

クヌギ 12 家系の諸形質の家系間変異

戸田忠雄⁽¹⁾・西村慶二⁽²⁾

田島正啓⁽³⁾

Tadao TODA, Keiji NISHIMURA,
and Masahiro TAJIMA

Genetic Variation of the characters among 12 families
in the fast plantation of *Quercus acutissima*.

要旨：しいたけ原木の育種を効率的に進めるため、1975年に設定したクヌギ家系別植栽試験林で樹高、胸高直径、樹皮厚、溝数の4形質について18年間の結果をもとに家系間変異等について検討した。

苗木では、苗高と根元直径で家系によるちがいが認められた。定植後は、樹高は11年次以降に、胸高直径は11年次と15年次以降に家系間差異が認められた。家系間の成長量の順位は調査年次によって大きな変動は見られなかったが、家系平均値を用いた樹高、胸高直径の年次相関は高く、成長形質について早期検定が可能なが示唆された。

樹皮厚及び溝数の家系間変異は調査年次によって大小が見られたが、胸高直径を加味した樹皮厚には家系間差が認められた。また、樹皮厚、溝数は胸高直径成長との関係が大きく、幼齢時には胸高直径が大きくなるにしたがって増大する傾向が見られ、11年次を過ぎると増大が緩慢になった。

遺伝率は成長形質については7~18年次に、樹皮形質については11~18年次に推定した。各形質の遺伝率は、樹高0~34.4%、胸高直径1.8~19.2%、樹皮厚8.7~24.9%、溝数2.7~15.8%、割裂間隔0~36.7%であった。遺伝率は年次によって変動したが、樹高と胸高直径の遺伝率は年次が進むにつれて高くなる傾向にあった。

I は じ め に

しいたけ原木は短伐期で収穫でき、しかも萌芽更新の容易なクヌギ (*Quercus acutissima*)、コナラ (*Quercus serrata*) 等が優良樹種とされている。九州地方のしいたけ原木は樹種分布や地域性等からクヌギの利用が多く、1978年から実施されたしいたけ原木育種事業においてもクヌギが主体である。同事業における全国の候補木の選抜個体数はクヌギが662本、コナラが326本であり、1993年までにクヌギ335本、コナラ29本が精英樹として選定された。コナラはいずれも関東、関西育種基本区で選抜されている。

今後は、採種園から生産される育種苗によって造林されることになっているが、クヌギやコナラはスギのような遺伝的な改良が過去に加えられていないこともあって選抜効果はかなり高いものと期待されている。

しいたけ原木の選抜基準は、成長、通直性の成長形質のほかに樹皮の厚さや溝数等の樹皮形質が加えられている。

(1)(2)(3) 林木育種センター九州育種場

選抜された精英樹はクヌギ、コナラともさし木発根性が極めて低いので、つぎ木で増殖した採種園で生産する種子によって繁殖が行われる。この方法による育種効果を知るためには、しいたけ発生に関係のある各形質の家系変異や遺伝率等の情報を把握することが重要であり、また、波及効果として他の広葉樹の育種を進める場合の参考資料となる。こうした広葉樹の遺伝情報の解析についてはクヌギ^{3, 4, 5, 6, 12, 14, 16)}、コナラ^{1, 8, 11)}、ミズナラ^{10, 13)}等の報告がある。

林木育種センター九州育種場ではクヌギの遺伝情報を得る目的で、1975年に設定したクヌギの家系別試験林の調査を進めてきたが、1991年の台風17, 19号によって当試験林も被害をうけた。本報はこれを期にこれまでの調査データを森林総合研究所集団遺伝研究室長明石孝輝博士の御協力と御指導を得ながら分析してとりまとめたものである。あらためてここにお礼を申し上げる。

II 材 料 と 方 法

試験林の設定に用いた母樹は1970年及び1972年に九州育種場に隣接する国立九州農業試験場内の推定50年生林分で選定した。1972年10月に Table 1 に示した12個体から個体別にタネを採取し、直ちにウスプルン1,000倍液で12時間浸漬処理し、種子貯蔵庫(3℃)に約1ヶ月保存した後、50cmの深さに土中埋藏した。1973年3月に列間15×行間15cmでまき付け、翌年3月に25cm間隔で床替を行った。

試験林は1975年4月に2年生苗を用いて九州育種場内に設定した。ここは九州農業試験場の牧草試験の跡地で平坦な畑である。試験林の概況は海拔85m, 年平均気温16℃で年間降水量は平均2,000mmである。土壌は火山灰質腐植土(黒色土)である。

植栽本数等は Table 2 に示したように当初12家系340本植栽したが、設定時に家系の表示ラベルがはずれ11本の不明個体が発生したので、家系の明らかな329本を検定に用いた。なお、1家系の植栽本数は10~30本である。

植栽配置は各家系の単木混交で1.5m間隔の2回反復である。定植後の管理は1975年5月に化成肥料(N:10 P:16 K:16)を1本当たり50g根元に施肥した以外は当場における通常の施業によって行った。

Table 1. 家系母樹の樹高及び胸高直径
Tree heights and D.B.H. of mother trees

母樹番号 Mother tree numbers	樹 高 Tree height(m)	胸高直径 D.B.H. (cm)
No. 1	8.8	19.3
No. 3	10.1	29.5
No. 4	10.3	14.5
No. 5	10.7	14.5
No. 6	11.7	17.8
No. 7	10.0	22.0
No. 9	11.2	33.2
No.10	12.9	28.7
No.20	13.3	21.9
No.21	13.7	29.1
No.23	10.6	20.9
No.24	11.3	36.2

Table 2. 家系別の植栽本数と各調査年における生存本数
Number of survived tree in each measured age

家 系 Families	植栽 本数 No. of trees	調査年 Measured years (Tree ages)									生存率 Survival rates(%)
		1979.12 (7)	1981.11 (9)	1982.11 (10)	1983.12 (11)	1984.11 (12)	1986.11 (14)	1987.11 (15)	1989.11 (17)	1990.11 (18)	
No. 1	28	27	27	27	26	25	23	22	17	17	60.7
No. 3	30	30	28	28	28	27	24	24	23	22	73.3
No. 4	30	29	26	25	25	25	23	21	19	19	63.3
No. 5	32	32	30	30	29	28	27	26	25	25	78.1
No. 6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100.0
No. 7	30	24	24	24	22	21	20	18	17	17	56.7
No. 9	30	30	28	26	23	23	23	21	20	20	66.7
No.10	29	29	28	28	27	27	27	25	23	23	79.3
No.20	27	22	21	21	21	21	20	18	18	17	63.0
No.21	27	23	23	23	20	20	20	20	18	17	63.0
No.23	28	24	24	22	22	21	18	17	15	15	53.6
No.24	28	25	25	25	24	24	23	22	19	19	67.9
Total	329	305	294	289	277	272	258	244	224	221	67.2

調査は、苗畑では1年生苗の苗高と根元直径（以下根元径と略記）を測定した。1973年12月に1年生苗（以下1年次）を、1975年2月に2年生苗（以下2年次）の苗高と根元径を測定した。

試験林設定後は7年次（1979年12月）、9年次（1981年11月）、10年次（1982年11月）に樹高と胸高直径を、さらに11年次（1983年12月）から20年次（1992年11月）まで樹高、胸高直径、溝数、樹皮厚の4形質を測定した。

溝数の調査は樹幹の高さ1.2mの位置にニクロム線を巻き、それに接する全ての溝を数えた。

樹皮厚は樹幹の地上1.2mの位置でスエーデン製のバーク・ゲージを用いて内・外樹皮を含んだ全樹皮厚を南北2箇所で測定した。

とりまとめは台風被害を受けた前年の1990年（18年次）までの資料について行い、樹高（cm）、直径（cm）、溝数（本）、樹皮厚（cm）等の各形質について、年次毎に家系変異と遺伝率を推定した。また、割裂間隔³⁾（胸高周囲長÷溝数）と樹皮厚比（樹皮厚÷胸高直径）を算出して検討した。

家系変異の分析及び遺伝率の推定は Table 2 に示した各調査年における生存個体のデータを用いて、また、年次間相関などの算出は断わりのない限り1990年（18年次）の生存個体について行った。

各形質毎の遺伝率の解析はデータ数不揃いの一元配置の分散分析を行い、家系間分散と家系内分散を求め、式-1によって狭義の遺伝率を推定した。

狭義の遺伝率 = $4 \times (\text{家系間分散} - \text{家系内分散}) / \text{全分散}$ 式-1

また、必要に応じて式-2によって遺伝獲得量を算出した。

遺伝獲得量 = $\text{遺伝率} \times \text{標準偏差} \times \text{標準選抜差}$ 式-2

ただし標準選抜差は母集団の大きさと選抜強度を5%として得られる標準選抜差の値¹⁷⁾を用いた。

また、得られた遺伝獲得量から、式-3によって育種効果を試算した。

育種効果 = $(\text{林分平均値} + \text{遺伝獲得量}) / \text{林分}$ 式-3

Ⅲ 結 果 と 考 察

1. 苗木の家系変異

1年次及び2年次の家系別の苗高及び根元径の平均値と標準偏差をTable 3, 4に示した。平均苗高は1年次が36.7cm, 2年次が81.1cm, 平均根元径はそれぞれ0.46cm, 0.93cmであった。

苗畑での育成は反復無しの家系別植栽であり、解析に際して立地の影響も考えられるが材料の生育状況を把握するために苗高と根元径について分散分析を行った (Table 5, 6)。

Table 3. 苗畑における家系の平均苗高
Mean tree heights in nursery

家 系 Families	1 年生苗 (1年次) 1 year old seedlings			2 年生苗 (2年次) * 2 years old seedlings		
	本 数 No. of trees	平均苗高 Mean heights (cm)	標準偏差 Standard deviations (cm)	本 数 No. of trees	平均苗高 Mean heights (cm)	標準偏差 Standard deviations (cm)
No. 1	159	32.7	11.6	50	73.1	11.4
No. 3	184	34.1	13.9	50	80.1	10.3
No. 4	187	36.6	12.2	50	83.5	14.4
No. 5	79	38.4	11.3	50	82.0	14.2
No. 6	14	△ 22.6	11.9	10	66.7	15.1
No. 7	125	40.3	14.0	50	○ 87.7	13.0
No. 9	170	35.9	11.4	51	84.2	10.1
No.10	39	29.2	12.3	34	△ 71.1	14.7
No.20	39	42.0	18.0	33	81.5	26.9
No.21	143	○ 44.0	12.6	49	87.4	17.5
No.23	146	37.9	13.5	51	81.9	12.6
No.24	55	33.7	13.1	49	78.2	11.0
Total	1340	36.7	13.3	527	81.1	14.1

*; 床替1年生苗 1 year old seedlings after transplanting

Table 4. 苗畑における家系の平均根元直径
Mean basal diameter in nursery

家 系 Families	1 年生苗 (1年次) 1 year old seedlings			2 年生苗 (2年次) * 2 years old seedlings		
	本 数 No. of trees	平均根元径 Mean heights (cm)	標準偏差 standard deviations (cm)	本 数 No. of trees	平均根元径 Mean heights (cm)	標準偏差 Standard deviations (cm)
No. 1	159	0.43	0.15	50	△ 0.87	0.18
No. 3	184	0.43	0.19	50	0.89	0.19
No. 4	187	0.43	0.16	50	0.90	0.22
No. 5	79	0.46	0.15	50	△ 0.87	0.25
No. 6	14	△ 0.36	0.17	10	○ 1.11	0.37
No. 7	125	0.45	0.17	50	0.95	0.20
No. 9	170	0.45	0.16	51	0.98	0.21
No.10	39	0.47	0.18	34	0.82	0.32
No.20	39	○ 0.55	0.30	33	1.06	0.43
No.21	143	0.54	0.19	49	0.96	0.25
No.23	146	0.49	0.21	51	0.95	0.32
No.24	55	0.42	0.16	49	0.91	0.23
Total	1340	0.46	0.18	527	0.93	0.26

*; 床替1年生苗 1 year old seedlings after transplanting

Table 5. 苗畑における苗高についての分散分析
Analysis of variance for tree heights in nursery

年 Years 要 因 Factors	1 year old			2 years old		
	自由度 D.F.	平方和 S.S.	平均平方 M.S.	自由度 D.F.	平方和 S.S.	平均平方 M.S.
全 体 Total	1,339	236,211.42		526	117,294.55	
家 系 Families	11	20,239.33	1,839.94 **	11	14,099.78	1,281.80 **
誤 差 Error	1,328	215,972.09	162.63	515	103,194.77	200.38

** ; 1%の危険率で有意である。

Significant at 1% level

Table 6. 苗畑における根元直径についての分散分析
 Analysis of variance for basal diameter in nursery at 2 years old

年 Years 要 因 Factors	1 year old			2 years old		
	自由度 D.F.	平方和 S.S.	平均平方 M.S.	自由度 D.F.	平方和 S.S.	平均平方 M.S.
全 体 Total	1339	44.4646		526	35.7443	
家 系 Families	11	2.1636	0.1967 * *	11	8.6950	0.7905 * *
誤 差 Error	1328	42.3010	0.0319	515	27.0493	0.0525

* * ; 1%の危険率で有意である。

Significant at 1% level

その結果、1年次及び2年次の苗高と根元径について1%の危険率で家系間に有意差が認められ、家系によって生育に違いのあることが伺われた。

次に1年次と2年次の苗高と根元径の家系平均値を用いて相関関係を求めた(Fig. 1)。Fig. 1から明らかなように1年次の苗高が高い家系は2年次においても良好な生育を示し、両年次間に高い相関関係($r=0.908$)が認められた。一方、根元径についてははっきりした相関関係は認められなかった。

筆者ら¹⁵⁾が1987年に行った試験によると、家系によってタネの大きさ(重さ)が異なり、また、タネの大きさと当年生の苗高及び根元径の間に深い関連があることが認められた。橋詰²⁾によれば、タネの大きさや重さによってデンプン含有量が異なるとしており、こうしたことも発芽後の生育に影響していると考えられる。

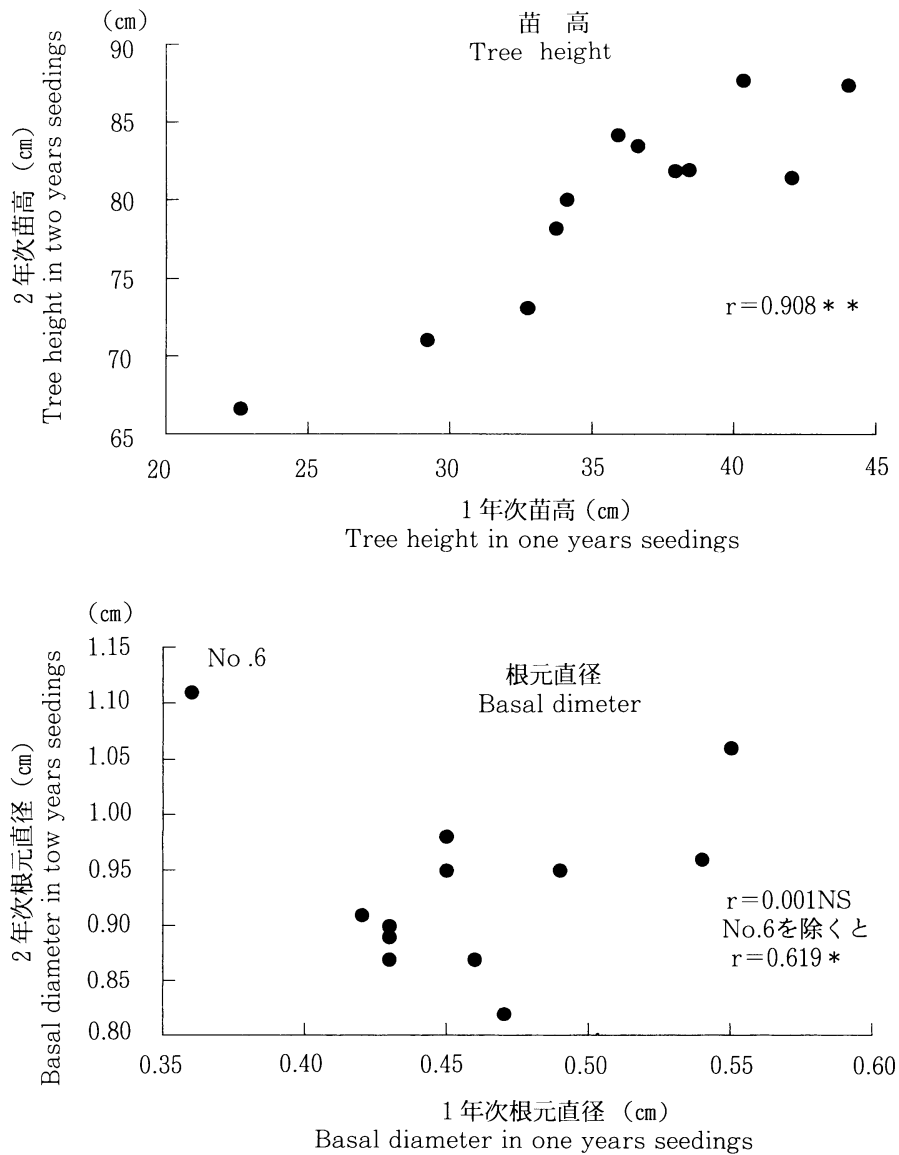


Fig. 1 1 年次と 2 年次の苗木高及び根元直径の相関図
Correlations between one and two years seedlings
for tree height and basal diameter

2. 樹高及び胸高直径の家系変異

(1) 家系間の変異

各年次の家系別平均樹高をTable 7に、また、平均胸高直径をTable 8に示した。平均樹高は7年次が438cm、12年次が812cm、17年次は994cmであった。胸高直径は同様に4.9cm、8.9cm、11.5cmであった。

各年次の樹高と胸高直径について分散分析を行った結果 (Table 9)、樹高については10年次までは家系間に差が見られなかったが、11年次以降は差が認められた。胸高直径は11年次及び15年次以降に家系間に差が認められた。そこで家系別に成長量の変異を見るために、各年次毎に家系平均を用いた樹高及び胸高直径について順位をつけた (Table 10)。樹高については家系間に有意差が認められた11年次以降は順位の変動は小さく比較的安定する傾向が見られた。他方、胸高直径は17～18年次の間で順位が著しく変動しており、直径成長の家系間変動が大きかったことが分かった。樹高と胸高直径の各年次における最大値及び最小値をTable 7, 8に示した。家系No.10は樹高成長が、No.9は直径成長が最上位であり、No.7は樹高成長、直径成長とも最下位であるが、10年次以降順位の変動は小さく安定した成長をしている。他方、成長量の中位の家系は全年次間を通して不安定で、順位の変動が大きいためである。

Table 7. 各年次の家系別平均樹高 (cm)
Mean tree height at each tree age (cm)

家 系 Families	年 次 Tree ages								
	7	9	10	11	12	14	15	17	18
No. 1	430	579	671	724	811	852	909	981	1047
No. 3	443	592	671	733	788	851	907	954	1025
No. 4	441	604	692	753	825	902	993	1051	1089
No. 5	442	582	675	740	819	905	997	1048	1120
No. 6	441	588	690	769	835	873	954	987	1049
No. 7	432	555	△616	△ 650	△ 711	△ 736	△ 780	△ 822	△ 865
No. 9	434	△ 597	678	800	864	903	984	1051	1116
No.10	○459	610	○728	○ 816	○ 899	○ 953	○1044	○1079	1148
No.20	425	585	669	728	784	821	876	897	954
No.21	429	573	646	738	795	842	906	943	1020
No.23	△418	562	658	693	741	828	885	983	1051
No.24	455	○ 626	706	774	848	903	980	1068	○1149
Means	438	588	675	743	812	869	940	994	1059

○ ; 各年次における最大値 Best growth family at each tree age

△ ; 各年次における最小値 Worst growth family at each tree age

Table 8. 各年次の家系別平均胸高直径 (cm)
Mean D.B.H. at each tree age (cm)

家 系 Families	年 次 Tree ages								
	7	9	10	11	12	14	15	17	18
No. 1	5.1	7.3	7.7	8.4	9.1	9.8	10.2	11.7	11.9
No. 3	5.2	○ 7.6	7.9	8.4	9.0	9.8	10.0	10.8	11.2
No. 4	4.7	6.9	7.3	7.9	8.5	9.6	10.3	11.6	11.8
No. 5	5.0	7.5	7.9	8.6	9.4	10.6	11.0	12.1	12.2
No. 6	4.6	7.3	7.6	8.5	9.2	10.1	10.5	11.6	11.8
No. 7	△4.4	△ 6.1	△ 6.4	△ 6.9	△ 7.6	△ 8.2	△ 8.4	△ 9.2	△ 9.3
No. 9	4.9	7.5	○ 8.2	○ 9.4	○ 10.2	○ 11.0	○ 11.8	○ 13.3	○ 13.6
No.10	5.2	7.5	8.0	8.8	9.4	10.2	10.9	11.7	11.8
No.20	4.6	6.9	7.2	7.6	8.2	9.0	9.7	10.3	10.7
No.21	4.7	6.9	7.4	8.2	8.8	9.5	9.7	11.0	11.5
No.23	4.5	6.6	7.0	7.4	8.2	9.7	10.3	11.9	12.3
No.24	○5.3	7.4	7.8	8.6	9.2	10.2	10.8	12.3	12.7
Means	4.9	7.2	7.6	8.2	8.9	9.8	10.4	11.5	11.8

○ ; 各年次における最大値 Best growth family at each tree age

△ ; 各年次における最小値 Worst growth family at each tree age

各家系の成長量が年次経過とともにどのように変化するかを見るため、家系平均値を用いた樹高及び胸高直径について年次間の相関係数を求めた (Table 11, 12)。樹高の年次相関は2年次と各年次の相関は10年次を除いて全ての組合せではっきりした関係は見られなかった。しかし、7年次以降ではいずれの組合せにおいても有意な関係が見られた。また、9年次以降の各組合せ間の相関係数は著しく高く、9年次以降の家系間の樹高順位に大きな変化が起こっていないことが分かった。

胸高直径の年次間相関関係は7年次と15年次以降の組合せを除いた他の全ての組合せにおいて有意な相関が得られ、このうち9年次と17, 18年次の相関係数が各々0.658, 0.648とやや低い値になっているが、10年次以降は相関係数の値が年々高くなり安定した成長を示した。

家系間の樹高及び胸高直径の順位が安定するまでの期間の遅速は、産地や家系の他に植栽密度、立地条件によって異なるが、半田⁶⁾が行った産地別試験の結果では5成長期以降で安定した例もあり、成長形質における早期検定が可能なことが示唆された。

次に7～18年次を通じて生存した221個体を用いて樹高及び胸高直径について年次毎の相関係数を求めた (Table 13, 14)。両形質とも各組合せにおいて高い相関係数を示し、家系平均を用いた相関関係と同様な傾向が見られた。

Table 9. 各年次における樹高及び胸高直径の分散分析 (平均平方で表す)
 Analysis of valiance of two characters at growth period
 (shows Mean Squares)

年 次 Ages	要 因 Factors	自 由 度 D.F.	形 質 Characters		胸高直径 D.B.H.	F 値 F-values
			樹 高 Tree height	F 値 F-values		
7	家 系 Families	11	3,597.45	0.527 ^{NS}	2.189	1.115 ^{NS}
	誤 差 Error	293	6,821.04		1.964	
9	家 系 Families	11	10,010.27	0.650 ^{NS}	4.971	1.485 ^{NS}
	誤 差 Error	282	15,408.11		3.347	
10	家 系 Families	11	20,381.73	0.942 ^{NS}	5.994	1.384 ^{NS}
	誤 差 Error	277	21,633.86		4.330	
11	家 系 Families	11	46,645.63	2.159 *	10.154	2.048 *
	誤 差 Error	265	21,600.66		4.873	
12	家 系 Families	11	61,087.82	2.483 **	10.136	1.727 ^{NS}
	誤 差 Error	260	24,605.20		5.871	
14	家 系 Families	11	69,945.81	2.864 **	11.155	1.603 ^{NS}
	誤 差 Error	246	24,421.00		6.959	
15	家 系 Families	11	104,412.44	3.552 **	14.248	1.840 *
	誤 差 Error	232	29,391.47		7.743	
17	家 系 Families	11	111,342.69	3.441 **	19.251	2.107 *
	誤 差 Error	212	32,353.14		9.134	
18	家 系 Families	11	126,878.69	3.401 **	20.315	2.025 *
	誤 差 Error	209	37,308.73		10.032	

*, *; それぞれ1%, 5%の危険率で有意である。
 Significant at 1% and 5% level

Table 10 年次ごとの樹高及び胸高直径の順位
Family ranking of tree height and diameter in each tree age

家 系 Families	樹高の順位 Ranking of tree height									直径の順位 Ranking of diameter								
	年 次 Tree ages									年 次 Tree ages								
	7	9	10	11	12	14	15	17	18	7	9	10	11	12	14	15	17	18
No. 1	9	9	7	10	7	7	7	8	8	4	6	6	6	6	6	8	5	5
No. 3	3	5	7	8	9	8	8	9	9	2	1	3	6	7	6	9	10	10
No. 4	5	3	3	5	5	5	3	3	5	7	8	9	9	9	9	6	7	6
No. 5	4	8	6	6	6	2	2	5	3	5	2	3	3	2	2	2	3	4
No. 6	5	6	4	4	4	6	6	6	7	10	6	7	5	4	5	5	7	6
No. 7	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
No. 9	7	4	5	2	2	3	4	3	4	9	2	1	1	1	1	1	1	1
No.10	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	5	6
No.20	11	7	9	9	10	11	11	1	11	7	8	10	10	10	11	10	11	11
No.21	10	10	11	7	8	9	9	10	10	6	8	8	8	8	10	10	9	9
No.23	12	11	10	11	11	10	10	7	6	11	11	11	11	10	8	6	4	3
No.24	2	1	2	3	3	3	5	2	1	1	5	5	3	4	3	4	2	2

Table 11. 家系平均樹高の年次間の相関係数
Correlation coefficients among tree ages for mean tree height

年 次 Tree eages	9	10	11	12	14	15	17	18
7	0.809 **	0.747 **	0.684 *	0.738 **	0.696 *	0.700 *	0.613 *	0.613 *
9		0.876 **	0.820 **	0.825 **	0.798 **	0.779 **	0.743 **	0.741 **
10			0.868 **	0.889 **	0.909 **	0.891 **	0.843 **	0.831 **
11				0.977 **	0.912 **	0.899 **	0.812 **	0.813 **
12					0.932 **	0.922 **	0.839 **	0.833 **
14						0.994 **	0.958 **	0.949 **
15							0.956 **	0.938 **
17								0.988 **

**, *; それぞれ1%, 5%の危険率で有意である。

Significant at 1% and 5% level

Table 12. 家系平均胸高直径の年次間の相関係数
Correlation coefficients among tree ages for mean D.B.H.

年次 Tree ages	9	10	11	12	14	15	17	18
7	0.829 **	0.803 **	0.707 *	0.662 *	0.594 *	0.539 ^{NS}	0.469 ^{NS}	0.460 ^{NS}
9		0.976 **	0.908 **	0.884 **	0.839 **	0.780 **	0.658 *	0.648 *
10			0.966 **	0.951 **	0.900 **	0.855 **	0.753 **	0.743 **
11				0.992 **	0.911 **	0.866 **	0.790 **	0.773 **
12					0.937 **	0.890 **	0.825 **	0.803 **
14						0.972 **	0.935 **	0.916 **
15							0.956 **	0.936 **
17								0.991 **

**, *; それぞれ1%, 5%の危険率で有意である。

Significant at 1% and 5% level

Table 13. 全調査個体の樹高の年次間の相関係数
Correlation coefficients among tree ages for tree height of all individual

年次 Tree ages	9	10	11	12	14	15	16	18
7	0.893	0.867	0.832	0.809	0.728	0.680	0.648	0.599
9		0.898	0.864	0.851	0.766	0.723	0.695	0.658
10			0.938	0.918	0.838	0.797	0.761	0.716
11				0.968	0.910	0.873	0.839	0.797
12					0.943	0.912	0.885	0.842
14						0.970	0.942	0.898
15							0.963	0.930
17								0.961

個体数;221, 自由度;219, いずれも1%水準で有意差あり

N=221, D.F.=219, All values is significant at 1% level

Table 14. 全調査個体の胸高直径の年次間の相関係数
Correlation coefficients among tree ages for D.B.H of all individual

年次 Tree ages	9	10	11	12	14	15	17	18
7	0.897	0.861	0.819	0.778	0.712	0.694	0.645	0.629
9		0.967	0.943	0.918	0.870	0.858	0.812	0.798
10			0.962	0.940	0.902	0.892	0.855	0.841
11				0.974	0.939	0.933	0.898	0.890
12					0.971	0.969	0.944	0.939
14						0.994	0.978	0.972
15							0.986	0.981
17								0.996

個体数;221, 自由度;219, いずれも1%水準で有意差あり

N=221, D.F.=219, All values is significant at 1% level

(2) 遺伝率の推定

Table 9 の樹高及び直径の分散分析にもとづいて家系間平均平方から家系間の遺伝分散を求め、式-1 によって年次毎の遺伝率を推定し、育種効果とともにTable 15に示した。樹高の遺伝率は10年次まで家系間分散より誤差分散が大きかったためにマイナスの値となったので、この期間の遺伝率は0%として表した。11年次以降の遺伝率は11年次の16.8%から18年次の34.4%へと年次の経過とともに順次高くなった。

Table 15. 各年次の樹高及び胸高直径の遺伝率及び育種効果
Heritabilities and breeding effects of tree height and D.B.H. in tree ages

年次 Tree ages	樹高の 遺伝率(%) Heritability on tree heighton	育種効果 Breeding effects	胸高直径 遺伝率(%) Heritability on D.B.H	育種効果 Breeding effects
7	0.000		1.778	1.011
9	0.000		7.367	1.039
10	0.000		6.022	1.034
11	16.785	1.070	15.866	1.090
12	20.801	1.085	11.403	1.065
14	25.822	1.100	10.121	1.059
15	33.511	1.133	14.228	1.080
17	34.433	1.136	19.226	1.107
18	34.359	1.137	18.266	1.104

一方、胸高直径の遺伝率は7年次に1.8%と著しく低い値であったが、11年次は15.9%となり、17年次には最高19.2%になったが、樹高に比べて予想外に低い値であった。

広葉樹の遺伝率については樹種が異なるものの小山¹¹⁾が8年生(本報の10年次相当)のコナラで個体間競争を無視した遺伝率を報告している。それによると樹高の遺伝率は60%、胸高直径の遺伝率は104%で、本報の結果と較べて著しく高い値となっている。この原因としては取り扱った樹種が異なることの他に植栽方法の違いが影響しているものと思われる。小山の場合は植栽が列状であるため、家系間に個体間競争が生じやすく、そのために家系間分散が過大になったと考えられる。事実、小山は個体間競争をとりのぞいて求めた遺伝率は樹高48%、胸高直径80%と推定している。

遺伝率を推定する方法にはこの他に親子の相関係数と回帰係数から求める方法がある。母樹の樹高および胸高直径と18年次の家系平均値を用いた樹高と胸高直径の相関図をFig. 2に示した。相関係数は樹高で $r=0.064$ 、胸高直径で $r=0.288$ であり、また、回帰係数は樹高0.036、胸高直径0.042と低い値であった。したがって、この値から推定した18年次の遺伝率は樹高で7.2%、直径で8.4%となり、分散分析で求めた値より低いものであった。これは母樹に較べて試験林の樹齢が低いこと、高齢のクヌギでは先端部や枝が風雪等によって欠損し易く、母樹本来の樹高が得られなかったこと等によるものと思われる。

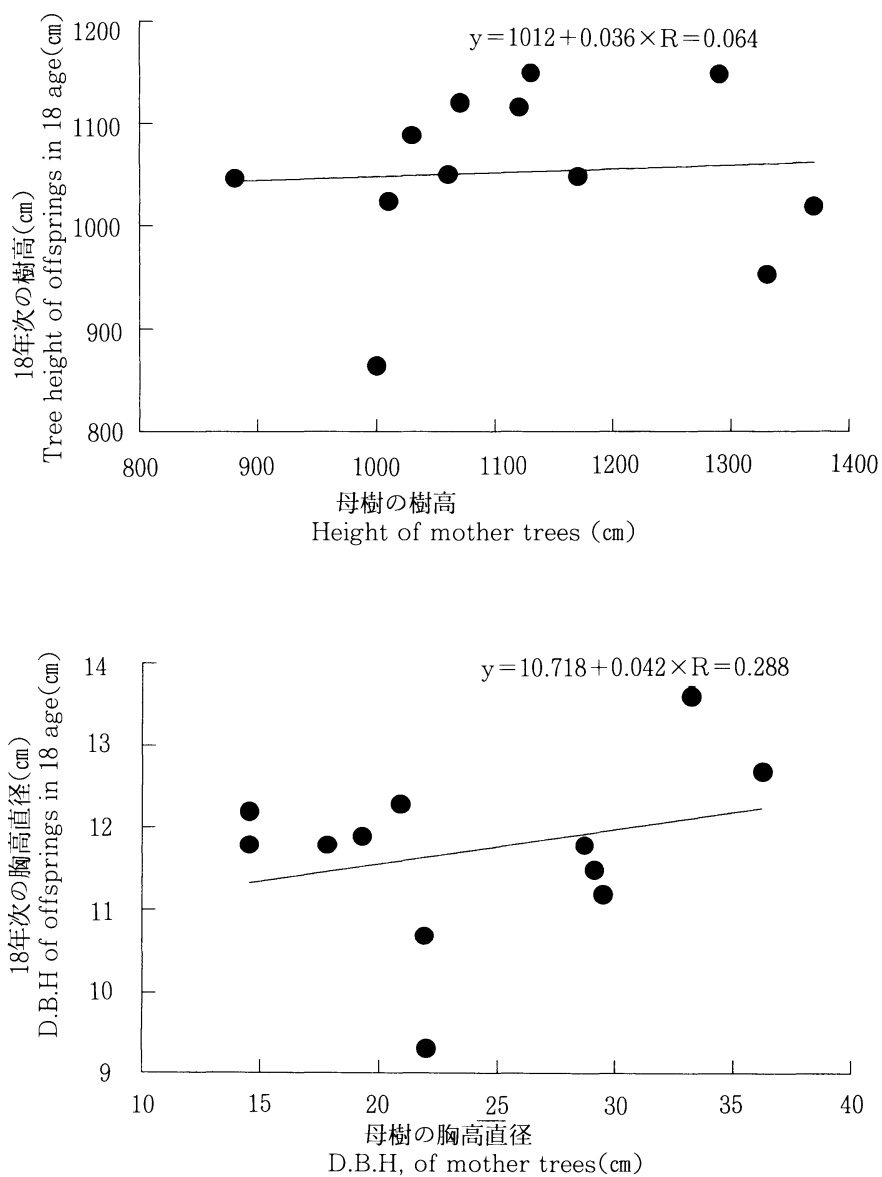


Fig. 2 母樹と18年次の成長量の関係
Relationships between mother tree their offsprings growth

次に12及び17年次で推定した遺伝率を用いて、同年次の樹高と胸高直径の遺伝獲得量を式-2で求めた。本式における標準選抜差は無限大の母集団から選抜強度 5%で得られる 2.063を用いた。

12年次の樹高の遺伝獲得量は

$0.208 \times \sqrt{7,069,317/271} \times 2.063 = 69.31$ となり、選抜母集団の平均樹高よりも69.31cm上回ることが分かった。また、17年次の樹高の遺伝獲得量は135.25cmであった。

12年次の胸高直径の遺伝獲得量は

$0.114 \times \sqrt{1,637,874/271} \times 2.063 = 0.578$ であり、17年次の遺伝獲得量は1.23cmとなった。これらの遺伝獲得量はどの程度の育種効果があるか式-3で試算した。母集団の12及び17年次の成長量は分からないため、ここでは本試験林における同年次の平均値を用いて推定した。

樹高の12年次における育種効果は

$(811.70\text{cm} + 69.31\text{cm}) / 811.70\text{cm} = 1.085$ 倍となり、8.5%のアップ率であった。また、17年次のそれは13.6%であった。

胸高直径の12年次における育種効果は

$(8.917\text{cm} + 0.578\text{cm}) / 8.917 = 1.065$ 倍となり、アップ率は12年次は 6.5%，17年次は10.7%であった。

3. 溝数及び樹皮厚の家系間変異

しいたけ原木の樹皮形質はシイタケ発生量を左右する要因であり、樹皮の厚さと樹皮の割裂が大きく関与していると言われており、樹皮に関する研究が行われている^{1, 3, 7, 8, 9, 14, 16)}。橋詰⁴⁾は、しいたけ原木の樹皮を樹皮表面の特徴によって、普通肌、チリメン肌、鬼肌、岩肌の四つのタイプに区分している。これに関連して田中¹⁴⁾は、これらの外部特徴は樹皮の一つの形質ではなく、溝数、溝長、樹皮厚等が複合されたものとしている。

本報では樹皮形質のうち、個体の胸高部位の樹皮厚、溝数、割裂間隔、樹皮厚比について検討した。

まず、樹皮厚の各年次における家系平均値を Table 16に示した。年次別の平均樹皮厚は、11年次が0.77cmと調査した年次の中で最も薄く、17年次が0.95cmと最も厚く、樹齢の増加と共に厚くなる傾向にあるが、年次によって変動の大きい不安定な家系もあった。

Table 16. 各年次における家系の平均樹皮厚 (cm)
Bark thickness of the families in tree ages(cm)

家系 Families	年 次 Tree ages					
	11	12	14	15	17	18
No. 1	0.73	0.84	0.78	0.82	0.99	0.93
No. 3	0.78	0.86	0.85	0.90	0.94	0.92
No. 4	0.75	0.77	0.80	0.83	0.95	0.86
No. 5	0.77	0.88	0.87	0.94	0.99	0.96
No. 6	0.82	0.84	0.84	0.94	0.95	0.86
No. 7	0.69	0.73	0.71	0.78	0.84	0.78
No. 9	0.85	0.90	0.87	0.90	1.03	0.97
No.10	0.79	0.84	0.80	0.90	0.95	0.87
No.20	0.72	0.80	0.79	0.88	0.93	0.86
No.21	0.78	0.83	0.79	0.85	0.90	0.87
No.23	0.75	0.77	0.87	0.87	0.95	0.93
No.24	0.82	0.84	0.82	0.89	0.94	0.93
Means	0.77	0.83	0.82	0.87	0.95	0.90

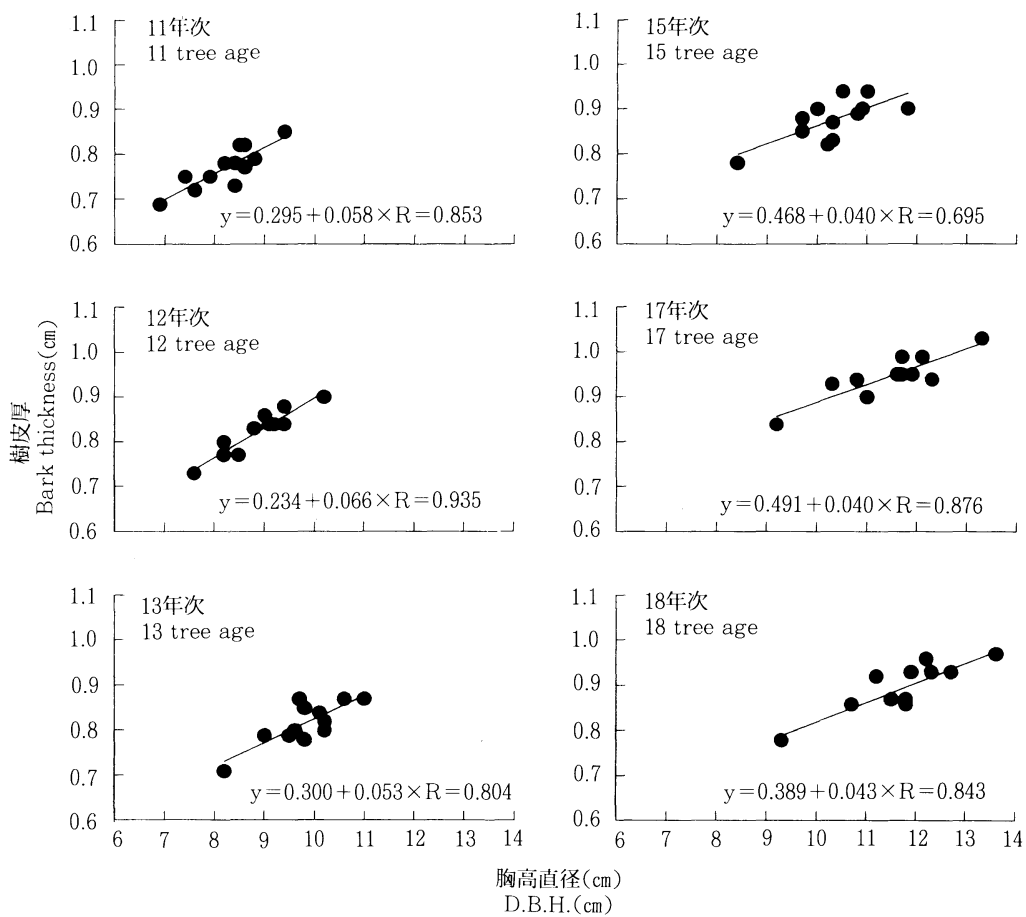


Fig. 3 家系平均値を用いた胸高直径と樹皮厚の関係
Relationships between D.B.H, and back thicknes by mean values

家系平均値を用いた直径と樹皮厚との関係をFig. 3に示した。各年次において両者の間には高い相関関係が見られ、直径成長と樹皮厚との間に密接な関係のあることが分かった。

Table 17. 各年次における胸高直径と樹皮厚の相関係数
Correlation coefficient between D.B.H.
and bark thickness in the tree ages

年 次 Tree ages	家系平均値の場合 自由度=10 Family average D.F.=10	全個体の場合 自由度=219 All individual D.F.=219
11	0.853 * *	0.787 * *
12	0.935 * *	0.760 * *
14	0.804 * *	0.673 * *
15	0.695 *	0.750 * *
17	0.876 * *	0.802 * *
18	0.843 * *	0.786 * *

* *, * ; それぞれ1%, 5%の危険率で有意である。

Significant at 1% and 5% level

また、全個体を用いた各年次の直径と樹皮厚の相関係数をTable 17に示したが、家系の場合と同様にいずれの年次でも有意に高い相関関係が認められ、樹皮厚は直径成長量の増大とともに厚くなる傾向が見られた。樹皮厚について分散分析を行った結果をTable 18に示した。11, 12及び18年次で家系間に有意差が見られ、家系によって樹皮厚にちがいのあることが認められた。樹皮厚はFig. 3で明らかなように胸高直径の大小が大きく影響しているので、特に樹皮厚の家系間差が顕著な18年次について胸高直径と樹皮厚の共分散分析を行なった。その結果、各家系の回帰はほぼ平行であったが、回帰の高さが異なることから、胸高直径を加味した樹皮厚では家系間に差があり、樹皮厚に関して選抜の可能性が示唆された (Table 19)。

一方、胸高直径と樹皮厚比の間には負の相関が見られた (Fig.4)。また、簡便的にFig. 4から胸高直径10cmを基準にした樹皮厚比を見ると、胸高直径が10cm以上では0.071 ~ 0.076cm, 胸高直径10cm以下は0.088 ~ 0.097cmとなり、いずれの年次においても胸高直径の増加に伴って樹皮厚比は小さくなる傾向が見られた。このような現象について、橋詰はアベマキ型の外樹皮は蓄積しやすく、クヌギ型やアベクヌギ型は剥落しやすいという樹種の違いを指摘し、クヌギ型の小径木ではアベマキ型と同程度の外樹皮厚となるが大径木になると外樹皮が剥落するとしており、このことが相対的に樹皮厚比を小さくしたものと考えられる。

次に家系の各年次における平均溝数をTable 20に示した。11及び12年次の平均溝数は各々17.8, 16.2本, 14年次以降は20.1 ~ 20.7本で急激に多くなり、かつ安定する傾向にあった。

家系平均値と個体を用いた胸高直径と溝数の相関図をFig. 5, 6に示した。家系平均値の場合は11, 14, 17年次のいずれも両形質間には有意な相関関係が認められた。

Table 18. 各年次における樹皮形質の分散分析（平均平方で表す）
Analysis of valiance of bark thickness and
number of fussres in each tree age

年 次 Tree ages	要 因 Factors	自由度 D.F.	形 質 Characters					
			樹皮厚 Bark thickness	F 値 F-values	溝 数 No. of fissures	F 値 F-values	割裂間隔 No.of fissure/ breast height girth	F 値 F-values
11	家系 Families	11	0.048	1.891 *	27.498	1.906 *	0.084	0.991 ^{NS}
	誤差 Error	265	0.025		14.427		0.084	
12	家系 Families	11	0.053	2.207 *	41.032	2.083 *	0.090	0.698 ^{NS}
	誤差 Error	260	0.024		19.698		0.129	
14	家系 Families	11	0.048	1.591 ^{NS}	33.734	1.920 *	0.113	1.517 ^{NS}
	誤差 Error	246	0.036		17.567		0.074	
15	家系 Families	11	0.044	1.526 ^{NS}	19.553	1.140 ^{NS}	0.219	3.940 * *
	誤差 Error	232	0.029		17.156		0.056	
17	家系 Families	11	0.041	1.529 ^{NS}	20.685	1.383 ^{NS}	0.137	1.978 *
	誤差 Error	212	0.027		14.957		0.069	
18	家系 Families	11	0.058	2.520 * *	27.484	1.560 ^{NS}	0.157	1.994 *
	誤差 Error	209	0.023		17.623		0.079	

* *, *; それぞれ1%, 5%の危険率で有意である。

Significant at 1% and 5% level

Table 19. 18年次における胸高直径と樹皮厚の共分散分析
Analysis of covariance for D.B.H and bark thickness in 18 tree age

変動因 Factors	自由度 D.F.	直 径 平方和 D.B.H. S.S	積和	樹皮厚 平方和 Bark thickness S.S	回帰からの偏差		
					自由度 D.F.	平方和 S.S	平均平方 M.S
家系内 Between families					197	79.669	0.404
回帰係数 Regression coefficient					11	0.001	0.000 ^{NS}
平均値 Means	11	223.34	0.63	9.85			
共通の Common	209	2,096.14	4.81	79.68	208	79.670	0.383
修正平均 Modified means					11	9.846	0.895 * *
全 体 Total	220	2,319.48	5.44	89.53	219	89.516	

* * : 1%の危険率で F値が有意である。
Significant at 1% level

Table 20. 各年次における家系の平均溝数（本）
Mean number of fissures on stem in each tree age

家 系 Families	年 次 Tree ages					
	11	12	14	15	17	18
No. 1	18.2	16.5	21.4	21.0	21.1	21.2
No. 3	17.9	16.6	20.0	20.6	19.6	19.7
No. 4	17.3	14.7	20.5	21.0	19.8	19.8
No. 5	18.3	17.3	20.6	20.9	20.8	20.4
No. 6	18.1	16.2	21.7	21.9	20.2	19.8
No. 7	16.2	14.1	18.8	18.6	17.5	17.4
No. 9	19.8	18.3	22.7	21.8	21.4	22.2
No.10	19.4	17.6	21.6	22.1	20.6	21.0
No.20	16.6	14.9	18.9	20.7	18.9	18.6
No.21	17.4	16.1	20.6	20.4	20.2	20.6
No.23	16.6	14.3	18.7	19.5	20.1	19.9
No.24	17.4	16.3	21.1	19.8	20.9	20.7
Means	17.8	16.2	20.6	20.7	20.1	20.2

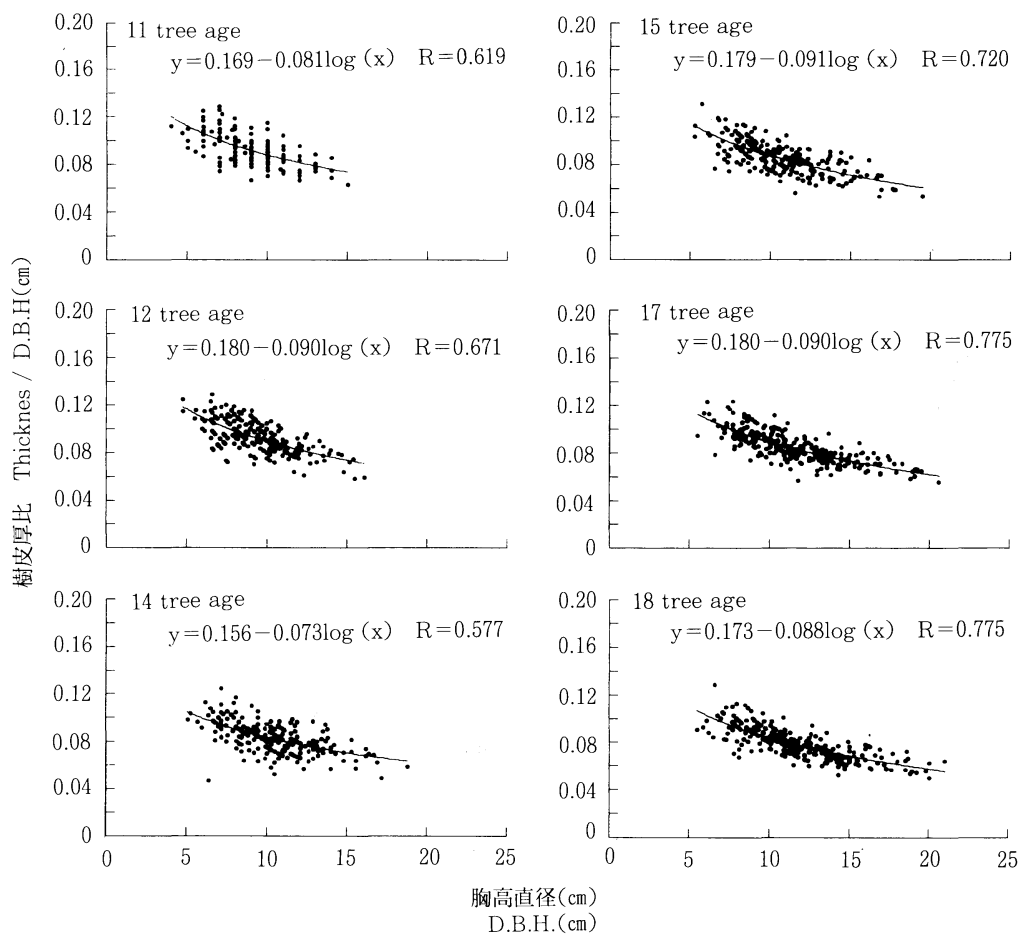


Fig. 4 胸高直径と樹皮厚比の関係
Relationships between D.B.H. and bark thickness/ D.B.H.

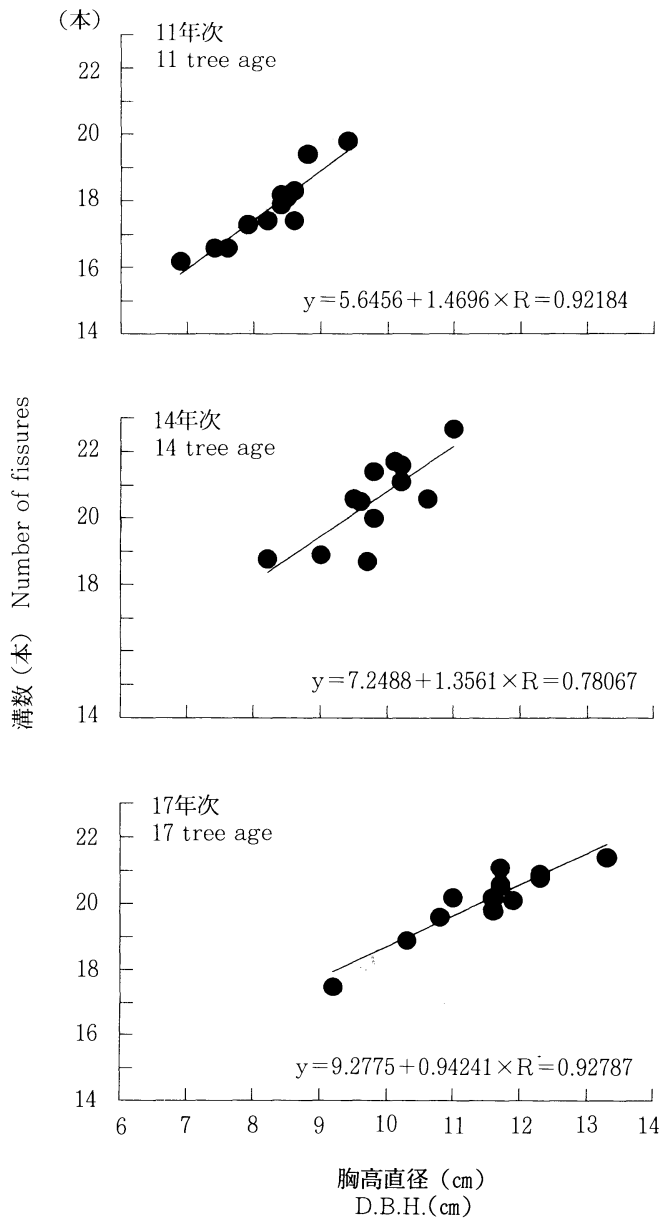


Fig. 5 家系平均値を用いた胸高直径と溝数の関係
Relationships between D.B.H. and number of fissures

なお、図には示さなかったが11～18年次のいずれにおいて有意な相関関係 ($r = 0.683 \sim 0.948$) が認められた。個体を用いた相関図をFig. 6に示したが、各年次で直径階によって溝数のバラツキがかなり異なることが分かる。

11年次では胸高直径10cm未満で、14年次では10～15cmの直径階でバラツキが大きい、17年次では全般にバラツキが小さい。しかし、両形質の相関係数は0.72～0.85で有意に高い値となり、胸高直径が大

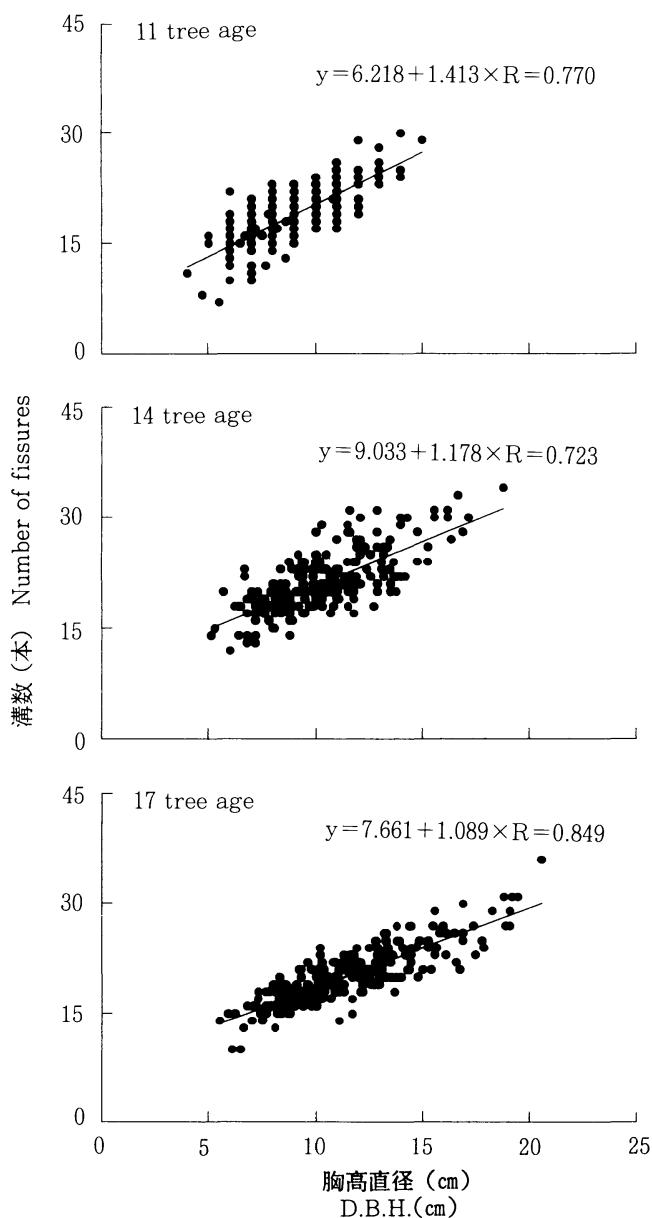


Fig. 6 胸高直径と溝数の関係
Relationships between D.B.H. and fissures

きくなるにしたがって溝数は増加する傾向が見られた。しかし、回帰係数の値は樹齢の増加にともなって小さく安定傾向にあることから、溝数も樹皮厚と同様に直径成長が緩慢になるにしたがって増加量は小さくなり、一定の樹齢に達すると直径成長量分だけ溝の間隔は広がるものと推測される。これは個体内において樹幹下部の溝数は荒く、上部はなめらかであることとも一致している。

しいたけ原木としては割裂間隔が狭く、割裂密度¹⁾の高いものが適しているとされている。

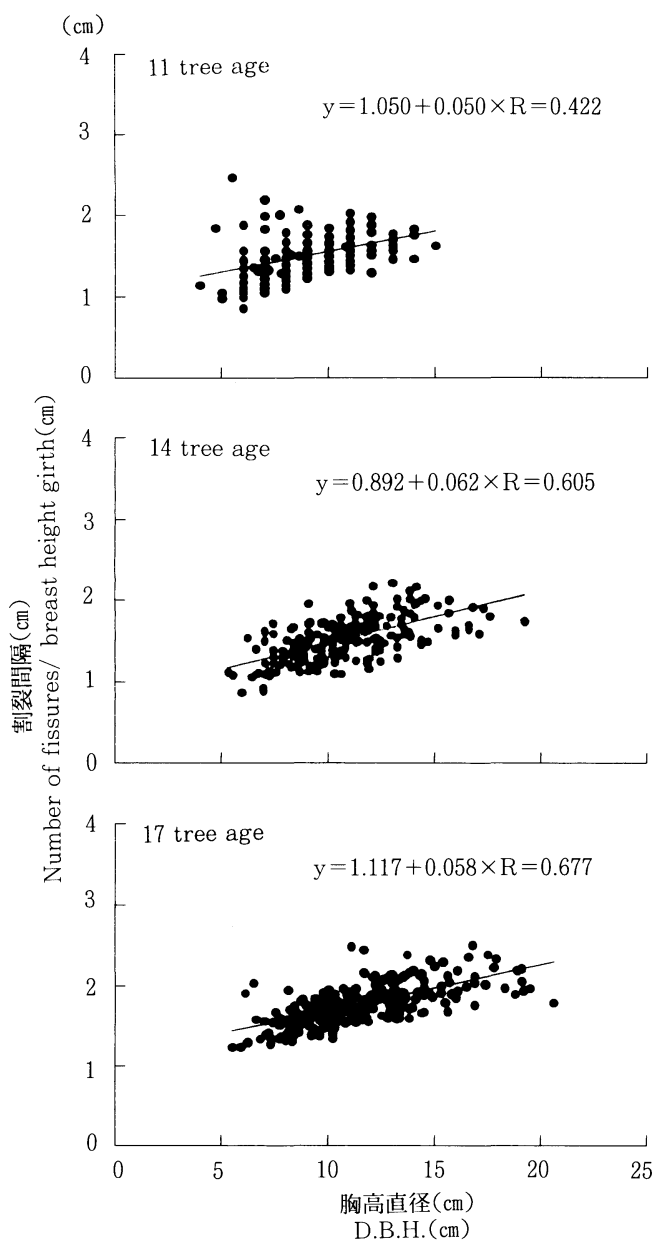


Fig. 7 胸高直径と割裂間隔の関係
Relationships between D.B.H. and Number of (cm)
fissures/ breast height girth

Fig. 7に胸高直径と割裂間隔の相関関係を示した。11年次の両者の関係は胸高直径が小さい個体では割裂間隔のバラツキが大きく、胸高直径が大きくなるにしたがってバラツキは小さくなる。しかし、14年次以上になると各直径階における割裂間隔は広がり、かつバラツキが小さくなる。

溝数と割裂間隔について分散分析を行った結果 (Table 18), 溝数は12~14年次で、割裂間隔は15~

18年次で家系間に有意差が認められた。溝数は14年次以降あまり増加せず安定傾向になるのに対し、直径成長の増加は家系によって異なり、それに対応した割裂間隔となり家系間に差が生じたものと考えられる。

Table 21. 各年次における樹皮形質の遺伝率
Heritability of the number of fissures
and the bark thickness in each tree age

年 次 Tree ages	樹皮厚の 遺伝率 (%) Heritability bark on thickness	溝数の 遺伝率 (%) Heritability on No. of fissures	割裂間隔 の遺伝率 (%) Heritability on Width of fissure
11	13.425	11.870	0.000
12	16.904	15.764	0.000
14	8.653	14.666	8.810
15	9.310	2.685	36.733
17	10.215	7.610	17.374
18	24.895	10.874	17.814

Table 21に両形質の遺伝率を示したが、樹皮厚は8.65 (14年次) ~ 24.90% (18年次) であり、溝数は2.69 (15年次) ~ 15.76% (12年次)、割裂密度は0 (11, 12年次) ~ 36.7% (15年次) であった。しかし、各年次別の遺伝率はかなり変動している。特に樹皮厚の14及び15年次、溝数の15及び17年次の遺伝率は著しく低い値となっている。これについては明らかではないが、クヌギの樹皮表面の形状は複雑な変化をしており、測定誤差も考えられる。また、樹皮形質における樹齢と遺伝率の関係は今後さらに検討する必要がある。

IV ま と め

クヌギ12家系の18年間の調査資料から成長形質と樹皮形質について家系間変異と遺伝率について検討した。樹高及び胸高直径の成長量は10年次ではほぼ家系順位が安定しており、また、年次間の相関も7年次以降の各組合せにおいて有意な相関が認められた。このことから成長形質について早期検定の可能性が示唆された。

樹高と胸高直径の各年次における遺伝率は、樹高が胸高直径に比べて高い値となり、年次経過とともに順次高まった。この遺伝率から求めた17年次の育種効果は樹高で13.6%、直径で10.7のアップ率であった。

樹皮形質では、樹皮厚が樹齢の増加とともに厚くなり、年次による変動が大きい家系が見られるが、樹皮厚と胸高直径の間には各年次とも有意に高い相関関係があったこと、また、胸高直径を加味した樹皮厚に家系間差が認められたことなどから、樹皮厚は選抜の対象形質となり得ると考えられる。

文 献

- 1) 橋詰隼人・脇田嘉輔：シイタケ原木育種の基礎となるコナラ樹皮の形質の変異，広葉樹研究 2，27～40，1983
- 2) 橋詰隼人：シイタケ原木林の造成法，菌草30 (9)，37～43，1984
- 3) 橋詰隼人・金川 悟：クヌギ・アベマキ混交林における葉及び樹皮形態の変異，99 回日林論，241～242，1988
- 4) 橋詰隼人・金川 悟：シイタケ原木育種に関する基礎的研究（Ⅰ）クヌギの樹皮形態の変異，広葉樹の研究No. 5，21～32，1989
- 5) 橋詰隼人・金川 悟：シイタケ原木育種に関する基礎的研究（Ⅱ）クヌギ，アベマキ混交林の変異について，昭和63年度科学研究費補助金研究成果報告書，15～26，1991
- 6) 半田孝俊：クヌギ48半兄弟家系の10年間の成長，日林関西支論 1，233～236，1992
- 7) 石川春彦：シイタケ子実体の発生機構，菌草12 (10)，12～17，1966
- 8) 片倉光雄：長野県下のコナラ，クヌギ林の生長と心，辺材および樹皮厚について，36 回日林中支論，37～39，1988
- 9) 小松光雄：コナラ外樹皮の厚さとシイタケ発生量：菌草33 (9)，20～26，1987
- 10) 松浦 堯・田中京子：ミズナラ産地系統試験（Ⅰ），98 回日林論，247～248，1989
- 11) 小山真澄：コナラの樹高と直径成長についての遺伝率，林木の育種「特別号」30～32，1993
- 12) 新谷安則：クヌギ母樹別自然交雑家系の植栽後 4，5年目の調査結果，日林九支研論35，39～40，1982
- 13) 田中京子・松浦 堯：ミズナラ産地系統試験（Ⅱ），100 回日林論，285～286，1990
- 14) 田中了五・半田孝俊：クヌギ樹皮溝数の家系間差：林木の育種「特別号」，31～35，1992
- 15) 戸田忠雄：輸入クヌギの種子形態と幼齡時における生育，九育年報17，1988
- 16) 戸田忠雄：クヌギ形質の家系間差異，日林九支研論39，61～62，1986
- 17) 山田行雄：量的形質の遺伝学（6）遺伝28，105～111，1974

**Genetic variations of tree height, D.B.H, bark thickness
and number of bark fissures of the characters among
12 families in the test plantation of *Quercus acutissima***

**Tadao TODA, Keiji NISHIMURA
and Masahiro TAJIMA**

In order to improve the character of deciduous oaks for mushroom cultivation, variations in four characters of tree height, D.B.H. bark thickness and number of bark fissures, were studied using data for 18 years, obtained from a plantation established in 1975. Tree height and diameter of basal stems at the nursery stage differed significantly among families. Tree heights after 11 years, D.B.Hs at exactly 11 years and after 15 years also differed considerably among families. Year-to-year correlation in mean tree heights and mean D.B.Hs were significant highly, and the ranking of tree growth did not differ within families. Family variation of bark thickness and fissures varied with the tree ages. However, bark thickness and bark fissures were greatly affected by the growth of D.B.H. These two characters tend to increase with tree age during the early stage, but leveled off after 11 years. The heritabilities of tree height and D.B.H. during 7 to 18 years, bark thickness and bark fissures during 11 to 18 years were estimated. Heritability varied from 0% to 34.4% for tree height, from 1.8% to 19.2% for D.B.H from 8.7% to 24.9% for bark thickness, from 2.7% to 15.8% for numbers of bark fissures and from 0% to 36.7% for width of fissures on bark. However, the heritability on tree height and D.B.H. tended to increase with tree age.