

東北の雪と生活

第 40 号

2025

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	雪氷災害対策のアップデート	石田 祐宣	1
論文			
	野外観測と室内実験による土壌凍結深と比抵抗の関係 —電気探査法を用いた土壌凍結深予測の可能性—	大場 春佳, 原田 鉦一郎	3
報告			
	吹雪変動の数値解析による底面境界条件の検討	根本 征樹, 富樫 数馬	9
	Sentinel-1 データを使用した機械学習による海氷密接度推定	若林 裕之, 有賀 颯宇	15
	福島県浜通り地域における ALPS 処理水海洋放出前後の月間降水中トリチウム濃度 北山 結彩, 桑田 遥, Khemruthai Kheamsiri, 福田 ほのか, 田中 和貴, 山田 椋平, 栗田 直幸, 滝沢 宜之, 斉藤 秀樹, 遠藤 雅宗, 天野 洋典, 鷹崎 和義, 赤田 尚史		21
	気候変動による雪質変化に関する情報創出と利活用 山崎 剛, 中村 一樹, 平島 寛行, 山口 悟, 蝦名 裕一		26
	山形蔵王における雪氷現象の観測(2024/2025 冬季) —樹氷形成状況と高度変化— 沖田 圭右, 山谷 睦, 沼澤 喜一		30
	地中熱利用施設計画時の熱応答試験で流量条件が異なる場合における 試験結果評価の一検討 山口 正敏		33
	「天からの手紙」を読み解きたい 後藤 博		35
	大館郷土博物館における雪氷教育の実践例 鳥潟 幸男		40
	秋田県とその周辺における 2024-25 年冬季の積雪の特徴 本谷 研		44
	2024/2025 年冬季の大雪による青森県雪氷災害調査 —積雪状況・被害状況調査および広域積雪調査— 荒川 逸人, 安達 聖, 中村 一樹, 石田 祐宣, 根本 征樹, 田村 健太, 平島 寛行, 山口 悟		48
	2024/2025 年冬季の大雪による青森県雪氷災害調査 —津軽地方における今冬の積雪の特徴— 石田 祐宣, 中村 一樹, 安達 聖, 荒川 逸人, 根本 征樹, 田村 健太, 平島 寛行, 山口 悟		54

資 料

東北雪氷賞受賞理由	63
東北雪氷賞（学術賞）を受賞して	本谷 研 65
公益社団法人日本雪氷学会 2025 年度東北支部理事会 議事録	67
公益社団法人日本雪氷学会 2025 年度東北支部総会 議事録	68
2024 年度（公社）日本雪氷学会東北支部事業報告・収支報告書	69
2025 年度（公社）日本雪氷学会東北支部事業計画・収支予算案	75
公益社団法人日本雪氷学会東北支部 支部規程施行内規	78
東北雪氷賞受賞者選考規程	80
東北雪氷賞受賞者リスト	82
日本雪氷学会東北支部「東北の雪と生活」投稿規程	84
「東北の雪と生活」原稿執筆要項	85
「東北の雪と生活」著作権譲渡承諾書	87
2025・2026 年度 公益社団法人 日本雪氷学会東北支部役員	88
（公社）日本雪氷学会東北支部 特別会員・賛助会員	90

巻 頭 言

雪氷災害対策のアップデート

公益社団法人 日本雪氷学会東北支部長 石田 祐宣



2025 年度より，日本雪氷学会東北支部の支部長を拝命しました．これまで気の向くままに雪氷分野の研究をして参った者としては，支部長職の選出は青天の霹靂でありましたが，年齢は中年期真つただ中に突入しており，身に余る役職ではありますが襟を正してお引き受けすることにしました．これまでの支部の活動を維持しつつ，新たな会員の獲得につながるような活動もできればと考えておりますので，是非とも東北支部の皆様にはご協力をお願いいたします．

令和 6 年度 (2024/2025 年) 冬季は，北日本から西日本の日本海側を中心に広い範囲で大雪となりました．青森県では年末からかなりの降雪があり，弘前では 2 月 23 日に 160 cm の積雪で観測史上 1 位を更新しました．これにともない，例年発生する除雪時の事故も増加しました．年末年始の帰省時期には，道路だけでなく奥羽本線も長い期間除雪のための運休が続き，大きな社会問題となりました．また，融雪時期になると，リンゴ樹の幹・枝折れの被害が徐々にあらわとなり，結果的に被害額もまた記録を更新してしまいました．私の所属する弘前大学と防災科学技術研究所雪氷防災研究部門とは，令和 5 年に雪氷防災研究に関する協定を結んでいたため，比較的にスムーズに積雪やその被害の状況を協力して調査することができました．（その内容については，本号でも報告していますのでご覧いただければ幸甚です．）一方で痛感したのは，自治体側との情報共有の難しさです．これをきっかけに，青森県も巻き込んだ三者協定へと発展させることに成功しました．以前は縦割り行政などと揶揄されるように，（失礼ながら）異なる組織間には壁を感じていましたが，現在は組織間で連携する活動が行いやすくなってきた感触があります．

ここ 3 年ほどは目立った高温状態が続いており，温暖化を意識せざるを得ません．積雪に関しては基本的に量も期間も減少トレンドとなることが予測されていますが，一方で上記の事例のような極端なドカ雪が発生することも懸念されます．また，温暖化にともない積雪密度が初冬から重く除雪の負担が増していたり，春先の高温により融雪をきっかけとした地すべりが発生した事例もありました．雪氷災害への影響はまだまだ予断を許しませんし，核家族化あるいは単身世帯の増加や高齢化など社会の変化により災害の種類も変化しているように感じます．市民の防災意識が高まってきている今，我々は何ができるのでしょうか？行政や社会がどういった情報を求めているのか，必要なのかということも念頭に置きながら，科学を社会へ還元するという意識も必要であると感じます．それだけでなく，普段起こっている現象を我々雪氷研究者が一般市民に対して科学的に説明する機会がもっとあっても良いと思います．こうした活動を通して，雪氷研究者のすそ野を広げることができればと考えます．良いアイデアがありましたら，是非ご意見をお寄せください．

会員増を願いつつも、現実を見ると役員として実働できるメンバーが先細りの状態になっています。さらには、なかなか本務以外の仕事に時間が割けないという声も多く耳にします。役員の皆様のご負担を減らすために、これまで以上に事務手続きの効率化を進めながらも、できでしたら役員体制のコンパクト化も実現したいと考えています。また、全国大会である雪氷研究大会は4つある支部の持ち回りで開催されており、順番としては2027年に我々東北支部が担当となります。気の早い話に聞こえるかもしれませんが、体制作りは2026年前半に行う必要があります。東北支部の皆様のお力添えを、どうぞよろしくお願い申し上げます。

野外観測と室内実験による土壌凍結深と比抵抗の関係

－電気探査法を用いた土壌凍結深予測の可能性－

大場春佳・原田鉦一郎（宮城大学）

Relationship between frost depth and resistivity by field observations and laboratory experiments

-Possibility of predicting frost depth using electrical resistivity method-

Haruka OHBA, Koichiro HARADA (Miyagi University)

1. はじめに

食料生産の現場である農地では、遅霜の対策や春の種蒔きの時期の見極めが重要となり、そのためには土壌中の水分量、温度分布、冬季間の土壌凍結深などの地下情報を正確にモニタリングする必要がある。また、近年では土壌凍結深の減少により発生する野良イモが問題化している。そのために、特に冬季間の農地の状態を把握することは重要である。

土壌凍結深を測定する方法として凍結深計がある（例えば木下ら，1967）。これは、チューブ内の液体の凍結を目視で確認することにより、土壌の凍結・融解状況を把握することができるものである。装置は安価で作成可能であり、また地表面からのドリルによる設置が可能であり掘削が必要ないために攪乱を防ぐことができる。一方で、凍結深計での測定は一点であり、面的な広がりはない。

地表面下の情報を非破壊で得る方法として物理探査がある。このうち、直流電気探査法は手軽に利用できる方法で、地下の比抵抗を測定することによって地下の情報を得ることができ、水資源の管理（地下水位の推定）や永久凍土の深度探査などに広く用いられている（例えば Harada and Yoshikawa, 1996）。永久凍土などを対象として凍結した土壌の探査に用いる場合は夏季つまり土壌表面付近が未凍結状態での利用が多く、冬季間での凍結深などを測定する探査例は少ない。また、凍土の温度と比抵抗の関係は原田・福田（2000）などで明らかにされている。一方、土壌凍結深と比抵抗の関係は、野外観測および室内実験共にこれまでに研究例は少ない。

そこで、この二つの方法を組み合わせることによって、簡便に非破壊で地下の情報（土壌の凍結状態）を得る方法を実践した。本研究では、直流電気探査法を用いることにより、野外観測と室内実験によって凍結に伴う比抵抗の変動を明らかにし、土壌凍結深と土壌の比抵抗の関係を明らかにすることを目的とする。最終的に、直流電気探査法によって得られた比抵抗の情報から地下の土壌凍結深を予測する方法を構築することを目指す。

2. 測定方法

2-1 比抵抗

導線の電気抵抗を考える場合、抵抗 R は長さ L に比例して断面積 S に反比例する。この関係を表すと以下の式となり、この時の比例定数 ρ が比抵抗であり、単位は $\text{ohm}\cdot\text{m}$ などである。比抵抗は電気伝導度の逆数である。

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

土の比抵抗は、土質・温度・含水量などに依存する。 0°C を境に不連続に変化し、凍結時の土の比抵抗は未凍結時の 100～1000 倍になることが知られている（原田・福田，2000）。また、同じ

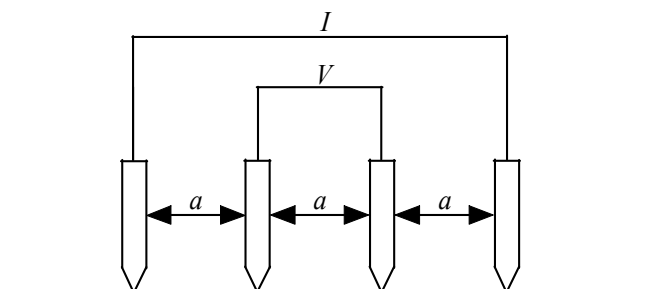


図 1 ウェンナー法での電極配置図。

土質であれば含水量が増えると比抵抗は減少する。すなわち、土の比抵抗の変化は水の量や状態に反応することとなる。

2-2 直流電気探査法

直流電気探査法の原理は、土試料（土壌）に一定の直流電流（交替直流）を流し、それによって励起される電位差より土試料の比抵抗を求めるものである。垂直方向の探査（垂直探査）では、電極間隔を広くすることにより探査深度を深くすることができる。電極間隔（探査深度）毎に得られる比抵抗は見掛け比抵抗と呼ばれ、地表面から探査深度までの積算

値として考えられる。垂直探査では、この見掛け比抵抗を電極間隔（探査深度）の関数として表示し、層構造を仮定して各層の比抵抗と境界深度を数値計算で求めることとなる。

本研究で用いた電極配置は、野外観測・室内実験共にウェンナー法である（図 1）。電極間隔 a とした時の見掛け比抵抗 ρ_a は、外側の電流電極から土試料に流した電流 I と内側の電位電極に励起された電位差 V で以下の式で表すことができる。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$

本研究では、野外観測と室内実験において見掛け比抵抗の変動を捉えることとした。見掛け比抵抗の取得に使用した機器は、IRIS 社の小型比抵抗探査装置 SYSCAL KID である。

2-3 野外観測概要

野外観測地は、宮城県蔵王町に位置するみやぎ蔵王えぼしスキー場である。ここでは 2013–2014 年冬季に標高の異なる 4 地点で気温・地温・積雪深・土壌凍結深の測定が行われた（佐々木ら, 2014）。観測地はスキー場であり積雪は多く、1m を超える積雪深も観測している。このために、土壌凍結は標高 1,020m に位置する石子ゲレンデのみで観測され、最大凍結深は 30cm を超えている。ここは他の観測地点と比較すると積雪深は少ない。これは石子ゲレンデでは風が強く、積雪が飛ばされるためであり、2 月でも積雪深がゼロになることもあった。そこで本研究では、この石子ゲレンデを観測地点とした（図 2）。観測期間は 2024 年 10 月から 2025 年 5 月までである。なおそれ以降も継続して測定は実施している（2025 年 6 月現在）。測定項目は見掛け比抵抗、土壌凍結深、積雪深である。

観測地点に、直交する 2 本の電気探査用の側線（Line 1, Line 2）を設定した（図 3）。1m 間隔に電極を配置し 1m 深までの見掛け比抵抗の測定を行った。この場合、それぞれの側線で電位電極 P1・P2 間の 1m 深までの見掛け比抵抗を得ることとなる。なお、Line 1 の電極 C2 と Line 2 の電極 C1 は共有することとした。

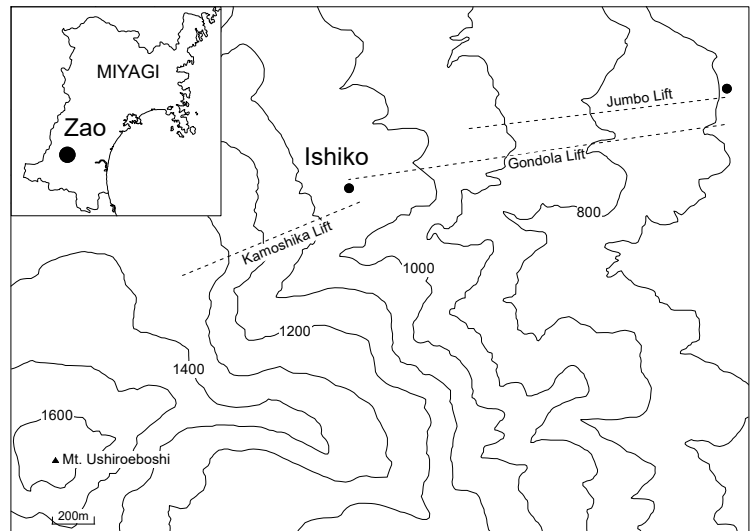


図 2 観測地（石子ゲレンデ）位置図。

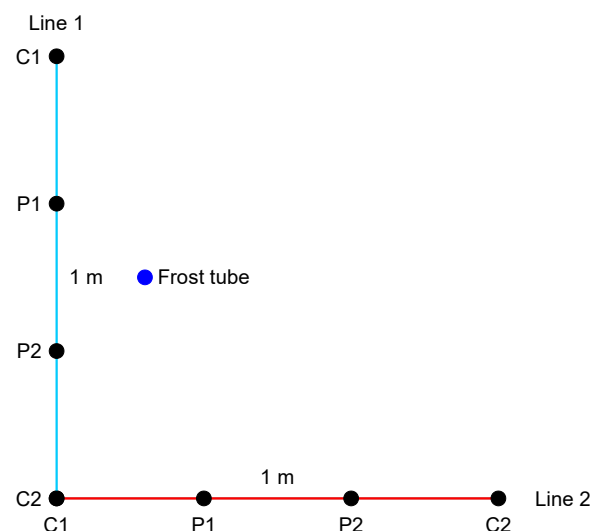


図 3 観測地での側線・電極・凍結深計の配置。

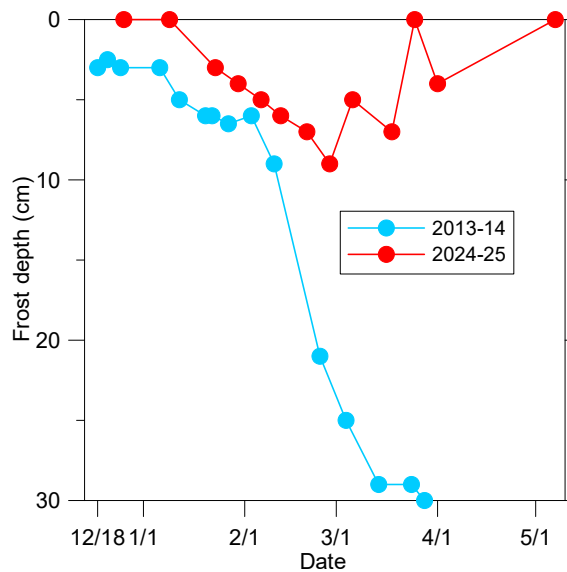


図 4 石子ゲレンデでの土壌凍結深の変動.

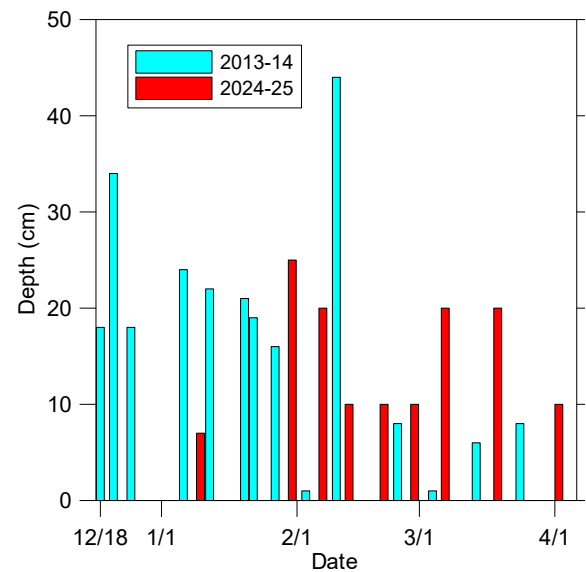


図 5 石子ゲレンデでの積雪深の変動.

土壌凍結深は凍結深計で測定し (図 3 中の「Frost tube」), 積雪深は電極の周りで直接測定した. 測定は, 土壌凍結前の 10 月から 1 月上旬までは 2 週間に 1 回の頻度で行い, 土壌凍結中 (1 月中旬から 3 月下旬まで) は 1 週間に 1 回実施した. 4 月以降は 1 ヶ月に 1 回の測定を継続している.

2-4 室内実験概要

室内実験では, 土試料を縦 41cm 横 46cm 深さ 34cm の発泡スチロール容器に詰めて, 温度のコントロールが可能な恒温槽に入れ, 土試料を凍結させた. 使用した土試料は, 学内の圃場より採取した黒ボク土であり, 粒径の調整を行っていない.

比抵抗測定用の電極にはテント用の鉄製のペグを用いて, 10cm 間隔のウェンナー法の電極配置で電極を設置した. これにより, 10cm 深までの見掛け比抵抗を測定することができる. 土壌凍結深は凍結深計によって測定した.

測定を行った土試料の体積含水率は 10%, 20%, 40%である (未凍結時に測定). 測定では, 恒温槽で温度を -15°C に設定して定値運転をさせ, 土試料の表面から凍結させた. 測定は 1 時間ごとに行い, その時の見掛け比抵抗と凍結深を記録した. 本実験では, 凍結深が 0cm (未凍結) から 15cm までの比抵抗を測定した.

3. 測定結果

3-1 野外観測

図 4 に石子ゲレンデでの土壌凍結深の変動を, また図 5 に凍結深計近くで測定した積雪深の変動を示す. それぞれ 2013-2014 年冬季での測定値も併せて表示した (佐々木ら, 2014). 石子ゲレンデは風の通り道となっているために, 冬季間でも積雪が少ない (図 5). このために土壌凍結が進行し, 1 月 23 日に 3cm の凍結を記録し, 最大で 2 月 27 日に 9cm の土壌凍結深が観測された (図 4). その後, 土壌凍結深は減少し, 3 月末に一度融解した後の 4 月に再凍結している.

石子ゲレンデでの見掛け比抵抗の変動を図 6 に示す. 未凍結時も含めて測定期間を通して, 側線 2 での見掛け比抵抗は側線 1 よりも高くなっている. 両側線共に, 季節の進行と共に土壌凍結深が増加し, また見掛け比抵抗も増加していくことが分かった. 見掛け比抵抗の最大値は凍結深と同様に 2 月 27 日に記録した. 最大凍結時の見掛け比抵抗を未凍結時の値と比較すると, Line 1 では 2.2 倍, Line 2 では 1.8 倍となっていることが分かった.

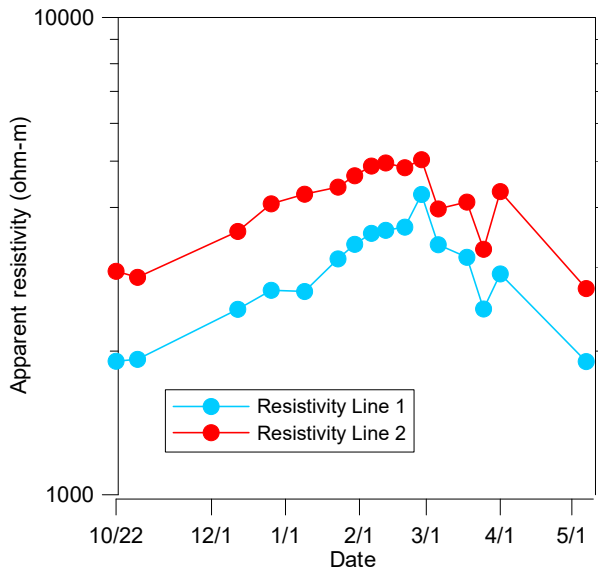


図 6 石子グレンデでの見掛け比抵抗の変動.

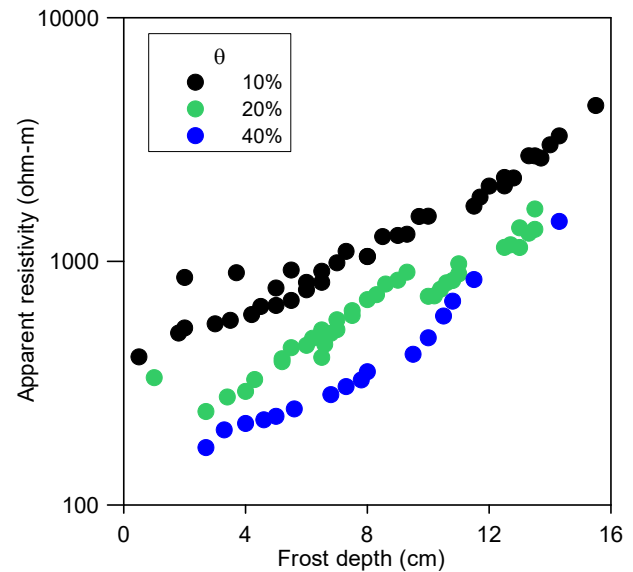


図 7 室内実験による凍結深と見掛け比抵抗の関係 (θ : 体積含水率) .

3-2 室内実験

図 7 に室内実験で得られた見掛け比抵抗を土壌凍結深と共に示す. 未凍結状態および凍結後の同じ凍結深で比較すると, 体積含水率 θ の増加に伴って見掛け比抵抗は減少することが分かった. またすべての体積含水率において, 凍結深の増加に伴って見掛け比抵抗は増加していくことが分かった. これは, 土試料中の水 (液体) がより比抵抗の高い氷 (固体) に変化するためであり, 温度と比抵抗の関係を表した原田・福田 (2000) に結果と矛盾しない.

本実験では, 10cm 深までの見掛け比抵抗を測定しているが, その全層が凍結したと考えられる凍結深が 10cm での見掛け比抵抗は, 未凍結時の値のそれぞれ 4.4 倍 ($\theta=10\%$), 3.4 倍 ($\theta=20\%$), 4.9 倍 ($\theta=40\%$) となっていることが分かった.

4. 考察

4-1 野外観測

図 4 より, この冬の石子グレンデでは土壌凍結深は最大で 9cm であった. 一方, 2013-2014 年冬季では, 最大凍結深は 30cm を超えている (佐々木ら, 2014). 石子グレンデでのこの冬の気温測定データがないために, 気象庁の気象観測地点 (蔵王・標高 112m) での冬季間の月平均気温を比較したところ, 大きな差が見られなかった. 土壌凍結の最大深を記録した時期を比較すると, 2013-2014 年冬季では 3 月末に, この冬は 2 月末に記録している. 2 月末までの土壌凍結深の変動は 2 冬共に同様の傾向を示しており (図 4), その後の積雪深が 2013-2014 年冬季では 10cm 以下であるのに対して, この冬では 20cm 以上を記録することもあり (図 5), 積雪の多さが土壌凍結の進行を妨げている可能性がある.

電気探査を実施した 2 つの側線 Line 1 と Line 2 では, 測定された見掛け比抵抗の値が異なった (図 6). 未凍結時の値が既に異なることから, 2 つの側線で

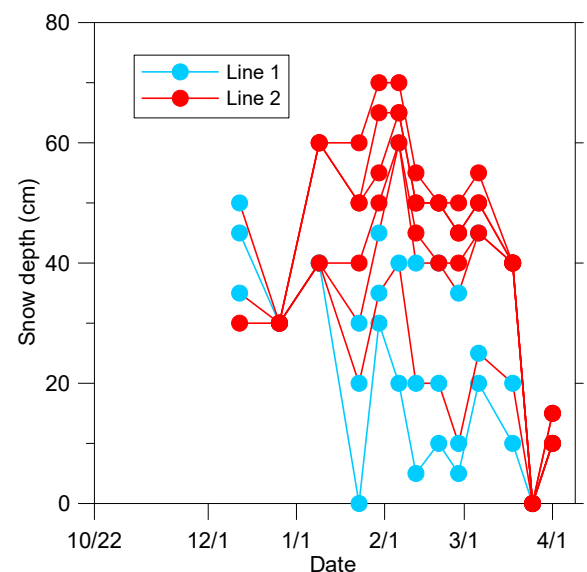


図 8 石子グレンデでの積雪深の変動.

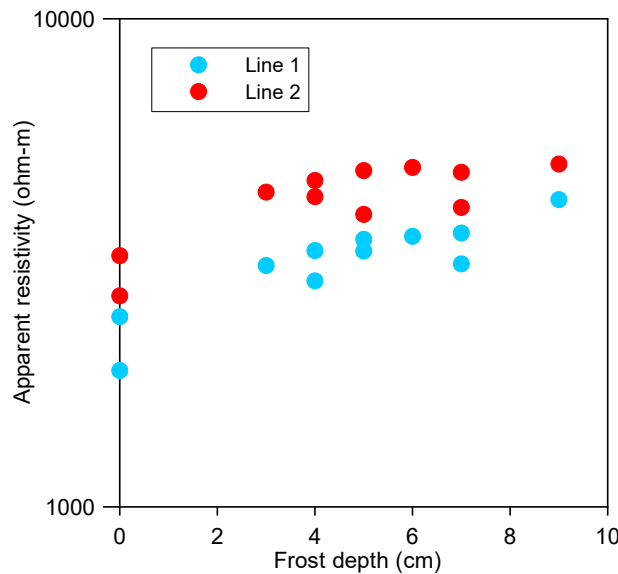


図 9 石子グレンデでの凍結深と見掛け抵抗の関係。

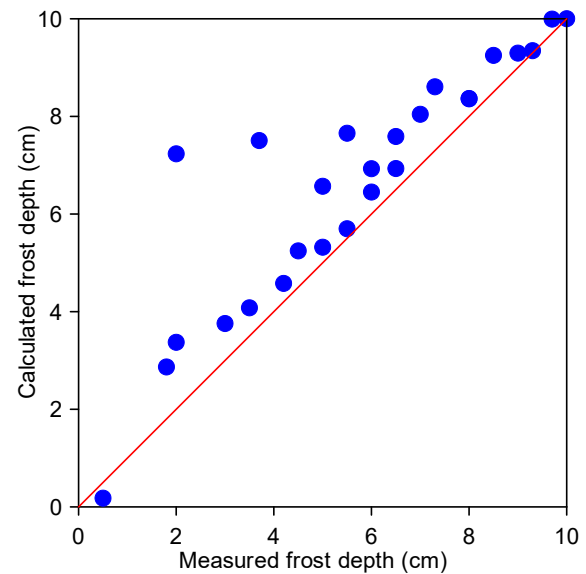


図 10 土壌凍結深の並列モデルでの計算結果
(初期含水率 10%) .

地下構造が異なると考えられる．今後，ピット掘削によって確認したい．

また最大凍結時の見掛け抵抗は，未凍結時の値のそれぞれ 2.2 倍と 1.8 倍であった．この見掛け抵抗の増加の差異は，2 つの側線で実際の凍結深が異なっている可能性がある．図 8 に 2 つの側線の電極周辺での積雪深の変動を示している．Line 1 では最大で 60cm の積雪深ではあるが，ほとんどの期間で 40cm 以下であり，一方，Line 2 では 40cm 以上の積雪深がある期間が長い．この積雪条件の差異が土壌凍結深の違いを生み，見掛け抵抗の差となっている可能性がある．今後は凍結深計を増やして側線沿いに詳細な土壌凍結の測定を試みたい．

本研究で得られた見掛け抵抗と土壌凍結深の関係を図 9 に示す．このうち，土壌凍結の開始時（1 月 23 日に 3cm を記録）から最大凍結深（2 月 27 日に 9cm を記録）までの期間について，土壌凍結深（FD : cm）と見掛け抵抗（AR : ohm-m）は，以下で示す指数関数で表すことができた．

$$\text{Line 1 : } AR = 2734 \times \exp(0.0466 \times FD) \quad (R^2 = 0.941)$$

$$\text{Line 2 : } AR = 4303 \times \exp(0.0191 \times FD) \quad (R^2 = 0.723)$$

このとき，土壌凍結深（FD）が 0 のとき，すなわち未凍結状態での見掛け抵抗（AR）は以下となる．

$$\text{Line 1 : } AR = 2734 \text{ ohm-m}$$

$$\text{Line 2 : } AR = 4303 \text{ ohm-m}$$

また未凍結時（凍結直前の 1 月 9 日）の見掛け抵抗の測定値は以下となり，良い一致を見せている．

$$\text{Line 1 : } AR = 2667 \text{ ohm-m}$$

$$\text{Line 2 : } AR = 4265 \text{ ohm-m}$$

これは，次年度以降，同じ側線においてはこの関係式を用いることによって，測定された見掛け抵抗より土壌凍結深の推定が可能であると考えられる．また，次年度以降に同じ側線で再測を行い，さらにこの推定式の改良を行う．

4.2 室内実験

本研究の室内実験では，均質な土壌（黒ボク土）を用いている．土壌凍結深（FD : cm）と見掛け抵抗（AR : ohm-m）の関係は正の相関を見せており，その関係は指数関数で表すことができる．体積含水率 θ 毎に示すと以下となる．

$$\theta = 10\% : AR = 378 \times \exp(0.1414 \times FD) \quad (R^2 = 0.956)$$

$$\theta = 20\% : AR = 195 \times \exp(0.1436 \times FD) \quad (R^2 = 0.723)$$

$$\theta = 40\% : AR = 97 \times \exp(0.1744 \times FD) \quad (R^2 = 0.960)$$

これらの関係式において、土壌凍結深 (FD) が 0 のとき、すなわち未凍結の状態での見掛け抵抗 (AR) は以下となる。

$$\theta=10\% : AR=378 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

$$\theta=20\% : AR=195 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

$$\theta=40\% : AR=97 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

実際の未凍結時の見掛け抵抗の測定値は以下となっている。

$$\theta=10\% : 345 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

$$\theta=20\% : 262 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

$$\theta=40\% : 99 \text{ ohm}\cdot\text{m}$$

これらの値は $\theta=20\%$ ではやや離れているが、良い一致を見せていると考えられる。

4.3 土壌凍結深の推定

以上より、見掛け抵抗と土壌凍結深は以下の関係で表すことができると考えられる。

$$(\text{凍結時の見掛け抵抗}) = (\text{未凍結時の見掛け抵抗}) \times \exp(\text{土壌凍結深} \times \text{係数})$$

係数 室内実験 : 0.14~0.17

野外観測 : 0.019~0.047

室内実験は均質な土壌条件下で行っており、このような条件では見掛け抵抗の測定によって土壌凍結深の推定が可能であると考えられる。

一方野外観測においては、同様に見掛け抵抗の測定より土壌凍結深の推定が可能であるが、係数が広範囲にわたっており、その原因の解明に地下の構造の確認を行うなどが必要と考えられる。また、より多くの土壌凍結深での見掛け抵抗の取得によって、さらなる推定の可能性を探りたい。

また室内実験で得られた見掛け抵抗より、土壌凍結深の推定モデルを構築した。凍結層と未凍結層の抵抗の並列接続モデルを考えて、実験結果より未凍結層と凍結層の比抵抗を与えた。初期含水率 10%の実験結果について、凍結深を 0cm から 10cm まで変化させてその時の見掛け抵抗から凍結深を推定したところ、凍結深計で実際に測定した値よりも深くなることが分かった (図 10)。今後、与える比抵抗を調整するなどして、より正確なモデルの構築を目指す。このモデルを発展させて、多層構造のモデルを構築することにより、不均質な土壌条件での凍結深の推定が期待される。

5. まとめ

野外観測と室内実験より、土壌凍結深の変化による見掛け抵抗の変動が明らかになった。野外観測では、見掛け抵抗の変動より積雪深の影響で土壌凍結深が変化している可能性が示唆された。凍結した土壌の見掛け抵抗は土壌凍結深の関数として表すことが可能であり、未凍結時の見掛け抵抗を利用して、凍結深の推定が可能であると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、宮城蔵王観光株式会社の門脇次男社長をはじめとする皆様には野外観測地を提供していただくなど協力を得ている。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

原田鉦一郎, 福田正己 (2000). 凍土の比抵抗の測定. 雪氷, **62**, 15-22.

Harada, K. and Yoshikawa, K. (1996). Permafrost age and thickness near Adventfjorden, Spitsbergen. *Polar Geography*, **20**, 4, 267-281.

木下誠一, 鈴木義男, 堀口薫, 田沼邦雄, 青田昌秋 (1967). 紋別における凍上観測結果 (昭和 41~42 年冬季). 低温科学物理篇, **25**, 229-232.

佐々木裕明, 原田鉦一郎, 伊吹竜太 (2014). みやぎ蔵王えぼしスキー場における冬季土壌環境のモニタリング. 東北の雪と生活, **29**, 27-30.

吹雪変動の数値解析における底面境界条件の検討

根本征樹・富樫数馬 (防災科研 雪氷防災研究センター)

On bottom boundary conditions in numerical analysis of blowing snow fluctuations
Masaki NEMOTO, Kazuma TOGASHI (Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

吹雪現象の数値解析において、その変動も含めた解析に際しては Large-Eddy Simulation (LES) による非定常解析による手法が一般的となってきた。既存研究では LES により風速場 (気相) を計算するとともに、吹雪粒子の運動 (粒子相) は LES とカップリングさせた Lagrange 的手法に基づき直接計算し、吹雪の跳躍から浮遊への遷移過程などが解析されてきた (Okaze *et al.* (2018) や Sharma *et al.* (2018) など)。一方で、この手法は計算粒子数の制限が生じることから、特に広い計算領域を対象とする場合は、粒子相の計算に輸送方程式 (移流拡散方程式) に基づく Euler 的手法を適用することになる。その際、底面付近の跳躍層の扱いや、より上方の浮遊層との関連の処理など、様々な課題が生じる。こうした状況を踏まえ、本研究では、Euler 的手法に基づく吹雪の LES モデル解析を実施するとともに、雪面付近の変動特性について風洞実験結果との比較検討も実施した。

2. 手法

LES について、Johns Hopkins 大学で開発された LESGO (Graham and Meneveau, 2012 など) を用いた。LESGO では、乱流モデルにおいて scale-dependent Lagrangian dynamic model が用いられており、LES における標準的な乱流モデルと比較して大気境界層乱流の特性を精度よく解析できる (Bou-Zeid *et al.*, 2005)。このモデルに吹雪空間濃度 c (kg m^{-3}) の輸送方程式の計算を追加することで吹雪粒子相を計算する。この場合、吹雪浮遊層を対象とした計算となる。輸送方程式の下部境界条件として、跳躍層を含む雪面付近での削剥、堆積過程の影響を底面上の第一格子点で考慮する必要がある。本研究では、花粉等の粒子飛散の解析例 (Chamecki *et al.*, 2009) を参考に、浮遊粒子濃度の平衡鉛直分布を仮定した以下の式で底面流量 ϕ を与えた。

$$\phi = -w_f \frac{c(z_1) - c_r \left(\frac{z_1}{z_r}\right)^{-\alpha}}{1 - \left(\frac{z_1}{z_r}\right)^{-\alpha}} \quad (1)$$

ここで c は吹雪の空間濃度 (kg m^{-3})、 w_f は大気中における吹雪粒子の落下速度 (根本ほか (2010) の検討に基づき 0.2 m s^{-1} とした)、 z は高度である。 z の添え字の 1 は鉛直格子第一点、 r は基準高度 ($z_1 > z_r$) であり、後者は跳躍層高さとした。また $\alpha = w_f / (\kappa u_*)$ (κ : カルマン定数、 u_* : 摩擦速度) であり、吹雪粒子の落下速度と乱流拡散速度スケールとの比に対応する。なお式 (1) は底面付近の堆積量と削剥量との収支に相当する。 c_r の値については、Vionnet *et al.* (2014) および Sharma *et al.* (2023) による領域スケールモデルにおける計算方法と同様とし、吹雪跳躍層の輸送量や濃度鉛直分布等の影響を考慮して計算した。

なお LESGO では水平微分に疑スペクトル法が使われているが、吹雪などのスカラー輸送量の計算においては非物理的な振動解が生じるため、吹雪粒子相については Chamecki *et al.* (2008) による擬スペクトル法と有限体積法を組み合わせたハイブリッドスキームを利用し、振動解を抑制した。

その他計算条件として、計算領域は $64 \text{ m} \times 64 \text{ m} \times 32 \text{ m}$ として、メッシュ数はいずれの方向も 64 とした (水平方向は定間隔、鉛直方向は不定間隔: $0.1 \sim 1 \text{ m}$)。計算時の設定摩擦速度 u_* は 0.40 m s^{-1} 、

粗度 $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ とした．輸送方程式の計算において Schmidt 数は Li and Taylor (2005) の結果を参考に 1 と近似した．時間ステップは 0.002 sec. とし，60 万ステップの計算を実施した．

雪面付近の変動特性について，風洞実験結果との定性的な比較検討も実施した．実験は防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の低温風洞装置を利用した．室温を -15°C に設定し，風洞装置 ($14 \times 1 \times 1 [\text{m}]$) の底面に，ふるいでほぐしたしまり雪を敷き詰めて雪面を形成し，その上で吹雪を発生させた．雪面上の 4 高度 (0.015, 0.04, 0.08, 0.12 m) に SPC (Snow Particle Counter ; SPC-S7, 新潟電機株式会社)，2 高度 (0.04, 0.12 m) に超音波風速計 (DA-600/WAT-395, KAIJO) を設置し，飛雪流量の変動と風速変動の同時測定を行なった．センサーからのアナログ出力はデータロガー (WX-7032, TEAC) に 100 kHz で記録し，そのアナログ出力を直接解析することで，SPC の標準応答周波数である 1 Hz を上回る短時間変動 (例えば 10 Hz, 20 Hz など) の解析も可能となる．なお超音波風速計の応答周波数は 20Hz (DA-600)，10Hz (WAT-395) である．風洞の最上流部分には乱流境界層の発達を促進させるためのスパイヤーを設置したほか，乱流強度を増すために鋸型のバリアも設置した．これにより，吹送距離 (X) が 12 m 付近で約 0.4 m の厚さの境界層が形成された．

3. 結果

3-1 空間濃度の鉛直分布

図 1 に水平風速 u および吹雪空間濃度 c の鉛直分布を示す．これらの分布は水平方向に平均化されたものである．時間が推移し概ね定常状態に達した段階で，風速は対数分布則，吹雪空間濃度は浮遊層で一般的に成立が認められるべき乗分布に概ね従う結果となった．

図 2 に複数高度における水平・鉛直風速と飛雪流量の時間変化を表す．風速・飛雪流量のいずれも激しく変動するが，風速が定常に達した後，それぞれの要素の変動量について，他高度と重なるような変動は少なく，瞬間的な分布においても平均分布と比べて極端に大きな変化は見られなかった．ただし瞬間的な極大値・極小値が出現する時間は高度毎にずれが生じてやや異なるなど，高度変化に伴う位相のずれも生じている．比較のため，図 3 に風洞実験における同様の結果を示すが，変化傾向は上述した数値計算と概ね同様であった．ただし対象としている高度が全く異なる (数値計算：浮遊層，実験：跳躍層) ため，定量的な比較はできないことに留意されたい．

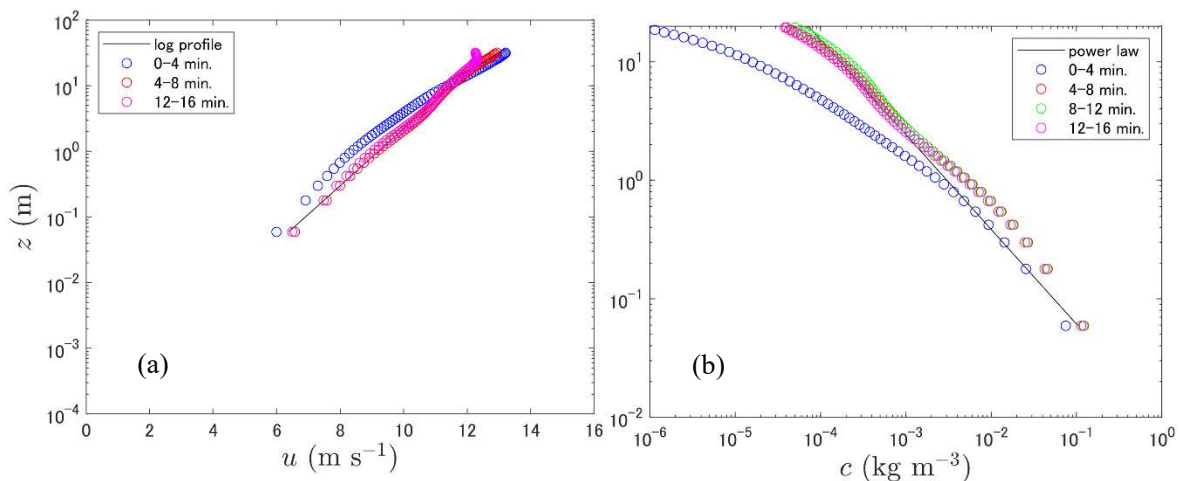


図 1 風速 (a)，および吹雪空間濃度 (b) の平均値の鉛直分布．

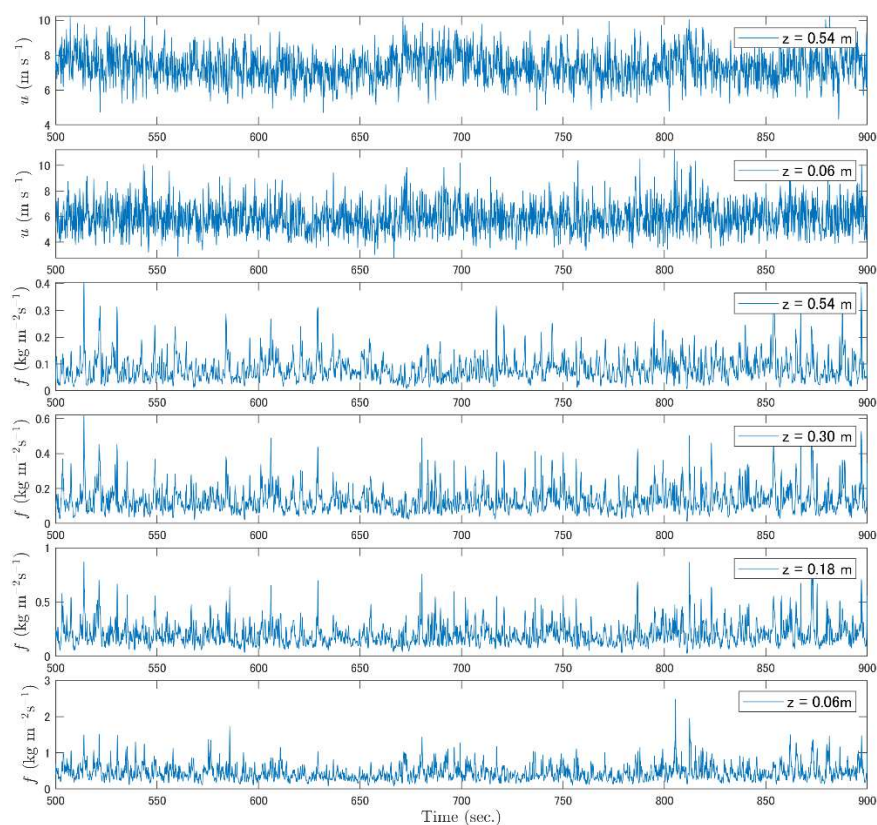


図 2 水平風速と飛雪流量の時間変化 (数値計算).

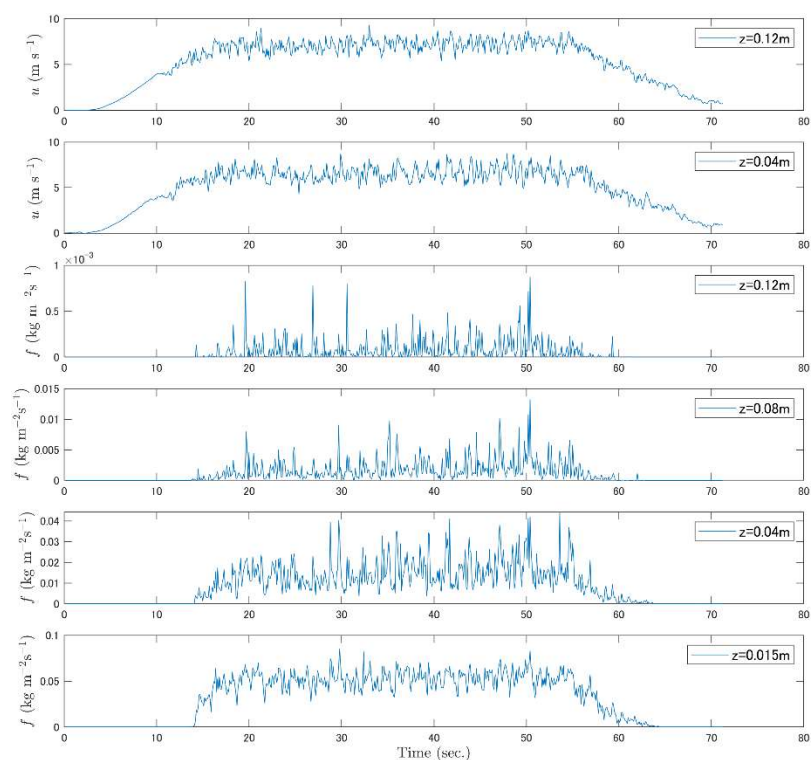


図 3 水平風速と飛雪流量の時間変化 (風洞実験).

図 4 に一様水平面上での飛雪流量の瞬間値の鉛直分布を示す．瞬間的な分布はばらつきが生じるものの，分布形状の極端な変化は見られなかった．図 5 に時間平均値と標準偏差の分布を示す．平均時間は 1~10 秒で変化させた．分布形状は平均時間を変えた場合でもさほど変わらない結果となり，またこの結果は風洞実験でも同様であった．本研究では LES による変動計算において，吹雪濃度の底面境界条件に平衡状態での鉛直分布を仮定した式 (1) を適用しておりその妥当性が重要な課題となるが，実験結果による吹雪濃度変動場の瞬間的な鉛直分布でも一様分布形状に近い関係が見られ，平均的な分布形を仮定する Chamecki et al. (2009) の手法について一定程度の妥当性があると言える．

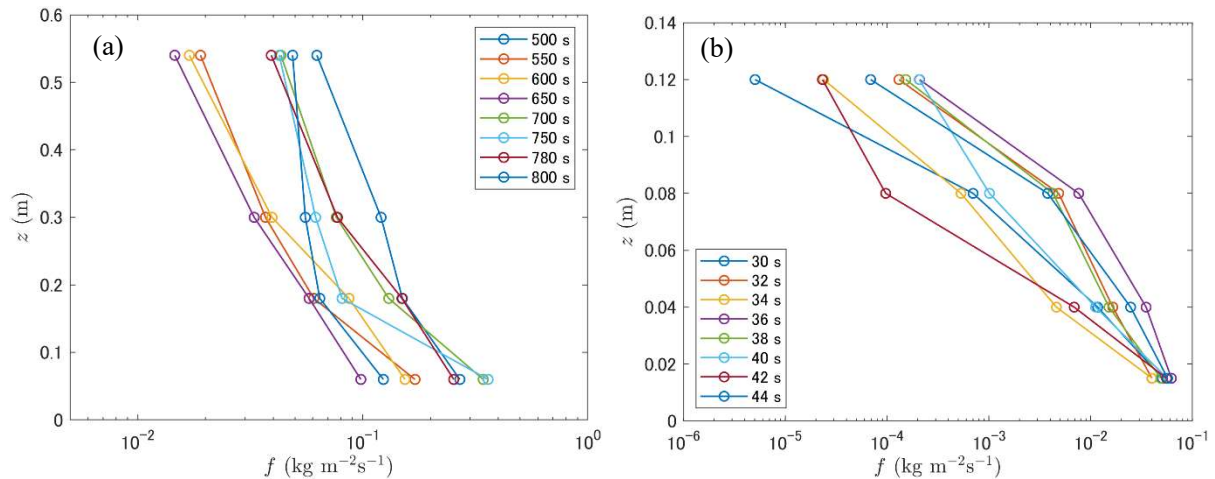


図 4 飛雪流量の鉛直分布（瞬間値）．(a)：数値計算，(b)：風洞実験．

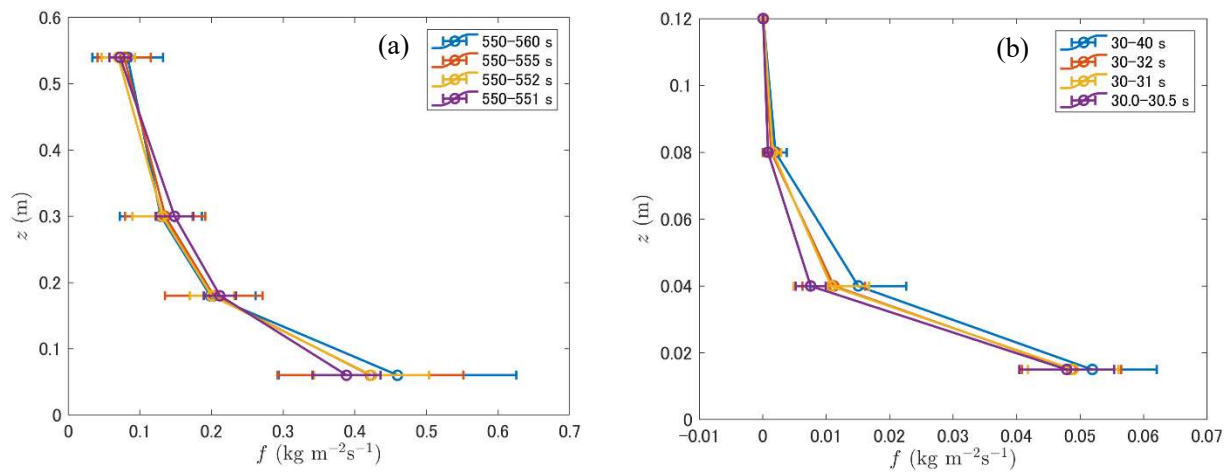


図 5 平均化時間を変化させた飛雪流量の鉛直分布．(a)：数値計算，(b)：風洞実験．

2 章に記載した様に、式 (1) は底面付近の堆積量と削剥量との収支に相当している．これは式 (1) が乱流による鉛直拡散と重力による沈降との重ね合わせになっていることから理解できる．それを踏まえて、底面付近（格子第一点上）での削剥量 ϕ_{dep} 、堆積量 ϕ_{ero} および正味の堆積量 ϕ （削剥量+堆積量）を、風速水平分布とあわせて図 6 に示す．風速にストリーク構造が見られ $y=30\text{ m}$ 付近がやや弱風域となっており、それに対応して削剥量、堆積量もこの領域では少なくなっている．図 6 (b), (c), (d) のそれぞれについて面平均値を求めた結果、 $\langle\phi_{\text{ero}}\rangle=0.0210$ 、 $\langle\phi_{\text{dep}}\rangle=-0.0209$ 、 $\langle\phi\rangle=\langle\phi_{\text{ero}}\rangle+\langle\phi_{\text{dep}}\rangle=7.6250\times10^{-5}\text{ (kg m}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{)}$ となり、正味堆積量はほぼゼロとなるため、一様水平面上では概ね平衡状態にあると見なされる．

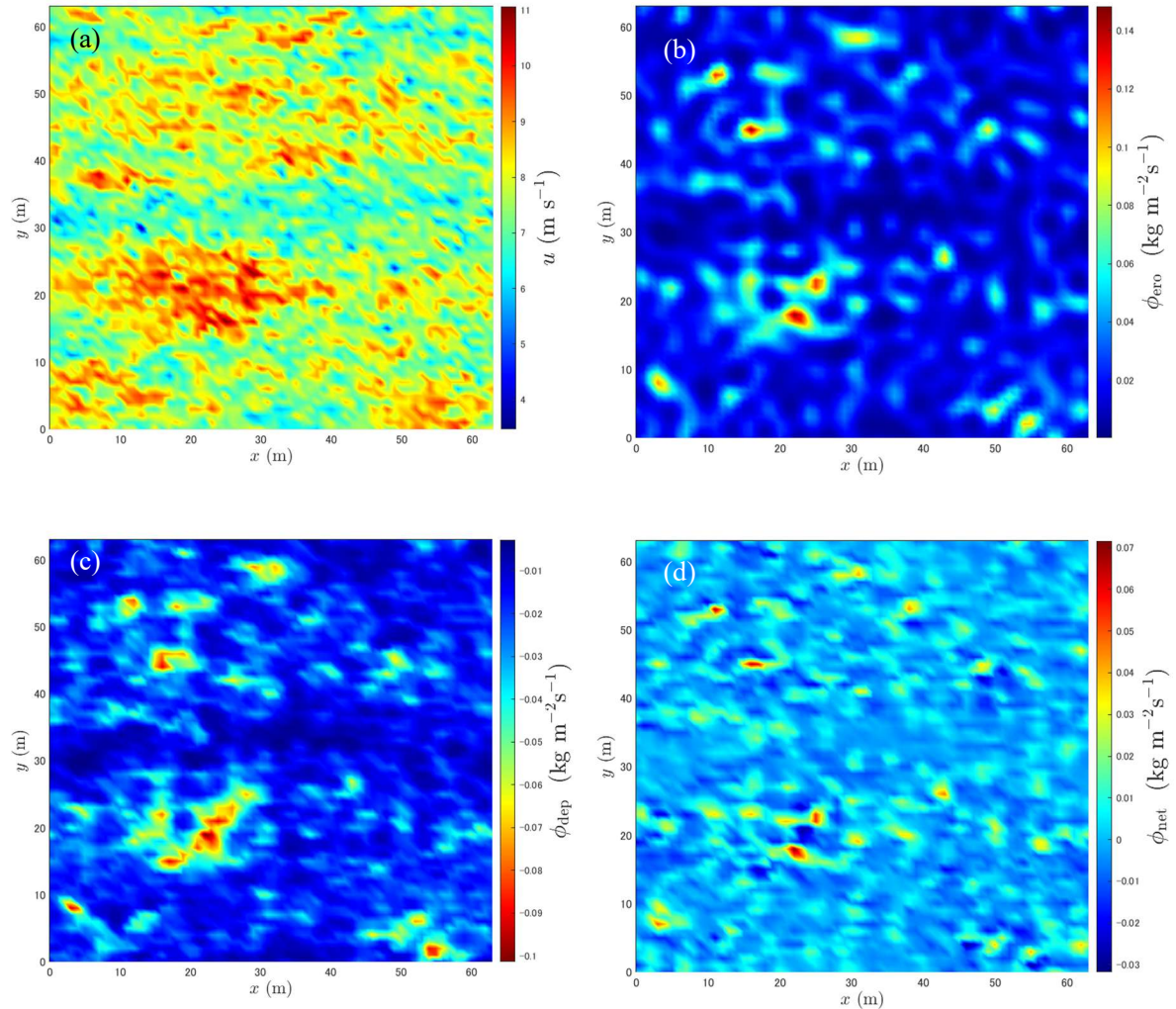


図 6 底面付近（高度 0.06 m）における削剥量，堆積量および風速の水平断面分布．(a)：水平風速，(b)：削剥量，(c)：堆積量，(d)：正味堆積量（削剥量+堆積量）．計算開始後 158 秒経過時の瞬間値．

4. おわりに

本研究では吹雪の時空間変動を対象として、LES を用いた吹雪の数値モデルにより、特に浮遊層に着目した吹雪空間濃度や飛雪流量の変動を計算した．LES は、吹雪の変動特性や組織的構造の解明等に有用である．吹雪粒子相のモデリング手法について、個々の吹雪粒子の軌道を Lagrange 的手法に基づき計算できれば吹雪の跳躍および浮遊運動の違いなどを厳密に取り扱えるものの、広域を対象とした計算では輸送方程式（移流拡散方程式）の利用が現実的となる．本研究では、一様水平面上における濃度鉛直分布の解析解を底面境界条件に利用（Chamecki et al., 2009）するなど、輸送式に基づく計算手法について検討した．底面付近の変動特性の傾向について、瞬間的な分布はばらつくが分布形状

は極端に変化しないなどは実験結果とも概ね整合した。しかしながら今回の実験結果は跳躍層近傍のみを対象としたものであり、今後は浮遊層も対象とした実験・観測との比較検討も必要となる。なお上述した様に底面フラックスは削剥量と堆積量の収支であり、吹きだまり量の評価も可能となる。本研究では一様水平面を対象とした計算であり底面フラックスは平均的にほぼゼロとなったが、防雪柵や林などの複雑地形を対象とする場合は強風域の削剥過程や弱風域の堆積過程に関して、削剥・堆積量の時間変動等に関する数値解析も可能と考える。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17H02073, 22710179 の支援を受けたものである。実験において大川元造氏、鈴木紘一氏に多大な貢献を頂いた。ここに記して感謝いたします。

【引用文献】

- Bou-Zeid, E., C. Meneveau and M. B. Parlange (2005): A scale-dependent Lagrangian dynamic model for large eddy simulation of complex turbulent flows, *Physics of Fluids*, **17**, 025105.
- Chamecki, M., C. Meneveau and M. B. Parlange (2008): A hybrid spectral/finite-volume algorithm for large-eddy simulation of scalars in the atmospheric boundary layer, *Boundary-Layer Meteorology*, **128**, 473-484.
- Chamecki, M., C. Meneveau and M. B. Parlange (2009): Large eddy simulation of pollen transport in the atmospheric boundary layer, *Aerosol Science*, **40**, 241-255.
- Graham, J. and C. Meneveau (2012): Modeling turbulent flow over fractal trees using renormalized numerical simulation: Alternate formulations and numerical experiments, *Physics of Fluids*, **24**, 125105.
- Li, P. Y. and P. A. Taylor (2005): Three-dimensional Lagrangian simulation of suspended particles in the neutrally stratified atmospheric surface layer, *Boundary-Layer Meteorology*, **116**, 301-311.
- 根本征樹, 佐藤威, 小杉健二, 望月重人 (2010): 吹雪の乱流拡散モデルにおける落下速度の与え方について, 寒地技術論文・報告集, **26**, 49-52.
- Okaze, T., H. Niiya and K. Nishimura (2018): Development of a large-eddy simulation coupled with Lagrangian snow transport model, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **183**, 35-43.
- Sharma, V., F. Comola and M. Lehning (2018): On the suitability of the Thorpe–Mason model for calculating sublimation of saltating snow, *The Cryosphere*, **12**, 3499–3509.
- Sharma, V., F. Gerber and M. Lehning (2023): Introducing CRYOWRF v1.0: multiscale atmospheric flow simulations with advanced snow cover modelling, *Geoscientific Model Development*, **16**, 719–749.
- Vionnet, V., E. Martin, V. Masson, G. Guyomarc’h, F. Naaim-Bouvet, A. Prokop, Y. Durand and C. Lac (2014): Simulation of wind-induced snow transport and sublimation in alpine terrain using a fully coupled snowpack/atmosphere model, *The Cryosphere*, **8**, 395–415.

Sentinel-1 データを使用した機械学習による海氷密接度推定

若林裕之 (東北学院大学)
有賀颯宇 (株式会社パスコ)

Estimation of sea ice concentration using Sentinel-1 data with learning-based methods

Hiroyuki WAKABAYASHI (Tohoku Gakuin University)
Sou ARIGA (Pasco Corp.)

1. はじめに

海氷は大気と海水の断熱材の役目を果たし、海水から大気への熱エネルギー移動を妨げるため、海氷の存在は雪氷圏のみならずグローバルな環境変動に影響をおよぼす。オホーツク海に発生する海氷についても地球温暖化の影響を顕著に受けている(Nishio and Aota, 1993, Noda *et al.*, 1996)。能動型マイクロ波センサである合成開口レーダ(SAR)は、全天候性に加え高空間分解能および多偏波観測による散乱メカニズム抽出の可能性から、海氷観測分野において研究が進められている(例えば Wakabayashi *et al.*, 2004)。

海氷密接度は、海域において海氷が占める面積割合を示し、海氷に関する準リアルタイム情報として、第一管区海上保安庁・海氷情報センターが冬季間のオホーツク海における海氷速報として海氷密接度マップを提供している(第一管区海上保安本部, 2025)。この海氷速報は、人工衛星観測データと現地観測データを組み合わせて専門家がマニュアル作成していて、ひまわり画像、マイクロ波放射計、および ALOS-2/PALSAR-2 データ等が人工衛星観測データとして使用されている(福島 他 8 名, 2008)。

広範囲に海氷密接度マップを作成するためには広域リモートセンシングデータが必要になり、海氷密接度マップの精度は使用するリモートセンシングデータの空間分解能に依存する。全天候性かつ高空間分解能である SAR データで観測した海水面の後方散乱係数は海上風の風向・風速および観測入射角に依存するため、海水と海氷の区別は単純なしきい値による方法では困難である(Wakabayashi *et al.*, 2013)。

本研究では、北海道北東部オホーツク海の海氷密接度について、Sentinel-1 に搭載されている C バンド SAR データに機械学習アルゴリズムを適用することによって推定し、その推定精度を評価することを目的としている。

2. テストサイトおよび使用データ

2-1 テストサイト

本研究では、例年 12 月下旬から 4 月上旬にかけて海氷が観測される北海道北東部オホーツク海沿岸をテストサイトとした。図 1(GoogleMap 上)に示すように、テストサイトの緯度経度範囲は、北緯 44°~45°および東経 143°~144°である。図 1 に示す領域の陸域には気象庁のアメダス観測地点が 5 点含まれている。

2-2 SAR データ

本研究で使用する人工衛星観測データは Sentinel-1 の SAR データである。Sentinel-1 は C バンド SAR を搭載していて、全天候性かつ空間分解能 10m 程度のデータが得られる。海氷密接度の把握には、全天候性かつ短い観測周期が必要になると考えられるため、本研究では 12 日周期で取得されている Interferometric Wide (IW) モード(Zan F. and A. Guarnieri, 2006)のデータを使用する。テストサイトでは、Sentinel-1A が昇交軌道および降交軌道でそれぞれ 12 日間隔のデータを取得しているため、週 1 回程度の頻度で観測データが得られる。IW モードは 3 スキャンの広域観測モ

ードであり，入射角範囲は約 $29^{\circ}\sim 46^{\circ}$ と広い範囲になっている．

SAR データについては，Sentinel Toolbox(ESA, 2025)を使用して，キャリブレーションおよび数値標高データ (DEM)を使用した幾何補正処理等の前処理を行った．キャリブレーション処理によってガンマノート(Small, D., 2011)を算出し，幾何補正処理として SRTM-1 DEMを使用した UTM(ゾーン 54N)への投影処理を行った．その際，各ピクセルの入射角も算出し，後述の機械学習入力データセットとして使用した．なお，ガンマノート範囲については，VV 偏波は $-25.5\text{dB}\sim 0\text{dB}$ ，VH 偏波は $-35.5\text{dB}\sim -10.0\text{dB}$ の範囲をスケーリングして 8 ビット化している．

使用した SAR データの諸元および観測日を表 1 にまとめ，観測日の Sentinel-1 SAR データ前処理後の画像例(VV 偏波)を図 2 に示す．



図1 テストサイト(GoogleMap).

表1 SARデータ諸元および観測日．

Satellite(Sensor/Mode)	Sentinel-1A (SAR/ IW mode)
Center frequency (wave length)	5.405 GHz(5.6 cm)
Ground range coverage	251.8 km
Incidence angle	$29.1 - 46.0$ deg.
Number of sub-swath	3
Spatial resolution (range x azimuth)	$20.3 - 20.5$ m $\times$ $22.5 - 22.6$ m
Number of looks (range x azimuth)	5×1
Equivalent number of looks	4.3-4.4 (varied with scan)
Pixel spacing (range x azimuth)	$10\text{m} \times 10\text{m}$
Polarization	VV+VH
Observation date and time(JST)	2020-03-13 17:19 2020-03-25 17:19 2022-02-24 5:33 2022-03-08 5:33

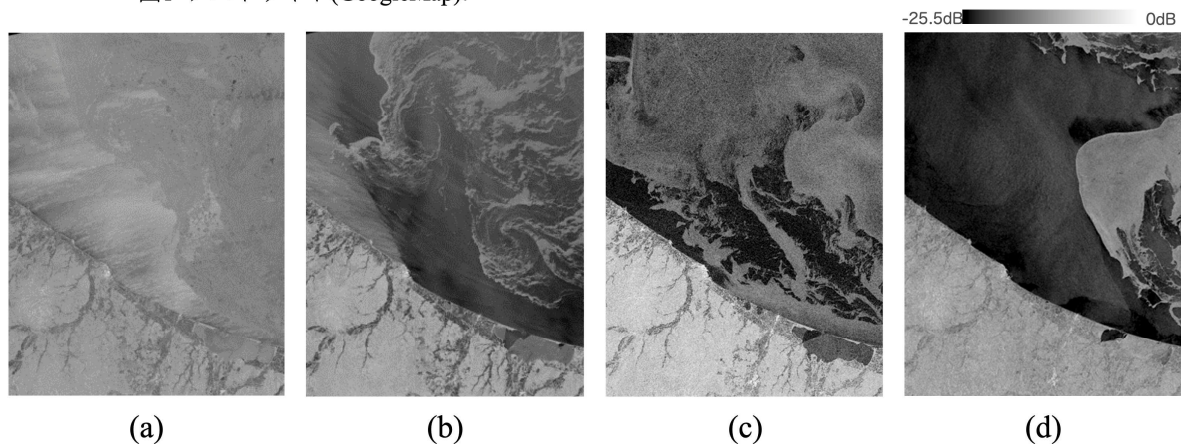


図 2 使用した Sentinel-1 SAR データ (a)2020/03/13,(b)2020/03/25,(c)2022/02/24,(d)2022/03/08.

2-3 気象データ

SAR で観測される海水面の後方散乱係数は海上風の風向および風速に関係する．従って，海上風の情報についても機械学習の入力データに使用するため，テストサイトの気象データを入手した．気象データは，気象庁が運用する地域気象観測システム (Automated Meteorological Data Acquisition System: AMeDAS, 以下「アメダス」) からアーカイブされたデータを入手した(気象庁, 2025). アメダスは，日本全国に約 1,300 か所設置されており，降水量，風向，風速，気温，湿度，日照時間等の気象要素を自動的に観測するシステムである．これにより，局地的な気象状況をリアルタイムで把握し，気象予報や防災対策等の重要な基盤情報となっている．

本研究では，アメダスが観測した気象データのうち，衛星データの取得時間に最も近い時間の風向および風速データを取得し，入力データセットに使用した．風向については，アメダスの観測データが数値ではなく方角 (例えば「北東」「南西」など) で提供されているため，北を 0 とし

て時計回りに 0 から 15 までのナンバリングを行い数値データに変換した。また、テストサイト領域に含まれる 5 地点のアメダス観測所から取得した風向および風速データについては、5 地点のデータを平均化して使用した。

2-4 海氷密接度マップ

第一管区海上保安本部・海氷情報センター(第一管区海上保安本部, 2025)より画像データ(PNG 形式)として配布されている海氷密接度マップを使用した。使用した海氷密接度マップを図 3 に示す。海氷密接度マップについては SAR データ座標に位置合わせを行い、海氷密接度のカテゴリごとの領域をマニュアルでデジタイズを行った。機械学習用データセット作成の際には、推定を行う海氷密接度の目的変数として使用する。

今回解析に使用したデータは、この海氷密接度情報に基づいて、2020 年 1 月から 2022 年 3 月までのテストサイト内に様々な海氷密接度のパターンが見られた日を選択した。

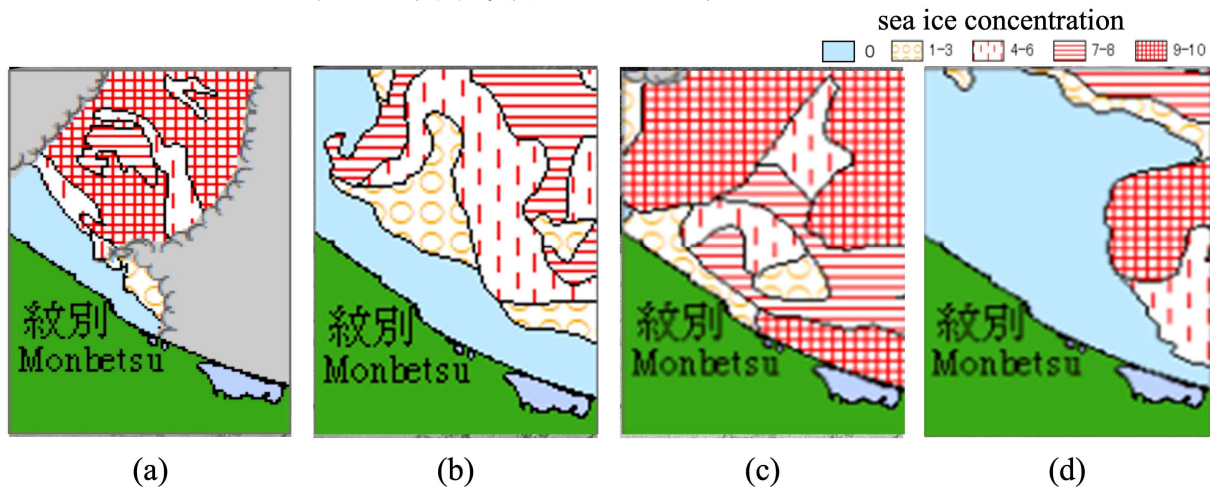


図 3 海氷密接度マップ(a)2020/03/13,(b)2020/03/25,(c)2022/02/24, and (d)2022/03/08.

3. 機械学習アルゴリズムの適用

図 4 に本研究の手順およびデータの流れを示す。2 章で示した SAR データおよび気象データを説明変数、海氷密接度のカテゴリを目的変数としてデータセットを作成し、トレーニングデータに機械学習アルゴリズムを適用することによって推定モデルを作成する。また、テストデータを使用して推定モデルの精度を評価する。

機械学習の入力データで使用するデータセットについて詳細を記述する。2-4 節の海氷密接度マップ中の各カテゴリ領域内において、1km×1km の領域を 1 つのブロック単位として、SAR データおよび気象データを説明変数として入力する。SAR データについては、VV 偏波後方散乱係数の平均および標準偏差、VH 偏波後方散乱係数の平均および標準偏差を入射角とともに入力する。気象データはアメダス観測 5 地点の風向および風速の平均値を入力する。目的変数の海氷密接度については、海氷密接度マップ上のカテゴリに合わせて、密接度 0 がクラス 0、密接度 1-3 がクラス 1、密接度 4-6 がクラス 2、密接度 7-8 がクラス 3、および密接度 9-10 がクラス 4 として、5 つのカテゴリに分類した。作成したデータセットのサンプル数は、クラス 0 が 5094、クラス 1 が 1903、クラス 2 が 3486、クラス 3 が 2856、クラス 4 が 5414 であった。

作成したサンプルデータをランダムサンプリングによってトレーニングデータ(80%)とテストデータ(20%)に分けて、トレーニングデータで機械学習の推定モデルを作成する。なお、機械学習アルゴリズムについては、ロジスティック回帰とランダムフォレストの 2 種類を使用した。ロジスティック回帰は説明変数と目的変数が線形関係であることが前提であり、ランダムフォレストは非線形の関係にも対応できる。

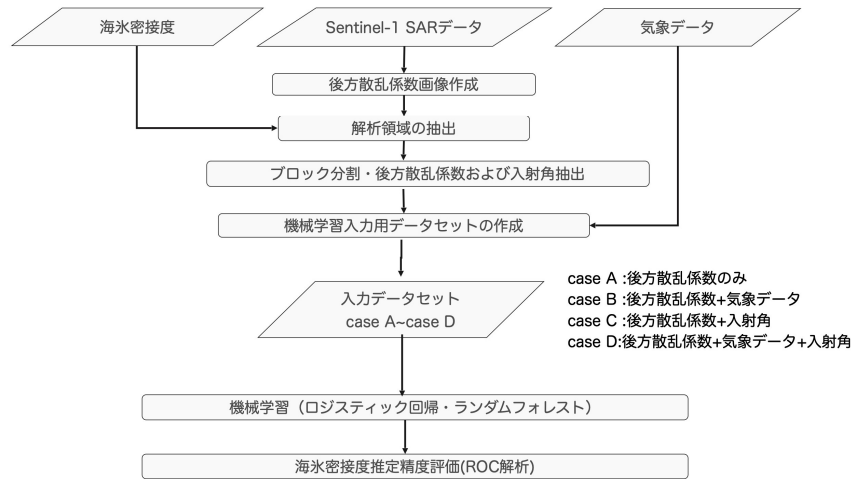


図 4 研究およびデータフロー.

4. 解析結果

作成したデータセットにロジスティック回帰およびランダムフォレストを適用し, Receiver Operating Characteristic(ROC)解析を実施した. 説明変数として(A)後方散乱係数のみ, (B)後方散乱係数+気象データ, (C)後方散乱係数+入射角, および(D)後方散乱係数+気象データ+入射角の 4 ケースを設定することによって, 気象データおよび入射角の寄与が考察できる.

4-1 ロジスティック回帰適用結果

図 5 に 4 ケースの海水氷接度推定精度のクラス毎の ROC 結果を示す. 図中の Area Under the Curve(AUC)は, ROC 曲線の下部面積のことであり, AUC が 1 に近いほど推定したモデルの精度が高い. 4 ケースのクラス毎の海水氷接度推定精度の結果, 全てのケースでクラス 1~3 の海水氷接度推定精度がクラス 0 および 4 より 0.2 程度低い値となった. 海水氷接度推定全体精度として, Stratified 5-Folds Cross Validation の平均 AUC を求めた結果を表 2 の全体精度として示す. 表から最も高い海水氷接度推定精度を示したのは, ケース B および D の 2 ケースであり, 海水氷接度推定精度の値は 0.84 と他の 2 ケースと比較して 0.02 高い結果となった. 表 2 に示す偏回帰係数の相対度数から判断すると, 全てのケースで VH 偏波の後方散乱係数が寄与度が最も高く, 次いで VV 偏波の標準偏差となった. また, 気象データ(風速)および入射角はそれぞれ 0.1 程度の寄与を示した.

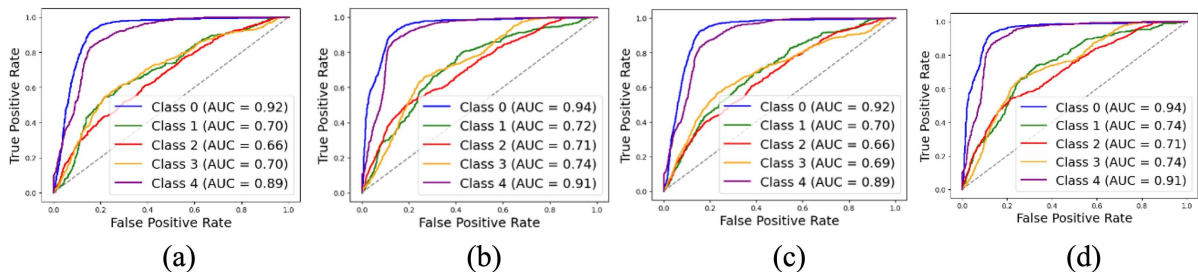


図 5 ロジスティック回帰 ROC 解析結果. (a)Case A,(b)Case B,(c)Case C,(d)Case D.

4-2 ランダムフォレスト適用結果

図 6 に 4 ケースの海水氷接度推定精度のクラス毎の ROC 結果を示す. 4 ケースのクラス毎の海水氷接度推定精度の結果, ケース A および B においては, クラス 1~3 の海水氷接度推定精度

がクラス 0 やクラス 4 と比較して 0.1 程度低い結果となった。表 3 に 4 ケースの全体精度結果を示す。最も高い海氷密接度推定精度を示したのはケース D であり、全体精度結果は 0.98 であった。表 3 にランダムフォレストの特徴量重要度を示す。全てのケースで VH 偏波の後方散乱係数平均値が海氷密接度推定精度への寄与度が最も高く、次いで VV 偏波の標準偏差となり、ロジスティック回帰同様の結果となった。また、気象データ(風速)および入射角はそれぞれ 0.1 程度の特徴量重要度を示した。

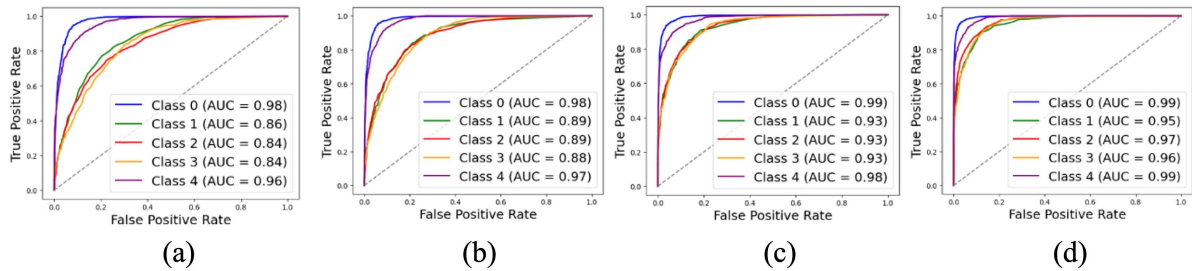


図 6 ランダムフォレスト ROC 解析結果 (a)Case A,(b)Case B,(c)Case C,(d)Case D.

5. 考察

4 章の結果から、ロジスティック回帰とランダムフォレストを比較すると、全てのケースおよびクラスにおいて、ランダムフォレストが高い結果を示した。さらに、海氷密接度推定全体精度においては、ロジスティック回帰の最も高い精度の 0.84 に対して、ランダムフォレストは 0.98 を示し 0.14 の差があった。以上から、本研究で作成したデータセットの説明変数と目的変数間には非線形性の関係があると考えられる。

ロジスティック回帰の偏回帰係数の相対度数およびランダムフォレスト特徴量重要度ともに、VH 偏波後方散乱係数平均値が最も高い寄与を示した。この結果は、VH 偏波後方散乱係数は海上風の影響を受けにくいと考える。また、ランダムフォレストの全体精度結果から、気象データ(風速)および入射角の寄与の合計が 0.2 程度となり、海氷密接度推定における推定精度向上に寄与していると考えられる。

6. まとめ

Sentinel-1 SAR データに機械学習アルゴリズムを適用することによって海氷密接度推定を行った結果を示した。機械学習モデルとしてロジスティック回帰とランダムフォレストを比較した結果、ランダムフォレストが高い精度を示した。また、ランダムフォレストにおいて、気象データ(風速)および入射角データとともに海氷密接度推定精度向上に寄与することがわかった。ロジスティック回帰の偏回帰係数およびランダムフォレストの特徴量重要度解析の結果、VH 偏波の後方散乱係数平均値が最も高い寄与を示した。

今後の課題として、低～中程度の海氷密接度において推定精度向上の余地があるため、深層学習などの高度な機械学習手法の導入を検討したい。

謝辞

本研究の一部は千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究の支援を受けて実施した。また、本研究で利用した SAR データおよび海氷密接度データはヨーロッパ宇宙機関(ESA)および海氷情報センターから提供を受けた。なお、機械学習適用については日本大学工学部の大山勝徳氏の支援を受けた。ここに感謝の意を表します。

表 2 ロジスティック回帰の全体精度および偏回帰係数の相対度数.

ケース	A	B	C	D
全体精度	0.82	0.84	0.82	0.84
偏回帰係数の相対度数				
VV平均値	0.013	0.133	0.098	0.103
VV標準偏差	0.281	0.120	0.330	0.174
VH平均値	0.707	0.615	0.527	0.445
VH標準偏差	0.000	0.032	0.039	0.012
風向	-	0.080	-	0.112
風速	-	0.021	-	0.093
入射角	-	-	0.063	0.062

表 3 ランダムフォレストの全体精度および特徴量重要度.

ケース	A	B	C	D
全体精度	0.92	0.94	0.96	0.98
特徴量重要度				
VV平均値	0.176	0.106	0.098	0.082
VV標準偏差	0.130	0.157	0.148	0.126
VH平均値	0.595	0.561	0.561	0.535
VH標準偏差	0.099	0.078	0.063	0.036
風向	-	0.018	-	0.022
風速	-	0.078	-	0.081
入射角	-	-	0.130	0.119

【引用文献】

- 第一管区海上保安本部(2025): 海氷情報センター 過去の海氷速報
https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN1/drift_ice/ice_chart/calendar/past/calendar.html (2025.4.19 閲覧).
- D. Small (2011): Flattening Gamma: Radiometric terrain correction for SAR imagery, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49(8), 3081-3093.
- ESA(2025): Sentinel toolbox develop team
<https://earth.esa.int/eogateway/tools/sentinel-1-toolbox> (2025.4.19 閲覧).
- 気象庁(2025): 過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php> (2025.4.19 閲覧).
- 福島繁樹 他 8 名 (2008): ALOS データを用いた海氷観測手法の開発および利用に関わる研究, 海洋情報部技報, 26, 44-52.
- Nishio, F. and M. Aota(1993): Variability of sea ice extent in the Sea of Okhotsk, in Proc. Int. Symp. ISY Polar Ice Extent, Hokkaido, Japan, 188-193.
- Noda, A., S. Nakagawa, T. Moto, S. Yukimoto, and T. Tokioka (1996): Global warming induced by CO2 and the Okhotsk Sea, J. Remote Sens. Jpn., 16(2), 3-13.
- Wakabayashi, H., T. Matsuoka, K. Nakamura, and F. Nishio (2004): Polarimetric characteristics of sea ice in the Sea of Okhotsk observed by airborne L-band SAR, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(11), 2412-2425.
- Wakabayashi, H., Y. Mori, and K. Nakamura (2013): Sea ice detection in the Sea of Okhotsk using PALSAR and MODIS data, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 6(3), 1516-1523.
- Zan F. and M. Guarnieri (2006): TOPSAR: Terrain observation by progressive scans, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44(9), 2352-2360.

福島県浜通り地域における ALPS 処理水海洋放出前後の 月間降水中トリチウム濃度

北山結彩・桑田遥・Khemruthai Kheamsiri・福田ほのか・
田中和貴・山田椋平 (弘前大学)
栗田直幸 (名古屋大学)
滝沢宜之・斉藤秀樹 (富岡町役場)
遠藤雅宗・天野洋典・鷹崎和義 (福島県水産海洋研究センター)
赤田尚史 (弘前大学)

Tritium concentrations in monthly precipitation before and after discharge of treated water in the coastal area of Fukushima Prefecture, Japan

**Yuisa KITAYAMA, Haruka KUWATA, Khemruthai KHEAMSIRI, Honoka FUKUDA,
Kazutaka TANAKA, Ryohei YAMADA (Hirotsaki University)
Naoyuki KURITA (Nagoya University)
Noriyuki TAKIZAWA, Hideki SAITO (Tomioka Town Office)
Masamune ENDO, Yosuke AMANO, Kazuyoshi TAKASAKI
(Fukushima Prefectural Fisheries and Marine Science Research Centre)
Naofumi AKATA (Hirotsaki University)**

1. はじめに

トリチウム (T) は、弱い β 線を放出して半減期 12.3 年でヘリウム-3 (^3He) に壊変する水素の放射性同位体であり、地球上に存在するトリチウムの 99% は大気中の水蒸気、雨水、海水等に水 (HTO) として存在し、水循環過程に伴い自然界を移動している。2023 年 8 月に福島第一原子力発電所から多核種除去設備 (Advanced Liquid Processing System, ALPS) 処理水の海洋放出が開始されたことにより、トリチウムへの社会的な関心が高まった。ALPS 処理水は、トリチウム以外の放射性物質が安全に関する規制基準値を完全に下回るまで多核種除去設備等で浄化处理した水のことで、トリチウムは除去困難であるためこの水中に含まれる。処理水は 100 倍以上の海水で希釈され、トリチウム濃度が放出基準 (1500 Bq L^{-1}) を確実に下回っていることを確認した後に放出される (東京電力, 2025)。福島県では各地において、国や自治体等によるトリチウム環境モニタリングが行われており、海水や海産物中のトリチウム濃度に大きな変動は認められていない (環境省, 2025, 福島県, 2025)。一方、海霧や海水飛沫等による海から陸への物質の移動経路も存在しており、沿岸域においては降水へも影響を及ぼす可能性がある。弘前大学では、海洋放出地点に比較的近い福島県浜通り地域において採取した月間降水を対象に、ALPS 処理水海洋放出の環境影響評価および降水の化学的特性を把握することを目的として調査を実施した。本報では、トリチウム濃度、水素・酸素安定同位体比、イオン成分濃度の測定を行った結果について報告する。

2. 方法

サンプリングは福島県浜通り地域の浪江町津島 (つしま活性化センター ($37^{\circ}33'40''\text{N}$, $141^{\circ}45'50''\text{E}$)), 浪江町幾世橋 (なみえ創成小学校・中学校 ($37^{\circ}29'31''\text{N}$, $141^{\circ}00'28''\text{E}$)), 富岡町 (富岡町役場 ($37^{\circ}20'46''\text{N}$, $141^{\circ}00'28''\text{E}$)), いわき市 (福島県水産海洋研究センター ($36^{\circ}56'15''\text{N}$, $140^{\circ}54'59''\text{E}$)) の 4 地点で実施した (図 1)。浪江町津島では雪・降水採取装置 (ST-1F, サンテクノ) を、他の 3 地点では降水採取装

置 (RS-1D, Palmex) を使用して月間降水を採取した。試料は重量測定により降水量を求めたのち、pH および電気伝導度 (EC) を測定した。その後、常圧蒸留した後に、改良した固体高分子膜電解濃縮装置 (XZ001, Tripure, デノラ) を用いて濃縮処理を行った。濃縮試料は再度蒸留を行い、試料 50 ml と液体シンチレータ (UltimaGold LLT, Revity) 50 ml を 145 ml のポリエチレンバイアルに入れて混合し、1 週間静置した後、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ (LSC-LB5, アロカ) を用いて 1000 分測定を行った (Akata *et al.*, 2024)。また、試料水の一部を孔径 0.45 μm のメンブレンフィルタ (DISMIC 25CS045AS, ADVANTEC) でろ過し、イオン成分濃度および水素・酸素安定同位体比測定を行った。イオン成分濃度はイオンクロマトグラフィ分析装置 (930 Compact IC Flex, Eco IC, Metrohm) を使用し、3 種類の陰イオン (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) と 5 種類の陽イオン (Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+}) を検量線法により測定した。安定同位体比は水安定同位体分析計 (L2130-I, Picaro) を使用し、水素安定同位体比 δD ($^2\text{H}/^1\text{H}$) と酸素安定同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) を測定した。



図 1 降水採取地点 (Google Map)。

3. 結果

図 2 に 2021 年 11 月から 2024 年 12 月までの降水中トリチウム濃度と降水量を示す。各地点における降水中トリチウム濃度の範囲は、浪江町の山間部に位置する津島地区で $0.06\text{--}0.91\text{ Bq L}^{-1}$ 、浪江町中心部に位置する幾世橋地区で $0.08\text{--}0.90\text{ Bq L}^{-1}$ 、富岡町で $0.10\text{--}0.84\text{ Bq L}^{-1}$ 、いわき市で $0.11\text{--}0.82\text{ Bq L}^{-1}$ であった。いずれも春に高く、夏から秋にかけて低くなる季節変動が認められた。特に春に濃度が高くなる現象はスプリングピークと呼ばれており、これは成層圏で宇宙線と大気中元素の核反応により生成されたトリチウムが、春先に活発に起こる大気の混合により対流圏へ移行し雨として地表に降下することで起こる (Tanaka *et al.*, 2015, 百島, 2009)。さらに、降水中トリチウム濃度は移動性気団中の水蒸気量や、大陸性および海洋性気団の移動経路の影響を受けて変動する (狩野ら, 2021)。比較的トリチウム濃度の高い水蒸気を含む大陸性気団が北西からの季節風に運ばれてくることも、春にトリチウム濃度が高くなる理由の一つである (Momoshima *et al.*, 1991)。一方で、夏ごろはトリチウム濃度の低い海水由来の水蒸気を多く含む太平洋高気圧が流入するため、降水中のトリチウム濃度は低くなる。

ここで、ALPS 処理水海洋放出前の 2022 年と放出後の 2024 年について、降水中トリチウム濃度の変動幅および年平均値を表 1 に示す。なお、富岡町は 2022 年のデータが十分でないため空欄とした。浪江町幾世橋では 2024 年の年平均値が 2022 年より高い傾向があった一方で、浪江町津島といわき市では 2024 年の方が低い傾向を示した。Yamada *et al.* (2024) では 2012 年から 2021 年にかけて福島県

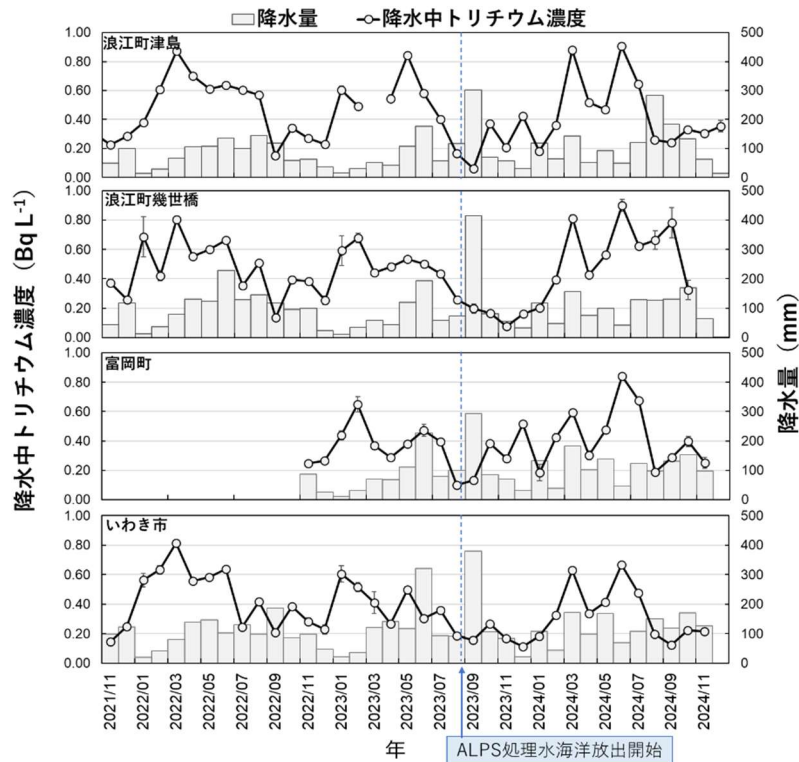


図 2 降水中トリチウム濃度.

表 1 ALPS 処理水海洋放出前後の降水中トリチウム濃度 (Bq L⁻¹).

		浪江町津島	浪江町幾世橋	富岡町	いわき市
2022 年	最大値	0.87±0.02	0.80±0.02	—	0.82±0.02
	最小値	0.15±0.01	0.14±0.01	—	0.21±0.01
	年平均値	0.50±0.22	0.48±0.19	—	0.46±0.20
2024 年	最大値	0.91±0.02	0.90±0.04	0.84±0.02	0.67±0.02
	最小値	0.18±0.01	0.20±0.01	0.19±0.03	0.12±0.01
	年平均値	0.45±0.24	0.57±0.23	0.42±0.21	0.35±0.18

浪江町津島地区における月間降水中トリチウム濃度について、濃度範囲は 0.10 ± 0.02 から 0.85 ± 0.02 Bq L⁻¹ (濃度±測定誤差) であったと報告しており、今回の観測期間における濃度範囲も同程度であった。よって、ALPS 処理水の海洋放出前後で明らかな降水中トリチウムの濃度変化は起こっていないと考える。

図 3 に各地点における ALPS 処理水海洋放出前後の水素・酸素安定同位体比を示す。水素・酸素安定同位体比測定の結果、各地点の降水における δD と $\delta^{18}O$ の範囲は、浪江町津島で -102.89 から -19.65‰ および -15.30 から -0.48‰、浪江町幾世橋で -129.03 から -18.79‰ および -15.72 から -2.01‰、富岡町で -95.96 から -10.85‰ および -12.08 から -1.22‰、いわき市で -90.43 から -20.37‰ および -11.37 から -4.30‰ であった。 δD と $\delta^{18}O$ の間には直線関係が存在し ($\delta D = 8.0 \times \delta^{18}O + 10$)、これは世界天水線 (Global Meteoric Water Line, GMWL) として知られている。4 地点の測定結果はいずれも概ね世界天水線付近に分布していることが確認できた。また、ALPS 処理水海洋放出前 (2023 年 7 月まで) と放出後 (2023 年 8 月以降) の δD と $\delta^{18}O$ を比較したところ、全地点においてそれぞれ同様に分布しており、海洋放出前後の期間において安定同位体比の大きな変動は確認できなかった。

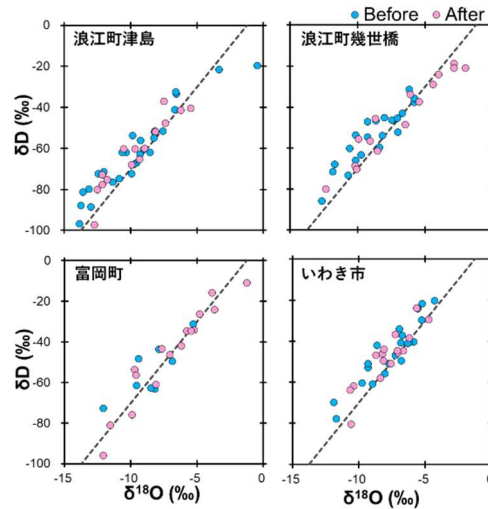


図 3 水素・酸素安定同位体比.

図 4 に各地点におけるイオン成分濃度の月ごとの変動を示す. 海に近い浪江町幾世橋, 富岡町, いわき市では海水成分である Cl^- と Na^+ , SO_4^{2-} が高い傾向にあった. 特に, 海からおおよそ 140m と近い距離で採水をしているいわき市では海水の影響を強く受けていると考えられる. 一方で, 山間部に位置する浪江町津島では, 海水の影響はほとんど見られなかった. 2023 年の 11 月には Ca^{2+} が多く検出されており, これは除染作業や家屋解体による土埃が影響しているのではないかと考えられる. これら以外のイオンについては観測期間全体において変動が見られないことから, ALPS 処理水海洋放出前後で降水の化学成分は大きく変化していないことが示唆された.

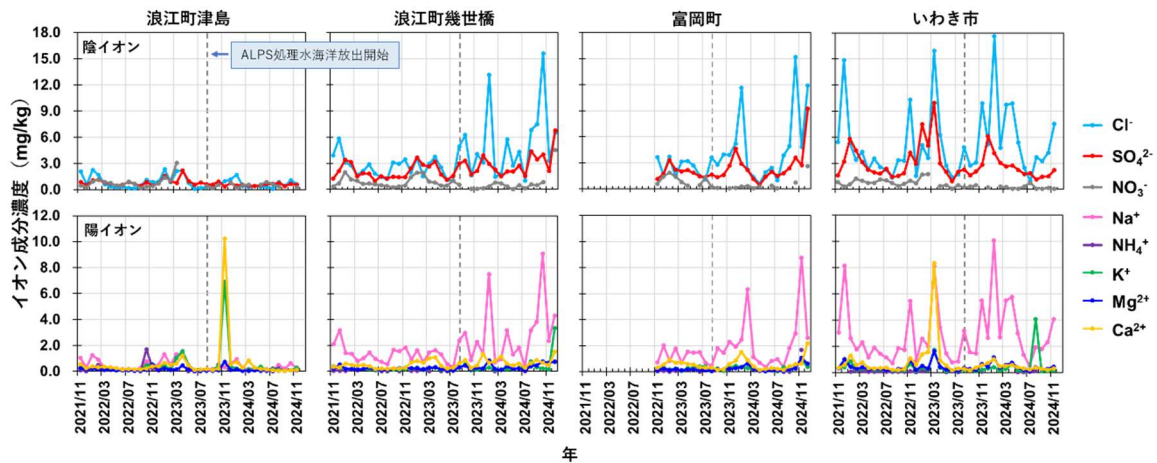


図 4 イオン成分濃度.

4. まとめ

福島県浜通り地域に位置する浪江町津島, 浪江町幾世橋, 富岡町, いわき市の月間降水中トリチウム濃度は季節変動が認められ, 4 地点の濃度範囲や年平均値はこれまでに報告されているデータと同程度であった. 降水中のトリチウム濃度, 水素酸素安定同位体比, イオン成分濃度について ALPS 処理水海洋放出前後で比較した結果, 今回の観測期間においてこれらの濃度に大きな変動は認められなかった. 今後は観測を継続してデータを蓄積するとともに, 後方流跡線解析や気象データの解析を進めていくことで, より詳細な解析を進める予定である.

謝辞

本研究は福島県浪江町のご協力の上で実施した。また、研究の一部は JSPS 科研費 21H03607 および QST 委託調査研究「三重水素拡散を想定した環境・生物の評価モデルの構築および効率的な環境計測手法の開発」の助成を受けて実施された。

【引用文献】

- Akata, N., Ohno, K., Kuwata, H., Kheamsiri, K., Yoshinaka, Y., Yamada, R., Kitayama, Y., Aizawa, S., Nakasone, S., Ishimine, A., Tanaka, M., Shiroma, Y., Tokonami, S. and Furukawa, M. (2024): Tritium concentration in monthly precipitation in Okinawa and Kagoshima, southern Japan: Radiat Prot Dosim, **200**, 1792–1796.
- 福島県 (2025): ALPS 処理水に係る海域モニタリング結果.
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/moni-k.html> (2025.06.07 閲覧).
- 狩野直樹, 諸橋峻秀, 宮本直人 (2021): 降水中のトリチウム(T)濃度及び酸素・水素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$, δD)から見た近年の環境動態の評価, Radioisotopes, **70**, 41–45.
- 環境省 (2025): ALPS 処理水に係る海域モニタリング情報. <https://policies.env.go.jp/water/shorisui-monitoring/> (2025.06.07 閲覧).
- 百島則幸 (2009): 環境トリチウムの現状と分布-2.2 雨のトリチウム-, プラズマ・核融合学会誌, **85**(7), 426–428.
- Momoshima, N., Okai, T., Kaji, T. and Takashima, Y. (1991): Distribution and transformation of various chemical forms of tritium in the environment. Radiochim Acta, **54**, 129–132.
- Tanaka, M. and Uda, T. (2015): Variation of atmospheric tritium concentration in three chemical forms at Toki, Japan: 2004–12. Radiat Prot Dosim, **167**, 187–191.
- 東京電力ホールディングス (2025): ALPS 処理水の処分.
<https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/oceanrelease/> (2025.06.07 閲覧).
- Yamada, R., Hasegawa, H., Akata, N., Kakiuchi, H., Ochiai, S., Kuwata, H., Kheamsiri, K., Tokonami, S. and Ueda, S. (2024): Temporal variation of tritium concentration in monthly precipitation collected at a Difficult-to-Return Zone in Namie Town, Fukushima Prefecture, Japan, Environ Sci Pollut Res, **31**, 7818–7827.

気候変動による雪質変化に関する情報創出と利活用

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科)

中村一樹, 平島寛行, 山口 悟 (防災科学技術研究所)

蝦名裕一 (東北大学災害科学国際研究所)

Creation and utilization of information on snow-type changes due to climate change

Takeshi YAMAZAKI (Graduate School of Science, Tohoku University)

Kazuki NAKAMURA, Hiroyuki HIRASHIMA, Satoru YAMAGUCHI (National Research Institute
for Earth Science and Disaster Resilience)

Yuichi EBINA (International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University)

1. はじめに

積雪地域において、将来の気候変動下での持続可能な社会を実現するためには、雪氷災害の変容や降積雪の水資源・冬季観光資源としてのポテンシャルの変化を考慮した長期戦略を考えることが必要である。しかし、従来の気候変動研究では降積雪の量的変化のみに着目しており、降積雪の質の変化に関する情報はほとんどない。そこで、降積雪の質の変化の影響も議論できるデータセットの作成を目指し、その利活用について議論したい。

この発表では、高解像度の将来予測気象データと積雪変質モデルを用いた詳細な積雪特性の面的な予測、スキー場での雪質変化が与える影響評価、雪害における文化遺産防災について紹介する。

2. 研究手法・データ

東北大学で管理している南東北・北信越の1 km メッシュの将来予測気象データ(作成手法は Kawase *et al.* (2020)を参照)を、日本向けに改良した積雪変質モデル SNOWPACK (Hirashima, 2019) に入力し、積雪の物理量(積雪粒子の形, 雪温, 密度, 含水率等)の面的分布を計算できるシステムを構築する(図1)。1 km データの元となる5 km メッシュデータは、山崎ほか (2019) によるSI-CAT DDS5TKで、その現在気象, 2℃上昇シナリオ, 4℃上昇シナリオそれぞれにおける少雪年, 平均的な年, 多雪年について1 km 計算結果を入力とし、積雪変質モデルを用いて積雪深, 積雪水量, 卓越雪質の変化のシミュレーションを試験的に計算した。



図1 将来の積雪に関する予測データセットの作成にむけたシステムの概念図。

詳細な研究対象地域は「雪国観光圏」に設定する。これは 2008 年に観光庁が認定した、新潟県、群馬県、長野県の 3 県 7 市町村による広域観光圏である。毎年 3 m 程度の積雪となる世界的な豪雪地域として広く知られており、水資源的にも重要な地域である。ニセコにおける解析で得た、パウダースノーに関する満足度（パウダー満足度）を気象条件（平均気温と総降雪量）によって表現する方法を、雪国観光圏にある谷川岳天神平スキー場に拡張する。将来予測気象データを適用することにより、パウダー満足度の将来変化の予測も試みる。

指定文化財や歴史資料などの位置情報をオンラインマップ上に表示する「文化遺産防災マップ」が整備されており、災害時に文化遺産の被災状況を演歌軌から推定してリスクにフィードバックすることが期待されている。これと防災科研の「雪おろシグナル」(Hirashima *et al.*, 2024) を重ね合わせることで、文化財の雪害についてどのような予測ができるか検討する。

3. 結果

SNOWPACK による将来予測では、4℃上昇の状況では積雪の量的な減少が顕著であった。白馬、谷川岳、蔵王を対象として解析したところ、雪質はしまり雪が減る一方、ドカ雪により新雪が卓越することは増える結果となった。図 2 に谷川岳付近の 1km メッシュの計算として、現在の谷川岳付近の山岳エリアにおいて雪の水当量が最も多い時期にあたる谷川岳スキー場エリアの 3 月 8 日の卓越雪質を示した。現在気候では標高が高いところでは渴き雪が卓越するが、2℃上昇では一部を除き濡れ雪となり、4℃上昇では標高の低いところでは積雪そのものがない状況となっている。

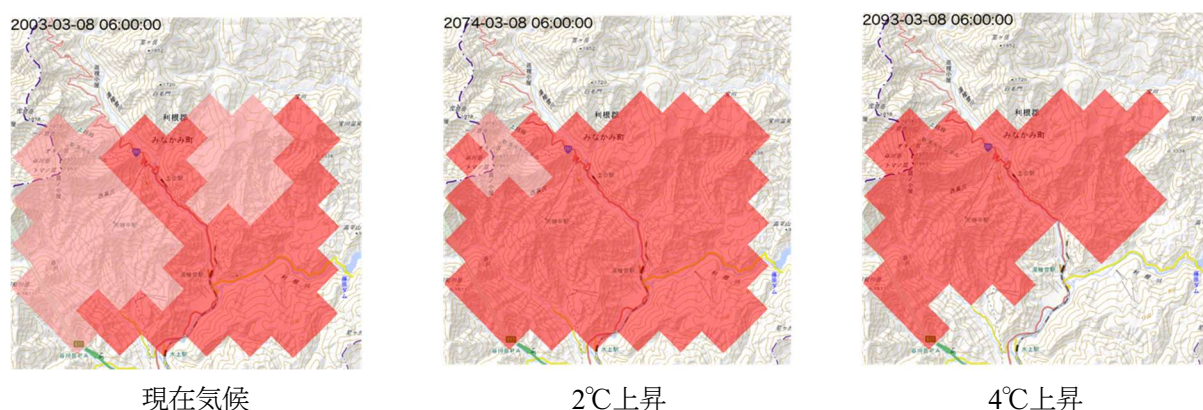


図 2 谷川岳スキー場エリアの 3 月 8 日の卓越雪質 (1km メッシュの計算例)。赤は湿った雪、ピンクは乾いた雪。

ニセコにおける平均気温・総降雪量とパウダー満足度の関係と同様に谷川岳天神平スキー場での関係を求めた。これに将来予測気象データを適用した結果を図 3 に示す。将来、特に 4℃上昇シナリオでは、パウダー満足度 Good が大幅に減り、Normal や Bad が増加する恐れが示された。

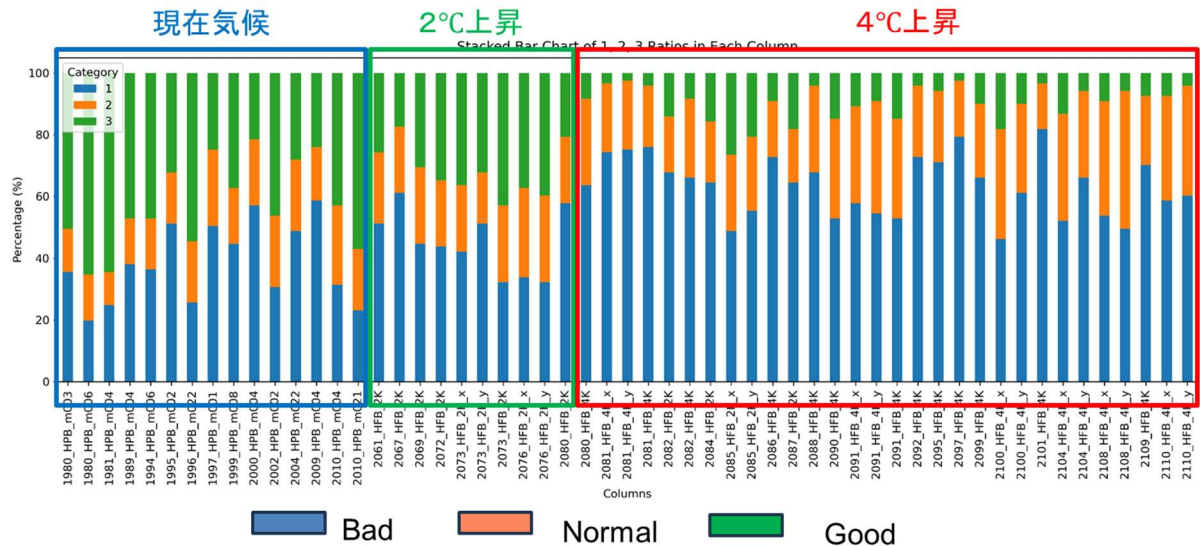


図3 谷川岳におけるパウダー満足度の将来変化予測.

文化遺産防災マップを 2024 年能登半島地震の際に利用したイメージを図 4 に示す。図 5 は 2025 年 1 月の青森での豪雪時に被害が生じた文化財等の位置と雪おろシグナルを重ねたイメージである。この大雪では、青森市で積雪深 139cm を記録し、この時期としては異例の高い密度の積雪となった。このため、弘前城（国の重要文化財）の二の丸櫓、東内門が倒木により破壊被害を受けた。また、岩木山神社本殿（国の重要文化財）の柵が積雪で破損した。雪おろシグナルから文化遺産の被災予測をダイレクトに結びつけるのは現状では難しい。そもそも、雪害からの文化財防災とは何かを考える必要がある。

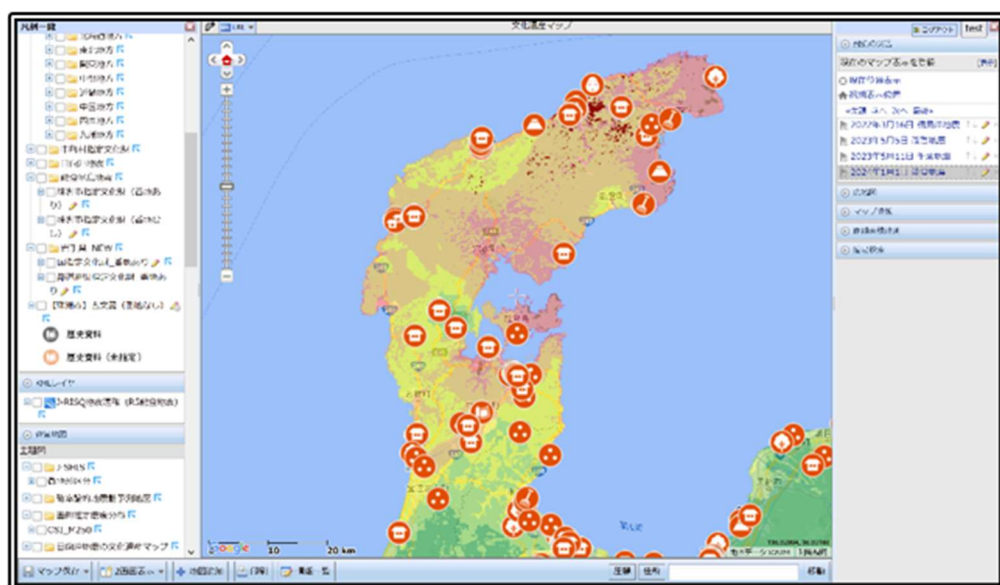


図4 文化遺産防災マップ^o (2024年能登半島地震).



図5 2025年青森県豪雪の雪おろシグナルと文化財等の位置との重ね合わせ。表示は雪害による被災が報道された文化財。

謝辞：本研究は、東北大学―防災科研マッチング研究支援事業により実施したものである。

【引用文献】

- Hirashima, H. (2019): Numerical snowpack model simulation schemes for avalanche prediction in Japan. *Bulletin of Glaciological Research*, **37S**, 31-41.
- Hirashima, H., K. Kawashima, K. Motoya, and H. Sano (2024): Operation, Expansion, and Improvement of the Snow Load Alert System “YukioroSignal”. *J. Disaster Res.*, **19**(5), 741-749.
- 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.
- 山崎剛ほか7名 (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.

山形蔵王における雪氷現象の観測(2024/2025 冬季) -樹氷形成状況と高度変化-

沖田圭右・山谷睦・沼澤喜一※(日本地下水開発株式会社 蔵王雪氷研究グループ)

Observation of icing and snow accretion Jyuhyo (Ice Monsters) at Mt. Zao (2024/2025 winter) - Observation of altitude changes in ice monsters - Keisuke OKITA・Mutsumi YAMAYA and Kiichi NUMAZAWA (Mt. Zao Snow and Ice Research Group, JGD)

1. はじめに

当社では 1997/1998 冬季から 28 シーズンに亘って山形蔵王の地藏岳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、蔵王ロープウェイ地藏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藏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藏山頂駅における 2024/2025 冬季の積雪深、気温及び平均風速を図 1 に示した。

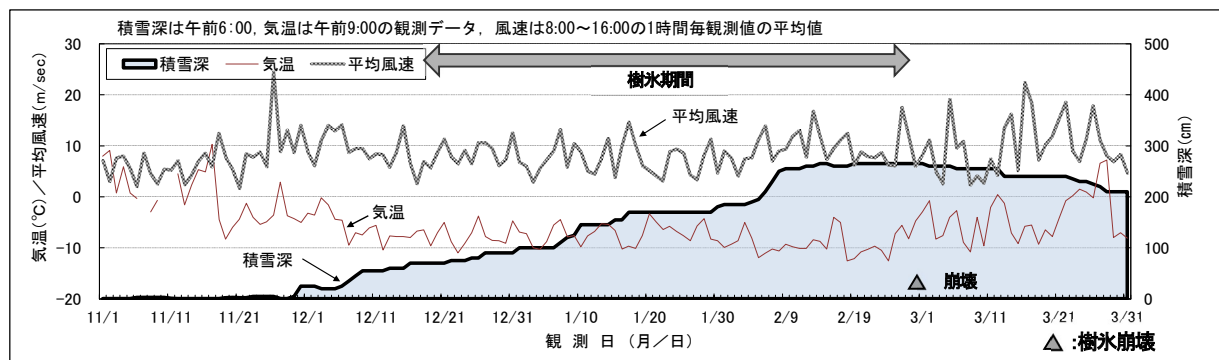


図 1 蔵王ロープウェイ地藏山頂駅における 2024/2025 冬季の積雪深、気温および平均風速。



図 2 樹氷形成状況(左上標高 1660 m 付近・右上 1630 m 付近(95 番)・下段 1530 m 付近(80 番)

(2025 年 2 月 20 日撮影)).

今冬季は11月末から本格的な降積雪となった、12月は積雪量の増加と共に樹氷形成が進み、蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅付近では12月後半より樹氷鑑賞が可能となった。

その後南風の影響等により多少崩れることはあるが樹氷形成は順調に進み、1月と2月は連続して樹氷が確認された。3月1日と2日の高温と強風によって樹氷が崩壊し、その後は寒波の際にエビのしっぽが付着することはあったが樹氷が再形成されることはなかった。

今冬季は2月中旬に観測した樹氷の形状やエビのしっぽの付き具合より、最盛期に標高1530 m付近(番号標80番付近)より上部で樹氷形成が確認された(図2)。樹氷鑑賞期間は12月中旬から2月末までの合計約72日間であった。今冬季は山地(地蔵山頂駅)の降積雪が多かったため、雪に埋もれた影響で背の低い樹氷が多くみられた。

3. 樹氷の高度変化

目視による樹氷の高度変化観測より、地蔵岳山頂(標高1736 m)から連続的に分布が確認された、今冬季の樹氷形成下限標高は1530 m付近(番号標80番付近)と判断された。図3にこれまでの樹氷形成下限標高と、冬季平均気温(12～2月午前9時データ：地蔵山頂駅観測)、及び冬季平均風速(12～2月8～16時平均データ：地蔵山頂駅観測)をまとめた。今冬季の平均気温は -7.7°C で、観測を実施した28冬季の平均値 -8.3°C より 0.6°C 高い値を示した。今冬季の平均風速は 8.6 m/s であり28冬季の平均値(9.3 m/s)よりも小さい値であった。

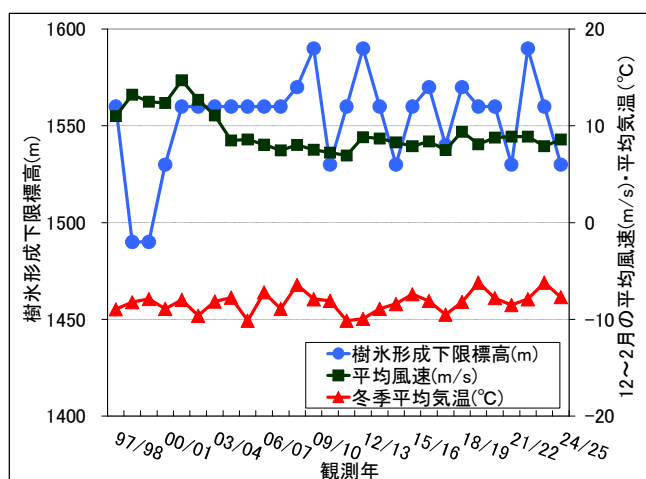


図3 樹氷形成下限標高と冬季平均気温・平均風速。

4. アオモリトドマツの枯木について

2013年以降の蛾の幼虫(トウヒツヅリヒメハマキ)によるアオモリトドマツの針葉の食害被害と、トドマツノキクイムシの穿入被害によって、現在樹氷形成範囲と重複する蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅周辺から標高1550 m付近に分布するアオモリトドマツは殆ど全てが枯れている。枯れ始めてから10年以上が経過しており、最近では積雪表面付近で幹折れする枯れ木が多く、結果的に樹氷の分布密度が低下している。今冬季はこの樹氷地帯をスキー・スノーボードで滑走する人を多く見かけ、断面観測箇所周辺(ゲレンデ外、国定公園内)も滑走跡が多く確認された(図4)。



図4 断面観測箇所周辺のスキー等滑走跡(2025年3月11日撮影)。

5. まとめ

気象庁(2025)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(246.3 mm)の108%で 267 mm であり、最深積雪も 58 cm で平年値(51 cm)よりも多かった。山形市の12月～2月の平均気温は 1.0°C であり、平年値(0.9°C)に近い気温であった。山地である蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅の観測による今冬季の最深積雪は 265 cm で、これまで28冬季の観測結果の平均値 234 cm よりも多く、最深積雪が 250 cm を超えたのは2013/2014冬季以来11年ぶりであった。

平地(山形市)では気温は平年並みで降水量、最深積雪は多い年であった。山地(地蔵山頂駅)では平均気温

は高めだが積雪深は多く、平地と山地ではどちらも積雪は多めであったが気温の傾向に違いがある年であった。今冬季の樹氷形成下限標高は 1530 m と 28 冬季の平均値 1553 m よりも低く、本格的な降積雪が 11 月末から始まり 12 月は雪雲の中で降雪と強風の状態が続き気温が安定していたことから、平均気温が高めの中でも例年以上の範囲で樹氷が形成されたことが確認された。地蔵山頂駅付近では 12 月中旬から樹氷鑑賞が可能となった(図 5)。3 月初めの崩壊まで、樹氷鑑賞期間は約 72 日間であった。

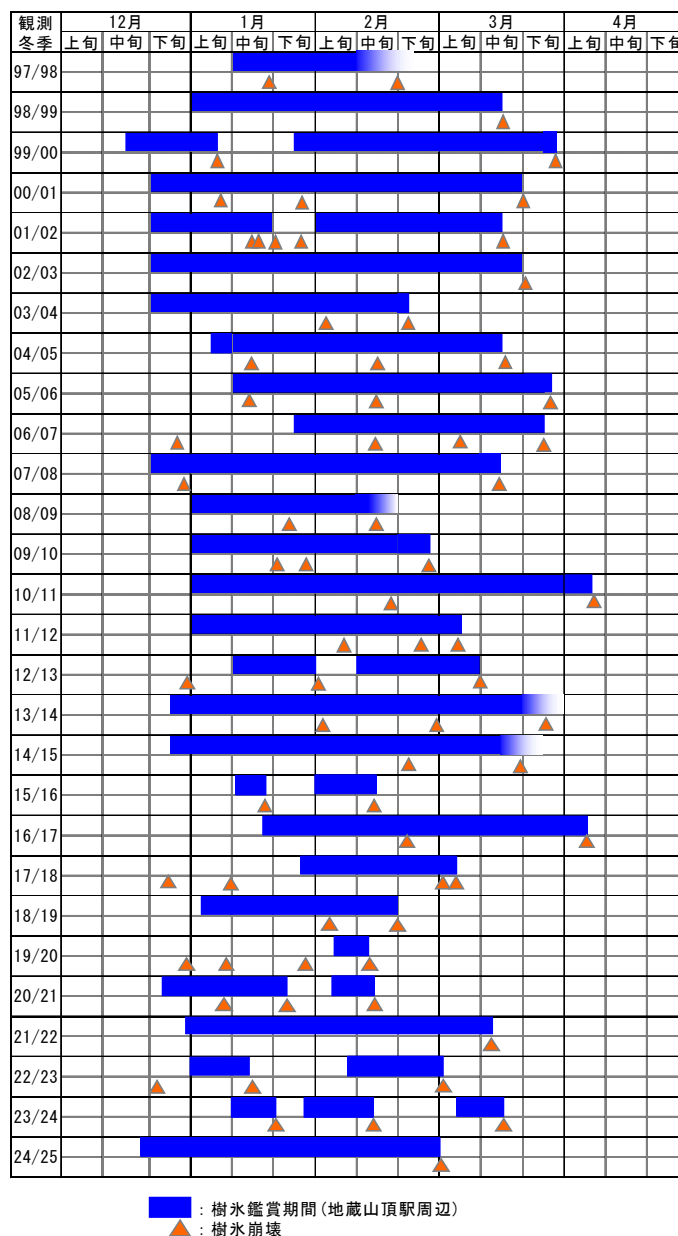


図 5 地蔵山頂駅付近の樹氷鑑賞期間。

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る。

【引用文献】

気象庁(2025): 全国気候表(2025 年冬(2024 年 12 月～2025 年 2 月)).

https://www.data.jma.go.jp/stats/stat/202513/kiko_202513.html (2025 年 3 月 28 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.

地中熱利用施設計画時の熱応答試験で 流量条件が異なる場合における試験結果評価の一検討

山口正敏 (日本地下水開発株式会社)

**Evaluation of Apparent Thermal Conductivity,
in case of the Different Circulation Rate and Same Heat Output.
Masatoshi YAMAGUCHI (Japan Groundwater Development CO., LTD)**

1. はじめに

地中熱利用設備の計画に際しては、設備が要求する熱負荷を設定し、計画地でその熱量が得られるかを確認して熱源設備仕様が決定される。そのために、設計段階において計画地での原位置試験（熱応答試験；(TRT) Thermal Response Test）を実施し、地盤の平均地温や見かけの熱伝導率を評価する。その評価値を加味したシミュレーション等で、地中熱交換井孔数が決められる。TRT は、実際の設備仕様や稼働条件と同様な値で実施する必要があるため、設備仕様が変更されれば熱交換器内循環量が変わる場合がある。基本的には、管内エア排出と熱交換に有利となる乱流状態を目指した循環量に設定される。

地盤の見かけの熱伝導率は、線源理論に基づく解析解をベースとした評価式で求められ、発熱量が同じであれば地中熱交換器内の循環量が異なっても、地盤の見かけの熱伝導率は同じ値と評価されることになる。詳細については、技術書（2018）を参照されたい。これらを踏まえ、TRT において発熱量が同じものの循環量が異なる場合の TRT 結果の比較を試みた。

2. TRT の実施と結果

口径Φ25（内径：27[mm]）のポリエチレン製地中熱交換器が 2 組挿入されたダブルUタイプの既設熱交換器を対象とし、加熱量 5[kW/孔]、循環量を 30[L/min/孔]（地中熱交換器 1 組には 15[L/min]）とした場合、また、加熱量は同じに、循環量を 15[L/min/孔]（地中熱交換器 1 組には 7.5[L/min]）とした場合の 2 ケースについて TRT を実施した。

図 1 に循環量が 30[L/min/孔]の試験結果を、図 2 に循環量が 15[L/min/孔]の場合について示す。両者ともに、試験期間中に降雨があったり日々気温の変動があったものの、地中熱交換器出入口温度へはそれらの影響は見られなかったことから、配管の断熱は適切であったことが伺える。循環量の少ない

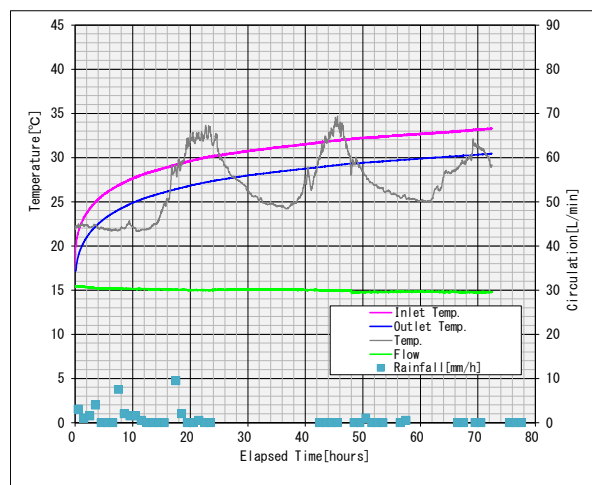


図 1 循環量 30[L/min/孔]の試験結果。

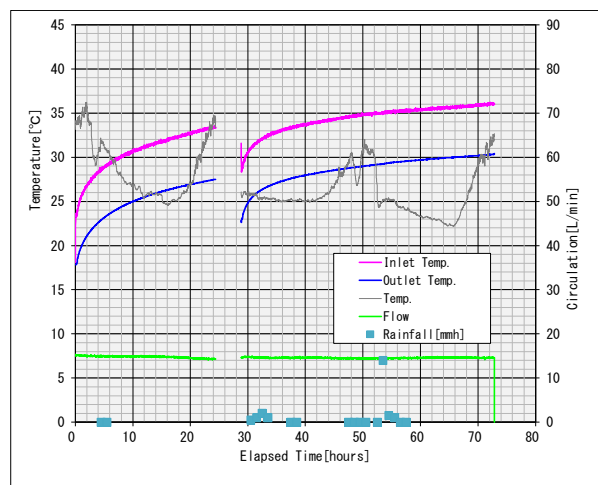


図 2 循環量 15[L/min/孔]の試験結果。

15[L/min/孔]の方が，出入口温度差が大きくなったことが確認できる．実際に地中へ与えた熱負荷（発熱量）は，いずれも循環量と温度差から約 58[W/m]で一定に推移していた．なお，循環量の少ない 15[L/min/孔]の場合においては，途中で電源遮断に伴う加温停止となった後に，自動回復して再加熱する形となってしまった．本来であれば，孔内温度が低下するまで放置し再試験するべきであるが，今回はこのデータも利用して比較検討を試みた．

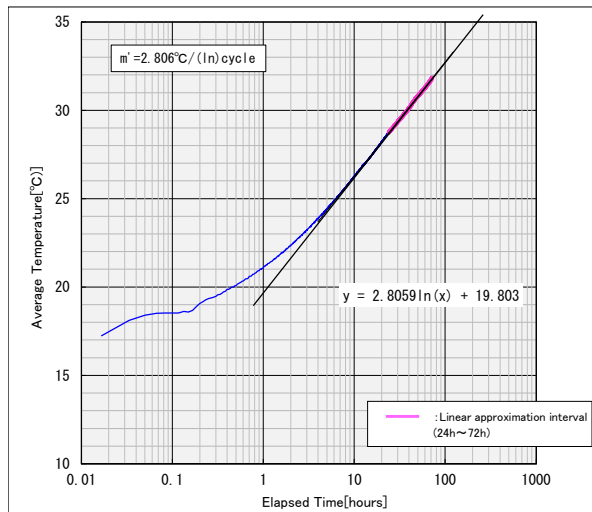


図 3 循環量 30[L/min/孔]の解析結果.

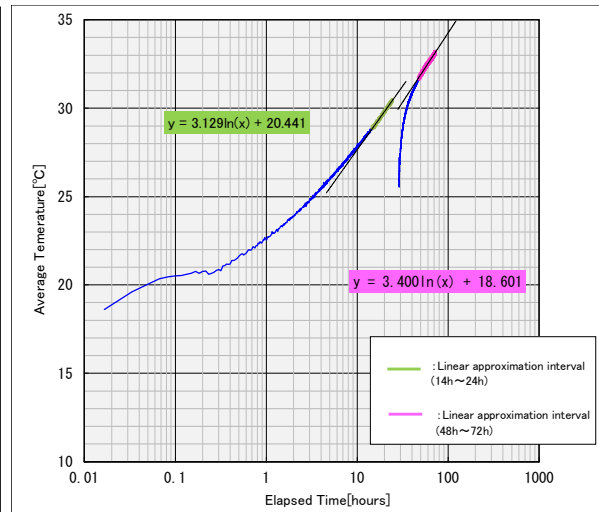


図 4 循環量 15[L/min/孔]の解析結果.

図 3 に循環量 30[L/min/孔]の，図 4 には同 15[L/min/孔]の解析結果を示す．前者では，測定開始 24 時間後～終了 72 時間までのデータから，地盤の見かけの熱伝導率は 1.65[W/(m・K)]（24～72 時間）と算定された．一方，循環量の少ない後者では，前述したように，途中の電源遮断があったものの，1.50[W/(m・K)]（14～24 時間），1.36[W/(m・K)]（48～72 時間：再加熱時）と算定された．

一般に，加温開始後数時間のデータは，地中熱交換井内の熱容量の影響が残るために評価式の近似精度がよくないため評価に含めない．また，一旦加温された状態からの温度上昇となった再加熱データは，そもそもの評価式的前提条件から外れるため，これら 3 つのデータをそのまま比較することはできず，今後，改めて，データ取得し比較を検討したい．

3. おわりに

今回の TRT では，循環量の少ない 15[L/min]時の試験データを適切に取得できなかったこともあり，循環量の違いによる比較検討まで詳細に踏み込むことはできなかったため，今後，再度，データ取得を試み，循環量による違いが生じるのか否か等について検討に供したいと考える．

【引用文献】

- 1) NPO 法人 地中熱利用促進協会 編 (2018)：一定加熱・温水循環方式熱応答試験（TRT）技術書，https://www.geohpaj.org/wp2/wp-content/uploads/trt_draft_20180830.pdf (2025/6/9)

「天からの手紙」を読み解きたい

後藤 博 (秋田雪の会)

I want to decipher the famous saying by Nakaya, namely letter from the sky
Hiroshi GOTO (Akita Society of Snow)

1. はじめに

「雪は天から送られた手紙である」はあまりによく知られた中谷宇吉郎の名言である。この言葉はナカヤダイヤグラムを根底に据えた科学的な見識と共に、どこかしら未知の世界へのロマンを誘い、情緒的な響きと相まって読者の心に鮮烈に残る。精密な実験室での結果をそのまま天然現象に適用することには、疑問の点も指摘されているが気温・水蒸気量の多少についてなどの基本的な事は変わらない。そこで筆者の居住地湯沢での降雪粒子から得られる情報と、直線距離 65km 程度離れた秋田地方気象台の高層観測から得られるデータを高層気象では大差なしと見なして活用し、さらにエマグラムや地上天気図を参考に降雪粒子の生成域や生成過程を検討してみた。

2. 観察と資料

秋田地方気象台の高層観測は、9・21 時に行っている。そこで秋田県南部の横手盆地南に位置する湯沢市での降雪粒子の観察は、9・21 時を中心とする 1～2 時間で行った。結晶形の把握は図 1 に示すように、スマホに小さい凸レンズ（倍率/8.3 倍）を装着して、降雪粒子を受け取る板（黒のビロードを貼り付けたもの）上で、できるだけはっきりしたものを写真撮影して行った。1 回の観察で 30 枚程度撮った（図 2）。0℃前後で極めて融解しやすい状況では、雪に食塩を混入した冷却剤の上に鉄板を置き、その上の降雪粒子を撮影した。その他に気温、湿度、雪片のサイズ、積雪の状況を観察項目とした。



図 1 観察用具。

資料としては、気象台のデータ（気温・相対湿度・風向・風速）を横軸に高度を縦軸にしてグラフ化したもの（図 3）、ワイオミング大学から公開されているエマグラムと気象庁地上天気図を参考にした。

3. 結果と考察

◆3-1. 2025.2.1. 9 時の事例 観察結果と予想を表 1 に、資料を図 2・図 3 に、考察を表 2 に示す。

表 1 観察結果と予想。 () 内のデータはアメダス湯沢による。

年月日 時間	気温 (℃)	湿度 (%)	主な結晶形	雪片 サイズ (mm)	積雪 wet, dry	予想されること
2025. 2. 1 8 : 10 ～9 : 30	-0.6 ～ 0.0	(91) ～ (97)	雲粒付樹枝六花 雲粒付羊歯六花 雲粒付立体樹枝 付樹枝	5mm ～ 20	wet	雲粒付→落下途中に高い湿度域。 樹枝の成長→-12～ -16℃で 高い水蒸気密度域。 樹枝六花の成長→比較的風が弱 く穏やか。

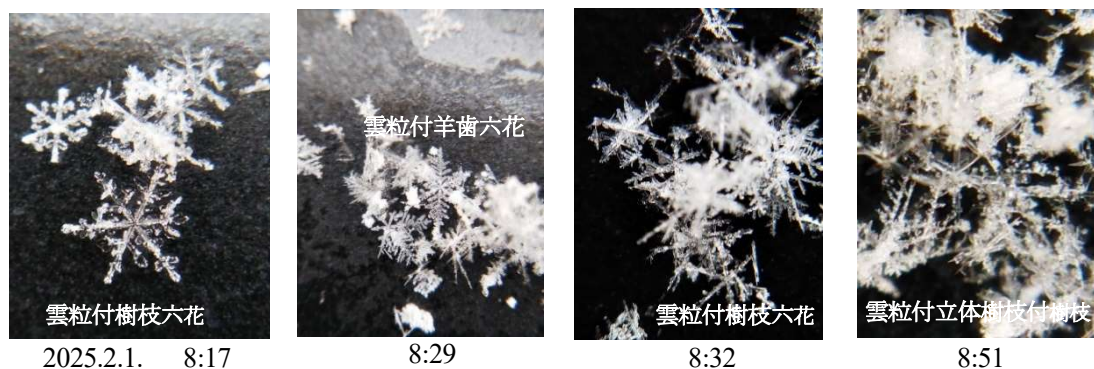


図 2 スマホによる写真例.

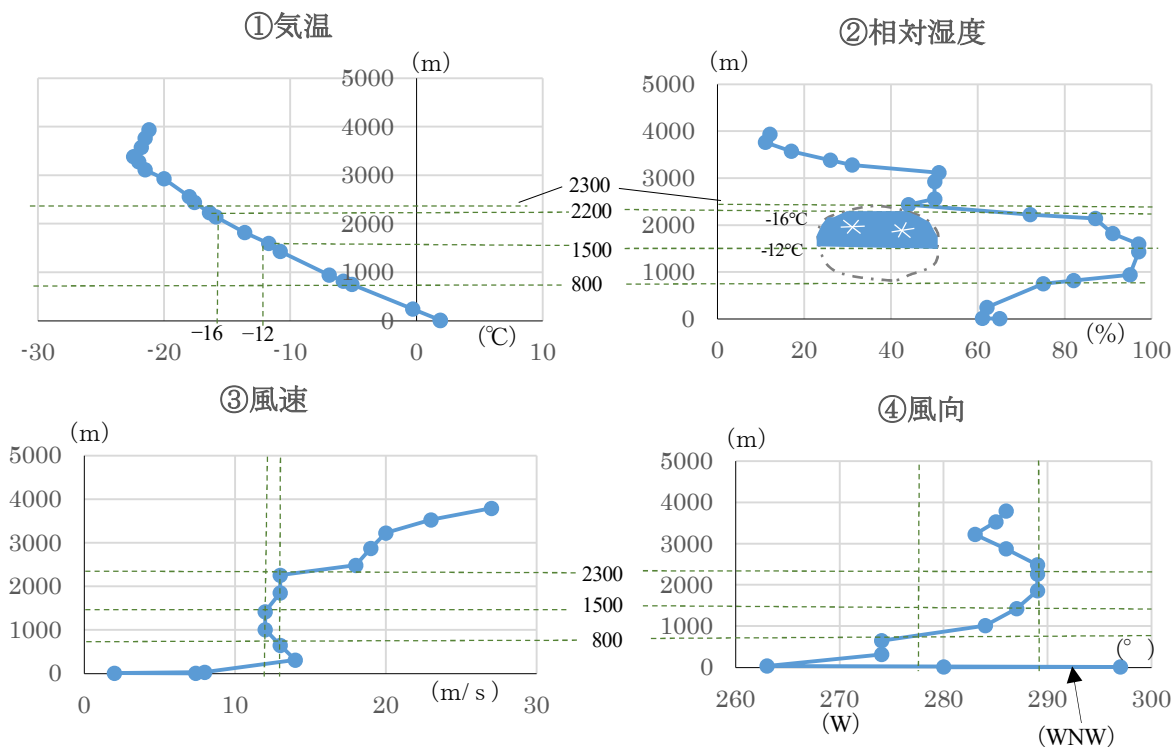


図 3 高層気象観測値 (秋田 2025.2.1.9 時) .

表 2 考察.

降雪粒子から予想されること	高層気象観測値・天気図からの考察
「雲粒付」であることから、過冷却水滴域（高湿度域）を通過して落下してきた。 「樹枝」の成長から、気温 $-12 \sim -16^{\circ}\text{C}$ で高い水蒸気密度域が存在していた。 - 樹枝六花の成長や大きい雪片が含まれることから、比較的風が弱く風速の変動が少ない区域で成長、落下してきた。	②相対湿度のグラフから、雲域は $800 \sim 2300\text{m}$ 位の高度で、それぞれ雲底、雲頂高度に相当し、高さ 1500m 間の雲域の特に中央より下部落下中に十分な雲粒を捕捉したと考えられる。 ①気温のグラフから、$-12 \sim -16^{\circ}\text{C}$ の高度は $1500 \sim 2200\text{m}$ 位に相当する。この域は、②より雲域の中央より上部に相当し、水蒸気密度も高く、樹枝の成長に大きく寄与したものと考えられる。 - 発達した低気圧はカムチャッカ方面に去り、北日本付近の冬型の気圧配置は次第に緩んできた状況である。③風速のグラフより、雲域は高度に関わらず風速 $12 \sim 13\text{m/s}$ で、④風向グラフよりほぼ一定の西北西からの風が吹いていた。

◆3-2. 2025.1.29.21 時の事例 観察結果と予想を表 3 に, 資料を図 4・図 5 に, 考察を表 4 に示す.

表 3 観察結果と予想.

年月日 時間	気温 (°C)	湿度 (%)	主な結晶形	雪片 サイズ (mm)	積雪 wet, dry	予想されること
2025.1.29 20:30 ~ 22:00	+0.1 ~ +0.4	(97) ~ (100)	塊霰 紡錘霰 六花霰 霰	4 ~ 7	wet	霰→背の低い積雲. 多量の過冷却水滴域 (高湿度域). 強い風速と乱流. 六花→ -10 ~ -22°C の高湿度域. 霰→地表近くの暖気と高湿度.

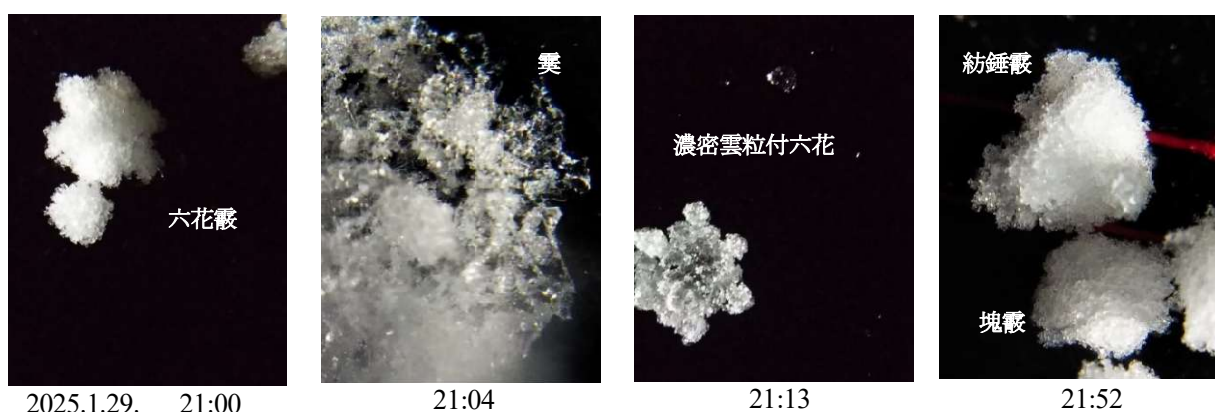


図 4 スマホによる写真例.

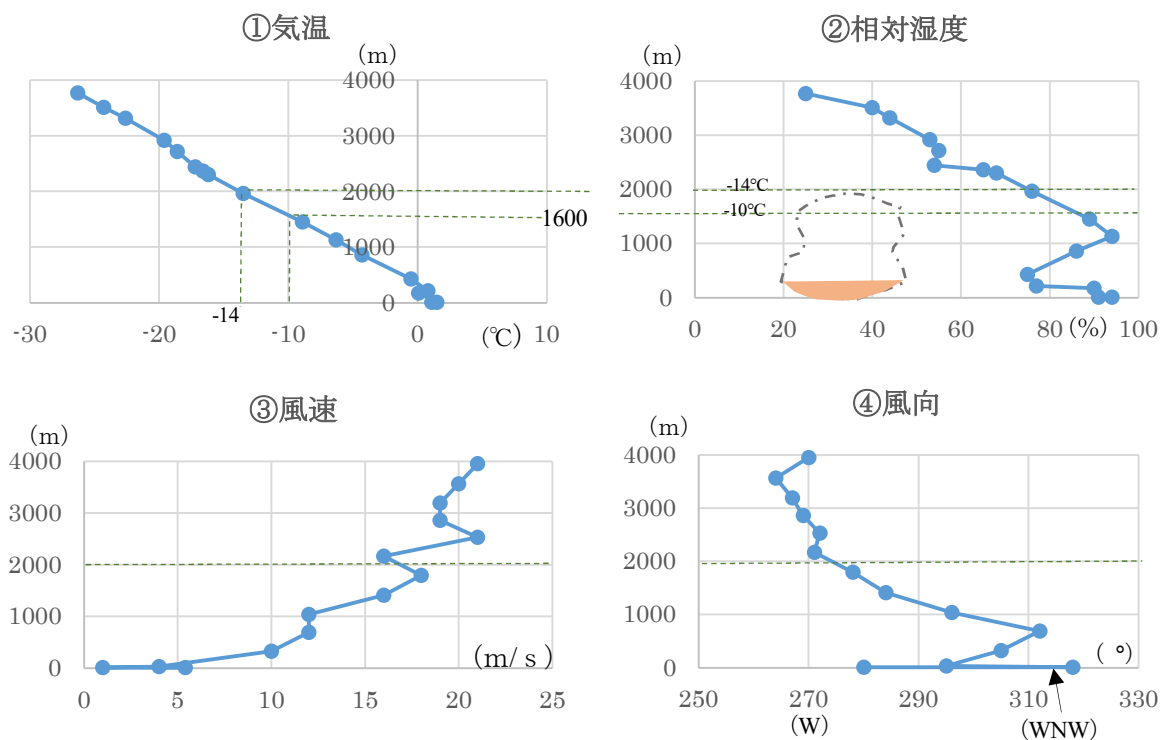


図 5 高層気象観測値 (秋田 2025.1.29.21 時) .

表 4 考察.

降雪粒子から予想されること	高層気象観測値・天気図からの考察
- 霰であることから背の低い積雲があり, 多量の過冷却水滴 (高湿度域) が存在し, 落下途中に補足されるためには, 比較的強い風と乱流が予想される. - 六花霰が含まれており, 雲に樹枝の痕跡があり, 雲粒付着の前は$-10 \sim -22^{\circ}\text{C}$の域での結晶成長があったと考えられる. - 霰が降ったことから, 地上付近の暖気と高湿度状態が予想される.	②相対湿度のグラフから, 雲域は 2000 m 位までと考えられ, 特に地上付近と 1000~1500 m の区域が高水蒸気密度域になっている. ③風速のグラフより, 風速は地上付近の微風から 2500 m 付近の 20 m/s までほぼ直線的に増している. ④の風向のグラフから上層の西風が下層になるに従い北寄りの西北西の風になり, 700 m より下層では再び西よりの風になり, 比較的変動がはげしい. ①の気温のグラフから, 2000 m での気温は-14°Cであり雲域の上部で六花の結晶が生成され, 1000~1500 m の高度で多くの雲粒を捕捉して霰を形成したと考えられる. ①から地上から 300 m 位までは, プラスの気温であり, ②より高湿度域であった. 当地湯沢でも気温はプラスであった.

◆3-3. 2025.1.26.9 時の事例 観察結果と予想を表 5 に, 資料を図 6・図 7 に, 考察を表 6 に示す.

表 5 観察結果と予想.

年月日 時間	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%)	主な結晶形	雪片 サイズ (mm)	積雪 wet, dry	予想されること
2025.1.26 7:55~ 9:50	-0.2 ~ $+1.3$	73 ~ 88	扇六花 広幅六花 扇付角板 骸晶角柱	5 ~ 20	wet	雲粒が少ない→比較的低湿度域を落下. 板状結晶→ $-10 \sim -22^{\circ}\text{C}$ の域. 角柱→ $-3 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 域と -22°C より低温域.

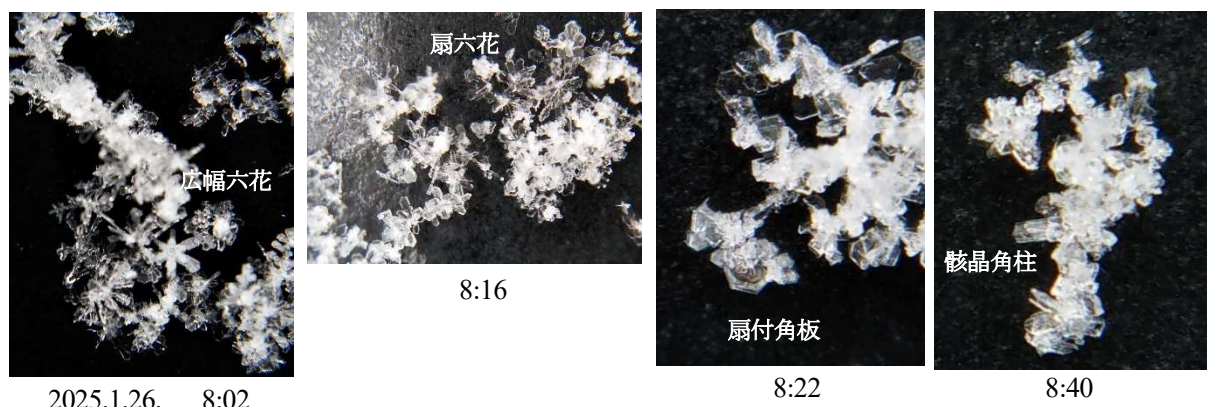


図 6 スマホによる写真例.

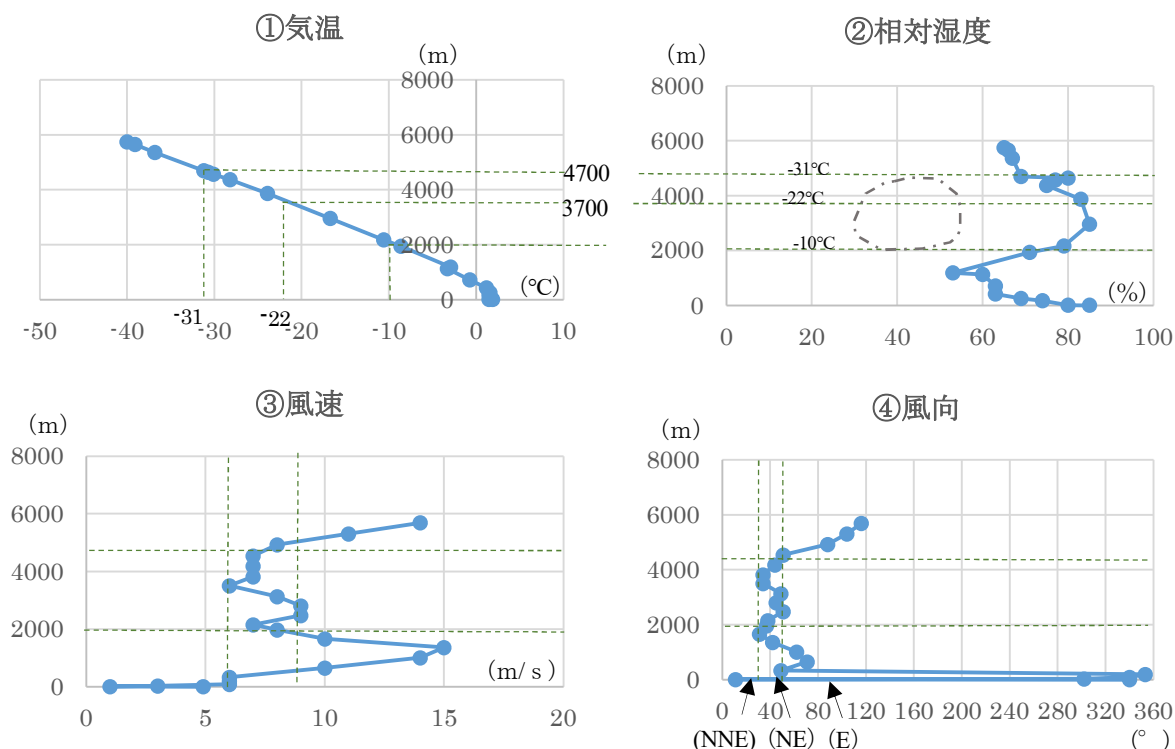


図 7 高層気象観測値 (秋田 2025.1.26. 9 時) .

表 6 考察.

降雪粒子から予想されること	高層気象観測値・天気図からの考察
・雲粒が少ないことから、降雪粒子は比較的低い湿度域を通過して落下してきた。 ・角板状結晶の成長から $-10\sim -22^{\circ}\text{C}$ の域が存在していた。 ・角柱状結晶の成長から $-3\sim -10^{\circ}\text{C}$, -22°C より低温域が存在していた。	・②相対湿度のグラフから、雲域は 2000 m 位から 4700 m 位までと考えられ、その間は雲域としては 80 % を超える程度の比較的低い湿度であった。 ・①の気温のグラフから、気温が -10°C の高度は 2000 m であり、ほぼ雲底に相当している。また -22°C の高度は 3700 m 位で雲域の中央部に相当する。したがって、雲域の中央より下方域が角板状結晶の成長域と考えられる。 比較的湿度が低い環境が樹枝状結晶の成長につながらなかったと考えられる。 ・雲底が -10°C 位であり、角柱状結晶は主として雲域中央より上部の -22°C より低温域で成長したと考えられる。

4. 感想と課題

秋田県南部の湯沢での降雪粒子から得られる情報と、ほぼ北西の方向 65km 離れた高層気象観測地 (秋田) でのデータが、予想以上によく適合していた。今回は紙面の都合上 39 例中 3 例を記述したが、他も分析して全体としての傾向を探りたい。当地での降雪粒子はほとんど「雲粒付」であり、霰の割合が非常に大きい。天気図についての説明は割愛したが、水平方向の雲の流れも重要な要素なので、今後の課題としたい。

【引用文献】

気象庁ホームページ <https://www.data.jma.go.jp/stats/etm/index.php> (2025.4.18)

大館郷土博物館における雪氷教育の実践例

鳥潟幸男（大館市教育委員会）

A Case Study of Snow and Ice Education Practices at the Odate City Museum

Yukio TORIGATA (Odate City Board of Education)

1. はじめに

大館郷土博物館では子どもたちの知的探求心を喚起して科学への関心を育むことを目的に、「子ども科学教室（わくわくサイエンス）」を年 5～10 回開催している。その一環として冬季には雪氷をテーマとした講座を開講している。雪国に暮らし、日常的に雪や氷に接していても、美しく多様な雪結晶が降っていること、過冷却現象など数々の興味深い雪氷現象が身近で起きていることに気づいている人は少ない。本講座は、こうした不思議な自然現象を観察し、その美しさや不思議さに感嘆する体験を通じて、雪氷現象への理解と関心を深めようとするものである。2015 年度までの開催内容については鳥潟（2016）で報告されているが、本稿では、それ以降の開催事例を追加し、当館における雪氷講座の実施内容、成果、課題、教育的効果、および今後の展望について報告する。

2. 講座の概要

当講座は、2010 年度から 2024 年度にかけて計 14 回開講され、小学生とその家族を対象としている（表 1）。内容は、雪や氷の基礎に関する座学、過冷却水の凍結実験、雪結晶の顕微鏡観察（スケッチ）、積雪断面観察（色、硬さ、温度の鉛直分布）、積雪重量観測（計測・防災啓発）など多岐にわたる（図 1, 2）。講師は当館の学芸員で気象予報士である筆者が務め、各班の班長（補助講師）として、日本気象予報士会や青森県気象予報士会の会員、地元テレビ局の気象キャスター、気象学の大学教員、地元小学校教員、地元高校生の協力を得た（日本雪氷学会東北支部の会員 2 人を含む）。多くの観察や実験は参加者にとって初体験であり、好奇心を持って積極的に取り組む姿が見られた。

このほか、雪結晶を顕微鏡で自由に観察する自学自習型の講座（解説・補助あり）を 2016 年度から 2024 年度の 9 冬季にわたり 20 回開催しており、「冬休み子ども新聞」など学校の冬休みの課題にも活用されてきた。



図 1 過冷却水の実験。



図 2 雪結晶の顕微鏡観察。

表 1 大館郷土博物館で主催された雪氷講座の開催結果.

年度	開催日時	参加 人数 (人)	講師陣	雪結 晶観 察	過冷却水の 実験		断面 観察	積雪重 量観測	積雪深 (cm)	全層平均 密度 (g/cm ³)	積雪 重量 (kg/m ²)	積雪重量 屋根上こ ども換算 (人/20坪)	自学自習 講座(顕微 鏡観察)
					自然 冷却 方式	人工 冷却 方式							
2010	2011.2.12 10:00-11:30	33	予報士1人, 高校生5人	○	—	—	○	○	65	0.29	188	488	
2011	2012.2.18 10:00-11:30	32	予報士2人, ほか2人	○	—	—	○	○	66	0.27	175	454	
2012	2013.1.19 10:00-11:30	19	予報士1人, 小学教員1 人, 他2人	○	○	—	○	○	42	0.21	88	227	
2013	2014.2.1 10:00-11:30	39	予報士2人, 小学教員1 人, 他1人	○	○	—	○	○	57	0.23	133	344	
2014	2015.1.31 10:00-11:30	16	予報士3人, 小学教員1人	○	×	○	○	○	86	0.29	249	647	
2015	2016.1.30 10:00-11:30	37	予報士3人, 小学教員1人	○	○	○	○	○	39	0.19	76	197	
2016	2017.1.28 9:15-10:45	14	予報士3人	○	○	—	○	○	35	0.25	86	223	12/23,24, 1/5, 6
2017	2018.1.27 9:15-10:45	15	予報士4人, 小学教員1人	○	○	—	—	○	57	0.21	122	317	12/26, 1/5
2018	2019.1.19 9:15-10:45	16	予報士3人, 小学教員1人	○	○	—	—	○	22	0.20	44	115	12/26, 1/8
2019	2020.1.25 9:15-10:45	20	予報士3人, 小学教員1人	○	○	—	—	○	7	0.24	17	44	12/26, 1/8
2020	コロナ禍 で中止	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/6, 1/9
2021	2022.1.29 9:15-10:45	16	予報士3人, 小学教員1人	○	○	—	○	○	70	0.25	172	447	1/5, 1/8
2022	2023.1.21 9:15-10:45	15	予報士1人, 大学教員1人	○	○	—	○	○	39	0.26	103	267	12/27, 1/7
2023	2024.1.27 9:15-10:45	14	予報士3人	○	×	—	○	○	10	0.14	14	36	12/27, 1/6
2024	2025.1.25 9:15-10:45	11	予報士3人	○	○	—	○	○	41	0.32	129	335	12/26, 1/8
計		297						平均	45	0.24	114	296	

○ 観察または実験を実施 × 高温により実験失敗

3. 実施内容の詳細と課題

3.1 過冷却水の実験

参加者には過冷却水が封入された 2L のペットボトルを 2 本ずつ配布し、2 通りの方法で実験した。水を氷片などに衝突するように注いで氷箭を作る方法とペットボトルの両端を手で叩いて、その衝撃で凍結させる方法である。低温時はちょっとした振動で凍結してしまうため、水を注ぐ際にペットボトルの口元で凍結してしまうこともあった。逆に、過冷却状態にはあるものの 0℃に近い場合は、衝撃を与えてもなかなか凍結せず、保護者の力を借りて激しく衝撃を与え続けてやっと凍結するということがあった。実験に成功すると、児童も保護者も不思議そうに見入ったり、感嘆の声を上げたりしており、知的探求心が刺激されている様子が見えた。

実験に使用する過冷却水は、前日の夕方に水道水を封入したペットボトルを屋外にある物置に保管し、夜間の冷え込みを利用して生成している。そのため、夜間の冷却が弱い時や、日中の気温の上昇で過冷却状態が解消されてしまうような条件下では、過冷却水の凍結実験は失敗する恐れがある。2014 年度は夜間の冷え込みが弱いことが予想されたため、「く〜るクールくん」(https://www.seppyo.org/activity/cryosphere/cryo_exp/supercooled_water/)を参考にして、人工的に過冷却水を生成し、対応した。ただし、人工冷却方式の場合、参加者に配る過冷却水を十分な量作り出すことができないことが課題であった。自然冷却では一人 2 本のペットボトルを支給でき、参加者が試行錯誤しながら

自由に実験できるが、人工冷却では演示実験となり、体験要素が制限される。これに対応するため、2016年度以降は講座の開催時刻を45分早めて、水温が上昇する前の9時15分開始とした(図3)。その後、実験はかろうじて6回連続成功していたが2023年度は失敗した。この時は、実験方法が書かれたマニュアルとペットボトルを配布して自宅で実験してもらうことにした。過冷却水の実験はこれまで12回開催したが、自然冷却方式で生成した過冷却水を用いた場合、2回失敗(失敗率17%)しており、代替措置の準備が必要である。このように当日の気象条件に大きく左右される点が、本実験の最大の課題である。なお、大館では、冬季にこの過冷却状態の雨により、車両の滑走事故や歩行者の転倒事故が多発することがある(鳥潟, 2023a, 2023b)ので雨水災害に対する啓発も行った(図4)。

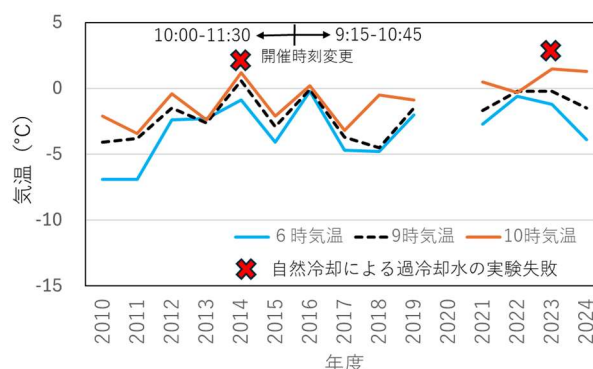


図3 過冷却水実験時の気温。

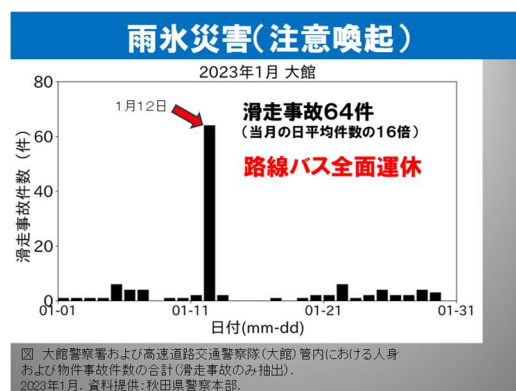


図4 講座で使ったスライド「雨水災害(注意喚起)」。2023年1月12日の雨水災害事例を紹介した。

3.2 雪結晶の観察

雪結晶の観察は14回実施した。雪が降っている日は、降ってくる雪をスライドグラスやフェルト板で捕集し、ルーペや顕微鏡で観察した。発見する喜びを深めるため、丁寧に観察しながらスケッチをし、自ら発見したことや感想を記入することになっている。その結果、教科書に掲載されるようなきれいな結晶はなかなか存在しないということや、樹枝状六花だけではなく、さまざまな形の雪結晶があることを自らの観察を通じて体感できた参加者が多かった。参加者の中には、「顕微鏡をのぞいている最中に、雪結晶がどんどん小さくなっていくことに気づいた。」と、観察シートに記入した児童がいた。すなわち、固相の水が、液相を経ることなく、直接気相の水蒸気に昇華していくことを自身の目で見出したということである。顕微鏡をのぞき、雪結晶の世界に初めて入り込むだけでも、知的好奇心が刺激されるが、それに加え、スケッチを課すことで、より注意深く観察し、自らの発見に至る参加者が多く見られた。

雪が降っていない場合は、積もっている雪を採集して観察した。新鮮な雪結晶を観察することはできないが、ザラメ雪のきらめきを観察して、きれいだと感嘆の声を上げる参加者も多かった。新雪がなくても、このような感動を通じて、雪に対する関心が高められていく機会になっていると考えられる。

3.3 積雪の断面観察

積雪の断面観測は11回行った。講座開始前にあらかじめ雪を掘って観察サイトを班の数分つくっておき、班ごとに観察をした(図5)。上層、中層、下層にわけ、雪の色、硬さ、温度などを確認して、記録した。積雪断面に指を差し込んで硬い層と柔らかい層があることを体感した。スケッチ後の感想では、硬さや柔らかさについて言及している参加者が多かった。



図 5 積雪断面観察の様子。

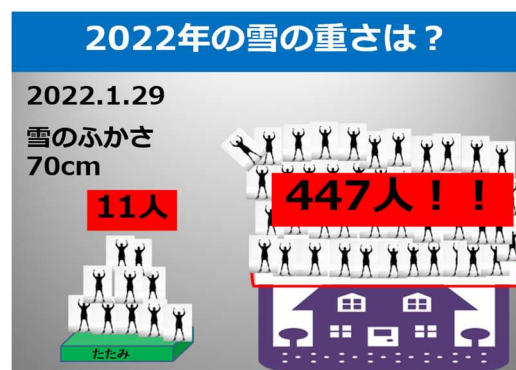


図 6 講座で使用したスライド「2022 年の雪の重さは?」。20 坪の屋根上の積雪重量を 25kg の子どもの人数に例えた。

3.4 積雪の重量観測

積雪の重量観測は 14 回行った。煙突で代用したスノーサンプラーを用いて積雪を採取し、秤で重量を計測した。1 m^2 当たりの重量で表現しても小学校低学年の児童は実感しにくいので、1 軒の屋根（屋根面積 20 坪）上に子ども（体重 25 kg）何人分の重さの雪が載っているのかに換算して説明した。例えば、2022 年 1 月 29 日の積雪重量 172 kg/m^2 は、屋根上では子ども 447 人分の重量に相当する（図 6）。この例えで雪の重さを実感した後、雪下ろしの必要性や落雪の危険性などに触れた。実習前の座学でも落雪の様子をスライドで示して危険性を伝えているが、実習を通して改めて雪や氷の塊の落下の危険性を再認識し、軒下では絶対遊ばないという防災意識が高まったものと考えられる。

4. 教育的効果と今後の展望

過冷却水のふるまいの不思議さ、雪結晶の美しさ、雪の硬さ、重さなど、子どもたちがこれまで気づいてこなかった雪や氷の性質や様子を実験・観察を通して体感することにより、雪や氷に対する関心が高まったものと考えられる。また、積雪重量については、屋根上に子ども 447 人分の重さの雪が載っているという例えにより、その重さを実感し、軒下で遊ぶことの危険性を学ぶことができたと考えられる。このほか、実験で扱った過冷却現象であるが、大館では冬季に過冷却状態の雨が降ることがあり、車両の滑走事故や歩行者の転倒事故が多発することがあるため、注意喚起も行った。雪氷防災意識の向上に寄与したものと考えられる。

このほか、雪氷現象への関心を喚起するため、実習前の座学で、大館周辺で撮影された雪結晶、ダイヤモンドダスト、霜柱、表面霜、樹霜、樹氷、雪えくぼ、雪ひも、斑点濡れ雪、雪まくりなどを紹介した。このような美しい氷や雪の芸術は日常生活の中に潜んでおり、注意深く観察すれば鑑賞可能である。身近でこのような雪氷美を鑑賞できることは、雪国に暮らす者の特権であり、雪国での暮らしを彩るものである。当講座では、このような雪氷に対するポジティブな側面も紹介するようにしている。

このような多様な切り口を通じて、次世代を担う子どもたちが雪や氷への関心を深め、親雪・楽雪・利雪・克雪に向けての基礎的素養を育むことが期待される。加えて、家族単位での参加が多いため、保護者の雪氷防災に対する意識の向上にも貢献していると考えられる。

【引用文献】

- 鳥潟幸男 (2016) : わくわくサイエンス「雪の観察」—知的探求心の刺激。雪氷, 78, 143-145.
 鳥潟幸男 (2023a) : 2019 年 12 月および 2020 年 2 月に秋田県内陸北部で発生した着氷性の雨の発生事例。東北の雪と生活, 38, 3-8.
 鳥潟幸男 (2023b) : 2023 年 1 月 12 日秋田県大館市で発生した雨氷災害。日本気象学会 2023 年度秋季大会講演予稿集, 319.

秋田県とその周辺における 2024-25 年冬季の積雪の特徴

本谷 研 (秋田大学教育文化学部)

Characteristics of snow cover in Akita Prefecture and its surrounding areas in the winter of 2024-25

Ken Motoya (Akita University)

1. はじめに

降積雪現象は時間的・空間的な変動が極めて大きい自然現象である。また、積雪量多寡の年々変動は雪国の生活に大きな影響を与える場合がある。このため、現地観測などに加え、物理モデルを応用して、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が重要である。気象庁の資料「2024 年～2025 年の冬（12 月～2 月）の天候」（気象庁, 2025a）によれば、2024-25 年冬季は、「北日本では 1 月に寒気の影響が弱く、気温がかなり高かった半面、冬型の気圧配置が強まった時期(12 月や翌 2 月下旬)には所により大雪となり、降水量も多かった。」と纏められており、一冬を平均した気温は平年より高いものの降雪量は北日本日本海側では平年並みであった。秋田県でも冬期間の気温は平年よりも 0.5～1.0℃高く、降水量は平年の 100～120%程度とやや多く、日照時間は平年より多い平年比 110～120%程で、降雪量は秋田県北部や内陸の一部でかなり多く、県内のほかの地域も平年並みであった。こうした 2024-25 年冬季の積雪量の推移や分布傾向について、ルーチン気象データと診断型積雪水量分布モデルや気象観測資料により調べたので報告する。

2. 使用データ・積雪水量分布モデル

2.1 使用データ

日平均および日最高・最低気温(℃)、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)などの気象要素の分布をアメダス(図 2 の解析領域とその周辺で約 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の仮定により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, 2025b)から取得して使用した。また、標高・土地利用などの分布情報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 1 地形図単位毎に 1km 四方で格子平均(土地利用は面積比で最大となる区分で代表)して用いた。

2.2 積雪分布モデル・解析領域

前述の方法で作成した入力気象データ分布に基づいて、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 2 の太線枠内で示した、青森、秋田、岩手、山形、宮城、福島、の面積約 77000 km^2)における日単位・1km グリッド毎の積雪水量を、冬の初めの 2024 年 11 月 1 日を計算開始日として、2025 年 4 月 30 日まで計算した(具体的手法は、本谷ほか(2020)に同じ)。

3. 結果

3.1 秋田県内の積雪深観測アメダスにおける積雪深変化

図 1 に秋田県内の積雪深観測アメダス(能代、鷹巣、鹿角、秋田、五城目、阿仁合、角館、本荘、大正寺、横手、矢島、湯沢、湯の岱の 13 地点)における 2024 年 12 月初めから 2025 年 4 月下旬までの日最大積雪深(cm)の観測値(青実線)およびその平年値(赤実線)を示した。大正寺と内陸の阿仁合と県北の鷹巣、鹿角では積雪深が平年をかなり大きく上回り、2 月下旬の極大期には平年の倍近い積雪深となった。日本海沿岸に近い秋田、本荘と五城目では 2024 年 12 月の積雪増加が目立つものの平年以下、

角館、横手、矢島、湯沢と湯の岱では概ね平年並みの積雪深変化であったことがわかる。また、気温が平年よりかなり高い傾向だったため、雪解けが進み、平地の積雪は3月末までにほとんど消失した。

3.2 2024-25 年冬季における東北6県の雪水総量季節変化

図3に1980-81年冬季から2024-25年冬季までの解析領域(東北6県)全体(図2の太線枠内)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。2024-25年冬季は、東北6県全体の傾向として12月から翌1月中旬には連続する寒気の流下により継続的な積雪増加があり、1月下旬にひと段落したものの、3月上旬のピークに向けてここ45冬季中上位5位以内を維持しており、東北6県全体で合計した積雪水量の最大値は3月4日に $33.77\text{km}^3=33.77\text{Gt}$ と平均よりもかなり多くなった。

3.3 2024-25 年冬季における東北地方の積雪多寡分布

図4に東北6県の2025年1月における積雪水量多寡の分布について、平年値との偏差を30冬季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(図4中における比標準偏差が $+1\sigma$ とは、平年値に比べ標準偏差1つ分積雪水量が多いことを表している)。下北東部と上北南部および三八地方を除く青森全県で積雪水量が平年比 $+2\sigma$ 程度またはそれ以上となっていたほか、秋田県北部の内陸盆地などでも平年比 $+\sigma \sim +2\sigma$ と積雪が多かったことがわかる。特に青森市南部や黒石市の一部では平年比 $+3\sigma$ を上回る領域も見られた。その他、下越北部(村上の山間部)から置賜地方の一帯や会津に近い越後山脈南部などでも平年比 $+\sigma$ から $+2\sigma$ 以上で積雪水量が多かった。

4. 考察

3.3節で前述した積雪分布をもたらした仕組みについて考えてみた。まず、青森県周辺についてみると2024年12月下旬に著しい降雪が続いている。この時の天気図は強い冬型に加え、日本海上で等圧線が屈曲する寒気流下による里雪型の気圧配置が優勢であった。また、津軽海峡西方に海面水温が平年比で最大 2°C 程度高い領域が帯状に維持されていた。これらから、高い海面水温と強い寒気流下により日本海上の水温前線に沿うように雪雲の対流活動が活発化したことにより、激しい降雪が生じたのではないかと考えた。一方、下越北部から会津地方にかけての大雪は、2010年12月に国道49号線の大規模立往生発生時に見られた環境場(本吉・中井, 2012)と同様に、日本海上空への寒気流下に伴う里雪型気圧配置下で季節風の卓越方向が北～北西ではなく西北西～西よりの時に生じており、山岳による地形効果もあって会津周辺に降雪が多くなったことによるものと解釈できる。今後さらにこうした循環場の特徴の詳細について、情報を集めて明らかにしていきたいと考えている。

5. まとめ

以上より2024-25年冬季の秋田県および東北6県の積雪状況について、次のようにまとめられる。

- 1) 冬全体で高温傾向だったが、12月や翌2月下旬などの強い寒気に伴い降雪もかなり多かった。
- 2) 秋田県では、内陸および県北で平年より積雪かなり多い傾向で、積雪深で平年値の倍程度の観測点も見られたが、全県的にはほぼ平年並みであった。
- 3) 高温傾向のため融雪末期などの雪解けも急速だった。
- 4) 東北6県全体の雪水総量も12月から翌1月中旬まで急増し、1月下旬にひと段落したもののその後も増加して3月4日に最大($33.77\text{km}^3=33.77\text{Gt}$)で、45冬季平均よりもかなり多くなった。
- 5) 積雪水量の非標準偏差でみた分布から、下北東部と上北南部および三八地方を除く青森全県や下越北部から会津地方にかけて積雪水量が平年比 $+2\sigma$ 程度またはそれ以上と記録的大雪だったことが確かめられた。

6. 謝辞

気象データや解説資料等は気象庁ホームページを参照・ダウンロードして引用しました。なお、本研究の一部は新潟大学災害・復興科学研究所共同研究費(2024-01)によりました。また、半熟リフレッシュの根本はる香さんには多岐にわたるご支援を頂きました。ここに記して感謝の印と致します。

【引用文献】

気象庁(2025a): 冬 (12~2 月) の天候,

<https://www.data.jma.go.jp/cpd/longfcst/seasonal/202502/202502s.html> (2025 年 6 月 6 日確認).

気象庁(2025b): 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/> (2025 年 6 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.

https://doi.org/10.5331/seppyo.70.6_561

Motoya, K., T. Yamazaki and 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. <https://doi.org/10.1002/hyp.279>

本谷 研, 平島寛行, 佐野浩彬, 河島克久(2020): 診断型積雪モデルを応用した東北 6 県における積雪水量分布の準リアルタイム再現システムの試み, 東北の雪と生活, 35, 42-45.

本吉弘岐, 中井専人(2012): 福島県会津地域における 2010 年 12 月の大雪について, 防災科学技術研究所主要災害調査, 第 47 号, 17-31.

秋田県内各地における積雪深の推移 (2024年12月～翌4月)

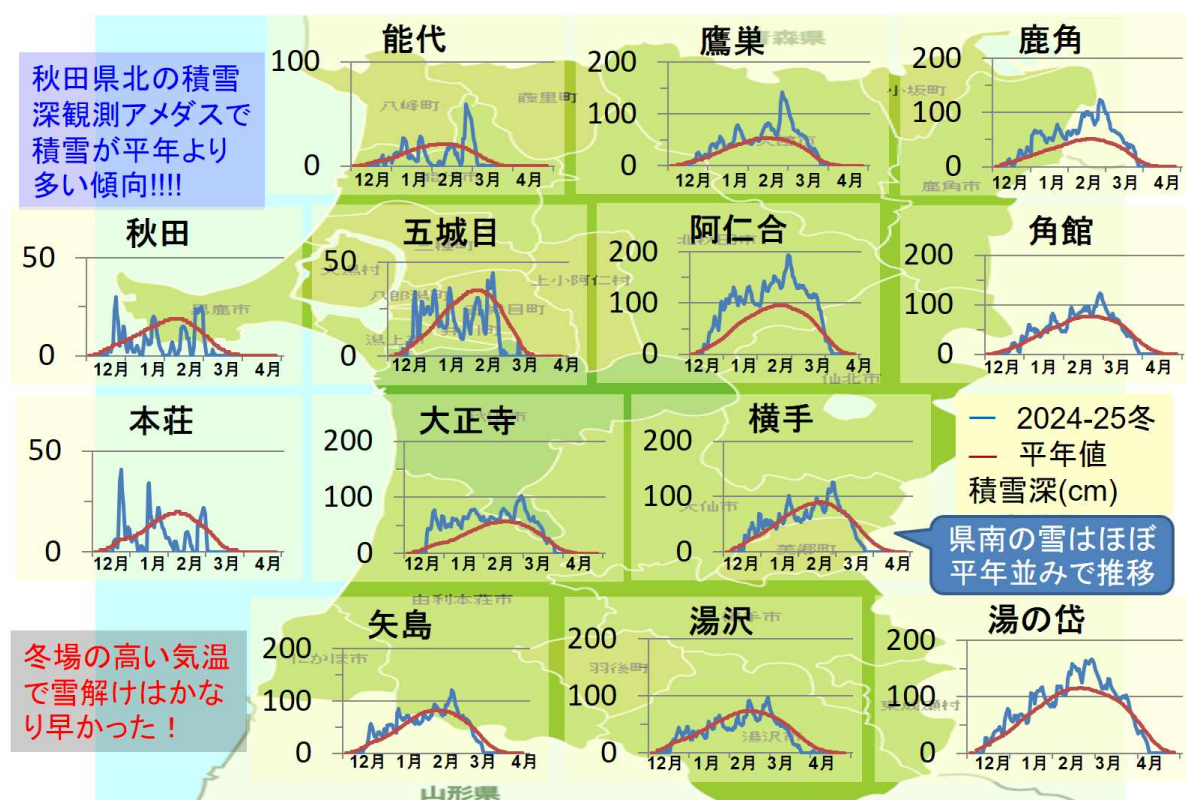


図 1 秋田県内積雪深観測アメダス地点における 2024-25 年冬季の日最大積雪深(青線)とその平年値(赤線)の季節変化 (縦軸の単位は cm)。

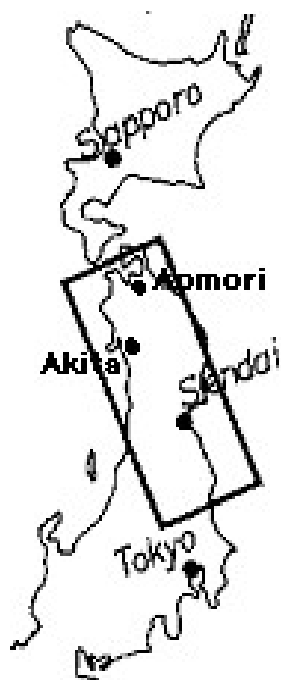


図 2 解析領域(太線四角枠内で示す).

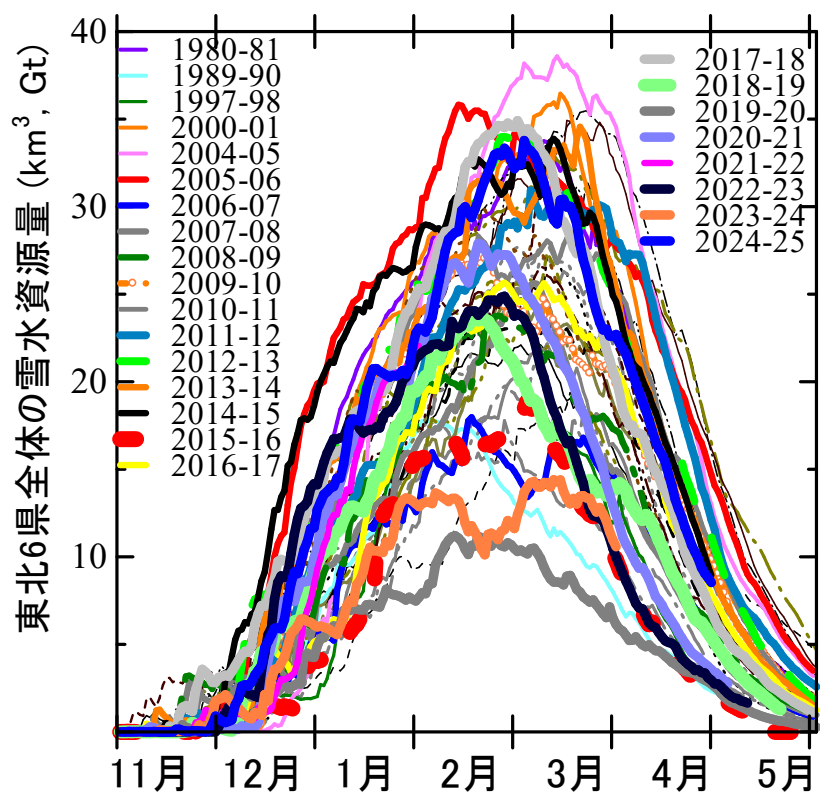
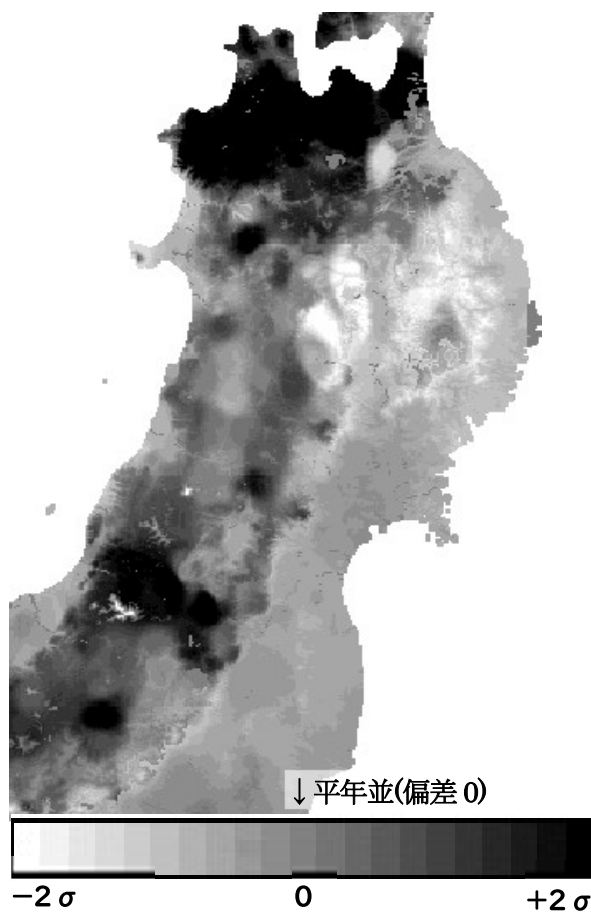


図 3 解析領域全体で合計した積雪水量 (雪水総量)の季節変化(1980-81 年冬季～2024-25 年冬季).

図 4 積雪水量の多寡分布 (2025 年 1 月における平均積雪水量の比標準偏差).



2024/2025年冬季の大雪による青森県雪氷災害調査

ー積雪状況・被害状況調査および広域積雪調査ー

荒川逸人・安達 聖・中村一樹 (防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)
石田祐宣 (弘前大学)
根本征樹・田村健太・平島寛行・山口 悟
(防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

**Snow Disasters in Aomori Prefecture due to Heavy Snowfall in 2024/2025 Winter
-Snow Damage Report and Snow Survey-**
Hayato ARAKAWA, Satoru ADACHI, Kazuki NAKAMURA (Snow and Ice Research Center, NIED)
Sachinobu ISHIDA (Hirotsaki University)
Masaki NEMOTO, Kenta TAMURA, Hiroyuki HIRASHIMA and Satoru YAMAGUCHI
(Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

2024/2025年冬季、青森県は津軽地方を中心に記録的な大雪となり、気象庁AMeDAS弘前地点では1982年観測開始以来の最深積雪160 cmを記録した。これにともない、人的被害179名（死者10名）、住家被害142件（全壊4件）、非住家被害405件（全壊133件）、また農業関係の被害額は約215億円（うちリンゴの枝折れ被害だけで206億円）にのぼった（青森県調べ）。年末から年始の時点で津軽地方では急激な積雪の増加が記録され、除排雪や交通の障害が多発したため、2025年1月4日に津軽地方の10市町村に災害救助法が適用された。これを受け、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター（以下、防災科研）と弘前大学理工学研究科寒地気象実験室（以下、弘前大学）は共同調査を行うこととした。共同調査の目的は、今後の対策や災害の原因を検討する上で必要になる、2024/2025年冬季の積雪や被害状況を明らかにすることである。本研究では、津軽地方で実施した積雪状況・被害状況調査および広域積雪調査について報告する。

2. 調査方法

調査対象地域は、2025年1月4日に災害救助法が適用された10市町村（青森市、弘前市、黒石市、五所川原市、平川市、南津軽郡藤崎町、南津軽郡大鰐町、南津軽郡田舎館村、北津軽郡板柳町、北津軽郡鶴田町）、および、弘前大学と防災科研が管理する積雪観測施設のある場所（弘前大学：中津軽郡西目屋村、防災科研：南津軽郡藤崎町）の全11市町村とした。

調査方法は、スマホAI路面判定システム（中村ら、2022）による路面状況調査、写真撮影、積雪水量調査・積雪断面観測、資料収集（気象データ、報道資料等）である。スマホAI路面判定システムとは、車両に搭載したスマホで2秒に1枚撮影し位置情報とともに記録した画像を用い、サーバーに送信後、AIによる路面状況を判別するシステムである。本件では路肩雪堤高さについての判定結果を示すものとする。倒木や道路状況などは適宜写真撮影をおこなった。広域積雪調査では積雪深（cm）、積雪水量（mm）、全層密度（kg/m³）を観測し、積雪断面観測を青森市と弘前市で1ヶ所ずつ実施した。

現地調査日程は、1回目（2025年1月11～13日）、2回目（2025年2月12～15日）、3回目（2025年3月14～16日）である。また、この日程とは別に2025年1月5日に被害状況についての撮影を行なっている。

3. 結果と考察

3-1 積雪状況・被害状況調査

(1) 路面状況調査

図1は、路面判別状況結果のひとつである路肩側雪堤高さで、1月と3月の判別結果を並べたものである。判定結果と雪堤高さの関係は凡例に示す通りである。大雪直後の1月は、走行した路線のほとんどが路肩側雪堤高さは「やや高い～高い」(0.5m～1.5m未満)と「高い」(1.5m以上)を示した。図2と図3にそれぞれ青森市と弘前市の市街地での実際に幅員が狭くなっている状況を示す。3月になると道路の除雪が進んだことと融雪期に入ったことが顕著に現れ、路肩側雪堤高さは全体的に低くなったことが示された。

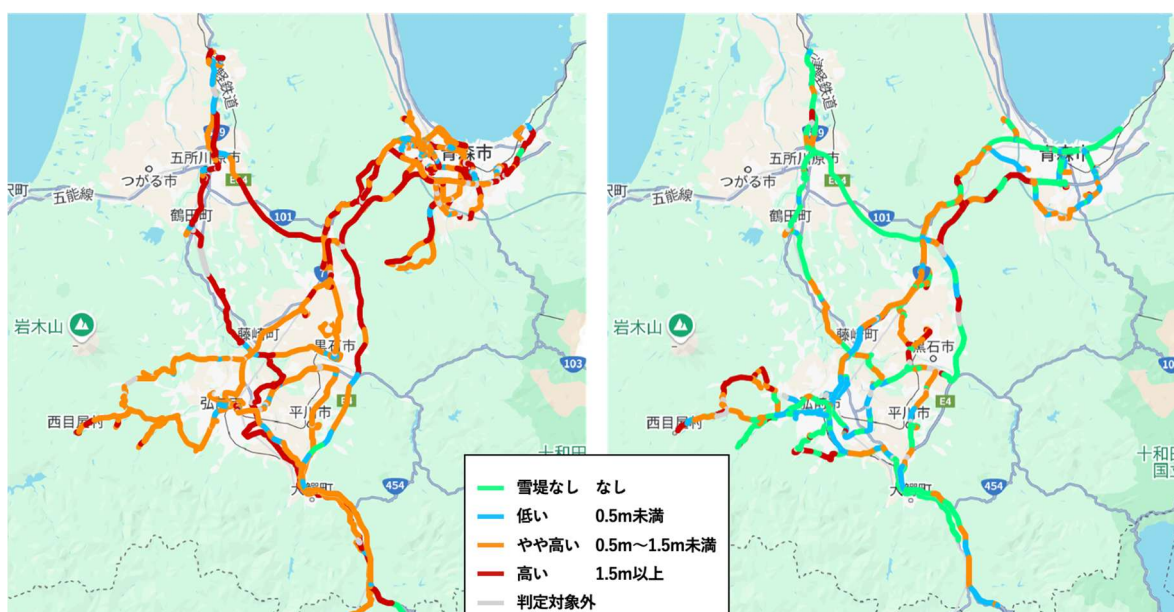


図1 スマホAI路面判別システムによる路肩側雪堤高さの判別結果の比較。左は1月調査結果で、右が3月調査結果。



図2 青森市内での道路状況。住宅地は幅員が狭く、すれ違いが困難となっている。 2025/1/12 17:32撮影。



図3 弘前市内での道路状況。幅員が狭い。樹木への冠雪も見られる。 2025/1/12 8:21撮影。

(2) 被害状況調査

道路の被害の一例を図4と5に示す。図4は青森市内における人の身長以上の歩道の雪堤の様子であり、図5は新青森駅付近での渋滞状況である。幅員が狭くなっているとともにつるつるの路面となっている。また、冠雪による樹木の倒木も多く見られ、倒木によって弘前城二の丸末申櫓が損壊したり（図6）、リンゴの木の枝折れしたりなどの被害があった（図7）。



図4 青森市内における人の身長以上の歩道の雪堤の様子。 2025/1/5 13:34撮影。



図5 新青森駅付近での道路状況。幅員が狭く、つるつるの路面となり渋滞が発生している。 2025/1/5 14:47撮影。



図6 針葉樹の倒木による築400年の弘前城二の丸末申櫓の損壊。 2025/1/13 16:05撮影。



図7 リンゴの木の枝折れ。太い枝の枝折れが目立つ。弘前市内。 2025/1/13 11:22撮影。

3-2 広域積雪調査

(1) 積雪深

図8に積雪深調査結果を示す。積雪深は1月から2月にかけて増加し、3月になり減少する傾向であった。全観測地点の平均積雪深は、1月は98 cm、2月は130 cm、3月は 87 cmであった。特に積雪が多かった地域は、津軽平野では中央部の鶴田町から黒石市・浪岡で、青森平野では西～南側にかけてであった。両平野を結ぶ国道7号の峠である鶴ヶ坂では特に積雪が多かった。津軽平野では鶴田町より北側や黒石市よりも南側になると積雪深は減少する傾向が見られた。津軽平野の南西部にあたる地域は1月から2月にかけての積雪深増加が顕著であった。

(2) 積雪水量

図9に積雪水量調査結果を示す。全観測地点1月の平均積雪水量は332 mm、2月は464 mm、3月は375 mmであった。積雪水量も前述の積雪深の傾向と同様であった。

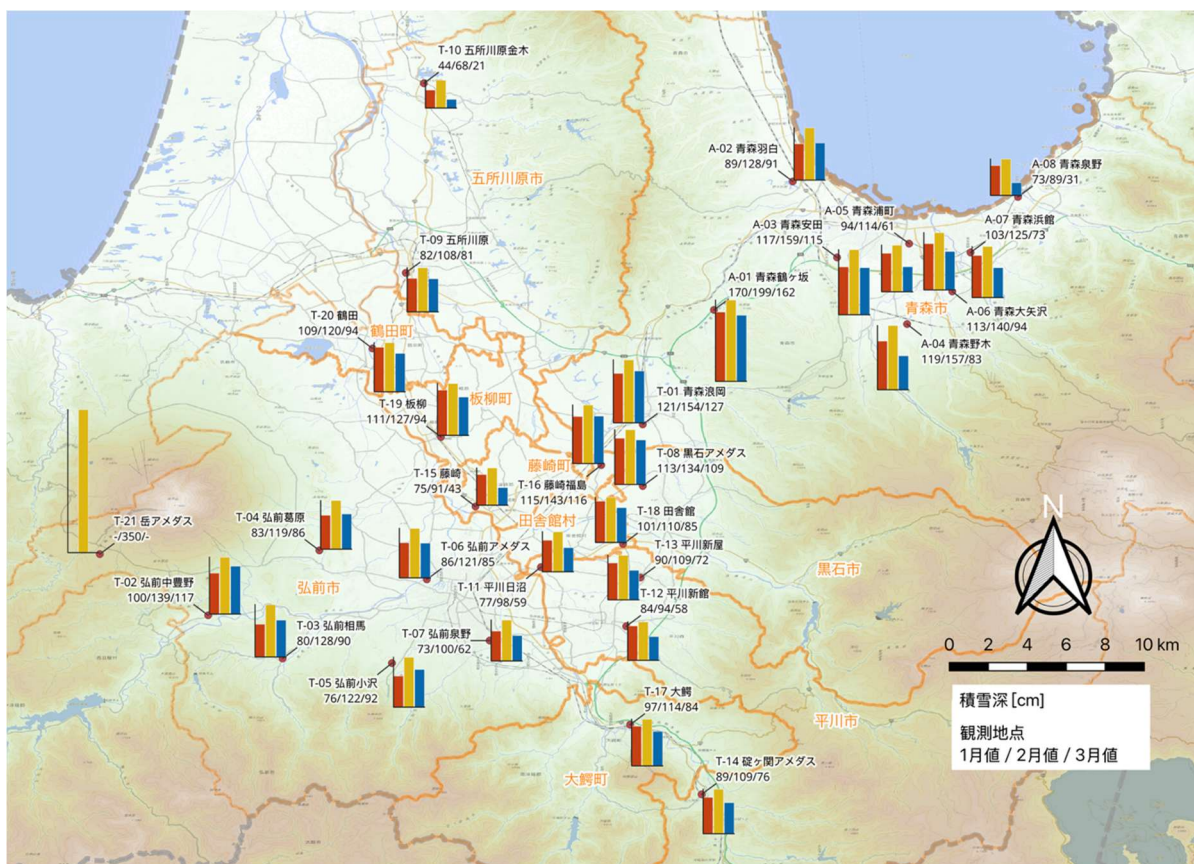


図8 積雪深調査結果.

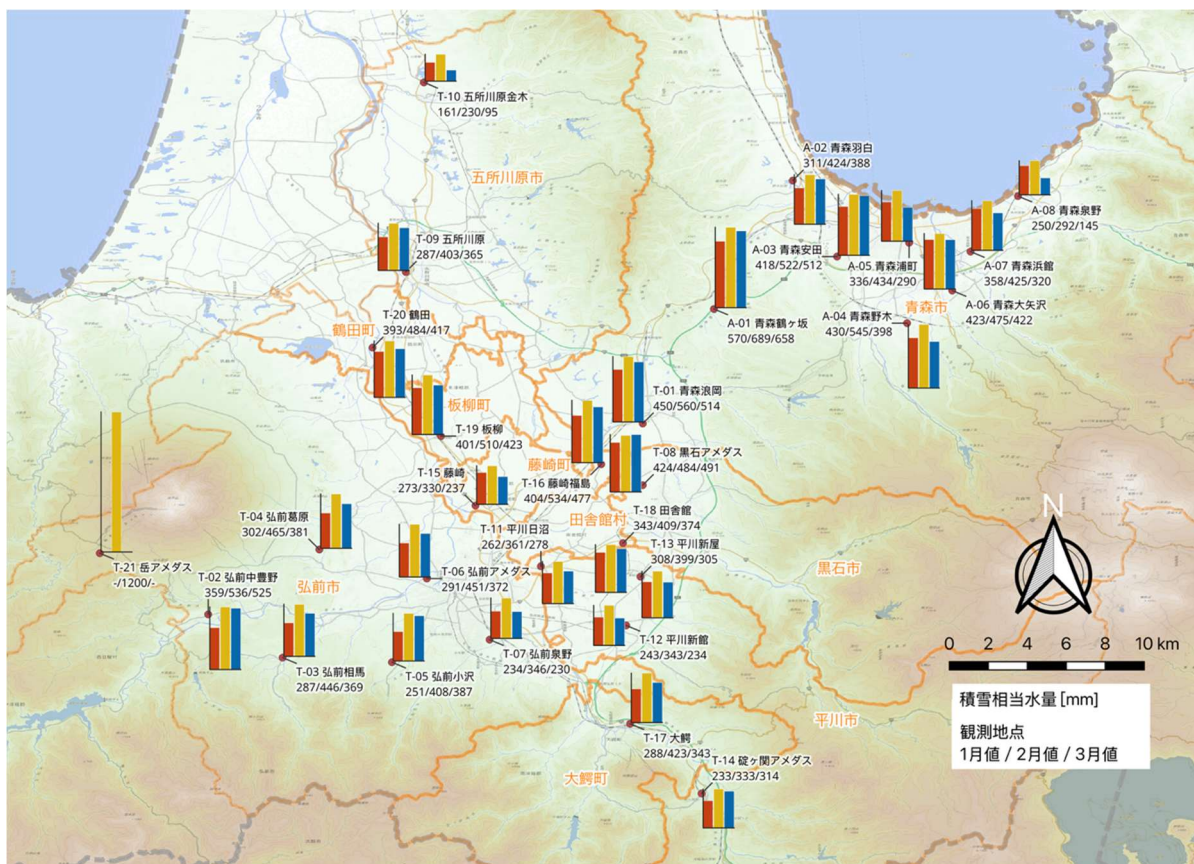


図9 積雪水量調査結果.

(3) 全層密度

図10は全層密度について整理したものである。全観測地点1月の全層密度は346 kg/m³、2月は360 kg/m³、3月は436 kg/m³であった。1月の全層密度が350 kg/m³程度と厳寒期としては高密度で非常に重たい雪であったことがわかる。なお、1月の積雪断面観測においては全層ざらめ雪であった。

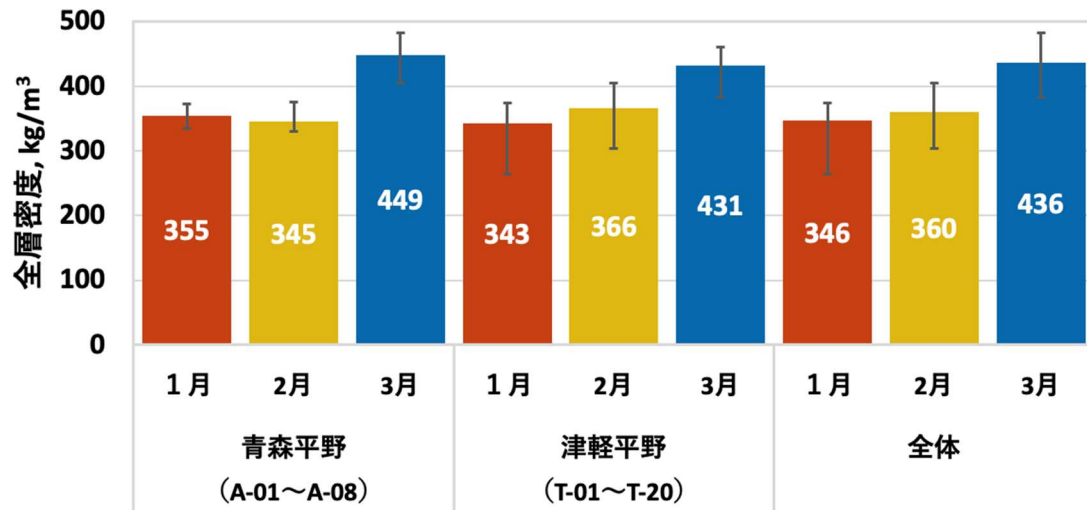


図10 全層密度調査結果概要.

(4) Snowpackによる積雪状態の推定

青森アメダスと弘前アメダスの気象データを用いて積雪変質モデルSnowpackで積雪の状態について計算すると、12月下旬から1月上旬にかけて 積雪水量は急激に増加する傾向が見られ、過去34冬期で最も重たい状態であることがわかった (図11)。また、全層密度については、積雪2025年1月上旬に300 kg/m³を超え、例年3月に観測される雪のような高密度の積雪 (湿った重たい雪) となったと推測された。その後、1月下旬には400 kg/m³になったことが計算された (図12)。

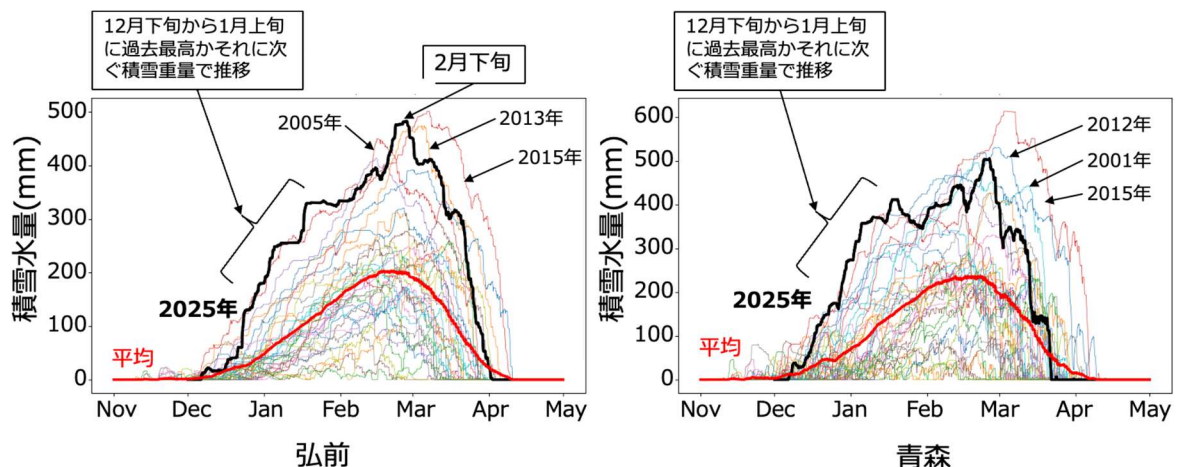


図11 Snowpackによる弘前アメダス（左）と青森アメダス（右）の34冬期における積雪水量の推定（1991/1992年冬期から2024/2025年冬期）。2024/2025年冬期（2025年と表記）、34冬期平均、類似年（1月を含む年数で表記）を示す。

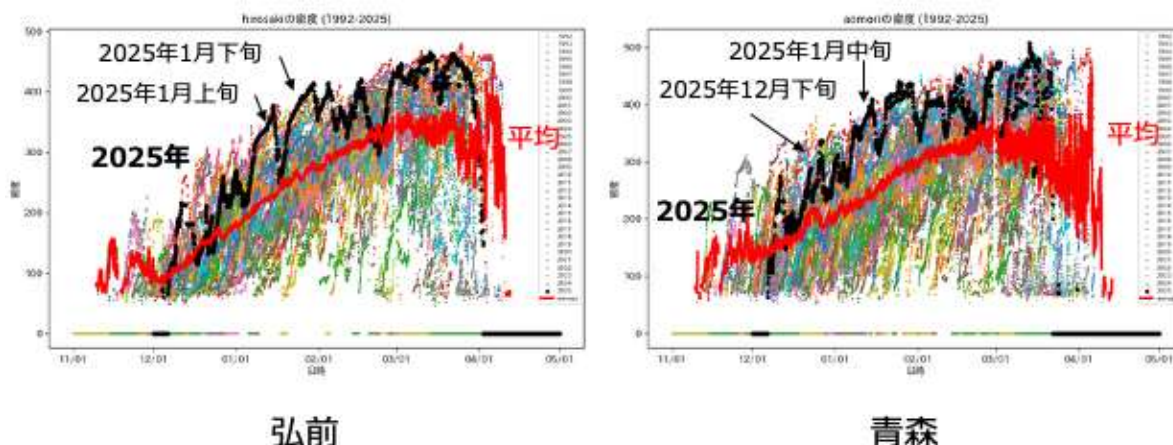


図12 Snowpackによる前アメダス（左）と青森アメダス（右）の34冬期における全層密度の推定。（1991/1992年冬期から2024/2025年冬期）．2024/2025年冬期（2025年と表記），34冬期平均を示す．

4. まとめ

2024/2025年冬季の大雪による青森県雪氷災害について，防災科研と弘前大学で共同調査を行ない，その積雪状況・被害状況調査および広域積雪調査の結果について整理した．積雪状況・被害状況調査では，倒木や道路の路肩雪堤高さや幅員の状況を写真で紹介した．倒木や枝折れが目立ち，弘前公園では文化財や公園の管理の建物も被害を受けた．スマホAI路面判別システムにより判別された路肩雪堤高さについて，調査地域の1月と3月の結果を比較し，1月は広域にわたり路肩雪堤が高いことがわかった．積雪水量調査の結果から，津軽平野中央部から青森平野西～南側にかけて積雪深や積雪水量が多い傾向がわかった．また，全層密度は1月の段階で例年の3月のような大きな値であった．雪質変質モデルSnowpackの計算結果から，12月下旬から1月上旬にかけて積雪水量の急激な増加傾向は，過去34冬季で最も重い雪の状態であることを示した．

【引用文献】

中村一樹，砂子宗次朗，上石 勲，宮島亜希子，仲条 仁（2022）：スマートフォンAI路面判定システムの開発，雪氷研究大会（2022・札幌）講演要旨集，126．

2024/2025年冬季の大雪による青森県雪氷災害調査

—津軽地方における今冬の積雪の特徴—

石田祐宣 (弘前大学)

中村一樹・安達 聖・荒川逸人・根本征樹・田村健太・平島寛行・山口 悟
(防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター)

Snow Disasters in Aomori Prefecture due to Heavy Snowfall in 2024/2025 Winter -Characteristics of Snowcover in Tsugaru Area-

Sachinobu ISHIDA (Hirosaki University)

Kazuki NAKAMURA, Satoru ADACHI, Hayato ARAKAWA, Masaki NEMOTO,

Kenta TAMURA, Hiroyuki HIRASHIMA, Satoru YAMAGUCHI

(Snow and Ice Research Center, NIED)

1. はじめに

2024/2025年冬季、青森県は津軽地方を中心に記録的な大雪となり、気象庁AMeDAS弘前地点では1982年観測開始以来の最深積雪160 cmを記録した。これにともない、人的被害181名（死者10名）、住家被害144件（全壊4件）、非住家被害409件（全壊134件）、また農業関係の被害額は約215億円（うちリンゴの枝折れ被害だけで203億円）にのぼった（青森県調べ）。年末から年始の時点で津軽地方では急激な積雪の増加が記録され、除排雪や交通の障害が多発したため、2025年1月4日に津軽地方の10市町村に災害救助法が適用された。これを受け、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターと弘前大学理工学研究科寒地気象実験室は共同調査を行うこととした。共同調査の目的は、今後の対策や災害の原因を検討する上で必要になる、2024/2025年冬季の積雪や被害状況を明らかにすることである。

本研究では、その中でも津軽地方における積雪の特徴およびその原因となった気象環境場について明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2024/2025年冬季における津軽地方の降雪・積雪の特徴を明らかにするため、気象庁AMeDASのうち津軽地方で積雪を観測している地点の日最深積雪深、日降雪量、日降水量、および日平均気温のデータを用い、当該冬季と過去次いで積雪深の多かったシーズンとの比較を行った。また、弘前大学農学生命科学部附属白神自然観察園（青森県中津軽郡西目屋村川原平）においては、積雪深だけでなく積雪重量も測定しているため、こちらのデータについても過去のシーズンとの対比解析を行った。気象環境場については、気象庁がまとめる天候の特徴に掲載された500 hPa天気図と同じく気象庁が解析した日本近海の海面水温分布図（ともに月もしくは冬季平均）を用いて考察した。

3. 結果と考察

過去の多雪シーズンとの比較例として、AMeDAS弘前における2024/2025年冬季と2012/2013年冬季の日別最深積雪の時系列を図1に示した。2012/2013年冬季は弘前において、観測開始以来第2位の最深積雪153 cmを記録した。両シーズンともに2月下旬に最深積雪となったため、平均的な積雪増加トレンドは似通っているものの、明らかに2024/2025年の方が増減の振幅が多いことが見て取れる。これは、いわゆるドカ雪が頻繁に降ったことを示唆する。日降雪量が20 cmを超えた日数は、2012/2013年が7日に対して2024/2025年は12日に達していることが裏付けとなる（表1）。また、融雪期の融雪速度も明らかに2024/2025年冬季の方が速い（図1）。2024/2025年冬季の降雪は密度が高かった（重かった）点があ

う一つの特徴である。2月末までの累計降雪量は2012/2013年の方が約8%多いにもかかわらず、累計降水量は約20%も2024/2025年の方が多くなっている。すなわち、両シーズンの最深積雪深差に対して、積雪水当量の差の方が圧倒的に大きかったことを意味する。こ

の要因の一つとして、2024/2025年冬季はシーズンの気温が2012/2013年冬季に対して約2℃高かったことが挙げられる(表1)。真冬日も2012/2013年冬季の36日に対して、2024/2025年冬季は14日しかなく、厳冬期にもかかわらず降雨の回数が多く、また融雪もたびたび発生していたものと推察される。

表1 2012/2013年と2024/2025年冬季の積雪・降雪・降水・気温の比較。

	2012-13年	2024-25年
最深積雪 (cm)	153	160
累計降雪 (cm)※	678	627
日降雪20cm以上 (日)※	7	12
累計降水 (mm)※	471	567
日降水20mm以上 (日)※	3	5
平均気温 (℃)※	-2.2	-0.1

※ 累計・平均期間は12月～2月



図1 2012/2013年と2024/2025年冬季の弘前における日最深積雪時系列。

同様の傾向は、弘前大学白神自然観察園においても認められた。測定された最深積雪深はほとんど変わらないものの、最大積雪重量は2012/2013年冬季の1117 kg m⁻²に対して2024/2025年冬季は1445 kg m⁻²と約29%も重かった(表2)。しかし、シーズン中に不自然な重量増加があったため、その分を差し引くと2012/2013年冬季と大きくは違わなかった(図2)。ただし、図2からわかるように、欠測期間中に積雪重量の最大値は更新された可能性は高い。また、2024/2025年冬季の12月～2月の降水量は2012/2013年冬季より15%ほ

表2 2012/2013年と2024/2025年冬季の積雪・降水・気温の比較。

	2012-13年	2024-25年
最深積雪 (cm)	292	298
最大積雪重量 (kg m ⁻²)	1117	1445
日平均降水量 (mm)※	8.55	9.84
日降水20mm以上 (日)※	6	14
平均気温 (℃)※	-4.0	-1.7

※ 累計・平均期間は12月～2月

更新された可能性は高い。また、2024/2025年冬季の12月～2月の降水量は2012/2013年冬季より15%ほ

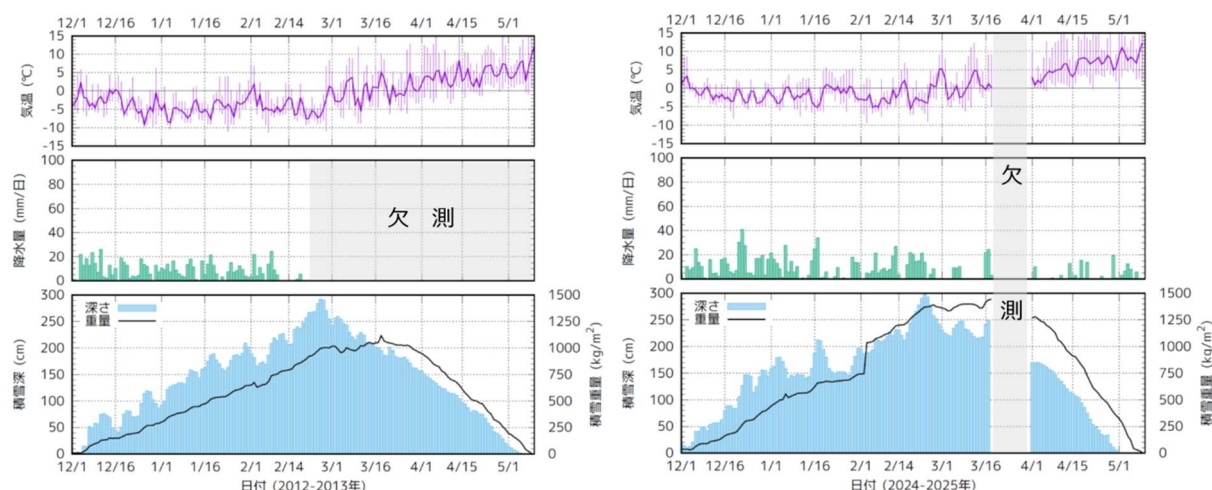


図2 2012/2013年(左)と2024/2025年(右) 冬季の白神自然観察園における気象・雪氷データ時系列。
上段：日平均気温（誤差棒は日最高・最低）、中段：日降水量、下段：日最深積雪深・積雪重量。

ど降水量が多く、日降水量が20 mmを超えた日数も2024/2025年冬季の方がかなり多く、平均気温も 2°C 以上高かった（表2）。以上より、日降雪量が多いドカ雪だけでなく、降った雪が重かったことも災害を大きくした原因と推察される。

両シーズンの500 hPa天気図を確認したところ、ともに偏西風は日本付近で南方へ蛇行しており、いわゆる冬型が強まりやすい厳冬型であることが共通していた。一方で、日本海の海面水温分布図を確認したところ、明らかに2024/2025年冬季の方が高く、特に青森県西方の海域では両シーズンで $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ もの差が認められた。この高い海面水温も青森県津軽地方に重いドカ雪をたびたびもたらした原因の一つと考えられる。

4. まとめ

2024/2025年冬季、青森県は津軽地方を中心に記録的な大雪が原因となる災害が多く発生した。弘前では最深積雪の記録を更新しただけでなく、降水量が冬季としては記録的に多かった。すなわちドカ雪だけでなく、降った雪が重かったことも災害を大きくした原因と推察される。雪が重かった原因としては、冬季の気温が平均的に高かったことと、特に青森県西方における日本海の海面水温が高かったことが考えられる。

2024/25 年 青森県の雪況

小関 英明 (日本気象予報士会)

A profile of snow-phenomena in Aomori (2024/25) Hideaki KOSEKI (Certified and Accredited Meteorologists of Japan)

1. はじめに

青森県の 2024/25 年積雪期(2024 年 12 月～2025 年 3 月, 以下今季)の雪況(日平均気温, 最深積雪深, 降雪量, 降水量, 雪関連被災者数)について, 青森と弘前を中心として, 2023/24 積雪期(2023 年 12 月～2024 年 3 月, 以下昨季)および平年値と比較して報告する. 気象値については青森県内の気象庁 AMeDAS 観測点で積雪等を測定している 17 観測点のデータと黒石市にある青森県リング研究所より提供されたデータを使用した. 雪関連被災者については青森県危機管理局防災管理課提供資料等を用いた. さらに, 弘前の降雪量合計と最深積雪深の関係の経過について引き続き調べた.

2. 2024/25 年積雪期の青森県の雪況

今季の県内は, 12 月中旬以降, 周期的に冬型の気圧配置となり, 寒気が数日間滞留したこともあり, 昨季と異なり津軽地方を中心に最深積雪深, 降水量合計が平年値を大きく上回った. 特に青森, 五所川原では最深積雪深が 150cm となり, 弘前では観測史上 1 位の 160cm, 黒石では 177cm, 酸ヶ湯では 12 年ぶりに 500cm を超えて観測史上 2 位の 509cm を記録した. また, 積雪深が 12 月下旬以降から 3 月下旬まで長期間に大きかったことから雪害も多発した. 図 1 に青森と弘前の今季と昨季の日平均気温とその平年値の経過を示し, 図 2 には津軽地方と下北・三八上北地方における日平均気温の平年差の経過を示す.

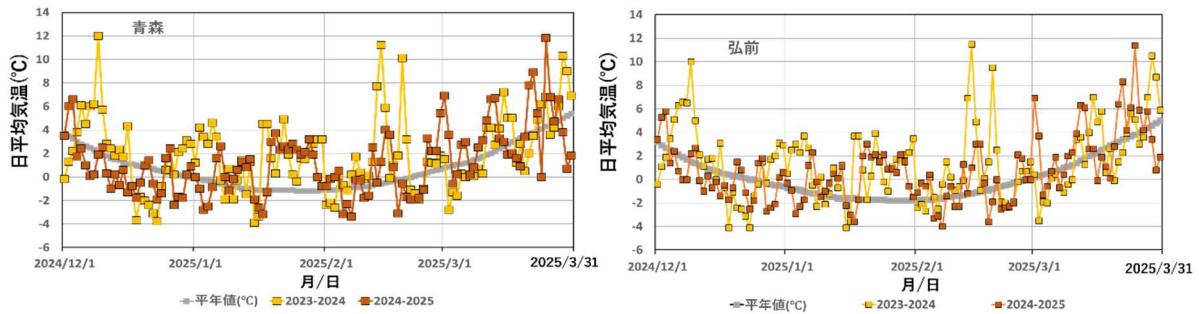


図 1 青森と弘前の日平均気温の経過 (気象庁, 2025).

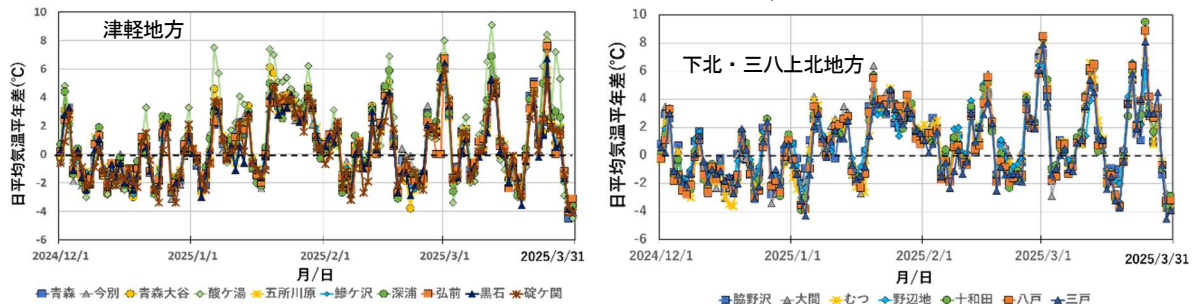


図 2 津軽地方と下北・三八上北地方の日平均気温平年差の経過 (気象庁, 2025).

図 1 より, 青森, 弘前共に 12 月上旬より 12 月中旬にかけて日平均気温は平年値より低い状態が続いた. さらに, 12 月末より 1 月上旬, 1 月中旬と強い寒気が入った. 1 月半ばから 1 月下旬にかけては比較的気温が高い状態が続いたが, 2 月上旬と 2 月 20 日頃には冬型の気圧配置が続くと共に強い寒

気が滞留したため、津軽地方を中心に大雪となった。2 月末以降は比較的気温が高い日が多くなった。月平均気温で見ると平年値より気温が低かったのは 12 月のみで、他の月平均気温は平年値より高くなっている。図 2 より県内全般に、12 月と 2 月上旬から半ばにかけてと 2 月 20 日頃に寒気が連続して流れ込み、平年値より気温が低い日が多かった。その後は周期的に寒気が入るものの気温の高い日が多く、3 月に入ると平年値よりかなり高くなる日が多くなった。期間全体としては、気温は平年よりやや高くなった。次に図 3 に今季と昨季の青森と弘前の日最深積雪深の経過を示す。

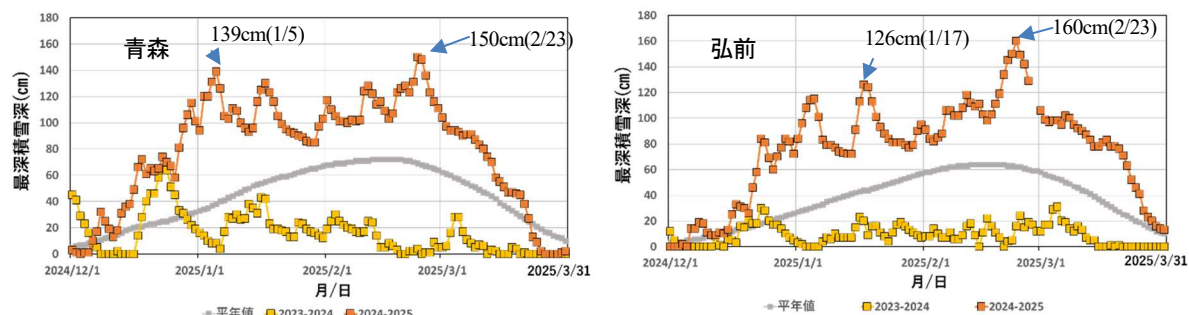


図 3 青森と弘前の日最深積雪深の経過 (気象庁, 2025)。

図 3 より、青森では 12 月半ば以降積雪深が急増し 12 月末には 1m を超え、1 月上旬の大雪により 1 月 5 日に 139cm に達した。1 月中旬以降から 2 月下旬までは周期的に大雪となり、2 月 23 日には今季の最深積雪深 150cm を記録した。2 月初めから 2 月末まではほぼ一か月間、積雪深が 1m を上回った。弘前では 12 月 24 日に平年値の 4 倍の 81cm となり、その後は青森と同様に 1 月上旬の大雪により 1 月 5 日に 115cm となった後、一時 1m を下回ったが 1 月中旬には積雪深が急増し、1 月 17 日に 126cm となった。それ以降は 1 月末にかけて積雪深は減少したが、2 月上旬から徐々に増加し、2 月 23 日にこれまでの観測記録 1 位となる 160cm を記録した。その後は徐々に減少していくが、2 月中旬から 3 月初めまで積雪深は 1m を上回った。図 4 には各観測点における日最深積雪深の経過を示す。ただし、津軽地方の酸ヶ湯については山麓部にあるため除いており、青森大谷については、未計測となった日数が多いため本報告ではデータを使用していない。

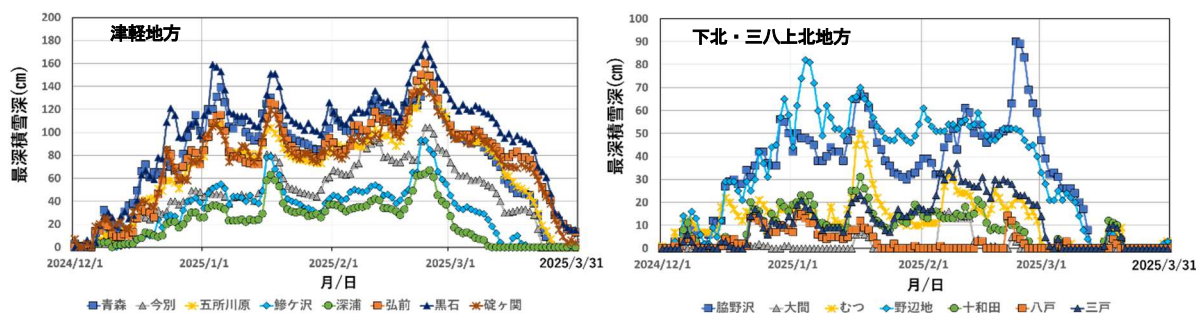


図 4 津軽地方、下北・三八上北地方の日最深積雪深の経過 (気象庁, 2025)。

図 4 より、津軽地方では図 3 と同様に、12 月下旬以降は 12 月 24 日頃から 2 月 23 日にかけてほぼ 2 週間毎に周期的に最深積雪深のピークが見られ、多くが 2 月 23 日前後に今季の最深積雪深を記録している。特に、黒石では 177cm、五所川原で 150cm、さらに図 4 には示していないが、酸ヶ湯でも 509cm となり、五所川原、酸ヶ湯共に観測史上 2 位の記録である。下北・三八上北地方では地域により異なる。脇野沢は 2 月 23 日に 2 月としては観測史上 10 位となる今季の最深積雪 90cm を記録しているが、津軽地方とは経過がやや異なっている。野辺地は比較的津軽地方と同様の経過となっているが、1 月 4 日に今季の最深積雪深 82cm となり、これは観測史上 7 位の記録である。その他の観測点では多くが 1 月 17 日頃にピークが見られ、むつ、十和田で今季の最深積雪深を記録している。図 5 にそれぞれの今季の最深積雪深を示し、図 6 にはその平年比を示す。ただし、酸ヶ湯については図 4 と同様に図 5 でも除いている。

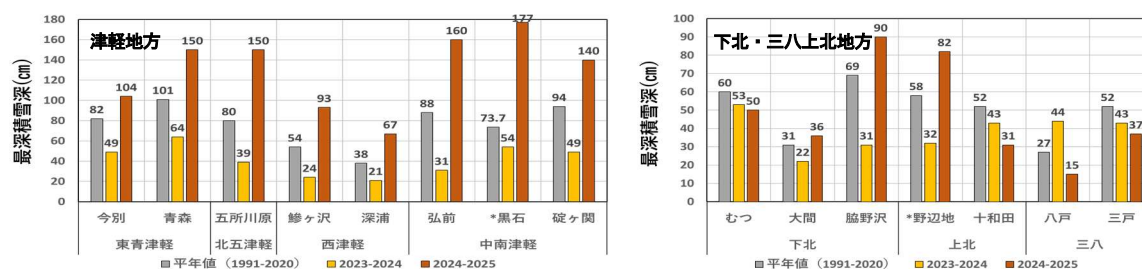


図5 津軽地方、下北・三八上北地方の最深積雪深 (気象庁, 2025)。

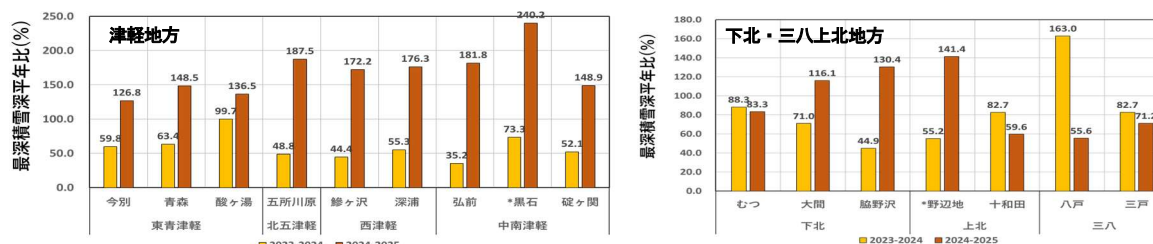


図6 津軽地方、下北・三八上北地方の最深積雪深平年比 (気象庁, 2025)。

図5, 図6より、津軽地方では観測点全てで最深積雪深が昨季および平年値を大きく上回っている。特に西津軽の鰯ヶ沢、深浦では今季の最深積雪深はそれぞれ93cm, 67cmで、平年比はそれぞれ170%を超えている。さらに青森と五所川原では最深積雪深が150cm, 平年比はそれぞれ、148.5%, 187.5%, 中津津軽の弘前では160cmで平年比181.8%, 碓ヶ関では140cmで平年比148.9%, 黒石では177cmで平年比240.2%と青森と中津津軽で最深積雪深が大きく、平年比では西津軽と青森、中津津軽で大きくなっている。これに対して、下北・三八上北地方では、最深積雪深が平年値を大きく上回ったのは、下北の脇野沢と上北の野辺地で、最深積雪深はそれぞれ90cm, 82cmで、平年比は脇野沢が約130%, 野辺地で141%である。下北のむつ、上北の十和田、三八の八戸、三戸では平年値および昨季よりも小さくなった。特に八戸では昨季は44cmと平年値の27cmを大きく上回ったが、今季は15cmと大幅に小さくなっている。平年比では、十和田で59.6%, 八戸では55.6%, 三戸で71.2%となっている。これらのことから、西寄りの風が吹き込む津軽平野が位置する八甲田山系の西側では最深積雪深が大きくなり、東側では小さくなったと考えられる。次に、図7に今季と昨季の各観測地点の期間降雪量合計とその平年値を示し、図8に各観測地点の平年比を示す。同様に期間降水量合計とその平年比を図9, 図10にそれぞれ示す。

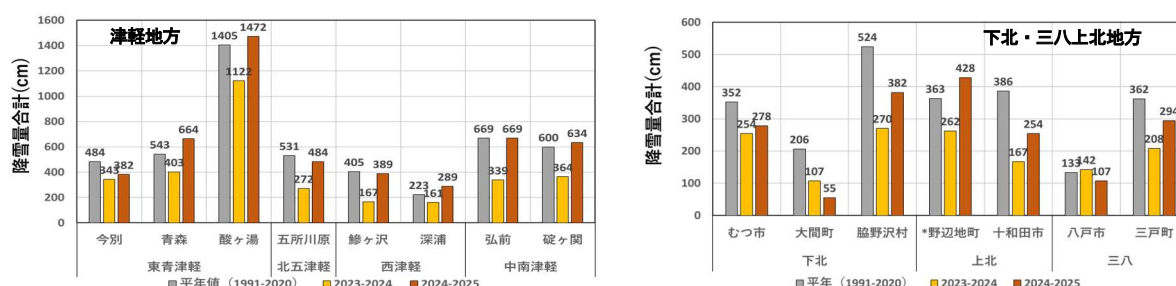


図7 津軽地方、下北・三八上北地方の降雪量合計 (気象庁, 2025)。

図7, 図8より、津軽地方では降雪量合計は昨季よりは大きく増加したが、平年値と比較するとほぼ平年並みで、東青津軽の今別では382cmと平年値より少なく、平年比では約80%ほどである。また、青森では664cmで平年比が122.3%, 深浦では289cmで平年比125%と大きくなったが、最深積雪深が509cmとなった酸ヶ湯では1472cmで平年比104.8%, 弘前でも669cmと平年値と同じ値となり、最深積雪深は大きかったが降雪量合計は極端に多くはなかった。下北・三八上北地方では、上北の野辺地では、降雪量合計が428cmで、平年比が117.9%と平年値を上回ったが、その他の観測点では平年値より少なくなっている。特に下北の大間では55cmで、平年比は26.7%と極端に少なかった。八戸でも降雪量合計は107cmで昨季より少なく、平年比ではほぼ80%と、多くの観測点で平年値の7割から8割

ほどと少なくなっている。

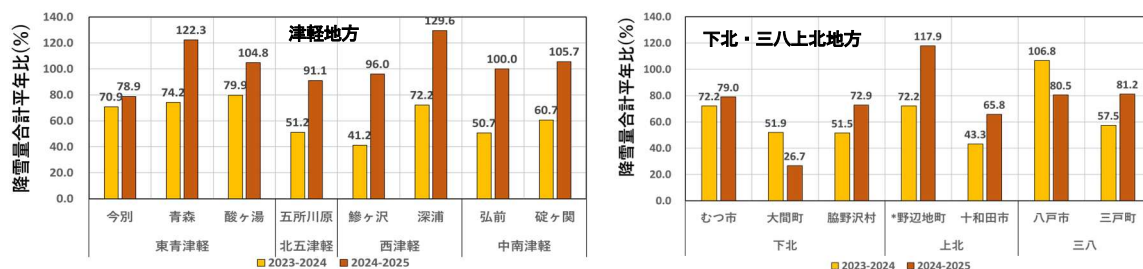


図 8 津軽地方、下北・三八上北地方の降雪量合計の平年比 (気象庁, 2025)。

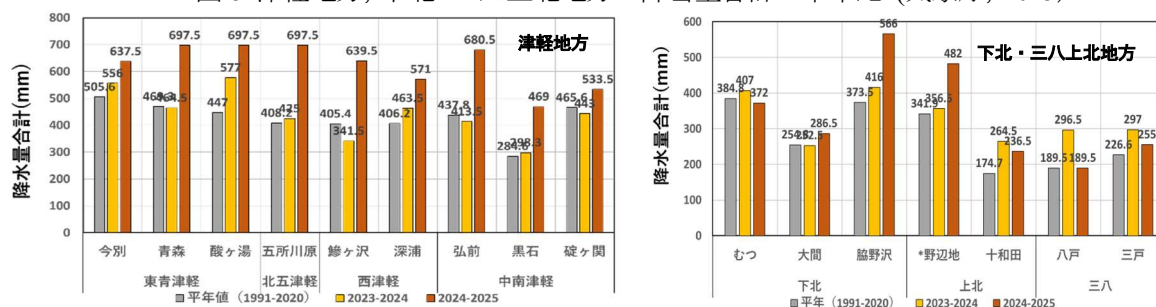


図 9 津軽地方、下北・三八上北地方の降水量合計 (気象庁, 2025)。

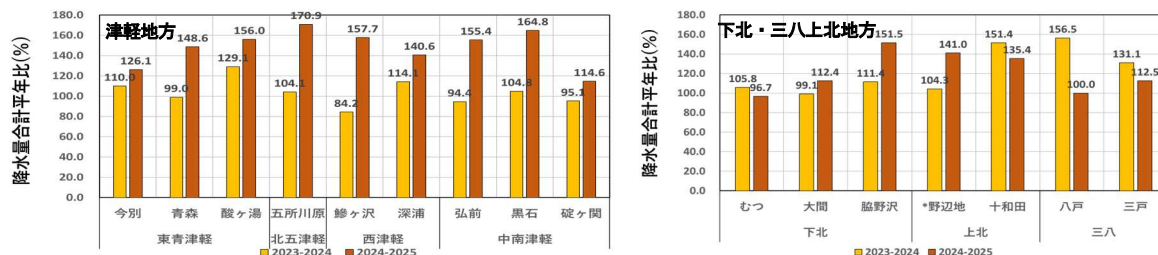


図 10 津軽地方、下北・三八上北地方の降水量合計の平年比 (気象庁, 2025)。

図 9、図 10 より、降水量合計は、津軽地方では全ての観測点で平年値および昨年より多くなっている。特に、東青津軽の青森、酸ヶ湯、北五津軽の五所川原では 697.5mm となり、平年比はそれぞれ 148.6%、156%、170.9%と多くなっている。また西津軽の鰺ヶ沢では 639.5mm で平年比 157.7%、深浦でも 571mm で平年比 140.6%、中南津軽の弘前では 680.5mm で平年比 155.4%、黒石では 469mm で平年比 164.8%と降水量合計は全体として 5 割前後多くなっている。下北・三八上北地方でもほぼすべての観測点で平年並みか平年を上回っている。下北の脇野沢では降水量合計が 566mm で平年比 151.5%、上北の野辺地では 482mm で平年比 141.0%と特に多くなっている。また、上北の十和田では 236.5mm で平年比 135.4%であるが昨季の 264.5mm、平年比 151.4%よりは少なくなった。同様に、下北のむつ、三八の八戸、三戸でも昨季を下回った。特に八戸では昨季の 296mm、平年比 156.5%から今季は 189.5mm、平年比 100%と大きく減少した。これらのことから、今季の津軽地方で最深積雪深が大きくなったのは、降雪量合計よりも降水量合計が多かった事に加え、比較的気温が高かったことにより、積もりやすい湿った雪が多かったことが一因として考えられる。

3. 弘前の最深積雪深と降雪量合計の関係

小関(2019)は、2000 年以降の弘前において、降雪量合計に対して最深積雪深が多くなる傾向にあることとし、小関(2020)では、最深積雪深 H(cm)と降雪量合計 S(cm)の比 R_{HS} を導入し、その経年変化を求め、これが近年増加傾向にあることを示した。今季についても図 11 に 1983 年～2025 年における降雪量合計と最深積雪深の関係を示し、図 12 に最深積雪深と降雪量合計の比 R_{HS} の経年変化を示す。

図 11 では、1983 年～1999 年を青●印、2000 年以降を橙●印(昨季は橙大●)、今季を赤大●印で表している。さらに、今季と同様に最深積雪深が大きかった 2012/13 年と 2021/22 年を橙大●で示した。図中の橙の実線で囲んだ領域は主に 2000 年以降のデータを囲んだもので、青の実線で囲まれた領域

は 1983 年～1999 年のデータである。図中の青点線は 1983 年～1999 年の線形近似直線で相関係数は $R=0.47$ 、橙点線は 2000 年～今季までの線形近似直線で相関係数は $R=0.66$ である。また、2000 年以降の近似直線の傾きは昨季までは 0.147、今季は 0.165 と僅かに大きくなっている。今季は最深積雪深が大きく、降雪量合計が平年並みだったことから、降雪量合計に対して最深積雪深が大きいと考えられる。同様に 2012/13 年、2021/22 年でも降雪量合計に対して、最深積雪深が大きくなっている。

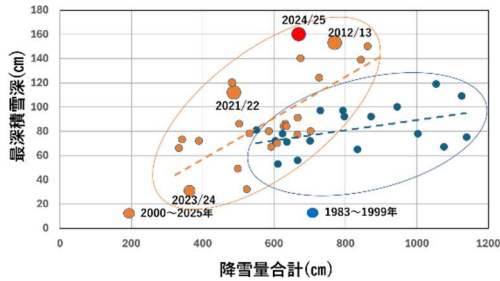


図 11 最深積雪深と降雪量合計の関係。

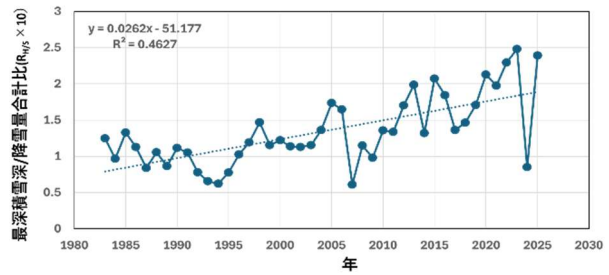


図 12 弘前の最深積雪深と降雪量合計の比。

次に図 12 より、ここ数年は $R_{H/S}$ が増加傾向であったが、昨季は弘前では降雪量合計および最深積雪深が小さかったことにより大きく減少した。今季は前述のように最深積雪深は 160cm 観測史上 1 位で平年値の約 1.8 倍であり、降雪量合計が 669cm と平年値と同じであったことから、 $R_{H/S}$ が大きくなった。線形近似直線の傾きも、昨季まででは 0.0245 であったが、今季のデータを加えると 0.0262 となり、長期的には大きくなる傾向にあると考えられる。

4. 雪関連の災害

表 1 に昨季と今季の雪関連被災者数の月毎の数を示し、表 2 に雪関連被災者の原因別被災者数を示す。今季の雪害による人的被害は、死者 10 人、重軽傷者 171 人の合計 181 人となり、昨季の 29 人(死者 2 人、重軽傷者 27 人)を大きく上回り、表 1 青森県内における雪関連被災者数(交通事故を除く)。(青森県危機管理局防災危機管理課提供資料より)

	死者(人)	重傷者(人)	軽傷者(人)	行方不明(人)	計
2023年12月	0	1	10	0	11
2024年1月	0	2	1	0	3
2月	1	3	5	0	9
3月	1	1	4	0	6
計	2	7	20	0	29
2024年12月	1	16	35	0	52
2025年1月	8	23	61	0	92
2月	0	5	18	0	23
3月	1	2	11	0	14
計	10	46	125	0	181

表 2 雪関連災害の原因別被災者数。

(青森県危機管理局防災危機管理課提供資料より)

	除雪作業中		落雪(人)	雪崩(人)	倒壊建造物の 下敷き(人)	その他の原因 (人)
	屋根雪下ろし	屋根雪下ろし以外				
2023/24年	13	17	0	0	0	0
2024/25年	85	88	7	0	1	0
増減	+72	+71	+7	0	+1	0

表 2 より、被災者の約 96%が除雪作業中であり、その中で建物の屋根の雪下ろし中の事故とそれ以外の除雪作業中がほぼ 5 割ずつとなっている。屋根の雪下ろし中の事故では、屋根からの転落が 85 人(昨季 13 人)と昨季より 72 人増加している。その内、梯子、脚立からの転落は 24 人(昨季 5 人)であった。屋根雪以外の除雪中の事故では、転倒が 35 人と昨季(5 人)の 7 倍となった。除雪中の落雪事故も 25 人と、昨季の 2 人から大きく増加した。さらに除雪機による事故が 11 人と昨季(4 人)より増加している。また、除雪作業中に病気を発症したと考えられるものが 8 件あった。除雪作業中以外の落雪による被災者は 7 人となっている。

建造物では、全壊が 4 棟、半壊が 8 棟、一部破損が 130 棟と被害が多かった。(青森県, 2025a)。特に文化財等にも被害があり、1 月 4 日には、鷹揚園(弘前公園)にある国の重要文化財「弘前城二の丸末

申櫓」が雪の重さによる倒木で 2 階部分の底部分が損傷した。さらに、同公園内の多くの樹木で倒木や枝折れが発生した。また、弘前市岩木地区にある国の重要文化財である高照神社にある「廟所門」が屋根雪の重みで倒れているのが 4 月 30 日に確認されている。さらに、青森市浪岡にある県重要文化財の「旧坪田家住宅」も屋根雪の重さにより半壊した。

農業被害では、積雪により農業ハウスが潰れる等の被害の他、特に津軽地方のリンゴ園では、リンゴの木枝折れや木の幹が裂けるなどの被害が多数確認され、農業全体では過去最高の 2 億 2400 万円を超える被害となった(青森県, 2025b)。

5. まとめ

今季の青森県内は、12 月中旬以降周期的に寒気が入り、かつ数日間滞留したことや比較的に重く湿った雪が纏まって降り、津軽地方を中心に積雪深が 1m を大きく上回る地点が多かったことから、各地で雪による災害が多く発生し、津軽地方を中心に、16 市町村および青森県、東青、西北、中南の各地方支部で豪雪対策本部が設置された(青森県, 2025b)。また、酸ヶ湯では最深積雪深が 509cm と 12 年ぶりに 500cm を超えたほか、青森、五所川原で 150cm、弘前では 160cm、黒石でも 177cm と平年値を大きく上回った。しかし、最深積雪深の大きさに対して降雪量合計は、一部で平年値を上回ったが、全体的にはほぼ平年並みとなった。これに対して降水量合計は津軽地方を中心に全般に平年値を大きく上回っている。このことから、今季は比較的水分の多い湿った雪が多かったことが、最深積雪深が大きくなった一因と考えられる。下北・三八上北地方では、最深積雪深、降雪量合計ともに平年値を下回った地点が多く、八甲田連峰を挟んで西側と東側では降雪の状況が大きく異なっている。

弘前における最深積雪深と降雪量合計の関係については、昨季は津軽地方全般的に最深積雪深が小さくなった為、 R_{HS} は小さくなったが、今季は最深積雪深が大きく、降雪量合計は平年並みだったことから、 R_{HS} は昨季より大幅に大きく、長期的には R_{HS} は増加する傾向にあると考えられる。

雪害については、今季の雪関連の被災者は、死者 10 人、重傷者 46 人、軽症者 125 人で合計 181 人と昨季の 30 人より大きく増加し、3 年ぶりに 100 人を超えた。特に 1 月上旬の死者が 6 人と短期間に多くの死亡事故が発生している。これは、年末から 1 月上旬にかけて大雪になったためと考えられる。また、重く湿った雪が多く、積雪深も大きかったことから、除雪費用も各地で膨らみ、青森市では約 74 億円、弘前市でも約 20 億円を超えてそれぞれ過去最大となった。さらに建物被害も多く発生し、特に国や県の重要文化財等についても被害があった。農作物関連の被害も多く発生し、特にリンゴでは枝折れ等の被害が大きく、農作物関連では現時点で過去最高の 2 億 2400 万円を超える甚大なものとなっている。また、中津軽郡西目屋村の乳穂ヶ滝については今季も結氷しなかった。

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リンゴ研究所、小林達様に感謝申し上げます。また、青森県の雪害による人的被害についての資料を提供して頂いた、青森県危機管理局防災管理課、真柄元博様に感謝申し上げます。

【引用文献】

青森県 (2025a) : 雪害発生状況 (令和 6 年度)

<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bousai/files/R6setugai.pdf> (2025 年 4 月 30 日閲覧)

青森県 (2025b) : 今冬の大雪にかかわる被害状況等(3 月 21 日 9 時時点)

<https://bousai.pref.aomori.lg.jp/>(2025 年 3 月 22 日閲覧)

気象庁 (2025) : 過去の気象データ検索,

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2025 年 4 月 25 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.

令和7年度東北雪氷賞受賞候補者の選考結果について

東北雪氷賞（学術賞）

受賞者：本谷 研（秋田大学 教育文化学部 准教授，博士（理学））

受賞標題：積雪モデルを用いた東北地方の積雪水量および重量分布に関する研究

受賞理由：

本谷会員は、大気境界層や微気象に関する専門的な知見を基に、雪氷学の積雪研究分野で多岐にわたる研究に取り組んできた。特に、ルーチン気象データを入力としつつ、気象要素の高度分布を考慮することで、山岳などの高標高地域の積雪水量を推定可能な診断的積雪分布モデルを独自に開発した。このモデルにより、前日までの毎日、1km 四方平均の積雪水量分布を準リアルタイムで再現可能となり、高い空間分解能での積雪状況の把握が可能となった。

さらに、このモデルを秋田県および東北全域に適用することで、従来のまばらな観測点情報のみでは解析が困難であった積雪深や積雪水量の分布について、平地から山岳地までを含めた広範囲での定量的な評価を可能とした。また、年ごとの変動が大きいこれらの分布に関して、各冬期の気象状況の変化との関連を明らかにするなど、東北地方の降積雪状況に関する多くの知見をもたらした。

加えて、積雪水量分布に関する解析結果を応用し、屋根雪下ろしの判断に資する「雪おろしシグナル」の開発と運用を他機関と連携して実施するなど、基礎雪氷学の社会防災への応用にも多大な貢献を果たした。その他、落雪防止シール付き簡易神室式全層積雪サンプラーの開発に着手し、入手性の高い素材を活用しつつ、ざらめ雪など従来のサンプラーではサンプリングが困難であった積雪種の観測の効率化を目指すなど、雪氷測量機器の発展にも大きく寄与している。

以上の通り、本谷会員は東北地域における積雪分布に関する様々な分野で様々な貢献が認められることから、同会員は令和7年度東北雪氷賞（学術賞）の受賞者に値する。

参考資料：

- 1) 本谷研, 2024, 秋田県およびその周辺における 2023-24 年冬季の積雪の特徴, 東北の雪と生活, 39, 31-34.
- 2) 本谷研, 2023, 秋田県およびその周辺における 2022-23 年冬季の積雪の特徴, 東北の雪と生活, 38, 58-61.
- 3) 本谷研, 2022, 東北6県周辺における 2021-22 年冬季の積雪の特徴, 東北の雪と生活, 37, 7-10.
- 4) 本谷研, 2021, 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, 克雪技術研究協議会調査研究報告書, 克雪技術研究協議会編, 1-5.
- 5) 本谷研, 平島寛行, 佐野浩彬, 河島克久, 2020, 診断型積雪モデルを応用した東北6県における積雪水量分布の準リアルタイム再現システムの試み, 東北の雪と生活, 35, 42-45.

- 6) 本谷研, 2019, 東北 6 県における 2018-19 年冬季の降積雪の特徴, 東北の雪と生活, 34, 40-43.
- 7) 本谷研, 2019, 全層密度積雪密度サンプラー用雪落ち防止シールの検討, 雪氷研究大会 (2019・山形) 講演要旨集, 207.
- 8) 本谷研, 2018, 東北 6 県における 2017-18 年冬季の降積雪の特徴, 東北の雪と生活, 33, 13-16.
- 9) 本谷研, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 2017, ルーチン積雪深と積雪水量モデルに基づく秋田県内の全層積雪密度の解析, 東北の雪と生活, 32, 9-14.
- 10) 本谷研, 2011, 東北地方における積雪の広域分布特性と雪水総量, 東北の雪と生活, 東北支部 25 周年記念誌, 51-56.
- 11) 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.
- 12) 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, Hydrological Processes, 15(11), 2101-2129.

東北雪氷賞（学術賞）を受賞して

本谷 研（秋田大学 教育文化学部 地学研究室）



このたびは「積雪モデルを用いた東北地方の積雪水量および重量分布に関する研究」との標題で令和 7 年度東北雪氷賞（学術賞）を思いがけず頂いてしまい、身に余る光栄であると同時に賞の重みに恐縮しております。支部長を筆頭に、選考委員会の皆様、何よりも不束な私の研究活動を長年見守りご指導くださった多くの東北支部会員の皆様に、心底より厚く御礼申し上げます。

思えば、自分で一からプログラミングした診断型積雪分布モデル（単層の積雪分布モデルなので Simple-layer snow distribution model; SSDM）を使い続けて、もう 25 年以上経っていました。その間、細かいパラメタリゼーションの変更・改良は何度も行っているのですが、アメダス観測点や地上気象観測点（気象台や旧測候所）のデータを入力値として 1km 四方毎の気象要素の空間分布を作成し、その水・エネルギー収支から積雪量・融雪量を計算する仕組みは全く変わっていません。もっとも、開発当時の PC 環境はまだ Windows98SE が出た直後位で、大型計算機を使うほどではないけれど 32bit の DOS/V 互換機では一冬、東北 6 県全体を一気に計算するのはかなり大変でした。そこで東北大の所属研究室（東北大 - 理 - 流体地球物理学講座）有志の方々から、夜間などオーナー不在時に PC を何台もお借りして、20 万分の一地形図（約 80×80km）サイズに分割した計算を連結して（全手動「並列化」です）一晩かけてようやく一冬分の積雪分布を計算していたことを今でもはっきりと覚えています（当時快く PC の一時借用をお許し下さった方々に改めてお礼申し上げます）。その後もご縁あって「気候変動適応研究プログラム (RECCA)」の一部として領域気候モデルの検証用データを SSDM で作成し、その不確実性についての検証研究などを行えたことも幸運でした。木村富士男先生はじめ関係の皆様に感謝申し上げます。さらに、現在は気象庁から解析積雪深・解析降雪量のリアルタイム分布情報が得られる便利な時代になりましたが、未だに積雪相当水量・積雪重量の分布は農研機構のメッシュ農業気象データシステムと防災科研の雪おろシグナルの 2 通り位です。その雪おろシグナルの 1km メッシュ化に SSDM が貢献できたのは嬉しい限りです。これも平島寛行さんをはじめとする、雪おろシグナル開発陣のみなさんのおかげに他なりません。このように優秀で寛大な周りの皆様のおかげで、自分本体のスペックの低さを補って何とか今まで雪氷研究を続けられていることは明白で、今回の受賞に至ったものと思っております。今回の賞を「人には恵まれて僅かな成果を上げてはきたが、お前の努力はまだまだ足りない。さらに精進に励め！」という金言と解し、積雪水量分布をキーワードに研究・教育活動に今後も尽力したいと思います。以上乱文恐縮でしたが、お礼の言葉に代えまして、最後までお読みいただきありがとうございました。

公益社団法人日本雪氷学会 2025 年度東北支部理事会 議事録

日 時 : 2025 年 5 月 17 日 (土) 10:30~11:30

開催地 : トーサイクラシックホール岩手 [岩手
県民会館] (岩手県盛岡市)

出席者 : 12 名 (支部長・理事 8 名 (委任状 4
名), 監事 2 名, 事務局 2 名)

配付資料 :

資料 1 2024 年度事業報告

資料 2 2024 年度会計報告

資料 3 2025 年度事業計画

資料 4 2025 年度予算計画

資料 5 2025 年度東北雪氷賞受賞者の選考

資料 6 2025-2026 年度役員(案)について

資料 7 2024 年度事業監査報

された.

審議 5. 2025 年度東北雪氷賞受賞者の選考

山崎東北雪氷賞選考委員長より, 資料 5 に
基づき, 2024 年度東北雪氷賞受賞者の選考結
果が示され, 学術賞 1 名の授賞が審議の結果,
承認された.

審議 6. 2025-2026 年度役員(案)

若林支部長より, 資料 6 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2025-2026 年度役員(案)は承
認された.

以上

議事 : 若林支部長挨拶の後, 若林支部長が議長
となり議事に入った.

審議 1. 2024 年度事業報告

荒川幹事長より, 資料 1 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2024 年度事業報告は承認さ
れた.

審議 2. 2024 年度会計報告

山口会計幹事より, 資料 2 に基づき説明が
あり, 審議の結果, 2024 年度会計報告は承認
された.

報告 1. 2024 年度東北支部監査報告

赤田監事及び梅村監事より, 資料 7 に基づ
き, 2024 年度事業内容に関する監査結果が報
告された.

審議 3. 2025 年度事業計画

荒川幹事長より, 資料 3 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2025 年度事業計画は承認さ
れた.

審議 4. 2025 年度予算計画

山口会計幹事より, 資料 4 に基づき説明が
あり, 審議の結果, 2025 年度予算計画は承認

公益社団法人日本雪氷学会 2025 年度東北支部総会 議事録

日 時 : 2025 年 5 月 17 日 (土) 13:00~14:00

開催地 : トーサイクラシックホール岩手 [岩手
県民会館] (岩手県盛岡市)

出席者 : 23 名 (うち委任状 2 名)

配付資料 : 公益社団法人日本雪氷学会東北支
部総会資料 2025 年 5 月

資料 1 : 2024 年度事業報告

資料 2 : 2024 年度会計報告

資料 3 : 2025 年度事業計画

資料 4 : 2025 年度予算計画

資料 5 : 2025-2026 年度役員(案)について

資料 6 : 2024 年度事業監査報告

資料 7 : 2025 年度東北雪氷賞受賞者の
選考結果について

議事 : 若林支部長挨拶の後, 支部長が議長とな
り議事に入った.

審議 1. 2024 年度事業報告

荒川幹事長より, 資料 1 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2024 年度事業報告は承認さ
れた.

審議 2. 2024 年度会計報告

山口会計幹事より, 資料 2 に基づき説明が
あり, 審議の結果, 2024 年度会計報告は承認
された.

報告 1. 2024 年度東北支部監査報告

赤田監事および梅村監事より, 資料 6 の 2024
年度事業内容に関する監査結果が報告され
た.

審議 3. 2025 年度事業計画

荒川幹事長より, 資料 3 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2025 年度事業計画は承認さ
れた.

審議 4. 2025 年度予算計画

山口会計幹事より, 資料 4 に基づき説明が
あり, 審議の結果, 2025 年度予算計画は承認
された.

審議 5. 2025-2026 年度役員(案)

若林支部長より, 資料 5 に基づき説明があ
り, 審議の結果, 2025-2026 年度役員(案)は承
認された.

報告 2. 2025 年度東北雪氷賞受賞者の選考結
果

資料 7 に基づき山崎東北雪氷賞選考委員会
委員長から, 学術賞 1 件の推薦があり, 理事会
において承認された旨の報告があった.

以上

2024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

(1) 研究発表会の開催

日 時：2024年5月18日(土)～19(日) 15:00～17:00, 9:20～12:00

開 催 地：東北大学 大学院理学研究科・理学部
青葉サイエンスホール(合同C棟2階)

共 催：日本雪工学会北東北支部

(2) 講習会の開催(1ヶ所)

日 時：2025年1月17日(金) 9:30～15:00

開 催 地：会津高原国際人財センター(福島県南会津郡南会津町)

参 加 者：12名

後 援：防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

(協 力：南東北雪崩研究会)

参 加 費：学会員1,000円, 学生500円, 一般2,000円

内 容：基礎学習(座学)：降雪のメカニズムや降雪種, 積雪の性質や観測方法,
雪崩や吹雪などの災害を引き起こす要因などの講義および野外実習(積
雪断面観測)を実施。

2. 普及・啓発, 表彰事業

(1) 東北雪氷賞授賞式の開催

日 時：2024年5月18日(土) 13:00～14:30

開 催 地：日本大学工学部

(2) 東北雪氷賞選考委員会の開催

期 間：2025年3月11日

開 催 地：Zoom(オンライン)

3. 出版事業

(1) 機関誌「東北の雪と生活」39号の刊行

発 刊 日：2024年11月1日

(2) ニュースレターの刊行(2回)

78号：2024年5月14日：2024年度東北支部大会の開催案内②

79号：2025年3月31日：2025年度東北支部大会の開催案内①

4. その他

(1) 2024 年度支部理事会の開催

開催期間：2024 年 5 月 18 日 11:00～12:00

開催地：東北大学 大学院理学研究科・理学部
青葉サイエンスホール（合同 C 棟 2 階）

(2) 2023 年度支部総会の開催

日時：2024 年 5 月 18 日 13:00～14:30

開催地：東北大学 大学院理学研究科・理学部
青葉サイエンスホール（合同 C 棟 2 階）

(3) 支部ホームページの運営（随時）

(4) 支部メーリングリストの管理

2024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

2024年4月1日から2025年3月31日まで

経常 収益 の 部	科 目	金 額	備 考
	事業収益		
	研究大会事業収益	18,000	正会員参加費 (1,000円×18人)
		1,000	賛助会員 (1,000円×1人)
		1,000	学生非会員 (1,000円×1人)
	経常収益合計	20,000	
経常 費用 の 部	科 目	金 額	備 考
	事業費		
	消耗品費 (賞状用紙)	1,006	
	消耗品費 (賞状ケース)	3,088	
	臨時雇賃金	17,500	対象：アルバイト2名@7,000+1名@3,500=17,500
	褒章記念品	16,500	対象：3名
	経常費用合計	38,094	
	当期経常増減額	-18,094	

2024年度 東北支部 収支報告書

事業名：東北支部 特別講演会

2024年4月1日から2025年3月31日まで

経常 収益 の 部	科 目	金 額	備 考
	事業収益		
	経常収益合計	0	
経常 費用 の 部	科 目	金 額	備 考
	事業費		
	経常費用合計	0	
	当期経常増減額	0	

2024年度 東北支部 収支報告書

事業名：東北支部 講習会の開催

2024年4月1日から2025年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	研修会事業収益	1,000	会員参加費(1,000円×1人)
		8,000	賛助会員・協力団体参加費(1,000円×8人)
		2,000	非会員参加費(2,000円×1人)
		1,000	学生会員参加費(500円×2人)
	経常収益合計	12,000	
経常費用の部	事業費		
	旅費交通費	6,380	講師 宿泊費(6,380円×1人)
	講演謝金	11,137	(講演会事業積立基金からの支出) 源泉徴収1,137円含
	手数料	590	現金書留郵送費
	手数料	21	現金封筒代
	手数料	110	領収書等郵送費
	経常費用合計	18,238	
	当期経常増減額	-6,238	

2024年度 東北支部 収支報告書

事業名：東北支部機関誌「東北の雪と生活」39号の刊行

2024年4月1日から2025年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	出版事業収益	12,000	冊子代(3,000円×4冊：会員)
	経常収益合計	12,000	
経常費用の部	事業費		
	印刷製本費	85,470	冊子30冊(賛助・特別会員等15+会員15)
	通信運搬費	6,420	4,800+1,620=6,420
	経常費用合計	91,890	
	当期経常増減額	-79,890	

2025年5月1日

東北支部監査報告書

公益社団法人 日本雪氷学会
東北支部 支部長 若林 裕之 殿

公益社団法人 日本雪氷学会
東北支部 監事 梅村 順



2024年4月1日から2025年3月31日までの2024年度における東北支部事業について
行った監査について以下のように報告する。

1. 監査方法

東北支部の事業について、2024年度東北支部事業計画に基づいて、業務執行の妥当性を検討した。

2. 監査意見

東北支部の2024年度事業計画と2024年度事業報告を照合した結果、適切に事業が行われていることを確認した。

2025年5月2日

東北支部監査報告書

公益社団法人 日本雪氷学会
東北支部 支部長 若林 裕之 殿

公益社団法人 日本雪氷学会
東北支部 監事 赤田 尚史 

2024年4月1日から2025年3月31日までの2024年度における東北支部事業について
行った監査について以下のように報告する。

1. 監査方法

東北支部の事業について、2024年度東北支部事業計画に基づいて、業務執行の妥当性を検討した。

2. 監査意見

東北支部の2024年度事業計画と2024年度事業報告を照合した結果、適切に事業が行われていることを確認した。

2025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) 研究発表会の開催

日 時：2024年5月17日(土) 14:15～16:00

18日(日) 9:15～11:30

開催地：トーサイクラシックホール岩手 [岩手県民会館]

第2会議室 (岩手県盛岡市)

共 催：日本雪工学会北東北支部

(2) 特別講演会の開催

開催予定

(3) 見学会または雪に関する講習会の開催(1ヶ所)

開催予定

2. 普及・啓発、表彰事業

(1) 東北雪氷賞授賞式の開催

日 時：2024年5月17日(土) 13:00～14:00

開催地：トーサイクラシックホール岩手 [岩手県民会館] (岩手県盛岡市)

(2) 東北雪氷賞選考委員会の開催

3. 出版事業

(1) 機関誌「東北の雪と生活」40号の刊行

(2) ニュースレターの刊行(2回)

4. その他

(1) 2025年度支部理事会の開催

日 時：2025年5月17日(土) 10:30～11:30

開催地：トーサイクラシックホール岩手 [岩手県民会館] (岩手県盛岡市)

(2) 2025年度支部総会の開催

日 時：2025年5月17日(土) 13:00～14:00

開催地：トーサイクラシックホール岩手 [岩手県民会館] (岩手県盛岡市)

(3) 支部ホームページの運営(随時)

(4) 支部メーリングリストの管理

2025年度 東北支部 収支予算

事業名：東北支部 研究発表会の開催

2025年4月1日から2026年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益 研究大会事業収益	20,000	会員参加費 (1,000円×15人) 非会員参加費 (2,000円×1人) 学生参加費 (1,000円×3人)
	経常収益合計	20,000	
経常費用の部	事業費 臨時雇賃金 消耗品費 印刷製本費 会場費 褒章記念品	21,000 1,000 7,000 20,000 18,000	アルバイト料 (3名) 事務用品 刊行物印刷代、コピー代 会場使用料・備品使用料 褒章記念品 (3名)
	経常費用合計	67,000	
	当期経常増減額	-47,000	

2025年度 東北支部 収支予算

事業名：東北支部 特別講演会

2025年4月1日から2026年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益		
	経常収益合計	0	
経常費用の部	事業費 諸謝金 旅費交通費	12,000 25,000	講師 (1名) 講師 旅費交通費、宿泊費 (計25,000円×1名)
	経常費用合計	37,000	
	当期経常増減額	-37,000	

2025年度 東北支部 収支予算

事業名：東北支部 講習会の開催

2025年4月1日から2026年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益 研修会事業収益	10,000	会員参加費(1,000円×5人)※ 非会員参加費(2,000円×2人) 学生非会員参加費(500円×2人) ※特別・賛助会員等含む
	経常収益合計	10,000	
経常費用の部	事業費 旅費交通費 資料代 会場費 消耗品費	50,000 2,000 10,000 1,500	講師 旅費交通費、宿泊費(計25,000円×2名) 当日配布資料 会場・備品使用料 コピー用紙(修了証書)等
	経常費用合計	63,500	
	当期経常増減額	-53,500	

2025年度 東北支部 収支予算

事業名：東北支部機関誌「東北の雪と生活」40号の刊行

2025年4月1日から2026年3月31日まで

	科 目	金 額	備 考
経常収益の部	事業収益 出版事業収益	45,000	冊子代(3,000円×15冊：会員)
	経常収益合計	45,000	
経常費用の部	事業費 印刷製本費	86,000	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	86,000	
	当期経常増減額	-41,000	

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、支部会員等により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
2 7	平成 26(2014)	後藤 博	なし	阿部 孝幸	横山 孝男
2 8	平成 27(2015)	なし	なし	望月 重人	(特)沼野 夏生 渡邊 明
2 9	平成 28(2016)	なし	なし	なし	阿部 修
3 0	平成 29(2017)	根本 征樹	なし	なし	佐々木 幹夫
3 1	平成 30(2018)	なし	なし	平山 順子	なし
3 2	令和元(2019)	若林 裕之	なし	なし	山崎 剛
3 3	令和 2(2020)	なし	なし	なし	沼澤 喜一 柳澤 文孝
3 4	令和 3(2021)	なし	金 高義	なし	なし
3 5	令和 4(2022)	なし	なし	なし	堀井 雅史
3 6	令和 5(2023)	なし	なし	なし	小杉 健二
3 7	令和 6(2024)	石田 祐宣	佐藤 研吾	なし	佐藤 威
3 8	令和 7(2025)	本谷 研	なし	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証いたします。

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

(署名は自筆をお願いします。捺印は不要です。原稿投稿時に添付して下さい。)

2025・2026 年度 公益社団法人 日本雪氷学会東北支部役員

支部長 石田 祐宣 (弘前大学大学院理工学研究科准教授)

副支部長

梅村 順 (日本大学工学部専任講師)

山谷 睦 (日本地下水開発株式会社)

理事

安達 聖 (防災科学技術研究所主任研究員)

梅村 順 (日本大学工学部専任講師)

沖田 圭右 (日本環境科学株式会社)

加茂 祐一 (柴田町しばたっ子応援団)

小関 英明 (日本気象予報士会)

後藤 博 (秋田雪の会)

藤崎 和弘 (弘前大学大学院理工学研究科准教授)

武藤 由子 (岩手大学農学部准教授)

山口 正敏 (日本地下水開発株式会社)

山谷 睦 (日本地下水開発株式会社)

監事

赤田 尚史 (弘前大学被ばく医療総合研究所教授)

菊地 卓郎 (福島工業高等専門学校都市システム工学科教授)

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)

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主任研究員)

総務幹事 安達 聖 (防災科学技術研究所主任研究員)

会計幹事 山口 正敏 (日本地下水開発株式会社)

各県幹事

青森県 久保田 聡 (青森県西北地域連携事務所)

秋田県 鳥潟 幸男 (大館市教育委員会)

岩手県 真坂 一彦 (岩手大学農学部教授)

宮城県 中田 健斗 (日本気象協会東北支社)

山形県 佐藤 寛稔 (雪の里情報館)

福島県 佐藤 真季子 (日本大学工学部)

事業委員会

委員長 沖田 圭右 (日本環境科学株式会社)

委員 荒川 逸人 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター契約研究員)

門間 洋仁 (日本地下水開発株式会社)

「東北の雪と生活」編集委員会

委員長 加茂 祐一 (柴田町しばたっ子応援団)

委員 朝岡 良浩 (日本大学工学部教授)

田邊 章洋 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター契約研究員)

東北雪氷賞選考委員会

委員長 山谷 睦 (日本地下水開発株式会社)

委員 赤田 尚史 (弘前大学被ばく医療総合研究所教授)

朝岡 良浩 (日本大学工学部教授)

根本 征樹 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

新庄雪氷環境研究所所長)

以上

(公社) 日本雪氷学会東北支部 特別・賛助会員名簿

(2025.9.10. 現在)

特別会員

会 員 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佐渡2003ー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
西和賀町役場	〒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

賛助会員

会 員 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
T N - P S G 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	022-799-6176	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40号

令和7年11月1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：加茂 祐一

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

©2025（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。