

スギ交雑苗木の1—1年生時における 苗高についての組合せ能力と遺伝率の推定

佐々木 研⁽¹⁾・河村 嘉一郎⁽²⁾・千葉 幸弘⁽³⁾

Migaku SASAKI⁽¹⁾・Kaichiro KAWAMURA⁽²⁾ and Yukihiro CHIBA⁽³⁾

Estimation of combining ability and heritability on height growth in two-year-old seedlings of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) from Diallel and Factorial mating

要旨：スギの精英樹間交雑による初期成長優良家系の創出を目的とした片面ダイアレル交雑およびスギ精英樹の初期成長の優れた形質とスギカミキリ抵抗性個体の抵抗性形質との複合形質家系の創出を目的とした要因交雑を行った。これら交雑家系の1—1年生時における苗高を基にして、組合せ能力と遺伝率を推定した。

組合せ能力については、いずれの場合も、一般組合せ能力は有意に高かったが、特定組合せ能力では有意な差が認められなかった。

遺伝率については、これら2つの交雑群でそれぞれ17.1%, 50.0%と推定され、遺伝率に大きな差がみられた。この違いは、形質間交雑群において花粉親として用いたスギカミキリ抵抗性候補木群に初期成長のとくに優れたものが含まれていたこととプロット内個体変動の大きさの違いがあったことによって生じたものと考えられた。

I は じ め に

近年の林業経営における労働力不足の解消策について育種的な面から考えるとき、これまで進められてきた精英樹選抜育種、地域病虫害抵抗性育種等による優良形質に加え、低コストで育成させ得る家系の創出も必要となってきた。

本交雑実験を行うにあたっては、林木の育成過程で必要な下刈り作業および植栽後数年目頃からおよそ45年間は要すると思われるスギカミキリ虫害⁷⁾¹²⁾¹³⁾予防作業の、林業経営に占める労働力のウエイトの高いことに注目した。そこで、筆者らは精英樹のなかから初期成長の早いものを選択し、これら同士の交雑、および初期成長の早い精英樹とスギカミキリ抵抗性候補木との交雑によって、それぞれの形質の優れた家系の創出の可能性をみることにした。これら一連の実験は、関西林木育種場の構内で行った。

本報では、これら交雑苗木の1—1年生時における苗高の組合せ能力と遺伝率について取りまとめたものである。

この解析にあたっては、関東林木育種場の育種第一研究室長・栗延晋博士作成の「不連続片面ダイアレル交配の最小2乗法による分散分析プログラム」⁵⁾を利用させていただくとともに、助言もいただいた。厚くお礼申し上げる。

(1) 関東林木育種場(前関西林木育種場) (2) 関西林木育種場四国支場(前関西林木育種場), (3) 森林総合研究所(前関西林木育種場)

II 材料と方法

1 実験1. 初期成長優良家系の創出

交雑母材料の選択：交雑母材料は、スギ精英樹のさし木クローンで造成した一般次代検定林、遺伝試験林および地域差検定林（以下では、検定林という）のうち、それぞれの検定林に10クローン以上が植栽され、1981年現在で5成長期に達した85ヶ所の検定林から以下の方法で選択した。選択基準は、検定林ごとの樹高測定データを基にして、それぞれのクローンに5段階評点⁹⁾を与え、2ヶ所以上の検定林で評点「5」と「4」にランキングされた回数がおのおの1回以上（計2回以上）、または「4」のみが3回以上となったクローンを初期成長の早いものとして評価した。また、「1」が2回以上となったクローンを初期成長の遅いものとみなした。成長の早いものと評価したクローンについて、精英樹の選抜地を考慮して3地域（第1地域：滋賀・京都・大阪・兵庫地区、第2地域：三重・奈良・和歌山地区、第3地域：岡山・広島・山口地区）に区分し、それぞれの地域内で評価の高いものから順に5クローンずつ選択した。

さらに、比較対照の共通クローンとして、各地域で初期成長の早い桑名1号と、初期成長の遅かった田辺署1号、氷上1号および吉野56号の3クローンを選択した。

交雑および交雑家系の育苗：ガラス室内において、各セットとも自殖を含む9×9の片面ダイアレル交雑とし、'85年3月中旬～下旬に2回の受粉をした⁸⁾。

これらの種子を'86年4月中旬、苗畑にまきつけ（秋期得苗期待本数：500本/㎡）し、無間引きの施業とした。'87年3月中旬～下旬に、2反復の乱塊法によって無選苗のままで床替え（25本/㎡）し、同年9月下旬に苗高を測定した。

分析の対象および方法：採種時または育苗期間中に欠落した組合せが生じた。この不備を統計解析上の手法によって補えるように作成されている栗延のプログラム⁹⁾により、各交雑セット内で交雑親が9つの自殖を除いた不連続片面ダイアレル交雑として、一般組合せ能力、特定組合せ能力および遺伝率の推定を行った。

このプログラムにおける個体測定値は、以下の線形モデルによってあらわされる。

$$y_{ijk1} = \mu + r_i + g_j + g_k + s_{jk} + rc_{ijk} + e_{ijk1}$$

ただし、 y_{ijk1} は*i*反復に植栽された*j*番目の親と*k*番目の親との交雑組合せに属する*l*番目の個体の測定値、 μ は解析に用いた集団の平均、 r_i は*i*反復の効果、 g_j と g_k はそれぞれ*j*番目の親と*k*番目の親の一般組合せ能力、 s_{jk} は*j*番目と*k*番目の親との特定組合せ能力、 rc_{ijk} は*j*番目と*k*番目の親の交雑組合せと*i*反復との交互作用、そして e_{ijk1} は*i*反復区における*j*番目と*k*番目の親の交雑組合せ内の1番目の個体の変動をあらわす。

2 実験2. 初期成長の優良な形質とスギカミキリ抵抗性形質との複合形質家系の創出

交雑母材料の選択：雌親に用いた初期成長の優れた形質についての選択は、実験1. で述べた方法と同様とした。ただし、地域区分の線引きは、実験1. の場合と少しの違いがあるが、3つの地域（第1地域：滋賀・三重・奈良・和歌山地区、第2地域：兵庫・岡山地区、第3地域：広島・山口地区を主体とし一部に兵庫・岡山地区を含めた地域）とした。それぞれの地域ごとに実験1. と同じ基準により6または7クローンを選択した。また、花粉親に用いたスギカミキリ抵抗性形質についての選択は、河村ら⁹⁾が開発した簡易検定法により合格した個体および激害林分内での免害木（以下では、スギカミキリ抵抗性候補木という）である。

交雑および交雑家系の育苗：ガラス室内において、 6×6 または 7×6 の要因交雑のセットをつくり、'86年3月中旬に3回の受粉をした⁹⁾。

これらの種子を'87年4月中旬、苗畑にまきつけ(秋期得苗期待本数：500本/㎡)し、無間引きの施業とした。'88年の3月中旬～4月中旬に2反復の乱塊法によって無選苗のまま床替え(25本/㎡)し、同年の9月下旬～10月上旬に苗高を測定した。

分析の対象および方法：採種時または育苗期間中に欠落した組合せが生じた。そのため、各交雑セット内で雌親または花粉親としての交雑関与回数が2回以上の交雑組合せによって 4×5 の要因交雑に組みなおし、実験1. で使用した解析プログラムで、一般組合せ能力、特定組合せ能力および遺伝率の推定を行った。

III 結 果

1 実験1. 初期成長優良家系の創出

初期成長優良家系の創出交雑群の組合せ能力をFig. 1に示した。

それぞれのセットの横軸と縦軸には、雌親または花粉親としての一般組合せの推定値を、両軸にはさまれた面には交雑組合せごとに特定組合せ能力の推定値を図化した。組合せ能力の推定値は、前述の解析プログラム⁵⁾によって得られたもので、このプログラムは、3セットを通じて交雑に関与したすべての親の一般組合せ能力の和がゼロとなり、特定組合せ能力は各セット内で実際に交雑組合せ家系のあったもののみでゼロとなるように調整されている。

分散分析を行った結果は、Table 1. のとおりである。解析の基礎数値には、反復別、交雑セット別、交雑組合せ別の個体ごとの苗高測定値を用いた。また、一般組合せ能力と特定組合せ能力の有意差検定には、それぞれの平均平方を各分散成分を基にした係数で修正し、一般組合せ能力の平均平方を特定組合せ能力のそれと除し、また特定組合せ能力の平均平方の値を反復と交雑組合せとの交互作用のその値で除して、それぞれの分散比を求めた。その結果、一般組合せ能力は1%水準で有意な差が認められたが、特定組合せ能力では有意な差は認められなかった。

一般組合せ能力についてFig. 1でみると、推定値の高い交雑親は、第1セットの飾磨8号(+4.80。初期成長の早い精英樹として交雑親に用いたもの)、第2セットの氷上1号(+6.03。遅いものとして用いたもの)、および第3セットの府中1号(+5.30。早いものとして用いたもの)の3つがあげられる。また、低い交雑親としては、第2セットの桑名1号(-5.16。早いものとして用いたもの)と吉野66号(-5.23。早いものとして用いたもの)および第3セットの吉野56号(-5.04。遅いものとして用いたもの)の3つがあげられる。

遺伝率は、Table 1. の平均平方の期待成分によって求めた推定値を基に次の式より算出した。

$$\begin{aligned} \text{遺伝率 } h^2 &= \frac{4\sigma_g^2}{2\sigma_g^2 + \sigma_s^2 + \sigma_{rc}^2 + \sigma_w^2} \dots\dots\dots (1) \text{ 式} \\ &= \frac{4 \times 5.9}{2 \times 5.9 + 0.9 + 16.2 + 109.4} \\ &= 0.171 \end{aligned}$$

ただし、 σ_g^2 は一般組合せ能力、 σ_s^2 は特定組合せ能力、 σ_{rc}^2 は反復と交雑組合せとの交互作用、 σ_w^2 はプロット内個体変動。

この結果、遺伝率は、17.1%と推定された。

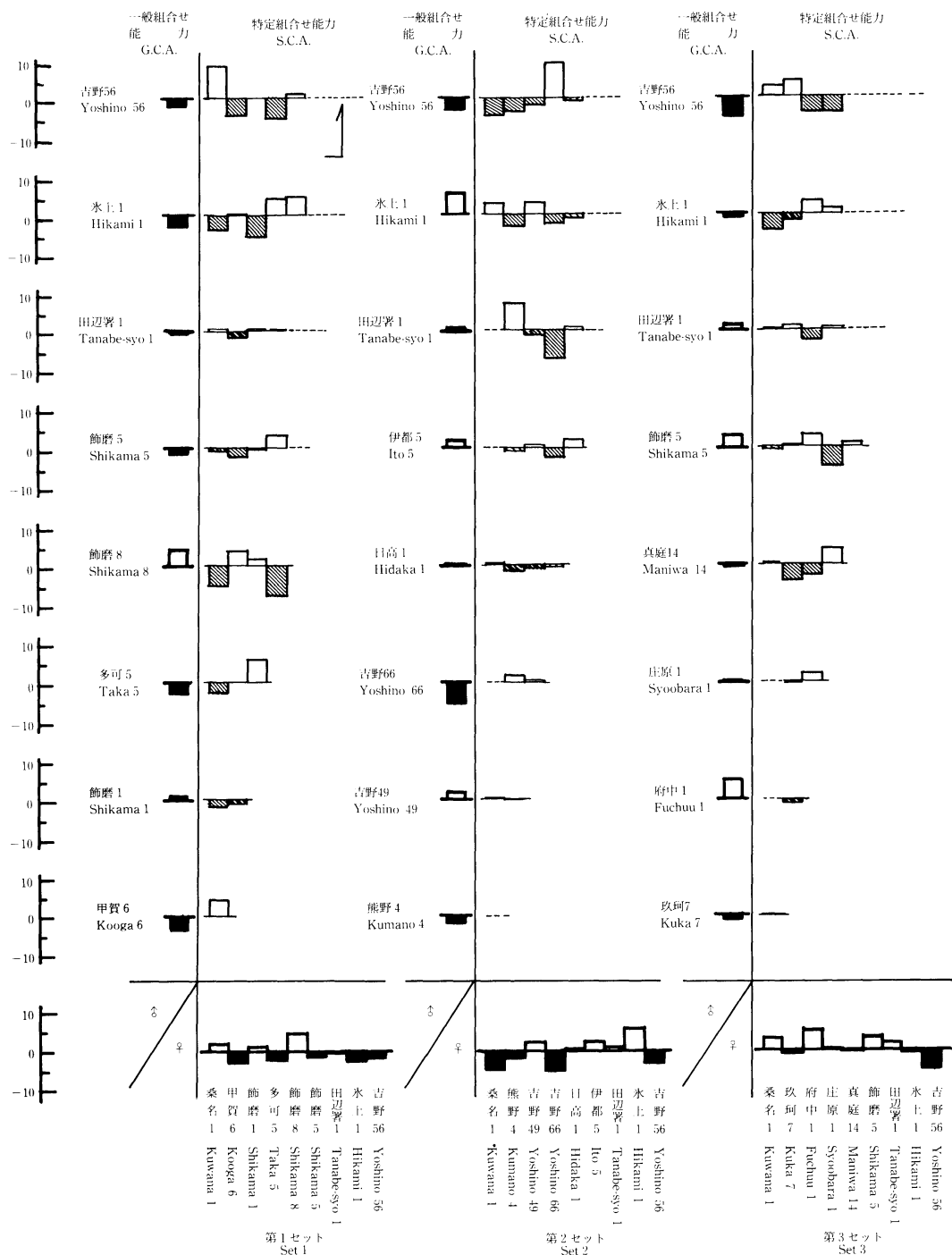


Fig. 1 片面ダイアレル交雑における一般組合せ能力と特定組合せ能力
G.C.A. and S.C.A. on height growth in 1-1 year-old seedlings derived from
half-diallel mating among Sugi plus trees

Table 1. 精英樹間交雑苗の1-1年生時における苗高の分散分析表(片面ダイヤレル交雑)
Analysis of varians on height growth in 1-1 year-old seedlings derived from half-diallel mating among Sugi plus trees

要因 Factor	自由度 Degrees of Freedom	平方和 Sum of squares	平均平方 Mean square	分散比 F	平均平方の期待成分 Components of variance
一般組合せ能力 General combining ability	26	22981.75	883.9135	3.12**	$\sigma_w^2 + k4 \cdot \sigma_{rc}^2 + k5 \cdot \sigma_s^2 + k6 \cdot \sigma_g^2$
特定組合せ能力 Specific combining ability	52	14192.50	272.9327	1.06 ^{N.S.}	$\sigma_w^2 + k2 \cdot \sigma_{rc}^2 + k3 \cdot \sigma_s^2$
反復 × 組合せ Replication × Cross	74	19349.25	261.4763	2.39**	$\sigma_w^2 + k1 \cdot \sigma_{rc}^2$
プロット内個体 Plants within plot	1291	141298.25	109.4487		σ_w^2

注 **は分散比が危険率1%で有意, ^{N.S.}は非有意をあらわす。

k1~k6は、各分散成分の係数で、k1=9.40, k2=9.16, k3=17.83, k4=9.75, k5=19.16, k6=102.19である。

また、 σ_g^2 は一般組合せ能力、 σ_s^2 は特定組合せ能力、 σ_{rc}^2 は反復と組合せとの交互作用、 σ_w^2 はプロット内個体変動をあらわす。

Remarks ** : Significant at 1% level, ^{N.S.} : No significant.

k1~k6 : Coefficient of each components of variance, σ_g^2 : G.C.A., σ_s^2 : S.C.A.,
 σ_{rc}^2 : interaction between replications and crosses, σ_w^2 : Plants within plot.

2 実験2. 初期成長の優良な形質とスギカミキリ抵抗性形質との複合形質家系の創出

この複合形質家系の創出交雑群の組合せ能力をFig. 2に示した。図示の方法は、実験1. と同様である。

分散分析を実験1. の場合と同じ要領で行った結果、一般組合せ能力は1%水準で有意な差が認められたが、特定組合せ能力では有意な差が認められなかった(Table 2.)。

Fig. 2から、一般組合せ能力の推定値の高い交雑親は、第3セットのスギカミキリ抵抗性候補木の福山7号(+12.41)および同2号(+10.35)、次いでスギカミキリ抵抗性をもつ在来品種のヤブググリC(+6.71)⁴⁾およびスギカミキリ抵抗性候補木福山署3号(+6.41)の4つがあげられる。また、低い交雑親としては、第1セットの吉野66号(-6.58。初期成長の早い精英樹として交雑母材料に用いたもの)、第2セットの真庭34号(-5.97。早いものとして用いたもの)と多可5号(-5.14。早いものとして用いたもの)、および第3セットの節磨1号(-7.79。早いものとして用いたもの)の4つがあげられる。

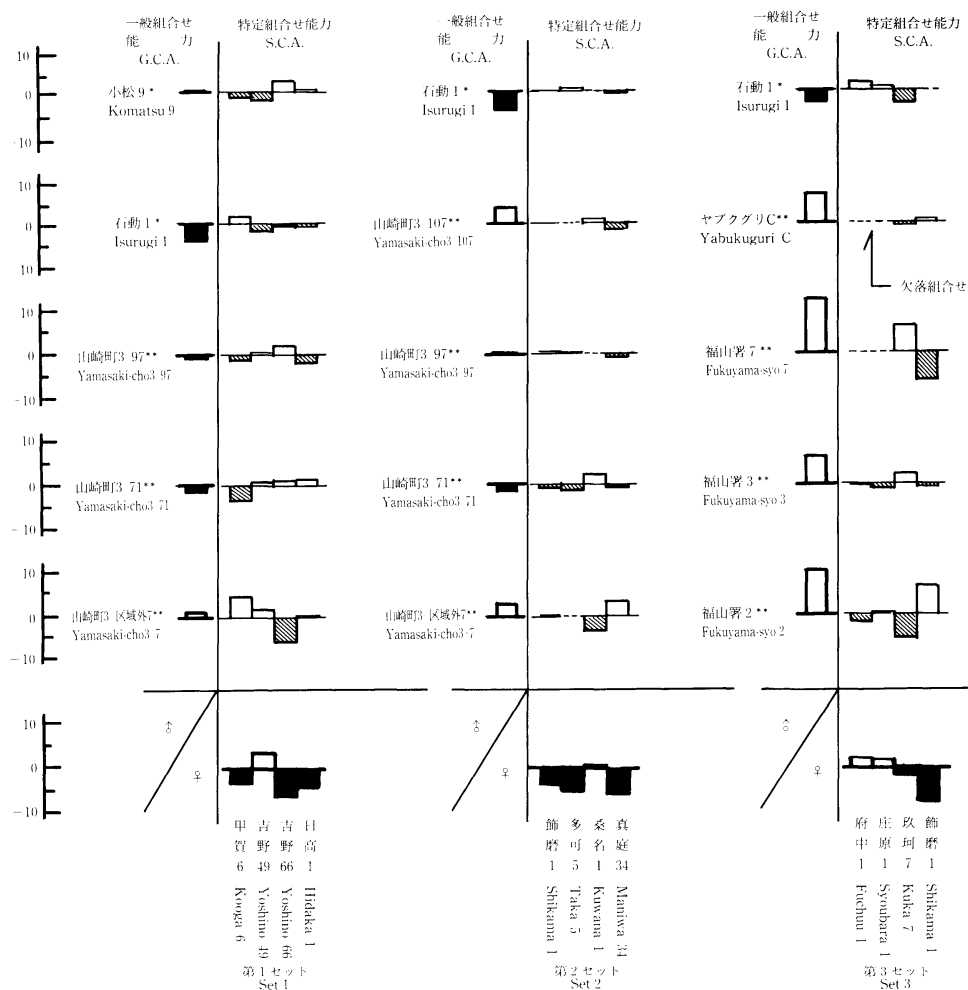
この結果から、第3セットにおいて、花粉親に用いたスギカミキリ抵抗性候補木の福山署2号、同3号および同7号は、一般組合せ能力でとくに高い値を示した。この3つの花粉親は、福山営林署管内の比較的限られた狭い流域の林分から選出し、樹齢も近寄っているものであった。このようなことから、記録にはないが、同じ系統の苗木で、しかも初期成長の早いものであると推測さる。

遺伝率は、Table 2. の平均平方の期待成分によって求められた推定値を基に、(1)式により算出した。

ただし、特定組合せ能力の推定値は-0.2となるが、計算上は0とした。

$$\text{遺伝率 } h^2 = \frac{4 \times 14.4}{2 \times 14.4 \times 0.0 + 17.1 + 69.4} \\ = 0.500$$

このようにして、遺伝率は、50.0%と推定された。この値は、高い遺伝率といわれる¹¹⁾。



注 無印：精英樹，*印：精英樹でスギカミキリ虫害抵抗性候補木，**印：スギカミキリ虫害抵抗性候補木または免害木
note no-marking : Sugi plus tree, *mark : plus tree moreover Sugi bark borer resistance, **mark : Sugi bark borer resistant tree or the tree ridded Sugi bark borer

Fig. 2 要因交雑における一般組合せ能力と特定組合せ能力
G.C.A. and S.C.A. on height growth in 1-1 year-old seedlings derived from factorial mating between Sugi plus trees and Sugi bark borer resistant trees

Table 2. 精英樹とカミキリ抵抗性候補木との交雑苗の1—1年生時における苗高の分散分析表(要因交雑)
Analysis of varians on height growth in 1-1 year-old seedlings derived from factorial mating
between Sugi plus trees and Sugi bark borer resistant trees

要 因 Factr	自由度 Degrees of Freedom	平方和 Sum of squares	平均平方 Mean square	分散比 F	平均平方の期待成分 Components of variance
一般組合せ能力 General combining ability	26	31295.75	1203.6827	5.46**	$\sigma_w^2 + k4 \cdot \sigma_{rc}^2 + k5 \cdot \sigma_s^2 + k6 \cdot \sigma_g^2$
特定組合せ能力 Specific combining ability	24	6107.00	254.4583	0.99 ^{N.S.}	$\sigma_w^2 + k2 \cdot \sigma_{rc}^2 + k3 \cdot \sigma_s^2$
反復 × 組合せ Replication × Cross	48	11032.13	229.8359	3.31**	$\sigma_w^2 + k1 \cdot \sigma_{rc}^2$
プロット内個体 Plants within polot	867	60179.50	69.4112		σ_w^2

注 **は分散比が危険率1%で有意, ^{N.S.}は非有意をあらわす。

k1~k6は、各分散成分の係数で、k1=9.40, k2=11.07, k3=19.79, k4=8.85, k5=18.16, k6=68.46である。

また、 σ_g^2 は一般組合せ能力、 σ_s^2 は特定組合せ能力、 σ_{rc}^2 は反復と組合せとの交互作用、 σ_w^2 はプロット内個体変動をあらわす。

Remarks ** : Significant at 1% level, ^{N.S.} : No significant.

k1~k6 : Coefficient of each components of variance, σ_g^2 : G.C.A., σ_s^2 : S.C.A.,

σ_{rc}^2 : interaction between replications and crosses, σ_w^2 : Plants within plot.

IV 考 察

実験1. と実験2. において、Table 1. およびTable 2. に示す一般組合せ能力のF値はそれぞれ3.12, 5.46となり、いずれの場合も1%水準で有意な差がみられた。特定組合せ能力については、その値が1.06, 0.99となり、いずれも有意ではなかった。

また、遺伝率については、実験1. および実験2. において、それぞれ17.1%, 50.0%と推定され、その差はかなり大きいものであった。

ここで、一般組合せ能力のあらわれ方と遺伝率について検討を加えてみる。

1 一般組合せ能力

実験1. および実験2. における一般組合せ能力の平均値からの偏差をFig. 3に示した。実験1. における最大値、最小値およびレンジは、それぞれ6.03, -5.23, 11.26である。実験2. のそれらの値は、それぞれ12.41, -7.79, 20.20であり、レンジは実験1. の値の1.79倍であった。そこで、実験2. の交雑母材料のうち、花粉親を除いた精英樹だけの一般組合せ能力の推定値のレンジをみると11.62となり、また実験1. と対応する精英樹だけのレンジは10.53で、両者のレンジは実験1. とほぼ同じとなっている。このようなことから、実験2. における一般組合せのレンジの拡大は、一般組合せ能力の高いスギカミキリ抵抗性候補木が含まれていたためと考えられる。

2. 狭義の遺伝率

実験1. の片面ダイアレル交雑と実験2. の要因交雑において、両者の遺伝率の大きさに影響している要因をみるため、一般組合せ能力、特定組合せ能力、反復と組合せとの交互作用およびプロット内個体変動の推定値と標準誤差についてFig. 4で検討する。両者の間で差異のあるものは、一般組合せ能力とプロット内個体変動の値である。実験1. の場合は一般組合せ能力が小さく、プロット内個体変動がかなり大きい。こ

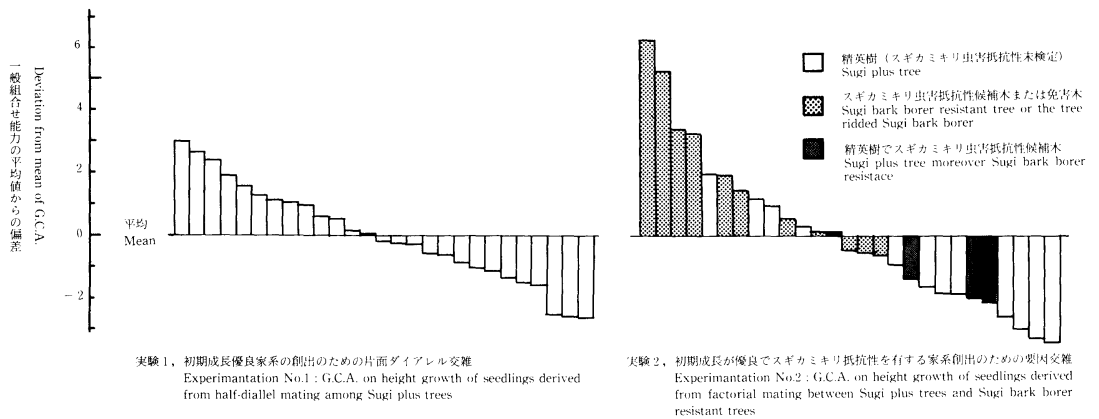


Fig. 3 実験 1. と実験 2. に用いた各交雑親の一般組合せ能力
G.C.A. on height growth in 1-year-old seedlings of each parents used to matings in experimentation No.1 and No.2

れに対して、実験 2. の場合には、その逆の値となっている。実験 1. と実験 2. における交雑の型は、先に述べたとおり、それぞれ自殖を除く片面ダイアル交雑および要因交雑としている。また、解析の対象とした交雑親の数は、実験 1. では、初期成長の早いとした 14 の精英樹クローンと遅いとした 3 つの精英樹クロンの計 17 の精英樹クローンである。また、実験 2. では、初期成長の早い精英樹クローンは実験 1. と重複しているが、花粉親となったスギカミキリ抵抗性をもちそなえている 2 つの精英樹クローンを除いては、精英樹群とは異なる集団から得た 8 つのクローン（7 つのスギカミキリ抵抗性候補木およびその抵抗性をもっている 1 つの在来品種）である。

スギの同齢の遺伝率について、大庭ら⁹⁾は花粉親 6 と花粉親を含む雌親 4 による交雑において、平均で 65% (33—65%)、その交雑での花粉親からの遺伝率は 43%、雌親からのそれは 4% と報告している。また明石らは²⁾は花粉親 5 と花粉親を含む雌親 13 による交雑で 14.7%、さらに明石¹⁾は 32 の半兄弟家系によって 56.6% と報告している。今回筆者らが行った実験 1. の遺伝率は 17.1%、明石らが得た遺伝率は 14.7% となり、ともに低かった。両者で共通していることは、交雑母材料に精英樹として選抜されたものを用い、その相互の交雑を行っていることである。明石ら²⁾は、その実験において遺伝率の低くなった原因は選抜した材料を用いていることによるものではないかと考察しているが、筆者らも論理的にはその可能性が高いと考える。しかし、筆者らが行った実験 2. の結果からは、それを説明することはできなかった。このことは、実験 2. での雌親は実験 1. と同様に精英樹であるが、花粉親は成長に関しては林分内で樹高が上位のものという条件だけで選抜したものであり、雌親のように選抜圧が強くないものを含んでいる。その関係で遺伝率を高くしたものと考えられることもできるが、むしろこの結果は、Fig. 3 でみられるように実験 2. の場合には実験 1. の場合よりも一般組合せ能力のとくに高い交雑母材料が含まれ、しかも Fig. 4 に示した実験 2. でのプロット内個体変動が、実験 1. のそれよりも小さくなったために遺伝率に大きな開きがでたものと考察したい。しかし、両者のプロット内個体変動に差異がでてきた原因については明らかではない。

なお、実験 1. で、交雑母材料の 5 成長期時点の早い遅いの評価と 1—1 年生苗木の苗高との関連ではそ

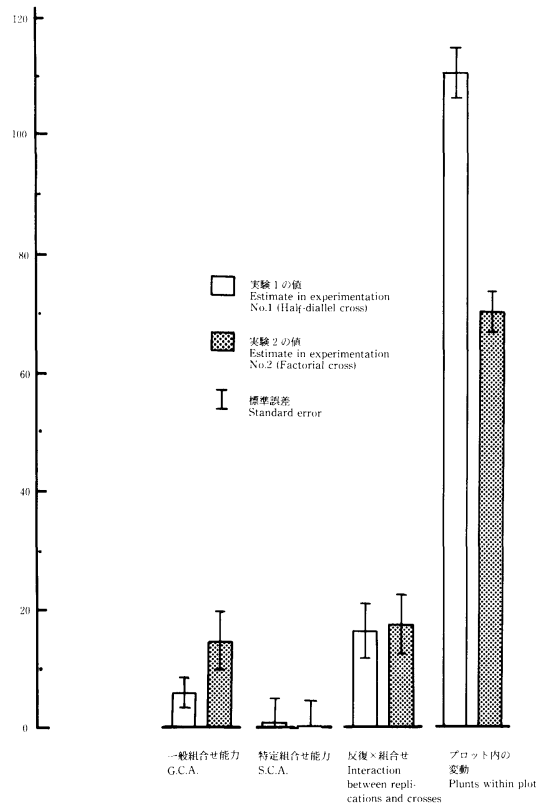


Fig. 4 分散成分の推定値と標準誤差
Estimates and standard errors of components of variance

の一致性は低かった。このことは、検定林で5段階評点を与えたときのさし木クロンの樹齢と交雑苗木の苗齢の違い、両者の年齢の間に生ずる成長のリズム、検定クロンと家系の根量その他の生理的要因および環境要因が異なっているものと考えられるため¹⁰⁾、今後の成長経過の分析に待ちたい。あわせて、初期成長に関する組合せ能力および遺伝率の年次変化を明らかにしていくとともに、スギカミキリ抵抗性形質に関する検定を進め、家系選択および家系内個体選択に関する検討も行っていくこととしたい。

引用文献

- 1) 明石孝輝：スギの幼齢期における遺伝率の年次変化，日林誌57 (9)，311～317，1975
- 2) 明石孝輝・戸田忠雄・西村慶二：スギ苗木の高さと根元直径についての遺伝子分散と優性分散の分割，日林誌54 (1)，12～16，1972
- 3) 石川栄助編著・淡中忠郎校閲：実務家のための新統計学，426p.p.，楨書店，1980
- 4) 河村嘉一郎・南光浩毅・佐々木研・田島正啓・岡田滋：スギカミキリに対するスギ抵抗性検定方法 (I) 傷害樹脂道の形成パターンによる判別法，日林誌66 (11)，439～445，1984
- 5) 栗延 晋：不連続片面ダイヤレル交配の最小2乗法による分散分析プログラム，林木育種研究報告

No9, 123~151, 1991

- 6) 大庭喜八郎・渡辺操・野口常介・百瀬行男・河野耕蔵・横山周一・大津正史・村井正文：さし木スギ品種1 みしょう個体間の交配によるF₁苗の苗高生長とその遺伝力の変動，日林誌**52** (2)，51~57，1970
- 7) 林野庁：地域虫害抵抗性育種事業実施要領について，60林野造第75号，1985
- 8) 佐々木研・河村嘉一郎：スギ精英樹における初期成長優良家系の創出試験，昭和60年度関西林木育種場年報第22号，53~75，1987
- 9) 佐々木研・河村嘉一郎・千葉幸弘：スギの初期生長優良形質とスギカミキリ虫害抵抗性形質との複合形質家系の創出，昭和60年度関西林木育種場年報第22号，103~112，1987
- 10) 佐々木研・河村嘉一郎・丹藤修：スギ1—1年生苗木の高さについて組合せ能力および交配選択母材との関係，日林関西支講**39**，203~205，1988
- 11) 田中信徳監修：遺伝学辞典，共立出版株式会社，初版5刷，48，1979
- 12) 田島正啓・佐々木研・河村嘉一郎・岡田滋：スギカミキリ抵抗性育種に関する被害実態の分析（1） 外部被害と内部被害との関係および食入樹齡について，日林関西支講**33**，73~76，1982
- 13) 田島正啓・佐々木研・河村嘉一郎・岡田滋：クモトオシとサンプスギによるスギカミキリの被害様相の違い，日林誌**66** (10)，421~426，1984