

マツ類の交雑育種に関する研究 (I)

クロマツの種内交雑ならびに他のマツ類数種との 種間交雑の可能性

中 井 勇・藤 本 博 次・稲 森 幸 雄
伊 佐 義 朗・佐 野 宗 一

Studies on the cross-breeding of the Pines (1)

Intraspecific pollination in *Pinus thunbergii*, and the cross-ability between *Pinus thunbergii* and the other several Pines.

Isamu NAKAI, Hirotugu FUJIMOTO, Yukio INAMORI,
Girô ISA, Sôichi SANO.

目	次
要 旨.....	125
まえがき.....	126
材料および方法.....	126
結果および考察.....	127
1) 雄性親と花粉の発芽	
2) 種内交雑	
3) 種間交雑	
a) 交配結果	
b) 球果および種子の 大きさと発芽状況	
引用文献.....	141
Résumé.....	143

要 旨

本実験は京都大学上賀茂試験地において、1961～1965年にかけてクロマツを雌性親とした種内交雑と、数種の外国産マツ類を雄性親とした種間交雑の可能性について行なったものである。その結果は次のとおりである。

1) 雌、雄花の開花時期と交配時期

雌、雄花の開花は3月からの温度の上昇時期や上昇の程度に深い関係があった。種ごとの雄花の開花はかなり異っていて、*Pinus banksiana* がもっとも早く、しかも長期間の開花期を有し、ついで *P. massoniana*, *P. luchuensis*, *P. thunbergii*, *P. taeda*, *P. pinaster*, *P. densiflora*, *P. rigida* の順に開花したが、個体間ではかなりの差異がみられた。花粉の発芽率は毎年平均して50～90%を示した。袋内の温度は外温にくらべ 10～15°C たかいことから部分的に雌花の發育を阻害することもあった。交配する時期は花粉飛散最盛期前に数回受粉した方がよいようである。

2) 種内交雑

自家、他家、無受粉の間において、自家受粉は他家受粉より種子稔性が低く、無受粉では結果も少

なく、充実種子はほとんど得られなかった。球果や種子の大きさでは無受粉がもっとも小さく、自家、他家受粉間では有意な差はみとめられなかった。

3) 種間交雑

クロマツにアカマツ他数種の外国産マツ類を組合せて受粉した結果、毎年平均して、*P. thunbergii* × *P. luchuensis*, × *P. massoniana* などは種子稔性がたかく、交雑が可能で、一方 × *P. pinaster*, × *P. rigida* などはほとんど充実種子が得られず、交雑が不可能であると思われた。しかし、× *P. taeda* や、× *P. banksiana* などは交配年度によっては充実種子が得られる場合があり、この原因については明らかではない。

ま え が き

林木育種におけるマツ類の交雑育種に関する研究は、近年外国において数多くの研究者によって行なわれ、雑種もまた多く得られている。これらの研究のなかで例えば *Hard pine* の交雑について、Johnson and Heimbürger (1946), Schreiner (1949), Richter and Duffield (1951), Duffield (1952), Wright (1953, '56), Wright and Gabriel (1958) および Elbert L. Little, JR. and Richter, F.I. (1965) らの研究があり、また *Soft pine* の交雑については、Critchfield (1963), Johnson and Heimbürger (1946) および Wright and Gabriel (1958) らの研究がある。我が国においては、野原、陣野、伊藤 (1951) らのアカマツとテーダマツの交雑に関する研究、齊藤 (1951) のクロマツ×アカマツ、染郷ら (1964) のクロマツ×リュウキュウマツの交雑についての研究などがある。

種内交雑（自家、他家、自然受粉など）に関しては、Johnson (1945) は *Eastern white pine* (*Pinus strobus* L.) で、Ehrenberg et al. (1955) らは *Scotch pine* (*Pinus silvestris* L.) で、Squillace and Bingham (1958), Barenes et al. (1962) らは *Western white pine* (*Pinus monticola* Dougl.) で、Squillace and Kraus (1963), Kraus and Squillace (1964) らは *Slash pine* (*Pinus elliottii* Engelm.) で、Fowler (1964, 1965, a, b, c) は *Red pine* (*Pinus resinosa* Ait.) でそれぞれ研究を行なっている。またクロマツおよびアカマツについて外山 (1954), 佐藤 (1961) らの研究がある。

京都大学上賀茂試験地に収集されたマツ属は80数種あって、著者らはこれらのなかで開花した外国産マツ類と日本産のアカマツおよび、クロマツとを用い、1960年より各種相互間の交雑を行ない、我が国の環境に適応し、しかもそれぞれの使用目的に応じた優良品種の育成をこころみている。すでにある組合せでは雑種検定によって検出した (1965, 未発表) 数外くの F_1 雑種個体を育成し、それらの生育状態について調査を行なっている。

本報告はマツ類の交雑において、まず種々な組合せ間の交雑がどの程度可能であるかについて、クロマツとアカマツ他数種の外国産マツ類との種間交雑の可能性の検討を行ない (1961~1965), さらに交配母樹の自家、他家、自然、無受粉がどの程度であるか、また母樹および後代の遺伝的変異、遺伝様式などを知るために、今回は数個体のクロマツを用いて種内交雑を行なった。なお本研究は交雑育種を遂行する上の基礎資料として甚だ肝要であり、また採種園造成におけるクローン養成などの利用に有効な資料を与えるものと考えられる。

この報告に対し御援助を得た本学演習林本部齊藤達夫助教授ならび上賀茂試験地の池本彰夫助手、渡辺政俊技官に対し深謝する次第である。

材料および方法

本実験で雌性親として用いたクロマツ (*Pinus thunbergii* Parl.) は当試験地内で選抜した優良形質をそなえた個体 (実生木、以下S記号で表す) と、これを接木によって養成した個体 1~16 (G_1 , G_2 , …, G_{16}) 号木である。雄性親はクロマツ、アカマツおよび *P. taeda*, *P. luchuensis*, *P. masso-*

niana, *P. rigida*, *P. pinaster*, *P. banksiana* などの外国産マツ類の実生木を主として用いた。しかし、クロマツの交配最適期より、やや早く開花する個体の花粉を用いる関係上、毎年同一個体からの花粉を用いることは不可能であった。また、種によってはクロマツの交配時期の終期頃に開花するものや、交配時期が終了してから開花するものがあり、これらについては温室内で開花を早めた鉢植の数個体からの花粉を用いた。花粉の発芽検定に当っては、寒天2%と蔗糖10%で発芽床を作り、24°C で70時間恒温器内に放置したのち調査した。

袋かけは雌花の発育が写真1—(A)に示すように新条の先端に雌花のつぼみがみられる頃（この時期はおおよそ花粉が飛散し始める5日～7日前）にパーチメント紙とセロファン紙で作った二重袋を用いて行なった。

花粉の採取は花粉の飛散前もしくは飛散初期に開花枝を採取し、花粉採取箱（50cm³で周囲をセロファン紙で張りつける）内で落下させて行ない、集めた花粉は交配時期までデシケータ内で一時貯蔵した。

交配は雌花の開花熟度が最盛期に達し、全体としてピンク色か、赤色を呈した頃〔写真1—(C)〕を

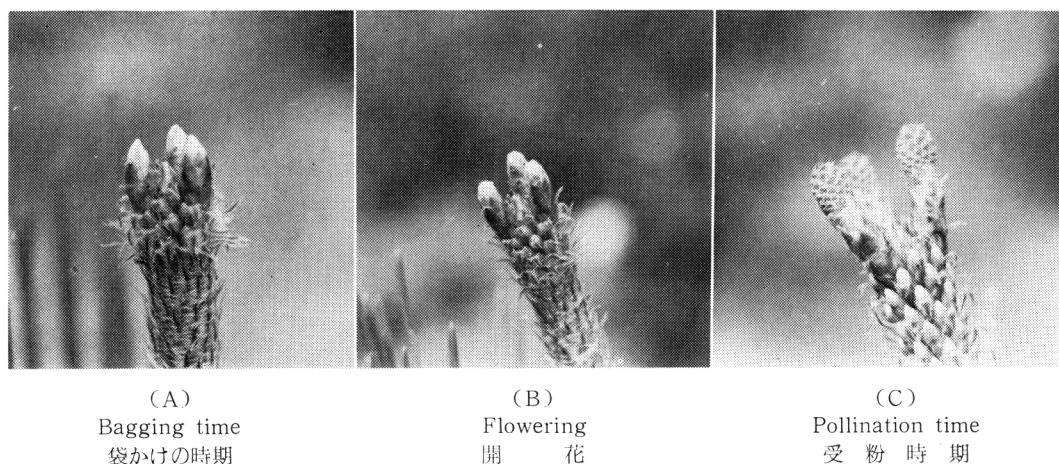


Plate 1 Development of female flowers in *Pinus thunbergii* Parl.

前後に数回交配銃を用いて午前10時頃から午後2時頃の間袋内が黄色くそまるまで十分受粉した。袋の取り除きは花粉の飛散が完了したのち約5～7日目（交配後12～15日目に当る）に行なった。球果の採取は交配翌年の10～11月にかけて、交配個体別、組合せ別に採集し、それぞれの形態について調査すると共に、球果の1鱗片ずつを丁寧にはぎ取り、種子を抽出した。抽出した種子は重量によって、充実、秕粒に選別し、充実粒については、その個体および組合せごとにそれらの形態を調べた。播種は温室内で無菌状態のパーミキュライトとパーライトの混合土（3：1）を用い、採種翌年の1月（冬期間暖房、平均温度18°C）にまきつけた。

結果および考察

1) 雄性親と花粉の発芽

本実験に用いた新鮮花粉の発芽率（5カ年平均）は Table 1 にしめすとおり、 $52.3 \pm 5.1 \sim 92.3 \pm$

Table 1 Species of male parent used in this study and their fresh pollen germination (1961~1965)

雄性親の種類 Species of male parent	発芽率 percentage of germination (%)
<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	60.0 ± 13.6
<i>P. densiflora</i> Sieb. et Zucc.	73.0 ± 4.2
<i>P. taeda</i> Linn.	89.6 ± 5.3
<i>P. luchuensis</i> Mayr.	61.3 ± 8.8
<i>P. massoniana</i> Lamb.	52.3 ± 5.1
<i>P. rigida</i> Mill.	92.3 ± 5.9
<i>P. pinaster</i> Ait.	84.2 ± 10.4
<i>P. banksiana</i> Lamb.	86.1 ± 4.0

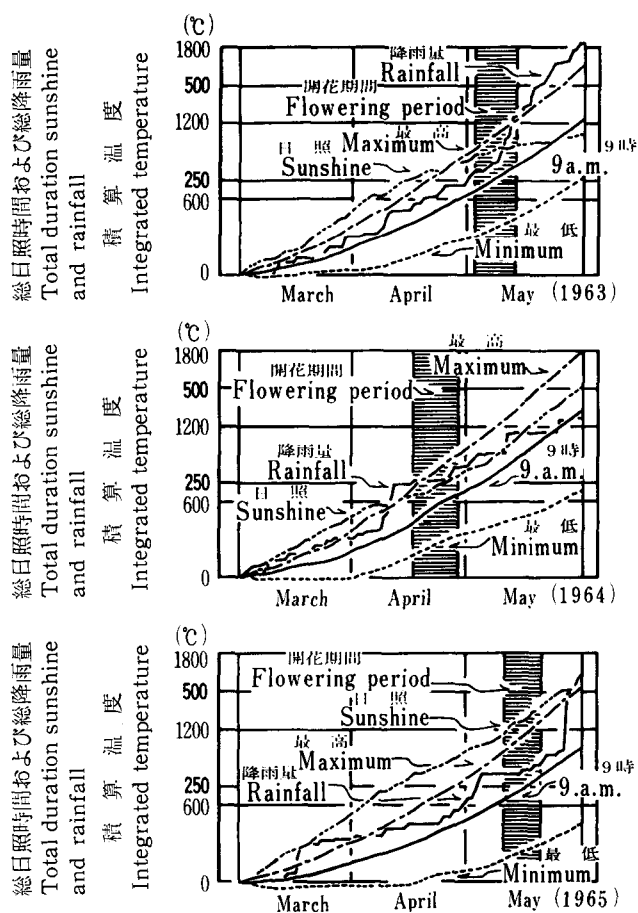


Fig 1 Types weather conditions and flowering period of the pines in 1963~1965.

(註) 図中250および500は日照時間数(h)および降雨量(mm)を示す。

5.9% でかなりたかく、種内の変動は小さかった。しかし、これらの花粉の発芽率は人工発芽床での結果であり、受粉後の発芽力や活力および受精能力については明らかでない。

2) 雌, 雄花の開花と交配時期

雌, 雄花の開花は開花前の気象状態と深い関係があり、いくつかのタイプがみられる。

その代表的なものを3月1日からの積算温度や雨量, 日照時数と開花時期とを関連して示せば Fig. 1 のとおりである。これによると, クロマツ, アカマツおよび数種の外国産マツ類の開花は1963年にみられるように3月からの気温がなだらかに上昇する場合には, およそ5月上旬から約10日間であるが, 1964年にみられるように4月に入って, 比較的温度が急に上昇する場合には開花が早められて, 4月中旬から約10日間であり, また, 1965年にみられるように4月に入ってから気温が上昇せず, とくに, 最低気温が4月中旬までも0°Cの期間が続くような場合には開花が遅れ5月中旬から約10日間で開花が完了する。しかしながら, この図や Table 2 からでもわかるように, 65年には3月からの日照時数が388時間であるにもかかわらず開花はもっとも遅く, 64年には日照時数が220時間で開花し始めている。これらのことから, かならずしも日照時間の多い場合に開花が促進されるものではなく, 雨量についても同様のことがうかがわれる。したがって, 温度因子がマツ類の開花にもっとも影響するようと思われる。これについて, Scamoni(1938)はマツの雄花に関する外的条件の研究において, 温度は他の外的条件より, もっとも深い関係があるとのべている。

Table 2 Accumulated temperature, total duration of sunshine and total rainfall to be added from March 1st in each year shown their weather conditions in the beginning and finish of the flowering in 1963, 1964 and 1965.

年 度 Year	開 花 期 間 Flowering period		積 算 温 度 Accumulated temperature (°C)						総日照時間 Total duration of sunshine(h)		総 降 雨 量 Total rainfall (mm)	
			9 時 9 a.m.		最 高 Maximum		最 低 Minimum					
	開 始 Begin- ning	完 了 Finish	開 始 Begin- ning	完 了 Fin- ish	開 始 Begin- ning	完 了 Finish	開 始 Begin- ning	完 了 Fin- ish	開 始 Begin- ning	完 了 Finish	開 始 Begin- ning	完 了 Finish
1963	May 2nd	May 13th	685.1	869.8	1008.2	1232.1	324.6	462.0	277.4	417.6	312.9	342.0
1964	Apr. 16th	Apr. 28th	452.1	683.9	712.8	997.3	179.6	324.0	220.3	270.1	252.5	295.9
1965	May 9th	May 19th	642.4	833.4	1020.6	1263.2	177.0	292.4	388.1	457.7	287.1	306.9

雄花の開花時期についてみると、種により、個体により、また、同一個体内でも部位によりかなり異なるが、ほとんどのものは Fig.2 に示す期間内に最盛期に達する。種間の開花をみると、毎年 *P.*

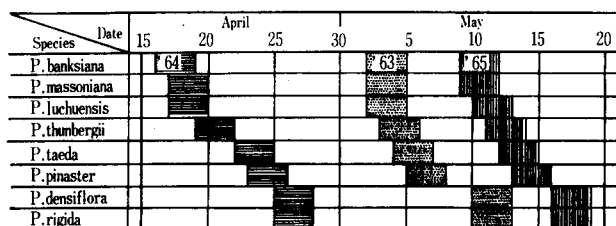


Fig 2 Relation between the male parent and flowering period in 1963~1965.

後する場合もある。また、これらの花粉飛散の盛んな期間は2~3日で *P. pinaster* のごときは年によっては1日で、ほとんどの花粉が飛散する場合もある。この5種の花粉飛散が終る頃に、*P. rigida*, *P. densiflora* が開花し始め、*P. rigida* の花粉飛散期間は *P. densiflora* に比べ比較的短かく2日程であった。

クロマツの雌花は、雄花の花粉飛散が最盛期に達した頃がもっとも熟し、この頃が交配最適期である。筆者(1967)らが調べた結果では、クロマツの交配適期は概して、雌花の桃色期から赤色期に達する頃に受粉するのが望ましく、赤色期を中心に前後1~2日の間に数回受粉すれば一層効果的であった。戸田(1955)はクロマツの交配適期は開花が始まって4~7日目頃が良く、岩川ら(1959)は満開後約1週間ぐらいが交配適期であるとのべている。

雌花の鱗片開閉口の状態をみると、交配時には種鱗と苞鱗がほぼ同じ大きさ(Fig. 3)に達して開口し、交配数日後には種鱗は発達するが苞鱗はあまり発達しない。これは Wright and Gabriel (1958) の調べた結果と一致した。さらに、交配後10数日経過した頃には、種鱗が極度に発達し、これにともなって苞鱗は背面にかたむき、種鱗と種鱗の間を閉口し外界物の潜入を完全に遮断してしまう。

また、Rohmeder ら(1959)や岩川(1959)らは種々な袋を用い、袋内と袋外の温度を調べた結果、袋内の温度は袋外にくらべ6~10°Cの温度差があると報告している。筆者らが1965年5月6日(うすぐもり: 72,000lux)と11日(快晴: 110,000lux)の2回にわたって、日中の最高温度時に調べ

banksiana がもっとも早く開花するが、本実験の材料中では個体による差異がもっとも大きく、また、同一個体内でもかなり長い開花期間を有している。ついで *P. massoniana*, *P. luchuensis*, *P. thunbergii*, *P. taeda*, *P. pinaster* が開花する。これらの種は開花期が接近して、個体によってはこの順位を前

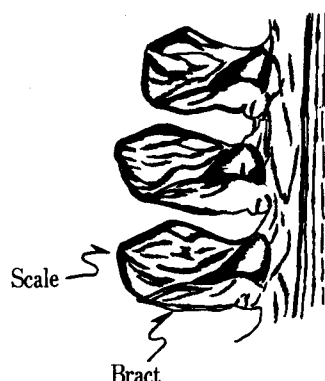


Fig 3 Scales and bracts of female flower in *Pinus thunbergii* at the pollinating

た結果、外温 27.5°C、袋内 39.5°C、外温 29.0°C、袋内 44.0°C で 12.0~15.0°C の差を生じ、快晴時には温度差がたかかった。従って、交配に際しては、袋内の温度上昇に伴ない、袋内の雌花の熟度が促進されることを十分注意しなくてはならない。植月 (1965) は袋内の温度上昇を想定し 30°C、40°C、50°C 処理中に花粉を入れ、その稔性について調べ、高温となるに従い、また、処理時間が長が続く程稔性の低下することをみとめている。筆者らは袋内が高温となると部分的に雌花の発育が阻害されることを観察した。

以上のことから、雌花の発育に悪い影響をおよぼさない程度の袋内の条件として例えば透光性のある、しかも温度があまり上昇しないような袋を用いて雌花の熟期を調節し、赤色期の前後 2~3 日間に数回受粉すれば一層たかい種子稔性が得られるように思われた。

3) 種内交雑

マツ類の種内交雑について数多くの研究のなかで、近年とくに Fowler (1964, 1965, a, b, c) は *P. resinosa* における同系交配の効果をj知るために、*P. banksiana* や *P. strobus* を用い、自然、自家、他家受粉などの研究を行なった結果、これら三種は各ことになっていることを報告している。すなわち、自家受粉において *P. resinosa* は苗木の生長について、自殖弱勢はほとんどなく、*P. banksiana* では完全粒が少なく、種子の発芽も異常であった。また *P. strobus* の自家受粉は他家受粉よりも白化現象の頻度が高く、苗木の生長は遅いと述べている。外山 (1954) はクロマツ26号と多くのクロマツを用いて種内交雑を行なった結果、種内交雑は自然交雑よりも種子稔性は劣り、また個体によっては交雑不和合性の現象があることをみ、さらに組合せによっては稔性がきわめて異なる場合があると報告している。

本実験において数個体のクロマツを用いて種内交雑（自家、他家、自然、無受粉）を行なった結果は Table 3 にしめすとおりである。

まず結果率についてみると、自家 (67.9%)、他家 (68.8%) 受粉はともに高く、無受粉 (23.4%) は他のものよりとくに低かった。球果の大きさでは長径、短径、重量とも自然受粉がもっとも大きく、ついで他家、自家受粉となり、無受粉ではもっとも小さかった。

1 球果当りの充実種子数および種子稔性では自然、他家、自家受粉の順に低下したが、充実率では他家、自然、自家の順となり、無受粉ではいずれもとくに低く、ほとんど種子が得られないことが判明した。

種子の大きさでは自然、他家、自家受粉の間ではほとんど差異はみとめられなかった。

いままで多くの研究者 (Dengler, 1932, Plym Forshell, 1953, Ehrenbery et al., 1955, Bingham and Squillace, 1955, Servas, 1962, Fowler, 1965,) によるマツ類の自家受粉の種子生産は他家受粉よりも低いことが知られている。しかし種により、また種の中の個体により、さらに組合せによっても大きな変異があることについて Squillace and Kraus (1963) および Kraus and Squillace (1964) は *P. elliottii* Engelm. で、Bingham and Squillace (1955) および Barnes et al. (1962) らは *Western white pine* でそれぞれ報告している。とくに Mergen et al. (1965) らは *Picea glauca* で自家受粉した充実種子粒は木によって大きい変異 (0~21.9粒、平均5.3粒) のあることを報告している。

Table 3 Results of open, self, cross and non pollination in *Pinus thunbergii* (1965)

受 粉 Pollination 頂 Items		自然受粉 Open	自家受粉 Self	他家受粉 Cross	無 受 粉 Non.
雌 花 数 No. of female flowers		— ※	53	77	128
採 取 球 果 数 No. of collected cones		192	36	53	30
結 果 率 Cone set percentage (%)		— ※	67.9	68.8	23.4
鱗 片 数 No. of cone scales		75 ± 8.0	81 ± 6.8	76 ± 5.4	73 ± 7.8
胚 珠 数 No. of cone ovules		150	162	152	146
採 取 種 子 数 No. of obtained seeds		10681	1659	2211	14
充 実 種 子 数 No. of full seeds		6856	744	1812	1
枇 種 子 数 No. of empty seeds		3825	915	399	13
一球果当りの充実種子数 Full seeds per cone		35.7 ± 9.1	20.7 ± 4.9	34.2 ± 7.6	0.03 ± 1.0
充 実 率 Full seeds per obtained seeds (%)		64.2 ± 10.1	44.8 ± 6.5	82.0 ± 7.3	7.1 ± 41.8
種 子 稔 性 Seed fertility (%)		23.8 ± 4.7	12.8 ± 2.2	22.5 ± 5.6	0.02 ± 0.9
球果の大きさ Cone size	長 径 length (cm)	5.2 ± 0.5	4.1 ± 0.4	4.8 ± 0.3	3.9 ± 0.4
	短 径 width (cm)	2.9 ± 0.2	2.7 ± 0.2	2.7 ± 0.1	2.3 ± 0.2
	生 重 量 Fresh wt. (g)	17.2 ± 3.4	16.0 ± 2.5	15.6 ± 1.7	7.8 ± 1.0
種子の大きさ Seed size	長 径 length (mm)	5.4 ± 0.4	5.4 ± 0.4	5.2 ± 0.4	5.0
	短 径 width (mm)	3.3 ± 0.3	3.2 ± 0.4	3.1 ± 0.3	3.0
	生 重 量 Fresh wt. (mg)	15.1 ± 1.4	15.2 ± 1.9	14.7 ± 1.3	15.0

※ 調査せず。 No examination

本実験における個体ごとの交配結果も Table 4 にしめすとおり、同様に木によって、さらに個体の組合せによってもことがみられた。すなわち結果率については自家受粉した S1, G13, G14 (83.3~100%) は他の個体 (40.0~66.7%) よりも高率をしめしたが、S1 と S2号木の組合せや、S2 と S1号木および G2 と G4号木の組合せではまったく結果しなかった。また一球果当りの充実種子数は自家受粉で 8.5~34.8 粒の変異をしめし、他家受粉の G15 と S2号木 (43.7粒)、G14 と S2号木 (42.0粒) の組合せは高く、G2 と G3号木 (3.0粒) はとくに低かった。一方無受粉の場合はまったく種子が得られず、G15号木の 1 粒のみであった。種子稔性についてみても同様の傾向がみら

Table 4 Results of individual female parent on open, self, cross and non pollination.

受粉 Polli- nation	項 Items 雌性親 Female parent	雌 花 数	採取球果数	結 果 率	鱗 片 数	胚 珠 数	總種子数	充實種子数	秕種子数
		No. of female flowers (A)	No. of collected cones (B)	Cone set percent. (%) (B/A)	No. of cone scales (C)	No. of cone ovules (D)	Obtained total seeds (E)	No. of full seeds (F)	No. of empty seeds
自然受粉 Open	S 1		30		86 ± 8.9	172	1,276	813	463
	S 2		30		65 ± 9.1	130	1,588	908	660
	G 2		5		96 ± 2.2	192	417	144	273
	G 4		12		70 ± 8.9	140	812	495	317
	G 5		10		73 ± 8.7	146	481	428	53
	G 6		13		74 ± 13.1	148	738	658	80
	G 8		2		67 ± 6.6	134	99	89	10
	G 13		8		84 ± 7.8	168	542	349	193
	G 14		30		79 ± 8.8	158	1,872	1,094	788
	G 15		23		68 ± 6.7	136	1,131	629	502
	G 16		29		76 ± 7.4	152	1,725	1,249	476
自家受粉 Self	S 1	7	6	85.7	86 ± 7.7	172	121	52	69
	S 2	15	8	53.3	77 ± 10.1	154	260	83	177
	G 2	2	1	50.0	83	166	99	11	88
	G 4	10	4	40.0	71 ± 12.9	142	229	86	143
	G 5	3	2	66.7	77 ± 2.0	154	35	17	18
	G 13	6	5	83.3	87 ± 10.0	174	294	147	147
	G 14	10	10	100.0	84 ± 5.1	168	621	348	273
他家受粉 Cross	S1 × S2	5	0	0					
	S1 × G2	9	9	100.0	66 ± 7.4	132	254	213	41
	S2 × S1	6	0	0					
	S2 × G2	6	5	83.3	86 ± 6.6	172	52	35	17
	G2 × G3	2	1	50.0	83	166	65	3	62
	G2 × G4	2	0	0					
	G4 × G2	4	2	50.0	52 ± 1.0	104	33	30	3
	G14 × S2	29	25	86.2	81 ± 9.3	162	1,285	1,050	235
	G15 × S2	14	11	78.6	71 ± 7.9	142	522	481	41
無 受 粉 Non.	S 1	15	0	0					
	S 2	15	6	40.0	64 ± 7.2	128	0	0	0
	G 2	1	0	0					
	G 4	13	0	0					
	G 5	3	3	100.0	71 ± 11.3	142	0	0	0
	G 6	5	1	20.0	84	168	0	0	0
	G 7	4	2	50.0	84 ± 8.5	168	0	0	0
	G 8	3	0	0					
	G 13	15	0	0					
	G 14	16	0	0					
	G 15	25	18	72.0	64 ± 12.0	128	14	1	13
	G 16	13	0	0					

1球果当りの 充実種子数 Full seeds per Collected (G) seeds (F/B) (%)	充実率 Full seeds per obtained seeds (F/E) (%)	種子稔性 Seed fertility (G/D) (%)	球果の大きさ Size of cones			種子の大きさ Size of seeds		
			長 径 Length (cm)	短 径 Width (cm)	生重量 Fresh wt. (g)	長 径 Length (mm)	短 径 Width (mm)	生重量 Fresh wt. (mg)
27.1± 5.5	63.7±10.0	15.8± 3.6	5.6±0.4	3.0±0.1	19.9± 2.8	5.2±0.4	3.5±0.5	16.1± 2.1
30.3± 7.3	57.2± 7.7	23.3± 6.5	4.7±0.4	2.8±0.3	14.0± 2.5	5.6±0.6	3.7±0.5	19.6± 1.4
28.8± 2.1	34.5±18.3	15.0± 0.9	5.9±0.4	3.3±0.3	24.2± 3.3	4.6±0.5	3.0± 0	10.7± 1.3
41.3±12.2	61.0±10.1	29.5± 6.5	5.8±0.6	3.0±0.2	17.9± 2.9	5.8±0.6	3.0± 0	18.4± 1.5
42.8± 9.3	89.0± 8.2	29.3± 4.4	5.0±0.5	2.8±0.2	16.7± 4.8	5.4±0.5	3.2±0.4	15.2± 1.4
50.6±12.2	89.2± 4.8	34.2± 4.4	5.2±0.6	2.9±0.2	17.9± 4.4	5.1±0.1	3.1±0.2	12.9± 1.2
44.5± 6.5	89.9± 0	33.2± 1.2	4.9±0.2	2.9±0.1	15.2± 1.0	5.4±0.5	3.0±0.4	14.5± 1.2
43.6± 8.7	64.4± 8.4	26.0± 4.2	5.1±0.8	2.8±0.2	14.2± 3.7	5.2±0.4	3.3± 0	10.1± 1.0
36.5±10.9	58.4±14.7	23.1± 6.3	4.6±0.4	2.7±0.3	13.2± 2.7	5.9±0.3	3.1±0.3	14.2± 1.3
27.3± 9.4	55.6±14.6	20.1± 6.0	4.8±0.6	2.9±0.3	15.9± 3.4	5.4±0.5	3.6±0.4	16.2± 1.1
43.1±15.8	72.4±14.6	28.4± 8.9	5.8±0.7	3.0±0.3	20.0± 5.6	5.7±0.4	3.7±0.5	18.6± 1.7
8.9± 3.7	43.0± 8.5	5.1± 2.0	5.3±0.4	2.6±0.1	13.1± 2.2	4.9±0.4	3.2±0.4	14.5± 2.9
10.4± 9.0	31.9±10.7	6.8± 1.6	4.9±1.2	2.6±0.5	13.4± 6.9	6.1±0.3	3.9±0.3	20.9± 2.5
11.0	11.1	6.6	6.8	3.6	34.0	5.3±0.4	3.4±0.5	18.5± 1.5
21.5± 5.1	37.6± 5.0	15.1± 2.9	5.5±0.4	2.6±0.4	16.6± 3.3	5.7±0.4	3.4±0.5	17.7± 1.5
8.5± 4.5	48.6± 8.2	5.5± 1.8	4.4±0.1	2.6±0.1	13.4± 1.3	5.5±0.7	3.2±0.4	15.6± 3.0
29.4± 7.1	50.0± 5.4	16.9± 3.5	5.0±0.4	2.8±0.1	13.8± 1.8	5.2±0.4	3.0± 0	12.1± 0.9
34.8± 5.0	56.0± 7.6	20.7± 3.8	3.9±0.5	2.4±0.2	7.5± 1.9	4.8±0.4	2.5±0.5	7.2± 1.0
23.7±19.4	83.7± 9.8	18.0±13.5	4.8±0.4	2.5±0.1	10.0± 1.0	5.4±0.6	3.5±0.5	16.7± 1.3
7.0± 1.8	67.3±14.9	4.1± 1.2	5.0±0.1	2.8±0.1	13.4± 1.1	5.1±0.4	3.5±0.5	18.6± 2.2
3.0	4.6	1.8	6.1	3.2	24.2	5.0±0	3.0± 0	14.3± 0.8
15.0± 2.0	90.9± 1.8	13.6± 5.3	4.3±0.4	2.3±0.1	10.1± 1.1	6.0±0.4	3.4±0.5	18.9± 1.4
42.0±10.8	81.7±13.5	25.9± 6.4	3.7±0.6	2.4±0.2	20.6± 2.7	4.7±0.4	2.4±0.5	7.3± 0.9
43.7±11.8	92.1± 3.6	30.9± 7.4	5.0±0.5	2.8±0.2	15.4± 4.0	4.7±0.5	3.0± 0	12.3± 1.3
			3.5±0.4	2.1±0.2	5.2± 1.9			
			3.5±0.4	2.2± 0	7.1± 1.1			
			4.4	2.7	11.3			
			3.9±0.2	2.4±0.2	8.8± 1.1			
1.0	7.0	0.8	3.9±0.8	2.3±0.5	6.5± 0.8	5.0	3.0	15.0

れ、自家受粉で 5.1~20.7%, 他家受粉で 1.8~30.9% の変異をしめし、とくに G2 と G3 号木 (1.8%), S2 と G2 号木 (4.1%) との組合せは低かった。球果の大きさおよび種子の大きさについては、自然受粉は個体間で大差なく、自家や他家および無受粉の場合にかなりの差異がみられ、とくに重量においてはいずれも差異が顕著であった。

自然、自家、他家および無受粉の充実種子数、充実率、種子稔性などの有意性の検定の結果、充実種子数では 4 者間では 0.5% 水準で有意差をみとめ、一方それぞれの受粉間では、自然受粉と他家受粉のみが 5% 水準で有意差はみとめられず、他の受粉間では 1% 水準で有意であった。また充実率および種子稔性では全体および受粉間ですべて有意差がみとめられた。したがって、充実率では明らかな差異を生じ、他家、自然、自家および無受粉の順に低いことがわかった。充実種子数や稔性で、自然受粉と他家受粉間で有意差はなく、個体によって他家受粉の方が充実種子の多いことがわかった。しかし逆に個体によって自家受粉は他家受粉よりも一層活力ある種子が出来ることについて Plym Forshell (1953) は *P. silvestris* で報告している。また Fowler (1965.C) は *P. banksiana* で自家、他家受粉の結果、結果率、発芽率などについて有意性の検定を行なっているが、これらは木の間、木と花粉の相互作用によってもことなっていることを報告している。また、各受粉間における球果の落下や、大きさについては、第3, 4表でみられるように、自家、無受粉は、他家、自然受粉よりも多く、かつ小さかったことについて、これと同様の実験は勝田(1965)らによっても報告されている。すなわち、クロマツの落果は種間や無受粉では自家、他家受粉にくらべて多いが、個体内ではかなりのちがいをみとめ、種間や無受粉で得られる球果は小さいものが多く、自家受粉で得られる球果は他家受粉で得られるものより小さく、しかも細長いことを指摘している。また落下の時期については Dengler (1932), Plym Forshell (1953), Wright (1953), Mergen (1954) によると無受粉の場合には少なくとも生長の 2 年目の始めに胚珠は退化し、球果は落下するとみている。しかし Max Hagman (1963) によると *P. Peuce* の無受粉では木によって落下がことなり、また木によっては球果が発達を続けるものもあるが、落下する球果は胚珠の退化が最初の年の後期にすでに始まっていると述べている。

つぎに自家受粉は自然受粉よりも秕粒の多いことについては、佐藤 (1961) らはクロマツとアカマツで、Bingham and Squillace (1955), Barnes. et al. (1962) らは *P. monticola* で、Dengler (1932), Plym Forshell (1953), Ehrenberg et al. (1955) らは *P. silvestris* で Sarvas (1962) は *P. nigra* でそれぞれ報告している。本実験においても同様の結果がみられた。自家受粉による種子生産の低下、また秕の多い原因については Buchholz (1918, 1944) は *P. ponderosa* などで、Allen (1942) は *Pseudotsuga menziesii* で、Plym Forshell (1953), Ehrenberg et al. (1956) らは *P. silvestris* で、Bingham and Squillace (1955), Barenes et al. (1962) らは *P. monticola* Dougl. で、Orr-Ewing (1957) は *Douglas fir. (Pseudotsuga menziesii Franco)* で、McWilliam and Mergen (1958) は *P. rigida* などで、Sarvas (1962) は *P. nigra* で、Max Hagman et al. (1963) らは *P. peuce Griseb* で、Mergen et al. (1965) らは *Picea glauca* で、それぞれ細胞学的観察を行ない、胚と胚乳の生理的不親和、受粉後の花粉管の伸長停止、受精後の胚の崩壊、胚珠内の未成熟胚間の競争などによると報告し、さらに胚の崩壊の原因については、劣性致死因子あるいは有害劣性遺伝子のホモ接合性の増加によっておこるだろうとのべている。

以上種内交雑における自家、無受粉の種子稔性の低下、秕粒の多かったことは、上述の諸原因によるものと思われるが、今後さらに稔性の低い個体およびその組合せについてはくりかえし実験を行ない、とくに細胞学的観察などについて究明したい。

4) 種間交雑

a) 交配結果

マツ類における種間交雑の研究のなかで、交雑可能性の研究について Wright and Gabriel (1958) らは *Hard pine, Pinus sylvestris* 系列の交雑を行ない、交雑可能性と雑種苗木の生長につい

Table 5 Results of the interspecific pollination among the *Pinus thunbergii* (female parent) and the *P. densiflora* and other seven species (male parent)

項 Items	雄 性 親 Male Parent	<i>P. thunb.</i>	<i>P. dens.</i>	<i>P. taeda.</i>	<i>P. luchu.</i>	<i>P. masso.</i>	<i>P. rigida</i>	<i>P. pinast.</i>	<i>P. banks.</i>
雌 花 数 No. of female flowers		150	96	723	401	112	303	372	349
採取球果数 No. of collected cones		112	50	478	218	89	188	182	118
結 果 率 Cone set percentage		74.7	52.1	66.1	54.4	79.5	62.0	48.9	33.8
鱗 片 数 No. of cone scales		77.3±7.8	79.3±6.6	78.8±8.7	80.0±7.5	76.6±11.7	71.9±11.4	79.3±6.9	78.3±6.5
胚 珠 数 No. of cone ovules		155	159	158	160	153	144	159	157
総種子数 No. of obtained total seeds		4,530	914	11,737	8,384	3,811	1,273	4,498	1,474
充実種子数 No. of full seeds		3,825	385	244	2,333	669	3	2	97
枇種子数 No. of empty seeds		705	529	11,493	6,051	3,142	1,270	4,496	1,377
1球果当りの 充実種子数 No. of full seeds per cone		34.2±12.2	7.7±3.6	0.5±3.6	10.7±8.3	7.5±10.9	0.02±1.0	0.01±0.1	0.8±8.3
充 実 率 Full seeds per obtained seeds (%)		84.4±9.0	42.1±5.6	2.1±7.1	27.8±8.6	17.6±15.4	0.2±3.6	0.04±0.2	6.6±6.9
種子稔性 Seeds fertility (%)		20.6±6.1	5.0±1.9	0.5±1.8	7.5±4.4	5.0±5.0	0.01±0.1	0.01±0.1	0.6±3.0

て調査を行なっている。

本実験においてクロマツを雌性親として、アカマツおよび数種の外国産マツ類を雄性親として交雑を行なった結果は Table 5 にしめすとおりである。5カ年間に受粉した総雌花数は 2,506花で、*P. taeda* との組合せはもっとも多く 723花、ついで *P. luchuensis* 401花、*P. pinaster* 372花など、主として外国産マツ類との組合せに重点を置いて行なった。

まず結果率についてみると *P. thunbergii* × *P. massoniana* (以下クロマツとのかけ合せを×記号で表す) は 79.5% で、× *P. thunbergii* (74.7%) より高く、× *P. banksiana* は 33.8% で組合せ中もっとも低く、他の組合せでは 52.1~66.1% の範囲であった。

一球果当りの充実種子数は、× *P. thunbergii* が 34.2粒 でもっとも多く、ついで × *P. luchuensis*, × *P. densiflora*, × *P. massoniana* は 10.7~7.5粒をしめし、× *P. banksiana*, × *P. taeda*, × *P. rigida*, × *P. pinaster* の組合せでは 0.8~0.01粒 にすぎなかった。

充実率では、× *P. thunbergii* は 84.4% でもっとも高く、ついで × *P. densiflora*, × *P. luchuensis*, × *P. massoniana*, × *P. banksiana*, × *P. taeda* は 42.1~2.1% の範囲で、× *P. rigida* や

Table 6 Results of the interspecific pollination among the *Pinus thunbergii* (female parent) and the *P. densiflora* and other seven species (male parent) in each year during from 1961 to 1965.

雄 性 親 Male parent	交配年度 Crossing year	項 Items	雌 花 数 No. of female flowers (A)	採取球果数 No. of collected Cones (B)	結 果 率 Cont set percentage (B/A)	鱗 片 数 No. of cone scales (C)
<i>P. thunbergii</i>	1961		47	39	83.0	83.4 ± 9.9
	1962		6	6	100.0	62.0 ± 6.9
	1963					
	1964		20	14	70.0	92.4 ± 7.6
	1965		77	53	68.9	71.1 ± 6.4
<i>P. densiflora</i>	1961					
	1962		21	4	19.0	78.5 ± 3.7
	1963		55	33	60.0	81.4 ± 11.4
	1964		20	13	65.0	78.1 ± 4.6
	1965					
<i>P. taeda</i>	1961		70	51	72.9	80.7 ± 11.0
	1962		41	24	58.5	85.0 ± 7.1
	1963		98	79	80.6	72.2 ± 12.4
	1964		394	252	64.0	78.7 ± 6.8
	1965		120	72	60.0	77.6 ± 6.5
<i>P. luchuensis</i>	1961		5	2	40.0	79.5 ± 1.5
	1962		26	17	65.4	80.3 ± 3.2
	1963		129	87	67.4	82.5 ± 11.8
	1964		151	70	62.8	83.5 ± 7.7
	1965		90	42	46.7	74.2 ± 13.5
<i>P. massoniana</i>	1961					
	1962					
	1963					
	1964		40	34	85.0	77.1 ± 10.3
	1965		72	55	76.4	76.0 ± 13.2
<i>P. rigida</i>	1961					
	1962					
	1963		137	98	72.3	70.3 ± 18.2
	1964		41	30	73.2	77.2 ± 6.6
	1965		125	60	48.0	72.2 ± 9.5
<i>P. pinaster</i>	1961		7	2	28.6	80.0 ± 0
	1962		27	7	25.9	89.4 ± 6.6
	1963		161	83	51.6	78.5 ± 10.6
	1964		50	44	88.0	72.9 ± 8.1
	1965		127	46	36.2	75.9 ± 9.1
<i>P. banksiana</i>	1961		30	6	20.0	71.1 ± 6.4
	1962		32	9	28.1	84.3 ± 6.2
	1963		122	3	2.5	81.3 ± 3.2
	1964		46	25	54.3	72.2 ± 7.7
	1965		119	75	63.0	82.6 ± 9.1

胚 珠 数 No. of cone ovules (D) (B×2)	総種子数 Obtained total seeds (E)	充実種子数 No. of full seeds (F)	秕種子数 No. of empty seeds	1球果当りの 充実種子数 Fulls eeds par collected cones E/B (G)	充 実 率 Full seeds per obtained seeds E/D	種 子 稔 性 Seeds fertility F/D
167	1,366	1,152	214	29.5 ± 13.6	84.3 ± 9.6	17.4 ± 8.5
124	67	15	52	2.5 ± 3.2	16.5 ± 14.2	1.9 ± 2.4
185	886	846	40	60.4 ± 13.9	95.5 ± 3.3	32.4 ± 6.5
142	2,211	1,812	399	34.1 ± 18.3	82.0 ± 8.7	24.1 ± 6.7
157	55	0	55	0	0	0
163	858	385	473	11.7 ± 10.7	44.9 ± 16.9	7.2 ± 5.8
156	1	0	1	0	0	0
161	700	0	700	0	0	0
170	686	200	486	8.3 ± 10.5	18.2 ± 22.0	5.4 ± 7.3
144	958	19	939	0.2 ± 1.5	2.0 ± 8.5	0.01 ± 1.2
157	7,195	24	7,171	0.1 ± 1.4	0.3 ± 4.4	0.04 ± 0.6
155	2,148	1	2,147	0.01 ± 0.1	0.1 ± 0.4	0.01 ± 0.1
159	17	10	7	5.0 ± 1.0	58.5 ± 8.5	3.2 ± 0.6
161	629	85	544	5.0 ± 3.5	13.4 ± 9.1	2.9 ± 2.1
165	2,896	1,799	1,097	20.7 ± 18.7	62.1 ± 6.5	12.6 ± 12.3
167	3,493	219	3,274	1.7 ± 11.4	4.8 ± 5.1	1.0 ± 1.9
148	1,349	220	1,129	5.2 ± 6.7	16.3 ± 13.9	3.5 ± 4.9
154	1,698	279	1,419	8.2 ± 13.0	16.4 ± 12.5	5.3 ± 3.7
152	2,113	390	1,723	7.1 ± 8.7	18.5 ± 18.3	4.4 ± 6.2
141	60	2	58	0.02 ± 0.1	3.3 ± 10.1	0.01 ± 0.2
154	199	0	199	0	0	0
144	1,014	1	1,013	0.01 ± 0.1	0.1 ± 0.8	0.01 ± 0.2
160	32	0	32	0	0	0
179	0	0	0	0	0	0
159	1,174	0	1,174	0	0	0
146	1,219	0	1,219	0	0	0
152	2,073	2	2,071	0.05 ± 0.6	0.1 ± 0.8	0.03 ± 0.5
142	14	0	14	0	0	0
169	37	0	37	0	0	0
163	134	74	60	24.6 ± 20.5	55.2 ± 26.8	15.1 ± 14.4
144	980	20	960	0.8 ± 20.8	2.0 ± 3.1	0.5 ± 0.4
165	309	3	306	0.04 ± 0.2	1.0 ± 4.4	0.02 ± 0.1

×*P. pinaster* は 0.2, 0.04 % と非常に低く、充実種子は得られなかった。

種子稔性では、×*P. thunbergii* は 20.6 % で、×*P. luchuensis* (7.5%), ×*P. densiflora* (5.0%), ×*P. massoniana* (5.0%) の 3 組合せはかなり類似している。しかし他の組合せでは 0.6% ~ 0.01% の範囲できわめて低かった。

これらを交配年度別にみた結果は、Tabl 6 にしめすとおりで、×*P. thunbergii* の結果率は 68.9~100%, 1 球果当りの充実種子数は 3~60 粒、稔性では 2~32% と年によってかなりの変異をしめしている。62 年度に交配した結果率は高いが、1 球果当りの充実種子数はきわめて少なく、充実率や稔性も低かった。しかし 61, 64, 65 年の結果では、結果率 70~80% を示し、1 球果当りの充実種子数でも 29.5~60.4 粒を示した。とくに 64 年度のものは 32.4% の稔性を示し、年度を通じてもっとも高く、また充実率でも 95% を示し、得られた種子の大部分は充実種であった。

×*P. densiflora* の結果率では、62 年度の 19% を除くと、63, 64 年度で共に 60, 65% を示し良好であった。しかしながら充実種子数は 63 年度交配だけが得られ、1 球果当り 11.7 粒、充実率は 45% を示し、稔性は 7.2% を示した。

×*P. taeda* の結果率は 59~80% をしめし、交配年度を通じてあまり大きな差異はみられない。とくに 62 年度交配では 394 花を用いて 252 果を得、64% であった。1 球果当りの充実種子数では 62 年度で 8.3 粒を示し、他の交配年度では 1 粒にみたない状態であった。62 年度の充実率 18.2%, 種子稔性 5.4% を示した。

×*P. luchuensis* の結果率 (40~67%) は交配年度を通じて大差はみられず、1 球果当りの充実種子数では 1.7~20.7 粒の範囲を示した。充実率は 5.0~62.0% を示し、充実種子の多かった 63 年度は 12.6% の高い種子稔性を示したが、64 年度では 1.0% と低く、他の年度では 3.0% 前後を示した。

×*P. massoniana* では 64 年と 65 年の 2 回の交配だけであるが、高い結果率 (85.0~76.4%) を示し、各種の組合せ中もっとも高かった。1 球果当りの充実種子数は 8.2, 7.1 粒であるが、充実率では 16.4, 18.5% を示し、かなり枇のあることを示した。種子稔性では 5.3, 4.4% を示した。

×*P. rigida* では 63, 64 年度で 72.0, 73.0% の結果を示し良好であったが、65 年度では 48.0% とやや低下した。1 球果当りの充実種子数では 0.02, 0.01 粒と非常に低く、また充実率および稔性もとくに低く、充実粒が得られないことをしめた。

×*P. pinaster* では交配年度を通じて 26~88% の結果をしめし、64 年度がもっとも高く、62 年度が低かった。採取した種子のほとんどが枇粒で、65 年度交配のみ 2 粒の充実種子が得られたにすぎず、交雑可能性の低いことをしめた。

×*P. banksiana* の交配においても、結果は交配年度を通して 2.5~63.0% の幅の広い変異を示し、年によって大きくことなっている。充実種子が得られた年度は 63, 64, 65 年の交配で、1 球果当りの充実数は 63 年度がもっとも高く 24.6 粒を示し、他の年度では 1 粒にみたなかった。とくに 64 年度の充実率は 55.2% を示し、稔性においても 15.1% で他の年度よりも高かった。

これらの結果についてのおおの分散分析による有意性の検定を行なった。まず結果率ではすべての組合せ間で 0.5% 水準で有意差があり、個々の組合せ間では ×*P. thunbergii* と ×*P. densiflora*, ×*P. luchuensis*, ×*P. pinaster*, ×*P. banksiana* 間および ×*P. densiflora* と ×*P. massoniana* 間, ×*P. massoniana* と *P. pinaster*, ×*P. banksiana* 間, ×*P. taeda* と ×*P. banksiana* 間, ×*P. rigida* と ×*P. banksiana* 間でそれぞれ 1% 水準で、また ×*P. luchuensis* と *P. massoniana* および *P. taeda* と *P. pinaster* 間では 5% 水準で有意差がみとめられたが、他の組合せ間では有意差はみとめられなかった。したがって、×*P. thunbergii* や ×*P. massoniana* は組合せ中ともに高く、*P. banksiana* がもっとも低く、他の組合せ間ではあまりはっきりした傾向はみられなかった。

充実種子数の分散分析の結果は全体では 0.5% 水準で有意差がみとめられ、個々の組合せ間では

×*P. taeda* と ×*P. rigida*, ×*P. pinaster*, ×*P. banksiana* 間, ×*P. pinaster* と *P. banksiana* 間, ×*P. rigida* と *P. pinaster* および ×*P. banksiana* 間では有意差がなく, その他の組合せ間では 1% 水準で有意差がみとめられた。

充実率を全体的にみると, 0.5% 水準で有意差をみとめ, 個々の組合せ間では ×*P. taeda* と ×*P. banksiana* 間で 5% 水準で有意差をみとめ, ×*P. rigida* と ×*P. pinaster* 間では差はなく, 他の組合せ間では 1% 水準で有意差がみとめられた。しかしながら, 種子稔性についてみると ×*P. densiflora* と ×*P. massoniana* 間, ×*P. taeda* と ×*P. rigida*, ×*P. pinaster*, ×*P. banksiana* 間, ×*P. rigida* と ×*P. pinaster*, *P. banksiana* 間, ×*P. pinaster* と ×*P. banksiana* 間では有意差はなく, 他の組合せ間では 1% 水準で有意差がみとめられた。

これらの結果から明らかなように, *P. thunbergii* に *P. taeda*, *P. rigida*, *P. pinaster*, *P. banksiana* などの組合せはほとんど交雑が不可能であり, *P. densiflora* や *P. luchuensis*, *P. massoniana* などは可能であることが判明した。

染郷ら (1964) のクロマツとリュウキュウマツとの組合せは, クロマツとタイワンアカマツとの組合せよりも高い稔性を示し, 親和性の高いことをみ, Wright (1958) らは *Sylvestris* 系列の交雑を行ない, *P. thunbergii* に *P. thunbergii*, *P. densiflora*, *P. massoniana* などを交配し, *P. massoniana* は *P. densiflora* よりも多い充実種子を得, 本実験と同様交雑が比較的容易な種であることを報告している。さらに岩川 (1961) は日本のクロマツやアカマツは概してアメリカ産のものより, ヨーロッパ産やアジア産のものと成功する可能性の高いことをのべているが, 四手井 (1961) らは *P. thunbergii* に *P. taeda*, *P. banksiana*, *P. pinaster* の組合せでかなり多くの有胚種子を得, アメリカ産のものでも可能であるとしている。また, 前田 (1965) はクロマツとテーダマツとの組合せから雑種苗木を検定し, 一応雑種性を有していることをのべ, 野原 (1951) らはアカマツおよびクロマツとテーダマツとの交配の結果, ほとんど不成功に帰したが, テーダマツ (1号) × アカマツ (1号) から 1 球果 150 粒の種子を得たことを報告している。本実験でおこなったアメリカ産およびヨーロッパ産のものととの組合せ結果では, 交配年度によっては充実種子をわずかに得られる場合があるが, 毎年平均して充実種子は得られなかった。しかしこれらのなかには球果や種子が単為結果的に發育するものもあるように思われる。これについて勝田 (1965) はクロマツで調べた結果, 個体によって単為結果を起すことを指摘し, また, Wright (1953) や Plym Forshell (1953) らもマツのいくつかの種で単為結果の存在を記録している。一方 Fowler (1965) は *Red pine* で試験した結果は明らかでなく, McWilliam (1959) は交雑したマツ類では単為結果を観察しなかったと報告している。これらの点については, 次代検定によって解明する必要があると思う。したがって, 得られる充実種子量は, その年の開花時期の遅速や交配時期, 方法あるいは受粉してから受精までの花粉および雌性配偶体の発達過程および受精後の胚の発達ならびに母樹の個体のちがいなどによるものと思われる。また交雑不能の原因については Max-Hagman (1963) や MacWilliam (1959) などによって胚の死滅, 胚珠の崩壊, 二種間のアミノ酸の量的差異などについての種々な説明があるが, 結局は生理的, 遺伝的不親和性によるものと思われる。

以上クロマツを雌性親としたアカマツ他数種の外国産マツとの組合せについて本実験の結果では, 種の地理的分布, とくにアジアに分布する品種間では, 他の地域に分布する品種間よりも交雑が容易であった。現在広範な種間交雑に関する研究が進められており, これら地理的分布との関係については次の報告で明らかにしたい。さらに染色体間の変異と交雑可能性との関係などについても併せて追及したい。

b) 球果および種子の大きさと発芽状況

この項では種間交雑で得られた球果や種子の大きさとそれらの発芽状態について, おおよその傾向についてのべ, 次回の雑種検定についての報告でさらに詳しくまとめたい。

得られた球果や種子の大きさは Table 7 にしめすとおりである。まず球果の長径では, ×*P. thu-*

nbergii が 5.4cm でもっとも長く, $\times P. densiflora$ は 3.7cm でもっとも短かく, 他の組合せ間では 4.5~5.1cm の範囲をしめた。短径では 2.0~3.1cm でほとんど大差はみとめられないが, $\times P. massoniana$, $\times P. luchuensis$, $\times P. thunbergii$ などは他の組合せよりやや大きいようであった。生重量についてみると, $\times P. thunbergii$ は 16.0g でもっとも重く, $\times P. densiflora$ は 5.1g で

Table 7 Size of cone and seed obtained from inter-specific pollination

項 Items	雄 性 親 Male Parent	$\times P.$ thunb.	$\times P.$ dens.	$\times P.$ taeda	$\times P.$ luchu.	$\times P.$ masso.	$\times P.$ rigida	$\times P.$ pinast.	$\times P.$ banks.
球 果 Cone	長 径 Length (cm)	5.4 $\pm$ 0.4	3.7 $\pm$ 0.4	4.8 $\pm$ 0.4	5.1 $\pm$ 0.3	4.8 $\pm$ 0.3	4.8 $\pm$ 0.7	4.5 $\pm$ 0.5	4.5 $\pm$ 0.4
	短 径 Width (cm)	3.0 $\pm$ 0.1	2.0 $\pm$ 0.2	2.6 $\pm$ 0.3	2.9 $\pm$ 0.2	3.1 $\pm$ 0.2	2.6 $\pm$ 0.3	2.5 $\pm$ 0.3	2.6 $\pm$ 0.2
	生 重 量 Fresh								
	weight (g)	16.0 $\pm$ 3.1	5.1 $\pm$ 0.9	12.7 $\pm$ 3.2	12.7 $\pm$ 1.4	10.6 $\pm$ 3.3	10.1 $\pm$ 3.6	8.8 $\pm$ 2.6	10.0 $\pm$ 3.5
種 子 Seed	長 径 Length (mm)	5.7 $\pm$ 0.6	5.5 $\pm$ 0.5	5.8 $\pm$ 0.4	4.5 $\pm$ 0.3	5.2 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 1.0	5.0 $\pm$ 0	5.1 $\pm$ 0
	短 径 width (mm)	3.3 $\pm$ 0.6	3.0 $\pm$ 0.4	3.0 $\pm$ 0	3.0 $\pm$ 0.3	2.9 $\pm$ 0.1	4.0 $\pm$ 0	3.0 $\pm$ 0	3.0 $\pm$ 0
	生 重 量 Fresh								
	weight (mg)	19.0 $\pm$ 2.2	17.1 $\pm$ 1.8	19.2 $\pm$ 1.2	14.1 $\pm$ 1.8	15.3 $\pm$ 1.6	9.0 $\pm$ 3.0	14.4 $\pm$ 0	14.2 $\pm$ 2.0

もっとも軽く, その他は 10g 前後をしめた (写真 2 は各組合せから得られた雑種の 3 球果を示す)。

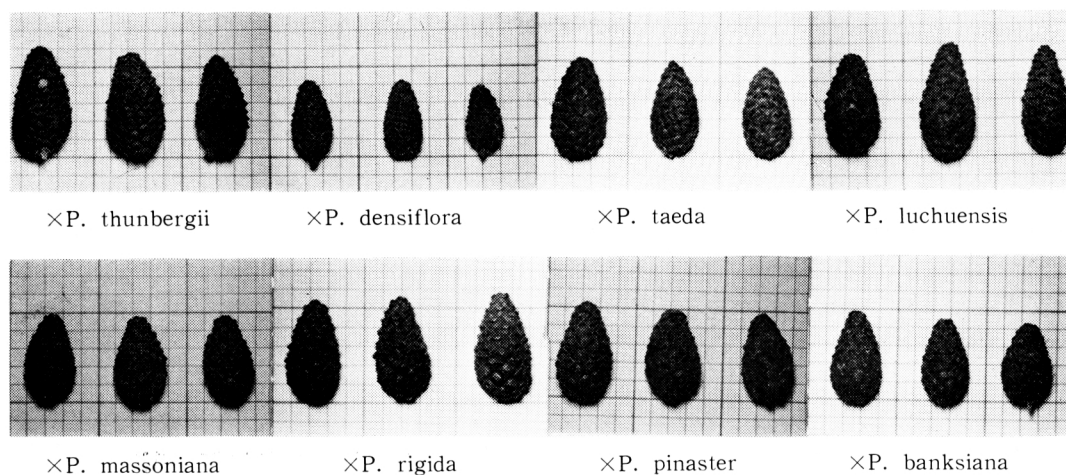


Plate 2 The three cones of hybrid obtained from each inter-specific pollination.

このことから球果の生重量と充実種子の多少との相関は母樹によるちがいや, 個体差などによって大きく影響されるため明らかでなかった。

種子の大きさでは, 長径, 短径ともそれぞれの組合せ間には大差はみとめられなかったが, 生重量

では 9.0~19.2mg とその差は大きく、×*P. taeda* や ×*P. thunbergii* では 19.0mg を示し、×*P. densiflora* や、×*P. luchuensis*, *P. massoniana* などは 14~18mg を示したが、他の組合せでは調査個体数が少なく正確な比較は出来なかった。

得られた充実種子の発芽状態 (Table 8) についてみると、播種数は組合せによって (2~1,467粒)

Table 8 Germination of the full seeds obtained from the interspecific pollination

雄生親 Male parent 項 Items	× <i>P.</i> <i>thunb.</i>	× <i>P.</i> <i>dens.</i>	× <i>P.</i> <i>taeda</i>	× <i>P.</i> <i>luchu.</i>	× <i>P.</i> <i>masso.</i>	× <i>P.</i> <i>rigida</i>	× <i>P.</i> <i>pinast.</i>	× <i>P.</i> <i>banks.</i>
播 種 数 No. of sowed seeds	1,467	385	243	2,333	669	3	2	97
発 芽 数 No. of germi- nated seed- lings	587	246	236	670	235	0	0	41
発 芽 率 Percentage of germination	40.0	68.9	97.1	28.7	35.1	0	0	42.3

非常にことなっているので、正確な発芽率を比較することは困難であった。しかし、×*P. taeda* では発芽率97.1% (243粒中、236粒発芽) の高いときもあった。また、×*P. thunbergii*, ×*P. massoniana* などの組合せでは30~40%の発芽率をしめしたが、年度や個体によってもかなりののちがひがあり、はっきりした傾向はみられなかった。

引 用 文 献

- Allen, G. S. : Parthenocarpy, parthenogenesis, and self-sterility of *Douglas fir*. Jour. Forest 40, 642-644. (1942)
- Barenès, B. V., Bingham, R. T., and Squillace, A. E. : Selective fertilization in *Pinus monticola* Dougl. II Result of additional test. Silvae Genet. 11, 103-111. (1962)
- Bingham, R. T. and Squillace, A. E. : Self-compatibility and effects of self-fertility in *Western white pine*. Forest Science 1, 121-129. (1955)
- Buchholz, J. T. : The case of sterility in cross-pollinations between certain species of *pinus*. Amer. J. Bot. 31, Suppl., 2s. (1944)
- Buchholz, J. T. : Suspensor and early embryo of *Pinus*. Bot. Gaz. 66, 185-228. (1918)
- Critchfield, W. B. : The *Austrian X Red Pine* Hybrid. Silvae Genet. 12(6), 187-192. (1963)
- Duffield, J. W. : Relationship and species hybridization in the Genus *Pinus*. Zeitschr Forestgenetik 1, 93-97. (1952)
- Denglar, A. : Künstliche Bestäubungsversuche an Kiefer. Zeit. f. Forest u. Jagdw. 9, 513-555. (Abst. 日林誌 15, 1. 65-66. 1932)
- Ehrenberg, C., Gustafsson, A., Plym Forshell, C. and Simak, M. : Seed quality and the principles of forest genetic. Hereditas 41, 291-336. (1955)
- Ehrenberg, C., and Simak, M. : Flowering and pollination in *Scots Pine* (*Pinus silvestris* L.). Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 46(12), 1-23 (1956)
- Elbert L., Little, JR., and Francis I. Righter : Botanical Description of Forty Artificial Pine Hybrids. U. S. Department of Agriculture Forest Service Washington. D. C. 20250 (1965)
- Fowler, D. P. : Effects of Inbreeding in *Red pine*, *Pinus resinosa* Ait. Silvae Genet. 13(6), 170-

177. (1964)

Fowler, D. P. : Effects of Inbreeding in *Red pine*, *Pinus resinosa* Ait. (II). Pollination Studies. *Silvae Genet.* 14(1) 12—23. (1965)

Fowler, D. P. : Effects of Inbreeding in *Red pine*, *Pinus resinosa* Ait. (III). Factors Affecting Natural Selfing. *Silvae Genet.* 14(2), 37—40. (1965)

Fowler, D. P. : Effects of Inbreeding in *Red pine*, *Pinus resinosa* Ait. (IV). Comparison with other *Northeastern pinus* species. *Silvae Genet.* 14(3), 76—81. (1965)

岩川盈夫 : 林木育種の技術解説 交雑編 林木育種協会 (1961)

岩川盈夫, 岡田幸郎 : 採種園の造成法 (1959)

Johnson, L. P. V. and Heimbürger, C. : Preliminary report on inter-specific hybridization in forest trees. *Canad. Jour. Res. C.* 24, 308—312. (1946)

Johnson, L. P. V. : Reduced vigour, Chlorophyll deficiency, and other effects of self-fertilization in *Pinus*. *Canad. Jour. Res.* 23, 145—149. (1945)

Kraus, J. F. and Squillace, A. E. : Selfing Vs. outcrossing under artificial conditions in *Pinus elliottii* Engelm. *Silvae Genet.* 13(3), 57—88. (1964)

勝田証, 佐藤大七郎 : クロマツの落果, 日林誌, Vol. 47, No 3, 101—104 (1965)

McWilliam, J. R. : Interspecific incompatibility in *pinus*. *Amer. Jour. Bot.* 46(6), 425—433. (1959)

McWilliam, J. R. and Mergen, F. : Cytology of fertilization in *pinus*. *Bot. Gaz.* 119, 246—249. (1958)

Max Hagman, Lauri Mikkola : Observation on cross, self and interspecific pollination in *Pinus peuce*. *Silvae Genet.* 12(3) 73—79. (1963)

Mergen, F. : Self-fertilization in *slash pine* reduces height growth. U. S. Forest Serv. Southeastern Forest Exp. Sta. Res. Note 67, (1954)

Mergen, F., Jeffery, B. and Gerge, M. F. : Embryo and seedling development in *Picea glauca* (Moench) Voss after self-, cross-, and wind-pollination. *Silvae Genet.* 14(6) 188—194. (1965)

前田千秋 : マツ属の開花促進, 早期検定に関する研究, マツ雑種の気孔による判定法について, マツ属における交雑育種に関する研究20—25. (1965)

野原勇太, 陣野好之, 伊藤徳彦 : 林木遺伝に関する研究 (IV報). 邦産アカマツと外国産タイダマツの人工交雑に関する研究. 日林誌 Vol. 33, 87—93. (1951)

中井勇, 稲森幸雄, 藤本博次 : マツ類の種間交雑に関する研究 (第1報), クロマツ×リュウキウマツ F₁ 雑種の形態的特性について, 日林関西支講15号39—40 (1965)

中井勇, 藤本博次, 伊佐義朗 : マツ類の種間交雑に関する研究 (第2報). 雌・雄花の熟期と交配時期, 林業技術229, 25—27 (1967).

中井勇他 : マツ類の交雑育種に関する研究 (第II報) クロマツ×マツソニアーママツ F₁ 雑種の針葉内外部形態について, 未発表.

Orr-Ewing, A. L. : A cytological study of the effects of self-pollination on *Pseudotsuga menziesii* Franco *Silvae Genet.* 6(1/2) 179—185. (1957)

Plym Forshell C., : Kottens och fröets utbildning efter självoch Korsbefruktning hos tall (*Pinus silvestris* L.). Summary : The development of cones and seeds in the case of self-and cross-pollination in *Pinus silvestris* L. Medd. Stat. Skogsforskningsinst. 43(10) 1—42 (1953)

Righter, F. I. and Diffield, J. W. : Interspecies hybrids in *pinus*. *Jour. Hered.* 42, 75—80. (1951)

Rohmer, E., Eisenhat, G. : Untersuchungen über das Mikroklima in Bestäubungsschutzbeuteln. —Summary— *Silvae Genet.* 8(1), (1959)

Schreiner, E. J. : Creating better trees. *Forest Leaves.* 34, 3—4. (1949)

Saito, Y. : On several cases of the intermediate Pine between *Japanese black Pine* and *red Pine*. *Japanese Forest Soc. Trans.* 59, 126—127, (1951)

染郷正孝, 川述公弘 : クロマツ×リュウキウマツ, タイワンアカマツの稔性, 日林九州支講 18, 21—23(1964)

佐藤大七郎, 郷正士, 勝田証 : マツ属の開花促進, 早期検定に関する研究, クロマツ, アカマツの自家受精, マツ属における交雑育種に関する研究, 29—31. (1961)

四手井綱英, 吉川勝好, 稲森幸雄 : マツ属の開花促進, 早期検定に関する研究, マツ属の交雑親和性の検定と F₁ 植物の特性調査, マツ属における交雑育種に関する研究 1—12. (1961)

Squillace, A. E. and Kraus, J. F. : The Degree of Natural Selfing in *Slash Pine* as Estimated from Albino Frequencies. *Silvae Genet.* 12(2), 46—50. (1963)

Squillace, A. E. and Bingham, R. T. : Selective fertilization in *Pinus monticola*. Dougl. I. preliminary result. *Silvae Genet.* 7, 188—196. (1958).

Sarvas E., Investigations on the flowering and seed crop of *Pinus silvestris*, Comm. Inst.

Forest. Fenn. 53(4), 1—42. (1962)

Scamoni, A. : Über Fintritt und verlauf der männlichen Kiefernblüte. 1938, Zeitscher. f. Forst u. Jagdw., LXX. Jg., Heft 6, S. 289—315. (尾中文彦 : 日林誌 Vol. 21—1, 30—31. 抄録 1939).

戸山良吉 : 林木育種 (1955). 朝倉書店

外山三郎 : 林木育種に関する知見 (林木の育種およびその基礎的研究第24報), 林業試験場研究報告第66号 (1954)

植月充孝 : アカマツの花粉におよぼす温度処理の影響, 日林関西支講 15号 46—47 (1965)

Wright, J. W. : Summary of tree breeding experiments by the North-eastern Forest Experiment Station, 1947—1950. Northeast Forest Exp. Sta., Sta. Paper 56, 1—47 (1953)

Wright, J. W. : Cone characteristics and natural crossing in a population of F_1 hybrids. Z. Forestgenetik. 5, 45—48 (1956)

Wright, J. W. and Garibel, W. J. : Species hybridization in the *Hard pine*, Series *sylvestris*. Silvae Genet. 7(4), 109—115. (1958)

Résumé

The experiment was carried out, during 1961 to 1965, to see the degree of intraspecific cross in *Pinus thunbergii*, and also the cross-ability of interspecific cross, using *Pinus thunbergii* as the female parent trees, and *P. thunbergii*, *P. densiflora* and other six species of foreign pine as the male parent trees planted at Kamigamo Experimental Forest Station of Kyoto University. The outlines of the results were as follows :

1. Flowering period of male and female flowers

There were striking difference in the beginning of male flowering by the species, namely, *P. banksiana* had the earliest one and the blossoms for a long period and the order of flowering was followed to *P. massoniana*, *P. luchuensis*, *P. thunbergii*, *P. taeda*, *P. pinaster*, *P. densiflora* and *P. rigida*. However, they were some difference among parent trees even in a same species. The beginning of male and female flowers had some relation to the arising period and its degree of temperature. The germination of fresh pollen in these species was about 50 to 90 percent.

The temperature of inside pollination bags was higher about 10°C to 15°C than the open, so that a part of female flowers was often harmed their development by such high temperature in the bags.

2. Introspecific pollination

In the self, cross and non pollination, the seeds fertility of self one was lower than the cross one, and also the seeds set were scarce in non pollination, because the full seeds obtained were few. The size of cones and seeds was the smallest in non pollination as compared with self and cross pollinations and it was no significant in self and cross ones.

3. Interspecific pollination

P. thunbergii cross *P. luchuensis*, *P. thunbergii* cross *P. massoniana* showed high seed fertility in annual means. On the other hand, *P. thunbergii* cross *P. pinaster*, *P. thunbergii* cross *P. rigida* few yielded the full seeds because of failure to cross with such two species. In some year of pollination, the full seeds were obtained even in *P. thunbergii* cross *P. taeda*, and *P. thunbergii* cross *P. banksiana*. However, it is not cleared for these reasons.