

トドマツ精英樹人工交配家系の初期成長における 遺伝パラメータの推定

生方 正俊⁽¹⁾・河野 耕藏⁽¹⁾・板鼻 直栄⁽¹⁾

Masatoshi UBUKATA⁽¹⁾, Koozo KOONO⁽¹⁾ and Naoei ITAHANA⁽¹⁾

Estimation of Genetic Parameters on Height Growth Using Artificial Mating Families between Plus Trees of *Abies sachalinensis*

要旨：トドマツの遺伝パラメータを推定するために、人工交配家系、自然受粉家系および自殖家系の試験地植栽後5年目および10年目の生存率と樹高の解析を行った。自殖家系は他殖家系に比べ生存率、成長が劣り、近交弱勢の存在が示唆された。8×8の完全ダイアレルクロスで得られた交配家系の解析において、一般組合せ能力は、5年目の樹高では有意でなかったが10年目では、有意差が認められた。これは、植栽直後は、植栽時の条件や植栽場所の環境要因が大きく作用しているが、時を経るにつれその家系のもつ本来の遺伝的な能力が発揮されるようになったためと考えられる。これにより集団選抜育種法は、トドマツにとって有効な育種法であることが実証された。また、交配に用いた親クロンの樹高と交配家系の樹高とに有意な相関が認められたことから、採種園の成長調査から、採種園の体質改善を行える可能性が示された。

1 はじめに

トドマツは、北海道の主要な造林樹種であり、造林面積、蓄積量とも全樹種中最大である⁵⁾。育種を進める際に育種対象形質の遺伝パラメータを推定し、この値から最適な育種法を選択し、育種種苗のさらなる品質向上を図る必要がある。本報告では、1981年に行われた、精英樹間の完全ダイアレル交配より得られた交配家系の成長調査結果をもとに、各種組合せ能力、遺伝率といった遺伝パラメータの推定を行うことを目的とした。またあわせて育種種苗の遺伝的向上の際に障害となる近交弱勢の推定も行った。

2 材料と方法

1981年に函館営林支局岩内営林署（現北海道森林管理局函館分局後志森林管理署）の発足採種園（岩内町）において、北海道営林局（現北海道森林管理局）直轄管内および函館営林支局管内から選抜された精英樹12クロンをを用いた人工交配が行われた⁹⁾。交配設計は、各クロンを雌性親および花粉親とする完全ダイアレル交配であり、自殖を含む144組合せの人工交配が行われた。同年秋に人工交配および自然受粉による球果が採種され、精選され

(1) 林木育種センター北海道育種場

〒069-0836 北海道江別市文京台緑町561

Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

561, Midori, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido 069-0836 Japan

た後、翌1982年春に北海道林木育種場（現林木育種センター北海道育種場）の苗畑に播種された。

人工交配および自然受粉家系の苗木は、5年間養苗後、1987年春に北海道営林局岩見沢営林署（現北海道森林管理局空知森林管理署）34林班ち、へ小班に植栽された。植栽方法は、筋状地拵えのため苗間1.5m、列間2mの二条植えであり、各系統の個体がランダムに配置される単木混交植栽である。植栽本数は9,728本、植栽面積は7.2haであり、2つの反復区に分かれている。

1987年の秋に活着調査を行い、1992年の春に植栽後5成長期経過後の樹高および各種被害を、1996年の秋に植栽後10成長期経過後の樹高および各種被害を調査した。この調査結果から、以下の解析を行った。

2.1 自殖家系の成長

植栽した全家系を対象に、植栽後5年目および10年目における自殖家系の生存率と樹高を他殖家系と比較した。

2.2 組合せ能力の推定

植栽した家系のうち、10年目の調査時に健全個体が多く、欠測値のない8×8の完全ダイヤレル交配の56組合せ（自殖家系を除く）を対象に、分散分析により組合せ能力の推定²⁾を行った。分析対象個体は、5年目の調査時において無被害だった個体のうち、10年目の調査時に生存しかつ無被害だった個体とした。試験地は隣接したA、B2つのブロックに分割されているが、ブロック間に大きな環境差は存在しないと考えられることや予備的に行った分散分析の結果、ブロック間差が認められなかったことから、ブロックを分けずに分析を行った。分散分析は、5年目、10年目の樹高および5年目から10年目までの成長量について、家系の平均値を用いた分散分析と個体の測定値を用い家系を要因とした一元配置の分散分析を組み合わせで行った¹⁾。

5年目、10年目の樹高および5年目から10年目までの成長量について各交配親クローンの一般組合せ能力をFalconerの方法³⁾を基に算出した。

2.3 遺伝率の推定

5年目、10年目の樹高および5年目から10年目までの成長量について、以下の4通りの遺伝率を推定した。

2.3.1 自然受粉家系の分散分析から推定した遺伝率

自然受粉家系について個体の測定値をデータとし、家系を要因とした分散分析を行った。家系間の平均平方をその期待成分に基づき、家系内個体数の本数代表値（調和平均値）を用いて家系間分散と誤差分散とに分割し、全分散に対する家系間分散の4倍を遺伝率とした¹⁾。

2.3.2 人工交配家系の分散分析から推定した遺伝率

2.2で行った分散分析により、一般組合せ能力分散、特定組合せ能力分散および家系内個体分散（誤差分散）を求め、これらを合計した全分散に対する一般組合せ能力分散の4倍を遺伝率として求めた。

2.3.3 雌性親クローンとその自然受粉家系との回帰から推定した遺伝率

北海道の育種対象樹種の採種園は、断幹を行わず自然型仕立てとなっているため各クローンの成長を評価するこ

とができる。人工交配が行われた発足採種園における20年目の成長調査結果¹³⁾から雌性親クロンの平均樹高を求め、各雌性親の子供群である自然受粉家系の平均樹高との回帰分析を行った。この回帰係数の2倍が遺伝率に相当するが、雌性親クロン間の分散と自然受粉家系間の分散が異なるため、Wrightの方法¹³⁾により標準化された回帰係数を求め、これを2倍して遺伝率とした。

2.3.4 両親クロンとその人工交配家系との回帰から推定した遺伝率

上記の2.3.3と同様に、両親クロンの樹高平均値（平均親）と人工交配家系の樹高平均値との回帰係数を求め、これを標準化したものを遺伝率とした。

3 結 果

植栽された全個体の被害、枯損状況を図1に示す。9,728本植栽されたが、植栽後10年目までに生存し被害を受けていない個体は、そのうちの約半数の4,756本（48.9%）であった。この10年目まで被害を受けなかった個体について、5年目の系統別平均値および標準偏差を表1に、10年目を表2に、5年目から10年目までの成長量および標準偏差を表3に示す。全体の平均樹高は、5年目が121.9cm（標準偏差38.8cm）、10年目が308.0cm（標準偏差98.4cm）であり、5年目から10年目までの平均成長量は、169.8cm（標準偏差71.4cm）であった。交配家系別のこれらの3つの成長量についての関係を、図2、3、4に示す。5年目と10年目の樹高、10年目の樹高と5年目から10年目までの成長量の間には、高い相関（それぞれ相関係数；0.846, 0.953）が認められたが、5年目の樹高と5年目から10年目までの成長量との間の相関は比較的低かった（相関係数；0.471）。

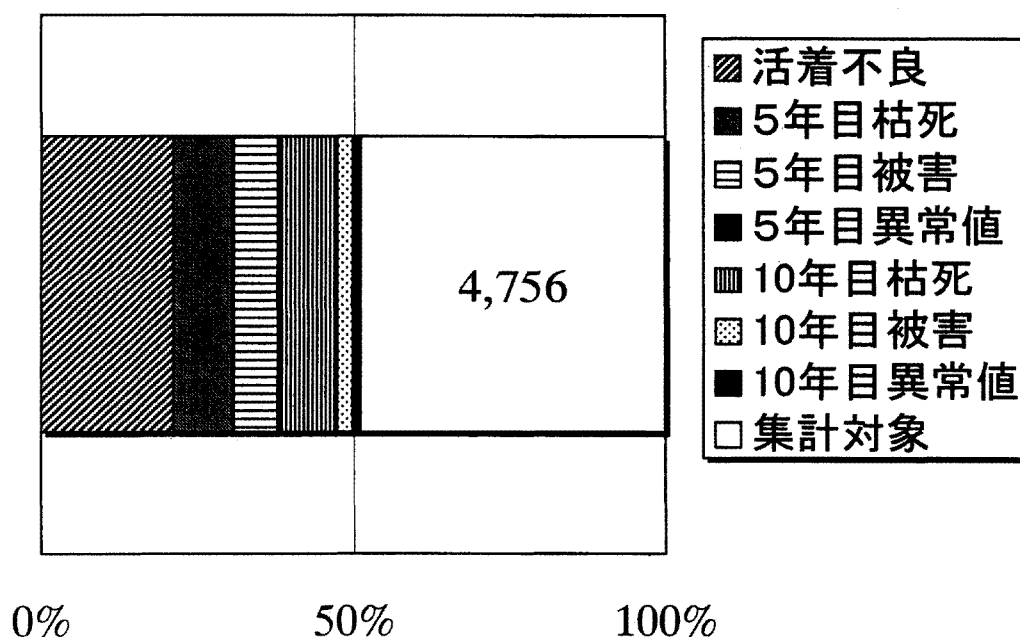


図1. 試験値全体の被害、枯損状況

図中の数字は、集計対象個体数を示す。

表1. 交配家系別の5年目の平均樹高および標準偏差

雌性親 (cm)		花 粉 親												雌性親全体	
		俄 虫 104	俄 虫 105	俄 虫 106	岩 内 105	岩 内 106	札 幌 101	大夕張 102	苫小牧 3	苫小牧 4	白 老 8	白 老 9	余 市 3	自然受粉	
俄 虫 104	平均	113.9	118.4	118.7	104.6	103.6	149.7	127.8	130.6	116.9	118.7	119.5	119.0	129.4	120.2
	標準偏差	37.0	35.4	35.8	30.3	26.3	44.1	43.2	39.4	40.3	34.6	45.4	36.3	43.4	39.6
俄 虫 106	平均	116.8		107.6	110.2	120.5		136.9	130.2	132.9	106.1	116.6	103.6	138.4	119.2
	標準偏差	31.1		28.0	27.3	35.7		33.2	36.4	32.0	29.6	38.0	31.4	40.1	35.4
岩 内 105	平均	125.4	131.8	117.4	120.0	107.4	119.3	99.5	115.4	99.8	125.7	106.8	101.6	110.6	114.4
	標準偏差	35.5	30.3	29.7	10.0	28.8	36.1	27.8	32.7	26.1	33.5	30.4	23.8	35.1	32.7
岩 内 106	平均	105.6	116.6	111.4	101.7		131.5	109.2	108.4	118.9	117.2	111.0	139.8	130.1	116.2
	標準偏差	31.6	33.7	28.2	25.2		43.9	31.1	30.0	39.1	34.0	32.8	33.5	46.2	35.6
大夕張 102	平均	140.0	131.3		133.3	133.4	139.3		131.7	134.7	127.9	128.0	120.5	134.6	132.1
	標準偏差	39.4	42.2		32.4	46.4	42.9		42.8	44.9	46.5	45.5	36.3	44.1	43.1
苫小牧 3	平均	128.7		123.8	112.8	123.2		126.7		112.9	116.7	109.9	111.1	119.4	118.6
	標準偏差	38.1		33.5	31.7	36.3		41.7		40.1	46.7	38.7	36.6	38.5	39.4
苫小牧 4	平均	119.9		123.4	103.0	120.9		145.0	141.1	102.8	117.4	126.8	120.3	157.1	123.8
	標準偏差	43.1		39.3	33.6	38.4		28.2	46.3	30.4	41.7	44.2	38.7	38.5	42.3
白 老 8	平均	122.4	125.3	126.6	117.2	133.6	136.3	138.8	128.7	138.4	105.2	119.7	129.7	134.8	127.1
	標準偏差	41.8	47.7	39.9	31.4	42.4	38.6	31.9	38.1	40.8	23.8	40.9	28.8	36.2	39.4
白 老 9	平均	123.6		120.1	104.6	119.2		134.9	139.1	128.0	129.0	79.0	127.1	147.7	124.6
	標準偏差	44.1		34.6	23.6	37.9		43.6	32.5	38.9	35.8	18.1	37.1	48.4	39.9
余 市 3	平均	119.8	115.2	123.0	106.5	115.5	124.4	124.8	114.3	122.4	130.0	117.8	110.1	112.0	119.3
	標準偏差	38.5	30.7	39.1	25.2	33.6	37.2	36.7	28.6	33.8	41.4	39.7	26.1	33.7	35.8
花粉親全体	平均	121.3	122.9	119.5	109.7	118.7	134.4	126.1	126.7	123.9	121.3	116.2	120.9	131.7	121.9
	標準偏差	39.2	38.1	35.3	30.1	37.6	41.8	39.1	38.2	39.6	39.0	40.8	36.2	43.4	38.8

表2. 交配家系別の10年目の平均樹高および標準偏差

雌性親 (cm)		花 粉 親													雌性親全体
		俄 虫 104	俄 虫 105	俄 虫 106	岩 内 105	岩 内 106	札 幌 101	大 夕 張 102	苫 小 牧 3	苫 小 牧 4	白 老 8	白 老 9	余 市 3	自然受粉	
俄 虫 104	平均	260.6	277.5	265.8	228.1	264.2	344.7	268.1	314.3	281.0	277.7	287.8	273.3	280.7	313.1
	標準偏差	89.5	75.5	75.2	62.5	79.3	109.9	88.9	91.2	88.7	86.1	91.2	98.7	91.9	105.0
俄 虫 106	平均	268.1		267.9	260.2	281.1		281.7	315.6	324.9	268.1	289.9	244.8	281.4	307.5
	標準偏差	70.7		84.4	58.0	94.7		86.5	86.6	89.8	79.4	97.2	60.7	86.4	89.4
岩 内 105	平均	310.6	300.4	264.7	293.5	271.6	294.0	270.0	260.7	235.9	282.3	266.8	232.4	273.6	253.0
	標準偏差	103.8	95.7	66.2	29.5	79.4	82.0	116.5	78.3	61.1	79.5	73.1	55.1	85.5	59.6
岩 内 106	平均	249.6	277.8	273.6	239.3		324.2	275.5	276.1	291.4	280.6	277.9	297.7	279.2	309.7
	標準偏差	79.2	93.4	73.1	59.2		82.2	86.5	90.2	91.6	93.4	91.4	91.6	88.3	88.9
大 夕 張 102	平均	322.7	291.4		305.4	304.3	339.5		309.8	329.2	319.7	312.6	265.3	311.0	325.9
	標準偏差	92.6	100.4		70.2	121.8	107.3		97.0	92.4	106.2	109.6	79.0	102.3	94.9
苫 小 牧 3	平均	315.6		302.3	275.3	301.4		306.0		281.5	292.4	270.0	286.9	294.8	313.1
	標準偏差	108.5		85.9	153.7	95.8		70.4		108.1	103.4	85.6	87.1	100.8	106.7
苫 小 牧 4	平均	295.3		297.3	249.0	309.8		321.4	355.9	257.2	326.9	329.7	297.8	311.1	381.6
	標準偏差	97.7		105.8	83.6	95.6		84.6	111.2	66.8	110.5	103.4	96.4	104.2	82.2
白 老 8	平均	297.1	300.3	310.8	276.4	319.3	349.9	344.6	345.7	338.5	227.8	311.9	311.4	313.2	336.3
	標準偏差	96.1	101.4	99.0	82.0	86.4	107.8	83.2	82.3	99.5	71.7	104.2	93.1	98.8	85.3
白 老 9	平均	290.0		299.6	256.6	287.3		305.6	344.7	318.4	334.8	216.3	289.3	300.3	312.8
	標準偏差	95.0		87.4	73.5	90.9		95.8	89.6	97.6	93.2	104.4	84.5	96.4	106.4
余 市 3	平均	270.4	266.4	266.2	249.1	276.5	289.5	263.9	278.8	279.7	303.3	281.0	211.7	274.1	242.5
	標準偏差	85.4	67.8	89.0	69.4	77.5	80.4	70.2	68.1	63.5	95.7	89.2	48.1	80.3	82.6
花粉親全体	平均	287.5	284.9	285.2	258.6	287.3	325.3	289.0	310.3	300.4	297.5	290.1	279.7	291.7	308.0
	標準偏差	95.5	90.6	88.2	82.0	93.7	100.4	90.7	94.0	92.8	97.6	99.5	88.3	94.6	98.4

表3. 交配家系別の5年目から10年目までの平均成長量および標準偏差

雌性親 (cm)		花 粉 親													雌性親全体
		親虫104	親虫105	親虫106	岩内105	岩内106	札幌101	大夕張102	苫小牧 3	苫小牧 4	白 老 8	白 老 9	余 市 3	自然受粉	
俄 虫 104	平均	146.7	159.2	147.2	123.5	160.5	195.0	140.4	183.7	164.1	158.9	168.3	154.3	183.7	160.5
	標準偏差	62.7	55.5	53.6	48.8	66.8	76.5	58.3	72.3	64.5	69.4	61.6	72.5	74.2	66.8
俄 虫 106	平均	151.3		160.3	150.0	160.6		144.8	185.4	192.0	162.0	173.3	141.2	169.0	162.2
	標準偏差	56.8		66.1	45.7	70.7		65.8	86.5	73.7	59.9	74.0	42.4	62.1	66.8
岩 内 105	平均	185.2	168.6	147.3	173.5	164.2	174.7	170.5	145.3	136.1	156.5	160.0	130.8	142.3	159.2
	標準偏差	80.0	74.6	58.7	39.5	69.2	57.5	105.9	58.9	48.2	61.0	63.4	48.0	43.9	69.0
岩 内 106	平均	144.0	161.2	162.2	137.6		192.6	166.3	167.7	172.5	163.5	166.8	157.9	179.6	163.0
	標準偏差	59.6	72.7	61.9	57.1		58.9	68.8	74.8	70.4	74.9	71.7	67.9	54.7	67.9
大夕張 102	平均	182.7	160.1		172.0	170.9	200.2		178.1	194.4	191.9	184.6	144.8	191.3	178.9
	標準偏差	67.1	69.8		63.6	84.0	80.0		70.8	65.0	75.9	83.4	57.8	70.5	74.7
苫小牧 3	平均	186.9		178.5	162.5	178.3		179.3		168.5	175.6	160.1	175.8	193.7	176.2
	標準偏差	89.6		62.1	137.7	67.3		57.8		72.9	79.7	67.7	59.9	75.5	78.3
苫小牧 4	平均	175.5		173.9	146.1	188.9		176.4	214.8	154.4	209.5	203.0	177.4	224.5	187.2
	標準偏差	64.6		75.9	57.7	75.5		66.7	73.5	47.1	79.5	75.3	75.1	57.5	74.5
白 老 8	平均	174.7	175.0	184.1	159.2	185.7	213.6	205.7	217.0	200.1	122.6	192.2	181.8	201.6	186.1
	標準偏差	73.5	72.5	72.4	64.3	54.9	82.7	66.3	66.4	68.4	58.9	78.1	82.3	75.0	75.1
白 老 9	平均	166.4		179.5	152.0	168.1		170.7	205.6	190.4	205.8	137.3	162.2	165.1	175.7
	標準偏差	68.0		67.1	64.0	65.6		64.7	68.3	77.6	75.1	106.1	63.0	68.3	72.8
余 市 3	平均	150.6	151.2	143.2	142.6	161.0	165.1	139.0	164.5	157.3	173.3	163.3	101.6	130.6	154.9
	標準偏差	61.1	51.8	62.1	63.0	58.2	62.5	52.1	59.9	51.3	68.1	75.3	30.4	58.3	62.2
花粉親全体	平均	166.2	162.0	165.7	148.9	168.6	190.9	162.9	183.5	176.5	176.3	173.9	158.7	176.4	169.8
	標準偏差	71.0	66.7	66.7	68.2	69.7	74.1	69.5	73.0	68.8	74.8	76.9	66.8	69.4	71.4

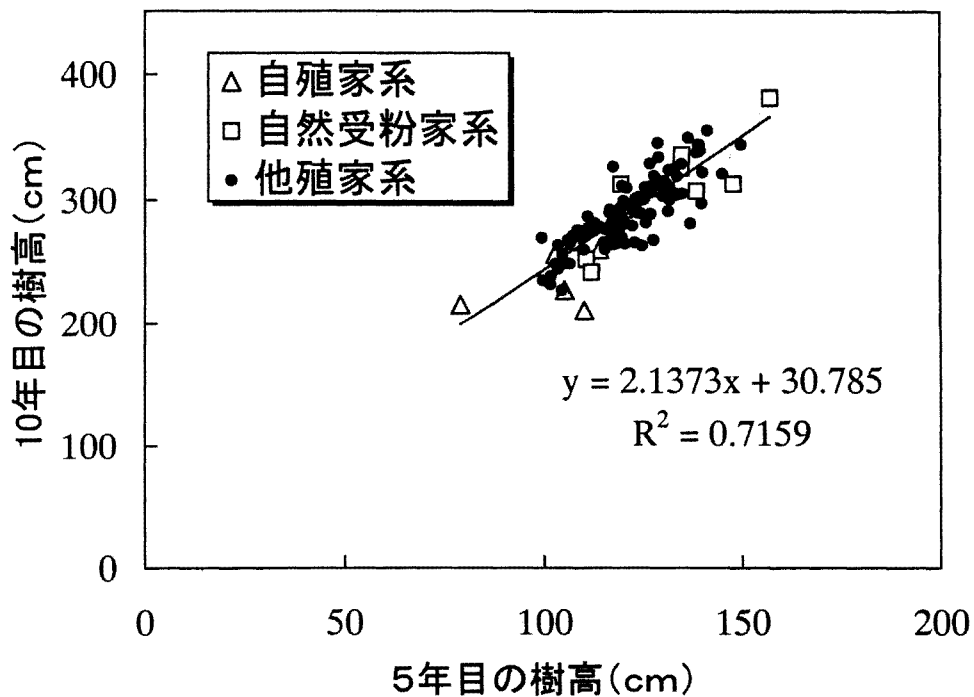


図2. 交配家系別の5年目と10年目の樹高の比較

図中の式は回帰式を示し、 R^2 は決定係数を示す。

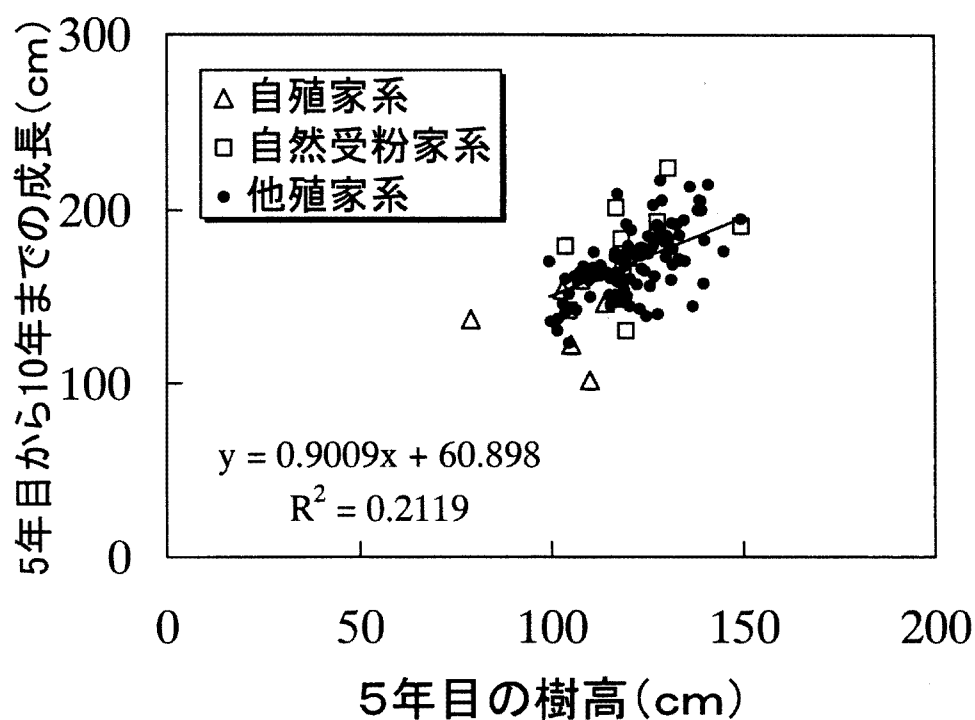


図3. 交配家系列の5年目の樹高と5年目から10年目までの成長との関係
図中の式は回帰式を示し、 R^2 は決定係数を示す。

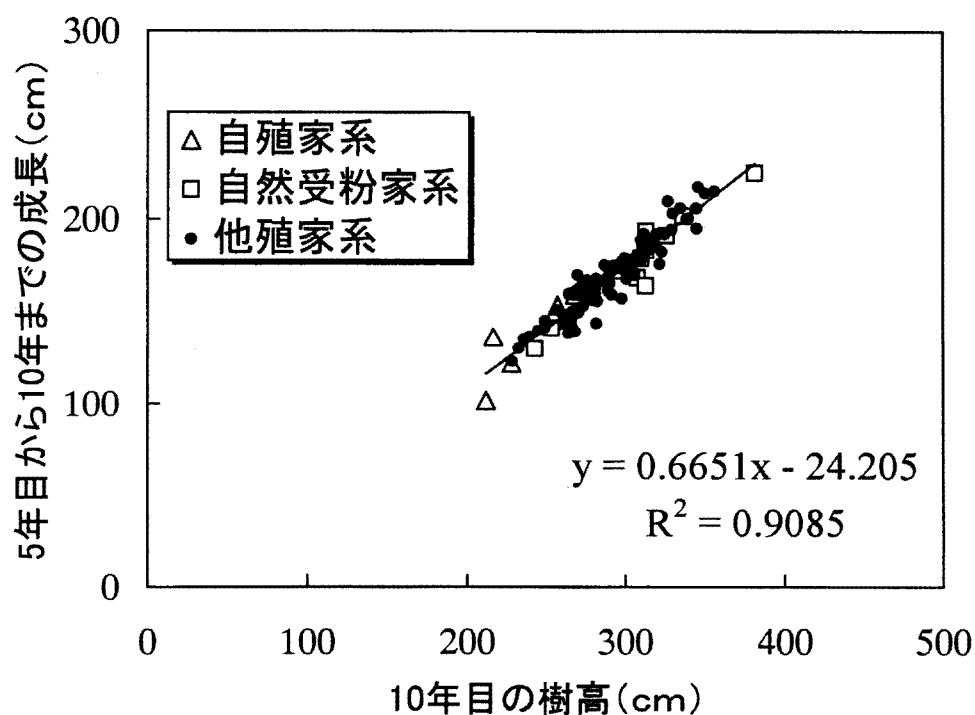


図4. 交配家系列の10年目の樹高と5年目から10年目までの成長との関係
図中の式は回帰式を示し、 R^2 は決定係数を示す。

3.1 自殖家系の成長

図5に自殖家系と他殖家系の植栽後10年目での生存率を交配雌性親別に示す。大夕張102の自殖では、人工交配時に種子が生産されず^{*)}、岩内106および苫小牧3の自殖家系は、養苗段階で個体数が激減したため、もともと試験地に植栽されていない。他殖家系の平均生存率は59.0%、自殖家系の平均生存率は36.9%であり、対になった標本による平均値の t 検定により、両者間に有意差が認められた(t 検定; $p < 0.05$)。自殖家系および他殖家系の生存率の推移を図6に示す。各調査時の他殖家系の生存率を100としたときの自殖家系の生存率は、活着時が77、5

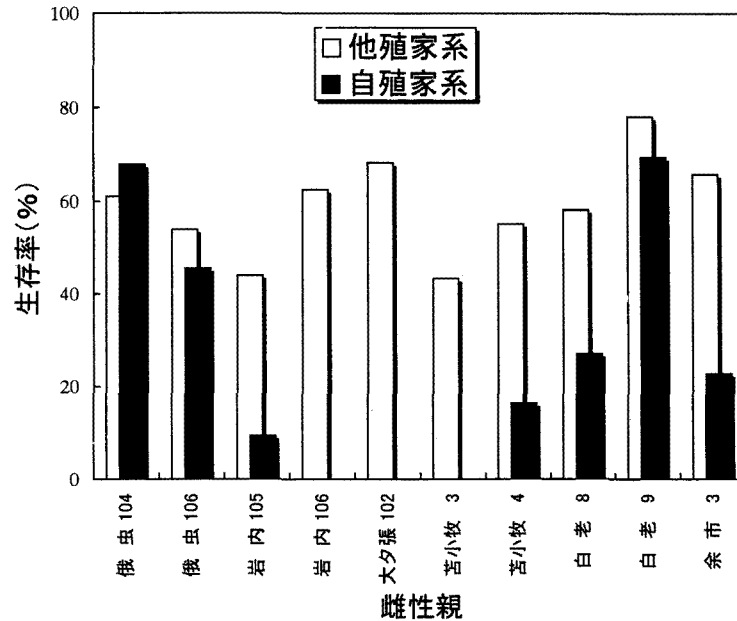


図5. 交配雌性親の10年目の生存率

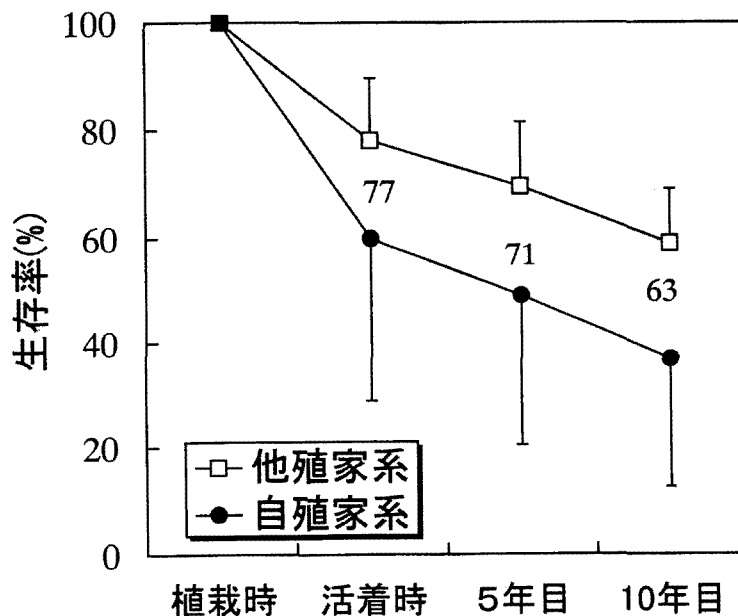


図6. 自殖家系および他殖家系の生存率の推移

エラーバーは、標準偏差を示し、図中の数字は他殖家系の生存率に対する自殖家系の生存率の割合を示す。

年目が71, 10年目が63と時間が経過するにつれ低下する傾向がみられた。また, 自殖家系の生存率の標準偏差が大きく, 家系によって生存率の差が大きいことがわかった。交配雌性親別に自殖家系および他殖家系の平均樹高を比較した(図7)。自殖家系のある7雌性親のうち岩内105を除く6雌性親で他殖家系に比べ自殖家系の樹高が低かった。このうち苦小牧4, 白老8, 白老9および余市3の4家系で自殖家系と他殖家系との間に有意な差が認められた(t 検定; $p < 0.05$)。植栽5年目と10年目について, 交配雌性親別の自殖および他殖家系の平均樹高の関係を図8に示す。両調査時とも岩内105を除いた6家系が他殖家系に比べ自殖家系の樹高が低かった。他殖家系の平均樹

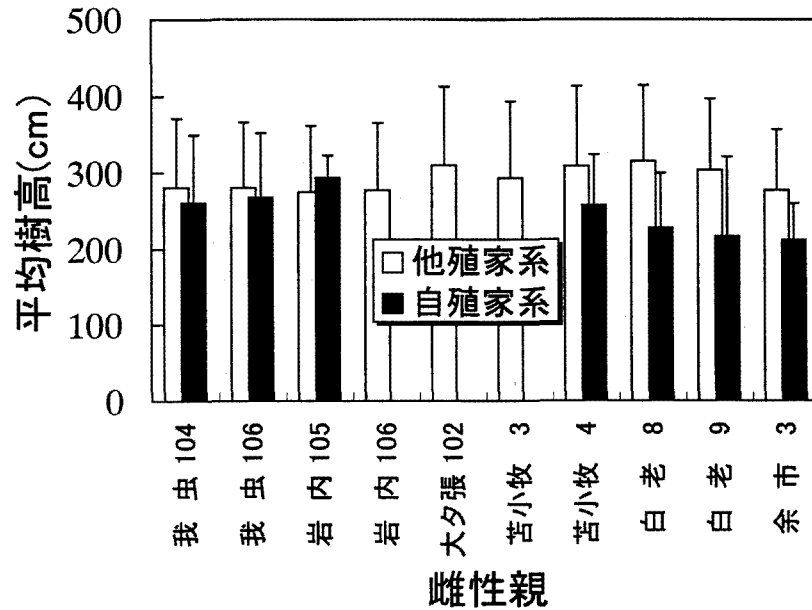


図7. 交配雌性親の10年目の樹高

エラーバーは, 標準偏差を示す。

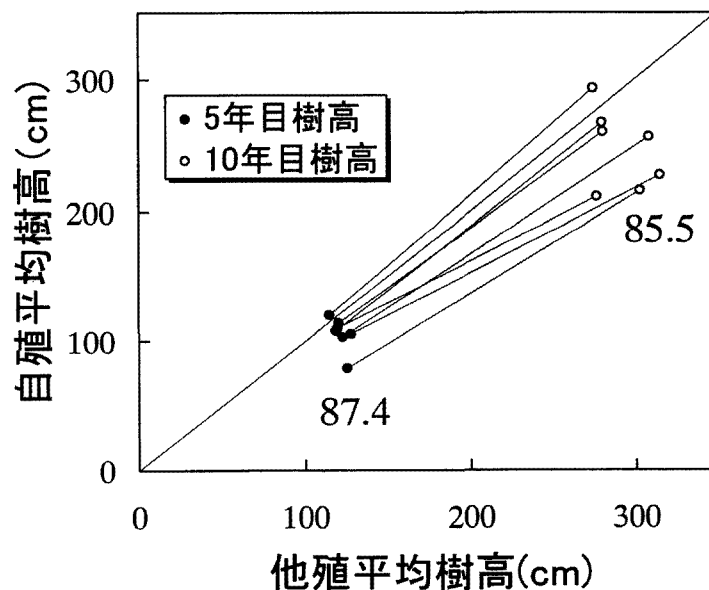


図8. 交配雌性親別の自殖家系と他殖家系の平均樹高の比較

図内の数字は, 各調査年における交配雌性親別の他殖家系の樹高に対する自殖家系の樹高の割合の平均を示す。

表 4. 8 × 8 完全ダイアレルクロスによる調査年次別の分散分析表

5年目樹高

要因	自由度	平方和	平均平方	F
一般組合せ能力	7	651.86	93.12	1.41
特定組合せ能力	20	1325.06	66.25	1.86
一般的な正逆交雑の差	7	863.05	123.29	1.77
特定組合せにおける正逆交雑の差	21	1460.36	69.54	1.96 *
全体	55	4300.33		
家系内個体	2458	3476603.57	1414.40	

10年目樹高

要因	自由度	平方和	平均平方	F
一般組合せ能力	7	16835.36	2405.05	10.18 **
特定組合せ能力	20	4722.86	236.14	1.12
一般的な正逆交雑の差	7	5631.88	804.55	3.01 *
特定組合せにおける正逆交雑の差	21	5607.88	267.04	1.26
全体	55	32797.97		
家系内個体	2458	20663336.24	8406.56	

5年目から10年目までの成長量

要因	自由度	平方和	平均平方	F
一般組合せ能力	7	11470.22	1638.60	19.37 **
特定組合せ能力	20	1692.01	84.60	0.69
一般的な正逆交雑の差	7	2450.80	350.11	3.24 *
特定組合せにおける正逆交雑の差	21	2270.05	108.10	0.88
全体	55	17883.09		
家系内個体	2458	20663336.24	8406.56	

家系ごとの本数代表値 : 39.78

**は1%水準で, *は5%水準で有意差が認められたことを示す。

高を100としたときの自殖家系の割合は、5年目が87.4、10年目が85.8であった。

3.2 組合せ能力の推定

自殖を除いた、 8×8 の完全ダイヤレル交配家系について、家系平均値を用いた分散分析と個体データを用いた分散分析の結果を表4に示す。10年目の樹高および5年目から10年目までの成長量では、一般組合せ能力 ($p < 0.01$) と一般的な正逆交雑の差 ($p < 0.05$) に有意差が認められたが、5年目の樹高では、特定組合せにおける正逆交雑の差 ($p < 0.05$) のみに有意差が認められた。5年目の樹高、10年目の樹高および5年から10年目までの成長量について一般組合せ能力を計算した (表5)。5年目および10年目の樹高と5年から10年目までの成長量において、上位の4クローンは順位の変動がなく、下位の4クローンで順位の入れ替わりがみられた。この一般組合せ能力から算出された各交配家系の期待値と観察値との関係を、5年目の樹高を図9に、10年目の樹高を図10に、5

表5. 調査形質別に算出された一般組合せ能力

クローン名	5年目樹高	10年目樹高	5年から10年目までの成長
俄 虫 104	-2.80	-14.99	-12.19
俄 虫 106	-1.99	-10.18	-8.19
岩 内 106	-4.06	-11.97	-7.91
苦小牧 3	1.77	12.58	10.81
苦小牧 4	3.57	16.49	12.93
白 老 8	3.06	15.67	12.62
白 老 9	0.82	6.84	6.02
余 市 3	-0.36	-14.44	-14.08

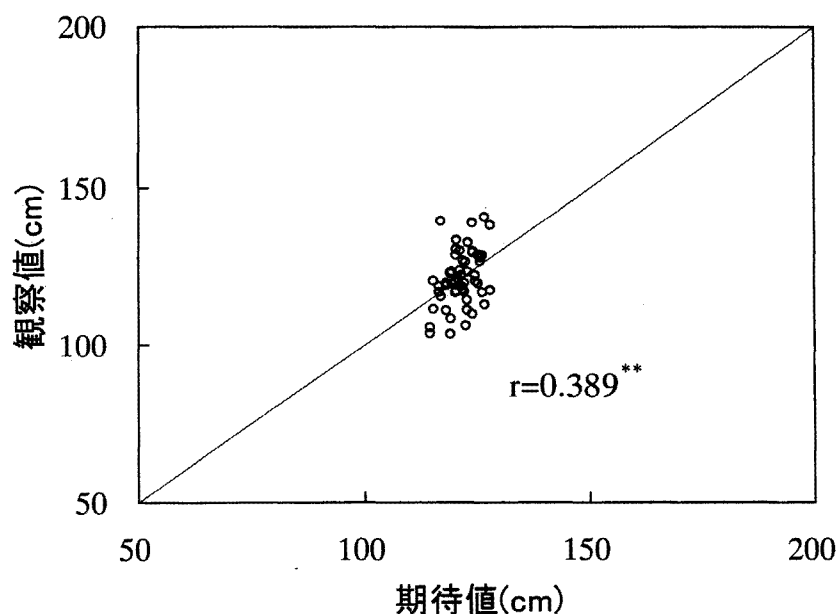


図9. 5年目の樹高における観察値と一般組合せ能力から推定された期待値との関係

図中の r は相関係数を示し、**は、1%水準で有意な相関がみられたことを示す。

年から10年目までの成長量を図11に示す。 $y = x$ の回帰直線からの偏りは、特定組合せ能力と誤差を表している³⁾。一般組合せ能力に有意差の認められた10年目の樹高と5年から10年目までの成長量は、相関が高かった（それぞれ相関係数0.716； $p < 0.001$ ，0.801； $p < 0.001$ ）が、有意差が認められなかった5年目の樹高では、比較的低かった（相関係数0.389； $p < 0.01$ ）。

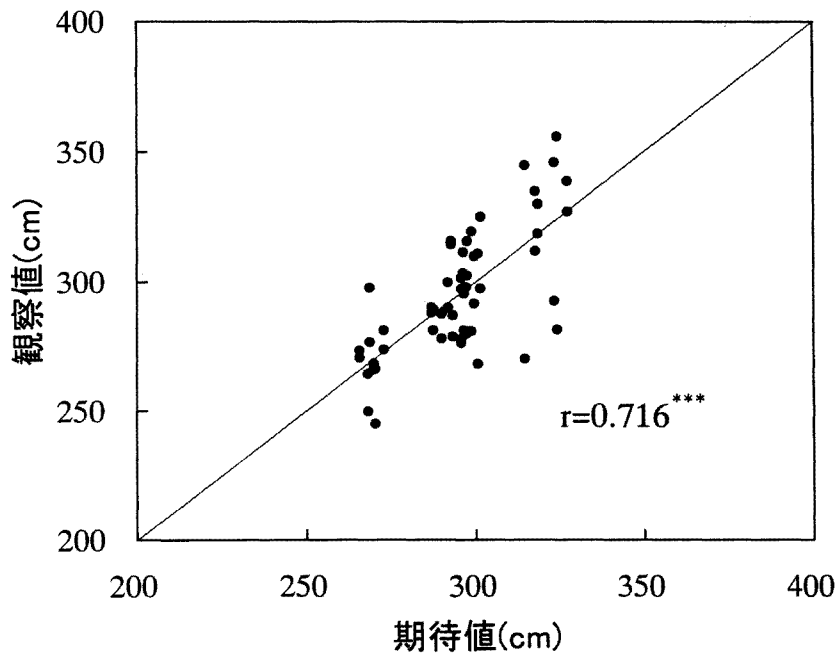


図10. 10年目の樹高における観察値と一般組合せ能力から推定された期待値との関係

図中の r は相関係数を示し，***は，0.1%水準で有意な相関がみられたことを示す。

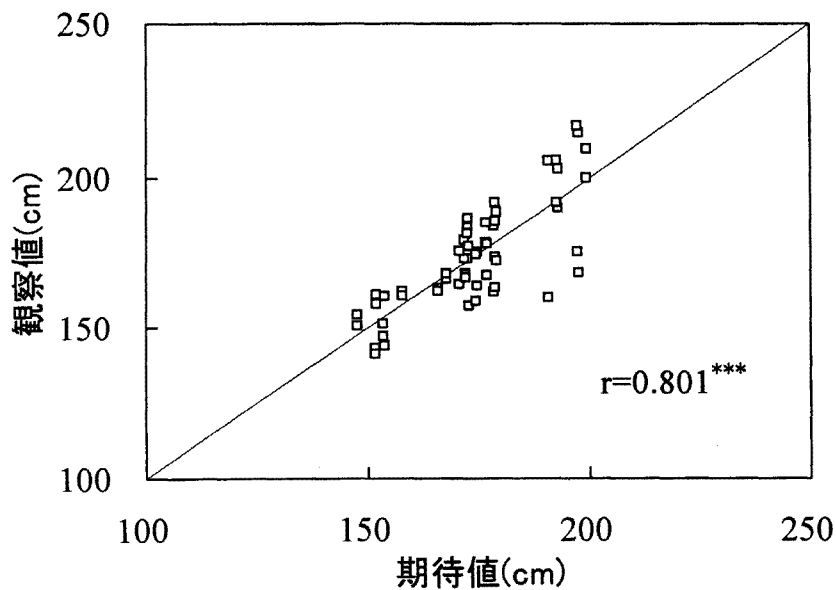


図11. 5年目から10年目までの成長量における観察値と一般組合せ能力から推定された期待値との関係

図中の r は相関係数を示し，***は，0.1%水準で有意な相関がみられたことを示す。

3.3 遺伝率の推定

各雌性親の自然受粉家系による個体をデータに家系を要因にした分散分析の結果を表6に示す。5年目および10年目の樹高、5年から10年目の成長量のすべてにおいて、系統間に有意差が認められた ($p < 0.01$)。この分散分析から求めた遺伝率および、3.2において行った人工交配家系の分散分析から求めた遺伝率を表7に示す。

発足採種園での雌性親クロンの20年目の樹高の平均とその自然受粉家系のそれぞれの樹高の平均との関係を図12に示す。5年の樹高（相関係数0.182）、10年目の樹高（相関係数0.478）および5年から10年目までの成長量（相関係数0.595）のすべてにおいて、両者間の相関係数は有意でなかった。遺伝率は、10年目の樹高で高く、5年目の樹高で著しく低かった（表8）。両親クロンの平均樹高とその人工交配家系の平均との関係を図13に示す。5年の樹高（相関係数0.355 ; $p < 0.01$ ）、10年目の樹高（相関係数0.521 ; $p < 0.001$ ）および5年から10年目までの

表6. 自然交配家系による調査年次別の分散分析表

5年目樹高				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統間	10	46133.19	4613.32	2.583**
誤差	254	453714.24	1786.28	
全体	264	499847.43		

10年目樹高				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統間	10	315428.68	31542.87	3.560**
誤差	254	2250665.87	8860.89	
全体	264	2566094.54		

5年目から10年目までの成長量				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統間	10	161189.39	16118.94	3.671**
誤差	254	1115335.12	4391.08	
全体	264	1276524.51		

**は1%水準で有意差が認められたことを示す。

表7. 自然授粉家系および人工交配家系の分散分析から推定された遺伝率

	5年目樹高	10年目樹高	5年目から10年目までの成長量
自然授粉家系	0.234	0.366	0.380
人工交配家系	0.006	0.084	0.104

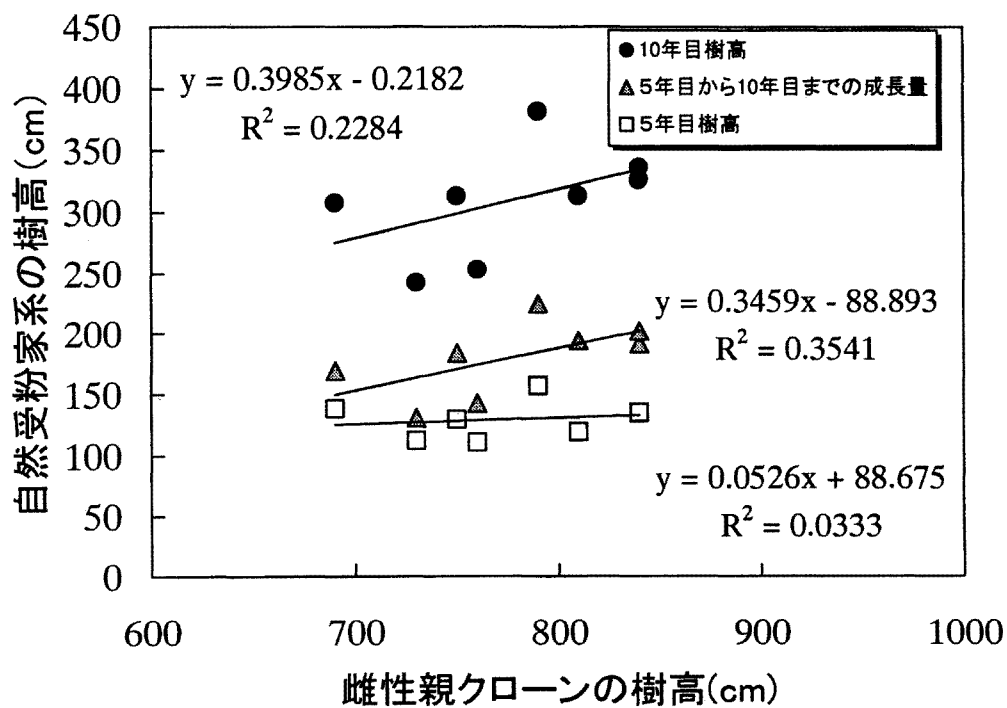


図12. 交配に用いた雌性親クローンの樹高とその自然授粉家系の樹高との関係

図中の式は回帰式を示し、 R^2 は決定係数を示す。

成長量（相関係数0.539； $p < 0.001$ ）のすべてにおいて、両者間の相関係数は有意であった。遺伝率は、自然授粉家系から求めたものと同様に、10年目の樹高で高く、5年目の樹高で著しく低かった（表8）。

表8. 自然授粉家系および人工交配家系の親子相関から推定された遺伝率

	5年目樹高	10年目樹高	5年目から10年目までの成長量
自然受粉家系	0.030	0.665	0.402
人工交配家系	0.040	0.417	0.224

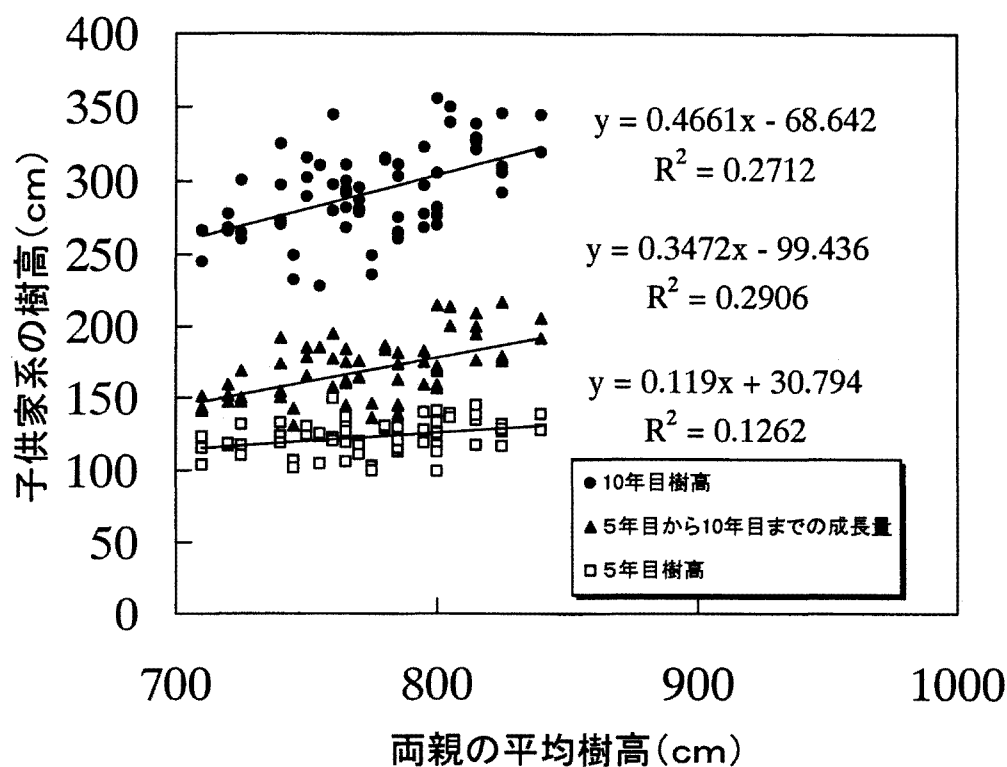


図13. 交配に用いた両親クローンの平均樹高とそれらの人工交配家系の樹高との関係

図中の式は回帰式を示し、 R^2 は決定係数を示す。

4 考 察

本試験地において、枯損および各種被害を受けて解析の対象外となった個体は、活着率調査時点で21%、植栽5年目の調査時点で17%（累積38%）、10年目の調査時点で12%（累積50%）となり、解析に用いることができた個体は、植栽個体数の約半分だった。しかし単木混交植栽であったため、被害や枯損が各家系に分散し、 8×8 の完全ダイアレルクロスの家系では、平均個体数が44.8本であり、20本以下となった家系はわずか2家系にとどまった。当試験地は、筋状地拵えのため面積が7.2haと広く、沢や尾根など地形が複雑であり、通常の乱塊法に従った設計であれば解析の対象外となる家系が多くでることが予想され、各種遺伝パラメータの推定は不可能だったと考えられる。

トドマツにおける近親交配の研究は、自殖、近隣木間、遠隔地木間の交配および自然受粉で得られた個体の14年間の樹高成長を解析したもの⁶⁾やクローン集植所における自家受粉、他家受粉および自然受粉による種苗の特性を解析したもの⁴⁾などが知られている。また、本報告で用いた材料の苗畑段階の研究として、苗高と遺伝的変異苗の解析⁸⁾が行われている。上記の研究では、自殖の苗木生産や成長量に対する悪影響や形態異常苗の出現が報告されている。

試験地植栽後10年目の調査時点ではほとんどの雌性親クローンにおいて、他殖家系に比べ自殖家系の生存率や成長は劣っており、近交弱勢の影響と考えられる。他殖家系の平均樹高に対する自殖家系の平均樹高の割合は、植栽後5年目で87.4%、10年目で85.5%とやや減少した。また自殖家系の生存率の他殖家系に対する割合は、時を経るごとに減少した。門松らも、自殖家系と他殖家系の樹高の差が顕著になる傾向を報告⁶⁾している。以上からトドマツの場合、時間の経過とともに近交弱勢が強まることが示唆された。

本報告と同一の材料を用いて、苗畑段階での子葉数¹⁰⁾、苗高⁷⁾、試験地植栽後5年目の樹高¹²⁾について、特定組合せ能力が高く、一般組合せ能力に有意差が認められないことが報告されている。しかし、10年目の樹高では逆に一般組合せ能力に著しい有意差が認められ、特定組合せ能力に有意差は認められなくなった。また今回、人工交配家系と自然受粉家系を用いて、4種類の遺伝率を算出したが、どの方法によっても10年目の遺伝率が5年目に比べ著しく高く推定された。以上のことは、植栽後数年までは、床替え、移動などにより環境が変化し、家系が持つ遺伝的な能力を発揮できないことが原因となっていると考えられる。

トドマツは、スギやヒノキと同様に、選抜した多数の精英樹クローンからなる採種園を造成し、そこからの種苗を供給するといった集団選抜育種法がとられている。このような育種法の場合、育種対象形質は、相加的な遺伝分散が大きいことが望ましい。この相加的な遺伝分散は、一般組合せ能力の分散に起因しており、優性分散等の非相加的な分散は、特定組合せ能力の分散を反映している¹⁴⁾。非相加的な遺伝分散が大きい場合には、優良個体からの増殖は、無性繁殖や有利な組合せの得られるような新たな採種園の設計が必要となる。今回8×8という限られた材料ではあるが、従来の育種法を支持する結果が得られたことは、今後のトドマツの育種方針を立てる上で重要と考えられる。

両親クローンの平均樹高とその交配家系の樹高の間に有意な相関係数が得られ、遺伝率も0.417と比較的高く推定された。前述したとおり北海道のトドマツやアカエゾマツの採種園は、断幹を行わず自然型仕立てになっている。このクローンの成長からある程度、次代の成長を予測できることがわかった。トドマツの場合、次代検定林で検定できるクローン数が比較的限られている。採種園でのクローンの成長から体質改善を行うことができる可能性が示されたことは、育種種苗のさらなる品質の向上にとって良い情報である。

今後ともこの試験地で成長量の調査を進めるほか、材質等の調査を行い、材質形質の遺伝パラメータを推定していく必要がある。また、多くの交配組合せがある育種集団林の造成を予定しているが、これらの調査結果を総合して、さらにトドマツの遺伝情報を集積し、より効果の高い育種手法を選択していく必要がある。

謝 辞

試験地調査にあたって、旧岩見沢営林署（現空知森林管理署）の職員各位に大変お世話になった。特に10年目の調査は降りしきる雪の中行われた。調査に関係した方々に心からお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 明石孝輝：スギの遺伝母数の推定に関する研究，林業試験場研究報告，349，1～70（1987）
- 2) 明石孝輝：次代検定林のデータ処理と交配設計，林木育種協会，147pp，（1988）
- 3) Falconer, D. S. : Introduction to Quantitative Genetics (Third Edition). Longman Group. London. (1989)
（量的遺伝学入門（原書第3版），田中嘉成・野村哲郎共訳，蒼樹書房，546pp，（1993））
- 4) 畠山末吉・石倉信介：“天然林の生態遺伝と管理技術の研究” 北方林業会，283～305（1983）
- 5) 北海道水産林務部：平成9年度北海道林業統計，195pp（1998）
- 6) 門松昌彦・工藤 弘・野田真人・夏目俊二・菅野高穂：トドマツの自殖苗の14年間の樹高成長，日林誌，79，119～122（1997）
- 7) 河野耕蔵：北方樹種のダイアレルクロスと広葉樹の交配技術，林木の育種，152，11～15（1989）
- 8) 河野耕蔵・栄花 茂：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅳ）—トドマツ自殖家系苗の生長と遺伝的変異苗の出現—，日林論，96，293～294（1985）
- 9) 河野耕蔵・栄花 茂・中戸川仁：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅰ）—トドマツの交配家系における葉緑素変異苗の分離—，日林論，94，267～268（1983）
- 10) 河野耕蔵・栄花 茂・中戸川仁：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅱ）—トドマツの交配家系における子葉数の遺伝的変異—，日林北支講，32，110～112（1984）
- 11) 生方正俊・飯塚和也：トドマツ採種園の成長形質に関するクローン評価，林育セ北海道年報，17，42～52（1996）
- 12) 生方正俊・河野耕蔵・奥山和彦・板鼻直栄：トドマツ精英樹交配家系の初期成長における組合せ能力の推定，日林論，104，421～422（1993）
- 13) Wright, J. W. : Introduction to Forest Genetics, Academic Press, (1976)
- 14) 山本千秋・大庭喜八郎：“林木育種学” 勝田 証・大庭喜八郎編，文永堂出版，94～115（1991）

Estimation of Genetic Parameters on Height Growth Using Artificial Mating Families between Plus Trees of *Abies sachalinensis*

Masatoshi UBUKATA ⁽¹⁾, Koozo KOONO ⁽¹⁾ and Naoei ITAHANA ⁽¹⁾

Summary : In order to estimate the genetic parameters on height growth of *Abies sachalinensis*, tree height and survival rate were investigated in progenies of controlled pollination, open pollination and self-reproduction in 5-year-old and 10-year-old stands. Since the progenies of self-reproduction were smaller than the progenies of crossing and the survival rate of the former was lower than that of the later, it was suggested that this species had the inbreeding depression. From the result of 8×8 full-diallel analysis, the general combining ability was significance at 10-year-old stand, but at 5-year-old stand that ability was no significance. This was thought that the effect of environmental factor was bigger than the effect of genetic factor at directly after the planting and the genetic characteristics of individual progenies appeared as the age. On account of the general combining ability was significance, it was clear that the breeding by mass selection was effective method in this species. As the correlation coefficient between tree height of parent clones and that of progenies, it was suggested that the seed orchard in this species could improve using the investigation of growth at the seed orchard.

(1) Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
561, Midori, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido 069-0836 Japan