

枝打ちの技術体系に関する研究

藤 森 隆 郎⁽¹⁾Takao FUJIMORI : Study on the Technical System
of Pruning

要 旨 : I では枝打ちに関する基礎的諸試験の結果を報告し, II では基礎試験の資料を生かして枝打ち効果の応用的一考察を行なった。対象樹種はスギとヒノキである。

林木の生産構造と成長を解析し, 次のことを認めた。樹冠内で物質生産量が最大となる層は枝葉量最大層より上層にあり, 枝葉量最大層付近から年輪欠如枝が出現し始める。幹の半径成長は樹冠部の中央付近で目だって大きく, 樹冠下から地ぎわ付近まで直線的に漸減する。

成林後の林木では, 成長停止枝および枯死枝の出現し始める高さは, 林木の成長とともに樹高に対してほぼ相似的関係を保ちながら高くなっていく。枝の巻込み速度は枝の切口直径よりも残枝長に大きく左右される。

枝打ちの程度が強いほどその後数年間の直径と樹高成長は減少した。枝打ちの方法の違いにより, 林分内の個体差は大きくも小さくもなり, 林分構造の調節に利用できる。

枝打ちと密度とを関連させた実験により, 次のことを認めた。枝打ち林分間でも無枝打ち林分間でも密度効果がみられ, 低密度林分ほど林分の平均直径, 平均樹高が大きくなる。同密度の場合は枝打ち林分は無枝打ち林分よりも平均直径, 平均樹高が小さい。この差は低密度の場合ほど大きく, 非常に高密度となると差はみられなくなる。幹の完満度は枝打ち効果よりも, 密度効果に大きく左右される。

上記の資料の一部をもとにして良質材生産を主目的とするスギ林の経営における枝打ちの進め方を検討した。枝打ち管理の指針を一斉更新による小径材生産, および大径材生産にわけ, さらに小径材生産を心持正角材生産と特殊丸太生産に区別し, また大径材生産を一斉更新によるものと非皆伐によるものに区別してそれぞれ検討した。

目 次

緒 言	2
日本を中心にみた枝打ちに関する研究の歩み	3
本研究における枝打ちの定義	4
I. 枝打ちに関する基礎的研究の結果	5
I-1. 林木の構造と成長	5
I-1-(1) 樹冠構造	9
I-1-(2) 力枝層について	16
I-1-(3) 林木の生育に伴う樹冠の構造と位置の推移	17
I-1-(4) 樹冠の位置と幹の肥大成長	19
I-1-(5) 林木の生育に伴う枝の成長と枯死	19
I-1-(6) 枝の巻込み	20
I-1-(7) 幹内部の節の分布	24
I-2. 枝打ちの強度と幹の成長量	26
I-2-(1) 枝打ちの強さの指標	26
I-2-(2) 枝打ちの強さと幹の成長	27
I-2-(3) 幹の成長に対する枝葉の貢献度の外観的指標	32

I-3. 枝打ち方法と林分構造	34
I-4. 林分の密度効果と枝打ち効果	39
I-4-(1) 幹の林分成長	39
I-4-(2) 幹の平均成長	41
I-4-(3) 高密度林分の維持について	42
I-4-(4) 樹幹形	43
I-4-(5) 枝の切口の巻込みの早さ	43
II. 枝打ち効果の応用	45
II-1) 枝打ちの効用と目的	45
II-2) 木材の材質	46
II-1. 枝打ちの管理	47
II-1-(1) 小径材生産の枝打ち管理	47
II-1-(1)-1) 心持正角材生産の枝打ち管理	47
II-1-(1)-2) 特殊丸太生産の枝打ち管理	50
II-1-(2) 大径材生産の枝打ち管理	53
II-1-(2)-1) 一斉更新林分での枝打ち管理	55
II-1-(2)-2) 非皆伐林での枝打ち管理	55
結語	56
文献	57
Summary	61

緒 言

わが国において、林業の先進地と称せられる地方のなかには、古くから枝打ち技術を独自に工夫し、あるいは他から導入し、それを育林技術体系に組み込みながらすぐれた林業経営を進めてきた地方も多い。しかし、育林技術を構成する諸技術の一つとして、その必要性の認められることの多い枝打ち技術も、科学的に裏付けられた理論となるとまだ十分には確立されていないといえる。これは枝打ちに関する基礎的試験による知識の集積が十分になされていないことと、枝打ちの意義が必ずしも十分に理解されていないために、枝打ち技術を体系的に組み立てようとする試みの遅れてきたことによる。

枝打ちに関する基礎的研究としては林木の生理、生態、その他の生物学的基礎研究の必要なことはいうまでもないであろう。筆者ら*は枝打ち技術の確立のための基礎知識を得るために、生物学的試験を進めてきたが、その諸試験をつうじてこれまでに得た一応の知見をまとめるとともに、それに基づいて枝打ち効果の応用的考察を試みた。

育林技術体系における枝打ち効果の応用としては、樹幹内の節の分布や年輪幅の調節、その他による良質材の生産、林内下層への光の適度な配分による複層林の維持、または林分構造の調節などいろいろある。したがって枝打ちの主目的、あるいはその目的の組合せによって枝打ちの技術体系もいろんな様式に組み立てられよう。その間にあって、本文では木材生産を主目的とする林業経営において、無節または無節性の高い材を合理的に生産することを第一の目的とした場合の、枝打ちを中心に論を進めることにした。

* 林業試験場関西支場造林研究室では枝打ち技術の確立に関する研究を1967年以来進めてきた。

日本において、枝打ちの対象樹種としてとりあげられるのは主にスギとヒノキであり、本研究では試験の対象樹種をスギとヒノキに絞り、特にスギに重点を置いた。また、広葉樹の植物学的特性は針葉樹のそれと多くの点で異なり、広葉樹の枝打ち技術は針葉樹のそれとかなり異質のものと考えられるため、広葉樹に関する試験報告の引用は一部を除いては行なわなかった。

したがって、本文の題名である「枝打ちの技術体系に関する研究」に注釈を加えると、「スギとヒノキを中心にみた無節性の高い良質材（ここでいう良質材の意味はⅡ-2）参照）の生産を第一の目標とした枝打ちの技術体系に関する研究」ということになる。

本研究の基礎試験の中では枝打ちにともなうよく起こる材の変色現象や、枝打ち後の林木の気象災害に対する耐性の変化などの解析はなされていない。これらは枝打ちの技術体系の確立のためには重要な側面であり、その解明は今後の重要課題であるといえよう。

本研究のとりまとめに終始ご指導いただいた京都大学四手井綱英教授、同半田良一教授、同寺崎康正教授、同堤利夫助教授、同森田孝助教授に心からお礼申し上げる。研究遂行の全過程でご指導、ご支援くださった林業試験場関西支場早稲田 取造林研究室長には厚くお礼申し上げます。

本研究の開始に当たって、指針を与えてくださった当時の林業試験場関西支場松下規矩育林部長、および研究遂行上各面でお世話になった当支場造林研究室の市川孝義、山本久仁雄、斎藤勝郎の諸技官に心から感謝する。

また、本研究のために試験地をご提供くださった京都市役所山林耕地課、京都府宇治田原森林組合、個人山林所有者の脊戸与子夫、藤井庄助、西川 潔の諸氏、また試験遂行の上でお世話になった京都府林務課の上家 透林業専門技術員、京都府林務課田辺事務所の諸氏、京都北山の加藤林産社長 加藤正夫氏、京都大学林学科芦生演習林の和田茂彦助教授をはじめとする職員諸氏に心からお礼申し上げます。

日本を中心にみた枝打ちに関する研究の歩み

HENMAN²¹⁾によると、イギリスではすでに1644年に EVELYN²²⁾が枝打ちの目的、枝打ち用具とその使用法などを記しているが、枝打ちの研究が行なわれたのは1900年代、特に1930年以降である。また MAYER-WEGELIN⁶¹⁾によるとドイツでは1700年代から枝打ちがある程度実行されるようになり、1800年代の終わりごろから枝打ちに関する研究が発表されるようになった。1900年代に入ってからドイツでの研究は、1935年から1940年ころの間に特に盛んに日本で抄録されている。日本において、枝打ちに関する研究で外国に学んだのはこの時期までのようである。

日本では京都北山のように、少なくとも現在まで400年以上の枝打ちの歴史を持ち⁸⁰⁾、また1600年代からはすでに東北から九州まで各地の藩で枝打ちが行なわれていた⁶⁵⁾¹⁰⁰⁾が、枝打ちの研究報告は大正時代まではみあたらない。筆者の知る日本で最も古い枝打ちの研究報告は、1925年に望月⁶⁹⁾の発表した「カン類枝打ち試験」である。

1900年代に入ってから御料林をはじめ、各地で枯枝打ちを中心とする枝打ちがかなり盛んに行なわれていたが、1925年ころからは生枝打ちも行なわれるようになった²⁰⁾。生枝打ちによっていろいろな課題の生じたためもあってか、1936年ころから枝打ちに関する研究発表が続出しはじめた。御料林の原口・木原は1932年に現場の事業をつうじて枝打ち試験を開始し、1936年に枝の打ち方と節の巻込み具合を発表している²⁰⁾が、これがわが国における本格的な枝打ちの研究の最初のものと思われる。木原はその後枝打ち

の強さの指標としての樹冠の構造や、力枝などについて、かなり詳しい調査報告を行なっている⁴⁷⁾⁴⁸⁾。

枝打ち技術に連なる基礎的研究を、いわゆる科学的手法によって行なったのは小出が最初であろう。かれは節枝解析によって節、枝、樹冠、幹などのそれまでの発生、成長などの過程をたどる研究を中心に、1938年から1942年まで一連の報告^{51)~55)}を行なった。

また同じころ、国有林でも枝打ち試験が盛んに行なわれ、潮見⁸⁹⁾、植田¹⁰¹⁾らは樹幹、節枝解析により節の形成、分布状態などを解析し、枝打ち技術の検討を行なっている。谷沢¹⁰⁷⁾¹⁰⁸⁾、大城⁷⁰⁾、青田⁹⁾、矢沢¹⁰⁹⁾、麻生⁸⁾らの報告もみられ、そのころが枝打ちの研究の最も盛んな時期であったが、1942年を最後にその方面の研究は一時とどえた。これは直接には第二次世界大戦のためであろうが、戦後もしばらくの間は、木材の質に対する関心の相対的に低かったこととともに、枝打ちの研究そのものが、その困難性の壁にぶつかったものともいえるようである。

戦後になって、尾中⁶⁹⁾は樹冠の位置と幹の肥大成長に関する研究を発表したが、これは枝打ちの研究にとって重要な基礎知識を提供したものと見える。高原は枝打ちの強度と幹の成長との関係を調べ、生理学的解釈を与えた⁹⁴⁾が、かれの功績は枝打ち全般に触れ、多くの文献事例を紹介したことにもあろう⁹⁵⁾。

加納らは林木の生育環境や保育形式と、節や年輪幅などからみた材質の関係を、一連の報告^{32)~45)}によって明らかにしたが、これらは良質材の生産を目的とする枝打ちの技術体系の組立てに当たっては、貴重な資料であろう。

四手井ら⁸⁵⁾、只木ら⁹²⁾は枝打ちによる個体成長の抑制と、林分成長や構造の関係から枝打ち効果の一面を説明した。篠崎ら⁸⁶⁾⁸⁷⁾は樹木の同化器官と非同化器官との間に、特定の量的関係のあることを示してパイプモデルセオリーとした。また蜂屋¹⁹⁾は垂直方向の葉の配列と幹、その他の成長量との関係を明らかにしたが、これらの研究も枝打ちの研究に基礎的な面で寄与している。

藤森ら^{8)~12)}、早稲田ら¹⁰⁴⁾は林木の樹冠構造と幹の成長、枝打ちの強さと幹の成長、枝打ちの強さの外観的指標、枝打ちの方法と林分構造、枝打ちの管理指針などを明らかにしている。竹内ら⁹⁶⁾は枝打ちによる幹の肥大成長と枝の巻込みの関係を調べ、巻込み速度を左右する要因について検討している。

さて、日本で枝打ちの研究が開始されて以来40年余り、その間の枝打ちに関する研究成果の集積は必ずしも十分なものとはいえないが、外国の中に特にわが国における研究成果を上まわる国のみあたらないのも事実のようである。

本研究における枝打ちの定義

本研究において、枝打ちとは枯枝または生枝を幹の付け根から除去することとする。

また、枝の剪定とは生枝の一部を必要に応じて除去することとし、樹冠の剪定とは生枝打ち、枝の剪定、あるいは幹の梢端部の除去のいずれか、あるいはそれらの組合わせによって樹冠形、樹冠構造などを調節することとする。

日本では、枝打ちとは人為によって枝を除去することを指しているが、英語の Pruning の意味は、人為による枝の除去とともに、枝の自然枯上りと自然落枝も含んでいる。したがって、枝打ちは Natural pruning と Artificial pruning に分けられており²¹⁾⁹¹⁾、後者が日本という枝打ちに該当している。

I 枝打ちに関する基礎的研究の結果

I では筆者らの進めてきた枝打ちに関する基礎的研究の結果を整理する。一連の研究に使った試験地の調査時、または調査開始時の林況を一括したものを Table 1 に示す。

I-1. 林木の構造と成長

林木の同化器官は葉であり、枝は葉が光を効率よく受けられるように空間にうまく配列する役割を果たしている。この樹冠の構造を、生物学的には林木または森林の生産構造と呼んでいるが、樹冠各部の物質生産機構を明らかにしておくことは、枝打ちの基礎研究の一つとして重要と考えられる。

葉で生産された物質は林木の各器官に配分、蓄積されるが、葉付き枝は成長するとともに、種々の条件に応じてある時期がくれば成長停止、枯死、脱落の過程をたどるのが普通である。一方、毎年生産される物質の一定量は、林木の全生育期間をつうじて幹に蓄積され、幹は肥大成長を続けるので、幹内部における節の形成と枝の巻込みが認められ、その過程の解明も枝打ちの基礎研究として重要と考えられる。

I-1 では樹冠各層の物質生産に対する貢献度の違い、樹冠構造の推移、樹冠の位置と幹の各部位の肥大成長、節の形成過程などを林木の葉、枝、幹を解析することによって明らかにしたい。

試験、調査方法

調査対象に選んだ林分は、個体差の少ない単純一斉林で均一なものである。その中で50本前後の個体を含むように、できるだけ一律で正方形に近い標準地を定め、毎木調査後標準地の直径階の頻度分布に応じて15~20%の本数を選んで伐倒し、幹、枝、葉量の測定と各種の解析を行なった。供試木は垂直方向に50 cm ないし1 m ずつの階層に分けて、諸量を測定した。

各林分の ha あたりの諸量 (Y) の推定は、胸高断面積合計による比推定法によった。すなわち、ha あたりの胸高断面積合計を G 、標本木の胸高断面積合計を G' 、標本木のある部分の合計量を Y' とし、ha あたりのその部分の量、 Y を

$$Y = Y' \cdot G / G'$$

より求めた。

林分の現存量、生産量調査においてはスギの枝と葉の区別が困難で、常に問題となるところである。これまでの調査で使われているそれらの分け方をみると、緑色部をすべて葉とみなす方法と、緑色ではあってもかなり太くなった部分を緑軸とし、緑軸を枝として扱う方法が多くとられている。しかし、これらの方法にしたがうと、最近1、2年間に発生した新枝量は測定されないことになるので、本調査では次のように枝と葉を区別して測定した。すなわち、現在緑色であっても枝として成長を続けていく可能性の多い、幹から直接派生したものはすべてその先端までを枝とした。それらの枝からさらに派生したもののなかで、一部でも基部の方から茶褐色に変色したもの（病虫害などによるものは除く）はその先端までを枝とし、それらの枝から派生した緑色部をすべて葉とした。一方ヒノキについては、緑色部をすべて葉とした。

枝の成長量は、各層からサンプル枝を3~5本選んで、樹幹解析に準じた測定により求めた。スギの枝の測定は年輪の判断できる部分は年輪ごとに切断、それ以外の部分は20~30 cm ごとに切断して年輪を読みとり、区分求積法により体積と成長率を求めた。ヒノキの枝の主軸の測定はスギに準じ、主軸から派生

Table 1. 枝打ち試験林分
Outlines of the experimental

樹 種 Species	地 域 Region	場 所 Place	所有者 (管理者) Owner (Manager)	海 抜 高 Altitudes (m)
ス ギ <i>Cryptomeria japonica</i>	広島県深安郡 Hiroshima	馬 乗 山 Umanoriyama	林 野 庁 Forest service	350
	京都市左京区 Kyoto	別 所 Bessho	藤井庄一郎 S. FUJI	650
	京都市左京区 Kyoto	尾 越 Ogose	京 都 市 Kyoto city	690
	京都市左京区 Kyoto	大 布 施 Obuse	背戸与子夫 Y. Sero	600
	京都府綴喜郡 Kyoto	宇 治 田 原 Ujitawara	宇治田原町 Ujitawara community	250
	岐阜県不破郡 Gifu	今 須 Imasu	山 田 源 七 G. YAMADA	150
	京都府北桑田郡 Kyoto	芦 生 Ashiu	京 都 大 学 Kyoto university	400
	京都市北区 Kyoto	北 山 Kitayama	加 藤 林 産 Kato company	220
ヒ ノ キ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	広島県深安郡 Hiroshima	馬 乗 山 Umanoriyama	林 野 庁 Forest service	350
	京都市左京区 Kyoto	大 原 Ohara	西 川 潔 K. NISHIKAWA	350
	京都府綴喜郡 Kyoto	宇 治 田 原 Ujitawara	宇治田原町 Ujitawara community	250

* すべての試験地の土壌は古生層母材に由来する Bd 型土壌 (歩行土または崩積土) である。

The soils of all experimental stands belong to Bb-soil (moderately moist brown forest soil, creeping

** スギ, ヒノキ混交択伐林 Selection mixed forest of *C. japonica* and *C. obtusa*.Table 2. 樹木の部分名と測定項目の省略記号
Abbreviation of the names of tree component and measured items

		個 体 Individual	林分 (ha あたり) Stand (per ha)
生 重 Fresh weight	重 量 Weight	W	Y
	成 長 量 Increment	ΔW	ΔY
乾 重 Dry weight	重 量 Weight	w	y
	成 長 量 Increment	Δw	Δy
	成 長 率 Growth rate	$\frac{\Delta w}{w}$	$\frac{\Delta y}{y}$
	葉の枝生産能率 Leaf photosynthetic efficiency toward the branch increment	$\frac{\Delta w_B}{w_L}$	$\frac{\Delta y_B}{y_L}$
葉 Leaves		L	
枝 Branches		B	
幹 Stem		S	
垂直方向の層 Vertical stratum		Z	

の一覧表

stands in this study

地 位* Site quality*	林 齢 Stand age	密 度 Density (Number/ha)	平均胸高直径 Average D. B. H. (cm)	平均樹高 Average tree height (m)	平均枝下高 Average clear length (m)
良 Good	19	3,700	10.2	8.9	3.0
良 Good	9	2,700	8.9	5.3	0.3
良 Good	10	2,800	7.7	5.6	0.3
良 Good	10	4,300	8.1	6.1	1.0
良 Good	9	4,500	8.0	6.7	1.7
良 Good	1~120	**			
良 Good	55	600	37.9	24.3	16.1
良 Good	26	2,000	14.0	13.5	9.0
良 Good	19	2,800	10.8	8.2	3.3
良 Good	14	3,400	8.4	6.3	1.6
良 Good	9	3,900	7.5	6.0	2.0

or colluvial) from paleozoic rocks.

した多数の小枝については、直径階に応じて3~6階にわけ、その階内から4、5本ずつを解析に供し、階ごとの断面積の成長比を出し、これと各階の枝重量の積をもって成長量を求めた。

枝の幹からの派生位置をもって、その枝の垂直方向の位置とした。枝の年輪測定に際してはその枝の派生した部位の幹の年輪数と、枝の基部の年輪数とを照合し、枝の基部の年輪欠如のあるなしを検討した。

乾燥重量は、各サンプルを熱風乾燥機(80℃)で、近似的恒量に達するまで乾燥させて得た乾量率により計算したものである。

本研究における成長量とは、最近1生育期間の物質増加量のことであり、その間の枯損、被食量は無視したものである。また成長率とは測定時点での全量で、最近1年間の成長量を割った値であり、葉の枝生産能率とは、葉量で最近1年間の枝の成長量を割った値とした。本文で使用する樹木の部分名や、成長量などの測定項目の省略記号はTable 2のようである。

節枝の調査方法は次のようである。伐倒時に、幹に山側ないし谷側を示す線をひき、1mごとの玉に切断した。生き枝にはそれぞれ番号をつけて幹から切り離し、切口にはそれと同じ番号を記入した。1mごとに玉切った幹の木口面には山側と谷側、および山から谷の方に向かって右側と左側に分ける線をFig. 1のように記した。

節解析の作業を容易にするために、木口面に記した線にしたがって丸太を縦に4つ割りにした後、それぞれを

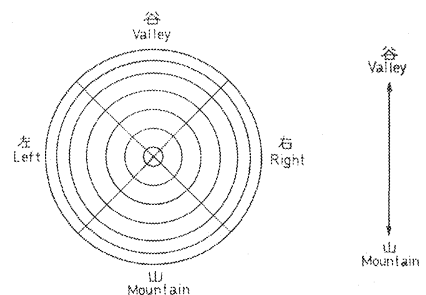


Fig. 1 節解析に用いた幹の方位
Direction of a stem for
the branch analysis.

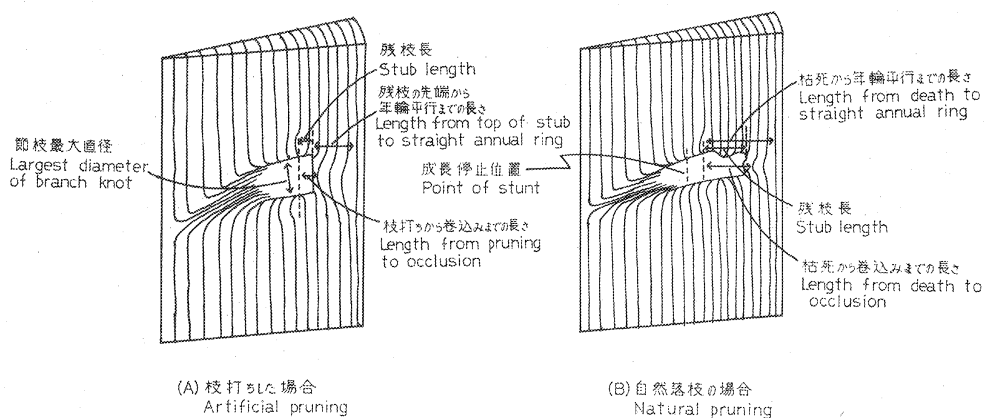


Fig. 2 節解析の測定方法
Method of the knot analysis.

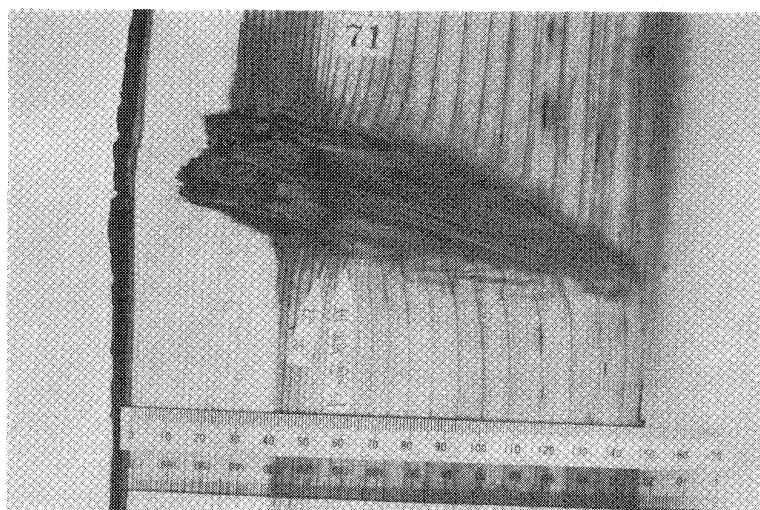


Photo. 1 スギ産生供試木の節枝断面の1つ
One of the radial sections of the branches
in the sample tree of *C. japonica* at Ashiu.

この供試木は樹高 25.8 m, 胸高直径 37.6 cm の 55 年生で、この枝は 10 年生時に地上 5.6 m のところで発生したものである。このように節枝の断面から枝の発生、成長、成長停止、枯死、自然落枝、残枝の巻込み過程などを測定した。

The sample tree is one of 55-year-old *C. japonica* at Ashiu whose height is 25.8 m and the D.B.H. is 37.6 cm. This branch generated at 5.6 m above the ground when the tree was 10 years old. By such means of making the radial section of a knot as this, the process of the generation, growth, stunt, death, shedding, and occlusion of branches were measured and analyzed.

さらに横に 25 cm ずつに切断した。次に、幹の外側からその存在を判断できるすべての節を縦断して、Fig. 2 のように節直径、枝の成長停止、枯死、巻込みなどに関する事項を測定した。節の切断は帯のこで行ない、年輪の読取りを楽にするため電動カンナで節の切断面をきれいに仕上げた (Photo. 1)。

垂直方向の節の存在位置は、節の最外部の中心位置とした。

Fig. 2 を参考にしながら、残枝長の測定のしかたを説明すると次のようである。枝打ちの残枝長とは枝打ち時の幹の外側で、その枝の上方と下方で、より外側にある方の幹の外側 (柎目で見た縦方向の年輪) の直線的走向部分の延長線と節との交点から、残枝の最外側までの最短の長さとした。ここで、より外側にある方の幹の外側とした理由は、枝の上方と下方では幹の中心から外側までの長さの等しくないことが多い (Photo. 1) からであり、幹外側 (縦方向の年輪) の直線的走向部分としたのは、幹と枝との接続部付近は幹の年輪が凹や凸に曲がる人が多い (Photo. 1) ので、その部分を避けたためである。

自然落枝による残枝長とは、その枝が枯死した時の幹の外側で、その枝の上方と下方でより外側にある幹の外側と枝との交点と、落枝の最外点の間の長さとし、その測定は両点を通る幹の軸に平行な線の間の最短の長さとした。

また、枝の成長停止と枝の枯死した位置はそれぞれの時点で、その枝の上方と下方でより外側にある方の幹の外側と枝との交点とした。

I-1-(1) 樹冠構造

針葉樹の一斉単純林における樹冠構造については、すでに筆者⁹⁾¹⁰⁾が詳しく解析しているが、本文では馬乗山の 19 年生のスギ、ヒノキ林⁹⁾と宇治田原の 9 年生のスギ、ヒノキ林¹¹⁾¹⁶⁾ (Table 1) を例にとって、樹冠構造の特色を概観してみよう。

これらの林分はいずれも大きさにおいて個体差の少ない、よくそろった一斉単純林であり、解析された個体の樹冠構造と、林分単位で示された樹冠構造はほとんど同じ傾向を示した⁹⁾¹⁶⁾。したがって、本節の中で示されている林分単位で表示された樹冠構造は、個体ごとのその傾向とはほぼ同じとみてさしつかえない。

馬乗山で調査した林分 (Table 1) は、1949 年に全面地ごしらえしたスギとヒノキを、縦に 3 列おきに植栽した 19 年生混交林である。1958 年まで下刈りは続けられたが、調査時 (1968 年) までは除間伐、枝打ちなどの保育は行なわれていない。この林分はすでに閉鎖していたが、樹種間、列間における顕著な優劣関係はまだみられず、スギ、ヒノキそれぞれを固有の林分として取り扱った。

宇治田原で調査した林分 (Table 1) は、1960 年に全面地ごしらえして同一斜面の下方にスギを、上方にヒノキを植栽したものである。調査時 (1969 年) まで下刈りは続けられたが、他の保育はいっさい行なわれていない。

I-1 の冒頭に記した調査方法にしたがって、馬乗山のスギ 9 本、ヒノキ 8 本、宇治田原のスギ、ヒノキを 6 本ずつ標本木として伐倒調査した。

Fig. 3, 4 は林分単位の垂直方向の層ごとの諸量を示したものである。それらによると、スギの葉量最大層は中層付近にあり、ヒノキのそれは中層、あるいは中層よりやや上層にみられる。枝量の多い層はスギでは中層よりやや下層に、ヒノキでは中層ないし中層よりやや下層に認められる。枝成長量の多い層はスギでは中層よりやや上層に、ヒノキでは中層ないし中層よりやや上層にみられる。

Fig. 3, 4 の右側の線は層ごとの枝の成長率を示すもので、枝の成長率はスギ、ヒノキとも上層から下

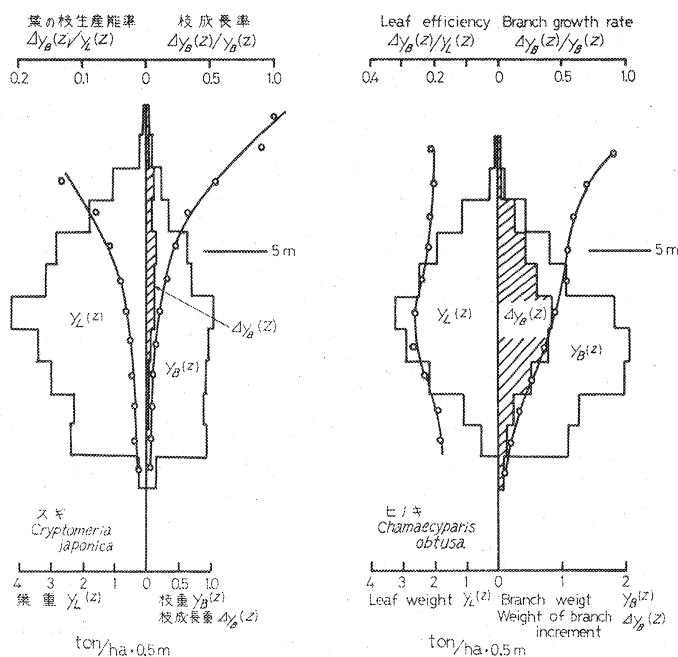


Fig. 3 林分単位の高さごとの枝の成長率と葉の枝生産能率
—宇治田原9年生のスギ、ヒノキ林—

Branch growth rate ($\Delta Y_B(z)/Y_B(z)$) and leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches ($\Delta Y_B(z)/Y_L(z)$) in each vertical stratum in the experimental stands. Both of the stands are those of 9-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Ujitawara.

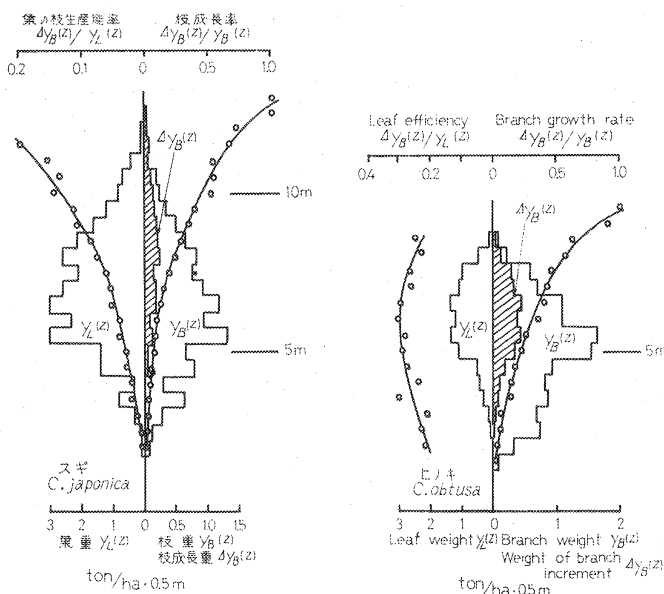


Fig. 4 林分単位の高さごとの枝の成長率と葉の枝生産能率
—馬乗山19年生のスギ、ヒノキ林—

Branch growth rate ($\Delta Y_B(z)/Y_B(z)$) and leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches ($\Delta Y_B(z)/Y_L(z)$) in each vertical stratum in the experimental stands. Both of the stands are those of 19-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Umanoriyama.

層に向かって減少している。また、上層から下層に向かうにしたがって枝の年齢は大きくなるので、枝の成長率は枝の年齢が大きくなるほど減少することを示している。

Fig. 3, 4 の左側に示した線は各層の葉の枝生産能率の垂直方向の位置的、年齢的变化である。スギでは上層から下層に向かって減少しているが、ヒノキでは中層付近で少し大きくなる傾向があるとしても、全体としては上層から下層まで変化は少ない。

さて、各層の葉の有機物生産量とその幹への流入、蓄積量との関係を知ることが必要であるが、現在のところその立証的証明はなされていない。そこで、各枝の葉で同化生産された有機物の幹への流入、蓄積量は、その枝への蓄積量と近似的に比例するものと仮定すると、枝の成長量最大層から幹に最も多くの有機物が流入しているとみることができる⁹⁾。

層ごとの葉の生産能率を、さらに異なった方法で検討してみよう。各層の枝葉の成長は、それぞれの層の葉の同化生産によって独立的になされているものとする、上層から下層への積算葉量と積算枝生産量の関係を求めることによって、上層から下層への葉の枝生産能率の程度を知ることができる。Fig. 5, 6 は林分単位の積算葉量と、積算枝成長量の関係を示したものである。

スギでは、下層にいくほど積算葉量の増す割には、明らかに葉の枝生産能率は低下するが、ヒノキではその関係は、上層から下層まではほぼ比例的である。このことは Fig. 3, 4 の単位葉量に対する枝成長量の割合、すなわち葉の枝生産能率のスギとヒノキの違いと一致するものである。

次に、上層から下層への葉の積算量と、樹冠内の各層の幹の成長量の関係を示したものが Fig. 7, 8 である。各層の葉で同化生産された物質は枝をとって、幹のそれぞれの層およびそれより下層へ移動しながら順次蓄積していくものとする、Fig. 7, 8 において、上層から下層にかけての葉の幹生産能率の変化の状態をある程度とらえることができよう。

スギでは下層になるほど、葉量の増加に対して幹の成長増加の割合は目だって減少しているが、ヒノキではその減少のしかたはスギほどではない。

蜂屋¹⁹⁾はアカマツ、カラマツ、スギ、シラベについて、Fig. 5~8 と同じ関係のグラフを用いて、樹冠の垂直方向の葉の配列とその同化能率の関係について検討している。蜂屋の調査結果¹⁹⁾と、筆者のそれとを比較すると、スギの積算葉量と積算枝成長量との関係はよく似ている。また、ヒノキの積算葉量と積算枝成長量との関係は、アカマツやカラマツのそれ¹⁹⁾とよく似ている。

積算葉量と各層の幹成長量との関係についてみると、筆者の調査した Fig. 8 の結果と蜂屋の結果¹⁹⁾はスギについてはよく似ており、ヒノキについては蜂屋の調査したいくつかの針葉樹より、筆者のそれは下層での勾配の減少度合はやや小さいが傾向はお互に似ている。

一方、Fig. 7 は蜂屋の調査結果¹⁹⁾や、筆者の調査結果の Fig. 8 に比べてスギ、ヒノキともに下層での葉の同化能率の減少度合の大きさが目だっている。その理由は現在のところわからないが、これらの林分は急激に閉鎖した比較的若い林分(測定時9年生)であったことも、影響していたのかもしれない。これらのことについては、今後多くの資料を積み重ねて詳しい検討が必要と思われる。

さて、同化器官である葉の分布配列と非同化器官である幹枝との量的関係について、篠崎ら⁸⁶⁾⁸⁷⁾はパイプモデルの理論を示し、斉藤ら⁷⁸⁾はパイプモデルの理論に関連づけて、幹における同化物質の垂直的配分についての理論を提示している。Fig. 5~8 における同化器官と非同化器官の成長量との関係で、下層になるほど葉量に対して、非同化部分の成長量の割合の減る傾向のあることは、パイプモデル理論では説明

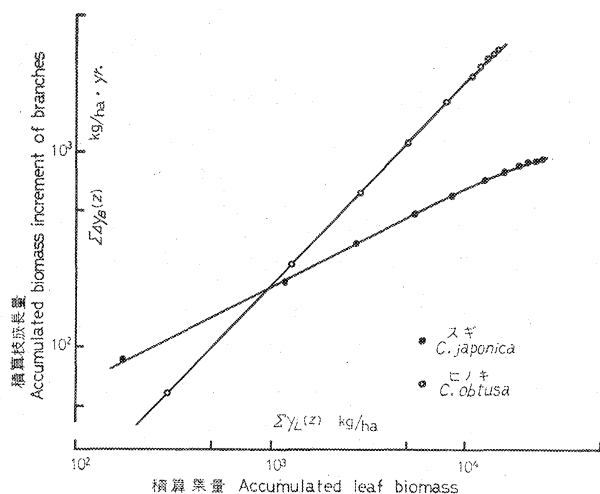


Fig. 5 林分単位の上層から下層への積算葉量と積算枝成長量の関係
—宇治田原9年生のスギ, ヒノキ林—
Relationship between the accumulated leaf biomass and accumulated biomass increment of branches from tip to bottom stratum in the canopies of the trees in the experimental stands. Both of the stands are those of 9-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Ujitawara.

Fig. 6 林分単位の上層から下層への積算葉量と積算枝成長量の関係
—馬乗山19年生のスギ, ヒノキ林—
Relationship between the accumulated leaf biomass and accumulated biomass increment of branches from tip to bottom stratum in the canopies of the trees in the experimental stands. Both of the stands are those of 19-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Umanoriyama.

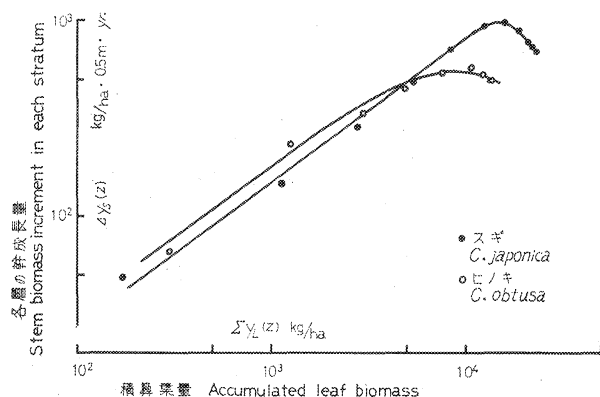
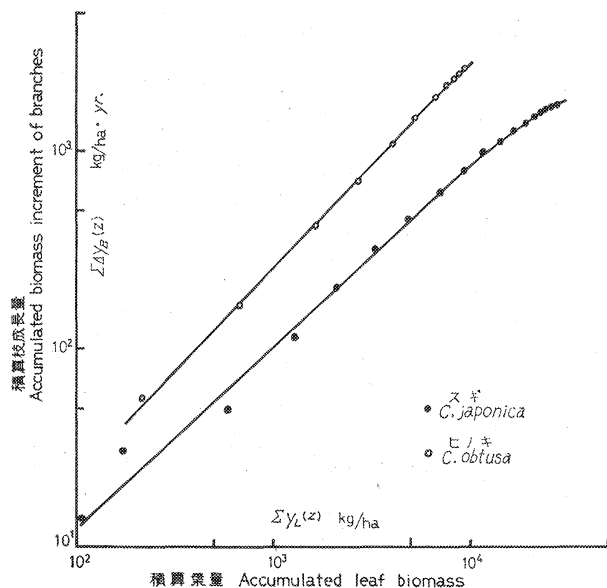


Fig. 7 林分単位の上層から下層への積算葉量と各層の幹成長量の関係
—宇治田原9年生のスギ, ヒノキ林—
Relationship between the accumulated leaf biomass from tip to bottom of the canopy and biomass increment of the stem in each stratum in the experimental stands. Both of the stands are those of 9-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Ujitawara.

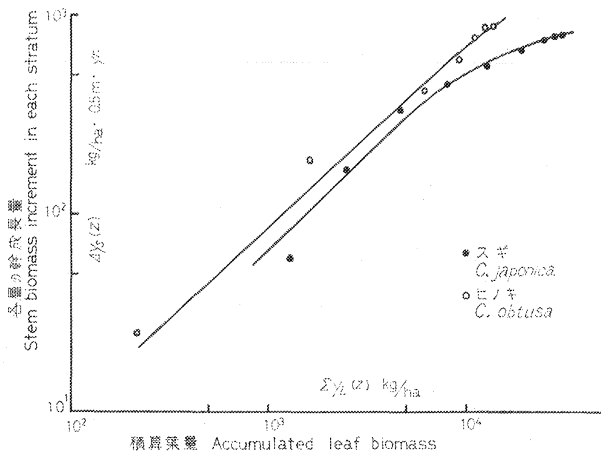


Fig. 8 林分単位の上層から下層への積算葉量と各層の幹成長量の関係

—馬乗山19年生のスギ, ヒノキ林—

Relationship between the accumulated leaf biomass from tip to bottom of the canopy and biomass increment of the stem in each stratum in the experimental stands. Both of the stands are those of 19-year-old *C. japonica* and *C. obtusa* at Ujitawara.

しきれない点を含んでいる。斎藤ら⁷⁸⁾は非同化部分の量的増大にともなう呼吸量の増大から、ある層で生産された物質はその層から下層へ達さるにしたがって、各層への蓄積量は漸減するのではないかとしているが、それは Fig. 5~8 の傾向の原因の一つの説明を与えるようである。いずれにしてもこれらの点の詳しい検討は、将来にゆだねたい。

Fig. 5~8 にみられる関係のスギとヒノキにおける違いの原因の一つは、葉の存続期間にあるのではないかと考えられる。筆者の観察的経験では、ヒノキの葉の存続期間は普通3、4年ぐらいのものが多くようであり、下層や枝の基部の葉は比較的に早くなくなるが、スギの葉はよほど光の不足がおこらない限り、5年以上働いているものが多く、それが下層の葉の生産能率の低い一つの原因のように思われる。

また筆者の葉量測定法では、スギの葉に軸に当たる木質化した部分が含まれるため、同化器官として過大な測定になり、これがヒノキに比べてスギの葉の生産能率が低くなるとともに、木質化した部分の割合の多くなるスギの下層の葉ほど、その能率が低くなるものと考えられる。

蜂屋¹⁰⁾は積算葉量と積算枝成長量、および各層の幹成長量の関係において、葉の存続期間の短いカラマツとアカマツのグループと、葉の存続期間の長いスギとシラベのグループの間に、筆者のここに示したと同じ違いの傾向のあることを指摘している。また、筆者¹⁰⁾が米国西北部で測定した葉の存続期間が長く、耐陰性の強い Western hemlock (*Tsuga heterophylla*) でも、スギとよく似た傾向を示している。これらのことから、スギの葉の生産能率の下層での著しい低下は、単に葉の測定法の問題によるものだけではないことは明らかであり、スギとかシラベ、あるいは Western hemlock などのような存続期間の長い葉を持ち、葉層が深く、耐陰性の強い樹種に共通した特性でもあるといえよう。

次に、垂直方向の層ごとの枝葉量と、枝または葉の成長量の配分率、および枝木数と枝張長または平均枝長を個体ごとに示したものが Fig. 9~12 である。調査林分の構成木の大きさはかなりよくそろっている⁹⁾¹⁶⁾が、Fig. 9~12 に示された供試木は、それぞれの林分の上中層木から選んだ標準木である。スギでは宇治田原 (Fig. 9)、馬乗山 (Fig. 10) とも枝量、葉量、枝の成長量を示す曲線は相似的であり、それらの最大値を示す位置は下から上に順に少しずつずれている。また、ヒノキのそれらを示す曲線 (Fig. 11, 12) も相似的であり、葉量と枝の成長を示す曲線はほとんど重なり合っており、枝量の曲線だけが少し下層にずれていることがわかる。

スギの枝の本数は宇治田原 (Fig. 9) では、上層から枝葉量の最大層よりいくぶん下層まで1層(50cm)

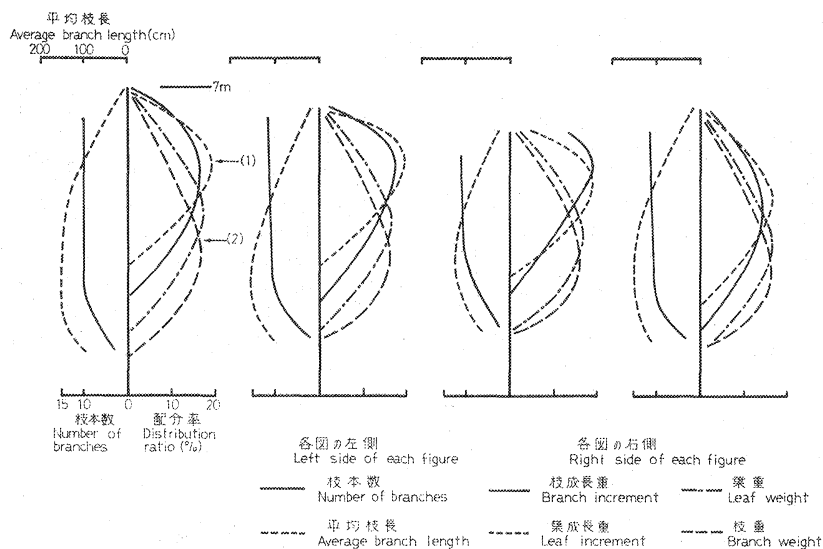


Fig. 9 宇治田原9年生スギ林の標本木の層 (50 cm) ごとの各量の配分率その他
Vertical variation in the distribution ratio of components in each stratum of the sample trees in 9-year-old *C. japonica* stand at Ujitawara.

図上の (1) は真の力枝層を, (2) はみかけの力枝層を示す。

(1) and (2) on the figure denotes respectively the stratum with the largest increment of branches and that with the largest weight of leaf-bearing branches

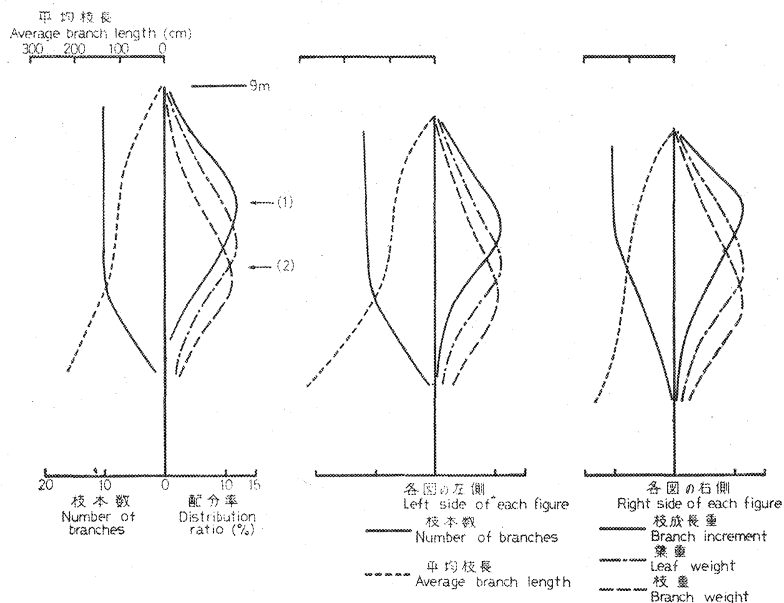


Fig. 10 馬乗山19年生スギ林の標本木の層 (50 cm) ごとの各量の配分率その他
Vertical variation in the distribution ratio of components in each stratum of the sample trees in 19-year-old *C. japonica* stand at Umanoriyama.

図上の (1) は真の力枝層を, (2) はみかけの力枝層を示す。

(1) and (2) on the figure denotes respectively the stratum with the largest increment of branches and that with the largest weight of leaf-bearing branches.

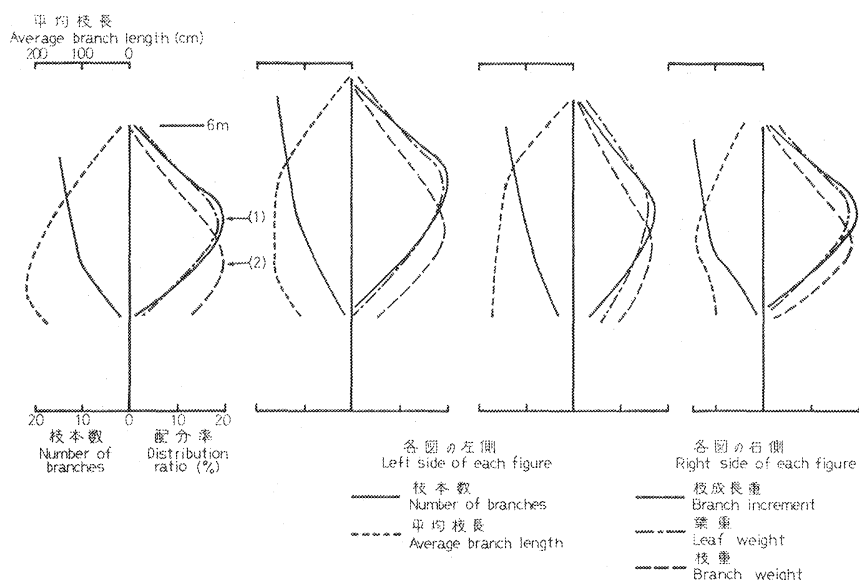


Fig. 11 宇治田原9年生ヒノキ林の標本木の層 (50 cm) ごとの各量の配分率その他
Vertical variation in the distribution ratio of components in each stratum of the sample trees in 9-year-old *C. obtusa* stand at Ujitawara.

図上の (1) は真の力枝層を, (2) はみかけの力枝層を示す。

(1) and (2) on the figure denotes respectively the stratum with the largest increment of branches and that with the largest weight of leaf-bearing branches

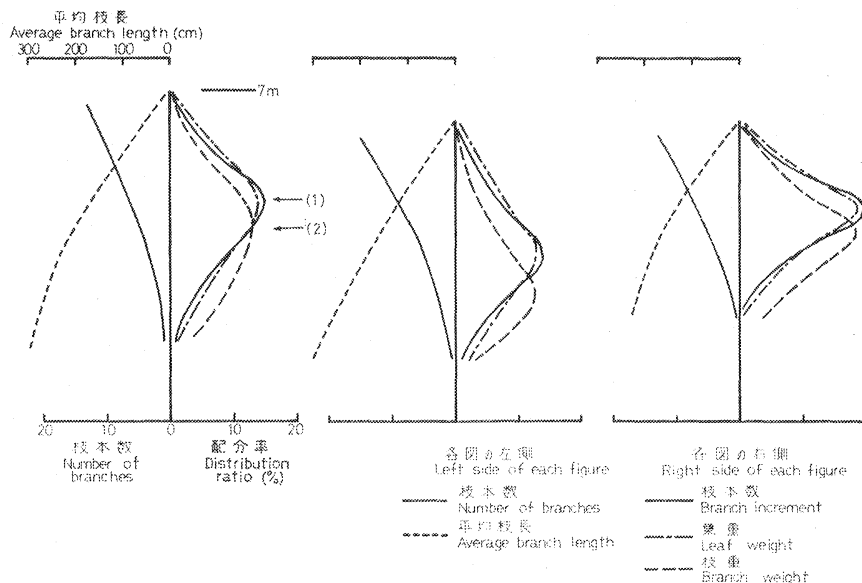


Fig. 12 馬乗山19年生ヒノキ林の標本木の層 (50 cm) ごとの各量の配分率その他
Vertical variation in the distribution ratio of components in each stratum of the sample trees in 19-year-old *C. obtusa* stand at Umanoriyama.

図上の (1) は真の力枝層を, (2) はみかけの力枝層を示す。

(1) and (2) on the figure denotes respectively the stratum with the largest increment of branches and that with the largest weight of leaf-bearing branches.

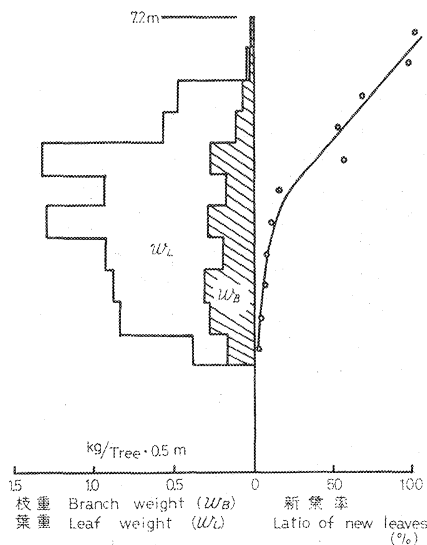


Fig. 13 層ごとの枝葉量と新葉率
—宇治田原 9 年生スギ林の 1 供試木—
Branch and leaf weight, and
the ratio of new leaves in each
stratum of a sample tree in 9-
year-old *C. japonica* stand at
Ujitawara.

らく、その付近の層より下層では、一般に枝の長さの短い山側の枝が枯死してなくなるからだと思われる。同じく馬乗山のヒノキ (Fig. 12) の層ごとの平均枝長をみると、下層にいくほど大きくなることは馬乗山のスギと同じであるが、上層から中層にかけての増加のしかたが、スギに比べて著しいことが目だつ。

Fig. 10 と Fig. 12 のスギ、ヒノキともに、平均枝長は下層ほど大きくなっているが、だからといって、枝張長も下層ほど大きくなるということはない。それは、下層部では一般に、山側の枝が早く枯死する傾向があるからである。

Fig. 13 は宇治田原のスギ林の、一つの供試木¹⁶⁾の層ごとの新葉率を示したものであるが、枝葉量最大層付近を境にして新葉率に顕著な差がみられる。

さて、ここまでに調べた樹冠構造は、時間的に動的な樹冠構造の一断面である。樹冠の各層の位置は時間の経過とともに、しだいにより下層へと移行していくことは明らかである。その点については I-1-(3) で触れたい。

I-1-(2) 力枝層について

古くから枝打ちの強さを示す時の、位置の基準の一つとして力枝という用語が広く使用されているが、その定義は明白であるとはいえない。これまでに挙げられてきた力枝の意味をまとめてみると、だいたい下記のようなのである。

- 1) 最も太く長い枝²²⁾⁶⁴⁾⁷²⁾⁸¹⁾
- 2) 最も多くの葉をつけた枝⁴⁸⁾
- 3) うっ閉層の大枝⁷⁹⁾¹⁰²⁾

当たりほぼ 10 本であり、それより下層では急に本数が減少している。また馬乗山のスギ (Fig. 10) では、だいたい枝葉量の最大層付近まで、枝の本数は 1 層 (50 cm) 当たりほぼ 10 本であり、それより下層で急に減少している。

ヒノキの枝の本数は宇治田原 (Fig. 11) では上層で 15 本ぐらいで、そこから枝葉量の最大層付近まで漸減し、それより下層で急に減少している。馬乗山 (Fig. 12) では枝の本数は最上層と同じく 15 本ぐらいであり、そこから同じような傾斜で最下層まで減少している。

次に、層ごとの平均枝長をみると、宇治田原のスギ (Fig. 9) では下層へいくほどしだいに大きくなるが、最下層で少し小さくなっている。しかし、最大枝長の層ははっきりしない。宇治田原のヒノキ (Fig. 11) ではスギと似た傾向もあるが、個体によって差がある。馬乗山のスギの層ごとの平均枝長をみると (Fig. 10)、枝葉量の最大層付近、すなわち枝本数の急に減少しだす層の付近から、増加のしかたが急に大きくなる。これはおそ

4) 樹冠の最大幅をなす枝¹⁸⁾¹⁰²⁾

そして、これらは同時に活力の最も旺盛な枝であるとしているものも多い²²⁾⁴⁸⁾¹⁰²⁾。

また力枝というのは1本の枝をさしているのか、群をさしているのかそれもあいまいな点であるが、外観的な判断のしやすさ、枝打ちの実行上における意味において、また研究上の扱いの利便さからしても筆者は力枝は群として扱うのが適当と考える。筆者らの研究では、樹冠を垂直方向の層単位に表現することが多く、本文でも力枝群を層で表現し、その呼び方も「力枝層」とする。

さて、上記の1)から4)までの外観的な力枝(層)と、活力の最も盛んな枝(層)は一致するかどうかを宇治田原¹⁶⁾と馬乗山⁹⁾のスギ、ヒノキについて検討してみよう。いま活力の最も盛んな枝というのは、成長量の最も大きな枝であるとする。

最も太い枝と最も長い枝は一致しないこともあるが⁴⁸⁾、筆者の測定による枝の基部直径と枝長の関係はスギでは比例の関係が、ヒノキでは下層において枝の基部直径の増加ほどには枝長は増さないが、一応比例に近い関係が認められる⁹⁾。そこで、最も長い枝について調べると、平均枝長の最も長い層は Fig. 9 ~12で明らかなように、スギ、ヒノキとも枝成長量最大層からずっと下方にはずれていることがわかる。

最も多くの葉をつけた枝というのは、ヒノキにおいてのみほぼ枝成長量最大層と一致している (Fig. 11, 12)。

うっ閉層と樹冠の最大幅のある層はほぼ同じとみてよいと思われるが、うっ閉層も最大枝張層も必ずしも明白ではなく、外観的に判断しにくいことが多い (Fig. 10, 12)。しいて最大枝張層を定めるとスギ、ヒノキとも、それは枝葉量最大層の少し下層付近にあるようであり、枝成長量の最大層からはだいぶ下層に離れていることがわかる。

このように検討してみると、ヒノキの葉量最大層のみが、内在的な枝の活力最大の層とほぼ一致しているが、その他の外観的にとらえた力枝層と、内在的な枝の活力最大層は一致しないということがはっきりする。

以上従来の力枝の意味に検討を加えたが、次に筆者の力枝に対する見解を述べよう。力枝という用語自体が必ずしも適当なものとは思われないが、その使用は古くから広くいきわたっているもので、一応それを踏襲することにし、それに次のような定義と区分を与えたい。

幹の成長に対して、最も貢献度の高い枝葉を有する層(幹に最も多くの有機物を送り込んでいる枝葉の層)を「真の力枝層」とする。

前節での仮定にしたがえば、この層は枝の成長量または枝葉の成長量の最大層で置き換えられる。

枝葉量の最大の層を「みかけの力枝層」とする。みかけの力枝層を求めることの意義は、次のようである。みかけの力枝層を外観的にとらえることによって、真の力枝層の位置をかなり正確に推定し得ることと、みかけの力枝層自体が一般にいう陽樹冠と陰樹冠の境目とみなすことができ、ちょうどその付近から付け根のまわりの成長停止の始まる枝が出現する (I-1-(3)) からである。

なお、筆者は枝打ちに関する基礎的研究 I⁹⁾ において、枝葉量最大層を力枝層と表現したのは適当でなかったことを認め、ここに訂正する。

I-1-(3) 林木の生育に伴う樹冠の構造と位置の推移

これまで調べてきた樹冠構造は、林木の生育段階の一時点のものであるが、林木の生育段階に応じて樹冠の構造がどのように変化し、樹冠の位置がどのように推移するかを調べてみたい。そこで、ある木の

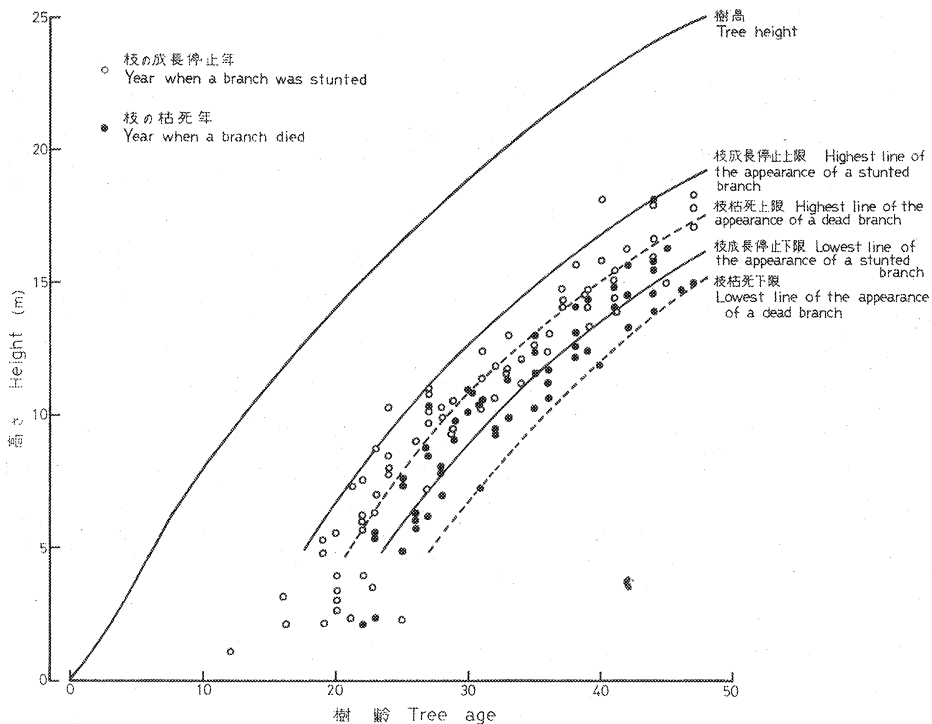


Fig. 14 生育段階にともなう樹冠構造の推移 一 芦生55年生スギ—
Locus of the canopy structure in accordance with growing
stage of 55-year-old *C. japonica* at Ashiu.

図上の枝は山側と谷側の枝で直径 20 mm 以上のものである。

The circles on the figure are limited to the branches whose diameter are more than 20 mm and exist on the sides of mountain and valley in the stem of the sample tree.

樹幹と幹内部に形成されたすべての節を解析することによって、その木の幹の成長および枝の発生、成長、成長停止、枯死の歴史を調べ、樹冠の構造の変化と、樹冠の位置の推移をたどることを試みた。

供試木は、京都府北桑田郡美山町の京都大学芦生演習林にある55年生のスギの人工一斉林 (Table 1) の標準木 (胸高直径 37.6 cm, 樹高 25.8 m, 枝下高 17.7 m) で、木数密度は植栽時において ha あたり約 3,000 本、供試木採取時で ha あたり約 600 本であったが、その間の密度の経緯の詳細は明らかでない。

植栽後21年めに高さ 5.2 m まで枯死および成長停止した枝を除去したほかは、枝打ちは行なわれていない。I-1-(3) から I-1-(6) までに使用する図は、すべてこの供試木の解析結果によるものである。節や年輪などの測定の仕方は、II-1 の冒頭の調査方法の項に示したとおりである。

供試木の各生育段階 (樹齢) の、樹高および枝の成長停止と、枯死の軌跡を示したものが Fig. 14 である。図上の枝はその基部直径が 2 cm 以上のものを選び、かつ山側と谷側 (Fig. 1) のものに限った。このように、図に載せる枝に制限を加えた理由は、限られた図上にすべての枝を載せることはむずかしく、かつ図が読みにくくなるためである。そこで、この供試木の枝の直径が 2 cm 以上のものは、樹冠を構成する主な枝とみなすことができ、幹内部の節としても材の利用上、それらは問題の比重の大きいものであり、さらに枝の成長停止から枯死、枯死から巻込み、切断から巻込みなどの長さとか早さに関して、枝の

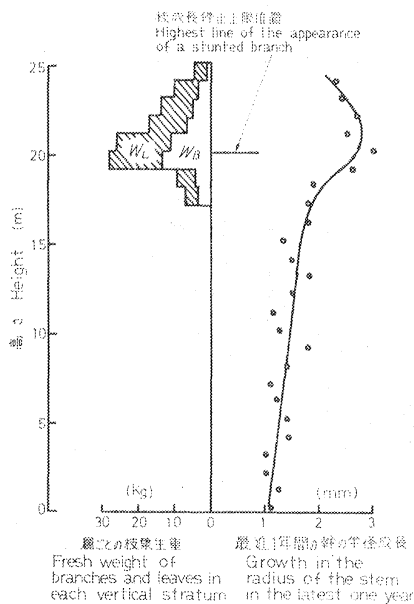


Fig. 15 樹冠の位置と幹の半径成長
— 芦生55年生スギ —

Position of the canopy and the growth in the radius of the stem of 55-year-old *C. japonica* at Ashiu.

各生育段階において、樹高成長線と枝枯死下限線の間の部分が樹冠部である。Fig. 15 から、枝成長停止上限線の付近が枝葉量最大層とだいたい一致していることがわかるが、小出⁵⁰⁾もスギとヒノキで、葉量最大の枝のある付近から年輪欠如枝の出現することを指摘している。

1-1-(4) 樹冠の位置と幹の肥大成長

樹冠の位置と幹の肥大成長との関係を、芦生のスギ林 (Table 1) で得た供試木 (I-1-(3)) に基づいて調べてみよう。Fig. 15 は樹冠の位置と、垂直方向の各位置における最近1年間の幹の肥大成長 (半径成長) の関係を示すものである。

これによると、最近1年間における幹の半径成長は、樹冠部の中央付近で目だって大きく、枝葉量最大層からやや上部にその最大層がみられ、樹冠下から地ぎわ付近までは直線的に漸減している。

樹冠形や樹冠位置と幹の成長に関する尾中⁶⁹⁾、細井ら²³⁾、LARSON⁵⁶⁾、斉藤ら⁷⁸⁾の報告でも上記の傾向が指摘されている。

1-1-(5) 林木の生育に伴う枝の成長と枯死

閉鎖した林分では、林木の生育に伴って樹冠の位置は上方へと移行するが、このことは、枝は普通上方で発生するとともに下方から枯死、脱落していく過程をたどることを意味する。そこで、林木の生育段階 (樹齢) に伴って、枝が成長停止から枯死に至る時間的経過がどのようなものであるかを芦生のスギ林 (Table 1) で得た供試木 (I-1-(3)) で調べてみよう。Fig. 14 の表現の仕方を変えて、林木の生育段階に応じて枝の成長停止から枯死するまでの時間的経過を表現したものが Fig. 16 である。

枝の成長停止から枯死までは平均して3年あまりであるが、山側の枝は谷側の枝に比べて成長停止の開

直径別に特に問題になるような差は認められなかった (Fig. 17~21) ので、図上の枝は直径が2 cm 以上のものを選んだ。また、枝の成長停止と枯死は山側の枝で最も早く、谷側の枝で最も遅く、左右両側のものはその中間的であり、残枝の巻込みに関しては方位による傾向の差が認められない¹⁴⁾ため、山側と谷側の枝を選んで全体の傾向を示すものとした (方位において枝の成長停止や枯死の早さに差があるといっても、Fig. 14 でわかるように特に目だつほどのものではない)。

Fig. 14 において各生育段階ごとに、枝の成長停止の出現した最も高い位置を結んだ線を枝の成長停止上限線と呼び、同じくその最も低い位置を結んだ線を枝の成長停止下限線と呼ぶことにした。同様に枝の枯死の出現した最も高い位置を結んだ線を枝の枯死上限線、その最も低い位置を結んだ線を枝の枯死下限線とした。これらの線は、全生育期間をつうじて、樹高成長線にはほぼ相似形であることがわかる。なお、供試木は地上5.2mまで枝打ちが行なわれたため (枝打ちされた枝の大多数は成長停止したものである)、5.2m 以下では上記の諸線は求めることができなかった。

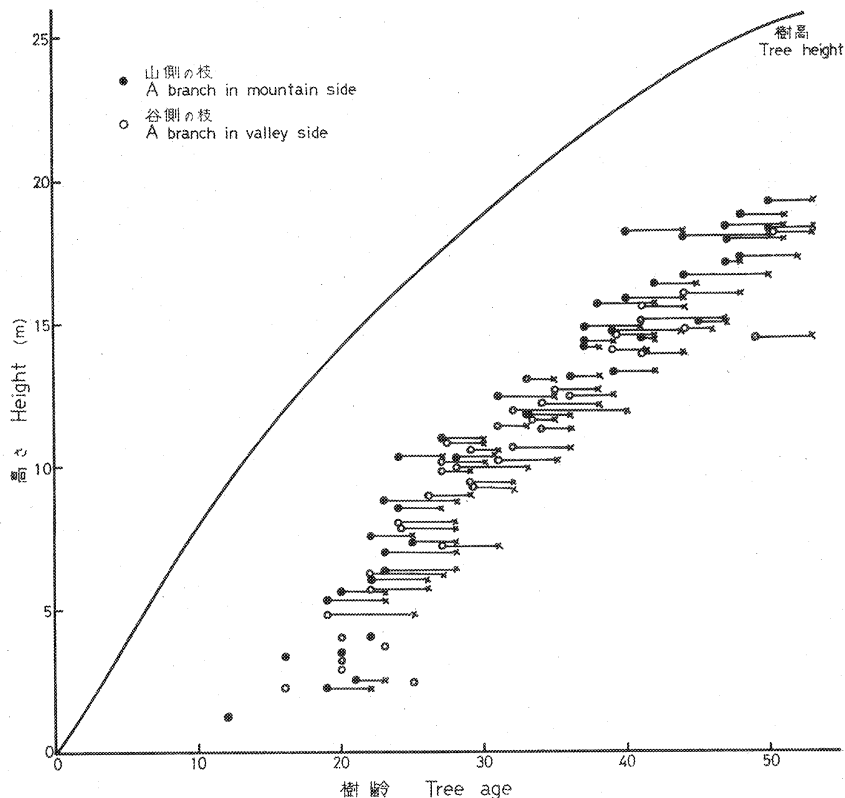


Fig. 16 生育段階にともなう枝の成長停止から枯死に至る時間経過
— 芦生55年生スギ —

Time stage from stunt to death of branches in accordance with the growing stage of 55-year-old *C. japonica* at Ashiu.

図上の枝は山側と谷側の枝で直径 20 mm 以上のものである。

マル印は成長停止年を、バツ印は枯死年を示す。

The branches on the figure are limited to those whose diameters are more than 20 mm and exist on the sides of mountain and valley in the stem of the sample tree. The circles and the crosses denote the year of stunt and death of branches.

始が少し早く、また成長停止から枯死までの年数も少し短いことがわかる。

この期間の枝を年輪欠如枝といい、幹の成長に対する貢献度はゼロであると考えられる。成長停止期間の最大は 8 年で、成長停止期間の長い枝は谷側の枝に多かった。

枝の太さと年輪欠如期間の長短には、特に相関関係は認められない (Fig. 17)。なお、供試木に地上 5.2 m 以下で一度枝打ちが行なわれ、枝打ちされた枝の大多数が成長停止期間中のものであったため、5.2 m 以下の枝の枯死年の傾向を求めることはできなかった。

I-1-(6) 枝の巻き込み

この節で問題にする、枝の枯死から巻き込みの完了した時点までの長さとか、枝打ちしてから巻き込むまでの長さとかいうのが、どのように測定されたかは I-1 の冒頭の試験方法で記したとおりである (Fig. 2)。また、供試木は芦生のスギ林 (Table 1) から得たものである (I-1-(3))。

枝の径級別の枯死から、巻き込みまでの年数を示したものが Fig. 18 である。枝の巻き込み速度は枝の径級

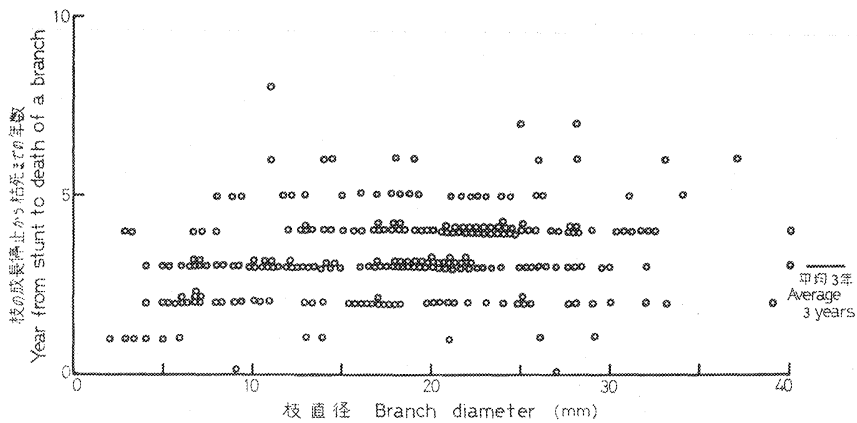


Fig. 17 枝径別の成長停止から枯死までの年数 — 芦生55年生スギ—
Relationship between branch diameter and the year from stunt to death of the branch. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上 1.0 m から 17.2 m までのもの。
Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 17.2 m above the ground.

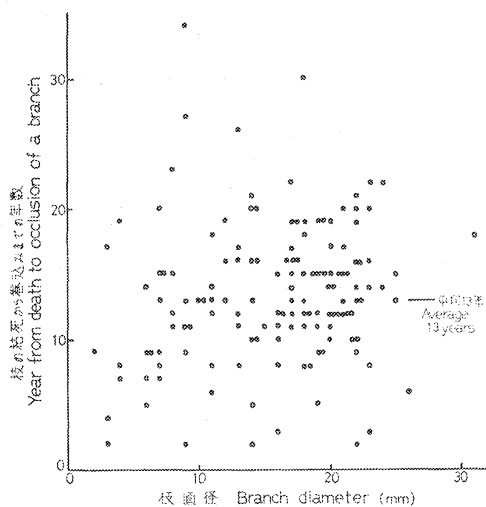


Fig. 18 枝径別の枯死から巻込みまでの年数
— 芦生55年生スギ—

Relationship between branch diameter and the year from death to occlusion of the branch. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上 1.0 m から 17.2 m までのもの。
Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 17.2 m above the ground

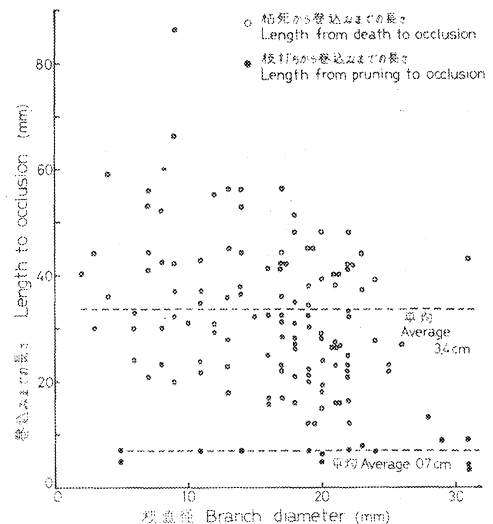


Fig. 19 枝径別の巻込みまでの長さ
— 芦生55年生スギ—

Relationship between branch diameter and the length to occlusion. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

枝打ちされた残枝の位置は地上 1.0 m から 5.2 m までである。
The stubs by the pruning exist from 1.0 m to 5.2 m above the ground

の大小とほとんど関係なく、枯死後巻込み完了に要する平均年数は 13 年である。

枝の径級別の、枯死した時点から巻込みの完了した時点までの長さは Fig. 19 のとおりである。枝の枯死後巻込み完了までの長さも、枝の径級の大小にほとんど関係なく、平均長は 3.4 cm である。

次に、枝打ちした場合について調べてみよう。Fig. 19 のくろまるは同じ木で、主に年輪欠如枝を対象に枝打ちされた残枝の巻込み長を示したものである。なおこの場合、ある程度までていねいに枝打ちされたものをそろえるため、残枝長が 5 mm 以下のものを選んだ。残枝の巻込み長は枝径の大小にほとんど関係なく一定で、その平均値は 7 mm である。

枝の切口直径と残枝の巻込み長との間には、相関関係はみられない (Fig. 20)。また枝の切口直径と残枝の巻込み年数との間にも、相関関係はみられない (Fig. 21)。

一方、枝打ちの残枝長と残枝の巻込み長との間には相関関係が認められ、一般に残枝が長くなるほど巻込み長も大きくなる (Fig. 22)。また枝打ちの残枝長と残枝の巻込み年数との間にも、同じような相関関係が認められる (Fig. 23)。

Fig. 20 から Fig. 23 に関するかぎり、スギの残枝の巻込み長の大小または巻込みの遅速は、枝の切口

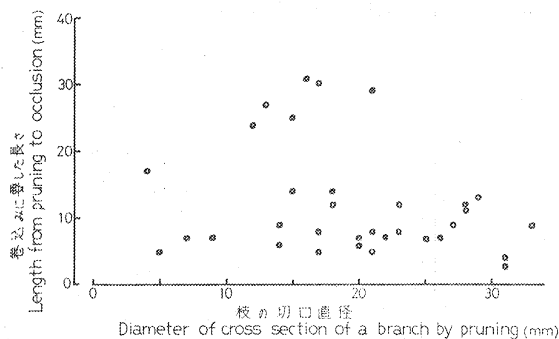


Fig. 20 枝の切口直径と巻込み長
の関係—芦生55年生スギ—

Relationship between the diameter of the cross section of a branch by pruning and the length from the base of the stub to occlusion. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上 1.0 m から 5.2 m のものである。

Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 5.2 m above the ground.

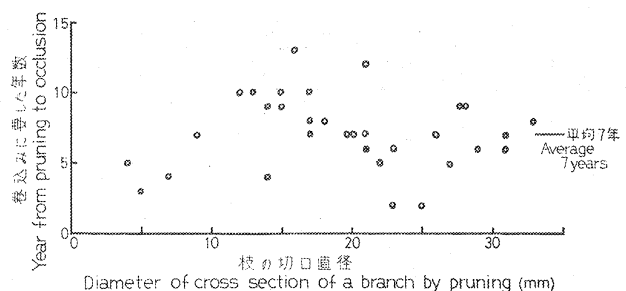


Fig. 21 枝の切口直径と巻込み年数の関係

—芦生55年生スギ—

Relationship between the diameter of the cross section of a branch by pruning and the year from pruning to occlusion. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上 1.0 m から 5.2 m のものである。

Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 5.2 m above the ground.

* SMITH, D. M.⁹¹⁾ の引用による。

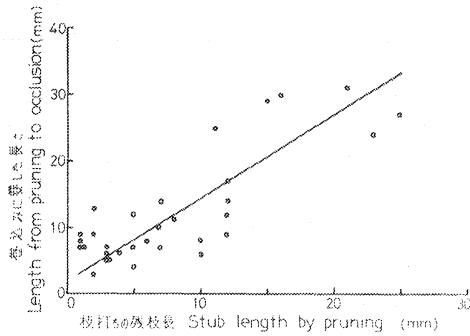


Fig. 22 枝打ちの残枝長と巻込み長の関係
— 芦生55年生スギ —

Relationship between the stub length by pruning and the length to occlusion.
—55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上1.0 mから5.2 mのものである。
Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 5.2 m above the ground.

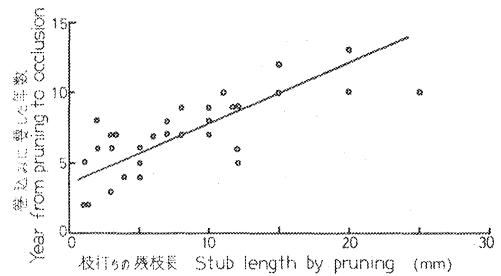


Fig. 23 枝打ちの残枝長と巻込みに要した年数
— 芦生55年生スギ —

Relationship between the stub length by pruning and the year from pruning to occlusion. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上1.0 mから5.2 mのものである。
Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 5.2 m above the ground.

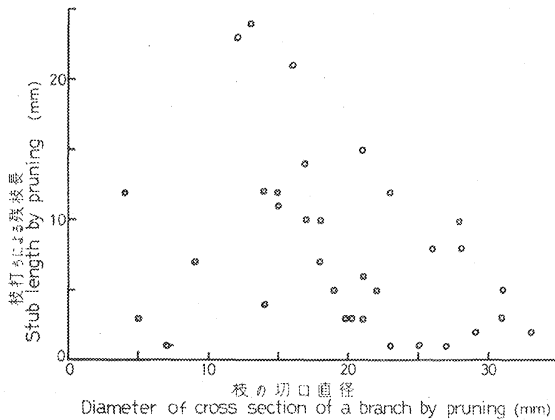


Fig. 24 枝の切口直径と残枝長との関係
— 芦生55年生スギ —

Relationship between the diameter of the cross section of a branch and the stub length by pruning.
—55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は地上1.0 mから5.2 mまでのものである。
Branches on the figure are those on the height from 1.0 m to 5.2 m above the ground.

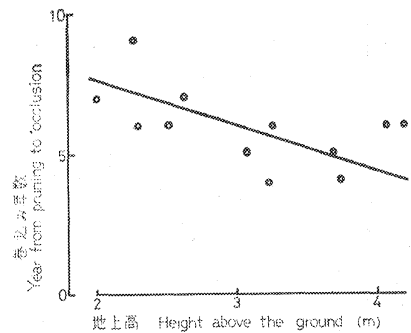


Fig. 25 枝打ちによる残枝の地上高別の巻込み年数— 芦生55年生スギ —

Year from pruning to occlusion in each height above the ground. —55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

図上の枝は枝直径が10 mm以上で、残枝長が2.0~4.2 mmのものに限った。
Sample branches on the figure are limited to those whose diameter is more than 10 mm and the stub length is from 2.0 mm to 4.2 mm.

の早さは、その部分の幹の肥大成長と残枝長の大小によって決まることを報告している。早稲田ら¹⁰⁴⁾はヒノキにおいて、枝径よりも残枝長の方が残枝の巻込み年数との間に強い関係があり、残枝の長い方が巻込み年数が大きくなることを指摘している。また竹内ら⁹⁶⁾は、スギにおいて残枝長と残枝の巻込み長の関係は、枝径と残枝の巻込み長との関係よりもバラツキの少ないことを指摘している。

以上のことから、少なくとも針葉樹では残枝の巻込みに関しては枝の切口直径の大小よりも、残枝の長短の方がより重要な関係因子であることがはっきりしたといえよう。

竹内ら⁶⁰⁾は西川地方の14年生スギにおいて、ある程度ていねいな枝打ちでは枝径が大きければ残枝長も大きくなるという、ごくおおざっぱな比例的関係を認めている。しかし、芦生の供試木での枝の打ち方は粗雑であり、切口直径と残枝長との間には相関関係が認められなかった (Fig. 24) ために、芦生の供試木の巻込み長あるいは巻込み年数は、残枝長のみに影響されていることがはっきり現われたといえる。

Fig. 25 は、同時に枝打ちされ残枝長がほぼ一定 (2.0~4.2 mm) の残枝について、地上高別の巻込み年数を調べたものである。この図から、樹冠部から下方へ離れるほど、枝打ちによる残枝の巻込みの完了が遅くなっていることがわかる。これは Fig. 15 で明らかにしたように、幹の樹冠部より下の肥大成長は、樹冠部より遠ざかるほど減少するという傾向からして当然のことといえよう。Fig. 25 にみられる現象は、1 回に強度の枝打ちを行なうと下方の残枝の巻込みの遅れる傾向のあることを物語っている。

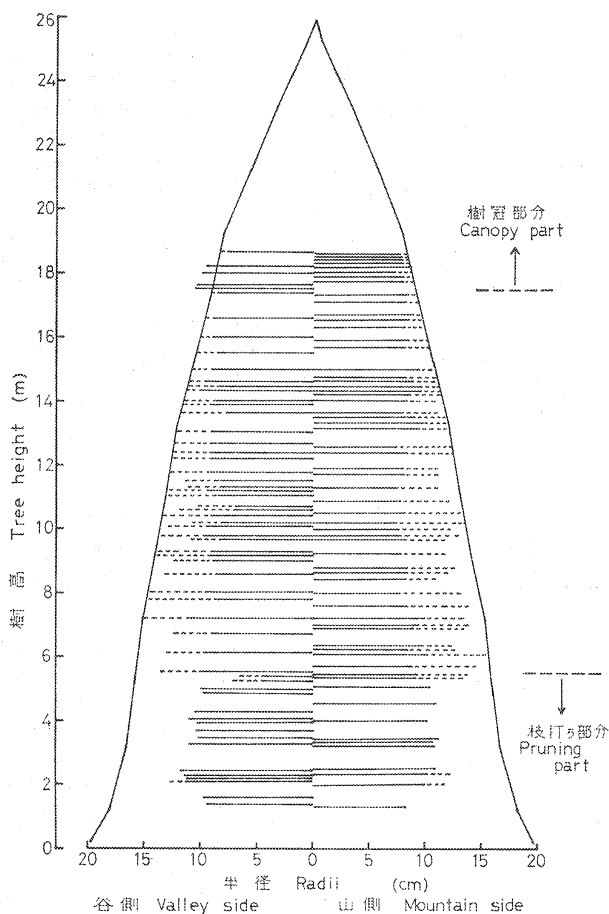


Fig. 26 幹内部の節の分布状態—芦生55年生スギ—
Distribution of knots in a stem. —55-year-old
C. japonica at Ashiu—

図上の節枝はその最大直径が15 mm以上のものであり、実線は生節を、破線は死節を示す。

Sample branches (knots) on the figure are limited to those whose diameters at the thickest parts are more than 15 mm. The solid lines and the broken lines denote the live knots and the dead knots respectively.

I-1-(7) 幹内部の節の分布

Fig. 26 と Fig. 27 は、芦生と北山で求めたスギの供試木の幹と節の解析によって得た資料から、幹内部の節の分布状態を図示したものである。

芦生のスギ林 (Table 1) で得た供試木の概要は I-1-(3) に示したとおりである。北山で得た供試木は地位良好な土地に ha あたり 7,000 本植栽し、その後間伐と枝打ちを頻繁に繰り返して、26 年めに ha あたり 3,300 本程度の木数密度を保っている林分 (Table 1) から得た樹高 14.1 m、胸高直径 14.3 cm、枝下高 9.3 m の個体である。

図上に載せた節は山と谷側のものに限り、その最大直径が芦生のものは 15 mm 以上、北山のものは 2 mm 以上のものに限った。その理由は I-1-(3) で説明したように、これらの供試木の範囲では左右両側の節は山と谷側の節の中間的性質、傾向を持ち、また枝の太さと節の長さに関する諸性質の間には特に強い関係はみられない (Fig. 17~19) ので、図の複雑化を避けるために制限を加えたものである。したがって 15 mm、2 mm という数値は特別の意味を持つものではない。

Fig. 26 の地上 5.2 m より上部は枝

打ちが行なわれず、枝の枯死と自然落枝を経て残枝の巻き込まれた節、またはその過程にある節の分布状態を示す例である。

Fig. 26 の 5.2 m 以下と Fig. 27 は枝打ちが行なわれた場合の節の分布を示す例であり、Fig. 27 の 6.2 m 以下は生枝打ちのみ行なわれた結果である。

小出⁵⁵⁾, 加納⁸⁷⁾ (88) (41) ~ (48), HENMAN²¹⁾, POLGE⁷¹⁾ も幹と節を解析することによって、いく種類かの針葉樹の節の分布状態を報告している。そこで、筆者の得た資料 (Fig. 26, 27) とこれらの報告を参考にすると、針葉樹の林分個体の典型的な節の分布の状態は Fig. 28 のように模式的に描けるようである。

Fig. 28 の I は枝打ちを行なわず、枝の枯死、自然落枝を経て巻き込みに至る過程をたどってきた木の節の分布のモデルである。生節の分布範囲が幹の中心からだいたい一定の半径までであり、その外に死節の分布範囲が続いている。ごく低い位置を除き、死節は樹の中心からある範囲の距離を保ちながら、ほぼ等しい幅の軌跡を残して分布している。

II は一定期間ごとに、枯枝のみを対象に枝打ちしていった木の節の分布のモデルである。個々の枝が枯れると同時にいねいな枝打ちをしていかない限り、定期的な枯枝打ちでは必ず死節が残ることを示している。定期的な枯枝打ちをした木では幹の成長量、樹幹形ともに枝打ちしなかった木と変わりなく、多少の死節は形成されるが、無節材の比率は高くなっている。

III は生枝打ちを繰り返してきた木の節の分布モデルである。死節の形成はみられず、無節材の比率は高くなっている。また樹幹形は完満であるが、幹の積算成長量は前 2 者に比べてある程度小さくなっている。

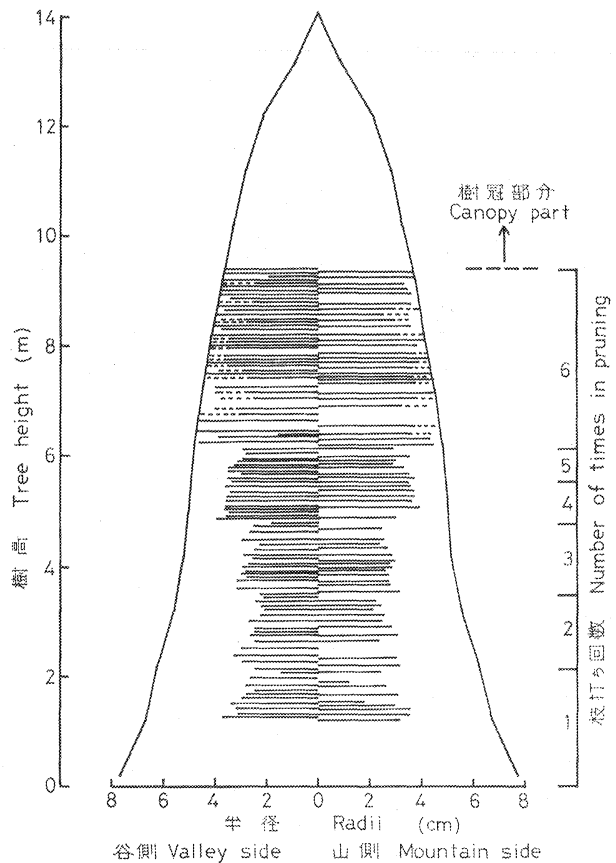


Fig. 27 幹内部の節の分布状態—北山26年生スギ—
Distribution of knots in a stem. —26-year-old
C. japonica at Kitayama—

図上の節枝はその最大直径が 2 mm 以上のものであり、実線は生節を、破線は死節を示す。

Sample branches (knots) on the figure are limited to those whose diameters at the thickest parts are more than 2 mm. The solid lines and the broken lines denote the live knots and the dead knots respectively

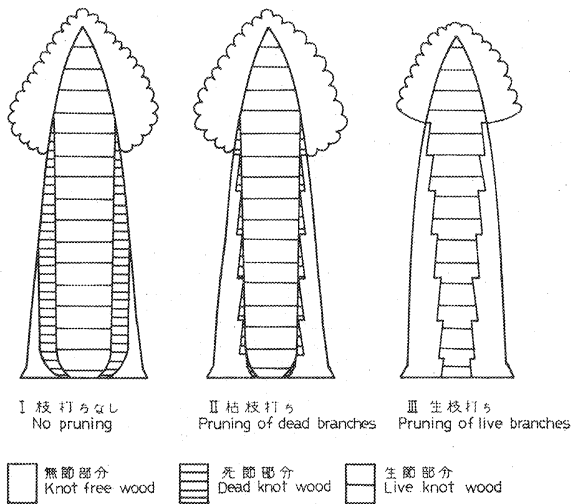


Fig. 28 いくつかの資料を基にして描いた幹内部の節の形成と分布の模式図

Model figures of the distribution of knots in a stem on the basis of several data.

1-2. 枝打ちの強度と幹の成長量

I-2-(1) 枝打ちの強さの指標

枝打ちの強度と樹木の成長との関係調べるには、枝打ちの強度を何で標示するのが適当かを検討しておく必要がある。針葉樹に関して、枝打ちの強度と幹の成長量の関係を求める試験は多くなされてきたが⁴⁾²¹⁾⁴⁶⁾⁵⁰⁾⁸²⁾⁹⁰⁾⁹³⁾⁹⁴⁾¹¹²⁾、それらの中で最も多く用いられている枝打ちの強度の指標は、樹高に対する枝打ち高の割合である⁴⁶⁾⁹⁰⁾⁹³⁾⁹⁴⁾¹¹²⁾（この中で孤立木状のもの⁴⁶⁾は樹冠長に対する枝打ち長率で標示したものとみてもよい）。

孤立木であるか林木であるかによって、また林木でもその林分の閉鎖の度合や林齢などの違いによって、林分構造は異なる。たとえば同じ樹高の林木でも、生育している林分密度が違えば、枝下高はそれぞれ異なるものである。したがって、樹高に対する枝打ち高率を枝打ちの強度の指標として、異なった条件下の枝打ち強度と幹の成長の関係を比較することは不可能である¹¹⁾。ただ同一条件下の樹木同士で枝打ち強度を比較することに関しては、樹高に対する枝打ち高率を枝打ち強度の指標に用いてもさしつかえはないといえよう。

立地条件や林分構造などが違っていても、枝打ち強度と幹の成長との関係の比較をある程度可能なものにしようとするれば、葉の除去率をもって枝打ち強度の指標とすることが最も正確なものと考えられる。もちろん、樹冠位置によって同化能率に関する葉の質が異なり、その異なり方が林分構造の違いなど、いろいろな条件によってある程度差のあることも考えられるが、葉の同化能率は樹冠の上層から下層に向かって樹種ごとに一定の傾向があり（Fig. 3, 4）、樹冠の下方から枝葉を除去していく枝打ちに関しては、葉の除去率はすぐれた枝打ち強度の指標であるといえよう。

しかし、葉量を測定することが困難な場合も多く、それに代わる測定の比較的容易な枝打ち強度の指標として、樹冠長に対する枝打ち長の割合が考えられる。筆者ら¹¹⁾はほぼ同齢で地位の差が少なく、林分密度の異なるスギの一斉単純林で、樹冠長に対する枝打ち長率と葉の除去率との関係を調べたところ、樹冠長に対する枝打ち長率が同じであっても、林分によって最高20%ぐらいまでの葉の除去率の差が認められた。この程度までの差を許容するならば、樹冠長に対する枝打ち長の割合は、枝打ち強度の指標として用

いてもさしつかえなさそうである。

なお上と同じ試験で、樹高に対する枝打ち高の割合と葉の除去率の関係を調べたところ、樹高に対する枝打ち高の割合は同じであっても、密度の異なる林分間で最高 50% ぐらいまでの葉の除去率の差が認められた¹¹⁾。これによって、異なった条件のもとにある林分同士の枝打ちの強さを、「樹高の何%」という指標で比較することの無理なことが明らかであるといえよう。

1-2-(2) 枝打ちの強さと幹の成長

枝打ちの強さの、その後の幹の成長に及ぼす影響については、すでに筆者ら¹¹⁾が報告している。その試験の概要は、枝打ち時 10 年生前後のスギ 4 林分とヒノキ 2 林分に、いろいろの強度の枝打ちを行ない、その後 2 年間の成長経過を調べたものである。その結果を要約すると、枝打ちの程度が強いほどスギ、ヒノキともその後の樹高、直径成長は小さく、幹の成長減少率（この節の後半に示した 1, 2 式参照）は大きい。

本文では前報¹¹⁾の試験地の中から、枝打ち強度の種類の多い試験地をスギとヒノキから 1 つずつ選んで、さらにその後 1 年間の成長経過を加えた結果を報告しながら、枝打ちの強さと幹の成長の関係を検討してみよう。

スギの試験地は京都市北部の尾越のもの (Table 1) で、ヒノキの試験地は京都市北部の大原のもの (Table 1) である。いずれも個体差の少ない一斉單純林で、その中に構成木の平均サイズが等しくなるように試験区を設定した (Table 3)。

枝打ち処理と同時に、条件の等しい隣接区から樹高、直径の頻度分布に応じて何本かの標本木を選んで、葉量の実測を行ない、その資料から枝打ちによる林分あたりの葉の除去率を推定した（その方法は I-1 の冒頭の試験方法参照）。

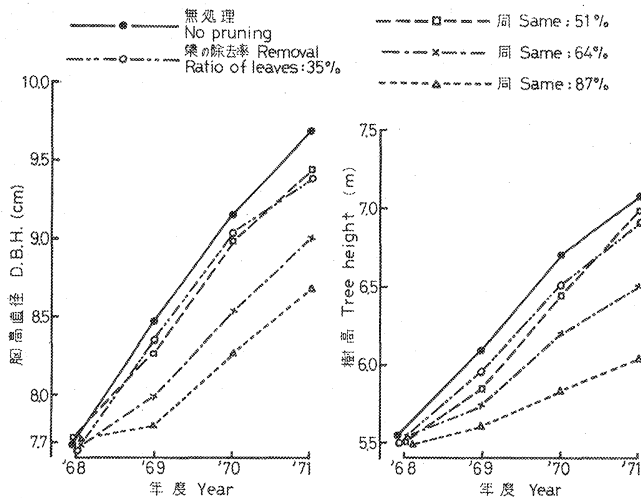
Fig. 29 はいろいろな強度の枝打ち処理を行なってから 3 生育期間の、尾越試験地のスギ林分の直径と樹高の平均成長の経過を示すものである。これによると、直径、樹高成長ともに枝打ちの強さと枝打ち後 3 年間の成長状態に密接な関係が認められ、枝打ちが強いほど幹の成長減少が大きいということがわかる。

Fig. 30 は、大原試験地のヒノキ林分についての同じことを示すものである。ヒノキの試験はスギのそれに比べて、枝打ちの強度の幅が小さく、葉の除去率が 50% を越える試験区がなかったためか、スギにおけるような枝打ちの強さによって、枝打ち後 3 年間の成長状態に顕著な差はみられなかった。しかし、直径成長においてはやはり枝打ちの程度が強いほど、その後の成長減少は大きい。枝打ち後 3 年めに、無処理区をはじめとして直径の成長率が急に減少したのは、それらの区が過密状態に入ったためと思われる。樹高成長は、枝打ちの強さによってそれほど差は出ていないが、それでも枝打ちの程度が強いほど成長減少がわずかながらも現われている。また、筆者の別のスギ幼齢木枝打ち試験（植栽後 2 年めから 5 年めの試験結果。試験方法は I-4 参照）においても、低密度の未閉鎖林分から高密度の閉鎖林分にいたるいかなる密度区でも、枝打ち後の直径、樹高成長は枝打ちした区の方がしない区よりも小さかった (Fig. 37, Fig. 38)。

枝打ちの強度と直径成長の関係について、針葉樹でこれまでになされてきた試験報告を調べてみよう。田尻ら⁹³⁾は 14 年生のヒノキ林で、Young ら¹¹²⁾は 13 年生の Loblolly pine (*Pinus taeda*) 林で、高原⁹⁴⁾は 15 年から 34 年生にわたるスギ 6 林分とヒノキ 4 林分で、SLABAUGH⁹⁰⁾は Red pine (*Pinus resinosa*)

Table 3. 枝打ち試験地と
Experimental stands and the increment

樹 種 Species	場 所 Place	試 験 区 Experimental plot	試験木本数 Number of experimented trees	葉の除去率 Percentage of removed leaves
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	尾 越 Ogose	1	58	0
		2	29	35
		3	47	51
		4	22	64
		5	16	87
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	大 原 Ohara	1	15	0
		2	13	7
		3	17	17
		4	10	41

Fig. 29 枝打ちの強さとその後の
幹の成長
Relationship between pruning
intensities and stem growth
after the pruning.

試験処理時10年生の尾越スギ林
The experimental plots are those
in a 10-year-old *C. japonica* stand
at the time of pruning on Ogose.

で、川名ら⁴⁶⁾は植栽後1年めのヒノキと植栽した年のスギで、HENMAN²¹⁾は24, 5年生の Norway spruce (*Picea abies*), 14, 23年生の Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*), 14, 24年生の Scots pine (*Pinus sylvestris*), 21年生の Corsican pine (*Pinus nigra*), 14年生の Sitka spruce (*Picea sitchensis*), および23年生の European larch (*Larix decidua*) 林で、栗田ら⁵⁰⁾は5年生のスギ林で、BARRET⁴⁾は55年生の Ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) 林でそれぞれ対照区を含めて、2段階から5段階にわたる強さの枝打ち試験を行なったが、いずれも枝打ちを行なったものの方が、また同じ枝打ち区でも強度の大きい区の方が、直径成長の小さくなる傾向を報告している。

直径の測定位置によって差はあるとしても、枝打ちを強く行なうほど直径成長の減少することは上記の報告や、筆者の試験結果によっても疑問の余地のないところであろう。

次に、枝打ち強度と樹高成長の関係についてのこれまでの報告を検討してみよう。枝打ちは樹高成長を増進させるという説があり、それについてまず検討してみたい。

本多²²⁾は「枝打ちを行なうと上長生育を増加するや否や」は一大疑問であるが、最近の欧州林業試験所の

枝打ち後の成長

following pruning operation

枝打ち時の D と H D and H at the time of the pruning operation		枝打ち後3年間の平均成長 Average annual increment of each plot for three years following the pruning operation					
		1年め First year		2年め Second year		3年め Third year	
		D (cm)	H (m)	D (cm)	H (m)	D (cm)	H (m)
7.65	5.62	0.81	0.60	0.69	0.48	0.59	0.71
7.66	5.48	0.62	0.38	0.72	0.60	0.40	0.47
7.63	5.51	0.71	0.59	0.61	0.44	0.52	0.48
7.65	5.53	0.35	0.38	0.58	0.29	0.47	0.33
7.70	5.40	0.16	0.32	0.44	0.12	0.36	0.32
8.37	6.30	0.73	0.65	0.88	0.65	0.21	0.63
8.38	6.30	0.66	0.75	0.88	0.41	0.44	0.62
8.50	6.11	0.62	0.57	0.56	0.72	0.22	0.48
8.38	6.15	0.44	0.71	0.58	0.41	0.43	0.63

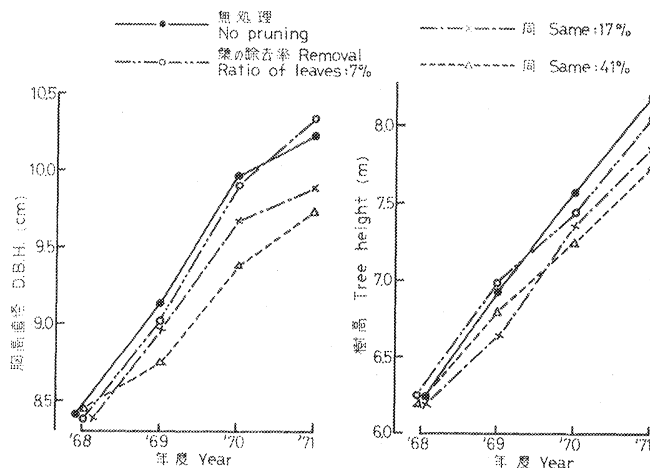


Fig. 30 枝打ちの強さとその後の幹の成長
Relationship between pruning intensities and stem growth after the pruning.

試験処理時14年生の大原ヒノキ林
The experimental plots are those in a 14-year-old *C. obtusa* stand at the time of pruning on Ohara.

報告ならびに著者の農科大学における実験によれば適度に枝打ちを行なうときはたしかに上長生育を増加するのを認めた。即ち農科大学の杉林において青葉の高さの4分の1まで枝打ちしたものは平均1尺8寸5分(56 cm)の上長生育をしたが、枝打ちを行なわないものと、青葉の高さの2分の1を枝打ちしたものはわずかに1尺4寸(42 cm)の上長生育をただけであった」としている。

欧州林業試験所の報告というのは、その出所が明白でないため検討はできない。樹冠(青葉)の4分の1を枝打ちしたものは、枝打ちしなかったものと樹冠の2分の1まで枝打ちしたものの1.3倍の樹高成長(枝打ち後1年間の樹高成長と思われる)をしたことになる。

また、樹冠の2分の1まで枝打ちしたものと、枝打ちしないものの樹高成長が同じであるということも、注目し値する結果である。しかし、試験地、試験木などの試験時の諸条件、試験木本数などが一切不明であるため、上記の試験結果の信頼性は不明といわねばならない。

田中⁹⁹⁾は「10ヶ年間にわたって枝打ちの実験を繰り返しているが、その結果からみると、スギ、ヒノキは山出苗を送り出す時にまず下枝を1~2本剪定し、山地植栽後は3~4年目位から樹高の1/2まで、10年生以上は樹高の2/3までの生枝を枝打ちしていくことによりその成長量はなんの支障を起こさない

ばかりか、7～8年生まではかえって上長成長を促進する結果が現われている。実験結果の一例を挙げると、スギ15年生に試験したところ樹高成長は1/2枝打ち区が最も大きく、2/3枝打ち区がこれに次ぎ、無枝打ち区が最も劣っている」と述べている。しかし、この試験も試験方法が明記されておらず、各種の条件を検討することができない。

本多²²⁾や田中⁹⁸⁾⁹⁹⁾の説はその後の林学書に影響を与えているようで¹⁰²⁾¹¹³⁾、それらは枝打ちの目的に樹高成長の促進を掲げている。

渡辺¹⁰⁶⁾は隣接していて所有者が違い、片方は枝打ちをはじめ下刈りなどの保育のよく行き届いた林分と、他の1つは保育管理のよく行なわれていない林分の生育状態を比較し、その結果手入れのよく行き届いた林分が平均樹高10.0 m (平均直径10.2 cm) であるのに対し、手入れの行き届かぬ林分の平均樹高は7.3 m (平均直径7.5 cm) であることを示し、適度な枝打ちは樹高成長を促進するとしている。両林分の条件については、地況は地続きの同一緩斜面、使用した苗木は共同購入によるもので同一のものとみてよく、両者とも施肥は行なわれていないとことわってある。しかし、樹高成長のよい林分は13年生で他は12年生とししてあり、苗木の購入年度が違ふということから、苗木の条件が同一であるとはいきれない場合も多いとせねばならない。また、樹高成長のよい方の林分は下刈り回数12回、枝打ち回数が3回、haあたり本数3,100本であるのに対し他の林分は2年生時に下刈り回数1回のみ、枝打ち回数1回、haあたり本数は4,000本といろいろな条件が異なっている。この下刈り回数の差が、両林分の成長に影響を与えていないかという検討も、全くなされておらず、単に枝打ち管理のよしあしのみが、両林分の成長差をもたらしたとしていることには問題が残るものと思われる。

以上のように、適度な枝打ちは樹高成長を増加させるというこれまでの説の論拠は、必要な条件をそなえた試験に基づくものとはいいたい。またこれらの説の説明に、下層枝はその個体の成長に何ら寄与しないばかりか、生産よりも消費の方が大きく、その個体の生育にとってマイナスの存在であるため、それを除去すれば個体成長を増進するものであるとしている⁹⁸⁾¹⁰⁶⁾。しかし、このことに関する各層の物質生産と消費のメカニズムはまだ解明されておらず、現段階では不明である。

一方、先に掲げた田尻ら⁹⁸⁾、YOUNGら¹¹²⁾、高原⁹⁴⁾、SLABAUGH⁹⁰⁾、川名ら⁴⁶⁾、HENMAN²¹⁾、栗田ら⁵⁰⁾、およびBARRET⁴⁾の試験報告によると、いずれも枝打ちによる樹高成長の促進は認めていない。また、筆者ら¹¹⁾¹³⁾の10年生前後のスギ4試験地、ヒノキ2試験地、スギの植栽後2年めから5年めにわたる試験地でも、枝打ちした区(いかなる強度のものでも)の方がしなかった区よりも樹高成長が大きくなったという結果は、一例も出なかったことは先にも述べたとおりである。

以上のように、多くの文献と筆者らの試験結果からして、針葉樹においては枝打ちによって樹高成長が増すということは一般的なことは考えられない。もちろん、ある適度な強さの枝打ちでは、樹高成長の促進のみられる可能性のなおあることは否定できないとしても、たとえある枝打ちの強さである程度の樹高成長があったとしても、それをもって枝打ちが樹高成長を促進するものであるという一般論に拡大することは危険であり、少なくとも針葉樹においては、枝打ちの目的に樹高成長の促進を掲げることは適当ではない。

次に、葉の除去率と幹の成長減少率との関係を、ほぼ同齢で、地位の差が少なく、林分密度の異なるスギとヒノキのいくつかの一斉単純林で、いろいろの強度の枝打ち処理を行ない、その後2年間成長測定した結果¹¹⁾に基づいて調べてみよう (Table 4)。

Table 4. 枝打ちの強さとその外観的指標, および幹の成長減少率の関係
Intensity of pruning, its external indications, and the reduction rate of stem increment in the experimental stands

樹 種 Species	試 験 地 Place	枝葉量最大層(m) Stratum with the largest leaf-bearing branch weight (m)	葉量最大層 (m) Stratum with the largest leaf weight (m)	枝成長量最大層 (m) Stratum with the largest branch increment (m)	枝打ち高 (m) Height of the pruning (m)	葉の除去率 (%) Percentage of the removed leaves (%)	枝打ち後の樹冠最下部の平均枯上り率 (%) Average ratio of clean length in the branches of the stratum on the pruning height (%)	枝打ち後2年間の幹の成長減少率 (%) Reduction rate of stem increment at two years later after the pruning	
								1式 Formula 1*	2式 Formula 2*
ス ギ <i>Cryptomeria japonica</i>	別 所 Bessho	0.3 ~0.8	1.3 ~1.8	3.3 ~3.8	1.5 2.5	0 48 73	0 0	0 21 38	0 10 19
	尾 越 Ogose	0.8 ~1.3	1.3 ~1.8	3.3 ~3.8	1.5 2.0 2.5 3.5	0 35 51 64 87	0 0 0 0	0 15 11 41 63	0 9 5 17 24
	大 布 施 Obuse	1.3 ~1.8	2.8 ~3.3	4.3 ~4.8	2.2 3.5	0 22 53	15 0**	0 15 46	0 5 15
	宇治田原 Ujitawara	3.8 ~4.3	3.8 ~4.3	4.8 ~5.3	3.5	0 38	0**	0 0	0 2
ヒ ノ キ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	大 原 Ohara	2.8 ~3.3	3.3 ~3.8	3.3 ~3.8	2.0 2.7 3.5	0 7 17 41	88 62 25	0 26 19 33	0 10 8 15
	宇治田原 Ujitawara	3.3 ~3.8	3.8 ~4.3	3.8 ~4.3	3.5	0 32	55	0 13	0 8

* 幹の成長減少率は I-2-(2) に示した 1, 2 式によった。

Reduction rates of stem increment were calculated by the formula 1 and 2 in I-2-(2).

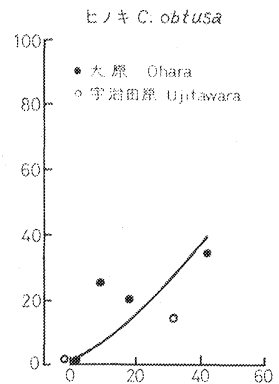
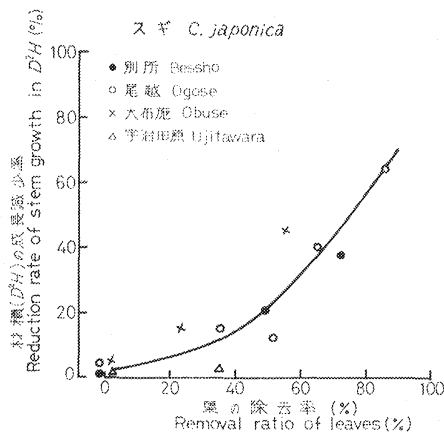
** 枝の基部からの枯上りが始まりかけていることを示す。

The stratum where the clearing in branches is beginning.

Fig. 31 葉の除去率と幹の成長減少率との関係

Relationship between removal ratio of leaves and reduction rate of stem growth.

この図の幹の成長減少率は I-2-(2) に示した公式 (1) に基づくものである。
Reduction rates of stem growth in D^2H on this figure are based on the formula (1) in I-2-(2).



枝打ち後 2 年間の、枝打ち区の対照区に対する幹の成長減少率を次の 2 とおりの式で標示した。

$$1 - \frac{\text{各処理区の } D^2H(t_2) - \text{各処理区の } D^2H(t_0)}{\text{対照区の } D^2H(t_2) - \text{対照区の } D^2H(t_0)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\text{対照区の } D^2H(t_2) - \text{各処理区の } D^2H(t_2)}{\text{対照区の } D^2H(t_2)} \dots\dots\dots (2)$$

ここで D と H は胸高直径と樹高、 t_0 と t_2 は枝打ち処理時とそれより 2 年後の測定時を表わすものである。

幹の成長減少率そのものを問題にすれば、枝打ち処理後ある期間の対照区の成長量に対する、対照区の成長量と処理区の成長量の差の比率 (1 式) で示すのが適当であり、材の収穫を目的としてみると、幹の蓄積量に対して成長の減少量の割合 (2 式) で、幹の成長減少率を示すのが適当と思われる。両式による幹の成長減少率は Table 4 のようである。

この試験結果の 2 式による幹の成長減少率についてはすでに筆者らが報告している^{11)*} ので、ここでは 1 式による葉の除去率と幹の成長減少率の関係を調べてみたい (Fig. 31)。スギについてみると、密度の異なる試験地間で多少傾向が異なっているようであるが、全体的には 1 本の線で両者の関係が示されるようである。Fig. 31 から判断すると、葉の除去率が 50% ぐらいまでであれば幹の成長減少率は 20% ぐらいまでですが、それ以上になると幹の成長減少率の増加度合は急激に大きくなることがわかる。

ヒノキについては点数が少なく、また横軸の範囲も小さいので、葉の除去率と幹の成長減少率の全体的な関係はわからない。ただ葉の除去率が 40~50% ぐらいの範囲までで、スギとヒノキを比べてみると、同じ葉の除去率ではヒノキの幹の成長減少率の方が、スギのそれより大きい傾向が認められる。

I-2-(3) 幹の成長に対する枝葉の貢献度の外観的指標

I-1-(1) および I-1-(2) において、幹の成長に対する層ごとの枝葉の貢献度ということを検討したが、前節の枝打ちの強度と幹の成長に関する試験結果を参考にして、層ごとの枝葉の幹材生産に対する貢献度が外観的指標によってとらえられるかどうかを検討してみよう。10 年生前後の林分を対象とした、枝打ち試験¹¹⁾における枝打ち強度と幹の成長、枝の基部からの枯上り長率や、枝、葉量の最大層などの関係を示したのが Table 4 である。これによると、ほとんどのスギ林において、枝打ち時には、枝打ち高の位置における枝の基部からの枯上りはまだ起きていなかった。しかし、馬乗山の 19 年生のスギ林 (Table 1) では、枝の枯上り長率が 50% ぐらいになってもなおわずかながらも幹の成長に寄与している枝が認められた (Fig. 32) し、芦生の 55 年生のスギ (Table 1) でも枝の枯上り長率が 60~70% ぐらいになってもなおわずかながらも幹の成長に寄与している枝が認められた (Fig. 33)。ただし Fig. 33 でわかるように、枯上り長率の上限近くになった枝の多くは、わずかに成長はしていても、枝の基部の方の肥大成長は認められず、したがってそれらの枝は幹の成長には寄与していないといえる。

このことは主に、下枝の中には成長しているからといっても、必ずしも幹の成長には寄与していない枝があるということである。

スギにおいて、樹齢の高い木におけるほど、枝の基部からの枯上り長率が大きくても、その枝はまだ幹

* 前報¹¹⁾の 8 ページと 14 ページのそれぞれ下から 15 行めと 18 行めの t_0 は t_2 の誤りである。したがって次のように訂正する。

$$\frac{D^2H(t_2) \text{ of control plot} - D^2H(t_2) \text{ of any plot}}{D^2H(t_2) \text{ of control plot}}$$

where t_2 expresses the time at two years later after pruning operation.

の成長に寄与していることが多い傾向がある。一方、15年生ぐらいまでの若いスギ林では、まだ枝の基部からの枯上りが始まっていない枝でも、幹の成長に対する貢献度が著しく低いかゼロになっていることが多い。

一方、Table 4 におけるヒノキでは、枝打ち高付近での枝の基部からの枯上りはかなり進んでおり、枝の枯上り長率が55%から62%ぐらいまでの枝打ちであれば、幹の成長減少はたいして目だっていない (Table 4, Fig. 30)。早稲田¹⁰⁴⁾は、63年生のヒノキ林の枝の枯上り長率が60%以上のものは、枝の基部の成長は停止しており、50%前後では成長している枝と、成長停止している枝が入り混じっていることを報告している。また、馬乗山の19年生のヒノキ林 (Table 1) の調べ⁹⁾では、基部からの枯上り長率が40%以上進んだ枝での成長量は、全枝の成長量のわずか6%であった。

以上をまとめると、ヒノキの枝の貢献度と枝の基部からの枯上り長率の関係は、スギにおけるそれほどには林齢によって変わることは少ないようである。そして、ヒノキでは一般に、枝の基部からの枯上り長率が40~50%ぐらいの枝のある層までの枝打ちを行なっても、幹の成長にはほとんど影響はないようである。

筆者らの試験結果¹⁰⁾の範囲において、枝の自然枯上りの始まっている単純一斉林で、幹の成長減少にあまり影響を与えない枝打ちの外観的指標を検討してみよう。

いまかりに、1式と2式による幹の成長減少率が、それぞれだいたい15%以下の場合を幹の成長に影響の少ない枝打ちであるとする、その枝打ちの外観的指標は次のようである。

スギ：葉の除去率約40%、樹冠長に対する樹冠内の枝打ち長率約30%、枝葉量最大層 (みかけの力枝層) 付近まで。枝の基部からの枯上り長率は林齢が15年以下の場合、基部からの枯上り始まり出した層まで。それ以上の林齢のもの

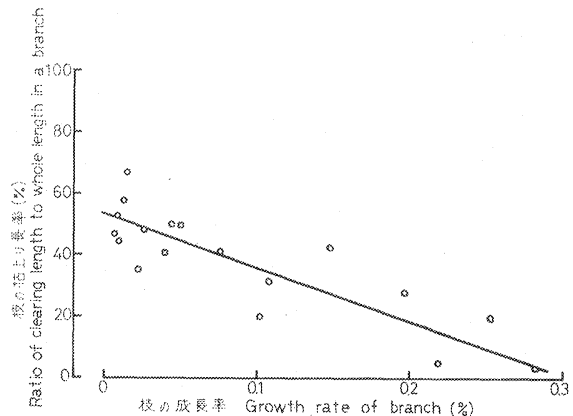


Fig. 32 枝の成長率と枝の枯上り長率との関係
—馬乗山19年生スギの1供試木—

Relationship between the growth rate of a branch and the ratio of the clearing length to the whole length in the branch.
—One sample tree in 19-year-old *C. japonica* stand at Umanoriyama—

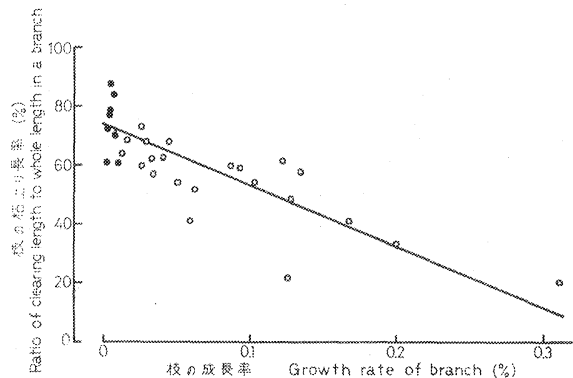


Fig. 33 枝の成長率と枝の枯上り長率との関係
—芦生55年生スギ—

Relationship between the growth rate of a branch and the ratio of the clearing length to the whole length in the branch.
—55-year-old *C. japonica* at Ashiu—

クロマルは基部の年輪が認められない枝を示す。
Closed circle denotes the branch whose latest annual ring lacks at the bast.

については資料が少なく、まだはっきりしたことはいえない。

ヒノキ：葉の除去率約 15%，樹冠長に対する樹冠内の枝打ち長率約 25%，枝葉量最大層付近まで，枝の基部からの枯上り長率 40～50%の層まで。

以上からすると，外観的にはスギはヒノキに比べてかなり強度な枝打ちを行なっても，成長の減少に影響の少ないことがわかる。

I-3 枝打ち方法と林分構造

I-2-(2) において，枝打ちの強さと幹の成長の関係を検討したが，枝打ち強度の違いによって，個体ないし林分成長に違いの生ずることから，枝打ち方法の違いによって，林分構造にも違いのできることが考えられる。

筆者は苗畑に設けた植栽後 2 年めのスギの模型林分と，京都府宇治田原にある 9 年生の現実林分 (Table 1) に，4 種類の方法で枝打ち処理を行ない，その前後の生育経過を追跡した結果を報告した¹²⁾。ここでは，上述の苗畑に設けたスギの模型林分を，さらに継続試験した結果を報告しながら，枝打ち方法の違いによる林分構造の変化を検討してみたい。

試験方法の概要は次のようである。1968 年 3 月にスギ（愛知系統 2 号）の 1 回床替え 2 年生苗を，80 cm 間隔で林業試験場関西支場構内に植栽した。3 種類の枝打ち区と対照区（枝打ちなし区）を設け，植

Table 5. 試験区と処理方法 —スギ 5 年生林分—
Experimental plots and treatment method
—5-year-old *C. japonica* stand—

試 験 区 Experimental plot	試験木本数 Number of experimen- tal tree	処 理 方 法 Treatment method	
		1969, 11	1971, 11
無 処 理 No pruning	24	枝 打 ち な し No pruning	枝 打 ち な し No pruning
高さ一定枝打ち Pruning of up to the same height	24	全木の地上 80 cm まで枝打ち。 この時の平均樹高 181 cm。 All of the trees were pruned up to 80 cm from the ground. Average tree height was 181 cm then.	全木の地上 160 cm まで枝打ち。 この時の平均樹高 355 cm。 All of the trees were pruned up to 160 cm from the ground. Average tree height was 355 cm then.
樹冠一定長残し Pruning of leaving the same canopy length	24	全木の樹冠長が 120 cm となる ように枝打ち。 この時の平均樹高 187 cm。 All of the trees were pruned so as to leave 120 cm of can- opy. Average tree height was 187 cm then.	全木の樹冠長が 160 cm になる ように枝打ち。 この時の平均樹高 328 cm。 All of the trees were pruned so as to leave 160 cm of can- opy. Average tree height was 328 cm then.
個体の大きさに比例 した枝打ち Pruning whose intensity is proportional to tree size	24	樹高の大きな木ほど強く，小さ な木ほど弱く枝打ち。Table 6 参照。 Pruning where the ratio of the removal is large in large trees and small in small trees. See the Table 6.	樹高の大きな木ほど強く，小さ な木ほど弱く枝打ち。Table 6 参照。 Pruning where the ratio of the removal is large in large trees and small in small trees. See the Table 6.

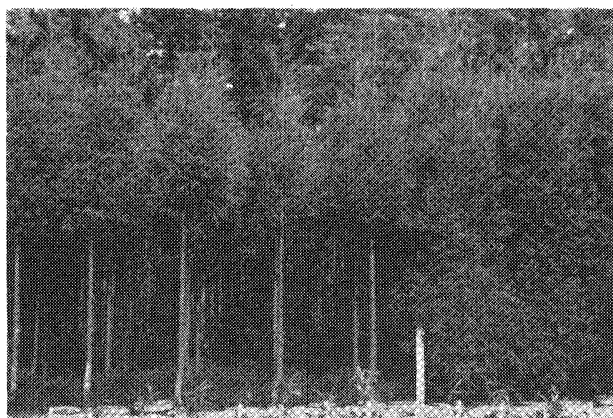


Photo. 2 枝打ち方法と林分構造の関係を試験したスギの造成林分
 植栽後4年めに2回目の枝打ち処理を行なった直後の外観
 A part of the *C. japonica* experimental stand to make
 clear the relationship between pruning methods and
 stand structures.
 The picture was taken just after the second pruning
 which was done 4 years after the planting.

密度効果と枝打ち効果の関係を試験した林分 (I-4) もほぼ同じである。

The experimental plots where the examination to make clear the relationship between density effects and pruning ones was performed have almost same structure as that of the plots in this picture.

栽後2年めと4年めにそれぞれの処理を行ない、5年めまでの成長測定を行なった。

各区の試験木は24本で、それぞれの周囲には同じ処理をした2列の外周木を配置した。試験区と処理方法はTable 5, Photo. 2のとおりである。

枝打ち後に発生した萌芽枝は、そのつど除去した。対照区では、植栽後3生育期の後期に樹冠の閉鎖をみた。試験期間をとおして、各区とも試験木の枯死は1本もみられなかった。

毎年生育休止期に、地上60 cmにおける幹直径 (D) と樹高 (H) を測定し、個体の大きさを D^2H ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}$) で表現した。生育休止期における成長測定は、原則として11月に行なった。なかにはつごうによって、翌年の3月までに測定を行なったものもあるが、同じ生育休止期間中のものであり、表現を統一するため便宜的に測定月はすべて11月として表現した。

各処理区の、構成木の大きさのバラツキ方は、年度ごとの標準偏差によって示した。また、成長にともなう各区の個体の大きさの順位変動の状況は、次のようにして表わした^{19) 20)}。各生育期の終わりに、各区ごとに測定した個体の D^2H の大きなものから順に1, 2, 3と番号をつけ、同じ個体ごとに年度間ごとの順位を比較するために、前年度の順位との差を求めた。たとえば、1年間に順位の変わらなかったものは0, 5番めから3番めに上がったものは+2, 逆に3番めから5番めに下がったものは-2とするのである。この順位差の絶対値の合計を、各処理区ごとの個体の順位変動指数とし、それによって年度間ごとの個体順位の変動の様子を示した。なお、同じ順位の現われた時は、木の整理番号の若いものに上位の番号を与えた。

植栽後5年間の各区の標準偏差の推移を示したのがTable 6とFig. 34, 平均順位変動指数の推移を

Table 6. 各区の個体サイズ (D^2H) の分布の
Standard deviation in the distribution of tree size (D^2H) and

測 定 年 月 Time measured (Year, Month)	'67, 11		'68, 11	
D^2H の諸数値 Value of D^2H (m)	平 均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation	平 均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation
試 験 区 Experimental plot				
対照区 (枝打ち無し) Control plot (No pruning)	6.69 2.50～11.70	2.95	66.2 44.3～113.7	16.4
枝打ち高一定区 Plot for the pruning of up to the same height	6.15 2.61～9.71	2.17	69.3 38.8～113.7	20.9
個体の大きさに応じた強度の枝打ち区 Plot for the pruning whose intensities are proportional to tree sizes.	5.12 1.73～15.40	2.80	66.6 40.8～140.6	26.2
樹冠長を等しく残す枝打ち区 Plot for the pruning of leaving the same canopy length	4.70 1.54～12.14	2.52	69.2 34.5～152.3	25.0

Table 7. 各区の個体サイズ (D^2H) の平均順位変動指数 —スギ5年生林分—
Average fluctuation index in the order of tree size (D^2H) in each
experimental plot —5-year-old *C. japonica* stand—

試 験 区 Experimental plot	期 間 Period	'67, 11 ～'68, 11	'68, 11 ～'69, 11	'69, 11 ～'70, 11	'70, 11 ～'71, 11	'71, 11 ～'72, 11
対照区 (枝打ちなし) Control plot (No pruning)		6.58	3.33	2.42	1.92	1.75
枝打ち高一定区 Plot for the pruning of up to the same height		7.08	3.67	3.33	3.17	2.67
個体の大きさに応じた強度の枝打 ち区 Plot for the pruning whose intensities are proportional to tree sizes		6.42	4.58	6.33	2.17	4.75
樹冠長を等しく残す枝打ち区 Plot for the pruning of leaving the same canopy length		6.75	3.17	4.75	1.83	2.08

示したものが Table 7 と Fig. 35 である。これらの図上の傾向から大別して、2つの枝打ちのグループに分けられることがわかる。

第1のグループは枯枝打ち (枝打ちなしと枯枝打ちは同じものとみなした) と、林分をとおして地上からの高さを一定にして枝葉を除去する方法である。

このグループの枝打ち 施業を行なうと、生育にともなう 個体分布の標準偏差の増大のしかたが大きく (Fig. 34), 個体の平均順位変動指数は小さくなり続けた (Fig. 35)。個体の平均順位変動が少なくなるということは、種内競争が起こると大きな個体と小さな個体の差はますます拡大していくということになる⁹³⁾。

標準偏差その他の値 —スギ5年生林分—

others in each experimental plot —5-year-old *C. japonica* stand—

'69, 11		'70, 11		'71, 11		'72, 11	
平均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation	平均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation	平均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation	平均 最小～最大 Average Min.～Max.	標準偏差 Standard deviation
609 149～1,457	338	3,354 1,111～5,998	1,177	6,804 2,430～11,300	1,890	11,257 6,718～17,682	2,480
675 323～1,160	220	2,625 983～4,681	736	6,262 2,920～10,560	1,820	9,326 3,711～14,690	2,585
748 185～2,377	483	2,405 1,344～3,730	639	6,183 4,070～12,410	1,721	8,288 6,144～9,875	1,148
635 174～1,496	326	2,072 1,065～3,222	591	5,122 2,640～7,280	1,228	6,590 3,871～9,220	1,522

第2の枝打ちグループは大きな木ほど強く、小さな木ほど弱い枝打ちを行なう方法 (Table 8) と、樹冠長を同じ長さに残して打つ枝打ち方法である。このグループの枝打ちを行なうと、生育にともなう個体分布の標準偏差の増大のしかたは、第1のグループに比べてはるかに小さくなり、前年度より標準偏差の小さくなることもあった (Fig. 34)。また、第2のグループの枝打ちを行なうとその次の生育期には、個体の平均順位変動指数は増加した (Fig. 35)。

以上のことから、一斉単純林において、第2のグループの枝打ちを続けると第1のグループの枝打ちを続けた場合に比べて、個体差の少ない、より均一な個体からなる林分が形成されていくものと考えられよう。

大きな個体ほど強く、小さな個体ほど弱く枝を打つ枝打ち方法と、樹冠長が一定になるような枝打ち方法を続けた結果個体差がなくなってくると、それらの枝打ちは枝下高をそろえて打つ枝打ちと変わらないものになって

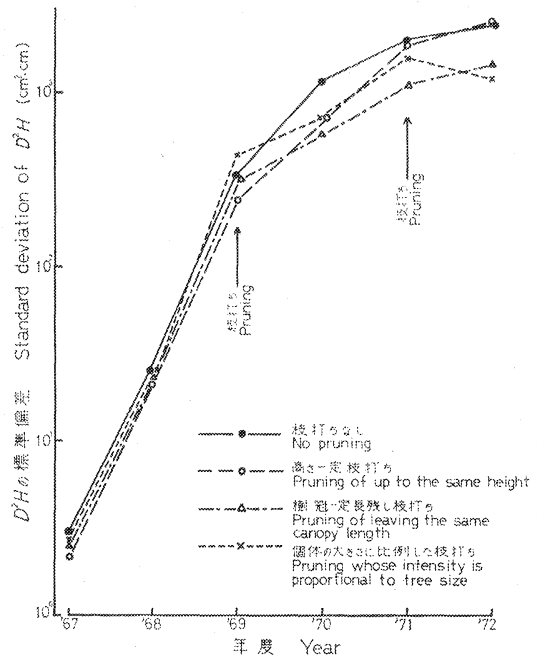
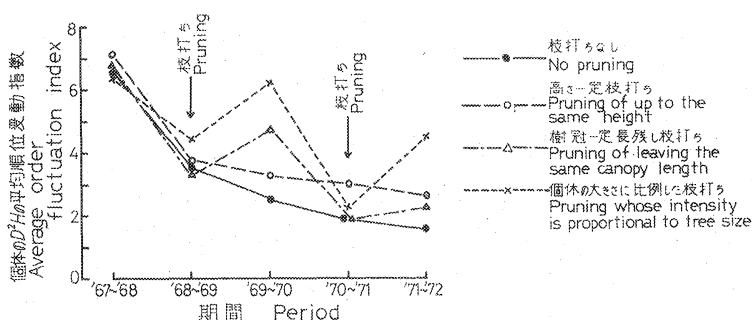


Fig. 34 枝打ち方法の違いと林分内の D^2H の個体差—スギ5年生林分—

State of the scattering in the distribution of D^2H in each pruning experimental plot. —5-year-old *C. japonica* stand—

Fig. 35 枝打ち方法の違いと D^2H の平均順位変動指数

—スギ5年生林分—

Average fluctuation index in the order of D^2H in each pruning plot. —5-year-old *C. japonica* stand—

Table 8. 個体の大きさに比例した枝打ちの処理方法 —スギ5年生林分—

Pruning operation whose intensity is proportional to tree size
—5-year-old *C. japonica* stand—

試験木番号 Number of experimental tree	処理方法 Treatment method					
	1969, 11			1971, 11		
	樹 高 Tree height (cm)	枝打ち高 Height of pruning (cm)	枝打ち高率 Ratio of pruning height (%)	樹 高 Tree height (cm)	枝打ち高 Height of pruning (cm)	枝打ち高率 Ratio of pruning height (%)
1	223	130	58	320	140	44
2	136	0	0	302	110	36
3	200	100	50	345	190	55
4	195	90	46	350	200	57
5	169	35	21	333	165	50
6	140	0	0	334	165	60
7	200	100	50	350	200	57
8	160	25	16	351	200	57
9	190	70	37	368	225	61
10	135	0	0	282	90	32
11	176	45	26	369	225	61
12	180	50	28	355	210	59
13	215	100	47	357	215	60
14	192	60	31	348	195	56
15	225	130	58	353	205	58
16	200	70	35	357	215	60
17	215	100	47	352	205	58
18	185	50	27	341	180	53
19	220	120	55	335	165	49
20	219	120	55	359	220	61
21	225	130	58	367	225	61
22	205	85	41	309	120	39
23	177	40	23	318	140	44
24	205	85	41	340	170	50

注) 1969年の枝打ちでは枝打ち高率の大きさの順序が、樹高の順序どおりになっていない部分もわずかながらあるが、全体としてはほぼ順序どおりになっている。

Remark) In the pruning at 1969, although the order of the ratios of pruning height are not perfectly proportional to the tree heights, they could be regarded as being proportional as a whole.

くる。したがって、個体差の少ない林分では、上に記した4つの枝打ち方法は区別がほとんどなくなってくるのである。

以上のように枝打ち方法をいろいろ工夫することによって、経営目標に合った林分構造に調節していくことが可能であろう。

I-4 林分の密度効果と枝打ち効果

枝打ちの管理にあたって、枝打ち効果と密度効果の基本的な関係をおさえておくことは非常に重要と思われるが、この関係を実証的に説明した試験報告はこれまでのところ見当たらない。筆者はスギの幼齢林で密度と枝打ち効果との関係を求める試験を行ない、いくつかの知見を得た¹⁹⁾のでその結果を検討してみたい。

試験方法

林業試験場関西支場構内の土壌条件の等しい苗畑に、1968年3月に1回床替2年生苗を4つの異なる密度別に植栽した。密度は100 m²あたり624本(密植区)、312本(準密植区)、156本(準粗植区)、39本(粗植区)とし、その中にそれぞれ枝打ち区と無処理区を設けた。各区の試験木本数は24本で、その周囲に同じ処理をした2列の木を配置した。枝打ち区については植栽後2生育期と4生育期の終了後に、すべての林分の各個体の樹冠長が等しくなるように枝打ちを行ない、5生育期の終了後の幹の成長、その他の結果についてとりまとめた。

全枝打ち区をとおして1回めの枝打ちでは樹冠長を1.1 mに、2回めの枝打ちではそれを1.6 mにそろえた。無処理区の樹冠の閉鎖は密植区で植栽後2生育期間中に、準密植区は3生育期の初期に、準粗植区は3生育期の後期に完了し、粗植区は5生育期を終えた時点で閉鎖の一手前であった。

最終調査は次のように行なった。地上60 cmにおける幹の直径(D)と樹高(H)を毎木調査し、各区ごとに構成木の D^2H の大きさの分布の全体を含むように、平均7本のサンプル木を伐倒して樹幹析解し、材積(V)その他を求めた。サンプル木の D^2H-V の相対成長関係式¹¹⁰⁾から、残りの試験木の材積を推定した。

枝打ち処理時の林況と枝打ち方法を示したものがTable 9であり、最終調査時の林況を示したものがTable 10である。先に示したPhoto. 2は、準粗植区の無処理区と、枝打ち区の第2回枝打ち直後の模様とほぼ同じものを示す写真である。

I-4-(1) 幹の林分成長

単位面積あたりの幹材積合計はFig. 36のとおりである。これによると枝打ち区、無処理区ともに高密

Fig. 36 単位面積あたりの幹材積に関する密度と枝打ち効果の関係
—スギ5年生林分—
Relationship between density effects and pruning ones in association with stem volume per definite area on a 5-year-old *C. japonica* stand.

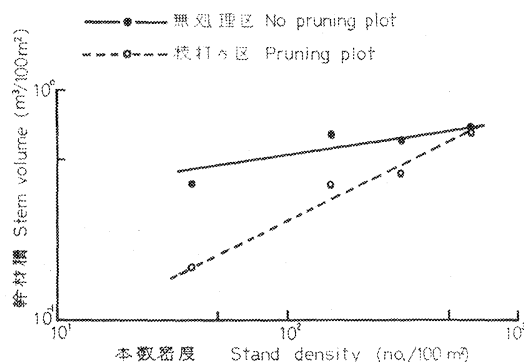


Table 9. 枝打ち処理時の林況と
Pruning method and stand characteristics

区 名 Plot	密 度 (本数/100m ²) Density (Number /100 m ²)	第1回枝打ち (1969, 11)	
		処 理 前 Just before pruning	
		平均樹高 (m) Average tree height (m)	平均樹冠長 (m) Average canopy length (m)
密植枝打ち Close planting and pruning	624	1.82	1.63
密植無処理 Close planting and no pruning	624	1.74	1.56
準密植枝打ち Sub-close planting and pruning	312	1.69	1.69
準密植無処理 Sub-close planting and no pruning	312	1.77	1.77
準粗植枝打ち Sub-sparse planting and pruning	156	1.87	1.87
準粗植無処理 Sub-sparse planting and no pruning	156	1.81	1.81
粗植枝打ち Sparse planting and pruning	39	1.73	1.73
粗植無処理 Sparse planting and no pruning	39	1.95	1.95

Table 10. 最終調査時の林況 —スギ5年生林分—
Stand characteristics at the final measurement —5-year-old *C. japonica* stand—

区 名 Plot	密 度 (本数/100m ²) Density (Number /100 m ²)	平均直径 (cm) Average diameter (cm)	平均樹高 (m) Average tree height (m)	平均幹材積 (cm ³) Average stem volume (cm ³)	haあたり幹 材積 (m ³ /ha) Stem volume per ha (m ³ /ha)
密植枝打ち Close planting and pruning	624	2.75	3.30	1,072	67.0
密植無処理 Close planting and no pruning	624	2.78	3.28	1,132	70.7
準密植枝打ち Sub-close planting and pruning	312	3.15	3.25	1,399	43.7
準密植無処理 Sub-close planting and no pruning	312	3.62	3.62	1,943	60.7
準粗植枝打ち Sub-sparse planting and pruning	156	4.27	3.51	2,488	38.9
準粗植無処理 Sub-sparse planting and no pruning	156	5.24	4.13	4,272	66.8
粗植枝打ち Sparse planting and pruning	39	5.67	3.75	4,240	16.6
粗植無処理 Sparse planting and no pruning	39	9.06	4.77	9,756	38.1

枝 打 ち の 方 法 —スギ5年生林分—

at the time of pruning —5-year-old *C. japonica* stand—

First pruning (1969, 11)		第2回枝打ち (1971, 11)		Second pruning (1971, 11)	
処 理 後 Just after pruning		処 理 前 Just before pruning		処 理 後 Just after pruning	
(平均)樹冠長 (m) (Average) canopy length (m)	無処理区と枝打ち 区の樹冠長の比 Ratio of canopy length in no pruning plot to that in pruning plot	平均樹高(m) Average tree height (m)	平均樹冠長 (m) Average canopy length (m)	(平均)樹冠長 (m) (Average) canopy length (m)	無処理区と枝打ち 区の樹冠長の比 Ratio of canopy length in no pruning plot to that in pruning plot
1.10	0.71	2.69	1.97	1.60	0.76
1.56		2.91	2.10	2.10	
1.10	0.62	2.86	2.27	1.60	0.64
1.77		3.07	2.50	2.50	
1.10	0.61	3.28	2.51	1.60	0.47
1.81		3.53	3.38	3.38	
1.10	0.56	3.70	3.07	1.60	0.40
1.95		3.96	3.96	3.96	

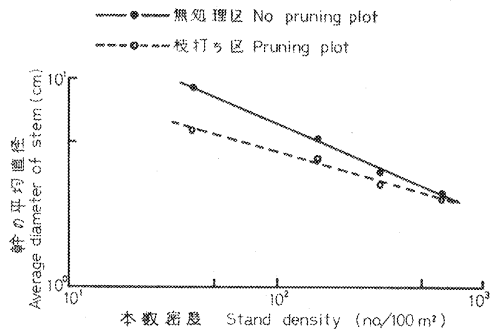


Fig. 37 幹の平均直径に関する密度と枝打ち効果の関係—スギ5年生林分—
Relationship between density effects and pruning ones in association with average stem diameter on a 5-year-old *C. japonica* stand.

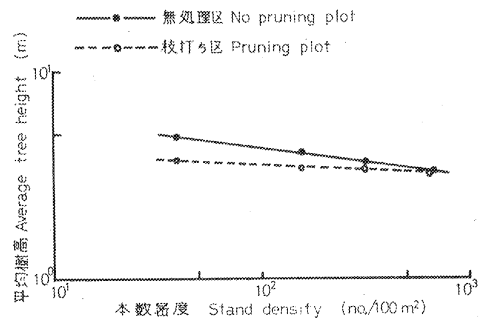


Fig. 38 平均樹高に関する密度と枝打ち効果の関係—スギ5年生林分—
Relationship between density effects and pruning ones in association with average tree height on a 5-year-old *C. japonica* stand.

度は単位面積あたり幹材積が大きい。同じ本数密度の場合は、無処理区は枝打ち区より単位面積あたりの幹材積は大きい。そして、その差は低密度ほど大きく、高密度ではほとんど差がない。すなわち、密度の違いによる単位面積あたり幹材積の違いは無処理区では小さいが、枝打ち区では大きいということである。

I-4-(2) 幹の平均成長

密度の違いによって無処理区と枝打ち区の間で、幹の平均直径にどのような違いがあるかを Fig. 37 に

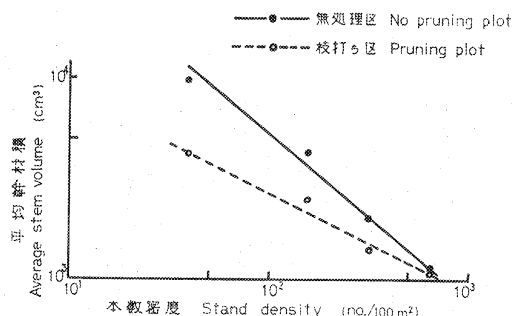


Fig. 39 平均幹材積に関する密度と枝打ち効果の関係—スギ5年生林分—

Relationship between density effects and pruning ones in association with average stem volume on a 5-year-old *C. japonica* stand.

示した。これによると無処理区、枝打ち区ともに低密度ほど平均直径が大きい。同じ本数密度の場合は、無処理区は枝打ち区よりも平均直径が大きく、その差は低密度区ほど大きく、密植区では差はない。

密度の違いによって、無処理区と枝打ち区の間で、平均樹高にどのような違いがあるかを示したものが Fig. 38 である。その傾向は Fig. 37 の幹の平均直径におけるものとよく似ているが、無処理区と枝打ち区の平均樹高の違い方は、平均直径の違い方に比べてはるかに小さい。また密度の違いによる平均樹高の差の出方も、平均直径の差の出方に比べて無処理、枝打ち区ともにはるかに小さい。

すなわち密度効果、枝打ち効果ともに直径成長においては顕著に出るが、樹高成長においては両効果とも

に目だっては出ないことがわかる。

次に、平均幹材積の密度と枝打ちとの関係について示したものが Fig. 39 である。Fig. 37, 38 の幹の直径、樹高における傾向と同じように無処理区、枝打ち区ともにそれぞれ低密度区ほど平均幹材積が大きい。また同じ本数密度の場合は、無処理区は枝打ち区よりも平均幹材積が大きく、その差は低密度区ほど大きく、密植区ではほとんど差がない。このような傾向は、幹材積における方が幹の直径と樹高におけるよりもいっそう顕著である。以上の平均直径、樹高、幹材積について、密度と枝打ち効果の関係を整理すると、高密度においては枝打ち効果はみられないが、低密度になるほど枝打ち効果は大きくなるということが特徴として挙げられる。

I-4-(3) 高密度林分の維持について

枝打ち時において、大きな個体ほど強度に枝打ちすることを繰り返すか、樹冠長が一定になるように枝打ちを繰り返していけば、その林分の構成木の大きさのバラツキ方は小さくなり、構成木の大きさの均一な林分のできることは I-3 で触れたとおりである。またそのような枝打ちをくり返していけば、高い林分密度を維持し、成長にともなう林分密度の

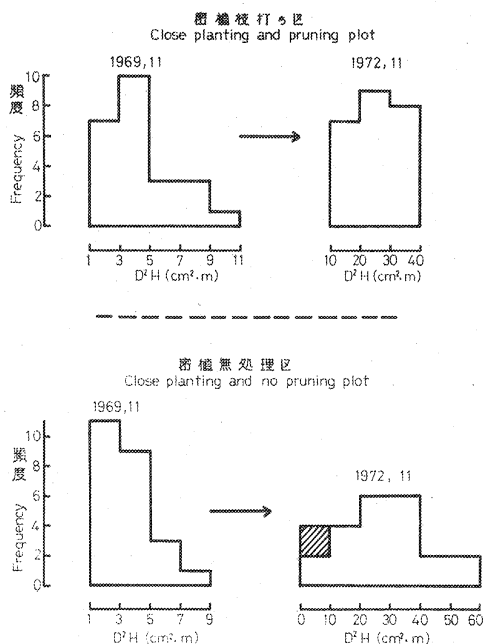


Fig. 40 枝打ち区と無処理区の個体サイズの分布—スギ5年生林分—

Distribution of tree size in the pruning plot and the no pruning plot on a 5-year-old *C. japonica* stand.

斜線部分は測定後7か月以内に枯死した個体を示す。

The part of the oblique lines on the figure denotes the trees which died within 7 months after the final measurement (1972, 11).

減少度合が少なく、いわゆる一般的な最多密度線を越えた状態の林分の存在することも知られている⁸⁵⁾。

その点に関する枝打ち効果をみるために、密植枝打ち区と密植無処理区 (Table 9) の第1回枝打ち処理時 (1969年11月) と、5生育期間を経た時点 (1972年11月) での個体の D^2H の度数分布を調べてみた (Fig. 40)。1969年11月における両区の個体の D^2H の分布は、よく似た範囲と型を示していたが、1972年11月には枝打ち区の D^2H の分布の範囲は、無処理区のそれに比べて明らかにせまくなった。また Fig. 40の無処理区の、1972年11月における分布図の斜線部分は、その後1973年6月までに枯死した部分である。一方、枝打ち区には、まだ枯死しそうな兆候の個体はみられなかったことから、本試験においても高密度林分維持という枝打ち効果が認められたといえよう。

I-4-(4) 樹幹形

樹幹形は木材生産を主目的とする林業では完満度の高さ、低さということにおいて問題にされることが多い。完満度の指標は多くのものが使われているが、最も簡単で一般的に使われているものは H/D 、すなわち幹の形状比と呼ばれるものである。ここではさらに幹の形をよりよく表現するために、 H^3/V を完満度の指標としたい。

齊藤ら⁷⁸⁾は幹形の表示法を次のように示している。単位高さあたりの幹材積 (V) の平方根を、 $d = \sqrt{V/H}$ とすると d は一種の直径を示すことになる。この式から $(d/H)^2 = V/H^3$ を導くことができ、幹形の標示とすることができる。

完満度の高さと V/H^3 の大きさは反比例するが、 V/H^3 を H^3/V とすると H^3/V の大きくなることは完満度の高くなることを意味し、理解しやすくなるのでここでは H^3/V を完満度の指標として用いることとした。

密度の違いと各区の完満度の平均値との関係は、Fig. 41のとおりである。これによると、完満度は枝打ち区も無処理区もそれぞれ密度が高いほど高い。また同じ密度の場合は、枝打ち区の方が無処理区より完満度は高く、その差は低密度ほど大きい。しかし、この試験における程度の枝打ちでは、全体的にみると完満度は枝打ちよりも密度の方に大きく影響されていることがわかる。

I-4-(5) 枝の切口の巻込みの早さ

枝の切口の巻込みのよしあしは、おもに残枝長と幹の肥大成長の大小によって決まることは I-1-(6) で触れたところである。幹の直径成長が密度と枝打ち効果を顕著に受けることは、Fig. 37 で明らかにされたとおりである。そこで、密度と枝打ちおよび枝の切口の巻込み関係はどのようになっているかを、本試験の範囲で次のように調べることにした。

密度の違う4つの枝打ち区 (Table 9) から、それぞれの区の平均的な大きさの個体を5本ずつ標本木として選んだ。それらの標本木に、1971年11月に処理した枝の切口の巻込み速度を、1生育期間を経た

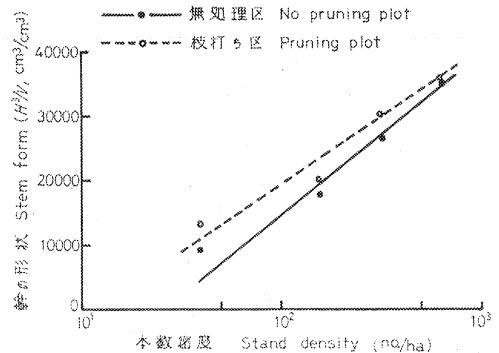
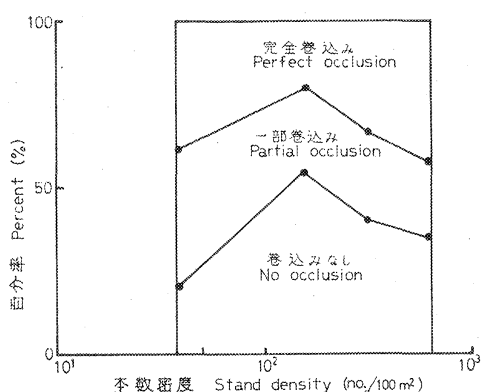


Fig. 41 幹の形状に関する密度と枝打ち効果の関係—スギ5年生林分—

Relationship between density effects and pruning ones in association with stem form on a 5-year-old *C. japonica* stand.

Table 11. 密度の違いと枝打ち (71, 11) 後 1 年めの枝の切口の巻込み状態
— 5 年生スギ林分 —Relationship between stand density and the progress of the occlusion of branch stub one year after the pruning (71, 11) on 5-year-old *C. japonica* stand

試 験 区 Experimental plot	試験木番号 Tree number	完全巻込み Complete occlusion	一部巻込み Patial occlusion	巻込みなし No occlusion	合 計 Total
密植枝打ち区 Close planting and pruning	1	0	1	3	4
	2	3	0	2	5
	3	2	2	1	5
	4	4	0	2	6
	5	2	2	1	5
	合計本数 Total no. 比 率 Ratio (%)	11 44	5 20	9 36	25 100
準密植枝打ち区 Sub-close planting and pruning	1	0	1	4	5
	2	3	2	3	8
	3	4	1	1	6
	4	2	3	4	9
	5	3	3	3	9
	合計本数 Total no. 比 率 Ratio (%)	12 32	10 27	15 41	37 100
準粗植枝打ち区 Sub-sparse planting and pruning	1	2	4	5	11
	2	1	3	8	12
	3	2	2	7	11
	4	2	3	7	12
	5	4	3	3	10
	合計本数 Total no. 比 率 Ratio (%)	11 20	15 27	30 53	56 100
粗植枝打ち区 Sparse planting and pruning	1	4	5	3	12
	2	4	3	2	9
	3	5	5	4	14
	4	6	7	1	14
	5	4	5	2	11
	合計本数 Total no. 比 率 Ratio (%)	23 38	25 42	12 20	60 100

Fig. 42 密度の違いと枝打ち後 1 年めの枝の切口の巻込み率—スギ 5 年生林分—
Relationship between stand density and the occlusion ratio of branch stubs one year after the pruning on a 5-year-old *C. japonica* stand.

1972 年 11 月に次のような基準で外観的に判定した。

すなわち、切口材部の完全に露出しているもの（巻込みなし）、切口材部の完全にみえなくなったもの（完全巻込み）、および前 2 者の中間（一部巻込み）の 3 段階に分けて切口の巻込み状態を調べた。枝打ちは同じ剪定ばさみを使って同じ調子で行なった。

密度の違いと枝の切口の巻込み 関係は Table 11 および Fig. 42 のとおりである。巻込みの早さと密度との間に直線的な関係のみられないのは、密度が低いほど幹の肥大成長は大きい、同時に枝も太く、それに比例して枝打ちによる残枝が長くなりやすいこと⁹⁶⁾、逆に密度が高くなるほど幹の肥大成長は小さい、枝は細く⁴¹⁾、枝打ちによる残枝が短くなりやすいという、相反する 2 つの因子がかみ合うため

であろうと思われる。Fig. 42の準粗植区の巻込みがいちばん遅れているのは、2回めの枝打ち時までは隣接する木との空間がかなり大きく、枝のふとりもよかったため残枝長も大きくなったが、枝打ちしたところから隣接木との競争が始まり、肥大成長の速度が落ちたために枝の切口の巻込み成績が悪くなったのではないかと考えられる。

このように、密度と枝の切口の巻込み速度の関係は、巻込み速度を決する枝の太さ（すなわち枝打ちによる残枝が長くなる傾向がある⁹⁰⁾）というマイナス因子と、肥大成長のよさというプラスの因子の組合せが可変的であるために、どういう密度が枝の切口の巻込みに関して有利であるかは一概にはいえないようである。それだけに今後、密度と枝の切口の巻込み状態についての多くの資料を積み重ねて、より詳しい検討をすることが必要であろう。

II 枝打ち効果の応用

Iにおいて枝打ちの生物学的諸効果に実証的な検討を加えたが、IIではそのうちのいくつかの枝打ち効果の応用について、Iで得たスギの資料に基づいて検討してみたい。

林業経営の目標、あるいは生産材の目標によって枝打ちの目的は異なり、その目的によって枝打ち技術（体系）も大なり小なり差異が生ずるであろう。そこで、まず枝打ちの諸目的を整理、概観しながら本文における枝打ち効果の応用範囲を明確にしておきたい。

なお、本文でいう枝打ち技術とは、枝打ちの管理技術を指すものである。すなわち、枝打ちの管理技術とは枝打ちをいつ、どのように行なうかというようなことを計画、管理していく技術であり、枝の落とし方や、枝打ち面の仕上がりのよしあしなどに関する枝打ちの作業技術とは区別したものである。

II-1) 枝打ちの効用と目的

ここでは枝打ちの効用と、広義の林業⁶⁰⁾における枝打ちの具体的な目的を整理検討したい。

a) 良質材生産：ここでいう良質材の意味はII-2)で説明する。

b) 林内下層への陽光量の配分調節：スギおよびヒノキの複層林を健全な状態に維持していくためには、林分の上層から下層へかけての適度な光の配分が必要であり、適時な択伐とともに枝打ちはそのための有効な手段である（岐阜県の今須の択伐林はその代表的な例である）。

c) 個体成長と林分構造の調節：I-3で明らかにしたとおりである。

d) 火災の防止：枝打ちと森林火災に関する資料は見当たらないが、少なくとも枯枝打ちは林床火から樹冠火への拡大を小さくする効果のあることは考えられる。

e) 病虫害の防止、防除：スギノアカネトラカミキリは枝の基部またはその付近に産卵し、幼虫は死節を中心に材部を食害して飛び腐れをおこしていくといわれ^{5)66)75)~77)111)}、枯枝の生ずる前に活力の衰えた枝をていねいに除去しておくことは、その対策として効果的であるとされている⁵⁾⁶⁷⁾⁷⁴⁾。また手入れがおくれて通風が悪くなり、湿度の高い林においては、スギの黒点校枯病、枝枯菌核病、黒粒葉枯病、非赤枯性溝腐病、およびヒノキの枝枯性病の一種などが目だつといわれており^{5)26)~28)30)31)}、適度な除間伐とともに適切な枝打ちはこれらの諸害を避けるのに必要と考えられる⁵⁾²⁸⁾。また、ヒノキの徳利病の予防のためにも、枯枝を作らぬように枝打ちをすることが必要とされている⁵⁾⁴⁹⁾⁷⁹⁾。一方枝打ちの仕方がまずいと、逆に材の変色⁶⁾¹⁵⁾⁹¹⁾⁹⁵⁾などのマイナス効果の大きいことはいうまでもない。

f) 冠雪害の防止：生枝打ちを行なうと完満度は高くなり (I-4-(4))、完満度が高くなるほど冠雪害を受けやすくなる⁵⁷⁾⁵⁹⁾¹⁰³⁾ ので、生枝打ちは一般的には樹木や林分の冠雪に対する抵抗力を弱めることになる。しかし、ここでいう冠雪害防止のための枝打ちとは、冠雪に対して弱い樹冠の偏奇を補正してやる枝打ちのことである¹⁰³⁾。裾枝払いを枝打ちに含めると、裾枝払いは稚樹の埋雪からの立直りを早める効果がある²⁴⁾²⁵⁾⁸⁴⁾ とされている。一方下枝は根元を丈夫にし、根系の発達を促す²⁹⁾⁵⁸⁾ といわれているので下枝の除去には注意が必要のようである。

g) 風害の防止：枝打ちと風害との関係は、上に記した枝打ちと冠雪害との関係と非常によく似ており⁹⁷⁾、冠雪害の防止対策がほとんどそのまま風害の防止にも当てはまるようである。筆者の行なった枝打ちと密度の試験¹³⁾中に経験したところでは、強度の枝打ちを行なったところでも密度の低い林分では風倒害 (1972 年 9 月 16 日の 20 号台風) を受けなかったが、密度の高い区では枝打ち区、無処理区ともにいくらかの個体が風倒害を受けた。

そして、害を受けた個体は樹冠の偏奇したものに集中していた。また、筆者らが岐阜県今須のスギとヒノキの混交択伐林を継続調査中に起きた、上記の台風による風倒木を調べた結果¹⁷⁾では、風倒木は中下層木に認められ、それらは例外なく樹冠の偏奇の目だつ個体であった。これらの事実から、樹冠の偏奇を補正してやる枝打ち (および剪定) によって、風害を軽減しうことは十分に考えられる。

h) 枝そのものの利用のための枝打ち：薪炭材その他として枝を利用するために、枝打ちを行なうことがある。

i) 林内作業の能率向上：樹冠同士の閉鎖が始まりだしてからしばらくの間の林内は見とおしが悪く、歩行その他の動作も妨げられることが多く、そのマイナスを除去するため、人の手の届く高さぐらゐまで枝打ちが行なわれることが多い。

以上で枝打ちの効用と目的を概観したが、枝打ち効果としての林業経営上 マイナスとされるものも多く、幹の完満化にともなう冠雪、風に対する抵抗力の減少⁵⁷⁾⁵⁹⁾⁹⁷⁾¹⁰³⁾、枝の切除にともなう幹の傷や変色⁶⁾¹⁵⁾⁹¹⁾⁹⁵⁾、および個体の成長減少 (I-2-(2)、ただし、年輪幅抑制、その他のためにこれをラプラス効果として求めることも多い) などである。これらプラスおよびマイナス効果の関係、あるいは、ある目的で行なう枝打ちが他の目的を同時的に達成するか相反するかは、十分な資料に基づいて検討されねばならない。

本文では、あえてそのなかで木材生産を第一とし、特に良質材の生産に目的をしぼって枝打ち効果の応用を検討したい。したがって他の枝打ち効果、目的との関係を含めての総合的解析は今後の課題となろう。

II-2) 木材の材質

本文における材質の評価は次の範囲にしばって行なわれるものである。まず、木材の原形を壊さないでそのまま、または加工して構造材とか造作材などのような用途に供するものである。針葉樹材と広葉樹材では生物学的に特徴的な相違点が多くみられるが、本文では針葉樹のみを対象とする。

木材の材質指標は、強度とか耐久性などの物理化学性による機能的なものと、人々の嗜好性にうったえる化粧的なものがあり、かつそれらの諸項目は多岐にわたるため木材の材質の評価はむずかしいとされている⁴⁰⁾⁶⁸⁾。その間にあって本文では、保育のあり方いかんによってかなりの程度に左右される可能性のある木材の諸性質を、問題とするものである。

林木の育つ環境や、保育の行ない方によって影響を受けることの多い木材の性質については加納^{32)~36)}

39)40)42)43)45), 加納ら37)38)41)44), MAYER-WEGELIN⁶³⁾, POLGE⁷¹⁾らのすぐれた研究報告がある。これらの報告から、構造材のように木材の原形をつぶさないで使用する木材として、どのような性質の木材がすぐれたものとされているかを要約すると次のようである。

完満な形の幹は製材に際して歩止まりがよく目切れができてにくい⁴⁰⁾⁴⁴⁾。針葉樹では年輪幅が適度な範囲(一般に1 mmから6 mmぐらい⁴⁴⁾)において秋材率が高く、比重が大きい⁸²⁾⁸³⁾⁸⁵⁾⁹⁶⁾⁹⁹⁾。したがって、年輪幅が適度な範囲でよくそろった材は強度的にすぐれている⁴⁴⁾⁴⁵⁾。樹冠材に比べて枝下材は強度的にすぐれ、狂いも少ない⁴⁰⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾。Fig. 28 に示したとおり、生節の分布範囲が樹冠材に、死節と無節部分が枝下材にあたる。

一般に節の径比や、集中径比⁴⁴⁾⁸⁸⁾が大きくなるほど木材の強度は低下する⁴⁰⁾⁴⁴⁾。また節によって幹の繊維走向が乱れるために、製材品に局部的に目切れが生じやすいことが欠点とされている⁴⁴⁾。特に死節部分は、幹と枝との繊維が不連続となるために強度的に欠点が大きいの⁴⁰⁾⁴⁴⁾。上記のほか、林木の環境や保育によって影響を受ける素材の材質として幹の通直性があり、通直性の高い材の要求されるのが普通である。

したがって、枝打ち効果との関係において、本文でいう良質(素)材とは無節性、完満度、通直性が高く、年輪幅が適度な範囲でよくそろっている素材を指すものとし、特に無節性を重視するものとする。

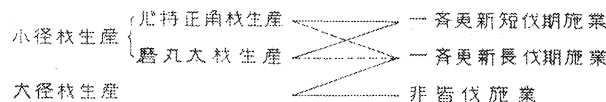
II-1. 枝打ちの管理

生産される材の使用目的の違いに応じて、枝打ちの管理技術も異なるであろう。そこでまず、生産目的を小径材生産と大径材生産に大別し、さらに小径材生産を心持正角材生産と、丸太を磨いて柱に使用する特殊丸太生産に分けてそれぞれの枝打ち管理の進め方を検討したい。

またII-1-(2)-2)の非皆伐林の項で触れるが、良質な心持正角材や特殊丸太材は、複層林の中下層木から間伐材として収穫することは、幹が通直性に欠けやすい点でむずかしいといえよう。したがって本文では、良質無節の心持正角材と特殊丸太生産のための枝打ち管理は、一斉更新林分によるものとした。

大径材の生産は、一斉更新による長伐期施業(この場合間伐材として無節の心持正角材などを収穫することができる)と、非皆伐施業によるものに大別した。非皆伐林には二段林から各径級のそろった択伐林まで幅があるが、ここでは非皆伐林の究極的な形である択伐林をもって非皆伐林を代表することとした。

以上を要約して示すと下記のとおりである。



なお上記の短伐期と長伐期は、相対的なもので厳密な区別はない。

以上のような生産目的と保育施業に応じて、それぞれの枝打ち管理の進め方を検討していきたい。

II-1-(1) 小径材生産の枝打ち管理

II-1-(1)-1) 心持正角材生産の枝打ち管理 (京都府美山町の一例)

一斉更新林分において、四方無節の心持正角材を能率的に生産することを目指す。

Fig. 43 は素材と製材角の大きさの関係を示すものである。一辺の長さ x cm の正角を得るためには、丸太の末口径が最低 $\sqrt{2} \cdot x$ cm あることが必要である。現在日本で最も多く用いられている正角柱材の一辺の長さは9 cm, 10.5 cm, 12 cm が普通であり、それぞれの材をうるための素材の最小末口径は Table 12 のとおりである。

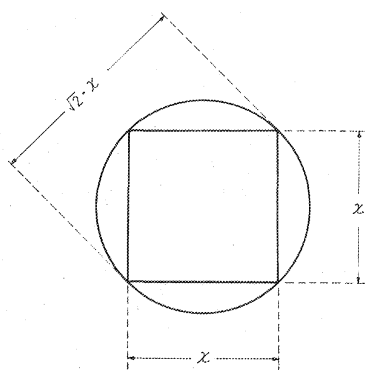


Fig. 43 素材と正角採材のサイズの関係
Relationship between the size of a log and the squared timber which is produced from the log.

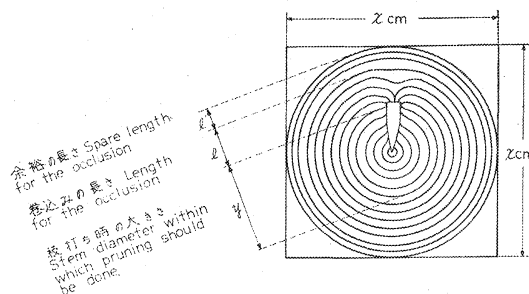


Fig. 44 正角材の利用径級から判断した枝打ちすべき幹の直径
Diameter within which pruning should be operated in relation to the required timber size.

Table 12. 正角材と素材のサイズの関係
Relationship between the size of squared timber and log

正角材一辺の長さ The length of one side in squared timber (cm)	素材の最小末口直径 The least diameter at the top end of the corresponding log (cm)
9.0	13.0
10.5	15.0
12.0	17.0

Table 13. 柱正角の大きさと枝打ちすべき幹の大きさの関係
Relationship between the size of squared timber and the stem diameter within which pruning should be done

正角材一辺の長さ The length of one side in squared timber (cm)	枝打ち時の末口の無皮直径 Stem diameter at the top end of the corresponding log without bark within which pruning should be done (cm)
9.0	6.0
10.5	7.5
12.0	9.0

次に一辺 x cm の正角が表面無節であるためには、その木のどのような生育段階で枝打ちを行なえばよいかを考えてみよう。Fig. 44 でわかるように、一辺 x cm の正角が表面無節であるためにはその木の直径が x cm の生育段階にある時には、すでにその木の表面が無節になっていることが必要である。

さらに枝打ちから巻込みまでの長さ (l) と、製材する時の余裕の長さ (l') を考慮して (Fig. 44) 枝打ちを行なうべき幹の直径 (y) を求めると次のようである。

$$y = x - 2(l + l')$$

巻込み長は枝の大きさや枝の打ち方の良否、その他の条件によっていくらか異なるであろうが、筆者らの節解析資料¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁰⁵⁾から判断すると、スギの小径木での普通の枝打ち後の巻込み長は 1 cm あれば十分である。いま巻込み長を 1 cm、余裕の長さを 0.5 cm として目的サイズの正角を得るために、少なくともそれまでに枝打ちを完了しな

ければならない幹の直径を計算すると Table 13 のとおりである。

柱材生産を目的とする枝打ちにおいては、柱材の長さを常に念頭において、枝打ちすることが必要である。たとえば 1 玉 3 m の材が目標であれば、最終枝打ち高は 3 m の整数倍プラス根曲がりなどの余裕をもって決めるべきである。

以上の基本を踏まえながら、京都府北桑田郡美山町芦生の 55 年生のスギの樹幹および節解析資料¹⁴⁾

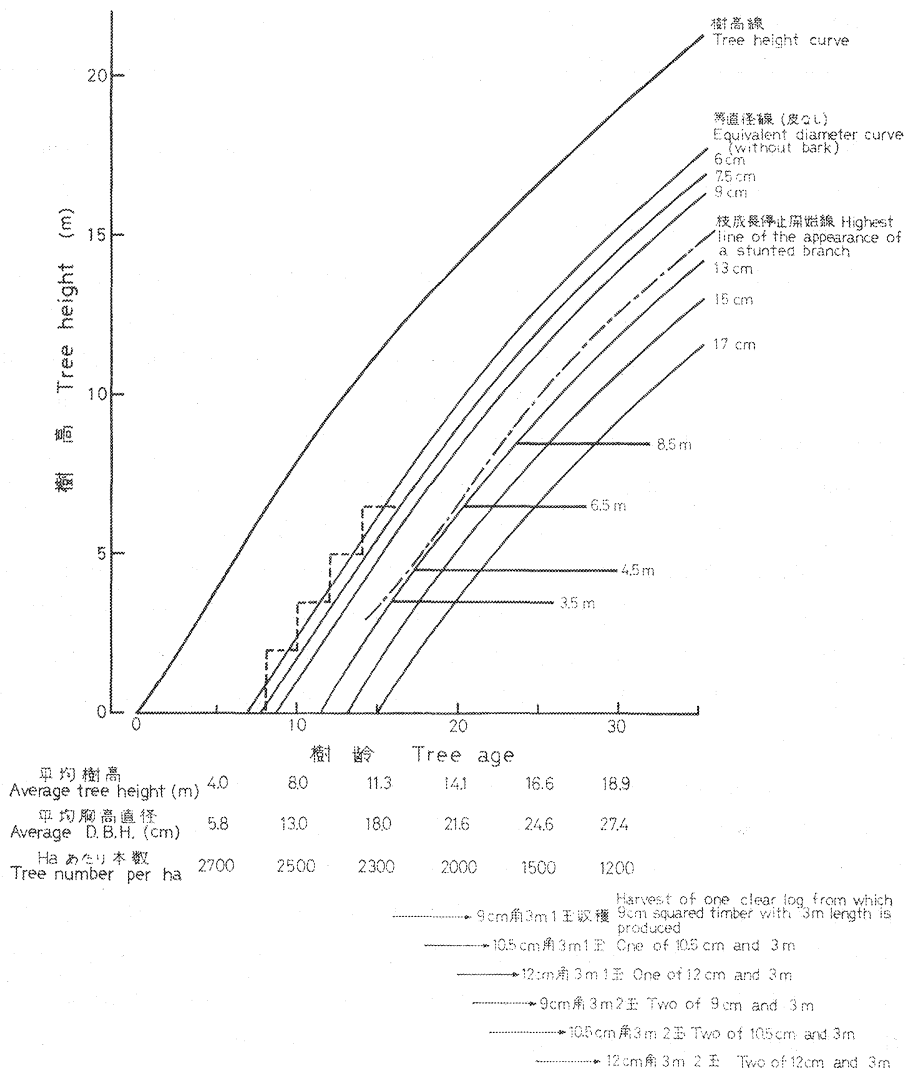


Fig. 45 スギの心持正角無節の柱材生産のための枝打ち指針図の一例
—京都府北桑田郡美山町スギ1等地の一例—

An example of guide for pruning management for the production of a knot-free squared boxed heart timber of *C. japonica*. —An example on the area whose soil condition is good in Miyama-cho, Kyoto prefecture—

(Table 1) を利用して、四方無節の心持正角の柱材生産のための枝打ち管理指針を検討してみよう。なお早稲田ら¹⁰⁴⁾ は、ヒノキの枝打ち指針図の一例を示している。

Fig. 45 は上記の地方のスギ1等地で植栽時 ha あたり約 3,000 本、50 年生時で約 650 本のスギ林を例にとった枝打ち管理指針図とすることができよう。この図の読取り方は次のようである。

i) 横軸は樹齢 (年)、縦軸は高さ (m) を表わす。

ii) いちばん上の実線は樹高線で、その下の 6 本の実線は、それぞれの樹齢における無皮の幹の等しい直径の高さを示す等直径線である。この等直径線 6 cm, 7.5 cm, 9 cm はそれぞれ 9 cm, 10.5 cm,

12 cm の正角を無節でとるために、それまでに枝打ちを行わなければならない直径を示す。等直径線 13 cm, 15 cm, 17 cm はそれぞれ 9 cm, 10.5 cm, 12 cm の正角がとれるための最小限の末口直径である。

iii) 横軸に平行な 4 本の線は採材定尺を示すものである。たとえば、3.5 m というのは 3 m 1 玉プラス地ぎわの切捨て長 0.5 m を、6.5 m は 3 m 2 玉プラス地ぎわの切捨て長 0.5 m を示す。同じように、4.5 m と 8.5 m は 1 玉が 4 m の場合についてである。

iv) 鎖線は樹冠内のある程度以上大きな枝（ここでは枝径 2 cm 以上のもの）で、枝成長停止の起き始める高さの線であり、これより上が幹材生産に対する貢献度の高い陽樹冠である（I-1-(3), I-1-(4)）。

さて、上記の枝打ち指針図にしたがって枝打ち管理の一例を示そう。いま 10.5 cm 正角 3 m の柱を 2 玉無節でとることを目標とする。このとき地上高 0.5 m から 6.5 m までの間は、直径 7.5 cm になるまでに枝打ちされなければならない。また、枝打ちによる成長減少をできるだけ少なくするために、枝打ちは 7.5 cm の等直径線からあまりはなれないように、条件の許す限り回数多く枝打ちすることが望ましい。以上を考慮して、破線のように階段状に枝打ちしていくことが考えられる。

1 回めの枝打ちは 8 年めに地上約 2 m までで、これは同時に林内作業の能率向上や、林床火の林冠火への拡大防止などの枝打ちの目的を兼ねるものでもある。1 年おき 2 回の枝打ちで、10 年めに 1 玉無節のための作業が終わり、さらに 1 年おき 2 回の枝打ちで 14 年めに 2 玉無節のための作業が完了する。これ以上無節の正角をとろうとしなければ、あとは枝打ちを行わず幹の肥大成長の回復増進につとめ、収穫可能な径級に達するのを待つべきである。

Fig. 45 において、10.5 cm 正角がとれる末口直径 15 cm の等直径線と採材定尺の交点から、3 m 1 玉は 18 年めころに、3 m 2 玉は 22 年めころに無節で生産できることがわかる。同じようにして角の大きさ、玉の長さに応じて枝打ち時期の決定と材の収穫時期の予定が立てられる。

同一林分内において、個体差がまちまちな場合は、枝打ちは個体の大きさに応じて行なっていくべきで成長の早い個体は早くから枝打ちを開始して、早く予定が完了する。また最終伐期に個体差の少ない材を収穫しようとするれば、幼齢期から成長の早い個体には強めの枝打ちを行なっていくことが必要である（I-3）。なお、同林分でひき続き大径材を生産していこうとすれば、その対象木を選んで次節で述べるような枝打ち管理に移行していくとよい。

やや強度の生枝打ちの結果として、個体の成長減少をとまなうため、実際には Fig. 45 の樹高その他の曲線の位置は枝打ちに応じていくぶん下方にずれるはずである。したがって、実際に枝打ちされた資料に基づいて修正されなければならないが、Fig. 45 は枝打ち管理に当たっての基本的な考えの進め方を示すことにおいて、当面の意味を持つものと考えてよいだろう。

II-1-(1)-2) 特殊丸太生産の枝打ち管理（京都市北区中川北山町の一例）

ここでいう特殊な丸太とは、丸太のまま表面を美しく仕上げて主に床柱に使用するもので、京都の北山では磨丸太、吉野では京木と呼ばれているものである。磨丸太という呼び名が一般化しているため、本文では床柱用の丸太のことを磨丸太と呼ぶことにする。

生産材として要求される点は、本末同大、真門で曲がり少なく、幹の表面は無節で、かくれ節による丸太外面の凹凸こみがなく、無傷であり、また色がよくて光沢のあることなどである。

磨丸太は装飾的にすぐれていることが特に必要で、そのための保育と加工上のくふうが要求される。ま

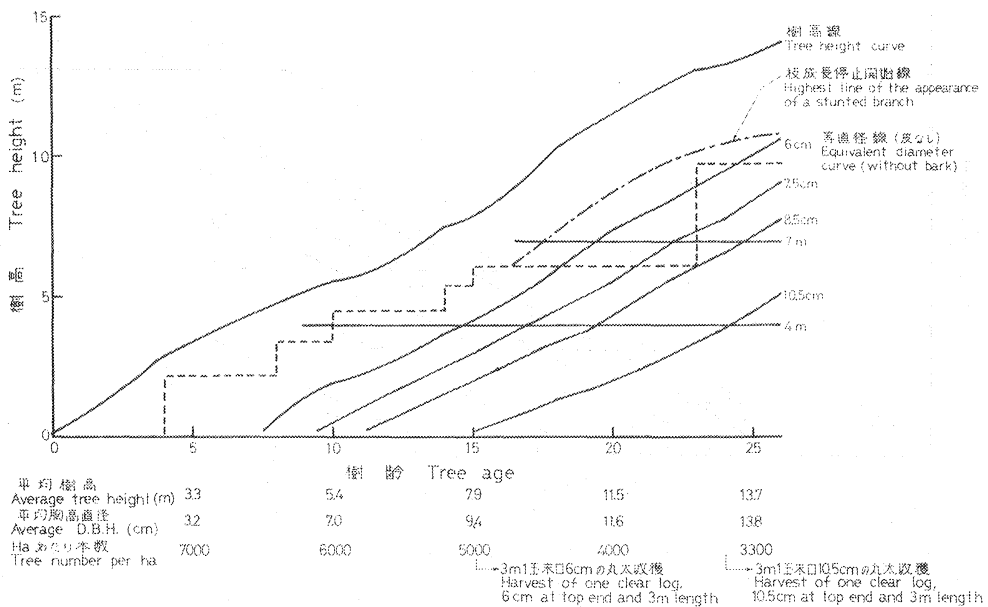


Fig. 46 スギの磨丸太生産のための枝打ちの一例

—京都北山1等地, 品種はシバハラ—

An example of pruning management for the production of a polished log of *C. japonica*. —An example on good soil in Kitayama area—

た、磨丸太は太さや形を製材によって調節するものではないので、目的とする柱の形と太さの調節は林木の生育期間中の保育管理によってなされなければならない。

ここに用いる資料は、北山の地位良好な土地に ha あたり 7,000 本植栽し、その後間伐を頻繁にくり返して、26 年めに ha あたり 3,300 本程度の本数密度を保っている林分 (Table 1) から得られた供試木 (I-1-(7) で用いた供試木と同じで、品種はシバハラ、樹高 14.1m、胸高直径 14.3 cm、枝下高 9.3m、Fig. 27 参照) の、樹幹と節枝を解析して得たものである¹⁵⁾。

いま末口直径が 10.5 cm で、長さ 3 m の丸太を 1 玉採ることを考えてみよう。地ぎわ切捨て長を 1 m とすると採材長は 4 m になり、地上 4 m の末口直径が 10.5 cm で表面無節、かくれ節による丸太外面の凹凸こんのない丸太を生産することになる。

上記の供試木の節解析結果¹⁵⁾によると、枝打ちした後、枝の付け根から巻込みを経て年輪平行に達した時点までの平均長は 1.1 cm (切口の先端からは 0.9 cm)、最大長は 1.6 cm (同 1.4 cm) であった。これからすると、地上 4 m の末口直径が 10.5 cm で、かくれ節による凹凸こんの少ない丸太を生産するためには、幹の末口直径が約 8.5 cm になるまでに枝打ちを行なう必要がある。また凹凸こんの全くない丸太を生産するためには、末口直径約 7.5 cm までに枝打ちを済ませていなければならない計算になる。

Fig. 46 は上記の供試木を解析して作製した、枝打ちと幹の成長経過などをたどる図で、その読取り方は前項の Fig. 45 で説明したものとほぼ同じである。ただ Fig. 46 において枝成長停止開始線は、直径 0.2 cm 以上の枝の資料に基づくものである。いま Fig. 46 についてみると、破線は枝打ち高の軌跡を表わし、植栽後 4 年めから 10 年めまでに 3 回にわたって地上高 4 m の少し上まで枝打ちされている。3 回の枝打ちのそれぞれの時点で、幹の直径は 7.5 cm よりはるかに小さいので、4 m までの 1 玉はかくれ節

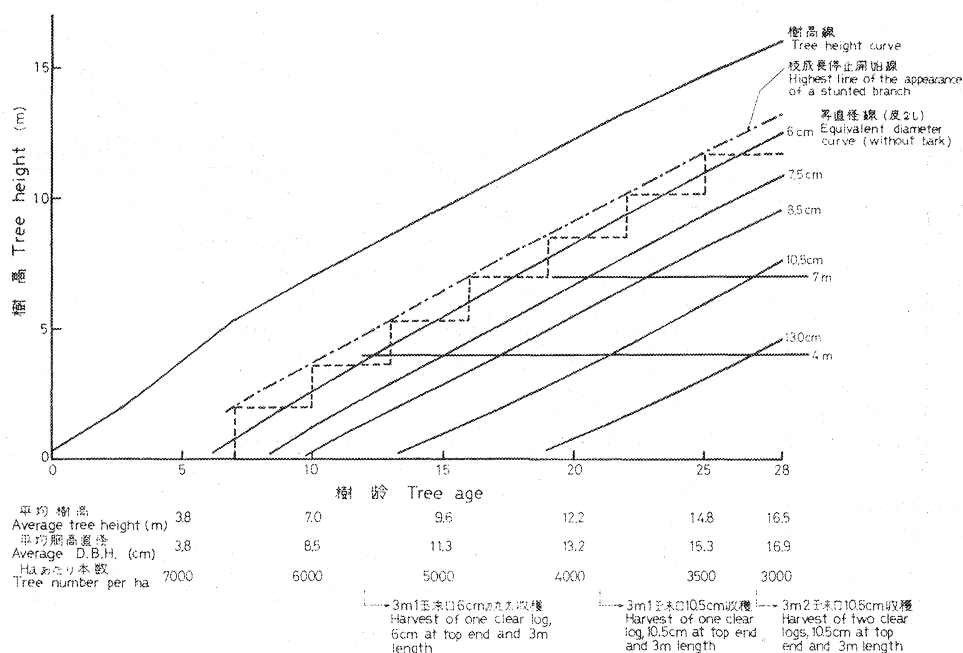


Fig. 47 スギの磨丸太生産のための枝打ち指針図の一例

—京都北山1等地、品種はシバハラ—

An example of guide for pruning management for the production of a polished log of *C. japonica*. —An example on good soil in Kitayama area—

による凹凸こんの全くない丸太の得られることがわかる。そして植栽後約24年めに、高さ4 mにおいて幹の直径が10.5 cmになり、その時点で目的とする丸太1玉の得られることがわかる。

次に、3 mの丸太の2玉めの末口直径が10.5 cmの幹を採ろうとすると、6 mから7 mの部分にかくれ節による凸凹こんがところどころに出現する可能性がある。すなわち、23年めに行なった枝打ちは、幹の直径が7.5 cmを越えてから行なわれているためである。いわば枝打ちの手おくれであり、少なくとも植栽後19年めか20年めに、1.5 mから2 mの高さの枝打ちをしておく必要があったことがわかる。

Fig. 46における枝打ちは開始が早く、また初期の3回の枝打ちは樹冠長を1 m内外残すほどの強度のものである。しかしながら、丸太製品の表面の美しさの点からは、必ずしも必要とは思われぬほどの強度の枝打ちといえるし、完満度の点でも初期に極端に強度な枝打ちが不可欠という理由もみあたらない。

Fig. 47は北山の他の事例¹⁸⁾を参考にしながら、Fig. 46を多少補正して作製した北山地方の磨丸太素材生産のための枝打ち管理の1つのモデルを示す指針図である。地位は上で、品種はシバハラであり、haあたり7,000本植栽して25年生でhaあたり3,500本という密度管理の行なわれる林分の一例としてよいであろう。

鎖線は枝成長停止開始線（枝葉量最大層とほぼ一致）で、陽樹冠と陰樹冠の境めを示すものであるが（I-1-(3), I-1-(4)）、林分密度の相対的に低い芦生のスギ（Fig. 45）と比べると、枝成長停止開始線は非常に高い位置にあることがわかる。

高密度維持によって枝成長停止開始線の位置は高いが、このことは密度効果によって完満度が高められていることを示している。その上、さらに枝成長停止線を上まわるほど強度の枝打ちをして、成長犠牲を

大きくしながらも完満度を高める必要があるかは問題もあるが、もしさらに完満度を高めたければ枝成長停止開始線に沿って、あるいはそれを上まわって枝打ちを進めていくことが考えられよう。

Fig. 47 でいま 3 m の丸太 2 玉めの末口直径が 10.5 cm で、凹凸こんのないものを得ようとする、等直径線 7.5 cm を下まわらないようにすれば十分であり（7 m より、下にいくほど枝打ち時の太さは 7.5 cm より太くなってよい）、また成長犠牲を少なくしようとすれば枝成長停止開始線を上まわらないように枝打ちしていけばよい。

さて破線のように、植栽後 7 年めに枝打ちを開始し、以後 3 年めごとに平均 1.5 m の高さの枝打ちを進めていくと、12 年めころに末口 6 cm の 3 m 1 玉が間伐収穫として得られる。末口 10.5 cm の 3 m 1 玉は 21 年めころに、その 2 玉めは 27 年めころに収穫できる。すなわち、Fig. 47 のように枝打ちを進めていくと、Fig. 46 のように進めていくより 3 年ぐらいつつ早く目的径級の材の収穫が期待できるわけである。

Fig. 47 において、2 玉めの末口直径 10.5 cm の丸太を生産するとすれば、4 回め（16 年め）の 7 m までの枝打ちで、表面に節も凹凸もない丸太の生産されることは約束されたわけである。したがって、後は枝打ちせず幹の肥大成長につとめたらよいようであるが、完満度を高めることと、樹冠の偏奇を少なくするために破線のように引き続き適度の枝打ちを続けることが必要である。そして、丸太表面の光沢をよくするためには、伐採の 1 年ぐらい前に枝打ちすることがよいとされている*。

人工シボ材を生産しようとすれば伐採の 1、2 年前に型材を巻き付ける。型材を 1 年ではずせるためには 1 年の半径成長が 3 mm あることが必要で*、そのためには人工シボ丸太を対象とする木は伐採の数年前からは枝打ちしない方がつごうがよい。しかし丸太表面の光沢をよくしようとすれば、伐採前年ぐらいの枝打ちを行なうことが望ましく、そのへんの判断は実情にゆだねられよう。

主伐時に大きさのよくそろった丸太を収穫しようとすれば、大きな個体ほど強めの枝打ちを行なっていくことが必要である（I-3）。Fig. 46, 47 からわかるように、磨丸太素材の生産のためには密度管理や枝打ち管理によって、かなり顕著な幹の肥大成長の犠牲がともなう（I-2-(2), I-4-(2)）。品種や厳密には立地条件も違うので、正確な比較はできないが、相対的に粗植で一度陰樹冠の枝打ちを行なっただけの芦生のスギ供試木（Table 1）¹⁴⁾ と、北山のスギ供試木¹⁵⁾ の 25 年生時の樹高と胸高直径を比較してみると、それぞれ 16.6 m と 13.7 m, 24.6 cm と 13.8 cm という大きな差を示している。密度と枝打ち効果によってこれだけ肥大成長が抑制されるので、高密度、強度枝打ち施業においては、残枝を極力小さくする必要のあることが理解される（I-1-(6), I-4-(5)）。

北山や吉野などでは残枝を短くするように大きな努力を払っており、北山スギの供試木の節解析結果¹⁶⁾ では、カマによる平均残枝長は 1.8 mm, ナタのそれは 2.3 mm であった¹⁵⁾。またカマ、ナタを一緒にした枝打ち後の巻き込み平均年数は約 2 年、年輪平行に達する年数は約 3 年であった¹⁶⁾。

II-1-(2) 大径材生産の枝打ち管理

大径の素材は板材をはじめ、角材、合板用の単板など多くの用途に応じることができる。幹の肥大成長で一般に初期の 10~15 年間のものは未成熟材であり、またちょうどその部分は樹冠材と一致することが多いといわれている⁴⁰⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾。未成熟材と樹冠材は材質として欠点が多く、その後に生成される成熟材と枝

* 筆者が北山の加藤林産社長加藤正雄氏および吉野森林組合福本藤治郎氏より聞いたところによる。

下材が良質材の部分とされている(40)(44)(45)。

しかしながら枝打ちをせずにおくと、本来良質である枝下材の部分に材質上欠点の大きい死節ができることになる。芦生の 55 年生スギ林 (Table 1) の節解析結果⁴⁴⁾では、地上高 5 m から 10 m における平均死節長は 3.6 cm であり、その時点で横断面的にみて、枝下材部分の長さの 65%前後が死節の出現する範囲であった。今後の肥大成長によってその率は下がっていくとしても、横断面的に半径約 3.5 cm, 直径約 7 cm という枝下材における死節の出現範囲の存在をそのままにしておくことは、材の利用上大きなマイナスといえる。Fig. 28 の樹幹内における節の分布の模式からも、このことは容易に理解できよう。

このように、死節を残さないように枝打ちを行っていくことの意味を認めると同時に、大径材を能率的に生産するためには、生枝打ちをしたときに幹の成長量の減少をできるだけ少なくすることが大切である。それは、大径材の生産においては、心持正角材や磨丸太材のように一定の直径において無節であらねばならないという制約はなく、いかに無節材を多く生産するかということが大切だからである。

枯枝が生ずると同時に、そのつど枯枝打ちを行っていくのであれば無節材は生産できるが、何年かに 1 度という割合で行なう枯枝打ちでは死節の残ることは避けられない (Fig. 28, II)。また大径材仕立ての枝打ちは高所の作業をとまなうので、枝打ちの回数はできるだけ少なくしてすむようにくふうすることが大切である。したがって、大径材仕立てにおいては死節を作らず、幹の成長減少を極力少なくし、かつ枝打

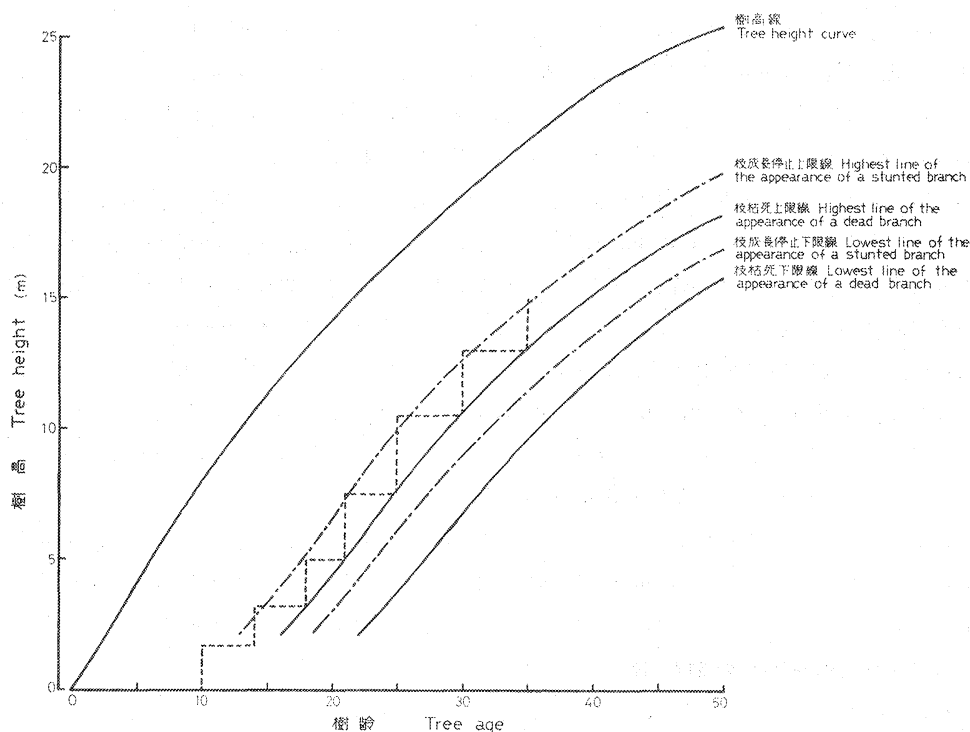


Fig. 48 スギの大径材利用のための枝打ち指針図の一例

—京都府北桑田郡美山町スギ 1 等地の一例—

An example of guide for pruning for the production of a large size log of *C. japonica*. —An example on the area whose soil condition is good in Miyama-cho, Kyoto prefecture—

ち回数もできるだけ少なくする枝打ちの管理技術が求められよう。

次に、枝打ちの実際の管理について、一斉更新の場合と複層林の場合に大別して検討してみたい。

II-1-(2)-1 一斉更新林分での枝打ち管理（京都府美山町の一例）

Fig. 48 は芦生の 55 年生スギ（Table 1）の解析資料¹⁴⁾に基づく、スギの大径材利用のための枝打ち管理指針図である。この図は同地方のスギの 1 等地で、植栽時 ha あたり 3,000 本、50 年生時で約 650 本というスギ林の例とすることができよう。図の読み取り方は、II-1-(1)-1) の Fig. 45 に関して説明した読み取り方とはほぼ同じである。

理想的に言えば、枝打ちによる幹の成長量の減少をゼロとし、最も無節材を多く生産するには枝の成長停止上限線上に、外観的に幹材生産に対する貢献度⁹⁾（I-1-(2)、I-2-(3)）がゼロになったとみられる枝を、順次除去していけばよいことになる。また死節のない材の生産ということになれば、枝の枯死上限線に沿って枝が枯れると同時に枯枝を除去していけばよい。

いま、枝打ち回数をできるだけ少なくしながら枝打ち効果を能率的にあげようとするれば、Fig. 48 の枝成長停止上限線を上まわらないように、枝枯死上限線を下まわらないように枝打ちを進めていくことが考えられ、破線はその一例である。

枝の成長停止上限は枝葉量最大層によって（I-1-(3)）、枝の枯死上限線は枯死または枯死寸前の枝の外観によって判定が可能である。

この枝打ち管理指針にしたがって、いまかりに地上高 15 m まで死節のない材を生産するものとしよう。植栽後 10 年めに高さ 1.8 m まで第 1 回めの枝打ちを行なう。この枝打ちは林内作業の能率向上や、林床火から樹冠火への拡大防止の効果も発揮しよう。以後は 3 年から 5 年に 1 回の割合で、1 回に 2 m から 3 m の長さを枝打ちし、合計 7 回（樹齢 35 年時）の枝打ちで予定の作業が完了することになる。

筆者らの行なったスギの枝打ちの強度と幹の成長に関する試験の結果¹⁴⁾でも、枝葉量最大層（枝成長停止上限付近）まで（枝葉量最大層を含む）枝を除去しても、その後の幹の成長量の減少はたいして大きくないことがはっきりしている（I-2-(2)、I-2-(3)）。

さて、大径材仕立ての林分施業においては、当然最終伐期までに何回もの間伐収穫が行なわれる。したがって、第 1 回めの枝打ち時点ですでに大径材利用木、小径材利用木の区別を行ない、それぞれに応じた枝打ち管理を進めていくことが必要である。

II-1-(2)-2 非皆伐林での枝打ち管理（岐阜県今須の一例）

非皆伐林には 2 段林から多段林、そして各径級のそろった択伐林まで幅ひろいものが含まれ、一律に扱うことはできないが、ここでは非皆伐林の究極的な姿である択伐林を選んで、その枝打ちの進め方を検討したい。

ここで扱う例は、岐阜県不破郡関ヶ原町今須の択伐林のひとつについてである。筆者ら¹⁷⁾⁽¹⁰⁵⁾の調査した林分はスギが主で、ヒノキが少し混交した最大樹高 27 m、最高樹齢 120 年ないしはそれ以上（Table 1）で、各径級の個体がよくそろっており、最下層の植栽木の頭部付近（地上約 50 cm）の平均相対照度が 19%のものであった。

当林分の林内下層木の枝は幹の大きさの割には相対的に長く、樹冠は不均整なものが多い¹⁷⁾。この状態は冠雪と風に対して弱く、事実その害を多く受けている（II-1-g)）。また心持ち正角材に供せる程度の太さ、ないしそれ以下の個体には通直なものは少なく、ほとんどのものは曲がりの欠点を持っている¹⁷⁾。こ

の傾向は調査林分の周辺の、同様の林分構造の択伐林でも同じように観察された。一方、ほぼ同じ径級の中、小径木でも同地方の一斉更新した林分のもは、はるかに通直性にまさるものが多いことは観察的に認められるところである。安藤¹¹⁾は、スギは相対照度が50%以下になると直径成長が減少しだし、30%以下になると樹高成長の減少が目立つようになり、庇陰下においては幹が細長なることを報告している。以上のことからして択伐林では、小径の通直性にすぐれた良質木を生産するには不利な条件が多く、小径の無節材生産のための枝打ちには利点が少ないといえよう。

下層木は限られた光の量を、最大限に吸収すべく枝葉を展開しているため、葉はできる限り除去しないことが望ましい。また、生枝打ちによって下層木の形状比をさらに高くすることは、曲がりや折れに対して危険であろう。しかし下層木の枝葉は四方に、ときには上下方向にも不均整であることが多く、これが著しく冠雪、風に対して弱く、曲がりや折れの原因になっている¹⁷⁾ (II-1)-f), II-1)-g))。したがって、下層木の枝打ちが必要とすれば葉の除去量はできるだけ少なく、そして樹冠の均整をととのえる枝打ちが考えられるべきである。そのためには、枝打ちよりも枝の剪定(枝打ちの定義の項参照)という、きめの細かい技術の方が必要であろう。

筆者ら¹⁰⁸⁾の解析した今須の120年生のスギの供試木の成長の速度は、下層木時代とそれ以後にはっきりと分かれ、下層木時代である初めの60年は胸高直径がわずかに6 cm までであったのに、その後急に成長が増し、後半の60年で胸高直径は38 cm に達していた。このことから判断して、複層林における下層木時代は、上層木が除かれて生育条件のよくなるまでの待機期間とみることができ、良質材生産のための枝打ちは上層木が除かれて成長が盛んになり、しっかりした個体になるのを待ってから始めるのが無理のないところであろう。その時点から後は Fig. 48 に示したように、原則として枝成長停止上限線(枝葉量最大層)を上まわらないように、また枝枯死上限線を下まわらないように枝打ちしていけばよい。これは良質材生産のための枝打ちであると同時に、下層への光の配分をも兼ねるものである。したがって、下層への光の配分の必要に応じて、時には枝成長停止上限線(枝葉量最大層)を上まわる枝打ちも行なわれることもあろう。

結 語

本文では、これまでに得た枝打ちに関する基礎的研究の結果を整理し、それに基づいて枝打ち効果の応用を検討したが、I で示された生物学的基礎知識は、さらにいろいろ有機的に組み合わせられ、応用に生かせるものと思う。またIIの枝打ちの応用的考察から、さらに必要な枝打ちに関する基礎的研究の課題が生じてくるであろう。

本研究では枝打ちにともなう材の変色現象や、気象災害に対する林木の抵抗力の変化などの基礎的研究はなされておらず、それに基づくよりきめの細かい枝打ちの技術体系の組み立ては、今後の重要な課題であると考えられる。

本研究はまだまだ不十分なものであるが、今後の研究の向上発展に役だち、ひいては林業経営の場にいくらかでも寄与するものであれば幸いである。

文 献 (Literature cited)

- 1) 安藤 貴：林内の光環境と庇陰下における林木の成長，現代林業，**79**，12，58～65，(1972)
- 2) 青田雄八：ヒバの枝相と其枝卸に関する考察（第1報，枝相について），昭和13年度日林講，975～993，(1939)
- 3) 麻生 誠：枝打ちに関する一考察（枝打ちの際残される最下枝に就ての考え方），日林誌，**23**，9，46～48，(1941)
- 4) BARRETT, J. W. : Pruning of Ponderosa pine, effect on growth, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Sta., U. S. D. A. Forest Serv. Res. Pap. PNW-68, 9 pp., (1968)
- 5) 千葉 修：図説樹病診断法，農林出版，341 pp., (1968)
- 6) CHILDS, T. W. and E. WRIGHT : Pruning and occurrence of heart rot in young Douglas-fir, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Sta., U. S. D. A. Forest Serv. Res. Note, 132, (1956)
- 7) EVELYN, J. : Sylva: or a discourse of forest trees, and the propagation of timber in His Majesties Dominions (2nd Edition), London, (1670)
- 8) 藤森隆郎：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，(1969)
- 9) 藤森隆郎：枝打ちに関する基礎的研究 I，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，(1970)
- 10) FUJIMORI, T. : Analysis of forest canopy on the basis of a *Tsuga heterophylla* forest, Jap. J. Ecol., **21**，3・4，134～140，(1971)
- 11) FUJIMORI, T. and O. WASEDA : Fundamental studies on pruning II. Effects of pruning on stem growth (1), Bul. Gov't For. Exp. Sta., 244, 1～15, (1972)
- 12) FUJIMORI, T. : Fundamental studies on pruning III, Difference of pruning method and subsequent variation of stand structure (1), Bul. Gov't For. Exp. Sta., 246, 55～67, (1972)
- 13) 藤森隆郎：林分密度と枝打ち効果に関する研究（スギ5年生模範林分試験），未発表
- 14) 藤森隆郎・早稲田 収：芦生スギの節解析，未発表
- 15) 藤森隆郎：北山スギの節解析，未発表
- 16) 藤森隆郎：スギ幼齢林の樹冠構造と幹の成長—京都府宇治田原の一例—，未発表
- 17) 藤森隆郎・早稲田 収・齊藤勝郎：スギ復元林の構造解析—岐阜県今須の一例—，未発表
- 18) 藤島信太郎：実践造林学講義，養賢堂，p. 264，(1950)
- 19) 蜂屋欣二：葉群の垂直的配列と生産量，日林講，78，114～115，(1967)
- 20) 原口 享・木原富雄：天城御料林の杉枝打作業改良について，御料林，99，2～28，(1936)
- 21) HENMAN, D. W. : Pruning conifers for the production of quality timber, Forestry Commission, Bul. 35, Edinburgh : Her Majesty's Stationary Office, 55 pp., (1963)
- 22) 本多静六：造林学本論，三浦書店，958～964，(1911)
- 23) 細井 守・山本久仁雄：強度の枝打ちによるアカマツ肥大成長の減退，日林誌，**36**，2，42～44，(1954)
- 24) 今野敏雄・矢野光夫：スギ幼齢林に対する枝打の効果について—埋雪倒伏からの立直りと成長に及ぼす影響—，日林東北支講，20，15～18，(1968)
- 25) 今野敏雄：埋雪したスギ幼齢木の立直りについて—一枝と形状比が及ぼす影響—，日林東北支講，19，79～82，(1968)
- 26) 今関六也：病虫害と環境，森林立地，**1**，1，3～6，(1959)
- 27) 今関六也：山武杉の新しい病気，非赤枯性の溝腐れ病とその生態的防除論，森林防疫ニュース，204，230～235，(1960)
- 28) 今関六也：造林地の衛生，現代林業，**72**，6，1～17，(1965)

- 29) 井沼正之：多雪地帯の林木の根の働きからみた造林，林業技術，323，14～17，(1969)
- 30) 伊藤一雄：スギの黒粒葉枯病，山林，809，16～18，(1951)
- 31) 伊藤一雄：スギ林の病害とその防除法，スギのすべて，全国林業改良普及協会，300～309，(1969)
- 32) 加納 孟：木材材質の森林生物学的研究 (3) 野幌産トドマツ材の年輪幅，秋材率，容積密度数の偏異について，林試研報，52，23～51，(1952)
- 33) 加納 孟：木材材質の森林生物学的研究 (5) 北海道厚田産トドマツ材の年輪幅と秋材率，林試研報，61，1～40，(1953)
- 34) 加納 孟：木材材質の森林生物学的研究 (9) 北海道厚田産トドマツ材の年輪の構造について，林試研報，71，15～28，(1954)
- 35) 加納 孟：木材材質の森林生物学的研究 (11) 北海道野幌地方における造林木の材積成長，林試研報，90，37～76，(1956)
- 36) 加納 孟：木材材質の森林生物学的研究 (14) トドマツ材の容積密度数の大きさと幹のなかの分布，林試研報，101，1～99，(1957)
- 37) 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔：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，(1959)
- 38) 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔：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，(1961)
- 39) 加納 孟：保育と材質，造林ハンドブック，養賢堂，277～287，(1965)
- 40) 加納 孟：森林の取扱いかたによる材質，林業科学技術振興所，49 pp.，(1965)
- 41) 加納 孟・枝松信之・蕪木自輔・斉藤久夫：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，(1966)
- 42) 加納 孟：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，(1967)
- 43) 加納 孟：保育形式の異なるスギ林における幹の外観的な特徴について，林試研報，212，151～165，(1968)
- 44) 加納 孟：嵯峨途利：材質からみた育林技術，林業新知識，全国林業改良普及協会，No. 218～229，(1972)
- 45) 加納 孟：林木の材質，日林協，168 pp.，(1973)
- 46) 川名 明・松永栄夫・土井雅子：枝打がスギ，ヒノキの若い造林木に及ぼした影響の例—生育・風害・凍害—，日林講，73，160～162，(1962)
- 47) 木原富雄：枝打ち事業について，御料林，133，81～96，(1939)
- 48) 木原富雄：枝打ち事業の要点について，御料林，156，10～22，(1941)
- 49) 北島君三：植物及動物，8，210～212，(1940)
- 50) 栗田稔美・井沼正之：雪害防除を目的としたスギ幼齡木の枝打ちと成長について，日林東北支講，119，92～95，(1967)
- 51) 小出良吉：枝打に関する研究 1 枝打の高さに就ての予備的考察，昭和13年度日林大会号，146～166，(1939)
- 52) 小出良吉：枝打に関する研究 2 枝打傷面癒合に就て (其の1)，昭和14年度日林大会号，225～231，(1940)
- 53) 小出良吉：枝打に関する研究 3 所謂保護層に就て，昭和15年度日林大会号，230～236，(1941)
- 54) 小出良吉：枝打に関する研究 4 枝の枯槁経過とその腐朽落下に就て，日林誌，23，7，1～15，(1941)
- 55) 小出良吉：枝打に関する研究 5 樹冠に就て (其の1)，日林誌，24，7，16～28，(1942)
- 56) LARSON, P. R. : Stem from development of forest trees, For. Sci., 9, Monograph 5, (1963)
- 57) 松井光瑤：暖国を襲った雪害の驚威，現代林業，75，7，14～21，(1968)
- 58) 松井光瑤・土井恭次：特殊立地における更新 スギのすべて，全国林業改良普及協会，212～221，(1969)

- 59) 松井光瑤・樫山徳治・土井恭次：スギ林の気象災害とその防除法 スギのすべて，全国林業改良普及協会，288～300，(1969)
- 60) 松下規矩：新しい林業の見方考え方，創文，49 pp.，(1969)
- 61) MAYER-WEGELIN, H. : Astung, Schaper, Hanover, 61 pp., (1936)
- 62) MAYER-WEGELIN, H. : Das Holz als Rohstoff, Carl Hanser Verlag, München, 398～399, (1955)
- 63) 望月泰男：かし類枝打ち試験，林業試験彙報，16，29～37，(1925)
- 64) 中村賢太郎：育林学，金原出版，p. 221，(1956)
- 65) 日本学士院日本科学史刊行会：明治前日本林業技術発達史，日本学術振興会，709～719，(1959)
- 66) 日塔正俊・齊藤 諦：枝打ちによるスギのアカネトラカミキリの予防，日林誌，44，6，163～169，(1962)
- 67) 小田久五：スギ林の害虫とその防除法，スギのすべて，全国林業改良普及協会，310～311，(1969)
- 68) 小原二郎：木の文化，鹿島研究出版会，183～187，(1972)
- 69) 尾中文彦：樹木の肥大成長の縦断的配分，京大演報，18，1～53，(1950)
- 70) 大城川次郎：枝打ちに関する研究(2) 枝打ちの切断位置に就て，昭和13年度日林大会号，954～974，(1939)
- 71) POLGE, H. : Densité de plantation et elagage de branches, R. F. F. XXI-n° spécial "Sylviculture", 451～465, (1969)
- 72) 林業百科辞典：丸善，1168 pp.，(1971)
- 73) ROMELL, L. G. : Kvistningsstudier a tall och gran (Studies on Pruning in Pine and Spruce), Meddel. f. Statens Skogsförsöksanstalt, 32, 5, 143～194, (1940)
- 74) 齊藤孝蔵：樹木生理，朝倉書店，p. 184，(1954)
- 75) 齊藤 諦：スギの飛び腐れの現われかたについて，日林誌，39，10，393～397，(1957)
- 76) 齊藤 諦：飛び腐れ診断法の考察，林業技術，207，21～26，(1959)
- 77) 齊藤 諦・小島圭三：スギのアカネトラカミキリ幼虫の形態とスギ樹に対する加害例，日林誌，42，9，335～338，(1960)
- 78) 齊藤秀樹・四手井綱英・菅 誠：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，(1968)
- 79) 坂口勝美：ヒノキ育林学，養賢堂，239 pp.，(1952)
- 80) 坂本喜代蔵：北山台杉と磨丸太，大日本山林会，177 pp.，(1970)
- 81) 佐藤大七郎：育林，朝倉書店，p. 77，(1952)
- 82) 佐藤 享・及川恵司：アカマツ幼齡林の枝打ち，林試青森支場研究だより，57，p. 4，(1955)
- 83) 佐藤啓祐：枝打ちしたスギ幼齡林に発生した冠雪害の一事例，日林東北支講，22，104～108，(1972)
- 84) 四手井綱英・高橋喜平・塩田 勇：幼齡林の雪害，林試集報，58，(1950)
- 85) 四手井綱英・只木良也・根占勝彦・北村 敦：強度枝打ちによる個体成長よくせいが林分成長に及ぼす影響，67回日林講，226～227，(1957)
- 86) SHINOZAKI, K., K. YODA, K. HOZUMI and T. KIRA : A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory I, Basic analyses, Jap. J. Ecol., 14, 3, 97～105, (1964)
- 87) SHINOZAKI, K., K. YODA, K. HOZUMI and T. KIRA : A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory II, Further evidence of the theory and its application in forest ecology, Jap. J. Ecol., 14, 4, 133～139, (1964)
- 88) 森林家必携：林野弘済会，736～776，(1967)
- 89) 潮見芳輔：楠柏造林木の枝打に関する考察，高知営林局第1回造林技術研究会記，202～208，(1939)
- 90) SLABAUGH, P. E. : Effects of live crown removal on the growth of Red Pine, J. For., 55, 904～906, (1957)
- 91) SMITH, D. M. : The practice of silviculture, John Wiley & Sons, Inc., 128～155, (1962)

- 92) 只木良也・四手井綱英：林木の競争に関する研究Ⅳ 生長にともなう林分内の個体順位の変動，日林誌，44，8，203～212，(1962)
- 93) 田尻清三・漆戸 啓：枝打ちの程度と生長量について，御料林，136，37～44，(1939)
- 94) 高原末基：スギおよびヒノキの枝打ちが幹の生長におよぼす影響，東大演報，46，1～95，(1954)
- 95) 高原末基：枝打ちの基礎と実際，地球出版，149 pp.，(1961)
- 96) 竹内郁雄・蜂屋欣二：スギの枝打ちと巻込みの関係，日林講，84，183～185，(1973)
- 97) 玉手三稷樹：森林の暴風害とその防除法，林業技術，306，21～24，(1967)
- 98) 田中波慈女：近世造林技術，日本林業技術協会，331～334，(1954)
- 99) 田中波慈女：育林技術の集約化を望む，林業技術，217，32～34，(1960)
- 100) 徳川宗敬：江戸時代における造林技術の史的研究，地球出版，317～327，(1941)
- 101) 植田重季：枝節の実相より見たる枝打技術の改善，高知営林局第1回造林技術研究会記，284～291，(1939)
- 102) 植杉哲夫：育林綜典，朝倉書店，306～310，(1955)
- 103) 早稲田 収：壮齡林の雪害とその対策，林業技術，323，11～13，(1969)
- 104) 早稲田 収・後藤 亮：ヒノキ枝打木の節解析Ⅰ～Ⅲ，日林関西支講，22，45～52，(1971)
- 105) 早稲田 収・藤森隆郎・相原誠一：今須スギの節解析，未発表
- 106) 渡辺資仲：林業新知識，214，12～17，(1971)
- 107) 谷沢逸衛：枝節と枝打方法に就て，日林誌，19，1，16～26，(1936)
- 108) 谷沢逸衛：枝節と枝打方法の研究（第2報），昭和13年度日林大会号，945～953，(1939)
- 109) 矢沢頼忠・麓 増平：ケヤキの枝打に就て，昭和14年度日林講，233～235，(1940)
- 110) 依田恭二：森林の生態学，築地書館，24～37，(1971)
- 111) 余語昌資：カミキリ的一种によるスギ材の“とびくされ”，森林防疫ニュース，50，110～112，(1956)
- 112) YOUNG, H. E. and P. J. KRAMER: The effect of pruning on the height and diameter growth of Loblolly Pine, J. For., 50, 474～479, (1952)
- 113) 造林技術研究会：図説造林技術，日本林業調査会，p. 113，(1972)

Study on the Technical System of Pruning

Takao FUJIMORI⁽¹⁾

(Summary)

Introduction

In Japan, pruning techniques have been devised and progressed since several hundred years ago in many areas where forest management have been well advanced. However, it can be said that the universal technical system of pruning has not yet been really established. Two reasons might be pointed out for this: one is that the fruits of the fundamental studies on pruning have not been sufficiently accumulated both in quality and quantity, and the other is that the meaning of pruning in the system of forest management has not been sufficiently understood.

Therefore, I have been performing biological basic studies on pruning⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾, and here, I want to put them in order, adding new results of the several experiments and then to discuss the technical system of pruning on the basis of the fruits of the fundamental studies. This report consists of two parts: the biological basic studies are contained in I and the studies on the application of them to the practical pruning are in II.

In this report, the definition of pruning is as follows: Pruning means only artificial pruning here, and it means that dead branches or live branches are removed from the base of the branches. This is the principal definition of pruning, and the definition of the pruning in common forest managements is that dead branches or live branches are removed from the base of the branches and upward in a canopy for the purpose of producing good quality timbers, the control of the distribution of sunlight in a stand, and others.

The word 'production' is used both in its biological and economic aspects in this report. The objective tree species in this study are limited to *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa*, which are most common and important coniferous species for the production of timber in Japan. Outlines of all the experimental stands at the time of beginning the examination are presented in Table 1.

I-1. Production structure and growth of a tree in a stand

In this chapter, production structure of the tree, the relationship between canopy structure and stem growth, the process of developing branches and the occluding them in the stem, and others are analyzed.

Experimental method

The experimental method of I-2. is explained in this, too. The experimental stands for I-1. and I-2. were chosen in the uniform even-aged artificial stands. In each area, experimental plot was laid out and it was divided into sub-plots, where about 50 trees were included.

Received August 13, 1974

(1) Kansai Branch Station

When the experimental stands were chosen, care was taken to see that the soil conditions all through the stands were uniform as much as possible (Table 1). From one of the sub-plots in each experimental stand, 15 to 20 per cent of the trees were chosen and cut down in accordance with the frequency distribution of tree size. In the experiment of I-2., each pruning of different intensity was operated in each sub-plot without the sub-plot for the cutting. After cutting down a sample tree, stem, branches, and leaves were measured in each vertical stratum of 50 cm or 1 m, and they were analyzed.

The amount of each tree component per ha was calculated by the following equation:

$$y = y'G/G'$$

where y , y' , G , and G' represent the total amount of biomass per unit area, the biomass of the sample trees, the total basal area per unit area, and the basal area of the sample trees, respectively. This method is based on the assumption that the ratio of the sum of the biomass in sample trees to that of the whole trees per unit area is in proportion to the ratio of respective basal area.

The increment in a stem and branches was calculated using the stem analysis method (SMALIAN). Three to five sample branches were chosen from each stratum of a tree canopy in proportion to the branch size frequency distribution. Each branch was cut into the segments of 5 to 30 cm from bough to twigs in proportion to its length and thickness. The number of the annual rings at the base of a branch and that of the stem section from which the branch shoots were compared in order to distinguish the lack of the annual rings in a branch (stunted branch).

Knots were analyzed on the basis of the premises which are shown in Fig. 1, 2 and Photo. 1. The sample tree for knot analysis is a 55-year-old *C. japonica* at the stand on Ashiu in the north of Kyôto prefecture (Table 1). When the sample tree was planted, the stand density in number was 3,000/ha and it was 600/ha when the sample tree was felled. D. B. H., tree height, and clear length of the sample tree were 37.6 cm, 25.8 m, and 17.7 m, respectively. 21 years after the tree was planted, pruning was operated up to 5.2 m above the ground where dead and stunted branches existed.

Small samples of tree components were oven-dried (80°C) and weight values were converted to dry and expressed as dry unit except the special notice in this report.

Biomass increment in one year was defined as follows in this report. Leaf biomass increment: The amount of new leaves which generated during the latest year and the amount measured directly at the time of the investigation. Branch biomass increment: The amount of new branch part which added during the latest year and the amount measured by branch analysis at the time of the investigation. Here, the losses of biomass increment by shedding, grazing, or other causes were disregarded. The abbreviation of the names of tree components, and the definition of growth rate and leaf photosynthetic efficiency toward the branch increment are presented in Table 2.

Results

I-1-(1)~(2) Canopy structure and stem growth

Since I expressed the canopy structure of a tree individually in the previous report⁹⁾, I intend to express canopy structure by the unit of a stand in this report. As the component trees in each experimental stand were fairly uniform, the canopy structure expressed by the unit of a stand was considerably similar to that expressed by the unit of individual component tree.

The amount of the distribution of leaves ($y_L(z)$), branches ($y_B(z)$), and branch increment ($\Delta y_B(z)$) per ha in each vertical stratum (z , 50 cm), and branch growth rate ($\Delta y_B(z)/y_B(z)$) and leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches ($\Delta y_B(z)/y_L(z)$) are expressed in Fig. 3 and 4. The stratum with the largest leaf amount is found around the middle strata in *C. japonica* and that of *C. obtusa* is found around the middle strata or just above the middle strata. The stratum with the large branch amount is found just below the middle strata in *C. japonica* and that of *C. obtusa* is found around the middle strata or just below the middle strata. The stratum with large branch increment is found just above the middle strata in *C. japonica* and that of *C. obtusa* is found around the middle strata or just above the middle strata.

The curves on the right side of Fig. 3 and 4 express the branch growth rate in each vertical stratum, which decrease from higher to lower strata both in *C. japonica* and *C. obtusa*. The curves on the left side of Fig. 3 and 4 express the leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches in each vertical stratum, which decrease from higher to lower strata in *C. japonica* and do not vary so much from higher to lower strata in *C. obtusa*.

Now, I intend to assume that the amount of organic matter which moves from leaves in a certain stratum to the stem and adds there is proportional to the amount of organic matter which adds to the branches in the same stratum on the way from the leaves to the stem. Admitting this assumption, the stratum with the largest branch increment is contributing most to the growth of the stem and its stratum is always above the stratum with the largest branch amount or even the stratum with the largest sum of branches and leaves. This tendency is more distinguishable in *C. japonica* than in *C. obtusa*. It might be important for pruning to recognize that the stratum with the largest leaf-bearing branches is not the stratum where organic matter is being most produced, which is always found above the stratum with the largest leaf-bearing branches both in *C. japonica* and in *C. obtusa*.

Assuming that the increment of leaf-bearing branches in each stratum is independently functioned by the leaves of the same stratum, the degree of the leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches in each stratum would be made clear by showing the relationship between the accumulated leaf biomass and the accumulated biomass increment of branches from tip to bottom stratum (Fig. 5 and 6). The leaf photosynthetic efficiency toward the biomass increment of branches decreases apparently as it goes to lower strata in *C. japonica*, but the relationship between them is approximately proportional from tip to bottom in *C. obtusa*. Stem biomass increment does not increase so much in lower strata in the canopy in comparison with the increase of accumulated leaf biomass (Fig. 7 and 8). This tendency is more obvious in *C. japonica* than in *C. obtusa*.

The distribution ratio of leaf biomass and branch one and their biomass increment in each stratum of the sample trees are expressed in Fig. 9~12. And on the left side of these figures, number of branches and average branch length are also expressed. In *C. japonica* the curves of branch biomass, leaf biomass, and branch biomass increment are similar to each other, and each one is separately placed from bottom upward, respectively (Fig. 9 and 10). In *C. obtusa*, these curves are also similar to each other, and the curves of the leaf biomass and the branch biomass increment lie one upon another, and only the curve of branch biomass places separately downward (Fig. 11 and 12). Recognition of these tendencies would be important as the basic knowledge for the application to practical pruning. And the tendencies of the number of branches or average branch length in the left sides of Fig. 9~12 would

also be helpful to know the character of canopies.

I-1-(3)~(5) Growing stage of the canopy of tree and its structure

The locus of a canopy through the tree growth was analyzed by means of stem and knot analyses (See the experimental method of I-1). The locus of tree height, the height of the existence of stunted branches and dead ones through the growing stage of the sample tree are shown in Fig. 14. The branches in Fig. 14 and 16 are limited to those having a diameter at the base of more than 2 cm, and those that are in mountain side and valley one of the stem (Fig. 1). The reason why the diameters were limited to those of more than 2 cm is that the branches having diameters of less than 2 cm would not be important as the component of the canopy structure of the sample tree, and the apparent difference of the characters among branch sizes were not recognized in relation to the production of branch knots (Fig. 17~21). And as the characters of the branches in the right side and the left one of the stem were intermediate between those of mountain side and valley¹⁴⁾, the branches in the right side and the left one were excluded from the figure in order to avoid the complication which is brought about by the crowd of circles on the figure.

The curve of the tree height, the highest line of the appearance of the stunted branch, that of the dead branch, the lowest line of the appearance of the stunted branch, and that of the dead branch have similar forms, and they keep almost the same distances from each other in the vertical way through the growing stage of the sample tree. Judging from Fig. 15, the highest line of the stunted branch coincides approximately with the stratum having the largest leaf-bearing branches. Also in Fig. 15, stem growth of the sample tree in radius in the latest year is outstandingly large around the middle of the canopy, and the maximum point is found just above the point of the first appearance of the stunted branch. And the stem growth in radius decreases straight with a gentle inclination from the lowest part of the canopy downward. This tendency has been pointed out by ONAKA⁶⁹⁾, HOSOI *et al.*²⁸⁾, LALSON⁶⁶⁾, SAITO *et al.*⁷⁸⁾, and others.

Fig. 16 demonstrates the time stage from the stunt to the death of branches through the growing stage of the sample tree. Average number of years from the stunt to death of the branches is 3, but the start of the stunt of the branches in the mountain side is a little earlier than that in the valley side, and the years from the stunt to the death of the branches in the mountain side is a little shorter than that in the valley side. The longest period in the condition of stunt is 8 years.

I-1-(6) Occlusion of branch stub

The relationship between branch diameters and the years from the death to the occlusion of the branches is expressed in Fig. 18, but mutual relation is not found between them. Average time from the death to the occlusion of the branches is 13 years (Fig. 18). The relationship between the lengths from the death or the cutting of branches to the occlusion of them and the corresponding branch diameters are shown in Fig. 19, but mutual relation is not found between them. The average length from the death of branches to the occlusion of them is 3.4 cm. The closed circles of Fig. 19 denote the lengths from the removal points of branches by pruning to the occlusion of the branch stubs (the lengths of the stubs are limited to less than 5 mm). Mutual relation is not found between the lengths for the occlusion of the stubs and the diameters of the corresponding branches, and the average length is 7 mm (Fig. 19). There is no mutual relation between the diameters of the cutting faces of the branches and the lengths or the years for the occlusion of the stubs (Fig. 20 and 21).

On the other hand, mutual relation is found between the lengths of the stubs by pruning and the lengths for the occlusion of the stubs, and there is the tendency that the length for the occlusion of the stub increases in proportion to the increase of the length of the stub (Fig. 22). The same tendency is also found in the relationship between the lengths of the stubs and the years for the occlusion of the stubs (Fig. 23). Consequently, it can be said that the length or the time length of the occlusion of a stub is largely affected by the length of the stub in this examination. I recognized the same tendency in another examination¹⁵⁾, and the same tendency was pointed out by ROMELL⁷³⁾ with *Pinus* and *Picea*, by WASEDA *et al.*¹⁰⁴⁾ with *C. obtusa*, and TAKEUCHI *et al.*⁹⁶⁾ with *C. japonica*. Therefore, this tendency could be regarded as a general fact so far as coniferous species are concerned.

Fig. 25 expresses the relationship between the necessary years for the completion of the occlusion of the stubs and the height above the ground in the sample tree. The stubs on Fig. 25 are limited to those that were pruned at the same time and whose lengths are from 2.0 to 4.2 mm. Fig. 25 suggests that the time length for the completion of the occlusion of the stubs increases as the distance from the canopy increases downward. This would be supported theoretically by the fact which was shown in Fig. 15, that is, the stem growth in radius decreases as the distance from the canopy increases downward.

Model figures of the distribution of knots in the stem of a coniferous tree on the typical cases of pruning and no pruning are drawn as Fig. 28 on the basis of the results of my analysis (Fig. 26, 27), with reference to the reports of KOIDE⁵³⁾, KANG *et al.*^{87)88)41)~43)}, HENMAN²¹⁾, and POLGE⁷¹⁾.

I-2. Effects of pruning on stem growth

The effects of pruning on stem growth and the methodology of its experiment have been reported on several *C. japonica* and *C. obtusa* stands aged around 10-years-old at the beginning of the experiment¹¹⁾. On the basis of the assumption that (1) the ratio of removed leaves to the whole leaves of the tree is most precise as the indication of pruning intensity, the fitness of (2) the ratio of pruning height to the tree height and (3) the ratio of pruning length to the canopy length to the (1) were examined in the previous report¹¹⁾. As the result of the examination, it was concluded that the (2) can not be used as the indication of pruning intensity unless it is compared among the stands whose conditions such as stand density, stand age, and others are the same; on the other hand, the (3) can be used as the indication of pruning intensity when a little error is allowed.

According to the results in the previous report¹¹⁾, as the degree of pruning intensity increased, the growth of tree height and stem diameter (D. B. H.) decreased during the two years after the pruning operation all through the experimental stands both in *C. japonica* and in *C. obtusa*. From the experimental stands which were shown in the previous report¹¹⁾, one each experimental stand of *C. japonica* and *C. obtusa* was chosen, and the stem growth of the stands were continuously measured, the data being used in this report (the method was written in the experimental method of I-1. in this report and in the previous report¹¹⁾).

In *C. japonica* as the degree of pruning intensity increases, the diameter growth decreases (Fig. 29), and this tendency is the same as that of the height growth (Fig. 29). In *C. obtusa*, these tendencies are not so remarkably observed, for the range of the degrees of pruning intensities in the experiment of *C. obtusa* was smaller than that of *C. japonica* (Fig. 30). Even so, the tendencies in the diameter growth and height one in *C. obtusa* are similar to those in

C. japonica.

And in my other experiment in a young *C. japonica* stand (Table 1, Photo. 2), the stem growth in height and diameter in the pruning plots are smaller than those in the no pruning plots all through the stands whose densities are different in each other (Fig. 37, 38).

So far as the growth in diameter is concerned, there is no doubt that it is approximately in reverse proportion to the degree of pruning intensity⁴⁾²¹⁾⁴⁶⁾⁵⁰⁾⁹⁰⁾⁹³⁾⁹⁴⁾¹¹²⁾. On the other hand, there are some who assert that moderate pruning promotes the height growth of stem²²⁾⁹⁹⁾¹⁰⁶⁾, and many foresters believe in it in Japan, although those insurances are not based on the data of reliable examinations. However, not only from the results of my examinations, but also from the reports of TAJIRI⁹³⁾, YOUNG *et al.*¹¹²⁾, TAKAHARA⁹⁴⁾, SLABAUGH⁹⁰⁾, KAWANA *et al.*⁴⁶⁾, HENMAN²¹⁾, KURITA *et al.*⁵⁰⁾, and BARRET⁴⁾, it could be concluded that in general the height growth decreases by the effect of pruning in coniferous trees.

The relationship between the removal ratio of leaves and the reduction rate of stem growth in D^2H is shown in Fig. 31. The reduction rate of stem growth was calculated by the following formula.

$$1 - \frac{D^2H(t_2) \text{ of pruning plot} - D^2H(t_0) \text{ of pruning plot}}{D^2H(t_2) \text{ of control plot} - D^2H(t_0) \text{ of control plot}}$$

Here, D , H , t_0 , and t_2 denote diameter breast height, tree height, the time at the pruning operation, and that two years after the operation, respectively.

I-3. Variation of stand structure caused by the difference of pruning methods

As the growth of individual tree is controlled by pruning operation, it could be expected that the stand structure is modified by pruning in accordance with the object of forest management. I have reported the result of the examination to make clear this point¹²⁾. The same subject shall be discussed here on the basis of the examination which was continuously executed after the previous measurements¹²⁾ on the field of Kansai Branch of the Government Forest Experiment Station, Momoyama, Kyoto. The experimental plots and treatment method of this examination is shown in Table 5 and other precise explanation of the method was written in the previous report¹²⁾.

The process of the standard deviation of D^2H in each treatment plot during five years after the planting is shown in Table 6 and Fig. 34, and that of the average order fluctuation index¹²⁾ of D^2H is shown in Table 7 and Fig. 35. Four kinds of pruning methods could be divided into two groups from the results on Fig. 34 and 35. The first group consists of the pruning of dead branch (no pruning is identified with the pruning of dead branches) and the pruning of up to the same height through all trees in the stands. The second group consists of the pruning whose intensities are proportional to tree size (Table 8) and the one operated so as to leave the same canopy length through all trees in the stands.

When the pruning in the first group is continuously operated, the standard deviation in the distribution of tree size continue to increase more outstandingly than those in the case of the second group in this experiment (Fig. 34). Here, the increase of the standard deviation means that the range in the distribution of the individual tree size widens. In the same way, the average order fluctuation index of tree size in the first group continues to decrease, while those in the second group increase next year after every pruning operation in this examination (Fig. 35). When the average order fluctuation index of tree size decreases, it means that the difference of the size between larger trees and smaller ones continues to become

larger. Those results above-mentioned were the same as those of the previous report¹²⁾.

Consequently, it might be concluded that when the pruning in the second group is continuously operated in a pure even-aged stand, the trees in the stand would become more uniform in the size than those in the case of the first group. The application of this phenomenon to the techniques of forest management would be useful in some cases.

1-4. Relationship between the effects of stand density and pruning

I tried the examination to make clear the following subjects in association with the relationship between stand density and pruning on a young artificial model stand of *C. japonica*. (1) Stem volume increment per definite area. (2) Average stem increment in a stand. (3) Retention of extremely high stand density by pruning. (4) Stem taper. (5) Time length for the occlusion of branch stubs.

Experimental method

On March 1968, the experimental stands were made by planting 1-2 *C. japonica* seedlings on the nursery of Kansai Branch, Government Forest Experiment Station in Kyoto city. All of the conditions were uniform except stand density when seedlings were planted. Four stands of different densities were established as shown in Table 9. At the ends of the second and fourth growing seasons (November, 1969 and 1971), pruning was conducted on the half of each different density stand and the other half of each stand became the no-pruning (control) plot. Each plot consists of $10 \times 8 = 80$ trees, and the height and diameter at 60 cm above the ground of $6 \times 4 = 24$ trees were annually measured. These experimental trees were surrounded by the trees of two rows which were also treated the same as the experimental trees.

Branches were removed from lower strata so as to leave the same length of canopy all through the plots and all through the trees in a plot. At the time of the first pruning, the canopy length left was 1.1 m and at the second, it was 1.6 m. The details on the pruning operations are shown in Table 9.

Final measurement was carried out at the end of the fifth growing season after the planting (March, 1973). At that time, seven or eight sample trees were cut down for the measurement of stem volume, care being taken that the sample trees cover evenly the range of the distribution of the tree sizes in each plot. The relationship between D^2H and V was obtained by analyzing the sample trees in each plot. Here, D , H , and V denote stem diameter at 60 cm above the ground, tree height, and stem volume, respectively. The volume of each tree was calculated by putting each D^2H into the formula of D^2H-V relation in each plot¹¹⁰⁾. The formula was obtained by using the least square method.

Results

The stem growth and others in each plot at the time of the final measurement is shown in Table 10.

I-4-(1) Stem growth per definite area

The total stem volume per definite area ($\Sigma V/100 \text{ m}^2$) at the end of the fifth growing season after the planting is shown in Fig. 36, from which the following are found. The total stem volume per definite area increases as stand density increases both in pruning plot and no-pruning one. The total stem volume per definite area in a no-pruning plot is larger than that in the pruning plot on the same stand density, and its difference between both plots increases as stand density decreases. In other words, the difference of the total stem

volume influenced by the difference of stand density is larger in pruning plots than in no-pruning plots.

I-4-(2) Average stem growth in a stand

Fig. 37 expresses the average stem diameters of the experimental plots in relation to the effect of density and pruning. The average stem diameter increases as stand density decreases both in no-pruning plots and pruning ones. On each stand density, the average stem diameter is larger in a no-pruning plot than in the pruning one, and the difference between both plots increases as stand density decreases in this examination.

Fig. 38 expresses the average tree height of the experimental plots in relation to density effect and pruning. The tendency of the average tree height in Fig. 38 is similar to that of the average stem diameter in Fig. 37, although the tendency of the average tree height is not so remarkable as that of the average stem diameter. Fig. 39 expresses the average stem volume of the experimental plots in relation to density effect and pruning. The tendency of the average stem volume is similar to those of the average stem diameter and the average tree height. The effects of pruning and density are more clearly observed in stem volume than in stem diameter and tree height.

I-4-(3) Retention of high density stand by pruning

The pruning methods in this paragraph are limited to the second group of the pruning method in I-3., that is, the pruning which is operated so as to leave the same canopy length through all trees in a stand or the pruning whose intensities are proportional to tree sizes.

The frequency distribution of D^2H at the time of the first pruning (November, 1969) and that one year after the second pruning (November, 1972) are compared in Fig. 40. The frequency distribution of D^2H in both plots at November in 1969 were similar to each other, but those at November in 1972 changed to dissimilar, that is, the range of the distribution of tree size in the pruning plot became smaller than that of the no-pruning plot. Consequently it can be said that the pruning effect concerned with the retention of high density stand is recognized so far as this examination is concerned.

I-4-(4) Stem taper

As the indication of stem taper, H^3/V was adopted in this examination⁷⁸⁾. The average values of non-taperness in each plot in relation to the effect of density and pruning are shown in Fig. 41. The average values of non-taperness increase both in pruning plots and no-pruning ones as stand density increases. And the average value of non-taperness in a pruning plot is larger than that in the no-pruning plot on each stand density, and its difference between both plots increases as stand density decreases. Judging from Fig. 39, it could be said that non-taperness is more influenced by density effect than by pruning.

I-4-(5) Time length of the occlusion of branch stubs

The time length for the occlusion of a branch stub is principally affected by the length of the branch stub and the diameter growth of stem (I-1-(6)). The diameter growth of the stem is fairly affected by the stand density and pruning (I-4-(2), Fig. 37). Branch diameter is also affected by the stand density⁴¹⁾. And when pruning is carefully conducted, it is recognized that the length of branch stub is proportional to the thickness of branch⁹⁶⁾. In this experimental stand, the following examination was performed for the purpose of making clear the relationship between stand density and the time length for the occlusion of a branch stub.

Five sample trees in the standard class were arbitrarily chosen from each different density stand in order to trace the time length for the occlusion of the branch stubs which

were pruned carefully in November, 1971 (Table 11). The degree in the occlusion of branch stubs was classified into following three. No occlusion: The section of a branch stub has remained completely exposed. Occlusion: The section of a branch stub has completely occluded. Partial occlusion: The section of a branch stub has partially occluded.

The relationship between stand density and the time length for the occlusion of branch stubs is shown in Fig. 42. The reason why there is no simple inclination in the relationship between stand density and time length for the occlusion of branch stubs in Fig. 42 would be explained as follows: As stand density decreases, diameter growth of a stem increases, and the thickness of branches increase, which causes the increase of the length of branch stubs⁹⁶⁾. On the other hand, as stand density increases, diameter growth of a stem decreases and the thickness of branches decrease, which causes the decrease of the length of branch stubs⁹⁶⁾. Namely, opposite factors are concerned with each other on the time length for the occlusion of branch stubs.

On Fig. 42, the situation of the achievement in the occlusion of branch stubs in the sub-sparse plot is worst. The following cause could account for it. There was enough space in the sub-sparse plot to have been able to expand the branches and they could easily grow bigger before the pruning operation, but soon after the pruning, the plot was closed by the canopies and since then, the diameter growth rate of stem decreased in the plot.

II Pruning effect and its application for practical use

In the forest management the principal object of which is timber production, the technical system of forest management is required in accordance with the aim of production. Pruning technique is one of the partial techniques which compose the technical system of forest management. So it is essentially desirable that pruning technique be discussed in association with the whole technical system of forest management, but as it is too big a subject to discuss in this section, the discussion is focused mainly on pruning technique itself except for inevitable aspects in this report.

II-1) Utility and purpose of pruning

1) Production of good quality timber. 2) Control of the distribution of sunlight in a stand. 3) Control of the size of individual tree or stand (I-3). 4) Prevention of forest fire. 5) Prevention of damage by blight and harmful insects^{5)26)~28)30)31)49)66)75)~77)}. 6) Prevention of damage by crowned snow for the tree whose crown is asymmetric¹⁰⁸⁾. 7) Prevention of damage by winds for the tree whose crown is asymmetric¹³⁾¹⁷⁾⁹⁷⁾. 8) Utilization of branches. 9) Promotion of the efficiency of the works in a stand.

Among the utilities and purposes of pruning above mentioned, the first two are regarded as the important part in a technical system of intensive forest management. Especially, the pruning for the production of good quality timbers is essentially a most important technique in the intensive forest management for the effective production of good quality timbers.

II-2) Quality of wood

In this report, the factors of wood quality are defined as those which are essentially influenced by the conditions of the stand and the techniques of forest management. With reference to the excellent works of KANO^{32)~36)39)40)42)43)45)}, KANO *et al.*³⁷⁾³⁸⁾⁴¹⁾⁴⁴⁾, MAYER-WEGELIN⁶²⁾, and POLGE⁷¹⁾, what kind of wood is superior in quality for timber was checked as follows: A non-tapering log has high yield percentage and there is little chance of a cross grain

appearing when it is sawed⁴⁰⁾⁴⁴⁾. In coniferous trees, when annual rings are in a certain width (usually from 1 to 6 mm⁴⁴⁾), summer-wood percentage is higher and specific gravity is larger than otherwise⁸²⁾⁸³⁾⁸⁵⁾⁸⁶⁾⁸²⁾. This means that the wood whose width of annual rings are uniform in a certain width is excellent in strength. The wood which is under the canopy (shell) is stronger than that which is in the canopy part (knotty core), and the wood which is in the canopy part tends to warp more easily than that which is under the canopy⁴⁰⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾. In general, as the percentage of the total area of knots in a definite area of a timber increases, the strength of the wood diminishes⁴⁰⁾⁴⁴⁾. Such a wood with high percentage of knots is regarded as a fault, for as fiber strike is disordered by a knot, cross grain tends to appear easily. From the viewpoint of the utilization of wood, straightness is absolutely necessary for a small size log, and it is also desirable even for a large size log. As the result of the summary above checked, good quality wood is defined as follows so far as this report is concerned, that is, the wood which is superior in knot-free, non-taperness, straightness, and whose width of annual rings are uniform in a certain width.

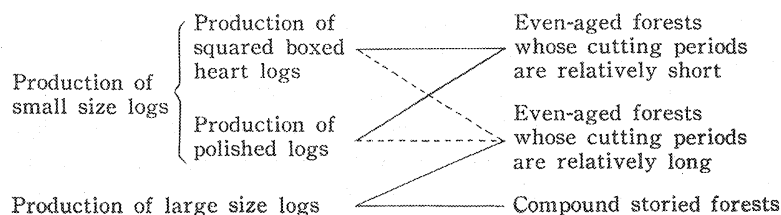
II-3) Pruning technique

In this report, pruning technique is confined to the management of pruning technique as one phase of the technical system of forest management. How to use tools and how to climb a tree are excluded from the definition of pruning technique so far as this report is concerned.

II-1 Management system of pruning

I intend to classify the management system of pruning as follows in accordance with the aim of the production. At first, the production of small size logs and that of large size ones are distinguished, and the production of small size logs are distinguished into the production of squared boxed heart timbers and polished logs for pillars*.

As it is not easy to produce squared boxed heart timbers or polished logs for pillars as thinned logs from a compound storied forest (II-1-(2)-2)), the pruning management for the production of those logs is confined to that in an even-aged pure forest in this report. The large size logs are produced from even-aged forests whose cutting periods are relatively long or from compound storied forests. Knot-free logs of small size can be harvested as thinned logs from even-aged forests whose cutting periods are long. Although there are various kinds of forests from two storied forests to selection forests in compound storied forests, selection forests are chosen as the typical forests of compound storied forests in this report.



* In the house buildings of Japanese style, a polished knot-free log is appreciated for the pillar, especially as the pillar of the guest room. As it is required to be straight, non-taper, and knot-free, intensive pruning must be repeatedly operated for its production. After the tree is cut, the bark is stripped off and the surface of the log is carefully polished. The log is used without sawing.

II-1-(1) Pruning management for the production of small-size logs

II-1-(1)-1) Pruning management for the production of squared boxed heart logs

The object of this management is the effective production of squared boxed heart timbers whose surfaces are knot free. When a log is sawed to a required size, it is preferable that the surface of the timber be knot free. Fig. 43 represents the relationship between the size of a log and squared timber. When the squared timber whose length of one side is x cm is required the diameter at the top end of the log must be at least $\sqrt{2} \cdot x$ cm.

Now, most commonly used squared timbers in Japan are those having length of one side 9, 10.5, and 12 cm. The relationship between those sizes of squared timbers and the least diameters at the top ends of the corresponding logs are shown in Table 12. In Fig. 44, in order to get the knot-free squared timber whose length of one side is x cm, it is necessary that the surface of the log must have been already knot-free when the diameter of the tree is at the stage of x cm. On the basis of Fig. 44, the stem diameter at or within which pruning should be done (y) is expressed by the following formula.

$$y = x - 2(l + l')$$

Here, l and l' denote the length for the occlusion of a branch stub and the spare length of it, respectively. Judging from the results of my analyses⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾, 1 cm is enough for the length for the occlusion of a branch stub by pruning in younger stage (less than 20 years) of *C. japonica* stands. Now, when it is assumed that the l is 1 cm and l' is 0.5 cm, the stem diameter at or within which pruning should be completed to get the squared timber of a definite size is calculated as shown in Table 13.

In the pruning management whose purpose is the production of pillars, pruning must be done with due regard to the length of the pillar. For example, if the length of the pillar is 3 m, the final length of the pole through which pruning should be completed is determined by the product of the number of pillars by 3 m plus the length of the base.

On the basis of such fundamental knowledge, the guide for the pruning management for the production of a knot-free squared boxed heart timber of *C. japonica* was made using the data of stem and knot analyses of the sample tree which was obtained from Ashiu⁽¹⁴⁾ (Fig. 45). How to use Fig. 45 is as follows:

- 1) The horizontal line and vertical line express tree age and tree height, respectively.
- 2) The highest solid line is tree height. Each of the solid lines below the line of tree height is the equivalent line of the stem diameter without bark at a certain height on each tree age. The 6, 7.5, and 9 cm express the stem diameter within which pruning must be done to make the knot-free squared boxed heart timber whose length of one side is 9, 10.5, and 12 cm, respectively. The 13, 15, and 17 cm express the least diameter at the top end of a stem to get the squared timber whose length of one side is 9, 10.5, and 12 cm, respectively.
- 3) Each of the four solid lines which are parallel to the horizontal line shows the height under which the log is used.
- 4) The dot-dash-line expresses the height where stunted branches start to appear. Above this line, organic matter is most produced by photosynthesis in a canopy (I-1-(3)~(5)).

Now, let me show an example of pruning management using Fig. 45. The target of the management in this example is to produce two of the knot-free squared timbers whose width is 10.5 cm and length is 3 m.

The branches on the stem from 0.5 m to 6.5 m high must have been removed by the time when the stem diameter becomes 7.5 cm. While the pruning is carried out, care should

be taken to see that the stem growth does not decrease much. Therefore, it is desirable that the pruning be operated as many times as possible like the dotted line on Fig. 45.

First pruning is performed up to 2 m 8 years after the planting. By the second pruning which is operated 10 years after the planting, the pruning management for the production of the first knot-free timber is completed, and by the fourth pruning which is operated 14 years after the planting, that of the second one is completed. From the cross point of the equivalent line of 15 cm at the top end of the stem and the line that shows the height under which the log is used, it is expected that the log for the first knot-free timber whose width is 10.5 cm and length is 3 m is produced 18 years after the planting and the second one 22 years after the planting.

The sample tree for Fig. 45 is not the tree which was actually pruned in the same way as the dotted line on the figure. If this tree had been pruned like the dotted line, the height curve and other equivalent curves would have changed after each pruning to a certain extent. So, precisely saying, such a figure as this must be made on the basis of the data of an actually examined tree. However, Fig. 45 would present the hint how to make a schedule of pruning in each case.

II-1-(1)-2) Pruning management for the production of polished logs

As previously introduced in this report*, knot-free polished logs are appreciated as the ornamental pillars in Japanese building interiors. But as they are not universal, the pruning management for the production of them shall not be discussed extensively here.

A knot-free polished log is used for a pillar without sawing, so the non-taperiness, roundness, and straightness on a certain thickness of a stem must be produced mainly by the control with pruning during the time a tree is growing. And also the concave or the convex traces of occluded knots must not appear on the surface of a log when it is used for a polished pillar.

Fig. 46 was made on the basis of the sample tree of *C. japonica* obtained from a stand in Kitayama district which is just north of Kyoto city¹⁵⁾. The stand consisted of 7,000 trees per ha at first, and then thinning was repeatedly performed. The stand density at the time when the sample tree was cut was 3,300 trees per ha, and the stand age was 26 years old then.

When it is required to get a pillar whose diameter at the top end is 10.5 cm and the length is 3 m, such a log as the following must be produced on the stand, that is, a log with no knots and no concave or convex traces of occluded knots on the surface up to 4 m from the ground, and the diameter at the top end is 10.5 cm. According to the result of the knot analysis of this sample tree¹⁵⁾, the average length from the joining point of a branch and the stem at the time of the pruning to the point where the stem annual rings recovered to the parallel (Fig. 2) is 1.1 cm and the largest length of it is 1.6 cm. In keeping with this fact, pruning must be finished by the time when the diameter at the top end becomes 8.5 cm in order to produce a log whose diameter at 4 m above the ground is 10.5 cm and whose surface has little concave or convex traces of occluded knots. And when the log whose surface is perfectly free from concave or convex traces of occluded knots on the same size is required, pruning must be finished by the time when the diameter at the top end becomes 7.5 cm.

How to use Fig. 46 is the same as that explained at Fig. 45. In Fig. 46, pruning was performed three times up to a little higher than 4 m from four to ten years after the

planting. As the stem diameter at every pruning time is far smaller than 7.5 cm, the log under 4 m is perfectly free of the traces of occluded knots. In the case of the second pole whose length is 3 m and the diameter at the top end is 10.5 cm in Fig. 46, there is a possibility that the traces of occluded knots appear scatteringly. This is because the pruning which was performed 23 years after the planting was done after the time when the tree diameter was 7.5 cm.

On the basis of the modification of Fig. 46, Fig. 47 was drawn with reference to the examples of the common pruning management in Kitayama district the stands of the examples being in the same conditions as the stand from which the sample tree was got.

II-1-(2) Pruning management for the production of large size logs

From a large size log, boards, squared timbers, and others are produced. Valuable wood in a stem is the sapwood, which accumulates outside the heartwood under the canopy part⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾ (Fig. 28). If pruning of dead branches is not done, dead knots become one of the worst defects of a timber appearing in a certain range in the part of the sapwood (Fig. 28, I). So, the pruning without leaving dead branches is important to produce knot-free sapwood as much as possible. In the case of the production of large-size logs, there is no restriction that a stem must be knot-free within a certain diameter. Therefore, it would be important not to cause the reduction of stem growth much by the pruning of living branches. So long as only dead branches are removed every several years or even in each year, the appearance of dead branch stubs will be inevitable (Fig. 28, II). Consequently, the pruning management which does not leave dead branch knots, does not cause the reduction of stem growth very much, and whose frequency is not much required in the case of the pruning management for the production of large size logs.

II-1-(2)-1) Pruning management on an even-aged stand

Fig. 48 is a pruning management guide for the production of a large-size log on the basis of the analyzed data of 55-year-old *C. japonica* at Ashiu⁽⁴⁾ (the same data as used in Fig. 45). How to read this figure is the same as that explained in Fig. 45.

If it is demanded that the reduction of stem growth is not caused by pruning and knot-free wood is produced as much as possible, pruning should be operated from the branches which ceased to grow, that is, pruning should be executed along the highest line of the appearance of stunted branch on Fig. 48. And if the production of the wood in which dead knots are not found is required, pruning should be executed along the highest line of the appearance of a dead branch every time a branch dies. Dotted line on Fig. 48 is a pruning guide for the production of such a log as above mentioned.

The stratum where stunted branches begin to appear is usually identified by the stratum with the largest leaf-bearing branches (I-1-3)~5)), and the stratum where dead branches begin to appear is easily identified by the external appearance.

Now let me try to produce the log in which dead knots are not found from the base to 15 m above the ground using Fig. 48. First pruning is executed up to 1.8 m at the 10th year after planting. After that, at intervals of 3~5 years, the prunings of 2 or 3 m length are repeated and the schedule is completed by the 7th pruning.

II-1-(2)-2) Pruning management in a compound storied forest

Here the pruning management is discussed with reference to the selection forest at Imasu in Gifu prefecture where we researched⁽¹⁷⁾ (Table 1). This stand is composed of *C. japonica* and some *C. obtusa* from the lowest to highest stories, and the highest tree is 27 m.

The average relative light intensity at the top level of the undervegetation (50 cm above the ground) in the stand is 19%.

Most of the trees in the intermediate and the low stories of the selection stand are not so straight as those in the evenaged stand in Imasu¹⁷⁾, and the same phenomenon in compound storied forests of *C. japonica* is pointed out by ANDO¹⁾. So it could be said that there is no benefit nor even harm by pruning to produce a straight good quality log of small size in a selection forest. Pruning operation to the trees in the understories holds the risk of causing greater damage by the bending or breaking of the stems by crowned snow or strong winds¹⁸⁾¹⁷⁾. However, the pruning for the adjustment of the canopy form will be effective against or at least lessen the risk of damage to stems by crowned snow and strong winds¹⁰⁸⁾.

In the selection forest, the growth of a tree in the understory is very slow, and after the dominant tree which had covered the tree in the understory was removed, the tree starts to grow very well¹⁷⁾. So the pruning for the production of a large size tree which has few dead knots shall be started after the tree has begun to grow well and become stronger. The pruning for it should be performed in the same way as that of Fig. 48, that is, the pruning should be executed so as not to exceed the highest line of the appearance of a stunted branch, and so as not to be below the highest line of the appearance of a dead branch. This pruning is not only for the production of a good quality timber, but also for the effective usage of sunlight to the understories of a compound storied forest. Sometimes, pruning may exceed the highest line of the appearance of a stunted branch when sharing the adequate sunlight with the understories of a selection forest is judged to be more important.