

18年生のスギ精英樹交配家系における 丸太ヤング率の組み合わせ能力の推定

藤澤 義武⁽¹⁾・田淵 和夫⁽²⁾・中田 了五⁽¹⁾・谷口 亨⁽¹⁾

Yoshitake FUJISAWA⁽¹⁾, Kazuo TABUCHI⁽²⁾, Ryogo NAKADA⁽¹⁾ and Toru TANIGUCHI⁽¹⁾

An Estimation of Combining Abilities of the Modulus of Elasticity in 18 Years Old Control-pollinated Families of Plus-tree Clones of *Cryptomeria japonica* D. Don.

要旨: スギ交配家系で設定した18年生の試験林から供試材を採取し、これによってヤング率と胸高直径の組み合わせ能力を推定した。本交配家系は北関東育種区、関東育種区で選抜されたスギの精英樹5クローン、喜多方1、沼田4、久慈12、多賀1、筑波1をハーフダイアレル交配して得たものである。なお、ハーフダイアレルとしては2組み合わせが欠落しているため、このようなデータでも分散分析や組み合わせ能力の推定が可能なソフトウェアDIALLSM^{9, 10)}によって解析した。

分散分析の結果、ヤング率の一般組み合わせ能力には0.1%水準の高い有意性が認められた。ヤング率で最も高い一般組み合わせ能力を示した交配親は久慈12であり、その値は5.27tf/cm²であった。また、筑波1がこれに続き、その値は1.63tf/cm²であった。最も低い値を示した交配親は喜多方1で、その値は-4.72tf/cm²であった。

一方、最も高いヤング率の一般組み合わせ能力を示した久慈12は、胸高直径においても一般組み合わせ能力が最も高かった。胸高直径では一般組み合わせ能力、特定組み合わせ能力ともに統計的に有意ではなかったものの、この結果は採種園方式による増殖によっても、母樹クローンの選択によってヤング率と肥大成長量を共に改良できる可能性を示唆するものである。

これらの結果は、既報⁴⁾においてスギ在来品種の相互間の交配家系を用いた同様の解析で高い特定組み合わせ能力を推定した結果と異なっていた。本供試材料の交配親のうち3クローンが茨城県下から選抜される等狭い地域から選抜されたものであること、交配親間のヤング率の変異幅が小さい(23tf/cm²)こと等が既報の推定結果と異なった理由として考えられる。このことに関しては、早急にデータを蓄積して結論を得る必要があろう。

1 はじめに

我が国の林木育種事業は発足以来40年以上が経過した間に成長量の向上、ねじれの少ないカラマツ、マツノザイ

(1) 林木育種センター

〒319-1301 茨城県多賀郡十王町伊師3809-1

Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Tago, Ibaraki 319-1301 Japan

(2) 林木育種センター西表熱帯林育種技術園

〒907-1433 沖縄県八重山郡竹富町南風見中36-5

Iriomote Tropical Tree Breeding Technical Garden, Forest Tree Breeding Center

36-5 Haeminaka, Taketomi, Yaeyama, Okinawa 907-1433 Japan

センチュウ抵抗性品種の開発等多くの成果を得た。また、これまでの期間に設定された次代検定林が順次間伐期を迎えており、間伐時に採取した供試材によって精英樹の材質の評価を進めている。その中で、スギ、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツでは、容積密度、心材含水率、ヤング率等は遺伝率が高く、高い育種効果を期待できることが明らかになっている²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹³⁾。特に、スギのヤング率は狭義、広義ともに遺伝率が高く、しかも変異幅が大きいことから、実生、クローンともに高い遺伝獲得量を期待できる⁴⁾。さらに、クローンでは九州を網羅する6箇所の地域差検定林の解析結果によって、いずれの箇所に植栽しても同様の結果が得られる高い再現性のあることも明らかになった¹⁾。これは、クローンによって木材の品質を管理できる可能性を示唆するものである。すなわち、くだものや野菜のように必要な性能を持った材をクローン名で選ぶことができる可能性がある。ヤング率は1991年に機械的等級区分製材として日本農林規格に導入されており、林木育種面における研究成果をあわせることによって、ヤング率は林木育種、木材利用の両面において重要な材質の指標となりうることが示された。

一方、スギは九州や関西の一部を除き、採種園産の種子による実生苗によって造林するのが一般的である。採種園産種子による実生苗の実質的な改良効果は一般組み合わせ能力によって示される。しかし、木材の性質の組み合わせ能力に関しては報告例が少なく、自然受粉家系によって設定した複数の検定林の解析結果の交互作用が大きかったことから、ヤング率と密度は特定組み合わせ能力が高い可能性を指摘した報告や¹⁰⁾、在来品種の交配家系の解析の結果からスギのヤング率と密度は特定組み合わせ能力が高いことを推定した例⁴⁾があるだけであった。しかも、これらの結果は、スギの実生でヤング率や密度の育種効果を確実に得るためには、2クローン採種園、人工交配、あるいはクローン増殖等の特定組み合わせ能力に配慮した増殖法を採らなければならないことを示唆するものであった。このことは、材質改良を目的とした林木育種事業の進め方に影響を与える問題であり、スギの木材性質の組み合わせ能力に関するデータの蓄積が求められた。

ところで、伐期齢に達した木材の性質を評価するためには、未成熟材部の影響を考慮して、ある程度高い林齢の供試材が必要である。この林齢は25年生以上を一つの目安とするが、少なくとも20年生前後の供試材を必要とする。しかし、このような交配家系は少ないのが実状であった。

本報告は、スギの実生の材質に関する遺伝母数のデータを蓄積することを目的とし、18年生のスギ遺伝試験林から得た供試材によってヤング率の組み合わせ能力等を解析・検討するものである。

2 材料と方法

2.1 供試材料

供試材は水戸市内にある林木育種センターの旧敷地内（旧関東林木育種場）に設定したスギの遺伝試験林から採取した。この試験林はスギ精英樹のダイアレル交配家系によって設定しており、その交配親は北関東育種区、関東育種区で選抜した、喜多方1、沼田4、久慈12、多賀1、筑波1のスギ精英樹5クローンである。これら親クローンは耐寒性の遺伝様式を検討するために耐寒性を基準として選択されたものであり、特に寒害に強いものと感受性のものとが選ばれている。したがって成長量や材質については考慮されておらず、ヤング率の変異は多賀1の51tf/cm²から久慈12の74tf/cm²であり、その変異幅は23tf/cm²と小さかった。表1にスギ精英樹特性表に記載された各クローンの特性を示した。なお、親クローンのヤング率は育種素材保存園の間伐木によって評価した値である。

これら5クローンを親として1973年にダイアレル交配を実施した。このとき、寒害に感受性の筑波1、多賀1が母樹の場合には球果が寒害を受け、そのため採種量が少なかった。また、3年間の養苗期間中にも感受性の家系は

寒害を受けることが多く、筑波1と多賀1とが母樹の家系では最終的な得苗数が少なかった。これら家系毎に養苗した苗木から苗高が上位の50本を選択し、1977年に試験林を設定した。

試験林の設定地はほぼ平坦地であり、試験設計は10列×22行を1反復として3回反復を繰り返す乱塊法である。植栽間隔は1.3×1.3mと狭く、植栽密度は5900本/haと高い。各反復内では、全家系を込みとして各個体をランダム配置する単木混交植栽法によって苗木を配置した。各反復内とも、交配家系に対照とする一般の実生苗を加えて植栽本数が220本となるように配慮した。3反復を合計した家系ごとの植栽本数は10~50本であった。

この試験地を1995年12月に皆伐し、全ての生存木について、地上高1.1m点より上方へ2m長の丸太を採取した。なお、大きさや欠点の有無などによって測定可能と判断した丸太は全てヤング率を測定したが、家系内の生存個体数の少ないものは解析から除いた。その結果、組み合わせ能力の解析に供したのは表2に示した8家系、239個体であった。これは、5クローンの交配親を片面ダイヤレル交配して得た家系に相当し、その組み合わせを表3に示した。

表1. 精英樹特性表に記載された親クローンの特性

Table 1. Characteristic values and scores for plus-tree clones mentioned in Data book of Sugi plus-tree clones.

Clone	Prefecture	Height	DBH	MOE	HWC	MCH	BA	FB	RBA
		score	score	tf/cm ²	L value	%	degree	score	score
Kitakata 1	Fukushima	-	-	69	43	191	76	5	3
Numata 4	Gunma	-	-	68	27	224	72	5	3
Taga 1	Ibaraki	4	4	51	41	133	82	3	3
Kuji 12	Ibaraki	4	4	74	49	104	80	3	4
Tukuba 1	Ibaraki	4	3	72	43	73	70	5	5

Legend DBH : Diameter at breast height, MOE : Modulus of elasticity, HWC : Heart wood color, MCH : Moisture content in heart wood, BA : Brach angle, FB : Fallen branch, RBA : Rooting ability
- : lack of data

表2. 家系別供試個体数

Table 2. Number of sample in each family.

		Numbers of samples
Females	Males	
1 Kitakata1	Kuji12	26
2 Kitakata1	Numata4	29
3 Kitakata1	Taga1	32
4 Kitakata1	Tukuba1	23
5 Kuji12	Numata4	40
6 Kuji12	Tukuba1	26
7 Numata4	Taga1	31
8 Numata4	Tukuba1	32

表3. 供試材料の交配組み合わせ表

Table 3. the mating diagram of the study materials.

♀	♂	Kuji12	Numata4	Taga1	Tukuba1
Kitakata1		○	○	○	○
Kuji12			○	-	○
Numata4				○	○
Taga1					-

Legend ♀ : Female, ♂ : Male,
○ : Complete data, - : Lack of data

2.2 実験方法

ヤング率は生材状態の丸太からタッピング法¹⁴⁾によって測定した。この手法によると、丸太全体の平均値としてのヤング率が得られ、簡便でしかも再現性が高い。さらに、心持ち正角のヤング率と相関が高いとされ¹⁵⁾、柱材としての利用が主体を占めるスギの材質を評価する上では都合がよい。なお、伐倒にさきだって毎木調査を実施し、胸高直径を巻き尺で測定した。

タッピング法によるヤング率の測定手順は次に示すとおりであり、測定システムの概略を図1に示した。2 m長の生材状態の丸太に麻袋等をかぶせた枕木の上にセットし、一方の端を小型のハンマーで軽くタッピングする。このとき発生する打音を他端からマイクロフォンで採音し、この信号をFFTアナライザ (Fast Fourier Transform analyzer : 小野測器CF-4120) へ導入して縦方向の基本振動数 (以下基本振動数とする) を得た。同時に丸太の重量、丸太の長さ及び元口、木口径を測定した。これらの測定結果を下に示した計算式に代入することによってヤング率を計算した。

計算式

$$Ed \text{ (kgf} \times 10^3 / \text{cm}^2) = 4 f^2 l^2 r / n^2 g$$

ここで、Ed ; ヤング率, f ; 基本振動数, l ; 丸太長, r ; 比重, n ; 基本振動数の次数, g ; 重力加速度である。

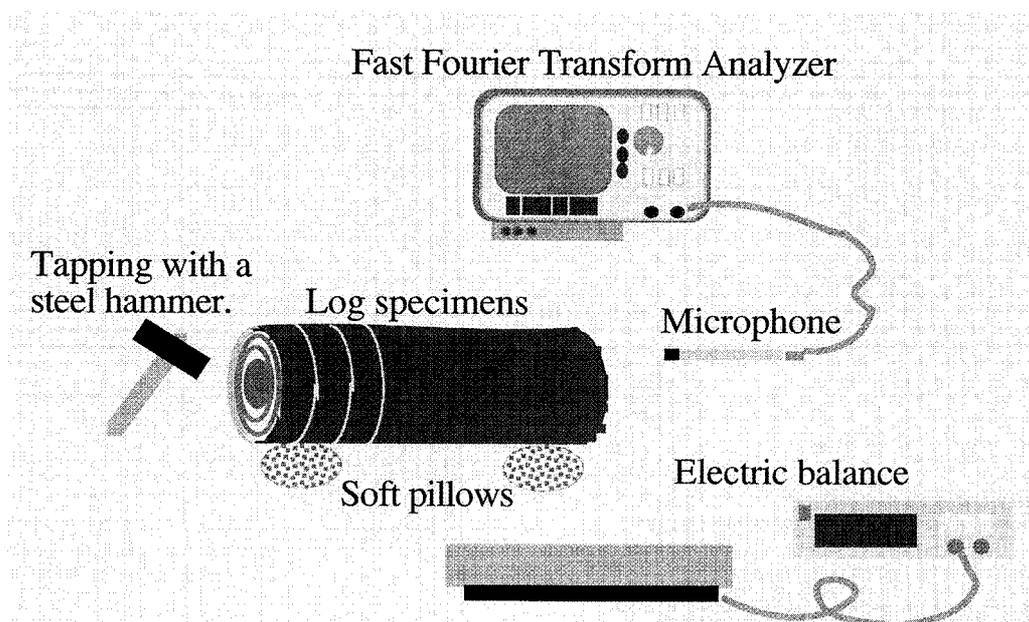


Figure 1. Diagram of a system of the tapping-method measuring the dynamic moduli of elasticity.

図1. タッピング法によるヤング率測定システムの例

ところで、本供試材の採取時の林齢は18年生であり、ヤング率の測定結果が未成熟材部の影響を強く受けたものであることが懸念される。これに対して、タッピング法によるヤング率の評価は15年輪以上あれば成熟材部としての性能を十分に評価できるとし、17年生の個体を測定した例がある¹¹⁾。また、密度試験地から採取した試験材の年輪構造を軟エックス線デンストメトリによって評価した例では、植栽密度が高まるほど、早い時期に成熟材として

の性質を示したことを報告している³⁾。これらによって、本供試材の測定結果は伐期の材質を十分反映したものであると判断した。

3 結果と考察

3.1 ヤング率と胸高直径の測定結果

測定結果について、ヤング率の家系別頻度分布を図2に、胸高直径の家系別頻度分布を図3に示した。図2と図3に示したようにヤング率、胸高直径ともに概ね正規分布とみなせる分布型を示した。そこで、表4にヤング率と胸高直径の家系別の平均値を示した。ヤング率は喜多方1×沼田4の66.1tf/cm²から久慈12×筑波1の78.5tf/cm²までの変異があり、その変異幅は12.4tf/cm²であった。胸高直径は喜多方1×沼田4の13.2cmから久慈12×沼田4と久慈12×筑波1の15.9cmまでの変異があり、その変異幅は2.8cmであった。

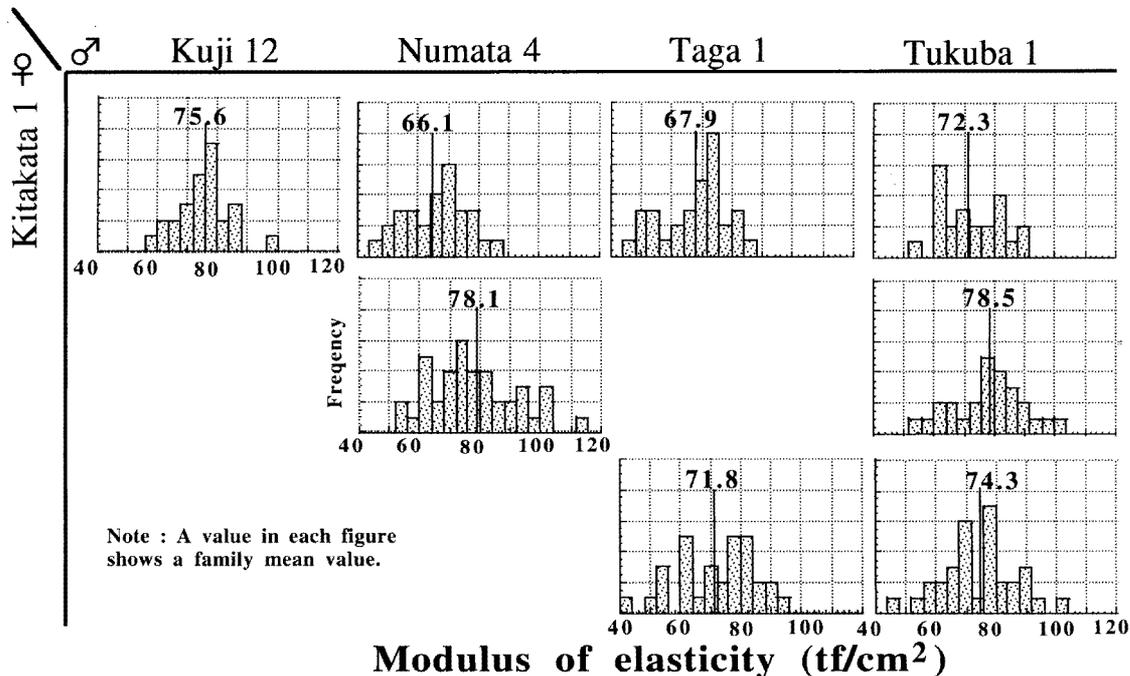


Figure 2. Frequency distribution of results of modulus of elasticity in each family.

図2. ヤング率の測定結果の家系別頻度分布

ヤング率の変異幅は、スギ在来品種間の交配家系⁴⁾について本報告と同様の解析を行った結果における変異幅が23tf/cm²であったのに比べると値が小さい。これには、本交配家系の親クローン間の変異幅が小さいことが影響したと考えられる。スギ精英樹クローンの北関東育種区および関東育種区におけるヤング率の変異幅は50tf/cm²であり、これはスギの一般的な値と一致する。したがって、親クローンの選抜された地域のスギ精英樹クローンがヤング率の変異が小さいとはいえない。また、親クローンは寒害抵抗性によって選択されているが、抵抗性の強いクローンと弱いクローンのそれぞれから選んでいるのでこのことの影響が強かったとも考えられない。ヤング率にかよったクローンを交配親として選んだと考えるのが穏当であろう。

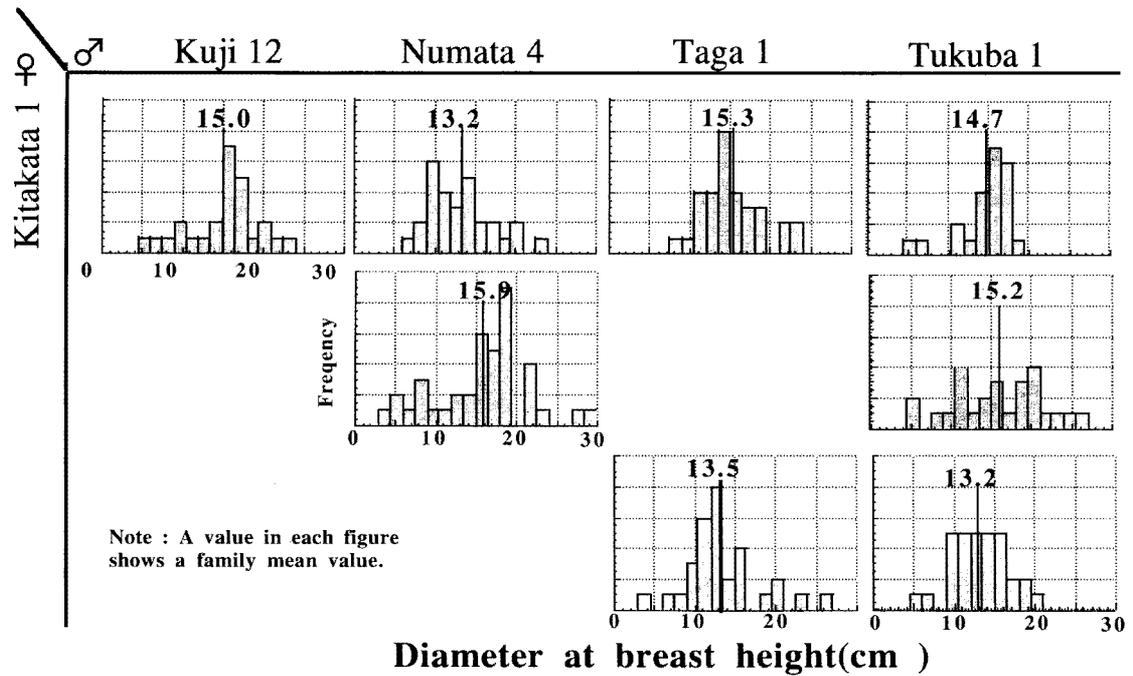


Figure 3. Frequency distribuion of results of diameter at breast height in each family.

図3. 胸高直径の測定結果の家系別頻度分布

表4. ヤング率と胸高直径の家系別平均値

Table 4. Mean values of dynamic modulus of elasticity and diameter at breast height in each family.

No.	Female parents	Male parents	Ed (tf/cm ²)			DBH (cm)		
			MV	STD	CV(%)	MV	STD	CV(%)
1	Kitakata1	Kuji12	75.6	8.5	11.2	15.0	4.4	29.6
2	Kitakata1	Numata4	66.1	10.6	16.0	13.2	4.0	30.6
3	Kitakata1	Taga1	67.9	10.7	15.7	15.3	3.7	24.4
4	Kitakata1	Tukuba1	72.3	10.2	14.1	14.7	3.3	22.2
5	Kuji12	Numata4	78.1	14.3	18.4	15.9	5.8	36.7
6	Kuji12	Tukuba1	78.5	11.7	14.8	15.9	5.6	35.2
7	Numata4	Taga1	71.8	12.9	18.0	13.5	4.6	33.7
8	Numata4	Tukuba1	74.3	12.1	16.3	13.2	3.4	26.1
Total mean value			73.1			14.6		

Legend Ed : Dynamic modulus of elasticity, DBH : Diameter at breast height, MV : Mean value, STD : Standard deviation, CV : Coefficient of variation.

表4に示したヤング率と胸高直径の家系平均値の変異が統計的に有意なものであるのかを検討するため、反復を込みにして家系を要因とした一元配置の分散分析を行った。その結果を表5に示す。本表に示したように、ヤング率では有意な家系間差が認められたが、胸高直径では有意差は認められなかった。このことには、本試験地の植栽間隔が1.3mと狭く、植栽密度が5,900本/haと高いため、早い時期からうっ閉状態にあったことが影響したと思われる。

このように、胸高直径には統計的に有意差が認められなかったが、ヤング率には高い有意差が認められたので、組み合わせ能力の解析に供した。

3.2 肥大成長量、寒害がヤング率に与えた影響

本試験地は寒害に対する抵抗性の遺伝様式を明らかにすることを目的として寒害の常襲箇所を設定された。このこともあって、本試験地は3年生時まで寒害を受けたことが報告されている¹⁰⁾。そこで、寒害による被害が成長量及びヤング率に与えた影響の有無を検討した。具体的には、1年生苗時の家系別の寒害の被害率¹⁰⁾と家系別胸高直径及びヤング率との相関係数を検討した。その結果、家系別の被害率のアークサイン変換値と胸高直径の家系平均値との間に負の相関係数 ($r = -0.572$) が認められた。同様にヤング率の家系平均値との間には負の相関係数 ($r = -0.605$) が認められ、胸高直径とヤング率の間には正の相関係数 ($r = 0.506$) が認められた。これらの結果は、寒害が肥大成長量を減少させ、ヤング率を低下させる方向で影響を与えたように見える。しかし、スギの年輪構造と成長量との関係について、密植等で肥大成長量を抑制すると晩材率が相対的に高まり、結果的に材の密度が上昇したことが報告されている⁴⁾。スギの密度とヤング率の間には正の相関係数があるので、被害によって肥大成長が抑制され、これによってヤング率が影響されるのであれば、ヤング率は上昇することが予想できる。また、変換被害率とヤング率及び胸高直径の間で重回帰分析を行った結果では、有意な相関係数は認められなかった ($r = 0.36$)。そこで、被害とヤング率及び胸高直径との関係をさらに検討するため、図4に変換被害率とヤング率との相関係数を図4に示した。図4では喜多方1×沼田4の変換被害率が31°と飛び抜けて大きな値を示しており、しかも、そのヤング率は家系間の中で最も低い66.1tf/cm²であったことがわかる。この喜多方1×沼田4を除いた7

表5. 測定結果の一元配置分散分析表

Table 5. Conventional one-way analysis of variance on each characteristic.

Source	df	MS	
		Ed	DBH
Family	7	614.88	40.68
error	231	137.30	20.44
F value		4.48 **	1.99 ns

Legend MS : Mean square, Ed : Dynamic modulus of elasticity,

DBH : Diameter at breast height,

** : Significant at 1% level, ns : Non significant.

Note F value = MS of Family/ MS of error .

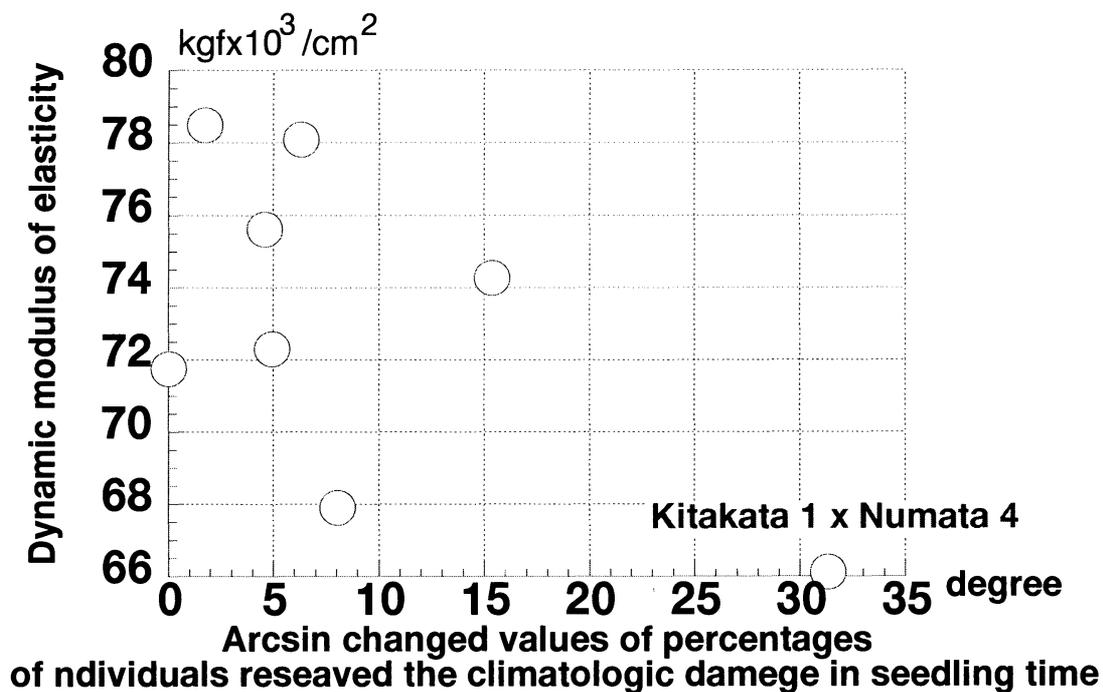


Figure 4. Relationship between climatologic damage and modulus of elasticity.

図4. 苗畑で発生した家系別被害率のアークサイン変換値とヤング率の家系平均値との相関関係

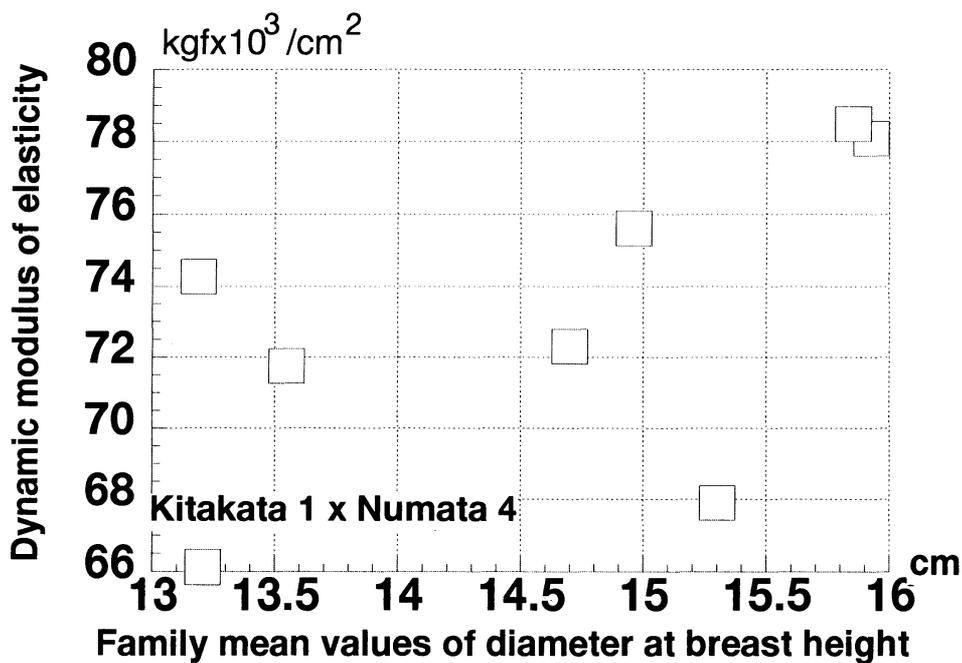


Figure 5. Relationship between modulus of elasticity and diameter at breast height.

図5. ヤング率と胸高直径, それぞれの家系平均値間の相関関係

家系の間では明確な相関関係は認められなくなる ($r = 0.130$)。また、図5に示した胸高直径とヤング率の相関関係においても、喜多方1×沼田4を除くと明確な相関関係が認められなくなる。よって、喜多方1×沼田4が寒害の抵抗性も低く、ヤング率も低いと考える方が穏当であり、寒害がヤング率に影響したとは考えにくい。ただし、寒害による被害とヤング率との間の関係に閾値があり、ある程度以上強い被害を受けたときにヤング率は低下する可能性を否定することはできない。しかし、そのことが影響した可能性があるのは喜多方1×沼田4のみである。いずれにしても、本供試材料のヤング率の測定結果に対する寒害の影響は無視できるものと判断した。

一方、胸高直径は図6に示した相関関係から明らかなように、喜多方1×沼田4を除いた場合でも、負の相関の傾向が認められる ($r = -0.340$)。また、複数の寒害抵抗性検定林のデータを解析した結果を報告した例では、平均被害指数と樹高との間に負の相関関係を認め ($r = -0.458$)、寒害が樹高成長を抑制する傾向にあることを指摘しており¹⁷⁾、幼齢期の寒害による成長量の減少が伐倒時の18年生時まで影響した可能性は高い。

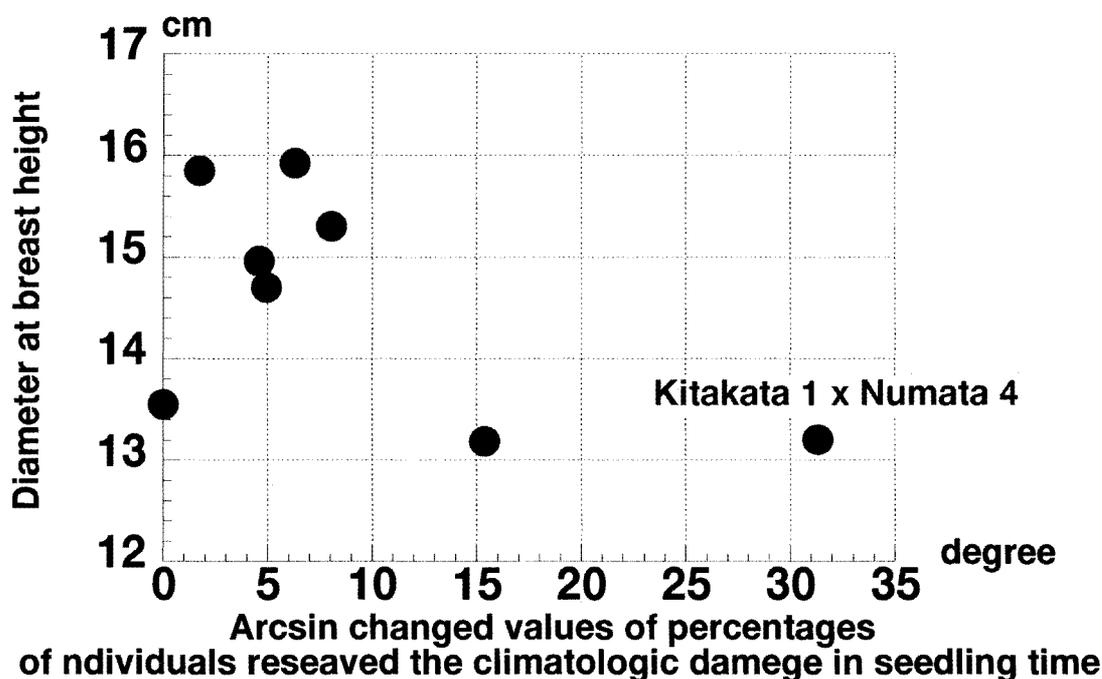


Figure 6. Relationship between climatologic damage and modulus of elasticity.

図6. 苗畑で発生した寒害の家系別被害率のアークサイン変換値と胸高直径の家系平均値との相関関係

3.3 組み合わせ能力の推定

本報告における供試材料のヤング率に有意な家系間変異が認められ、しかも、幼齢期の寒害の影響は無視できると判断したことから、組み合わせ能力を解析した。胸高直径は家系間の有意差が認められなかったため、参考として解析した。

ところで、本供試材料は表3に示したようにハーフダイヤレルの組み合わせとしては完全ではなく、2組み合わせのデータが欠如している。そこで、このような不完全な交配組み合わせデータを解析するために栗延が開発したコンピュータプログラム DIALSSM¹⁹⁾によって解析した。しかし、本プログラムはMS-DOS上のN88BASICによっ

て作成されているため、MacintoshやWINDOWS等の近年のより進んだコンピュータ環境では利用し難いのが難点であった。このため、実際の解析には宮浦が本プログラムをWindows上のExcelのマクロに移植したものをを用いた¹⁾。宮浦のプログラムは機種に依存しないため、Windows, Macintoshいずれの環境においても動作するうえ、Excelのデータを直接利用することができるので便利である。本報告ではMacintosh G3上のExcelで本プログラムを動作させて解析した。

DIALSSMによる分散分析の結果を表5に示した。FV1は誤差の平均平方によって各要因の平均平方を除して得たF値, FV2は交互作用の平均平方によって各要因の平均平方を除して得たF値を示す。FV1が示す誤差による検定ではヤング率, 胸高直径ともに一般組み合わせ能力は有意であり, ヤング率では0.1%の高い水準で有意であった。しかし, 胸高直径では反復と家系間の交互作用が5%水準で有意であったので, FV2によって示される交互作用による検定結果が実際の検定結果を示す。FV2で示したように交互作用による検定結果では一般組み合わせ能力も有意ではなかった。これは, スギ在来品種間の交配家系によって木材性質の組み合わせ能力を推定した例⁴⁾とは異なった結果となった。すなわち, 在来品種間の交配家系における解析例では, ヤング率は特定組み合わせ能力のみが有意であり, 胸高直径では一般組み合わせ能力のみが有意であった。

在来品種間の交配親は関東, 中部日本, 裏日本, 関西, 九州の各地で育成された在来品種を交配親としており⁴⁾, それぞれの品種は材質, 成長量ともに多彩な特徴を示す。一方, 本供試材料の交配親は北関東育種区と関東育種区から選抜されており, しかも, 久慈12, 多賀1, 筑波1の3クローンは茨城県下から選抜された。また, 交配親間のヤング率の変異幅も小さい。この交配親のヤング率の変異の大きさや選抜地域の範囲の差が, 本報告では一般組

表6. 測定結果の組み合わせ能力の分散分析表

Table 6. Analysis of variance according to the half diallel on each characteristic.

Item	Source	df	Ed	DBH
MS	GCA	4	1094.62	47.74
	SCA	3	58.75	19.47
	Rep x Cross	14	126.86	44.14
	W. plot	215	129.76	16.95
FV1	GCA		8.44 ***	2.82 **
	SCA		0.45 ns	1.15 ns
	Rep x Cross		0.98 ns	2.60 **
FV2	GCA			1.08 ns
	SCA			0.44 ns
ECV	GCA		15.20	0.41
	SCA		-2.33	-0.90
	Rep x Cross		-0.30	2.82
	W. plot		129.76	16.95

Legend Ed : Dynamic modulus of elasticity, DBH : Diameter at breast height,
 df : Degree of freedom, MS : Mean square, FV : F value, ECV : Expected components of variance,
 GCA : General combining ability, SCA : Specific combining ability.
 Note FV1 = MS of each source / MS of W.plot, FV2 = MS of each source / MS of Rep x Cross.

み合わせ能力が有意となり、在来品種の交配家系では特定組み合わせ能力が有意となった結果の違いに影響した可能性がある。これまでの報告は広い範囲で選抜した精英樹間で交配した場合に特定組み合わせ能力が現れる可能性を示すものであるとするなら、本報告で得られた結果は、採種園単位では母樹クローンの選抜によって効果的にヤング率を改良できることを示唆するものである。いずれにしても、本報告、既報ともに関与する交配親が少なく、解析結果に歪みを含む可能性を否定できない。早急に解析事例を蓄積し、より普遍的な解釈を得る必要がある。

表7. ヤング率の一般組み合わせ能力と特定組み合わせ能力

Table 7. Cobining abilities for modulus of elasticity.

♀	General combining abilities	Specific combining abilities			
		♂ Kuji 12	Numata 4	Taga 1	Tukuba 1
Kitakata 1	-4.716	0.851	-1.386	-0.500	1.035
Kuji 12	5.270		0.536	-	-1.386
Numata 4	-1.233			0.500	0.351
Taga 1	-0.954				-
Tukuba 1	1.633				

Legend ♀ : Female, ♂ : Male,
- : Lack of data

表8. 胸高直径の一般組み合わせ能力と特定組み合わせ能力

Table 8. Cobining abilities for diameter at breast height.

♀	General combining abilities	Specific combining abilities			
		♂ Kuji 12	Numata 4	Taga 1	Tukuba 1
Kitakata 1	-0.180	-0.650	-0.220	0.394	0.476
Kuji 12	1.205		0.870	-	-0.220
Numata 4	-1.105			-0.394	-0.256
Taga 1	0.424				-
Tukuba 1	-0.344				

Legend ♀ : Female, ♂ : Male,
- : Lack of data

一方、表5に示されるように、ヤング率の期待成分は特定組み合わせ能力、交互作用の期待成分が負の値となった。これはデータが反復間で歪んでいること等が影響したものと考えられ、遺伝率はあえて示さなかった。そこで、参考として負となった値を0として計算した遺伝率を示すと、ヤング率は41.9%、胸高直径は8.1%であった。在来品種間の交配家系の例ではヤング率の遺伝率は14%であったが、特定組み合わせ能力と一般組み合わせ能力を合わせた家系間分散で遺伝率を計算すると本報告と同程度となる。いずれの結果も、ヤング率の変異に対する遺伝支配の程度が大きいことを示すものである。

分散分析の結果、一般組み合わせ能力に有意差が認められたので、表7にヤング率の一般組み合わせ能力と特定組み合わせ能力を示した。また、表8には胸高直径の一般組み合わせ能力と特定組み合わせ能力を示した。ヤング率の特定組み合わせ能力、胸高直径の一般、特定、いずれの組み合わせ能力ともに分散分析の結果は有意ではなく、参考として示すのにとどめる。

ヤング率の一般組み合わせ能力は久慈12が最も高く、その値は $5.27\text{tf}/\text{cm}^2$ であり、筑波1がこれに続き、その値は $1.63\text{tf}/\text{cm}^2$ であった。ヤング率の一般組み合わせ能力が最も低かったのは喜多方1であり、その値は $-4.72\text{tf}/\text{cm}^2$ であった。また、参考値ではあるが久慈12は胸高直径の一般組み合わせ能力も最も高く、その値は 1.21cm であった。胸高直径の一般組み合わせ能力が最も低かったのは沼田4であり、その値は -1.11cm であった。このように、久慈12はヤング率、胸高直径ともに一般組み合わせ能力が最も高かった。このことは、採種園方式においても母樹の選抜によってヤング率、肥大成長量ともに改良することのできる可能性を示すものである。

4 まとめ

スギのヤング率の組み合わせ能力に関して検討した例はこれまでにほとんどなく、在来品種相互間で交配した家系のヤング率を解析した例や自然受粉家系によって設定された複数の検定林のデータを解析した結果から推測した例があるだけであった。そのいずれもがスギのヤング率では特定組み合わせ能力が高いことを示唆する結果であった。このことは、ヤング率を育種技術によって確実に改良するためには、人工交配、あるいは2クローン採種園等の配慮を必要とすることを示すものであった。一方、本報告では、特定の育種区で選抜された5クローンのスギ精英樹間の交配家系を用いて解析したところ、ヤング率の高い一般組み合わせ能力が推定された。この結果は、育種区毎には採種園の母樹クローンの選択によってヤング率の高い育種効果が得られることを示すものである。しかし、いずれの報告においても解析されたデータに関与する交配親数が少ないので、結果に歪みを含む可能性を否定できない。実生の木材性質の遺伝母数を早急に蓄積し、スギの木材性質の遺伝様式を解明する必要がある。特に関与する交配親数の多い家系、ヤング率の変異の大きい精英樹間で交配した家系等による解析データの蓄積が求められる。

謝 辞

本報告で用いた供試材は、林木育種センター移転の際に茨城県及び林木育種協会の協力によって採取されたものであり、また、調査にあたって多大な協力を得た。ここに、茨城県、林木育種協会の当時の関係各位に感謝の意を示すものである。

引用文献

- 1) Fujisawa, Y, Ohta, S, Nihimura, K., and Tajima, M. : Wood characteristics and genetic variation in Sugi (*Cyptomeria japonica*) III, Estimation of variance components of the variation in dynamic modulus of elasticity with plus tree clones., Mokuzaigakkaishi, Vol.40 No.5, 457~464, 1994
- 2) 藤澤義武・太田貞明・西村慶二・戸田忠男・田島正啓：スギ心材含水率のクローンと林分による変異，木材学会誌，41，3，249~255，1995A
- 3) 藤澤義武・太田貞明・明石孝輝：スギの材質と遺伝（第4報），木材学会誌，41巻，7号，631~639，1995B
- 4) 藤澤義武：高度木材利用に適合する品質管理型木材生産への林木育種の対応に関する研究，林育研報，15，31~107，1998
- 5) 藤澤義武・中田了五・谷口亨・中谷幸男：中部山岳育種区より選抜したカラマツ精英樹の木材性質，一丸太ヤング率と胸高直径のクローンによる変異一，第48回日本木材学会大会発表要旨集，45，1998
- 6) 藤澤義武・中田了五・谷口亨：中部山岳育種区より選抜したカラマツ精英樹の木材性質，一繊維傾斜度のクローンによる変異一，第49回日本木材学会大会発表要旨集，50，1999
- 7) 飯塚和也・生方正俊・織部雄一郎：アカエゾマツ精英樹クローンの材質変異，日本林学会誌，81，325~329，1999
- 8) Katayose, T., Ujiie, M. and Kudoh, H. : Clonal difference of some properties for wood quality of grafted plus-trees of *Abies sahalinensis*, J. Jpn. For. Soc. 74(5), 426~430, 1992
- 9) 栗延晋：不連続片面ダイアレル交配の最小二乗法による分散分析プログラム，林育研報，第9号，123~151，1991
- 10) 栗延晋：実態調査の解析結果，「精英樹の材質評価手法に関する調査報告書」，林野庁，p115，33~66，1994
- 11) 宮浦富安：林木育種センター内部資料，1991
- 12) Nakai Takashi: Tanaka Tashinari: Non-destructive testing Non-destructive testing by frequency of full size timber for grading, Building Research and Practice, 17(1), 23~29, 1989
- 13) 中田了五・藤澤義武・平川泰彦・山下香菜：スギの生材含水率の個体内樹高方向での変化，木材学会誌，44(6)，395~402，1998
- 14) 祖父江信夫：振動現象を利用した実大構造材の弾性率測定－理論と応用－，平成元年度文部省科学研究費資料，p57，1989
- 15) 田淵和夫：スギ精英樹の二面交配による耐寒性の遺伝様式，91回日林論，173~174，1980
- 16) 田淵和夫：凍害常習地に植栽したスギ交配家系の耐凍性，関東林育年報，23，35~43，1991
- 17) 田淵和夫・藤澤義武：関東育種基本区におけるスギ気象害抵抗性個体の通常検定結果-寒風害抵抗性検定林の調査結果による抵抗性の評価-，林育研報，15，209~225，1998

An Estimation of Combining Abilities of the Modulus of Elasticity in 18 Years Old Control-pollinated Families of Plus-tree Clones of *Cryptomeria japonica* D. Don.

Yoshitake FUJISAWA⁽¹⁾, Kazuo TABUCHI⁽¹⁾, Ryogo NAKADA⁽¹⁾ and Toru TANIGUCHI⁽¹⁾

Summary : We estimated both the general combining ability and the specific combining ability of both the modulus of elasticity (MOE) and the diameter at breast height (DBH) in 18 years old control-pollinated families of *Cryptomeria japonica* D. Don. The parents of the families were plus-tree clones that were selected in North Kanto Breeding District and Kanto Breeding District. Those clones were Kitakata 1, Numata 4, Kuji 12, Taga 1, and Tukuba 1, respectively. The parents were crossed to each other according to the half diallel method. The families lacked of two mating pairs as complete half diallel set, therefore we analyzed data using a computer program, which was DIALLSM, suitable for uncompleted data as diallel cross. Result of analyzing with DIALLSM shows a significant of 0.1% level on the general combining ability of the modulus of elasticity, and no significant on both the general combining ability and the specific combining ability. The result was in contrast to results of previous papers that showed statistical significant of the specific combining ability on modulus of elasticity of *Cryptomeria japonica*. It seems that the difference between the result of this report and those of previous papers were due to narrow range of the variation of modulus of elasticity in parents clones of this material and also the parent clones were selected in limited area.

At result, Kuji 12 showed the largest value of general combining ability of the modulus of elasticity, which was 5.27, Tukuba 1 showed the second one which was 1.63, and Kitakata 1 showed the smallest one which was -4.72. And Kuji 12 also showed the largest value of the general combining ability of DBH. Therefore this result shows a possibility to attain the improvement of both MOE and DBH with the selection of parent clones.

(1) Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Taga, Ibaraki 319-1301 Japan

(2) Iriomote Tropical Tree Breeding Technical Garden, Forest Tree Breeding Center

36-5 Haeminaka, Taketomi, Yaeyama, Okinawa 907-1433 Japan