

東京大学秩父演習林の樹幹解析資料による樹幹形の分析

Analyses on Stem-form with the Stem Analysis data of
the Tokyo University Forest in Chichibu

山本 博一*, 龍原 哲*

Hirokazu YAMAMOTO*, Satoshi TATSUHARA*

第1章 まえがき

樹幹形に関する研究は幹曲線や直径率（形状商）についておこなわれてきた。幹曲線の大部分は直径および高さの絶対数を用いて絶対幹形を追求したものである。直径率は主として樹幹の完満度の指標とする目的で研究されたものである。これまでに、Schubergの直径率、Jonsonの絶対直径率、Girardの形状級、Massの直径率などが提案されている。これらはいずれも胸高直径など一定の高さにおける直径を基準としている。これに対して、Prodanの相対直径列は梢端から樹高9/10の位置における直径を基準としている点で異なる。この方法は、直径率を純粋な相対数によって表すことにより、樹高の異なる林木の樹幹形を相互に比較することを可能にした。相対直径列は樹幹の長さとの関係を離散的に示したものであるが、大隅⁽²⁾はこの概念を発展させ、相対直径を連続的に曲線で表した相対幹曲線を提起した。これによって表される断面形が相対幹形である。

以上のように樹幹形を把握し表現する方法を用いれば樹幹形の分析結果をもとに、樹幹形に関する与えられた一部の情報から、必要とする他の情報を予測することが可能となるであろう。そこで、本報では東京大学秩父演習林から採取されたスギ・ヒノキの樹幹解析資料⁽³⁾をもとに、樹幹形の分析を行った。

樹幹形を把握し、表現する方法は前述したように絶対数を用いるか相対数を用いるかによって二つに分けることができる。前者は絶対幹形を表すものであり、後者は相対幹形を表すものである。本報における樹幹形の分析は絶対幹形と相対幹形に分け、第2章および第3章においておこなうことにする。

本報作成にあたり、南雲秀次郎教授には終始適切なご指導をいただいた。また、資料の収集にあたり、秩父演習林の職員の方々にご協力いただいた。

*東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo

第2章 絶対幹形の分析

第1節 概 説

大隅⁽²⁾は「絶対幹形とは、幹の縦断面の形そのものであって、高さ、もしくは長さの絶対的な変化に対する直径の絶対的な変化の状態を示すものである」と述べている。

この章では絶対幹形をとりあげ、地際からの絶対的な距離における各直径間の関係を、年齢との関係も含めて分析する。

第2節 1次線型式

絶対幹形においては、特定の断面の直径を比較するかぎり、一方が大きければ他方も大きくなる傾向がある。そこで、2つの断面高における直径の相関関係を調べ、最も単純な式として一次式

$$D = a + bD' \quad (2.1)$$

D, D' : ある断面における直径

a, b : パラメータ

をあてはめることにした。各断面高において(2.1)式の関係式が求められれば、ある高さの直径から他の高さの直径を推定することができる。しかし、この関係式は断面高の任意の組合せの数だけ求める必要はない。例えば、通常測定される胸高直径と他の断面高における直径との関係を求めておけば十分である。何故ならば、(2.2)式と(2.3)式を組み合わせることによって(2.4)式を導くことができるからである。

$$D_1 = a_1 + b_1 D_b \quad (2.2)$$

$$D_2 = a_2 + b_2 D_b \quad (2.3)$$

$$D_2 = a_2 - \frac{a_1 b_2}{b_1} + \frac{b_2}{b_1} D_1 = a + b D_1 \quad (2.4)$$

そこで、胸高直径と他の断面高(0.3mおよび2.3m, 4.3m, 6.3m, ...,)の直径との間に1次式をあてはめた。一本の資料木について各断面高の直径と胸高直径の関係を調べると、全ての組み合わせにおいて極めて高い相関関係を示した。(表2-1)

次にこれを試験地ごとに、樹種ごとにまとめて求めると表2-2,3に示される結果となった。これによると、断面高が胸高から離れるにしたがって、直径間の相関が低くなっていくのがわかる。胸高直径とある断面高の直径をプロットした例を相関の高いものおよび低いもののなかから一つずつ図2-1に挙げておく。表2-2,3に示された式を用いれば、樹幹上部との相関関係は低いものの、一応胸高直径から各断面高における直径を推定することが可能である。しかし、これらの式は胸高直径が1cm生長したとき、他の断面高の直径 D_1 が b_1 生長することを暗示し

表 2-1 胸高直径と他の断面の直径との相関関係の例

6-イ-1 ヒノキ

$$D(0.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数	樹高
003	0.758	1.119	1.000	43	19.00
005	0.771	1.230	0.998	42	20.70
006	0.147	1.311	1.000	43	19.90
008	1.885	0.931	0.998	42	17.40
010	0.454	1.087	0.999	46	19.30
011	1.550	1.147	0.998	43	20.20
014	1.110	1.212	0.999	42	17.40
015	2.762	1.008	0.997	42	16.95
018	1.118	1.149	1.000	39	15.50
006H	0.753	1.176	0.985	382	

6-イ-1 ヒノキ

$$D(14.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数	樹高
003	-43.724	2.881	0.995	13	19.00
005	-25.491	1.622	0.999	18	20.70
006	-32.110	1.636	0.994	20	19.90
008	-52.841	3.247	0.995	11	17.40
010	-21.076	1.291	0.998	16	19.30
011	-34.410	1.908	0.996	20	20.20
014	-32.094	2.060	0.996	11	17.40
015	-31.191	2.368	1.000	7	16.95
018	—	—	—	0	15.50
006H	-9.999	0.761	0.776	116	

ている。この点で、この式は比較的狭い直径の範囲に対して成り立つ近似式であることがわかる。

また、直径の推定は関係式があらかじめ求めてある高さの間についてのみ可能で、任意の高さの間では用いることができないという点に問題がある。このことは、測定位置および直径を必要とする位置があらかじめ決められた位置にない場合には、不都合を生じることを示している。

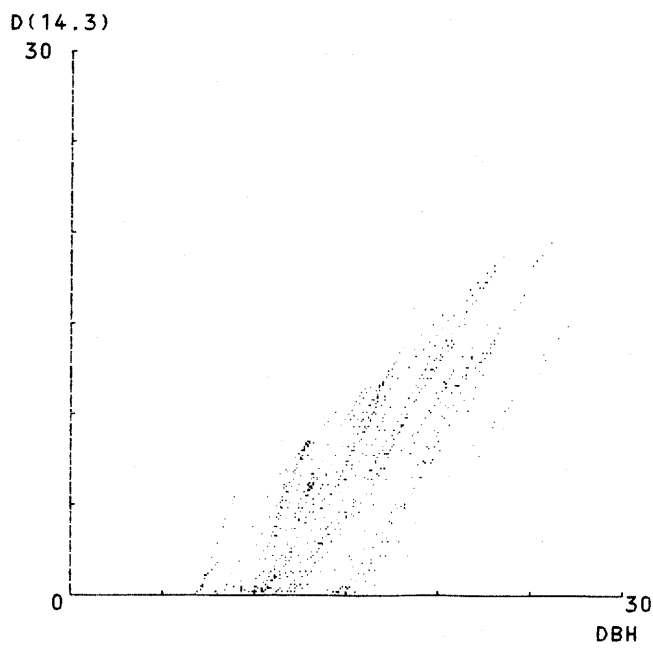
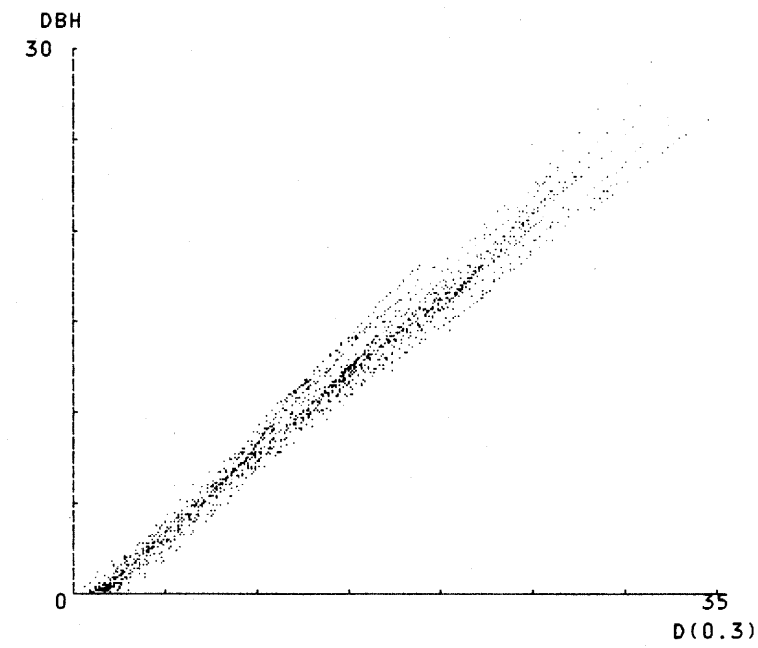


図 2-1 胸高直径と他の断面の直径の関係

第2節 細 り

ここでは、任意の高さにおける直径の推定に対応できるようにするため、細りについて考える。細りとは断面の高さが高くなるにしたがって直径が小さくなっていく状態を示すものであり、細り表によって表されることが多い。細り表とは胸高直径、樹高、形状などの関数として、一定の間隔ごとに直径の値を示した表であり、元来林木についての採材や材種別利用材積の見積りのために作成されるものであるが、これを上部直径の推定に利用することもできる。

細り表の形式には樹幹上の一定の間隔ごとの直径を胸高直径に対する比率で示したものとそれらの直径を絶対値で示したものの2種類がある。

本報では、胸高直径からの細りの割合として、

$$p = \frac{D_b - D_L}{L - 1.3} \quad (2.5)$$

L : 断面高 D_L : L における直径

を用いることにする。

この p の値は2カ所の断面における直径の差と断面高の差の比であり、この区間における細りの割合を示している。(2.5)式は変形すると

$$D_L = D_b - p(L - 1.3) \quad (2.6)$$

となり、 p の値がわかれば任意の高さにおける直径を推定することができる。

10年生以上の各齢階に対して、皮内直径における p の値を断面高別に求めてみると、平均値が表2-4 (ヒノキ)、表2-6 (スギ)、標準偏差が表2-5 (ヒノキ)、表2-7 (スギ)のようになった。高さ方向では、全般的に断面高が高くなるにつれて p の値が大きくなる傾向が見られた(図2-2)。年齢方向についてみると、胸高以上では年齢が増えるにつれて p の値が減少し、その変化は次第に緩やかになっていく。このことは、高齢になるにしたがって樹幹形が完満になることを示している。幹足部では逆に林齢の増加とともに p の値は増加しており、ヒノキでは45年生以降に p の値が減少している(図2-3)。

以上の結果をもとに、ヒノキにおける p の値を胸高以上については0.75, 0.85, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6の6つに区分し、胸高以下については2.6と3.3の2つに区分した(図2-4)。

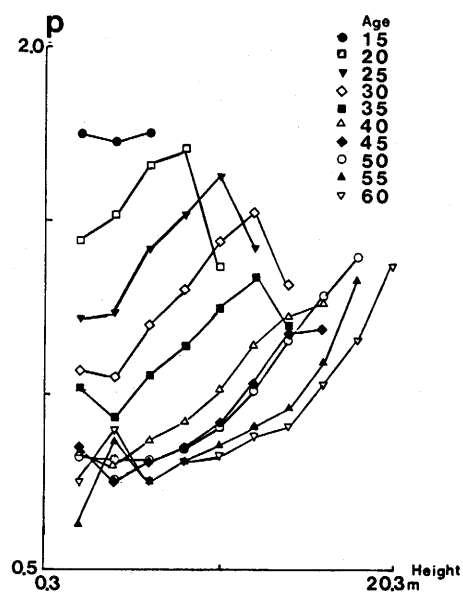


図 2-2 Pの高さに対する変化

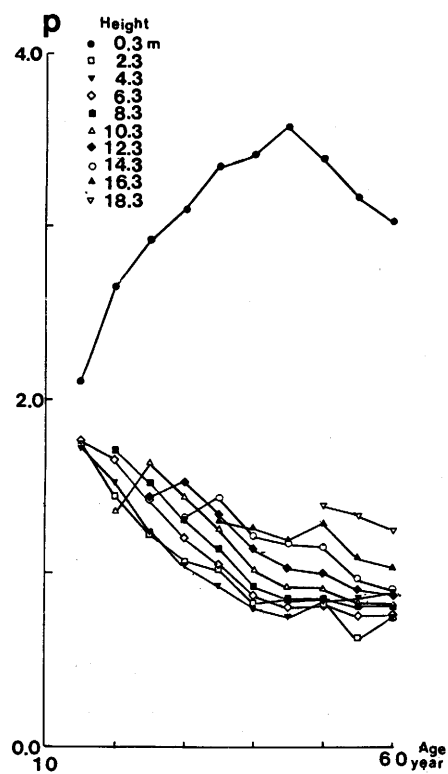


図 2-3 Pの年齢に対する変化

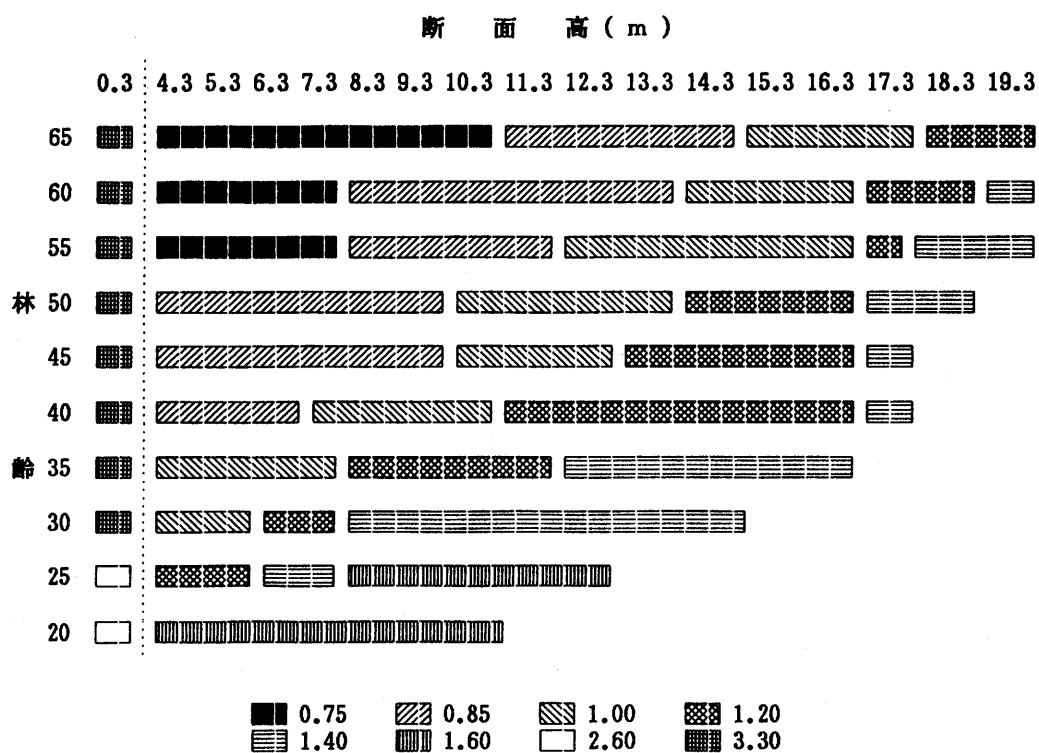


図 2-4 $(D_b - D_L) / (L - 1.3)$ (cm/m) の値 (ヒノキ)

表 2-2 1 次式 (ヒノキ)

$$D(0.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	1.357	1.131	0.993	563
004H	0.991	1.152	0.991	603
006H	0.753	1.176	0.985	382
ヒノキ	1.074	1.150	0.990	1548

$$D(2.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-1.752	1.018	0.995	522
004H	-1.444	1.024	0.996	554
006H	-1.413	1.026	0.998	359
ヒノキ	-1.568	1.024	0.996	1435

$$D(4.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-4.634	1.026	0.962	447
004H	-3.896	1.044	0.973	490
006H	-4.488	1.112	0.986	320
ヒノキ	-4.363	1.060	0.968	1257

$$D(6.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-5.802	0.902	0.898	360
004H	-5.758	0.994	0.910	433
006H	-7.635	1.159	0.963	290
ヒノキ	-6.240	1.007	0.908	1083

$$D(8.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-5.703	0.715	0.813	278
004H	-5.810	0.838	0.804	366
006H	-9.542	1.153	0.920	252
ヒノキ	-6.608	0.876	0.806	896

$$D(10.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-5.245	0.525	0.705	189
004H	-4.628	0.625	0.700	286
006H	-10.358	1.073	0.881	213
ヒノキ	-5.855	0.693	0.679	688

$$D(12.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-3.465	0.293	0.623	106
004H	-3.307	0.404	0.611	203
006H	-10.509	0.937	0.854	169
ヒノキ	-4.585	0.494	0.561	478

$$D(14.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	-1.811	0.123	0.522	29
004H	-1.871	0.202	0.470	108
006H	-9.999	0.761	0.776	116
ヒノキ	-3.975	0.365	0.451	253

$$D(16.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
002H	—	—	—	0
004H	-0.130	0.037	0.227	26
006H	-5.889	0.429	0.524	61
ヒノキ	-5.711	0.393	0.515	87

表 2-3 1 次式 (スギ)

$$D(0.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	1.430	1.063	0.993	595
003S	0.645	1.165	0.988	823
005S	0.808	1.081	0.993	409
スギ	1.089	1.103	0.989	1827

$$D(2.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-1.514	1.032	0.998	571
003S	-1.635	1.019	0.997	782
005S	-1.464	1.009	0.998	391
スギ	-1.464	1.014	0.998	1744

$$D(4.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-4.122	1.066	0.981	522
003S	-5.030	1.077	0.980	703
005S	-4.919	1.070	0.987	357
スギ	-4.493	1.060	0.984	1582

$$D(6.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-6.288	1.073	0.952	473
003S	-8.368	1.142	0.961	629
005S	-6.360	1.041	0.966	339
スギ	-6.783	1.070	0.964	1441

$$D(8.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-7.659	1.026	0.915	423
003S	-10.943	1.166	0.949	519
005S	-7.594	1.018	0.934	319
スギ	-8.576	1.060	0.944	1261

$$D(10.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-9.422	0.995	0.861	353
003S	-14.225	1.206	0.915	440
005S	-8.503	0.972	0.904	293
スギ	-10.600	1.049	0.913	1086

$$D(12.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-9.056	0.843	0.794	286
003S	-15.851	1.175	0.882	371
005S	-8.428	0.884	0.854	269
スギ	-11.521	0.986	0.877	926

$$D(14.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-9.138	0.714	0.711	190
003S	-17.936	1.157	0.841	294
005S	-7.236	0.758	0.793	248
スギ	-12.222	0.914	0.825	732

$$D(16.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-7.118	0.504	0.589	111
003S	-19.927	1.130	0.810	222
005S	-5.562	0.627	0.708	222
スギ	-11.870	0.812	0.751	555

$$D(18.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-3.472	0.246	0.439	53
003S	-14.729	0.818	0.641	145
005S	-2.514	0.434	0.567	196
スギ	-7.246	0.553	0.592	394

$$D(20.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	-59.321	2.119	0.989	4
003S	-8.969	0.500	0.542	94
005S	-0.219	0.279	0.433	161
スギ	-2.718	0.329	0.449	259

$$D(22.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	—	—	—	0
003S	-6.857	0.332	0.617	40
005S	2.073	0.134	0.253	117
スギ	0.656	0.155	0.270	157

$$D(24.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	—	—	—	0
003S	-42.211	1.345	0.997	5
005S	2.638	0.058	0.138	72
スギ	2.770	0.047	0.109	77

$$D(26.3) = a + b * D(1.3)$$

No	a	b	相関係数	データ数
001S	—	—	—	0
003S	—	—	—	0
005S	-0.511	0.111	0.213	32
スギ	-0.511	0.111	0.213	32

表 2-4 Pの平均値 (ヒノキ)

年齢	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
65	3.333	0.500	0.783	0.683	0.767	0.799	0.855	0.877	0.990	1.224	1.416
60	3.033	0.750	0.900	0.757	0.810	0.832	0.885	0.913	1.032	1.247	1.374
55	3.167	0.633	0.867	0.757	0.812	0.855	0.912	0.967	1.096	1.335	
50	3.386	0.829	0.822	0.819	0.845	0.908	1.010	1.156	1.288	1.394	
45	3.584	0.847	0.756	0.807	0.850	0.919	1.035	1.178	1.190		
40	3.420	0.836	0.798	0.872	0.926	1.020	1.147	1.224	1.269		
35	3.349	1.020	0.935	1.056	1.141	1.247	1.340	1.442	1.303		
30	3.107	1.070	1.053	1.203	1.306	1.441	1.525	1.322			
25	2.917	1.225	1.237	1.420	1.522	1.629	1.425				
20	2.652	1.444	1.528	1.661	1.709	1.369					
15	2.211	1.751	1.730	1.756							
10	1.839	1.715	1.580								

表 2-5 Pの標準偏差 (ヒノキ)

年齢	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
65	2.181	0.278	0.249	0.261	0.315	0.295	0.299	0.261	0.210	0.171	—
60	2.006	0.444	0.284	0.276	0.305	0.270	0.277	0.233	0.159	0.104	—
55	2.071	0.379	0.300	0.255	0.298	0.263	0.273	0.212	0.139	—	
50	1.807	0.318	0.236	0.216	0.220	0.229	0.240	0.223	0.188	—	
45	1.900	0.346	0.250	0.213	0.223	0.230	0.243	0.238	0.166		
40	1.785	0.351	0.257	0.217	0.234	0.246	0.254	0.192	0.178		
35	1.591	0.453	0.306	0.277	0.294	0.285	0.260	0.266	0.153		
30	1.470	0.459	0.322	0.300	0.317	0.285	0.280	0.148			
25	1.333	0.474	0.353	0.316	0.306	0.273	0.164				
20	1.123	0.489	0.415	0.334	0.308	0.145					
15	0.853	0.666	0.470	0.396							
10	0.664	0.592	0.542								

—: データ数が1

表 2-6 P の平均値 (スギ)

年齢階	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
55	5.561	1.170	0.936	0.850	0.825	0.824	0.840	0.866	0.924	0.982	1.051
50	4.902	1.210	0.949	0.847	0.829	0.837	0.872	0.927	1.016	1.061	1.206
45	4.171	1.360	0.951	0.896	0.875	0.893	0.936	1.002	1.040	1.133	1.137
40	3.397	1.198	0.986	0.947	0.906	0.948	1.012	1.082	1.129	1.131	1.137
35	3.015	1.032	0.931	0.914	0.914	0.969	1.019	1.108	1.139	1.195	1.220
30	2.659	0.995	0.935	0.959	0.983	1.033	1.119	1.176	1.228	1.262	1.245
25	2.415	1.021	1.014	1.077	1.084	1.166	1.229	1.327	1.388	1.329	1.463
20	2.230	1.141	1.215	1.278	1.316	1.427	1.509	1.466	1.598		
15	2.133	1.405	1.569	1.630	1.619	1.608	1.666				
10	2.134	1.801	1.879	1.690							

表 2-7 P の標準偏差 (スギ)

年齢階	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
55	2.226	0.403	0.245	0.182	0.148	0.125	0.119	0.129	0.148	0.184	0.145
50	2.199	0.344	0.238	0.176	0.134	0.118	0.115	0.125	0.157	0.143	0.161
45	2.440	0.672	0.367	0.255	0.199	0.187	0.192	0.216	0.245	0.286	0.348
40	2.144	0.654	0.410	0.346	0.202	0.191	0.211	0.244	0.279	0.339	0.338
35	1.634	0.520	0.357	0.299	0.203	0.226	0.233	0.258	0.267	0.273	0.336
30	1.455	0.458	0.348	0.299	0.246	0.262	0.280	0.242	0.251	0.283	0.249
25	1.305	0.464	0.373	0.340	0.283	0.289	0.251	0.228	0.246	0.155	—
20	1.135	0.517	0.446	0.388	0.324	0.275	0.257	0.173	—		
15	1.003	0.564	0.535	0.378	0.283	0.142	—				
10	0.995	0.555	0.260	0.206							

— : データ数が 1

表 2-8 Pの変動係数(%) (ヒノキ)

齢階	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
65	65.4	55.7	31.8	38.2	41.1	36.9	35.0	29.8	21.2	13.9	—
60	66.8	59.3	31.6	36.4	37.6	32.4	31.4	25.5	15.4	8.3	—
55	65.4	59.8	34.7	33.7	36.8	30.8	29.9	21.9	12.7	—	
50	53.4	38.4	28.7	26.3	26.0	25.2	23.7	19.3	14.6	—	
45	53.0	40.9	33.0	26.3	26.3	25.0	23.4	20.2	13.9		
40	52.2	42.0	32.2	24.9	25.3	24.1	22.1	15.7	14.0		
35	47.5	44.4	32.7	26.2	25.8	22.9	19.4	18.4	11.7		
30	47.3	42.9	30.6	25.0	24.3	19.8	18.4	11.2			
25	45.7	38.5	28.5	22.2	20.1	16.8	11.5				
20	42.3	33.9	27.2	20.1	18.1	10.6					
15	38.6	38.1	27.2	22.6							
10	36.1	34.5	34.3								

— : データ数が1

表 2-9 Pの変動係数(%) (スギ)

齢階	断 面 高 (m)										
	0.3	2.3	4.3	6.3	8.3	10.3	12.3	14.3	16.3	18.3	20.3
55	40.0	34.4	26.1	21.4	18.0	15.1	14.1	14.8	16.0	18.7	13.8
50	44.9	28.4	25.1	20.7	16.2	14.1	13.2	13.4	15.5	13.5	13.4
45	58.5	49.4	38.6	28.5	22.7	20.9	20.5	21.6	23.5	25.2	30.6
40	63.1	54.6	41.6	36.5	22.3	20.1	20.8	22.5	24.7	30.0	29.7
35	54.2	50.4	38.3	32.7	22.2	23.3	22.9	23.3	23.4	22.8	27.5
30	54.7	46.0	37.2	31.2	25.0	25.4	25.0	20.6	20.4	22.4	20.0
25	54.0	45.5	36.8	31.6	26.1	24.8	20.4	17.2	17.8	11.6	—
20	50.9	45.3	36.7	30.4	24.6	19.3	17.0	11.8	—		
15	47.0	40.2	34.1	23.2	17.5	8.8	—				
10	46.6	30.8	13.8	12.2							

— : データ数が1

第3章 相対幹形の分析

第1節 概 説

この章では第2章の絶対幹形に対して、相対幹形についての分析を行う。

大隅⁽²⁾は「相対幹形は、幹の幹軸を含む縦断面において、幹の高さもしくは長さに対する相対的位置の変化に対して、一定の基準直径に対する相対数として表れた相対直径が変化する状態を示すものであって、その変化の過程は、相対樹高に対する相対半径の関係を示す相対幹曲線によって追跡することができる。」と述べている。

相対幹曲線とは、X軸に幹長に対する相対長をとり、Y軸に基準直径に対する相対半径をとって描かれるものである。

本報においては、梢端を原点にとって幹長を1、梢端より幹長の9/10の位置における直径 $d_{0.9}$ を1とする相対幹曲線および次のような9つの数値で構成される相対直径列によって、相対幹形を表現することにした。

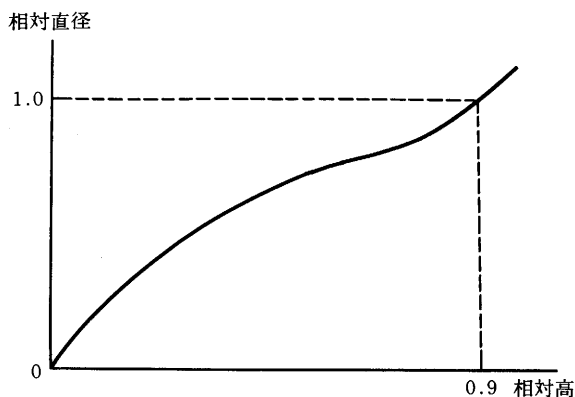


図3-1 相対幹曲線

$$\begin{aligned} \eta_{0.1} &= \frac{d_{0.1}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.2} = \frac{d_{0.2}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.3} = \frac{d_{0.3}}{d_{0.9}}, \\ \eta_{0.4} &= \frac{d_{0.4}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.5} = \frac{d_{0.5}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.6} = \frac{d_{0.6}}{d_{0.9}}, \\ \eta_{0.7} &= \frac{d_{0.7}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.8} = \frac{d_{0.8}}{d_{0.9}}, \quad \eta_{0.9} = \frac{d_{0.9}}{d_{0.9}} = 1 \end{aligned}$$

($d_{0.1}$ は梢端から幹長の1/10の位置の直径を表す)

梢端からの実長を X 、その位置における直径を Y とし

$$x = \frac{X}{h}, \quad y = \frac{Y}{d_{0.9}}$$

h : 幹長

$d_{0.9}$: 梢端から $0.9h$ の位置における直径

とくと、相対幹曲線式は $y=f(x)$ によって表される。

第2節 相対幹曲線式のあてはめ

幹曲線式は古くから多くの人々によって研究され、様々な式が提案されているが、その中からKunze式、3次式(吉田式)、5次式の3種類の式をとりあげ、適合度を比較することにした。Kunze式は単調増加する形では最も簡単な式であり、3次式は変曲点をもつ最も簡単な式である。5次式は3次式を拡張したもので、さらに複雑な形も表現できる。3つの式は次に示しておく。

$$y^2 = px^r \quad (3.1)$$

$$y = ax + bx^2 + cx^3 \quad (3.2)$$

$$y = ax + bx^2 + cx^3 + dx^4 + ex^5 \quad (3.3)$$

具体的には前述の3つの式に秩父演習林1林班い₁₉小判内の3本の資料木の皮内相対幹曲線をあてはめた。5次式では5個以上のデータを必要とするので、測定した断面の数が地際を除いて6個以上ある齢階を対象とした。各資料木の各齢階ごとの幹曲線について最小2乗法を適用して曲線式をあてはめ、実測値と計算値の残差平方和を計算することによって、適合度を比較した。その際、曲線をあてはめる方法として、次のような3通りの方法を試みた。

1. 相対直径 $\eta_{0.1}$, $\eta_{0.2}$, $\eta_{0.3}$, $\eta_{0.4}$, $\eta_{0.5}$, $\eta_{0.6}$, $\eta_{0.7}$, $\eta_{0.8}$, $\eta_{0.9}$ を既知の直径から直線補完することによって求め、点(0.9,1)をとるように固定して、それぞれの値に最小2乗法を適用する。

2. 測定した直径に最小2乗法を適用して求めた曲線式を幹長が1, 梢端より樹高の9/10の位置における直径が1となるように相対化する。

3. $d_{0.9}$ を既知の直径から直線補完することによって求め、測定した直径を相対化し、点(0.9,1)をとるように固定して、それぞれの値に最小2乗法を適用する。

測定値を基準直径 $d_{0.9}$ によって相対化した値とあてはめた曲線式による計算値との間の誤差平方和の値は表3-1のようになった。これによると、全般的にKunze式の適合度は悪く、5次式が最も良好であることがわかる。そして、方法間の違いは式間の違いと比べて小さいことが示されている。

さらに、木材としての利用価値の低い梢端部を除いて同様の適合度の比較を行った。3次式、5次式について、梢端から幹長の3/10以内の位置の誤差平方和を表3-1の値から除外して表3-2に示した。それによると除外しない場合と大差がなかった。

誤差平方和は、5次式をあてはめた場合が最も小さかったが、以下の相対幹曲線の分析には前述の方法3および3次式によって行うこととした。それは次のような理由による。まず、3次式による誤差平方和が5次式によるものに比べてそれほど大きなものではなかったからである。そして、3次式はパラメータの数が少なく簡単で実用上便利であるが、5次式は式の自由

度が大きいため、データに忠実になるあまり本来の樹幹形を見失うこともありうると思ったからである。

表 3-1 相対幹曲線式の適合度の比較

式	方 法 1		方 法 2		方 法 3	
	誤差平方和	順位	誤差平方和	順位	誤差平方和	順位
Kunze式	0.56779	7	0.92740	9	0.70428	8
	1.0219	7	1.0852	8	1.1281	9
	0.32932	7	0.33059	8	0.4379	9
3 次式	0.13467	4	0.14536	5	0.12760	3
	0.55466	5	0.59920	6	0.46275	4
	0.054280	4	0.058839	5	0.048893	3
5 次式	0.16521	6	0.077870	2	0.053196	1
	0.38930	3	0.11102	2	0.080995	1
	0.074350	6	0.030209	2	0.025186	1

上段：010H013 中段：010H031 下段：010H101

順位は各試料木内での誤差平方和が小さい順番

表 3-2 相対幹曲線式の適合度の比較（梢端部の誤差平方和を除いたもの）

式	方 法 1		方 法 2		方 法 3	
	誤差平方和	順位	誤差平方和	順位	誤差平方和	順位
3 次式	0.083308	5	0.090992	6	0.078166	4
	0.53799	5	0.57425	6	0.41645	4
	0.046291	5	0.050417	6	0.039107	4
5 次式	0.14708	3	0.056278	2	0.034228	1
	0.37918	3	0.091015	2	0.064515	1
	0.069040	3	0.023416	2	0.018762	1

上段：010H013 中段：010H031 下段：010H101

順位は各試料木内での誤差平方和が小さい順番

第 3 節 相対幹曲線の林分、年齢による差異

前節において述べたような方法により、試料木全部について齡階ごとに相対幹曲線式（3 次式）のパラメータを推定した。試験地ごと、樹種ごとの平均相対幹曲線式は各試料木について求められたパラメータを平均することによって得ることができる。（図 3-2,3）それは (3.2) 式において任意の x に対する y の平均値 \bar{y} は

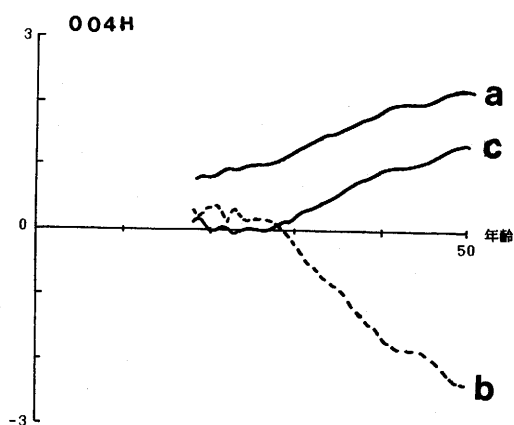
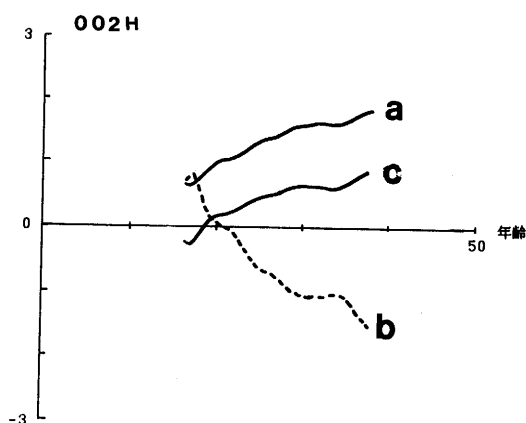


図3-2 (その1) 相対幹曲線 $y=ax+bx^2+cx^3$ のパラメータの変化 (ヒノキ)

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum y_i}{N} = \frac{\sum (a_i x + b_i x^2 + c_i x^3)}{N} \\ &= \frac{\sum a_i}{N} x + \frac{\sum b_i}{N} x^2 + \frac{\sum c_i}{N} x^3\end{aligned}\quad (3.4)$$

N : データ数

によって表されるからである。そして、それらの式から試験地ごと、樹種ごとの相対直径列の平均値および標準偏差を求めた (表3-3,4)。

相対幹曲線式 $y=ax+bx^2+cx^3$ のパラメータ a , b , c の年齢に対する変化をみると (図3-2,3), 時間の経過とともに, a および c は増加, b は減少の方向に連続的に変化し, 次第に一定値に収束する傾向が認められる。この傾向はいずれの試験地においてもみられるが, 試験

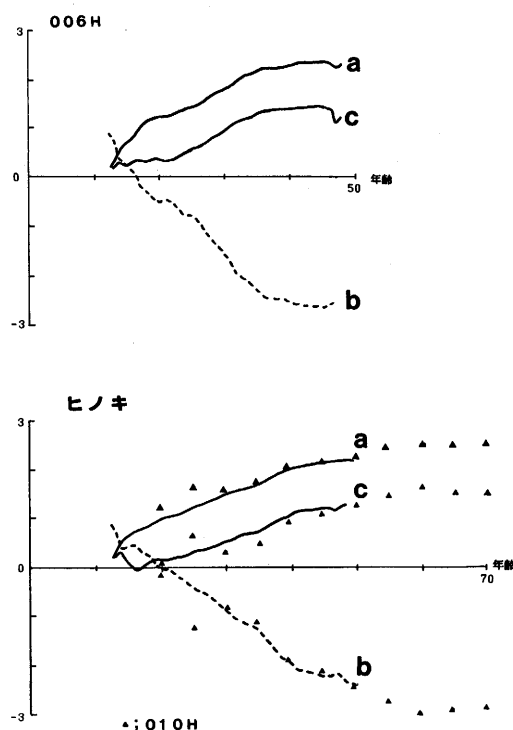


図3-2 (その2) 相対幹曲線 $y=ax+bx^2+cx^3$ のパラメータの変化 (ヒノキ)

地ごとのパラメータの値は異なっており、パラメータの変化が緩やかになる時期も試験地ごとに異なる。

次に林分あるいは年齢によって相対幹曲線に違いがあるか否かを統計的に検定することにする。具体的には、20年生以降10年目ごとの相対直径列に対し、まず、分散についてF検定を行い、分散の差がないとみなされたものについて平均値のt検定を行うものとした。

試験地間についての検定結果は表3-5,6に示すとおりである。分散についてはほとんど有意な差はみられなかったが、平均値については有意な差が認められた。梶原⁽¹⁾がスギ同齢林について指摘したように、ヒノキ・スギともに林分間に樹幹形の違いがあることが示された。

年齢間(10年目ごと)についての検定結果は表3-7,8に示すとおりである。分散についてはほとんどの場合について有意な差はみられなかったが、平均値については一部老齢林を除いて有意な差が認められた。相対直径の値は全般的に年齢とともに大きくなっているため、高齢になるにつれて有意に完満になっていくことが示された。

最後にヒノキ・スギの樹種間についても検定した。その結果は表3-9に示すように、分散についてはいくつかの場合、平均値についてはほとんどの場合において、相対直径の値に有意

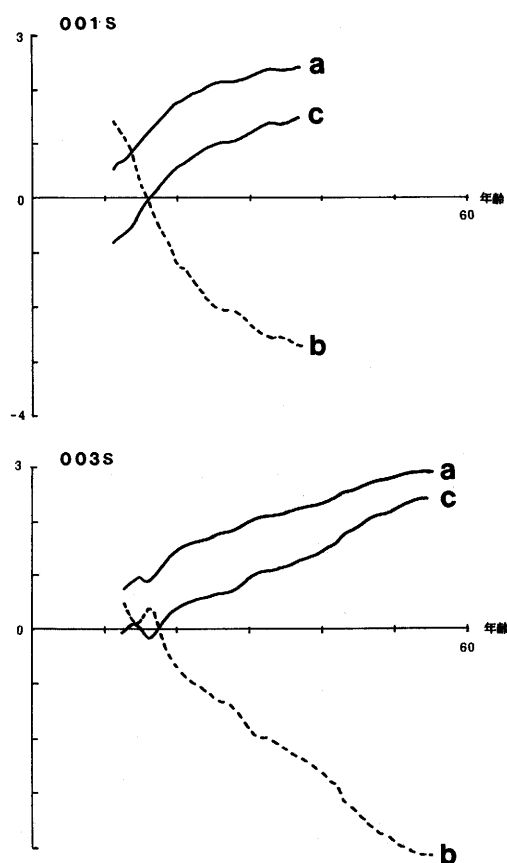


図 3-3 (その 1) 相対幹曲線 $y=ax+bx^2+cx^3$ のパラメータの変化 (スギ)

な差がみられた。年齢方向の変化は、ヒノキ・スギともに同様の傾向を示したが、同年齢の相対直径を比較すると、全般的にスギのほうが大きくなっており、スギがヒノキよりも完満であることがわかった。

引用文献

- (1) 梶原幹弘：スギ同齢林における相対幹曲線の変動について。日林誌54：340～345, 1972
- (2) 大隅真一：幹形に関する研究(1)相対幹形について。日林誌41：471～479, 1959
- (3) 秩父演習林・林学科森林経理学研究室：秩父演習林における樹幹解析資料。演習林（東大）25（投稿中）

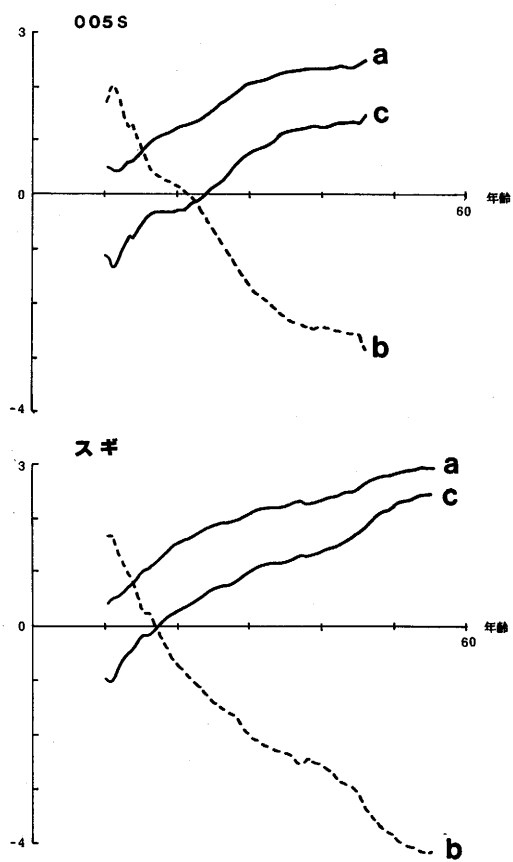


図 3-3 (その 2) 相対幹曲線 $y = ax + bx^2 + cx^3$ のパラメータの変化 (スギ)

表 3-3 相対直径の平均値と標準偏差 (ヒノキ)

1-イ-13 ヒノキ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.0975	0.1455	—	—	0.0253	0.0193	—	—
$\eta_{0.2}$	0.1961	0.2737	—	—	0.0363	0.0294	—	—
$\eta_{0.3}$	0.2968	0.3883	—	—	0.0381	0.0338	—	—
$\eta_{0.4}$	0.4005	0.4930	—	—	0.0365	0.0354	—	—
$\eta_{0.5}$	0.5083	0.5916	—	—	0.0360	0.0361	—	—
$\eta_{0.6}$	0.6211	0.6879	—	—	0.0369	0.0355	—	—
$\eta_{0.7}$	0.7400	0.7856	—	—	0.0350	0.0314	—	—
$\eta_{0.8}$	0.8660	0.8883	—	—	0.0244	0.0207	—	—

3-イ-11 ヒノキ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.0812	0.1168	0.1700	0.1957	0.0294	0.0338	0.0328	0.0267
$\eta_{0.2}$	0.1697	0.2300	0.3125	0.3520	0.0465	0.0483	0.0476	0.0376
$\eta_{0.3}$	0.2655	0.3406	0.4331	0.4767	0.0553	0.0495	0.0493	0.0377
$\eta_{0.4}$	0.3687	0.4495	0.5372	0.5776	0.0590	0.0440	0.0430	0.0321
$\eta_{0.5}$	0.4795	0.5576	0.6302	0.6626	0.0593	0.0386	0.0341	0.0269
$\eta_{0.6}$	0.5979	0.6658	0.7175	0.7396	0.0561	0.0369	0.0277	0.0259
$\eta_{0.7}$	0.7240	0.7749	0.8047	0.8162	0.0475	0.0351	0.0242	0.0257
$\eta_{0.8}$	0.8580	0.8861	0.8970	0.9004	0.0301	0.0253	0.0175	0.0191

6-イ-1 ヒノキ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.1197	0.1652	0.2048	—	0.0195	0.0221	0.0171	—
$\eta_{0.2}$	0.2317	0.3039	0.3670	—	0.0299	0.0304	0.0235	—
$\eta_{0.3}$	0.3385	0.4216	0.4948	—	0.0393	0.0309	0.0245	—
$\eta_{0.4}$	0.4423	0.5239	0.5965	—	0.0509	0.0306	0.0259	—
$\eta_{0.5}$	0.5456	0.6164	0.6801	—	0.0623	0.0340	0.0303	—
$\eta_{0.6}$	0.6506	0.7047	0.7541	—	0.0685	0.0386	0.0346	—
$\eta_{0.7}$	0.7598	0.7944	0.8266	—	0.0638	0.0383	0.0340	—
$\eta_{0.8}$	0.8755	0.8909	0.9058	—	0.0428	0.0271	0.0242	—

ヒノキ（3試験地の合計）

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.0985	0.1400	0.1836	0.1957	0.0283	0.0312	0.0323	0.0267
$\eta_{0.2}$	0.1977	0.2654	0.3339	0.3520	0.0434	0.0460	0.0478	0.0376
$\eta_{0.3}$	0.2985	0.3793	0.4573	0.4767	0.0503	0.0493	0.0501	0.0377
$\eta_{0.4}$	0.4021	0.4849	0.5604	0.5776	0.0532	0.0465	0.0470	0.0321
$\eta_{0.5}$	0.5096	0.5855	0.6497	0.6626	0.0545	0.0421	0.0405	0.0269
$\eta_{0.6}$	0.6221	0.6840	0.7318	0.7396	0.0537	0.0387	0.0350	0.0259
$\eta_{0.7}$	0.7405	0.7839	0.8132	0.8162	0.0473	0.0341	0.0298	0.0257
$\eta_{0.8}$	0.8662	0.8881	0.9004	0.9004	0.0311	0.0232	0.0202	0.0191

表 3-4 相対直径の平均値と標準偏差（スギ）

1-イ-13 スギ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.1642	0.2005	—	—	0.0319	0.0244	—	—
$\eta_{0.2}$	0.3070	0.3623	—	—	0.0478	0.0362	—	—
$\eta_{0.3}$	0.4319	0.4924	—	—	0.0518	0.0390	—	—
$\eta_{0.4}$	0.5423	0.5977	—	—	0.0485	0.0367	—	—
$\eta_{0.5}$	0.6418	0.6854	—	—	0.0418	0.0326	—	—
$\eta_{0.6}$	0.7339	0.7625	—	—	0.0350	0.0290	—	—
$\eta_{0.7}$	0.8219	0.8359	—	—	0.0284	0.0250	—	—
$\eta_{0.8}$	0.9095	0.9128	—	—	0.0185	0.0168	—	—

1-イ-15 スギ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.1391	0.1821	0.2064	0.2447	0.0293	0.0313	0.0243	0.0143
$\eta_{0.2}$	0.2657	0.3328	0.3693	0.4246	0.0423	0.0444	0.0357	0.0225
$\eta_{0.3}$	0.3822	0.4581	0.4970	0.5531	0.0448	0.0452	0.0386	0.0273
$\eta_{0.4}$	0.4910	0.5636	0.5981	0.6437	0.0431	0.0403	0.0374	0.0307
$\eta_{0.5}$	0.5944	0.6553	0.6810	0.7099	0.0420	0.0363	0.0358	0.0332
$\eta_{0.6}$	0.6946	0.7389	0.7542	0.7651	0.0424	0.0361	0.0346	0.0336
$\eta_{0.7}$	0.7941	0.8204	0.8261	0.8229	0.0397	0.0349	0.0313	0.0299
$\eta_{0.8}$	0.8951	0.9055	0.9052	0.8967	0.0275	0.0252	0.0213	0.0196

6-イ-1 スギ

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.1230	0.1874	0.2071	—	0.0359	0.0233	0.0220	—
$\eta_{0.2}$	0.2469	0.3446	0.3726	—	0.0561	0.0353	0.0349	—
$\eta_{0.3}$	0.3700	0.4763	0.5042	—	0.0649	0.0392	0.0411	—
$\eta_{0.4}$	0.4908	0.5874	0.6093	—	0.0662	0.0379	0.0424	—
$\eta_{0.5}$	0.6074	0.6826	0.6954	—	0.0629	0.0341	0.0405	—
$\eta_{0.6}$	0.7184	0.7667	0.7700	—	0.0564	0.0296	0.0361	—
$\eta_{0.7}$	0.8219	0.8445	0.8406	—	0.0459	0.0241	0.0289	—
$\eta_{0.8}$	0.9163	0.9207	0.9148	—	0.0285	0.0154	0.0175	—

スギ (3 試験地の合計)

	平 均 値				標 準 偏 差			
	20	30	40	50	20	30	40	50
$\eta_{0.1}$	0.1460	0.1906	0.2067	0.2447	0.0256	0.0277	0.0230	0.0143
$\eta_{0.2}$	0.2789	0.3472	0.3705	0.4246	0.0535	0.0406	0.0348	0.0225
$\eta_{0.3}$	0.4006	0.4758	0.4997	0.5531	0.0587	0.0434	0.0389	0.0273
$\eta_{0.4}$	0.5130	0.5826	0.6023	0.6437	0.0564	0.0405	0.0389	0.0307
$\eta_{0.5}$	0.6178	0.6734	0.6863	0.7099	0.0512	0.0365	0.0375	0.0332
$\eta_{0.6}$	0.7171	0.7545	0.7601	0.7651	0.0455	0.0337	0.0353	0.0336
$\eta_{0.7}$	0.8126	0.8320	0.8315	0.8229	0.0384	0.0300	0.0307	0.0299
$\eta_{0.8}$	0.9063	0.9118	0.9088	0.8967	0.0252	0.0205	0.0202	0.0196

表 3-5 相対直径の試験地間の検定 (ヒノキ)

1-2 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	16	1.350	25	1.523
.2	9	16	1.641	25	1.645
.3	9	16	2.107	25	1.715
.4	9	16	2.613	25	1.739
.5	9	16	2.713	25	1.579
.6	9	16	2.311	25	1.356
.7	9	16	1.842	25	1.005
.8	9	16	1.522	25	0.755

1-2 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	17	3.067*	30	3.031**
.2	13	17	2.699	30	3.166**
.3	13	17	2.145	30	3.238**
.4	13	17	1.545	30	3.102**
.5	13	17	1.143	30	2.565*
.6	13	17	1.080	30	1.717
.7	13	17	1.250	30	0.908
.8	13	17	1.494	30	0.271

2-3 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	8	2.273	17	3.321**
.2	9	8	2.419	17	3.411**
.3	9	8	1.980	17	3.280**
.4	9	8	1.344	17	2.895**
.5	8	9	1.104	17	2.369*
.6	8	9	1.491	17	1.843
.7	8	9	1.804	17	1.397
.8	8	9	2.022	17	1.040

2-3 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	8	2.339	21	3.790**
.2	13	8	2.524	21	4.081**
.3	13	8	2.566	21	4.372**
.4	13	8	2.068	21	4.416**
.5	13	8	1.289	21	3.728*
.6	8	13	1.094	21	2.424*
.7	8	13	1.191	21	1.256
.8	8	13	1.147	21	0.432

2-3 40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	8	3.679	21	2.921**
.2	13	8	4.103	21	3.176**
.3	13	8	4.049	21	3.469**
.4	13	8	2.756	21	3.709**
.5	13	8	1.267	21	3.571
.6	8	13	1.560	21	2.807
.7	8	13	1.974	21	1.809
.8	8	13	1.850	21	1.023

3-1 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	8	1.683	24	2.289*
.2	16	8	1.474	24	2.518*
.3	8	16	1.064	24	2.659*
.4	8	16	1.945	24	2.423*
.5	8	16	2.995	24	1.948
.6	8	16	3.446*	24	1.391
.7	8	16	3.323*	24	1.030
.8	8	16	3.077	24	0.726

3-1 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	8	17	1.311	25	2.384*
.2	8	17	1.069	25	2.489*
.3	17	8	1.197	25	2.479*
.4	17	8	1.338	25	2.230*
.5	17	8	1.127	25	1.714
.6	8	17	1.182	25	1.127
.7	8	17	1.488	25	0.638
.8	8	17	1.714	25	0.278

表中の番号1, 2, 3はそれぞれ試験地番号002H, 004H, 006Hに対応する

*:有意, **:高度に有意

表 3—6 相対直径の試験地間の検定 (スギ)

1—2 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	17	13	1.185	30	2.287*
.2	17	13	1.277	30	2.547*
.3	17	13	1.337	30	2.853**
.4	17	13	1.266	30	3.113**
.5	13	17	1.010	30	3.176**
.6	13	17	1.468	30	2.873**
.7	13	17	1.954	30	2.311*
.8	13	17	2.210	30	1.769

1—2 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	17	1.646	33	1.946
.2	16	17	1.504	33	2.160*
.3	16	17	1.343	33	2.408*
.4	16	17	1.206	33	2.620*
.5	16	17	1.240	33	2.584*
.6	16	17	1.550	33	2.138*
.7	16	17	1.949	33	1.517
.8	16	17	2.250	33	1.014

2—3 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	13	1.501	22	1.209
.2	9	13	1.759	22	0.938
.3	9	13	2.099	22	0.546
.4	9	13	2.359	22	0.009
.5	9	13	2.243	22	0.609
.6	9	13	1.769	22	1.182
.7	9	13	1.337	22	1.586
.8	9	13	1.074	22	1.834

2-3 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	9	1.805	25	0.464
.2	16	9	1.582	25	0.716
.3	16	9	1.330	25	1.059
.4	16	9	1.131	25	1.514
.5	16	9	1.133	25	1.928
.6	16	9	1.487	25	2.057
.7	16	9	2.097	25	1.923
.8	16	9	2.678	25	1.720

2-3 40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	9	1.220	25	0.075
.2	16	9	1.046	25	0.234
.3	9	16	1.134	25	0.457
.4	9	16	1.285	25	0.716
.5	9	16	1.280	25	0.962
.6	9	16	1.089	25	1.128
.7	16	9	1.173	25	1.195
.8	16	9	1.481	25	1.204

3-1 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	17	1.267	26	3.133**
.2	9	17	1.377	26	2.998**
.3	9	17	1.570	26	2.769*
.4	9	17	1.863	26	2.362*
.5	9	17	2.264	26	1.740
.6	9	17	2.597	26	0.901
.7	9	17	2.612	26	0.000
.8	9	17	2.373	26	0.767

3-1 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	17	9	1.097	26	1.383
.2	17	9	1.052	26	1.250
.3	9	17	1.010	26	1.045
.4	9	17	1.066	26	0.704
.5	9	17	1.094	26	0.214
.6	9	17	1.042	26	0.365
.7	17	9	1.076	26	0.883
.8	17	9	1.190	26	1.227

表中の番号1, 2, 3はそれぞれ試験地番号001S, 003S, 005Sに対応する

*:有意, **:高度に有意

表3-7 相対直径の年齢間の検定(ヒノキ)

002H 20年-30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	17	1.718	33	6.333**
.2	16	17	1.524	33	6.969**
.3	16	17	1.271	33	7.567**
.4	16	17	1.063	33	7.611**
.5	17	16	1.006	33	6.832**
.6	16	17	1.080	33	5.377**
.7	16	17	1.242	33	4.062**
.8	16	17	1.389	33	2.921**

004H 20年-30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	9	1.322	22	2.681**
.2	13	9	1.079	22	3.061**
.3	9	13	1.248	22	3.491**
.4	9	13	1.798	22	3.851**
.5	9	13	2.360	22	3.917**
.6	9	13	2.311	22	3.585**
.7	9	13	1.831	22	3.026**
.8	9	13	1.415	22	2.480*

004H 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	13	1.062	26	4.226**
.2	13	13	1.030	26	4.552**
.3	13	13	1.008	26	4.954**
.4	13	13	1.047	26	5.334**
.5	13	13	1.281	26	5.274**
.6	13	13	1.775	26	4.193**
.7	13	13	2.104	26	2.615*
.8	13	13	2.090	26	1.326

004H 40年—50年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	13	8	1.509	21	1.964
.2	13	8	1.603	21	2.098*
.3	13	8	1.710	21	2.256*
.4	13	8	1.794	21	2.412*
.5	13	8	1.607	21	2.404*
.6	13	8	1.144	21	1.914
.7	8	13	1.102	21	1.101
.8	8	13	1.191	21	0.439

006H 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	8	8	1.284	16	4.631**
.2	8	8	1.034	16	5.080**
.3	8	8	1.618	16	4.987**
.4	8	8	2.767	16	4.122**
.5	8	8	3.358	16	2.993**
.6	8	8	3.149	16	2.064
.7	8	8	2.775	16	1.395
.8	8	8	2.494	16	0.912

006H 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	8	8	1.670	16	4.251**
.2	8	8	1.673	16	4.927**
.3	8	8	1.591	16	5.569**
.4	8	8	1.396	16	5.433**
.5	8	8	1.259	16	4.196**
.6	8	8	1.245	16	2.859*
.7	8	8	1.269	16	1.886
.8	8	8	1.297	16	1.239

ヒノキ全体 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	43	38	1.170	81	6.307**
.2	43	38	1.032	81	6.743**
.3	38	43	1.177	81	7.013**
.4	38	43	1.518	81	6.865**
.5	38	43	1.865	81	6.175**
.6	38	43	2.084	81	5.093**
.7	38	43	1.977	81	4.061**
.8	38	43	1.845	81	3.122**

ヒノキ全体 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	25	43	1.157	68	5.586**
.2	25	43	1.161	68	5.905**
.3	25	43	1.121	68	6.174**
.4	25	43	1.012	68	6.221**
.5	43	25	1.193	68	5.720**
.6	43	25	1.458	68	4.561**
.7	43	25	1.626	68	3.178**
.8	43	25	1.639	68	1.978

ヒノキ全体 40年—50年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	25	11	1.149	36	1.261
.2	25	11	1.182	36	1.293
.3	25	11	1.238	36	1.327
.4	25	11	1.326	36	1.318
.5	25	11	1.461	36	1.204
.6	25	11	1.550	36	0.929
.7	25	11	1.504	36	0.538
.8	25	11	1.399	36	0.188

ヒノキ全体 50年—60年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	2	11	2.796	13	1.102
.2	2	11	2.960	13	1.170
.3	2	11	3.141	13	1.249
.4	2	11	3.192	13	1.340
.5	2	11	2.813	13	1.401
.6	2	11	1.733	13	1.324
.7	11	2	1.468	13	1.015
.8	11	2	3.466	13	0.619

*：有意，**：高度に有意

表3—8 相対直径の年齢間の検定（スギ）

001S 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	17	17	1.709	34	3.835**
.2	17	17	1.744	34	3.913**
.3	17	17	1.764	34	3.959**
.4	17	17	1.746	34	3.865**
.5	17	17	1.644	34	3.490**
.6	17	17	1.457	34	2.670*
.7	17	17	1.290	34	1.570
.8	17	17	1.213	34	0.560

003S 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	13	1.141	29	3.917**
.2	16	13	1.102	29	4.277**
.3	16	13	1.018	29	4.671**
.4	13	16	1.144	29	4.838**
.5	13	16	1.339	29	4.331**
.6	13	16	1.379	29	3.143**
.7	13	16	1.294	29	1.963
.8	13	16	1.191	29	1.098

003S 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	16	1.659	32	2.528**
.2	16	16	1.547	32	2.642**
.3	16	16	1.371	32	2.698**
.4	16	16	1.161	32	2.587**
.5	16	16	1.028	32	2.078**
.6	16	16	1.089	32	1.262
.7	16	16	1.243	32	0.501
.8	16	16	1.400	32	0.037

003S 40年—50年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	16	12	2.888	28	5.042**
.2	16	12	2.518	28	4.882**
.3	16	12	1.999	28	4.450**
.4	16	12	1.484	28	3.568**
.5	16	12	1.163	28	2.260*
.6	16	12	1.060	28	0.866
.7	16	12	1.096	28	0.283
.8	16	12	1.181	28	1.121

005S 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	9	2.374	18	4.758**
.2	9	9	2.526	18	4.661**
.3	9	9	2.741	18	4.434**
.4	9	9	3.051	18	4.005**
.5	9	9	3.402	18	3.324**
.6	9	9	3.631	18	2.398*
.7	9	9	3.627	18	1.379
.8	9	9	3.425	18	0.430

005S 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	9	9	1.122	18	1.944
.2	9	9	1.023	18	1.784
.3	9	9	1.099	18	1.553
.4	9	9	1.252	18	1.218
.5	9	9	1.411	18	0.765
.6	9	9	1.487	18	0.224
.7	9	9	1.438	18	0.328
.8	9	9	1.291	18	0.800

スギ全体 20年—30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	41	44	1.652	85	6.546**
.2	41	44	1.736	85	6.735**
.3	41	44	1.829	85	6.825**
.4	41	44	1.939*	85	6.645**
.5	41	44	1.968*	85	5.862**
.6	41	44	1.823	85	4.376**
.7	41	44	1.638	85	2.635*
.8	41	44	1.511	85	1.120

スギ全体 30年—40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	44	26	1.450	70	2.539**
.2	44	26	1.361	70	2.483**
.3	44	26	1.245	70	2.350**
.4	44	26	1.084	70	2.028**
.5	26	44	1.056	70	1.437
.6	26	44	1.097	70	0.671
.7	26	44	1.047	70	0.068
.8	44	26	1.030	70	0.604

スギ全体 40年—50年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	26	12	2.587	38	5.450**
.2	26	12	2.392	38	5.097**
.3	26	12	2.030	38	4.438**
.4	26	12	1.606	38	3.359**
.5	26	12	1.276	38	1.931
.6	26	12	1.104	38	0.426
.7	26	12	1.054	38	0.837
.8	26	12	1.062	38	1.791

*：有意，**：高度に有意

表3—9 相対直径の樹種間の検定（ヒノキ，スギ）

ヒノキ—スギ 20年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	41	38	1.605	79	6.408**
.2	41	38	1.452	79	7.137**
.3	41	38	1.199	79	7.843**
.4	38	41	1.113	79	8.262**
.5	38	41	1.519	79	8.132**
.6	38	41	1.966*	79	7.399**
.7	38	41	2.081*	79	6.506**
.8	38	41	2.041*	79	5.536**

ヒノキースギ 30年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	43	44	1.204	87	8.081**
.2	43	44	1.234	87	8.821**
.3	43	44	1.296	87	9.553**
.4	43	44	1.422	87	10.032**
.5	43	44	1.602	87	9.609**
.6	43	44	1.720	87	8.077**
.7	43	44	1.725	87	6.125**
.8	43	44	1.671	87	4.386**

ヒノキースギ 40年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	25	26	2.021	51	2.932**
.2	25	26	1.950	51	3.084**
.3	25	26	1.808	51	3.239**
.4	25	26	1.561	51	3.306**
.5	25	26	1.272	51	3.118**
.6	25	26	1.075	51	2.622*
.7	25	26	1.013	51	1.914
.8	25	26	1.050	51	1.246

ヒノキースギ 50年

相対直径	分子の 自由度	分母の 自由度	F	自由度	t
.1	11	12	4.549*	23	4.956**
.2	11	12	3.947*	23	4.892**
.3	11	12	2.964	23	4.652**
.4	11	12	1.890	23	4.076**
.5	11	12	1.111	23	2.999**
.6	12	11	1.306	23	1.554
.7	12	11	1.408	23	0.189
.8	12	11	1.254	23	0.858

*：有意，**：高度に有意

(1986年6月30日受理)