

ヒノキおよびスギの材質におよぼす植栽密度の影響*

伊東 隆夫**・山口 和穂**・黒田 宏之**
島地 謙**・角谷 和男***

The Influence of Planting Density on the Wood Quality of Sugi and Hinoki*

Takao ITOH**, Kazuho YAMAGUCHI**, Hiroyuki KURODA**,
Ken SHIMAJI** and Kazuo SUMIYA***

は じ め に

再生産可能な資源である木材の材質は樹木の遺伝的要因・環境条件および保育技術によって大きく支配されるが、人間が直接樹木に働きかけ得るのは保育技術を通してである。本研究は樹幹各部の年輪形成の相違およびその結果として現われる材質の相違と樹冠の構造との関係を明らかにすることにより、単なる経験に基づき樹幹の外観的形態のみを指標としてきた従来の保育施業から脱却して、木材の利用目的に適合した形態的・物理的・化学的性質をもった優良材質生産のための保育技術に対する科学技術としての基礎的理論の確立を目的として行った。実用上の保育技術としては植栽密度・枝打ち・間伐などが対象となるが本研究では、植栽密度の材質に及ぼす影響を重点的に調査研究した。

1本の樹木をとりあげた場合、形成層細胞には幼年期と成年期とがあり、幼年期の形成層の活動によってできた木部は未成熟材と呼ばれ成年期の形成層の活動によってできた木部は成熟材と呼ばれる。そこで植栽密度を変えれば樹木相互の競争の程度の違いの結果として外観的形態の変化のみならず木材内では未成熟材部の質の変化が現われることが期待される。事実、幼齡木のときに林内で被圧されて、初期の肥大生長が抑制され、極めて狭い年輪幅からなるエゾマツとトドマツについて仮道管長の変動を調べた結果¹⁾によれば、仮道管の平均長さが毎年延びる期間、すなわち未成熟材を形成する期間が著しく延長されている。これは、被圧木という特殊な例についてであり、植栽密度の材質に及ぼす影響を本格的に調査研究した例は、植栽密度試験が開始されたのが比較的近年のことでありかつ植栽密度試験地はさほど多くないという背景もあって、皆無である。幸いにして京都大学農学部附属演習林の厚意により、白浜試験地に育生された17年生ヒノキ林の植栽密度試験地および東京大学農学部附属演習林の厚意により、千葉県演習林に育生された41年生のスギ植栽密度試験地で調査研究できる機会を得、かつ文部省科学研究費補助金の交付を受けて研究できたので、ここにとりまとめて成果を報告する。

1. ヒノキ植栽密度試験

4段階の植栽密度試験を行なっている京都大学農学部附属演習林白浜試験地の17年生のヒノキ林を対象と

* 第28, 29回日本木材学会大会(1978, 4, 名古屋; 1979, 7 札幌)において発表

** 木材生物部門 (Research Section of Wood Biology)

*** 木材物理部門 (Research Section of Wood Physics)

して昭和52年8月10日に調査した。

2,500本/ha…………… A 区と呼ぶ。

5,000本/ha…………… B 区 //

10,000本/ha…………… C 区 //

40,000本/ha…………… D 区 //

試料木を選定するにあたり、あらかじめ各密度段階において樹高・枝下高・胸高直径・枝下直径について毎木調査を行なった。標準的と思われる3個体ずつを各密度段階から選定し、合計12本を試料木として根元から伐倒した。各試料木について、幹重量・枝重量・葉重量を測定後、胸高部位・枝下部位・樹冠中央部位から厚み 10 cm の円盤を切り取り研究室に持ち帰った。10 cm の円盤を3分して1つは繊維長測定用、1つはX線解析用、いま1つは動的曲げ弾性係数と容積密度数測定用とした。

繊維長の測定

繊維長測定用円盤(厚み 10 mm) から山側半径に沿って髄を含む幅 2 cm の試片を作り各年輪からマッチ棒大の早材部の小片を安全カミソリで切り取り、塩素酸カリウムと硝酸で木材を解繊して仮道管長測定用のプレパラートを作製した。各年輪について最低100本の仮道管長を測定して平均値を求めた。

晩材率の測定

上記繊維長測定用円板について山側半径に沿った各年輪の年輪幅および Mork の定義による晩材幅を測定し、各区からの3個体を平均して晩材率を求めた。

ミセル傾角および結晶化度の測定

気乾状態におけるラウエX線写真により、002面のアーキ状像両端の中心に対して張る角度から、2～3年輪ごとのミセル傾角を算出し、002面の最大散乱強度位置を結ぶ線に沿う散乱角(2θ)約 $5\sim 30^\circ$ にわたる回折曲線をデンストメータより得て、結晶化度を算出した。

動的曲げ弾性係数および容積密度数の測定

接線方向には1 mm、半径方向には各年輪幅、長さ方向には50 mmの大きさの試片を安全カミソリで切り出し振動リード法によって動的曲げ弾性係数を測定した。さらに生材の試片の体積を測定後、絶乾重量を測定し容積密度数を算出した。

1-1 毎木調査結果

植栽密度の異なるA～D区について胸高直径の平均を求めると表1のとおりであり植栽密度が高くなるに従って明らかに胸高直径が減少する傾向が見られた。また樹高も植栽密度の増加に伴って小さくなる傾向が見られた。

1-2 試料木の性状

各植栽密度区から得られた標準的な試料木の樹高・枝下高・胸高径・枝下径・樹冠率・幹重量・枝重量・葉重量は表2のとおりであった。すなわち植栽密度が高いほど樹高ならびに胸高径の平均値が小さくなる傾向は毎木調査結果と同じであり、さらに樹冠率も植栽密度の増加とともに明らかに小さくなる傾向を示した。

1-3 仮道管長の変動

仮道管長は各区において3本の平均をとり、1つは髄からの年輪数と対比させ、いま1つは髄からの距離と対比させた。仮道管長を髄からの年輪数でプロットすれば図1のごとくになった。すなわち第6年輪あたりまではA+B*, C, D各区ともにほぼ同一の直線上にのり、同一の増加傾向を示した。さらにA+B区で

* A, B 両区については樹冠率に差がなく、且つ仮道管長の変動のパターンにも差がなかったので両者の平均(A+B)で示した。

伊東・ほか：材質におよぼす植栽密度の影響

表 1. 白浜ヒノキ植栽密度試験地の毎木調査結果

植栽密度区	小 区 画	平均胸高径 (cm)	総 平 均 (cm)	平 均 樹 高 (m)	総 平 均 (m)
A	a	5.7	10.7	—	9.5
	b	9.3		8.7	
	c	12.6		10.0	
	d	13.0		9.9	
B	a	5.1	7.5	5.8	6.8
	b	7.9		6.8	
	c	8.4		6.7	
	d	8.5		7.7	
C	a	6.0	5.7	6.6	6.5
	b	5.4		6.0	
	c	4.9		6.2	
	d	6.2		7.3	
D	a	3.7	3.8	—	—
	b	3.6		—	
	c	3.2		—	
	d	4.7		—	

表 2. 白浜ヒノキ植栽密度試験地試料木の測定結果

植 栽 密度区	試料木 番 号	樹 高 H(m)	枝下高 H _B (m)	胸高径 (cm)	枝下径 (cm)	H _B /H	樹冠率	幹重量 (g)	枝重量 (g)	葉重量 (g)
A	1	10.13	3.68	11.3	10.2	0.36	0.64	51.57	8.75	14.20
	2	10.65	3.97	13.6	11.0	0.37	0.63	67.29	13.80	20.25
	3	10.79	2.35	15.2	14.6	0.22	0.78	—	—	—
B	4	8.10	3.05	8.6	7.3	0.38	0.62	24.56	3.77	6.58
	5	7.78	2.65	8.1	7.2	0.34	0.66	21.45	3.00	6.55
	6	7.42	1.79	8.4	8.2	0.24	0.76	—	—	—
C	7	8.20	4.50	6.2	4.3	0.55	0.45	14.11	0.93	3.42
	8	7.63	3.62	5.9	4.7	0.47	0.53	12.81	1.29	3.41
	9	6.63	2.55	6.2	5.0	0.38	0.62	—	—	—
D	10	5.24	2.35	3.7	3.1	0.45	0.55	3.69	0.41	1.09
	11	6.78	4.40	4.4	2.9	0.65	0.35	6.09	0.32	1.29
	12	7.29	4.70	4.3	3.0	0.64	0.36	6.45	0.43	1.19

はいずれも胸高部位の最外年輪（第14年輪）まで同じ傾向で増加し続けた。C 区では第10年輪、D 区では第8年輪までは同じ傾向で増加したがそれ以後は仮道管長の増加率が低下した。

図2に仮道管長を髄からの距離によってプロットしたものを示した。すなわち、A+B 区では仮道管長は髄からの距離とともに破線で示した直線上を増加しつづけ髄から 4 cm ばかり離れても一定化の傾向がなかった。一方 C 区では髄から 2 cm 離れたあたりから仮道管長が一定値を示し始めた。また D 区では髄から

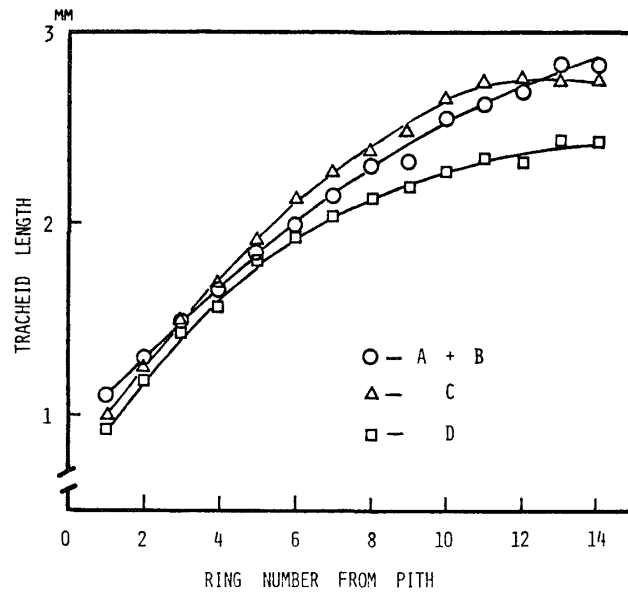


図1. 植栽密度の違いによる胸高部位における仮道管の平均長の髄からの年輪数による変動 (白浜, 17年生ヒノキ)

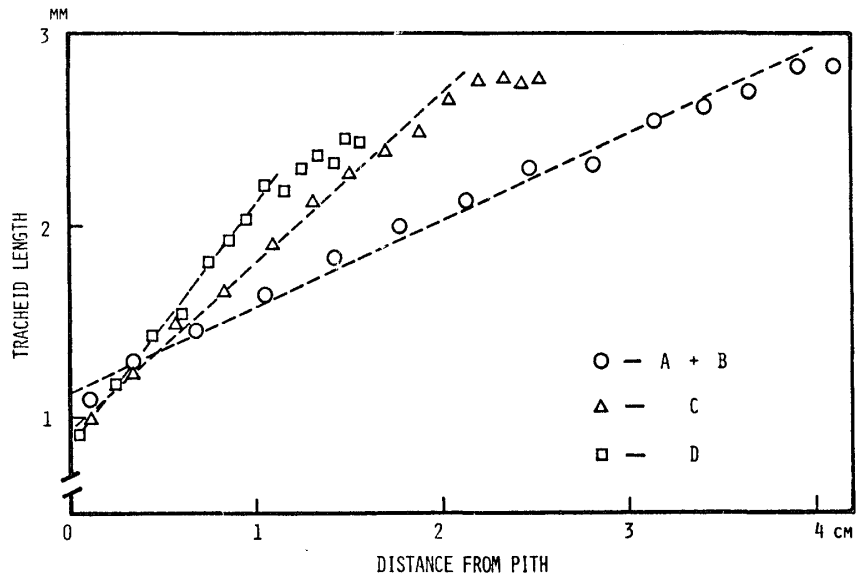


図2. 植栽密度の違いによる胸高部位における仮道管の平均長の髄からの距離による変動 (白浜, 17年生ヒノキ)

1 cm 離れたあたりから仮道管長の一定化傾向が見られた。

1-4 年輪幅および晩材率

年輪幅はA区で最も広く、B区→C区→D区と植栽密度が高くなるに従って狭くなる傾向が見られた(図3)。最大ピーク位置はD区では髄から2～3年輪目であるがB、C区では4～5年輪目となり髄から遠ざかる傾向にあった。また年輪幅の変動はA区で最も大きくB区、C区、D区の順に小さくなることが明白であった。さらにD区では7～8年輪目で年輪幅の一定化が見られたがC区で一定化に入るのは11年輪

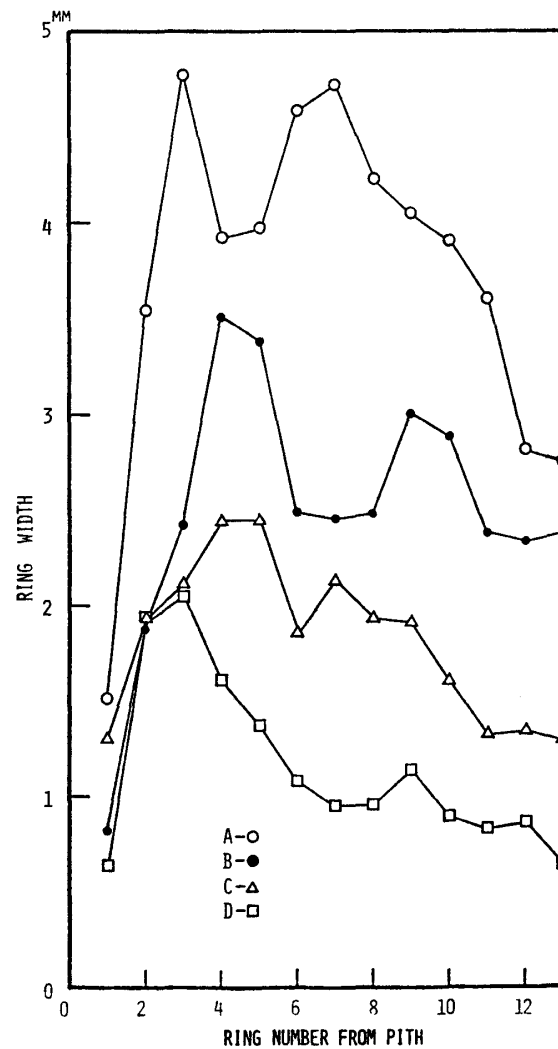


図3. 植栽密度の違いによる胸高部位における年輪幅の幹径方向の変動（白浜, 17年生ヒノキ）

目にまで遅れ, B区, A区では変動が大きく, 最終年輪においても一定化に入っているとは言えなかった。

一方晩材率は植栽密度の低いA, B区では小さかったがC区, D区と植栽密度が高くなるに従って増大した(図4)。またA, B区では年輪数の増加に伴って晩材率の値に大きな変動は見られずA, B両区では2～5%の範囲内にあったが, C, D区では年輪数の増加とともに晩材率が大きくなり, その上変動が大きく, 特にD区での変動は著しかった。

1-5 容積密度数および動的曲げ弾性係数

容積密度数の変化傾向は図5に示すごとくであり, 仮道管長について植栽密度の影響が顕著になる8年輪目以後で容積密度の値を比較すれば, A+B区よりもC区, C区よりもD区で大きく, 植栽密度が高いほど容積密度数が大きくなった。すなわちA+B区では0.4前後, C区では0.42, D区では0.47近辺であった。

動的曲げ弾性係数はA+B区およびC区では8年輪目までは徐々に増大したが8年輪以後ではほぼ一定値を示すに至った(図6)。一方D区では漸増したものの8年輪を過ぎても一定値に達しなかったがA+B

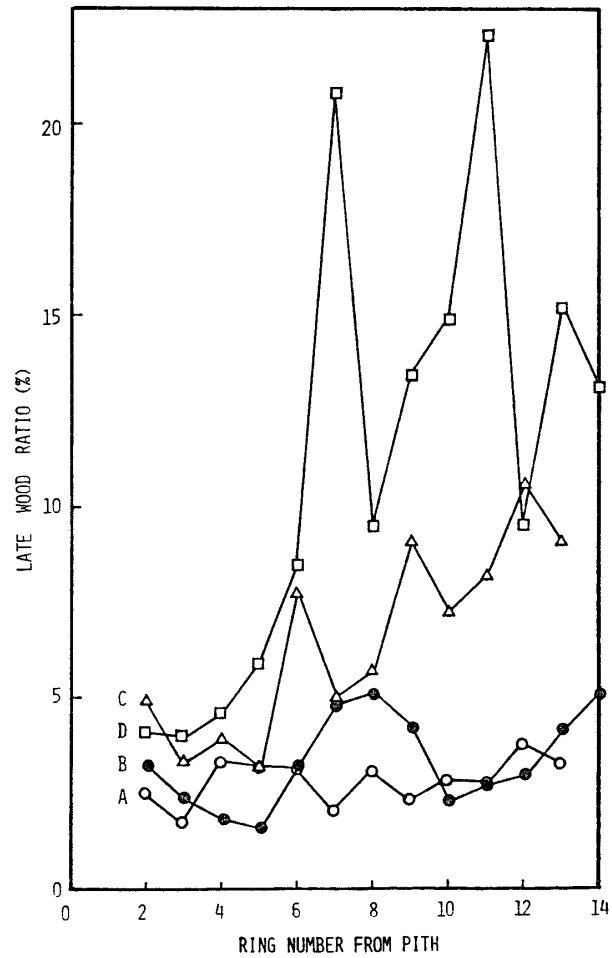


図4. 植栽密度の違いによる胸高部位における晩材率の幹径方向の変動 (白浜, 17年生ヒノキ)

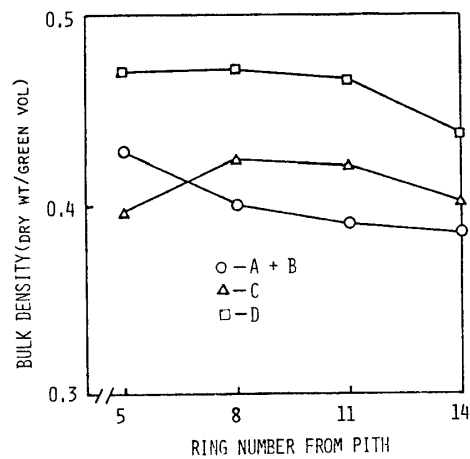


図5. 植栽密度の違いによる胸高部位における容積密度数の幹径方向の変動 (白浜, 17年生ヒノキ)

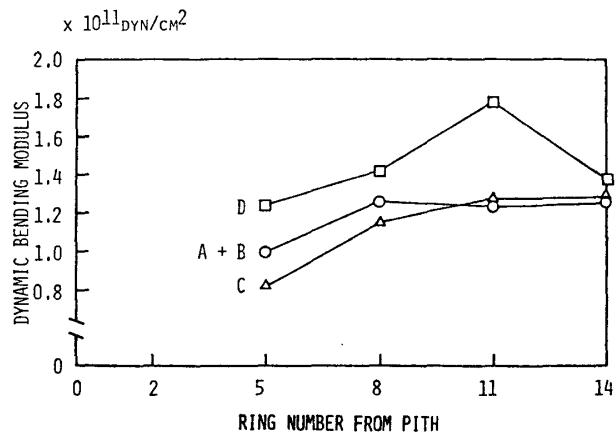


図6. 植栽密度の違いによる胸高部位における動的曲げ弾性係数の幹径方向の変動（白浜，17年生ヒノキ）

区やC区に比べて全年輪数に互って高い値となった。

1-6 ミセル傾角および結晶化度

ミセル傾角はA区，B区，C区とも随近くでは大きく，8年輪目まで減少し，以後はほぼ一定と見なせる。D区では5年輪目ですでに一定値に達するようであった（図7）。結晶化度は5年輪目でほぼ一定値に達したものと見なしてよい（図8）。

2. スギ植栽密度試験

3段階の植栽密度試験を行なっている東京大学附属千葉県演習林で昭和12年に植栽された41年生のスギ林を対象に昭和53年10月4日に調査した。3段階のうち中間の密度区は時間の都合で材質の調査から除外した。

10,000本/ha……………1区と呼ぶ

2,500本/ha……………2区 //

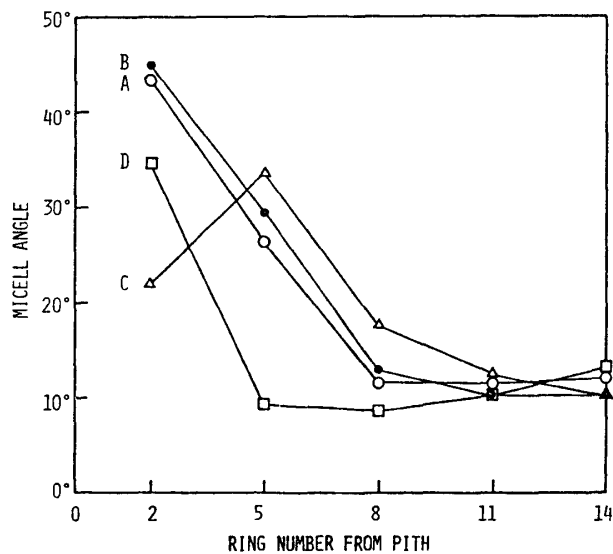


図7. 植栽密度の違いによる胸高部位におけるミセル傾角の幹径方向の変動（白浜，17年生ヒノキ）

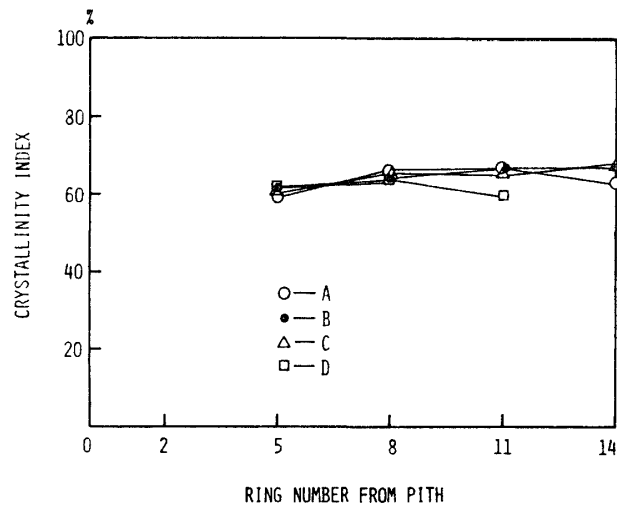


図8. 植栽密度の違いによる胸高部位における結晶化度の幹径方向の変動（白浜、17年生ヒノキ）

なお、10,000本/ha および2,500本/ha は植栽当時の密度を示しており、その後年月の経過とともに林木の枯損その他の原因により自然に植栽密度が低下し、調査時点ではそれぞれ2,740本および1,280本/ha という植栽密度であった。

各植栽密度区から平均的と思われる3個体ずつを選木し、樹高・枝下高・樹冠中央高・胸高径・枝下径・樹冠中央径を測定した。各試料木について、胸高部位・枝下部位・樹冠中央部位から円盤を採取し、繊維長測定用・晩材率測定用・動的曲げ弾性係数測定用の試片を作製した。

繊維長の測定

白浜の場合と同様の方法を用いた。

晩材率の測定

胸高部位・枝下部位・樹冠中央部位から厚み5mmの木口円盤を採取し、乾燥器中で60°Cで数日乾燥した後、ソフテックス（日本ソフテックス社製）で透過像をフィルム上に写し、得られたネガフィルムからマイクロデンスitomーター（ジョイスレーベル社製 3CS）によって、濃度を連続記録させた。Mork の定義に相当する位置と濃度記録とをあらかじめ対比させ、一定の濃度値を早晩材の境界とした（図9）。

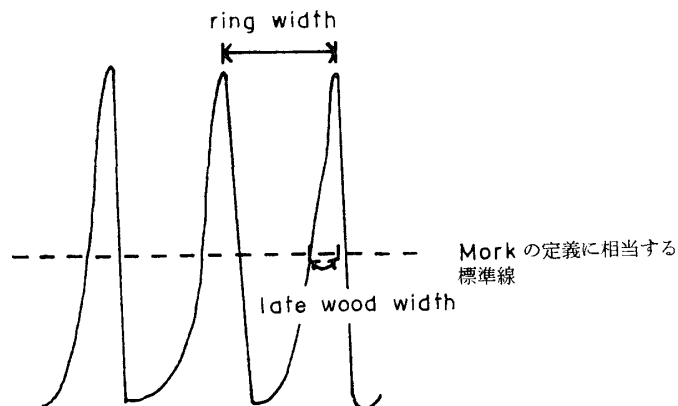


図9. デンシトメーターによる記録図からの年輪幅と晩材幅の決め方の説明図

なおデンストメーターの操作条件は以下のとおりであった。

Differential Control	5
Forward Speed	3.5
Pen Damping	9
Object Lens	×10
Arm Ratio	× 5
Wedge	2.0 D

ミセル傾角および結晶化度の測定

白浜の場合と同じ。

容積密度数および動的曲げ弾性係数の測定

白浜の場合と同じ。

2-1 試料木の性状

2,500本/ha, 4,400本/ha, 10,000本/ha の3つの植栽区からの合計9本の試料木の樹高・枝下高・樹冠中央高・胸高径・枝下径・樹冠中央径の測定結果は表3に示すとおりである。表から明らかなように植栽密度が高くなるに従って樹高が低くなるが枝下高は逆に高くなる傾向が見られた。ちなみに、2,500本/ha区と10,000本/ha区についての平均的な大きさを示せば図10のとおりになる。

2-2 仮道管長の変動

胸高部位

胸高部位における仮道管長の変異を見ると図11に示すごとくであり、樹心から9年輪目までは変化が見られなかったが9年輪を過ぎると植栽密度の違いが現われ2区(2,500本/ha)では12年輪目付近に一つの変化点があるにしてもそれ以後は最外年輪(第37年輪)まで同じ傾向で増加し続け、最終年輪においても一定の繊維長には達していなかった。一方1区(10,000本/ha)では8~15年輪目くらいまでの移行期を経て、それ以後は一定の繊維長となった。

枝下部位

植栽密度の高い1区では8~9年輪目までは仮道管長が樹令の増加とともに一定の傾向で増加し続けたが

表3. 千葉スギ植栽密度試験地の試料木の測定結果

植栽密度	試料木番 号	樹高 (m)	枝下高 (m)	樹冠中央高 (m)	胸高径 (cm)	枝下径 (cm)	樹冠中央径 (cm)
2500本/ha	1	16.50	7.50	12.00	27.3	22.3	14.6
	2	17.10	7.90	12.30	26.1	19.1	11.8
	3	17.23	8.00	12.60	24.7	18.3	11.1
	平均	16.90	7.80	12.30	26.0	19.9	12.5
4400本/ha	4	17.20	10.40	13.80	21.0	13.4	8.1
	5	14.70	9.00	11.80	16.6	11.1	7.0
	6	15.25	11.00	13.10	17.0	9.9	6.5
	平均	15.72	10.13	12.90	18.2	11.5	7.0
10000本/ha	7	13.60	11.50	12.95	13.2	6.8	4.2
	8	11.50	6.20	8.85	13.9	10.9	5.4
	9	15.42	12.33	13.90	13.8	7.6	3.3
	平均	13.50	10.01	11.90	13.6	8.4	4.3

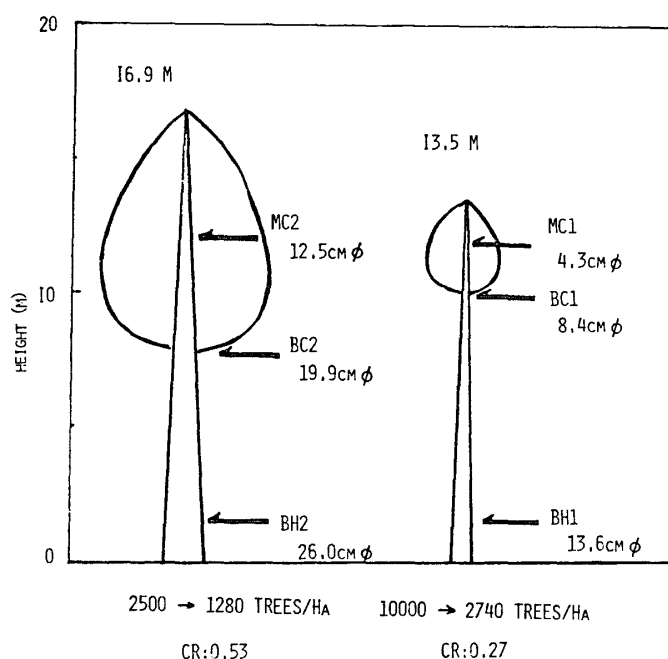


図10. 千葉（41年生スギ）の2,500本/ha、10,000本/haそれぞれの植栽密度木の平均的な外形

MC：樹冠中央部、BC：枝下部、BH：胸高部、CR：樹冠率

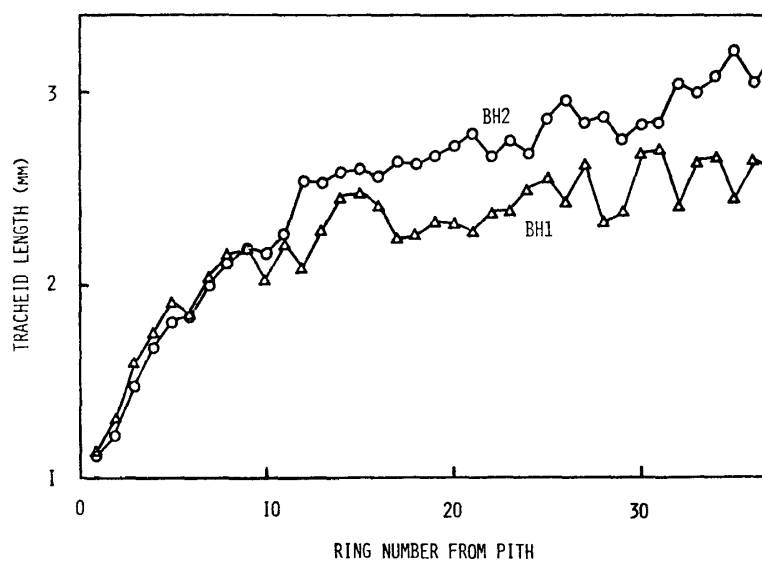


図11. 植栽密度の違いによる胸高部位における仮道管長の幹径方向の変動（千葉，41年生スギ）

10年輪以後は仮道管長の増加率が低下し、10～15年輪までの移行期を経てほぼ一定の値に達した（図12）。

樹冠中央部位

6～7年輪目までは1区・2区ともに同じ増加率を示したが7年輪以後は1区では明らかに増加率が低下したもののその後の傾向は年輪数が少ないために明白ではなかった（図13）。一方2区では7年輪を過ぎても最終年輪に至るまではほぼ一定の増加率で仮道管長が増加した。

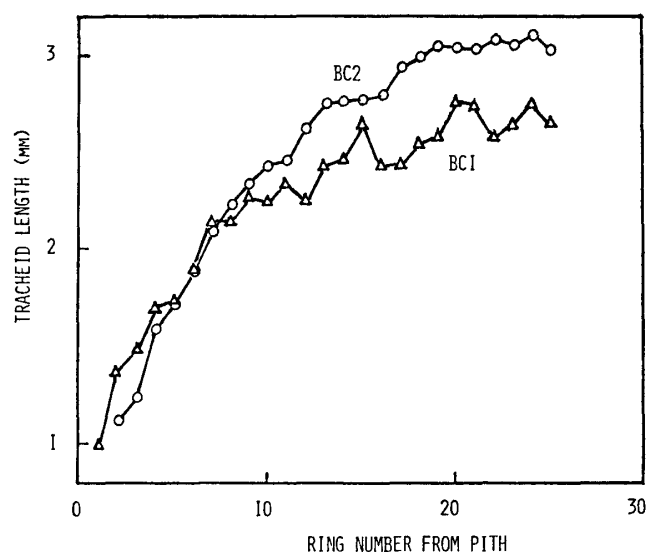


図12. 植栽密度の違いによる枝下部位における仮道管長の幹径方向の変動（千葉，41年生スギ）

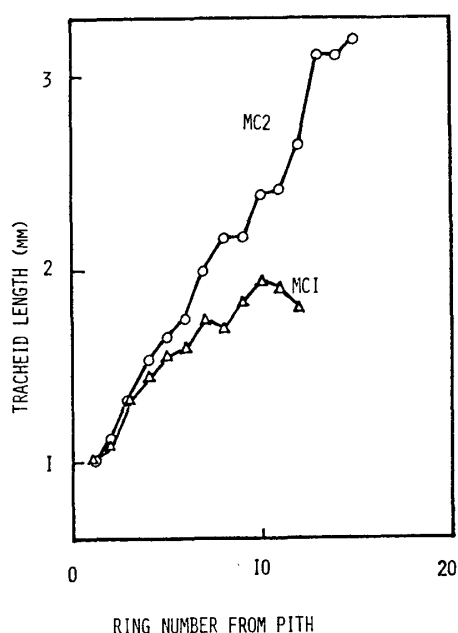


図13. 植栽密度の違いによる樹冠中央部位における仮道管長の幹径方向の変動（千葉，41年生スギ）

2-3 年輪幅および晩材率

樹幹胸高部位における肥大生長の経過を樹心からの距離と年輪数との関係としてプロットすることによって解析した結果（図14），樹心から5年目までは1・2両区の間で差異は全く見られず，5年を過ぎると1区では明らかに肥大生長が減じているのがわかるが2区では20年くらいまでは肥大化傾向に変化なく一定の割合で肥大しているが20年を過ぎると肥大化速度の減退が見られた。

次に晩材率について見ると，胸高部位では植栽密度の低い2区の晩材率は樹心近辺で40%と一時高い部分が現われたがその後は低下し8～9年輪以後は多少の変動はあるにしても20%以下でほぼ一定の値となった

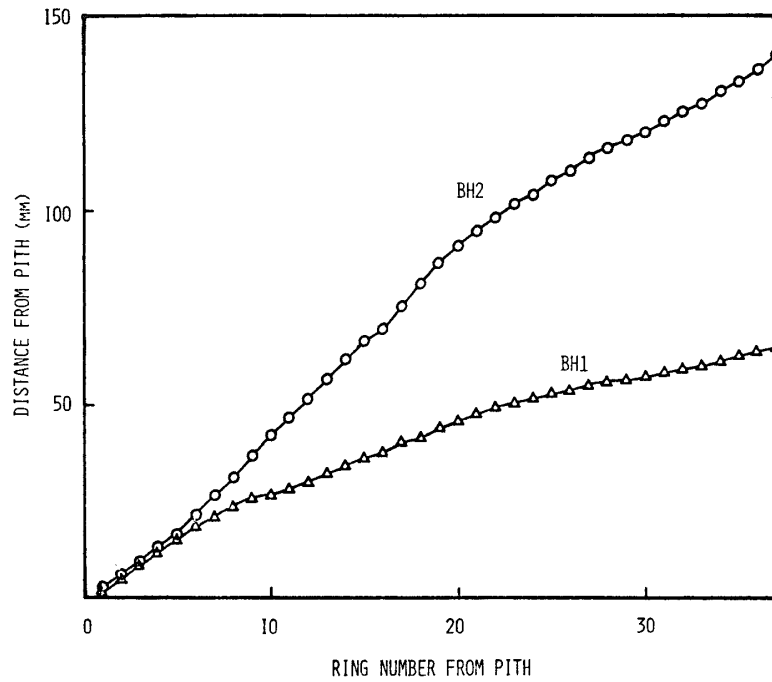


図14. 植栽密度の違いによる胸高部位における肥大生長の経年変化 (千葉, 41年生スギ)

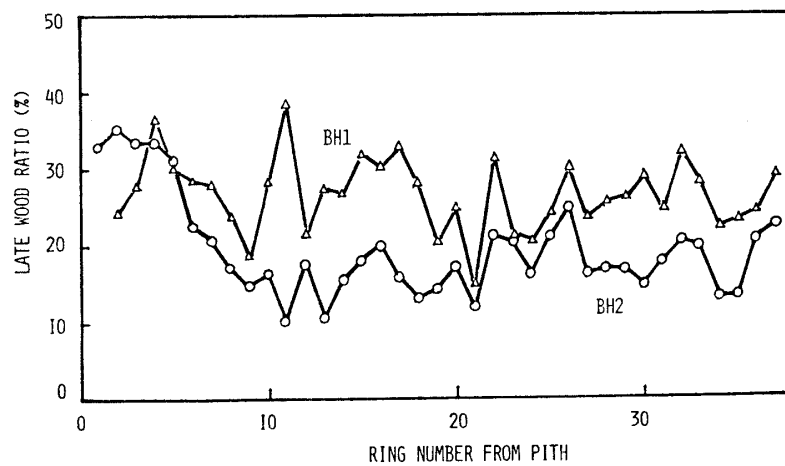


図15. 植栽密度の違いによる胸高部位における晩材率の幹径方向の変動 (千葉, 41年生スギ)

(図15)。一方、植栽密度の高い1区では全年輪を通じて晩材率のかなりの変動が見られたが2区よりも全般に高い値であった。

枝下部位について見ると植栽密度の低い2区の晩材率は9年輪までは比較的高い値であったが9年輪以後は10%前後でほぼ一定の値であった(図16)。

一方、植栽密度の高い1区では髓近辺でかなり高い晩材率値を示したが7年輪を過ぎたあたりから、かなりの変動を示しつつもほぼ一定の値を示した。

樹冠中央部位ではやはり植栽密度の低い2区で樹心近くにおいて高い晩材率値を示したが7年輪を過ぎた

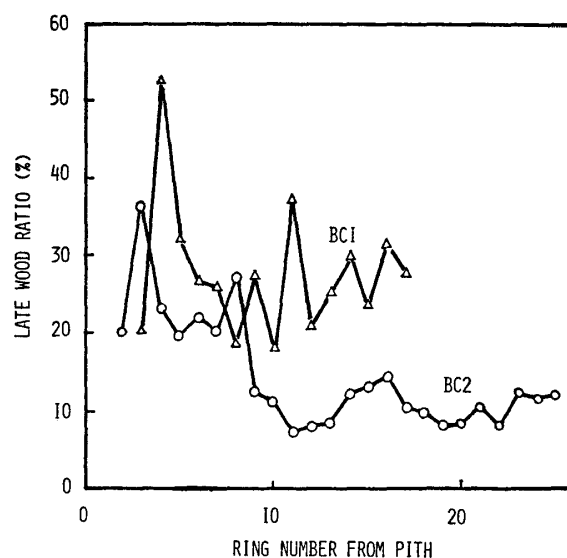


図16. 植栽密度の違いによる枝下部位における晩材率の幹径方向の変動（千葉，41年生スギ）

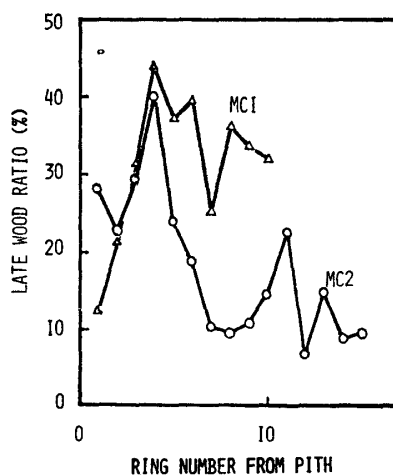


図17. 植栽密度の違いによる樹冠中央部位における晩材率の幹径方向の変動（千葉，41年生スギ）

あたりから約10%とほぼ一定の晩材率値を示すに至った（図17）。一方植栽密度の高い1区では樹心近くで高い晩材率値を示したがその後の傾向は年輪数も少ないことから明白ではなかった。

2-4 容積密度数および動的曲げ弾性係数

容積密度数の変化傾向を見ると2区では樹心近辺と樹幹外層部では値は多少高かったが、中間部ではほぼ一定の値であった（図18）。一方、1区では樹心近辺と樹幹外層部で値は小さく、中間部で比較的高い値であったが、全体的には1区は2区よりも容積密度数は高い値を示した。

動的曲げ弾性係数と年輪数との関係を見ると図19のごとくであった。すなわち1区では15年輪を過ぎても動的曲げ弾性係数は増加し続けたが、2区では15年輪目までは動的曲げ弾性係数は漸増するもののそれ以後はほぼ一定値を示した。

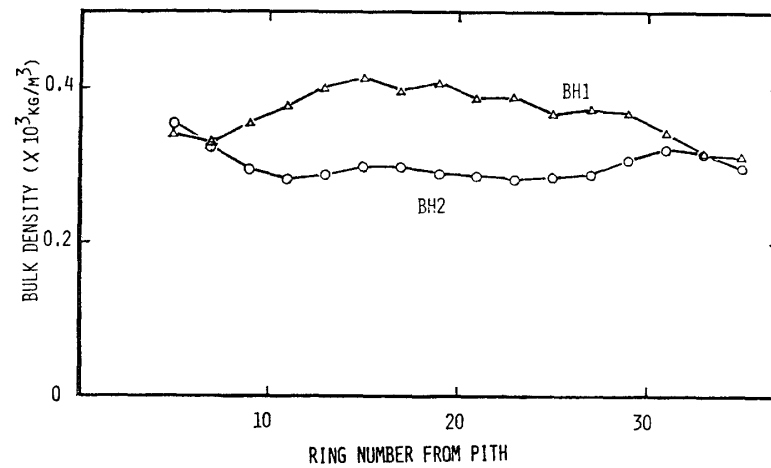


図18. 植栽密度の違いによる胸高部位における容積密度数の幹径方向の変動 (千葉, 41年生スギ)

2-5 ミセル傾角および結晶化度

胸高部位における第 5, 13, 21, 29 年輪におけるミセル傾角および結晶化度を見ると (表 4), 第 5 年輪目は 1, 2 区ともミセル傾角は大きく, 結晶化度も低いが, その他の年輪では両者ともほぼ一定値に達していた。

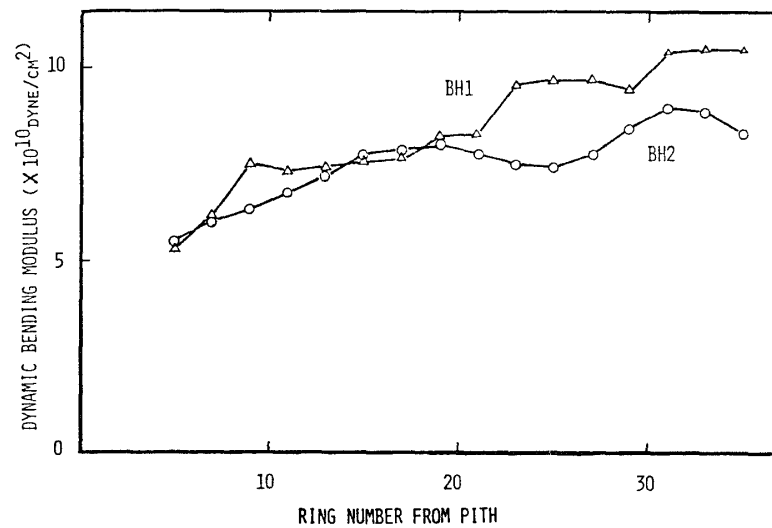


図19. 植栽密度の違いによる胸高部位における動的曲げ弾性係数の幹径方向の変動 (千葉, 41年生スギ)

表 4. 植栽密度の違いによる胸高部位におけるミセル傾角および結晶化度

植 栽 密 度		年 輪 番 号			
		5	13	21	29
BH 1	ミセル傾角 (度)	44	29	27	27
	結 晶 化 度 (%)	52	65	64	68
BH 2	ミセル傾角 (度)	46	33	29	27
	結 晶 化 度 (%)	53	66	61	61

3. 総 括

造林木に及ぼす植栽密度の影響はきわめて重要であり、経験的な知識としてわが国各地の林業地において利用されてきているが、これまで優勢木と被圧木の材質について比較したものや立木密度が幹形や枝節性に及ぼす影響については若干まとまったものがあるが^{1,2)} どの程度の植栽密度がどれ程木材内部の材質に影響を及ぼすのかについての科学的な調査研究結果に基づいた裏づけは皆無である。その理由の1つには植栽密度試験が行われ始めたのが比較的最近のことであり、大半が戦後に実施されておりまだ余り年月が経過していなく実用的な大きさにまで達していないことが多いことであり、いま1つには大学演習林・営林署・民間企業において植栽密度試験を行っているところがきわめて限られていることに帰因するものと思われる。

今回調査対象となった京都大学農学部附属白浜試験地（以下白浜と略記）および東京大学附属千葉県演習林（以下千葉と略記）のいずれにおいても、植栽密度が高くなるに従って外観的形状において樹高ならびに胸高直径ともに小さくなりかつ枝の枯れ上がりが大きく樹冠率が小さくなる傾向が明白であった。

このような外観上の変化に伴って木材内部の各種材質指標因子もかなり変化を受けることが当然予想される。その第1は仮道管長の変異である。樹木の生育状態と仮道管長とに関する数少ない研究結果の中で塩倉と渡辺（1972, 1974）^{3,4)} の報告が参考になるのではないかと考えられる。すなわち同氏らはエゾマツの被圧木ないしはスギの劣勢木について仮道管の平均長さが半径方向において示す変動を調べており、その結果では仮道管の平均長さが毎年延びる期間は延長され仮道管長が安定するには80年ばかりかかるが被圧から解放されて始めから普通の肥大生長をしている幹の上部では15～20年あたりで仮道管長が安定化するとしている。

また、樹齢100年余りのアカマツの仮道管長について調べた兼次（1934）⁵⁾ によれば、被圧木は優勢木に比べて比較的仮道管長が短いところで一定の値に達するものの優勢木・劣勢木ともに一定の値に達するのは40年以上経過してからであるとしている。今回の試験木は白浜のヒノキが17年生であり千葉のスギが41年生であるので、仮道管長の安定化を論じるには樹齢が若過ぎるのかもしれない。しかしながら塩倉らや兼次が試料として用いた天然の被圧木は本来生長の旺盛でない樹木が他の個体との競争に負けた極端な例であると考えられるのに対して、高植栽密度木は生長の旺盛であるなしに関係なく人為的な操作が加えられた一斎林の中の個体であるので、これら両者の生育条件を同一視して比較できるものではないと思われる。今回の調査結果から、白浜・千葉いずれの場合でも植栽密度が高くなればなる程仮道管長は余り長くないうちに一定の値に達する傾向があり、こういった傾向は樹木の垂直方向で胸高部のみならず枝下部やさらに上部においてもほぼ同様であった。さらに一定値に達するものも植栽密度が高いほど早まると言える。一方仮道管長を樹心からの距離によって比較すると白浜の場合には4段階の植栽密度ごとに傾斜角度が異なっており、明らかに仮道管長の一定化位置が樹心からの距離に支配されているとは考えられなかった。しかし千葉の場合には白浜におけるほど顕著な違いが認められず、これらの結果が樹種による違いか否か明白ではない。

第2は年輪幅であるが白浜・千葉両区共に植栽密度が高くなるに従って年輪幅は狭くなりかつ年輪幅が一定の値に達する時期も植栽密度が高いほど早い。一方、低い植栽密度では年輪幅が全般に広くかつ変動も著しい。

第3の材質指標因子の晩材率は植栽密度が高くなるに従って大きくなりかつその変動も大きく現われた。

第4は容積密度数であるが白浜・千葉の両方についての結果から植栽密度が高いほど一般に容積密度数が大きい。これは晩材率の変化傾向と一致している。

第5に力学的な強度値の代表的な指標である動的曲げ弾性係数を見ると白浜・千葉の両試験地ともに植栽密度が高いほど動的曲げ弾性係数の値が大きいという結果であった。

このように晩材率・比重・動的曲げ弾性係数のいずれをとってみても植栽密度が高いほど値が大きく、当然のことながら高植栽密度木は低植栽密度木よりも丸太として考えた場合に強度（例えば曲げ強度）が大で

あるはずであるが、事実千葉演習林産スギ試料木について瀧野ら⁶⁾が試験を行った 75 mm 正角心持材の曲げヤング率、気幹材の曲げ破壊係数および曲げヤング率などの曲げ性能はすべて植栽密度が高くなるほど大きい値を示した。これは一部には未成熟材部の占める割合が 2,500本/ha 区よりも 10,000本/ha 区の方で小さいということによるのかもしれないが前述の晩材率や比重が高植栽密度区で大きい値を示しており、これらに帰因するところが大ではなかろうかと考えられる。

以上のごとく、今回の調査では使用樹種がヒノキとスギの2種類のみであり、樹種による違いと思われる結果もみられ、さらに試料木が限定されていたことなどにより、造林技術とのかかわりにおいて明白な結論に達するまでには至らなかった。しかしながら、少なくとも植栽密度の違いが木材内部の個々の材質指標因子にどのように影響を及ぼすのかについての基礎的な結果は得られている。すなわち、植栽密度が高ければ、①仮道管長は全般的に短くなり比較的早い時期に一定値に達すると思われる。②年輪幅は狭くなり、比較的早く一定値に達する。③晩材率は大きくなる。④容積密度数も全般的に大きくなる。⑤動的曲げ弾性係数も大きい値となる。

このように述べれば植栽密度が低い場合にはそれぞれの材質指標因子は良くないように思われるが、少なくとも仮道管長の大きい材が得られることは間違いない。また他の材質因子も高植栽密度木と比べて多少小さい値をとるだけで決して劣っているのではなく、強度的には十分保証されているといつてよからう。立木密度の疎密にかかわらず林分全体としては総材積量はほぼ同一と考えられる^{7,8)}ので、密度を疎にすることによって樹高や直径の大きい林木を生産するか密にすることによって樹高や直径の小さい林木を生産するかは、ひとえに木材の使用目的によることになる。従って、仮道管長の大きいものを利用したり、径級の大きい材を利用する場合には疎植にした方がよいが、径級は小さくても容積密度数が大きくかつ年輪幅がつんでいて強度値の大きい材を数多く生産した場合には密植にした方がよいことになる。

今回調査したのは、17年生ヒノキ林および41年生スギ林の植栽密度試験地のみであり、おのずから普遍的な結論は出せないがそれぞれの樹種でかつそれぞれの立木密度で育生させれば仮道管長・年輪幅・晩材率・比重（容積密度数）・強度（動的曲げ弾性係数）がどの程度の材が生産されるのかについての造林ならびに材の利用上の目安を与えるものと信ずる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり植栽密度試験地の使用を快諾いただいた京都大学農学部附属演習林の赤井竜男助教授ならびに東京大学附属千葉県演習林の金光桂二助教授に深く感謝いたします。

なお本研究は、文部省科学研究費（「一般研究」、課題番号244009）の補助金によって行なった。

文 献

- 1) 渡辺治人：生長論—生きていた木材—東京農業大学木材工学研究会（1974）
- 2) 加納 孟：林木の材質，日本林業技術協会（1973）
- 3) 塩倉高義，渡辺治人：東京農大農学集報，**17**，81（1972）
- 4) 塩倉高義，渡辺治人：東京農大農学集報，**18**，139（1974）
- 5) 兼次忠蔵：木材組織ならびに木繊維に関する研究，(i)南部赤松 (*Pinus densiflora* Sieb et Zucc.)（1934）の仮道管長について，財団法人斎藤報恩会事業年報，第十（1934）
- 6) 瀧野真二郎，佐々木光：スギ間伐材の材質—植栽密度の影響—木材研究資料 No. 14，99（1979）
- 7) 依田恭二：生態学研究シリーズ4，森林の生態学，第3版，築地書房 p.93（1972）
- 8) 相場芳憲：日林誌，**57**，39（1975）