
 原著論文

 三重県鍛冶屋又国有林において低密度で植栽したヒノキの初期成長に及ぼす
 植栽密度と下刈り及び苗タイプの影響

 Effects of planting density, weeding, and planting stock types on early growth of hinoki
 (*Chamaecyparis obtusa*) in low-density plantations in Kajiyamata National Forest, Mie Prefecture

 島田博匡^{1)*}・奥田清貴¹⁾・中井昌之²⁾

 Hiromasa Shimada^{1)*}, Kiyotaka Okuda¹⁾ and Masayuki Nakai²⁾

要旨：ヒノキ人工林施業において下刈り省略が可能な条件を明らかにするために、三重県鍛冶屋又国有林において植栽密度1,000本/ha、1,500本/ha、2,000本/haの低密度で植栽したヒノキ植栽木の6年間の生存率、成長に及ぼす植栽密度、下刈り省略、苗タイプ（実生裸苗、神光2号挿し木チューブ苗、神光2号挿し木セラミック苗）の影響を検討した。植栽密度の植栽木の生存率と成長に対する影響はわずかであった。下刈りを省略したとき植栽木の成長に影響がみられ、下刈りを行った場合よりも成長が遅れるが、植栽木の樹形異常は少なかった。苗タイプについては、実生苗の活着と成長が他より優れていたこと、神光2号挿し木苗は樹冠面積の成長が著しく遅かったことから、低密度植栽には実生苗の使用が適当であると考えられた。以上のことから、低密度植栽において実生苗を使用することで下刈り省略により木材生産が可能な森林を育成できる可能性があるが、今後も順調に成長させるためには侵入広葉樹の除伐が必要になると考えられた。

キーワード：下刈り省略、セラミック苗、チューブ苗、実生苗

Abstract: We aimed to clarify the factors governing the ability to apply non-weeding treatment in hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) plantation silviculture. For this, we examined the effects of planting density, weeding treatments, and planting stock types (bare-root seedling, vinyl tube pot-grown cutting of Kamikou 2, and ceramic pot-grown cutting of Kamikou 2) on the survival and growth of hinoki trees planted at 3 different densities (1,000, 1,500, and 2,000 trees/ha) for over 6 years in the Kajiyamata national forest, Mie Prefecture. The survival ratio of planted trees was not considerably affected by planting density and weeding treatments. The growth of planted trees was affected more by weeding treatments than by planting density. The growth of planted trees in non-weeded sites was less than that in weeded sites; however, the occurrence of abnormal tree forms was infrequent. The survival ratio and growth of seedlings was higher than those of Kamikou 2; in particular, the growth of the crown area of seedlings was remarkably higher than that of Kamikou 2. Therefore, seedlings were considered suitable for planting in low-density plantations. The combined use of seedling cultivation and non-weeding treatment was considered to result in low-density plantation forests that are suitable for timber production. However, invasive broad-leaved trees should be weeded out to preserve optimal growth trends among the planted trees.

Key Word: ceramic pot-grown cutting, non-weeding, seedling, vinyl tube pot-grown cutting

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

* E-mail : shimah03@pref.mie.jp

²⁾ 近畿中国森林管理局三重森林管理署

Mie District Forest Office, Kinki・Chugoku Regional forest Office

はじめに

我が国の人工林において、主伐による利用が可能な10齢級以上の林分面積割合は約5割に達し（林野庁2016）、三重県でも7割程度を占めるようになってきている（三重県農林水産部2015）。このように充実した森林資源を有効に利用し、原木の供給力を増大させるためには、単位面積当たりの素材生産量が大きい主伐による原木供給が重要となってくる（林野庁2016）。しかしながら、近年の林業経営の採算性悪化等を背景として森林所有者の経営意欲が減退しており、林業生産活動は停滞している（林野庁2016）。また、主伐を行っても再生林が行われないケースも多い（堺2003）。このようななか、主伐を推進し、その後の再生林の実施を確保するためには、造林・保育に要する経費を縮減することが必須となっている。なかでも下刈りは最も所要人工数が多い作業であり（大川畑2003）、コスト全体に占める割合も3～4割程度と大きいことから（室2008）、そのコスト縮減は急務であり、これまでに下刈りの省略や簡略化（長谷川ら2005；島田2008；金城ら2011；中西2011；平田ら2012；福本ら2015）、防草シート（谷口1994；島田2008）、除草剤（酒井ら1997；島田2008）の利用など様々な手法が検討されている。近年では下刈り期間の短縮につながる初期成長が早い品種の導入も活発になっている（鍛冶ら2012；島田2012）。しかし、これらの報告では植栽後10年程度までの調査結果を示すにとどまっており、長期間の追跡調査を行ったうえで初期の下刈り省略や簡略化が植栽木の成長や形質に及ぼす影響を評価した事例はみられない。

他方、木材需要の変化や苗木の品質向上を受けて植栽密度が見直されているが（森林総合監理士（フォレスト）基本テキスト作成委員会2016）、植栽本数を減らすことができれば植栽コストや将来の間伐コスト縮減にもつなげることができる。植栽密度1,000～2,000本程度の低密度植栽についての調査事例は多いが、植栽後初期の調査にとどまるものが多く（島田2008；瀧井・萩原2008；中西2011）、20年以上の長期間の調査により植栽木の成長や形質を明らかにした事例はわずかである（本城1993；佐々木ら2009；福地ら2011）。また、前述した下刈り省略については下刈りを全て省略できることからコスト削減効果が大きく、実際に実現できる可能性も示されているが（長谷川ら2005；島田2008）、雑草木の量に関係すると考えられる植栽木の植栽密度が下刈り省略に及ぼす影響を明らかにした事例はない。さらに、近年、三重県南部では神光2号（二宮1992, 2000；島田2012）、MKN（塩川1986；草野・家入2006）など初期成長が早いとされるヒノキ挿し木品種を挿して育成したチューブ苗の造林事例が増加しているが、これらの苗木を使用した場合の下刈り省略可否や最適な植栽密度についての知見も得られていない。そのため、低密度植栽に下刈り省略、苗タイプの効果を組み合わせて長期間の試験を行い、最適な植栽密度と下刈り有無、苗タイプの組み合わせを明らかにすることが求められている。そこで、近畿中国森林管理局三重森林管理署と三重県林業研究所ではヒノキを対象として、異なる植栽密度、下刈り有無、異なる苗タイプ（実生裸苗と神光2号挿し木チューブ苗、神光2号挿し木セラミック苗）を組み合わせる植栽木の生存や成長量、形質などを比較検討し、収益性が高い育林体系を確立することを目的とした試験地を設置し、定期的に調査を実施している。本報告では、ヒノキ人工林施業において、現段階で考えられる下刈り省略が実現可能な植栽密度、苗タイプ、その他の施業条件について明らかにすることを目的とし、植栽後6年間の生存や成長、競合植生の調査結果から、低密度植栽したヒノキの初期成長に及ぼす植栽密度と下刈り及び苗タイプの影響を検討した。

試験地と調査方法

1. 試験地

三重県北牟婁郡紀北町十須地内に位置する鍛冶屋又国有林627林班に小班の2.49 haの伐採跡地のうち1.81 haを試験地とした(図-1, 表-1)。ここでは, 2008年1~3月にヒノキ(一部スギ)人工林の伐採が行われた。試験地の標高は140~300 m, メッシュ気候値2010(気象庁2014)から算出した暖かさの指数は106.6°C, 年間降水量は3,103.0 mmであった。

試験地内には, 植栽木の生存や成長に対する植栽密度の影響を明らかにするために, ヒノキ実生の2年生裸苗(以下, 実生苗とする)を植栽密度2,000本/ha, 1,500本/ha, 1,000本/haで植栽する植栽区を設けた。さらに, 下刈りの影響を明らかにするために, それぞれの植栽区を下刈り行う下刈り区と行わない無下刈り区の試験区に二分した。また, 苗タイプの影響を明らかにするために, 植栽密度1,000本/haで神光2号の1年生挿し木のチューブ苗(以下, 神光2号チューブ苗とする), 神光2号の1年生挿し木のセラミック苗(以下, 神光2号セラミック苗とする)を植栽する植栽区を設け, それぞれの植栽区を下刈り区と無下刈り区に二分した。試験区の区域分けの際には, 立地条件の差異が生存や成長に影響しないように各区内に斜面下部から上部までを含むように区域分けを行い, これにより10個の試験区が設けられた(図-1)。なお, チューブ苗とは, ビニール製の農業用灌水チューブ(幅5 cm, 直径3.2 cm程度)を15 cm程度に切り, 片方の端部をステープラー止めして細長いポット状にし(容量120 ml程度), これに鹿沼土を充填した培地に挿し穂を挿して育成した苗木である(川端2014)。また, セラミック苗とは, 吸水性のセラミックパイプ(直径14 mm, 内径9 mm, 長さ85 mm)をポットとし(容量5 ml程度), これに鹿沼土を充填し, 挿し穂を挿して育成した苗木である。チューブ苗とセラミック苗はともに, 植栽時期の平準化や運搬や植栽にかかるコストの縮減が期待できるものである(田口2013, 川端2014)。また, 使用した挿し木品種の神光2号は優れた通直性や成長, 材質を示し, 芯が折れた場合には下枝が芯に代わり, 数年のうちに修正する性質を持つとされるものである(二宮1992)。

試験地において, 2010年1月中旬から3月上旬にかけて, 地拵えを行った後, 試験地の周囲と試験地内の各植栽区の間には高さ1.8 m, 網目5 cmの獣害防護柵を設置した。特に周囲の柵には, 柵の外側に柵本体の高さ0.7 m位置からスカートネットを取り付けた。獣害防護柵設置後の3月10~14日には植栽を行い, 植栽間隔は植栽密度2,000本/haの区域で2.2 m, 1,500本/haで2.6 m, 1,000本/haで3.2 mとした(表-1)。

植栽後の施業は, 下刈り区のみ植栽年の2010年から6年生時の2015年まで毎年7~8月に坪刈りによる下刈りを年1回実施し, 植栽木の根元周り1 m程度を刈り払った。

2. 調査方法

各試験区内に斜面下部から上部まで含むように450 m²から900 m²の長方形の調査区を設置し, 調査区内の全植栽木を調査対象木とした(表-1)。調査対象木には生残や成長が追跡できるように調査対象木毎に異なる番号が記されたプラスチック製番号札を取り付けた。植栽直後の2010年4月下旬(以下, 植栽時), 1成長期経過後の2011年1月下旬(以下, 1年生時), 2成長期経過後の2012年1月中旬(以下, 2年生時), 3成長期経過後の2012年12月中旬(以下, 3年生時), 4成長期経過後の2013年12月上旬(以下, 4年生時), 5成長期経過後の2014年12月中旬(以下, 5年生時), 6成長期経過後の2015年12月中旬(以下, 6年生時)に調査対象木の生残と生存個体の樹高(cm), 地際直径(mm, 地上高5 cm), 樹冠面積(最大樹冠幅とそれに直交する樹冠幅より算出)を測定した。樹高1.2 m以上に成長し

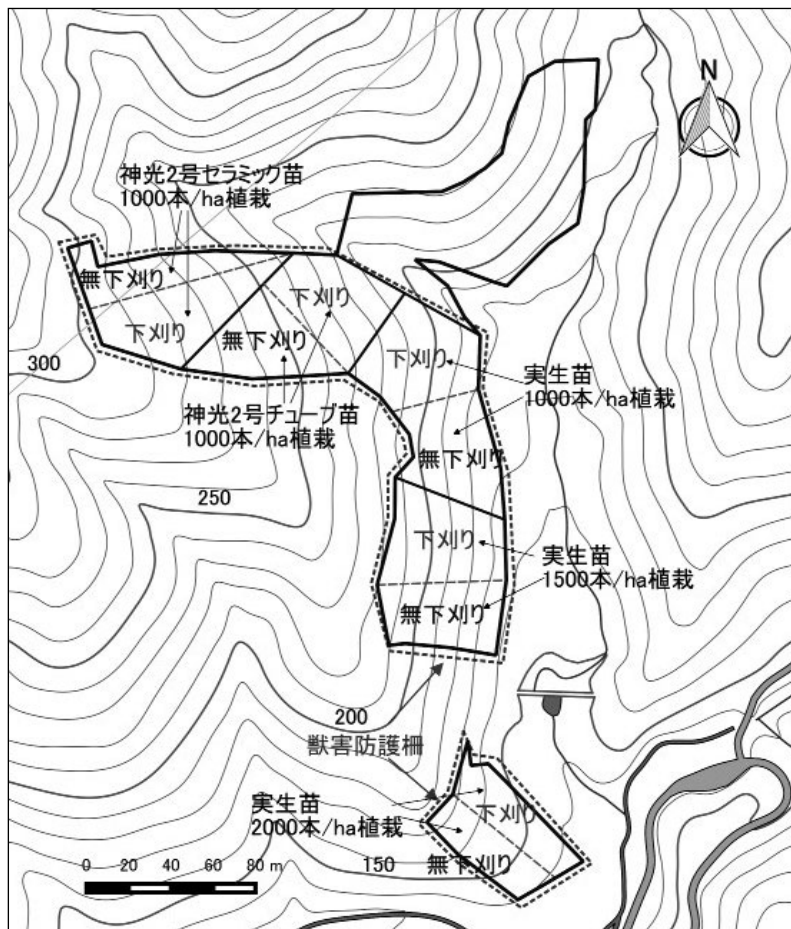


図-1. 試験地の概要

表-1. 試験区の概要

| 試験区 | 植栽面積 | 斜面方位 | 調査区面積 | 植栽密度 | 調査対象本数 |
|-----------------------|-------|------|--------------------------|--------|--------|
| | (ha) | | (m ²) | (本/ha) | (本) |
| 実生苗2000本/ha植栽区 | 下刈り区 | SE | 450 (横断方向15m×縦断方向30m) | 2000 | 152 |
| 実生苗2000本/ha植栽区 | 無下刈り区 | SE | 450 (横断方向15m×縦断方向30m) | 2000 | 132 |
| 実生苗1500本/ha植栽区 | 下刈り区 | E | 800 (横断方向20m×縦断方向40m) | 1500 | 94 |
| 実生苗1500本/ha植栽区 | 無下刈り区 | E | 800 (横断方向20m×縦断方向40m) | 1500 | 110 |
| 実生苗1000本/ha植栽区 | 下刈り区 | E | 800 (横断方向20m×縦断方向40m) | 1000 | 94 |
| 実生苗1000本/ha植栽区 | 無下刈り区 | E | 900 (横断方向30m×縦断方向30m) | 1000 | 84 |
| 神光2号チューブ苗1000本/ha植栽区 | 下刈り区 | NE | 800 (横断方向40m×縦断方向20m) | 1000 | 60 |
| 神光2号チューブ苗1000本/ha植栽区 | 無下刈り区 | NE | 800 (横断方向20m×縦断方向40m) | 1000 | 63 |
| 神光2号セラミック苗1000本/ha植栽区 | 下刈り区 | E | 600 (横断方向15m×縦断方向40m) | 1000 | 79 |
| 神光2号セラミック苗1000本/ha植栽区 | 無下刈り区 | E | 600 (横断方向15m×縦断方向40m) | 1000 | 71 |

た植栽木については、胸高直径 (cm, 地上高120 cm, 以下, DBH) も測定した。なお, 4年生時と5年生時には一部の試験区で地際径の測定を実施しなかった。

6年生時の調査の際には, 雑草木との競合状況, 樹形異常, つる巻き付きの有無を記録した。また, 獣害防護柵内にニホンジカ (以下, シカ) の侵入痕跡があり, 剥皮被害が発生していたので剥皮の有無も記録した。雑草木との競合状況は, 植栽木に及ぼす周辺雑草木の影響を把握するものであり, 山川ら (2016) の方法により, 植栽木と雑草木の垂直的な競争関係に基づいて, C1~C4の4カテゴリに分類し, 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ものをC1, 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ものをC2, 植栽木と雑草木の梢端が同じ位置にあるものをC3, 植栽木が雑草木に完全に覆われているものをC4として記録した。樹形異常については, 樹形異常の有無を目視で判定し, 主軸が途中で二又以上になる「分岐」, 主軸がS字状に曲がる「クランク」, 主軸が途中から湾曲して梢端が下方を向く「屈曲」に区分して記録した。

植栽木と競合する雑草木の状態を明らかにするため, 植栽年の2010年から4年生時の2013年までと6年生時の2015年の毎年7月下旬~8月上旬に, 雑草木現存量の調査を行った。各試験区内に1 m × 1 mの方形枠を2~3箇所設置し, 枠内の植生の最大高を測定した後, 維管束植物の地上部を全て刈り取った。試料は実験室に持ち帰り, 木本, 草本, シダに分類したのち, 70°Cで48時間以上乾燥させた後に重量を測定した。また, 植栽木以外の侵入木本種の状態を明らかにするために, 6年生時の2015年12月中旬に各試験区内に5 m × 5 mの方形区を1箇所設け, 方形区内の樹高1.2 m以上の木本種 (つる性植物は除く) の種名, 樹高, DBHを測定した。

3. 解析方法

各試験区の毎年の生存調査の結果からKaplan-Meier法による生存曲線を作成した。実生苗の植栽密度間, 下刈り有無間の比較と植栽密度1,000本/haでの苗タイプ間, 下刈り有無間の比較については, log-rank検定により試験区間の生存曲線の差異を検定した。検定が有意であった場合には, どの試験区間に差があるのかをみるためにBonferroniの多重比較を行った。

成長の解析には, 各調査時に生存していた植栽木を対象とし, 各試験区の調査時毎の樹高, 地際径, DBH, 樹冠面積の平均値, 標準偏差を求めた。また, 実生苗の植栽密度間, 下刈り有無間で成長量を比較するために, 6年生時まで生存していた植栽木を対象に樹高, 地際径, 樹冠面積について, 6年生時の値から植栽時の値を引いた値を成長量 (6年間) とし, 各試験区の平均成長量と標準偏差を求めた。試験区間の成長量の違いを調べるために二元配置分散分析を行ったが, 樹高成長量において交互作用がみられたので, 樹高, 地際径, 樹冠面積のいずれについても, 二元配置分散分析に変えて一元配置分散分析を行い, そこで有意差がみられた場合, どの試験区間に差があるのかをみるためにBonferroniの多重比較を行った。

植栽密度1,000本/haでの苗タイプ間, 下刈り有無間の成長量の比較については, 6年生時にシカによる剥皮被害を受けて樹高, 樹冠面積がマイナス成長になっていた試験区がみられたことから, 樹高, 樹冠面積では, 5年生時まで生存していた植栽木を対象に5年生時の値から植栽時の値を引いた5年間の成長量について各試験区の平均成長量と標準偏差を求めた。地際径については, 5年生時に測定を行っていない試験区があったため, 6年生時まで生存していた植栽木を対象に, 6年生時の地際径から植栽時の地際径を引いた値を成長量 (6年間) とし, 各試験区の平均成長量と標準偏差を求めた。試験区間の成長量の違いは, 二元配置分散分析により検定したが, 樹高, 地際径, 樹冠面積のいずれについても, 交互作用がみられたため, 一元配置分散分析を行い, そこで有意差がみられた場合, どの試験

区間に差があるのかをみるために Bonferroni の多重比較を行った。

雑草木現存量，最大植生高については，調査年毎に各試験区で行った2～3箇所の調査結果の平均値を算出した。

結果

1. 植栽木の生存率の推移

図-2に実生苗を異なる植栽密度別，下刈り有無別で植栽した試験区間の生存曲線の比較を示す。6年間の生存曲線に植栽密度間，下刈り有無間の差異に明確な傾向はみられず，生存率は78.6～98.0%といずれの試験区も比較的高かった。

図-3には異なる苗タイプを1,000本/haの植栽密度，下刈り有無別で植栽した試験区間の生存曲線の比較を示す。実生苗の植栽区では植栽初年度の枯死木は少なく，その後もほとんどの植栽木が生存したが，神光2号挿し木苗の植栽区では初年度に多くの枯死が発生し，チューブ苗では25～30%，セラミック苗では40%程度の植栽木が枯死した。また，6年生時には神光2号挿し木苗の植栽区において，獣害防護柵内に侵入したシカによる剥皮害を受けて多くの植栽木が枯死していた。実生苗と神光2号チューブ苗，セラミック苗の生存曲線は有意に異なり，実生苗は神光2号チューブ苗，セラミック苗

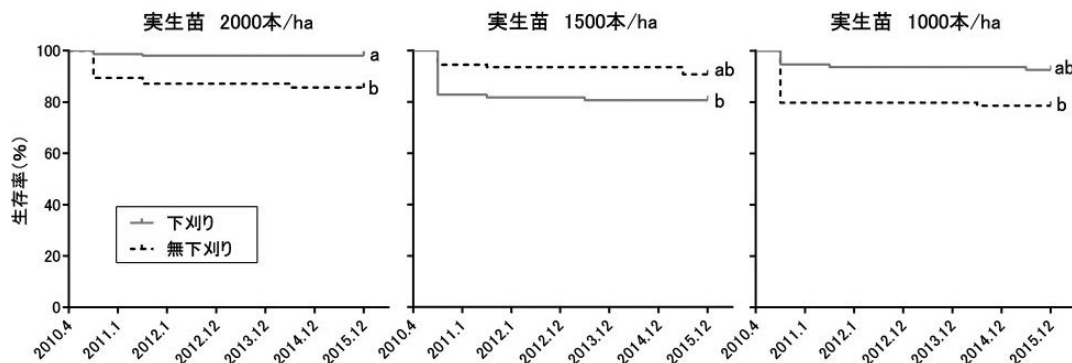


図-2. 植栽密度間，下刈り有無間の植栽木の生存曲線の比較（実生苗）。異なる植栽密度間，下刈り有無間の比較において，異なる英文字間には有意差がある（ $p < 0.05$, Bonferroni の多重比較）。

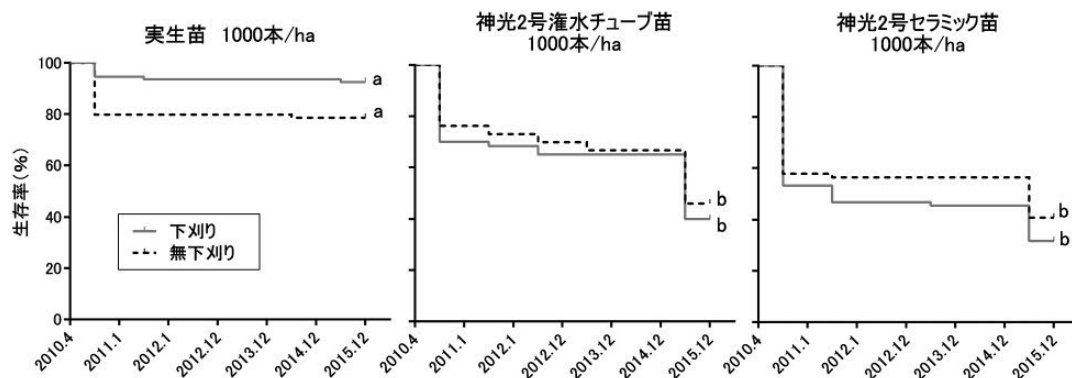


図-3. 苗タイプ間，下刈り有無間の植栽木の生存曲線の比較。異なる苗タイプ間，下刈り有無間の比較において，異なる英文字間には有意差がある（ $p < 0.05$, Bonferroni の多重比較）。実生苗1000本/haの図は図-2と同じ。

よりも生存率が高い傾向がみられた。神光2号チューブ苗と神光2号セラミック苗の間には有意差はみられなかった。下刈りについては、いずれの苗タイプにおいても下刈り有無間で生存曲線に有意差はみられず、下刈り有無は生存率には影響していなかった。

2. 植栽木の樹高、地際径、DBH、樹冠面積の推移

図-4に各試験区における植栽木の樹高の経年変化を示す。実生苗の試験区において、調査期間通して成長傾向は持続しており、植栽密度間の差異は明確ではなかった。また、いずれの植栽密度においても下刈り区は無下刈り区よりも樹高が高く、その差は年々広がる傾向がみられ、6年生時の平均樹高は下刈り区で378~429 cm、無下刈り区で315~354 cmになっていた。1,000本/ha植栽の苗タイプ間の比較において、神光2号チューブ苗、セラミック苗を植栽した試験区の樹高成長は実生苗よりも小さい傾向がみられた。また、これらの試験区では6年生時にシカによる剥皮害によって部分的な枯死がみられる植栽木が多く発生しており、神光2号チューブ苗の無下刈り区以外の試験区では平均樹高が低下していた。6年生時の平均樹高は下刈り区でチューブ苗、セラミック苗ともに140 cm程度、無下刈り区ではチューブ苗で192 cm、セラミック苗で128 cmになっていた。

図-5には各試験区における植栽木の地際径の経年変化、図-6にはDBHの経年変化を示す。地際径、DBHともに実生苗の試験区において、植栽密度間ではほとんど差異がみられなかったが、いずれの植栽密度でも下刈り区の直径が大きく、その差は年々大きくなる傾向がみられた。6年生時の地際径は下刈り区で80~86 mm、無下刈り区で58~60 mm、DBHは下刈り区で48~56 mm、無下刈り区で35~38 mmであった。1,000本/ha植栽の苗タイプ間の比較においては、実生苗に比べて神光2号チューブ苗、セラミック苗の直径は著しく小さい傾向がみられた。また、いずれの試験区においても下刈り区が無下刈り区よりも大きかったが、神光2号チューブ苗、セラミック苗ではその差はわずかであった。6年

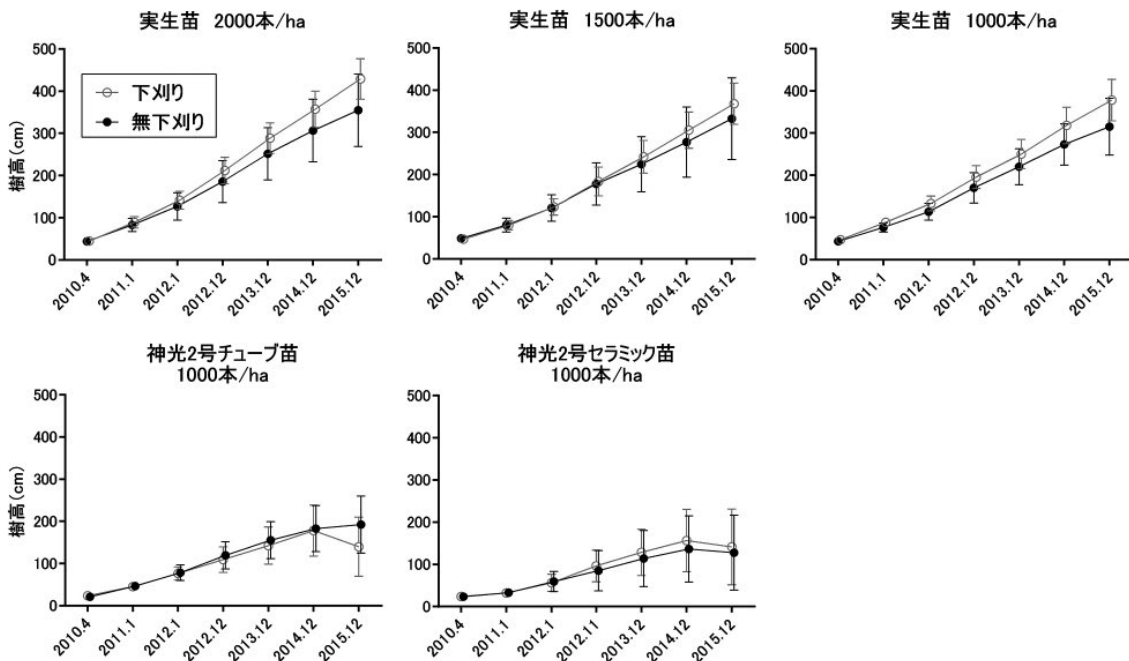


図-4. 各試験区における植栽木の樹高の経年変化。誤差線は標準偏差。

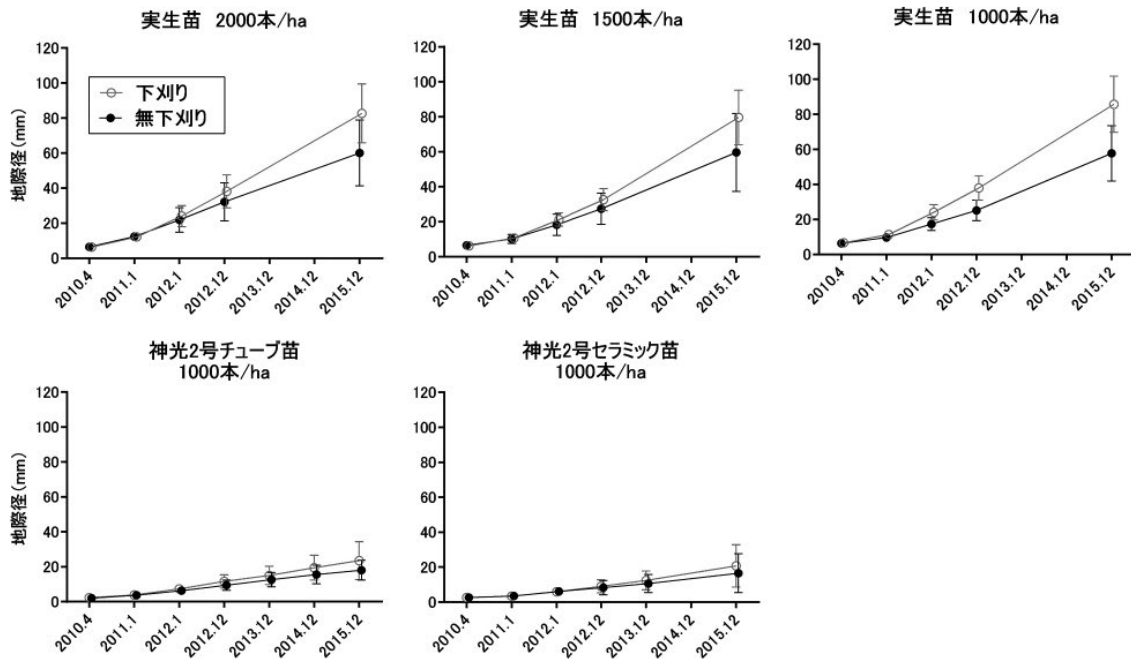


図-5. 各試験区における植栽木の地際径の経年変化. 誤差線は標準偏差.

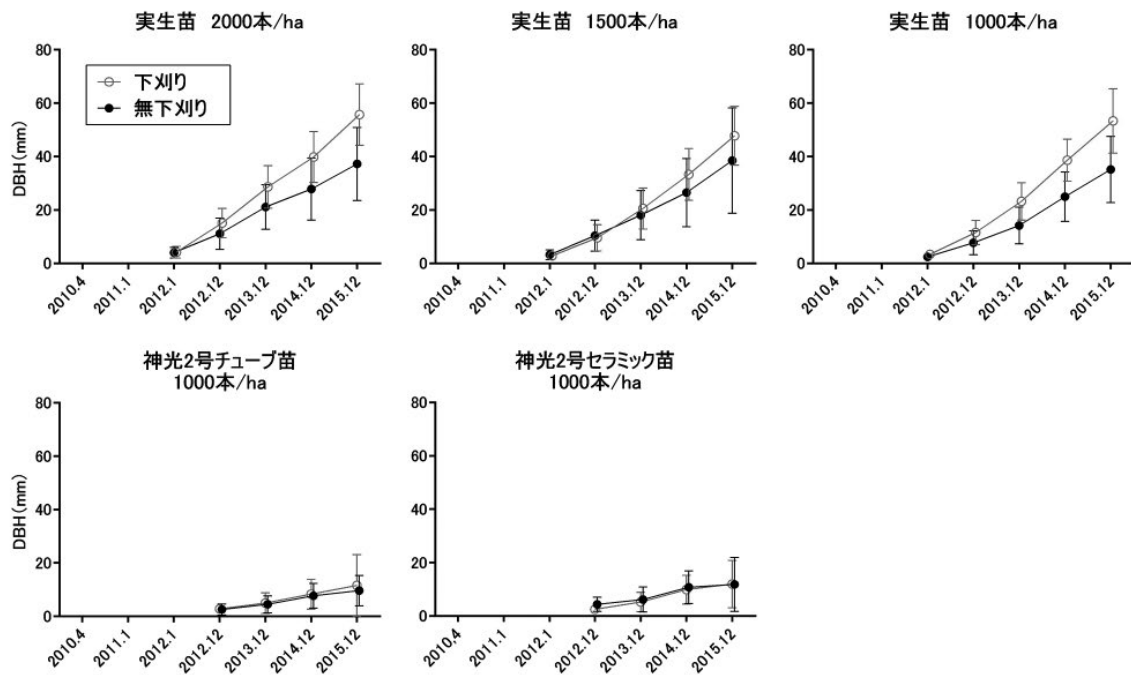


図-6. 各試験区における植栽木のDBHの経年変化. 誤差線は標準偏差.

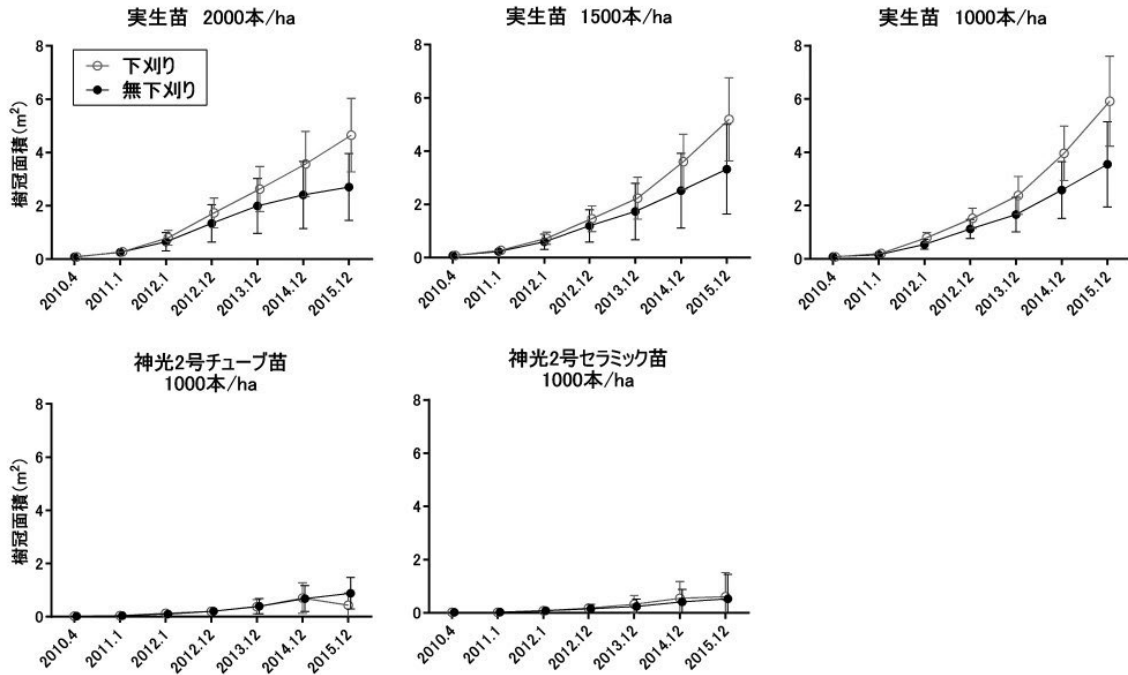


図-7. 各試験区における植栽木の樹冠面積の経年変化. 誤差線は標準偏差.

生時の地際径は下刈り区ではチューブ苗で24 mm, セラミック苗で21 mm, 無下刈り区では, それぞれ18 mm, 17 mmであった. DBHは下刈り区で, ともに12 mm, 無下刈り区ではチューブ苗が10 mm, セラミック苗で12 mmであった.

図-7には各試験区における植栽木の樹冠面積の経年変化を示す. 実生苗の試験区において, 植栽密度間で樹冠面積の成長傾向にほとんど差異はみられなかったが, 6年生時には2,000本/ha植栽区の樹冠面積が1,500本/ha植栽区, 1,000本植栽区よりも小さくなった. また, 下刈り有無間に比較において, いずれの植栽密度でも下刈り区の樹冠面積が大きく, その差は年々大きくなる傾向がみられた. 1,000本/ha植栽の苗タイプ間の比較において, 神光2号チューブ苗, セラミック苗は実生苗よりも著しく樹冠面積が小さく, その差は年々大きくなった. また, 神光2号チューブ苗の下刈り区では, 6年生時にシカ剥皮害による部分枯死の影響を受けて樹冠面積が前年よりも小さくなっていった.

3. 植栽木の樹高, 地際径, 樹冠面積の成長量

図-8には, 実生苗について植栽密度別, 下刈り有無別の試験区間の樹高, 地際径, 樹冠面積の6年間の成長量の比較を示す. 下刈りの有無別に各植栽密度の成長量を比較したところ, 樹高では植栽密度間で明確な差異はみられなかったが, 2,000本/ha植栽区と1,000本/ha植栽区の間には有意差がみられ, 2,000本/ha植栽区が大きかった. 地際径では植栽密度間に有意差はみられなかった. 樹冠面積では, 2,000本/ha植栽区と1,000本/ha植栽区の間には有意差がみられ, 1,000本植栽区が大きかった. 下刈り有無間の比較においては, 樹高, 地際径, 樹冠面積のいずれも, 全ての植栽区で下刈り区の成長量が無下刈り区よりも有意に大きい傾向がみられた.

図-9に植栽密度1,000本/haで植栽した苗タイプ別, 下刈り有無別の試験区間の樹高, 樹冠面積の5

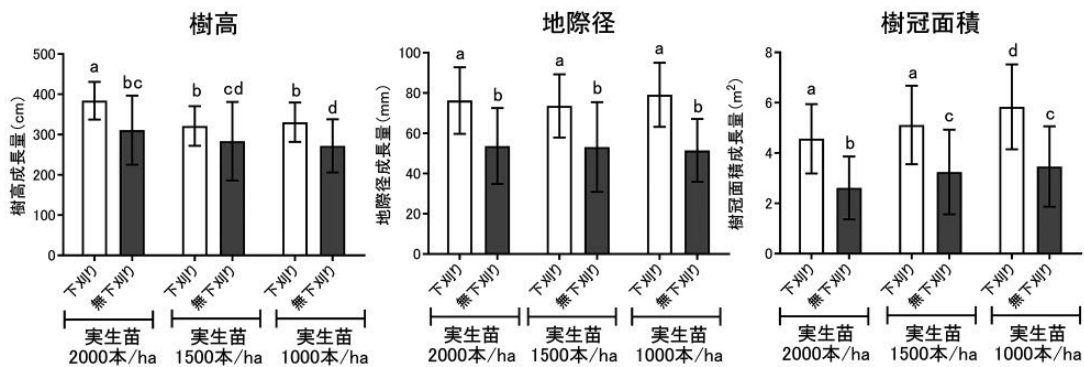


図-8. 実生苗の植栽密度間、下刈り有無間の成長量（6年間）の比較。誤差線は標準偏差を示す。異なる英文字間には有意差がある（ $p < 0.05$, Bonfferoniの多重比較）。

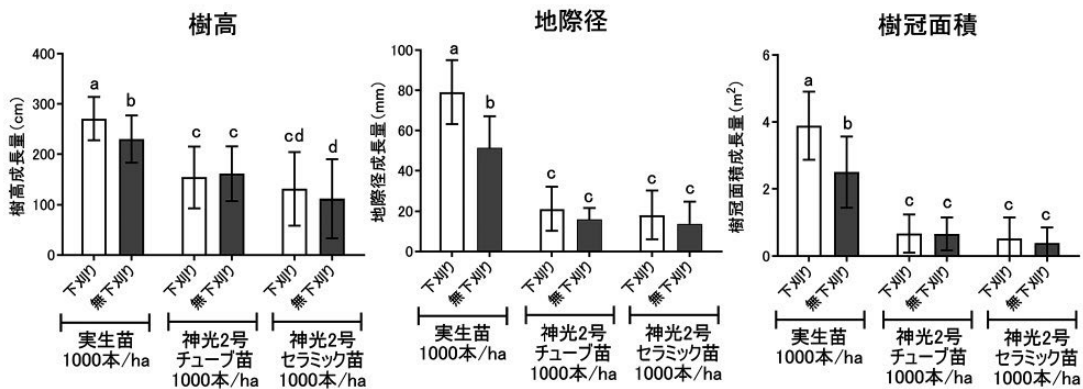


図-9. 植栽木の苗木タイプ間、下刈り有無間の成長量（樹高、樹冠面積は5年間、地際径は6年間）の比較。誤差線は標準偏差を示す。異なる英文字間には有意差がある（ $p < 0.05$, Bonfferoniの多重比較）。

年間の成長量，地際径の6年間の成長量を比較した結果を示す。下刈り有無別に苗木タイプ間で成長量を比較したところ，樹高，地際径，樹冠面積のいずれについても，神光2号チューブ苗と神光2号セラミック苗の間には有意差はみられず，これらは実生苗よりも有意に小さかった。なかでも樹冠面積の成長量において，神光2号チューブ苗，セラミック苗は実生苗に比べて著しく小さかった。下刈り有無間の比較については，神光2号チューブ苗と神光2号セラミック苗のいずれについても，下刈りの有無間で有意差が認められなかった。

4. 植栽木の樹形異常，つる巻付き，シカによる剥皮の発生

表-2に植栽木の6年生時の樹形異常，つる巻付き，シカによる剥皮の発生状況を示す。樹形異常の発生率は下刈り区で0～11.5%，無下刈り区で0～15.3%と比較的低かった。つる巻付きの発生率については実生苗の1,500本/ha植栽の下刈り区，無下刈り区でやや高い傾向がみられたが，そのほかでは10%以下であった。シカによる剥皮は実生苗の2,000本/ha植栽区以外の全ての試験区で確認された。なかでも神光2号チューブ苗，神光2号セラミック苗の植栽区では大半の植栽木が被害を受けていた。

表-2. 植栽木の6年生時の樹形異常, つる巻付き, シカによる剥皮の発生状況

| 試験区 | 生残本数 (本) | 樹形異常発生 | | | 樹形異常発生率 (%) | つる巻付き発生率 (%) | 剥皮発生率 (%) |
|-----------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|----------------|-----------------|--------------|
| | | 分岐 (本) | クランク (本) | 屈曲 (本) | | | |
| 実生苗2000本/ha植栽区 下刈り区 | 149 | 5 | 0 | 1 | 4.0 | 4.0 | 0.0 |
| 実生苗2000本/ha植栽区 無下刈り区 | 113 | 4 | 6 | 0 | 8.8 | 2.7 | 0.0 |
| 実生苗1500本/ha植栽区 下刈り区 | 75 | 1 | 3 | 0 | 5.3 | 14.7 | 4.0 |
| 実生苗1500本/ha植栽区 無下刈り区 | 98 | 2 | 11 | 2 | 15.3 | 29.6 | 15.3 |
| 実生苗1000本/ha植栽区 下刈り区 | 87 | 7 | 3 | 0 | 11.5 | 2.3 | 14.9 |
| 実生苗1000本/ha植栽区 無下刈り区 | 66 | 0 | 0 | 2 | 3.0 | 9.1 | 31.8 |
| 神光2号チューブ苗1000本/ha植栽区 下刈り区 | 24 | 1 | 0 | 1 | 8.3 | 0.0 | 95.8 |
| 神光2号チューブ苗1000本/ha植栽区 無下刈り区 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 3.6 | 71.4 |
| 神光2号セラミック苗1000本/ha植栽区 下刈り区 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 64.0 |
| 神光2号セラミック苗1000本/ha植栽区 無下刈り区 | 29 | 1 | 0 | 0 | 3.4 | 0.0 | 44.8 |

5. 植栽木と雑草木との競合状況, 雑草木の侵入状況

図-10に6年生時の植栽木の雑草木との競合状況について, 全調査対象木に対して競合状況の区分(山川ら2016)を目視で判定した結果をもとに, 各試験区での個体数割合を示す. 実生苗の植栽区では, 下刈り有無に関わらず, 植栽密度が低いほど雑草木に被圧されている植栽木(C4)が多くみられ, 特に1,000本/ha植栽区では大半の個体がC4であった. 神光2号チューブ苗, セラミック苗の植栽区についても, 無下刈り区では50~60%程度の植栽木がC4であった.

図-11に雑草木現存量の推移を示す. 実生苗の植栽区では, 6年生時に植栽木の樹冠がほぼ閉鎖していた2,000本/ha植栽区の下刈り区において雑草木現存量が4年生時以降減少したが, そのほかの試験区では6年生時まで増加傾向にあり, これらでは年数の経過に伴い木本種の占める割合が高くなった. また, 1,500本/ha植栽区, 1,000本/ha植栽区では4年生時以降に無下刈り区で下刈り区よりも現存量が多くなっ

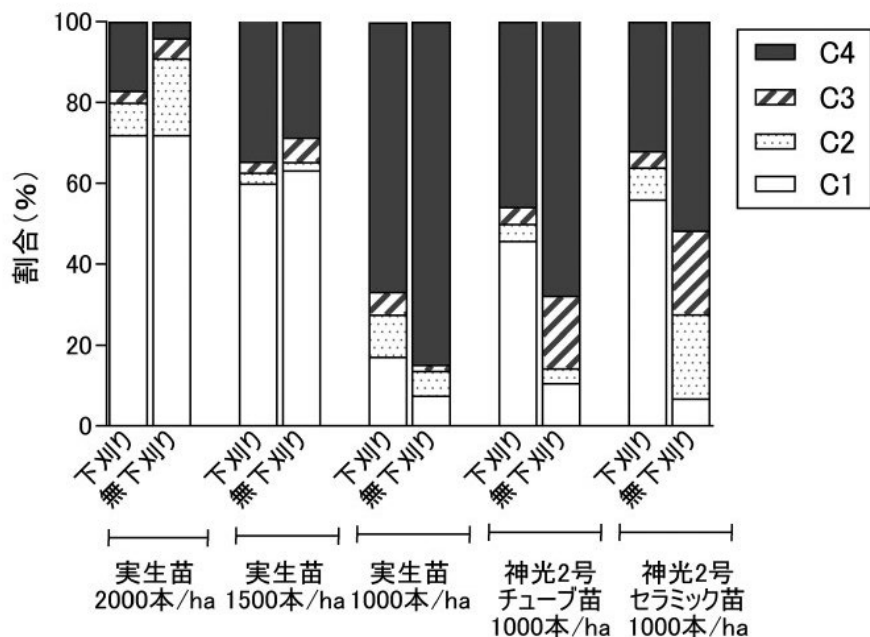


図-10. 各試験区における6年生時の植栽木の雑草木との競合状況. 競合状況の分類は山川ら(2016)の定義による.

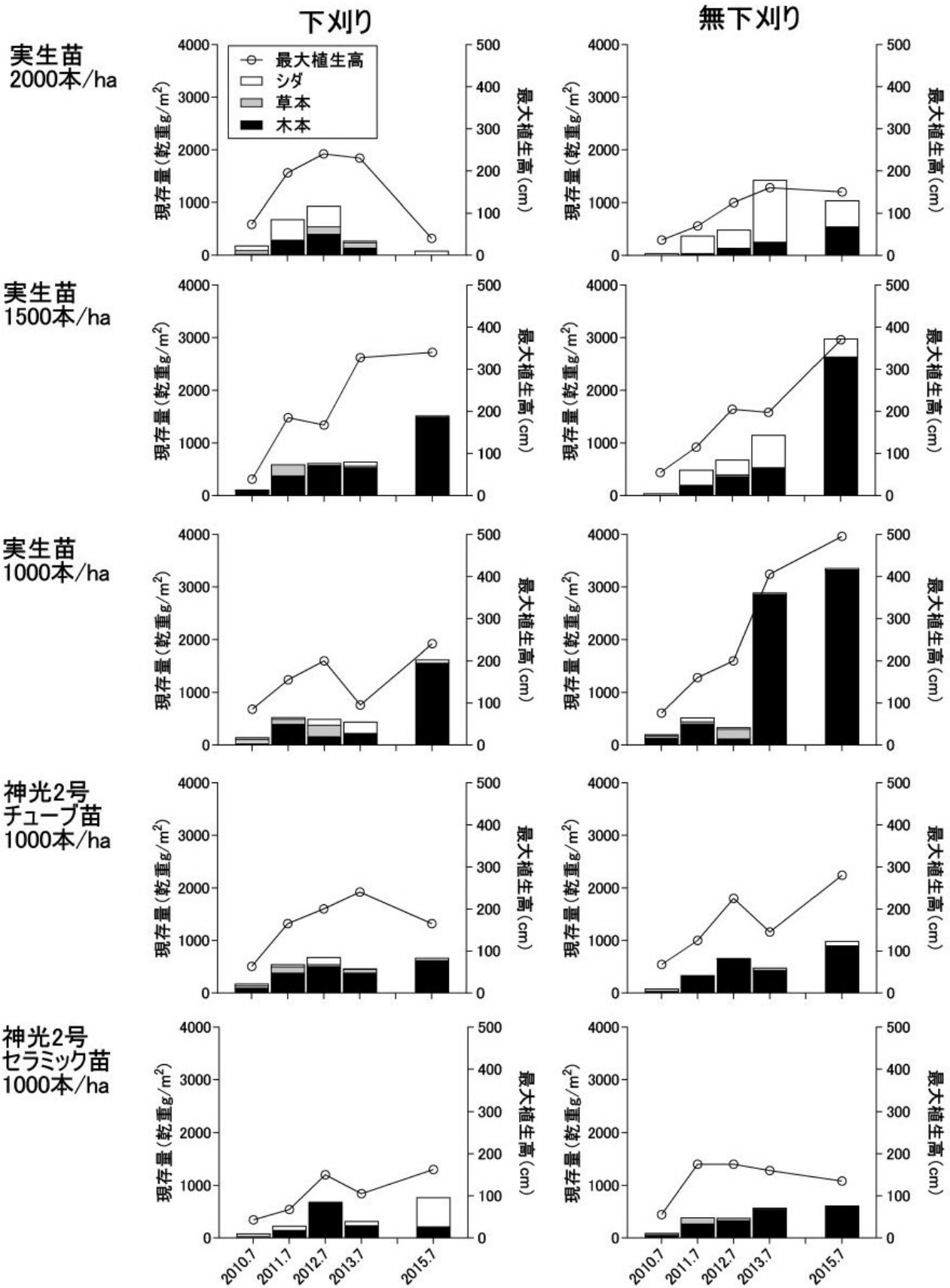


図-11. 各試験区における雑草木現存量の推移

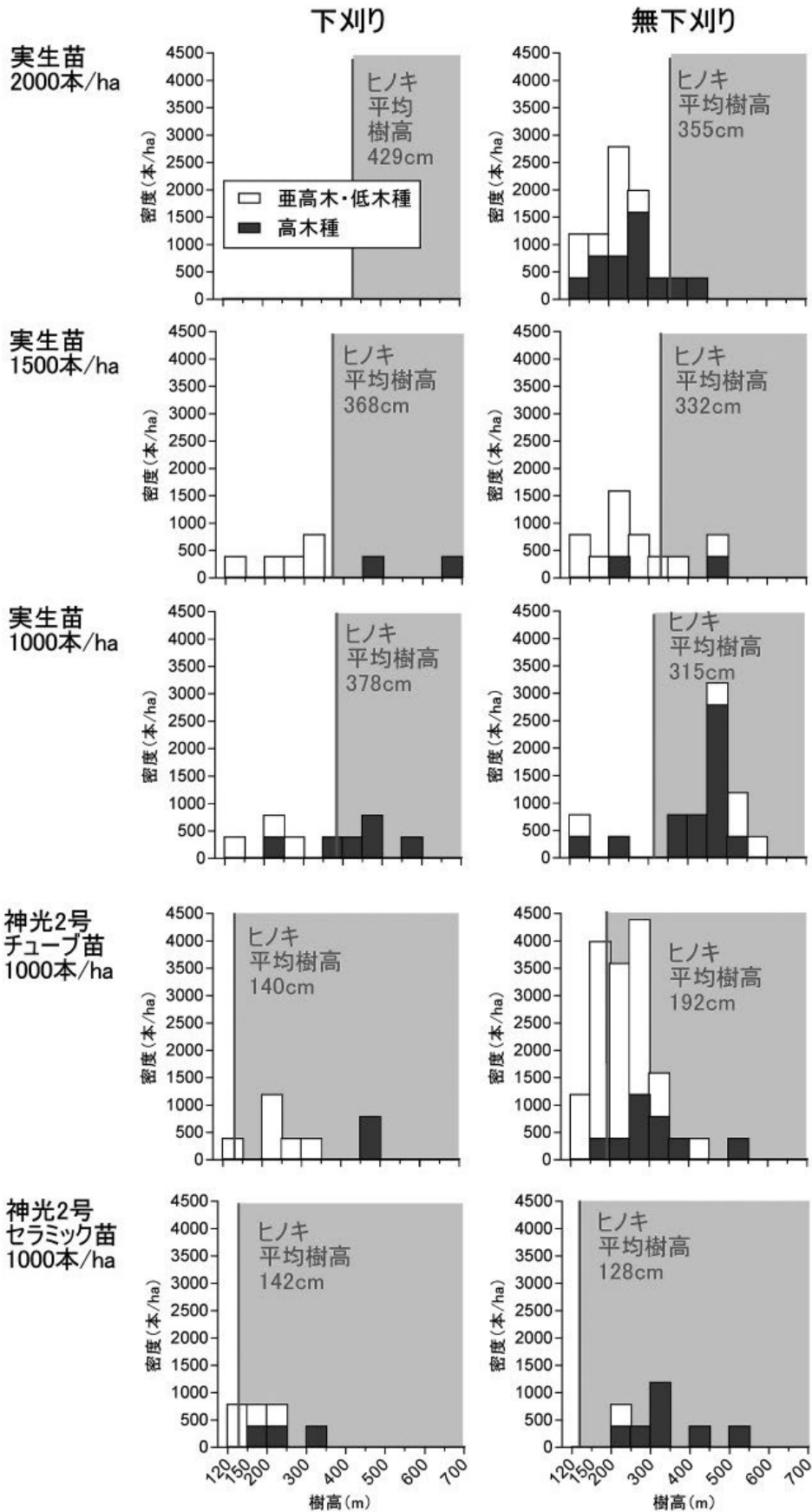


図-12. 各試験区における6年生時の侵入木本種の樹高階分布

表-3. 各試験区における6年生時の侵入木本種の樹種別の密度と平均樹高

| 種名 | 実生苗 2000本/ha 植栽区 下刈り区 | | 実生苗 1500本/ha 植栽区 下刈り区 | | 実生苗 1500本/ha 植栽区 無下刈り区 | | 実生苗 1000本/ha 植栽区 下刈り区 | | 実生苗 1000本/ha 植栽区 無下刈り区 | | 神光2号 チューブ苗 1000本/ha 植栽区 下刈り区 | | 神光2号 チューブ苗 1000本/ha 植栽区 無下刈り区 | | 神光2号 セラミック苗 1000本/ha 植栽区 下刈り区 | | 神光2号 セラミック苗 1000本/ha 植栽区 無下刈り区 | | | |
|-----------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|--|------------------|---|------------------|---|------------------|--|------------------|------|-----|
| | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | 密度 (本/ha) | 平均 樹高 (cm) | | |
| 高木種 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アカメガシワ | 3600 | 232 | | | | | 1600 | 353 | | | | | | | | | | | | |
| シイ | 1200 | 374 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カラスザンショウ | | | 800 | 577 | 800 | 347 | | | | | | | | | | | | | | |
| ヒノキ | | | 400 | 238 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カゴノキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| クマノミズキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| タマミズキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| カンザブロウノキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| シロタモ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ミミズバイ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| モミ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| イイギリ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低木種 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヒサカキ | 2000 | 195 | 800 | 303 | 1600 | 254 | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤブツバキ | 400 | 178 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤマヒワ | 800 | 247 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リンボク | 400 | 212 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| エゴノキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| シキミ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヌルデ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| イヌガシ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ソヨゴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| リョウブ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低木種 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ナカバネミズイチゴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ニカイチゴ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ヤブムラサキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ジャケツイバラ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| イズセンリョウ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| タラノキ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 計ノ平均値 | — | — | 8400 | 241 | 2800 | 350 | 5200 | 276 | 3600 | 340 | 7600 | 419 | 3200 | 298 | 16000 | 239 | 2800 | 198 | 3200 | 333 |

た。神光2号チューブ苗，セラミック苗の植栽区については，植栽後年数の経過に伴い，緩やかに現存量が増加する傾向がみられたが，4年生以降には実生苗の1,500本/ha植栽区，1,000本/ha植栽区よりも少ない量で推移した。最大植生高の推移は雑草木現存量の推移とほぼ同様の傾向を示していた。

図-12に各試験区における侵入木本種の樹高階分布，表-3に各試験区における侵入木本種の樹種別の密度と樹高を示す。実生苗の2,000本/ha植栽区の下刈り区を除く試験区で侵入木本種が確認され，これらの密度は2,800～16,000本/ha，平均樹高は198～419 cmであった。樹種についてはアカメガシワ，カラスザンショウ，ヒサカキの侵入が多く，ほとんどの試験区でこれらの樹種が確認された。樹高階分布については，実生苗の植栽区では，下刈り区，無下刈り区ともに植栽密度が低い試験区ほどヒノキ植栽木の平均樹高よりも大きい侵入木本種が多くなる傾向がみられた。神光2号チューブ苗，セラミック苗を植栽した試験区においても，ヒノキ植栽木の平均樹高よりも大きい侵入木本種が多くみられた。また，いずれの試験区においても，ヒノキ植栽木の平均樹高よりも大きい木本種には高木種が多くみられた。

考察

1. 植栽木の生存，成長に対する植栽密度，下刈りの影響

植栽密度，下刈りが植栽木の生存や成長に及ぼす影響について，実生苗の2,000本/ha植栽区，1,500本/ha植栽区，1,000本/ha植栽区のデータから検討を行った。生存率について，下刈りを省略した試験地でもヒノキ植栽木の生存率が高い事例がこれまでに報告されているが（赤井ら1987；長谷川・川崎2003；島田2008），本試験地においても，6年間の生存曲線に差異は無く，生存率も78.6～98.0%といずれも比較的高かったことから（図-2），植栽密度，下刈り有無は生存率には影響しないものと考えられた。

また，成長について，6年間の成長量を植栽密度間で比較したところ，目立った差異はみられないものの，樹高と樹冠面積では2,000本/ha植栽区と1,000本植栽区の間に有意差が認められた（図-8）。ヒノキ幼齢林の樹高成長について，側方被圧よりも植栽木の梢端を覆う上方被圧の影響が強いことが報告されている（平田ら2012）。本試験においても2,000本/ha植栽区では侵入木本種が少なく，ヒノキの平均樹高よりも大きな木本種個体がわずかであり（図-12），これらに被圧されている個体が少ないが（図-10），1,000本/haでは多くの侵入広葉樹がみられ（図-12），大半の個体がこれらに被圧されていることから両者の樹高成長に差異が生じ，2,000本/ha植栽区の樹高が1,000本/ha植栽区よりも高くなったと考えられる。樹冠面積でみられた差異には，2,000本/ha植栽区では6年生時には植栽木の樹冠がほぼ閉鎖し，樹冠成長が低下したことが影響していたと考えられる（図-7）。直径成長には植栽密度間で差異がみられなかったが，樹冠面積は直径成長と正の相関関係を示すことから（島田2008），今後，樹冠閉鎖が進むに伴い，植栽密度間で直径成長量にも差異が生じ始めるものと予想される。

下刈りの有無間の比較について，本試験地の下刈り区で行われた下刈りは坪刈りであることから下刈り区においても雑草木が繁茂しているが，無下刈り区の雑草木量，侵入広葉樹は下刈り区よりも多く（図-11，12），両者間には植栽木に対する被圧程度に差異が生じていたと考えられ，どの植栽密度でも，樹高，地際径，樹冠面積のいずれについても，下刈り区の成長量は無下刈り区よりも有意に大きくなっていった。特に樹高について，ヒノキ植栽地における下刈り省略は樹高の初期成長にほとんど影響しない事例が報告されているが（松永ら2007；島田2008；平田2012），本試験地では樹高においても下刈り有無の影響が生じていた。このことについて，雑草木による被圧の影響は直径成長に対して早期に現れ，樹高成長は植栽木の樹冠の半分以上が雑草木に覆われるようになってから低下し始め

るが（丹下ら1993）、本試験地の雑草木は木本種が多く、3年生頃から最大植生高も200 cm程度となる試験区も多かったことから（図-11）、無下刈り区では早い段階から多くの植栽木が雑草木による強い被圧を受けていたものと考えられる。

2. 植栽木の生存、成長に対する苗タイプ、下刈りの影響

植栽密度1,000本/haで植栽した実生苗と神光2号チューブ苗、セラミック苗の比較において、生存率は実生苗、神光2号チューブ苗、神光2号セラミック苗の順で、実生苗の生存曲線は神光2号チューブ苗、セラミック苗と有意に異なっていた（図-3）。また、いずれの苗タイプも下刈り実施の有無は生存率に影響しなかった（図-3）。特に、植栽初年度に実生苗では枯死木がわずかであったが、神光2号チューブ苗、セラミック苗において多くの枯死が発生しており、結果として実生苗と神光2号チューブ苗、セラミック苗の生存曲線に差異が生じていた。チューブ苗とセラミック苗は培地容量が少ないこと、神光2号の1年生挿し木苗の発根量は少ないこと（川端私信）が実生苗との差異に関与した可能性がある。

樹高、樹冠面積の5年間の成長量、地際径の6年間の成長量を比較したところ、樹高、地際径、樹冠面積のいずれについても、下刈り有無に関わらず実生苗が神光2号チューブ苗、セラミック苗よりも大きかった。神光2号チューブ苗、セラミック苗は活着後、数年経過しても実生苗に比べて毎年の成長量が少なく、年々、樹高、地際径、DBH、樹冠面積の差が大きくなった（図-4～7）。裸苗とコンテナ苗の比較では、野外の同一環境で数年間生育することで、両者の量的、生理的、形態的な差はほぼ無視できるようになり、成長速度の違いはみられなくなることが示されているが（壁谷ら2016）、本試験地において差異が解消されないことは、この成長の差異が裸苗かチューブ苗あるいはセラミック苗であるかの違いでなく、品種特性に起因していると考えられる。ナンゴウヒと実生の比較（宮島1989；草野・家入2006）、同じヒノキ精英樹系統の挿し木とF₁実生の比較（松永ら2008）では、挿し木苗は実生苗よりも樹高、DBHの初期成長が劣ることが報告されており、一般的に挿し木苗は実生苗よりも初期成長が劣ると考えられている。一方、神光2号は初期成長が早い品種とされ（二宮1992）、実生苗との成長比較でも活着・初期成長が良好であったことが報告されており（若杉・山崎2007）、本試験地でみられた傾向はこれらと異なる結果となった。このことには、植栽を行った立地条件や比較した実生苗の系統、苗木の状態などの要因が関係している可能性があり、神光2号の初期成長特性については今後さらに検討を行う必要がある。

また、神光2号チューブ苗、セラミック苗の樹冠面積の成長は実生苗に比べて著しく小さかった。神光2号挿し木苗は実生苗と比較して、側枝が立ち上がる徒長枝型の形状を示しており、このような品種特性が影響して樹冠面積の成長が小さくなったと考えられる。このことにより、樹冠閉鎖が遅れることで雑草木との競合状態が今後も続く予想され、低密度植栽においては下刈り期間が長くなることから、低密度植栽には神光2号挿し木苗は不適であり、実生苗の使用が適していると考えられる。

3. 今後の施業

本試験地において、実生苗を植栽した試験区では、植栽密度、下刈り有無にかかわらず生存率が高く（図-2）、無下刈り区では下刈り区よりも成長は劣るものの、成長は持続しており（図-4～7）、樹形異常や剥皮被害も少ないことから（表-1）、実生苗の植栽区では、いずれの密度、下刈り条件でも木材生産可能な森林を育成できる可能性があると考えられる。一方、神光2号挿し木苗の植栽区では生存率が低く（図-3）、生存している植栽木についても、柵内に侵入したシカの剥皮害や枝葉の採食害を受

けており、今後の成林は困難と考えられる。

無下刈りで育成した10年生程度のヒノキ人工林では雑草木との競合により、下刈りをした場合よりも個体サイズが小さい事例が報告されているが(長谷川ら2005;中西2011)、本試験地の実生苗の植栽区においても、今後の成長を考えるうえで植栽木と雑草木との競合状態が問題となる可能性がある。6年生時の植栽木と雑草木の競合状態を4段階に区分して調査した結果では、植栽密度が低いほど雑草木に被圧されている個体(C4)が多くみられ、特に1,000本区では7~8割の個体がC4であった(図-10)。また、植栽密度が低いほど植栽木の平均樹高よりも大きい侵入広葉樹が多く、これらには高木性広葉樹が多く含まれることから(図-12)、今後も競合状態が継続し、成長の妨げとなる可能性が高い。ヒノキの無下刈り試験を行った他事例において、侵入広葉樹を除伐することの必要性が示されているが(柿原1993;長谷川ら2005;島田2012)、本試験地において今後も順調に成長させるためには、雑草木がわずかであった2,000本/haの下刈り区を除き、下刈り有無に関わらず侵入広葉樹の除伐を行うことが必要と考えられる。

おわりに

低密度植栽におけるヒノキ植栽木の6年間の生存率、成長に及ぼす植栽密度、下刈り有無、苗タイプの影響について検討を行った。下刈りについては、下刈りを省略しても植栽木の生存率には影響しなかった。この場合の成長は下刈りを行った場合よりも遅れるが樹形異常は少なく、木材生産が期待できる森林を育成できる可能性があることがわかった。植栽密度1,000本/ha、1,500本/ha、2,000本/haの違いは、生存率にはほとんど影響せず、成長に対する影響も現時点では小さいが、今後、樹冠閉鎖に伴い成長差が生じる可能性があることがわかった。苗タイプについては、実生苗の活着と成長が優れていること、神光2号挿し木苗は樹冠拡大が著しく遅いことから、低密度植栽には実生苗の使用が適当であると考えられた。以上のことから、現段階で考えられる下刈り省略が実現可能な植栽密度、苗タイプ、その他の施業条件についてまとめると、低密度植栽において、いずれの植栽密度でも実生苗を使用することで無下刈りにより木材生産が可能な森林を育成できる可能性があるが、無下刈り地や坪刈り地で今後も順調に成長させるためには除伐が必要となることがわかった。

今後、除伐を行う必要があるが、その経費は植栽密度が低いほど雑草木が多くなるので通常よりもかかり増しになると予想される。植栽密度を高めて植栽し、広葉樹の侵入を抑制することで除伐コストを抑える方法も考えられるが、植栽、下刈り、除伐にかかる総コストの評価が求められることから、植栽密度に応じた除伐コストを明らかにする必要がある。また、植栽密度1,000本/haでは林分材積が少なく、樹幹形、材質なども劣るとの報告もあり(佐々木ら2009;福地ら2011)、植栽密度別の材積量や形質、材質などの推移を明らかにする必要がある。これらの課題を明らかにしたうえで、育林経費と将来の収穫量のバランスを考慮し、最適な植栽密度、下刈り条件を決定しなければならない。

謝辞

本研究は近畿中国森林管理局三重森林管理署と三重県林業研究所の共同研究により行われたものである。試験地設定や保育作業、各種調査などには三重森林管理署と三重県林業研究所の多くの職員にご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

赤井龍男・吉村健次郎・岡田 寔(1987) 下刈りを省いた若い造林木の生長について(II) 一少雪地

- 帯の広葉樹繁茂地におけるヒノキの生長一. 98回日林論: 287-288
- 福地晋輔・吉田茂二郎・溝上展也・村上拓彦・加治佐剛・太田徹志・長島啓子 (2011) 低コスト林業に向けた植栽密度の検討. 日林誌93: 303-308
- 福本桂子・寺岡行雄・加治佐剛・萩野香澄・山下盛章・金城智之 (2015) 3年下刈りと6年下刈りでのスギの成長と雑草木の侵入状況の比較. 九森研68: 43-66
- 気象庁 (2014) 平年値メッシュデータ (メッシュ平年値2010). 国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-G02.html> (参照: 2016-5-2)
- 長谷川健一・川崎圭造 (2003) ヒノキ人工林における下刈りの有無による成長の違いと広葉樹の侵入. 中森研51: 15-16
- 長谷川健一・岡野哲郎・川崎圭造 (2005) 下刈り省略試験地のヒノキの成長. 中森研53: 19-22.
- 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: 135-141
- 本城尚正 (1993) 集約な間伐法の見直しと一般用材を生産目標とした粗放施業のあり方. 森林科学7: 41-47
- 壁谷大介・宇都木 玄・来田和人・小倉 晃・渡辺直史・藤本浩平・山崎 真・屋代忠幸・梶本 卓也・田中 浩 (2016) 複数試験地データからみたコンテナ苗の植栽後の活着および成長特性. 日林誌98: 214-222
- 鍛冶清弘・久保田勝義・壁村勇二・椎葉康喜・井上幸子・馬淵哲也・榎木 勉 (2012) 九州山地の高標高地域に植栽されたヒノキ挿し木苗と実生苗の初期成長. 九大演報93: 17-20
- 柿原道喜 (1993) 並材生産を経営目的とした粗放な保育技術. 森林科学7: 36-40
- 川端康樹 (2014) 低コスト造林の取り組み事例. 林経協季報 杣道33: 7-11
- 金城智之・寺岡行雄・芦原誠一・竹内郁雄・井倉洋二 (2011) 下刈り実施パターンの違いが植栽木に及ぼす影響. 九森研64: 56-59
- 草野僚一・家入龍二 (2006) ヒノキさし木品種ナンゴウヒの成長特性. 九森研59: 243-244
- 松永孝治・久保田正裕・野村孝宏・三浦真弘・田村 明・栗延 晋 (2007) 無下刈り試験地におけるヒノキ実生苗の初期成長の家系間変異. 林育研報23: 415-424
- 松永孝治・倉本哲嗣・下村治雄・江藤幸二 (2008) スギおよびヒノキにおける実生とさし木の初期成長形質の比較. 九森研61: 124-127
- 三重県農林水産部 (2015) 平成26年度版森林・林業統計書. 三重県農林水産部
- 宮島 寛 (1989) 九州のスギとヒノキ. 九州大学出版会
- 室 孝明 (2008) 森林組合の事業・経営動向 - 第20回森林組合アンケート調査結果から -. 農林金融61: 295-301
- 中西敦史 (2011) 植栽密度と施業の省力化が造林木に与える影響 - 低密度植栽9年生ヒノキ林の成長 -. 中森研59: 35-36
- *二宮一雄 (1992) ヒノキクローン「上光二号桧」の育成に取り組んで. 日本天然絞研究会誌. 平成4年11月発行: 43-48
- 二宮一雄 (2000) ヒノキクローン「神光檜」と創造的林業のとりくみ. (クローン林業はこうしてつこう. 日本天然絞研究協会編, フォレスト・リサーチ研究所). 212-228
- 大川畑 修 (2003) スギ, ヒノキの育林所要人工数, 育林費の算定例. 森林学誌18: 195-200
- 林野庁 (2016) 平成27年度 森林・林業白書. 林野庁

- 酒井 敦・奥田史郎・佐藤 明・竹内郁雄・伊藤武治 (1997) ヒノキ造林地における除草剤3種を用いた雑草木抑制. 日林論108 : 233-234
- 堺 正紘 (2003) 再造林放棄と森林資源管理問題. (森林資源管理の社会化. 堺正紘編著, 九州大学出版会). 18-25
- 佐々木佑希子・竹内郁雄・寺岡行雄 (2009) 植栽密度の違いが植栽木の成長に及ぼす影響ーヒノキ34年生林分における事例ー. 九森研62 : 14-17
- 島田博匡 (2008) 低密度植栽したヒノキの初期成長に及ぼす雑草木処理方法の影響. 中森研56 : 43-46
- 島田博匡 (2012) 下刈りと獣害防護柵を省略した若齢ヒノキ人工林の成長と形質. 中森研60 : 25-28
- 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト作成委員会 (2016) 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. 林野庁
- 塩川 彰 (1986) ナンゴウヒノキなどヒノキの挿木造林について. フォレストコンサル30 : 2-8
- 田口秀実 (2013) コンテナ苗及びセラミック苗を用いた造林方法の比較ー造林コスト削減の可能性の検証. 森林技術855 : 28-32
- 瀧井忠人・萩原 進 (2008) 「和歌山の環境林」整備手法開発ー初期投資省略による造林手法の確立ー. 和歌山県農林水技セ研報9 : 61-72
- 丹下 健・鈴木祐紀・八木久義・佐々木恵彦・南方 康 (1993) 雑草木の刈り払い方法が植栽木の成長に与える影響. 日林誌75 : 416-423
- 谷口真吾 (1994) 広葉樹人工造林地の下刈りに関する研究 (I) ケヤキ造林地の根元周囲を不織布シートで被覆した場合の雑草木の抑制効果. 兵庫林試研報41 : 22-31
- 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 : 241-246
- *若杉廣幸・山崎 一 (2007) 挿し木ヒノキによるコスト縮減の取り組み. 森林の流域管理システム推進発表大会集録 平成18年度 : 45-47
- (*は直接引用できなかったもの)