

低コスト再造林の 実用化に向けた研究成果集

伐採

苗木

植栽

下刈

シカ対策

コスト予測



独立行政法人森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

九州大学・宮崎大学・徳島県・高知県

目 次

1. はじめに	3
2. 再造林コスト削減のポイント	4
3. 低コスト化の作業例	5
4. 一貫作業システム	
・一貫作業システムとは？	6
・一貫作業システムの実施事例の紹介	8
5. 苗木生産	
・スギ大苗を効率的に生産する方法	10
・新たな育苗ポット 「スギバーク成型ポット」の開発	12
6. 植栽	
・コンテナ苗の植栽器具と植栽作業能率	14
・コンテナ苗自動耕耘植付機による植栽作業能率	16
・コンテナ苗はいつでも植栽可能か？	18
・大苗等の植栽と運搬の作業効率	20
7. 下刈り	
・再造林放棄地における再生植生	22
・下刈り省略による コスト削減とスギ植栽木の成長と形質	24
・下刈りを省くとスギの成長はどうか？	26
・無下刈り地に下刈りを入れるとどうか？	28
・モデルから考える下刈り回数とスギの成長	30
8. シカ被害軽減	
・無下刈りでシカ食害は軽減できるか？	32
・下刈り省略でも育つスギ品種の選抜	34
9. 再造林支援システム	
・育林コストシミュレータの開発	36
・低コスト再造林のシミュレーション事例	38
・再造林適地を抽出する	40
・モバイル端末で動作する 再造林コスト予測システム	42
10. 参考文献・出版物	44



はじめに

戦後、昭和 20 年代半ばから 40 年代にかけて、スギやヒノキの人工林造成が推進されました。こうして人工林は増加し、平成 19 年調べで、その面積は 1,035 万 ha、蓄積は約 26.5 億 m^3 となっています。一方で、これらの人工林は齢を重ねながら伐採収穫できる 9 ～ 11 齢級（林齢 41 ～ 55 年）に達し始めています。ちなみに当該齢級での蓄積は 12.6 億 m^3 となり、全蓄積の約半分に迫る量です。

このように人工林資源は充実してきており、主伐し林産物として利用する時期にきています。次世代のためにも、資源の循環利用を通じて持続的な森林経営を成立させなければなりません。また、齢級構成の偏りを、主伐、再造林で平準化させることが必要です。ところが主伐がなかなか再造林に結びつかない再造林放棄問題があり、林業の持続性を危うくしています。

再造林放棄の根幹には林業の収益性の悪化があります。昭和 55 年に最高値を付けたスギ丸太が今は 1/3 以下に落ち込み販売収入が少なくなる一方で、伐った後の再造林や下刈り作業として、初期の 5、6 年以内に 1 ha あたり 100 万円を優に超える経費を投入しなくてはならず、林業経営には厳しいものがあります。収益性を改善すべく、木材生産現場では、高密度・低コスト路網の整備や高性能林業機械の導入により伐出作業の生産性の向上・低コスト化が図られてきましたが、伐出後の再造林に関連する地拵え・植栽・下刈りの一連の作業については、コスト削減技術の開発は大きく立ち後れています。

農林水産技術会議の“新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業”で平成 21 年度より実施してきた研究プロジェクト「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」が今年度で終わります。今までの 4 年間で明らかにしてきたことを、研究成果報告としてこの一冊に取りまとめました。このプロジェクトの大きな成果の一つに、伐採と植栽を同時並行的に行う伐採～地拵え～植栽の一貫作業システムの提案と、そのシステムによるコスト削減の実証があります。従来、“林業は木を植えることに始まり、木を伐ることで終わる”、と捉えられがちですが、この発想では、植栽と伐採は、始まりと終わりであり、時系列の直線の両端に位置し繋がりません。“林業は木を伐ることに始まり、木を植えて育て上げて、元の状態（蓄積）に戻して終わる”、と発想を転換すれば、伐採・搬出・地拵え・植栽・成林・伐採という循環ができあがります。物の見方を変えることで新たなシステムが浮かび上がり、技術革新で新たな林業スタイルが描ける、ということを実感したプロジェクトでした。今後、日本各地で起こると思われる再造林低コスト化への実践に対して、技術的支援や施策支援として、このプロジェクトで得られた研究成果がより多くの方々に参照いただければ嬉しい限りです。

プロジェクトリーダー 森林総合研究所九州支所 中村松三

再造林コスト削減のポイント

再造林コストは、一貫作業システムの導入、コンテナ苗や大苗の活用、下刈り回数の削減を行うことで、従来方法と比べて、約 35% 程度のコストが削減できると分かりました。詳細な条件などについては、後述の研究紹介を見て下さい。



一貫作業システムとは？

佐々木達也¹・中澤昌彦¹・岡勝²・今富裕樹³

¹ 森林総合研究所 林業工学研究領域・² 鹿児島大学・³ 東京農業大学

伐採した後、苗木を植えない再造林放棄が大きな問題になっています。そこで私たちは再造林を行いやすくするために、従来の地拵えや苗木の植付け作業を見直し、伐採・搬出に使う車両系機械を活用して、伐採・搬出、地拵え、植付けを連携して同時に行う「一貫作業システム」を考案しました。このシステムを使った現地での調査の結果、従来作業に比べて大幅な作業効率の向上と省力化が可能になることがわかりました。

従来の作業方法と問題点

再造林にあたって、短幹、全幹集材を行った現場では林地に散らばった枝条などを集め、地拵えを行います（図1）。全木集材の場合、林地には集材木の枝条は少ないため、支障木や伐採前に生えていた雑木等の量によっては地拵えの必要はなくなりますが、枝条は造材箇所集中して多くたまり、林地に返されません。また、これら従来の作業方法では植付けまでに時間をおいた場合、植生が回復するため刈払いを行う必要があります。地拵えや刈払いは人力で行うため、多くの労力や時間を必要とします。

一貫作業システム

一貫作業システムでは伐採～搬出作業中に使用している車両系機械を活用して、集材・造材を行いながら同時に地拵えを行います。これにより作業効率の向上、省力化が可能になります。以下にこの一貫作業システムの特徴を整理しました。

ポイント 1～機械地拵え：グラップルローダやグラップル付バケットなどの車両系機械を活用して、集材作業中に同時に地拵えを行います。①機械で簡易な道を作設しながら木寄せを行い、自走して集材し、②造材の際に発生した枝条などを先山に持ち帰り、道沿いに筋状に配置します。③プロセッサに空き時間が発

生した場合、プロセッサ自身も発生した枝条などを持って行き筋状に並べます。道の密度を高くすることで車両系機械により集材でき、かつ地拵えの筋が林地にまんべんなくできあがるというのがこの方法のポイントです。

ポイント 2～苗木の運搬：通常、フォワーダは材を運搬した帰りの移動は空荷です。しかし一貫作業システムでは苗木を運搬させます。道があり、運搬する機械がある時に行うため、人力での苗木運搬に比べて労力が軽減できます。

ポイント 3～コンテナ苗の使用：苗木は、コンテナ苗を使用します。何故なら、伐採と連動して直ぐに植付けするため、植栽時期を選ばずいつでも活着が良いという特質をもっているためです。また、裸普通苗に比べて植栽作業効率の向上と省力化が期待できます。

一貫作業システムの効果

この一貫作業システムを現地で調査した結果、地拵えから苗木植付けまでの労働投入量は、従来の作業方法が平均約27人日/haであったのに対して、一貫作業システムでは、平坦～緩傾斜（0°≤傾斜<15°）から中～急傾斜（15°≤傾斜<30°）までの現場を通じて4～9人日/haと、従来の作業方法の2～3割で済むことがわかりました（図2）。

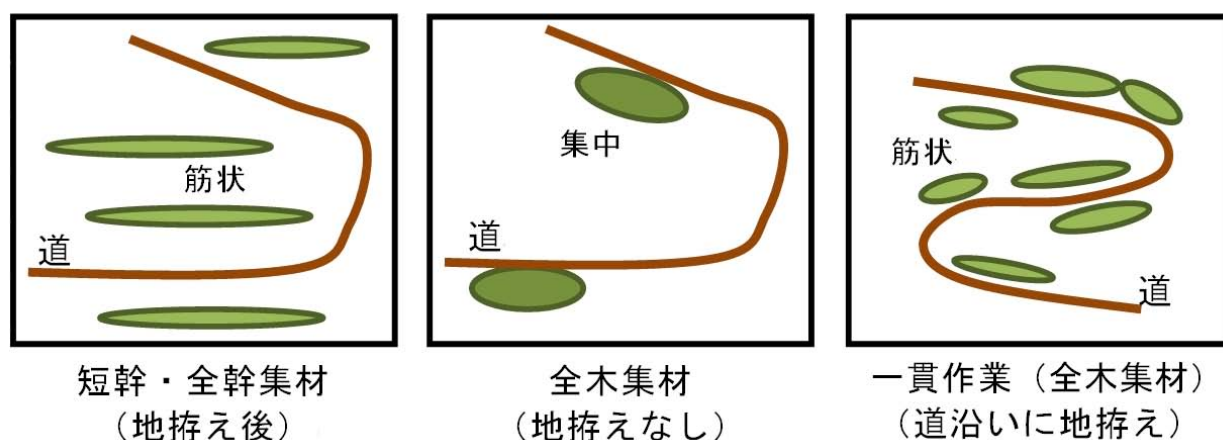


図1. 作業方法別の末木枝条の集積箇所の模式図

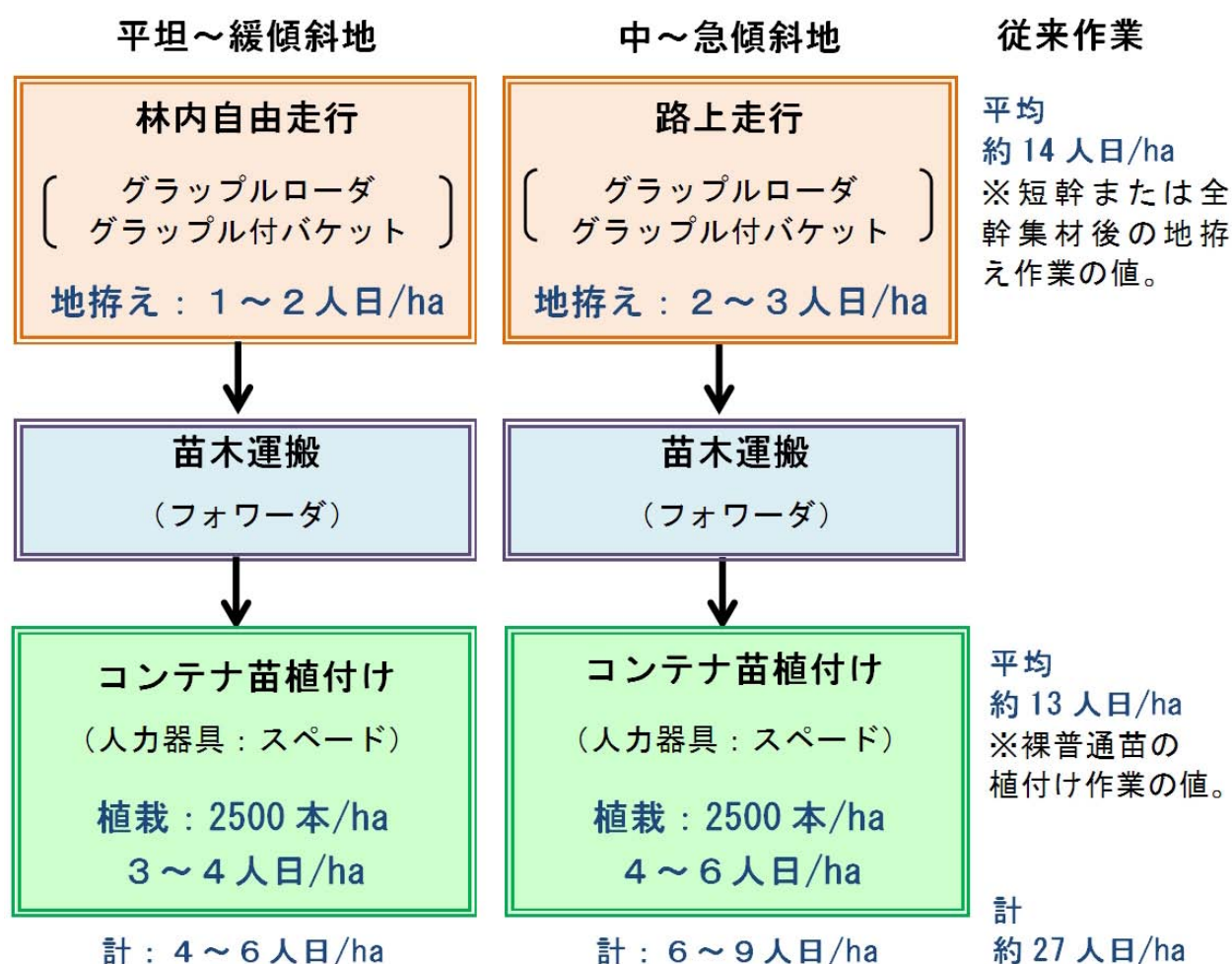


図2. 一貫作業システムの労働投入量

一貫作業システムの実施事例の紹介

佐々木達也¹・中澤昌彦¹・岡勝²・今富裕樹³

¹ 森林総合研究所 林業工学研究領域・² 鹿児島大学・³ 東京農業大学

鹿児島県の曾於市森林組合で一貫作業システムを実際に行いました。ここでは、チェーンソーによる伐倒、ウィンチ付きグラップルローダによる木寄せ・集材と集材路作設、プロセッサによる造材、フォワーダ等による材の搬出を行いながら、同時に地拵えと苗木の運搬を行いました。この事例について紹介します。

立木の伐倒

集材作業の前に立木を伐倒します。その際、次の木寄せや集材の工程の効率を上げることを考えて伐倒方向を決めます。これは重要なポイントです。集材はプロセッサが処理しやすいように元口をプロセッサに向けて置きます。そのため伐倒木の向きによっては集材時に元口と末口を逆にしなければならず、余分な時間がかかります。それは生産性が低下する原因になります。道からの木寄せおよび集材がしやすく、なおかつ材の方向転換ができるだけ少なくなるようにイメージして伐倒方向を決めます。

木寄せ・集材と地拵え

グラップルローダは、機械が進むための道を作りながら木寄せを行い、プロセッサがいる土場まで自走して集材します（図1①）。また、木寄せの時には枝や梢端をなるべく折って落とします。土場へは枝が少ない状態の材が運ばれます。

土場から先山に戻る時、プロセッサが造材した際に発生した末木枝条、幹の根元部分や曲がり部分などをついでに持って行き、道沿いに筋状にならべます（図1②、③）。つまり、木寄せ・集材しながら地拵えを行います。また、道からブーム・アームを伸ばし、林床に散乱する枝条をかき集めます。したがってブーム・

アームの到達範囲を意識して道を作設することも重要です。

グラップルローダが自走して集材するため、集材する距離が長くなると効率が低下します。その場合、道の途中に新しく土場を作り、プロセッサを移動させ、集材距離を短くします。なお、造材した材は、フォワーダで運搬します（図1④）。

苗木の運搬と、コンテナ苗の植付け

フォワーダなどの運搬車両は、材を運搬した帰りに苗木を運搬します（図1⑤）。この現場のように軟弱な土質では軽トラックなどの車両は入れないため、フォワーダによる運搬が威力を発揮します。

苗木の植付けは、地拵え作業を終え、集材作業と重ならない安全な場所から開始します（図1⑥）。苗木はコンテナ苗を使用します。

おわりに

このようにして作業を行うと、枝条が道沿いに筋状に整理されて置かれます。きれいに地拵えが行われたにもかかわらず、人力地拵えの事例と比較して大幅に労働投入量を削減できました。また時間分析の結果、かかり増しである地拵え部分の作業時間は全体の約1割と非常に少ないことがわかりました。

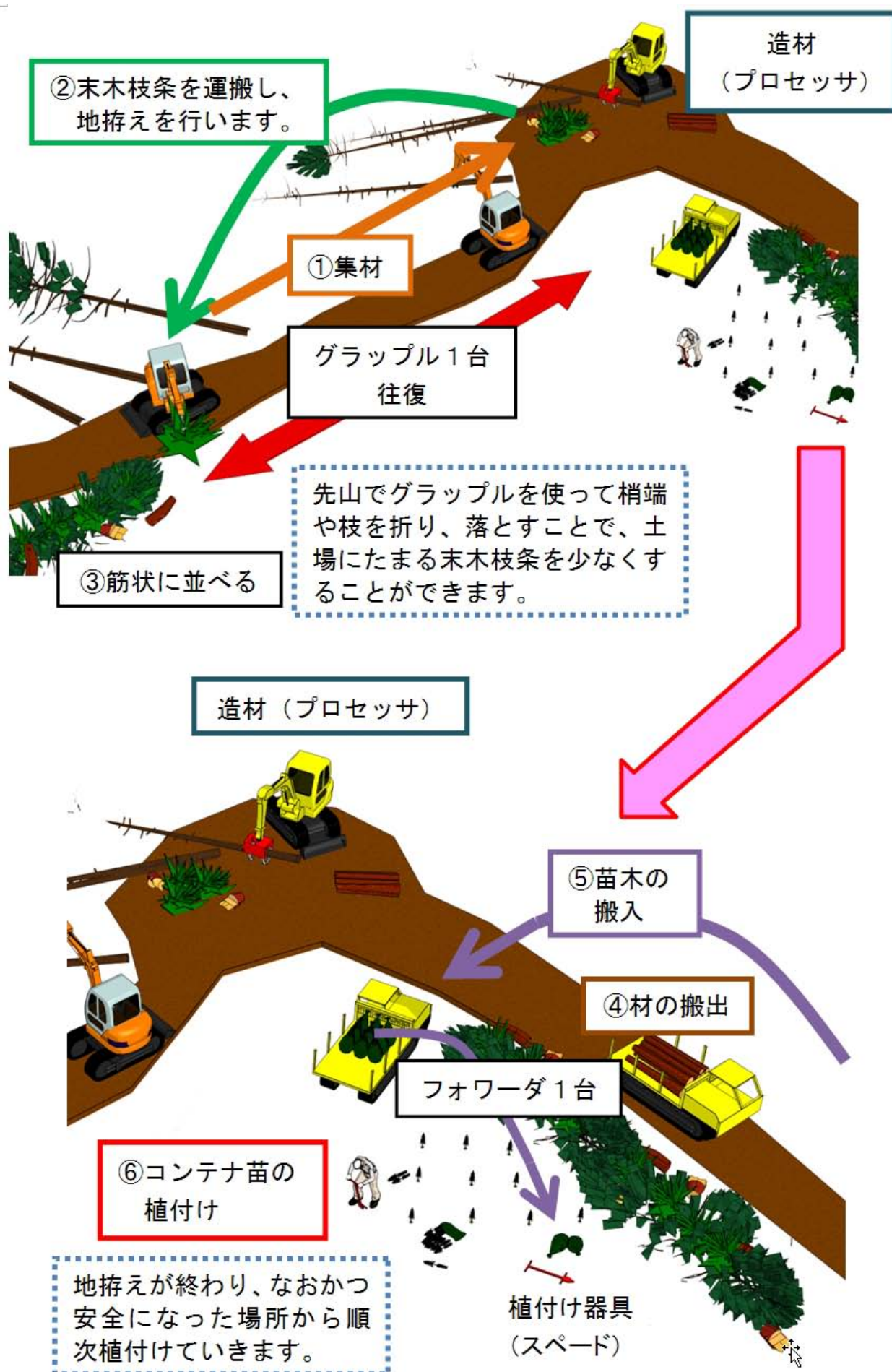


図1. 一貫作業システム事例全体図

スギ大苗を効率的に生産する方法

藤井 栄・金磯牧夫・市原 光

徳島県森林林業研究所

樹高が高い大苗の植栽は、雑草木との競争に有利であり、下刈り回数の削減に貢献すること、また、シカによる梢端部の採食害を軽減することが期待されています。そこで、スギポット大苗を効率的に生産する方法を検討しました。その結果、育苗ポットを従来よりも高密度に配置し、錠剤タイプの緩効性置肥とあわせて、散水チューブで自動かん水する棚栽培システムを確立し、2年半で、最大樹高 120cm のスギ大苗を生産することができました。

スギポット大苗の活用

大苗を利用した造林の低コスト化について、多くの試験研究機関から研究成果が報告されています。しかしながら、大苗の運搬や植栽の煩雑さに加え、大苗が生産されていないことから、造林の現場で活用されていません。そこで、シカ食害痕が 120cm 以上で減少することに着目し、植栽後の活着や成長が期待でき、取り扱いやすい苗高 120cm のスギポット大苗を効率的に生産するシステムの開発に取り組みました。

スギポット大苗の育苗フロー

育苗期間はおおよそ 2 年半です（図 1）。播種は、ポットに植替え後の枯死率を低減するため、種子の発芽率に配慮し、セルトレイに行います（図 2）。稚苗の根巻きが発生しない 5cm ～ 10cm 程度の苗高でポットに植替えます。成長末期には、苗木間の苗高に差が生じるため、高さを揃えてポットを配置替えします。このことで、樹高成長が促進され、得苗率の向上につながります。3 回の成長期を経て、最大苗高 120cm の大苗が生産できます。

大苗生産のポイント

①**育苗密度**：従来の育苗では床替後の密度は約 40 本 / m^2 ですが、樹高成長を促進するため、ポット植替え後は 76

本 / m^2 の高密度で育苗します。このため、ポットは縦長（上面直径 9cm、高さ 20cm、容量約 1000cc）のものを使用しました。育苗 2 年目で苗木の生長を比較したところ、約 40 本 / m^2 では肥大成長が、76 本 / m^2 では伸長成長が目立つ傾向がありました。

②**施肥・かん水**：大苗の得苗率を向上させるためには、成長期に継続的・安定的な施肥が必要です。水で溶出する錠剤タイプの緩効性肥料を培土上に置肥し、ムラのない均一なかん水方法を確立しました。育苗密度が高く、苗高が高い大苗の場合には、一般的な上方からのかん水ではムラが頻繁に発生し、最も大きな枯死要因となったことから、側方からのかん水方法を検討し、最終的に苗木の根元に散水チューブを通すかん水方法を採用しました（図 3）。

大苗のさらなる低コスト化に向けて

秋に播種後、霜害を避けるためハウス内で苗を越冬させることにより、翌春からの成長が促進され、半年間の育苗期間短縮が見込まれます。また、容量 1000cc のポットを用いて試験を進めてきましたが、現在、500cc ポットでの大苗生産に取り組んでいるところです。

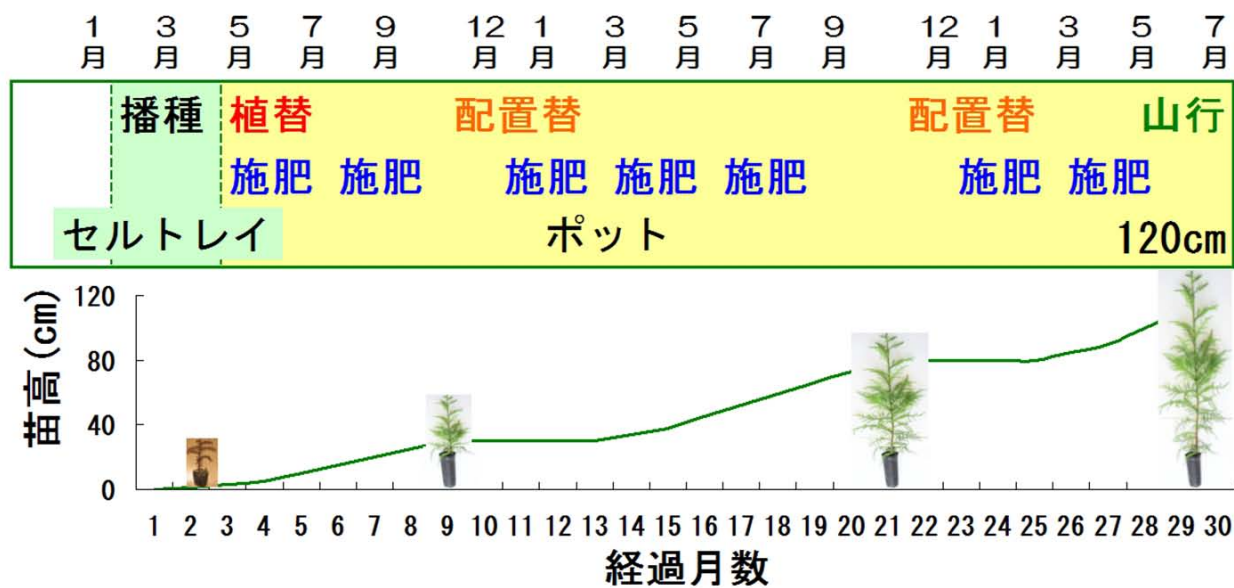


図1. 2年半で最大樹高 120cm となるスギポット大苗育苗フロー



図2. セルトレイと育苗した稚苗



散水チューブ

かん水ムラの抑制
安定かん水で肥料溶出量制御

図3. 散水チューブを用いた側方からのかん水システム

新たな育苗ポット 「スギバーク成型ポット」の開発

藤井 栄・金磯牧夫・市原 光

徳島県森林林業研究所

スギバークを成型したスギ育苗用ポットを開発しました。このポットは、スギバーク粉碎物にポリビニルアルコール（PVA）を混練し、金型成型したもので、吸水・保水力があり、2年間形崩れせず、根巻きも発生しません。また、成型時には移植穴の形状をセル苗やコンテナ苗などの根鉢サイズに合わせてあり、植替え作業を容易にしています。完成したポット苗は、錠剤タイプの緩効性肥料を置肥し、散水チューブで、朝夕2回、自動かん水する棚栽培システムで育苗します。

スギバークの新たな用途開発

林業や木材産業から排出されるスギバークは、その多くが利用されずに産業廃棄物になっています。その処理に多くの経費を要することから、本県では新たな用途の開発に取り組み、スギバークを利用したトマト等の植物栽培用培地の製造法の特許（特許第4395661号）を取得しています。この時の技術開発で得られた知見を活かして、スギ大苗育苗用の成型ポットとその育苗システムの開発に取り組みました。

スギバーク成型ポットのつくり方

ポットでのスギ大苗の育苗期間は、最長2年程度ですので、その間形崩れしない耐久性と適度な吸水性と保水性が求められます。スギバーク粉碎物の結合材としてケン化度が異なる2種類のPVAが適していることや成型後の乾燥の最適条件を明らかにし、満足できる性能を付与することに成功しました。スギバーク粉碎物に対して、接着力が強く水で溶出しにくい完全ケン化のPVA2.5%と水で溶出しやすい部分ケン化のPVA2.5%を混練し、金型成型した後、80℃で2時間程度乾燥すると、優れた性能を有するポットが製造できます（図1）。

吸水性改善

スギバークは撥水性が高いため、成型後、3ヶ月以上放置すると吸水性が落ちます。そのような場合は、培養土用界面活性剤を500倍に希釈した溶液に浸せば、吸水性は向上します（図2）。

スギバーク成型ポットの特徴

①根巻きしないポット苗

根がポットの外面に達し、空気に接すると根の伸長が止まり、植栽後の成長を阻害する要因となる『根巻き』が、底面だけでなく側面にも発生せず、細根が発達した根となります（図3）。

②移植穴を設けて植替えを省力化

スギ苗のポット育苗では、稚苗のポットへの植替え作業の機械化が容易でなく、多くの労力がかかります。この作業の省力化のため、成型時に移植穴を設けました。容量の小さなトレイに播種し育苗したセル苗やマルチキャビティコンテナで育苗した苗木をこの移植穴に置くだけで、効率よく植替えできます（図4）。

量産化に向けて

このポットは、農業用苗木の栽培にも使えますので、スギバークを様々なサイズ・形状に成型する量産システムの開発につながります。

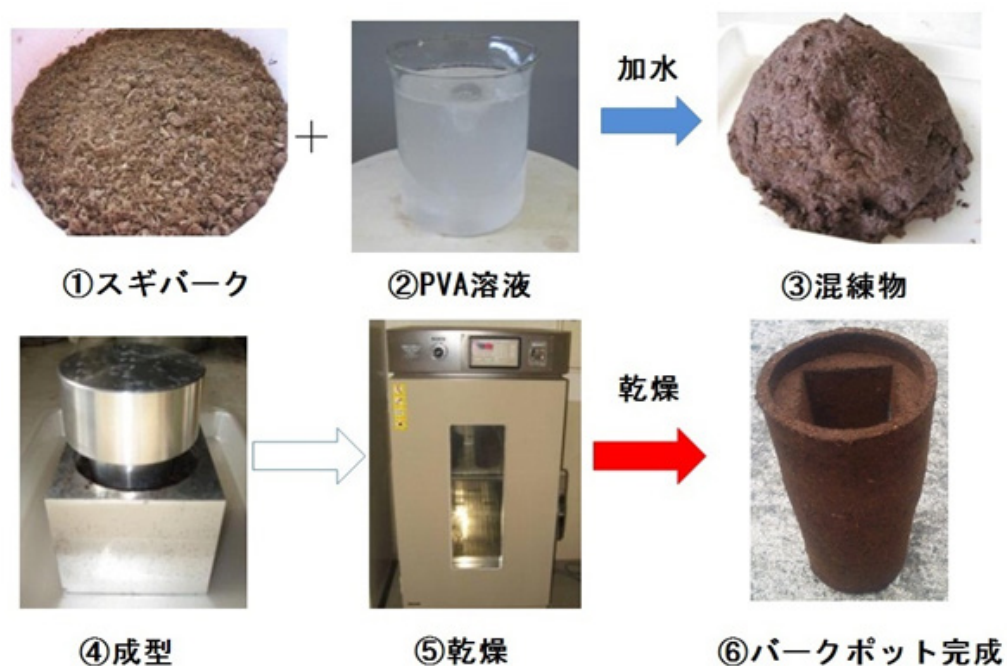


図1. スギパーク成型ポットの製造工程

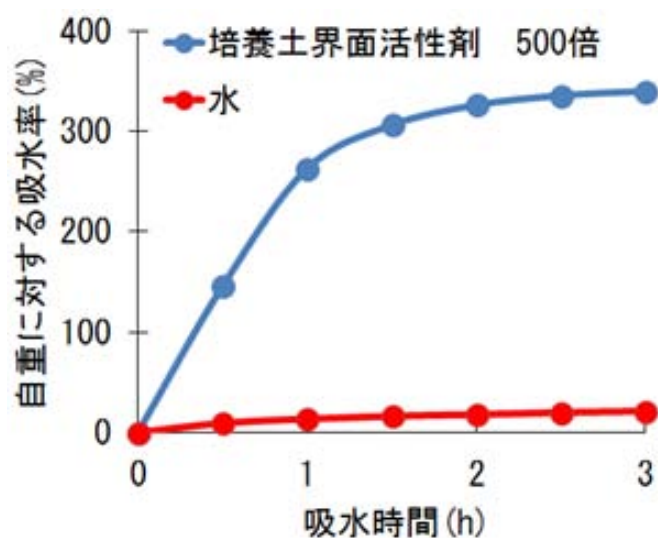


図2. 吸水性改善



図3. 洗出後の細根が発達した根

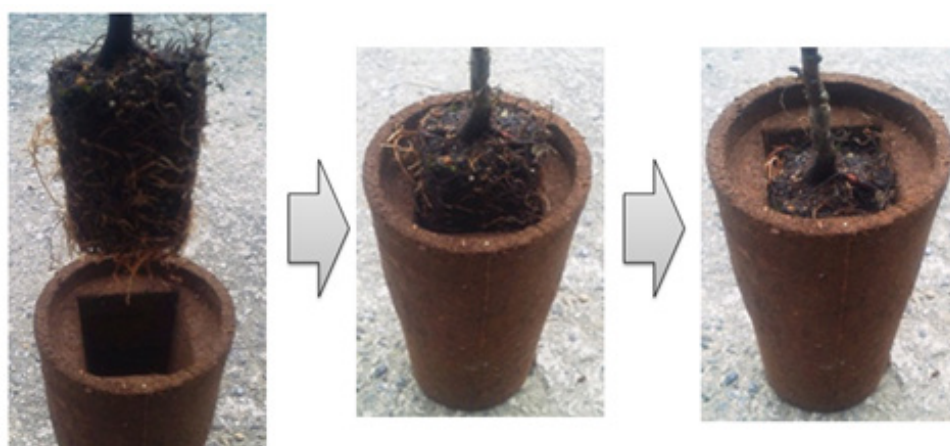


図4. 効率よく植替え出来るスギパーク成型ポット

コンテナ苗の植栽器具と植栽作業能率

山田 健¹・落合幸仁¹・岡 勝²

¹ 森林総合研究所 林業工学研究領域・² 鹿児島大学農学部

近年、造林の低コスト化を求めて、コンテナ苗が普及しつつあります。コンテナ苗は、専用の器具を使用することにより従来型の裸普通苗と比べて楽に高能率に植付けることができ、また植付け適期が長いため、植栽作業の季節的な平準化が期待されています。コンテナ苗の植栽作業現場で調査を行ったところ、裸普通苗の約2倍の作業能率が得られることがわかりました。

コンテナ苗と植栽器具

コンテナ苗は根が培地と一体となった、いわゆる鉢付き苗であるため、根がむき出しの裸普通苗と比較して植栽が容易です。すでにコンテナ苗が広く普及している北欧、北米ではコンテナ苗専用植栽器具が多数考案されていて、それらを使用した植栽が行われています。日本ではまだコンテナ苗が普及し始めたばかりで植栽に適した器具を模索している段階ですが、今のところはスぺード、ディブル、従来型のクワなどを使用しています（図1）。ほかに、楽に能率よくコンテナ苗を植付けることができる器具としてプランティングチューブがあります。枝張りの大きなスギコンテナ苗などは苗木がチューブの途中で詰まることが頻繁に起きて作業能率が下がるため、国内では現在あまり使用されていません。しかし、カラマツやクロマツのような枝張りの少ない苗木には適しているため、今後多様な樹種がコンテナ育苗されるようになるにつれて、プランティングチューブが使用されるようになるかもしれません。

コンテナ苗の植栽作業能率

国内でコンテナ苗が生産されるようになったのはここ数年のことなので、コンテナ苗植栽作業能率はわかっていませんでした。そこで、仙台森林管理署管内の緩～急傾斜の斜面にスギコンテナ苗を植付けている現場で、植栽作業能率を測定しました。比較のため、従来型の裸普通苗も同時に植栽しました。1本あたりの平均植栽所要時間は裸普通苗で約57秒、苗高50cm以下の小型のコンテナ苗で約27秒、50cm以上の大型のコンテナ苗で30秒程度で、単位時間当たりコンテナ苗は裸普通苗の約2倍の本数を植栽することがわかりました（図3）。地形傾斜による差はあまりなく、植栽器具ごとではクワが多少他の器具よりも能率が落ちるようです。

コンテナ苗植栽器具は国内では市販されておらず、今のところ海外から購入するか自作するしかありません。スぺードやディブルは比較的容易に鉄工所等で製作することができます。プランティングチューブは国際特許が設定されているとのことで、海外から購入するしかありません。



図1. 植栽器具

左から、プランティングチューブ・スペード・ディブル



図2. 植栽作業

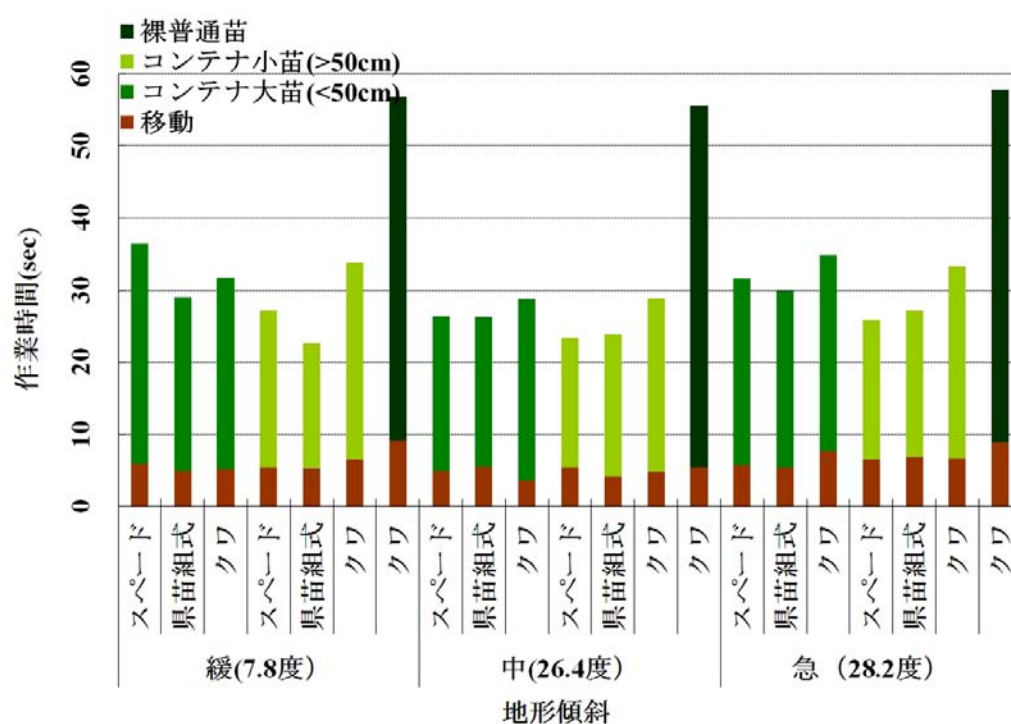


図3. 1本あたり植栽作業時間

「県苗組式」とは宮城県苗組開発のディブル

コンテナ苗自動耕耘植付機 による植栽作業能率

山田 健¹・落合幸仁¹・岡 勝²

¹ 森林総合研究所 林業工学研究領域・² 鹿児島大学農学部

伐出作業と比較して、育林作業は機械化が遅れています。そこで、育林作業全般を機械化する機械化育林作業システム構築の一環として、コンテナ苗を植付ける自動植付機を開発しました。この自動植付機により地形傾斜別に作業試験を行って、作業能率を測定しました。その結果、平坦地では人力植付け以上の能率を上げられるものの、傾斜が急になるに従って作業能率は低下し、その要因はブーム操作時間にあることがわかりました。

開発の背景

植栽作業を機械化するためには、サイズと形状が均一なコンテナ苗の供給が不可欠です。近年、日本国内にコンテナ育苗技術が普及しつつあり、コンテナ苗が安定して供給されるようになって、植栽作業機械化の条件が整ってきました。森林総合研究所では以前より自動植付機の開発を進めており、このたび実用化に向けた作業機を試作しました。

コンテナ苗自動耕耘植付機の概要

自動植付機の開発にあたり、既存の林業機械に取付けられるように、ベースマシンを油圧ショベルとしました。植栽だけでなく植栽後の下刈りも軽減するため、植付け前に一定面積を耕耘して雑草木の再生を抑えることを意図しました。そこで、プランティングチューブ型植付け機構にプロペラ型オーガ（耕耘刃）を組み合わせ、上部にコンテナ苗を供給する苗木格納部を取付けた、コンテナ苗自動耕耘植付機（以下：自動植付機）を開発しました（図1）。自動植付機は、耕耘、植付け、てん圧を連続的に行う多工程作業機で、一連の動作は自動制御されていて、オペレータはベースマシンの操作に専念することができます。

機械化植栽の作業能率

この自動植付機を使用して、平坦（地形傾斜0度）、緩傾斜（平均9度・最大10度）、中傾斜（平均12度・最大19度）の3段階の傾斜の造林地で植栽作業を行い、作業能率を測定しました（図2）。その結果、傾斜が急になるほど苗木1本を植付けるのに必要な時間が増大し、その要因はブーム操作時間にあることが判明しました（図3）。すなわち急傾斜になるほどブーム操作に時間をとられて作業能率が低下します。平坦地では専用器具を使用した人力コンテナ苗植栽作業よりも高能率に作業できます。ところが、傾斜が急になるにつれてブーム操作に時間をとられて人力による作業能率を下回るようになってきます。地形にかかわらず高能率に作業するためには、ブーム操作時間を短縮する必要があります。

この自動植付機の開発に当たっては、植栽前に土壌を耕耘することによって、植栽作業のみならず後の下刈り作業を軽減することを意図していましたが、残念ながら顕著な効果は見られませんでした。

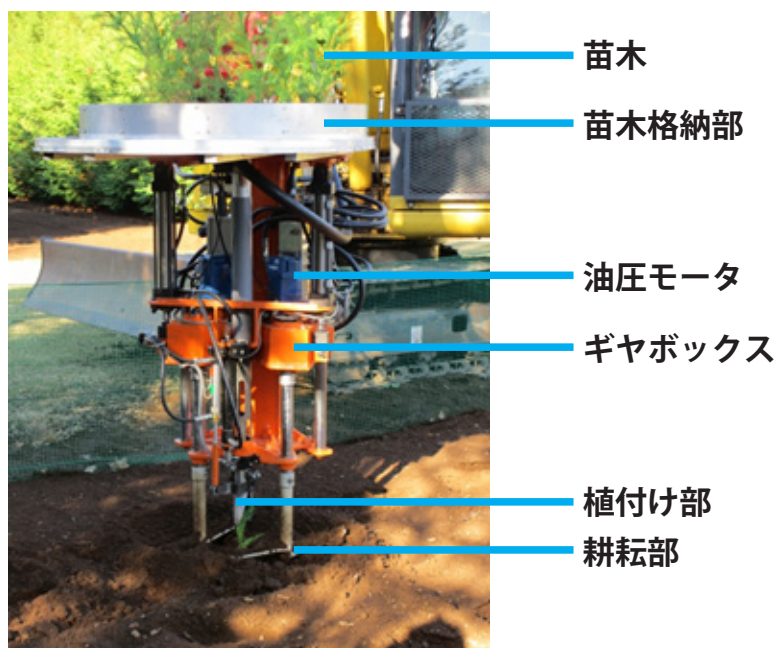


図1. コンテナ苗自動耕耘植付機



↑ 平坦地



↑ 中傾斜地



← 緩傾斜地

図2. 植栽作業の状況

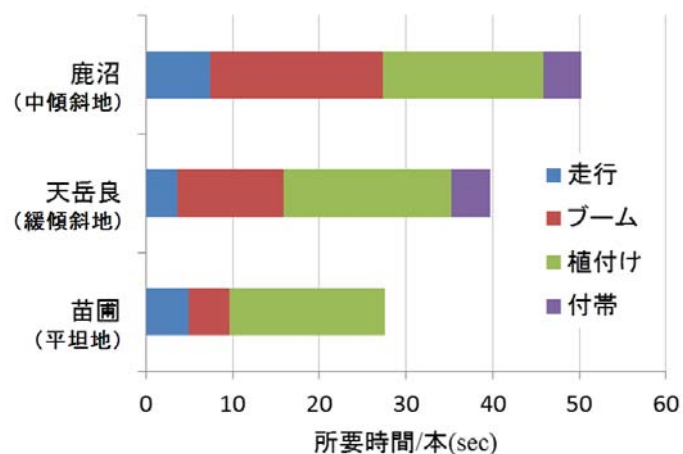


図3. 1本あたりの植栽作業時間

コンテナ苗はいつでも植栽可能か？

山川博美・重永英年

森林総合研究所 九州支所

コンテナ苗は、裸苗に比べて活着率が高く時期を問わず植栽可能と言われていますが、実際のところ不明な点も多くありました。そこで、時期別に植栽試験をした結果、一年を通して良好な活着率が得られました。このことは、伐採・搬出と並行して地拵え、植栽を行う一貫作業システムにおいて、コンテナ苗が適した存在であることを示しています。

コンテナ苗とは？

平成 18 年度から 3 カ年の林野庁の「低コスト新育苗・造林技術開発事業」でマルチキャビティコンテナの金型が設計・製作されました。キャビティ容量が 150cc と 300cc の 2 タイプがあります。コンテナ苗はこのマルチキャビティコンテナによって育苗されて生産されます。根鉢が成型された鉢付き苗で、ヤシ殻ピートを主とする培地に根が伸張・充満することでコルク栓状に根鉢が成型されます。キャビティコンテナの内面にはリブと呼ばれる突起状の立て筋があり、根が下方へ真っ直ぐに伸びる仕掛けになっています。また、底の部分は穴が開いており、空中へ根が突き出すことにより成長が止まる仕掛けとなっています。結果的に、ポット苗で問題となる根巻きが、コンテナ苗では生じないのが大きな特徴となっています（図 1）。

コンテナ苗は植栽時期を選ばない？

コンテナ苗は年間を通じて植栽できるかどうかを明らかにするため、九州森林管理局と連携し、宮崎森林管理署石坂国有林内においてコンテナ苗時期別植栽の実証試験を行いました（図 2）。具体的には平成 22 年 8 月より 10 月、12 月、

平成 23 年 2 月、5 月まで、約 2 ヶ月毎にコンテナ苗を植栽しました。いずれの時期に植栽しても活着率は 94% 以上で（表 1）、時期を問わず植栽可能ということがこの試験から明らかになりました。また 2 月に植栽した裸苗との比較では、その値は同程度かそれ以上でした。

コンテナ苗の活着は、苗木の状態や栽培環境、山出し前の順化、植え付け方法などにより左右される可能性があります。そのため、今後もデータを収集し、解析する必要があります。

今後のコンテナ苗生産に向けて

コンテナ苗の栽培は平成 21 年度に宮城県と宮崎県から始まりました。今は熊本県、岩手県、北海道ほか他県へ広がりを見せています。今までの裸苗生産技術をベースに、地方の特質や個々の生産者の考えに即して、幾つかの栽培法の試行が始まっています。コンテナ苗の効率的な生産により低価格化を実現し、どの時期でも安定的に供給できる栽培技術の開発が、低コスト再造林の実践にとって必要不可欠なものと考えられます。



図1. マルチキャビティコンテナ（左）とコンテナ苗の根茎

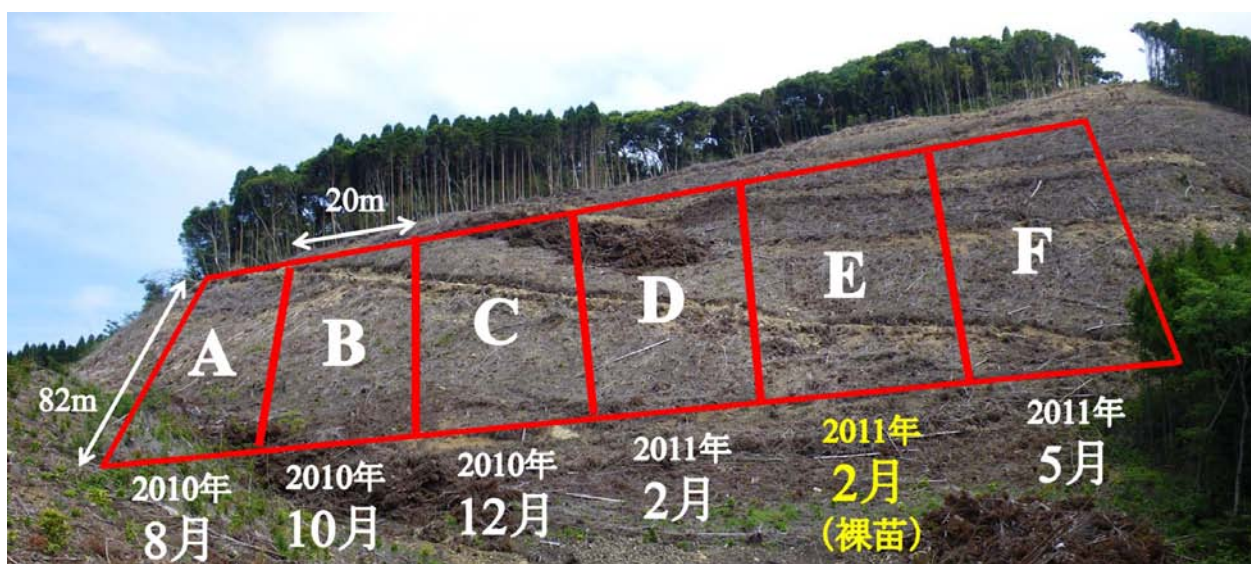


図2. 試験地の遠景と植栽時期

表1. コンテナ苗および裸苗の活着率

植栽時期	苗木の種類	個体数（本）			活着率（%）
		植栽本数	生残	枯死	
8月	コンテナ苗	365	344	21	94.2
10月	コンテナ苗	351	348	3	99.1
12月	コンテナ苗	343	341	2	99.4
2月	コンテナ苗	323	316	7	97.8
2月	裸苗	357	342	15	95.8
5月	コンテナ苗	366	351	15	95.9

大苗等の植栽と運搬の作業効率

渡辺直史・徳久 潔・深田英久・藤本浩平

高知県立森林技術センター

再造林の低コスト化の手段として大苗植栽が考えられます。これは、樹高の初期値を大きくして下刈り期間を短縮することでコスト削減を期待するものです。しかし、大苗の植栽には裸普通苗より多くの時間を要します。そこで、裸普通苗、裸大苗、ポット大苗、コンテナ苗の植栽に要する投入労働量や苗木の運搬速度を調査しました。

苗木の種類と植栽効率

苗木には、裸苗、ポット苗、最近注目されているコンテナ苗等があります（図1）。これらの苗木の植栽工期調査から明らかにした植栽効率を図2に示します。1 haあたりの植栽人工数は、平均苗高45cmの裸普通苗の場合、3,000本/haで8.3人工、1,500本/haで4.8人工でした。平均苗高85cmの裸大苗になると、かさばるために苗木袋に一度に入ると、本数が15本程度まで減少するので、植栽する時間のみならず苗木を取りに行く時間も増加し、それぞれ15.5人工、8.2人工と裸普通苗より71～87%増加しました。平均苗高45cmのコンテナ苗では6.2人工、3.5人工と裸普通苗の73%～75%まで減少しました。平均苗高88cmのポット大苗になると重量が裸大苗の3倍になります。一方、植え穴掘りは根鉢サイズの大きさだけでよく裸大苗の植え穴より小さくてすみ、植栽時間を裸大苗より短縮できます。ポット大苗の植栽人工数は3,000本/haで13.6人工、1,500本/haで7.2人工となり、裸大苗より13%人工が減りました。裸普通苗と比べると50～64%増しの人工数となりました。

苗木の運搬

苗木は植栽地近くまで車で運搬し、その後は人力で植栽地まで運びます。苗木運搬の速度を下り斜面で調べました。人ひとりが持てるだけの苗を持ち斜面を下る場合、運搬速度は斜面の傾斜度で決まります。距離50mを運搬するのに要する時間は30度の斜面で170秒、18度の斜面で117秒、傾斜0度で71秒でした（図3）。人ひとりが一回で運べる量は裸普通苗で約200本、裸大苗は約100本です。ポット大苗は根鉢の分だけかさばり重くなるため、一度に持てる本数はこれより少なくなります。

一方、上り斜面での苗木運搬は、当然人力では効率が悪くなります。ポット大苗や裸大苗になると更に大変です。出材時の架線等を利用したり、伐出機械を苗木運搬に利用する一貫作業システムを採用するなど工夫が必要です。



裸普通苗	裸大苗	コンテナ苗	ポット大苗
平均苗高 45cm	平均苗高 85cm	平均苗高 45cm	平均苗高 88cm
平均重量 105g	平均重量 242g	平均重量 178g	平均重量 725g

図1. 苗木の種類

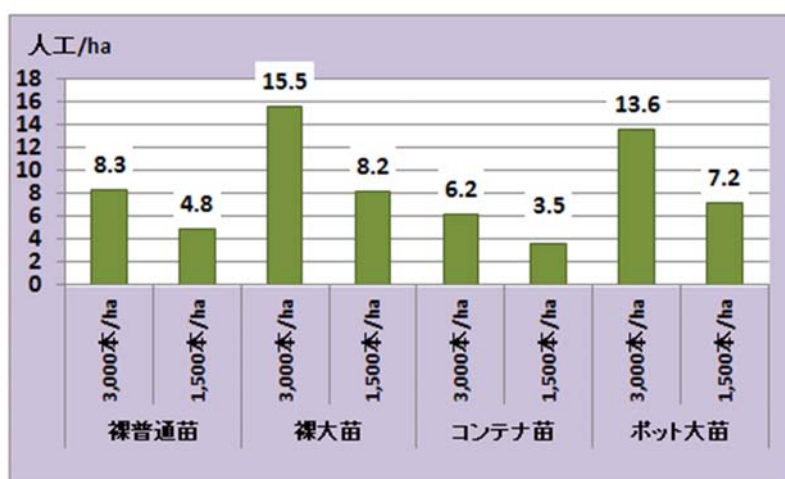


図2. 苗木の植栽人工数

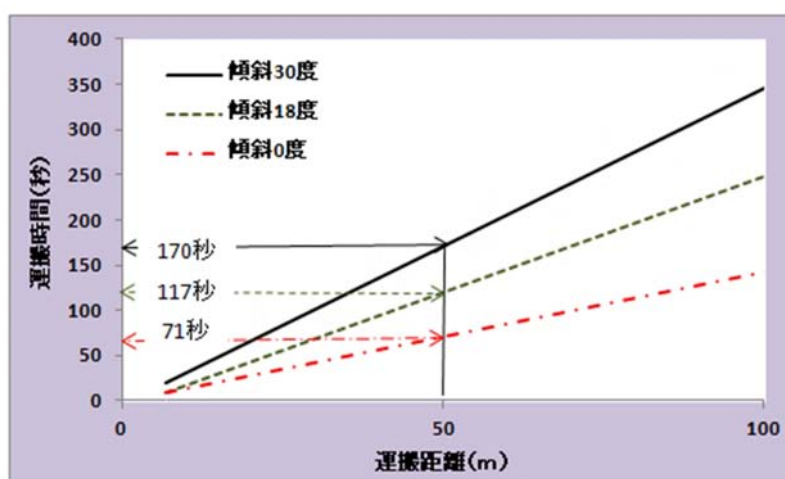


図3. 苗木の運搬時間と運搬距離

傾斜 30 度 $y=3.3951x$ 、傾斜 10 度 $y=2.3421x$ 、傾斜 0 度 $y=1.4211x$

再造林放棄地における再生植生

吉田茂二郎¹・保坂武宣¹・長島啓子²・大本健司³

¹九州大学大学院農学研究院・²京都府立大学農学部

³九州大学大学院生物環境科学府

九州地方では、人工林の皆伐後に再造林した場合、広葉樹が天然更新し、植栽した苗木の成育を阻害することが知られています。そのために、植栽後から毎年の下刈りに加えて、その後も除伐が行われ、育林コスト増大の一因となっています。しかし、再生植生の条件によっては、下刈り等の回数軽減の可能性があるので、九州全域の再造林放棄地データから、どのような植生が再生し、どのように変化するかについて明らかにしました。

どのような植生群が再生してくるのか？

再造林放棄地（以下、放棄地）における再生植生の調査解析を通じて、植生区分を行いました（図1）。人工林を伐採しその後に再造林を行わなかった放棄地での初期（放棄後5～11年）には、木本樹種がない草地型と木本樹種が再生した木本型植生があることがわかりました。そして、木本型植生は更に（1）アカメガシワ、カラスザンショウ、クサギ、ヌルデなどの先駆性樹種が優占する場合と、（2）非先駆性樹種が優占場合があります。前者はその植被率が小さい場合の先駆性樹種「侵入型」と、大きい場合の先駆性樹種「優占型」に区分できます。後者は優占樹種によってアラカシ、シロダモなどの常緑樹優占型と、カナクギノキ、クマノミズキなどの落葉樹優占型に分類できるとことがわかりました。

さらに大分県全域での調査データを解析し初期（放棄後5～11年）から中期（同11～16年）への植生変化を示しました（図2）。初期の先駆性樹种群Aは非先駆性落葉高木群Dに、非先駆性落葉高木群Dは常緑高木群Gや常緑高木優占群Fに遷移しているケースが多いことがわかりました（図2）。

初期の植生回復を規定する要因は何か？

九州全域で行った放棄地調査データから、初期の植生回復を規定する要因について解析を行いました。その結果、木本樹種の回復を規定する要因は、シカ食害の程度によって異なり、食害が軽度の場合で5年以上、同重度の場合でも8年以上になれば、植生が回復するケースも見られることがわかりました。さらに、優占樹種（先駆性樹種か非先駆性樹種か）を規定する要因について分析した結果、隣接広葉樹の有無、斜面形状、放棄面積、放棄年数さらに萌芽率等が挙げられました。

樹種の生活型によって樹高や直径の成長に違いがあるのか？

植栽した苗木と再生植生との競合度合いを明らかにするため、生活型グループごとに各林齢の成長の良い個体を用いて、その樹高、直径の平均値と単年当たりの成長量（最大単年伸長量）を算出しました。その結果、①常緑樹は先駆種や落葉樹に比べて成長が遅いこと、②樹高は下刈りが必要な初期段階で生活型の違いによる差は小さいこと、③逆に直径は初期段階から成長差が明瞭に見られること等を明らかにしました。

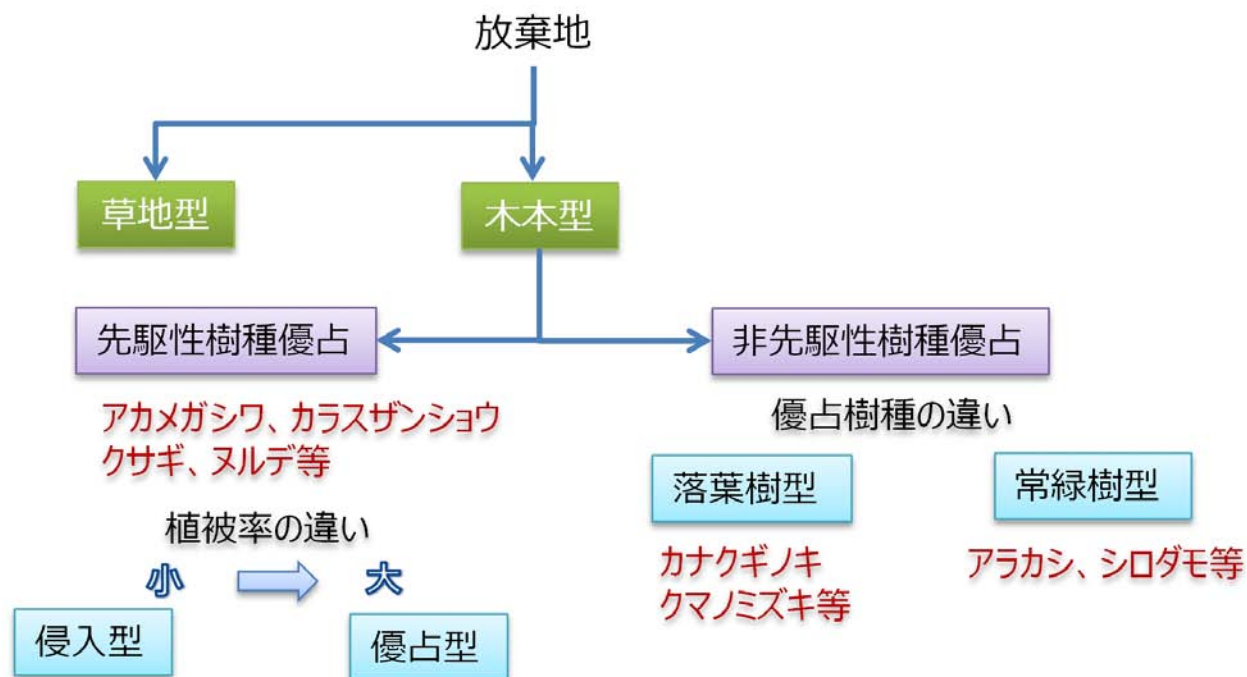


図1. 再造林放棄地の植生区分

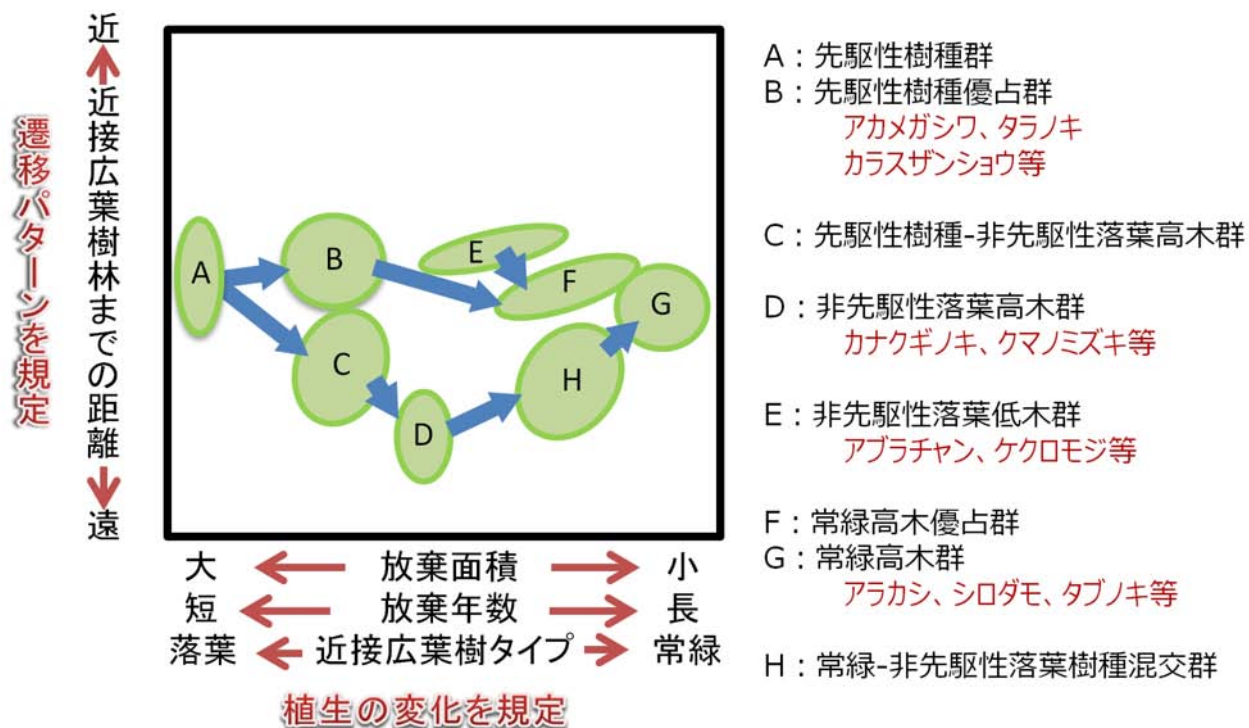


図2. 放棄後初期から中期における植生変化

下刈り省略による コスト削減とスギ植栽木の成長と形質

渡辺直史・徳久 潔・深田英久・藤本浩平

高知県立森林技術センター

下刈り経費は初期育林コストの 50% 近くを占め、下刈りの省略は再造林コストの削減に大きな効果があります。そこで、下刈り省略によるコスト削減効果とスギ植栽木の成長や形質に与える影響を調べました。その結果、隔年下刈りにより下刈りコストを 34% 削減することができ、成長、形質に与える影響はごくわずかであることを明らかにしました。また、皆伐後数年経って植栽する場合は、下刈り省略がスギの成長を悪化させることが分かりました。

下刈り省略によるコスト削減

下刈りを省略した場合にどの程度コスト削減になるのかを調べるために、試験地を設定して下刈り工期調査を行いました。皆伐の翌春に植栽して毎年下刈りを行った場合、植栽後 2～3 年生時はまだ雑草木の量が少ないため 2.6 人工数で済みましたが、5～6 年生時にはそれ以前の約 70% 増の 4.5 人工数が必要であることが分かりました。一方、下刈りを隔年で実施する場合、省略した翌年の下刈り人工数は、毎年下刈りする場合より 20～26% 増加しました。6 年間毎年下刈りしたときの経費は 21.3 人工、隔年で行う場合は 14.1 人工となり、毎年下刈りの 66% の経費で下刈りできる（下刈りコスト 34% 削減）ことになります（図 1）。

下刈り省略とスギの成長・形質

下刈りを省略した場合、スギの成長と生産される木材の形質が問題になります。そこで、下刈りが省略された林地で、スギの成長と幹の曲がり具合を調べました。皆伐の翌春に植栽した場合は、樹高成長に下刈りの有無による差はありませんが（図 2）、直径成長には差があり“毎年下刈り”で最も大きく、“下刈り無し”

で最も小さい結果となりました（図 3）。皆伐後 3 年経過して植栽した場合には、樹高成長、直径成長ともに“毎年下刈り”が最も大きく、“下刈り無し”が最も小さい結果となりました。

幹の形質として矢高（幹の曲がり）を取り上げ、全く下刈りを行っていない 11 年生の林分と 3 年生時に 1 回下刈りを行った 13 年生の林分において、地際から 50cm 付近より上方 3 m の矢高を測定しました。現場での目視判定により直材が生産できると思われる矢高 1.5cm 以下の割合を見ると、1 回下刈りをした林分では 18%、下刈りを行っていない林分では 2% でした（図 4）。このように下刈りを行っていない林分では直材が生産できる割合は非常に少ないですが、下刈りを 1 回行っただけでも直材はある程度生産できる可能性があることが分かりました。以上の無下刈り林分等の調査から、下刈り回数を半分に減らしても極端な成長や形質の低下を心配しなくてもよさそうです。

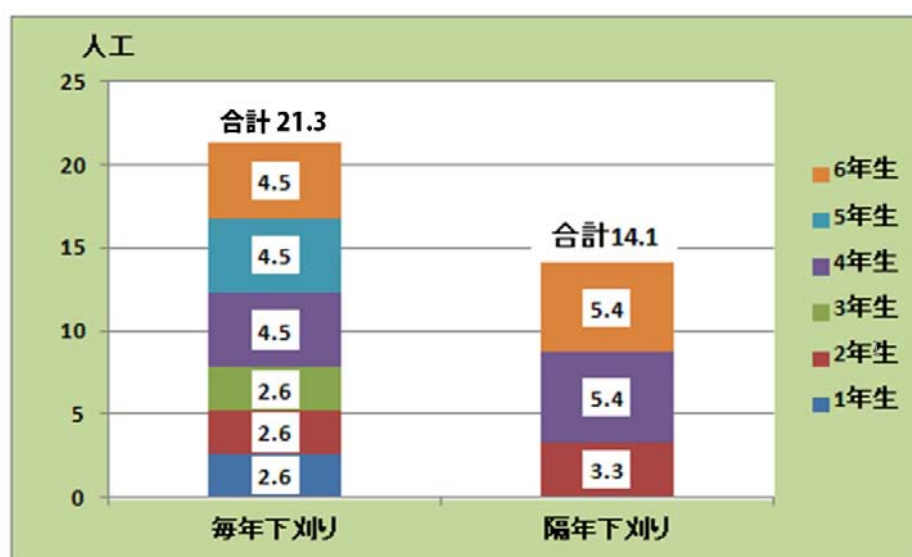


図1. 毎年下刈りと隔年下刈りの人工数の比較

1～3年生時はアカメガシワやキイチゴなどが主体の植生であったのが、下刈りを繰り返すと4～6年生時にはススキ主体の植生に変化します。ススキの株が次第に大きくなることで人工数が増加するようです。

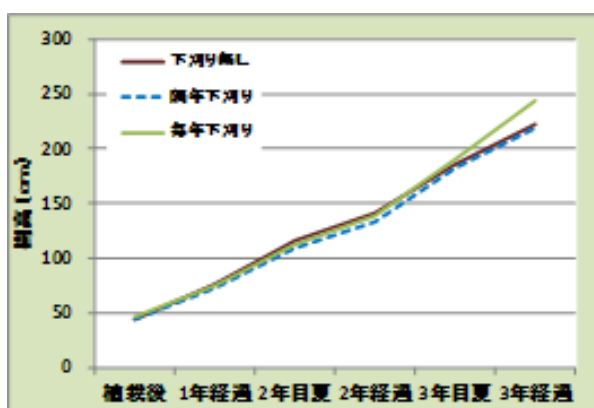


図2. スギの樹高成長

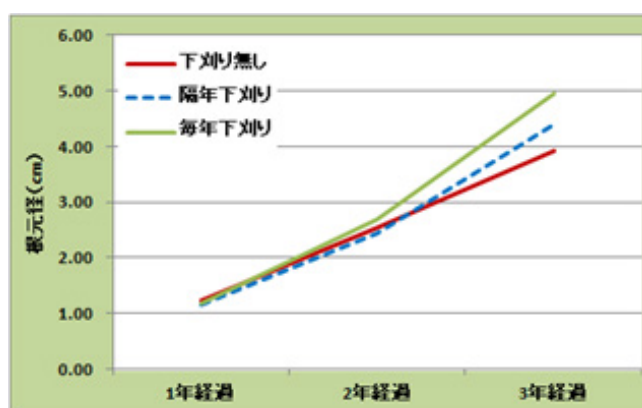


図3. スギの直径成長（根元径）

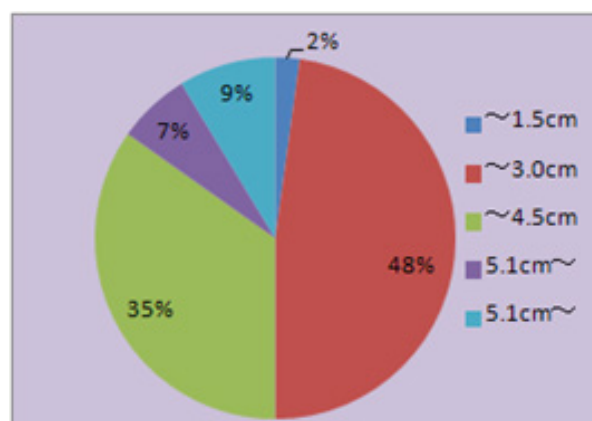
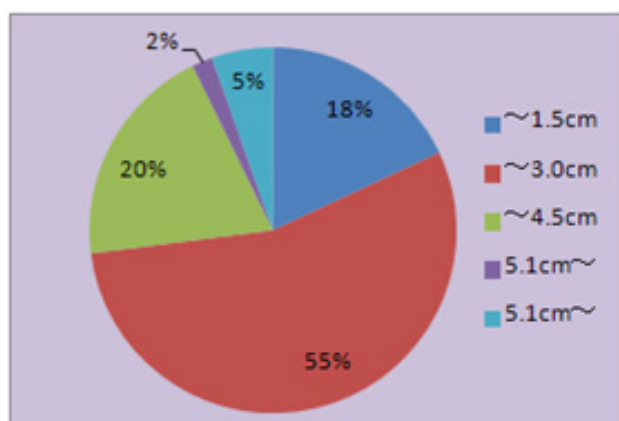


図4. 矢高の頻度分布（左：1回下刈り 右：下刈り無し）

下刈りを省くと スギの成長はどうなる？

山川博美・重永英年・荒木眞岳

森林総合研究所 九州支所

下刈りを省略した場合のスギの成長は、優占する雑草木の種類によって異なり、その影響は、アカメガシワなどの落葉樹よりアラカシなどの常緑樹の方が大きいことが分かりました。スギの成長は、落葉樹が繁茂する場合でスギが被圧されない場合と比較して半分程度でした。また、スギの周囲に雑草木が茂っていても、スギの樹冠が周囲の雑草木に完全に覆われなければ顕著な成長の低下は少ないことが分かりました。

無下刈りでのスギの成長

下刈りをしなかった時のスギの成長を把握するため、7年間無下刈りで雑草木として常緑樹と落葉樹がパッチ状に混交している林分で調査しました。植栽7年目のスギの樹高は、雑草木に被圧を受けていないものは平均で3mを超えていました。一方、アカメガシワなどの落葉樹に覆われると1.5m程度と半分近くになり、アラカシなどの常緑樹に覆われると0.7m程度と植栽後30cmほどしか伸びていませんでした。スギの成長に対して、落葉樹に比べて常緑樹による被圧の影響が強いことが分かりました。また、雑草木に覆われている苗木は、植栽後3年目くらいから成長量が小さくなっており、植栽木が連続して2年間雑草木に覆われると成長への影響が顕著になると考えられます（図1）。

雑草木による被圧とスギの成長

植栽されたスギの成長は、周囲の雑草木からの被圧を受けると低下します。これまで、被圧の程度と成長の関係は、詳しく分かっていませんでした。そこで、下刈りが省略された林地で、スギと雑草木の競合状態とスギの成長の関係を調べました。スギと雑草木の競合状態は、図

2のように4段階に区分しました（C1：スギ樹冠が雑草木から半分以上露出、C2：スギ樹冠の梢端が雑草木から露出、C3：スギ樹冠と雑草木の高さが同じ、C4：スギ樹冠が雑草木に完全に埋もれる）。スギの1年間の樹高成長は、雑草木との競合状態によって異なり、スギが雑草木に完全に覆われた場合（C4）に著しく低下していました（図3）。一方、スギの周囲に雑草木が茂っていても1年を通してスギの梢端が露出している状態であれば、樹高成長は大きく低下していませんでした。周辺にアカメガシワやカラスザンショウなどの落葉広葉樹が繁茂する場合は、梢端の上方が完全に覆われていても、樹高成長の低下はおおわれていない場合の半分程度でした（図4）。

下刈りは省略できる？

スギと雑草木の競合関係から判断すると、ツル植物などの繁茂がなければ、従来行われてきた5～6年間の潔癖な下刈りを数回省略することは可能だと考えられます。その際の下刈りをするかしないかの判断は、スギの梢端が雑草木に覆われないことや覆われたとしても2年以上続けて覆われさせないことが基準となりそうです。

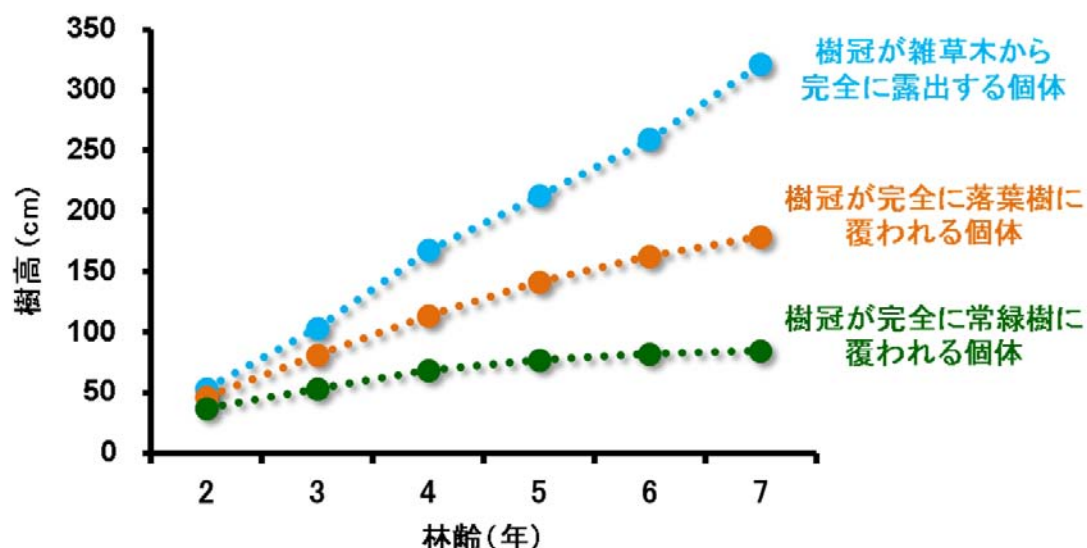


図1. 7年間無下刈りで放置された林地のスギの成長

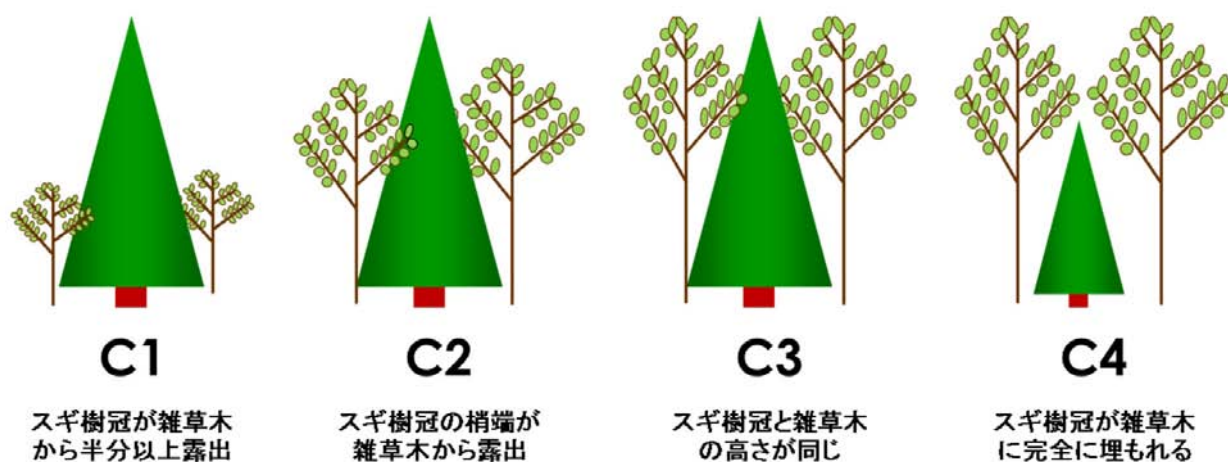


図2. 植栽木と雑草木の競合状態

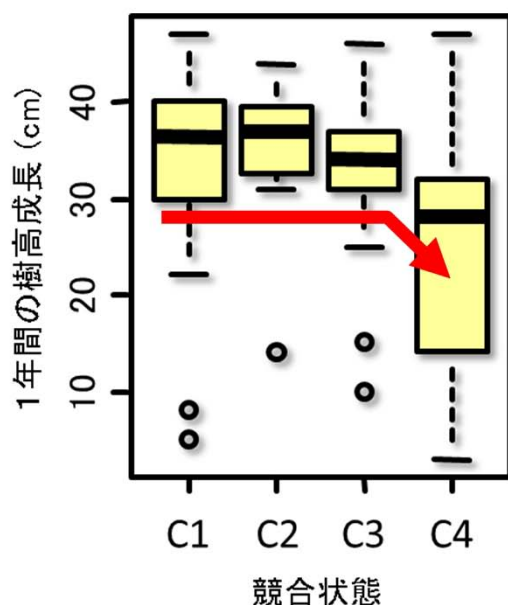


図3. 競合状態とスギの成長

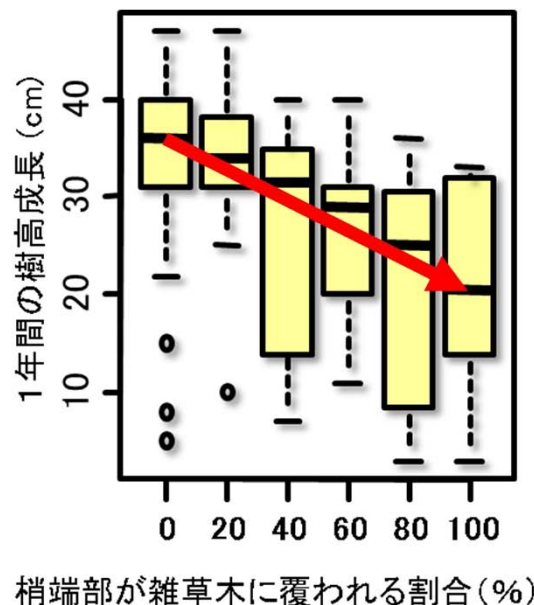


図4. スギ梢端部の覆われ度合とスギの成長

無下刈り地に 下刈りを入れるとどうなる？

伊藤 哲・平田令子・光田 靖・高木正博

宮崎大学農学部

下刈りは再造林コストのなかでも大きな比率を占めています。下刈りを省略すると植栽木の成長はどこまで抑制されるのか？ 数年間下刈りをしなかった造林地に下刈りを入れると成長はちゃんと回復するのか？ これらの疑問に答えるために、ヒノキ人工林で5年間の無下刈り実証実験を行いました。今回の実験のケースでは、ヒノキ苗の成長が無下刈りで抑制されたものの、下刈り後は比較的早く成長を回復することがわかりました。

無下刈りでのヒノキの成長

植栽当年から下刈りを省略した場合、植栽木の成長がどの程度抑制されるのかをヒノキ林で実験的に調べました（図1）。植栽後4年が経過した無下刈り区の樹高と胸高直径は、毎年下刈りを行った場合（通常下刈り区）と比較して差はありませんでしたが、樹冠の発達が著しく抑えられていました（図2）。翌年の5年目には、無下刈り区のヒノキの成長低下は顕著になり、通常下刈り区との差が広がりました（図2）。また、この間の観察で、樹冠の拡大は側方からの被圧で抑制されやすいことや、常緑樹による被圧の影響が落葉樹による被圧に比べて強いことも分かりました。（詳細は日本森林学会誌, 94(3), 135-141 を参照）

下刈りを入れれば成長がすぐに回復するのか、それとも葉焼けを起こすのか？

無下刈りで成長が一旦低下しても、その後下刈りを入れれば、成長は回復することが期待されます。しかし一方で、暗い環境に順応したヒノキの陰葉は、強い光が当たっても光合成生産を増やせないかもしれませんし、葉の付け替えがうまくいかずに成長が停滞したり、陰葉が強い光のストレスに順応できず枯れ上がっ

てしまうことも心配です。そこで6年目の7月に、無下刈り区の一部で下刈りを実施してヒノキの反応を見てみました。その結果、下刈りの翌年（7年目）には、通常下刈り区と同じレベルまで成長率が回復し、葉の枯れ上がりによる枯死等も発生しませんでした。したがって、今回のケースの結論として「ヒノキは思ったより強く、早期に成長を回復できる」といえそうです（図3）。

下刈りの省略で注意すべきこと

下刈りを省略するうえで気を付けるべきことがいくつかあります。一つは、「成長率」は回復しても、被圧期間中に生じたサイズの差は、その後も引きずられるということです。今回の実験地では、5年間の無下刈り処理による成長の遅れは直径の平均で約1年分、樹冠投影面積で約2年分に相当します。これを許容できるかどうかは、経営上の総合的な判断が必要です。もう一つは、ツル植物の問題です。繁茂したツルが木材の形質に影響する可能性があります。幸い今回のケースでは目立った形質不良はありませんでしたが、ツルが繁茂しやすい環境では注意が必要でしょう。



図1. ヒノキ無下刈り実験地の7年目(2012年12月)冬の状況

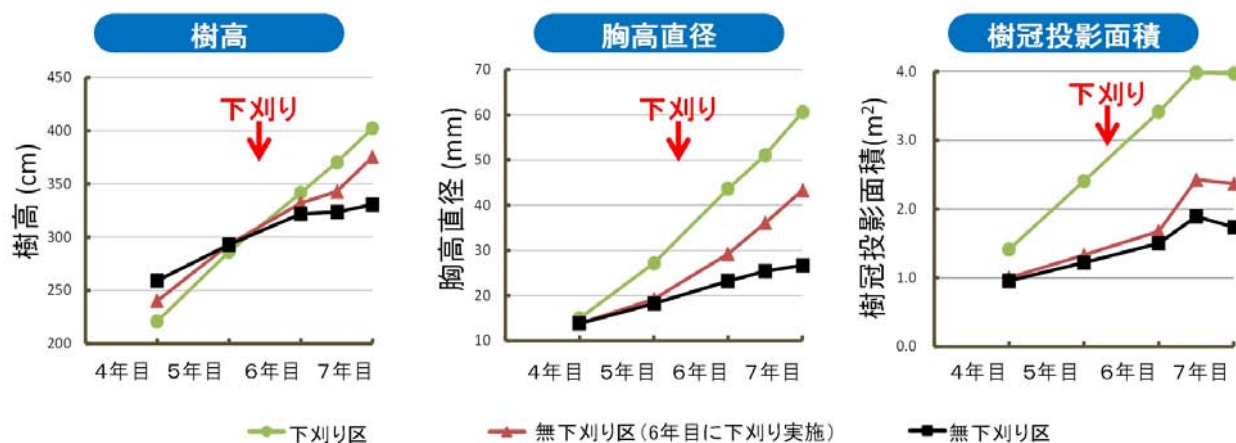


図2. 樹高・胸高直径・樹冠投影面積の推移

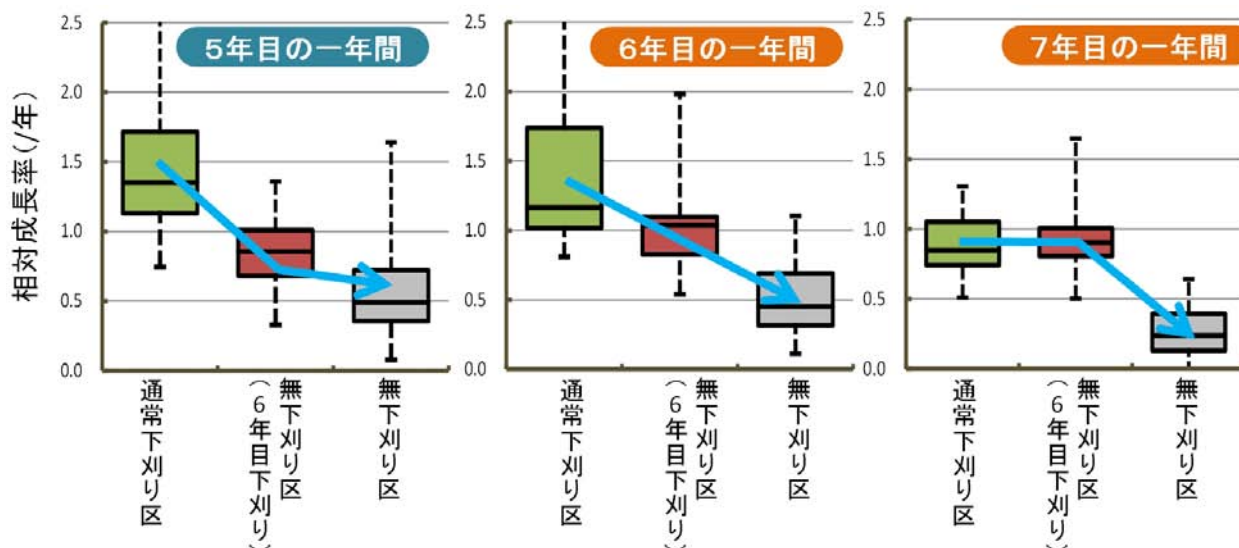


図3. 個体サイズ(D²H)の相対成長率

モデルから考える 下刈り回数とスギの成長

重永英年・山川博美・荒木眞岳

森林総合研究所九州支所

下刈りスケジュールを変えた場合のスギの成長経過を予測するシミュレーションモデルを開発しました。シミュレーションから、植栽後5～6年間は毎年実施する従来の下刈りは、スギの成長を低下させない必要十分な保育方法であること、回数が従来の約半分となる隔年実施は、10年次のスギの樹高を2割程度低下させることが予想されました。成長よりもコスト削減を優先する場合には、下刈りの隔年実施も選択肢のひとつであると考えられます。

スギ植栽木の成長をモデルで予測

コスト削減のために下刈りを省略した場合、スギの成長はどの程度低下するのでしょうか？ この問いに答えるため、下刈りスケジュールを変えた場合のスギの成長経過を予測するシミュレーションモデルを開発しました（図1）。モデルでは、仮想林地にスギを植栽するとともに雑草木（常緑広葉樹、落葉広葉樹、ススキ）を発生させます。スギの1年分の樹高成長は、梢端部が雑草木に覆われる割合が大きくなると低下するものとします。下刈りを実施する年には、雑草木の高さを地際まで低下させます。このような計算を年単位で繰り返して、幼齢時のスギと雑草木の成長をシミュレートします（図2）。

成長を重視した従来の下刈り

多くの林地では、植栽後5～6年目までは毎年の下刈りが行われています。下刈りの継続年数とスギの成長との関係をモデルで計算して、従来の下刈り回数の意義を考えてみました。10年次のスギの樹高は、下刈りが毎年継続されるほど高くなりました。しかし、6年目以降は、下刈りを継続してもスギの樹高は頭打ちとなりました。（図3）。このような

結果から、従来行われている5～6年目までの毎年の下刈りは、スギの成長を低下させない必要十分な保育方法であると考えられました。

隔年下刈りでコスト削減

下刈りの省略を考える際には、スギの梢端が2年以上続けて雑草木に覆われないことが重要でした（26頁参照）。これを踏まえ、下刈りの回数が従来の約半分となる隔年実施について、スギの成長をモデルで計算してみました。10年次のスギの樹高は、6年目まで毎年下刈りを実施する場合に比べて、2割程度低くなりました（図3）。以上のようなシミュレーションからは、スギの成長を第一に考えるのであれば、従来通り、5～6年間の毎年の下刈りを実施することが望ましいと言えます。一方、コスト削減を優先させるなら、幼齢時の多少の成長低下を許して、下刈りを隔年で実施する保育も選択肢のひとつではないかと考えられます。ただし、幹に巻き付いて形質に悪影響を及ぼすツル類や雑草木の繁茂が激しい等、隔年下刈りが難しい場所もあります。下刈り省略による低コストな保育が適用可能かを現場で判断する基準を確立していく必要があります。

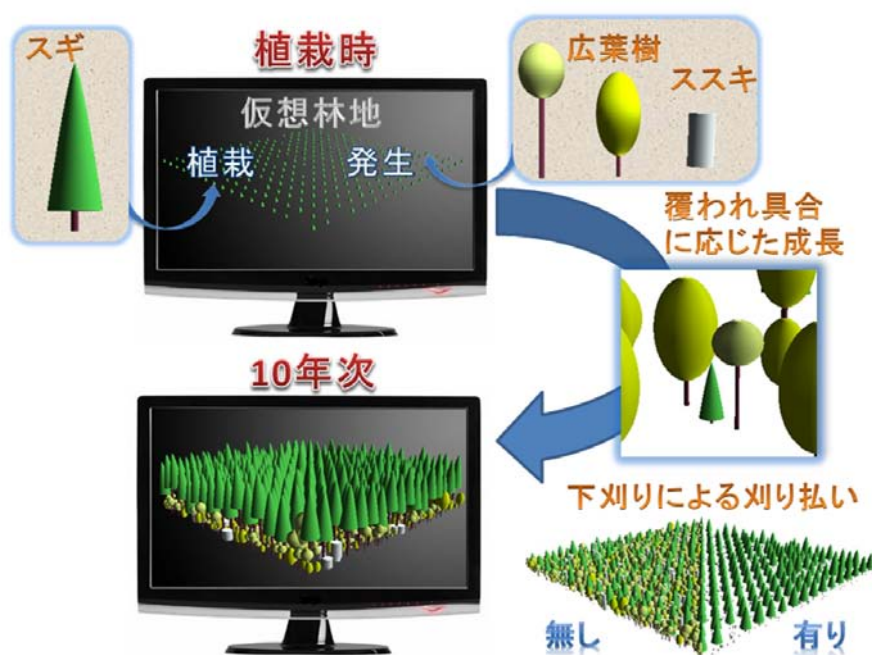


図1. スギと雑草木の競合モデル

下刈りの有無、苗木の植栽時のサイズと初期成長の違い、雑草木の多少などの条件を変更して、植栽後10年目までのスギ人工林の発達の様子を計算できます。

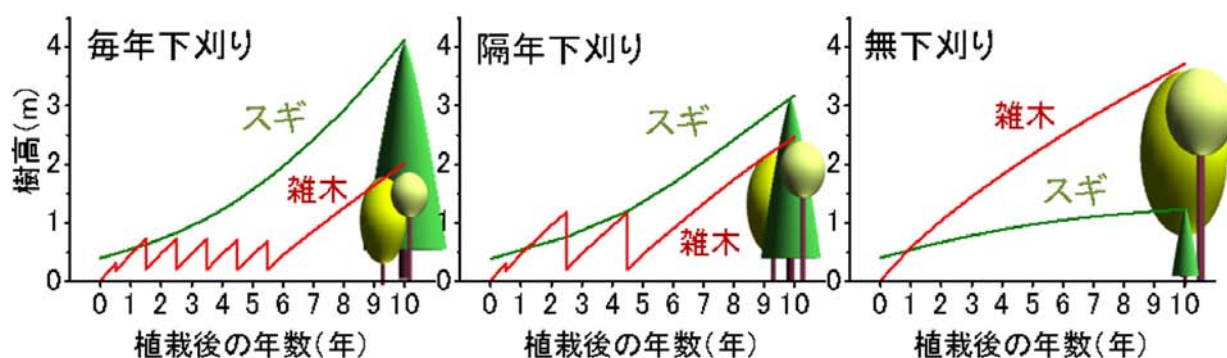


図2. 下刈り回数を変えたシミュレーションの一例

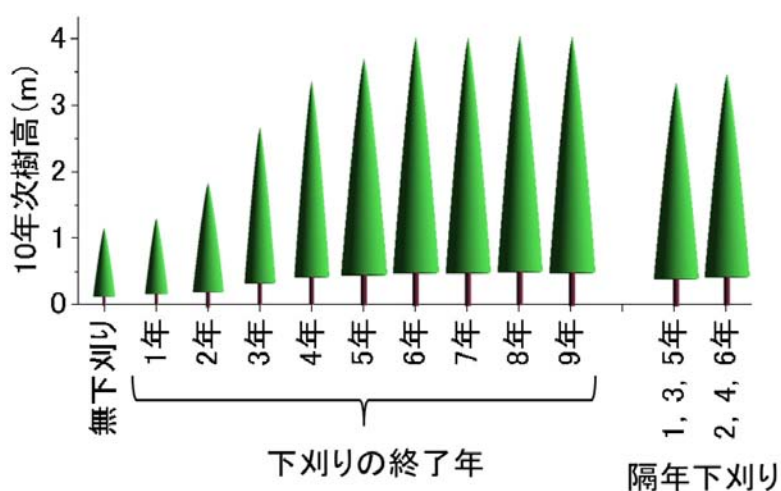


図3. 下刈りスケジュールと10年次のスギの樹高

無下刈りでシカ食害は軽減できるか？

野宮治人・香山雅純・矢部恒晶

森林総合研究所九州支所

シカによる植栽木の食害対策としては柵の設置が一般的ですが、設置や撤去のコストを考えると柵を使わない方法が望まれます。食害が下刈り後の夏から秋に集中した新植地では、下刈りを中止することで食害が半分程度となりました。一方、標高が高く冬期に植生が乏しくなる新植地では、下刈りの有無に関わらず苗木は冬期に激しい食害を受けました。下刈り中止により食害を軽減できるか否かは、新植地やその周辺の植生状況によって異なるようです。食害軽減を期待して下刈りを中止する場合には、大苗や初期成長に優れた苗木を植栽するなどの工夫が必要でしょう。

下刈りがシカ食害を誘発する？

近年、植栽した苗木がシカに食害される事例が各地で報告されるようになりました。シカが多く生息する熊本県球磨村に位置する防護柵を設置しないスギ新植地（図1：標高600m）では、植栽後2年間で99%の苗木が梢端（主軸）の食害を受けました（図2：下刈り区、図3）。この食害は、下刈り実施後の夏から秋（8月中旬～11月中旬）に集中していました（図4）。一方、隣接する新植地で試験的に下刈りを中止した場合には、林地にススキや雑草木が繁茂しますが、苗木の食害は、下刈りをした場合の40%以下に軽減しました（図2：無下刈り区、図3）。スギ苗の成長を促すために、従来行われている下刈りが、シカ食害を誘発している可能性があります。

下刈りの中止はどこでも有効か？

では、下刈りを中止すれば必ず被害が軽減できるのでしょうか？下刈りの中止により苗木の食害が軽減したのは、シカの餌となる植物が十分存在したことが理由の一つであるなら、下刈りの有無に関わらずシカの餌となる植物が冬期に乏しくなる標高の高い地域では、下刈り中止

による食害軽減効果は期待できないことになります。球磨村と同様にシカが多く生息する宮崎県椎葉村の新植地（図5：標高1000m）では、下刈りの有無に関わらず、スギ苗が主軸を残すだけになるほど激しく食害されてしまい（図5円内）、その時期は冬期に集中していました（図6）。

下刈りの中止がシカ食害軽減に有効か否かは、新植地やその周辺の植生状況によって異なるようです。今後、植生状況とシカ食害との関係についての情報を集め、下刈り中止によるシカ被害軽減策が適用できる範囲を明らかにしていく必要があります。

大苗の利用

食害軽減を期待して下刈りを中止すると雑草木が繁茂するため、小さい苗ではすぐに被圧されてしまいます。このような場合には、植栽時の苗高が高く、雑草木との競争のみならず食害回避の点からも有利である大苗や、初期成長に優れた苗木を利用するなどの工夫が必要でしょう。

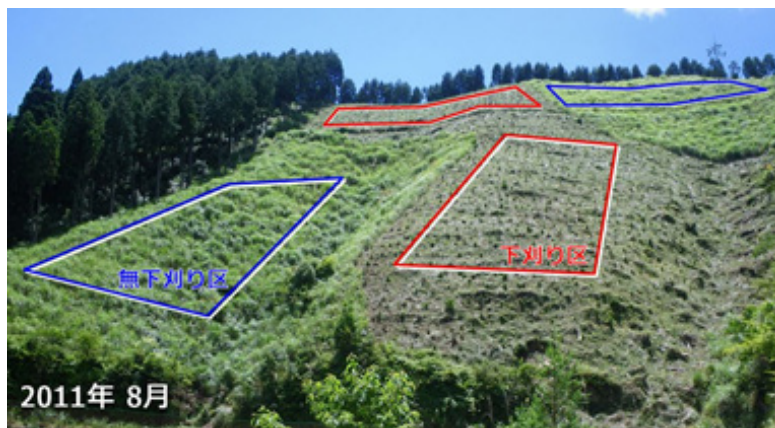


図1. 球磨村試験地（下刈り直後の様子）

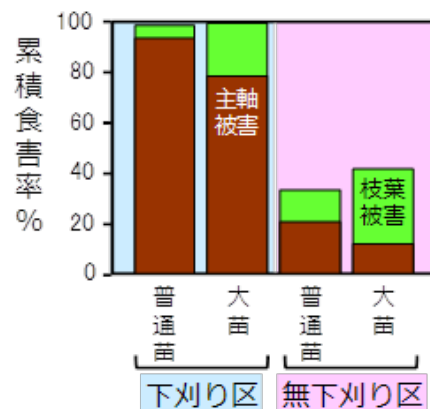


図2. 下刈りの有無とシカ食害の関係（球磨村試験地）

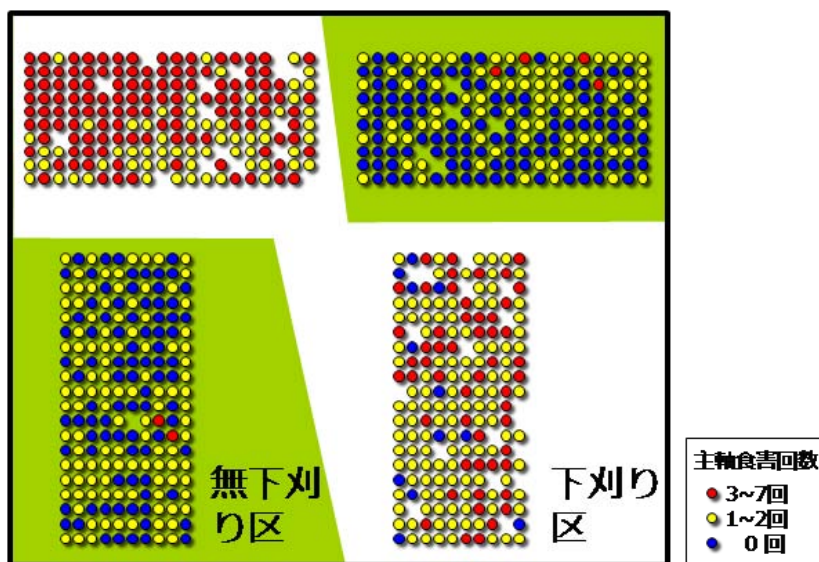


図3. 植栽から3成長期間の主軸食害回数の空間分布（球磨村試験地、空白は誤伐やウサギ食害による苗の欠損）

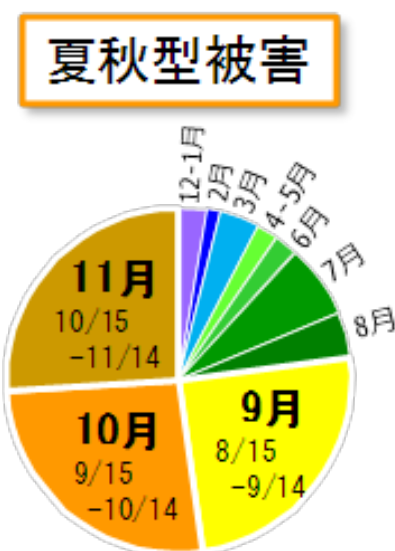


図4. 球磨村におけるシカ食害発生の月別割合（夏秋型被害）



図5. 椎葉村試験地
（円内は棒状になった翌春の苗の様子）

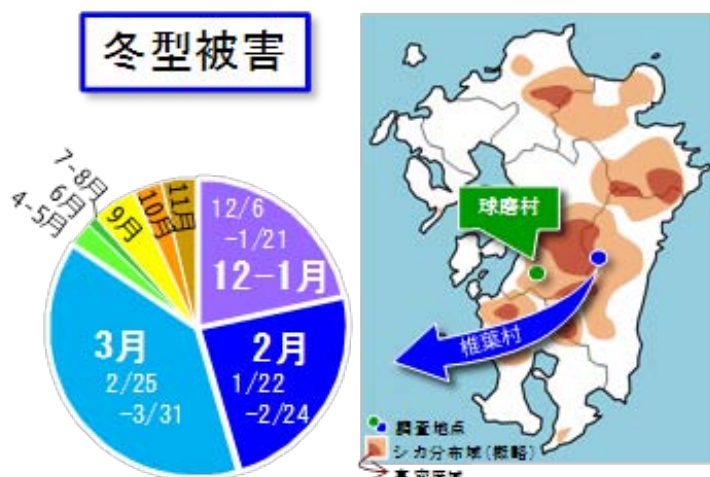


図6. 椎葉村におけるシカ食害発生の月別割合（冬型被害）と試験地の位置

下刈り省略でも育つスギ品種の選抜

藤澤義武・平岡裕一郎

森林総合研究所林木育種センター

再造林における初期育林コストの削減に、下刈りを省略することは大きく寄与します。しかし、下刈りを行わないと、スギ等の植栽木の成長は低下してしまいます。無下刈り試験地に植栽された精英樹について成長を調べた結果、精英樹間で成長が異なることを明らかにし、下刈り省略施業に向く精英樹を選びました。

下刈り省略のメリット

下刈りは、育林経費の1/2以上を占め、林業経営上の大きな負担となっており、これを省略することは、育林コストの削減に大きく貢献します。それだけでなく、近年大きな問題となっているシカによる食害を軽減する効果もあることが分かってきています。ただし、下刈りを省略した場合、雑草木の繁茂とそれによる被圧によって、植栽木の成長が阻害される恐れがあり、このような悪影響のリスクを軽減する必要があります。そこで、スギ等の林業樹種で多数選抜されている、成長や幹の形状に優れた「精英樹」の中から、「下刈り省略施業」に向くスギ精英樹を選び出すことにしました。

「下刈り省略施業」に向く精英樹とは？

これまで、下刈りをせずに放置しておいた場合の成長や、植栽木を覆う雑草木を刈り払った後の成長に関する精英樹の特徴は、詳しく調べられていませんでした。そこで、九州地方でスギ精英樹を多数植栽し、下刈りを省略した「無下刈り試験地」で、スギの成長量や雑草木の再生状況を詳しく調査しました。これらのデータを基に、雑草木がスギ植栽木を覆う程度で成長量がどのように変化するのか、また下刈り後にどのように成長が回復するかについて、統計モデルを使って

解析し、精英樹ごとの特徴を明らかにしました。

その結果、植栽初期の成長は精英樹によって差があり、成長が速い精英樹ほど刈り払い後の成長の回復も早いという傾向がみられました。一方、雑草木の影響の受けやすさにも精英樹による違いがみられましたが、初期成長の速さと特に関係がありませんでした。下刈り省略施業に向く精英樹とは、「初期成長の速さ」と、「雑草木からの影響の受けにくさ」の両方の特徴を合わせもつ精英樹といえます（図1）。

精英樹の選択

複数の無下刈り試験地での結果から、下刈り省略施業に向く精英樹として、「日向署2号」が有望でした（図2）。この精英樹は通常施業でも初期成長に優れ、雑草木の影響を受けにくいという特徴がみられました。またこの精英樹は林木育種センターが公表している「推奨品種」に選ばれており、ヤング率等の材質も優れているといえます。他にも「肝属1号」等、初期成長が速いものも、有望な精英樹である可能性があります。このように下刈り省力化に向く精英樹から得られる種苗を造林に用いることで、シカ害防止を含めた育林コスト削減につながる事が期待されます。

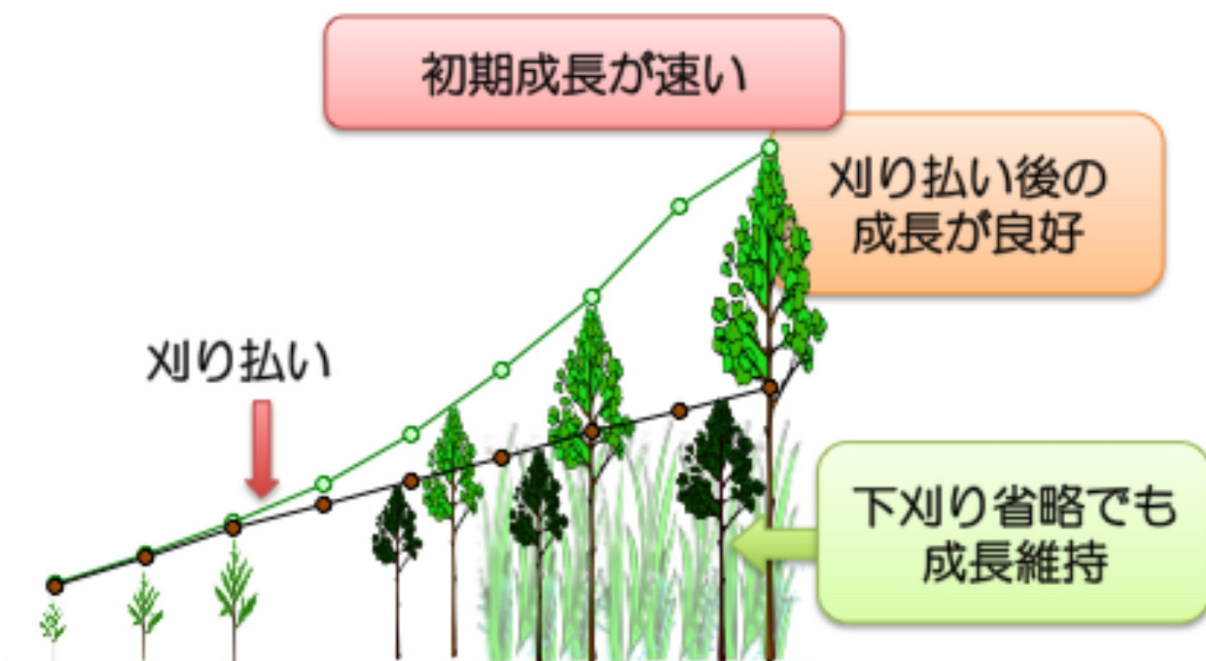


図1. 下刈りの省略に向く品種とは？

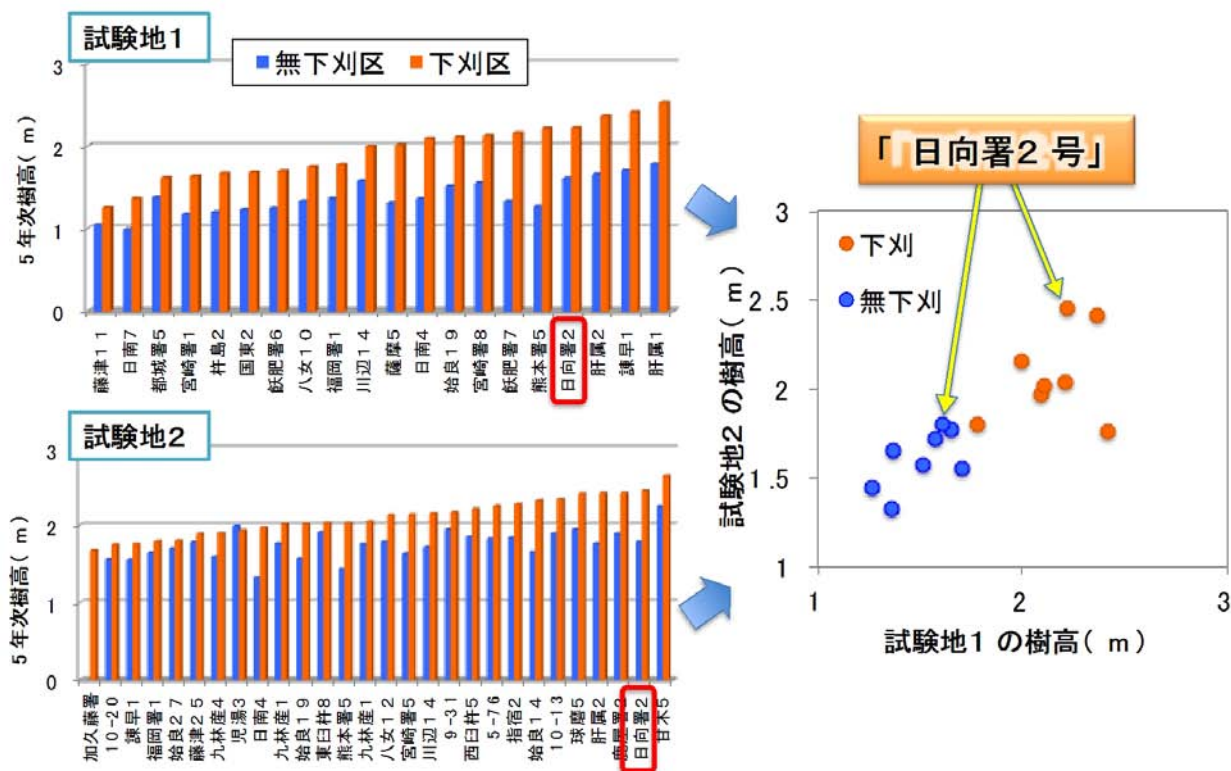


図2. 試験地ごとの精英樹の樹高

育林コストシミュレータの開発

鹿又秀聡¹・垂水亜紀²

¹森林総合研究所 林業経営・政策研究領域・²森林総合研究所 四国支所

近年、コンテナ苗や大苗を活用した新しい再造林手法が、全国各地で行われるようになりました。スギ植栽においてコンテナ苗が活用された事例はあまり無く、生産性やコストがどの程度改善するのか不明な点が多くありました。育林コストは、苗の種類、植栽本数、下刈り回数等により、大きく異なります。そこで、多様な育林方法に対応した再造林コスト予測を誰でも容易に行うことができるツール（育林コストシミュレータ）を開発しました。

高額な再造林コスト

スギ 1 ha を成林させるために必要な額をご存じですか？ 農林水産省「平成 20 年度林業経営統計調査報告書」によれば、植林から 50 年生までに約 231 万円/ha が必要となっています。そのうち、約 156 万円（約 68%）が最初の 10 年間で費やされます。最初の 10 年間で行われる作業は、植栽と下刈りです。

再造林コストもいろいろ

再造林コストは、伐採作業コストに比べて、林分によるコスト差が小さいと思われがちですが、実際にはかなり大きな差があります。スギ再造林コストの聞き取り調査の事例では、植栽から下刈り終了時点までの総コストは、30 ～ 150 万円/ha と約 5 倍程度の差がありました（実行経費ベース）。表 1 に植栽コストの予測に必要な項目を示しましたが、植栽密度や苗の種類・価格、労賃等、多くの要因がコストに影響を与えていることが分かります。例えば、スギの苗木価格は 3 倍程度、労賃についても 1.5 倍程度の地域差があります。同じ地域でも、苗木の植え付けやすさや再生植生の量に伴う下刈りの生産性により再造林コストは大きく変動します。

低コスト再造林の考え方

地拵えの機械化、コンテナ苗植栽、下刈り回数の削減等の再造林手法は、すべての林分で低コスト化につながるとは限りません。最近注目されているコンテナ苗は裸苗と比べ重量があるので、路網を活用し苗木運搬が効率的にできる場所であれば低コスト化は図ることができません。また、大苗を活用した下刈り回数の省略化は、ツル植物が多い場所では困難でしょう。作業コストの面だけでなく、林分の収益性についても考える必要があります。たとえ低コスト再造林が可能な場所でも、木の成長が良くなければ経営は難しくなります。

育林コストシミュレータ

様々な育林手法に対応したコスト予測を行うために、地拵え、植え付け、下刈り、除間伐の時期・方法、皆伐林齢を入力することにより、植林から皆伐までのトータルコスト及び収穫量を予測するツールの開発を行いました。間伐、皆伐時の収支や成長予測については森林総合研究所で開発した林業経営収支予測システム（FORCAS）をベースに使用しました。次項にこのツールを使った低コスト再造林のシミュレーション事例を掲載します。

表1. 植栽コストに必要な評価要素とその計算例

項目	単位	普通苗	コンテナ苗	大苗
植林面積	ha	1	1	1
平均距離	m	50	50	50
植栽密度	本/ha	2500	2500	2500
植栽間隔	m	2.0	2.0	2.0
列数	列	50.0	50.0	50.0
植付移動距離	m	5000.0	5000.0	5000.0
植栽本数	本/ha	2500	2500	2500
苗の価格	円	75	120	150
苗代	円	187500	300000	375000
一度に運べる苗数	本/ha	200	100	10
往復回数	回	13	25	250
往復移動距離	m	1250	2500	25000
総移動距離	m	6250	7500	30000
平均移動速度	km/時間	0.9	0.9	0.9
総移動時間	時間	6.9	8.3	33.3
植付時間	秒	70	20	110
総植栽時間	時間	49	14	76
労賃	円/人日	14000	14000	14000
総労働時間	時間	56	22	110
総人日	人日	12	5	24
生産性	本/人日	203	506	103
植栽コスト	円	360000	369000	716000

注) 黄色の項目を入力すれば、植栽の生産性やコストを予測可能。



図1. 再造林の低コスト化に影響する要素

低コスト再造林のシミュレーション事例

鹿又秀聡

森林総合研究所 林業経営・政策研究領域

近年、低コスト再造林の取り組みとして、下刈りの省力化を目的とした大苗植栽や、通年植栽が可能なコンテナ苗を利用した皆伐との一貫作業システムが行われています。現状では、苗木価格が高額であることや初めて行う作業のため時間的ロスが多いことから、低コストに繋がった事例は多くありません。ここでは、大苗やコンテナ苗を利用することで、再造林コストがどの程度削減されるのか、育林コストシミュレータを使ってシミュレーションを試みました。

伐採と再造林コストをトータルで考える

木は植えてから、下刈り、除伐、間伐を行い、最終的な皆伐まで数十年の期間が必要です。そのように考えると、植栽と皆伐はずいぶん遠い関係のように思えますが、皆伐からスタートすればかなり近い関係です。最近の低コスト再造林は、皆伐とその後の再造林コストをトータルで考え削減するという考え方が広がっています。例えば、次の4つの作業を現場ではよく見られます。①伐採時の集材路はその後の再造林を考え壊れにくいものとする。②全木集材を行うことにより、その後の地拵えの省力化を図る。③大苗・コンテナ苗の運搬にフォワーダや架線の活用を図る。④大苗による下刈りの省力化を図る。

低コスト再造林のシミュレーション

皆伐作業と再造林を組み合わせ、大苗やコンテナ苗を活用することで、再造林コストがどの程度削減されるのか、功程調査を基にシミュレーションを行いました。図1は1haの造林地にスギを再造林した事例です。

一般的な再造林地では、地拵えと植林で約80万円/haかかりました。そこで、全木集材を行いプロセッサ等の造材機械

で枝払い・玉切り作業を行うことにより地拵えの省力化を図ったところ、約4人日で地拵え作業が可能になりました。植栽作業では、通常裸苗では約200本/人日の生産性でしたが、コンテナ苗を用いることにより約500本/人日と2.5倍の生産性となりました。大苗については、比較的植え付け効率の良いポット式の苗を使用しても、普通苗の半分の約100本/人日の生産性に留まりました。

下刈りに関して、低コスト施業ではコンテナ苗は3回(2,4,6年生)、大苗は2回(2,4年生)と仮定しました。その結果、通常施業と比べ、コンテナ苗の活用により36%のコスト削減、大苗の活用により19%のコスト削減となりました。

これからの課題

このシミュレーションでは、コンテナ苗及び大苗の価格を、それぞれ120円/本、150円/本としましたが、現状はもう少し高いようです。今後苗木の低コスト化に取り組んでいく必要があります(図2)。また、コンテナ苗や大苗の林内への運搬効率の向上もコスト削減に向けた重要な課題といえるでしょう。

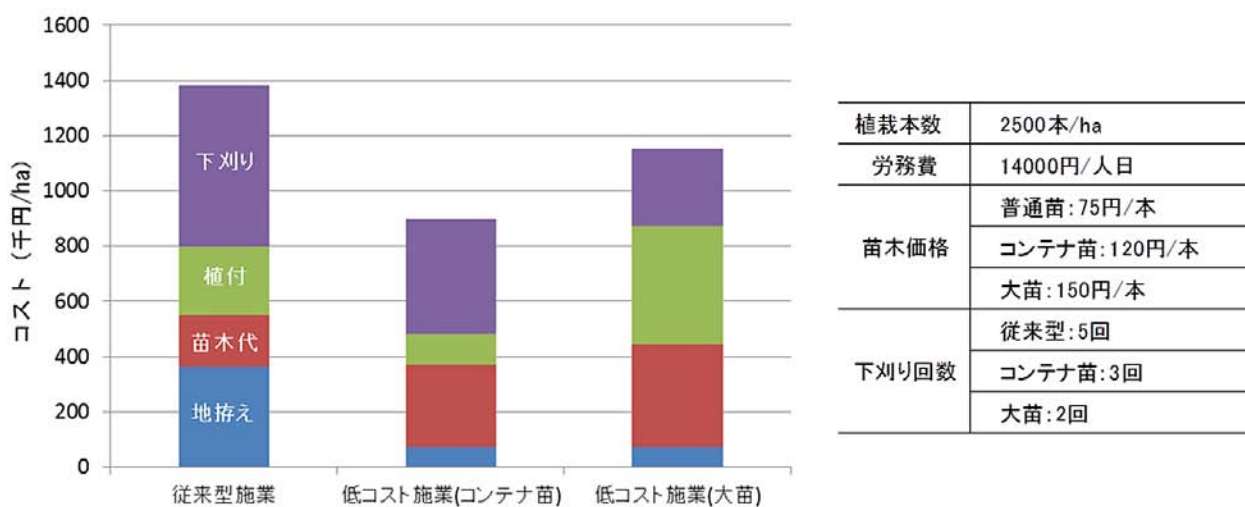


図1. 再造林コストの比較

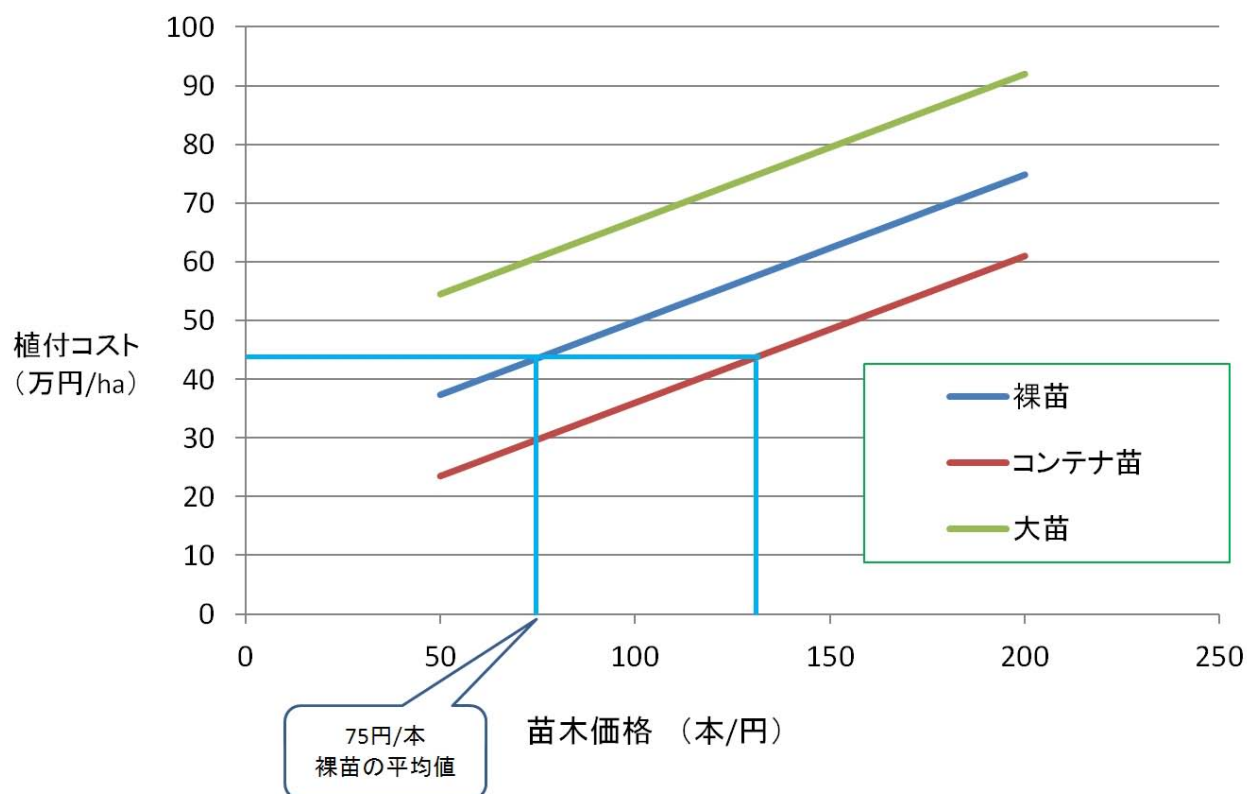


図2. 苗木価格と植付コストの関係（植栽費から地拵え費を除いた費用）

裸苗の価格を 75 円と設定した場合、コンテナ苗が植付コストで同額になるためには苗木代を 130 円 / 本にする必要がある。

再造林適地を抽出する

齋藤英樹¹・高橋正義¹・鹿又秀聡²・北原文章³・光田 靖⁴

¹森林総合研究所 森林管理研究領域・²森林総合研究所 林業経営・政策研究領域
³森林総合研究所 四国支所・⁴宮崎大学農学部

低コスト再造林の適地を考える際に、その林分で木材生産が経営上可能であるかを検討する必要があります。まず、低コストで造林が実施でき、かつ成林の可能性が高い再造林適地について、地位（成長）、地利（立地）、林分周辺の植生状況（再生植生）の3つの指標から評価を行いました。次に、GISを活用し既存の地理情報から地位、地利、再生植生の推定を行い、その結果から再造林適地を抽出するシステムを開発しました。

再造林に適した林分は？

低コスト再造林の適地を考える際に、その林分で木材生産が経営上可能であるかを検討する必要があります。再造林を考える際に最も重要な要素が地位です。地位が良くなければ、現在の木材価格で経営を行うことは困難です。また、木材の搬出には欠かせない林道がすぐ横にあるような林分もあれば、数キロも離れた林分もあります。これから木材生産の場としてスギ林分を考えた場合、成長（地位）がよく、搬出条件（地利）のいい林分を中心に伐出を行っていく方が経営的には有利となります。再造林コストも同様に、機械による地拵えや苗木運搬が期待でき、再生植生の少ない下刈り省力が可能な林分が経営的には有利と考えられます。

GISを活用した再造林適地の抽出

既存の地理情報からGISを使って地位、地利、潜在植生を推定し、その結果から再造林適地を抽出する方法を開発しました。図1は再造林適地抽出のフローチャートです。大きく5つに分類をしています。最適地①は、地位が良好で、伐出・再造林コストが低いと推定されることから、木材生産を行うには最適と考え

られます。植栽低コスト②は、道路から近い場所にあることから、苗木の運搬が容易であるため、大苗やコンテナ苗による植栽の低コスト化が期待できますが、雑草木の再生量が多いため下刈りの低コスト化は困難な林分です。このような場合、大苗植栽による下刈りの省力化が有効な方法と考えられます。下刈り低コスト③は、再生植生が少ないため下刈りの省力化が期待できますが、苗木の運搬が困難と推定される林分です。新たな林道開設が見込めるならば、最適地①と同様に木材生産には適していると考えられます。一方、高コスト④や不適地⑤については、経営的には無理にスギを再造林するよりも、天然更新による広葉樹林化などを検討すべきと思われます。

実際の適用例

本研究で開発した手法を宮崎県南部に適用し、再造林適地の抽出を行いました（図2）。この地域は、地位・地利がいいことから再造林に適しており、特に熊本、宮崎県には多く最適地が広がっています。今後は、この手法を全国に適用するとともに、他の評価要素を取り入れながら、精度向上に努めていく予定です。

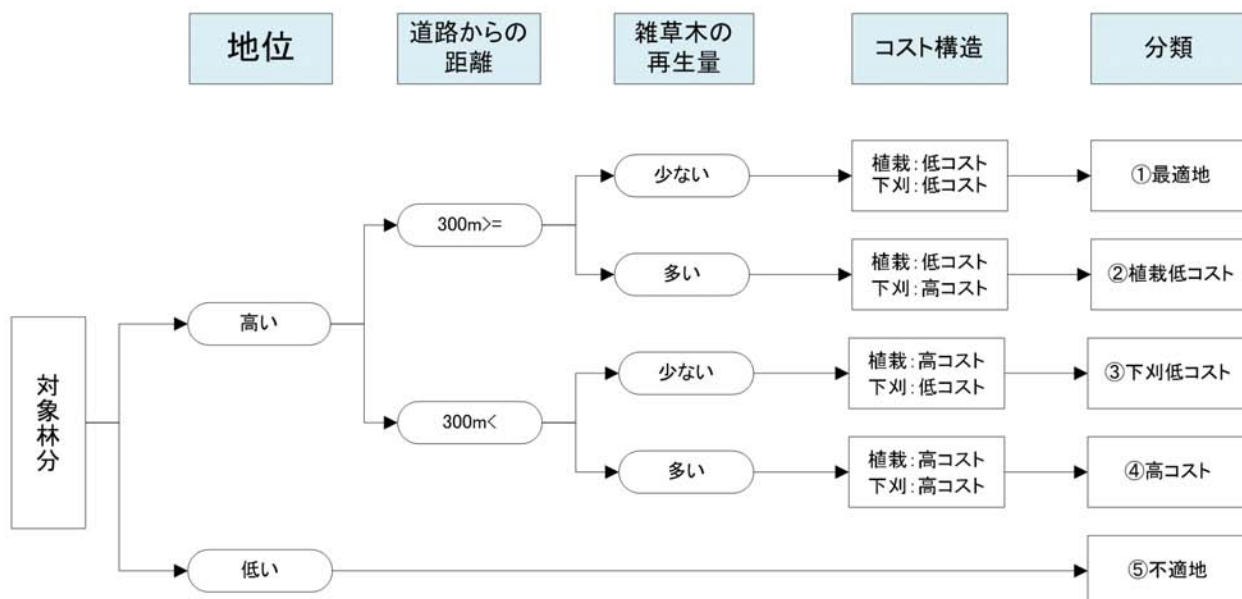


図1. 再造林適地抽出のフローチャート

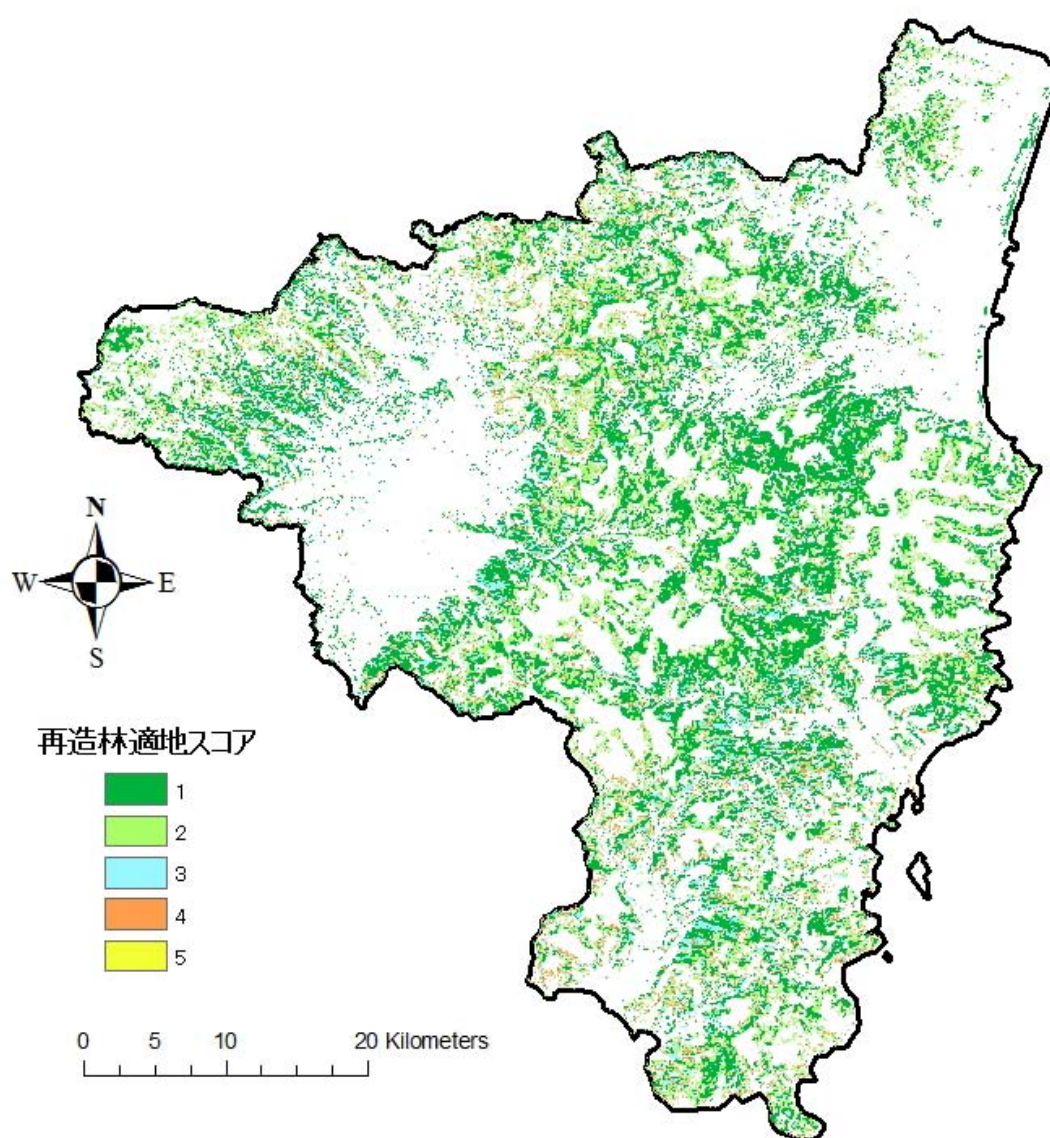


図2. 再造林適地の抽出事例（宮崎県南部）

モバイル端末で動作する 再造林コスト予測システム

高橋正義¹・齋藤英樹¹・鹿又秀聡²

¹森林総合研究所 森林管理研究領域・²森林総合研究所 林業経営・政策研究領域

現場で林分を見ながら、再造林コストの予測を行うためのツールを開発しました。パソコン版の再造林適地判定システムは、植林から皆伐までの収支計算等を行うため、モバイル端末での動作には不向きでした。そこで、造林初期コストの予測部分のみをシステム化しモバイル端末（Apple 社 iPad）で動作するようにしました。現場で簡単な情報を入力することにより、再造林コストの計算結果が出力できるようになりました。

再造林コスト予測システムの構造

育林コストシミュレータは、様々な施業方法に対応したコスト予測ツールです。そこで使用されているパラメータは、平均的な値を使用しています（変更は可能）。そのため、事業体や林分の状況に応じて柔軟にパラメータを変更する仕様にはなっていません。そこで施業プランナー等が、現場で林分状況等を入力しながら、その場でコスト計算を行うことを前提に開発したのが再造林コスト予測システムです（図1）。現場に持って行きやすいように iPad（Apple 社）で動作するように設計しました。そのため林分の成長予測のような複雑な計算はできません。記述量を減らすための工夫として、できる限り選択式の入力方法にしました。また、分かりにくい項目については、イラストやヘルプ画面を設けました。

現場でのデータ入力

基本的な情報として、まず位置情報を入力します。次に伐採前の林地の状態を入力します。地位や下層植生の状態、ツル植物やシカの有無等を入力します。ツル植物の多い地域では下刈りの省力化は期待ができませんし、シカの多い場所で

は食害対策なしでは植え付けすることは困難です。伐採後の経過年数の入力も行いますが、これは伐採後長時間を経過した林分では、植栽時やその後の下刈りの省力化が困難です。逆に言えば、伐採後すぐに植栽をすれば、植栽初年度（1年目）の下刈りを省略することが可能になります。またここでは、地拵えの省力が可能かどうか、樹種や植栽密度や苗の種類などコスト計算に必要なデータを入力します。

判定結果の表示

コストについては、地拵え、植栽、下刈りの工程ごとに表示されます（図2）。下刈りについては、予想される再生植生を表示するとともに、予想された再生植生及び地位に基づいて下刈り方法や回数を提示します。下刈り回数に関しては、多少の幅を持たせています。あくまでも目安としての活用を考えています。

本システムは、まだ改良の余地が多く残されています。今後、多くの事業体で使用してもらうことにより、現場の声を反映させて、より使い勝手の良い器機へ改良させたいと思います。

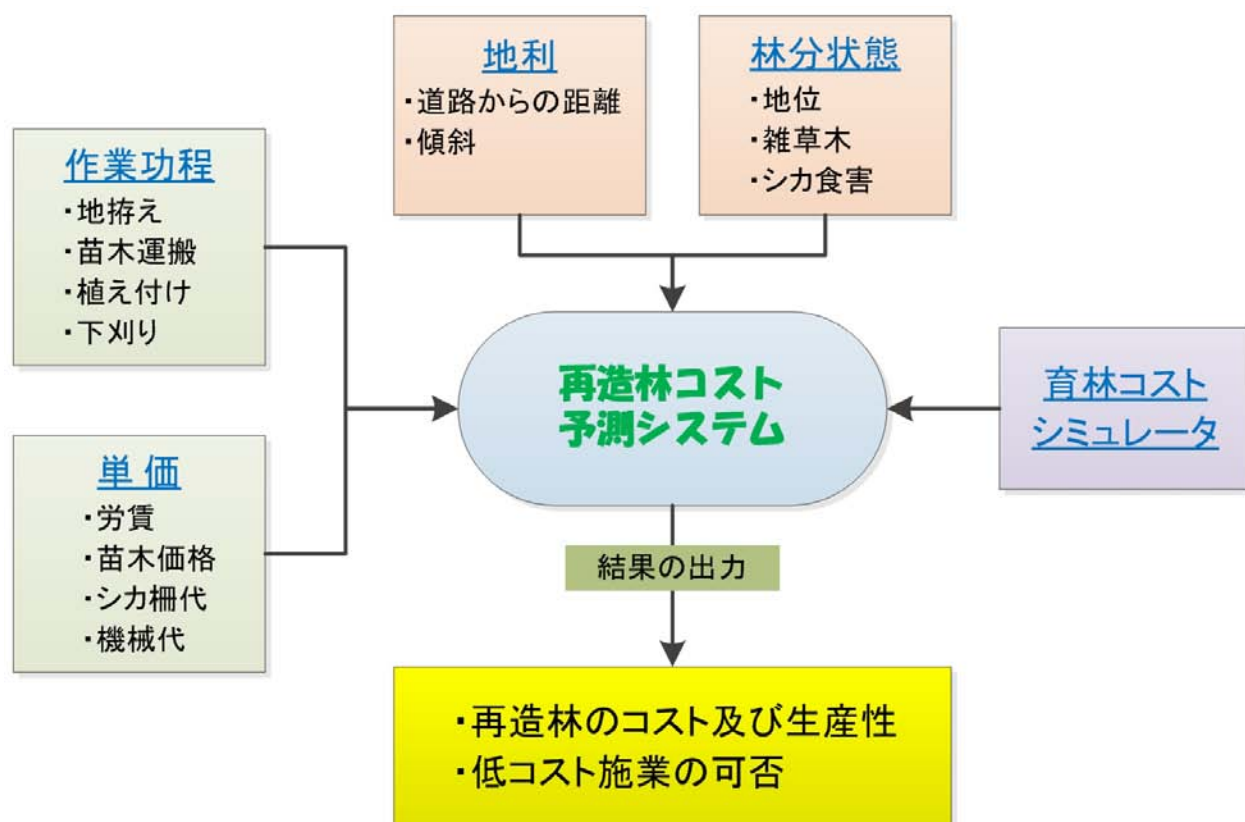


図1. 再造林コスト予測システムの構造

表紙に戻る 調査番号 2

5 10年生までに想定される育林費用

■ 植栽条件

植栽面積	3 ha	苗の種類	コンテナ苗	予想される下層植生	落葉樹と草本繁茂
植栽密度	2,500 本/ha	植栽本数	7,500 本		

■ 費用

地拵	¥556,850	植栽	¥1,823,250	シカ対策	¥0
下刈り(低コスト)	¥1,537,906	下刈り(通常)	¥2,097,144		
再造林初期費用 (10年生まで)		¥3,918,006 (低コスト下刈り)		～	¥4,477,244 (通常下刈り)

コメント 経験が浅いため、人力による作業が中心。
 【地拵】 通常の地拵えが必要。
 【下刈り】 通常は5から6回ただし下層植生が落葉樹で、10年生時の樹高低下(2～3割)を許容する場合は3から4回

前頁 5/5 出力

図2. 再造林コスト予測システムの出力結果例

参考文献・出版物

総論 / コスト予測

- ・鹿又秀聡（2011）スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発 (3) ー再造林コストはどこまで下げられるか？ー. 現代林業 544：50-53
- ・中村松三（2012）再造林コストの削減を図るには. 森林技術 839：30-33
- ・中村松三（2012）再造林の低コスト化とコンテナ苗. 森林技術 847：24-27
- ・森林総合研究所九州支所（2012）森林・林業の再生：再造林コストの削減に向けて.

伐採 / 地拵

- ・今富裕樹（2011）スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発 (1) ー伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化ー. 現代林業 542：52-55

苗木 / 植栽

- ・山田 健（2010）コンテナによる育苗技術について. 緑化と苗木 148：3-7
- ・山田 健（2010）コンテナ苗と植付け機械. 機械化林業 681：7-12
- ・金磯牧夫（2011）低コスト育林のためのスギポット大苗栽培技術の開発. 林業とくしま 295：10-11
- ・上村佳奈、落合幸仁、山田 健、鹿又秀聡（2012）スギのコンテナ育苗の生産コスト分析. 関東森林研究 63(2)：49-52
- ・渡辺直史、深田英久、藤本浩平（2012）低コスト育林技術の開発ー植栽、下刈りに要する時間の短縮ー. 高知県立森林技術センター平成 23 年度研究成果報告書 25-26
- ・山川博美（2012）再造林で活用が期待されるコンテナ苗. 九州の森と林業 102：1-3
- ・山川博美、重永英年、久保幸治、中村松三（投稿中）時期別に植栽したスギコンテナ苗の活着および植栽 1 年目の成長. 日本森林学会誌

下刈り省力化

- ・加治佐剛ら（2011）九州全域の再造林放棄地における侵食・崩壊および植生回復阻害要因の状況. 日本森林学会誌 93：288-293
- ・長島啓子ら（2011）九州地方における再造林放棄地の植生回復パターンとその要因ー再造林放棄地の管理に向けて. 日本森林学会誌 93：294-302
- ・山田 健（2011）自動下刈機の開発. 機械化林業 694：1-6
- ・重永英年（2011）スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発 (2)ー下刈り回数を削減する施業への取り組みー. 現代林業 543：52-55
- ・山川博美、重永英年、荒木眞岳（2011）大分県日田市の下刈りが省略された林地における植栽木および雑草木の成長. 森林総合研究所九州支所年報 23：18
- ・平田令子、伊藤 哲、山川博美、重永英年、高木正博（2012）造林後 5 年間の下刈り省略がヒノキ苗の成長に与える影響. 日本森林学会誌 94：135-141
- ・重永英年、野宮治人、荒木眞岳、山川博美（2012）ススキに被圧されたスギ植栽木の初期成長. 森林総合研究所九州支所年報 24：7
- ・北原文章、渡辺直史、光田 靖、山川博美、酒井 敦、垂水亜紀（2013）杉植栽木の成長と下刈り対象木の競合状態との関係. 森林応用研究 22(1)：1-6

シカ被害軽減

- ・野宮治人、矢部恒晶、廣石和昭（2011）アンケート調査による熊本県内のニホンジカ分布情報の取りまとめ. 森林総合研究所九州支所年報 23：10-11
- ・野宮治人（2012）スギ苗植栽後 3 年間の枯損と誤伐について. 森林総合研究所九州支所年報 24：11
- ・野宮治人、重永英年、矢部恒晶（2013）無下刈りによるシカ被害軽減とスギ苗の成長低下. 九州森林研究 印刷中

研究体制

本誌は、農林水産技術会議「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実施された「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（21020）」における研究成果を取りまとめたものです。

課題名

「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（21020）」

研究期間

平成 21 ～ 24 年度

研究参画機関

森林総合研究所・九州大学・宮崎大学・徳島県森林林業研究所・高知県立森林技術センター

課題構成

中課題 1. コンテナ苗・大苗等を利用した省力的育林作業システムの開発

小課題 1. 省力・低コスト化を可能にする革新的な大苗等生産技術の開発（徳島県森林林業研究所）

小課題 2. 大苗等の植栽による低コスト育林技術の評価（高知県立森林技術センター）

小課題 3. 機械化による低コスト育林作業システムの開発（森林総合研究所）

中課題 2. 再造林初期における下刈り軽減オプションの提示とシカ食害軽減手法の開発

小課題 1. 植栽木と再生植生の競合プロセスを考慮した下刈り軽減オプションの提示（森林総合研究所・宮崎大学）

小課題 2. 再造林地における再生植生の成長ポテンシャルの広域評価と因子解析（九州大学）

小課題 3. 大苗植栽および再生植生を利用したシカ被害軽減手法の開発（森林総合研究所）

小課題 4. シカ害対策としての無下刈り適合クローンの摘出（森林総合研究所）

中課題 3 低コスト再造林支援システムの開発

小課題 1. 育林コストシミュレータの開発（森林総合研究所）

小課題 2. 低コスト再造林適地判定システムの開発（森林総合研究所）



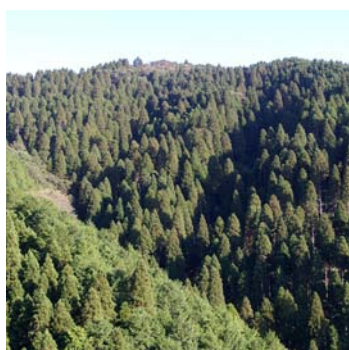
研究成果パンフレット

「森林・林業の再生：再造林コストの削減に向けて
—低コスト化のための5つのポイント—」

2012 年 11 月発行

ISBN: 978-4-905304-12-8

森林総合研究所九州支所 WEB サイトよりダウンロード可能
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/kys/index.html>



成林した人工林



伐採



造材



若いスギ林



搬出



下刈り



植栽



コンテナ苗

編集者 : 中村松三・今富裕樹・重永英年・鹿又秀聡・山川博美

低コスト再造林の実用化に向けた研究成果集

独立行政法人 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：九州支所

発行日：2013年3月29日

問い合わせ：編集刊行係

電話：029-829-8135

e-mail：kanko@ffpri.affrc.go.jp

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。