

2. 事業成果要約

平成 27(2015)年度から令和元(2019)年度における本事業の成果を、以下に要約した。

2-1. 文献調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～平成 28(2016)年度

【調査内容】

低密度植栽技術について、66 件の学術論文などを収集し、技術体系や課題について整理した。また、これらの学術論文などから得られた知見を基にして樹種ごとに考察を行った。

【主な調査結果】

①スギ

- ・ 通常の植栽密度と同じように林冠閉鎖し成林するか、あるいは林冠閉鎖が遅れるかは、立地条件や侵入雑草木の状況などによって決まる。
- ・ 間伐回数を削減できるため、低コスト化を見込める。
- ・ 低密度植栽で成林したスギでも材質に問題がないという報告がある一方で、節が多く梢殺となるため柱材には向かないとの報告もある。ただし、合板や集成材への活用には問題ない。

②ヒノキ

- ・ 比較的ヒノキの初期成長が遅かった地域において、下刈りの回数が通常より多く必要となった。
- ・ 低密度植栽で成林したヒノキは梢殺で節が多く節抜けも見られるため、柱材に向かないという報告がある一方で、植栽密度が 1,500 本/ha 以上であれば樹形や材の強度的に利用が可能であるという報告もある。

③カラマツ・グイマツ雑種 F1

- ・ 成長が速いため、1,000 本/ha 程度の低密度植栽でも十分に林冠閉鎖する。
- ・ 間伐回数を 3 回から 1 回などに削減できるため、十分な低コスト化を見込める。
- ・ 集成材などの並材生産を目標とするのであれば、低密度植栽でも材質に問題はない。

2-2. 既存試験地調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～平成 28(2016)年度

【調査内容】

既存の低密度植栽地（以下、既存試験地とする）の中から、論文や報告書、ヒアリングを基に計 30 箇所を選定し、現地調査を行った。対象とした樹種は、全国的な造林樹種であるスギ・ヒノキのほか、冷温帯地方などで植栽されているカラマツ・グイマツ雑種 F1 とした。

これらの既存試験地および通常の密度で植栽した比較対象地について、既存試験地あたり 100 m²の調査プロットを設置し、植栽木の樹高、胸高直径（または地際直径）、形状、また侵入雑草木について調査を行った。

【主な調査結果】

①スギ

鹿児島県垂水市における 10 年生の既存試験地や岡山県新見市における 17 年生の既存試験地では、低密度植栽区の方が樹高はやや大きく、胸高直径も大きい方に分布が偏っていた。

また、広島県福山市における 43 年生の既存試験地や宮崎県日南市における 43 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で大きな差が見られなかったものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

②ヒノキ

熊本県人吉市における 11 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で大きな差が見られないものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

また、広島県福山市における 42 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で差が見られなかったものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

③カラマツ

岩手県宮古市や岩手県遠野市における 2 年生の既存試験地では、未だ植栽密度間で顕著な成長の違いは見られなかった。

④グイマツ雑種 F1

北海道千歳市における 8 年生の既存試験地では、胸高直径、樹高とも低密度植栽区の方が僅かに小さかったものの、大きな差は見られなかった。

一方で、北海道夕張郡由仁町における 13 年生の既存試験地では、樹高は植栽密度間で差が見られないものの、胸高直径は低密度植栽区において大きい方に分布が偏っていた。

2-3. 実証試験地調査

【実施年度】

平成 27(2015)年度～令和元(2019)年度

【調査内容】（本報告書 25～285 ページ）

平成 27（2015）年度に 10 箇所、平成 28（2016）年度に 6 箇所、平成 29（2017）年度に 3 箇所の実証試験地を設定して調査を行った。対象とする樹種はスギ、ヒノキ、カラマツとし、植栽にあたってはコンテナ苗を使用して秋以降に植栽を実施した。

植栽密度は 2,500 本/ha、1,600 本/ha、1,100 本/ha の 3 つ（または 2,500 本/ha、1,600 本/ha の 2 つ）とし、それぞれの植栽密度ごとに 2～3 箇所ずつ調査プロットを設定した。調査プロット内の植栽木の生育状況について調査を行い、植栽密度間で比較した。

低密度植栽にすることで下刈り回数が余分にかかるかどうかを検証するため、植栽木と雑草木の競合関係について調査を行い、植栽密度間で比較した。

植栽密度の違いが下刈り作業時間に影響するかどうかを検証するため、各調査プロット内における下刈り作業の時間計測を行い、植栽密度間で比較した。

地拵え・植栽から令和元（2019）年度の下刈りまでにかかったコストを算出し、低密度植栽を行うことによりどの程度コストを削減できるかを試算した。

設定した実証試験地のうち宮崎県都城市では、平均樹高が約 90cm 程度のスギ大型コンテナ苗（以下スギ大苗とする）を植栽し、スギ大苗の導入と低密度植栽の併用による、下刈り回数の削減効果およびシカ被害対策コストの削減効果について実証した。

【調査結果】

①低密度植栽における植栽木の活着率（本報告書 286 ページ）

活着率（植栽翌年における生存率）は、全 19 箇所の実証試験地に設置した調査プロットのうち、約 9 割で 80%以上と高い数値を示した。また、植栽密度間で大きな差が見られなかった。このことから、植栽木の活着率は植栽密度によって影響されないと考えられる。

例外として、北海道下川町の実証試験地（平成 29（2017）年 11 月にカラマツを植栽）では、活着率が 30～50%と低かった。今後の成林が危ぶまれるため、令和元（2019）年 9 月に 1,050 本の補植を実施した。

②低密度植栽における植栽木の生存率（本報告書 286～287 ページ）

令和元（2019）年度時点における生存率は、一部の調査プロットにおいて局所的な雑草木の繁茂や獣害の発生などの植栽密度以外の要因で生存率の低下が見られたが、それ以外では植栽密度間で大きな差が見られなかった。このことから、植栽木の生存率（植栽後 4 年程度まで）は植栽密度によって影響されないと考えられる。

③低密度植栽における植栽木の成長量（本報告書 287～288 ページ、292～305 ページ）

植栽木の樹高成長や直径成長について、多くの実証試験地では植栽密度間で大きな差が見られなかった。一部の実証試験地では植栽密度間で成長量に差が見られたが、植栽密度のほかに植栽木と雑草木の競合状態や斜面方位などの立地環境が要因として挙げられた。

そこで、樹高成長量がどの要因に影響を受けているのかを明らかにするため、「一般化線形混合モデル」を用いて地域ごとに解析を行ったところ、一部の実証試験地において植栽密度が樹高成長量に影響を与えているという結果となった。ただし、影響の大きさを示す値はほぼ0に近く、植栽密度が樹高成長量に与える影響はごく僅かであることが分かった。本事業の試験期間内では林冠が閉鎖されるまでに至っておらず、初期成長に対する植栽密度の影響は考えにくいことから、地位などの今回調査を行っていない要因が影響している可能性があった。また、植栽木に影響を与えていた要因として、多くの実証試験地では前年度の形状比が挙げられ、前年度の形状比が低い個体ほど樹高成長が良いという結果となった。

なお、「2-2.既存試験地調査の結果」から、今後植栽木が10年生程度になり林冠閉鎖する頃になれば、植栽密度間で直径成長などに違いが発生してくると思われる。

④植栽密度と下刈り作業時間の関係（本報告書 306～307 ページ）

下刈り（全刈り）作業時間を植栽密度別に集計・整理した結果、実証試験地によりばらつきはあるものの、全体として植栽密度が低い方が下刈り作業時間が短い傾向が見られた。さらにTukeyの多重比較検定を行ったところ、1,100本/ha区と1,600本/ha区の間($p < 0.05$)、1,100本/ha区と2,500本/ha区の間($p < 0.001$)で、下刈り作業時間に有意差が認められた。なお、1,600本/ha区と2,500本/ha区の間($p > 0.05$)では有意差は検出されなかった。

⑤植栽密度と誤伐の関係（本報告書 308～309 ページ）

植栽密度と誤伐の発生の関係を分析した結果、1,100本/ha区では7.0%、1,600本/ha区では5.9%、2,500本/ha区では5.8%の植栽木に誤伐が発生していた。植栽密度間で大きな差は見られず、誤伐の発生は植栽密度にほとんど影響されないという結果が得られた。

一方で、誤伐の発生と雑草木の繁茂状況の関係を分析したところ、植栽木の樹高が雑草木を下回った時に誤伐の発生が多くなるという結果が得られた。

⑥植栽密度と下刈り回数（本報告書 289～290 ページ）

低密度植栽では植栽間隔が広くなるため、植栽木が雑草木を被圧するのに通常植栽よりも時間を要し、下刈りの回数が余分にかかるという懸念がある。この懸念について検証するため、夏季（下刈り前）における植栽木と雑草木の樹高を計測し、平均樹高の経年変化を比較した。また、植栽木と雑草木の競合状態について、山川ほか（2016）の判断基準を用いてC1～C4の4つのカテゴリに分類（本報告書 20 ページ参照）して評価を行った。これらの調査結果から、低密度植栽区と通常密度の植栽区で下刈り終了までの回数に違いが生じる

かについて検証した。

調査の結果、全 19 箇所の実証試験地のうち、低密度の植栽区と通常密度の植栽区の両方とも令和元（2019）年度の段階で下刈りの終了が判断できる実証試験地が 5 箇所（岩手県紫波町（カラマツ）、長崎県大村市（ヒノキ）、熊本県美里町（スギ）、鹿児島県薩摩川内市（スギ）、宮崎県都城市（スギ大苗））だった。残りの 14 箇所は、令和元（2019）年度の時点では下刈りの終了をまだ判断できない実証試験地であった。ただし、これらの実証試験地では植栽木と雑草木の競合関係は概ね同じ傾向を示しており、下刈り終了の可能性が植栽密度により変わるような事例は見られなかった。

以上から、植栽密度の違いが下刈り回数に影響すると考えられる実証試験地は、現時点では確認されなかった。

⑦初期保育コストの分析（本報告書 291 ページ）

ほとんどの実証試験地において、通常の植栽密度（スギ・ヒノキは 3,000 本/ha、カラマツは 2,500 本/ha）と比べ、1,600 本/ha 区では約 70～90%、1,100 本/ha 区では約 60～80% 程度のコスト削減が可能であることが分かった。ただし、シカ柵の設置や下刈り作業にコストが大きくかかってしまうような実証試験地では、低密度植栽によるコスト削減があまり進まない可能性があることも分かった。

⑧スギ大苗の導入と低密度植栽の併用の有用性（本報告書 228～245 ページ）

下刈り回数の削減やシカ食害による枯死リスクの低減のため、宮崎県都城市の実証試験地において、主伐・地拵え～植栽の一貫作業システムにより、平成 29（2017）年 1 月に平均樹高が約 90cm のスギ大型コンテナ苗（以下、スギ大苗）を植栽した。また、比較対象として、平均樹高が約 60cm のスギコンテナ苗（以下、スギ普通苗）を植栽した。

調査の結果、植栽年（平成 29（2017）年）の初回の下刈りは不要であった。また、スギ大苗は植栽密度間で樹高成長や幹の肥大成長に大きな差は見られず、樹高成長は植栽後 3 成長期で平均 2.2m を超えた。スギ大苗は普通苗より樹高が高くなるのが早く、雑草木との競合関係を早く脱するため、下刈り回数を軽減できる可能性があった。

シカ食害の低減効果については、植栽木の梢端への食害はスギ大苗・スギ普通苗ともにほとんど発生しなかったが、樹幹への皮剥ぎ被害（角研ぎ被害も含む）がスギ大苗に集中して発生した。スギ大苗によるシカ食害の低減効果を立証するためには、樹幹への皮剥ぎ被害がスギ大苗に集中した要因を検証する必要がある。

一貫作業システムによって再造林されたスギ大苗実証地の低密度植栽（1,100 本/ha）での初期保育コスト（地拵えから下刈り終了まで）は、スギ普通苗を 3,000 本/ha で植栽した場合と比べ、約 18% 削減できることがわかった。

2-4. 低密度植栽施業指針の作成

【実施年度】

平成 27(2015)年度～令和元(2019)年度

【概要】

再造林のコスト削減や近年の木材加工技術の進展・木材需要の変化を踏まえ、新たな造林技術である「低密度植栽技術」の情報を提供し、森林所有者が、その利点・特異的性質、問題点を理解したうえで、「低密度植栽技術」を適切に選択・導入するための目安となるよう『スギ・ヒノキ・カラマツにおける低密度植栽のための技術指針』を取りまとめた。

2-5. 地域版事例集の作成

【実施年度】

平成 29(2017)年度～令和元(2019)年度

【概要】

本事業の成果や過去の調査結果等を基に、地域特性に応じた低密度植栽技術導入のための林業技術者向け事例集として、「低密度植栽技術導入のための事例集」を作成した。

2-6. 林業技術者向けパンフレット原稿の作成

【実施年度】

令和元(2019)年度

【概要】

本事業の成果や過去 5 年間の調査結果等を踏まえ、低密度植栽導入のための林業技術者向けパンフレット原稿を作成した。