

森林内外における 2022/23 年冬期の気象観測

藤井秀人*・藤原洋一**・高瀬恵次**・伊藤優子***・小倉 晃

要旨：多雪地帯に位置する石川県・手取川流域では豊富な融雪水を農業用水に利用しているが、温暖化による融雪時期の早期化や積雪量の減少が懸念されている。上流域の多くは森林であるが、森林の気象緩和機能や融雪遅延機能の知見は十分ではない。そこで、森林の気象緩和機能を評価するための基礎知見を得ることを目的として、2022/23 年冬期にスギ林内と林外で気象および積雪・融雪の観測を行った。その結果、林内風速は林外のおよそ 1/7 に低減された。日射（短波放射）も低減効果が大きく林内では林外のおよそ 1/9 であった。また、林内の最大積雪深は林外の半分程度であったが、融雪速度の林内/林外比は厳寒期、融雪期、全期間でそれぞれ 79%、53%、66% であった。

キーワード：気象観測、多雪地帯、林内、林外、スギ人工林

I. はじめに

顕在化する温暖化による北陸地方の積雪・融雪の変化によって、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。しかし、影響を分析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。また、近年、生息分布が拡大しているニホンジカは、越冬場所としてスギ人工林内を好む傾向があるとされている（たとえば、小川・柳井 2023）。したがって、積雪・融雪の変化が森林生態系への影響を検討する際にも森林内における基礎データが必要である。

そこで、本研究では、2022/23 年冬期に森林内と森林外の気象・積雪の観測を行い、風速、日射、気温、湿度、積雪・融雪などの気象要素の違いを分析する。これらの分析により、顕在化する気候変動による多雪地帯における森林の気象緩和機能、融雪時期の早期化による農業用水への影響、さらに森林内を好むニホンジカなどの越冬環境への影響について、気象的側面と生態学的な側面から評価・検討するために必要な基礎資料を得ることを目的とする。

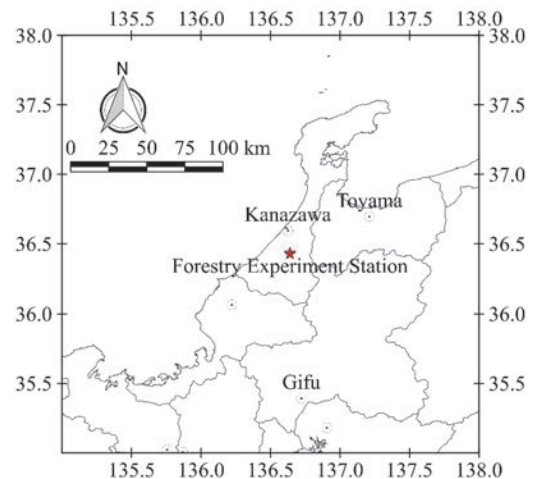
II. 研究方法

2022/23 年冬期に、手取川右岸の山地部（標高約 210m）に位置する石川県農林総合研究センター林業試験場の露場（林外）と隣接する森林内で気象観測および積雪観測を行い、森林の気象要素の違いを分析する。

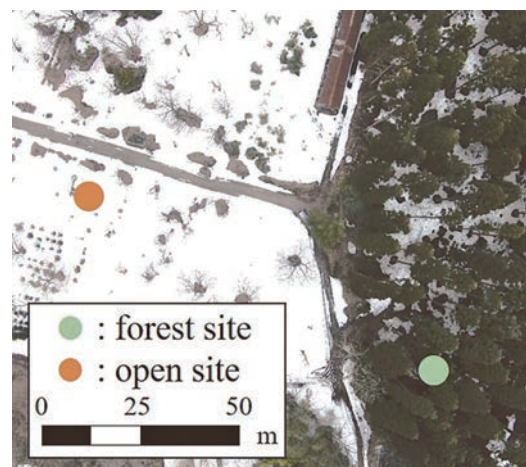
1. 研究対象地の概要

研究対象地は、石川県農林総合研究センター林業試験場である（図-1 (a)）。同試験場は白山市

三宮町にあり、この試験場を対象とした研究は、高瀬ら (2016)、Fujihara et al. (2017)、平田ら (2021)、Hirata et al. (2021)、藤原ら (2022)



(a) 林業試験場の位置



(b) 林内と林外のプロット

図-1. 研究対象地の位置・概要

*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

表-1. 林内プロットの林況（藤原ら，2022）

植生	スギ人工林
樹齢	約 70 年
樹冠開空度	27.3 %
立木本数密度	350 本/ha
平均胸高直径	49.62 cm
胸高断面面積合計	70.3 m ² /ha
平均樹高	28.11 m
収量比数	0.57

などに発表している。同試験場の気象観測露場（東経 136° 39'，北緯 36° 25'）を林外観測場，隣接する森林内を林内観測場とし，気象観測機を設置して冬期の気象，積雪深の観測を行った（図-1 (b)）。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（表-1）。なお，両者の距離は約 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。

2. 観測項目と観測機器

観測項目と測定機器を表-2 に示す。気象露場における観測項目は，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，積雪深となっており，林内では日射，風速，気温，湿度，地温，積雪深を観測した。林内の積雪は 1 時間間隔で標尺をインターバルカメラで撮影し，画像から目視で積雪深を読み取った。なお，林内の観測期間は 2022 年 12 月 17 日～2023 年 3 月 29 日である。

表-2. 観測項目と観測機器

観測項目	林外（気象露場）		林内（スギ林）	
	測定機器	型番号	測定機器	型番号
日射	日射計	LI200X	日射計	S-LIB-M003
放射収支	放射収支計	NR-LITE	—	—
日照時間	日照計	CIS-162	—	—
風速	風向風速計	05103-Lx	風速計	S-WSB-M003
気温	温度計	107-Lx	温度計	S-THB-M002
温湿度	湿度計	HMP45C	湿度計	S-LIB-M003
地中熱フラックス	熱流板・熱流センサ	HFP01	—	—
地温	地温計（深さ 5cm）	107-L25	地温計（深さ 5cm）	S-TMB-M002
降水量	雨量計（転倒マス型）	No. 34-HT-P	—	—
積雪深	積雪計（超音波式）	SR50A	標尺とインターバルカメラ	TREL10J

III. 結果と考察

1. 風速

1) 露場風速の高度補正

林内の風速計（観測高さ（2.85m））と同じ高さで比較するため，露場風速（観測高さ（10m））を 2.85m に高度補正した。補正は以下の対数式によって行った。

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

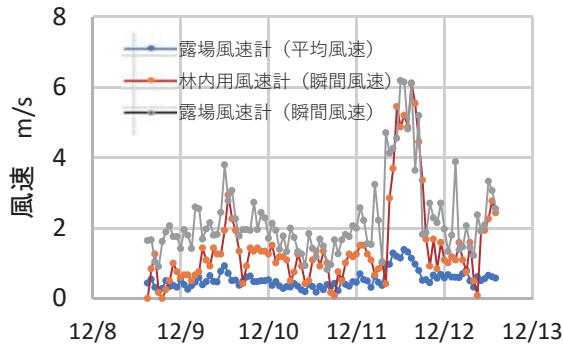
ここで， U_1 (m/s)：林内設置風速計の観測高さ Z_1 の風速， U_2 (m/s)：露場風速計の観測高さ Z_2 の風速， Z_0 (m/s)：地表面粗度で， $Z_1=2.85m$ ， $Z_2=10.0m$ である。

雪がない場合の地表面粗度 Z_0 は，露場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）とした。積雪が有る場合は Hirata et al. (2021) と同じ 0.005m とした。高度補正の結果，露場における 2022/23 年冬期の平均風速は，高度補正前が 0.703m/s，高度補正後は 0.503m/s となり減衰率は 0.715 となった。

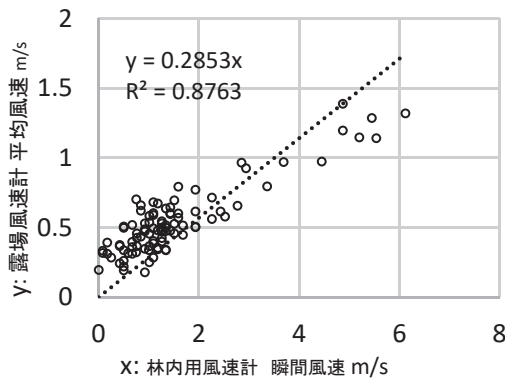
2) 林内風速計の校正

林内では風速が小さいこと，また林内に設置した風速計（S-WSB-M003）の分解能（0.5m/s）による特性から，林内で観測された平均風速はほとんどゼロとなった。このため，林内で観測された平均風速は使わずに瞬間風速を補正することで林内平均風速を推定し，得られた推定風速を露場の風速計の平均風速と比較して森林の風速低減効果を求めることにした。

2 種類の風速計の特性の違いを除去するため，



(a) 校正期間中の3風速 (露場)



(b) 林内用風速計の瞬間風速と露場風速計の平均風速の関係 (校正期間中)

図-2. 風速の補正・校正

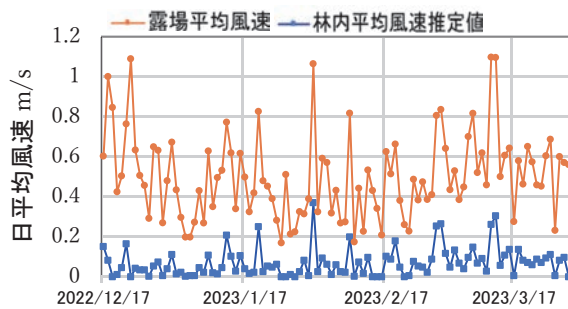


図-3. 林内と林外の日平均風速の変動

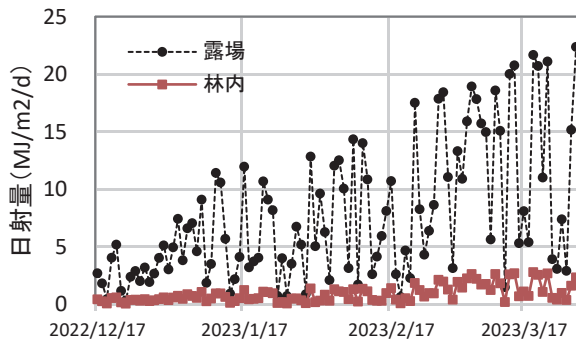


図-4. 林内と林外の日射量の比較

林内用風速計を一定期間露場に設置し、同一場所での観測値 (図-2(a)) から校正を行った。校正目的の観測期間は2022年12月8日~12月12日とし、信頼性の高い露場風速計の平均風速と林内瞬間風速との関係を線形回帰式で求め、林内瞬間風速から林内平均風速を推定した。得られた回帰式は $y=0.285x$ となり、 $R^2=0.876$ であった (図-2(b))。ここで、 y : 露場風速計の平均風速 (m/s), x : 林内用風速計の瞬間風速 (m/s), R^2 : 寄与率である。

3) 森林内外の風速の比較

2022年冬期の林内瞬間風速を校正係数 $\alpha=0.285$ で補正した値、つまり林内の日平均風速推定値と、露場の日平均風速の変動を図-3に示す。林内風速は小さく冬期平均で 0.070m/s 、一方林外の風速は冬期平均で 0.503m/s となり、林内は林外のおよそ14%である。太田ら(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、林内の風速は林外の $0.1\sim 0.4$ としている。今回の結果もその範囲内であるが、下限である 0.1 に近い値となった。これは、対象地が樹齢約70年、立木本数密度 350本/ha (藤原ら2022) のスギ人工林のため、風速低減効果が大きいと考えられる。

2. 日射

林内と林外における日射量 (短波放射) の変動を図-4に示す。これを見ると、林内の日射量は林外に比べ大きく低減している。2022/23年冬期の平均日射を比較すると、林外の $7.87\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ に対して林内は $0.90\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ となっており、林内の日射は林外のおよそ11%に低減されている。日射についても風速と同様に、太田ら(1992)が示した常緑樹林の $0.1\sim 0.4$ の範囲の下限に近い値を示した。

3. 積雪深

林内と林外の積雪深と降水量について、2022/23年冬期の変動を図-5に示す。林内、林外ともに12月下旬と1月末にピーク積雪深を示した。1回目ピークの積雪深は林外が 93cm 、林内が 43cm 、2回目のピークは林外が 93cm 、林内が 46cm であった。表-3は融雪速度を1回目のピークから1回目の消雪まで (厳寒期) と2回目のピークから2回目の消雪まで (融雪期) に分けて林内と林外で示した。厳寒期と融雪期の融雪速度を比較すると、厳寒期では、林内は林外の 0.793 、融雪期は 0.529 であった。つまり林内の融雪速度は厳寒期では林外の

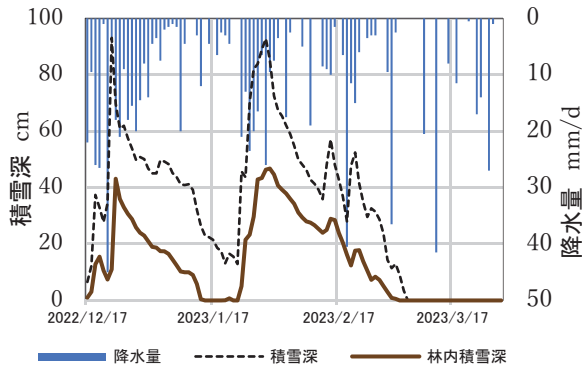
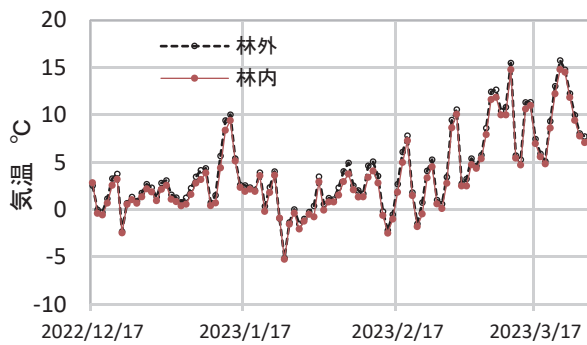
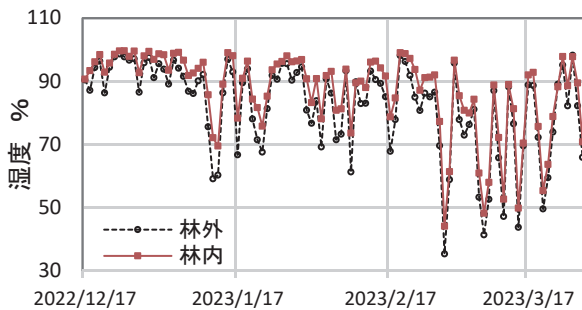


図-5. 林内と林外の積雪深の比較



(a) 日平均気温



(b) 日平均湿度

図-6. 林内と林外の気温と湿度の比較



図-7. 地温の比較

79%であるが、融雪期は53%であることから、融雪期の方が厳寒期よりも融雪遅延機能が高いこと

表-3. 融雪速度の比較

融雪速度	林外 cm/d	林内 cm/d	平均 cm/d	林内/ 林外
厳寒期	2.587	2.052	2.320	0.793
融雪期	2.651	1.403	2.027	0.529
平均	2.619	1.728	2.173	0.660

厳寒期：1回目の積雪深ピーク～1回目消雪

融雪期：2回目の積雪深ピーク～2回目消雪

が分かる。融雪速度を冬期全体で見ると林外が2.62cm/d、林内は1.73cm/dで林内は林外の66%（約2/3）のスピードで緩やかに融雪している。融雪遅延の要因は林内の日射量が1/9と少ないこと、風速が1/7と小さいことなどが主な原因と思われるが、その定量化には融雪プロセスの熱収支解析などさらなる分析が必要である。

また、消雪日は林内が3月4日、林外は3月6日と林内のほうが数日早い。これについては、石川県のように比較的暖かい多雪地域では林内の方が早く消雪するケースが多いと報告されている（平田ら2021）。2022/23年は暖冬であったため、林内の消雪が早い傾向になったと考えられる。温暖化が進行するとこの傾向がさらに強くなることが予想され、森林内の消雪日の早期化は融雪水に依存する下流域の水利用への影響が懸念される。

4. 気温・湿度・地温

林内と林外の気温と湿度の比較を図-6に示す。2022/23年冬期の平均気温は林外が4.11℃、林内が3.54℃となっており林外が約0.57℃高い。研究対象地の林内標高が林外より11m高いことを考慮しても林外が0.5℃程度気温が高いことになる。湿度は林内が86.9%、林外が82.1%で林内の方が4.8ポイント高い。これらは長野県飯綱高原のカラマツ人工林での栗林ら(2020)の結果と整合している。

地温については、林内の1回目の消雪から次の積雪までの積雪のない期間（1月14日～1月23日）は林内の地温が4℃まで上昇し、積雪のある林外の地温が1℃以下であったことと対比的である。3月初旬の林外の消雪後は林内外の地温が逆転し、林外の地温が林内より高い状態が続いた（図-7）。これは林外の強い日射の影響が主たる要因と考えられる。

IV. まとめ

森林の気象緩和機能や融雪遅延機能を評価するための基礎資料を得るために、2022/23年冬期に石川県林業試験場の露場（林外）と隣接するスギ林内で気象観測および積雪観測を行い以下の知見を得た。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14%、日射量は林外の約11%であった。2) 林内の最大積雪深は林外の半分程度であったが、融雪速度の林内/林外比は厳寒期、融雪期、全期間でそれぞれ79%、53%、66%であった。3) 融雪の主たる要因の日射や風速は大幅に低減しているが、融雪速度は主たる融雪要因である日射や風速ほど低減はしていない。

なお、本研究は、基盤研究B(22H0239)「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」、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、現地観測の際には、石川県農林総合研究センター林業試験場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

- 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 (1994) 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—。(地表面付近の風と乱流。朝倉書店). 101
- 栗林正俊・浜田崇 (2020) 飯綱高原のカラマツ人工林における 2018~2019 年の気象観測. 長野県環境保全研究所研究報告 16: 59-64
- 小川弘司・柳井清治 (2023) 石川県南加賀地域におけるニホンジカの越冬環境評価. 石川県立大学研究紀要 6: 15-26
- 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