

スギ品種における組織構造と材質との関係(Ⅰ)

クモトウシ, ヤイチ, ヤブクグリ
およびメアサについて

藤 崎 謙次郎*

On the Relationship between the Anatomical Features and the Wood Quality in the Sugi Cultivars (I)

On cv. Kumotoshi, cv. Yaichi, cv. Yabukuguri and cv. Measa.

Kenjiro FUJISAKI

Summary: Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) has been one of the most important planting species in Japan, and in its breeding history many cultivars were established. In Kyushu district especially, many clonal cultivars have been established by cuttings. It was found that there were differences in the physical and mechanical properties among the cultivars. Therefore, it was considered that the Sugi cultivars might be helpful in investigating the relationship between anatomical features and physical and mechanical properties of a species.

In this study, the tracheid length and the microfibril angle (MFA) were measured as representative anatomical features. The specific gravity, static bending strength and the modulus of elasticity (MOE) were determined as representative physical and mechanical properties. The relationships between these were investigated.

The results obtained could be summarized as follows,

- (1) The values of the specific gravity of early wood were approximate at every cambial age for the four cultivars tested and the varying pattern of them was high near the center of the stem and decreased toward the outermost ring.

A significant difference in the values of the specific gravity of late wood was found between the four cultivars, and the late wood specific gravities of cv. Kumotoshi and cv. Yaichi were significantly higher than those of the other two cultivars.

- (2) When the varying pattern of tracheid length from pith to bark was expressed in a logarithmic equation ($Y = a \cdot \log X + b$, Y : tracheid length, X : cambial age), the elongation

* 木材理学研究室 Laboratory of Wood Physics

parameters, the "a" in the above equation, of cv.Kumotoshi and cv.Yaichi were higher than those of the other two cultivars, and the total mean tracheid lengths of the former two cultivars were higher than those of the latter two cultivars.

- (3) The MFAs measured on the four cultivars were high at the center of the stem and decreased toward the outermost ring, and the descending slopes of cv.Kumotoshi and cv.Yaichi were steep, but those of cv.Yabukuguri and cv.Measa were gradual, and the mean MFAs of the former two cultivars were lower than those of the latter two cultivars.

In a given growth increment, it was found that the MFA of early wood adjacent to the late wood formed in the previous year was highest and then decreased toward the ring boundary and the lowest MFA was found at the late wood.

- (4) No remarkable difference was found in the static bending strength among the four cultivars tested, but a significant difference was found in the MOE, i.e. the MOEs of cv.Kumotoshi and cv.Yaichi were significantly higher than those of cv.Yabukuguri and cv.Measa, and conversely the works to maximum load of the former two cultivars were smaller than those of the latter two cultivars.
- (5) The fact that the MOEs were higher and the works to maximum load were small in the group of cv.Kumotoshi and cv.Yaichi and conversely the MOEs were lower and the works to maximum load were large in the group of cv.Yabukuguri and cv.Measa was thought to be closely correlated with the fact that the MFAs of the former group was low and those of the latter group was high.

要 旨 スギはわが国において、長年にわたって造林樹種として重要な地位を占めており、その長い歴史の間に多くの品種を生み出し、とくに九州地方では、さし木による品種が多い。また、物理的あるいは機械的性質が品種によって異なることも知られている。

この同一樹種でも、品種によって材質が異なることは、組織学的特性と物理的あるいは機械的性質との関連を考える上で適当な材料であると考え、組織学的特性として、仮道管長、仮道管壁のマイクロフィブリル傾角 (MFA) を測定し、物理的および機械的性質として、比重、静的曲げ強さ、曲げヤング率などを求め、それらの間の関連を検討した。

得られた結果は以下のようである。

- (1) 早材および晩材の比重を別々に半径方向に連続して測定した結果、早材部比重は4品種とも近似した値を示し、その変動パターンは、髄近くで高く、形成層齢を増すに従がい漸減する傾向を示した。また、晩材部比重では品種間に差が認められ、クモトウシ、ヤイチが他の2品種にくらべ有意的に高い値を示した。
- (2) 仮道管長については、髄から最外層年輪への変動を対数式であらわした場合、クモトウシとヤイチは伸長係数において他の2品種にくらべ高い値を示した。したがってこの2品種は全体的に長い仮道管をもつことが認められた。
- (3) 髄から最外層年輪まで連続的に早材、晩材別に MFA を測定したところ、一般的に MFA は髄近くで大きく、形成層齢を増すに従がい小さくなるという仮道管長のパターンと逆の傾向を示し、クモトウシ、ヤイチでは、この低下の度合が急であり、ヤブクグリとメアサは緩やかな低下を示した。また、1 生長輪内では、肥大生長開始時の仮道管の MFA は大きく、肥大生長の進行に伴って、その値は小となり、晩材部でその生長輪内での最小値をとるというパターンを示した。
- (4) 曲げ破壊強さは4品種の間に大きな差は認められなかったが、曲げヤング率において、ク

モトウシとヤイチの組とヤブクグリとメアサの組の間には明らかな差が認められ、前者の組が高い値を示した。しかし、曲げ破壊までの仕事量では、この2つの組で上と全く逆の結果が得られた。

- (5) クモトウシ、ヤイチの組において、曲げヤング率が高く、曲げ破壊までの仕事量が小さく、ヤブクグリ、メアサの組では、逆に、曲げヤング率が低く、曲げ破壊までの仕事量が大いということは、前者の組ではMFAが小さく、後者の組で大きいという事実と深く関連するものとおもわれた。

1 はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D.Don) は、わが国における最も重要な造林樹種の1つであるが、各地における永年にわたる育成の歴史の過程で多くの品種といわれるものを生み出してきた。とくに、九州地方はさし木によって無性的に増殖された品種が多いが、その性質は固定的に継承されていて、品種間においても、かなり差があるとされている⁽¹⁾。

また、佐々木ら⁽²⁾はスギの36品種について広範な調査研究を行ない、品種間においてさまざまな力学的特性の差が存在することを示し、さらに、見尾ら⁽³⁾は、スギ品種の材質特性にかかわる基礎的な知見をうるため、九州地方の6品種につき組織構造および力学的性質の研究結果を発表している。

このように、スギという植物分類学上のひとつの種の中においても、品種として固定されたグループの間で、物理的および機械的性質（これらを包括的に、この報文では材質とよぶことにする）においてかなりの差があるということは、それ自体興味あることであるが、同時に、材の組織構造と材質の間の関連性を考える上で適当な材料を提供するものと考えられる。

このような観点から、ここではスギ品種として、クモトウシ、ヤイチ、ヤブクグリ、メアサをとりあげ、組織構造と材質の関連性を検討することとした。その理由は、本学学生の卒業論文のための実験⁽⁴⁾において、クモトウシとヤイチがとくに高いヤング率を示し、これに対してヤブクグリとメアサのそれがとくに低かったので、まず、ヤング率でのグループ分けを行い、このグループ間における組織構造と材質との関係を検討したいと考えたからである。

供試木は本学演習林から提供をうけた。本学演習林においては、本報文の4品種をふくめ、九州産スギ12品種を現地適応試験のため昭和45年に植栽している。

組織構造の指標として、仮道管長、ミクロフィブリル傾角(MFA)をとりあげ、材質の指標として、比重、静的曲げ強さ、曲げヤング率などをとりあげ、それらの間の関連性を検討した。

2 材料および実験方法

2-1 供試木

前述の本学演習林に植栽されている九州産スギ12品種のうち、クモトウシ、ヤイチ、ヤブクグリおよびメアサを各1本宛伐倒し（昭和58年夏）主幹を実験室に持ち帰り、十分天然乾燥させた後、各種の試験に供した。供試部位は、地上高1m～2mの間とした。

選木にあたっては、各供試木の間で生長の度合に大きな差がないよう注意した。各供試木の胸高直径および樹高は以下の通りである。

	胸高直径(cm)	樹高(m)
クモトウシ	10.4	9.8
ヤイチ	12.0	9.5
ヤブクグリ	9.6	6.4

第1図に各供試木の地上高2.0mの円板上で測った肥大生長曲線を示す。図から明らかなように、各供試木の間では肥大生長に大きな差はないものと考えられる。

2-2 比重測定

この研究では、各品種間での比重のちがいを検討するにあたって、第1年輪から最外層年輪まで、各生長輪ごとに早材、晩材別にその比重を測定することとした。測定に供した円板(厚さ約2cm)は地上高1mのもので、第2図に示すように、この円板から仮道管長測定用柾目薄片と、 $\frac{1}{4}$ 円板をとり、この $\frac{1}{4}$ 円板から図に示すように、各生長輪ごとに糸鋸で早材、晩材を分けて挽きとって比重測定用試片とした。比重測定には Yao⁽⁵⁾の提案による水銀比重瓶を作って、これによって比重測定を行なった。

2-3 仮道管長測定

第2図に示す仮道管長測定用柾目薄片を、髄から外周部に向けて連続的に半径方向の幅約1mmの解織用小片に分け、各小片ごとに解織し仮道管長測定に供した。また、晩材部は別に採取した。解織には Jeffrey 液を用い、1本の解織用小片につき40本の仮道管の長さを拡大投影器上で $\frac{1}{100}$ mmの精度で測定し、その平均値をもって、その小片の平均仮道管長とした。

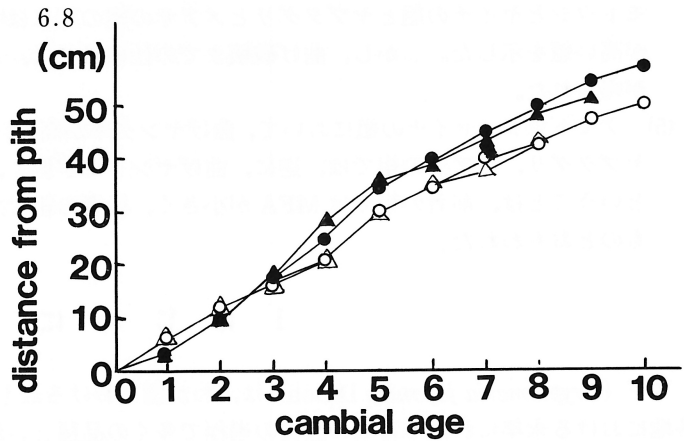


Fig.1

Curves of the growth in thickness for the four cultivars tested.

(○ : Kumotoshi, ● : Yaichi, △ : Yabukuguri, ▲ : Measa,)

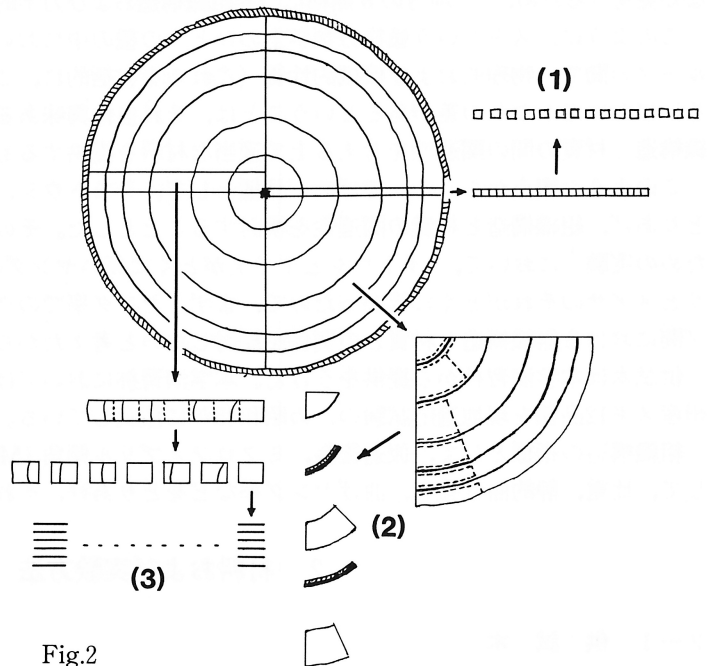


Fig.2

Diagrammatic representation for the preparing formula of test specimens.

(1) Splinters for the tracheid length measuring.

(2) Specimens for the determination of specific gravity. Early wood and late wood were separated in each growth increment.

(3) Microtomed sections for the determination of MFA. These sections were macerated and the MFA was measured on a polarizing microscope.

2-4 ミクロフィブリル傾角 (MFA) 測定

第2図に示すように、ミクロフィブリル傾角測定用ブロックをマイクロームによる切片作製に適当な大きさに分割し、軟化处理ののち各ブロックの柁目面からできるだけ薄くマイクローム切片約30枚を採り、このマイクローム切片を半径方向に幅約2mmの短冊状切片に分離し、この切片を第1年輪から最外層年輪まで連続的に分離し集めた。つまり、同一年輪内の同一部位に属する短冊状切片が約30枚集められることになる。この同一部位の切片集団を Jeffrey 液で解繊し、十分解繊されたものをスライドガラス上に一部とって、Single wall の状態の仮道管壁を探し、鋭敏色板を入れた偏光顕微鏡下で MFA を測定した⁽⁶⁾。測定個数は1つの短冊状切片集団について20個とし、その平均値を、その集団を代表する MFA とした。なお、晩材部については晩材部のみを短冊状切片として測定した。

2-5 静的曲げ試験

地上高1mから2mの間で、節が少ない部分から長さ約35cmの丸太2本をとり、この丸太から、できるだけ多くの曲げ試験片をとった。試験片寸法は、2cm(T)×2cm(R)×35cm(L)で、アムスラー型試験機によりスパン28cmで、中央集中荷重をかけ、曲げ破壊強さ、曲げヤング率、破壊に要した仕事量を求めた。

なお、試験片含水率は長時間実験室内で乾燥させたため、すべて13%±1%に入っていた。

3 結果と考察

3-1 早晚材別比重

第3図に供試4品種の早晚材別の比重が、形成層齢、つまり、髄からの年輪数によってどのように変化するかを示した。この図から、

1) 早材の比重は、各品種とも髄近くで高く、形成層齢を増すに従いがい漸減する傾向が認められる。また、供試した4品種は各形成層齢で比重の差が少なく、整然とした変動傾向を示している。

2) 晩材の比重の変動パターンは早材のそれに比較して変動が大きく、各形成層齢で比重の値に差が認められる。

以上の結果は、太田⁽⁷⁾が既に指摘するところで、太田は早材と晩材の比重およ

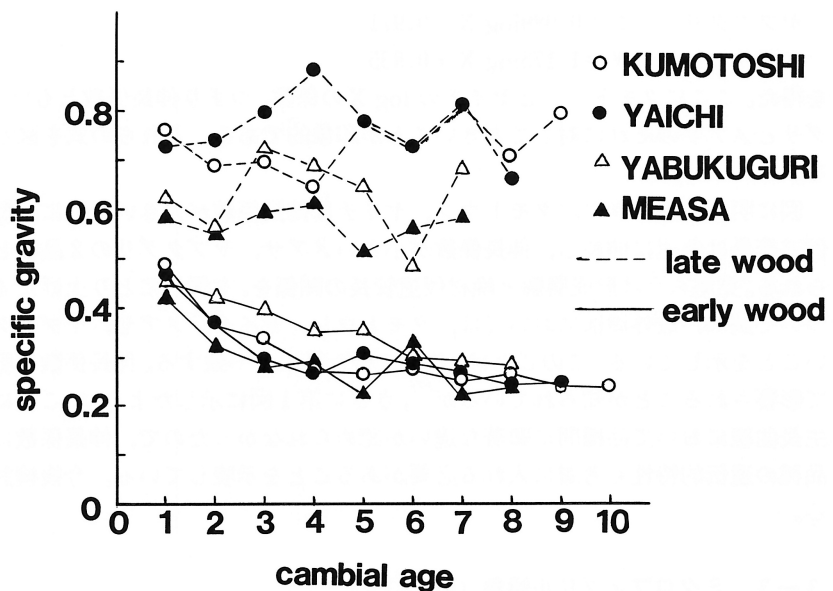


Fig.3
Effect of the cambial age on the specific gravity of late wood and early wood.

び両者の差の変化の程度を未成熟材の判定基準のひとつとしている。

さらに、こゝで興味あるのは晩材部比重において品種の間にかんがりの差があることで、木材の機械的性質を考える上で比重は重要な要素であるが、とくに晩材部のそれはその影響大きいと考えられるからである。

以下、4品種の晩材部比重の平均値等を示す。

	晩材部比重平均値	標準偏差
クモトウシ	0.736	0.055
ヤイチ	0.764	0.068
ヤブクグリ	0.632	0.083
メアサ	0.573	0.034

分散分析の結果も、クモトウシとヤイチは他の2品種に対して明らかに差があることを示した。

3-2 仮道管長

第4図は、縦軸に仮道管長を、横軸に髄からの距離をとって半径方向の仮道管長の変動を図示したものである。筆者⁽⁸⁾が指摘したように、1年輪内では前年形成された晩材部に接する早材部の仮道管は最も短かく、その後急速に伸長を示し、年輪幅が広い場合は年輪途中でその年輪内での最長仮道管長に達し、年輪幅が狭い場合には、晩材部においてその年輪内での最長仮道管長に達していることが看取される。

また、4品種の間の半径方向の仮道管長の変動を直接比較するために、各年輪を代表する仮道管長として晩材部仮道管長をとり、対数式にあてはめて回帰式を求めると、(Y:仮道管長, X:形成層齢)

$$\text{クモトウシ} \quad Y = 1.499 \log X + 1.068$$

$$\text{ヤイチ} \quad Y = 1.634 \log X + 0.721$$

$$\text{ヤブクグリ} \quad Y = 0.989 \log X + 0.971$$

$$\text{メアサ} \quad Y = 1.175 \log X + 0.865$$

を得た。ここにクモトウシとヤイチの $\log X$ の係数、つまり伸長係数ともいふべきものが、ヤブクグリとメアサのそれに対して大きいことが印象的である。これらの式を図示したのが第5図である。

図に明らかなように、クモトウシ、ヤイチは伸長係数が大きいために、髄から外周部へむけて仮道管長は急速に伸長し、伸長係数が小さいメアサ、ヤブクグリの2品種とは明らかな差が認められる。見尾ら⁽³⁾は形成層齢と晩材仮道管長の関係を、本報告にとり上げた4品種を含む6品種について調べ、最外周部においては、クモトウシ、ヤイチ、メアサ、ヤブクグリの順に仮道管が長いことを示している。このことは、こゝで得た結果と一致する。伸長係数は肥大生長の良否によって影響されることが知られているが⁽⁷⁾、さきに第1図に示したように、ここに用いた4品種は肥大生長曲線において品種間に顕著な違いが認められなかったので、伸長係数に影響する因子として品種の遺伝的特性も考慮に入れる必要があることを示唆している。今後検討を要すると考えられる。

3-3 ミクロフィブリル傾角 (MFA)

髄から最外層年輪まで、半径方向にMFAがどのように変動するか、また、1年輪内ではどのように変動するかをみるために第6図を用意した。縦軸にMFAを、横軸に髄からの距離をとり、縦軸に平行な破線をもって年輪界を示している。

図によって明らかなことは、

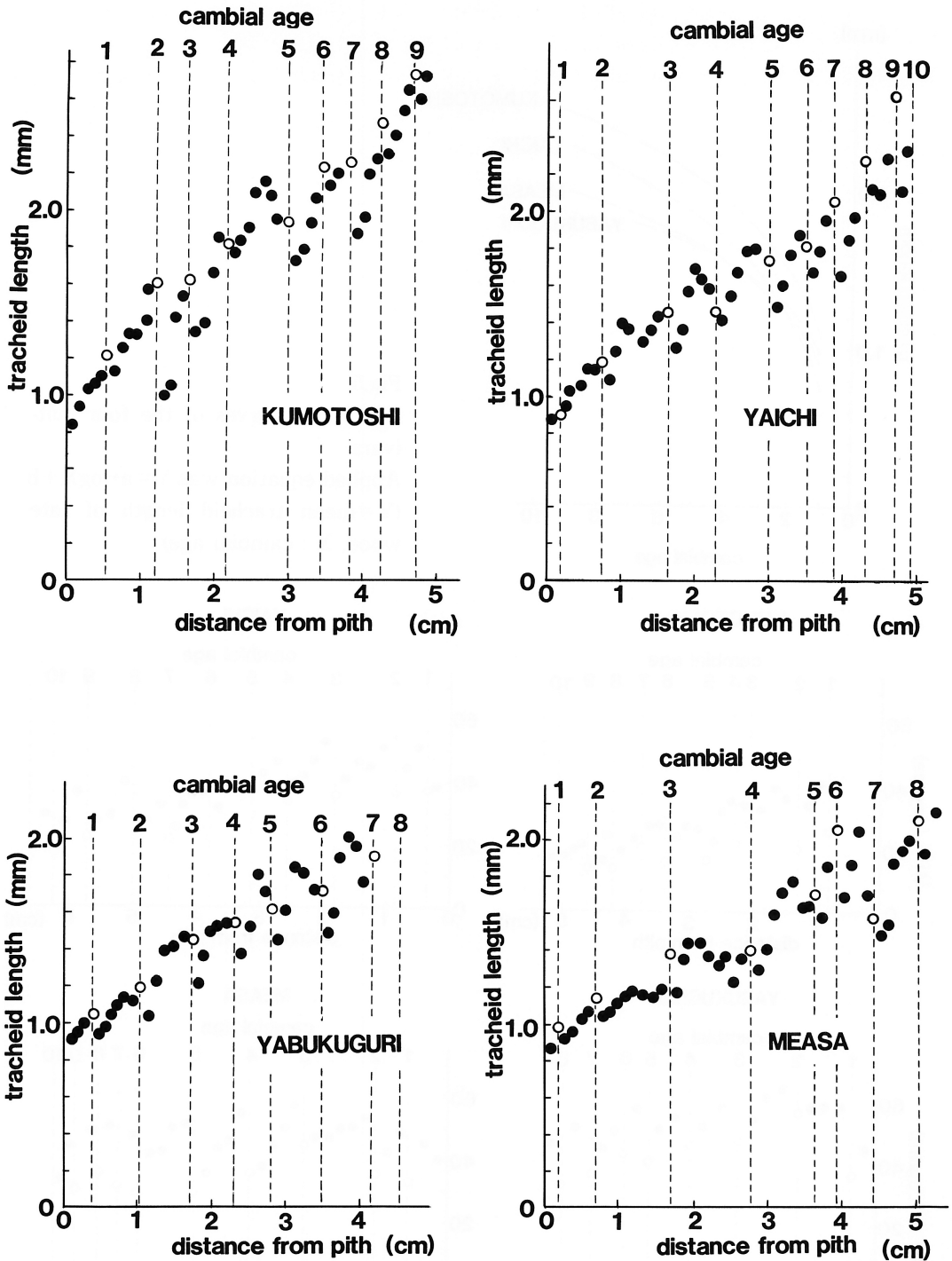


Fig.4
 Variation of tracheid length from the pith to the outermost ring.
 Symbols ; ○ : tracheid length of late wood, ● : tracheid length of early wood.

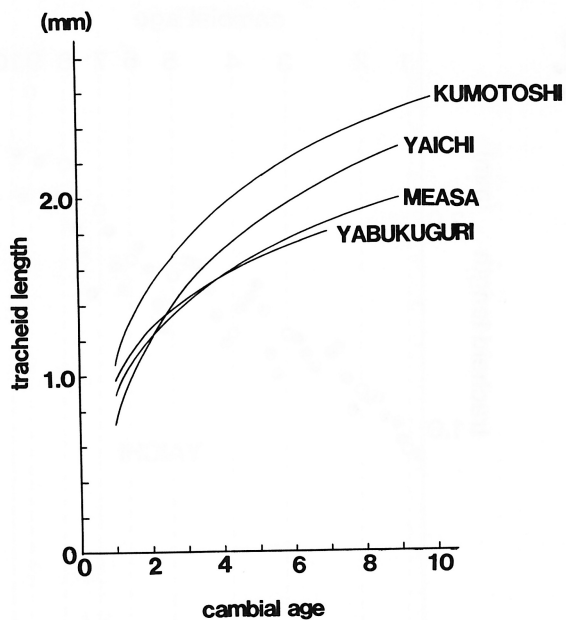


Fig.5
Regression curves of the four cultivars.
Applied equation was $Y = a \cdot \log X + b$
(Y = mean tracheid length of late wood, X : cambial age)

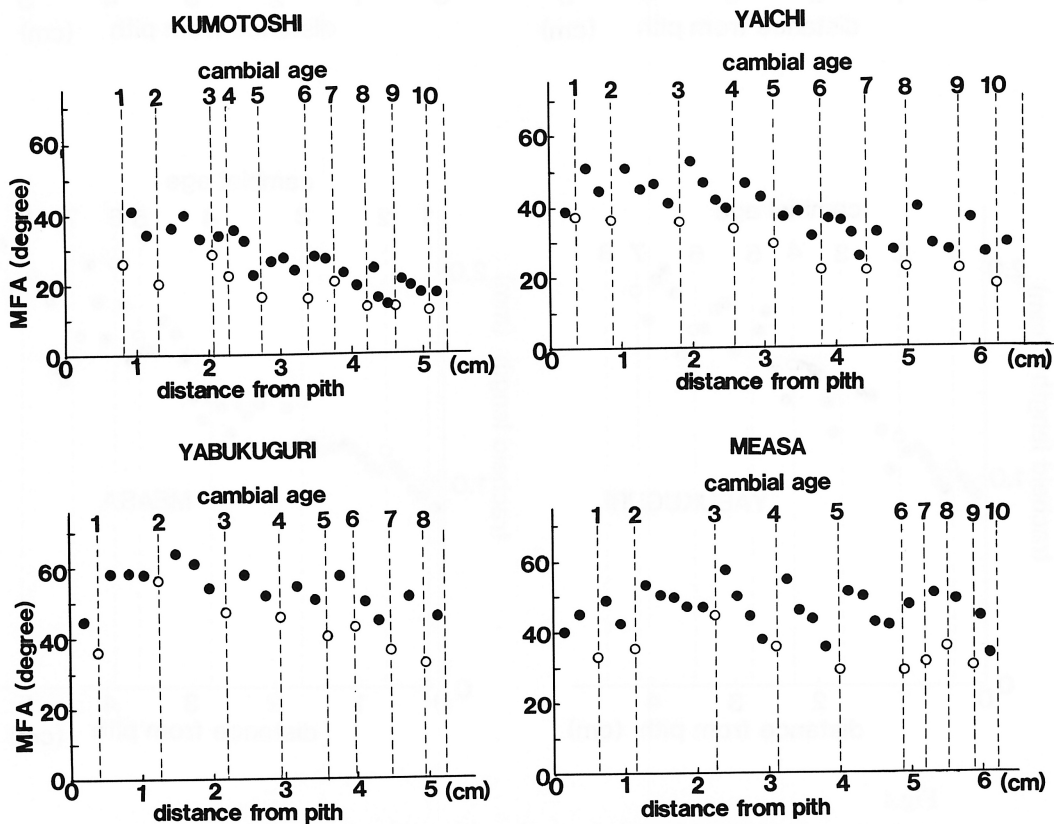


Fig.6
Variation of the MFA from the pith to the outermost ring.
Symbols ; \circ = MFA of late wood, \bullet = MFA of early wood

1) 4品種を通じて、若い形成層齢ではMFAは大きく、形成層齢を増すに従がいMFAは小さくなる傾向が認められる。

2) MFAが形成層齢を増すに従がい小さくなる度合は品種によって異なる。

3) 1年輪内にあっては、前年形成された晩材部に接する部位ではMFAは大きく、肥大生長に伴ってその値は小さくなり、晩材部でその年輪内での最小値をとり、次の年の生長開始とともに再びMFAは大きくなるというパターンを繰り返している。このことは、仮道管長の1年輪内の変動パターンと丁度逆の関係にあり、興味深い。

4品種の間のMFAの違いと、半径方向の変動パターンの比較をするため、MFAと形成層齢との間の関係を直線的と見做して、各品種の回帰直線で示したのが第7図である。図に明らかなように、クモトウシは最もMFAが

小さく、ヤイチがこれにつき、ヤブクグリ、メアサはMFAが大きく、また、形成層齢を増すに従がいMFAの低下の度合が少ない。このことから、クモトウシ、ヤイチは全体的にMFAが小さく、MFAの大きなヤブクグリ、メアサとは別のグループに属するといつてよいだろう。また、3)でのべたように、1年輪内でのMFAの変動パターンが、仮道管長のそれと符号的には逆であるが、類似のパターンを示すことは、MFAと仮道管長は負の相関があるとする知見⁽⁹⁾が1年輪内でも成り立つことを示している。

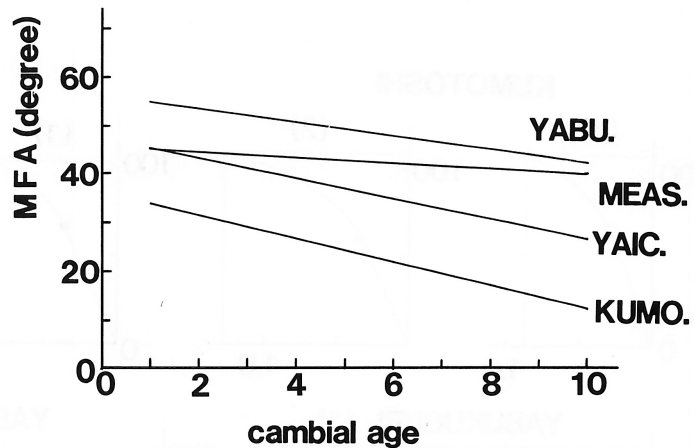


Fig.7 Relationship between the MFA and the cambial age of the four cultivars.

3-4 静的曲げ試験

供試4品種について静的曲げ試験の結果を第1表に示す。この表から次のことがいえるであろう。

1) 曲げ強さは、メアサが若干低い値をとるほか、他の3品種については顕著な差が認められない。

2) 曲げヤング率については、クモトウシ、ヤイチの組とヤブクグリ、メアサの組の間には明らかな差があつて、前者の組が高い値を示す。このことは、前項でのべたように、前者の組のMFAは小さく、後者の組のそれが大きいということと関連するものとおもわれる。

3) 曲げ破壊までの仕事量をみると、曲げヤング率の場合とは逆にクモトウシ、ヤイチの組の曲げ破壊仕事量は、ヤブクグリ、メアサの組より明らかに小さな値を示している。

静的曲げ試験の荷重-たわみ図を示したのが第8図であるが、ヤブクグリ、メアサの2品種はヤング率は小であるが、荷重が増すに従いがたわみ量が非常に大きいことが印象的である。

クモトウシ、ヤイチの組は、ヤング率は大であるが、曲げ破壊仕事量は小さく、ヤブクグリ、メアサの組はヤング率は小さいが、曲げ破壊仕事量は大きいということは、MFAが前者で小で、後者の組で大であることと関連するものとおもわれる。

Table.1 Results of bending tests.

	Bending strength (kg/cm ²)		MOE ($\times 10^3$ kg/cm ²)		Work to max. load (kg·m)*	
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
Kumotoshi	535	35.3	66	11.0	0.722	0.173
Yaichi	555	43.3	48	10.0	1.150	0.400
Yabukuguri	547	12.8	27	3.2	2.756	0.412
Measa	437	51.0	27	8.1	1.693	0.950

* Dimension of test specimen : 2 (T) \times 2 (R) \times 28 (span), (cm)

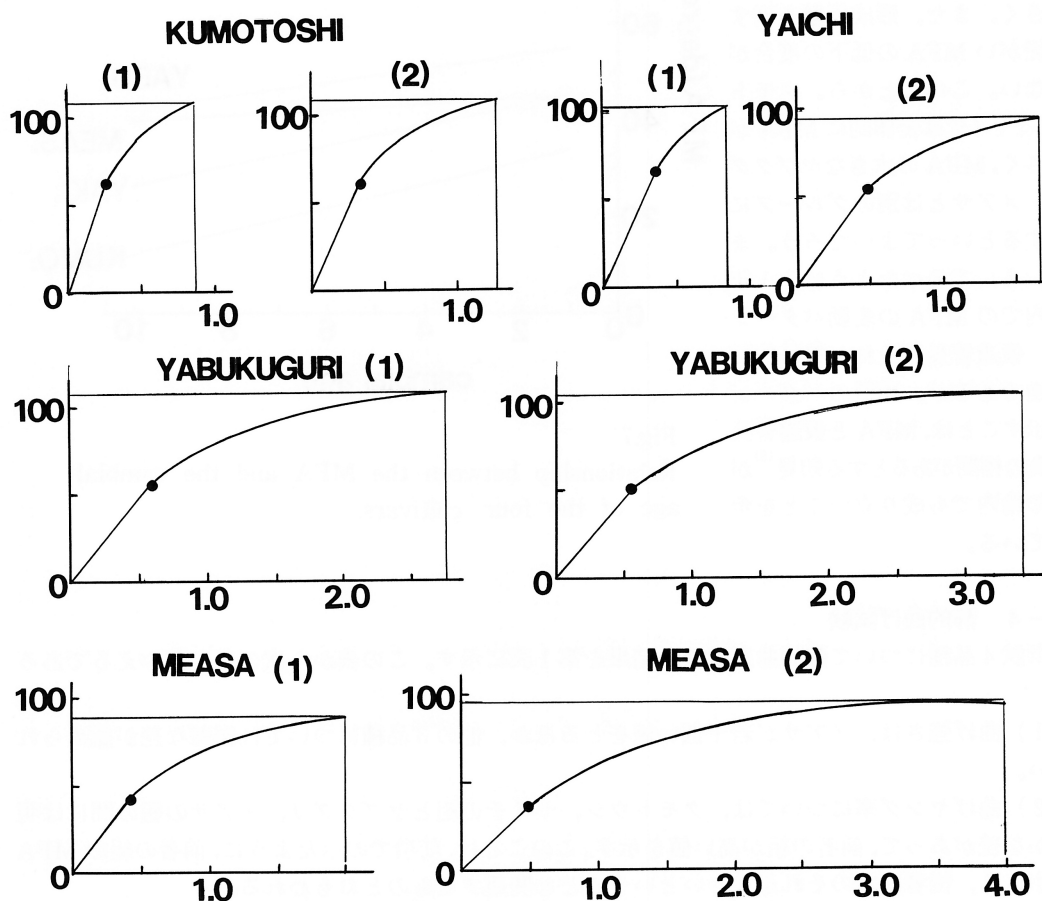


Fig.8

Load-deflection curves obtained by static bending tests.

The dimension of test specimen was 2(T) \times 2(R) \times 28(span), (cm).

Ordinates : Load (kg), Abscissas : deflection (cm)

(1) and (2) indicate the outer region of the stem and the inner region of the stem respectively.

さらに興味あることは、石崎はその著書で⁽¹⁾、クモトウシの材質について“もろい”と表現し、ヤブクグリについては“やゝ強靱”、メアサについては“強靱”と表現していることである。

この“もろい”、あるいは“強靱”という表現は破壊にいたるまでに生ずるたわみが小さいか、それとも大きいかということの感覚的表現であるようにおもわれ、曲げ剛性の大小は盛りこまれてないようにおもわれる。

4. 結 論

九州産さし木品種のクモトウシ、ヤイチ、ヤブクグリ、メアサについて、組織構造と材の物理的および機械的性質との関係について実験検討した結果、以下の結論が得られた。

1) 早材および晩材のそれぞれの比重を半径方向に連続して測定した結果、早材部比重は4品種とも近似した値を示し、その変動パターンは、髓近くで高く、形成層齢を増すに従がい漸減する傾向を示した。また、晩材部比重では、品種間に差が認められ、クモトウシ、ヤイチは他の2品種にくらべ有意的に高い値を示した。

2) 仮道管長については、髓から樹皮側への変動を対数式であらわした場合、クモトウシとヤイチは伸長係数において他の2品種にくらべ高い値を示し、したがって、この2品種は全体的に長い仮道管をもつことが認められた。

3) 髓から最外層年輪まで連続的に早材、晩材別にMFAを測定したところ、一般的にMFAは髓近くで大きく、形成層齢を増すに従い小さくなるという、仮道管長の変動パターンと逆の傾向を示し、クモトウシとヤイチでは、この低下の度合いが急であり、ヤブクグリとメアサは緩やかな低下を示した。また、MFAの小さい順は、クモトウシ、ヤイチ、メアサ、ヤブクグリであった。

1) 生長輪内にあつては、肥大生長開始時の仮道管のMFAは大きく、肥大生長の進行に伴ってその値は小となり、晩材部でその生長輪内での最小値をとるというパターンを示した。

4) 静的曲げ試験の結果、曲げ破壊強さにおいては4品種の間に顕著な差は認められなかったが、曲げヤング率においては、クモトウシとヤイチの組とヤブクグリとメアサの組の間には明らかな差が認められ、前者が高い値を示した。しかし、曲げ破壊仕事量では、この2つの組の間で上と逆の結果が得られた。

5) クモトウシ、ヤイチの組において曲げヤング率が高く、曲げ破壊仕事量が小さく、ヤブクグリ、メアサの組では、逆に曲げヤング率が低く、曲げ破壊仕事量が大きいということは、前者の組ではMFAが小さく、後者の組で大きいという事実に深く関連するものとおもわれた。

謝 辞

本研究に供試したスギ4品種は本学農学部付属演習林から提供をうけた。その伐倒、搬出には同演習林職員のご協力をいただいた。厚く謝意を表する次第である。

引 用 文 献

- 1) 石崎厚美：スギの品種目録・その性質—九州地方のさし木品種。最近の林業技術 No.15 日本林業技術協会，1968.
- 2) 佐々木光・角谷和男・滝野眞二郎：スギ36品種の力学的性質。木材研究・資料No.17, 1983.
- 3) 見尾貞治・松本 勲・堤 寿一：スギ品種の木材性質について、九州産在来スギ品種による予備実験。九大演報No.56, 1985.

- 4) 阿部幸子：九州産スギ6品種の縦圧縮ヤング係数について（卒業論文 1984）
- 5) Joe Yao : Modified mercury immersion method in determining specific gravity of small, irregular wood specimens. For.Prod. J. 18 (2) 1968.
- 6) 藤崎謙次郎：スギにおけるヤング率と仮道管長およびマイクロフィブリル傾角との関係について。愛媛大演報 No.11, 1974.
- 7) 太田貞明：スギ，ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学的特性に関する基礎的研究。九大演報 No.45, 1972.
- 8) 藤崎謙次郎：スギ造林木の枝による樹幹内仮道管長の推定に関する基礎的研究。愛媛大農学部紀要 28(2), 1983
- 9) R.D.Prestom : The physical biology of plant cell walls p.p.322 Chapman and Hall Ltd. London 1974

(1985年9月30日受理)