

# 林木の生長と細胞のディメンションに関する研究 (第1報)

## スギおよびヒノキ材の年輪幅と仮道管の ディメンションについて<sup>\*1</sup>

藤原新二<sup>\*2</sup>, 中山義雄<sup>\*2</sup>, 岩神正朗<sup>\*2</sup>

### Tree Growth and Cell Dimensions I.

#### Annual ring width and tracheid Dimensions in sugi and hinoki

Shinji FUJIWARA, Yoshio NAKAYAMA, and Seiro IWAGAMI

Variation of tracheid length, radial and tangential lumen diameter of early wood (R and T, respectively) and tangential, double cell wall thickness of early wood (WE) and late wood (WL) with annual ring number from the pith, and the relationship between annual ring width and the tracheid dimensions in sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) were investigated.

Tracheid length, lumen diameter, and wall thickness increased rapidly from pith to the 10-12th annual ring. Then tracheid length and T remained constant, but R and wall thickness varied with the annual ring width. R increased with annual ring width up to 3.5 mm of annual ring width, and it remained constant above that width. There was a linear, positive correlation between annual ring width and WE, and large tracheids had thicker walls than small tracheids. There was a strong correlation between late wood width and WL of hinoki especially. No correlation between annual ring width and tracheid length was found.

スギとヒノキ材の仮道管長、早材部仮道管の放射方向内こう径 (R)、接線方向内こう径 (T)、早晚材仮道管の接線壁厚 (WE, WL) の半径方向の変動および年輪幅との関係について検討した。仮道管長、内こう径、壁厚は髓から約 10~12 年輪までは急速に増大する。それ以後仮道管長と T はほぼ一定になるが、R および壁厚は年輪幅に応じて変動する。R は年輪幅約 3.5 mm までは年輪幅とともに増大するが、それ以上の年輪幅ではほぼ一定になった。年輪幅と WE との間には有意な正の直線関係が認められ、さらに R の大きな仮道管は壁厚も厚くなる傾向がみられた。晩材壁厚は特にヒノキ材において晩材幅と密接な相関が認められた。年輪幅と仮道管長との間には一定の関係は認められなかった。

### 1. 緒 言

木材を利用する場合に、その品質を表す最も重要な因子の一つが密度である。そして、その均一性が大きな問題である。密度は単位体積当りの細胞壁実

質量の表示であり、その値は細胞の直径、壁厚、長さによって変動する。従って、このような細胞のディメンションの樹幹内の変異および肥大生長による変動を明らかにすることは、材質の均質性や材質を改良するための基礎となる。

本研究は林木の材質研究の一環として、スギおよびヒノキ材の仮道管の長さ、横断面におけるディメンション (内こう径、壁厚) が半径方向でどのような変異を示すか、そして年輪幅によってどのように変動するかを調べ、木材を利用する際に最も実用的である年輪幅の材質的な意味について検討した。

<sup>\*1</sup> Received July 8, 1983. 本研究の一部は第 32 回日本木材学会大会 (1982 年 4 月, 福岡) において発表した。

<sup>\*2</sup> 高知大学農学部, Faculty of Agriculture, Kochi University, Nankoku, Kochi 783

## 2. 実 験

### 2.1 供試木

供試木は高知大学農学部付属演習林（高知県香美郡土佐山田町穴内）のスギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) およびヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) 林分より採取した。各林分内の立木を胸高直径によって大, 中, 小に分け, それぞれ2本ずつ選び胸高部位から厚さ約10 cmの円板を取り実験に供した。供試木の概要は Table 1 の通りである。

### 2.2 測定方法

#### 2.2.1 仮道管長

円板の山側半径にそって年輪を早晚材に分け, シュルツ液で解織した後それぞれ100本の仮道管を測定し平均値を求めた。

#### 2.2.2 横断面における仮道管の内こう径, 壁厚

円板の山側および谷側半径にそって連続横断切片 (10~15  $\mu\text{m}$ ) を取り永久プレパラートを作製した。この永久プレパラートを画像解析装置オムニコン FAS-II (BAUSH & LOMB) にかけて, 早材部仮道管については放射方向および接線方向の内こう径, 接線壁厚を, 晩材部仮道管については接線壁厚をそれぞれ50細胞測定し平均値を求めた。なお, 接線壁厚は double cell wall の厚さである。

## 3. 結果および考察

### 3.1 仮道管長, 内こう径, 壁厚の半径方向の変動

仮道管長の山側半径にそった変動を Fig. 1 (スギ) と Fig. 2 (ヒノキ) に示した。仮道管長はスギおよび

Table 1. Sample trees.

Species	Symbol	Number of rings	Dbh (cm)	Tree height (m)
Sugi	A	20	11.0	11.5
	B	21	9.0	9.5
	C	22	15.0	12.9
	D	21	18.6	15.4
	E	23	21.5	15.9
	F	23	26.1	17.9
Hinoki	I	22	18.6	11.8
	II	22	13.1	11.0
	III	23	10.2	8.0
	IV	20	10.5	9.5
	V	20	17.5	11.4
	VI	20	7.0	8.4

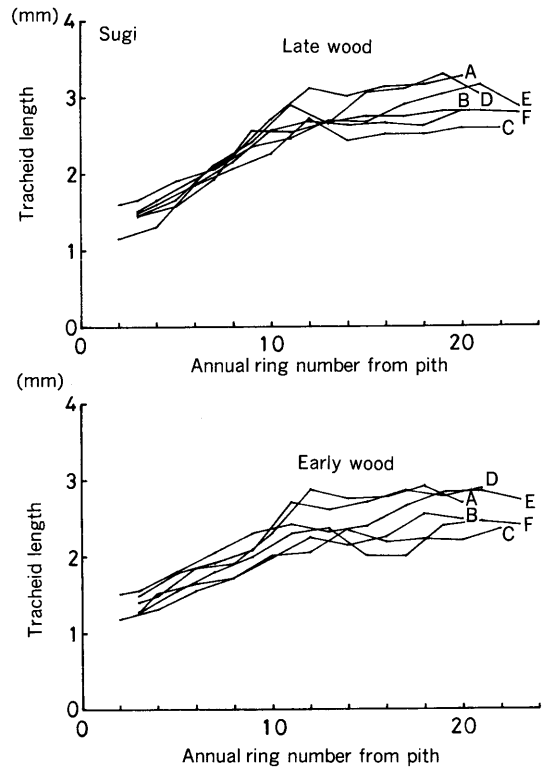


Fig. 1. Variation of tracheid length of sugi with annual ring number from the pith.

ヒノキ材ともに, 髓から約10~12年輪まで急速に伸長した後はほぼ一定になった。仮道管長の半径方向の変動についてはこれまでに多くの研究報告がなされている<sup>7)</sup>。それによると, 植栽木では髓付近で短く最初は外側に向って急速に伸長するが, その後はほぼ一定になるかさらに徐々に伸長し最大長に達する。スギ<sup>23)</sup> およびヒノキ材<sup>4)</sup> についても同様の傾向が報告されており, 本研究の場合も近似した結果が得られた。

早材部仮道管の放射方向の内こう径  $R$  (以下,  $R$  と記す) と接線方向の内こう径  $T$  (以下,  $T$  と記す) の山側半径にそった変動を Fig. 3 (スギ), Fig. 4 (ヒノキ) に示した。スギおよびヒノキ材ともに,  $R$  と  $T$  は髓から約10~12年輪までは急速に増大した。その後,  $T$  はほぼ一定になるが  $R$  は大きな変動を示している。しかし, 樹皮近くでは胸高直径の小さい供試木 (A, B, C, III, IV, VI) の  $R$  は小さくなる傾向が認められた。スギあるいはヒノキ材の仮道管直径の変動について, 佐伯<sup>8)</sup> は初めの20~30年は増大しその後はほぼ一定値で経過するとしている。太田<sup>9)</sup> は仮道管長の場合と同じように髓から約15~20年輪ま

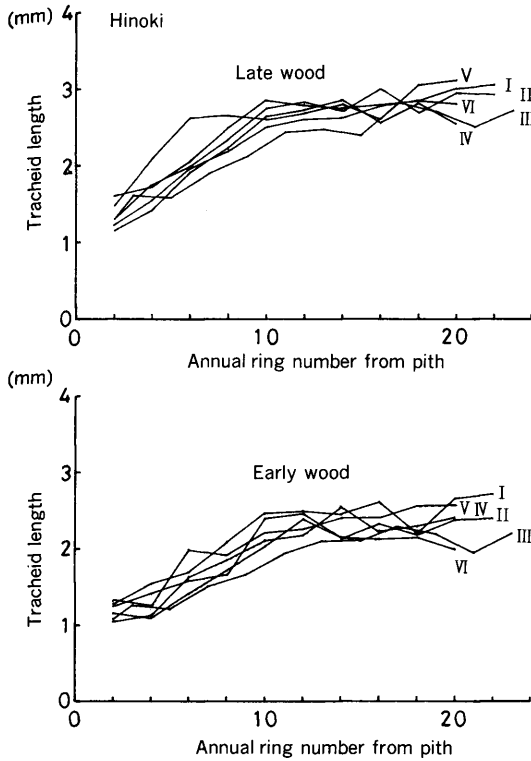


Fig. 2. Variation of tracheid length of hinoki with annual ring number from the pith.

で増大した後ほぼ一定になると述べており、Erickson<sup>7)</sup>も Douglas-fir で同様の結果を報告している。

次に、早材部仮道管の接線壁の double cell wall の壁厚 WE (以下、WEと記す) と晩材部仮道管の接線壁の double cell wall の壁厚 WL (以下、WLと記す) の山側半径にそった変動を Fig. 5 (スギ), Fig. 6 (ヒノキ) に示した。WE はヒノキ材では髓から約 10 年輪までは急速に増大し以後は波状的な変動を示しているが、スギ材では半径方向に一定の傾向は認められなかった。WL はスギ材では約 10 年輪まで増大し以後は波状的に変動しているが、ヒノキ材では一定の変動傾向はみられなかった。WE の半径方向の変動について、佐伯<sup>8)</sup>はスギ、ヒノキを含む数種の針葉樹で髓から外側に向って定まった変化傾向を示さずわずかにバラツキながら経過すると述べている。太田<sup>9)</sup>はスギ材では髓から外方への変化は認められないが、ヒノキ材では髓から外方へ次第に厚さを減じ 10 年輪ぐらいでほぼ一定の厚さになると述べており、ヒノキ材については本研究の場合と異なる結果を報告している。WL の半径方向の変動については、太田<sup>9)</sup>がスギ、ヒノキ材で髓から

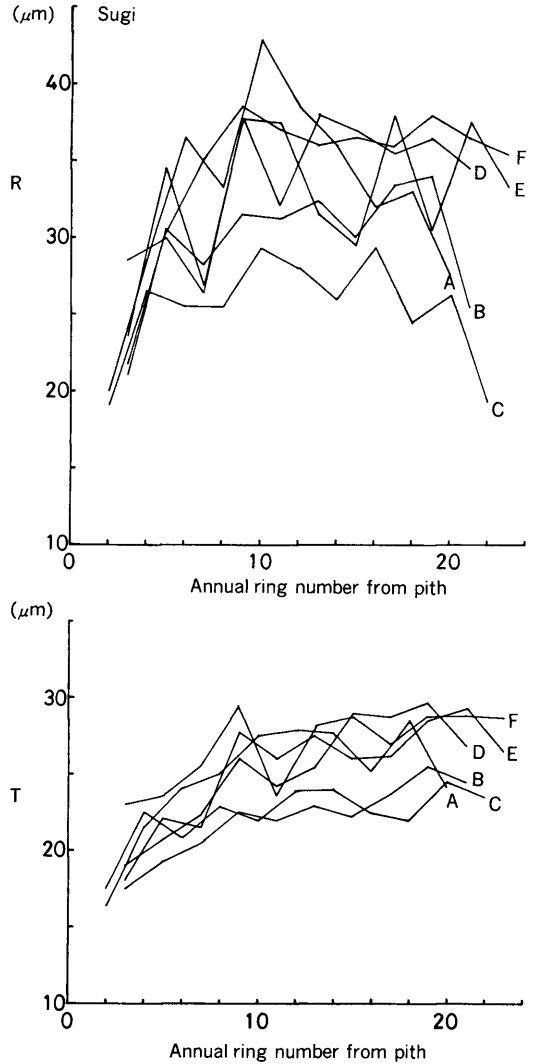


Fig. 3. Variation of R and T of sugi with annual ring number from the pith.

R: Radial lumen diameter of early wood tracheid.

T: Tangential lumen diameter of early wood tracheid.

10~15 年輪ぐらいまで増大し以後は一定になると報告している。壁厚の半径方向の変動については、これまでの研究にもみられるように一定の変動傾向を示すものと示さないものがあり、これが樹種特性によるものかどうかはわからない。しかし、一定の変動傾向を示すものは髓から約 10~15 年輪まで壁厚は増大しその後はほぼ一定になるか、波状的な変動をくりかえすようである。

仮道管長、内こう径、壁厚の髓から約 10~15 年輪までの変動は林木の先天的な特性であり、この期間

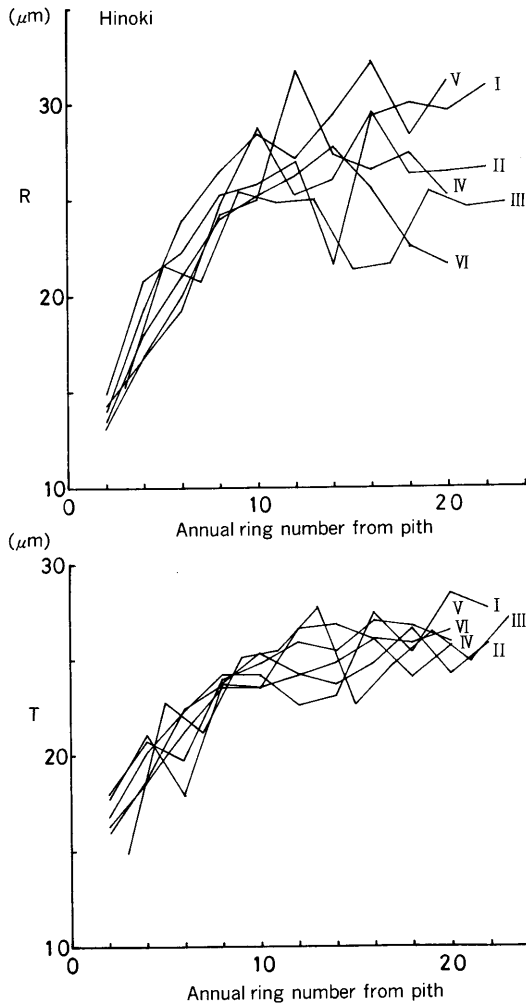


Fig. 4. Variation of R and T of hinoki with annual ring number from the pith.

の長さは環境要因によって多少の影響は受けるが主として樹齢の影響を最も強く受けるものと考えられる。そして、成熟材部に達した後は遺伝的な要因とともに環境による影響を強く受けるようになり、環境の変化に対して敏感に反応するもの（例えばR）は肥大生長の状態によって著しく変動するものと考えられる。

### 3.2 年輪幅と仮道管長, 内こう径, 壁厚との関係

年輪幅と仮道管長, 内こう径, 壁厚との関係は全て成熟材部について検討した。

年輪幅と早材および晩材仮道管長の間にはスギ, ヒノキ材ともに有意な相関は認められなかった。細胞の長さは形成層始原細胞の長さで分裂後の伸長の程度によって決定されるが, 針葉樹材の仮道管はそれが発生した紡錘形始原細胞よりわずかしが伸長し

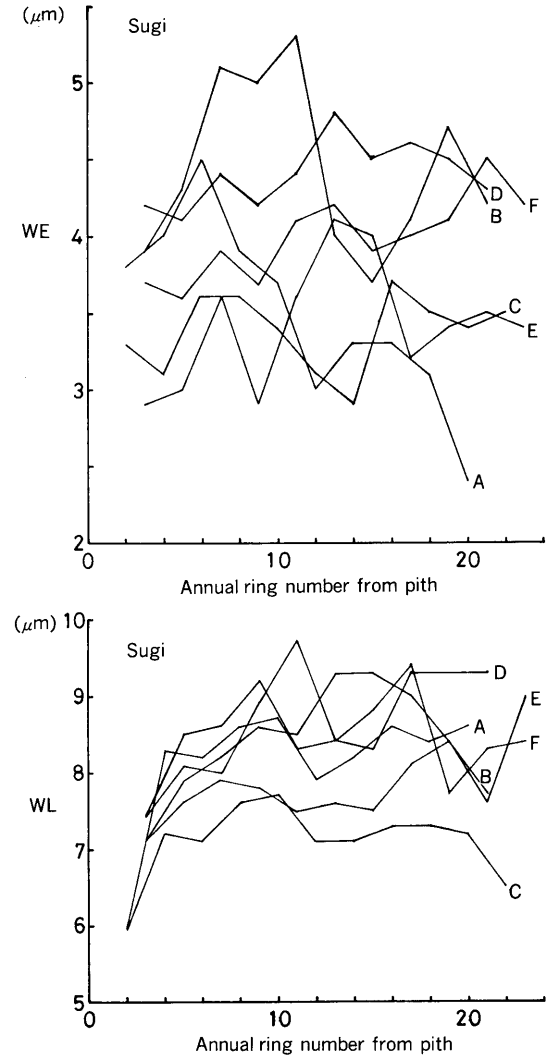


Fig. 5. Variation of WE and WL of sugi with annual ring number from the pith.

WE : Tangential, double cell wall thickness of early wood tracheid.

WL : Tangential, double cell wall thickness of late wood tracheid.

ないために、仮道管の長さの大部分は偽横分裂時の紡錘形始原細胞の大きさに依存しているといわれている<sup>99)</sup>。従って、放射方向の生長を促進する条件は偽横分裂の頻度を多くするので生長の速い木では仮道管長は短くなると考えられている<sup>9)</sup>。しかし、Bannanら<sup>10)</sup>によれば偽横分裂によって新しく生産された紡錘形始原細胞のうち長いものは残存してさらに分裂をくり返すが、短いものは形成層から消失するか放射組織始原細胞になるといわれており、このような長い紡錘形始原細胞の選択的な残存のため

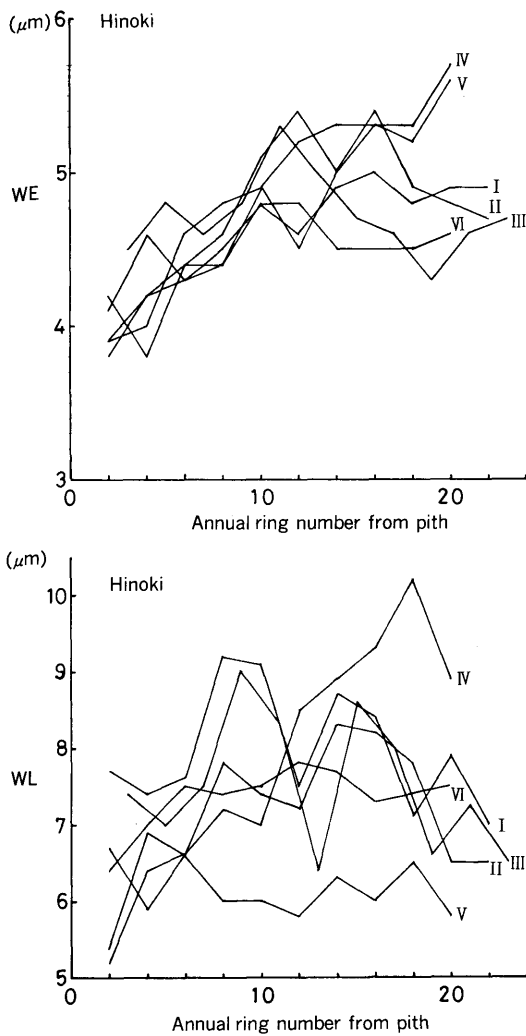


Fig. 6. Variation of WE and WL of hinoki with annual ring number from the pith.

に、高い頻度の偽横分裂の割には結果として生じる仮道管の長さの減少はそれほど大きくないとされている<sup>11)</sup>。本研究に用いたスギおよびヒノキ材の年輪幅範囲内(約0.3 mm~5.2 mm)では、仮道管長は同一個体内においても年輪幅の一時的な広狭に対してははっきりした変動は認められなかった。

年輪幅とRの関係をFig. 7に示した。スギおよびヒノキ材ともに年輪幅約3.5 mmを境にして、それ以下の年輪幅ではRの値は年輪幅とともに増大するが、それ以上の年輪幅ではほぼ一定になる。Rの値はスギ材の方がヒノキ材よりも約20~25%大きかった。細胞の直径あるいは内こう径は活動している芽や拡大しつつある葉で合成されるオーキシシンによって調節され、細胞に達するオーキシシンの量が多

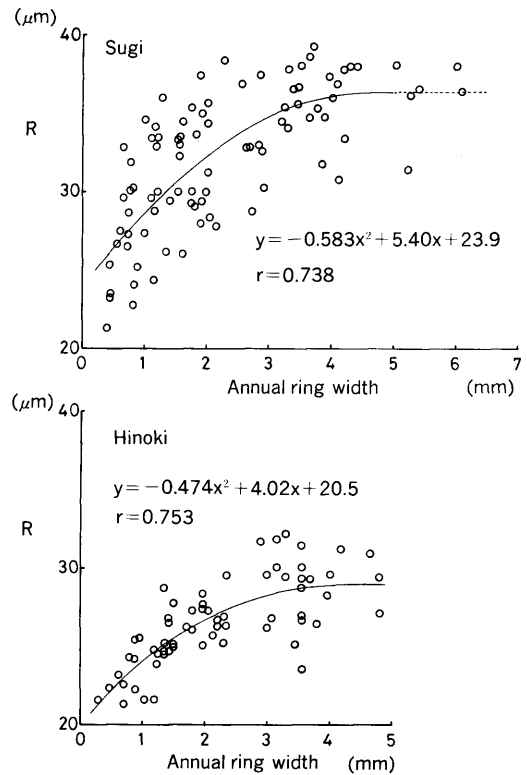


Fig. 7. Relationship between annual ring width and R.

いと大きな直径の細胞になり少ないと小さな細胞になるといわれている<sup>12)13)</sup>。又、Fordら<sup>14)</sup>は細胞が拡大するのに要する期間が長い程直径が大きくなると報告しており、Denne<sup>15)</sup>はこの細胞拡大の期間は植物体内での生長調節物質の分布状態に依存していると述べている。さらにオーキシシンは細胞分裂をも促進させるといわれており<sup>16)</sup>、芽あるいは葉の生長を促進させオーキシシンの合成を活発にする環境条件は、細胞分裂を増進させ、細胞拡大期間を長くして細胞直径を大きくするものと考えられる。オーキシシンがあるレベル以下であれば、細胞の分裂と細胞直径はオーキシシンの量に比例して増減するものと思われ、これが年輪幅とRの関係で見たときの年輪幅約3.5 mm以下の年輪に現われる現象と考えられる。そして、あるレベル以上のオーキシシン量では細胞分裂は促進されるが、細胞直径のそれ以上の拡大はないものと考えられる。

次に年輪幅とR/Tとの関係をFig. 8に示した。スギ材ではR/Tの値は年輪幅が極端に小さくなくても1.0以下になることは少ないが、ヒノキ材では年輪幅が約1.5 mm以下になるとR/Tの値は1.0以下になり接線方向に長い細胞になる。

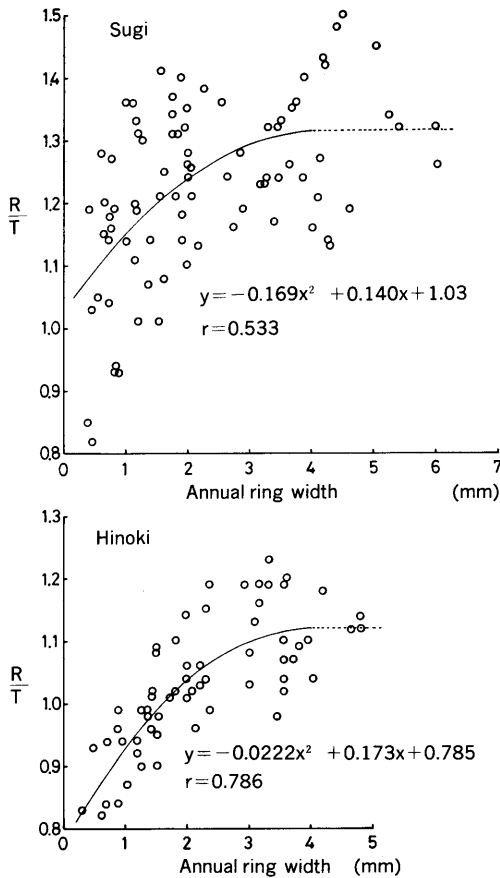


Fig. 8. Relationship between annual ring width and  $\frac{R}{T}$ .

年輪幅と WE の関係を Fig. 9 に示した。スギおよびヒノキ材ともに両者の間には有意な正の直線関係が認められた。WE はスギ材よりもヒノキ材の方が厚い。

晩材幅と WL の関係をスギ材については Fig. 10 に、ヒノキ材については Fig. 11 に示した。スギ材の WL は晩材幅が約  $200 \mu\text{m}$  以下になると多少小さくなる傾向が認められた。ヒノキ材の WL は晩材幅が約  $150 \mu\text{m}$  までは晩材幅とともに急速な増大を示した。壁厚は主として細胞に達する光合成生産物の量に支配されているといわれている<sup>17)18)</sup>。又、Wodzicki<sup>19)</sup> や Denne ら<sup>15)</sup> によれば細胞発達過程における壁肥厚の期間が長い程細胞壁は厚くなるといわれ、Denne ら<sup>20)</sup> は IAA がこの壁肥厚の期間を増大させると述べている。このように早材仮道管を生産する期間には、オーキシンのような生長促進物質が内こう径および壁厚に対して重要な役割を果たして

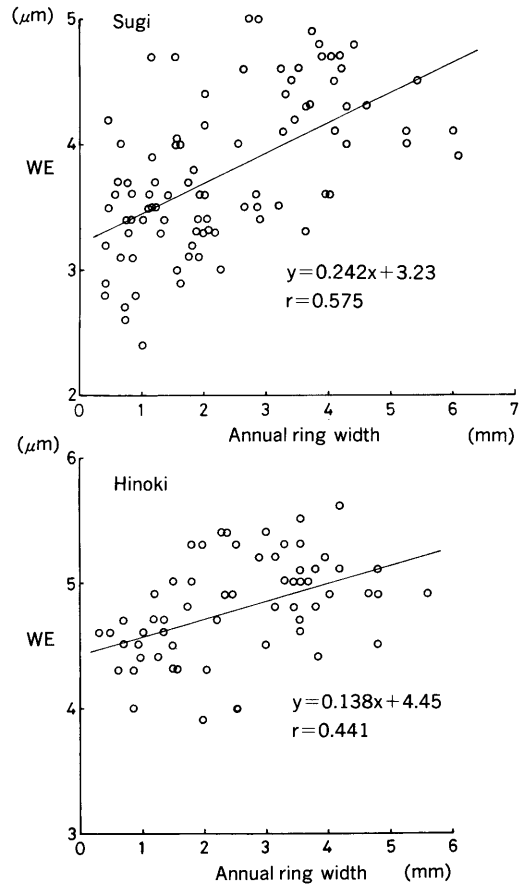


Fig. 9. Relationship between annual-ring width and WE.

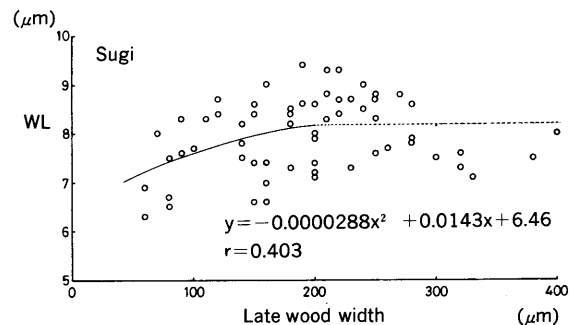


Fig. 10. Relationship between late wood width and WL of sugi.

いると考えられている。そこで、R と WE の関係をみたのが Fig. 12 である。スギおよびヒノキ材ともに R と WE の間には有意な正の相関がみられ、内こう径の大きな仮道管は壁厚も厚くなる傾向が認められた。

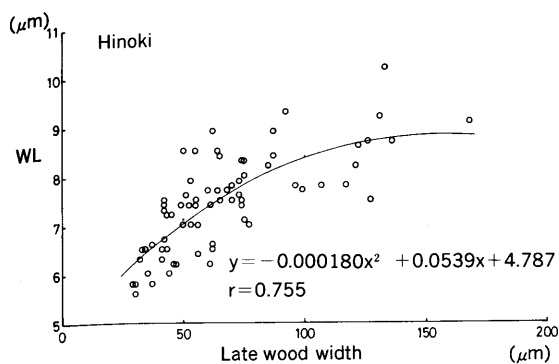


Fig. 11. Relationship between late wood width and WL of hinoki.

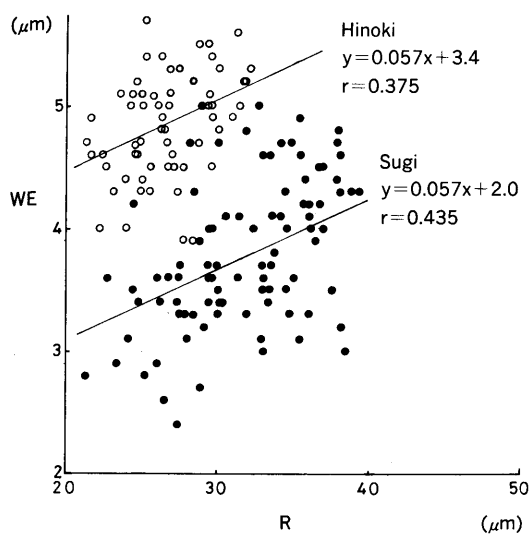


Fig. 12. Relationship between R and WE.

次に、早材から晩材への移行はインドール性生長促進物質の濃度の減少とフェノール性生長阻害物質の濃度の増加によって起こるが、晩材の壁厚は光合成生産物の量に依存しているとされている<sup>16)</sup>。しかし、Fig. 10, Fig. 11 からわかるように壁厚を増大させるような条件は形成層の活動期間を延長させ晩材幅も広がるものと考えられる。

木材が形成される場合には、形成層帯における細胞分裂、新生細胞の拡大、細胞壁の肥厚、木化という過程を経るが、それぞれの過程に参与する因子はこれまでみてきたように異なっている。しかし、それらはお互いに関連し合って作用しているものと考えられ、生長シーズンの初めでは形成層の細胞分裂を促進する条件は、内こう径を拡大し壁厚を増大させるようである。又、晩材形成期間中では、特にヒ

ノキ材においては壁の肥厚と形成層活動の期間に影響を与える因子とは密接な関連があるものと考えられる。年輪幅の変動に対して仮道管長とTはほとんど変化しないが、RとWEは有意な差が認められた。又、WLは晩材幅と密接な相関が認められた。

#### 4. 結 論

スギとヒノキ材において、仮道管の長さ、横断面における内こう径、壁厚の半径方向の変動および年輪幅との関係について検討した。結果は次の通りである。

1. 仮道管長、内こう径、壁厚は髄から約10~12年輪まで増大し、その後仮道管長、Tはほぼ一定になるが、Rと壁厚は年輪幅に応じて変動する。
2. Rは年輪幅約3.5 mmまでは、年輪幅とともに増大するが、それ以上の年輪幅ではほぼ一定になる。
3. 年輪幅とWEとの間には正の直線関係が認められた。又、Rの値の大きい仮道管はWEも厚かった。
4. ヒノキ材のWLは晩材幅と密接な相関が認められた。
5. 年輪幅と仮道管長との間には有意な関係は認められなかった。

#### 5 文 献

- 1) Dinwoodie, J. M.: *Forestry*, **34** (10), 125-144 (1961).
- 2) 渡辺治人, 堤寿一, 小島敬吾: 木材学会誌, **9** (6), 225-230 (1963).
- 3) 深沢和三: 岐阜大学農学部研究報告, 25号, 47-127 (1967).
- 4) 大島紹郎, 宮島寛: 九州大学農学部学芸雑誌, 26号, 125-134 (1972).
- 5) 佐伯浩: 木材学会誌, **11** (5), 185-190 (1965).
- 6) 太田貞明: 九州大学農学部演習林報告, 45号, 1-80 (1972).
- 7) Erickson, H. D.; Harrison, T.: *Wood Science and Technology*, **8**, 207-226 (1974).
- 8) Bannan, M. W.: *FPJ*, **17** (6), 63-69 (1967).
- 9) Bannan, M. W.: *Canadian Journal of Botany*, **32**, 466-479 (1954).
- 10) Bannan, M. W.; Bayly, I. L.: *ibid*, **34**, 769-776 (1956).
- 11) Bannan, M. W.: *ibid*, **38**, 177-183 (1960).
- 12) Zahner, R.: *Forest Science*, **8** (4), 345-352 (1962).
- 13) Larson, P. R.: "Tree Growth" ed by

- Kozłowski, T. T., Ronald Press Co., New York, 1962. p. 97-117.
- 14) Ford, E. D.; Robards, A. W.; Piney, M. D.: *Annals of Botany*, **42**, 683-692 (1978).
- 15) Denne, M. P.: *ibid*, **36**, 579-587 (1972).
- 16) Balatinez, J. J.; Kennedy, R. W.: *TAPPI*, **51** (9), 414-422 (1968).
- 17) Whitmore, F. W., Zahner, R.: *Forest Science*, **12** (2), 198-210 (1966).
- 18) Larson, P. R.: Yale University: School of Forestry Bulletin. No. 74, 1-54 (1969).
- 19) Wodzicki, T. J.: *Journal of Experimental Botany*, **22**, 670-687 (1971).
- 20) Dennen, M. P.; Wilson, J. E.: *Planta*, **134**, 223-228 (1977).