

カラマツの種内交雑における球果、種子の生産*

勝田 柁⁽¹⁾・山本千秋⁽²⁾・斎藤幹夫⁽³⁾
 福原 檜勝⁽⁴⁾・青柳茂男⁽⁵⁾・金子富吉⁽⁶⁾

Masaki KATSUTA, Chiaki YAMAMOTO, Mikiyo SAITO, Narakatsu
 FUKUHARA, Sigeo AOYAGI and Tomikiti KANEKO : Cone and
 Seed Yields in Controlled Crossing of *Larix leptolepis* GORD.

要旨：カラマツ落葉病抵抗性の遺伝様式を調べるために、精英樹と抵抗性クローン間および抵抗性クローン相互間の人工交配を行い、所要の家系群を育成した。この人工交配の過程で得られた結果率、球果あたりの種子数、充実率等の球果、種子の生産に直接関与する主要な形質について、測定結果をとりまとめて検討を加えた。

結果率、球果あたりの種子数、充実率では、雌親間に明らかに有意差が認められる。充実率での雄親による差ははっきりしない。カラマツの種内交雑では、結果性や活力ある種子の生産性は、雌親の影響を強く受けると考えられる。

雌親別の平均値を用いて、交配年度間の球果あたりの種子数および充実率の相関を求めると、両形質ともに有意な相関が認められる。これらの形質は交配年の気候の違いによる影響を受けるが、その良否は雌親の特性と考えられる。一方、交配年度間の結果率の相関は低く、そのため交雑可能度にも年度間に有意な相関が認められない。結果率は不測の環境因子の影響を受けて変動するので、稔性を調べるための一形質として扱うためには、初期落果についての再検討が必要であると考えられる。

結果率、球果あたりの種子数、充実率は、雌親別の平均値で形質間に有意な相関が認められない。種内交雑での活力ある種子の生産性は、雌親の個別形質の数値だけで判断することはできない。

抵抗性クローンの自殖では、球果あたりの種子数は他殖とほとんどかわらないが、充実率が他殖に比べて著しく低下する。相対的自家稔性は0.07という低い値を示した。

ま え が き

プロジェクト研究「カラマツ落葉病抵抗性の遺伝様式の解明に関する研究」（1970~76年）に用いる実験材料として、特定クローンを雌親とする人工交配による子供群を育成することになった。そこで、所定の交配設計にもとづき、精英樹クローンと抵抗性クローン間および抵抗性クローン相互間で、大規模な人工交配を実施した。人工交配は長野、東北、北海道ではほぼ同時に実行されたが、着花量の不足、球花(果)の被害等の理由により、北海道では当初予期したように交雑苗を得ることができなかった。東北でも、着花量の不足により、抵抗性クローンの相互交配で計画通りに交雑苗を得ることができなかった。

本報では、1971、72年の両年に、関東林木育種場長野支場（現長野事業場）構内およびその周辺地域の採種圃、検定林で行った人工交配の結果を報告する。長野で行った人工交配では、雌・雄親別の結果率、球果あたりの種子数、種子の充実率等の球果、種子の生産にかかわる主要な形質について調査した。これらの稔性関係の資料をもとにして、カラマツの種内交雑における球果、種子の生産について、いくつかの基礎的な知見をとりまとめた。交配規模が大きく、また所定の交配組み合わせで交雑苗を生産することを

1979年6月22日受理

造林—29 Silviculture—29

*：林業試験場プロジェクト研究「カラマツ落葉病抵抗性の遺伝様式の解明に関する研究」業績—III

(1) (2) (3) (4) 造林部

(5) 長野営林局（前 関東林木育種場長野支場）

(6) 関東林木育種場（前 関東林木育種場長野支場）

主たる目的としたので、実験計画、測定方法および得られた結果が必ずしも十分であるとはいえないが、今後の研究の参考として活用し得るものとする。

測定資料の整理、検討と報文のとりまとめは、勝田 柁、山本千秋、斎藤幹夫が行った。また、人工交配の実行にさいしては、林業試験場造林部遺伝育種科および関東林木育種場長野支場の関係職員の方々のご援助をいただいた。ここに付記して厚くお礼申し上げる。

実験材料と方法

交配設計は2種類で、一つは精英樹クローンと抵抗性クローン間の交配で、精英樹20クローンを雌親にして、抵抗性3クローンの花粉と精英樹クローンの混合花粉(17クローンの混合)を受粉した要因設計型の交配組み合わせ(交配試験I)である。いま一つは、抵抗性クローン間の相互交配で、抵抗性7クローンを用いた自殖を含む完全ダイアレルの交配組み合わせ(交配試験II)である(Table 1)。

交配母材料として用いた精英樹20クローンは関東林木育種場長野支場構内の採種園(1960年設定, 231クローン, 968本の構成, 4.11 ha, 海拔1,000 m)内に、抵抗性7クローンはカラマツ落葉病抵抗性検定林(岩村田営林署管内浅間山国有林21林班い小班, 1962~68年設定, 90系統, 2.75 ha, 海拔1,200 m)内と清万採種園(関東林木育種場長野支場カラマツ雑種採種園, 1964年設定, 72クローン, 814本の構成, 2.69 ha, 海拔1,000 m)内に定植されているものである。

交配は1971, 72年の両年に行い、1交配組み合わせで実粒400粒(苗木として200本)を得ることを目標にした。そのために、交配の前年に環状剥皮による着花促進を行い、さらに交配年に雌・雄花が十分に着生した個体を選んで供試木とした。交配母材料として選ばれたクローン名は、Table 1の欄外に示すとおりである。

交配の規模はTable 1にまとめて示す。2年間の交配で使用した交配袋数は1,701、隔離した雌花数が7,379に達するかなり大規模な人工交配であった。プロジェクト研究の企画当初における試験設計では、

Table 1. 人工交配
An outline of

Mating combination		No. of families produced	No. of isolation bags used		
females	males		1971	1972	total
Test (I) 20 plus tree clones*1	3 resistant clones*3	60	} 635	328	963
	plus tree (mixed)*4	20			
	open	20			
Test (II) 7 resistant clones*2	do. (diallel cross)	49	93	645	738
	open	7	—	—	—
Grand total		156			1,701

*1 Plus tree clones of central main land source, i. e. Usuda 5 & 6, Iwamura 8, 9, 12, 26 & 29, Kusatu 1, 5 & 14, Minamisaku 3, 5, 18, 25, 28 & 30, Kitasaku 4 & 5, Syotiku 2 and Minamiaizu 1, were used as females.

*2 According to the recent reassessment for classification of resistant clones previously selected⁵⁾, 4 higher resistant clones, TR-1040, 1074, 1056 & 1014 and 3 lower resistant clones, TR-1051, 1011 & 1019 were used for diallel crossing.

供試クローン数，作出する家系等の交配の規模がもっと大きかったが，環状剥皮による着花状況，1971年の交配実績と交配作業能力の実情等を考慮して縮小された。それにもかかわらず，2年間の交配で実粒400粒以上を得ることができた家系は，交配試験（Ⅰ）で80家系中53家系（73%），交配試験（Ⅱ）では49家系中19家系（39%）にとどまった。

交配用袋は18×34 cmの片面が晒クラフトパルプ（北日本製紙K.K.製），片面がポリプロピレン（厚さ0.03 mm）である。ポリプロピレンは透明なので，雌花の着生位置が袋内で散在するカラマツでは，受粉のさいに雌花の所在が確認できて大量の交配に好都合であった。ただし，雌花の日焼けによる障害を避けるために，透明な面を直射光線にあてないように注意して袋かけを行った。花粉はその年に採取した新鮮花粉を使用することにしたが，必要量に達しなかった一部の花粉については死滅花粉あるいは前年採取した同一クローンの花粉を，等量をこえない範囲で新鮮花粉に混合し，増量して使用した。花粉は飛散直前の雄花を集め³⁾，クローンごとに室内で紙上にひろげて採集した。室内ではできるかぎり相互に隔離し，混りを防ぐよう努力した。受粉には花粉銃を用い，袋内に花粉が僅かに黄色く舞う程度に（1袋あたり約0.3 cc）散布した。なお，交配試験（Ⅰ）の精英樹クローンの混合花粉は，Table 1の欄外に示した17クローンの混合花粉であるが，花粉の混合比率は一定（等量）ではない。

交配操作は次の手順によって行った。1971年には，袋かけが4月8～13日，受粉は4月14～17日（第1回），4月20～21日（第2回），4月26日（第3回，一部のクローンのみ）に行った。袋とりは5月10～11日に行い同時に防虫網の袋かけをして球果採集時まで放置した。球果は9月21～22日に採集した。1972年には，袋かけが3月31日～4月6日（一部のクローンは4月10，14日），受粉は4月17～21日（第1回），4月21～25日（第2回）に行った。5月16～18日に袋とりと同時に防虫網の袋かけを行った。球果の採集は9月19～22日である。なお，自然受粉の球果は，供試木内に残存する球果から任意に採集した。

採集した球果は，各交配組み合わせごとに乾燥（気乾），脱種したのち，種子の総粒数を測定した。さ

配 の 規 模
controlled pollination

No. of female strobili isolated			No. of cones collected			No. of sound seeds (estimated)			No. of seedlings (1-year-old)
1971	1972	total	1971	1972	total	1971	1972	total	total
1,790	1,610	3,400	1,008	812	1,820	23,729	10,870	34,599	18,661
582	423	1,005	327	246	573	7,806	3,861	11,667	5,925
—	—	—	520	55	575	8,942	1,645	10,587	5,495
164	2,810	2,974	55	1,620	1,675	1,709	20,169	21,878	10,147
—	—	—	71	196	267	1,363	4,144	5,507	2,976
		7,379			4,910			84,238	43,204

*3 3 higher resistant clones, TR-1056, 1074 and 1030 were used as males.

*4 Mixed pollen of 17 plus tree clones, excluding 3 clones, Iwamura 29, Minamisaku 3 and Syotiku 2 from 20 clones of *1.

らに、1971年には全種子を、1972年には交配組み合わせごとに無作為に抽出した500粒(500粒以下は全数)の種子を試料として、Softex Eにより12 kV, 4 mA, 25 sec. (撮影距離36 cm)の条件で、Softex film FGをつかい軟X線写真を撮影した。撮影した写真を照明箱上におきルーペで観察して実粒を判別し、充実率を算出した。充実率と種子総数から、各交配組み合わせごとの、あるいは球果あたりの実粒数を推定した。

実験結果と考察

1. 結果率

各交配組み合わせごとに、1971, 72年の両年における、隔離した雌花数、採取した球果数と結果率をTable 2a, bに示す。

結果率の総平均値は、交配試験(I)が54%, 交配試験(II)が57%で、いずれの交配試験でも全体としては近似した値を示した。また、交配年度ごとの結果率の平均値でも、交配試験(I)が1971年に56%, 1972年に52%, 交配試験(II)が1971年に41%, 1972年に58%で、雌花数のごく少なかった交配試験(II)の1971年以外は、交配年度間の差が小さい。交配試験(II)の1972年について自殖、他殖間の比較をすると、自殖(7クローン, 46%)が他殖(42組み合わせ, 60%)よりも低い値を示した。この自殖、他殖間における結果率の違いについては、理由がはっきりしていない。

各交配組み合わせの結果率は、表に示したように、必ずしも2年連続して受粉した結果ではなく、単年度の交配による測定値も多い。2年連続して受粉したときも、隔離した雌花数が交配年度によって異なる。これは、すでに述べたように各交配組み合わせごとに400粒の実粒を得ることを目標にして交配を実施したためであり、その結果として、各交配組み合わせで個別に得られた結果率は、すべてが必ずしも信頼度の高い数値とはいえない。そこで、交配試験(I), (II)の中から雌花数、球果数の多い交配組み合わせの測定値を抽出して、結果率について単年度の測定値による分散分析を行い、また雌親別の平均値により交配年度間の相関を調べた。

単年度の交配で1交配組み合わせに10個以上の球果が得られた、1971年の交配試験(I)の中の13雌親、4雄親の52組み合わせ(Table 5の脚注参照)と、1972年の交配試験(II)の49組み合わせ(7×7の完全ダイアレルクロス, TR-1074×TR-1011のみ球果が6個)の測定値を用いて、結果率について分散分析した結果では、いずれも雄親間に差はなく雌親間に明らかな有意差が認められる(Table 5)。カラマツ精英樹8クローンをを用いたダイアレルクロスの例でも³⁾、結果率(5月10日の雌花数に対する球果数の比率)に同一の傾向がみられるので、カラマツでの結果率は雌親の影響を強く受けると考えられる。また、スギでも結果率に同一の傾向のあることが報告されている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

雌親間に有意差があったので、交配試験(I)の中で、1971, 72年ともに、合計(4雄親の組み合わせ)で9個以上の球果が得られた12雌親の平均値を用いて、結果率の年度間の相関を求めると、 $r=0.09$ の低い値になる(Table 6)。このことは、結果率が雌親の影響を強く受ける形質であるにもかかわらず、結果率の良否がクローン固有の特性ではないことを意味している。本試験では、幼球果の発達段階での落果について経時的な観察を行っていないので、離落の原因を正確に把握していない。しかし、2, 3の時点での観察によると、落果には開花期における霜や雪などによる雌・雄球花の低温障害や、強風による枝の折損、あるいは虫害等による幼球果の被害が含まれていると考えられる。したがって、ここで得られた結

Table 2a. 交配試験 (I) における結果率*1
Cone yield*1 in the test (I)

	Males Females	Resistant TR-1056		Resistant TR-1074		Resistant TR-1030		Plus-tree (mixed)*2		Mean*3 (total)	
		1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
Usuda	5	79(27/34),	—	62(23/37),	—	72(28/39),	—	78(35/45),	—	73 : 73 (113/155),	—
	6	19(5/27),	67(63/94)	31(8/26),	37(38/103)	40(12/30),	26(26/100)	12(3/25),	79(82/104)	47 : 26 (28/108),	52 (209/401)
Iwamurata	8	44(12/27),	—	56(14/25),	—	75(18/24),	—	38(9/24),	23(3/13)	50 : 53 (53/100),	23 (3/ 13)
	9	96(24/25),	61(17/28)	70(19/27),	93(28/30)	52(17/33),	60(12/20)	100(26/26),	80(16/20)	76 : 77 (86/111),	74 (73/ 98)
	12	78(21/27),	—	79(19/24),	—	74(20/27),	—	73(19/26),	—	76 : 76 (79/104),	—
	26	32(9/28),	55(24/44)	25(6/24),	39(7/18)	59(19/32),	—	64(14/22),	—	47 : 45 (48/106),	50 (31/ 62)
	29	89(25/28),	—	71(20/28),	—	74(20/27),	—	76(22/29),	—	78 : 78 (87/112),	—
Kusatu	1	11(3/27),	60(29/48)	19(5/26),	38(15/40)	31(9/29),	45(14/31)	24(6/25),	30(7/23)	35 : 21 (23/107),	45 (65/142)
	5	23(7/30),	16(5/32)	31(10/32),	—	40(12/30),	—	26(8/31),	50(4/ 8)	28 : 30 (37/123),	22 (9/ 40)
	14	52(16/31),	—	63(17/27),	—	36(10/28),	0(0/64)	70(21/30),	—	36 : 55 (64/116),	0 (0/ 64)
Minamisaku	3	94(30/32),	—	93(28/30),	—	88(23/26),	—	77(24/31),	—	88 : 88 (105/119),	—
	5	62(21/34),	7(3/44)	84(26/31),	—	40(12/30),	40(4/10)	45(15/33),	20(2/10)	43 : 58 (74/128),	14 (9/ 64)
	18	59(19/32),	—	47(15/32),	—	28(9/32),	8(2/25)	16(5/32),	6(3/49)	26 : 38 (48/128),	6 (5/ 74)
	25	73(16/22),	36(4/11)	70(14/20),	0(0/ 3)	62(13/21),	0(0/ 4)	57(13/23),	20(2/10)	54 : 65 (56/ 86),	21 (6/ 28)
	28	77(24/31),	86(18/21)	85(22/26),	56(25/45)	63(17/27),	63(31/49)	86(25/29),	55(6/11)	70 : 78 (88/113),	63 (80/126)
	30	69(18/26),	39(25/64)	72(18/25),	34(21/62)	70(19/27),	36(25/70)	62(18/29),	65(30/46)	50 : 68 (73/107),	41 (101/242)
Kitasaku	4	30(8/27),	60(32/53)	43(10/23),	70(48/69)	25(6/24),	64(48/75)	31(8/26),	63(41/65)	56 : 32 (32/100),	64 (169/262)
	5	46(18/39),	42(8/19)	49(20/41),	57(28/49)	84(37/44),	—	71(25/35),	—	60 : 63 (100/159),	52 (36/ 68)
Syotiku	2	81(17/21),	100(4/ 4)	66(19/29),	29(5/17)	71(27/38),	56(9/16)	76(16/21),	53(8/15)	65 : 73 (79/109),	50 (26/ 52)
Minamiaizu	1	44(19/43),	88(53/60)	19(11/59),	64(51/80)	43(17/40),	83(90/108)	38(15/40),	86(42/49)	62 : 32 (62/182),	79 (236/297)
Mean*3 (total)		56 : 57 (339/591), 55 (285/522)		53 : 55 (324/592), 52 (266/516)		51 : 57 (345/608), 46 (261/572)		57 : 56 (327/582), 58 (246/423)		54 : 56 (1335/2373), 52 (1058/2033)	

*1 表中のカッコ内の数値 (A/B) は、球果数 (A) と雌花数 (B) を示す。

Cone yield was expressed as per cent of mature cones to isolated female strobili.

The numbers of cones (A) and female strobili (B) are shown in parentheses under the form of (A/B) in 1971 and 1972 separately.

*2 See the footnote *4 of Table 1.

*3 All means were weighted according to number of female strobili of each mating combination.

Table 3a. 交配試験 (I) における球果あたりの種子数*1
Number of seeds per cone*1 in the test (I)

Males Females	Resistant TR-1056		Resistant TR-1074		Resistant TR-1030		Plus-tree (mixed)*2		Mean*3 (total)		Open-pollination	
	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
Usuda	5	69(27), —	86(23), —	63(28), —	66(35), —	70 : 70(113), —	68(30), —					
	6	76(5), 85(63)	66(8), 84(38)	77(12), 81(26)	76(3), 72(82)	78 : 73(28), 79(209)	15(27), 69(10)					
Iwamura	8	71(12), —	72(14), —	79(18), —	68(9), 75(3)	73 : 73(53), 75(3)	50(30), —					
	9	63(24), 74(17)	54(19), 68(28)	57(17), 82(12)	56(26), 58(16)	63 : 58(86), 69(73)	39(30), —					
	12	73(21), —	71(19), —	70(20), —	72(19), —	72 : 72(79), —	45(27), —					
	26	68(9), 60(24)	75(6), 75(7)	73(19), —	62(14), —	67 : 69(48), 63(31)	62(30), —					
	29	39(25), —	43(20), —	41(20), —	58(22), —	45 : 45(87), —	25(22), —					
Kusatu	1	38(3), 59(29)	47(5), 50(15)	38(9), 63(14)	55(6), 59(7)	54 : 44(23), 58(65)	33(6), —					
	5	40(7), 73(5)	62(10), —	76(12), —	51(8), 74(4)	62 : 60(37), 73(9)	56(26), —					
	14	59(16), —	57(17), —	51(10), —	52(21), —	55 : 55(64), —	54(11), —					
Minamisaku	3	65(30), —	65(28), —	40(23), —	32(24), —	52 : 52(105), —	36(48), —					
	5	63(21), 48(3)	49(26), —	55(12), 57(4)	44(15), 62(2)	53 : 53(74), 55(9)	52(30), —					
	18	52(19), —	42(15), —	43(9), 72(2)	54(5), 53(3)	48 : 47(48), 60(5)	33(44), —					
	25	42(16), 51(4)	43(14), —	56(13), —	45(13), 54(2)	47 : 46(56), 52(6)	25(9), 48(20)					
	28	48(24), 50(18)	56(22), 50(25)	26(17), 50(31)	50(25), 47(6)	48 : 47(88), 50(80)	55(30), —					
	30	34(18), 49(25)	39(18), 45(21)	30(19), 51(25)	38(18), 45(30)	42 : 35(73), 47(101)	19(10), 50(20)					
Kitasaku	4	98(8), 63(32)	88(10), 68(48)	84(6), 63(48)	87(8), 69(41)	70 : 89(32), 66(169)	86(24), 52(5)					
	5	40(18), 62(8)	44(20), 58(28)	55(37), —	58(25), —	53 : 51(100), 59(36)	35(30), —					
Syotiku	2	51(17), 83(4)	29(19), 65(5)	44(27), 68(9)	43(16), 63(8)	48 : 42(79), 68(26)	58(26), —					
Minamiaizu	1	39(19), 46(53)	45(11), 42(51)	29(17), 42(90)	46(15), 44(42)	42 : 39(62), 43(236)	36(30), —					
Mean*3 (total)		59 : 56(339), 63(285)	58 : 56(324), 60(266)	54 : 53(345), 56(261)	57 : 54(327), 61(246)	57:55(1,335), 60(1,058)	46 : 45(520), 53(55)					

*1 表中のカッコ内の数値は球果数を示す。

Total number of seeds including sound and empty seeds was counted in all. Values in parentheses of the table are for number of cones.

*2 See the footnote *4 of Table 1.

*3 All means were weighted according to number of cones of each mating combination.

Table 4a. 交配試験 (I) における充実率*1
Seed soundness*1 in the test (I)

Males Females	Resistant TR-1056		Resistant TR-1074		Resistant TR-1030		Plus-tree (mixed)*2		Mean*3		Open- pollination	
	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
Usuda 5	44(30),	—	31(26),	—	39(25),	—	34(23),	—	37 : 37 (26),	—	31(21),	—
6	21(16),	34(29)	29(20),	13(11)	18(14),	24(19)	28(21),	28(20)	26 : 22 (17),	27 (21)	23(4),	56(39)
Iwamurata 8	57(40),	—	57(41),	—	37(29),	—	50(34),	69(52)	51 : 48 (35),	69 (52)	41(20),	—
9	12(8),	17(13)	19(11),	21(14)	28(16),	9(7)	17(10),	20(12)	18 : 18 (11),	18 (12)	26(10),	—
12	75(55),	—	54(38),	—	77(54),	—	78(56),	—	71 : 71 (51),	—	73(33),	—
26	59(40),	10(6)	39(30),	51(38)	46(34),	—	51(32),	—	39 : 49 (34),	21 (13)	37(23),	—
29	52(20),	—	50(22),	—	56(23),	—	60(34),	—	55 : 55 (25),	—	52(13),	—
Kusatu 1	77(29),	37(22)	64(30),	28(14)	69(26),	69(44)	76(42),	22(13)	47 : 71 (31),	41 (24)	58(19),	—
5	76(30),	40(29)	73(45),	—	57(44),	—	82(42),	65(48)	65 : 68 (41),	51 (38)	45(26),	—
14	43(25),	—	45(26),	—	44(22),	—	37(19),	—	42 : 42 (23),	—	52(28),	—
Minamisaku 3	51(34),	—	56(36),	—	72(29),	—	59(19),	—	57 : 57 (30),	—	41(15),	—
5	37(23),	25(12)	40(20),	—	59(32),	27(15)	55(25),	13(8)	42 : 45 (24),	23 (13)	42(22),	—
18	63(32),	—	67(28),	—	68(29),	0(0)	58(31),	1(0)	57 : 64 (30),	0(0)	39(13),	—
25	51(21),	15(8)	40(17),	—	45(25),	—	49(21),	35(19)	43 : 46 (21),	22 (11)	35(9),	62(30)
28	25(12),	38(19)	16(9),	17(9)	21(6),	20(10)	28(14),	26(12)	23 : 23 (11),	24 (12)	23(13),	—
30	47(16),	14(7)	38(15),	4(2)	37(11),	13(7)	47(18),	19(9)	27 : 42 (15),	13 (6)	37(7),	48(24)
Kitasaku 4	26(26),	6(4)	16(14),	2(1)	10(8),	4(3)	14(13),	2(1)	6 : 17 (15),	3 (2)	29(25),	73(38)
5	47(19),	25(15)	20(9),	22(13)	26(14),	—	34(20),	—	28 : 30 (15),	23 (13)	53(19),	—
Syotiku 2	45(23),	13(11)	48(14),	24(16)	36(16),	42(29)	43(18),	44(28)	36 : 42 (17),	34 (23)	27(16),	—
Minamiaizu 1	39(15),	47(21)	31(14),	25(10)	33(10),	32(13)	46(21),	50(22)	37 : 38 (15),	37 (16)	28(10),	—
Mean*3	37 : 45 (26), 28 (17)		29 : 40 (23), 16 (10)		34 : 43 (23), 23 (13)		36 : 44 (26), 26 (16)		34 : 43 (24), 23 (14)		42 : 38 (17), 57 (30)	

*1 表中のカッコ内の数値は球果あたりの実粒数 (推定値) を示す。

Seed soundness was expressed as per cent of sound seeds to total seeds.

Values in parentheses of the table are for number of sound seeds per cone that estimated by seed soundness and number of seeds per cone.

*2 See the footnote *4 of Table 1.

*3 All means were weighted according to number of total seeds of each mating combination.

Table 2b. 交配試験 (II)
Cone yield*1

Males \ Females	Resistant TR-1040		Resistant TR-1074		Resistant TR-1056		Resistant TR-1014	
	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
TR-1040	40(2/5),	57(88/154)	0(0/5),	58(63/109)	67(4/6),	65(66/102)	17(1/6),	57(48/84)
TR-1074	83(5/6),	44(15/34)	67(2/3),	19(10/54)	60(3/5),	70(28/40)	80(4/5),	43(15/35)
TR-1056	—,	60(18/30)	—,	77(24/31)	—,	33(15/45)	—,	41(13/32)
TR-1014	17(1/6),	69(63/91)	33(2/6),	80(65/81)	58(7/12),	79(30/38)	33(2/6),	47(34/72)
TR-1051	33(1/3),	83(50/60)	—,	92(55/60)	50(1/2),	76(48/63)	0(0/3),	84(27/32)
TR-1011	—,	63(29/46)	—,	53(25/47)	—,	70(32/46)	—,	76(28/37)
TR-1019	—,	50(30/60)	—,	33(21/63)	—,	24(12/51)	—,	23(13/56)
Mean*2 (total)	61 : 45(9/20), 62(293/475)		58 : 29(4/14), 59(263/445)		60 : 60(15/25), 60(231/385)		50 : 35(7/20), 51(178/348)	

*1 & *2 See the footnote *1 & *3 of Table 2a.

Table 3b. 交配試験 (II) にお
Number of seeds per

Males \ Females	Resistant TR-1040		Resistant TR-1074		Resistant TR-1056		Resistant TR-1014	
	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
TR-1040	47(2),	62(88)	—,	61(63)	52(4),	53(66)	65(1),	70(48)
TR-1074	54(5),	71(15)	84(2),	80(10)	52(3),	74(28)	69(4),	75(15)
TR-1056	—,	71(18)	—,	70(24)	—,	72(15)	—,	81(13)
TR-1014	62(1),	52(63)	52(2),	51(65)	52(7),	50(30)	78(2),	48(34)
TR-1051	28(1),	62(50)	—,	62(55)	22(1),	72(48)	—,	84(27)
TR-1011	—,	72(29)	—,	81(25)	—,	71(32)	—,	76(28)
TR-1019	—,	64(30)	—,	62(21)	—,	70(12)	—,	56(13)
Mean*2 (total)	62 : 51(9), 62(293)		62 : 68(4), 62(263)		63 : 50(15), 64(231)		69 : 71(7), 61(178)	

*1 & *2 See the footnote *1 & *3 of Table 3a.

Table 4b. 交配試験 (II)
Seed soundness*1

Males \ Females	Resistant TR-1040		Resistant TR-1074		Resistant TR-1056		Resistant TR-1014	
	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972	1971,	1972
TR-1040	7(4),	0(0)	—,	14(9)	72(38),	7(2)	3(2),	1(1)
TR-1074	62(34),	44(31)	1(1),	3(2)	59(31),	56(41)	53(37),	14(11)
TR-1056	—,	33(23)	—,	27(19)	—,	3(2)	—,	8(7)
TR-1014	82(51),	44(23)	56(29),	38(19)	69(36),	56(28)	70(55),	6(3)
TR-1051	50(14),	24(15)	—,	25(16)	55(12),	39(28)	—,	30(25)
TR-1011	—,	9(7)	—,	28(23)	—,	26(18)	—,	16(12)
TR-1019	—,	12(8)	—,	17(11)	—,	18(13)	—,	6(3)
Mean*2	20 : 53(27), 19(12)		24 : 22(15), 24(15)		33 : 67(34), 29(18)		13 : 52(37), 12(8)	

*1 & *2 See the footnote *1 & *3 of Table 4a.

における結果率*1

in the test (II)

Resistant TR-1051 1971, 1972	Resistant TR-1011 1971, 1972	Resistant TR-1019 1971, 1972	Mean*2 (total) 1971, 1972
0(0/6), 59(64/108)	40(2/5), 67(64/95)	43(3/7), 80(72/90)	61 : 30 (12/40), 63 (465/742)
67(4/6), 36(18/50)	50(2/4), 17(6/35)	75(3/4), 43(17/40)	41 : 70 (23/33), 38 (109/288)
— , 37(14/38)	— , 49(17/35)	— , 45(18/40)	47 : — , 47 (119/251)
33(2/6), 69(59/86)	0(0/5), 87(73/84)	67(4/6), 83(38/46)	70 : 38 (18/47), 73 (362/498)
0(0/2), 78(21/27)	0(0/2), 73(19/26)	0(0/2), 93(28/30)	80 : 14 (2/14), 83 (248/298)
— , 30(15/50)	— , 66(31/47)	— , 65(28/43)	59 : — , 59 (188/316)
— , 19(10/54)	— , 40(23/58)	— , 27(20/75)	31 : — , 31 (129/417)
48 : 30 (6/20), 49 (201/413)	60 : 25 (4/16), 61 (233/380)	60 : 53 (10/19), 61 (221/364)	57 : 41 (55/134), 58 (1620/2810)

ける球果あたりの種子数*1

cone*1 in the test (II)

Resistant TR-1051 1971, 1972	Resistant TR-1011 1971, 1972	Resistant TR-1019 1971, 1972	Mean*2 (total) 1971, 1972	Open- pollination 1971, 1972
— , 55(64)	28(2), 62(64)	62(3), 57(72)	59 : 51 (12), 60 (465)	51(40), 77(40)
61(4), 74(18)	66(2), 67(6)	57(3), 61(17)	71 : 62 (23), 72 (109)	10(15), 58(15)
— , 86(14)	— , 80(17)	— , 80(18)	76 : — , 76 (119)	— , 53(31)
50(2), 49(59)	— , 49(73)	69(4), 52(38)	51 : 59 (18), 50 (362)	15(5), 20(30)
— , 69(21)	— , 52(19)	— , 64(28)	66 : 25 (2), 67 (248)	16(11), 25(20)
— , 82(15)	— , 70(31)	— , 70(28)	74 : — , 74 (188)	— , 70(30)
— , 67(10)	— , 72(23)	— , 72(20)	66 : — , 66 (129)	— , 56(30)
61 : 57 (6), 61 (201)	60 : 47 (4), 60 (233)	62 : 63 (10), 62 (221)	63 : 57 (55), 63 (1,620)	48 : 35 (71), 53 (196)

における充実率*1

in the test (II)

Resistant TR-1051 1971, 1972	Resistant TR-1011 1971, 1972	Resistant TR-1019 1971, 1972	Mean*2 1971, 1972	Open- pollination 1971, 1972
— , 6(3)	89(25), 6(4)	73(45), 6(3)	6 : 57 (29), 5 (3)	62(32), 33(25)
25(15), 25(19)	56(37), 46(31)	67(39), 26(16)	35 : 46 (29), 33 (24)	4(0), 37(22)
— , 27(23)	— , 16(13)	— , 13(10)	19 : — , 19 (14)	— , 48(26)
52(26), 41(20)	— , 37(18)	57(39), 24(12)	38 : 64 (38), 36 (18)	17(3), 55(11)
— , 0(0)	— , 18(9)	— , 29(19)	26 : 52 (13), 26 (17)	38(6), 17(4)
— , 31(26)	— , 1(1)	— , 28(19)	19 : — , 19 (14)	— , 38(26)
— , 12(8)	— , 8(6)	— , 1(1)	10 : — , 10 (7)	— , 48(27)
21 : 32 (19), 20 (13)	17 : 66 (31), 16 (10)	19 : 65 (41), 16 (10)	21 : 54 (31), 20 (12)	43 : 55 (19), 40 (21)

果率は多くの不測の環境要因の影響を受けており、年度間の相関が低くなったのもそのためではないかと思われる。結果率を稔性上の一形質としてとりあつかい、結果性の良否を論議するためには、落果の原因等についてのさらに詳細な調査、検討が必要であると考えられる。

2. 球果あたりの種子数

各交配組み合わせごとに、1971, 72年の交配によって生産された種子数（シイナ等の不稔種子を含む）を調べ、球果あたりの種子数として Table 3a, b に示す。

球果あたりの種子数の総平均値は、交配試験（Ⅰ）が57粒、交配試験（Ⅱ）が63粒で、いずれの交配試験でも近似した値を示した。交配年度ごとの平均値でも、交配試験（Ⅰ）が1971年に55粒、1972年に60粒、交配試験（Ⅱ）が1971年に57粒、1972年に63粒で、交配年度間の差は小さい。交配試験（Ⅱ）の中の自殖（7クローン、64粒）、他殖（42組み合わせ、63粒）間にも、平均値に差はない。

自然受粉における球果あたりの種子数の平均値は、交配試験（Ⅰ）が46粒、交配試験（Ⅱ）が48粒で、人工受粉に比べて明らかに種子数が低減している。自然受粉の球果では、種子の抽出、精選の過程で人工受粉の球果と異なる取扱いをした可能性もあるが、その理由ははっきりしていない。本報では参考のために表示しておくことにする。

各交配組み合わせの球果あたりの種子数は表示したとおりであるが、結果率のときと同じく、球果数の多い交配組み合わせの測定値を抽出して、球果あたりの種子数についての単年度の測定値による分散分析を行い、また雌親別の平均値により交配年度間の相関を調べた。

1971年の交配試験（Ⅰ）の中の13雌親、4雄親による52組み合わせと、1972年の交配試験（Ⅱ）の49組み合わせの測定値を用いて、球果あたりの種子数について分散分析した結果では、いずれも雄親間に差はなく雌親間に明らかな有意差が認められる（Table 5）。この結果から、カラマツでの種子形成も、結果率と同様に、雌親の影響を強く受けると考えられる。カラマツでは、1あたりの種子数つまり生産された種子の大きさも、球果あたり種子数と同様の傾向をもつようだ³⁾。また、スギの例でも、球果あたりの種子数に同一の傾向が認められている⁸⁾。

雌親間に有意差があったので、交配試験（Ⅰ）の中の12雌親の1971, 72年の平均値を用いて、球果あたりの種子数の年度間の相関を求めると、 $r=0.65$ の高い値を示した（Table 6）。このことから、球果あたりの種子数は交配年の気候の違いによる影響を受けるとしても、種内交雑での球果あたりの種子数の多少は雌親の特性と考えられる。

3. 充 実 率

各交配組み合わせごとに、1971, 72年の交配によってできた種子の充実率を調べた（Table 4a, b）。

充実率の総平均値は、交配試験（Ⅰ）が34%、交配試験（Ⅱ）が21%である。交配年度ごとの平均値は、交配試験（Ⅰ）が1971年に43%、1972年に23%、交配試験（Ⅱ）が1971年に54%、1972年に20%で、両交配試験ともに1972年の交配で充実率が低い。その理由は、この年の開花期に霜や雪により雌・雄球花がかなりひどい被害を受けており、多くの雌・雄球花の発育が悪く、一部の雌花の損傷、花粉の稔性低下等が生じたためであると考えられる。

なお、自然受粉における種子の充実率の平均値は、交配試験（Ⅰ）が42%、交配試験（Ⅱ）が43%で、北海道のカラマツ採種園での調査結果（種子切断試験による充実率、1.4～19.2）⁴⁾に比べてかなり高く、1972年の種子でも充実率が低下していない。前項で述べたように、種子の抽出、精選の過程に問題がある

Table 5. 各形質の分散分析結果
Variance ratios from analyses of variance on cone and seed traits

Traits	Source of variation	Test (I) in 1971*1		Test (II) in 1972*2	
		df	F ratio	df	F ratio
Cone yield (A)*3	Males	3	1.15 ^{ns}	6	1.26 ^{ns}
	Females	12	4.11**	6	14.38**
Number of seeds per cone (B)	Males	3	0.96 ^{ns}	6	0.77 ^{ns}
	Females	12	6.04**	6	15.00**
Seed soundness (C)*3	Males	3	3.13*	6	0.95 ^{ns}
	Females	12	16.24**	6	4.19**
Number of sound seeds per cone (B×C)	Males	3	1.30 ^{ns}	6	0.96 ^{ns}
	Females	12	18.46**	6	3.82**
per female strobilus (A×B×C)	Males	3	1.62 ^{ns}	6	1.56 ^{ns}
	Females	12	20.76**	6	4.65**

*1 A part of the test (I) in 1971, i. e. 52 mating combinations of 13 females, Usuda 5, Iwamura 9, 12 & 29, Kusatu 14, Minamisaku 3, 5, 25, 28 & 30, Kitasaku 5, Syotiku 2 and Minamiaizu 1, and 4 males, TR-1056, 1074 & 1030 and plus tree mixed pollen, were used to analyse.

*2 Forty nine mating combinations in complete diallel crossing of 7 resistant clones in the test (II) in 1972 were used to analyse.

*3 Transformed to arcsin $\sqrt{\text{percentage}}$.

Levels of significance : *, 5% ; **, 1% ; ns, not significant.

Table 6. 年度間, 形質間の相関
Correlation coefficients (r) between mating years and between cone and seed traits

Traits	r ,*1 between 1971 & 1972	r , between traits*1,*2					
		Cone yield (A)			No. seeds/cone (B)		
		Test (I) 1971	Test (I) 1972	Test (II) 1972	Test (I) 1971	Test (I) 1972	Test (II) 1972
Cone yield (A)*3	0.09 ^{ns}						
Number of seeds per cone (B)	0.65*	0.40 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.45 ^{ns}			
Seed soundness (C)*3	0.70**	0.40 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.10 ^{ns}	-0.09 ^{ns}
Number of sound seeds per cone (B×C)	0.66*						
per female strobilus (A×B×C)	0.25 ^{ns}						

*1 A part of the test (I) in 1971 and 1972, i. e. female means of 12 plus tree clones, Usuda 6, Iwamura 9 & 26, Kusatu 1 & 5, Minamisaku 5, 28 & 30, Kitasaku 4 & 5, Syotiku 2 and Minamiaizu 1. were used to analyse.

*2 Female means of 7 resistant clones in the test (II) in 1972 were used to analyse.

*3 Transformed to arcsin $\sqrt{\text{percentage}}$.

Levels of significance : *, 5% ; **, 1% ; ns, not significant.

Table 7. 相 対 的 自 家 稔 性
Relative self-fertility (RSF) of 7 resistant clones in *L. leptolepis**1

Females	No. of seeds/cone*3		Seed soundness (%)		RSF
	Self	Cross*2	Self	Cross*2	
TR-1040	62 (88)	59 (377)	0	6	0
TR-1074	80 (10)	71 (99)	3	37	0.08
TR-1056	72 (15)	77 (104)	3	21	0.14
TR-1014	48 (34)	50 (328)	6	39	0.15
TR-1051	69 (21)	66 (227)	0	29	0
TR-1011	70 (31)	75 (157)	1	22	0.05
TR-1019	72 (20)	65 (109)	1	12	0.08
Mean (total)	64.2 (219)	62.6 (1,401)	2.0	23.7	0.07

*1 Data of the test (II) in 1972 (the same as Table 5, *2) were used to calculate.

*2 Data were pooled for crosses of 6 combinations from diallel table.

*3 Values in parentheses are for number of cones.

ようだが、その理由ははっきりしない。参考資料として表中に付記しておくことにする。

交配試験(II)の中の自殖(7クローン, 2%)と他殖(42組み合わせ, 24%)間には明らかな差が認められる。この自殖種子の充実率は、カラマツ精英樹11クローンの例(平均6%, 0.1~32%)⁹⁾に比べて少し低いがほぼ近似した値である。1972年の充実率の測定値によって、相対的自家稔性(他殖に対する自殖の充実率の比率)を推定すると、抵抗性7クローンで平均0.07(0~0.15)で非常に低い(Table 7)。事例は少ないが既往の実験結果からみても¹⁾、カラマツ属はマツ科の中でも自家稔性がとくに低いようだ。

前項(結果率, 種子数)と同じく、球果数の多い一部の測定値を抽出して、充実率についての単年度の測定値による分散分析を行い、また雌親別の平均値により交配年度間の相関を調べた。

1971年の交配試験(I)の中の13雌親, 4雄親による52組み合わせと、1972年の交配試験(II)の49組み合わせの測定値を用いて、充実率について分散分析した結果では、いずれも雌親間に明らかな有意差が認められる(Table 5)。交配試験(I)の1971年の測定値では雄親間にも5%レベルで有意差があったが、この事例だけでは雄親による差があるとはいえない。カラマツの種内交雑では、生産された種子の充実度も、結果率や球果あたりの種子数と同様に、雌親の影響が強いと考えられる。カラマツでは、種子の充実度の目安となる種子の1,000粒重でも、雌親間と自・他殖間に有意な差が認められている⁹⁾。なお、スギでは、充実率について雌, 雄両親間に有意差が認められた例も報告されている⁹⁾。

雌親間に有意な差があったので、交配試験(I)の中の12雌親の1971, 72年の測定値を用いて、充実率の交配年度間の相関を求めると、 $r=0.70$ の高い値を示した(Table 6)。1972年の交配では前述のように雌・雄球花の低温障害のため充実率が低下しているが、抽出した資料では年度間の相関が高いので、種子の充実度の良否は雌親の特性と考えてよいようだ。

4. 球果, 雌花あたりの実粒数

球果あたりの実粒数は、球果あたりの種子数と充実率の数値から推定することができる。Table 4a, b内に、各交配組み合わせごとの球果あたりの実粒数を合せて表示してある。球果あたりの種子数と充実率

からの推定値なので，交配試験（Ⅰ），（Ⅱ）の中から抽出した数値による解析では，これらの形質と同様に，雌親間に有意差があり（Table 5），交配年度間の相関も高い（Table 6）。この推定値は，交雑可能性を示す数値としてもつかわれるが，本試験では各家系ごとの所要苗木数を確保するための交配規模や交配作業量を決定したり，修正するために用いられた。

雌花あたりの実粒数は，結果率，球果あたりの種子数と充実率の数値から推定することができる。本報では，各交配組み合わせごとの数値は表示していない。雌花あたりの実粒数（あるいは苗木数）は交雑可能性を示すもので，特定の交配組み合わせあるいは雌親での活力ある種子（あるいは苗木）の生産性を示す尺度である。適当な着花性についての資料（たとえば雌花数，着花率等）があれば，雌親の繁殖能力の推定が可能であり，また実用的には交配設計をたてるときの交配規模を決める指標になる。本試験で得た推定値は，交配試験（Ⅰ），（Ⅱ）の中から抽出した数値による解析では，雌親により明らかに有意差が認められるが（Table 5），結果率の影響を受けて交配年度間の相関が低い（Table 6）。結果率は交雑可能性の推定値にも大きな影響をおよぼすので，既に結果率の項で述べたように，初期落果についての詳細な検討を行い，結果性の良否を正確に判定できる数値を得る必要があると考える。

なお，2年にわたる交配試験の資料の中から，球果数の多い雌親の平均値を用いて結果率，球果あたりの種子数，充実率の3形質で，形質間の相関を調べたが，有意な相関は認められない（Table 6）。このことは，当然のことながら，カラマツでも活力ある種子の生産性がこれらの個別の形質の数値で判断することができないことを示している。

付 記

苗畑発芽率（推定実粒数に対する真正発芽率）は，交配試験（Ⅰ），（Ⅱ）ともに，平均50%であった。1年目と2年目の得苗率は，交配試験（Ⅰ）が97%と56%，交配試験（Ⅱ）が91%と42%であった。本報では，これらの苗畑で計測した資料についての討検は省略する。その他の測定資料と合わせて，後日あらためて報告したい。

引 用 文 献

- 1) FRANKLIN, E. C. : Survey of mutant forms and inbreeding depression in species of the Family *Pinaceae*. USDA, For. Serv. Res. Paper SE-61, 21 pp., (1970)
- 2) 金子富吉：カラマツの花粉採取，林木の育種，(65)，16～18，(1971)
- 3) 金子富吉：カラマツ精英樹の二面交配で得られた結果，関東林育長野支業務記録，(4)，273～297，(1978)
- 4) 斎藤幹夫・丸岡富次郎・西岡利忠：カラマツ採種園における諸調査（第2報）—採種木の着花状態と開花期・花粉飛散・タネの稔性などについて，北海道の林木育種，7 (2)，13～25，(1965)
- 5) 千葉 修・小林享夫・林 弘子・佐藤邦彦・横沢良憲・庄司次男：カラマツ落葉病抵抗性の早期検定，木本作物の育種—早期検定法の開発と利用（木本作物育種研究グループ編），東京，37～51，(1973)
- 6) 戸田清佐・東方喜之：スギ精英樹候補木間のダイアレル・クロスにおける稔性と F₁ 稚苗の生長，45年度林木育種研究発表講，47～52，(1970)
- 7) 戸田忠雄・西村慶二：スギ精英樹間交配稔性と F₁ 苗の生長，46年度林木育種研究発表講，67～71，(1971)
- 8) 植木忠二：スギ精英樹クローンによる交配球果と種子の形質—1974年度の交配結果から，51年度林木育種研究発表講，56～60，(1976)
- 9) 横山敏孝・金子富吉：カラマツにおける自殖稔性の推定，日林誌，61，58～62，(1979)

Cone and Seed Yields in Controlled Crossing of *Larix leptolepis* GORD.

Masaki KATSUTA⁽¹⁾, Chiaki YAMAMOTO⁽²⁾, Mikio SAITO⁽³⁾,
Narakatsu FUKUHARA⁽⁴⁾, Sigeo AOYAGI⁽⁵⁾
and Tomikiti KANEKO⁽⁶⁾

Summary

For studying the inheritance of resistance to needle cast diseases in *Larix leptolepis* GORD., the controlled crossings with 80 mating combinations between plus tree and resistant clones (test I) and with 49 mating combinations between resistant clones alone (test II) were carried out for two years at Nagano Branch Station, Kanto Forest Tree Breeding Institute, and subsequently about thirty-five thousand 1-year-old progenies were produced after the crossing. Several cone and seed traits which have a direct influence on cone and seed production were examined through the process of controlled crossing and briefly summarized in tables of this report.

On cone and seed traits such as cone yield, number of seeds per cone and seed soundness, analyses of variance revealed significant differences among females, but not among males exclusive of seed soundness. Differences among males on seed soundness were not consistent with the tests I and II. Cone and viable seed productivities after the crossing are greatly influenced by females, as indicated by the significance of female effects.

Significant correlations in female means of test I were recognized between mating years on number of seeds per cone and seed soundness. From the analyses, viable seed productivity after the crossing must be characteristic of females, although climatic differences in mating years have a great influence on these traits. Cone yield was under a dominating effect of females, but no significant correlations were found between mating years on cone yield, and consequently on cross-ability as expressed by the number of sound seeds per female strobilus isolated. Additional observations on strobilus drop during and after flowering would be required.

No significant correlations in female means were also recognized between the traits such as cone yield, number of seeds per cone and seed soundness. The results indicate that viable seed productivity after the crossing is impossible to estimate from the performance of an individual seed trait of females.

Seven resistant clones produced as many seeds per cone after selfing as after crossing, but seed soundness decreased significantly in selfing. Relative self-fertility as expressed by the ratio of seed soundness in selfing to in crossing was quite low on the average 0.07.

Received June 22, 1979

(1), (2), (3), (4) Silviculture Division.

(5) Nagano Regional Forestry Office (Formerly, Nagano Branch Station, Kanto Forest Tree Breeding Institute).

(6) Kanto Forest Tree Breeding Institute (Formerly, Nagano Branch Station, Kanto Forest Tree Breeding Institute).