

木材材質の森林生物學的研究

(第 3 報)

野幌産トドマツ材の年輪幅, 秋材率, 容積密度數の 偏異について

Takeshi KANO: Forest-biological studies on the wood quality. (Report 3)
On the variation to the width of annual rings, summer-wood percents,
and the bulk density of green Todo-fir grown at Nopporo district
in Hokkaidô.

農 林 技 官 加 納 孟

目 次

I 緒 言.....	24
II 供試木とその木取法.....	24
III 年輪構成の觀察.....	25
(1) 測 定 法.....	25
(2) 測 定 結 果.....	25
(i) 年輪幅の變化.....	25
(ii) 秋材率の變化.....	26
(iii) 年輪幅と秋材率との關係.....	26
IV 細胞生長の変移.....	29
(1) 測 定 法.....	29
(2) 測 定 結 果.....	33
(i) 年輪幅と細胞生長數.....	33
(ii) 年輪幅と秋材細胞生長數.....	33
(iii) 年輪幅と春材細胞生長數.....	33
(iv) 年輪幅と秋材細胞率, 変移帶細胞率, 春材細胞率及び秋材率, 変移帶 率, 春材率.....	34
(v) 年輪幅と秋材細胞膜の變化.....	35
(vi) 年輪幅と変移帶細胞膜の變化.....	36
(vii) 年輪幅と春材細胞膜の變化.....	37
(viii) 秋材細胞率と秋材細胞膜の變化.....	38
(ix) 変移帶細胞率と変移帶細胞膜の變化.....	38
(x) 春材細胞率と春材細胞膜の變化.....	39
(xi) 細胞膜厚の樹齡及び生長偏倚による變化.....	40
(xii) 髓線密度の樹齡及び年輪幅による變化.....	41
(xiii) 髓線細胞高の樹齡及び年輪幅による變化.....	41

V	容積密度数の変化.....	42
(1)	測定法.....	42
(2)	測定結果.....	42
(i)	年輪幅と秋材率と容積密度数.....	42
(ii)	地上高による容積密度数の変化.....	43
VI	年輪幅による年輪構成要素の変化.....	44
VII	実施した研究概要とその考察.....	46
(1)	年輪幅.....	46
(2)	秋材率.....	46
(3)	年輪幅と秋材率と容積密度数.....	46
(4)	年輪幅と秋材細胞率.....	47
(5)	秋材細胞膜厚の変移.....	47
(6)	細胞膜厚の樹齢及び生長偏倚による変化.....	48
(7)	髄線細胞高及び髄線密度の移行.....	48
VIII	文 献.....	48
Résumé		49

I 緒 言

木材材料の材質的偏異性と林木の生長条件との関係を遺伝的な種別とその環境立地とについて探求する事は木材材料研究に対する森林生物学的な命題を与えるものであり、林木のかかる材質的特性の究明は木材材料の合理的利用と林木の質的生産に対する拠点を呈示するであろう。これらの観点に於て既に二三の研究が試みられたが本報告に於てはトドマツ（正常）材についてその材質的偏倚とそれらによつて抽出される材料的特性を把握する為に

- (i) 細胞生長の変移
- (ii) 細胞膜の生長
- (iii) 細胞構成の偏倚性
- (iv) 年輪構成の偏倚性
- (v) 年輪幅と秋材率と比重との関係

等について一連の観察結果を検討して該材の示す材質的偏倚性を木材組織的な立場に於て体系づけようとしたものである。本実験の施行に当り種々御便宜と御指導を与えられた林業試験場札幌支場長林行五氏、林業試験場木材部長斎藤美鷲氏に深甚なる謝意を表すると共に測定観測に協力を得た中川仲策、辻完司の両氏に併せて謝意を表する。

II 供試木とその木取法

本実験に供試木として用いた材料は北海道石狩国野幌国有林第3林班平坦地に於て一斉同齡林型をなす原生林産のトドマツ材であり、樹幹通直で外觀上無疵のものと認められた生長良好な優勢木を選定して伐倒し地上高 0.0m, 1.3m, 3.3m ……と順次大約2 m おきに枝痕及び枝

第 1 表

樹 齢	82 年	枝 下 高	15m
胸 高 直 径	54cm	材 積	16.9m ³
樹 高	25m	樹 皮 率	14.6%

第 2 表

円板の番号	地上高 (m)	円板の番号	地上高 (m)
I	0.0~0.10	VI	9.20~9.30
II	1.20~1.30	VII	11.20~11.30
III	3.20~3.30	VIII	13.40~13.50
IV	5.20~5.30	IX	15.30~15.40
V	7.20~7.30	X	16.90~17.00

条部を避けて厚さ 10 cm の円板を玉切つた。供試木の樹齡胸高直径樹高等は第 1 表の如くであり、供試円板として採取された各円板の地上高は第 2 表の如くなつた。これらの円板はその各々についてその厚みの方向に三分してその上部を樹幹折解及び年輪構成の観測に用い中央部から容積重を測定する供試片を木取り更に下部から円板 I, V, X についてその各齡階毎に顕微鏡切片に所要のブロックを木取つた。

Ⅲ 年輪構成の観察

(1) 測定法

採取された各円板について樹心から樹幹の東西南北の方位に添つて一直線上に順次年輪境界とその内側に於ける春秋材の境界を定め、髓心から各境界に至る距離を各年輪について求めた。測定には 1/1000 mm のコンパレーターを用い倍率 $\times 20$ で行つた。この測定に於ては年輪内側に於ける春秋材境界は春秋材によつて異なる色相の変化によつて全く主観的に定めたものであり Methylene blue と Malachite green のアルコール混合液で供試片を染色しその色相の変化をやや明瞭ならしめて行つた。かくして得られた測定値から順次年輪とそれに含まれる秋材幅とを算出し年輪幅と秋材幅との比率を秋材率 (%) として示した。

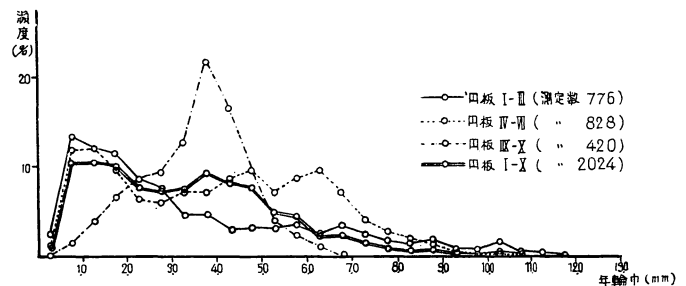
(2) 測定結果

(i) 年輪幅の変化

各円板について測定された年輪幅の出現度数分布は第 1 図の如く、円板 I ~ Ⅲ の樹幹基部に於ては年輪幅のモードは

0.5~1.0mm の範囲にあり著しく左偏しているが円板 IV ~ Ⅶ の樹幹中央部に於てはそのモードは同様に年輪幅 0.5~1.0mm の範囲に認められるが度数分布は双峯型をなし年

第 1 図 年輪幅の出現度数分布



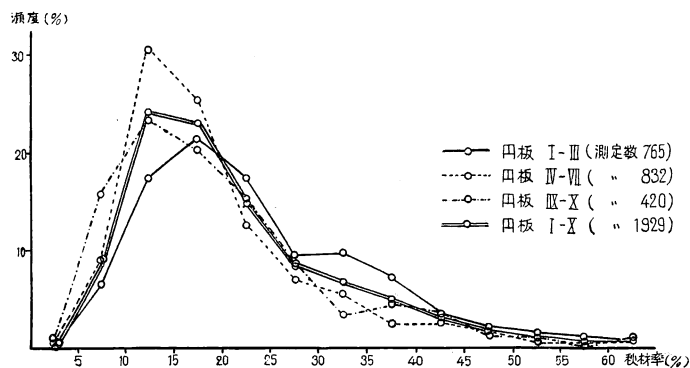
輪幅 6.0~6.5mm の範囲に於ても全体の約 10% 程度の出現数が認められた。円板 VIII ~ X の

樹幹上端部に於ては年輪幅のモードは 3.5~4.0mm の範囲に現れ度数分布はかなり対称型となりその分散域も前二者に比して著しく狭くなつた。樹幹の半径方向に於ける連年肥大生長の増分として示される年輪幅はその出現する位置の樹幹横断面の径によつて生長量としての意義を異にするものであるが、樹幹基部及び樹幹中央部に於てそのモードが著しく狭年輪幅(0.5~1.0mm)のものに出現している事は何れも樹幹横断面の径が或る限度を超えて増大した為に過少な年輪幅の出現数が多く樹幹上端部では樹幹横断面の径がかかる限界内にあつて過少な年輪幅が出現しなかつたと考えられる。それ故年輪幅に対する地上高の影響を無視して推論すれば樹幹基部及び中央部に於ける年輪幅の出現度数分布曲線と樹幹上端部のそれとの交点は樹幹上端部に於ける正常な半径生長量として示される年輪幅より過少又は過大な限界値と見做され前者は 2.0~2.5 mm に、後者は 5.0~5.5 mm の範囲にある。この年輪幅の過少な限界値 2.0~2.5mm については後述する年輪の細胞構成及び年輪幅と容積密度数の関係から一応明瞭な年輪幅の限界値と認められる様である。

(ii) 秋材率の変化

各円板について測定された秋材率(%)の出現度数分布は第2図に示す如く樹幹基部(円板 I~III)に於て秋材率のモードは 15~20% の範囲にあり、樹幹中央部(円板 IV~VII)及び樹幹上端部(円板 VIII~X)では何れもモードは秋材率 10~15% の範囲に認められる。全樹幹に

第2図 秋材率の出現度数分布



於ける秋材率の出現度数分布はその約50%が秋材率 11~20% の範囲に現れその分散域は約 4~65% に及んでいゝるが秋材率 40% 以上のものは総測定数の 5% 以下に過ぎず、而もこの範囲のものには偏心生長に伴う櫓の形成

が多いので正常な状態に於ける秋材率の分散は大約 5~40% と見做される。更に又各円板に於ける秋材率の算術平均値及びそのモードの出現範囲は第3表の如く秋材率の平均値は樹幹基部に於けるものが樹幹中央部及び上端部のものよりかなり大きく現われている。又秋材率のモードは樹幹基部に於てその出現範囲が地上高と共に増加する経過が認められるが樹幹中央部及び上端部に於てはこの関係は不規則で一定の傾向は認められなかつた。

(iii) 年輪幅と秋材率との関係

上述した年輪幅と秋材率の測定値について年輪幅を 0.0~0.5 mm, 0.6~1.0 mm ……と

第3表 各円板に於ける秋材率の変化

円板の番号	秋材率の 平 均 値	モードの 出現範囲	測定数	円板の番号	秋材率の 平 均 値	モードの 出現範囲	測定数
I	24.6	11~15	262	VI	18.0	16~20	176
II	23.0	16~20	220	VII	18.7	11~15	176
III	24.7	21~25	249	VIII	18.5	11~15	150
IV	19.5	11~15	223	IX	18.8	6~10	139
V	16.0	11~15	167	X	19.1	16~20	95

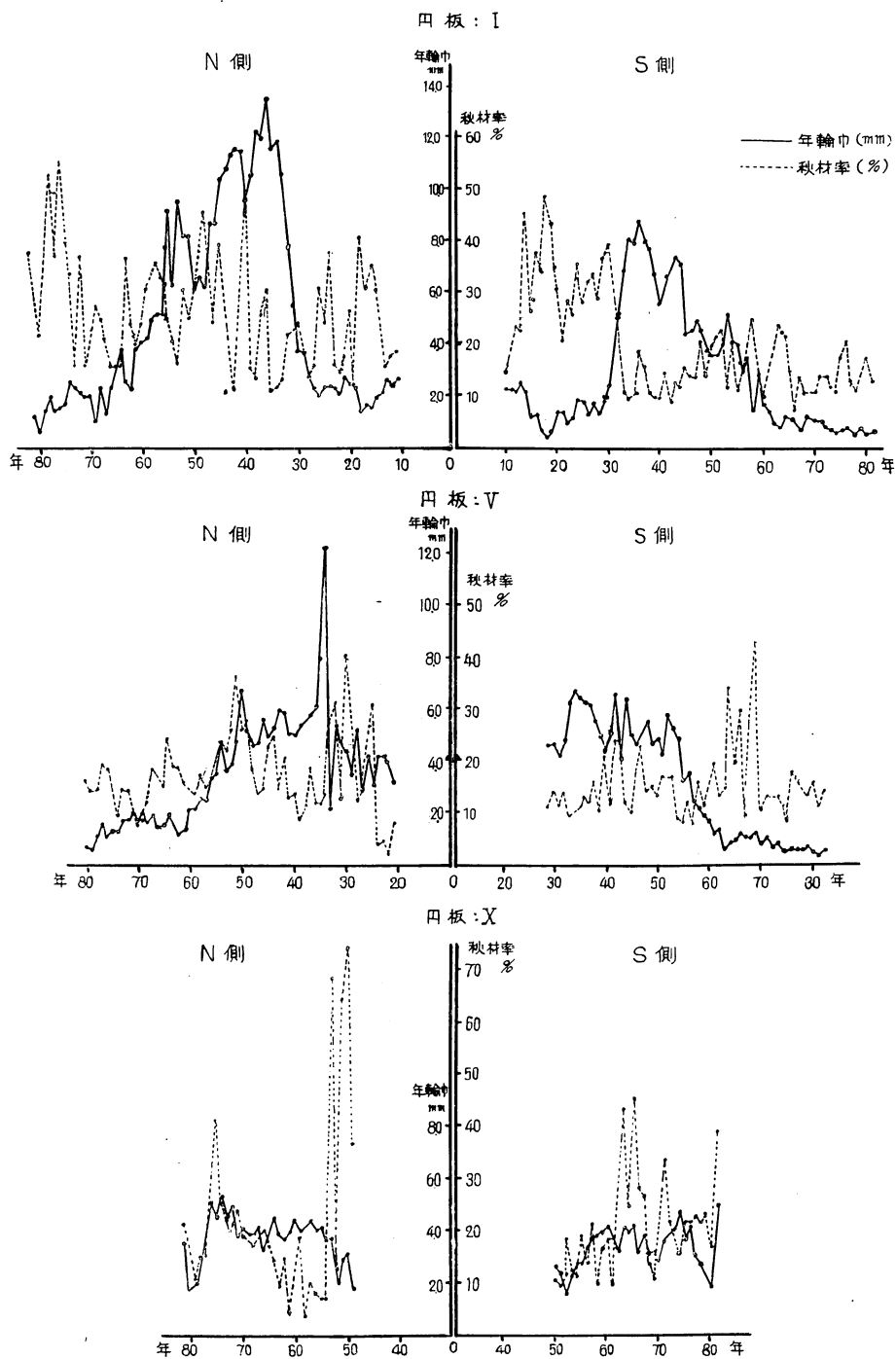
0.5mm 間隔に秋材率を 0~5%, 6~10%……と 5% 間隔にその測定値を整理して各年輪幅の範囲毎に秋材率の出現度数分布を求めると第4表の如くなり, 何れの年輪幅に於ても秋材率のモードは 11~20% の範囲に出現し, 測定された全年輪幅について集計すればそのモード数は約 50% になった。更らに又各年輪幅について見れば 秋材率のモード数は年輪幅 0.0~2.0

第4表 年輪幅 (mm) と秋材率 (%) の度数分布 (測定数: 1867)

秋材率 %	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~45	46~50	51~55	56~60	61~
年輪幅 mm													
0~0.5	0	9	36	24	9	9	6	3	0	3	0	0	0
0.6~1.0	0	5	34	27	16	9	3	2	0	0	0	0	0
1.1~1.5	0	12	24	28	14	8	6	3	2	1	1	0	1
1.6~2.0	1	10	24	21	10	10	9	8	4	1	1	1	1
2.1~2.5	0	12	25	23	17	7	4	5	6	1	0	0	1
2.6~3.0	0	8	27	20	19	8	10	2	2	1	0	2	2
3.1~3.5	0	10	20	26	20	10	5	4	2	2	1	0	0
3.6~4.0	1	13	20	31	17	8	3	3	1	2	0	0	0
4.1~4.5	3	11	25	25	18	6	6	3	2	1	0	0	0
4.6~5.0	0	11	25	22	20	4	9	6	1	0	1	2	0
5.1~5.5	0	10	30	18	14	13	9	4	0	1	0	0	0
5.6~6.0	1	10	28	22	14	10	7	4	1	0	0	1	0
6.1~6.5	0	5	30	25	14	9	11	0	2	2	2	0	0
6.6~7.0	0	8	16	32	14	5	3	11	0	5	0	0	5
7.1~7.5	0	5	18	23	14	18	0	10	0	14	0	0	0
7.6~8.0	0	6	24	24	18	12	6	6	6	0	0	0	0
8.1~8.5	0	15	15	8	8	0	30	15	0	8	0	0	0
8.6~9.0	0	5	14	24	10	14	10	0	14	0	5	5	0
9.1~9.5	0	0	0	40	29	14	0	0	0	0	14	0	0
9.6~10.0	0	17	0	0	17	17	0	17	0	34	0	0	0
10.1~10.5	0	0	22	11	33	11	0	22	0	0	0	0	0
10.6~11.0	0	0	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0	0
11.1~11.5	0	0	0	33	0	0	33	33	0	0	0	0	0
11.6~12.0	0	0	75	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.1~12.5	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全年輪幅に 於ける比率	0.5	9.6	25.3	24.4	15.9	8.5	6.3	4.3	2.0	1.6	0.4	0.4	0.4

太字は年輪幅の階級に現われる秋材率モードを示す

第3図 樹幹内年輪幅と秋材率の変化



mm の範囲に於ては年輪幅の増加に伴い漸次減少する傾向を示したが、年輪幅 2.0mm 以上の範囲に於てはこの関係は不規則で一定の傾向は認められなかつた。各年輪幅の範囲に於て櫛の形成の認められるものを除外して秋材率の算術平均値を示すと第5表の如くなり、年輪幅 0.0~4.5mm の範囲に於ては秋材率平均値は年輪幅 1.6~2.0mm に於て最大値を示し、これを限

第5表 年輪幅と平均秋材率

年輪幅 mm	平均秋材率 %	測定数	年輪幅 mm	平均秋材率 %	測定数
0.0~0.5	19.1	32	4.6~5.0	20.7	135
0.6~1.0	19.1	203	5.1~5.5	20.2	93
1.1~1.5	20.6	206	5.6~6.0	19.8	68
1.6~2.0	21.9	191	6.1~6.5	21.8	42
2.1~2.5	20.8	152	6.6~7.0	24.2	38
2.6~3.0	20.8	132	7.1~7.5	25.2	16
3.1~3.5	20.7	137	7.6~8.0	21.3	15
3.6~4.0	19.1	175	8.1~8.5	25.2	10
4.1~4.5	18.8	145	8.6~9.0	26.3	19

度として年輪幅の増減については何れも秋材率平均値の減少の傾向が認められた。年輪幅 4.6mm 以上では年輪幅と秋材率平均値との関係は不規則で殆んど一定の傾向は認められない。而して秋材率平均値に一定の傾向が認められる年輪幅 0.0~

4.5mm の範囲及び秋材率平均値が最大になる年輪幅の限界 1.6~2.0mm は何れも前述の〔Ⅲ(2)(i)〕年輪幅の限界値 2.0~2.5mm 及び 5.0~5.5mm より僅に低い値として認められた。又更らに地上高別の円板について年輪幅と秋材率の移行を示すと第3図の如くなり円板Ⅰ及びⅤに於ては年輪幅と秋材率の変化は大約反比例的経過を示したが円板Ⅹに於ては櫛の形成が認められこの関係はやや不規則に現われた。

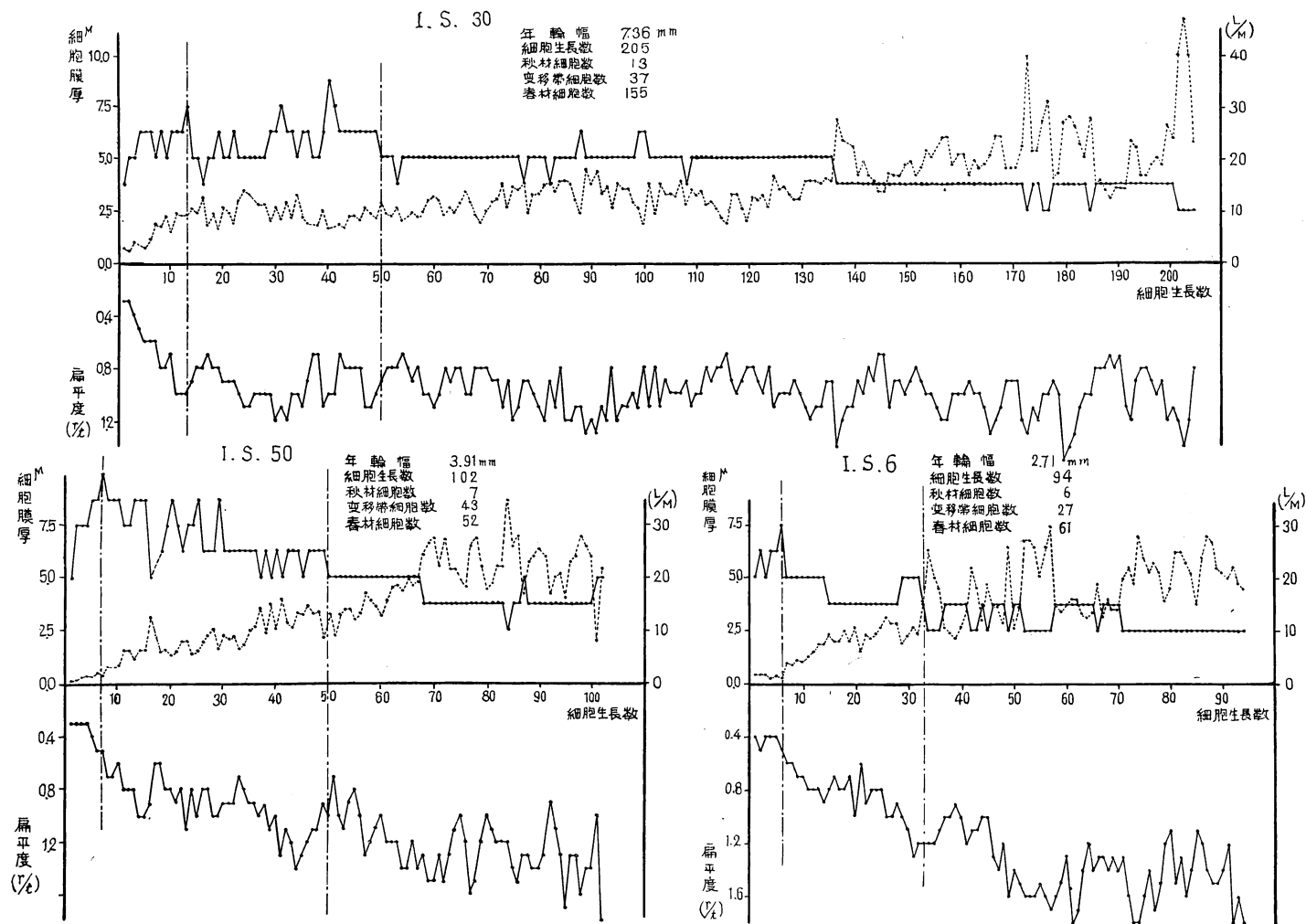
Ⅳ 細胞生長の變移

(1) 測定法

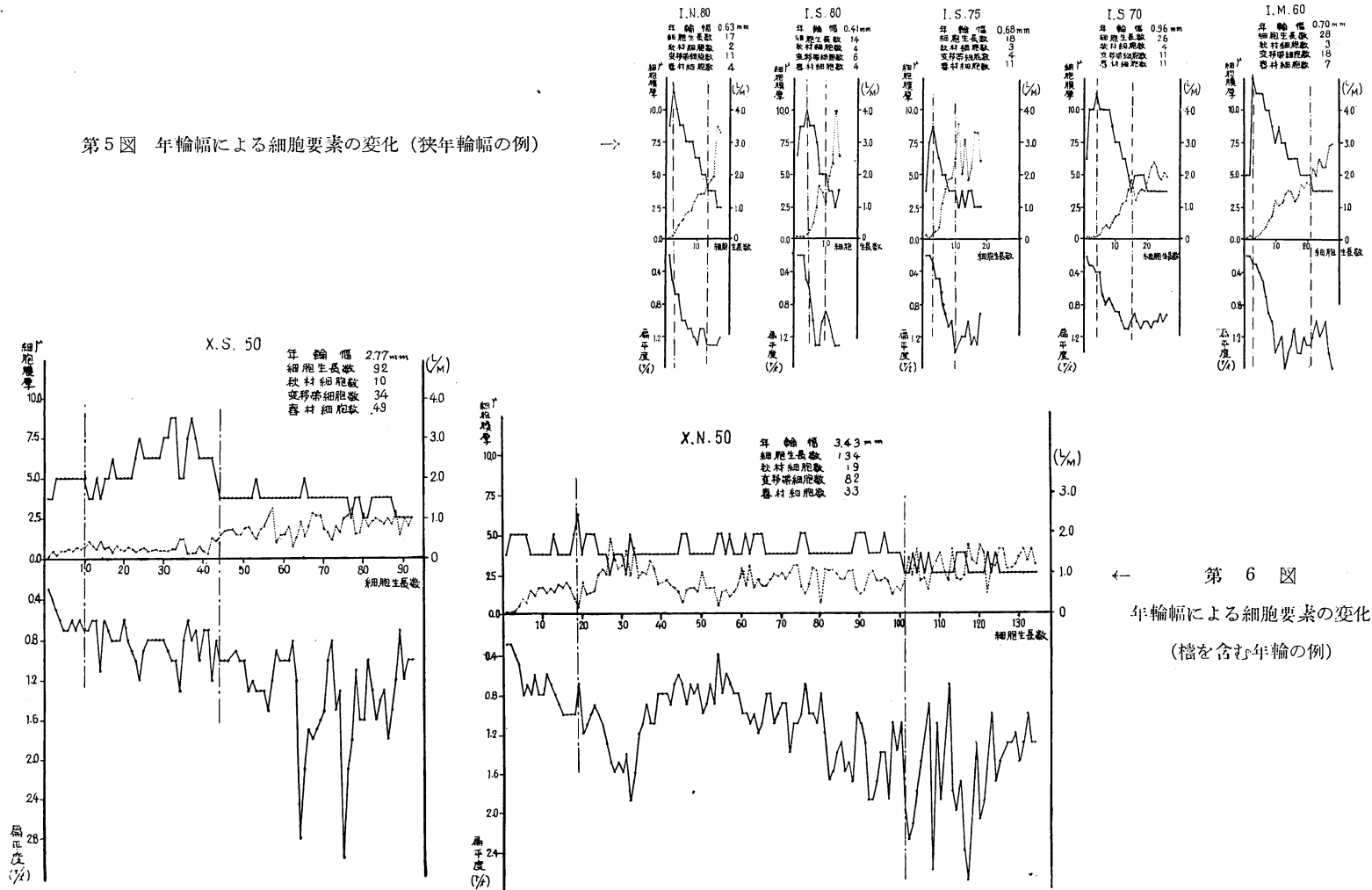
上述した各円板の中Ⅰ、Ⅴ、Ⅹについて樹幹の東西南北の四方位に添い 5, 10, 15……年と5年毎の年輪が含まれる如きブロックを木取り、予め該当する年輪をマークして横断面及び切線方向の顕微鏡切片を作つた。而して横断面切片については $\times 1500$ 倍の顕微鏡視野に於て任意の半径方向の細胞列について春秋材細胞の年輪境界から当該年内に含まれる全ての細胞について細胞膜の厚さ(M), Lumen の半径方向の径(L)及び仮導管の初生層間の半径方向の径(r)と切線方向の径(t)とを順次測定しこれらの測定値から M, L/M, r/t の変化を各細胞について算出し当該年輪について春材生長の始期から秋材生長の終期まで一生長期間の移行を図上に呈示して(第4~6図に広年輪幅, 狭年輪幅及び櫛の形成が認められる年輪について二三の代表的な経過を示した)細胞の形態的変化を示す曲線型から次の如き特異点を見出した。

細胞膜厚(M)の移行を示す曲線に現われる特異点(a1)及び(b1)。

第4図 年輪幅による細胞要素の変化 (広年輪幅の例)

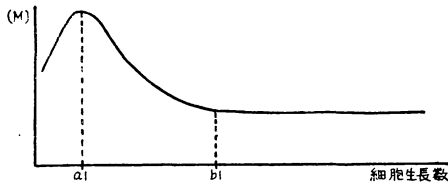


第5図 年輪幅による細胞要素の変化 (狭年輪幅の例)



第6図 年輪幅による細胞要素の変化 (檔を含む年輪の例)

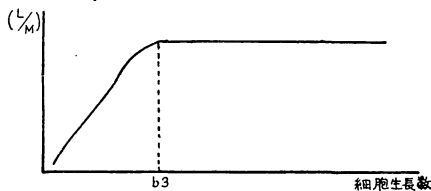
第7図 細胞膜厚 (M) の変化



細胞の扁平度 (r/t) の移行を示す曲線は大約第8図の如く細胞生長の終期より b_2 に至るまでは細胞扁平度 (r/t) の値は直線的に増大し b_2 は曲線の特異点として認められる。而して上述の細胞膜厚 (M) の変化と比較すれば (b_2) と (b_1) とは大約同一の生長期に現れる。

細胞膜厚 (M) と Lumen の半径方向の径 (L) との比 (L/M) の移行を示す曲線に於ける特異点 (b_3)

第9図 L/M の変化



の細胞生長に伴う形態的特異点として認められる生長期は (a_1) 及び (b_1) を境界とした生長期と見做されるので一年輪内の細胞生長期を

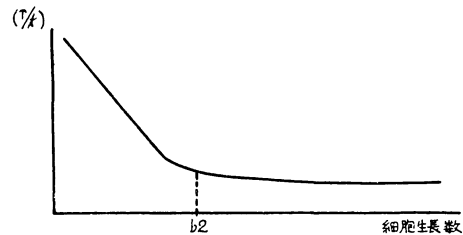
- (i) 生長始期から b_1 ($=b_2=b_3$) に至る生長期.....春材
- (ii) b_1 ($=b_2=b_3$) から a_1 に至る生長期.....変移帯
- (iii) a_1 から生長終期に至る生長期.....秋材

に区分して考えられる。本実験に於ては一年輪内に含まれる細胞の半径生長数を測定し更に上述の定義に従つてその年輪内に秋材、変移帯、春材の三生長期を区分し、同一年輪内に各10個の半径方向細胞列を選び繰返し同様な測定を行つて各生長期に於ける細胞生長数の最大最小平均を求めた。而して半径方向の全細胞生長数に対する各生長期細胞数の百分比を求め夫々秋材、変移帯、春材、細胞数率として示した。切線方向の切片については $\times 200$ 倍の顕微鏡視野に於て出現する髓線細胞の細胞数及び細胞高を凡そ 100 個の測定値について平均値として求めた。又髓線密度は横断面切片の年輪境界に近く出現する単位長さ当りの髓線数によつて示

細胞膜厚 (M) の移行を示す曲線は大約第7図の如き曲線型を示し (M) の最大値を示す (a_1) と (M) がほぼ一定の値に近づく (b_1) が曲線の特異点として認められる。

細胞の扁平度 (r/t) の移行を示す曲線の特異点 (b_2)

第8図 細胞の扁平度 (r/t) の変化



細胞膜厚 (M) と Lumen の半径方向の径 (L) との比 (L/M) の移行は大約第9図の如き曲線型を示し $L/M=1$ の附近で曲線の特異点 (b_3) が認められ、これは上述の特異点 (b_1) 及び (b_2) と大約同一の生長期に現れる。それ故かかる3組の曲線型から半径方向

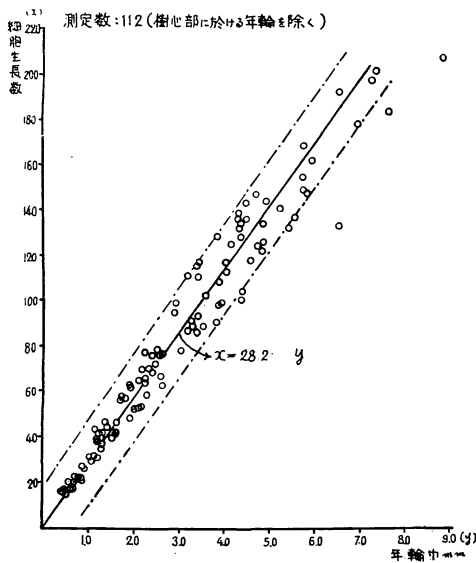
した。

(2) 測定結果

(i) 年輪幅と細胞生長数

横断面切片について当該年輪に含まれる細胞の半径生長数を数え年輪幅 (y) mm と半径方向細胞生長数 (x) との関係を求めると第 10 図の如く実験に現れた年輪幅の範囲では原点を通

第 10 図 年輪幅と細胞生長数



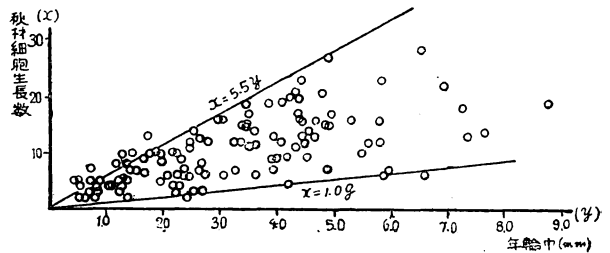
る直線式 $x=28.2y$ として認められる。直線式に対する測定値の分散は図に示される如く年輪中 2mm 以下の範囲ではかなり小であるがこれ以上の範囲では次第に大となり大約一定の分散域をもつようである。樹心部に於ける年輪にては形成される細胞の形態が通常のものに比して著しく小さい為年輪幅に対する細胞生長数はこの直線式の示すものよりかなり大きく現われて居りここでは例外的なものとして取扱わざるを得なかつた。

(ii) 年輪幅と秋材細胞生長数

当該年輪に於ける半径方向の細胞生長列について各細胞の外部形態を測定して前述せる如き方法で秋材細胞を決定し年輪幅 (y) mm

第 11 図 年輪幅と秋材細胞生長数

測定数: 123



と半径方向秋材細胞生長数 (x)

との関係を求めると第 11 図の如く秋材細胞生長数は原点を通る 2 の直線

$$x=5.5y \text{ 及び } x=1.0y$$

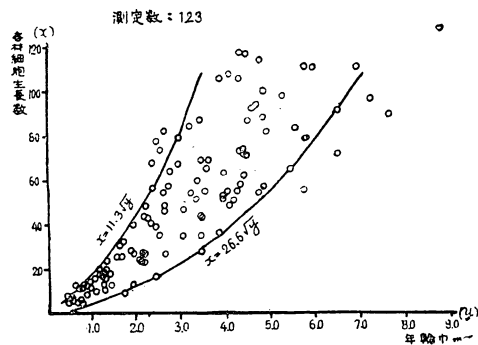
によつて挟まれる部分として示される様であり、その分散域は年輪幅 2mm 以下の範囲に於て

秋材細胞生長数の上限を与える直線の限界を超えてかなり著しく分散しているのが認められる。

(iii) 年輪幅と春材細胞生長数

同様に於ける春材細胞を決定し年輪幅 (y) と半径方向春材細胞生長数 (x) との関係を求めると第 12 図の如く春材細胞生長数は原点を通る 2 の抛物線 $x=11.3\sqrt{y}$ 及び $x=26.6\sqrt{y}$ によつて挟れる部分として示される様であり、この春材細胞生長の上限及び

第 12 図 年輪幅と春材細胞生長数



下限を与える拋物線は年輪幅 2 mm 以下では何れもかなりよく直線部分として認められる。

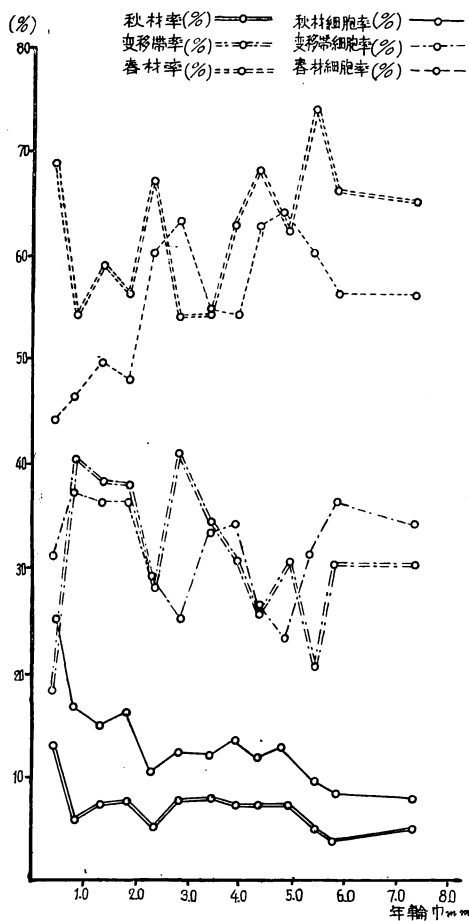
(iv) 年輪幅と秋材細胞率, 変移帯細胞率, 春材細胞率及び秋材率, 変移帯率, 春材率

前述せる如く一年輪内の半径方向に於ける細胞生長数に対する秋材細胞数の百分比を秋材細胞率 (%) 変移帯細胞数及び春材細胞数

の百分比を夫々変移帯細胞率 (%), 春材細胞率 (%) として年輪毎に算出し更に前述の方法に

より決定した秋材細胞, 変移帯細胞, 春材細胞の境界を顕微鏡視野でマークし夫々その半径方向の幅と年輪幅との百分比を秋材率 (%), 変移帯率 (%), 春材率 (%) として求めた。測定値を年輪幅の階級毎に集計して示すと第 13 図の如く, 年輪幅と秋材細胞率 (%) との関係については大約して年輪幅の増大に伴い秋材細胞率 (%) の減少の傾向が認められ, 年輪幅 2 mm 以下ではこの傾向はかなり著しく又年輪幅 2 mm 以上の範囲に於てはこの秋材細胞率 (%) 減少の傾向はむしろ緩慢であり, 部分的にはかえつて増加の状態を観察される。又更に年輪幅と秋材率 (%) についても殆んど同様な経過が認められ前述の秋材細胞率 (%) の移行より若干低い比率で並行的な関係が示された。かかる年輪幅と秋材率 (%) との関係は既に論述した供試材の年輪構成に於て色相の変化により主観的に定めた年輪幅と秋材率 (%) との関係と直接に参照すること事は出来ないが前者に於ては年輪幅 2 mm 以下の範囲に於ては年輪幅の増加

第 13 図 年輪幅と秋材率(%), 秋材細胞率(%), 変移帯率(%), 変移帯細胞率(%), 春材率(%), 春材細胞率(%)



に伴い秋材率の増加の傾向が認められ全く対称的な結果を示したが年輪幅 2 mm 以上の範囲に

於ては何れも年輪幅の増加による秋材率の下降する経過が認められた。

年輪幅と変移帯細胞率(%)及び変移帯率(%)との関係は殆んど特性的なものは認められず、かなり不規則な変化を示したが両者の間にはほぼ相似的な移行の経過が示された。

年輪幅と春材細胞率(%)との関係は年輪幅 2.5~3.0mm 及び 4.5~5.0mm の範囲に於て夫々最大値をもつ双峯型の変化が示されたが年輪幅と春材率(%)との関係は不規則で特性的な傾向は認められない様であつた。

(v) 年輪幅と秋材細胞膜の変化

円板(I, V, X)から木取つた横断面切片について当該年輪に於ける秋材細胞(前述の秋春材細胞の定義によつて定めたもの)の半径方向に於ける細胞膜厚を測定し、これらの測定値から樹心部に於ける年輪及び年輪内に檔の形成が認められたものを除外して年輪幅の階級毎に秋材細胞膜厚の出現度数分布を求めると第6表の如くなり、年輪幅 2mm 以下の範囲に於ては秋材細胞膜厚のモードは年輪幅の減少と共に漸次その出現域を上昇し年輪幅 0.6~1.0mm に於てそのモードは膜厚 5.1~5.6 μ に出現する。

第6表 年輪幅(mm)と秋材細胞膜厚(μ)の出現度数(%)分布の円板(I, V, X)

測定数: 1093 (樹心部及び檔を形成せる年輪を除く)

年輪幅 mm	0.0~ 0.5	0.6~ 1.0	1.1~ 1.5	1.6~ 2.0	2.1~ 2.5	2.6~ 3.0	3.1~ 3.5	3.6~ 4.0	4.1~ 4.5	4.6~ 5.0	5.1~ 5.5	5.6~ 6.0	6.1~
膜厚 μ													
1.3~1.8	6.6	2.0	—	1.6	2.2	4.0	3.5	—	2.3	1.7	2.5	1.6	0.9
1.9~2.5	6.6	4.1	8.8	11.2	11.4	2.7	7.0	8.2	5.3	6.1	7.6	3.3	3.7
2.6~3.1	20.0	14.5	15.1	22.5	5.7	22.9	19.7	16.4	5.9	12.2	—	18.3	22.2
3.2~3.7	—	12.5	27.8	11.2	24.1	17.5	17.6	10.3	11.3	6.1	12.8	10.0	20.3
3.8~4.3	60.0	18.7	17.7	14.5	14.9	16.2	19.7	22.6	14.8	11.4	12.8	13.3	16.6
4.4~5.0	6.6	6.6	20.2	14.5	16.3	18.9	16.9	15.4	32.1	31.5	33.3	18.3	8.3
5.1~5.6		22.9	5.0	20.9	22.5	16.2	14.7	17.5	15.4	23.6	23.0	21.6	4.6
5.7~6.3		6.2	2.5	3.2	5.7	1.3	0.7	9.2	10.1	3.5	7.6	13.3	—
6.4~6.9		2.0	2.5		1.1			—	2.3	1.7			
7.0~7.5					—					1.7			
7.6~8.1					1.1								

太字は年輪巾の階級に現われる膜厚のモードを示す

年輪幅 2.0~3.5mm までは年輪幅に無関係にそのモード出現域はほぼ一定し僅かに波状的变化が認められる。年輪幅 3.6mm 以上の範囲に於ては年輪幅の増加と共にモード出現域は再び漸次上昇する傾向が認められる。又膜厚の変化を年輪幅の階級毎に集計して秋材細胞膜厚(μ)の算術平均値及びその標準偏差を求めると第7表の如く、秋材細胞膜厚(μ)の平均値は年輪幅 0.0~3.5mm の範囲に於ては年輪幅 0.6~1.0mm 及び 2.1~2.5mm に夫々最大値を有する双峯型の変化を示し、年輪幅 3.6mm 以上の範囲では年輪幅の増大に伴い秋材細胞膜厚の増大の傾向が認められた。更に又地上高別の円板について測定値を集計してその度数分布を示すと第8表となり、秋材細胞膜厚のモードは樹幹基部の円板 I に於て樹幹中央部及び上端部

第7表 年輪幅と秋材細胞膜厚(μ)
の平均値変化

年輪幅 mm	秋材細胞膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定年輪数
0.0~0.5	3.88	0.86	15	4
0.6~1.0	4.50	1.17	48	13
1.1~1.5	3.81	1.21	79	14
1.6~2.0	3.94	1.23	62	9
2.1~2.5	4.38	1.25	87	13
2.6~3.0	4.13	1.07	74	7
3.1~3.5	4.06	1.08	142	10
3.6~4.0	4.44	1.11	97	7
4.1~4.5	4.69	1.14	168	12
4.6~5.0	4.63	1.20	114	7
5.1~5.5	5.25	1.11	39	3
5.6~6.0	4.56	1.19	60	5
6.1~	4.13	0.99	108	7

第8表 秋材細胞膜厚の円板別度数分布

測定数: 1093

(円板 I : 362 円板 V : 418 円板 X : 313)

円板 番号	円板 I	円板 V	円板 X	合計
膜厚 μ				
1.3~1.8	1.1	0.7	4.4	1.9
1.9~2.5	6.9	5.5	7.0	6.4
2.6~3.1	20.7	17.9	4.7	15.0
3.2~3.7	23.4	9.3	10.8	14.4
3.8~4.3	21.8	12.6	17.5	17.1
4.4~5.0	12.4	21.5	27.7	20.3
5.1~5.6	11.0	20.3	16.9	16.2
5.7~6.3	2.4	8.8	8.6	6.6
6.4~6.9	—	2.6	1.5	1.4
7.0~7.5	—	0.4	—	0.2
7.6~8.1	—	—	0.3	0.1

太字は円板別に現れる膜厚のモードを示す

のものに比してかなり低い範囲に出現した。

(iv) 年輪幅と変移帯細胞膜の変化

同様に年輪幅の階級毎に変移帯細胞膜厚の出現度数分布を求めると第9表の如く、変移帯細胞膜厚のモード数は年輪幅 1.9~3.7 mm の範囲に不規則に出現し特性的な経過は全く認められない様である。

第9表 年輪幅(mm)と変移帯細胞膜厚(μ)の出現度数分布円板(I, V, X)

測定数: 2763 (樹心部及び櫛を形成せる年輪を除く)

年輪幅 mm	0.0~0.5	0.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.6~3.0	3.1~3.5	3.6~4.0	4.1~4.5	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~
膜厚 μ													
1.3~1.8	11.1	3.0	0.9	6.5	1.1	0.9	0.7	4.2	0.3		7.2		0.4
1.9~2.5	44.4	18.3	34.1	28.4	27.2	13.7	20.9	22.8	12.4	9.7	18.5	10.5	7.4
2.6~3.1	11.1	28.2	30.2	33.3	41.9	35.2	22.5	28.6	31.9	26.2	33.0	35.7	41.5
3.2~3.7	22.2	23.6	20.0	10.2	17.9	16.6	24.1	16.6	20.7	32.0	12.9	29.1	24.5
3.8~4.3	11.1	11.4	10.2	0.8	9.9	11.7	17.3	14.6	16.2	12.6	16.1	15.3	14.6
4.4~5.0		11.4	1.9	10.2	4.1	19.6	11.4	6.1	11.5	11.6	12.0	7.2	7.8
5.1~5.6		3.8	2.4	2.7	1.1	1.9	2.7	5.5	4.1	5.8		1.8	3.0
5.7~6.3					—			0.9	2.5	1.9			0.4
6.4~6.9					0.3			0.3					

太字は年輪中の階級に現れる膜厚のモードを示す

められない様である。又年輪幅の範囲毎に変移帯細胞膜厚(μ)の算術平均値及びその標準偏差を示せば第10表の如く年輪幅 0.0~4.0mm の範囲では年輪幅 0.6~1.0mm 及び 2.6~3.0 mm に夫々最大値を示す双峯型の変化を示し年輪幅 4.1mm 以上では膜厚変化は不規則で一定の傾向を認める事は困難の様である。又更に地上高別の円板についてその度数分布を示すと第11表となり変移帯細胞膜厚のモードは各円板を通じて何れも膜厚 2.6~3.1mm の範囲に出現し、地上高による変化は全く認められない様である。

第10表 年輪幅と変移帯細胞膜厚(μ)
の平均値変化

年輪幅 mm	変移帯 細胞膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定 年輪数
0.0~0.5	2.98	1.33	18	4
0.6~1.0	3.56	1.49	131	13
1.1~1.5	3.25	1.25	205	14
1.6~2.0	3.29	1.54	137	9
2.1~2.5	3.31	1.25	262	13
2.6~3.0	3.69	1.50	102	7
3.1~3.5	3.63	1.42	253	10
3.6~4.0	3.51	1.65	307	7
4.1~4.5	3.77	1.39	313	12
4.6~5.0	3.84	1.44	206	7
5.1~5.5	4.05	1.53	124	3
5.6~6.0	3.61	1.18	274	5
6.1~	3.65	1.25	431	7

第11表 変移帯細胞膜厚の円板別
度数分布測定数: 2763
(円板 I: 1225 円板 V: 1005 円板 X: 533)

円板の 番号	円板 I	円板 V	円板 X	合計
膜厚 μ				
1.3~1.8	1.2	1.9	0.7	1.4
1.9~2.5	20.7	16.0	9.9	16.9
2.6~3.1	38.6	26.7	27.9	32.2
3.2~3.7	20.3	23.7	25.5	22.5
3.8~4.3	11.8	13.1	18.1	13.5
4.4~5.0	5.1	12.0	11.6	8.9
5.1~5.6	1.9	5.4	4.1	3.6
5.7~6.3	0.1	7.9	1.5	0.6
6.4~6.9			0.3	0.1

太字は各円板に現われる膜厚のモードを示す

第12表 年輪幅(mm)と春材細胞膜厚(μ)の出現度数分布

測定数: 5301 (樹心部及び檔を形成せる年輪を除く)

年輪幅 mm	0.0~ 0.5	0.6~ 1.0	1.1~ 1.5	1.6~ 2.0	2.1~ 2.5	2.6~ 3.0	3.1~ 3.5	3.6~ 4.0	4.1~ 4.5	4.6~ 5.0	5.1~ 5.5	5.6~ 6.0	6.1~
膜厚 μ													
0.7~1.2	41.9	18.0	12.2	1.8	15.7	7.5	16.0	19.8	13.5	7.4	12.5	8.4	10.7
1.3~1.8	58.0	67.6	59.7	76.6	57.1	34.5	43.5	56.9	55.1	56.9	25.8	59.8	45.7
1.9~2.5		14.2	23.3	21.4	26.5	50.5	31.8	23.2	26.2	19.9	33.0	19.1	42.4
2.6~3.1			3.8		0.6	7.3	3.5		4.4	8.8	14.9	9.6	1.1
3.2~3.7			0.7							6.9	3.6	2.9	

太字は年輪巾の階級に現われる膜厚のモードを示す

(vii) 年輪幅と春材細胞膜厚の変化

同様にして年輪幅と春材細胞膜厚の出現度数分布を求めると第12表の如く春材細胞膜厚のモードは全年輪幅を通じて何れも膜厚 $1.3\sim 1.8\mu$ の範囲に出現し、殆んど一定している様である。又年輪幅の範囲毎に春材細胞膜厚(μ)の算術平均値及びその標準差を示せば第13表の如く年輪幅 $0.0\sim 3.5\text{mm}$ の範囲に於ては年輪幅 $1.1\sim 1.5\text{mm}$ 及び $2.6\sim 3.0\text{mm}$ に夫々最大個個をもつ双峯型の変化を示し、年輪幅 3.6mm 以上の範囲に於ては春材細胞膜厚の変化は不規則で殆んど一定の

第13表 年輪幅と春材細胞膜厚(μ)
の平均値変化

年輪幅 mm	春材細胞 膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定 年輪数
0.0~0.5	1.61	0.40	31	4
0.6~1.0	1.85	0.35	133	13
1.1~1.5	2.00	0.48	261	14
1.6~2.0	1.99	0.30	214	9
2.1~2.5	1.95	0.42	454	13
2.6~3.0	2.22	0.53	356	7
3.1~3.5	2.01	0.49	531	10
3.6~4.0	2.25	0.73	404	7
4.1~4.5	2.00	0.47	944	12
4.6~5.0	2.19	0.74	576	7
5.1~5.5	2.25	0.71	248	3
5.6~6.0	2.11	0.60	413	5
6.1~	2.08	0.48	726	7

第14表 春材細胞膜厚の円板別
出現度数分布
測定数：5309

(円板Ⅰ：1934 円板Ⅴ：2006 円板Ⅹ：1361)

円板の 番号 膜厚 μ	円板Ⅰ	円板Ⅴ	円板Ⅹ	合 計
0.7~1.2	11.2	6.5	17.0	10.9
1.3~1.8	56.2	50.7	56.3	54.1
1.9~2.5	26.7	28.2	25.2	26.8
2.6~3.1	0.5	9.0	1.3	3.9
3.2~3.7	—	3.3	—	1.2

太字は各円板に現われる膜厚のモードを示す

(μ)の出現度数分布を求めると第15表の如くなり、秋材細胞率16~20%に於ける秋材細胞膜厚のモードは膜厚5.1~5.6 μ の範囲に出現し、これを限度として秋材細胞率の増減に対しては何

第15表 秋材細胞率と秋材細胞膜厚(μ)の出現度数分布

測定数：1085 (樹心部及び櫛を形成せる年輪を除く)

秋材細胞率 % 膜厚 μ	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
1.3~1.8	1.7	2.1	1.3	2.7	—	11.1
1.9~2.5	7.1	9.1	5.0	6.1	2.7	11.1
2.6~3.1	26.7	22.3	8.2	12.3	6.3	11.1
3.2~3.7	17.8	19.0	14.5	9.6	15.3	—
3.8~4.3	14.2	15.3	22.5	9.2	22.5	55.5
4.4~5.0	10.7	14.6	24.6	23.2	26.1	11.1
5.1~5.6	5.3	10.2	15.9	23.9	20.7	—
5.7~6.3	12.5	6.9	5.8	9.6	5.4	—
6.4~6.9	3.5	—	1.8	3.0	0.9	—

太字は秋材細胞率の階級に現れる膜厚のモードを示す

れも胞厚のモード出現域は低減する傾向を示している。測定値を秋材細胞率の階級毎に集計し

第16表 秋材細胞率(%)と秋材細胞膜厚平均値の変化

秋材細胞率 %	秋材細胞膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定年輪数
~5	4.20	1.28	56	10
6~10	4.10	1.16	273	28
11~15	4.55	1.05	377	37
16~20	4.68	1.26	259	24
21~25	4.69	0.95	111	10
26~30	3.81	1.01	9	2

り変移帯細胞膜厚(μ)のモードは変移帯細胞率10%以下で膜厚3.8~4.3 μ に出現し、変移

傾向は認められない様である。又更に地上高別の円板についてその度数分布を示すと第14表となり、春材細胞膜厚のモードは各円板を通じて何れも膜厚1.9~2.5 μ の範囲に出現し地上高による変化は全く認められない様である。

(viii) 秋材細胞率(%)と秋材細胞膜厚(μ)の変化。

秋材細胞率(%)の階級毎に秋材細胞膜厚

て秋材細胞膜厚の算術平均値及び標準偏差を求めると第16表となり、秋材細胞率(%)5%以下では膜厚はやや高く現われたが秋材細胞率6%以上の範囲に於ては秋材細胞率の増大と共に膜厚平均値の増大の傾向が認められた。

(ix) 変移帯細胞率と変移帯細胞膜厚の変化

変移帯細胞率の階級毎に変移帯細胞膜厚(μ)の出現度数分布を求めると第17表とな

第 17 表 変移帯細胞率 (%) と変移帯細胞膜厚の出現度数分布

測定数: 2713 (樹心部及び櫛を形成せる年輪を除く)

変移帯細胞率 膜厚 μ	~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~
1.3~1.8		16.2	0.9	2.1	8.2	1.2	2.3
1.9~2.5	7.6	23.5	11.3	16.0	15.8	16.3	23.0
2.6~3.1	5.1	27.5	28.2	33.1	37.1	38.7	24.6
3.2~3.7	28.2	25.4	22.9	26.9	19.4	23.7	13.8
3.8~4.3	48.7	11.0	17.2	12.0	13.1	13.3	10.0
4.4~5.0	5.1	8.3	13.2	6.5	8.9	5.6	15.3
5.1~5.6	5.1	2.7	4.3	2.7	4.1	0.8	10.7
5.7~6.3		0.8	1.7	0.3	0.4		

太字は変移帯細胞率の階級に現われる膜厚のモードを示す

第 18 表 変移帯細胞率 (%) と変移帯細胞膜厚平均値の変化

変移帯細胞率 %	変移帯細胞膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定年輪数
~10	4.08	0.74	39	5
11~20	3.56	0.90	370	26
21~30	3.80	0.92	627	29
31~40	3.51	0.85	591	21
41~50	3.58	0.88	724	20
51~60	3.44	0.78	232	6
61~	3.71	0.93	130	4

帯細胞率 11% 以上の範囲に於ては何れも膜厚 26~3.1 μ に出現し大略一定する傾向が認められた。又更に測定値を変移細胞率(%)の階級別に集計して膜厚の算術平均値及び標準偏差を求めると第 18 表となり、変移帯細胞率 10% 以下に於て膜厚は最大を示すが膜厚の変化は一般に不規則で特性的な傾向は認められない。

(x) 春材細胞率と春材細胞膜厚の変化

春材細胞率の階級毎に春材細胞膜厚の出現度数分布を求めると第 19 表となり春材細胞膜厚のモードは何れの春材細胞率の範囲に於ても膜厚 1.3~1.8 μ に出現し、春材細胞率の変化に全く無関係に一定した。又春材細胞率の階級毎に測定値を集計して膜厚の算術平均値及び標準

第 19 表 春材細胞率 (%) と春材細胞膜厚の出現度数分布

測定数: 5235 (樹心部及び櫛を形成せる年輪を除く)

春材細胞率 膜厚 μ	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~
0.7~1.2		8.0	26.5	6.9	7.5	17.7	17.6	9.1
1.3~1.8	55.5	83.8	49.7	64.3	56.2	50.8	49.7	43.1
1.9~2.5	44.4	8.0	23.6	27.6	32.8	25.2	22.7	36.2
2.6~3.1				1.0	3.0	4.0	6.9	10.9
3.2~3.7					0.2	2.0	2.4	1.7
3.8~4.3							0.3	

太字は春材細胞率の階級に現われる膜厚のモードを示す

偏差を求めると第 20 表となり春材細胞率 20% 以下及び 80% 以上の両限界に於て何れもかなり高い値を示しているがこの範囲に於ける測定数は少く特性的なものを見做すのは困難である。

第20表 春材細胞率(%)と春材細胞膜厚平均値の変化

春材細胞率 %	春材細胞膜厚 μ	標準偏差 μ	測定数	測定 年輪数
11~20	3.44	0.41	9	1
21~30	2.96	0.25	99	9
31~40	2.97	0.44	207	7
41~50	3.22	0.38	1060	27
51~60	3.32	0.41	1084	23
61~70	3.21	0.54	1405	27
71~80	3.28	0.48	1083	13
81~	3.53	0.95	283	3

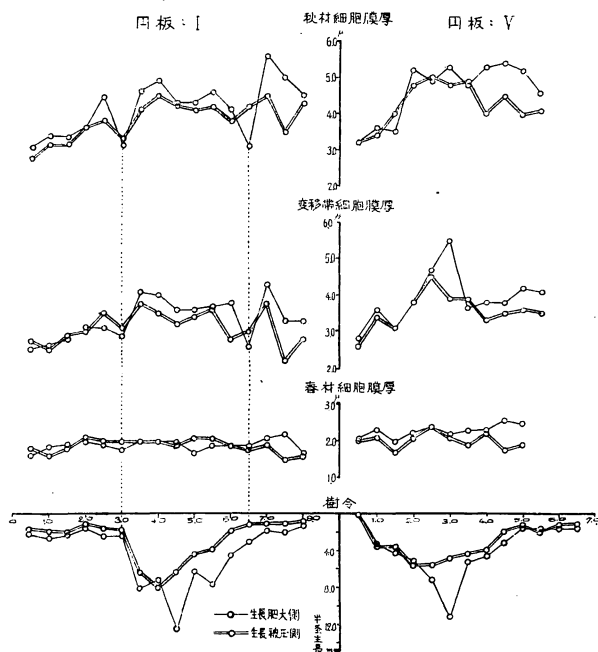
(xi) 細胞膜厚の樹齢及び生長偏倚による変化

円板(I, V, X)に於て樹幹の東西南北の方位に添う各年輪について得られた上述の細胞膜厚(秋材, 変移帯, 春材細胞膜厚)の測定値を供試木の生長偏倚の方向によつて生長肥大側と被圧側に区分し夫々2組の年輪に於ける平均値と供試木の樹齢との関係を示すと第14図の如くなり, 円板Iに於ては秋材及び変移帯細胞膜厚は樹齢約40年迄は漸次

増加し其の後減少する経過を示し春材細胞膜厚は樹齢約20年迄は増加し其の後ほぼ一定し, 増減の状態は殆んど認められない。円板Vについてもこの関係は同様であり前記の秋材及び変移帯細胞膜厚の増加は円板Iに於ける

30年, 春材細胞膜厚に於ては約20年迄に認められる。かかる膜厚の増大する経過が認められる限界の樹齢は(春材細胞の場合を除き)供試木の半径方向の生長増分(年輪幅)が最大になる樹齢と大略一致している様である。又供試木の生長偏倚に伴う膜厚の変化を見ると秋材及び変移帯細胞膜厚に於ては生長肥大側が被圧側のものより何れも明らかに増大している事が認められる。春材細胞膜厚については円板Iに於ける経過はやや不規則であるが円板Vに於ては明

第14図 細胞膜厚の樹齢による変化



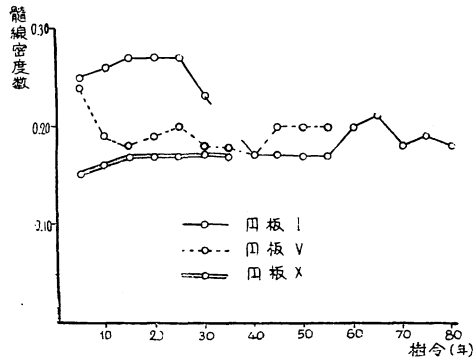
らかに生長肥大側に於ける膜厚の増大が認められる。又更らに円板Iに於ては秋材及び変移帯細胞膜厚の変化は樹幹生長の経過に従いその生長初期及び終期に近く, 生長肥大側と被圧側の変化が相交錯し, この二期に於てはかえつて生長肥大側に於ける膜厚が被圧側に於けるものより小さく現われている。かかる状態は樹幹生長の初期及び終期に於て供試木の幼齢乃至は老齢の為に何れもその半径生長量は正常の状態に比して著しく被圧された特異のものと見做し得る

様であり、その平均年輪幅は約 2mm 程度の範囲として認められた。供試木の梢端部に於ける円板Ⅹに於てはかかる生長偏倚による膜厚の変化は全く認められない。

(xii) 髄線密度の樹齢及び年輪幅による変化

横断面切片について当該年輪の年輪境界に近く 凡そ 3~5mm の範囲に出現する髄線数を数

第 15 図 樹齢と髄線密度との関係

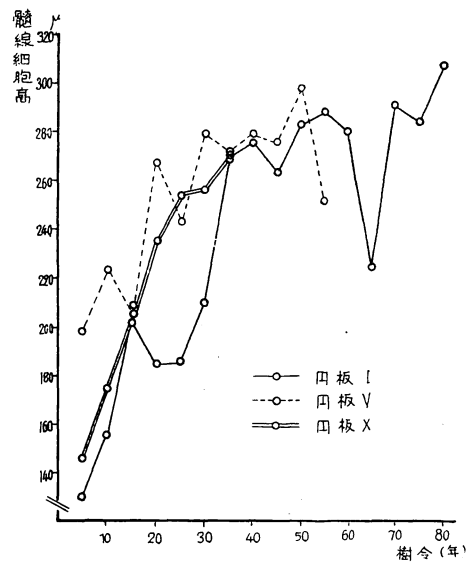


え単位長さ当りの髄線本数を髄線密度として樹幹の四方向に於ける測定値の平均値と樹齢との関係を第 15 図に示した。即ち髄線密度の変化は地上高別の各円板について図に認められる如く夫々特異な状態を示して居るが、円板Ⅰでは樹齢約 40 年、円板Ⅴ及びⅩでは円板齢約 15 年以後は樹齢による髄線密度の変化は著しく現われな。又更らに測定値を年輪幅の階級毎に集計して、その変化を求めたが年輪幅による髄線密度の変化は全く不規則で殆んど一定の傾向は認められなかつた。

(xiii) 髄線細胞高の樹齢及び年輪幅による変化

当該年輪を含む切線方向切片に出現する髄線細胞凡そ 100 個についてその細胞高を測定し樹幹の四方向に於ける測定値の平均値を求め、樹齢に対する変化を第16図に示した。ここに明らかな如く髄線細胞高(μ)は円板Ⅰに於ては樹齢約 55 年、円板Ⅹでは円板齢約 50 年までは樹齢の変化に伴い細胞高は増大し、その後は漸次減少する経過が認められる様であり、円板Ⅹに於ては生長の終期まで細胞高は殆んど直線的に増大する経過を示しているに過ぎない。又同一樹齢に於ける髄線細胞高の変化は樹幹中央部の円板Ⅴに於けるものが他のものより何れも若干高く樹幹基部の円板Ⅰに於けるものが最低の値を示している。又更らに髄線細胞高の測定値を年輪幅の階級毎に集計してその変化を求めたが、年輪幅による髄線細胞高の変化は全く不規則で殆んど一定の傾向は認められなかつた。

第 16 図 樹齢と髄線細胞高の変化



V 容積密度数の變化

(1) 測定法

供試木の伐倒後採取された前記の円板 (I ~ X) からその厚さの方向に幅約 3cm の円板を鋸断し飽削後樹幹の東西南北の方位に添い幅約 4cm の帯状に切断し、更らにその各々に 1~5 年の年輪が含まれる如きブロックに年輪境界から剝離せしめて供試片を作製した。試験片の飽水重量水中浮力* 及び全乾重量を測定し、全乾重量と水中浮力によつて求められた最大容積から容積密度数 (g/cm^3) を算出した。測定には 0.02gr 感度の化学天秤を用い年輪幅及び秋材率 (%) は全て当該供試片に含まれている年輪の平均値として示した。

(2) 測定結果

(i) 年輪幅と秋材率と容積密度数

かくして得られた供試片の容積密度数とその平均年輪幅との関係を示す為には容積密度数の測定値 (年輪内に明瞭に櫓の形成が認められたものを除外する) を年輪幅の階級別に区分してその出現度数分布を求めると第 21 表の如くなり、容積密度数のモードは年輪幅 2mm 以上の範

第 21 表 年輪幅と容積密度数の出現度数分布

供試片数: 515

容積密度数 gr/cm^3	0.190 ~ 0.209	0.210 ~ 0.229	0.230 ~ 0.249	0.250 ~ 0.269	0.270 ~ 0.289	0.290 ~ 0.309	0.310 ~ 0.329	0.330 ~ 0.349	0.350 ~ 0.369	0.370 ~ 0.389	0.390 ~ 0.409	0.410 ~ 0.429
年輪幅mm												
~0.5	0	67	0	0	33	0	0	0	0	0	0	0
0.6~1.0	0	0	3	21	45	21	3	3	0	3	0	0
1.1~1.5	0	0	5	16	11	32	19	11	5	0	0	0
1.6~2.0	0	0	0	6	17	23	34	11	0	0	0	0
2.1~2.5	0	0	0	5	11	16	32	18	18	0	0	0
2.6~3.0	0	0	3	9	6	12	29	17	12	6	6	0
3.1~3.5	0	0	0	0	4	19	28	26	19	4	0	0
3.6~4.0	0	0	0	2	3	24	29	27	8	8	0	0
4.1~4.5	0	0	0	2	2	20	38	22	6	6	3	2
4.6~5.0	0	0	2	0	2	10	33	30	13	10	0	0
5.1~5.5	0	0	0	0	2	17	41	27	6	10	2	0
5.6~6.0	0	0	0	0	3	16	48	26	6	0	0	0
6.1~6.5	0	0	0	0	10	24	48	19	0	0	0	0

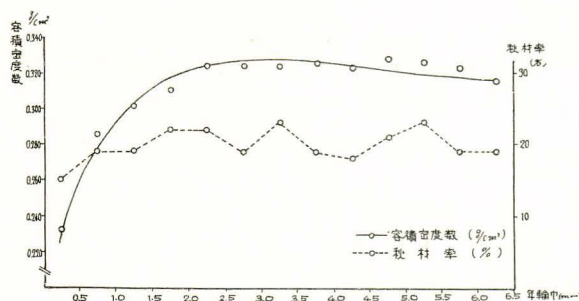
太字は年輪巾の階級に現われる容積密度数のモードを示す

圓に於ては全く一定の容積密度数の限界 ($0.310 \sim 0.329 \text{gr}/\text{cm}^3$) に出現し年輪幅 2mm 以下に於ては年輪幅の減少に伴つて容積密度数のモードが出現する比重階は次第に減少している事が明らかに認められた。又更らに容積密度数の測定値を年輪幅の階級毎に集計して算術平均値を求め年輪幅との関係を示すと第17図の如くなり、容積密度数の最大値は年輪幅 2.0~2.5mm の範囲に認められ、この限界以下では年輪幅の減少に伴い容積密度数の急激な低下が認められる

* 本法は、林業試験場研究報告 46 号、1950 (木材材質の森林生物学的研究第 1 報) に記載。

がこの限界以上の年輪幅に於ては年輪幅の増加に対しても容積密度数は殆んど一定し唯だ僅か

第 17 図 年輪幅と秋材率と容積密度数の変化



な下降が認められるに過ぎない。

更らに供試片の平均秋材率(%)を求めその年輪幅に対する推移を見るに上述の容積密度数の最大値が認められた年輪幅の限界2.0~2.5 mm までは同様に年輪幅の増大に対する秋材率の増加の傾向が示されたがこの限界以上の年輪幅につ

いては秋材率はむしろかなり不規則に増減し殆んど一定の傾向は認められない様であつた。而し又年輪幅に無関係に秋材率の階級毎に供試片の容積密度数の出現度数を示せば第22表の如くなり、容積密度数のモード出現域は殆んど秋材率に無関係に一定し凡そ $0.310 \sim 0.329 \text{ g/cm}^3$ の範囲として認められたが秋材率のモードは容積密度数 $\sim 0.309 \text{ g/cm}^3$ にては 11~15%に、 $0.310 \sim 0.369 \text{ g/cm}^3$ にては 16~20%に、 $0.370 \sim \text{gr/cm}^3$ にては 25~30% に出現し比重階の増加に対し秋材率のモード出現域は漸次上昇する傾向を示した。

第 22 表 秋材率と容積密度数の出現数

供試片数: 656

秋材率 容積 密度数	~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30	31~35	36~40	41~45	46~50	51~55	56~
0.190~0.209					2							
0.210~0.229			1	1			1					
0.230~0.249		1	3	1	1	1						
0.250~0.269	1	2	10	3	4	1						
0.270~0.289		1	20	16	7		1					
0.290~0.309		7	37	30	21	5	7	1	1	1		
0.310~0.329		15*	42*	45*	41*	27*	16*	8*	5	5*	2	1
0.330~0.349		10	40	40	18	15	3	8*	8*	3	4*	
0.350~0.369		1	4	20	10	8	3	4	4	3	1	
0.370~0.389			2	5	6	11	1	3	2	1	1	
0.390~0.409					1	5		1				
0.410~0.429					2							
0.430~0.449							1					
0.450~0.469							1					
0.470~0.489					1							

太字は各容積密度数の階級に現われる秋材率のモード * 印は各秋材率の階級に現われる容積密度数のモードを示す

(ii) 地上高による容積密度数の変化

容積密度数の測定値を地上高別の各円板について集計し、その度数分布を示すと第 23 表の如くなり、樹幹基部 (I~III) 及び樹幹中央部 (円板 IV~VII) に於ては容積密度数のモードは

第23表 地上高別容積密度数の度数分布

供試片数: 625

地上高	容積密度数 0.210~0.229	0.230~0.249	0.250~0.269	0.270~0.289	0.290~0.309	0.310~0.329	0.330~0.349	0.350~0.369	0.370~0.389	0.390~0.409	0.410~0.429
I~III	1	1	5	11	27	35	21	2	1	0	0
IV~VII	0	1	5	6	16	36	22	8	3	2	0
VIII~X	0	0	0	2	10	16	29	25	16	3	1
I~X	0	1	4	7	17	31	23	9	5	1	0

何れも $0.310 \sim 0.329 \text{ g/cm}^3$ の範囲に現われるが樹幹上端部(円板VIII~X)に於てはそのモードは $0.330 \sim 0.349 \text{ g/cm}^3$ に認められ度数曲線はかなり右偏し、その分散域にも顕著な差違が認められた。

Ⅶ 年輪幅による年輪構成要素の變化

年輪形成については既に多くの学者により主として植物生理学的な立場から論述されて居り、樹木生長に固有な週期性とそれらが外部条件によつて左右される限度とについて多くの推論がなされて居り、それらは年輪内に於ける細胞の種類配列、分布等を種別に固有な特性と認め、年輪構成に於ける春秋材部別のこれらの組織的の差違が主として外的条件により変化すると見做して居る様である。又更らに樹幹内に於ける年輪幅の広狭についても同様に樹木本来の遺伝的因子と気候、立地等の環境条件とが要因となる事が推論されている。本実験に於ては既に詳述せる如く年輪幅の樹齡、地上高、樹幹内部位に於ける変化が唯だ二次的の意味をもつものとしてそれらの定性的な差違を無視し単に半径生長量として定量的な集計をなし、かくして得られた年輪幅の定量的な範囲についてその材質的な偏異と固有性とを詳細に検討し、年輪構成の諸要素、従つてその材質的な因子が年輪幅の範囲によつて臨界的に異る事を明瞭に認めた。即ち年輪幅による年輪構成要素と細胞諸元の変移の状態は総括して第24表に示したが、〔I〕項に於て供試木の樹幹生長の経過から仮定した年輪幅の過少限度(年輪幅 $\approx 2\text{mm}$)と過大限度(年輪幅 $\approx 4.5 \sim 5.0\text{mm}$)は何れも後述した年輪構成要素の臨界的な変化を示す限界とほぼ一致している様である。

木材材質の変異が主として遺伝的な因子と生長条件たる環境因子により支配される事は既往の研究によつても概略的に認められてをり、又本実験によつて得られた結果について見てもかかる樹幹生長の経過が単にその量のみならず質的な変化をも与えるものであり、更らに又生長の量が同様に材質的な変化を示す指標として採り上げられる事は最早や疑う余地がない。この様な量と質との相關関係は木材材料の合理的利用への根拠を与え、又更らにそれらの広範囲な材質的特性の究明は林木材料化に対する質的生産への拠点を呈示する可能性を与えるものであらう。

第 24 表 年輪構成要素の年輪幅による変化

年輪要素	0.5 mm	1.0 mm	1.6 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm	3.5 mm	4.0 mm	4.5 mm	5.0 mm	5.5 mm
年輪巾	樹齢生長の経過から年輪巾の過少限度と認められる									年輪巾の過大限度と認められる	
秋材率のモード	秋材率のモード出現域は年輪巾に無関係に殆んど一定する (秋材率のモード数は年輪巾の増加により漸次下降する)				秋材率のモード出現域は年輪巾に無関係に殆んど一定する						
秋材率の平均値	年輪巾の増加により秋材率は上昇する			最大値が認められる	年輪巾の増加により秋材率は下降する				不規則で一定の傾向は認められない		
半径方向細胞生長数	分散域は僅少である				殆んど一定の分散域を示す						
秋材細胞生長数	上限を与える直線を超えて著しく分散する				分散せず						
春材細胞生長数	分散の上限及び下限は直線部分に近似する				分散の上限及び下限は抛物線として示される						
秋材細胞率(秋材率)	年輪巾の増加により殆んど直線的に急減する				年輪巾の増加により緩慢な下降を示し部分的にはむしろ上昇の傾向さえ認められる						
春材細胞率	年輪巾の増加により上昇の傾向が認められる				春材細胞率の上昇又は下降は不規則であるが最大値が認められる様がある				年輪巾の増加により下降の傾向が認められる		
秋材細胞膜厚のモード	年輪巾の増加によりモード出現域は上昇する			年輪巾と無関係にモード出現域は殆んど一定である		年輪巾の増加によりモード出現域は下降する					
秋材細胞平均膜厚		最大値が認められる			再び最大値が認められる	年輪巾増加により膜厚は増大する					
変形帯細胞平均膜厚		最大値が認められる			再び最大値が認められる						不規則で一定の傾向は認められない
春材細胞平均膜厚			最大値が認められる		再び最大値が認められる	年輪巾に無関係に殆んど一定する					
膜厚の変化	生長肥大側の膜厚が被圧側のものより小さくなる場合が現れる				生長肥大側の膜厚が被圧側のものより大になる						
容積密度数のモード	年輪巾の増加により容積密度数のモード出現域は上昇する				年輪巾に無関係に容積密度数のモード出現域は一定する						
容積密度数の平均値	年輪巾の増加により容積密度数は急激に上昇する				最大値が認められる	年輪巾の増加により容積密度数は緩慢に下降する					
平均秋材率	年輪巾の増加により秋材率は上昇する				最大値が認められる	年輪巾に無関係に秋材率は不規則に浮動する					

Ⅶ 実施した研究概要とその考察

本報告に於ては北海道野幌国有林産トドマツ材について主として年輪幅と秋材率及び容積密度数等の偏異とそれらの変化から抽出される材料的特性を把握する為に

- (i) 細胞生長の変移
- (ii) 細胞膜厚の生長
- (iii) 年輪構成の偏異
- (iv) 細胞諸元の形態的変移
- (v) 年輪幅と秋材率と比重との関係

等について一連の観察を行い次の如き結果を認めた。

(1) 年 輪 幅

樹幹内に於ける年輪幅は凡そ 0.3~12.0mm に及ぶ分散域を示したが樹幹内各部位に於けるその度数分布の傾向から年輪幅 2mm 以下及び 5mm 以上に於て何れも正常な生長をなすものよりも過小又は過大な年輪幅の限界を与えるものと仮定すれば後述する年輪幅の限界値とかなり良く一致した。年輪幅は本来その樹幹内の部位に従つて生長量としての意義を異にするものであり、従つて樹齡、樹幹形、樹幹内の部位に無関係に論ずる事は困難であるが、その出現度数分布は或る意味で生長論的な意義をもつものと考えられる様であり、又既往の研究成績に徴してもトドマツ材の正常な平均生長を示す年輪幅は凡そ 2mm 以上であり、茲に得られた年輪幅の限界値とかなり近似する。

(2) 秋 材 率

一年輪内に占める秋材率は立地、樹齡、地上高、樹幹内部位によつて著しく変異し、同一年輪幅のものについても本実験に於て認められる如く顕著な分散域(4~40%)をもつものであるが、これらの秋材形成に於ける定性的な差違を無視して各年輪幅の範囲にその出現度数分布を求めれば秋材率のモードは年輪幅に全く無関係に略々一定の出現域をもつ(秋材率=11~20%)、この様な状態は外的因子の変化によつても尙秋材率が特に一定範囲内に出現する可能性を示すものであり、樹幹内に於ける秋材形成量は大約その半径生長量に比例して増減しその変化の傾向はむしろ全く固有な特性と認められるものの如くである。年輪幅 2mm 以下に於てはかかる外的条件の変化によつて一定範囲内に出現する秋材率のモード数は漸次減少し、従つてこの範囲に秋材率が出現する可能性も漸次低下するものと考えられる。

(3) 年輪幅と秋材率と容積密度数

年輪幅及び秋材率の分散様式からそれらについて容積密度数の度数分布の傾向を確めた。年輪幅と容積密度数との関係について既に北村義重氏は野上産トドマツ材についてその平均年輪幅(Jb)と全乾比重(So)との間に

$$S_o = \frac{J_b}{-0.00034251 + 0.02981102 J_b - 0.000363402 J_b^2}$$

なる拋物線的関係を認め、更らに天塩産トドマツ材についても同様に

$$S_o = \frac{J_b}{0.0019980145 + 0.0018533273 J_b + 0.0632830416 J_b^2}$$

なる曲線を見い出した。即ち前者に於ては年輪幅 1.8mm に於て全乾比重の最大値が示され、これを限度として年輪幅の増減に対して全乾比重は何れも減少の傾向を示しているが、後者に於ては年輪幅 2mm 以下に於ては全乾比重はほぼ一定し年輪幅 2mm 以下に於て年輪幅の減少と共に全乾比重は漸次上昇し実験に現われた年輪幅の最小限度に於て尙全乾比重の最大値を与えている。

大沢正之氏は天塩産アカエゾマツ材について容積密度が年輪密度 (25.0~3.6) の減少と共に殆んど一次的に減少する傾向を認め、容積密度数の最大値は尙実験に現われた年輪幅の最小限度 (年輪密度 = 25.0) に認められる事を掲げた。又平井信二氏は北海道産アオトドマツ、カラマツ材について容積密度数と平均年輪幅との間に何等一次的相関関係が認められなかつたとし容積重と年輪幅又は年輪密度との関係がかくの如く研究資料により異なる結果が報告されているのは容積重と年輪幅又は年輪密度との関係には当然秋材率が介在し之が同一年輪幅にても樹齡、地上高其の他の条件によつて変化するによる事を推論した。

本実験に於ては既に詳述した如く年輪幅と容積密度数との間には拋物線的関係が認められ、年輪幅約 2mm に於て容積密度数の最大値が与えられた。この年輪幅の限界値は北村氏が野上産トドマツ材について認めた年輪幅 1.8mm にかなり近似し R. Trendelenburg 氏が欧州産 Fichte 材について認めた限界年輪幅 1.6~2.0mm と一致している様であり、本報により得られた結果と上述の諸結果との差違が G. Klem 氏等の云う如く立地条件の差違に基づくか或いは供試材の年輪幅及び秋材率の出現度数分布の差違によるかは尙不明であつた。

(4) 年輪幅と秋材細胞率

平均年輪幅と平均秋材率との関係は前述の如く年輪幅 1.6~2.0mm に秋材率の最大値を示す一種の拋物線式として認められ、年輪幅と容積密度数との間に認めた関係と全く並行的であるが顕微鏡視野に於て確定した秋材細胞率及び秋材率と年輪幅との関係はこれに反し実験に現われた年輪幅の最小限度に近く (年輪幅 1mm 以下) 秋材細胞率 (及び秋材率) の最大値が示された。かかる傾向は大沢氏が天塩産アカエゾマツ材北村氏が天塩産トドマツ材について年輪幅と容積重との間に認めた上述の関係とほぼ類似して居り、これらの材料が著しく年輪幅の小なるものである事は推定されたが尙かかる結果については今後の詳細な検討にまたねばならない。本実験に於てはこの範囲に出現する年輪幅のもの僅少でありこれらの結果と比較する事は困難であつた。

(5) 秋材細胞膜厚の変移

年輪構成に於ける秋材細胞の上述の定義に従い測定された秋材細胞膜厚の出現度数分布は双

峯型の分布を示す傾向を確め、更に年輪幅についての推移を観察して年輪幅 1mm 以下で膜厚は著しく肥厚する傾向を認め更に膜厚のモード出現域が年輪幅 2.0~3.5 mm の範囲では年輪幅に無関係に殆んど一定し年輪幅 3.6 mm 以上に於て再びその出現数が上昇する傾向を認めた。かかる傾向は膜厚の算術平均値についても同様に観察され、秋材細胞膜厚が肥厚する年輪幅の限界値と見做し得る様である。而してこの年輪幅の限界値 (3.5mm) 以下に於ては前述せる如く年輪幅と秋材率との間には明瞭な関係が認められ、これ以上の年輪幅の範囲に於てはこの関係は不規則となり秋材率も著しく浮動性に富むに至るものと見做された。

(6) 細胞膜厚の樹齢及び生長偏倚による変化

樹齢による細胞膜厚の変化は秋材及び変移帯細胞膜厚に明瞭に認められたが春材細胞膜厚では全生長期を通じ僅かに波状的の変移が認められるに過ぎない。秋材及び変移帯細胞膜厚は樹齢約 30 年を境界として夫々相異なる移行を示し、この限界生長期は供試木の半径方向の生長増分が最大になる樹齢と対応し平井氏がアオトドマツ仮導管長に認めた仮導管長の略一定となる域 (Sanio 第1法則) と一致している。又偏心生長による膜厚の変化は概観して生長肥大側が被圧側に於けるより増大する傾向を示したがこの経過は樹幹生長の初期及び秋期に近く半径生長量が僅少 (年輪幅 2mm 以下) である時期に於て夫々交錯し、かえつて生長被圧側のものが肥大側の膜厚より増大する状態が認められた。

(7) 髓線細胞高及び髓線密度の移行

髓線細胞高は樹齢約 50~55 年迄は樹齢と共に急激な増大を示し其の後漸次減少する経過を認めたが髓線密度は樹齢及び年輪幅とは無関係に何れもかなり不規則に変移している様である。

Ⅷ 文 献

- 1) 藤岡光長：すぎの樹齢査定法及び植栽年度鑑定法に関する研究 (林業試験場報告 第20号, 大正9年)
- 2) 北村義重：トドマツ全乾材に於ける年輪幅と比重並に抗圧強との関係について (林学会誌 第17巻第2号, 昭和10年)
- 3) 北村義重：北海道産重要樹種の全乾材に於ける年輪幅と比重並に圧縮強度との関係について (北海道林業試験場報告 第14号, 昭和18年)
- 4) 大沢正之, 井阪三郎：アカエゾマツ樹幹内木材比重の偏異 (札幌農林学会報 第35巻第74号 昭和18年)
- 5) 平井信二：パルプ資材としての北海道産樹種の研究並に其の育林的考察 (第1報) アヲトドマツ仮導管長の年齢及地上高による変化 (北海道林業試験場時報 11号, 1938年)
- 6) 平井信二：同上 (第2報) カラマツ仮導管長の年齢及び地上高による変化 (北海道林業試験場時報 29号, 昭和16年)
- 7) 平井信二：林木の重量生長に関する研究 (第1報) 富士演習林産カラマツ (東京大学農学部演習林研究報告 第35号, 昭和22年)
- 8) 平井信二：林木の重量生長に関する研究 (第2報) 秩父演習林産歐洲タウヒ (東京大学農学部演習林研究報告 第33号, 昭和25年)

- 9) 平井左門: 樹幹内木材容積重の錯列性 (主として落葉松樹幹に就て) (北海道大学農学部演習林研究報告 第 14 号第 2 巻, 昭和 24 年)
- 10) 尾中文彦: 樹木の肥大成長の縦断的配分 (京都大学農学部演習林報告 第 18 号, 昭和 25 年)
- 11) 蕪木自輔: 木材材質の森林生物学的研究 (第 1 報) 野幌産トドマツ材の生材含水率、容積密度数及び収縮変形に関する春秋材部別観察 (林業試験場研究報告 第 46 号, 1950 年)
- 12) Ake, Wiksten: Metodik vid mätning av årsringens varved och höstved. (Meddelanden fran Statens Skogsförsöksanstalt, Häfte 34, 1944—45, Sid. 451—495)
- 13) G. Klem: Papierfabrikant. Bd. 37, (1939) S. 49. Cited by D. Johanson: Über Früh und Spätholz in Schwedischen Fichte und über ihren Einfluss auf die Eigenschaften von Sulfat und Sulfatzellstoff, (Holz als Roh und Werkstoff. 1940, Heft. 3, S. 3.)
- 14) H. Raunecker: Untersuchungen über die Holzbeschaffenheit von schwarzerlen der Oberbayerischen Moränergebieten. (Holz als Roh und Werkstoff, 1940, Heft. 6, S. 13.)
- 15) R. Trendelenburg: Über Stamm wuchsuntersuchungen und ihre Auswertung in der Holzforschung. (Holz als Roh und Werkstoff. 1937, Heft. 1—2, S. 3.)
- 16) M. Busgen: Bau und Leben unser waldbaume. 1917.
- 17) R. Trendelenburg: Das Holz als Rohstoff. 1939.

Résumé

This investigation had a purpose to systematize the respective factors of wood property by means of studying forest-biologically the wood quality, so an attempt was tried to make clear the characteristics of the wood materials by establishing the variation to the width of annual rings, summer wood percents, and bulk density of green Todo-fir (*Abies Mayriana* Miyabe et Kudô) grown at Nopporo district in Hokkaidô. The general tendencies obtained by the next observations about

- (1) the transition of cell increment,
- (2) the growth of cell-membrane,
- (3) the construction of cell-diameter,
- (4) the variation on the construction of annual rings,
- (5) the connection to the width of annual rings, summer-wood percents, and the bulk-density of wood,

are as follows:

(1) Variability of annual rings

The dispersion of annual rings in the all part of this trunk spreads to the range of 0.3~12.0 mm., but according to the characteristics about the frequency curves in the several parts of this trunk the range of annual rings (2mm.~5mm.) was seemed to be normal for the radial increments of this wood, and then it was correspondent with the critical value of annual rings explained afterwards in details.

(2) Summer-wood percents

According to the condition of growth, summer-wood percents in the annual rings are very variable, so the dispersion of them spreads to the remarkable wide range of 4~40%, but disregarding to this condition the mode of them are seemed to appear almost in the definite range (11~20%) having no relation to the width of annual rings.

(3) The relation between the width of annual rings, summer-wood percents, and the bulk-density of wood

By the tendencies of the frequency curves on the width of annual rings and summer-wood percents, the characteristic dispersion on the bulk-density of wood are confirmed, and the relation between the width of annual rings and the bulk-density of wood are seemed as a kind of parabolic distribution, and the maximum value of the bulk-density are noticed to take place at the value of 2 mm.

(4) Microscopical measuring of the spring- and summer-wood in the annual rings

The diffuse transition within annual rings from spring wood to summer wood has led to subjective choice being made of a border line between spring- and summer-wood and this has caused a lack of uniformity and reduced the possibility of comparison in previous estimates of the width of summer-wood. The conclusion regarding the position of summer-wood border-line that can be drawn from this enquiring are based on the microscopical measurements of about 9200 cells on incisions in the wood of Todo-fir. Since no greater chemical differences between spring- and summer-wood can be discovered with any degree of certainty, the only alternative is by measuring the microscopically discernible differences thus obtained, to try to discover a marginal value indicating existent border-line. The cell dimensions that have been measured consist of the radial thickness of the tangentially placed wall between two cells (V), the radial interior measurements of the lumen (L) and the radial (r) and tangential (t) measurements of the cell between the primary layers. All four dimensions thus measured were then compared in pairs as the ratios (L/V) and (r/t) and were drawn graphically in the form of a curve for each annual rings. From these curves, which represent the trend of value (V), the ratio (L/V) and (r/t) within annual rings of various width were assumed the border line which adjusts itself to the changes in annual ring.

(5) Microscopical summer-wood cell percents within annual rings

The relation between the width of annual rings and summer-wood percents obtained by the microscopical measuring are remarkably different from the relation that is obtained by the subjective choices. The dispersion of summer-wood cell within an annual ring are seen as a part occurring between two straight line, but as it is mentioned only for the arithmetic means. The dispersion about the percentage of summer-wood cell is seemed as a kind of parabolic distribution, then its maximum value shall be obtained by extrapolation of the curve beyond the minimum limit for the width of annual rings (<1mm.). These tendency are concerning to the result that have obtained about some samples grown under the dominated condition.

(6) The diffuse transition of summer-wood cell-membrane

According to the microscopical measuring of summer-wood cell, that is above mentioned, the dispersion of the measurements of the membrane was shown as a linear distribution gradually decreasing from the beginning of summer-wood growth to the end of it. And the cell-membrane, where the width of annual ring is below 1mm., was remarkably increasing, but the mode of it disregarding on the width of annual rings is seemed to appear almost in the definite range of them, in cases of which varied in annual rings between 2.0mm. and 3.5mm., then the range of its distribution are gradually increasing while it is over 3.6mm.

These tendency are also similar to the transition of the arithmetic means of cell-membranes.

(7) Transition of the cell-membrane influenced by ages of tree

Transition of cell-membranes about summer-wood and transition zone are

clearly influenced by the ages of tree, but for spring-wood it is only irregularly changeable for all the period of this tree. This is abrupt increasing for about 30 years and then afterwards it changes more slowly. These critical age of the tree, that is known as Sanio's law, for the transition of cell-membranes are as similar as to the age where the increment become maximum.

Under the excentric growth of the trunk, the cell-membranes in bigger radius are generally more increasing than that of smaller, but these progress are somewhat irregularly while the width of annual rings is narrow (below about 2mm).

(8) Transition of the hight of ray-cell and the dispersion of ray

The hight of ray-cell are rapidly increasing until about 50~55 years and then gradually decreasing, and the dispersion of ray is rather irregularly dis-regarding to the annual rings and the ages of this tree.