

競合状態 C1～C4 におけるスギ幼齢木の樹冠被圧率と幹成長低下率の推定*

山岸 極^{**1}, 伊藤 哲², 原谷 日菜^{3,4}, 山川 博美¹, 平田 令子²

本研究では、競合植生との競合状態時に植栽木が受ける樹冠被圧と幹の成長低下を定量化することを目的に、C1～C4 の 4 段階で評価される競合状態を競合指数 (1～4) として数値化し、競合指数に対応した樹冠被圧率 (被圧樹冠長および被圧枝量の割合) および成長量の低下率を推定した。推定値は、幹の成長量を露出枝量で説明するモデルを構築し、露出枝量を決定するパラメータとして被圧樹冠長の割合を算出した。また、幹の成長量を 4 方位の競合指数の平均値で説明するモデルを構築し、パラメータから幹の成長量の低下率を推定した。なお、C3 はデータ数が少ないため、本研究では、解析対象から除外した。推定結果では、競合状態の C1, C2, C4 の樹冠被圧率はそれぞれ、0%, 50%, 80% 程度となった。これらは競合状態の目視判定基準に対して低い値となることが明らかになった。また、幹の成長低下率はほぼ樹冠被圧のない C1 に対して、C2 が 34%, C4 が 86% の成長量の低下を引き起こすことが示された。C2 における樹冠被圧率と成長量低下率のずれから、競合植生による被圧の強度は高さ方向で一様でなく、その不均一性が成長低下率に影響を及ぼすことが推察された。

キーワード: 低コスト再造林; 枝量; 樹冠長; D_2H

Kiwamu Yamagishi^{**1}, Satoshi Ito², Hina Haratani^{3,4}, Hiromi Yamagawa¹, Ryoko Hirata². 2025. Estimation of Crown Suppression Rate and Stem Growth Reduction Rate of Young Sugi Trees Under the Four-Level Competition Status. *J Jpn For Soc.* 107(9): 208–213. This study aimed to quantify the influence of competition statuses with surrounding vegetation on crown suppression and stem growth reduction in planted trees. To this end, the four-level competition classification commonly used in previous studies (C1–C4) was converted into a numerical competition index (1–4). Based on this index, we estimated the crown suppression rate, expressed as the proportion of suppressed crown length and branch volume, and the associated reduction in stem growth. Two models were used for estimation: one model explained stem growth using exposed branch volume with the proportion of suppressed crown length as a parameter, while the other assessed the influence of the average competition index from four directions on stem growth. Using parameters from each model, we calculated the crown suppression rate and the stem growth reduction rate corresponding to each competition level. Note that C3 was excluded from analysis in this study due to the small sample size. The results showed that the crown suppression rates for C1, C2, and C4 were approximately 0%, 50%, and 80%, respectively. These values were lower than the visual criteria used to define these competitive statuses. In terms of stem growth, C2 and C4 were associated with 34% and 86% reductions, respectively, compared to C1, which experienced virtually no crown suppression. The discrepancy between the crown suppression rate and growth reduction rate in C2 suggests that the intensity of suppression by competitive vegetation is not uniform in the vertical direction, which likely affects the degree of growth reduction.

Key words: low-cost reforestation; branch volume; crown length; D_2H

I. は じ め に

日本の森林の約 4 割を人工林が占めており、その多くが本格的な利用期を迎えている (林野庁 2024)。一方で、スギやヒノキの丸太価格は低い値を推移しており (林野庁 2024)、植栽を含む初期保育費用が立木販売収入を上回る状況にある (中村 2019)。そのため、再造林の着実な実行には、初期保育費用の削減が重要な課題である。中でも、下刈り作業に係る費用は初期保育費用の多くを占めており (山田 1999; 浅田ら 2017; Masaki et al. 2017)、作業にかかるコストの削減が重要である。

温暖湿潤の気候下にある日本では、競合する植生の高さが 2 m を超えることもしばしばあるため、通常の施業体系では、植栽からおよそ 5～6 年間、毎年 1～2 回の下刈りが実施される (戸田 2012)。近年では、初期保育費用の削減

を目的として、下刈りの回数の削減が試行されている。既往研究において、植栽後初期の下刈り回数が少ないと植栽木の枯死率が高くなること (福本ら 2017) や植栽後の下刈りを一度も実施しない (完全無下刈り) 場合に、植栽木の成長の低下、形状比 (樹高を直径で除した値) の上昇、樹冠幅の低下が報告されており (平田ら 2012; 平岡ら 2013; 野宮ら 2016)、木材生産を目的とした場合の完全無下刈りはデメリットが大きいことが一般的に知られている。

そのため、従来の実施回数を削減した適切な下刈り手法 (適切な実施回数や実施タイミング) について多くの研究がなされてきた。近年の既往研究では、従来の下刈り期間 (植栽から約 5 年間) の中で下刈りの要否を判断する材料として、植栽木と競合植生との高さ方向の競合状態の指標 (C1～C4) が提案され (山川ら 2016)、これを活用した研究が数多く進められている (例えば、城田ら 2016; 原山ら 2018;

*本内容の一部は、第 136 回日本森林学会大会でポスター発表した。

**連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: yamagishi_kiwamu050@ffpri.go.jp  <https://orcid.org/0009-0008-6124-9922>

¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所 〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪 4-11-16 (Kyusyu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 4-11-16 Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto, Kumamoto 860-0862, Japan)

² 宮崎大学農学部 〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1 (Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen-kibanadai-nishi, Miyazaki, Miyazaki 889-2192, Japan)

³ 北海道大学大学院環境科学院 〒096-0071 北海道名寄市字徳田 250 (Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 250 Tokuda, Nayoro, Hokkaido 096-0071, Japan)

⁴ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場 〒079-0198 北海道美瑛市光珠内町東山 (Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Higashiyama, Koshunai, Bibai, Hokkaido 079-0198, Japan)

(2025 年 5 月 25 日受付; 2025 年 8 月 1 日受理; 2025 年 9 月 20 日発行)

©2025 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の元で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja>

大矢ら 2021；野口ら 2019, 2023；渡辺 2025)。この指標を提案した山川ら (2016) は、競合植生の高さが植栽木の樹高以上の場合にスギの樹高成長が低下することを報告し、これが下刈り要否の判断基準となりえらとしている。一方、競合植生高が植栽木の樹高に満たない場合でも、植栽木の成長低下がみられるという報告もある。例えば、平岡ら (2013) は、植栽木の樹高の 3/4 の高さの競合植生との競合からスギの樹高および根元直径の成長が低下し始めることを推定モデルの結果から示している。また、最近の研究では、樹冠の上部が半分程度露出している場合でも、樹冠下部の被圧によってスギの成長が低下するという事例が報告されている (伊藤ら 2023；原谷ら 2023)。このように、樹高以下の競合植生の被圧が植栽木の成長に及ぼす影響については異なる見解が示されており、十分に解明されていない。その理由として、これまでに競合状態を用いた研究の多くが、競合植生による植栽木への被圧の度合いを定量的な指標 (例えば被圧を受ける樹冠の量など) で評価せず、競合状態 (C1～C4) のカテゴリーを代替的に用いて成長への影響を解析していたことがあげられる。したがって、これまで多くの研究で蓄積されてきた競合状態と植栽木の成長の研究成果を活用し、より科学的な根拠に基づいて下刈り要否の判断基準を提示するためには、各競合状態における植栽木の樹冠が実際にどの程度の被圧を受け、それが植栽木の成長をどの程度低下させているのかを、定量的に分析する必要がある。そこで、本研究では、各競合状態における植栽木が受ける被圧を、樹冠被圧率 (被圧樹冠長および被圧枝量の割合) として定量的に推定するとともに、各競合状態における成長量の低下率を推定し、各競合状態時の競合植生の被圧と成長量の低下を定量化することを目的とした。

II. 調査地および調査方法

1. 調査地および試験設定

調査を行った試験地は宮崎大学農学部附属フィールド科学教育研究センター田野フィールド内の 15 林班ち 3 小班 (北緯 31°52′, 東経 131°18′, 標高 170 m) である。本研究の調査地は北向き斜面に位置し、2019 年 3 月にスギの特定母樹品種である県始良 20 号の挿し木裸苗が 2,500 本/ha の密度で植栽されている。植栽苗は苗高が 70～90 cm の苗を使用し、九州地域では比較的大きい苗である。

試験地内には下刈り実施回数が異なる処理区を設けており、毎年 (4 回)、植栽後 3 年間のみ (3 回)、植栽後 2 年間のみ (2 回)、無下刈り (0 回) の 4 処理である。各処理区の面積はそれぞれ 0.20 ha, 0.21 ha, 0.20 ha, 0.17 ha である。下刈りは毎年 8 月に実施した。なお、本試験地は処理区にかかわらず、ススキが優占している (原谷ら 2023)。

2. 調査方法

調査は 2019 年 3 月～2022 年 11 月までの期間に継続して 186 本 (4 回下刈り区：49 本, 3 回下刈り区：47 本, 2 回下刈り区：49 本, 0 回下刈り区：41 本) のスギ植栽木の樹高 (H)、地際直径 (D)、競合植生との競合状態、競合植生高 (IH) を計測した (図-1)。計測時期は植栽直後 (3 月) の計測を除き、下刈り実施前 (7 月)、下刈り実施

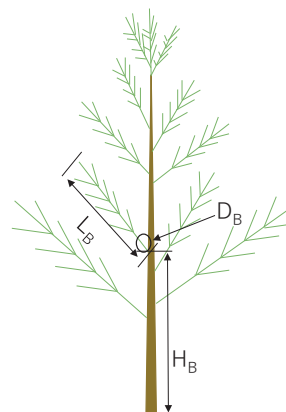


図-1. 一次枝の各測定項目

L_B , D_B , H_B はそれぞれ一次枝の長さ、根元直径、着生高を表す。

後 (9 月)、期末 (11～12 月) を基本とした。ただし、植栽直後の調査では、競合状態は測定していない。2022 年 (7～10 月) には、2021 年における期末樹高と競合状態の平均的な植栽木 (各処理区：10～11 個体) を 41 個体抽出し、樹冠長 (CL)、枝下高 (UCH) およびすべての一次枝の長さ (L_B)、根元直径 (D_B)、着生高 (H_B) を計測した。着生高は地表からの高さを 0.5 cm 単位、長さは着生部位から先端までの長さを 0.1 cm 単位、根元直径は着生部際の直径を 0.1 mm 単位でそれぞれ計測した。競合植生高は、植栽木を最も被圧する植物 (1 個体) を選定し、植栽木の根元から選定個体の先端までの高さを計測した。なお、成長経過の詳細については榎山ら (2025) において報告している。

競合植生との競合状態は植栽木を中心に 4 方位に分けて、競合植生との垂直的な競合状態 (C1～C4) (山川ら 2016) を、方位毎に目視で判定して記録した。

各競合状態の定義は以下の通りである。

- C1：周辺の競合植生の高さがスギの樹冠の 1/2 の高さ以下に位置する。
- C2：周辺の競合植生の高さがスギの樹冠の 1/2 の高さ以上かつ樹高未満である。
- C3：周辺の競合植生の高さがスギ樹高と同じである。
- C4：周辺の競合植生の高さがスギ樹高以上である。

本研究では競合状態の各カテゴリー (C1, C2, C3, C4) をそれぞれ 1, 2, 3, 4 の数値 (以降、競合指数と呼ぶ) として扱った。また、個体の競合状態 (カテゴリー) ごとに区分して解析する場合は、個体の競合指数 (4 方位の平均値) が 1～1.25, 1.5～2.25, 2.5～3.25, 3.5～4.0 となる場合を、それぞれ C1, C2, C3, C4 に再分類して解析に用いた。

3. 解析方法

本研究では、各競合状態における樹冠被圧率として被圧樹冠長および被圧枝量の割合を推定するとともに、各競合状態における成長量の低下率の推定を行った。なお、樹冠被圧率の推定値の妥当性の評価には、実測した競合植生高から算出した相対到達高を用いた。また、競合状態毎で植栽木の樹冠が受ける被圧状況は異なるため、それにより樹冠内の枝の高さ分布が変化する可能性がある。そのため、

各競合状態における枝の高さ分布の比較も行った。

競合植生高は競合植生のスギ樹冠に対する相対到達高 (RVH) に換算して、解析した。相対到達高は下記の式で算出した。

$$RVH = \frac{VH - UCH}{CL}$$

ここで VH は競合植生高, UCH は植栽木の枝下高, CL は植栽木の樹冠長を示している。なお, 本研究では枝の計測データにあわせて, 2022 年 9 月のデータのみを用いた。

幹の成長の分析には, 幹の材積指標である D^2H を各生育期の期首および期末について算出し, その差分を 1 生育期の成長量として用いた。また, 枝の量の評価には, 枝毎に $D_B^2L_B$ を算出, これを枝量として解析に用いた。

枝の高さ分布をサイズの異なる個体を同じ尺度で解析するために, 各枝の着生高および枝量を相対値に換算し, 相対的な枝の高さ分布を競合状態間 (C1~C4) で比較した。相対値への換算は, 各枝の着生高を各個体の樹高で, 各枝の枝量を各個体の総枝量でそれぞれ除して換算した。なお, 競合状態間の比較の際は, 相対高階 (0.1 区切り) 別に相対枝量の総量を算出し, その分布を比較した。加えて, 各個体の相対的な枝の高さ分布の重心高の比較も行った。重心高 (Hc) は下記の式で算出した。

$$Hc = \frac{\int_0^1 (h \times RD_B^2 L_{B(h)}) dh}{\int_0^1 (RD_B^2 L_{B(h)}) dh}$$

ここで h は相対高を示し, $RD_B^2 L_{B(h)}$ は相対高 h における相対枝量を示している。なお, 競合状態が C3 に相当する個体は 2 個体しかいなかったため, 比較対象から外した。

各競合指数が示す被圧樹冠長の割合を推定するために, 以下に示す各方位の各競合指数 i (1~4) に対応する被圧樹冠長割合 ($RCL_{S(i)}$) をパラメータとした幹の成長量を露出枝量で説明するモデルを用いた。

$$\Delta D^2H \sim N(G, \sigma)$$

$$G = a \left(\sum D_B^2 L_{B_{TK}} \right)^b$$

$$\overline{HS} = (HS_{(n)} + HS_{(e)} + HS_{(w)} + HS_{(s)}) / 4$$

$$HS_{(k)} = (RCL_{S(i)} \times CL + UCH)$$

ここで N は正規分布, ΔD^2H は幹の 1 生育期の成長量, G と σ は確立分布の平均値と標準偏差をそれぞれ示している。 $\sum D_B^2 L_{B_{TK}}$ は $\overline{HS}$ 以上の高さの枝量 ($D_B^2 L_B$) の合計である。 a と b はそれぞれ定数を示すパラメータであり, $\overline{HS}$ は 4 方位の被圧枝高の平均値を示す。 CL , UCH はそれぞれ樹冠長, 枝下高を示す。被圧枝高 $HS_{(k)}$ はある方位 k の被圧枝高を示し, CL (樹冠長) にパラメータである $RCLs$ (被圧樹冠長割合) を乗じ, UCH (枝下高) を足し合わせた値である。推定後には, 推定した $RCLs$ から枝計測を行った各個体の $\overline{HS}$ を算出し, その値以上および未満の高さに位置する枝をそれぞれ被圧外, 被圧下と区分し, 総枝量に対する被圧下の枝量の割合の算出も行った。本解析の使用データは 2022 年の枝の高さおよび枝量, 2021 年 12 月から 2022 年 11 月にかけての幹の成長量, 2022 年 9 月の 4

方位の競合指数である。なお, 解析対象となる競合指数は 1, 2, 4 のみである。

次に, 競合指数が示す幹の成長量の低下率を推定するために, 競合指数の平均値が幹の成長量に影響する以下に示すモデルを構築し, そのパラメータの推定を行った。

$$\Delta D^2H \sim N(G, \sigma)$$

$$G = \left(a \left(\sum D_B^2 L_B \right)^b \right) \times PE$$

$$PE = 1 - c(\overline{CI} - 1)^d$$

ここで N は正規分布, ΔD^2H は幹の 1 生育期の成長量, G と σ は確立分布の平均値と標準偏差を示している。 $\sum D_B^2 L_B$ は各対象木の期首の総枝量を示している。 PE は樹冠量にかかる幹の成長効率を示しており, 競合指数が 1 のときは 1.0 となり, 競合指数の上昇に伴い低下する。本研究では, PE の値をもとに競合指数の上昇による成長量の低下率を評価する。 $\overline{CI}$ は各個体の 4 方位の競合指数の平均値を示している。なお, 事前解析において, ΔD^2H と $\overline{CI}$ との間に負の相関があることが認められている ($\rho = -0.567$, $p < 0.001$)。モデル内の a , b , c , d はそれぞれ定数を示すパラメータである。

なお, 本研究では, 1 時点での計測データしか得られていない総枝量のデータ範囲を拡張するために 2022 年 7 月から 9 月にかけて計測した総枝量 ($\sum D_B^2 L_B$) と 2022 年 9 月の地際直径 (D) との関係回帰分析し, 得られた式 ($\sum D_B^2 L_B = 0.046D^{2.684}$, $R^2 = 0.911$) から 2020 年 12 月および 2021 年 12 月の総枝量を推定して, これを総枝量の解析に使用した。また, 各解析対象期間の幹の成長量には, 2020 年 12 月~2021 年 12 月, 2021 年 12 月~2022 年 11 月の各期間の成長量の実測値を用い, 競合指数は 2021 年 9 月, 2022 年 9 月のデータを用いた。

本研究における各パラメータの事後分布はベイズ推定により求めた。ベイズ推定は R Studio version 2023.06.2+561 と R4.3.2 (R Core Team 2023) の Rstan パッケージを用いた。マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) サンプルは 100,000 ステップを 4 チェーン, バーンインを 50,000, 間引きを 1 とした。なお, 事後分布の収束指標は $\hat{R}$ が 1.1 未満であることとした。

III. 結 果

1. 枝量の垂直分布

各競合状態の樹冠内の枝量の相対的な高さ分布を図-2 に示す。なお, 本分布では各個体の枝量と着生高を相対値に換算した値を用いている。相対的な枝の分布は競合状態に関わらず, ほぼ同様に一山型の分布を示す傾向があった。また, 各競合状態における枝量の相対的な高さ分布の重心高の平均値は C1 および C2 では 0.62, C4 では 0.67 を示し, C4 が他の競合状態より有意に高かった (Steel-Dwass 多重比較検定, $p < 0.050$, 図-3)。

2. 競合植生の相対到達高

各競合指数に対する競合植生の植栽木の樹冠基部に対する相対到達高を図-4 に示す。なお, 換算値である相対到達高の算出に使用した競合植生高は植栽木を最も被圧して

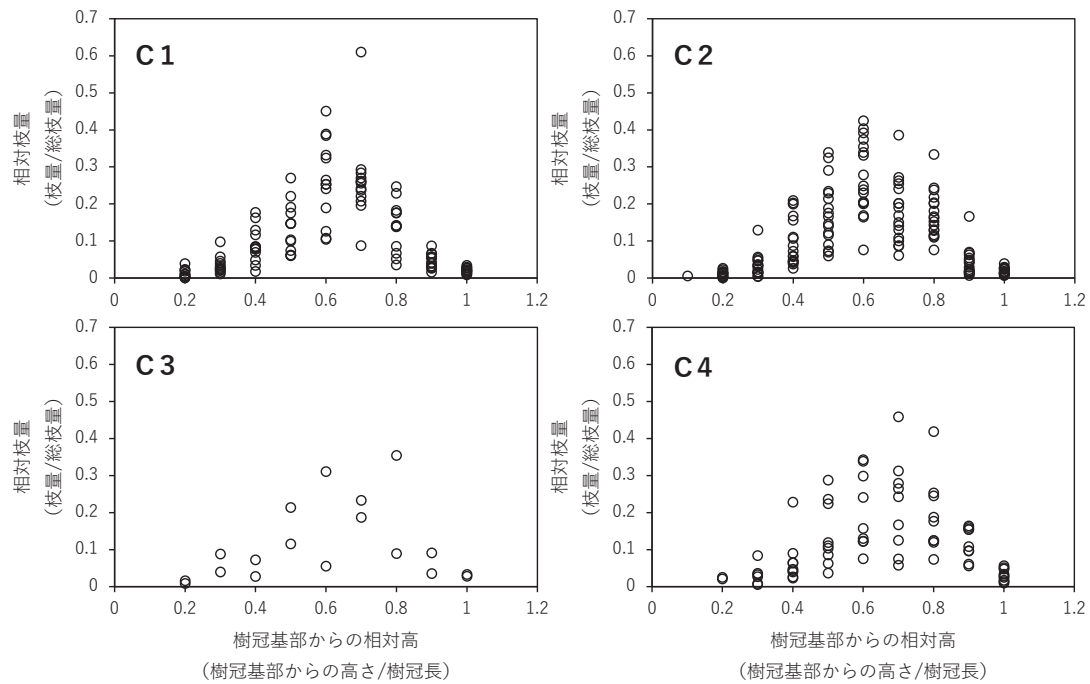


図-2. 競合状態別の相対枝量の相対高階分布

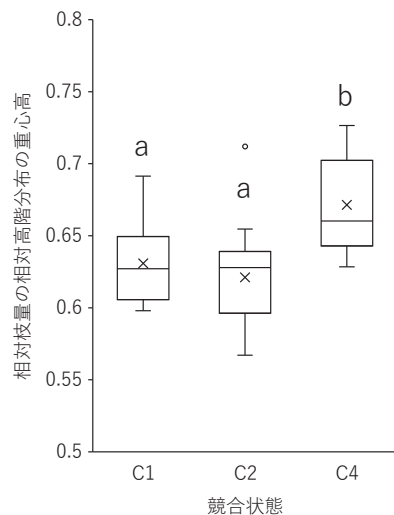


図-3. 競合状態別の相対枝量の相対高階分布の重心高

異なるアルファベットは競合状態間に有意差があることを示す (Steel-Dwass 多重比較検定, $p < 0.050$)。なお、競合状態が C3 に相当する個体は 2 個体しかいなかったため、比較対象から外した。

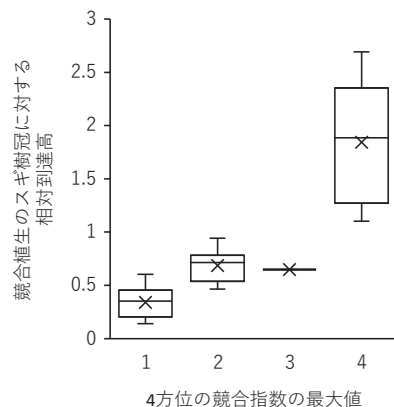


図-4. 4 方位の競合指数の最大値に対応する競合植生のスギ樹冠に対する相対到達高

競合植生のスギ樹冠に対する相対到達高は樹冠基部からの競合植生高と樹幹長 (樹冠基部からの樹冠先端部のまでの長さ) との差である。

表-1. 競合指数が示す被圧樹冠長割合 ($RCLs$) の推定モデルの各パラメータの推定値

パラメータ	中央値	95%信頼区間	$\hat{R}$
a	6.34	1.56-40.25	1.01
b	0.94	0.61-1.26	1.01
$RCLs(1)$	0.05	0.00-0.30	1.00
$RCLs(2)$	0.50	0.49-0.55	1.01
$RCLs(4)$	0.73	0.51-0.98	1.02

a , b はモデル内の定数を示すパラメータである。 $RCLs$ は各競合指数の被圧樹冠長割合を示すパラメータであり、括弧内は競合指数を示す。競合指数 3 はデータがなく、解析対象から除外している。

いる 1 個体の調査データであるため、ここで使用する競合指数は 4 方位の競合指数の最大値とした。図-4 に示されるとおり、競合指数 1, 2, 4 に対応する競合植生の植栽木の樹冠基部からの相対到達高は、それぞれ 0.14-0.79, 0.46-1.14, 1.10-2.69 の範囲の値となった。

3. 被圧樹冠長の割合 ($RCLs$) 推定結果

モデルのパラメータとして各競合指数 (1, 2 および 4) が示す被圧樹冠長割合 ($RCLs$) を推定した結果では、競合指数が 1 の時の $RCLs$ は 0.05, 2 の時は 0.50, 4 の時は 0.73 の値を示した (表-1)。なお、被圧樹冠長割合 ($RCLs$) の推定値と推定した $RCLs$ に基づき算出した各個体の樹冠内の総枝量に対する被圧枝量の割合との関係を見ると、 $RCLs$ の増加に伴い被圧枝量の割合が増加する傾向を示した (図-5)。また、各競合指数に対応する $RCLs$ のときの被圧枝量の割合は、それぞれ 0.00-0.04 (平均 0.02), 0.56-0.61 (平均 0.58), 0.84-0.92 (平均: 0.86) を示した (図-5)。なお、 $RCLs$ をパラメータとしたモデルの決定係数は 0.784 であった。

4. 幹の成長低下率の推定結果

被圧による幹の成長効率 (PE) の低下を推定するために用いたモデルの各パラメータは表-2 に示す。本モデルにおける 4 方位の競合指数の平均値の変動による PE の変

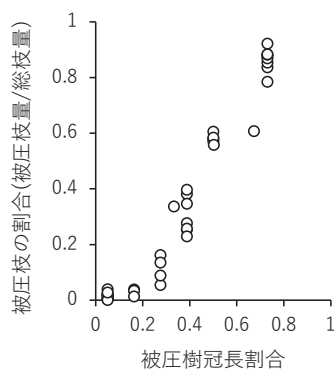


図-5. モデルに基づく被圧枝の割合と被圧樹冠長割合の関係

表-2. 競合指数に応じた幹の成長効率 (PE) の推定モデルのパラメータ推定値

パラメータ	中央値	95%信頼区間	$\bar{R}$
a	8.59	4.86-14.76	1.00
b	1.04	0.93-1.17	1.00
c	0.34	0.21-0.44	1.00
d	0.84	0.55-0.96	1.00

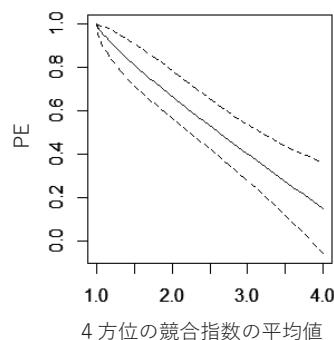
a, b, c, d はモデル内の定数を示すパラメータである。

化は図-6のように競合指数の上昇に伴い、低下した(図-6)。4方位の競合指数の平均値が1.0, 2.0, 4.0となる時のPEは、それぞれ1, 0.66, 0.14となり、競合指数1からの2, 4のPEの低下率はそれぞれ0.34, 0.86であった。なお、PEをパラメータとした成長量推定モデルの決定係数は0.854であった。

IV. 考 察

1. 競合状態別にみた植生到達高と樹冠被圧の関係

本研究で推定された樹冠被圧率(被圧樹冠長割合(RCLs), 相対被圧枝量)は目視判定基準で想定される競合植生の相対到達高と比較すると比較的低い値となった。各競合指数のRCLsと相対被圧枝量は、競合指数1では被圧率0%に近い値(RCLs: 0.05, 相対被圧枝量: 0.02), 競合指数2では50%程度(RCLs: 0.50, 相対被圧枝量: 0.58), 競合指数4では80%前後(RCLs: 0.73, 相対被圧枝量: 0.86)を示した。一方で、本研究の各競合指数の目視判定基準から想定される樹冠基部からの競合植生の相対到達高はそれぞれ、競合指数1は0.00-0.50, 2は0.51-0.99, 4は1.0以上である。推定された樹冠被圧率は、競合指数1, 2では想定される競合植生の相対到達高の下限値を示し、競合指数4では想定値より低い値であった。なお、実測した競合植生高から算出した各競合指数の競合植生の相対到達高はそれぞれ、おおよそ想定される値の範囲内となっており(図-4)、競合植生の到達高は想定通りであった。谷本(1982)によれば、造林地における相対照度は地上高の上昇とともに増加するとされており、競合植生による樹冠の被圧強度は競合植生の上層ほど弱くなると想定される。そのため、競合植生の上層部分は樹冠の被圧への影響が小さく、推定上の被圧高が競合植生の到達した高さよりも低くなったと考えられる。

図-6. 4方位の競合指数の平均値とモデルから推定された幹の成長効率 (PE) との関係
破線は95%信頼区間を示す。

2. 競合状態別にみた幹の成長低下率と樹冠被圧率の関係

競合指数1の時の成長を基準とした幹の成長効率PEの低下率は競合指数によって異なった。競合指数4ではPEの低下率(0.86)はRCLs(0.73)から想定される低下率よりも大きく、推定された被圧枝量割合(0.86)と同定度の値を示した。一方で、競合指数2のPEの低下率(0.34)はRCLs(0.50)および被圧枝量割合(0.58)より小さい値を示した。なお、本研究では競合指数1は樹冠被圧率が0%に近い状態であることから、競合指数1を基準としたPE低下率は開放条件に近い状態からの幹の成長低下率といえる。競合指数4においてPEがRCLsより低く、被圧枝量と同定度であったのは、スギ樹冠内の枝量の高さ分布がある高さにピークを持つ一山型を示すため、樹冠の被圧高よりも同化器官である葉を支持する枝の被圧割合のほうが成長低下率をよりよく説明できるためだろう。一方で、競合指数2で被圧枝量割合のわりに成長効率が高かったのは、被圧された枝の中にも成長に寄与した枝があったためと推察される。本研究では、スギ樹冠内の枝の高さ分布においてC2はほぼ被圧を受けていなかったC1と同等の重心高を持ち、C4は他の競合状態より高くなった。C4でみられた重心高の上昇は強い被圧が樹冠下部の枝の成長を抑制し、枝の高さ分布のピークを上昇させたことが要因だろう。一方で、C2の樹冠下部は枝の高さ分布に影響しない程度の被圧環境下であったと想定され、被圧枝であっても成長に寄与したと考えられる。

3. 樹冠被圧率と幹の成長低下率に基づく競合状態の評価

本研究の結果から、既往研究で用いられている競合状態のC1, C2, C4の樹冠被圧率はそれぞれ、0%, 50%, 80%程度であることが明らかとなった。また、幹の成長低下率はC1の被圧がほぼないため、0%と仮定すると、C2が34%, C4が86%の成長量の低下を引き起こすことが示された。このため、C1以外の競合状態での下刈り省略時には、各競合状態に応じた競合植生からの樹冠の被圧が生じ、幹の成長量が低下することを想定するべきだろう。

本研究では、既往研究で示されている植栽木と競合植生との定性的な競合状態時に植栽木が受ける樹冠被圧や幹の成長量の低下を定量的に示すことができた。加えて、樹冠内の枝の高さ分布と競合植生による高さ方向の被圧強度の不均一性が成長量に影響していることが示唆された。本研

究のようなススキが優先する林地でなく、葉量密度の高い層を上層部に集中させるとされる落葉広葉樹（依田 1971）の場合、高さ方向の被圧強度が異なる可能性があるため、異なるタイプの競合植生での検証が必要である。また、既往研究において、樹冠の形状は競合植生の被圧によって変化したこと（原谷ら 2023）や品種間で異なったことが報告されている（松浦 2002；大塚ら 2022；大谷ら 2023）。そのため、枝量分布の異なるスギでの反応の評価も必要である。

謝 辞

本研究の実施に際して、宮崎大学農学部附属フィールド科学教育センター田野フィールドには、試験地の設定・管理において多大なご協力を頂いた。ここに謝意を表します。本研究の一部は、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」（18064868）、および日本学術振興会科学研究費補助金（21K18226, 23K26948）の支援を受けて行った。

開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 浅田龍造, 海邊健二, 大友順一郎, 山田興一. 2017. 木質バイオマスの生産コスト構造とその低減策. 日林誌. 99(5): 187-192.
- 戸田浩人. 2012. 針葉樹の人工更新. 東京農工大学農学部 森林・林業実務必携編集委員会編, 森林・林業実務必携. 東京: 朝倉書店. p. 47-52.
- 福本桂子, 太田徹志, 溝上展也, 岩永史子, 吉田茂二郎, 寺岡行雄, 加治佐剛. 2017. 下刈り回数, 斜面方位および植栽密度の違いがスギ植栽木の枯死および誤伐に与える影響—鹿児島大学附属高隈演習林を事例として—. 森林計画学会誌. 51(1): 1-7.
- 原谷日菜, 伊藤哲, 中山葉月, 山岸極, 山川博美, 溝口拓朗, 平田令子. 2023. スギ植栽木に対するススキ型および落葉広葉樹型植生の被圧効果の違い. 日林誌. 105(5): 147-153.
- 原山尚徳, 津山幾太郎, 倉本恵生, 上村章, 北尾光俊, 韓慶民, 山田健, 佐々木尚三. 2018. 雑草木による樹冠被圧がカラマツ植栽木の生残および初期成長に及ぼす影響. 日林誌. 100(5): 158-164.
- 平岡裕一郎, 重永英年, 山川博美, 岡村政則, 千吉良治, 藤澤義武. 2013. 下刈り省略とその後の除伐がスギ挿し木クロンの成長に及ぼす影響. 日林誌. 95(6): 305-311.
- 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. 日林誌. 94(3): 135-141.
- 伊藤哲, 平田令子, 山岸極, 溝口拓朗, 山川博美. 2023. スギ特定母樹の中苗活用による下刈り省略の可能性. 日林誌. 105(7): 245-251.
- Masaki T, Oguro M, Yamashita N, Otani T, Utsugi H. 2017. Reforestation

- following harvesting of conifer plantations in Japan: current issues from silvicultural and ecological perspectives. Reforesta. 3: 125-141.
- 松浦崇遠. 2002. 同一林地内に植栽されたボカスギとマシヤマスギの生産力と葉層の垂直分布. 富山県林業技術センター研究報告. 15: 13-24.
- 榎山智咲, 伊藤哲, 原谷日菜, 山岸極, 山川博美, 赤池友樹, 平田令子. 2025. 下刈り期間中の競合植生の変化がスギ植栽木の成長に及ぼす影響. 日林誌. 107(8): 179-185.
- 中村松三. 2019. 再造林を取り巻く現状と課題. 中村松三, 伊藤哲, 山川博美, 平田玲子編. 低コスト再造林への挑戦. 東京: 日本林業調査会. p. 14-19.
- 野口麻穂子, 松尾亨, 小西光次, 櫻昭二, 八木貴信, 櫃間岳, 齋藤智之, 新井隆介, 八木橋勉. 2019. 隔年下刈りがカラマツ植栽木の5年間の生存と成長に及ぼす影響. 東北森林科学会誌. 24(2): 37-46.
- 野口麻穂子, 齋藤智之, 酒井敦, 青山岳彦. 2023. 下刈り方法の異なるスギ若齢林において植栽密度が植栽木と競合植生の成長に与える影響. 日林誌. 105(9): 291-297.
- 野宮治人, 山川博美, 香山雅純, 荒木眞岳, 金谷整一, 安部哲人, 重永英年. 2016. 下刈り省略による再生植生タイプとスギ植栽木の初期成長への影響. 九州森林研究. 69: 103-105.
- 大谷達也, 米田令仁, 福本桂子, 山川博美. 2023. 四国中央部におけるスギ苗3種の成長比較—在来実生苗と九州の挿木苗2品種—. 森林総合研究所研究報告. 22(4): 217-221.
- 大塚次郎, 森山央陽, 栗田学, 久保田正裕, 倉本哲嗣. 2022. スギ特定母樹若齢木の樹形および台仕立て過程における採穂量の推移. 九州森林研究. 75: 45-52.
- 大矢信次郎, 倉本恵生, 小山泰弘, 中澤昌彦, 瀧誠志郎, 宇都木玄. 2021. 機械地拵えによる競合植生抑制効果と下刈り回数の削減. 森林利用学会誌. 36(2): 36-99.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; [2025.5.23.参照]. <https://www.R-project.org/>.
- 林野庁. 2024. 令和5年度版 森林・林業白書. 東京: 全国林業改良普及協会.
- 城田徹央, 松山智矢, 大塚大, 齋藤仁志, 岡野哲郎, 大矢信次郎. 2016. 長野県北部におけるスギコンテナ苗の活着と初期成長. 日林誌. 98(5): 227-232.
- 谷本丈夫. 1982. 造林地における下刈, 除伐, つる切りに関する基礎的研究 (第1報): スギ幼齢造林地におけるスギと雑草木の生長. 林試研報. 320: 53-121.
- 渡辺直史. 2025. 下刈りを省略したスギ林分9年間の成長. 森林応用研究. 33: 17-20.
- 山田容三. 1999. 下刈作業の現状について. 林業と薬剤. 150: 12-18.
- 山川博美, 重永英年, 荒木眞岳, 野宮治人. 2016. スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日林誌. 98(5): 241-246.
- 依田恭二. 1971. 森林生態系の生産構造. 森林の生態学. 東京: 築地書館. p. 47-71.