

## 材質育種にむけてのスギ品種の年輪構造

小田, 一幸

古賀, 信也

堤, 壽一

<https://doi.org/10.15017/10835>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 58, pp.109-122, 1988-03-30. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :



## 材質育種にむけてのスギ品種の年輪構造

小田 一幸・古賀 信也・堤 壽一

Annual Ring Structures of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Cultivars for Considering Wood Quality Breeding

Kazuyuki ODA, Shinya KOGA and Juichi TSUTSUMI

## 要 旨

三倍体を含むスギ品種を対象に、品種に特有な年輪構造に関係する形質を明らかにし、さらに特有な形質と木材の性質との関係を検討することを目的として、年輪構造の観察と縦圧縮試験とを行った。

仮道管の接線壁の厚さ、壁率には品種間に大差が認められなかったが、晩材率、容積密度数、仮道管長および仮道管径は品種によって異なっている。特に、三倍体品種では、二倍体品種に比べて仮道管が長く、しかも仮道管および放射柔細胞の直径が大きく、木部細胞が巨大化する傾向がある。一方、晩材率が大きい品種ほど容積密度数が増大し、品種間の容積密度数の違いは晩材率の差異によって生じる。

比重は圧縮強さおよび圧縮破壊仕事量との間に正の相関関係を持っている。晩材仮道管長は、圧縮ヤング率との間に正の相関関係があるものの、圧縮破壊ひずみおよび圧縮破壊仕事量との間に負の相関関係を示す。また、晩材マイクロフィブリル傾角は晩材仮道管長および圧縮ヤング率との間に負の相関関係を持ち、圧縮破壊ひずみおよび圧縮破壊仕事量とは正の相関関係にある。このために、圧縮ヤング率と圧縮破壊ひずみとの間、および圧縮ヤング率と圧縮破壊仕事量との間には、晩材マイクロフィブリル傾角を介してそれぞれで負の相関関係が存在している。

比重、晩材仮道管長、および晩材マイクロフィブリル傾角に品種間の違いがあるとき、縦圧縮に対する力学的性質を検討した。その結果、スギ品種は、①圧縮ヤング率が高いが低い強さと小さな破壊ひずみを示すタイプ、②圧縮ヤング率は低いが高い強さと大きな破壊ひずみを示すタイプ、③これらの中間を示すタイプに大別された。

## 1. はじめに

優良材を生産するために広く林業で行われている材質改良法には、選抜育種などのように遺伝性を考慮する方法と、保育の手段によって直接樹木に働きかける方法とがある。ふつう、前者は林地生産性の増加、材質の向上、耐寒・耐虫などの各種抵抗性の増強などが目標にされ、後者は無節材の生産や肥大生長と年輪構造のコントロールなどを目指して実施される。この結果、遺伝性を考慮する方法では種や品種に特有な基本的な形質が勘さ

れ、保育の手段では種や品種の基本的な形質の範囲内で、形質の平均値やバラツキの程度が制御されることになる。したがって、最終利用目的と加工・処理工程に適合した木材を開発生産する場面では、保育の手段を用いて樹木に働きかけることに加えて、いわゆる木材材質を勘案した品種・クローンを選択したり、新しい品種・クローンを創出することが重要になってくる。

上の目標を達成するためには、未だに不十分な基礎的知識・情報の充実を図りながら、特に育種の素材となる品種・クローンについて、基本的な形質やそのバラツキの程度、さらに遺伝的に特有な形質と木材の性質との関連性を明らかにする必要がある。

ところで、スギは古くからわが国の最も重要な造林樹種の1つであって、長年にわたる育成の過程で多数の品種を産み出してきた。この中には、品種と呼ばれてはいても品種の条件を満たさないものがあり、しかも同名異品種、同品種異名も含まれ、正確な品種の数はわからないとされる。しかし、形質が固定され継承されている品種が多数存在し、これらの品種間では、生長速度や各種抵抗性などのいろいろな性質に相違が認められている。このうち木材利用の分野では、近年、スギ品種の組織構造(林ら, 1983)、力学的性質(佐々木ら, 1983)、組織と材質(藤崎, 1985)(見尾ら, 1985)(藤崎ら, 1986)などに関する研究が行われ、品種間に木材の性質の差異があることが報告されている。この結果、品種ごとに木材の性質を把握し、用途に適應できる材質評価を行い、品等区分をすべきであると考えられてはいるが、品種の数が多く、品種ごとの複雑な木材性質の特性が十分に把握できないのが現状である。

この研究では、前に述べたような理由から、造林に当たっての品種・クローンの選択、さらには選抜育種、交雑育種、倍数体育種などを行う際に、木材利用側から見たときの指標を確立するために、材質にかかわる基礎データを得ることを目的としている。したがってここでは三倍体を含むスギ品種を対象に、スギ品種の木材性質特性の把握を目的にするほか、スギ品種を育種の素材としてとらえ、スギ品種ごとの年輪構造に特有な形質を明らかにしようと試み、さらに特有な形質と木材の性質との関係を検討する1つの手段として、縦圧縮試験を行った。

この研究を遂行するに当り、九州大学農学部粕屋地方演習林ならびに大分県林業試験場から試験木の提供を受けた。ここに記して厚く謝意を表する。

## 2. 実 験

### 2.1. 試験木と試料

九州大学粕屋地方演習林のスギ品種試験地(約25年生林分)から、二倍体のクモトオシ、タノアカ、アヤスギ、ヒゴメアサ、ホンスギの5品種のそれぞれから3個体ずつを選び、試験木とした。また、大分県山国町の民有林(30年生)に生育している三倍体のヒノデ、ウラセバル、二倍体のアラカワ、ヤブクグリの4品種からそれぞれ2個体ずつを試験木とした。1986年3月に試験木を伐倒し、生長状態を示す指標を測定したのち、樹幹の胸高部位から厚さ約10cmの円板を採取し、試料とした。なお、試験木の樹高は、アヤスギ、ホンスギが一番低く12~13m、ヒノデ、アラカワが一番高く18~20mであり、また胸高直径はヤブクグリが一番小さく14~17cm、クモトオシ、ヒゴメアサが一番大きく

24~27 cm であった。

2.2. 実験方法

すべての円板から、髄をとって樹皮に達する幅約 1 cm の板状の試料を切り出し、ついで軸方向の長さが 1~2 cm の細長い棒状のブロックに鋸断した。これらのブロックを用いて、1 年輪ごとに年輪幅、晩材率、晩材仮道管長を測定した。また、ブロックを髄から 5 年輪ごとに分割し、5 年輪にまたがる容積密度数を求めた。さらに、髄から 15 年輪目(ヤブクグリでは 15 年輪目の年輪幅が狭かったために 12 年輪目)の横断面切片、接線面切片を作った。横断面切片では仮道管の放射径、接線径、接線壁の厚さ、壁率を、接線面切片では放射柔細胞の接線径および接線面 1 平方ミリメートル当りの放射柔細胞の数を測定した。

また、アラカワとヤブクグリを除く 7 品種のそれぞれで、1 品種について 5 個の縦圧縮試験片製作用のブロックを成熟材の無欠点部分から切り出した。このブロックが気乾状態になるまで恒温恒湿中で調整したのち、横断面が 2 cm×2 cm、長さが 6 cm の寸法に加工

表 1 11~15年輪目の平均年輪幅, 平均晩材率, 容積密度数および平均晩材仮道管長  
Table 1 Mean annual ring width, mean latewood percentage, basic density and mean latewood tracheid length of the 11th to 15th ring from pith.

Cultivar and tree number	Ring width (mm)	Latewood percentage (%)	Basic density (kg/m <sup>3</sup> )	Tracheid length (mm)
Hinode No. 3	3.4	14	255	3.4
No. 4	3.0	14	240	3.5
Urasebaru No. 4	4.3	13	250	3.2
No. 5	3.6	11	265	3.4
Kumotooshi No. 1	6.0	12	295	3.0
No. 2	5.5	14	275	3.0
No. 3	5.5	12	265	2.9
Tanoaka No. 1	4.3	14	275	2.6
No. 2	3.9	16	315	2.6
No. 3	3.9	15	300	2.8
Ayasugi No. 1	4.2	29	365	2.3
No. 2	3.1	26	375	2.3
No. 3	3.1	27	350	2.4
Higomeasa No. 1	5.0	19	305	2.3
No. 2	5.4	22	295	2.6
No. 3	4.8	19	280	2.5
Honsugi No. 1	3.6	28	335	2.3
No. 2	1.8	28	365	2.0
No. 3	5.6	32	400	1.9
Arakawa No. 1	4.1	17	245	2.4
No. 2	5.1	17	235	2.7
Yabukuguri No. 1	3.3	23	265	2.3
No. 2	1.9	22	275	2.2

Note: Hinode and Urasebaru are triploids. The others are diploids.

表2 髓から15年輪目の仮道管の直径, 壁厚, 壁率

Table 2 Diameter, wall thickness and cell wall percentage of tracheid in the 15th ring from pith.

Cultivar and tree number	Radial diameter ( $\mu\text{m}$ )		Tangential diameter ( $\mu\text{m}$ )	Tangential wall thickness ( $\mu\text{m}$ )		Cell wall percentage (%)		
	Ew	Lw		Ew	Lw	Ew	Lw	
Hinode	No. 3	44	13	33	1.8	4.1	23	82
	No. 4	43	12	33	1.5	4.4	17	81
Urasebaru	No. 4	50	18	30	1.7	4.6	19	70
	No. 5	50	15	29	1.7	4.6	20	81
Kumotooshi	No. 1	48	12	24	1.5	4.8	20	79
	No. 2	46	12	24	1.5	4.5	22	82
	No. 3	50	13	23	1.5	4.7	23	86
Tanoaka	No. 1	42	12	25	1.5	4.7	23	83
	No. 2	43	12	23	1.4	4.5	22	85
	No. 3	45	12	22	1.4	4.6	23	80
Ayasugi	No. 1	40	12	22	1.3	4.6	19	82
	No. 2	42	13	23	1.2	4.9	20	85
	No. 3	44	13	22	1.4	4.6	20	80
Higomeasa	No. 1	47	14	21	1.4	4.5	22	81
	No. 2	48	13	21	1.5	4.3	23	83
	No. 3	47	13	22	1.4	4.6	22	81
Honsugi	No. 1	42	11	22	1.6	4.8	23	87
	No. 2	39	12	21	1.4	4.6	24	89
	No. 3	39	11	20	1.3	4.6	23	82
Arakawa	No. 1	40	12	22	1.4	4.2	22	83
	No. 2	40	13	21	1.7	4.1	22	84
Yabukuguri	No. 1	40	12	23	1.4	3.9	23	82
	No. 2	38	12	22	1.6	3.5	22	76

表3 髓から15年輪目の接線面における放射柔細胞の接線径と1平方ミリメートル当りの分布数

Table 3 Tangential diameter of ray parenchyma cell and number of the cells per 1 mm<sup>2</sup> in tangential section of the 15th ring from pith.

Cultivar and tree number	Tangential diameter ( $\mu\text{m}$ )	Number of ray cells	
Hinode	No. 3	19.0	113
	No. 4	18.8	110
Urasebaru	No. 4	20.1	99
	No. 5	19.3	106
Higomeasa	No. 1	13.5	216
	No. 2	10.6	246
Honsugi	No. 1	10.4	240
	No. 2	8.6	222
Arakawa	No. 1	15.4	178
	No. 2	15.5	195
Yabukuguri	No. 1	16.8	188
	No. 2	14.0	157

した。ついで、試験片の気乾比重、平均年輪幅、晩材率、晩材仮道管長、晩材マイクロフィブリル傾角を測定するとともに、縦圧縮試験を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3.1. スギ品種の年輪構造

スギ品種の年輪構造に關与すると考えられる指標の測定結果を表1~3に示す。すなわち、表1には髓から11~15年輪目にかけての5つの年輪の平均年輪幅、平均晩材率、容積密度数、平均晩材仮道管長を、表2には髓から15番目の年輪における仮道管の直径、壁厚および壁率を、表3には髓から15番目の年輪の放射柔細胞の接線径と分布数を示している。

表1から明らかなように、それぞれの測定値には試験木間にかなり大きなバラツキがあり、加えて、各品種に特徴的な値を示している。例えば、晩材率はアヤスギとホンスギでは高いが、ウラセバル、クモトオシでは低い。容積密度数はアヤスギとホンスギでは大きい、ヒノデ、アラカワでは小さい。また、三倍体品種であるヒノデとウラセバルでは仮道管が長く、二倍体のホンスギ、ヤブクグリでは仮道管が短い。

表2から、次のことがわかる。すなわち、仮道管について、ヒノデの接線径、ウラセバルの早材部の放射径と接線径、およびクモトオシとヒゴメアサの早材部の放射径は、それぞれ他の品種のこれらよりも大きい値を持つのが目立つ。また、接線壁の厚さは、早材部ではヒノデとウラセバルが他の品種よりもやや厚く、晩材部ではヤブクグリが他の品種よりもいくぶん薄いようであるが、品種間で大きな違いはみられない。このため、早材仮道管と晩材仮道管のいずれの壁率にも、品種間に大差は認められない。

ところで、この種の研究では、それぞれの品種の平均的あるいは代表的な試験木を選ぶことが重要であろう。この研究では試験木の数が少なく、品種内における形質のバラツキの程度がわからないので、表1および表2に掲げる結果をそれぞれの品種の代表値とみなすのは早計であるかもしれない。しかし、上述のような晩材率、容積密度数、仮道管長および仮道管径における品種間の差異は、各品種の環境条件への適合性を論外にすれば、次のような理由から、遺伝的要因を意識しなければならないと推論できる。すなわち、①九大演習林（福岡県）と民有林（大分県）の2林分から試験木を採取したことは前述したが、各林分内における試験木の生育環境条件が似ていたこと、②晩材率、容積密度数および仮道管長と年輪幅との間に相関関係を認められないこと、つまり、肥大生長の良否が晩材率や容積密度数、仮道管長に影響しているとは考えられないこと、③同一品種の試験木間の測定値に大差がないこと、などである。

表1と表2の結果から、三倍体品種であるヒノデとウラセバルでは仮道管が長くその直径も大きいことがわかったので、他の木部細胞についても確認するために、放射柔細胞の接線径と接線面1平方ミリメートル当りの放射柔細胞の数を測定した。その結果、表3から明らかなように、ヒノデとウラセバルの放射柔細胞の接線径は、二倍体品種におけるよりも大きく、そのためか分布数が少ない。ヒノデとウラセバルの木部細胞の外形寸法が二倍体品種におけるよりも大きくなる傾向は、前に報告した結果（小田ら、1987）とも一致し、ここで用いた三倍体の両品種の木部細胞が二倍体品種に比べて巨大化していることは、

ほぼ確かなようである。しかし、すべての三倍体品種・クローンが同じような傾向を示すか否かについては、さらに今後の検討が必要である。

以上のことから、晩材率、容積密度数、仮道管の長さや直径は品種間で異なることがわかった。ところで、晩材率と容積密度数との間には、図1に示すように、品種に関係なく正の高い相関関係があり、容積密度数はほとんど晩材率によって決まるとみなせる。したがって、例えば、容積密度数が大きい木材を期待するには、品種の選択や選抜育種に当たっ

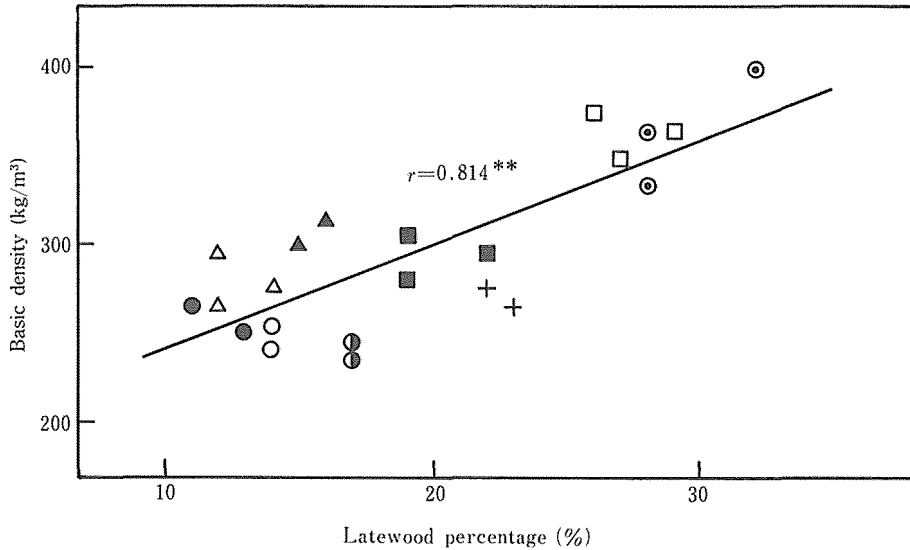


Fig. 1 Effect of mean latewood percentage on basic density in the 11th to 15th ring from pith.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi; ■: Higomeasa; ⊙: Honsugi; ⊕: Arakawa; +: Yabukuguri; \*\*: Significant at 1% level

図1 髓から11~15年輪目における平均晩材率が容積密度数におよぼす影響

表4 スギ品種の縦圧縮に対する性質

Table 4 Longitudinal compressive properties of mature wood in the air-dry condition.

Cultivar	Specific gravity	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Young's modulus (×10 <sup>9</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	strain at maximum load (×10 <sup>-2</sup> )	Work to maximum load (kg·cm/cm <sup>3</sup> )
Hinode	0.33 (0.03)	277 (32)	85.0 (15.6)	0.36 (0.04)	0.56 (0.08)
Urasebaru	0.30 (0.02)	256 (25)	80.4 ( 8.1)	0.34 (0.02)	0.46 (0.04)
Kumotooshi	0.34 (0.01)	301 (12)	83.3 ( 5.5)	0.39 (0.03)	0.58 (0.05)
Tanoaka	0.40 (0.02)	340 (19)	66.4 ( 7.3)	0.83 (0.28)	1.95 (0.98)
Ayasugi	0.43 (0.02)	352 (26)	57.8 ( 6.6)	1.31 (0.07)	3.34 (0.38)
Higomeasa	0.35 (0.01)	258 (11)	47.6 ( 4.0)	1.28 (0.16)	2.17 (0.44)
Honsugi	0.44 (0.03)	352 (39)	61.8 ( 6.7)	1.27 (0.20)	3.34 (0.97)

Note: The values in each column are the mean of data from five clear specimens. Standard deviations are in parentheses.

て、晩材率を指標にする方向づけがあろう。また、容積密度数が大きく仮道管が長い材料を志向するときには、晩材率が高い品種にあっては仮道管長を指標とする選抜育種、仮道管が長い品種にあっては晩材率を指標とする選抜育種が考えられ、さらには晩材率が高い品種と仮道管が長い品種との交雑育種による新しい品種・クローンの創出の可能性も考えられる。

### 3.2. スギ品種の縦圧縮に対する性質

気乾比重、縦圧縮強さ、縦圧縮ヤング率、圧縮破壊ひずみ、圧縮破壊仕事量につき、品種ごとの平均値を表4に示す。表4によると、ヒノデ、ウラセバル、クモトオシでは、ヤング率が大きい、圧縮強さ、破壊ひずみ、仕事量は小さな値を示している。これに対してアヤスギ、ホンスギではヤング率が小さく、圧縮強さ、破壊ひずみ、仕事量が大きな値を示している。また、タノアカではこれらの中間的な値を示し、品種間で縦圧縮に対する力学的性質に差異があることがわかる。すなわち、試験過程で得られた応力-ひずみ線図から縦圧縮荷重に対する各品種の挙動をみると、ヒノデ、ウラセバル、クモトオシは圧縮ヤング率が高く、低い強さと短い塑性域を示したのち破壊するタイプであり、アヤスギ、ヒゴメアサ、ホンスギは圧縮ヤング率が低く、高い強さと長い塑性域を示したのちに破壊するタイプである。また、タノアカはこれらの中間的なタイプである。このような結果は、スギ品種を対象にした既往の文献(佐々木ら, 1983)(藤崎, 1985)(見尾ら, 1985)(藤崎ら, 1986)に報告されている同一品種の結果とほぼ一致しているため、品種ごとの特徴ある性質と理解してよさそうである。

なお、図には示していないが、この研究で用いたすべてのスギ品種を対象にしたときの相関係数は、圧縮ヤング率と破壊ひずみとの間で $-0.80^{**}$ 、圧縮ヤング率と仕事量との間で $-0.64^{**}$ が得られ、圧縮ヤング率が高い品種ほど破壊ひずみと仕事量は小さくなる傾向が認められた。この理由についてはあとで触れる。

### 3.3. 年輪構造と縦圧縮に対する性質との関係

表1~3では年輪構造に品種間で差異があることがわかり、表4では品種間の力学的な性質に違いがあることを明らかにしている。そこで、縦圧縮試験片の気乾比重、晩材率、晩材仮道管長、晩材マイクロフィブリル傾角と縦圧縮強さ、縦圧縮ヤング率、圧縮破壊ひずみ、圧縮破壊仕事量との間の関係を調べ、年輪構造が力学的性質におよぼす影響を検討した。

図2によると、気乾比重と圧縮強さとの間に、品種に関係なく正の高い相関関係が認められる。もちろん、マイクロフィブリル傾角と比圧縮強さとの間( $r = -0.66^{**}$ )、仮道管長と比圧縮強さとの間( $r = 0.48^{**}$ )にも相関関係はみられたが、図2から圧縮強さは気乾比重によって大きく左右されることがわかる。このことは、気乾比重と年輪構造の1つの指標である晩材率との間に $r = 0.91^{**}$ が認められることと、実際に晩材率と圧縮強さとの間に $r = 0.80^{**}$ の高い相関関係があることを考えあわせると、晩材率が気乾比重さらには圧縮強さを評価する際の実用的な指標になることを意味する。なお、図2の気乾比重と圧縮強さとの関係を表す直線から、個々の品種のプロットが大きく外れないことは、三倍体品種であっても、その木材性質はスギ特有の性質の範囲内にあることを示している。

マイクロフィブリル傾角と圧縮ヤング率との関係を図3に、気乾比重と圧縮ヤング率との

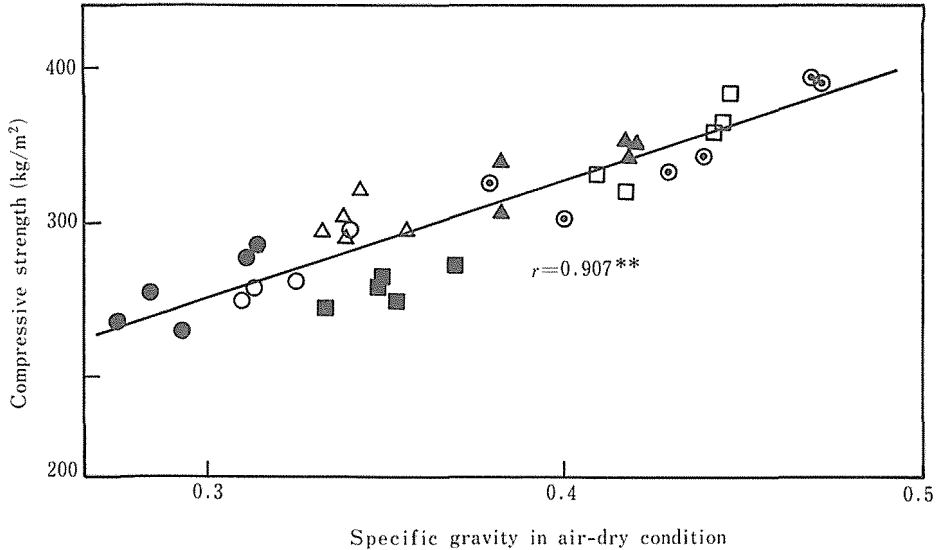


Fig. 2 Effect of specific gravity on compressive strength parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi; ■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図2 縦圧縮強さにおよぼす気乾比重の影響

関係を図4に示す。図3から明らかなように、マイクロフィブリル傾角と圧縮ヤング率との間には負の相関関係が存在し、マイクロフィブリル傾角が増大するにつれて圧縮ヤング率は減少する。ところで、仮道管の長さが圧縮ヤング率に直接的に影響するとは考えにくいものの、仮道管長と圧縮ヤング率の間には正の相関関係 ( $r = 0.75^{**}$ ) が存在し、仮道管長が増加するにつれて圧縮ヤング率が直線的に増大するのが認められた。一方、仮道管長とマイクロフィブリル傾角の間にも高い相関関係が従来認められており、この研究でも  $r = -0.93^{**}$  が得られ、仮道管が長くなればマイクロフィブリル傾角が小さくなる。したがって、圧縮ヤング率への仮道管長の影響とマイクロフィブリル傾角の影響とを区別することは難しい。

図4によると、スギ品種を仮道管が長い品種（ヒノデ、ウラセバル、クモトオシの3品種—Aグループ）と短い品種（タノアカ、アヤスギ、ヒゴメアサ、ホンスギの4品種—Bグループ）、言い換えるとマイクロフィブリル傾角が小さい品種と大きい品種の2つのグループに分けると、それぞれのグループごとに気乾比重と圧縮ヤング率との間に独立した相関関係が認められる。しかし、品種のグループ分けを行わないとき、気乾比重は圧縮ヤング率との間に相関関係がみられない。このことは、同じような仮道管長あるいはマイクロフィブリル傾角であれば、圧縮ヤング率は比重に大きく左右されるが、仮道管長あるいはマイクロフィブリル傾角のバラツキが大きければ、圧縮ヤング率は比重とともに仮道管長やマイクロフィブリル傾角にも大きく支配されることを示している。

仮道管長と破壊ひずみとの関係を図5に、マイクロフィブリル傾角と破壊ひずみとの関係を図6に示す。図5~6にプロットした仮道管長、マイクロフィブリル傾角のデータの範囲内

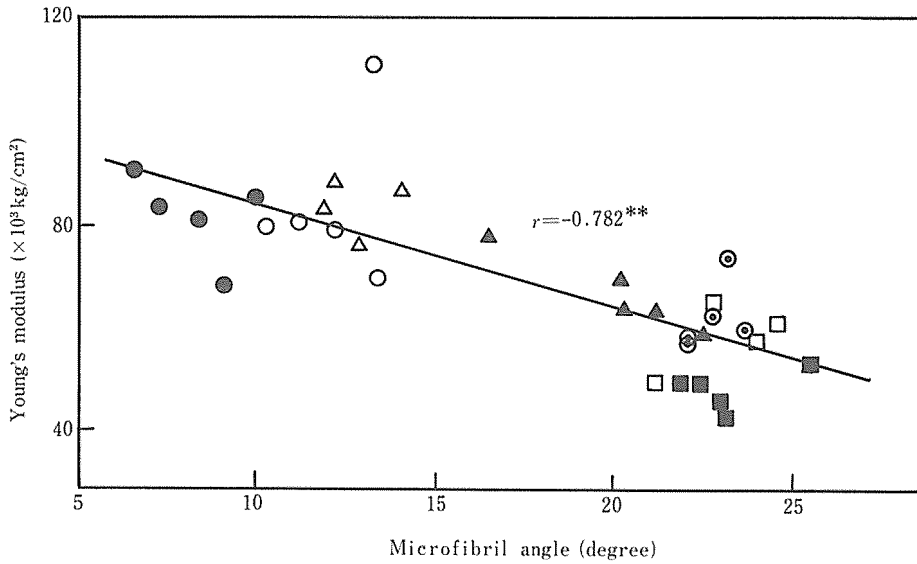


Fig. 3 Effect of latewood-microfibril angle on Young's modulus in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi;  
■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図3 縦圧縮ヤング率におよぼす晩材マイクロフィブリル傾角の影響

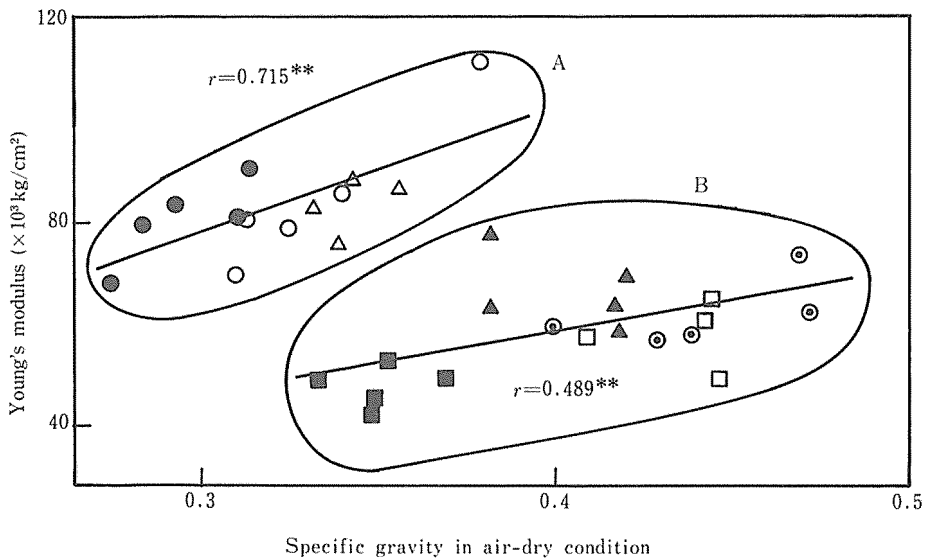


Fig. 4 Effect of specific gravity on Young's modulus in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi;  
■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図4 縦圧縮ヤング率におよぼす気乾比重の影響

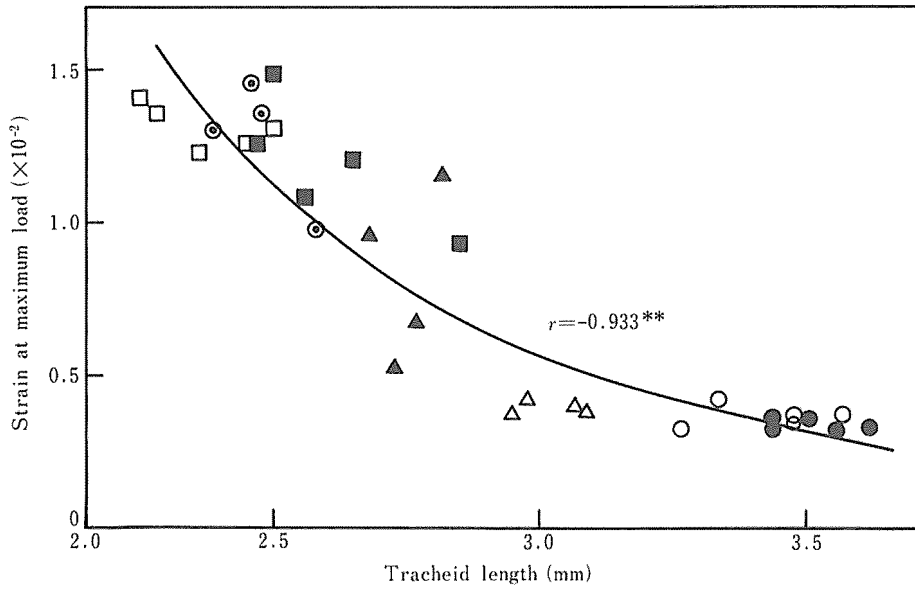


Fig. 5 Relationship between latewood-tracheid length and strain at maximum load in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urusebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi;  
■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図5 晩材仮道管長と圧縮破壊ひずみとの関係

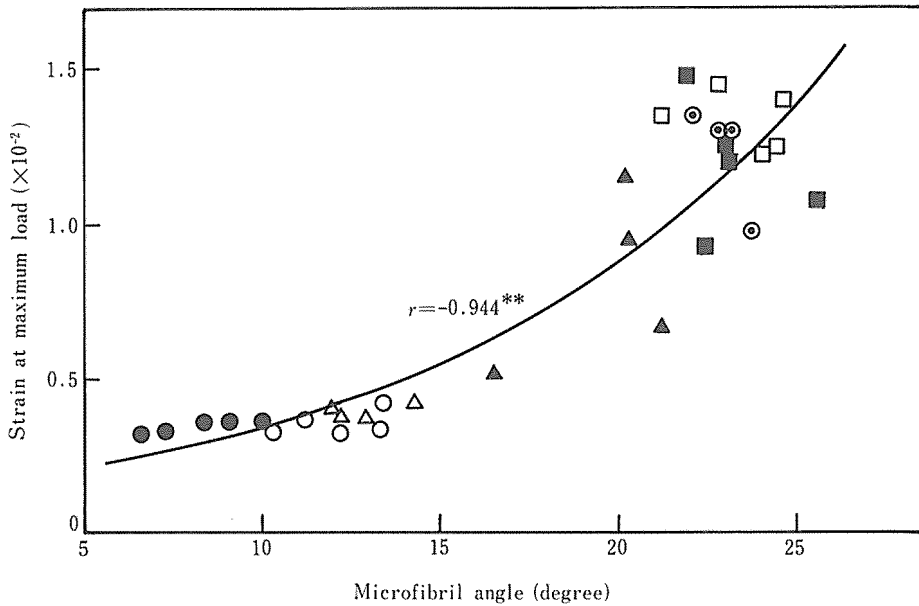


Fig. 6 Relationship between latewood-microfibril angle and strain at maximum load in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urusebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi;  
■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図6 晩材マイクロフィブリル傾角と圧縮破壊ひずみとの関係

では、破壊ひずみとこれらの因子との関係を直線で表しても、相関係数はほとんど低下しないが、破壊ひずみと仮道管長との関係を表すには指数曲線が、マイクロフィブリル傾角との関係を表すにはべき乗曲線がよくあてはまった。すなわち、仮道管が長いほど、あるいはマイクロフィブリル傾角が小さいほど破壊ひずみは小さくなり、ついにはほぼ安定した値を示すようになる。この結果と図3の結果を合わせて圧縮試験における応力-ひずみ関係をみると、マイクロフィブリル傾角が小さいか、あるいは仮道管が長ければ、直線域の変形が起こりにくく、曲線域に入っても小さな破壊ひずみで終局応力に達することがわかる。

気乾比重、仮道管長、マイクロフィブリル傾角のそれぞれと破壊までの仕事量との関係を図7、図8、図9に示す。仕事量は応力-ひずみ曲線によって囲まれた面積で表されるので、気乾比重は圧縮強さと、仮道管長およびマイクロフィブリル傾角はそれぞれ破壊ひずみとの間に相関関係があることから、三因子ともそれぞれ仕事量との間には高い相関関係が認められる。すなわち、気乾比重が高いほど、また仮道管が短いほど、あるいはマイクロフィブリル傾角が大きいほど、圧縮破壊するまでの仕事量が大きい。

ところで、荷重に対する変形しにくさと粘り強さは、材料の力学的性質を評価する際の重要な指標であるが、前にも述べたように、圧縮破壊ひずみと圧縮破壊仕事量はそれぞれ圧縮ヤング率との間に負の相関関係を持つ。これは図3、図6、図9に示すように、マイクロフィブリル傾角は圧縮ヤング率との間に負の相関関係を持ち、破壊ひずみ、仕事量との間には正の相関関係を持っているためである。つまり、マイクロフィブリル傾角が小さいと、

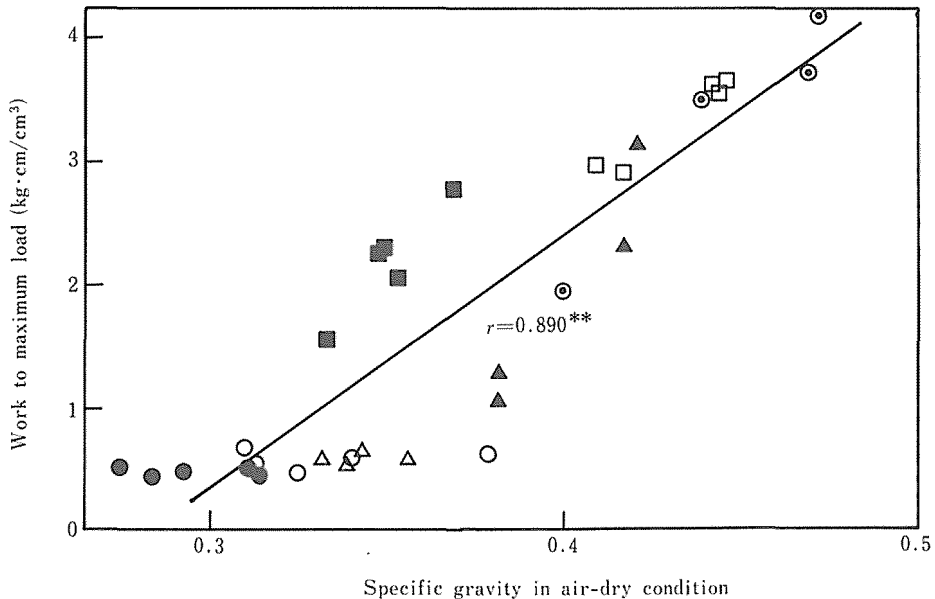


Fig. 7 Relationship between specific gravity and work to maximum load in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urusebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi; ■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図7 気乾比重と圧縮破壊仕事量との関係

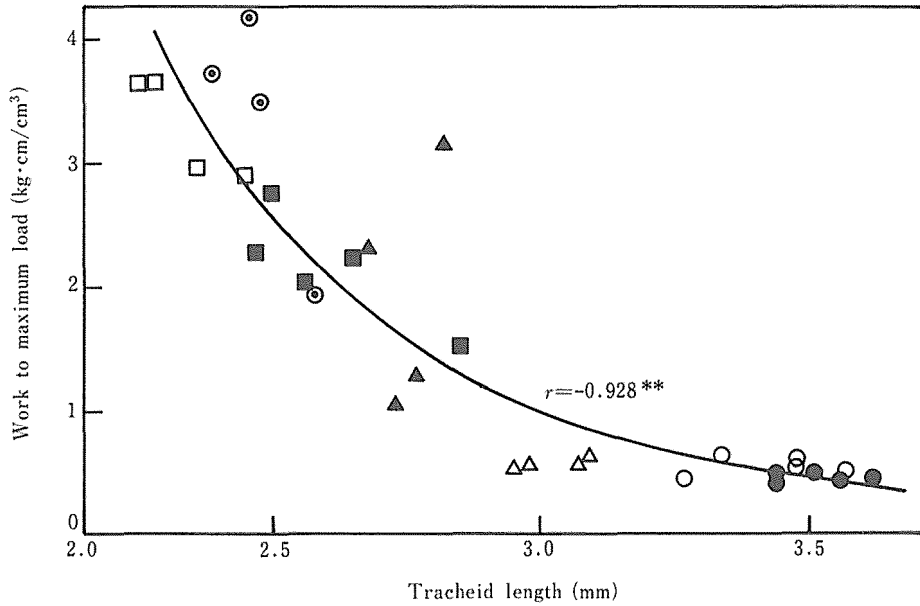


Fig. 8 Relationship between latewood-tracheid length and work to maximum load in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi; ■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図8 晩材仮道管長と圧縮破壊仕事量との関係

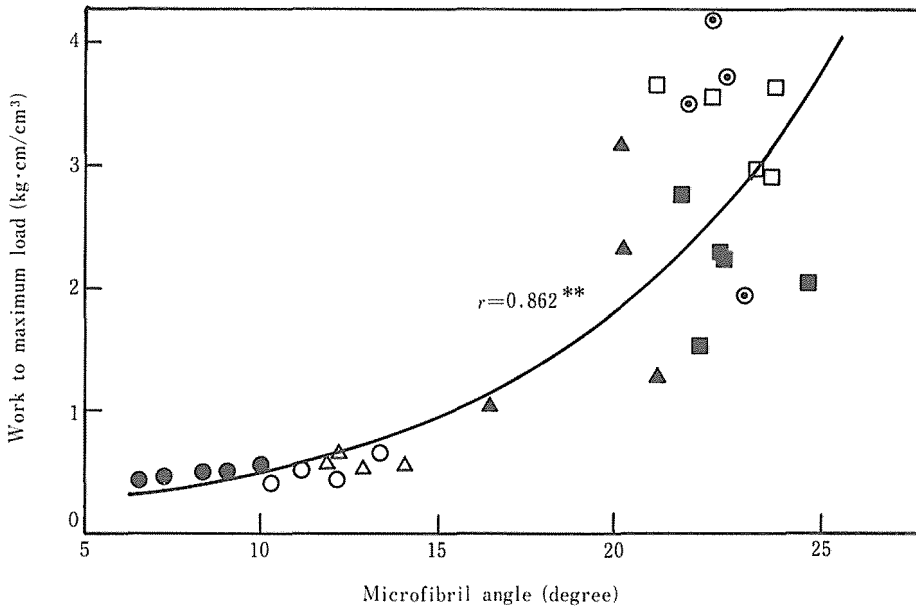


Fig. 9 Relationship between latewood-microfibril angle and work to maximum load in compression parallel to grain.

○: Hinode; ●: Urasebaru; △: Kumotooshi; ▲: Tanoaka; □: Ayasugi; ■: Higomeasa; ⊙: Honsugi

図9 晩材マイクロフィブリル傾角と圧縮破壊仕事量との関係

圧縮ヤング率は増大するが破壊にいたるまでのひずみや仕事量が小さくなるのである。

以上の実験結果から、スギ材が構造部材として利用されることを想定して考えるとき、強い材料を期待する場合には比重が高い品種を、変形しにくい材料を志向するときには仮道管が長い、あるいはマイクロフィブリル傾角が小さい品種を、さらに破壊までの仕事量が大きくて粘り強い木材を期待するときは、比重が高く、仮道管が短い、あるいはマイクロフィブリル傾角が大きい品種を選択していけば良いことがわかる。また、遺伝的形質の選抜に当たっては、仮道管が長い品種に対しては比重が大きいものを、比重が大きい品種に対しては仮道管が長いものを目指せば、強く変形しにくい材料が生産できることが明らかである。

#### 4. 結 論

三倍体を含むスギ品種を対象に、品種に特有な年輪構造に関する形質を明らかにしようとして、さらに特有な形質と木材の性質との関係を検討する1つの手段として縦圧縮試験を行った。

1) 品種内における形質のバラツキの程度がわからないので、それぞれの品種の年輪構造について得られた結果をその品種の代表値とみなすのは早計であるかもしれない。今後、同一品種の試験木数を増やし、品種内のバラツキの程度を明らかにする必要がある。しかし、品種間の年輪構造に認められた差異は、少なくとも遺伝的な要因を意識しなければならないと考えられる。

2) 品種間の年輪構造の差異が、品種間の木材の性質に違いを生じさせ、縦圧縮に対する力学的性質だけを見ても、その性質は品種によって大きく異なっている。すなわち、この研究で用いたスギ品種は、①圧縮ヤング率が高いが、低い強さと小さな破壊ひずみを示すタイプ、②圧縮ヤング率は低い、高い強さと大きな破壊ひずみを示すタイプ、③これらの中間を示すタイプに大別された。

3) したがって、木材を利用するうえで、スギ材を同一材料として取り扱うには大きなバラツキを伴うことになる。品種間の年輪構造の差異が遺伝的な要因に起因し、品種内のバラツキが比較的小さいものであれば、スギ材の合理的な利用を図るために、木材の用途に対応したスギ品種のグループ分けを検討する必要がある。

4) 年輪構造を表すいくつかの指標、つまり、晩材率、比重、仮道管長、マイクロフィブリル傾角と縦圧縮に対する力学的性質との関係を検討したところ、晩材率と比重は圧縮強さおよび仕事量と相関関係を持ち、仮道管長とマイクロフィブリル傾角は圧縮ヤング率、破壊ひずみおよび仕事量と相関関係があることがわかった。このことから、造林に当たって品種の選択や選抜育種を行う際に、晩材率、比重、仮道管長およびマイクロフィブリル傾角は、木材利用側からみたときの指標になり得ると考えられた。

#### 引 用 文 献

- 藤崎謙次郎・渋谷昌資 (1986) : スギ品種における組織構造と材質の関係 (II). 愛媛大演報 24 : 61~70
- 林 昭三・角谷和男・野村隆哉 (1983) : スギ 36 品種の組織構造学的性質. 木材研究・資料 18 : 81~92
- 見尾貞治・松本 昂・堤 壽一 (1985) : スギ品種の木材性質について, 九州産の在来 6 品種による予備実験. 九大演報 55 : 187~199
- 小田一幸・河澄恭輔・堤壽一 (1987) : スギ三倍体の木部形成と年輪構造 (I). 日林九支研論 40 : 印刷中
- 佐々木光・角谷和男・瀧野真二郎 (1983) : スギ 36 品種の力学的性質. 木材研究・資料 17 : 192~205

### Summary

Annual ring structures and compressive properties of sugi cultivars were investigated. Three trees each from five cultivars and two trees each from four other cultivars including two triploid cultivars were felled in a 25-year-old stand and a 30-year-old stand, respectively. About 10 cm thick disk was taken from the breast height of each tree stem and was dried at room temperature. Annual ring structures of the disks were examined on nine cultivars and compression tests parallel to the grain of mature wood were done on seven cultivars. Ring structures of the pieces were also analyzed after compression tests. The results obtained may be summarized as follows:

1) There were no significant differences in tangential wall thickness and cell wall percentage of tracheid among the cultivars, but latewood percentage, basic density, tracheid length and tracheid diameter depended on cultivars. Tracheid length was longer and the diameters of tracheid and ray cell were larger in the triploid cultivars than in the diploid cultivars.

2) The cultivars having high latewood percentage showed large basic density, and high correlation between latewood percentage and basic density was obtained as a whole.

3) Specific gravity was correlated positively with compressive strength and also with work to maximum load. Latewood-tracheid length was correlated positively with Young's modulus, negatively with strain at maximum load and negatively with work to maximum load. Latewood-microfibril angle was also correlated positively with strain at maximum load and with work to maximum load, and negatively with Young's modulus. Therefore negative correlations were found between Young's modulus and strain at maximum load and between Young's modulus and work to maximum load.

4) Due to the differences in specific gravity, latewood-tracheid length and latewood-microfibril angle among the cultivars, the compressive properties depended on cultivars. The examined cultivars were roughly classified into three groups on terms of the compressive properties: Type 1 has higher Young's modulus, lower compressive strength and smaller strain at maximum load, Type 2 has lower Young's modulus, higher compressive strength and larger strain at maximum load, and Type 3 has intermediate values between Type 1 and Type 2.