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

平田 令子¹・伊藤 哲^{*1}・山川 博美²・重永 英年²・高木 正博¹

下刈り省略がヒノキの初期成長に与える影響を明らかにするために、5 年間無下刈り処理を行ったヒノキの 4 年目のサイズと 5 年目の期間成長量を下刈り処理と比較し、広葉樹による上方および側方被圧の影響を決定樹分析により検出した。4 年目の平均樹高と平均胸高直径 (DBH) は処理間で有意差はなかったが、平均樹冠投影面積は無下刈りの方が著しく小さかった。決定樹分析では、樹高と DBH に対しては上方被圧が、樹冠投影面積に対しては側方被圧が密接に関連しており、上方被圧はヒノキの初期成長の主たる制限要因となっていることが分かった。期間成長量の比較では樹高と DBH、樹冠投影面積のいずれも上方・側方被圧の両方の影響が検出されたが、決定樹分析の結果では、いずれのパラメータに対しても側方被圧の方が強く影響することが示され、側方被圧がヒノキの受光量と樹冠量を低下させた結果、生産量を減少させたと推察された。以上の結果から、ヒノキの成長の確保には上方被圧の回避が必須であるが、側方被圧による樹冠量低下が積算的な効果となって後に発現する可能性があるため、上方被圧の有無だけで下刈り時期の判断を下すことには危険性があると考えられた。

キーワード：決定樹分析、下刈り省略、上方-側方被圧、低コスト育林、ヒノキ

Ryoko Hirata,¹ Satoshi Ito,^{*1} Hiromi Yamagawa,² Hidetoshi Shigenaga,² Masahiro Takagi¹ (2012) Influence of a Non-Weeding Treatment on the Early Growth of Planted Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) Trees. J Jpn For Soc 94: 135–141

In order to clarify the influence of non-weeding treatment on the early growth of *Chamaecyparis obtusa*, we examined the factors affecting the size and growth in terms of vertical and lateral suppression through comparison of tree size and growth with weeded site. Mean tree height and diameter at breast height (DBH) at the end of the 4th growing season did not differ significantly between treatments. However, mean crown projection area was far smaller in the non-weeding site. Decision tree analysis demonstrated the relationships between tree height or DBH and vertical suppression, showing that vertical suppression is the predominant factor restricting the early growth of hinoki. The comparison of the growth between treatments showed the influence of both vertical and lateral suppression on every measure. Decision tree analysis, however, indicated the stronger influence of lateral suppression than vertical suppression. Lateral suppression might reduce the light availability and inhibited the increment of leaf mass of hinoki, resulting in the decrease of mass production. We concluded that avoiding vertical suppression on tree top is essentially required to maintain the ordinary growth of hinoki. However, as the cumulative effects of lateral suppression might realize even after weeding, the timing of weeding should be decided based on not only the status of vertical suppression but also the crown volume and/or leaf mass affected by lateral suppression.

Key words: decision tree analysis, non-weeding, vertical-lateral suppression, laborsaving in silviculture work, *Chamaecyparis obtusa*

I. はじめに

近年、木材価格の低迷により林業の経営収支が悪化し、再造林放棄地が増加するなど持続的な林業経営が困難となっている (堺 2000)。再造林の際に造成・保育に要する費用は、スギの場合 50 年生までで平均約 248 万円/ha であるのに対し、50 年生で主伐した場合の立木販売収入は約 174 万円/ha と試算されており、採算性は非常に悪い (農林水産省 2006; 林野庁 2011)。育林経費のうち、6 割に当たる約 150 万円/ha は、植栽後 10 年間に必要な初期費用である (林野庁 2011)。このため、特に初期費用の低コスト化かつ効率的な育林技術の開発が急務となっている。

初期費用のうち、4 割弱という非常に大きなコストが下刈り作業に費やされる (山田 1999)。さらに下刈り作業は酷暑や急傾斜といった苛酷な条件下での作業を伴うため、作業者の生理負担が大きいことが指摘されている (李ら 1990; 今富 1994)。これらのことから、コスト削減と労働

負担の軽減・省力化を両立させる新たな下刈り省略技術の開発が強く求められ (浅沼 1993; 竹内 1996)、大苗やコンテナ苗の利用 (山田 2010; 今富 2011)、自動下刈り機の開発 (山田 2011)、下刈り方法や回数の低減 (重永 2011; 丹下ら 1993) など多くの技術開発が現在進められている。

谷本 (1980a, b) は雑草木の防除に関する研究を俯瞰し、侵入・再生する雑草木の効率的・効果的な処理を主眼とする研究が多く、生態学的立場からの防除法を検討したものが少ないことを指摘した。そして、造林初期における雑草木と植栽木との競争関係に関する研究から、スギの成長が雑草木による樹冠の覆われ方により変化することを報告し、スギの成長割合をスギと雑草木との垂直的な相対的位置関係からモデル化することにより、下刈りの要・不要を考察した (谷本 1981, 1982, 1983)。このように植栽木の成長に対する雑草木による被圧の影響を明らかにすることは、生態学的観点からの一つの研究方法と言えるが、そのような研究は多くはなく、特にヒノキに関しては非常に少な

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: s.ito@cc.miyazaki-u.ac.jp

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

² 森林総合研究所九州支所 〒 860-0862 熊本市黒髪 4-11-16 (Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, 4-11-16 Kurokami, Kumamoto 860-0862, Japan)

(2012 年 1 月 29 日受付; 2012 年 5 月 6 日受理)

い（たとえば丹下ら 1993）。

本研究では、造林後 5 年間無下刈処理を行ったヒノキ幼齢林において、4 年生時および 5 年生時の各部位のサイズと期間成長量を通常下刈区と比較し、侵入・再生した広葉樹による被圧の影響と影響を与える要因を個体ベースで明らかにした。さらに、ヒノキのサイズと期間成長量に対する被圧の影響の閾値を統計モデルにより推定した。これらをもとに、広葉樹による被圧とヒノキの成長との関係を考察し、下刈りを実施するタイミングについて検討した。

II. 方 法

1. 調 査 地

調査は宮崎県に位置する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で行った（北緯 31°52′，東経 131°18′，標高 170 m）。最近 10 年間の年平均気温は 17.5℃，年平均降水量は 2,798 mm である（田野フィールド <http://www.fsc.miyazaki-u.ac.jp/muf/index.htm>）。調査地は、2005 年秋に 80 年生ヒノキ人工林が伐採され、2006 年 3 月に再造林されたヒノキ林分である。ここに、無下刈区 2 点と通常下刈り区 1 点を 2006 年に設けた。両処理区を設置した林分周辺もヒノキ幼齢林であり、これらは通常下刈りが行われている。各処理区は 15×20 m，植栽密度は無下刈区で 1,500 本/ha，下刈区で 2,500 本/ha である。無下刈区は植栽後下刈りを全く行っていない。下刈区は植栽後 1 年目を除き，年 1 回下刈りを行った。

無下刈区では落葉広葉樹と常緑広葉樹の繁茂が著しく，草本類はわずかにススキやメリケンカルカヤが生育しているだけである。ササ類は生育していない。落葉広葉樹の相対優占度は 80%，主にアカメガシワやカラスザンショウ，イイギリが生育する。常緑広葉樹の相対優占度は 20% であり，ヤマビワやアラカシが主である。常緑広葉樹の多くは前生樹からの萌芽更新である。調査開始時の植生高は約 3 m であった。

各処理区のヒノキ本数は無下刈区 2 点合計で 4 年生時が 68 本，5 年生時が 66 本，下刈区は 4 年生時が 52 本，5 年生時が 51 本である。なお，プロット内には下刈時の誤伐によると思われる萌芽個体が数本みられたが，これらの個体は今回の解析からは除外した。

2. 調査方法

調査は植栽後 4 年目の生育期終了後にあたる 2010 年 2 月，および植栽後 5 年目の生育期終了後の 2010 年 12 月に再測定を行った。両処理区において，ヒノキの樹高と胸高直径(DBH)，樹冠幅を測定した。樹冠幅は 2 方向を測定し，樹冠投影面積を楕円形と仮定して算出した。

広葉樹による被圧状況は 2010 年 2 月に調査を行った。ヒノキ各個体について上方被圧の有無と側方被圧方位数を記録した。上方被圧はヒノキの頂枝先端が広葉樹の葉群と接触している状態，あるいはヒノキの上方が広葉樹により覆われている状態とし，側方被圧はヒノキの側枝が広葉樹の葉群と接触している状態とした。側方被圧方位数は 4 方

表-1. 無下刈区における各ヒノキの上方および側方被圧の状況
Vertical and lateral suppression by broad-leaved trees for each hinoki tree in non-weeding site.

Suppression		Lateral suppression					Total
		0	1	2	3	4	
Vertical	0	6	7	13	11	9	46
suppression	1	0	3	4	7	8	22
Total		6	10	17	18	17	68

Figures denote the number of individual.

位のうち側方被圧を受けている方位数とした。各被圧状態は常緑樹と落葉樹で区別して記録した。下刈り区内においても，下刈り後に伸長した萌芽により 5 本のヒノキが下枝の一部を被圧されていたが，本稿ではこれらを被圧無しとして扱った。無下刈区における各ヒノキの上方および側方被圧の状況を表-1 に示した。

3. 解 析

植栽後 4 年目と 5 年目の各部位のサイズおよび期間成長量を処理間で比較した。期間成長量は 4 年目と 5 年目の測定値の差分とした。

各部位のサイズと期間成長量の処理間および被圧状態間での比較は，Kruskal-Wallis 検定および Scheffe の方法により統計検定を行った。また，各サイズと期間成長量に対応する被圧要因の推定は決定樹分析（Decision tree）を用いた（Breiman *et al.* 1984）。分割の評価基準は尤離度（Deviance）を用いており，分割によって形成された各グループの尤離度が最小になるように決定樹が構築される。決定樹の“枝”の長さは各分割により説明される目的変数の変動（全平方和）の大きさを相対的に示しており，選択された要因の影響の大きさを示している。終端ノードは各パラメータの平均値を表す。説明変数は処理，常緑樹と落葉樹それぞれによる上方被圧の有無および側方被圧方位数とした。なお，DBH と樹冠投影面積の期間成長量は期首サイズと相関がみられたため（詳細は結果に記述），期間成長量をそのまま目的変数とした場合，期首サイズの影響が含まれることになる。そこで，下刈り区における期首サイズと期間成長量との関係から回帰直線を求め，これを期首サイズに依存した標準的な成長量を表す直線と見なし，その直線からの各測定値の残差を算出して目的変数とすることで期首サイズの影響をモデルから取り除いた。樹高の期間成長量は期首サイズと有意な相関はみられなかったが，同様のデータ処理をすることで，すべてのパラメータに関して，下刈り区を基準として無下刈による成長の低下を評価した。また，樹高に関しては，常緑樹と落葉樹を区別して決定樹分析を試行した結果，構築された決定樹は，サイズおよび期間成長量のいずれにおいても同じ要因が繰り返し採用される煩雑なものとなり合理性が低くなったため，樹高に関しては側方被圧方位数を常緑・落葉で区別しない試行結果のみを示す。全ての解析は統計パッケージ R2.10.0（R Development Core Team 2009）で行った。決定樹分析はパッケージ“tree”（Ripley 2010）を用いた。

III. 結 果

1. 広葉樹による被圧状況

無下刈区内では全個体の31.9%が上方被圧を受け、91.2%が側方被圧を受けていた(表-2)。上方と側方のいずれも常緑樹と落葉樹による被圧があった。被圧を与えていた主要な樹種は、常緑樹がコジイとアラカシ、落葉樹がカラスザンショウとアカメガシワ、イイギリであった。

2. 4年生時と5年生時のサイズ比較

4年生時の平均樹高と平均DBHは処理間で有意差はなかった(表-3, Scheffeの方法, それぞれ $p=0.204$, $p=0.542$)。しかし5年生時には平均DBHで差が生じ、無下刈区の方が有意に小さかった($p=0.046$)。一方、平均樹冠投影面積は4年生時ですでに処理間で差があり、無下刈区の方が小さかった($p=0.016$)。5年生時には処理間の差はさらに大きくなった。無下刈区では4年生と5年生で平均樹冠投影面積に有意な差はみられなかった($p=0.060$)。

3. 上方被圧の有無および側方被圧状態間での4年生時のサイズの比較

上方被圧の有無による各部位のサイズの違いを図-1に示した。無下刈区において、樹高とDBHは上方被圧がある場合に有意に小さかった(Scheffeの方法, それぞれ $p=0.044$, $p=0.035$, 図-1(a), (b))。しかし、上方被圧がある場合でも下刈り区と比べて有意に小さくなることはなかった。無下刈区における樹冠投影面積は上方被圧の有無に関わらず下刈り区よりも有意に小さかった(それぞれ $p=0.030$, $p=0.007$, 図-1(c))。

一方、無下刈区の樹高とDBHは側方被圧方位数にかかわらず、下刈り区と有意差はなかった(Kruskal-Wallis検定,

表-2. 無下刈区における各種被圧要因別のヒノキ本数

The number of hinoki trees suppressed by broad-leaved trees in non-weeding site.

Suppression	No. of hinoki tree
Vertical suppression	
BT	9 (13.0)
DT	13 (18.8)
Total	22 (31.9)
Lateral suppression	
BT	37 (54.4)
DT	46 (67.6)
Total	62 (91.2)
Total	62 (91.2)

Figures in parentheses denote percentages. BT, Evergreen broad-leaved tree; DT, Deciduous tree.

表-3. 平均樹高, 平均DBH, 平均樹冠投影面積の林齢間および処理間の比較, および平均期間成長量の処理間の比較

Comparison of mean tree height, mean DBH, and mean crown projection area among stand age and the weeding/non-weeding sites, and comparison of growth of each parameter among each treatment site.

	4-year-old		5-year-old		Growth	
	Weeding	Non-weeding	Weeding	Non-weeding	Weeding	Non-weeding
Tree height (cm)	220.8 ^b	251.3 ^b	286.4 ^a	293.0 ^a	63.9***	39.1
DBH (mm)	15.0 ^{bc}	13.8 ^c	27.1 ^a	18.6 ^b	11.9***	4.5
Crown projection area (m ²)	1.4 ^b	1.0 ^c	2.4 ^a	1.3 ^{bc}	1.0***	0.3

Different letters and asterisks indicate significant difference ($p<0.05$ and $p<0.001$, respectively).

それぞれ $p=0.067$, $p=0.256$, 図-2(a), (b))。樹冠投影面積は4方位から被圧を受けた場合に下刈り区よりも減少した(図-2(c), $p=0.001$)。1~3方位から被圧を受けた場合には統計的な有意差はみられなかったが、方位数が増

図-1. 下刈り区および無下刈区における、上方被圧の有無での樹高(a), DBH(b), 樹冠投影面積(c)の比較
Comparison of tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c) among vertical suppression status and the weeding/non-weeding sites.

"0" and "1" in the horizontal axes indicate non-suppression and suppression, respectively. Different letters indicate significant difference ($p<0.05$). Figures in parentheses denote the number of samples. Boxes indicate interquartile range, the central bar indicates median, and the whiskers extend to the most extreme values in the range $1.5 \times$ the range of the box. The circle mark shows an outlier.

図-2. 下刈り区および無下刈区における、側方被圧方位数別の樹高(a), DBH(b), 樹冠投影面積(c)の比較
Comparison of tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c) among different degrees of lateral suppression and the weeding/non-weeding sites.

Figures of the horizontal axes indicate the number of the direction of lateral suppression. Different letters indicate significant difference ($p<0.05$). Figures in parentheses denote the number of samples. Boxes indicate interquartile range, the central bar indicates median, and the whiskers extend to the most extreme values in the range $1.5 \times$ the range of the box. The circle mark shows an outlier.

図-3. 広葉樹による被圧と樹高 (a), DBH (b), 樹冠投影面積 (c) との関係を示す決定樹

Decision tree showing the effects of suppression by broad-leaved tree for tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c).

Values in terminal nodes represent mean size of each measurement. Figures in parentheses denote the number of samples. BT, Evergreen broad-leaved tree; DT, Deciduous tree.

図-4. 下刈り区および無下刈り区における、上方被圧の有無での樹高 (a), DBH (b), 樹冠投影面積 (c) の期間成長量の比較

Comparison of growth of tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c) between vertical suppression status and the weeding/non-weeding sites.

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). Figures in parentheses denote the number of samples. Boxes indicate interquartile range, the central bar indicates median, and the whiskers extend to the most extreme values in the range $1.5 \times$ the range of the box. The circle mark shows an outlier.

加すると下刈り区よりも減少する傾向があった。

4. 4年生時サイズに対する被圧要因の検出

各部位のサイズに対する決定樹分析の結果を図-3に示す。樹高に影響を与える変数として、決定樹は処理と上方被圧の2変数を検出し、側方被圧は検出なかった(図-3(a))。無下刈り区においては上方被圧が有意な変数となった。終端ノードは平均値を示しており、常緑樹による上方被圧がある場合に最も小さかった(平均 212.1 cm, $n=9$)。常緑樹による被圧がない場合、サイズは落葉樹による被圧の有無で二分され、被圧がある場合にサイズは小さかった。

DBH に対しては上方被圧のみ検出され、上方被圧のないヒノキは下刈り区を含めて一つのノードに区分された(図-3(b), 左端のノード)。樹高と同様に、上方被圧がある場合に DBH は小さく、常緑樹による被圧の方が落葉樹よりも効果が大きかった(常緑樹, 平均 9.5 mm; 落葉樹, 平均 11.9 mm)。

図-5. 下刈り区および無下刈り区における、側方被圧方位数別の樹高 (a), DBH (b), 樹冠投影面積 (c) の期間成長量の比較

Comparison of growth of tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c) for among different degrees of lateral suppression and the weeding/non-weeding sites.

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$). Figures in parentheses denote the number of samples. Boxes indicate interquartile range, the central bar indicates median, and the whiskers extend to the most extreme values in the range $1.5 \times$ the range of the box. The circle mark shows an outlier.

樹冠投影面積に対しては処理と側方被圧が検出された(図-3(c))。側方被圧の効果は常緑・落葉の別と被圧方位数により三つのノードに分割された。常緑樹による被圧が2方位以上か、常緑樹による被圧が1方位以下で落葉樹による被圧が3方位以上の場合に面積は小さかった。

5. 処理間、上方被圧の有無および側方被圧状態間での期間成長量の比較

各部位の期間成長量を処理間で比較した(表-3)。樹高, DBH, 樹冠投影面積のいずれも期間成長量は下刈り区と比べて無下刈り区で有意に低かった(Kruskal-Wallis 検定, いずれも $p < 0.001$)。上方被圧の有無によって、特に樹高の期間成長量に有意差がみられた(図-4, Scheffe の方法, $p=0.046$)。下刈り区と比較した場合、各部位の期間成長量は上方被圧の有無に関わらず無下刈り区において低かった。また、側方被圧も影響を与えており、樹高に対しては3方位以上、DBH に対しては2方位以上、樹冠投影面積

に対しては1方位以上の被圧を受けると下刈り区よりも有意に減少した(図-5)。

6. サイズ依存・残差の算出

各部位の期首サイズおよび期間成長量の関係を図-6に示す。樹高に関しては、下刈り区と無下刈り区のいずれも両者の間に有意な相関はみられなかったが、DBHと樹冠投影面積に関しては両区とも相関関係が認められた(Kendallの順位相関係数, 下刈り区: 樹高 $\tau=0.094$, $p=0.337$, DBH $\tau=0.470$, $p<0.001$, 樹冠投影面積 $\tau=0.583$, $p<0.001$, 無下刈り区: それぞれ $\tau=-0.016$, $p=0.855$, $\tau=0.230$, $p=0.006$, $\tau=0.232$, $p=0.006$)。樹高, DBH, 樹冠投影面積に関して, 下刈り区における期首サイズと期間成長量の回帰分析から回帰直線を求め, 両処理区の期間成長量とその

図-6. 4年生時の樹高(a), DBH(b), 樹冠投影面積(c)のサイズと期間成長量との関係

Relationship between the size of 4-year-old and the growth of hinoki tree for tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c).

Lines were fitted for trees in the weeding site by liner regression.

回帰直線との残差を算出したところ, 両処理区とも相関関係は低くなった(下刈り区: 樹高 $\tau=-0.002$, DBH $\tau=0.017$, 樹冠投影面積 $\tau=0.150$, いずれも $p>0.100$, 無下刈り区: それぞれ $\tau=-0.050$, $\tau=-0.074$, $\tau=-0.100$, いずれも $p>0.200$)。以下の解析ではこの残差をモデルの目的変数とした。

7. 期間成長量(残差)に影響を与える被圧要因の検出

樹高の期間成長量(残差)に影響を与える変数として検出されたのは側方被圧と上方被圧であった(図-7(a))。説明変数の影響の大きさを示す“枝”の長さは側方被圧の方が長く, 残差の変動は上方被圧よりも側方被圧の方がその大部分を説明した。側方被圧と上方被圧は交互作用をもち, 側方被圧方位数が1以上で常緑樹による上方被圧がある場合, 期間成長量が最も減少した(平均-44.3 cm)。上方被圧の影響は落葉樹よりも常緑樹の方が大きかった。側方被圧のみの場合(常緑樹および落葉樹による上方被圧がない場合)においても期間成長量は著しく減少した(平均-22.0 cm)。

DBHと樹冠投影面積に対しては処理と側方被圧が検出され, 上方被圧は検出されなかった(図-7(b), (c))。DBHに関しては, 常緑樹による被圧が1方位以上か落葉樹による被圧が3方位以上で平均値は-8.0 mmと-8.2 mmと低い値となった。また, 樹冠投影面積に関しては, 常緑樹による側方被圧の有無で二分され, 被圧のある場合に残差は大きかった。落葉樹による側方被圧の効果は検出されなかった。

IV. 考察

侵入・再生する雑草木のタイプは各造林地で異なり, 代表的な群落タイプとして常緑樹と落葉樹の混交型, 広葉草本型, ススキ型などに分かれる(谷本1982)。本試験地は先駆性の落葉広葉樹と萌芽更新した常緑広葉樹が混交する

図-7. 広葉樹による被圧と樹高(a), DBH(b), 樹冠投影面積(c)の残差との関係を示す決定樹

Decision tree showing the effects of suppression by broad-leaved tree for the standardized growth of tree height (a), DBH (b), and crown projection area (c).

The standardized growth was obtained as the residual from the relationship between the sizes of 4- and 5-year-old trees fitted for the weeding site shown in Fig. 6. See the text for details. Values in terminal nodes represent mean size of each measurement. Figures in parentheses denote the number of samples. BT, Evergreen broad-leaved tree; DT, Deciduous tree.

植生であった。本研究では、植栽後4年目のサイズと競争植生との関係を分析するとともに、植栽後5年目の期間成長量の分析から、各種被圧要因の影響の評価と今後の予測を試みた。

植栽後4年目のヒノキのサイズの比較および決定樹分析の結果、樹高およびDBHと上方被圧との間に密接な関連があることが明らかとなった(図-1, 3)。この結果は、上方からの被圧が、植栽されたヒノキ苗の初期成長を左右する大きな要因であることを示している。中でも、常緑樹による被圧の影響は落葉樹による被圧の影響よりも大きいことが示された(図-3)。谷本(1983)は、構成種の異なる複数の雑草木群落内においてスギ苗木の成長を調査した結果、雑草木群落内部への光の透過量が群落構成種によって異なり、その結果、雑草木の被覆によるスギの成長阻害の程度が異なると報告している。本研究で検出された常緑樹・落葉樹間でのヒノキの成長に対する影響の違いも、被圧要因となっている広葉樹の葉を透過する光の量や質の違いに起因していると考えられる。側方被圧については、樹冠投影面積との関係が検出されたが、樹高とDBHへの効果は上方被圧に比べて小さかったことから(図-2, 3)、初期成長の制限要因としては上方被圧の方がより重要であると考えられる。ただしこの結果は、植栽後4年目という一時点でのサイズに基づく評価であり、この時点で認められたサイズの違いには、植栽後3年目までの被圧の積算的な効果や、その過程で形成されたサイズ差の影響も含まれていると解釈すべきである。

これに対して、被圧の短期的な影響のプロセス評価を試みた5年目の期間成長量の比較では、樹高、DBHおよび樹冠投影面積のいずれのパラメータに関しても、期間成長量の低下に対して上方被圧と側方被圧の両方の影響が検出された(図-4, 5)が、4年目のサイズに対する効果と比較して、側方被圧の影響がより明瞭であった。図-4に示したように、無下刈区では上方被圧がない場合でもすべてのパラメータの期間成長量が下刈り区よりも低かった。さらに、期首サイズの影響を除去した決定樹分析では、DBHと樹冠投影面積の期間成長量(残差)に対しては、側方被圧の効果のみが検出された(図-7(b), (c))。また、樹高に関しては、側方被圧が期間成長量(残差)の変動の大部分を説明しており、上方被圧の貢献度は小さかった(図-7(a))。したがって、5年目のヒノキの成長の抑制には、側方被圧の方が強く影響していたと言える。

このように、4年目のサイズには上方被圧が強く影響していたにもかかわらず、5年目の成長に対して側方被圧の影響が顕著であったのは、4年目までの被圧の積算的な効果によって樹冠量の側方への拡大が抑制され、その結果、5年目の生産量が抑制されたこともその一因と推察される。雑草木の被圧効果として、樹冠を被覆することにより植栽木の受光量を減少させ、これによって植栽木の成長を低下させることがあげられる(谷本1983; 丹下ら1993)。このような光の制約を通じた直接的な影響に加えて、側方

被圧の間接的な効果として、植栽木の樹冠拡大を抑制し、その後の物質生産を制限するという効果も想定できる。とくに樹冠投影面積の拡大については、側方被圧がより直接的な制限因子と考えてよいであろう。また、樹冠量がその後の直径・伸長成長量の制限要因となることは、スギ幼齢木でも報告されている(深渡1964; 谷本1982)。したがって、本研究で検出された無下刈区の5年目の成長抑制は、側方被圧がヒノキ樹冠の受光量を直接制限したことに加えて、4年目までの樹冠量拡大の抑制という積算的な効果も発現してきた結果と推察される。なお、無下刈処理後4年目では、平均樹高と平均DBHに差は生じていなかったが、処理後5年目では平均DBHに差が生じていた(表-3)。この結果も、側方被圧の積算的な効果が5年目に顕在化してきたことを示すものと考えられる。したがって、樹冠拡大制限による期間成長量の処理間差は今後さらに拡大し、いずれは樹高成長にも影響が出る可能性があると考えられる。

このように、ヒノキ植栽木の初期成長に対する被圧の影響は、基本的には上方被圧の効果が直接的で大きく、特に常緑樹が主体となる競争植生の場合は植栽木の成長を確保する上で上方被圧の回避が必要である。逆に、梢端部が被圧を受けるまでは、下刈りを実施しなくとも樹高とDBHの著しいサイズ低下をもたらさないであろうと予想される。ただし、側方被圧は樹冠量抑制を通して遅れて効果が発現する可能性がある。被圧から解放された後の植栽木の樹冠量回復については未知の部分が多いことから、梢端の上方被圧のみに下刈り時期の判断基準を求めるのは危険であろう。植栽後初期の下刈り省略がその後の成長に影響を及ぼし続ける危険性があることは、石井ら(1970)も指摘している。今後は、下刈りによる光環境の改善に伴う樹高・直径成長の回復に加えて、側方被圧から解放された後の植栽木の樹冠量回復の過程を明らかにする必要がある。

本研究を行うにあたり、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の村本康治氏にご協力いただいた。ここに厚く御礼申し上げます。本研究の一部は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」(No21020)の補助を受けた。

引用文献

- 浅沼晟吾(1993)林地除草剤の利用とコスト低下。(林業コスト問題の現状と展望。林業コスト問題研究会編、森林総合研究所)。76-108
- Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ (1984) Classification and regression trees. Wadsworth
- 深渡瀬太郎(1964)すぎ人工造林地の土上成長度と閉さ度について。熊本営林局昭和37年度造林技術研究発表集録: 90-93
- 今富裕樹(1994)林業における作業の特質。(高齢化林業社会における適正作業。今富裕樹・奥田吉春編、林業科学技術振興所)。8-22
- 今富裕樹(2011)スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発—伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化—。現代林業 542: 52-55
- 石井幸夫・千葉春美・富岡甲子次・山路木曾男・佐々木恵彦・坂上幸雄(1970)下刈りの合理化。昭和48年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績報告書: 136-164
- 農林水産省(2006)平成18年度林業経営統計調査報告。(http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/rinkei/平成24年1月12日閲覧)

- R Development Core Team (2009) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.)
- 李 文彬・伏見知道・井上章二 (1990) 急傾斜地の下刈作業における作業者の心拍数変化と作業時間について. 日林誌 72: 216-222
- 林野庁 (2011) 平成 23 年度森林・林業白書. 全国林業改良普及協会
- Ripley B (2010) Tree: Classification and regression trees. R package version 1.0-28. (<http://CRAN.R-project.org/package=tree>)
- 堺 正紘 (2000) 再造林放棄問題の広がり—立木代ゼロに呻吟するスギ林業・望まれる森林資源管理の社会化—. 山林 1390: 27-33
- 重永英年 (2011) スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発 (2) 下刈り回数を削減する施業への取り組み. 現代林業 543: 52-55
- 竹内郁雄 (1996) 育林技術とコスト—初期保育を中心とした検討—. (林業コスト問題と研究課題. 林業生産コスト問題研究会編, 森林総合研究所). 13-26
- 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
- 谷本丈夫 (1980a) 林業における雑草木の防除に関する研究の展開 (I): 戦前期の研究概要と問題点. 雑草研究 25: 79-87
- 谷本丈夫 (1980b) 林業における雑草木の防除に関する研究の展開 (II) 戦後期の研究概要と問題点. 雑草研究 25: 165-172
- 谷本丈夫 (1981) 初期成長におけるスギと広葉樹の競争に関する研究. 林試研報 314: 1-9
- 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
- 谷本丈夫 (1983) 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 2 報) スギ幼齢木の生長と雑草木との相互関係の解析とその応用. 林試研報 324: 55-79
- 山田 健 (2010) コンテナ苗と植付け機械. 機械化林業 681: 7-12
- 山田 健 (2011) 自動下刈機の開発. 機械化林業 694: 1-6
- 山田容三 (1999) 下刈り作業の現状について. 林業と薬剤 150: 12-18