

ヒノキ単層林における立ち枯らしの効果

時光 博史

時光博史：ヒノキ単層林における立ち枯らしの効果，広島県林技セ研報37：1～13，2005。人工林の管理経営に間伐が期待され，森林所有者の間伐実施を促進するために間伐の低コスト化と間伐効果の明示が課題である。そこで平成11年8月，19年生ヒノキ林の立木44本に市販のグリホサートを注入して立木を枯死させ，生立木の本数密度を低下させた。これを立枯区とし，その対照区として伐倒区を設定した。立ち枯らしは，かかり木が生じる伐倒と比べてほぼ2倍の処理効率で低コストであった。薬剤処理木は3か月でほぼ全木に効果がみられた。立枯区では林内は伐倒区と比較して暗く，林冠の閉鎖開始は1年早いと思われた。3年後には両区とも再開鎖した。伐倒区では処理直後から翌夏まで林外の約15%の明るさが持続したが，立枯区では処理翌年に5%に上昇するにとどまった。伐倒区と比較して立枯区で5年間の成長率はやや低く，樹高と胸高直径の成長量はやや小であったが，5年後の両区の直径等の値は近似したのものとなった。胸高直径成長量の低下は年1mm程度であった。各立木の成長量は同じ胸高直径の立木であれば立枯区で伐倒区よりも小さい傾向があり，立枯区で各立木のばらつきは大であった。5年間の樹幹の成長量は両区とも平成11年よりも平成16年の胸高直径との関係が強く，処理による生立木の本数密度低下の効果が認められた。特に胸高直径と5年間の胸高断面積成長量との関係が明瞭であった。また林内に放置した処理木は伐倒区では元口に近いほど，立枯区では梢端ほど材の密度が低下する傾向がみられた。この密度低下に対応するエネルギーが枯死立木の上部で消費され，周辺の残存生立木の樹冠に弱度の損傷を与えたと考えられた。結論として，立ち枯らしは低コストで実施可能で，良質材の生産技術として利用可能である。林冠葉量の早期回復によってツル植物の発生を防ぎ，残存立木について大径であるほど成長が大となる傾向を弱めて伐倒に伴う少数のアバレ木発生や間伐による急激な年輪幅の拡大を防ぐ，あるいは低コスト化が要求される最低限の林分管理方法として，虫害等への配慮の下での利用が期待される。

[キーワード] 間伐効果，胸高断面積成長量，作業工期，林冠の損傷，ヒノキ材の密度

Evaluation of Tree-Withering-Operation with Glyphosate on Single Rared Hinoki Stand

Key-words: basal area increment, damage of canopy, density of Hinoki(*Chamaecyparis obtusa*) wood, effect of thinning, operational efficiency

1 はじめに

広島県の民有林には17万haの人工林がある。そのうち55%の9万4千haはヒノキ林で占められている。またヒノキ林のうち74%の7万haは3～8齢級であり，この範囲の林齢で10年に1回の間伐を行うと年7千haの間伐が実施される程の規模である。しかし間伐の実施は広島県全体で年間4千ha前後にとどまっており，間伐の促進が緊急の課題となっている。間伐を促進するためには，間伐実施の効果とコストの比較が求められる。

従来，人工林を管理経営するための間伐において立木は伐倒し搬出，利用されていたが，近年では経費は高騰し，木材価格が低迷したために森林所有者が間伐収入を得ることが困難になっている。この対応として収入間伐

にこだわれば機械導入による低コスト化¹⁾²⁾³⁾の方向が示されている。

一方，間伐を残存木の成長についての制御とみなすと，自然状態で枯死する立木について，その配置と時期を選択して残存木の成長特性を変化させる技術が間伐であるといえる。選択した立木を低コストで除去する方法が望まれる。

そこでエネルギーを要し，作業者に危険が伴う伐倒ではなく，立木のまま薬剤打ち込みにより枯死させ，低コストで除去する方法を試みた。使用薬剤は量販店で一般家庭用にも販売されているグリホサートである。なお立ち枯らしの方法には幹の周囲を環状に剥皮する方法もあるが，確実に処理し，早期に枯死させなければ，徐々に枯死する立木は周辺に残存するヒノキを枯死させる恐れ

があるスギカミキリを増加させ、また伐採の3倍の時間を要した例が報告される⁹⁾など問題点が指摘されている。更に隣県では薬剤処理による虫害が認められない例が報告されており、7月下旬から3月までの立ち枯らしであればスギカミキリの樹皮下幼虫の餌となる内樹皮が急速に枯れるので被害が防がれる⁹⁾と期待されている。

2 材料と方法

2.1 処理内容

- ・処理実施日 平成11年8月4日
- ・対象林分 広島県三次市布野町横谷19年生ヒノキ林
北緯34度57分48秒、東経132度45分38秒
(WGS84)
- ・林分の概況
面積0.132ha、平均胸高直径14cm、林分平均樹高10m、
幹材積170m³/ha、
立木本数288本(本数密度2,200本/ha)、西向き斜面が主体、傾斜35度、流紋岩

表-1 処理前の試験林分

区分	面積	立木本数	本数密度	平均胸高直径	幹材積
立枯区	0.062ha	141本	2,274本/ha	14.4cm	173m ³ /ha
伐倒区	0.070ha	147本	2,100本/ha	13.6cm	165m ³ /ha

- ・林分調査

試験地内の立木に白ペンキで胸高帯と一連番号を付し、胸高直径と樹高を計測した。

間伐候補木については平成11年7月に胸高直径を輪尺によって2cm単位で、処理後の残存木は斜面方向とこれに直交する2方向の胸高直径を輪尺によってmm単位で5年後まで次の時期に計測した。

平成11年10月、平成13年5月、平成13年11月、平成14年10月、平成16年12月

また間伐前の樹高は6分の1の本数を比例式測高器によって0.5m単位で計測した。間伐後は同様に全立木を測定し、5年後の樹高は0.1m単位でVertex IIIによって測定した。なお平成16年11月1日に一部を伐倒し、これは伐倒木を実測した。更に測定結果によって胸高断面積は楕円として、立木材積は林野庁計画課編の立木幹材積表西日本編の中国地方の材積式により算出した。立木の配置は付図1のとおりであった。

- ・間伐計画および実施

本数間伐率30%を目標とした。間伐対象木は3本に1本を間伐候補として選木し、近接した不良木があれば候

補木の代わりにその不良木を伐採対象とした。ただし樹冠に既に大きな空隙がある地点での選木は避けた。間伐対象木にはビニールテープを巻いた。

立枯区ではグリホサートを含む製品であるラウンドアップ2倍希釈液をヤマホ工業株式会社のシルビキラーによって立木1本当たり4か所(希釈液4ml)に打ち込んだ(写真)。打ち込み終了後、作業者は幹に巻いたテープを手で引きちぎった。なお作業者の背中に負う薬液入りのタンク容量は3,000mlで4か所打ち込みのとき750本処理する量に当たる。

伐倒区ではチェーンソーにより立木を伐倒し、歩行の障害にならないよう最小限の枝払い、玉切を行った。

- ・処理作業員数 1人

- ・間伐量

試験地において間伐したとみなされる量は表-2のとおり。

表-2 試験区別の間伐量

区分	立木本数	間伐本数	本数間伐率	材積間伐率	備考
立枯区	141本	44本	31%	25%	間伐木平均胸高直径12.5cm
伐倒区	147本	45本	31%	28%	間伐木平均胸高直径12.9cm

- ・作業工程調査

立枯区の作業については薬剤を打ち込むシルビキラーを振り上げた瞬間を1本の処理時間の開始時点とし、次の作業開始時点までの時間を1本の処理時間とした。また1本の処理時間を可能な限り2分割した。1本の処理時間の前半で打ち込み作業終了後立木を離れる動作を開始する時点までを「薬剤打ち込み」、その後の作業後半を「移動」と呼んだ。

伐倒区の作業についてはチェーンソーが間伐対象木に触れた時点を1本の処理時間の開始時点とし、次の作業開始時点までの時間を1本の処理時間とした。また1本の処理時間を原則として3分割した。1本の処理時間の前半は伐倒作業終了後立木を離れる動作を開始する時点までを「伐倒」とした。間伐対象木の切断作業を終了して次の間伐対象木への移動を開始する以後の作業後半を「移動」と呼んだ。また伐倒後にかかり木切断又は間伐木の運搬移動動作を行った場合は、この動作を「かかり木処理」と呼んで、この場合、間伐木から作業者の体が離れた時点から以降を移動時間とした。

また以上の作業工程と諸費用の地場価格聞き取りにより、それぞれの間伐方法のコストを試算した。



・林内相対照度

ミノルタ、デジタル照度計T-1Hにより、間伐前、間伐直後、間伐後1、2、3、5年後の夏季正午前後1時間半以内に3分間積算照度を計測し、林外における同時調査値に対する比として林内相対照度を求めた。

・薬剤処理効果調査

薬剤注入処理の効果について処理直後、1、2、3か月後および10か月後に処理木の樹冠の上半と下半に2分してそれぞれを目視により次の4段階で効果を評価した。区分は、変化なく緑葉、緑色だが萎凋がみられる、葉が褐変、落葉とした。

・5年間の成長量の比較

樹高、胸高直径、胸高断面積および幹材積とこれらの5年間の成長量を両区について比較した。比較は平均値又はha当たりの値を示した。また同齡単純林では一般に、ある期間の定期直径成長量と期首直径との間に直線関係が認められる⁷⁾ことが知られているので、各立木の5年間の成長量を各立木の胸高直径によって示した。更に本数減少が成長に及ぼす効果を確認する目的で、胸高直径は当初の平成11年10月と5年後の平成16年12月における値とした。

2.2 材の劣化

林内に5年間放置された間伐材から立枯区において枯死木6本から21枚、伐倒区において伐倒木4本から11枚の円板を約5cmの厚さで採取した。円板の採取位置は全木の切断された元口から0.2m、1.2m、3.2m、5.2mとした。採取した円板は樹皮を除いた状態の厚さ4か所をmm単位、皮内直径を片面につき直交する位置で2か所mm単位でデジタルノギスによって計測し、端数は切り捨てた。腐朽が著しい円板の直径は、樹皮が残存するのは樹皮の内側、樹皮がない円板については髄から最も離れた位置に残存する木質を目的とする円板の円周とみなして皮内直径を測定した。また皮内直径計測位置において、欠損部分をのぞいた残存材の直径、腐朽部分を除いた正常材の直径を測定した。次に円板は樹皮を除いた後に105℃で96時間乾燥後1g単位で重量wを測定した。更に測定値によって円板を円柱とみなして円板の体積vを算出し、この値で重量wを除して5年後の材の密度w/vを求めた。

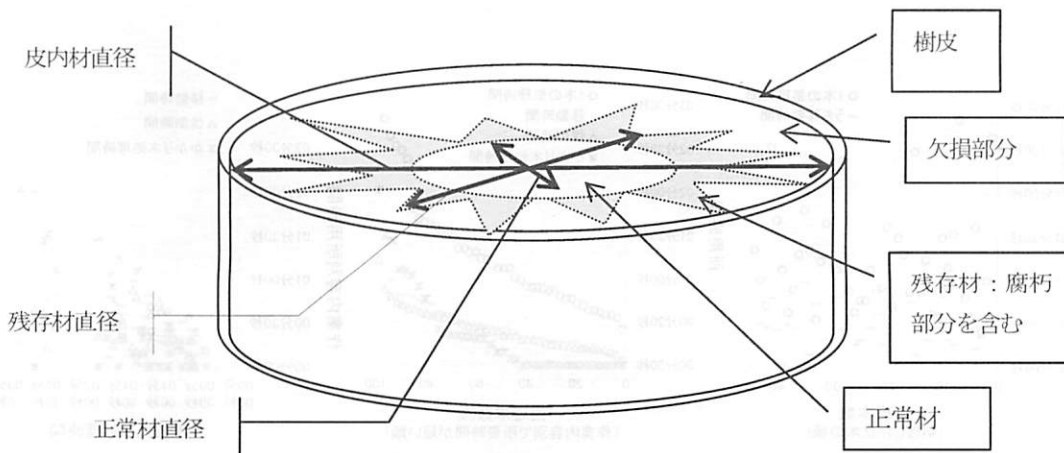


図-1 林内に放置した材から採取した円板の計測内容

3 結果と考察

3.1 作業の効率化

3.1.1 作業工程

3.1.1.1 立枯区

立枯区における作業所用時間を図2に示した。立枯区の薬剤打ち込みは間伐対象木44本に加えて隣接地の2本への打ち込みを行い、46本分の処理時間を計測した。移動時間は33回について計測し、平均は18秒(最大39秒, 最小4秒, 変動係数51%), 薬剤打ち込み時間は34本の打ち込みについて計測し平均は17秒(最大30秒, 最小5秒, 変動係数31%)であった。移動時間と薬剤打ち込み時間を合わせた1本の処理時間は45回の平均34秒(最大56秒, 最小15秒, 変動係数33%)であった。なお作業前の薬剤調整準備に5分を要した。1本の処理時間は左図の処理順では明瞭な傾向は見られなかった。中図で見ると7割の本数の処理時間が安定しており、平均約15秒の打ち込み時間の安定によるものと思われる。右図によると処理時間の多いものは移動時間がやや長い場合であった。処理漏れの立木に到達するための移動と思われた。

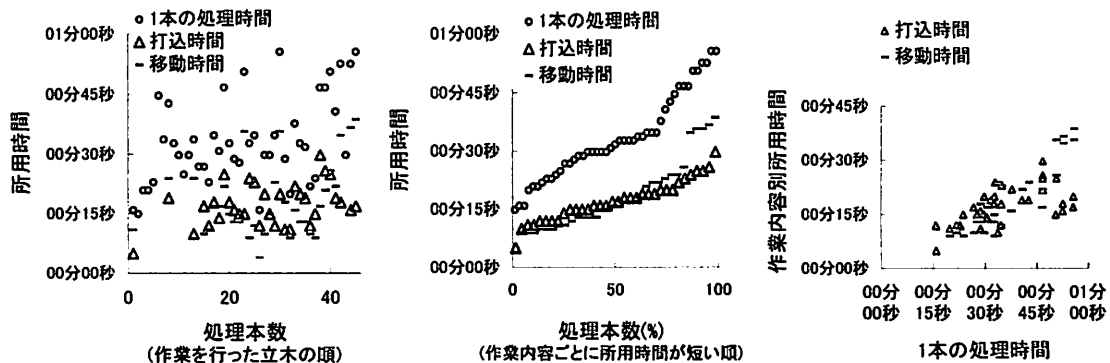


図2 立枯区における作業所用時間

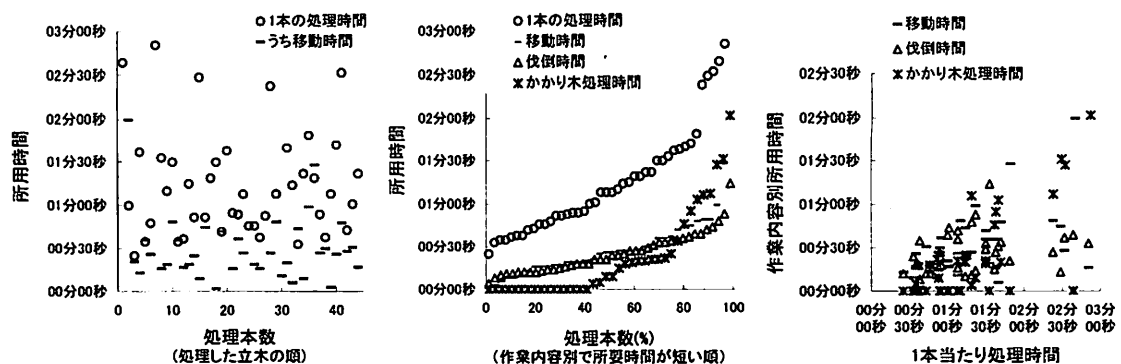


図3 伐倒区における作業所用時間

3.1.1.1 伐倒区

伐倒区における作業所用時間を図3に示した。伐倒区のチェーンソーによる伐倒作業は間伐対象木45本分の作業時間を計測した。林内移動は39回を記録し、平均は30秒(最大120秒, 最小2秒, 変動係数75%), 伐倒は42本について計測し平均は25秒(最大74秒, 最小4秒, 変動係数56%)であった。かかり木処理は23回を記録し、平均は38秒(最大122秒, 最小4秒, 変動係数84%)林内移動時間と伐倒, かかり木処理時間を合わせた1本当たりの処理時間は43回の平均75秒(最大171秒, 最小25秒, 変動係数49%)であった。更に作業中に機械の故障修理が1回行われ、24分を要した。

処理作業の順に対応した処理時間は左図のとおり明瞭な傾向はみられなかった。中図によると本数の6割は伐倒木が周辺の立木にかかり木となり、これを倒伏させる作業が必要となった。うち2割分は30秒以上と特に多くの時間を要した。右図によると処理時間が長いものはかかり木処理時間が長いもののほか、移動時間が長いものもあった。伐倒された木が散乱する林床をチェーンソーを持って移動する困難があったものと思われた。

3. 1. 2 処理費用

薬剤打ち込み器シルビキラー価格3万円を500時間使用して償却し、立ち枯らしに要した薬液を含む製品であるラウンドアップの価格から0.1円/ml、実施結果から1本当たり34秒で処理し、実作業時間5時間/日、作業者賃金16,000円/日、間接費40%として試算すると、1本当たり処理費用は43.3円となった。内訳は作業費42.3円、薬剤費0.4円、機械費用0.6円であった。

また伐倒による間伐をチェーンソー持ち作業者賃金を17,500円/日として同様に試算すると、102円/本であった。この試算結果によって薬剤打ち込み経費を対照区のチェーンソー伐採と対比すると1本当たり42%となった。

3. 2 処理の効果

3. 2. 1 林内相対照度

立ち枯らしおよび伐倒後に林内相対照度は図4の通り推移した。両区とも間伐前の林内相対照度は1%であった。立枯区では処理直後には約1%で変化はなく、間伐1年後に約5%まで上昇し、その後低下して3、5年後には約1%と間伐前の水準まで低下した。伐倒区では間伐直後に約15%まで上昇し、1年後もほぼ同様で、2年後には5%、3、5年後には約2%まで低下して安定した。立枯区における林内相対照度は伐倒区よりも1年先行して低下し、1ポイント低い値で安定した。立枯区では残存立木の幹や枝が光をさえぎるだけ暗くなるものと思われた。

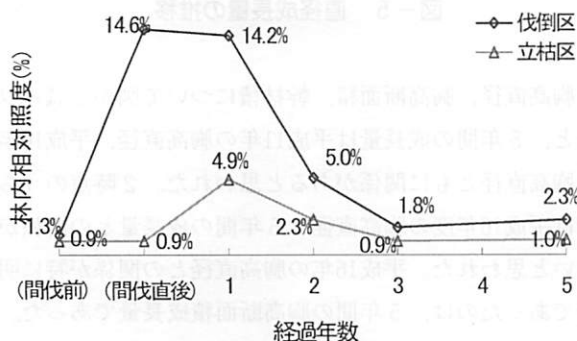


図4 林内相対照度の推移

3. 2. 2 薬剤処理効果

立枯区において平成11年8月4日に薬剤処理した44本の立木は、1か月後の9月3日には43本の上半部の葉が褐色に変化した。下半部の葉はいずれも変化が見られなかった。2か月後の10月4日には19本の上半部に落葉がみられた。下半部では7本の葉は褐色し、19本の葉は緑色ではあったが萎れていた。3か月後の11月4日には44

本全ての上半部に落葉がみられ、下半部では35本の葉が褐色し、8本の緑葉に萎凋がみられた。10か月後の平成12年5月29日には44本全ての処理木が上下ともに落葉した。5年後にもすべての処理木が落葉したままであり、枝や幹から萌芽したヒノキはなかった(写真：中央は立ち枯らし後5年経過した立木No.37, 平成16年8月)。

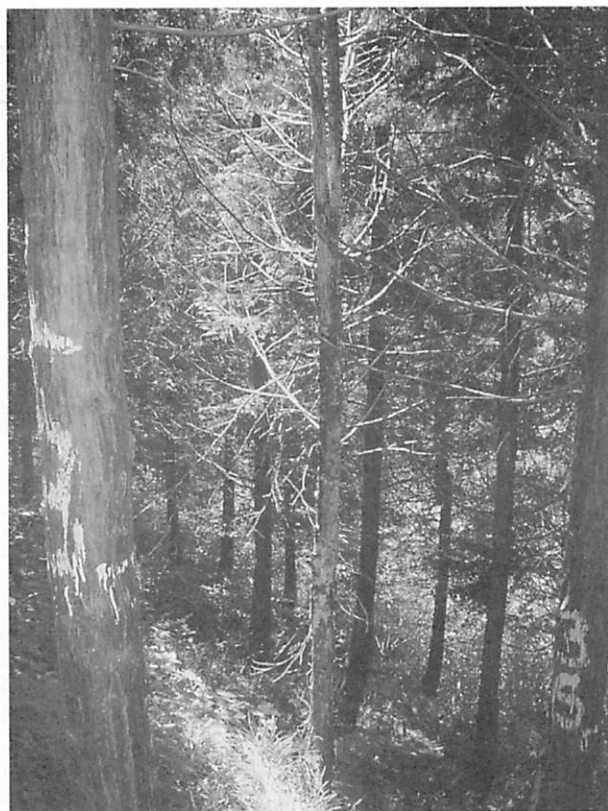


表-3 薬剤処理木の変化本数

葉の変化	H.11.8.4		H.11.9.3		H.11.10.4		H.11.11.4		H.12.5.29	
	下半	上半	下半	上半	下半	上半	下半	上半	下半	上半
緑葉	44	44	44	1	18		1			
萎凋					19		8			
褐色				43	7	24	35			
落葉						20		44	44	44

3. 2. 3 処理後の成長

3. 2. 3. 1 林分の成長

立枯区では、当初計測した平均胸高直径15cmは3.4cm、23%増加して18cmになった。比例式測高器で測定した当初の平均樹高10mとVertexⅢで5年後に計測した平均樹高11mとの差は1.2mで12%増加した。胸高断面積合計を算出すると27m²/haが13 m²/ha、48%増加して、40m²/haになった。計測した胸高直径と樹高により算出した幹材積合計141m³/haと233m³/haの差は、92m³/haで65%増加した。なお5年目に立枯区で立木1本の枯死が認められ

表-4 間伐前後の林分量

区 分	立枯区				伐倒区			
	平成 11 年 10 月	平成 16 年 12 月	5 年間の 成長量	対当初増 加率	平成 11 年 10 月	平成 16 年 12 月	5 年間の 成長量	対当初増 加率
平均胸高直径	14.6cm	18.0cm	3.4cm	23%	13.5cm	17.4cm	3.9cm	29%
平均樹高	10.2m	11.4m	1.2m	12%	9.1m	10.9m	1.8m	20%
胸高断面積合計	27m ² /ha	40m ² /ha	13m ² /ha	48%	21m ² /ha	35m ² /ha	14m ² /ha	67%
幹材積合計	141m ³ /ha	233m ³ /ha	92m ³ /ha	65%	100m ³ /ha	197m ³ /ha	97m ³ /ha	97%

た。この値は表4の平成16年の値には含んでいない。

伐倒区では、当初計測した平均胸高直径14cmは3.9cm、29%増加して17cmになった。測定した当初の平均樹高9mと5年後に計測した平均樹高11mとの差は1.8mで20%増加した。胸高断面積合計を算出すると21m²/haが14m²/ha、67%増加して、35m²/haになった。計測した胸高直径と樹高により算出した幹材積合計100m³/haと197m³/haの差は、97m³/haで97%増加した。伐倒区では5年間に残存立木の枯死はなかった。

その結果、伐倒区の値と比較した立枯区の値は平均胸高直径+8%から+3%、平均樹高+12%から+5%、胸高断面積合計+29%から+14%、幹材積合計+41%から+18%となった。当初やや小さかった伐倒区の値が、立枯区の大きい値に接近したといえる。

また両区における5年間の増加量の値を比較すると、樹高1.2mに対して1.8m、胸高直径3.4cmに対して3.9cmと立枯区よりも伐倒区の増加量が大であった。胸高断面積合計と幹材積合計は伐倒区の増加量がやや大ではあったが、その差は10%以内であった。

更に胸高直径の増加量を図5に示した。間伐後1年目から3年目の平成14年まで両区とも低下して平均年4mmとなった。立枯区では平成12、13年平均で年8mmに対して平成15、16年平均で年7mm、伐倒区では平成12、13年の平均で年9mmに対して平成15、16年平均で年8mmの直径成長であった。立枯区においては成長が低下した3年目を除いて伐倒区よりも年1mm強成長量が小さかった。

3. 2. 3. 2 各立木の成長

各立木の胸高直径による5年間の成長量を図6に示した。

樹高成長量を図から読み取ると、胸高直径との関係は明らかではなく、立枯区においては成長量が0に近いものが多くみられた。また両区ともに数本のマイナスの値

がみられた。これは平成14年秋から翌早春にかけて、または平成15年12月に広島県北部一帯に観察された湿雪による梢端の折損によるものと思われた。平成16年秋季に広島県内で広範囲に風害が認められた台風による影響は、調査地周辺では明瞭でなかった。

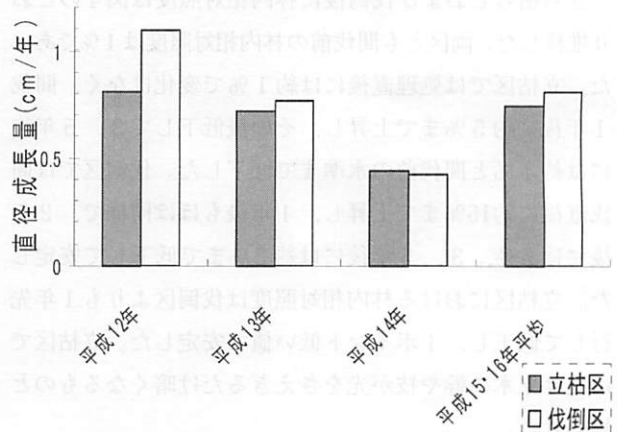


図-5 直径成長量の推移

胸高直径、胸高断面積、幹材積について図から読み取ると、5年間の成長量は平成11年の胸高直径、平成16年の胸高直径ともに関係があると思われた。2時点のうちでは平成16年度の胸高直径と5年間の成長量との関係が強いと思われた。平成16年の胸高直径との関係が特に明瞭であったのは、5年間の胸高断面積成長量であった。特に伐倒区について平成16年の胸高直径 d_{16} と5年間の胸高断面積成長量 Δg に次式の強い相関があった。次式は平成16年の胸高直径 d_{16} が10cmを超えるほど5年間の胸高断面積成長量 Δg が大となった、また立枯区では同じ胸高直径 d_{16} の立木の胸高断面積成長量 Δg が伐倒区の11/13が平均となったことを意味する。

$$\text{伐倒区の5年間胸高断面積成長量 } \Delta g = (\text{胸高直径 } d_{16} - 10) \times 13 \quad \dots \quad d \text{ 寄与率 } R^2 = 0.84$$

$$\text{立枯区の5年間胸高断面積成長量 } \Delta g = (\text{胸高直径 } d_{16} - 10) \times 11 \quad \dots \quad d \text{ 寄与率 } R^2 = 0.78$$

また、どの図においても伐倒区の値のばらつきが比較的小で、立枯区の値は伐倒区の値をほぼ上限としてそれ以下で立ち枯らし区の値が大きくばらついた。更に立ち枯らし区の値は胸高直径で5年間に4 cmの成長量が上限となるグループがあると思われた。これは年輪幅4 mmに当たる。

樹幹の直径にかかわらず成長量が一定となる傾向は、主伐対象となるヒノキ壮齢林の例が間伐実施前の断面積成長量と間伐直後の急激な成長回復ののちの直径成長量について報告⁹⁾されており、林分の本数密度を低下させた効果が立ち枯らし区において5年後には明瞭ではなくなってきたことを示すものと思われた。

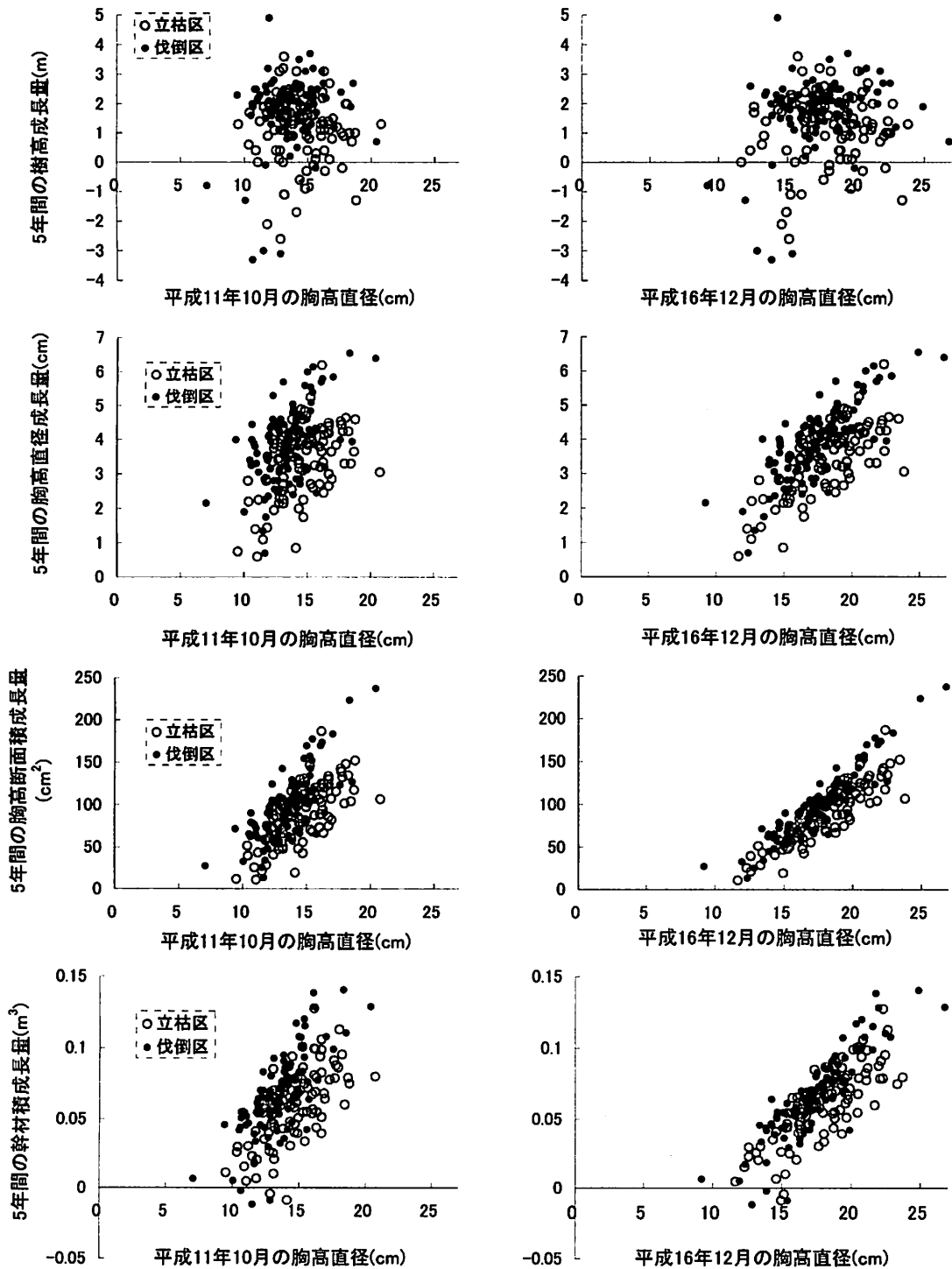


図-6 2時点の胸高直径による各立木の5年間の成長量

3. 2. 3 材の劣化

5年間林内に放置したヒノキ材から採取した円板(写真はNo.73から採取した円板)は付表2のとおりであった。図7にその概要を示した。左図の残存木部の体積残存比率に示すとおり、ほとんどの円板は樹皮下に隙間なく木質が残存していたが、伐倒区では円板直径15cm前後の2枚の円板に欠損があった。立枯区では7枚の一部に欠損があり、円板直径が小さいほど欠損は大となる傾向があると思われた。



また図7中図に示すとおり、腐朽がみられない正常材は伐倒区では直径10cm以上で残存体積があり、その当初推定体積に対する比率はほぼ次式のとおり直径によって増大した。次式は正常材残存比率が約50%を上限として直径により増大し、直径31cmに近づくほど増加率が低下することを意味する。

$$\text{伐倒区正常材の体積残存率} \approx 51 - (31 - \text{直径})^2 \times 0.0764 \quad \dots \quad R^2 = 0.87$$

また立枯区における正常材残存比率はばらつきが大であり、直径によって説明すると伐倒区における上式による値を下限、伐倒区における上限50%を立枯区の上限とした範囲に測定値があると思われた。

更に右図のとおり残存材の密度は、皮内材推定体積当たりの重量として0.14~0.46g/cm³であった。図から読み取ると直径による密度は、ばらつきが大であるが強い傾向を読み取ると次式の関係があった。次式は材の密度が伐倒区では0.36g/cm³を上限として直径が大であるほど密度が低い傾向があり、立枯区においては0.25g/cm³を下限として直径が大であるほど高い傾向があることを意味する。

$$\text{伐倒区残存材の密度} \approx 0.36 - \text{直径} \times 0.0049$$

$$\text{立枯区残存材の密度} \approx 0.25 + \text{直径} \times 0.0035$$

なお立枯区の枯死立木は5年後の夏季まですべて倒伏はなく、林床から樹冠相当位置を観察すると樹幹だけでなく細い枝まで残存しており、幹、枝の大きな折損はないと思われたが、11月1日の伐倒後12月に再確認すると若干の折損が認められた。また材の腐朽色は記録していないが、5年経過したヒノキの切り株の一部にクリタケ子実体の発生が認められた。

3. 3 まとめ

ヒノキに対して8月に薬剤グリホサートを注入して3か月ではほぼ全処理木に樹木上半部から変化がみられた。樹木下半部まですべて落葉を確認するには更に6か月までの期間を要したが、効果は確実であった。立ち枯らしでは立木1本当たり34秒、43円で処理された。チェーンソー伐倒では立木1本当たり75秒、102円であった。かかり木が生じる伐倒と比べて立ち枯らしは2倍以上の処理効率で低コストであった。

林内相対照度の計測値によると、立枯区の林内は伐倒区と比較して暗く、林冠の閉鎖は1年早いと思われたが3年後には両区とも再閉鎖した。伐倒区では処理直後から翌夏まで林外の約15%の明るさが持続したが、立枯区では処理翌年に5%に上昇するにとどまった。これは立枯区において伐倒に伴う残存立木の枝葉の損傷がなかつ

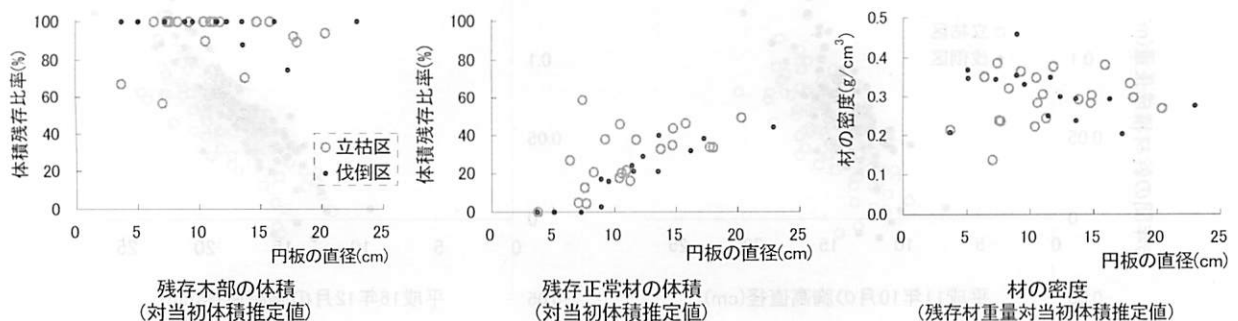


図-7 林内放置5年後の残存ヒノキ材の体積と密度

たために光合成を行う林冠の葉量回復が1年早く開始され、葉量の回復速度は、再閉鎖が完了した3年目夏季に両区の林冠葉量が同水準となるほど早かったことを示すものと思われた。

5年間の樹幹の成長量は両区とも平成11年よりも平成16年の胸高直径との関係が強かった。これは各立木が成長する環境として、処理前の条件よりも本数密度が低下した処理後の新たな条件がより大きく各立木に影響したものと考えられた。いいかえると、立枯区にも本数減少による成長への効果が認められた。特に胸高直径と5年間の胸高断面積成長量との関係は明瞭であった。今後林分成長モデルの改良に役立てたい。また伐倒区と比較して立枯区では成長率はやや低く、樹高と胸高直径の成長量はやや小であったが、5年後の両区の直径等の値は近似したものとなった。

ここで胸高直径との関係が明瞭でなかった樹高成長について図8のとおり2時点の樹高によって成長量をみると、平成11年に樹高が13mよりも低い木ほど5年間の樹高成長量が大きくなり、平成16年の樹高が13mに近い木ほど5年間の成長量は大きかった。これは背揃い現象としてトドマツ等で観察され¹⁰⁾ており、両区の処理方法の差異によらない、過去の成長の傾向に反して定まった値に近づく傾向であるから、立地の特性によるものと考えられる。これを樹高が同じであれば現存幹材積一定になる傾向¹¹⁾とすると、両区が同じ13mの樹高に揃う傾向が認められた試験期間に立木の肥大成長は、立枯区で抑制された、または伐倒区で促進された。それは樹高にかかわる要因によるものであるといえる。したがって立ち枯らし区の成長率と成長量の平均値がやや小であったことは、両区の処理方法の差異によるものではないとする推論も可能である。

しかし5年間の成長量は同じ胸高直径の立木であれば立枯区で伐倒区よりも小さい傾向があり、立枯区で各立

木のばらつきは大であった。このことから立枯区では全体としてやや成長が抑制されたといえる。一般に行われる伐倒を伴う間伐によって小径木の成長は大径木の成長ほどには促進されない¹²⁾ので、強度の間伐には大小の立木の差異が拡大するという問題がある。本研究によって明らかにした立ち枯らしで個々の立木の成長のばらつきが大となり、この傾向が胸高直径の大小によらないという特性は、少数の急成長するアバレ木や残存立木を变形させる恐れのあるツル植物の発生を防ぎ、年輪幅の変動を抑えた優良材を数多く育成するという伝統的な林業の目的を達成する技術として利用可能だといえることができる。少量の成長量が抑制されるという立枯区にみられた小さな欠点は、枝打ちに伴う成長量抑制の場合と同様に材質の向上という長所や将来の成長量への効果も含めた検討を加えた上で評価を行う必要がある。

更に弱い傾向ではあるが、林内に放置した処理木は伐倒区では大径であるほど、いいかえると切断した元口に近いほど材の密度が低下する傾向がみられた。また立枯区では小径であるほど、いいかえると梢端に近いほど密度が低下する傾向がみられた。大径木を早期に育成することを主目的に伊勢神宮宮域林においては肥大成長を促進するため、間伐は隣接木で枝先が触れ合う木を伐る方法がとられており¹³⁾、単木にみられる幹材積連年成長量の変動は光合成を行って幹材積を増加させる樹冠の損傷による¹⁴⁾と考えることができる。このように考えると枯死立木の密度低下に対応するエネルギーは枯死立木の上部で消費され、周辺の残存生立木の樹冠に弱度の損傷を与えたと推定できる。

結論として、立ち枯らしは低コストで実施可能な育林技術としての可能性をもっている。技術の特徴として、樹幹の成長はやや抑制され、個々の立木のばらつきを大きくする。この特性を利用して伐倒に伴い急激に成長を始める少数のアバレ木や、間伐による急激な年輪幅の拡

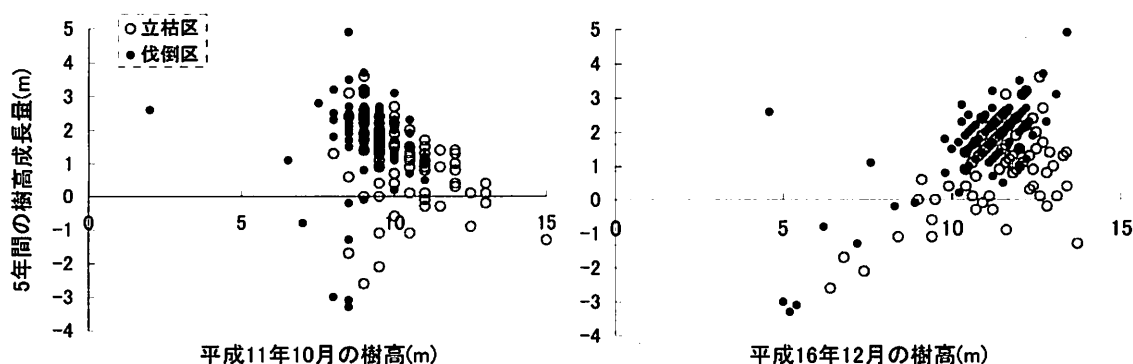


図-8 2時点の樹高による各立木の樹高成長量

大を防いで良質材を生産し、あるいは低コスト化が要求される最低限の林分管理方法として活用されることが期待される。

ただし、立ち枯れたヒノキは倒れるまでに17年～18年¹⁵⁾を要するともいわれ、広島県比婆郡西城町天樋県有林内でも10年後には枯死立木の樹幹が残存していた。作業等者の安全のためには将来20年以上長期に立ち入る予定のない林分を間伐する場合にこの方法を採用する。あるいは、腐朽し落下する危険のある立ち枯らした立木が林内に多数あることを立ち入る者に示し注意を喚起する看板を設置し、立ち入りを制限するなどの対応が必要であろう。地域により景観上の視点や虫害拡大の可能性、広く使用される薬剤ではあるが薬剤使用に対する関係者の理解をえる努力を行うなど、注意と配慮を行いながら実施するべきであろう。

4 おわりに

ヒノキ林の立ち枯らし5年後にその効果を評価した。間伐効果はあるといえるが、個々の立木への効果にはばらつきがあり、間伐に伴う急激な変化の影響を抑えることのできる、穏やかな技術として可能性があることが示された。また対象林分には樹高13mで背揃いする傾向があった。広島県内には13m以上のヒノキ林は多数存在するので、ここで成長が停止するとは思われないが成長の規則性は変化するのではなかと思われる。その規則性と、立地による差異の解明を今後の課題としたい。

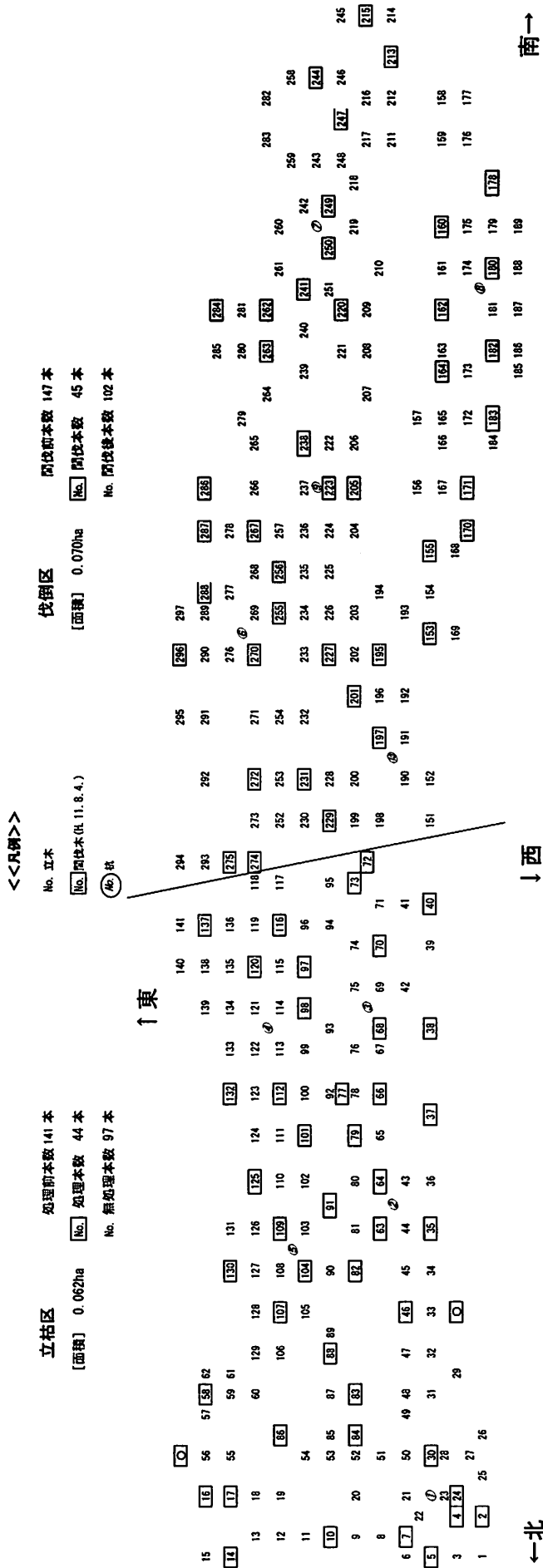
最後に、試験地の設定について指導いただいた広島県立林業技術センターの兵藤博林業生産部長、間伐の実施と調査にご協力いただいた旧布野村森林組合の皆様、広島県立林業技術センター吉岡寿主任研究員、西原幸彦副主任研究員、涌嶋智元副主任研究員、堀越廣司、森川和美、添田武仁その他の方々に御礼申し上げます。

5 参考文献

- 1) 広島県立林業技術センター(2000)高性能機械による間伐材の搬出—高性能林業機械による実証事業を実施して—。40pp.
- 2) 時光博史・池田博行(2000)ヘリコプターによるアカマツ材の搬出。広島県林技セ研報32。1～15.
- 3) 時光博史(2001)ヒノキ単層林を対象とした強度列状間伐の有効性。広島県林技セ研報33。25～36.
- 4) 広島県農林水産部(2002)低コスト間伐普及マニュアル(列状間伐による収入間伐の推進)。41pp.

- 5) 野下治巳ほか(1999)環状剥皮によるスギ・ヒノキの密度管理試験。鹿大演研報。91～96.
- 6) 松尾正史(1987)間伐作業の省力化—除草剤を使用した立ち枯らしによる間伐の省力化—。昭和61年度林業試験研究発表会発表要旨集。山口県林業指導センター。17～22.
- 7) 大眞一編(1971)森林計測学。415pp。養賢堂.
- 8) Tanaka,K.(1986)A stochastic model of diameter growth in an even-aged pure forest stand.J.jp.For.Soc.68:226～236.
- 9) 時光博史(2004)主伐可能なヒノキ立木の成長回復特性。日林誌115。584.
- 10) 清和研二・菊沢喜八郎(1987)トドマツ人工林における樹木の大きさごとの空間分布の林齢にともなう変化。日林誌69(12)。465～471.
- 11) 相場芳憲(1975)スギ人工林の生長におよぼす保育の影響(Ⅱ)現実林分密度における現存幹材積一定の傾向。日林誌57(2)。39～44.
- 12) 宮本麻子・天野正博(2002)立木の空間分布および生育条件が個体成長に及ぼす影響。森林総合研究所研究報告1(2)。163-178.
- 13) 金田憲明(2005)神宮宮域林について。山林1449。23～28.
- 14) 時光博史(2004)立木消失の指標。森林資源管理と数理モデルVol.3—FORMATH TSUKUBA2003—(鹿又秀聡・吉本敦.編)。156pp。森林計画学会出版局.
- 15) 社団法人全国林業改良普及協会(1999)立ち枯らしで行う間伐—新島敏行さん—。林業新知識(9月号)。22～23.

付図-1 立木の配置



付表-1 胸高直径と樹高の測定値

<立枯区 0.082ha>										<伐倒区 0.070ha>									
立木 番号	胸高直径(cm)					樹高(m)		摘要	立木 番号	胸高直径(cm)					樹高(m)		摘要		
	H11.10	H13.5	H13.11	H14.10	H16.12	H11.10	H16.12			H11.10	H13.5	H13.11	H14.10	H16.12	H11.10	H16.12			
1	18.80	20.35	21.65	22.00	23.40	15.0	13.7		151	12.85	14.00	14.80	15.00	15.40	8.5	5.4	先折れ		
3	18.80	17.80	18.45	19.40	20.80	12.0	13.4		152	13.35	14.50	15.00	15.40	16.60	9.0	9.8			
6	15.10	16.25	17.15	18.00	18.95	12.0	12.8	*	154	12.70	13.65	14.25	14.30	15.50	8.5	7.6	5.1mで幹折れ		
8	18.70	19.95	20.75	21.85	22.35	11.0	12.0		158	18.35	19.70	21.10	21.40	24.90	9.5	11.4			
9	14.50	15.85	16.95	17.60	19.40	11.0	12.7		157	13.40	14.75	14.70	15.90	17.30	9.0	10.4			
11	12.90	13.85	14.50	15.10	16.90	10.5	11.6		158	15.40	16.70	17.55	18.10	19.60	10.5	12.8			
12	18.70	17.45	17.95	18.80	19.70	12.5	12.6		159	15.65	16.80	17.25	17.50	19.50	10.0	11.7			
13	14.90	15.80	17.10	17.15	18.05	11.5	11.2	*2.2mで二又	161	15.25	17.00	17.90	18.25	20.10	10.0	11.3			
15	13.80	15.00	15.30	16.30	17.75	11.0	11.9		163	13.85	14.95	15.65	16.60	18.90	9.5	12.0			
18	12.50	13.40	14.05	14.80	16.40	13.0	13.4		165	13.20	14.45	15.20	15.20	16.90	8.5	10.7			
19	14.80	16.10	16.85	18.05	19.65	12.5	11.6		166	13.90	14.75	15.20	15.70	16.30	9.5	10.4			
20	13.10	14.20	15.25	15.80	17.20	10.0	11.9		167	13.45	14.60	16.00	16.30	17.60	9.0	11.2			
21	17.80	18.70	19.60	20.05	22.05	11.5	12.4		168	15.25	16.70	18.10	18.50	20.80	8.0	10.5			
22	14.70	14.65	15.55	15.50	16.45	11.0	12.5		169	13.10	14.55	15.65	16.40	18.80	8.5	11.0	*		
23	16.70	17.65	17.90	18.90	21.20	12.0	13.3		172	11.85	13.10	13.85	14.30	15.40	8.0	11.2	*		
25	15.60	16.50	17.10	17.60	18.95	13.0	13.1	7mで二又	173	12.70	13.90	14.65	15.10	17.20	9.0	10.7			
26	17.70	18.95	20.20	20.40	22.15	13.0	12.8		174	13.70	15.20	15.30	16.30	17.40	9.0	11.5			
27	16.95	17.60	18.05	18.15	19.60	10.5	12.0		175	12.10	13.20	13.85	14.40	16.45	8.5	11.2	*		
28	16.30	16.55	17.45	17.45	18.75	12.0	12.4		176	14.10	15.70	16.50	17.20	18.70	9.5	11.1			
29	16.35	17.35	17.80	19.00	20.50	11.0	10.7		177	13.20	14.35	15.15	15.75	17.10	9.5	10.7			
31	11.05	11.00	11.50	11.50	11.65	9.0	9.0	*7mで二又	179	14.10	15.10	15.60	16.10	18.30	10.0	12.1			
32	15.45	16.30	16.65	17.10	18.05	11.0	10.9	*	181	13.40	14.45	14.75	15.30	16.80	9.0	11.3			
33	16.15	17.85	18.75	19.40	22.35	11.5	12.9		184	12.30	13.70	14.70	14.90	16.90	7.5	10.3			
34	13.05	13.80	14.60	14.60	15.55	9.5	9.5	*6mで二又	185	9.40	10.25	11.05	11.50	13.40	8.0	10.3			
36	18.25	18.90	20.00	20.75	22.50	12.0	13.0		186	10.50	11.90	12.25	12.60	13.90	9.0	10.6			
39	14.95	16.00	16.60	17.20	18.85	9.5	9.9	先折れ	187	13.70	15.00	15.50	15.70	17.70	9.5	11.7			
41	17.65	18.75	19.25	19.80	22.20	11.0	12.0		188	14.80	15.85	16.90	17.10	18.70	10.0	11.2			
42	17.30	18.15	18.10	18.55	21.15	10.5	11.7		189	16.10	17.55	18.75	19.50	21.80	10.0	13.1			
43	14.70	15.05	15.50	16.10	16.95	10.5	12.0		190	16.40	17.50	18.00	18.30	19.60	10.0	12.2			
44	16.00	16.25	16.65	17.55	18.70	11.0	12.1		191	16.20	17.50	18.90	19.60	22.00	9.5	12.2			
45	16.80	17.95	18.75	19.10	20.55	11.0	11.8		192	12.30	13.80	14.70	14.85	17.60	9.5	11.6			
47	16.15	17.15	18.10	18.35	20.50	10.0	12.4		193	15.45	16.80	18.40	17.65	21.60	9.5	11.5			
48	13.80	14.30	14.80	15.40	16.35	9.5	10.9		194	20.40	22.15	23.25	23.90	26.80	10.5	11.2			
49	16.70	17.35	17.65	18.15	19.35	11.0	11.1		196	11.20	12.00	12.60	12.90	14.25	9.0	11.3	*		
50	12.35	12.90	14.40	14.00	16.35	10.5	11.6		198	14.90	15.45	16.15	16.65	18.10	10.0	12.3			
51	16.25	17.00	17.95	18.30	19.60	11.0	12.3		199	18.55	19.75	20.45	21.00	22.50	9.5	12.2			
52	15.65	16.60	17.40	17.80	19.95	12.0	12.3		200	13.25	14.35	15.55	15.10	16.80	9.0	10.8			
53	18.45	19.15	19.80	19.80	21.75	10.0	10.7		202	14.80	16.50	17.15	17.90	20.40	9.0	12.1			
54	16.25	17.25	17.90	18.50	20.20	9.0	12.1		204	16.60	17.20	17.75	18.40	19.80	8.5	8.3	先折れ		
55	13.15	13.55	14.30	15.15	16.05	10.5	9.4		206	10.65	11.85	12.70	13.40	15.10	8.5	10.4			
56	14.90	15.70	16.45	17.30	19.60	11.0	11.9		207	15.30	16.50	17.85	18.00	20.40	9.5	11.7			
57	13.10	13.70	14.45	15.00	16.25	9.0	10.4		208	11.95	12.70	13.30	14.00	14.30	8.5	13.4	*		
59	14.65	15.80	16.55	16.95	18.25	9.5	11.1		209	10.85	12.15	12.90	13.20	13.90	8.5	5.2	幹折れ		
60	16.30	16.95	17.55	18.60	20.80	10.5	11.6		210	15.00	16.80	18.10	18.60	21.00	11.0	12.2			
61	12.80	13.75	13.95	14.10	14.95	10.0	10.4		211	14.40	15.60	16.80	17.00	18.70	9.5	11.5			
62	12.75	13.20	13.80	14.30	16.20	10.5	10.6		212	13.90	15.05	16.35	16.30	18.80	9.0	11.1			
65	13.10	13.70	13.80	14.10	15.25	9.5	8.4	先折れ	214	14.45	15.50	16.20	16.50	17.15	8.5	10.2			
67	16.70	17.85	18.80	19.20	21.10	10.5	11.6		215	17.60	18.40	19.05	19.40	21.60	9.5	11.9			
69	16.70	17.45	17.85	19.30	20.90	10.0	12.7		216	14.20	15.05	16.45	16.50	18.00	10.0	12.1	*		
71	10.40	11.00	11.40	11.50	12.90	9.0	10.7	*	217	12.85	13.80	14.60	15.30	17.05	9.5	11.5			
74	15.25	17.55	17.95	18.70	20.50	10.0	11.9		219	12.40	13.25	13.65	13.75	15.20	9.0	10.8			
75	14.10	14.50	14.75	14.60	14.95	8.5	8.8	*5.9m6.8mで幹折れ	221	12.85	13.85	14.50	15.20	17.40	9.5	11.2			
76	13.15	13.75	14.75	14.70	15.40	9.0	11.2	*4.4mで二又	222	14.45	15.20	16.35	17.00	17.30	9.0	11.6			
78	13.05	14.00	15.85	15.45	17.40	9.0	12.2		224	13.50	14.60	15.15	15.60	17.30	9.0	11.1			
80	13.60	14.15	14.65	15.30	17.15	9.5	11.2		225	12.90	13.55	14.65	15.50	17.50	9.5	11.9			
81	14.35	15.10	15.75	16.15	17.75	9.0	11.6	4.2mで三又	226	7.05	7.55	8.30	9.10	9.20	7.0	6.2	*		
85	18.05	19.20	20.05	20.30	22.70	10.5	12.5		228	12.65	13.85	14.95	15.40	17.00	8.5	10.5			
87	15.40	16.40	17.15	17.50	19.35	10.0	11.6		230	11.90	12.75	13.80	13.80	15.30	9.5	11.6			
89	15.30	16.30	17.25	17.60	19.40	10.0	12.2		232	12.05	12.90	13.55	14.40	16.20	8.5	10.2			
90	16.15	17.00	18.00	18.25	19.80	9.5	11.7		233	12.80	13.90	14.75	15.30	17.05	9.0	11.2			
92	16.00	16.75	17.95	17.90	19.80	9.5	10.8		234	13.70	14.85	16.00	16.30	17.95	9.0	11.3			
93	14.95	15.80	16.55	16.80	18.65	10.0	11.6		235	10.90	12.10	12.55	13.10	14.70	8.5	11.0	*		
94	17.95	18.90	19.25	20.00	21.25	10.5	12.5		237	14.95	16.00	17.05	17.50	19.55	9.5	10.5			
95	20.75	21.60	22.05	22.20	23.80	10.5	11.8		239	14.20	15.30	16.30	16.90	17.70	9.5	10.9			
96	11.50	11.55	12.30	12.40	12.60	9.0	10.9	*	240	14.35	15.85	16.50	17.25	19.10	10.0	12.0			
99	11.90	12.50	13.25	14.10	15.40	9.5	11.5		242	13.50	14.50	15.30	15.40	16.65	9.5	11.2			
100	16.05	16.60	17.70	18.20	19.25	10.5	11.4		243	14.05	15.35	16.35	16.70	18.50	9.0	11.7			
102	14.35	15.10	16.15	16.30	17.65	10.0	9.4	8.4mで幹折れ	246	12.10	13.35	13.45	13.80	15.25	10.0	11.3			
103	14.40	14.90	16.15	16.00	17.55	9.5	11.4		248	12.80	13.90	14.85	14.90	15.85	9.5	11.8			
105	11.80	12.65	13.25	13.70	14.60	9.5	7.4	*7mで幹折れ	250	11.75	12.75	12.85	13.20	13.50	8.5	10.9	*		
106	12.95	13.75	14.45	15.25	16.75	9.5	10.6		251	15.40	16.70	17.50	18.30	20.80	9.0	12.2			
108	13.80	14.50	16.00	16.50	18.40	10.5	11.8		252	15.15	16.70	16.85	17.50	19.45	9.0	12.7			
110	10.90	11.35	11.80	12.00	12.30	10.0	10.4		253	10.05	10.55								

付表-2 林内に5年間放置したヒノキ材から採取した円板の形状と重量

立木 区分	No.	採取位置 (m)	←測定値又は測定値の平均計算値→										体積残存率(%)		残存材密度 (g/cm ³)		
			厚さ (cm)		皮内径(cm)		皮内材		残存材		絶対重量 (g)		残存体積(cm ³)			残存	正常
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k				
立枯区 (枯死木)	30	0.2	5.500	20.325	19.700	14.250	479	1784.5	1676.4	877.2	93.9	877.2	93.9	49.2	0.268		
		1.2	5.675	14.725	14.725	8.675	273	966.4	966.4	335.4	100.0	335.4	100.0	34.7	0.282		
		3.2	5.075	11.275	11.275	4.525	123	506.7	506.7	81.6	100.0	81.6	100.0	16.1	0.243		
		5.2	4.125	7.050	5.300	1.550	22	161.0	91.0	7.8	56.5	7.8	56.5	4.8	0.137		
	46	0.2	4.475	17.750	17.050	10.300	371	1107.3	1021.7	372.9	92.3	372.9	92.3	33.7	0.335		
		1.2	5.750	14.775	14.775	9.750	299	985.9	985.9	429.3	100.0	429.3	100.0	43.5	0.303		
		3.2	5.625	10.400	10.400	4.375	106	477.8	477.8	84.6	100.0	84.6	100.0	17.7	0.222		
		5.2	4.650	7.700	7.700	1.625	51	216.5	216.5	9.6	100.0	9.6	100.0	4.5	0.236		
	73	0.2	4.625	18.025	17.025	10.425	351	1180.2	1052.9	394.8	89.2	394.8	89.2	33.5	0.297		
		1.5	4.650	11.775	11.775	7.225	191	506.4	506.4	190.6	100.0	190.6	100.0	37.6	0.377		
		3.2	4.500	9.225	9.225	5.675	110	300.8	300.8	113.8	100.0	113.8	100.0	37.8	0.366		
		5.2	4.275	6.375	6.375	3.300	48	136.5	136.5	36.6	100.0	36.6	100.0	26.8	0.352		
	101	0.2	4.875	15.800	15.800	10.725	365	955.8	955.8	440.4	100.0	440.4	100.0	46.1	0.382		
		1.2	5.000	10.450	10.450	7.075	150	428.8	428.8	196.6	100.0	196.6	100.0	45.8	0.350		
		3.2	4.875	7.400	7.400	5.675	81	209.7	209.7	123.3	100.0	123.3	100.0	58.8	0.386		
		5.2	4.250	3.750	3.075	0.000	10	46.9	31.6	0.0	67.2	0.0	67.2	0.0	0.213		
	109	0.2	4.425	13.775	11.575	7.875	193	659.5	465.6	215.5	70.6	215.5	70.6	32.7	0.293		
		1.2	5.625	10.975	10.975	5.100	163	532.1	532.1	114.9	100.0	114.9	100.0	21.6	0.306		
		3.2	4.825	8.300	8.300	3.775	84	261.1	261.1	54.0	100.0	54.0	100.0	20.7	0.322		
	137	0.2	4.700	10.575	10.025	4.750	117	412.8	371.0	83.3	89.9	83.3	89.9	20.2	0.283		
		1.2	4.575	7.575	7.575	2.700	49	206.2	206.2	26.2	100.0	26.2	100.0	12.7	0.238		
伐倒区 (倒木)	195	0.2	5.325	22.900	22.900	15.200	604	2193.2	2193.2	966.3	100.0	966.3	100.0	44.1	0.275		
		1.2	5.250	13.625	12.775	8.600	181	765.5	672.9	305.0	87.9	305.0	87.9	39.8	0.236		
		3.2	5.325	11.425	11.425	5.600	136	545.9	545.9	131.2	100.0	131.2	100.0	24.0	0.249		
	201	0.2	4.975	13.550	13.550	6.200	211	717.4	717.4	150.2	100.0	150.2	100.0	20.9	0.294		
		1.2	3.550	9.525	9.525	3.800	84	253.0	253.0	40.3	100.0	40.3	100.0	15.9	0.332		
		3.2	3.900	7.275	7.275	0.000	56	162.1	162.1	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.345		
		5.2	4.875	3.725	3.725	0.000	11	53.1	53.1	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.207		
	205	0.2	5.200	17.275	14.925	10.675	247	1218.8	909.7	465.4	74.6	465.4	74.6	38.2	0.203		
		1.2	5.600	12.325	12.325	6.625	200	668.1	668.1	193.0	100.0	193.0	100.0	28.9	0.299		
		3.2	4.025	8.900	8.900	3.675	89	250.4	250.4	42.7	100.0	42.7	100.0	17.1	0.355		
		5.2	3.800	5.100	5.100	0.000	27	77.6	77.6	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.348		
	223	0.2	4.875	16.200	16.200	9.125	295	1004.8	1004.8	318.8	100.0	318.8	100.0	31.7	0.294		
		1.2	5.475	11.550	11.550	5.300	201	573.6	573.6	120.8	100.0	120.8	100.0	21.1	0.350		
		3.2	3.975	8.925	8.925	1.475	114	248.7	248.7	6.8	100.0	6.8	100.0	2.7	0.458		
		5.2	5.625	5.075	5.075	0.000	42	113.8	113.8	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.369		