

林木の交配に関する基礎的研究 (IX)

—— アカマツ, クロマツの開花, 受粉および
人工受粉の適期について ——

橋詰隼人*

昭和55年7月31日受付

Fundamental Studies on Mating in Forest Trees (IX)

—— Flowering, Pollination and Favourable Time for Controlled
Pollination in *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.
and *Pinus thunbergii* Parl. ——

Hayato HASHIZUME*

The flowering and pollination of *Pinus densiflora* and *P. thunbergii* were observed, and artificial pollination was carried out for determining the most favourable time of pollination according to the process of the flowering of the female flowers.

The process of flowering of the female flowers was divided into six stages as shown in Tables 1 and 2. *P. thunbergii* started to flower in late April, and *P. densiflora*, in early May. Generally, in both species, the beginning of the flowering of male flowers was a little later than that of the female flowers. The flowering period of the female flowers was 16 days in *P. densiflora* and 18 days in *P. thunbergii* on the average considering individual trees, and that of the male flowers was about 10 days in both species.

The receptive period of the female flowers of *P. densiflora* was 10 days and the most favourable time of artificial pollination was 3 to 5 days. A period from the stage of exposure of micropylar arms to the early stage of full bloom was the most favourable time for artificial pollination. It was discovered that the micropylar arm was the organ for catching pollen grains and the pollination fluid served for catching pollen grains and transferring them to the pollen chamber.

緒 言

人工受粉を行なう場合には、開花現象をよく研究して、適期に受粉することが大切である。筆者はこれまでにスギとヒノキの開花、受粉および人工受粉の適期について

報告したが、⁵⁻⁷⁾ 今回アカマツについて同様の研究を行なったので報告する。なお本研究の概要は1972年に日本林学会関西支部大会において発表した⁴⁾、その後の研究結果も追加して今回とりまとめたものである。

* 鳥取大学農学部林学科造林学研究室

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Tottori University

材 料 と 方 法

結 果

鳥取大学農学部苗畑に植栽されている5~7年生アカマツおよびクロマツを用いて実験を行なった。開花調査は、1968~1970年に行ない、各個体から雌花を5個ずつ選び出し、毎日開花状況を観察記録すると共に、時期別に雌花を採取して実体顕微鏡でくわしく調べた。雄花の開花調査は、毎日枝をゆすって花粉の飛散状況を調べた。人工受粉はアカマツを用いて、1970年5月11~29日の期間に、雌花の開花過程別に行なった。袋掛は東洋理光器製交配袋を用いて、開花開始の直前に行なった。交配に用いた花粉はその年に採集した混合花粉で、飛散の数日前に花をもぎとり、室内で開花させて採集した。供試花粉の発芽率は98%であった。人工受粉は午前9~10時に1回行なった。人工受粉の方法は、袋内に花粉が残らないようにするために、ガラスピンに花粉を入れ、直接その中に雌花を挿入して受粉させた。翌年の10月に球果を採取して、結果および結実の状況を調査した。

1. 開花の様式と経過

アカマツ、クロマツの雌花の開花過程は次の6期に分けることができる。

- (1) 開花開始期……雌花の鱗片が芽鱗を破って外部に現われる時期。
- (2) 腕状体露出期……鱗片の間にすき間ができて、珠孔腕状体が外部から見えるようになる時期。
- (3) 受粉液分泌開始期……腕状体が受粉液でうろおい、白く光るようになる時期。
- (4) 満開期……鱗片が全部開き、腕状体が外部からよく見える時期。
- (5) 閉花開始期……腕状体ががしおれて内側に曲り、鱗片が閉じはじめる時期。
- (6) 閉花完了期……鱗片が完全に閉じる時期。

アカマツの開花状況は第1表、写真1の如くである。開花時期および開花の経過は年によって多少異なる。雌花は普通5月上旬に開花を開始する。開花開始後平均3

第1表 アカマツの開花状況

開花の経過と所要日数		自 然				袋 掛 1970年	
		1968年	1969年	1970年	平 均		
経 過	雌 花	開 花 開 始	5. 2	5. 3	5. 9	5. 5	5. 9
		腕 状 体 露 出	5. 6	5. 5	5. 13	5. 8	5. 12
		受 粉 液 分 泌 開 始	5. 6	5. 6	5. 14	5. 9	5. 13
		満 開	5. 7	5. 7	5. 16	5. 10	5. 15
		閉 花 開 始	5. 12	5. 11	5. 21	5. 15	5. 21
		閉 花 完 了	5. 19	5. 17	5. 26	5. 21	5. 27
	雄 花	花 粉 飛 散 開 始	—	—	5. 12	—	—
		花 粉 飛 散 盛 期	—	—	5. 14~17	—	—
		花 粉 飛 散 停 止	—	—	5. 21	—	—
所 要 日 数	開花開始から満開まで	5 日	4 日	7 日	5 日	6 日	
	腕状体露出から満開まで	1	2	3	2	3	
	受粉液分泌開始から満開まで	1	1	2	1	2	
	満開から閉花開始まで	5	4	5	5	6	
	満開から閉花完了まで	12	10	10	11	12	
	腕状体活性期間	6	6	8	7	9	
	雌花の開花期間	17	14	17	16	18	
	花粉飛散期間	—	—	9	—	—	
花粉飛散盛期	—	—	4	—	—		

備考：5個体の平均を示す。

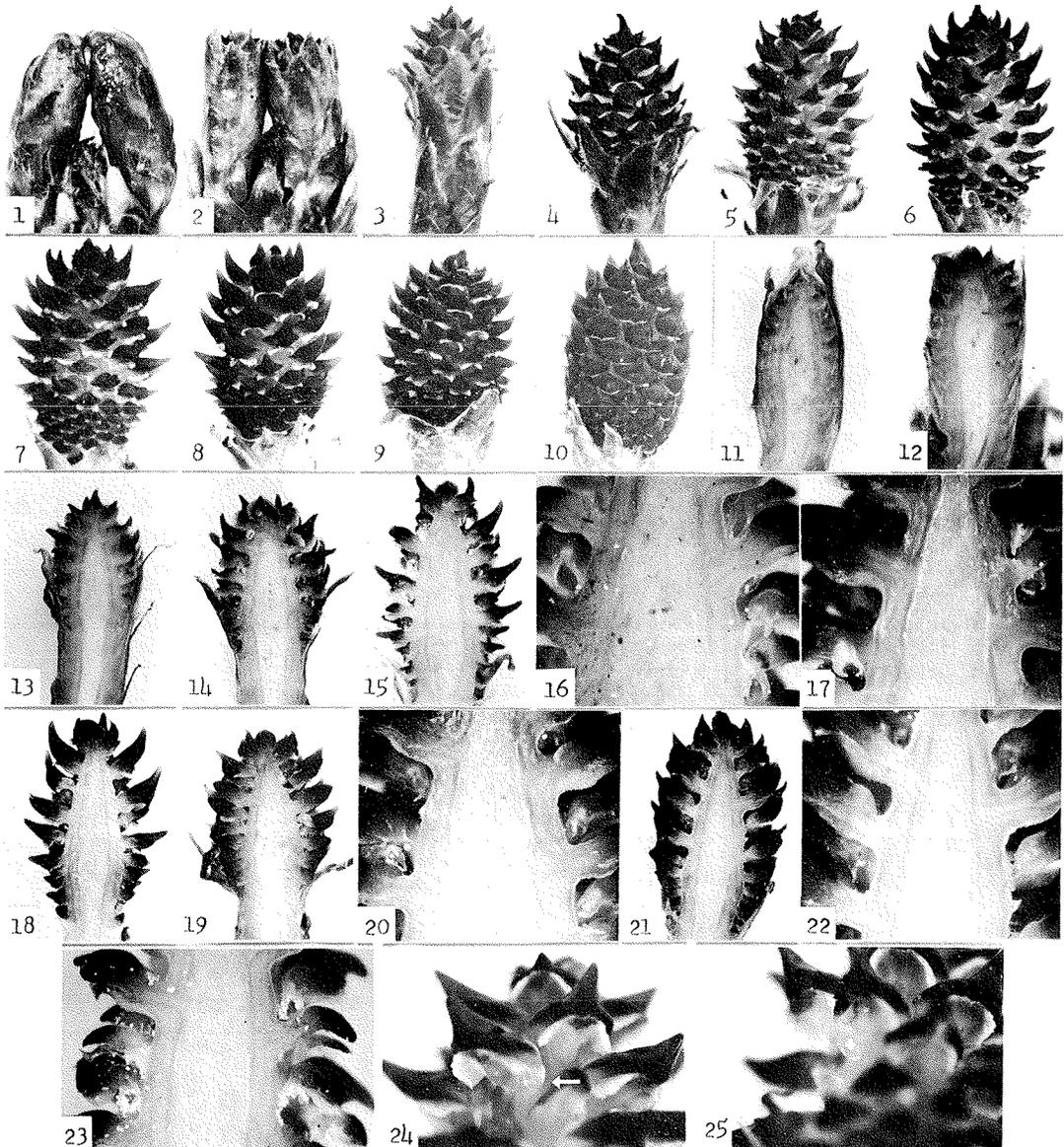


写真1 アカマツ雌花の開花と受粉の状況

1, 11: 未開花, 2, 12: 開花開始期, 3, 13: 開花初期, 4, 14: 腕状体露出期, 5: 満開初期, 6, 15, 16: 満開中期, 7, 17: 満開後期, 8, 18: 閉花初期, 9, 19, 20: 閉花後期, 10, 21, 22: 閉花完了期, 23: 人工受粉における花粉の付着状況, 24: 受粉液(液滴)の分泌(矢印), 25: 液滴に人工受粉して1日後の状況。

日で、鱗片の間にすき間ができて、珠孔腕状体が外部から見えるようになる。間もなく珠孔から受粉液が分泌し、腕状体は珠孔液でうるおい、白く光るようになる。満開期の腕状体ははさみ状を呈し、下垂している。開花開始から平均5日で全部の鱗片が開き、満開になる。満開の期間は5日ぐらいで、腕状体は受粉後しおれて内側に曲り、やがて黄褐変する。同時に鱗片が肥厚して鱗片間がつまり、閉花がはじまる。閉花開始から約6日後には鱗片の間は完全につまり、閉花が完了する。アカマツの雌花の開花期間は平均16日であった。雌花の開花の経過は袋掛によっていちじるしい影響を受けなかった。

花粉の飛散開始期は、一般に雌花の開花開始期よりも少しおくれる。珠孔腕状体が露出するころ飛散がはじまり、受粉液分泌開始期から満開初期にかけて飛散最盛期となる。雌花の閉花開始期のころに飛散が終わる。花粉飛散期間は約10日、飛散盛期は平均4日である。アカマツは雌性先熟のものが多く、開花期および開花の経過は年度や個体によって多少差があった。

クロマツの開花状況は第2表のとおりで、アカマツよ

りも約10日早く開花をはじめた。開花期は4月下旬から5月中旬であった。開花の経過はアカマツとほぼ同様で、雌花では開花開始から満開まで平均7日、満開から閉花完了まで平均11日を要した。したがって、雌花の開花期間は平均18日であった。花粉の飛散期間は約10日で、雌花の開花期間よりも短かった。

2. 受粉の機構

珠孔腕状体は露出後間もなく受粉液でうるおう(写真1)。受粉液の分泌は夜中には始まり、早朝が盛んで、日中は乾燥により低下する。満開期の雌花に人工受粉すると、花粉は塊状になって腕状体に付着する。雌花の着生した枝を切りとり、室内で水挿するか、あるいは雌花を切りとってシャーレの湿ったろ紙上におくと、珠孔から液滴が腕状体の間に分泌する。液滴がつぶれないように少量の花粉をかけて観察すると、液滴は内部に吸収され、珠孔入口に花粉粒が付着するのが見られる。これらのことから、珠孔腕状体は花粉を捕捉する器官であって、受粉液の助けをかりて花粉をとらえる。また受粉液は花粉をとらえて、それを珠孔内に運搬する役目を演じている

第2表 クロマツの開花状況

開花の経過と所要日数		自 然				袋 掛 1970年	
		1968年	1969年	1970年	平均		
経 過	雌 花	開 花 開 始	4. 24	4. 23	5. 1	4. 26	5. 1
		腕 状 体 露 出	4. 29	4. 26	5. 5	4. 30	5. 4
		受 粉 液 分 泌 開 始	4. 30	4. 27	5. 6	5. 1	5. 5
		満 開	5. 2	4. 28	5. 8	5. 3	5. 7
		閉 花 開 始	5. 5	5. 1	5. 12	5. 6	5. 12
		閉 花 完 了	5. 14	5. 8	5. 19	5. 14	5. 19
	雄 花	花 粉 飛 散 開 始	—	—	5. 3	—	—
		花 粉 飛 散 盛 期	—	—	5.6~8	—	—
		花 粉 飛 散 停 止	—	—	5. 12	—	—
	所 要 日 数	開花開始から満開まで	8 日	5 日	7 日	7 日	6 日
腕状体露出から満開まで		3	2	3	3	3	
受粉液分泌開始から満開まで		2	1	2	2	2	
満開から閉花開始まで		3	3	4	3	5	
満開から閉花完了まで		12	10	11	11	12	
腕状体活性期間		6	5	7	6	8	
雌花の開花期間		20	15	18	18	18	
花粉飛散期間		—	—	9	—	—	
花粉飛散盛期	—	—	3	—	—		

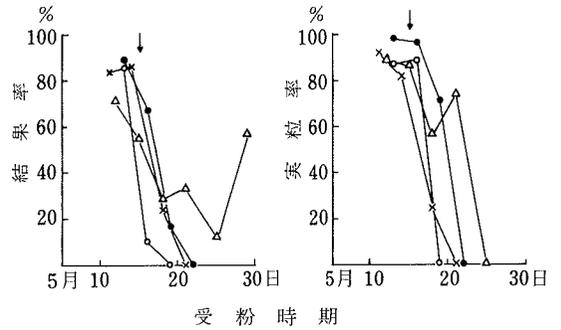
備考：4個体の平均を示す。

ことがわかる。受粉前の腕状体はほぼ垂直に下垂しているが、受粉後内側に曲り、やがてしおれる。この内曲の理由はよくわからないが、花粉の珠孔内への運搬に対し何らかの関係があるように思われる。

3. 人工受粉の適期

雌花の開花過程別に人工受粉を行った結果は、第3～4表、第1～4図のとおりである。結果率は珠孔腕状体露出期の受粉が最も高く、受粉時期が遅れるにしたがって低下し、落果が多くなった。種子の稔性は珠孔腕状体露出期から満開初期の受粉が高く、満開中期以降急激に低下し、閉花中期以降の受粉では稔性のある種子がえられなかった。すなわち、受粉可能期間（受容期間）は珠孔腕状体露出期から閉花中期まで、約10日間であるが、種子の稔性は珠孔腕状体露出期から満開初期までの約4日間が最も高い。しかし、結果率は満開初期よりも腕状体露出期の方が高い傾向にあり、人工受粉は早目に行なう方がよいように思われる。珠孔腕状体露出期から満開初期までの3～5日間が人工受粉の最適期であると思われる。なお球果の発育、種子の生産量、種子の発育なども受粉時期の影響を受け、腕状体露出期から満開初期に

受粉したものは球果が重く、1球果当り種子数が多く、1,000粒重が大きい傾向がみられた。



第1図 アカマツにおける受粉時期と結果率および実粒率との関係

○—○ 1号木, ●—● 2号木, ×—× 3号木, △—△ 4号木, 矢印は雌花の平均満開日を示す。

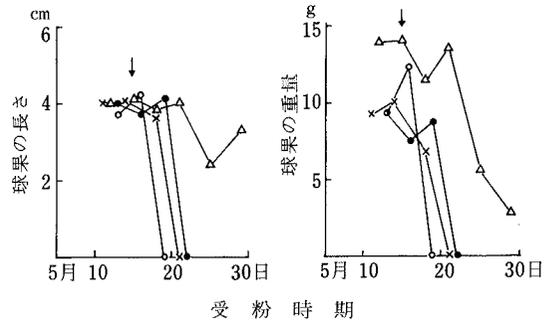
第3表 アカマツにおける受粉時期と結果および種子の稔性との関係

雌花の開花過程	受粉日 (1970年)	結果率 (%)	実粒率 (%)
腕状体露出期	5月11～13日	82.3	90.9
満開初期	5月14～16日	54.6	88.2
満開中期	5月18～19日	17.1	39.3
閉花開始期	5月21～22日	8.3	18.2
閉花中期～後期	5月25日	3.1	0
閉花完了期	5月29日	14.3	0
対照 自然受粉	—	—	87.1

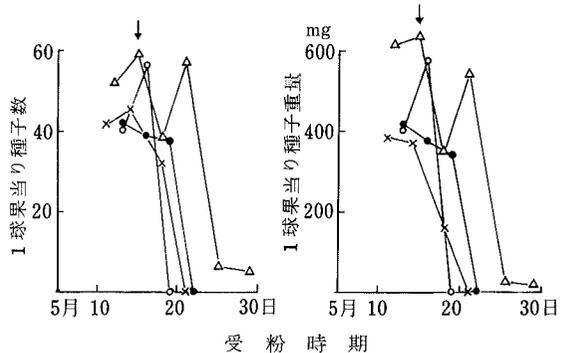
備考：4個体の平均を示す。

第4表 アカマツにおける雌花の受容期間と人工受粉の適期

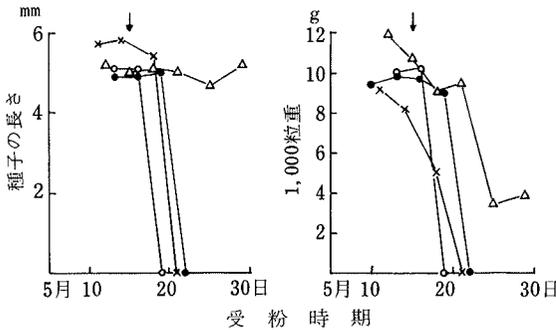
個体	受容期間		人工受粉の適期	
	月	日	月	日
No. 1	5月	13～18日	6	5月13～16日
No. 2	5月	13～21日	9	5月13～16日
No. 3	5月	11～20日	10	5月11～14日
No. 4	5月	12～24日	13	5月12～15日
平均	5月	12～21日	10	5月12～15日



第2図 アカマツにおける受粉時期と球果の発育との関係



第3図 アカマツにおける受粉時期と種子の生産との関係



第4図 アカマツにおける受粉時期と種子の発育との関係

考 察

マツの開花および受粉の現象については、外国では McWilliam⁹⁾ が二、三のマツで、Ehrenbergら²⁾ が *Pinus silvestris* で、Pattinsonら¹¹⁾ が *P. kesiya* で研究している。わが国では萩行ら³⁾ および高山¹⁵⁾ がアカマツで、中井ら¹⁰⁾ および斉藤ら^{13) 14)} がクロマツで、渡辺ら¹⁶⁾ がアカマツ、クロマツで研究している。萩行³⁾ らは交配実行者の立場からアカマツの開花現象を調査し、雌花の開花過程を6期に、雄花のそれを5期に分けた。また斉藤ら¹³⁾ はクロマツの開花過程を5期に分け、各ステージ別に開花現象をくわしく説明している。本研究においては、アカマツの開花過程を6期に分けて観察記録した。マツの開花期は、渡辺ら¹⁶⁾ によると、クロマツは東京では4月21日から、またアカマツはクロマツよりも約1週間おくれで開花をはじめた。開花期間は両樹種とも約10日間であるという。開花時期は年度、個体などによってかなり差があるが、1本の木の中でも花の着生位置によって差があり、斉藤ら¹³⁾ によると、クローネの上部の雌花は下部の雌花よりも開花日が早く、1本の木の開花期間はおよそ24日であったという。本研究によると、アカマツ雌花の開花期間は平均16日、クロマツのそれは18日であったが、供試木全体の開花期間は前者が22日、後者が25日であった。花粉の飛散期間も1本の木についてみると平均9日であるが、アカマツ、クロマツの採種林で調査した例によると、⁸⁾花粉の飛散期間は約1カ月におよんでいる。マツの開花期間は個体と林分とでいちじるしく異なるので注意を要する。渡辺ら¹⁶⁾ によると、アカマツ・クロマツの雌花は雄花よりも4～5日ほど早く開花をはじめた。高山¹⁵⁾ がアカマツ採種園でクローン別に調査したところによると、大部分のクローン (80～

90%) では雌花が雄花よりも早く咲きはじめた。本研究においても、花粉飛散の2、3日前に雌花が咲きはじめた。マツは雌花先熟のものが多いようである。

被子植物では、花粉が雌蕊の柱頭につくことを受粉というが、裸子植物は被子植物と花の構造が異なり、マツでは空中を飛来してきた花粉は珠孔腕状体に付着して、受粉液によって珠孔内部の花粉室に運搬され、ここで発芽する。したがって、花粉が珠孔をとって花粉室に運ばれて、珠心上に付着することを受粉と定義することができる。針葉樹の胚珠には、とっくり状胚珠、はさみ状胚珠、柱頭状胚珠の3型がある。マツははさみ状胚珠で、満開期の胚珠では珠孔から受粉液が分泌して、珠孔腕状体は受粉液でうろおっており、花粉がよく付着する。腕状体は花粉を捕える器官であり、受粉液は花粉を珠孔内に運搬する役目をしている。受粉後受粉液の分泌は止まり、腕状体はしおれて枯死し、同時に珠孔の閉鎖がおこる。受粉の適期は雌花の鱗片の間にすき間ができて腕状体が露出し、受粉液が分泌する時期である。本研究において雌花の開花過程別に人工受粉を行なって調べたところ、受粉可能期間 (受容期間) は約10日間で、その中で3～5日間で受粉の最適期であった。渡辺ら¹⁶⁾ の研究によると、アカマツ、クロマツの受容期間は約2週間、受粉の適期は5日ぐらいである。また中井ら¹⁰⁾ の研究によると、クロマツの受容期間は10日、受粉の適期は2～3日であるという。斉藤ら¹³⁾ によると、クロマツでは開花ステージⅢ (大部分の鱗片が露出し、各鱗片の間隔が最大となり、珠孔が十分に発達して湿潤になる時期) が受粉の適期で、その期間は約6日間であるという。本研究の結果は、これらの既往の研究結果と大体一致する。

総 括

アカマツ、クロマツの開花と受粉の現象を観察し、さらに雌花の開花過程別に人工受粉を行なって受粉の適期を判定した。

1. 野外観察の結果、アカマツ、クロマツの雌花の開花過程を6期に分けた。クロマツは4月下旬に、アカマツは5月上旬に開花を開始した。アカマツの開花期はクロマツのそれよりも約10日おそかった。両樹種とも、雄花の開花開始期は雌花のそれよりも少しおくれた。

2. 1本の木の平均開花期間は、アカマツ雌花で16日、クロマツ雌花で18日であった。また花粉の飛散期間は両樹種とも約10日間であった。アカマツでは、開花開始から満開まで約5日、満開から開花完了まで約11日を要した。クロマツでは、前者が約7日、後者が約11日であった。

3. 雌花では、珠孔腕状体露出後間もなく珠孔から受粒液が分泌し、腕状体は受粉液でうるおった。満開期の雌花に人工受粉すると、花粉は腕状体および珠孔入口付近によく付着した。腕状体は花粉を捕える器官であり、また受粉液は花粉を捕えて、それを珠孔内に運搬する役目を演じていることがわかった。

4. アカマツ雌花の受容期間は約10日、人工受粉の適期は3～5日(平均4日)であった。人工受粉は珠孔腕状体露出期から満開初期にかけて行なうのが最もよい。雌花の鱗片の間にすき間ができて珠孔腕状体が外部から見えるようになり、かつ受粉液でうるおうようになる時期が人工受粉の適期である。

文 献

- 1) 第6回林木育種研究談話会：林木の受粉機構。林木の育種, **86** 12～20 (1974)
- 2) Ehrenberg, C. E. and Simak, M.: Flowering and pollination in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). *Medd. Fr. Stat. Skogsforskn. Inst.*, **46** 1～23 (1956)
- 3) 萩行治義・河野耕蔵・田淵和夫：アカマツ雌雄花芽の外部形態の変化。46年度林木育種研究発表会講演集 (1971) pp. 64～67
- 4) 橋詰隼人：アカマツの開花、受粉および人工受粉の適期について。日林関西支講, **23** 139～141 (1972)
- 5) 橋詰隼人：林木の交配に関する基礎的研究 (V) スギの開花と受粉。鳥大農研報, **25** 81～96 (1973)
- 6) 橋詰隼人：同上 (VI) スギの人工受粉の適期の決定ならびに他家、自然および無受粉における結果、結実。鳥大農研報, **25** 97～103 (1973)
- 7) 橋詰隼人：同上 (VII) ヒノキの開花と受粉の機構ならびに人工受粉の適期の決定について。鳥大農研報, **26** 70～85 (1974)
- 8) 関西林木育種場山陰支場：マツの開花期における花粉の飛散調査について。昭和42年度業務記録, **8** 58～72 (1969)
- 9) McWilliam, J. R.: The role of the micropyle in pollination of *Pinus*. *Bot. Gaz.*, **120** 109～117 (1958)
- 10) 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の関係。林業技術, **299** 25～27 (1967)
- 11) Pattinson, J. V. et al.: Development of the ovulate strobilus in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (syn. *P. khasya* Royle) in relation to controlled pollination in Zambia. *Silvae Genet.*, **18** 108～111 (1969)
- 12) Pawsey, C. K.: Hand pollination of Monterey pine. *Leaflet, For. Timb. Bur. Aust.*, **78** 1～13 (1961)
- 13) 斉藤幹夫・山本千秋・萩原 訓・河野耕蔵・下平勝三：クロマツ雌球花の開花と受粉の適期。林試研報, **302** 79～96 (1979)
- 14) 斉藤幹夫：クロマツ雌球花の受粉の有無と珠孔の閉鎖。林試研報, **308** 17～23 (1979)
- 15) 高山芳之助：アカマツの採種園に関する研究 (III) 開花日におけるクローン間差異。日林誌, **50** 103～108 (1968)
- 16) 渡辺 操・岩川盈夫：マツ類の人工受粉技術ならびに種間交雑について。林試研報, **224** 125～146 (1969)
- 17) Wettstein, W.: Zur Blütenbiologie von *Pinus silvestris*. *Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw.*, **74** 404 (1940)