

ヤナセスギの材質に関する研究 (第1報)

年輪構造と比重について

藤原 新二・中山 義雄

農学部木材理化学研究室

Studies on the Wood properties of Yanase-Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON. Grown in Yanase District in Kochi Prefecture.) I

On the construction of the annual rings and specific gravity.

Shinji FUJIWARA and Yoshio NAKAYAMA

Laboratory of Wood Science and Technology, Faculty of Agriculture

Abstract : This paper deals with the relationship between the construction of annual rings and specific gravity of Yanase-Sugi. Specific gravity was measured by Soft X-ray and microdensitometer. From the results of this study the following conclusions may be drawn:

1) Specific gravity is much higher for the core wood than for the out wood, decreases gradually to around the 5th-10th ring, and then remains constant. The cause of higher specific gravity of the core wood is that cell size of the core wood is smaller than that of the out wood.

2) The relationship between number of cell per unit length (1 mm) and specific gravity was represented by a linear regression, and the influence of width of annual ring or percentage of late wood on specific gravity was expressed by number of cell per unit length.

3) Specific gravity increases gradually from the base to apex, because number of cell per unit length increases from the base to apex.

4) Specific gravity is in inverse proportion to the annual ring width at the range of annual ring width where it is less than 3 mm, but where it is more than 3 mm, specific gravity remains constant.

5) Yanase-Sugi is frequently interrupted to grow in young age, so it takes long time to attain adult wood at lower trunk.

緒 言

木材の材質の変異性と生長条件との関係を遺伝的なものと、環境条件によるものについて究明することは、木材の合理的利用あるいは質的生産のために重要なことである。

高知県東部はヤナセ天然スギの産地として著名である。天然木は長い間に淘汰されその土地の地形、土壌条件、気候条件に適したものが残存し現在にいたっているものと考えられるので、このヤナセスギ天然木の地方的、あるいは地域の特徴と生育条件との関連を探索し材質研究の手掛りを得たいと考えた。

そのためには、まず材質の自然変異を明らかにしなければならない。木材の材質はその用途の多様性のため使用目的によってかなり幅広い要求があるが本実験ではまず、共通的な指標と考えられる比重を取り上げた。

比重に関し幹の中でどのような変異を示しているかを明らかにし、その特性的な傾向を見い出すとともに年輪構造上の要素がどのような変化をし年輪を構成しているかを観察しこれが比重にどのような影響を与えているのか、あるいは年輪が材質的にどのような意味をもつのかを検討した。

実 験

試験体 樹種はスギ材 (*Cryptomeria japonica* D. DON) で各試験体の概要は Table 1 の通りである。

Table 1. Sample trees

Sample trees	No.	Tree Height above the ground (m)	Number of annual ring	Radius (cm)
A	A 1	4.0	100	29.4
	A 2	8.0	82	24.0
	A 3	12.0	70	19.7
	A 4	16.0	58	15.2
	A 5	20.0	46	9.3
B	B 1	1.2	42	11.9
	B 2	3.2	38	10.3
	B 3	5.2	32	9.0
C	Ca	2.0	27	15.8
	Cb	2.0	27	10.9

試験体 A はヤナセスギ天然木、B 及び C は高知県に一般に造林されているスギ材である。

試験体 C のうち Ca は同一円盤の長軸半径、Cb は短軸半径のものである。

比重測定 比重の測定は非破壊的にしかも連続的にできる軟 X 線とマイクロデンスitomータ^{12),13)}によって求めた。各円盤から厚さ 0.5 cm の横断切片を作製し調湿した後、試験体をフィルムの上に直接置き繊維方向に軟 X 線を照射した。

軟 X 線発生装置は日本ソフテックス社製 LMBW 型を使用し線源と試験体の距離 130 cm, 電圧 16 kv, 電流 10 mA, 照射時間 2 分 40 秒, フィルムはサクラ X 線フィルム MR で撮影した。なお撮影時の条件の変化, フィルム現象時のムラ等の影響を少なくするために標準比重切片 (イスノキ心材 0.98, イスノキ辺材 0.74, カツラ 0.43) を試験体と同時に撮影した。フィルムを指定現象した後マイクロデンスitomータ JOICE 社製 MODEL MK III CS にかけて 5 倍で記録した。

記録紙上で各年輪毎に面積を求め平均比重に換算した。

年輪幅, 細胞数, 晩材率の測定 比重測定に使用した試験体を煮沸軟化した後マイクロトームで 20~30 μ の横断切片の永久プレパラートを作製した。このプレパラートより接眼マイクロメータを取りつけた顕微鏡下で年輪幅, 晩材幅, 細胞数を測定した。

早材と晩材の区分は Mork の定義によった。

各年輪の半径方向の細胞数は 10 細胞列の平均値とした。

結 果 と 考 察

比重の半径方向の変動 比重は木材の物理的機械的性質と密接な関連があり今まで多くの研究が行われている。半径方向の変動について、田島¹⁾は樹心から外周にかけて 10~15 年輪の間減少しその後ほぼ一定の値を保つスギヒノキ型と樹心から数年輪は減少し最低になった後 10~15 年輪までは急に増加しその後ほぼ一定の値になるマツ型の 2 種類のパターンを報告している。又 Panshin²⁾は 4 つのパターンを示している。スギの比重 (容積密度数) に関する既往の研究報告を見ると樹心部の比重が大きく外方に向ってある年輪数までは減少しその後ほぼ一定になる例^{3),4),5),6)}が多い。

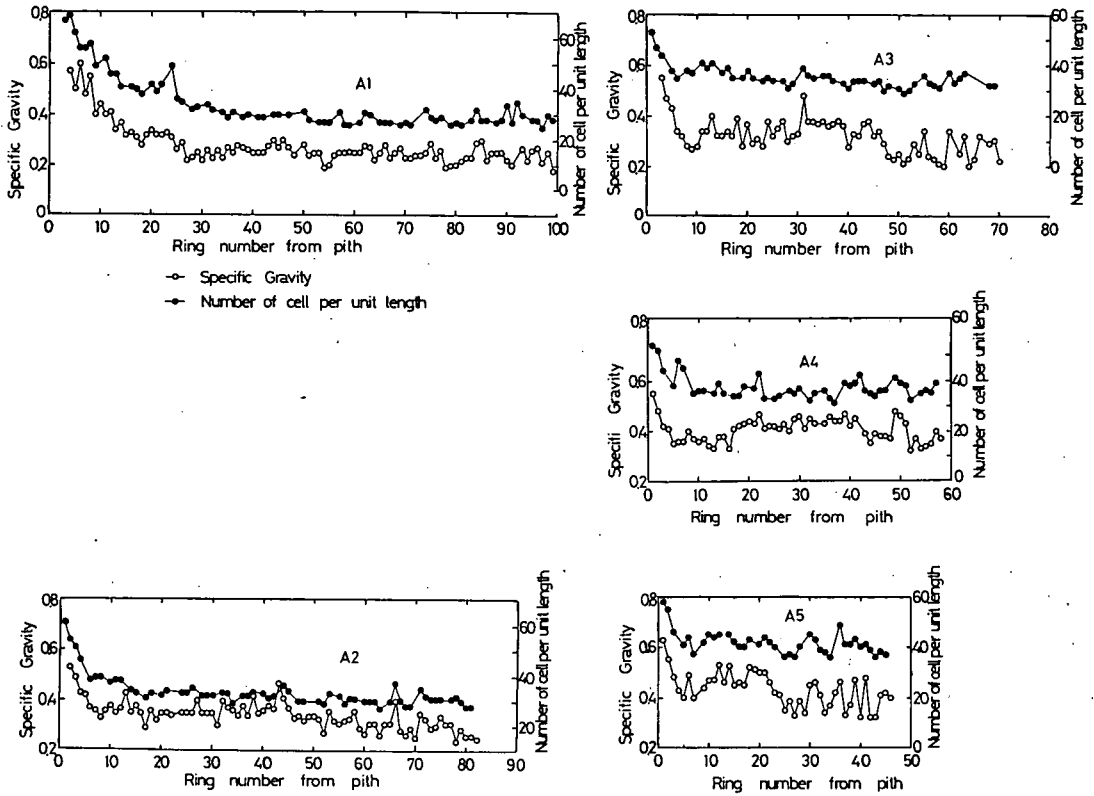


Fig. 1 Variation of specific gravity and number of cell per unit length (1 mm) with ring number from pith.

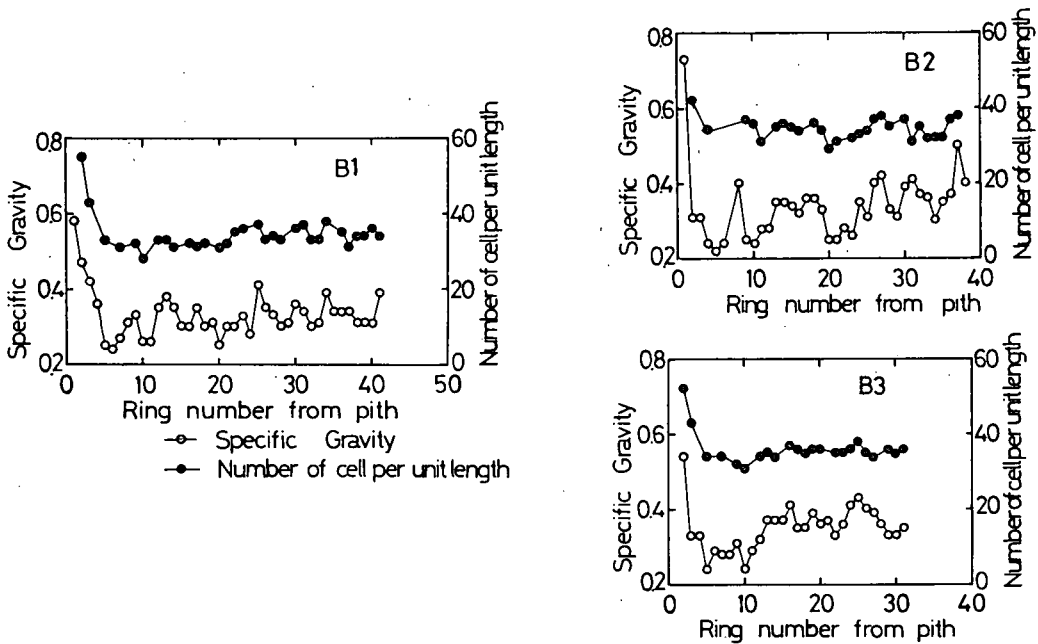


Fig. 2 Variation of specific gravity and number of cell per unit length (1 mm) with ring number from pith.

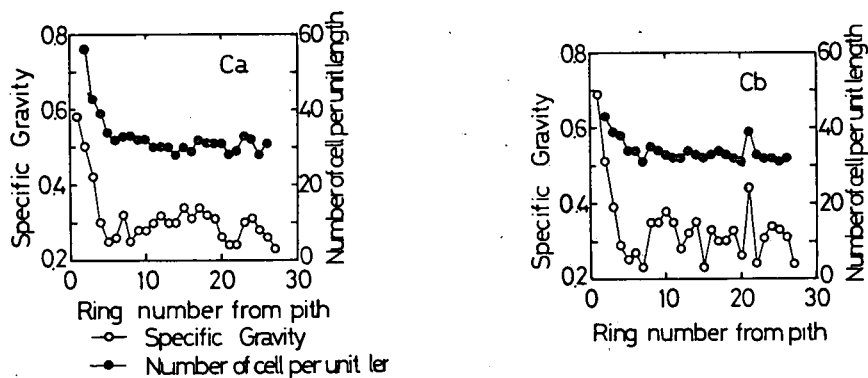


Fig. 3 Variation of specific gravity and number of cell per unit length (1 mm) with ring number from pith.

本実験の結果を Fig. 1～Fig. 3 に示す。

Fig. 1 はヤナセスギ天然木A, Fig. 2, Fig. 3 はそれぞれ造林木BとCである。本実験の場合も既往の研究報告と類似の変動パターンを示した。造林木はB, Cともに髄より5～10年輪まで比重は減少し以後はほぼ安定している。天然木Aの場合、樹高8 m以上の部位A2～A5では造林木の場合と同じように、比重は5～8年輪あたりから安定しているが、樹高4 mの部位A1では比重のほぼ安定するのが24～26年輪である。同一の樹幹でこのように比重のほぼ安定に達する年輪数に差があるのは、渡辺⁹⁾のエゾマツ、トドマツの仮道管長に関する報告に見られるように、天然木では幼令時に被圧されることが多く、この被圧された内心部をもつ幹の下方部位では成熟材部に達するのに長い期間を要するため、同じ幹でも上方部位の幼令時から正常な生長をした樹幹の場合は造林木と同じような変動を示すものと考えられる。

木材の比重を決定する要因¹⁾としては、木材組織を構成する細胞の種類とその量的な比率、細胞の寸法、晩材率等があげられる。本実験では年輪構造と比重との関連を究明する目的で、各年輪の細胞壁量を間接的に表わすものとしての横断面における単位長さ当りの細胞数(各年輪内の放射方向の細胞数を年輪幅で除した値)と晩材率について、これらが比重とどのような関連があるのかを検討した。

Fig. 1～Fig. 3 に各試験体の単位長さ当りの細胞数の変動を比重の変動と同時に掲げた。

これらからわかるように単位長さ当りの細胞数の変動パターンと比重の変動パターンが並行している。このことから、スギ材が樹心部で比重が大きい原因は、直径の小さい細胞が多く、早材から晩材にいたる間に比重の高い“移行帯”²⁾が出現する率が高いためである。さらに樹脂分等の影響もある^{5), 8)}と言われている。

樹心部で小さい細胞も年令とともに大きくなり、ある年令(年輪数)ではほぼその材固有の大きさに達しその後は一定になり、比重も安定するものと考えられる。

本実験では単位長さ当りの細胞数の安定する年輪数(すなわち比重のほぼ安定する年輪数)が正常に生長している材では5～10年輪となり、既往の研究報告^{1), 4), 5)}に見られる未成熟材と成熟材とを分ける10～15年輪とくらべて小さい値となった。この差の原因は、仮道管の横断面における大きさは5～10年輪ではほぼ安定に達するが長さはさらに10～15年輪あたりまで伸び続けるためだと考えられる。すなわち、横断面における細胞の寸法の安定する年輪数と、細胞の成熟に達する年輪数に多少のずれがあるためであろう。

次に晩材率についてみると、Table 2 に掲げたように試験体A及びCは11%以下、試験体Bは各

Table 2. Average annual ring width, average specific gravity, average number of cell per unit length and average percent of late wood of sample trees.

	Average annual ring width (mm)	Average specific gravity	Average number of cell per unit length	Average percent of late wood(%)
A 1	3.2	0.25	28.2	8.2
A 2	2.9	0.34	32.2	8.1
A 3	2.6	0.31	34.5	9.8
A 4	2.6	0.40	36.6	9.9
A 5	1.9	0.43	41.0	10.0
B 1	2.7	0.32	33.4	14.0
B 2	2.3	0.33	34.2	14.0
B 3	2.5	0.35	35.0	14.0
Ca	6.2	0.29	30.7	7.4
Cb	3.9	0.31	32.8	10.3

部位とも14.0%となった。

スギ材は一般に晩材率が小さく比重に対する影響は小さいと言われている。田島¹⁾ は早材の比重の値が年輪全体の比重の値に近く、かつ早材の比重の変動が年輪全体の比重の変動とよく一致していると述べている。又矢沢⁷⁾ らは通常材の容積密度数に対して早材容積密度数の大小が支配的な役割を果していると報告している。そこで、晩材率と比重との関係を調べたのが Table 3 である。

Table 3. Relationship between percent of late wood (x) and specific gravity (y).

	Linear Regression	Correlation Coefficient
A 1	$y = 0.00272x + 0.226$	$r = 0.246$
A 2	$y = 0.00173x + 0.320$	$r = 0.096$
A 3	$y = 0.00357x + 0.283$	$r = 0.166$
A 4	$y = 0.00173x + 0.389$	$r = 0.162$
A 5	$y = 0.00599x + 0.365$	$r = 0.360$
B 1	$y = 0.00394x + 0.272$	$r = 0.561$
B 2	$y = 0.00639x + 0.243$	$r = 0.622$
B 3	$y = 0.00721x + 0.253$	$r = 0.715$
Ca	$y = 0.00087x + 0.286$	$r = 0.080$
Cb	$y = -0.00012x + 0.311$	$r = -0.041$

相関係数 r は晩材率の大きな試験体 B では高い値を示したが、晩材率の小さい試験体 A 及び C では低い値となった。このことは、晩材率が10%以下では年輪全体の平均比重にはほとんど影響を与えないが、14%ぐらいになると、ある程度比重に影響を及ぼすものと考えられる。試験体 B の晩材率と比重の関係を Fig. 4 に示す。

比重が晩材率による影響が少ないとすれば早材部の比重に支配されると考えられるので、単位長さ当りの早材細胞数（各年輪内の放射方向の早材部の細胞数を早材幅で除した値）と比重との関係を調べたのが Table 4 である。

試験体 B 2 を除きかなり高い相関を示した。

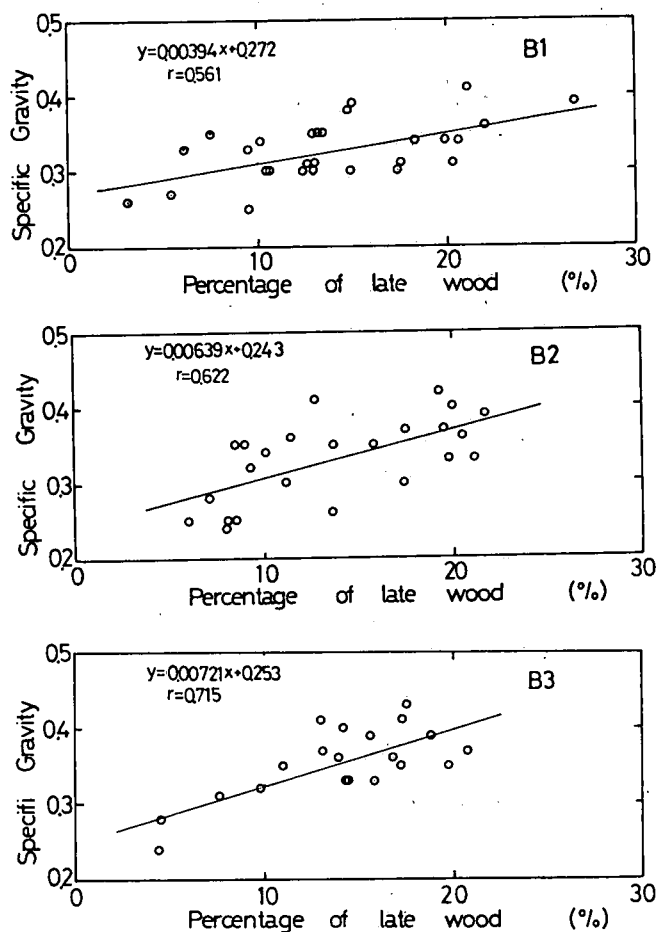


Fig. 4 Relationship between percent of late wood and specific gravity.

Table 4. Relationship between number of cell of early wood per unit length (x) and specific gravity (y).

	Linear Regression	Correlation Coefficient
A 1	$y = 0.0090x + 0.022$	$r = 0.614$
A 2	$y = 0.0077x + 0.115$	$r = 0.776$
A 3	$y = 0.0123x - 0.053$	$r = 0.666$
A 4	$y = 0.0031x + 0.304$	$r = 0.361$
A 5	$y = 0.0103x + 0.051$	$r = 0.740$
B 1	$y = 0.0051x + 0.187$	$r = 0.563$
B 2	$y = -0.0021x + 0.392$	$r = -0.106$
B 3	$y = 0.0049x + 0.209$	$r = 0.411$
Ca	$y = 0.0075x + 0.082$	$r = 0.780$
Cb	$y = 0.0148x - 0.101$	$r = 0.439$

試験体 A の単位長さ当りの早材細胞数と比重との関係を Fig. 5 に掲げた。

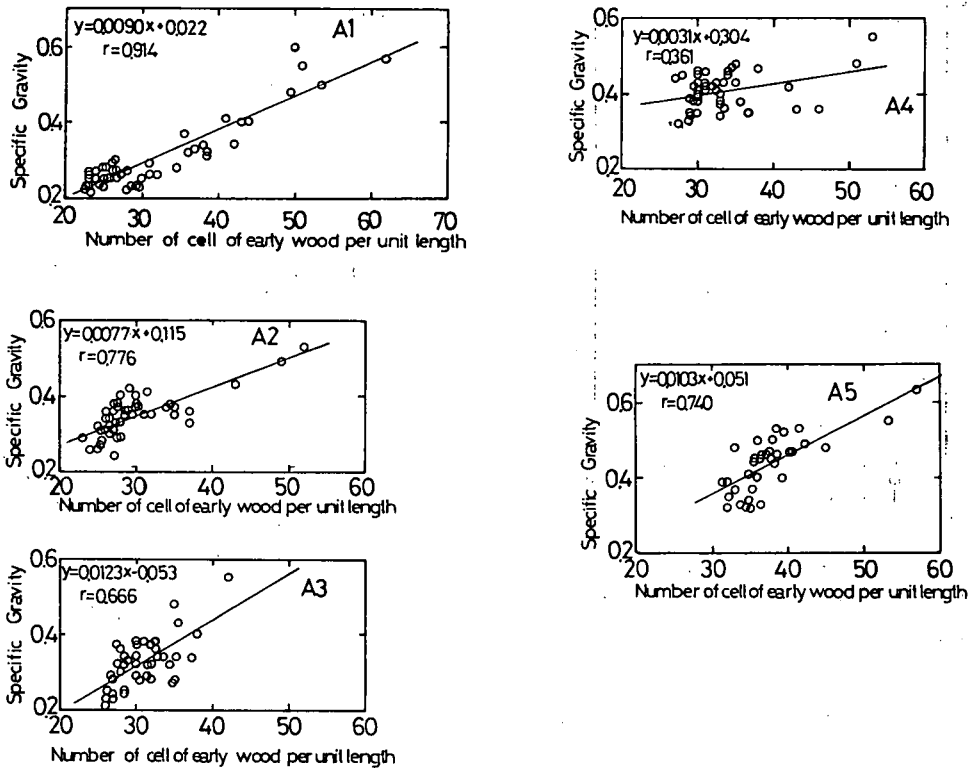


Fig. 5 Relationship between number of cell of early wood per unit length and specific gravity.

以上のことから、スギ材の比重は早材部の比重に支配されるものと考えられる。それでは、早材細胞数、晩材細胞数（晩材率）が、年輪全体の単位長さ当りの細胞数とどのような関連があるのかというと、晩材率が小さければ放射方向の細胞数は少なくなり、比重も小さくなる。晩材率が大きくなれば、細胞数も多くなり、比重は大きくなる。晩材幅が同じならば、年輪幅が狭い程単位長さ当りの細胞数は多くなり、比重も増大する。

したがって、晩材率の大小、あるいは年輪幅の広狭の比重に対する影響は単位長さ当りの細胞数によって表現できる。このことは、各試験体の単位長さ当りの細胞数と比重との関係を示した Fig. 6～Fig. 8 からわかる。

各試験体ともかなり高い相関を示している。

又、同一円盤の異なる半径方向の比重を比較したのが Fig. 8 である。Ca は肥大生長のよい半径、Cb は肥大生長の悪い半径であるが、この場合も Table 2 からわかるように肥大生長がよければ単位長さ当りの細胞数は少くなり比重も小さくなっている。

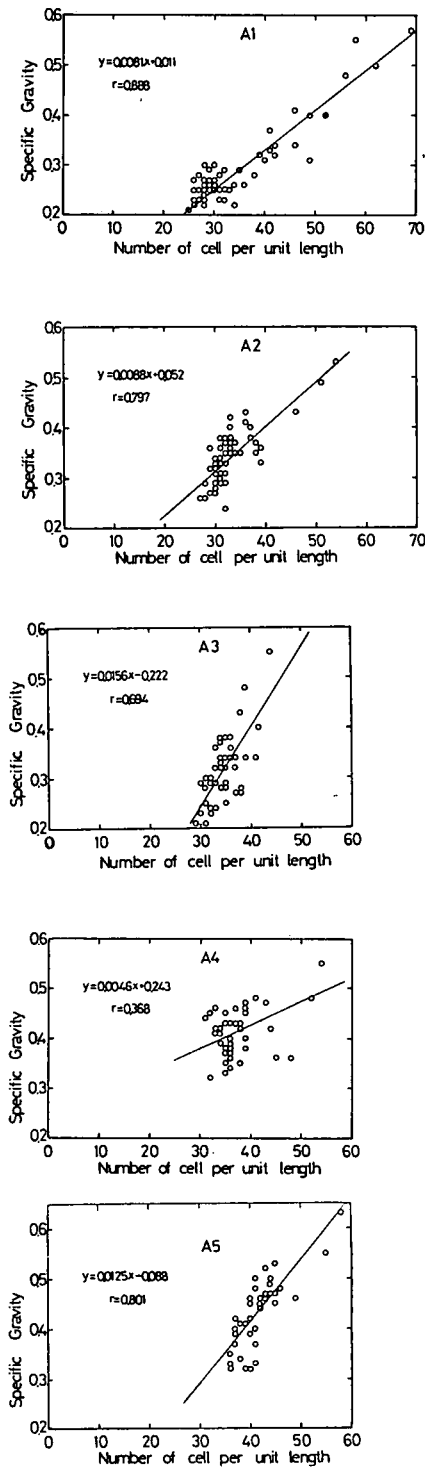


Fig. 6 Relationship between number of cell per unit length and specific gravity.

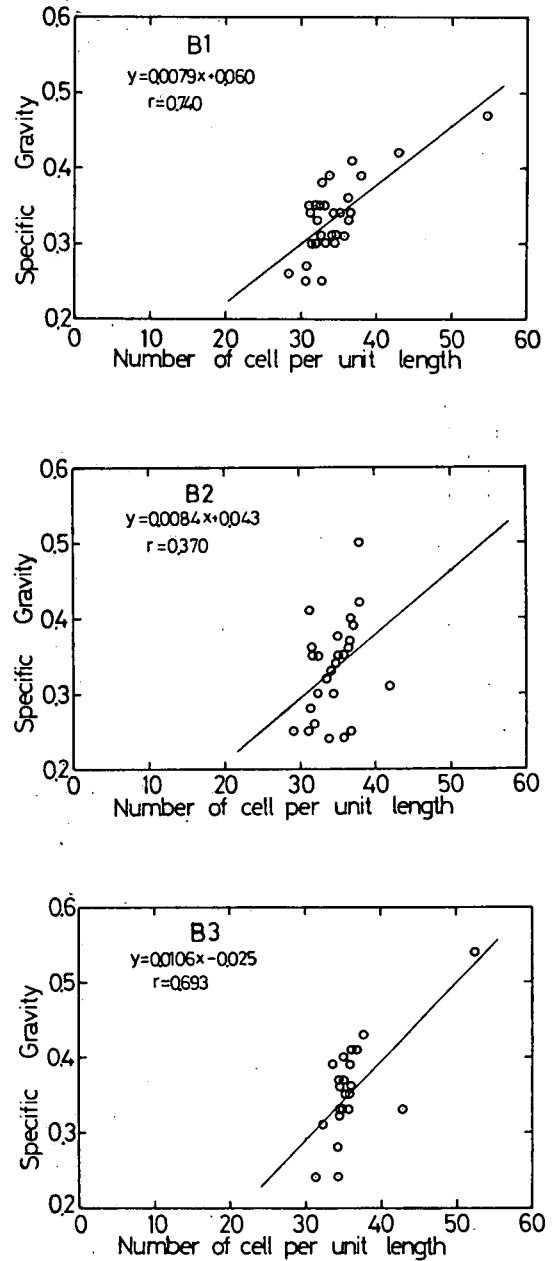


Fig. 7 Relationship between number of cell per unit length and specific gravity.

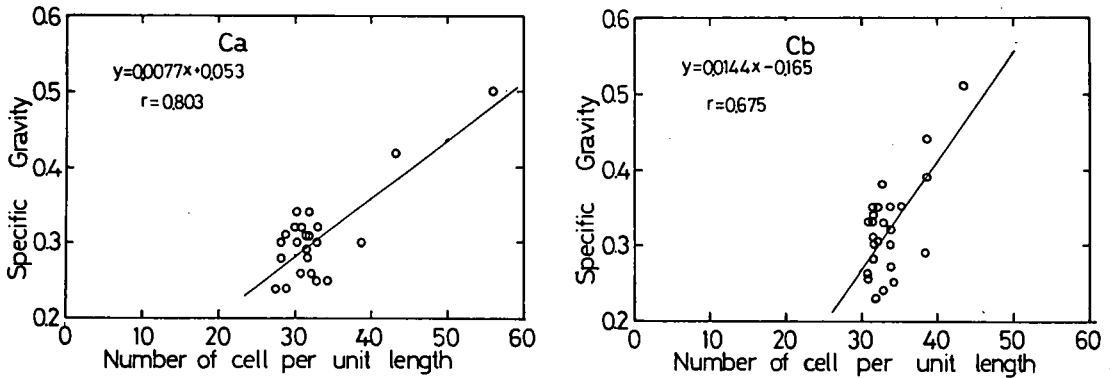


Fig. 8 Relationship between number of cell per unit length and specific gravity.

比重の樹高方向の変動 一般的には比重は根元から樹高とともに増大するという報告^{3), 10), 11)}が多い。本実験においても Table 2 に見られるように各部位の平均比重は樹高が増すにつれ増大する傾向が見られる。この理由として田島¹⁾は樹梢部の仮道管直径の縮少によるものではないかと報告している。仮道管の直径が樹高とともに縮少するとすれば、単位長さ当りの細胞数は多くなり、比重の増大につながるものと考えられる。そこで、各部位の平均比重と平均単位長さ当りの細胞数との関係を見たのが Fig. 9 である。

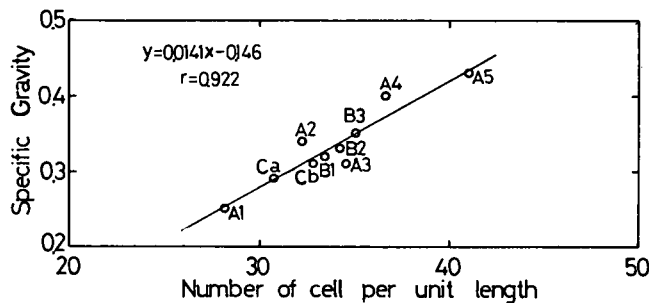


Fig. 9 Relationship between number of cell per unit length and specific gravity.

各点ともほぼ一直線上付近に存在することがわかる。ことことは、樹幹あるいは樹高が異なり、又生育条件が違っても、スギ材の比重は本実験の場合、単位長さ当りの細胞数の関数で表わすことができた。しかし、Table 2 及び Fig. 9 からは、単位長さ当りの細胞数が樹高とともに増えているのが、細胞直径の縮少によるものか、年輪幅の減少によるものなのかは、はっきりわからない。そこで、各部位の平均年輪幅と平均単位長さ当りの細胞数との関係を示したのが Fig. 10 である。

Fig. 10 からわかるように、この実験の範囲内では年輪幅 3 mm 付近を境にして、これ以下では単位長さ当りの細胞数は年輪幅が狭くなるとともに増加するが、3 mm 以上では年輪幅が広くなっても単位長さ当りの細胞数はほとんど変わらない。これを比重と年輪幅との関係で見たのが Fig. 11 である。

年輪幅と比重（容積密度数）との関係についての既往の研究報告を見ると、平井¹⁴⁾は大子産スギについて年輪幅と容積密度数とは一次的相関関係は認められないと報告した。田島¹⁾は唐沢山アカマツについて、年輪幅と比重との間には明らかな関係は認められないとしている。

加納¹⁰⁾は釜淵産スギで年輪幅と容積密度数の関係は、年輪幅が 3.5 mm 以下では年輪幅の増大

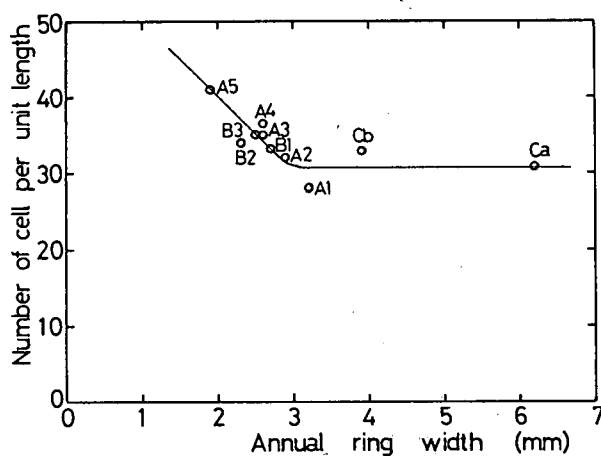


Fig. 10 Relationship between annual ring width and number of cell per unit length.

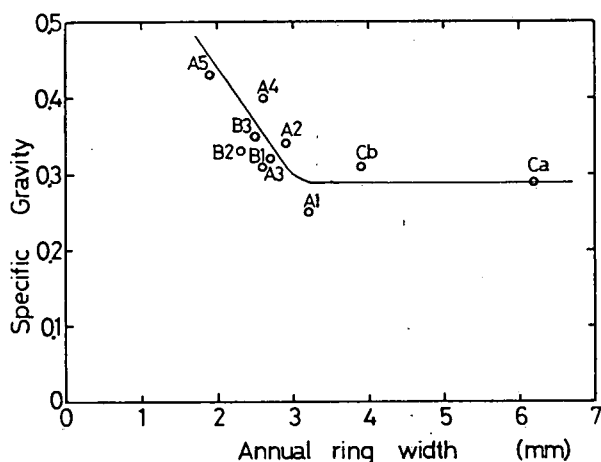


Fig. 11 Relationship between annual ring width and specific gravity.

に対して容積密度数はほぼ直線的に減少し、3.5 mm 以上では年輪幅の増大に対して容積密度数は増大すると述べている。又枝下材と樹冠材を別にくらべて、枝下材では、年輪幅の増大に対して容積密度数は直線的に低減しているが、年輪幅が約 3.5 mm より広くなると容積密度数はほぼ一定の範囲 ($R \approx 260 \sim 280 \text{ kg/m}^3$) を変化していると報告している。本実験の場合もこの報告に近い傾向を示した。R. TRENDLENBURG¹⁵⁾ によると Kiefer では年輪幅が 2 mm 位のときに比重が最大になり、その両側で比重は小さくなる例を報告しているが、本実験の範囲内では、そのような傾向は見い出せなかった。

スギ材は晩材幅が狭く、年輪幅が 3 mm 以上になると、晩材細胞数のその年輪の単位長さ当りの細胞数への影響はほとんどなくなるために比重も 3 mm 以上の年輪幅ではほぼ一定になるものと考えられる。本実験で比重が樹高とともに増大しているのは年輪幅の減少による単位長さ当りの細胞数の増大によるものと考えられる。

以上、スギ材の比重に関してヤナセスギの天然木と他品種の造林木とを比較して見てきたが、天然木も造林木と同じ要因で比重が決定されているようである。しかし、天然木の場合は幼令時に被

圧されることが多く同じ樹幹内でも生長にかなりの差異が見られ比重の安定する時期も部位によって異なっている。

ま と め

軟X線とマイクロデンストメータにより、ヤナセスギ天然木と高知県に一般に造林されているスギ材の比重を測定し年輪構造との関連を検討し本実験の範囲内で次のような結論を得た。

(1) ヤナセ天然スギ及び造林スギともに樹心部で比重が大きく外周へかけて5～10年輪までは減少しそれ以後はほぼ安定する。樹心部で比重が大きいのは直径の小さい細胞が多いためである。

(2) 単位長さ当りの細胞数と比重は一次の正の相関があり、年輪幅の広狭、晩材率の大小の比重に対する影響も単位長さ当りの細胞数によって表現できる。

(3) 比重が樹高とともに増大しているがこれは単位長さ当りの細胞数が多くなるためである。

(4) 比重(単位長さ当りの細胞数)は年輪幅約3mmを境にしてそれ以下の年輪幅では比重は年輪幅の減少とともに増大するが3mm以上の年輪幅では比重はほとんど一定である。

(5) ヤナセスギ天然木は幼令時に被圧されることが多く、この被圧された内心部をもつ樹幹の下方部位は被圧されていない上方部あるいは造林木に比べて比重が安定するまでに長い期間を要する。

文 献

- 1) 田島俊雄, 林木の生長と材質, 東京教育大学農学部紀要, No. 13, 65-210 (1967).
- 2) A. J. Panshin and C. D. Zeeuw, "Textbook of wood technology", 3rd ed., p. 251, McGraw-Hill Book Comp., New York (1970).
- 3) 酒田金治・佐伯浩, 智頭スギの材質(第1報) 容積密度数, 年輪巾および秋材率, 木材学会誌, 4 (6), 231-236 (1958).
- 4) 渡辺治人・堤寿一・小島敬吾, 未成熟材に関する研究(第1報) スギ樹幹についての実験, 木材学会誌, 9 (6), 225-230 (1963).
- 5) 太田貞明, スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学特性に関する基礎的研究, 九州大学農学部演習林報告, No. 45, 1-80 (1972).
- 6) 深沢和三, スギ樹幹内の材質変動に関する研究 一産地を異にする林木樹幹の未成熟材などの区分とその材質特徴一, 岐阜大学農学部研究報告, No. 25, 47-127 (1967).
- 7) 矢沢亀吉・深沢和三, 中部地方における人工植栽スギ材の生長状況と理学的性質との関係, 第5報 春・秋材の容積密度数, 繊維飽和点及び体積収縮率について, 北海道大学農学部演習林研究報告, 20 (1), 93-117 (1959).
- 8) 佐伯浩, 針葉樹材の年輪構造に関する研究(第5報) 樹心より外側への変化, 木材学会誌, 11 (5), 185-190 (1965).
- 9) 渡辺治人, 林木の未成熟材, 木材工業, 26 (5), 197-200 (1971).
- 10) 加納孟, スギの材質(第1報) 釜淵産スギ, 林業試験場研究報告, No. 125, 95-120 (1960).
- 11) 加納孟, 釜淵産スギ材の年輪幅と秋材率と容積密度数, 北海道大学農学部演習林研究報告, 20 (1), 139-151 (1959).
- 12) 林弘也・松本島・甲斐和男, 軟X線による木材の密度測定, 九州大学農学部演習林集報, No. 26, 127-139 (1976).
- 13) 太田貞明, 軟X線・デンストメーターによる木材密度の測定, 木材工業, 25 (3), 131-133 (1970).
- 14) 平井信二, 林木の重量生長に関する研究(第3報) 茨城県大子産スギ, 東京大学農学部演習林報告, No. 39, 119-224 (1951).
- 15) R. Trendelenburg, "Das Holz als Rohstoff", p. 398 (1955).

(昭和52年6月13日受理)

(昭和52年10月20日分冊発行)

