石川県林試研報 57：27-32
資料

石川県手取川流域における冬期の森林内外の気象・積雪特性

藤井秀人*・藤原洋一**・高瀬恵次**・伊藤優子***・小倉　晃****

要旨：日本海側の河川流域では豊富な融雪水を農業用水に利用しているが，温暖化の進行により融雪の早期化や積雪量の減少が懸念される。本研究では多雪地帯の森林の気象緩和機能と温暖化の影響を評価するための基礎知見を得るため，石川県手取川流域で3冬期（2022/23～2024/25）に森林内と森林外で気象・積雪の観測を行った。その結果，1）林内では風速と日射の低減効果が大きく，風速は林外の約21～24%に低減され，日射量は3冬期とも林内は林外の約11%に低減された。2）最大積雪深の3冬期の平均は林外が110cm，林内は63cmで林内は林外の57%であった。3）2023～2025冬期の3年間の積雪減少速度は，林外2.8cm/d，林内1.9cm/d，林内は林外の約68%，消雪日は林内が約1日早かった。

キーワード：気象観測，積雪観測，多雪地帯，手取川流域，スギ人工林

Ⅰ．はじめに

温暖化による気候変動により，北陸地方では積雪量や融雪時期の変化が生じており，代かき期の農業用水の多くを融雪水に依存する石川県・手取川流域下流への影響が懸念されている（能登ら2011）。しかし，温暖化の影響を評価するための森林内の気象，積雪量，融雪時期などの基礎的な知見は必ずしも十分ではない。そこで本研究では，2022/23年～2024/25年の3冬期に森林内と森林外で気象・積雪の観測を行い，風速，日射，積雪深などの気象要素の違いを分析することで，温暖化が顕在化する日本海側の多雪地域において，森林が気象要素や積雪に及ぼす影響を検討するための基礎資料を得ることを目的とする。

Ⅱ．研究方法

手取川右岸の山地部に位置する石川県農林総合研究センター林業試験場の気象観測露場（林外）と隣接する森林内で2022/23年冬期（以下2023冬期）～2024/25年冬期（以下2025冬期）の3冬期における気象要素および積雪深の観測を行い，森林内外の気象特性の違いを分析した。さらに，長期の積雪観測のあるアメダス白山河内の45冬期の最大積雪深から，3冬期の積雪量の順位づけを行った。

1．研究対象地の概要

研究対象地は白山市三宮町にある石川県農林総合研究センター林業試験場である。同試験場を対象とした研究成果は，高瀬ら（2016），Fujihara et al.（2017），平田ら（2021），Hirata et al.（2021），藤原ら（2022），藤井ら（2024）などが報告している。同試験場の苗畑内にある気象観測露場（東経136° 39′，北緯36° 25′）を林外観測点，隣接する森林内を林内観測点とし，気象観測機器を設置して冬期の気象，積雪深の観測を行った。森林は樹齢約70年のスギ人工林，平均樹高28.1m，樹冠開空度は27.3%である。両観測点は約100m離れている。露場の標高は217m，傾斜角は5度，傾斜方位は南西である。観測機を設置した林内の標高は228m，傾斜角と傾斜方位はそれぞれ11度，南西である（図-1）。

2．観測項目と観測機器

観測項目と観測機器は藤井ら（2024）と同じである。露場では，日射，放射収支，日照時間，風速・風向，気温，湿度，地中熱フラックス，地温，降水量，積雪深を観測し，林内では日射，風速，

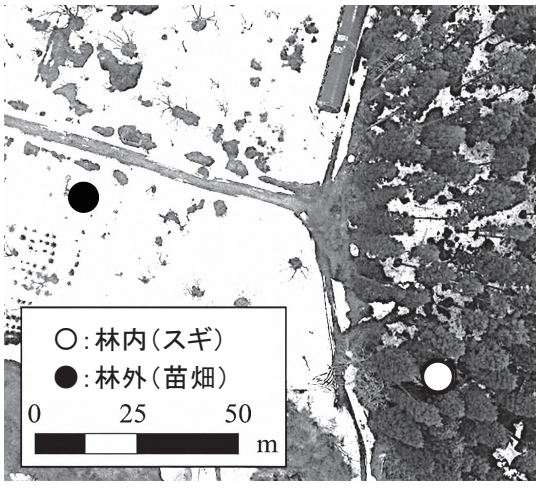


図-1．林内と林外の観測点の位置

*山形大学農学部　**石川県立大学生物資源環境学部　***森林総合研究所　****石川県石川農林総合事務所森林部

気温，湿度，地温，積雪深を観測した。

3. 風速

1）露場風速の高度補正

露場風速は観測高さ 10.0m のため，林内風速計の観測高さ 2.85m に高度補正する。補正は以下の対数式（例えば，近藤 2000）を用いる。

$$U_1=U_2\cdot\ln(Z_1/Z_0)/\ln(Z_2/Z_0) \quad (1)$$

ここで，U_1 (m/s)：観測高さ Z_1 の風速，U_2 (m/s)：観測高さ Z_2 の風速，Z_0 (m)：地表面粗度，Z_1=2.85m，Z_2=10.0m である。

地表面粗度 Z_0 は，積雪がない場合，露場（苗畑）が森林から距離が近く周辺に樹木が多いため森林と草地の中間値の 0.2m（近藤 1994）とし，積雪がある場合は Hirata et al.(2021)と同じ 0.005m とした。

2）林内平均風速の推定

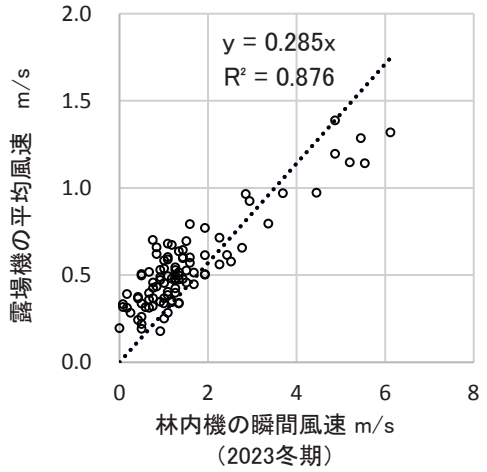
林内風速計の分解能（0.5m/s）の特性から平均風速（１時間平均）はほとんどゼロになるため，林内瞬間風速（１時間の最大瞬間風速）の観測値から林内平均風速を推定する（藤井ら 2024）。このため冬期ごとに林内風速計（林内機）を露場に設置，露場の風速計（露場機）と同時観測し，両観測値の関係から一次回帰式（$y=\alpha x$）を求め，林内平均風速を推定する。y は露場機の平均風速，x は林内機の瞬間風速，α は回帰係数である。

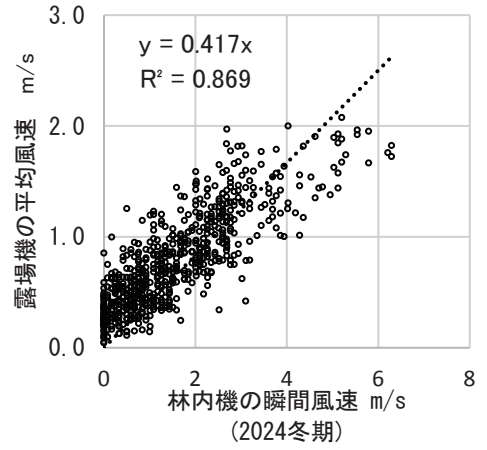
4. 最大積雪深と積雪減少速度

3 冬期の最大積雪深，積雪減少速度と消雪日について林外と林内の比較を行った。積雪減少速度(cm/d)は冬期ごとに顕著なピーク積雪日を選び，ピーク積雪日と次の顕著なピークまでの最低積雪日の積雪深の差から計算した。なお，2023 冬期は 12/23～1/23 と 1/30～3/6，2024 冬期は 12/23～1/19 と 1/26～2/15，2025 冬期は 1/10～1/28 と 2/24～3/27 の期間を使用した。

5. 観測した 3 冬期の積雪量の順位づけ

観測した 3 冬期の積雪量の順位づけには試験地露場の積雪深から求めるのが望ましいが，露場の観測値は欠測が多いため試験地に近く長期間の観測値のあるアメダス白山河内（緯度 N36° 23.8′，経度 E136° 37.2′，標高 136m）の 45 冬期の積雪深を分析した。なお，白山河内は 2014 年 12 月に白山吉野（緯度 N36° 21.7′，経度 E136° 36.8′，標高 180m）から約 2km 北東に移動している。また白山吉野は 2005 年 2 月に鳥越から白山吉野に名称変更されたが場所は移動していない。





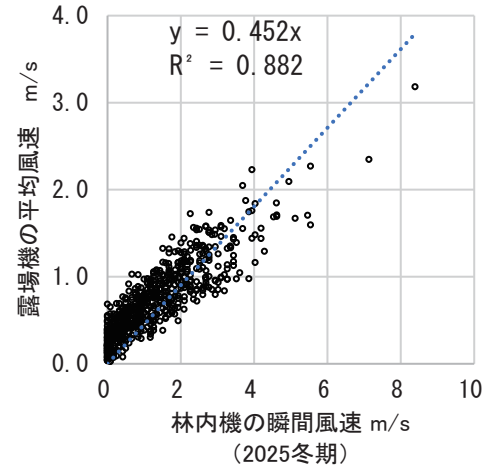


図-2. 各冬期の校正期間の林内風速計瞬間風速と露場風速計平均風速の関係（１時間単位）

Ⅲ. 結果と考察

１. 森林内外の風速の比較

1)露場風速の高度補正

高度 10.0m から 2.85m に補正した風速減衰率は

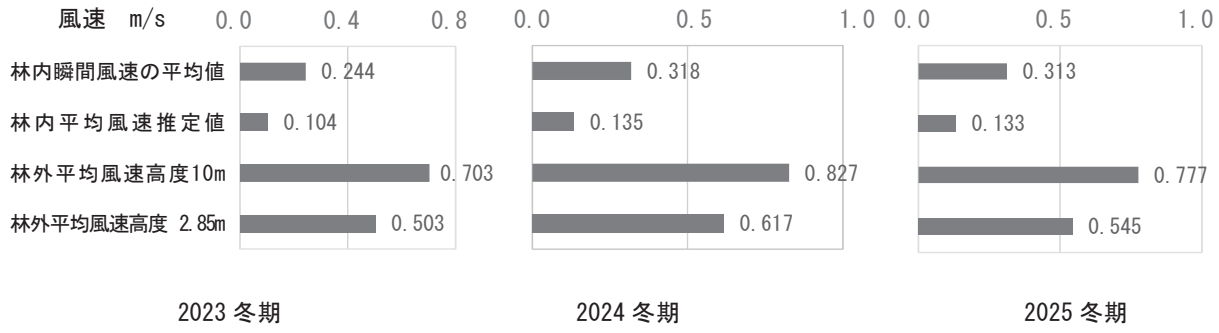


図-3. 各冬期の林内と林外の冬期平均風速の比較

表-1. 林内と林外の気象観測値の比較

項目	気温 ℃		湿度 %		地温 ℃		日射量 MJ/m²		放射収支 MJ/m²	日照時間 h	降水量（計） mm	積雪深（平均） cm	
場 所	林外	林内	林外	林内	林外	林内	林外	林内	林外	林外	林外	林外	林内
2023 冬期	3.41	2.88	82.7	87.6	1.77	2.13	7.32	0.85	1.01	2.77	792	36.2	15.3
2024 冬期	3.54	2.94	83.8	88.4	2.29	2.37	6.57	0.75	0.89	2.28	977	11.8	6.5
2025 冬期	2.11	1.70	87.7	91.3	0.39	0.59	6.33	0.68	−1.18	2.18	1209	71.0	35.9

林内の観測期間は 2023 冬期が 12/17～3/29，2024 冬期は 12/14～3/19，2025 冬期は 12/10～4/2 と年により異なるため本表では重複する期間（12/17～3/19）の平均で 3 冬期の特性を比較している。
降水量以外は観測期間の平均値を示す。

表-2. 林内と林外の積雪深，積雪減少速度と消雪日の比較

観測年	2023 冬期			2024 冬期			2025 冬期			3冬期平均		
場 所	林外	林内	林内/林外	林外	林内	林内/林外	林外	林内	林内/林外	林外	林内	林内/林外
最大積雪深 cm	93	46	49.5%	75	46	61.3%	161	97	60.2%	110	63	57.0%
積雪減少速度 cm/d	2.6	1.7	66.0%	2.4	1.7	73.4%	3.4	2.2	64.2%	2.8	1.9	67.9%
消雪日	3/6	3/4	林内と林外の差 −2 日	2/15	2/14	林内と林外の差 −1 日	3/26	3/27	林内と林外の差 +1 日	3/7	3/6	林内と林外の差 −0.7 日

消雪日の林内と林外の差は，林内が早い場合マイナス，遅い場合プラスで示す

積雪有の場合 0.835，積雪なしの場合 0.679 となった。

2) 林内平均風速の推定

2023 冬期は同時観測期間（校正期間）が 12/8～12/12 の 4 日間と短く回帰係数は 0.285 であった（図-2）。2024 冬期は同時観測期間を 11/16～12/14(28 日間)と長くした結果,回帰係数は 0.417 と 2023 冬期よりかなり大きくなった。3 年目の 2025 冬期は同時観測期間を 11/14～12/10(26 日間)としたが，回帰係数は 0.452 となり，2024 冬期と近い値となった。以下では 3 冬期の全校正期間 58 日間のデータから求めた回帰係数 0.424 を

使用して林内の平均風速を推定した。

図-3 に冬期ごとに平均した林外の平均風速（高度 10.0m と 2.85m），林内の瞬間風速および前述した回帰式で計算した林内の平均風速推定値を示す。各冬期の林内と林外の平均風速比（林内/林外）は 2023 冬期が 0.207，2024 冬期は 0.219，2025 冬期は0.244となった。太田(1992)は種々の森林の観測から森林外に対する森林内の各気象要素の概略値を示しており，森林内の風速は森林外の 0.1～0.4 としている。今回の結果は 0.21～0.24 で 3 冬期ともにその範囲内であった。

2. 気温・湿度・地温

観測項目の林内と林外の比較を冬期ごとに表-1 に示す。林内の観測期間は冬期ごとに異なるため，表-1 では重複する期間（12/17～3/19）の平均で 3 冬期の気象特性を比較している。林内気温は 3 冬期ともに林外気温より 0.4～0.6℃程度低い。湿度は冬期順に林外が 82.7%，83.8%，87.7%，林内が 87.6%，88.4%，91.3%となり，3 冬期ともに林内が 3.6～4.9 ポイント高い。地温については，3 冬期ともに林内が 0.1～0.4℃程度高い。

2025 冬期は積雪期間が長く消雪日は 3 月下旬と遅く，地温だけでなく気温も他の 2 冬期に較べ低い。

3. 日射量

林内と林外の日射量（短波放射）の変動を図-4 に示す。重複観測期間の平均日射量(表-1)は 2023 冬期の林外 7.32MJ/m^2,林内は 0.85MJ/m^2 となり林内は林外の 11.6%，2024 冬期は林外 6.57MJ/m^2,林内 0.75MJ/m^2 で林内は林外の 11.4%，2025 冬期も林外が 6.33MJ/m^2，林内が 0.68 MJ/m^2 で林内は林外の 10.7%となった。3 冬期平均で林内日射量は林外の 11.3%に大きく低減されている。この値は太田(1992)が示した常緑樹林の 0.1～0.4 の範囲の下限に近い値で，成長したスギ林の日射低減効果が大きいことがわかる。

4. 日照時間，放射収支，降水量

日照時間，放射収支，降水量は林内観測をしていないため林外と林内の比較はできないが,それぞれの各冬期の平均値を日射量との関係で見ると日照時間と放射収支は日射量と似た傾向を示し，2023 冬期が最大，2025 冬期が最小となった。日照時間と放射収支の日射量との相関係数は 0.997，0.722 であった。一方降水量は日射量との逆相関が認められ相関係数は-0.938 であった。

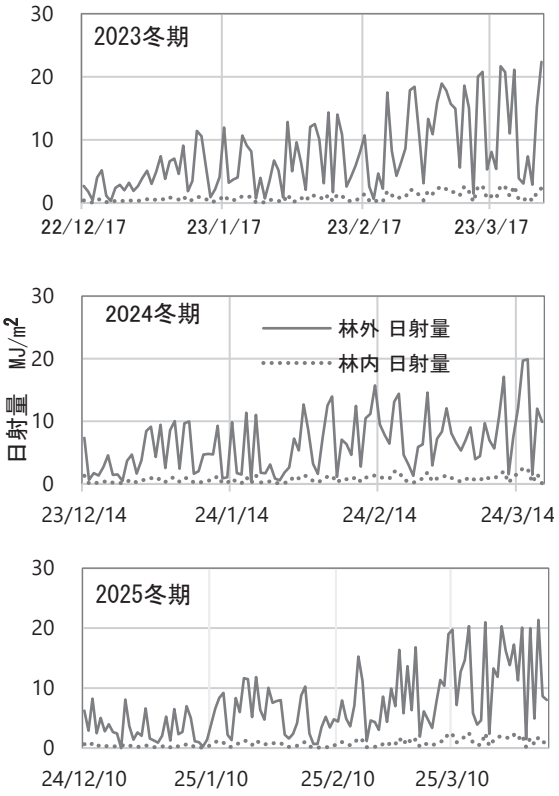


図-4. 林内と林外の日射量の比較

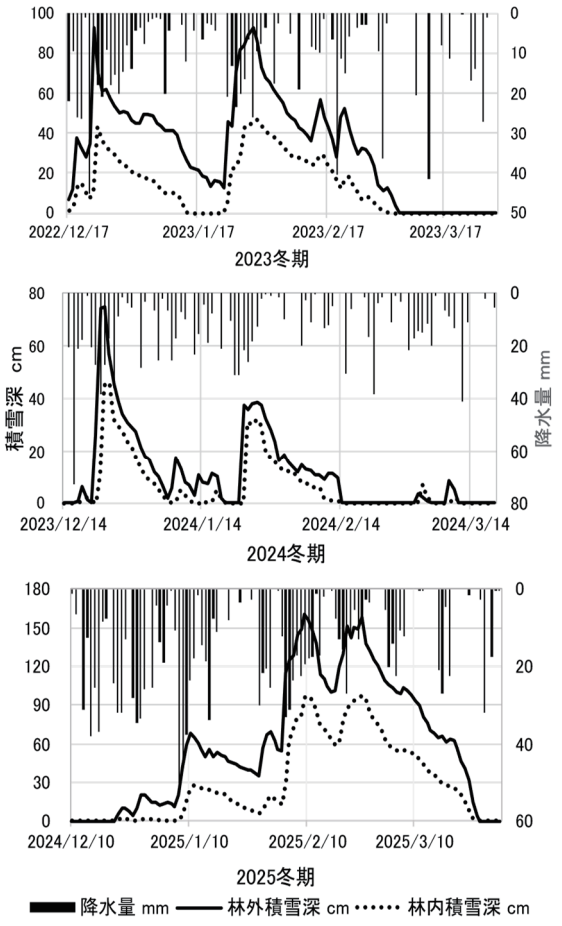


図-5. 積雪深と降水量

5. 最大積雪深と積雪減少速度

各冬期の林内と林外の積雪深と林外の降水量を図-5 に示す。表-2 に各冬期の林内と林外の最大積雪深と積雪減少速度および消雪日を示す。

最大積雪深は 2023 冬期から順に林外が 93cm, 75cm, 161cm, 林内はそれぞれ 46cm, 46cm, 97cm で 3 冬期の平均は林外が 110cm, 林内は 63cm で林内は林外の 57%であった。

3 冬期の積雪減少速度は, 林外が 2.4～3.4cm/d（平均 2.8), 林内は 1.7～2.2 cm/d（平均 1.9）で林内の積雪深減少速度は林外の約 68%であった。林内と林外の消雪日の差は-2～+1 日であった。つまり, 林内は林外に較べ最大積雪深と積雪減少速度は小さく, 消雪日は林内が約 1 日早い。

図-6 に試験地露場と白山河内の 3 冬期の 12 月～3 月の月最大積雪深の関係を示す。露場の標高は 217m で白山河内の 136m より 81m 高いため積雪深は露場の方が高いことが多いが, 両者の相関は十分高く, 白山河内（鳥越, 白山吉野を含む）の観測値は露場の年最大積雪深の順位把握に利用可能と判断した。

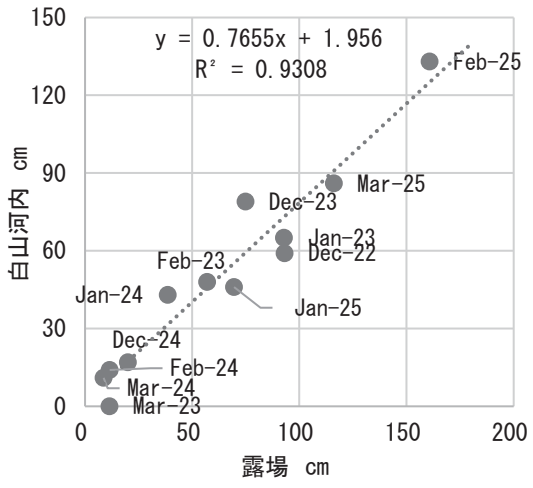


図-6. 露場と白山河内の冬期（12 月～3 月）の月最大積雪深の関係（2023～2025 冬期）

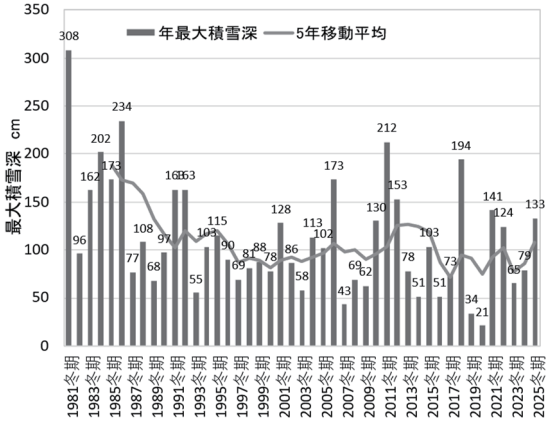


図-7. 白山河内における年最大積雪深の変動（1981～2025 冬期）

白山河内の信頼性の高い積雪データが得られた 1981～2025 冬期の最大積雪深の変動と 5 年移動平均を示す（図-7)。白山河内の冬期最大積雪深は最大が 1981 冬期の 308cm, 最小が 2020 冬期の 21cm, 45 年間の平均値は 109cm である。なお, 1981 年（昭和 56 年）は石川県で 56 豪雪と呼ばれる記録的な豪雪年である。白山河内の 45 冬期の年最大積雪深を降順に並べ, 試験地露場も同じ順位と仮定すると, 本研究で分析した 3 冬期の最大積雪深の降順順位とパーセントタイルは, 2023 冬期が 37 位（上位 82%), 2024 冬期は 29 位（上位 64%), 2025 冬期が 13 位（上位 29%）となり, それぞれ少雪年, 平年並み, やや多雪年と言える。

IV. まとめ

多雪地帯の森林の気象緩和機能と温暖化の影響評価に必要な基礎資料を得るため, 2023～2025 冬期に石川県林業試験場の気象観測露場（苗畑）と隣接するスギ林内で気象要素および積雪の観測を行い以下の知見を得た。

① 十分成長した人工スギ林内では風速と日射の低減効果が大きく, 風速は林外の 21～24%に低減され, 日射量は 3 冬期とも林内は林外の約 11%に低減された。

② 最大積雪深の 3 冬期の平均は林外が 110cm, 林内は 63cm で林内は林外の 57%であった。

③ 2023～2025 冬期の積雪減少速度は平均すると林外が 2.8cm/d, 林内が 1.9cm/d となり林内は林外の約 68%であった。また消雪日は林内が約 1 日早かった。

④ 試験地に近いアメダス白山河内（鳥越・白山吉野を含む）の 1981～2025 年冬期の最大積雪深の分析から 3 冬期の順位づけをした結果, 観測した 3 冬期は多雪年から少雪年まで含まれていた。

なお, 本研究は, 基盤研究 B（22H02394）「北陸特有の融雪パターンと越境大気汚染が森林流域の水・物質動態に及ぼす影響の解明」と石川県からの受託研究「水土保全機能調査」の助成を受けた。

また，現地観測の際は，石川県の安川功司さんにご協力を頂いた。記して感謝の意を表す。

引用文献

藤井秀人・藤原洋一・高瀬恵次・伊藤優子・小倉晃（2024）森林内外における2022/2023年冬期の気象観測．石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告　55：11-15

Fujihara Y, Takase K, Chono S, Ichion E, Ogura A, and Tanaka K (2017) Influence of topography and forest characteristics on snow distributions in a forested catchment, Journal of Hydrology. 546: 289-298

藤原洋一・川田秋雅・平田智道・高瀬恵次（2022）温暖多雪地帯におけるスギ林の樹冠通過降水量の評価．石川県農林総合研究センター林業試験場研究報告　53：9-12

平田智道・藤原洋一・高瀬恵次・一恩英二・長野峻介（2021）森林内外の消雪日の差の地域特性：メタ解析による検討．水文・水資源学会誌 34(1)：54-68

Hirata T, Fujihara Y, Takase K, Ichion E, and Chono S (2021) Snow accumulation and melt in open and forest areas in a snowy temperate region of Japan, Journal of Rainwater Catchment Systems. 26(2): 27-33

近藤純正（編著）(1994) 水環境の気象学－地表面の水収支・熱収支．朝倉書店．101

近藤純正（2000）地表面に近い大気の科学－理解と応用．東京大学出版会．106

能登史和・丸山利輔・早瀬吉雄・瀧本祐士・中村公人（2011）手取川流域における積雪水資源量の長期間分析と地球温暖化による影響予測．農土論集　274：1-7

太田岳史(1992)森林水文学.(山地における積雪，融雪と流出．文永堂出版)．207

高瀬恵次・小倉　晃・藤原洋一・丸山利輔（2016）積雪深の再現を目的としたモデルの構築と検証．水文・水資源学会誌　29(2)：107-115