

マツ類の人工受粉技術ならびに 種間交雑について

渡 辺 操⁽¹⁾
岩 川 盈 夫⁽²⁾

I は じ め に

交雑育種法を林木育種に適用することの可能性については、第2次大戦前より、フランスではポプラについて、また、ソ連邦、イギリス、ドイツなどの諸国ではカラマツ属について、小規模あるいは大規模な試験が試みられ、わが国においても、1932年と1943年に野原²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾によってスギ、ヒノキ、サワラ、アカマツ、クロマツなどの人工交配試験、また1939年から原田・柳沢¹³⁾らがトドマツについて、また、1939年と1941年には石原・松川¹⁴⁾¹⁵⁾らがカラマツ属、トウヒ属についての人工交雑試験と、得られた雑種の諸形質について研究が試みられている。

第2次大戦後、各国において、多くの樹種についての交雑試験が試みられるようになり、それらの試験結果から、林木の品種改良の方法としての交雑育種もかなり有望視されるようになってきた。諸外国においては、すでに若干の新品種が育成され実用に供されている。特に抵抗性品種の育成には、交雑育種法が積極的に取り入れられて、かなりの成果を収めていることが注目される。以上の事例からみて、交雑育種法による林木育種の可能性は大きいものと考えられる。

本研究は、わが国の主要樹種であるアカマツおよびクロマツを主体としたマツ類の品種改良のための交雑育種法の基礎技術を確立するために、1950年以後実施してきた交雑に関する試験のうち、交雑稔性までの分をとりまとめたものである。

この試験の実施にあたり、試験材料や試験地の提供をしていただいた水戸営林署、笠間営林署、甲府営林署、岩村田営林署、倉吉営林署、関東林木育種場、浅川実験林ならびに本場実験林、静岡県林試の各位に感謝の意を表するとともに、とりまとめに当たって種々ご教示またはご協力いただいた坂口場長、加藤造林部長、元育種第一研究室の諸氏にたいしお礼を申し上げる。

なお、本研究の実施にあたって、農林水産業技術振興費（昭和32～34年）の一部を充当させていただいたことを付記し、謝意を表する。

II 交 配 技 術

II-1. マツ類の開花期と花粉の形態

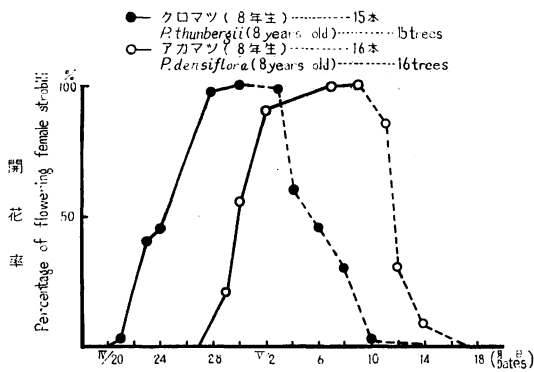
II-1-1. 材 料 と 方 法

1953年春に、林試本場構内に植栽されていた8年生のクロマツ15本、アカマツ16本について、雌花の開

1969年5月9日受理

(1) 東北林木育種場原種課長兼東北支場育林部育林第1研究室

(2) 四国支場長



点線は雌花の受精可能期間を10日間とした場合の受精可能雌花率

Dotted lines indicate the percentage of receptive strobili when their receptive periods are assumed to be ten days.

Fig. 1 クロマツとアカマツ雌花の開花期間 (昭和23年)

Flowering periods of female flowers in *Pinus thunbergii* and *P. densiflora* at Meguro, Tokyo (1953).

日には全部開花した。いずれの樹種でも開花しはじめてから、すべての雌花が開花し終わるまで約10日を要している。開花時期は個体によって多少の変動があり、また外的条件によって連年一定ではないが、総体的には、クロマツはアカマツよりも通常7～10日ほど雌花の開花が早いようである。

雌花と雄花の開花時期は、樹種によって多少異なるかもしれないが、著者らの観察によると、雌花が雄花よりも4～5日ほど早く開花をはじめめる。

雄花の開花状況に関する調査は行なわなかったが、雄花の開花期間、つまり花粉を放出する期間は、その年の気候や個体によってかなりの変化の幅をもっているのが普通である。SCAMONI³⁴⁾は *Pinus silvestris* の1雄花序が2.5日、1本の樹木全体で3.5日の開花期間を有することを報告している。中井ら²³⁾²⁴⁾はクロマツほか数種のマツ類で雄花の開花状態を調査して、雄花の開花期間は樹種により、個体により、また同一個体でも部位によりかなり異なるが、その期間は2～3日であると述べている。個体による開花期のずれを考慮すると、雌花の開花期間と同じように、林全体の開花期間(花粉飛散期間)は当然さらに長くなるであろう。

II-1-2-2. 花粉粒の大きさ

花粉粒の大きさを樹種別に測定した結果は、Table 1 のとおりである。

クロマツは、アカマツに比較して、平均値でやや大きい値を示した。外国産のマツ類は、アカマツ、クロマツに比較して、はるかに大きかった。外国産マツ類のなかでは、テーダマツが他の樹種よりも若干大きかった。

また、天然生アカマツの8年生、25年生、80年生個体をそれぞれ3本ずつ供試して、樹齢と花粉粒の大きさをしらべたのが Table 2 である。

個体別に見ると若干の差異はあるが、8年生個体の花粉は、25年生と80年生個体の花粉よりもやや大きかった。25年生と80年生個体の間では、平均値は全く同じであった。

花状況を調査するとともに、約20～30年生のアカマツ、クロマツ、タイワンアカマツ、テーダマツ、リギダマツ、チョウセンゴヨウマツ、ストロブマツ各1本ずつ、天然の8年生・25年生・80年生アカマツ各3本ずつを用いて、花粉粒の大きさを測定した。花粉粒の大きさの測定は膨潤状態で行なった。

II-1-2. 結果と考察

II-1-2-1. アカマツとクロマツの開花期

8年生のクロマツ15本とアカマツ16本について、1953年に雌花の開花状況を調査した結果が Fig. 1 である。

クロマツは4月21日から開花がはじまり、4月30日には全個体のすべての雌花が開花した。アカマツはクロマツより約1週間ほどおくれて、4月29日から開花をはじめ、5月9

Table 1. マツ類の花粉粒の大きさ
Pollen grain size of some pine species

Species	$L (\mu)$	$l (\mu)$	$D (\mu)$	$d (\mu)$	Remarks
<i>Pinus densiflora</i>	70 (± 4.1)	49 (± 2.6)	41 (± 1.2)	37 (± 2.6)	Age: 20~30 years old. Humidified pollen.
<i>P. thunbergii</i>	72 (± 4.8)	52 (± 2.6)	43 (± 3.1)	38 (± 2.6)	
<i>P. taeda</i>	91 (± 4.1)	65 (± 3.1)	54 (± 2.9)	45 (± 2.8)	
<i>P. rigida</i>	86 (± 3.9)	59 (± 2.2)	48 (± 2.4)	43 (± 2.6)	
<i>P. massoniana</i>	77 (± 4.3)	54 (± 3.0)	44 (± 2.5)	38 (± 2.2)	
<i>P. pentaphylla</i>	82 (± 4.7)	55 (± 2.8)	45 (± 3.1)	38 (± 2.3)	
<i>P. Strobus</i>	77 (± 4.7)	55 (± 3.2)	42 (± 2.9)	39 (± 2.4)	

なお、花粉粒の大きさが樹齢間に有意差があるかどうかを見るために分散分析を行なったところ、花粉粒の長さでは5%で、幅では1%で8年生と25年生、80年生との間で有意差が見られたが、標本が小さく、用いた母樹群は、いずれも浅川実験林内の天然木であるため、各年齢の母樹群が異なる母集団からとられている危険性があり、再検討する必要があるかもしれない。

II-2. 花粉の採集方法と採集量

II-2-1. 材料と方法

甲府営林署諏訪の森国有林内の樹齢約30年の天然生アカマツ3個体を供試した。雄花の

開花前8日から2日間おきに、開花開始後2日目までの6回にわたり、雄花着生枝を切り取って持ち帰り、温室内で水ビンにさして開花させ、自然落下した花粉を集める方法と、雄花のみを採取し、封筒とガラス管とに別々に入れて持ち帰り、その中で花粉を放出させて集める方法の3種類について実験を行なった。

II-2-2. 結果と考察

実験結果は Table 3 と Fig. 2 に示すとおりであった。

枝を切りとる時期は、開花直前が最もよく、開花前8日目は採集花粉量が半減する。封筒内で花粉を集める場合は、開花開始直前か開花開始後数日たった方が良い結果がえられた。

切り枝を水ビンにさして集めた開花と封筒内に雄花のみを入れて自然乾燥させて集めた花粉とについて、人工発芽試験を実施した。その結果では、採集時期の間にはほとんど差が認められず、採集方法別で、枝を水さして花粉を集めたものよりも雄花を封筒に入れて自然乾燥させ花粉を集めたものの方が、

Table 2. アカマツにおける花粉粒の大きさと樹齢との関係

Relation between pollen grain size and tree age in *Pinus densiflora*

	Tree No.	樹 齢 Age		
		8 (μ)	25 (μ)	80 (μ)
L	1	79 $\pm$ 3.4	65 $\pm$ 3.3	67 $\pm$ 3.9
	2	76 $\pm$ 3.2	72 $\pm$ 2.3	67 $\pm$ 4.1
	3	75 $\pm$ 3.6	69 $\pm$ 14.5	73 $\pm$ 10.9
	Mean	77	69	69
D	1	42 $\pm$ 2.6	40 $\pm$ 1.5	39 $\pm$ 2.6
	2	43 $\pm$ 1.1	39 $\pm$ 1.3	39 $\pm$ 1.7
	3	44 $\pm$ 3.1	37 $\pm$ 7.7	40 $\pm$ 3.1
	Mean	43	39	40

Note: L ならびに D は Table 1 に示されている。

L and D are given in Table 1.

Table 3. 採集時期と採集方法を異にした場合の
アカマツ花粉の採集量と発芽率

Quantities and germination percentages of pollen
collected under various methods and dates in *P.
densiflora*

採集時期*1 Collecting dates (days)	採集方法*2 Collecting methods	1000雄花当り の花粉量 Pollen quantities per 1000 male flowers (g)	花粉発芽率 Pollen germination (%)
- 8	A	0.9	83
	B	0.0	—
- 6	A	1.1	73
	B	0.0	—
- 4	A	1.2	86
	B	0.6	90
- 2	A	1.6	87
	B	2.1	92
0	A	2.0	87
	B	2.5	90
+ 2	A	1.4	85
	B	2.4	89

Notes:

*1 開花開始日を 0 とし、それ以前は－、以後は＋の日数で示した。

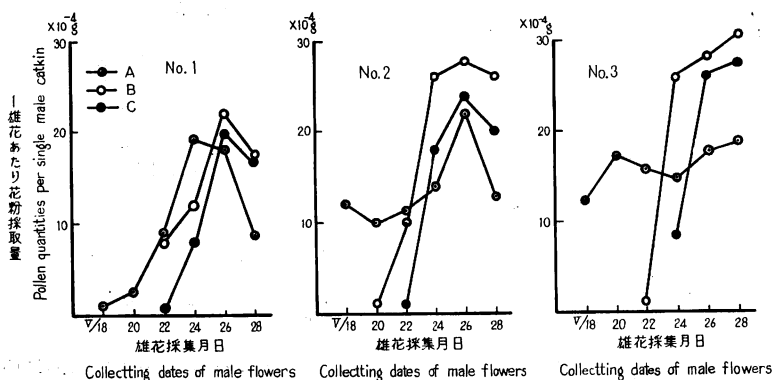
0 is the first day of pollen dispersion. -8, -6, -4 and -2 are 8, 6, 4 and 2 days before 0 respectively. +2 is 2 days after 0.

*2 A; 切枝を水さした。

Soaking the base of twigs with male catkins into water.

B; 雄花を紙封筒内で自然乾燥させた。

Drying male catkins naturally in paper bag.



Collecting dates of male flowers Collecting dates of male flowers Collecting dates of male flowers

Aは切枝水さし法、Bはガラス管内に雄花を入れて乾燥させ花粉を採取する方法、Cは封筒内に雄花を入れて乾燥させ花粉を採取する方法。
A.....Putting the base of twigs with female catkins soaked in water, B.....Drying naturally male catkins in glass tube, C.....Drying naturally male catkins in paper bag.

Fig. 2 雄花採集時期と1雄花あたり花粉採取量との関係(母樹別, 3個体)

Relations between collecting dates of male catkins and pollen quantities per single male catkins, observed in three individual trees. A, B and C indicate methods of pollen collection.

全採集時期を通じて、発芽率は数%高かったが、大きな違いではない。

採集時期と1雄花からとれる花粉量の関係は Fig. 2 のとおりであった。母樹によって若干の差異はあるが、5月26日(開花直前)の採集が最も良く、採集方法別では、ガラス管>封筒>標準(切枝水さし)の順であった。しかし、開花前の早い時期に採集する場合は、切枝水さし法が良い。

II-3. 交配袋の種類と袋中の温度

一般に、袋かけは雌花の開花1～2週間前に行ない、花粉の飛散が終われば袋を除去するが、その期間はかなり長い。また、著者らがアカマツとクロマツの幼齡林の雌花の開花期間を調査した結果でも、約3週間にわたっている（Fig. 1）ことから判断して、最低3週間は袋をかけておく必要があると考えられる。

そこで、長期間の袋かけが雌花や受粉、受精にどのような影響をもつかを、あらかじめ調査する必要があることから、数種類の袋をつかって、袋の中の温度を測定した。

II-3-1. 材料と方法

1953年5月4日～5月31日の約1か月の期間にわたって、長さ25cm、幅15cmの褐色クラフト紙製袋の中に同じ規格のセロファン紙製の袋を入れて2重にしたものと、同じ規格の白色パーチメント紙製＋セロファン紙製袋の2重袋の3種類の袋をそれぞれ1組ずつを用いて、袋中の温度変化を棒状温度計によって測定し、気温と比較検討した。

II-3-2. 結果と考察

Table 4 は、1953年5月4日から5月31日までの約1か月間、午前9時と午後1時の2回測定した袋の中の平均温度と平均気温、測定期間中に袋の中で観測された最高温度と気温の最高温度を示したものである。

袋の種類別に見ると、褐色袋はセロファン袋や白色袋よりも午前9時の観測値が常に低く、平均気温よりも3°Cしか高くなかった。午後の観測値を見ても同じような傾向を示している。白色袋の温度は最も高く、気温よりも10°C高かった。また、最高温度についても白色袋が最も高く、約37°Cを記録した。

Fig. 3 は1953年5月9日（晴天）と同年5月25日（晴天）に、同じ3種類の袋を用いて、午前9時から午後5時まで、2時間おきに交配袋内の温度を測定した結果である。午前9時の観測値で、すでに交配袋内の温度は気温よりも高く、特に白色袋とセロファン袋は気温より10°C以上も高くなっている。5月9日の観測では、温度変化のピークは午後1時であり、以後下降し、17時で気温との格差がほとんどなくなる。5月25日の観測では、17時でも白色袋が気温より約8°C高い値を示した。

渡辺⁴⁰⁾は花粉の発芽に対する致死温度をしらべ、アカマツでは50°Cで2時間、クロマツではアカマツより若干抵抗力が大きいようであるが、やはりこの程度の温度で数時間処理することによって発芽が損なわれることを報告している。また Coscielny⁴¹⁾によれば、30°C以上に24時間おけば大い花粉は害をう

Table 4. 交配袋の種類と袋内の温度（昭和28年5月4日～同年5月31日）
Different types of pollination bags and temperatures inside the bags
(May 4~31, 1953)

袋の種類 Type of bag	袋内の温度 Temperature inside bag (°C)			
	午前9時 a. m. 9		午後1時 p. m. 1	
	Mean	Max.	Mean	Max.
褐色クラフト + セロファン Brown Kraft + Cellophane	23.0	26.0	26.0	35.0
白パーチメント + セロファン White parchment + Cellophane	29.7	37.0	28.1	36.5
セロファン2重 Double cellophane	28.1	37.0	27.3	36.5
対 照：気温 Control : Air-temperature	20.4	24.0	22.5	26.5

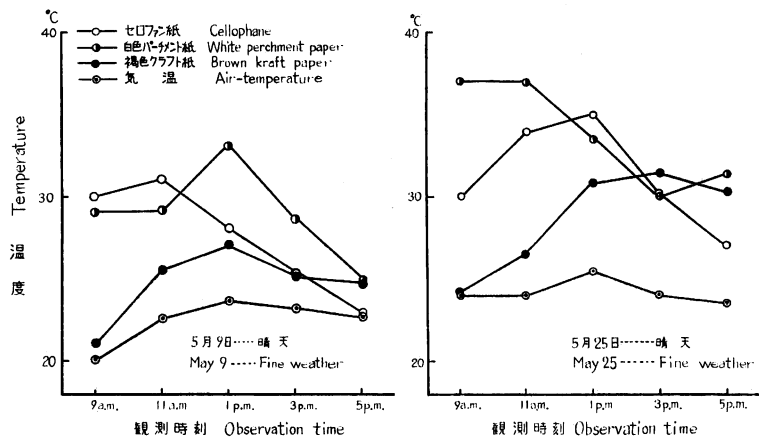


Fig. 3 交配袋内の温度の変化
Change of temperature inside pollination bag.

けるという。中井ら²⁸⁾は、パーチメント紙とセロファン紙の2重袋の温度が気温より10~15°C高く、部分的に雌花の発育が阻害されることもあったと報じている。これらの諸報文からすると、交配袋内の温度はなるべく低い方がよいと思われるが、この観点からすれば、本報で用いた3種類の袋のうちでは、褐色袋がもっともよく、ついでセロファン袋、白色袋の順になる。

交配袋については、McWILLIAM²²⁾は Austrian pine と Slash pine の雌花に (a) ソーセージ・ケーシング袋、(b) 褐色クラフト紙袋で (a) をおおったもの、(c) (a) の袋の上部2/3にアルミ粉を塗布したもの、および (d) 袋なしの直射日光下、(e) 袋なしの日陰の温度を快晴の5日間にわたって測定した結果、平均温度は (a) から (e) へ順次低かった。最近では河村¹⁸⁾が全面銀粉塗布のパーチメント紙とセロファン紙の2重袋の袋内温度が比較的外気温に近く、結果率も自然受粉に近いよい成績を示したことを報告している。ROHMEDEY⁸⁸⁾はポリエチレン、布、羊皮紙の3種類の袋の微気象を測定して、布袋が破れにくく、外気の流通がよく、袋内の温度変化が少ないことから、布袋の使用を推奨している。

NIENSTAEDT²⁶⁾は *Tsuga canadensis* の交配に数種類の交配袋を用いて試験を行ない、えられたタネの稔性から、白布袋が自然交配よりわずかに劣るが、よい成績を示し、次いで硫酸紙袋がよかったとのべており、Svensk skogströdsförläggning (1960)³⁶⁾の報告でも、1球果あたりの充実種子の点では白布袋がもっともよく、セルロイド製のチューブもよい結果を示しており、羊皮紙と各種の色付プラスチック・チューブは、樹木の北側ではよいが、太陽の直射をうける側ではよくなかった。

これらの諸報告によれば、布袋、アルミ粉塗布袋などは、筆者らが本報告で用いた3種の交配袋よりも袋内の温度が低く、温度のみ

受粉日*	母樹本数 Number of trees	袋数 Number of bags	雌花数 Number of female flowers	
			総数 Total	1袋あたり Per bag
1	8	11	22	2.0
3 ~ 5	20	22	34	1.5
7 ~ 9	16	20	39	2.0
11 ~ 13	20	22	36	1.6
16 ~ 19	19	23	40	1.7

Note: * 開花開始後の経過日数 Days after the

からいえば交配袋としてすぐれているように思われる。また、最近になって、化学繊維製の通気のよい耐水性の交配袋なども開発されており、これらについて、さらに検討を進める必要がある。

II-4. アカマツ、クロマツ幼齢木の雌花の受精可能期間

マツ属の人工交雑では、充実種子が効率よくえられない。その原因としては、交雑組合せによる不適合性や雌花器の欠陥、使用した花粉の鮮度、受粉の時期から受精にいたる生理的な問題、交配袋の影響、受粉回数ならびに気候その他の外的条件などが考えられる。そこで、著者らはその原因の一つであると考えられる雌花の受粉最適時期を知るために、アカマツとクロマツについて実験を行なった。

II-4-1. 材 料 と 方 法

アカマツについては、4年生幼齢木35本を供試して、雌花が開きはじめる約1週間前に、観察窓をつけたパラフィン紙の交配袋をかけ、雌花の開花開始後、2日、4～6日、8～10日、12～14日、17～19日の5回にわたりおのおの1回だけ人工受粉を行なった。使用花粉は、約30年生のアカマツから同年に採取したもので、5°C および湿度 40% で貯蔵しながら使用した。花粉の発芽率は、貯蔵1週間後と1か月後に人工発芽床をつかって調べたところ、それぞれ、83.2%、83.3%であったので、試験期間中の変化はなかったものとみなした。

クロマツについては、7年生幼齢木 53 本を供試して、雌花が開花をはじめてから、5日経過するごとに、6回にわたり人工受粉を行なった。花粉はその年に採取した混合花粉を用いた。なお、自家受粉、無受粉、自然受粉についても調査して比較対照した。交配袋は褐色ケミカル紙の2重袋を用いたので、袋の中はかなり暗かった。

II-4-2. 結 果 と 考 察

アカマツについての実験結果は、Table 5 に示すとおりであった。

1 雌花あたりの充実種子数は、開花後3～5日目には受粉したものが最も多かった。11～13日目になるとかなり減少するが、16～19日目でも、わずかながら充実種子がえられている。アカマツの雌花は、開花しはじめてから完全に開くまでに、普通2～3日かかるので、開花後1日目の受粉の際はまだ雌花が完全に開いていなかったことになる。また、この時の受精率が低かったことから、受粉の時に半開であった雌花が、その後完全に開花しても、さきに注入された花粉で受精する割合はあまり高くなさそうである。

Table 5. アカマツ雌花の受精可能期間
Receptive period of female flowers in *P. densiflora*.

えられた球果 Obtained cones		えられた種子 Obtained seeds									
		種 子 数 Number of seeds									発 芽 率 Germination percent. (%)
		総 数 Total	結果率 Cone set percent. (%)	総 数 Total	充 実 Sound	シイナ Empty	1 球果あたり Per cone			1 雌花あたり Per female flower	
Total	Sound						Empty	Total	Sound	Empty	
6	27.3	177	73	104	29	12	17	8.0	3.3	4.7	71.2
15	44.1	530	296	234	35	20	15	15.6	8.7	6.9	85.5
12	30.8	340	227	113	28	20	8	8.7	6.1	2.6	78.1
11	30.8	210	104	106	19	9	10	5.8	2.9	2.9	80.8
5	12.5	41	24	17	8	5	3	1.0	0.6	0.4	54.2

beginning of female flower efflorescence.

Table 6. クロマツ雌花の受精可能期間
Receptive period of female flowers in *P. thunbergii*

受 粉 日*	母樹本数 Number of trees	袋 数 Number of bags	雌 花 数 Number of female flowers		えられた球果 Obtained cones		えられた種子		
			総 数 Total	1 袋あたり Per bag	総 数 Total	結 果 率 Cone set percent. (%)	種 子 数		
Dates of pollination							総 数 Total	充 実 Sound	シイナ Empty
5	20	19	58	3.1	14	24.1	495	445	50
10	21	20	63	3.2	12	19.0	355	258	97
15	15	13	48	3.7	13	27.1	437	182	255
20	15	15	43	2.9	17	39.5	421	157	264
25	17	16	45	2.8	10	22.2	114	1	113
30	13	12	40	3.3	1	2.5	2	2	0

Note: * 開花開始後の経過日数 Days after the beginning of female flower efflorescence.

クロマツについて行なった実験結果は、Table 6 のとおりであり、受粉した1雌花あたりの充実種子数は、5日目をもっとも多く、アカマツについて行なった実験結果と同じであった。クロマツの場合、20日目まではかなりの充実種子がえられたが、それ以後はほとんど0に近くなる。しかし、30日までごくわずかではあるが充実種子が得られた。結果率は25日目でも約20%を示した。自然状態では、雌花の苞りんは開花後15日目ころから肥厚しはじめ、紫色に着色するが、この実験で褐色袋をかけた雌花は25〜30日こ

Table 7. 交 配 袋 の 種 類 と
Types of pollination bags and

樹 種 Species	受 粉 日*1 Pollination date	袋の種類*2 Types of bags	母樹本数 Number of trees	袋 数 Number of bags	雌 花 数 Number of female flowers	
					総 数 Total	1 袋あたり Per bag
ア カ マ ツ <i>P. densiflora</i>	8	B	14	16	83	5.2
		W	13	13	66	5.1
	16	B	14	16	88	5.5
		W	11	12	50	4.2
	24	B	15	17	78	4.6
		W	14	15	70	4.7
	Non	B	5	5	22	4.4
		W	6	6	27	4.5
ク ロ マ ツ <i>P. thunbergii</i>	8	B	14	14	48	3.4
		W	13	13	42	3.2
	16	B	13	13	48	3.7
		W	13	13	50	3.8
	24	B	13	13	43	3.3
		W	14	14	53	3.8
	Non	W	16	19	57	3.0

Notes: *1 8〜24は雌花の開花開始後の経過日数であり、Nonは無受粉である。

8, 16 and 24 are days after the beginning of efflorescence of female flowers.

*2 B; 褐色クラフト紙+セロファン Brown kraft paper + Cellophane.

W; 白色パーチメント紙+セロファン White parchment paper + Cellophane.

Obtained seeds					
Number of seeds					
1 球果あたり Per cone			1 雌花あたり Per female flower		
Total	Sound	Empty	Total	Sound	Empty
36	32	4	8.6	7.7	0.9
30	22	8	5.6	4.1	1.5
34	14	20	9.2	3.9	5.3
25	9	16	9.8	3.7	6.1
11	0	11	2.5	0.0	2.5
2	2	0	0.1	0.1	0

ろまで着色せず、苞りんは肥厚せず、緑色のまま成長した。したがって、外見的には、後者の方がおそくまで受粉可能のように見受けられた。PAWSEY⁸²⁾ は *Pinus radiata* の交配試験で、受精可能期間は約2週間であり、受粉の適期は雌花が完全に開いて1週間以内が最も良いことを認めている。EHRENBERG⁶⁾ によれば、*Pinus silvestris* について、0期(雌花が肉眼で認められる時期)から4期(雌花が完全に開いた時期)までを7段階に分けて受粉した結果、3b期から4期(8分咲きから満開)に受粉した場合がよかった。そ

れ以前の場合では、ある個体を除き、球果ならびに種子がえられなかった。BARNER¹⁾²⁾ は、*Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua*, *L. leptolepis* の受精可能期間をしらべ、*Ps. menziesii* では12~14日間であり、この期間内ではどの日に受粉しても成功するとのべている。受精期間の始まりは雌花の苞りんの裂開と一致し、終わりは苞りんの形、柱頭状珠孔の崩潰によってきめた。また、カラマツについては、1956年と1958年の2回にわたって交雑試験を行ない、えられたタネの発芽試験の結果から、約2週間前後の受精

雌花の受精可能期間
receptive period of female flowers

えられた球果 Obtained cones		えられた種子 Obtained seeds				
		種子数 Number of seeds				
総数 Total	結果率(%) Cone set percent.	総数 Total	充実 Sound	シイナ Empty	1球果あたり 充実粒 Sound seeds per cone	1雌花あたり 充実粒 Sound seeds per female flower
2	2.4	53	48	5	24.0	0.6
29	33.9	200	161	39	5.6	2.4
20	22.7	72	30	42	1.5	0.3
11	22.0	116	83	33	7.5	1.7
2	2.6	0	0	0	0	0
14	20.0	4	0	4	0	0
1	4.5	0	0	0	0	0
8	29.6	0	0	0	0	0
14	29.2	319	228	91	16.3	4.8
23	54.8	667	491	176	21.3	11.7
8	16.7	79	23	56	2.9	0.5
23	46.0	311	106	205	4.6	2.1
15	34.9	342	76	266	5.1	1.8
15	28.3	10	0	10	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Non means non-pollination.

可能期間があると推定している。

以上の諸報告は、筆者らの結果とほぼ一致するようで、マツ属以外の *Larix*, *Pseudotsuga* などでも大差はないようである。

II-5. 交配袋の種類が稔性に及ぼす影響

II-4 の実験から、雌花の受精可能期間あるいは稔性が袋の種類によって影響を受ける可能性もあると考えられたので、つぎの実験を行なった。

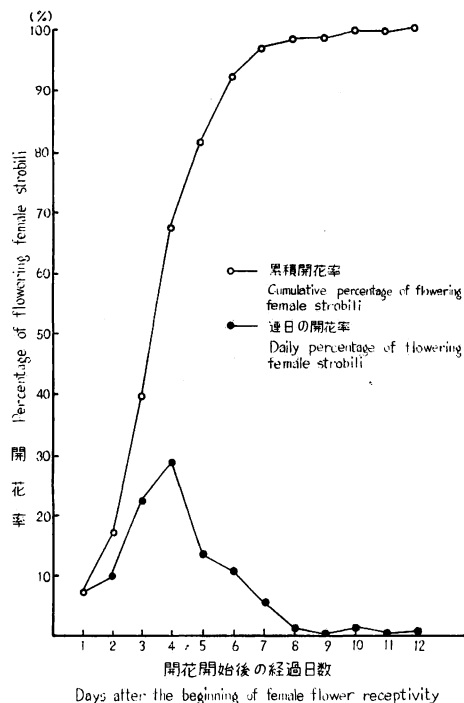
II-5-1. 実 験 I

II-5-1-1. 材 料 と 方 法

7年生のアカマツ15本とクロマツ14本を供試して、褐色袋（クラフト紙とセロファン紙の2重袋）と白色袋（パラフィン紙とセロファン紙の2重紙）の2種類を用い、開花後8日目、16日目、24日目の雌花に受粉した。使用した花粉は、両樹種とも全供試木の混合花粉であるが、アカマツは同年に採集した新鮮花粉、クロマツは前年に採集した貯蔵花粉であった。

II-5-1-2. 結 果 と 考 察

実験結果は Table 7 のとおりであり、アカマツ、クロマツともに袋の種類に関係なく、1雌花あたりの



観察個体数…68本、観察雌花数…189個
No. of trees observed……68, No. of female flowers observed……189.

Fig. 4 7年生クロマツの雌花の自然条件下における開花経過

Flowering progress of female flowers of *Pinus thunbergii* (7 years old) in natural condition.

の充実種子数は開花後8日目受粉のものが最もよく、日数を経過するほど悪くなる。アカマツでは24日目の受粉で全く充実種子がえられなかったが、クロマツでは褐色袋の場合に充実種子がえられた。この点から、褐色袋は雌花の受精可能期間をいくらか長くする効果があるものと考えられる。

着色袋や色付プラスチック・チューブの効果を認めている2, 3の報告²⁶⁾³⁶⁾があるが、筆者らの実験結果を全体的に見ると、褐色袋は白色袋よりも、1雌花あたりの充実種子数が少ない。アカマツでの開花後24日目の受粉区や無受粉区のように、充実種子が全くえられていない場合でも、白色袋の結果率が高いことから、球果の歩止りに対しては白色袋が褐色袋より効果的であると思われる。

II-5-2. 実 験 II

II-5-2-1. 材 料 と 方 法

8年生クロマツ8本をつかって、白色袋（白色パーチメント紙とセロファン紙の2重袋）、褐色袋（褐色ケミカル紙とセロファン紙の2重袋）、セロファン紙2重袋の3種類の交配袋が結実におよぼす影響を調べた。受粉方法は、新鮮な混合花粉を開花開始後8日目にいっせいに受粉した。この実験に供試した個体も含めて、同齡のクロマツ68本の集団について開花後の経

Table 8. 交配袋の種類がクロマツの受精に及ぼす影響
Effects of type of pollination bag on the fertilization of *P. thunbergii*

袋の種類 Types of bags	母樹本数 Number of trees	雌 花 数 Number of female flowers			えられた球果 Obtained cones		えられた種子の数 Number of seeds obtained				
		A 袋かけの時 At the time of bagging	B 袋はぎの時 At the time of unbag- ging	B / A × 100 (%)	総 数 Total	結果率 Cone set percent. (%)	総 数 Total	充 実 Sound	シイナ Empty	1 球果あ たり充実 粒 Sound seeds per cone	1 雌花あ たり充実 粒 Sound seeds per female flower
B	8	33	19	58	14	42.4	323	228	95	16	7
W	8	28	22	85	17	65.4	549	418	131	25	16
C	8	31	10	32	10	32.3	331	245	86	25	8
Open	8	66	54	82	36	54.5	1,627	1,359	268	38	21

Note: 袋の種類は Table 7 に示されている。Types of bags (B, W) are given in Table 7.
C means double cellophane bag.

過日数ごとに開花した雌花数を調べたのが Fig. 4 であり、最初の雌花が開花しはじめてから8日後には、全雌花の98%が開花しており、この実験で受粉を行なったときには、大部分の雌花は花粉を受け入れる状態にあったと考えてよい。

II-5-2-2. 結果と考察

結実状態は Table 8 のとおりであり、1 雌花あたりの充実種子数は、白色袋が褐色袋・セロファン袋よりもよく、自然受粉>白色袋>褐色袋>セロファン袋の順であった。セロファン袋では、えられた球果あたりの充実種子数は白色袋と同じであったが、結果率が低く、とくに袋かけ期間中の落下が多かった。

温度条件だけについてみると、褐色袋が最も気温に近く、白色袋とセロファン袋とは大差ない結果が示されているので (Table 4)、結実の良否とは必ずしも一致しない。したがって、結果ないし結実については、温度だけでなく、さらに光条件などのより複雑な条件が関与しているのではないと思われる。

II-6. 受粉回数と稔性

II-6-1. 材料と方法

8 年生のクロマツ13個体とアカマツ12個体を供試した。クロマツについては、1960年4月21日に、白色パーチメント紙とセロファン紙の2重袋で雌花の隔離を行ない、雌花が開花を始めた5月2日、5月4日、5月6日の3回にわたって、1回受粉、2回受粉、3回受粉にわけて受粉を行なった。用いた花粉は前年にそれらの供試木から採集して、5°Cで貯蔵した混合花粉である。

アカマツについては、1960年4月25日に、クロマツで用いたと同種の袋で雌花を隔離して5月9日、5月11日、5月13日にクロマツと同じ方法で受粉を行なった。用いた花粉は、その年に供試木から採集した混合花粉である。

II-6-2. 結果と考察

えられた結果は Table 9 に示すとおりで、結果率、1 球果あたりの充実種子数、1 雌花あたりの充実種子数ともに、はっきりした傾向はみとめられなかった。

中井ら²³⁾²⁴⁾は、最適日に1回受粉した場合の方が、その前後に2回受粉した場合よりも高い稔性を示したところから、交配可能期間はかなり長期間あるが、その最適交配期間は比較的短く、2~3日にすぎないことを指摘しているが、BARNER ら¹⁾は受精可能期間中に1~2日間隔で数回受粉をくりかえすとよ

Table 9. 受粉回数が交雑稔性に及ぼす影響
Effects of the number of pollination times on cross fertility of pines

交 配 組 合 せ Crossing combination	受粉回数 Number of pollination times	雌 花 数 Number of female flowers	結 果 率 Cone set percent. (%)	1 球果あたり 充実粒 Sound seeds per 1 cone	1 雌花あたり 充実粒 Sound seeds per 1 female flower
<i>P. thunbergii</i> × <i>P. thunbergii</i>	1	13	25.0	18.0	4.5
	2	19	17.8	19.3	4.2
	3	42	14.9	20.7	3.4
<i>P. thunbergii</i> × <i>P. densiflora</i>	1	89	37.9	2.1	0.6
	2	66	57.6	2.4	1.2
	3	91	41.8	3.7	1.9
<i>P. densiflora</i> × <i>P. thunbergii</i>	1	155	31.2	0	0
	2	169	38.7	0	0
	3	167	28.3	0	0
<i>P. densiflora</i> × <i>P. densiflora</i>	1	43	23.1	5.2	2.2
	2	41	45.3	13.2	5.8
	3	67	40.2	5.9	2.4

いとのとべている。本実験でえられた結果がはっきりした傾向を示さなかった原因の一部として、供試雌花数が不十分であったこと、供試個体間に開花期の変動があつて、受粉条件が必ずしも同じでなかったことなどが考えられるので、さらに検討を要する。

Ⅲ 種 間 交 雑

Ⅲ-1. 実験Ⅰ（アカマツとクロマツの交雑稔性および自殖稔性）

交雑育種をより効果的に進めるためには、種間交雑、種内交雑などいろいろな組合せにおける交雑稔性をあらかじめ知っておく必要がある。

筆者らは、1950年から1961年にわたつて、各地において選出されたアカマツとクロマツの優良個体（20～30年生）を供試して、人工交配試験を実施し、種間、種内、自然交配ならびに自殖などでえられた球果ならびにタネによって、交雑稔性を推定した。

Ⅲ-1-1. 材 料 と 方 法

1950年：林試目黒構内に植栽されていた20～30年生個体を数本ずつ供試した。花粉はその年の春に採集したものをを用いた。

1951年：水戸営林署管内村松海岸砂防林の約20年生林分から数10本の母樹を選び供試した。使用花粉は、当年これらの母樹から採取したものと、林試構内で採取したものであった。

1952年：笠間営林署北山国有林34林班ろ小班の約22年生天然林と、岩村田営林署浅間国有林73林班は小班の25年生人工林から選出した数本ずつの母樹と、倉吉営林署帽子取山国有林内のクロマツ26号（約30年生）を供試した。また、前年に使用した水戸営林署村松海岸砂防林内の母樹をも供試した。花粉は一部当年の春に採取したものをを用いたが、大部分は前年の春に採取し、相対湿度40%、5℃の冷蔵庫内に1年間貯蔵したものをを用いた。

1953年：1952年に供試した笠間、岩村田、倉吉各営林署管内の母樹以外に、甲府営林署諏訪の森国有林39林班と小班の約25年生天然林と、鳥取県西伯郡大山村赤松の民有林内の25年生人工林において、数本ずつの母樹を選定し供試した。花粉は、前年に各地の母樹から採集した貯蔵花粉を主として用いたが、一部

乙供営林署管内の甲地マツから採集した貯蔵花粉をも用いた。

1954年：1953年に各地で供試した母樹をすべて用いた。花粉も前年と同じで、1年間貯蔵したものを用いた。

1957年：浅川実験林横山苗畑に植栽されていた水戸営林署管内産の10年生林分から、母樹を数10本選び供試した。花粉はその年に採集したものを用いた。

1958年：浅川実験林白山見本林の約30年生人工林から、アカマツとクロマツを数本ずつ選び供試した。花粉はその年に採集したものを用いた。

1959年：1958年に用いた浅川実験林白山見本林内の母樹と1957年に用いた横山苗畑の母樹を供試した。花粉はその年に採集したものを用いた。

1960年および1961年：林試育種科が精英樹選抜基準を作成するためと、ツギキ増殖試験に供するため、各支場の育種研究室と協同で選抜した優良個体のツギキ・クローン（高萩試験地内に植栽されたもので、約10年生）を供試した。花粉はその年に採集したものを用いた。

袋かけは、各年次とも、雌花の開花約2週間前に行なった。1950年と1951年は、長さ25cm、幅15cmの褐色クラフト紙製袋の中に同じ大きさのセロファン紙製袋を入れた2重袋を用いた。1952年以後は、同じ規格の白色パーチメント紙袋とセロファン紙袋の2重のものを用いた。

受粉は、雌花が完全に開花する直前に、1回だけ行なった。しかし、遠隔地の場合は、雌花の最適状態と完全に一致させることはできなかった。

袋の除去は、約1か月後、周囲の花粉が完全に飛散し終わったと思われたところに行なった。

貯蔵花粉は、使用する前に人工発芽試験を行ない、60%以上の発芽率を示したものを使用した。1年以上貯蔵した花粉は使用しなかった。

III-1-2. 結果と考察

各地で行なったクロマツとアカマツの種間、種内、自家、自然交配からえられた球果および種子はTable 10に示すとおりであった。

クロマツを雌性親とした場合の結果率についてみると、1952年を除き、種内交配が20.0～54.6%（平均35.5%）、種間交配が6.4～30.2%（平均15.5%）、自家受粉が0.0～20.2%（平均13.0%）であった。1球果あたりの充実種子数は、種内交配が7.9～29.5粒（平均20.3粒）で、自然交配8.6～60.0粒（平均33.1粒）よりも劣っていたが、自家受粉が0.0～41.3粒（平均16.2粒）で種間交配0.7～12.3粒（平均2.5粒）よりも良い成績を示した。充実率では、種内交配と自然交配がほぼ同じ値を示した。

アカマツを雌性親にした場合の結果率については、種内交配6.5～52.4%（平均21.2%）、自家受粉2.5～29.1%（平均16.7%）、種間交配3.5～30.7%（平均9.7%）の順であった。1球果あたりの充実種子数では、自家受粉が0.0～42.0粒（平均7.1粒）で最も良く、ついで種内交配3.2～11.0粒（平均3.6粒）、種間交配0～16.6粒（平均3.0粒）の順であった。充実率は、種間交配が58%、種内交配が56%で、ほぼ同じ値を示したが、自家受粉は42%とやや低い値を示した。

タネの発芽率は、クロマツの1959年の自然受粉はか1～2を除けば、組合せによる大きな差異は認められなかった。

中井ら²⁴⁾は、クロマツの種内交雑において、自家受粉で67.9%、他家受粉で68.8%という高い結果率をえている。1球果あたりの充実種子数とタネの稔性は、自然、他家、自家受粉の順に低下しており、充

Table 10. クロマツとアカマツの種間、種内、自家、自然交配における球果ならびに種子の生産 (1950～1961)
Cone and seed yield in inter- intra-, self-, and open-pollination of *Pinus thunbergii* and *Pinus densiflora* in 1950 to 1961

雌 性 親 Female parent	雄 性 親 Male parent	交配年 Polli- nation year	母樹数 Number of trees	組合せ数 Number of crosses	雌花数 Number of female flowers	球果数 Number of obtained cones	結果率 Cone set percent. (%)	得られた種子数 Number of obtained seeds			充実率 Sound /Total ×100 (%)	1雌花あ たり充実 種子数 Number of sound seed per female flower	1球果あ たり充実 種子数 Number of sound seed per cone	種子の 発芽率 Germi- nation percent. (%)
								総 数 Total	充 実 Sound	シイナ Empty				
<i>P. thunbergii</i>	<i>P. thunbergii</i>	1950	1	1	60	12	20.0		301	70		5.0	27.4	—
		1951	13	20	416	101	24.6		2,491	325		6.0	24.6	82
		1952	1	2	139	3	2.2		16	2		0.1	5.3	—
		1957	9	9	42	11	26.2		87	12		1.9	7.9	73
		1959	1	1	33	11	33.3		325	26		9.9	29.5	52
		1960	12	12	563	305	54.6		6,224	993		11.1	20.6	87
		1961	2	2	60	23	38.3		8	28		0.1	0.3	—
			(39)	(47)	(1,313)	(466)	(35.5)	(10,908)	(9,452)	(1,456)	(87)	(7.2)	(20.3)	
	<i>P. densiflora</i>	1950	1	2	180	49	27.3		33	690		0.2	0.6	—
		1951	24	24	372	37	10.0		454	254		1.2	12.3	72
		1952	1	3	213	2	0.9		16	4		0.1	8.0	—
		1953	1	13	658	43	6.5		34	543		0.1	0.7	100
		1954	1	7	234	15	6.4		103	31		0.4	6.9	72
		1957	9	9	306	58	19.0		101	201		0.3	1.7	90
		1959	7	7	955	159	16.7		581	1,881		0.6	3.7	62
		1961	6	20	602	182	30.2		55	290		0.1	0.3	—
			(50)	(85)	(3,520)	(545)	(15.5)	(5,271)	(1,377)	(3,894)	(26)	(0.4)	(2.5)	
	(Self-poll.)	1951	14		258	30	11.6		574	239		2.2	19.1	72
		1954	1		27	0	0		0	0		0	0	—
		1957	8		34	3	8.8		124	28		3.6	41.3	63
		1959	2		120	24	20.2		224	143		1.9	6.0	45
			(25)		(439)	(57)	(13.0)	(1,332)	(922)	(410)	(69)	(2.1)	(16.2)	
	(Open-poll.)	1950	6			36			1,148	208			31.9	—
		1951	9			138			5,099	850			36.8	—
		1952	2			128			6,759	638			52.0	—
		1957	7			35			2,102	223			60.0	78
		1958	5			17			975	34			57.3	79
		1959	6			43			1,934	269			44.9	35
		1960	7			200			1,724	894			8.6	77
			(42)			(597)		(22,857)	(19,741)	(3,116)	(86)		(33.1)	

<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i>	1950	4	8	243	54	22.3		174	148		0.7	3.2	—
		1951	8	8	107	7	6.5		30	77		0.3	4.2	90
		1953	13	19	218	40	18.4		38	55		0.4	1.9	81
		1954	14	14	63	5	7.9		55	5		0.9	11.0	—
		1957	3	3	38	14	36.8		123	21		3.2	8.8	79
		1959	4	4	45	18	40.0		79	51		1.7	4.4	67
		1961	3	3	42	22	52.4		83	109		2.0	3.8	—
			(49)	(59)	(756)	(160)	(21.2)	(1, 048)	(582)	(466)	(56)	(0.8)	(3.6)	
	<i>P. thunbergii</i>	1950	1	1	125	21	16.8		0	27		0	0	—
		1951	11	11	180	9	5.0		52	20		0.3	5.7	96
		1952	15	15	251	25	10.0		415	95		1.7	16.6	84
		1953	17	17	144	26	18.1		24	9		0.2	0.9	—
		1954	18	18	175	15	8.6		95	15		0.5	6.3	65
		1957	12	12	193	41	21.2		183	76		0.9	4.5	100
		1959	5	5	1, 556	55	3.5		76	139		0.5	1.4	49
		1961	20	20	293	90	30.7		1	235		0.0	0.0	—
			(99)	(99)	(2, 917)	(282)	(9.7)	(1, 462)	(846)	(616)	(58)	(0.3)	(3.0)	
	(Self-poll.)	1950	1		38	5	13.2		57	89		1.5	11.4	—
		1951	4		40	1	2.5		42	17		1.0	42.0	93
		1957	13		98	6	6.1		208	104		2.1	34.7	—
		1958	5		80	21	26.3		53	294		0.7	2.5	—
		1959	1		79	23	29.1		1	1		0.0	0.0	—
			(24)		(335)	(56)	(16.7)	(866)	(361)	(505)	(42)	(1.1)	(7.1)	
	(Open-poll.)	1950	25			224			3, 470	691			16.7	—
		1951	8			119			1, 338	444			11.2	—
		1952	6			80			2, 449	253			31.2	—
		1953	18			97			2, 797	420			28.8	65
		1954	8			15			462	79			30.8	—
		1957	13			86			3, 080	876			35.8	69
		1958	5			21			963	239			45.6	33
		1959	5			39			1, 948	417			50.0	37
			(88)			(681)		(19, 926)	(16, 507)	(3, 419)	(83)		(24.2)	

実率は他家、自然、自家受粉の順に低下している。外山⁸⁷⁾⁸⁸⁾は、クロマツを用いて種内交雑を行ない、人為種内交雑は自然交雑よりも稔性が劣り、さらに組合せによって稔性に差があり、交雑不適合性の現象も認められることを報告している。

種間交雑については、小林ら¹⁹⁾はアカマツとクロマツの種間交雑で、アカマツを母樹にした場合は、クロマツを母樹にしたときよりも交雑稔性が低いと述べており、また、いずれを雌性親にした場合でも人工受粉は自然受粉よりも劣っていたと報告した。勝田¹⁷⁾の報告でも、アカマツとクロマツの種間交雑で、アカマツを母樹にした場合は、ほとんど充実種子がえられなかった。

筆者らの実験結果でも、人工受粉の場合は自然受粉よりも、1球果あたりの充実種子数が少なく、外山⁸⁷⁾、中井ら²⁴⁾の報告と一致する。しかし種間交雑については、アカマツを母樹にした場合は、クロマツの場合よりも結果率がやや低かったが、1球果あたり、および受粉した1雌花あたりの充実種子数は、正逆交雑で著しい差が認められなかった。勝田¹⁷⁾は、アカマツを母樹としてクロマツを受粉した場合は、その逆交雑にくらべて充実種子、シイナともに非常に少なかったことから、クロマツが母樹の場合には、受精直前に胚珠が崩壊するか、受精後に胚の発育がとまり崩壊することが多く、アカマツが母樹の場合には、受粉後まもなく胚珠の崩壊がおこるのではないかと推定している。筆者らのえた結果でも Table 10 でみられたように、アカマツを母樹にした場合は、クロマツの場合よりもシイナが少なかった。

自然受粉については FOWLER⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ は、*P. resinosa* の苗木の成長に自殖弱勢はほとんど認められず、*P. banksiana* では充実種子が少なく発芽も異常であり、*P. strobus* では自家受粉が他家受粉よりもアルビノの出現頻度が高かったことを述べている。勝田¹⁶⁾¹⁷⁾ はクロマツ、アカマツについて、個体差はあるが、自家受粉によってかなりの充実種子をえている。しかし、EHRENBERG ら⁶⁾、BARNES ら⁸⁾、BINGHAM ら⁴⁾、FORSHELL⁷⁾、WRIGHT ら⁴¹⁾ などのように、自家受粉で球果はできるが、発芽力のある充実種子をうることは困難であるという報告が少なくない。筆者らのアカマツ、クロマツの自家受粉では、種間交雑の場合よりも高い割合で充実種子がえられたことが多く、発芽率もとくに低いことは認められなかった。

この報告は、交雑種子、自殖種子をうるために、かなり多くの材料について多年度にわたって実施した結果を大きくとりまとめたものであるが、結果率、1球果あたり、ないし受粉した1雌花あたりの充実種子数は、個体により、年度によって、ばらつきが非常に大きかった。このことについては FOWLER¹¹⁾、中井ら²⁴⁾、外山ら⁸⁷⁾ が指摘しているように、個体により、また個体間の組合せによって和合性が著しく異なることが原因の1つかもかもしれない。

III-2. 実験 II (日本産と外国産マツ類の交雑親和性)

従来わが国に導入され、比較的成長の良好なテダマツやストローブマツなどの外国産マツ類と、日本産マツ類との交雑親和性についての資料をうるために、小規模の予備的な交雑試験を行なった。

III-2-1. 材料と方法

1950年から一部の交雑をはじめたが、大部分は1957~1959年の3年間に実施した。用いた母樹は主として林業試験場浅川実験林白山見本林の約30年生のものであるが、そのほか同実験林見本園の約60年生母樹、本場構内の約60年生母樹および水戸営林署村松海岸砂防林に植栽されていた約20年生のリギダマツ林から、母樹を選んで供試した。

交雑組合せは、アカマツ×クロマツの正逆交雑を除いて Table 11 のとおりであるが、雌性親としてクロマツ、アカマツ、テダマツ (*P. taeda* L.)、リギダマツ (*P. rigida* MILL.)、ストローブマツ (*P.*

Table 11. 種間交雑の組合せ
Species-crossing of pines examined

雌 性 親 Female parent	雄 性 親 Male parent	交配母樹数 Number of trees pollinated	交配組合 せ数 Number of cross combina- tions	交配雌花数 Number of female strobili pollinated	えられた 球果数 Number of cones developed	充実種子数 Sound seed	発芽率(%) Germina- tion per- centage
<i>P. thunbergii</i>	<i>P. taeda</i>	28	31	293	48	126	70
	<i>P. rigida</i>	31	31	299	57	493	83
	<i>P. massoniana</i>	2	2	141	21	196	—
	<i>P. pinaster</i>	15	15	155	23	115	80
	<i>P. strobus</i>	8	8	140	17	120	67
	(Self-poll.)	25	—	439	57	922	60
	(Open-poll.)	42	—	—	597	19,741	67
<i>P. densiflora</i>	<i>P. taeda</i>	13	13	104	9	0	—
	<i>P. rigida</i>	19	19	222	35	1	—
	<i>P. massoniana</i>	9	9	18	4	0	—
	<i>P. strobus</i>	9	9	49	5	0	—
	(Self-poll.)	24	—	335	56	361	—
	(Open-poll.)	88	—	—	681	16,501	51
<i>P. taeda</i>	<i>P. rigida</i>	2	2	28	7	6	—
	(Self-poll.)	1	—	14	6	175	—
	(Open-poll.)	1	—	—	7	451	—
<i>P. rigida</i>	<i>P. thunbergii</i>	11	15	163	3	113	10
	<i>P. densiflora</i>	8	10	108	2	0	—
	<i>P. taeda</i>	18	20	462	68	694	33
	(Self-poll.)	4	—	69	5	38	18
	(Open-poll.)	17	—	—	55	1,981	19
<i>P. griffithii</i>	<i>P. thunbergii</i>	1	1	9	0	0	—
	<i>P. densiflora</i>	1	1	12	0	0	—
	<i>P. strobus</i>	3	3	66	1	37	6
	<i>P. pentaphylla</i>	3	3	114	1	70	34
	(Self-poll.)	2	—	43	3	160	33
	(Open-poll.)	3	—	—	6	345	25
<i>P. pentaphylla</i>	<i>P. thunbergii</i>	1	1	23	0	0	—
	<i>P. densiflora</i>	1	1	14	0	0	—
	<i>P. strobus</i>	3	3	72	8	62	—
	<i>P. griffithii</i>	3	3	105	1	0	—
	(Self-poll.)	2	—	35	2	0	—
	(Open-poll.)	3	—	—	18	288	16
<i>P. strobus</i>	<i>P. thunbergii</i>	1	1	66	0	0	—
	<i>P. densiflora</i>	1	1	51	0	0	—
	<i>P. pentaphylla</i>	3	6	180	2	116	—
	<i>P. griffithii</i>	3	6	162	4	28	32
	(Self-poll.)	1	—	65	0	0	—
	(Open-poll.)	2	—	—	9	186	12

strobus L.), ヒメコマツ (*P. pentaphylla* MAYR.), ヒマラヤゴヨウマツ (*P. griffithii* McCLE.) の 7 種を、雌性親として上記の 7 種のほかにタイワンアカマツ (*P. massoniana* LAM.), フランスカイガンショウ (*P. pinaster* AIT.) の計 9 種を用いたが、材料のつごうですべての組合せは実行できなかった。

使用花粉の大部分は、その年に採集した新しいものを使用した。一部貯蔵花粉を用いたものである。貯蔵花粉は 5°C、相対湿度 40% の冷蔵庫内に貯蔵されたもので、使用前に人工発芽試験を行ない、発芽率 60% 以上のものを使用した。

交配袋は長さ 25 cm、幅 15 cm の白色パーチメント紙とセロファン紙の 2 重袋を用い、雌花の開花約 2 週間前に袋かけを行なった。受粉は雌花がほぼ完全に開いたころ 1 回だけ行ない、周囲木からの花粉の飛

Table 12. マツ類の種間交雑における結果率
Cone set percentages in pine species-crossings

雌 花 親 Female parent	雄 性 親 Male parent									Self-pollination
	<i>P. thunbergii</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. massoniana</i>	<i>P. pinaster</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. rigida</i>	<i>P. strobus</i>	<i>P. pentaphylla</i>	<i>P. griffithii</i>	
<i>P. thunbergii</i> <i>P. densiflora</i>	10	16 22	15	17	16 9	19 16	12 10			13 17
<i>P. taeda</i> <i>P. rigida</i>	2	2			15	25				43 7
<i>P. strobus</i> <i>P. pentaphylla</i> <i>P. griffithii</i>	0 0 0	0 0 0					11 2	1 1	3 1	0 6 7

Table 13. マツ類の種間交雑でえられた 1 球果あたりの充実種子数
Number of sound seed per cone in pine species-crossings

雌 性 親 Female parent	雄 性 親 Male parent									Self-pollination
	<i>P. thunbergii</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. massoniana</i>	<i>P. pinaster</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. rigida</i>	<i>P. strobus</i>	<i>P. pentaphylla</i>	<i>P. griffithii</i>	
<i>P. thunbergii</i> <i>P. densiflora</i>	(33.1) 3.0	2.5 (24.2)	9.3 0	3.0	2.6 0	8.6 0.0	7.1 0			16.2 7.1
<i>P. taeda</i> <i>P. rigida</i>	37.7	0			(64.4) 10.2	0.9 (36.0)				29.2 7.6
<i>P. strobus</i> <i>P. pentaphylla</i> <i>P. griffithii</i>	0 0 0	0 0 0					(20.7) 7.8 37.0	58.0 (16.0)	7.0 0 (57.5)	0 0 53.3

Note: () = 自然交雑 Open-pollination

Table 14. マツ類の種間交雑でえられた 1 雌花あたりの充実種子数
Number of sound seed per female strobil pollinated in pine species-crossings

雌 性 親 Female parent	雄 性 親 Male parent									Self-pollination
	<i>P. thunbergii</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. massoniana</i>	<i>P. pinaster</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. rigida</i>	<i>P. strobus</i>	<i>P. pentaphylla</i>	<i>P. griffithii</i>	
<i>P. thunbergii</i> <i>P. densiflora</i>	0.3	0.4 0	1.4	0.5	0.4 0	1.6 0.0	0.9 0			2.1 1.1
<i>P. taeda</i> <i>P. rigida</i>	0.7	0			1.5	0.2				12.5 0.6
<i>P. strobus</i> <i>P. pentaphylla</i> <i>P. griffithii</i>	0 0 0	0 0 0					0.9 0.6	0.6 0.6	0.2 0	0 0 3.7

散が全く終わってから袋をとり除いた。

III-2-2. 結果と考察

Table 12 は各組合せの平均結果率を示したものである。結果率は全般的に低かったが、二葉松と三葉松、二葉松と五葉松 (*P. strobus*) の各組合せでも、いくらかの球果がえられた。

自家受粉の場合の結果率は、*P. strobus* を除く他の樹種では 6～43% で、とくに *P. taeda* は比較的高い値を示した。

Table 13 に 1 球果あたりの充実種子数を、また Table 14 に受粉した 1 雌花あたりの充実種子数を示した。

二葉松類の交雑については WRIGHT ら⁴¹⁾、染郷ら³⁵⁾、中井ら²⁴⁾ はいずれも *P. thunbergii* × *P. massoniana* の交雑に成功しているが、筆者らの実験でもかなりの充実種子がえられた。この 2 種はともに REHDER, A. による Series Sylvestris に属しており、交雑は比較的容易ではないかと思われる。*P. thunbergii* と *P. pinaster* は series を異にしており、中井ら²⁴⁾ は交雑不能としているが、筆者らのこの実験では、いくらかの充実種子がえられている。

P. thunbergii, *P. densiflora* を雌性親として、三葉松類、五葉松類を交配した結果、*P. densiflora* の場合は球果はえられたが充実種子が全くえられなかったのに反し、*P. thunbergii* では若干の充実種子がえられた。前田²⁰⁾²¹⁾ は *P. thunbergii* × *P. taeda* の交雑で雑種苗を確認しており、中村ら²⁵⁾ は同じ交雑組合せで多くの有胚種をえた。また中井ら²⁴⁾ も同じ組合せで充実種子がえられる場合もあることを認めている。これらの諸報告と筆者らのえた結果を考えあわせると、*P. thunbergii* と *P. taeda* の交雑は容易ではないにしても、ある程度は可能ではないかと思われる。*P. thunbergii* と *P. rigida* の交雑について、中井ら²⁴⁾ は交雑不能とのべているが、筆者らの実験では正逆交雑ともにいくらかの充実種子がえられた。

二葉松類と五葉松類との交雑は、一般には不可能と考えられているようであるが、この実験では *P. thunbergii* × *P. strobus* で 2 回にわたって充実種子がえられた。人工受粉の不備による花粉の混入なども考えられるが、中村ら²⁵⁾、上田ら³⁹⁾ は *P. strobus* × *P. thunbergii*, *P. strobus* × *P. densiflora* で充実種子をえており、なお検討の余地があるように思われる。

三葉松類の *P. rigida* と *P. taeda* の雑種は、すでに実用的規模で生産されているが¹²⁾、この実験の結果でも両種の交雑は比較的容易と思われた。五葉松類の 3 種間の交雑では、結果率は 1～11% とはなほだ低かったが、発育した球果からはかなりの充実種子がえられた。

この予備実験では供試材料が少なく、種間の交雑親和性をたしかめるためには、さらに多くの資料を集積しなければならないが、とくに、交雑が成功したかどうかの判断には、次代植物の調査による雑種の確認がぜひとも必要と思われるので、その点についてはさらに検討を進めるつもりである。

V 要 約

わが国の主要樹種の 1 つであるアカマツとクロマツを主体に、マツ類の品種改良のための交雑の基礎技術を確立するために、数年にわたって交配試験を実施した。試験結果は、つぎのとおりである。

- (1) 東京付近でのクロマツ雌花の開花期は 4 月下旬で、アカマツは 5 月上旬である。個体や外的条件によって多少の変動はみられるが、総体的にはクロマツはアカマツよりも通常 7～10 日ほど早く開花する。
- (2) 花粉粒の大きさは、クロマツがアカマツよりも平均値でやや大きい。調査した外国産マツ類はクロ

マツよりもはるかに大きい。

(3) 花粉の採集は、雄花の開花直前であれば、雄花序のみを集める方法が花粉収量が多いが、開花前の早い時期（4～8 日前）に採集する場合は切枝水さし法がよい。花粉の発芽率は、採集方法および採集時期によって、大きなちがいを示さなかった。

(4) 交配袋の内部の温度は、褐色紙袋がもっとも低く、ついでセロファン袋、白色パーチメント紙袋の順であったが、結果率ならびに結実歩どまりは、白色紙袋が褐色紙袋よりもよかった。

(5) クロマツ、アカマツ幼齡木での雌花の受精可能期間は約 2 週間で、最適時期は開花開始後 5 日目前後と思われる。褐色交配袋を使用すると、雌花の受精可能期間がいくらか長くなるようである。

(6) 受粉回数（1～3 回）が結果ならびに結実歩どまりに及ぼす影響は明らかでなかった。

(7) クロマツとアカマツの種間交雑稔性は、正逆交雑においてはほぼ同じであった。充実種子の歩どまりは、種内交雑がもっとも高く、自殖、種間交雑の順であった。

(8) わが国内外産 9 樹種間の交雑親和性についての予備試験の結果を簡単にのべた。

文 献

- 1) BARNER, H. and CHRISTIANSEN, H.: The formation of pollen, the pollination mechanism, and the determination of the most favourable time for controlled pollination in *Larix*. *Silv. Genet.*, **9**, pp. 1～11, (1960)
- 2) BARNER, H. and CHRISTIANSEN, H.: The formation of pollen, the pollination mechanism, and the determination of the most favourable time for controlled pollination in *Pseudotsuga menziesii*. *Silv. Genet.*, **11**, pp. 89～102, (1962)
- 3) BARNES, B. V., BINGHAM, R. T. and SQUILLACE, A. E.: Selective fertilization in *Pinus monticola* DOUGL. (II) Result of additional test. *Silv. Genet.*, **11**, pp. 103～111, (1962)
- 4) BINGHAM, R. T. and SQUILLACE, A. E.: Self-compatibility and effects of self-fertility in western white pine. *For. Sci.*, **1**, pp. 121～129, (1955)
- 5) COSCIELNY, S.: Effect of temperature, light and fungicides on the germination of pollen of some trees and shrubs. *Roczn. Dendrol. Polsk. Tow. Bot.*, Warsz., **15**, pp. 31～78, (1961), [P. B. A., **23**, 3, 3178, (1962)]
- 6) EHRENBURG, C. E. and SIMAK, M.: Flowering and pollination in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). *Medd. Skogsforskn. Inst. Stockh.*, **46**, 12, pp. 1～27, (1965)
- 7) FORSHELL, C. P.: Kottens och fröest utbildning efter självoch korsbefruktning hos tall (*Pinus silvestris* L.). *Medd. Skogsforskn. Inst. Stockh.*, **43**, 10, pp. 1～42, (English summary: pp. 24～27), (1953)
- 8) FOWLER, D. P.: Effects of inbreeding in Red pine, *Pinus resinosa* AIT., *Silv. Genet.*, **13**, pp. 170～177, (1964)
- 9) FOWLER, D. P.: Effects of inbreeding in Red pine, *Pinus resinosa* AIT., (II) Pollination studies. *Silv. Genet.*, **14**, pp. 12～23, (1965)
- 10) FOWLER, D. P.: Effects of inbreeding in Red pine, *Pinus resinosa* AIT., (III) Factors affecting natural selfing. *Silv. Genet.*, **14**, pp. 37～40, (1965)
- 11) FOWLER, D. P.: Effects of inbreeding in Red pine, *Pinus resinosa* AIT., (IV) Comparison with other Northeastern *Pinus* species. *Silv. Genet.*, **14**, pp. 76～81, (1965)
- 12) HYUN, S. K.: Feasibility of large-scale controlled pollination as a means of mass produc-

- ing hybrid pine seed. Abstr. in Proc. 10th Int. Congr. Genet., Montreal, 2, pp. 130~131, (1958)
- 13) 原田 泰・柳沢聡雄: 寒帯性樹種の品種改良試験 (V) トドマツの人工交配に関する研究, 帝室林野局北海道林試報, 2, pp. 71~99, (1946)
- 14) 石原供三・松川篤治: 主要林木の品種改良 (第1報) 球果植物二三の交雑試験, 日林講 (昭和14年度), pp. 98~102, (1939)
- 15) 石原供三・松川篤治: 主要林木の品種改良 (第2報) 第一代雑種に顕れたる形質に就て, 日林講 (昭和15年度), pp. 126~131, (1941)
- 16) 勝田 桓: クロマツとアカマツの自家受精, 演習林, 15, pp. 23~35, (1964)
- 17) 勝田 桓: クロマツ, アカマツの種間受粉したときのタネのできかた, 演習林, 16, pp. 27~33, (1966)
- 18) 河村嘉一郎: スギの交配技術に関する基礎調査 (I) 袋を異にした場合の結果率について, 日林関西支講, 17, pp. 6~7, (1967)
- 19) 小林 隆・今井元政・鈴木正平: アカマツ, クロマツの種間交雑試験, (I) 1958~1960年の交雑経過および採取球果, 種子の特性と交雑稔性について, 新潟県林試研報, 9, pp. 1~27, (1963)
- 20) 前田千秋: クロマツとテダマツの交雑育種試験, 兵庫県林試業務成績報告 (昭和28年度), p. 69, (1954)
- 21) 前田千秋: アカマツその他2, 3マツ類の交雑について, 兵庫県林試報, 7, pp. 1~3, (1955)
- 22) McWILLIAM, J. R.: Effect of temperature on pollen germination of Pinus and its bearing on controlled pollination. For. Sci., 5, pp. 10~17, (1959)
- 23) 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 (受粉時期およびその回数と種子稔性との関係), 林業技術, 299, pp. 25~27, (1967)
- 24) 中井 勇・藤本博次・稲森幸雄・佐野宗一: マツ類の交雑育種に関する研究, (1) クロマツの種間交雑ならびに他のマツ類数種との種間交雑の可能性, 京大演報, 39, pp. 125~143, (1967)
- 25) 中村賢太郎・四手井綱英: マツ属における交雑育種に関する研究, I-1, マツ属の交雑親和性の検定と F_1 植物の特性調査, 農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書 (昭和36年度), pp. 1~12, (1961)
- 26) NIENSTAEDT, H. and KRIEBEL, H. B.: Controlled pollination of Eastern hemlock. For. Sci., 1, pp. 115~120 (1955)
- 27) 野原勇太: スギの人工交配試験の成長について, 林試研報, 161, pp. 61~71, (1963)
- 28) 野原勇太: 林木の一, 二遺伝試験に就て (予報) (1), 御料林, 179, pp. 2~35, (1943)
- 29) 野原勇太: 林木の一, 二遺伝試験に就て (予報) (2), 御料林, 184, pp. 27~36, (1943)
- 30) 野原勇太: 林木の一, 二遺伝試験に就て (予報) (3), 御料林, 185, pp. 2~10, (1943)
- 31) 野原勇太: 林木の一, 二遺伝試験に就て (予報) (4), 御料林, 186, pp. 35~42, (1943)
- 32) PAWSEY, C. K.: Hand pollination of Monterey pine. Leaflet. For. Timb. Bur. Aust., 78, pp. 1~13, (1961)
- 33) ROHMEDER, E. and EISENUT, G.: Untersuchungen über das Mikroklima in Bestäubungsschutzbeuteln. Silv. Genet., 8, pp. 1~12, (1959)
- 34) SCAMONI, A.: Ueber Eintritt und Verlauf der männlichen Kiefernblüte. Ztschr. f. Forst- u. Jagdwes., 70, pp. 289~315, (1938)
- 35) 染郷正孝・川述公弘: クロマツ×リュウキュウマツ, タイワンアカマツの稔性, 日林九州支講, 18, pp. 21~23, (1964)
- 36) Svensk skogsträdsföladling (1960). For. Skogstrför. Årsbok, 52 pp., (1960), [P. B. A., 31, 4, 5419, (1961)]
- 37) 外山三郎: 林木育種に関する知見, 林試研報, 66, pp. 1~269, (1950)

- 38) 外山三郎：松の不稔性について，宮崎大時報（自然科学），1，pp. 31～40，（1950）
39) 上田弘一郎・吉川勝好・稲森幸雄：マツ類の種間交雑における受精について，京大演報，33，pp. 137～155，（1961）
40) 渡辺 操：アカマツ，クロマツ花粉の発芽能力におよぼす温度の影響，日林誌，35，pp. 248～249，（1953）
41) WRIGHT, J. W. and GABRIEL, W. J.: Species hybridization in the hard pine, series *Sylvestres*. *Silv. Genet.*, 7, pp. 109～115, (1958)

Controlled Pollination and Interspecies Crossing of Pines

Misao WATANABE⁽¹⁾ and Mitsuo IWAKAWA⁽²⁾

(Résumé)

This study was conducted to develop controlled pollination techniques and to obtain some information on the cross-compatibility of pines. The work was carried out during 1951 to 1961 to investigate the flowering period, size of pollen grain, inside temperature of pollination bags of different types, receptive period of female flowers, effect of pollination frequency on cone or seed crop, and interspecies cross-compatibility.

The results obtained are as follows:

1) Female strobili of *Pinus thunbergii* began to flower usually seven to ten days prior to those of *P. densiflora*, although the time difference of the two species differed to some extent with individuals and years. The flowering time of female strobili of *P. thunbergii* was late April and that of *P. densiflora* early May in Tokyo.

2) Pollen grain size of *P. thunbergii* was a little larger than that of *P. densiflora*. Those of exotic pines examined were much larger than that of *P. thunbergii*.

3) In collection of pollen at early dates (four to eight days) before flowering, better result was obtained by soaking the base of twigs bearing male catkins in water than by picking only male catkins, while the latter method was preferable when the pollen collection was made just before the pollen shedding. No remarkable difference was found in germination percentages of pollen collected under different methods and dates.

4) Inside temperature of the brown colored pollination bag was closest to air temperature, although white parchment bag gave better results than the brown one from the view point of cone or seed crop.

5) Receptive period of female strobili in young trees of *P. thunbergii* and *P. densiflora* was estimated at about two weeks, the highest receptivity having been shown at about five days after the beginning of efflorescence. Brown pollination bag appeared to prolong slightly the receptive period of female strobili.

6) Effect of pollination frequency on cone or seed crop was not evident in the present work.

7) Cross-fertilities of reciprocal crossings between *P. thunbergii* and *P. densiflora* were about the same, although much lower than that of intraspecies crossing or selfing of both species.

8) Some information from preliminary study on interspecies cross-compatibilities among nine pine species, indigenous and exotic, are briefly described.

Received May 9, 1969.

(1) Tohoku Forest Tree Breeding Station, concurrently, Silviculture Unit I, Silviculture Division, Tohoku Branch Station.

(2) Director, Shikoku Branch Station.