果 (SI-CAT DDS5TK) を、さらに 1 km までダウンスケーリングした. 対象領域は図 1 に示す北信越と南東北の 2 地域である. なお、黒色で示される中部山岳域については、SI-CAT においてすでに 1 km のダウンスケーリングが実施されている.

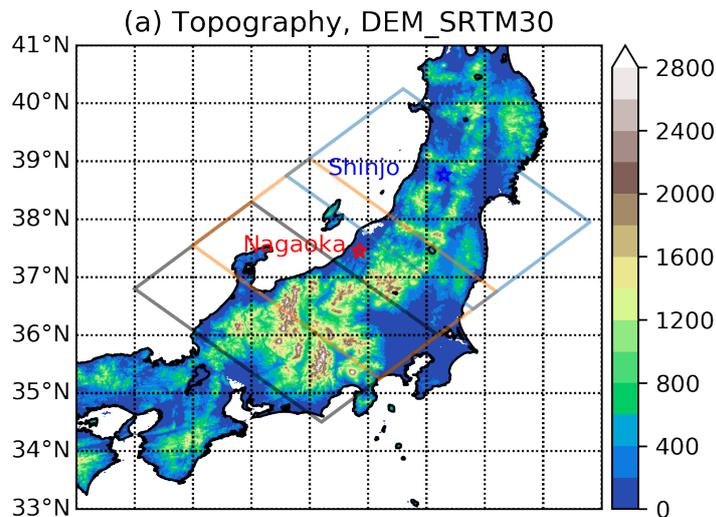


図 1 1 km ダウンスケーリングの実行領域と地形標高 (m). オレンジ色 : 北信越, 水色 : 南東北. 黒色は SI-CAT にて実施した中部地域.

SI-CAT DDS5TK は NHRCM により、d4PDF をもとに過去実験、4℃上昇実験および2℃上昇実験について、東北地方から九州にかけての領域を 5 km にそれぞれ 372 年分のダウンスケーリングしたデータである (山崎ほか 2019)。検証のために気象庁の全球再解析データ JRA-55 を初期値、境界値とした実験も行っており、今回はこれを解析の対象と比較した。

バイアス評価のための JRA-55 をもととする 1 km へのダウンスケーリングは 2005-2006, 2006-2007, 2015-2016 年の 3 冬について実施した。比較検証には防災科学技術研究所で行われている山岳積雪観測データと AMeDAS の積雪深を用いた。防災科学技術研究所では 15 地点で積雪深と積雪相当水量の観測が行われており、このうち北信越地域に含まれる 8 地点と南東北に含まれる 2 地点の積雪深データをバイアス評価のために用いた。AMeDAS は積雪深を観測している地点のうち、NHRCM の格子と観測地点の標高差が 50 m 以内である北信越 35 地点、南東北 37 地点を用いた。

なお、将来予測のための 1 km へのダウンスケーリングを、SI-CAT DDS5TK において、過去、2℃上昇、4℃上昇それぞれについて、少雪・平均・他雪の年を 5 年ずつ抽出して実施することとしている。少雪・多雪年は北信越については標高 800 m 以上、南東北では標高 500 m 以上の領域について、年最大積雪深の領域平均値で決めた。過去実験について、抽出した 15 年分の 1 km ダウンスケーリング実験を北信越と南東北それぞれの地域で実施済である。

3. 結果

以下に JRA-55 に基づく積雪深のバイアス評価の結果を述べる。図 2 と図 3 に 1 km および 5 km の JRA-55 をもととするダウンスケーリングの結果と観測値を比較したものを示す。多雪であった 2005-2006 年の冬と少雪であった 2006-2007 年の冬を示してある。両地域ともに 1 km の積雪深は 5 km に比べ地形をより反映したものになっている。山岳域では 5 km では顕著な過大評価であるが、1 km ではやや過小評価である。日本海側平地での負のバイアスは 1 km でも解消されていない。

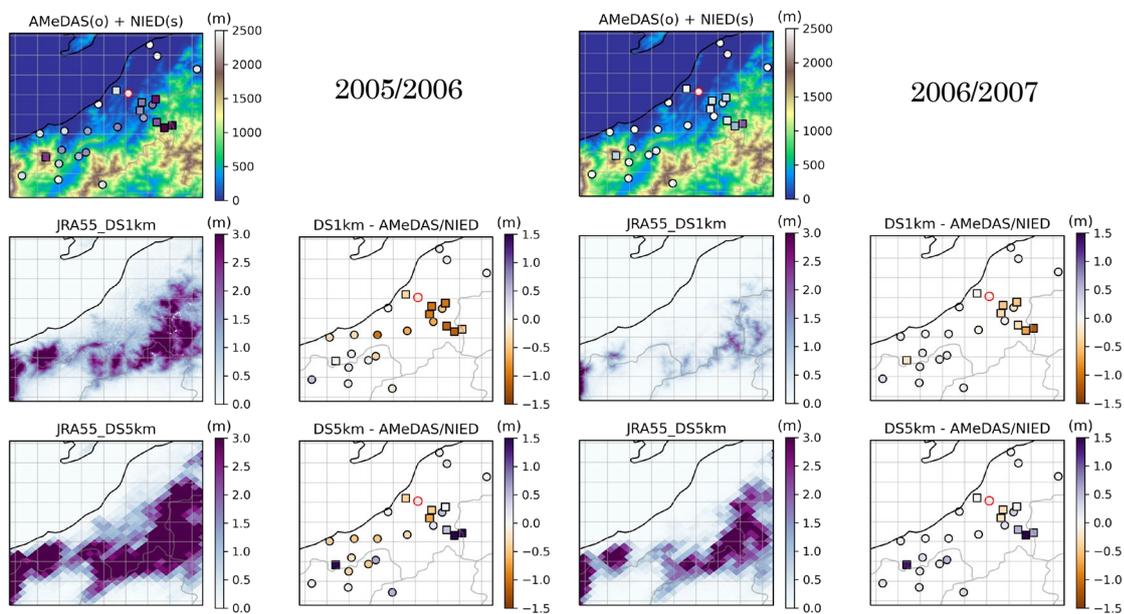


図 2 JRA-55 をもととしたダウンスケーリングによる積雪深 (12 月から 3 月までの平均) の観測値との比較 (北信越)。上段：地形と観測地点の標高。○は AMeDAS, □は防災科学技術研究所の観測点。赤丸は長岡。中段：1 km での積雪深と観測との差。下段：5 km での積雪深と観測との差。差は寒色系で実験が過大、暖色系で実験が過小であることを示す。

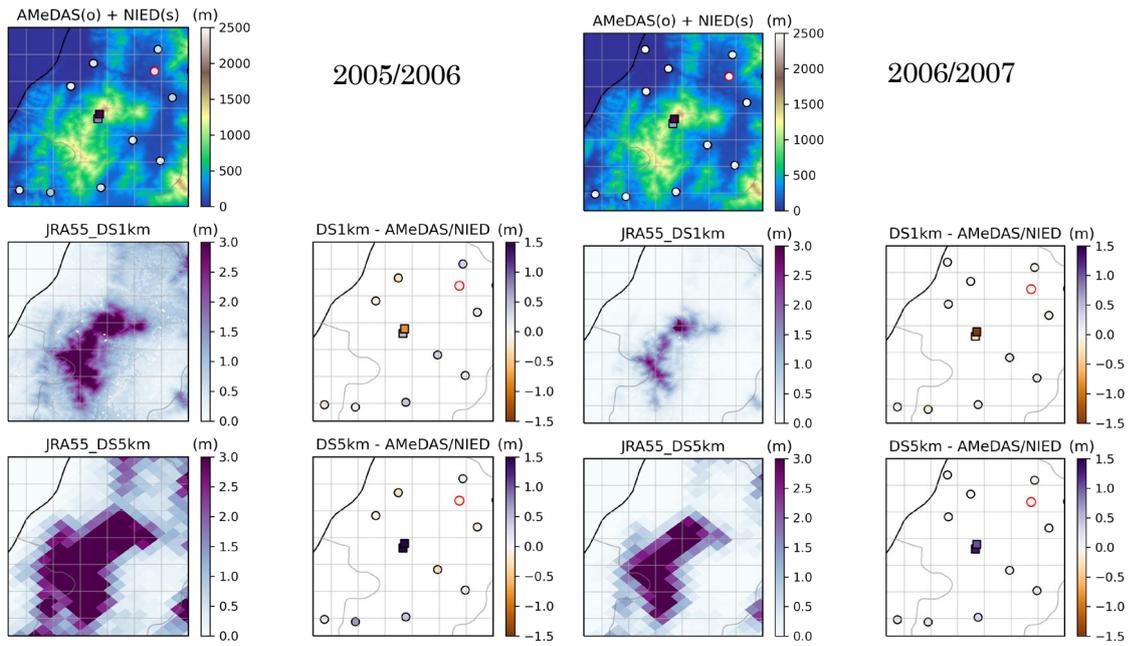


図3 図2と同じ(南東北). 赤丸は新庄.

図4は3冬季分のダウンスケーリングと防災科学技術研究所の観測の積雪深日値をプロットしたものである. 平均バイアス誤差 (MBE) と RMSE は表1のとおりであった. 全体で見ると山岳域の積雪深バイアスは1 km では5 km に比べて改善している.

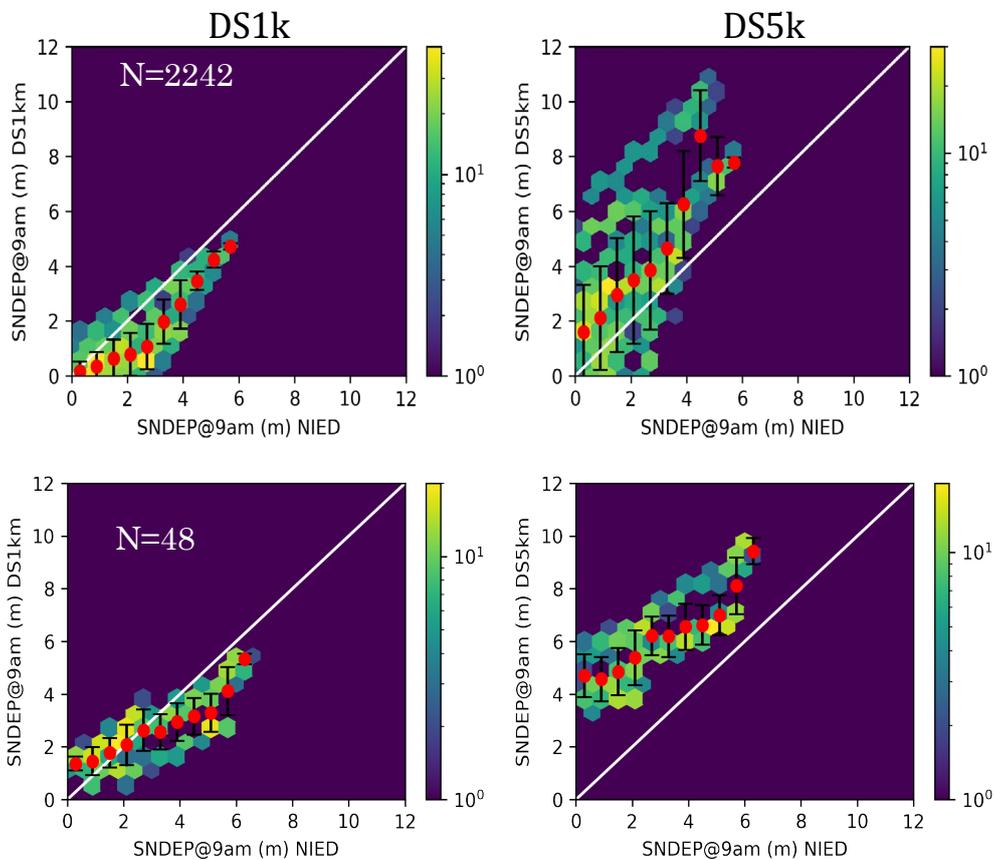


図4 JRA-55 をもととしたダウンスケーリングによる積雪深と防災科学技術研究所の観測データとの比較. 3冬季分の12月から3月の日値をプロット. 上段: 北信越, 下段: 南東北.

表1 3冬季分のダウンスケーリングの防災科学技術研究所によるバイアス評価. MBE は平均バイアス誤差. 単位はいずれも m

水平解像度	北信越		南東北	
	1 km	5 km	1 km	5 km
MBE	-0.33	0.98	-0.18	3.04
RMSE	0.74	1.89	0.98	3.27

図5と図6にダウンスケーリングによる積雪深と防災科学技術研究所の観測の時系列を示す. 地点により違いはあるが, 1 km は過小評価傾向, 5 km は過大評価傾向であることがこれからもわかる. 北信越は2005-2006年の結果のみを示したが, 少雪の2006-2007, 2015-2016年においても同様の傾向であった. 図6左の月山志津などでは, 1 kmの結果は観測をほぼ再現し, 5 kmでの顕著な過大評価を改善していた. ただし, 地点レベルでの詳しい比較には, その地点の細かい地形が影響する吹き溜まりや吹き払いの状況などを考慮する必要がある.

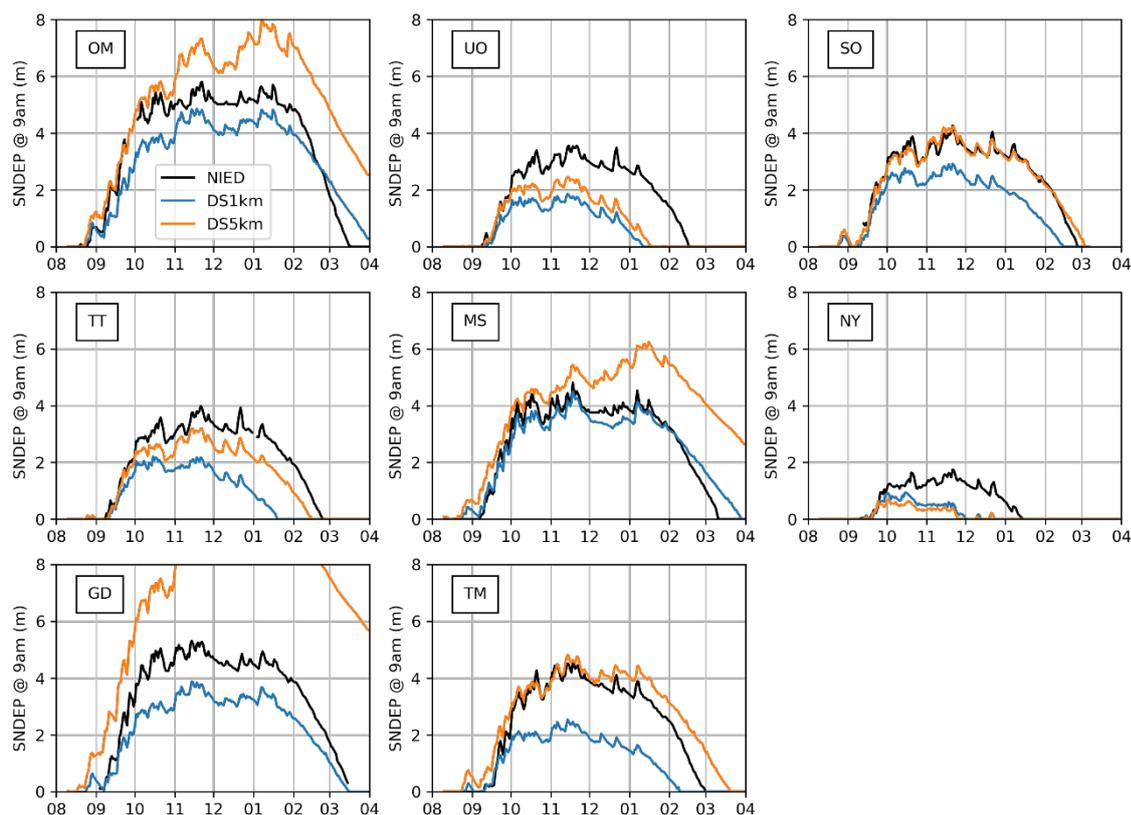


図5 北信越各地点での積雪深の時系列 (2005/2006). 青: 1 km, オレンジ: 5 km. 黒: 防災科学技術研究所の観測値で, OM: 奥只見丸山, UO: 魚沼大芋川, SO: 守門大平, TT: 栃尾田代, MS: 妙高笹ヶ峰, NY: 西山薬師, GD: 银山平, TM: 栃尾又.

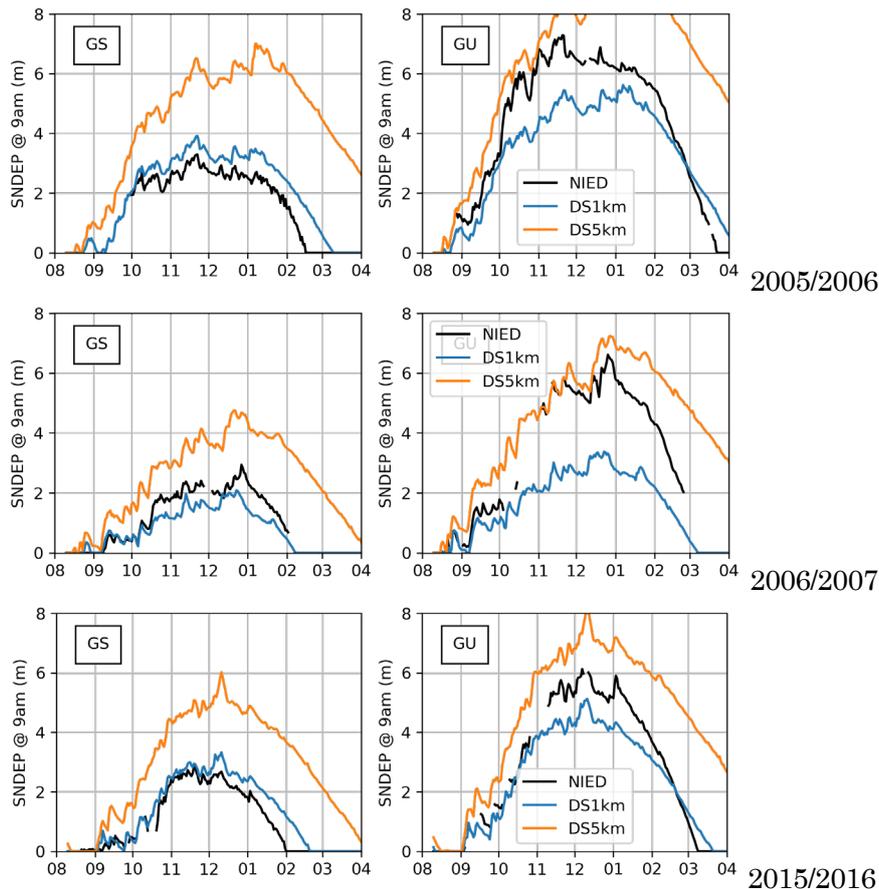


図6 南東北各地点での積雪深の時系列 (3冬季分). 青 : 1 km, オレンジ : 5 km. 黒 : 防災科学技術研究所の観測値で, GS : 月山志津, GU : 月山姥沢.

4. まとめ

地域気候モデル NHRCM によるダウンスケーリングの積雪再現性を調べた. 水平解像度 1 km の積雪深は 5 km に比べ地形をより反映していた. 山岳域では 5 km は顕著な過大評価であるが, 1 km はやや過小評価であった. 日本海側平地で 5 km に見られる負のバイアスは 1 km でも解消されなかった.

謝辞 : 本研究は文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマ C JPMXD0717935561 の助成を受けた. また, 計算は海洋研究開発機構の地球シミュレータによって行った (この報告と重複する内容を, 成果報告書として Annual Report of the Earth Simulator に提出する).

【引用文献】

- Kawase, H., T. Yamazaki, S. Sugimoto, T. Sasai, R. Ito, T. Hamada, M. Kuribayashi, M. Fujita, A. Murata, M. Nosaka, and H. Sasaki, 2020: Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan, *Progress in Earth and Planetary Science*, **7**, 10, doi:10.1186/s40645-020-0322-x.
- Sasai, T., H. Kawase, Y. Kanno, J. Yamaguchi, S. Sugimoto, T. Yamazaki, H. Sasaki, M. Fujita, and T. Iwasaki, 2019: Future Projection in Extreme Heavy Snowfall Events with a 5-km Large Ensemble Regional Climate Simulation, *J. Geophysical Research*, **124**, 13,975–13,990. DOI : 10.1029/2019JD030781.
- 山崎剛, 佐々井崇博, 川瀬宏明, 杉本志織, 大楽浩司, 伊東瑠衣, 佐々木秀孝, 藤田実季子, 2019: 5km 力学的ダウンスケーリングデータセット (SI-CAT DDS5TK) の概要. シミュレーション, **38(3)**, 145-149.

陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定(2)

岩波発彦 (東北大学大学院理学研究科, 現東京海上日動リスクコンサルティング)

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科)

Estimation of Frost Damage with Use of a Land-Surface Model (2)

Tatsuhiko IWANAMI (Graduate School of Science, Tohoku University)

Takeshi YAMAZAKI (Graduate School of Science, Tohoku University)

1. はじめに

凍霜害は果樹をはじめとする農作物の収量や品質に大きな影響を与える気象災害である。霜は氷点下での結露(水蒸気の昇華凝固)であり、気温のみではなく大気中の水蒸気量(湿度)や風の影響を受ける。岩波・山崎(2020)は陸面過程モデルを用いて、顕著な凍霜害が発生した2013年4月をはじめ、2013年から2018年の長野県を対象として霜の発生推定について評価した。霜の発生を過大評価する傾向が見られたが、発生状況を概ね再現できる可能性が示された。この報告では、その続報として、入力する気象データ(観測値または予報値)の不確実性に対する結果の敏感度、確率情報の付加へ向けた週間アンサンブル予報を用いた推定について示す。

2. 方法

陸面過程モデル(植生熱収支モデル)として2LM(Yamazaki et al., 2004)を使用した。このモデルは、植生を上下2層に分割し、気象要素を入力して、植物と大気間の熱・水交換量や葉面の温度や保水量、積雪、土壌の温度や水分を計算するものである。モデルの入力データは日射量、下向き長波放射量、風速、気温、相対湿度、降水量で、日射量と下向き大気放射量は長野の日射量を除いて実測されていないため、日照時間等から実験式によって推定した(近藤, 1994)。

モデルによる霜の発生条件は以下のように仮定した。(1) 葉面固体水分量が増加する。(2) 降水なし(着雪による固体水分量の増加を除くため)。(3) 潜熱(水蒸気)フラックスが大気から葉面に向かう(凝結)。(4) 液体水の凍結でない(葉面水分量(固体+液体)が増加し、かつ葉面温度が0℃以下)。

まず、モデルに入力する6要素について、予報誤差または推定誤差程度の不確実性がある場合の霜の発生推定に及ぼす影響を調べた。それぞれの要素を独立に変化させて霜推定日数の増減をみた。さらに、気温変化に対し、水蒸気圧を不変として相対湿度を計算し、変化後の値から放射量を推定する場合も調べた。

気象庁の週間アンサンブル予報データ27メンバーの気温・相対湿度・風速の3要素について、最寄りの格子点アンサンブル平均値からの偏差を観測データに加えることにより、それぞれ27通りの計算を行った。2017年4月の長野を対象として、実験を実施した。

3. 結果

・入力値の不確実性に対する感度

入力気象要素を独立して変化させた実験では、霜の発生推定に最も影響を与えたのは下向き長波放射であった(表1)。気温の変化に対して、水蒸気圧を不変として相対湿度を計算し、変化後の値から放射量も連動させる実験では、気温1℃の上昇に対して、下向き長波放射量の日平均値は3~5 W/m²増加し、葉面温度は夜間葉面が乾いた状態では0.5~0.7℃上昇した。結果として、霜の推定日数は気温1℃の上昇に対して約20%減少した(表2)。

表1 推定日数の変化 (下向き長波放射)

(W m ⁻²)	+10	+5	ctl	-5	-10
霜	42	56	73	87	100
凍結	5	13	13	12	19
無→霜				5	14
無→凍結				8	19
凍結→霜				9	13
霜→凍結	4	10			
凍結→無	12	10			
霜→無	27	7			

表2 推定日数の変化 (気温連動)

(°C)	+2.0	+1.0	ctl	-1.0	-2.0
霜	39	59	73	90	100
凍結	9	11	13	8	15
無→霜				6	15
無→凍結				6	14
凍結→霜				11	12
霜→凍結	8	8			
凍結→無	12	10			
霜→無	26	6			

・週間アンサンブル予報データを用いた推定

モデルへの入力値作成例を図1に示す。図の左上が気温の観測値で、これに右に示すモデルの各メンバーのアンサンブル平均からの偏差を加えたものが、陸面過程モデルへの入力値(左下)になる。

図2に霜が観測されモデルでも予測された4月23日、観測はされずモデルのみが霜を予測した22日、霜注意報は発令されたが観測・モデルともに霜がなかった20日についての検証結果を示す。それぞれ1日前から7日前までのアンサンブル予報のデータを用いて、予報時間の長さによる霜の発生推定の変化を評価した。4月23日については、予報時間が長くなっても、全メンバーで葉面温度が0°Cを下回り、そのほとんどで霜の発生を推定した。4月22日については、一部で葉面温度が0°Cを下回らず、霜の発生を推定しなかった。4月20日は予報時間が長くなってもそのほとんどで葉面温度が0°Cを下回らず、凍霜害の危険度も低くなった。

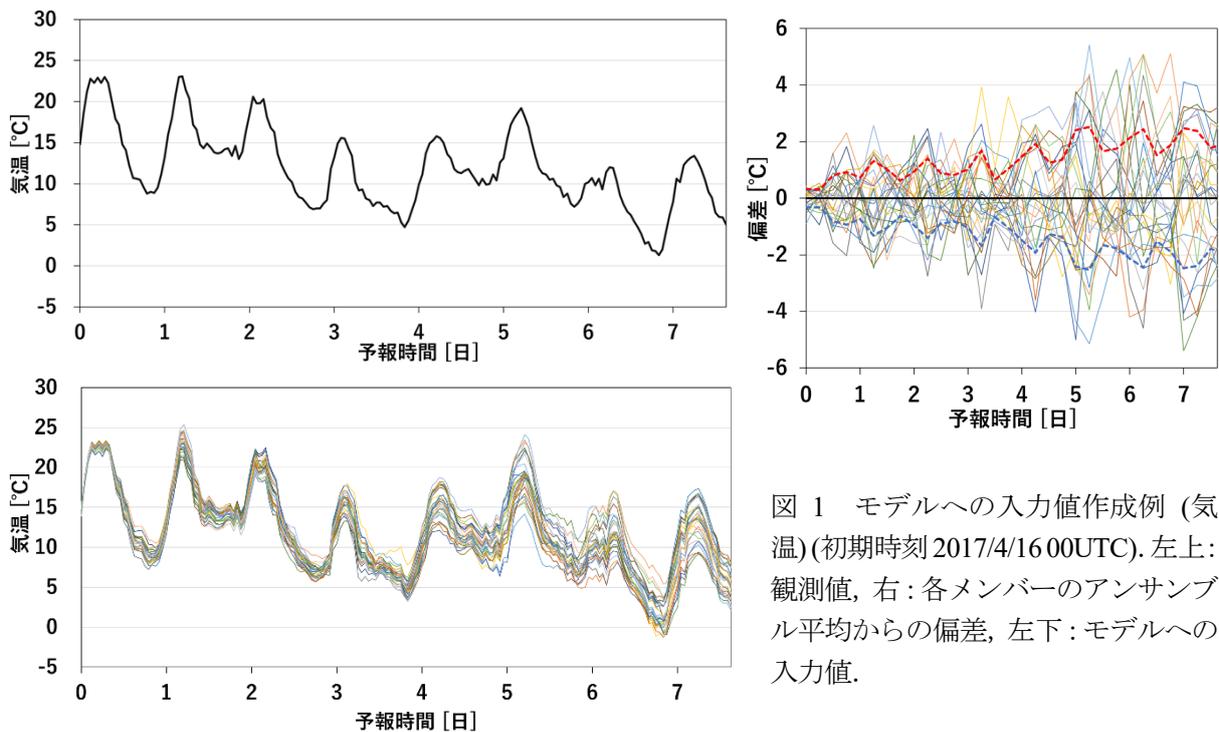


図1 モデルへの入力値作成例 (気温)(初期時刻2017/4/1600UTC). 左上: 観測値, 右: 各メンバーのアンサンブル平均からの偏差, 左下: モデルへの入力値.

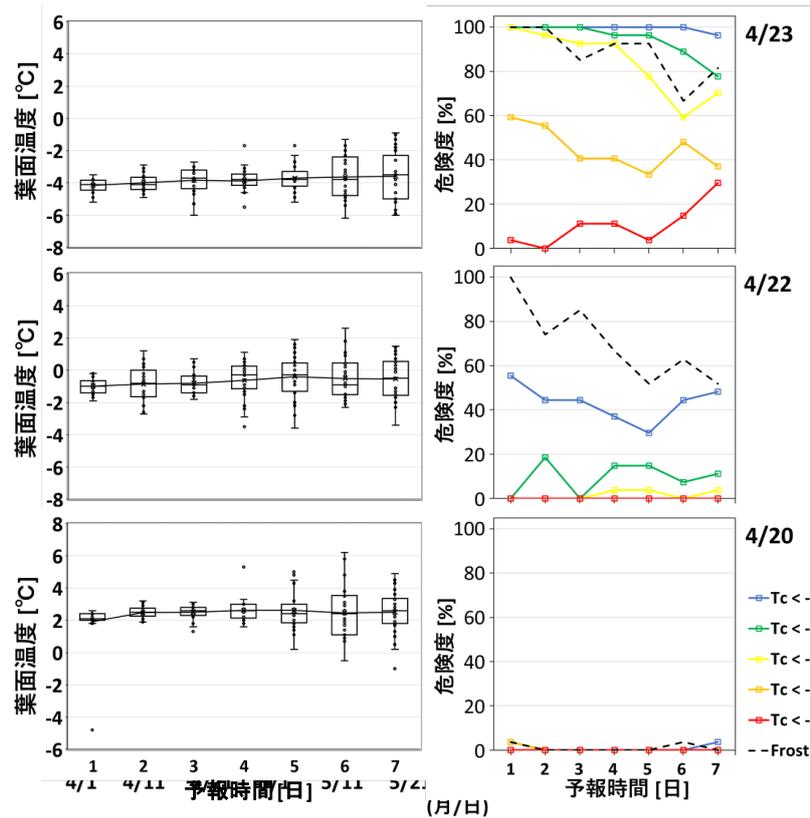


図 2 予報時間による最低葉温と凍霜害の危険度. 左: 折れ線は最低葉温平均値の推移. 箱ひげ図は各メンバーのばらつき. 右: 破線は霜予測したメンバーの割合, 色は葉温が右下凡例以下となったメンバーの割合. 上: 4月23日, 中: 4月22日, 下: 4月20日.

4. まとめ

入力値の不確実性に対する感度を調べた. 下向き長波放射や気温に対して, 予報誤差および推定誤差の範囲でも霜の発生推定に影響がある. したがって, 決定論的予測ではなく, 確率論的予測が有効である. アンサンブル予報データを用いた推定では, 予報時間の長さや凍霜害発生の有無により, 危険度に変化がみられた. 確率的な凍霜害のリスク情報の提供のために, アンサンブル予報から陸面過程モデルによる霜の発生推定や葉面温度の評価を行う手法が有効であると考えられる.

謝辞: 本研究は環境研究総合推進費 (JPMEERF20192007, 代表: 長野県環境保全研究所浜田崇) の補助を受けた.

【引用文献】

岩波発彦, 山崎剛, 2020: 陸面過程モデルを用いた凍霜害の推定, 東北の雪と生活, **35**, 46-49.
 近藤純正編著, 1994: 水環境の気象学 ー地表面の水収支・熱収支ー, 朝倉書店.
 Yamazaki, T. H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta and T. Ohata, 2004: Water and Energy Exchanges at Forests and a Grassland in Eastern Siberia Evaluated using a One-dimensional Land Surface Model. *J. Hydrometeorology*, **5**, 504-515.

衛星画像 MODIS を用いた積雪・融雪モデルのパラメータ算定

神戸智志 (日本大学大学院工学研究科)

朝岡良浩 (日本大学工学部)

Estimation of Parameters in the Snow Cover and Snowmelt Model Using Satellite Images, MODIS

Satoshi GODO (Graduate School of Engineering, Nihon University)

Yoshihiro ASAOKA (College of Engineering, Nihon University)

1. はじめに

多雪地域において積雪は住民の生活の阻害や産業の発展を停滞する災害の要因である。しかし、春先に訪れる融雪出水は下流域に安定かつ豊富な河川流量を供給し、灌漑用水、生活用水として利用される。積雪は産業や生活の基盤となることから、国土に恩恵をもたらす水資源といえる。しかしながら、気候変動により水文・水資源への影響が示唆され、特に積雪域においては河川の流況変化が大きいことが報告されている (IPCC AR5, 2014; 気象庁, 2019)。積雪に依存するような地域では気候変動に対する適応型社会を構築するために積雪量や融雪出水の長期的な推計が重要である。

融雪出水の推定には積雪・融雪モデルによる積雪量・融雪量の推定値を流出モデルに入力する。例えば、Azizi and Asaoka (2020)は積雪・融雪モデルと流出モデルを用いて Hindukush-Himalaya 地域のアフガニスタン Panjshir 川上流域の融雪出水を高い精度で再現した。広域の降雪分布を推定する簡便な方法として、降雪量を標高の関数として表す方法がある。降雪量と標高の関係は地域ごとに異なり、地域ごとに定量化する必要がある。例えば、Bhatti et al., (2016)は人工衛星データと数値モデルを用いて対象流域の降雪と標高の関係式に含まれるパラメータを算定した。同様に、広域の融雪分布を簡便に推定する手法として Degree-day 法, Degree-hour 法がある。Degree-day 法を適用した研究事例として、Kominami et al.(2005)は日本全域の積雪量・融雪量分布を 1km メッシュで推定した。しかしながら、Degree-day 法, Degree-hour 法は融雪量を気温の関数として推定する。融雪係数は気温と融雪量の線形関係を示すパラメータである。融雪現象は気温だけでなく、様々な気象要素や地形の影響を受けることから、融雪係数は気温以外の要素を反映した数値と考えられる (新井, 1994)。例えば、朝岡ら (2007)は衛星画像を用いて 1km メッシュで積雪期間の融雪係数を算定した。

以上より、積雪・融雪モデルと流出モデルを用いた融雪出水の再現には降雪量推定および融雪量推定のパラメータを少なくとも流域単位で算出する必要がある。本研究は衛星画像を用いて積雪・融雪モデルに含まれる降雪量および融雪量の広域推定に関する2つのパラメータ算定を目的とする。

2. 対象地域及びデータセット

2-1 対象地域

本研究の対象地域は新潟県、福島県、群馬県の三県を流れる阿賀野川の上流に位置する大川ダムの集水域 (図 1) である。集水面積は 825.6km²、大部分が豪雪地帯に指定されている。大川ダムは洪水調節や灌漑補給、水力発電等 7 つの機能を持つ多目的ダムである (国土交通省 北陸地方整備局, 2016)。集水域の標高は 361m から 1848m に分布し、集水面積のうち約 25%が標高 1000m を超える。また、対象地域の土地利用として森林が 92%を占める。

2-2 データセット

米国航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)が運用する地球観測衛星 Terra に搭載の中分解能撮像分光放射計(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)の積雪プロダ

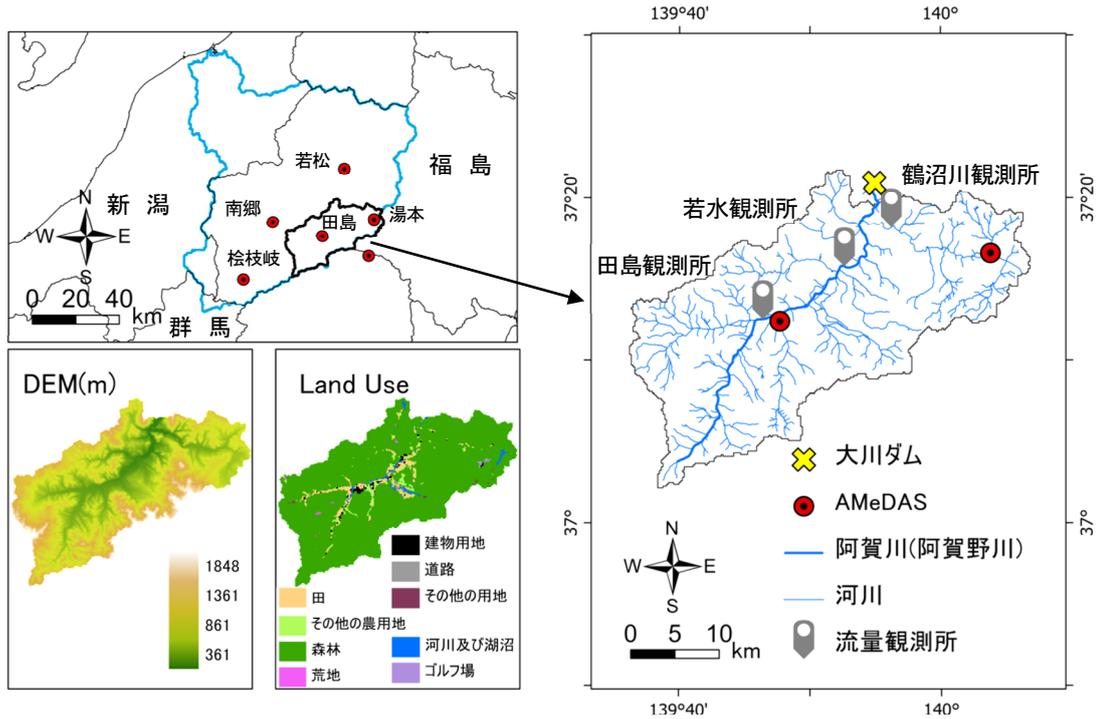


図1 大川ダム集水域の概要

表1 MOD10A2 Maximum Snow Extent の

観測項目	
values	observation
0	missing data
1	no decision
11	night
25	no snow
37	lake
39	ocean
50	cloud
100	lake ice
200	snow
254	detector
255	fill

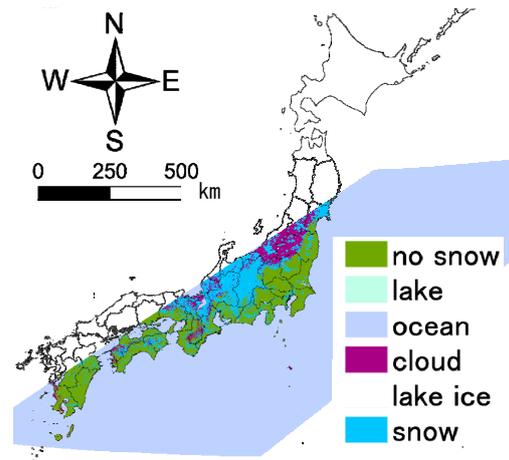


図2 MOD10A2 Maximum Snow Extent 2015年1月1日から1月8日のデータ

クト MOD10A2 を用いた. 主に NDSI(Normalized Difference Snow Index)を用いて地表面状態を推定したプロダクトで, 8日間のコンポジットデータである (Riggs et al.,2019). 8日間のうちいずれかの日を積雪と推定した場合はメッシュ値を積雪と記録し, 積雪が観測されなかった場合は最も頻繁に観測された項目が記録される. 光学センサの MODIS は雲の影響を受けやすいため, その影響を最小化し, 空間的に一貫した処理データを提供するためのフィルタリングである. 空間分解能は 500m, Maximum Snow Extent と Eight Day Snow Cover が hdf データに格納されている. 本研究はタイル番号 h29v05 の Maximum Snow Extent (図2) を用いた. Maximum Snow Extent の観測項目を表1に示す.

積雪・融雪モデルの解析には標高データを CGIS Japan から取得し, MOD10A2 にリサンプリングした. また, 気象データは地域気象観測 (Automated Meteorological Data Acquisition System, AMeDAS) の南郷, 桜枝岐, 湯本の気温, 降水, 風速, 積雪深の観測データを用いた.

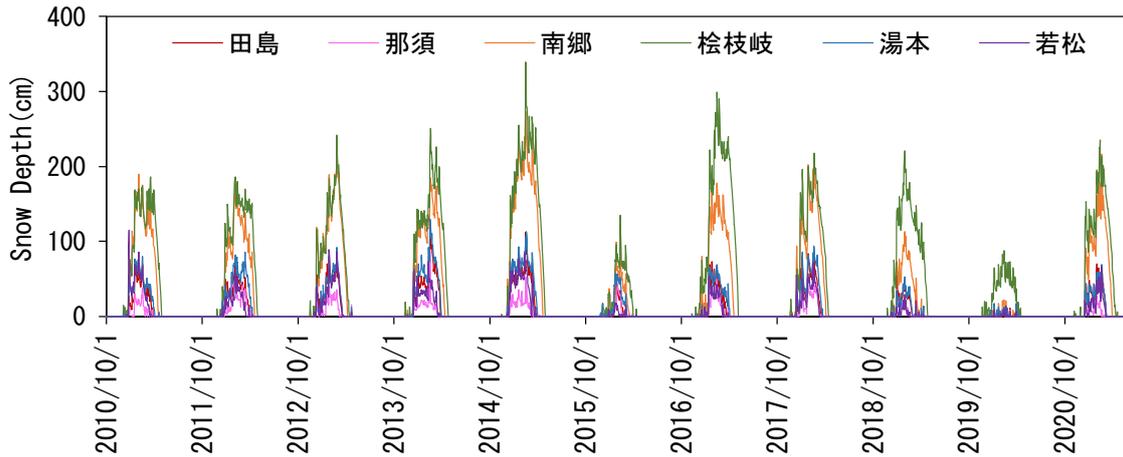


図3 対象地域および周辺の AMeDAS 積雪深

3. 研究方法

3-1 積雪・融雪モデルの概要

各メッシュの積雪水量は次式を用いて計算する.

$$\frac{d}{dt}(SWE) = SF - SM \quad (1)$$

ここで, SWE は積雪水量(mm), SF は降水量(mm/h), SM は融雪量(mm/h), dt は計算時間間隔 1 時間とした. 降雪量分布の推定の手順として, まず横山ら(2003)にならい降水量捕捉率を考慮してアメダス観測点の降水量を補正した. 次に降水形態は 2°C 以上を降雨, 2 度未満を降雪と判別した. また, 降雪量は近藤ら(1995)にならい標高の関数として推定した. 降雪量の推定式を次式に示す.

$$SF = SF' \times \{1 + C_{sf}(elv_i - elv_k)\} \quad (2)$$

ここで, SF は標高補正した降雪量(mm/h), SF' は補正前の降雪量(mm/h), C_{sf} は降雪量補正係数(m^{-1}), elv_i はメッシュ標高値(m), elv_k は観測点標高値(m)である. 他流域では $C_{sf} = 0.001$ が採用された事例があり (近藤ら, 1995), これは標高差 1000m で降雪量を 2 倍に補正する値である. 融雪量は底面融雪を 2.0mm/day とし, 表面融雪は式(3)に示す Degree-hour 法を用いて推定した.

$$SM = K \times T \quad (3)$$

ここで, K は融雪係数 ($\text{mm}^{\circ}\text{C}/\text{hour}$), T は平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)で, 氷点下の場合は 0°C とする.

3.2 気象データ

積雪・融雪モデルに入力する気象データは AMeDAS の観測値を重み付き距離平均法で空間内挿して作成した. 大川ダム集水域とその周辺の AMeDAS 観測点 6 地点のうち, 南郷, 桧枝岐, 湯本を採用した (図 1). 過去 10 年間の 6 地点の積雪深を図 3 に示す. 南郷, 桧枝岐, 湯本は他の地点よりも最大積雪深が大きい地点で, 降雪の影響があらわれやすい観測点と判断して, 積雪・融雪モデルの気象入力データ作成に用いた. なお, 本研究は水文年の開始を 10 月 1 日とし, 2020 年 10 月 1 日からの 1 年を 2020/21 年と表記する.

3.3 パラメータ算定および数値実験の概要

本研究は積雪・融雪モデルの 2 種類のパラメータを算定した. 1 つ目のパラメータは(2)式の降雪量

補正式において、標高と降雪量変化の線形関係を表す降雪量補正係数 C_{sf} である。2つ目のパラメータは融雪量推定で用いる式(3)の Degree-hour 法の融雪係数 K である。2種類のパラメータは1シーズン一定かつ流域一定の値とする。パラメータは、降雪量補正係数4種類と融雪係数4種類を組み合わせた16パターンの数値実験を行い、積雪・融雪モデルの積雪面積とMOD10A2の積雪面積が一致する降雪量補正係数と融雪係数の組み合わせを求めた。降雪量補正係数は0.0005から0.0020まで0.0005間隔の4種類、融雪係数は0.1から0.25まで0.05間隔で4種類の組み合わせとした。2014/15年のデータを用いて算定したパラメータを2016/17年に適用してパラメータの妥当性を検証した。なお、2014/15年は図3に示した10年間において最大積雪深が最も高い年で、2016/17年は2番目に最大積雪深が高い年であった。

第2章で述べたとおりMOD10A2は8日間のコンポジットデータである。パラメータ算定のために同じ日のMOD10A2の積雪域と積雪・融雪モデルの積雪域を比較する。積雪期間を降雪期と融雪期に分け、積雪期は8日間のうち8日目の日付、融雪期は8日間のうち1日目の日付と仮定してモデルの積雪域と比較した。例として、降雪期の場合、1月1日から8日までの積雪の画素は1月8日に積雪として扱う。融雪期の場合、5月1日から5月8日の積雪の画素は1日目の5月1日に積雪として扱う。降雪期と融雪期の境界はAMeDASの積雪深データを参考に2月18日とした。

4. 結果及び考察

4-1 MODIS とパラメータごとの積雪・融雪モデルの一致率の比較

2014/15年のMOD10A2と16ケース(降雪量補正係数4ケース×融雪係数4ケース)の積雪・融雪モデルの一致率、MOD10A2の被雲率を図4に示す。ここでは被雲率10%未満のMOD10A2との一致率を考察する。また、一致率の算定にMOD10A2の雲のメッシュは除いた。11月中旬にMOD10A2とモデル結果の一致率が全ケースで50%から55%の範囲になった。一致率が低い要因として、空間内挿に用いたAMeDAS地点の標高は、南郷494m、桧枝岐930m、湯本640mに位置しており、本研究の推定手法はより標高の高い地域のみで発生する降雪量の推定に対応できないと考えられる。12月中旬から2月上旬の期間は全ケースで一致率90%以上で積雪域を推定した。2月中旬以降、ケース毎の一致率にばらつきがあり、特に降雪量補正係数の値が低い場合には一致率が低くなる傾向を確認できる。2016/17年も同様の傾向といえる。

4-2 積雪・融雪モデルの最適パラメータ算定

各ケースの数値実験結果について2015年3月30日(被雲率1.0%、積雪面積率60.6%)と2015年4月15日(被雲率7.0%、積雪面積率11.3%)の一致率の平均を表2に示す。数値実験の範囲では、融雪係数の値が大きくなるに伴い一致率も高くなる。一致率は降雪量補正係数に対して大きな差異は見られないことから、大川ダム集水域では降雪量補正係数より融雪係数に対する感度の方が大きいと考えられる。融雪係数 $0.25\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\text{hour}$ 、降雪係数 0.0010m^{-1} を2016/17年に適用すると2017年3月30日(被雲率9.72%、積雪面積率76.7%)のMOD10A2に対して積雪域の一致率は78.5%となり、パラメータを算定した2014/15年の一致率80.5%と概ね同じ値になる。2016/17年のデータを用いてパラメータを算定すると、融雪係数 $0.15\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\text{hour}$ のケースの一致率の方が高くなる。降雪量補正係数は対象期間の降雪パターンによって値が異なると考えられ、融雪係数は気象条件によって異なり、また、降雪量補正係数の影響を受ける。そのため、解析時期や解析した水文年によって降雪量補正係数と融雪係数の最適な組み合わせは異なると考えられる。今後は解析期間を拡大して降雪量補正係数と融雪係数の適した組み合わせを把握する必要がある。

降雪係数 0.0010m^{-1} 、融雪係数 $0.25\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\text{hour}$ の値を適用した積雪域とMOD12A2の積雪域を図5に示す。数値計算の積雪域はMOD10A2の積雪域と類似しているが、いずれの積雪域も過小推定の傾向があることを確認できる。

表2 MOD10A2 と数値計算の一致率 (2015年3月30日と2015年4月15日の平均)

	K = 0.10	K = 0.15	K = 0.20	K = 0.25
$C_{sf} = 0.0005$	64.4%	75.9%	80.2%	81.0%
$C_{sf} = 0.0010$	62.9%	74.2%	79.5%	81.0%
$C_{sf} = 0.0015$	61.9%	73.3%	78.6%	80.5%
$C_{sf} = 0.0020$	61.2%	72.5%	78.1%	80.3%

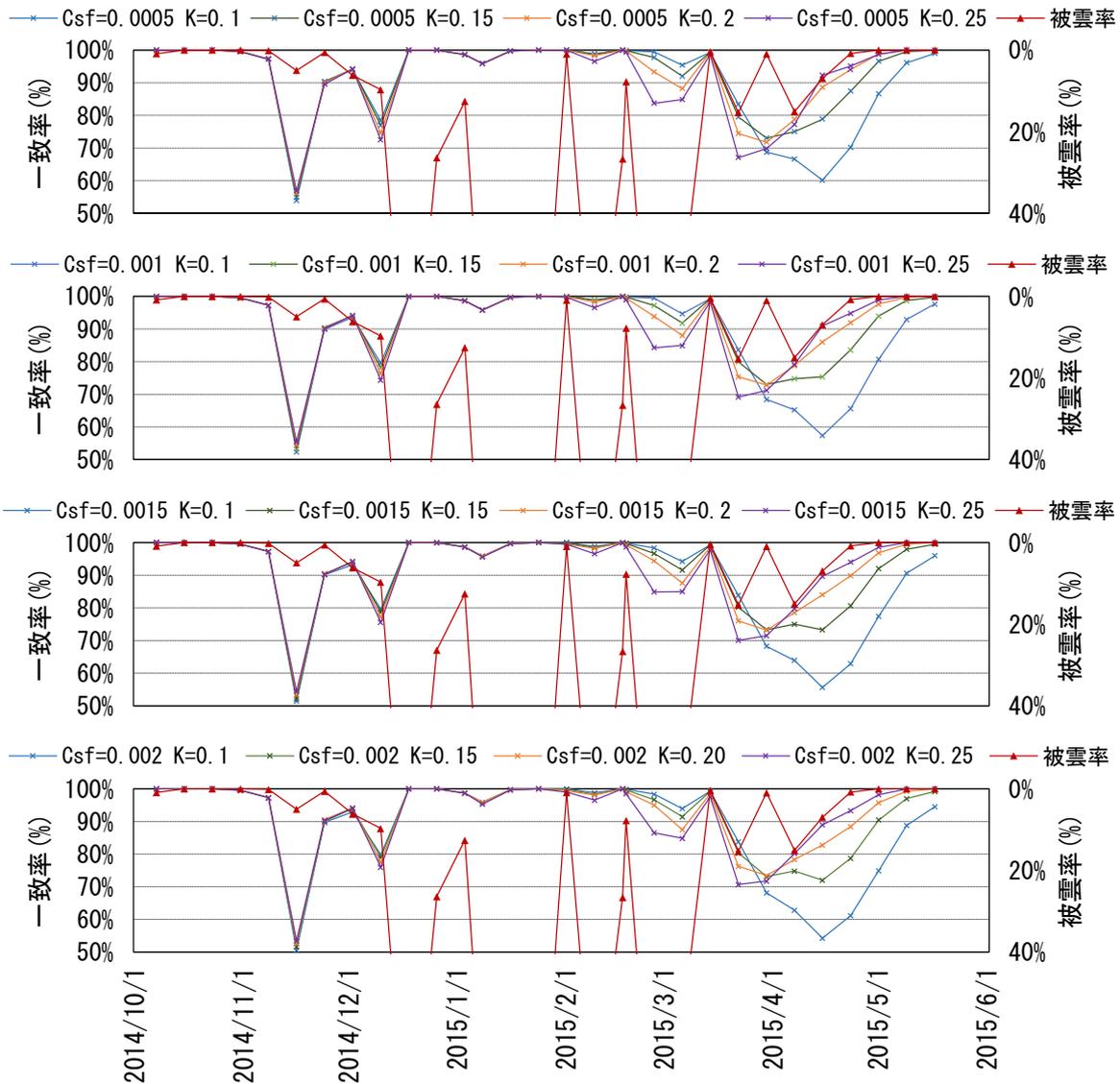


図4 2014/15年のMOD10A2と積雪・融雪モデルの一致率およびMOD10A2の被雲率

5. おわりに

本研究は人工衛星の光学センサ MODIS の積雪プロダクト MOD10A2 を用いて積雪・融雪モデルの降雪量補正係数と融雪係数を算定した。対象とした大川ダム流域の場合、積雪域推定に対する融雪係数の感度が降雪量補正係数よりも高いことが示唆された。今後は長期の融雪出水解析に適したパラメータ算定方法を検討する。

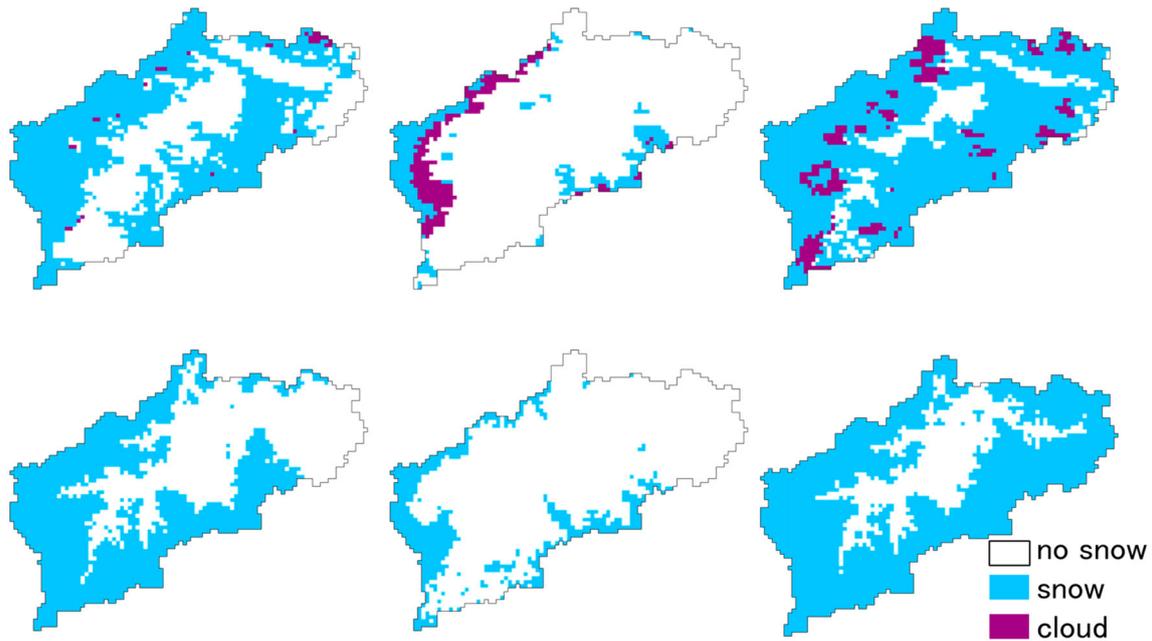


図5 MOD10A2 と積雪・融雪モデルによる積雪域の比較
($C_{sf} = 0.0010\text{m}^{-1}$, $K = 0.25\text{mm}/^{\circ}\text{C}/\text{hour}$)

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (20K04712, 代表: 朝岡良浩), JSPS 二国間交流事業の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

【引用文献】

- Abdul Haseeb AZIZI and Yoshihiro ASAOKA, 2020: Incorporating snow model and snowmelt runoff model for streamflow simulation in a snow-dominated mountainous basin in the western Hindukush-Himalaya region, *Hydrological Research Letters*, 14(1), 34–40. DOI: 10.3178/hrll.14.34
- 朝岡良浩, 小南裕志, 竹内由香里, 大丸裕武, 田中信行, 2007: 衛星観測に基づく積雪水量の広域推定と融雪係数の地域特性, *水文・水資源学会誌*, Vol.20, pp.519-529.
- 新井正, 1994: 融解量と融雪出水, *雪氷水文現象, 基礎雪氷学講座 VI*, 古今書院, pp.49-91.
- Bhatti, A. M., Koike, T., and Shrestha, M. (2016): Climate change impact assessment on mountain snow hydrology by water and energy budget-based distributed hydrological model. *Journal of Hydrology*, 543, 523-541.
- George A. Riggs, Dorothy K. Hall, Miguel O. Román, 2019: MODIS Snow Collection 6.1 User Guide version1.0
- IPCC: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
- 気象庁, 2017: 気象庁地球温暖化予測情報 9 巻.
- 国土交通省 北陸地方整備局, 平成 28 年 5 月: 阿賀野川水系河川整備計画【国管理区間】
- 近藤純正, 本谷 研, 松島 大, 1995: 新バケツモデルを用いた流域の土壌水分量, 流出量, 積雪水当量, 及び河川水温の研究, *天気*, Vol.42, pp.821-831.
- Kominami, Y., Tanaka, N., Endo, Y. and Niwano, S, 2005: Estimation of snow distribution under global warming using data from remote weather stations (AMeDAS). *Journal of Agricultural Meteorology*, 60, pp.445-450.
- 横山宏太郎, 大野宏之, 小南靖弘, 井上聡, 川方俊和, 2003: 冬季における降水量の捕捉特性, *日本雪氷学会誌*, Vol.65, pp303-316.

無散水消融雪施設の効率的な稼働に向けた検討 (その3)

服部恭典 (日本地下水開発株式会社)

山口正敏 (日本地下水開発株式会社)

鈴木和則 (日本地下水開発株式会社)

Consideration for Efficient Operation of Non-sprinkling Snow Melting Facility(Part3)

Yasunori HATTORI (Japan Groundwater Development CO.,LTD)

Masatoshi YAMAGUCHI (Japan Groundwater Development CO.,LTD)

Kazunori SUZUKI (Japan Groundwater Development CO.,LTD)

1. はじめに

無散水消融雪施設の制御要素に路面温度を加えたことで、稼働時間の大幅な改善を確認した(服部ら, 2020)。昨冬季は制御要素変更を2月上旬に実施したため、効果を確認できたのは2月～3月までの2ヶ月間であった。2020年度は1冬季を通して同様の稼働条件で施設を運用させたので、その稼働結果を報告する。

2. 気象状況

2020年度冬季における気象状況を図1に示す。気温は1月上旬～3月上旬まで-5℃を下回る日が多かったものの、路面温度は氷点下以上を保ち、適正な施設稼働が行われたことを確認できた。昨冬季の累積降雪量が59cmと少雪であったのに対し、今冬季の累積降雪量は298cmと例年並であった。

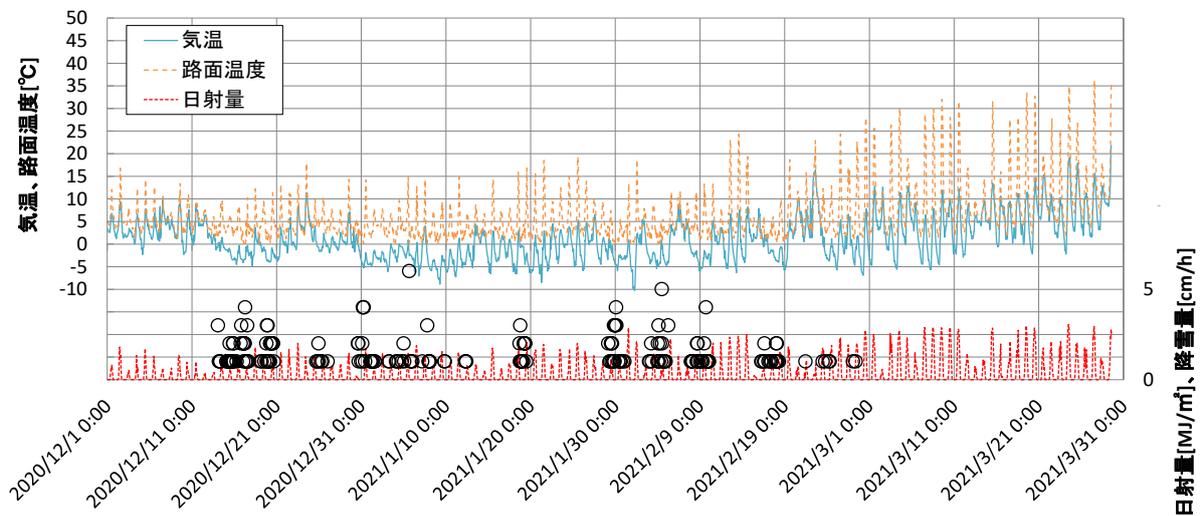


図1 気象状況

3. 稼働状況

凍結防止運転の稼働は、気温1℃以下かつ路面温度3℃以下の場合に間欠稼働(1.0時間稼働後に0.5時間停止)を行う設定である。1月23日00:00～24日12:00の稼働状況を図2に示す。日射が無い23日0:00～7:00まで、気温は低く推移したことから、凍結防止信号(気温)が出力し、加えて路面温度が低いため施設は間欠稼働した。23日7:00から8:00の間、凍結防止運転(気温)は出力していたが、路面温度が高いため、凍結防止運転(気温+路面温度)が出力せず、施設は稼働しなかった。23日20:30から翌日8:00までは気温が氷点下付近まで低下し、凍結防止信号(気温)は常時出力したものの、路面温度は稼働条件を満たさなかったため、凍結防止信号(気温+路面温度)は出力せず、稼働

しなかった。従来の気温のみで制御していれば、この 11 時間 30 分の 2/3(7 時間 40 分)が稼働していたことになる。すなわち路面温度を制御要素に加えたことで、7 時間 40 分の稼働削減が行えた。

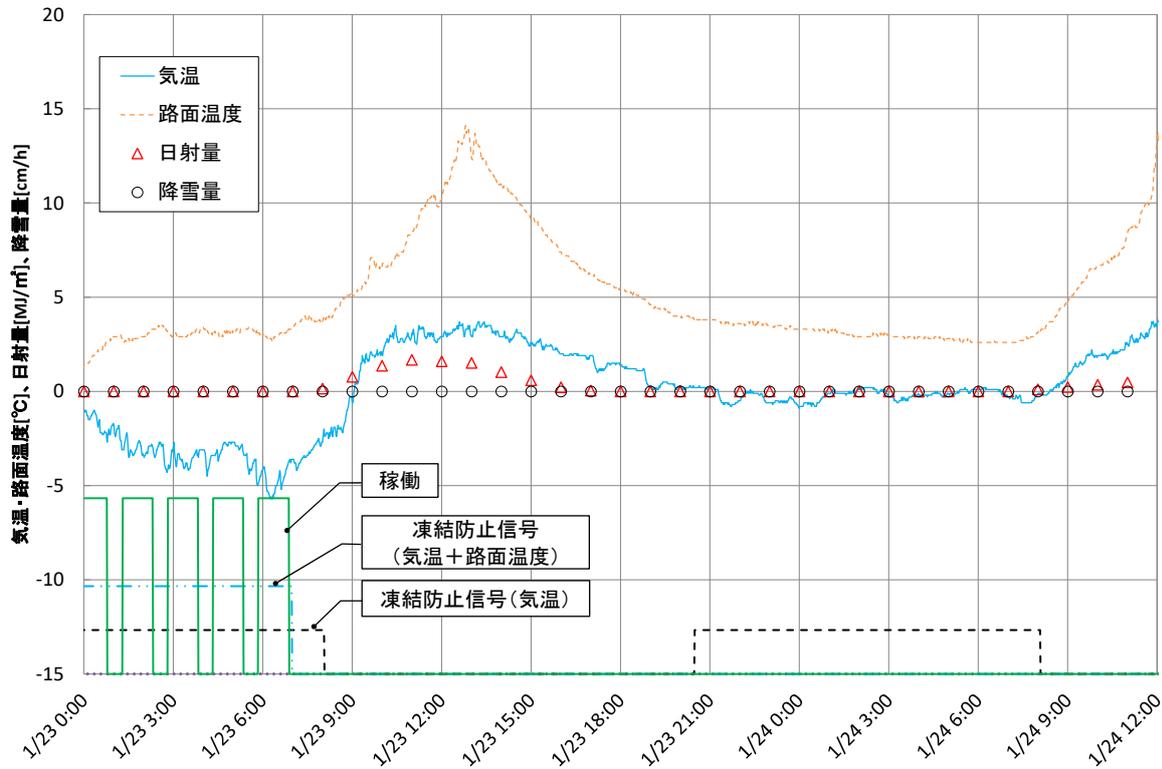


図2 1月23日0:00~24日12:00の稼働状況

4. 稼働削減率

路面温度を加えたことによる稼働時間の削減効果を示す指標を、稼働削減率と定義し表1に示す。この稼働削減率が大きい程、無用な稼働を抑え、大きな省エネ削減効果を得られたといえる。月別の稼働削減率は、12月が87%、1月が57%、2月が64%、3月が69%であった。12月は気温が高く、路面温度も高かったため、削減効果は非常に大きかった。1月および2月は降雪が本格化し気温および路面温度が低く推移したが、削減効果は6割程度得られた。3月は気温および路面温度が高く推移した結果、と考える。

表1 稼働削減率

	2020年度			
	12月	1月	2月	3月
凍結防止信号出力時間(気温+路面温度)[h]…(A)	21h	125h	71h	34h
凍結防止信号出力時間(気温)[h]…(B)	162h	294h	196h	108h
稼働削減率[%] $((1-A/B) \times 100)$	87%	57%	64%	69%

5. おわりに

凍結防止運転の条件を気温1℃以下および路面温度3℃以下として稼働させた結果、今冬季では6割程度の稼働削減率が確認できた。

【引用文献】

服部恭典, 山口正敏, 鈴木和則, 2020: 無散水消融雪施設の効率的な稼働に向けた検討(その2), 東北の雪と生活, **35**, 34-37.

気象庁, 2021, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, (2021年4月9日)

2020/2021年冬期に発生した3件の雪崩調査報告

荒川逸人・安達聖(防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

Report on three avalanches occurred on 2020/2021 winter
Hayato ARKAWA and Satoru ADACHI (Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

2020/2021 冬期に東北地方で発生した雪崩事故を防災科学技術研究所雪氷災害データベース (<https://yukibousai.bosai.go.jp/obs/news/index.php>) をもとに整理すると表1に示すとおり6件であった。このうち、著者らが現地調査をおこなった3件の雪崩(No.1, 2, 4)について報告する。

表1 2020/2021年冬期に東北地方で発生した雪崩の概要

No	発生日	発生地点	事故の状況
1	2020/12/24	岩手県： 西和賀町杉名畑 国道107号	西和賀町の国道107号で雪崩が発生し通行ができないと通報があった。雪崩は高さ2~3m、長さは10mほどで人が巻き込まれた車はなかった。北上市から同町まで約20kmが全面通行止めとなった。現場は道の駅錦秋湖から約2.5km西側で、雪が落石防護柵を突き破って片側1車線の全線をふさいだ。
2	2021/01/02	秋田県： 横手市増田町狙半内 字中村の市道	市道で雪崩が発生し、軽トラックが巻き込まれ、約3時間後に車外から60代男性が意識不明の状態で見えられ、病院で死亡が確認された。雪崩の影響で市道は一時通行止めとなり、狙半内地区の一部集落が孤立状態になった。
3	2021/01/26	山形県： 大蔵村	肘折温泉街入り口付近の県道で雪崩が発生し全面通行止めとなった。県道脇の斜面の雪が道路に沿って約20mにわたり崩落し、高さ2mほどになり道路をふさいだ。気温の上昇が原因とみられる。
4	2021/02/13	秋田県： 横手市山内小松川 国道107号 獅子倉トンネル付近	横手市の国道107号の獅子倉トンネル付近で雪崩が発生し、軽トラックが突っ込んでいったと通報があった。軽トラックを運転していた男性は自力で脱出して無事だった。雪崩の影響で国道107号は獅子倉トンネルから黒沢トンネルまでの約500mが通行止めとなった。
5	2021/02/21	青森県： 八甲田スキー場	八甲田ロープウェー山頂公園駅から西側約400mの山中で女性が雪崩に巻き込まれ、一緒に滑っていた男性が110番通報した。女性は約1時間半後に雪の中で発見され意識不明の状態で搬送されたが、その後死亡が確認された。
6	2021/03/05	岩手県： 西和賀町上野々 県道湯川温泉線	県道湯川温泉線で、行人から「雪が道路を覆っている」と通報があった。北上署などによると、道路西側の斜面が高さ1~13.5m長さ約30mにわたり雪崩がおきた。人が巻き込まれた車はなかった。前後約1kmが全面通行止めとなり、湯川温泉が一時孤立したが、約3時間後に解消された。

2. 今冬期の特徴

2020/2021年冬期の特徴を、気象庁報道発表資料(「12月の天候」(令和3年1月4日)、「1月の天候」(令和3年2月1日)、「2月の天候」(令和3年3月1日)、「3月の天候」(令和3年4月1日))から抜粋すると以下の通りであった。12月は、中旬と下旬後半に強い寒気の流れ込みによって、北・西日本で気温が低く、北陸地方を中心に記録的な大雪であった。1月は、上旬を中心に強い寒気の流れ込み気温が低くなり、東日本日本海側を中心に大雪となり、記録的な大雪となった所があった。下旬は寒気の影響を受けにくく気温がかなり高くなった。2月は、寒気の南下が弱かったことや、低気圧の通過に伴う暖気の流入があり、全国的に気温が高くなった。3月になると、北からの寒気の流入は弱く暖かい空気に覆われたため、全国的に気温が高くなり、1946年の統計開始以来3月として最も高い記録も更新された。

3. 2020年12月24日に岩手県西和賀町国道107号で発生した雪崩

2020年12月24日18時頃より国道107号では雪崩の発生のため、北上市和賀町川目一和賀郡西和賀町川尻間20kmで一時通行止めとなった。この雪崩による人身および物損被害、孤立集落はなかった。2020年12月25日に、国土交通省東北地方整備局、岩手県県土整備部、岩手県県南部広域振興局との現地調査を行った(図1)。UAV撮影により、雪面が剥がれ地表が露出されたとみられる場所が確認され、発生区であると推測した(図2)。道路上におけるデブリは幅30m、高さ3m程度であった。道路から雪崩斜面を見るとほぼ等斉斜面と見られ、走路は沢地形となっており、地形図でも確認できた。また、道路際には樹木があり、沢地形と認識しにくい斜面であった(図3)。地形図判読により、発生区と推測される場所から道路までの水平距離は206m、鉛直高さ127mで、平均勾配は約32度であった。デブリは道路の法下約80mまでに達しており、土砂や樹木を含んでいた(図4)。



図1 雪崩発生地点位置図。地理院地図および基盤地図情報から作成

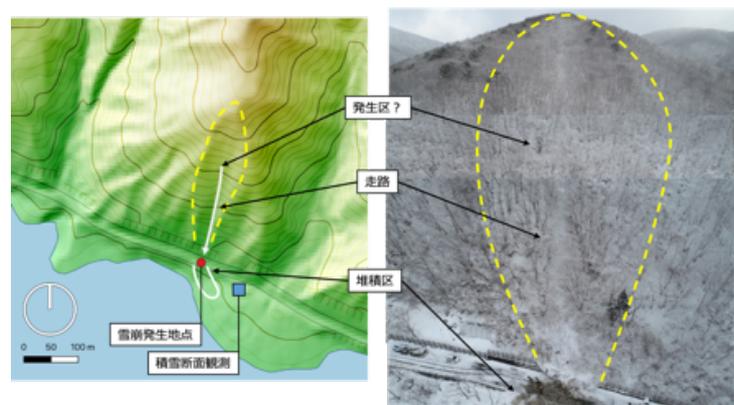


図2 雪崩発生斜面。左) 地理院地図および基盤地図情報から作成。右) 岩手県提供 UAV 撮影画像より作成。



図3 雪崩走路



図4 雪崩堆積区

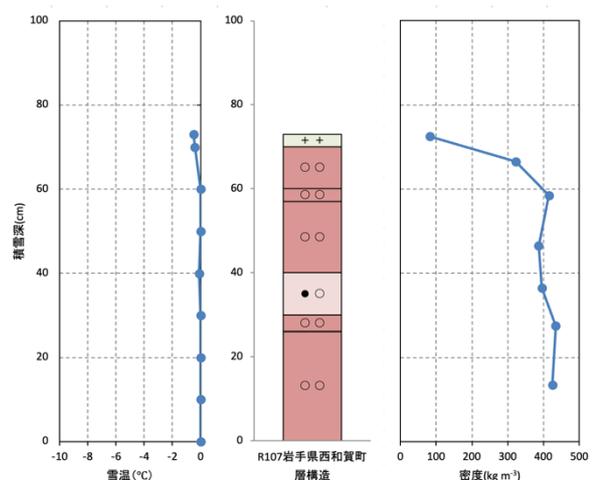


図5 積雪断面観測結果 (2020年12月25日: 岩手県西和賀町国道107号)

道路の法下付近のやや平坦な箇所では積雪断面観測を実施した。積雪深は73 cmで全体的にざらめ雪層で、雪温はほぼ0℃で湿雪であった。以上から発生した雪崩は面発生湿雪全層雪崩と判断した(図5)。岩手県湯田アメダスによると、12月20日までに160 cmを超える積雪となっていたが、23日からの気温上昇および降水(降雨)によって積雪深が急激に減っており、融雪の促進が推測された(図6)。これが全層雪崩の発生原因になったと考えられる。

4. 2021年1月2日に秋田県横手市県道274号で発生した雪崩

2021年1月2日13時45分頃、秋田県横手市増田町狙半内の秋田県道274号中村上吉野線付近で雪崩が発生し(図7)、軽トラック1台が巻き込まれた。車外から男性1名が救出され市内の病院に搬送されたが死亡が確認された。現場は一時通行止めとなったが2日夕方までに開通した。

2021年1月3日に雪崩調査および現場付近平地での積雪断面観測を実施した。UAV撮影より斜面上部に灌木が立ち上がった一帯を発見し発生区であると推測した。道路上のデブリは幅30 m、高さ3 m程度であり、大木の間を雪崩が流れてきており、道路からは疎林であることが認識しにくかった(図8)。デブリの上流側は大きな雪塊で土砂や枝を含んでおり全層雪崩と判断した。一方、下流側では土砂や枝を含まない乾雪のデブリであった(図9)。地形図判読から、斜面勾配は約34度、デブリの末端から発生区までの見通し角は約20度だった。全層雪崩の到達距離の目安である見通し角24度以下で、表層雪崩発生も示唆され、複数回の雪崩発生の可能性が考えられた。

斜面近くの平坦地で積雪断面観測を実施した。積雪深は205 cmで、全体的にしまり雪であったが、90 cmより下は湿雪層であった(図10)。気象庁横手アメダスによると、27日から

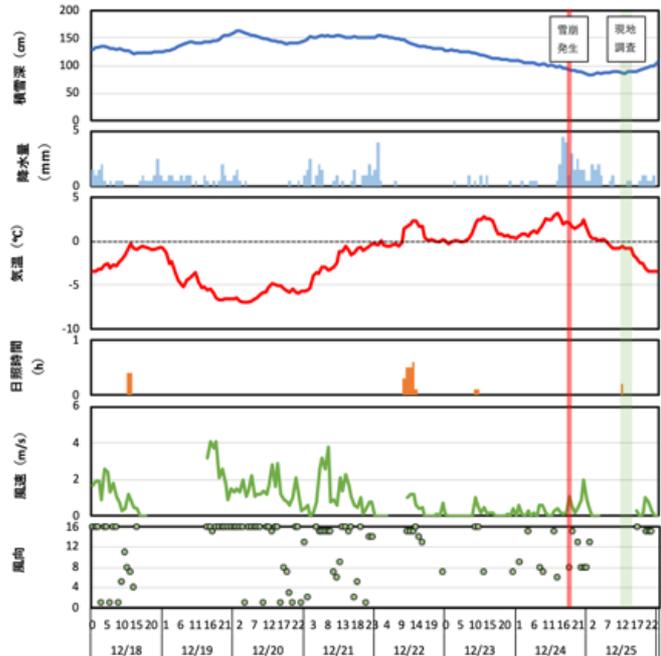


図6 雪崩発生発生と気象経過. 気象庁湯田アメダスより作成.

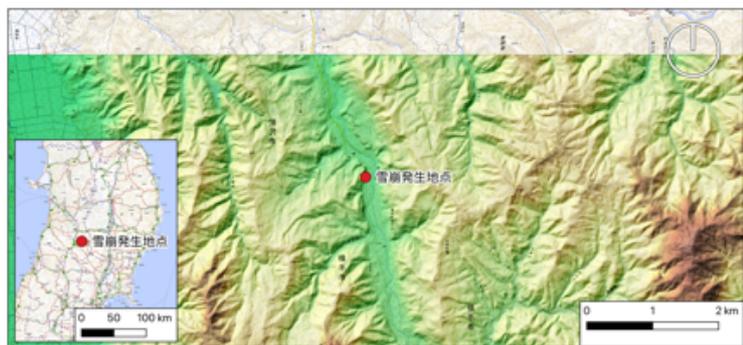


図7 雪崩発生地点位置図. 地理院地図および基盤地図情報から作成

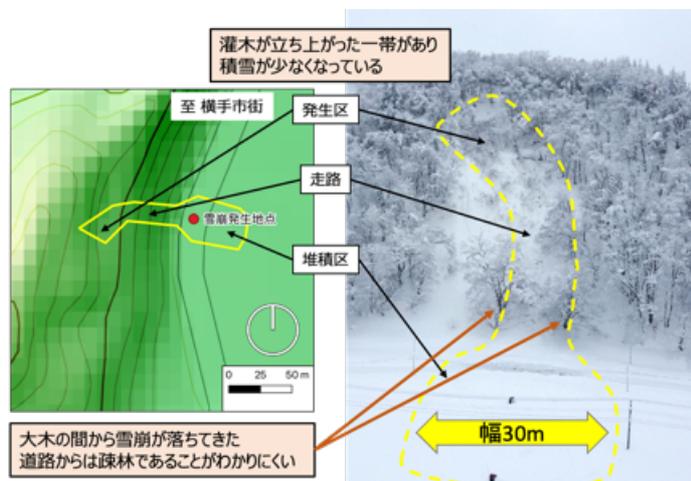


図8 雪崩発生斜面. 左) 地理院地図および基盤地図情報から作成. 右) 斜面全景. UAV撮影画像より作成.



図9 デブリの上流側（左）と下流側（右）の状況

30日は気温が上昇し、その後2日までに多量降雪により積雪深が90 cm増加しており、層構造と整合する（図11）。調査中に周辺の樹木で、冠雪の重みによる枝折れ・落雪が起っており、落雪が雪面を刺激したことによる雪崩発生が推定された。また、積雪下層が濡れていたことから、灌木の立ち上がりが起こりやすくなっていると推測され、全層雪崩を誘発したと考えられる。

5. 2021年2月13日に秋田県横手市山内小松川国道107号で発生した雪崩

2021年2月13日17時頃、秋田県横手市山内小松川の国道107号の獅子倉トンネルと黒沢トンネルの間で雪崩が発生し、デブリが道路を埋めたためこの区間は全面通行止めとなった（図12）。この雪崩により電柱が折れるなどの物損被害は生じたが人的被害はなかった。翌日2月14日13時までに道路上の除雪が完了し全面通行止めは解除された。

現場到着時には道路上のデブリはすでに除去されていたが、現場周囲

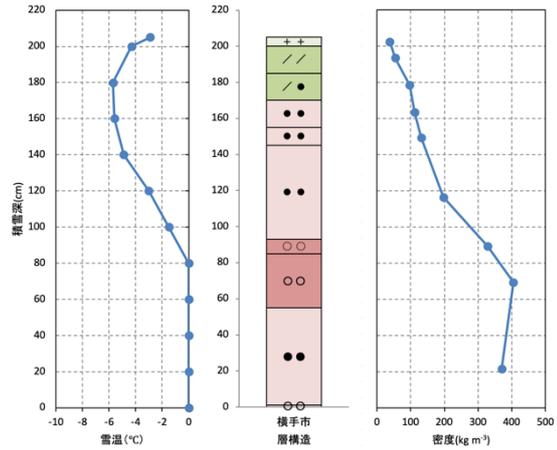


図10 積雪断面観測結果（2021年1月3日：秋田県横手市県道274号）

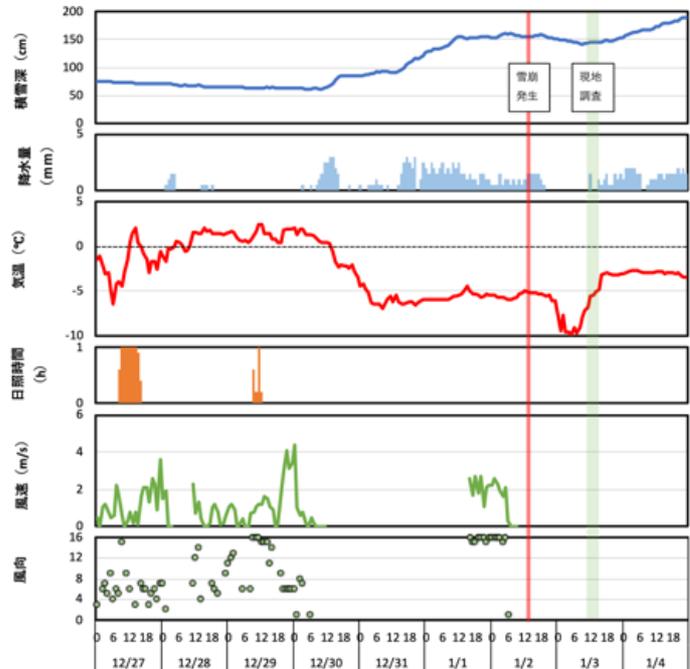


図11 雪崩発生発生と気象経過。気象庁横手アメダスより作成。



図12 雪崩発生地点位置図。地理院地図および基盤地図情報から作成

の状況から雪崩の走路およびデブリは図13の赤線の範囲であると推測した。雪崩斜面は南向き斜面であり、道路上から破断面までの高さは約50 m、斜度は約40度であった。雪崩発生地点より北西に1.8 km離れた平地で積雪断面観測を行なった。積雪深は200 cm、雪温は全層0℃、全層ざらめ雪（一部薄い氷板を含む）、全層密度：415 kg/m³であった（図14）。また、気象庁横手アメダスによると、2月10日から日最高气温は0℃を超えており、それに伴い2月13日にかけて日最大積雪深は186 cmから164 cmへと22 cmの減少が見られた（図15）。以上のことから、気温上昇により発生した融雪水が積雪底面に達したことにより、面発生湿雪全層雪崩が発生したと推測した。



図13 雪崩発生斜面

6. おわりに

著者らが調査した3件の雪崩について報告をおこなった。調査した雪崩については、多量降雪・気温上昇が発生要因であると考えられる全層雪崩であることが共通している。最初の2件は融雪期以前に発生していること、道路から斜面が見えにくいことが共通している。3件目についても急激な融雪により発生したと考えられる。今後も雪崩災害再発防止のため、雪崩の事例の収集に努めていきたい。

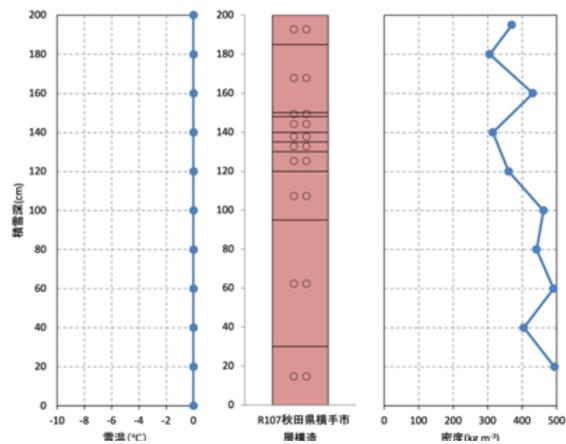


図14 積雪断面観測結果（2021年2月12日：秋田県横手市国道107号）

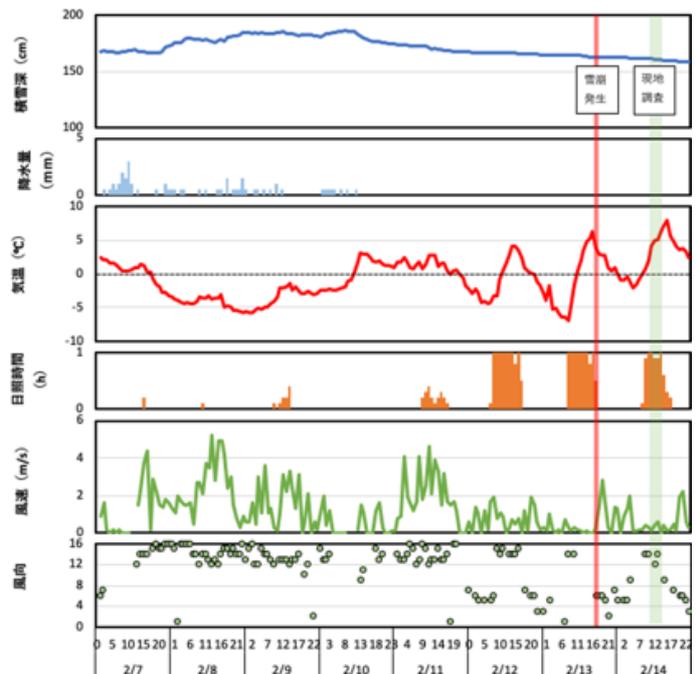


図15 雪崩発生発生と気象経過。気象庁横手アメダスより作成。

着雪の現況把握手法の検討

佐藤研吾 中村一樹 冨樫数馬
(防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

Study of methods for observing snow accretion
Kengo Sato, Kazuki Nakamura, Kazuma Togashi
(Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

近年、南岸低気圧に起因する湿降雪のために、関東地方などの非雪国の広域で着雪被害が報告されている。湿った雪は様々な物体に付着するため、樹木の倒木、電力・鉄道設備の倒壊など多量に着雪することによる被害が発生する。また、着雪による被害がない場合でも、一定量の重量がある場合は、構造物と着雪の界面が融解し落雪するため人的及び物的被害が大きな課題となっている。大きな着雪被害を引き起こす湿雪が降る気象条件は限定的であり、対象構造物周辺の温湿度条件だけでなく、上空の気温分布、粒径などの影響があるため、着雪重量や形状を予測することは困難である。

本研究では、観測による着雪の現況把握のための着雪検知機の開発について検討を行った。

2. 既存の着雪氷検知機

国内において特許取得されている着雪氷の検知に関わる件について紹介する。

着霜検知装置(特願 昭 60-242377)は、発光部とその光を受ける受光部とからなる透過式光センサにより構成されており、着霜センサを冷却器の近傍に設け、受光部に入射する光量が所定値以下になることに基づき冷却器の着霜を検出する着霜検知装置である。複数個の着霜センサを冷却器からの距離がそれぞれ異なるように配設し、外気温度が低くなるにしたがって冷却器からの距離が小さい着霜センサを選択することを特徴とする着霜検知装置である。冷却器の近傍に光センサを配置し冷却器の着霜を検知するものであり、着氷および着雪を検知するものではない。電線への着氷雪検知方法および装置(特願 昭和 63-10875)は電線表面への着氷雪を遠隔的に検知し得る検知方法および装置に関するものであり、電線とその外周に設置した電極との間で、静電容量を形成しておき、この間に着氷雪が介入することで前記静電容量に変化が生ずることを利用するものである。電線に限定された検知方法である。物体検知装置(特願 2016-179866)は良好な物体検知を実現するために、異物付着判定をよりいっそう良好に行うことが求められている。特に、雪は超音波吸収度が高い。このため、この種の物体検知装置においては、着雪判定の正確性をよりいっそう向上することが重要であるために鑑みてなされた発明である。

上記は特定された対象物への着氷雪の検知を目的としており、特定されない外気にさらされている物体の着氷雪を検知する方法が開示されていない。また、着雪は風向に大きく依存するが、風向依存性が反映されるような検知器となっていない。

3. 着雪検知機技術の特許開発

大きな被害を引き起こす着雪事例を考慮すると、低気圧に起因することが多く、その経路により構造物の着雪位置は限定される。着雪には冠雪も含まれることも多いことから、弱風の場合も想定し、水平面及び垂直面への着雪を想定すると共に、風向依存性を考慮して垂直面は8方位となるように筐体は八角柱の形状とした。検知方法については、近赤外センサを全ての面に設置し、着雪の有無とともに着雪分布の推定を試みる。

特定されない外気にさらされている物体の着雪状態を検知できる構造になっており、しかも風向依存性が反映されるような構造となっている。検出器は、柱状をなしており、表面状態の検知を温度、照度、伝導度、透過度などの中で、着雪状態を反映するもので構成する。方向性が反映する構造とするために、8方位か16方位の判別が可能ないようにセンサを組み合わせている。従来技術は特定の物体の着雪の有無を検知するものであったが、本発明はそれ自体が着雪検知機になっており、着雪の有無だけでなく、重量や含水状態、着雪状況を検出するものである。着雪の風向依存性が高い着雪現象に対応するため、側面8方位または16方位の着雪と上面への冠雪を検知するための近赤外センサおよび照度計を設置した。また圧力センサを各面に設置することにより着雪重量を測定が可能となる。側面に光センサを備えているから側面の着雪状況を知ることができ、上面に重量センサを備えているから着雪重量を知ることができる。本検出器を8角柱とすると、8方位毎の着雪量を知ることができ、一般的にn角柱とするとn方位の着雪量が測定可能である。全体の着雪を測る重量計が一つであっても、側面に備えた光センサの反射率に応じて重量配分すると、各方位の着雪重量を知ることができる(図1)。高層構造物や高速道路、鉄道・電力設備などへ設置することにより着雪監視、対応への支援に寄与が期待される。

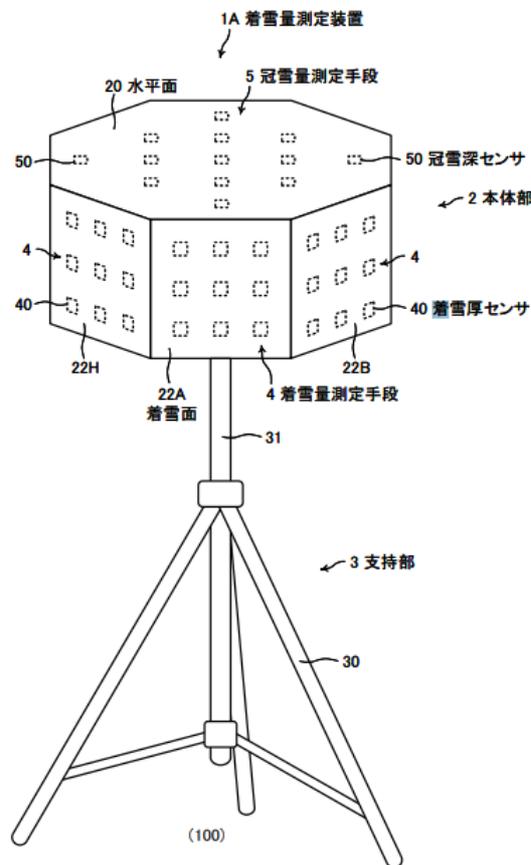


図1 着雪検知機の概要 (特願 2020-52168)

4. 着雪検知機の試作

前述を考慮し、側面8方位と上面の着冠雪の検知が可能な形状の筐体を作成した。筐体の各内側面に近赤外センサを設置するために、素材は透明アクリル、上面は一辺20cm、側面は20cm×30cmとした。近赤外センサは上下方向と左右方向の着雪厚さのバラつきを調べるために、対角線状に配置した。着雪検知機は、(国研)防災科学技術研究所新庄雪氷環境実験所に設置し、インターバルカメラ

により着雪状況を記録した (図2)。図2の着雪検知状況を図3に示す。着冠雪が無い場合は反射が検知されず、徐々に着冠雪が成長する過程が反射強度で明らかにされた。上面は冠雪量が多いため反射強度が大きく、側面は厚さに応じて北西面と西面に着雪していることが検知された。新庄市の卓越風向は北北西であるため、10分毎に北および北西の垂直面の着雪状況を撮影した。風速依存性の高い着雪現象を捉えられており、着雪厚さの違いも定性的に表現された。



図2 着雪検知機の反射強度

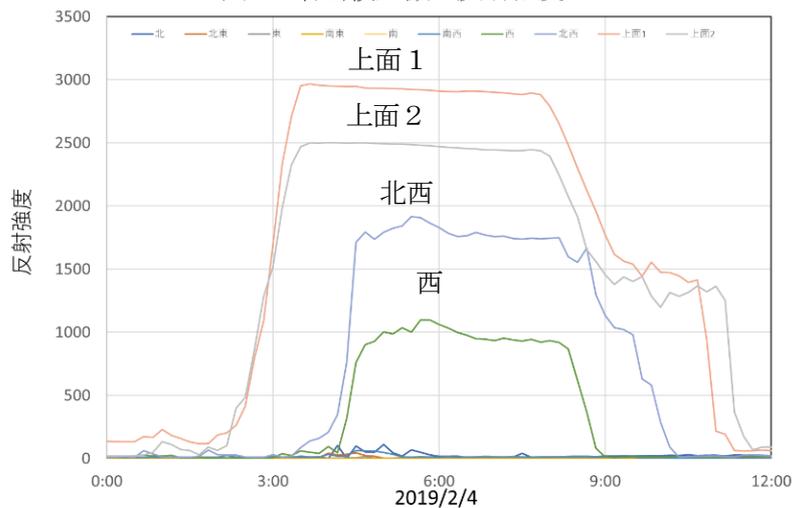


図3 着雪検知機 (上面と北西面, 西面に着冠雪)

5. 着雪検知の事例

着冠雪時の重量と反射強度の時系列を示す (図4)。写真の検知機上面の着冠雪状況は、時間経過とともに厚さが増加していることが確認できる。着冠雪開始時の重量増加時に反射強度も対応しており、着雪の有無について感度良く検知していることを示している。その後の重量増加の機微に十分対応していないが、着雪重量が一定時は反射強度も安定して値を示した。再度着冠雪重量が増加には、最初の着雪重量増加に比べ、少量の増加にも関わらず反射強度が大きく変化しているのは、密度や含水率も関連していると考えられる。

観測事例を蓄積させ、近赤外の反射強度と着雪厚さに関連する着雪状態や気象要因を明確にし、観測状況を高精度に把握することが必要である。

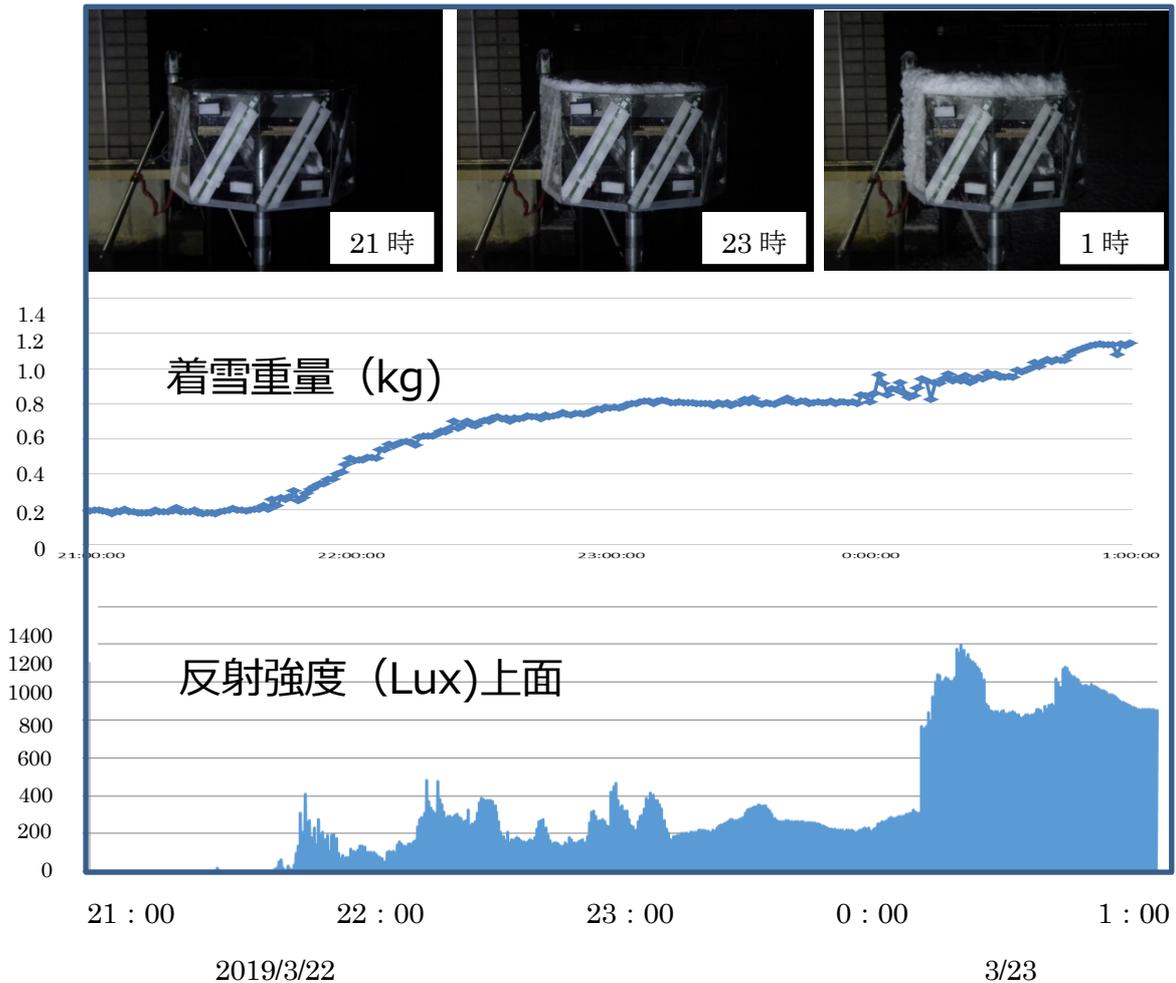


図4 着雪重量と反射強度の時系列

6. まとめと今後の課題

- ・間接的に着雪状況を把握するのではなく、機器そのものが着雪を検知する機器の特許申請を行い、試作機を作成し観測により実用性について検証を行った。
- ・着雪の有無の検知は確認され、定性的に着雪厚さの変化を再現された。
- ・近赤外センサの反射強度と着雪厚さの関係を含水率や密度などで定量的に表現するために、試験データを蓄積させモデル化を検討する。
- ・測定誤差を明確にするために感度試験を行い、センサの選定も含めて精度向上に努める。
- ・筐体の大きさや素材について、現況把握が必要な構造物に適した機器への検討を行う。
- ・多点観測により面的に着冠雪状況を把握するシステムを構築する。

2021 年度東北雪氷賞受賞者の選考結果

東北雪氷賞 (学術奨励賞)

授賞者氏名：金 高義 (福島工業高等専門学校都市システム工学科 助教, Ph. D.)

授賞標題：寒冷地の地盤及び建築物周囲の吹き溜まりに関する工学的研究

授賞理由：

積雪・寒冷地においては地盤の凍結や積雪の存在のために、工学分野において特有の課題が生ずる。金高義会員は米国アラスカ州に留学中に、埋設された低温ガスのパイプラインの研究に従事し、凍上によるパイプラインの変位をモデルを用いた数値計算により予測する手法を開発し野外実験により検証するとともに、凍上に対する永久凍土の影響等を解明した。

金会員は、帰国して国立極地研究所勤務時に南極地域観測隊に加わり、南極内陸部の新観測基地建設計画において課題となっている、超低温域における建築物の基盤としての雪氷物性値の解明や建築物周囲に形成される吹き溜まりの予測に取り組んだ。これらの研究は南極の厳しい条件下での野外観測と低温風洞実験を組み合わせて精緻に行われたものであり、その価値は極めて高い。

さらに近年は、UAV を道路法面の積雪調査へ応用する技術等の地域の雪氷防災へ寄与する研究も行っている。以上の様に金会員は寒冷地の地盤及び建築物周囲の吹き溜まりに関して多くの研究実績を有し、今後の進展も期待される。

以上の理由により、金会員は東北雪氷賞受賞者選考規程 3 (2) (学術奨励賞) 「現在の研究が今後発展して、雪氷学の発展に貴重な貢献をなすと考えられる者」に該当するものとして選考した。

参考資料：

- 1) Kim, K., Huang, S., Akagawa, S., Kanie, S. (2005), Field observation of pipe strain caused by soil pressure development in frost bulb. Proceedings of the 40th U.S. Rock Mechanics Symposium, Anchorage, Alaska (CD-ROM).
- 2) Kim, K., Zhou, W., Huang, S. (2008), Two-dimensional numerical solution for frost heave prediction using Segregation Potential concept. Proceedings of 9th International Permafrost Conference, Fairbanks, Alaska, 941-946.
- 3) Kim, K., Zhou, W., Huang, S. (2008), Frost heave predictions of buried chilled gas pipelines with the effect of permafrost. Cold Regions Science and Technology, 53, 382-396.
- 4) 金高義, 沖田博文, 市川隆, Ashley, M. (2013), 南極ドームふじにおける 9m-天文観測架台の圧雪地盤基礎造成と不同変位観測. 寒地技術論文・報告集, 29, 74-78.

- 5) 金高義, 山岸陽一, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人, 内田孝紀, 荒屋亮, 永木毅, 石沢賢二 (2014), 南極昭和基地における基本観測棟設計のためのスノウドリフト性状評価. 寒地技術論文・報告集, 30, 134-139.
- 6) 金高義, 半貫敏夫, 石鍋雄一郎, 小杉健二, 望月重人 (2015), 南極ドームふじにおける 9m-天文観測架台のスノウドリフト性状評価. 寒地技術論文・報告集, 31, 258-263.
- 7) 金高義, 内山庄一郎 (2016), 積雪観測のためのマルチコプター空撮技術 -2015/2016年冬期の福島県西会津国道 49 号線道路法面の事例研究-. 福島工業高等専門学校研究紀要, 57, 59-62.
- 8) 金高義, 大河原海, 荒川逸人 (2020), 幾何学的相似比に注目した模型風洞実験のスノウドリフト性状評価. 寒地技術論文・報告集, 36 (CD-ROM).

公益社団法人日本雪氷学会 2021 年度東北支部理事会 議事録

2021 年度東北支部理事会の決議のあったものとみなされた事項の内容

- 審議 1. 2020 年度事業報告
- 審議 2. 2020 年度会計報告
- 審議 3. 2021 年度事業計画
- 審議 4. 2021 年度予算計画
- 審議 5. 2021 年度東北雪氷賞受賞者の選考
- 審議 6. 今年度の支部大会について
- 審議 7. 今年度中の事業の追加について
- 審議 8. 2021-2022 年度役員について

小杉支部長が 2021 年 4 月 14 日に支部理事全員に対して上記支部理事会の決議の目的である事項について提案書を発し、2021 年 4 月 21 日に支部理事の全員から書面により同意の意思表示を得たので、当該提案を可決する旨の支部理事会の決議があったものとみなされた。

2021 年 4 月 21 日

公益社団法人日本雪氷学会東北支部長
小杉健二

配付資料：公益社団法人日本雪氷学会東北支部 2021 年度理事会資料

- 資料 1：2020 年度東北支部事業報告
- 資料 2：2020 年度東北支部収支報告書
- 資料 3：2021 年度東北支部事業計画
- 資料 4：2021 年度東北支部収支予算案
- 資料 5：2021 年度東北雪氷賞受賞者の選考結果について
- 資料 6：2021-2022 年度役員(案)
- 資料 7：東北支部監査報告書

各議題の要点を以下に記す。

審議 1.

資料 1, 及び資料 7 の佐々木監事及び柳

澤監事による 2020 年度の事業内容に関する監査結果が示され、2020 年度事業報告が承認された。

審議 2.

資料 2 が示され、2020 年度会計報告が承認された。

審議 3.

資料 3 が示され、2021 年度事業計画が承認された。

審議 4.

資料 4 が示され、2021 年度予算計画が承認された。

審議 5.

資料 5 の堀井東北雪氷賞選考委員長からの選考結果が示され、1 名の学術奨励賞の受賞が承認された。

審議 6.

新型コロナウイルス感染症が収束していないため、今年度の支部大会(総会、授賞式、研究発表会)はオンライン方式を利用して開催する事が決まった。

審議 7.

支部長、事務局、事業委員会が中心となり学会の講演会事業積立基金を用いた事業の追加を検討するが、感染症の状況を十分考慮して実施を判断する事とした。

審議 8.

資料 6 の 2021-2022 年度役員(案)が示され、承認された。

以上

公益社団法人日本雪氷学会 2020 年度東北支部臨時理事会 議事録

2020 年度東北支部臨時理事会の決議の
あったものとみなされた事項の内容

審議 1. 日本雪氷学会東北支部印章取扱
規程について

小杉支部長が 2020 年 11 月 29 日に支部
理事全員に対して上記支部理事会の決議の
目的である事項について提案書を発し、
2020 年 12 月 9 日に支部理事の全員から書
面により同意の意思表示を得たので、当該
提案を可決する旨の支部理事会の決議があ
ったものとみなされた。

2020 年 12 月 9 日

公益社団法人日本雪氷学会東北支部長
小杉健二

配付資料：公益社団法人日本雪氷学会東北
支部印章取扱規程（案）

以上

公益社団法人日本雪氷学会 2021 年度東北支部総会 議事録

日 時：2021 年 5 月 8 日(土) 9:15～10:15

場 所：山形県新庄市十日町高壇 1400

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

出席者：36 名(内オンライン 16 名, 委任状 16 名)

配付資料：公益社団法人日本雪氷学会東北
支部 2021 年度総会資料

資料 1：2020 年度東北支部事業報告

資料 2：2020 年度東北支部収支報告書

資料 3：2021 年度東北支部事業計画

資料 4：2021 年度東北支部収支予算案

資料 5：今年度中の事業の追加について

資料 6：2021-2022 年度役員(案)

資料 7：東北支部監査報告書

資料 8：2021 年度東北雪氷賞受賞者の選
考結果について

議 事：支部長挨拶の後、推薦のあった小
杉支部長が議長となり議事に入った。

支計画が承認された。

審議 5. 今年度中の事業の追加について

資料 5 が示され、支部長、事務局、事業
委員会が中心となり学会の講演会事業積立
基金を用いた事業の追加を検討するが、感
染症の状況を十分考慮して実施を判断する
事とした。

審議 6. 2021-2022 年度役員について

資料 6 の 2021-2022 年度役員(案)が示さ
れ承認された。

報告 1. 2021 年度東北雪氷賞受賞者の選考
結果について

資料 8 に基づき、1 件の学術奨励賞の推
薦が東北雪氷賞選考委員会からあり、理事
会において承認された旨の報告があった。

以上

審議 1. 2020 年度事業報告について

資料 1, 及び資料 7 の佐々木監事および
柳澤監事からの事業内容に関する監査結果
が示され、2020 年度事業報告が承認され
た。

審議 2. 2020 年度会計報告について

資料 2 が示され、2020 年度会計報告が承
認された。

審議 3. 2021 年度事業計画・収支予算につ
いて

資料 3 に基づき説明があり、2021 年度事
業計画が承認された。

審議 4. 2021 年度事業計画・収支予算につ
いて

資料 4 に基づき説明があり、2021 年度収

2020年度(公社)日本雪氷学会東北支部事業報告

1. 研究会・研修会事業

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、研究発表会、特別講演会、及び積雪観測講習会は中止とした。

2. 普及・啓発、表彰事業

(1) 東北雪氷賞授賞式の開催

日付：2020年6月19日(金)、場所：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(新庄市)

東北雪氷賞(功績賞) 沼澤喜一殿(元 日本地下水開発株式会社)

「山形蔵王の樹氷・積雪研究と消融雪技術の開発ならびに日本雪氷学会東北支部への貢献」

東北雪氷賞(功績賞) 柳澤文孝殿(山形大学学術研究院)

「山形蔵王の樹氷の汚染機構に関する研究、樹氷の歴史や変遷に関する研究、ならびに日本雪氷学会東北支部の発展に寄与した功績」

(2) 2021年度東北雪氷賞選考委員会の開催(メール審議) 日付:2021年3月15日~31日

(3) 支部ホームページの運営(随時)

3. 出版事業

(1) 機関誌「東北の雪と生活」35号の刊行(2020年12月18日)

(2) ニュースレターの刊行

No. 71(2020年6月8日)

4. その他

(1) 2020年度支部理事会の開催

日付：2020年5月26日~28日、文書(メール)審議

日付：2020年11月29日~12月9日、文書(メール)審議

(2) 2020年度支部総会の開催

日付：2020年6月19日(金)、場所：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(新庄市、オンライン参加を併用)

(3) 支部メーリングリストの管理

2020年度 東北支部 収支報告書

事業名：東北支部 研究発表会の開催（新庄市，2020年6月19日 コロナ禍により総会のみ実施）

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	経常収益合計	0	
	科 目	金 額	備 考
経常費用の部	事業費 褒章記念品	11,160	功績賞×2人，送料
	経常費用合計	11,160	
	当期経常増減額	-11,160	

事業名：東北支部機関誌「東北の雪と生活」35号の刊行

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	経常収益合計	0	
	科 目	金 額	備 考
経常費用の部	事業費 印刷製本費 郵送費	62,150 8,190	30冊作成 発送経費
	経常費用合計	70,340	
	当期経常増減額	-70,340	

2020年度 収支報告書

収入 (a)		0
事業	研究発表会収入	0
収入	研修会収入	0
	出版収入	0
支出 (b)		81,500
事業	研究発表会事業費	11,160
費用	諸謝金	0
	講習会事業費	0
	出版事業費	東北支部機関誌 70,340
	その他	郵送費 0
収支差額 (a-b)		-81,500

棚卸資産

担当	機関連名	原価	2019年度末(20/3/31)		2020年度末(21/3/31)	
			在庫数	資産額	在庫数	資産額
本部	雪氷81巻1号	444	54	23,976	-	0
	雪氷81巻2号	385	55	21,175	-	0
	雪氷81巻3号	408	57	23,256	-	0
	雪氷81巻4号	597	66	39,402	-	0
	雪氷81巻5号	543	76	41,268	-	0
	雪氷81巻6号	578	67	38,726	-	0
	雪氷82巻1号	564	63	35,532	-	0
	雪氷82巻2号	473	-	-	-	0
	雪氷82巻3号	479	-	-	-	0
	雪氷82巻4号	485	-	-	-	0
	雪氷82巻5号	373	-	-	-	0
	雪氷82巻6号		-	-	-	0
	雪氷83巻1号	1,023	-	-	-	0
	小計				223,335	
雪崩・積雪分類		248	96	23,808	0	0
小計				23,808		
2019予稿集		1,536	1	1,536	-	0
2020予稿集		791	-	-	-	0
小計				1,536		
BGR No.33-34		1,712	20	34,240	-	-
BGR No.35-36		2,560	11	28,160	-	0
BGR No.37-38				0	-	0
積雪観測ガイドブック		2,000	56	112,000	0	0
小計				174,400		
本部 計				423,079		0
北海道支部	北海道の雪氷No.38(モノクロ)	1,550	1	1,550	-	0
	北海道の雪氷No.38(カラー)	5,000	2	10,000	-	0
	北海道の雪氷No.39(モノクロ)		-	-	-	0
	北海道の雪氷No.39(カラー)		-	-	-	0
東北支部	東北の雪と生活No.34	1,100	10	11,000	-	0
	東北の雪と生活No.35	2,000	-	-	9	18,000
北信越支部	雪氷北信越No.39	715	2	1,430	-	0
	雪氷北信越No.40	766	-	-	-	0
合計				447,059		18,000

2021年度(公社)日本雪氷学会東北支部事業計画

1. 研究会・研修会事業

(1) 2021年度支部研究発表会の開催

日付：2021年5月，場所：いわき市（オンライン開催へ変更）

(2) 特別講演会の開催(1ヶ所)

(3) 見学会または雪に関する講習会の開催(1ヶ所)

2. 普及・啓発、表彰事業

(1) 支部ホームページの維持・運営

(2) 2021年度東北雪氷賞の表彰

(3) 2022年度「東北雪氷賞」受賞候補者の募集(締切:2022年2月末日)

(4) 東北雪氷賞受賞候補者選考委員会の開催

3. 出版事業

(1) 機関誌「東北の雪と生活」36号の編集・発行・発送(6～9月)

(2) ニュースレターの刊行(2～3回)

メーリングリスト登録者には添付ファイルにて送信。未登録者には郵送。

4. その他

(1) 2021年度支部理事会の開催

日付：2021年5月，場所：いわき市（同年4月，文書（メール）審議へ変更）

(2) 2021年度支部総会の開催

日付：2021年5月，場所：いわき市（オンライン開催へ変更）

(3) 会員名簿の整理(5～7月)

(4) 支部メーリングリストの管理

2021年度 東北支部 収支予算案

事業名：東北支部 研究発表会の開催（いわき市）

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	研究大会事業収益	37,500	一般参加費（1,000円×30人） 学生参加費（500円×3人） 非会員参加費（2,000円×3人）
	経常収益合計	37,500	
	科 目	金 額	備 考
経常費用の部	事業費		
	消耗品費	6,500	コピー用紙代等
	会場費	9,000	会場・備品使用料
	臨時雇賃金	20,000	アルバイト代（3名分）
	褒賞記念品	12,000	褒賞記念品（2名分）
	手数料	500	振込手数料
	経常費用合計	48,000	
	当期経常増減額	-10,500	

事業名：東北支部 特別講演会

	科 目	金 額	備 考
益経常の部の収	事業収益		
	経常収益合計	0	
	科 目	金 額	備 考
経常費用の部	事業費		
	諸謝金	10,000	講師（非学会員1名）謝礼金
	経常費用合計	10,000	
	当期経常増減額	-10,000	

事業名：東北支部 講習会の開催

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	研修会事業収益	19,400	一般参加費（1,700円×8人） 学会員参加費（700円×8人） 学生参加費（200円×1人）
	経常収益合計	19,400	
	科 目	金 額	備 考
経常費用の部	事業費		
	旅費交通費	41,000	旅費交通費、宿泊費（20500円×2人）
	資料代	2,000	当日配布資料
	会場費	6,100	会場使用料
	消耗品費	1,500	コピー用紙（終了証書）等
	手数料	500	振込手数料
	経常費用合計	51,100	
	当期経常増減額	-31,700	

事業名：東北支部機関誌「東北の雪と生活」36号の刊行

	科 目	金 額	備 考
経常 部の 収益	事業収益 出版事業収益	34,500	冊子代 (2300×15冊：会員)
	経常収益合計	34,500	
	科 目	金 額	備 考
経常 部の 費用	事業費 印刷製本費	69,000	冊子作成 (梱包・郵送費含) 30冊 (賛助・特別会員等15+会員15)
	経常費用合計	69,000	
	当期経常増減額	-34,500	

事業名：東北支部 ニュースレターの刊行

	科 目	金 額	備 考
益 の 経 常 部 収	事業収益		
	経常収益合計	0	
	科 目	金 額	備 考
経 常 部 の 費 用	事業費 消耗品費 郵送費	1,000 10,000	封筒・コピー用紙等 特別会員・賛助会員等 2回/年
	経常費用合計	11,000	
	当期経常増減額	-11,000	

公益社団法人日本雪氷学会東北支部 支部規程施行内規

- 第1条 本支部は公益社団法人日本雪氷学会東北支部と称する。
- 第2条 本支部は公益社団法人日本雪氷学会定款第3条の目的を達成する為に下記の事業を行なう。
1. 雪氷および寒冷に関する調査および研究
 2. 研究会、講演会、見学会等の開催
 3. 支部会誌その他資料の刊行
 4. その他本法人の目的達成に必要な事業
- 第3条 本支部の会員は東北地方の日本雪氷学会名誉会員、終身会員、正会員、特別会員、賛助会員、団体会員および東北地方以外の希望する会員とする。
- 第4条 本支部に次の役員を置く。
- | | |
|------|-------------|
| 支部長 | 1名 |
| 副支部長 | 若干名 |
| 顧問 | 若干名 |
| 理事 | 10名以上、15名以内 |
| 監事 | 2名 |
| 幹事 | 若干名 |
- 第5条 支部長は支部からの推薦に基づき、定款施行細則第28条により、定款第20条に定める理事の中から理事会において選出する。
- 第6条 理事および監事は、支部総会において支部会員の中から選任する。ただし、理事については原則として各県1名以上とする。
- 第7条 副支部長は必要に応じてこれを理事の中から支部長が委嘱する。
- 第8条 幹事(幹事長、総務幹事、会計幹事、各県幹事)は支部会員の中から支部長が委嘱する。ただし、各県幹事は必ずしも会員であることを問わない。
- 第9条 支部長は本支部を代表しその会務を総理する。
- 第10条 副支部長は支部長を補佐し、支部長に事故あるときは、あらかじめ支部長が指名した順序でその職務を代行する。
- 第11条 理事会は支部長、副支部長、理事で構成され、重要な事項を決議する。
- 第12条 監事は支部の事業を監査する。
- 第13条 幹事会は幹事長、幹事で構成され、支部長の指示を受けて会務ならびに会計を処理する。
- 第14条 支部長の任期は2年とする。ただし、通算4年を超えて在任することはできない。
- 2 支部長を除く役員の任期は2年とする。ただし、原則として連続する2期を超えて同一役職を務めることはできない。
 - 3 補欠による役員の任期は、前任者の残任期間とする。
- 第15条 本支部に顧問をおくことができる。顧問は理事会の議を経て支部長がこれを委嘱する。
- 第16条 本支部は、必要に応じて各種の委員会を設けることができる。委員会の委員長は理事会の議を経て支部長がこれを委嘱する。
- 第17条 本支部は毎年1回定期総会を開くほか、必要に応じ臨時総会を開く。
- 第18条 総会において下記事項の承認を受けなければならない。
1. 会務の報告
 2. 新年度の事業方針
 3. 役員の決定
 4. 支部規程施行内規の変更
 5. その他重要な事項

第19条 本支部の事業年度は毎年4月より翌年3月までとする。

附 則 本内規は平成25年5月31日から施行する。

附 則 本内規は平成29年5月12日から一部改正する。

東北雪氷賞受賞者選考規程

昭和 63 年 4 月 1 日施行
平成 12 年 5 月 12 日改正
平成 13 年 5 月 18 日改正
平成 15 年 5 月 16 日改正
平成 19 年 5 月 11 日改正
平成 21 年 5 月 8 日改正
平成 25 年 5 月 31 日改正
平成 27 年 5 月 15 日改正
令和 2 年 8 月 31 日改正

公益社団法人日本雪氷学会東北支部規程施行内規第 2 条第 4 項による東北雪氷賞は、その受賞者をこの規程によって決定する。

1. 支部長は、受賞候補者を選定するために、東北雪氷賞受賞候補者選考委員会（以後、委員会という）を設ける。
2. 委員会は数名をもって組織し、委員長をおくこととし、支部長がこれを委嘱する。
3. 支部長は、毎年、支部会員等に下記の項目に該当する候補者の推薦を求める。推薦は自薦も含み、また委員会委員も候補者を推薦することができるものとする。
 - (1) 東北雪氷賞（学術賞）……雪氷学の発展に貴重な貢献を与える研究をなした者。ただし、学会誌に掲載論文を有する者とする。
 - (2) 東北雪氷賞（学術奨励賞）……原則として 40 歳以下の者で、現在の研究が今後発展して、雪氷学の発展に貴重な貢献をなすと考えられる者。
 - (3) 東北雪氷賞（技術賞）……雪氷技術の発展に貴重な貢献となる研究または開発を行った者および雪氷技術を通して社会に著しい貢献をなした者。
 - (4) 東北雪氷賞（功績賞）……雪氷学の発展に対する基礎的貢献、および雪国の発展、ならびに東北支部の運営、発展に関して、著しい貢献をなした者（団体、個人を問わない）。
 - (5) 東北雪氷賞（特別功績賞）……長年にわたり、東北地方において、雪氷学ならびに雪国社会文化発展に著しい貢献度を有するもの。
4. 候補者を推薦する者は、毎年 2 月末日までに、下記の項目を記載した書類を委員会委員長に提出するものとする。
 - (1) 東北雪氷賞（学術賞）、東北雪氷賞（学術奨励賞）、東北雪氷賞（技術賞）、東北雪氷賞（功績賞）、東北雪氷賞（特別功績賞）の区別。
 - (2) 推薦者の氏名、所属、職名。
 - (3) 受賞候補者の氏名（または団体名）、所属、職名、学位。
 - (4) 推薦理由書（○○○に関する研究、○○○の功績、などの標題を掲げ、500 字ほどに纏めたもの）。
 - (5) 東北雪氷賞（学術賞）、東北雪氷賞（学術奨励賞）の候補者の推薦にあたっては、該当する論文、著書、またはその写しを添付する。
 - (6) 東北雪氷賞（功績賞・特別功績賞）、東北雪氷賞（技術賞）の候補者の推薦にあたっては、著書・新聞記事の写しなど、その賞に値するもの、あるいは、客観的評価を得たものがあればそれを添付する。

5. 委員会は、推薦書類に基づき、その年の受賞候補者を項目ごとに選考し、3月末日までに推薦書類等を添付して選考結果を支部長に報告する。
6. 受賞者は、理事会の議を経て決定する。
7. 東北雪氷賞は、賞状および記念品とし、通常総会においてこれを贈呈する。
8. 本規約は改正の日から施行する。

東北雪氷賞 受賞者リスト

回	年度	学術賞	学術奨励賞	功績賞
1	昭和 63(1988)	なし	なし	中村 勉 桂木 公平
2	平成 元(1989)	鈴木 道也	なし	太田 祖電
3	平成 2(1990)	石橋 秀弘	なし	高橋喜一郎
4	平成 3(1991)	佐藤 清一	阿部 修 堀井 雅史	小島忠三郎
5	平成 4(1992)	塚原 初男	力石 國男 山形大学農学部附属演 習林グループ 東北電力(株)応用技術 研究所雪氷技術研究室	なし
6	平成 5(1993)	矢野 勝俊	佐藤 威 太田 岳史	なし
7	平成 6(1994)	伊藤 驍	大谷 博弥	日本地下水開発(株)
8	平成 7(1995)	卜蔵 建治	小杉 健二	なし
9	平成 8(1996)	東浦 将夫	飯田 俊彰	安濃 恒友 小畑 勇 篠島 健二
10	平成 9(1997)	佐藤 篤司	山谷 睦	(特)渡邊善八(故人)
11	平成 10(1998)	柳沢 文孝	なし	(特)北村昌美 土屋 巖 PSG 工法研究会
12	平成 11(1999)	佐藤幸三郎	なし	なし
13	平成 12(2000)	なし	なし	矢野 勝俊(故人)
14	平成 13(2001)	力石 國男 山崎 剛	なし	防災科学技術研究所・ 長岡雪氷防災研究所新 庄支所
15	平成 14(2002)	佐藤 威	鈴木 和良	(特)高橋 喜平
16	平成 15(2003)	阿部 修	なし	塚原 初男
17	平成 16(2004)	堀井 雅史	なし	なし
18	平成 17(2005)	なし	なし	安彦 宏人 梅宮 弘道
19	平成 18(2006)	なし	赤田 尚史 根本 征樹	佐藤 清一
20	平成 19(2007)	渡邊 明	蔵王雪氷研究グループ	伊藤 驍
21	平成 20(2008)	なし	原田 鉦一郎 山口 正敏	なし
22	平成 21(2009)	小杉 健二	本谷 研	なし
23	平成 22(2010)	なし	石田 祐宣	佐藤幸三郎
24	平成 23(2011)	なし	梅村 順	東浦 将夫(故人) 三崎 安則
25	平成 24(2012)	なし	朝岡 良浩	力石 國男
26	平成 25(2013)	赤田 尚史	なし	秋田雪の会

回	年度	学術賞	学術奨励賞	技術賞	功績賞
27	平成26(2014)	後藤 博	なし	阿部 孝幸	横山 孝男
28	平成27(2015)	なし	なし	望月 重人	(特)沼野 夏生 渡邊 明
29	平成28(2016)	なし	なし	なし	阿部 修
30	平成29(2017)	根本 征樹	なし	なし	佐々木 幹夫
31	平成30(2018)	なし	なし	平山 順子	なし
32	令和元(2019)	若林 裕之	なし	なし	山崎 剛
33	令和2(2020)	なし	なし	なし	沼澤 喜一 柳澤 文孝
34	令和3(2021)	なし	金 高義	なし	なし

昭和63年度に制度制定、(特)は特別功績賞
技術賞は平成26年度より制定

日本雪氷学会東北支部「東北の雪と生活」投稿規程

平成20年6月30日施行

平成28年3月18日改定

1. 投稿資格

投稿の著者(連名の場合は1名以上)は、日本雪氷学会の会員でなければならない。ただし、特に編集委員会が認めたものについてはこの限りではない。

2. 投稿手続き・受理

2.1 投稿できる原稿は、5.に定める論文、報告、解説、資料、その他とする。

2.2 投稿原稿は、6.に定める規定ページ数を守らなければならない。満たさない場合は原稿を返却する。

2.3 投稿にあたっては、原稿執筆要項にしたがいA4用紙1段組で完成原稿としてそのまま印刷可能な形にして提出するものとする。なお、提出は、PDFもしくはMS-Wordとする。原稿は要請が無ければ返却しない。

なお、カラーの図表を用いる場合は、白黒でも判別可能なものとする。

2.4 原稿は、自筆署名を行った著作権譲渡承諾書とともに編集委員長宛に提出すること。受理日は到着日とするが、大会で報告したものについては大会開催日とする。なお、提出締め切りは大会毎に定める。

2.5 一連の研究を投稿する場合も、各報の論文題名は同一のものであってはならない。同一の場合はI、IIの記号を題目に明記すること。

3. 原稿の採否

投稿原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は投稿原稿について訂正や種別の変更を求めることがある。訂正を求められた原稿が指定された返送日より遅延した場合は掲載しないことがある。

4. 原稿の取下げ

4.1 原稿を取下げたい場合は、執筆者が編集委員長宛にその理由を提出しなければならない。

4.2 一度取下げた原稿の再投稿は、すべて新原稿として受理する。

5. 投稿原稿の種別

5.1 論文

論文は、その内容が未発表のものであって、理論、実験等に誤りがなく、雪氷に関して独創的な研究で、価値ある結論あるいは事実を含むものとする。

なお、未発表のものとは、類似の内容が本会の受理日以前に国内外の印刷物に投稿または掲載されていないものをいう。

5.2 報告

雪氷に関する調査の結果等をまとめたもので、会員の研究推進に役立つものとする。

5.3 解説

雪氷に関するこれまでの研究成果や技術等に関する解説を行い、会員への研究成果、技術の広報、普及に役立つものとする。

5.4 資料

雪氷に関する学術的、技術的に価値があり、会員の研究に参考資料として役立つものとする。

5.5 その他

事務局報告等編集委員会が必要と認めたものについて掲載することができる。

6. 投稿原稿の規定ページ数

投稿原稿の1編につき規定の刷上りページ数は、6ページ以内とする。編集委員会が認めた場合はこの限りではない。

「東北の雪と生活」原稿執筆要項 (14pt 明朝・太字)

東北太郎 (所属) (12pt 明朝・太字)

雪氷花子 (所属) (12pt 明朝・太字)

Tohoku Journal of Snow and Life (12pt TimesNewRoman, bold)

Taro TOHOKU (Affiliation; 10.5pt TimesNewRoman, bold)

Hanako SEPPYO (Affiliation; 10.5pt TimesNewRoman, bold)

1. ページ

原稿の長さは原則として、6 ページ以内とします。

2. 原稿

原稿はワープロを用いて、A4 判サイズで作成ください。上端マージン 25mm, 下端マージン 25mm, 左端マージン 25mm, 右端マージン 25mm, 字数は 45 字×45 行で一段組とします。

ただし、この字数で印字できない場合は、文字数や行数を調整してマージンに、はみ出さない様にしてください。電子版(PDF 版)は原稿をそのまま利用しますが、冊子版では原稿をオフセットし、A4 判の大きさに白黒印刷します。

3. 書き出し

第 1 ページは題目を第 1 行から書きだし、1 行あけて所属、著者名を中央に揃えて書き、続けて英文題目、英文著者名を書きます。著者名は所属ごとに改行してください。1 行空けて本文を書き出してください。第 2 ページからは第 1 行目から書いてください。

題目は明朝 14pt, 著者名と所属は明朝 12pt, それ以外は節題を含め 10.5pt のフォントを用い、題目、著者名、節題はボールドで強調して下さい。句読点は「,」「.」を用いてください。本文の英数字は半角にして、数字、単位や化学式は立体にしてください。量・数を表す記号、変数、学名・英語の雑誌名および *et al.* などのラテン語由来の用語はイタリックにしてください。カタカナ表記するものは、動植物の和名、外来語、外国の地名・人名(原語によらない場合)です。また、ページ番号は印刷しないでください。この案内は執筆要項の様式に従って書いてあります。

4. 図・表

図(写真も含む)・表は白黒印刷に耐えられる鮮明なものを用い、表の説明(キャプション)は表の上に、図の説明は図の下に記載してください。図・表番号はそれぞれ通し番号(図 1, 表 1)としてください。また、本文中でも必ず触れるようにしてください。

5. 引用文献

本文中の引用は、著者の姓(発表年)、文末の場合は(著者の姓, 発表年)とし、本文末尾の文献リストと対応させて下さい。文献リストは、第 1 著者姓のアルファベット順に並べて下さい。引用文献の記載方法は「雪氷」に準じます(東北・雪氷, 2015)。

5-1 文献リスト

引用文献は表 1 に示すような順番に並べてください。第 1 著者姓のアルファベット順、主著者が同じ場合は、1 名、2 名、3 名以上で並べます。2 名、3 名以上は発行年順に並べます。

表1 文献リストの順番

A (2006):
A (2010):
A and C (1999): (2名, 発行年順)
A and B (2001a):
A and B (2001b):
A and E (2001):
荒川, 加藤 (2000):
A, B, C and D (2003a): . (3名以上, 発行年順)
A, B and E (2003b): . .
A and 9 others (2003b): . . . (著者が10名以上の場合の記載方法)
A and 9 others (2005): . . . (著者名全員もしくは, and 9 others のように記載可能)
D (2001):
加藤ほか9名 (2001) . . . (著者名全員もしくは, ほか9名のように記載可能)

5-2 雑誌掲載論文

雑誌掲載論文は以下の書式で記載してください。欧文誌名の省略・略記法については、<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/journals> に従ってください。不明な場合には全部書き出してください。

著者名 (西暦年): 表題. 雑誌名(英文はイタリック), 巻(号), 引用ページ, doi 情報.(doi がある場合).

5-3 単行本

単行本の引用につきましては、以下の書式で記載してください。英文の単行本で、編者が1名の場合は ed., 2名以上の場合は eds.を編集者名の後に加える。

著者名 (西暦年号): 表題. 単行本名(英文はイタリック), 編集者名, 発行地, 発行所, 引用ページ(全頁の場合は全頁 pp.とする。この場合、表題は省略化)。

5-4 オンライン上に掲載されている文献等

オンラインの文献等の引用につきましては、以下の書式で記載してください。複数日に参照した場合、最新の参照日のみを記載してください。インターネットに掲載されている文献を引用せずに、その存在だけを示す場合には、本文中に直接 URL を記載しても構いません。脚注の使用は避けてください。

著者名 (西暦年): 文献名. 表題, 引用ページ. URL (検索日).

6. 締切期日

各年度の原稿提出締切は事務局より連絡いたします。遅れた場合は掲載しません。

【引用文献】

東北太郎, 雪氷花子(2015): 「東北の雪と生活」原稿執筆要項, 東北の雪と生活, **15**, 1-2.

著作権譲渡承諾書

公益社団法人 日本雪氷学会 殿

原稿タイトル名：

全著者名：

上記の原稿は、今までに他の雑誌・書籍に掲載されたり、投稿中でないことを誓約いたします。また他の著作物の著作権を侵害していないこと、著作権許諾が必要な引用については無償での転載許可を書面で得ていることを誓約します。

この原稿が(公社)日本雪氷学会東北支部機関誌「東北の雪と生活」に掲載された場合は、(公社)日本雪氷学会著作権規程のとおり、その著作権を(公社)日本雪氷学会に譲渡することに同意します。

なお、この著作権譲渡の承認に関して、他の共著者全員の同意を得ていることを保障いたします。

代表者署名： _____ (_____ 年 _____ 月 _____ 日)

(署名は自筆でお願いします。捺印は不要です。原稿投稿時に添付して下さい。)

2021・2022年度 公益社団法人 日本雪氷学会東北支部役員

2021.07.28 現在

支部長	若林 裕之 (日本大学工学部教授)
副支部長	石田 祐宣 (弘前大学大学院理工学研究科准教授) 本谷 研 (秋田大学教育文化学部准教授)
理事	赤田 尚史 (弘前大学被ばく医療総合研究所教授) 朝岡 良浩 (日本大学工学部准教授) 石崎 武志 (東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター長、教授) 石田 祐宣 (弘前大学大学院理工学研究科准教授) 菊地 卓郎 (福島工業高等専門学校都市システム工学科准教授) 佐藤 研吾 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主任研究員) 常松 佳恵 (山形大学学術研究院准教授) 平山 順子 (北東北エリア雪崩事故防止研究会事務局) 本谷 研 (秋田大学教育文化学部准教授) 山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科教授)
監事	佐々木幹夫 (八戸工業大学名誉教授) 柳澤 文孝 (山形大学蔵王樹氷火山総合研究所副所長)
顧問	伊藤 驍 (国立秋田高専名誉教授) 中村 勉 (元岩手大学農学部教授) 力石 國男 (秋田看護福祉大学教授) 三崎 安則 (アルゴス技術顧問) 阿部 修 (元防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所長)
幹事長	安達 聖 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター特別研究員)
総務幹事	安達 聖 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター特別研究員)
会計幹事	荒川 逸人 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主幹研究員)
各県幹事 青森県	小関 英明 (青森職業能力開発短期大学校)

秋田県 鳥潟 幸男 (大館市教育委員会)
岩手県 武藤 由子 (岩手大学 農学部)
宮城県 川村 文芳 (日本気象協会東北支社事業サービス課)
山形県 山口 正敏 (日本地下水開発 (株))
福島県 竹田 稔真 (国立環境研究所福島地域共同研究拠点)

事業委員会

委員長 沖田 圭右 (日本地下水開発株式会社事業本部資源環境部補佐)
委員 佐藤 研吾 (防災科学技術研究所新庄雪氷環境実験所)
服部 恭典 (日本地下水開発 (株))

「東北の雪と生活」編集委員会

委員長 荒川 逸人 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター主幹研究員)
委員 朝岡 良浩 (日本大学工学部准教授)
加茂 祐一 (福島地方気象台)

東北雪氷賞選考委員会

委員長 山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科教授)
委員 赤田 尚史 (弘前大学被ばく医療総合研究所教授)
石崎 武志 (東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター長、教授)
小杉 健二 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター雪氷環境実験室長)
鈴木 利孝 (山形大学学術研究院教授)

以上

(公社)日本雪氷学会東北支部 特別・賛助会員名簿

(2022.1.31.現在)

特別会員

機関名	所在地	電話	会員区分
大蔵村役場	〒996-0212 山形県最上郡大蔵村大字清水2528番	0233-75-2111	3級
鮭川村	〒999-5202 山形県最上郡鮭川村大字佐渡2003-7	0233-55-2111	3級
新庄市	〒996-8501 山形県新庄市沖の町10番37号	0233-22-7891	3級
西和賀町	〒029-5512 岩手県和賀郡西和賀町川尻40地割40番地71	0197-82-3284	3級
舟形町役場	〒999-4601 山形県最上郡舟形町舟形263	0233-32-2111	3級
最上町	〒999-6101 山形県最上郡最上町向町644	0233-43-2111	3級

賛助会員

機 関 名		所 在 地	電 話	会 員 区 分
日本地下水開発(株)	〒990-2313	山形県山形市大字松原777	023-688-6000	1級
TN-PSG工法研究会	〒990-2305	山形県山形市蔵王半郷字松尾川94-7 共和防災建設株式会社内	023-688-8784	1級
(株) シンワ	〒990-0051	山形県山形市銅町1-1-36	023-641-7456	3級
東光計測(株)	〒990-2161	山形県山形市漆山字梅ノ木1985-4	023-686-4952	3級
東邦技術(株)	〒014-0041	秋田県大仙市大曲丸子町2-13	0187-62-3511	3級
東北企業(株)	〒990-2431	山形県山形市松見町11-19	023-622-7201	3級
東北電力ネットワーク(株)	〒980-8551	宮城県仙台市青葉区本町1-7-1	022-225-2111	3級
(株) ネクスコ・エンジニアリング東北	〒980-0013	宮城県仙台市青葉区花京院2-1-65	022-713-7277	3級
(株) 双葉建設コンサルタント	〒996-0002	山形県新庄市金沢字谷地田 1399-11	0233-22-0891	3級

題字：渡辺善八

東北の雪と生活 第36号

令和4年3月3日発行

発行 公益社団法人日本雪氷学会東北支部

編集委員長：荒川 逸人

事務局 〒996-0091 山形県新庄市十日町高壇 1400

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

幹事長：安達 聖

TEL 0233-22-7550

FAX 0233-22-7554

©2021 (公社) 日本雪氷学会

掲載された記事等の著作権は (公社) 日本雪氷学会に属する。