

エリートツリー を活かす 育苗と育林、 施業モデル



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
エリートツリーと特定母樹	4
本研究のポイント	5

苗木を作る

スギエリートツリー 1 年生コンテナ苗の形状と初期成長	6
施肥濃度を調整して得苗率をあげる	7
気温で育苗作業計画を最適化する	8
コラム：育苗時の秋施肥で植栽後の樹高成長を促進	9
グルタチオン施用の効果を植栽後の林地で探る	10
種子の品質とエリートツリー苗の成長	11

植えて育てる

スギエリートツリー等の苗木は樹高成長がよい	12
樹高成長は植栽場所の影響を受ける	13
植栽場所における樹高成長を予測するモデルを検討	14
植生タイプごとに下刈り要否を判断する	15
適切な下刈りスケジュールを選択する	16
スギの系統と立地を選んで下刈り回数を削減する	17
ドローンを使って下刈り要否を面的に判断する	18
植栽密度の削減は林冠閉鎖を遅らせる	19
シカ被害を軽減させる高下刈り	20
コウヨウザンとノウサギ被害	21

計画を立てる

成長が早いスギの強度性能を解明	22
コラム：普及するには川下の視点も大切	23
3 階建ての施業計画支援ツール I-Forests の開発	24
GIS と連携した施業計画支援ツール (I-Forest.FV)	25
初期保育に特化した施業計画支援ツール (I-Forest.GE & CA)	26
エリートツリーを使った初期保育モデル	27
再造林コストのシミュレーション	28
参考資料	30
低コスト再造林に関する研究資料	31
おわりに	31

表紙写真

- (上) 施肥濃度を変えて育苗したコンテナ苗 (P.7 参照)
(左) スギエリートツリーの植栽試験地 (P.13 参照)
(右) 4 成長期終了後のスギエリートツリー (P.17 参照)

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機械の導入が困難であり、下刈り（保育）も苗木や伐根があるために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り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。そこで本研究では機械に頼らない効率的な造林・保育方法を開発するため、「成長に優れた苗木」を活用することにしました。こうした新しい苗木を植栽することで林業の人力作業を軽減し、私たちが使いやすい健全な森林の造成を目指します。

成長に優れた苗木とは

成長に優れた苗木とは、樹木の品種改良（林木育種）により成長等が改良された「エリートツリー」を母樹として生産した苗木のことをいいます。日本では、昭和 30 年頃からスギ・ヒノキ・カラマツといった主要な林業樹種で成長等の形質が優れた樹木を「精英樹」として選抜しました。「エリートツリー」は、「精英樹」を改良することによって生み出されました。「エリートツリー」は成長性に優れるため、今後の林業に用いる苗木として注目されています。また、カーボンニュートラルの実現に向けて、「みどりの食料システム戦略」（令和 3 年 5 月策定、農林水産省）や新しい「森林・林業基本計画」（令和 3 年 6 月策定、林野庁）に、その活用が位置づけられています。（「エリートツリー」と「精英樹」についての詳しい説明は 4 ページをご覧ください）。

研究の概要

本研究では「成長に優れた苗木」について、コンテナを用いた育苗方法を提案しますが、はじめに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「成長に優れた苗木」が、その成長力を山で十分に発揮できる立地条件を考えます。十分に発揮するという事は、そこに生えている下草との競争を素早く終わらせるという事です。次に様々なスギの系統と、地域で異なる雑草の種類なども考慮した、適切な下刈りスケジュールの作成手法や、現場でのチェックによるスケジュール見直し方法について提案します。このⅡ 齢級までの「成長に優れた苗木」による造林・保育手法に加え、最後に LiDAR や森林簿をデジタル化して、施業プランの作成を補助できるモデルを考案し、これらをまとめて新しいルーツ、「I-Forests」として開発したので紹介します。

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

エリートツリーと特定母樹

エリートツリーとは

成長に優れた苗木とは、樹木の品種改良（林木育種）により成長等が改良された「エリートツリー」を母樹として生産した苗木のことをいいます。日本では、昭和 30 年頃からスギ・ヒノキ・カラマツといった主要な林業樹種で成長等の形質が優れた樹木を「精英樹」として選抜しました。日本の林木育種は、この精英樹を中心に進められてきました。精英樹を試験林（検定林）に植栽して、木の高さや幹の太さといった成長などを定期的に調査し、精英樹の特性を明らかにしました。そして、精英樹のなかで成績が上位だったもの同士を交配して得られた後代の苗木を再度植栽し、それらの成長や雄花の着き方、幹の強度（ヤング率）を改めて調べて、上位のものを第二世代精英樹として開発しました。この第二世代精英樹や今後開発することになる第三世代以降のものも含めて「エリートツリー」と総称しています。

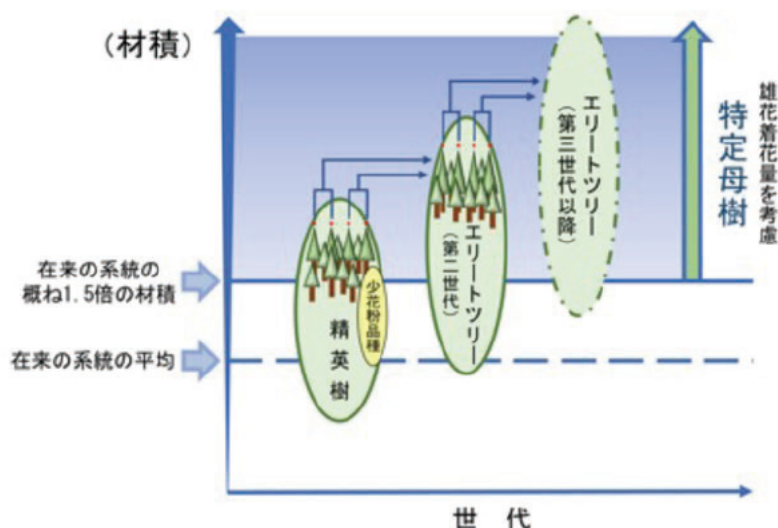


図 1. 精英樹からエリートツリー開発への流れと特定母樹との関係

特定母樹とは

間伐等特措法が平成 25 年に改正され、その際に今後の森林整備に用いる苗木を生産するための母樹として「特定母樹」の制度が設けられました。基準を満たしているものが農林水産大臣により「特定母樹」に指定されます。成長に優れた苗木である「エリートツリー」は、今後「特定母樹」として普及が進んでいくことになります。

エリートツリーと特定母樹の違い

エリートツリーも特定母樹も、成長性、材の強度（剛性）、雄花の着き方によって選ばれている点は同じですが、大きな違いがあるとすれば、成長性と雄花の着き方についてです。成長性については、エリートツリーは、精英樹のグループの中で上位のものを選んでいのにに対して、特定母樹では、単木の材積が従来のシステムの概ね 1.5 倍以上のものを選んでいことです。また、雄花の着き方については、エリートツリーは雄花が多いものを除いているのにに対して、特定母樹では、従来のスギの半分以下のものとしている点です。特定母樹には、エリートツリー以外にも、成長がよい少花粉のスギ精英樹なども指定されています。

本研究のポイント

エリートツリー等の特定母樹を使った造林が身近になってきましたが、その成長特性を生かした上手な活用方法の検討が必要でした。本プロジェクトでは、特定母樹の活用について、「苗木生産」、「育林」および「植栽計画」のパートに分け、それぞれのポイントについて整理しました。「苗木生産」では、実生系統に着目し、発芽のタイミングや施肥の方法についてまとめました。「育林」では、先行的に特定母樹系統の苗木の流通が始まっている九州を主な対象とし、挿木系統の成長に及ぼす立地の影響、下刈り省略の可能性をまとめました。「植栽計画」では、挿木系統の九州をモデルとし、特定母樹を使った計画ツールやコスト削減に関する施業モデルを提案しました。

苗木を作る … 実生品種に絞って



得苗率の向上

- 施肥濃度を適切に調整 (P.7)
- SQI で充実種子を選ぶ (P.11)

気温で育苗スケジュールを最適化 (P.8)

育苗と植栽後の苗木の成長

- 苗木の形状と初期成長 (P.6)
- 肥料やグルタチオンの施用で初期成長を促す (P.9, 10)

植えて育てる … 九州の挿木品種を中心に



エリートツリーの初期成長

- 地位の良い場所で成長能力をフルに発揮 (P.12, 13)
- 成長能力を発揮できる場所を GIS 情報で探る (P.14)

下刈り回数を削減する

- 競合植生タイプで異なる下刈り判断基準 (P.15)
- 地位の良い場所で下刈り回数を削減 (P.16, 17)
- ドローンを使って面的に下刈り要否を判断 (P.18)

計画を立てる … 九州の挿木品種をモデルに



成長の早いスギの強度性能 (P.22, 23)

エリートツリーを使った初期保育モデル (P.27, 28)

植栽計画作成の支援ツールを開発 (P.24)

- QGIS のプラグインを開発 (P.25)
- タブレットで成長予測と下刈り要否を判断する (P.26)

スギエリートツリー 1 年生コンテナ苗の形状と初期成長

スギコンテナ苗育成の留意点として形状比（苗高 / 根元直径）が高いことによる植栽後の成長不良が指摘されてきました。そこで、エリートツリーから採取した種子で 1 年生コンテナ苗を育成し、苗木の出荷規格とその後の樹高、形状比を比較したところ、苗木の形状が初期成長に及ぼす影響は小さく、従来の流通苗同様の苗木形状で良好に成長しました。

出荷規格と形状比の関係

福島県と静岡県のスギに良く適した立地で、出荷規格が植栽後の成長に及ぼす影響について比較しました。植栽時に形状比が高い苗木もみられましたが、おおむね 100 以下に収まっていました。2箇所の事例における出荷規格と形状比の関係は、規格が大きいほど形状比が高い事例（静岡）と関係性が見られない事例（福島）が認められました（図2）。

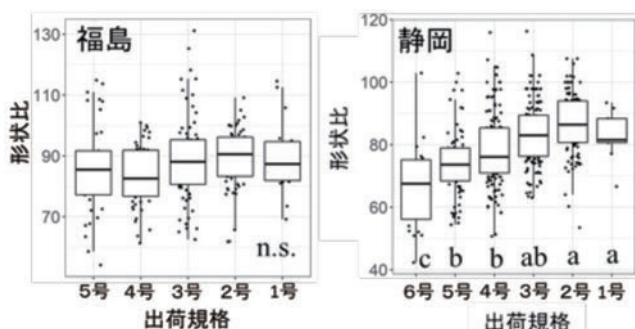


図2. エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格*と形状比**の関係

形状比と3成長期後樹高の関係

3成長期後において静岡ではほぼすべて生残しているため生残率に出荷規格間差はありませんでしたが、福島では5号規格の生残率が低くなる傾向にありました。形状比と3成長期後の樹高の関係について、形状比によって一部統計的に有意な差がみられましたが、形状比と樹高には一貫した傾向はみられず、いずれの形状比の苗木もほぼ同様に良好な初期成長を示していました（図3）。

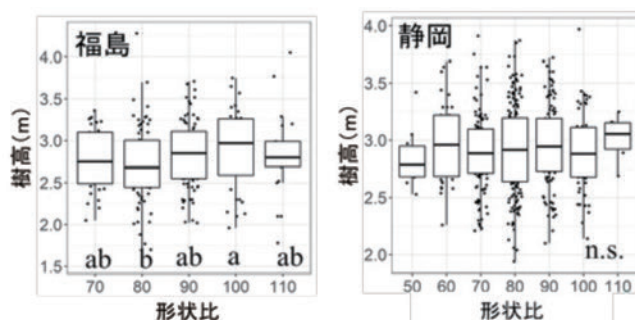


図3. エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格別（上図参照）の形状比と3成長期後の樹高の関係

出荷規格と3成長期後樹高の関係

出荷規格と3成長期後の樹高の関係について、各出荷規格の苗木の中央値は大きい出荷規格で高くなり、一部では統計的に有意な差がみられました。しかし、各規格間の樹高の分布の重なりは大きく、3年間で樹高に大きな差がなくなったと言えます（図4）。今回のような成長に適した立地では大半の個体が3成長期後に下刈りを終了できる2.5mを超える樹高^(P.15)となり、エリートツリーは成長の良い苗木であることが確認されました。

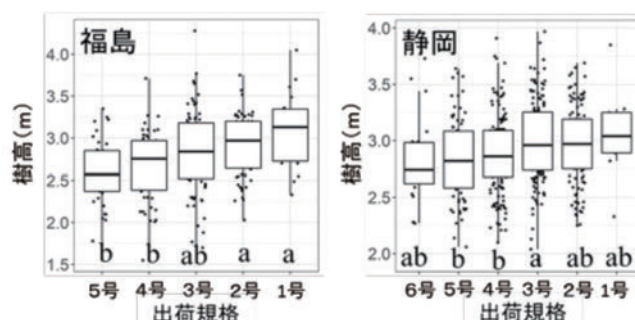


図4. エリートツリーから採取した種子によるコンテナ苗の出荷規格と3成長期後の樹高の関係

試験地のうち福島は林木育種センターが調査し、静岡は静岡県が調査した。両試験地とも年1回下刈り（全刈り）。いずれの図においても、図中の同一アルファベットをもつ出荷規格間および形状比間に有意差はなく、また、n.s.は全比較において有意差がない（Bonferroni調整した総当たりのWilcoxonの順位和検定）。*出荷規格は、令和4年度の林野庁山林用主要苗木標準規格。**形状比は苗高（樹高）を根元直径で除した値で、図2の横軸の各目盛は、±5の幅の階を示す。福島および静岡の形状比はそれぞれ出荷前および植栽直後の測定値から形状比を算出。

施肥濃度を調整して得苗率をあげる

1 成長期で播種から出荷までを行う 1 年生スギコンテナ苗の育成について、基本培土をヤシガラとした場合を事例とし、その元肥の施肥濃度を検討しました。調査の結果、育苗環境ごとに得苗率が高い元肥の施肥濃度が存在しました。また、育苗環境の温度により肥料混入量の調整が必要なことわかりました。

育苗環境ごとに得苗率の高い施肥濃度が存在する

島根県でコンテナ苗に移植した芽生えについて、17 通りの元肥の施肥濃度で育苗試験を行いました。育苗終了時の芽生えの生残率、出荷可能な値以上の苗高、根元直径および根鉢形成率から施肥濃度ごとに得苗率を算出し、それぞれを曲線で近似しました(図5)。まず、施肥濃度の上昇に伴い苗高と根元直径が大きくなることで得苗率が向上し、ある濃度を境に生残率が急激に下降した結果、得苗率が低下しました。コンテナ苗育成事業への新規参入者や、最適な施肥濃度を過去に検討していない生産者は、それぞれの育苗環境に適した施肥濃度を検討されるとよいでしょう。

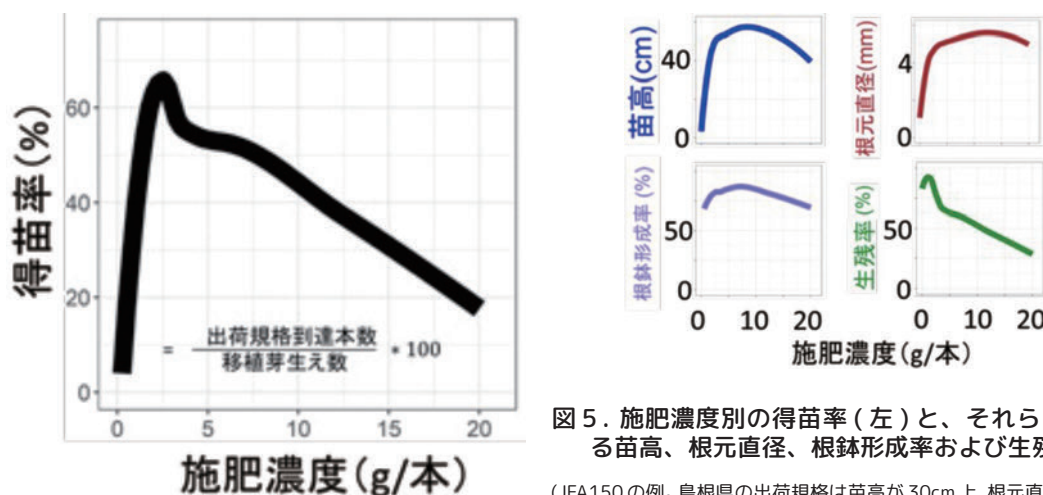


図5. 施肥濃度別の得苗率(左)と、それらを構成する苗高、根元直径、根鉢形成率および生残率

(JFA150 の例。島根県の出荷規格は苗高が 30cm 上、根元直径が 3.5mm 上、根鉢形成は根が表面積の 35% 以上)

施肥は涼しい地域は多めに、暖かい地域は少なめに

本研究には様々な地域の試験研究機関が参画しており、各地域でスギコンテナ苗の育成に適した施肥設計を試行しました。その結果、複数機関で、芽生えやセル苗を移植して 1 成長期育苗すれば出荷規格を満たす苗木を生産することに成功しています。ここで得られた各担当者の経験に基づき、1 年生コンテナ苗を育成するためのお勧めの元肥の施肥濃度を集約し、夏季平均気温と肥料の溶出指数(肥料の溶出具合)の関係を調べると、暖かい場所ほど溶出指数が小さい施肥設計となっていました(図6)。緩効性肥料は、同じ製品であっても、暖かい場所ほどより短期間に高濃度に養分が溶出する特性を持っています。この溶出指数と夏季平均気温の関係から、気温が高い地域では、肥料焼けしないように緩効性肥料を少なめに施用している傾向が認められます。

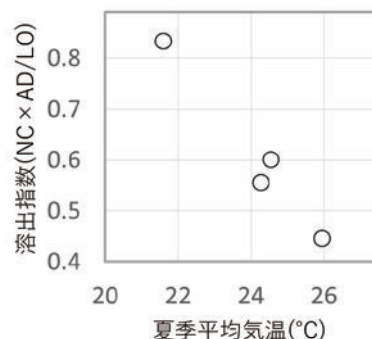


図6. 夏季平均気温と溶出指数の関係

溶出指数はメーカーが表示している窒素含有率(%, NC)と溶出期間(日, LO)と各地での使用量(g/培土, AD)から算出した窒素の溶出度合いの指数。夏季平均気温は近傍測候所の 2018 年~2021 年の 6 月 1 日から 9 月 30 日までの気温の毎時測定値の平均値

気温で育苗作業計画を最適化する

気温を元にしてスギコンテナ苗の生育状況を予測できると、苗木生産事業のための各種作業に必要な人員の確保や苗木の需給調整を効率的に行うことができると考えられます。そこで、種子発芽時期および苗高成長と温度との関係を調べました。今回の成果から、気象庁が公開している気温データによる作業計画の策定が可能になると期待されます。

種子発芽に必要な積算温度

実際の苗木生産事業に近い環境環境において、エリートツリーのスギから採取した同じロットの種子を、全国6機関で3月上旬に播種し、発芽までに要する期間と気温の関係を調査しました。発芽までに要した日平均気温の積算値は、全国的に概ね 350 ~ 500℃・日の範囲(図7の赤枠)にあり、積算温度から発芽時期を予測可能と考えられました。それぞれの苗木生産現場において、過去の作業日誌と近傍の測候所等の気温データを照合して芽生えが出そう時期を予測することで、芽生えの移植に投入する人工数の確保を計画的に行うことが可能になるものと考えられました。

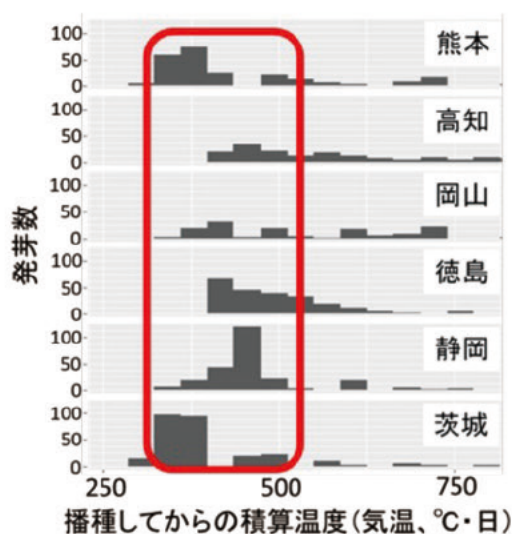


図7. 積算温度と発芽数の関係

3月上旬に播種。積算温度は毎時測定した気温の日平均値を算出し、そのまま積算した値。

苗高成長は気温の積算温度と直線的に関係している

育苗期間と植物体の成長の関係は、従前から成長曲線へのあてはめによる表現が試行されてきました。しかし、曲線を形作るパラメータの推定には専門的な技術が必要です。本研究では、1年生コンテナ苗の育成において、横軸に積算温度、縦軸に苗高をとると、傾きの異なる2つの直線で苗高の経時変化を表現でき、移植後の芽生えが積算温度に対して右図のふたつの勾配で伸長することが分かりました(図8)。従って、近傍測候所等の過去の気温のデータから積算温度を算出し、芽生えの高さと移植する日を設定することで成長休止期までに到達できる苗高が推定できると考えられました。なお、現在取得中のデータによると、上記の直線の勾配は、育苗環境、施肥設計、生産された採種園により異なることがわかっています。そのためこうした育成スケジュールを策定するためには、公的試験研究機関などと連携して、地域ごとに関係式を明らかにする必要があります。

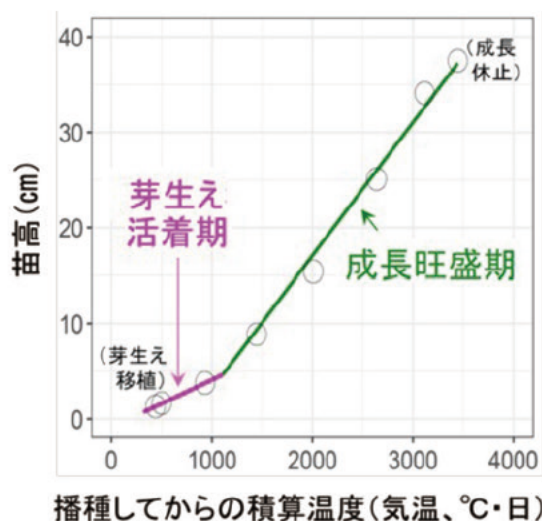


図8. 積算温度と苗高の関係

茨城県日立市の事例。積算温度は毎時測定した気温の日平均値を算出し、5度を減じた値の積算値。横軸の零点は播種日。3月上旬に播種し、4月中旬に芽生え移植。10月末以降は伸長成長が観察されなかったため、解析には10月末までのデータを使用。

コラム：育苗時の秋施肥で植栽後の樹高成長を促進

コンテナ苗は裸苗と異なり、養分を吸収できる培地が根鉢の容量に制限されます。そのため、培地中の養分量を施肥により適切に管理する必要があります。育苗中に施用された元肥や追肥の肥効期間が過ぎると、苗木の緑色が明らかに薄くなります。コンテナ苗が規格に達していたとしても、養分不足で葉色が悪い場合、植栽後の初期成長が抑制されることが危惧されます。一方、地域によっては生育期間中に肥料を多く与えると徒長する場合があります。そこで、徒長を抑制しつつ、植栽時まで苗木の樹体内に養分を維持することを目的として、成長終盤の秋の追肥（秋施肥）に着目し、追肥量と追肥時期がスギコンテナ苗の形状と植栽後の成長に及ぼす影響を調べました。300cc のコンテナを用いて、元肥としてメーカー表示の肥効期間 100 日の緩効性肥料 1.8g/ 本（6g/ 培地 1 リットル相当）を 6 月上旬に与え、元肥の肥効期間が終了する 9 月上旬に元肥と等量（早い多い）及び元肥の 10 分の 1（早い少ない）の追肥、またその 1 ヶ月後の 10 月上旬に同様の処理（遅い多い）及び（遅い少ない）の追肥処理を行いました。育苗終了時の苗高は、早い時期に多く追肥をした場合に高くなり、遅い 10 月上旬の追肥では量が多くても顕著な徒長はみられませんでした（図 9 (A)）。また、翌春 3 月の苗木の地際直径は追肥が多い場合に大きくなることがわかりました（図 9 (B)）。育成したスギコンテナ苗を苗畑に植栽した結果、多く追肥した個体は、追肥時期によらず、植栽 1 年目の期末の樹高が高くなりました（図 10）。この樹高差は、植栽 2 年目の期末にも引き続き認められました。苗畑での試験結果ですが、育苗時の秋施肥により植栽後の初期成長が促進されることがわかりました。現在、国有林において同様の植栽試験を実施中です。今回の施肥量は追肥を併せても 3.6g/ 本ですので、多すぎる施肥量ではありません。元肥と追肥の量、追肥のタイミングを工夫することで、コンテナ苗のサイズの調整と植栽後の初期成長の促進を、より効果的に行うことが可能になると考えられます。

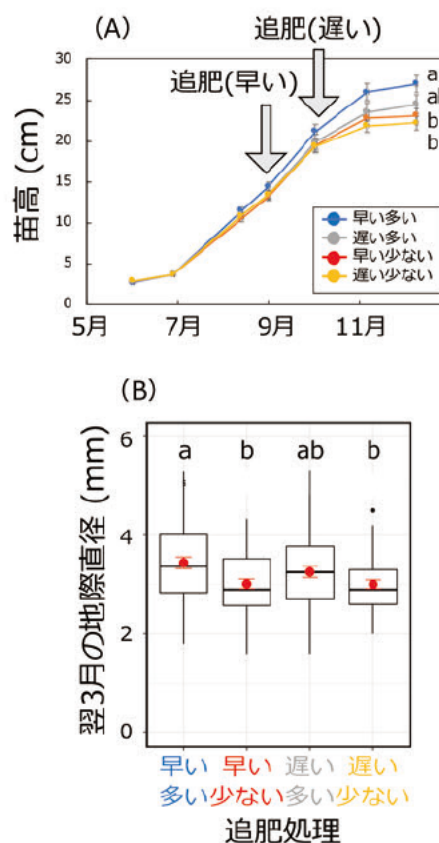


図 9. スギコンテナ苗育苗時の苗高の変化 (A) と、翌 3 月の地際直径 (B)

茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑ビニールハウスでの育苗試験の事例。4 月上旬に播種し、同月に発芽した苗を 5 月 28 日にコンテナ移植。

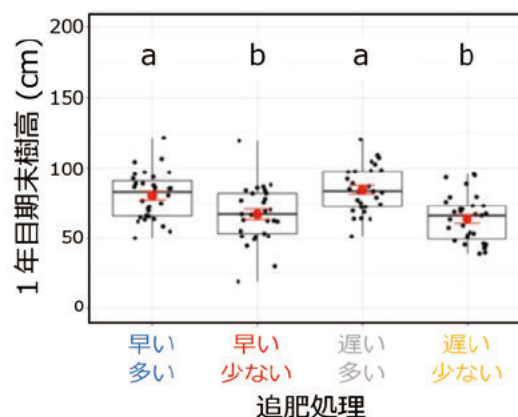


図 10. スギコンテナ苗植栽後 1 年目の期末樹高
茨城県つくば市の森林総合研究所苗畑での植栽試験の事例。

グルタチオン施用の効果を植栽後の林地で探る

酸化型グルタチオン (GSSG) は、多くの植物の成長促進に有効なことが認められています。そこで、スギの造林地への施用効果について検討しました。GSSG を含む肥料で育苗したスギの苗木は、植栽後の生残率が高く、樹高成長も GSSG を施用しない場合に比べて早くなりました。

育苗時の使用で、植栽地での生存率アップ

造林地での植栽木の活着不良による補植等の追加作業は経営に大きな影響を与えます。そこで、酸化型グルタチオン (GSSG) 施用試験をスギの第一世代精英樹 (中之条2) に対して行い、愛媛県に植栽しました。育苗時に GSSG を施用した苗木 (育苗時○) は、植栽後の生残率が高いことがわかりました。特に育苗時と植栽時に GSSG を施用した場合に生残率が高く、グラフに示した試験地では、生残率は 100% でした (図 11)。育苗時に GSSG 施用しなかった場合は、徐々に生存率が低下しましたが、下刈りまでに雑草木との競争に負けた個体が増加した結果です。

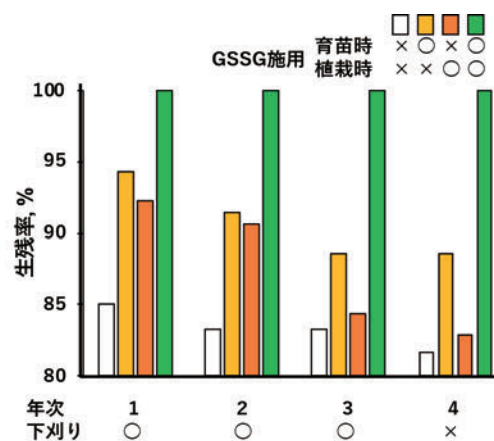


図 11. GSSG 施用の有無による植栽した苗木の生残率

GSSG 施用で樹高成長量増加

植栽時の GSSG 施用は、生残率だけでなく、樹冠面積、樹高成長にも効果が現れました。生残個体だけの樹高成長量を示すグラフ (図 12) では GSSG 施用によって樹高成長が早いことがわかります。3 年次の樹高の割合をみると、育苗時に GSSG 施用した場合はおよそ 7 割以上の個体が 150 cm の高さを上回っています (図 13)。生残率も確保して確実な成長効果を得るには、育苗時と植栽時の GSSG 施用が重要です。今後、確実な GSSG の施用効果を得るためには、地域に応じた様々な立地環境と施用条件の関係の解明が必要となってきます。

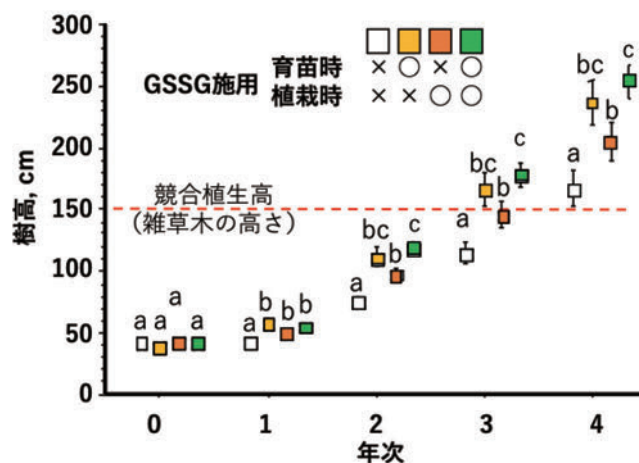


図 12. GSSG 施用の有無による植栽した苗木の樹高推移

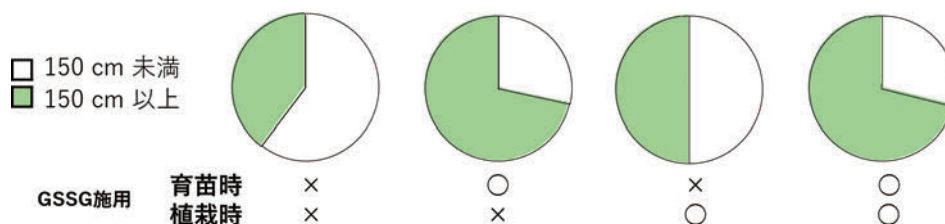


図 13. GSSG 施用の有無による樹高 150cm を基準とした 3 年次の樹高分布の割合

種子の品質とエリートツリー苗の成長

非破壊的に測定できる種子品質を表す指数である SQI によって、苗木の成長が異なることが明らかになってきました。SQI を基にして種子品質グレードを定めると、同じグレード内での成長のばらつきは小さく、得苗率の向上が期待できました。また、エリートツリー由来の種子品質は良く、従来の精英樹や少花粉系統の実生苗に比べて、苗の成長が早いことも分かりました。

SQI 値と苗木の成長

近赤外分光画像を取得することで種子品質を表す指数である SQI を知ることができます。この SQI 値が低い方が、育苗段階での苗木の平均的な成長速度が早いことがわかりました(図 14)。一般的に配布されている種子は右グラフの種子品質グレード A から H が混在しており、成長は大きくばらつきます。また、山行苗のサイズ(苗高、根元直径)も同様にばらつきます。種子のグレード選別を行えば、苗の成長のばらつきを抑えて得苗率をあげることができると期待されます。

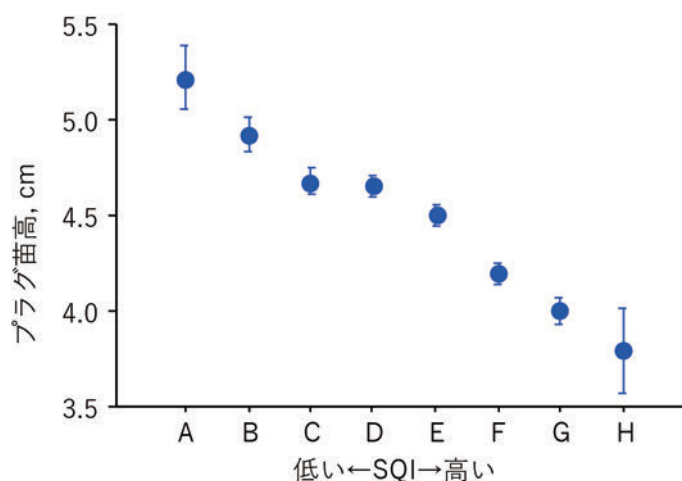


図 14. SQI 値に基づく種子品質グレードとプラグ苗高との関係

エリートツリーを母樹とする種子の SQI

エリートツリー 21 系統、少花粉 6 系統の平均 SQI 値と平均プラグ苗高の関係を調べると、エリートツリーを母樹とする種子の方が平均的な SQI が低く、苗高は高い傾向でした(図 15)。また、上述のプラグ苗の苗高でグレード分けしてコンテナに移植した結果、良いグレードほど一年次のコンテナ苗の高い成長が見込めることが分かりました(図 16)。従って、エリートツリー系統を母樹とする種子を用いることで、より効果的な育苗が可能になると期待されます。

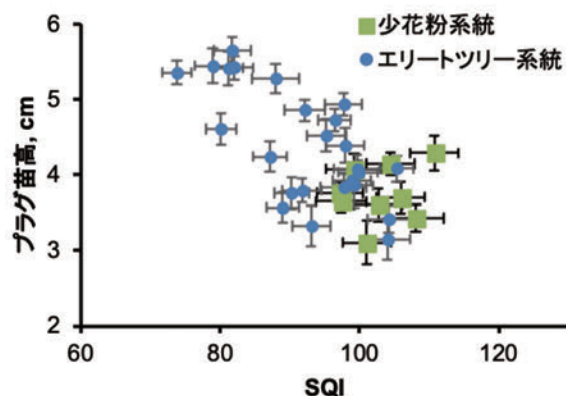


図 15. 実生プラグ苗高と SQI 値の関係

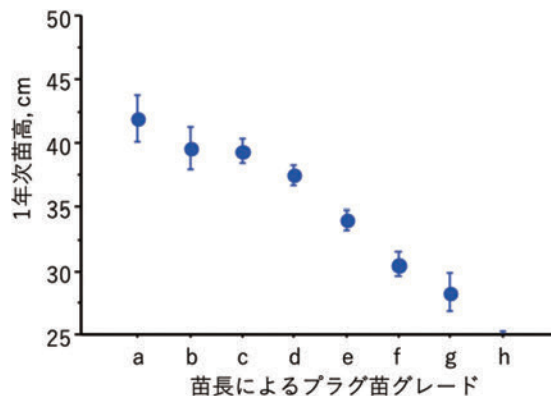


図 16. プラグ苗の苗長に基づく等級(グレード)分けと1年次秋のコンテナ苗の苗高の関係

スギエリートツリー等の苗木は樹高成長がよい

スギエリートツリーの苗木は、初期の樹高成長に優れていることが期待されます。そこで、試験地に植栽されたスギエリートツリーのさし木苗の系統ごとの樹高成長を調べました。各系統の樹高成長には差がありましたが、いずれの系統も既存の系統に比べて遺伝的に樹高成長が優れていることがわかりました。

さし木苗から推定される樹高成長の遺伝的能力

九州地方の8試験地（図17）に植栽された、スギエリートツリーのさし木苗9系統の3年次の樹高を調べました。いずれの試験地でも樹高成長の系統間順位は同様であり、樹高成長には遺伝的要因が大きいことがわかりました。また、3年次の平均樹高は、試験地によって差が見られましたが、いずれの系統も各試験地の既存系統を20～60%上回っていました（図18）。これらのことからスギエリートツリーの苗木は、遺伝的に樹高成長が優れていると考えられました。



図17. 試験地の設定箇所

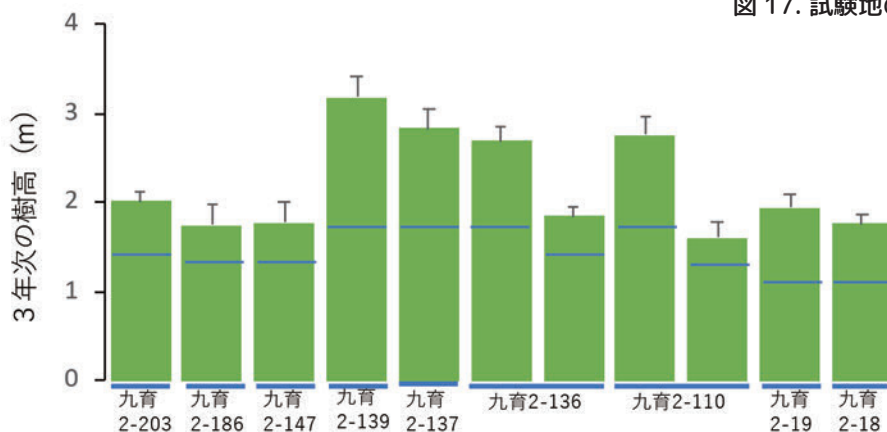


図18. 九州地方8試験地に植栽されたスギエリートツリーさし木苗の樹高
(各バー内の横線は各試験地の既存系統の樹高を表す)

実生コンテナ苗の樹高成長

東日本の5試験地に植栽された、スギエリートツリーの実生苗の3年次の樹高を調べました。スギエリートツリーの実生苗の初期の樹高成長は良好で、適地と考えられるスギの伐採跡地に植栽した3年次の樹高が、九州のさし木苗と同様に3mに近づく事例がみられました（図19）。一方、前生樹がヒノキの場合は樹高成長は悪く（図中の茨城）、適地に植栽することがエリートツリーの性能を十分に発揮するために重要であることがわかりました。

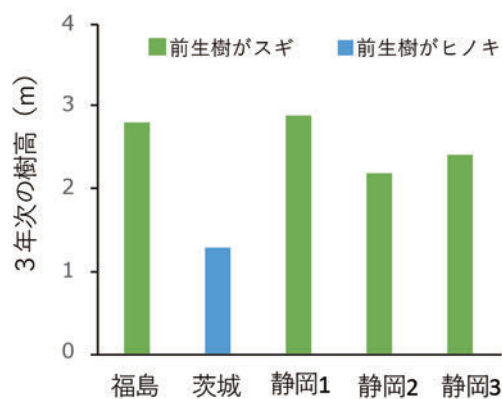


図19. 東日本の5試験地に植栽されたスギエリートツリー実生コンテナ苗の樹高

樹高成長は植栽場所の影響を受ける

スギ苗木の樹高成長は、マクロな立地環境要因とともに、ミクロな要因の影響を受けます。試験地に植栽されたスギエリートツリーのさし木苗の樹高成長とミクロな要因との関係を検討した結果、樹高は TWI^{*1} の影響を最も強く受けていること、また、その関係性は系統によって違うことがわかりました。

試験地内の斜面位置と樹高成長

立地環境要因には、マクロな要因（標高、気温、降水量、日照時間等）やミクロな要因（土壌、TWI^{*1}、TPI^{*2}等）があり、苗木の成長は立地環境要因の影響を受けることが知られています。熊本県内のスギエリートツリーのさし木苗試験地においても、スギ苗木の樹高成長に違いが見られ（図 20）、斜面位置のミクロな立地環境の影響を受けていると考えられました。スギ苗木の樹高成長とミクロな要因（TPI、TWI、土壌 A 層深等）との関係を検討した結果、樹高成長は TWI の影響を最も強く受けていることがわかりました。しかし、林地によって環境要因の影響の度合いは異なる可能性があります。今後、多くの事例を収集し、さらに要因の影響を検討していく必要があります。

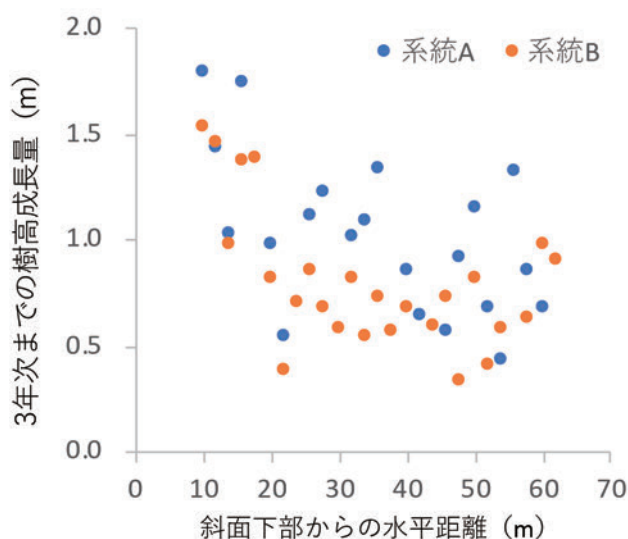


図 20. 熊本県内の同じ植栽地における、2 系統の苗木の斜面位置と樹高成長との関係の例

TWI と樹高成長との関係

TWI は苗木の植栽位置を精密に把握することにより、国土地理院の数値標高モデルから個体ごとの値を計算することが可能です。宮崎県内の試験地において、スギエリートツリーのさし木苗の TWI と 3 年次の樹高成長量との関係を調べました。スギエリートツリーのさし木苗の樹高成長は TWI と正の相関を持つ系統（系統 A）と持たない系統（系統 C）があり、それらの系統の間では、高い TWI の場所で成長の差が大きくなり、低い TWI の場所では成長の差が小さくなると考えられました（図 21）。

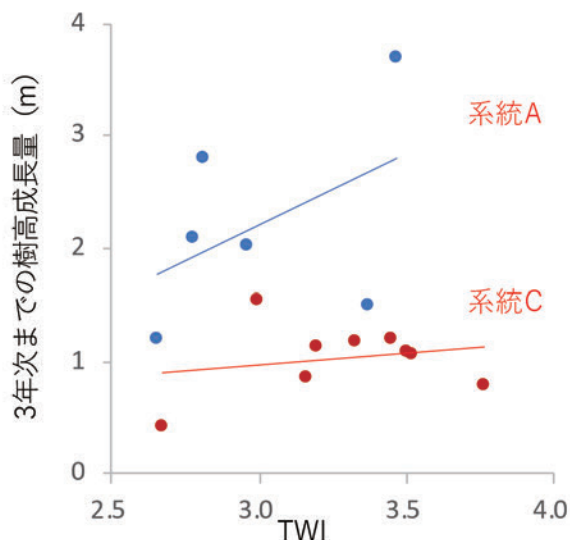


図 21. 宮崎県内の同じ植栽地における、2 系統の苗木の TWI と樹高成長量との関係の例

^{*1}TWI(Topographic Wetness Index): 土壌水分量の指標で値が大きいほど、湿潤なことを示します。

^{*2}TPI(Topographic Position Index): 地形指標の一種で、正の値をとれば尾根状の地形であることを、負の値をとれば谷状の地形であることを示します。

植栽場所における樹高成長を予測するモデルを検討

スギエリートツリーのさし木苗の初期成長を知るため、試験地の苗木の樹高と苗木の精密な植栽位置から得られる TWI を説明変数として、植栽場所における初期の樹高成長（1 年次から 8 年次）を表現するモデルを検討しました。

スギの初期樹高成長のモデルを検討

苗木の樹高と苗木の精密な位置から得られる TWI を説明変数として、初期の樹高成長（1 から 8 年次）を表現するモデルを検討しました。検討の結果、ある年次の樹高は、成長時間軸（年次）を説明変数とし、TWI を加えた非線形モデルの当てはまりが優れていました。この基本となるモデルに新たなパラメータとして系統と個体の効果を加え、系統の樹高成長にフィットするモデル式を構築しました。このモデルにより、各系統の初期樹高成長に関する TWI への応答性の違いを表現できるようになりました（図 22）。さらにスギエリートツリーの初期樹高成長が、通常のスギの樹高成長よりも早い場合が多いことが、このモデルからもあきらかになりました。

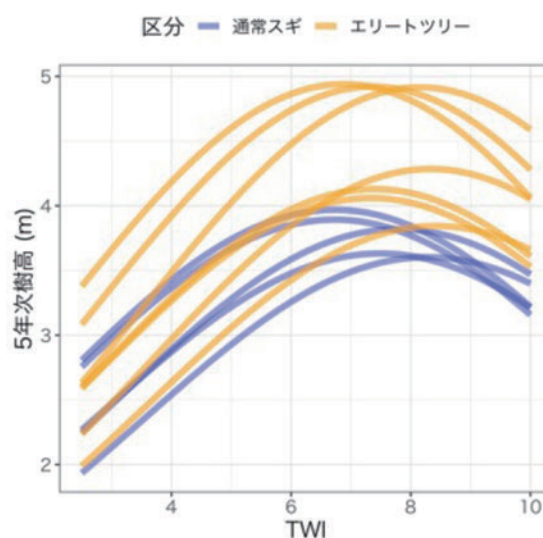


図 22. TWI と 5 年次樹高予測値との関係

（橙色の線はエリートツリーの、青色の線は通常スギ（10 年次の樹高評価が平均程度の精英樹）の平均的な植栽地における値）

植栽場所におけるスギの初期樹高成長を予測するには

構築したモデルにより、平均的なスギの成長を示す植栽地における TWI ごとの各系統の初期樹高（1 から 8 年次）を表現できます（図 23）。水分条件が悪い（TWI が小さい）場所では、系統区分間の差は明瞭ではありませんが、水分条件が良い場所では差が明瞭になります。植栽した苗木の成長は、TWI のような局所的な環境条件以外に、土壌深や斜面方位、日照時間、気温、降水量等の環境条件にも影響されます。系統ごとのスギの初期樹高成長を任意の植栽場所で予測するには、植栽地の地位指数や前生樹の平均樹高等の情報を加えて、樹高成長の予測精度を上げることが必要となります。

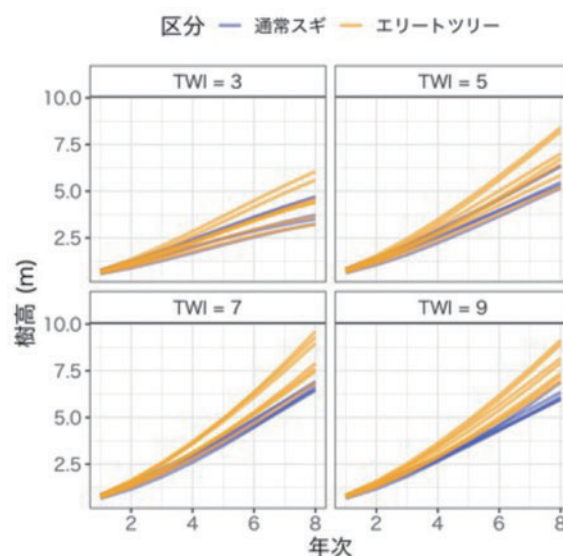


図 23. TWI ごとの年次と樹高予測値との関係の例

（橙色の線はエリートツリーの、青色の線は通常スギ（10 年次の樹高評価が平均程度の精英樹）の平均的な植栽地における値）

植生タイプごとに下刈り要否を判断する

植栽したスギの樹高成長は、スギの梢端部が埋もれた時に顕著に低下することがわかっています。そこで、スギが競合植生に覆われなくなる樹高を調べました。また、下刈り終了後に再び木本性の競合植生に覆われないのかについて調べ、競合植生のタイプごとに、下刈り要否を判断する樹高の目安を明らかにしました。

競合植生タイプを考慮した毎年の下刈りが必要なスギの高さ

下刈り後、競合植生が1年間に成長する高さをスギの樹高が超えると、“毎年”の下刈りは不要になります。下刈り1年後にスギの梢端部が競合植生より抜き出するためには、スギの樹高が、ススキ型で2.2m、落葉広葉樹型で1.3m、キイチゴ型で1.5m以上になることが必要です(図24)。つまり、造林地の競合植生タイプを判断し、スギがこの高さに達するまでは、毎年下刈りを行った方が、スギの成長低下を防ぐことができます。また、ススキ型やキイチゴ型など、下刈り省略後に植生高が高くないタイプでは、ここに示したスギの樹高が下刈り終了を判断できる目安となります。

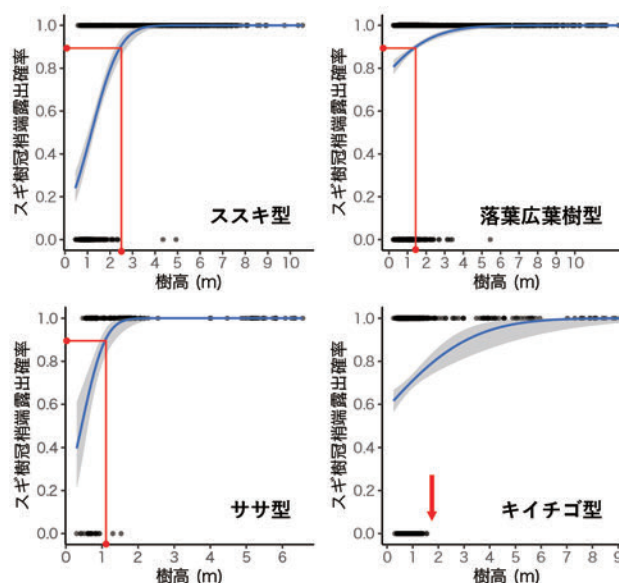


図 24. 競合植生タイプごとスギ樹冠梢端部の露出確率(山川, 未発表)

落葉広葉樹型植生下刈り終了の目安を考える

アカメガシワやクサギなどの小高木になる木本性の競合植生が繁茂する造林地では、下刈り終了後にスギと共に競合植生も高くなります。そのため、下刈りの“終了”の判断には、スギと競合植生の成長量を予測することが重要です。宮崎県南部の落葉広葉樹が繁茂する造林地では、スギの高さが1.3mを超え、かつスギの梢端部が競合植生から70cm以上抜き出ていると、その後2年間下刈りを省略しても再び競合植生に覆われることはありませんでした(図25)。つまり、スギの高さが1.3m程度を超え、スギの樹冠が競合植生から70cm以上抜き出ている状態が下刈り終了の目安となりそうです。ただし、これらの数値は競合植生や立地の違いによって変わる可能性があります。そのため、それぞれの地域で状況をよく観察し、今回示したような視点で分析することが必要です。

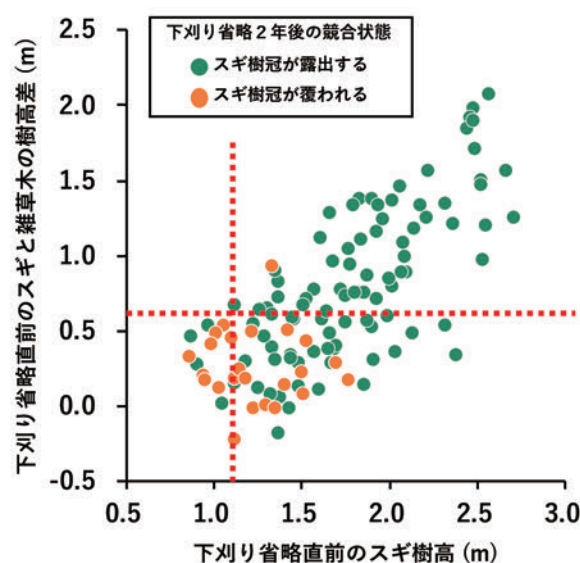


図 25. 下刈り省略前の樹高・競合植生との樹高差と省略後のスギ樹冠の露出の関係(山川, 未発表)

適切な下刈りスケジュールを選択する

植栽場所に応じた下刈りスケジュールを選択することが、植栽木の成長を低下させずに下刈り回数を削減する鍵です。立地や系統によってスギの成長は異なります。スギ植栽木の成長の良い立地を選び、特定母樹など成長に優れた苗木を利用することで、下刈り回数を削減できる可能性があることがわかりました。

スギの初期成長から下刈りスケジュールを考える

九州内のスギ造林地 194 箇所を調査し、10 年次までの樹高成長曲線を作りました（図 26）。立地によってスギの初期成長が大きく異なることがわかります。仮にスギ樹高 2m を下刈り終了と設定すると、成長が中庸な場所で 4～5 年次まで下刈りが必要で、成長が良い場所だと 3 年次で下刈りが終了できることがわかります。つまり、九州において成長が良い場所では 2 回程度下刈りを省略できる可能性があります。このように、スギの成長に応じて下刈りスケジュールを判断することが重要です。

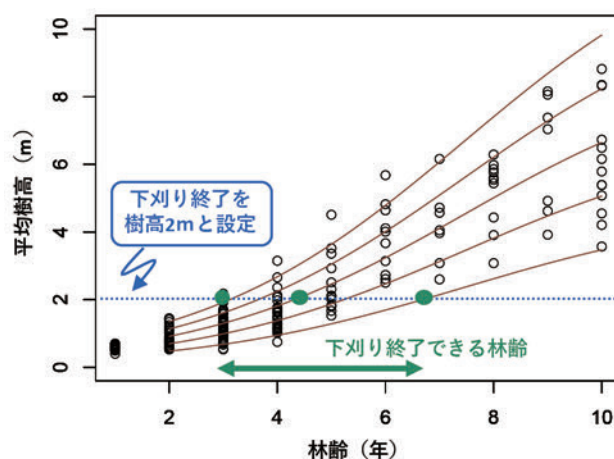


図 26. 九州におけるスギ在来系統の 10 年次までの樹高成長曲線（山川ら、未発表）

特定母樹・中苗で下刈りを省略できた優良事例

熊本県人吉市にスギ特定母樹「県始良 20 号」の中苗（通常より大きな苗；苗高 90cm 程度）を植栽し、2 年目まで下刈りを行い、その後は下刈りを省略しました。植栽木は 2 年後には平均で 2m を超え、下刈り省略後もアカメがシワなどの木本生の競合植生に追いつかれることはありませんでした（図 27）。つまり、特定母樹やサイズの大きな苗を用いることで、立地環境などの条件が揃えば、下刈りを 2 回で終了できる可能性があることがわかりました。

山をよく観察しよう

立地によってスギの成長が異なるのと同じように、競合植生の成長量も変わります。そのため、当初に作った下刈りスケジュール^(P.27)が正しいとは限りません。地形や地位、競合植生タイプを判断し、その後も山を観察し、毎年下刈りスケジュールを見直すことが重要です。

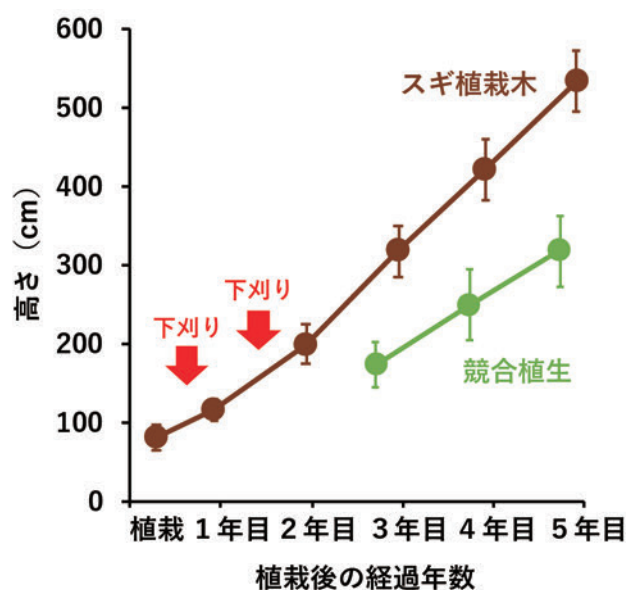


図 27. スギ植栽木と競合植生の樹高の推移（伊藤ら、投稿中）

スギの系統と立地を選んで下刈り回数を削減する

スギの系統と立地によって、下刈り回数が異なるかどうか検証しました。初期成長の早い系統を植栽することで、下刈りを早く終了できる可能性があります。特に、特定母樹などの成長能力をより発揮できる立地の良い場所では、競合植生との競争に有利で、下刈り回数を削減できる可能性があることがわかりました。

初期成長の良い優良系統で下刈りを早く終了する

鹿児島県内の造林地に特定母樹を含む複数系統のスギを植栽しました。植栽4年目の樹高に基づいて系統をグループ分けすると、在来系統（シャカイン）と同等の成長を示すグループ（普通グループ）と成長の早い系統のグループ（優良グループ）に区分できました。植栽4年目の下刈り直前の段階で、普通グループの苗木は、ほとんどの個体で競合植生の高さを超えていましたが、木本型の競合植生が優占する林地での下刈り終了の目安と考えられる樹高差 70cm^(P.15)を超える個体は7割程度でした(図 28)。一方、優良グループでは、ほとんどの個体で樹高差が 70cm 以上あり、この時点で下刈りを終了できると考えられました。

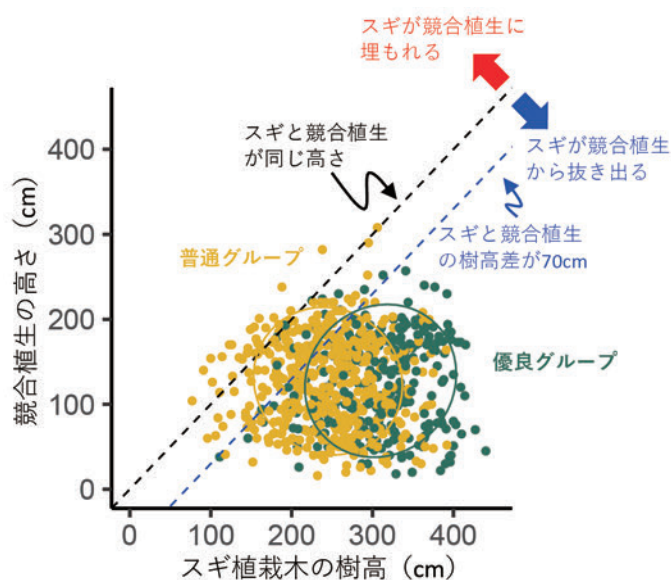


図 28. 植栽4年目の下刈り直前のスギと競合植生の高さ（穂山ら、未発表）

スギ樹冠が競合植生から抜き出る確率

上述の試験地で、植栽3年目の下刈り直前にスギの樹冠が競合植生から半分以上抜き出る確率（露出確率）を立地（TWI）^(P.13)に着目し計算しました(図 29)。普通グループのスギは、TWI の値にかかわらず露出確率は 60% 程度でした。スギだけでなく競合植生も TWI の値が大きいほど樹高や草丈が高くなる傾向にあることから、露出確率が TWI によって変わらなかったと考えられます。一方、優良グループのスギでは、TWI が高くなるにつれて露出確率も高くなったことから、TWI の大きい立地（地位の良い場所）で、成長ポテンシャルを発揮し競合植生との競争に有利になったと考えられます。つまり、地位が良い場所で初期成長に優れた系統を用いることで、下刈り回数を削減できる可能性があります。今後、特定母樹によって下刈りコストを削減するためには、成長能力を十分に発揮できる場所を選ぶことが重要になります。

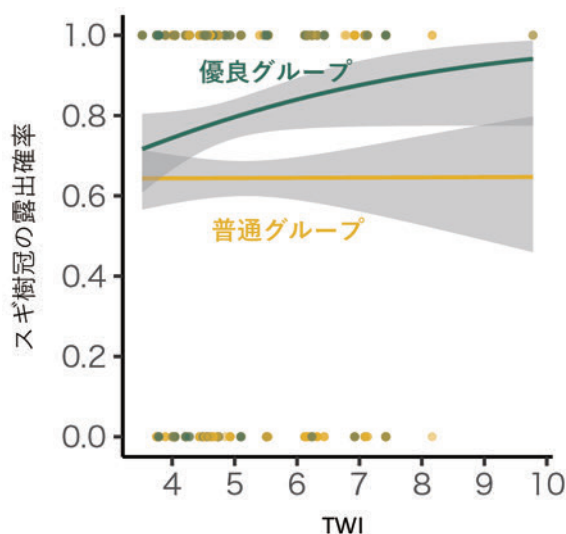


図 29. 3年目の下刈り前にスギ樹冠が半分以上露出する確率（穂山ら、未発表）

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

ドローンを使って下刈り要否を面的に判断する

植栽木や競合植生の高さは、同じ造林地のなかでも地形などの影響を受けています。そのため、下刈り要否の判断をする代表地点を決めることが困難でした。そこで、ドローンを使って、造林地内の植栽木や競合植生の高さの分布や、下刈り判断の目安となる競合状態（C1～C4）を把握する方法を開発しました。

競合植生の高さをドローンを使って推定する

ドローンを対地高度 60m 以下で飛行させ、CHM（樹冠高モデル）を作ることによって、高い精度で競合植生の高さを推定できることがわかりました。CHM を作成するためには、伐採直後または植栽直後にドローンを飛行させ、競合植生がない裸地の状態で DTM（数値地表モデル）を作成しておくことがポイントとなります。その後、下刈り前などにドローンを飛ばし、DSM（数値表層モデル）を作ることによって、DSM と DTM の差分から CHM を作成します（図 30）。この CHM の高さ分布を基に、部分的な下刈りの実行などを検討することができます。

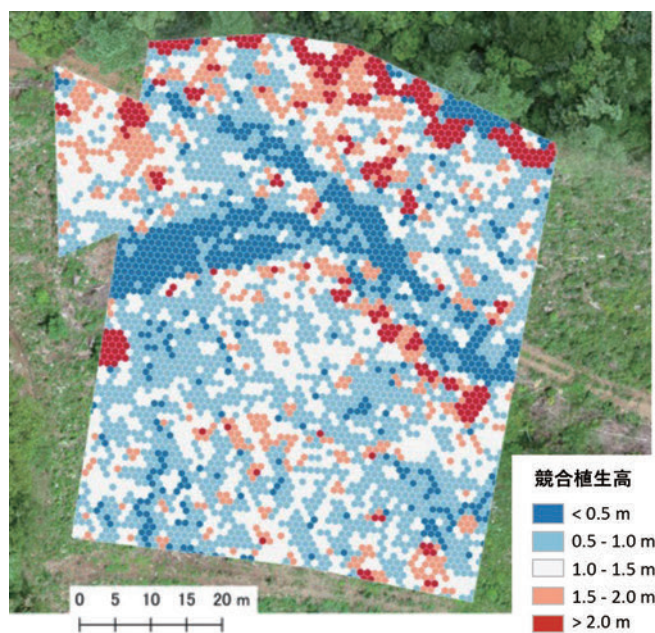


図 30. ドローン空撮によって推定された競合植生の高さ分布

競合状態をドローンを使って推定する

その年の下刈り要否は、植栽木の梢端部が競合植生から露出していること（競合状態 C1・C2^{*1}）が目安となっています。そこで、ドローン空撮によって得られた CHM とオルソ画像の色情報を用いた解析によって、造林地内の各植栽木と競合植生の競合状態（C1, C2, C3, C4）を 80% 以上の精度で推定することが可能になりました。そのため、競合状態の分布（図 31）を用いて、樹冠梢端部が露出している植栽木（競合状態が C1・C2）を見つけて、面的な下刈り要否の判断ができるようになりました。

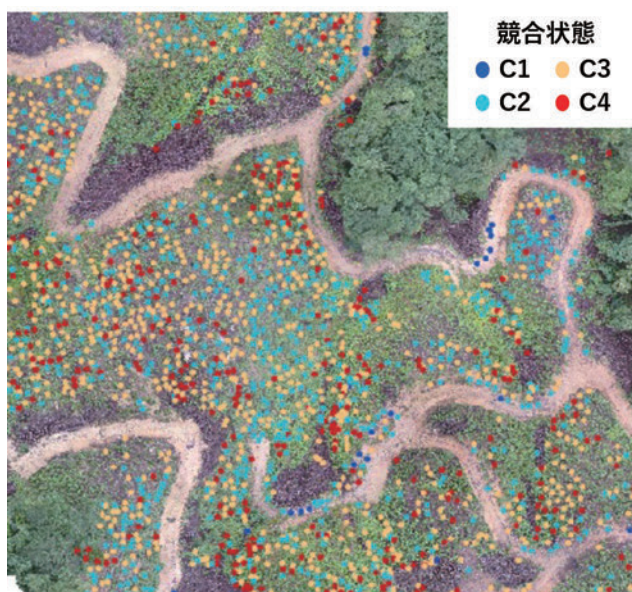


図 31. ドローン空撮によって推定された植栽木の競合状態の空間分布

^{*1} 競合状態（山川ら，日本森林学会誌（2016）98:241-246）
C1：植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分以上露出している
C2：植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分未満露出している
C3：植栽木と雑草木の梢端が同じ位置にある
C4：植栽木が雑草木に完全に覆われている

植栽密度の削減は林冠閉鎖を遅らせる

植栽密度を下げると、林冠閉鎖のタイミングが遅れることがわかりました。通常の下刈り、または競合状態による下刈り判断基準を用いた下刈りは、林冠閉鎖前に終了となるため、低密度植栽によって下刈り回数が増加する可能性は小さいと考えられました。しかし、下刈り終了後につる植物等が繁茂することが予想され、除伐コストが増加する可能性があります。

植栽密度と林冠閉鎖のタイミング

九州内のスギ造林地で、林齢と樹高、樹冠幅の関係を調べ、林齢ごとの林冠閉鎖率を推定しました(図32)。植栽木と周辺植生の競合関係に基づく6年生頃には下刈りが終了と判断できますが^(P.15)、従来の3,000本/ha植栽でも、林冠閉鎖率は40%程度とまだあまり高くありません。植栽密度の削減によって林冠閉鎖率が低い状況でも、その後の植栽木と周辺植生の高さ方向の競争関係には大きな違いはないと考えられ、追加の下刈りが必要になるケースは少なそうです。しかし、林冠の完全な閉鎖は植栽密度を2,000～1,000本/haに下げた場合に2～5年遅れることがわかり、ツル植物の繁茂や競合植生の衰退の遅れにより、除伐コストが大きくなる可能性があります。

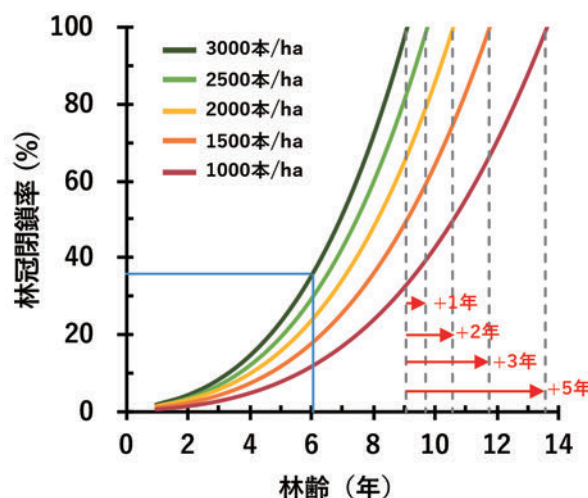


図 32. 植栽密度ごとの林齢と林冠閉鎖率の関係

系統による樹冠幅の違いも検討すべき

九州においてスギ挿木系統の樹高と樹冠直径の関係を調べました(図33)。特定母樹に指定された第一世代精英樹では、樹高-樹冠直径の関係は在来系統と違いはありませんでしたが、第2世代(エリートツリー)では、在来系統および第一世代と比較して、樹高に対して樹冠直径が有意に狭く、スリムな樹冠になる傾向がありました。また、系統間でも、樹冠直径の違いがありました。今後、植栽密度を判断する際には、系統の違いによる樹冠形にも注意をした方がよいかもしれません。スリムな樹冠のエリートツリーでは成長が良くても早期の林冠閉鎖が期待できない可能性があることから、林冠閉鎖時期を遅らせないという観点からは、在来系統に対して植栽密度の更なる削減は慎重になるべきでしょう。今後、収穫期までを通したデータの蓄積によって、植栽密度を検討していくことが必要です。

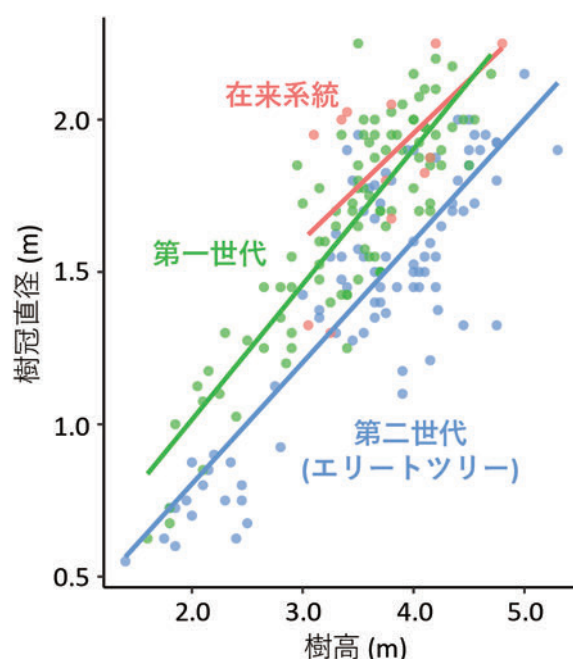


図 33. 在来系統および優良系統の樹高と樹冠直径の関係
(大塚ら(2022)九州森林研究: 75:45-52)を改変

シカ被害を軽減させる高下刈り

高下刈りのポイントは、雑草木を高い位置で刈払うことで、植栽木への被圧強度を下げながら、林地にシカの餌となる雑草木の一部を残すことになります。植栽1～2年目の高下刈りは、普通下刈りと比べて1.5倍くらいの作業効率となりました。これにより、シカ被害は減少しましたが、実用化のためには、十分な効果を発揮させる条件を明らかにする必要があります。

高下刈りとは

シカ被害は下刈り直後に多く発生します。下刈りをしない（無下刈）と被害を減らせますが、雑草木による被圧が強くなってスギが成長できなくなります。そこで、刈払いを高くして（高下刈）スギへの被圧を弱めながら林地にシカが好む餌（雑草木）を残す工夫をしたところ（図34）、被陰によるスギの樹高成長への影響はわずかであることがわかりました。特別な資材は不要なので、普通下刈りと同じコストで作業できます。

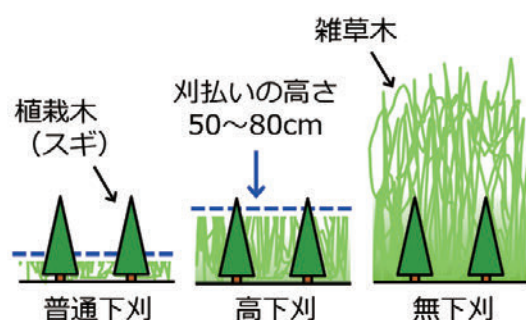


図34. 刈払い方法のイメージ

高下刈りの作業効率

刈払いの高さに関係なく、植栽した1年目の作業効率¹⁾が最も高く次第に低下しました（図35）。これは、刈払いによって雑木の萌芽枝が増えたり、経年的にススキの株が発達した影響だと思われます。植栽した1～2年目の高下刈りは、普通の下刈りに比べて作業効率が1.5倍ほど高いことがわかりました（図35）。また、高い位置で刈り払うことで誤伐本数や誤伐による枯死は少なくなりました。

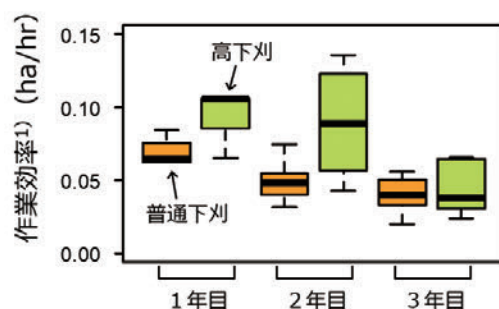


図35. 刈払い作業効率の経年変化

シカ被害軽減の効果

高下刈りでシカ被害の発生を軽減できましたが、効果の大きさは場所によって異なりました（図36）。シカの好む雑草木が多い場所では被害が少なく高下刈の効果も大きく、シカが多かったりシカの好む雑草木が少ない場所では被害が多くて高下刈りの効果が小さいことが示された、と考えています。植栽前にシカ被害量を予測することは困難ですが、雑草木に対する嗜好性を評価できれば、高下刈りを効果的に使える可能性があります。現実的には防鹿柵で対策してもシカが侵入して被害が発生する林分もあるので、そういった場合には高下刈りの適用が有効な場合も考えられるでしょう。

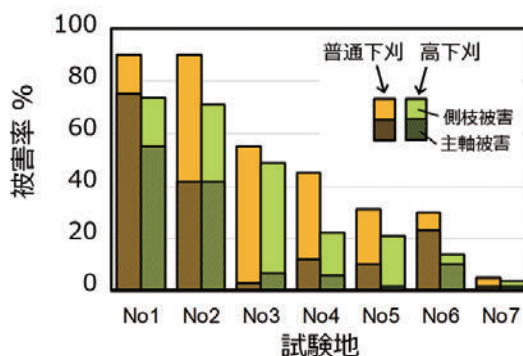


図36. 高下刈りした7試験地でのシカ被害率

1) 下刈りの作業効率は雑草木の種類や林地の地形や作業者の熟練度などによっても変わります。この結果は、小面積で実施した試験の1事例であり、刈払い方法の違いによる傾向や相対的な関係を示すものです。

コウヨウザンとノウサギ被害

コウヨウザンは、成長が早くスギと同等の材質を示すことから、西日本の新たな造林樹種として期待され、各地で試験的な植栽が行われていますが、場所によってはノウサギの激しい食害が報告されています。しかし、苗木が成長してある程度のサイズになると、被害を受けにくくなります。ここでは、被害の程度に合わせた様々な防除方法を紹介します。

ノウサギ被害の特徴

造林地にノウサギの糞があれば、ノウサギが生息していることを示しており、食害を受ける可能性があります。被害の程度は造林地によって異なります。コウヨウザンの苗木は、スギ、ヒノキよりも好んで食害される傾向にありますが、萌芽性が強いので、食害を受けても萌芽枝が発生して、直ちに枯れることは稀です。一方で、主軸を食害されると成長に大きく影響し、優れた樹高成長を期待できません。

ノウサギのコウヨウザンに対する主軸切断の被害を調査したところ、ノウサギの被害は高さ 70cm までに多くみられましたが、主軸がある程度のサイズになると被害を受けにくくなることが分かりました。このことから、そのサイズになるまで防除する、あるいは、大苗を植栽する対応策が必要です。



図 37. ウサギに食害されるコウヨウザンと、その切断部及び萌芽した枝の様子

ノウサギ被害に対する防除方法

ノウサギの食害に対して、様々な防除方法が提案されています。それぞれに長所と短所があり、被害の程度やシカ被害の有無等も考慮して、場合によっては複数の防除方法を選択します。

【忌避剤：軽被害地】薬剤散布することで枝葉の食害を防止する効果があります。しかし、新しく伸びた枝葉は無防備となります。

【大苗の利用：軽被害地】大きな苗を植えることで主軸の折損を減らす効果があります。しかし、育苗方法と植栽方法に技術開発が必要です。

【競合植生の利用：軽被害地】競合植生を林地に残すことで植栽木を保護する効果があります。しかし、実用化にはもう少し研究が必要です。

【単木保護資材：激害地】物理的に苗木を保護資材で覆う方法で、最も効果的な防除方法です。資材と設置に費用がかかり、シカ被害の有無で使用する資材の高さが決まります。

【シカ柵：激害地】目合いが 5cm のネットで、シカ柵と同様に植栽地を囲う方法です。

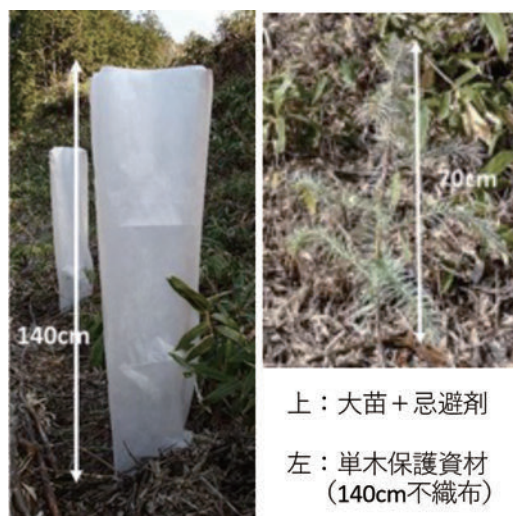


図 38. 単木保護資材及（左）び大苗＋忌避剤（右）で被害を防いでいる様子

成長が早いスギの強度性能を解明

成長に優れた苗木を用いた場合、低密度植栽や下刈り回数の省略により初期保育の低コスト化が期待できる一方で、年輪幅が広くなることなど成長の速さが木材の強度性能に影響を及ぼし、木材の価値が低下することが懸念されます。そこで、成長が早いスギの強度性能を調べた結果、利用上の問題がないことがわかりました。

樹木の成長と木材の強度性能との関係

木材の中で、幹の中心から10～15年輪までの若い時期に形成された部分を未成熟材部と言い、その外側の成熟材部と比較して強度性能が全般的に劣ります。例えば、材料のたわみにくさを示す指標であるヤング率は、未成熟材部の方が成熟材部よりも小さくなります(図39)。成長が早いスギでは、未成熟材部の幹(断面)に占める割合が多くなり、また年輪幅も広くなることから、木材の強度性能が低下する懸念があります。

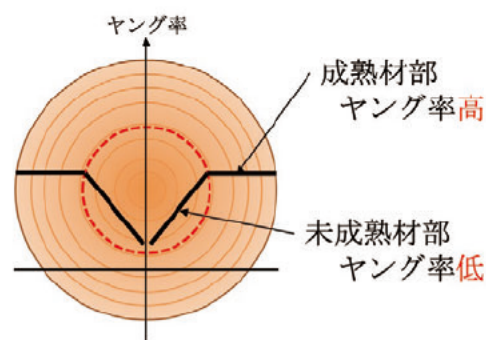


図 39. 横断面におけるヤング率の分布

成長が早いスギ

佐賀県では、スギ精英樹同士の人工交配によりF1個体を作成し、①成長、②材の強度、③雄花量、④挿し木発根率を総合評価してF1個体の選抜を行っています。エリートツリー等の成長に優れた苗木の植栽は始まったところであり、成木が得られないことから、これらのF1個体を中心として佐賀県に植栽された成長の早いスギ(樹齢30年、平均胸高直径26.8cm)を用いて強度試験を行いました。

成長が早いスギの強度性能

成長が早いスギから得られた枠組壁工法用製材(図40;断面寸法38mm×89mm)の強度試験を行った結果、枠組壁工法用製材のヤング率と曲げ強度(破壊時の応力)との間には相関が見られ、曲げ強度はほぼ全ての試験体で基準強度を上回りました(図41)。これにより、成長が早いスギから得られた製材品の強度性能は、利用上問題がないことがわかりました。



図 40. 成長が早いスギから得られた枠組壁工法用製材

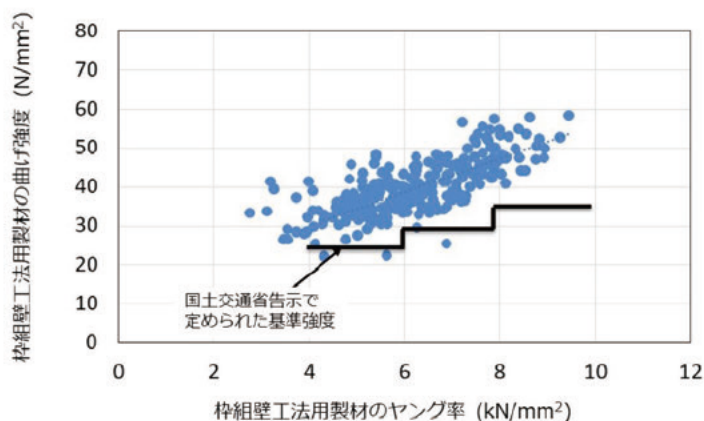


図 41. 枠組壁工法用製材の強度試験の結果

コラム：普及するには川下の視点も大切

佐賀県では、1965年に第一世代精英樹同士の人工交配を開始し、交配の組合せ別に作出した第二世代(F1)の実生個体(約8,500個体)を植栽した林分を設定しました。次に約10年次時点の毎木調査をもとに、成長等の優れた約100個体を選抜し、挿し木増殖した苗を用いて1980年代にクローン検定林を県内6箇所に設定しました。そのクローン検定林の中から成長、材質、雄花着花特性および発根特性に優れた系統(品種)を選抜し、普及を始めています。

成長の早い新しい品種を普及するため2018年に、ユーザーである林業・木材業関係者への説明会を始めましたが、年輪幅が広くなり木材としての価値が低くなるとの見解から、あまり良い反応は得られませんでした。山で木を育て収穫する林業と木材として加工し販売する木材産業は、川上と川下と言われるように別の視点を持って仕事や研究が進められてきており、川下から求められる材質という点で、品種の性能を示すデータが十分でないことを痛切に感じた瞬間でもありました。ちょうどその頃に本研究がスタートし、幸運にも材質評価のパートを佐賀県のクローン検定林の材料で担うことになりました。

強度試験から得られた結果から、成長が優れたスギの製材品の強度性能は、利用上問題ないこと^(P.22)を示すとともに、品種間で強度性能が大きく異なるというものでした(図43)。これらの試験結果と製材品を準備し、再度、関係者への説明会を開催したところ(図42)、強度性能への不安は和らいだようで、新しい品種への期待の声が聞かれるようになりました。このように、川上と川下の両者がお互いの視点を理解して開発を進めることが大切なことなのです。



図42. 製材品見学会における非破壊での強度測定の様子

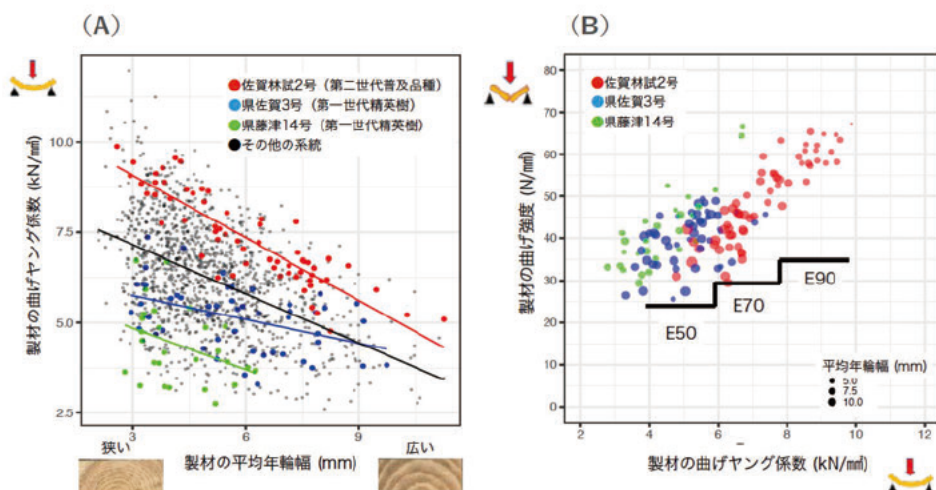


図43. 各スギ品種での製材品の年輪幅と曲げヤング係数の関係(A)および曲げヤング係数と曲げ強度の関係(B)

3 階建ての施業計画支援ツール I-Forests の開発

エリートツリー等を用いた施業支援する3種類のツール；I-Forestsを開発しました。TWI等の情報から苗木の初期成長を推定し図化するI-Forest.GE。森林簿や航空機レーザー計測の情報を基に計画立案を支援するI-Forest.FV。植栽地の下刈りの要否を判断するI-Forest.CA。これらのツールを上手に活用することにより、再造林コストの削減に寄与できます。

施業計画支援ツール I-Forests

今回開発した支援ツール（I-Forests）は、植栽前の計画立案を支援するI-Forest.GEおよびI-Forest.FVと、植栽後の下刈り要否を判断するI-Forest.CAの3つのツールで構成されています（表1）。エリートツリー等の成長の優れた苗木の成長は、地位の高い場所ほど早いことが期待されます。地位は、伐採前であれば林分調査により推定は可能ですが、伐採前樹高等の情報がない皆伐跡地では推定が困難です。また、市町村全域といった広範囲での地位を林分調査により推定するのは、労力・コストを考慮すると非常に困難です。このようなケースに対応するために TWI 等の地形指標から苗木の初期成長を推定する I-Forest.GE を開発しました。また、航空機レーザー計測等による伐採前の測量データがある場合は、I-Forests の中核ツールである I-Forest.FV の活用が有効です。I-Forest.FV は、森林の現況から再造林コストの試算、収穫予想を対話的に行い、植栽密度や下刈回数の削減といった低コスト・省力的な施業プランの検討を支援します。植栽後の下刈りの要否については、現場の状況によって変わります。そこで、観察時点のスギの樹高、競合植生のタイプや高さから、その年の下刈りの要否を判断する I-Forest.CA を開発しました。これらの3つのツールからなる I-Forests をうまく活用すれば、立地とエリートツリーの特性にあった施業プランの作成と実行、そして修正が可能となります。

表1. I-Forests の各ツールの特徴

ツール名	Browser-based Growth Estimation tool (I-Forest.GE)	GIS-based Forest data Viewer (I-Forest.FV)			Mobile-based Competition Assessment tool (I-Forest.CA)
		森林簿ビューワ	コスト計算	収穫量/収支予測	
動作環境	ウェブブラウザが動作する機器	QGISが動作するPC			スマートフォン タブレット
必要データ	標高データ	森林簿および航空機レーザー計測等の測量データ			現場視察
主機能	・苗木や競合植生の成長の推定とマップ化 ・エリートツリーの成長予測	・地理情報の表示 ・現在および将来の林況推定	・指定した林分の主伐収入、再造林費用の推定	・伐期齢、間伐方法等の入力による、収穫量と収支の推定	・調査年の下刈り要否を判断

今後の展開

今後は、開発したツールの普及を図るとともに、エリートツリーの特性や立地環境条件に関する新たな研究成果を反映したモデルの精緻化を継続し、またユーザーの意見を聞きながらより使いやすいツールの開発を行っていく予定です。

GIS と連携した施業計画支援ツール (I-Forest.FV)

地域の森林の現況と植栽から収穫に至るまでの人工林施業全体を見渡しなが、主伐収入や再造林コストの試算、収穫予想を対話的に行い、今後の人工林の取り扱いや、植栽密度や下刈り回数の削減といった低コスト・省力的な施業プランの検討を支援するツール (I-Forest.FV) を開発しました。

ツール開発の目的

人工林の主伐によりどの程度の収益が見込めるか？ 再造林の初期コストはいくらで、植栽密度、下刈り回数等の変更によってどのように変化するか？ 将来的に収穫量はどの程度期待できるのか？といった情報は、今後の人工林の取り扱いや主伐・再造林における施業プランの検討に役立ちます^(P28)。間伐や主伐の収穫予想を目的とした従来のシステム収穫表に幼齢時の樹高成長評価やコスト試算の各種要素を加えることで、主伐～再造林に至る情報を GIS ソフト上で簡単に表示できるツールを開発しました。

森林資源情報や各種地理空間情報を活用

近年では、森林域における航空レーザー測量が進められ、その成果は都道府県等が整備する森林簿等のデータに反映されつつあります。また、様々な地理空間情報の整備と公開も進められています。本ツールではこれらのデータを活用し、地図上の任意の場所をクリックするなどの簡単な操作で、スギやヒノキの人工林や広葉樹林の分布、路網開設状況等に加えて、対象林分の林齢、材積等の情報を表示することができます (図 44)。また、スギ、ヒノキの人工林については、丸太価格、労賃、植栽密度、下刈り回数等をユーザーが設定し、主伐収入と、シカ対策、植栽、下刈り、除伐といった再造林初期の経費を対話的に試算できます。さらに、従来のシステム収穫表と同様に、間伐や主伐のシナリオに応じて収穫量を予測することができます。このような一連の機能により、地域の森林の現況と植栽から収穫に至るまでの人工林施業全体を見渡しなが、今後の人工林の取り扱いや低コスト・省力的な施業プランを検討することができます。

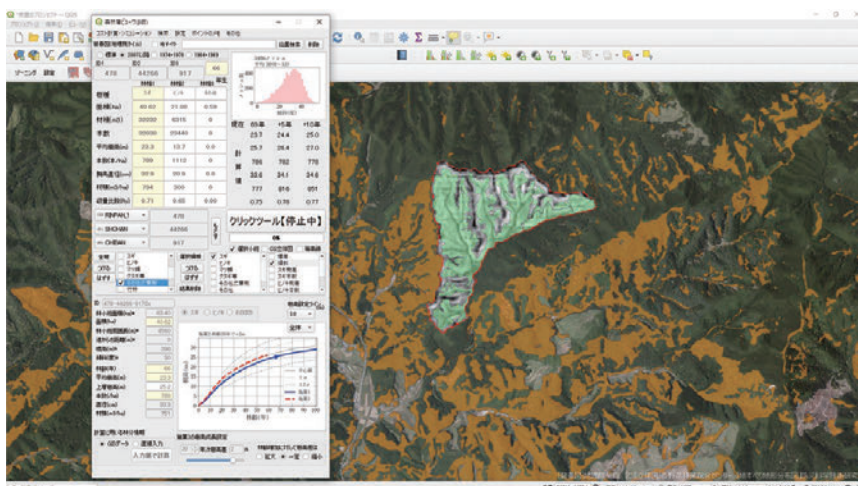


図 44. QGIS のウィンドウで、クリックした林小班内のスギの分布 (緑) と傾斜 (白黒)、周囲の広葉樹林 (橙色) が地図上に示され、林分材積やスギの樹高成長曲線がメインダイアログに表示された様子

今後の展開

本ツールは、無料で高機能な GIS ソフトウェア「QGIS」のプラグインとして動作します。現在、いくつかの市町村等に試用版を提供し、ユーザーの意見を収集しています。将来的には様々な地理空間情報を取り込み、幅広い森林管理ツールとしての展開を想定しています。

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

初期保育に特化した施業計画支援ツール (I-Forest. GE & CA)

植栽後のスギと競合植生の成長予測は、下刈り要否を判断するうえで重要な点です。そこで、初期保育期間に特化し、地形情報から在来系統と優良系統の苗木の成長量を予測するツールを開発しました。また、植栽後の現場で、実際の競合植生タイプやスギの樹高を入力することで、成長予測や下刈り判断が可能なツールを開発しました。

初期保育期間の成長量を予測する (I-Forest.GE)

I-Forest.GE は、ウェブブラウザ上で利用可能な地形指標に基づいた苗木および競合植生の成長予測ツールです。ウェブサイトにアクセスした後、TWI の geoTIFF 画像を読み込むことで、成長予測モデル^(P.14)に基づく通常苗およびエリートツリー苗の成長予測を図示します(図 45)。さらに、競合植生のタイプ・下刈り頻度を設定することで、苗木の被圧状況の経年変化を推定できるツールです。このツールはウェブブラウザ上で可動するため、パソコンだけでなくタブレットなどでの利用も可能です。またブラウザのキャッシュ利用により、施業現場などオフライン環境での利用も可能です。さらに成長予測モデルの将来的な更新に際し、他の地形情報などの活用にも対応できます。

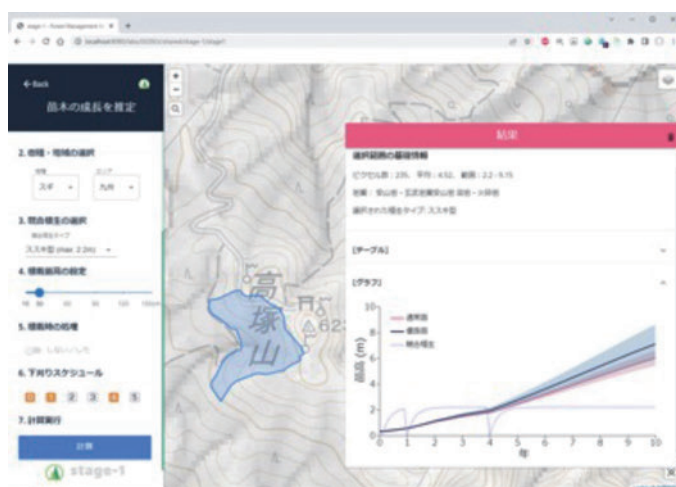


図 45. I-Forests for GE の入出力画面のイメージ

現場で成長予測と下刈り要否を判断する (I-Forest.CA)

伐採前に植栽後の競合植生のタイプを予測することは容易ではありません。また、GIS などを使って事前にスギの成長を予測しても、現場では異なることがあります。I-Forest.CA では、九州地域でのスギの初期成長曲線^(P.16)を用いて、観察時点のスギの樹高、競合植生のタイプや高さを入力することで、その林地における翌年までの成長量を予測し、その年の下刈り要否および終了の判断ができるツールです(図 46)。このツールは、iOS で動作可能で、現場でスマートフォンやタブレットに必要な情報を入力することで、その場所でのスギの成長の良し悪しなどを確認することができます。また、非常に簡単なシステムでできているため、対象地域や系統にあった成長式や競合植生タイプの情報に更新することでより精度の高いシステムにすることが可能です。

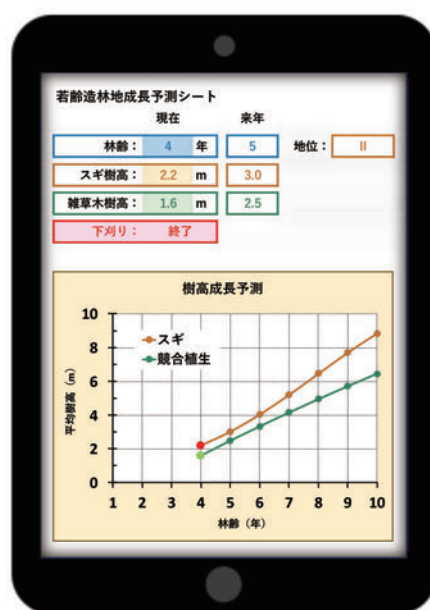


図 46. I-Forests for CA の入出力画面のイメージ

エリートツリーを使った初期保育モデル

エリートツリー等の初期成長の良い苗木は、従来の苗木と比較して、立地を選択することによって、下刈りを1~2回削減することができそうです。一方、初期成長の良い苗木は、樹高に対して樹冠幅が細い傾向があり、現時点ではエリートツリーの活用によって積極的に植栽密度を減らすことは難しいといえそうです。

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

立地を選んで下刈り回数を削減する

下刈り要否の判断基準は、地位や競合植生のタイプによって異なります^(P.15)。これらの判断基準と九州での在来系統のスギの成長を照らしわせると4~5回程度の下刈りは必要だと考えられました^(P.16)。一方、エリートツリー等の成長に優れた苗木は、立地条件の良い場所（従来のスギでも成長が良い場所）で、その成長能力を最大に発揮でき^(P.13,14)、これらの場所では下刈りを1~2回早く終わらせることができそうです^(P.17)。つまり、I-Forests など^(P.25)を使って地位や伐採前樹高の高い場所などを抽出し、効果的にエリートツリーを活用することがポイントです。しかし、競合植生のタイプは、伐採前から予測することは難しく、植栽後には毎年、樹高や競合状態を観察しながら、その年の下刈りの要否を判断することが肝要です^(P.15,26)。その際に、ススキなどの非木本性か、アカメガシワなどの木本性なのかが判断基準になります^(P.15)。また一貫作業システムなどを組み合わせれば、植栽当年の下刈りを省略できる可能性があります。

表2. 優良系統を使った場合の下刈り削減のイメージ

苗木	立地	下刈りスケジュール (年)				
		1	2	3	4	5
在来系統		▲	●	●	●	●
優良系統 (特定母樹・エリートツリー)	悪い	▲	●	●	●	●
	立地環境 (TWIなど)	▲	●	●	●	-
	良い	▲	●	●	-	-

下刈り回数変わらない

下刈り 1 回減

下刈り 2 回減

植栽密度は議論の余地あり

現在、スギは 2,500 本 /ha 程度で植栽されているケースがほとんどです。植栽密度の削減は、林冠閉鎖のタイミングが遅れることがわかりました^(P.19)。しかし、通常の下刈りは林冠が閉鎖する以前に終了するため、植栽密度の削減によって下刈り回数が変わることはないと考えられます。しかし、林冠閉鎖の遅れによって競合植生がより繁茂し、ツル切りの必要性や除伐コストが増加する恐れがあります。また、エリートツリー等の成長の良い苗木の一部では、従来系統より、樹冠幅が狭い傾向がみられました。そのため、現時点において、エリートツリーを活用したとしても積極的に植栽密度を減らすことは難しいといえ、今後エリートツリーの収穫期までの成長を考慮して判断していく必要があります。

再造林コストのシミュレーション

I-Forest.FV のコスト計算機能を使い、下刈り回数、植栽密度等の条件により、再造林費用がどこまで削減可能かシミュレーションしました。その結果、従来から実施されてきた一貫作業システムによる機械地拵えや低密度植栽に加え、エリートツリー等の成長に優れた苗木による下刈り回数の削減によって、再造林コストを3割削減できる可能性があることが分かりました。

再造林コストのシミュレーション

本プロジェクトでは、再造林コストの3割削減を実現するための施業体系の提案を目標に掲げています。再造林コストの削減手法として、人力による地拵えから一貫作業システムによる機械地拵えへの変更、植栽密度の削減、成長に優れた苗木による下刈り回数の削減を取り上げました。植栽密度は、九州地方で多く実施されている2,500、2,000本/ha、及び一部で実施されている1,500本/ha、下刈り回数については、エリートツリーの早い成長^(P.14)と下刈りスケジュール^(P.16)を考慮して2～5回、苗木はスギコンテナ苗としました。

表3にシミュレーション結果の概要を、図47に工程別シミュレーション結果と表4にシミュレーションを行うために使用した費用に関する積算根拠を示しました。従来からよく行われてきた施業モデルAとの比較では、再造林費用を3割以上削減するためには、植栽密度を2,000本/ha以下まで下げることが必要であることが分かりました。下刈り回数は、植栽密度が2,000本/haの場合は2回、1,500本/haの場合は3回以下に削減する必要があることが分かりました。車両系を用いて皆伐を実施し、同時に機械地拵えを行う一貫作業システムの現場が、多く見られるようになってきました。そこで一貫作業システムを想定したモデルB1と比較すると、最最低コストのモデルD3で約35%の削減となりました。これらの結果から、従来から実施されてきた一貫作業システムによる機械地拵えや低密度植栽に加え、エリートツリー等の成長に優れた苗木による下刈り回数の削減によって、再造林コストを3割削減できる可能性があることが分かりました。

表3. 再造林費用のシミュレーション結果（補助金無し）

モデル	植栽密度 (本/ha)	地拵え方法	下刈り回数	費用 (円/ha)	A1との比較 (%)	B1との比較 (%)
A	2,500	人力	5	1,908,000	100	116
B1	2,500	機械地拵え	4	1,710,000	90	100
B2	2,500	機械地拵え	3	1,536,000	81	90
B3	2,500	機械地拵え	2	1,362,000	71	80
C1	2,000	機械地拵え	4	1,587,000	83	93
C2	2,000	機械地拵え	3	1,413,000	74	83
C3	2,000	機械地拵え	2	1,239,000	65	72
D1	1,500	機械地拵え	4	1,465,000	77	86
D2	1,500	機械地拵え	3	1,291,000	68	75
D3	1,500	機械地拵え	2	1,117,000	59	65

シミュレーション結果の現場への適用

今回は10のモデル(AからD3)を想定し、費用をシミュレーションしました。これから再造林を行う現場で、どのモデルを選ぶのか検討する際に重要なことは、「将来どのような森林に仕立てたいのか」、「植栽地はエリートツリーの適地なのか」ということです。将来の目標林型により施業体系は大きく異なります。特に施業体系に大きく影響を与える植栽密度の設定は重要です。また、エリートツリーを適地以外に植栽した場合、植栽前に期待した初期の樹高成長が得られず、下刈り回数の削減ができないことも考えられます。今回示した施業モデルに限らず、再造林を考える際には、現場の状況を正確に把握することが重要です。

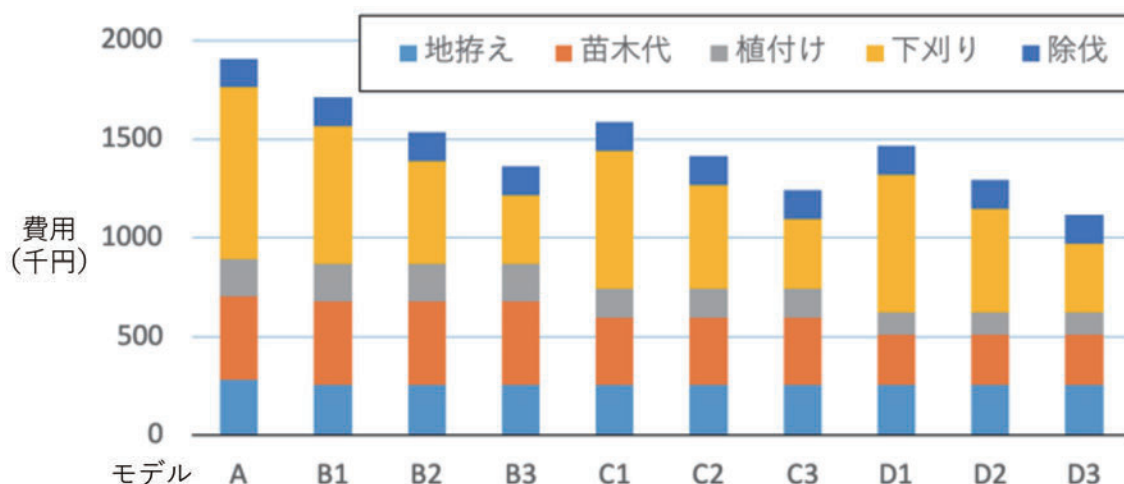


図47. 再造林費用の工程別シミュレーション結果（補助金無し）

※除伐コストは植栽密度によらず一定を仮定

表4. 費用に関する積算根拠

工程	項目	価格	単位	備考
地拵え	人力	285,000	円/ha	注1)費用は千円未満は切り捨て 注2)歩掛については、九州地域で使用されている標準単価の積算根拠を参考とした。 注3)費用計算で使用した人件費は下記の通り 普通作業員：18000円/人日 特殊作業員：23000円/人日
	機械	265,000	円/ha	
苗木	コンテナ苗	170	円/本	
		112,000	1,500本/ha	
植付け	コンテナ苗	149,000	2,000本/ha	
		187,000	2,500本/ha	
下刈り		174,000	円/ha	
除伐		146,000	円/ha	

今後の課題

今後は、現場に最適な施業体系の提案ができるよう継続的に現場のデータを収集し、地位に対応した植栽試験の成績に注視する必要があります。特に低密度植栽における除伐やツル伐りの掛かりましについては、新たな研究が必要となります。さらに成林後の樹形や風害等のリスク評価が可能なシステムの構築を目指します。

参考資料

苗木を作る

- 松田修・小川健一・飛田博順・岩倉宗弘（2019）充実種子選別装置と高品質種苗の普及に果たすその役割．森林遺伝育種，8:183-187.
- 松田修（2020）スウェーデン発の究極の水選法「PREVAC+IDS 法」と近赤外分光法に基づく林業用種子の高品質化技術．森林科学，88:36-40.
- 飛田博順・齋藤隆実・矢崎健一・香山雅純・才木真太郎・上村章（2020）スギコンテナ苗の植栽後2年間の成長に及ぼす育苗時の追肥の影響．関東森林研究，71(1):37-40.
- 袴田哲司・山本茂弘・近藤晃・三浦真弘・平岡裕一郎・加藤一隆（2020）スギコンテナ苗の植栽時のサイズと初期成長の関係．森林遺伝育種，9:51-60.
- 飛田博順・上村章・大平峰子・山野遼太郎・才木真太郎・香山雅純・原山尚徳（2021）スギコンテナ苗の成長に及ぼす育苗時の追肥の影響．関東森林研究，72(1):53-56.
- 大平峰子（2021）冷凍保存したスギ実生コンテナ苗の植栽後活着率および初期成長．関東森林研究，71(1):77-80.
- 小笠真由美・藤井栄・飛田博順・山下直子・宇都木玄（2021）山林用針葉樹コンテナ苗における育苗方法の現状と課題—全国のコンテナ苗生産者に対するアンケート調査より—．日本森林学会誌，103(2):105-116.
- 袴田哲司・野末尚希（2022）雄性不稔スギ挿し木コンテナ苗の標準規格と初期の樹高成長．中部森林研究，70:1-2.
- 飛田博順（2019）コンテナ苗の育苗技術の現状と課題．山林，1624:62-69.
- 飛田博順（2020）コンテナ苗生産の効率化を目指した技術開発．森林と林業，2020年5月号:14-15.
- 齋藤隆実（2021）コンテナ苗の根鉢の形成程度を簡単に評価する方法の開発．造林時報，210:14-18.
- 小笠真由美（2021）アンケートから見るコンテナ苗生産の実態と課題．造林時報，212:15-19.

植えて育てる

- 大塚次郎・磯田圭哉・後藤誠也・松永孝治・倉原雄二・倉本哲嗣・久保田正裕・近藤禎二・生方正俊（2019）植栽後7年次までのコウヨウザンとスギの系統別の成長比較．九州森林研究，72:29-32.
- Imaoka A, Hirata R, Mitsuda Y, Ito S（2019）Effect of preweeding size of competitive plants in a young hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantation on their resprouting ability after weeding in a warm-temperate region. Journal of Forest Research, 24(6):386-390.
- 小笠真由美・山下直子・飛田博順・奥田史郎・宇都木玄（2020）乾燥条件下におけるヒノキコンテナ苗の葉の水分状態および木部の水分通導に対する摘葉の効果．日本森林学会誌，102:207-211.
- 鶴崎幸・山川博美・伊藤哲・重永英年・佐々木重行（2020）競合植生によって異なるスギ造林地の下刈り要否の判断基準．日本森林学会誌，102:225-231.
- 鶴川信・藤澤義武・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊（2020）ニホンノウサギによる食害とその防除がコウヨウザン1年生苗の生残および成長に与える影響．日本森林学会誌，102:317-323.
- 鶴川信・藤澤義武・大塚次郎・近藤禎二・生方正俊（2021）コウヨウザン苗の食害に対するミカンネット被覆およびカプサイシン散布の効果．九州森林研究，74:19-23.
- Yagi T（2021）The combined effects of tree shelters, large stock and vegetation control on the early growth of conifer seedlings. Journal of Forest Research, 27(3):206-213.
- 上杉基・井上万希・世見惇一・三重野裕通（2021）オビスギ植栽密度試験地における立木の応力波測定．九州森林研究，74:97-98.
- Abe T（2021）Effects of treeshelters on seedling performance: a meta-analysis. Journal of Forest Research, 27:171-181.
- Nomiya H et.al.（2022）Survival and growth of planted Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) with tree shelters to prevent deer browsing: a case study in southwestern Japan. Journal of Forest Research, 27: 200-205.

計画を立てる

- 宇都木玄・久保山裕史（2021）経営可能な林業の判断基準について—年間平均成長量（MAI）から見た土地期望価（LEV）による林業の経営判断—．日本森林学会誌，103:200-206.
- 栗屋善雄（2020）森林管理への衛星データ、LiDARデータとドローン空中写真の利用．月刊オプトロニクス，2020年7月号 pp9.

低コスト再造林に関する研究紹介

森林総合研究所及び日本各地の都道府県林業試験場が連携し、2009 年より再造林に関連した試験研究を行ってきました。日本の森林は様々な環境条件、地形条件にあり多様です。下記に記すこれまでの試験研究結果を、日本各地での林業に生かしていただければと思います。

平成 21 ～ 24 実用技術開発事業「スギ再造林の低コスト化を目的とした育林コスト予測手法及び適地診断システムの開発」(一貫作業システム；九州)

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/kys/research/kankou/series/documents/2503saizourin.pdf>
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/kys/research/kankou/series/documents/24saizorin.pdf>

平成 25 ～ 27 農食研「先進機械を活用した伐採・造林システムによる低コスト人工林管理技術の開発」(地狩り；北海道)

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chuukiseika35.pdf>

平成 25 ～ 27 農食研「東北地方の多雪環境に適した低コスト再造林システムの開発」(下刈り見直し；東北)

https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/research_results/documents/3rd-chuukiseika33_1.pdf

平成 26 ～ 27 革新的技術展開事業「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」(コンテナ苗；全国)

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/3rd-chuukiseika37.pdf>

平成 28 ～ 30 地域戦略プロジェクト(生研センター)「優良苗の安定供給と下刈り省力化による一貫作業システム体系の開発」(苗木生産～下刈りまで；全国)

https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/research_results/documents/4th-chuukiseika22.pdf
https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/chiiki_2019_result-c102-01.pdf
https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/h27kakushin/chiiki_2019_result-c102-03.pdf

●関連図書

中村松三・伊藤哲・山川博美・平田令子 編 (2019) 低コスト再造林への挑戦——一貫作業システム・コンテナ苗と下刈り省力化—— 日本林業調査会

●関連ウェブサイト

知の集積と活用場 農林水産持続的な林業生産システム研究開発プラットフォーム (持 -37)
<https://ml-wiki.sys.affrc.go.jp/chisourinboku/%E6%83%85-41>

おわりに

近年のウッドショックや諸外国からの貿易体制の急激な変化によって、日本の林業構造は大きな変革を迎えようとしています。その変化の中心となるのが国産材の利用拡大です。工業製品として木材を利用していくためには安定的な供給体制が必要であり、そのための基本的な要件として、「伐ったら植える」、植えたら森が資産としての価値を長期間にわたり持ち続ける必要があります。このような資産として、成長や材質に優れたスギ系統が重要であることは疑いありません。

本プロジェクトでは、間伐特措法等に対応した特定母樹の育林体系を整えるための一環としてスタートしました。特定母樹を含めたエリートツリー等成長に優れた苗木による森づくりの歴史はまだ浅く、II 齢級までの初期造林について、特に下刈り省略の観点から研究を進め、I-Forests を開発してきました。今後も植栽したエリートツリー等の成長を正確にモニタリングし、立地に応じた植栽密度や成長後の収量といったものを最適化できるように I-Forests を進化させる必要があります。まずは本プロジェクト成果が、成長に優れた苗木を用いた初期造林の効率化と保育コスト削減の一助となることを願っております。なおここに開発した I-Forests に関しては、森林総合研究所のホームページで利用方法を公開してまいります。

2023 年 3 月 成長に優れた苗木プロジェクトチーム

研究参画機関

森林総合研究所、森林総合研究所林木育種センター
北海道立総合研究機構林業試験場・林産試験場
長野県林業総合センター、岐阜県森林研究所、静岡県農林技術研究所
島根県中山間地域研究センター、岡山県農林水産総合センター、広島県総合技術研究所
徳島県農林水産総合技術支援センター、高知県立森林技術センター
福岡県農林総合試験場、佐賀県林業試験場、長崎県農林技術開発センター
熊本県林業研究・研修センター、大分県農林水産研究指導センター
宮崎県林業技術センター、鹿児島県森林技術総合センター
岐阜大学、九州大学、宮崎大学、鹿児島大学
三井物産フォレスト、南栄

執筆者一覧(50音順)・担当ページ

伊神 裕司	(森林総合研究所 木材加工・特性研究領域)……………	P. 22
鶴川 信	(鹿児島大学農学部)……………	P. 21
江島 淳	(佐賀県林業試験場)……………	P. 22, 23
小川 健一	(岡山県農林水産総合センター)……………	P. 10, 11
鹿又 秀聡	(森林総合研究所 森林経営・政策研究領域)……………	P. 24, 28-29
壁谷 大介	(森林総合研究所 植物生態研究領域)……………	P. 26
久保田正裕	(森林総合研究所 林木育種センター 九州育種場)……………	P. 12, 13, 14
重永 英年	(森林総合研究所 植物生態研究領域)……………	P. 25
飛田 博順	(森林総合研究所 植物生態研究領域)……………	P. 9
野宮 治人	(森林総合研究所 九州支所)……………	P. 20
武津英太郎	(森林総合研究所 林木育種センター)……………	P. 14
山川 博美	(森林総合研究所 九州支所)……………	P. 15, 16, 17, 18, 19, 26, 27
山田 浩雄	(森林総合研究所 林木育種センター)……………	P. 21
山野邊太郎	(森林総合研究所 林木育種センター)……………	P. 6, 7, 8

本冊子に関するお問い合わせは、下記までお願い致します。

国立研究開発法人 森林研究・整備機構

森 林 総 合 研 究 所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行：森林総合研究所

編集責任者：宇都木玄・高橋 誠・酒井 武・重永英年・山川博美

発行日：2023(令和5)年3月8日

問い合わせ：編集刊行係

電話：029-829-8373

E-mail：kanko@ffpri.affrc.go.jp

本書の引用記載：宇都木玄・高橋誠・酒井武・重永英年・山川博美 編(2023) エリートツリーを活かす育苗と育林、施業モデル、森林総合研究所 第5期中長期計画成果15(森林産業-5), 32pp.

© 掲載記事及び写真の無断転載を禁じます。

この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。