

材内部位によるヒノキ材の成長変移

(樹高・半径成長と年輪幅および繊維長の関係)

上 村 武⁽¹⁾・齋 藤 寿 義⁽²⁾

Takeshi UEMURA and Hisayoshi SAITO: Interrelations Among Fiber Length, Ring Width and Rate of Growth in an Old Tree of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* (SIEB. et ZUCC.) ENDL.)

要 旨：樹齢 263 年生のヒノキ材を樹幹析解して、樹高、半径、年輪幅、繊維長の変移を調べた。それぞれの変移過程にはかなり密接な相関があり、その理由もある程度推定できる。測定結果とともにその相関傾向とその理由をも論じた。樹木の幼～老年にわたる形成層生成期に従って、材部の形成状態はそれぞれ異なってくるが、形成層が生成されてからの経過年数によっても、明らかにそれは変わってくる。材全体をみると未成熟とおもわれる部分、安定な成長に移行する部分、ほぼ一定の成長状態を継続する部分、過熟とおもわれる部分の 4 部分に分けられる。

1. は じ め に

木材はすべて形成層から分化して形成されていくが、同一樹種、同一個体においても、その形成されていく木材は決して均質一様ではない。これは木材形成が生物現象である以上当然のことであるが、その根本となるものは、形成層から分化されるとき細胞の形態にあると思われる。各種の遺伝的・環境的要因によって、形成層の分化機能は時期的・部位的に異なったものとなり、それによって形態の異なった細胞、すなわち質の異なった材部が形成されていくわけであるが、形成層の分化機能の細部については若干の研究がなされてはいるものの、まだあまり明確にはなっていない。そののみか、樹木の成長そのものや、特定の細胞形態の変移についての多くの研究はあるが、それらの各因子間の相互関係は、それほど明らかになっていないといえない。

著者らは樹木の材部形成に関する研究を、まず、細胞の形態や、その相互の関連性の面から追求していくことを計画し、木曽王滝営林署瀬戸川国有林において、比較的優良木と推定されるヒノキ天然木を供試木として、昭和 24 年 4 月に採材し、直ちに別項のごとき測定に着手した。測定は昭和 29 年 11 月まで継続して行ない、その一部は日本林学会大会における講演として発表している。しかし、その後著者らの周辺における諸情勢の変化もあって、この膨大な労力を要する研究を継続することは困難となり、遺憾ながら研究は途中において中断せざるを得なかった。したがって、測定データは種類と量において満足できるものではなく、そのまま死蔵されていたが、近年この種の研究が各方面で行なわれる情勢にかんがみ、あえて報告することにしたものである。研究着手当初に予定した内容よりは著しく縮小されたものとなったが、中間的とりまとめとして、なお有意義なものであると信じている。なお、供試材にヒノキの比較的高齢木をえらんだのは、ヒノキ材が個体間および材内変動の比較的少ない木であり、不確定因子にわずら

1973 年 10 月 31 日受理

(1)(2) 木 材 部

わされない安定性をもっていること、老齢木の方が過去の経過をすべて材内に温存しているので十分な検討資料が得やすいことからである。

おわりに、測定ならびにデーターのとりまとめに多くの労力をさいていただいた、小林弥一、小玉牧夫、清水浪子、相原絢子、阿部栄子の各氏に深甚な感謝をささげるとともに、供試木を提供していただいた長野営林局玉滝営林署に厚くお礼申し上げるしだいである。

2. 試料および測定法

2-1. 試 料

試験木は長野県玉滝営林署玉滝営林区瀬戸川国有林43班で採取した天然生ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (SIEB. et ZUCC.) ENDL.) で樹齢263年、樹高31.8m、平均胸高直径52cm、胸高における平均年輪幅は約1mm、幹形は Fig. 1 に示すようにやや完満傾向であるが、胸高直径の割合に樹高はやや高いものと考えられる³⁾。立地条件は、ほぼ東西に走る峯より沢までの傾斜中、中腹以下沢寄り1/5くらいのところで、峯にはほぼ直交する尾根筋より多少はずれた峯に平行した緩斜地(勾配約10°)で、傾斜の緩急のないところである。基岩は花崗斑岩、岩塊がところどころ露出していたが、積土は比較的多く腐植厚約10cm程度、その下は湿度中庸の砂土と思われ、ササは少ない。常風方向はSまたはW、風級は1~2で最大3。なお、根張りはあまり広くなく、おおむね胸高直径の2倍の範囲にとどまっていた。

試料は上記試験木から地上高0.3mの位置で、厚さ約7cmの円盤を採取して1号円盤とし、順次2.0m上がるごとに7~5cm厚の円盤を16号まで採取した。

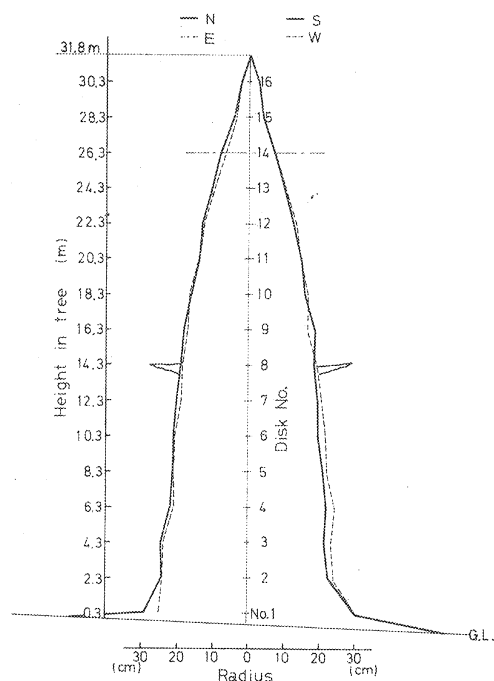


Fig. 1 供試木
Sample tree.

2-2. 測定法

(a) 年輪幅：採取した各円盤はそのまま N. S. E. W. の4方向について、年輪界を明りょうにするため十字状に鉋削したのち、樹心を通る直交線を引き、その線に沿って樹皮側から5年輪ごとにマーキングをほどこして、樹心からの距離を0.5mm目盛のものさしでルーペを用い、0.1mm精度で読み取り、それらの差から5年輪幅を求めた。

(b) 繊維長：各円盤のN方向の部分について、厚さ約3cm(円盤厚さの約1/2)、中心角5~7度でN方向の十字線を含む扇形試料を取り、樹皮側第1年輪から逐次10年輪ごとの1年輪を薄刃ノミで短冊状にはく離し、さらにマッチ軸状に5本程度に裂いてSchurz液に浸漬し繊維に解離した⁴⁾。繊維長は顕微鏡でマイクロメーターを用いて測定し、150本の平均値を求めた。

測定本数を150本としたことは次の試算によった。

測定すべき繊維母集団より任意に抽出した標本の平均値は、その誤差が母集団標準偏差の25%以下となる確率が0.99となるという条件を設定し、そのために必要な標本数を求めてみた。

誤差の限度 t は、

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{X}}{\sigma_{\bar{X}}} = \frac{\bar{X} - \bar{X}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

ここで、 \bar{X} : 標本平均値 \bar{X} : 母集団平均値
 $\sigma_{\bar{X}}$: 標本の標準誤差 σ : 母集団標準偏差
 n : 標本数

有意水準1%に対する t の値2.58を正規曲線面積表で求め、 $(\bar{X} - \bar{X})$ を 0.25σ として n を求めると、 $n=107$ となる。したがって、 n は最低限107本以上であればよいことになり、分布が完全に正規でないことに対する安全と精度の向上を考えて150本とした。なお、150本測定によって、各測定値全部について変動係数を求めてみたが、20~9%の範囲におさまリ、特に樹体部位による有意な差は見られなかった。

3. 年輪幅の変化

3-1. 樹高と年輪幅

各円盤の同年齢材部における10年輪間の幅（N. S. E. W. 4方位の平均値）を、年齢階別に Fig. 2 に示す。樹の高さによる年輪幅の変化は、おおむね基部より上方に向かいしだいに広くなり、頂部でふたたび狭くなる傾向を示すが、これを成長期別にみると、それぞれ年輪幅の変化の仕方がやや異なっている。成長後期（樹齢200年以降）では枝下部ではほぼ一定の年輪幅を示し、樹冠部に入ると急に広がって樹高25~26m（全樹高のほぼ3/4）付近で最大となり、頂部に向かってふたたび狭くなる。樹齢120~200年の中期では樹冠部中央に最大値があるが、枝下部と樹冠部であまり年輪幅に差がなくなる。初期においては最基部を除いて、樹高が増すとともに年輪幅も増えていくが、頂部では逆に狭くなる傾向を示した。しかしながら、それらの変化量はさほど大きなものでなく、大略各

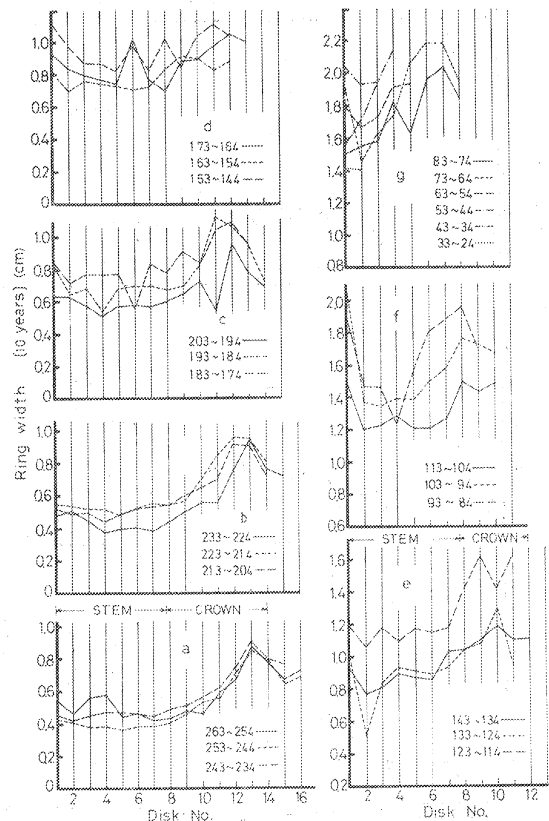


Fig. 2 各樹齢における樹高と年輪幅（10年）の関係
 Relation between height of tree and ring width according to ages of tree.

材部の平均値の 20~30% の範囲であり、総体的には樹高方向における年輪幅の変化はおおむね一様で、樹高が増すにつれてやや広くなるといえよう。ここで、壮年期ともいえる 150 年前後の時期 (Fig. 2-d) に、樹高と関連しての年輪幅の変化は比較的少なく、樹高の全体を通じて比較的安定した年輪幅を示している。

3-2. 樹齢と年輪幅

前節では樹高方向に同一年齢材部における年輪幅の変化をみたが、各樹高別に横断方向に年齢とともに変化する年輪幅の測定結果を示すと Fig. 3 のようになる。

この場合の測定値は 5 年輪幅で N. S. E. W. 4 方位の平均値で示した。

横断方向における年輪幅の変化は、樹心近くで最も大きく、周辺で最小になるのが一般的な傾向である

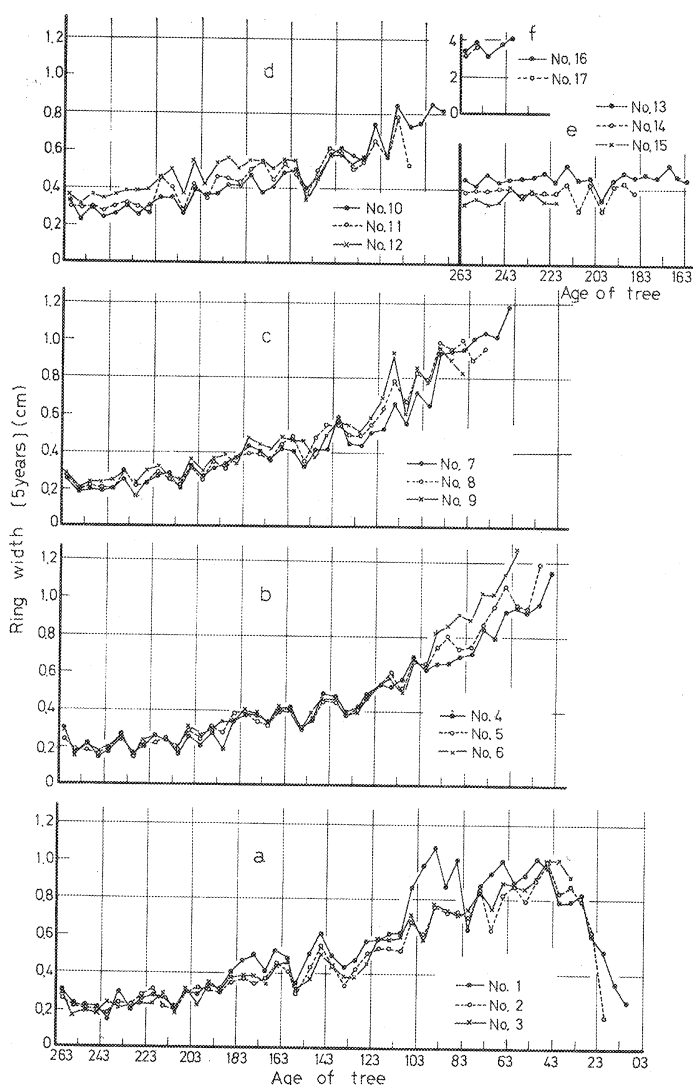


Fig. 3 各樹高における樹齢と年輪幅 (5 年) の関係
Relation between age of tree and ring width at each disk.

が、この場合も、樹幹下部の測定結果で見られるように、樹齢 40~50 年ころまで年輪幅は比較的速やかに増大して最大値となり、以後年齢を経るにしたがって漸減傾向をたどる。この漸減傾向は樹高各部においてはほぼ同様であるが、少し詳しくみると、樹高の 1/3、枝下よりやや低めの部位に最大幅があり (Fig. 3-b), 減少傾斜も大きく、樹高の 2/3 を越えると (直径で 25 cm 以下) しだいに漸減傾向がなくなり、年齢に関係なく一様な年輪幅を示すに至る。また、この年齢に伴う年輪幅の変化は、総体的には指数曲線的であるといえるが、この場合、変化傾向のパターンは樹齢 150 年前後を含む部分、それ以前の部分、それ以後の部分、さらに樹幹基部の樹心に近い初期部の 4 つに分けられる。すなわち前述のように、はじめ比較的急速に増大した年輪幅は、樹齢 40~50 年ころをピークとし

て樹齢 150 年ころまでに比較的速やかにその幅を減少していき、ほぼ一定の一時期を経過してふたたびごくゆるやかに減少する傾向にあるものともみられる。したがって、前節でのべたように、150 年前後の一時期が、全樹高を通じて安定した年輪幅を示すことも考えあわせると、この付近が樹勢の安定期に入ること示すものとおもわれる。なお、1 号円盤の 40~100 年付近に、他の円盤の傾向と比べて異常に年輪幅の広い時期があるが、これは後にのべるように、根張り形成のためと考えられる。

3-3. 樹心からの年輪数と年輪幅

3-1 および 3-2 から、年輪幅は樹齢の増加とともに、40 年くらいまでは増大し、後しだいに減少して安定すること、同一年齢の中ではほぼ一定しているが、樹高の低いところでわずかに広く、樹高の高い部分ではそれよりさらに広がっていている傾向のあることが明らかとなった。しかし、この傾向は、どのような樹体の対応から起こってくるのかはあまり明確ではない。もともとある樹高における形成層細胞は、継続してその位置において次々に木部細胞を形成していくのであって、その結果としての年輪幅の変化は、樹齢の推移というよりもその形成層の活動期間に影響されそうに思われる。同一年内に於いて年輪幅が広くなり得るような気象条件などの環境要因は、その上にさらに付加されるものであろう。

樹心から一定の経過年数、つまり形成層が活動を開始してから一定年数を経たときの年輪幅合計をとり、樹高方向にその位置をつないでみると、形成層の木部細胞形成力の樹高別の傾向が推定できそうである。Fig. 4 は各円盤の樹心から、一定年輪数までの年輪幅合計を示したものである。図から、30 年および 60 年までは、むしろ樹幹基部よりも 4~7 号円盤あたりの年輪幅合計が大きく、全体として中高であり、年を経るにしたがって、年輪幅合計は樹幹基部の方が増大してきていることが明らかである。これをさらに明らかにするために、それぞれの時期に対応する年輪幅を表示してみると、樹心から 30 年めにおいては、明らかにまだ中高で、4~7 号つまり樹高 6~12 m 付近が直径成長が盛んであるが、60 年めにおいては年輪幅は下回ってくるが、樹幹基部の方が大きく、1 号円盤においては逆に直径成長が増大しており、それをつないだ曲線は、中高でなく左が高く右下りのものとなっている。年数がたつにしたがって、年輪幅はさらに減少しながらもこの傾向は変わらない。

これは興味ある事実であって、樹心から同一年数を経るまでの年輪幅合計あるいはその位置での年輪幅をつないだ曲線は、30 年ごろまでは後に示す樹高成長率曲線と似ているところから、成長の盛んな時期に活動を開始した形成層細胞は、樹高成長についても、直径成長についても活発であることが類推される。しかし、その後、

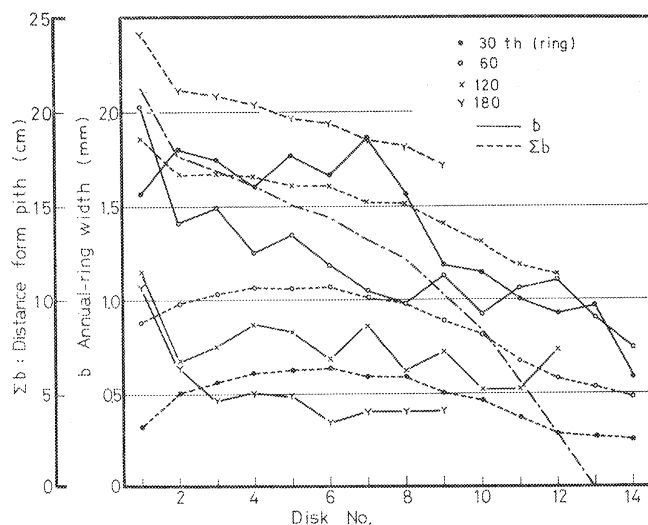


Fig. 4 各円盤における樹心から数えて 30, 60, 80, 120 年輪までの年輪幅合計 (Σb) と当該年輪幅 (b). Distance from pith to 30th, 60th, 80th and 120th ring (Σb) and the each annual-ring width (b) at each disk.

樹幹基部の形成層細胞は、それ以上の位置の形成層細胞よりも活動が旺盛になり、直径をより増大していくことになる。これはおそらく、樹木生理的な意味で、大きくなっていく樹体を支えるための根張り部分の強化に必要な、樹幹基部の直径増大をまかなうためのものであろう。そのために、本来樹体が幼年期のため活動力の低かった樹幹基部の形成層細胞は、40年くらいまで急速に活力を増大させていき、後しだいに活力を低下させていく (Fig. 3-a) のに対し、はじめから活動力の旺盛であった樹高 6~12 m の位置の形成層細胞は、やや急速に活動力を低下させていくものだと考えられる (Fig. 3-b)。樹高の高いところの形成層細胞は、まだ経過年数が少ないために、さほど活動力を減少させることなく (Fig. 3-e), そのため 3-1 に示したように、同一年齢内年輪幅の樹高分布は、上部においてやや広い年輪幅をみせることになるのであろう。このような形成層の活力変化の組合せのパターンが、完満材や稍殺材を形成することになるのであって、その生理的、遺伝的要因は、将来にむかって興味深い研究課題である。

4. 繊維長の分布

4-1. 樹高と繊維長

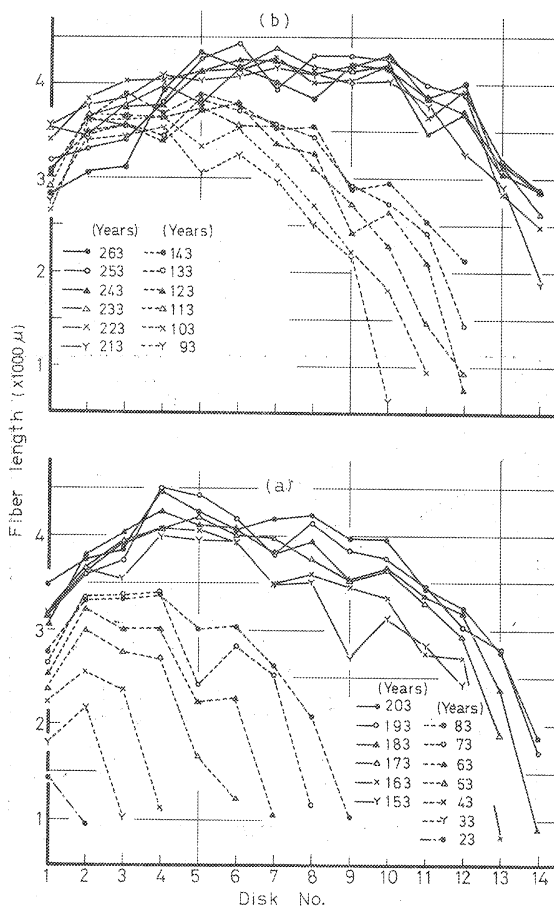


Fig. 5 樹齢別樹高と繊維長の関係

Variation of fiber length in an annual-ring with height of tree according to ages of tree.

同一年齢内での繊維長の樹高方向での分布は、おおむね樹高の低いところでやや短く、樹高を増すにしたがって長くなり、さらに樹高を増すとふたたび短くなってくる傾向は従来明らかにされているが⁸⁾⁹⁾、本報告においてもその傾向は明らかであった。その中高傾向はどの年齢においても同様に見られ、同一年齢内でもっとも繊維長の長い樹高位置は、各年齢とも共通ではなく、樹齢の増加とともに、樹高の高い方に繊維長の長い部分の範囲が広がる傾向がみられる (Fig. 5)。

4-2. 年齢と繊維長

樹木の年齢の増加にともなう繊維長の変化に関しては、サニオの法則が有名である⁸⁾。すなわち、同一樹高における繊維長は、年齢の増加にしたがって増加し、しだいにその増加の割合を減じて、ついに一定値で平衡するにいたることは多くの研究者によって証明されている。一般にこのように幼齢時において繊維長の短いのは未成熟材においてであるとされ⁷⁾、その期間を過ぎると、つまり長くて30~40年ぐらいに達すると、安定状態に達するとされている

場合が多い^(9,12)ようである。しかし、本報告においては繊維長の増加期間はかなり長く、胸高付近では100年あるいはそれ以上も、上部円盤にあっては最外層年輪に達してもなお上昇を続けている (Fig. 6)。もっとも、被圧不良木にあっては未成熟期間はかなり長くなる、とする報告⁽¹⁾もあるもので、一概にはいえないが、成長経過からみて、この供試木が特に被圧木であるとも考えられず、このような傾向がヒノキ材の特性か、この供試木単木の特性かは、にわかに断定することはできない。しかし、三好⁽⁶⁾はヒノキ材胸高断面において、繊維長は樹齢150年くらいまで漸増を続けている例を報告しており、おそらく樹種的な特性と考えてよいであろう。本報告の場合、下部の円盤においては、ある年齢以上に達すると、繊維長

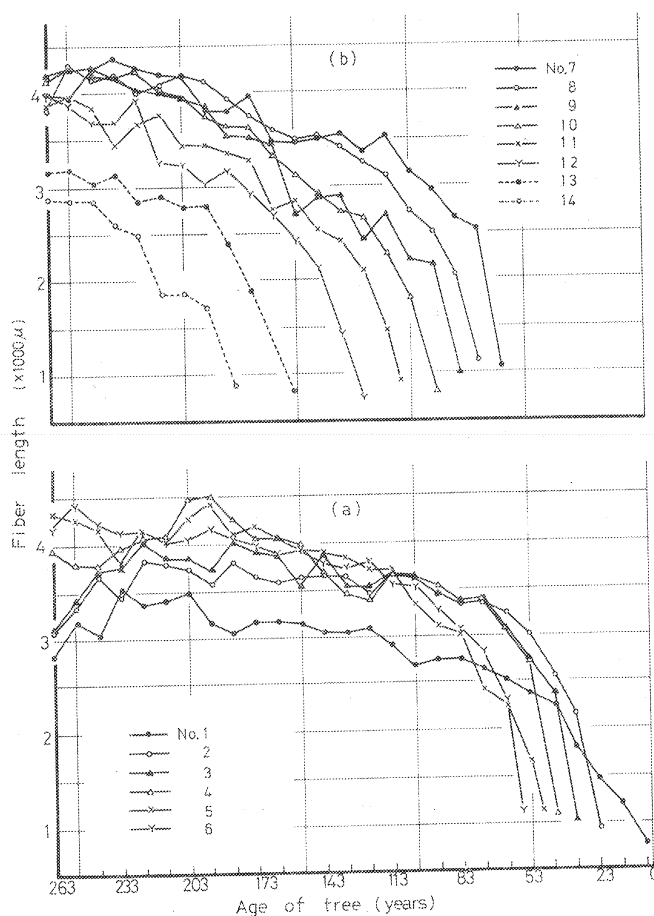


Fig. 6 各円盤における樹齢と繊維長の関係
Variation of fiber length in the radial direction at each disk.

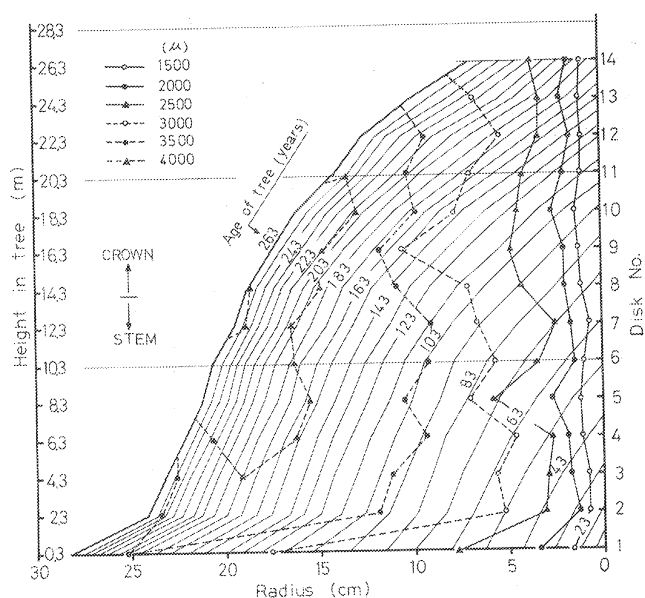


Fig. 7 繊維長の等値線
Isopleth of fiber length.

の減少傾向が見られるのは興味あることであって、ある樹齢以上に達すると一度一定値で平衡した繊維長は、ふたたび減少傾向をたどるものと考えられる。これは幼壮齢木では見られない現象である。全樹幹について、繊維長の等しい部分をつないでみると Fig. 7 のようになる。

4-3. 樹心からの年輪数と繊維長

年輪幅の変化について検討したときと同様な考え方で、樹心からの年輪数が同一の位置における繊維長を樹高方向につないでみると、Fig. 8 のようになる。この場合、全体の傾向はおおむね山形になる傾向にあり、樹幹基部および樹幹上部では繊維長が短くなる傾向がみられる。そして、当然であるが年輪数を増すほど、すなわち外周にゆくほど繊維長は長くなっている。この傾向は図面に併記した年輪幅の変化とは必ずしも一致しない。年輪幅は一般に年輪数を増すほど狭くなっていくが、さきに述べたように、幼年時を除いては樹幹基部において広く、頂部において狭くなっていく傾向がある。

この関係を対比してみれば、大まかに次のような仮説が成り立つ。すなわち、樹幹基部においては、幼年時は樹体も幼く、形成層の経過年数も少ないため、比較的良好な年輪幅成長にもかかわらず繊維長は短い。そして、それは外周に進むにしたがい長くなっていくが、幼年時を脱すると形成層が樹体維持のための直径成長を増大するのに影響されて、より樹高の高い部位での繊維長ほど長い繊維長は維持し得ない。しかし、しだいに頂部にいたると、形成層そのものの活動力がはじめからすでに若干低目であり、一定年数を経たときの年輪幅も、繊維長も、あまり大きくはなり得なくなるが、さらに年数の経過とともに年輪幅は減少し、繊維長が増大する傾向は他の部分と同じである、ということである。4-1 に示した樹高と繊維長との関係において、どの年齢においても、樹幹基部と頂部で繊維長が相対的に短い中高の傾向を示

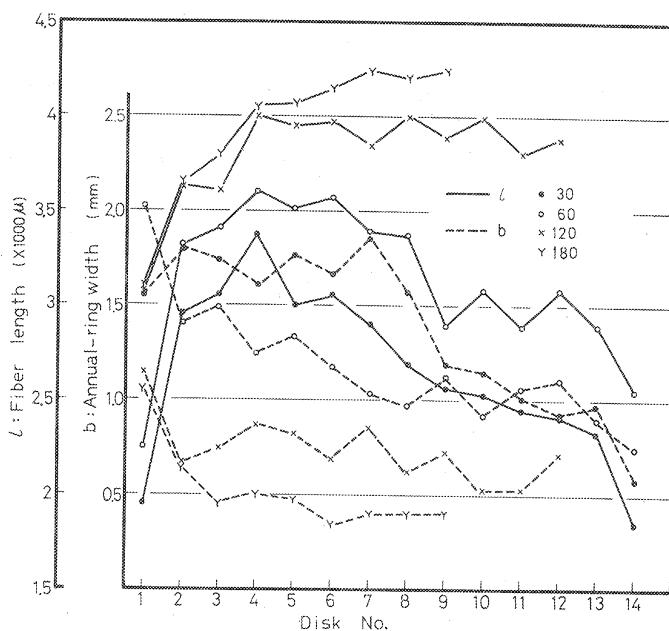


Fig. 8 各円盤における樹心から数えて 30, 60, 80, 120 年めの 1 年輪幅 (b) と当該年輪の平均繊維長 (l)
Width of the 30th, 60th, 80th and 120th ring from pith (b) and fiber length (l) in these annual-ring at each disk.

したのは、この考え方にたてば、樹幹基部においては、比較的未成熟な時代に生成した形成層のためと、根張りのための直径成長の影響で繊維長は短くなるのであり、頂部の方では、形成層細胞生成後の経過年数が少ないために、繊維長は短くなるものと説明することができる。したがって、Fig. 8 は同一経過年数を経たときの、各樹高別形成層の年輪幅および繊維長に関する活動力を示したものになる。

5. 年輪幅と繊維長との関係

形成層細胞の活動力が、その経過年数とともに一定の傾向をもって変化してくるとすれば、同一円盤、換言すれば同一形成層によって生成された材部の年輪幅、繊維長の変化は形成層活動の指標であるはずで、これはすでに 3-2 および 4-2 において述べてある。本項においては、同一樹高においてこの年輪幅の変化、繊維長の変化相互の間に何等かの関連があるか、またあるとすればどのような関連であるかを示すこととした。

Fig. 9-a~d は各円盤別に測定した年齢別の平均年輪幅と、平均繊維長との関係を図示したものである

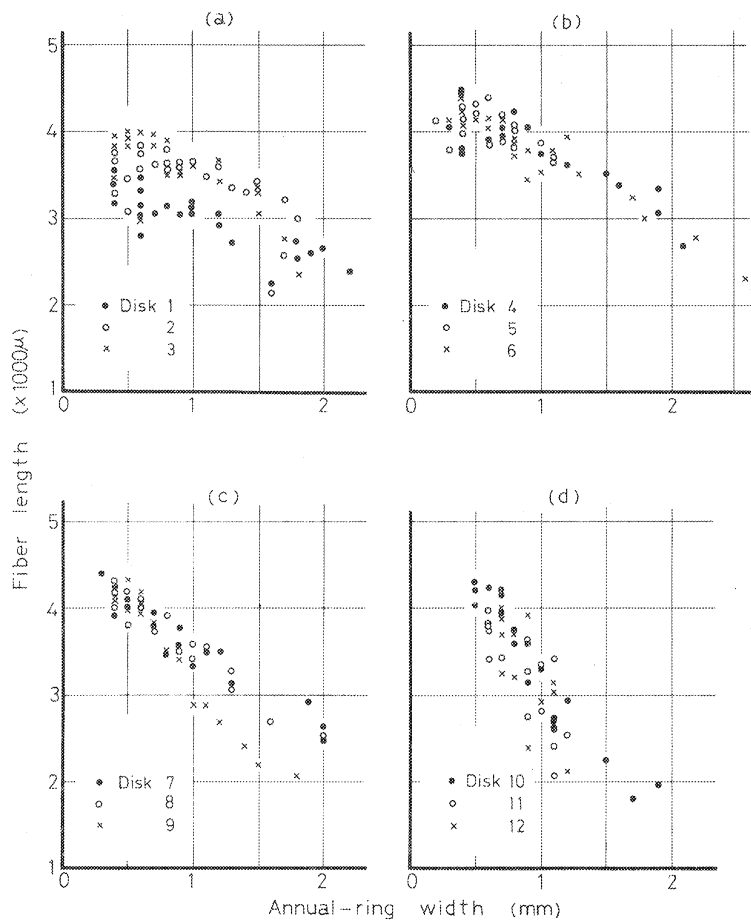


Fig. 9 年輪幅と繊維長の関係
Relation between annual-ring width and fiber length.

が、1～3号円盤を除けば、かなりよい逆比例関係を示しているように思われる。つまり、年輪幅が広くなれば繊維長は短く、年輪幅が狭くなれば繊維長は長くなる関係である。

年輪幅と繊維長の間にある程度の逆相関関係が認められることは、今までも推定されてきたことであるが⁽¹¹⁾、このたび単木中において樹高別にこれを検討してみた結果では、この逆相関関係はかなり密接であって、たまたま年輪幅の変化傾向と、繊維長の変化傾向が一致したからであるとは考えられない。そして、その回帰直線式には、また一定の傾向があるようにおもわれる (Fig. 9)。すなわち、この回帰式を

$$l = \alpha - \beta b \dots \dots \dots (1)$$

ただし l : 平均繊維長 (μ), b : 平均年輪幅 (mm)

とすれば、定数 α , β は樹高の増加とともにしだいに増加する傾向にある。これは上部にいくほど同じ年輪幅に対する繊維長は短いものとなる傾向があり、そして一定期間内により急速に年輪幅をせばめ、繊維長を増大する傾向があることを示している。つまり、成長停滞期に生成された形成層は、活動力が旺盛ではなく、また早く活動力が老化する傾向にあるのではないとも考えられる。下部の円盤については、 b と l との関係をよく検討してみると、若い年齢の部分、すなわち、後述する Fig. 21 の樹幹基部の中心部分がとくに年輪幅も狭く、繊維長も短く、(1) 式の傾向からはずれていること、また、老年の部分、すなわち樹幹基部の外側部分で年輪幅が相当狭いにもかかわらず、経過年数とともに、年輪幅とは無関係に繊維長が減少していつていることが目につく。前者はいわゆる未成熟材部で、形成層細胞自身が不安定であること、後者は形成層が活動をはじめてからの経過年数がきわめて長く、過熟材部とでもいうべき状態で、形成層の活動力が極端に低下したものと考えることができる。この両部分を除けば1～3号の円盤においても、(1) 式の関係は比較的安定した形で成立する。しかし、この部分は樹木の未成熟期に生成された形成層によって形成されていくためか、全体として、同じ年輪幅に対する繊維長は相対的に短い傾向がある。そして、その傾向は低位置の円盤ほど強いように思われる。各円盤について、この両部分を除いて(1) 式の係数を求めると、Table 1 のようになる。

さて、4号以上の円盤について、すべての測定値中最小の年輪幅と、最大の繊維長とを拾ってみると、それぞれ 0.2 mm および 4.5 mm である。いま、年輪幅 b および繊維長 l の限界値にこれを採用し、この点を基点として (1) 式を各円盤について計算しなおしてみると、Fig. 10 および Table 2 のようになる。これは、この試験木の形成層活動のパターンを示したものであるといえる。なお1～3号円盤について、4号以上の円盤と同様に、最小年輪幅を 0.4 mm、最大繊維長を1号は 3.5 mm、2号 3.8 mm、3号 4.0 mm とおいて、各円盤に対する直線式を計算してみた結果も同図および同表中に示しておいた。

Table 1. 年輪幅と平均繊維長の回帰直線式
 $l = \alpha - \beta b$ における定数 α と係数 β
 Constant α and coefficient β of linear regression
 equation between annual-ring width and fiber length

円盤番号 Disk No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α	3,686	4,036	4,333	4,469	4,356	4,594	4,539	4,609	4,978	5,199	5,216	5,345
β	568	491	751	684	456	853	961	1,088	1,735	1,911	2,321	2,353
v (%)	5.0	2.6	4.0	5.6	3.8	3.1	4.1	3.3	4.9	7.0	9.2	12.2

v : 回帰直線からの変動係数

Coefficient of variation from regression line.

従来、年輪幅と繊維長との相関関係が正であったり負であったり、あまり明確なものとはならなかった⁹⁾のは、本報告では樹幹基部の樹心部に該当するような、幼齢期のしかも早い時期に形成された材部についての測定が多かったか、または混入していたからであろう。どちらかといえば、未成熟材部について論じられていた年輪幅と繊維長の相関関係が、成熟材部において成り立つことは以上の結果からほぼ明らかである、ということができよう。なお、円盤位置にかかわらず同一年齢内の全年輪幅平均と、全繊維長平均を対比させてみると Fig. 11 のようになり、この場合も (1) 式の関係は 33 年、43 年の未成熟材部を除けば、高い精度で成り立つ。

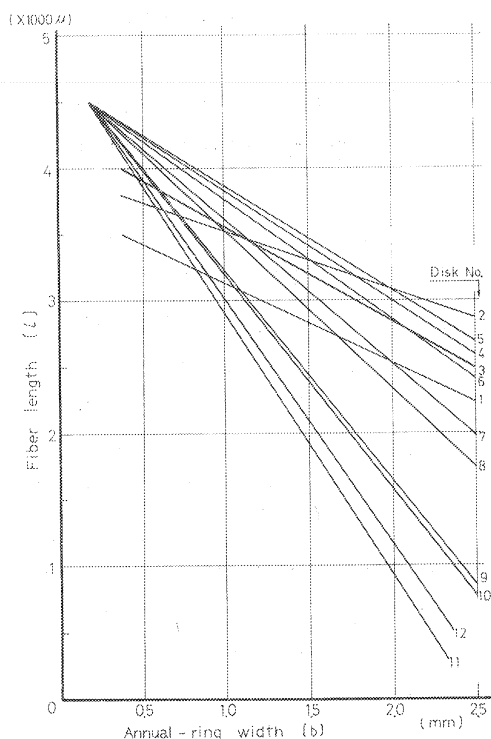


Fig. 10 年輪幅および繊維長に限界値を用いた場合の回帰直線

Linear regression line : Case using limited value of fiber length (l) and annual-ring width (b).

6. 成長量と年輪幅、繊維長との関係

6-1. 樹高成長量と半径成長量

供試木を樹幹析解して Fig. 12 のような樹高に関する総成長曲線と、10年間を単位とする定

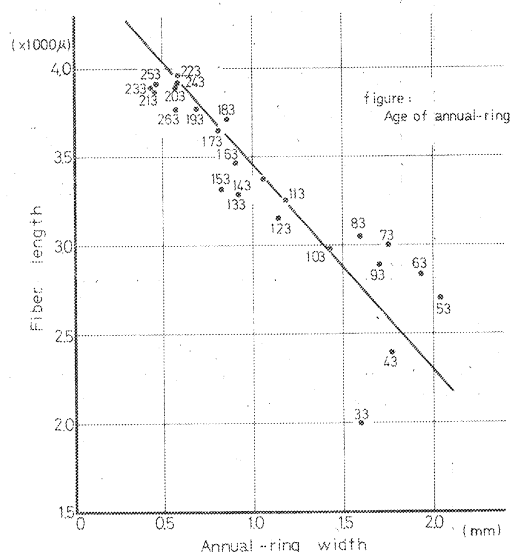


Fig. 11 各円盤の同一樹齢における平均年輪幅と平均繊維長

Relation between average fiber length and average annual-ring width of the same age of annual-ring in all disks.

Table 2. l , b に限界値を用いた回帰直線式の定数 α' および係数 β'
Constant α' and coefficient β' of linear regression equation using limited value of l and b

円盤番号 Disk No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α'	3,743	3,980	4,285	4,666	4,657	4,683	4,720	4,740	4,817	4,821	4,897	4,870
β'	607	450	713	832	787	912	1,099	1,199	1,586	1,600	1,983	1,849
v (%)	5.1	2.7	4.0	6.2	4.0	3.4	4.7	3.7	5.2	8.3	9.5	12.5

期平均成長量を得た。図からこの供試木の樹高成長の経過を知ることができるが、定期平均成長量は樹齢50年付近で早くも最高に達し、その後急速に減少して樹齢130年くらいからほぼ横ばいになり、その後、わずかな減少傾向にあることが明らかである。図中に、同様の方法によって、1号円盤における半径に関する総成長曲線と定期平均成長曲線を示した。いうまでもなく、全体の傾向は樹高の場合と同様な傾向を示し、また、定期平均成長量最大の時期は樹高のそれより若干遅れて、また持続的である。樹高の定期平均成長量を年齢対比でなく樹高対比、すなわち、それぞれの円盤の位置におけるものに置きかえると

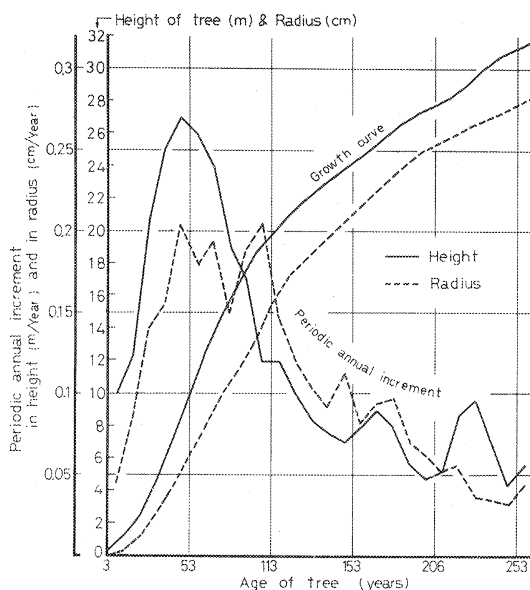


Fig. 12 樹高および半径の成長曲線と定期平均成長量
Growth curve and periodic annual increment
in height and in radius of disk No. 1.

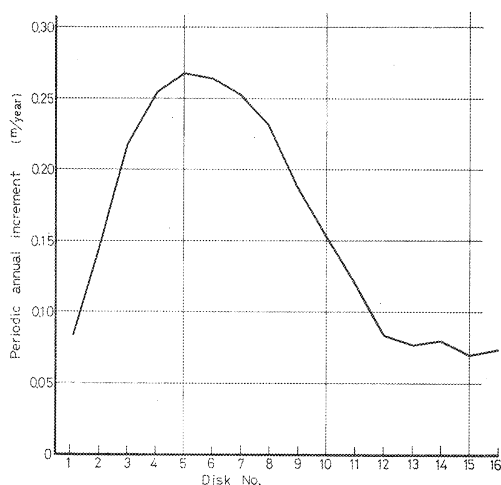


Fig. 13 円盤位置における樹高の定期平均成長量
Periodic annual increment in height at the
elevation with each disk.

Fig. 13 のようになる。図はそれぞれの円盤位置における形成層が、当初どのような樹高成長能力を持っていたかをあらわすものとなる。

6-2. 樹心から一定年輪数における 半径成長と樹高成長との関係

樹高の定期平均成長量を p とし、形成層が生成されてから、ある経過年数を経るまでの半径成長量を Σb とすれば、経過年数を一定としたとき、各円盤の p と Σb の間には密接な関係のあることが想像される。つまり、活動力の旺盛な形成層細胞が生成されたときには p が大きいが、樹高成長に寄与しなくなってからも、その細胞の活動力はなお旺盛な傾向を保つことが予想されるからである。

Fig. 14 および Fig. 15 は、経過年数30年および60年の場合の Σb と p の対比を示したものであるが、樹高(円盤番号)に対し、かなり似かよった傾向を示している。この場合は、30年あるいは60年間の半径成長の累計としての Σb がそのような傾向を示しているのであって、30年めの年輪幅 b はすでに樹幹下部においては p とのよい対応を示しておらず、60年めの b は一層その傾向が顕著で、樹幹基部においては、 p が小さいにもかかわらず逆に大きい値を示していることは、すでに Fig. 4 に示したとおりである。

これをみると、すくなくとも樹幹基部においては、経過年数が増すにしたがって Σb と p は対応しにくくなり、逆に経過年数が少ないほど、 Σb と p は対応がよくなるように考え

られる。

このような対応状態を調べるために、経過年数 15 年、30 年、45 年、60 年、120 年、180 年の $p : \Sigma b$ の関係を Fig. 16 に示した。図には p とともに円盤の No. をも示しておいたが、 $p : \Sigma b$ の関係は、地ぎわから頂部へ向かって、矢印の方向に変化していつている。 p が最盛期から下降期に向かうとき、具体的には 5～14 号円盤の $p : \Sigma b$ の関係は、経過年数によらずほぼ同様の傾向があって、比例的であり、経過年数とともにその傾斜は急になっていく。一方、 p の上昇期、すなわち、樹幹基部 1～4 号の円盤位置にあっては、15～30 年くらいまでは 5 号以上の円盤の $p : \Sigma b$ の関係とほぼ同一傾向を示すが、経過年数の増加にしたがい、しだいに傾斜が緩やかとなり、ついに逆相関傾向を示すにいたる。これもかなり規則的な変化である。これは重ねていうまでもなく、根張り部分の影響、つまり、形成層がその生成時の活動力 (p で代表される) を持続する状態からしだいに脱して、生理的ともいうべき樹体維持のための肥大成長を受け持つにいたった経過を示しているものとみられる。

いま、5～12 号で $p : \Sigma b$ の値から回帰式を作れば Table 3 のごとくで、 B の値は p の増加または減少が、どれだけ b の値を変化させるかを示していることになる。また、各経過年数間の半径成長量の 10 年間あたりの値を求め、それと p との関係を図 17 に示した。これによると、成長時期にともなう半径成長量と p との対応で、経過年数があまり大きくない時期においては、半径成長量は p の影響を強く受け、経過年数が増えるにしたがってしだいにその度合が小さくなる経過がさらにはっきりする。図から形成層細胞の生成時から、およそ 60 年を経るとその活動力はほとんど半径成長量に影響を及ぼさなくなる。なお、 $p : \Sigma b$ の関係の Fig. 6 において、13、14 号円盤 (樹齢 130 年以上) の部分は、 p の停滞期に相当するが、 p の減少以上に Σb の値が急減しており、この時期以降に生成された形成層細胞は、停滞期に入って肥大成長を減少したものとみられる。そして、一方未成熟材部とおもわれる 15 年、30 年次付近の

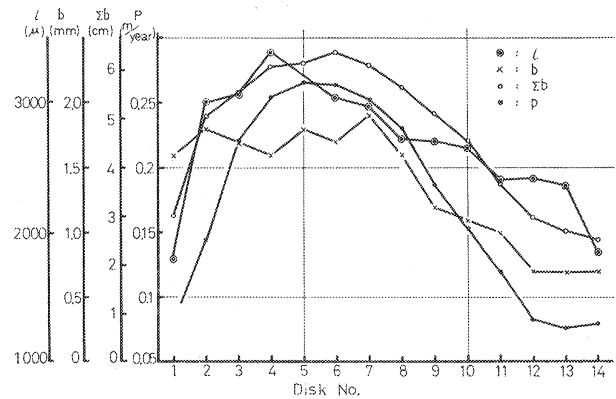


Fig. 14 各円盤における樹心から30年輪めまでの半径成長量 (Σb)、30年めの年輪幅 (b)、その年輪内の繊維長 (l) および各円盤位置における樹高の定期平均成長量 (p) の対比

Relationships between radius increment (Σb) from pith to 30th annual-ring, its width (b), fiber length in it (l) and periodic annual increment in height (p) at the elevation with disk.

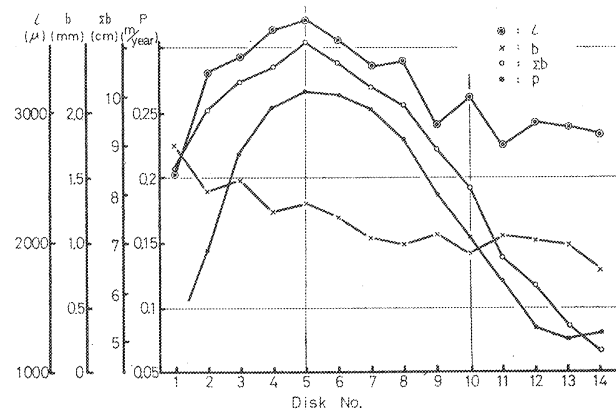


Fig. 15 60年輪めまでの場合
Case of 60 years of age.

Table 3. 一定経過年数における各円盤位置の樹高の定期平均成長量 p と半径成長量 Σb との直線回帰式

Linear regression equation between average growth increments in height within definite period of time p and semidiameter growth increment Σb at each disk-position on the year elapsed

経過年数 The year elapsed	回帰式 Linear regression equation
15	$\Sigma b = 0.84 + 0.095 p$
30	$\Sigma b = 1.57 + 0.178 p$
45	$\Sigma b = 2.82 + 0.224 p$
60	$\Sigma b = 3.90 + 0.254 p$
120	$\Sigma b = 9.00 + 0.259 p$
180	$\Sigma b = 11.70 + 0.286 p$

Σb : cm p : cm/year

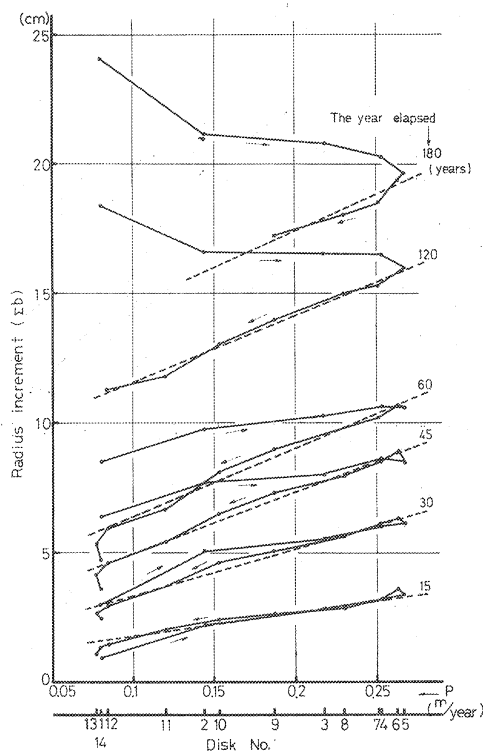


Fig. 16 経過年数と各円盤位置における樹高の定期平均成長量 (p) と半径成長量 (Σb) の関係

Relationships between the year elapsed, radius increment (Σb) and periodic annual increment in height (p) at the elevation with each disk.

1～4号円盤での Σb は、 p とよく対応しており、形成層細胞生成時の未成熟因子が、 p の小さい原因にはなっているが、 p と Σb との関係にはあまり影響を及ぼさなかったことを示している。

6-3. 樹心からの一定年輪数における縦

維長と樹高成長量との関係

6-2 で述べたように、 b と p との間にかかなりの相関性があるとすれば、Fig. 9 に示したように、年輪幅 b と繊維長 l との間には高度の相関性があるので、当然、 p と l との間にも何らかの関連が見い出されるはずである。Fig. 14, 15 に樹心からの経過年数と繊維長との対応を示したが、 Σb の場合と同様、一定経過年数に対する各円盤の繊維長と p との間には、 Σb の場合と似たような傾向がみられる。しかし、実際にはすでにのべたように、 l はかなり高度に年輪幅の影響を受け、年輪幅が狭ければ l は長く、年輪幅が広ければ短くなる傾向を示すはずで、この場合、一定経過年数のもとで l と関連が深いのは Σb ではなく、 b でなければならない。同一経過年数における b と l

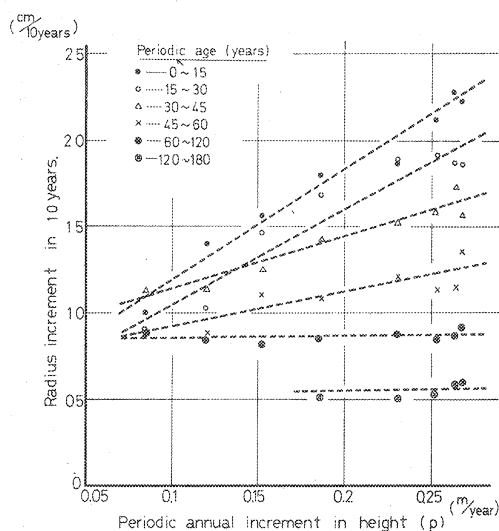


Fig. 17 樹心からの一定年輪間の半径成長量と樹高の定期平均成長量

Relation between radius increment in periodic age and periodic annual increment in height (p).

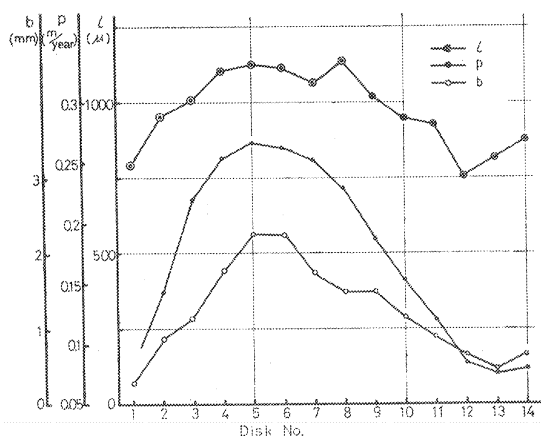


Fig. 18 経過年数2年めの年輪幅 (b) および繊維長 (l) と樹高の定期平均成長量 (p) の対比
Relationships between ring width of 2nd annual-ring (b), fiber length in it (l) and periodic annual increment in height (p) at the elevation with each disk.

の対比を Fig. 14, 15 にみると、樹心に近い部分ではある程度の b と l との対応があったものが、経

過年数の増大とともにしだいに対応しなくなる傾向がみられる。Fig. 18 は経過年数2年目の年輪について、各円盤ごとに b および l の測定を行ない、その結果と p との対応を示したものである。ここでも、 l は p と似た傾向を示し、 b も同様の变化傾向を示した。Fig. 9 に示した総体的な b と l との逆相関の関係からははずれ、やはり 5) にのべた未成熟材としての特異性を示す結果となった。形成層の生成から間もない、 l のきわめて短い期間においては、 b も l と同様に p と正相関を示し、 b と l も正相関となり、経過年数の増加にともなってこの関係はしだいにその傾向を逆転していくものと考えられる。したがって、このような期間では樹高の定期平均成長量であらわされる形成層の活力が、 b にも l にもかなり高度に影響するものと推定される。全体の傾向をみるため横軸に経過年数をとり、繊維長が経過年数にしたがってどのような変化をしているかを示すと、Fig. 19 のようになる。各円盤とも、当然サニオの法則にしたがって年齢を増すにつれて繊維長は増大しているが、1号→4号と地ぎわから離れるにつれて、繊維長は全体として長くなり、その後は経過年数の多い方では多少長くなる傾向はあるが、経過年数の少ない方ではしだいに短くなり、上部円盤ほど傾斜は急になっていく。これは、すでに述べてきたように、1～4号円盤を形成していく形成層が生成されたのは樹体の幼年時であり、長さ方向の細胞形成力が十分ではなく、相対的に短い繊維を生産しはじめるが、根張りのための直径成長の増大などの影響もあって、経過年数を増しても繊維長は急激には増大しない。しかし、この期間を過ぎて、樹高成長速度の低減期に入ると、樹心部に近い繊維長は、上部にいくに従い、 p の減少にともない減少してくるが、年数を経過するにしたがって急速に繊維長を増大するようになると説明することができよう。これはとりもなおさず、5において説明した年輪幅と繊維長との関係において、1～4号円盤の示した状態、さらに5号以上の円盤において $b:l$ の回帰直線が、上部にいくにしたがい傾斜度を増したことを別の面から補足したことにもなる。なお、参考に、経過年数30年における樹高別 p と l との関係を Fig. 20 に示した。図中、13号、14号は p

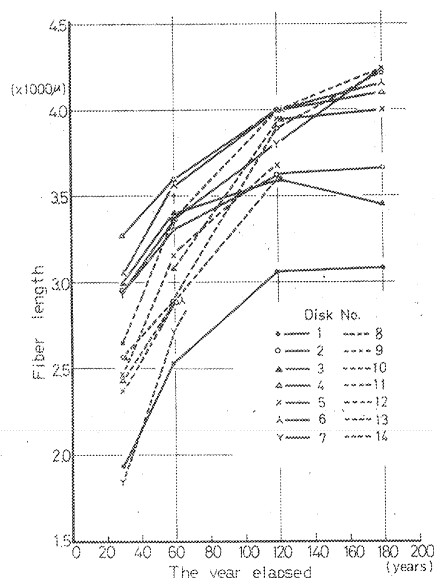


Fig. 19 経過年数と繊維長の関係
Relation between the year elapsed and fiber length at the elevation with each disk.

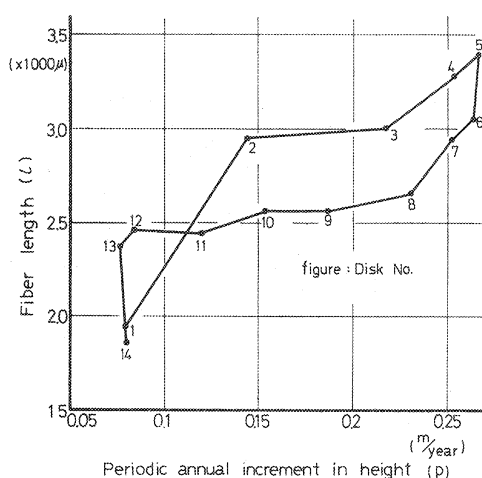


Fig. 20 経過年数30年における円盤別樹高の定期平均成長量と繊維長の関係

Relationships between periodic annual increment in height (p) at the elevation with each disk and fiber length in the 30th ring from pith.

のいかにかわからず1が著しく減少しているが、これはどの経過年数についても同様で、さきに6-2.で述べたように、ひとつの停滞期を示すものと考えられよう。

7. 成長の考え方

以上のべてきたように、樹高成長、直径成長および繊維長を指標として、その相互関連性、ならびに供試木の成長を取りあげて検討してみると、いくつかの興味ある考え方ができる。供試木の成長の初期(0~20年)においては、活動力の十分でない形成層細胞が生成されるので、その樹高および半径方向に対する生産力は十分でなく、定期平均成長量は小さく、同時に繊維長もきわめて短い細胞を生産することになる。この傾向は比較的速やかに改善されていくが、形成層細胞が生成さ

れた当初は樹体が成長の初期にあるか否かを問わず、全樹齢を通じて、樹高ならびに半径方向の定期平均成長量の変化とは無関係に、繊維長の短い細胞が生産され、いわゆる未成熟材とよばれる材部が樹心の周囲に形成される。この未成熟材部と考えられる材部形成期間は、各樹高位置においてかならずしも一定したものでなく、各成長時期における樹勢あるいは生成された形成層細胞の活力によって異なるものと考えられ、樹幹中央部、すなわち力の大きい時期には比較的短期間となる傾向がある。樹高ならびに半径方向の定期平均成長量は速やかに増大していき、樹齢約45年、樹高にして8m前後ですでに最大に達する。それ以後、半径方向の定期平均成長量は、しばらくそのままの状態を継続したのち減少していくが、樹高のそれはただちに下降期に入り、樹高にして23m、樹齢約130年ごろまで減少しつづける。その間、繊維長は未成熟材部形成期間¹⁰⁾を経てから樹高上部では年数にして10~15年間、中央部で約30年間、樹幹基部を除いた下部では約50年間の期間に、年輪幅の急増に対応した急速な繊維の生産が行なわれ、その結果年輪幅に対する繊維長の割合が比較的小さい材部形成がなされる。樹幹基部では、根張り形成がこの期間の後期から顕著に見られるようになるため、この期間はさらに長くなり、約65年間程度にも及んでいる。樹齢130年ころを過ぎると、樹高の定期平均成長量は下がったところで、横ばいになり、最盛期のほぼ1/4程度となって最終期まで継続され、半径方向では漸減傾向をもって最終期に至る。この間の繊維長の変化は、まず、繊維長が年輪幅の増減に見合って変化する期間、すなわち、年輪幅と繊維長が逆比例する期間と、年輪幅がある程度小さくなった形で安定し、繊維長もある程度増大した形で安定して成長する期間に大別される。そして、さらに樹高約10m以下の樹幹最外周部に、安定した年輪幅にもかかわらず繊維長が急激に減少する部分、いわゆる過熟材部とも考えられる材部形成があらわれる。年輪幅と繊維長が逆比の関係にある成長期間は、樹高約24m以上(13号円盤より上部)の部分では最終年齢まで、中央部(樹高15~16m)で樹齢約200年、下部で180年ぐらいたまわり、前述の比較的繊維長の短い期間の終りから約80~100年ぐらいたまわりの期間である。その外側に年輪幅が最小値、繊維長が最大値のままで成長

を続ける期間が位置する。形成層細胞の生成後、約 200 年を経過すると、さらにその外側に過熟的部分があらわれてくるのである。

以上の結果をもとにして、供試木の全樹幹をいくつかの部分に区分してみると Fig. 21 のようになる。全樹幹の中心部は未成熟期で、樹高ならびに半径方向の定期平均成長量のいかににかかわらず、形成層細胞生成からの経過年数が少なく、繊維長 l はきわめて短く、急な増加を続ける期間で、これを $l=2,000\mu$ で区切れば (I) の区間となる。その外側は形成層生成後の経過年数が短く、若年期ともいえる期間で、年輪幅 b に対する l の比率が比較的小さく、 b の急増に対応した繊維の分化がある程度盛んであるが、いまだ b と l との間に明らかな相関関係がみられない。 b に対する l の比が 2 倍以下の期間がこれに該当するとみれば、(II) がその区間である。この区間の大部分は、樹高、半径方向ともに成長の最も盛んな時期である。その外側は成長の安定した青年期ともいべき部分で、 l したがって b は値を減じながら安定していく期間の大部分を含み、初期には各樹高での l に支配されて定まった l は、この期に入ってから b に支配されて長くなっていき、 b と l との間に逆比例関係が成立する区間でもある (III)。さらにその外側になると、 l が最盛期の 1/4 程度の値で安定し、したがって b も小さい状態でお多少は減りながらも安定し、かつ l もほぼ最大値となった形でそのまま安定して成長する材部となり、安定成長期ともいえる区間である (IV)。樹高約 8 m 以下の部分では最外側に過熟的部分 (V) があって、 b の安定にもかかわらず l は急激な減少を続けることになる過熟期ともいえる材部形成が出現する。

なお、本報告においては、供試木について枝下材と樹冠材の区分をとくに行なっていないので、この点については詳細に検討することはできなかったが、樹冠材、枝下材に相当するとおもわれる部分を比較してみても、年輪幅や繊維長の変移に関する限りは、特徴的な関係は発見できなかったことを申し添えておく。

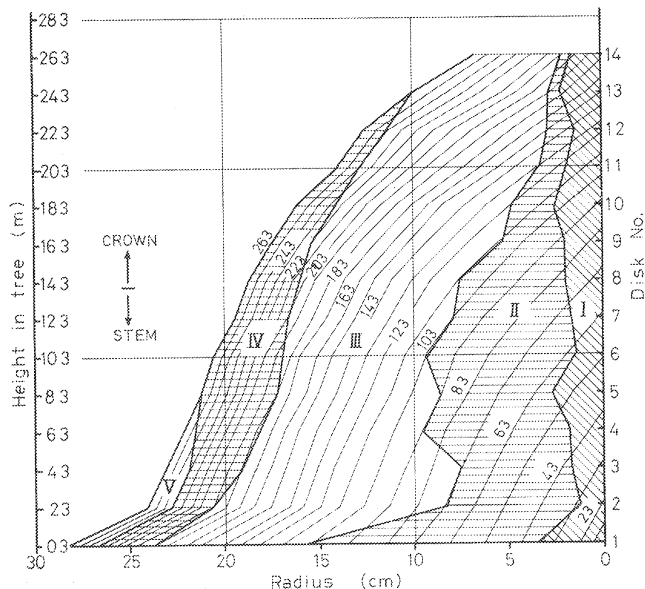


Fig. 21 樹幹内の成長区分
Location of growth in stem.

8. お わ り に

以上、樹齢 263 年のヒノキ供試木について、その樹高方向および半径方向の成長と、それにもなって起こる年輪幅および繊維長の変化を樹体各部位にわたって調べて、いくつかの新しい知見を得ることができた。さらに詳細にこれを解析するには、細胞の形態を克明に調べ、さらには形成層の分化機能を追求していく必要があるが、その方面の根本的な検討は将来のこととして、次報において細胞の形態の一部を調べた内容について報告する。本報告はただ 1 本の供試木に対する検討にすぎないが、各部位における形成層活動の結果としての材部形成の変移状況を調べたものとして有用なものと思える。

ま と め

樹齢 263 年のヒノキ材（王滝営林署瀬戸川事業区）を供試木とし、樹幹析解した円盤について、樹高および半径方向別に樹体内各部位における年輪幅、仮導管長をしらべ、その変移と、樹高および半径の定期平均成長量の変化、およびこれら各因子の相互関係を調べた。

(1) 各年輪における樹高方向の年輪幅の変化は、枝下部ではほぼ一定で樹冠部に入るとしだいに広くなり、樹冠中央部付近で最大に達し、頂部に向かってふたたび狭くなるが、樹齢 150 年前後で比較的同一年輪内での差は少なく安定している (Fig. 2)。

(2) 同一樹高における年輪幅の変化は樹齢 50 年くらいまでは急速に増大し、以後漸減してほぼ一定値におちつく (Fig. 3)。

(3) 樹心から一定年輪数の位置での年輪幅の樹高方向での変化は、樹心近くでは樹高 6~12 m あたりがもっとも広い中高傾向を示すが、樹心から離れるに従い樹幹基部の方が広く、上部ほど狭い傾向を示す。これは根張り形成のためと考えられる (Fig. 4)。

(4) 各年輪における樹高方向の繊維長の変化は、全体として中高傾向にあり、樹齢の増加とともに繊維長の長い部分の範囲は樹高の高い方に広がっていく (Fig. 5)。

(5) 同一樹高における繊維長の半径方向での変化は樹心から外部にむかって長さを増し、しだいに安定するが、それまでには 100 年以上もかかり、また、ある程度年数を経過すると減少しはじめる (Fig. 6)。

(6) 樹心から一定年輪数の位置での繊維長の樹高方向での変化は、はじめ (3) と同様に中高傾向で、樹心から離れるにつれて、樹幹基部の方が短く、上部ほど長い傾向を示す。これは樹幹基部における形成層は、樹齢が若く、比較的未成熟時代に生成したものであるため、短い繊維を形成するためと考えられる (Fig. 8)。

(7) 同一樹高における年輪幅と繊維長との間には、かなり明確な逆相関関係が成りたち、 $l = \alpha - \beta b$ の式であらわすことができる。 l は平均繊維長、 b は平均年輪幅であり、 α および β は樹高の増加とともに増加する傾向がある。つまり、上部位置ほど同一年輪幅に対する繊維長は短いものとなり、一定期間内に急速に年輪幅を狭め、繊維長を増大することとなる。しかし、未成熟材部および過熟材部はこの法則からはずれる (Figs. 9~11, Table 2)。

(8) 前記の関係は、根張りの影響のなくなった 6 m 以上の樹高では、各円盤とも最少の年輪幅 0.2 mm、最大の繊維長 4,500 μ 付近に収斂する。

(9) 樹高の定期平均成長量 ρ の変化と、各樹高に対応する (3) で示した、樹心から一定年輪数の位

置での年輪幅合計値 (半径) Σb の変化とはよく対応しており (Figs. 14, 15), 経過年数に対して法則性がある (Fig. 16), これは p の大きかった形成層細胞は同時に b も大きかったことを示しており, 経過年数の短いちは p の b に対する影響はきわめて大きく, 年数の経過とともにその影響を減じ, 経過年数60年以降は影響がなくなる (Fig. 17)。根張りの影響をうける4号円盤以下では経過年数30年以上で p の影響から脱しはじめる (Fig. 16)。

(10) p の停滞期 (樹齢130年以上, Fig. 16の13, 14号円盤) においては, Σb の値は p の減少以上に小さくなり, 形成層細胞の活力の減退を示している。

(11) p が大きいと繊維長 l も大きい傾向があるが (Fig. 14, 15), 樹心からの経過年数と l との関係を示すと Fig. 19 のようになる。すなわち, l は経過年数とともに増大するが, p の上昇期 (下部円盤) には全体として小さく, p の上昇, つまり円盤番号の増加とともに増加する, p の下降期には l ははじめ p とともに減少するが, 経過年数を増すにしたがって急速に増大するので, 最終的には p の下降の影響を受けなかった状態になる。 p の停滞期には (10) に示したと同様に l は著しい減少を示す。

(12) 以上の結果から, b および l はその母体となる形成層の生成時期に影響され, 基本的には p と密接な関連があるが, 二次的には形成層細胞ができてからの経過年数の影響がしだいに大きくなり, また樹幹基部においては根張りの影響が大きいことが明らかである。

(13) 全樹幹を p, l, b の変化の関連から区分してみると Fig. 21 のようになる。(I) は l がきわめて短く, 急な増加をつづける未成熟期, (II) は b に対して l の割合が比較的小さく, 年輪幅の急増に対応した繊維の分化がある程度盛んであり, b と l との間に明らかな相関関係は成立しない期間で, 若年期ともいえよう。(III) は b と l とが逆相関の関係にある期間で, 青年期とでもいえ, (IV) は b がある程度小さくなり, l もある程度長くなった形でそのまま安定して成長を続けた区間で, 安定成長期にある。(V) は過熟的な部分で, b に無関係に l の減少が見られる。

文 献

- 1) BANNAN, M. W.: Anticlinical division and cell length in cambium. F. P. J., 17, 6, 63~69, (1967)
- 2) DINWOODIE, J. M.: Tracheid and fiber length in timber. Forestry, 34, 125~144, (1961)
- 3) 兼次忠蔵: 赤松樹幹の仮導管長に就て, 日林誌, 17, 1, 56~57, (1936)
- 4) 小林弥一: 木材細胞膜のフィブリル傾角測定試料作製上の一簡便法, 日林誌, 34, 11, 392~393, (1952)
- 5) 三好東一: ヒノキに関する材質の生態的研究 (理化学的性質に関する調査試験), 三好博士還歴記念事業会, 36~37, (1951)
- 6) ———: ヒノキに関する材質の生態的研究 (総論), 三好博士還歴記念事業会, 26~28, (1952)
- 7) 太田真明・渡辺治人・松本 昂・堤 寿一: 未成熟材の力学的特性に関する研究 (第2報) ヒノキ樹幹における材質判定因子の変動と力学的性質について, 木材誌, 14, 5, 261~264, (1968)
- 8) SANIO, K.: Über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer. Jahrb. Wiss. Botan., 8, 401~420, (1872)
- 9) SCHULTZE-DEWITZ, G.: Variation und Häufigkeit der Faserlänge der Kiefer. Holz als R. u. W., 23, 3, (1965)
- 10) 塩倉高義・渡辺治人: 未成熟材に関する研究 (第4報), 東京農大農学集報, 16, 2, 99~104, (1971)
- 11) 須藤彰司: アカマツ仮導管長の変異について (第6報), 木材誌, 15, 16, 241~246, (1969)

- 12) VOORHIES, G., JAMESON, D. A. : Fiber length in southwestern Young-Growth Ponderosa Pine. F. P. J., 19, 15, 52~54, (1999)

Interrelations Among Fiber Length, Ring Width and Rate
of Growth in an Old Tree of Hinoki (*Chamaecyparis*
obtusa (SIEB. et ZUCC.) ENDL.)

Takeshi UEMURA⁽¹⁾ and Hisayoshi SAITO⁽²⁾

Summary

Variation of ring width, fiber length and rate of growth was examined in an old tree of Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* (SIEB. et ZUCC.) ENDL.) 263 years old and 31.8 m high grown in the Kiso district, and interrelations among these elements were calculated. The first disk was taken at the point of 0.3 m from the ground and others were at intervals of 2 m to the top of the tree.

The results of this study are as follows:

(1) Ring width in the same ring is almost constant in the stem-formed wood. In the crown-formed wood, it widens with the increase of the tree height, showing the maximum value near the middle point of the crown-formed wood, and then decreases towards the top of the tree. Smallest variation of ring width is found before and after the age of 150 years old.

(2) Ring width in the same height of the tree increases rapidly with the increase of age to the 50th annual ring, afterwards decreases gradually and becomes constant finally (Fig. 3).

(3) Ring width in the some ring number from pith in young part near the pith reaches to the maximum width in the 6 to 12 m height of the tree, showing convex-curve pattern in the graph from the base to the top of the tree. With the increase of age, however, it becomes wider near the base and narrower towards the top. This is considered as the effect of stump expanse (Fig. 4).

(4) The distribution pattern of fiber length in each ring from the base to the top of the tree shows generally convex-curve and the range of higher value moves to the top of the tree with the increase of age.

(5) In the same height of the stem, fiber length increases with age, reaching to the maximum size in about the 100th ring from the pith and after. But it decreases again in the outer part of the stem (Fig. 6).

(6) As to the width (3), the distribution pattern fiber length shows convex-curve from the base to the top in the young part near the pith. In this case, however, fiber length becomes shorter near the base and longer near the top, with the increase of age. This is considered to be caused by shorter fiber formation as the result of frequent division of cambial cells in stump wood (Fig. 8).

(7) Between ring width and fiber length in the same height of the stem, a negative

Received October 31, 1973

(1)(2) Wood Technology Division

correlation was apparent. The relation leads to the following equation:

$$l = \alpha - \beta b$$

where l is fiber length, b is ring width, and α and β are constants respectively in a given height, which has a tendency of becoming large with the increase of the tree height. This means that fiber length in the same ring width becomes shorter with the elevation of the tree height. In the upper part of the tree, ring width becomes narrow rapidly and corresponding to it, average fiber length becomes long. But the relation does not apply to immature and overmature wood (Figs. 9~11, Table 2).

(8) In the equation mentioned above, the maximum fiber length $4,500 \mu$ is reached in the minimum ring width of 0.2 mm in the part higher than 6 m high where the effect of stump expanse is free.

(9) The variation of periodic average height increment p and that of radius increment Σb accords well in their patterns (Figs. 14, 15) and the relation between them correlates with age (Fig. 16, Table 3). This shows that, when large p is produced by the activity of cambial cells, the value of b is also large. While cambium is young, the effect of p to b is very great, but it decreases gradually and after cambium age of 60 years, it becomes extinct (Fig. 17). In the disks No. 1 to 4 which are affected by stump formation, the effect of p is not clear after cambium age of 30 years.

(10) In the ages older than 130 years, decreased p remains in low value finally, and corresponding to it, b decreases also and the degree of decrease is greater than that of p . This is considered to show decline in activity of cambium (Fig. 16).

(11) There is a tendency that large p corresponds with long l (Figs. 14, 15). Relation between years elapsed from pith and l is shown in Fig. 16. The value of l increases with years. In the period when p increases rapidly, l increases with p , but the value of l is lower than that of other period. When p decreases, l also decreases with years, at the same pace with p , but more rapidly later, so that finally the effect of p to l becomes almost negligible. In the period when p decreases to low value, l shows greater decrease in a pattern similar to b shown in (10).

(12) From the facts mentioned above, the following are concluded: l and b are affected by the age of the tree in the time when they are formed and accordingly they correlate with p basically. But secondly, the effect of cambium age to l and b increases gradually, and also the effect of stump formation increases in the base part of trunk.

(13) All the trunk can be separated diagrammatically into 5 parts relating to variations of l and b as shown in Fig. 21. I is the juvenile part in which l is very short and increases rapidly with the years. II is the immature part in which l is short in comparison with b . III is the part reaching to maturity in which b decreases and relatively l increases. IV is the stable-growing part in which narrow b and long l are maintained. V is the overmatured part in which l decreases independently of narrow b .