

ノウサギのスギへの食害についての決定木分析の結果を図 4-40 に示す。目的変数としてノウサギ食害の発生頻度、説明変数として植栽時の地際径と苗齢を用いて分析したところ、苗齢のみが説明変数として選択され、当年生苗であるとノウサギによる食害が発生しやすいという結果となった。

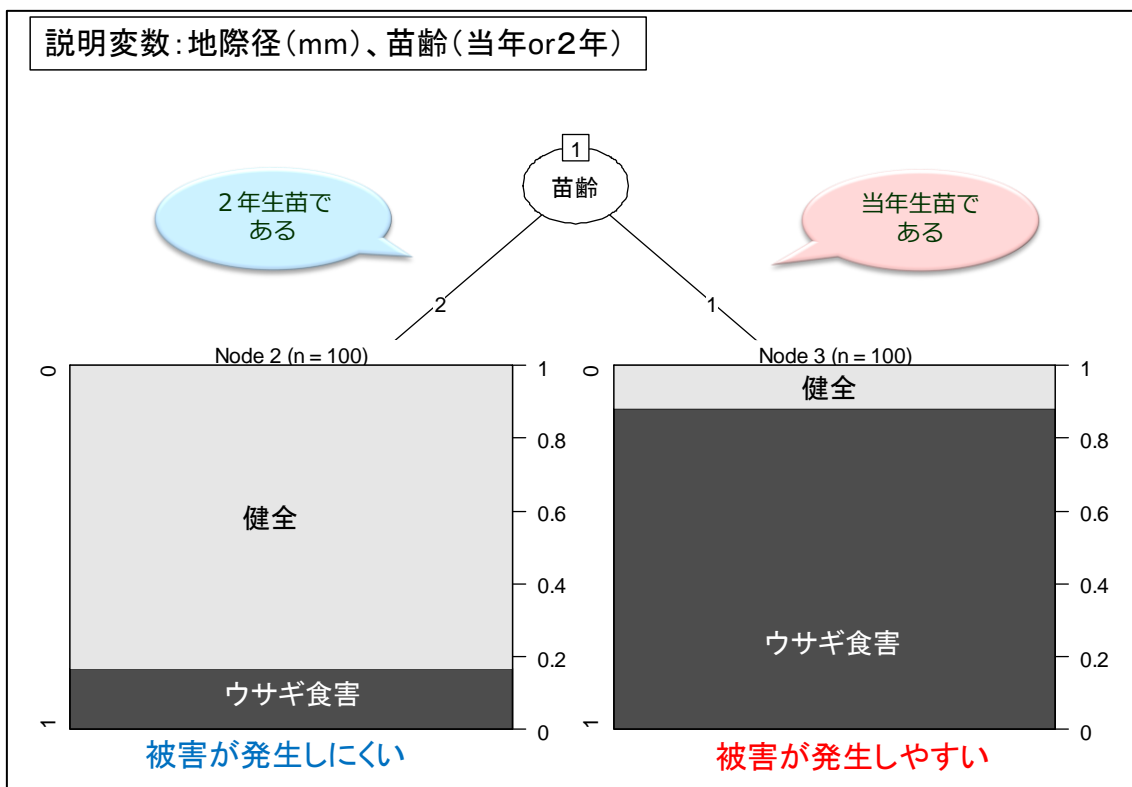


図 4-40 決定木分析の結果 (宮城県気仙沼市スギ)

(2) 高知県宿毛市スギ（ノウサギ食害）

高知県宿毛市のスギ調査地では、植栽から約1年後である令和元（2019）年の秋冬期調査の時点で当年生苗の59本、2年生苗の44本が、ノウサギによると思われる食害を受けていた。そこで、当年生苗に食害が多く発生した要因について、植栽木の地際径との関係から分析を試みた。

当年生苗及び2年生苗について、地際径ごとに健全な植栽木と食害を受けた植栽木の数を整理したところ、本調査地では当年生苗と2年生苗の地際径が異なっていることが分かった（図4-41）。そのため、本調査地において当年生苗に多く食害が発生した要因について、地際径の違い以外から検証することが難しいことが分かった。

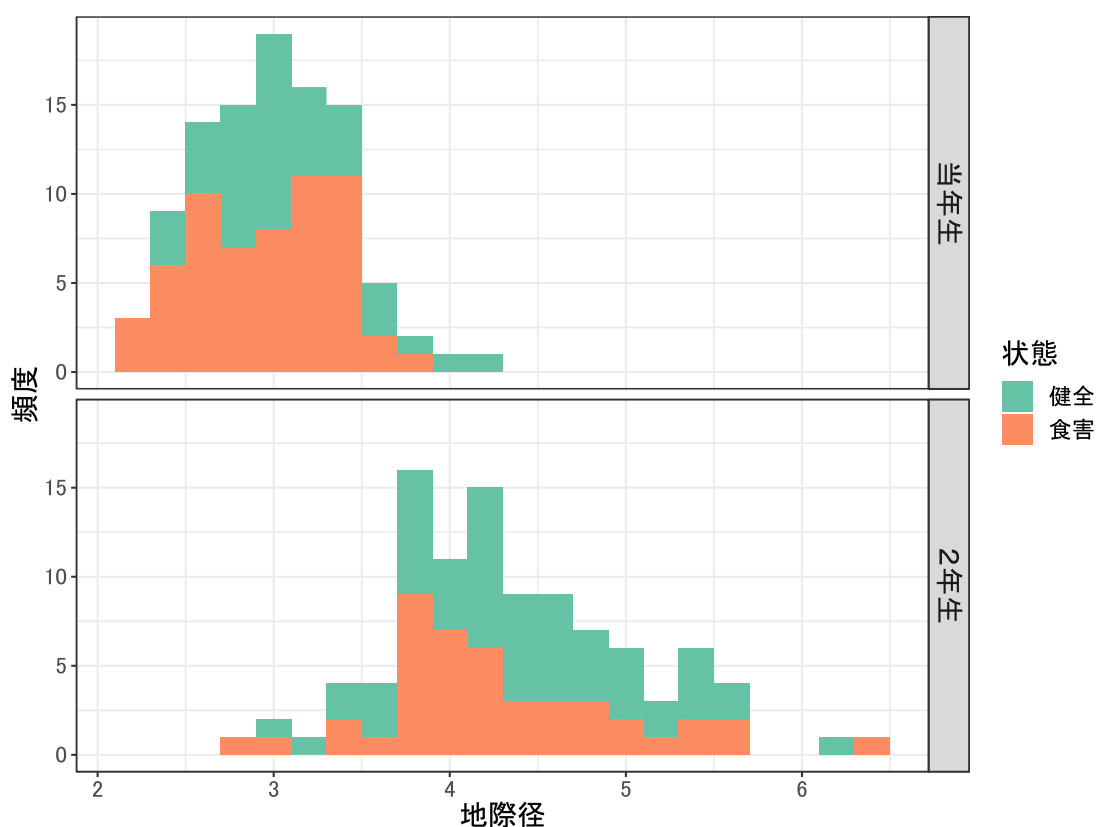


図 4-4 1 植栽木の地際径とノウサギ食害の発生頻度
（平成 31（2019）年 2 月、高知県宿毛市スギ）

(3) 宮城県気仙沼市カラマツ（ノウサギ食害）

宮城県気仙沼市のカラマツ調査地では、植栽から約3カ月後の初回調査時には食害が見られなかったものの、植栽翌年の夏（平成31（2019）年7月）の調査において、隣接するスギ調査地（220ページ）と同様にノウサギによる食害が確認され、当年生苗65本、2年生苗43本が被害を受けていた。そこで、当年生苗に食害が多く発生した要因について、植栽時のサイズ（樹高、地際径）や苗齢と、植栽翌年の夏における食害の発生頻度の関係を検証するため、決定木分析を行った。結果を図4-42に示す。

目的変数として食害の発生頻度、説明変数として植栽時の樹高と地際径、苗齢を用いて分析したところ、樹高のみが説明変数として選択され、苗齢の影響は検出されなかった。このことから、本調査地におけるノウサギ食害は、スギの場合と異なり、苗齢に関係なく植栽時の樹高が小さいと発生しやすいという結果となった。

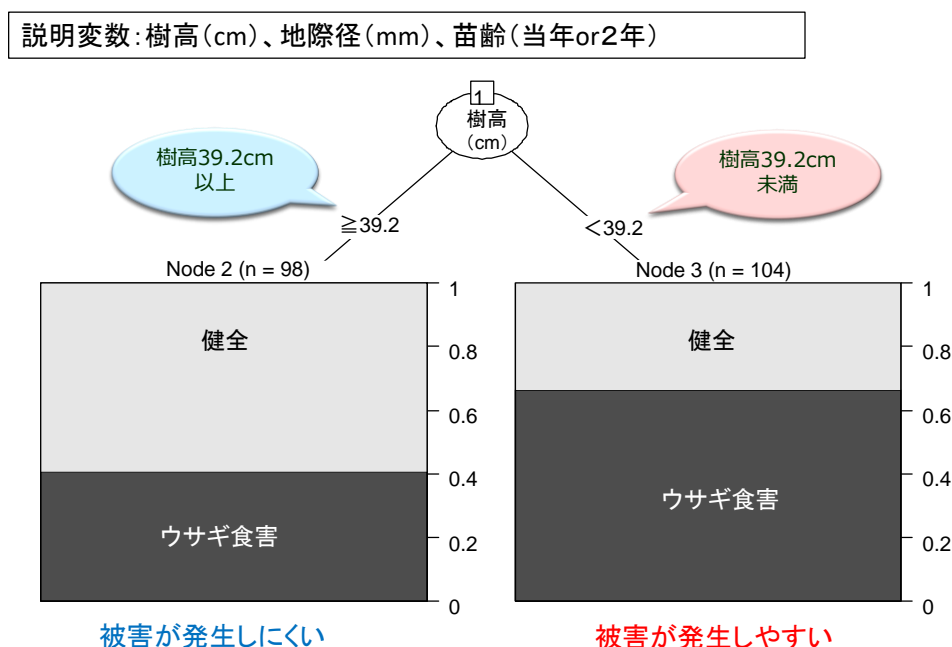


図 4-42 決定木分析の結果（宮城県気仙沼市カラマツ）

(4) 北海道岩見沢市カラマツ（ノウサギ又はノネズミ食害）

北海道岩見沢市のカラマツ調査地では、植栽翌年の夏（令和3（2021）年7月）までに、当年生苗100本のうち11本、2年生苗100本のうち34本が枯死・消失していた。また、生き残った苗木のうち、当年生苗の27本、2年生苗の9本にノウサギ又はノネズミと考えられる食害が確認された。

枯死・消失の要因についても食害によると考えられるが、特に消失してしまっている個体について要因を特定するのは困難である。そのため、食害が確認された生存木（当年生苗27本、2年生苗9本）について、植栽時のサイズ（樹高、地際径）や苗齢と、植栽翌年の夏における食害の発生頻度の関係を検証するため、決定木分析を行った。結果を図4-43に示す。

目的変数として食害の発生頻度、説明変数として植栽時の樹高と地際径、苗齢を用いて分析したところ、樹高のみが説明変数として選択され、苗齢の影響は検出されなかった。このことから、本調査地におけるノウサギ又はノネズミ食害は、苗齢に関係なく植栽時の樹高が小さいと発生しやすいという結果となった。

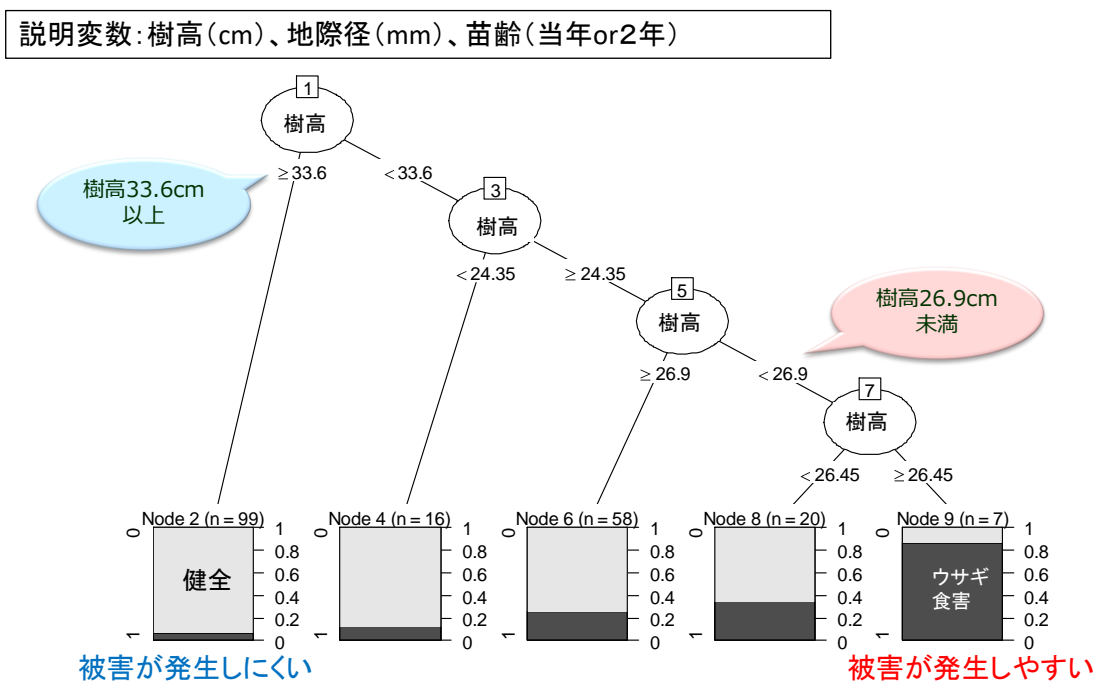


図 4-43 決定木分析の結果（北海道岩見沢市カラマツ）

(5) まとめ

本事業で食害が確認された調査地のうち4箇所における検証の結果、苗齢が要因となった事例は宮城県気仙沼市スギへのノウサギ食害の1つだけであり、その他については植栽時の苗木サイズが影響しているという結果となった。

苗齢が要因となった事例について、当年生苗と2年生苗のどのような違いが影響したかについては、主軸の木質化の度合いや育苗時の肥料の量等、様々な要因が考えられるものの特定は難しい。そのため、ノウサギが当年生苗のどのような部分を好んで食害したかについて突き止めることが今後の課題である。

また、苗木サイズのうち、地際径の影響については、地際径が小さいとノウサギが齧りやすいことが考えられるが、樹高の影響については不明である。

4-3-4. 当年生苗と2年生苗の植栽後の湾曲について

令和2（2020）年度に設定した北海道のカラマツ調査地2箇所において、植栽後に植栽木が湾曲している事例が見られた。北海道千歳市西森の調査地では、植栽後の湾曲が当年生苗に多く発生していた。また、北海道岩見沢市の調査地では、雪圧により多くの植栽木が湾曲していた。

そこで、これらの調査地において4-3-3.と同様に苗木の湾曲の発生頻度に関する分析を行い、植栽後に湾曲が発生した要因が苗齢によるものなのか、それとも苗木サイズ等の苗齢以外によるものなのかを検証した。

北海道千歳市西森のカラマツ調査地では、令和2（2020）年10月末に実施した植栽直後の調査時から植栽木の湾曲が確認されており、当年生苗で13本、2年生苗で6本が湾曲していた。また、植栽から約1か月後の調査では、当年生苗で25本、2年生苗で5本が湾曲しており、当年生苗の湾曲発生頻度が2年生苗よりも高かった（図4-44）。

北海道岩見沢市のカラマツ調査地でも、植栽直後の令和2（2020）年10月末の調査時点から植栽木の湾曲が確認されており、当年生苗で12本、2年生苗で21本と2年生苗の方が多く湾曲していた。さらに植栽から約1か月後の令和2（2020）年11月の調査では、調査の一週間ほど前に苗木が完全に埋まるほどの降雪があり、調査時には融雪していたものの雪圧によりほとんどの植栽木が湾曲していた。湾曲した植栽木の本数は当年生苗で78本、2年生苗で63本と、当年生苗の湾曲発生頻度が2年生苗よりも高くなった（図4-45）。

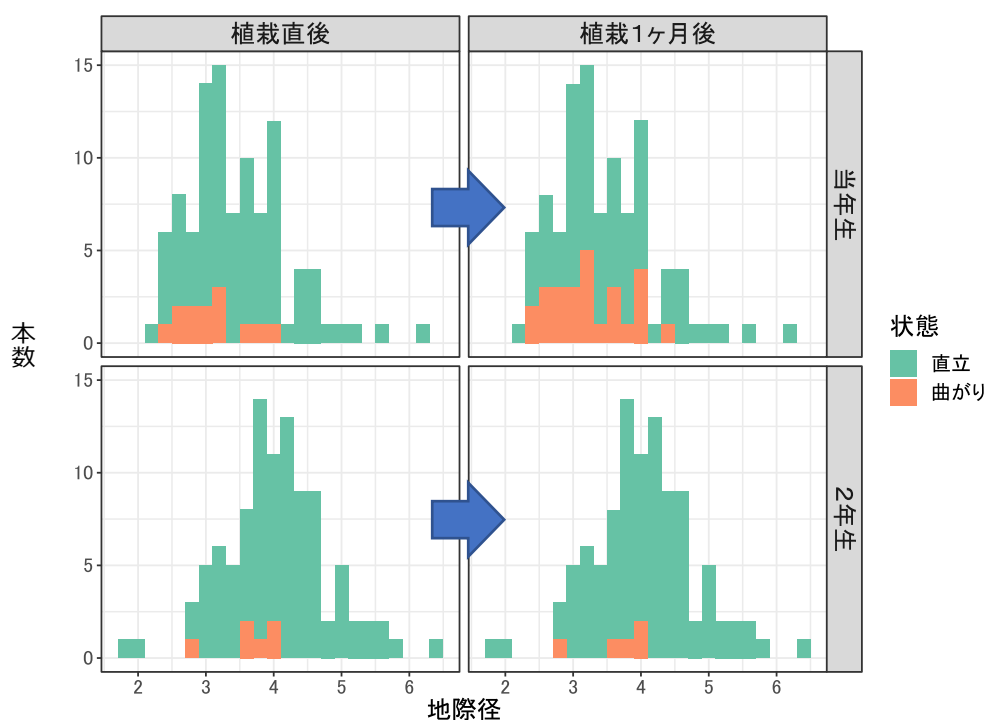


図 4-44 植栽木の地際径と湾曲の発生頻度（北海道千歳市西森）

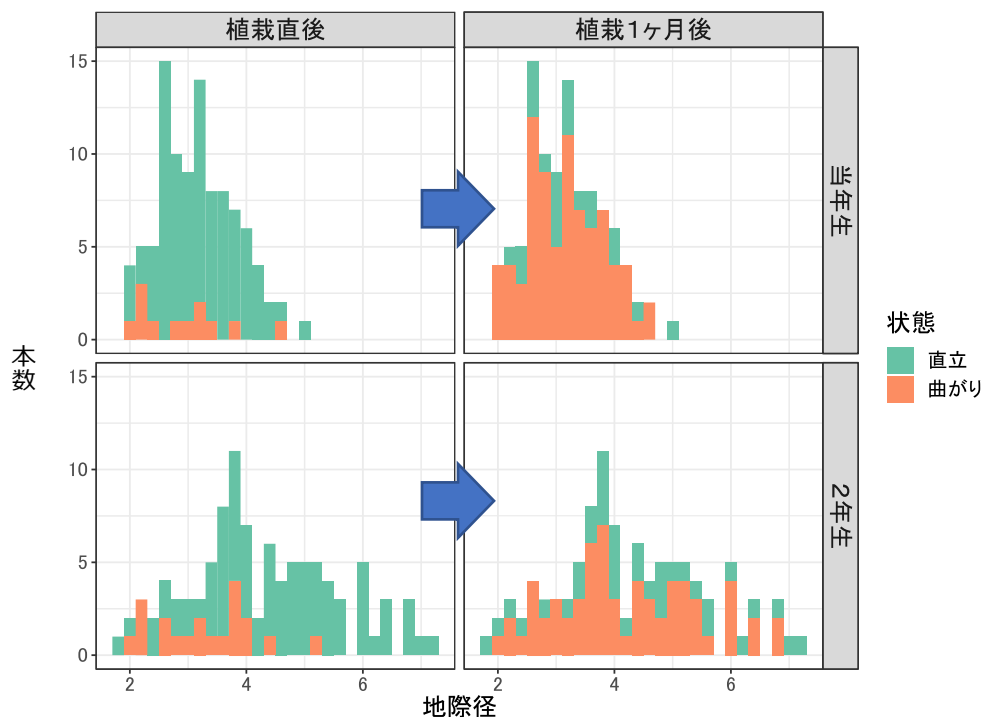


図 4-45 植栽木の地際径と湾曲の発生頻度（北海道岩見沢市）

そこで、下記のモデル式に基づくロジスティック回帰分析を行い、「地際径」のみが直立率（植栽木が湾曲せずに直立している割合）を説明するモデル（model2：黒い線）と、「地際径」に加えて「地際径と苗齢の交互作用」が直立率を説明するモデル（model1：赤と青の線）をモデル選択で比較した。なお、「地際径と苗齢の交互作用」とは、苗齢が異なると地際径が同じでも直立率が変化することを示す。

モデル式

model1 直立 = 地際径 + 地際径：苗齢

model2 直立 = 地際径

2つのモデルについて尤度比検定によるモデル選択。

北海道千歳市西森における分析の結果（図 4-4 6）、植栽直後については地際径のみが直立率を説明するモデルが選択され、地際径が小さいと湾曲の発生頻度は高くなったが、苗齢の影響は見られなかった。また、植栽から1か月後については、地際径と苗齢の交互作用を含むモデルが選択され、地際径だけでなく苗齢の影響もあること（同じ地際径でも当年生苗の方が2年生苗よりも湾曲しやすい傾向にあること）が示された。

北海道岩見沢市における分析の結果（図 4-4 7）、植栽直後については地際径と苗齢の交互作用を含むモデルが選択され、同じ地際径でも2年生苗の方が当年生苗よりも湾曲しやすい傾向にあることが示された。ただし、これは苗齢の影響ではなく形状比の問題（2年生苗の方が形状比が大きい）と考えられた。また植栽から1か月後については、雪圧の影響を受けていたが、地際径のみが直立率を説明するモデルが選択され、地際径が小さいと湾曲の発生頻度は高くなったが苗齢の影響は見られなかった。

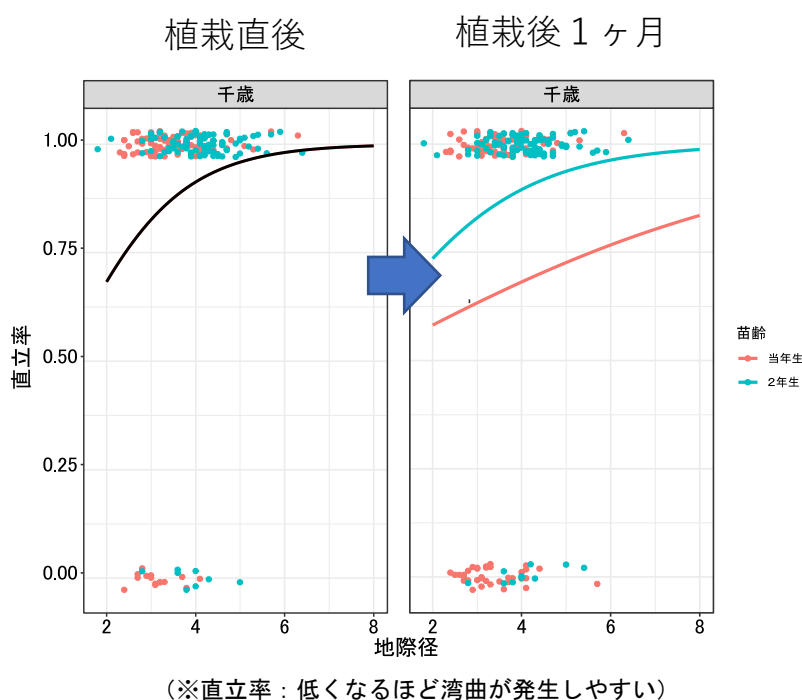
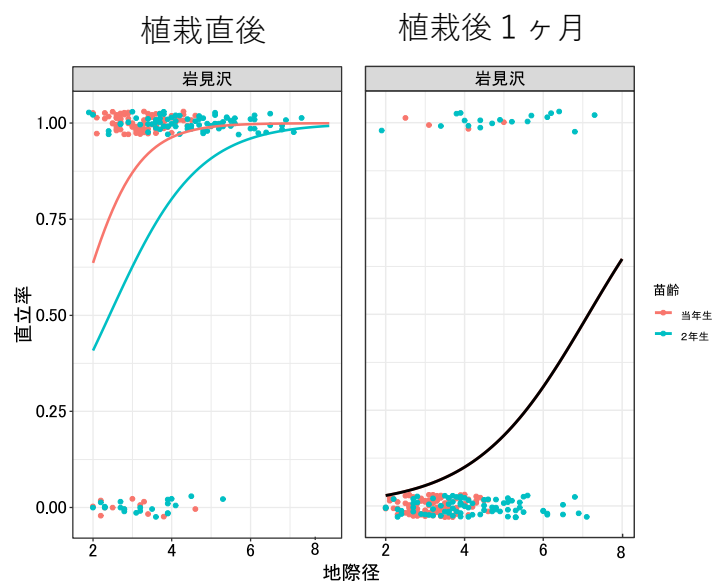


図 4-4 6 湾曲に関する解析結果（北海道千歳市西森）



(※直立率：低くなるほど湾曲が発生しやすい)

図 4-47 湾曲に関する解析結果（北海道岩見沢市）

まとめ

検証の結果、地際径が小さい方が湾曲は発生しやすかった事例が確認された一方で、地際径だけでなく苗齢の影響が検出された事例も確認されている。苗齢の影響については、調査の際の観察において主軸が木質化しきっていない苗木が確認されたことから、主軸が木質化しきらずに柔らかい状態で植栽したことが要因として考えられた。



写真 4-32 主軸が木質化しきらずに湾曲した当年生カラマツ
（北海道千歳市西森）

4-3-5. 当年生苗と2年生苗の成長状況（植栽後の樹高成長）

各調査地における、平成 30（2018）年度から令和 4（2022）年度までの当年生苗及び2年生の樹高の推移を樹種ごとに分けて以下に整理した。

【スギ】

本事業のスギ調査地の中で、当年生苗と2年生苗を植栽しており同条件での樹高成長の比較が可能な4箇所の調査地（兵庫県宍粟市、島根県飯南町、高知県香美市、高知県宿毛市）における、令和 4（2022）年度までの当年生苗と2年生苗の樹高の成長状況を図 4-4-8 に示す。なお、Welch の T 検定により、当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差 ($p < 0.05$) が認められるかどうか検定した。

T 検定の結果、4箇所の調査地のうち、兵庫県宍粟市を除く3箇所（島根県飯南町、高知県香美市、高知県宿毛市）については、植栽時は当年生苗の平均樹高が2年生苗より有意に小さかったものの、植栽翌年の秋または植栽翌々年の夏には当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差が認められなくなった。一方で、兵庫県宍粟市については、植栽時から当年生苗の平均樹高が2年生苗よりも有意に低いまま、平均樹高の差が次第に開いていった。

以上より、兵庫県宍粟市の事例を除き、スギの当年生苗の樹高成長は2年生苗と大きく変わらなかったと言える。

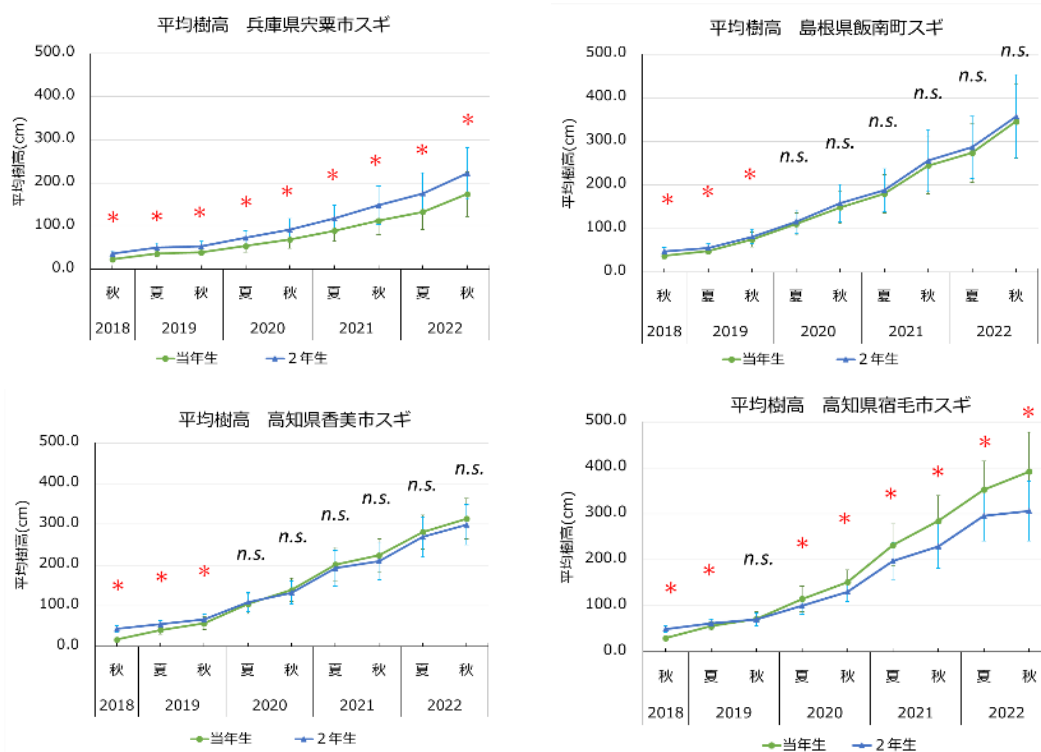


図 4-4-8 スギ調査地における当年生苗と2年生苗の平均樹高の推移
(Welch の T 検定 * : 有意差あり、 n.s. : 有意差なし)

なお、兵庫県宍粟市で当年生苗の樹高成長が劣った要因の一つとして、植栽地の雑草木の繁茂状況の違いが挙げられる。

それぞれの調査地における、夏期調査時の植栽木と雑草木の競合状態を図 4-49 に示す。当年生苗の樹高が有意に低いままだった兵庫県宍粟市では、植栽翌年の下刈りが省略されていることもあり、植栽翌年の令和元（2019）年夏の時点で当年生苗の競合状態 C4 の割合が約5割となっており、多くの植栽木が植栽直後から雑草木に被圧されている状況だった。また、それ以降も C4 の割合が他の調査地よりも高い割合で推移しており、令和4（2022）年夏の時点でも C4 の割合が半分を占めるなど、競合状態がほとんど改善されていなかったことが分かる。

一方で、その他の3箇所の調査地では当年生苗の C4 の割合が低く、雑草木にそれほど被圧されていない状況であることが分かる。また、高知県香美市については植栽翌年の C4 の割合が比較的高いが、被度自体は低いため雑草木による被圧の影響は大きくなかった。

以上のように、当年生苗の樹高が有意に小さいままとなった兵庫県宍粟市については、植栽した当年生苗のサイズが小さかったため、繁茂した雑草木により植栽直後から被圧されて成長が抑制されていたと考えられた。

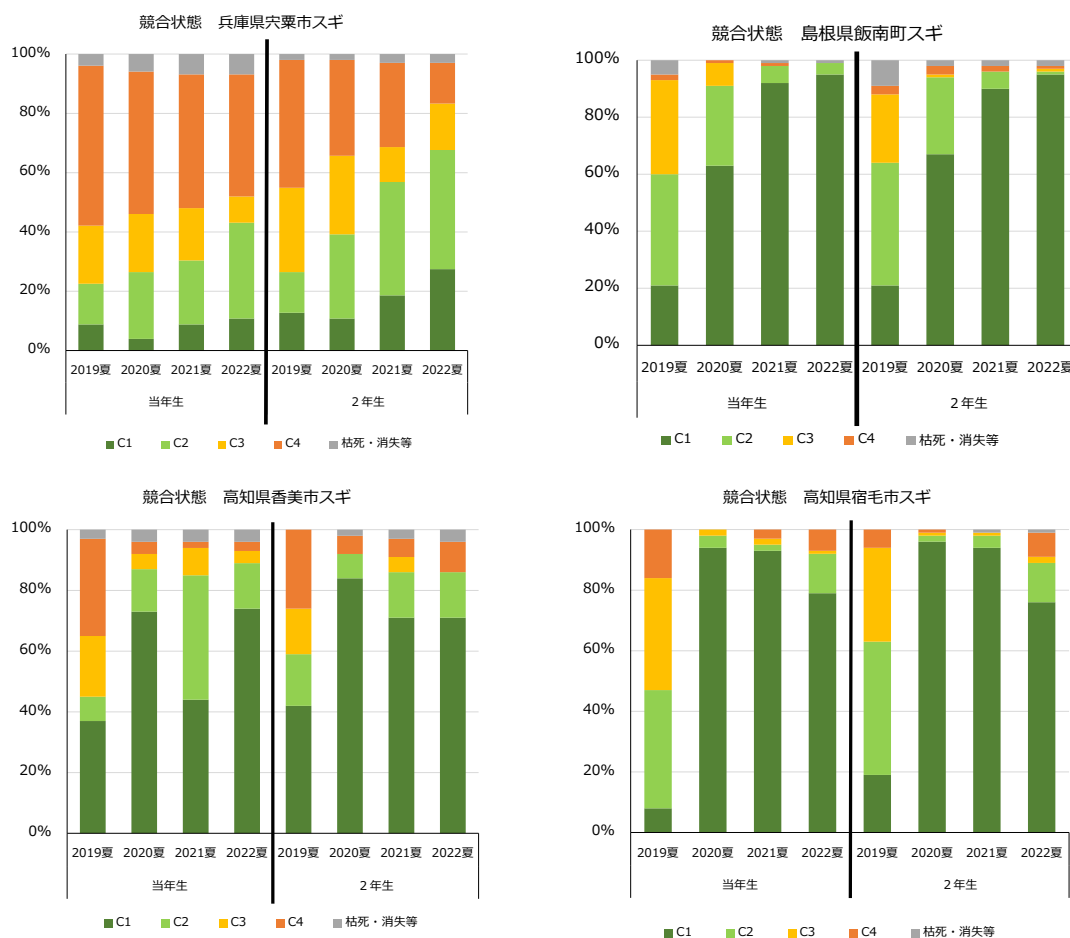


図 4-49 スギ調査地4箇所における植栽木と雑草木との競合状態

【カラマツ】

本事業のカラマツ調査地の中で、当年生苗と2年生苗を植栽しており同条件での樹高成長の比較が可能な4箇所の調査地（北海道千歳市西森、北海道岩見沢市、北海道千歳市千歳、宮城県七ヶ宿町）における、令和4（2022）年度までの当年生苗と2年生苗の樹高の成長状況を図4-50に示す。カラマツについては、本事業の初年度である平成30（2018）年度に植栽した3箇所（宮城県気仙沼市、長野県佐久市、長野県下諏訪町）はいずれも当年生苗の枯死率が高く、また長野県佐久市は当年生苗と2年生苗の立地環境が大きく異なるため除外した。なお、スギと同様に Welch の T 検定により、当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差（ $p < 0.05$ ）が認められるかどうか検定した。

T 検定の結果、4箇所の調査地のうち北海道の3箇所については、植栽時から当年生苗の平均樹高が2年生苗よりも有意に小さいままだったものの、当年生苗と2年生苗の平均樹高の差はほとんど変わっていなかった。一方で宮城県七ヶ宿町の調査地では、当年生苗の樹高成長が2年生苗よりも僅かに上回り、植栽から1年後には当年生苗の平均樹高が2年生苗よりも有意に高くなっていた。

以上より、カラマツの当年生苗の樹高成長は2年生苗と遜色ないと言える。

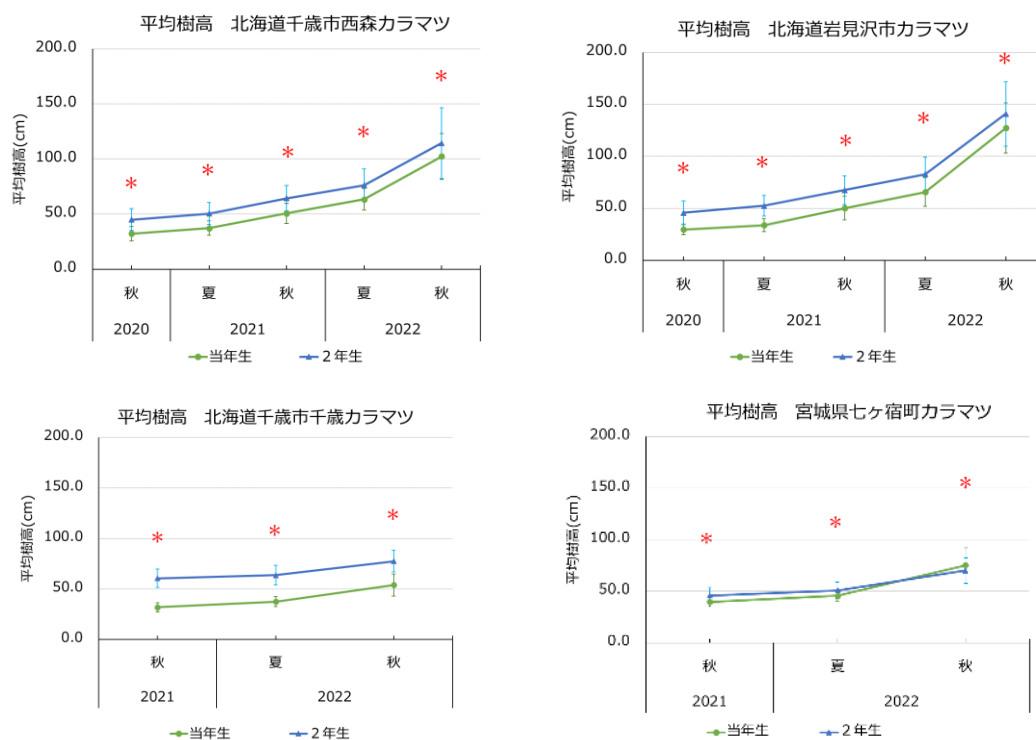


図 4-50 カラマツ調査地における当年生苗と2年生苗の平均樹高の推移
(Welch の T 検定 * : 有意差あり、 n.s. : 有意差なし)

【ヒノキ】

本事業のヒノキ調査地における、令和4（2022）年度までの当年生苗と2年生苗の樹高の成長状況を図4-51に示す。ヒノキについては1箇所（島根県飯南町）しかないが、WelchのT検定により、当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差（ $p < 0.05$ ）が認められるかどうか検定した。

T検定の結果、植栽時は当年生苗の平均樹高が2年生苗よりも有意に小さいままだったが、植栽から2年後の秋の時点で当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差が認められなくなった。

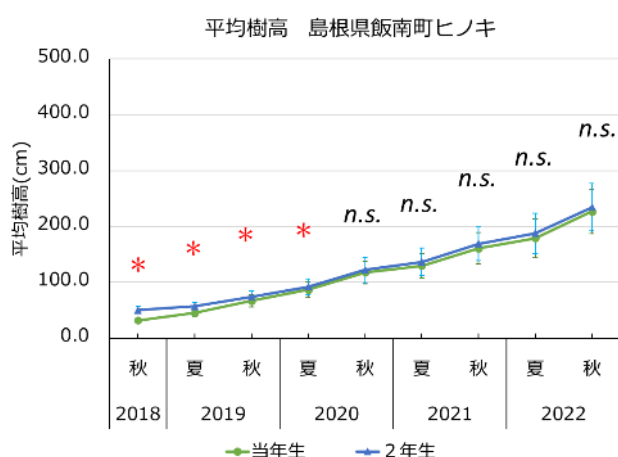


図4-51 ヒノキ調査地における当年生苗と2年生苗の平均樹高の推移
(WelchのT検定 * : 有意差あり、 n.s. : 有意差なし)

【まとめ】

本事業で当年生苗と2年生苗を植栽した調査地について平均樹高の推移を検証したところ、樹種を問わずほとんどの調査地において、当年生苗の樹高成長は2年生苗と大きく変わらなかったことが分かった。またスギやヒノキについては、植栽から1～2年後には当年生苗と2年生苗の平均樹高に有意な差が認められなくなっていた。

唯一、兵庫県宍粟市のスギ調査地のみ当年生苗の樹高成長が2年生苗に劣る結果となった。要因として、当年生苗の植栽時のサイズが小さかったことにより、雑草木から強く被圧されたことが挙げられた。

4-4. 当年生苗を導入する上での留意事項の整理

4-3において当年生苗の植栽後の生育状況の調査結果を整理したところ、植栽された当年生苗については、活着率が従来のコンテナ苗（2年生苗）とほぼ同程度であり活着に問題は見られなかったこと、植栽後の樹高成長も一部の事例を除き2年生苗と遜色ないことが分かった。ただし、一部の調査地において、当年生苗の生存率が低下していたり、当年生苗の樹高成長が2年生苗よりも劣っていたりといった問題が確認された。

それらの問題のほとんどは、植栽時に当年生苗のサイズ（樹高や地際径）が小さかったことが要因で発生していた。一方で、当年生苗と2年生苗で同程度のサイズであっても、当年生苗に多く発生した問題も一部で確認された。

苗木のサイズが小さかったことが要因で発生していた問題は、基本的に苗木が小さければ苗齢に関わらず発生する問題であるため、当年生苗特有の問題であるとは言えず、当年生苗を従来のコンテナ苗と同程度の大きさまで育苗できれば解決可能な問題である。一方で、苗木のサイズに関係なく（当年生苗が2年生苗と同程度のサイズであっても）発生した問題点については、当年生苗であるというだけで発生する問題の可能性があるため、当年生苗を導入する際には特に注意が必要な事項と言える。

そこで、本事業で当年生苗に確認された問題点のうち、苗木のサイズに関係なく発生した問題点について「当年生苗を導入する際の留意事項」として整理した。また、苗木が小さかったことが要因で発生した問題点については、当年生苗であっても従来のコンテナ苗と同程度のサイズの苗木（従来のコンテナ苗の規格をクリアした苗木）を用いることが、当年生苗を幅広く活用するために重要であることを示すための根拠として整理した。

4-4-1. 当年生苗を導入する上での留意事項（苗齢自体の問題点）

本事業で当年生苗に確認された問題点のうち、苗木のサイズに関係なく発生していた問題点については、従来のコンテナ苗の規格をクリアするだけでは問題の解決にならない可能性があり、当年生苗特有の問題である可能性がある。そのため、当年生苗を導入する上で留意すべき事項として以下に整理した。

①根鉢の形成が不十分な苗木（205～206 ページ）

本事業で調査したスギの当年生苗の中で、根系被覆率（あるいは根の量）が2年生苗と同程度であるものの、根系が根鉢を回り切っておらず、根鉢の形成が不十分だった事例が見られた。根鉢の形成が不十分の場合、苗木の輸送や植栽の際に根鉢が崩壊してしまい、植栽に適さない苗木となる恐れがある。

このことから、当年生苗を導入する際は、根鉢の形成状態に注意して苗木を確認する必要がある。



写真 4-3 3 根鉢の形成が不十分なスギの当年生苗

②主軸が木質化しきっていない苗木（206～207 ページ、227～230 ページ）

本事業で調査したカラマツの当年生苗の中で、地上部のサイズがほとんど同じであっても、当年生苗の主軸が木質化しきっておらず柔らかいまま出荷されて植栽された事例が確認された。主軸が木質化しきっていない場合、輸送時に苗木の主軸（特に先端）が折損する可能性がある。また、そのような苗木を植栽した結果、植栽後に主軸が湾曲して倒伏してしまった当年生苗が本事業で確認されている。

このことから、カラマツの当年生苗を導入する際は、地上部のサイズが規格を達しているかという点だけでなく、主軸の発達状態にも注意する必要がある。

③植栽後のノウサギ食害 (220～222 ページ)

本事業においてスギの当年生苗を植栽した調査地の中で、植栽直後に集中的にノウサギの食害が発生した事例が確認された。宮城県気仙沼市の事例では、同所的に植栽したスギの当年生苗と2年生苗のうち、当年生苗に集中してノウサギ被害が発生しており、植栽直後の調査で当年生苗の9割近くに被害が確認された。

当年生苗に被害が集中した要因について解析した結果、苗木の地際径が小さいほどノウサギの被害は発生しやすかったが、地際径が同程度の苗木でも2年生苗より当年生苗の方に被害が多く発生していたことが分かった。

現時点では、当年生苗の方に被害が集中した要因について特定はできていないが、当年生苗を植栽する場合は周囲にノウサギが生息しているかどうか確認し、ノウサギによる被害が予想される場合は忌避剤の散布を徹底する等の対策を講じる必要がある。



写真 4-3 4 植栽直後にノウサギによる食害を受けたスギの当年生苗
(宮城県気仙沼市)

4-4-2. 苗木サイズが小さいことや根の量が少ないことに起因する問題

本事業で当年生苗に確認された問題点のうち、苗木のサイズが小さかったこと（根の量が少なかったこと）により発生していた問題点を以下に整理した。

これらの問題は苗齢に関係なく苗木が小さければ（根の量が少なければ）発生する問題点であるため、このような問題の発生を避けて当年生苗を広く活用するためには、当年生苗であっても従来のコンテナ苗と同程度のサイズ（または根の量）の苗木を使うことが大切である。

なお、根の量が少ないことにより発生した問題点については、当年生苗に限った話ではないと考えられるため本項目にて整理した。

①雑草木の被圧（231～233 ページ）

植栽時の樹高が小さいと、周囲の雑草木との競争関係に負けてしまい成長が抑制される恐れがある。本事業においても、兵庫県宍粟市のスギ調査地や長野県下諏訪町のカラマツ調査地で、植栽した当年生苗の樹高が小さかったために植栽後に周囲の雑草木により強く被圧された事例が見られた。特に陽樹であるカラマツの場合、被圧されることは成長の抑制だけでなく枯死の要因となる恐れがある。また、雑草木に被圧されてしまうと、植栽木が視認しにくくなるため誤伐の発生に繋がる恐れもある。

これらのことから、特に周囲に雑草木が繁茂する場所では、当年生苗であっても規格をクリアしてある程度の樹高が確保された苗木を使用することが重要と言える。



写真 4-35 植栽直後の被圧により枯死したカラマツの当年生苗
（長野県下諏訪町）

②苗木の湾曲・倒伏（227～230 ページ）

植栽後に苗木の主軸が湾曲して倒伏する問題について、本事業では北海道に植栽されたカラマツで確認された。苗木が湾曲した要因として、一部の調査地では前述のとおり当年生苗の主軸が木質化しきっていないことが挙げられたが、他の調査地では苗木の地際径が小さかったことも要因として挙げられている。

苗木の主軸が湾曲してしまうと樹幹の曲がり等の形質不良や、周囲の雑草木に埋もれやすくなることにより、①で挙げたような雑草木からの被圧や誤伐の発生に繋がる恐れがあるため、注意が必要である。

③ノウサギやノネズミの食害（220～226 ページ）

本事業で苗木が食害を受けた事例について整理・分析した結果、スギの当年生苗にノウサギ食害が集中した宮城県気仙沼市以外の事例については、植栽した苗木のサイズが小さいと植栽後にノウサギやノネズミからの食害を受けやすい傾向があることが分かった。

特にノウサギやノネズミによる主軸の切断被害は、枯死に繋がるため深刻な被害をもたらすが、ノウサギが切断できる直径には上限があるという研究報告もあることから、このような深刻な被害を減らすためにも、サイズが小さい苗木の植栽を避けることが重要と言える。



写真 4-36 植栽後に食害を受けて枯死したカラマツの当年生苗
(北海道千歳市千歳)

④根鉢の崩壊や植栽後の立ち枯れ (217～219 ページ)

根の量が少なくて根鉢が形成されていないようなコンテナ苗は、前述のとおり輸送時などに根鉢が崩壊して植栽に適さない苗木となる恐れがある。また、地上部に対して根の量が少ない苗木は、植栽後の活着に悪影響を及ぼす可能性があることが知られている。実際に本事業でも、根の量、特に細根がほとんどないカラマツの当年生苗を植栽した結果、植栽翌年の夏から秋にかけて多くの立ち枯れが確認された事例も確認されている。

このような問題を避けるためには、根の量が十分な苗木を用いることが重要と言える。



写真 4-37 根の量が少なかったため、植栽後に枯死したカラマツの当年生苗
(宮城県七ヶ宿町)

第5章 取りまとめ

5-1. 事業報告書の取りまとめ

調査や分析等で得られた成果について、これまでの研究成果も踏まえた上で、本事業報告書に取りまとめた。

事業報告書は50部を製本し、事業終了時に林野庁へ提出した。

5-2. 概要版資料の作成

当年生苗を導入・普及する際の参考となるよう、本事業で得られた事業成果（当年生苗を導入するメリットや当年生苗の形状・生育状況、当年生苗を導入する際の留意事項等）を整理し、「概要版資料」として取りまとめ、事業終了時に林野庁へ提出した。

令和4年度
当年生苗導入調査委託事業
報告書

令和5年3月
(発行) 林野庁

(作成) 令和4年度当年生苗導入調査委託事業共同事業体

【代表】 一般社団法人 日本森林技術協会

〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地

TEL (03) 3261-5281 (代表) / FAX (03) 3261-5393