

林木育種センター関西育種場四国事業場不寒冬山 スギ交配試験地における正逆交配家系の材質調査

山口 和穂⁽¹⁾・片寄 譚⁽¹⁾・那須 仁弥⁽¹⁾

Kazuho YAMAGUCHI⁽¹⁾, Takashi KATAYOSE⁽¹⁾ and Jin'ya NASU⁽¹⁾

Wood Qualities of Three Couples of Reciprocal Cross Families and one Additional Family in the Cross-fertilized Progeny Test in the Fukand Mountain, Shikoku Branch Office, Kansai Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center.

要旨：四国事業場不寒冬山にあるスギ交配試験地のスギ精英樹交配家系の中から正逆の組み合わせがとれる3組6家系とそれぞれに共通の2家系を含む1家系を選び、ヤング率、容積密度、含水率、並びに、胸高直径、樹高等の成長形質を測定した。材質形質について家系に関する分散分析を行った結果、辺材含水率、心材容積密度については5%水準で、また、心材平均年輪幅、心材含水率、ヤング率については1%水準で家系間差が認められた。全分散に対する家系分散の割合はヤング率でもっとも高く、51.7%、その次が心材平均年輪幅で37.8%、家系に有意差が認められた形質中でもっとも割合が低かったのは心材容積密度で15.6%であった。正逆の家系の間ではほとんどすべての場合に統計的な有意差は認められなかった。このため、成長形質に関しても有意差検定を行ったが、全体で明らかな家系間差が認められた形質においても正逆の組み合わせ間では差が無く、唯一、ヤング率で3組み合わせ中の1組み合わせで正逆の違いが検出された。欠損組み合わせがあったが、統計的に補間する方法で解析を行ったところ、正逆の違いが無いにも関わらず、両親の影響が相加的であることを仮定した分析ではエラーが生じた。平均値を見てみると、特定のクローンの影響が大きく出てくる影響が観察され、材質形質のデータ解析には優勢やエピスタシスの影響を考慮する必要性が示唆された。また、ヤング率に関しては父性遺伝の影響も考えられる。

1 はじめに

林木育種センター関西育種場四国事業場管内の不寒冬山スギ交配試験地は設定後約30数年経過しているスギ精英樹の交配試験地である。精英樹の選抜を開始してから約40数年であり、選抜、増殖、交配、育苗にかかる年数を考えると国内でも最古の部類に属する貴重な試験地である。この試験地では精英樹同士の子交配の材料を得ることが出来、現在は主に解析の効率上ハーフダイヤレル交配が主であることを考えると非常に貴重な試験地であると言える。今回、この試験地から正逆の違いが検出できるかどうかを主な目的として材質調査を行ったので、結果を報告する。

(1) 林木育種センター関西育種場

〒709-4335 岡山県勝田郡勝央町植月中1043

Kansai Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

1043, Uetsukinaka, Shoo, Okayama 709-4335 Japan

2 材料と方法

2.1 材 料

不寒冬山試験地は高知県土佐山田町立割不寒冬山にあり、年間降水量3,160mm、年平均気温13.0℃である。正式名称はスギ第一号交雑遺伝試験林で、昭和40年に設定され、面積0.66ha、構成家系19組合せ、A、Bブロック合計1,659本で構成されている。

試験地はすり鉢型の斜面に設定されているために地向斜、地背斜の部分があり、これによる成長の違いが観察された。このため、このような地形の影響が少ないと思われる部分に植えられていた成長の良い交配家系とそれぞれの交配家系の親のクローンを分析に用いる系統として選んだ（表1）。これらの系統から交配家系では各家系10個体、親のクローンは3個体をめどに間伐し、地上高1 mまでの部分を根ばりの影響を除くために切り落とし、2 m材を材料とした。なお、材料を四国事業場不寒冬山試験地よりトラックで関西育種場まで陸送して、関西育種場にてヤング率、含水率、容積密度、心材色の測定を行った。

表1. 交配組み合わせと試料数

母 樹	花 粉 親				総 計
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		10	9	*	19
魚梁瀬101	9		*	10	19
魚梁瀬104	9	*		11	20
中 村 1	*	11	*		11
総 計	18	21	9	21	69

2.2 ヤング率の測定

ヤング率の測定は次のようにして行った。材料を電子台はかり（株式会社エー・アンド・ディー製 150kg）をもちいて重量を測定し（0.1kgまで）、両端にクッションを挿入して金槌でたたき、基本周波数を小野測器製携帯用FFTアナライザーで測定した。丸太の両端の直径をmm単位（まで）長さをcm単位で測定した。この値から円錐台近似で体積を計算し、重量と体積から測定時の丸太の密度（ ρ ）を算出し、この密度と周波数を棒状の物体の縦振動の計算式に代入して求めた。 $v = \sqrt{E/\rho}$ ここで、 v は物体中の縦波の速度。この式で両端が自由振動する棒の固有振動数（ F ）を測定すると、真ん中が節になり、両端が振動する状態で共鳴するから、棒の長さ L は半波長に相当する。音速は波長かける振動数なので $v = F \times 2L$ を上式の式に代入し、密度 ρ は丸太の測定時の密度（重さ÷体積）を代入する。ヤング率は

$$E = (2LF)^2 \times \rho$$

で求められる。この結果はダイン/cm²あるいはニュートン/m²で計算されるので、これを重力加速度で割って、重さのT/m²に換算した。

2.3 容積密度、含水率の測定

ヤング率の測定後、材料の元口側から10センチを切り捨て、厚さ約10cmの円盤をチェーンソーで2枚切り取った。1枚を心材色測定の試料とし、もう1枚から含水率、容積密度測定用の試料片を作成した。

含水率、容積密度測定用の試料片は厚さ約10cmの円盤の木口面で芯を通るように幅約3cmの線引きにあわせて平行に線を引き、これに沿って円盤を丸鋸（チップソー）で切断して、さらに両方の木口面から約3cmの部分に繊維方向になるべく直角になるように平行線を引き直方体の材片を作成した。そして材片を心材部と辺材部に分けて番号をマジックで書き入れ、丸鋸で切り出し試料片とした。試料片は芯を挟んで2つずつ作成した。切り出した後直ちに電子皿天秤で秤量し、試料片の寸法を測定し、あわせて個々の試料に含まれる年輪のうち完全に年輪幅の測定可能な範囲の距離と年輪数を測定した。試料片の寸法と年輪幅の距離はデジタルノギスを用いてmm単位で測定した。寸法と年輪幅の測定後、試料片の番号を確認後し、105℃で約72時間乾燥した。恒量に達したことを確認したあと乾燥シリカゲルを入れたガラス製デシケータに移し、約3時間放冷後重量を測定し絶乾重量とした。

容積密度数および含水率を下記の式より求めた。

$$\text{容積密度数} = \text{絶乾重量} / \text{生材体積}$$

$$\text{含水率} = (\text{生材重量} - \text{絶乾重量}) / \text{絶乾重量} \times 100$$

2.4 心材色の測定

心材色は全体の中から赤、黒、中間の代表的な3枚を選びこれを基準として赤を5、中間を3、黒を1とし、目視でそれぞれの円盤の色を判定した。5と3の中間で5に近いものを4.5というように0.5単位で判定した。

分析には個体の測定値を使用した。なお、含水率、容積密度は各個体から樹芯を挟んだ2方向の試料をとったので、これらを平均してその個体の値とした。

2.5 データ解析

まず、家系ごとに

$$Y_{ij} = U + f_i + e_{ij}$$

の線形モデルを仮定した分散分析を行った。ここで、 Y_{ij} は家系 i の交配家系の j 番目の個体の測定値、 U は全体の平均値、 f_i は家系 i の効果、 e_{ij} は誤差である。なおこの分析においては、他の交配組み合わせとの血縁関係を考えず、一つの交配組み合わせを単純に一つの家系とみなしている。

交配組み合わせは表1に示すように欠落の組合せがおおかったが、ダイアレル交配と仮定して以下のような線形モデルを仮定して分散分析を行った。

$$Y_{ijk} = U + a_i + b_j + a_i \cdot b_j + e_{ijk}$$

ここで、 Y_{ijk} は母樹 i 花粉親 j の交配家系の k 番目の個体の測定値、 U は全体の平均値、 a_i は母樹 i の効果、 b_j は花粉親 j の効果、 $a_i \cdot b_j$ は両親の交互作用、 e_{ijk} は誤差。また、家系および交配親の分散成分を推定した。どちらの分散分析にも、SAS version 6.11 の glm procedure を、分散成分の推定には同じく SAS version 6.11 の varcomp procedure の REML 法（制限付き最尤法）を用いた。

家系ごとの各形質に関する平均値の有意差検定や、花粉親別、母樹別の平均値の有意差検定にはダンカンの多重検定を行い、それぞれの平均値間の有意差の有無を検定し、好ましい順に abc をつけた。共通文字の含まれていな

いもの間では5%の危険率で有意差がある（例、abとbcやaとaは有意差なし、aとbc、あるいはabとcは有意差あり）。

3 結 果

3.1 家系に関する分散分析

表2に各形質ごとの家系についての分散分析の結果を示す。形質によって分散比が異なっていた。辺材含水率、心材容積密度については5%水準で、心材平均年輪幅、心材含水率、ヤング率については1%水準で家系間が有意であった。表3に各形質の分散成分の推定値を示す。全分散に対する家系分散の割合はヤング率でもっとも高く51.7%、その次が心材平均年輪幅で37.8%、家系に有意差が認められた形質の中でもっとも割合が低かったのは心材容積密度で15.6%であった。

表2. 家系別各形質についての分散分析

形 質	要 因	自由度	平方和	平均平方和	F
辺材平均年輪幅	家 系 誤 差	6	2.23	0.37	1.61
		61	14.08	0.23	
辺 材 含 水 率	家 系 誤 差	6	19828.03	3304.67	3.03*
		61	66481.31	1089.86	
辺 材 容 積 密 度	家 系 誤 差	6	20441.64	3406.94	1.59
		61	130775.66	2143.86	
心材平均年輪幅	家 系 誤 差	6	27.99	4.66	7.11**
		61	40.00	0.66	
心 材 含 水 率	家 系 誤 差	6	45795.93	7632.66	6.48**
		61	71827.62	1177.50	
心 材 容 積 密 度	家 系 誤 差	6	24814.10	4135.68	2.81*
		61	89812.31	1472.33	
ヤ ン グ 率	家 系 誤 差	6	5865.65	977.61	11.5**
		61	5186.86	85.03	

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意

表3. 分散成分の推定値と家系の寄与率

要 因	形 質						
	辺材平均年輪幅	辺材含水率	辺材容積密度	心材平均年輪幅	心材含水率	心材容積密度	ヤング率
家 系 誤 差	0.01	227.80	137.33	0.40	667.13	271.14	91.06
	0.23	1089.51	2134.36	0.66	1177.50	1470.54	85.02
家系の寄与率	5.60	17.29	6.05	37.83	36.17	15.57	51.72

図1にそれぞれの家系のヤング率の平均値を示す。左の3家系には中村1が、右の4家系には宇和島1が入っていて、右の4家系が高いヤング率をしめし、左の3家系が低いヤング率であった。また、正逆の交配家系を並べてあるが、右の宇和島1と魚梁瀬104の組み合わせでは正逆で有意に違いがあったが、その他の組み合わせでは正逆

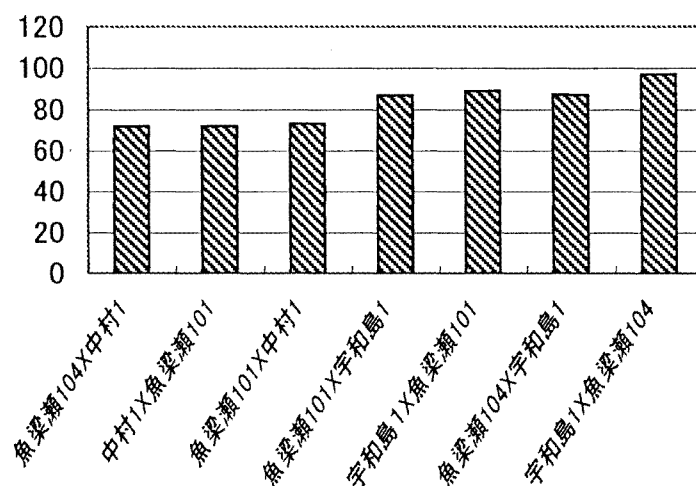


図1. 各家系のヤング率の値

で有意差はなかった。

3.2 交配親についての分散分析

表4に交配親について分散分析の結果と表5に交配親に関して分散分析から推定した各形質の分散成分の推定値を示す。辺材含水率では雄親と雌親の交互作用が5%水準で有意であった。辺材含水率と心材容積密度では雌親が5%水準で有意であった。心材含水率では雄親が1%水準で有意であった。心材平均年輪幅では雄親、雌親共に1%水準で有意であり、雌親の寄与率が雄親より高かった。ヤング率では雌親共に1%水準で有意であり、雄親の寄与率方が雌親より高かった。

3.3 交配母材料の材質指標との比較

不寒冬山試験地では交配母材料も接木クローンとして保存してあったので、これに関しても同じ方法で各形質について測定した。それぞれのクローンの平均値は表6のとおりであった。

接ぎ木の交配母材料は同じ試験地にあったにもかかわらず、含水率が相当高く、容積密度数は低く、全体に水っぽい性質を持っているようである。交配家系が約35年生であるのに比べて全体に小さめであったが、年輪幅を比較すると母材料の方が大きく、被圧されて成長が悪かったのではなく、植栽年度が異なっていたことも考えられる。しかし、交配親のクローンの値と交配家系の母樹別平均値、花粉親別平均値の相関を取ると比較的良く一致する形質もあった。表8に心材平均年輪幅の交配家系での母樹別平均、花粉親別平均とクローンの平均値を示した。表9に示すようにクローンと母樹別平均の相関は0.99であり、花粉親別平均とクローンの相関は0.50であった。これを各形質についてまとめると表9のようになった。

母樹との比較を行うと、特に宇和島1の値が交配家系での結果に比べて悪すぎるという印象を受ける。この理由として①接木としての親和性の問題からクローンでは遺伝的な性質が発揮されていないということや②他との交配に

表 4. 交配親についての分散分析

形質	要因	自由度	平均平方和	F
辺材平均年輪幅	雌親	2	0.21	0.89
	雄親	2	0.11	0.48
	雌×雄	1	1.18	5.09 *
	誤差	61	0.23	
辺材含水率	雌親	2	3459.58	3.17 *
	雄親	2	2034.97	1.87
	雌×雄	1	3.35	0.00
	誤差	61	1089.86	
辺材容積密度	雌親	2	4832.73	2.25
	雄親	2	422.59	0.20
	雌×雄	1	1331.68	0.62
	誤差	61	2143.86	
心材平均年輪幅	雌親	2	9.85	15.03 **
	雄親	2	4.29	6.55 **
	雌×雄	1	0.16	0.25
	誤差	61	0.66	
心材含水率	雌親	2	3317.87	2.82
	雄親	2	12537.17	10.65 **
	雌×雄	1	3318.14	2.82
	誤差	61	1177.50	
心材容積密度	雌親	2	5520.03	3.75 *
	雄親	2	1274.11	0.87
	雌×雄	1	2211.30	1.50
	誤差	61	1472.33	
ヤング率	雌親	2	682.11	8.02 **
	雄親	2	1192.88	14.03 **
	雌×雄	1	12.37	0.15
	誤差	61	85.03	

* 5%水準で有意, ** 1%水準で有意

表 5. 分散成分の推定値と雄親, 雌親の寄与率

要 因	形 質						
	辺材平均 年 輪 幅	辺 材 含 水 率	辺材容積 密 度	心材平均 年 輪 幅	心 材 含 水 率	心材容積 密 度	ヤング率
雌 親	0.00	210.51	275.33	0.39	24.83	322.66	49.98
雄 親	0.00	98.00	0.00	0.19	525.55	0.00	59.01
雌 × 雄	0.01	0.00	0.00	0.00	200.86	20.42	0.00
誤 差	0.23	1069.12	2086.77	0.65	1177.41	1471.35	83.72
雌親の寄与率*	0.00	15.28	11.66	31.68	1.29	17.78	25.93
雄親の寄与率*	0.00	7.11	0.00	15.20	27.25	0.00	30.62

* 全分散に対する寄与率

よって改善される部分があり、クローンと交配母樹としての性能に違いが出ているといったことが考えられる。辺材含水率と容積密度を除けば交配家系からの分析結果から推定した母樹、花粉親としての寄与率と相関の大きさが

表 6. 交配母材料のクローンの材質

クローン名	辺材平均 年輪幅	辺材 含水率	材率	辺材容積 密度数	心材平均 年輪幅	心材 含水率	材率	心材容積 密度数	ヤング率
宇和島 1号	4.93	321		251	6.53	163		288	56.0
魚梁瀬101号	3.36	282		280	7.39	151		318	73.6
魚梁瀬104号	2.35	244		319	4.64	203		335	77.1
中 村 1号	2.61	319		249	5.87	168		316	47.4
総 平 均	3.15	291		275	6.23	172		323	63.9

表 7. 心材平均年輪幅の親クローンの平均値と交配家系の母樹別、花粉親別平均値

クローン名	クローン 平 均	母 樹 別 平 均	花粉親別 平 均
宇和島 1号	6.53	4.89	4.98
魚梁瀬101号	7.39	5.27	4.78
魚梁瀬104号	4.64	3.89	4.53
中 村 1号	5.87	4.38	4.19

表 8. 相関係数

	クローン 平 均	母 樹	花 粉
心材平均 年輪幅	1.00		
母 樹	0.99	1.00	
花 粉	0.50	0.61	1.00

表 9. 母樹あるいは花粉親としての推定値（平均値）とクローンとの相関係数

	辺材 含水率	心材平均 年輪幅	心材 含水率	心材容積 密度数	ヤング率
母 樹	0.12	0.99	-0.16	-0.39	0.04
花粉親	0.74	0.50	0.57	0.53	0.67

おおむね一致している。

ただし、この試験地の接木クローンの材質はやはり、35年生の杉にしては悪すぎるという印象は否めない。現在四国事業場のスギ精英樹の材質調査が進められており、こちらの結果と改めて比べてみる必要があると思われる。

3.4 クロス表での検討

表10から表14に各形質の母樹、花粉親別の集計表をあげる。

表10に辺材含水率についての表をあげた。辺材含水率に関しては花粉親で見ると、宇和島1と中村1を比べると中村1の含水率が高く、魚梁瀬101と104では101の方が含水率が高い。この関係は共通の花粉親に対する母樹としての比較でも同じであった。表で同一文字の含まれているもの同士は有意差は無いが、共通文字の無いものは5%

の危険率で有意差有りである。魚梁瀬104と宇和島1は辺材含水率が少ないと考えられる。家系間での有意差はあったが、正逆交配の組み合わせ間では有意差がなかった。

心材平均年輪幅は初期成長に対応するが、宇和島1と魚梁瀬101は共に初期成長の良いものであろうと推定される。逆に、そのような遺伝的な特性を持っていると考えられる。

表10. 辺材含水率 ((生重－絶乾重)/絶乾重)

母 樹	花 粉 親				母 樹 別 平 均 値
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		230 ^{tu}	203 ^s		215 ^a
魚梁瀬101	240 ^u			247 ^u	241 ^b
魚梁瀬104	227 st			233 ^{tu}	234 ^{ab}
中 村 1		262 ^u			259 ^b
花粉親別平均	233 ^y	245 ^y	202 ^x	242 ^y	

注：全試料ともほぼ飽水状態であった。従って実質の割合が反映されており、辺材容積密度との相関は $r = -0.686$ で有意相関であった。

添え字はガンカンの多重検定の結果：同一文字を含むものは5%レベルでの有意差なし

表11. 心材平均年輪幅 (mm)

母 樹	花 粉 親				母 樹 別 平 均 値
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		5.22	4.53		4.89
魚梁瀬101	5.63			4.93	5.27
魚梁瀬104	4.33			3.52	3.89
中 村 1		4.38			4.38
花粉親別平均値	4.98	4.78	4.53	4.19	4.62

表12. 心材含水率 ((生重－絶乾重)/絶乾重)

母 樹	花 粉 親				母 樹 別 平 均 値
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		133	149		141
魚梁瀬101	124			92	107
魚梁瀬104	143			80	108
中 村 1		98			98
花粉親別平均	133	115	149	86	115

表13. 心材容積密度数 (絶乾重/生体積×100)

母 樹	花 粉 親				母 樹 別 平 均 値
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		355	376		365
魚梁瀬101	345			324	334
魚梁瀬104	346			356	352
中 村 1		316			316
花粉親別平均	345	334	376	341	345

表14. ヤング率 (t/m²)

母 樹	花 粉 親				母 樹 別 均
	宇和島 1	魚梁瀬101	魚梁瀬104	中 村 1	
宇和島 1		88.1	97.0		92.3
魚梁瀬101	86.7			73.2	79.6
魚梁瀬104	87.1			71.8	78.7
中 村 1		71.9			71.9
花粉親別平均	86.9	79.6	97.0	72.4	81.6

心材含水率に関しては家系間差があり、家系間でも相当ばらつきがあったが、正逆の交配組み合わせの間では例外なく有意差が無かった。

心材容積密度数に関しては宇和島1と魚梁瀬104が高く、魚梁瀬101と中村1が低い。

魚梁瀬104×中村1の他はすべて正逆の組み合わせがあるが、魚梁瀬104と宇和島1の組み合わせのみで有意差があった。中村1は花粉としても母樹としてもヤング率が低い系統を生み出すようだ。宇和島1の入っている系統はヤング率が高く、中村1の入っている系統はヤング率が低いという解釈がもっとも妥当だろう。魚梁瀬104が花粉として大きな効果を出すということと、宇和島1が母樹として大きな効果を発揮するという解釈と両方が可能である。

3.5 正逆交配の組み合わせに関する検討

今まで示した材質形質では正逆の組み合わせで異なっていたのはヤング率だけであった。そこで、成長形質を含めた調査データすべてに関してダンカンの多重検定を行い、正逆の家系を比較した結果を表15, 16に示す。

表15. 材質形質に関するダンカンの多重検定結果

系統名	辺材平均年 輪幅(mm)	辺材含水 率(%)	辺材容積 密度数	心材平均年 輪幅(mm)	心材含水 率(%)	心材容積 密度数	丸太密 度数	ヤング率 (t/m ²)	材色(生)
魚梁瀬101×宇和島1	2.97 a	240 bc	323 ab	5.63 a	124 bc	345 ab	841 ab	86.7 ab	2.63 ab
宇和島1×魚梁瀬101	2.55 ab	230 abc	330 ab	5.22 ab	133 bc	355 a	841 ab	88.1 ab	2.72 ab
魚梁瀬104×宇和島1	2.34 b	232 ab	334 ab	4.33 c	143 c	346 ab	870 a	87.1 b	2.00 b
宇和島1×魚梁瀬104	2.41 b	203 a	344 a	4.53 bc	149 c	376 a	883 a	97.0 a	2.00 b
中村1×魚梁瀬101	2.41 b	259 c	288 b	4.39 c	99 ab	312 b	788 c	72.9 c	3.60 a
魚梁瀬101×中村1	2.50 ab	247 bc	334 ab	4.93 abc	92 a	324 b	800 bc	73.2 c	2.80 ab
魚梁瀬104×中村1	2.67 ab	236 abc	318 ab	3.52 d	79 a	351 ab	811 bc	71.3 c	3.25 a

表16. 成長形質に関するダンカンの多重検定結果

系統名	元径	末径	樹高	枝下高	クローネ幅	直径	根元曲 がり	幹曲がり
魚梁瀬101×宇和島1	20.6 a	18.8 a	17.3 ab	11.2 ab	3.0 a	21 a	4.0 ab	4.0 ab
宇和島1×魚梁瀬101	20.5 a	19 a	18.1 a	12.0 a	2.8 ab	20 a	4.0 ab	4.3 a
魚梁瀬104×宇和島1	18.5 ab	16.7 ab	15.7 bc	9.3 c	2.5 b	18 ab	4.0 ab	4.1 a
宇和島1×魚梁瀬104	18.1 ab	16.5 ab	17.0 ab	10.2 bc	2.7 ab	18 ab	4.0 ab	4.4 a
中村1×魚梁瀬101	18.2 ab	16.3 ab	15.7 bc	9.8 bc	2.8 ab	18 ab	4.0 ab	4.5 a
魚梁瀬101×中村1	19.3 ab	17.4 ab	16.6 abc	10.2 bc	3.0 a	19 ab	4.6 a	4.8 a
魚梁瀬104×中村1	16.0 b	14.4 b	14.5 c	8.8 c	2.7 ab	16 b	3.5 b	3.2 b

注) 同じ文字を含むものは危険率5%で有意差なし。

家系間に大きな差のある形質でも正逆の交配組み合わせでは有意差はヤング率の1つの組み合わせ以外のすべてで統計的な有意差は無かった。表15, 16では好ましいと思われるものから順に a, b, c をつけているが、含水率が少なく、心材色の良い中村1との交配家系は成長が悪く、曲がりが大きく、密度やヤング率が低い。逆に宇和島1との交配家系は、材色と含水率以外では良い成績を示している。宇和島1と中村1の組み合わせは材料が得られていないが、興味深い。

4 考 察

以前は細胞小器官の遺伝はすべて母樹から受け継がれると考えられていたが、スギでは葉緑体は父親から主に遺伝することが明らかになってきた¹⁾。ミトコンドリアに関してはスギでは不明だが、ヒノキではミトコンドリアが少なくとも1家系については父性遺伝することが確認されている²⁾。これからみると、ゲノムDNAは均等に両親から遺伝するが、オルガネラのDNAは主に父親から偏って遺伝しているために、様々な形質で父親の影響が大きくでる可能性があり、両親の影響が異なっているという上述の解析結果はこの意味からは興味深い。しかしながら、スギのミトコンドリアに関する直接的な研究がまだないことから、スギでは母樹からのミトコンドリアの遺伝も可能性として残っている。従って、形質ごとにそれぞれの影響のレベルが異なっていることも驚くには当たらない。葉緑体は光合成の重要器官であり、ゲノムの遺伝子との相互作用も知られており、また、ミトコンドリアは呼吸を司り、葉緑体同様にゲノムとの相互作用が知られている。

表5, 表6のダイヤレル交配に関する分析の結果が正しければ、(実際には繰り返す、同様の結果が得られることが必要だが)例えば、心材容積密度の高い雌親とヤング率の高い雄親との交配は良い結果をもたらすだろう。と言うように人工交配の組み合わせを節約し、効率化を計ることが出来る。

しかしながら、今回の分析ではブロックの情報が不明で、立地の違いの影響が排除できない。また、人工交配の系統での検定の場合には得苗率の違いによってもゆがみが生ずる危険性がある。たとえば、実生が非常にたくさんできた場合には床替えや山出しの際に人為的な選抜が加わる可能性がある。また、表13, 14に示すように正逆交配家系間の家系間差はヤング率の1組み合わせのみで観察され、他のすべての形質、組み合わせで統計的な有意差が正逆交配で見られなかったこと、また、さらに、交配の結果、後代では必ずしも両親の間ではなく、一方の性質が大きくでるいわゆる優性、劣性の影響が見られ、今回の解析ではこれが考慮されなかったために両親の影響の違いが検出された可能性が高い。

表17, 18で示したように家系平均ごとと並べて正逆交配を比較するとほとんどの形質で正逆の有意差が無かった。このことは葉緑体やミトコンドリアのような小器官のDNAが不等に遺伝することの影響がそれほど大きくない事を示唆している一方で、上述のような片親の影響の大きく出る場合、あるいは特定組み合わせ能力と言われている未知の効果の影響も観察できた。例えば心材含水率では、宇和島1を含む組み合わせはすべて含水率が高く、中村1を含む組み合わせではすべて含水率が低かった。ところが、統計的な有意差はないものの(魚梁瀬101, 宇和島1)と(魚梁瀬104, 宇和島)では、正逆共に魚梁瀬104が高かった。ところが、中村1と魚梁瀬104の交配家系では心材含水率が低かった。ヤング率に関しても同様の結果で、今回の組み合わせの中で、宇和島1と中村1は花粉、母樹のどちらであるに関わらず、対照的な性質を示していた。この2つに関しては交配家系の結果から見ると宇和島1は黒心で、心材含水率が高く、成長が良く、容積密度が高く、ヤング率が高いという性格を示し、中村1は成長が

悪く、赤心で、心材含水率が低く、ヤング率が低いという性格を示している。

これが対照の親木の性格と合わないのはいくつかの原因が考えられるが、実生家系の検定林での両家系（半兄弟）の性質に興味を持たれる。

上述のように特定のクローンの影響が特に大きく出ることの解釈としてはまず、優性劣性とホモとヘテロの関係、あるいはエピスタシスを仮定することが出来る。優性劣性の影響を仮定した場合、魚梁瀬101と魚梁瀬104が劣性ホモで宇和島1が優性ホモ、中村1が劣性ホモであると仮定すると、おおよそ説明が可能である。この場合、宇和島1の親の個体のヤング率が低いことを説明できない。エピスタシス³⁾⁴⁾を仮定してさらに上流にもう一つの遺伝子を仮定し、宇和島1は通常の個体が持っていない劣性ホモの欠陥遺伝子を上流に持っていて、他の個体はすべてこの部分は優性ホモであると仮定することもできるが、それほど現実的ではないように思われる。ただし、ヤング率は単一遺伝子の発現の影響ではなく、複数の形質の関与した形質であるとも考えることもできる。細胞壁のフィブリル傾角と壁の厚さはそれぞれ別の遺伝子に支配されているであろうし、これらはどちらもヤング率に影響を与えるが、フィブリル傾角の影響が圧倒的に大きいと考えられている。エピスタシスで考えれば、フィブリル傾角が上流に当たるだろう。宇和島1の親クローンが低いことを無視すれば、宇和島1はフィブリル傾角が早く立ち上がりやすい性質の遺伝子を持ち、中村1はゆっくり立ち上がる性質の遺伝子を持っていて、魚梁瀬104は魚梁瀬101よりも壁の厚くなる遺伝子を持っていると仮定する事も可能である。

材質形質はどちらかといえば質的な形質であるために量的な形質以上に優性やエピスタシスなどの影響を考慮した解析が必要になってきていると思われる。この意味で、遺伝マーカーを用いた解析など、より、遺伝子を意識した分析法が望まれる。また、ヤング率に関しては今回正逆交配で違いが見られた唯一の形質であるが、花粉親の関与が大きいのではないかという分析結果がでている。エピスタシスの影響など、組み合わせの影響が排除できないが、九州育種場でも要因交配の材料を用いての両親との相関、花粉親、母樹別平均の有意さなど今回の報告と同様の分析を行っているが、この中でヤング率に関しては花粉親の影響が大きいという結果を報告しており⁵⁾、ヤング率に関しては花粉親の影響が大きいかもしれないということを念頭に置いた解析も必要であるかもしれない。

いずれにしても今回の解析の結果、宇和島1と中村1は交配の母材料として特徴があり、魚梁瀬101、や魚梁瀬104を用いるよりもこのクローンを用いた方がより効果的な成果が期待出来ると思われる。すなわち、宇和島1では容積密度、ヤング率、初期成長の改良に期待が出来る一方、中村1では心材含水率、材色の改良に期待できる。今回の解析では、中村1はヤング率が低く、宇和島1は含水率が高かったが、これらの性質が必ずしも連鎖しているとは考えにくく、それぞれの長所を生かすことも、交配を繰り返すことにより可能であると考ええる。また、心材容積密度、ヤング率、などで、いわゆる優勢劣勢のような現象があるとすれば、比較的少数の遺伝子に支配されている形質が大きく関与している可能性があり、今後の材質マーカーの検出に興味を持たれる。

引用文献

- 1) Kondo, T., Y. Tsumura, T. Kawahara and M. Okamura: Paternal inheritance of chloroplast and mitochondrial DNA in interspecific hybrids of *Chamaecyparis* ssp. *Breeding Science* 48: 177-179 (1998)

- 2) Ohba, K., M. Iwakawa, Y. Okada and M. Murai: Paternal transmission of a plastid anomaly in some reciprocal crosses of Sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don., *Silvae Genet.* 20: 101-107 (1971)
- 3) 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆編: 生物学事典 (エビスタス) pp.139, 生物学事典第4版, 岩波書店 (1996)
- 4) Lynch, M., B. Walsh: *Genetics and Analysis of quantitative traits*, Sinauer Associates, inc. Sunderland, 82-92 (1998)
- 5) 山野邊太郎・千木良治・戸田忠雄・栗延普: ヒノキ人工林における諸形質の親子関係-成長形質・ヤング率・細りについて-, 日林九支研論集No.52, 43~44 (1999)

Wood Qualities of Three Couples of Reciprocal Cross Families and one Additional Family in the Cross-fertilized Progeny Test in the Fukand Mountain, Shikoku Branch Office, Kansai Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center.

Kazuho YAMAGUCHI ⁽¹⁾, Takashi KATAYOSE ⁽¹⁾ and Jin'ya NASU ⁽¹⁾

Summary : Seven families including three couples of flip-flap mating families and one family were picked up from a thirty years old cross fertilization test stand of Japanese cedar and investigated for wood quality traits. Statistical difference of family averages were detected in 5% level for water contents of sap wood and heart wood density, and in 1% level for average ring width of heart wood region, water contents of heart wood and young's modulus. The highest ratio of family variance to the total variance was calculated for young's modulus (51.7%), the second was the average ring width of heart wood, and the lowest among detectable was the heart wood density (15.6%). Although these difference between families, between the families in the reciprocal cross (flip-flop mating) couples, no statistical differences were detected except only one couple in the traits of young's modulus. We failed to analyze measured data assuming additive effects of both parents in the diallel mating system. By scrutinize the family averages in cross tables, the existence of some effects of dominance or epistasis was suggested. Influence of the paternal inheritance were suggested to be possible only for the young's modulus since the difference between the reciprocal cross was detected.

(1) Kansai Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
1043, Uetsukinaka, Shoo, Okayama 709-4335 Japan

篤林家による精英樹交配家系からの優良個体の選抜 (Ⅲ) — 壮齡期のスギ検定林における成長及び通直性の遺伝率の推定値 —

栗延 晋⁽¹⁾・千吉良 治⁽¹⁾

Susumu KURINOBU⁽¹⁾ and Osamu CHIGIRA⁽¹⁾

Second-Generation Plus Tree Selection by Local Foresters in Controlled Pollinated Progenies of the First-Generation Plus Trees of Sugi (*Cryptomeria japonica*) (Ⅲ)

— Estimates of genetic parameters on growth and form traits in three genetic tests at 30 years of age —

要旨：30年生前後の3箇所のスギ遺伝試験林における胸高直径、幹曲り及び根元曲りの調査結果を分析して、各形質の狭義の遺伝率を推定するとともに、それぞれの形質に及ぼす母樹、花粉親の影響を確めた。解析の対象とした遺伝試験林には、それぞれ43(♀)×7(♂)、14×11及び12×6クローンの精英樹を用いた要因交配による人工交配家系が用いられている。壮齡期のスギ検定林における狭義の遺伝率は、成長、形態形質ともに0.2をやや下回る程度と推定された。相加的遺伝分散に関しては、胸高直径では母樹の寄与が大きく、幹曲りや根元曲りでは母樹とともに花粉親の寄与も認められる例があった。また、各形質とも非相加的遺伝分散の割合はきわめて小さいと推定された。さらに、検定林によってかなり異なるものの、胸高直径、幹曲り及び根元曲り相互間には正の相関関係が認められた。

1 はじめに

林木育種センター九州育種場では、各地の篤林家の協力を得てスギ遺伝試験林での優良木の選抜を進めている。選抜の対象にした遺伝試験林は、30年生前後の壮齡林分であることと両親が明らかな交配家系が用いられていることを条件としている¹⁾。これら2つの条件は優良木を選抜し利用する面から設定した基準ではあるが、これらを満たした遺伝試験林から推定される遺伝率は、収穫時の遺伝獲得量を予測して検定の進め方を検討する際の基礎情報としても重要である。

スギの壮齡林分における遺伝率に関しては、自然受粉家系を用いた試験地からの報告はあるものの²⁾、相加的遺伝分散や母樹・花粉親の影響を正確に把握できる人工交配家系を用いた試験地から推定した事例はこれまで無い。テードマツでは、林齢26年までの時系列データを解析して、12年生までは非相加的遺伝分散の割合が大きいものの、その後、相加的遺伝分散の割合が著しく増加するとの報告がある³⁾。我が国でも、トドマツの交配家系を用いた試

(1) 林木育種センター九州育種場

〒861-1102 熊本県菊池郡西合志町大字須屋2320

Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
2320, Suya, Nishigoshi, Kikuchi, Kumamoto 861-1102 Japan