

総 説 (Review Article)

無節材生産を目的とした枝打ちに関する研究^{*1}

竹内 郁雄^{*2}

Studies on Pruning for Knot-free Timber Production^{*1}

TAKEUCHI Ikuo^{*2}

要 旨：本研究は、スギ、ヒノキ人工林で無節材生産を目的とした枝打ちについて、枝打ち方法を解明し、この方法で枝打ちした林分の樹冠構造や林分現存量、成長量などを明らかにするとともに、より正確な枝打ち管理技術を確立することを目的として行った。まず、枝着生部の幹直径と枝直径や着生枝数の実態を把握した。次に、普通の枝打ち作業での節解析から、枝打ち時における枝着生部の幹直径(枝打ち時期)と、無節材および巻き込み後の年輪走行が正常になる平滑材の生産開始幹直径との関係を求めた。スギやヒノキ林分で10.5cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち時期は、幹曲がりを考慮し6.0cm以下であることを示した。一方、枝打ちの欠点である材部変色の発生原因や大きさを詳しく解析した。変色の欠点を抑制するには、心持ち無節柱材生産が可能な枝打ちが効果的であることを示した。本研究で得られた枝打ち時期で、密度や地位の異なる林分を対象にほぼ2年ごとに枝下直径を4.0cmにする強度で枝打ちを繰り返し、林分の樹冠構造や林分現存量、成長量、形状比などの変化、枝打ちによる除去枝葉量などを明らかにした。また、枝下直径成長の変化から、枝打ち強度や間隔などの枝打ち方法を示した。以上の成果を用い、スギ林分とヒノキ林分で10.5cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち管理例を、成長予測を含めて提示した。

キーワード：枝打ち、枝下直径、現存量、樹冠構造、成長、変色、無節材

目 次

はじめに	2	2-5 スギ林での無節柱材生産事例	33
枝打ちに関するこれまでの研究の概要	3	3 枝打ちに伴う幹材部の異常変色	36
1 枝打ち跡の巻き込み	4	3-1 調査林分と調査方法	36
1-1 調査林分と調査方法	5	3-2 変色の発生	37
1-2 枝径と着生枝数の実態	9	3-3 傷の種類と出現位置	40
1-3 生枝打ちによる残枝長	13	3-4 変色の大きさ	42
1-4 生枝打ちによる巻き込み	16	4 枝打ち後の成長におよぼす密度と地位の影響	46
1-5 巻き込み後の年輪走行の乱れと平滑長	22	4-1 密度の異なるスギ林分の成長	46
1-6 枯枝の巻き込み	24	4-2 地位の異なるスギ、ヒノキ林分の成長	53
2 枝打ち時期の検討	26	5 枝打ち繰り返しと林分成長	61
2-1 枝打ち時期の考え方	26	5-1 調査林分と調査方法	61
2-2 通直な個体での生産目標と枝打ち時期	28	5-2 樹冠構造の変化	63
2-3 幹曲がりの実態	29		
2-4 幹曲がりを考慮した枝打ち時期	31		

* 1 原稿受付 平成13年10月1日 Received Oct.1, 2001

原稿受理 平成14年1月21日 Accepted Jan.21, 2002

* 2 森林総合研究所関西支所 〒612-0855 京都市伏見区桃山町永井久太郎68番地

Forestry and Forest Products Research Institute, Kansai Research Center ; 68 NagaiKyutaroh, Momoyama, Fushimi, Kyoto 612-0855, Japan
e-mail: ikuta@ffpri.affrc.go.jp

5-3	林分現存量の変化	68
5-4	成長の変化	84
5-5	形状比の変化	93
5-6	枝下直径成長の変化	96
6	無節材生産のための枝打ち管理	99
6-1	基本的な枝打ち時期	99

6-2	枝打ち管理と成長	101
	結語	105
	謝辞	105
	摘要	106
	引用文献	108
	Abstract	110

はじめに

製材品の品等区分は、農林規格により節や丸身、曲がり、ねじれ等によって規定されている。製材品の欠点の中でも、特に節の存在は品等区分に重要な影響をおよぼすものである。節は存在しないことが望ましいが、存在しても抜け節よりも死節、死節よりも生節の方が欠点が小さい。また、節は小さいものであるほど、集中的に分布しないほど欠点が小さい。一方、丸身は丸太の大きさや製材での木取り法の良否によることが多いし、ねじれや曲がりには主に樹木の性質に左右されるものである。これらのことから、無節性を高めることが高価値材生産のための技術として重要であるといえる。無節性の高い高価値材生産を目的として保育する場合は、枝打ちは非常に有効な手段の一つである。

枝打ちは、無節性の高い高価値材生産を目的として行われてきたが、その効果を十分発揮する技術は磨丸太生産など一部に適用されてきただけであった。多くの場合、枝打ち時における枝着生部の幹直径が大きく、効果的な無節材生産が不十分で、枝打ち労力や経費を十分活かしていない。その原因は、枝打ち高は力枝層までとして材積成長の減少を極力抑制する考えが根強く、無節材生産としての技術指針が確立されていなかったことにある。このことは、枝打ちによって材積成長がどの程度減少するのかが解明されてないことも影響しており、枝打ち効果を十分発揮できない枝打ちが現在まで続くことになったと考えられる。

近年の住宅建築は、在来軸組み工法が減少している反面、枠組み壁工法が増加し、特にプレハブなどの工業的生産システムにおいてこの傾向が著しい。また、建築主の無節材への指向が低下し、無節材や優良材の需要は低下していると考えられる。しかし、客間や日本的居間、書院や寺院建築

などでは無節材や優良材の需要が根強く、今後も需要が継続すると考えられる。一方、我が国の林業経営は厳しい環境に置かれており、その経営方針は省力施業での並材生産と集約施業による無節材・優良材生産の両極端にシフトする傾向がみられる。経営が厳しいほど、効果的な施業が必要で、枝打ちについても確固たる技術の確立が望まれる。

本研究では、まず、スギ、ヒノキ林で無節性の高い高価値材生産のための枝打ち時期を明らかにするため、幹直径とそこに着生する枝数や枝直径の実態、枝打ち跡の修復実態を解明し、幹曲がりの実態を含めて検討を行った。一方、枝打ちを原因として材部に異常変色が生じ、材質の低下を招くこともあるため、枝打ちによる異常変色の実態解明を行いその原因を探るとともに、異常変色によるマイナスを抑制し、高価値材生産が可能で十分な枝打ち効果が得られる好適な枝打ち時期を明らかにしようとした。枝打ち効果を十分発揮させるには、枝打ちを何回か繰り返すことが不可欠であることが明らかになったが、枝打ち繰り返し方法や枝打ちの繰り返しが成長におよぼす影響などの研究はされておらず不明な点が多い。そこで、本研究で明らかにした好適な枝打ち時期にスギ、ヒノキ林で枝打ちを繰り返し、樹冠構造、現存量、成長、それに形状比の変化などを解明するとともに、最適な枝打ち強度や繰り返し間隔を明らかにしようとした。これらの成果を用いて、無節材生産を目的とした枝打ち管理技術を確立することを目的とした。

本論文は、東京大学博士論文を加筆修正したもので、竹内(1977, 1980, 1981, 1983a, 1983b, 1987)、竹内・蜂屋(1973, 1977a, 1977b)、竹内・落合(1988)、竹内・山根(1982a, 1982b)、竹内ら(1997)等を基礎として組み立てられている。

なお、本論文でいう枝打ち時期とは、枝打ち時における枝着生最下部の幹直径値で示す。また、無節材とは心持ち柱材で製品表面が無節である材とし、優良材とは無節でかつ年輪走向に乱れがない材と定義する。

枝打ちに関するこれまでの研究の概要

我が国の重要な造林樹種であるスギやヒノキの枝打ちは、江戸時代の1600年代には地方により枝卸し、下枝伐り、枝伐りなどと呼ばれ、幹の形質向上を目的に実施されていた(徳川, 1941)が、その枝打ち強度などは不明である。森(1898)はヒノキについて生枝、枯枝を問わず枝打ちすべきであると述べた。一方で、枝は自然に枯れ上がるし、土地の悪い林地では成長が低下するので枝打ちをすべきでない(田中, 1891)という意見も出された。本多(1910)は、枝打ちの目的の第1は無節材の生産であるが、枝打ちの強度については成長を考慮すべきで結論がでていない状況であるとし、原口・木原(1936)は1925年以前は死節を残さない枝打ちであったと総括した。

枝打ちが普及した1930年代になると多くの報告がみられるようになった。原口・木原(1936)は、スギでナタとノコギリ打ちによる巻込み断面の状況を調査し、巻込みに良好な枝の切断箇所を示し、枝打ち器具はノコギリに限るとした。その後、木原(1939, 1941)は、枝打ち高を示す力枝の見分け方や枝打ち器具と巻込みの遅速、成長の低下などについて検討した。大城川(1939)は巻込みの早い枝の切断位置が枝隆先端部であることを示した。石川(1939)は、枝打ち区と無枝打ち区を設定して枝打ちによる成長低下を検討した。当時の枝打ちの基本的な考え方は、1925年以前の死節を残さない目的から節を少なくする方向に進んだ(原口・木原, 1936)が、力枝までの枝打ちとして成長の低下を防ぐことが前提であったため、無節材生産というよりも死節を出さず生節を減少させるものであったと思われる。

小出(1939a, 1939b, 1940, 1941a, 1941b)は枝の成長解析を行い、枝が枯死に至る経過を解析するとともに、力枝を最長の枝とするより葉量が多く成長旺盛な枝とすべきであること、また生態学

的な面から枝や樹冠の大きさを検討した。枝打ちを原因とする材部の変色は、赤林(1928)がケヤキ、クリで、原口・木原(1936)がスギで、谷澤(1937)がアカマツでその発生を認めている。その後、小出(1939b)がスギの異常変色は、一般に切傷面より内部の材に生じ、枝打ち後に生じた外部の材には起こらないこと、また、枝が太いほど、切断面が平滑でないほど、切傷が大きいほど異常変色が大きくなる傾向を認めている。

第二次世界大戦後の枝打ちに関する研究では、高原(1949, 1954)が枝打ち後の幹成長におよぼす影響を調査し、成長の低下は陽樹冠を除く場合に大きく、陰樹冠の除去では影響がないか少ないことを光合成の面から明らかにした。また、高原(1961)は、それまでに行われた枝打ちに関する国内外の研究を取りまとめたが、外国では日本を上回るような研究はみあたらない。一方で、生態学の面から研究が進み、樹冠位置と肥大成長の垂直的な変化が解析され(尾中, 1950)、枝量やその成長量(Labyak & Schmacher, 1954; 荻野ら, 1967, 1968)、枝の分布(山倉ら, 1973)、幹での同化物質の垂直配分(斉藤ら, 1968)などが明らかにされた。また、Shinozaki et al.(1964a, 1964b)は、葉量と非同化部量の垂直分布の関係を示すパイプモデル説を示した。スギ林施業で特色のある保育形式(安藤ら, 1968)と、産出材の材質が明らかにされた(加納ら, 1959, 1961, 1966, 1967)。これら生態学や保育形式と材質の成果は、その後の枝打ち研究の基礎資料として役立つことになった。

1970年代には、無節性の高い高価値材生産の機運が高まり枝打ちが普及したこともあって、多くの研究が行われはじめた。藤森(1969, 1970)、Fujimori(1972)、Fujimori & Waseda(1972)は、枝の着生位置の違いによる葉量や枝成長量の特徴を解明するとともに、枝打ちによる幹成長の低下を理解するには、葉量除去率との関係で解析すべきことを示し、枝打ちの方法による個体の大きさの分布の変化など、枝打ちを生態学的な視点から解明した。そして、枝打ち技術の体系化が行われた(藤森, 1975, 1976, 1984; 蜂屋・肥垣津, 1976)。また、早稲田・後藤(1972)、後藤・早稲田(1972a, 1972b)は、節解析法により枝打ち跡の巻込みに関する研究を報告した。

枝打ちに伴う幹の傷を原因として材部に異常変色が発生し材質の低下が生じることが問題になり(大迫ら, 1972, 1974, 1978), その発生原因は, 受傷後3日目位から放射柔細胞中に着色物質が形成されること(野淵, 1975), 変色は主としてフェノル化合物の酸化に基づくもので, 柔細胞の壊死から細胞中に沈殿物を生じて暗色化すること, 傷, 変色, 腐朽は連続した一つの変化過程であることが示された(Shigo & Larson, 1969; Shigo & Hillis, 1973; 赤井, 1978a, 1978b)。また, 材部の変色, 腐朽は, 枝打ちに限らず病虫害など種々の原因があることが示された(鈴木, 1981)。

このため, 全国各地域で枝打ち跡の巻込みや材部の異常変色に関する研究(浅井ら, 1980; 藤原・中村, 1977; 藤森ら, 1984; 二見ら, 1982; 白間, 1975, 1979, 1981; 白間・早稲田, 1977; 兵藤, 1979; 育林部会, 1984; 諫本・川野, 1976; 金山・二見, 1986; 菅・深江, 1976; 宮地・那須, 1978; 百瀬, 1973; 中村・後藤, 1977; 中野, 1979; 坂上, 1979; 外館, 1978, 1979a, 1979b, 1981; 富田, 1980, 1981)が行われ, 枝打ちによる変色発生の実態や枝打ち効果を上げるのに好適な枝打ち時期, 変色を生じさせない枝の切断方法が解明された。しかし, これら研究のほとんどは, 枝打ち時期, すなわち枝着生部の最大幹直径が8~12cmに偏っており, それより小さい時期や大きい時期での巻込みや節の水平分布は不明な点が多く, 枝打ち時期と無節材生産開始時期との関連は統一的に理解されていない。また, 枝打ち効果を十分発揮させるのに好適な枝打ち時期を解明するには, 材部の異常変色を考慮するとともに, 節の水平分布に影響を与えられと考えられる枝直径や幹の曲がりも大切であるが, これらについて十分考慮されているといえない。さらに, 無節でかつ巻込み後の年輪走向に乱れのない優良材の生産開始時期との関連についても不明な点が多い現状である。

枝打ちによる成長減少については, 枝打ち強度との関連(安藤ら, 1975; 浅井ら, 1982; Bennett, 1955; Fujimori, 1972; Fujimori & Waseda, 1972; 藤森, 1975; 小山・浅井, 1998; Mcclay, 1953), 立木密度との関連(藤森, 1975), 地位との関連(高原, 1954)から検討され

た。しかし, 成長に関するこれらの研究は, 模型林分で2回枝打ちしたものが一報ある(藤森, 1975)だけで, 他はいずれも1回の枝打ちによる結果である。

筆者はスギ, ヒノキで無節材を生産するための枝打ち技術を確立するため, 枝打ち跡の実態を解明することから研究に着手した(竹内・蜂屋, 1973)。枝打ち時期が早い林分や遅い林分をともに解析した結果(竹内・蜂屋, 1977a; 竹内・山根, 1982a, 1982b; 竹内, 1977, 1980, 1981, 1983a)から, 変色対策を考慮した好適な枝打ち時期を明らかにしようとした。枝打ち時期を検討する中で, 枝打ち効果を十分発揮するには, 何回か枝打ちを繰り返すことが必要不可欠であることが分かった。枝打ちによる成長減少についての研究では, 枝打ち強度や密度の影響(竹内・蜂屋, 1977b)や地位の影響(竹内, 1983b; 竹内・落合, 1988)を明らかにしたが, これらも1回の枝打ちによる結果であった。枝打ちは繰り返し実行されている地域も多いが, 経験的に行われている現状で, 枝打ち強度や繰り返し間隔などは解明されていない。また, 枝打ち繰り返し林の樹冠構造, 現存量, 成長などの変化, それに形状比におよぼす影響なども不明である。枝打ち技術を確立するには, 生産目標に適した枝打ち時期と, 枝打ち繰り返しによる林分の変化を解明することが必要である。

1 枝打ち跡の巻込み

無節材や優良材生産では, 目的とする幹直径にすべての節を納めることが必要で, 節の水平分布を左右すると考えられる枝直径や枝着生数について, その実態とともに枝着生部幹直径の大きさや立木密度の違いによる影響を明らかにすることを試みた。また, 枝打ち効果が十分に得られる枝打ち時期を解明するには, 普通の枝打ち作業による枝打ち跡の修復や節の水平分布に影響する要因を明らかにすることが重要で, 若齢時から壮齢時の枝打ちまで含めた枝打ち跡の節解析を行い, 枝打ち時期の違いが節の水平分布や巻込み後の年輪走行の乱れなどにおよぼす影響を明らかにすることを試みた。

1-1 調査林分と調査方法

(1) 調査林分

調査林分は、Table 1 に示したスギ8林分、ヒノキ10林分である。スギ林分の中でS-3, S-4, S-5はサシキ苗が、S-2はヤナセスギ実生苗が、ヒノキ林分を含むその他は地元産の実生苗が植栽された林分である。S-2, S-3は複層林の下木、S-6は14年生スギを下木とする複層林の上木、S-7は20年生ヒノキを下木とする複層林の上木で、その他は一斉林である。なお、幹に接して枝を切断する模擬打ちの調査を行ったH-6では林分調査をしなかった。

枝径や枝着生数はスギ6林分、ヒノキ7林分で

調査を行い、Table 2 に調査木と調査概要を示した。調査林分中H-7, H-8, H-9は同齢で密度が異なり、S-5とともに枝打ち前の調査である。その他の林分は枝打ちが行われており、特にS-8, H-10では枝打ち試験として8年生から幹直径4 cmまで打つ強度で2~3年ごとに5回枝打ちを繰り返した林分である。

一方、施業による枝打ち跡や模擬打ち跡の調査は、Table 3 に示したスギ7林分、ヒノキ6林分で行った。施業による枝打ちは、壮齢林と若齢林に大別でき、壮齢林のS-6では49, 57年生時の2回ナタで、S-7では52年生時に下木の光環境を改善する目的で、オノと一部ノコギリを用いて

Table 1. 調査林分の概況
Outlines of examination stands.

林分* Stand	地 域 Region	品種 Cultivar	林齢 Stand age (yr)	土壌型 Soil type	密度 Density (No./ha)	平均胸高直径 Mean DBH (cm)	平均樹高 Mean tree height (m)	調査年 Investigation year	備考 Note
S-1	埼玉県越生町 Saitama Pre.	地元産 Local	13	B ₀	3,600	9.3	8.8	1971	同齢林 Even-aged stand
S-2	愛媛県久万町 Ehime Pre.	ヤナセスギ Yanasesugi	14	B _E	2,100	9.4	10.1	1978	複層林下木 Lower-story tree
S-3	愛媛県久万町 Ehime Pre.	サンブスギ Sanbusugi	14	B _E	3,050	5.5	6.0	1978	複層林下木 Lower-story tree
S-4	愛媛県久万町 Ehime Pre.	アヤスギ Ayasugi	15	B _E	3,900	6.4	6.7	1978	同齢林 Even-aged stand
S-5	浅川実験林 Tokyo Pre.	サンブスギ Sanbusugi	16	B ₀	2,850	12.0	7.7	1973	同齢林 Even-aged stand
S-6	愛媛県久万町 Ehime Pre.	地元産 Local	72	B ₀	182	43	26	1978	複層林上木 Upper-story tree
S-7	愛媛県久万町 Ehime Pre.	地元産 Local	63	B ₀	224	39	21	1980	複層林上木 Upper-story tree
S-8	高知局大正署 Kochi Pre.	地元産 Local	8	B ₀ (d)	3,770	5.7	4.7	1980-	同齢林 Even-aged stand
H-1	埼玉県越生町 Saitama Pre.	地元産 Local	16	B ₀	3,200	9.2	9.1	1971	同齢林 Even-aged stand
H-2	高知局川崎署 Kochi Pre.	地元産 Local	20	B _c	4,400	9.2	8.0	1981	同齢林 Even-aged stand
H-3	高知局川崎署 Kochi Pre.	地元産 Local	22	B ₀ (d)	2,210	13.6	10.8	1981	同齢林 Even-aged stand
H-4	高知局宿毛署 Kochi Pre.	地元産 Local	28	B _c	2,140	15.3	12.0	1981	同齢林 Even-aged stand
H-5	高知局宿毛署 Kochi Pre.	地元産 Local	23	B _c	2,980	13.2	11.3	1981	同齢林 Even-aged stand
H-6	浅川実験林 Tokyo Pre.	地元産 Local	16	B _c	-	-	-	1973	同齢林 Even-aged stand
H-7	愛媛県津島町 Ehime Pre.	地元産 Local	9	B ₀ (d)	3,100	6.4	4.7	1986	同齢林 Even-aged stand
H-8	愛媛県津島町 Ehime Pre.	地元産 Local	9	B ₀ (d)	4,700	6.4	4.8	1986	同齢林 Even-aged stand
H-9	愛媛県津島町 Ehime Pre.	地元産 Local	9	B ₀ (d)	6,900	5.4	4.6	1986	同齢林 Even-aged stand
H-10	高知局大正署 Kochi Pre.	地元産 Local	8	B ₀ (d)	2,720	4.8	4.1	1982-	同齢林 Even-aged stand

*: Sはスギ林分, Hはヒノキ林分を示す。 S:Sugi (*Cryptomeria japonica*) stand. H:Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) stand.

Table 2. 枝径，枝着生数の調査木と調査概要
Outlines of examination and sample trees.

林分 Stand	林齢 Stand age (yr)	供試本数 The number of sample tree	胸高直径 DBH (cm)	調 査 概 要 Outlines of examination
S-1	13	7	7.7-10.7	幹直径 4 cm 以上に着生する枝数 B_N^*
S-2	14	13	5.0-9.1	幹直径 4 cm 以上に着生する枝数と枝直径 B_N^* and B_D^*
S-3	14	15	5.5-7.7	同上 Ditto
S-4	15	15	6.0-8.2	同上 Ditto
S-5	16	11	8.4-15.4	幹全体に着生する枝数と枝直径 B_D and B_N of whole-stem
S-8	11	8	4.6-10.6	2 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the second pruning
"	13	8	6.2-11.3	3 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the third pruning
"	18	13	8.6-12.3	5 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the fifth pruning
H-1	16	7	8.3-11.6	幹直径 4 cm 以上に着生する枝数 B_N^*
H-2	20	6	8.8-9.7	幹直径 4 ~ 10 cm の間に着生する枝径 B_D^{**}
H-4	28	8	10.8-15.3	同上 Ditto
H-7	9	8	3.0-11.0	幹全体に着生する枝数と枝直径 B_D and B_N of whole-stem
H-8	9	8	4.1-8.7	同上 Ditto
H-9	9	8	2.0-8.0	同上 Ditto
H-10	11	12	5.1-10.0	2 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the second pruning
"	13	6	6.2-10.2	3 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the third pruning
"	15	11	6.5-11.1	4 回目の枝打ちで除去された枝の直径 B_D of removed branch by the fourth pruning

B_N : The number of branch B_D : Branch diameter

B_N^* : The number of branch on the upper side of stem which diameter was 4 cm.

B_D^* : Diameter of branch on the upper side of stem which diameter was 4 cm.

B_D^{**} : Diameter of branch on stem part of which diameter was from 4 cm to 10 cm.

行われた。若齢林の枝打ちについてみると，S-1 では枝打ち器具にナタを用いて 3 回繰り返された。S-2，S-3，S-4 では，枝打ち器具に初期の頃はナタを，最近はカマを用いて 3 ~ 4 回繰り返された。H-1，H-5 では 2 回，H-2，H-4 では 1 回，いずれもナタで，H-3 ではノコギリで 1 回行われた。これら施業としての枝打ちは，いずれも 10 月から翌年の 3 月の間に行われた。枝打ちは，全木に行われた林分が多いが，H-2 ~ 5 では形質のよい個体 1,000 ~ 1,200 本/ha を選んで行われた。模擬打ちは，生枝をナタとノコギリ打ちした S-1，S-5，H-1，ノコギリ打ちした

H-6，枯枝をノコギリ打ちした S-5，H-6 で行った。

(2) 調査方法

1) 枝径と着生枝数

調査林分は，通常の枝打ち対象となる幹直径 4 cm 前後以上に着生する生枝数または枝径だけを調査した林分，生枝数と枝径の両者を調査した林分，幹の先端まで含めた幹全体に着生する生枝数，枝径とも調査した林分に分かれる (Table 2)。枝径や枝数は，林分ごとに大小の個体を含むよう 6 ~ 15 本を伐倒し，幹を 0.5 m の層に分けて層の

Table 3. 節解析木の概況

Knot analysis of the sample trees.

林分 Stand	林齢 Stand age (yr)	胸高直径 DBH (cm)	樹 高 Tree height (m)	枝打ち高 Height of pruning (m)	枝打ち時林齢 Age at the time of pruning (yr)	枝打ち器具 Pruning tool	供試本数 Number of sample tree
S-1	13	8.6-10.1	7.5-8.4	2.3-3.8	5, 10, 12	ナタ* (ナタ, ノコギリ) Hatchet* (Hatchet, Saw)	4
S-2	14	6.7-8.8	6.9-10.3	4.0-5.8	5, 6, 8, 11	ナタ*, カマ* Hatchet*, Sickle*	6
S-3	14	5.8-7.4	6.1-8.1	4.0-4.6	6, 8, 11	ナタ*, カマ* Hatchet*, Sickle*	6
S-4	15	5.9-6.6	6.5-6.9	3.9-4.1	7, 8, 12	ナタ*, カマ* Hatchet*, Sickle*	2
S-5	16	4.9-11.9	6.6-11.0	3.3-6.9	12, 16	(ナタ, ノコギリ) (Hatchet, Saw)	4
S-6	72	29.8-41.2	22.0-25.3	11.4-15.3	49, 57	ナタ* Hatchet*	5
S-7	63	42.7-47.5	21.2-22.2	12.4-14.9	52	オノ*, ノコギリ* Ax*, Saw*	3
H-1	16	8.5-11.7	8.7-10.7	3.8-5.0	5, 11	ナタ* (ナタ, ノコギリ) Hatchet* (Hatchet, Saw)	3
H-2	20	10.5-13.7	8.0-10.3	3.4-3.9	15	ナタ* Hatchet*	4
H-3	22	11.8-15.9	8.9-12.1	3.8-4.5	15	ノコギリ* Saw*	4
H-4	28	11.6-15.3	10.3-12.4	4.3-5.0	21	ナタ* Hatchet*	4
H-5	23	11.3-13.4	10.3-11.3	3.3-4.6	15, 21	ナタ* Hatchet*	4
H-6	16	7.2-10.0	6.7-7.7	1.7-5.2	16	(ノコギリ) (Saw)	3

*:枝打ち作業での枝打ち器具。 Pruning tools used for pruning operation.

():模擬打ちでの枝打ち器具。 Pruning tools used for test pruning carefully carried out.

下部皮付き幹直径，および層に含まれるすべての生枝について測定した。ただし，林齢が20年生以上のヒノキ林(H-2，H-4)では，伐倒せず立木で幹直径が4～6，6～8，8～10cmに着生する枝径を測定した。また，枝打ち繰り返し試験を行ったS-8とH-10では，伐倒せず幹直径4cmまで打つ強さの枝打ちで除去された枝径をそれぞれ3回調査した。枝径の測定は，幹より1cm離れた位置の皮つき枝直径とした。幹より1cm離れた位置を測定したのは，成長の旺盛な枝では幹に近くなると枝隆による影響で太くなることを避けるためである。

2) 生枝打ちの巻込み

枝打ち跡は，直径成長につれて木質部に包まれ徐々に巻込まれる。巻込み跡は，長期にわたって樹皮表面に残るため明らかに判別できる。そこで，スギ，ヒノキとも巻込み跡を一個ごと樹幹に沿っ

て縦方向に切断し，幹の髄と枝の髄が現れるように削り，Fig. 1やPhoto. 1，Photo. 2に示すような幹の縦断面(柱目)で節解析を行った。節解析における測定項目とその測定法を以下に示す。

残枝径：枝打ちにより，枝が切断された点での垂直方向の皮なし枝直径。

残枝長：幹に接して枝打ちした場合でも，枝隆や樹皮等の影響で枝が残るのが普通であり，枝として認められる残った長さをいう。本研究では，枝隆の影響を除くため若齢林では枝着生部の上端，下端より各2cm(壮齢林では枝が大きいいため各5cm)離れた点の枝打ち時にあたる年輪を直線で結び，その直線より外側に出た枝の長さとして測定した。

巻込み長：枝打ち跡が木質部に包まれ，外見から見えなくなった時を巻込み完了とした。巻込み長は，枝打ち時から巻込み完了までに要する幹の半径成長量で示した。巻込み完了時の細胞の並び

は、肉眼で判定するのは困難である。そこで、巻込み完了1年前の年輪が残枝上に達しているものは、その年輪の走向と巻込み完了時の年輪の走向が相似であるとして、Fig.1に示した破線を引き、若齢林では残枝着生部の下端から下方鉛直方向に2 cm(壮齢林では5 cm)離れた箇所で、枝打ち時の年輪から破線までの距離とした。巻込み完了前年に残枝上に達した年輪がないものは、前記のものを参考として巻込み完了時を推定した。測定場所を若齢林では残枝下端から2 cm(壮齢林では5 cm)離れたのは、枝切断部での幹の肥大成長が傷の影響がない幹部の肥大成長より大きくなることが多く、その影響を除くためである。

巻込み年数：枝打ちから巻込み完了までに要した年数。

年輪走行の乱れ：巻込み完了後、しばらくの間年輪の走向が乱れるのが普通である。年輪走向の乱れは、樹皮側に凸型となるものと凹型になるもの、ほぼ平行なものがあり、それぞれ凸型、凹型、平行型とした。

平滑年数：枝打ち時から巻込み完了後の年輪走行が平滑になるまでに要する年数。巻込み完了後の年輪の走行の乱れがなくなるのを「年輪が平滑になる」と言い、ここでは、材中の節の存在が確認できる明瞭な丸太外面の凹凸痕は2～3 mm以上である(加納, 1967)ことを参考に、若齢林では残枝着生部の上, 下端から各2 cm(壮齢林では各5 cm)離れた所の年輪との交点を直線で結び、巻き込み後における年輪の走向がその直線より1 mm以内(壮齢林では2 mm以内)に納まっている場合を平滑とした。

平滑長：枝打ち時から巻込み完了後の年輪の走行が平滑になるまでに要する幹の半径成長量で、巻込み長と同じ所で測定した。なお、年輪の走行が平滑までに至ってない枝打ち跡は非平滑とし、枝打ちから伐倒までの半径成長量を測定した。

枝打ち時幹直径：枝打ち時における幹の半径(皮なし)を、若齢林では残枝着生部の下端から下方に2 cm(壮齢林では5 cm)離れた所で、随から枝切断時の年輪までの長さとして測定した。この値に樹皮率を乗じて皮付き半径を、皮付き半径を2倍して皮付き幹直径を求めた。

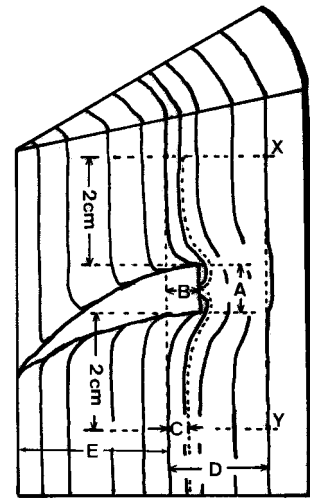


Fig. 1. 節解析の方法

Method of knot analysis.

A: 残枝径 Stub diameter

B: 残枝長 Length of branch stub

C: 巻込み長 Radial thickness for occlusion

D: 平滑長 Radial thickness for annual ring recovering

E: 枝打ち時幹半径 Stem radius at the time of pruning

3) 枯枝の巻込み

枯枝の巻込み跡は、枯枝打ちが行われたものが多いが、自然落下した枝も含まれている。両者の判定が困難なものがあるため、ここでは枯枝打ちと自然落下枝の区分はしなかった。生枝と同様に巻込み跡を一個ごと切断し、枝が枯死した時点を生枝の枝打ち時と同様とみなし、生枝打ちに準じて以下の測定を行った(Photo. 2 a)。

残枝径：枯死した時点での皮なし枝直径。

枯死からの残枝長：枯死した時点の枝の基部から残枝先端までの長さ。

枯死からの巻込み長：枯死した時点から巻込み完了までに要する幹の半径成長量。

4) 模擬打ち

普通の枝打ち作業では、大きい枝は残枝長を小さくするよう丁寧に打ち、小さい枝は粗雑に打つなど作業が画一的でないことも予想される。そこで、生枝と枯枝で模擬打ちを行い、枝打ち跡の状態を普通の枝打ち作業結果と比較した。模擬打ちは、枝隆の有無とは無関係に、ノコギリでは幹に接して1回で切断する方法で、ナタでは幹に接して上下から何回か打ち切断する方法で行った。また、枝打ち器具の違いによる巻込みの遅速を検討するため、S-5の成長良好な個体と劣悪な個体

を各2本供試木とし、ナタとノコギリで交互に模擬打ちを行った。枝打ち直後に切断部における垂直、水平方向の直径を測定し、両者の平均を直径とする円面積を枝打ち跡面積とした。枝打ち1年後から4年後まで毎年、未巻込み部の垂直、水平方向の直径を測定し、両者の平均を直径とする円面積を未巻込み面積とした。巻込み率は、各供試木の器具ごとに枝打ち直後の枝打ち跡面積合計を求め、この値に対するn年後の巻込み面積合計の割合として求めた。供試木は、枝打ち3年後に1本、4年後に3本を伐倒し節解析を行った。測定項目と測定方法は、以下のとおりである。

枝直径：幹より1 cm離れた所での皮付き枝直径。

残枝径、残枝長、巻込み長：いずれも2)と同じ測定法。

1-2 枝径と着生枝数の実態

(1) 幹の大きさと枝径

枝打ち時期を決定するには、節の水平分布に影響すると考えられる枝径の大きさについて知ることが必要である。ここでは、平均枝径とともに節の水平分布に影響が大きいと考えられる最大枝径についても検討することとした。無枝打ちスギ林(S-5)で胸高直径の大小を含めた11本について、幹長0.5 mごとの下部皮付き幹直径と、その層に着生する平均枝径、最大枝径の関係を相関が高かった近似式とともにFig. 2に示した。平均枝径、最大枝径とも、同じ太さの幹直径でもかなり大きな幅がみられた。また、幹直径が太くなるとともに両者とも大きくなるが、幹直径が10 cmより太くなると平均枝径、最大枝径とも頭打ちになる傾向を示した。幹直径が8 cm以上の太さでは最大枝径20 mm以上の枝がみられたが、幹直径がそれより小さいと20 mm以上の枝はほとんどみられなかった。

スギでは、品種や系統により枝径が異なることも考えられる。そこで、S-2(ヤナセスギ)、S-3(サンプスギ)、S-4(アヤスギ)について、幹長0.5 mごとの下部皮付き幹直径と平均枝径、それに最大枝径の関係をFig. 2と同様にして求めた近似線とともにFig. 3に示した。平均枝径は、3品種・系統とも幹直径が太くなると大きくなる傾向がみられ、幹直径が5~6 cmより小さい箇所では

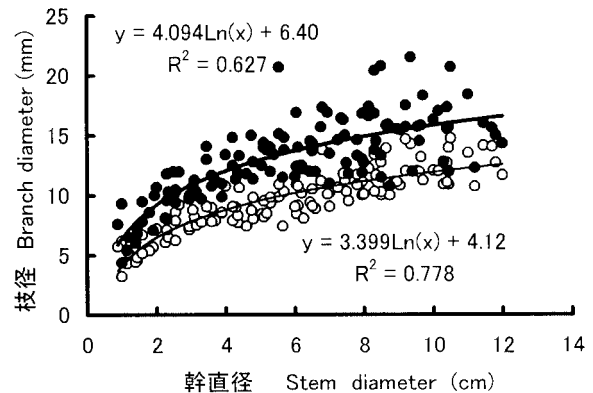


Fig. 2. S-5(サンプスギ)における幹長0.5 mごとの下部幹直径とそこに着生する枝の平均枝径および最大枝径
Stem diameter at the lower end of each stem stratum(0.5 m), and mean and maximum branch diameter in each corresponding stratum of the stem in S-5 stand.

○ : 平均枝径 Mean branch diameter
● : 最大枝径 Maximum branch diameter

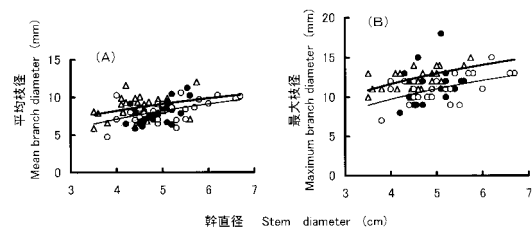


Fig. 3. スギ3林分における幹長0.5 mごとの下部幹直径とそこに着生する枝の平均枝径(A)および最大枝径(B)
Stem diameter at the lower end of each stem stratum(0.5 m), and mean branch diameter (A) and maximum branch diameter (B) in each corresponding stratum of the stem in three Sugi stands.

○ - : S-2(ヤナセスギ Yanasesugi)
● ... : S-3(サンプスギ Sanbusugi)
△ : S-4(アヤスギ Ayasugi)

はS-4がやや大きくS-3で小さい傾向がみられたが、それ以上の幹直径ではほぼ等しかった。最大枝径は、いずれもほぼ15 mm以下であったが、平均枝径と同様に3品種・系統とも幹直径が太くなると大きくなる傾向がみられた。

そして、S-4は幹直径の大小に関わらずS-2やS-3より4 mm前後大きかった。S-2とS-3の最大枝径はほぼ同じ大きさであった。以上のように、3品種・系統の平均枝径や最大枝径は、アヤスギがやや大きく、ヤナセスギとサンプスギはほぼ同じであった。

地スギ林分のS-8で幹直径4 cmまで打つ枝打ちを繰り返した場合の枝径について、枝打ち3

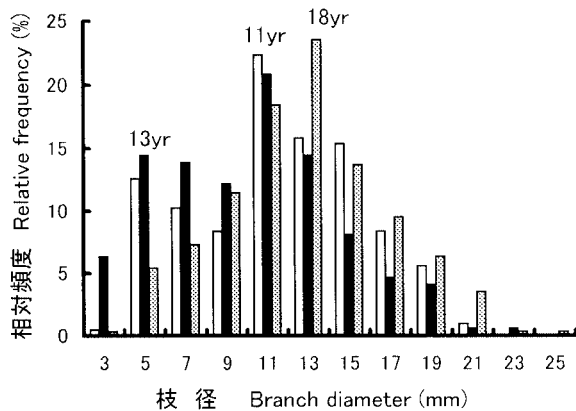


Fig. 4. 枝打ち繰り返しスギ林 (S - 8) における枝打ち 2 回目 (11 年生), 3 回目 (13 年生), 5 回目 (18 年生) の除去枝直径の分布

Relative frequency distributions of removed branch diameter at the time of each pruning operation in S-8 stand. 枝打ちは、幹直径 4 cm まで打つ強度で行った。Trees were pruned up to the height at which stem diameter was 4 cm. Stand ages at the time of each pruning operation were 11 (second), 13 (third) and 18 (fifth) year old, respectively.

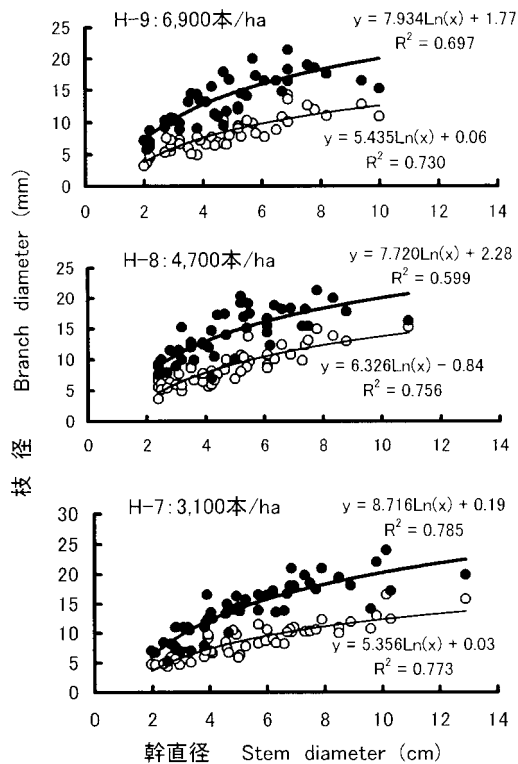


Fig. 5. 密度の異なる 9 年生ヒノキ林における幹長 0.5 m ごとの下部幹直径とそこに着生する枝の平均枝径および最大枝径 Stem diameter at the lower end of each stem stratum (0.5 m), and mean and maximum branch diameter in each corresponding stratum of the stem in 9-year-old Hinoki stands of varied stand densities.

- : 平均枝径 Mean branch diameter
- : 最大枝径 Maximum branch diameter

年後にあたる 11, 18 年生, 2 年後にあたる 13 年生に枝打ちで除去した枝径の分布を Fig. 4 に示した。調査個体の枝下直径は, 11 年生が 4.5 ~ 7.9 cm, 13 年生が 5.1 ~ 6.2 cm, 18 年生が 5.9 ~ 7.2 cm で, 13 年生がやや小さかった。このためか, 枝径が 15 mm 階以上の割合は 13 年生で低かったが, 枝下直径が 11 年生より小さかった 18 年生では 17 mm 階以上の枝径の割合が高かった。このことは, 同じ林分で枝打ちを繰り返し林齢が高くなると, 大きな枝径の割合が高くなることを示唆している。また, 枝径が 20 mm 以上の枝は, いずれの枝打ち林齢でもみられ, Fig. 3 に示した 14, 15 年生の枝打ち 3 林分の最大枝径がほぼ 15 mm 以下であったのに比べ, 枝が着生する幹直径がやや太かったことを考慮しても大きい傾向が窺われた。これは, スギの品種や系統による違いである可能性が高い。

次に, 密度の違いが枝径におよぼす影響を明らかにするため, 無枝打ち 9 年生ヒノキの H-7, H-8, H-9 で胸高直径の大小を含めた各 8 本について, 幹長 0.5 m ごとの下部皮付き幹直径と平均枝径, 最大枝径の関係を近似式とともに Fig. 5 に示した。なお, H-7, H-8, H-9 の平均枝下高は, それぞれ 0.4, 0.6, 0.7 m で密度効果が現れはじめていた。3 林分の平均枝径, 最大枝径は, 幹直径が大きくなるにつれて大きくなる関係を示した。しかし, 密度の低い H-7 では幹直径 10 cm 前後, H-8 では幹直径 8 cm 前後, 密度の高い H-9 では幹直径 7 cm 前後より幹直径が大きくなっても平均枝径, 最大枝径とも大きくなり, Fig. 2 に示した S-5 と同様に頭打ちになる傾向を示した。最大枝径は H-8, 9 では 22 mm 前後であったのに比べ H-7 では 25 mm 前後と大きかった。このように, 平均枝径や最大枝径が頭打ちになった幹直径は, 密度の低い林分ほど太かった。密度の低い林分では, 密度の高い林分に比較し隣接する個体との競争が遅れる。樹冠位置から競争をみれば, 密度の低い林分ほど樹冠の低い位置で競争がはじまることになる。この結果, 低密度林分ほど枝下高が低くなるし, 枝は育成期間が長くなって平均枝径や最大枝径が大きくなり, 両者が頭打ちになる幹直径も太くなるといえよう。

ヒノキ林分で枝打ちを繰り返した場合の枝径に

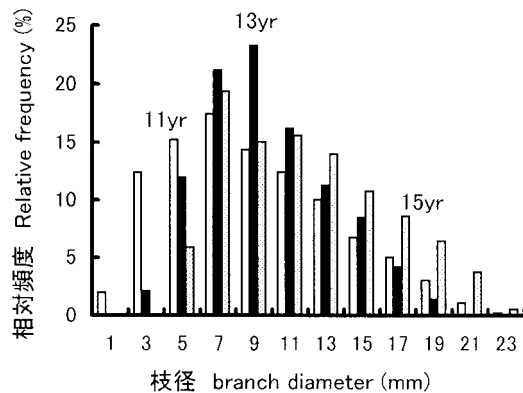


Fig. 6. 枝打ち繰り返しヒノキ林(H-10)における枝打ち2回目(11年), 3回目(13年生), 4回目(15年生)の除去枝直径の分布

Relative frequency distributions of removed branch diameter at the time of each pruning operation in H-10 stand. 枝打ちは、幹直径4 cmまで打つ強度で行った。Trees were pruned up to the height at which stem diameter was 4 cm. Stand ages at the time of each pruning operation were 11(second), 13(third) and 15(fourth)-year-old, respectively.

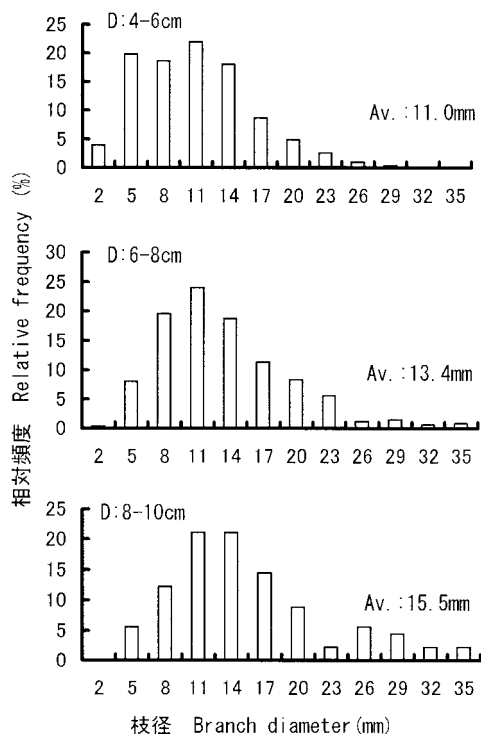


Fig. 7. ヒノキ林(H-2, H-4)の幹直径(D)に着生する枝径の頻度分布と平均枝径

Relative frequency distributions of branch diameter in varied stem diameter classes (D) in Hinoki stands (H-2, H-4).

ついて、H-10で幹直径4 cmまで打つ枝打ちを行い、枝打ち3年後にあたる11年生、2年後にあたる13、15年生に枝打ちで除去した枝径の分布をFig. 6に示した。調査個体の枝下直径は、11年生が4.6～8.3cm、13年生が5.5～6.1cm、15年

生が5.1～6.0cmと、11年生で大きいものがみられた。11年生と13年生で枝径を比較すると、17mm階以上は11年生の割合が高かった。これは、11年生の枝下直径が大きく、枝着生部の幹直径の違いが影響したといえよう。枝径が21mm階以上は、13年生ではみられなかったが、11、15年生ではみられ、特に15年生では13mm階以上の大きな枝径の割合が高かった。このことは、スギと同様に枝打ちを繰り返し林齢が高くなって個体が大きくなると枝が太くなることを示している。

林齢が20、28年生と高いH-2, H-4を一緒にし、幹直径とそこに着生する枝径の分布をFig. 7に示した。幹直径が4～6, 6～8, 8～10cmでの平均枝径は、それぞれ11.0, 13.4, 15.5mmで、幹直径が大きくなると枝径も大きかった。幹直径が6～8, 8～10cmとも30mm以上の枝がみられるし、20mm階以上の枝は、後者が25%を占め、前者の18%に比べ高かった。幹直径4～6 cmでは、30mm以上の枝はなかったが、25mm以上の枝がみられ、Fig. 5に示した9年生林分の幹直径が同じ太さの最大枝径20mm前後に比べ大きかった。これは、上述した枝打ち繰り返し林分、無枝打ち林分ともに林齢が高くなるにつれて樹高成長が低下する(Fig. 99)。このため、幹直径が同じ太さに着生する枝の年齢は林齢の高い林分ほど高く、枝の生育期間の違いが枝径に反映するためと考えられる。

スギ14年生の立木密度が異なる林分(武田・佐藤, 1977)や35～60年生の保育形式の異なる林分(加納ら, 1966)では、低密度林分であるほど枝径の大きい枝があることが知られており、今回の密度が異なる9年生ヒノキ林分でも同様の傾向がみられた。しかし、今回の調査林分のように、若齢で枝打ちに適した生育段階ではその差が小さく、林分密度の違いが無節材生産にとって特に大きな障害になることはないといえる。ヒノキ林分の枝径は、着生する幹直径が同じでも林齢が高くなると枝径の大きなものがみられた。この傾向はスギ、ヒノキ枝打ち繰り返し林分についても同様で、林齢が高くなると枝径が大きくなることを理解し枝打ちを行うことが必要であることを示している。スギでは、品種により枝径が異なる(川野ら, 1980)ことが知られており、今回の結果でも品種

Table 4. 幹直径 4 cm 以上に着生する生枝数 (No./m)

The number of branches (B_N) on the upper side of stem whose diameter was 4 cm.

林分 Stand	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	H-1	H-7	H-8	H-9
平均枝数 Mean B_N	20.6	19.5	23.7	20.7	27.7	21.3	27.3	21.1	21.6
標準偏差 Standard deviation	4.3	3.2	4.8	3.3	8.0	2.9	6.6	6.6	6.4

Table 5. 幹直径 4 cm 以上と 4 cm 未満に着生する生枝数 (No./m)

The diameter of branches on upper side and lower side of stem whose diameter was 4 cm.

林分 Stand	幹直径 Stem diameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均 Mean
S-5	4 cm 以上 4 cm or more	27.0	30.7	33.6	24.9	25.0	32.0	27.1	28.3	28.6	23.5	24.0	27.7*
	4 cm 未満 Less than 4 cm	30.4	31.0	46.0	33.0	36.8	37.5	31.5	32.5	34.0	30.7	30.0	33.9
H-7	4 cm 以上 4 cm or more	26.5	28.0	—	30.8	24.0	29.3	27.7	24.8				27.3
	4 cm 未満 Less than 4 cm	27.0	29.0	24.3	31.5	21.2	32.0	30.5	28.0				27.9
H-8	4 cm 以上 4 cm or more	14.0	20.7	24.4	28.0	—	—	21.0	18.7				21.1*
	4 cm 未満 Less than 4 cm	33.0	29.0	34.0	29.5	22.4	23.6	28.0	28.5				28.5
H-9	4 cm 以上 4 cm or more	27.0	21.0	—	20.0	21.6	19.0	21.0	—				21.6*
	4 cm 未満 Less than 4 cm	29.0	29.0	28.0	30.8	34.0	25.6	25.0	25.2				28.3

*: t 検定の結果, 幹直径 4 cm 以上と 4 cm 未満の生枝数に危険率 5 % で有意差あり。

* indicates significance at 5% level according to t-test.

や系統間で枝径の大きさに差があることが示唆された。このため、枝打ちを行う林分では品種や系統の選択も重要であるといえる。

(2) 着生枝数

一般的な枝打ち範囲にあたる皮付き幹直径 4 cm 以上の幹に着生する幹長 1 m あたりの平均生枝数を Table 4 に示した。スギ林分での幹長 1 m あたりの平均生枝数は、サンプスギである S-3 と S-5 がそれぞれ 23.7, 27.7 本で、他の 3 林分の 20 本前後と比べ多かった。生枝数が多いサンプスギは、品種の特徴であるかもしれない。一方、ヒノキ林分では、9 年生で密度の低い H-7 が 27.3 本/m で、同齢で密度が高い H-7, 8 や 16 年生の H-1 の 21 本/m 前後に比べ多かった。

幹先端までを含む生枝数を調査した S-5 と H-

7 ~ 9 で、調査個体ごとに幹直径 4 cm 以上と 4 cm 未満に着生する生枝数を Table 5 に示した。幹直径が 4 cm 以上と 4 cm 未満に着生する平均枝数について t 検定を行った結果、H-7 では有意差が認められなかったが、他の 3 林分では危険率 5 % で有意差が認められた。H-7 は植栽木間の競争が始まったところで、幹直径が 4 cm 以上に着生する枝数の減少が少なかったため、Table 4 に示した平均枝数が多かったと考えられた。H-7 では、今後個体間の競争が高まると幹直径 4 cm 以上に着生する枝数が減少すると推察される。

ヒノキ 3 林分における幹全体での平均枝数は、H-7, H-8, H-9 でそれぞれ 27.5, 25.8, 26.6 本/m で、林分間に有意差が認められなかった。H-8, H-9 では枝数が減少していた幹直径 4 cm 以上の幹長の割合が低く、幹全体の平均枝数に大

きく影響しなかったためである。このような若齢期には、密度の影響が幹全体の平均枝数の違いとして現れにくいといえよう。武田・佐藤(1977)は、密度が3段階の14年生スギ林での平均枝数が22本/mで、今回と同様に密度によって変化しない結果を得ている。

幹直径4 cm未満に着生する生枝数は、S-5では30~46本/m、H-7、H-8、H-9でも30本/m以上の個体が認められた。これらのことから、幹に発生する枝数は30~40本/mであると推定された。保育形式の異なる産地別スギの枝着生数を挽材面で調べた結果、枝数は地上高による差は明らかでなく平均20本/mであったという(加納ら, 1959, 1966)。今回の結果に比べ枝数が少ないのは、挽材面で調査したもので、早い時期に枯死した枝の節は小さくて挽材面に出現しないものが多かったからではないかと考えられた。

これらの結果から、幹に発生する枝数は、幹長1 mあたり30~40本で、小さい枝には早い時期に枯死するものがあり、枝打ちを行う大きさに該当する幹直径4 cm以上に着生する生枝数は、スギでは品種や系統で異なることもあるが20本/m前後であるといえる。

1-3 生枝打ちによる残枝長

(1) 模擬打ちによる枝径と残枝径

スギやヒノキで施業として行われた枝打ち跡からは、残枝径が分かっても幹着生時の枝径(皮つき)が分からない。このため、枝径と残枝径との関連を明らかにする目的で、S-1とH-1ではナタとノコギリを、S-5とH-6ではノコギリを用いて幹に接して切断する模擬打ちを行った。皮つき枝径と残枝径との関係は、各事例ごとに一次式で近似できFig. 8に示した。S-1、H-1でのナタ打ちによる残枝径は、枝径が大きくなるとノコギリ打ちに比べわずかに大きくなる傾向がみられたが、ノコギリ打ちとの間に有意差は認められなかった。Fig. 8に示した一次式は、各事例とも原点付近を通り傾きが1に近く、残枝径は枝径に比例し、枝径の大きさに近いといえる。これは、枝着生基部の皮なし枝径と基部よりほぼ1cm離れた箇所での皮なし枝径の差が、1cm離れた箇所の樹皮部の厚さとほぼ同じであることを示している。

以上の結果から、残枝径、すなわち枝切断部の皮なし縦径は、枝の着生基部から1cm離れた皮つき枝径とほぼ等しいことが分かった。幹に着生する皮つき枝径は、比較的簡単に測定することができる。枝打ち跡の調査で得られる残枝径と枝打ち跡の状況や巻き込みなどが明らかになれば、現実林分に着生する枝径の大きさから、枝打ち跡の状況を予測することが可能となる。

(2) 枝打ち作業での残枝長

残枝長の大きさは、目的とする幹直径の範囲に残枝を納め、枝打ち開始や繰返し時期を決めるために重要である。普通の作業として枝打ちされた残枝径と残枝長の関係について、スギ若齢林のナタ打ちをFig. 9に、カマ打ちをFig. 10に、スギ壮齢林をFig. 11に示した。これらの関係は、いずれも残枝径が大きくなるにしたがい残枝長も大きくなる傾向を示した。ただ、残枝長の値は、同じ残枝径でも大きな差がみられた。その原因については、次の「模擬打ちでの残枝長」の項で検討する。

残枝長についてみると、スギ若齢林(Fig. 9, Fig. 10)でナタ打ちやカマ打ちしたS-2, 3, 4では、枝打ち時における枝着生部の皮付き幹直径が6 cm以下で残枝径がほぼ20mm以下であり、すべて7 mm以下であった。一方、枝着生部の皮付き幹直径が8 cm以下とやや大きく残枝径が20mm以上も含まれていたS-1のナタ打ちでは、残枝長が11mm以下とやや大きかった。スギ若齢林での最大残枝長は、S-2のカマ打ちで残枝径が15mmと比較的大きなものに出現したが、他の6例では残枝径10mm以下の小さなものに出現した。

スギ壮齢林での残枝長(Fig. 11, Photo. 1)は、枝打ち時における枝着生部の皮付き幹直径が25cm以下でナタ打ちしたS-6では残枝径が50mm以上のものがみられ、28mm以下と大きかった。S-7で皮付き幹直径24cm以下をノコギリ打ちした残枝径はほぼ50mm以下で、残枝長は25mm以下であり、S-6のナタ打ちに近かった。皮付き幹直径40cm以下でオノ打ちした場合は、残枝径が50mm以上のものが含まれ、残枝長は40mm以下と大きかった。壮齢林での最大残枝長は、S-7のオノ打ちで残枝径30mm程度の小さいものに出現したが、他の2例では残枝径の大きなものであった。

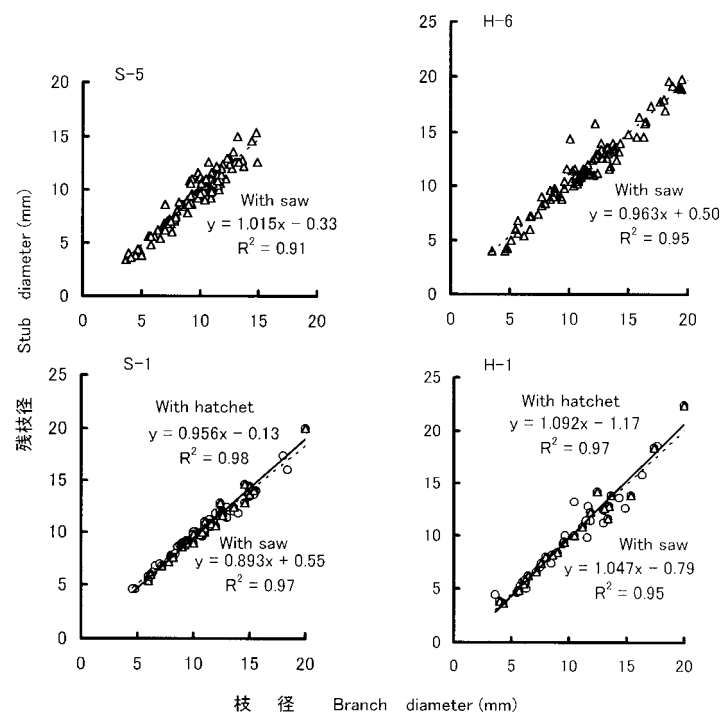


Fig. 8. スギ, ヒノキの模擬打ちによる枝径と残枝径の関係

Relationships between branch diameter and stub diameter in the case of test pruning carefully carried out.

○ — : ナタ打ち With hatchet ... : ノコギリ打ち With saw

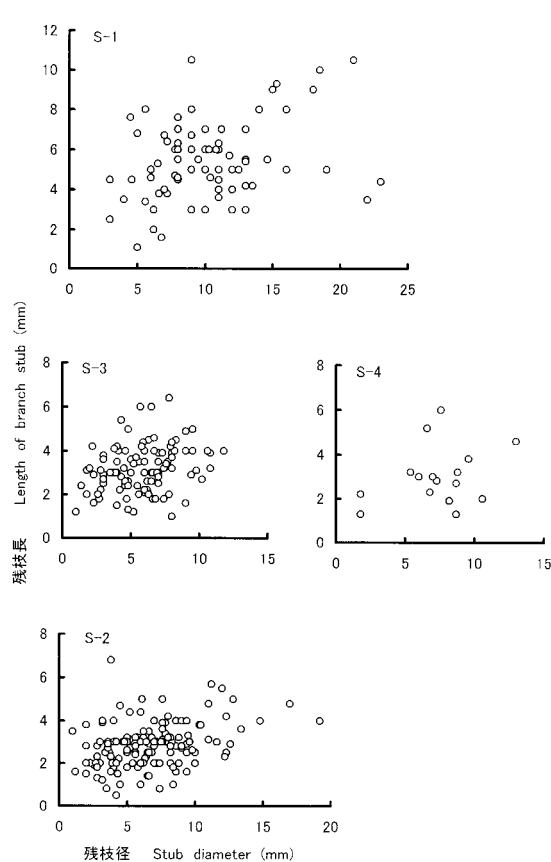


Fig. 9 スギ若齢林のナタ打ちによる残枝径と残枝長
Relationships between stub diameter and length of branch stub in Sugi young stands pruned with hatchet.

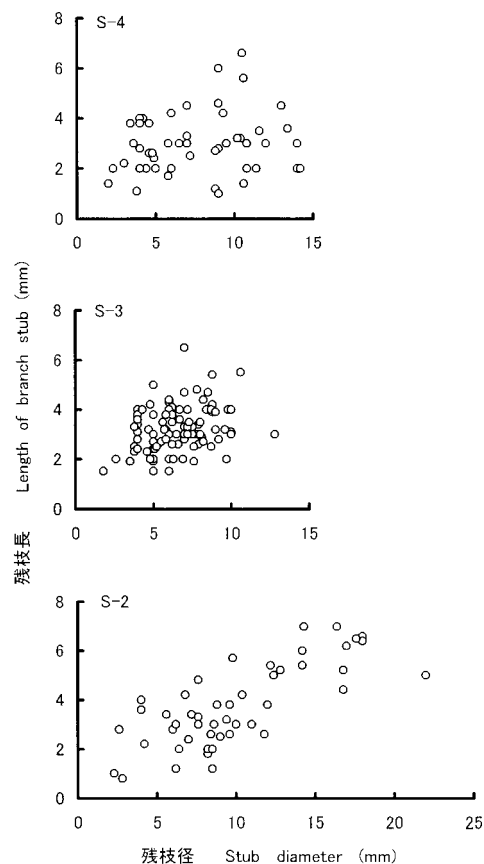


Fig. 10. スギ若齢林のカマ打ちによる残枝径と残枝長
Relationships between stub diameter and length of branch stub in Sugi young stands pruned with sickle.

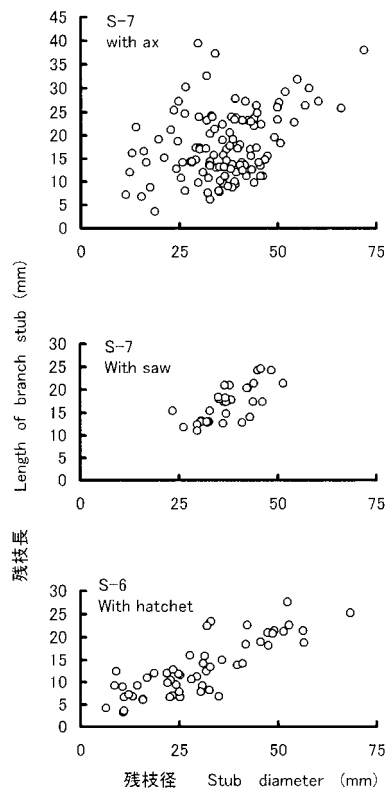


Fig. 11. スギ壮齢林のナタ、ノコギリ、オノ打ちによる残枝径と残枝長
Relationships between stub diameter and length of branch stub in Sugi mature stands. Comparison with the tools.

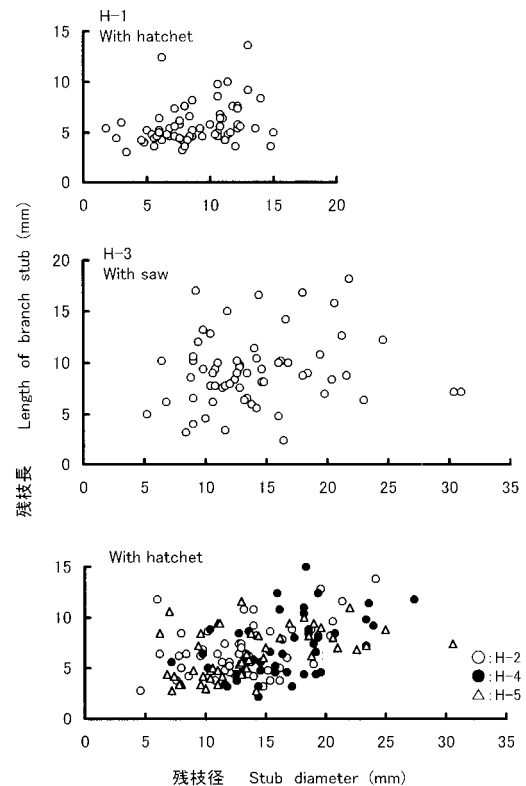


Fig. 12. ヒノキ若齢林のナタ、ノコギリ打ちによる残枝径と残枝長
Relationships between stub diameter and length of branch stub in Hinoki young stands. Comparison with the tools.

ヒノキ (Fig.12) についてみると、枝打ち時における枝着生部の皮付き幹直径が 8 cm 以下でナタ打ちした H-1 では、残枝径が 15mm 以下と小さく、残枝長は特に大きかった 2 個を除けば 10mm 以下で、S-1 とほぼ同じであった。皮付き幹直径が 10cm 以下でナタ打ちした H-2, 4, 5 と 12cm 以下でノコギリ打ちした H-3 では、いずれも残枝径が 20 ~ 30mm の大きい枝が含まれていたが、残枝長は前 3 例がすべて 15mm 以下であったのに比較し、H-3 では 18mm 以下とやや大きかった。これは、次項で述べるように、ノコギリ打ちでの残枝長がナタ打ちに比較して大きくなる枝打ち器具の特徴と考えられた。最大残枝長は、各事例とも残枝径の大きなものに出現したが、H-4 を除く 4 例では残枝径が 10mm 以下の小さいものに最大残枝長に近いものがみられた。

以上のように、枝打ち時における枝着生部の幹直径が大きくなるに従い、着生する枝が大きくなるため、残枝長も大きなものが含まれるようになる。しかし、各事例での残枝長の最大値は、必ず

しも残枝径の大きなものに出現せず、残枝径の小さいものに現れることが多かった。この原因については、次項の「模擬打ちでの残枝長」で検討する。

枝打ち施業による残枝長の値については、京都芦生のスギで 15mm 以下 (藤森, 1975)、愛媛県久万町と鳥取県智頭のスギでほぼ 10mm 以下 (愛媛県, 1969; 白間, 1975) の値が得られている。広島県のヒノキで、残枝長のほとんどが 25mm 以下であった (桑原, 1973) が、この中には天然落枝によるものも含まれており、枝打ちによる残枝長は明らかでない。これらは、枝打ち時における枝打ち箇所の幹直径が不明で、立木密度や林齢にも違いがみられ、直接比較することはできない。

(3) 模擬打ちでの残枝長

枝着生部の幹直径が 7 cm から 4 cm の間に着生する生枝をナタやノコギリを用いて、模擬打ちを行い、残枝径と残枝長の関係を Fig.13 に示した。スギ、ヒノキのナタ打ちやノコギリ打ちとも、残枝径が大きくなると残枝長も大きくなる傾向がみ

られた。同様の傾向は、後述するS-5のナタ打ちとノコギリ打ち(Fig.22)でも認められた。これは、枝径が大きいほど枝隆が発達することで、残枝長が大きくなるためと考えられる。しかし、大きさの同じ残枝径であっても残枝長のバラツキが大きかった。このことは、幹に接して画一的な枝打ち作業であっても、太さが同じ枝間で残枝長に差が生じることを示している。前項の施業による枝打ちでも残枝長と残枝径の関係にはバラツキがみられた。これらの原因は、同じ太さの枝でも枝基部の型が異なるためと考えられる。同じ太さの枝でも、成長が旺盛で枝隆部が発達した枝では残枝長が大きく、成長が衰え枝隆部がなくなった枝では残枝長が小さくなり、このような枝が混在するためと推察される。

枝打ち器具の違いに注目すると、S-1, H-1, それにS-5 (Fig.22)とも、残枝長はナタ打ちがノコギリ打ちより小さくなった。残枝長の差は、S-1では残枝径が小さいほど、S-5では逆に残枝径が大きくなるほど大きくなる傾向がみられ、H-1では残枝径と無関係にほぼ一定で、残枝径の大きさとの関係は明らかでなかった。ナタ打ちとノコギリ打ちでの残枝長の差は、S-1, H-1

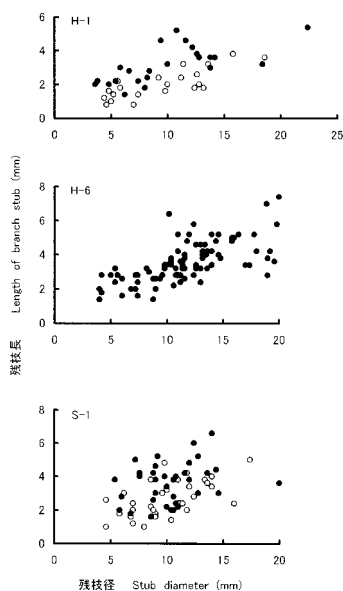


Fig. 13. スギ、ヒノキのナタ、ノコギリ模擬打ちによる残枝径と残枝長

Relationships between stub diameter and length of branch stub by test pruning carefully carried out.

幹直径4 cmから7 cmの間を枝打ちした場合。

The case of the trees pruned at stem part diameter of which was from 4 to 7 cm.

○ : ナタ打ち With hatchet ● : ノコギリ打ち With saw

では1mm以下程度、S-5ではやや大きく2mm以下程度であった。

枝着生部の幹直径が7 cmから4 cmの間に着生する生枝を模擬打ちした残枝長は、残枝径が20mm程度以下ならスギ、ヒノキのナタ打ちで6 mm以下、ノコギリ打ちで8 mm以下であった。一方、先に述べた普通の作業によるナタ打ちの残枝長は、残枝径が20mm程度以下なら両樹種とも7~11mm以下と模擬打ちよりやや大きかった。これは、実際の枝打ち作業では能率が重視されるし、足場等の作業条件がきびしくなることなどのためと考えられる。

模擬打ちを行った残枝長の最大値は、ナタ打ち、ノコギリ打ちした7例とも残枝径が大きいものに現れる傾向がみられた。先に、普通の枝打ち作業による残枝長の最大値は、残枝径の小さなものに現れるものがみられたが、これは、枝の大きなものは注意して丁寧な作業を、枝の小さなものは時として雑な作業になるためではないかと考えられる。小さな枝も丁寧な作業をすれば、残枝長は短くなるといえよう。これらの結果、幹直径が小さくて着生する枝径が小さい時期に枝打ちを行い、枝径の大小に関わらず丁寧に作業をすることで残枝長を小さく抑え、節の水平分布を抑制することができるといえよう。

1-4 生枝打ちによる巻込み

(1)巻込み年数

施業による枝打ち跡の残枝径と巻込み年数との関係について、若齢林でのナタ打ち例としてスギ林のS-1とヒノキ林のH-1を、スギ壮齢林でのナタ打ち例としてS-6をFig.14に示した。S-1, H-1の残枝径はそれぞれ25, 15mm以下で、巻込み年数は早いものでは1年、遅いものではH-1で6年が1個あるだけで、その他は4年以内であった。図示しなかったが、スギ若齢林のS-2, S-3, S-4をナタ打ちした残枝径はそれぞれ20, 12, 13mm以下(Fig.9), カマ打ちした残枝径はそれぞれ22, 13, 14mm以下(Fig.10)で、巻込み年数は1~3年であった。ヒノキではノコギリ打ちのH-3, ナタ打ちのH-4の残枝径がそれぞれ32, 27mm以下で巻込み年数は2~7年, ナタ打ちのH-2, H-5では残枝径がそれぞれ24,

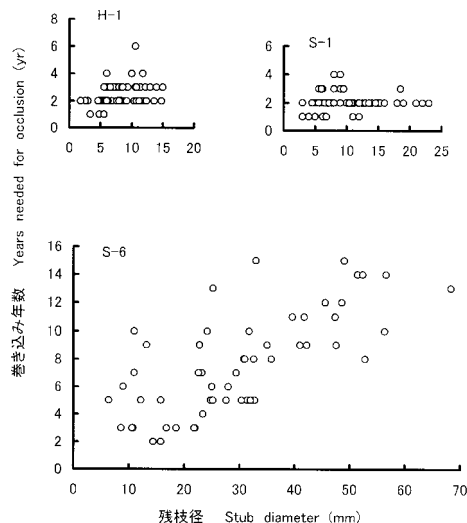


Fig. 14. スギ、ヒノキ若齢林およびスギ壮齢林での残枝径と巻込み年数
Relationships between stub diameter and years needed for occlusion.

30mm 以下 (Fig.12) で巻込み年数はそれぞれ 1 ~ 5 年, 1 ~ 7 年であった。これらスギ、ヒノキ若齢林の枝打ちによる巻込み年数は、残枝径との間に明らかな関係がみられなかった。

一方、スギ壮齢林の S-6 では、残枝径が 70mm 近いものまでであるなど大きく、残枝径が大きくなると巻込み年数が長くなる傾向がみられた (Fig.14)。巻込み年数は早いものでは 2 年であったが、10 年以上のものも多く、遅いものでは 15 年を要した。図示しなかった S-7 では、オノ打ちした残枝径が 75mm 以下、ノコギリ打ちした残枝径がほぼ 50mm 以下 (Fig.11) で、未巻込みの枝打ち跡がそれぞれ 38, 10% みられた。巻込みを完了した枝打ち跡の巻込み年数は 4 ~ 11 年で、S-6 と同様に残枝径が大きくなると巻込み年数が長くなる傾向がみられた。

残枝長と巻込み年数との関係 (Fig.15) は、ナタ打ちによる S-1, H-1, S-6 の残枝長がそれぞれ 11, 14, 28mm 以下で、若齢林の S-1 と H-1 では明らかな関係はなかった。図示しなかったスギ若齢林の S-2, S-3, S-4 では、ナタ打ち、カマ打ちの残枝長はいずれも 7 mm 以下 (Fig.9, Fig.10) で、巻込み年数と明らかな関係はなかった。ヒノキでは、ナタ打ちした H-2, H-4, H-5 での残枝長は 12 ~ 15mm 以下、ノコギリ打ちの H-3 では、残枝長が 18mm 以下 (Fig.12) で、いずれも巻込み年数と明らかな関係はなかった。

スギ壮齢林の S-6 では、残枝長が大きくなると巻込み年数が長くなる傾向がみられた (Fig.15)。図示しなかった壮齢林の S-7 では、オノ、ノコギリ打ちでの残枝長がそれぞれ 40, 25mm 以下 (Fig.11) で、巻込みを完了した枝打ち跡では S-6 と同様の傾向がみられた。

スギ壮齢林では、残枝径や残枝長に大きいものがみられ、残枝径や残枝長が大きくなると巻込み年数が長くなる傾向がみられた。しかし、スギとヒノキ若齢林では、残枝径や残枝長も小さく、巻込み年数との間に明らかな傾向がみられなかった。この要因としては、巻込み年数が枝打ち後の直径成長の良否により大きく左右される (愛媛県, 1969; 川野・諫本, 1980; 木曾支局, 1936; 小出, 1939b; 桑原, 1973; 百瀬, 1973) ことが考えられる。直径成長は、枝打ち強度により変わるし、土壌条件、林齢、立木密度等によっても影響を受ける (安藤ら, 1968; 藤森, 1975)。また、枝打ち木の直径成長は、根張り部分を除けば樹冠に近いほど大きい (尾中, 1950; 竹内・蜂屋, 1977b) ため、樹冠部に近い枝打ち跡ほど巻込み年数が短くなることも認められている (高原, 1949; 小野・武村, 1972; 川野・諫本, 1980; 藤森, 1975)。このように巻込み年数は、枝打ち箇所直径成長により左右されるため、残枝長や残枝径に大きな幅がなかった若齢林では巻込み年数と明らかな関係がなかったと考えられる。

巻込み年数は、S-2 ~ 4 のように 5 ~ 12 年生

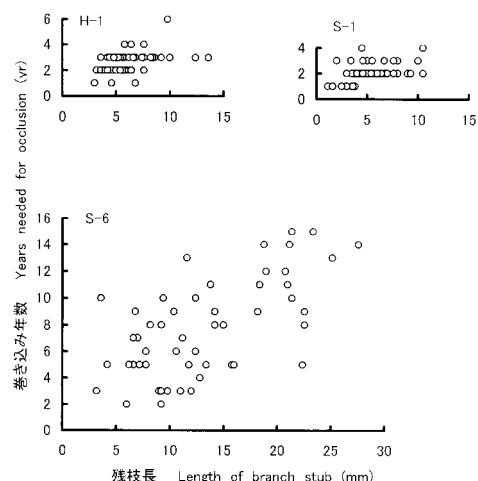


Fig. 15. スギ、ヒノキ若齢林およびスギ壮齢林での残枝長と巻込み年数
Relationships between length of branch stub and years needed for occlusion.

に枝打ちした林分では2～3年であった。しかし、21年生に枝打ちしたH-4やH-5では7年を要するものがみられた。また、50～60年生に枝打ちしたS-6では15年を要するものがみられたし、S-7のオノ打ちでは11年経過しても38%が未巻込みであった。このように、林齢の高い林分の枝打ちでは、巻込み完了までに長期間を要し無節材生産が遅れるし、「3-4」で示すように材部の変色の拡大、腐朽につながるなどの影響があるので注意すべきである。

(2) 巻込み長

1) 残枝径、残枝長と巻込み長

残枝径と巻込み長の関係について、スギ若齢林でのナタ打ち、カマ打ちをFig.16に、スギ壮齢林のナタ打ちとノコギリ打ち、およびオノ打ちをFig.17に、ヒノキ若齢林のナタ打ちとノコギリ打ちをFig.18に示した。ヒノキ若齢林のナタ打ちであるH-2とH-5では、残枝径が大きいと巻込み長が大きくなる傾向がみられた。しかし、他のスギ、ヒノキ若齢林では、残枝径と巻込み長との間に明らかな関係がみられなく、残枝径は巻込み長に影響するといえない。

スギ壮齢林では、S-6のナタ打ちで残枝径が

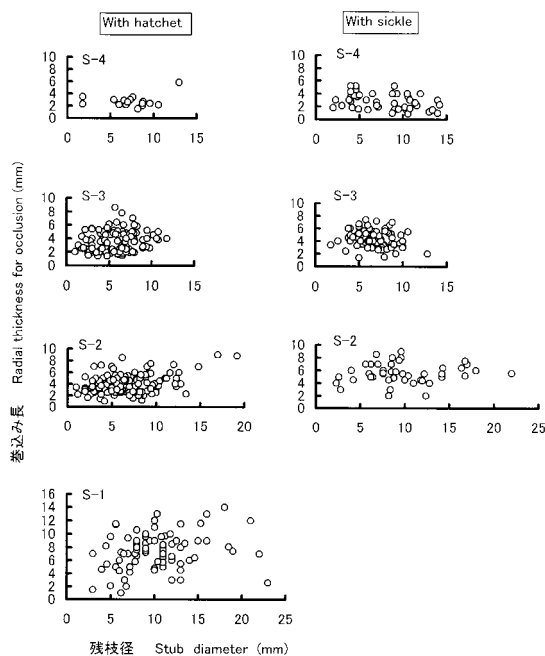


Fig. 16. スギ若齢林のナタ、カマ打ちによる残枝径と巻込み長
Relationships between stub diameter and radial thickness for occlusion in Sugi young stands.
Comparison between hatchet and sickle.

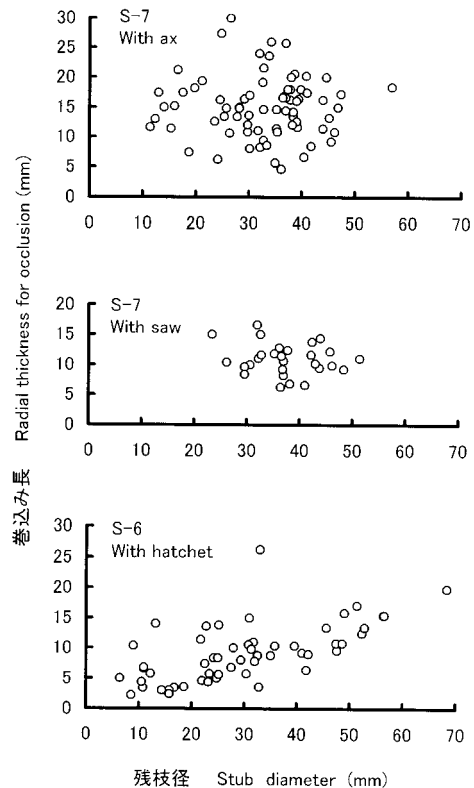


Fig. 17. スギ壮齢林のナタ、ノコギリ、オノ打ちによる残枝径と巻込み長

Relationships between stub diameter and radial thickness for occlusion in Sugi mature stands.
Comparison with the tools.

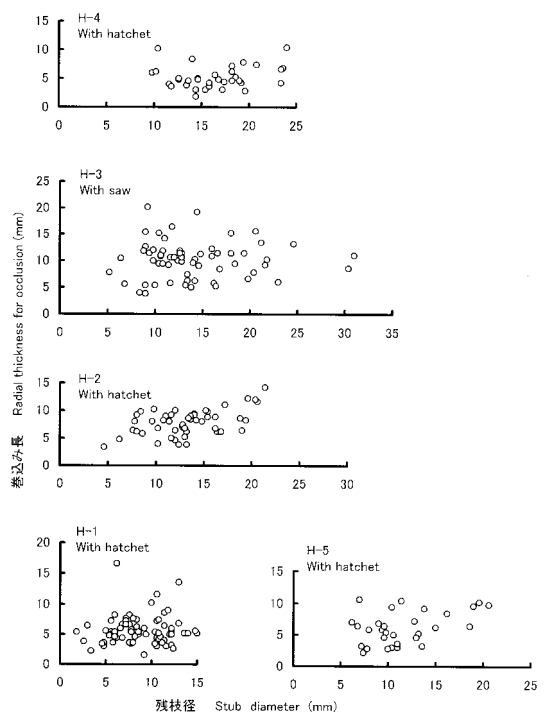


Fig. 18. ヒノキ若齢林のナタ、ノコギリ打ちによる残枝径と巻込み長

Relationships between stub diameter and radial thickness for occlusion in Hinoki young stands pruned with hatchet or saw.

大きくなると巻込み長が大きくなる傾向がみられたが、S-7のオノ打ちとノコギリ打ちはそのような傾向はみられなかった。このように、スギ、ヒノキでの残枝径は、巻込み長に影響しない場合が多かった。

次に、残枝長と巻込み長の関係について、スギ若齢林をFig.19に、スギ壮齢林をFig.20に、ヒノキ若齢林をFig.21に示した。これらの図中には、残枝長と巻込み長の関係を一次式で近似し相関係数の検定結果と、原点を通る傾き1の破線を示した。残枝長と巻込み長の関係は、スギ若齢林のナタ打ちの4例はすべて有意、カマ打ちでは、3例中1例が有意、2例は有意でなかった。カマ打ちの巻込み長は、残枝長が同じならナタ打ちに比べ大きな違いはみられず、有意であった例、有意でなかった2例とも残枝長が大きくなると巻込み長も大きくなる傾向を示した。スギ壮齢林では、ナタ打ちのS-6とオノ打ちのS-7は有意、ノコギリ打ちのS-7は有意でなかった。一方、ヒノキ若齢林では、ナタ打ちの4例、ノコギリ打ちの1例とも有意であった。このように、スギ、ヒノキでの残枝長は、巻込み長に影響する場合が多かった。

以上のように、巻込み長は残枝長が大きくなるとともに大きくなる関係が強かった。そこで、残枝長と巻込み長の関係に注目し図中に示した傾き1の破線と比較すると、スギ若齢林(Fig.19)での巻込み長は、残枝長より小さい値のものもみられるが、残枝長より大きい値が多かった。また、各林分ですべての残枝が巻込みを完了する巻込み長は、ナタ打ち、カマ打ちとも林分の最大残枝長の値とほぼ等しかった。スギ壮齢林(Fig.20)では、残枝長が15～20mm以下での巻込み長は残枝長より大きなものがみられるが、それより大きな残枝長では巻込み長が残枝長より小さくなる傾向が顕著であった。すべての残枝が巻込みを完了する巻込み長は、S-7では未巻込みのものがあったため除外しS-6に注目すると、スギ若齢林と同様に最大残枝長の値とほぼ等しかった。ヒノキ若齢林(Fig.21)では、残枝長が10mm前後以下での巻込み長は残枝長より大きいものが多いが、残枝長が10mm以上での巻込み長は残枝長とほぼ等しくなるものが多かった。そして、各林分ですべての残枝が巻込みを完了する巻込み長は、ナタ打ち、

ノコギリ打ちとも林分の最大残枝長の値とほぼ等しく、スギと同様であった。これらのことから、巻込み長の値は、残枝長が10mm前後以下では残枝長より大きくなるものが多く、残枝長が10～20mm前後では残枝長とほぼ等しくなり、残枝長が20mm前後以上になると残枝長より小さくなる傾向があるといえる。そして、すべての残枝が巻込みを完了する巻込み長は、各林分の最大残枝長の値とほぼ等しいといえる。

2) 枝打ち時期と巻込み長

ここでは、普通の作業として枝打ちした場合に、枝打ち時期(枝打ち時における枝着生最下部の皮付き幹直径)の違いが巻込み長におよぼす影響を検討する。スギ若齢林を示したFig.16からみると、枝打ち時期が6cm以下と小さかったS-2, 3, 4でのナタ打ちは、S-2で残枝径が15～20mmのものが数個あった他は13mm以下で、巻込み長はすべて9mm以下であった。また、スギで枝打ち時期が6cm以下をカマ打ちしたS-2, 3, 4では、残枝径が15mm以上のものがS-2で6個みられたが、その他はすべて15mm未満で、巻込み長はすべて9mm以下で、同時期にナタ打ちした値と同じであった。枝打ち時期が8cm以下であったナタ打ちのS-1では、残枝径が20mm以上のものも数個みられ、巻込み長はすべて14mm以下であった。

一方、スギ壮齢林の枝打ち(Fig.17)では、枝打ち時期が25cm以下であったS-6のナタ打ちは、残枝径が30～70mmの大きなものが多く含まれていたが、巻込み長は1個を除き20mm以下であった。S-7で24cm以下をノコギリ打ちした場合は、約10%が未巻込みで、巻込みを完了した90%の巻込み長は18mm以下でS-6とほぼ同じであった。S-7で幹直径が40cm以下をオノ打ちした中で38%が未巻込みであったが、巻込みを完了したものだけについてみると、残枝径が60mm未満で、巻込み長は30mm以下であった。

ヒノキの巻込み長(Fig.18)についてみると、枝打ち時期が8cm以下でナタ打ちしたH-1では、残枝径が15mm以下で、巻込み長は1個を除き14mm以下で、同時期に枝打ちしたS-1と同じであった。10cm以下をナタ打ちしたH-2, 4, 5

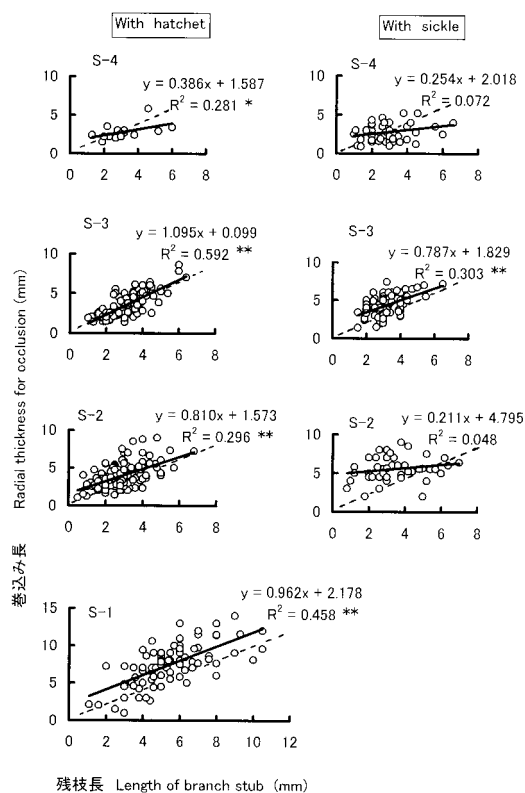


Fig. 19. スギ若齢林のナタ、カマ打ちによる残枝長と巻込み長

Relationships between length of branch stub and radial thickness for occlusion in Sugi young stands. Comparison between hatchet and sickle.

* : 危険率 5 % で有意, ** : 危険率 1 % で有意を示す。破線は原点を通る傾き 1 の式を示す。

** indicates significance at 1% level, * at 5% level. Broken line is drawn by equation $y = x$.

では、残枝径が20mm以上のものもみられたが、巻込み長はすべて14mm以下であった。しかし、12cm以下をノコギリ打ちしたH-3は、残枝径が30mm前後と大きいものが含まれ、巻込み長も15～20mmと大きいものがみられた。

このように巻込み長は、枝打ち時期が6cm以下でのスギでは9mm以下に、8cm以下でのスギ、ヒノキでは14mm以下に、12cm以下でのヒノキでは20mm以下に、25cm以下でのスギでは20mm以下であった。また、枝打ち時期が24cm以下と40cm以下でのスギでは、未巻込みのものがそれぞれ18、30mm以上になると考えられる。以上のことから、スギ、ヒノキの枝打ちは、枝着生部の幹直径が大きくなると、着生する枝径が大きくなって、枝打ち跡の残枝径と残枝長がともに大きくなるため、巻込み長も大きくなるといえる。

3) ナタ、ノコギリ模擬打ちでの巻込みの速さ
枝打ち器具による巻込みの遅速を検討するた

め、S-5の成長良好な個体と劣悪な個体を各2本供試木(Table 6)とし、生枝の模擬打ちを行った。枝打ち後の巻込み率は、各供試木の器具ごとに切断部面積合計を求め、この値に対するn年後の巻込み面積合計の割合で示した(Table 6)。巻込み率を、成長良好な供試木1、2と、劣悪な供試木3、4の2組に分けてWilcoxonの検定(奥野, 1978)を行った結果、成長の良否を問わずノコギリ打ちよりナタ打ちでの巻込み率が高いといえた。竹下(1972)は、ヒノキでナタ打ちがノコギリ打ちよりも早く巻込まれる傾向を認めており、今回の結果も同様であった。

残枝長は、枝打ち器具ごとに残枝径が大きくなるに従い大きくなる傾向がみられた。また、ナタ打ちによる残枝長はノコギリ打ちに比較して小さく、残枝径が大きくなるとともに残枝長の違いが大きくなる傾向を示した(Fig.22)。このように、ノコギリ打ちでの残枝長がナタ打ちより大きくなる傾向は、先述した模擬打ちでも認められたし(Fig.13)、ここでの結果と同じであった。巻込み

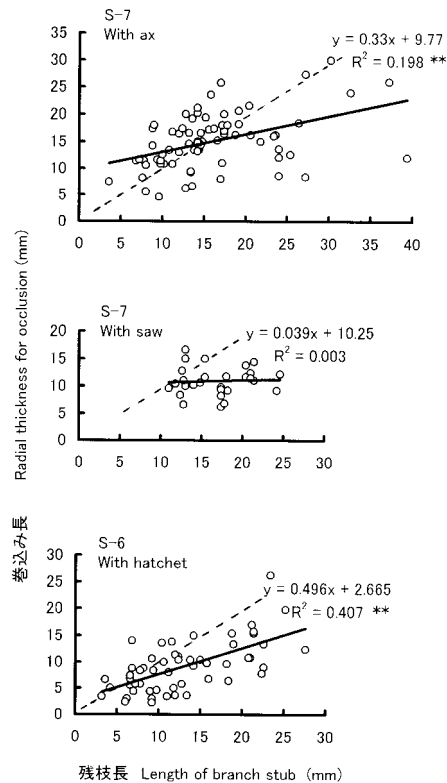


Fig. 20. スギ壮齢林のナタ, ノコギリ, オノ打ちによる 残枝長と巻込み長

Relationships between length of branch stub and radial thickness for occlusion in Sugi mature stands.

Comparison with the tools.

** : 危険率 1 % で有意を示す。破線は原点を通る傾き 1 の式を示す。

** indicates significance at 1% level. Broken line is drawn by equation $y = x$.

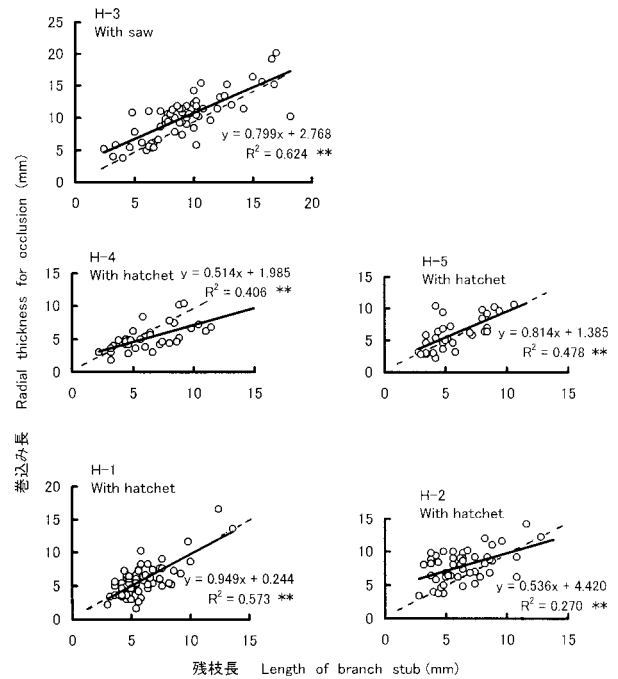


Fig. 21. ヒノキ若齢林におけるナタ, ノコギリ打ちでの残枝長と巻込み長

Relationships between length of branch stub and radial thickness for occlusion in Hinoki young stands pruned with hatchet or saw.

** : 危険率 1 % で有意を示す。破線は原点を通る傾き 1 の式を示す。

** indicates significance at 1% level.

Broken line is drawn by equation $y = x$.

Table 6. 模擬枝打ち時における供試木の概況と枝打ち後の巻込み率の変化 (S - 5)

The sample trees and ratio of occlusion by test pruning carefully carried out.

供 試 木 Sample trees	1		2		3		4	
胸高直径 (cm) DBH	10.5		10.6		4.5		4.4	
樹 高 (m) Tree height	9.2		9.0		5.7		5.9	
枝 下 高 (m) Clear length	1.8		2.2		0.7		0.5	
枝打ち高 (m) Height of pruning	5.1		4.8		2.4		2.3	
枝打ち器具 Pruning tool	ナタ ノコギリ Hatchet Saw		ナタ ノコギリ Hatchet Saw		ナタ ノコギリ Hatchet Saw		ナタ ノコギリ Hatchet Saw	
平均枝直径 (mm) Mean branch diameter	10.8 10.7		10.5 10.4		6.5 6.8		6.4 6.2	
1 年後 After one year	27 21		33 32		18 10		18 28	
巻込み率 Ratio of	83 65		65 54		54 33		61 49	
occlusion After two years	96 91		88 86		63 39		78 66	
(%) After three years	— —		93 94		76 55		84 74	
4 年後 After four years								

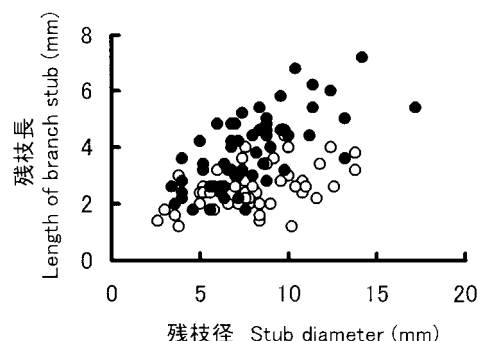


Fig. 22. スギのナタ, ノコギリ模擬打ちによる残枝径と残枝長
Relationship between stub diameter and length of branch stub by carefully carried out test pruning in Sugi stand. Comparison between hatchet and saw.
○ : ナタ打ち With hatchet
● : ノコギリ打ち With saw

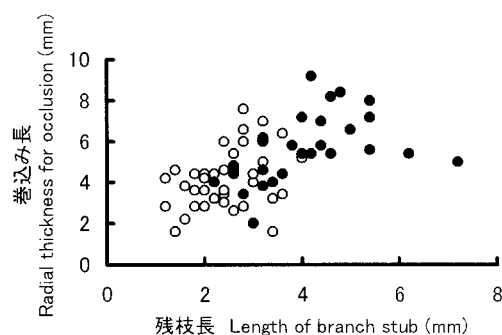


Fig. 23. ナタ, ノコギリ模擬打ちでの残枝長と巻込み長
Relationship between length of branch stub and radial thickness for occlusion by test pruning carefully carried out in Sugi stand. Comparison between hatchet and saw.
○ : ナタ打ち With hatchet
● : ノコギリ打ち With saw

が完了した枝打ち跡の巻込み長は、残枝長に比例する傾向がみられ、残枝長が同じなら器具の違いによる巻込み長の差は明らかでなかった (Fig.23)。

模擬打ちでの枝打ち跡は、林分内の成長のよい個体、悪い個体を問わず、ナタ打ちがノコギリ打ちよりも早く巻込まれた。これは、巻込みの遅速に影響をおよぼす残枝長が、ノコギリ打ちよりナタ打ちで小さく抑えられたことによっているといえる。残枝長が同じなら、枝打ち器具の違いによる巻込みの速さには差が生じないと考えられる。すなわち、巻込み速度からみた枝打ち器具の違いは、残枝長の大きさと考えてよい。ノコギリ模擬打ちでの残枝長の値は、ナタ模擬打ちより大きい、普通の作業によるナタ打ちより小さかった

(Fig.9, Fig.13)。このことから、残枝長は枝打ち技術や器具への慣れにより大きく影響を受けると考えられ、どの器具がよいと結論づけることはできない。

1-5 巻込み後の年輪走行の乱れと平滑長

(1) 年輪走行の乱れ

巻込み完了後は、しばらくの間年輪走行が乱れることが多い。年輪走行の乱れは、柾目面で樹皮側に凸型、凹型、ほぼ平行なものに区分でき、それぞれを凸型、凹型、平行型とした。生枝打ちでの年輪走行型の出現割合を、樹種、枝打ち器具ごとの調査数とともに Table 7 に示した。

スギ若齢林では、ナタ打ち、カマ打ちともに単純林の S-1 と S-4 で凸型の割合が高かったのに比べ、複層林の下木である S-2 と S-3 では高くなかった。スギ壮齢林 (S-6, S-7) では、凸型の割合が圧倒的に高かったが、残枝径が大きく切断面が平滑でない枝打ち跡に凹型が少しみられた。ヒノキ (H-1 ~ 5) では凸型を示すものが 94 % 以上で、平行型や凹型はまったくないか、あっても数%とわずかであった。年輪走行が凹型になるのは、スギ、ヒノキとも残枝径が小さくて成長が悪い枝隆部のない枝打ち跡と、残枝径が 20mm 以上のもので切断面が平滑でないものに限られていた。スギ若齢林の S-2, S-3 で凹型や平行型の割合が高かったのは、両者とも二段林の下木で枝隆部が発達しない小さい枝が多かったためといえる。巻込み後の年輪走行は、小さくて成長の悪い枝を打った場合に凹型になりやすいといえよう。一方、枝径が大きいものや小さくても良好な成長をしている枝では、凸型になるといえる。平行型は、凸型から凹型になる間の枝に生じるといえよう。

巻込み後の年輪の乱れについては、ノコギリ打ちで枝径が小さいものや切り口が平滑でない場合は凹型になる (桑原, 1973) ことが知られており、今回の結果もほぼ同様であった。一方、自然落枝による巻込みでは、枝径が 15mm 以下のものに凹型、それ以上に凸型の出現割合が高かったが、全体としては凸型よりも凹型の出現割合が高い (加納, 1967) 結果が得られており、自然落枝と枝隆部のない小さい枝を枝打ちした場合の年輪走向の

Table 7. 巻込み後における年輪走行型の出現割合

Relative frequency of annual ring appearances after occlusion.

調査林 Stand	枝打ち器具 Pruning tool	調査節数 Number of knots (No.)	出現割合 (%) Relative frequency			
			凹型 Concavity	凸型 Convexity	平行型 Flat	
S-1	ナタ	Hatchet	25	12	84	4
S-2	ナタ	Hatchet	144	31	25	44
S-3	ナタ	Hatchet	104	9	61	30
S-4	ナタ	Hatchet	17	0	82	18
S-2	カマ	Sickle	46	37	20	43
S-3	カマ	Sickle	80	26	45	29
S-4	カマ	Sickle	46	9	76	15
S-6	ナタ	Hatchet	55	2	96	2
S-7	オノ	Ax	74	12	82	6
S-7	ノコギリ	Saw	28	0	100	0
H-1	ナタ	Hatchet	73	3	97	0
H-2	ナタ	Hatchet	50	0	98	2
H-3	ノコギリ	Saw	63	1	94	5
H-4	ナタ	Hatchet	35	0	100	0
H-5	ナタ	Hatchet	33	0	100	0

型は類似しているといえよう。

(2) 平滑長

巻込み後の年輪の乱れは、幹の成長に従って徐々に回復する。年輪が平滑になるには、幹の半径成長がどの程度必要であるかを検討するため、残枝径と平滑長の関係を Fig.24 に、残枝長と平滑長の関係を Fig.25 に示した。両図に示したスギ壮齢林の S-6 で年輪が平滑に至っていないものは、非平滑として枝打ちから伐倒までの幹の半径成長量を示した。若齢林の S-2, S-3, H-1 での平滑長は、残枝径、残枝長の両者と有意な関係が認められた。両図の相関係数を比較すると、H-1, S-2 では残枝径との相関が高く、S-3 では残枝長との相関がやや高かった。このように、平滑長は残枝径や残枝長の両者に影響を受けるが、残枝径がより強い影響をおよぼす傾向がみられた。残枝長と平滑長の関係を示した Fig.25 の S-2, S-3 では、残枝長より平滑長の値が小さいものが数例みられた。これは、若齢林で年輪が平滑になるという定義を残枝着生部の上、下端から各 2 cm 離れた所の年輪との交点を直線で結び、巻込み後の年輪走行がその直線より 1 mm 以内に納まった場合としたため、残枝径、残枝長がともに小さくて巻込み完了時の年輪が残枝に近

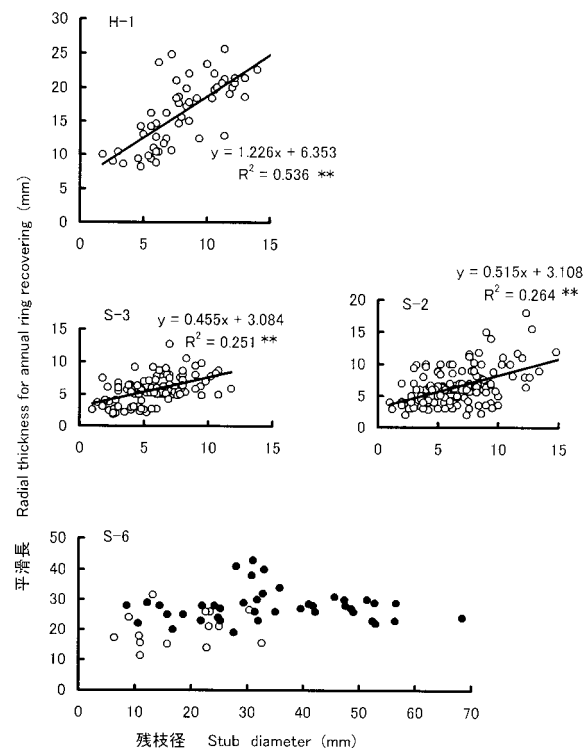


Fig. 24. スギ、ヒノキ若齢林およびスギ壮齢林でのナタ打ちによる残枝径と平滑長

Relationships between stub diameter and radial thickness for annual ring recovering after hatchet pruning.

** : 危険率 1% で有意

** indicates significance at 1% level.

○ : 平滑 Recovered ● : 非平滑 Not recovered

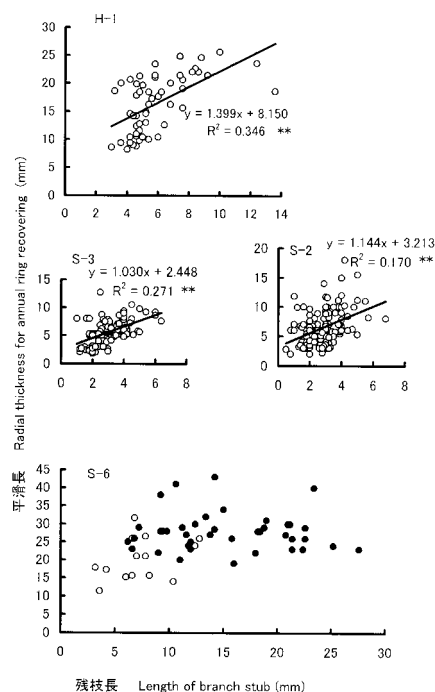


Fig. 25. スギ、ヒノキ若齢林およびスギ壮齢林でのナタ打ちによる残枝長と平滑長

Relationships between length of branch stub and radial thickness for annual ring recovering after hatchet pruning.

** : 危険率 1 % で有意

** indicates significance at 1 % level.

○ : 平滑 Recovered ● : 非平滑 Not recovered

く凸型の巻込みの場合に生じたものである。一方、壮齢林の S-6 では、残枝径が 35mm 以下や残枝長が 13mm 以下のもので平滑になったのがみられたが、これらより大きな残枝径や残枝長のものは、20 ~ 45mm の半径成長量があっても非平滑であった。

平滑長の値は S-2, S-3 ではほぼすべての枝打ち跡が 15mm 以下、H-1 ではすべての枝打ち跡が 25mm 以下であった。しかし、S-6 では幹の半径成長が 40mm になってもまだ非平滑なのがみられ、平滑長がどの程度が明らかにできなかった。スギ林を挽材面で調査した加納(1967)は、枝先端部から年輪平滑までに必要な幹の半径成長量は 30mm 以下であったという。そこで、この値を用い、枝打ち時期が 25cm 以下であった S-6 の平滑長を、枝打ち時における枝先端部までの長さ、すなわち残枝長を加えることで推定する。S-6 の残枝長は 25mm 以下であったから、残枝先端から 30mm 以下で平滑になるとすると、平滑長は両者を加えた値 55mm 以下と推定される。

図示しなかったが、枝打ちから平滑になるまでの必要年数をみると、S-2, S-3 では早いものでは 1 年後、5 年後にはほぼすべてが、7 年後にはすべてが平滑になっていた。H-1 では、枝打ち後 4 年目頃から平滑になるものがあり、10 年程度でほぼすべての枝打ち跡が平滑になった。S-6 では枝打ちから 23 年を経過しても非平滑なものが多かった。

これらのことから、ほぼすべての枝打ち跡が平滑になるには、スギ、ヒノキ若齢林で枝打ち時期が 6 cm 以下では 15mm, 8 cm 以下では 25mm, スギ壮齢林の枝打ち時期が 25cm 以下では 55mm の幹半径成長が必要であるといえる。このように、壮齢林の枝打ちで巻込み後の年輪走行が平滑になるには、枝打ち時から半径成長で 55mm, 直径成長では 11.0cm 必要で、幹の直径成長が小さいことから長期間を要し、年輪が平滑な材の生産はきわめて困難であるといえよう。

1-6 枯枝の巻込み

(1) 枝枯死からの残枝長

スギ壮齢林の S-6, S-7, およびヒノキ若齢林の H-2 ~ 5 における枯枝の枯死時点の残枝径と枯死からの残枝長(Photo. 2a)の関係を Fig.26 に示した。枯枝には、自然落枝と枝打ちされたものがあり、両者を区別できなかったため分けないで示した。従って、ここでは枯枝が枝打ちされた場合の残枝径と残枝長の関係については検討できない。枝打ちが 52 年生と遅かった S-7 では、残枝

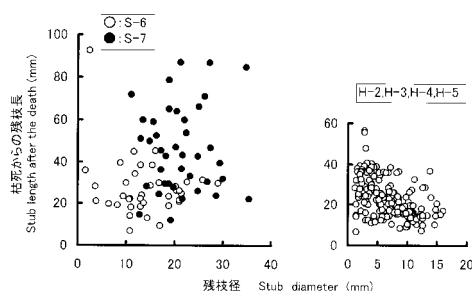


Fig. 26. スギ壮齢林、ヒノキ若齢林における枯枝の枯死時点の残枝径と枯死からの残枝長

Relationships between stub diameter and length of branch stub after the death of the branch or artificial dry pruning.

枯枝打ちと自然落枝を含む。

Both artificial dry pruning and natural pruning were included.

径が20mm以上のものがみられたが40mm以上のものはなかった。枝打ちを繰り返していたS-6では、残枝径が20mm以上のものは少なかった。S-6, S-7とも生枝打ちでは残枝径が40mm以上の枝が多くみられた(Fig.11)のに比較し枯枝の残枝径は小さかった。これは、樹冠内の細い枝が早く枯死するためであろう。一方、枯枝の残枝長は、S-6では残枝径が3mm足らずで90mmを越えるものがみられたし、S-7では残枝径が20mm程度で80mmに達するものがみられた。S-6, S-7では、ともに枝打ちが行われたため残枝長に大きなものが少なくなったことが考えられ、枝打ちせずに放置すれば残枝長が50mm以上の大きなものが増加する可能性が高いといえる。ヒノキ林のH-2~5における残枝径はすべて17mm以下で、生枝打ちでの残枝径に20mm以上が含まれていた(Fig.12)のに比べて小さかった。これは、スギと同様に樹冠内の小さい枝が早く枯死するためであろう。残枝長は、残枝径3mm程度の小さいもので50mm以上の大きなものがみられたが、ほとんどは40mm以下であった。これらヒノキ林は、最も遅い枝打ちでも28年生であったため、枝が枯死してからの年月が短く残枝長がこの程度であったといえる。ヒノキは、自然落枝がスギより遅いことから、枯枝を枝打ちせずに放置すればスギ以上の残枝長になることが予想される。

(2) 枝枯死からの巻き込み長

枯枝の枝打ちと自然落枝を含む試料で、残枝長(枯死時点から枝先端までの長さ)と巻き込み長(枯死時点から巻き込み完了までの長さ)の関係を一次式とともにFig.27に示した。一次式の相関係数は有意で、一次式の傾きはスギ、ヒノキとも1に近く、巻き込み長は残枝長にほぼ比例しているといえる。一方、生枝打ちでの巻き込み長は、残枝長より小さいものが多くみられた(Fig.19, Fig.20, Fig.21)。これは、自然落枝が幹の直径成長により物理的に巻き込まれるのに対し、生枝打ち部では早期に巻き込む何らかの機構が働く(高原, 1961)ためと考えられる。なお、55年生のスギで自然落枝の巻き込み長は40~60mmのものが多く、残枝径と巻き込み長の間に関係が認められない(藤森, 1975)結果が得られている。これは、残枝径

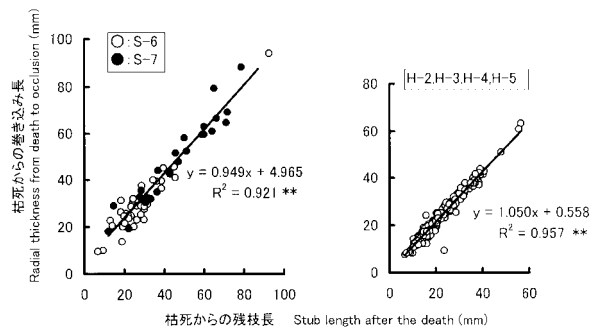


Fig. 27. スギ壮齢林、ヒノキ若齢林における枯枝の枯死からの残枝長と枯死からの巻き込み長

Relationships between length of branch stub after the death of branch and radial thickness from death to occlusion.

枯枝打ちと自然落枝を含む。

Both artificial dry pruning and natural pruning were included.

** : 危険率 1% で有意

** indicates significance at 1% level.

と残枝長の間に相関関係がなかったためと考えられる。今回の試料は枯枝打ちが混在しており、自然落枝での残枝径と巻き込み長の関係は検討できなかった。

スギ、ヒノキの枯枝は、枯死した時点から残枝先端までの長さが大きく、枯死後速やかに落下しないことが示唆され、枯死からの巻き込み長も大きかった。これらのことは、枝が枯死してから巻き込み完了までの間に、死節や抜け節、腐れ節が生産されることになるので、生枝打ちがその対策になるといえる。

(3) 枯枝の模擬打ちによる残枝長

枝打ちは、生枝のみを打つのではなく、枯枝が混在する場合が多い。そこで、枯枝を枝打ちした場合の残枝長を知るため、スギとヒノキの枯枝をノコギリを用いて模擬打ちを行い、残枝径と残枝長の関係をFig.28に示した。なお、ここでの残枝径は枝切断点での枝直径、残枝長は枝打ち時点の幹の最外側の年輪から残枝の先端までの長さで、生枝打ちと同様である。両樹種の残枝径と残枝長の関係は有意で、残枝径が大きくなるに従い残枝長も大きくなる傾向が認められた。

両樹種の残枝径は15mm以下で大きなものはなく、残枝長はすべて6mm以下であった。この値は、先に生枝のノコギリを用いた模擬打ちで、残枝径が

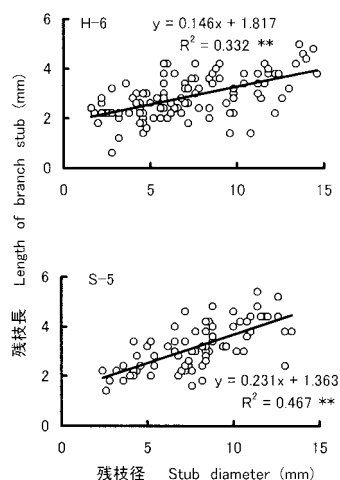


Fig. 28. スギ、ヒノキ枯枝のノコギリ模擬打ちによる残枝径と残枝長

Relationships between stub diameter of dead branches and length of branch stub by test pruning with saw carefully carried out.

** : 危険率 1 % で有意

** indicates significance at 1% level.

15mm 以下でも残枝長が 6 mm を越えるものがあつた (Fig.13, Fig.22) のと比較すると、やや小さい傾向がみられた。枝隆部は、成長の盛んな枝ほど発達し、成長のよくない小さい枝では発達しない違いはあるが、枝の成長が衰え枯死するとともに小さくなり、やがて枝基部が凹型になるものも現れる (外館, 1978) という。このように、枯死した枝は枝隆部が小さくなったりなくなったりするため、生枝に比べ残枝長がやや小さくなるといえよう。枯枝の巻込み長は、Fig.27 に示したように残枝長にほぼ比例すると考えてよく、生枝打ち (Fig.19, Fig.20, Fig.21) に比べやや大きくなる可能性がある。現場での枝打ちでは、「1-2」の着生枝数で明らかにしたように、早期に枯死した枝があるため、生枝と枯枝が混在するが、残枝をある幹直径の範囲に納めるといふ枝打ちの目的からみれば、枯枝が混在しても特に問題はないといえる。

以上の結果から、スギ林やヒノキ林における枝直径や着生枝数は、若齢時から枝打ちを行えば無節材生産に影響をおよぼす要因にはならず、枝打ち林分の条件として意味を持たないことが明らかになった。また、若齢時及び壮齢時の枝打ち跡の実態から、枝打ち時における枝着生部の幹直径が小さいほど、残枝長や巻込み長、それに平滑長が小さくなること

を明らかにした。

これらの結果は、スギ林とヒノキ林で違いがないこと、無節材生産では枝打ち時期が最も重要であることが明らかになった。表面無節の心持ち柱材生産を目的とした枝打ちでは枯枝の存在が障害にならないこと、ナタやノコギリなど枝打ち器具の違いによる残枝長や巻込み長などの特徴が明らかになった。

2 枝打ち時期の検討

心持ち無節柱材や無節で年輪走向に乱れない優良材生産を目的とする枝打ちでは、目的に合った直径内にすべての節を納めることが必要で、「1」で得られた成果から生産目的に適した枝打ち時期を明らかにしようとした。また、幹曲がりや心持ち無節柱材や優良材生産におよぼす影響とともに、枝打ち林分から心持ち柱を製材して柱材製品からみた枝打ち時期を明らかにしようとした。これらの成果を用い、心持ち無節柱材や優良材生産を目的とした枝打ち時期を確立することを試みた。

2-1 枝打ち時期の考え方

(1) 心持ち無節柱材生産

ここで論議する心持ち無節柱材とは、製品となった柱材表面に節が現れないもので、巻込みによる年

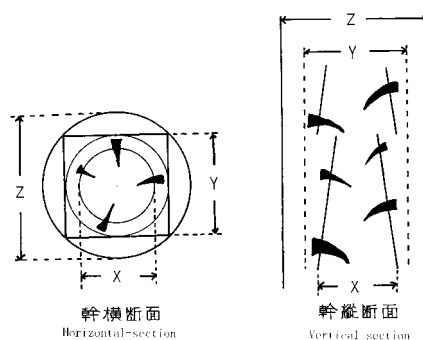


Fig. 29. 無節材生産のための枝打ち模式図

Model for the pruning to produce knot-free timber.

Y : 心持ち正角無節材の一辺の長さ

Length of one side in knot-free squar-sawn boxed heart timber.

X : 枝打ち時における枝下高部の幹直径

Stem diameter just below the lowest branch at the time of pruning.

Z : Y の正角材生産のための最小必要幹直径

$Z = 2^{1/2} \cdot Y$

Least stem diameter (Z) needed for the production of the timber whose length of one is Y.

$Z = 2^{1/2} \cdot Y$

輪走行の乱れがあっても許容するものとする。枝打ち木の横断面と縦断面を模式的に示したのが Fig.29 である。一边を Y cm とする心持ち無節柱材を生産目標とする時は、次の条件を満たせばよい。

すべての残枝が幹直径 Y cm の円内にあること。

スギ、ヒノキの巻き込み長 (Fig.19, Fig.20, Fig.21) は、残枝長が 10mm 前後以下では残枝長より大きくなるものが多く、残枝長が 10 ~ 20mm 前後では残枝長とほぼ等しくなり、残枝長が 20mm 前後以上になると残枝長より小さくなる傾向がみられた。また、すべての残枝が巻き込みを完了する巻き込み長の値は、枝打ち時期における幹直径の大小や枝打ち器具を問わず、各林分の最大残枝長の値に近かった。このため、すべての残枝が幹直径 Y cm の円内にあれば、枝打ち跡は Y cm までに巻き込みを完了する。心持ち柱材の大きさ Y は、小さくても 9.0cm、一般には 10.5cm か 12.0cm で、このような大きさの柱材を採材しようとするば、Y から採材時直径 Z までの半径成長はそれぞれ 18, 21, 25mm 以上必要である。心持ち無節柱材を生産するための条件は で十分であり、「2-2」ですべての残枝を Y cm 以内に納める枝打ち時期を検討することとする。

(2) 枝打ち時期と無節材、平滑材の生産開始時期

「1-3」で得られた枝打ち時期と残枝長の関係は、枝着生部の皮付き幹直径が 6 cm 以下をナタやカマで枝打ちしたスギでは 7 mm 以下、8 cm 以下を枝打ちしたスギ、ヒノキでは 11mm 以下で樹種による違いがみられず、10, 12cm 以下を枝打ちしたヒノキではそれぞれ 15, 18mm 以下であった。また、スギで 24cm 以下、25cm 以下を枝打ちした残枝長は、それぞれ 25, 28mm 以下であった。これらスギ、ヒノキを普通に枝打ち作業した枝打ち時期 (枝打ち時における枝着生最下部にあたる皮付き幹直径: X) と、ある値以下であるとした残枝長を最大残枝長 (L) とし、両者の関係を Fig.30 に示した。近似式は、次式で示された。

$$L = -0.05 X^2 + 2.63 X - 6.68 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R^2 = 0.968$$

この式は、枝打ち時期ごとにすべての残枝長がこの値以下で、枝打ち時からの幹半径成長量がこの値に達した以降に無節材が生産できることを示している。なお、S-7 のオノ打ちでは、枝打ち時期が

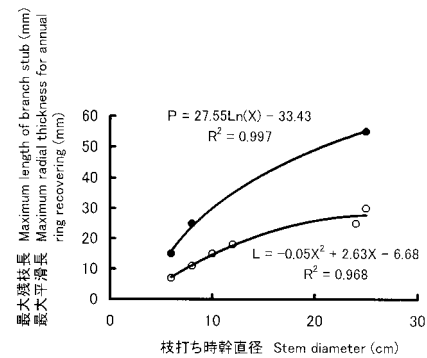


Fig. 30. 枝打ち時期と最大残枝長、最大平滑長の関係

Relationships between maximum length of branch stub and stem diameter at the time of pruning, and between maximum radial thickness for annual ring recovering and stem diameter at the time of pruning.
○ : 最大残枝長 Maximum length of branch stub
● : 最大平滑長 Maximum radial thickness for annual ring recovering

40cm 以下で最大残枝長は 40mm 以下であったが、これほど大きくなっての枝打ちは優良材生産として無意味であり除外した。

一方、枝打ち時期と平滑長の関係は、「1-5」で検討したように、枝打ち時期が 6 cm 以下であった S-2, S-3 と 8 cm 以下であった H-1 での平滑長がそれぞれ 15, 25mm 以下、幹直径が 25cm 以下であった S-6 の平滑長の推定値が 55mm 以下の 3 例が得られた。これらの値を用いて枝打ち時期 (X) と最大平滑長 (P) の関係を Fig.30 に併せて示した。近似式は次式で示された。

$$P = 27.55 \ln(X) - 33.43 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R^2 = 0.997$$

最大平滑長とは、すべての平滑長がこの値以下で、枝打ち時からの幹半径成長量がこの値に達した以降に年輪走向に乱れない平滑材が生産できることを示している。

Fig.30 の最大残枝長や最大平滑長は、幹の半径成長であるため幹直径で表すにはこれらを 2 倍することが必要である。例えば、枝打ち時期が 10cm 以下で枝打ちを行ったとすると、(1) 式に X = 10cm を代入して求め、これを 2 倍した 29mm を枝打ち時の幹直径 10cm に加えた幹直径 12.9cm 以内に残枝を納めることができることを示している。そして、幹直径が 12.9cm 以降に無節材が生産され始めることを示している。同様に (1), (2) 式から枝打ち時期と無節材、平滑材の生産開始幹直径との関係を求め Table 8 に示した。例えば、枝打ち時期が 6, 10,

Table 8. 枝打ち時期と無節材および平滑材の生産開始直径
The stem diameter at the time of pruning, and the stem diameter at the beginning of knot-free timber production, and annual ring recovered timber production.

枝打ち時の幹直径 Stem diameter at the time of pruning (cm)	無節材 Knot-free timber (cm)	平滑材 Annual ring recovered timber (cm)
6	7.5	9.2
8	10.2	12.8
10	12.9	16.0
15	19.3	23.2
20	25.2	29.8
25	30.6	36.0

20cm以下での無節材生産開始直径は、それぞれ7.5, 12.9, 25.2cm, 平滑材の生産開始直径はそれぞれ9.2, 16.0, 29.8cmと推定される。

Table 8 に示した無節材, 平滑材の生産開始直径を現実の枝打ちに適用するには数mmの余裕を見込むべきであり, また, 生産材の利用幹長あたりの幹曲がり分を加えたものが, 実際の無節材, あるいは平滑材の生産開始直径となる。ここで, 幹半径成長に1mmの余裕を見込めば直径で2mm, 幹長3, 4mあたりの幹曲がり分を2cmとすると, 無節材, 平滑材の生産開始直径は, Table 8 の値に2.2cmを加えたものとなる。例えば, 枝打ち時期が10cm以下では, 幹直径が15.1cmから無節材が, 幹直径が18.2cmから平滑材が生産され始める。また, 枝打ち時期が15cm以下では, 幹直径が21.5cmから無節材が, 幹直径が25.4cmから平滑材が生産され始めることを示している。

2-2 通直な個体での生産目標と枝打ち時期

(1) 心持ち無節柱材生産

ここでは, 通直な個体を対象として, 生産目標と「2-1」で指摘した条件 にあたる枝打ち時期Xを考察する。心持ち柱材は, 通常10.5cm角が, 次いで12.0cm角が多く, ここでは, これら2種類の柱材と磨き丸太生産について検討する。

1) 10.5cm角の心持ち無節柱材生産

10.5cm角の心持ち4方無節柱材生産では, 幹直径10.5cm内にすべての残枝が納まっていることが必要であるため(Fig.29), 枝打ち時期は, 10.5cmから最

大残枝長の2倍分を差し引いた大きさより小さい時となるが, ここで, 幹直径に2mmの余裕を見込むこととする。これらの条件を満たす枝打ち時期Xは, 次式で示すことができる。

$$X \text{ cm} = 10.5 \text{ cm} - 2(L) - 0.2 \text{ cm} \\ = 10.3 \text{ cm} - 2(L)$$

ただし, Lは(1)式から求める値で, mm単位であった。上式に(1)式を代入し,

$$X = 10.3 - 2 \cdot 0.1(L) \\ = 10.3 - 0.2(-0.05X^2 + 2.63X - 6.68) \\ = 10.3 + 0.01X^2 - 0.526X + 1.336$$

この式をXについて解くと, $X = 8.05 \text{ cm}$ となる。すなわち, スギ, ヒノキの通直な個体で10.5cm角の心持ち4方無節柱材は, 枝打ち時期(枝打ち時における枝着生最下部にあたる皮付き幹直径)が8.0cm以下であれば生産できる。

次に, 柱材表面の年輪に乱れない枝打ち時期を検討する。枝打ち時期の検討には, 最大平滑長が重要で, (2)式を用いて求めることができる。ここで, 幹直径に2mmの余裕を見込むと, 年輪が平滑となる枝打ち時期Xは次式で示すことができる。

$$X \text{ cm} = 10.5 \text{ cm} - 2(P) - 0.2 \text{ cm} \\ = 10.3 \text{ cm} - 2(P)$$

ただし, Pは(2)式から求める値で, mm単位であった。上式に(2)式を代入し,

$$X = 10.3 - 2 \cdot 0.1(P) \\ = 10.3 - 0.2(27.55 \ln(X) - 33.43) \\ = 10.3 - 5.51 \ln(X) + 6.69 \\ = -5.51 \ln(X) + 16.99$$

この式を満足する $X = 6.60 \text{ cm}$ となる。すなわち, スギ, ヒノキの通直な個体で, 柱材表面の年輪に乱れない10.5cm角の心持ち4方無節柱材を生産するには, 枝打ち時期が6.6cm以下であればよい。

2) 12cm角の心持ち無節柱材生産

12cm角の心持ち4方無節柱材生産の枝打ち時期の考え方は10.5cm角と同様で, 枝打ち時期は, 12cmから最大残枝長の2倍分を差し引いた大きさより小さい時となるが, 幹直径に2mmの余裕を見込むことにする。これらの条件から枝打ち時期Xは, 次式で示すことができる。

$$X \text{ cm} = 12.0 \text{ cm} - 2(L) - 0.2 \text{ cm} \\ = 11.8 \text{ cm} - 2(L)$$

ただし、 L は(1)式から求める値で、上式に(1)式を代入し、

$$\begin{aligned} X &= 11.8 - 2 \cdot 0.1(L) \\ &= 11.8 - 0.2(-0.05X^2 + 2.63X - 6.68) \\ &= 11.8 + 0.01X^2 - 0.526X + 1.336 \end{aligned}$$

この式を X について解くと、 $X = 9.16\text{cm}$ となる。この結果、スギ、ヒノキの通直な個体では、枝打ち時期を9.1cm以下とすることで、12cm角の4方無節柱材が生産できる。

年輪に乱れない枝打ち時期は、最大平滑長が重要で、幹直径に2mmの余裕を見込んで検討する。

10.5cm角生産と同様に(2)式を用い、枝打ち時期 X は次式で示すことができる。

$$\begin{aligned} X &= 12.0\text{cm} - 2 \cdot 0.1(P) - 0.2\text{cm} \\ &= 11.8 - 0.2(27.55\text{Ln}(X) - 33.43) \\ &= -5.51\text{Ln}(X) + 18.49 \end{aligned}$$

この式を満足する $X = 7.44\text{cm}$ となる。すなわち、スギ、ヒノキの通直な個体で、柱材表面の年輪に乱れない12cm角の心持ち4方無節柱材を生産する枝打ち時期は7.4cm以下であればよい。

3)磨き丸太生産

磨き丸太には、絞のないものと人工絞、天然絞が含まれるが、これらはいずれも製品表面に巻き込み後の年輪の乱れが現れることが大きな欠点となる。また、丸太を製材するなどの加工をせず直接使用するため通直な個体でしか生産できない。製品直径は10.5～12.0cm程度が多く、ここでは磨き丸太の直径を10.5cmとして検討する。

10.5cmの磨き丸太生産では、幹直径が10.5cmになるまでに巻き込み後の年輪が平滑になり、年輪の乱れに対応した材表面の凹凸がないことが必要である。これは、10.5cm角の心持ち柱材で表面に年輪の乱れないものと同じ生産条件である。このため、枝打ち時期 X は、前述した10.5cm角の柱材生産と同じで、

$$X = 6.6\text{cm}$$

となる。ただ、この論文では、若齢林での巻き込み後の年輪が平滑になる定義を、残枝上下から各2cm離れた年輪を直線で結び、年輪の走向が1mm以内になった時とした。磨き丸太では、丸太表面が完全に平滑でなければならない、この定義では品質が低下する可能性がある。そこで、年輪が平滑になる余裕

を見込み、枝打ち時期を6.0cm以下にするのが適切であろう。

4)大径材での無節材生産

ここでは、枝打ちが遅くなった場合に、無節材や平滑材がいつから生産されるかについて検討する。Table 8に示した枝打ち時期と無節材、平滑材生産開始直径を適用するには、これに数mmの余裕を加える必要があることを既に述べた。例えば、枝打ち時期が10cm以下であれば、幹直径に2mmの余裕を見込んだ幹直径13.1cmから無節材が、幹直径16.2cmから平滑材が生産され始める。この場合は、枝打ち時から無節材、平滑材生産開始までの直径成長がそれぞれ3.1, 6.2cm必要である。また、枝打ち時期が15cm以下では、無節材、平滑材が幹直径19.5, 23.4cmから生産され始める。この場合は、枝打ち時から無節材、平滑材生産開始までの直径成長がそれぞれ4.5, 8.4cm必要となる。このように、無節材や平滑材の生産開始までの直径成長は、枝打ち時期が遅くなるほど大きく必要とすることに注目すべきである。

2-3 幹曲がりの実態

(1)調査林分と測定方法

幹曲がりの調査は、スギ2林分とヒノキ8林分で行い、調査時の林分概況をTable 9に示した。H-11～13のヒノキ林以外は、いずれも「1」と同じ

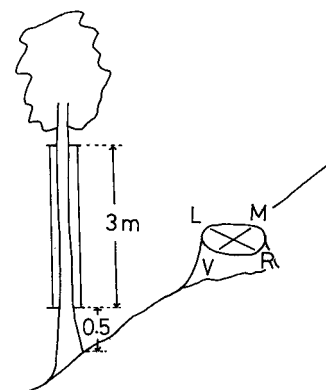


Fig. 31. 幹の曲がりと最大矢高出現位置の調査法

Measurement of stem-crookedness and its direction.

幹の曲がりは、地上0.5～3.5mまでの3mあたりとした。

測定位置は、M：山側、V：谷側、R：右側、L：左側を示す。

Stem-crookedness was measured along the section of the stem from 0.5 to 3.5m height above the ground.

Measurement directions were M: mount side, V: valley side, R: right side and L: left side, respectively.

Table 9. 調査林分の概況と最大矢高の出現位置の割合

Outlines of the stands, and relative frequency of maximum stem-crookedness on different directions.

林分 Stand	方位 Direction	傾斜 Gradient (°)	林 齢 Stand age (yr)	密 度 Density (No./ha)	平均胸高直径 Mean DBH (cm)	平均樹高 Mean tree height (m)	出 現 割 合 (%) Relative frequency			
							M*	V*	R*	L*
S-1	S	23	13	3,600	9.3	8.8	40	30	20	10
S-5	W	17	16	2,850	12.0	7.7	17	17	36	30
H-1	S	23	16	3,200	9.2	9.1	20	13	4	63
H-2	NW	41	20	4,400	9.2	8.0	30	13	33	24
H-3	E	38	22	2,210	13.6	10.8	25	0	25	50
H-4	S	38	28	2,140	15.3	12.0	56	7	26	11
H-5	E	35	23	2,980	13.2	11.3	33	8	33	26
H-11	SW	35	27	2,700	13.7	12.6	44	9	17	30
H-12	SE	28	20	3,870	11.3	9.3	30	30	22	18
H-13	SW	37	19	4,130	11.5	8.8	45	14	14	27

*:Fig.31を参照。 See Fig.31.

調査林分でS-1, H-1は全木が枝打ちされた林, S-5は無枝打ち林である。H-2~5およびH-11~13のヒノキ林は, 高知営林局管内にあり, 15~21年生の間に通直な個体をhaあたり1,000~1,200本を選木して地上3.5m前後まで枝打ちしたもので, 1981年に枝打ち木の曲がり測定した。

選木枝打ちされたヒノキは, 枝打ち時期が遅かったため成長の大幅な低下はみられず, 林分の平均木前後の大きさであった。これらの林分における積雪は少なく, 積雪の移動による林木の曲がりへの影響はない。

曲がりとは, Fig.31に示したように根曲がりの影響が出やすい根元部を除き, 地上高0.5mから3.5mまでの幹長3mを対象とした。地上0.5mと3.5mの位置に糸を張り凹型部での曲がりの最大値(最大矢高)を測定した。また, 最大矢高の出現位置を, 山側, 谷側, 斜面上方に向かって右側, 左側の4方向に区分した。

(2) 幹曲がりの出現位置

最大矢高の出現位置の割合(Table 9)は, スギ林のS-1では山側と谷側が, S-5では右側と左側が高かった。ヒノキ林のH-1では, 明らかに東寄りの風の影響と考えられる曲がりが生じ, 63%が左側(西方向)に出現し, 逆の右側は4%と低かった。H-4, H-11, H-13は, いずれも南から南西斜面の35~38度の急傾斜地にあるが, これらは山側が44~56%と高かった。しかし, 東向き急斜面に位置するH-3, H-5では, H-3が左側で50%と高く, H-5では山側と右側がやや高かった。H-2や

H-12では, 4方向で大きな差はみられなかった。

全体を通じた出現位置の割合は, 10林分中6林分が山側で最も高かった。傾斜地では山側の枝が早く枯死し, 結果として谷側に枝葉が多く着生し, 一旦谷側方向に幹が曲がるが, 成長するに従いこれを修正するため幹が山側に向かう, いわゆる揺り戻しのためではないかと推察される。

(3) 幹曲がりの大きさ

幹長3mあたり幹曲がりの頻度分布と平均の曲がりをFig.32に示した。S-1の曲がりは2, 3cm階の割合が高く, 4cm階も10%みられ, 平均2.4cmであった。S-5ではすべて2cm階以下で平均1.3cmと測定林中の最小を示した。この林はサンプスギのサシキ林で, 品種の特徴で曲がりが小さかったと考えられる。一方, ヒノキ林についてみると, H-1は2cm階と5cm階の割合が高く, 曲がりの大きい個体は明らかに風による影響を受けており, 平均でも3.1cmと大きかった。その他のヒノキ林は, 選木枝打ちしたものであるが, それでも曲がりが4cm階や5cm階の大きいものがみられ, 平均1.7~2.4cmであった。曲がりが2cm以下の本数割合は, 全木枝打ちしたS-1, S-5でそれぞれ38, 74%, H-1で33%, 選木枝打ちしたH-2からH-5ではそれぞれ60, 34, 37, 52%, H-11からH-13ではそれぞれ56, 39, 43%であった。

幹曲がりは, 無節材を生産するには通直なものに比べ曲がり分だけ早く枝打ちをしなければならず, 極めて不利となる(百瀬, 1973)。幹曲がりの値は, 幹長3mあたりヒノキ林分で平均2.8cm(百瀬,

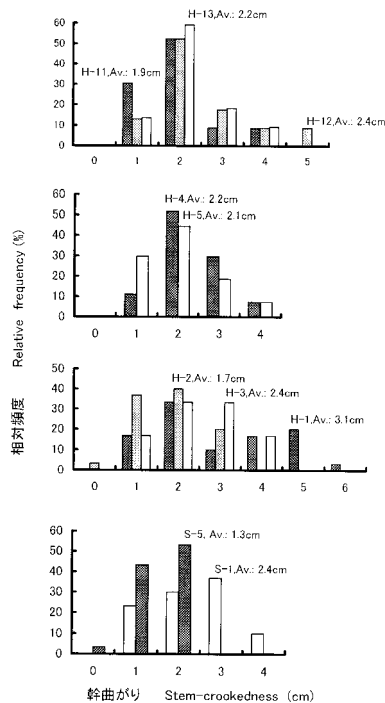


Fig. 32. 地上高0.5 mから3.5 mにおける幹長3 mあたり幹曲がりの頻度分布

Relative frequency distributions of stem-crookedness.

1973),スギ9林分で幹長4 mあたりの平均が3.1 ~ 6.9cmであった(武田, 1976)。また, 幹曲がりは, 成長に伴ってみかけの回復が生じ通直になる(北村ら, 1972; 宮木ら, 1983; 福地ら, 1985)ことから, 幼齢時の曲がりはより大きかった可能性があることも考慮すべきである。選抜育種で幹の通直性を高められることが実証されている(Eldridge, 1972)が, 保育方法や環境条件等によっても曲がりの程度が異なるであろうから, これらの方面からの検討も重要である。

以上のように, 1 番玉にあたる範囲での幹曲がりの実態は, 林分によって大きく異なるが, 個体の半数程度は2 cm以上あって大きい。枝打ち時期を決める際は, 幹曲がりの大きさを考慮することが必要である。

2-4 幹曲がりを考慮した枝打ち時期

「2-2」では, 幹が通直な場合での生産目標と枝打ち時期について示した。ここでは, 幹曲がりを考慮した枝打ち時期の検討を行う。

(1) 心持ち無節柱材生産

1) 10.5cm角の心持ち無節柱材生産

スギ, ヒノキの通直な個体では, 10.5cm角の心持

ち4方無節柱材生産の枝打ち時期が8.0cm以下であることを示した。しかし, 現実には幹に曲がりがあり, 通直な個体に比べ曲がりを考慮した小さい時期に枝打ちしなければ, 無節材生産が達成できない。1 番玉にあたる幹長3 mあたりの幹曲がりは意外と大きく, 林分の半数程度が2 cm以上であった。ここで幹直径の余裕を2 mm, 幹曲がりを2 cm見込むと, 枝打ち時期Xは, 次式で示すことができる。

$$\begin{aligned} X \text{ cm} &= 10.5 \text{ cm} - 2(L) - 0.2 - 2.0 \text{ cm} \\ &= 8.3 \text{ cm} - 2(L) \end{aligned}$$

上式に(1)式を代入し,

$$\begin{aligned} X &= 8.3 - 2 \cdot 0.1(L) \\ &= 8.3 - 0.2(-0.05X^2 + 2.63X - 6.68) \\ &= 0.01X^2 - 0.526X + 9.636 \end{aligned}$$

この式をXについて解くと, X 6.6cm となる。すなわち, スギ, ヒノキで幹曲がりが2 cm以下の個体で10.5cm角の心持ち4方無節柱材は, 枝打ち時期(枝打ち時における枝着生最下部にあたる皮付き幹直径)が6.6cm以下であれば生産できる。この値は, 通直な個体の8.0cmに比べ1.4cm小さく, 幹曲がり分の2.0cmより小さい。これは, 枝打ち時期が小さくなれば, 最大残枝長も小さくなるためである。

また, 幹曲がりが3 cmある個体では, 次式を満足すればよい。

$$\begin{aligned} X \text{ cm} &= 10.5 \text{ cm} - 2(L) - 0.2 - 3.0 \text{ cm} \\ &= 7.3 \text{ cm} - 2(L) \end{aligned}$$

この式をXについて解くと, X 5.89cm となる。幹曲がりが3 cm以下の個体で10.5cm角の心持ち4方無節柱材は, 枝打ち時期が5.8cm以下であれば生産できる。

以上のように, 枝打ち時期は幹曲がりの程度で異なり, 林分ごとの幹曲がりの大きさで決まる。前述したように幹曲がりは平均で2.0 ~ 3.0cm程度であり, 3.0cmよりやや小さいと考ええると, 枝打ち時期は6.0cm以下と考えてよいであろう。

次に年輪が平滑になる枝打ち時期を検討する。通直な個体での枝打ち時期は, 先に

$$\begin{aligned} X \text{ cm} &= 10.5 \text{ cm} - 2(P) - 0.2 \text{ cm} \\ &= 10.3 \text{ cm} - 2(P) \end{aligned}$$

で示した。ただし, Pは(2)式から求める値であった。ここで, 幹曲がりを2 cmとすると,

$$\begin{aligned} X &= 10.3 \text{ cm} - 2(P) - 2.0 \\ &= 8.3 - 0.2(27.55 \ln(X) - 33.43) \end{aligned}$$

$$= 8.3 - 5.51\text{Ln}(X) + 6.69$$

$$= - 5.51\text{Ln}(X) + 14.99$$

この式を満足する X は、 $X = 5.5\text{cm}$ となる。すなわち、スギ、ヒノキを枝着生最下部の皮付き幹直径が 5.5cm 以下で枝打ちすることで年輪に乱れない柱材生産が可能であることを示している。しかし、枝着生部の幹直径を、1玉分に相当する地上高 3.5m 前後まで 5.5cm 以下に維持することは、枝打ちが強度になり注意が必要である。

2)12cm角の心持ち無節柱材生産

12.0cm角の心持ち4方無節柱材生産で、幹曲がり X が 2.0cm 以下の個体を満足させる枝打ち時期 X は、 10.5cm 角生産の場合と同様に幹直径の余裕を 2mm 見込み、次式で示すことができる。

$$X \text{ cm} = 12.0\text{cm} - 2(L) - 0.2 - 2.0\text{cm}$$

$$= 9.8\text{cm} - 2(L)$$

上式に(1)式を代入し、

$$X = 9.8 - 2 \cdot 0.1(L)$$

$$= 9.8 - 0.2(-0.05X^2 + 2.63X - 6.68)$$

$$= 0.01X^2 - 0.526X + 11.136$$

この式を X について解くと、 $X = 7.68\text{cm}$ となる。すなわち、スギ、ヒノキで幹曲がり X が 2cm 以下の個体で 12.0cm 角の心持ち4方無節柱材は、枝打ち時期(枝打ち時における枝着生最下部にあたる皮付き幹直径)が 7.6cm 以下であれば生産できる。通直な個体で 12cm 角の枝打ち時期は、 9.1cm 以下であることを示した。この値に比較して 1.5cm 小さくてよいことになり、幹曲がり分の 2.0cm より小さい。これは、枝打ち時期が小さくなることで、最大残枝長を小さく抑えることができるからである。

また、幹曲がり X が 3cm ある個体では、次式を満足すればよい。

$$X \text{ cm} = 12.0\text{cm} - 2(L) - 0.2 - 3.0\text{cm}$$

$$= 8.8\text{cm} - 2(L)$$

この式を X について解くと、 $X = 6.96\text{cm}$ となる。幹曲がり X が 3cm 以下の個体で 12.0cm 角の心持ち4方無節柱材は、枝打ち時期が 6.9cm 以下であれば生産できる。

以上から、 12cm 角の心持ち無節柱材生産では、幹曲がり X を 3.0cm 足らずとみて、枝打ち時期を 7.0cm 以下と考えてよいであろう。

年輪に乱れない枝打ち時期は、通直な個体では

7.4cm 以下でよかった。幹曲がり X が 2.0cm 以下の個体で年輪に乱れない枝打ち時期 X を、幹直径に 2mm の余裕を見込んで検討する。 10.5cm 角生産と同様に(2)式を用い、枝打ち時期 X は次式で示すことができる。

$$X = 12.0\text{cm} - 2 \cdot 0.1(P) - 0.2 - 2.0\text{cm}$$

$$= 9.8 - 0.2(27.55\text{Ln}(X) - 33.43)$$

$$= - 5.51\text{Ln}(X) + 16.49$$

この式を満足する $X = 6.32\text{cm}$ となる。すなわち、幹曲がり X が 2cm 以下の個体で、柱材表面の年輪に乱れない 12cm 角の心持ち4方無節柱材を生産する枝打ち時期は 6.3cm 以下であればよい。この時期は、幹曲がりの項で示した $S-5$ のように曲がりの小さい林分では現実的な枝打ち時期として十分適用できる。

また、幹曲がり X が 3cm 以下の個体での枝打ち時期 X は、

$$X = 12.0\text{cm} - 2 \cdot 0.1(P) - 0.2 - 3.0\text{cm}$$

$$= - 5.51\text{Ln}(X) + 15.49$$

で、この式を満足する $X = 5.80\text{cm}$ となる。すなわち、幹曲がり X が 3.0cm 以下の個体で、柱材表面の年輪に乱れない 12cm 角の心持ち4方無節柱材を生産する枝打ち時期は 5.8cm 以下であればよい。

以上のように、心持ち無節柱材生産を厳しくしている大きな要因は、枝打ち技術の良否や枝直径の大小よりも、幹曲がりであるといえる。当調査での幹曲がり X は、機械的に地上 0.5m から 3.5m までの 3.0m あたりとしたが、採材時に曲がり部分を除くことにより、曲がりの影響を小さくすることが可能である。逆に、機械的に地際から採材すれば、幹曲がり X がより大きくなって無節材の生産が困難になる。また、 4m 材や 6m 材の生産では、曲がり X は 3m 材より大きくなるので通直な個体でなければ難しい。藤森(1975)は 10.5 、 12.0cm 角の枝打ち時期をそれぞれ 7.5 、 9.0cm 以下であるとした。この値は、幹曲がり X を考慮して今回示した枝打ち時期 6.0 、 7.0cm に比べ大きい。この違いは幹曲がり X をどれだけ見込むかによっている。枝打ち時期は、個々の林分での幹曲がり X の実態を把握し、曲がり X を見込んで決定することが重要である。

心持ち無節柱材生産では、根元直径 $6 \sim 7\text{cm}$ 以下で1回目の枝打ちを行わねばならず、この時点での樹高は 3.5m 前後となる。このため、1回の枝打

ちで1玉分の3 m以上まで打ち上げることは不可能で、枝打ちの繰り返しが必要になる。枝打ちの繰り返しでは、枝着生最下部付近で幹直径や枝径がともに大きく、残枝長も大きくなる。このため、枝下付近の枝打ちは残枝長を小さくするよう丁寧な作業をすべきである。また、枝の大小を問わず1本の枝でも残枝長が長くなれば、1材面が無節とならないため、全体を通して注意深く枝打ちすることも必要である。

(2)大径材での無節材生産

通直な個体では、枝打ち時期が10cm以下であれば、Table 8の値に2 mmの余裕を見込んだ幹直径13.1cmから無節材が、幹直径16.2cmから平滑材が生産され始めることを示した。幹曲がりがあれば、その分無節材や平滑材の生産が遅くなる。例えば、枝打ち時期が10cm以下で、幹曲がり2 cmあれば幹直径15.1cmから無節材が、18.2cmから平滑材が生産され始めることになる。また、枝打ち時期が15cm以下で、幹曲がり2 cmあれば、2 mmの余裕を見込んで無節材、平滑材はTable 8の値に2.2cmを加えた幹直径がそれぞれ21.5、25.4cmから生産され始める。枝打ち時期が10、15cm以下での枝打ちから無節材生産を開始するまでに必要な幹直径成長はそれぞれ5.1、6.5cm、平滑材生産開始までに必要な幹直径成長はそれぞれ8.2、10.4cmである。このように、枝打ち時における枝着生部の幹直径が大きくなるほど、無節材や平滑材の生産開始までに大きな直径成長が必要であるといえる。

枝打ち時期が遅くなると、無節材や平滑材の生産開始までに大きな直径成長が必要で、無節材部や優良材部が生産できにくく、枝打ちから長年月をかけなければ枝打ち効果も得られないといえる。

2-5 スギ林での無節柱材生産事例

前項では、枝打ち時期が6 cm以下であれば、幹曲がり3 cm程度以下の個体で10.5cm角の心持ち4方無節柱材が生産できることを示した。しかしながら、このような枝打ちを実施した林分から収穫された素材を製品とし、枝打ち時期とその無節性を検討した報告はみられない。ここでは、上記の枝打ち時期に近いスギ枝打ち林から、10.5cm角で3mの心持ち柱材を製材し、柱材製品から無節材生産に障害

となる要因を明らかにし、先に示した枝打ち時期が妥当であるか検討した。

(1)調査林分と調査方法

調査は、愛媛県久万町のスギ実生林分で、22年生の立木密度は1,786本/ha、平均胸高直径は14.7cm、平均樹高は14.3 m、枝打ち高は平均8.0 mであった(Fig.33)。枝打ちは生育のよい所では4年生に始め、6年生から10年生にかけてほぼ毎年、その後は12年生と15年生に実行された。この林分では、1981年の22年生時から25年生にかけて大きい個体から毎年それぞれ35、52、55、50本(haあたり95、141、149、135本)の合計192本が伐採された。直径が柱材の大きさに不都合なものを除き1番玉の186本、2番玉の175本を10.5cm角の心持ち柱材に製材した。造材に際しては、大きな曲りや傷のある所を切り捨てたため、切り捨てた幹の長さを記録した。造材後に2方向で皮なし末口直径を測定し、小さい値を最小末口直径とした。製材は、末口直径が小さいため特に丸身の欠点を出さないように行い、無節材面を出すため一方に寄せて木取りするという事はしなかった。

枝打ち時における枝打ち部の皮なし幹直径は、24、25年生の伐採木の約半数で1番玉の元、末口部、それに測定した1番玉の末口部と重複しない2番玉の元口部、および2番玉末口部で測定した。製品になった10.5cm角の心持ち柱材は、丸身や柱材表面の虫害や機械的な傷、それに節の多少や死節、腐れ節の有無などのJAS規格によって決定される品等区分と、枝打ち効果をはっきりさせるため節だけを欠点とした無節材面数を調査した。この他に柱材の元口、末口の木口面で木口中心から髄までの距離を測定し、この距離をここでは髄のずれと呼ぶ。

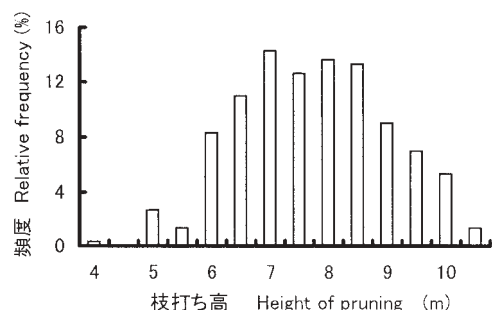


Fig. 33. 枝打ち高の頻度分布

Relative frequency distribution of the height of pruning.

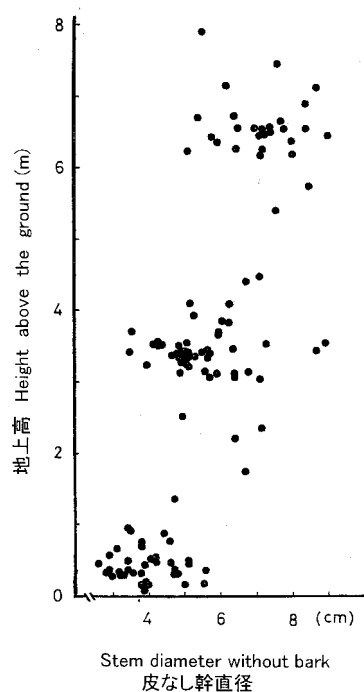


Fig. 34. 枝打ち時における枝打ち箇所での皮なし幹直径
Stem diameter without bark at the height of pruning.

(2) 枝打ち時期と心持ち柱材の品質

1) 枝打ち時期

伐採木の平均胸高直径，平均樹高，平均枝打ち高は，それぞれ19.7cm，16.4m，8.9mであった。枝打ち時の皮なし幹直径(Fig.34)は，地上高1.5mまではすべて5.7cm以下であり，37例中33例が5cm以下であった。地上高1.5～4.5mの範囲では，50例のうち6cm以下が35例，6～7cmが9例，7cm以上が6例であった。5m以上の地上高では，8cm以上が5例，7～8cmが13例，7cm未満が10例であった。このように1番玉に採材された地上高3.0～4.5m以下の枝打ち時期は，皮なし幹直径がほぼ6cm以下で，初期の頃は5cm以下が多かった。2番玉にあたる地上高の枝打ち時期は，7cm以上のものが多く，8cm以上もみられるなど1番玉に比べ遅かった。

造材では，幹の曲がり，特に幹の根元曲がり部分を平均0.8m切り捨てた。この結果，2番玉末口部の平均地上高は6.8mであったが，その範囲は6.2～8.8mと大きかった。1番玉の平均最小末口直径は16.0cmであったが，最小末口直径が15cm未満のものが全体で2本あった。2番玉の平均最小末口直径は14.5cmで，丸身が生じるものが8割近くを占めていた。

2) 品等と無節材面

製品となった心持ち柱材のJAS規格による品等割合(Fig.35)は，1番玉では4面無節が45%を占め最も高く，次いで3面無節が33%，2面無節が12%，1面無節が5%で，1面無節以上のものの合計は95%であった。2番玉では4面無節が3%，3面無節が13%，2面無節が17%，1面無節が8%で，1面無節以上のものの合計は41%となり，1番玉に比較し著しく低下した。

一方，節だけを欠点として評価した無節材面数の本数割合(Fig.36)は，1番玉では4面が77%，3面が18%，2面が3%，1面が2%で，すべての柱材が1面以上を示した。2番玉での無節材面数の本数割合は，4面が34%，3面が23%，2面が21%，1面が11%で，1面以上の合計は89%であった。2番玉には，枝打ち高が採材高

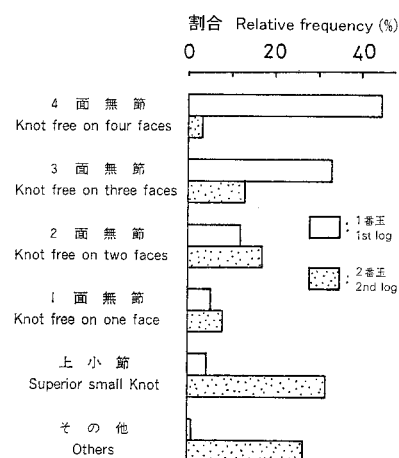


Fig. 35. 心持ち柱材の品等割合

Classification of boxed heart by JAS grade considering wound and wane as well as knot.

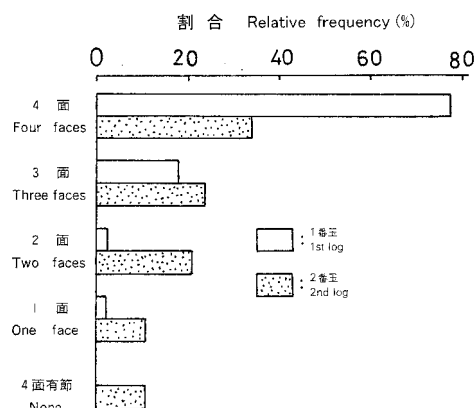


Fig. 36. 心持ち柱材の無節材面数の本数割合

Classification of boxed heart by the number of knot-free faces. Grading was done only by “knot-free” in disregard of the presence of wound and wane.

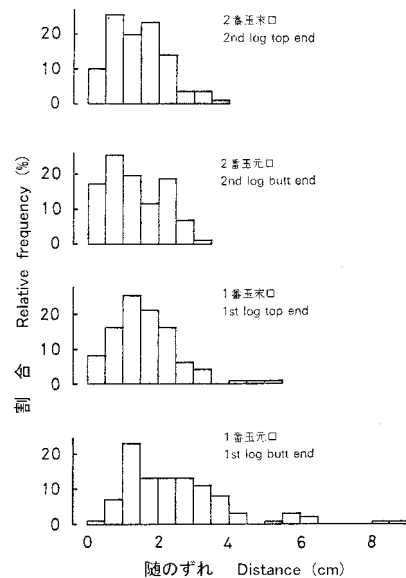


Fig. 37. 心持ち柱材木口面における髓のずれ
Distance from pith to the center of boxed heart on cross section.

まで達していないものが本数割合で4%みられたので、無節材面数や前述したJAS規格の品等の特に悪いものには、これらが含まれている。無節材面数からみると、1番玉では枝打ち効果が得られていたが、2番玉では枝打ち時期が遅く十分な枝打ち効果が得られていない状況であった。

3) 髓のずれと品等、無節材面数

幹に曲がりのある小径材から心持ち柱材を製材すると、木口中心から髓がずれることが避けられない。髓のずれは、曲がりと偏心を総合して現していると考えられる。髓のずれの分布 (Fig.37) を

みると、1番玉元口の髓のずれは3cm以下が約70%で、平均は2.5cmと大きかった。1番玉末口では、3cm以下が94%を占め、平均は1.6cmで元口に比べ小さかった。2番玉の元口、末口では75%前後が2cm以下で、平均はそれぞれ1.3、1.4cmと差がなかった。

根元曲がりの大きな部分を切り捨てて採材したが、それでも製品となった1番玉元口で髓のずれが特に大きかった。ただ、1番玉の元口では偏心成長があるため、髓のずれを大きくした原因がすべて幹曲がりとは断定できない。

1番玉から製材された心持ち柱材の髓のずれの大きさとJAS規格による品等、無節材面数との関係を Table10 に示した。髓のずれは元口、末口いずれも2cm以下のものと、いずれか一方でも3cm以上のものに区分し、品等、無節材面数ごとの柱材本数割合を示した。品等についてみると、髓のずれが2cm以下の柱材の52%が4面無節であったが、髓のずれが3cm以上になるとその割合は36%に低下した。2面無節以下の品等は、髓のずれが2cm以下の柱材が12%に対し、3cm以上のものは28%と高かった。一方、節だけを欠点とした無節材面数についてみると、髓のずれが2cm以下の柱材では4面が91%と高く、3面の7%とあわせると98%を占めていた。一方、髓のずれが3cm以上では4面が67%で前者に比べ低く、3面が27%と高くなった。このように、髓のずれが大きいと品等、無節材面数ともに低下する傾向がみられた。

Table 10. 心持ち柱材の髓のずれと品等、無節材面数

Relationships between the distance from pith to the center of boxed heart on cross section and grading by JAS grade, or grading only by knot.

品等、無節材面数 Grade or number of knot-free faces	品 等 で 区 分 Classification by JAS		無節材面数で区分 Classification only by knot	
	随 の ず れ Distance from pith to center		随 の ず れ Distance from pith to center	
	2cm以下 Less than 2cm	3cm以上 3cm or more	2cm以下 Less than 2cm	3cm以上 3cm or more
4面無節 Four faces	52%	36%	91%	67%
3面無節 Three faces	36	36	7	27
2面無節 Two faces	8	13	0	6
1面無節 One face	2	3	2	0
その他 None	2	12	0	0

Materials: First logs only.

(3)心持ち柱材製品からみた枝打ち時期

ここでは、製品となった柱材からみた枝打ち時期(枝打ち時における枝着生最下部の幹直径)を考える。枝打ち時期の検討は、幹の曲がりによって生じる髓のずれを考慮すべきで、枝打ち時幹直径(X)は、

$X = \text{柱材の大きさ} - (2 \times \text{最大残枝長}) - \text{髓のずれ}$ と示すことができる。髓のずれは、傾斜が急な林地で地上高の低い採材では、偏心成長により生じる。しかし、心持ち柱材の採材では、根元曲がり部分が除かれるため、偏心成長が髓のずれに大きく影響するとは考えられない。髓のずれと密接な関連があるのは、「2-3」において最大矢高で示した幹曲がりと考えてよいであろう。今回の調査で柱材木口における髓のずれは、地上高の低い1番玉元口の平均が2.5cmと特に大きく、1番玉末口や2番玉元口、末口では1.5cm前後と小さかった。先に「2-4」では、枝打ち木の節解析結果から、枝打ち時期が6cm以下であれば幹長3mあたりの幹曲がりが3cm足らずの個体で4面無節材が生産できることを示した。この枝打ち時期に比較し、当林分の枝打ち時期は、1番玉では地上高の低い所でやや小さかったが、全体的にはほぼ同じで、製品の無節材面数からみて効果が得られるものであった。しかし、2番玉では枝打ち時期に8cm以上がみられるなど大幅に遅れたものがあり、髓のずれが小さいにも関わらず枝打ち効果は十分得られているといえない。

この結果、1番玉で10.5cm角の枝打ち時期は、先に示した皮付き幹直径6.0cm以下で満足できるといえる。しかし、2番玉では、1番玉に比べ曲がりや髓のずれが1cm近く低下することで、枝打ち時期は1番玉より1cm大きい幹直径が7.0cm以下でよいといえよう。このような枝打ちを繰り返し実行すれば、髓のずれが1番玉では3cm以下、2番玉では2cm以下の個体で4面無節柱材が生産できるであろう。12.0cm角の心持ち無節柱材生産も同様で、枝打ち時期は1番玉では7.0cm以下、2番玉では8.0cm以下でよい。

このように、10.5cm角の心持ち柱材生産では、1番玉では節解析で示した枝打ち時期6.0cm以下の値が妥当であることが示された。一方、2番玉では、1番玉に比較して幹曲がりや偏心成長が小さ

く枝着生部の幹直径が1cm程度大きい枝打ち時期7.0cm以下で無節材生産ができることが示された。

以上の結果から、スギ林とヒノキ林での残枝長と平滑長の両者は、枝打ち時期との間に関係がみられ、生産目標に適した枝打ち時期の決定に精度の高い情報を提供することが可能となった。一方、スギ林やヒノキ林では、利用幹長あたりの幹曲がりが大きく、心持ち無節柱材生産を困難にしている大きな要因であることが具体的に示された。このため、無節材や平滑材を生産目的とする枝打ち時期は、残枝長や平滑長、それに幹曲がりを考慮しなければならないことがより一層明らかになった。また、スギ枝打ち林から心持ち柱を製材して柱材製品の無節性からみた枝打ち時期を検討し、枝打ち跡の実態から求めた枝打ち時期が妥当であることを確認した。枝打ち跡の実態、幹の曲がり、枝打ち時期と柱材製品の無節性などの成果を用い、無節材や優良材生産を目的とした枝打ち時期がより一層明らかになった。

3 枝打ちに伴う幹材部の異常変色

枝打ちに伴い幹材部に異常変色が生じ、材質が低下することがある。枝打ち跡を調査することで、異常変色の発生原因となる傷の種類や異常変色の大きさ、枝打ち器具による傷や異常変色の特徴などを解明し、異常変色による欠陥を避ける枝打ち方法を確立することを試みた。

3-1 調査林分と調査方法

調査林分は、枝打ち跡の巻込み調査を行ったスギ若齢林のS-2、S-3、S-4と壮齢林のS-6、S-7、およびヒノキ若齢林のH-2~5である(Table 3)。調査は、枝打ち跡を柢目面で測定する節解析の方法(Fig.38, Photo.1)で、残枝径、残枝長などを測定した。枝打ち時の傷は、枝の切断部に生じ病虫害などの他の傷と容易に区分できるので、枝隆部の傷と幹材部の傷を一緒にして材部の傷、枝隆部あるいは幹材部の樹皮剥離、残枝割れの3種類に区分し、受傷部を残枝上方と下方に分けた。

スギで材部の傷と樹皮剥離の傷があるものは、

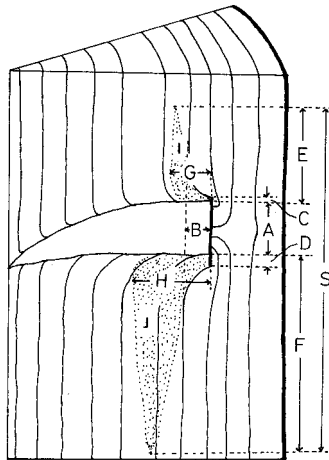


Fig. 38. 節解析による枝打ち時の傷と変色の測定方法
Method of measurement of the wood discoloration and wound by pruning.

- A: 残枝径 Stub diameter
B: 残枝長 Length of branch stub
C: 上方の傷長 Length of upward wound
D: 下方の傷長 Length of downward wound
E: 上方の変色長 Length of upward discoloration
F: 下方の変色長 Length of downward discoloration
G: 上方の変色幅 Radial thickness of upward discoloration
H: 下方の変色幅 Radial thickness of downward discoloration
I: 上方の変色面積 Area of upward discoloration
J: 下方の変色面積 Area of downward discoloration
S: 全変色長 Total length of discoloration

それぞれの垂直方向の傷長を残枝上方と下方ごとに測定した。また、異常変色(以後変色と呼ぶ)の垂直方向の長さを変色長とし、残枝より上方向への長さを上方の変色長、下方向への長さを下方の変色長とした。両方向に変色があるものは、両者を合計した値を全変色長とした。変色幅は、髄(水平)方向への変色の長さとし、残枝の上方、下方ごとに上方の変色幅、下方の変色幅とした。また、変色面積は断面での残枝上方、下方ごとの面積とし、両方向に変色の生じているものは両者を合計した値を全変色面積とした。S-7では、枝打ち時の傷を原因として材部が腐朽しているものがみられたが、腐朽部と非腐朽部を判別することができず、腐朽部の大きさは測定しなかった。なお、S-6では、幹を20cm程度の長さに切断して傷や変色幅を測定し、変色長や変色面積は測定しなかった。一方、ヒノキでは、変色が淡く心材色と似ており、変色部を的確に判別することができなかったため、変色の大きさは測定しなかった。

なお、ここでの変色は、生枝打ちにより生じた

ものとし、枯枝打ちや枯死枝、病虫害等により生じた変色は含めていない。

3-2 変色の発生

変色の発生機構については、幹に傷を受けると放射柔細胞中に着色物質が形成され、受傷後3日目くらいから変色が始まる(野淵, 1975)こと、主としてフェノル化合物の酸化によるもので、柔細胞の壊死から細胞中に沈殿物を生じて暗色化する(赤井, 1978a, 1978b; Shigo & Hillis, 1973)ことが知られている。また、幹の受傷部から腐朽菌が侵入し腐朽する(久林ら, 1993)ことが認められており、幹の受傷、変色、腐朽は一つの変化過程とみなされる(赤井, 1978a)。

(1) 残枝径、残枝長と変色の発生

各林分における枝打ち器具ごとの調査残枝数と枝打ち時の傷の有無、変色発生残枝数、および調査残枝数に対する変色発生残枝数の割合を変色発生率としてTable 11に示した。

S-7のオノ打ち、H-2、H-3の3林分を除く10林分では、傷あり残枝では必ず変色が発生し、傷あり残枝数と変色発生残枝数が同数で、傷が変色の原因であった。しかし、S-7のオノ打ち、H-2 H-3の3林分では、傷あり残枝数と変色発生残枝数が同じでなかった。この原因については「3-3 傷の種類と出現位置」の項で述べる。変色発生率は、スギ若齢林であるS-2、S-3、S-4のナタ打ちで33~49%、カマ打ちで8~28%であったが、スギ壮齢林のS-6、S-7ではナタ、オノ、ノコギリ打ちがそれぞれ65、75、70%と高かった。ヒノキ若齢林では、ノコギリ打ちが30%と低く、ナタ打ちでは85~95%と高かった。

変色が発生している残枝と発生していない残枝を区分し、残枝径と残枝長の関係について、スギ若齢林をFig.39に、スギ壮齢林とヒノキ若齢林をFig.40に示した。枝打ち時の傷は、後述するように材部の傷、樹皮剥離、残枝割れの3種類があり、材部の傷が付くと樹皮剥離や残枝割れの傷がともに付くことが多い。このため、両図には残枝割れ、樹皮剥離単独の傷により変色が発生したものと、材部の傷や複数の傷によって変色が発生したもの

Table 11. 解析節数と変色発生率

The number of knots analyzed, and ratio of the discolored.

林分	枝打ち器具	調査残枝数 The number of knot analyzed (No.)	幹の傷 Trunk wound		変色発生残枝数 The number of discolored branch stubs (No.)	変色発生率 Ratio of discolored (%)
			無 Absent (No.)	有 Exists (No.)		
S-2	ナタ	Hatchet	144	73	71	49
	カマ	Sickle	49	36	13	27
S-3	ナタ	Hatchet	104	70	34	33
	カマ	Sickle	96	88	8	8
S-4	ナタ	Hatchet	17	10	7	41
	カマ	Sickle	50	36	14	28
S-6	ナタ	Hatchet	55	19	36	65
S-7	オノ	Ax	117	35	88	75
	ノコギリ	Saw	33	10	23	70
H-2	ナタ	Hatchet	53	7	46	85
H-3	ノコギリ	Saw	63	46	17	30
H-4	ナタ	Hatchet	43	2	41	95
H-5	ナタ	Hatchet	49	3	46	94

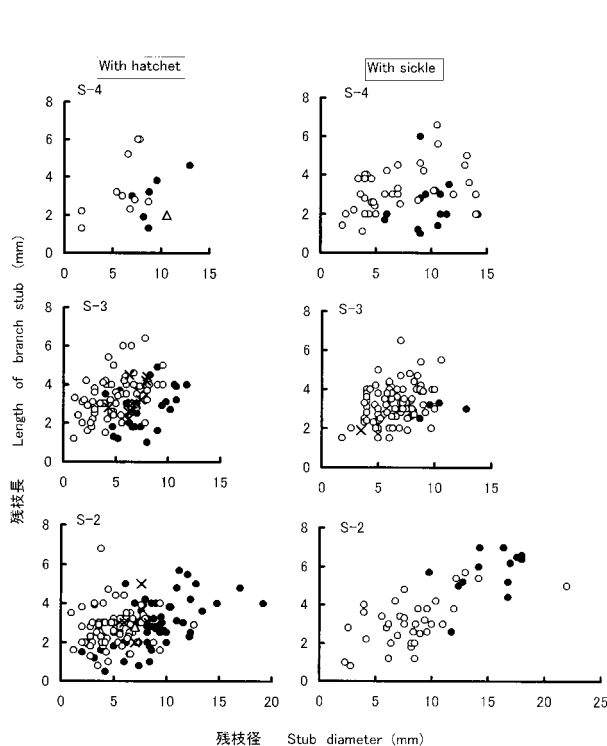


Fig. 39. スギ若齢林での残枝径と残枝長の関係と変色発生の有無

Relationships among discoloration, kind of tools, diameter and length of branch stub in Sugi young stands.

○ : 変色発生なし Non discolored

● : 材部の傷などによる変色発生

Discolored by wound in wood and others

: 残枝割れによる変色発生

Discolored by wound of split-stub

× : 樹皮剥離による変色発生

Discolored by wound of peel-off

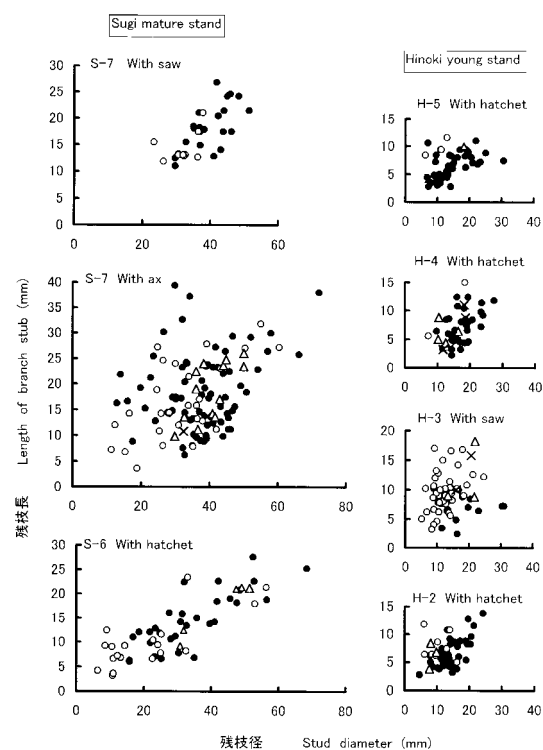


Fig. 40. スギ壮齢林, ヒノキ若齢林での残枝径と残枝長の関係と変色発生の有無

Relationships among discoloration, kind of tools, diameter and length of branch stub in Sugi mature and Hinoki young stands.

○ : 変色発生なし Non discolored

● : 材部の傷などによる変色発生

Discolored by wound in wood and others

: 残枝割れによる変色発生

Discolored by wound of split-stub

× : 樹皮剥離による変色発生

Discolored by wound of peel-off

に区分して示した。変色の発生は、スギ、ヒノキ若齢林の残枝径が10mm以上、スギ壮齢林のS-6, S-7では残枝径が30mm以上で発生が多くなる傾向がみられた。このため、残枝径を若齢林では10mm未満と10mm以上に、壮齢林では30mm未満と30mm以上に区分して、変色発生率を検討した。残枝径が10mm未満と10mm以上の変色発生率は、スギ若齢3林分を一緒にしたナタ打ちでそれぞれ35, 96%, カマ打ちでそれぞれ9, 50%であった。ヒノキ4林分を一緒にした変色発生率は、残枝径が10mm未満では53%, 10mm以上では77%であった。また、スギ壮齢林での変色発生率は、残枝径が30mm未満では50%, 30mm以上では81%であった。このように残枝径の大きさを区分した変色発生率について2組の比率の差に関する検定(奥野, 1987)を行った結果、いずれも危険率1%で有意差が認められ、残枝径が大きいグループでは変色発生率が高いといえる。

スギ、ヒノキ若齢林で残枝径が10mm以下の小さいものでは、残枝長の小さいものに変色が多く発生する傾向がみられた。また、S-3, S-4のカマ打ち、H-3のノコギリ打ちでは、残枝径が10mm以上でも残枝長の小さいものに変色が多く発生する同様の傾向がみられたが、壮齢林を含むその他では残枝長の大小と変色発生に明らかな傾向がみられなかった(Fig.39, Fig.40)。両図から変色が発生しない残枝長をみると、残枝径が10mm前後では6mm以上、残枝径が20mm前後では15mm以上で、変色の発生を防止しようとするれば残枝長が大きくなることを示している。

若齢林の枝打ちによる変色発生率は、一般に残枝径の大きなものが小さなものより高くなることが知られており(大迫ら, 1974, 1978; 菅・深江, 1976; 藤原・中村, 1977; 宮地・那須, 1978; 中野, 1979; 白間, 1979, 1981; 兵藤, 1979; 富田, 1980; 二見ら, 1982), ここでも同様の結果が得られた。また、残枝長の小さいものは、幹近くを切断することで幹に傷を付けやすいため変色の発生が多いという結果は、中村・後藤(1977)がヒノキで、白間・早稲田(1977)がスギで認めている。一方、富田(1980), 白間(1981), 二見ら(1982), 藤森ら(1984)はスギで、兵藤(1979)はス

ギとヒノキで残枝長と変色発生率の間に相関関係がみられなかったと報告している。

成長が旺盛な枝と成長が低下した枯死前の枝が混在している場合は、成長が旺盛な枝ほど枝隆が大きく傷を受けやすいので(外館, 1979a, 1981), 変色の発生も多くなる(外館, 1979; 富田, 1980; 白間, 1981)。逆に、成長が低下した枝や枯死前の枝は、枝隆がないか、あっても小さく傷がつきにくいので(外館, 1981), 変色の発生が少なくなる(外館, 1981, 富田, 1980; 白間, 1981)。このように、成長のよい枝と枯死前の枝が混在する場合は、残枝長と変色発生との間に相関関係がみられなくなると考えられる。

(2) 枝打ち器具と変色の発生

所有者が同じ林分で、枝打ち時期と残枝径や残枝長がほぼ同じであったS-2, S-3, S-4での変色発生率は、3林分ともナタ打ちがカマ打ちに比較して高かった(Table 11)。ナタ打ち、カマ打ちによる変色発生率の検定の結果、S-2では危険率5%で、S-3では危険率1%で有意差が認められたが、S-4では有意差が認められなかった。S-4では、ナタ打ちの調査残枝数が17個と少なかったこと、カマ打ちがナタ打ちに比べ残枝径の大きなものが含まれていた(Fig.39)ことなどのため有意差が認められなかったと考えられる。一方、H-2~H-5での変色発生率は、ノコギリ打ちのH-3が30%で、ナタ打ちであるH-2, H-4, H-5の85~95%に比較して極端に低く危険率1%で有意差が認められた。ノコギリ打ちでの残枝長は、ナタ打ちに比較して大きいものが多く(Fig.40), 変色発生原因となる傷が付きにくかったことが主な原因と考えられる。S-7のノコギリ打ちでは、変色発生率が70%で、オノ打ちの75%と有意差が認められなかった。これは、ノコギリ打ちでの残枝径が変色発生の多い30mm以上が多く、変色発生の少ない小さい残枝径が少なかったことが影響していると考えられた。

枝打ち器具と変色発生率の関係について、スギ若齢林での変色発生率はナタ打ちが高く、カマ、ノコギリ打ちの順に低くなることや(白間・早稲田, 1977; 藤森, 1984), ナタ打ちがノコギリ打ちよりも変色の発生率が高いことも認められており

(藤原・中村, 1977; 二見ら, 1982; 兵藤, 1979; 菅・深江, 1976; 坂上, 1979), 今回の若齢林と同様の結果が得られている。

このように, ナタ打ちでの変色発生率がカマ打ちよりも高くなるのは, ナタ打ちでは1つの枝に対して何回か打ち直しすることが多く, 変色の原因となる傷がつき易いためと考えられる。一方, カマ打ちでは, 1回で切断するため傷を付ける機会が少ないためであろう。また, 後述するように, ナタ打ちでは, 残枝割れが生じるが, カマ打ちでは衝撃がないため, この種の傷がつかないといったことも原因の一つと考えられる。ヒノキ若齢林でノコギリ打ちがナタ打ちに比較して変色発生率が低かったのは, ノコギリ打ちでの残枝長がナタ打ちに比較しやや大きく傷が付きにくかったことが主な要因であるといえる。ただ, 壮齢林の枝打ちで残枝径が30mm以上の枝になると, 枝隆が大きくてナタ, ノコギリ打ちとも変色の発生原因となる傷が付き, 枝打ち器具による違いが生じないと考えられる。

3-3 傷の種類と出現位置

(1) 傷の種類

材部の傷, あるいは樹皮剥離の傷があれば, 既報の通り(小出, 1939b; 大迫ら, 1972, 1974, 1978)それを原因として必ず変色が発生していた。残枝割れは, スギ全体で44例, ヒノキ全体で50例みられたが, このうち変色が発生していないものがS-7のオノ打ちで3例, H-2で1例みられた。残枝割れは, 結果的に幹に裂目を生じさせるということで, 材部に傷がつくのと同等であると考えられることができるが, 残枝割れと判定したものの中に, 材部に傷を受けていないものが含まれていたのであろう。逆に, 傷がみられないのに, 変色が発生していたものがS-7のオノ打ちで9例, H-3で2例みられた。ここでの傷の有無は, 柾目面の一断面で判定しているため, 断面以外にある傷はみつからない欠点を持っている。傷がないのに変色が発生していたものは, 断面以外に打撲による傷など何らかの傷があったためであろう。先に, S-7のオノ打ちとH-2, H-3で, 傷あり残枝数と変色発生残枝数が同数でなかった(Table 11)のは, 残枝割れと判定したが実際には傷にまで至っていないものや, 逆に, 調査した柾目面に傷がなかったものの, 他の箇所には傷があり変色が

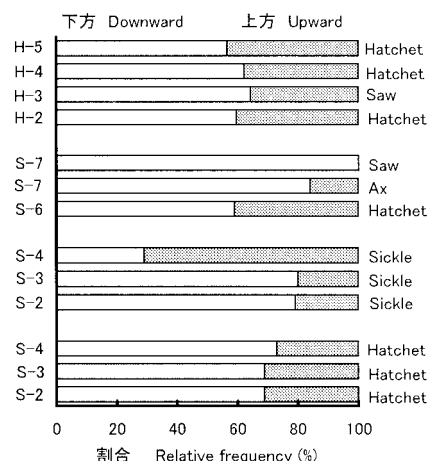


Fig. 41. 残枝上方と下方の傷の割合

Relative frequency of wounds upward and downward of the branch stub. Comparison with the tools.

発生した残枝があったためと考えられる。

以上のことから, 生枝打ちによる変色の発生原因は, 若齢林, 壮齢林を問わず枝打ち時に幹に傷をつけることで, 傷の種類は以下の3種類に区分できた。

材部の傷: 幹材部の傷で, 枝隆部も幹と考え枝隆部の傷も含める。

樹皮剥離: 枝隆部または幹材部の樹皮剥離による傷。

残枝割れ: 残枝が割れることに伴う幹材部や枝隆部の傷。

変色の原因となる傷をこのように区分できることは, 若齢林で藤森ら(1984), 兵藤(1979), 富田(1980), 外館(1981), 二見ら(1982)が認めている。

(2) 傷の出現位置

枝打ち時に傷が付いた場所を残枝上方と下方に分け, それぞれの割合をFig.41に示した。残枝下方の傷の割合は, S-4のカマ打ちを除けばスギ, ヒノキとも60%前後かそれ以上で, 残枝上方に比較して高かった。特に, S-7のノコギリ打ちでは傷のすべてが残枝下方であった。

このように残枝下方に付く傷の割合は, S-4のカマ打ちを除き残枝上方よりも高かった。これは, 枝隆が残枝上方より下方が大きく(外館, 1978), 枝を打つ方向が枝の上方, あるいは斜め上方からであり, 上方は傷が付かない箇所を切断するとしても下方では傷が生じることが影響していると考えられる。枝隆が大きい残枝下方は, 材部の傷が生じやす

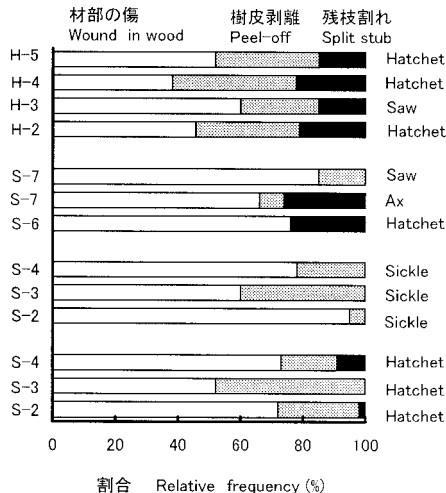


Fig. 42. 傷の種類ごとの出現割合
Relative frequency of wound types. Comparison with the tools.

く、後述するように材部の傷と樹皮剥離が一緒に生じることが多いためであろう。S-4のカマ打ちだけが逆の結果になったが、その原因は明らかにできなかった。

(3) 傷の種類と出現割合

傷の種類は、材部の傷と残枝割れ、それに樹皮剥離に区分できることを述べた。傷は、残枝上方や下方に単独で生じるものは少なく、大部分は材部の傷とともに生じていた。一箇所に2種類の傷が生じた場合は、それぞれの種類の傷が生じたとして、傷の種類ごとの出現割合 (Fig.42) についてみると、スギ若齢林での材部の傷は、S-3のナタ、カマ打ちで50～60%であったが、S-2、S-4のナタ、カマ打ちでは70%以上と高かった。S-3で材部の傷の割合が低かったのは、大部分の残枝径が12mm以下で、S-2やS-4に比べて小さく (Fig.39)、このため枝隆が小さくて材部の傷が付きにくいことが影響したと考えられる。樹皮剥離の割合は、5～50%と違いがあるもののナタ、カマ打ちを問わず発生していた。残枝割れは、カマ打ちとS-3のナタ打ちではまったくみられなかったが、S-2とS-4のナタ打ちでそれぞれ2、9%みられた。カマ打ちは打撃を加えることがないため、S-3のナタ打ちは残枝径が小さく強い打撃が加わらなかったため、出現しなかったと考えられる。

スギ壮齢林のS-6のナタ打ち、S-7のオノ、ノコギリ打ちでは、いずれも材部の傷の割合が65%以上と高かった。樹皮剥離は、S-6のナタ打

ちではみられなかったが、オノ打ちで5%、ノコギリ打ちで15%を占めていた。残枝割れは、ナタ、オノ打ちで25%前後みられ、スギ若齢林ナタ打ちの9%以下に比較して高かったが、ノコギリ打ちでは1例もみられなかった。オノ、ナタ打ちでは、枝径が大きいと切断時の衝撃で残枝割れが生じるが、ノコギリ打ちでは衝撃がないことを示している。

ヒノキ若齢林では、ナタ、ノコギリ打ちとも材部の傷の割合が高く、次いで樹皮剥離、残枝割れの順であった。しかし、ナタ打ちでの材部の傷の割合は50%より低く、樹皮剥離が25～40%、残枝割れが10～20%を占めていた。ノコギリ打ちでは、残枝割れが15%を占め、枝打ち時に打撃はないが枝の重みで残枝割れが生じることを示唆していた。

枝打ち季節はいずれの林分も生育休止期であったが、S-6のナタ打ち以外では樹皮剥離がみられた。S-6のナタ打ちで樹皮剥離がなかったことは、大きな枝をナタ打ちしても打ち方によっては樹皮剥離の傷が生じないことを示唆している。樹皮剥離は、スギ、ヒノキとも残枝長の大小を問わず生じていたが、Fig.39、Fig.40に示したようにこの傷単独はまれで、大部分は材部の傷と一緒に生じていた。二見ら (1982) は、弱い枝打ちを行ったスギのノコギリ打ちでは樹皮剥離の傷が、ナタ打ちでは残枝割れの割合が多く、両器具とも材部の傷の割合が少ない結果を得ている。このことから、樹皮剥離の傷は、弱い枝打ちで枝隆がないかあっても小さい枝を打つ場合に主要な傷となる可能性がある。一方、成長している枝など枝隆部の発達した枝では、材部の傷が生じた場合に二次的に樹皮剥離の傷が生じやすいといえよう。

残枝割れの傷が単独で生じ変色が発生したものを、残枝径と残枝長の関係 (Fig.39、Fig.40) で示した。残枝割れ単独の傷は、S-7のオノ打ちで比較的多くみられたが、その他では少ないか、まったくみられなかった。そして、残枝長の大小に関わらず生じており、残枝長の大きさに影響を受けないといえる。

以上のことから、枝打ちによるスギ、ヒノキの変色発生原因は、材部の傷が主要なものであるといえる。樹皮剥離は、枝打ち器具に関わりなく材部の傷に付随して生じることが多い。残枝割れは、スギ若齢林では少なく、ヒノキ林やスギ壮齢林を

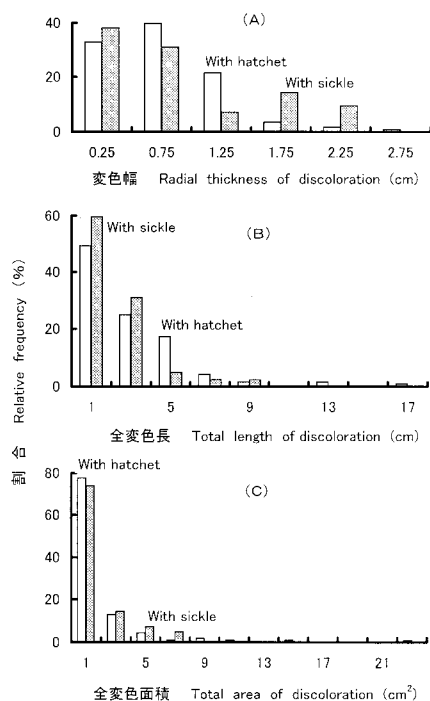


Fig.43. スギ若齢林のナタ, カマ打ちにおける変色幅 (A), 全変色長 (B), 全変色面積 (C) の頻度分布
 Relative frequency of radial thickness (A), total length (B) and total area (C) of discoloration in Sugi young stands. Comparison between hatchet and sickle.

ナタ, オノ打ちすると生じるが, 材部の傷に比べると少ない。変色を発生させないためには, 枝隆や幹を傷つけないこと, 残枝割れに対しては衝撃を小さくすることである。樹皮剥離に対しては, 剥離しやすい生育期の枝打ちを避けることが考えられる。ただ, 材部を傷つけない方法は, 残枝長が大きくなって無節材生産に不利となることが明らかになった。

3-4 変色の大きさ

(1) 残枝ごとの変色の大きさ

枝打ちによる変色は, 枝打ち跡の傷を起点としてそれより内側の材部に発生することが知られている (小出, 1939b)。今回の調査でも, すべて受傷時より古い材部に変色が発生すること, 変色は受傷後に生産された材部に拡がらないことを確認した。

残枝ごとの変色幅, 全変色長, 全変色面積の相対頻度を, 枝打ち器具別にスギ若齢林を Fig.43 に, スギ壮齢林を Fig.44 に示した。なお, 若齢林の変色の大きさは, 林分間に明らかな差がみられなかったのので, 若齢林では林分ごとに区分せず一緒に示した。若齢林の変色幅は, ナタ, カマ打ちとも 1 cm 未満

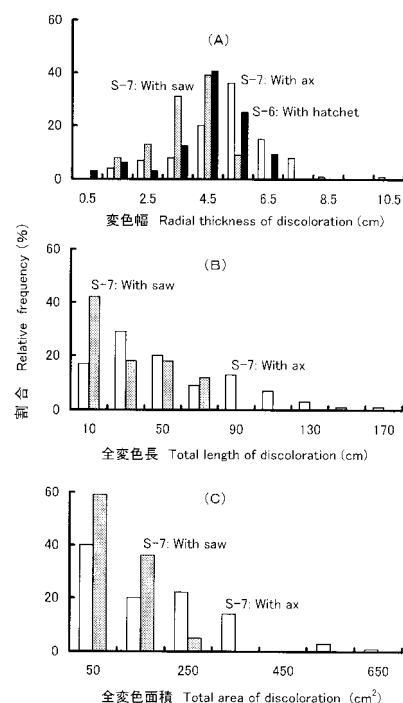


Fig. 44. スギ壮齢林のナタ, オノ, ノコギリ打ちにおける変色幅 (A), 全変色長 (B), 全変色面積 (C) の頻度分布
 Relative frequency of radial thickness (A), total length (B) and total area (C) of discoloration in Sugi mature stands. Comparison with the tools.

のものが全体の 70 % 以上を占めており, 最大でも 3cm 未満であった (Fig.43A)。ナタ打ちとカマ打ちを比較すると, カマ打ちで変色幅が 2 cm 前後の大きなものの割合が高かったが, 際だった違いはみられなかった。壮齢林の変色幅は, ナタ, オノ打ちとも 1 cm 前後から 8 cm 前後までみられ, ほぼ同じ分布を示しモードは 5 cm 前後であった (Fig.44A)。ノコギリ打ちでは, モードが 4 ~ 5 cm の間でナタ, オノ打ちと同程度であったが, 6 cm 以上はみられなかった。

全変色長は, 残枝の上方と下方に変色があれば, 両者の長さを合計した値とし, 一方にだけ変色があるものは, 一方の長さとした。若齢林の全変色長は, ナタ, カマ打ちとも 2 cm 未満がそれぞれ 50, 60 % 前後を占めており, 大きくてもほぼ 10cm 以下であった (Fig.43B)。ナタ打ちでは, カマ打ちよりも大きなものがみられたが, 大きな違いではなかった。一方, 壮齢林は大きく, 特にオノ打ちでは 100cm 以上が 12 % を占めていた (Fig.44B)。ノコギリ打ちでは, 20cm 未満が 40 % 余りを占め, すべて 80cm 未満でオノ打ちに比べると小さかった。この原因については後項の (4) で論議する。

全変色面積は、残枝の上方と下方に変色が発生していれば、その合計値であり、上方にだけ、あるいは下方にだけ発生しているものでは上方だけの、または下方だけの値である。若齢林の全変色面積は、ナタ、カマ打ちとも2 cm²未満がそれぞれ78, 74%と高く、ナタ、カマ打ちともほぼ8 cm²未満であった(Fig.43C)。壮齢林では、ノコギリ打ちのすべてが300 cm²未満であったが、ナタ打ちではそれ以上が全体の18%を占めるなど大きかった(Fig.44C)。

枝打ち器具による変色は、若齢林ではナタ打ち、カマ打ちともほぼ同じ大きさであった。しかし、壮齢林では、ノコギリ打ちがオノ打ちよりも変色が小さい傾向がみられた。枝打ちによる変色は、枝打ち時より古い材部に生じ、傷を付けた後に生産される材部には拡がることがない。このため、適期の枝打ちで製品表面が無節なら変色も現れず、十分な枝打ち効果が得られる。変色が発生しても製品となった材の内部に留め、製品表面に現れないようにすべきである。枝打ち時期は、無節材生産は勿論変色対策としても重要なものであることが分かった。

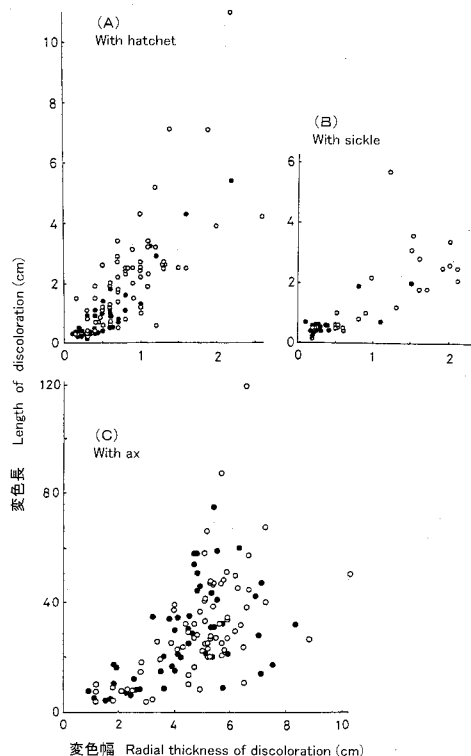


Fig. 45. スギ若齢林のナタ(A)、カマ(B)打ち、壮齢林のオノ打ち(C)による残枝上方と下方の変色幅と変色長の関係 Relationships between radial thickness of discoloration and length of discoloration in Sugi young stands (A, B) and Sugi mature stand (C).

- : 残枝上方 Upward from the branch stub.
- : 残枝下方 Downward from the branch stub.

(2) 残枝上方と下方の変色

残枝上方か下方にいずれかの傷があり、変色の発生しているもので、傷が生じた方向の変色幅と変色長の関係を Fig.45 に示した。若齢林における残枝上方、下方のそれぞれの変色長は、ナタ打ち(Fig.45A)、カマ打ち(Fig.45B)とも変色幅が大きくなるにつれて大きくなる。そして、残枝上方と下方では、変色幅が同じなら変色長に差が生じない関係を示した。壮齢林のオノ打ちは、変色幅と変色長の関係に大きなバラツキがみられたが、残枝上方と下方で明らかな差がなく、若齢林のナタ、カマ打ちと同様であった(Fig.45C)。壮齢林のノコギリ打ちでは、残枝上方に傷がなかったため、この検討はできなかった。

以上のように、ナタ、カマ、オノ打ちとも、残枝上方と下方の変色長と変色幅の関係は、変色幅が大きくなると変色長は指数関数的に大きくなる傾向がみられ、枝打ち器具による差はみられなかった。大迫ら(1974)は、変色幅と変色長の間にはかなり密接な関係があることを認めており、今回の結果も同様であった。ただ、変色幅と変色長の関係に大きなバラツキがみられ、この原因は次項で検討する。

(3) 材部の傷と樹皮剥離の傷による変色の大きさ

ここで検討する傷は、材部の傷か樹皮剥離が残枝の上方か下方のいずれかに1種類だけあるもの、または、残枝の上、下両方に傷があっても、一方が小さくて他の方向に大きな傷が1種類だけあるものとした。このようにしたのは、複数の傷があると変色の大きさがいずれの傷の影響かわからないためである。また、残枝の上、下方ともに傷があっても、一方の傷が小さいとその影響が他方の変色の大きさに影響しないと考えたためである。スギ壮齢林では、上記に該当する樹皮剥離の傷が数例しかなかったため、ここでは、スギ若齢林についてだけ検討する。

材部の傷長と樹皮剥離の傷長に対するそれぞれの変色幅、変色長、変色面積の関係を Fig.46 に示した。傷長と変色の大きさの関係は、残枝上方と下方間、枝打ち器具のナタ打ちとカマ打ち間に差がみられなかったため分けずに示した。変色幅(Fig.46A)は、材部の傷長が0.5cm程度までは傷長に比例して大きくなる傾向が窺われるが、材部の傷長がそれ以上大きくなっても変色幅は1 cm以下で頭打ちになる傾

向がみられた。ただ、材部の傷長が0.5cm前後で変色幅が1.3～2.1cmと大きいものが5例みられ、これらは残枝径が12～18mmと大きく、材部の傷長が同じでも残枝径の違いにより変色幅に差が生じることが考えられた。一方、樹皮剥離による変色幅は、傷長が0.3cmと1cm前後でも差がみられず0.2～0.6cmに納まり、材部の傷を原因とするものより小さかった。

変色長(Fig.46B)は、材部の傷長が大きくなるに従い大きくなるが、バラツキが大きかった。樹皮剥離による変色長は、傷長に比例して大きくなるものの、傷長より数mm大きくなる程度で、材部の傷長と変色長の関係におけるバラツキの小さい範囲にあった。前項で変色幅と変色長の関係(Fig.45)に大きなバラツキがあったのは、傷の種類や残枝径の大きさの違いによる変色が混在していたためと考えられる。

変色面積(Fig.46C)は、変色幅で述べた材部の傷長が0.5cm前後の5例が特に大きい値を示していた。これら5例を除くと、変色面積は材部の傷長

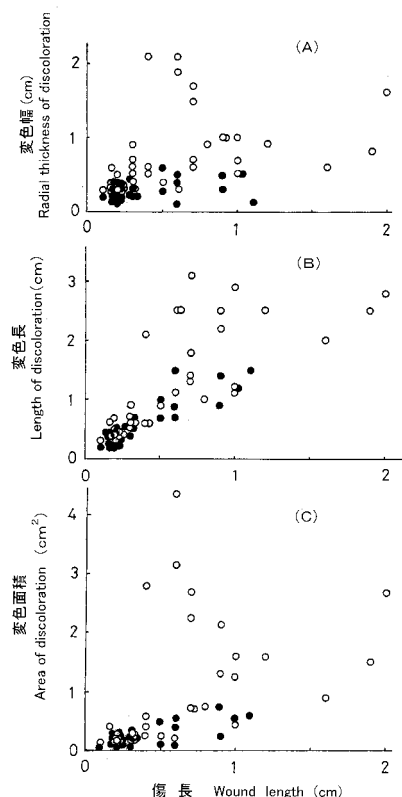


Fig. 46. スギ若齢林における材部の傷長、樹皮剥離の傷長と変色幅(A)、変色長(B)、変色面積(C)の関係
Relationships between wound length and sizes of discoloration in young Sugi stands.
○: 材部の傷 Wound in wood
●: 樹皮剥離 Wound of peel-off

や樹皮剥離の大きさに影響されるといえる。そして、変色面積は、変色長や変色幅と同様に材部の傷の方が樹皮剥離より大きくなる傾向があるといえる。

このように、スギ若齢林における材部の傷は、傷長が同じなら樹皮剥離に比較して変色長、変色幅、変色面積ともに大きくなるものがみられるといえる。富田(1981)は、樹幹に剥皮と打撃を加えて傷の大きさと変色の大きさを比較し、打撃による変色が剥皮よりも著しく大きいという結果を得ている。これは、樹皮剥離が表面の傷であるのに対し、材部の傷や打撃による傷は、ある深さをもつ傷で、この違いが変色の大きさに影響しているためではないかと推察される。

(4)スギ壮齢林での材部の傷長と変色の大きさ

スギ壮齢林における材部の傷は、残枝上方にはなく、残枝下方の傷だけであった。残枝下方の材部の傷長と残枝下方の変色長の関係をオノ、ノコギリ打ちに分けてFig.47Aに示した。変色長は、材部の傷長が2cm程度までは急激に大きくなるが、それ以上傷長が大きくなっても60cm前後で頭打ちの傾向がみられた。これらの傷は、残枝下方にだけ付いているものであるが、傷長が2cm以上になるとオノ、ノコギリ打ちともすべて残枝上方にも変色が生じていた。傷長が2cm未満のもので残枝上方にも変色が生じていたのは、オノ打ちでその傷長が1.7, 1.5, 1.0, 0.6cmの4例、ノコギリ打ちで1.8cmの1例であった。この中で傷長が0.6cmと小さいものでは、下方の傷の他に残枝の横、あるいは上方に何らかの傷があることも考えられる。しかし、壮齢林で残枝径が大きい枝打

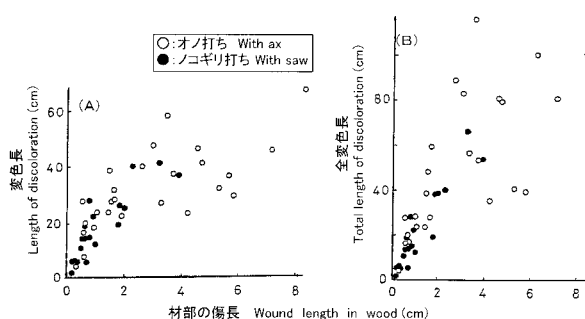


Fig. 47. スギ壮齢林における材部の傷長と変色長(A)、全変色長(B)の関係
Relationships between wound length in wood and length of discoloration (A), and between wound length in wood and total length of discoloration (B) in Sugi mature stand. Comparison between ax and saw.

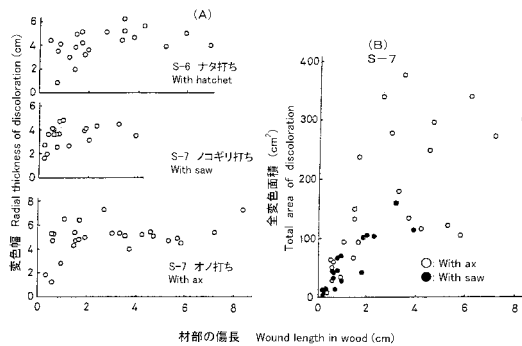


Fig. 48. スギ壮齢林における材部の傷長と変色幅 (A), 全変色面積 (B) の関係
Relationships between wound length in wood and radial thickness of discoloration (A), and between wound length in wood and total area of discoloration (B) in Sugi mature stand. Comparison with the tools.

ちでは、残枝の一方に大きな傷が付くと、上下両方向に変色が生じるといえる。なお、スギ若齢林では、一方の傷で上、下両方向に変色が発生していたものは1例もみられなかった。

残枝の下方にだけ傷があり、残枝上、下方に変色が生じているものは、その変色長を合計した全変色長とし材部の傷長との関係を Fig.47B に示した。全変色長は、材部の傷が大きくなるにつれて大きくなり、Fig.47A でみられた頭打ち現象は認められない。オノ、ノコギリ打ちによる差も明らかでなくバラツキは大きいが直線に近い関係となる。例えば、傷長が 1, 2, 4 cm での全変色長は、それぞれ 20, 40, 80 cm 程度となる。一方、先に述べた若齢林の Fig.46B では、残枝の一方だけの傷で残枝上方、下方ともに変色が発生しているものはなく、傷長が 1, 2 cm でそれぞれの変色長は 2, 4 cm 程度であった。このように、材部の傷長が同じでも、壮齢林での全変色長は若齢林のそれに比べ 10 倍近く大きくなるといえる。

傷長と変色長の間には正の相関関係があることは、スギで富田 (1980), 外館 (1981), 二見ら (1982), 藤森ら (1984) が認めており、傷長が 1, 2 cm での変色長はそれぞれ 3, 6 cm 程度であった。この値は、傷長が同じなら今回の若齢林の 2, 4 cm 程度より大きく、壮齢林よりも小さい。調査された 4 例のスギは、枝打ち箇所の幹直径が今回調査した若齢林よりやや大きく、残枝径が 2 cm 以上のものが含まれていた。このように、傷長が同じでも、残枝径が大きいと変色長が大きくなることが考えられる。

材部の傷長と変色幅の関係を、S-6 のナタ打ちと S-7 のオノ、ノコギリ打ちに分けて Fig.48A に示した。変色幅は、ナタ、オノ、ノコギリ打ちとも傷長が 1 ~ 2 cm 程度までは傷長に比例して急激に大きくなるが、傷長がそれ以上になっても大きくならず、ほぼ一定の値になる。一定になる変色幅は、各器具とも 5 cm 前後でほぼ同じであった。変色幅は、若齢林ではほとんどが 1 cm 以下、大きくても 2 cm 前後であったが (Fig.46A), 壮齢林では 3 倍近い 5 cm 前後と大きかった。

材部の傷長と全変色面積の関係を Fig.48B に示した。全変色面積は、残枝の下方だけに傷があるもので、残枝の下方だけに変色があるものはその面積を、残枝上、下方に変色があるものは、その合計面積で示した。材部の傷長と全変色面積の関係は、オノ、ノコギリ打ち間で明らかな差はなく、バラツキがあるものの材部の傷長が大きくなるにしたがい大きくなる関係がみられた。傷長が 2 cm での全変色面積は 100 cm² 前後で、若齢林で材部の傷長が 2 cm 以下での変色面積は 3 cm² 前後であったのと比べ、壮齢林では 30 倍前後で格段に大きい。

材部の傷による変色は、壮齢林は若齢林に比べ変色幅で 3 倍、全変色長で 10 倍、全変色面積で 30 倍前後と格段に大きかった。壮齢林では、若齢林の枝打ちに比べ残枝径が大きく、材部の傷長が同じでも傷面積や傷の深さが大きくなること、巻込みまでに長い年月を要することなどのためと考えられる。また、Fig.44 で壮齢林のノコギリ打ちがオノ打ちより変色が小さかったのは、ノコギリ打ちによる材部の傷長がオノ打ちより小さかったことから説明できる。

材部の傷が原因で、変色だけでなく幹材部が腐朽しているものがみられた (Photo.1)。腐朽がみられたのは、スギ壮齢林である S-7 のオノ、ノコギリ打ちである。同じ壮齢林でも S-6 のナタ打ち、それに若齢林のスギ、ヒノキでは、腐朽の発生は 1 例も認められなかった。S-7 での変色発生残枝数に対する腐朽していた残枝数の割合を腐朽発生割合とすると、腐朽発生割合はオノ打ちで 25 %, ノコギリ打ちで 18 % であった。腐朽が発生した残枝径は、オノ打ちが 28 mm 以上、ノコギリ打ちが 33 mm 以上であった。腐朽部分は、長さで数十 cm、材内部方向には変色幅よりやや小

さい程度であった。この腐朽のため、枝打ち部の幹はまったく価値をなくした。壮齡林での枝打ちは、変色だけでなく材部の腐朽が生じるという危険性が高いといえる。枝打ちを原因とした幹の腐朽は、17年生ヒノキ林の枝打ちで、材部の傷が大きい枝打ち跡でも確認されている(久林ら, 1993)。材部の傷, 変色, 腐朽は連続した一つの変化過程とみなされる(赤井, 1978)ということから、壮齡林の林木にみられるような大きな枝径の枝打ちのように材部の傷が大きいと、巻込み完了までに10年以上を必要とし(Fig.14)、その間腐朽菌の侵入の機会が多く、腐朽にまで至るといえる。特に壮齡林では、若齡林と比べて同じ傷の大きさでも変色面積が大きく、その上幹材部に腐朽が発生し、材としての価値をなくす危険がある。

以上の結果から、枝打ちのマイナス面である材部変色の発生原因は、枝隆部を含めた材部の傷、樹皮剥離、残枝割れの3種類であること、枝打ち器具の違いによる発生原因となる傷の特徴がより一層明らかになった。幹に接して枝を切断する通常の枝打ち方法では、これらの傷を避けることが難しく、傷が付かない枝打ちでは残枝長が大きくなることが分かった。若齡時の枝打ちでは変色が小さいこと、枝着生部の幹直径が大きい壮齡林での枝打ちは、材の広い範囲に変色や腐朽を生じさせる危険性が高いことが認められた。変色は、傷を受けた時点より古い材部にのみ発生することが確認でき、製品が無節材なら変色も現れず、枝打ち時期は変色対策として決定的なものであることを明確にした。

4 枝打ち後の成長におよぼす密度と地位の影響

林業経営では、枝打ちによって成長が大幅に低下し、伐採時期が遅くなったり収穫材積が減少することを避けるべきである。そこで、密度や地位の違いが枝打ち後の成長におよぼす影響を生産生態学的な面から解明するとともに、成長低下が少なく枝打ちに適した林分条件を明らかにすることを試みた。

4-1 密度の異なるスギ林分の成長

(1) 試験方法と測定方法

試験は、東京都八王子市にある林試苗畑で行った。

11月に m^2 あたりバーク堆肥2.5kgと鶏糞1.5kgを施肥し、翌春クモトウシスギのさし木苗(平均苗高60cm)を2種の異なった間隔(Aブロック: $0.7 \times 0.7 \text{ m}$, Bブロック: $0.5 \times 0.5 \text{ m}$)で植栽した。密度の高いBブロックがほぼ閉鎖した2年生の11月(1973年)に、両ブロックで、1: 枝打ちなし(A-1, B-1), 2: 地上高0.8mまで枝打ち(A-2, B-2), 3: 地上高1.2mまで枝打ち(A-3, B-3), 4: 地上高1.6mまで枝打ち(A-4, B-4)処理を行った。

枝打ち時にA, Bブロックの強度枝打ち区(A-4, B-4)より各8本の供試木を選び、地際から0.4mの層ごとにそれぞれの層の下部幹直径(D_z)とそれぞれの層に含まれる葉量(W_{Lz})を測定した。枝打ち高より梢端までの葉量は、ブロックごとに測定区のまわりから5~6本を伐倒測定して求めた。これらの測定値から枝打ち前の個体葉量(W_L)は、地上高0.2mの幹直径($D_{0.2}$)と樹高(H)を用いた $D_{0.2}^2 H \sim W_L$ の相対成長式から求め、枝打ち後の残存葉量は D_z と、それより梢端までの長さ H_z 、およびZ層より梢端までの葉量($\sum W_{Lz}$)を用いた $D_z^2 H_z \sim \sum W_{Lz}$ の相対成長式から求めた。この時点では、下枝の枯上りは認められなかった。また、表皮が褐色の枝は認められず、枝と葉の区別が明らかでなかったので、すべて葉として一括測定した。

植栽直後と植栽1年後は樹高を、枝打ち時、1年後、および2年後の11月には胸高直径、枝下直径、樹高、枝下高を毎木調査した。枝打ち2年後には、両ブロックの各処理区から直径の度数分布全体にまたがるようそれぞれ8本の供試木を伐倒し、0.4mの層に分けそれぞれの層に含まれる幹、枝、葉量を測定し、根を掘り取った。同時に、0.4mごとに円板を採取し幹幹解析を行った。これらの測定値より、胸高直径(D)と樹高(H)、それに各器官量(W_x)を用いた $D^2 H \sim W_x$ の相対成長関係から、林分の各器官量を推定した。

試験期間中に枯死した個体はなかったが、下枝の枯上りが生じた区では、伐倒木とは別に処理区から各10本を選び枯死枝葉量を測定した。枝打ち時の幹材積は、枝打ち時の毎木調査結果と、供試木の樹幹解析により得られた幹材積の相対成長関係より推定した。枝打ち時の根量は、無処理のA-1, B-1のT/R率が枝打ち時と変わらないものとして推定した。なお、本報告での重量は、すべて絶乾重で示す。

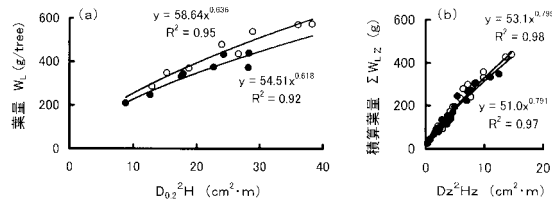


Fig. 49. 枝打ち時における個体の $D_{0.2}^2 H$ ($D_{0.2}$ は地上高 0.2 m における直径) と葉量の関係 (a), および $D z^2 H z$ ($D z$ は地上高 z の直径, $H z$ は z から先端までの長さ) と z から先端までの積算葉量 (ΣW_{Lz}) の関係 (b)

Allometric relations of leaf weight (W_L) to trunk size given by $D_{0.2}^2 H$ (a), and relationship between cumulative leaf weight from canopy surface to z -stratum (ΣW_{Lz}) to $D z^2 H z$ (b) at the time of pruning.

○ : plot A-4 ● : plot B-4

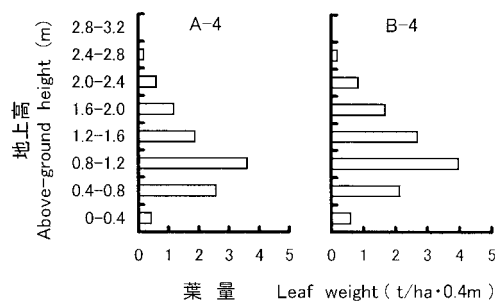


Fig. 50. 枝打ち時における林分葉量の垂直分布
Vertical distribution of leaf biomass at the time of pruning in plot A-4 and B-4.

(2) 樹高, 直径, 幹材積成長

枝打ち時における $D_{0.2}^2 H$ と葉量の関係 (Fig. 49a), および枝打ち直後の残存葉量を推定するため z が 0.4 m 以上について示した $D z^2 H z \sim \Sigma W_{Lz}$ の関係 (Fig. 49b) は, 両者とも密度の低い A ブロックの葉

量が密度の高い B ブロックより多かった。

枝打ち時の林分概況と現存量を Table 12 に示した。枝打ち時の平均胸高直径は, 低密度の A ブロックが密度の高い B ブロックよりやや大きく, 林分現存量は逆に B ブロックが大きく, 前述した個体葉量を含めて密度効果が現れ始めていた。ブロック内の各処理区での平均直径, 樹高, それに現存量は, B ブロックはほぼ同じであったが, A ブロックでの A-1, 2 は A-3, 4 に比べやや小さかった。

従来, 枝打ち強度の指標は, 樹高に対する枝打ち高の割合で示すことが多かった。しかし, 樹高に対する枝打ち高の割合が等しくても, 立木密度が異なれば葉量除去率に大きな差があるため (Fujimori & Waseda, 1972), この指標では, 同齡林分で立木密度や成長のほぼ等しい林分間でしか比較できず, 一般的な枝打ち効果の判定はできない。立木密度や土壌条件の異なる林分間の比較がある程度可能となる枝打ち強度の指標は, 葉量除去率が最もよいといわれている (藤森, 1975) ので, ここでは, 枝打ち強度の指標として葉量除去率を用いた。この試験での葉量除去率は, A-2, 3, 4 でそれぞれ 29, 61, 80 %, B-2, 3, 4 ではそれぞれ 23, 54, 79 % であった。なお, A-4, B-4 で断面積 (ここでは地上高 0.2 m の幹断面積) 比推定法 (安藤ら, 1959) により推定した林分葉量の垂直分布 (Fig. 50) は, 地上高 0.8 m 未満で A-4 の葉量が, 0.8 m 以上で B-4 の葉量が多い傾向が

Table 12. 枝打ち時の林分概況と現存量

Biomass and other features in each plot at the time of pruning.

処理区	Plot	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4
密度	Density (No./100m ²)	204	204	204	204	400	400	400	400
平均胸高直径	Mean DBH (cm)	1.6	1.6	1.8	1.8	1.5	1.5	1.6	1.5
平均樹高	Mean tree height (m)	2.4	2.5	2.7	2.7	2.4	2.4	2.5	2.5
幹材積	Stem volume (m ³ /ha)	11.6	12.4	15.2	14.7	17.1	17.5	20.2	18.7
現存量 Biomass (t/ha)	幹 Stem	4.5	4.7	5.8	5.6	6.7	6.9	7.9	7.4
	葉 Leaf	7.7	8.0	9.5	9.4	11.3	11.4	12.5	12.1
	根 Root	2.4	2.5	3.1	3.0	3.6	3.7	4.1	3.9
	全体 Whole	14.6	15.2	18.4	18.0	21.6	22.0	24.5	23.4
枝打ち高	Pruning height (m)	—	0.8	1.2	1.6	—	0.8	1.2	1.6
枝打ち後の葉量	Leaf of just after pruning (t/ha)	—	5.7	3.7	1.9	—	8.8	5.7	2.6
葉量除去率	Removal ratio of leaf (%)	—	28.7	61.1	79.8	—	22.8	54.4	78.5

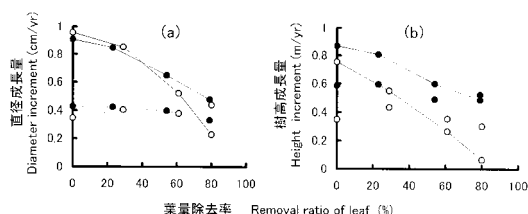


Fig. 51. 葉量除去率と胸高直径成長量(a), および樹高成長量(b)
Relationships between the removal ratio of leaf and mean annual diameter increment, and between the removal ratio of leaf and mean annual height increment of each plot.

実線は枝打ち後1年目の、破線は2年目の成長を示す。
Solid lines show increment in the first year and dotted ones in the second year.

○ : A Block ● : B Block

みられた。枝打ちによってA-2, B-2では0.8mまで, A-3, B-3では1.2mまで, A-4, B-4では1.6mまでの葉量が除かれたことになる。

葉量除去率と枝打ち後の胸高直径, 樹高成長量との関係を Fig.51 に示した。無処理であるA-1, B-1の成長量は, 枝打ち後1年目に比べ2年目に大きく低下していた。枝打ち後2年目の降水量は, 8月に27mmと少なかったが他は平年並みであった。ただ, 枝打ち処理前年における7, 8月の降水量はともに50mmで, 枝打ち後1年目の両月や2年目の7月の降水量170~270mmに比較して少なかったが, 処理前年の樹高成長量は後述するように120cm前後と大きかった。このため, 枝打ち後2年目の成長が小さかった原因が降水量とは考えにくい。ここで, 無処理区と弱度枝打ち区での年樹高成長量をみると, 植栽年が60~70cm, 枝打ち前年が120~130cm, 枝打ち後1年目が80cm前後, 枝打ち後2年目が35~60cmで, 植栽後2年目に大きく成長した後低下していた。これは, 植栽前年に施肥を行った効果で一時的に大きく成長したが, 枝打ち後2年目にはその効果がなくなってきたためではないかと推察される。このような成長変化がみられたが, 枝打ちによる成長変化を相対的に検討するには, 大きな支障にならないと考えられる。

枝打ち後1年目の樹高, 直径成長量(Fig.51)は, 両ブロックとも葉量除去率が高くなるに従い低下した。低下の程度は, 樹高, 直径成長とも低密度のAブロックが高密度のBブロックより著しく大きかった。枝打ち後2年目の樹高成長は, 両ブロッ

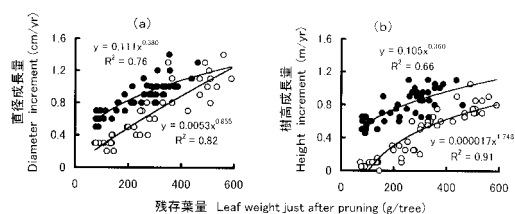


Fig. 52. 個体の残存葉量と枝打ち後1年目の胸高直径成長量(a), および樹高成長量(b)

Relationships between the leaf weight just after the pruning and diameter increment (a), and between the leaf weight just after the pruning and height increment (b) in one growing season after the pruning.

○ : A Block ● : B Block

クとも葉量除去率が50%以上区でやや低下がみられた。直径成長は, Bブロックでは樹高成長と同様の傾向がみられたが, Aブロックでは強度の枝打ちでも低下がみられなかった。Aブロックで低下がみられなかったのは, 枝打ち時におけるA-1, 2の成長がよくなかったことが影響したと考えられた。枝打ちの影響は, 地位のよい林分ほど短く, 悪い林分ほど長い間続くといわれている(高原, 1954)。この模型林分は, 幼齢で成長がよいため, 成長の減少は枝打ち後1年目には顕著に現れ, 2年目には強度枝打ち区にだけ現れたと考えられる。

枝打ち後1年目の成長低下が, 密度によって異なる原因について考えてみる。枝打ち直後の残存葉量と胸高直径, 樹高成長量との関係を Fig.52 に示した。この図は被圧個体の影響を除くため, 各処理区内の枝打ち時樹高が高い順に本数の約4割にあたる12個体をプロットしたものである。個体ごとのバラツキは大きい, 残存葉量が少なくなるほど, 胸高直径成長量および樹高成長量が低下する関係がみられ, 図中にブロックごとの近似式を示した。枝打ちが強度になって残存葉量が減少すると, 同じ残存葉量を保持している個体でも胸高直径, 樹高成長ともにAブロックがBブロックより大きく低下し, 低密度のAブロックが枝打ちの影響を強く受けることを示していた。次に, ブロック内の樹高成長量と直径成長量を比較すると, Fig.55から分かるようにAブロックでは直径成長に比べ樹高成長が大きく低下していたが, Bブロックでは直径, 樹高成長ともに同じ程度の影響を受け明らかな差はみられなかった。枝打ちによる成長への影響は, 樹高成長よりも直径成長

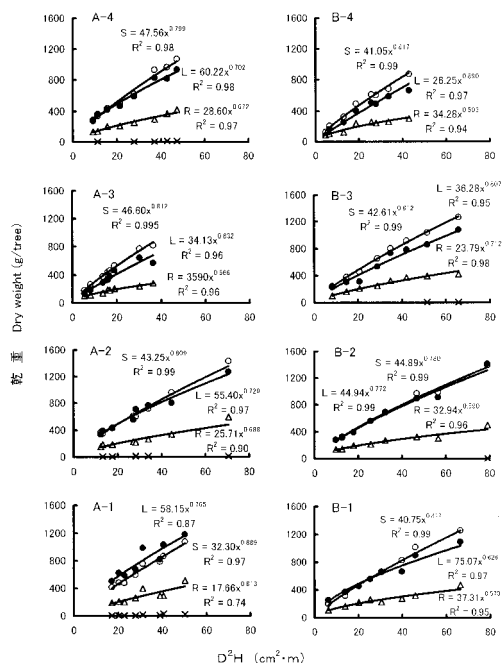


Fig. 53. 枝打ち2年後における供試木の D^2H と各器官量の相対成長
Allometric relations of stem, leaf, branch, and root
weight to trunk size given by D^2H on the sample trees at
the end of two growing seasons after the pruning.
○: 幹量 Stem (S) ●: 葉量 Leaf (L)
×: 枝量 Branch (B) △: 根量 Root (R)

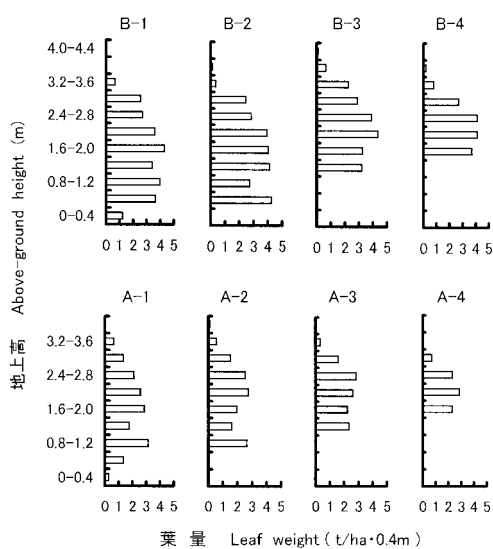


Fig. 54. 枝打ち2年後における林分葉量の垂直分布
Vertical distribution of leaf biomass in each plot at the
end of two growing seasons after pruning.

に大きく現れる (Bennett, 1955; 藤森, 1975; Mccaiy, 1953; 斉藤ら, 1968; 高原, 1954) といわれているが, 今回の結果は, 直径成長と同様に樹高成長に対する影響も顕著であった。

枝打ち2年後における伐倒供試木の D^2H と各器官量の関係をFig.53に示し, 相対成長式を图中

に示した。供試木には, 枝が認められない個体も多かった。このため, 枝現存量は, 林分葉量の垂直分布とともに胸高断面面積比推定法 (安藤ら, 1959) により推定した。なお, 断面面積比推定法による林分葉量は, 相対成長式で推定したTable 13の値に比べすべて1%以下の違いしかなかった。枝打ち2年後における葉量の垂直分布 (Fig.54) は, 梢端部を除くすべての地上高でAブロックよりBブロックが多かった。ブロック内の比較では, 枝打ち強度が異なっても残存葉層での葉量垂直分布には際だった違いがみられなかった。

先にFig.52では, 枝打ち後の個体の残存葉量が同じでも, 枝打ち後1年目の成長にブロック間で差がみられた。枝打ち直後の非同化器官量 (W_C) と同化器官量 (W_F) の割合が違えば, 同じ残存葉量を保持していても成長差が生じるであろう。そこでhaあたりの W_F/W_C 比と, 枝打ち後1年目の無処理区の成長量を100とした樹高, 直径成長割合を示したのがFig.55である。両ブロックの樹高, 直径成長割合は, W_F/W_C 比が小さくなるほど, すなわち強度の枝打ちほど低下するが, W_F/W_C 比が同じでもAブロックはBブロックに比べ成長割合が小さくなり, 枝打ちが強度になるほどブロック間の差が大きくなった。

枝打ち後1年目の幹材積成長は, 両ブロックとも葉量除去率が高くなるにつれて低下した (Fig.56)。無処理区に対する枝打ち区の幹材積成長の割合を幹材積成長割合として求めると, Aブロックでは葉量除去率29, 61, 80%でそれぞれ92, 58, 20%, Bブロックでは葉量除去率23, 54, 79%でそれぞれ80, 63, 45%であった。幹材積成長は最も強度な枝打ち区を除きAブロックがBブロックより低下が小さい傾向がみられ, 前述した樹高・直径成長がいずれもAブロックがBブロックより低下したのと逆の結果となった。この原因は, 試験設定時におけるAブロック無処理区の幹材積が枝打ち区に比べて小さく, その後の幹材積成長も小さくて, 枝打ち区の幹材積成長割合が高くなったためと考えられ, このことがなければ, Aブロックの幹材積成長割合はもっと小さくなることが予想される。枝打ち後2年目の幹材積成長は, 直径や樹高成長と同様に葉量除去率が50%以上の強度枝打ち区でやや小さかった。

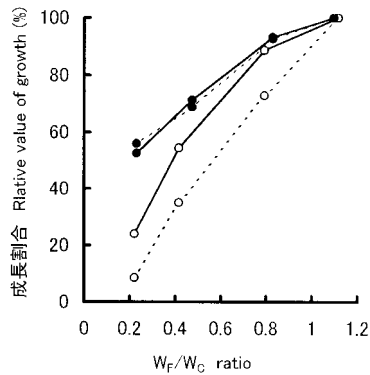


Fig. 55. 枝打ち直後の W_F/W_C 比と枝打ち後1年目の胸高直径、樹高成長量の割合

The W_F/W_C ratio just after the pruning, and relative values of height and diameter increment in one growing season after the pruning.

実線は胸高直径成長を、破線は樹高成長を示す。

成長割合は無処理区の成長量を100として求めた。

Solid lines show diameter increment, and dotted ones height increment. Relative values of height and diameter increment were expressed as the percentage of the value on pruning plot against that on control plot.

○: A Block ●: B Block

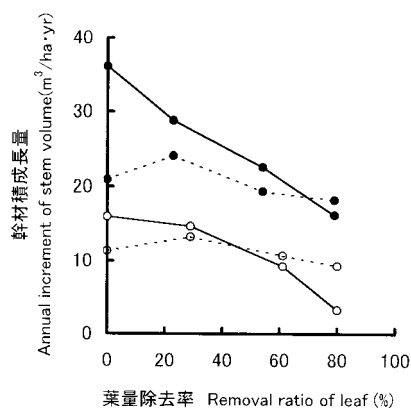


Fig. 56. 葉量除去率と幹材積成長量

The removal ratio of leaf and annual increment of stem volume.

実線は枝打ち後1年目、破線は枝打ち後2年目の成長量を示す。

Solid lines show increment in the first year, and dotted ones in the second year.

○: A Block ●: B Block

以上のように、枝打ち後の樹高、直径成長は、葉量除去率、残存葉量、それに W_F/W_C 比などが同じであっても、低密度のAブロックが高密度のBブロックに比べ成長低下が大きかった。また、幹材積成長でも同様の傾向がみられた。密度の違いと枝打ち後の個体の樹冠長を一定にして成長を検討した藤森(1975)は、低密度になるほど枝打ちによって成長が低下することを認めている。今回

の試験は、枝打ち時の平均樹高に大きな違いがなく、打ち上げ高を一定にしたので、処理区ごとに平均樹冠長はほぼ一定とみなしてよく、同様の結果になったといえよう。低密度区で枝打ち後の個体成長が低下する原因は、低密度区では枝打ち後における面積あたりの葉量が少なかったこと、このため林内光環境など環境条件が急激に変化し、呼吸消費量の増加などの影響が考えられるが明らかにできなかった。

次に、個体の大きさの違いによる成長を知るため、枝打ち時の幹材積がほぼ同じ無処理区と2つの枝打ち区の個体グループを用いて検討する。無処理区個体グループに対する枝打ち区グループの枝打ち後1年間と2年間の幹材積成長割合をFig.57に示した。葉量除去率は、B-3では40～69%、B-4では69～84%で、枝打ち高を同じにしたので葉量除去率の低いものが優勢木、高いものが劣勢木にあたる。枝打ち後1年間の幹材積成長割合は、B-3の優勢木が80%、劣勢木が43%、B-4の優勢木は65%、劣勢木は17%で、いずれも劣勢木の成長が大きく低下した。枝打ち後2年間では、優勢木、劣勢木とも1年目より成長割合が高くなるが、優勢木の成長割合が高いことに変化がなかった。このように、優勢木の幹材積成長は、劣勢木に比べ成長低下が小さかった。また、葉量除去率がほぼ等しいB-3の劣勢木とB-4の優勢木の成長割合は、枝打ち後1年間では20%近く、2年間では30%近い差が生じた。これらのことは、地上からの高さを一定にして枝打ちを行なえば、Fujimori(1972)が得た結果と同様に優勢木ほど成長が大きく不揃いな林分になるといえる。林分個体の大きさを揃えたい場合は、優勢木ほど強度な枝打ちをすべきことを示している。

枝打ち後2年間の林分幹材積成長割合を、無処理区に対する枝打ち区の幹材積成長の割合として求め、葉量除去率との関係をFig.58に示した。幹材積成長割合は、両ブロックとも葉量除去率が高くなるに従い低下するが、強度枝打ち区を除いては、AブロックがBブロックより高く、樹高、直径成長と逆の傾向を示した。これは、前述したようにAブロックの無処理区が試験設定時にやや小さかったことが影響しているためと考えられる。図には、葉量除去率と枝打ち後2年間の幹材積成

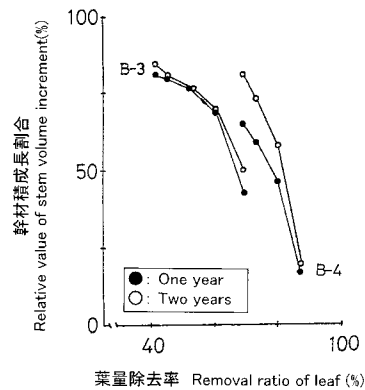


Fig. 57. 葉量除去率と枝打ち後1, 2年間の幹材積成長割合

The removal ratio of leaf and relative value of stem volume increment for one and two growing seasons after the pruning.

成長割合は、枝打ち時の幹材積がほぼ同じ個体を用い無処理区個体の成長量に対する処理区個体の成長割合で示した。

Relative value of stem volume increment was expressed as the percentage of the value on pruning plots against that on control plot, where the trees whose stem volume had been same at the time of pruning were chosen as the sample trees.

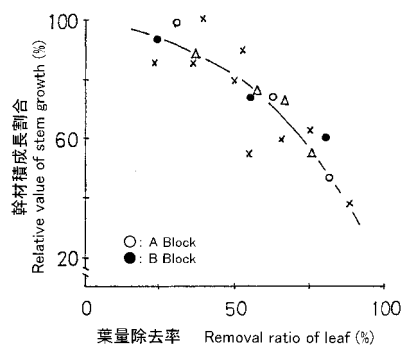


Fig. 58. 葉量除去率と枝打ち後2年間の幹材積成長割合

Relationships between the removal ratio of leaf and relative value of stem growth for two growing seasons after the pruning.

× : Fujimori & Waseda (1972) : 安藤ら (1975)

長割合との関係を、Fujimori & Waseda(1972)がスギ9, 10年生林分で幹材積の代りに D^2H を用いた結果と、安藤ら(1975)のスギ12年生林分のデータから求めた結果をあわせて示した。なお、安藤らのデータは、無処理林分が含まれておらず、最も低い葉量除去率37%の林分で、幹材積成長割合が90%になるという仮定のもとに他の林分を推定したものである。今回の値は、これらの値とほぼ同じであった。幹材積成長割合は、同じ葉量除去率であっても林分間に差がみられ、この原因として密度の違いを考慮してみたが、一定の傾向は認められなかった。また、同じ葉量除去率でも

生育段階により W_F/W_C 比が違うので、林分間にある程度の差が生じるのはしかたないかもしれない。幹材積成長割合(Y :%)を推定するため、葉量除去率(x :%)との関係を求めると次式が得られた。

$$Y = 100 - 0.0075 x^2$$

この式により、林分が異なっても葉量除去率さえわかれば、枝打ち後2年間の幹材積成長割合のおおよその推定ができよう。

(3)各器官量

枝打ち後2年を経過した林分現存量をTable 13に示した。A-2の幹量を除いた他の器官量は、葉量除去率が高くなるほど小さくなっていた。無処理であるA-1, B-1の葉量はそれぞれ15.9, 26.1 t/haで、閉鎖林分の平均葉量19.6 t/ha(Tadaki, 1966)に比較し、前者は少なく、後者は多かった。枝打ち区の葉量は、葉量除去率の低かったA-2, B-2では無処理区に近かったが、それより強度の枝打ち区では無処理区に比べ4~5 t/ha以上少なく、葉量が回復していなかった。

T/R率(Fig.59)は、A-1, 2やB-1, 2で4.9~5.0と差がみられなかったが、葉量除去率が50%以上になると低下する傾向がみられた。Karizumi(1974)は、多くの調査結果から、T/R率は密度により変わり3.0~4.2で、高密度林分ほど高くなる傾向を認めている。また、13年生の高密度スギ林分では5.3の値が報告されている(斉藤ら, 1972)。今回のA, Bブロックは、ともに高密度林分であるためT/R率が高くなったと考えられる。また、葉量除去率が高い林分ほどT/R率が低下したのは、前述したように強度の枝

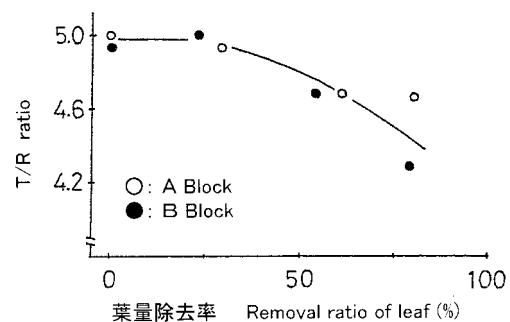


Fig. 59. 葉量除去率と枝打ち2年後のT/R率

Relationship between the removal ratio of leaf and T/R ratio at the end of two growing seasons after the pruning.

Table 13. 枝打ち2年後の林分概況と現存量

Biomass and other features in each plot at the end of two growing seasons after the pruning.

処理区	Plot	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4
平均胸高直径	Mean DBH(cm)	2.9	2.9	2.7	2.5	2.8	2.8	2.6	2.4
平均樹高	Mean tree height(m)	3.5	3.5	3.3	3.0	3.9	3.8	3.6	3.5
平均枝下高	Mean clear length(m)	0.5	0.8	1.2	1.6	0.6	0.8	1.2	1.6
幹材積	Stem volume(m ³ /ha)	38.8	40.3	35.1	27.2	74.0	70.4	62.1	53.1
現存量	幹 Stem	14.0	14.5	12.7	9.9	27.6	26.2	23.2	19.7
Biomass	枝 Branch	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(t/ha)	葉 Leaf	15.9	13.5	12.0	8.3	26.1	25.1	20.5	15.9
	地上部 Above-ground parts	30.1	28.1	24.8	18.2	53.7	51.3	43.7	35.6
	根 Root	6.0	5.7	5.3	3.9	10.9	10.1	9.3	8.3
	全体 Whole	36.1	33.8	30.1	22.1	64.6	61.4	53.0	43.9

Table 14. 枝打ち後2年間の純生産量(t/ha・2yr)

Net primary production in each plot for two growing seasons after the pruning.

処理区	Plot	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4
幹	Stem	9.5	9.8	6.9	4.3	20.9	19.3	15.3	12.3
枝葉	Leaf and Branch	9.1(0.7)	7.9	8.4	6.4	16.5(1.6)	16.3	14.8	13.3
根	Root	3.6	3.2	2.2	0.9	7.3	6.4	5.2	4.4
全体	Whole	22.2	20.9	17.5	11.6	44.7	42.0	35.3	30.0

(): 枯死枝葉量を示す。Dead leaf and branch.

打ちによって除かれた枝葉量が、2生育期後も少なかったことが主な原因と考えられた。

枝打ち後2年間の林分純生産量を、枝打ち時の現存量と2年後の現存量の差、および枯死枝葉が生じた区では、その値を加えて求めTable 14に示した。各器官の増加量は、A-2の幹が無処理のA-1よりもやや大きかった以外は、いずれも葉量除去率が高いほど低下した。枝打ち後2年間における幹の増加量を無処理区の増加量で除した増加割合は、A-2, A-3, 4がそれぞれ103, 73, 45%, B-2, 3, 4がそれぞれ92, 73, 59%であった。枝葉の増加割合は、A-2, 3, 4がそれぞれ87, 92, 70%, B-2, 3, 4がそれぞれ99, 90, 81%で、幹ほど低下しなかった。根の増加割合は、A-2, 3, 4がそれぞれ89, 61, 25%, B-2, 3, 4がそれぞれ88, 71, 60%であった。このように、各器官の増加割合は、枝打ちが強度になるほど低密度のAブロックが低下する傾向がみられた。

ここで根量に注目すると、伐倒供試木の幹量と根量の相対成長関係についてBブロックの例をFig.60に示したように、処理区間で明らかな違いは認められなかった。そして、枝打ち2年後の幹

現存量に対する根現存量の割合は、ブロック間、処理区間で差がなく39~43%であった。また、Bブロックでは、枝打ち強度と根の増加割合が幹の増加割合に近く、枝打ちが根と幹成長におよぼす影響は同じ程度であった。

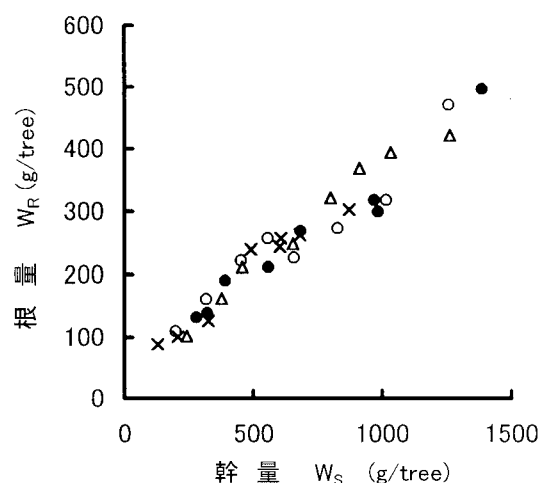


Fig. 60. 枝打ち2年後におけるBブロック供試木の幹量と根量の関係

Relationship between stem weight (W_s) and root weight (W_r) of the sample trees in B block at the end of two growing seasons after the pruning.

○ : plot B-1 ● : plot B-2
△ : plot B-3 × : plot B-4

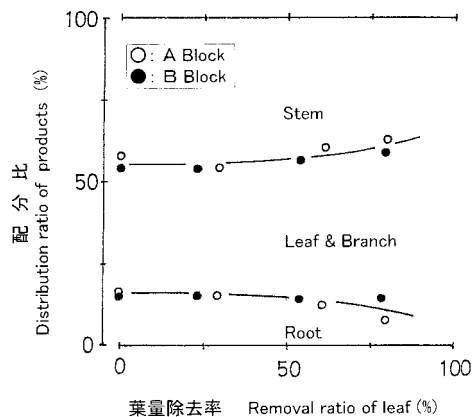


Fig. 61. 葉量除去率と枝打ち後2年間の生産物の配分比
Relationship between the removal ratio of leaf and the distribution ratio of products for two growing seasons after the pruning.

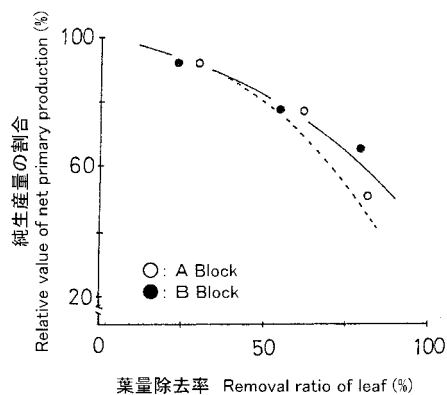


Fig. 62. 葉量除去率と枝打ち後2年間の林分純生産量の割合
Relationship between the removal ratio of leaf and relative value of net primary production for two growing seasons after the pruning.
破線は図-58に示した幹材積の成長割合を示す。
Dotted line denotes relative value of stem growth in Fig. 58.

強制的に枝葉を除く枝打ちが、生産物の各器官への配分比におよぼす影響を検討する。枝打ち後2年間の生産物の各器官への配分比 (Fig. 61) は、A, Bブロックとも葉量除去率が高くなるに従い幹と根に低く、枝葉に高くなる傾向がみられた。これは、各器官への生産物の配分比が枝打ち強度によって異なり、減少した枝葉が多いほど生産物の枝葉への配分比が高くなって、枝葉量を早く増加させることを示唆している。間伐すると、生産物の配分比が枝や葉に多く、幹に少なくなることが認められており (齊藤ら, 1967), 強制的に枝葉を除く枝打ちでも同様の傾向がみられた。

枝打ちによる純生産量の変化を知るため、無処理区に対する枝打ち区の枝打ち後2年間の林分純

生産量の割合を Fig. 62 に示した。図中には、Fig. 58 に示した幹材積成長割合を破線で示した。林分純生産量は、前述した幹材積成長割合と同じ理由から、ブロック間で差があると考えられるが、図示した実線は密度の違いによる枝打ちの影響を無視して描いたものである。林分純生産量は、幹材積成長よりも枝打ちの影響を受けにくく、強度の枝打ちになるにしたがい両者の差が大きくなる傾向が窺われた。これは、Fig. 61 に示したように強い枝打ちほど生産物が幹よりも枝葉に多く配分されることから説明できる。

4-2 地位の異なるスギ, ヒノキ林分の成長

(1) 調査林分と調査方法

1) スギ林分

調査林分は、高知県窪川町にある窪川営林署管内の14年生 (1978年) スギ林分で、南西向き緩斜面にある。林分の中で地位の異なる場所を選び、枝打ち区と対照区を隣り合わせて組み合わせたものをブロックとし、合計4ブロックを設定した。枝打ち区と対照区は、それぞれ34~49本を含む面積とした。土壌は、ブロックAがB_D(d)型、ブロックB, CがB_C型、ブロックDがB_B型である。

設定時には、胸高直径、枝下直径、樹高、枝下高を測定した。枝打ち区は、幹直径が4 cmになる高さまで測定区の周囲2列を含む全木を枝打ちした後、枝打ち高を測定した。地上部現存量を推定するために、各ブロックの周囲から直径分布の全体にまたがるように8本、合計32本を供試木として伐倒した。供試木は、1 mの層ごとにそれぞれの層の下部幹直径 (D_z) とそれぞれの層に含まれる葉量 (W_{Lz}), 枝量 (W_{Bz}), 幹量を測定した。幹・枝・葉量等の現存量は、供試木の胸高直径 (D) と樹高 (H) を用いた $D^2 H$ と幹・枝・葉量の相対成長式を求めて推定した。林分葉量の垂直分布は、胸高断面積比推定法 (安藤ら, 1959) によって推定した。枝打ち直後の残存葉量と枝量は、供試木のある層の下部幹直径 (D_z) とそれより梢端までの長さ (H_z), およびZ層より梢端までの葉量 ($\sum W_{Lz}$), 枝量 ($\sum W_{Bz}$) を用いた $D_z^2 H_z \sim \sum W_{Lz}$, $\sum W_{Bz}$ の関係式を求め、この式に各個体の $D_z^2 H_z$ を代入して推定した。

枝打ち1, 2年後には全てのブロックで、3年

後にはブロックC, Dで胸高直径, 枝下直径, 樹高, 枝下高を毎木調査した。また, 枝打ち2年後にはブロックAとBで, 3年後にはブロックCとDで, それぞれの対照区・枝打ち区内から8本を供試木として伐倒した。供試木は, 1mの層別刈取り法により幹・枝・葉量を測定し, 樹幹解析用の円板を採取した。現存量は, 供試木の D^2H と各器官量の相対成長式を, 幹材積は D^2H と樹幹解析から求めた2年後の幹材積の相対成長式を求め, それぞれの相対成長式に枝打ち2年後の毎木調査による D^2H を代入して推定した。また, 林分葉量の垂直分布を, 胸高断面積比推定法(安藤ら, 1959)によって推定した。

2) ヒノキ林分

調査林分は, 愛媛県西条市にある西条営林署管内の15年生(1985年)ヒノキ2林分で, 地位の高い林分をP-1, 低い林分をP-2とした。P-1は北西向き傾斜34度と急斜面にあり, P-2は北東向き傾斜26度である。両区で胸高直径, 樹高, 枝下高の毎木調査を行った後, 平均木よりやや大きい個体をP-1, 2から各17本選定した。このうちP-1では5本, P-2では4本を対照木とし, P-1では12本, P-2では13本に強度を変えた枝打ち処理を行った。枝打ち木を被圧するおそれのある隣りの個体も同じ程度に枝打ちを行った。枝打ち木は, 1mの層に分けそれぞれの層ごとの最下部幹直径と枝打ちした除去葉量を測定した。同時に両試験区のまわりから各3本を伐倒し, 1mの層ごとに最下部幹直径と各層に含まれる葉量を測定した。

枝打ち前後の葉量の推定は, 次の方法で行った。まず試験区ごとに伐倒木各3本の各層の最下部までの高さ Z の幹直径(D_z)と, Z より梢端までの長さ(H_z), Z より梢端までの積算葉量($\sum W_{LZ}$), 積算枝量($\sum W_{BZ}$)から $D_z^2 H_z$ と $\sum W_{LZ}$, および $\sum W_{BZ}$ の関係式を求めた。次に, 同じ試験区で枝打ち強度の高かった枝打ち木各4本の枝打ち直後の枝下直径(D_z)とそれより梢端までの長さ(H_z)から $D_z^2 H_z$ を求めて上記の関係式に代入し残存葉量を推定した。この推定残存葉量に除去葉量を加えた値を伐倒木3本の $D_z^2 H_z$ と $\sum W_{LZ}$, $\sum W_{BZ}$ の関係に加えて試験区ごとの $D_z^2 H_z \sim \sum W_{LZ}$, $D_z^2 H_z \sim \sum W_{BZ}$ の関係式を求めた。この式により, 供試木の枝打ち直後の $D_z^2 H_z$ から残存葉量や残存枝量を推定した。残存葉量と枝打ちによる除去葉量を加えて, 枝打ち直前の個体葉量を推定した。

枝打ち2年後は, 胸高直径, 樹高, 枝下直径を測定した。枝打ち2年後の葉量は, 枝打ち時と2年後の $D_z^2 H_z \sim \sum W_{LZ}$ の関係式が変わらないという仮定のもとに2年後の $D_z^2 H_z$ を枝打ち時の相対成長式に代入し推定した。なお, 枝打ち時および枝打ち2年後の幹材積は, 高知局のヒノキ収穫表の材積式から求めた。

(2) スギ林分の成長

1) 樹高, 直径成長

枝打ち時における14年生の林分概況をTable 15に示した。立木密度は, ブロックA, B, Cが5,000本/ha前後でほぼ等しく, Dはやや高かった。平均樹高はA, B, C, Dの順に低く, 平均樹高から推定した地位指数は, それぞれ18.0, 12.7, 12.0, 10.8であった。

枝打ち時における各器官量は, 供試木 D^2H との相対成長関係(Fig.63)で, 幹材積は, Fig.64の相対成長関係で推定した。枝打ち時の林分葉量は, 地位の高いAで18~19t/haあったのに比較し, 地位の低いB, C, Dは10~13t/haと少なかった。対照区における林分葉量の垂直分布(Fig.66)

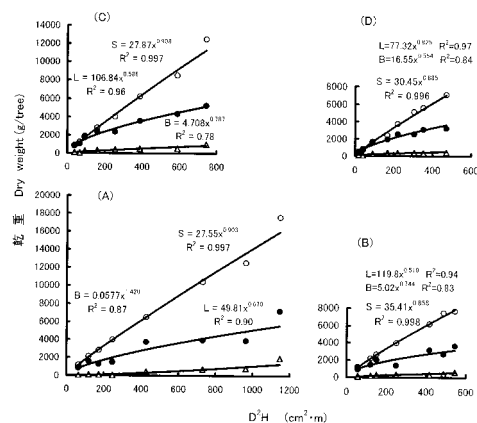


Fig. 63. 枝打ち時における各ブロック供試木の D^2H と各器官量の相対成長

Allometric relations of stem, leaf, and branch weight to trunk size given by D^2H on the sample trees at the time of pruning.

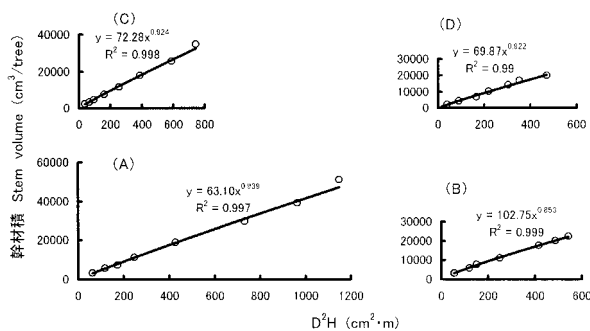
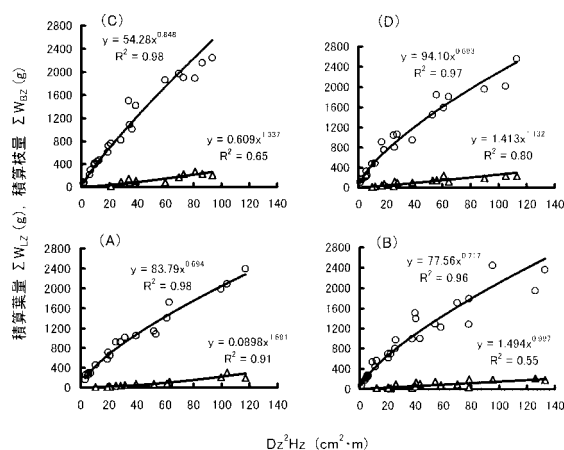
○ : 幹 Stem (S) ● : 葉 Leaf (L)
: 枝 Branch (B)

Table 15. 枝打ち時の林分概況と現存量

Biomass and other features in each stand at the time of pruning.

林分	Stand*	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
密度	Density(No./ha)	4,880	4,900	5,020	4,920	4,930	4,920	6,460	6,360
平均胸高直径	Mean DBH(cm)	7.8	7.8	5.4	5.3	5.7	5.5	4.9	4.9
平均樹高	Mean tree height(m)	8.3	8.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.3	5.1
平均枝下高	Mean clear length(m)	2.4	2.0	1.3	1.2	1.4	1.5	1.1	1.0
枝打ち後	After pruning(m)	—	5.5	—	2.9	—	2.9	—	2.3
平均枝下直径	Mean stem diameter at the upper end of clear length(cm)	7.1	7.2	5.4	5.5	5.6	5.4	5.1	5.2
枝打ち後	After pruning(cm)	—	4.0	—	3.9	—	3.9	—	3.8
幹材積	Stem volume(m ³ /ha)	112.4	112.8	48.1	44.9	54.1	49.8	45.3	42.4
現存量	幹 Stem	39.0	39.1	17.0	15.9	19.0	17.5	16.3	15.3
Biomass	枝 Branch	2.9	3.6	1.6	1.4	1.8	1.7	1.9	1.9
(t/ha)	枝打ち後 After pruning	—	0.3	—	0.4	—	0.4	—	0.7
	葉 Leaf	17.8	19.2	10.8	10.2	12.3	11.5	13.1	12.8
	枝打ち後 After pruning	—	5.7	—	5.6	—	5.8	—	6.7
葉量除去率	Removal ratio of leaf(%)	—	70.4	—	44.9	—	49.8	—	48.0

*: 1は対照区, 2は枝打ち区を示す。1: Control stands, 2: Pruned stands.

Fig. 64. 枝打ち時における供試木のD²Hと幹材積の関係
Relationships between trunk size given by D²H and stem volume the sample trees at the time of pruning.Fig. 65. 枝打ち時における供試木のD²Hと積算葉量(ΣWL_z)および積算枝量(ΣWB_z)の関係
Relationships between cumulative weight of leaf(ΣWL_z) and branch(ΣWB_z) from canopy surface to z-stratum to Dz²Hz at the sample trees at the time of pruning.
○: 葉 Leaf △: 枝 Branch

は, A-1ではB-1, C-1, D-1に比べ地上高の高い位置に多くの葉量を保持していた。枝打ち直後の林分葉量, 枝量をFig.65の関係式から推定した。枝打ち区であるA-2, B-2, C-2, D-2の枝打ち直後の残存葉量は, 密度がほぼ等しかったA, B, Cで5.7 t/ha前後とほぼ等しかったが, 密度の高いDでは6.7 t/haとやや多かった。葉量除去率は, A-2, B-2, C-2, D-2でそれぞれ70, 45, 50, 48%で, 個体の大きいA-2が高かった(Table 15)。

幹材積は, Aの112 m³/ha に比べ, 他は42 ~ 54 m³/haでAの半分にも満たなかった。各ブロック内の対照区と枝打ち区の個体の大きさや現存量は, Aではほぼ等しかったが, 他のブロックでは対照区が枝打ち区よりもやや大きかった。

各ブロックの枝打ち2年後の林分概況をTable 16に示した。表には, 幹材積と地上部各器官の現存量について, A, Bブロックでは枝打ち2年後の値を, C, Dブロックでは枝打ち3年後の値をあわせて示した。枝打ちによる樹高, 胸高直径の成長低下を比較するため, 枝打ち後2年間の対照区に対する枝打ち区の成長量の割合を求め, これを成長割合とよびFig.67に示した。枝打ち後2年間の樹高, 胸高直径の成長割合は, Bが最も高く, 次いでC, A, Dの順に低かった。葉量除去率が45, 50, 48%であったB, C, Dについて

Table 16. 枝打ち2年後(A, B), または3年後(C, D)の林分概況と現存量

Biomass and other features in each stand at the end of two(stand A,B), and three(stand C,D)growing seasons after the pruning.

林分	Stand	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
平均胸高直径	Mean DBH(cm)	8.9	8.4	6.6	6.4	7.2	6.8	6.3	5.8
平均樹高	Mean tree height(m)	9.3	8.8	7.4	7.0	7.3	6.9	6.4	5.9
平均枝下高	Mean clear length(m)	3.2	5.5	2.4	3.1	2.5	3.1	2.0	2.7
平均枝下直径	Mean stem diameter at the upper end of clear length(cm)	7.5	5.1	5.9	5.1	6.4	5.4	5.8	4.8
幹材積	Stem volume(m ³ /ha)	160.4	140.3	84.8	69.5	95.7	78.4	88.1	68.7
現存量	幹 Stem	54.0	47.2	29.5	24.1	35.7	29.1	32.0	25.9
Biomass	枝 Branch	3.6	2.3	2.3	2.2	2.8	2.7	3.4	2.1
(t/ha)	葉 Leaf	18.8	12.4	11.5	10.7	16.0	11.9	18.8	13.8

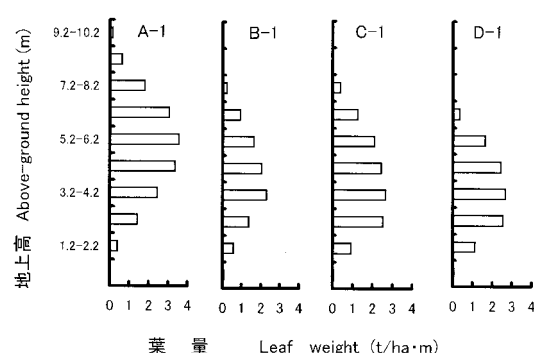
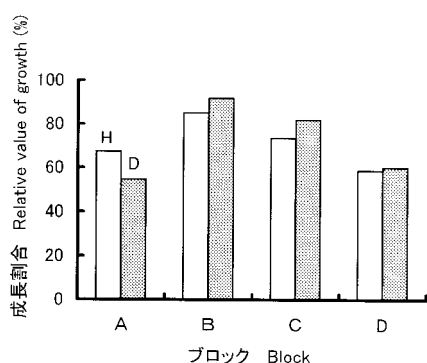


Fig. 66. 枝打ち時における林分葉量の垂直分布

Vertical distributions of leaf biomass in each control stand at the time of pruning.

Fig. 67. 枝打ち後2年間の樹高(H), 胸高直径(D)の成長割合
Relative value of diameter (D) and height (H)
increment for two growing seasons after the pruning.
成長割合は、各ブロックの対照区の成長量に対する枝
打ち区の成長量の割合で示す。Relative values of growth were expressed as the
percentage of the increment on pruning stand against
that on control stand in each block.

みると、樹高、胸高直径の成長割合がBがCに比べて高いのは、Bの葉量除去率がCよりも5%低く、枝打ちの程度が弱かったことが主な原因と考えられる。CとDの葉量除去率はほぼ等しいが、

樹高、胸高直径の成長割合はDがCよりも低く、その差は樹高で15%、胸高直径で22%と大きかった。同じ樹冠長を残す枝打ち方法では、低密度のほうが高密度の林分よりも成長が低下することが報告され(藤森, 1975)、前節で述べた密度の異なる林分でも同様の結果が認められた。CとDの枝打ち直後の平均樹冠長は2.8mと同じで、成長割合は密度の高いDがCより高くなるべきであるが、結果は逆であった。これは、Dの地位が低いことが成長に強く影響し、地位の低い林分では枝打ち後の成長低下が大きくなることを示している。

2) 地上部現存量

A, Bブロックは枝打ち2年後、C, Dブロックは枝打ち3年後に最終調査を行った。林分の各器官現存量は、供試木による相対成長関係(Fig.68)から推定し、Table 16に示した。対照区の葉現存量の増加量をTable 16とTable 15の差から求めると、A-1, B-1がそれぞれ1.0, 0.7 t/ha・2yr, C-1, D-1がそれぞれ3.7, 5.7 t/ha・3yrであった。A-1は林分が閉鎖しているため葉現存量の増加が少なくなったと考えられる。増加量が少なかったB-1は、2年後の調査時でも林分は未閉鎖の状態で現存量も11.5 t/haと少なかった。一方、胸高断面面積比推定法によって推定したB-1の林分葉量は12.0 t/haで、相対成長式で推定した値よりやや大きかったが、それでも葉量の増加が少ないことには変わりなかった。また、B-1における林分葉量の垂直分布(Fig.69)は、2年前の垂直分布(Fig.66)に比べ地上高3.2m以下で減少し、それより高い位置で増加していた。

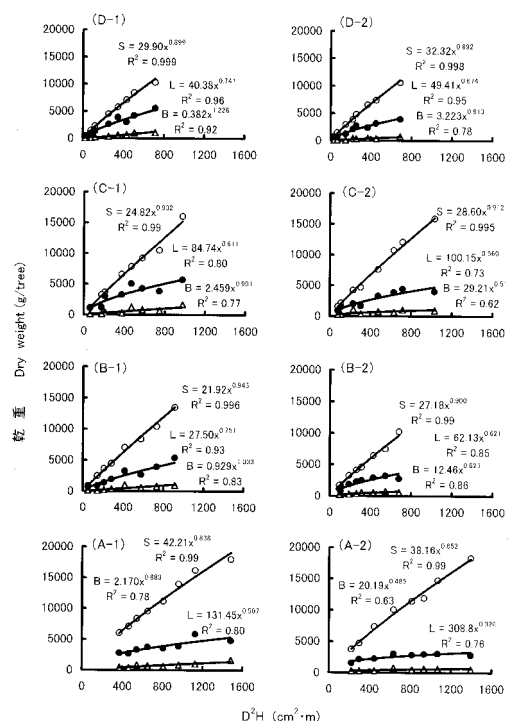


Fig. 68. 最終調査時における各ブロック供試木の D^2H と各器官量の相対成長

Allometric relations of stem, leaf and branch weight to trunk size given by D^2H on the sample trees at the final measurement.

A, B Block: 枝打ち 2 年後

Two growing seasons after the pruning

C, D Block: 枝打ち 3 年後

Three growing seasons after the pruning

○: 幹 Stem (S) ●: 葉 Leaf (L)

: 枝 Branch (B)

これは, B-1 の 2 年間の平均樹高成長が 1.3 m で, 平均枝下高が 1.1 m 高くなったことによる。

平均樹冠長は, A-1, B-1 が 2 年間でともに 0.2 m 増加, C-1, D-1 が 3 年間でそれぞれ 0.4, 0.2 m 増加しており, B-1 での増加が小さいことはなかった。対照区における最多葉層は, B-1 以外では 4.6 t/ha・m 以上を示したが, B-1 で

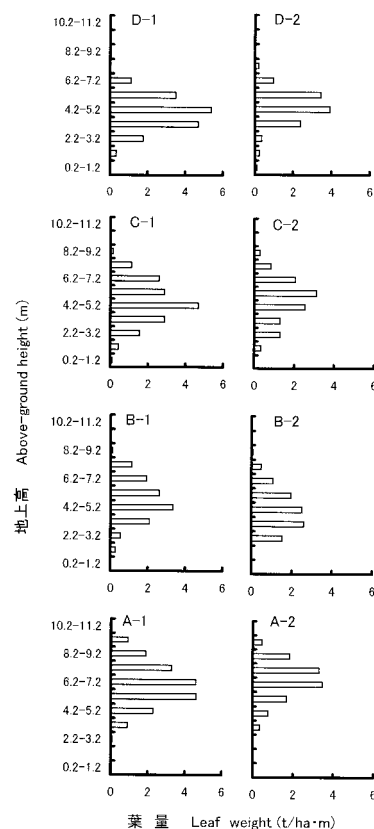


Fig. 69. 最終調査時における林分葉量の垂直分布

Vertical distributions of leaf biomass in each stand at the final measurement.

A, B Block: 枝打ち 2 年後

Two growing seasons after the pruning

C, D Block: 枝打ち 3 年後

Three growing seasons after the pruning

は 3.3 t/ha・m と少なかった (Fig. 69)。しかし, B-1 で葉現存量が増加しなかった原因は明らかにできなかった。

枝打ち後 2 年間 (A, B) と 3 年間 (C, D) の地上部生産量を Table 17 に示した。対照区では落葉落枝量を調べなかったため, 枝葉生産量を求めることができなかった。枝打ち区の枝葉生産量は,

Table 17. 枝打ち後 2 年間, または 3 年間の生産量

Net primary production in each stand for two and three growing seasons after the pruning.

林分	Stands	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
乾重 Dry weight (t/ha)	幹 Stem	15.0	8.1	12.5	8.2	16.7*	11.6*	15.7*	10.6*
	枝 Branch	—	2.0	—	1.8	—	2.3*	—	1.4*
	葉 Leaf	—	6.8	—	5.1	—	6.2*	—	7.1*
	計 Total	—	16.9	—	15.1	—	20.1*	—	19.1*
幹材積	Stem volume (m ³ /ha・2yr)	48.0	27.5	36.8	26.3	25.4	18.1	28.0	17.0

*: 枝打ち後 3 年間の値。The values for three growing seasons after the pruning.

落葉落枝量が僅かにみられたがその値を無視し、枝打ち2年後(A, B)と3年後(C, D)の現存量から枝打ち直後の現存量を差し引いて求めた。幹生産量は、枝打ち後2年間であるA-2, B-2でほぼ等しかったが、枝打ち後3年間であるC-2はD-2よりやや大きかった。

枝葉生産量は、A-2, B-2がそれぞれ8.8, 6.9t/ha・2yr, C-2, D-2が等しく8.5t/ha・3yrであった。ここで、葉生産量に注目すると、林分中最も地位の高いA-2では6.8t/ha・2yrで、残存葉量が同じB-2の5.1t/ha・2yr, C-2の6.2t/ha・3yrに比較し、B-2よりも大きく、C-2の3年間の値より大きかった。また、残存葉量が1.0t/ha多かったD-2の3年間の値7.1 tに近かった。このように、枝打ち後の葉量は、地位の高い林分では地位の低い林分に比較して増加が早いといえる。

3) 幹材積成長

枝打ち時における対照区と枝打ち区の幹材積は、Aブロックではほぼ等しかったが、B, C, Dブロックでは枝打ち区がやや小さかった(Table 15)。このため、B, C, Dブロックでは、枝打ち時の対照区に対する枝打ち区の幹材積割合が枝打ち2年後も一定であると仮定し、この割合で枝打ち区の幹材積成長量を修正した。なお、枝打ち時の対照区に対する枝打ち区の幹材積割合はB, C, Dでそれぞれ93.3, 92.1, 93.6%であった。

枝打ち後2年間の対照区の幹材積成長量と枝打ち区の修正した幹材積成長量をTable 17に示した。対照区の幹材積成長量に対する枝打ち区の幹材積成長割合は、A, B, C, Dでそれぞれ57.3, 71.5, 71.3, 60.7%であった。

先に「4-1」では、葉量除去率と枝打ち後2年間の幹材積成長割合の関係をFig.58に示した。同じ図に今回の値を加えてFig.70に示した。今回の葉量除去率に対する幹材積成長割合を図中の近似式にあてはめて求めると、A, B, C, Dでそれぞれ62.8, 84.9, 81.4, 82.7%で、実際に得られた成長割合はそれぞれ5.5, 13.4, 10.1, 22.0%低かった。このように、成長割合はすべての林分で低く、その差はA, C, B, Dの順に大きく、最も地位の高かったAが小さく、地位が最も低

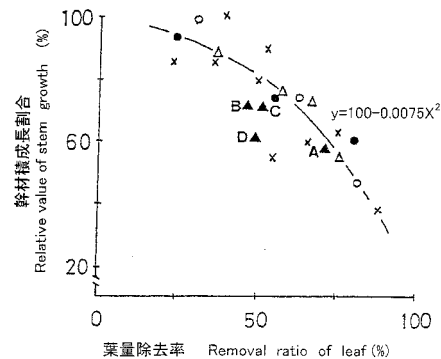


Fig. 70. 葉量除去率と枝打ち後2年間の幹材積成長割合
Relationship between the removal ratio of leaf and relative value of stem growth for two growing seasons after the pruning.

図-58に今回の値(▲)をプロットしたものである。
The results of the this experiment were plotted (▲) in Fig. 58.

かったDで大きかった。地位の低いスギ、ヒノキ林分では、成長の回復が遅く、成長におよぼす影響が顕著である(高原, 1954)ことが認められており、今回の結果も同様であった。

このように、枝打ち後の幹材積成長割合は、地位が低くなるに従い低下が著しくなった。その理由として、地位の低い林分ほど枝打ち後の葉量の増加が遅いことがあげられる。地位の低い林分は、枝打ちで成長がより低下することから、枝打ちを行う場合は、地位の高い林分を優先させることが望ましいといえよう。

(3) ヒノキ個体の成長

15年生の枝打ち時におけるP-1とP-2の密度は前者が高く、平均樹高はそれぞれ7.7, 5.7mで、地位指数はP-1が18, P-2が13であった(Table 18)。P-1は樹冠が閉鎖し平均枝下高が高くなっていた。一方、P-2は密度が低く、個体も小さいため閉鎖前で単木状であったが、林床を覆っているコシダの影響で平均枝下高は1.4mになっていた。

設定時の伐倒木と強度枝打ち木から求めた $D_z^2 H_z \sim \sum W_{Lz}$, $D_z^2 H_z \sim \sum W_{Bz}$ の関係(Fig.71)は、P-1の葉量でバラツキが大きかった。 $D_z^2 H_z$ と積算葉量、積算枝量の関係は、累乗式より図中に示した逆数式に当てはまりがよく、枝打ち前の葉量、枝量を逆数式で推定した。積算葉量、積算枝量は、同じ $D_z^2 H_z$ でもP-1がP-2より多かつ

Table 18. ヒノキ林分と供試木の概況

Outlines of Hinoki stands and the sample trees.

プロット Stand	密度 Density (No./ha)	平均樹高 Mean tree height (m)	平均胸高直径 Mean DBH (cm)	平均枝下高 Mean clear length (m)	地位指数 Site index
P-1	2,860	7.7 (8.1)	9.8 (10.5)	2.3 (2.7)	18
P-2	2,000	5.7 (5.8)	8.1 (8.5)	1.4 (1.5)	13

() : 供試木を示す。The sample trees.

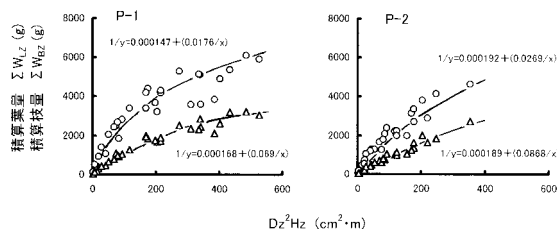


Fig. 71. 枝打ち時における供試木の Dz^2Hz と積算葉量 (ΣWL) および積算枝量 (ΣWB) の関係
Relationships between cumulative weight of leaf (ΣWL) and branch (ΣWB) from canopy surface to z-stratum and Dz^2Hz on the sample trees at the time of pruning.
○ : 葉 Leaf △ : 枝 Branch

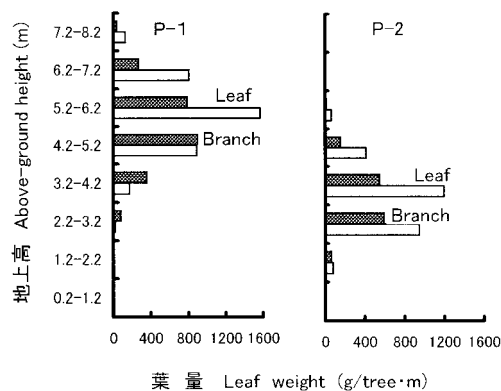


Fig. 72. 枝打ち時における個体葉量 (L), 枝量 (B) の垂直分布
Vertical distributions of leaf and branch weight in individual tree at the time of pruning.
P-1: 樹高 8.1 m Tree height 8.1 m
P-2: 樹高 6.1 m Tree height 6.1 m

た。個体葉量と枝量の垂直分布の例として、P-1 と P-2 の伐倒木について Fig. 72 に示した。葉量や枝量が多い各 3 層を比較しても、P-1 の個体が P-2 の個体より多くの葉、枝を保持していた。このように、地位の高い P-1 は地位の低い P-2 に比べ密度が高かったが個体葉量が多く、地位の違いが葉量に反映していた。

供試木の葉量除去率は P-1 が 0 ~ 85 % , P-2 が 0 ~ 92 % であった (Fig. 73)。供試木は P-1 , 2 とともに林分の平均よりやや大きく、平均樹高は林

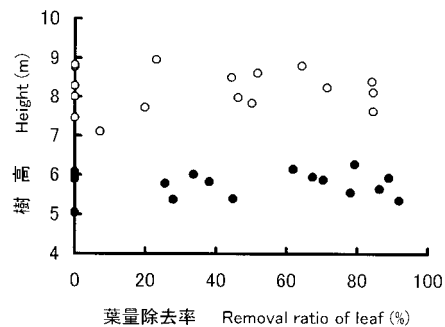


Fig. 73. 供試木の葉量除去率と樹高
Relationships between removal ratio of leaf and tree height of sample trees.
○ : P-1 ● : P-2

分間で約 2.3 m の違いがみられた。プロット内の供試木の樹高には、葉量除去率の高低による傾向的な差はみられなかった。

1) 幹材積成長

個体ごとの葉量除去率と枝打ち後 2 年間の幹材積成長量との関係を Fig. 74 に示した。なお、P-2 では、葉量除去率が 89, 92 % と高かった 2 個体が 1 年後に枯死した。枯死個体を除いた 2 年間の幹材積成長量は、P-1 の葉量除去率 0 % の対照木を除くと、P-1 , P-2 とともに葉量除去率が高くなるに従い幹材積成長量が同じように低下する傾向がみられた。しかし、Fig. 73 に示したように、P-1 の対照木と枝打ち木の大きさに違いがなかったため、ここでは対照木を含めて検討を行う。

葉量除去率と 2 年間の幹材積成長量の関係は、個体間のバラツキが大きい林分ごとにフリーハンドで描き Fig. 74 に示した。幹材積成長量は、地位の高い P-1 では葉量除去率が高くなるとともに低下する傾向がみられたが、P-2 では葉量除去率 40 % 前後までは低下せず、それより高くなると低下した。枝打ち木の幹材積成長量は、葉量除去率が同じならその高低を問わず P-1 が P-2

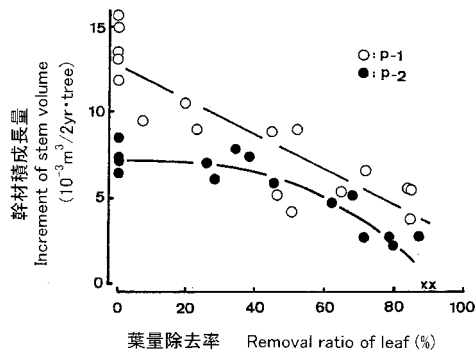


Fig. 74. 葉量除去率と2年間の幹材積成長量
Relationships between the removal ratio of leaf and the increment of stem volume for two growing seasons after the pruning.
x : P-2 の枯死個体 Dead trees in P-2 stand

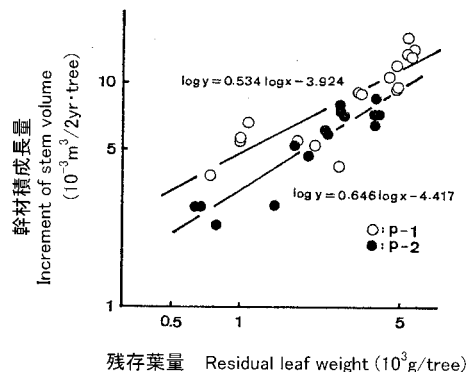


Fig. 75. 枝打ち直後の残存葉量と2年間の幹材積成長量
Relationships between the residual leaf weight just after the pruning and the increment of stem volume for two growing seasons after the pruning.

より大きかった。

枝打ち直後の残存葉量と枝打ち後2年間の幹材積成長量の関係を Fig.75 に示し、図中に林分ごとの残存葉量(x)と2年間の幹材積成長量(y)の関係式を示した。2年間の幹材積成長量は、P-1, 2とも枝打ちが強度で残存葉量の少ない個体ほど小さかった。また、残存葉量が同じでも、幹材積成長量は地位の高いP-1が地位の低いP-2より大きく、残存葉量が少なくなるほどその差が大きくなる傾向がみられた。先に、「4-1」では密度が高いと枝打ち後の成長低下が小さいことを、「4-2(2)」ではスギ林分で地位が低くなるほど枝打ち後の幹材積成長が低下することを示した。ヒノキ林分の密度はP-1がP-2に比べ高かったことで、幹材積成長量には地位と密度の違いの両者が影響していると考えられた。

2) 葉量の回復

枝打ち直後の個体あたり残存葉量と2年後の個体葉量の関係を Fig.76 に示し、図中に林分ごとの残存葉量(x)と2年後の葉量(y)の関係式を示した。2年後の葉量は、両林分とも残存葉量が小さい個体ほど少なかった。残存葉量が同じなら、密度が高く地位も高いP-1がP-2に比べ2年後の葉量が多く、葉量の増加が大きかった。そして、枝打ちが強度で残存葉量の少ない個体ほど、地位の違いによる葉量増加の差が大きくなる傾向がみられた。密度が高く地位の高い林分の個体は、密度、地位とも低い林分の個体に比較し、枝打ち後の葉量の増加が早く、枝打ちによる幹材積成長の低下を早い時期に解消できることを示唆しており、スギ林分で得られた結果と同様であった。

枝打ち後の葉生産量、幹材積成長は、残存葉量が同じであれば、密度、地位とも高い林分が密度、地位とも低い林分に比べ大きかった。今回のように同齢で成長の異なる林分では、残存葉量が同じでも、地位の高い林分の方が生産物を消費する非同化器官量が多く成長には不利になる面と、葉の光合成能力が高い有利な面があると考えられ、結果は地位の高い林分が低い林分に比較し成長低下が小さかった。

地位が低く成長の悪いスギ、ヒノキ林分は、枝打ち後の成長の回復が遅れることが認められている(高原, 1954)。今回の結果も地位が低いスギ、ヒノキ林分は、枝打ちによる成長の低下が著し

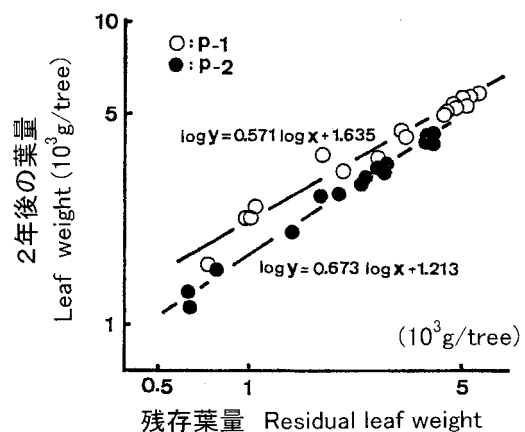


Fig. 76. 枝打ち直後の残存葉量と2年後の葉量
Relationships between the residual leaf weight just after the pruning and the leaf weight at the end of two growing seasons after pruning.

かった。枝打ち後の成長は、生産の担い手である葉量回復の遅速により差が生じると考えられた。地位の低いスギ、ヒノキ林分は葉量の回復が遅く、結果として幹成長の低下も大きくなるので、枝打ち対象林分として望ましくないといえる。

以上の結果から、高密度林や地位の高い林分では、枝打ち後の葉量回復が早く、成長の低下が小さいため枝打ちに有利であることを明らかにした。生産生態学的な面からは、枝打ちによる成長の年変化を明らかにするとともに、枝打ち強度と枝打ち後2年間の幹材積成長割合の関係を導き、枝打ち後の幹材積成長割合を推定することが可能になった。また、枝打ちが強度になるほど生産物の配分比が枝葉に高く、幹や根に低くなり、生産物の各器官への配分比に枝打ち強度が影響することが認められた。

5 枝打ちの繰り返しと林分成長

枝打ち効果を発揮するには、枝打ちを繰り返すことが必要で、枝打ちの繰り返しが樹冠構造や林分現存量、成長、それに形状比などにおよぼす影響を解明することを試みた。また、枝打ち強度や繰り返し間隔については、経験的に行われている現状であり、枝打ち繰り返し方法を確立するため、枝下直径成長の変化を解明することを試みた。

5-1 調査林分と調査方法

調査林分の選定にあたっては、無節柱材生産に適した大きさを1回目の枝打ち時期に近い生育段階にあること、地位や密度の違いによる影響が検討できるよう地位と密度の異なる林分を含めることとした。調査林分は、スギ1林分(P-1)、ヒノキ7林分(P-2~8)で、いずれも枝打ち区(P区)と対照区(C区)を隣り合わせとなるよう設定した。各区の測定本数は、37~69本であった。P区では、心持ち無節柱材の生産可能な枝打ちとし、本研究で示した枝着生部幹直径6 cm以下とするよう、ほぼ2年ごとに枝下直径を4.0 cmとする枝打ちを、測定区周囲の2~3列を含めて4~5回繰り返した。

(1) 調査林分

調査林分(Table 19)は、3地域にあり以下のようである。

P-1, P-2: 高知営林局大正署管内にあり、P-1がスギ林分で「1-1」の調査林分S-8に該当し、P-2がヒノキ林分で「1-1」の調査林分H-10に該当する。P区は、スギでは8年生(1978年)から18年生にかけて、ヒノキでは8年生(1978年)から17年生にかけて、それぞれ5回の枝打ちを行い、C区とともに25年生まで調査を行った。土壌はともにB_D(d)型で、最終調査時のC区平均樹高から推定した地位指数(Table 21)はP-1が18.0、P-2が17.2であった。

P-3, P-4, P-5: 高知営林局須崎営林署管内にあるヒノキ林分である。P区は、3林分とも6年生(1981年)から12年生まで2年ごとに4回の枝打ちを行い、C区とともに20年生まで調査を行った。P-3, 4, 5の土壌はそれぞれB_D, B_C, B_D型、地位指数はそれぞれ22.6, 15.9, 22.0で、P-4が特に低かった。

P-6, P-7, P-8: 愛媛県北宇和郡津島町の愛媛県有林にあるヒノキ林分で、「1-1」の調査林分H-7, H-8, H-9に該当し、植栽密度はそれぞれ4,000, 6,000, 8,000本/haである。P区では、設定時の9年生(1986年)から15年生まで2年ごとに4回の枝打ちを行い、C区とともに17年生まで調査を行った。土壌はいずれもB_D型、地位指数はP-6, 7, 8がそれぞれ21.1, 19.5, 19.0であった。

(2) 調査方法

調査は、ほぼ毎年胸高直径、樹高、枝下高、枝下直径を、この他にP区では枝打ち直後に枝下高と枝下直径を毎木測定した。なお、P-1~5では、最終調査時に枝下直径を測定しなかった。これらの林分は、調査期間中に除間伐を行わなかったが、P-3, P-6のP区ではそれぞれ1本が枯損した。

枝打ちが地上部現存量におよぼす影響を明らかにするため、Table 20に示した調査を行った。設定時には、6林分で各7~8本を伐倒し0.5~1.0 mの層別刈り取り法により地上部現存量と枝打ち前後の葉量、枝量、それに幹材積を測定した。また、

Table 19. 枝打ち 1 回目の林分概況

The examination stands at the first time pruning.

プロット Stand Species	海拔高 Alt. (m)	林齢 Stand age (yr)	傾斜 Gradient of slope (°)	密度 Density (No./ha)	平均胸高直径 Mean DBH (cm)	平均樹高 Mean tree height (m)	平均枝下高 Mean clear length (m)	平均枝下直径 Mean stem diameter at clear length (cm)
スギ P-1C*	490	8	26	3,750	5.7	4.7	0.6	—
Sugi P*	490		28	3,770	5.6	4.6	0.7(2.1)	6.3(4.0)
P-2C	470	8	36	2,670	4.8	3.9	0.6	6.2
P	470		36	2,720	4.8	4.1	0.6(1.6)	6.0(4.1)
P-3C	170	6	40	2,280	3.8	3.6	0.6	4.8
P	170		38	2,260	3.8	3.5	0.7(1.2)	4.7(3.8)
P-4C	190	6	32	2,510	2.8	3.0	0.5	4.3
P	190		32	2,480	2.8	3.0	0.2(0.8)	4.8(3.7)
ヒノキ P-5C	190	6	35	2,260	3.3	3.2	0.6	4.3
Hinoki P	190		36	2,250	3.1	3.2	0.5(0.9)	4.5(3.7)
P-6C	410	9	25	3,140	6.7	5.0	0.4	9.5
P	410		25	3,110	6.4	4.7	0.3(2.3)	10.4(3.9)
P-7C	410	9	25	4,800	6.3	4.5	0.6	7.9
P	410		25	4,700	6.4	4.8	0.8(2.5)	7.7(4.0)
P-8C	410	9	24	6,930	5.4	4.5	0.7	6.4
P	410		24	6,890	5.4	4.6	0.7(2.0)	6.7(3.9)

*: C は対照区, P は枝打ち区 C: Control stands. P: Pruned stands.

(): 枝打ち直後 Just after pruning.

Table 20. 現存量の調査概要

Outlines of biomass examination.

調査 Survey	プロット (林齢) Stand and age (yr)	調査方法 Method
現存量 Biomass	設定時 At the first time pruning P-1 (8y), P-2 (8y), P-5 (6y), P-6 (9y), P-7 (9y), P-8 (9y), 途中経過 During P-1C (13y), P-1P (15y), P-2C (13, 17y), P-2P (13, 17y), P-3C (8y), P-5C (10y), P-3P・P-5P (10y),	各 7 ~ 8 本を伐倒し, 層別刈取り法で幹, 枝, 葉量 を測定 Seven or eight sample trees were cut off from each stand, and stem, branch and leaf were weighed independently with the stratified clip method.
枝打ち直後の残存葉量 Residual leaf weight just after pruning	P-1C (13y), P-1P (15y), P-2P (17y), P-3C (8y), P-3P (10y), P-5C (6, 10y) P-5P (10y),	各 7 ~ 14 本で幹直径 4 cm より上部に着生する葉量 を測定 Seven or fourteen sample trees were cut off from each stand, and leaf on the upper side of stem which diameter was less than 4 cm were weighed.
枝打ちによる除去量 The amount of removed branch and leaf by pruning	P-1P (11, 13, 15, 18y), P-2P (11, 13, 15, 17y), P-3P (12y), P-4P (10, 12y) P-5P (8, 12y), P-6P (11, 13y), P-7P (11, 13y) P-8P (11, 13y)	各 7 ~ 14 本の枝打ち木で除去された葉量, 枝量を 測定 Removed branch and leaf were weighed with seven or fourteen sample trees after the pruning.

枝打ち期間中には, 表に示した 7 プロットで測定
区の周りから各 7 ~ 8 本を伐倒して 1.0 m の層別
刈取り法により現存量と幹材積を, 枝打ち区で
は枝打ち前後の葉量, 枝量を測定した。そして,

「4-2」のスギ林分と同じ方法で地上部現存量を
推定した。

この他に, 枝打ち後の残存葉量を検討するため,
7 プロットで伐倒木を幹直径 4 cm で区分し, そ

れより上部にある個体葉量を測定した。また、枝打ちで除かれる除去葉量や除去枝量を測定した。測定は、大きい個体から小さい個体の枝打ち木 7 ~ 14 本について行い、P-1 と P-2 では設定時を含め 5 回の枝打ちすべてで、他の枝打ち区では設定時を含め 2 ~ 3 回行った。

5-2 樹冠構造の変化

1 回目の枝打ちを行った林分概況 (Table 19) から枝打ち時期をみると、「2-4」で述べた枝打ち効果を十分発揮できる枝着生部幹直径 6 cm (初回の枝打ちでは根元直径) 以下に適合するものが P-3, P-4, P-5 で、その他の林分ではやや遅かつ

た。各林分での C 区と P 区での平均樹高を比較すると、P-2 と P-7 では P 区が、P-6 では C 区がやや大きかった。土壌条件に差があるとすれば、林齢とともに成長差が大きくなることが推察されるが、成長差を修正する方法は確立されていない。このため、本報告では、これら 3 林分で C 区と P 区の平均胸高直径や平均樹高の差を求める場合は、設定時の差が将来も同じであると仮定し、設定時の差を低かった区に加えることで暫定的な修正を行った。また、C 区に対する P 区の幹材積の割合を求める場合は、設定時の C 区に対する P 区の幹材積の割合が将来も一定であると仮定し、この値で低い区の幹材積を修正した値を求

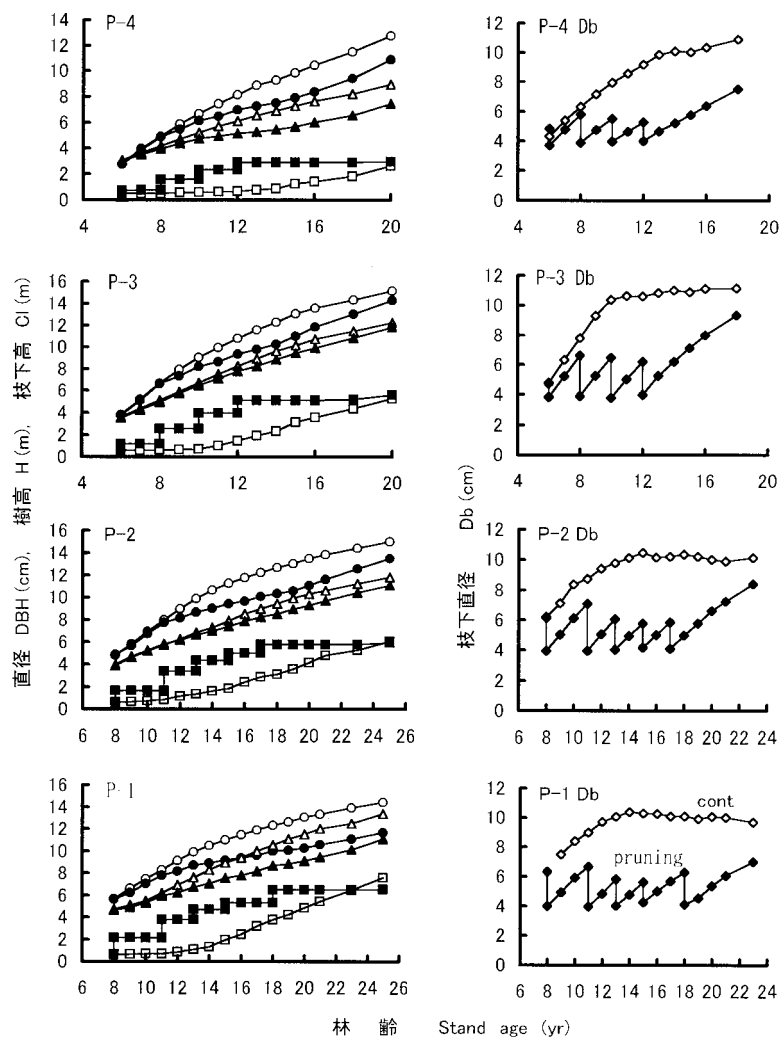


Fig. 77. P-1 ~ P-4 の対照区と枝打ち区の胸高直径 (DBH), 樹高 (H), 枝下高 (Cl), および枝下直径 (Db) の変化

Changes in mean diameter at breast height (DBH), mean tree height (H), mean clear length (Cl), and mean stem diameter at the upper end of clear length (Db) after pruning in the stands, P-1, P-2, P-3, and P-4.

- : 対照区直径 DBH in control stand
- △: 枝打ち区樹高 H in pruning stand
- : 対照区樹高 H in control stand
- : 枝打ち区直径 DBH in pruning stand
- ◇: 対照区枝下高 Cl in control stand
- : 枝打ち区枝下高 Cl in pruning stand

めて推定した。

C, P 区の平均胸高直径, 平均樹高, 平均枝下高, 平均枝下直径の変化を Fig.77, Fig.78 に示した。これらの図で, 枝打ち区の枝下高と枝下直径が同じ林齢で階段状に上下しているのは枝打ちによる変化のためである。また, 枝打ち時林齢と最終調査時の林分概況を Table 21 に, C 区における平均枝下直径と平均樹冠長の極大値および C 区と P 区間の平均枝下高, 平均枝下直径, 平均樹冠長, 平均胸高直径, それに平均樹高の差の最大値を Table 22 に示した。

(1) 枝下高

スギ林分である P-1 での P 区の枝下高は, 5 回目の枝打ちが終了した 18 年生には 6.5 m であった (Fig.77)。C 区と P 区の枝下高の差は, 3 回目の枝打ち直後にあたる 13 年生に 3.6 m の最大値を示した (Table 22)。その後 2 回の枝打ちを行ったが, C 区の枝下高が高くなったため, 枝下高の差

は縮小した。18 年生の最終枝打ちから 5 年後の 23 年生には両区に枝下高の差がなくなり, 25 年生には逆に C 区が高かった。

P-2 の P 区では, 5 回目の枝打ちが終了した 17 年生の枝下高は 5.8 m であった (Fig.77)。C 区と P 区の枝下高の差は, 4 回目の枝打ち直後にあたる 15 年生に 3.2 m の最大値を示した。17 年生の最終枝打ち後は差が縮小し, 25 年生には 6.0 m 前後でほぼ同じであった。

P-3, 4, 5 の P 区では, 4 回目の枝打ちが終了した 12 年生の枝下高がそれぞれ 5.1, 2.9, 4.7 m であった (Fig.77, Fig.78)。C 区と P 区の枝下高の差は, 3 林分とも枝打ちを繰り返すたびに開き, 最終枝打ち直後にあたる 12 年生に P-3, 4, 5 でそれぞれ 3.7, 2.2, 3.5 m の最大値を示した。地位の低い P-4 の P 区では, 成長が悪いため枝下高が特に低く, C 区との差も小さかった。枝打ち終了後の枝下高の差は, 3 林分とも順次低下し 8 年後の 20 年生には C 区とほぼ同じであった。

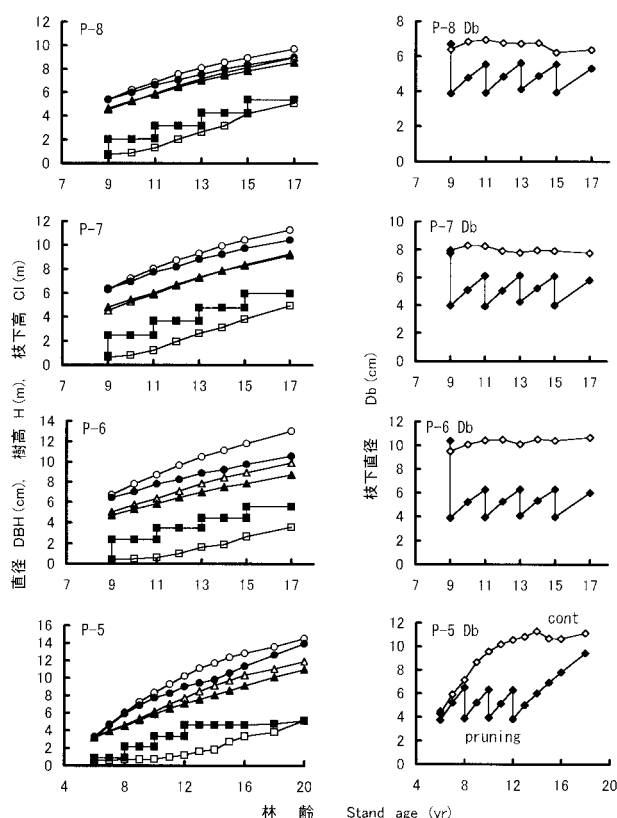


Fig. 78. P-5 ~ P-8 の対照区と枝打ち区の胸高直径 (DBH), 樹高 (H), 枝下高 (Cl), および枝下直径 (Db) の変化
Changes in mean diameter at breast height (DBH), mean tree height (H), mean clear length (Cl), and mean stem diameter at the upper end of clear length (Db) after pruning in the stands, P-5, P-6, P-7, and P-8.

- : 対照区直径 DBH in control stand ●: 枝打ち区直径 DBH in pruning stand
- △: 対照区樹高 H in control stand ▲: 枝打ち区樹高 H in pruning stand
- : 対照区枝下高 Cl in control stand ■: 枝打ち区枝下高 Cl in pruning stand

P-6, 7, 8のP区では, 4回目の枝打ちが終了した15年生の枝下高がそれぞれ5.6, 6.0, 5.4 mであった(Fig.78)。C区とP区の枝下高の差は, 枝打ち期間を通して密度の高いP-8やP-7で小さく, 低密度のP-6で大きかった。差が最大値を示したのは, P-6, 7, 8とも2回目の枝打ち直後である11年生で, それぞれ2.9, 2.4, 1.9 mであった。枝打ち終了2年後にあたる17年生の枝下高の差はそれぞれ2.0, 1.1, 0.3 mで, 高密度林分ほど小さく, P-8での枝下高の差は3年後にはなくなると考えられた。

以上から, 密度が2,200 ~ 約7,000本/haの林分で, 6 ~ 8年生からほぼ2年ごとに枝下直径を4 cmとする枝打ちを4 ~ 5回繰り返した場合の枝下高は, 枝打ちを繰り返すたびに对照林分との差が大きくなるということはなく, 11 ~ 15年生に差の最大値1.9 ~ 3.7 mを示し, その後差が小さくなることが分かった。差の最大値は, 密度が高い林分や地位の低い林分で小さかった。枝打ち終了後に両区の枝下高に差がなくなる時期は, 最終枝打ちから3 ~ 8年後で, 密度の高い林分ほど早かった。

(2)枝下直径

P-1 C区の枝下直径は, 14年生に極大値10.4cmを示し, その後徐々に低下し23年生には9.7cmになった(Fig.77)。P区の枝下直径は, 2回目の枝打ちが初回枝打ちから3年後の11年生であったため, 枝打ち繰り返しの適切な枝下直径6.0cmよりも大きい6.7cmであった。その後, 2年ごとに2回枝打ちしたが, 枝打ち直前の枝下直径は3回目の13年生で5.8cm, 4回目の15年生で5.6cmと4回目小さい値であった。このため, 5回目の枝打ちは3年後の18年生時に行った。C区とP区の枝下直径の差は, 13年生の枝打ち直後に6.1cmで最大値を示した(Table 22)。枝打ち終了後の枝下直径の差は徐々に縮小し, 5年後の23年生には2.7cmであった。

P-2 C区の枝下直径は, 15年生に極大値10.5cmを示し, その後はやや低下して10cm前後で推移した(Fig.77)。P区では, P-1 P区と同様に1回目の枝打ち後3年目にあたる11年生で7.1cmと大きかったが, その後は2年ごとに枝打

ちを行った結果, 枝打ち直前の枝下直径は6 cm以下で, 林齢が進むと小さい値を示した。C区とP区の枝下直径の差は, 15年生の枝打ち直後に6.3cmの最大値を示した。枝打ち終了後6年を経過した23年生での差は1.7cmであった。

P-3, 4, 5におけるC区の枝下直径(Fig.77, Fig.78)についてみると, P-3では11年生までは大きくなったが, それ以降は11cm前後でほぼ一定となり, 最大値は18年生の11.2cmで, 極大値は明瞭でなかった。地位の低いP-4では, 増加し続け18年生で10.9cmを示し, 極大値を示す時期が近いと考えられた。P-5では14年生に極大値11.3cmを示し, その後はやや低下して11cm前後になった。P区の枝打ち直前の枝下直径は, 3林分とも8年生で大きく, その後10, 12年生では小さい値を示した。C区とP区の枝下直径の差の最大値は, P-3, 4, 5とも12年生の枝打ち直後でそれぞれ6.6, 5.2, 6.7cmであった。最終枝打ちから6年後の18年生での差は, それぞれ1.8, 3.4, 1.7cmで, 地位の低いP-4が大きかった。

P-6, 7, 8におけるC区の枝下直径(Fig.78)は, P-6では12年生で極大値10.5cmに達した後ほぼ一定になったが, P-7では10年生で極大値8.3cmを示し, その後はやや低下し7.8cm前後になった。P-8では11年生で極大値6.9cmを示し, 15年生以降には6.3cm前後になった。P区における2回目以降の枝打ち直前の枝下直径は, P-6, 7, 8でそれぞれ6.3, 6.1, 5.5cm前後を示し, 密度の低い林分ほど大きかった。C区とP区の枝下直径の差は, P-6, 7, 8とも11年生の2回目枝打ち直後にそれぞれ最大値6.5, 4.3, 3.0cmを示し, 枝打ち終了後2年を経過した17年生ではそれぞれ4.7, 1.9, 1.1cmで, 高密度林分ほど小さかった。

以上のように, 对照林分と枝打ち林分の枝下直径の差の最大値は3.0 ~ 6.7cmで, 高密度林分ほど小さかった。差が最大値を示す林齢は11 ~ 15年生の枝打ち直後で, 对照林分の枝下直径が極大値を示す林齢に近く, 前述した枝下高の差が最大になる時期と一致し(Table 22), 枝打ちを繰り返すたびに差が大きくなることが明らかになった。枝打ち終了後は, 对照林分と枝打ち林分の枝下直径の差は徐々に縮小した。

Table 21. 枝打ち経過と最終調査時の林分概況

Pruning operation on each pruning stands and features of the examination stands at the final measurement.

プロット Stand	枝打ち時林齢 Stand age at pruning operation (yr)	平均枝下高 Mean clear length (m)	林齢 Stand age (yr)	密度 Density (No. /ha)	平均胸高直径 Mean DBH (cm)	平均樹高 Mean tree height (m)	地位指数 Site index
スギ P-1C	—	7.6	25	3,750	14.4	13.4	18.0
Sugi P	8, 11, 13, 15, 18	6.5	25	3,770	11.7	11.1	
P-2C	—	6.0	25	2,670	15.0	11.8	17.2
P	8, 11, 13, 15, 17	5.9	25	2,720	13.5	11.1	
P-3C	—	5.3	20	2,280	15.1	12.2	22.6
P	6, 8, 10, 12	5.6	20	2,220	14.3	11.8	
P-4C	—	2.6	20	2,510	12.7	8.9	15.9
P	6, 8, 10, 12	3.0	20	2,480	10.9	7.4	
ヒノキ P-5C	—	5.2	20	2,260	14.5	11.9	22.0
Hinoki P	6, 8, 10, 12	5.1	20	2,250	13.9	10.9	
P-6C	—	3.6	17	3,140	13.0	9.9	21.1
P	9, 11, 13, 15	5.6	17	3,050	10.6	8.7	
P-7C	—	4.9	17	4,800	11.3	9.3	19.5
P	9, 11, 13, 15	6.0	17	4,700	10.4	9.1	
P-8C	—	5.1	17	6,930	9.7	9.0	19.0
P	9, 11, 13, 15	5.4	17	6,890	9.0	8.6	

Table 22. 対照区における枝下直径と樹冠長の極大値および対照区と枝打ち区における枝下高，枝下直径，樹冠長，胸高直径，樹高の差の最大値

The greatest values of stem diameter at the upper end of clear length and crown length in control stand, and the maximum values of difference between control and pruned stand.

プロット Stand	対照区の極大値 The greatest value of control stand		対照区と枝打ち区の差の最大値 Maximum value of difference between pruned and control stand				
	枝下直径 Stem diameter at the upper end of clear length(cm)	樹冠長 Crown length (m)	枝下高 Clear length (m)	枝下直径 Stem diameter at the upper end of clear length(cm)	樹冠長 Crown length (m)	胸高直径 DBH (cm)	樹高 Tree height (m)
P-1	10.4(14)	7.0(15)	3.6*(13)	6.1*(13)	4.8*(15)	2.8(20)	2.5(21)
P-2	10.5(15)	6.4(19)	3.2*(15)	6.3*(15)	3.6*(15)	2.5(19)	1.1(20)
P-3	11.2**(18)	7.3(14)	3.7*(12)	6.6*(12)	4.1*(12)	2.1(14)	0.8(16)
P-4	10.9**(18)	6.4(18)	2.2*(12)	5.2*(12)	3.2*(12)	2.1(16)	1.7(18)
P-5	11.3(14)	7.1(14)	3.5*(12)	6.7*(12)	4.1*(12)	1.9(14)	1.2(16)
P-6	10.5(12)	6.6(14)	2.9*(11)	6.5*(11)	3.9*(15)	—	—
P-7	8.3(10)	4.8(14)	2.4*(11)	4.3*(11)	2.3*(15)	—	—
P-8	6.9(11)	4.6(11)	1.9*(11)	3.0*(11)	2.0*(11)	—	—

(): 林齢 Stand age. *: 枝打ち直後 Just after pruning. **: 最大値 Maximum value.

(3) 樹冠長

C, P区で各個体の樹冠長(樹高 - 枝下高)を求め、林齢と平均樹冠長の関係、平均樹高と平均樹冠長の関係について、P-1～4をFig.79に、P-5～8をFig.80に示した。C区の樹冠長についてみると、P-1では成長とともに大きくなり、15年生に極大値7.0mを示し(Table 22)、この時の平均樹高は8.9mであった。その後、樹冠長は

次第に小さくなり25年生には5.8mになった。P-2では19年生で平均樹高が9.9m時に極大値6.4mを示し、その後低下し25年生には5.8mになった。P-3, 4, 5では、それぞれ14, 18, 14年生で平均樹高が9.6, 8.2, 9.1m時に極大値7.3, 6.4, 7.1mを示し、20年生にはそれぞれ6.9, 6.3, 6.7mに低下した。P-6, 7, 8ではそれぞれ14, 14, 11年生で平均樹高が8.4, 7.9, 5.9m

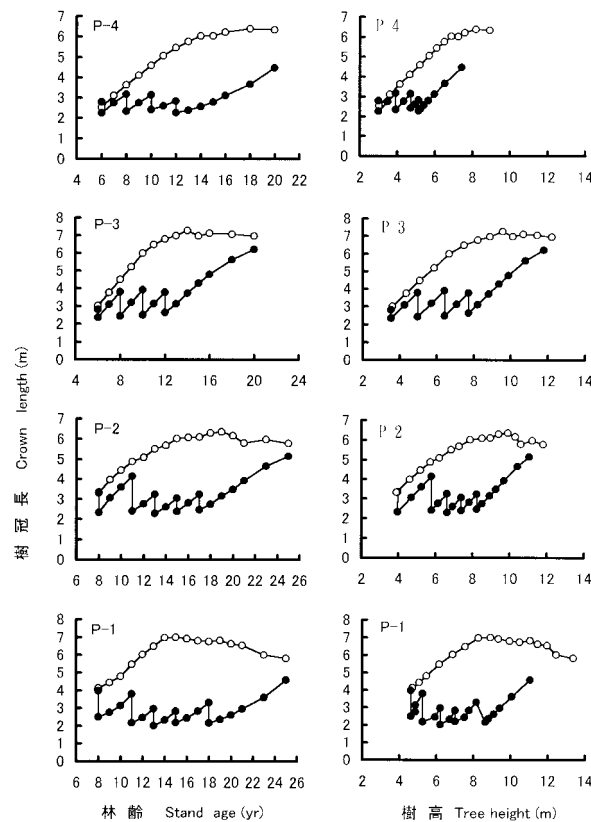


Fig. 79. P-1 ~ P-4 における林齢と樹冠長および平均樹高と樹冠長の関係の変化

Changes in mean crown length and its relation to height growth after pruning in the stands, P-1, P-2, P-3, and P-4.

○ : 対照区 Control stand

● : 枝打ち区 Pruning stand

時に極大値 6.6, 4.8, 4.6 m を示し, 17 年生には, それぞれ 6.3, 4.3, 3.9 m に低下した。

このように, C 区の樹冠長は, 平均樹高 5.9 ~ 9.9 m で極大値 4.6 ~ 7.3 m を示し, その後はやや低下した。樹冠長が極大値を示す平均樹高は, 密度の高い林分ほど低くなる傾向がみられた。また, 最終調査時の樹冠長は, 密度の高い林分で 3.9 m, 低い林分で 6.9 m 前後となり, 密度の高い林分ほど小さくなる傾向がみられた。

P 区における枝打ち直後の樹冠長についてみると, P-1 では枝打ち 1 回目が 2.4 m であったが, 2 回目以後は 2.2 m 前後であった。P-2 ~ 7 ではいずれの枝打ち直後でも 2.3 ~ 2.5 m, 密度の高い P-8 では 2.5 ~ 2.6 m であった。枝打ち期間中の樹冠長は, 枝下高がほとんど変化しない (Fig. 77, Fig. 78) ため, 次回の枝打ちまでの樹高成長と同じ分増加し, 枝下直径が 6 cm になる樹冠長は 3.0 ~ 3.4 m であった。

C 区に対する P 区の樹冠長の差の最大値とその林齢 (Table 22) は, P-1 では 15 年生の枝打ち後

で 4.8 m, P-2 では 15 年生の枝打ち後で 3.6 m, P-3, 4, 5 では最終の枝打ち後の 12 年生でそれぞれ 4.1, 3.2, 4.1 m, P-6, 7, 8 ではそれぞれ 15 年生で 3.9 m, 15 年生で 2.3 m, 11 年生で 2.0 m であった。このように, 樹冠長の差が最大になる時期は, P-1, 3, 5, 6, 7, 8 のように C 区の樹冠長が極大値を示す時期に近い枝打ち直後であった。

枝打ち終了後の C 区と P 区の樹冠長の差は, P-1 では 7 年後に 1.2 m と大きかったが, P-2 では 8 年後に 0.7 m であった。また, P-3, 4, 5 での差は, 8 年後にそれぞれ 0.7, 1.8, 0.9 m で, 地位の低い P-4 で大きかった。P-6, 7, 8 では 2 年後にそれぞれ 3.1, 1.1, 0.7 m で, 密度の高い林分で小さかった。

以上のように, ほぼ 2 年ごとに幹直径 4 cm まで打つ枝打ちを繰り返した枝下高, 枝下直径, 樹冠長は, 対照林分のそれらと比較し, いずれも枝打ちを繰り返すたびに差が大きくなるということとはなかった。これは, 対照林分の生育が進み樹冠

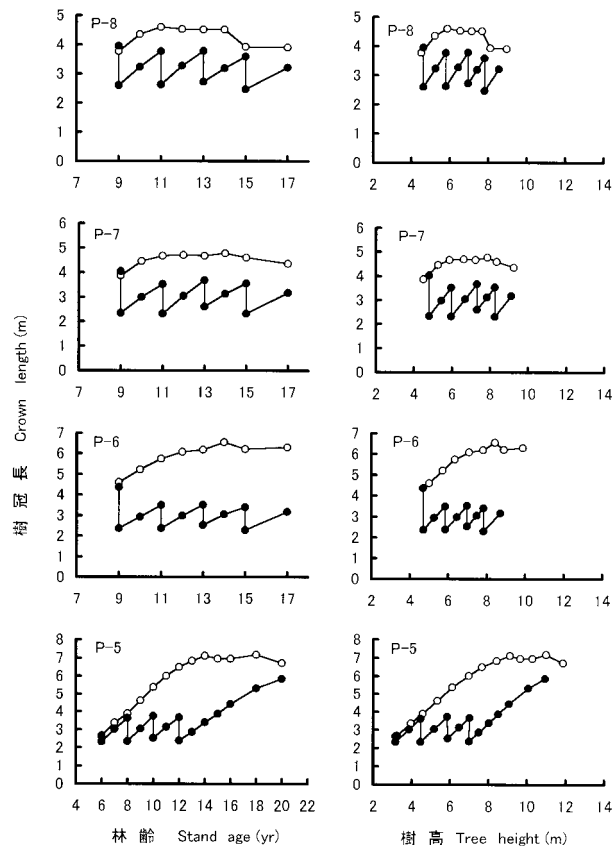


Fig. 80. P-5 ~ P-8 における林齢と樹冠長および平均樹高と樹冠長の関係の変化

Changes in mean crown length and its relation to height growth after pruning in the stands, P-5, P-6, P-7, and P-8.

○ : 対照区 Control stand ● : 枝打ち区 Pruning stand

が閉鎖すると下枝が枯れ、枝下高が急速に高くなり、枝下直径や樹冠長をほぼ一定に維持するためといえる。このことは、調査林分の密度管理よりもはるかに疎な密度管理でなければ、枝打ちを繰り返しても林分が保持する葉量が大幅に低下せず、成長減少が増幅しないことを示唆している。

5-3 林分現存量の変化

(1) 設定時の現存量

設定時における地上部の林分現存量は、P-3とP-4を除く6林分で調査を行った。地上部各器官の現存量は、林分ごとに伐倒供試木の胸高直径(D)と樹高(H)を用いた D^2H と幹、枝、葉量の相対成長関係式(Fig.81)を用い推定した。また、枝打ち直後の残存葉量と残存枝量は、地上高Zにおける幹直径(Dz)とZから梢端までの長さ(Hz)を用いた $Dz^2 \cdot Hz$ とZから梢端までの積算葉量、積算枝量の関係式(Fig.82)から推定した。林分幹材積は、供試木の D^2H と樹幹解析で得られた幹材積の関係式(Fig.83)より推定した。

設定時における林分現存量と枝打ちによる葉量除去率をTable 23に示した。スギ8年生林分であったP-1の葉量は10 t/ha足らずで、樹冠閉鎖林分の平均葉量19.6 t/ha(Tadaki, 1966)に比較して約半分であった。ヒノキ林分のhaあたり葉量は、8年生のP-2で4.4 t、6年生のP-5で2.6t、9年生のP-6、P-7、P-8で11~15tであった。ヒノキ閉鎖林分の平均葉量14.0t/ha(Tadaki, 1966)に比べ、P-2では1/3、P-5では1/5程度であったが、P-6ではやや少ない程度、密度が高かったP-7、8では閉鎖林分の葉量に近かった。

幹直径4 cmまで枝打ちした直後の残存葉量は、P-1 Pで4.1t/ha、ヒノキ5林分では2.2~6.1t/haと林分間で大きな違いがみられた(Table 23)。また、残存枝量も残存葉量と同様に林分による違いがみられた。残存葉量や残存枝量の違いについて検討するため、林分密度と残存葉量、それに残存枝量の関係をFig.84に示した。スギ林分では、先に「4-2」で行った枝打ち時の調査結果も併せ

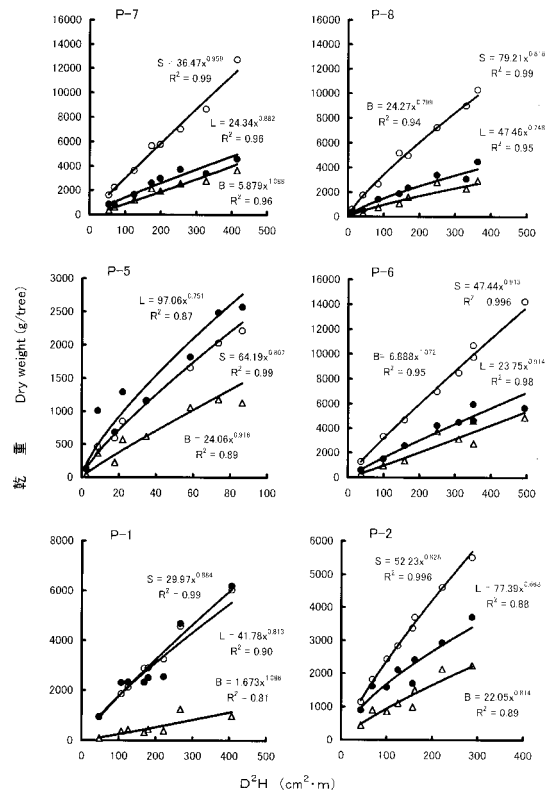


Fig. 81. 設定時における伐倒供試木の D^2H と各器官量の相対成長

Allometric relations of stem (S), leaf (L), and branch (B) weight to trunk size given by D^2H of the sample trees before pruning in the stands.

○ : 幹 Stem ● : 葉 Leaf △ : 枝 Branch

て示した。第1回目の枝打ち直後にあたる残存葉量や残存枝量は、林分密度と一次式で近似でき、スギの残存枝量を除いた他は有意な関係が認められた。この結果、平均樹高が3.2 m以上ある比較的若いスギ、ヒノキ林分で1回目の枝打ち直後の残存葉量は、林分密度が高くなるほど多くなることが分かった。残存枝葉量の樹種の違いについてみると、密度が同じ林分での枝打ち直後の葉量は、スギ林分がヒノキ林分に比べ1 t/ha 近く多く、逆に枝量はヒノキ林分が1 ~ 2 t/ha 多かった (Fig.84)。これは、スギ林分での葉は緑軸を含む測定方法のため、葉量は過大に、枝量は過小になることが影響していると考えられる。

1回目の枝打ちによる葉量除去率は、P-1で58%，ヒノキ5林分では18 ~ 77%であった (Table 23)。ヒノキ林分で密度に大きな違いがなかったP-2 PとP-5 Pでの葉量除去率はそれぞれ42.3，17.7%でP-2 Pが高かった。8年生のP-2 Pと6年生のP-5 Pの平均樹高はそれぞれ4.1，3.2 mでP-2 Pが高く、枝打ち直前の林分

葉量 (Table 23) からみて個体あたりの葉量もP-2 Pが多い。しかし、後述するように枝打ち直後の個体あたりの残存葉量は個体の大きさ (胸高直径) と一定の関係がみられない (Fig.96，Fig.97)。このため、枝打ちで除かれる葉量は、林齢が高く大きい個体の林分ほど多く、葉量除去率はP-2 Pが高くなったといえる。一方、平均樹高が4.6 ~ 4.8 mとほぼ等しく、密度の異なるP-6 P，P-7 P，P-8 Pでの葉量除去率は、それぞれ77.2，63.6，58.4%で密度が高いほど葉量除去率が低かった。これは、密度効果で密度が高いほど枝下高が高いこと (Table 20)，平均打上げ高がP-6 P，P-7 P，P-8 Pでそれぞれ2.0，1.7，1.4 mと高密度林分ほど低くなること (Table 25)，高密度林分ほど残存葉量が多くなること (Fig.84) のためである。

林分の平均樹高と葉量除去率の関係 (Fig.85) は、両樹種とも平均樹高が高くなると葉量除去率が高くなる傾向にあるが、密度の違いも影響するため明らかな関連は認められなかった。

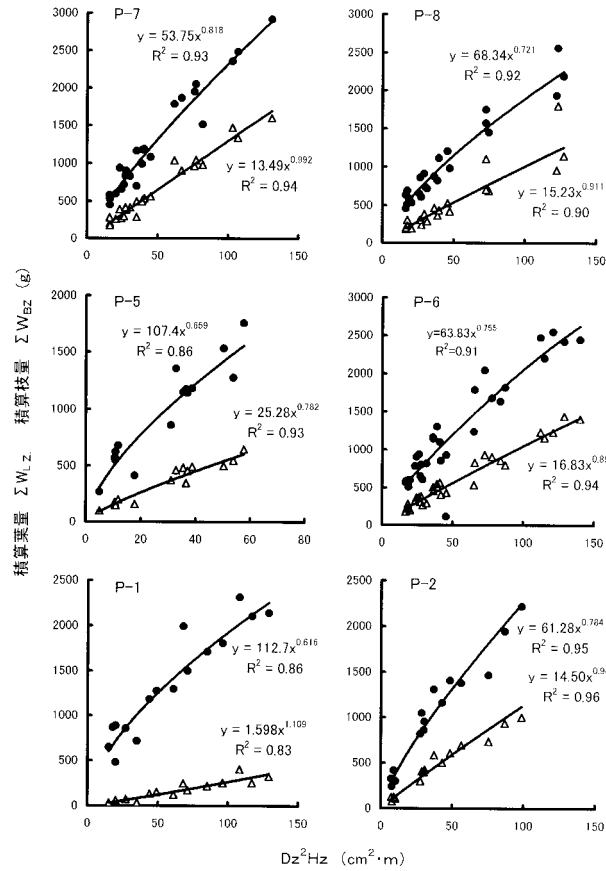


Fig. 82. 設定時における伐倒供試木の Dz^2Hz と積算葉量 (ΣW_{Lz}), 積算枝量 (ΣW_{Bz}) の関係

Relationships between cumulative leaf (ΣW_{Lz}) and branch (ΣW_{Bz}) weight from canopy surface to z-stratum to Dz^2Hz of the sample trees before pruning in the stands.

● : 葉 Leaf △ : 枝 Branch

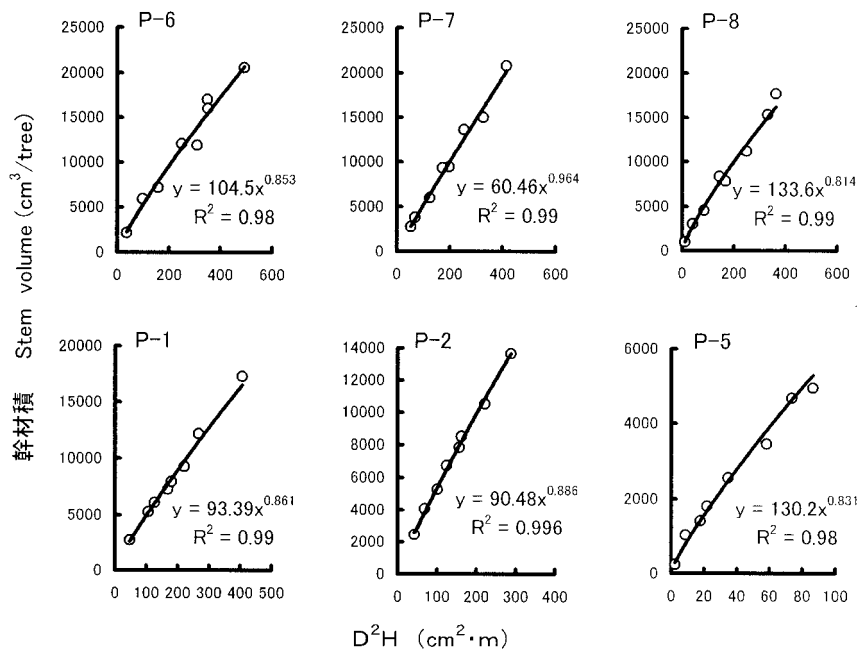


Fig. 83. 設定時における伐倒供試木の D^2H と幹材積の関係

Relationships between stem volume and trunk size given by D^2H of the sample trees before pruning in the stands.

Table 23. 設定時の林分現存量と枝打ちによる葉量除去率
Biomass and removal ratio of leaf at the first pruning.

プロット	Stand	P-1C	P-1P	P-2C	P-2P	P-5C	P-5P	P-6C	P-6P	P-7C	P-7P	P-8C	P-8P
幹材積	Stem volume (m ³ /ha)	27.9	27.8	13.7	14.7	5.9	5.3	35.3	32.0	46.9	48.3	50.8	52.1
幹重	幹 Stem	10.1	10.0	6.1	6.5	2.7	2.4	22.0	20.0	27.5	28.3	30.7	31.5
枝重	葉 Branch	1.6	1.6	2.4	2.6	1.1	1.2	7.7	9.0	9.0	9.6	8.6	9.9
枝打ち後	枝打ち後 After pruning	-	0.4	-	1.2	-	0.8	-	1.3	-	2.2	-	2.8
葉量	葉 Leaf	9.7	9.8	4.3	4.5	2.5	2.7	10.9	12.4	12.2	12.8	12.9	14.7
枝打ち後	枝打ち後 After pruning	-	4.1	-	2.6	-	2.2	-	2.8	-	4.7	-	6.1
葉量除去率	Removal ratio of leaf (%)	-	58.0	-	42.3	-	17.7	-	77.2	-	63.6	-	58.4

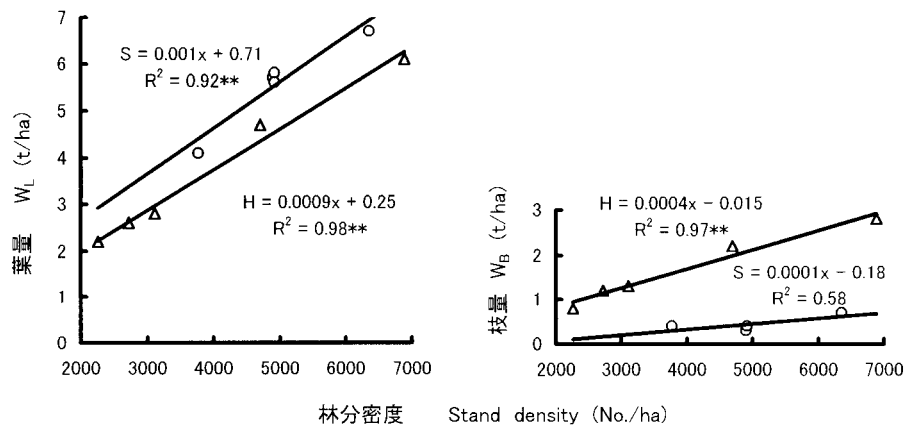


Fig. 84. 設定時における林分密度と枝打ち直後の林分葉量 (W_L), 林分枝量 (W_B) の関係

Relationships between leaf (W_L) or branch (W_B) biomass and stand density just after the first time pruning.

○ : スギ林分 Sugi stand (S)

△ : ヒノキ林分 Hinoki stand (H)

** : 危険率 1 % で有意 ** : indicates significance at 1 % level.

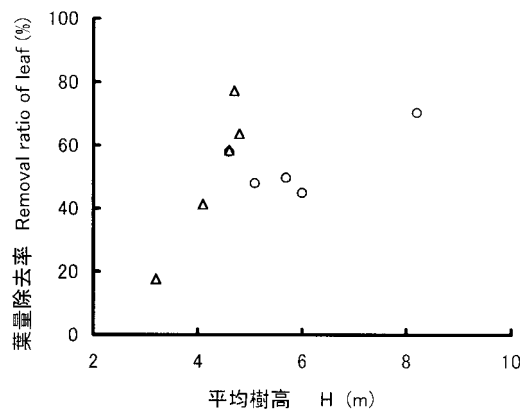


Fig. 85. 設定時における平均樹高 (H) と葉量除去率

Relationships between mean tree height (H) and removal ratio of leaf at the first time pruning.

○ : スギ林分 Sugi stand

△ : ヒノキ林分 Hinoki stand

(2) 枝打ち中の林分現存量

枝打ち繰り返し中の林分現存量は、C 区の 4 林分を含めた 10 林分で伐倒調査により求めた。幹量、枝量、葉量は、伐倒供試木の D^2H と各器官量の相対成長式 (Fig.86, Fig.87) を用いて求めた。幹材積については、供試木の幹材積、および 1 年前の幹材積を測定し、 D^2H と幹材積、それに 1 年前の幹材積との関係式 (Fig.88) から、現存材積と 1 年前の材積を求めた。また、枝打ち後の残存葉量や残存枝量を推定するため、地上高 Z の直径と Z より先端までの長さをを用いた $D \cdot Z^2 \cdot H \cdot Z$ と Z から先端までの積算葉量、積算枝量の関係を求めた (Fig.89)。Fig.89 には参考のために C 区の関係も示した。なお、P-3 P と P-5 P の 10 年生での伐倒供試木はそれぞれ 4, 5 本と少なかった。両プロットは、密度がほぼ同じで、枝打ちも同じように行ったためプロットによる違いがみられなかった。供試木 9 本を一緒にして上記の関係式を求め、P-3 P と P-5 P の 10 年生現存量を求めた。

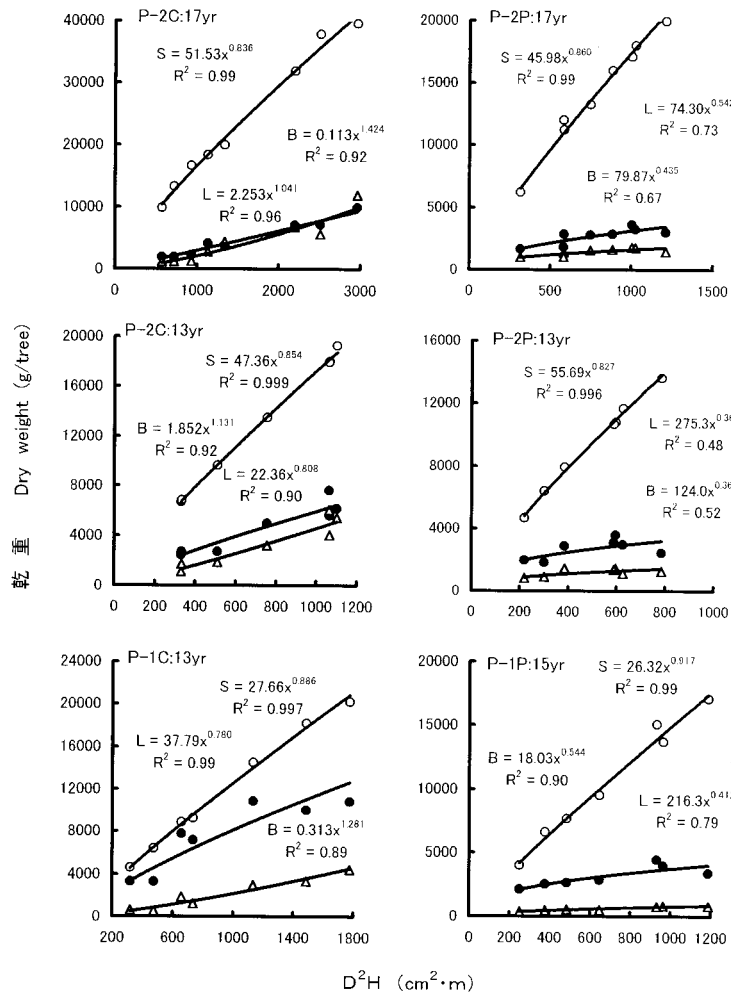


Fig. 86. P-1 と P-2 における伐倒供試木の D^2H と各器官量の相対成長

Allometric relations of stem, leaf, and branch weight to trunk size given by D^2H of the sample trees in control (P-1C, P-2C) and the pruned stands (P-1P, P-2P).

○ : 幹 Stem (S) ● : 葉 Leaf (L) △ : 枝 Branch (B)

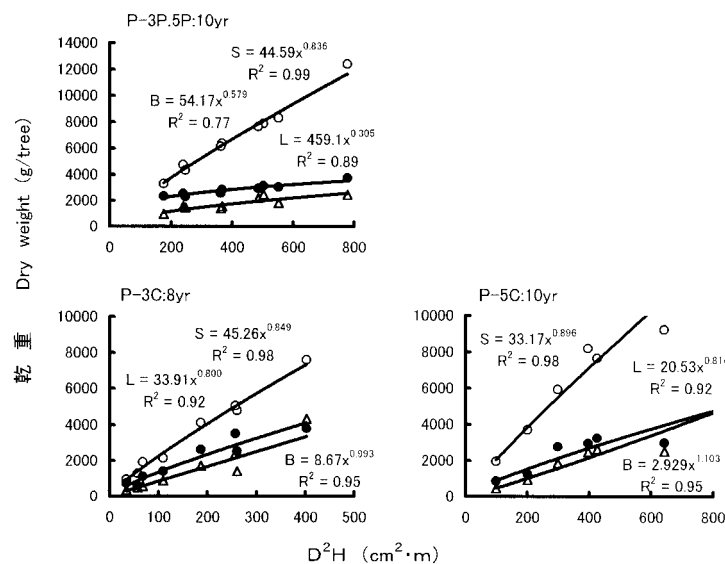


Fig. 87. P-3 と P-5 における伐倒供試木の D^2H と各器官量の相対成長

Allometric relations of stem, leaf, and branch weight to trunk size given by D^2H of the sample trees in control (P-3C, P-5C) and the pruned stands (P-3P, P-5P).

○ : 幹 Stem (S) ● : 葉 Leaf (L) △ : 枝 Branch (B)

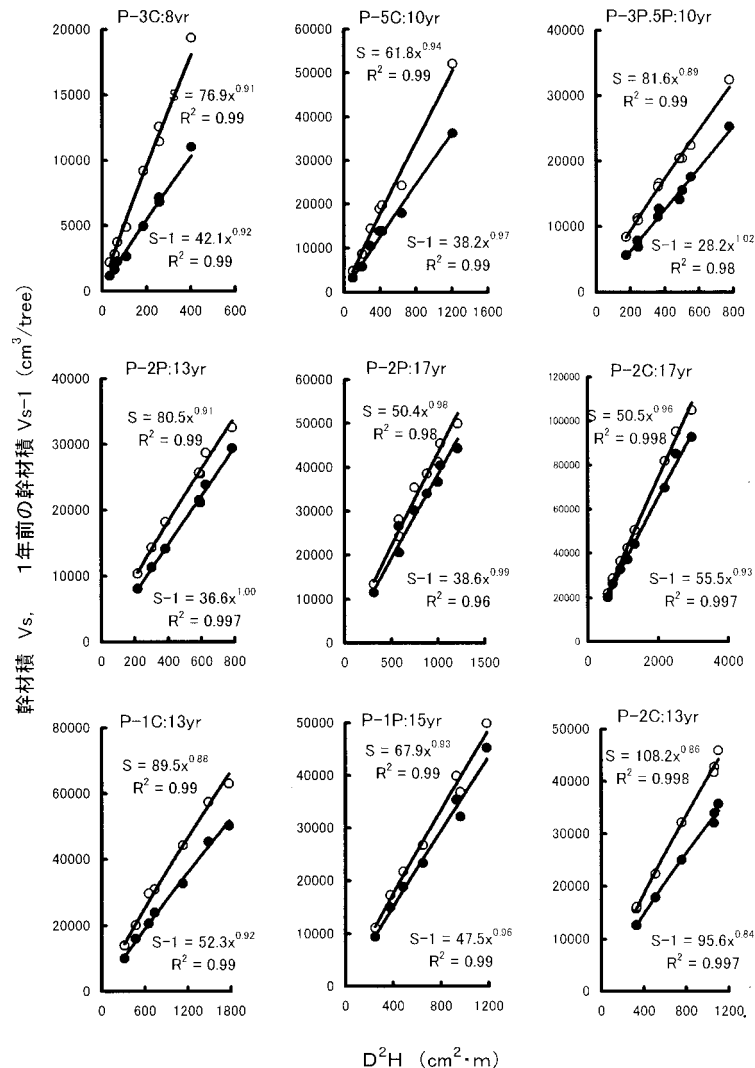


Fig. 88. 伐倒供試木の D^2H と幹材積 (Vs) および 1 年前の幹材積 (Vs-1) の関係

Allometric relations of stem volume (Vs) or stem volume of one year before (Vs-1) and trunk size given by D^2H of the sample trees in control and the pruned stands.

○ : 幹材積 Stem volume (S)

● : 1 年前の幹材積 Stem volume of one year before (S-1)

枝打ち期間中の林分現存量を Table24 に示した。P-1C の13年生では、林分葉量が24.7t/haで、閉鎖した林分葉量の多い部類に入る。林分葉量は閉鎖直後に最大となり、その後減少してあとは一定値を示す(四大学および信大合同調査班, 1966)ことが知られており、この林分で樹冠長が極大値を示した林齢は14年生(Fig.79)で、その前年にあたり葉量が多くなる時期と考えられた。当林分の葉量は8年生の9.7 t/ha (Table 23) から5年間で15 t/ha 増加したことになる。P-1P の15年生は、3回目の枝打ち後2年経過した4回目の枝打ち直前で、葉量は11.7 t/haであった。

P-2C の13, 17年生についてみると、葉量は

両年とも11.5 t/ha前後とほぼ等しかったが、枝量は13年生から17年生にかけて1.3 t/ha増加していた。13, 17年生の樹冠長は、それぞれ5.5, 6.1 mで17年生が大きかった(Fig.79)が、その違いが葉量に反映しなかったのは、13年生で樹冠が閉鎖し葉量がほぼ一定になる時期に達していたためと考えられる。一方、P-2Pについてみると、13年生は2回目の枝打ち後2年経過し3回目の枝打ち直前、17年生は15年生に4回目の枝打ちを行い2年を経過し5回目の枝打ち直前である。haあたりの枝打ち直前の葉量は、13, 17年生でそれぞれ7.3, 7.7 t, 枝量はそれぞれ3.3, 4.1 tで、17年生が葉量、枝量ともやや多かった。

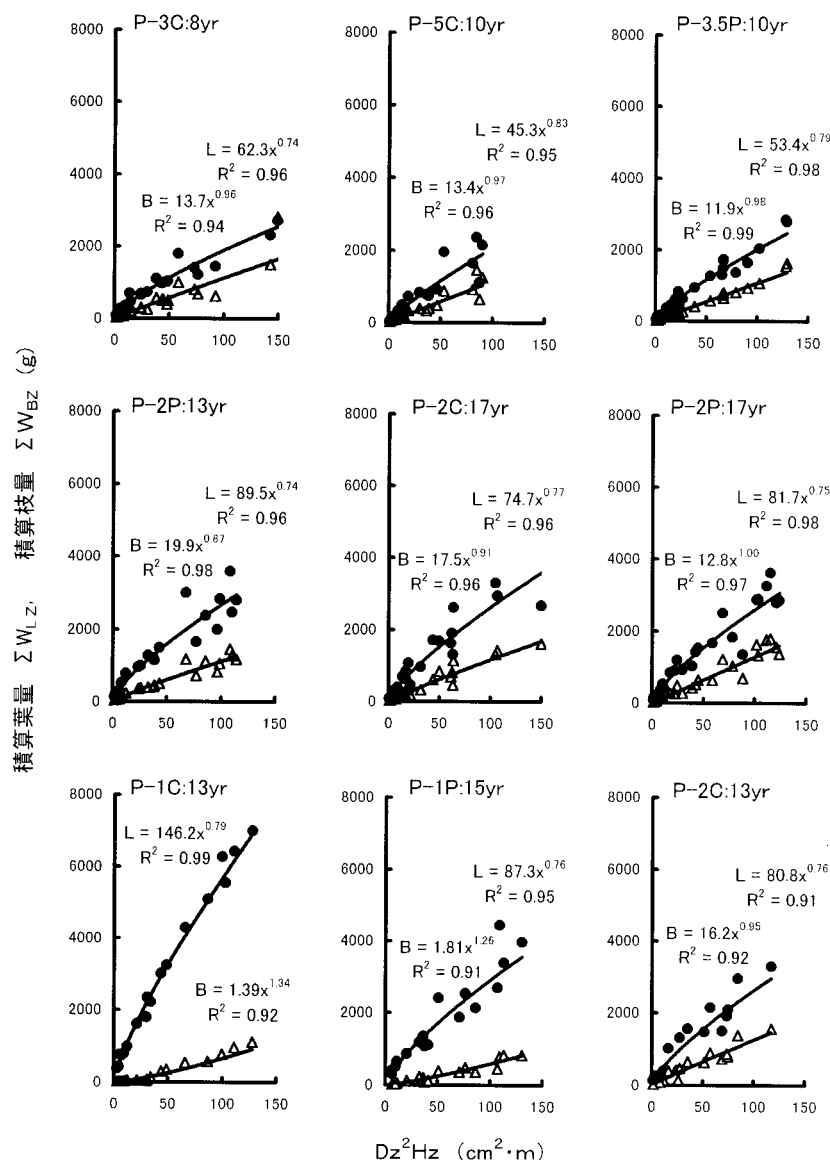


Fig. 89. 伐倒供試木の Dz^2Hz と先端から Z までの積算葉量 (ΣW_{Lz}), 積算枝量 (ΣW_{Bz}) の関係
Relationships between cumulative weight of leaf (ΣW_{Lz}) or branch (ΣW_{Bz}) from canopy surface to z -stratum and Dz^2Hz on the sample trees in control and the pruned stands
● : 葉 Leaf △ : 枝 Branch

Table 24. 枝打ち期間中の林分現存量

Biomass and other features of the stands during the pruning period

プロット	Stand	P-1C	P-1P	P-2C	P-2P	P-2C	P-2P	P-3C	P-3P	P-5C	P-5P
林齢	Stand age (yr)	13	15	13	13	17	17	8	10	10	10
密度	Density (No./ha)	3,750	3,770	2,670	2,720	2,670	2,720	2,280	2,260	2,260	2,250
平均胸高直径	Mean DBH (cm)	9.9	9.2	9.9	8.7	12.2	10.1	6.7	8.2	8.3	7.7
平均樹高	Mean tree height (m)	7.6	7.5	6.9	6.6	9.0	8.2	5.1	6.4	6.1	5.9
幹材積	Stem volume (m ³ /ha)	118.5	103.6	79.2	61.8	141.4	100.3	25.3	42.5	44.2	34.8
幹重	幹 Stem	37.4	37.6	33.6	26.2	58.4	41.1	10.6	16.3	17.6	13.6
	葉 Branch	6.0	2.3	8.3	3.3	9.6	4.1	4.5	4.1	5.6	3.6
Biomass	枝打ち後 After pruning	-	0.7	-	1.3	-	1.5	-	0.9	-	1.0
(t/ha)	葉 Leaf	24.7	11.7	11.7	7.3	11.5	7.7	6.1	6.6	6.6	6.1
	枝打ち後 After pruning	-	5.4	-	3.5	-	3.7	-	2.0	-	2.2

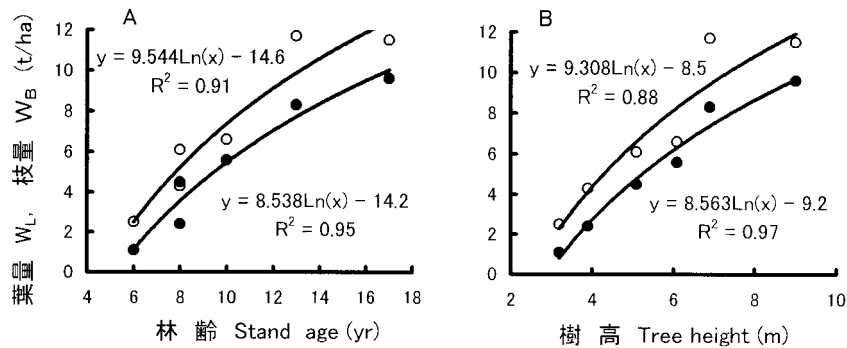


Fig. 90. ヒノキ林分 P-2, P-3, P-5 の対照区における林齢と葉量, 枝量の関係 (A), および平均樹高と葉量, 枝量の関係 (B)

Changes in leaf and branch biomass in control stands (P-2, P-3, P-5).

A: Relationships between stand age and leaf (W_L) or branch biomass (W_B).

B: Relationships between mean tree height and leaf (W_L) or branch biomass (W_B).

○: 葉量 Leaf biomass ●: 枝量 Branch biomass

P-3 C の 8 年生での葉量は 6.1 t/ha と少なかった。この時点の平均樹冠長は 4.5 m で、ほぼ一定になる樹冠長の値 7 m 前後 (Fig.79) に比べて小さく、密度も高くなかったことで樹冠が閉鎖していなかったといえよう。P-3 P の 10 年生での葉量は 6.6 t/ha で、P-3 C の 8 年生葉量に比べやや多かった。P-3 P の 10 年生は、8 年生で 2 回目の枝打ちが行われてから 2 年経過し、樹冠長は 3.9 m で P-3 C 8 年生の 4.5 m より小さく、枝打ちすることで樹冠内の葉量密度が高くなることを示唆している。

P-5 での 10 年生では、P-5 C の葉量が 6.6 t/ha であったのに比べ P-5 P では 6.1 t/ha でやや少なかった。P-5 P の 10 年生は、8 年生で 2 回目の枝打ちが行われた 2 年後で 3 回目の枝打ち直前である。樹冠長は P-5 C が 5.4 m, P-5 P が 3.7 m と大きな違いがあった (Fig.80) が、葉量にはそれほど違いがみられなかった。このことも P-3 と同様に、枝打ち林分の葉量密度が高くなることを支持している。

ヒノキ林分の対照区における林分葉量や林分枝量の生育に伴う変化を Fig.90 に示した。図は、密度が 2,260 ~ 2,670 本/ha である P-2 C, P-3 C, P-5 C の値に P-2 C と P-5 C の設定時の値 (Table 23) を加えて示した。林分葉量や枝量は、林齢が高くなるとともに、あるいは平均樹高が高くなるとともに増加し、図中に示した式で近似できた。

なお、対照区と枝打ち区の葉量や枝量の変化は

次項の (3) および (4) で、幹材積については「5-4 (3) 幹材積成長」で検討を行う。

(3) 枝打ちによる除去葉量と除去枝量

1) 打上げ高と除去枝葉量

打上げ高 (H_p) とは、1 回の枝打ちで打ち上げた幹長をいい、枝打ちの地上高を示す枝打ち高とは異なる。枝打ちで除去された葉量や枝量は、P-1 P と P-2 P では 2 回目の枝打ちから 5 回目までを測定した。枝打ち時の林齢ごとに枝打ち個体の D^2H と除去葉量、除去枝量の関係を近似式とともに Fig.91 に示した。また、同様に枝打ち時除去量を測定した P-3 P, P-4 P, P-5 P を Fig.92 に、P-6 P, P-7 P, P-8 P を Fig.93 に示した。これら図中の近似式には適合がよくないものもみられたが、全体を通してみると図示した近似式が最も適合がよかった。P-1 P や P-2 P の 11 年生で D^2H に対して除去枝葉量が特に多いのは、この枝打ちのみが前回の枝打ちから 3 年経過後に行われたためで、他の枝打ちがすべて 2 年経過後であったことによる。

枝打ち時ごとの除去葉量や除去枝量を Fig.91, Fig.92, Fig.93 の近似式を用いて求め、枝打ちによる平均打上げ高とともに Table 25 に示した。表の枝打ち 1 回目の除去量は設定時調査から得られた値 (Table 23) を、枝打ち期間中に現存量調査を行った林分ではその値 (Table 24) も示した。

以上の方法で求められなかった除去葉量や除去枝量は、以下の方法で推定した。各枝打ち時ごと

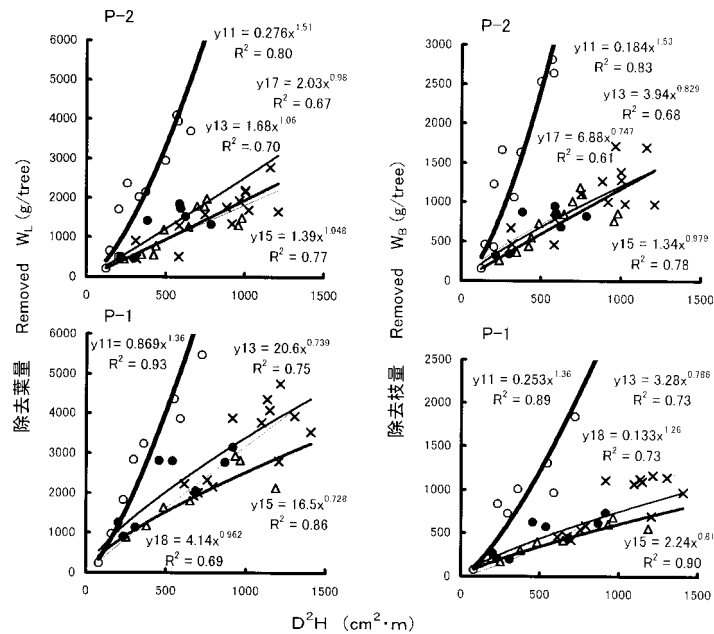


Fig. 91. P-1, P-2の枝打ち区における各枝打ち時の D^2H と枝打ち除去葉量(W_L), 除去枝量(W_B)の関係
Relationships between the amount of removed leaf (W_L) or removed branch (W_B) and trunk size given by D^2H of the sample trees in the pruned stands (P-1 and P-2) at the time of pruning.

○ (y11): 11年生 11-year-old ● (y13): 13年生 13-year-old
(y15): 15年生 15-year-old × (y17, y18): 17, 18年生 17 or 18-year-old

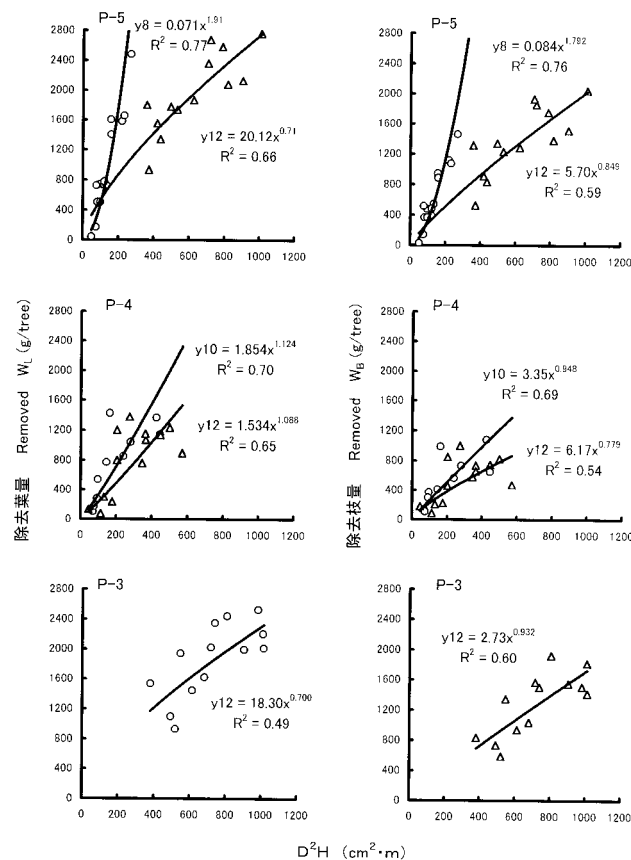


Fig. 92. P-3, P-4, P-5の枝打ち区における各枝打ち時の D^2H と枝打ち除去葉量(W_L), 除去枝量(W_B)の関係
Relationships between the amount of removed leaf (W_L) or removed branch (W_B) and trunk size given by D^2H of the sample trees in the pruned stands (P-3, P-4 and P-5) at the time of pruning.

y8: 8年生 8-year-old y10: 10年生 10-year-old y12: 12年生 12-year-old

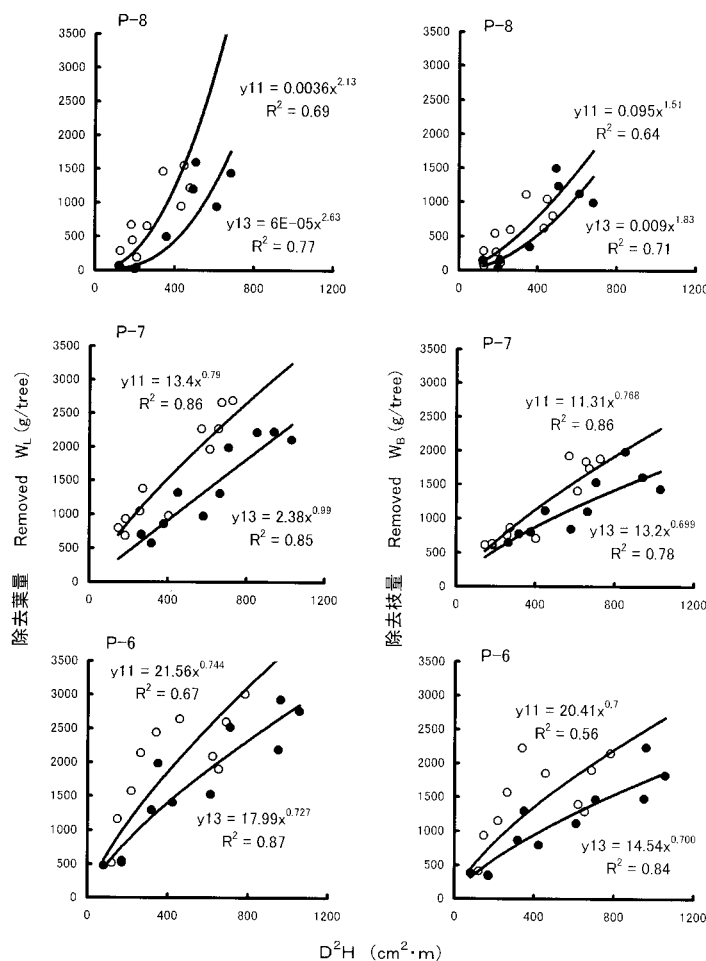


Fig. 93. P-6, P-7, P-8の枝打ち区における各枝打ち時の D^2H と枝打ち除去葉量(W_L), 除去枝量(W_B)の関係
Relationships between the amount of removed leaf (W_L) or removed branch (W_B) and trunk size given by D^2H of the sample trees in the pruned stands (P-6, P-7 and P-8) at the time of pruning.
y11: 11年生 11-year-old y13: 13年生 13-year-old

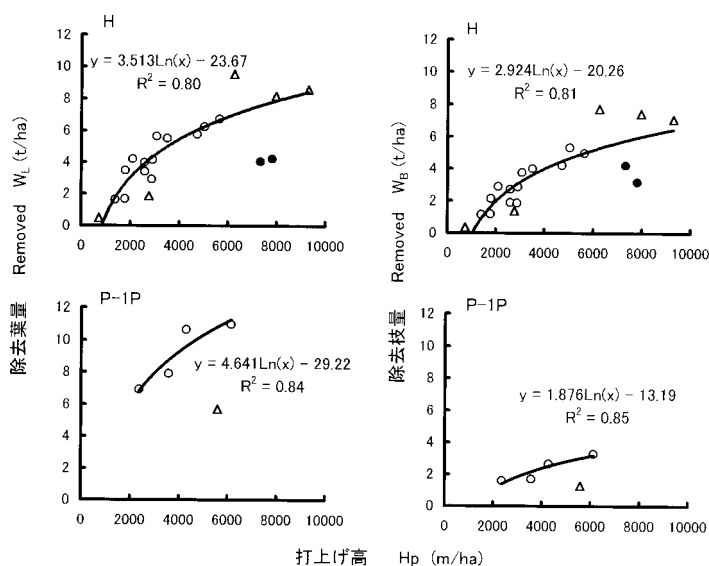


Fig. 94. スギ林分(P-1P)とヒノキ林分(H)での打上げ高(H_p)と除去葉量(W_L), 除去枝量(W_B)の関係
Removed amount of leaf (W_L), branch (W_B), and total pruned stem length (H_p) in Sugi stand (P-1P) and Hinoki stands (H).
○ : 1回目の枝打ち At first pruning ○ : 2回目以後の枝打ち After the second pruning
● : P-8 Pの2, 3回目の枝打ち At second and third pruning in P-8P stand

に、個体ごとの打上げ高を合計したhaあたりの打上げ高(H p)を求めた。H pとこれまでに得られた除去葉量、除去枝量の関係(Fig.94)は、スギ、ヒノキとも1回目の枝打ち時、ヒノキではそれに最も密度が高かったP-8 Pを除けば、両樹種とも関係がみられた。そこで、スギでは2回目以後の枝打ち、ヒノキではP-8 Pを除く2回目以後の枝打ち結果を用いて近似式を求め図中に示した。1回目の枝打ち時にH pと除去枝葉量に関連がないのは、枝打ち時個体の大きさの違いや雑草

木による枝の枯れ上がりの違いが影響していたためであろう。また、P-8 Pは、P-8 Cでの枝下直径が6.3cmでほぼ一定になることから、幹直径4~6 cmに着生する枝葉量が密度効果で減少したためと考えられる。2回目以後でH pと関連があるのは、ほぼ2年ごとに幹直径4 cmまで枝打ちをすると、枝の枯れ上がりが生じないためであろう。2回目の枝打ち以後に除去葉量や除去枝量を測定しなかったP-8 P以外では、Fig.94の式にH pを代入して除去枝葉量を推定した。また、

Table 25. 枝打ち時ごとの打上げ高と除去葉量および除去枝量

The amount of removed branch and leaf at each time of the pruning operation.

プロット Stand	枝打ち林齢 Stand age (yr)	密 度 Density (No./ha)	打上げ高 Height of pruning(m)	除去葉量 Removed leaf(t/ha)	除去枝量 Removed branch(t/ha)
P-1P	8	3,770	1.5	5.7	1.2
	11	3,770	1.6	11.0	3.3
	13	3,770	0.9	7.9	1.7
	15	3,770	0.6	6.9	1.6
	18	3,770	1.1	10.6	2.6
	合計 Total		5.7	42.1	10.4
P-2P	8	2,720	1.0	1.9	1.4
	11	2,720	1.7	5.8	4.2
	13	2,720	1.0	3.4	1.9
	15	2,720	0.7	3.5	2.1
	17	2,720	0.8	4.2	2.9
	合計 Total		5.2	18.8	12.5
P-3P	6	2,260	0.5	(0.7)	(0.1)
	8	2,260	1.4	(4.5)	(3.2)
	10	2,260	1.4	(4.7)	(3.3)
	12	2,260	1.1	4.0	2.7
	合計 Total		4.4	13.9	9.3
P-4P	6	2,480	0.5	(1.6)	(0.8)
	8	2,480	0.8	(3.1)	(2.1)
	10	2,480	0.7	1.7	1.2
	12	2,480	0.6	1.6	1.2
	合計 Total		2.6	8.0	5.3
P-5P	6	2,250	0.3	0.5	0.4
	8	2,250	1.3	2.9	1.9
	10	2,250	1.2	(4.1)	(2.9)
	12	2,250	1.3	4.2	2.8
	合計		4.1	11.7	8.0
P-6P	9	3,110	2.0	9.6	7.7
	11	3,110	1.1	5.5	4.0
	13	3,110	1.0	5.7	3.8
	15	3,110	1.1	(4.9)	(3.5)
	合計 Total		5.2	25.7	19.0
P-7P	9	4,700	1.7	8.1	7.4
	11	4,700	1.2	6.7	5.0
	13	4,700	1.1	6.3	5.3
	15	4,700	1.2	(6.8)	(5.1)
	合計 Total		5.2	27.9	22.8
P-8P	9	6,890	1.4	8.6	7.1
	11	6,890	1.1	4.2	3.1
	13	6,890	1.1	4.1	4.2
	15	6,890	1.1	(4.1)	(4.2)
	合計 Total		4.7	21.0	18.6

() : 図-94 による推定値。 Estimated by the equation in Fig. 94.

* : 伐倒調査 (Table 24) による。 Estimated by destructive method (Table 24).

P-8 Pで未測定であった15年生の枝打ちでは、H pが3回目とほぼ同じであったため、除去枝葉量は3回目の測定値と同じ量とした。なお、枝打ち1回目にあたる設定時の除去枝葉量を測定しなかったP-3 P、P-4 Pでは、H pがそれぞれ1,022, 1,351 mであった。ヒノキ林分での打上げ高と除去枝葉量の関係(Fig.94)は、H pが小さい場合は2回目以後の関数と大きく異なっていなかったため、図示した近似式にH pを代入して推定した。

以上の方法で推定した枝打ち時ごとの除去枝葉量を括弧書きとして、平均打上げ高とともにTable 25に示した。伐倒調査による除去枝葉量と枝打ち木で測定した除去枝葉量などの値は、やや違いがみられるプロットもあるが、大きな違いではなかった。このため、今後は、除去枝葉量の値として調査数が多かった枝打ち木除去量の測定値およびFig.94から推定した値を用いることとする。

枝打ちによる合計除去量についてみると、スギ林分であるP-1 Pでは平均打上げ高5.7 mで葉量が42 t/ha、枝量が10 t/haにも達した。ヒノキ林分では、平均打ち上げ高が5.2 mと同じであったP-2 P、P-6 P、P-7 Pでは、除去葉量の合計がそれぞれ19, 26, 28 t/ha、除去枝量合計がそれぞれ13, 19, 23 t/haで、密度の高い林分ほど多かった。P-3 P、P-4 P、P-5 Pでは、平均打上げ高がそれぞれ4.4, 2.6, 4.1 mで、除去葉量が14, 8, 12 t/haで、地位指数の低いP-4 Pは平均打上げ高が低く、除去葉量も少なかった。密度の高いP-8 Pでは平均打上げ高が4.7 mで除去葉量が21 t/ha、除去枝量が19 t/haで、密度が低く平均打上げ高が5.2 mと高いP-2 Pより多かった。

2) 採材長と除去枝葉量

Table 25より各枝打ち区で枝打ちごとの打上げ高を積算した積算打上げ高と、枝打ちごとの除去葉量を積算した積算除去葉量、および枝打ちごとの除去枝量を積算した積算除去枝量を求め、両者の関係を林分ごとにFig.95に示した。ただ、密度に大きな違いがないP-2, P-3, P-5は、林分を区分せず一緒に示した。各林分での積算打上げ高と積算除去葉量および積算除去枝量の間には、関係が認められ近似式を図中に示した。

現場での枝打ちは、3 m材1玉分か2玉分の採材とすることが多い。幹には根元曲がりがあることが普通で、無節材生産の採材では根元曲がり部分として0.5 m程度を除くことが多く、枝打ち高は1玉分では3.5 mまで、2玉分として6.5 mまでを想定する。今回調査した林分の1回目の枝打ち時の枝下高は、すでに0.5 m前後であった(Table 19)。積算打上げ高を1玉分では3 m、2玉分では6 mとすれば、枝打ち高は3.5, 6.5 mになる。そこで、積算打上げ高を1玉分では3 m、2玉分では6 mとしてFig.95の近似式より除去枝葉量を求めTable 26に示した。密度が3,770本/haのスギ林分であるP-1 Pでは、打上げ高が3, 6 mでの合計除去葉量はそれぞれ16, 46 t/ha、合計除去枝量はそれぞれ4, 12 t/haであった。樹冠が閉鎖したスギ林分が持つ平均葉量19.6 t/ha(Tadaki, 1966)と比較して、1玉分の枝打ちでは閉鎖林分に近い葉量を、2玉分の枝打ちでは閉鎖林分葉量の2倍以上を除くことになる。ヒノキ林分では、1玉分の枝打ちでの合計除去葉量が9 ~ 15 t/ha、除去枝量が5.5 ~ 13 t/haで、P-8を除けば高密度林分ほど多かった。2玉分の枝打ちでは除去葉量が19 ~ 33 t/ha、除去枝量が15 ~ 26 t/haで、P-4と高密度のP-8を除けば高密度林分ほど多かった。地位の低かったP-4では、実際の打上げ高が2.6 mと低かったため、2玉分を推定するには無理があることも考えられる。P-8では、先述したように密度が高く密度効果の影響で除去葉量が減少すると考えられる。樹冠が閉鎖したヒノキ林分の平均葉量14.0 t/ha(Tadaki, 1966)に比べ、1玉分の枝打ちでの合計除去葉量は密度が3,000本/haの林分では同じ程度の量が、2玉分の枝打ちでは約2倍程度の量が除去される。そして、密度が3,000本/haより高い林分ではそれより多くの量が、低い林分ではそれより少ない量が除去される。スギ林分の葉除去量は、密度の違いによる影響を検討できなかったが、ヒノキ林分と同様の関係があると推察される。

以上のように、枝打ち時ごとの打上げ高が分かれば、枝打ちごとの除去枝葉量が推定できた。密度がほぼ4,000本/haのスギ林分や3,000本/haのヒノキ林分では、1玉分の枝打ちでは両樹種の樹冠閉鎖林分が持つ葉量を、2玉分の枝打ちでは、

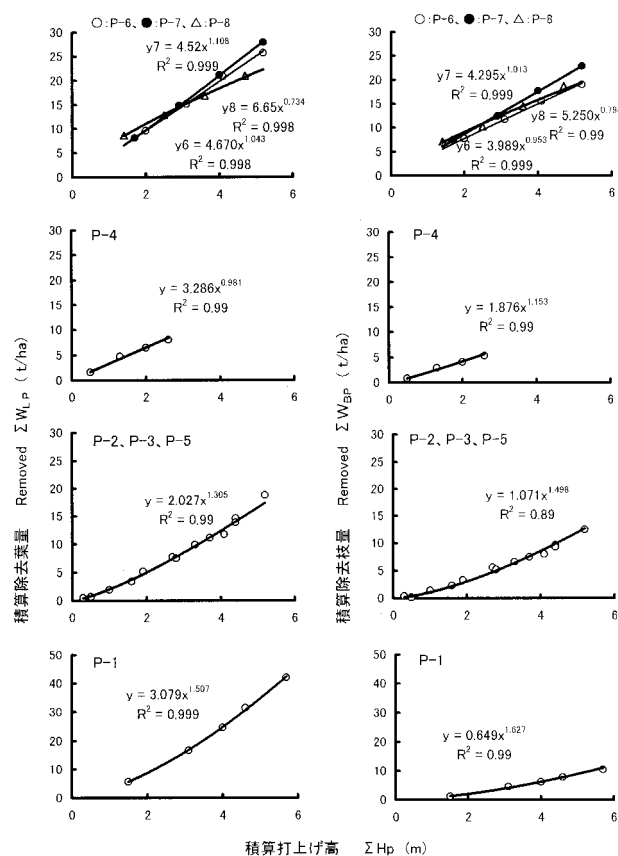


Fig. 95. 枝打ち区での積算打上げ高 (ΣH_p) と積算除去葉量 (ΣW_{LP})、および積算除去枝量 (ΣW_{BP}) の関係
Relationships between cumulative amount of the removed leaf (ΣW_{LP}) or branch (ΣW_{BP}) and cumulative pruned height (ΣH_p) in each pruned stand.

Table 26. 打上げ高が 3 m と 6 m での除去葉量と除去枝量

The amount of removed branch and leaf in the cases of the pruning height of 3 m and 6 m.

プロット Stand	樹種 Species	密度 Density (No./ha)	3mあたりの除去量 (t/ha) Removal amount per 3 m		6mあたりの除去量 (t/ha) Removal amount per 6 m	
			葉 Leaf	枝 Branch	葉 Leaf	枝 Branch
P-1	Sugi	3,770	16.1	3.9	45.8	12.0
P-2	Hinoki	2,720				
P-3	Hinoki	2,260	8.5	5.6	21.0	15.7
P-5	Hinoki	2,250				
P-4	Hinoki	2,480	9.7	6.7	19.0	14.8
P-6	Hinoki	3,110	14.7	11.4	30.3	22.0
P-7	Hinoki	4,700	15.3	13.1	32.9	26.4
P-8	Hinoki	6,890	14.9	12.5	24.8	21.7

両樹種とも閉鎖林分葉量の 2 倍かそれ以上の量を除くことが明らかになった。これらのことは、枝打ち林分の成長や物質循環におよぼす影響の基礎資料として利用できる。

(4) 枝打ち林分の葉量変化

1) 枝打ち直後の葉量

幹直径 4 cm より上部の葉量、すなわち枝打ち

直後の残存葉量は、枝打ち後の成長に影響すると考えられるので、林齢や枝打ちの有無で変化するかを検討する。伐倒供試木の胸高直径と幹直径 4 cm より上部に着生する葉量を Fig.96 に示した。また、これらの林分では、胸高直径の大小を含め 7 ~ 8 本を伐倒調査したので、調査林齢と供試木平均葉量、それに供試木平均胸高直径と供試木平均葉量の関係を、枝打ちされてない林分と、すで

に枝打ちされた林分に区分して Fig.97 に示した。スギでは「4-2」での測定結果も併せて示した。なお、P-3 P と P-5 P では供試木がそれぞれ 4, 5 本と少なかった。

スギ個体における幹直径 4 cm より上部の葉量は、900 ~ 1,800 g と大きな違いがみられた。同じ林分の個体では P-1 C のように胸高直径の大きい個体ほど葉量が少なくなる傾向がある林分と、P-1 P のように個体の大きさとの関係のない林分がみられた。ヒノキ個体の葉量は 800 ~ 1,600 g で、スギと同様に個体により大きな違いがみられたが、同じ林分での個体の大きさと葉量の多少との関係はみられなかった。平均葉量は、スギ林分では 1,250 ~ 1,500 g、ヒノキ林分では 950 ~ 1,350 g と林分により違いがみられた (Fig.97)。平均葉量に対する林齢や平均胸高直径の違い、枝打ちの有無の影響については、事例が少ないためか明らかな傾向はみられなかった。このように、幹直径 4 cm より上部の葉量はスギ、

ヒノキとも林分により違いがあることが明らかになった。

枝打ち林分の密度と枝打ち直後の林分葉量、林分枝量との関係を、設定時である 1 回目の枝打ち林分について既に Fig.84 に示した。それに枝打ち繰り返し林分の値 (Table 24) を加えて区分し Fig.98 に示した。枝打ち直後の葉量、枝量は、設定時とほぼ同じであったのがヒノキの P-3 P と P-5 P のともに 10 年生で、設定時よりやや多かったのがスギで P-1 P の 15 年生、ヒノキで P-2 P の 13, 17 年生であった。今回の調査では、2 回目以後の枝打ち林分の事例が少ないが、枝打ち繰り返し林分の枝打ち直後の枝葉量は、1 回目の枝打ち直後に比べ同じ程度かやや多くなるといえる。その原因は、生育が進むと樹高成長が低下し (Fig.99)、枝の年齢が高くて生育期間が長く、「1-2」で示したように枝が大きくなるためと考えられる。

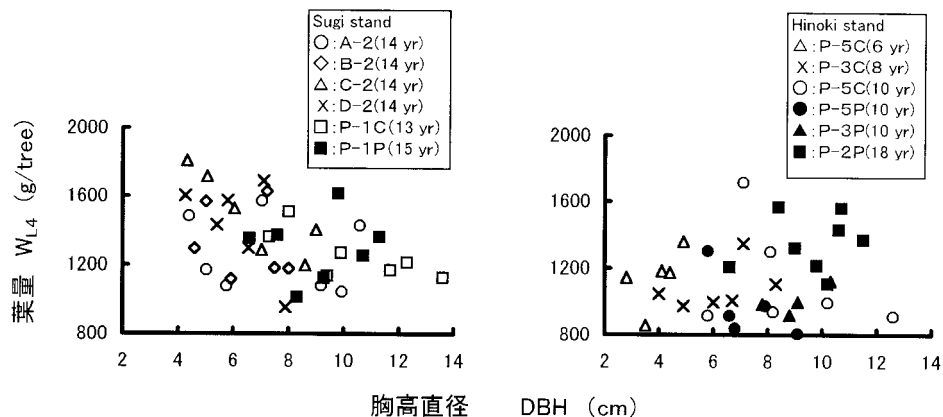


Fig. 96. スギ、ヒノキ個体の胸高直径 (DBH) と幹直径 4 cm より上部の葉量 (W_{L4})

The leaf weight (W_{L4}) on the upper side of the stem which diameter was 4 cm and diameter at breast height (DBH) on the sample trees.

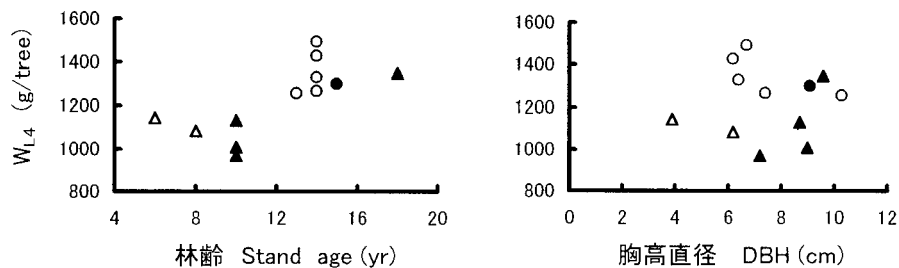


Fig. 97. 伐倒供試木個体における林齢、平均胸高直径 (DBH) と幹直径 4 cm より上部の平均葉量 (W_{L4})

Relationships between the mean weight of leaf (W_{L4}) on the upper side of the stem which diameter was 4 cm and stand age or DBH.

- : スギ枝打ちなし Sugi control stand ● : スギ枝打ちあり Sugi pruned stand
- △ : ヒノキ枝打ちなし Hinoki control stand ▲ : ヒノキ枝打ちあり Hinoki pruned stand

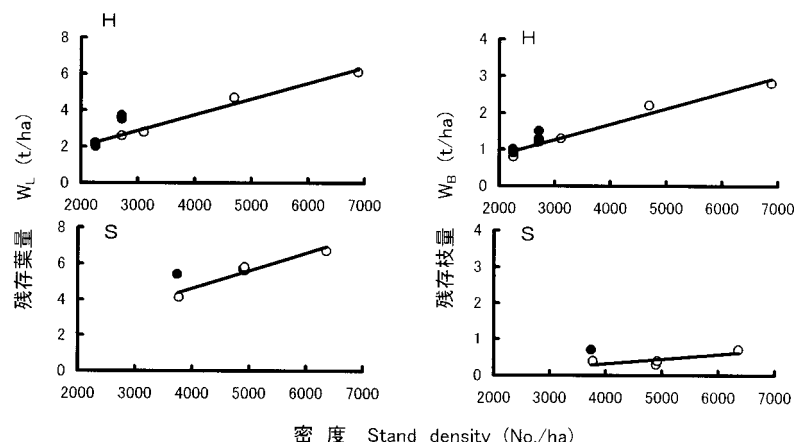


Fig. 98. スギ(S), ヒノキ(H)林分の林分密度と設定時と2回目以後の枝打ち直後の残存葉量(W_L), 残存枝量(W_B)の関係
Relationships between the residual amount of leaf (W_L) or branch (W_B) just after the pruning and stand density in Sugi (S) and Hinoki (H) pruned stands.

○ : 設定時(図-84) At the time of first pruning (same as Fig. 84.)
● : 2回目以後の枝打ち After the second pruning

2) 枝打ち区の葉量変化

成長に關与するであろう葉量は、枝打ちによりどのように変化するかを対照区と比較検討する。枝葉現存量の測定値をTable 27に示し、同一林齢で対照区と枝打ち区の葉量がある場合は、対照区葉量に対する枝打ち区葉量の割合を葉量割合として示した。密度が2,300～2,700本/haであったヒノキ林分のP-2P, P-3P, P-5Pについて、枝打ち直後の葉量についてみることにする。枝打ち直後の葉量は、P-2Pでは枝打ち1回目にあたる8年生が2.6 t/ha, 3, 5回目にあたる13, 17年生ではほぼ等しく3.6 t/haで、1回目より多かった。しかし、P-5Pでは枝打ち1, 3回目にあたる6, 10年生とも同じ2.2 t/haで、P-3Pの枝打ち3回目にあたる10年生の2.0 t/haに近かった。同一林分での枝打ち直後の葉量は、P-5Pでは枝打ち1回目からほぼ一定であったし、P-2Pでは枝打ち1回目が少なくその後一定であった。このため、未測定であったP-2Pの11, 15年生での枝打ち直後の葉量は3.6 t/ha, P-5Pの8年生では2.2 t/ha, P-3Pの8年生では2.0 t/haと推定される。

一方、枝打ち直前の葉量は、P-2Pの13, 17年生では平均枝下直径がそれぞれ6.1, 5.9 cmで7.3, 7.7 t/ha, P-3P, P-5Pの10年生では平均枝下直径がそれぞれ6.5, 6.3 cmで葉量は6.6, 6.1 t/haであった。枝下直径成長が2 cm/2yrがそれ以上であったこれらP区での枝打ち後の葉量

増加量は、ほぼ等しく4 t/ha・2yr前後と推定される。P-5Cの10年生では、林分葉量が6.6 t/haで閉鎖林分葉量の半分程度であったが、P-5Pの8年生から枝打ち後2年間の葉量増加量は他の林分と大きな違いがなかった。なお、P-2PではP-3P, P-5Pに比較し枝打ち直前、直後の葉量が多かった。P-2Pでは、密度がやや高かったことと、幹直径4 cmより上部の葉量が多かった(Fig.96)ためである。

スギ林分であるP-1Pの枝打ち直後の葉量は、1回目の枝打ちにあたる8年生での4.1 t/haに比べ、4回目の枝打ち直後にあたる15年生では5.4 t/haと多かった。一方、枝打ち直前の葉量は、15年生で11.7 t/haで、枝下直径は5.6 cmで枝打ち直前の値としては最も小さかった(Fig.77)。枝下直径の大きさと個体葉量の関係は、正の相関がある(四大学および信大合同調査班, 1966)ことが認められており、15年生の枝打ち直前葉量は、他の枝打ち前に比べ少なかったと考えられる。枝打ち直後の葉量がヒノキ林分と同様に枝打ち2～3回目以後同じであるとすれば、13年生の枝打ち直後の葉量は5.4 t/ha程度で、13年生以後の葉量増加量は約6 t/ha・2yrと推定される。

このように、林分密度が2,300～2,700本/haのヒノキ林分での枝打ち直後の葉量は、林分により違いがあるが、枝下直径成長が2 cm/2yr程度になると枝打ち後の葉量は約4 t/ha・2yr増加した。ヒノキ枝打ち林分の葉量は、枝打ち初期段階

Table 27. 林分枝葉量の変化

Changes in leaf and branch biomass.

プロット Stand	林齢 Age (yr)	対 照 区 Control stand			枝 打 ち 区 Pruning stand			葉量割合* Ratio of leaf (%)
		樹高 Mean tree height (m)	葉量 Leaf (t/ha)	枝量 Branch (t/ha)	樹高 Mean tree height (m)	葉量 Leaf (t/ha)	枝量 Branch (t/ha)	
P-1	8	4.7	9.7	1.6	4.6	9.8(4.1)	1.6(0.4)	(42)
	13	7.6	24.7	6.0				
	15				7.5	11.7(5.4)	2.3(0.7)	
P-2	8	3.9	4.3	2.4	4.1	4.5(2.6)	2.6(1.2)	(60)
	13	6.9	11.7	8.3	6.6	7.3(3.5)	3.3(1.3)	63(30)
	17	9.0	11.5	9.6	8.2	7.7(3.7)	4.1(1.5)	67(32)
P-3	8	5.1	6.1	4.5				
	10				6.4	6.6(2.0)	4.1(0.9)	72(22)
P-5	6	3.2	2.5	1.1	3.2	2.7(2.2)	1.2(0.8)	(88)
	10	6.1	6.6	5.6	5.9	6.1(2.2)	3.6(1.0)	92(33)
P-6	9	5.0	10.9	7.7	4.7	12.4(2.8)	9.0(1.3)	(26)
P-7	9	4.5	12.2	9.0	4.8	12.8(4.7)	9.6(2.2)	(38)
P-8	9	4.5	12.9	8.6	4.6	14.7(6.1)	9.9(2.8)	(47)

*: 葉量割合は、対照区葉量に対する枝打ち区葉量の割合を示す。

Percentage of the value on pruned stand against on control stand.

(): 枝打ち直後の値を示す。Just after pruning.

では2.6～6.6t/haの間で変動し、その後3.6～7.6t/haの間で変動する林分と、枝打ち初期段階から一定で2.2～6.2t/ha前後の間で変動する林分がみられた。密度が3,770本/haのスギ枝打ち林分の葉量は、枝打ち後に約6 t/ha・2yr増加し、枝打ち初期には約4.0～10.0 t/haの間で変動し、その後は約5.5～12.0 t/haの間で変動すると推定された。スギ林分やヒノキ林分では、1回目の枝打ち直後の葉量が林分密度によって影響されることは既に述べた(Fig.84)。P-6, 7, 8のように密度が高い林分では、設定時にみられるようにP-2, 3, 5より枝打ち直後の林分葉量が多く(Table 27)、枝打ち直前の林分葉量も多くなって変動すると考えられる。

3) 葉量割合

林分葉量は、C区では生育とともに増加するが、P区では枝打ち中は抑制されており、同じ林齢のC区に対するP区の林分葉量の割合を、葉量割合として検討する(Table 27)。スギ林分であるP-1 Cの葉量は、13年生で24.7t/haで一時的に多い

時期であったと考えられ、それ以降も20t/ha以上を維持していると予想される。P-1の葉量割合は、8年生の1回目の枝打ち直後が42%であった。13年生以後のP-1 Pの葉量が5.5～12.0t/haで変動するとすれば、13年生以後の葉量割合は、枝打ち直後が27%前後、枝打ち直前が60%前後で変化すると推定される。

ヒノキ林分では、同齢であったP-6, 7, 8での1回目の枝打ち直後の葉量割合がそれぞれ26, 38, 47%で、密度の高い林分ほど高かった。また、P-2やP-5の枝打ち1回目の葉量割合60, 88%に比べて低かった。これは、P-6, 7, 8の生育が進み、枝打ち時の平均樹高がP-2, 5に比べ高かったためである。

ヒノキ林分で密度が2,300～2,700本/haであったP-2, P-3, P-5について枝打ち直後の葉量割合をみることにする。枝打ち1回目の枝打ち直後の葉量割合は、6年生で平均樹高が3.2mであったP-5では88%, 8年生で平均樹高が3.9mとやや高かったP-2では60%で、枝打ち林齢が若くて個体が小さいP-5が高かった。その後、

P-5の10年生で3回目の枝打ち直後の葉量割合は33%で、P-2の3回目、5回目の枝打ち直後の30, 32%とほぼ同じであった。P-5Cの10年生では、林分葉量が閉鎖林分の葉量の半分程度しかなかったが、C区が閉鎖林分に近い林分葉量であったP-2の13, 17年生での枝打ち直後の葉量割合とほぼ同じであった。これらの結果、枝打ち直後の葉量割合は、1回目の枝打ちでは若くて個体が小さいと高く、枝打ち2, 3回目の早い段階で30~35%で一定になると考えられる。枝打ち直前の葉量割合は、P-5の10年生で92%と高く、P-2の13, 17年生では63, 67%と近かった。P-5で葉量割合が高かったのは、C区の林分葉量が少なかったことによると考えられる。

以上のように、ヒノキ林分での葉量割合は、1回目の枝打ち直後には26~88%と大きな違いがみられ、若い林分ほど、密度の高い林分ほど高くなることが分かった。枝打ち後の葉量は、枝下直径成長が2 cm/2yr前後の林分では2年間で約4 t/ha増加するため、葉量割合は対照林分の林分葉量により左右される。葉量割合がほぼ一定になるのは、早い林分では対照林分の林分葉量が閉鎖林分の1/2になる時期以後で、密度が2,300~2,700本/haでの葉量割合は枝打ち直後が30~35%、枝打ち直前が65%前後の間で変化すると推定された。これまで未解明であった、無節柱材が生産可能な枝打ち強度での枝打ち期間中の葉量変化や葉量割合をはじめて明らかにできた。

5-4 成長の変化

(1) 胸高直径成長

平均胸高直径の変化をFig.77, Fig.78に、1年ごとの平均胸高直径成長量をFig.99に示した。なお、調査間隔が2年の場合は成長量の平均値を示した。

C区の胸高直径成長量(Fig.99)についてみると、P-2, 3ではそれぞれ10, 8年生に極大値を示し、その後は低下した。しかし、その他の林分の直径成長量は、調査開始時が最大で、生育が進むに従い低下した。

P区における枝打ち期間中の胸高直径成長量(Fig.99)についてみると、P-3, 4, 5では1回目の枝打ち後に低下しなかった。これは、枝打ち高がそれぞれ1.2, 0.8, 0.9mと胸高位置以下で

あったことや、枝打ち林齢が若く葉量除去率がP-5でみられたように18%(Table 23)と枝打ちが弱かったためである。これら以外は、各林分とも枝打ち後1年目の成長が大きく低下し、2年目はやや回復することを繰り返した。枝打ち期間中の成長は、各林分とも林齢が高くなるにつれて徐々に低下した。枝打ち終了後の成長を、終了後7, 8年間測定したP-1~5についてみると、P-4を除く4林分では最終の枝打ちから3, 4年目が成長のピークとなり、その後やや低下した。地位の低いP-4では、枝打ち終了後8年経過した20年生まで増加し続けた。これは、P-4の20年生時平均樹高が7.4mと他の林分の11~12mに比較して小さいことや枝下高が3mと低いためと考えられた。胸高直径成長で注目されるのは、C区の直径成長と比較しP-1, 2, 3, 5で最終枝打ち後3年目以降、P-4でも6年目以降に同じかそれより大きかったことである。この点については、次の「(2) 樹高成長」で検討する。

C区とP区の胸高直径の差(Fig.100)は、枝打ち高が胸高位置以下であったP-3, 4, 5の1回目の枝打ち後を除けば、すべての林分で枝打ちするごとに大きくなった。差の最大値は、P-1~5では1.9~2.8cm(Table 22)で、最大値を示した林齢は最終枝打ちから2年後が4林分、地位の低いP-4では4年後であった。差が最大値を示した後は、P-1では僅かに、P-2, 3, 4, 5では差が縮小した。P-6, 7, 8は、最終枝打ち2年後の17年生まで差が大きくなり、それぞれ2.2, 1.0, 0.7cmを示し、高密度林分ほど小さかった。これら3林分は、枝打ち終了2年後までの測定であったため、差が最大値を示す時期は確認できなかった。

このように、胸高直径は、枝打ちのたびに対照林分との差が大きくなることが明らかになった。差が最大になる時期は、最終枝打ちから2年後の林分が多く、地位の低い林分ではそれより遅いが、その後は差が縮小する傾向がみられた。「4-2」では、1回の枝打ちによる成長の低下が地位の低い林分で大きくなることを示したが、枝打ちを繰り返した場合でも、地位の低い林分で胸高直径成長の回復が遅いことが明らかになった。

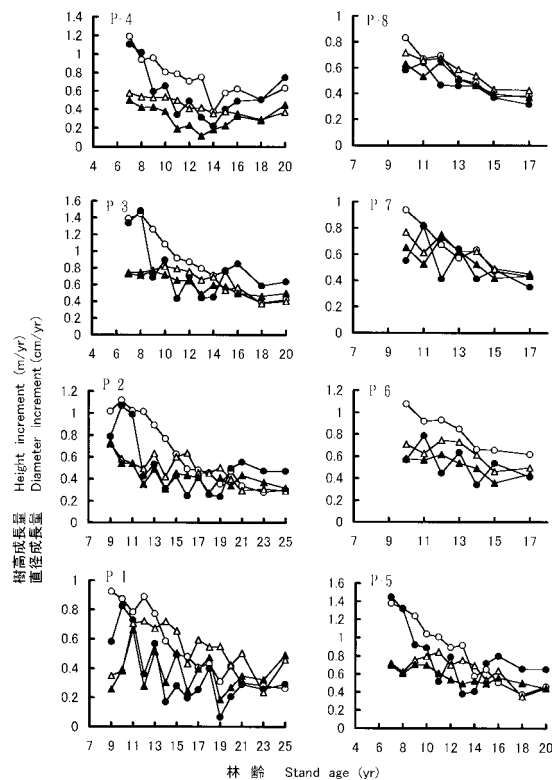


Fig. 99. 枝打ち区と対照区の胸高直径成長量と樹高成長量の変化

Changes in annual increment of diameter at breast height and tree height after pruning.

- : 対照区の胸高直径 Diameter increment of control stands
- : 枝打ち区の胸高直径 Diameter increment of pruned stands
- △ : 対照区の樹高 Height increment of control stands
- ▲ : 枝打ち区の樹高 Height increment of pruned stands

(2) 樹高成長

C 区の樹高成長量 (Fig.99) についてみると、P-2, 4, 7, 8 では測定開始 1 年目が最大で、この時期かそれ以前に樹高成長量の極大値があったと推察された。一方、P-1, 3, 5, 6 では、それぞれ 12, 10, 11, 12 年生に極大値を示した。樹高成長量が最大値や極大値を示した後は、徐々に成長が低下した。

P 区における枝打ち期間中の樹高成長量は、P-1, P-2 では枝打ち後 1 年目に大きく低下し、2 年目は増加することを繰り返した。同様の傾向は、P-3, 4 の 10, 12 年生の枝打ち後にもみられたが、他の林分では明瞭でなかった。ただ、枝打ち期間中の樹高成長量は、すべての林分で C 区より小さかった。枝打ち終了後の樹高成長量は、2 ~ 5 年後に C 区とほぼ等しくなり、その後は P-1 ~ 5 でみられるように C 区と同じかやや大きかった。

枝打ち終了後の成長は、前項で述べた胸高直径成長量、それに樹高成長量とも C 区と同じかそれ

より大きくなった。枝打ち後の林分葉量は、前項でみたように回復するが、枝打ち数年後では C 区の葉量に達しない。一方、枝打ち終了 2 ~ 5 年後の P 区の平均胸高直径や平均樹高は、C 区より 6 年間程度成長が遅れて小さい (Fig.77, Fig.78)。枝打ち終了 2 ~ 5 年後の P 区と同程度の大きさであった C 区の 6 年程度前の胸高直径、樹高成長は、枝打ち終了 2 ~ 5 年後にあたる林齢の C 区に比べ大きかった (Fig.99)。枝打ち終了数年後の P 区は、6 年前の C 区ほど葉量はないものの、個体が小さくて胸高直径、樹高成長が旺盛な時期にあたり、生育が進み成長が低下した C 区の成長と比較すると、同じかやや大きくなると考えられる。

C 区と P 区の樹高の差 (Fig.100) は、枝打ち期間中すべての林分で大きくなった。差が最大値を示す時期は、P-1, 2, 3, 5 では最終枝打ちから 3, 4 年後、地位の低い P-4 では 6 年後と遅かった (Table 22)。差が最大値を示した後は、P-1 ~ 5 とともに差が縮小した。P-6, 7, 8 は、最終枝打ちから 2 年後までの結果であり、樹高の

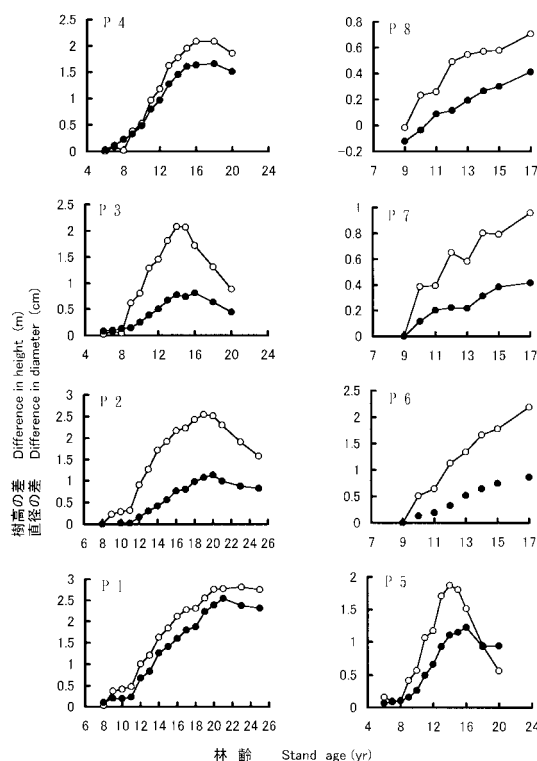


Fig.100. 対照区と枝打ち区における胸高直径と樹高の差の変化

Annual changes in the difference of diameter at breast height and tree height. Comparison between control and pruned stands.

○ : 胸高直径 DBH ● : 樹高 Tree height

差は大きくなるだけで17年生にはそれぞれ0.9, 0.4, 0.4 mであった。これら3林分での差の最大値は, P-1, 2, 3, 5と同様に枝打ち終了3~4年後であると考えられ, もう少し大きくなる可能性がある。

このように, 対照林分と枝打ち林分の樹高の差が最大値を示す時期は, 最終枝打ちから3~4年後で, 地位の低い林分では6年後と遅くなることが明らかになった。この時期は, 胸高直径の差が最大値を示す時期に比べ1, 2年遅かった。なお, スギ林分のP-1では, 差の最大値が2.5 mと大きかったが, 平均枝打ち高が6.5 mと高く, 後に「(4)1玉分の枝打ちと成長」の項で示すように樹種による違いといえない。

(3) 幹材積成長

林分幹材積は, 設定時と枝打ち期間中に調査した値をすでに示した (Table 23, Table 24)。枝打ち期間中には, Fig.88に示した近似式で1年前の幹材積を求め1年間の幹材積成長量 (Table 28) を求めた。スギ林分の幹材積成長量は, P-1 C 13

年生では28.4 m³/ha・yrで, 樹冠が閉鎖し林分葉量も24.7 t/haと多く (Table 24) 成長が旺盛な時期であった。P-1 Pの15年生は13年生に枝打ちされた2年後にあたり林分葉量は11.7 t/haで, 幹材積成長量は約12.8 m³/ha・yrであった。ヒノキ林分では, P-2の13年生ではC区とP区の葉量がそれぞれ11.7, 7.3 t/ha (Table 24) で, 幹材積成長量は17.1, 10.4 m³/ha・yrであった。P-2の17年生では, C区とP区の林分葉量がそれぞれ11.5, 7.7 t/haで, 幹材積成長量は16.2, 11.7 m³/ha・yrであった。このように, P-2の13年生と17年生では, C区とP区でそれぞれの林分葉量, 幹材積成長量ともほぼ似た値であった。P-3 Cの8年生, P-3 Pの10年生では, 林分葉量がそれぞれ6.1, 6.6 t/haとほぼ同じで, 幹材積成長量も10.9, 11.2 m³/ha・yrでほぼ等しかった。P-5 C, P-5 Pの10年生では, 林分葉量がそれぞれ6.6, 6.1 t/ha, 幹材積成長量が12.9, 9.9 m³/ha・yrで, とともにP区が小さかった。

今回の調査では, 各林分とも個体の胸高直径 (D) と樹高 (H) は毎木調査したが, 幹材積を測定

Table 28. 枝打ち期間中の幹材積成長量

Annual increment of stem volume during the pruning period.

プロット Stand	樹種 Species	林 齢 Stand age (yr)	幹材積成長量 Increment ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{yr}$)
P-1C	Sugi	13	28.4
P-1P	Sugi	15	12.8
P-2C	Hinoki	13	17.1
		17	16.2
P-2P	Hinoki	13	10.4
		17	11.7
P-3C	Hinoki	8	10.9
P-3P	Hinoki	10	11.2
P-5C	Hinoki	10	12.9
P-5P	Hinoki	10	9.9

したのは上記林分だけである。そこで、伐倒調査により幹材積を測定した林分 (Table 23, Table 24) で毎木調査による D^2H の合計を求め、 D^2H 合計と幹材積の関係を無枝打ち林分と枝打ち林分に区分して Fig.101 に示した。この図には、枝打ち期間中の調査による 1 年前の幹材積と 1 年前の

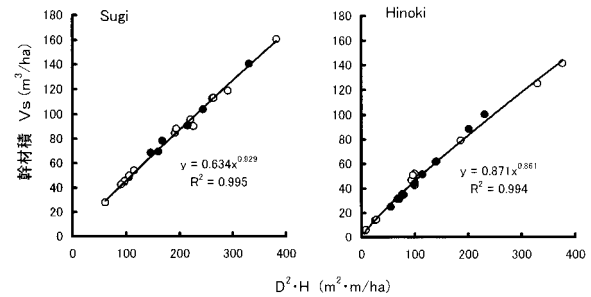


Fig. 101. スギ林分とヒノキ林分での D^2H 合計と幹材積の関係
Relationships between the stem volume and total D^2H in Sugi and Hinoki stands.

○ : 対照林分 Control stand
● : 枝打ち林分 Pruned stand

毎木調査での D^2H 合計との関係, および「4-2」のスギ林分で得られた結果も併せて示した。スギ, ヒノキ林分での D^2H と幹材積の関係は、枝打ちの有無による違いがなく、樹種ごとに相対成長式で近似できその適合もよかった。このため、各調査区の D^2H 合計を幹材積と同様に扱っても大き

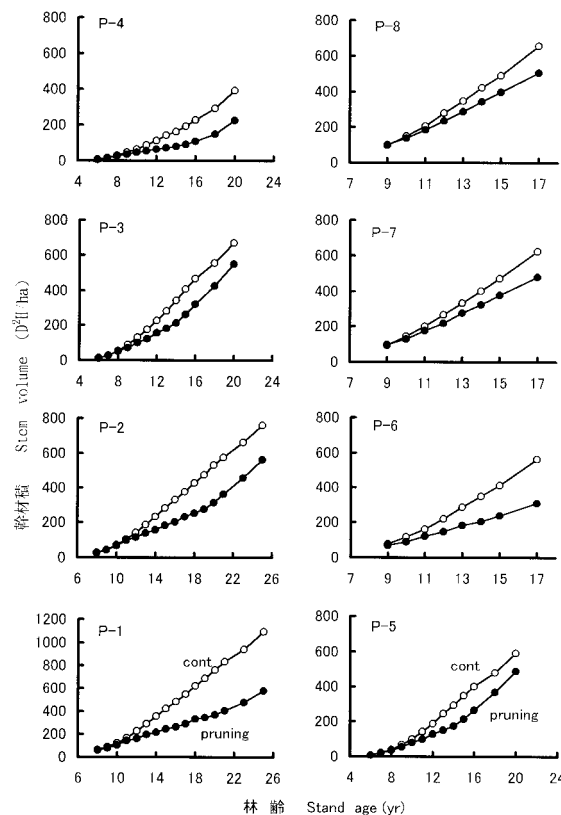


Fig. 102. 枝打ち区と対照区における幹材積の変化

Annual changes in stem volume in control and pruned stands.

幹材積は、胸高直径(D)、樹高(H)を用いた D^2H の合計とした。

The stem volume was defined as the total D^2H in each stand.

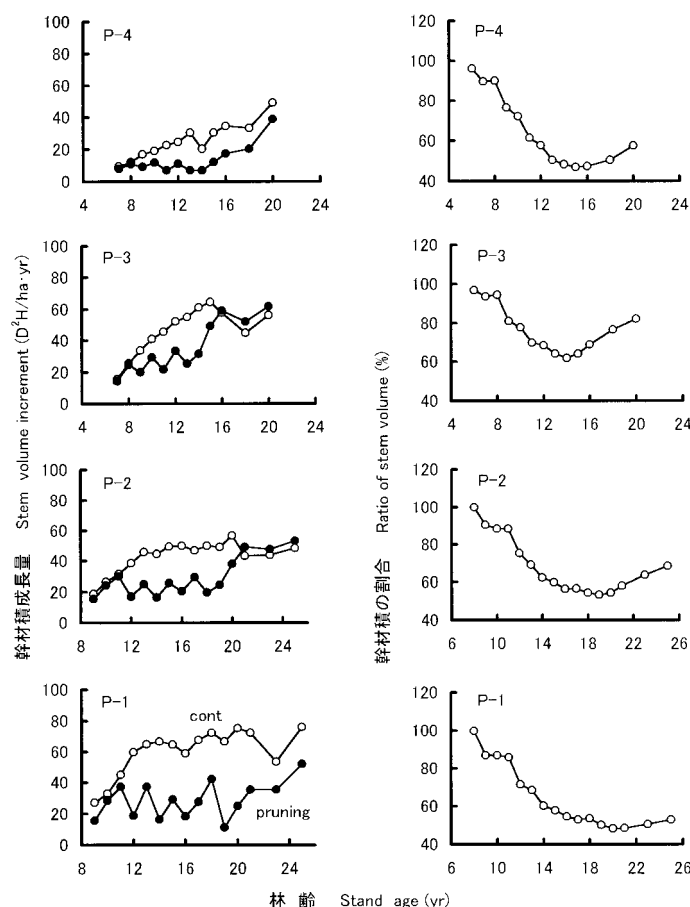


Fig. 103. P-1 ~ P-4 における枝打ち区と対照区の年幹材積成長量の変化および対照区の幹材積に対する枝打ち区の幹材積の割合の変化
Changes in stem volume annual increment and ratio of stem volume on the pruned stands against that on control stands (P-1-P-4) after pruning.

な誤差はないと考えられ、今後は D^2H の合計値を幹材積とみなす。また、C区の D^2H 合計に対するP区の D^2H 合計を幹材積の割合と呼ぶ。

枝打ち区と対照区における幹材積の変化をFig. 102に示した。P区の幹材積は、枝打ち期間中C区との差が大きくなった。C区における年幹材積成長量(Fig.103, Fig.104)は、地位の低いP-4や林齢が17年生までの若いP-6, 7, 8では調査期間を通し増加する傾向がみられたが、他の4林分では13~16年生まで増加し、それ以降は年による差が大きいもののほぼ一定になる傾向を示した。一方、P区の年幹材積成長量は、前述した年胸高直径成長量と同様に枝打ち後1年目に大きく低下し、2年目はやや増加することを繰り返した。そして、枝打ち期間中の年幹材積成長量は、すべての林分でC区より小さかった。最終枝打ち後の幹材積成長量は、一旦低下するが2年目以降はすべての林分で徐々に増加した。P-1, 4では枝

打ち終了7, 8年後でもC区の成長量に達しなかったが、P-2, 3, 5では4年目以降にC区と同じかやや大きくなった。

幹材積の割合の変化(Fig.103, Fig.104)からみると、すべての林分で枝打ち1年後に大きく低下した。枝打ち終了後の期間が長いP-1~5における最終枝打ち後の幹材積の割合は、P-1, 2, 3, 5では2年後まで、P-4では3年後まで低下して極小値を示した後高くなった。しかし、枝打ち終了後2年目までの測定であった高密度のP-6~8での幹材積の割合は、高くなることを確認できなかった。幹材積の割合の極小値(Table 30)は、P-1からP-5にかけてそれぞれ48, 54, 62, 47, 66%であった。P-6~8では、1~3回の枝打ちによる幹材積の割合の変化(Fig.104)からみて、P-4以外の林分と同様に最終枝打ち2年後が極小値と推察され、17年生での値を極小値とするとそれぞれ60, 75, 77%となる。以

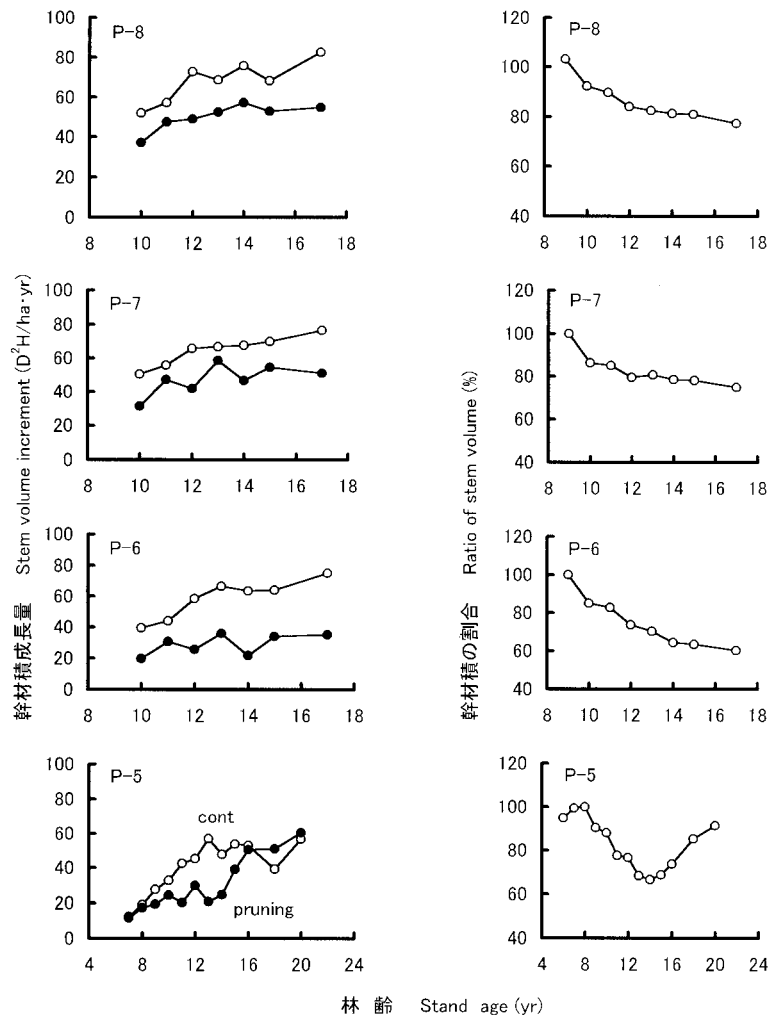


Fig. 104. P-5 ~ P-8 における枝打ち区と対照区の年幹材積成長量の変化および対照区の幹材積に対する枝打ち区の幹材積の割合の変化
Changes in stem volume annual increment and ratio of stem volume on the pruned stands against that on control stands (P-5-P-8) after pruning.

上の結果から、幹材積の割合は、枝打ち終了3年目以降に回復に向かうといえる。

幹材積の割合の極小値とそれを示した林齢、および最終調査時の幹材積の割合を Table 30 に示した。極小値やそれを示す林齢は、枝打ちを行うことで現存幹材積がどこまで低下するか、それが何時であるかが理解できる。ここで、地位指数が最も低い15.9であったP-4での成長について、枝打ちを始めた林齢や枝打ち回数が4回と同じであるP-3 (地位指数22.6)とP-5 (地位指数22.0)と比較する。枝打ち高は、P-4 Pが2.9 mでP-3 PやP-5 Pの5.1, 4.7 mに比べ2 m前後低かった。最終の枝打ちから8年後にあたる20年生での枝打ち区は、対照区に比べP-4では胸高直径、樹高でそれぞれ1.9 cm, 1.5 mの差がみられ、P-

3, P-5での胸高直径の差0.9, 0.6 cm, 樹高の差0.4, 0.9 mに比べ大きかった。そして、20年生での幹材積の割合はP-4が58%で、P-3, P-5のそれぞれ82, 91%に比較して小さかった。枝打ちによる除去葉量の合計は、P-4 Pが8 t/haで、P-3 P, P-5 Pの14, 12 t/haに比べて少なかった (Table 25) が、それでもP-4の成長低下が大きかった。密度は、P-4が他の2林分よりやや高く、「4-2」でみたように枝打ちによる成長低下はP-4で小さくなるはずである。それでも結果は逆で、地位の低いP-4は、成長低下が大きかった。地位の低い林分は、枝打ちによる成長低下が大きく、枝打ちを行う場合は注意が必要である。

(4) 1玉分の枝打ちと成長

現実の枝打ちは、無節材を採材する高さまで実行され、通常は利用材長を3 mとする1玉分か、6 mとする2玉分が多い。ここでは、1玉分で10.5cm角の心持ち無節柱材を生産する例での成長を検討する。1番玉1玉の採材では、根元曲がりの大きい部分0.5 m前後を切り捨てることを考え、地上高3.5 m前後までの枝打ちとする。

枝打ちを繰り返したスギ、ヒノキ全林分で平均樹高(x)と枝打ち直後の平均枝下直径が4 cmになる地上高(y)の関係をFig.105Aに示した。樹冠長は、「5-2(3)」で述べたようにスギ林分のP-1 Pで2.2 m前後とやや小さく、ヒノキ林分高密度のP-8 Pで2.5 m前後とやや大きかったことから、Fig.105Aの関係も密度や樹種で違ってくる可能性があるが、ここでは全ての枝打ち林分を一括して一次式で近似し図中に示した。この式より、枝下直径が4 cmで地上高が3.5 mになる平均樹高は6 m前後と推定され、最終枝打ち時の平均樹高は6 m以上になることを示している。

今回の調査結果から、枝打ち高が3.0 m以上の高さに達するまでの枝打ち回数、枝打ち高をTable 29に示した。ここでは、地位が低く枝打ち高が2.9 mと低かったP-4を除いて検討する。枝打ち高は、3.2 ~ 3.9 mと違いがみられたが、枝打ち適期の6年生から枝打ちを始めたP-3, 5では10年生の3回目に、枝打ちが遅かったP-1,

2, 6, 7, 8では11年生の2回目にその枝打ち高に達した。枝打ち高を平均3.5 mにする枝打ち回数は、枝打ち強度や地位の違いによる樹高成長により変わる。枝下直径6 cm以下を維持する枝打ちでは、後述するように幹直径4 cmまで打てば、その後の平均樹高成長量が1.0 m以下なら枝下直径成長量は2 cm以下で(Fig.110B)、次の枝打ちを行うことで満足できる。この場合の枝打ち回数は、少なくとも3回必要であることを示している。枝打ち高が3.5 mに達するまでの枝打ちによる除去葉量(Table 26)は、スギ林分のP-1で16 t/ha、ヒノキ林分では8.5 ~ 15 t/haで密度が高いほど多くなる。

10, 11年生に枝打ちした直後の葉量は、「(4)-2)枝打ち区の葉量変化」で述べたように、密度が約4,000本/haのスギ林分のP-1では5.5 t/haで、2年後には12 t/haに回復する。また、密度が2,300 ~ 2,700本/haのヒノキ林分では、枝打ち直後の葉量が2.2 ~ 3.6 t/haで、2年後には6.2 ~ 7.6 t/haに回復する。胸高直径成長量、樹高成長量(Fig.99)は、枝打ち2年後には対照林分の成長に近づいており、枝打ち高がより高かった今回の調査結果と同様に3年後には対照林分と同じ程度かそれよりも大きくなると推察される。このため、対照林分との差の最大値は最終枝打ちから2年後であると考えられた。また、幹材積の割合も最終枝打ちから2年後に極小値を示すと考え

Table 29. 1玉分の枝打ち高に達する林齢と枝打ち回数、およびその枝打ちから2年後の対照区と枝打ち区における胸高直径、樹高の差、および幹材積の割合
The stand age and the number of pruning operations reached to the height of pruning for first log, and growth difference between control and pruned stand after two years of pruning.

プロット Stand	枝打ち高 Height of pruning (m)	林齢 Age (yr)	枝打ち回数 Number of pruning (No.)	対照区と枝打ち区の差 Difference		幹材積の割合* Ratio of stem volume (%)
				胸高直径 DBH(cm)	樹高 Tree height(m)	
P-1P	3.8	11	2	1.2	0.8	68
P-2P	3.4	11	2	1.3	0.3	69
P-3P	3.9	10	3	1.5	0.5	68
P-4P	2.9	12	4	-	-	-
P-5P	3.4	10	3	1.2	0.7	69
P-6P	3.5	11	2	1.3	0.5	70
P-7P	3.7	11	2	0.6	0.2	81
P-8P	3.2	11	2	0.5	0.2	82

*：幹材積の割合は、対照区幹材積に対する枝打ち区幹材積の割合で示す。

Percentage of the value on pruning stand against on control stand.

られ(Fig.103, Fig.104), ここでは枝打ち2年後のこれらの値をTable 29に示した。この表から, 枝打ち高を3.5 m前後とする枝打ちでは, 対照林分に比較して胸高直径は最大0.5 ~ 1.5cm, 樹高では最大0.2 ~ 0.8m低下し, 幹材積の割合の極小値は68 ~ 82 %で, 密度の高い林分ほど差が小さくなることから分かる。枝打ち高が6.5 mと高かったスギ林分のP-1では, 成長の低下が大きかった(Table 30)。しかし, 1玉分の枝打ちでは, 枝打ち高がほぼ同じヒノキ林分と比較すると, 対照林分との成長差は樹高でやや大きい胸高直径や幹材積の割合では違いがみられず, スギ枝打ち林分の成長低下が大きくなるとはいえない。

1番玉で無節柱材生産が可能な枝打ち時期で枝打ちを行った, 密度が2,300本/haと等しいP-3, P-5では, 対照林分に比較しそれぞれ胸高直径で最大1.5, 1.2cm, 樹高で最大0.5, 0.7 m低下し, 幹材積の割合の極小値はそれぞれ68, 69 %とよく似た値を示した(Table 29)。また, 無節材生産の枝打ち時期としてはやや遅かったP-1, 2, 6での幹材積の割合は68 ~ 70 %で, 上記2林分と同じであった。最終枝打ち3年後以降の成長は, 対照林分と同等かそれ以上と予想されるので, これらの差は縮小する可能性が高い。一方, 枝下直径4 cmまで打つ枝打ち強度では, 2年後に枝下直径が6 cm以上となることが多く, 枝下直径を6 cm以下に維持するには, 後項の「6-2(1)枝打ち繰り返し方法」で示すように1, 2回目の枝打ちは幹直径3.0 ~ 3.5cmまで打つ強度で行うべきで, 強度の枝打ちになると成長低下が大きくなる。このように, 成長からみると, 成長差を小さくする面と大きくする面が考えられ, ここでは両者が相殺すると仮定して検討を進める。

枝打ちが終了した林齢は10, 11年生で, それより2年を経過した13年生以後の対照林分の胸高直径成長は0.4 ~ 0.8cm/yr, 樹高成長は0.5 m/yr前後であった(Fig.99)。枝打ち林分では, 最終枝打ちから3年以後に対照林分と同程度の成長を行うと予想される。このため, 密度が4,000本/ha以下の林分での枝打ちでは, 上記の最大の差, 胸高直径で1.2 ~ 1.5cm, 樹高で0.3 ~ 0.8 mの成長に2 ~ 3年間必要であるといえる。このことは, 対照林分と同じ大きさで収穫するには, 枝打ち林分

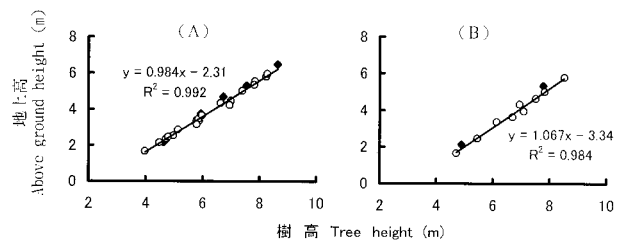


Fig. 105. 樹高と枝下直径4cmの地上高(A), および樹高と枝下直径5cmの地上高(B)の関係

Relationships between mean tree height and mean above-ground height which stem diameter was 4cm at the upper end of clear length (A), and between mean tree height and above-ground height which stem diameter was 5cm at the upper end of clear length (B).

：スギ林分 Sugi stand

○：ヒノキ林分 Hinoki stand

で2 ~ 3年遅くなることを示している。5,000本/ha以上の高密度林分では, 枝打ちによる成長低下が小さいため1 ~ 2年遅くなる程度であると推定される。

(5) 2玉分の枝打ちと成長

ここでは, 1番玉, 2番玉とも10.5cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ちとし, 枝打ち高は6.5 m前後までとする。2番玉での枝打ちは, 後項の「6-2(1)枝打ち繰り返し方法」で示すように枝下直径が7 cm以下を維持するよう, 枝下直径4.5 ~ 5.0cm程度まで打つ強度でよい。枝打ち繰り返し林分で平均枝下直径が 5.0 ± 0.1 cmであった時の地上高(y)と平均樹高(x)との関係(Fig.105B)は, 一次式で近似できた。この式より, 枝下直径が5 cmで地上高が6.5 mになる平均樹高は9.3 mと推定され, 最終枝打ち時の平均樹高は9.3 m以上必要であることが分かる。枝打ち高を6.5 mにする枝打ち回数は, 枝打ち強度や地位の違いによる樹高成長により変わる。1玉分にあたる3.5 mまで打つのに3回は必要であった。2番玉で枝下直径が4.5 ~ 5 cmとなるよう枝打ちすると, 枝打ち後2年間の平均樹高成長量が1.0, 1.5 mなら枝下直径成長量はそれぞれ2.0, 2.6cmで(Fig.110B), 枝下直径7 cm以下を維持するには, 枝打ち回数は3回必要であることを示している。2年ごとに枝打ちし, 2年間の枝下直径成長量を2 cm以下に維持しつつ枝打ち高を6.5 mにするには, 枝打ちを6回以上行うことが必要となろう。

Table 30. 枝打ち回数と枝打ち高, および最終調査時の対照区と枝打ち区における胸高直径, 樹高の差, および幹材積の割合
The number of pruning operations, height of final pruning, and growth difference between control and pruned stand.

プロット Stand	枝打ち回数 Number of pruning (No.)	最終枝打ち Final pruning		対照区と枝打ち区の差 Difference			幹材積の割合* Ratio of stem volume	
		林齢 Age (yr)	枝打ち高 Height of pruning(m)	林齢 Age (yr)	胸高直径 DBH (cm)	樹高 Tree height (m)	極小値** Minimum ratio(%)	最終時 At final (%)
P-1P	5	18	6.5	25	2.8	2.3	48(20)	53
P-2P	5	17	5.8	25	1.6	0.8	54(19)	69
P-3P	4	12	5.1	20	0.9	0.4	62(14)	82
P-4P	4	12	2.9	20	1.9	1.5	47(15)	58
P-5P	4	12	4.7	20	0.6	0.9	66(14)	91
P-6P	4	15	5.6	17	2.2	0.9	60**(17)	60
P-7P	4	15	6.0	17	1.0	0.4	75**(17)	75
P-8P	4	15	5.4	17	0.7	0.4	77**(17)	77

* : 幹材積の割合は, 対照区幹材積に対する枝打ち区幹材積の割合で示す。

Percentage of the value on pruned stand against on control stand.

() : 林齢 Stand age. ** : 最小値 Smallest ratio.

今回の試験での枝打ち高と林齢, 枝打ち繰り返し回数, それに最終調査時における対照区と枝打ち区の平均胸高直径, 平均樹高の差, 幹材積の割合の極小値と極小値を示した林齢, 最終調査時の幹材積の割合を Table 30 に示した。枝打ち高は, P-1 では6.5 mで2玉分の枝打ち高として満足できるが, その他の林分は, P-4を除いても4.7 ~ 5.8 mで2玉分に達していなかった。

枝打ちを4 ~ 5回繰り返し, 枝打ち高を平均4.7 ~ 6.5 mにしたところ, 枝打ち終了7 ~ 8年後には対照林分に比べ胸高直径で0.6 ~ 2.8 cm, 樹高で0.4 ~ 2.3 m低下し, 幹材積の割合は53 ~ 91 %になった。しかし, 枝打ち高はP-1を除きいずれも低く, 2玉分にするには, あと1 ~ 2回の枝打ちが必要である。そうすると, これらの差はより大きくなると考えられる。そこで, 枝打ち高が比較的高かったP-2, 6, 7では, あと1回の枝打ちが必要であり, 試験期間最後の枝打ちと, あと1回の枝打ちによる成長低下が同じであると仮定して成長を推定した。その結果, P-2の27年生, P-6, 7の19年生での対照林分との胸高直径の差はそれぞれ1.9, 2.6, 1.2 cm, 樹高の差は1.1, 1.1, 0.5 m, 幹材積の割合は65, 57, 71 %と推定された。

密度が4,000本/ha以下であったP-1, 2, 6では, 2玉分の枝打ちによる除去葉量がスギ林分のP-1では46 t/ha, ヒノキ林分のP-2, 6ではそれぞれ21, 30 t/haに達する (Table 26) が,

対照林分との成長差は, 胸高直径で1.9 ~ 2.8 cm, 樹高で1.1 ~ 2.3 m, 幹材積の割合は53 ~ 65 %であった。密度が4,700本/haと高いP-7では除去葉量が33 t/ha (Table 26) で, 胸高直径, 樹高の差はそれぞれ1.2 cm, 0.5 mと小さく, 幹材積の割合は71 %と高かった。これら成長の差は, 将来より縮小する可能性があることは既に述べた。また, 1番玉での1, 2回目の枝打ちは3.0 ~ 3.5 cmまで打つ強度で行うべきであること, 逆に2番玉での枝打ちは, 枝下直径5 cm程度まで行えばよいことを示した。強度の枝打ちでは成長が低下し, 弱度では成長の低下が小さいと予想されるが, ここでは成長差を小さくする要因と大きくする要因が相殺するものとする。

P-1, 2, 6における対照林分の20年生以後の胸高直径成長量, 樹高成長量 (Fig.99) は, それぞれ0.3 ~ 0.4 cm/yr, 0.4 m/yr 前後であった。このため, 密度が4,000本/ha以下で2玉分を枝打ちした成長の低下分である胸高直径で1.9 ~ 2.8 cm, 樹高で1.1 ~ 2.3 mは, 5 ~ 6年間の値である。また, 密度が4,700本/haであったP-7の対照林分では, 20年生以降の成長量を Fig.100 から推定すると, 胸高直径成長量, 樹高成長量がそれぞれ0.3 cm/yr, 0.3 m/yr 程度で, 2玉分を枝打ちした成長の低下分である胸高直径で1.2 cm, 樹高で0.5 mは, 3 ~ 4年間の成長分であるといえる。以上のように, 枝打ち林分を対照林分と同じ大きさに収穫しようとするれば, 対照林分に比べ

密度の低い林分では5～6年、密度の高い林分では3～4年遅くなるといえる。

5-5 形状比の変化

形状比(樹高:cm/胸高直径:cm)は、密度管理によって異なり高密度林分ほど高くなること(安藤ら,1968),台風や積雪などの気象害に対する林分の抵抗力の指標として知られている(石井ら,1982;松田,1988)。しかし、枝打ちにより形状比がどのように変化するかについては明らかになっていない。ここでは、枝打ちが形状比におよぼす影響について検討を行う。

(1)個体の形状比

林分を構成する各個体の大きさと形状比の変化を検討するため、調査時の林齢ごとに個体の形状比(Y)と胸高直径(D)との関係を次の逆数式で近似した。

$$1/Y = AD + B$$

ここで、AとBは各林分でのそれぞれの調査時における固有の係数である。各林分のC区とP区で逆数式をあてはめた資料の組数と、得られた相関比の範囲をTable 31に示した。相関比はP-2, 5のP区などで一部低かった他は、C, P区とも0.80以上を示し、上式で近似することに無理はないと考えられた。P-1, 3, 4のC区について上式で近似されるDとYの林齢にともなう変化をFig.106に示した。3林分とも胸高直径が大きな個体の形状比は、小さな個体のそれに比較して低かった。近似曲線は、林齢ごとに分離し、林齢が進み個体間の競争により胸高直径に差が生じるに

つれて、曲線の傾きが緩やかになりつつ平行に近い形で移動する傾向がみられた。このような傾向は、図示しなかった他のC区, P区も同様であった。

密度がほぼ同じで地位指数が22.6のP-3と地位指数が15.9と低いP-4の形状比に注目すると、P-3では6年生から10年生まで低下し、その後は次第に高くなったが、P-4では6年生から10年生まで急激に低下し、その後20年生まで徐々に低下する傾向を示した。図示しなかったP-4以外のC, P区は、いずれもP-1やP-3のC区と同様の傾向を示し、P-4のP区はP-4のC区と同様の傾向を示した。

(2)平均形状比

C区の平均形状比についてみると、P-1, 2, 3, 5, 6では林齢が高くなるにつれて低下し、それぞれ10, 14, 9, 9, 11年生で極小値74, 69, 75, 76, 75を示し、その後高くなった(Fig.107, Fig.108)。しかし、P-4では20年生の72まで低下し続けていた。P-7, 8では調査開始時の75, 87以降高くなり続けており、調査前に極小値を示したと推察される。このように、平均形状比は、生育とともに一旦低下して極小値を示し、その後順次高くなると考えられる。

C区の平均樹高と形状比の関係についてみると、平均形状比はP-1～5では平均樹高が4～5m以下の段階で低下が大きかった。特に、P-3, 4, 5の平均樹高が4.5m以下では、1年間の樹高成長が0.5～0.7mであったが、形状比は1年間に10以上低くなるなど低下が急激であった。樹高が低い樹冠閉鎖以前の幹形は、ほぼ相似形で

Table 31. 逆数式をあてはめた資料の組数と相関比の範囲

The combined data numbers of reciprocal expression and correlation ratio.

プロット Stand	対 照 区 組 数 Combined numbers	Control stand 相関比の範囲 Range of correlation ratio	枝打ち区 組数 Combined numbers	Pruning stand 相関比の範囲 Range of correlation ratio
P-1	16	0.72～0.93	16	0.62～0.90
P-2	16	0.64～0.94	16	0.57～0.91
P-3	13	0.85～0.90	13	0.68～0.92
P-4	13	0.86～0.96	13	0.73～0.95
P-5	13	0.90～0.97	13	0.36～0.89
P-6	8	0.83～0.94	8	0.64～0.91
P-7	8	0.92～0.98	8	0.78～0.90
P-8	8	0.87～0.97	8	0.90～0.95

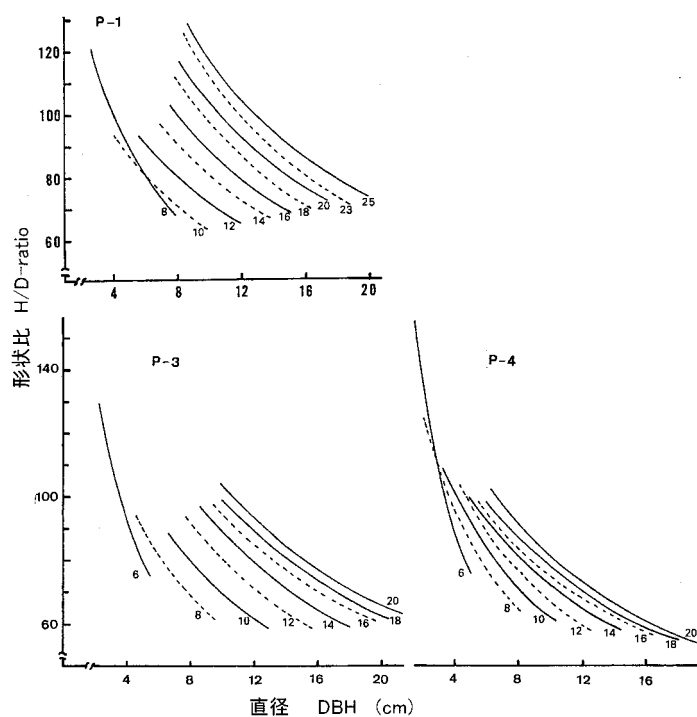


Fig. 106. P-1, P-3, P-4 の対照区における胸高直径 (DBH) と形状比の関係の変化
Relationships between diameter at breast height (DBH) and H/D-ratio in control stands (P-1, P-3 and P-4).
図中の数字は林齢を示す。Numerals in the figure show stand age.

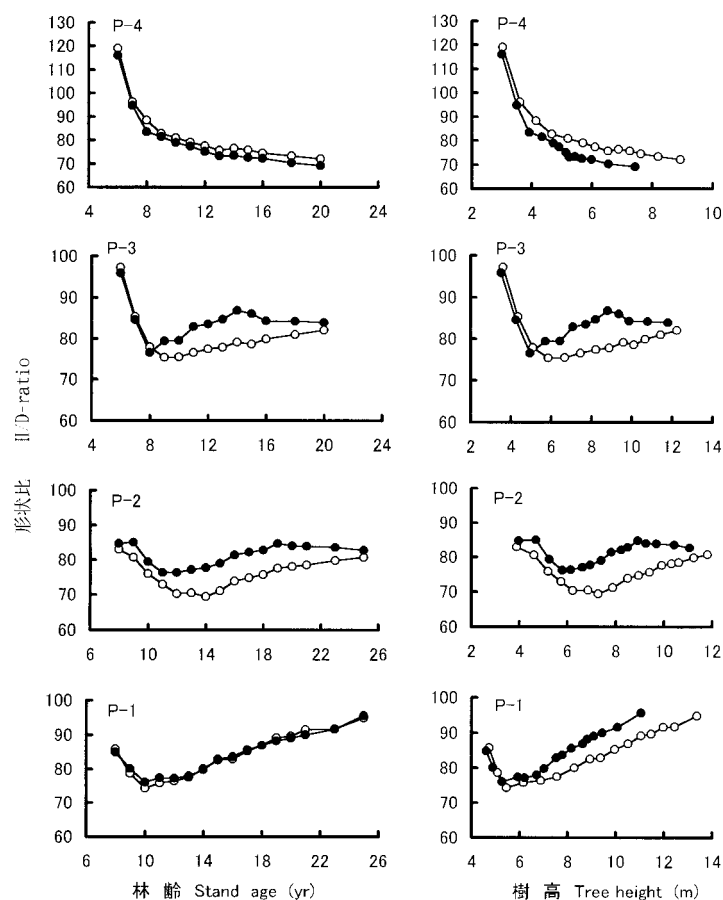


Fig. 107. P-1 ~ P-4 の枝打ち区と対照区における林齢と形状比, および平均樹高と形状比の関係の変化
Relationships between H/D ratio and stand age, and between H/D ratio and mean tree height (P-1-P-4).
○: 対照区 Control stand ●: 枝打ち区 Pruned stand

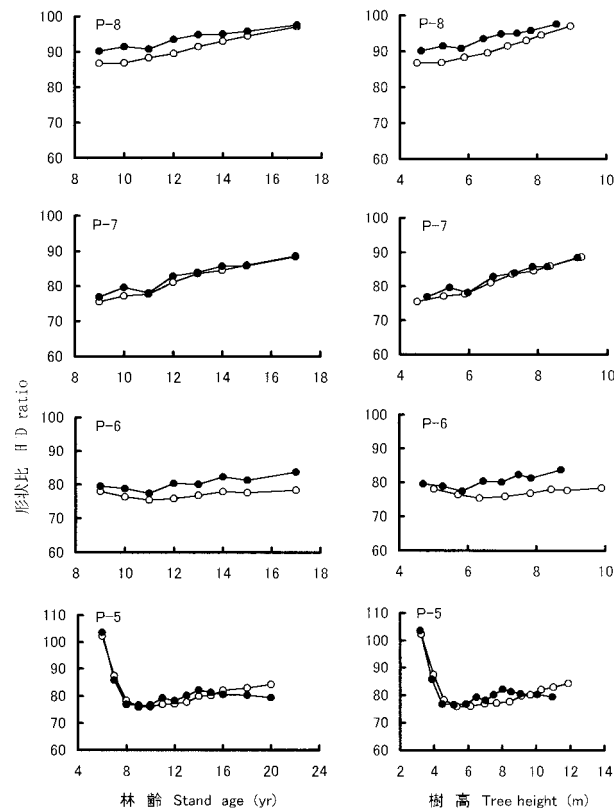


Fig. 108. P-5 ~ P-8の枝打ち区と対照区における林齢と形状比, および平均樹高と形状比の関係の変化
Relationships between H/D ratio and stand age, and between H/D ratio and mean tree height (P-5-P-8).
○: 対照区 Control stand ●: 枝打ち区 Pruned stand

あると考えられるが, 樹冠閉鎖前の時期に形状比が大きく変化した。これは, 樹高に対する胸高の相対的な位置が, 樹高成長によって急激に変わることに対応しているといえ, この時期の変化は, 幹形の変化を表しているとはいえないであろう。なお, 形状比が極小値を示した平均樹高は, P-1, 2でそれぞれ5.5, 7.3 m, P-3, 5, 6でそれぞれ5.9, 5.3, 6.3 mで, これ以降の形状比が幹形を表しているといえよう。P-7やP-8の密度が高い林分では, 平均樹高が10 m足らずで形状比が90以上になっており, その他のヒノキ林分の80前後以下と比べ高く, 林分密度の違いによる影響が大きいといえる。

一方, P区の平均形状比は, 林齢との関係でみると全期間を通じてC区より低いP-4, 枝打ち期間中はC区に比較してやや高いか等しく, 枝打ち終了後はほぼ同じになるP-1, P-7, 終了後は低くなるP-5, 全期間を通じてC区より高いP-2, 3, 6, 8に分かれた。ここで, 形状比が極小値を示した以降から最終枝打ち2年後までの間で形状比の最大値をみると, P-1では20年

生で89, P-2では19年生で85, P-3, 5では14年生で87, 82, P-6, 7, 8では17年生でそれぞれ84, 88, 98であった。密度が約5,000本/ha以下の林分では, 形状比の値は90以下であった。

P区の平均形状比を平均樹高との関係でみると, C区が生育とともに形状比が一旦低下して極小値を示し, その後高くなったP-1, 2, 3, 5, 6では, P区も同様であった。また, C区の平均形状比が平均樹高4.5 m以下で急激に低下したP-3, 4, 5では, P区も同様に急激に低下した。ただ, P区の極小値を示す平均樹高は, C区と比較しP-1やP-5のようにほぼ同じか, P-2, 3, 6のように0.9 ~ 1.5 m小さくて早い時期であった。また, P区における形状比の極小値は, C区とほぼ同じか1 ~ 5高かったが, 有意な差であるといえなかった。

P-4での枝打ち期間中のP区の平均形状比は, 調査期間全体を通じてC区より高くなることはなかった。これは, 設定時の形状比がC区よりやや低かったことや, 地位が低くて枝打ち高が低かったことで, 枝打ちによる影響が小さかったためと

考えられた。P-4を除く7林分のP区では、枝打ち期間中はC区に比較して高くなる傾向がみられ、枝打ちにより形状比は高くなるといえる。C区とP区で形状比の差が最大になる平均樹高とその値は、P-1は9.1mで7、P-2は9.0mで10、P-3は8.8mで9、P-5は8.0mで5、P-6は8.7mで5、P-7は5.5mで2、P-8は6.5mで4であった。差が最大になったのは、最終枝打ち2年後にあたるのがP-1、3、5で、P-2は3年後であった。形状比の差が最大になった以降は、P-1にみられるようにその差に変化がないもの、P-2、3のようにC区の値に近くなるもの、P-5のようにC区より低くなるものがみられたが、長期的にはC区に近くなると予想される。

今回のように心持ち無節柱材生産が可能な枝打ちによる形状比の変化は、枝打ちを繰り返すたびに高くなる傾向があるが、形状比の極小値は対照林分に比べて有意な差がなく、極小値を示す平均樹高は対照林分と同じか低い時期であった。最終枝打ち2～3年後には、対照林分との差が5～10で最大になり、その後枝打ち林分の成長が回復するとともに対照林分の値に近くなるといえる。枝打ち林分では、樹冠が上方にあることと形状比がやや高くなることで気象害に対する心配もあるが、枝打ちによる形状比の上昇は密度の違い

による変化の範囲であり、気象害に対する抵抗性が大幅に低下することはないと考えられる。

5-6 枝下直径成長の変化

(1) 枝下直径成長

枝打ち時における各個体の胸高直径と枝打ちで枝下直径を4 cmとした後2年間の枝下直径成長の関係は、一次式で近似でき枝打ち時の林齢ごとにFig.109に示した。なお、P-1の8、15年生やP-2の8年生では、次の枝打ちが3年後であったが、枝下直径成長はすべて2年間について図示した。枝下直径成長は、林齢が高くなるに従い林内の優勢木、劣勢木を問わず小さくなった。林内の大きい個体と小さい個体での枝下直径成長の差は、1、2回目の枝打ちでは1.0～1.5cm/2yr前後と大きかったが、3回目以降の枝打ちでは0.5～1.0cm/2yr前後に縮小した。

先に、枝打ち繰り返しの枝下直径は、1番玉では6 cm以下で行うべきであることを示した。幹直径4 cmまでの枝打ちを行い2年後の枝下直径を6 cm以下にするには、枝下直径成長が2 cm/2yr以下でなければならない。1番玉に相当する地上高3.5 m程度までの枝打ち回数は、P-4を除くと、P-3、5が3回目まで、その他の林分では2回目までであった(Table 29)。これら枝

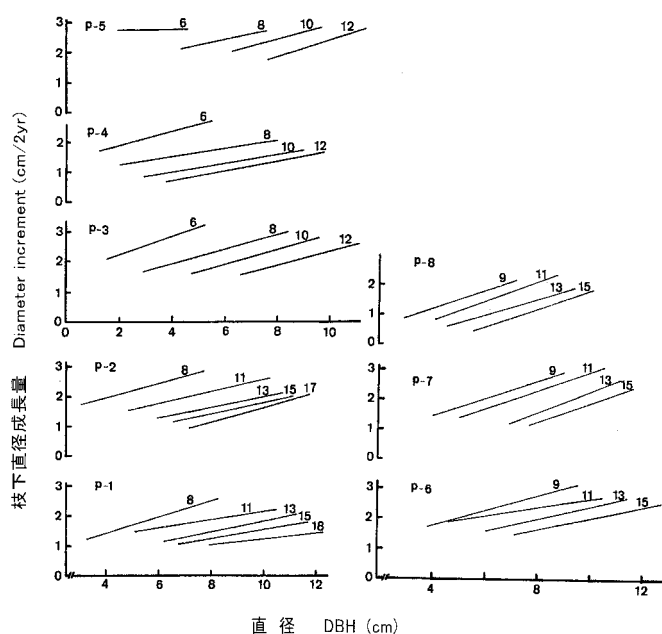


Fig. 109. 枝打ち時胸高直径と枝打ち後2年間の枝下直径成長量の関係の変化

Relationships between stem diameter increment at the upper end of clear length for two growing seasons after the pruning and diameter at breast height (DBH).

図中の数字は林齢を示す。 Numerals in the figure show stand age.

打ちでの枝打ち後2年間の枝下直径成長は、P-1の2回目にあたる11年生の枝打ちで大部分の個体が2 cm以下であったが、その他は大部分の個体が2 cm以上であった。枝下直径を4 cmにする枝打ち強度では、2年後に枝下直径が6 cm以上の個体が多くなり、2年ごとに枝打ちを繰り返すには弱すぎたといえる。2年ごとに枝打ちを行う場合の1番玉の範囲では、枝下直径を劣勢木では4 cm程度とし、優勢木になるほど強度の枝打ちとすべきことを示していた。

2番玉にあたる地上高3.5 m以上の枝打ちでは、P-4を除けばP-3、5が4回目以降、その他は3回目以降であった。これらの枝打ちでは、枝打ち後2年間の枝下直径成長が2 cm以上の個体は多いが、3 cm以上の個体はほとんどみられなかった。逆に、劣勢木の成長は2 cm/2yr以下の小さいものがみられた。先に、2番玉での枝下直径は、7 cm以下で枝打ちを繰り返せばよいことを示した。この値と比較すると、4 cmまで枝打ちすれば優勢木を含めた大部分の個体では、2年後の枝下直径が7 cm以上にならず満足できるが、劣勢木では6 cmに達しないなど枝打ちが強すぎたといえる。

(2) 樹高成長と枝下直径成長

枝打ち時における平均樹高と枝打ち後2年間の平均枝下直径成長の関係をFig.110Aに示した。平均枝下直径成長は、バラツキは大きいものの平均樹高が大きくなると低下する傾向を示し、個体

が大きくなるにつれて単位葉量あたりが担う非同化部の割合が高くなり、胸高直径、樹高成長ともに低下する(Fig.99)ことを反映している。これは、枝下直径を同じ大きさに揃える枝打ちでは、林齢が進み樹高が高くなるにつれて枝打ち後の枝下直径成長が小さくなることを示している。

枝打ち後2年間の平均樹高成長と平均枝下直径成長の関係をFig.110Bに示した。枝下直径成長(y : cm/2yr)は、枝打ち後の樹高成長(x : m/2yr)と関係がみられ、一次式で近似し図中に示した。枝打ち後2年間の平均枝下直径成長が2.0, 2.5, 3.0 cmになる2年間の樹高成長は、それぞれ1.0, 1.4, 1.8 mである。このことは、枝下直径成長を2.0, 2.5 cm以下とするには、樹高成長がそれぞれ1.0, 1.4 m以下であることを示している。例えば、地上高3.5 mまで枝打ちを行うこととして、枝下直径が6 cmになると4 cmまで打つ枝打ちでは、枝下直径成長が2 cmでの1回の打ち上げ高は最大でも1 mである。このため、3回の枝打ちによる打上げ高は最大で3 mとなり、今回の枝打ち林分のように1回目の枝打ち前の枝下高が0.5 m前後である場合は、辛うじて目的の地上高に達する。

次に、枝打ち後3年間の枝下直径成長を検討する。ただ、この点に関しての資料は少なく、P-1とP-2の8年生から11年生にかけての値、それにP-1～P-5の最終枝打ちから3年後の値を用い、枝打ち時における平均樹高と枝打ち後3年間の平均枝下直径成長の関係をFig.111Aに示した。

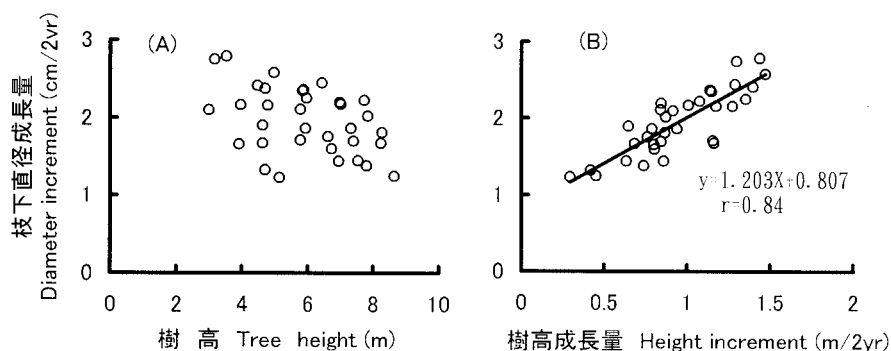


Fig. 110. 枝打ち時の平均樹高と枝打ち後2年間の平均枝下直径成長量の関係(A), および枝打ち後2年間の平均樹高成長量と平均枝下直径成長量の関係(B)

Relationships between mean stem diameter increment at the upper end of clear length for two growing seasons after the pruning and mean tree height (A), and between mean stem diameter increment at the upper end of clear length for two growing seasons after the pruning and mean tree height increment (B).

この関係は、全体を通してみるとバラツキが大きく明らかな関連は認められないが、地位の低い P-4 の平均樹高 5.1 m、枝下直径成長 1.8 cm の点を除けば、枝打ち後 2 年間の関係 (Fig.110A) と同様に平均樹高が高くなると枝下直径成長が低下する傾向が伺われる。一方、枝打ち後 3 年間の平均樹高成長と平均枝下直径成長 (y : cm/3yr) の関係 (Fig.111B) は、一次式で近似できる密接な関係がみられ図中に示した。枝打ち後 3 年間の平均枝下直径成長が 2.0, 2.5, 3.0 cm になる 3 年間の樹高成長は、それぞれ 0.7, 1.2, 1.6 m 前後である。幹直径 4 cm まで打つ強度の枝打ちを 3 年ごとに行い、枝下直径を 4 cm から 7 cm の間で維持する場合は、3 年間の樹高成長が 1.6 m 以下でなければならないことを示している。

枝下直径成長は、調査林分を一括してみると枝打ち時樹高とは明らかな関係が認められなかった (Fig.110A, Fig.111A)。しかし、枝打ち後の樹高成長と枝下直径成長との間には、関係がみられた (Fig.110B, Fig.111B)。そこで、調査資料が多い枝打ち時平均樹高と枝打ち後 2 年間の平均枝下直径成長の関係について、各林分を地位指数 2 m ごとに区分して示したのが Fig.112 である。両者には密接な関係がみられ近似式を図中に示した。枝打ち後 2 年間の枝下直径成長は、枝打ち時の平均樹高が高くなるにつれて低下すること、地位指数の高い林分ほど大きいことが認められた。

以上のように、枝打ち強度を幹直径 4 cm までと一定にした枝打ち後の枝下直径成長は、枝打ち時樹高が低いほど、地位指数が高いほど、林内の優勢木

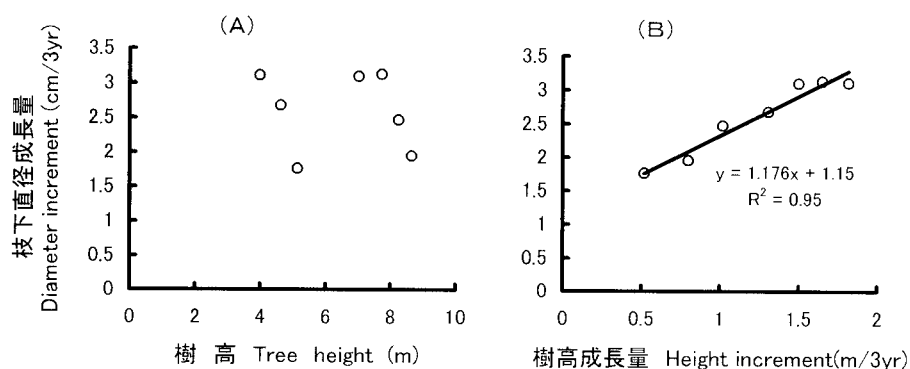


Fig.111. 枝打ち時の平均樹高と枝打ち後 3 年間の平均枝下直径成長量の関係 (A), および枝打ち後 3 年間の平均樹高成長と平均枝下直径成長量の関係 (B)

Relationships between mean stem diameter increment at the upper end of clear length for three growing seasons after the pruning and mean tree height (A), and between mean stem diameter increment at the upper end of clear length for three growing seasons after the pruning and mean tree height increment (B).

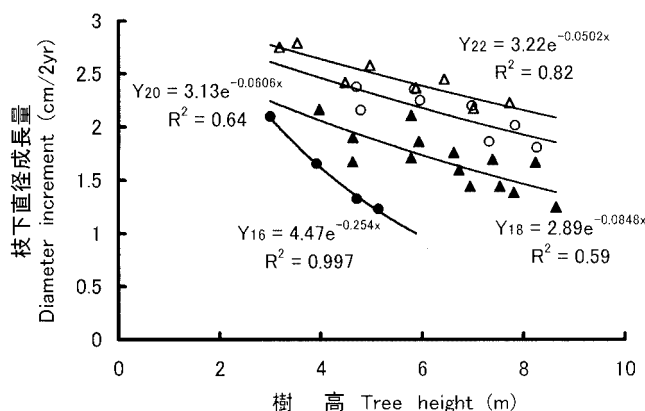


Fig.112. 地位の違いによる枝打ち時の平均樹高と枝打ち後 2 年間の平均枝下直径成長の関係

Relationships between mean stem diameter increment at the upper end of clear length for two growing seasons after the pruning and mean tree height on the change of the sites of Site index.

地位指数 Site index ● : 16 ▲ : 18 ○ : 20 △ : 22

ほど大きくなる。無節柱材生産は、枝打ちにより利用材長あたりのすべての残枝をある直径以下に納めることで、個体ごとの成長に応じた残枝長の管理である。枝打ちを繰り返すにあたっては、対象林分ごとに平均樹高や地位指数を、林分内では個体の相対的な大きさである優勢木か劣勢木かを考慮し、枝打ち強度を決定すべきであることが明らかになった。枝打ちの繰り返し方法については、「6-2 枝打ち管理と成長」で検討を行う。

以上のように、心持ち無節柱材が生産可能な枝打ちをスギ林とヒノキ林で実行し、枝打ち林分での樹冠構造や林分現存量、成長などの動態が明らかになった。これらの成果を用いることで、心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち林分の成長予測が可能となった。枝打ち林分の形状比は、無枝打ち林に比較してやや高くなるが、気象害に対する抵抗性が大幅に低下しないことが示唆された。また、枝打ち強度や繰り返し間隔など枝打ち方法を確立する基礎資料として、枝下直径成長の変化が明らかになった。

6 無節材生産のための枝打ち管理

本研究の「1」～「5」では、無節材生産目的の枝打ち時期(枝打ち時における枝着生部の幹直径)や枝打ち林分の成長変化を中心に以下の点を明らかにした。

1. 枝打ち時期と無節材の生産開始直径の関係、それに枝打ち時期と巻き込み後の年輪に乱れのない平滑材生産開始直径の関係を求めた。これらの関係を用いることで、すべての残枝をある幹直径に納める枝打ち時期や、ある幹直径以上が平滑材となる枝打ち時期の推定を可能とした。

2. 枝打ちに伴う材部の変色発生原因と変色の大きさを明らかにし、変色対策として枝打ち時期が最も重要であることを再確認した。

3. 壮齢期の枝打ちは、若齢期の枝打ちに比べ変色が大きく、その上腐朽の危険があるため、林業的に意味のある枝打ちは若齢期に限ることを示した。

4. 無節材生産のための枝打ち時期や枝打ち強度には、枝打ち施業による残枝長の大きさと幹の曲がりや心持ち柱材での髓のずれの影響が大きく、無節材生産には幹曲がりの小さい品種を選定すべきであ

ることを示した。

5. 枝打ち効果を発揮するには、短伐期林、長伐期林ともに無節の柱材が生産可能な、枝下直径を6.0cm以下に維持する枝打ちとすべきであることを示した。

6. 枝打ちによる葉量除去率(枝打ち強度)と直径成長量や材積成長量の減少との関係や、枝打ち後の成長におよぼす地位や林分密度の違いの影響を明らかにした。

7. 本研究で示した心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち時期で枝打ちを繰り返し、枝打ちによる樹冠構造や林分現存量、成長など無節材生産過程を解明した。

8. 枝打ち繰り返し林分の枝下直径成長変化を明らかにした。

これらの成果は、枝打ち施業に適用することが重要である。本章では、無節材や優良材生産にとって節の水平分布を決定する枝打ち時期が重要であることを再確認し、枝打ち間隔を左右する枝下直径成長を加味した枝打ち管理例を、成長予測も含めて提示することを試みた。

6-1 基本的な枝打ち時期

心持ち無節柱材や無節性の高い大径材を生産目標とするとき、枝打ち時期が早いほどその効果を発揮するが、早過ぎて強度に行えば成長の低下が大きくなる。逆に、枝打ち時期が遅くなればなるほど、無節材生産としての効果がなくなる。このため、適期に枝打ちを行うことが重要となる。

通常の枝打ち作業によるスギ、ヒノキの10.5cm角、あるいは12.0cm角の心持ち柱材生産での枝打ち時期(枝着生最下部の皮付き幹直径)を、柱材表面に節が現れない無節材生産と、無節はもちろん巻き込み後の年輪が平滑になる平滑材生産に区分してTable 32に示した。節の分布範囲は、幹曲がりにより大きな影響を受けるため、利用材長に曲がりのない通直な場合と、曲がりが2 cm、3 cmの場合に3区分して示した。例えば、利用材長3 mで幹に曲がりのない通直な個体では、枝打ち時期を8.0cm以下とすることで4方無節の10.5cm角心持ち柱材が生産可能である。また、利用材長あたり幹曲がりが2 cmの個体では、枝打ち時期が6.6cm以下で

Table 32. 心持ち無節柱材生産での幹曲がりと枝打ち時期

The stem-crookedness and the stem diameter at the lowest retained branch for the pruning operation for the production of boxed heart with knot-free timber.

柱材の大きさ Pillar size (cm)	通直な場合 Non-crooked stem		幹曲がり 2 cm の場合 Crookedness is 2 cm		幹曲がり 3 cm の場合 Crookedness is 3 cm	
	無節材	平滑材	無節材	平滑材	無節材	平滑材
	Knot-free	Annual ring recovering	Knot-free	Annual ring recovering	Knot-free	Annual ring recovering
10.5	8.0 (cm)	6.6 (cm)	6.6 (cm)	5.5 (cm)	5.8 (cm)	— (cm)
12.0	9.1	7.4	7.6	6.3	6.9	5.8

幹曲がりは、材長 3 m あたりの曲がりを示す。

The stem-crookedness shown per 3-m-long section of a stem.

4 方無節の 10.5cm 角心持ち柱材が、枝打ち時期が 5.5cm 以下で平滑な柱材が生産できる。

このように、幹の曲がりは、無節材生産を難しくしている大きな要因で、枝打ち林分の曲がりの程度により枝打ち時期を考慮することが重要である。幹曲がりは、根元曲がりを除いたとしても大きい個体が多く、普通の林分の 1 番玉では 3 cm 程度を、2 番玉では 2 cm 程度を見込むことが必要であった（「2-5」）。そのため、「5 枝打ち繰り返しと林分成長」では、10.5cm 角の心持ち無節柱材生産での枝打ち時期を 6.0cm 以下に維持することにして成長などにおよぼす検討を行った。

枝打ち時期が遅い場合について、無節材や平滑材生産を検討してみる。例えば、大径の優良材生産で、利用材長あたりの幹曲がりが 2 cm ある個体の枝打ち時期が 15cm 以下であったとすると、幹直径 21.5cm 以後に無節材が、幹直径 25.4cm 以後に平滑材が生産開始される（「2-4(2)」）。枝打ちから無節材や平滑材生産開始までの直径成長は、それぞれ 6.5, 10.4cm を要し、生産開始までに長年月が必要となる。無節材や平滑材が生産され始めたばかりでは枝打ち効果がなく、効果を発揮するには無節材や平滑材の幅(厚み)が必要となる。この例では、無節材や平滑材の幅 10cm を生産するのに、幹直径がそれぞれ 41.5, 45.4cm になることが必要である。幹直径が 41.5cm や 45.4cm は、利用丸太の末口直径になるので、この大きさに成立する密度は 400 本/ha 前後である。このため、これより小さい時期に間伐されるものは、無節材部や平滑材部の幅が 10cm 未満となる。また、幹直径 21.5cm より内部には節と変色があり、割物として材を利用すれば節とともに枝打ちによる変色で材質を低下する恐れさえある。林

業現場の一部には、個体が大きくなって枝打ちすると、枝打ちから早い時期に無節材が収穫できるという大きな誤解があり注意すべきである。

また、枝打ちのマイナス面として、幹を傷つけることで変色が発生した。変色を発生させないためには、幹に傷を付けないことであった。ヒノキにおける枝の付け根の形態を、枝径 1 cm 前後を例として材部の傷を付けない切断位置とともに Photo.2 b, c に示した。b は成長が旺盛な枝、c は成長が衰え始めた枝にみられるものである。枝隆を傷つけない切断位置では、残枝長が大きくなって無節材生産が困難になる。また、枝の生育状況により枝隆部の形が異なり、切断位置を判別することが難しいうえ、個々の枝で切断位置を判断しながら枝打ちすることは容易でない。変色は、枝打ち時に傷つけた時点より古い材部に発生し、枝打ち以降に生産される材部には発生しない。適期の枝打ちで製品が無節材なら変色も現れず、十分な枝打ち効果が得られる。このように、枝打ち時期は、節と変色の分布範囲を決定する最も重要なものである。枝打ち時期が遅いと、節と変色が広い範囲に生じ材質を低下させる可能性が高く、遅い枝打ちは避けるべきである。

無節材として市場価値が高いのは、小径材では 10.5cm 角や 12.0cm 角の心持ち無節柱材であるし、大径材では無節材部の厚みが大きい材である。このため、枝打ち効果を十分発揮する基本的な枝打ち時期は、長伐期、短伐期林を問わず 10.5cm 角の心持ち無節柱材が生産できることで、節と変色を幹中心部の狭い範囲に納めることが基本となる。柱材生産が目的の短伐期林では、心持ち柱材に利用できる大きさに達した個体から間伐して収穫し、その後柱材適寸の個体が多くなった時点で

皆伐すればよい。長伐期林では、間伐で10.5, 12.0cm角の心持ち無節柱材を収穫し、その後は大径優良材生産に移行すればよい。枝打ちは、大きな投資であり正しく理解して確実に実行しなければ、十分な効果が期待できない。実施方法を誤ると、無節材が生産できないだけでなく、材内部に変色や腐朽が発生して材質の低下を招き、取り返しがつかなくなるので注意が必要である。

6-2 枝打ち管理と成長

(1) 枝打ち繰り返し方法

10.5cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち時期は、該当林分の幹曲がりの程度に左右され、普通の林分での1番玉、2番玉では枝下直径をそれぞれ6.0cm以下、7.0cm以下に維持することが必要であることを示した。幹直径4.0cmまで打つ枝打ち強度での2年後の枝下直径成長(Fig.112)は、平均樹高の小さい林分ほど、地位の高い林分ほど大きいことを示した。図中の式より枝打ち時の平均樹高と枝打ち後2年間の平均枝下直径成長を求め、地位指数ごとにTable 33に示した。例えば、地位指数20の林分で平均樹高2.5mと6.0mで枝打ちすると、枝打ち後の平均枝下直径成長はそれぞれ2.7, 2.2cm/2yrとなって、樹高2.5mでの枝打ちによる成長が0.5cm/2yr大きくなる。地位指数16と20の林分での枝下直径成長は、平均樹高3.0mで枝打ちを行った場合にそれぞれ2.1, 2.6cm/2yrで、地位指数20の林分が0.5cm/2yr大きくなる。

一方、個体の枝打ち後2年間の枝下直径成長は、劣勢木では小さく優勢木は大きかった(Fig.109)。枝下直径を4.0cmとする枝打ち強度での劣勢木の枝下直径成長は、1番玉にあたる地上高3.5mまでが1.5~2.0cmで、次の枝打ち直前の枝下直径が6.0cm以下であるため満足できる。しかし、その他の多くの個体では、2年間の枝下直径成長が2.0cm以上、優勢木では3.0cm近くの成長をするので、次回枝打ち直前の枝下径は6.0cm以上となり、枝打ち時期が遅れることになる。

以上のように、枝打ち後の枝下直径成長は、林齢が若いほど、地位が高いほど、林内の優勢木ほど大きくなる。このため、2年ごとに枝打ちを行い、1番玉で10.5cm角の心持ち無節柱材が生産

Table 33. 地位指数の異なる林分における枝打ち時樹高と枝打ち後2年間の平均枝下直径成長
Relationships between mean stem diameter increment at the upper end of clear length and mean tree height at the time of pruning.

枝打ち時 平均樹高 Tree height at the time of pruning (m)	地位指数 Site index	平均枝下直径成長 (cm/2yr) Stem diameter increment			
		16	18	20	22
2.5	—	2.3	2.7	2.9	
3.0	2.1	2.2	2.6	2.8	
3.5	1.8	2.2	2.5	2.8	
4.0	1.6	2.1	2.5	2.7	
4.5	1.4	2.0	2.4	2.6	
5.0	1.3	1.9	2.3	2.6	
5.5	1.1	1.8	2.2	2.5	
6.0	—	1.7	2.2	2.4	
6.5	—	1.7	2.1	2.4	
7.0	—	1.6	2.1	2.3	
7.5	—	1.5	2.0	2.3	
8.0	—	1.5	1.9	2.2	

幹直径4cmまで枝打ちした場合。

The case of pruned up to stem diameter of 4 cm.

可能な1回目の枝打ちは、枝下直径成長に余裕を持たせる強度とし、林内の劣勢木以外の多くの個体では、地位や平均樹高を考慮し枝下直径を3.0~3.5cmとすべきである。この場合は、地位の高い林分での優勢木では3.0cmまで、平均的な個体はそれよりやや弱く、劣勢木や地位の低い林分では3.5cmまでというように強度を変えることが望まれる。2回目の枝打ちは、2年後に枝下直径を測定して、枝下直径成長を参考に強度を決めることである。個体が大きくなるにしたがい枝下直径成長は低下するので3, 4回目の枝打ちでは、枝下直径3.5~4.0cmまでと弱くすべきである。要は、1番玉分の枝打ちでは枝下直径が6.0cm以下を維持するように、枝打ち個体の成長に見合った強度で枝打ちを繰り返すことである。

1番玉の枝打ち繰り返し方法について、2年ごとに枝打ちを行う強度を述べたが、繰り返し期間は毎年としてもよいし、3年ごとでも不可能ではない。毎年枝打ちするには、1回目を幹直径4.5~5.0cmまで打つ枝打ち強度とし、地位の高い林分や優勢木ほど強度とすべきで、その後は枝下直径成長を観察し個体に合った枝打ち強度を決定すればよい。この場合は、2年ごとの枝打ちに比べ

残存葉量が多く成長の減少が小さくて有利であるが、毎年枝打ちするのは容易なことではない。一方、3年ごとに枝打ちするには、幹直径2.5cm程度まで打つ強度としなければ、枝下直径を6.0cm以下に維持できない。このような枝打ちでは、残存葉量が大幅に減少するため成長低下も大きくなることが予想される。また、枝打ちが弱いと3年後の枝下直径が限度である6.0cmを大幅に越える危険性が高くなる。

2番玉では、地上高が3.5～6.5mの範囲で枝下直径を7.0cm以下に維持するような枝打ち強度とすることである。2番玉にあたる地上高の範囲で幹直径4.0cmまで2年ごとに枝打ちした場合は、枝打ち後の枝下直径成長は優勢木でも3.0cm/2yr以上にならず、次回枝打ち直前の枝下直径は7.0cm以下であった(Fig.109)。しかし、劣勢木の成長は2.0cm/2yr以下で、4.0cmまで打つ強度では強すぎたといえる。これらの結果、2番玉の範囲の地上高になり2年ごとに枝打ちする場合は、1、2回目の枝打ち強度を枝下直径4.0～4.5cm、その後は4.5～5.0cmとし、地位の高い林分や優勢木ほど強度に打てばよいであろう。また、2番玉の範囲を3年ごとに枝打ちを繰り返す方法もある。3年ごとの枝打ちでは、枝下直径4.0cmまでの強度では地位の高い林分の平均枝下直径成長が3.0cm/3yr以上となる(Fig.111B)。このため、3年後の枝下直径を7.0cm以下にするには、枝打ち強度を幹直径3.5cm前後とし地位の高い林分や優勢木ほど強度にすべきである。

枝打ちは、ある幹直径の中にすべての残枝を納める技術である。このため、枝打ち強度は、次の枝打ち時期を決めた上で、その間の枝下直径成長を予測して決定すべきである。枝下直径成長は、個体により大きく異なるので、個体ごとの枝下直径成長を管理する技術でもある。このため、林分の個体すべてを一定の高さにそろえる枝打ち繰り返し方法は、枝打ち強度が優勢木で弱く劣勢木では強くなり、枝下直径成長に大きな違いが生じるため好ましいことではない。あくまでも、個体の成長に応じた枝打ち強度とすべきである。また、無節の柱材生産では、利用材長あたり3回枝打ちを繰り返すとして、その中で1回でも枝打ち時期が遅れると、無節材が生産できず致命的になる可

能性が高くなるので注意が必要である。

(2)スギ林分での枝打ち管理

スギ林分で枝打ちを行い、10.5cm角で4方無節の心持ち柱材が生産可能な枝打ち管理を検討する。枝打ち林分は、「5」で枝打ち繰り返しを行ったP-1と同様に植栽密度が4,000本/ha前後とし、幹曲がり1番玉では3cm近く、2番玉では2cm以下で、無節材生産可能な枝打ち時期を1番玉では6.0cm以下、2番玉では7.0cm以下とする。また、地位指数はP-1と同じ18とする。地位指数18は、スギ林分収穫表からみると熊本、天城地方では地位上、土佐、紀州、愛知・岐阜、北関東・阿武隈、秋田地方では地位中にあたる。

スギ林分での枝打ち管理例と成長を対照林分と比較しFig.113に示した。図中には、P-1対照林分の樹高成長経過と枝打ち林分の推定樹高成長経過、それに枝打ち高を示した。1番玉にあたる地上高3.5mまでの枝下直径を6.0cm以下に維持する枝打ち強度は、P-1の枝下直径成長(Fig.109)やTable33の地位指数18の枝下直径成長を参考に、優勢木では枝下直径3.0～3.5cm、劣勢木では3.5～4.0cmとし、平均枝下直径を3.5cmとした。枝打ち林分の枝下直径が3.5cmの地上高は、枝下直径が4.0、5.0cmになる地上高の関係(Fig.105)と同じ割合で変化するとして求めた。1回目の枝打ちは、「5-2(3)」で枝下直径が6.0cmになる樹冠長が3.0～3.4mであったことを参考に、平均樹高が3.2mになる6年生とした。この時点で枝下直径が3.5cmになる枝打ち高は1.2mとなるが、枝下高はすでに0.5mである(Table 19)とした。その後の枝打ち高は、後述する枝打ち林分の平均樹高から8、10、12年生まではそれぞれ2.2、3.3、3.8mと推定され、ここまでは1番玉の枝打ちとした。なお、12年生での地上高3.5m以上は2番玉に含まれるので、枝下直径3.5～4.5cm、平均4.0cmまで打つ強度とした。1玉分の無節材生産を目的とする場合は、10年生での枝打ち高が3.3mになるため、ここで強めの枝打ちにより枝打ち高を3.5mにすることも十分可能であるが、ここでは12年生の枝打ちで1番玉分が終了とした。

2番玉では、枝下直径を7.0cm以下に維持すれ

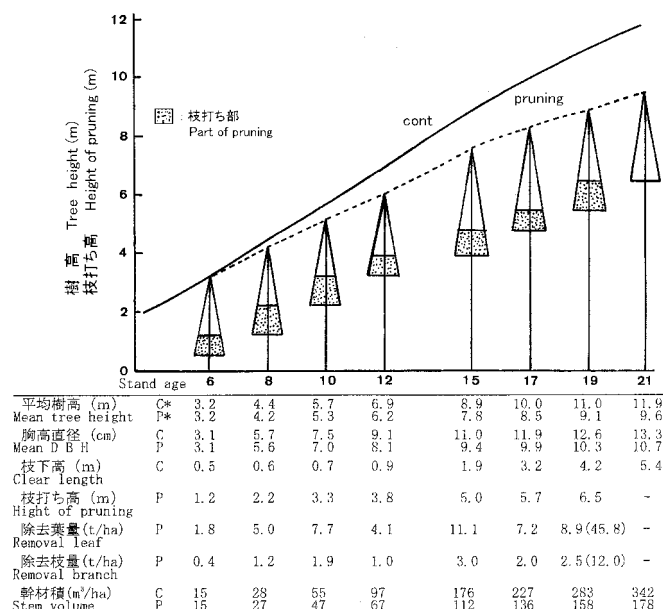


Fig. 113. スギ林分での枝打ち管理例(林分密度3,800本/ha), 地位指数18の場合)

An example of pruning management for the production of knot-free, square-sawn heart timber of Sugi stand. (Stand density: 3,800/ha, Site index: 18)

C: 対照林分 Control stand P: 枝打ち林分 Pruned stand (): 合計 Total

ばよく, P-1 Pの枝下直径成長(Fig.109)を参考に, 枝下直径4.5 ~ 5.5cm, 平均5.0cmまでの枝打ち強度とした。12年生では平均枝下直径を4.0cmとしたので, 枝下直径は3年後でも7.0cm以上にならないと考えられ, 次回の枝打ちは3年後の15年生とした。19年生では, 5.0cmまで枝打ちすると枝打ち高が6.4mとなり目的の枝打ち高に0.1m不足するため, 枝下直径4.8mまで打つことで枝打ち高を6.5mとして枝打ちを終了した。

樹高成長は, 対照林分に比較して枝打ち1, 2, 3, 4回目でそれぞれ0.2, 0.2, 0.3, 0.4m減少し, 1番玉の枝打ちでは15年生に1.1m低下するとした。樹高成長の減少は, 今回の調査林分P-1で3.8mまで枝打ちした実測値0.8m(Table 29)に比べ0.3m大きい。これは, 枝下直径を3.5cmとし, P-1での枝下直径4.0cmより小さくしたことで枝打ちが強度になったことを考慮したためである。2番玉にあたる5, 6, 7回目の枝打ちによる樹高成長は, 対照林分に比べそれぞれ0.4m減少するとした。樹高は, 19年生の最終枝打ちから3年後の22年生に最大の差が生じるが, P-1での実測値がなかったため, 2年後の21年生にP-1でみられた対照林分との樹高差2.5m(Table 22)より小さい2.3mとし, 21年生の平均樹高を

9.6mとした。

胸高直径は, 対照林分ではP-1 Cの実測値を用いた。枝打ち林分では, P-1 Pの平均樹高と平均胸高直径の関係が, この例でも同じように変化すると推定した。対照林分と枝打ち林分の胸高直径の差は, 1番玉の枝打ちが終了した3年後の15年生で1.6cm, 2番玉までの枝打ちによる21年生では2.6cmと推定された。この差は, P-1のそれぞれ1.2cm(Table 29), 2.8cm(Table 22)に比べ1番玉分では0.4cm大きく, 2番玉分では0.2cm小さかった。

枝打ちにより除去される生枝の葉量と枝量は, P-1 Pでの積算打上げ高と積算除去量の関係式(Fig.95)に今回の積算打上げ高を代入して推定した。ただ, 今回の例での枝打ち直径はP-1 Pと少し異なることから誤差も考えられるが, 大きな違いはないと推察される。枝打ちによる除去葉量と除去枝量は, 1番玉分の枝打ち高3.8mまでの合計がそれぞれ18.6, 4.5 t/ha, 2番玉までの枝打ち高6.5mまでの合計がそれぞれ45.8, 12.0 t/haとなる。

幹材積は, P-1 C, P-1 Pで毎木調査によるD²H合計をFig.101のD²H合計と幹材積の関係式に代入して求め, 対照林分ではその値を示した。

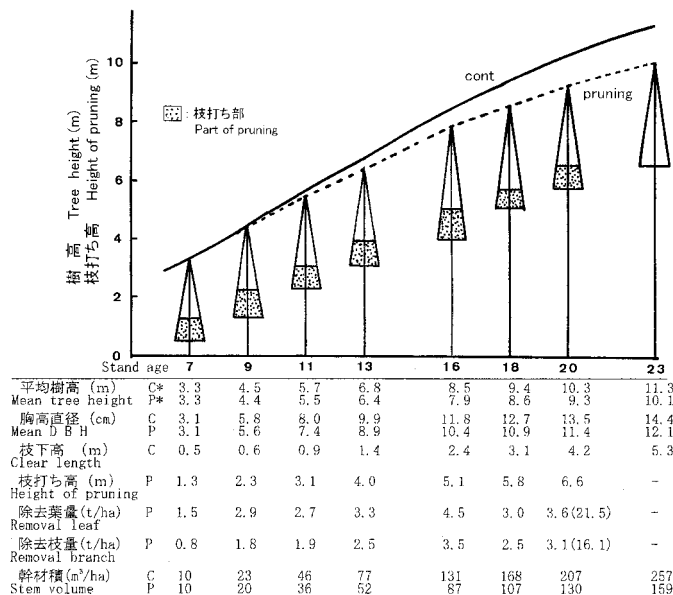


Fig. 114. ヒノキ林分での枝打ち管理例(林分密度2,700本/ha, 地位指数17の場合)

An example of pruning management for the production of knot-free, square-sawn heart timber of Hinoki stand. (Stand density: 2,700/ha, Site index: 17)

C: 対照林分 Control stand P: 枝打ち林分 Pruned stand (): 合計 Total

枝打ち林分の幹材積は、林齢ごとの平均樹高がP-1 Pの実測値と異なるので、P-1 Pの平均樹高と上記の方法で求めた幹材積との関係式を求め、関係式に枝打ち林分の平均樹高を代入して推定した。1玉分にあたる枝打ち高3.8mまでの枝打ちでは、枝打ち終了3年後にあたる15年生幹材積が対照林分の176 m³/haに対し枝打ち林分では112 m³/haと64 m³/haの差が生じ、幹材積の割合は64%で、P-1での実測値68%(Table 29)よりやや低かった。1玉分で枝打ちを終了すると、枝打ち終了後の林分成長は葉量の回復とともに平均樹高が同程度であった対照林分の12~15年生の幹材積成長量25 m³/ha・yrと同じ程度になるので、対照林分と同じ大きさで収穫するには3年程度遅くなるといえる。

また、2玉分の枝打ち終了2年後にあたる21年生の幹材積は、対照林分の342 m³/haに対し枝打ち林分では178 m³/haと164 m³/haの差が生じる。幹材積の割合は52%で、P-1での極小値48%(Table 30)よりやや高い。枝打ち終了後の成長は、葉量が増加するにつれ平均樹高が同じ程度である対照林分の17年生前後の幹材積成長量25 m³/ha・yrと同じ程度になる。このため、対照林分と同じ大きさで収穫するには6年程度遅くなるといえる。

(3) ヒノキ林分での枝打ち管理

ヒノキ林分で枝打ちを行い、10.5cm角で4方無節の心持ち柱材が生産可能な枝打ち管理を検討する。枝打ち林分は、前章で枝打ち繰り返し調査を行ったP-2と同様に植栽密度が3,000本/ha前後とし、幹曲がりは上記スギ林分と同程度とし、地位指数はP-2と同じ17とする。地位指数17は、ヒノキ林分収穫表からみると土佐、中国、紀州、尾鷲、関東地方など、いずれも地位上にあたる。

ヒノキ林分での枝打ち管理例と成長を対照林分と比較しFig.114に示した。1番玉にあたる枝打ち1, 2回目の枝打ち強度は、Table 33やP-2 Pの枝下直径成長(Fig.109)を参考に、スギ林分と同じ平均枝下直径を3.5cmとし、枝打ち高はスギ林分と同様の方法で求めた。枝打ち3, 4回目の枝下直径は、P-2 Pでの枝下直径成長が2 cm/2yr以下であったので(Fig.109), 4.0cmにする枝打ち強度とした。枝打ち1回目は平均樹高が3.3mになる7年生で行い、枝下高0.5mから1.3mまでを枝打ちする。その後9, 11, 13年生までの枝打ち高は、それぞれ2.3, 3.1, 4.0mで、ここまですべて1番玉分とした。

2番玉での枝打ち高は、平均枝下直径5.0cmまでの強度とした。13年生では枝下直径を4.0cmまでとしたので、今回は3年後の16年生とし、18,

20年生に行い枝打ち高6.6mで枝打ちを終了した。

樹高成長は、1番玉の枝打ち終了3年後の16年生で対照林分に比較して0.6m低下するとした。樹高成長の減少は、今回調査した密度がほぼ似たヒノキ林分の実測値0.3～0.7m (Table 29)に比べやや大きい部類に入る。これは、1、2回目の枝下直径を3.5cmとして枝打ちが強度であったこと、枝打ち高を4.0mに高くしたこととしたことを考慮したためである。2番玉分の枝打ち終了後3年目にあたる23年生での樹高は、対照林分に比べ1.2m低下するとした。樹高成長の減少は、今回調査した枝打ち高がやや低く密度がほぼ似たヒノキ林分の実測値0.8～1.2m (Table 22)の大きい林分にあたる。

胸高直径は、対照林分ではP-2Cの実測値を用いた。枝打ち林分の胸高直径は、P-2Pの樹高と胸高直径の関係がこの例でも同じように変化するとし、枝打ち林分の平均樹高から推定した。対照林分と枝打ち林分の胸高直径の差は、1番玉の枝打ちが終了した3年後の16年生で1.4cm、2番玉までの枝打ちでは2.3cmと推定された。この差はヒノキ林分の1番玉枝打ち後の実測値1.2～1.5cm (Table 29)や2番玉枝打ち後の実測値1.9～2.5cm (Table 22)の大きい林分にあたる。

枝打ちによる生枝の除去葉量と除去枝量は、P-2Pでの積算打上げ高と積算除去量の関係式 (Fig.95)に今回の積算打上げ高を代入して推定した。1玉分の枝打ち高4.0mまでの除去葉量と除去枝量の合計は、それぞれ10.4、7.0 t/ha、2玉分の枝打ち高6.6mまでの合計はそれぞれ21.5、16.1 t/haとなる。密度の高い林分では、これより多くの葉量や枝量が除かれることも分かっており (Table 26)、枝打ちによる除去量は結構多い。

幹材積は、スギと同様の方法で求めた。1玉分にあたる枝打ち高4.0mまでの枝打ちでは、3年後にあたる16年生幹材積が対照林分の131 m³/haに対し枝打ち林分では87 m³/haと44 m³/haの差が生じる。幹材積の割合は66%で、枝打ち高3.4mであったP-2の実測値69% (Table 29)より低下した。1玉分で枝打ちを終了すると、枝打ち終了後の幹材積成長量は、葉量が増加するとともに平均樹高が同程度である対照林分の15～16年生幹材積成長量20 m³/ha・yrと同じ程度になる

ので、対照林分と同じ大きさで収穫するには2～3年遅くなるといえる。また、2玉分の枝打ち終了3年後にあたる23年生の幹材積は、対照林分の257 m³/haに対し枝打ち林分では159 m³/haと98 m³/haの差が生じる。幹材積の割合は62%で、枝打ち高が5.8mと低かったP-2の極小値54%より高くなった。枝打ち林分の成長は、数年後には対照林分と同じ幹材積成長量が17 m³/ha・yr前後となるので、対照林分と同じ大きさで収穫するには6年ほど遅くなるといえる。このように、スギ林分やヒノキ林分で10.5cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ちでは、成長の低下は免れない。

結 語

本研究では、スギ林やヒノキ林の枝数や枝直径、枝打ち跡の修復や変色発生、幹曲がりなどの実態調査から、無節材や平滑材生産を目的とした枝打ち時期を明らかにした。本研究で得られた心持ち無節柱材生産が可能な枝打ち時期でスギ、ヒノキ林を対象に枝打ちを繰り返し、樹冠構造、現存量、成長、それに形状比の変化などが明らかになった。また、枝下直径成長の変化から、枝打ち強度や繰り返し間隔を提示した。これらの成果を用い、スギ林とヒノキ林で心持ち無節柱材生産が可能な枝打ち管理を提示した。枝打ち管理と成長減少の予測が可能となり、林業経営では、労働力や無節材と並材の価格を考慮し枝打ちを実行するか否かの判断材料としても利用できる。

一方、枝打ち林の地位や密度の違いによる成長減少については、量的に明らかにできなかった。また、心持ち無節柱材生産に比べ、枝打ち時期が早い海布丸太生産や逆に遅い2方無節の割り柱生産などを目的とした枝打ちは、提示した枝打ち管理が利用できず、今後明らかにすべき課題である。本研究で明らかになった枝打ち技術が、林業経営の一助になれば幸いである。

謝 辞

本研究の端緒は、元林業試験場次長 蜂屋欣二博士のご教示によるものであり、元四国支場造林研究室長 安藤 貴博士には多くのご教示をいただいた。本論文をまとめるにあたり、森林総合研

研究所研究管理官 櫻井尚武博士，元森林総合研究所次長 井上敬雄博士には，終始激励していただき有意義な助言を賜りました。東京大学の八木久義教授，丹下 健教授，小島克己助教授，鈴木和夫教授，箕輪光博教授には，取りまとめについて終始ご懇切なご指導を賜りました。これらの皆様方に厚く感謝申し上げます。

調査にあたっては，森林総合研究所四国支所造

林研究室 落合幸仁氏（現国際農林水産業研究センター），川崎達郎氏（現森林総合研究所），森 茂太博士（現森林総合研究所東北支所），連絡調整室 弘田孝行氏にご支援をいただいた。愛媛県久万町の岡 信一氏には，枝打ち林分や枝打ち木を提供していただき，林分調査や柱材製品の調査など多大なご協力をいただいた。これらの皆様方に心からお礼申し上げます。

摘 要

我が国の主要な人工林であるスギ林やヒノキ林では，材価の高い心持ち無節柱材を生産目的とした枝打ちが行われている。しかし，生産目的に合った枝打ち管理技術が確立されていないため，大部分の枝打ち林では生産目的である心持ち無節柱材の生産が不十分となっている。本研究は，スギ林やヒノキ林における無節材生産を目的とした枝打ちについて，その効果が十分発揮できる枝打ち開始時期や枝打ち強度，間隔などの枝打ち方法を確立し，枝打ち林の樹冠構造や林分現存量，成長低下などを解明し，枝打ち管理技術を高める目的で行った。

無節材生産では，目的とする幹直径にすべての節を納めることが必要で，材部における節の水平分布に影響する枝直径や着生枝数の実態を把握した。両樹種の枝直径は，着生する幹直径が大きくなるにつれて大きくなること，枝打ち繰り返し林では林齢が高くなるにつれてやや大きくなることが分かった。一方，幹に発生する枝数は，両樹種とも密度や生育段階と関係がみられず 幹長 1 mあたり 30～40本で，早い時期に枯死する枝があり幹直径 4 cm以上に着生する生枝数は20本前後に減少した。スギ林やヒノキ林の枝直径や枝数は，若齢時から枝打ちを行えば心持ち無節柱材生産にとって大きな障害にならず，枝打ち林の条件として大きな意味を持たないことが明らかになった。

枝打ち効果を発揮する枝打ち開始時期や枝打ち強度を解明するため，枝打ち跡の実態解析を行った。節の水平分布を左右する残枝長と，巻込み後の年輪走行が平滑になるまでに要する幹の半径成長を示す平滑長の両者は，スギ林とヒノキ林で違いがみられず，枝打ち時の枝着生部幹直径の大きさとその間に関係式が得られた。両式から，枝打ち時期（枝打ち時の枝着生部における最大幹直径）ごとに無節材，あるいは平滑材の生産開始幹直径が推定でき，生産目標に適した枝打ち時期の決定に広く応用することが可能となった。スギ林やヒノキ林における幹長 3 mあたりの幹曲がり，根元曲がり部分を除いても平均 1～3 cmあり，心持ち無節柱材生産を困難にしている大きな要因となっていた。これらの結果から，心持ち無節柱材を生産する枝打ち時期は，残枝長と幹曲がりが重要な意味を持ち，すべての残枝を生産目的とする柱材一辺の大きさに納める枝着生部の幹直径を求めればよいことを示した。例えば，利用幹長 3 mあたりの幹曲がりが 3 cm以下の個体で10.5cm角の心持ち 4 方無節柱材を生産目的とする枝打ち時期は，両樹種とも枝着生部の幹直径が6.0cm以下を維持する枝打ちを繰り返せばよいことを明らかにした。

スギ枝打ち林から10.5cm角で3 mの心持ち柱を製材し，柱材から枝打ち時期を検討した。心持ち無節柱材生産に影響する要因は，枝打ち時期と幹曲がりや偏心成長による髄のずれであった。柱材からみた10.5cm角の心持ち 4 方無節柱材の生産では，1 番玉では上記した枝打ち時期が妥当であることが確認できた。2 番玉では，髄のずれが小さく，枝着生部の幹直径を7.0cm以下に維持する枝打ちでよいことが明らかになった。

枝打ちのマイナス面である枝打ちに伴う材部の変色の発生原因は，両樹種とも枝隆部を含めた材部の傷，樹皮剥離，残枝割れの3種類で，幹に接して枝を切断する通常の枝打ちでは変色の発生を避けることが難しいことが分かった。変色は，傷を受けた時点より古い材部にのみ発生することが確認され，製品が無節材なら変色も現れず，枝打ち時期は変色対策として決定的なものであることを明らかにした。枝着生部の幹直径が大きい壮齢林での枝打ちは，材の広い範囲に変色が生じ腐朽の危険性も高いため行うべきでないことを示した。

スギ林やヒノキ林での枝打ち時期と無節材や平滑材生産の開始直径，変色の実態から枝打ち効果を十分

発揮する枝打ちは、短伐期林、長伐期林を問わず基本的には10.5cm角の心持ち4方無節柱材が生産可能な時期に行うべきで、枝打ちを数回繰り返すことが必要であることを指摘した。長伐期林では、若齢段階では間伐で10.5cm角や12.0cm角の心持ち無節柱材を収穫し、その後は無節で年輪走向が平滑な優良材生産に移行すべきであることを示した。

枝打ちに適した林分条件を明らかにするため、密度や地位の違いが成長におよぼす影響や生産生態学的な面から枝打ちを検討した。密度の高い林や地位の高い林では、枝打ち後の葉量回復が早く、成長の低下が小さいため枝打ちに有利であることを明らかにした。生産物の各器官への配分比は、枝打ちが強度になるに従い枝葉に多く、幹や根に少なくなる傾向がみられた。

本研究で明らかにした心持ち4方無節柱材が生産可能な枝打ち時期で、スギ林とヒノキ林を実際に枝打ちし、現在まで不明であった枝打ち繰り返し林の動態を解明した。枝打ちは、枝下直径4 cmまで打つ強度とし、ほぼ2年ごとに4～5回行った。樹冠構造についてみると、無枝打ち林と枝打ち林での最大の差は、枝下高が1.9～3.7 m、枝下直径が3.0～6.7 cm、樹冠長が2.0～4.8 mで、密度の高い林ほど小さくなった。これらの差が最大になる林齢は、無枝打ち林の枝下直径や樹冠長が極大になる時期で、その後枝打ちを繰り返しても差は大きくならないことが明らかになった。

無枝打ち林に対する枝打ち林の葉量割合は、ヒノキ林では枝打ち直後が30～35%、枝打ち直前が65%前後、スギ林では枝打ち直後が27%前後、枝打ち直前が60%前後で、密度の高い林ほど高かった。このように、枝打ちを繰り返している間の林分葉量は、無枝打ち林の葉量に比較し少ないことが明らかになった。一方、枝打ちによって除去される葉量や枝量についてみると、ヒノキ林では1玉分にあたる地上高3.5 mまでの枝打ちで除去葉量が9～15 t/ha、除去枝量が5.5～13 t/ha、2玉分にあたる地上高6.5 mまでの枝打ちで除去葉量が19～33 t/ha、除去枝量が15～26 t/haで、密度の高い林で多くなった。スギ林では1、2玉分の枝打ちで除去葉量がそれぞれ16、46 t/ha、除去枝量がそれぞれ4、12 t/haに達することが明らかになった。

1玉分にあたる地上高3.5 mまで枝打ちを行ったスギ林やヒノキ林の成長は、無枝打ち林に比較して最終枝打ち2年後に最大の差が生じ、その差は胸高直径で1.2～1.5 cm、樹高で0.3～0.8 mであった。枝打ち林の収穫は、成長の低下により無枝打ち林に比べ2～3年遅れることが分かった。また、2玉分にあたる地上高6.5 mまでの枝打ちでは、無枝打ち林に比較し胸高直径で1.9～2.8 cm、樹高で1.1～2.3 mの差が生じ、枝打ち林の収穫は無枝打ち林に比較して5～6年遅れることが分かった。成長の低下は、密度の高い林では小さく、地位の低い林では大きくなることが明らかになった。特に、地位の低い林は、成長低下が大きく枝打ちは有利でないことが明らかになった。

気象害の耐性を示す両樹種の平均形状比は、無枝打ち林、枝打ち林とも生育に従い一旦低下し、無枝打ち林の樹冠閉鎖直後にほぼ同じ値の極小値を示した。その後の平均形状比は、枝打ち林が高くなり、最終枝打ちから2～3年後に無枝打ち林より5～10高い最大値を示し、その後は無枝打ち林の値に近づく変化をすることが明らかになった。平均形状比の変化から、枝打ち林では気象害に対する抵抗性が大幅に低下することはないと考えられた。

枝打ち強度や枝打ち間隔に影響する枝下直径成長についてみると、枝打ち後2年間の枝下直径成長は、地位が高いほど、林齢が若いほど、優勢木ほど大きいことが明らかになり、2年ごとに枝打ちを繰り返す方法を以下のように示した。1番玉では枝下直径が6 cm以下を維持するよう、1回目の枝打ちは枝下直径が3.0～3.5 cmまで強度に打つ、2回目以降は前回の枝下直径成長を参考に3.5～4.0 cmまで、優勢木ほど強く打つことである。2番玉になってからは、枝下直径が7 cm以下を維持するよう、1、2回目の枝打ちは枝下直径が4.0～4.5 cmまで、その後は4.5～5.0 cmまで、優勢木ほど強く打つことである。枝打ちは、節の水平分布を制御する枝下直径の管理であり、スギ林、ヒノキ林とも地位の違いや個体の成長に応じた強度で行うべきである。

以上のように、本研究では、スギ林とヒノキ林を対象に無節材生産を目的とした枝打ち時期や強度、枝打ちに適した林分条件を明らかにした。また、枝打ち繰り返し林の成長などの変化を、はじめて明らかにした。これらの成果を用いることで、地位や密度が異なる林に対して、生産目的に合った枝打ち強度や枝打ち間隔、成長予測など枝打ち管理技術のより正確な策定が可能になった。これらの成果を枝打ち施業に利用するため、スギ林とヒノキ林で10.5 cm角の心持ち無節柱材が生産可能な枝打ち管理例を、1番玉と2番玉までの枝打ちに区分して提示した。

引用文献

- 赤林實瞳(1928)ケヤキの枝打に就き2-3の観察,日林雑誌,10,7-12
- 赤井重恭(1978a)生立木材質の変色と腐朽()ボタン材の研究を始めるに当って,森林防疫,27,310,4-9
- 赤井重恭(1978b)生立木材質の変色と腐朽()ボタン材の研究を始めるに当って,森林防疫,27,311,2-28
- 安藤 貴,宮本倫仁,谷本丈夫(1975)スギ林の枝打ち強度と物質生産量,日林関西支講,26,139-142
- 安藤 貴,蜂屋欣二,土井恭次,福田英比古(1959)標本調査によるスギの単木および林分枝葉量の推定,日林誌,41,117-124
- 安藤 貴,蜂屋欣二,土井恭次,片岡寛純,加藤善忠,坂口勝美(1968)スギ林の保育形式に関する研究,林試研報,209,1-76
- 浅井達弘,福地 稔,菊沢喜八郎,水谷栄一(1980)カラマツの枝打ちに関する研究()枝打ち後の生長と萌芽,91回日林論,245-246
- 浅井達弘,菊沢喜八郎,福地 稔,水谷栄一(1982)カラマツ人工林の枝打ち試験,北海道林試報告,20,45-61
- Bennett,F.A.(1955) The effect of pruning on the height and diameter growth of planted Slash pine,J.For.,53,636-638
- 愛媛県農林水産部林政課のスギ優良無節材の主産地形式に対する技術的検討,53p.
- Eldridge,K.G.(1972) Forest tree improvement in Australia,(岡田幸郎訳) 林木の育種,75,8-13
- 藤森隆郎(1969)幹材生産に対する枝の役割とその評価について,日林講,80,242-243
- 藤森隆郎(1970)枝打ちに関する基礎的研究()生態学的調査資料に基づく枝打ちの考察,林試研報,228,1-38
- Fujimori,T.(1972)Fundamental studies on pruning()Defference of pruning method and subsequent variation of stand structure(1)Bull.Gov.For.Expt.Sta.,246,55-67
- 藤森隆郎(1975)枝打ちの技術体系に関する研究,林試研報,273,1-74
- 藤森隆郎(1976)枝打ちとその考え方,日林協,75p.
- 藤森隆郎(1984)枝打ち—基礎と応用—,日林協,180p.
- Fujimori,T.and Waseda,O.(1972a)Fundamental studies on pruning() effects of pruning on stem growth(1), Bull.Gov.For.Expt.Sta.,244,1-15
- 藤森隆郎,伊沢浩一,金沢洋一,清野嘉之(1984)枝打ちに関する基礎的研究()枝打ちに伴う材の変色の発生要因,林試研報,328,119-143
- 藤原信雄,中村建平(1977)枝打立木の材質汚染に関する調査研究(第一報),和歌山県林センター報,33,81-91
- 福地 稔,水井恵雄,菊沢喜八郎(1985)カラマツ幹曲がりのみかけの回復,日林論,96,411-412
- 二見鎌次郎,金山信義,梶谷 孝(1982)枝打ち技術に関する研究()スギ若齢林の場合,島根県林試研報,33,21-47
- 後藤 亮,早稲田 収(1972a)ヒノキ枝打木の節解析()枝の生長停止と枯死,日林関西支講,22,47-49
- 後藤 亮,早稲田 収(1972b)ヒノキ枝打木の節解析()ヒノキの枝打指針図,日林関西支講,22,50-52
- 白間純雄(1975)スギの枝打ちと巻込みの関係,日林関西支講,26,135-138
- 白間純雄(1979)スギ枝打ち木の節の縦断面からみた異常変色について,日林関西支講,30,95-97
- 白間純雄(1981)枝打ちに伴うスギ材の異常変色について,日林論,92,329-330
- 白間純雄,早稲田 収(1977)枝打ちの季節と枝打ちに伴う材の変色について,日林関西支講,28,169-172
- 原口 享,木原富雄(1936)天城御料林の杉枝打作業改良に就て,御料林,99,2-28
- 蜂屋欣二,肥垣津 登(1976)枝打ちと林業経営,全林協,134p.
- 本多静六(1910)本多造林学(本論の五)森林手入れ法及び森林作業法,三浦書店,901-1087
- 兵藤 博(1979)枝打ち試験—枝打ちに伴う材の異常変色について—,広島林試研報,14,43-60
- 育林部会(1984)枝打ち跡の巻き込みについて,関西地区林試研究機関連絡協議会,24p.
- 諫本信義,川野洋一郎(1976)枝打ちに関する試験—枝打痕の巻込み速度の変化と施肥の効果について,日林九支講,29,151-152
- 石井 弘,片桐成夫,三宅 登(1982)昭和53年1月異常降雪によって冠雪害をうけたスギ人工林の解析 林分内被害の特徴,島根大農研報,16,65-72
- 石川重敏(1939)造林地の枝打ち試験に就て,高知林友,229,29-32
- 菅 道教,深江伸男(1976)枝打ちとボタン材発生についての一考察,日林九支論,29,101-102
- 金山信義,二見鎌次郎,梶谷 孝(1986)枝打ち技術に関する研究()スギ品種別試験,島根県林業技研報,37,9-26
- 加納 孟(1967)スギのかくれ節による丸太外面の凹凸痕,林試研報,200,33-42
- 加納 孟,松枝信之,蕪木自輔(1959)製材用原木としてのスギ造林木の品質(第1報)釜淵産材の節,林試研報,112,49-113
- 加納 孟,松枝信之,蕪木自輔(1961)製材用原木としてのスギ造林木の品質(第2報)西川産材,林試研報,134,59-114
- 加納 孟,松枝信之,蕪木自輔,斉藤久夫(1966)製材用原木としてのスギ造林木の品質(第3報)保育形式の異なる造林木の品質,林試研報,185,57-197
- Karizumi,N.(1974) The mechanism and function of tree root in the process of forest production ()root biomass and distribution in stands, Bull.Gov.For.Expt.Sta.,267,1-88
- 川野洋一郎,諫本信義(1980)枝打ちに関する研究()枝打痕の位置や施肥の有無による巻込みの遅速と生長量との関係,日林九支論,33,235-236
- 川野洋一郎,安養寺幸夫,小野美年(1980)スギ品種の形態的特性について()品種による枝径の差異とx枝打ちの難易,日林九支論,33,185-186
- 木原富雄(1939)枝打事業に就いて,御料林,133,81-9
- 木原富雄(1941)枝打事業の要点に就いて,御料林,156,

- 10-22
木曾支局造林係(1936)ヒノキ一斉林の枝打ちに就て, 御料林, 101, 86-99
- 北村昌美, 鈴木紘一, 鈴木良悦(1972)スギ根元曲がり部分の肥大成長経過の一例, 日林東北支誌, 184-186
- 小出良吉(1939a)枝打ちに関する研究1. 枝打ちの高さに就ての予備的考察, 昭和13年日林講, 146-166
- 小出良吉(1939b)枝打ちに関する研究2. 枝打ち傷面癒合に就て(其の1), 昭和14年日林春季講, 225-232
- 小出良吉(1940)枝打ちに関する研究3. 所謂保護層に就て, 15回日林春季講集, 230-236
- 小出良吉(1941a)枝打ちに関する研究4. 枝の枯稿経過とその腐朽落下に就て, 日林誌, 23(7), 1-15
- 小出良吉(1941b)枝打ちに関する研究5. 樹冠に就て, 日林誌, 24(7), 16-28
- 小山浩正, 浅井達弘(1998)アカエゾマツの早期枝打ちの有効性, 日林誌, 80, 16-20
- 久林高市, 楠木 学, 林 康夫(1993)長崎県下で枝打跡から発生したヒノキの幹腐朽被害, 日林論, 104, 625-627
- 桑原武雄(1973)壮齡林肥培に関する研究()ヒノキ枝打ちに対する施肥の効果, 広島県林試研報, 8, 47-55
- Labyak, L.F. and Schmacher, F.X. (1954) The contribution of its branches to the mainstem growth of Loblolly pine, J.For., 52, 333-337
- 松田正宏(1988)スギ人工林の冠雪害発生機構に関する研究, 福井県総合グリーンセンター研報, 8, 1-78
- Mcclay, T.A. (1953) The relation of growth to severity and season of pruning open-grown Loblolly pine, J.For., 51, 287-288
- 宮地信男, 那須精明(1978)スギ, ヒノキ造林木における異常変色材発生の実態調査, 高知県林試研報, 48-68
- 宮木雅美, 高橋幸男, 畠山末吉(1983)カラマツの樹幹通直性の選抜効果, 日林論, 94, 273-275
- 百瀬行男(1973)ヒノキの枝打ちと癒合に関する研究, 林試木曾分場年報, 14, 55-72
- 森庄一郎(1898)吉野林業全書(土倉梅造監修復刻吉野林業全書, 1989, 日本林業調査会, 247p.)
- 中村 基, 後藤康次(1977)枝打ちに起因する着色障害について, 岐阜県林センター研報, 5, 1-14
- 中野敬夫(1979)枝打ちによるスギ材の変色について, 林業技術, 443, 40-43
- 野淵 正(1975)外傷による放射柔細胞壊死過程の光学顕微鏡的観察—短期間実験における着色の広がり—, 京大演報, 47, 152-158
- 荻野和彦, 森田正彦, 四手井綱英(1967)林木の枝量とその生長量(), 京大演報, 39, 79-90
- 荻野和彦, 尼崎博正, 藤森隆郎, 四手井綱英(1968)林木の枝量とその生産量(), 京大演報, 40, 50-67
- 奥野忠一編(1978)応用統計ハンドブック, 養賢堂, 827p.
- 尾中文彦(1950)樹木の肥大成長の縦断的配分, 京大演報, 18, 1-53
- 小野新太郎, 武村義治(1972)立木密度, 枝打ちと肥培に関する試験(第 報), 愛媛県林試業報, 46-53
- 大迫靖雄, 堤 利夫, 野淵 正, 森田 学(1972)木材の質的生産技術に関する研究()ボタン材について, 京大演報, 44, 159-175
- 大迫靖雄, 堤 利夫, 野淵 正, 森田 学(1974)木材の質的生産技術に関する研究()枝打ちとボタン材, 京大演報, 46, 103-114
- 大迫靖雄, 堤 利夫, 野淵 正, 森田 学(1978)木材の質的生産技術に関する研究()枝打ちの季節とボタン材, 京大演報, 50, 69-78
- 大城川次郎(1939)枝打ちに関する研究(第2報)枝打ちの切断位置, 昭和13年日林講, 954-974
- 斉藤秀樹, 四手井綱英, 菅 誠(1968)樹幹形についての考察 2, 3の幹形の表し方および幹における同化物質の垂直配分についての考え方, 京大演報, 40, 93-110
- 斉藤秀樹, 山田 勇, 四手井綱英(1967)小径木間伐に関する研究()第1回間伐1年後の林況の変化について, 京大演報, 39, 64-78
- 斉藤秀樹, 山田 勇, 四手井綱英(1972)立木密度のスギ幼齡林の物質生産量に関する若干の検討, 京大演報, 44, 121-140
- 坂上 実(1979)枝打ちに伴うボタン材の発生に関する研究, 日林関西支講, 30, 92-94
- Shigo, A.L. and W.E. Hillis (1973) Heartwood, discolored wood and microorganisms in living trees, Ann.Rev.Phytopathol., 11, 197-222
- Shigo, A.L. and E.vH. Larson (1969) A photo guide to the patterns of discoloration and decay in living northern hardwood trees, U.S.Forest Serv.Res. Paper NE-127., 1-100
- Shinozaki, K., Yoda, k., Hozumi, T., and Kira, T. (1964a) A quantitative analysis of plant form the pipe model theory I basic analysis, J.Jor.Ecol., 14, 92-105
- Shinozaki, K., Yoda, k., Hozumi, T., and Kira, T. (1964b) A quantitative analysis of plant form the pipe model theory further evidence of the theory and its application in forest ecology, J.Jor. Ecol., 14, 133-139
- 外館聖八郎(1978)スギ生枝の付け根の形態, 日林東北支講, 29, 70-71
- 外館聖八郎(1979a)枝打ち作業の熟練度による枝打ち痕の違い, 岩手県林試報, 12, 1-10
- 外館聖八郎(1979b)未熟練者による枝打ち痕, 日林東北支誌, 30, 107-171
- 外館聖八郎(1981)スギの枝打ちによる傷と材の異常変色, 日林東北支誌, 33, 3-4
- 鈴木和夫(1981)スギ生立木材質の変色と腐朽, 森林防疫, 30, 6-11
- Tadaki, Y. (1966) Some discussions on the leaf biomass of forest stands a trees, Bull.Gov.For.Exp.Sta., 184, 135-161
- 高原末基(1949)針葉樹の枝打ちに於ける傷面の癒合に及ぼす庇陰の影響に就て, 東大演報, 37, 1-10
- 高原末基(1954)スギおよびヒノキの枝打ちが幹の成長におよぼす影響, 東大演報, 46, 1-95
- 高原末基(1961)枝打ちの基礎と実際, 地球出版, 149p.
- 武田英文(1976)スギ枝打ち林分における幹の曲がりについて, 日林東北支講, 28, 26-28
- 武田英文, 佐藤東吉(1977)植栽密度と枝の太さ, 日林東北支講, 29, 80-82

- 竹下純一郎(1972)枝打ちと施肥, 林業技術, 362, 32-35
- 竹内郁雄(1977)枝打ち跡の巻込みに関する研究—残枝長を中心として—, 日林誌, 59, 301-304
- 竹内郁雄(1980)枝打ち跡の巻込みに関する研究—スギの異常変色について—, 日林誌, 62, 26-29
- 竹内郁雄(1981)壮齡林の枝打ち跡の巻込みに関する研究()スギ72年生林分での事例, 日林誌 63, 39-45
- 竹内郁雄(1983a)スギの枝打ちによる材の変色, 林試研報, 324, 81-99
- 竹内郁雄(1983b)枝打ちが成長におよぼす影響()地位の低いスギ林分の場合, 日林誌, 65, 427-431
- 竹内郁雄(1987)スギ枝打ち林分から生産された柱材の品等調査例, 林試研報, 344, 103-116
- 竹内郁雄, 蜂屋欣二(1973)スギの枝打ちと巻込みの関係, 日林講, 84, 183-185
- 竹内郁雄, 蜂屋欣二(1977a)枝打ち跡の巻込みに関する研究, 林試研報, 292, 161-180
- 竹内郁雄, 蜂屋欣二(1977b)枝打ちが成長におよぼす影響()スギ模型林分での枝打ち試験, 日林誌, 59, 313-320
- 竹内郁雄, 落合幸仁(1988)立地条件が異なる同齡ヒノキの枝打ち後の成長, 日林関西支講, 39, 107-110
- 竹内郁雄, 山根 誠(1982a)ヒノキの枝打ち時期について, 日林関西支講, 33, 46-49
- 竹内郁雄, 山根 誠(1982b)ヒノキの枝打ち跡にみられ傷について, 日林関西支講, 33, 50-53
- 竹内郁雄, 川崎達郎, 森 茂太(1997)ヒノキ若齡人工林における形状比の変化, 日林誌, 79, 137-142
- 田中 壤(1891)造林ノ手引きいろは順よし尽シ, 大日本山林会, 174, 37-45
- 徳川宗敬(1941) ”江戸時代に於ける造林技術の史的研究 ” 目黒書店, 317-325
- 富田ひろし(1980)育林生産技術と変色材発生要因に関する研究, 三重県林技センター報, 17, 18-22
- 富田ひろし(1981)スギ樹幹に関する打撃ならびにはく皮による変色, 日林論, 92, 331-332
- 早稲田收, 後藤 亮(1972)ヒノキ枝打ち木の節解析枝打ちあとの巻込み, 日林関西支講, 22, 45-47
- 山倉拓夫, 西田 仁, 四手井綱英(1973)枝密度関数の解析, 京大演報, 45, 67-84
- 谷澤逸衛(1937)枝節と枝打方法に就て, 日林誌, 19, 16-26
- 四大学および信大合同調査班(1996)森林の生産力に関する研究(第 報)スギ人工林の物質生産について, 日林協育林技術研究会, 63p.

Studies on Pruning for Knot-free Timber Production

TAKEUCHI Ikuo

Abstract

In Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) stands which are main plantations in Japan, pruning has been carried out to produce boxed heart and large-size, knot-free timber, which are highly valued. However, knot-free timber is not produced in sufficient quantities for production purposes in the major pruned stands, because a pruning management system suitable for production purposes has not yet been established. In this study, pruning methods for utilizing the effect of stem diameter at the time of pruning (the stem diameter at the lowest retained branch in the pruning position) and pruning intensity were examined. Pruning was then carried out by the pruning method derived from this examination, and changes of crown structure, biomass and growth in the pruned stands were examined. The purpose of the study was to establish accurate a pruning management system based on these results.

The actual conditions of branch diameter and number, which influence the horizontal distribution of knots in the trunk wood, were investigated. Branch diameter in both Sugi and Hinoki stands increased with the increase of stem diameter of the retained branch, and in lower density stands. In repeatedly pruned stands, branch diameter tended to increase with the stand age. The number of branches which developed on the stem was 30-40 per meter stem length in both species. There were no differences between stand density and growth stage. However, the number of living branches on the lower side of stem whose diameter of 4 cm decreased to around 20 per meter stem length, because the small branches died early. It was shown that the difference of branch diameter and number in the stands did not hinder the production of knot-free timber when pruning was repeated from a young age.

Knot analysis was carried out using sample trees of Sugi and Hinoki which had already been pruned, in order to analyze the pruning start time and the intensity required to obtain the pruning effect. It was found that the length of branch stub and the radial thickness for annual ring recovery increased as stem diameter increased at the time of pruning, in the cases of commercially pruned Sugi and Hinoki stands. The relationship between maximum length of branch stub (L: mm) and stem diameter at the time of pruning (x: cm) is expressed by the following equation for both species:

$$L = -0.05x^2 + 2.63x - 6.68$$

Using this equation, by knowing the stem diameter at the time of pruning, the production start stem diameter for knot-free timber can be estimated. The relationship between maximum radial thickness for annual ring recovery (P : mm) and stem diameter at the time of pruning (x : cm) is expressed by the following equation for both species:

$$P = 27.55 \ln(x) - 33.43$$

From this equation, by knowing the stem diameter at the time of pruning, the production start stem diameter of the annual ring recovering timber can be estimated. These results may be widely used to decide the stem size at the time of pruning for production purposes.

Average values of crookedness per 3-m section of the stem from 0.5 to 3.5 m height above the ground were 1 to 3 cm in Sugi and Hinoki stands. Stem crookedness is a difficult problem for boxed heart with knot-free timber production. Therefore, the size of stem crookedness and length of branch stub must be considered in order to decide the pruning time. For example, in order to produce 10.5 cm boxed heart with knot-free faces, the pruning should retain stems of diameter 6.0 cm or less at the height of the lowest branch when the stem crookedness is 3 cm or less.

The quality of 3-m-long 10.5 cm boxed heart from the first and second logs of sample trees taken from a pruned Sugi stand was studied. The average distance from pith to the center of the boxed heart cross section was 2.5 cm (butt end) and 1.6 cm (top end) for the first log. It was 1.3 cm (butt end) and 1.4 cm (top end) for the second log. Though the basal crook part of the butt end of the first log was cut, the distance from pith to the center was still larger compared with that of the second log. The distance from pith to the center is discussed in relation to JAS (Japanese Agricultural Standard) grade and the number of knot-free faces on the boxed heart. Basal crook and eccentric growth have a great influence on the lower part of the first log, but even the latter has little influence on the second log. From the quality of boxed heart, it was confirmed that earlier pruning time (stem diameter at the height of the lowest branch) of the first log that produces 10.5 cm boxed heart with knot-free faces was appropriate. In the second log, the distance from pith to the center was small, and pruning at the time of 7.0 cm or less was satisfactory.

Wood discoloration caused by the pruning operation is a serious problem. Wood discoloration occurs when a wound in the trunk of the tree is caused by the pruning operation. Such wounds can be classified into three types: wound in wood, peel-off and wound of split-stub. The main cause of wood discoloration is wounds in wood caused by pruning tools such as hatchets, axes, sickles and saws. The development of wood discoloration is influenced by the length of the wound in wood and the peel-off. The length and the area of discoloration tended to increase as the wound length in wood increased. The radial thickness of discoloration tended to increase as the wound length in wood increased, but the radial thickness became approximately constant over a certain value of the wound in wood. Wood discoloration of mature trees was extraordinarily large in comparison with that of young trees. These results suggest that in order to avoid discoloration by pruning, the branch must be pruned carefully without making any wounds which might cause discoloration. However, commercial pruning usually cuts off the branch collar, in which case it is difficult to avoid making a wound in the trunk and resulting wood discoloration. Wood discoloration occurs only in wood that is older than the time at which the wound was inflicted. It does not appear on sawn timber the surface of which is knot-free. Therefore, the pruning time was the most critical countermeasure against wood discoloration: pruning should be executed when 10.5 cm boxed heart with knot-free faces, whether from short-rotation or long-rotation stands, can be produced.

In order to clarify stand conditions suitable for the pruning, the effect of the difference between site quality and stand density on the growth after pruning was examined. In low density and low site quality stands, the recovery of leaf and branch biomass which was reduced by pruning was slow, and the reduction of growth was larger than that of high density, good site quality stands. Therefore, stands with high-density and good site quality are suitable for pruning. The relative value of stem growth for two growing seasons after pruning may be roughly estimated from the ratio of leaf removed, the difference of stand density or its site quality, though the value was not clear. In accordance with the increase of pruning intensity, the distribution ratios of leaf and branch became larger, while those of stem and root became smaller. The reduction of net primary production of whole portions was not as large as that of stem under the influence of pruning.

Pruning was carried out at pruning time (stem diameter at the height of the lowest branch is 6.0 cm or so) for producing 10.5 cm boxed heart with knot-free faces clarified in this study. Regarding the degree of pruning, branches are removed to the height of the stem diameter of 4.0 cm, and this is repeated 4 to 5 times every 2 years. Changes of crown structure, biomass and growth were investigated in repeated pruning of Sugi and Hinoki stands.

The largest difference between the control and pruned stands was 1.9 - 3.7 m in mean clear length, 3.0 - 6.7 cm in mean stem diameter at the upper end of clear length, and 2.0 - 4.8 m in mean crown length. The largest difference of the high density stand was smaller than that of the low density stand. The stand ages which showed the largest difference were almost the same as those in which the mean stem diameter at the upper end of clear

length and mean crown length of control stands showed the greatest values. Afterwards, these differences did not increase by repeating the pruning. The ratio of leaf biomass of Hinoki pruned stands just after the time of first pruning to that of the control stand was 26 - 88%, and the ratio was as high as that of the high-density, young stand. The ratio of leaf biomass of Hinoki pruned stands remained almost constant when the leaf biomass of control stands reached more than half of the leaf biomass on the closed control stand. For example, the ratio in Hinoki pruned stands which stand at a density of 2300 - 2700 per ha, was 30 - 35% just after pruning, and around 65% just before pruning. The ratio of leaf biomass of Sugi pruned stand just after the time of first pruning to that of the control stand was 42%. After reaching 13 years old, the ratio of leaf biomass was 27% just after pruning, and about 60% just before pruning.

In accordance with the increase of total pruned stem length, the removal amounts of leaf and branch became larger in Sugi and Hinoki pruned stands. The removal amounts of leaf and branch in Hinoki pruned stands were 9 - 15 ton per ha and 5.5 - 13 ton per ha respectively, in the case of pruning to a height of 3.5 m for the first log. In the case of pruning to a height of 6.5 m for the first and second logs, removal amounts of leaf and branch were 19 - 33 ton per ha and 15 - 26 ton per ha respectively. These removal amounts increased in high density stands. In a Sugi pruned stand of density 3,770 per ha, the removal amounts of leaf and branch were 16 ton per ha and 4 ton per ha respectively, in the case of pruning to a height of 3.5 m, and 46 ton per ha and 12 ton per ha respectively, in the case of pruning to a height of 6.5 m.

In the case of pruning to a height of 3.5 m for the first log, the largest difference of growth between control stands and pruned stands appeared after 2 years from the last pruning. The largest difference was 1.2 - 1.5 cm in mean stem diameter at breast height, 0.3 - 0.8 m in mean tree height in Hinoki stands of stand density of 4,000 or less per ha. In the case of pruning to a height of 6.5m in these stands, the largest difference was 1.9 - 2.8 cm in mean stem diameter at breast height, 1.1 - 2.3 m in mean tree height in Hinoki stands. Pruning for the production of 3-m-long 10.5 cm boxed heart with knot-free faces from the first log was estimated to retard the harvest time of the pruned stand from that of the control stand by 2 - 3 years. For the production of second and first logs, the harvest time was estimated to be retarded by 5 - 6 years in comparison with that of the control stand. The reduction of growth by pruning was smaller in high density and good site quality stands. Especially, stands of low site quality will not be suitable for pruning, since the growth decrease caused by pruning was remarkable.

In both the pruned and control stands, the larger D (stem diameter at breast height) was, the smaller the H/D ratio, and the relationship between them was expressed by a reciprocal expression of each stand age. The mean H/D ratios of every stand had been declining with height growth in the early stages. The ratios then touched bottom except in both the pruned and control Hinoki stands of lowest site quality. The stand age which showed minimum mean H/D ratio, and the value of its ratio, were almost the same in pruned and control stands. After the mean H/D ratios showed the minimum value, the ratios of pruned stands became higher than those of control stands. The ratios of pruned stands rose most after 2 - 3 years from the last pruning. That time ratios were higher than 5 - 10 compared with the control stands, then the ratios approached that of the control stands. From the changes of mean H/D ratios in the pruned stands, it was considered that the resistance to meteorological damage of pruned stands will not be drastically lower.

The growth of stem diameter at the height of the lowest branch (Db) for two growing seasons after pruning increased, as the dominant tree, for younger stand age and higher site quality. In order to produce 10.5 cm boxed heart with knot-free faces and knot-free, large-size timber, pruning should be repeated every 2 years as follows. In the first log, so that Db remains 6 cm or less, Db at the pruned height should be 3.0 - 3.5 cm for first pruning and 3.5 - 4.0 cm for the second pruning and beyond. In the second log, so that Db remains 7 cm or less, Db at the pruned height should be 4.0 - 4.5 cm for first or second pruning and 4.5 - 5.0 cm for the third pruning and beyond. The pruning is the management of Db which controls the horizontal distribution of the knot. Therefore, the intensity of pruning should be proportional to the growth of individual trees.

In this study, pruning time for producing knot-free timber and stand conditions suitable for the pruning were clarified. Changes of crown structure, growth and H/D ratios, etc. in repeatedly pruned stands were clarified. Using these results, pruning management examples for producing 10.5 cm boxed heart, knot-free timber in Sugi and Hinoki stands were presented.

Key words: biomass, crown structure, discoloration, growth, knot-free timber, pruning

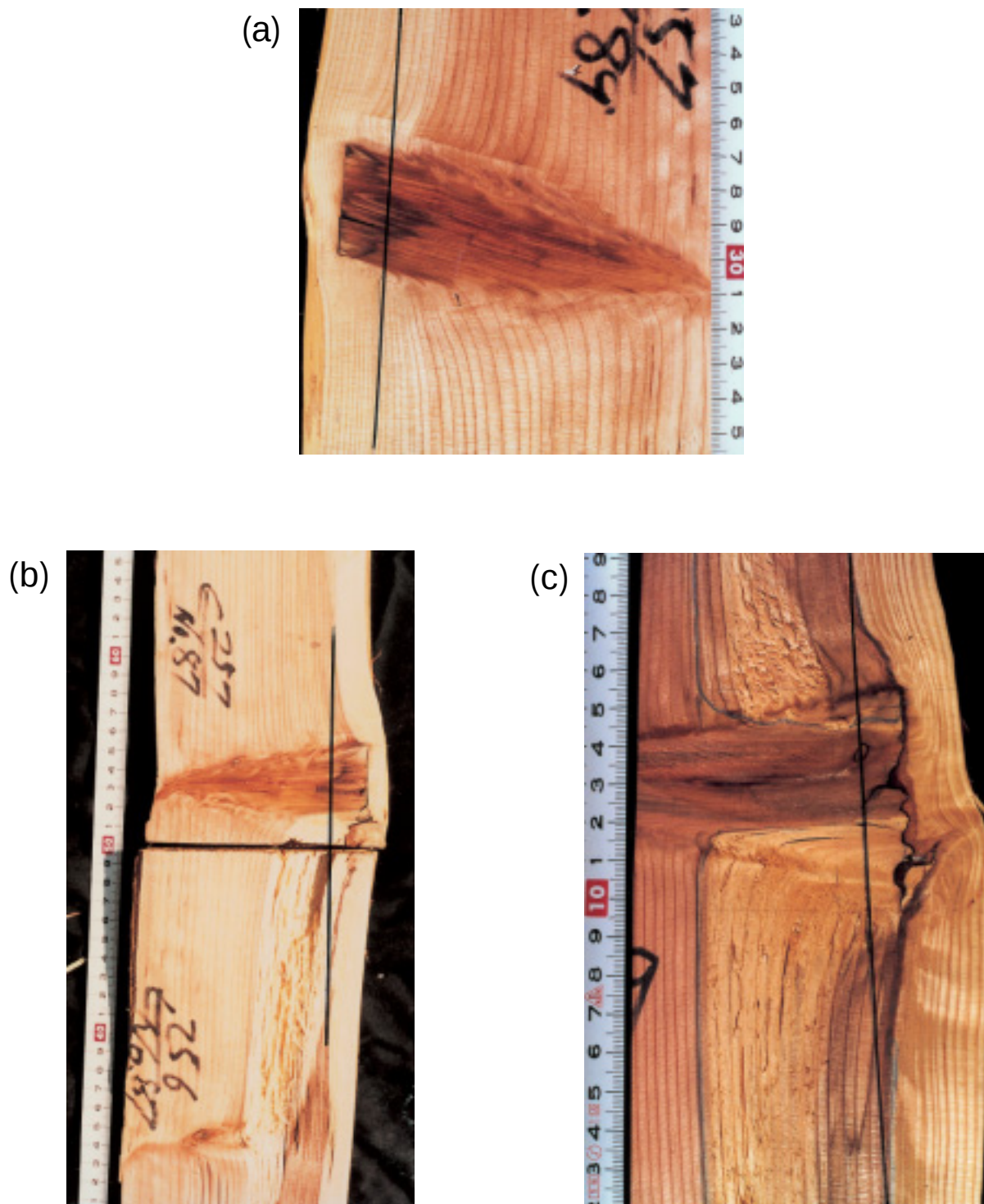


Photo. 1 スギ壮齢林での枝打ち跡の巻込み

The occlusion of branch stubs after artificial pruning of Sugi mature stand.

(a) ノコギリ打ちで変色の発生なし。

Non-discolored branch with saw.

(b) ノコギリ打ちで残枝下方の傷により変色と腐朽が発生。

Discolored and decayed by downward wound of branch stub with saw.

(c) 粗雑なオノ打ちで残枝上部，下部とも変色と腐朽が発生。

Discolored and decayed by rough pruning with ax.

図中に示した実線から残枝先端までを残枝長とした。

The length of branch stub shows from solid line to brach end on the photos.

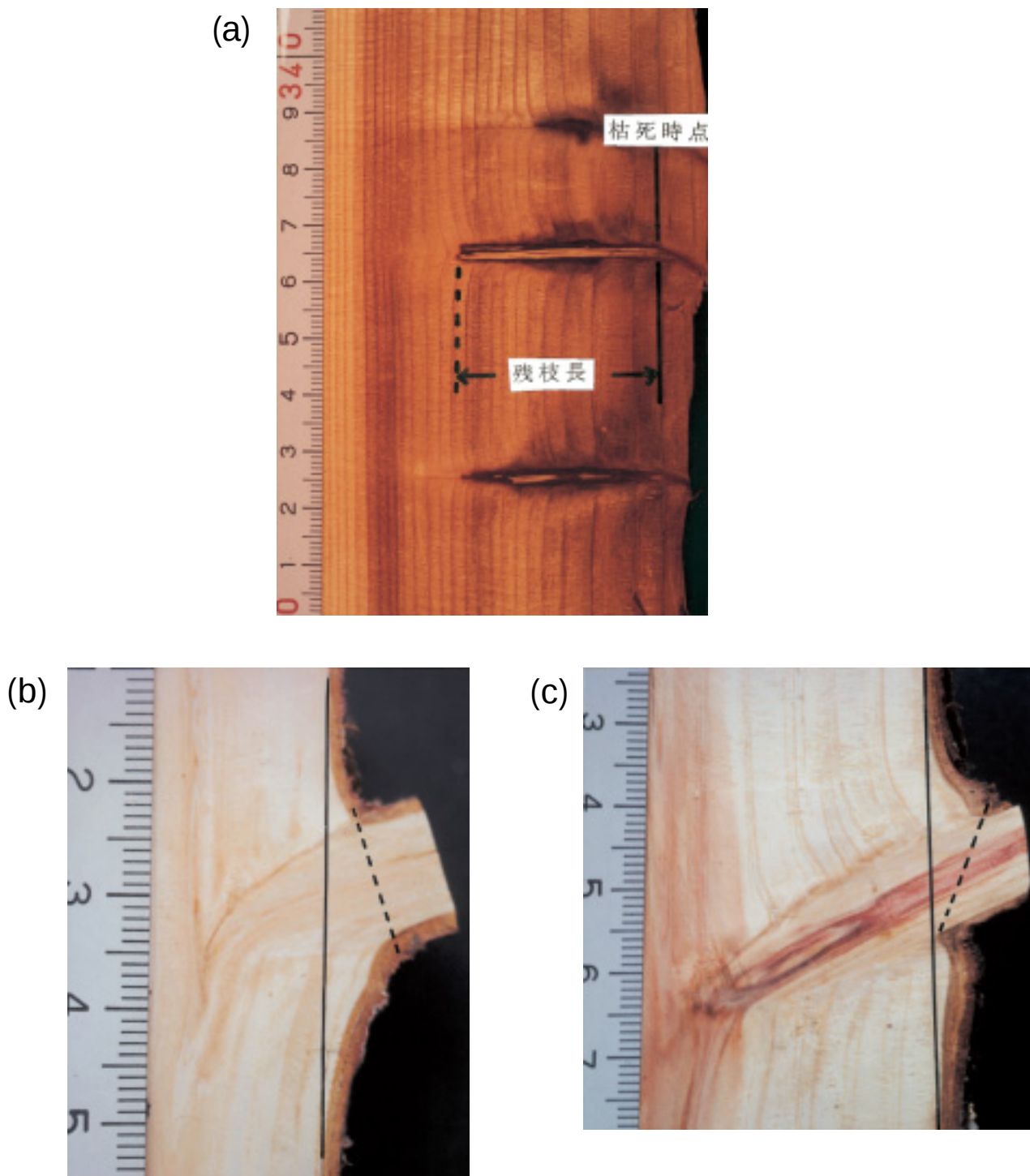


Photo. 2 自然落枝の巻込み，およびヒノキ枝の枝隆部の断面

The radial sections of Sugi natural pruning occlusion and convex base of Hinoki branch.

(a) スギ壮齢木でみられた自然落枝で枝径が0.3cm，枯死からの残枝長は37mmであった。

The occlusion of natural pruning Sugi mature tree whose branch diameter was 0.3 mm and length of branch stub was 37 mm.

(b) 枝径 1 cm 程度で生育がよい枝。

The good growth branch whose branch diameter was 10 mm.

(c) 生育が衰え始めた枝。

The branch whose growth had begun to decline.

(b) (c) の破線は枝隆部を傷つけない切断位置を示す。

The broken lines in photo (b) and (c) show a cutting place not inflict a wound on stem.