

特集●

# 雪の研究

雪景色の森は、とてもうつくしいものです。

雪をかぶった山、白銀の世界、雪の舞い落ちるようすは、

心ひきつけられるものがあります。しかしその反面、豪雪地帯の人びとは、

毎冬の雪かき、雪下ろしや、雪害に悩まされてきました。

地すべりや雪崩など、雪のもたらす災害もあります。

森の木々にとっても、雪は水分をもたらしてくれる反面、

雪の重みで枝や幹が折れるなど、深刻な被害ももたらします。

100年の歴史をもつ十日町試験地で蓄積されたデータと研究に基づいて

雪と森との関係についてみてみましょう。



『北越雪譜』鈴木牧之 「掘除積雪之図」

出典：国立国会図書館デジタルコレクションより

## 十日町試験地における100年間の積雪深

十日町試験地では、積雪の深さを開設以来毎日観測しつづけてきた(下段グラフ)。

このデータから、その年の雪の降り方の特徴がわかる。

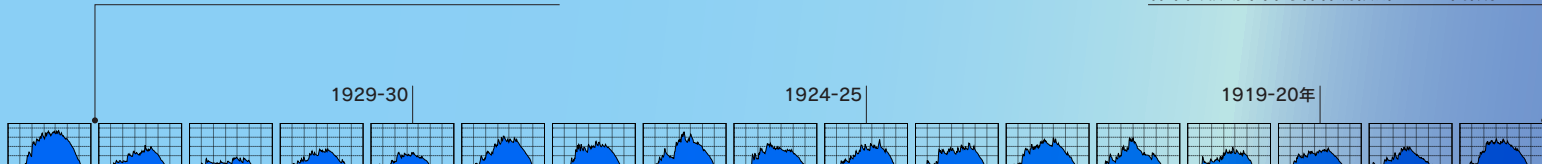
(各年のグラフは左から右にひと冬の推移を示す)

1933(昭和8)年

林業試験場の平田徳太郎(日本雪氷協会初代理事長)が中心  
となって、日本での積雪および雪害の研究が始まった。

1917(大正6)年

林業試験場十日町森林測候所として開設。

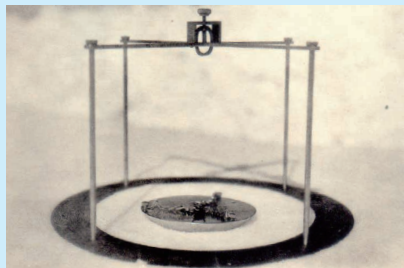
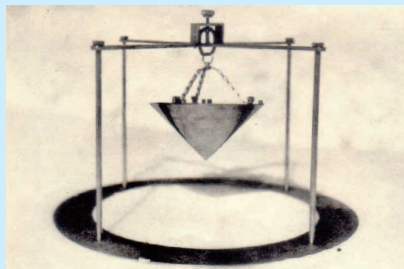




現在使われている積雪の硬度測定器

積雪の硬度は、雪の密度や粒子の結合の強さによって変化する雪の性質を表す重要な基本量の1つである。このため硬度をはかる装置は早くから開発され、何度も改良された。近年では、デジタル式荷重測定器を利用した測定法が普及し、従来の方法に比べると、はるかに短時間で、精度の高い測定ができるようになった。

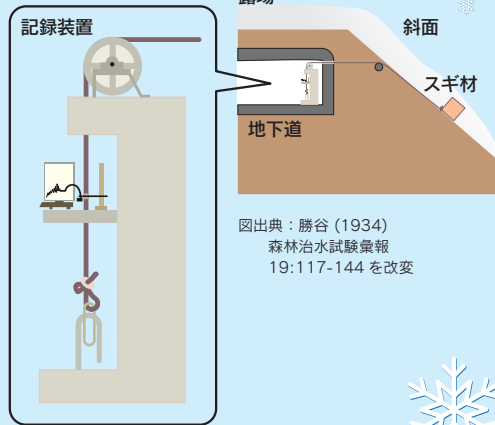
出典：竹内ら (2001) 雪氷 63:441-449



黒田式硬度計

円錐を一定の高さから落とし、もぐりこんだ深さで雪の硬さを測る。

出典：平田 (1938) 第二回雪害二関スル打合會復命書 80-89



図出典：勝谷 (1934) 森林治水試験彙報 19:117-144 を改変



地下道に今も残る積雪移動量記録装置の滑車

十日町試験地では、斜面の積雪の移動を観測するために全長50mの地下道が造られた。雪が積もる前に斜面に置いたスギ材と、地下道に設置した自記円筒時計のペンをワイヤーロープでつなぎ、スギ材が冬の間に積もった雪の動きにつれて移動すると、移動量が記録されるしくみになっている。

## ◆雪をはかる装置の考案から始まった雪の研究

まずは、雪のさまざまな性質を測る方法と装置を考案しなければならない。平田徳太郎(当初の森林測候所の責任者であり、後に日本雪氷協会初代理事長)が中心となり、積雪の密度、硬度などを測る機器が考案され、積雪の性質に関する研究

が始まった。1937年度からは実験斜面を整備して雪崩防止の試験も始まり、1937～38年冬期に斜面の積雪の動きを自動計測することに初めて成功した(右上図)。これらの研究が、その後の日本の積雪や雪崩研究の礎となっている。

国内の雪害研究は、1937年に十日町を含む全国7つの森林測候所において積雪内部の状態を定期的に観測することから始まりました。しかし当時、このような取り組みは世界的にも始まったばかりで、雪質を表現する適切な用語や分類基準もなく、また、それらの性質を測定す

る方法もありません。幼ない木が雪に埋もれたり、雪が樹冠に降り積もることで、雪の重みによる枝折れや、幹折れ、根返りなどの被害がでます。また雪崩は、その衝撃で下流の森林を倒壊させるとともに、斜面に積もった雪を移動させることで急傾斜地の土砂流出も引き起こします。こうした森林の雪害は、多雪地の林業や治山において古くからの課題となってきました。そのため雪害の研究では、雪害の発生過程や雪害をもたらし積雪の変化を明らかにしようとする基礎研究と、これらに基づいて雪害の防止や軽減方法を開発する応用研究とが、その黎明期から現在に至るまで並行して進められてきました。

日本は、世界有数の豪雪地をもつ国です。雪は水資源として森林を育みますが、一方で、森林や林業に対しさまざまな被害を与えます。幼ない木が雪に埋もれたり、雪が樹冠に降り積もることで、雪の重みによる枝折れや、幹折れ、根返りなどの被害がでます。また雪崩は、その衝撃で下流の森林を倒壊させるとともに、斜面に積もった雪を移動させることで急傾斜地の土砂流出も引き起こします。こうした森林の雪害は、多雪地の林業や治山において古くからの課題となってきました。そのため雪害の研究では、雪害の発生過程や雪害をもたらし積雪の変化を明らかにしようとする基礎研究と、これらに基づいて雪害の防止や軽減方法を開発する応用研究とが、その黎明期から現在に至るまで並行して進められてきました。

## 森林の雪害研究のはじまり

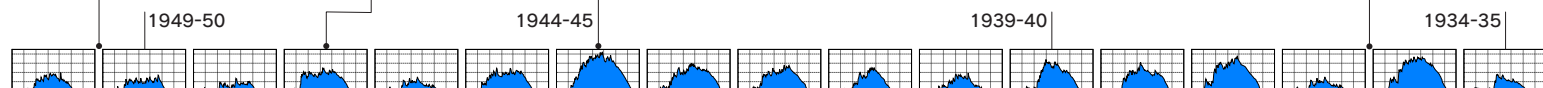
## 特集●雪の研究

1947(昭和22)年12月13日  
日降雪深の最大値105cmを記録。

1945(昭和20)年  
現在までの最大値となる年最大積雪深425cm、ひと冬に降った雪の深さ2103cmを記録。

1936(昭和11)年  
十日町森林治水試験地へ名称変更。

1950(昭和25)年  
十日町試験地へ名称変更。





## ◆冠雪や雪圧の研究

### 樹木の冠雪現象の解明

樹冠に帽子状に積もった雪を冠雪と呼んでいる。大雪のときには大量の冠雪によって、冠雪害と呼ばれる幹折れや根返りの被害が発生する。冠雪の重さの変化を計測し、気象状況と冠雪の成長や落下の関係を解明することで、冠雪害の発生予測に挑んでいる。写真は十日町試験地でスギの冠雪を計測するようす。

### 雪圧害と冠雪害

雪の中で積雪から受ける力(雪圧)による被害を「雪圧害」、樹冠に積もる雪(冠雪)の重さによる被害を「冠雪害」という。



### 表層雪崩と全層雪崩

雪崩は雪がすべり落ちる面(すべり面)の位置により、表層雪崩と全層雪崩に分類される。表層雪崩はすべり面が積雪内部で、上層の雪だけがすべり落ちる雪崩、全層雪崩はすべり面が地面で、積雪全層がすべり落ちる雪崩。

### 高橋の18度法則

高橋喜平は、多くの雪崩発生事例を調査し、雪崩の到達した末端から雪崩発生区の上端までの仰角(見通し角)を調べてみた。その結果から、表層雪崩は見

通し角が18度の範囲までは到達する可能性があるという経験則を見いだしたので、「高橋の18度法則」と呼ばれている。全層雪崩は、表層雪崩に比べて一般的に流下距離が短く、到達範囲は見通し角24度以上とされた。

### 雪崩に挑む研究

林業試験場が森林総合研究所へと名称変更された1988年頃から、十日町試験地における研究は、雪崩の発生予測へと発展します。積雪は、その積み重なった自らの雪の重みによって押し縮められます。これにより、時間の経過とともに積雪の厚みは小さく、密度が高くなるとともに、

これらの観測結果から、樹木が雪に埋もれる過程や、冠雪が成長し落ちる過程が、しだいに明らかになってきました。そして、それらの知見に基づいて雪圧害や冠雪害を軽減するための造林技術が開発されてきました。

幼齢木が雪に埋まるときの幹の倒れ方の時間変化や、樹冠に付着した雪の重さの時間変化を計測する独自の装置を開発して、十日町試験地で詳細な観測を行ったのです。

取手もありませんでした。そこで、積雪の種類をどのように分類し、それが時間とともにどう変化するかを明らかにする研究が行われました。その後1940〜50年代に、林業試験場の研究者だった四手井綱英と十日町試験地主任の高橋喜平が中心となり、雪圧害や冠雪害などの被害がどのように発生するかを明らかにし、被害を軽減させるための多雪地の造林技術の研究を行いました。



### 十日町試験地とは

森林総合研究所の試験地で、豪雪地の環境を活かして雪と森林に関わる研究を行っている。元々は治水対策のために全国の主要河川沿い39カ所に設置された森林測候所の1つであり、1917年に信濃川が

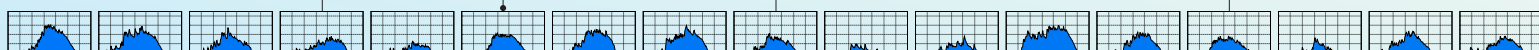
流れる新潟県十日町市の現在の地に農商務省山林局林業試験場十日町森林測候所として設立された。1936年に十日町森林治水試験地、1950年に十日町試験地と改名し、現在に至っている。

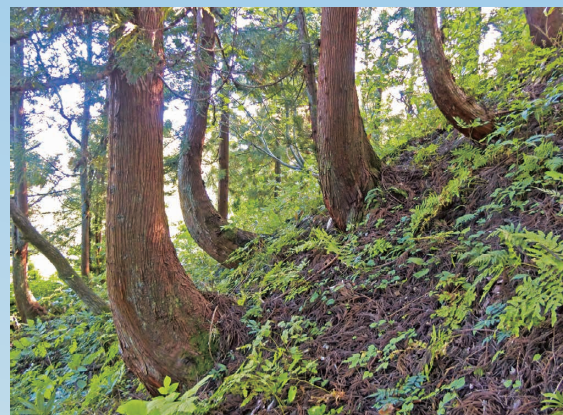
1963(昭和38)年  
昭和38年1月豪雪(38豪雪)

1964-65

1959-60

1954-55年





十日町試験地の根元曲がりのスギ

多雪地の急斜面にある樹木は、積雪の移動や沈降により大きな外力(雪圧)を受ける。幼齢時には雪圧によって倒伏したり幹が大きく湾曲したりすることで、根元付近の幹に融雪後も回復しない曲がりが生じる。降積雪の状況によっては、幹折れや幹割れなどの雪圧害が発生し、成林できない状況に陥る。



## ◆全層雪崩と樹木の関係



全層雪崩が発生する斜面の灌木

雪崩の末端

斜面中の灌木は、幹や枝葉が積雪の移動に対して抵抗として働くことで、全層雪崩の発生を抑制する。一方で融雪期には、積雪と灌木の接点が濡れて摩擦抵抗が低下することで全層雪崩が発生する。積雪と灌木との力学関係を明らかにすることで、全層雪崩の発生機構を解明し、森林を雪崩対策に活用する取り組みが行われている。左上は、全層雪崩の発生直後の斜面のようす。左下は、全層雪崩の発生斜面に匍匐した状態で生育する灌木のようす。

硬く強くなります。(▼P. 14 研究の森から参照  
このことに着目し、降雪量などの気象データをを用いて計算することで雪崩の起きにくさを導き出す手法を提案しました。

いまでは、森林がもつ雪崩を防いで軽減する効果に関する研究も進めています。

森林を活用した雪崩対策では、森林が雪崩の勢いを抑える働き(減勢機能)や、雪崩を起きにくくする働きを数値として検証し、その結果に基づいて森林を適切に配置することが重要です。

減勢機能の評価のために、大規模表層雪崩の事例を対象として、雪崩の到達範囲や森林の倒壊状態を現地調査し、その結果に基づいてシミュレーションを行いました。シミュレーションによると、森林があると流下距離が抑えられることが示され、森林が持つ雪崩を抑える働きを定量的に明らかにすることができました。

また雪崩が発生する斜面では、樹木は雪圧を受けるため大きく成長することができず、匍匐した状態の灌木やササが生育します。このような灌木は、冬季に積雪内部に埋まり、その幹や枝葉で斜面積雪を支持することで、全層雪崩を起きにくくします。

この灌木の働きを雪崩対策に活用したり、灌木の倒伏の変化から雪崩の発生の前兆を捉える研究を進めています。

## 特集◎雪の研究



1984(昭和59)年  
昭和59年豪雪(59豪雪)

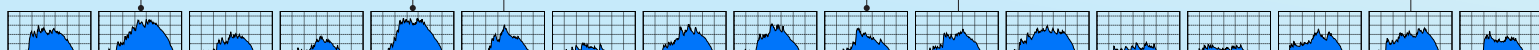
1981年(昭和56)年  
昭和56年豪雪(56豪雪)

1979-80

1976(昭和51)年1月20日  
日降雪深の最大値105cmを記録。

1974-75

1969-70

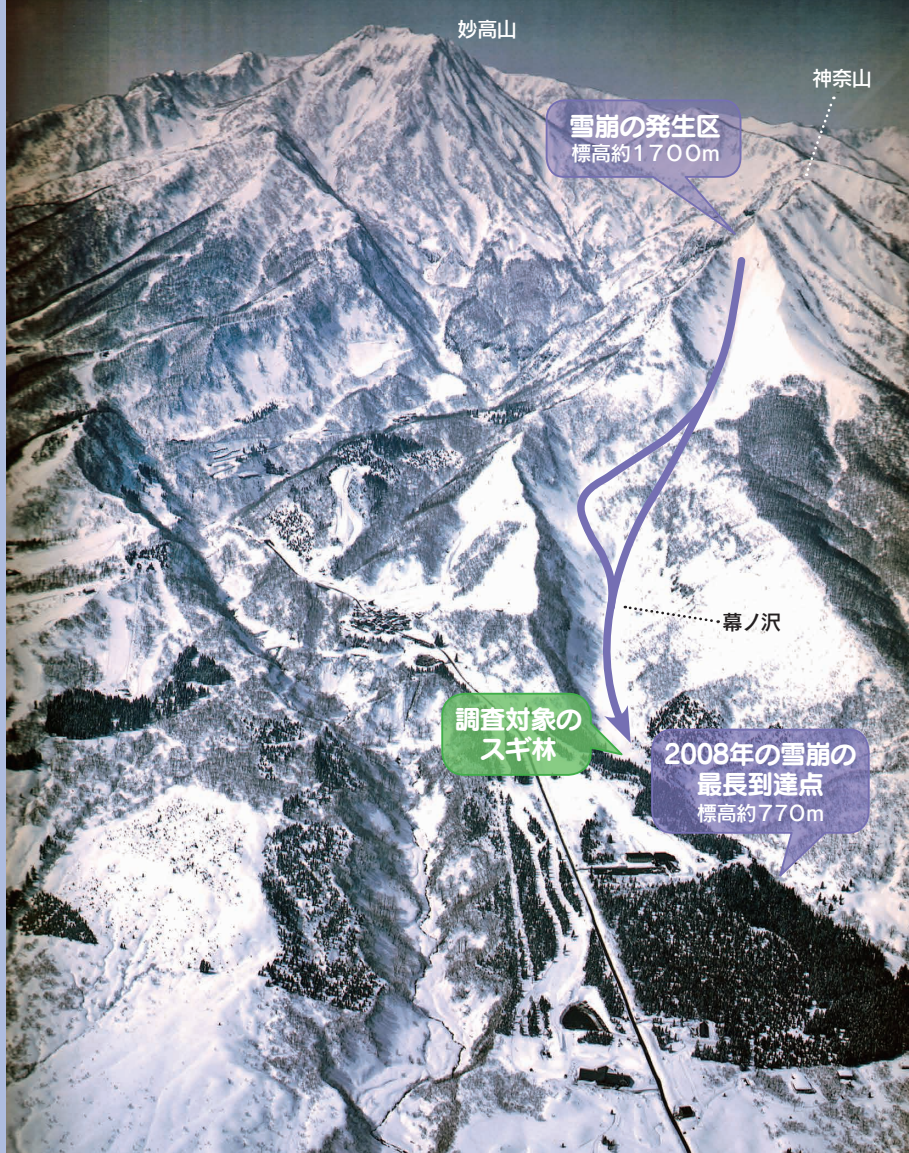
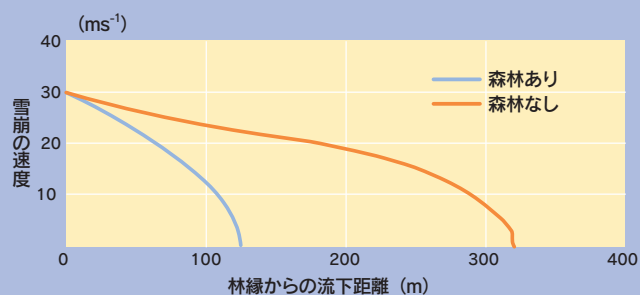




## ◆雪崩の進行を妨げた森林の効果

新潟県妙高山域の幕ノ沢では、長期間にわたって雪崩の観測が続けられている。ここで2008年2月に発生した大規模な表層雪崩は、森林のない沢の源頭部(標高約1700m)で発生して約3000mもの距離を流下し、下流の森林に高速で流れ込んだ。雪崩によって多数のスギ立木が倒壊したが、雪崩は森林より下流へは行かず森林内で止まった。雪崩の到達範囲や立木の折損状況などの現地調査をもとに、雪崩の流下をシミュレーションし、森林のある場合とない場合の速度や流下距離を比較した。森林がないと仮定した場合、雪崩はスギ林内を流下した実際の距離より約200mも遠くまで流下すると推測され、雪崩の進行を妨ぐ森林の効果が示された。

上図の出典:Takeuchi et al. (2018) Annals of Glaciol., 77, 50-58. を改変



## 積雪の変化を解明する

降雪の状況は地域によって異なり、積雪の状態は降雪後の気象環境により大きく変化します。雪害対策では積雪の地域性や時期的変化を十分に反映させる必要があります。このための有効な手段として気象条件を入力値とする積雪のシミュレーションが注目されています。全層雪崩や雪圧害は、降雨や融雪によって積雪内部の雪が濡れる現象と密接に関連していますが、積雪内部の水の動きが複雑であることから、これらの現象や災害の予測精度が十分ではないという課題があります。

そこで医療分野で使用されるMRIを積雪研究に応用して積雪内部の水の動きを非破壊的に捉えることで、降雨や融雪による積雪の変化を明らかにする研究にも取り組んでいます。

また、十日町試験地では設置から100年以上にわたって気象と積雪の観測を実施しています(下のグラフを参照)。

十日町試験地の1月の平均気温は0℃前後で、わずかな気温の変化によって雪が降るのか、雨が降るのかが変化します。そのため、降雪量や積雪状態が気温の変化に伴い敏感に変化する地域であるといえます。積雪内部の雪質は、過去には乾き雪地域でしたが、近年は湿り雪地域へと移行しつつあります。

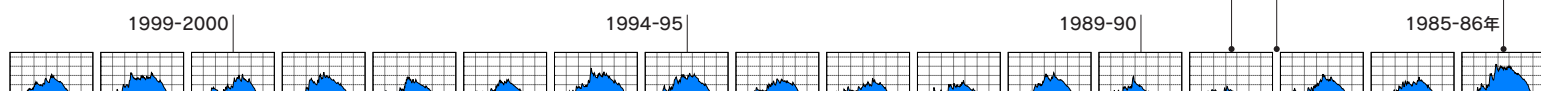
積雪の長期間にわたる観測データは世

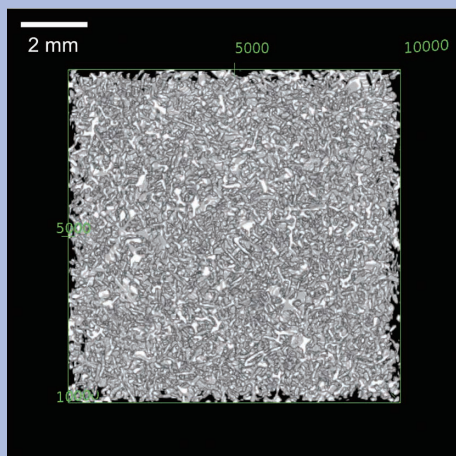
1986(昭和61)年  
昭和61年豪雪(61豪雪)。

1988(昭和63)年  
森林総合研究所に改編・名称変更。

1989(平成元年)  
最大積雪深の最小値81cmを記録。

2004(平成16)年  
新潟県中越地震。十日町市では震度6強を観測。





CTでみた雪

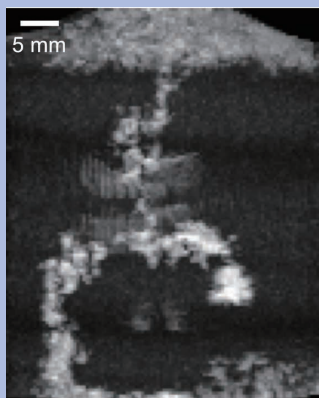
MRIによる浸透実験に使用した雪の3次元画像。雪粒子を白色で示した。自然の積雪は、複雑な形状を持った極めて多くの微小な雪粒子により構成されている。



水みちの形成で発生した積雪表面のくぼみ(雪えくぼ)

#### MRIでみた選択的な水の流路

自然の積雪から採取した乾いた雪に水を供給して人工的に浸透を発生させたときの、雪の内部の水みちのようす。図中の白い所は、浸透により含水率が高くなった箇所を示す。水は真つすぐに流下せず、蛇行や分岐をしながら複雑に流下する。



#### ◆積雪のミクロからマクロを捉える試み

積雪内のミクロな水の動きを捉える

積雪内では、降雨や融雪により水みちと呼ばれる選択的な水の流路や水平方向の流れが形成する。しかし、これらがどのような過程を経て形成するのか、明らかになっていなかった。そこで、物体内部の水分分布を非破壊的に可視化できるMRIを用いることで、雪の内部で水みちが形成する様子を捉えることに成功した。

出典: Katsushima et al., (2018) Proceedings of ISSW 2018 971-975.

データ提供: 防災科学技術研究所 安達聖特別研究員

## 特集 ● 雪の研究

世界的に見ても貴重であるため、気候変動によって積雪がどのように推移してきたのか、今後どのように推移するのかを、明らかにする研究を継続しています。

**これからへ向けて**

雪と森林は、さまざまな影響を相互に与えます。

そこで、森林の雪害研究においては、雪と森林の相互作用のしくみを理解し、それに基づく被害の軽減・防止対策を提案してきました。

また、多雪地の林業の安定性や持続性を高めるために、雪圧害や冠雪害の被害が発生する過程を解明し、被害軽減のための造林技術や施業方法を開発してきました。

さらに、森林を用いた雪崩対策を行うことで雪崩による被害を軽減し、雪崩災害への適応力を高めるために、森林が雪崩の勢いを抑える機能や、雪崩を起きにくくする機能を評価してきました。

気候変動による降雪・積雪状況の変化や雪氷災害の激甚化が危惧される今日、将来にわたって多雪地の林業の安定性と、雪崩災害への柔軟な対応を高度に維持するために、今後もさまざまなアプローチを駆使しながら雪と森林の相互作用を解明し、得られた知見を雪害対策に繋げることで、雪害研究と多雪地林業の未来を切り開いていきたいと考えています。



現在の十日町試験地

2007(平成19)年  
最大積雪深の最小値81cmを記録。

2006(平成18)年  
平成18年豪雪。

2011(平成23)年  
長野県北部地震。  
十日町市で震度6弱観測。  
同年7月新潟・福島豪雨。

