

スギモデル実生採種林の2集団の3年次樹高データの解析

河 崎 久 男⁽¹⁾・栗 延 晋⁽¹⁾

Hisao KAWASAKI and Susumu KURINOBU : Analysis of 3-year-old height
of two sugi experimental seedling seed orchards

要 旨：関東林木育種場構内に設定されたスギモデル実生採種林の交雑家系の3年生樹高の解析を行った。交雑組合せには、精英樹相互間および気象害抵抗性候補木相互間の2セットがあり、それぞれのセットにはさらに6×6の片面ダイアレルクロス2組が含まれている。これらのデータの分散分析の結果、3年生樹高の一般組合せ能力と特定組合せ能力との比較では、精英樹相互および気象害抵抗性候補木相互のいずれの交雑家系も、特定組合せ能力の方が一般組合せ能力よりも高かった。また、遺伝率では精英樹相互の交雑家系における推定値(16.8%)の方が、気象害抵抗性候補木相互のそれらからの推定値(8.8%)より高かった。成長形質に主眼をおいて選抜された精英樹の方が相加的遺伝分散は小さくなると考えられるため、遺伝率としては気象害抵抗性候補木相互の交雑家系の方が高くなると予想されたが、逆の結果が得られた。この一因に、精英樹の交雑家系が育苗過程および実生採種林設定後に寒風、凍害などによる自然選択や成長阻害を受けていたことが示唆された。

1. はじめに

わが国の精英樹選抜育種事業も30年以上が経過し、関東育種基本区管内に設定されたスギ一般次代検定林だけでも、平成元年度末現在で国有林、民有林を合わせ160箇所以上に達する。これらの検定林から得られたデータを利用して解析を行い、個々の精英樹の特性も次第に明らかになりつつある。

一方、昭和55年度から、交雑育種事業化プロジェクトが開始され、交雑の技術的方法や実験、事業手順のマニュアル化およびデータ解析方法などに大きな進展がなされている。

ここでは、この事業化プロジェクトで得られた苗木によってモデル的に造成された育種集団林のデータを用いて、解析を行った結果について報告する。

2. 材料と解析データ

この報告に用いた材料は、交雑育種事業化プロジェクトの一環で得られた、スギの精英樹および気象害抵抗性候補木個体の人工交配家系²⁾である。1981年3月、6×6の片面ダイアレルクロス10組と雌雄親各6の要因交配2組の合計12組の人工交配が行われた。この交雑家系の一部を用いて、関東林木育種場構内(84号地)にモデル実生採種林が1985年3月に設定された。

このモデル実生採種林の設定に際し、使用された交配組合せは、精英樹の相互間および気象害抵抗性候補木個体の相互間のいずれも片面ダイアレル2セットずつの合計4セットである。また、植栽配置は、将来、採種林としての機能を満足させるように、「近縁個体相互間の交配機会を低くとどめること」と、「選抜採種

(1) 関東林木育種場

木として利用する個体を均一に分布させること」に配慮してある。すなわち、一組の片面ダイアレルクロスで生じる15組合せの家系を相互に血縁関係のない3組合せずつの5群に分け、これら各群を単位として、異なるダイアレルセットを交互に配置して植栽されている。一交配組合せ当りの本数および各プロット（各群を構成する一交配組合せ）の本数は、原則として、それぞれ18本と3本であるため、繰返し数は6回である。以上のことを含め、具体的な植栽配置図は、既に報告³⁾している。

1985年10月に、このモデル実生採種林で3年生苗木の樹高と根元径を計測した。この時の樹高の計測値を解析データとして使用した。

3. モデルと解析方法

解析に際して、使用したモデルは次の線形式にしたがった。

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + g_j + g_k + s_{jk} + r_{c_{ijk}} + e_{ijkl}$$

ここに、 y_{ijkl} は*i*反復に植栽された*j*番目の親と*k*番目の親との交配組合せにおける*l*番目の個体の測定値であり、 μ は解析に使用した集団の平均値である。 r_i 、 g_j 、 g_k および s_{jk} は、それぞれ*i*反復の効果、*j*番目、*k*番目の親の一般組合せ能力および*j*番目の親と*k*番目の親との特定組合せ能力を示す。また、 $r_{c_{ijk}}$ は*j*番目の親と*k*番目の親による交配組合せと*i*反復との交互作用を示し、 e_{ijkl} は測定個体に伴う誤差変動を示す。

具体的な解析には、栗延によって開発されたプログラム⁴⁾を使用した。

なお、精英樹どおしの交雑家系（以下、セットNo.1）と気象害抵抗性候補木個体どおしの交雑家系（以下、セットNo.2）セットは、それぞれの母樹の選抜形質が異なるので、これらは別々に解析することとした。

4. 結果と考察

セットNo.1, 2の全平均は、それぞれ155.05cmおよび157.55cmであった。

それぞれのセットの分散分析結果をTable 1, 2に、また、各セットの母樹別の一般組合せ能力および各交

Table 1. 精英樹クローン間の片面ダイアレル交雑家系における3年生樹高の分散分析表
Analysis of variance on height growth in 3 years old families
derived from half-diallel mating among sugi plus tree clones

要 因 Factor	自 由 度 Degrees of freedom	平方和 Sum of squares	平均平方 Mean square	分散比 <i>F</i>	平均平方の期待値 Components of variance
一般組合せ能力 General combining ability	11	9.4719	0.8611	2.20 ^{NS}	$\sigma_w^2 + k4\sigma_{RC}^2 + k5\sigma_S^2 + k6\sigma_G^2$
特定組合せ能力 Specific combining ability	16	6.2698	0.3919	1.89*	$\sigma_w^2 + k2\sigma_{RC}^2 + k3\sigma_S^2$
反復 × 組合せ Replication × Cross	128	26.5075	0.2071	1.88**	$\sigma_w^2 + k1\sigma_{RC}^2$
プロット内個体 Plants within plot	254	29.2767	0.1153		σ_w^2

注) $k1 \sim k6$ は、各分散成分の係数で、 $k1=2.54$, $k2=2.70$, $k3=14.66$, $k4=2.72$, $k5=14.89$, $k6=62.11$ である。また、 σ_G^2 , σ_S^2 , σ_{RC}^2 および σ_w^2 は、それぞれ一般組合せ能力、特定組合せ能力、反復×組合せおよびプロット内個体の変動を示す。

Remarks: ' $k1 \sim k6$ ' are coefficients of each components of variance, and σ_G^2 , σ_S^2 , σ_{RC}^2 and σ_w^2 denote the variances of general combining ability, specific combining ability, interaction between replications and crossings, and plants within plot, respectively.

Table 2. 気象害抵抗性候補木クローン間の片面ダイアレル交雑家系における3年生樹高の分散分析表
Analysis of variance on height growth in 3 years old families derived from half-diallel mating among selected sugi individuals for freeze dehydration- or cold damage tolerance

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	平均平方の期待値 Components of variance
一般組合せ能力 General combining ability	11	6.2412	0.5674	1.80 ^{NS}	$\sigma_w^2 + k4\sigma_{RC}^2 + k5\sigma_s^2 + k6\sigma_G^2$
特定組合せ能力 Specific combining ability	18	5.6732	0.3152	1.82*	$\sigma_w^2 + k2\sigma_{RC}^2 + k3\sigma_s^2$
反復 × 組合せ Replication × Cross	142	24.5907	0.1732	1.54**	$\sigma_w^2 + k1\sigma_{RC}^2$
プロット内個体 Plants within plot	307	34.5663	0.1126		σ_w^2

注) k1~k6は、各分散成分の係数で、k1=2.72, k2=2.74, k3=15.82, k4=2.83, k5=16.55, k6=73.16である。その他は、Table 1 に同じ。

Remarks: See Table 1.

雑組合せごとの特定組合せ能力の推定値をTable 3-1~4-2に示す。分散分析では、いずれのセットの結果も、反復×組合せの交互作用および特定組合せ能力にはそれぞれ1%, 5%水準で有意差が認められた。しかし、一般組合せ能力には有意差が認められなかった。この原因としては、データが3年生時の樹高のため、成長特性に関し両親の遺伝情報を十分に反映していないことと、特に、特定組合せ能力が大きいことによる。

Table 3-1. 各交雑組合せごとの一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値
Estimates of general- and specific combining ability in respective crossing

	雄親 Male	足柄上 5 Ashigara-kami 5	大 子 10 Daigo 10	鬼 汨 9 Kinada 9	久 野 1 Kuno 1	秩父(県) 5 Titibu(ken) 5
雌親 Female	一般組合せ能力 General combining ability	特定組合せ能力 Specific combining ability				
久 慈 14 Kuji 14	-28.35	6.95 (9)	-3.85 (17)	-25.23 (13)	10.37 (13)	11.77 (16)
足柄上 5 Ashigara-kami 5	-0.10		0.57 (12)	22.48 (8)	2.25 (13)	-32.25 (10)
大 子 10 Daigo 10	9.26			欠測組合せ Mis-Crossing	欠測組合せ Mis-Crossing	3.28 (17)
鬼 汨 9 Kinada 9	-1.98				-13.53 (12)	16.28 (12)
久 野 1 Kuno 1	10.02					0.92 (18)
秩父(県)5 Titibu(ken)5	-0.66					

注) 各交雑組合せの()内の数字は、家系内個体数を示す。

Remarks: Each number of crossing combinations in () denotes the number of individuals in the crossing family.

Table 3-2. 各交雑組合せごとの一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値
Estimates of general- and specific combining ability in respective crossing

	雄親 Male	鬼 汨 7 Kinada 7	西 川 17 Nishikawa 17	丹 沢 3 Tanzawa 3	中 1 Naka 1	新 治 2 Niihari 2
雌親 Female	一般組合せ能力 General combining ability	特定組合せ能力 Specific combining ability				
久 慈 32 Kuji 32	-4.67	12.19 (17)	11.16 (17)	-3.74 (18)	3.93 (18)	-23.53 (14)
鬼 汨 7 Kinada 7	6.00		11.01 (15)	-11.06 (15)	-11.04 (17)	-1.10 (17)
西 川 17 Nishikawa 17	-14.96			-14.03 (14)	-9.99 (14)	1.85 (18)
丹 沢 3 Tanzawa 3	-0.76				11.57 (18)	17.26 (18)
中 1 Naka 1	11.74					5.53 (15)
新 治 2 Niihari 2	14.45					

注) 各交雑組合せの()内の数字は, Table 3-1に同じ。

Remarks: See Table 3-1.

Table 4-1. 各交雑組合せごとの一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値
Estimates of general- and specific combining ability in respective crossing

	雄親 Male	耐 寒 風 茨城 10 CWR Ibaraki 10	耐 寒 風 茨城 31 CWR Ibaraki 31	耐 寒 風 茨城 46 CWR Ibaraki 46	耐 寒 風 茨城 110 CWR Ibaraki 110	耐 寒 風 茨城 117 CWR Ibaraki 117
雌親 Female	一般組合せ能力 General combining ability	特定組合せ能力 Specific combining ability				
耐寒風茨城 1 CWR Ibaraki 1	-8.86	-3.80 (18)	-15.40 (18)	-1.78 (14)	15.38 (15)	5.60 (18)
耐寒風茨城 10 CWR Ibaraki 10	-1.10		13.89 (17)	-4.41 (18)	-11.97 (13)	6.29 (17)
耐寒風茨城 31 CWR Ibaraki 31	7.34			-3.12 (18)	-0.76 (16)	5.40 (18)
耐寒風茨城 46 CWR Ibaraki 46	-1.15				11.97 (18)	-2.67 (18)
耐寒風茨城 110 CWR Ibaraki 110	7.03					-14.62 (18)
耐寒風茨城 117 CWR Ibaraki 117	-2.67					

注) 各交雑組合せの()内の数字は, Table 3-1に同じ。

Remarks: See Table 3-1.

Table 4-2. 各交雑組合せごとの一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値
Estimates of general- and specific combining ability in respective crossing

雄親 Male	耐 凍 茨城 36 CR Ibaraki 36		耐 凍 茨城 43 CR Ibaraki 43		耐 凍 茨城 26 CR Ibaraki 26		耐 凍 茨城 21 CR Ibaraki 21		耐 凍 茨城 3 CR Ibaraki 3		
雌親 Female	一般組合せ能力 General combining ability			特定組合せ能力 Specific combining ability							
耐凍茨城 CR Ibaraki 17	17	-6.20	-8.66 (18)	-16.97 (13)	5.13 (18)	18.32 (17)	2.18 (17)				
耐凍茨城 CR Ibaraki 36	36	17.15		7.74 (18)	4.45 (17)	7.38 (18)	-10.91 (18)				
耐凍茨城 CR Ibaraki 43	43	-11.60			-12.38 (14)	17.25 (18)	4.35 (16)				
耐凍茨城 CR Ibaraki 26	26	-15.47				-22.26 (4)	-25.06 (9)				
耐凍茨城 CR Ibaraki 21	21	-0.69					-20.69 (15)				
耐凍茨城 CR Ibaraki 3	3	16.21									

注) 各交雑組合せの()内の数字は、Table 3-1に同じ。

Remarks: See Table 3-1.

Fig. 1-1～2-2に各セットごとに家系別実測平均値および一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値を対比させた図を示す。なお、図はいずれも各セットの実測平均値からの偏差によって表示している。

セットNo.1の各母樹の一般組合せ能力は、最小-28.35cm(久慈14)～最大14.45cm(新治2)であった。同じく、特定組合せ能力は、最小-32.25cm(足柄上5×秩父(県)5)～最大22.48cm(足柄上5×鬼沼9)であった。したがって、有意差が認められなかった一般組合せ能力の推定値が特定組合せ能力のそれに比べると、狭い範囲に分布することが明かである。

しかし、交配次代における一般組合せ能力としては、解析モデルから明らかなように、各交雑母樹の一般組合せ能力の「和」として推定されと考えられるため、この場合には最小-30.33cm(久慈14×鬼沼9)～最大26.19cm(中1×新治2)となる。この値は、特定組合せ能力と同等ないしそれ以上と考えられる。もちろん、一般組合せ能力の概念として、このような考え方は妥当なものではないが、交雑育種によって創出された系統から新たに第2次精英樹選抜を行おうとする場合には、その選抜基準のひとつとして有力な指標となろう。

また、セットNo.2の各母樹の一般組合せ能力および交配次代における特定組合せ能力は、それぞれ最小-15.47cm(耐凍茨城26)～最大17.15cm(耐凍茨城36)および最小-22.26cm(耐凍茨城26×耐凍茨城21)～最大25.06cm(耐凍茨城26×耐凍茨城3)である。そして、交配次代における一般組合せ能力は、-27.07cm(耐凍茨城43×耐凍茨城26)～33.36cm(耐凍茨城36×耐凍茨城3)となり、セットNo.1と同様に特定組合せ能力以上の値が実現される傾向にある。なお、セットNo.2において、寒風害抵抗性候補木として選抜された個体どおしの交雑家系の一般、特定組合せ能力では、Fig. 2-1からも明らかなように、いずれの組合せでも全平均の周囲に分布している。すなわち、精英樹相互あるいは耐凍性候補木相互の交雑家系に比べると、3年生樹高に関する限り、特に良いあるいは悪い成長を示す交雑家系が見あたらなかった。

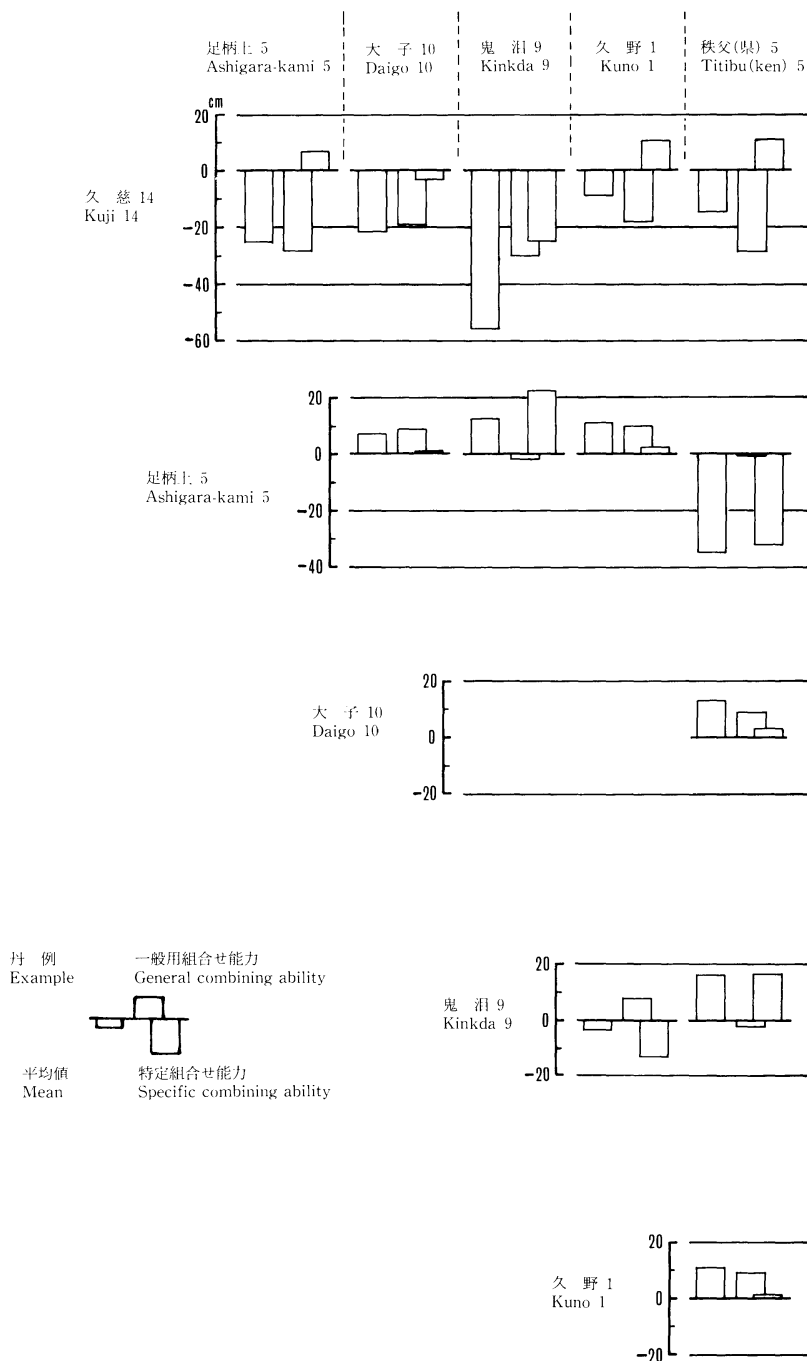


Fig. 1-1. 各交雑組合せ（セットNo.1）における3年生樹高の実測平均値と一般組合せ能力および特定組合せ能力の推定値（全平均からの偏差）

Actual mean and estimated values (the deviation from grand mean) of general and specific combining ability of three year height in respective crossing

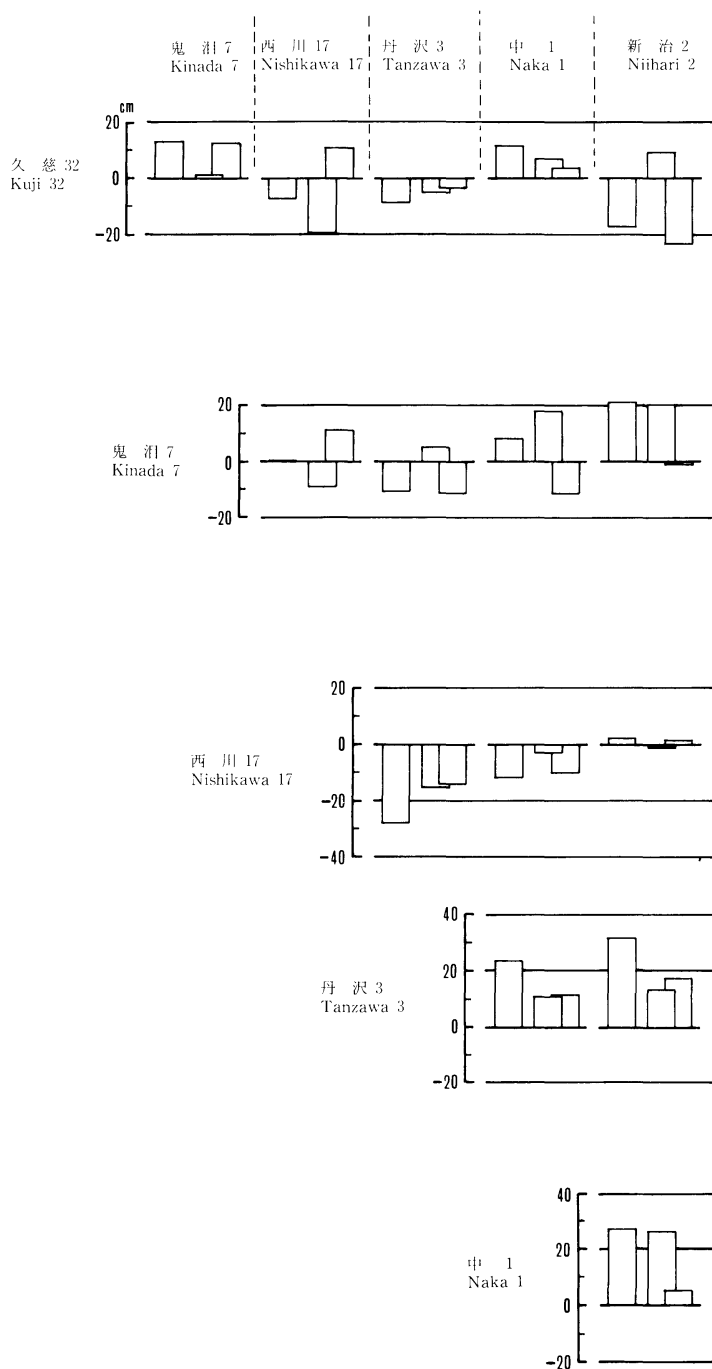


Fig.1-2. 各交雑組合せ (セットNo.1) における3年生樹高の実測平均値と一般組合せ能力および特定組合せ能力の推定値 (全平均からの偏差)

Actual mean and estimated values (the deviation from grand mean) of general and specific combining ability of three year height in respective crossing

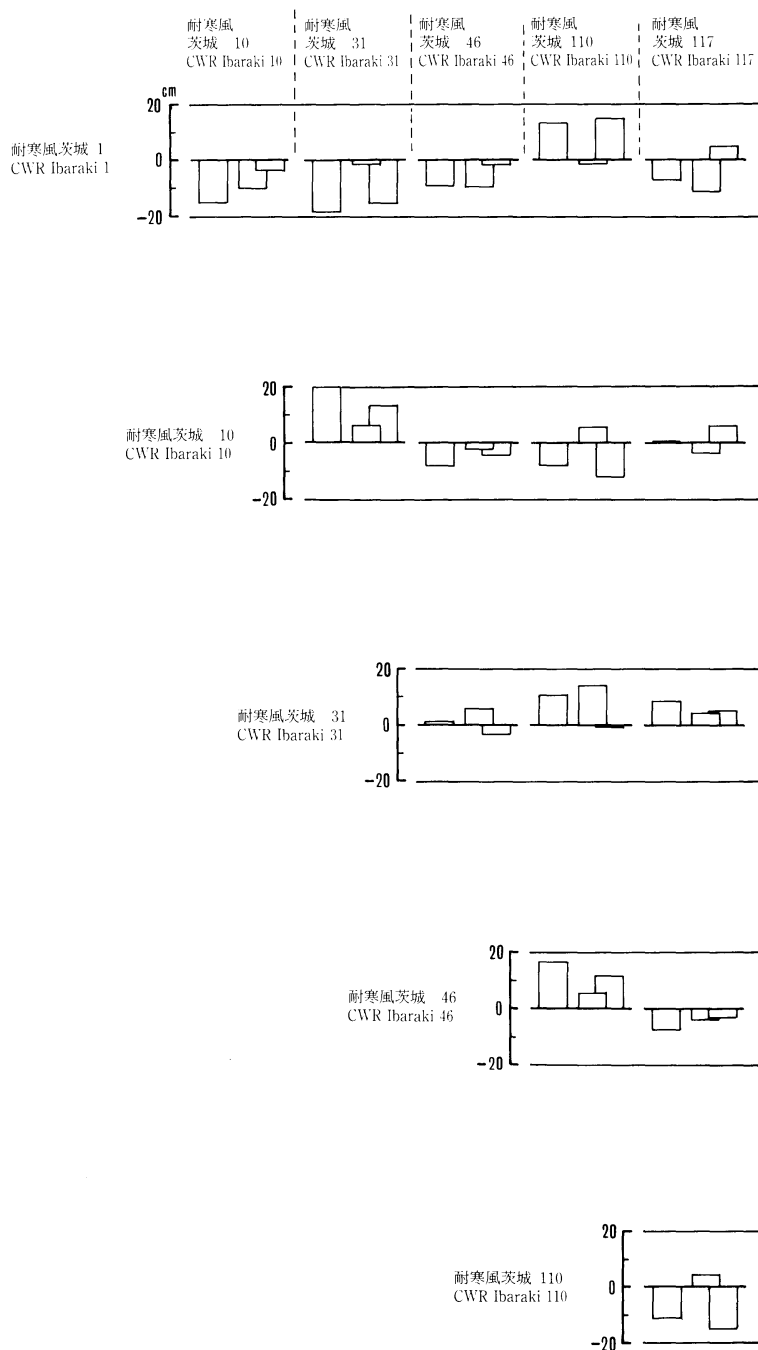


Fig. 2-1. 各交雑組合せ（セットNo.2）における3年生樹高の実測平均値と一般組合せ能力および特定組合せ能力の推定値（全平均からの偏差）

Actual mean and estimated values (the deviation from grand mean) of general and specific combining ability of three year height in respective crossing

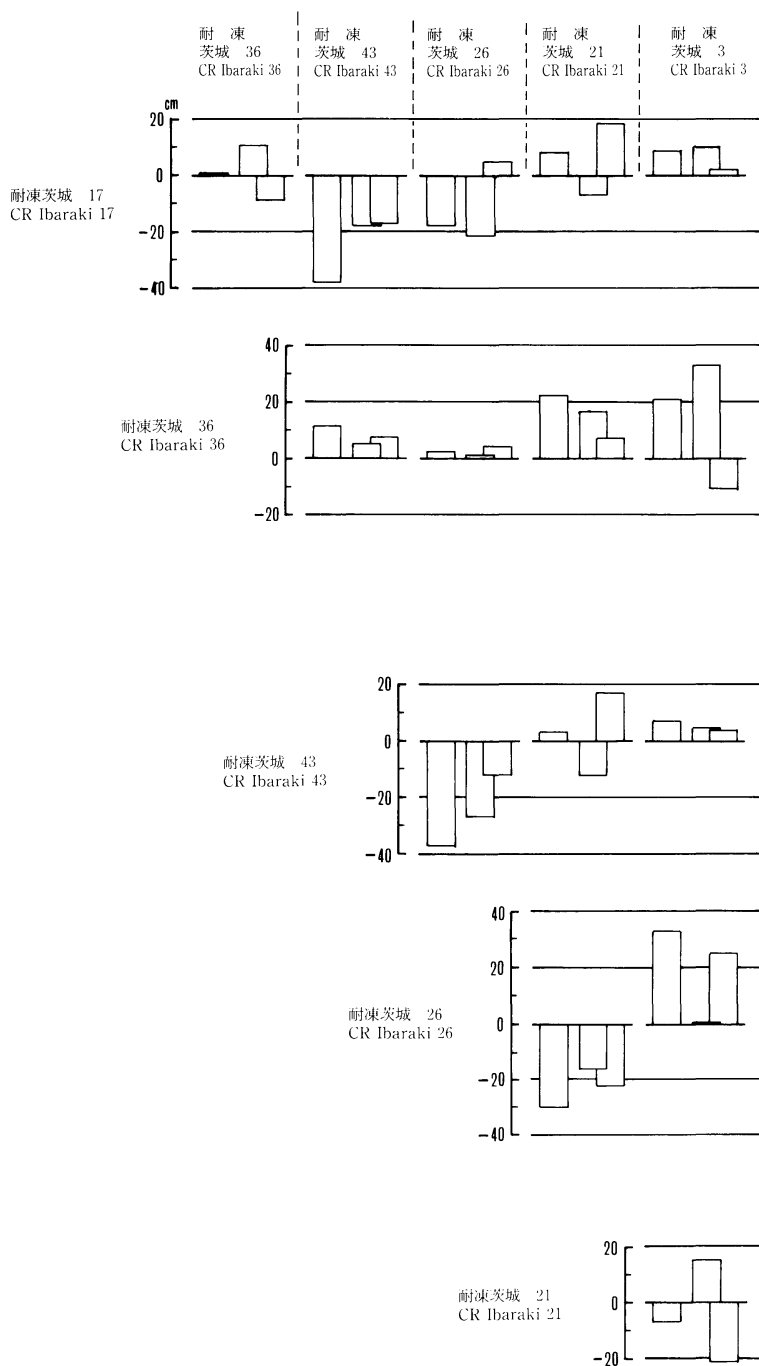


Fig.2-2. 各交雑組合せ（セットNo.2）における3年生樹高の実測平均値と一般組合せ能力および特定組合せ能力の推定値（全平均からの偏差）

Actual mean and estimated values (the deviation from grand mean) of general and specific combining ability of three year height in respective crossing

なお、Table 1 および 2 に示した分散分析から、分散成分の推定値を用いて試算した3年生樹高の遺伝率は、精英樹の交雑家系（セットNo 1）では16.8%、気象害抵抗性候補木の交雑家系（セットNo 2）では8.8%となった。この値の詳細な追究はここでは行わないが、成長特性に主眼を置いて選抜された精英樹の方が気象害抵抗性候補木より相加的遺伝分散が小さくなるため、遺伝率としては精英樹相互の交雑家系から算出された遺伝率の方が小さくなることが予想され、この点では逆の結果が得られたと言える。この一因として、精英樹の交雑家系が、実生採種林設定後に寒風、凍害などの影響により、成長阻害を受けていたことによるためと考えられる。

今回と同じように、一般組合せ能力に有意差が認められず、特定組合せ能力に有意差が認められたという報告もすでにある。明石・村井³⁾は、産地の離れたスギのダイアレルクロス（7×7）の3年生交配家系を材料に、やはり、一般組合せ能力に有意差を認めず、特定組合せ能力に有意差を認めている。さらに、この報告では特定組合せ能力の正逆差にも有意差が認められ、伸長成長に関しては複雑な現象になることを指摘している。なお、この報告を検討すれば、特定組合せ能力が有意であったことの要因として、交配クローン間の偶然の近親関係、ヘテロな遺伝子型の雌雄による交配次代での苗高分離の拡大なども考えられる。しかし、同じスギであっても、逆に、一般組合せ能力には有意差が認められたものの、特定組合せ能力には有意差が認められなかった⁵⁾という報告もある。

今回の解析で、一般組合せ能力に有意差が認められなかった点に関しては、母材料が精英樹あるいは気象害抵抗性候補木といった何らかの選抜を受けた個体であるということの他に、交雑家系内個体数が十分でないこと、これらの家系内個体が育苗過程である程度の選択を受けていたことおよびスギという樹種の遺伝的特性も関与していたことなどが考えられる。

5. おわりに

この報告では、関東林木育種場構内に設定したスギ実生採種林の交雑家系の3年生樹高データのみを解析した。この採種林は、設定後すでに5年を経過しており、樹高、胸高直径、枝張りなどの形質を毎年測定している。今後、これらの形質データやデータの経年変化などを解析すれば、また新たな知見が得られるものと思われる。

引用文献

- 1) 明石孝輝・村井正文：産地の遠いスギ個体間の組合わせ能力，日林誌58（12），462～464，1976
- 2) 半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトの第1回交配作業工程と得られた種子の性質，昭和57年度関東林木育種場年報（No16），179～194，1984
- 3) 栗延 晋：関東林木育種場構内のスギ・ヒノキ実生採種林の設計，昭和63年度関東林木育種場年報（No22），41～48，1990
- 4) 栗延 晋：不連続片面ダイアレルクソスの最小2乗法による分散分析プログラム，林育研報No.9，123～151，1991
- 5) 佐々木 研・河村嘉一郎・千葉幸弘：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，林育研報No.9，37～46，1991