

コスト1/2を目指した誘導伐システム（帯状伐採による複層林施業）の開発 （平成28年度完了報告）

九州森林管理局 森林技術・支援センター

1 はじめに

九州森林管理局管内の国有林は、スギ・ヒノキ人工林が約5割を占め、主伐対象齢級となる人工林が増加している。このような中、人工林を複層林、針広混交林等へと誘導させ、多面的機能を高度に発揮する森林を造成することも必要とされている。

本試験においては、将来の目標林型とする複層林等への誘導に向けての生産・更新・保育の効率化及び低コストの技術開発を目的として、(1) 生産コストの低減、(2) 更新コストの低減、(3) 保育コストの低減に取り組むこととした。

2 試験方法

(1) 試験期間 平成19年度～平成28年度

(2) 試験地の場所

宮崎県都城市山之口町 宮崎森林管理署都城支署管内 青井岳国有林1099ろ19林小班

(3) 試験地の面積及び地況

2.70ha【試験実施面積0.90ha】 標高450m 北東向き斜面 BD型土壌 林地傾斜約30度

(4) 試験地設定前の林況

53年生（平成19年9月時点）スギ単層林

(5) 試験内容

① 生産コスト50%低減

・作業路と高性能林業機械を組み合わせたシステムで実施し、従来型の架線集材との工期を比較。

② 更新（地拵及び植付）コスト50%低減

・坪地拵（植栽木の周囲【直径1mの円状】のみ）を実施。
・通常の植栽本数（3,000本/ha）を低減した植栽（1,500本/ha）を実施。

③ 保育（下刈）コスト50%低減

・耐陰性スギ（精英樹）を用い、下刈回数の削減を検討。
・無下刈や坪刈の実施（工期の低減）。

(6) 伐区設定（写真-1、図-1、2）

育成複層林施業林分として循環型の三段林を想定し、斜面下部・斜面中部・斜面上部毎に、それぞれ伐区を設定した。皆伐箇所と比較して日照条件を抑え雑灌木の発生が抑えられる、伐採幅を10m（樹高の1/2程度）及び20m（樹高程度）とし、伐採延長を各伐区ともに50mとした。また、水土保持機能の維持に配慮するため、周囲にバッファゾーンを設けるとともに、それぞれの伐区において傾斜方向が連続しないようにモザイク状に伐区設定した。

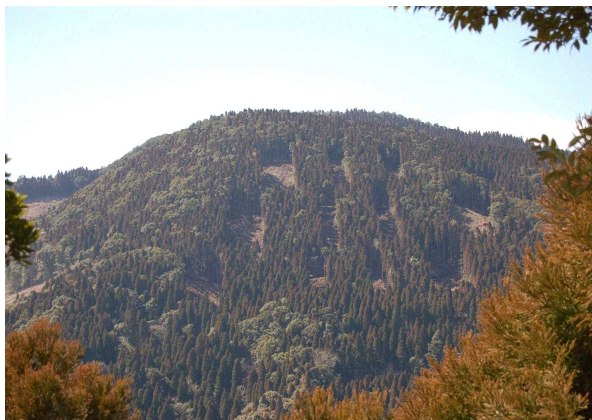


写真-1 試験地遠景

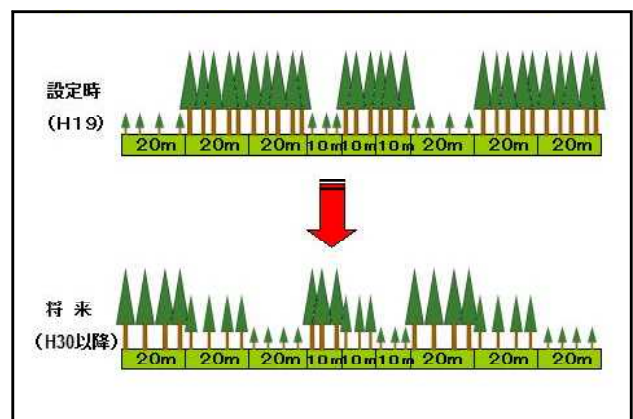
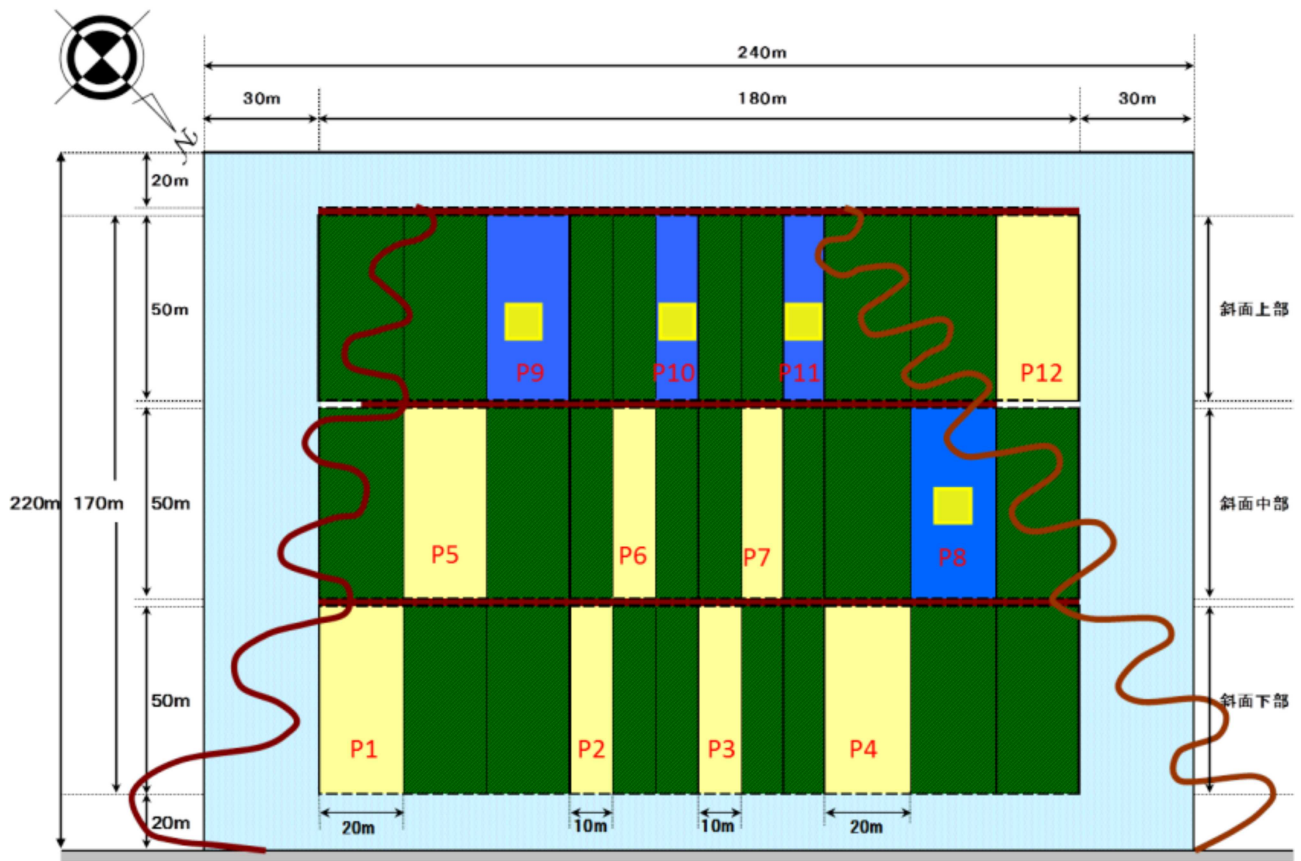


図-1 伐区設定《帯状三段林》イメージ



凡		例
試験地		19年度伐採箇所(天然下種更新第Ⅱ類)
		19年度伐採箇所(スギ植栽)
		保残帯
その他		バッファゾーン(緩衝地帯)
		発生樹種調査プロット
		林道(飛松林道98支線99分線)【W=3.5m】
		低コスト作業路【W=2.5m~3.0m】

図-2 試験地概略図 (赤字はプロット番号を表す)

(7) 作業路開設

素材生産で高性能林業機械利用による作業効率を考慮し、集材距離が50m以内となるように等高線沿いに50m間隔で3本開設した。(図-2)

(8) 伐採～搬出方法

伐採方法は複層伐(帯状伐採)とし、伐採にはチェーンソー、集材・造材・運搬には、グラップル、スイングヤード、プロセッサ、フォワーダを使用した。

(9) 更新・保育方法

図-2のプロット1～7,12をスギ植栽による更新、プロット8～11を天然下種による更新とした。

- ① 地拵は坪地拵とし、植栽箇所直径1mの円状で実施した。
- ② 植栽木は、被陰下でも樹高成長の低下しにくい耐陰性スギ（精英樹）の中から、過去の試験で成長が良かった8系統を、成長比較対象木として普通苗の在来種4系統を植栽した。（表-1）
- ③ 植栽密度を1,500本/haとし、それぞれの植栽プロットにおいて耐陰性スギと普通スギを列状に交互に植栽し、各列にそれぞれ8系統、4系統を順番に1個体ずつの植栽を「1セット」とし各セットを繰り返した。
- ④ 保育方法（下刈）では、それぞれの植栽プロット内を下刈区・無下刈区に2分割して実施したが、3年目以降、雑灌木の繁茂が著しくなったためプロット4以外において、下刈方法を変更した。

（表-2）

表-1 植栽木の系統及び本数

耐陰性スギ【計8系統、452本】 （）内はDNAマーカーの遺伝子型を表す	普通スギ 【計4系統、433本】		
県諫早1号	58本	メアサ	108本
県大分5号	58本	アヤ	108本
日向署2号(M型)	57本	釈迦院	108本
県始良20号(AK型)	57本	オビ	109本
県始良34号(I型)	55本		
県肝属1号(キジン型)	55本		
県肝属2号(キジン型)	56本		
県肝属8号	56本		

表-2 プロット別の下刈実施内容

プロット	伐採幅	H21.6	H22.6	H23.6	H24.7	H25.7	施業内容	タイプ別
1(下刈区)	20	坪刈	坪刈	全刈	全刈	全刈	坪刈2回、全刈3回	タイプ1-20
1(無下刈区)	20	無下刈	無下刈	全刈	全刈	全刈	無下刈2回、全刈3回	タイプ3-20
2(下刈区)	10	坪刈	坪刈	全刈	全刈	全刈	坪刈2回、全刈3回	タイプ1-10
2(無下刈区)	10	無下刈	無下刈	全刈	全刈	全刈	無下刈2回、全刈3回	タイプ3-10
3(下刈区)	10	坪刈	坪刈	全刈	全刈	全刈	坪刈2回、全刈3回	タイプ1-10
3(無下刈区)	10	無下刈	無下刈	全刈	全刈	全刈	無下刈2回、全刈3回	タイプ3-10
4(下刈区)	20	坪刈	坪刈	坪刈	全刈	全刈	坪刈3回、全刈2回	タイプ2-20
4(無下刈区)	20	無下刈	無下刈	無下刈	無下刈	無下刈	無下刈5回	タイプ5
5(下刈区)	20	坪刈	坪刈	全刈	全刈	全刈	坪刈2回、全刈3回	タイプ1-20
5(無下刈区)	20	無下刈	無下刈	全刈	全刈	全刈	無下刈2回、全刈3回	タイプ3-20
6(下刈区)	10	坪刈	坪刈	坪刈	全刈	全刈	坪刈3回、全刈2回	タイプ2-10
6(無下刈区)	10	無下刈	無下刈	無下刈	全刈	全刈	無下刈3回、全刈2回	タイプ4-10
7(下刈区)	10	坪刈	坪刈	坪刈	全刈	全刈	坪刈3回、全刈2回	タイプ2-10
7(無下刈区)	10	無下刈	無下刈	無下刈	全刈	全刈	無下刈3回、全刈2回	タイプ4-10
12(下刈区)	20	坪刈	坪刈	全刈	全刈	全刈	坪刈2回、全刈3回	タイプ1-20
12(無下刈区)	20	無下刈	無下刈	全刈	全刈	全刈	無下刈2回、全刈3回	タイプ3-20

(10) 調査内容

- ① 低コスト化調査
 - i 作業路開設及び素材生産の工期を作業記録簿及び時間観測等により調査した。
 - ii 地拵（坪地拵）及び下刈（全刈・坪刈）の工期を時間観測により調査した。
- ② 成長量調査等（有用広葉樹発生調査含む）
 - i プロット1～7,12において、植栽した普通・耐陰性スギの樹高、根元直径（地際5cm）を平成19年～平成28年まで調査した。
 - ii プロット8～11の天然更新区において、発生樹種調査プロット（図-2の青色箇所中の黄色箇所）を設定し、有用広葉樹の発生状況を調査した。
- ③ 水土保全調査（土砂移動量調査）

林内及び作業路上に、長さ30cmのピンポール(STT-33、(株)マイゾックス)を合計200箇所設置し、平成20年6月～平成21年11月まで2ヶ月ごとに土砂の移動量(厚さ)を調査した。

(11) 年度別実施事項

H19(2007)	H20(2008)	H21(2009)	H22(2010)～H25(2013)	H26(2014)	H28(2016)
作業路作設 伐採・搬出 地拵・植付 成長量調査	成長量調査 土砂移動量 調査	成長量調査 下刈 土砂移動量 調査	成長量調査 下刈	成長量調査	成長量調査

3 結果及び考察

(1) 生産コストの低減

① 作業路の開設

「壊れにくい低コスト作業路」を目指して「四万十式作業路」に準拠した九州局の開設マニュアルに基づき開設した結果、開設総延長 1,241.5m、路網密度 235m/ha、1日の開設延長は37.94mであった。

標準的な作業条件では1日に50～80mが開設可能であったが、本試験地では掛かり増しとなった。原因としては、耐久性を向上させるための敷均しや転圧を丁寧に実施したこと、降雨による路面浸食・洗掘防止のための片勾配（カント）を設けたことなどが影響したと考えられた。（写真-2）

なお、現在の作業路の状況は、一部に路面洗掘はあるが、路体の欠損・崩壊・崩落等は見られていない。



写真-2 作業路作設状況

② 素材生産

伐倒は、チェーンソー（G5001P：コマツゼノア）を用いて2人作業により実施した。

集材・造材・運搬は、作業路と高性能林業機械の組み合わせにより、グラップル（MM45B：三菱）・スイングヤーダ（PC120：コマツ）・プロセッサ（CT500：イワフジ）・フォワーダ（U3B：イワフジ）を使用し実施した。

当システムでの生産性は、スイングヤーダで集材したプロット3～12で5.91m³/人・日、グラップルで集材したプロット1,2で4.92m³/人・日となり、平均で5.10m³/人・日となった。これにより、当時の従来型架線作業の生産性2～3m³/人・日と比較し約2倍となったが、路網密度（235m/ha）の影響も大きいと考えられる。

(2) 更新コストの低減

① 地拵

植栽木の周囲のみを実施する坪地拵で実施した結果、5.7人/ha となり、従来の枝条存置10.8人/haと比較すると47%のコスト低減となった。主な要因として伐採・搬出が完了し早期に地拵を着手したことで下層木の発生が見られず刈払いが必要なかったことや、林地残材が少ない状況であったこと等が影響したものと考えられた。

② 植付（植栽本数）

通常施業では、当時3,000本/haを採用しているが、1,500本/haで低密度植栽を実施したことにより約50%のコスト低減となり、作業工期は14.3人/haで、標準人工数17.5人/haと比較すると約18%のコスト低減となった。

(3) 保育（下刈）コストの低減

植栽プロット内を下刈区・無下刈区に2分割し植生の状況を調査したが、植栽した次年度（平成20年度）は、伐採・搬出後間もないことから下層植生の発生が極少であったため下刈は省略できた。平成21・22年度には、下刈区では坪刈で実施したが、坪刈箇所以外からの雑灌木の繁茂が著しくなり、無下刈区においても雑灌木の繁茂が旺盛となり造林木への被圧が確認された。そのため、平成23年度以降は、下刈区は坪刈から全刈に変更し、無下刈区として設定した箇所についても下刈（全刈）を実施することとした。なお、プロット4については、無下刈を継続し造林木と雑灌木等との成長状況の観察を行った。（写真-3、4）

平成20年度から平成25年度までの6年間全刈を行った場合と保育コストの比較を行うと、100%～約15%の保育（下刈）コストの低減となったが、造林木（成長）の影響も考慮した施業の実施が必要である。

なお、下刈と成長の関係については後述する。



写真-3 坪刈実行後の状況 (H22.6)

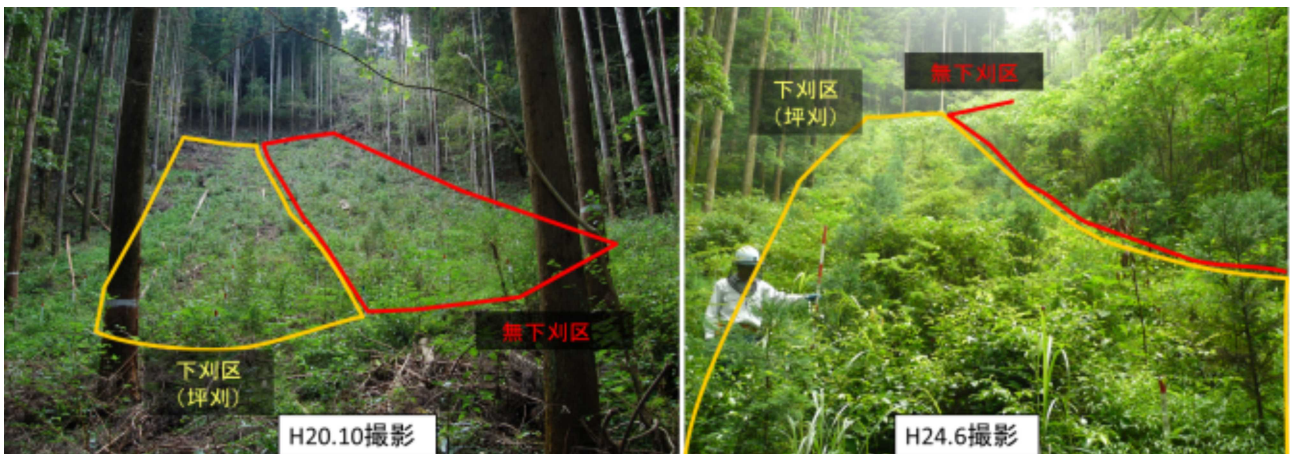


写真-4 下刈区（坪刈）と無下刈区の経年変化状況（プロット4）

(4) 植栽木の成長状況

① 植栽位置と周辺環境の違いによる成長への影響

伐採幅別・品種別・下刈方法別の成長状況を評価するにあたり、植栽した場所及び周辺環境の保残木からの影響について検証した。

植栽位置は、密度の影響を受けにくく競争の影響が少ない上層木10本の分布状況と、全調査木の上長成長を各プロット内の位置で斜面の上部・中部・下部に区分し検証した。

周辺環境は、試験地内で影響を受けていると思われた伐採幅10m 箇所（写真-5）について、植栽した縦列毎の樹高及び根元直径の成長状況を検証した。なお、同一プロット内で同施業の条件がないため、伐採幅10m プロットの普通スギにおいて、4列植栽の1、4列目（林縁）が2年目より、2、3列目（中央）が4年目より下刈を開始した列を選定した。



写真-5 伐採幅 10m の現況 (H28.8月撮影)

植栽位置による影響は、上層木の分布状況では10m、20m幅ともに上部で多く見られ(図-3)、成長状況では、10m幅は普通スギ・耐陰性スギともに上部と下部の間は上部で有意差が見られ、20m幅では普通スギ・耐陰性スギともに有意差は見られなかった。(図-4~7)

※成長分析は一元配置分散分析(Tukey)の方法を使用。
(統計解析アドインソフトのExcel統計2012)

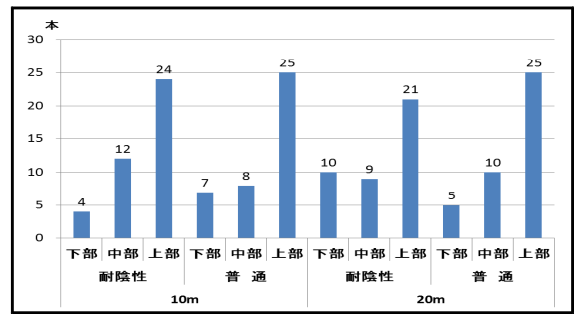


図-3 上層木個数の分布状況

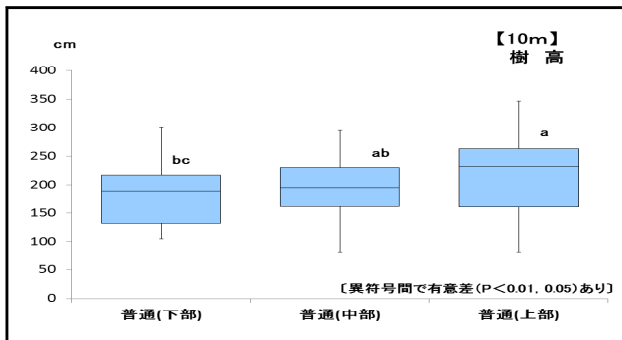


図-4 植栽位置の影響(普通 10m)

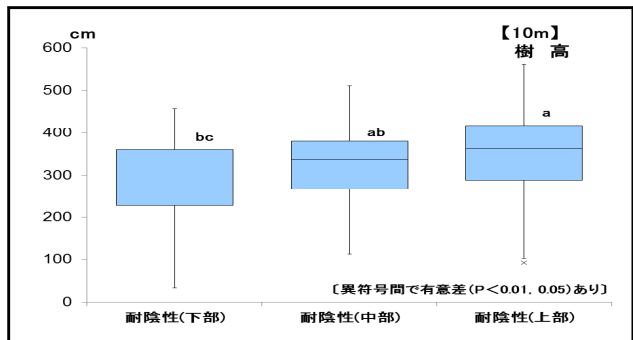


図-5 植栽位置の影響(耐陰性 10m)

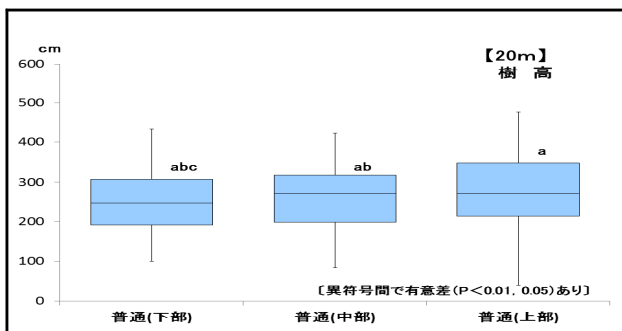


図-6 植栽位置の影響(普通 20m)

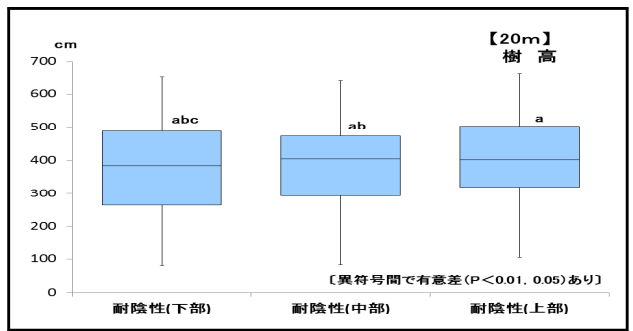


図-7 植栽位置の影響(耐陰性 20m)

周辺環境の影響は、肥大成長・上長成長ともに3列目と1,2列目の間は3列目で有意差が見られたが1,2,4列目間では有意差は見られなかった。1,4列目(林縁)は植栽後2年目より2,3列目(中央)は4年目より下刈を実施したことを考慮すれば、下刈の効果より周辺の保残木からの日陰の影響が大きいと考えられた。(図-8,9)

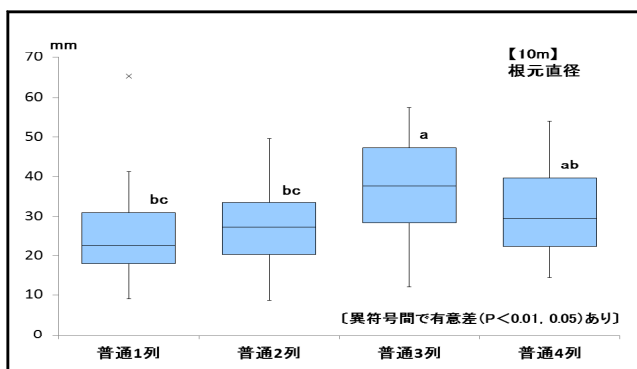


図-8 周辺環境の影響(普通 10m)

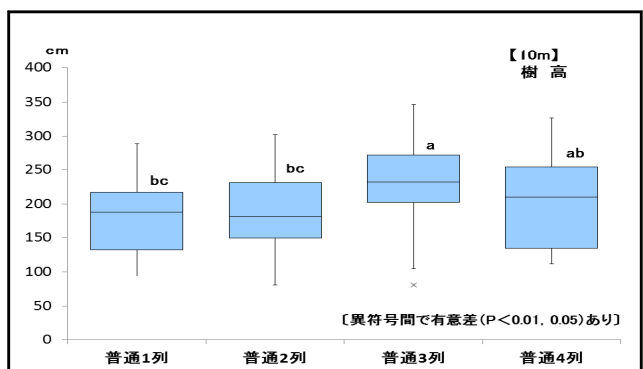


図-9 周辺環境の影響(普通 10m)

② 品種・系統の違いによる成長への影響

各プロットに普通スギにおいては、アヤ、オビ、メアサ、釈迦院の4系統を、耐陰性スギにおいては、県諫早1号、県大分5号、日向署2号、県始良20号、県始良34号、県肝属1号、県肝属2号、県肝属8号の8系統を植栽したが、上記①より伐採幅10m においては、周辺環境が成長に大きく影響していると推察されたことから、20m 幅に植栽した各系統ごとの成長状況（H28.7月時）について検証した。

普通スギでは、肥大成長はオビとメアサ・釈迦院の間はオビに、上長成長はオビとメアサの間もオビで有意差が見られた。耐陰性スギは、肥大成長では始良20号と肝属8号・大分5号の間は始良20号で、上長成長では始良20号・肝属2号・諫早1号と肝属8号・大分5号の間は始良20号外3で有意差が見られた。（図-10～13）

また、普通スギと耐陰性スギ（プロット4の無下刈箇所を除く）の比較では、同じ伐採幅の間で肥大成長・上長成長ともに耐陰性スギに有意差が見られた。（図-14、15）

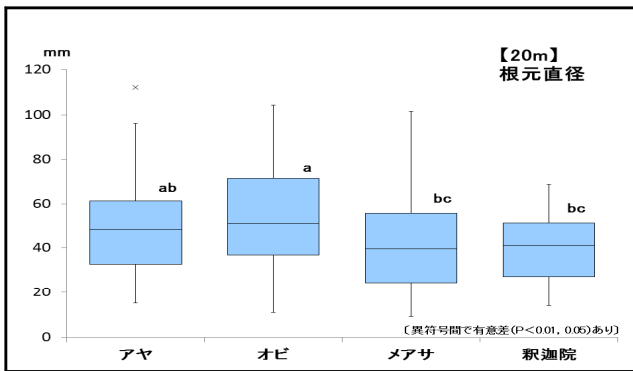


図-10 普通スギの根元直径の状況

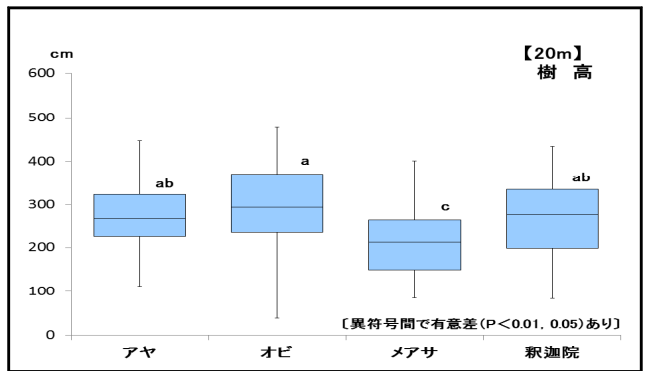


図-11 普通スギの樹高の状況

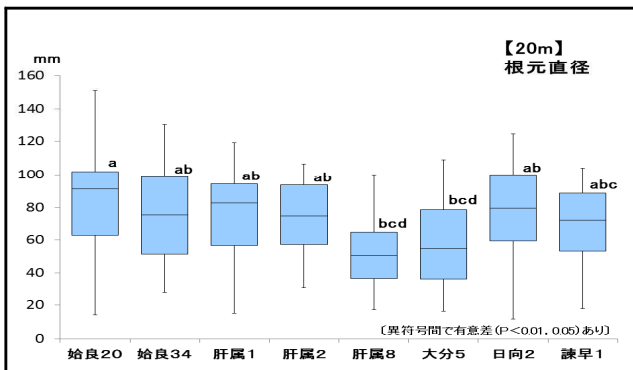


図-12 耐陰性スギの根元直径の状況

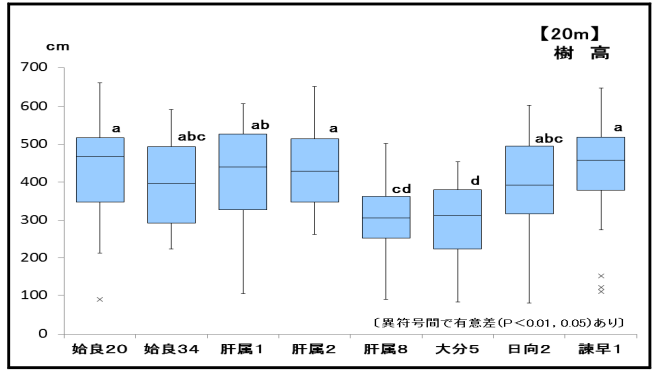


図-13 耐陰性スギの樹高の状況

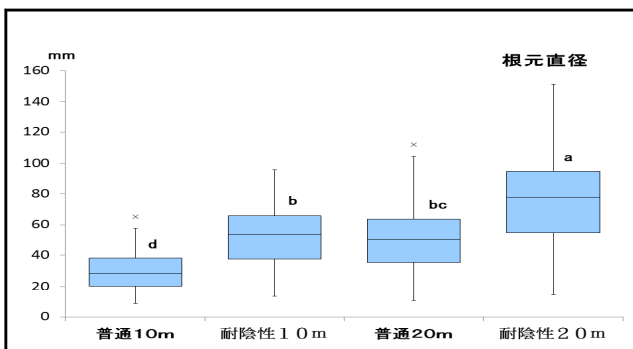


図-14 普通スギ・耐陰性スギの根元直径の状況

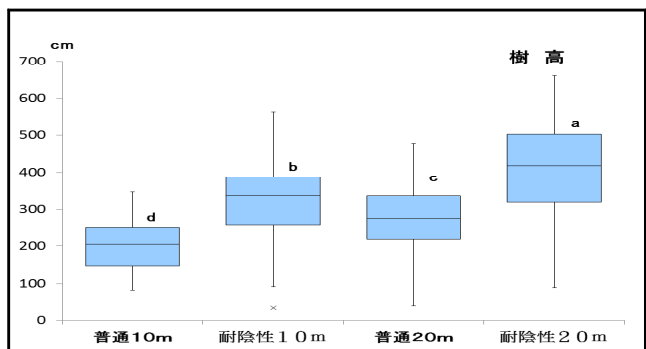


図-15 普通スギ・耐陰性スギの樹高の状況

③ 伐採幅、下刈方法の違いによる成長への影響

普通スギは全系統別に、耐陰性スギにおいては植栽本数が少ないため、まとめて比較した。

〈伐採幅の違い〉

普通スギは、2年目より下刈を開始したタイプ1-10と1-20の比較では、肥大成長はメアサ以外は1-20の伐採幅20m 箇所では有意差が見られ、上長成長はアヤ以外の1-20の伐採幅20m で有意差が見られた。タイプ2-10と2-20の比較では、肥大成長はメアサ以外は2-20の伐採幅20m 箇所では有意差が見られ、上長成長は全系統で2-20の伐採幅20m で有意差が見られた。4年目より下刈を開始したタイプ3-10と3-20の比較では、全系統で肥大成長・上長成長ともに有意差は見られなかった。(図-16～23)

耐陰性スギは、タイプ1-10と1-20の比較では、肥大成長で1-20の伐採幅20m 箇所では有意差が見られ、タイプ2-10と2-20の比較では、上長成長で1-20の伐採幅20m 箇所では有意差が見られた。タイプ3-10と3-20の比較では、肥大成長で3-20の伐採幅20m 箇所では有意差が見られた。

(図-24、25)

〈下刈方法の違い〉

伐採幅10m 箇所では、普通スギは、肥大成長・上長成長ともに下刈の開始時期や方法の違いによる成長の違いは見られず、耐陰性スギは、肥大成長・上長成長ともにタイプ1-10と3-10・4-10の間は1-10で有意差が見られ、タイプ2-10と4-10の間は2-10で有意差が見られた。

伐採幅20m 箇所では、普通スギの肥大成長はタイプ1-20・2-20・3-20間に有意差は見られなかったが、上長成長では、オビとメアサでタイプ1-20・2-20と3-20の間は1-20・2-20で有意差が見られた。

耐陰性スギの肥大成長はタイプ1-20と3-20の間は1-20で有意差が見られ、上長成長ではタイプ1-20・2-20と3-20の間は1-20・2-20で有意差が見られた。

プロット4に設定したタイプ5の無下刈箇所は、全系統で肥大成長・上長成長が低値となり、下刈が造林木の成長に与える影響が顕著に表れた。(図-16～25)

〈成長状況の推移〉

下刈省略の判断が可能となる樹高を150cm 以上として平均樹高と成長期間の関係を見ると、伐採幅10m は、普通スギでは全てのタイプで6成長期、耐陰性スギではタイプ1-10と2-10が3成長期、タイプ3-10が4成長期、タイプ4-10が5成長期まで下刈が必要と推察できた。

伐採幅20m の普通スギでは、アヤ、オビはタイプ1-20と2-20が4成長期となったが、メアサと釈迦院は5～6成長期必要となった。また、4年目より下刈を実施したタイプ3-20では、5～7成長期と150cm を経過する期間が長くなった。耐陰性スギでは、タイプ1-20と2-20が3成長期、タイプ3-20が4成長期となった。(図-26～32)

上記①②③より、伐採幅では、10m 箇所では下刈の有無による雑灌木等の被圧より、隣接する保残帯(スギ)からの被陰が成長に大きく影響していることが考えられたことから、人為的に複数の樹冠層を構成する森林を造る場合は、光環境を考慮した伐区設定の検討が重要である。

植栽樹種については、品種や系統により成長状況が異なることから、小面積の伐跡地や複層伐等による帯状伐採など周辺環境が懸念される箇所については、耐陰性スギ等の優良品種苗の植栽が有効と考えられる。

下刈方法については、植栽後2年目より下刈を実施した箇所では肥大成長・上長成長が良好となったことから、早い段階(時期)からの下刈を実施することで上長成長が促進され、雑灌木等からの影響を受けない樹高に早期に到達することができると思われる。また、現地の雑灌木等の状況に応じて作業種を見直すことで下刈単価の減少が見込まれ、保育コストの低減につながると考えられる。

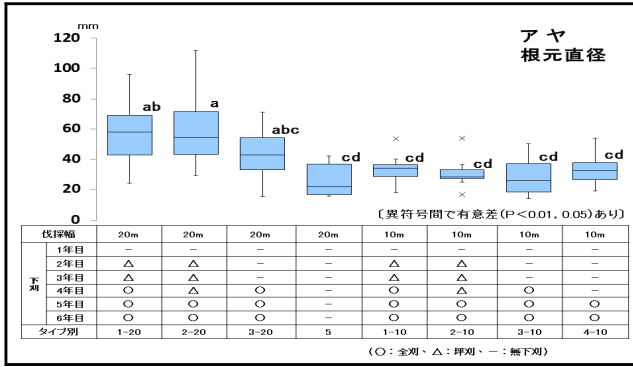


図-16 普通スギ(アヤ)の根元直径分布

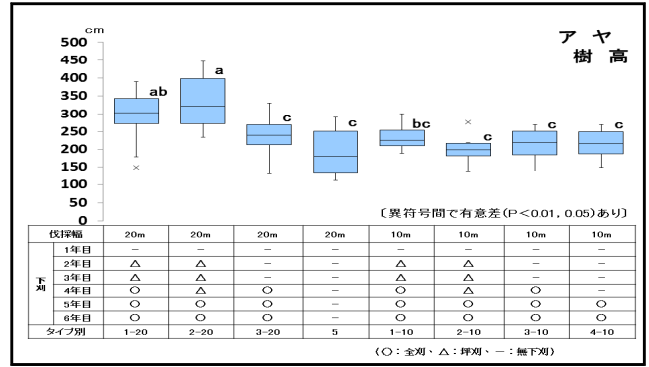


図-17 普通スギ(アヤ)の樹高分布

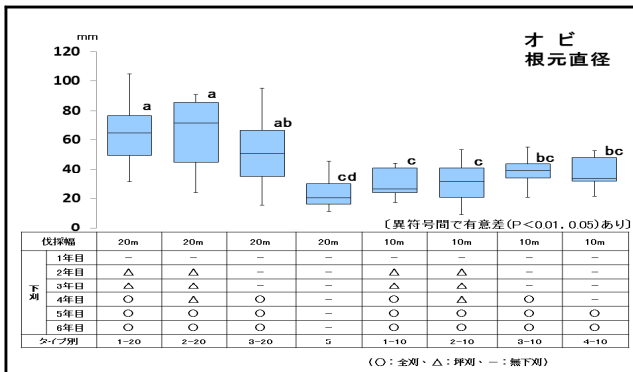


図-18 普通スギ(オビ)の根元直径分布

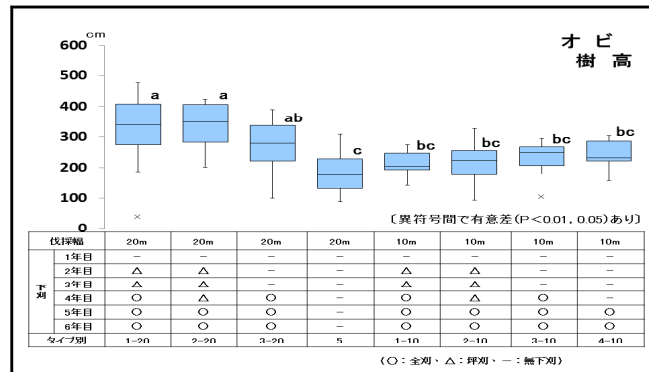


図-19 普通スギ(オビ)の樹高分布

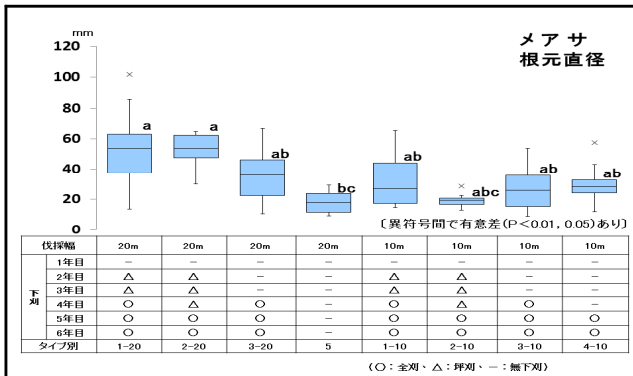


図-20 普通スギ(メアサ)の根元直径分布

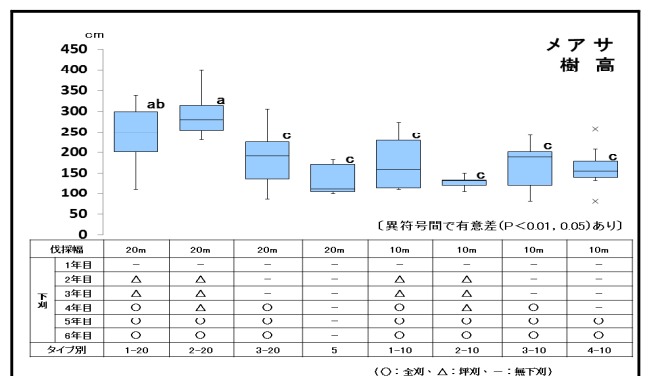


図-21 普通スギ(メアサ)の樹高分布

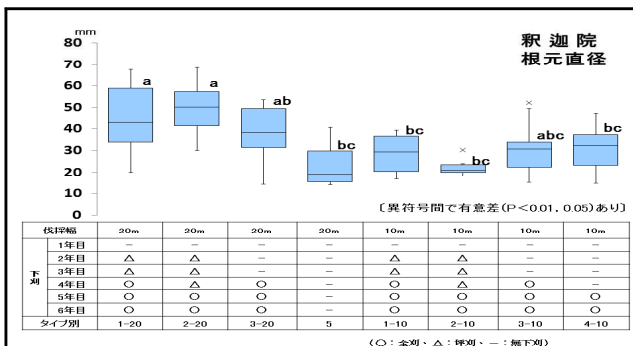


図-22 普通スギ(釈迦院)の根元直径分布

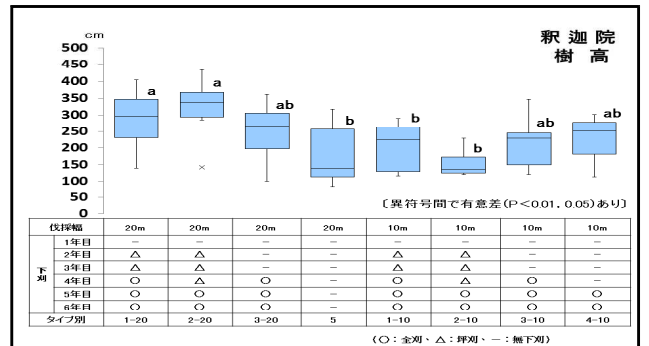


図-23 普通スギ(釈迦院)の樹高分布

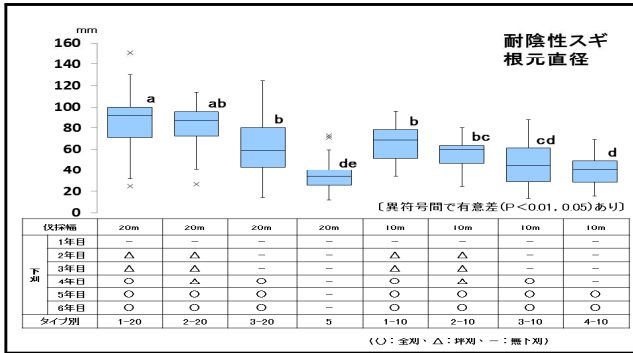


図-24 耐陰性スギの根元直径分布

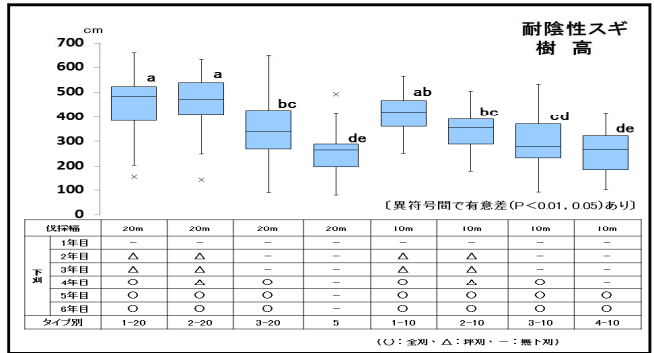


図-25 耐陰性スギの樹高分布

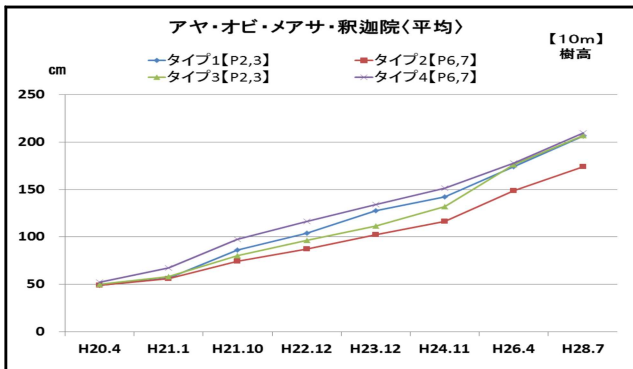


図-26 普通スギの樹高の推移

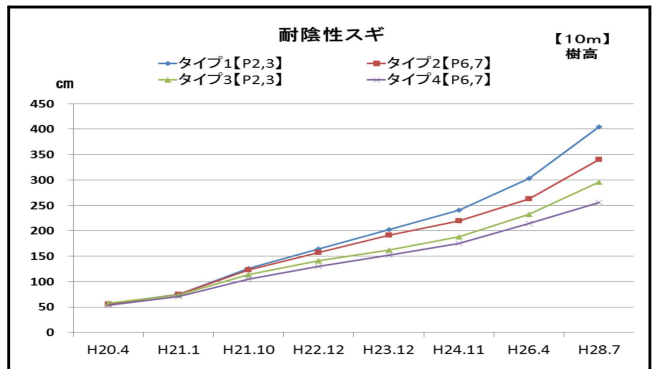


図-27 耐陰性スギの樹高の推移

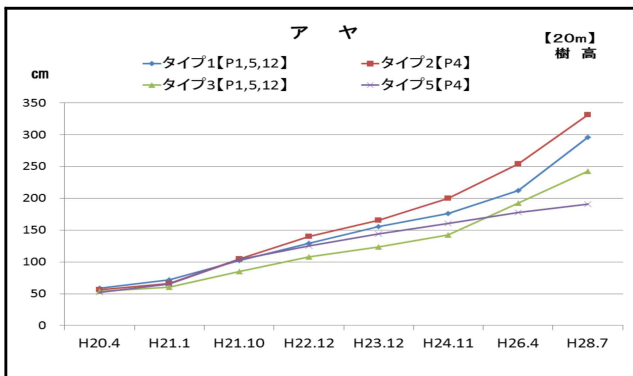


図-28 普通スギ(アヤ)の樹高の推移

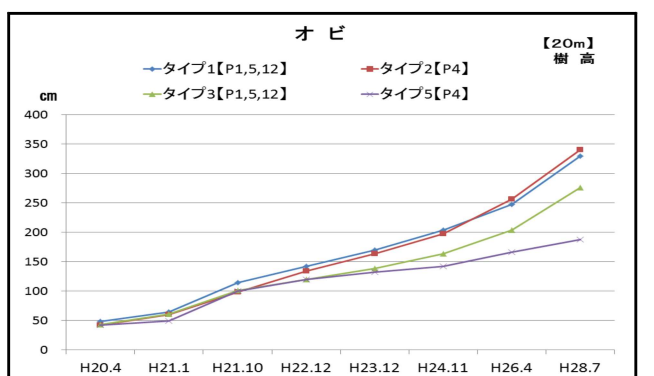


図-29 普通スギ(オビ)の樹高の推移

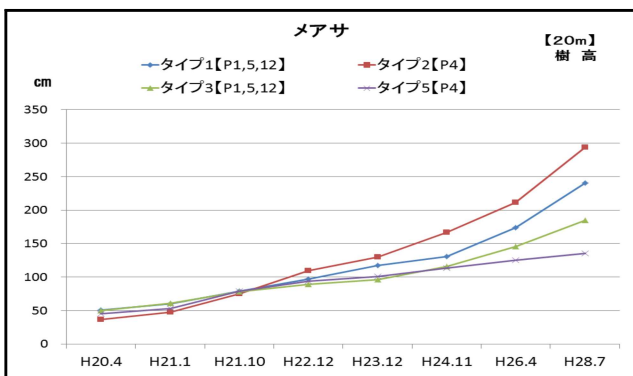


図-30 普通スギ(メアサ)の樹高の推移

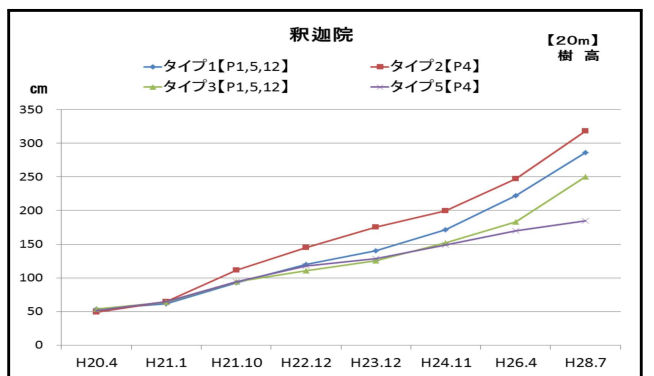


図-31 普通スギ(釈迦院)の樹高の推移

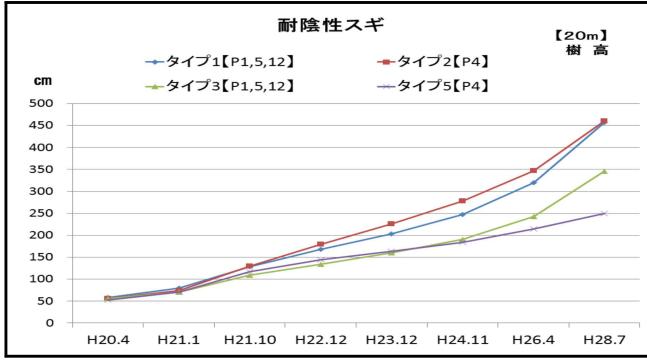


図-32 耐陰性スギの樹高の推移

(5) 有用広葉樹の発生調査

天然更新区での主な樹種としては、ぼう芽ではタブノキやイスノキ、実生ではクワ、ミズキ、キハダなどの発生が見られた。プロット別では、伐採幅20m 箇所(P8、P9)より10m箇所 (P10、P11) で多くなったが、これは、伐採前の広葉樹の生立本数(ぼう芽発生)や埋土種子等が影響したものと考えられた。(図-33)

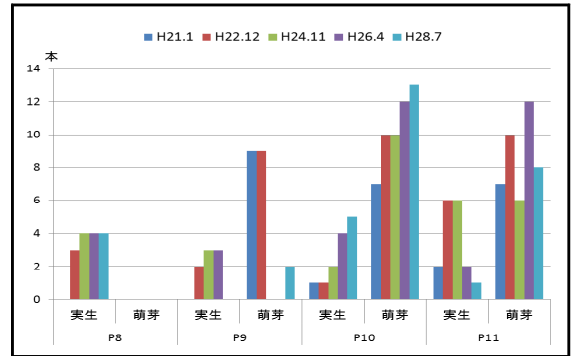


図-33 発生樹種本数(実生・萌芽別)

(6) 水土保持調査

水土保持機能への影響調査として、林内・伐採跡地・作業路開設箇所に、土砂移動量調査ポイントを200箇所選定し、土砂の移動量を2年間調査したが、伐採や作業路開設が起因したことによるリル浸食等の顕著な表土流亡は確認されなかった。(図-34)

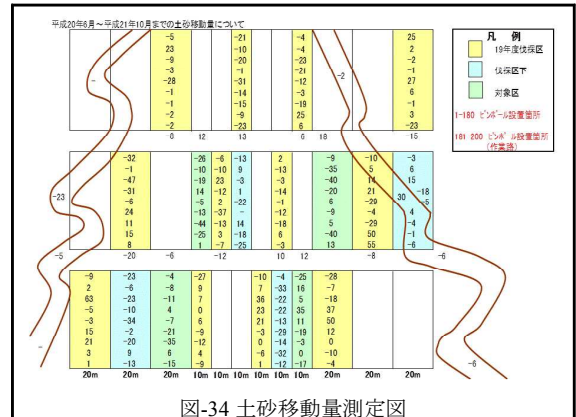


図-34 土砂移動量測定図

4 まとめ

- ① 作業路の開設コストは、今でこそ「森林作業道作設指針」等が整備されているが、当時は先駆的な試験となりオペレーターの習練度が低いこと等から、1日当たり約37mの開設となった。
しかし、床堀から敷均し・転圧を丁寧に実施したことが路面の耐久性に繋がり、開設後の路肩の欠損等は見られないことから、長い目で見れば低コスト化となっている。
搬出時だけでなく造林・保育作業での活用も考え、維持管理コストがかからないよう壊れにくい道づくりが重要である。
- ② 生産コストは、グラップル等の車両系システムの活用で従来の架線方式と比較して生産性は約5m³/人・日と倍に向上したが、生産システムについては、地形等を踏まえ、伐木、造材、集材、運搬という各工程に応じて、高性能林業機械を有効に活用することが鍵となり、工程数をできる限り少なくし単純かつ少人数で運用可能なシステムとなるよう適切に組み合わせ配置することが重要である。
- ③ 更新コストは、低密度植栽と坪地拵により、地拵面積が小さくなるとともに植栽本数も少なくコスト削減に繋がったが、近年では、伐採と再造林を一括して行う一貫作業システムにより高性能林業機械を活用した枝条整理等が普及しつつあり、機械を有効活用し省力化を図ることも低コスト化に繋がる。
また、低密度植栽については、将来の目標林型を見定めた上で、例えば並材中心の生産を目標とした人工造林で成長の早い造林木を活用して行うなどの検討も必要である。
- ④ 下刈コストは、搬出後すぐに地拵をして植付することで、下草の繁茂も少なく一年目の下刈を省略することで低コスト化が図られた。
また、耐陰性スギは、本試験地では2~3系統が初期成長が良く下刈回数の削減が可能と考えられることから、植栽箇所に適した系統の選定が最も重要である。
無下刈区は、伐採幅10mでも先駆種性樹種による造林木への影響が多となり、4年目以降下刈せざるを得なくなった。また、坪刈区も同様な状況となり作業方法を全刈と変更したことから、その地域の植生等に応じた施業方法の選択が重要と考えられる。
- ⑤ 造林木の成長については、伐採幅の広い20m伐採区で成長が良く、区域外の残存木による遮光の影響を受けると思われる区域斜面下部や、残存木に隣接する箇所では造林木の成長が悪い傾向となった。また、耐陰性スギは普通スギに比べて樹高では下刈回数の削減につながる成長を見せた。

今後、主伐・再造林箇所が増加する中で、多様な森林づくりとして森林の有する多面的機能を高度に発揮する育成複層林施業林分への誘導が求められる。本試験地での成果として、伐採幅や周辺環境を十分に考慮した区域設定にすることや、現地に適した成長のよい苗木を植栽することが保育コストの削減につながることから、エリートツリー等優良苗木の活用も含め低コスト造林の確立に努めていきたい。