

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。

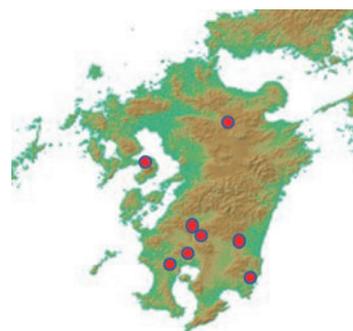


図17. 試験地の設定箇所

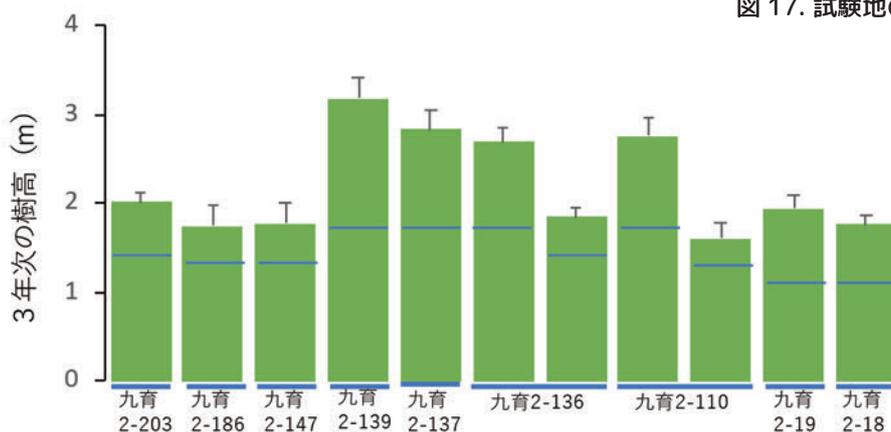


図18. 九州地方8試験地に植栽されたスギエリートツリーさし木苗の樹高
(各バー内の横線は各試験地の既存系統の樹高を表す)

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。

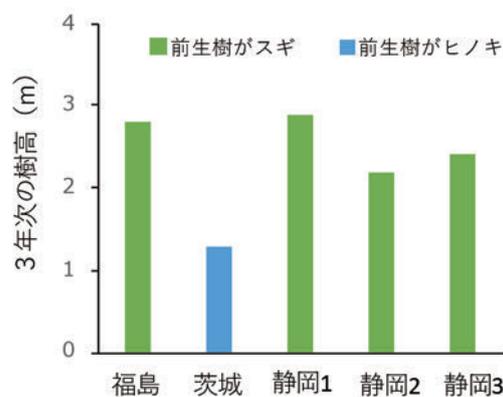


図19. 東日本の5試験地に植栽されたスギエリートツリー実生コンテナ苗の樹高

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

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。

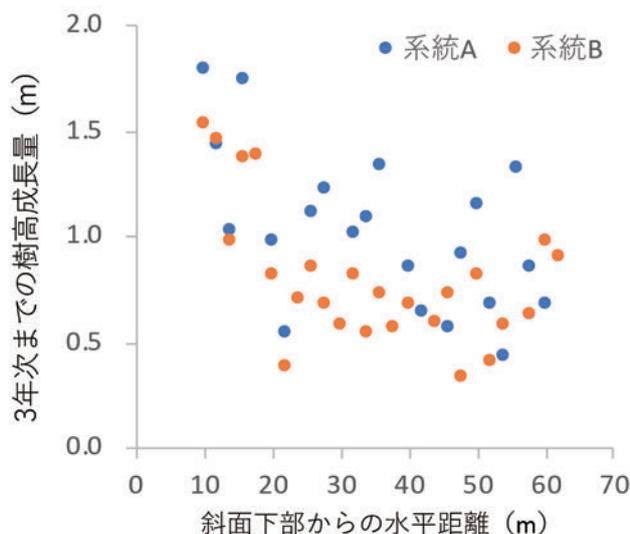


図 20. 熊本県内の同じ植栽地における、2 系統の苗木の斜面位置と樹高成長との関係の例

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）。

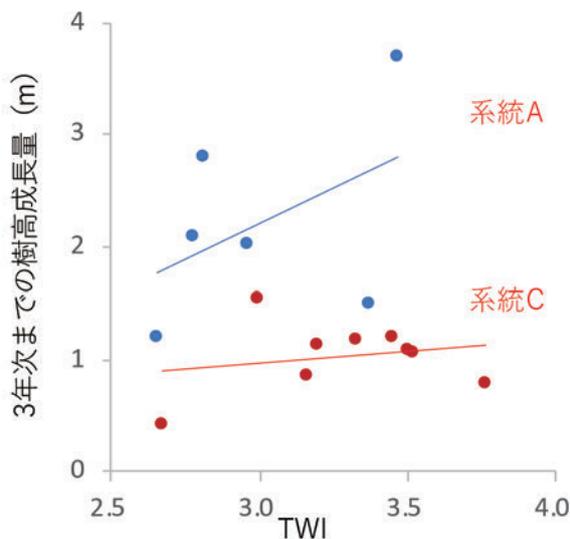


図 21. 宮崎県内の同じ植栽地における、2 系統の苗木の TWI と樹高成長量との関係の例

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

*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。

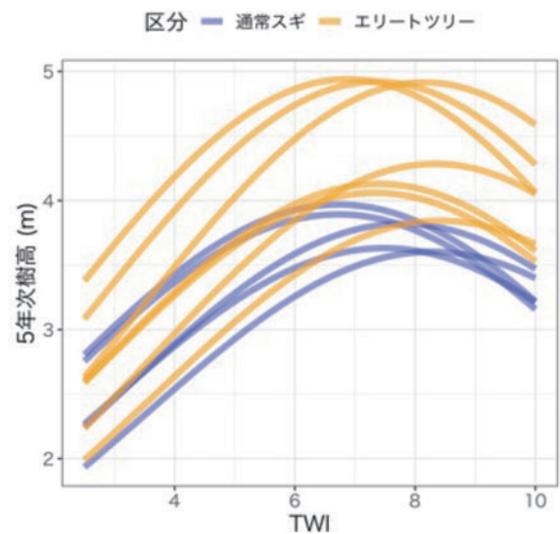


図 22. TWI と 5 年次樹高予測値との関係

（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。

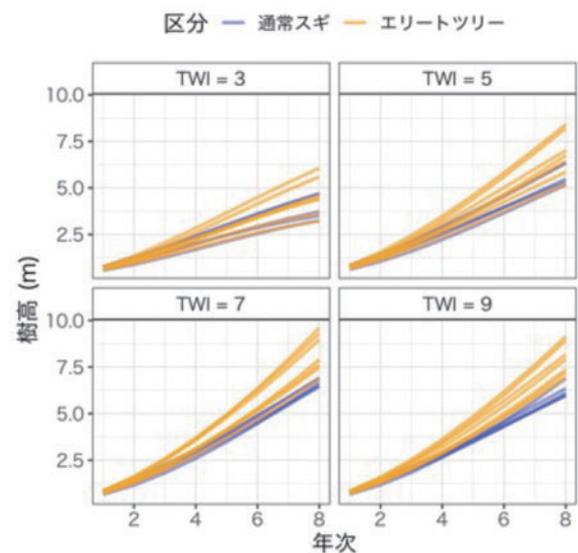


図 23. TWI ごとの年次と樹高予測値との関係の例

（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を超えると、“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。

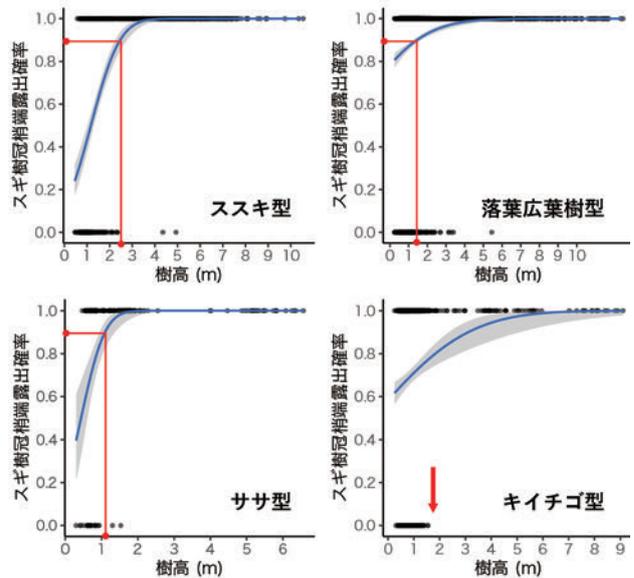


図 24. 競合植生タイプごとスギ樹冠梢端部の露出確率(山川ら、未発表)

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。

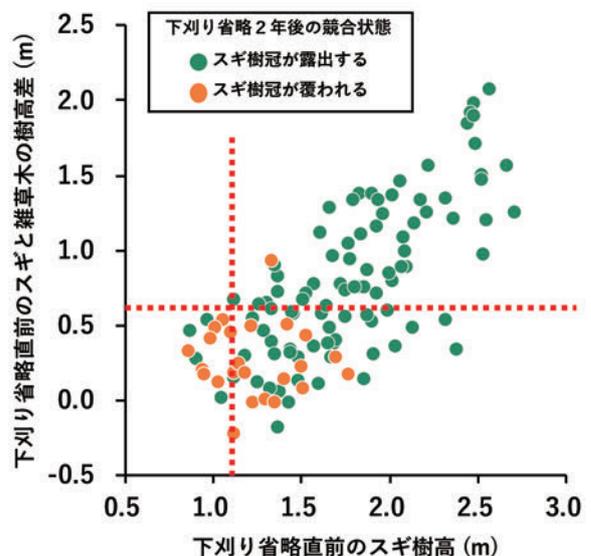


図 25. 下刈り省略前の樹高・競合植生との樹高差と省略後のスギ樹冠の露出の関係(山川ら、未発表)

苗木を作る

植えて育てる

計画を立てる

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。

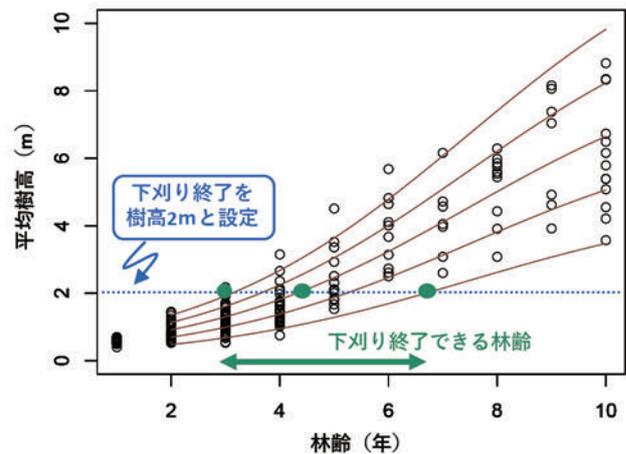


図 26. 九州におけるスギ在来系統の 10 年次までの樹高成長曲線 (山川ら, 未発表)

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。

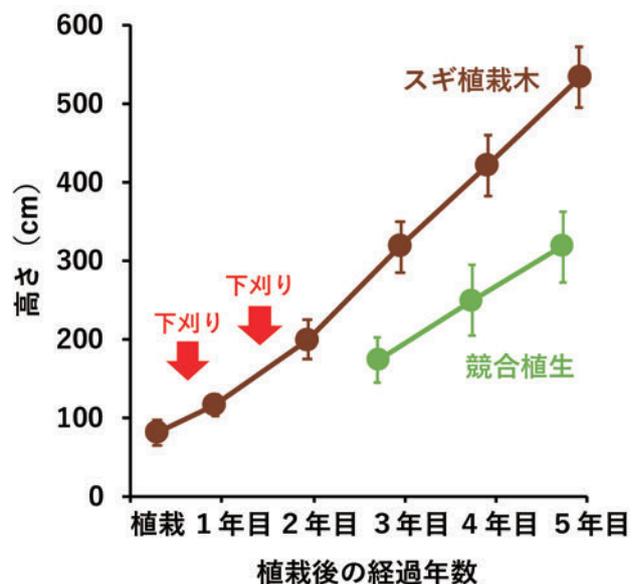


図 27. スギ植栽木と競合植生の樹高の推移 (伊藤ら, 投稿中)

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。

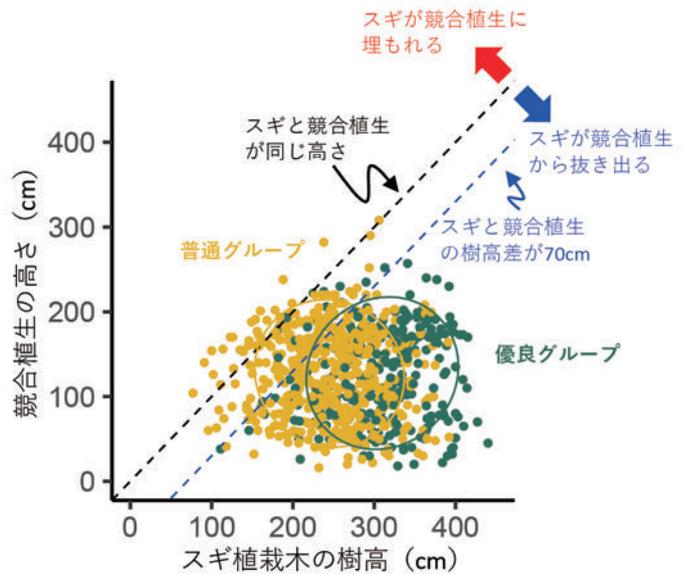


図 28. 植栽4年目の下刈り直前のスギと競合植生の高さ（穂山ら、未発表）

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。

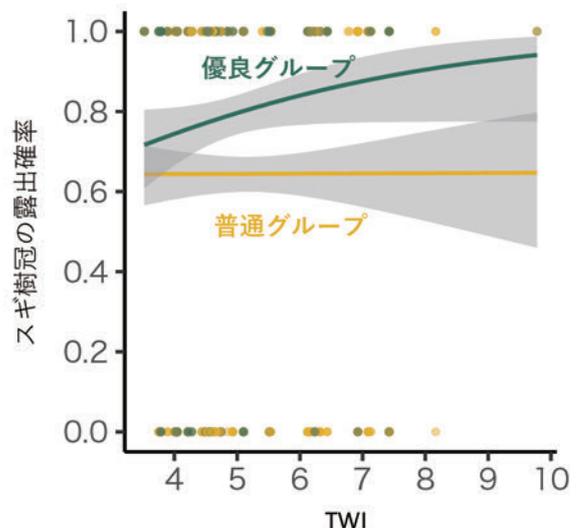


図 29. 3年目の下刈り前にスギ樹冠が半分以上露出する確率（穂山ら、未発表）

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)を作ることで、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)を作ることで、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。

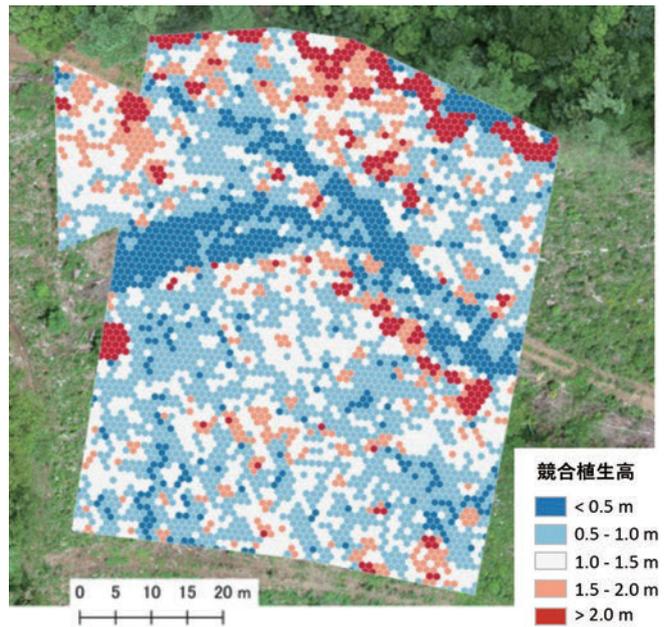


図 30. ドローン空撮によって推定された競合植生の高さ分布

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*)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。

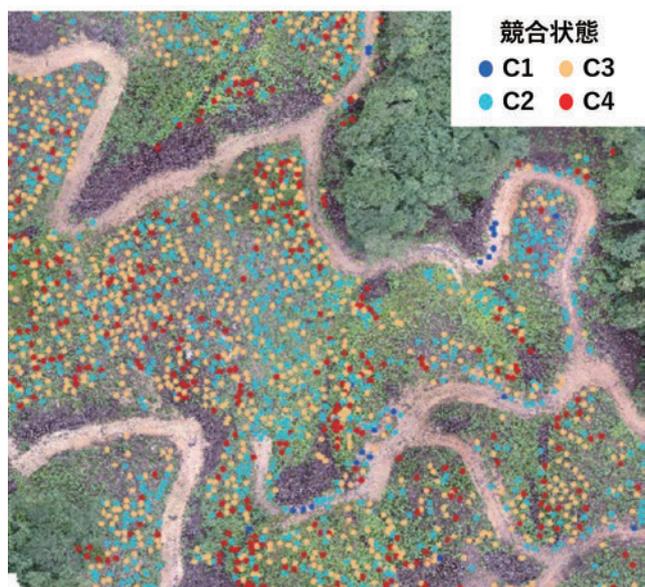


図 31. ドローン空撮によって推定された植栽木の競合状態の空間分布

*1 競合状態 (山川ら, 日本森林学会誌 (2016) 98:241-246)
C 1 : 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
C 2 : 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
C 3 : 植栽木と雑草木の梢端が同じ位置にある
C 4 : 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。

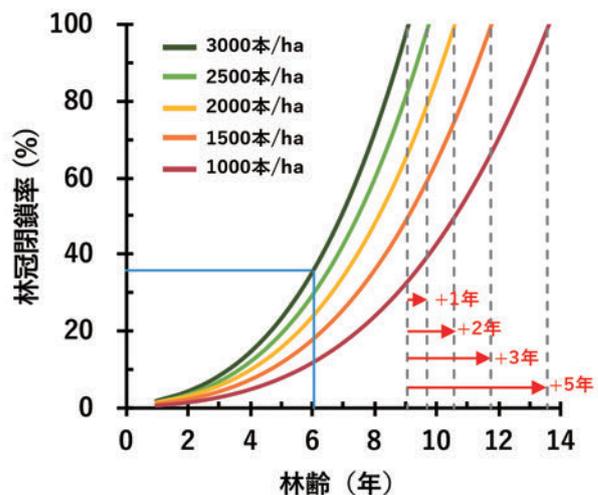


図 32. 植栽密度ごとの林齢と林冠閉鎖率の関係

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。

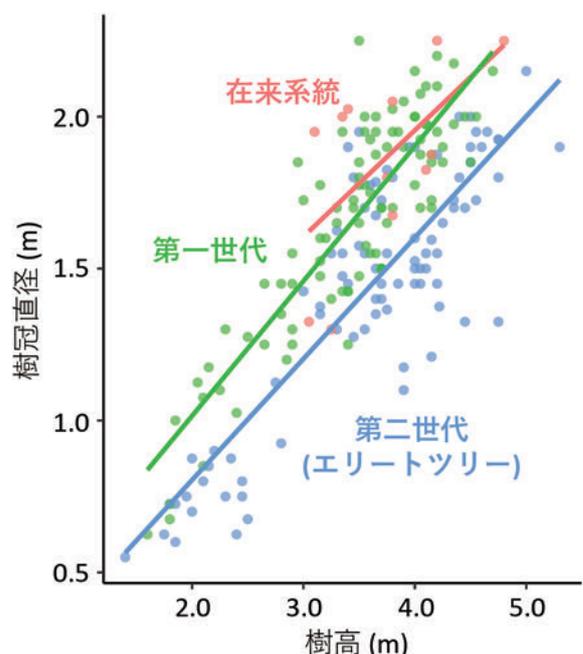


図 33. 在来系統および優良系統の樹高と樹冠直径の関係 (大塚ら(2022)九州森林研究. 75:45-52)を改変

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となります。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。

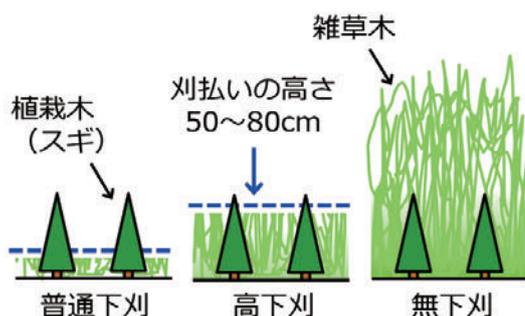


図 34. 刈払い方法のイメージ

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。

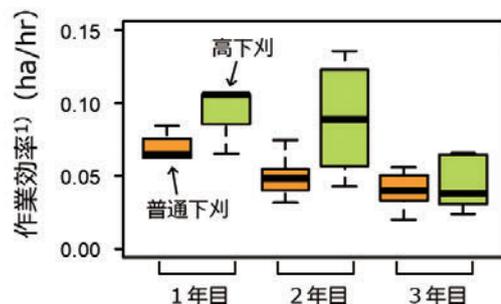


図 35. 刈払い作業効率の経年変化

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。

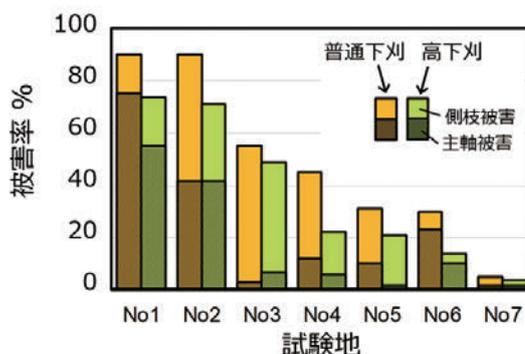


図 36. 高下刈りした7試験地でのシカ被害率

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。

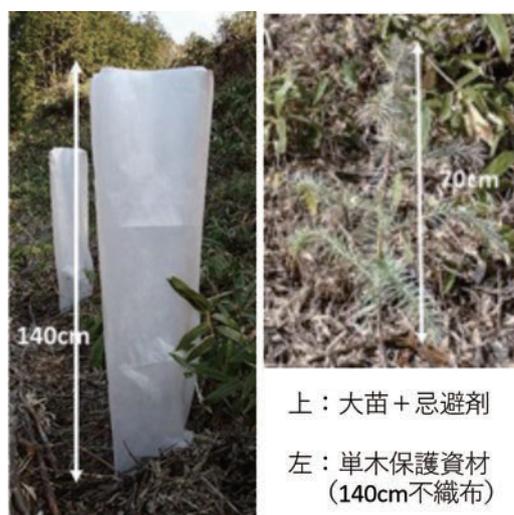


図 38. 単木保護資材及（左）び大苗＋忌避剤（右）で被害を防いでいる様子