

クリーンラーチ・ カラマツ類の 優れた成長を活かす 育苗と育林、 施業モデル



地方独立行政法人 北海道立総合研究機構

森林研究本部



国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森林総合研究所

目次

はじめに	3
------	---

苗木を作る

植栽後の樹高成長の良いコンテナ苗の形状を探る	4
カラマツ類に酸化型グルタチオンを与えて育苗する	5
造林地でのグルタチオン施用の実用効果を探る	6

植えて育てる

クリーンラーチの早い樹高成長には樹冠被覆の抑制が必要	7
クリーンラーチの樹高成長量はカラマツよりも大きい?	8
殺鼠剤が使えない造林地では低密度植栽を避けた方が良い	9
機械地拵えにより下刈り回数を削減する	10
カラマツの植栽試験（長野県）-大苗による下刈り回数削減-	11
グイマツ雑種F ₁ 推奨系統の植栽密度試験 -成長と材質-	12
グイマツ雑種F ₁ 植栽密度試験 -成長と材質-	13
クリーンラーチの樹高情報を推定するための手法	14
下刈り完了の目安となる樹高を計算する	15
林冠の閉鎖率を植栽密度と樹高、樹冠直径から推定する	16

計画を立てる

下刈りの完了時期を判断するための支援ツール	17
クリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデル	18
クリーンラーチコンテナ苗の初期保育コスト試算	19
カラマツ大苗等の初期保育モデル	20
カラマツ大苗等の初期保育コスト試算	21
クリーンラーチとカラマツの強度試験	22
クリーンラーチ版収穫予測ソフト	23
クリーンラーチおよび低密度植栽に対応した施業体系	24

参考資料	25
おわりに	26
執筆者一覧・担当ページ・編集責任者	27

はじめに

これまでの林業の効率化においては、素材生産の機械化を中心に研究が進められてきました。その機械を地拵えや苗木運搬等の造林作業に活用した「一貫作業システム」が、緩中傾斜地を中心として実施されるようになってきました。一方現場の植栽作業（造林）では、小さな苗木を踏み倒さないような繊細な機械の導入が必要であり、下草刈り（保育）も苗木や伐根があるため作業スペースが制約され、特に急斜面において造林・保育の機械化はほとんど進んでいません。このことは林業作業者に大きな労働負担を強いるだけでなく、造林未済地の増加による森林資源の循環利用に対しても悪影響を及ぼしています。本研究ではカラマツ林業の効率的な造林・保育、そして私たちが使いやすい健全な森林の造成を目指し、地拵えや大苗・クリーンラーチを活用した下刈り判断等の新しい技術と保育モデルを提案します。

クリーンラーチ・カラマツ大苗とは・・・

クリーンラーチとはグイマツ特定母樹「中標津5号」とカラマツ精英樹の交配により生まれた雑種第一代になります。苗木の生産は主に実生苗から採取した穂木を挿し木することによって行われていますが、育苗コストの削減が重要になります。クリーンラーチは従来のカラマツに比べて成長が早く、材の比重が高いといった特徴を持ち、今後の北海道の造林木として大変期待されています。

その一方でクリーンラーチは北海道以外には出荷されていません。そこで長野県では大苗の利用が検討されました。ここで大苗とはコンテナ苗では60cm以上、裸苗では80cm上とし、2夏成長させたものと定義しています。現状の大苗は植栽時の運搬や植え付け作業にデメリットがありますが、将来的にはドローンや小運搬車両を用いた省力化が期待されます。

研究の概要

本研究では、はじめに「カラマツ類の苗木」の規格について示しますが、苗木が山に植栽された際に健全に素早く成長することを前提としています。次にクリーンラーチの苗木が山で十分にその成長能力を発揮できる条件や、機械地拵えと大苗を組み合わせた施業方法を提案します。次に成長が早い場合に危惧される材質低下や、下刈り回数の削減を想定したクリーンラーチの樹高成長と植栽密度を検討し、立地判定のための地位指数曲線を作成しました。最後にI齢級までの下刈り省略に関する初期保育モデルを提案し、作成したクリーンラーチ版収穫予測ソフトを基に、クリーンラーチおよび低密度植栽に対応した施業体系の一例を紹介します。今回作成した予測モデルは、地域に適したパラメータを用いる事で、多くの場所での応用が期待できます。

本研究は農林水産省による戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(2018年度～2022年度、18064868)により実施しました。本成果に携わった研究者や研究管理・補助していただいた方々に深く御礼を申し上げます。

研究プロジェクト代表

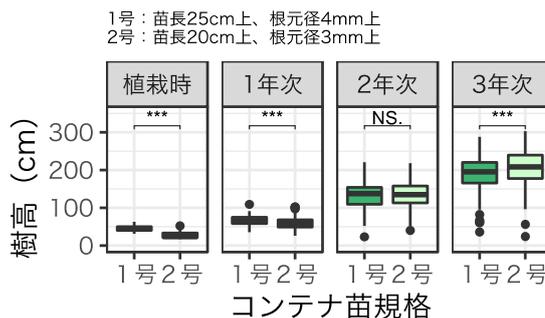
森林総合研究所 研究ディレクター 宇都木 玄

植栽後の樹高成長の良いコンテナ苗の形状を探る

樹高成長の良いコンテナ苗の形状を明らかにするため、植栽苗の形状と立地条件を加味して、3年次の樹高を統計解析しました。単純な平均値でみると、小さな2号苗のほうが1号苗よりも3年次の樹高が高かったのに対して、立地指標を加味すると、形状比が低く、苗長や根元直径の大きいコンテナ苗で、3年次の樹高が高くなると推定されました。

苗木規格と植栽後の樹高の不一致？

造林地での植栽苗の成長は、苗木の品質だけでなく、立地条件に影響を受けます。そのため、苗木の大きさが、植栽後の樹高成長に反映されない場合があります。私達が実施したクリーンラーチの植栽試験地の抽出調査では、コンテナ苗の1号苗よりも、サイズの小さい2号苗のほうが3年次の樹高が有意に高くなりました（右図）。この結果から、小さな2号苗のほうが高成長する高品質な苗と判断して良いのでしょうか？

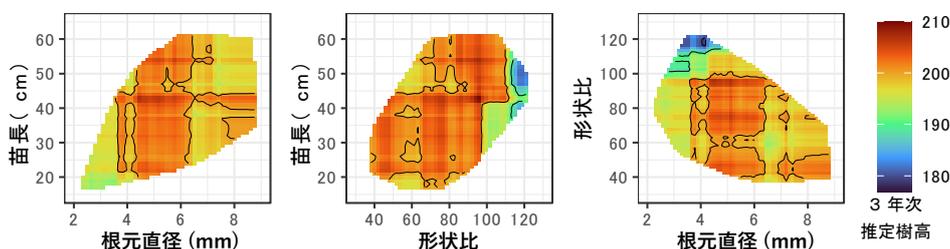


クリーンラーチコンテナ苗の樹高の経年変化
***; $p < 0.001$, NS.; $p \geq 0.05$ (t検定)

立地の影響を考慮した苗木品質の評価

立地条件の影響を考慮して苗木品質を評価するため、上述の試験地のデータをもとに、苗木品質と立地条件が3年次の樹高に及ぼす影響を、機械学習モデルの手法を用いて解析しました。モデルには、苗木品質の指標として苗長、根元直径、形状比(=苗長/根元直径)を、立地条件の指標として土壌水分、土砂移動、林縁から植栽苗までの距離を説明変数として組み込みました。解析の結果、3年次の樹高に対して重要度が高いのは苗木品質よりも立地条件の指標であり、特に林縁からの距離が最も重要度が高いと推定されました。一方、苗木品質で最重要だったのは形状比で、苗木規格の基準である苗長や根元直径は重要度が低いと推定されました。3年次に1号苗の平均樹高が2号苗より低かったのは、林縁に近い1号苗を多く調査したことが一因でした。

このモデルを用いて、植栽苗の苗長、根元直径、形状比を説明変数として上記3つの立地条件が同じと仮定したときの3年次の樹高を推定しました。その結果、形状比が110以上になると苗長や根元直径に関わらず3年次の樹高が低くなる傾向が認められました。また、根元直径が3.5mm以下、苗長が20cm以下などで3年次の樹高が低くなる傾向も認められ、苗木の小ささが3年次樹高に対して負の影響を与えていました。これらの解析から、同じ立地条件に植栽した場合、形状比が110以上でなければ、1号苗のほうが2号苗よりも3年次の樹高が高くなると考えられました。今回の結果は一つの植栽地での推定値であるため、同様の調査を気象条件や立地条件が異なる植栽地で進めていくことで、植栽後確実に高成長するコンテナ苗の初期形状が明らかになります。



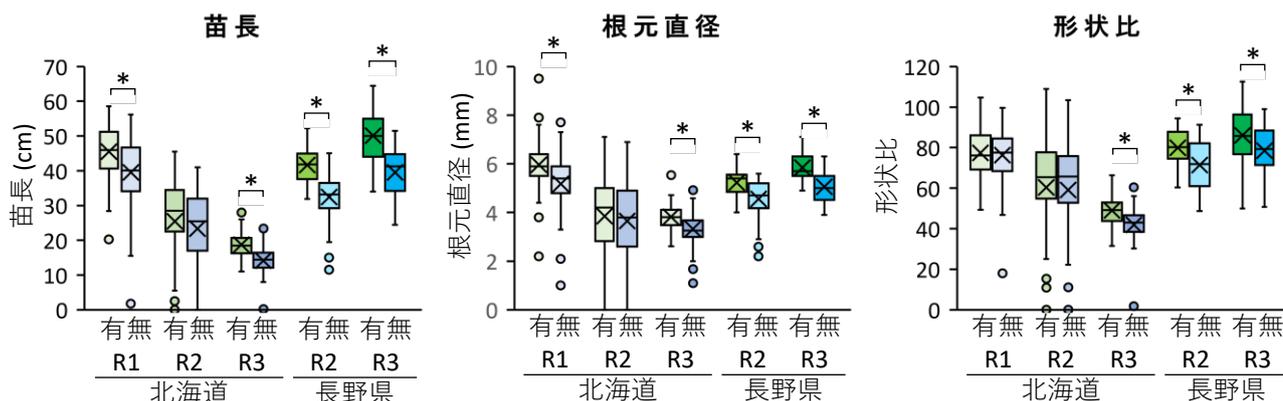
植栽苗の苗長、根元直径、形状比と3年次樹高の関係

カラマツ類に酸化型グルタチオンを与えて育苗する

酸化型グルタチオン(GSSG)は環境ストレスによる障害を緩和し、成長量を増やす効果があるとされます。カラマツの造林地が多い長野県と北海道において、カラマツ類の育苗時にGSSGを与え、成長量を評価しました。GSSGを与えた苗木は苗長、根元直径ともに大きくなる傾向がありました。

育苗時の施用効果

コンテナ苗の品質の向上、生産期間の短縮を図るため、GSSGの施用効果を検証しました。長野県でカラマツ、北海道でグイマツ×カラマツ雑種F₁を対象にGSSGを施用して育苗したところ、合計5回の試験のうち4回で苗長と根元直径が、3回で形状比が無施用区に比べ有意に大きくなりました。一方、育苗年度や条件によりGSSGの効果に差があったり、形状比が大きくなるケースも見られました。GSSGの施用開始時期や施用回数は、生育ステージや灌水頻度等により調整が必要と考えられます。



播種当年における苗木の苗長と根元直径、形状比に対する酸化型グルタチオンの施用効果

育苗の条件

試験の方法、条件を記載します。元肥として超緩効性肥料を用いましたが、長野県の方が施用量および気温条件から苗木が利用できる養分が多い条件でした。なお、播種は3月末～4月上旬に行い、コンテナへの直接播種、またはセルトレイ播種+プラグ苗移植によりコンテナ苗を作成しました。

	北海道			長野県	
	R1	R2	R3	R2	R3
コンテナ	200 ccスリット			300 ccスリット	
培土	ヤシガラのみ				
元肥	緩効性肥料700日タイプ (N-P-K=16-15-10)				
	10 g/L			20 g/L	
施用回数	週1回 x 12週			週1回 x 9週	週2回 x 5週
	6/7 ~ 8/23	6/16 ~ 9/1	6/22 ~ 9/7	7/6 ~ 9/1	6/17 ~ 7/19

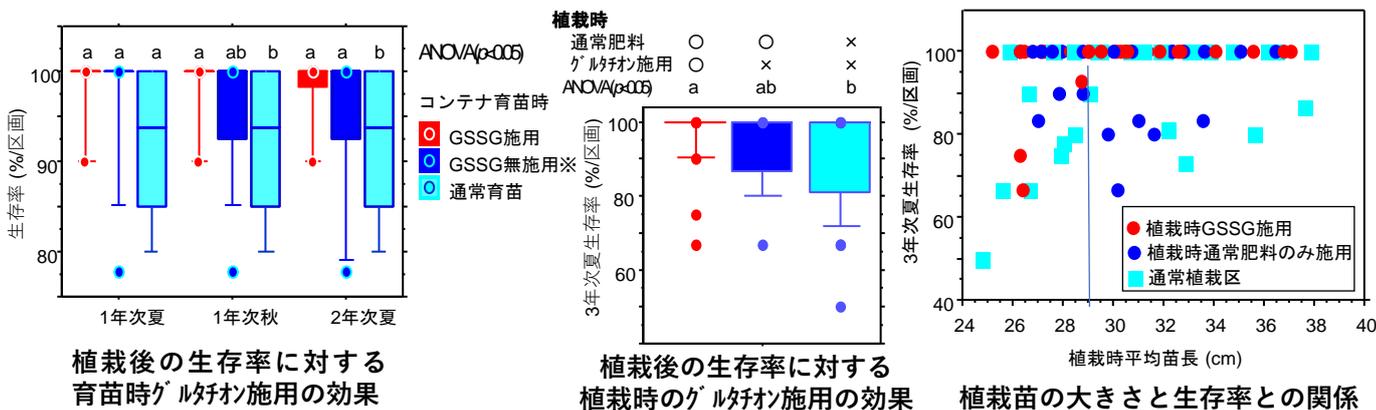
北海道：苗木1本あたり、GSSG有：N, P, K 各4 mg + GSSG 6 mg/回 GSSG無：N, P, K 各4 mg/回
 長野県：苗木1本あたり、GSSG有：N, P, K 各6 mg + GSSG 9 mg/回 GSSG無：N, P, K 各6 mg/回

造林地でのグルタチオン施用の実用効果を探る

酸化型グルタチオン (GSSG)は、多くの植物の成長促進に有効性が認められていますが、カラマツ造林地での実用性についてその効果を検討しました。GSSGを含む肥料で育苗した苗木では造林地での生存率は高くなる傾向があり、また植栽時に通常肥料とGSSGを同時に施用することで樹冠面積や樹高成長量が増加しました。

育苗時の使用で植栽地での生存率が増加

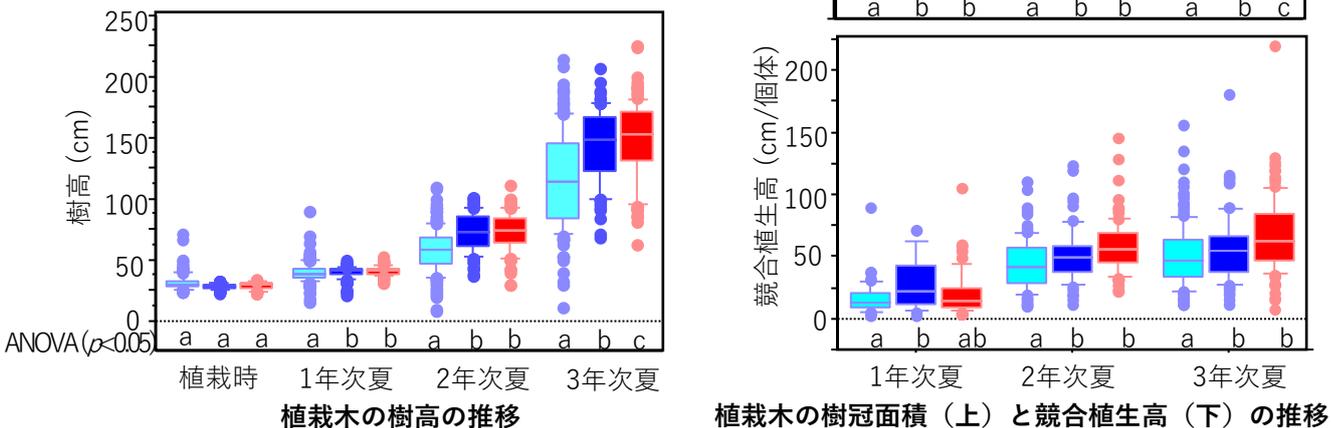
造林地における植栽木の活着不良は補植等の追加作業を発生させますが、育苗時に酸化型グルタチオン (GSSG)を施用した苗木を造林地に植栽した場合、通常育苗と比較して活着率が高いことがわかりました。また植栽時にGSSGと肥料を同時に施用した場合も、無施用と比較して生存率が高くなりました。さらに、植栽時の苗長が小さい区画ほど植栽3年後の生存率が下がりましたが、植栽時にGSSG施用した苗長29cm以上の区画の生存率は100%になりました。



※GSSGの窒素量と同じ量の液肥を与えています

植栽時の施用で樹冠面積と樹高成長量が増加

植栽時にGSSGを施用した場合、樹冠面積、樹高成長量にも効果が現れました。ただし、成長促進効果は競合植生高にも影響を与えていました。植栽時にGSSGを施用する際は、地拵後速やかに植栽するなど、初期の競合植生との競争を抑える配慮が重要であると考えられます。

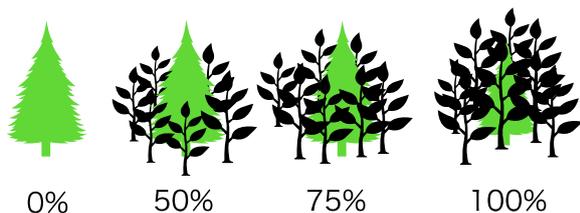


クリーンラーチの早い樹高成長には樹冠被覆の抑制が必要

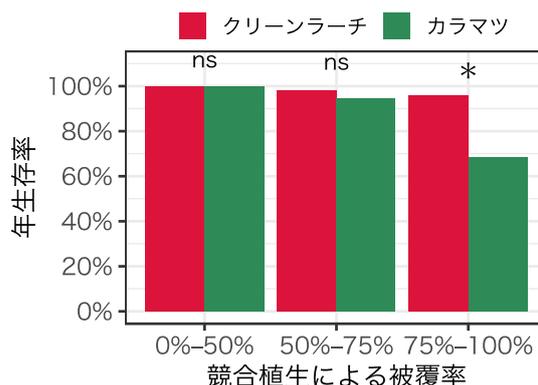
競合植生による被覆が植栽木の生存率と樹高成長量に与える影響を、クリーンラーチとカラマツで比較しました。クリーンラーチは被覆率が高くても高い生存率を示しました。一方、両樹種とも被覆率が増加すると樹高成長量が低下し、75%以上の被覆率で樹種間差がなくなりました。クリーンラーチが早く樹高成長するには、樹冠被覆の抑制が重要です。

被覆されても高いクリーンラーチの生存率

競合植生からの被覆は、植栽木の生存率や樹高成長量に悪影響を及ぼします。そこで、クリーンラーチとカラマツで被覆の影響に違いがあるか、植栽2、3年目に調査しました。被覆の影響を明確にするため、試験地は無下刈りとしました。カラマツでは、夏に樹冠全体の75%以上が被覆された場合に、その年の生存率が大きく低下しました。一方、クリーンラーチでは75%以上被覆されても生存率は低下しませんでした。クリーンラーチは、カラマツに比べて野鼠害や病虫害への抵抗性が高いことが知られていますが、競合植生の被覆に対しても生存率を高く維持する特性を持つと考えられました。



競合植生による被覆率のイメージ

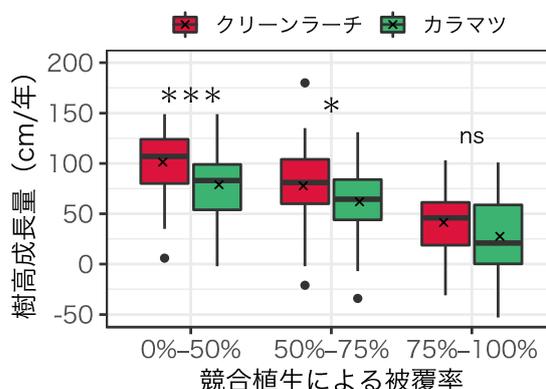


無下刈りでの夏の被覆率と年生存率の関係

※獣害データは除去。植栽2,3年目のデータを統合して解析。

被覆で低下するクリーンラーチの樹高成長量

生存率とは異なり、クリーンラーチでもカラマツでも、被覆率の増加とともにその年の樹高成長量が低下する傾向がありました。クリーンラーチとカラマツの樹高成長量の差に着目すると、被覆率が50%以下の場合、クリーンラーチがカラマツを大きく上回っていました。一方、被覆率が増加するにつれて両者で樹高成長量の差が少なくなり、75%以上被覆されると有意な差が認められなくなりました。このことから、クリーンラーチの優れた成長特性を発揮させるには、75%以上の被覆にならないように下刈りを確実に実行したり、植生の繁茂を抑制する機械地拵えを行うなど（P10）、競合植生による被覆を少なくすることが重要です。



無下刈りでの夏の被覆率と年樹高成長の関係

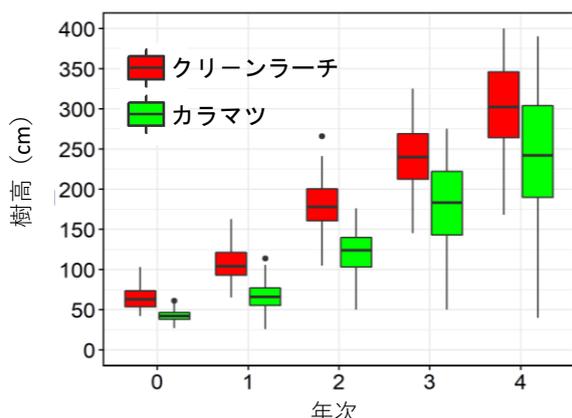
※獣害データは除去。植栽2,3年目のデータを統合して解析。

クリーンラーチの樹高成長量はカラマツよりも大きい？

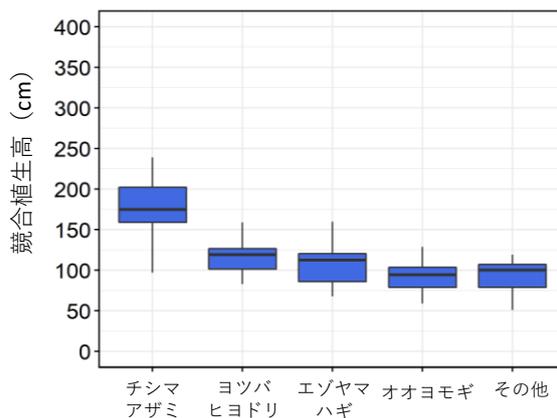
クリーンラーチの樹高成長量はカラマツよりも本当に大きいのでしょうか？北海道におけるカラマツの平均下刈り年数は約4年ですが、これよりも短くなるのでしょうか？そこで同じ林地に両樹種の“裸苗”を植栽し、4年間下刈りを行った造林地において樹高成長量を比較したところ、下刈り期間を短くできるだけの樹高成長量の違いが認められました。

クリーンラーチの樹高成長量はカラマツよりも大きい

3年次におけるクリーンラーチの樹高の中央値は240cmであり、植栽木の75%以上が樹高200cm以上に達していました。一方、カラマツでは3年次に樹高が200cmに達している植栽木の割合は50%以下であり、4年次にその割合が約70%となりました。このようにクリーンラーチでは1年早く、カラマツの樹高に達していました。この造林地における主要な競合植生であるチシマアザミの高さを指標とした場合、樹高が200cm以上になれば梢端部が被覆されにくくなります。これらのことから、クリーンラーチでは4年次の下刈りを省略できるため、カラマツに比べて下刈り期間を1年短くできるといえます。



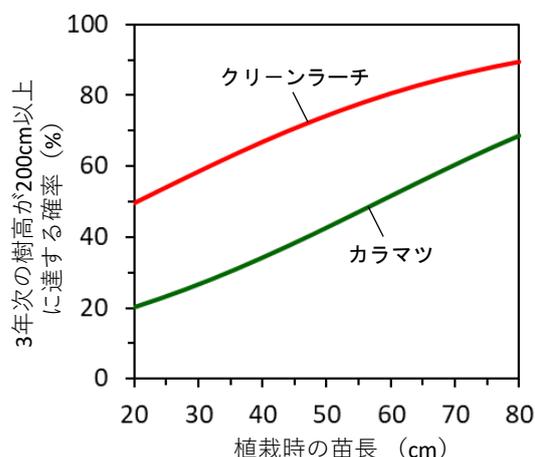
クリーンラーチとカラマツの樹高の推移
植栽時の年次を0としています。



3年次の造林地における下刈り直前の競合植生の高さ

植栽時における苗木サイズも重要

3年次に樹高が200cm以上に達する苗木の条件を“植栽時の樹高”という視点から探ってみました。クリーンラーチ、カラマツに共通して、植栽時の苗長が大きい苗木ほど3年次に200cm以上に達しやすいことがわかりました。長野県で行われたカラマツの植栽試験でも、下刈り期間の短縮における裸大苗の有効性が示されており（P11）、今回の結果と一致しています。一方植栽時の樹高が同じでも、200cm以上に達する確率はカラマツに比べてクリーンラーチで高く、このことからクリーンラーチの下刈り年数はカラマツよりも短くできるといえます。



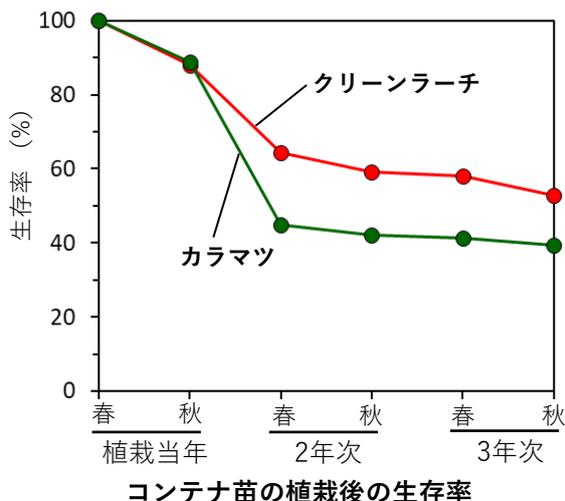
植栽時の苗長と3年次の樹高が200cm以上に達する確率との関係

殺鼠剤が使えない造林地では低密度植栽を避けた方が良い

野鼠害はカラマツの主要な死亡要因であるため、通常、殺鼠剤を使って被害の軽減を図ります。しかし、森林認証を取得している森林などでは殺鼠剤を使えない場合もあります。殺鼠剤を使わない造林地においてカラマツ類の生存率を調べたところ、カラマツに比べて耐鼠性が高いとされるクリーンラーチでも生存率の低下が認められました。

クリーンラーチでも野鼠害を受ける

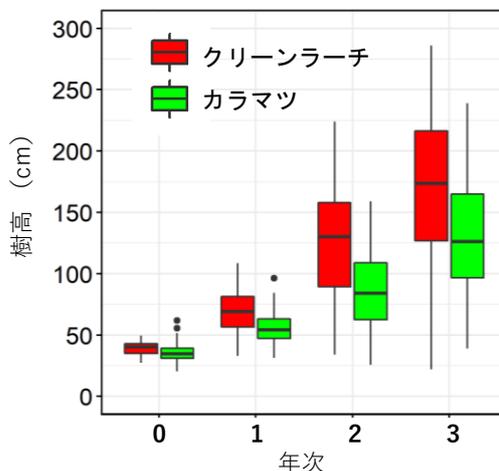
クリーンラーチとカラマツのコンテナ苗をランダムに混交させて造成した低密度植栽試験地（1600本/ha）において生存率を比較しました。この試験地では植栽年から全刈りによる下刈りが行われましたが、殺鼠剤は使われていません。クリーンラーチ、カラマツとも植栽年の冬期に生存率が急激に低下し、その原因は野鼠害によるものでした。2年次の春におけるクリーンラーチの生存率はカラマツの45%に比べて高い値を示していましたが、65%を下回っていました。このようにクリーンラーチでもまったく野鼠害を受けないわけではありません。そのため、殺鼠剤を使えない場合にはクリーンラーチの低密度植栽を避けた方が良いでしょう。



野鼠害を受けて死亡したカラマツ類

生残ったクリーンラーチの樹高成長量はカラマツよりも大きい

生残った植栽木（コンテナ苗）の樹高成長量を調べたところ、クリーンラーチの成長量はカラマツを上回っていました。この結果は裸苗を用いた植栽試験（P8）と同じでした。この造林地が位置する北海道東部では、カラマツの下刈り年数は約3年ですが、クリーンラーチにおける2年次の樹高は3年次のカラマツの樹高に達していました。クリーンラーチの3年次の樹高は同年次のカラマツよりも50cmほど高く、クリーンラーチについては3年次の下刈りを省略できるものと考えられました。P8と同様にクリーンラーチではカラマツよりも1年、下刈り期間を短縮できるといえます。



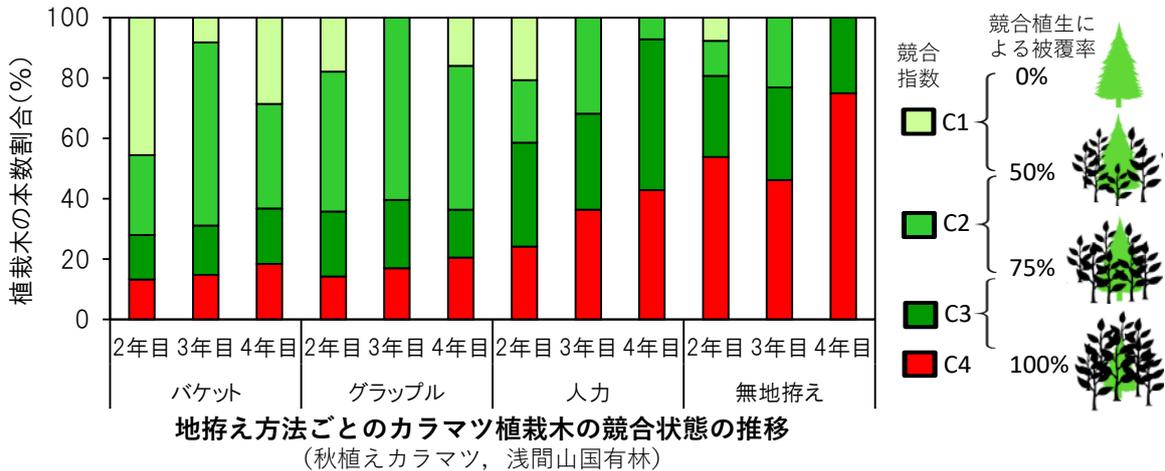
クリーンラーチとカラマツの樹高の推移
植栽時の年次を0としています。

機械地拵えにより下刈り回数を削減する

緩傾斜～中傾斜地における再造林では、機械地拵えにより、人力地拵えに比べてコストを6～7割削減することが可能です。さらに機械地拵えでは、土壌表面の腐植層や灌木類の根系を枝条とともに集積することによって、植栽面の競合植生の回復を遅らせることができ、下刈り回数を削減できることが明らかになりました。

機械地拵えで競合植生を抑制

一貫作業システムでは、伐出作業時に使用したバケット（油圧ショベル）やグラップルを地拵えに使用します。人力地拵えと異なり、埋土種子を多く含む土壌表面の腐植層や引き抜いた灌木類の伐根等も合わせて集積できるため、植栽面に発生する競合植生の量が減少します。植生の回復が遅れることによって、植栽木が競合植生に覆われにくくなり、数年間下刈りを必要としない状態にすることが可能です。



バケット地拵え

コスト約7割減

グラップル地拵え

コスト約6割減

下刈りコスト削減

回数削減

4成長期目のカラマツ再造林地

下刈回数：約6割減

4成長期目のカラマツ再造林地

下刈回数：約4割減

苗木を作る

植えて育てる

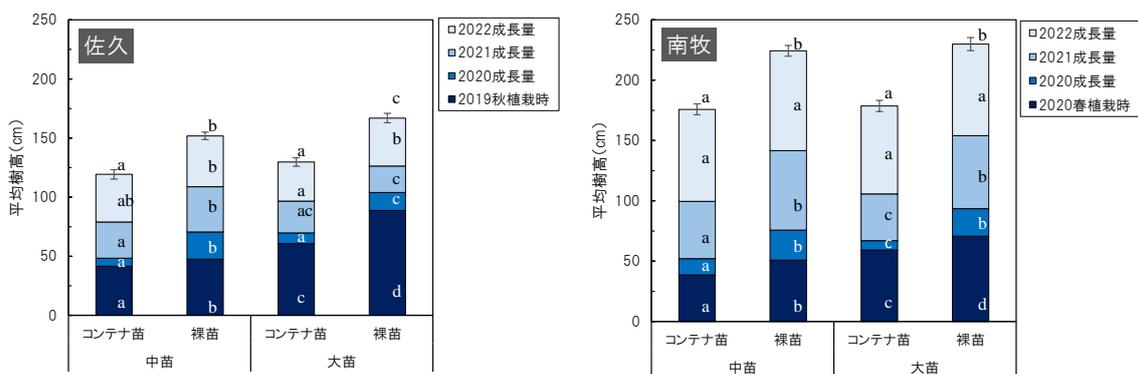
計画を立てる

カラマツの植栽試験（長野県） -大苗による下刈り回数削減-

大苗の植栽によって下刈りの回数を削減できるか検討した結果、裸大苗が最も早く下刈り時期を抜け出すことが期待できました。また、植栽木と植生との競合状態は地拵え方法と植生のタイプによって大きく異なるため、下刈りの要否を判断する上で現場の状況を毎年見極めることが重要です。

カラマツ大苗の樹高成長

通常よりサイズの大きい苗木を植栽することによって下刈り回数を削減することが可能か検討しました。初期の樹高は、裸大苗 > コンテナ大苗 > 裸中苗 > コンテナ中苗の順でしたが、1～2成長期後にはコンテナ大苗と裸中苗の順位が逆転しました。コンテナ大苗とコンテナ中苗は植栽時の形状比が高かった（大：114±17、中：97±18）ことにより樹高よりも直径成長が優先され、その結果樹高の初期成長が停滞すると考えられたため、育苗段階で形状比を改善する必要があります。現時点では、裸大苗が最も早く下刈り時期を抜け出すことが期待できます。

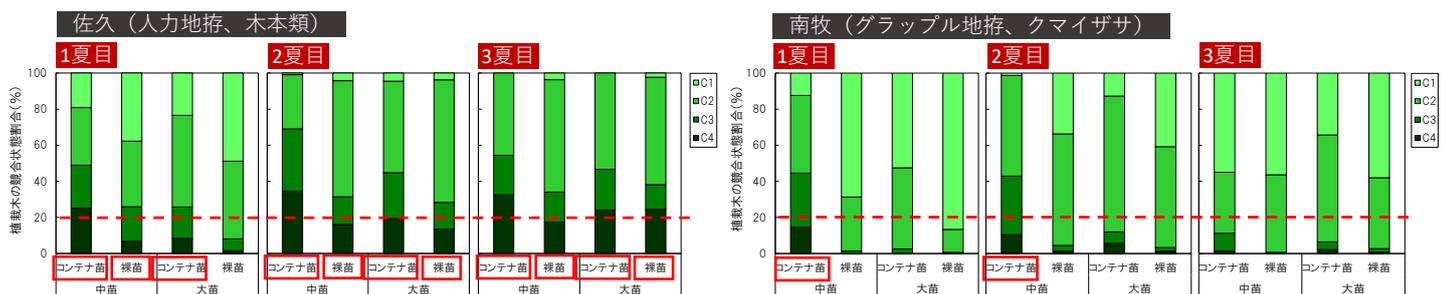


カラマツ植栽木の樹高成長の推移

(エラーバーは標準誤差、各年において同一符号を含まない苗種間で樹高または樹高成長量に有意差あり)

競合状態による下刈り要否判断

人力地拵えが行われた佐久、グラップル地拵えが行われ南牧における主な競合植生は、それぞれ木本類、クマイザサでした。樹冠が競合植生で覆われる個体（C3以上）が全体の20%以上ある場合に下刈りを行うとすると、佐久では1年目の夏の裸大苗以外は下刈りが必要でしたが、南牧では1～2年目のコンテナ中苗のみで下刈りが必要でした。佐久では人力地拵えのうえ競合植生が回復が著しい萌芽由来の木本類であったのに対し、南牧ではグラップル地拵えで植生の回復が遅れることに加え、地表が丈の低いササで覆われているため他の植生が発達しづらかったと考えられます。このように、競合状態は植栽木の成長量に加えて地拵え方法や競合植生の種類によって異なるため、現場の状況を毎年見極めることが重要です。



カラマツ植栽木の競合状態と下刈り要否

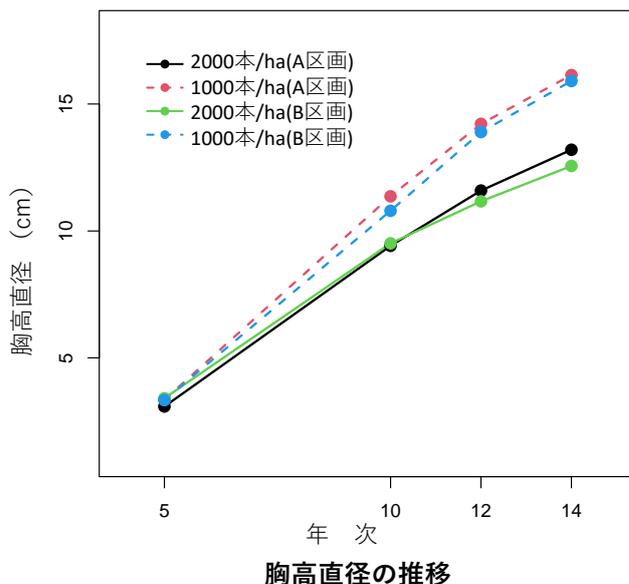
要下刈 (C3 + C4 ≥ 20%)

グイマツ雑種F₁推奨系統の植栽密度試験 -成長と材質-

これまでに開発されてきたグイマツ雑種F₁の推奨4系統（クリーンラーチ、グリーンム、北のパイオニア1号、中標津4号×諏訪16号）を1000本/haと2000本/haの植栽密度で植栽した場合の、14年次までの初期成長と12年次における材質の差を検証しました。10年次以降の胸高直径を除き、他の形質には植栽密度区間で大きな差は見られませんでした。

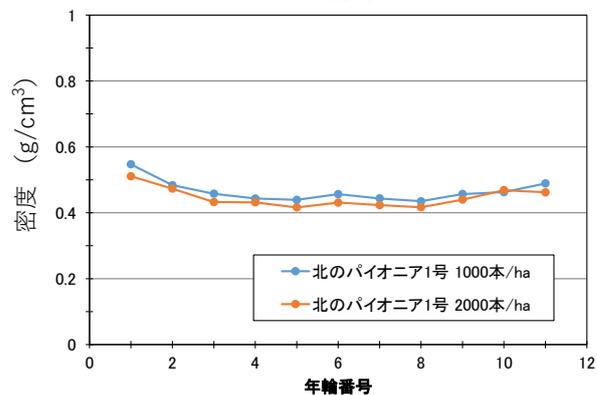
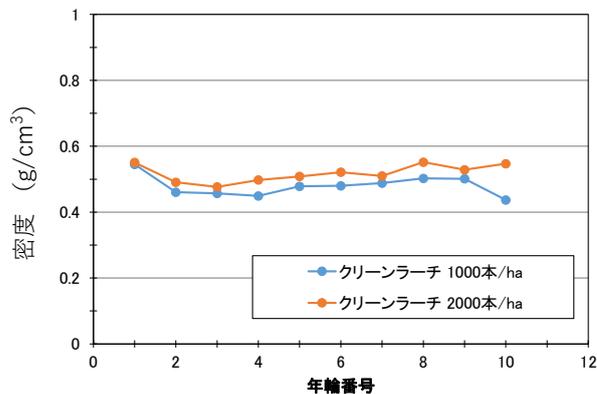
初期成長の植栽密度区間差

成長形質として、植栽から14年次までの樹高と胸高直径を調べました。樹高については、植栽密度区間に有意な差は見られませんでした。どの推奨系統も同様の成長率を示しましたが、苗木の初期サイズが大きかった個体ほど、14年次に至っても樹高が高い傾向にあることがわかりました。胸高直径に関しては、10年次以降に植栽密度区間で統計的に有意な差が見られ、2000本/ha区で胸高直径が小さい傾向にありました（右図）。2000本/ha区では5~10年次の間に林冠の閉鎖が生じ、肥大成長が抑制されたことが考えられました。



材質の植栽密度区間差

材質形質として、12年次の丸太の動的ヤング率、材密度、繊維傾斜度を測定しました。丸太の動的ヤング率に関しては、2000本/ha区でやや高い傾向にあり、一部の系統間に有意差が見られました。年輪幅は、胸高直径の大きい1000本/haの方が大きい傾向でした。また、年輪ごとに測定した材密度（右図）については、植栽密度区間の差は小さく、平均値にも有意差はありませんでした。繊維傾斜は、系統間に有意差がありましたが、植栽密度区間の差は見られませんでした。本試験地の結果では、1000本/ha程度の低密度の植栽条件は、研究対象とした材質に対して大きな影響を与えないことがわかりました。



年輪ごとの材密度
番号が若いほど髓に近い。

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

グイマツ雑種F₁植栽密度試験 -成長と材質-

これまでに開発されてきたグイマツ雑種F₁をヘクタール当たり500本、1000本、2000本、4000本及び8000本と密度別に植栽し、植栽から38年間の成長量、生存率を調査し、また間伐木を対象に材質についても調査をしました。最も低密度の500本区では平均胸高直径は大きいものの、林分材積が小さく、材の強度が低下することがわかりました。

38年間の生存率と直径成長

生存率は植栽密度間で大きく異なりました（図1）。500本区では38年次でも生存率が91%と高く、植栽密度が高くなるにつれ生存率は低下しました。また、6~38年次の平均胸高直径を比較したところ（図2A）、10年次ころから4000本区以上では個体間競争により平均直径が小さい傾向が認められました。38年次では、低密度から高密度に向かって平均直径は低下し、500本区で33.1cm、2000本区で22.3cm、8000本区では17.2cmでした。また同年の林分材積は2000本区で595.8m³/haと最も高く、次いで4000本区で499.4m³/ha、8000本区で435.8m³/ha、1000本区で418.2m³/ha、500本区で390.0m³/haとなりました（図2B）。

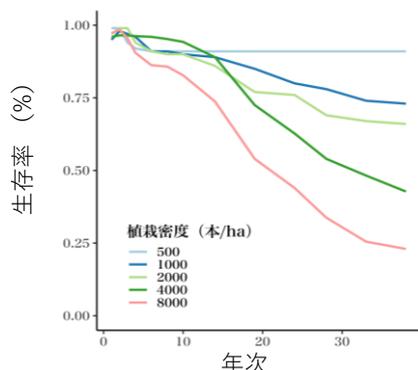


図1 植栽密度別の生残率の経年変化

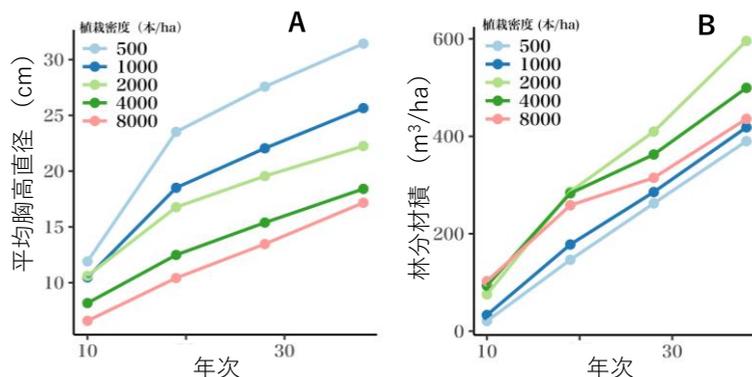


図2 植栽密度別の平均胸高直径(A)及び林分材積(B)の比較

材質の比較

27年次に間伐を行った際、間伐木からラミナを採取し、ラミナの断面に占める節の面積割合とヤング係数を測定しました。節の面積割合は低密度植栽ほど大きく（図3）、生育時における枝の基部直径の大きさが反映していると考えられました。植栽密度が最も低い500本区では、ヤング係数の小さなラミナの出現割合が他の植栽密度よりも大きく（図4）、強度の小さいものが多い傾向にありました。

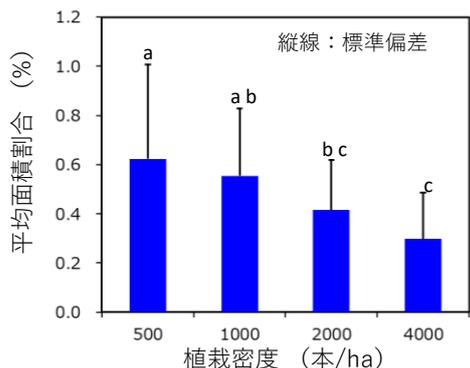


図3 ラミナに占める節の断面積割合

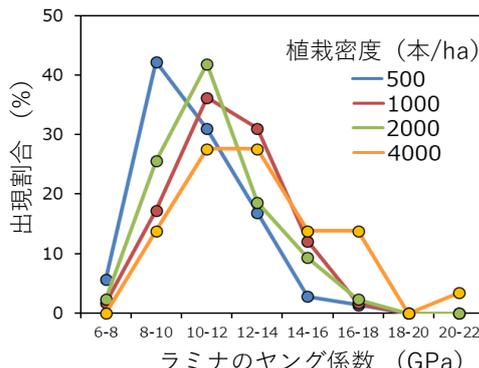


図4 ラミナのヤング係数別の出現割合

苗木を作る

植えて育てる

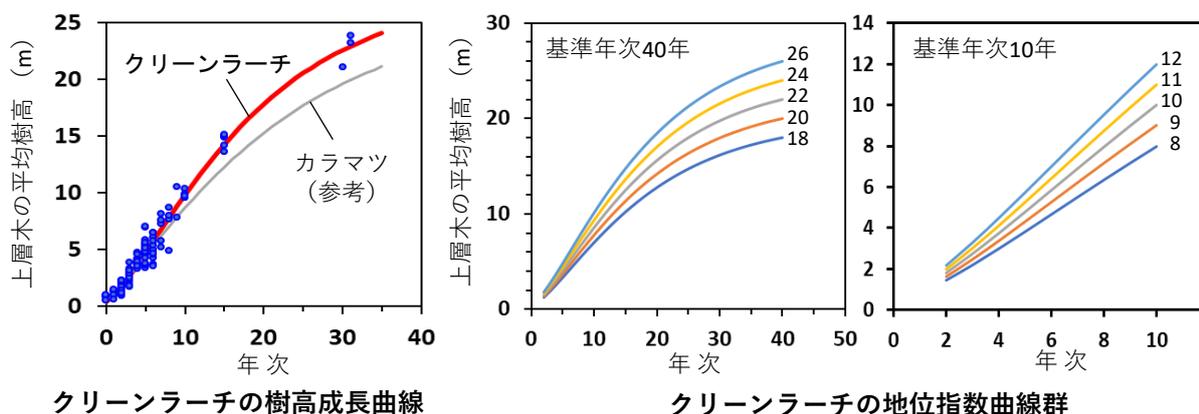
計画を立てる

クリーンラーチの樹高情報を推定するための手法

針葉樹人工林の管理では、上層木の平均樹高の経年変化を示す樹高成長曲線がとても重要ですが、クリーンラーチに対応した成長曲線はありませんでした。そこで、クリーンラーチの樹高成長曲線を新たに構築するとともに、それを応用して下刈りスケジュールの立案などに必要な樹高を推定できるようにしました。

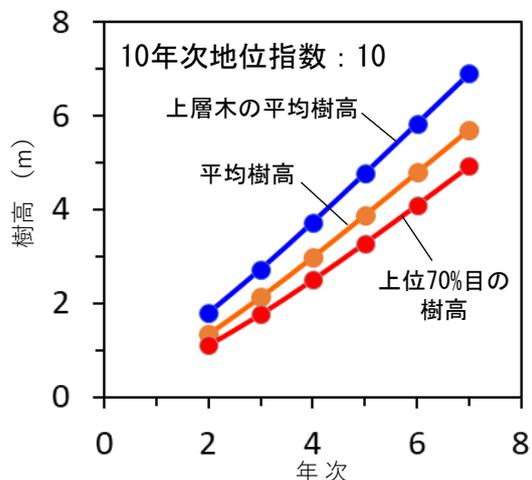
クリーンラーチの地位指数曲線を作成しました

構築したクリーンラーチの35年次までの樹高成長曲線はカラマツの上側に位置していました。このことはクリーンラーチの樹高成長が今回の調査期間内でカラマツに比べて良好であることを示しており、これまでの事例調査の結果と一致しています。そこでこの樹高曲線をもとに基準年次をカラマツと同じ40年とする地位指数曲線群を作成しました。また、下刈りスケジュールなどの初期の保育計画の立案に対応するため、基準年次を10年とする地位指数曲線群（10年次地位指数曲線群）も作成しました。これらを用いることにより、下記に示す樹高の推定や施業体系の立案（P24）が可能になります。構築した樹高成長曲線には間伐・主伐時に相当する林分が少ないことから、随時、樹高成長曲線の改訂を進める予定です。



下刈りスケジュールの検討に対応した樹高情報の推定

一つの林分でも様々な高さの植栽木が存在しますが、一般に上層木の平均樹高（上層高）や全植栽木の平均樹高が樹高の代表値として使われます。しかし、下刈り作業ではこれらの樹高よりも低い植栽木に対する競合植生も対象となるとともに、下刈り作業の指標となる樹高情報がありませんでした。そこで上層高や平均樹高に加え、樹高の高い順に数えて上位〇〇%目（例えば上位70%目：右図。上位100%目は最小樹高）に相当する樹高を推定できるようにしました。この樹高情報は10年次地位指数ごとに推定できるため、地位指数ごとに下刈りスケジュールを検討・立案する場合に活用できます（P17）。



クリーンラーチの樹高成長曲線から推定した樹高情報

10年次地位指数を10に設定した場合の例示

下刈り完了の目安となる樹高を計算する

植栽したクリーンラーチの樹高成長量は、樹冠の75%以上が競合植生に覆われると顕著に低下します（P7）。そこで植栽木がどのくらいの樹高になれば競合植生に覆われにくくなるのか調べました。競合植生には高さの異なるいくつかのタイプが認められたため、下刈り完了の目安となる樹高を条件に応じてタイプごとに計算できるようにしました。

おもな競合植生たち

北海道各地のカラマツ類の5年次以下の造林地（約80林分）を対象に植栽木の周囲に生育する競合植生（多年生植物）を調べたところ、主要な競合植生として4つのタイプ（型）が認められました。前年の下刈り以降の1年間の伸長成長量（植生高）はタイプ間で異なっており、高茎草本型の105cmが最も高く、イネ・カヤツリグサ型、広葉草本型がこれに続いていました。最も植生高が低かったのは混交型の59cmでした。

下刈り前に確認された競合植生のタイプと主な構成種および平均植生高

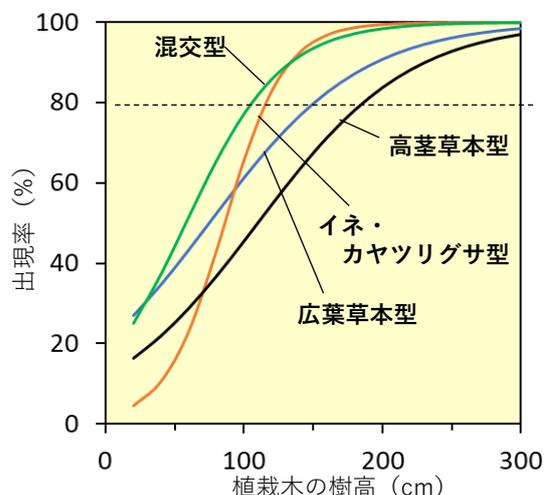
タイプ（型）	主な構成種	平均植生高 (cm)
①広葉草本型	ヨモギ、フキなど	89
②イネ・カヤツリグサ型	スゲ類など	90
③高茎草本型	チシマアザミ、ヨブスマソウなど	105
④混交型	ヨモギ、フキ、ササ類、イチゴ類など	59



高茎草本であるヨブスマソウ（左）、イチゴ（中）、ミヤコザサ（右）から被覆されるカラマツ類

樹高から見る下刈り完了の目安

植栽木の樹高毎に、競合植生から梢端部が露出する個体の出現率を競合植生タイプ別に調べました。個体の出現率は樹高とともに増加しますが、増加の程度は植生タイプによって大きく異なりました。そのため、得られた関係式をもとに下刈り完了の目安となる樹高を条件に応じて設定できるようにしました。例えば出現率80%を下刈り完了の条件とした場合、イネ・カヤツリグサ型、混交型、広葉草本型、高茎草本型ではそれぞれ110cm、120cm、150cm、190cmの樹高が必要と計算されます。これらの計算は「下刈りの完了時期を判断するための支援ツール（P17）」で行うことが可能です。



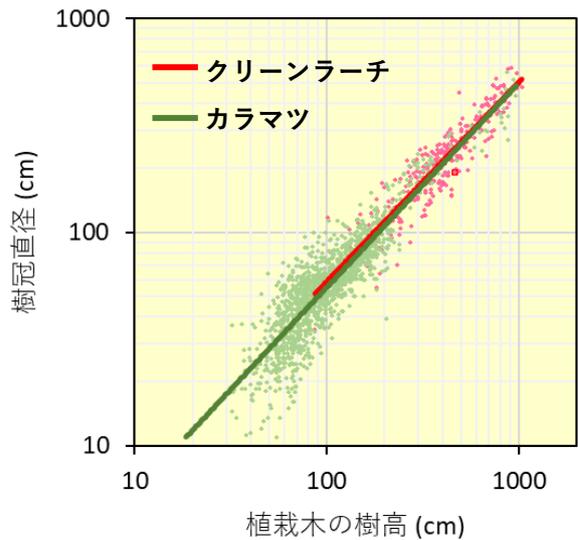
植栽木の樹高と競合植生から梢端部が露出する個体の出現率との関係

林冠の閉鎖率を植栽密度と樹高、樹冠直径から推定する

林冠が閉鎖すると林床に差し込む光の量が減るため、競合植生の成長は抑制されます。そのため、林冠閉鎖に要する時間が短いほど競合植生は繁茂しにくくなると考えられます。林冠の閉鎖には樹冠の大きさとともに樹高成長量や立木密度も関係するため、樹高と樹冠直径との関係をもとに林冠閉鎖に要する年数を計算しました。

カラマツ類の樹高と樹冠直径との関係

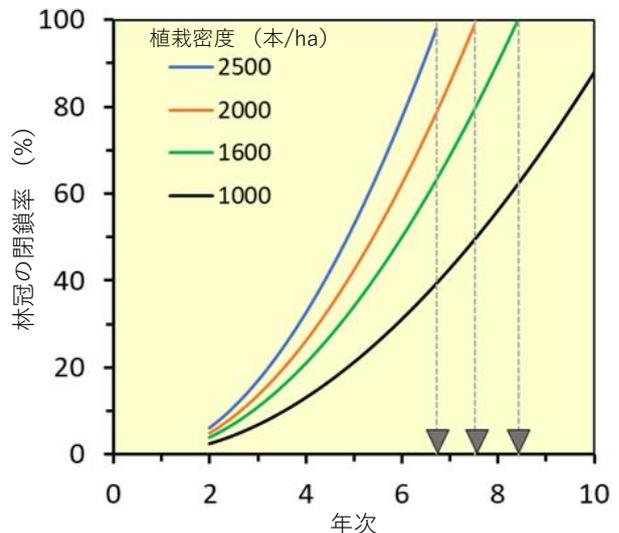
林冠が閉鎖していないクリーンラーチとカラマツ造林地を対象に植栽木の樹高と樹冠直径との関係を調べました。両者の関係は両種で非常に類似しており、樹高から樹冠直径を推定できることがわかりました。得られた関係式を用いて樹高から樹冠直径を推定すると、樹高400cm、600cmの植栽木ではそれぞれ約210cm（105cmの枝張り）、約310cm（155cmの枝張り）の樹冠直径になると予測されました。2500本の植栽密度で方形植えの造林地の場合、苗列間は200cmであるため平均樹高が400cmに達すれば隣接する植栽木同士の枝がふれ合うことになります。



植栽木の樹高と樹冠直径との関係
カラマツは北海道と長野県のデータを用いて作図

林冠閉鎖に要する年数の目安

クリーンラーチ造林地を対象に樹冠閉鎖に要する年数の目安を樹高と樹冠直径との関係をもとに計算しました。例えば10年次の地位指数が8の林分の場合（P14）、林冠が閉鎖するのに要する年数は2500本/haでは6.8年、2000本/haでは7.6年、1600本/haでは8.5年、1000本/haでは10年以上と推定され、これらを林冠閉鎖に要する年数の目安として設定しました。下刈りの平均実施年数は約4年であるため、2500本/ha以下の植栽本数では下刈り終了後、数年間は林冠が閉鎖していない状態が想定されます。この期間にどの程度、植生が繁茂するののかについては除伐にかかる労働強度とも関係するため、調査を進める予定です。



林齢と林冠の閉鎖率との関係
10年次の地位指数8の林分を想定して計算

下刈りの完了時期を判断するための支援ツール

下刈り完了の目安となる樹高は競合植生のタイプによって変わります (P15)。植栽木の樹高やその成長量は林齢や地位指数に影響され、一つの林分の中でも樹高には違いがあります (P14)。そこで、下刈りの完了時期を競合植生のタイプや地位指数などに応じて判断するための支援ツールをクリーンラーチ向けに作成しました。

ツールの概要

支援ツールはExcelで動作します。所定のセルに①競合植生のタイプ (P15)、②下刈り完了の条件 (競合植生から梢端部が露出する個体の出現率) (P15)、③地位指数 (基準年次10年) (P14)、④下刈り対象木の樹高範囲 (樹高の高い順から数えて上位〇〇%目までの樹高) (P14)、⑤植栽時の平均苗長を入力すると、対象林分における「下刈り完了の目安の高さ」と「下刈り必要年数」が出力されます。

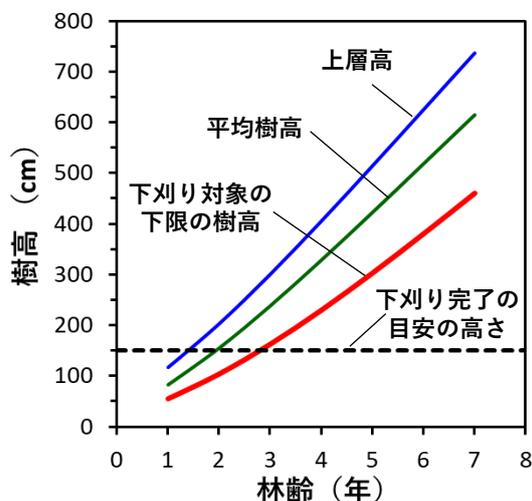
例えば下図のように、①競合植生のタイプ：広葉草本、②下刈り完了の条件：80%、③地位指数 (基準年次10年)：10.5、④下刈り対象の樹高範囲：上位90%、⑤植栽時の平均苗長：40cm、と入力すると、下刈り完了の目安となる高さ：151cm、下刈り必要年数：3年と出力されます。また、「上層高」、「平均樹高」とともに「下刈り対象木の樹高範囲 (下限)」と「下刈り完了の目安となる高さ」も図示されます。このツールでは様々な条件を想定した推定ができるため、下刈りスケジュールの立案などに使うことができ、「クリーンラーチ版収穫予測ソフト (P23)」に組み込まれています。

【入力情報】

①	植生タイプ	広葉草本	型
②	下刈り完了の条件： 梢端部が被覆されていない 植栽木の本数割合(%)	80	%
③	10年次地位指数	10.5	m
④	下刈り対象の樹高範囲 (樹高の高い上位何%まで)	90	%
⑤	植栽時の平均苗長	40	cm

【出力結果】

下刈り完了の目安となる高さ (cm)	151
下刈り必要年数 (年)	3



林齢と樹高との関係

下刈り支援ツールの入力・出力画面

クリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデル

植栽試験の結果をもとにクリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデルを作成しました。クリーンラーチは成長が早いため、カラマツよりも1年早く下刈りを完了することができます。機械地拵えを行い競合植生の繁茂が抑制されれば、植栽当年の下刈りも省略できます。枯損リスクが低い場合は、1000本/haまで植栽密度を下げることも可能です。

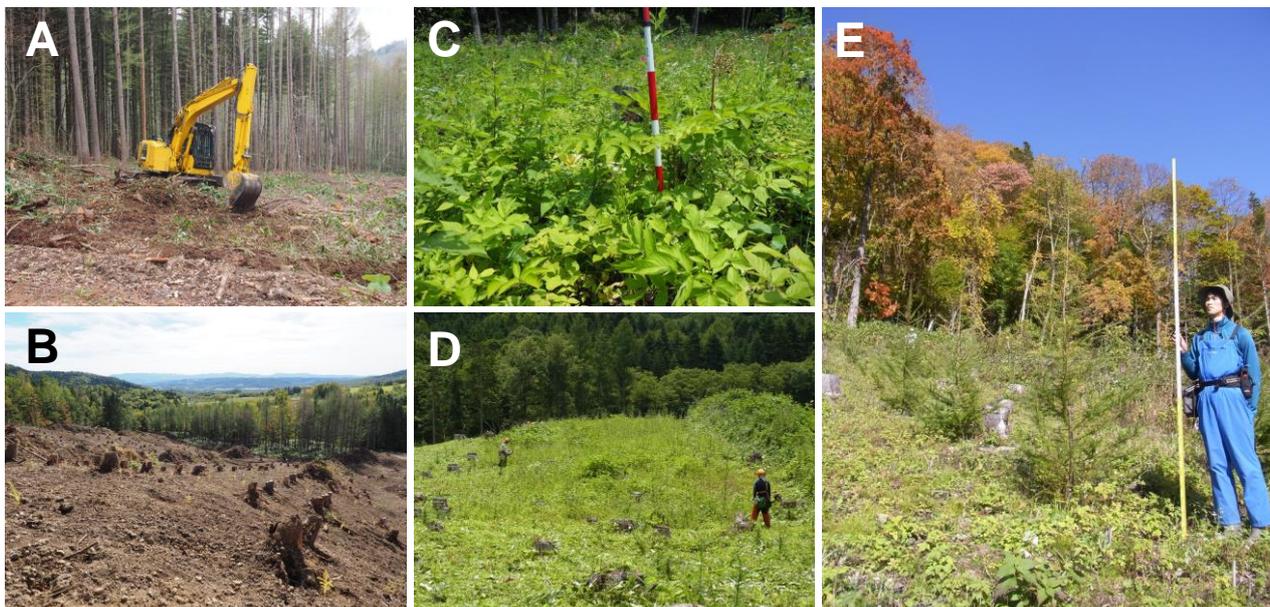
クリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデル

これまでの試験結果をもとに、クリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデルを考えました（下表）。クリーンラーチはカラマツよりも樹高成長が早いため、下刈りは1年早い植栽3年目に完了できます（P8）。機械地拵えにより競合植生の繁茂が抑制され（P10）、植栽木の被覆が少ない場合には（P7）、植栽当年の下刈りも省略可能です。また、クリーンラーチはカラマツよりも野鼠害や病虫害への抵抗性が高いことが知られています。殺鼠剤の使用などにより植栽後の枯損リスクが小さいと判断できれば（P9）、植栽密度を材質が大きく低下しない1,000本/haまで（P12, 13）低減することも可能となります。

クリーンラーチとカラマツの初期保育モデルの施業スケジュール

	0年目				1年目				2年目				3年目				4年目			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
人力地拵、機械地拵（競合植生抑制小） カラマツ			地拵		地拵	下刈				下刈					下刈					下刈
人力地拵、機械地拵（競合植生抑制小） クリーンラーチ			地拵		地拵	下刈				下刈					下刈					省略
機械地拵（競合植生抑制大） カラマツ			地拵		地拵	省略				下刈					下刈					下刈
機械地拵（競合植生抑制大） クリーンラーチ			地拵		地拵	省略				下刈					下刈					省略

※背の高い高茎草本が競合草本で、植栽苗の樹高が2mに到達した時に下刈り完了とするケース。



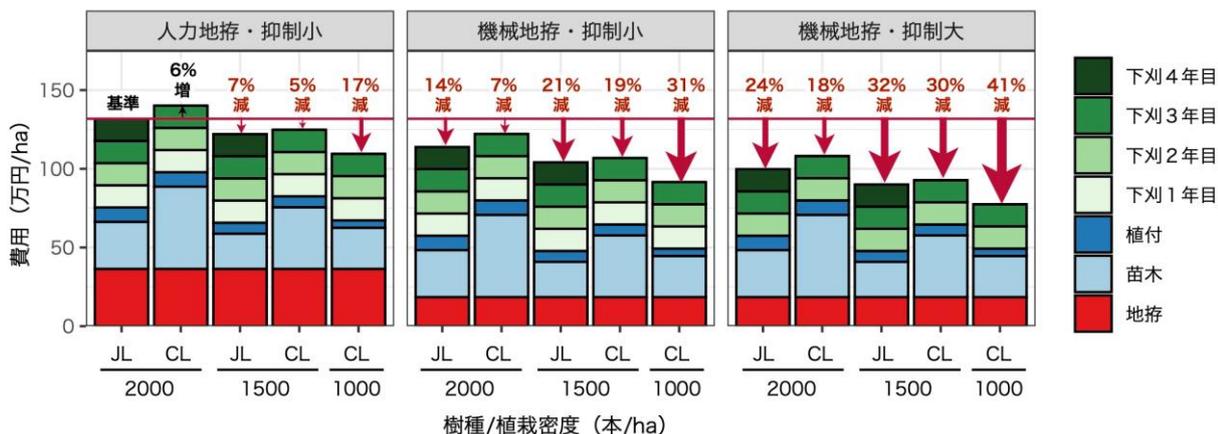
A：バケットによる機械地拵え、B：植栽直後の造林地、C：競合植生に被覆された植栽木、D：下刈り作業、E：植栽3年次に樹高約3mまで成長した植栽木

クリーンラーチコンテナ苗の初期保育コスト試算

クリーンラーチコンテナ苗の初期保育モデルをもとに再造林・保育コストを試算しました。成長が早いクリーンラーチはカラマツよりも1年早く下刈りが完了し、下刈りコストが安くなりました。機械地拵への導入は、地拵えや下刈りコストの削減に繋がります。高い生存率を生かした低密度植栽により、大幅なコスト削減も可能と試算されました。

初期保育コストの試算

前頁の保育モデルをもとに、カラマツ（JL）とクリーンラーチ（CL）コンテナ苗の再造林・初期保育コストを試算しました（下図、表1）。同じ植栽密度で両者を比較した場合、成長の良いクリーンラーチで下刈りコストが低くなる一方、苗木単価が高いため総コストはクリーンラーチでやや高くなりました。機械地拵への導入により競合植生の抑制効果が認められれば、地拵えコストのみならず、下刈りコストの低減にもつながります。クリーンラーチの高い生存率を活かして植栽密度を1000本/haに半減できれば、大幅なコスト削減も可能です。育苗技術の改善（P5）により苗木単価を下げられれば、さらなるコスト削減も期待できます（表2）。



地拵え種別のカラマツ（JL）とクリーンラーチ（CL）コンテナ苗の初期保育コスト比較

表1 コスト試算の各単価と条件

工程	項目	価格	単位	備考
地拵	人力・全刈	364,100	円/ha	平坦地(斜度10°以下)、笹丈2m以下 ¹
地拵	機械・全刈	184,800	円/ha	平坦地(斜度10°以下)、耕耘無、手刈補正有 ¹
苗木	カラマツコンテナ苗・2号規格	149.3	円/本	根元直径4mm上、苗長25cm上 ²
苗木	クリーンラーチコンテナ苗・1号規格	261.3	円/本	根元直径4mm上、苗長25cm上 ²
植付	コンテナ苗・1800本/ha超	91,900	円/ha	傾斜区分共通 ¹
植付	コンテナ苗・1800本/ha以下	69,400	円/ha	傾斜区分共通 ¹
植付	コンテナ苗・1300本/ha以下	47,000	円/ha	傾斜区分共通 ¹
下刈	全刈・年1回刈	140,800	円/ha	平坦地(斜度10°以下)、草・笹丈1m超 ¹

¹北海道令和4年度(2022年度)造林事業標準単価、²令和4年造林用苗木価格表(北海道山林種苗協同組合)

表2 苗木単価が低下した場合の再造林・初期保育コスト（JL：カラマツ、CL：クリーンラーチ）

植栽密度（本/ha）	2000					1500					1000				
	JL	CL	CL	CL	CL	JL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	
苗木単価	現状	現状	1割減	2割減	3割減	現状	現状	1割減	2割減	3割減	現状	1割減	2割減	3割減	
地拵～下刈のコスト	100%	108%	103%	98%	93%	90%	93%	89%	85%	81%	78%	75%	72%	70%	

コストはカラマツ2000本/ha植栽を基準とした相対値。機械地拵で競合植生の抑制効果が大きい場合で試算。

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

カラマツ大苗等の初期保育モデル

佐久と南牧の両試験地における苗木種別ごとの下刈りスケジュールを検討し、初期保育モデルを作成しました。その結果、裸大苗を使用した場合は下刈り回数を従来の半分程度にすることが期待でき、さらに機械地拵えを行い、植生タイプがササなど条件が良ければ下刈りを行う必要がない場合も想定されました。

カラマツ大苗等を利用した場合の初期保育モデル

佐久および南牧の2試験地における3成長期の樹高成長と競合状態（P11）から初期保育モデルを設定しました。競合植生タイプと地拵え方法、植栽木の樹高によって下刈りのスケジュールが変わってきます。佐久では、競合状態から判断すると3年目までほとんどの場合下刈りが必要です。ただし4年目には裸中苗と裸大苗は平均樹高が2mを超えると予想されるため下刈り不要としました。一方南牧では、競合状態が佐久ほど厳しくなく、コンテナ中苗でも3年目には競合植生のクマイザサの高さ（約1.2m）を超えたため、下刈りは2回のみとなりました。

各試験地における植栽苗の種類ごとの下刈りスケジュール

	-1年目		0年目		1年目			2年目			3年目			4年目			5年目					
	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
従来作業	中苗	裸苗	伐出	人力地拵	植栽	下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈
中苗	コンテナ	苗	伐出	人力地拵	植栽	下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		省略		省略
	裸苗		伐出	人力地拵	植栽	下刈		下刈		下刈		下刈		省略		省略		省略		省略		省略
一貫作業 (佐久)	コンテナ	大苗	伐出	人力地拵	植栽	下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		下刈		省略		省略
	裸苗		伐出	人力地拵	植栽	省略		下刈		下刈		下刈		省略		省略		省略		省略		省略
中苗	コンテナ	苗	伐出	グラップル地拵	植栽	下刈		下刈		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略
	裸苗		伐出	グラップル地拵	植栽	省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略
一貫作業 (南牧)	コンテナ	大苗	伐出	グラップル地拵	植栽	省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略
	裸苗		伐出	グラップル地拵	植栽	省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略		省略

※下刈りは競合状態C4+C3が20%以上の場合に実施、平均樹高が2m以上に達したら終了（一貫作業：3年目までは実績、4・5年目は予想）



佐久：1年目の夏
(ウリハダカエデ、ホオノキ、ムラサキシキブ等に覆われている)



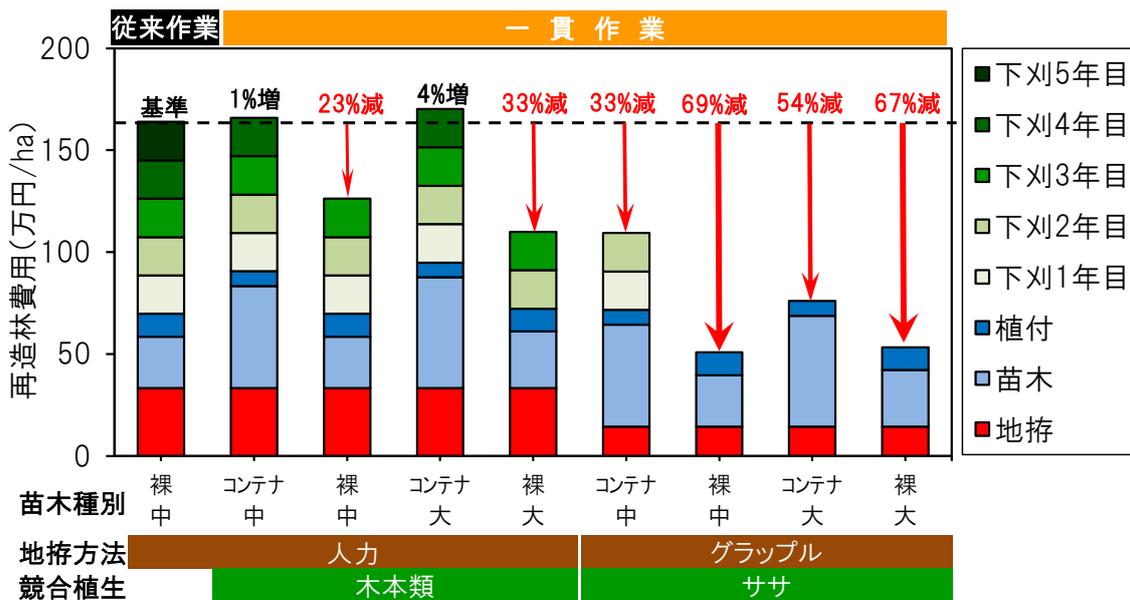
南牧：2年目の夏
(クマイザサからカラマツが抜け出している)

カラマツ大苗等の初期保育コスト試算

佐久と南牧の両試験地において苗木種ごとに試算した造林コストを従来作業と比較しました。人力地拵えであっても裸大苗を植栽することで再造林コストを33%程度削減することが期待できました。また、機械地拵えが可能で競合植生タイプや苗木種などの条件によっては無下刈りでの施業が可能となり、従来より70%近くのコスト削減が期待できます。

初期保育コストの試算

佐久および南牧の2試験地における3成長期のデータから検討した初期保育モデル(P20)による造林コストを試算しました。競合植生タイプと地拵え方法、苗木種別によって下刈りのスケジュールが変わってきます。再造林費用を試算した結果、機械地拵えを行い無下刈りが実現できた場合には、再造林費用は従来の1/3程度に低減できる可能性があります。機械地拵えができず人力地拵えであったとしても、裸大苗であれば従来のコストの2/3程度にできる可能性があります。コンテナ大苗は植栽時の樹高は大きいですが、形状比が高く樹高成長が遅れる傾向が認められたため、育苗時の形状比を改善するなど「植えたらすぐに伸びる」条件を整えることが課題です。



コスト試算の各単価と条件

工程	項目	価格	単位	備考
地拵	人力	332,107	円/ha	功程調査及び諸評価値 ^{1,2} から算出
地拵	グラブブル	143,262	円/ha	功程調査及び諸評価値 ^{1,2} から算出
苗木	裸中苗	110.0	円/本	中 ³ , 苗高35~50cm
苗木	裸大苗	121.0	円/本	特 ³ , 苗高60cm~
苗木	コンテナ中苗	217.8	円/本	中 ³ , 苗高25cm~
苗木	コンテナ大苗	236.5	円/本	大 ³ , 苗高50cm~
植付	裸苗, 2300本/ha	112,072	円/ha	功程調査及び諸評価値 ^{1,2} から算出
植付	コンテナ苗, 2300本/ha	72,555	円/ha	功程調査及び諸評価値 ^{1,2} から算出
下刈	全刈, 年1回刈 ⁴	188,400	円/ha	

¹全林協(2001)機械化のマネジメント, ²長野県(2021)令和3年度林業土木事業設計単価表,

³長野県山林種苗協同組合(2021)令和3年度産県内造林用苗木生産者標準価格表,

⁴長野県林務部(2021)令和3年度信州の森林づくり事業標準単価表

クリーンラーチとカラマツの強度試験

主伐期を迎えた林分のクリーンラーチとカラマツの材強度を比較しました。クリーンラーチの方がカラマツより密度が高く、原木およびラミナの強度試験においても、クリーンラーチの方が強度性能が高い傾向でした。また原木横断面内の製材位置と強度の関係では、樹心付近のラミナより外側のラミナの方が曲げヤング率が高い傾向でした。

原木のヤング率と材密度

北海道日高管内の新冠町にある道有林にはクリーンラーチを含むグイマツ雑種F₁の試験林(図1)があり、皆伐(46年生)の際に原木を入手して、クリーンラーチとカラマツの材質試験を行いました。胸高直径はほぼ同じでしたが、動的ヤング率はクリーンラーチの方が高い傾向となりました(表1)。年輪解析を行うと、年輪幅は両者とも同様でしたが、クリーンラーチの方が各年の密度が高く、統計的に有意差がありました(図2)。

表1 供試木と動的ヤング率

樹種	本数	DBH (cm)	樹高 (m)	原木動的ヤング率 (GPa)
カラマツ	48	30.9 (±6.1)	29.1 (±1.9)	9.3 (±1.1)
クリーンラーチ	45	30.5 (±5.2)	29.0 (±1.7)	11.1 (±1.2)

DBH: 胸高直径 括弧内の数値はS.D. (標準偏差)

ラミナ強度の比較

材長5.5mの元玉の上部2mからラミナを製材し(表2、図3)、人工乾燥後の曲げ試験によって製材位置と曲げ関係を調べたところ、クリーンラーチ、カラマツとも樹心から外周に向かって値が増加する傾向がみられました(図4)。採材位置が同じ場合、クリーンラーチの曲げヤング率はカラマツに比べて有意に大きく、クリーンラーチの強度性能はカラマツに比べて高い傾向にありました。

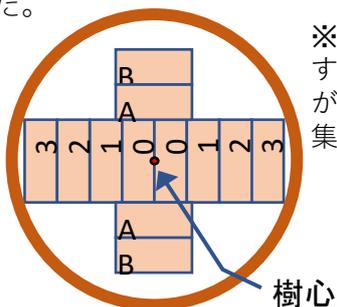


図3 ラミナ番号の付け方

※3、Bより外に位置するラミナもあったが、数が少ないため集計より除外した。



図1 林内の様子(新冠町)

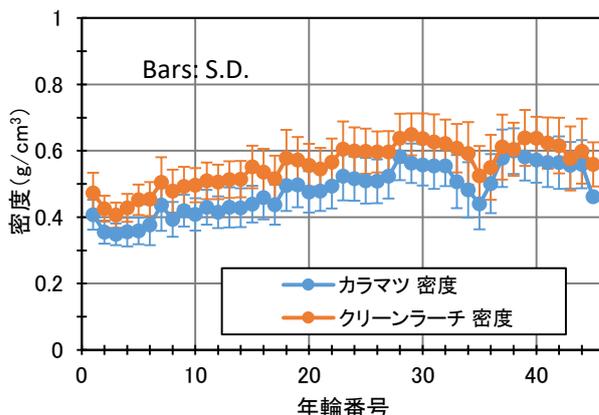


図2 年輪ごとの密度の変動

表2 ラミナ強度試験体数

位置	位置					
	0	1	2	3	A	B
カラマツ	87	96	78	39	79	39
クリーンラーチ	75	81	70	23	70	32

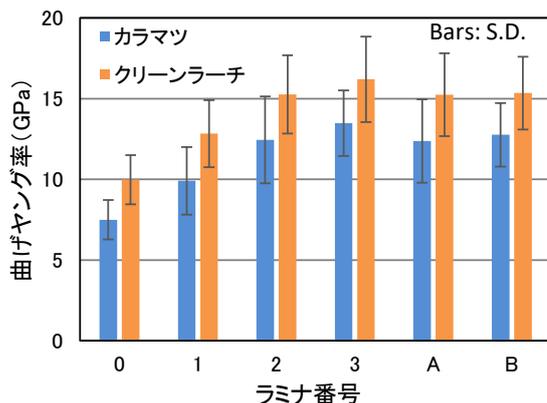


図4 ラミナの製材位置と曲げヤング率

クリーンラーチ版収穫予測ソフト

クリーンラーチはカラマツと比較して、若齢時の樹高成長量が大きいことが明らかとなり、クリーンラーチに対応した樹高成長曲線が構築されました（P14）。これに伴い、カラマツ人工林の林分収穫予測を行うための収穫予測ソフトを構成する関数群のパラメータも修正し、クリーンラーチ版の収穫予測ソフトを作成しました。

収穫予測ソフトの概要

クリーンラーチ用に構築した樹高成長曲線（P14）と既存のカラマツ人工林収穫予測ソフトの基本構造をもとに、クリーンラーチに対応した収穫予測ソフトを作成しました。現段階では伐期を30~40年とすることを想定しています。予測ソフトはExcelを用いて作成しました（図1）。「収穫予測」シートに対象となる林分情報や施業情報を入力し、ある林齢（新規植栽を含めデータ入力可）から主伐までの収穫予測表を作成できます。同時に「施業体系図」シートに施業体系図（図2）が表示され、施業の参考とすることができます。

林分データ		入力セル		収穫予測			
地位指数	24	データありの地位指数	24	植栽本数	1		
種数本数	1000本/ha	※樹高データないときは既定値					
林齢	55年生						
調査面積	0.1ha						
入力方法		間伐スケジュール		主副林木(間伐前)		主林木(間伐後)	
胸高直径階	立木本数	林齢	本数間伐率(%)	平均	ha当たり	立木本数	材積
cm以上	cm未満	年	全層 上層 下層	材積	材積	材積	材積
				本	m ³	m ³	m ³
0	2	10		9.4	0.051	11.4	980
2	4	11		10.3	0.065	12.4	970
4	6	12		11.2	0.080	13.2	960
6	8	13		12.0	0.095	14.0	960
8	10	14		12.8	0.112	14.8	950
10	12	15		13.6	0.130	15.5	940
12	14	16		14.4	0.148	16.1	930
14	16	17		15.1	0.165	16.7	930
16	18	18	33	15.8	0.184	17.3	920
18	20	19		16.4	0.217	18.6	920
20	22	20		17.0	0.238	19.2	920
22	24	21		17.6	0.260	19.8	920
24	26	22		18.2	0.281	20.3	920
26	28	23		18.7	0.302	20.8	920
28	30	24		19.2	0.322	21.2	920
30	32	25		19.6	0.343	21.7	920
32	34	26		20.1	0.363	22.1	920
34	36	27	30	20.5	0.382	22.5	920
36	38	28		20.9	0.427	23.7	450
38	40	29		21.2	0.450	24.2	450
40	42	30		21.6	0.474	24.5	450
42	44	31		21.9	0.497	25.0	450
44	46	32		22.2	0.519	25.3	450
46	48	33		22.5	0.541	25.7	450

図1 地位指数24（基準年次40年）、植栽本数1000本/haの収穫予測例
収量比数0.7を基準とし、全層間伐で材積間伐率33%を上限として試算

林分情報からの地位指数推定

収穫予測ソフトでは、林分の標準調査データなどがある場合、調査時の林齢からの収穫予測が可能です。更に、調査個体の樹高のデータがあれば、「収穫予測」シート（図1）に樹高を入力することで、その林分の地位指数を推定することができます。あらかじめ上層高を計算している場合には、「地位指数」シートに林齢と上層高を入力すると地位指数が計算され、樹高成長曲線が描かれます（図3）。収穫予測ソフトでは、この他にも間伐・収穫時の直径階分布や、造林から間伐までのコストを概算することができます。

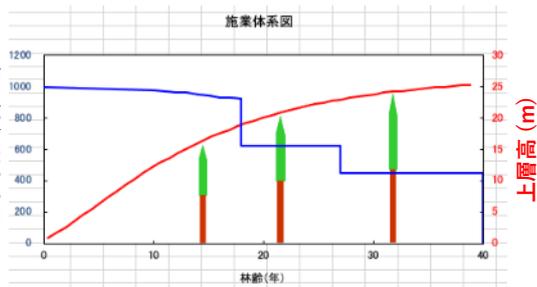


図2 図1の収穫予測から自動的に出力される施業体系図

計算結果		入力セル	
地位指数	24.0	林齢	40 (年)
上層高	24.0 (m)	上層高	24 (m)

林齢	上層高	林齢	上層高
1	0.87	14	14.38
2	1.69	15	15.06
3	2.65	16	15.77
4	3.55	17	16.42
5	4.47	18	17.00
6	5.46	19	17.61
7	6.44	20	18.16
8	7.41	21	18.73
9	8.41	22	19.31
10	9.35	23	19.92
11	10.21	24	20.56
12	11.12	25	21.21
13	12.02	26	21.89
14	12.84	27	22.57
15	13.63	28	23.26

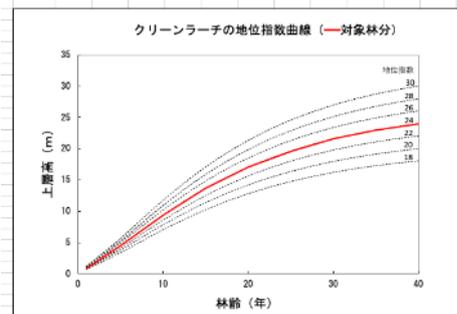


図3 林齢と上層高を入力して地位指数が出力された例
赤線は対象林分の樹高成長曲線を示す。

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

クリーンラーチおよび低密度植栽に対応した施業体系

低密度植栽と収益性をふまえてクリーンラーチ人工林の施業体系を検討しました。伐期を40年に設定し、間伐・主伐時の材価と造林・育林コストを比較したところ、1000本植栽が最も効率が良かったことがわかりました。地位により材価とコストの割合は変化するため、植栽箇所の地位指数が高い場合に低密度植栽を検討することが推奨されます。

施業体系図の作成

クリーンラーチ版収穫予測ソフト（P23）を用いて施業体系図を作成しました。ここでは地位指数24（基準年次40年）の林分を想定し、植栽本数（/ha）が1000本（図1）、1500本及び2000本の施業体系を比較・検討しました。伐期を40年、収量比数0.7程度の中庸仕立てとし、材積間伐率33%（全層）を上限としました。

間伐回数は2000本植栽で4回、1500本植栽で3回必要であるのに対し、1000本植栽では2回となりました。主伐時の平均直径は1000本植栽で28.1cmと最も大きく、本数が多いほど小さくなりました（表1）。2000本植栽では平均形状比が85を超えることが予測され、疎仕立てを検討する必要があることが示唆されました。

植栽本数によるコスト・材価の比較

上記施業体系をもとに間伐・主伐時の採材丸太（全て材長3.65m）について末口径別の出材量を比較しました。末口径15cm以下の丸太は、2000本植栽で最も多く、1000本植栽では20cm以上の丸太がより多く採材できる結果になりました（図2）。

次に造林・育林に係るコストと材価について比較しました。金額は随時変動するため、最も高い値を1として表に示しました。採材丸太の材価では1000本植栽が、コストでは2000本植栽が最も高い値を示し、材価とコストの差額では1000本植栽で最も高く、2000本植栽では赤字となりました（表2）。育成目標にもよりますが、1000本植栽の場合に比較的大径木を得ることが可能で、植栽本数や間伐回数を抑えられることから、コストが安くなることが示されました。「グイマツ雑種F₁植栽密度試験（P13）」でも示したように、林分材積が最大となる植栽本数と大径材が多くなる植栽本数は異なるため、コスト等とあわせて適切な植栽本数・施業を選択することが重要です。

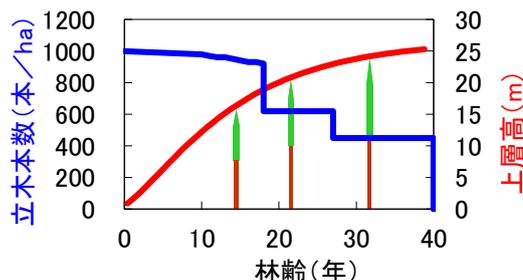


図1 1000本植栽を想定した場合の施業体系図

表1 主伐時における立木の胸高直径と形状比の予測値

植栽本数 本/ha	平均直径 cm	平均形状比 H/D
2000	25.0	85.0
1500	26.1	82.9
1000	28.1	76.8

※形状比の算出には上層高を使用

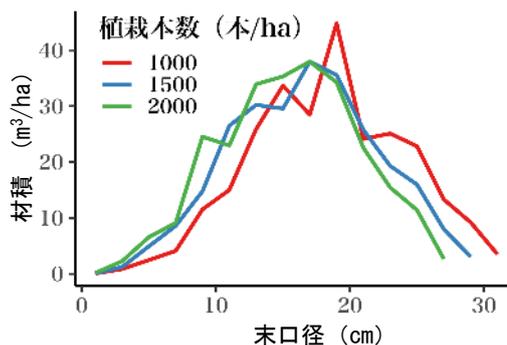


図2 異なる密度で植栽した場合の採材丸太の出材量（予測値）

表2 植栽本数別の材価及びコストの比較

植栽本数 (本/ha)	材価 (相対値)	コスト (相対値)	差額
2000	0.87	1.00	▲
1500	0.92	0.82	0.35
1000	1.00	0.70	1.00

材価：令和4年6月価格参照（サイズの記載の無い場合は、チップとして計算）
コスト：令和4年度造林用苗木標準価格による

参考資料

- ・花岡創、中田了五、福田陽子、玉城聡、加藤一隆 (2021) ギイマツ雑種 F_1 の優良系統で構成された林分における初期成長と成長に対する植栽密度の効果. 北方森林研究 69: 3-6
- ・花岡創 (2021) ギイマツ雑種 F_1 優良系統の初期成長性について. 北の国・森林づくり技術交流発表集 R2: 86-90
- ・HARAYAMA Hisanori, TSUYAMA Ikutaro, UEMURA Akira, KITAO Mitsutoshi, HAN Qingmin, KURAMOTO Shigeo, UTSUGI Hajime (2022) Growth and survival of hybrid larch F_1 (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) and Japanese larch under various intensities of competition. New Forests <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09952-8>
- ・二本松裕太 (2022) 一年生カラマツコンテナ苗の生産に向けて. 長野県林総セ技術情報 166: 2-3
- ・二本松裕太 (2023) 施肥量と育苗密度がカラマツコンテナ苗の形状に与える影響. 中部森林研究 (投稿中)
- ・大野泰之・石濱宣夫・滝谷美香・竹内史郎・八坂通泰 (2019) カラマツ類幼齡人工林における植栽木の生残と成長 - 下刈り期間短縮の可能性を探る -. 光珠内季報 192: 5-7
- ・大野泰之 (2020) クリーンラーチを活用して下刈り期間を短縮する. 山づくり 512: 2-3
- ・大野泰之、原山尚徳 (2022) 日本の林木育種の過去・現在・未来: (1) カラマツ-8 植栽苗の生存率と成長特性から見たクリーンラーチの造林・育林方法. 森林遺伝育種 11: 130-134
- ・大野泰之 (2023) クリーンラーチを使うとカラマツよりも下刈り期間を短縮できるか? -育林コストの低減も見据えて-. 北海道の林木育種 65: 5-9
- ・大矢信次郎 (2019) 再造林を安く確実にを行うには. 長野県林総セ技術情報 162: 4-5
- ・大矢信次郎 (2020) 地拵えの機械化による再造林コストの低減. 現代林業 650: 38-43
- ・大矢信次郎 (2020) 地拵えの機械化による再造林コストの低減. 公設林業試験研究機関研究成果選集 17: 19-20
- ・大矢信次郎・田中裕二郎・柳澤賢一・加藤健一 (2021) 再造林地におけるタラノキの発生状況と利用の可能性. 中部森林研究 69: 31-32
- ・大矢信次郎・倉本恵生・小山泰弘・中澤昌彦・瀧誠志郎・宇都木玄 (2021) 機械地拵えによる競合植生抑制効果と下刈り回数の削減. 森林利用学会誌 36: 99-110
- ・大矢信次郎 (2021) 機械地拵えによる再造林コストの低減 - 生産性の向上と競合植生の抑制. - 岐阜県立森林文化アカデミーyoutubeチャンネル: 育林・造林作業の機械化シンポジウム <https://www.youtube.com/watch?v=a9CcoPOmJ-M>
- ・滝谷美香 (2019) ギイマツ雑種 F_1 の生育状況と収穫予測. 北海道の林木育種 62: 12-15

おわりに

新型コロナウイルスの第1波を迎えた2020年始めから、コロナ禍による世界的な景気後退により一時的に国内の木材需要が減少しました。しかし、その後のワクチン開発や大型の景気対策、加えてロシアのウクライナ侵攻により、「ウッドショック」といわれる外材の供給不足・価格高騰が発生しました。

「ウッドショック」は沈静化しつつあるものの、今回のイベントによりグローバルに動く木材のサプライチェーンの脆弱さが改めて露呈し、収穫期を迎えた国内人工林への注目度が高まり、地域材の安定供給や需給マッチングの重要性が再認識されました。

特にカラマツについては、全国的に素材価格の高値は現在も継続しており、その強度性能の高さから、ロシア産のカラマツ単板や、自給率の低い横架材の原料となるベイマツ・ホワイトウッド等の代替材として期待が高まっています。

国産カラマツの素材生産量は年間約200万m³で、これらの多くは北海道、岩手県、長野県など98万ヘクタールの人工林が担っておりますが、443万ヘクタールを有するスギ人工林と比較すると必ずしも資源は豊富とは言えません。将来においても、我が国のカラマツ林業を持続的なものとするためには、資源の保続や林業の労働力確保、収益性向上だけでなく、カーボンニュートラルなど時代のニーズに応じた技術開発が求められるはずで

す。今回の戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」においては、人口減少や気候変動など新しい時代にマッチしたカラマツ林業の技術開発をターゲットにしています。

本プロジェクトでは、品種改良により従来のカラマツより成長に優れ二酸化炭素固定能が高いクリーンラーチなどカラマツ類を対象として技術開発を実施してきました。

二酸化炭素固定能の高さは、成長速度だけでなく、強度と関係のある材密度にも起因しています。本パンフレットでは、外材に対抗できる横架材などの生産が期待できるカラマツ類の強度など材質特性について紹介しました。

また、植栽時期の平準化や活着率の向上が可能なコンテナ苗の生産効率の改善にもカラマツ類において取り組みました。加えて、初期成長の早さや大苗の活用、地拵え方法の改善による下刈り期間の短縮効果も明らかにしています。これらカラマツ類における成長に優れた苗木の特性を活用しながら、成長や材質、施業コストなど収益性も含めてカラマツ類に適した植栽密度や間伐時期など施業体系を取りまとめました。

本プロジェクトにおける研究成果は、品種改良等によって利用可能になったカラマツ類の種苗を有効活用することで、林業における労働力不足や収益性改善が図られ、伐採後のカラマツの更新がより確実に実施され、我が国におけるカラマツ類の持続的な林業に貢献できることを示しています。本プロジェクトの推進にあたりご協力頂いた関係機関の皆様にご礼申し上げますとともに、本パンフレットが日本のカラマツ林業の持続的な発展に少しでもお役に立てれば幸いです。

北海道立総合研究機構 森林研究本部
本部長 八坂通泰

執筆者一覧（五十音順）・担当ページ

大崎久司	北海道立総合研究機構林産試験場	12, 22
大野泰之	北海道立総合研究機構林業試験場	8, 9, 13-18
大矢信次郎	長野県林業総合センター	10, 11, 16, 20, 21
小川健一	岡山県農林水産総合センター生物科学研究所	6
高森 淳	三井物産フォレスト株式会社	9
滝谷美香	北海道立総合研究機構林業試験場	13, 23, 24
成田あゆ	北海道立総合研究機構林業試験場	5
二本松裕太	長野県林業総合センター	5
花岡 創	森林総合研究所林木育種センター北海道育種場	12
原山尚徳	森林総合研究所	4, 7, 18, 19

編集責任者

大野泰之	北海道立総合研究機構林業試験場
原山尚徳	森林総合研究所
宇都木玄	森林総合研究所（研究プロジェクト代表）



令和5年3月発行
地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林業試験場 森林経営部

〒079-0198 美幌市光珠内町東山
TEL 0126-63-4164 FAX 0126-63-4166
URL <http://www.hro.or.jp/fri.html> Email forestry@hro.or.jp

このパンフレットの掲載内容(本文、写真、図表)について、当研究本部の承諾なしに無断で掲載(翻訳、複写、データベースへの入力、インターネットでの掲載等)することを禁じます。