

## 3章 積雪特性の観測と森林管理への応用

### 3-1 積雪深の観測と少雪化の長期変動傾向

#### 【積雪深の観測】

冬期に降雪として地上にもたらされた雪は、堆積して積雪を形成します。積雪の観測としては、積雪の深さ（積雪深）の測定があります。その方法は、昔は雪尺を使用して積雪深を定時に目視観測しました。冬期シーズンの最大積雪深を簡便に知る方法として、最深積雪指示計があります（高橋 1968）。雪尺の目盛に 10 cm 刻みでアルミニウムピン（長さ：10 cm、径：3 mm）を水平になるよう差し込んだもので、消雪後にピンが曲がった高さから最大積雪深がわかります（図 31A）。現在、積雪深の観測にあたり測定機器が導入され、自動化・高精度化が進んでいます。釜淵森林理水試験地ではレーザー積雪深計（図 31BC）で、長坂試験地では超音波雪積深計で積雪深を測定しています。超音波積雪深計（図 31D）は、消費電力が小さいため無電源地域での測定が可能です。機器は高価です。安価な方法として、感温式積雪深計があります（図 31F）。感温式積雪深計は、小型温度センサー（図 31G）が設置された高さまでの積雪日と消雪日を知ることができます（野口ら 2010）。また安価なインターバルカメラ（図 31E）が入手可能となり、雪尺などを自動撮影して積雪深の変化を知ることができます（野口 2011）。



- A：森林流域に設置された最大積雪深計
- B：レーザー式積雪深計
- C：レーザー式積雪深計データ処理装置
- D：超音波式積雪深計（○印）
- E：インターバルカメラ
- F：感温式積雪深計による積雪深測定の様子
- G：小型温度センサー

図 31. 様々な積雪深の観測機器

#### 【積雪深の変化に関する用語】

観測された積雪深の変化に関する用語（小島 1966）について、図 32 に示します。寒候期に地上に積雪があった最初の日と最後の日およびその期間をそれぞれ積雪初日、積雪終日（消雪日）および積雪期間と呼びます。また積雪が 1 ヶ月以上の場合を根雪と呼び、その最初の日と最後の日およびその期間をそれぞれ根雪初日、根雪終日および根雪期間と呼びます。さらに寒候期中に最も深く積もった積雪の深さとその積雪深が記録された日を最大積雪深と最大積雪深起日と呼びます。

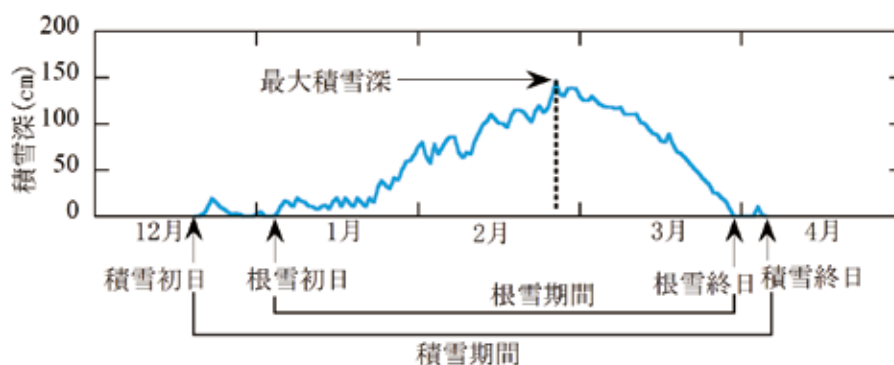


図 32. 積雪深の変化に関する用語

### 【積雪深の長期変化】

山形県新庄市では、1936年に「積雪研究委員会」及び「雪の会」を組織し、雪と農家経済の関係について調査がされました。この雪の研究が「日本雪氷学会（現公益社団法人日本雪氷学会）」発足とつながっています（新庄市 2025）。その新庄市における積雪観測データから、長期変動のトレンド解析をしました（野口ら 2010）。解析はノンパラメトリック法である Mann-Kendall 検定を用いて、 $p < 0.05$  の場合に長期的な変動傾向があると判断します。ここでは11月1日からの日数を計算すると、根雪終日は72日目（1月11日）～175日目（4月24日）となり、根雪終日は年々早くなる傾向があります。根雪期間は36日間～155日間を示し、根雪期間は短縮化する傾向があります。最大積雪深は44～250 cmを示し、長期的に減少する傾向があります。新庄市では根雪終日の早期化、根雪期間の短縮化と最大積雪深の減少による少雪化が生じています（図 33）。

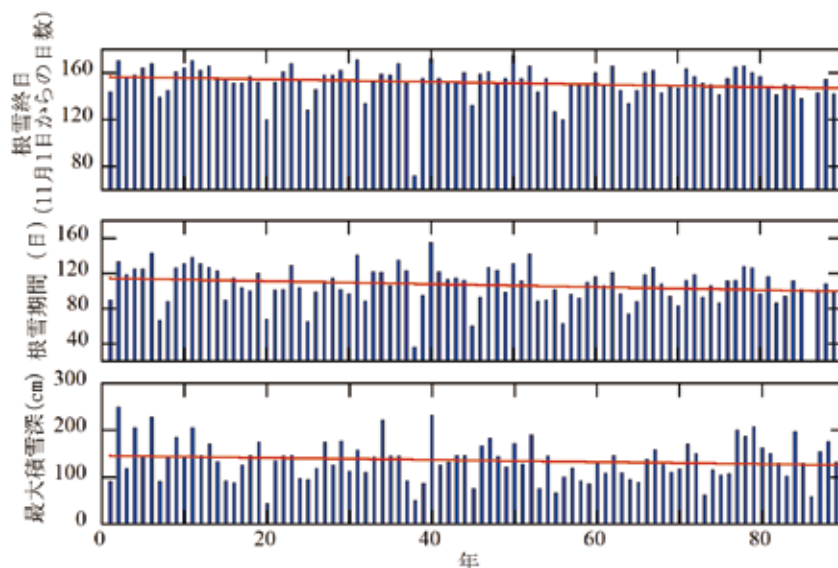


図 33. 91 冬期（1934/35 年～2024/25 年）における根雪終日、根雪期間および最大積雪深の長期変動（データは野口ら（2010）と気象庁（2025）に基づく）

釜淵森林理水試験地では1939年から積雪特性を観測中で、新庄市と同様な積雪の減少傾向を確認しています。今後、温暖化が春先の水資源の安定確保に影響を及ぼすかどうか明らかにするために、積雪特性の観測を継続するとともに、積雪特性の長期変動が森林流域からの融雪流出に及ぼす影響について明らかにすることが肝要です。

### 3-2 スギ林・落葉広葉樹林における積雪深の比較

秋田県長坂試験地のスギ林において、間伐区と無間伐区を選定して2014-2015年冬期に積雪深を測定しました(図34)。また、山形県山形実験林において、スギ林と落葉広葉樹林を選定して2012-2013年冬期に積雪深を測定しました(図34)。林内の積雪深は、インターバルカメラを用いて測定しました。測定期間中にレンズ氷結が影響して、スギ林において2013年2月23日～27日、落葉広葉樹林において2013年1月26日～30日の期間で欠測となりました。積雪深の測定は雪尺を林内の樹木に固定して測定しています。融雪期の林内の積雪は、輻射熱の影響で樹木周辺がより顕著に融雪するため、インターバルカメラによる積雪深の測定値は、積雪調査結果より過小傾向となるため注意が必要です。



図34. 積雪期のスギ林と落葉広葉樹の様子(左)と各林相における林内の全天空写真(右)

#### 【スギ林の間伐区と無間伐区における積雪深の比較】

2014-2015冬期の長坂試験地において、気象露場の最大積雪深は161cm(2月16日)を記録しました。間伐区と無間伐区の最大積雪深は、どちらも2月15日にそれぞれ119cmと89cmを記録しました。ここで、2月15日の前後を積雪の堆積期と融雪期と区分します。堆積期の積雪深は、無間伐区<間伐区となります(図35)。一方で融雪期の積雪深は、無間伐区より間伐区の方が早く低下します。積雪深の大小関係は、3月18日に逆転して間伐区<無間伐区となり、間伐区が早く消雪します(図35)。間伐によって樹冠開空度が増加して林地に到達する降水が増加するため(図40)、堆積期は間伐区の方が無間伐区より積雪深が早く増加します。一方、林内に到達する日射量は、無間伐区より間伐区の方が高いことから、融雪期において間伐区の方が積雪深の低下が早いと考えられます。積雪深の変化は、立木密度によって異なります。

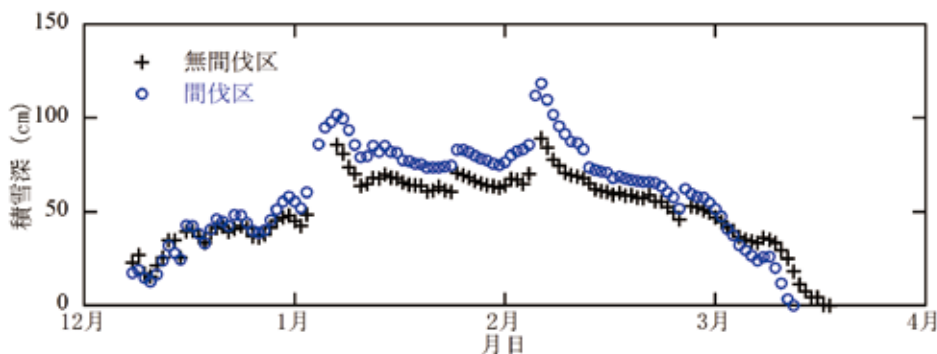


図35. スギ林の間伐区と無間伐区における積雪深(秋田県)(野口(2015))を一部改変)

### 【スギ林と落葉広葉樹林における積雪深の比較】

2012-2013年冬期の釜淵森林理水試験地の山形実験林において、気象露場の最大積雪深は2月24日と26日に250 cmを記録しました。一方でスギ林の積雪深は、2月23日～27日は欠測でしたが、2月25日に205 cmと実測しており（図36+印）、最大積雪深の値もほぼ同様と考えられます。落葉広葉樹林の積雪深は、2月24日に最大積雪深241 cmを記録しました。ここで、2月24日の前後を積雪の堆積期と融雪期と区分します。堆積期の積雪深は、スギ林<落葉広葉樹林となります（図36）。一方で融雪期の積雪深は、スギ林より落葉広葉樹林の方が早く低下します。積雪深の大小関係は、3月18日に逆転して落葉広葉樹林<スギ林となり、落葉広葉樹林が早く消雪します（図36）。落葉広葉樹林の方がスギ林よりも樹冠開空度が大きく林地に到達する降水が増加するため（図40）、堆積期は落葉広葉樹林の方がスギ林より積雪深が早く増加します。一方、林内に到達する日射量は、スギ林より落葉広葉樹林の方が高いことから、融雪期において落葉広葉樹林の方が積雪深の低下が早いと考えられます。積雪深の変化は、樹種によって異なります。

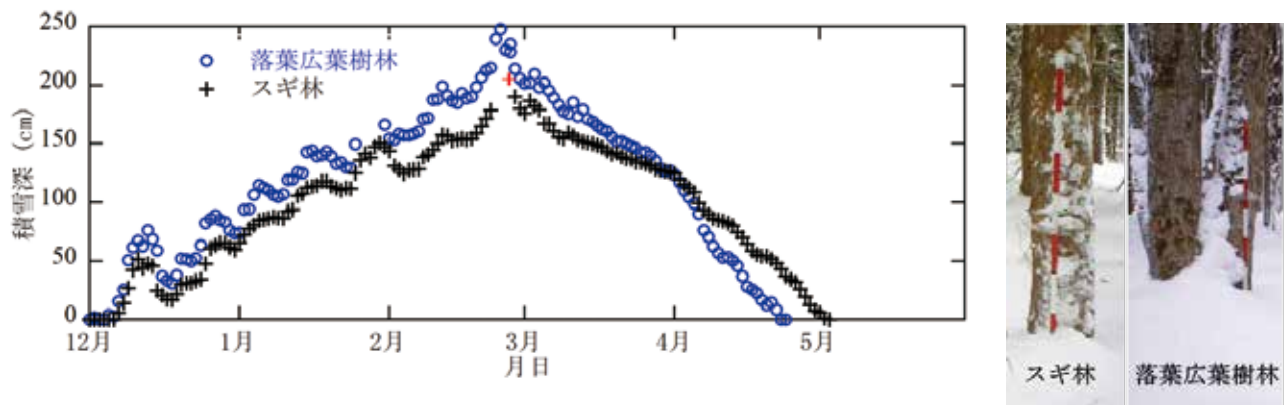


図36. スギ林と落葉広葉樹林における積雪深（山形県）（左）、インターバルカメラによる積雪深の測定の様子（右）（野口（2015）を一部改変）

日本の国土は森林の水源涵養機能の適切な発揮に向けて、間伐や主伐後の再生林等の森林整備を確実にしつつ、自然条件等に応じて、複層林化、長伐期化、針広混交林化や広葉樹林化を推進するなど、多様で健全な森林へ誘導されています（林野庁 2025）。しかし、林内の積雪深は、森林の状態（立木密度や樹種の違い）だけでなく、立地環境（標高、斜面方位・傾斜など）や気象環境（風向・風速、日射量など）が複雑に影響しています。そのため、どのような森林の状態が水源涵養機能の適切に発揮するか、さらなる研究が必要です。

### 3-3 スギ林・落葉広葉樹林における冬期の樹冠通過降水量の比較

#### 【積雪期における樹冠通過降水量の測定】

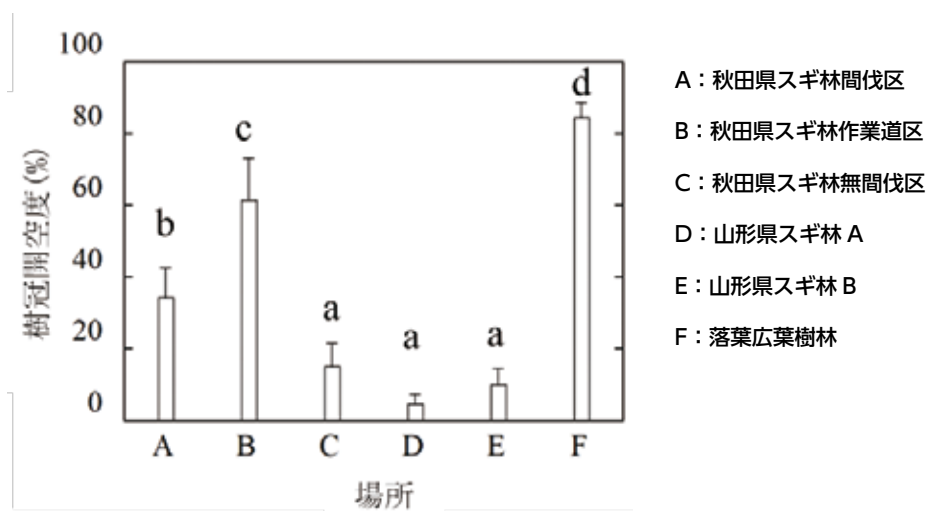
森林構造は複雑で不均質なため、林床に到達する降水量（樹冠通過降水量）は、測定することが困難です。特に冬期の降水は、個体降水（雪）として森林に降り、樹冠に長く貯留されるため、樹冠通過降水量を測定することがより難しくなります（図 37 左）。ここでは、ポリバケツ（直径 480 mm、高さ 565 mm、容量 75 L）を大型貯留式雨雪量計として使用しました（図 37 中央）。林内・林外に大型貯留式雨雪量計を設置後、およそ 2 週間間隔で貯留された降水の重量を計測します（図 37 右）。



図 37. 林内において樹冠に貯留されていた雪が落ちる瞬間の様子（左）、大型貯留式雨雪量計を使用して冬期の樹冠通過降水量を測定している様子（中央・右）

#### 【スギ林と落葉広葉樹林における樹冠開空度の比較】

林況の違いが樹冠通過降水量に及ぼす影響を評価するため、円周魚眼レンズを装着したデジタルカメラを用いて、林内の各貯留式雨雪量計の直上で全天空写真（図 34 右）を撮影しました。樹冠開空度は、解析ソフトを用いて全天空写真から計算します。樹冠開空度は、落葉広葉樹林の方がスギ林より有意に大きくなります（図 38）。また、スギ林の樹冠開空度は、間伐によって有意に大きくなります（図 38）。

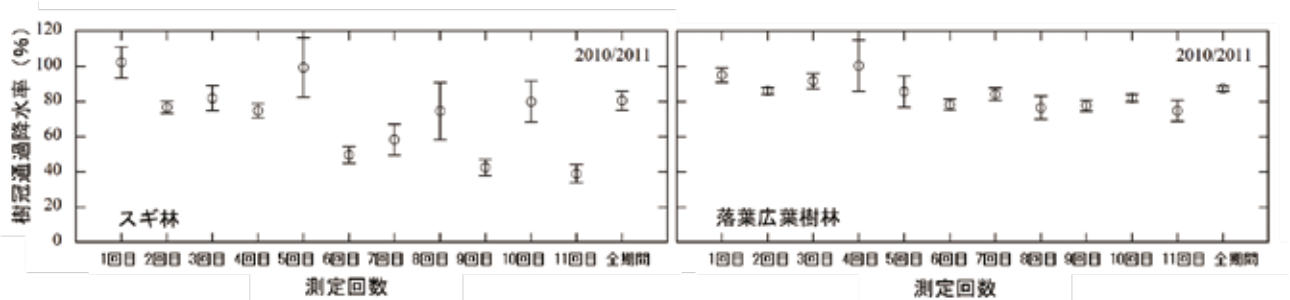


棒グラフとエラーバーは全測定値の平均値と標準偏差を示し、異なるアルファベットは 5% 水準で有意差があることを示す (Tukey の HSD 検定)。

図 38. 樹冠開空度の比較 データは野口・阿部 (2024) に基づく

### 【積雪期のスギ林と落葉広葉樹林における樹冠通過降水量の比較】

スギ林と落葉広葉樹林における林外降水量に対する樹冠通過降水量の割合（樹冠通過降水率）を比較します。スギ林における樹冠通過降水量の割合（樹冠通過降水率）の平均値は、39.0～102.2%の範囲を示し、全観測期間の樹冠通過降水率は、 $71.6 \pm 4.9\%$ （平均値 $\pm$ SD）です（図39左）。落葉広葉樹林における樹冠通過降水率の平均値は、74.8～100.4%の範囲を示し、全観測期間の樹冠通過率は $84.7\% \pm 1.1\%$ （平均値 $\pm$ SD）です（図39右）。樹冠通過降水率は、スギ林では落葉広葉樹林より小さく、変動が大きくなります。その要因は、スギ林の方が落葉広葉樹林より樹冠開空度の値が小さく（図38）、林縁で集中的な落雪が生じる（図37左）など、葉の有無や樹形の違いが影響していると考えられます。



エラーバーは標準偏差を示す。

図 39. スギ林 (左)・落葉広葉樹林 (右) における樹冠通過率の測定結果（データは野口 (2012) に基づく）

### 【スギ林における間伐の影響と落葉広葉樹林との比較】

冬期のスギ林における樹冠通過降水率は、樹冠開空度の増加に伴い増加する傾向を示します（図40）。両者の関係は、対数曲線に対して当てはまりが良く、式  $y = 19.3 \cdot \log(x) + 54.3$  ( $R^2 = 0.432$ ) の関係を示します。ここで、 $x$ は樹冠開空度(%)、 $y$ は樹冠通過降水率(%)です。スギ林では間伐によって樹冠開空度が増加し、樹冠通過降水率は無間伐区<間伐区<作業道の順番で大きい割合を示します。落葉広葉樹林において、樹冠開空度はスギ林よりも高いものの、上記スギ林における樹冠開空度に対する樹冠降水率の推定値より小さい傾向を示します（図38）。

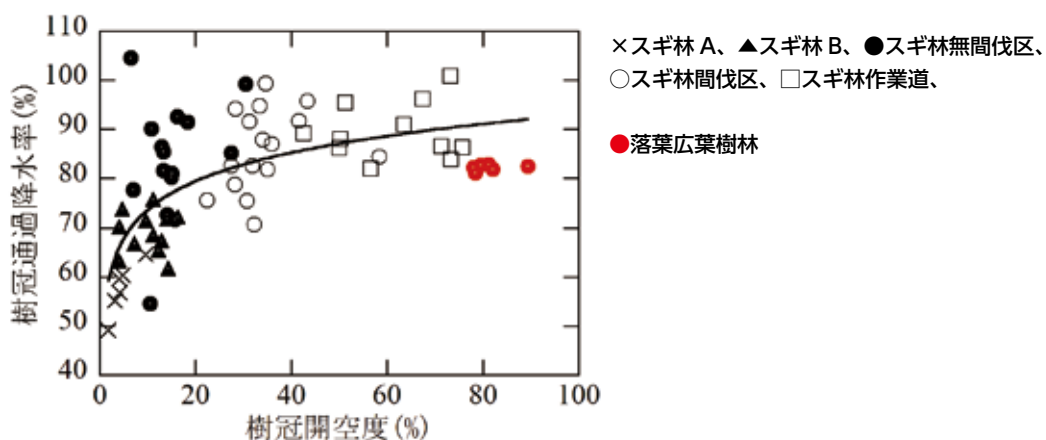


図 40. 樹冠開空度に対する冬期の樹冠通過降水率（データは野口・阿部 (2024) に基づく）

### 【降水形態（雨量・雪量）が樹冠通過降水率に及ぼす影響】

降水形態の違い（雪・雨）が樹冠通過降水率に及ぼす影響を検討するため、冠雪による樹冠通過降水率の誤差が小さいと判断され、降水の雪量・雨量の割合が異なる2つの測定期間を選択して比較します。雨・雪の判別は、降水が記録されたときの気温の観測値を用いて行います。選定された2つの測定期間は、2009年1月22日から2月4日までの降雪量の割合が高いとき（雨量：4.3%、雪量：95.7%）と2009年3月3日から3月17日までの降雪量の割合が低いとき（雨量：48.8%、雪量：51.2%）となります。降雪量の割合が高いときの樹冠通過降水率は、無間伐区で66.4%、間伐区で75.6%、作業道で83.8%でした（図41）。降雪量の割合が低いときの樹冠通過降水率は、無間伐区で83.9%、間伐区で88.4%、作業道で93.3%でした（図41）。樹冠通過降水率は、どちらの期間においても樹冠開空度の増加とともに増加する傾向がみられます。興味深い点は、降雪量の割合が増加すると、樹冠通過降水率が減少することです（図41）。今後、気候変動による冬期の気温上昇に伴い、降雨頻度が高くなり冬期の樹冠通過降水量が増加することが考えられます。

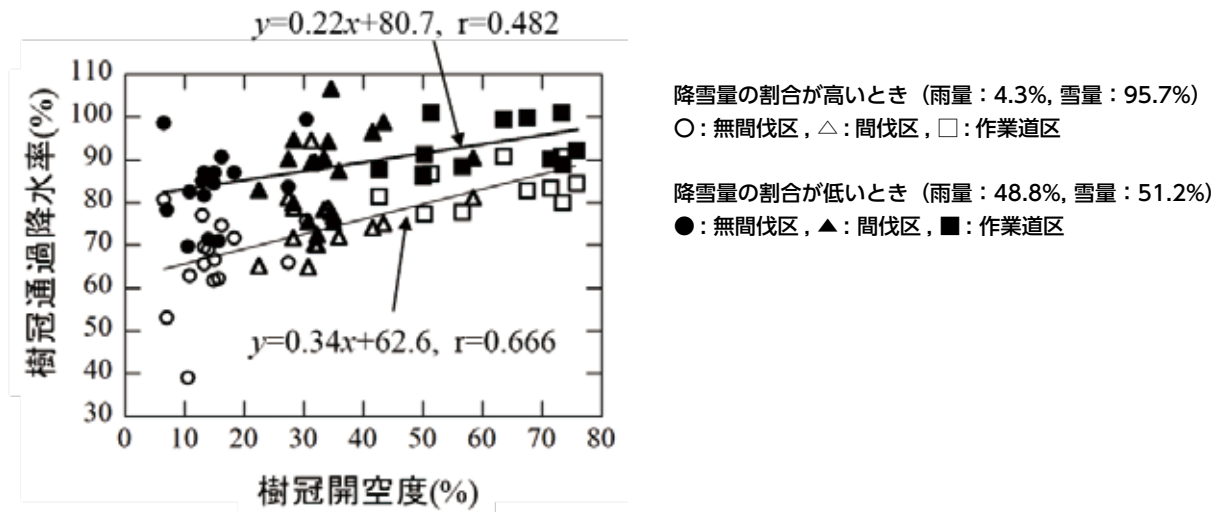


図 41. 樹冠通過降水率と樹冠開空度の関係（データは金子ら（2019）に基づく）

森林の水源涵養機能の持続的な発揮に向けて間伐等を着実に行いつつ、自然条件等に応じて、針広混交林化や広葉樹林化を推進しています（林野庁 2025）。樹冠通過降水量は、森林の状態によって変化します。冬期の樹冠通過降水量が少なくなれば、春の融雪流出などに影響を及ぼします。年々の積雪特性は多雪年や少雪年と変動がある環境下で（文部科学省・気象庁 2025）、長期的に森林の水源涵養機能の効果を維持・高めるために、適切な森林整備が必要です。