

ヒノキとサワラの自然, 自家, 種内他家および

種間受粉における球果とタネのできかた

山 本 千 秋⁽¹⁾・福 原 植 勝⁽²⁾

Chiaki YAMAMOTO and Narakatsu FUKUHARA : Cone and Seed
Yields after Open-, Self-, Intraspecific-, and Interspecific-
pollinations in *Chamaecyparis obtusa* (SIEB. et ZUCC.)
ENDL. and *C. pisifera* (SIEB. et ZUCC.) ENDL.

要 旨 : ヒノキとサワラで, 自殖による弱勢の発現と後世代への影響, および種間交雑による優良形質の組合せと雑種強勢の利用について検討するための第一歩として, ヒノキとサワラの各3母樹を用いて総あたりの人工交配を行い, 自然, 自家, 種内他家および種間受粉による球果とタネのできかたの違いを調べた。

母樹および受粉様式別に調べたおもな項目は, 結果率, 球果の大きさ, 球果あたりのタネ数, タネの大きさおよび充実率である。

結果率は, 両樹種とも自然受粉で最も高かったが, 自家, 種内他家および種間受粉を比べると, ヒノキでは差がなく, サワラでは種間受粉の結果率が低かった。球果の大きさは, 両樹種とも自然受粉で大きく, 種間受粉でやや小さかった。球果の形状比, 球果あたりのタネ数およびタネの大きさは, 樹種間には明確な差があったが, 受粉様式間には差はなかった。ヒノキでは, 充実粒と虫害粒に大きさの差はなく, シイナは小さかった。また, サワラでは, 充実粒とシイナに大きさの違いはなかった。タネの充実率は, 両樹種とも自然受粉で最も高く, 種内他家, 自家受粉の順に低下し, 種間受粉の充実率は極端に低かった。しかし, 充実率は母樹間, 組合せ間で相当の変動があった。

両樹種の自殖による 充実粒の相対的生産能力は, 30%を越える値が多く, 近親交配によるマイナスの影響が次世代で発現する可能性は低くないと判断された。また, ヒノキとサワラの種間交雑による充実粒の相対的生産能力は, 正逆とも1~10%程度であり, 雑種の得られる可能性は, ゼロではないが相当低いことが確認された。

目 次

I は じ め に	66
II 供試材料および方法	67
III 結果および考察	69
1. 結 果 率	69
2. 球果の大きさおよび形状比	72
3. 1 球果あたりのタネ数	73
4. タネの 大 き さ	74
5. 種間受粉球果およびタネにおけるメタキセニア現象の有無	78
6. タネの 稔 性	79
(1) 品質調査における軟X線写真の利用の可能性	79
(2) 受粉様式別にみた充実率	80
(3) 母樹および花粉親別にみた充実率	82
(4) ヒノキのタネの充実率と虫害率の相関	82

(5) 既往の例を含めた稔性の全般的検討	83
7. 自殖および種間交雑における充実粒の相対的生産能力の推定	84
IV ま と め	86
引 用 文 献	88
Summary	90

I は じ め に

他殖性植物といわれる林木では、自家受粉を行うと一般にタネの稔性が低下する。そればかりでなく、得られた自殖個体は、多くの場合、生長量、耐性あるいは繁殖力が低下し、いわゆる自殖弱勢の現象が見られる。森林集団が自殖ないし近親交配をくり返すと、各個体の遺伝子型のホモ化が促進され集団の遺伝的多様性が失われていく。環境条件をほとんど制御しえない状況の下で長期間生育を続けることが期待される林木にとって、遺伝的多様性の喪失は重大な問題となる。こうした自殖の諸問題を論ずるうえで、自家受粉を行ったときの球果やタネのできかたを調べておくことは重要である。

他方、林木では種間交雑を行ったときに、自家受粉より一層極端な稔性低下をひきおこす場合が多い。種間交雑育種では、優良形質の組合せであれ雑種強勢の利用であれ、ともかく両親種のもつ変異の幅を越えたすぐれた変異型を大量に作出することが目標となるので、種間交雑を行ったときに球果やタネの発達に極端に悪いと、その交雑組合せを育種計画に組み込むことはできない。その意味で、いろいろな樹種間で交雑を行ったときの球果やタネのできかたを明らかにしておくことは、種間交雑育種の可能性を検討する第一歩として重要である。

ここでは、わが国の主要造林樹種のひとつであるヒノキと、その近縁種であるサワラについて、自家受粉を行ったときおよび種間の相互交雑を行ったときの球果やタネのできかたを、両親の自然受粉や種内他家受粉を行ったときと比較しながら検討した結果を報告する。ヒノキとサワラの種間交雑では、両親樹種のもつ望ましい形質、すなわち、ヒノキの優良な材質とサワラの幼齢期における早い生長、さし木繁殖の容易さ、あるいは耐寒性などを組合せることが目標になっている。

ヒノキ属の種間交雑に関する研究の歴史については、筆者のひとり山本²⁴⁾が別に報告したとおりで、日本の樹種以外で人工交雑を試みた例は見あたらない。また、日本の樹種についても実験例はきわめて少ない。ヒノキとサワラの自家および種間の受粉を行ったときの球果やタネのできかたについては、野原^{13)~16)}および福原ら³⁾⁴⁾によって調べられているが、野原の報告では種間受粉と自家受粉の結果が比較されているだけで、対照とすべき種内他家受粉は実行されておらず、自然受粉との比較もほとんどなされていない。福原らは、上記4種類すべての様式の受粉を試みたが、比較検討した項目は球果の大きさとタネの発芽率に限られている。最近、田島²¹⁾は、ヒノキの自殖に関する諸問題を論議するなかで、タネの発芽率、苗木の生存率などいくつかの形質について自殖と他殖の比較を行い、自殖弱勢の程度を推定している。

筆者らは、次の点におもな着眼点を置いてこの研究を行った。

i) 同一母樹(雌親)に対して自然、自家、種内他家および種間の4様式の受粉を行い、いろいろな受粉様式における球果やタネのできかたの差異を詳細に比較する。

ii) i)の結果を用いて自殖および種間交雑の難易の程度を量的に推定する。

iii) 種内における交配相手の違いばかりでなく、受粉様式の違いも越えて、どんな相手と交配しても

比較的高い稔性を示すような母樹または花粉親があるかどうか、あるいは、同一受粉様式内で比較した場合でも交配の相手によって稔性はかなり極端に変動するものかどうか、について手がかりを得る。

iv) 野原¹⁸⁾¹⁴⁾によれば、ヒノキ(雌)とサワラ(雄)の種間交雑で得られた球果やタネの諸形質は、おおむねヒノキとサワラの間接の値を示したと述べているが、ヒノキとサワラの交雑でメタキセニア(種皮や球果に花粉の影響が現われる現象)が生ずるのかどうかを確認する。

v) 虫害タネを識別したり、いろいろな様式の受粉で得られたタネの胚や胚乳の発達状態を比較するうえで、軟X線写真がどの程度活用できるかを検討する。

この研究の遂行にあたり、伊藤 治(神奈川県庁)、小野 豊(鹿児島県庁)、中山 学(愛知県林試)および元浅川実験林技官飯田重良、石森金蔵の各氏には大変お世話になった。記して心からの謝意を表する。

II 供試材料および方法

この研究に用いた材料は Table 1 のとおりで、いずれもミショウ個体で外部形態からみてそれぞれの樹種の特徴をそなえたものである。交配の組合せは Table 2 に示すとおりヒノキ、サワラ各 3 本を用いた完全ダイアレルクロスであり、これに各親木の自然受粉が加わるので、両樹種の受粉様式別交配組合せ数は、各々自然受粉 3 組、自家受粉 3 組、種内他家受粉 6 組および種間受粉 9 組となる。

交配は 1968 年春に実行した。両樹種とも 3 月 6～11 日の間に除雄し、雌花数を数えてから各親木にたいし 20 袋前後の交配袋をかけた。また同時に、自然受粉球果の結果率を調べるために、各親木とも袋かけをしない数本の枝についても雌花数を数えてラベルをつけた。交配袋は内側がセロファンで外側が白色パーチメント紙の二重袋を用いた。

花粉採集は、サワラ花粉の飛散直前の 3 月下旬に、全 6 本の親木から雄花のついた枝を切り取り、水洗後ビンに水ざしして室内の隔離箱におき、開花を促し花粉採集器によって採集した。東京では、ヒノキの開花・花粉飛散期がサワラより 5～10 日ぐらい遅いので、新鮮花粉を用いて種間受粉を行う場合、サワラ(雌)×ヒノキ(雄)は適期の受粉が困難になる。しかし、同一母樹にたいする受粉の時期が、交配組

Table 1. 供 試 材 料
Materials

樹 種 Species	個 体 番 号 Individual tree No.	推 定 樹 齢 Age estimated	樹 高 Height	所 在 地 Location
ヒ ノ キ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	O-16	40	15 ^m	林業試験場浅川実験林 Asakawa Expt. Forest, Tokyo
	O-17	40	15	同 上 do.
	O-18	40	15	同 上 do.
サ ワ ラ <i>Chamaecyparis pisifera</i>	P- 4	15	5	元林業試験場本場構内 Meguro, Tokyo
	P-19	35	18	林業試験場浅川実験林 Asakawa Expt. Forest, Tokyo
	P-20	35	18	同 上 do.

合せ間で異った場合には、得られたタネの稔性の差異が、交配組合せの違いによるのか、母樹の花粉受容能力の違いによるのか区別できなくなるので、同一母樹にたいしては全種類の花粉を同じ日に受粉した。

受粉は、サワラは4月3、4日、ヒノキは4月5日に行った。交配袋内の雌花の受粉液の状態から判断して、ヒノキは最適期に受粉できたが、サワラについてはP-19でやや遅れ気味、P-4でかなり遅れた受粉であった。自家受粉は、ふつつ袋かけ時に1つの袋に雌雄花をいっしょに入れる方法がとられるが、ここでは種内や種間の受粉と同様、花粉銃による通常の人工受粉を行った。なお、同一交配組合せには2～4回（交配袋数）のくり返しがある。

交配袋は4月26～30日に取りはずした。球果は10月8～14日に採集し、ただちに球果の大きさを測定した。50個以上の球果が採集できた交配組合せについては50個の球果を無作為に抽出し、50個以下しかとれなかった組合せについてはその全部を用い、球果軸方向の高さと、軸に直角の方向の直径をノギスで測定した。

測定した球果は交配組合せごとに風乾してタネを採集し、総粒数を数え、球果数で割って1球果あたりのタネ数を求めた。また、これらのタネから組合せごとに500粒を無作為に抽出して軟X線写真撮影を行い、その映像からタネの大きさと充実率、虫害率を推定した。撮影用機種は、ソフテックスE型で、撮影条件は撮影距離（線源とフィルム間）36 cm、電圧14.4 kV、電流4 mA、照射時間25秒とした。また、使用フィルムは、富士写真フィルム K. K. のソフテックス用 FG フィルム（カビネ判）である。

Table 2. 交配組合せと供試雌花数および成熟球果数
The number of female flowers pollinated and mature
cones in each mating combination

母 樹 Female parent		花 粉 親 Male parent						自然受粉 Open- pollina- tion
		<i>C. obtusa</i>			<i>C. pisifera</i>			
		O-16	O-17	O-18	P- 4	P-19	P-20	
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	O-16	SELF ¹⁾ 130/74 ²⁾	INTRA ¹⁾ 60/43	INTRA 120/50	INTER ¹⁾ 36/21	INTER 136/78	INTER 137/74	OPEN ¹⁾ 107/88
	O-17	INTRA 132/66	SELF 144/67	INTRA 168/90	INTER 32/32	INTER 80/39	INTER 99/56	OPEN 216/139
	O-18	INTRA 46/39	INTRA 83/45	SELF 92/60	INTER 67/39	INTER 75/28	INTER 104/66	OPEN 84/80
<i>Chamaecyparis pisifera</i>	P- 4	INTER 502/310	INTER 463/127	INTER 430/182	SELF 468/257	INTRA 411/319	INTRA 120/105	OPEN 164/146
	P-19	INTER 364/69	INTER 205/101	INTER 143/42	INTRA 174/140	SELF 180/112	INTRA 157/104	OPEN 232/179
	P-20	INTER 605/466	INTER 434/303	INTER 487/414	INTRA 369/283	INTRA 215/179	SELF 408/337	OPEN 233/214

1) 受粉様式 Type of pollination

OPEN : 自然受粉 Open-pollination

SELF : 自家受粉 Self-pollination

INTRA : 種内他家受粉 Intraspecific-pollination

INTER : 種間受粉 Interspecific-pollination

↖ 供試雌花数 No. of female flowers pollinated

2) 130/74

↖ 成熟球果数 No. of cones matured

III 結果および考察

1. 結 果 率

結実率は受粉時ににおける雌花数と採集時における球果数との比率で表される。しかし、種々の大きさの未発達球果が生じる場合には、どの程度まで発達した球果を採集時の球果数にするかで結実率が変わる。ヒノキやサワラでは、球果の直径や高さ、十分に発達した球果の半分以上あれば、その中に正常な形をしたタネが含まれていることが多いので、これらの球果は、すべて成熟球果として採集時の球果数に加えた。

自然受粉を含む 42 の交配組合せでの供試雌花数と採集球果数は Table 2 に示す。母樹および受粉様式別の結実率と、受粉様式ごとの平均結実率を Fig. 1 に示す。

結実率は、受粉様式が同じであっても、母樹によって大差が生ずる場合もあり (ヒノキ自然受粉、サワラ種間受粉)、逆に差が認められない場合もある (ヒノキ種間受粉、サワラ種内他家受粉)。また、母樹が同一であっても、受粉様式間に大差がある場合もあれば (O-18, P-4, P-19), そうでない場合もある (O-17, P-20)。さらに、両親が同じであっても、くり返し (交配袋) によって結実率は大きくばらつくことが Fig. 2 で示されている。

3 母樹をこみにした受粉様式ごとの平均結実率をみると、ヒノキでは自然受粉が 80% でもっとも高く、自家、種内他家および種間の受粉の間にはほとんど差がみられず 56~57% という値を示した。サワラでは自然受粉が 86% でもっとも高く、種内他家の 78%, 自家の 67% が続き、種間受粉の結実率が 51% で最低であった。

ヒノキに関する大黒ら¹⁷⁾の類似の試験結果をみると、結実率は自家、種内他家、自然の各受粉間では 64~55% で大差がなく、種間受粉が 28% と低い値を示しており、筆者らの結果と異なっている。野原¹⁵⁾¹⁶⁾によるとヒノキについては自家受粉、種間受粉とも 60 数% で大差は認められないが、サワラについては

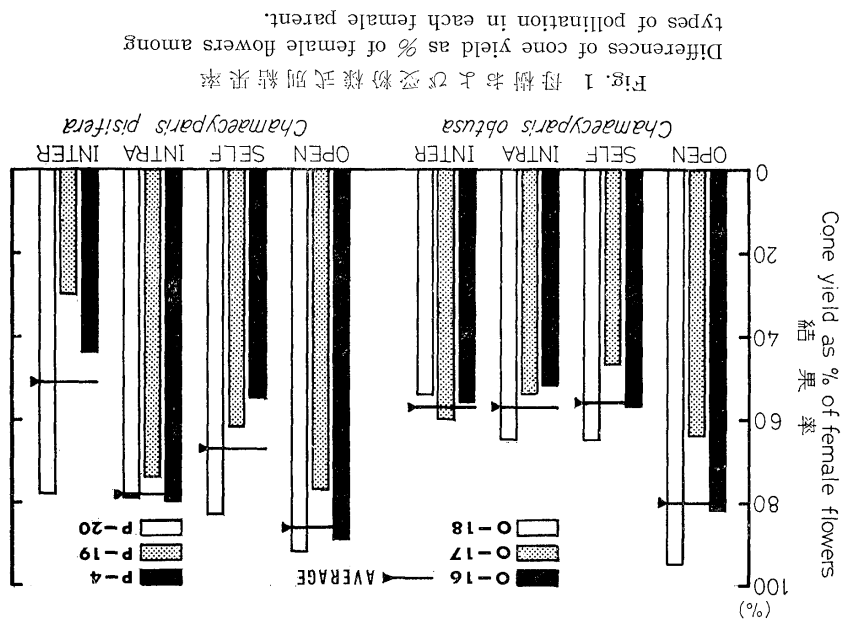


Fig. 1 母樹および受粉様式別結実率
Differences of cone yield as % of female flowers among types of pollination in each female parent.

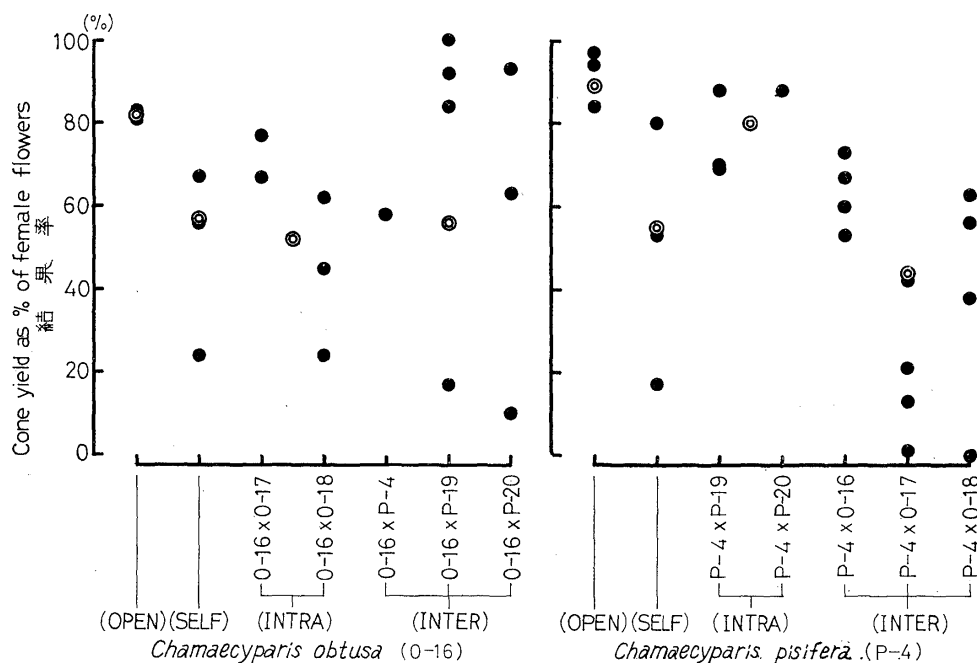


Fig. 2 ヒノキ (O-16) とサワラ (P-4) の交配袋ごとの結果率
Differences of cone yield as % of female flowers among pollination
bags in O-16 and P-4.

◎ : 受粉様式別平均値 Average of the type of pollination.

自家受粉 52%, 種間受粉 38% で差異があり, 筆者らの結果と類似の傾向を示している。これらの結果を
通覧すると, 結果率はきわめて変動が大きく, 規則的傾向のとらえにくい測定値であると考えられる。

とりわけ自然受粉は他の様式の受粉と異なり, 交配袋で隔離されていないというだけでなく, 花粉の受
容期間や受容量, さらには花粉の種類さえ, 空中に飛散している花粉によって左右される。したがって,
同種花粉が雌花の開花期間を通して適当な濃度で飛散している場合であれば, 自然受粉は, 球果の順調な
発達にとって最適環境となり, 他の様式の受粉と比べて高い結果率を示すことがあり得るが, 飛散花粉の
濃度が極端に低ければ, 自然受粉の結果率が人工受粉の場合より低い値しか示さないということが起こり
得る。

そこで, 自然受粉を比較の対象からはずし, 交配袋をかけた 3 つの受粉様式の結果率について既往の結果
も含めて検討してみると, ヒノキでは受粉様式間にあまり差異はなく, サワラでは種間受粉が特に低い
値を示すという結論になる。

ただし, 勝田⁷⁾, 中井¹¹⁾ がマツ類で指摘しているように, 結果率は同一受粉様式であっても母樹によ
って異なることがあり, さらに, 交配袋をかけた枝の太さや方位, 交配年の気象条件や豊凶のめぐりあわ
せなど環境条件のちがいによっても大きく変動すると考えられる。

したがって, 受粉様式のちがいと結果率の高低との関連を野外条件下で正確に把握するには, さらに,
交配袋数, 供試個体数, 交配年などのくり返しが行われる必要がある。

Table 3. 母樹および受粉様式別球果の大きさ、形状比、1 球果あたりタネ数
Cone size, ratio of height to diameter, and number of total seeds per cone after open-, self-,
intraspecific-, and interspecific-pollinations in female parents

母 樹 Female parent	受粉様式 Type of pollination	測定球果数 No. of cones measured	球 果 高 Cone height			球 果 直 径 Cone diameter			形 状 比 Ratio of height to diameter		1 球果あたり タネ数 No. of total seeds per cone
			平 均 Mean	(最大 ~ 最小) (Max.~Min.)	変動係数 C. V.	平 均 Mean	(最大 ~ 最小) (Max.~Min.)	変動係数 C. V.	平 均 Mean	変動係数 C. V.	
O-16	OPEN	50	mm 10.0	(11.0 ~ 9.0)	% 4.6	mm 10.7	(11.7 ~ 9.7)	% 4.8	0.94	2.5	37.2
	SELF	50	9.6	(10.6 ~ 8.2)	4.9	9.9	(10.8 ~ 8.5)	5.1	0.97	2.8	41.2
	INTRA	93	9.3	(11.0 ~ 8.2)	5.3	9.7	(11.3 ~ 8.4)	5.2	0.96	3.6	37.8
	INTER	121	9.4	(11.2 ~ 7.0)	7.0	9.6	(11.5 ~ 7.5)	7.3	0.98	4.1	37.6
O-17	OPEN	50	9.9	(11.5 ~ 8.5)	6.0	10.2	(11.5 ~ 9.0)	5.9	0.97	3.1	37.6
	SELF	50	9.4	(11.0 ~ 7.6)	8.0	9.8	(11.0 ~ 7.9)	7.5	0.96	3.1	35.9
	INTRA	100	9.4	(11.6 ~ 7.4)	9.7	9.7	(11.7 ~ 7.5)	9.3	0.96	3.2	33.9
	INTER	121	9.2	(11.0 ~ 5.3)	10.0	9.5	(11.0 ~ 4.9)	10.3	0.96	4.9	32.9
O-18	OPEN	50	10.5	(11.5 ~ 9.0)	5.4	10.5	(11.5 ~ 9.7)	4.1	1.00	3.1	27.6
	SELF	50	10.3	(11.7 ~ 9.4)	4.9	10.2	(11.0 ~ 9.5)	3.6	1.01	3.9	32.7
	INTRA	84	10.0	(12.0 ~ 7.4)	6.8	10.2	(11.7 ~ 8.7)	5.1	0.98	3.6	30.6
	INTER	117	9.5	(10.8 ~ 8.6)	4.9	9.7	(10.7 ~ 8.5)	4.4	0.98	3.8	29.3
P- 4	OPEN	50	5.8	(7.0 ~ 4.9)	7.2	5.7	(6.8 ~ 4.8)	7.4	1.02	4.4	13.2
	SELF	50	5.6	(6.3 ~ 4.5)	7.3	5.3	(6.1 ~ 4.5)	6.4	1.05	5.2	14.1
	INTRA	100	5.9	(7.0 ~ 4.8)	6.8	5.5	(6.4 ~ 4.7)	6.8	1.07	5.1	15.0
	INTER	150	5.4	(7.0 ~ 3.7)	12.5	5.1	(6.2 ~ 3.5)	11.7	1.07	5.7	12.7
P-19	OPEN	50	6.1	(7.0 ~ 4.9)	7.7	6.0	(6.8 ~ 4.8)	7.1	1.02	4.2	13.4
	SELF	50	5.4	(6.5 ~ 4.4)	10.6	5.3	(6.1 ~ 4.3)	10.6	1.02	4.6	12.3
	INTRA	100	5.4	(6.6 ~ 4.2)	10.1	5.4	(6.5 ~ 4.1)	9.0	1.00	5.0	12.8
	INTER	142	5.2	(6.2 ~ 4.0)	10.1	5.1	(6.3 ~ 3.7)	10.4	1.02	4.7	12.7
P-20	OPEN	50	5.9	(6.7 ~ 5.0)	7.0	5.6	(6.5 ~ 5.0)	6.9	1.05	4.4	14.0
	SELF	50	5.7	(6.5 ~ 4.5)	7.7	5.5	(6.1 ~ 4.5)	6.9	1.04	5.2	14.2
	INTRA	100	5.4	(6.3 ~ 4.4)	8.1	5.3	(6.2 ~ 4.2)	8.2	1.02	4.9	13.9
	INTER	150	5.4	(6.7 ~ 4.0)	8.8	5.3	(6.4 ~ 4.0)	8.0	1.03	5.2	14.0

2. 球果の大きさおよび形状比

Table 2 に示すとおり、自然受粉を含む全42組合せ中33組合せで50個以上の成熟球果が採集できた。もっとも少ない O-16×P-4 でも21個の球果が採れた。これらの球果を用い、全交配組合せについて1組合せあたり50個を上限として球果の高さおよび直径を測定し、その平均値と変動係数を求めた。

ヒノキおよびサワラの各母樹ごとの受粉様式別球果の高さと直径およびその変動係数を Table 3 に示す。また、Table 3 の平均値をもとに分散分析を行い、母樹および受粉様式間の有意差を検定した結果を Table 4 に示す。

Table 3 で明らかなように、球果の高さおよび直径の樹種間差は、野原の結果¹³⁾と同様きわめて明瞭である。これを受粉様式別にみたとき、ヒノキ、サワラの全母樹にほとんど完全に共通していえることは、もっとも大きいのが自然受粉球果で、もっとも小さいのは種間受粉球果であり、自家および種内他家受粉球果がその中間に位置していることである。この結果は、福原⁹⁾がヒノキ、サワラについて5年間にわたって調査した結果とほぼ完全に一致している。球果の大小は、平均値でみればせいぜい1mm前後の差であるが、分散分析の結果、ヒノキでは高さと直径の両形質で、サワラでは直径で、受粉様式間に有意な差があると認められた (Table 4)。ただし、有意差が生じたおもな理由は、両樹種とも自然受粉球

Table 4. 球果の大きさ、形状比および1球果あたりタネ数の平均値と分散分析結果

Average cone size, ratio of height to diameter, and number of total seeds per cone in different types of pollination and in female parents, and results of analysis of variance in these cone-characters

受粉様式および母樹 Type of pollination and female parent	球 果 高 Cone height (mm)	球 果 直 径 Cone diameter (mm)	球 果 形 状 比 Ratio of height to diameter	1 球果あたりタネ数 Total seeds per cone (Number)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>				
OPEN	10.1	10.5	0.97	34.1
SELF	9.8	10.0	0.98	36.6
INTRA	9.6	9.9	0.97	34.1
INTER	9.4	9.6	0.97	33.3
	(**)	(**)	(NS)	(NS)
O-18	10.1	10.2	0.99	30.1
O-16	9.6	10.0	0.96	38.5
O-17	9.5	9.8	0.96	35.1
	(**)	(NS)	(*)	(*)
<i>Chamaecyparis pisifera</i>				
OPEN	5.9	5.8	1.03	13.5
SELF	5.6	5.4	1.04	13.5
INTRA	5.6	5.4	1.03	13.9
INTER	5.3	5.2	1.04	13.1
	(NS)	(*)	(NS)	(NS)
P-4	5.7	5.4	1.05	13.8
P-19	5.5	5.5	1.02	12.8
P-20	5.6	5.4	1.04	14.0
	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)

(NS) 有意差なし Non-significance

(*) 5%水準で有意 Significance at 5% level

(**) 1%水準で有意 Significance at 1% level

果が有意に大きい値を示したためであって，自家，種内他家および種間受粉の間では明確な差異は認められなかった。

つぎに，Table 3 の変動係数から受粉様式別の球果の大きさのバラツキ程度をみると，O-18などで順位のみだれはあるが，全体的傾向としては，変動係数のもっとも大きいのが種間受粉球果で，自家受粉および種内他家受粉がこれにつき，自然受粉球果の変動係数をもっとも小さく，球果の大きさとは逆の順位を示した。この傾向もまた，福原の結果⁹⁾と一致した。さらに，各母樹ごとの球果の大きさの最大値と最小値をみると，全体として最大値は受粉様式間にそれほど差はないが，最小値は受粉様式によってかなり開きがあり，各母樹の最小球果はほとんどすべて種間受粉で得られた球果のなかにみられる (Table 3)。

以上の結果を総合すると，ヒノキ，サワラとも同種花粉が適当な濃度で飛散しているかぎり，袋のかかっていない自然受粉球果がもっとも順調に発達し，比較的大きな，しかも大きさのそろった球果になるのに対して，自家，種内他家，種間受粉など袋をかけた人工受粉球果では，受粉時期や花粉濃度が不適当であったり，雨水や陽光の影響を受けるなどのために，隔離された雌花がそろって正常に発達することがさまたげられ，結果として小さめの球果が生ずるものと考えられる。また，なかでも種間受粉球果では，花粉管の伸長や受精，胚発生過程の異常に起因した發育不全の小球果もできやすく，大きさが極端にふぞろいになるために，平均値をもっとも小さくなるものと考えられることができる。

球果の大きさを母樹別にみたところ，樹齡，環境条件がほとんど同一と思われるヒノキ 3 母樹間の球果の高さに有意な差が認められた (Table 4)。

球果の高さを直径で除した値で示される形状比についてみると，Table 3, 4 で明らかとなっており，全体としてヒノキは形状比が 1 より小さく (高さが直径よりやや小)，サワラは逆に形状比が 1 より大きい (高さが直径よりやや大) 球果が多いという樹種の特性は示されているが，両樹種とも受粉様式間には差はなくヒノキの母樹間にだけ有意な差が認められた。また，形状比の変動は全母樹で球果の大きさの変動に比べてかなり小さかった。

球果の形状比については，スギ，ヒノキなどで，同一母樹あるいは同一品種系統に属するものであれば，球果の大小にかかわらずほぼ一定なので，品種あるいは系統を分類する手段として用いることができるという報告¹⁸⁾があるが，他方，球果形状比を遺伝性をもった品種的特性と見なすことは危険であるという反論¹⁹⁾もある。実験の規模からいっても，本研究の結果から球果形状比の分類上の価値を論ずることはできないが，球果の大きさなどに比べれば相当安定した形質であることは確かである。

勝田は，アカマツ，クロマツの球果の形状比を，受粉様式との関連で調査し⁷⁾，両樹種とも結果率やタネの稔性が低い自家受粉球果の形状比のほうが，自然受粉球果の形状比よりも大きかったと述べている。しかし，ヒノキ，サワラではこのような傾向はみられなかった。

3. 1 球果あたりのタネ数

大きさの測定に用いた球果を，交配組合せごとに風乾し，タネをはずして 1 mm 網目 (16 メッシュ) のフルイにかけ，かかったものすべてを数えてタネ総数とし，それを球果数で除して 1 球果あたりのタネ数とした。母樹および受粉様式別の 1 球果あたりのタネ数を Table 3 に，それらの平均値と分散分析による有意性の検定結果を Table 4 に示す。

タネのなかには，正常な大きさに発達したものから，受粉時の胚珠段階以後ほとんど發育せずこん跡として確認できる程度のものでさまざまあるが，本研究では，タネとしての外観をそなえたものはできる

かぎり小形のものも含めた。したがって、フルイにかかったもののなかには、ヒノキ、サワラともハネの部分を除くと0.5~0.6 mm 幅で、実用的にはタネとして数えないと思われる小形のものも含まれている。

1 球果あたりのタネ数は、Table 3, 4 に示すとおりおおむねヒノキ 30~40 粒、サワラ 12~15 粒で、樹種間では明確な差はあるが受粉の様式間に有意な差は認められなかった。なお、ヒノキで供試 3 母樹間に有意な差があったが、野原¹⁸⁾も同様の傾向を認めている。横山ら²⁷⁾は、ヒノキ精英樹 20 クロンの自然受粉球果の2年間にわたる調査から、1 球果あたりのタネ数の年次相関が $r=0.84$ できわめて高いことを認め、この形質がクロンの特性を示すものと考えた。これらの結果は、1 球果あたりのタネ数が、環境による変動は伴うにしても、母樹の遺伝的特性とみなし得ることを示している。

ヒノキ O-18 が、球果の高さや球果形状比だけでなく、1 球果あたりのタネ数でも他の2母樹とは有意に異なる値を示したことが注目された。

4. タネの大きさ

Table 2 に示す全 42 交配組合せについて、タネの稔性を調査するために各組合せあたり 500 粒のタネを無作為に抽出し、軟 X 線写真を撮影した。そのなかから Table 5 に示すとおり 2 樹種、2 母樹、4 受粉様式合計 16 枚の写真を選び出し、500 粒のタネの映像から 100 粒を無作為に抽出して、長さと最大幅（ハネの部分を除く）を、0.1 mm 単位で測定した。ヒノキでは充実粒、虫害粒およびシイナの3種類に、サワラでは充実粒およびシイナの2種類にそれぞれ品質区分（詳細は後述）することができたので、100 粒中に各品質のタネが適当な割合で含まれているヒノキ 5 組合せとサワラ 4 組合せについては、タネの品質別にも大きさの平均値と変動係数を計算した (Table 5)。Table 5 の平均値をもとに、両樹種のタネの長さについて分散分析を行い、受粉様式、母樹およびタネの品質間に、それぞれ有意な差があるかどうかを検定した結果は Table 6 に示す。

Table 5. 交配組合せ別充実粒、虫害粒およびシイナの大きさ
Length and width of full, insect damaged and empty seeds after
open-, self-, intraspecific-, and interspecific-pollinations

両親 (受粉様式) Parents (Type of pollination)	測定タネ数 ¹⁾ No. of seeds measured	タネの長さ Seed length		タネの幅 Seed width	
		平 均 Mean (mm)	変 動 係 数 C. V. (%)	平 均 Mean (mm)	変 動 係 数 C. V. (%)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>					
O-16 (OPEN)	100	2.95	7.4	1.58	13.7
	(F) 25	2.99	4.8	1.60	11.3
	(I) 41	2.99	6.0	1.66	9.4
	(E) 34	2.88	9.8	1.46	16.8
O-16 (SELF)	100	2.92	10.4	1.46	16.9
	(F) 22	3.02	8.4	1.54	10.7
	(I) 32	2.99	7.0	1.55	11.8
	(E) 46	2.82	12.2	1.36	20.4
O-16 × O-17 (INTRA)	100	2.84	8.0	1.48	12.4
	(F) 21	2.90	7.3	1.51	10.5
	(I) 33	2.87	6.3	1.50	11.1
	(E) 46	2.79	9.1	1.45	13.8

Table 5. (つづき) (Continued)

両親 (受粉様式) Parents (Type of pollination)	測定タネ数 ¹⁾ No. of seeds measured	タネの長さ Seed length		タネの幅 Seed width	
		平均 Mean (mm)	変動係数 C. V. (%)	平均 Mean (mm)	変動係数 C. V. (%)
O-16 × P-20 (INTER)	100 (F) 1 (I) 4 (E) 95	2.89	11.5	1.49	20.9
O-18 (OPEN)	100 (F) 16 (I) 35 (E) 49	2.99 3.14 3.07 2.88	8.1 4.6 6.0 8.8	1.71 1.77 1.80 1.62	14.1 9.3 11.3 15.6
O-18 (SELF)	100 (F) 4 (I) 14 (E) 82	2.90	11.7	1.67	19.1
O-18 × O-17 (INTRA)	100 (F) 14 (I) 25 (E) 61	2.91 3.07 3.00 2.84	12.1 6.9 7.3 14.1	1.65 1.74 1.76 1.58	17.3 9.4 10.1 20.3
O-18 × P-4 (INTER)	100 (F) 0 (I) 1 (E) 99	2.80	12.5	1.61	17.9
<i>Chamaecyparis pisifera</i>					
P-19 (OPEN)	100 (F) 37 (E) 63	2.25 2.31 2.22	5.4 4.3 5.5	1.26 1.26 1.25	7.3 6.7 7.5
P-19 (SELF)	100 (F) 1 (E) 99	2.04	11.4	1.06	18.0
P-19 × P-4 (INTRA)	100 (F) 46 (E) 54	2.08 2.13 2.04	8.8 6.0 10.3	1.11 1.14 1.08	16.2 10.4 19.9
P-19 × O-17 (INTER)	100 (F) 0 (E) 100	2.10	14.0	1.07	19.6
P-20 (OPEN)	100 (F) 29 (E) 71	2.12 2.10 2.12	6.8 5.7 7.2	1.14 1.14 1.13	7.8 5.4 8.6
P-20 (SELF)	100 (F) 5 (E) 95	2.20	6.1	1.16	9.0
P-20 × P-4 (INTRA)	100 (F) 19 (E) 81	2.11 2.11 2.11	9.4 7.8 9.7	1.12 1.11 1.12	10.6 9.9 10.7
P-20 × O-18 (INTER)	100 (F) 1 (E) 99	2.17	6.7	1.14	9.5

- 1) (F): 充実粒 Full seed
(I): 虫害粒 Insect damaged seed
(E): シイナ Empty seed

Table 6. 充実粒, 虫害粒およびシイナの大きさの平均値と分散分析結果
Average length and width of full, insect damaged and empty seeds
in different types of pollination and in female parents, and results of
analysis of variance in these seed-characters

受粉様式, 母樹およびタネの品質 Type of pollination, female parent and seed quality	タネの長さ Seed length (mm)	タネの幅 Seed width (mm)	受粉様式, 母樹およびタネの品質 Type of pollination, female parent and seed quality	タネの長さ Seed length (mm)	タネの幅 Seed width (mm)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>			<i>Chamaecyparis pisifera</i>		
OPEN	2.97	1.65	OPEN	2.19	1.20
SELF	2.91	1.57	SELF	2.12	1.11
INTRA	2.88	1.57	INTRA	2.10	1.12
INTER	2.85	1.55	INTER	2.14	1.11
	2.90 (NS)	1.50 (NS)	P-19	2.12	1.13
O-16			P-20	2.15	1.14
O-18	2.90	1.66			
Full seed	3.01	1.63	Full seed	2.16	1.16
Insect damaged seed	2.98	1.65	Empty seed	2.12	1.15
Empty seed	2.84	1.49			

(NS) : 有意差なし Non-significance

(**) : 1%水準で有意 Significance at 1% level

測定したタネの総数はヒノキ, サワラともそれぞれ 800 粒であるが, そのうちの 7 割以上のタネは, ヒノキでは長さで 2.5~3.3mm, 幅で 1.2~2.0mm, サワラでは長さで 1.8~2.4mm, 幅で 0.9~1.3mm の範囲に入っており, 樹種間の差異は明確であった。

タネの品質を考慮せず, 受粉様式に着目して検討してみると (Table 5), ヒノキでは, タネの長さ, 幅とも自然受粉がやや大きい以外は特定の傾向はみられなかった。しかし, 長さとおおむね自然受粉で小さく, 種内他家受粉, 自家受粉, 種間受粉の順に大きくなる傾向が認められた。サワラについては, 長さ幅とも P-19 の自然受粉が他の受粉様式に比べて目立って大きな値を示した以外は特定の傾向はみられず, 変動係数についても, 自然受粉で比較的小さいという以外には注目すべき傾向はみられなかった。Table 6 に示すとおり, 分散分析の結果, タネの長さおよび幅については, ヒノキ, サワラとも受粉様式間に有意な差は認められなかった。

つぎに, 受粉様式を考慮せず, タネの品質に着目してみると, Table 5 のとおり, ヒノキでは調査した 5 組合せを通じて, 大きさではおおむね充実粒と虫害粒に差異はみられず, シイナが例外なく小さい値を示した。変動係数はいずれの組合せでもシイナで大きく, 充実粒と虫害粒では差異が認められなかった。サワラでは調査した 4 組合せを通じて, 大きさでは充実粒とシイナの間に目立った違いはみられず, 変動係数は例外なくシイナで大きい値を示した。タネの長さおよび幅の品質間差を検定した結果は, Table 6 で明らかなようにヒノキのタネの長さで有意差が認められただけであった。

ヒノキ, サワラともシイナとして区分されたタネは長さおよび幅のバラツキが大きい傾向が認められたので, Table 5 の E の値すなわちシイナ率に着目して, タネの長さおよび幅の変動係数がシイナ率とどのような関連があるかを検討した。その結果は Fig. 3 に示すとおりで (いずれも $\text{Arcsin } \sqrt{\text{変換}}$)

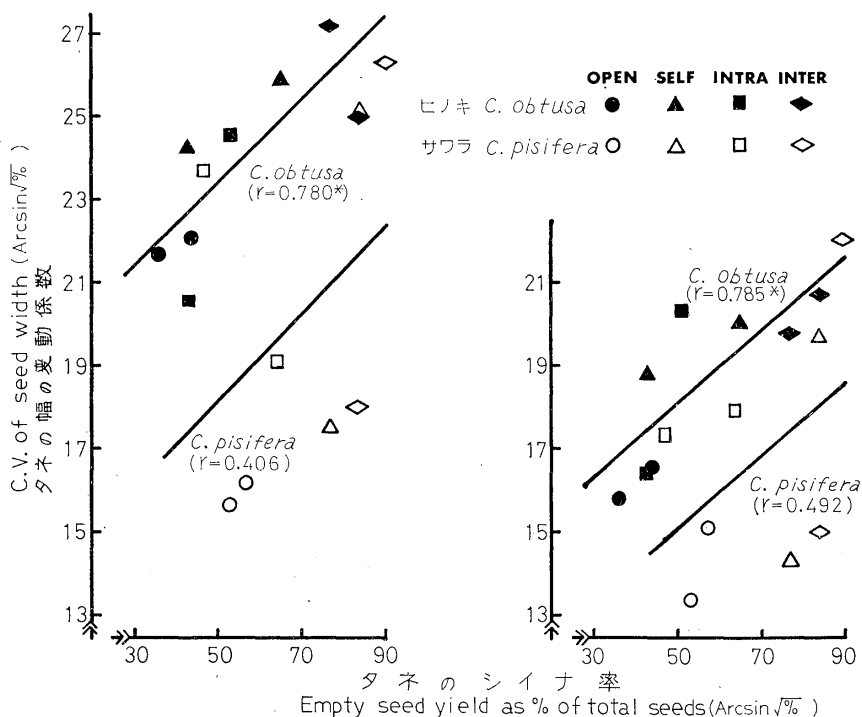


Fig. 3 タネの長さおよび幅の変動係数とシイナ率との関係
Correlations between coefficient of variance of seed length or width and empty seed yield.

した), ヒノキについては長さ幅ともに直線回帰は有意であった。すなわちヒノキでは, いろいろな様式の受粉をしたときタネの大きさがふぞろいになる度合は, シイナ率によってある程度説明されるということを示している。しかし, サワラではヒノキのようなはっきりした傾向は認められなかった。当然のことながら, タネの長さおよび幅の変動係数とシイナ率との相関係数は, ヒノキでは $r=0.785^*$ および $r=0.780^*$ でいずれも 5% で有意な値を示したのに対して, サワラでは $r=0.492$ および $r=0.406$ で有意ではなかった (Fig. 3)。

また, ヒノキのタネの幅で母樹間に有意な差が認められたが, これは O-18 が球果の高さだけでなく, タネの幅でも有意に大きな値を示したためである (Table 6)。なお, 両樹種とも調査した全交配組合せで例外なく, タネの大きさの変動係数は長さよりも幅で大きい値を示していた。

以上の結果を総合すると, 供試母樹が少ないので断定はできないが, 両樹種とも自然受粉のタネが他の受粉様式のタネに比べてやや大きく, そろったタネになること, シイナは充実粒に比べてバラツキが大きく, 平均値でみればいくぶん小さいタネになること, しかし, この差は明確なものではなく, 正常に発達している球果に含まれているタネであれば, 受粉様式や品質にかかわらず外観上はおおむね正常に発達するものとみてよいこと, などがいえそうである。

こうした傾向を示す 1 例として, O-18×O-17 について, 調査した 100 粒のタネの大きさの品質別分布状態を Fig. 4 に示す。シイナでも充実粒と変らない大きさのものがかなりあること, しかし, 小粒も

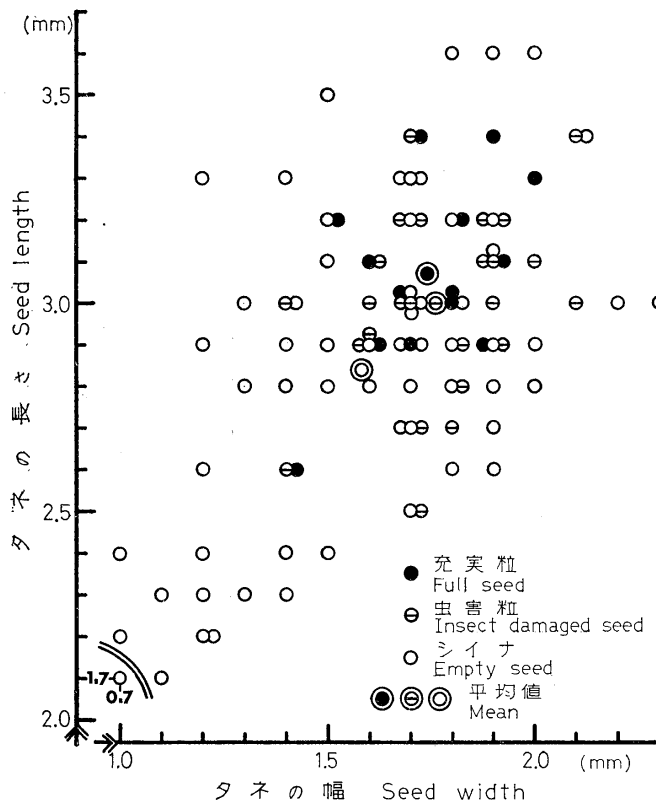


Fig. 4 ヒノキ種内他家受粉 (O-18×O-17) タネの品質別大きさの分布
Distribution of length and width of full, insect damaged and empty seeds after intraspecific-pollination (O-18 × O-17) in *Chamaecyparis obtusa*.

多くバラツキが相当大きいこと、充実粒と虫害粒とは大きさもバラツキの程度も類似していること、大きさの平均値ではシイナがやや小さい値になっていること、などが典型的に示されている。

大黒ら¹⁷⁾によれば、実測データはないが、ヒノキで受粉様式別にみたタネの大小は、苗畑発芽率の大小と似た傾向を示したとのべている。大きさの差が有意であるかどうかは別にして、平均的にみればシイナは充実粒に比べていくぶん小さいので、発芽率が低い、いいかえればシイナ率が高いような受粉様式のタネは、全体として小粒になっていると理解すればよいであろう。

5. 種間受粉球果およびタネにおけるメタキセニア現象の有無

野原¹⁸⁾¹⁴⁾は、ヒノキ (♀) とサワラ (♂) の種間の受粉で得られた球果やタネの諸形質を、両親の自家受粉で得られたものと比較して、「第1代雑種のいくつかの形質は両親の中間型を示し、また、ある形質は母親と変らず、したがって母方〔傾〕遺伝をするようだ」と述べている。

しかし、この結論には重大な誤解がある。論議の対象になっているヒノキ×サワラ球果 (またはタネ) は、単なる種間受粉で生じたものであって第1代雑種と呼ばれるものではない。ところが野原は、これらの球果やタネが、あたかも両親種の遺伝子をヘテロに持った本来の雑種第1代植物体に生じた球果またはタネであるかのように誤解して上述の推論を行っているのである。もともとヒノキなど針葉樹では、両親

種の配偶子の結合によって生じた胚を除けば，胚乳，種皮を含め球果を構成するすべての部分は母親種のみ由来しており，したがって異種花粉の受粉によってできた球果やタネの外部形態が，遺伝的な意味で両親の中間値を示すとか母方遺伝をするなどということとはあり得ないことである。

ただし，もしこの球果やタネの諸形質が両親の中間値を示すという事実が普遍的に存在するとすれば，メタキセニア（母親由来の種皮や球果に花粉の影響が直接現われる現象）が発現したものと考えなければならぬので，その可能性を念頭において野原の結論を検討してみた。

球果の大きさでは¹³⁾¹⁶⁾，差の有意性を考慮しなければ高さ，直径ともヒノキ自家受粉>ヒノキ×サワラ>サワラ自家受粉の順になっており筆者らの結果とも一致する。しかし，Table 3 および 4 で明らかなように，ヒノキ×サワラ球果は平均値でみると多少小さいが，大部分の球果は外観上他の様式の受粉を行ったものとまったく区別がつかない。とくに，対照のひとつと考えられるヒノキ種内他家受粉球果とは有意な差はないので，小型球果をもつサワラの花粉を受粉したために，ヒノキ球果の発達を抑えられ小型化した（メタキセニア現象が起こった）と断定することはできない。また，すでにみたように種間受粉球果が平均値で小さくなるのは，サワラ×ヒノキについてもいえることであり，ヒノキ×サワラだけにメタキセニアが起こるとみるよりも，種間受粉球果の大きさは，交雑稔性の低さを反映して，正逆いずれの場合も母親種の種内交配球果よりいくぶん小さい値を示すとみるのが適当と思われる。

野原¹⁸⁾によれば，ヒノキ×サワラ球果の1球果あたりのタネ数は，両親種の中間値を示さず母親側に一致しており，母方遺伝をするようだと論じているが，すでに述べたとおり誤りである。1雌花あたりの胚珠数のもっぱら母樹に依存するのだから，同一母樹であるかぎり，受粉の様式にかかわらず1球果あたりのタネ数が母方に一致することはむしろ当然である。なお，種間受粉では交雑不稔性などが原因でタネが正常に发育せず，そのために1球果あたりのタネ数が減少するということはあり得るが，本実験の条件下ではそうした傾向も認められなかった（Table 4）。

野原¹⁴⁾はタネの長さおよび幅についても，ヒノキ×サワラ種間受粉タネはおおむね両親の中間型になる傾向が認められたとのべているが，すでに指摘した誤解にもとづく推論であり，野原のデータによっても，同一母樹でみた場合，種間受粉タネは自家受粉タネよりは小さいが自然受粉タネよりもむしろ大きい。筆者らの結果でも（Table 6），タネの大きさは受粉様式間に有意な差はなかった。したがって，タネの大きさについてメタキセニアが起こると考えるのは不合理である。

なお，野原¹⁴⁾はヒノキのタネを色調や形状などの外観からヒノキ型とサワラ型に区分して受粉様式別にこれらの出現頻度を調べているが，筆者らの観察からはそうした区分は不可能であった。

6. タネの稔性

（1）品質調査における軟X線写真の利用の可能性

林木のタネの品質調査に軟X線を利用する試みは相当古くから行われており，1955年には EHRENBURG がヨーロッパアカマツで自然，自家，種内他家および種間の受粉を行ったときの胚の発達状態を，成熟タネの軟X線写真によって論議した²⁾。わが国でも，マツ²²⁾，トドマツ，カラマツ¹⁰⁾，スギ，ヒノキ²³⁾などでタネの品質調査に軟X線が利用されている。

ヒノキやサワラのタネはマツなどに比べて小粒であるため，軟X線写真の映像から胚や胚乳の発達状態を分類してタネの品質を詳細に分析検討するのは困難であるが，撮影条件や使用フィルムが適正であれば胚と胚乳の区別は比較的簡単なもので，これらのタネの品質調査に軟X線写真を利用することは十分可能で

ある。また、一般にヒノキのタネには高い比率で虫害粒が含まれているが、軟X線写真の映像によってタネのなかの幼虫は内臓部分まで見分けることができるので、虫害粒の正確な識別にとっても軟X線写真はきわめて有効である。

この実験では、胚乳がタネのなかに充満し、その中心部に胚が確認できるものを充実粒とした。映像面でタネの全面が一様に白くなっていて胚が識別できないものや、反対に、胚は確認できるが胚乳の発達の不十分なものなどがわずかにみられたが、これら分類に戸惑うようなタネはおおむね充実粒のなかに含めた。

充実粒と虫害粒のほかに、タンニン質を含むシブダネと思われるものもあったが、この実験では充実粒と虫害粒以外は便宜上すべてシイナとして区分した。サワラのタネには虫害はまったく認められなかった。

(2) 受粉様式別にみた充実率

上に述べた区分にしたがい、軟X線写真の映像から全42交配組合せについて各500粒のタネを観察した結果を母樹別、受粉様式別の充実率、虫害率およびシイナ率としてTable 7に示す。

観察の結果、個々の交配組合せの充実率に関してとくに目立った事項をあげると、第1に、O-16の自家受粉充実率が19.4%で相当高く、同じ母樹の種内他家受粉の平均充実率16.5%を越えていることである。こうした傾向は他の5母樹にはみられないものである。第2に、O-17の種内他家受粉の充実率は5.0%で低い値であったが、種間受粉のうちO-17×P-4の充実率だけが5.8%で種内他家受粉と変らない値を示し、この組合せを除くヒノキの種間受粉充実率の平均値(8組合せ、4,000粒中14粒)0.35%の15倍以上を示したことである。これが受粉時の誤操作によるものでなければきわめて興味深い組合せといえるが、あまりに大きな数値であるだけに、今後の追試による再現性ないしは得られた子供の同定を待たなければ確かなことはいえない。第3に、P-4で自然受粉以外の充実率が極端に低い値になっていることである。これは、材料と方法の項でふれたとおり、受粉適期を逸したためと思われる。第4に、P-19の種内他家受粉のうちP-19×P-4の充実率が47.0%という値を示し、同じ母樹の自然受粉の充実率36.4%を越えたことも他の5母樹にはみられない傾向であった。

しかし、このように極端な数字を含めてもなお、Table 7にみられるように、3母樹の平均充実率は、ヒノキとサワラそれぞれについて、自然受粉が17.6%と28.8%でかなり高い値を示し、ついで種内他家受粉が11.1%および15.5%となり、自家受粉充実率は8.1%および1.7%と低く、種間受粉になると1.0%と0.2%という値に低下し、従来の結論^{4)14)~17)}と類似の傾向を示す結果になった。

これら受粉様式別の充実率と、他の形質との関連をみると次のことがいえそうである。まず、充実率と結果率については、自然受粉の場合、両樹種の両形質とも高い値を示したが、人工受粉の場合はヒノキでは特定の関連は認められず、サワラでは充実率の低い受粉様式では結果率も低い値を示す傾向があった。つぎに、充実率と球果の大きさとの関連では、ヒノキ、サワラとも、高い充実率を示す自然受粉の球果は大きく、低い充実率しか示さない種間受粉球果は小さくなる傾向があるようである。なお、充実率と球果の形状比、充実率と1球果あたりのタネ数との間には、いずれも特定の関係は認められなかった。また、充実率の高低とタネの大小との関連については、ヒノキ、サワラとも充実率の高い自然受粉タネがわずかながら大きい値を示すようだ。

Table 7. 母樹および受粉様式別のタネのできかた

Full, insect damaged and empty seed yields as percent of total seeds after open-, self-, intraspecific-, and interspecific-pollinations in each female parent

母 樹 Female parent	受 粉 様 式 Type of pollination	観察タネ数 No. of seed observed	充 実 率 Full seed yield (%)	虫 害 率 Insect damaged seed yield (%)	シイナ率 Empty seed yield (%)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>					
O-16	OPEN	500	21.0	34.6	44.4
	SELF	500	19.4	31.8	48.8
	INTRA	1,000	16.5	33.2	50.3
	INTER	1,500	0.7	2.5	96.8
O-17	OPEN	500	14.6	10.0	75.4
	SELF	500	1.0	5.8	93.2
	INTRA	1,000	5.0	11.9	83.1
	INTER	1,500	2.1	3.8	94.1
O-18	OPEN	500	17.2	30.4	52.4
	SELF	500	4.0	10.4	85.6
	INTRA	1,000	11.7	16.4	71.9
	INTER	1,500	0.1	0.7	99.2
3 母樹平均 Average of 3 female trees	OPEN	1,500	17.6	25.0	57.4
	SELF	1,500	8.1	16.0	75.9
	INTRA	3,000	11.1	20.5	68.4
	INTER	4,500	1.0	2.3	96.7
<i>Chamaecyparis pisifera</i>					
P-4	OPEN	500	21.6	0	78.4
	SELF	500	0.2	0	99.8
	INTRA	1,000	0.4	0	99.6
	INTER	1,500	0.1	0	99.9
P-19	OPEN	500	36.4	0	63.6
	SELF	500	0.8	0	99.2
	INTRA	1,000	33.0	0	67.0
	INTER	1,500	0.1	0	99.9
P-20	OPEN	500	28.4	0	71.6
	SELF	500	4.0	0	96.0
	INTRA	1,000	13.0	0	87.0
	INTER	1,500	0.4	0	99.6
3 母樹平均 Average of 3 female trees	OPEN	1,500	28.8	0	71.2
	SELF	1,500	1.7	0	98.3
	INTRA	3,000	15.5	0	84.5
	INTER	4,500	0.2	0	99.8

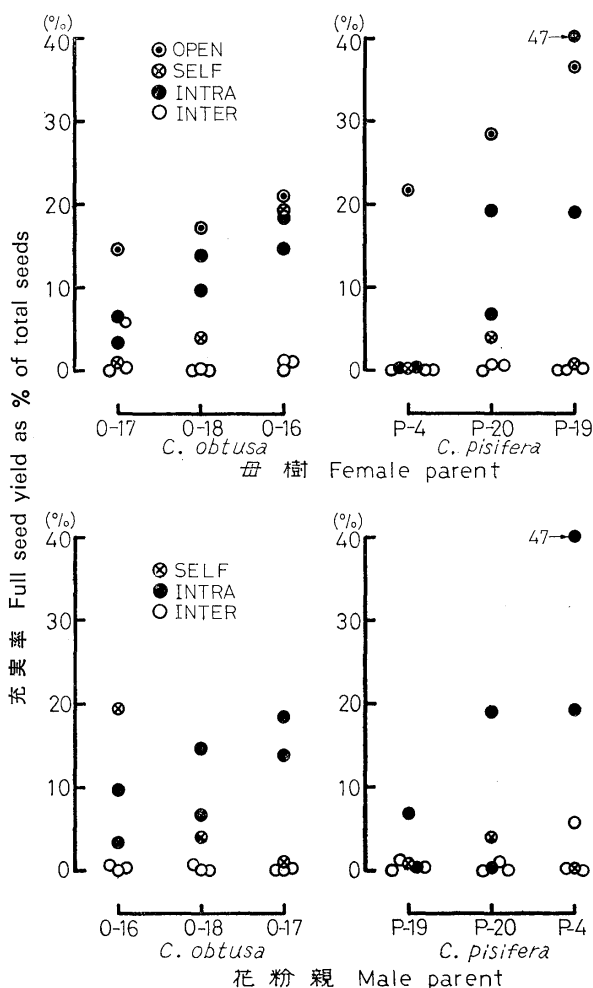


Fig. 5 母樹および花粉親別のタネの充実率
Differences of full seed yield after open-, self-,
intraspecific-, and interspecific-pollinations
among female or male parents.

(3) 母樹および花粉親別にみた充実率

自然受粉を含む全42交配組合せの充実率を母樹および花粉親別に Fig. 5 に示す。

母樹別にみた場合、一部の例外を除き、両樹種とも自然受粉の充実率が高い母樹は、種内他家および自家受粉の充実率も高い値を示す傾向がみられた。SNYDER²⁰⁾もスラッシュマツの自然受粉および自家受粉の結果から、同様の傾向があることを認めている。

一方、花粉親別にみた場合、Fig. 5で明らかとなおり、種内他家受粉と自家受粉の充実率の間には母樹別でみられたような特定の傾向は認められなかった。なお、供試花粉はいずれも新鮮花粉なので、事前に活力検定は実行しなかったが、受精能力が極端に低い花粉はなかったとみて差し支えない。

また、種間の交雑で、交雑の相手がどの個体であっても、相対的に高い種間交雑性を示すような母樹あるいは花粉親が存在するかどうかという点、および種間受粉タネの充実率と自家受粉や種内他家受粉タネの充実率との関連の有無については、O-17×P-4を除き、どの種間の組合せも充実率が極

端に低かったために、有効な知見を得るには至らなかった。

(4) ヒノキのタネの充実率と虫害率の相関

ヒノキ3母樹について、自然受粉を含む全21組合せの充実率と虫害率の関連を Fig. 6 に示す (いずれも $\text{Arcsin } \sqrt{\%}$ 変換をした)。両者の間には相関係数 $r=0.955^{**}$ (1%水準で有意) という高い相関がみられ、充実率の高い組合せほど虫害率も高くなるという結果になった。

この害虫は、スギノミオナガコバチ (スギタネバチ) *Megastigmus cryptomerae* YANO⁹⁾²⁶⁾ か、またはヒノキノミオナガコバチ *Megastigmus chamaecyparidis* KAMIJO⁶⁾ であろうと思われるが、生態が詳細に調べられていないので産卵の時期や方法 (充実粒に選択的に産卵するのか無作為産卵か) については不明である。

しかし、いずれにしてもシイナになるような胚珠に産卵したところで、幼虫の餌になる胚や胚乳が発達しなければふ化直後で死ぬであろうし、充実率と虫害率の相関がきわめて高いこと、充実粒と虫害粒の大きさには差がないことなどをあわせて考えると、虫害粒のほとんどすべては、虫さえ入らなければ本来充実粒になったものと推定できる。

本実験のように全般的に虫害率が充実率より高い値を示している場合には、防虫操作を行うことで2倍以上の充実粒が得られる可能性があるが、同時に、萩行ら⁵⁾が指摘しているとおり、論議すべき稔性データの本来的姿が虫害によって乱される危険性もあるといえよう。ただし、本実験の場合には虫害率と充実率の間に高い相関があったので、充実率そのもので稔性を論ずることはできないが、受粉の様式とタネの稔性の関係を相対的に比較して論議することは差し支えないと考えた。

(5) 既往の例を含めた稔性の全般的検討

ヒノキ、サワラに関していろいろな様式の受粉を行ったときの稔性を調査した例はいくつかみられるが^{4), 14) ~ 17), 21)}、Table 8 に示すとおり、これらの稔性データは遺伝的にも環境的にもまったく異なった材料と条件のもとで得られたものなので、同一様式の受粉による稔性であっても、データにズレが生ずることは避けられない。

なお、既往の調査例では、タネの稔性は苗畑発芽率で示されており、筆者らの充実率と同一レベルで比較はできないが、辻ら²³⁾によれば、事業用のスギ、ヒノキのタネでは、軟X線写真上の有胚種子の約70%が常法発芽試験によって発芽したとのべているので、筆者らの得た充実率に0.7を乗じた値を推定の発芽率としてTable 8 にあわせて示す。

Table 8 で明らかなとおり、どの受粉様式をみても、研究者によって最高、最低および平均の発芽率に相当のズレがでている。たとえば、ヒノキの自然受粉タネと種内他家受粉タネの発芽率を比較すると、大黒ら¹⁷⁾によれば種内他家受粉の発芽率のほうが相当高いのにたいして、筆者らの結果は完全に逆になっており、表示されてはいないが、福原⁴⁾の結果では両発芽率の間にはほとんどちがいがなかった。

しかし、Table 8 を通覧すると、ヒノキ、サワラとも発芽率は、自然受粉および種内他家受粉ではおおむね3%前後から10数%という範囲の値を示しており、両者の比較では、一方が他方より常に高い値を示すということとはなかった。また、自家受粉では、時には自然受粉や種内他家受粉と変らない場合もあるが平均的には2%前後であり、表にはないが田島²¹⁾の結果でも、自殖タネの発芽率は種内他家交雑のそ

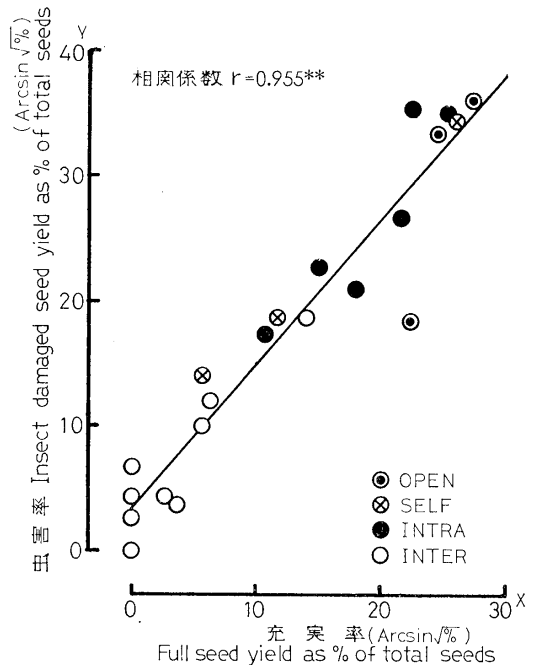


Fig. 6 ヒノキのタネの充実率と虫害率との相関関係
Correlation between yields of full and insect damaged seeds in *Chamaecyparis obtusa*.

Table 8. 受粉様式別タネの発芽率一覧
List of germinative capacity as % of total seeds after open-, self-, intraspecific-, and interspecific-pollinations

受粉様式 Type of pollination	母樹（または交配組合せ）数 No. of female parents (or mating combinations)	供試タネ総数 No. of total seeds tested	発芽率 Germinative capacity		引用文献 Literature cited
			平均 Mean	(最高 ～ 最低) (Max. ～ Min.)	
Chamaecyparis obtusa					
OPEN	2	4,100	2.8	(8.7 ～ 0.2)	14)
	6	44,900	1.1	(2.2 ～ 0.0)	17)
	3	1,500	12.3	(14.7 ～ 10.2)	*)
SELF	3	13,500	2.5	(6.0 ～ 0.6)	14)
	18	46,200	3.4	(6.9 ～ 0.0)	15)
	7	19,900	1.7	(2.1 ～ 0.0)	16)
	4	46,200	1.1	(2.7 ～ 0.3)	17)
	3	1,500	5.7	(13.6 ～ 0.7)	*)
INTRA	(15)	198,700	7.8	(18.1 ～ 1.0)	17)
	(6)	3,000	7.8	(12.9 ～ 2.4)	*)
INTER	(3)	24,900	0.1	(0.3 ～ 0.0)	14)
	18	61,700	1.1	(2.3 ～ 0.0)	15)
	(2)	7,500	0.0	(0.1 ～ 0.0)	17)
	(9)	4,500	0.7	(4.1 ～ 0.0)	*)
Chamaecyparis pisifera					
OPEN	3	1,500	20.2	(25.5 ～ 15.1)	*)
SELF	12?	5,700	1.9	(7.1 ～ 0.0)	15)
	8	5,500	2.2	(10.5 ～ 0.0)	16)
	3	1,500	1.2	(2.8 ～ 0.1)	*)
INTRA	(6)	3,000	10.9	(32.9 ～ 4.8)	*)
INTER	8	4,100	0.2	(1.7 ～ 0.0)	16)
	(9)	4,500	0.1	(0.4 ～ 0.0)	*)

*) : この発芽率は、本報告の充実率に0.7を乗じて得た推定値である。

The germinative capacity (G) was estimated from full seed yield (F) given in present paper ($G=0.7F$).

れの63%という値に低下しており、他の多くの針葉樹と同様、不完全ながら自家不稔現象があることをうらづける数値になっている。さらに、種間受粉ではヒノキ、サワラのどちらを母親にした場合でも発芽率はよくて1%どまりであり、平均的には0.数%という程度で、両樹種間の種間交雑稔性は相当に低いものでしかないことは確かである。

なお、マツの種間受粉で、アカマツ×クロマツはその逆交配よりも一層充実粒ができにくいという報告があるが⁸⁾、ヒノキとサワラの間では、充実粒のできかたの難易に、マツのような正逆差を認めることはできなかった。

7. 自殖および種間交雑における充実粒の相対的生産能力の推定

さきに山本²⁸⁾は、自家受粉および種間受粉を行ったときの、種内他家受粉に対する次代植物の得られや

すさの相対的な度合いを表わす指標として，もっとも総合的，合理的だと考えられる自殖可能度および交雑可能度の推定式を提案した。この式は結果率，1球果あたりのタネ数，充実率，真正発芽率および成苗率の5つの要素からなりたっているが，本研究では真正発芽率と成苗率が調べられていないので，この式を用いて自殖可能度や交雑可能度を計算することはできない。

そのためここでは，上で述べた式のうちの結果率，1球果あたりのタネ数および充実率に関する項だけをとり出し，次の式によって，自家受粉および種間受粉を行ったときの，種内他家受粉に対する充実粒の得られやすさの相対的な度合いを推定した。

$$\text{自殖充実粒の相対的生産能力 (\%)} = \frac{C_{SF}}{C_{IA}} \times \frac{N_{SF}}{N_{IA}} \times \frac{F_{SF}}{F_{IA}} \times 100$$

$$\text{種間交雑充実粒の相対的生産能力 (\%)} = \frac{C_{IR}}{C_{IA}} \times \frac{N_{IR}}{N_{IA}} \times \frac{F_{IR}}{F_{IA}} \times 100$$

ただし，

	結 果 率	1 球果あたり タ ネ 数	充 実 率
種内他家受粉	C_{IA}	N_{IA}	F_{IA}
自 家 受 粉	C_{SF}	N_{SF}	F_{SF}
種 間 受 粉	C_{IR}	N_{IR}	F_{IR}

その結果は Table 9 のとおりである。すでに論じてきたように，ヒノキの結果率と，ヒノキおよびサワラの1球果あたりのタネ数には，種内他家，自家および種間受粉の間に有意な差がなかったので，ヒノキでは C_{SF}/C_{IA} ， C_{IR}/C_{IA} ， N_{SF}/N_{IA} および N_{IR}/N_{IA} を，サワラでは N_{SF}/N_{IA} および N_{IR}/N_{IA} を，それぞれ1とみなして省略することができるが，ここでは Table 9 に示されている各数値を，すべてそのまま上の2つの式に代入して推定値を計算した。

なお，これに類似した推定式，とくに，1球果あたりの充実粒数（1球果あたりタネ数×充実率）を主要要素とした式は数多く提案されている。しかし，それらの式が何を表現するのかという点についてはさまざまな見解があり，たとえば，自殖に関連したものだけをみても，BINGHAM ら¹⁾は自家和合性 self-compatibility を，勝田⁷⁾は自殖充実粒のできる可能性 self-ability を，また，SORENSEN ら¹⁹⁾は相対的自家稔性 relative self-fertility を表わすものとして論議を行っている。本報告では，上に述べたいずれの術語も使わず，また，特定の新しい術語もあてないで論議を進めることにする。

Table 9 によれば，ヒノキ，サワラともわずか3母樹しか用いていないが，自殖および種間交雑における充実粒の相対的生産能力は母樹間で大きくばらついている。とくに，ヒノキの自殖で O-16 の 140.5%，ヒノキの種間交雑で O-17 の 45.3%，サワラの自殖で P-19 の 2.0% などが極端な値になっている。したがって，3母樹をこみにした，ヒノキおよびサワラの自殖による充実粒の相対的生産能力 76.9% および 9.1%，あるいは種間交雑による充実粒の相対的生産能力 8.8% および 0.8% が，そのまま両樹種を代表する数値であるとみなすことはできない。おそらく，15ないし20母樹についてこの種のデータがあれば，かなり正確な樹種ごとの推定値が得られるものと思われる。とりわけ，O-17の種間交雑充実粒の相対的生産能力が45.3%という高い値を示した原因は，すでにのべたとおり，O-17×P-4の充実率が種内他家交雑の充実率と変りない値を示したことによるものであり，試みに，O-17×P-4に関するデータを除外して計算してみると，45.3%から1.9%という値に激減し，3母樹をこみにしたヒノキの種間交雑による充実粒の相対的生産能力は8.8%から2.5%に低下する。

Table 9. ヒノキとサワラの自殖および種間交雑における充実粒の相対
Relative productivity of full seed after selfing and interspecific-crossing
*obtus*a and *C. pisifera*

母 樹 Female parent	種 内 他 家 受 粉 Intraspecific-pollination			自 家 受 粉 Self-pollination			
	結 果 率 Cone yield (C _{IA}) (%)	1 球果あた りタネ数 No. of seed per cone (N _{IA})	充 実 率 Full seed yield (F _{IA}) (%)	結 果 率 Cone yield (C _{SP}) (%)	1 球果あた りタネ数 No. of seed per cone (N _{SP})	充 実 率 Full seed yield (F _{SP}) (%)	相 対 的 生 産 能 力 Relative productivity (Selfing) (%)
<i>Chamaecyparis obtusa</i>							
O-16	52	37.8	16.5	57	41.2	19.4	140.5
O-17	54	33.9	5.0	47	35.9	1.0	18.4
O-18	65	30.6	11.7	65	32.7	4.0	36.5
3 母 樹 平 均 Average of 3 female trees	57	34.1	11.1	56	36.6	8.1	76.9
<i>Chamaecyparis pisifera</i>							
P-4	80	15.0	0.4	55	14.1	0.2	32.3
P-19	74	12.8	33.0	62	12.3	0.8	2.0
P-20	79	13.9	13.0	83	14.2	4.0	33.0
3 母 樹 平 均 Average of 3 female trees	78	13.9	15.5	67	13.5	1.7	9.1

こうした極端な数値があるとはいえ、自殖充実粒の相対的生産能力はヒノキ、サワラとも3母樹中2母樹で30%を越える値を示している。すなわち、自殖による充実粒が相当にでき、一般にいわれている近親交配によるマイナスの効果が次世代で発現する可能性は決して低くないとみなければならない。また、ヒノキとサワラの種間交雑による充実粒の相対的生産能力は、正逆とも1%から10%という値を示すものが多く、母樹によっては0.1%というものもみられる。すなわちヒノキとサワラの種間交雑では、雑種の得られる可能性はゼロではないにしても相当低いことは疑いない。

なお、真正発芽率や成苗率を加味した自殖可能度や種間の交雑可能度は²⁵⁾、ここで得られた相対的生産能力よりもさらに低い値になる可能性があるが、この実験で得られたタネは、まきつけおよび養苗段階での管理に不手際があって真正発芽率や成苗率を調査することができなかった。種間交雑や自殖タネの発芽および苗の生育経過については、別の材料であらためて報告する予定である。

IV ま と め

(1) ヒノキとサワラ各3母樹を用いて総あたりの人工受粉を行い、自家、種内他家および種間受粉と、自然受粉を含めた4つの受粉様式による球果とタネのできかたの違いを調べた。

(2) そのなかで、種内他家、種間を問わず、とくに高い交雑稔性を示すような個体や組合せがあるのかどうかの手がかりを得ること、ヒノキ、サワラの交雑に関する野原の報告にみられるいくつかの疑問点

的生産能力
in *Chamaecyparis*

種 間 受 粉 Interspecific-pollination			
結 果 率 Cone yield (C _{IR}) (%)	1 球果あた りタネ数 No. of seed per cone (N _{IR})	充 実 率 Full seed yield (F _{IR}) (%)	相 対 的 生 産 能 力 Relative productivity (Crossing) (%)
56	37.6	0.7	4.5
60	32.9	2.1	45.3
54	29.3	0.1	0.7
57	33.3	1.0	8.8
44	12.7	0.1	11.6
30	12.7	0.1	0.1
78	14.0	0.4	3.1
51	13.1	0.2	0.8

を解明すること、にも注意がはらわれた。

(3) 結果率を受粉様式別にみると、ヒノキでは自然受粉が80%でもっとも高く、自家、種内他家および種間受粉の間では差はなく、56~57%であった。サワラでは自然受粉86%、種内他家受粉78%、自家受粉67%で、種間受粉では51%という低い値であった。しかし、結果率は環境の影響を受けやすく、同一受粉様式でも母樹により、また、同じ交配組合せでも交配袋により、きわめて大きくばらついた。

(4) 受粉様式別の球果の大きさでは、ヒノキ、サワラとも自然受粉球果が他の受粉様式の球果に比べて有意に大きかった。また、自家、種内他家および種間受粉球果の間では、さほどの差はないが、種間受粉球果がやや小さい値を示した。球果形状比は、ヒノキで0.97~0.98、サワラで1.03~1.04であった。受粉様式間には有意な差は認められなかったが、ヒノキで母樹間に差があった。

(5) 1球果あたりのタネ数は、ヒノキ30~40粒、サワラ12~15粒で、樹種間には明確な差があったが、受粉様式間では有意な違いは認められなかった。しかし、ヒノキで母樹間差がみられた。

(6) 大部分のタネは、ハネの部分を除くとヒノキで長さ2.5~3.3 (平均2.9) mm、幅1.2~2.0 (1.6) mm、サワラで長さ1.8~2.4 (2.1) mm、幅0.9~1.3 (1.1) mmの範囲に入っており、樹種間には明確な違いがあった。しかし、ヒノキ、サワラともタネの大きさは自然受粉タネがやや大きくそろっている傾向はあったが、受粉様式間に有意な差はなく、自家および種間受粉タネでも外観上はおおむね正常に発達していた。ヒノキでは、タネのシイナ率が高い交配組合せほど大きさのばらつきも大きくなる傾向がみられたが、サワラではそうした傾向はなかった。また、ヒノキでは、充実粒と虫害粒には大きさの差がなかったがシイナは有意に小さかった。サワラでは充実粒とシイナに大きさの違いは認められなかった。

(7) 野原によれば、ヒノキ×サワラの種間受粉で得られた第1代雑種球果やタネに関して、ある形質は両親種の中間の値を示し、また、ある形質は母方〔傾〕遺伝をすると述べている。しかし、野原がここでとりあげている球果やタネは、単に異種花粉の受粉で生じたものであって、これを第1代雑種と呼ぶのは誤りである。したがってまた、これらの外部形態が遺伝的な意味で両親の中間値を示すとか、母方遺伝をするなどということもあり得ないことである。なお、種間受粉球果やタネに、メタキセニア現象が生じているかどうかを検討したが、筆者らのデータはもちろん、野原のデータによってもそれを裏付ける確実な証拠は見あたらなかった。

(8) ヒノキやサワラでも、タネを品質区分して受粉様式別の稔性状況を検討するうえで軟X線は有効

な手段になりうる。とくに、ヒノキにみられる虫害粒は完全に識別が可能である。

(9) 3母樹をこみにした受粉様式別のタネの充実率は、自然受粉が最高で、ヒノキ18%, サワラ29%を示し、ついで種内他家受粉がヒノキ11%, サワラ16%, 自家受粉がヒノキで8%, サワラで2%であった。種間受粉タネの充実率は極端に低く、ヒノキ×サワラで1%, サワラ×ヒノキで0.2%であった。しかし、母樹間にも同一受粉様式の交配組合せ間にも相当のバラツキがみられた。

(10) ヒノキ、サワラとも、母樹別にみた場合、自然受粉タネの充実率が高い母樹は、自家および種内他家受粉タネの充実率も高い傾向がみられた。しかし、花粉親別にみた場合には、そのような傾向は認められなかった。種間受粉タネの充実率は、ヒノキ、サワラとも大部分の組合せで極端に低い値しか示さず、したがって、どんな相手と組合せても比較的高い種間交雑稔性を示すような母樹や花粉親があるかどうかを判断する手がかりは得られなかった。

(11) ヒノキのタネの充実率と虫害率との間には、極めて高い相関($r=0.96$)がみられた。虫害粒は虫が入らなければ本来充実粒になっていたと推定され、適切な防虫処理によって時には2倍以上の充実粒が得られる可能性がある。

(12) タネの発芽率をこれまでの文献で明らかにされている結果とともに通覧すると、ヒノキ、サワラとも自然受粉および種内他家受粉では3%から10数%という範囲の値を示し、この両者の間では、一方が他方より常に高い値を示すといった傾向はないようだ。また、自家受粉タネは平均的には2%前後で、ある程度の自家不稔現象が生ずることは疑いない。種間受粉では、ヒノキ、サワラのどちらを母親にしても、発芽率はよくて1%どまり、平均的には0.数%という程度で、両種間の交雑稔性は相当低い。正逆交雑によるタネのできかたの難易の差はないと思われる。

(13) 自殖および種間交雑による充実粒の相対的生産能力は、3母樹をこみにしてみると、ヒノキで77%および9%, サワラで9%および0.8%と推定された。母樹ごとにみると、ヒノキ、サワラとも自殖充実粒の相対的生産能力は30%をこえる場合が多く、したがって、近親交配の影響が次世代で発現する可能性は低くはない。ヒノキとサワラの種間交雑による充実粒の相対的生産能力は、せいぜい1~10%で、ときには0.1%以下のものもあり、雑種の得られる可能性はゼロではないが相当低いものであると考えてよい。

引用文献

- 1) BINGHAM, R. T. and A. E. SQUILLACE : Self-compatibility and effects of self-fertility in western white pine. *For. Sci.*, 1, 121~129, (1955)
- 2) EHRENBURG, C., A. GUSTAFSSON, C. PLYM FORSHELL, and M. SIMAK : Seed quality and the principles of forest genetics. *Hereditas*, 41, 291~366, (1955)
- 3) 福原植勝：ヒノキの交雑による品種改良に関する研究（第1報），ヒノキとサワラの交雑球果の大きさとその変異，日林講（75回），212~215，（1964）
- 4) ———・沢崎銀太郎：同上（第2報），ヒノキとサワラの交雑種子の稔性，日林関東支講（17回），p. 17，（1965）
- 5) 萩行治義・河野耕蔵・横山周一：袋かけによるスギ，ヒノキ交配球果種子の虫害防除，関東林木育種場年報，7，83~88，（1971）
- 6) 井上元則：林業害虫防除論 下巻（I），地球出版 K.K.，210 pp.，（1960）
- 7) 勝田 桓：クロマツとアカマツの自家受精，演習林，15，23~35，（1964）

- 8) 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，同上，16，27～33，(1966)
- 9) 栗原文三郎：ヒノキ種子寄生虫の一観察，東京営林局報，35，87～91，(1936)
- 10) 森田健次郎・永井憲雄：X線利用による林木種子の品質鑑定（予報），造影剤 BaCl₂ の影響，日林講（80 回），174～175，(1969)
- 11) 中井 勇・藤本博次・稲森幸雄・伊佐義朗・佐野宗一：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，京大農演報，39，125～143，(1967)
- 12) 中村賢太郎：球果形状比の変異，演習林，6，6～11，(1944)
- 13) 野原勇太：林木の一，二遺伝試験に就て（予報）3，御料林，185，2～10，(1943)
- 14) —————：同上（予報）4，同上，186，35～42，(1943)
- 15) —————：同上（予報）5，同上，187，9～20，(1944)
- 16) —————：同上（予報）6，同上，188，27～34，(1944)
- 17) 大黒 正・岡村政則・中平幸助：ヒノキ類の交雑育種，関西林木育種場四国支場年報，(昭和 43 年度)，60～61，(1969)
- 18) 佐藤敬二：二，三の針葉樹に於ける球果形状比の分類の価値（特にスギ，ヒノキの品種の生物統計学的分類に関して），林学会雑誌，13，690～732，(1931)
- 19) SORENSEN, F. C., J. F. FRANKLIN and R. WOOLLARD : Self-pollination effects on seed and seedling traits in noble fir. For. Sci., 22, 155～159, (1976)
- 20) SNYDER, E. B. : Seed yield and nursery performance of self-pollinated slash pines. For. Sci., 14, 68～74, (1968)
- 21) 田島正啓：ヒノキの自殖に関する遺伝学的研究，九大農演報，51，39～124，(1979)
- 22) 戸田良吉・佐藤 亨：軟X線写真によるマツの異常胚種子の検出と，その出現頻度，日林誌，49，429～436，(1967)
- 23) 辻 宏昌・佐野芳雄：軟X線利用による林木種子の発芽検定，林木の育種，63，p. 7，(1970)
- 24) 山本千秋：世界のヒノキ属とその種間交雑の歴史，林木の育種，114，20～23，(1980)
- 25) —————：自殖可能度および交雑可能度の表わし方，林試研報，310，155～162，(1980)
- 26) 矢野宗幹・小山光男：針葉樹種子の寄生蜂に就て，林試研報，17，39～58，pl. 1，(1918)
- 27) 横山周一・河野耕蔵・萩行治義：ヒノキ精英樹球果の諸形質と種子粒数，林木育種研究発表会講，(昭和 45 年度)，55～59，(1971)

**Cone and Seed Yields after Open-, Self-, Intraspecific-, and
Interspecific-pollinations in *Chamaecyparis obtusa* (SIEB.
et ZUCC.) ENDL. and *C. pisifera* (SIEB. et ZUCC.) ENDL.**

Chiaki YAMAMOTO⁽¹⁾ and Narakatsu FUKUHARA⁽²⁾

Summary

(1) Diallel cross was carried out among six parent trees consisting of three trees of *Chamaecyparis obtusa* (SIEB. et ZUCC.) ENDL. and three trees of *C. pisifera* (SIEB. et ZUCC.) ENDL. Consequently, forty two mating combinations including six of self-pollination, twelve of intraspecific-pollination, eighteen of interspecific-pollination, and six of open-pollination were made. Differences in cone and seed traits among these four types of pollination were discussed. Soft X-ray photography was used for testing seed soundness and for taking an accurate measurement of seed size.

(2) In this study the authors were also interested in the possibility of the existence of individuals that had always high seed fertility in all of the types of pollination and in the solutions of some doubtful points in NOHARA's remarkable reports (1943, 1944) in which the first attempts of artificial hybridization between *C. obtusa* and *C. pisifera* were made.

(3) Cone yields as percent of female flowers after open-, intraspecific-, self-, and interspecific-pollinations were 80, 57, 56 and 57 in *C. obtusa* and 86, 78, 67 and 51 in *C. pisifera*, respectively. Cone yield was very different among trees in the same type of pollination and even among pollination bags in the same mating combination.

(4) In the comparison among four types of pollination, the size of open-pollinated cones was significantly larger in each species. There were, however, not such clear differences in the size of the cones among the other three types of pollination, though the interspecific-pollinated cones were slightly smaller.

(5) Ratios of height to diameter of the cones were 0.97 to 0.98 in *C. obtusa* and 1.03 to 1.04 in *C. pisifera*. There were no significant differences in the ratios among the four types of pollination in each species, but distinct differences among female parents in *C. obtusa* could be found.

(6) Numbers of total seeds per cone were 30 to 40 in *C. obtusa* and 12 to 15 in *C. pisifera*. There was an obvious difference in seed numbers per cone between species, but no difference among the four types of pollination in each species.

(7) In a large portion of seeds measured, seed length and width without seed wing were 2.5 to 3.3 (2.9 on an average) mm and 1.2 to 2.0 (1.6) mm in *C. obtusa*, and 1.8 to 2.4 (2.1) mm and 0.9 to 1.3 (1.1) mm in *C. pisifera*, respectively. There was a remarkable difference in the size of seeds between species. Open-pollinated seeds had a tendency to be slightly larger and more uniform than seeds of the other three types of pollination, but significant differences among the types of pollination could not be observed in each species. The seedcoats seem to develop normally even in self- or interspecific-pollinated seeds in both species. In the mating

Received February 26, 1980

(1) (2) Silviculture Division

combinations with a high yield of empty seeds, a large variability in the size of the seeds could be observed in *C. obtusa*, but not in *C. pisifera*. There was no difference in size between full and insect damaged seeds, but these seeds were significantly larger than empty seeds in *C. obtusa*. On the other hand, there was no difference in size between full and empty seeds in *C. pisifera*.

(8) NOHARA described in his reports mentioned above that some characters of cones and seeds after interspecific-pollination between *C. obtusa* and *C. pisifera* showed the intermediate values of both species in hereditary meaning, as compared with those after self-pollination in each species. Such phenomena as described by NOHARA should be understood as metaxenia, because the cones and seeds observed by him were different from those which were derived from hybrids between both species. From the results of statistical analysis and detailed observation not only on the authors' materials but also on NOHARA's data, there was no concrete evidence that metaxenia had occurred in cones and seeds after interspecific-pollination between those species.

(9) Soft X-ray photography was available for testing seed quality in both species. Especially, the insect damaged seeds of *C. obtusa* could be perfectly discriminated by the X-ray photograph.

(10) Full seed yields as percent of total seeds after open-, intraspecific-, self-, and interspecific-pollinations were 18, 11, 8 and 1 in *C. obtusa* and 29, 16, 2 and 0.2 in *C. pisifera*, respectively. But the full seed yields varied considerably among the female trees in the same type of pollination and even among the cross combinations in the same female tree.

(11) The female parent trees with a high yield of full seeds after open-pollination generally tended to have a high yield of full seeds after self- and intraspecific-pollination in each species. But, if these trees were used as male parents, such a tendency in full seed yield could not be observed. The full seed yield after interspecific-pollination was extremely low in almost all cross combinations between *C. obtusa* and *C. pisifera*. So far as this experiment was concerned, it was impossible to detect the particular male or female parent trees with a relatively high seed fertility regardless of mating partners in interspecific-crossing.

(12) There was very high correlation ($r=0.96$) between yields of full and insect damaged seeds in *C. obtusa*. Therefore, it can be presumed that, if not damaged by insects, the insect damaged seeds would have developed normally into full seeds, and the full seeds may be produced more than twofold by the protection of cones and seeds from insect attack.

(13) Taking a general view of the present paper and a few reports previously published, the values of germinative capacity as percent of total seeds after open- and intraspecific-pollinations were estimated to vary from three to ten odd percent in both species. The germinative capacity after self-pollination in both species was estimated to be about two percent and, therefore, it was considered that incomplete self-sterility existed in both species. In interspecific-pollinated seeds, irrespective of the species used as the female parents, the germinative capacities were estimated to be one percent at best and to be below the decimal point on an average, so it is sure that interspecific-cross fertility between these two species is considerably low. There may be no difference in interspecific-cross fertility between reciprocal crosses.

(14) Relative productivities of full seed after self- and interspecific-pollination were calculated from three characters; cone yield as percent of female flowers pollinated, number of total seeds per cone, and full seed yield as percent of total seeds. The productivities can be

expressed as the ratio of the number of full seeds per female flower after self- or interspecific-pollination divided by those after intraspecific-pollination.

(15) The values of relative productivity in self- and interspecific-pollinations were estimated to be 77 and 9 percent in *C. obtusa* and 9 and 0.8 percent in *C. pisifera*, respectively. The possibility that deleterious effects of inbreeding may be found in the next generation seems not to be so small, because the relative productivity after self-pollination sometimes exceeds 30 percent in individual trees in both species. The relative productivity after interspecific-pollination between *C. obtusa* and *C. pisifera* are 1 to 10 percent and often less than 0.1 percent, so the possibility of obtaining the hybrids is considered to be very small but not zero.