

ヒノキとサワラの種間交雑の稔性と雑種の識別

福 原 楢 勝

Narakatsu FUKUHARA : Fertility in Interspecific-Crossing Between
Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) and
Sawara (*C. pisifera* ENDL.) and Identification of the Hybrids

要 旨：ヒノキとサワラの優良な特性を合せもつ雑種を育成することを目的として、種間交雑の稔性、種間雑種の識別と生長について調べた。ヒノキを雌親とした交雑で得られた苗木は、外部形態でみると、ヒノキと同じヒノキ型とサワラに近い中間型に分けられた。ヒノキ型は、酸性フォスファターゼ・アイソザイム分析ではヒノキと判定され、単為生殖によって生じた可能性がある。中間型の雑種は、アイソザイム分析で明らかに雑種であった。初生葉の展開段数はサワラに近く、成葉の側葉の長さと同葉の面積に対する気孔の分布比率が、両樹種の中間の性質を示した。サワラを雌親とした交雑で得られた苗木は、すべてサワラ型であり、パーオキシターゼ・アイソザイム分析で雑種と判定された。ヒノキ×サワラで得た中間型の雑種について、生長や種子の稔性等について調査したところ、生長はヒノキより劣り、球果は小さく、種子の稔性も低かった。

目 次

I 緒 言	2
II ヒノキとサワラの種間交雑における稔性	3
1. 交配球果の大きさ	3
1) 材料および方法	3
2) 結果と考察	3
2. 交配種子の稔性	3
1) 材料および方法	3
2) 結 果	7
1) 発芽経過	7
2) 発 芽 率	7
3) 残種子の内容	7
4) 発 芽 勢	7
3) 考 察	10

Ⅲ 交配によって得られた雑種の識別と生長	11
1. 初生葉の展開段数	11
1) 材料および方法	11
2) 結果と考察	11
2. 成葉の形態	11
1) 材料および方法	11
2) 結果と考察	13
3. 成葉の気孔の分布	18
1) 材料および方法	18
2) 結果と考察	18
4. アイソザイム分析	22
1) 材料および方法	22
2) 結果と考察	23
5. 雑種の生長	25
1) 材料および方法	25
2) 結果と考察	25
6. 雑種の球果と種子の特徴	25
1) 材料および方法	25
2) 結果と考察	25
Ⅳ ま と め	32
引用文献	33
Summary	36

I 緒 言

ヒノキはわが国の主要造林樹種の一つであり、材質はよいが生長がおそい。これに対して、サワラは初期の生長は早いが材質はヒノキに劣る²⁹⁾。また、ヒノキはサワラよりも寒害と雪害に弱い。ヒノキの天然分布の北限は福島県であるが、サワラの天然分布の北限は岩手県である⁶⁾。ヒノキの人工林の北限は北海道の渡島半島であるのに対して、サワラの人工林の北限は北海道の北見地方である³⁶⁾。サワラは秋田、岩手の両県にもよく生育し、また八丈島にも生育するが、ヒノキはそれらの地方では生育不良である。このように、サワラはヒノキよりも寒地、暖地ともに適応性が大きい^{30), 31)}。さらにサワラはヒノキよりも萌芽力が強く、サシキ発根性がよく花も着きやすく、また土壌湿度の高いところでもよく生育する。

このような両樹種の特性のうち、有用な特性を合せもつ雑種を育成することができれば有益である。このような観点から、野原^{14)~18)}や堀岡ら⁵⁾は雑種の育成を試み、得られた種子の稔性、針葉の形態、成葉内の気孔の分布等について報告している。しかし、当時は交配技術が開発されておら

ず、得られた雑種について疑問点が残されていた。そこで著者は、1967～1971年に両樹種間の交雑を行い、交雑によって得られた雑種の識別と生長について詳細に調べた。

Ⅱ ヒノキとサワラの種間交雑における稔性

本研究で交配親として用いたヒノキとサワラに Table 1 に示す略号を与えた。ヒノキの各個体には H を頭文字とし、サワラの各個体には S を頭文字として通し番号をつけた。

1. 交配球果の大きさ

種間交雑の稔性に関連する形質の一つとして、球果の大きさを検討した。

1) 材料および方法

ヒノキ H 1～14, 16～18, H 20～23 の21本とサワラ S 1～11の11本を雌親および花粉親として、Table 2 に示す交配組合わせ別の球果を得た。同表にみられるとおり、交配組合わせはヒノキとサワラの正逆交配だけでなく、両樹種についての自殖と異個体間交配および自然受粉を含んでいる。交配は1957年から1961年の春に行い、毎年秋に採種した。

交配袋には内側がセロハン紙、外側が白色パーチメント紙の二重袋を用い、花粉は切り枝を水ざしして採集した。受粉は花粉銃を用いた。

採集した球果は、軸方向の長さ、直径を測定した。

年によっては、採種した量がきわめて少ない場合があったので、全年のデータを交配組合わせの種類別に合計した。

2) 結果と考察

交配組合わせ別の球果の長さ、直径の平均値と変異係数を、Fig. 1 と Fig. 2 に示した。この両形質についての交配組合わせ間差を検定するために行った分散分析の結果を、Table 3 に示した。両形質について分散分析は、ヒノキが雌親となった場合とサワラが雌親となった場合の2群にわけて行ったが^{1), 2)}、いずれにおいても交配組合わせ間差は有意であった。球果の大きさは、球果に含まれる種子数に大きく支配されることが知られているが、この結果でも種子数の少ない自殖家系と種間交雑家系で小さかった。

交配組合わせ別のバラツキは、Fig. 1 と Fig. 2 の変異係数の大きさを比較される。種間交雑での変異係数をみると、両形質ともにサワラ×ヒノキで変異係数が大きく、ヒノキ×サワラでは顕著でなかった。

2. 交配種子の稔性

ヒノキとサワラの種間交雑種子の稔性については、野原^{14～17)}、大黒ら^{21～27)}、Maeta^{9), 10)}、山本ら⁴⁰⁾の報告がある。いずれも発芽率は低く、野原によると、ヒノキ×サワラの場合は0～2.25%、サワラ×ヒノキの場合1.5%、大黒らによると、ヒノキ×サワラの場合は0～1%であった。

1) 材料および方法

交配親は前項の実験と同じであり、発芽試験に用いた交配組合わせの供試粒数は Table 4 に示した。

Table 1. 交雑母材料のヒノキとサワラの個体名と略号
Tree names and abbreviations in Hinoki and Sawara as materials for crossing.

個 体 名 Tree name	個 体 記 号 Symbol	個 体 名 Tree name	個 体 記 号 Symbol	個 体 名 Tree name	個 体 記 号 Symbol
浅川ヒノキ 1 Asa-hi 1	H-1	目黒ヒノキ 10 Me-hi 10	H-22	浅川サワラ S 1 Asa-S 1	S-8
浅川ヒノキ 2 Asa-hi 2	H-2	目黒ヒノキ 11 Me-hi 11	H-23	浅川サワラ S 2 Asa-S 2	S-9
浅川ヒノキ 3 Asa-hi 3	H-3	若 木 中 Wakakinaka	H-24	浅川サワラ S 3 Asa-S 3	S-10
浅川ヒノキ 4 Asa-hi 4	H-4	浅 川 1 Asakawa 1	H-25	目黒サワラ 4 Me-sa 4	S-11
浅川ヒノキ 5 Asa-hi 5	H-5	天 城 1 Amagi 1	H-26	松本署 Matsumoto-sho	S-12
浅川ヒノキ 6 Asa-hi 6	H-6	天 城 4 Amagi 4	H-27	大 子 1 Daigo 1	S-13
浅川ヒノキ 7 Asa-hi 7	H-7	久 慈 4 Kuji 4	H-28	大 子 2 Daigo 2	S-14
浅川ヒノキ 8 Asa-hi 8	H-8	久 慈 7 Kuji 7	H-29	大 子 3 Daigo 3	S-15
浅川ヒノキ 9 Asa-hi 9	H-9	大 子 試 2 Daigo-shi 2	H-30	王 滝 101 Ootaki 101	S-16
浅川ヒノキ 10 Asa-hi 10	H-10	大 子 試 3 Daigo-shi 3	H-31	王 滝 102 Ootaki 102	S-17
浅川ヒノキ 11 Asa-hi 11	H-11	大 子 虫 6 Daigo-mushi 6	H-32	北 勢 1 Hokusei 1	S-18
浅川ヒノキ 12 Asa-hi 12	H-12	目黒ヒノキ 104 Me-hi 7	H-33	北 勢 2 Hokusei 2	S-19
浅川ヒノキ 13 Asa-hi 13	H-13	目黒ヒノキ 7 Me-hi 7	H-34	大 子 署 ('71) Daigo-sho ('71)	S-20
浅川ヒノキ 14 Asa-hi 14	H-14	浅川ヒノキ S 1 Asa-hi S 1	H-35	大 子 署 ('72) Daigo-sho ('72)	S-21
浅川ヒノキ 15 Asa-hi 15	H-15	浅川サワラ 1 Asa-sa 1	S-1	大 子 署 ('73) Daigo-sho ('73)	S-22
浅川ヒノキ 16 Asa-hi 16	H-16	浅川サワラ 2 Asa-sa 2	S-2	日野サワラ S 1 Hino-sa S 1	S-22
浅川ヒノキ 17 Asa-hi 17	H-17	浅川サワラ 3 Asa-sa 3	S-3	M S 4 Ms 4	S-24
浅川ヒノキ 18 Asa-hi 18	H-18	浅川サワラ 4 Asa-sa 4	S-4	目黒サワラ 1 Me-sa 1	S-25
浅川ヒノキ S 2 Asa-S 2	H-19	浅川サワラ 5 Asa-sa 5	S-5	目黒サワラ 5 Me-sa 5	S-26
浅川ヒノキ S 3 Asa-S 3	H-20	浅川サワラ 6 Asa-sa 6	S-6		
目黒ヒノキ 8 Me-hi 8	H-21	浅川サワラ 7 Asa-sa 7	S-7		

Note) H : Hinoki, S : sawara

Table 2. 交配組合せ別の家系数と測定球果数

Number of families and number of cones measured in each mating combination.

交配年 Year of mati	1957		1958		1959		1960		1961		測定球果数の合計 Total number of cones measured
項目 Items 交配組合せ Mating combinations	家 系 数 N. F. ¹⁾	測定球果 C. M. ²⁾	家 系 数 N. F. ¹⁾	測定球果 C. M. ²⁾	家 系 数 N. F. ¹⁾	測定球果 C. M. ²⁾	家 系 数 N. F. ¹⁾	測定球果 C. M. ²⁾	家 系 数 N. F. ¹⁾	測定球果 C. M. ²⁾	
ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki	—	—	3	92	3	298	2	59	9	693	1142
ヒノキ自家受粉 Self-pollination in Hinoki	—	—	—	—	3	299	2	21	7	429	749
ヒノキ×ヒノキ Intraspecific crossing in Hinoki	—	—	1	22	6	529	—	—	10	578	1129
ヒノキ×サワラ Interspecific crossing of Hinoki × Sawara	—	—	4	145	3	188	2	45	9	1463	1841
サワラ自然受粉 Open-pollination in Sawara	3	885	2	61	—	—	1	48	3	305	1299
サワラ自家受粉 Self-pollination in Sawara	3	618	1	5	—	—	1	51	2	96	770
サワラ×サワラ Intraspecific crossing in Sawara	2	244	1	9	—	—	1	32	2	146	431
サワラ×ヒノキ Interspecific crossing of Sawara × Hinoki	3	593	3	62	—	—	2	99	6	663	1417

Note) 1) N. F. : Number of families

2) C. M. : Number of cones measured

Table 3. ヒノキとサワラの交配組合せ別の球果の大きさについての分析

Results of the analysis of variance on size of cones obtained in each mating combination of Hinoki and Sawara.

母 樹 Mother trees	ヒ ノ キ Hinoki					
形 質 Traits	長 さ Length			直 径 Diameter		
要 因 Factors	d. f.	M. S.	F	d. f.	M. S.	F
交 配 組 合 せ Cross combinations	3	58535.1300	638.2 * *	3	73940.1067	878.8 * *
誤 差 Error	4857	91.7187		4857	84.1364	
全 体 Total	4860			4860		

Note) * * : 有意水準 1 % で差あり

Significant at 1 % level.

Table 4. ヒノキとサワラの交配組合せ別の種子の稔性調査に用いた家系数と種子数

Numbers of family and number of seed for examinations of fertility of seeds obtained in each mating combination of Hinoki and Sawara.

交 配 組 合 せ Mating combinations	家 系 数 Number of families	供 試 粒 数 Number of seeds tested
ヒノキの自然受粉 Open-pollination in Hinoki	24	13,846
ヒノキの自家受粉 Self-pollination in Hinoki	10	4,699
ヒノキの種内異個体間交配 Intraspecific crossing in Hinoki	23	10,690
種間交雑(ヒノキ×サワラ) Interspecific crossing of Hinoki × Sawara	34	15,447
サワラの自然受粉 Open-pollination in Sawara	11	10,340
サワラの自家受粉 Self-pollination in Sawara	7	3,093
サワラの種内異個体間交配 Intraspecific crossing in Sawara	11	5,231
種間交雑(サワラ×ヒノキ) Interspecific crossing of Sawara × Hinoki	22	6,842

サ ワ ラ Sawara					
長 さ Length			直 径 Diameter		
d. f.	M. S.	F	d. f.	M. S.	F
3	59466.8067	728.3 * *	3	70344.0167	894.0 * *
3913	81.6556		3913	78.6802	
3916			3916		

発芽試験は、素焼きの発芽床を用いて行い、ヒノキ、サワラとも21日で締切り、残種子は切断法により鑑定した。発芽勢は置床後10日目までの発芽率で表した。

2) 結 果

発芽率、しいな率、発芽勢の各形質についての交配組合わせ別の平均値を Fig. 3 に示した。発芽経過をみるために、置床後21日までの累積発芽率を求め Fig. 4～5 に示した。

この交配組合わせ別の群間差を検定するために行った分散分析の結果を Table. 5 に示す。いずれの形質においても交配組合わせ別の種子間の差は有意であった。以下、形質ごとに比較検討する。

(1) 発芽経過

交配組合わせのうちヒノキを雌親とした場合の累積発芽率をみると (Fig. 4)、ヒノキの自然受粉種子と異個体間交配種子は6日目より発芽を始め21日まで漸次上昇し、同じような傾向を示した。自殖種子と種間交雑種子は9日目より発芽を開始したが、いずれも発芽率が低かった。

サワラを雌親とした場合の累積発芽率をみると (Fig. 5)、サワラの自然受粉種子、異個体間交配種子、自殖種子、種間交雑種子いずれも、発芽開始日には大差がなかった。サワラの異個体間交配種子が、短期間の内に発芽率が上昇した。

(2) 発 芽 率

Fig. 3 に示した発芽率の群別の平均値によると、ヒノキ×サワラの場合も、サワラ×ヒノキの場合も種間交雑の種子の発芽率は最低であり、ついで自殖種子が低かった。種内異個体間交配種子と自然受粉種子の発芽率の両群差は小さかった。

(3) 残種子の内容

残種子の切断試験の結果、不発芽、しいな、しぶ粒の中で、しいなが多く、いずれの交配組合わせでも90%以上に達した。Fig. 3 に示したしいな率の群別の平均値によると、交配組合わせ別の順位は、いずれも種間交雑種子が最高であり、ついで自殖種子であった。

(4) 発 芽 勢

Fig. 3 に示した発芽勢の群別の平均値によると、ヒノキの場合には種間交雑の種子が最低であり、

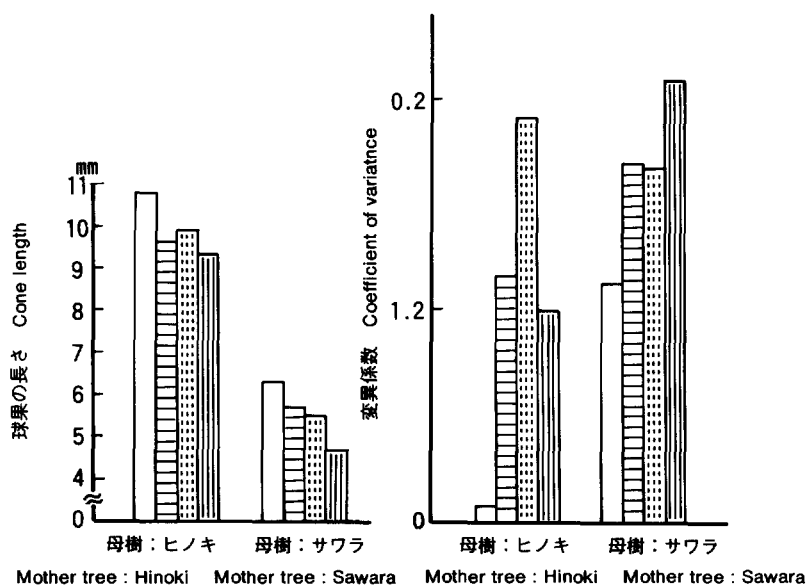


Fig. 1. ヒノキとサワラの交配組合せ別の球界の高さとその変異係数
Cone length and its coefficient of variance in each mating combination of Hinoki and Sawara

自然受粉 Open-pollination
 種内異個体間交配 Intraspecific-crossing
 自家受粉 Self-pollination
 種間交雑 Interspecific-crossing

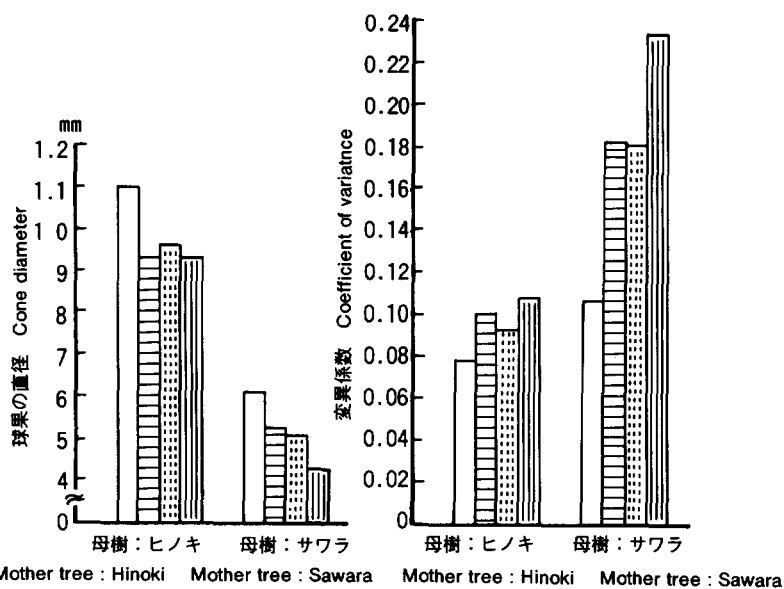


Fig. 2. ヒノキとサワラの交配組合せ別の球界の直径とその変異係数
Cone diameter and its coefficient of variance obtained in each mating combination of Hinoki and Sawara.

自然受粉 Open-pollination
 種内異個体間交配 Intraspecific-crossing
 自家受粉 Self-pollination
 種間交雑 Interspecific-crossing

Table 5. ヒノキとサワラの交配組合せ別の種子の発芽率、しいな率、発芽勢についての分散分析
Result of the analysis of variance on germination percent, empty seed percent and germinating energy in each mating combination of Hinoki and Sawara.

雌親 Mother trees	形質 Factors	発芽率 Germination percent			しいな率 Empty seed percent		発芽勢 Germinating energy	
	要因 Factors	d. f.	M. S.	F	M. S.	F	M. S.	F
ヒノキ Hinoki	交配組合せ Cross combinations	3	459.7660	14.66 **	508.5986	14.14 **	180.0276	11.81 **
	誤差 Error	87	31.3623		35.9771		15.2436	
	全体 Total	90						
サワラ Sawara	交配組合せ Cross combinations	3	143.2855	3.47 *	397.5037	5.93 **	69.9237	4.41 **
	誤差 Error	87	41.2702		66.9821		15.8395	
	全体 Total	90						

Note) **: 有意水準1%で差あり

Significant at 1% level

*: 有意水準5%で差あり

Significant at 5% level

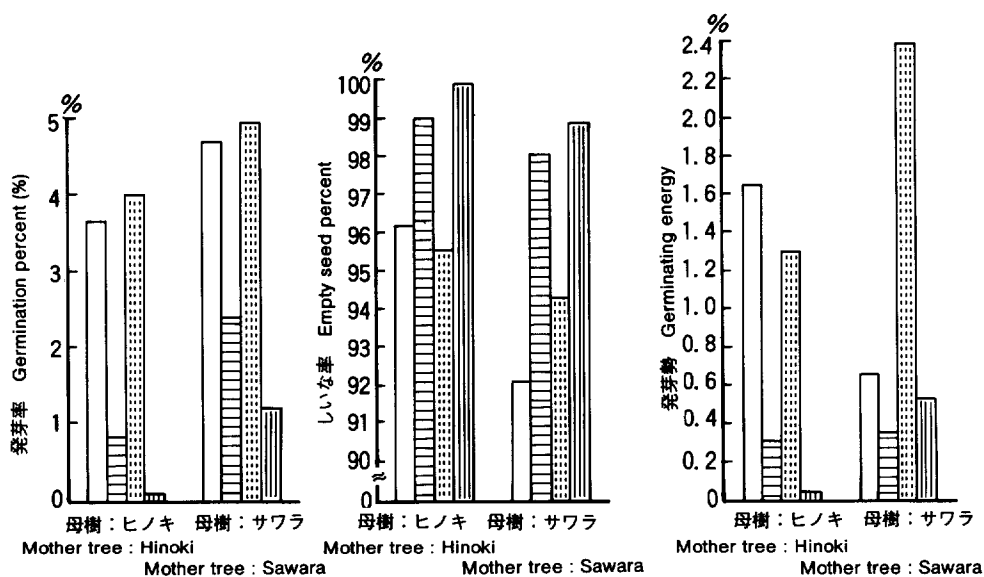


Fig. 3. ヒノキとサワラの交配組合せ別の種子の稔性
Fertility of seeds obtained in each mating combination of Hinoki and Sawara.

自然受粉 Open-pollination
 種内異個体間交配 Intraspecific-crossing
 自家受粉 Self-pollinat
 種間交雑 Interspecific-crossing

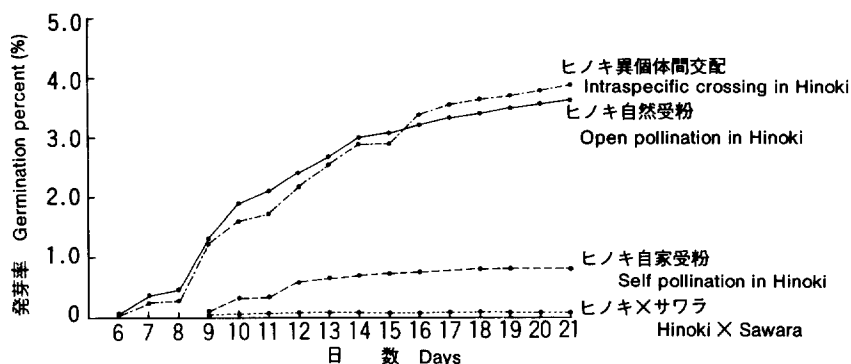


Fig. 4. ヒノキの交配組合せ別の種子の発芽経過
Cumulative curve of germination percent of seeds
obtained in each mating combination of Hinoki.

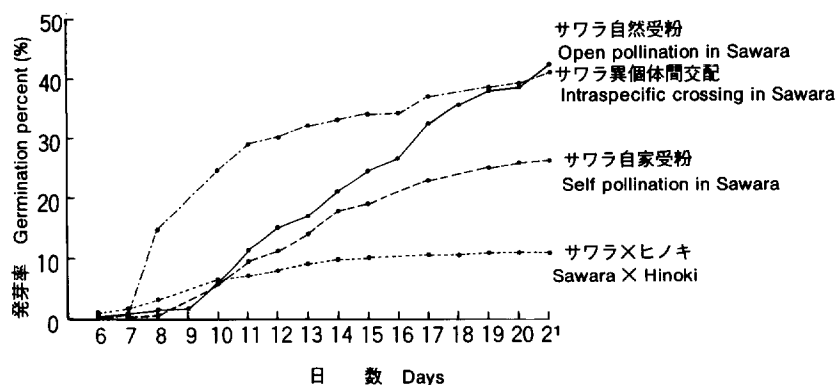


Fig. 5. サワラの交配組合せ別の種子の発芽経過
Cumulative curve of germination percent of
seeds obtained in each mating combination of
Sawara

ついで自殖種子が低かった。サワラの場合には、自殖種子が最低であり、ついで種間交雑の種子が低かった。種内異個体間交配種子と自然受粉種子の発芽勢の両群差は小さかった。

3) 考 察

交配組合せ別種子の発芽率の順位は、交雑和合性の差によって生じたものと考えられる。自殖種子の発芽率が低いのは、すでに知られているようにヘテロで保有されている胚致死主働遺伝子の働きによるものと考えられる。種間交雑種子は、他の交配組合せの種子に比べて発芽率が低く、交雑和合性が低いためと考えられる。しかし、正逆の種間交雑では、サワラ×ヒノキの発芽率が高く、雑種作出の可能性が高い。

また、発芽勢は発芽速度の違いを示すものであるが発芽率の低かったサワラ×ヒノキで、発芽勢が自家受粉に比べて高かったことが注目される。

Ⅲ 交配によって得られた雑種の識別と生長

1. 初生葉の展開段数

ヒノキの初生葉の展開段数については、前田ら⁷⁾は4～7枚であると報告しており、また野原¹⁵⁾はヒノキが1～7段でサワラが9～22段と報告している。

本試験では、ヒノキ×サワラの種間交雑を行い、452本の苗木について初生葉の展開段数を調査した。なお、この実験では、ヒノキを雌親として得られた苗木のみで行った。

1) 材料および方法

Ⅱの試験において種間交雑の種子が、さわめて少ない数しか得られなかったため、あらためてヒノキ H24～32の9クローン、サワラ S13～19の7クローンを交配親として用いて多量の交配を行った。

人工交配は、1970年の春にヒノキの9クローンを雌親、サワラの7クローンを花粉親とした63組合わせの内57組合わせについて行った。また、交雑種子の採取に際し、雌親に用いたヒノキから自然受粉種子を採集した。

同年秋に種子を採取し、翌年4月に箱まきして、その後の生育経過の観察と調査を行った。

2) 結果と考察

各交雑組合わせで得られた苗木の生育経過で、7月上旬頃から、ヒノキと同じヒノキ型と、サワラに近い中間型が観察された。交雑組合わせ別の得られた苗木数と、中間型の苗木数を Table. 6 に示した。同表にみられるとおり、交雑57組合わせ中、39組合わせについて苗木が得られた。

Table. 6 の交雑組合わせにもとづき、雌親ごとに集計した得苗数を Table. 7 に示した。また、この得苗率の対照として、同表に雌親別の自然受粉種子の得苗数を示した。得苗率はいずれの雌親においても種間交雑と自然受粉での差が大きく、雌親の平均値では種間交雑が0.2%、自然受粉が1.4%で、種間交雑では、自然受粉の50分の1以下であった。

初生葉の展開段数は11月中旬に調査を行った。交雑苗木については、39組合わせの452本について調査し、対照として、雌親としたヒノキの自然受粉種子による苗木と、サワラ3母樹の自然受粉種子による苗木を調査した。3群についての初生葉の展開段数の頻度分布を Fig. 6 に示す。ヒノキの自然受粉種子による苗木の初生葉の展開段数は、平均4段で3～6段に分布し、サワラの自然受粉種子による苗木では、10段の頻度が高く8～15段に分布した。種間交雑の苗木の初生葉の展開段数は、4段の頻度が高く、2段から13段に分布した。このように種間交雑の苗木の初生葉の展開段数はヒノキとサワラの初生葉の展開段数の分布の両域にわたって分布しており、外観で判別されるヒノキ型はヒノキの分布域に、外観でサワラに近い中間型はサワラの分布域にあり、両タイプの識別が、外観のほか初生葉の段数で可能であることが明らかになった。

2. 成葉の形態

1) 材料および方法

材料に用いたヒノキ×サワラの種間交雑の苗木、および対照としたヒノキの自然受粉種子による苗木は、Table. 6 の交配親の一部 (H 26, 27, 29, 30, 32) の家系群を、またサワラ自然受粉種子

Table 6. ヒノキ×サワラで得た苗数と中間型の苗数
Numbers of survival seedlings and intermediate
type seedlings obtained from Hinoki × Sawara.

花粉親 雌親 Mother tree No.	Pollen parent No.	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19
H-24		0-0	0-0	0-0	8-0	0-0	0-0	4-0
H-25		54-0	21-0	10-2	17-0	9-0	70-0	38-0
H-26		24-6	4-1	23-1	1-0	52-2	0-0	1-0
H-27		66-6	35-1	10-1	2-2	8-1	18-5	53-8
H-28		0-0	0-0	—	0-0	5-4	1-1	—
H-29		2-1	3-2	—	2-0	0-0	5-4	7-0
H-30		0-0	7-1	—	0-0	0-0	39-0	1-0
H-31		2-0	0-0	—	0-0	0-0	—	0-0
H-32		19-1	0-0	41-0	6-1	29-5	11-0	5-1
合計 Total		167-14	70-5	84-4	36-3	103-12	144-10	109-9

Note) $X_1 - X_2$ は得苗数-中間型の苗数を示す

" $X_1 - X_2$ " in the table shows number of survival seedlings (X_1) and number of intermediate type seedlings (X_2).

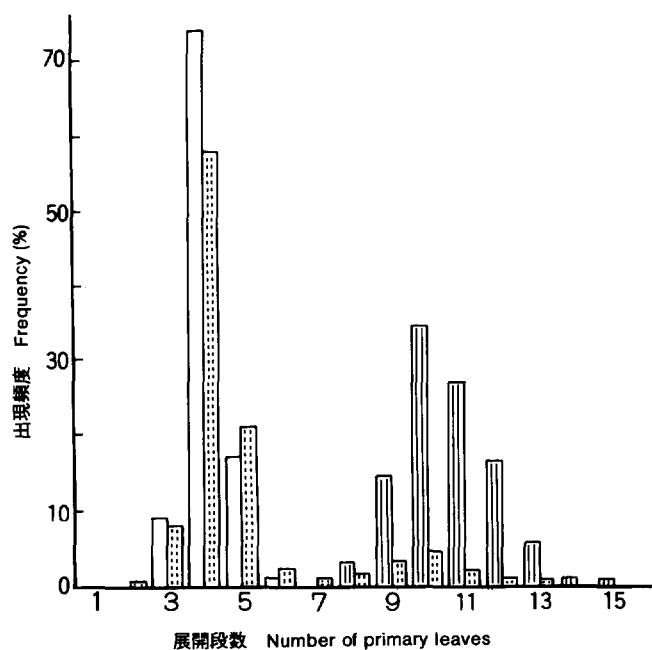


Fig. 6. ヒノキ×サワラの苗木およびヒノキ自然受粉の苗木の初生葉の展開段数

Number of primary leaves in seedlings obtained from interspecific crossing, Hinoki × Sawara and from open - pollination.

自然受粉
 Open-pollination in Hinoki

 ヒノキ×サワラ
 Hinoki×Sawara

 サワラ自然受粉
 Open-pollination in Sawara

Table 7. ヒノキ×サワラの雌親別の得苗数
Number of survival seedlings in each mother tree in
Hinoki × Sawara and in open-pollination.

雌 親 Mother treeNo.	種 間 交 雑 Interspecific crossing			自 然 受 粉 Open-pollination	
	播 種 数 ⁽¹⁾ Number of seeds sown	得 苗 数 ⁽²⁾ (%) Number of survival seedlings obtained	中間型苗数 ⁽³⁾ (%) Number of inter- mediate type seedlings	播 種 数 ⁽¹⁾ Number of seeds sown	得 苗 数 ⁽²⁾ (%) Number of survival seedlings obtained
H-24	25,600	12 (0.05)	0 (0)	5,300	708 (13.4)
H-25	93,100	219 (0.24)	2 (0.002)	6,300	742 (11.8)
H-26	55,400	105 (0.19)	10 (0.02)	7,900	782 (9.9)
H-27	80,000	192 (0.24)	24 (0.03)	6,400	1,107 (17.3)
H-28	4,100	6 (0.15)	5 (0.12)	700	3 (0.4)
H-29	49,100	19 (0.04)	7 (0.01)	1,400	71 (5.1)
H-30	13,000	47 (0.36)	1 (0.008)	1,700	121 (7.1)
H-31	1,800	2 (0.11)	0 (0)	800	8 (1.0)
H-32	45,400	111 (0.24)	8 (0.02)	7,100	758 (10.7)
合 計 Total	367,500	713 (0.19)	57 (0.02)	37,600	4,300 (11.4)

Note) (1) : 推定播種数を示す

Estimated number of seeds sown calculated from seed weight

(2) : カッコ内の得苗率は播種数に対する得苗数

Survival percentage in the parentheses shows number of survival seedlings per number of seeds sown.

による苗木はS-8～13の家系群を用いた。成葉の標本を採取した個体数は、自然受粉の苗木では家系ごとに5本である。

ヒノキ×サワラの交雑で得た5家系についての苗を、外観によってヒノキ型と中間型にわけた。さらに、この2タイプの対照として、交雑に用いたヒノキとサワラの5採種親の自然受粉種子による苗木を用いた。これらの材料は、林業試験場千代田苗畑に植栽された。

形態調査に用いた葉の標本は、各苗木の上から5～6番目の1次枝とし、1976年秋に採集した。

採集した枝から前年に伸びた葉を1個体について20個ずつとり、Fig. 7に示すように、側葉の長さ(A)、側葉の境の長さ(B)、側葉の幅(C₁, C₂)、上下葉の長さ(D)、上下葉の幅(E)を実体顕微鏡とマイクロメータで測定した。

2) 結果と考察

2タイプの交雑苗木とヒノキとサワラの自然受粉種子による苗木の6形質についての平均値をFig. 8に示す。各形質についての分散分析の結果、群間差は有意であった。さらに、6形質を総合してみた場合の、交雑苗木の葉がどのように異なるかを明らかにするため、主成分分析によって検討した。

6形質間の相関係数をTable. 8に示す。主成分はこの相関係数から求めた。第1主成分から第3主成分までの各分散(固有値)と、その分散の寄与率および累積寄与率をTable. 9に示す。累積寄与率をみると、第3主成分までで94.1%を説明するので6形質の情報は、3主成分で充分であ

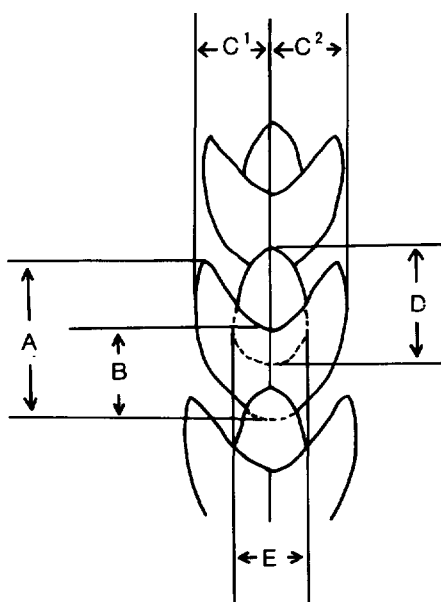


Fig. 7. ヒノキとサワラの葉形の模式図

Type figure of leaf shape in Hinoki and Sawara.

- Note) A : 側葉の長さ Length of lateral leaf
 B : 側葉の境の長さ Length of borderline in lateral leaf
 C_1, C_2 : 側葉の幅 Width of lateral leaf
 D : 上下葉の長さ Length of dorsi-ventral leaf
 E : 上下葉の幅 Width of dorsi-ventral leaf

Table 8. 成葉の6形質についての相関行列

Correlation matrix on the six traits of adult leaves.

形質 Traits	A	B	C_1	C_2	D	E
A	1.000	0.902	0.347	0.576	0.017	0.206
B	0.902	1.000	0.017	0.325	-0.368	0.037
C_1	0.347	0.017	1.000	0.891	0.684	0.584
C_2	0.576	0.325	0.891	1.000	0.524	0.697
D	0.017	-0.368	0.684	0.524	1.000	0.573
E	0.206	0.037	0.584	0.697	0.573	1.000

- Notes) A : 側葉の長さ Length of lateral leaf
 B : 側葉の境の長さ Length of borderline in lateral leaf
 C_1, C_2 : 側葉の幅 Width of lateral leaf
 D : 上下葉の長さ Length of dorsi-ventral leaf
 E : 上下葉の幅 Width of dorsi-ventral leaf

ると考えられる。

各データについての主成分のもつ値, Z_1, Z_2, Z_3 (スコアとよぶ) は, Table. 10に示した係数 (固有ベクトル) で求められる。各データを平均値 0, 分散 1 に基準化して, 各主成分の係数をか

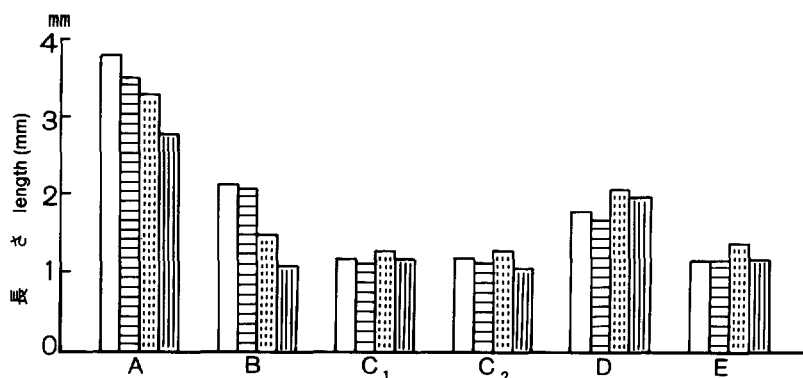


Fig. 8. 針葉の6形質についての4群の平均値

Means of the four groups on the six traits of leaves.

	ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki	A : 側葉の長さ	Length of lateral leaf
	ヒノキ型 Hinoki type	B : 側葉の境の長さ	Length of borderline in lateral leaf
	中間型 Intermediate type	C ₁ , C ₂ : 側葉の幅	Width of lateral leaf
	サワラ自然受粉 Open-pollination in Sawara	D : 上下葉の長さ	Length of dorsi-ventral leaf
		E : 上下葉の幅	Width of dorsi-ventral leaf

け合計すればデータごとのスコアが得られる。各主成分の意味は係数により次のように解釈される。

第1主成分(Z_1) : Table. 10の第1主成分の係数をみると、6形質ともマイナスの値であり、このことから、各形質の値が大きいくほど小さくなるので、大きさに関するスコアである。

第2主成分(Z_2) : Table. 10の第2主成分の係数をみると、側葉の長さ(A)、側葉の境の長さ(B)についての値がプラスで大きく、上下葉の長さ(D)がマイナス値として大きい。したがって、側葉の長さ、側葉の境の長さの値が大きく、上下葉の長さが小さいと大きい値を示すスコアである。

第3主成分(Z_3) : Table. 10の第3主成分の係数をみると、側葉の幅(C₁)についての値がプラスでやや大きく、上下葉の幅(E)がマイナス値として大きい。したがって、上下葉の長さが大きく上下葉の幅が小さいと大きい値を示すので、上下葉の形を示すスコアである。

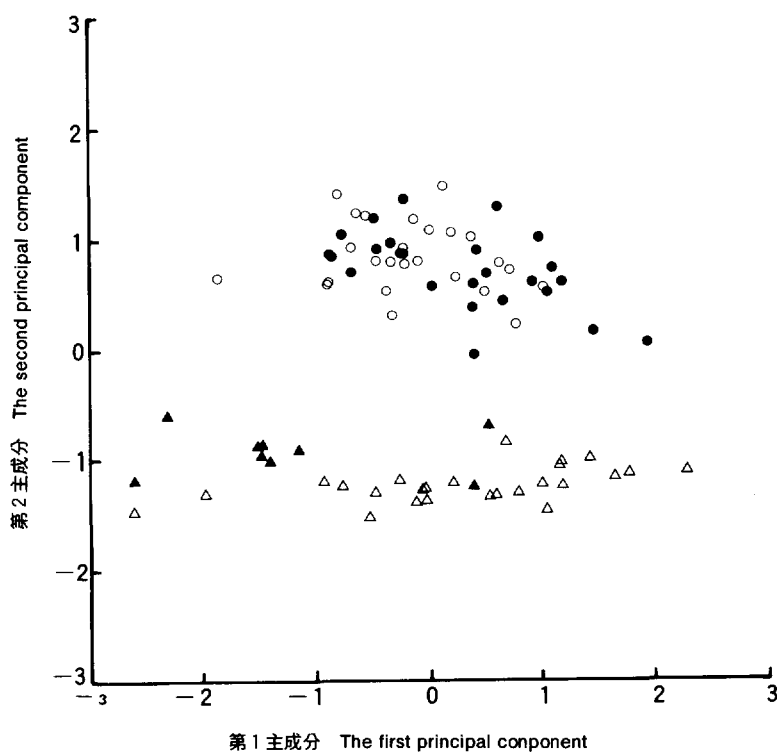
4群の苗木の違いをみるために、第1主成分をX軸にとりY軸に第2主成分をとって、散布図をFig. 9に示した。この図の大きさを示すスコアであるX軸についてみると、中間型が左よりに位置し、他の3群より6形質を総合して小さい傾向であると判定される。側葉の長さ、側葉の境の長さの値が大きく、上下葉の長さが小さいと大きい値を示す第2主成分のスコアであるY軸についてみると、ヒノキ自然受粉とヒノキ型の苗木が大きく、サワラ自然受粉による苗木が小さく、中間型が前2者の間に位置することがわかる。Fig. 10に、第2主成分をX軸にとり、上下葉の長さが大きく上下葉の幅が小さいと大きい値を示す第3主成分をY軸にとった散布図を示した。この図のY軸についてみると、中間型が下方に位置し、他の3群より小さい傾向がみられる。他の3群の差はみられない。なお、ヒノキ自然受粉家系とヒノキ型はFig. 9と10では判別できない分布を示した。

以上述べたように、外観でヒノキとサワラの中間型とみられた苗木は、主成分分析による総合形質の判定においても中間型であることが明らかであった。

Table 9. 各主成分の変動の寄与率と累積寄与率

Ratio of contribution of variation in each principal component and cumulative ratio of contribution.

主成分 Principal components 項目 Item	第 1 主 成 分 First principal component	第 2 主 成 分 Second principal component	第 3 主 成 分 Third principal component
固有値 Eigenvalue	3.2032	1.9781	0.4667
寄与率 Ratio of contribution	53.3872	32.9675	7.7780
累積寄与率 Cumulative ratio of contribution	53.3872	86.3547	94.1328

Fig. 9. 第1主成分と第2主成分にもとづく4群の苗木の分布
Distribution of the four groups of seedlings based on the first and the second principal components.

Note) ○ ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki
 ● ヒノキ型 Hinoki type in Hinoki×Sawara
 △ サワラ自然受粉 Open-pollination in Sawara
 ▲ 中間型 Intermediate type in Hinoki×Sawara

Table 10. 各主成分のスコア算出のための各形質の係数

Coefficients of each traits to calculate scores of each component.

主成分 Principal components 形質 Traits	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component	第 3 主成分 Third principal component
A	-0.3297	0.5481	0.1699
B	-0.1637	0.6740	-0.1079
C ₁	-0.5004	-0.1589	0.4175
C ₂	-0.5377	0.0460	0.0561
D	-0.3711	-0.4328	0.2435
E	-0.4327	-0.1749	-0.8501

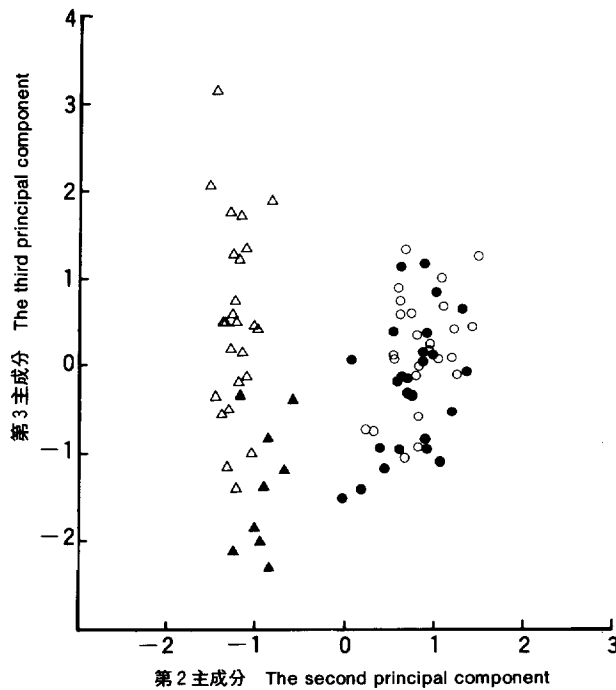


Fig. 10. 第2主成分と第3主成分にもとづく4群の苗木の分布
Distribution of the four groups of seedlings based on the second and the third components

Note) ○ ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki
● ヒノキ型 Hinoki type in Hinoki×Sawara
△ サワラ自然受粉 Open-pollination in Sawara
▲ 中間型 Intermediate type in Hinoki×Sawara

なお、ヒノキとサワラ雑種の葉の、個々の形質については、大黒²³⁾の詳細な報告があるが、本研究での6形質を総合して評価した分析も雑種の特性をよく表現していると考えられる。

3. 成葉の気孔の分布

成葉の気孔についての試験は、ヒノキ×サワラの雑種と、サワラ×ヒノキの雑種の2者を別々に行った。

1) 材料および方法

ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉の苗木は、前項の材料と同じであるが、サワラ自然受粉については材料が異なるため、また家系別の個体ごとに測定試料数が異なるためTable. 14に示す。同表にみられるとおり1個体あたりの試料数は一定でない。

サワラ×ヒノキの雑種とヒノキ、サワラの自然受粉の苗木は、Table. 12に示す。各群の家系数は4～6家系で、試料数も一定でない。

葉の気孔は、苗木の中央部の2次枝を採集し、Fig. 11に示すように上下葉の面積Aと側葉の面積B、Cおよび上下葉の中で気孔の分布している面積aと側葉の中で気孔の分布している面積b、cを測定した。各面積の測定は、実体顕微鏡とアップの描画装置を用いて作図し、プランメータを用いて千分の1cm²の精度で求めた。

2) 結果と考察

各試料について上下葉と側葉の全面積に対する気孔分布面積の比率を求めた。なお、側葉についての比率は、左右2か所それぞれについて求めた。この3種類のデータについて個体ごとの平均

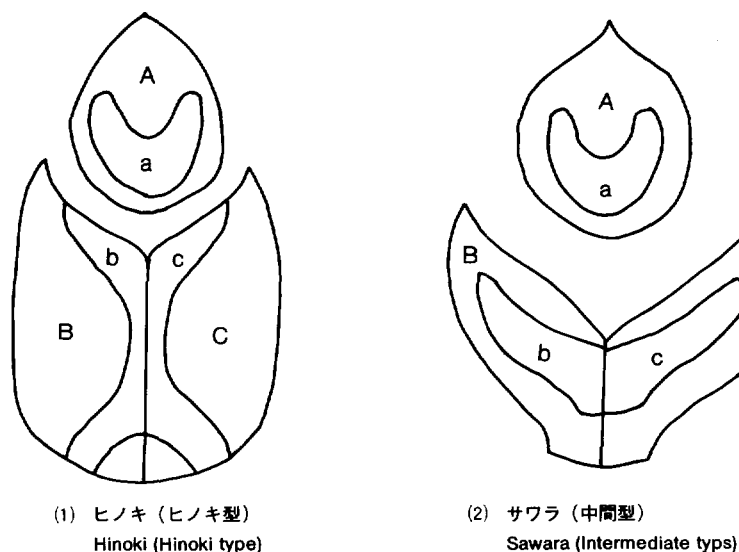


Fig. 11. 葉形と気孔分布の模式図

Type figures of leaf shape and distribution of stomata

Note) Capital letters show an area of dorsi-ventral leaf (A) and lateral leaves (B,C), and small letters show an area in distribution of stomata in dorsi-ventral leaf(a) and lateral leaves (b,c)

Table 11. ヒノキ×サワラに関して成葉の気孔調査に用いた材料
Materials used for examinations of stomata in adult leaves.

群 Group	交 配 組 合 せ Mating combination	調 査 個 体 数 Number of trees for examinations	測 定 標 本 数 Number of samples for measuring
ヒノキの自然受粉群 Open-pollination in Hinoki	H-26 op	5	25
	H-27 op	5	25
	H-29 op	5	25
	H-30 op	5	25
	H-32 op	5	25
ヒノキ×サワラのヒ ノキ型群 Hinoki type in Hinoki × Sawara	H-26×S-13	5	30
	H-26×S-15	2	12
	H-27×S-14	5	23
	H-27×S-19	5	27
	H-29×S-13	1	6
	H-30×S-14	2	12
	H-32×S-17	5	27
ヒノキ×サワラの中 間型群 Inter mediate type in Hinoki × Sawara	H-26×S-13	1	5
	H-26×S-15	1	5
	H-27×S-14	2	3
	H-27×S-19	1	4
	H-29×S-13	1	6
	H-29×S-18	1	6
	H-30×S-14	1	5
	H-32×S-17	1	2
サワラの自然受粉群 Open-pollination in Sawara	S-13 op	5	25
	S-20 op	5	25
	S-21 op	5	25
	S-22 op	5	25
	S-23 op	5	25

値を求め、平均値から家系平均値を求め、さらに群別平均値を求め Fig. 12に示す。上下葉、側葉ともに気孔分布面積の比率は、サワラの自然受粉の苗木で高く、ヒノキの自然受粉の苗木で低かった。

ヒノキ×サワラの苗木で、群間差を検定するために行った分散分析の結果を、Table. 13に示す。側葉についてだけに群間差が認められた。この側葉のデータについて群間平均値の相互間の有意性検定を最小有意差により行ったところ (Table. 14) サワラの自然受粉の群と、他の3群との間にだけ有意性が認められた。しかし、Fig. 12の側葉での結果をみると、ヒノキの自然受粉の群とヒノキ型の差はきわめて小さく、中間型との差があると考えられる。サワラ×ヒノキの苗木で全面積に対する気孔分布面積の比率についての群別平均値を Fig. 13に示す。

上下葉と側葉についてのデータでは、気孔分布の比率はサワラの自然受粉の苗木で高く、サワラ×ヒノキの苗木がこれに近い値を示した。群間差を検定するために行った分散分析の結果では

Table 12. サワラ×ヒノキに関して成葉の気孔の調査に用いた材料
Materials used for examinations of stomata in adult leaves.

群 Groups	交配組合せ Mating combination	調査個体数 Number of trees for examinations	測定標本数 Number of samples for measuring
ヒノキの自然受粉 Open-pollination in Hinoki	H-2 op	5	45
	H-8 op	5	45
	H-12 op	5	45
	H-16 op	5	45
サワラ×ヒノキ Hybrids in Sawara × Hinoki	S-1 × H-12	3	27
	S-6 × H-16	2	18
	S-7 × H-16	4	16
	S-7 × H-8	6	36
	S-7 × H-12	5	25
	S-11 × H-2	6	30
サワラの自然受粉 Open-pollination in Sawara	S-1 op	5	45
	S-6 op	5	45
	S-7 op	5	25
	S-11 op	3	15

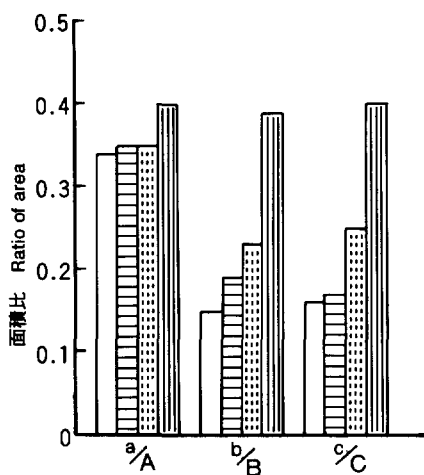


Fig. 12. ヒノキ×サワラの苗木での上下葉と側葉の気孔分布面積の比率
Ratios of area in distribution of stomata in dorsi-ventral leaves (a/A)
and lateral leaves (b/B, c/C) of Hinoki×Sawara seedlings.

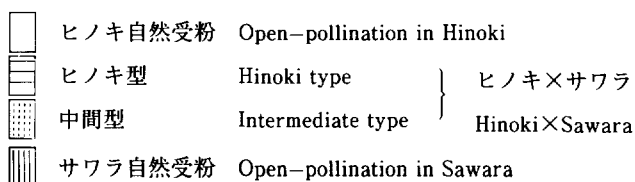


Table 13. ヒノキ×サワラの苗木での上下葉と側葉の気孔分布面積の比率についての分散分析
 Analysis of variance on ratio in area of stomata distribution in dorsi-ventral leaves and lateral leaves of Hinoki × Sawara seedlings.

形 質 Traits	上下葉 a/A Dorsi-ventral leaf a/A			側 葉 b/B Lateral leaf b/B		側 葉 c/C Lateral leaf c/C	
要 因 Factors	d. f.	M. S.	F	M. S.	F	M. S.	F
群 間 Group	3	0.0046276	0.596 NS	0.0601312	11.518 **	0.0651975	10.918 **
誤 差 Error	21	0.0077606		0.0052205		0.0059718	
全 体 Total	24						

Note) **: 有意水準 1% で差あり
 Significant at 1% level.

NS: 有意差なし。
 Non-significance

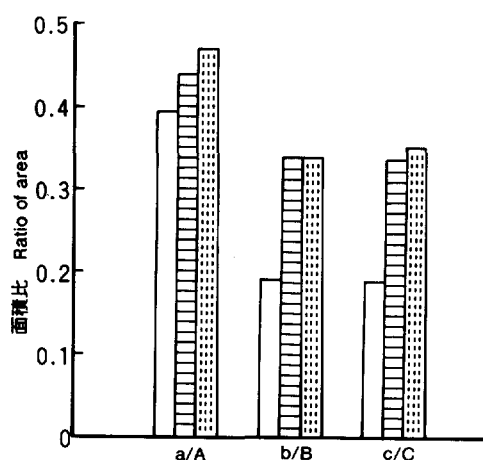


Fig. 13. サワラ×ヒノキの苗木での上下葉と側葉の気孔分布面積の比率

Ratios of area in distribution of stomata in dorsi-ventral leaves(a/A) and lateral leaves (b/B, c/C) of Sawara×Hinoki seedlings.

- ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki
- サワラ×ヒノキ Hinoki×Sawara
- サワラ自然受粉 Open-pollination in Sawara

Table 14. ヒノキ×サワラの苗木での側葉の気孔分布面積の比率についての群相互間の有意性
Significance between groups on ratio in area of stomata distribution in lateral leaves of Hinoki × Sawara seedlings.

群 Groups	ヒノキの自然受粉 Open-pollination in Hinoki	ヒノキ型 Hinoki type	中間型 Intermediate type	サワラの自然受粉 Open-pollination in Sawara
ヒノキの自然受粉 Open-pollination in Hinoki		N S	N S	**
ヒノキ型 Hinoki type	N S		N S	**
中間型 Intermediate type	N S	N S		**
サワラの自然受粉 Open-pollination in Sawara	**	**	**	

Note) 対角線より上段はb/Bについて、下段はc/Cについての結果を示す

The upper part and the lower part of diagonal line show the results on b/B and c/C, respectively.

** : 有意水準1%で差あり

Significant at 1% level

N S : 有意差なし

Non-significance

Table 15. サワラ×ヒノキの苗木での上下葉、側葉の気孔分布面積の比率についての分散分析
Analysis of variance on ratio in area of stomata distribution in dorsi-ventral leaves and lateral leaves of Sawara × Hinoki seedlings.

形質 Traits	上下葉 a/A Dorsi-ventral leaf a/A			側葉 b/B Lateral leaf b/B		側葉 c/C Lateral leaf c/C	
要因 Factors	d.f.	M. S.	F	M. S.	F	M. S.	F
群間 Group	2	0.0054969	13.170 **	0.0311448	84.785 **	0.0343230	54.506 **
誤差 Error	11	0.0004174		0.0003673		0.0006297	
全体 Total	13						

Note) ** : 有意水準1%で差あり

Significant at 1% level

(Table. 15), 上下葉と側葉ともに群間差が有意になった。しかし、この有意性はヒノキ自然受粉の苗木が他の群と比較して、とくに小さいために生じたものと考えられる。

4. アイソザイム分析

1) 材料および方法

白石は^{32), 34)}, 酸性フォスファターゼの高移動度ゾーンに出現するバンドがヒノキとサワラ特有のアイソザイムとして、同定されることを報告している。本試験では、この方法をヒノキ×サワラの苗木について行った。しかし、サワラ×ヒノキの苗木については、パーオキシターゼを用いた。

ヒノキ×サワラについての材料は Table. 6 に示した苗木150個体と、その交配親である。材料の針葉は1986年1月に採集し、ポリ袋に入れ、 -20°C のストッカーに貯蔵した。

針葉200gに抽出液緩衝液(0.1 M トリス塩酸緩衝液, 0.5 M サッカロース, 1 % ツイーン80, 0.01 M ジチオスレイトール) 1 ml と石英砂200mgを加え、あらかじめ 4°C に冷やしておいた乳鉢ですりつぶした。これを10分間遠心分離($10000\times g$, 4°C)して精製し、その上澄み液40 μl を泳動用試料とした。電気泳動は平板ポリアクリルアミド垂直電気泳動法で行い、DAVIS, ORNSTEINの原法にはほぼ従った。濃縮ゲルは3.75%, 分離ゲルは7.5%を用いた。酸性フォスファターゼの染色は、0.2 M 酢酸緩衝液100ml, L-Naphthylphosphate Natorium salt 100mg, Fast Garnet GBC salt 30mg, 10% MgCl_2 0.4mlを混ぜ、泳動の終了したゲルに注ぎ、 37°C で2時間行った。

サワラ×ヒノキの苗木については、10交雑家系の20個体を用い、パーオキシターゼ・アイソザイムを調べた。

分析方法は、ホウ酸緩衝液系を用いた水平デンプンゲル電気泳動法で行い、染色は3-アミノ-9-エチルカルバゾールと β -ナフトールを用いた。

2) 結果と考察

ヒノキ×サワラの苗木についての結果では、ヒノキ型はすべてヒノキと判定された。中間型については Fig. 14に示すとおり、サワラとヒノキ特有のバンドを保有し、雑種と判定された。

サワラ×ヒノキの苗木についての結果では、Fig. 15に示すとおり、サワラとヒノキ特有のバンドを保有しているほかに、全く異なるバンドも保有している。しかし、バンド構成からみて雑種と判定された。

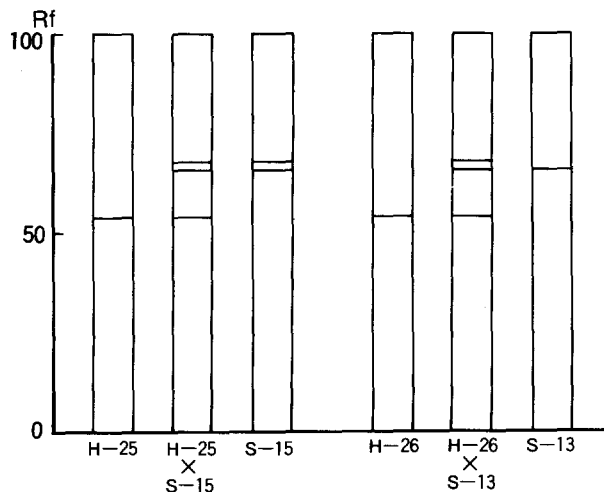


Fig. 14. ヒノキ×サワラの中間型についての酸性フォスファターゼ・アイソザイム分析
Isozyme analysis of acid phosphatase in intermediate type of Hinoki×Sawara

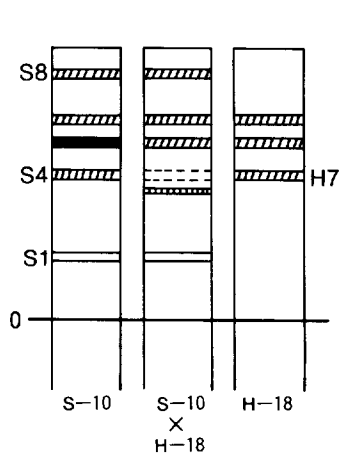


Fig. 15. サワラ×ヒノキについての
パーオキシターゼ・アイソザ
イム分析
Isozyme analysis of peroxidase
in Sawara×Hinoki.

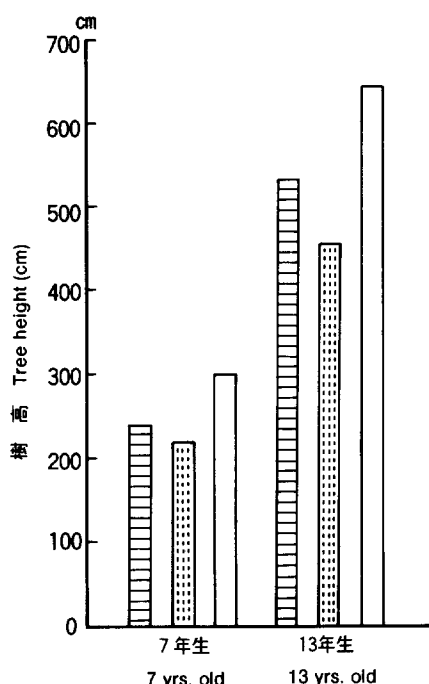


Fig. 16. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキ
自然受粉家系群の樹高平均値
Means of tree height of hybrids
in Hinoki×Sawara and open-pol-
linated families in Hinoki.

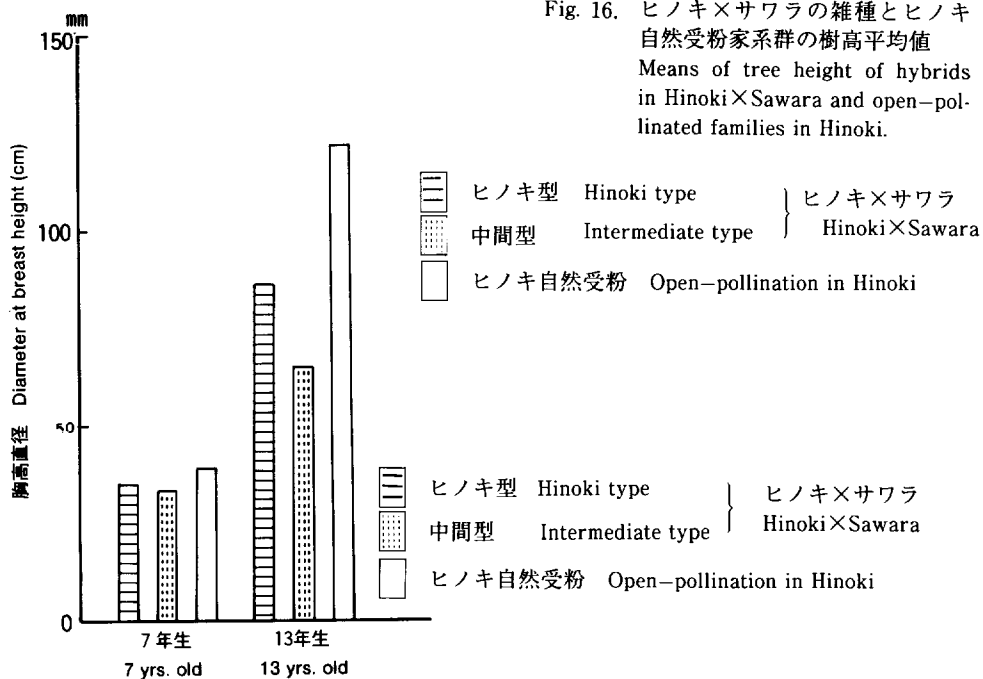


Fig. 17. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキ自然受粉家系
群の胸高直径平均値
Means of diameter at breast height of hybrids
in Hinoki×Sawara and open-pollinated fami-
lies in Hinoki.

これまでヒノキとサワラの雑種のアイソザイム分析による同定についての報告がある。前述の白石らの報告のほかに、松田ら¹²⁾は、パーオキシターゼ・アイソザイムで精英樹富士2号がヒノキとサワラの雑種であることを確認した。また岡村²⁸⁾は、ヒノキとサワラの交雑で得た個体のパーオキシターゼ・アイソザイムによる分析で、ヒノキ型はヒノキに類似し、サワラの特徴を示さないことを報告し、本試験と同様の結果を得た。ただし、サワラ×ヒノキの苗木では、サワラと似たバンドを示すが、両親と異なったバンドがあらわれたことを報告している。

5. 雑種の生長

1) 材料および方法

林業試験場千代田試験地に集植したヒノキ×サワラの交雑家系について、樹高と胸高直径を7年生時と13年生時の2回調査した。家系別に列状に植栽され、列間が2m、苗間が1.5mである。反復がないので家系間の比較は統計的に行うことはできない。しかし、各家系はランダム配置されているので、群間の比較を行った。

2) 結果と考察

雑種強勢の程度を知るためには、雑種の生長と、その両親の生長とを比較すればよい^{19), 20)}。しかし、ヒノキとサワラの複数の交配親の組合わせで完全に家系を得ることは難しく、本試験地からは、Table. 16~19に示すように、不完全なデータが得られた。各表では、ヒノキ×サワラのヒノキ型および中間型の平均値と雌親ごとの自然受粉家系の平均値を示した。各群の平均値の結果を、樹高についてはFig. 16に、胸高直径についてはFig. 17に示す。7, 13年生の樹高、胸高直径ともに、自然受粉が最大で中間型が最小であり、ヒノキ型が中間であった。平均値間差を検定するために、群を要因とした一元の分類の分散分析を行い、Table. 20に示す。7年生時の胸高直径が有意にならなかっただけで、そのほかは群間差が有意であった。前述したアイソザイムの分析結果からヒノキ型の雑種が、ヒノキである可能性が大きいので、中間型の雑種はヒノキよりも生長が劣ると判断される。

6. 雑種の球果と種子の特徴

1) 材料および方法

1974年1月に、関東林木育種場で交雑を行い、千代田試験地に植栽されたヒノキ×サワラのヒノキ型と中間型の雑種および雌親として用いたヒノキの自然受粉の家系群から球果を採集した。供試した家系数および家系ごとの個体数は、Table. 21に示すように一定でない。各個体から50個の球果を採集し、1球果あたり種子数を求めた。種子に関する諸形質は、得られた種子から500粒を無作為に抽出して用いた。種子の充実率はソフテックスで調べた。

2) 結果と考察

個体ごとに、球果の大きさ、1球果当りの種子数、種子の1000粒重、充実率を求め、さらに家系別平均値を求めて、Table. 21に示した。この家系別平均値から群別平均値を求め、Fig. 18に示した。

球果の大きさと1球果あたりの種子数については、ヒノキの自然受粉家系が大きい値を示し、ヒノキ型と中間型の雑種は小さい値を示した。種子の1,000粒重については、ヒノキの自然受粉家系、ヒノキ型、中間型の雑種の順であった。充実率については、ヒノキの自然受粉家系とヒノキ型の雑

Table 16. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉家系の樹高生長(7年生)
Tree height of hybrids in Hinoki × Sawara and open-pollinated families
in Hinoki (7 yrs. old).

花粉親 Pollen parents 雌親 Mother tree No.	ヒ ノ キ 型 Hinoki type (cm)						S-13
	S-13	S-14	S-15	S-19	S-17	平 均 Means	
H-25	—	—	185 (1)	—	—	185 (1)	—
H-26	216 (5)	—	350 (2)	—	—	283 (7)	236 (2)
H-27	—	278 (12)	—	224 (7)	—	251 (19)	—
H-29	359 (1)	—	—	—	—	359 (1)	219 (1)
H-32	—	—	—	—	217 (7)	217 (7)	—
H-30	—	147 (2)	—	—	—	147 (2)	—
群 平 均 Mean of groups						240 (37)	

Note) ()内: 本数

Number in the parentheses shows number of trees measured.

Table 17. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉家系の樹高生長(13年生)
Tree height of hybrids in Hinoki × Sawara and open-pollinated
families in Hinoki (13 yrs. old).

花粉親 Pollen parents 雌親 Mother tree No.	ヒ ノ キ 型 Hinoki type (cm)						S-13
	S-13	S-14	S-15	S-19	S-17	平 均 Means	
H-25	—	—	481 (1)	—	—	481 (1)	—
H-26	574 (5)	—	758 (2)	—	—	666 (7)	425 (2)
H-27	—	640 (12)	—	538 (7)	—	589 (19)	—
H-29	672 (1)	—	—	—	—	672 (1)	458 (1)
H-32	—	—	—	—	570 (7)	570 (7)	—
H-30	—	417 (2)	—	—	—	417 (2)	—
群 平 均 Mean of groups						566 (37)	

Note) ()内: 本数

Number in the parentheses shows number of trees measured.

中間型 Intermediate type (cm)					雌親の自然受粉 Open-pollination of mother trees (cm)	雌親の平均 Mean height of mother trees (cm)
S-14	S-15	S-19	S-17	平均 Means		
—	265 (1)	—	—	265 (1)	306 (25)	252 (27)
—	245 (1)	—	—	240 (3)	278 (26)	267 (36)
161 (1)	—	230 (1)	—	196 (2)	323 (25)	257 (46)
—	—	—	—	219 (1)	324 (5)	301 (7)
—	—	—	166 (1)	166 (1)	310 (27)	231 (35)
125 (1)	—	—	—	125 (1)	252 (15)	175 (18)
				202 (9)	299 (123)	247 (169)

中間型 Intermediate type (cm)					雌親の自然受粉 Open-pollination of mother trees (cm)	雌親の平均 Mean height of mother trees (cm)
S-14	S-15	S-19	S-17	平均 Means		
—	648 (1)	—	—	648 (1)	697 (12)	609 (14)
—	683 (1)	—	—	554 (3)	650 (12)	634 (22)
484 (1)	—	474 (1)	—	479 (2)	651 (12)	624 (33)
—	—	—	—	458 (1)	589 (3)	573 (5)
—	—	—	477 (1)	477 (1)	663 (12)	570 (20)
328 (1)	—	—	—	328 (1)	611 (9)	452 (12)
				491 (9)	644 (60)	577 (106)

Table 18. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉家系の胸高直径生長(7年生)
Diameter at breast height of hybrids in Hinoki × Sawara and
open-pollinated families in Hinoki (7 yrs. old).

花粉親 Pollen parents 雌親 Mother tree No.	ヒ ノ キ 型 Hinoki type (mm)						S-13
	S-13	S-14	S-15	S-19	S-17	平 均 Means	
H-25	—	—	30 (1)	—	—	30 (1)	—
H-26	34 (5)	—	62 (2)	—	—	48 (7)	41 (2)
H-27	—	46 (12)	—	36 (7)	—	41 (19)	—
H-29	57 (1)	—	—	—	—	57 (1)	28 (1)
H-32	—	—	—	—	32 (7)	32 (7)	—
H-30	—	23 (2)	—	—	—	23 (2)	—
群 平 均 Mean of groups						38 (37)	

Note) ()内: 本数

Number in the parentheses shows number of trees measured.

Table 19. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉家系の胸高直径生長(13年生)
Diameter at breast height of hybrids in Hinoki × Sawara and
open-pollinated families in Hinoki (13 yrs. old).

花粉親 Pollen parents 雌親 Mother tree No.	ヒ ノ キ 型 Hinoki type (mm)						S-13
	S-13	S-14	S-15	S-19	S-17	平 均 Means	
H-25	—	—	71 (1)	—	—	71 (1)	—
H-26	91 (5)	—	40 (2)	—	—	115 (7)	76 (2)
H-27	—	108 (12)	—	92 (7)	—	100 (19)	—
H-29	132 (1)	—	—	—	—	132 (1)	66 (1)
H-32	—	—	—	—	86 (7)	86 (7)	—
H-30	—	53 (2)	—	—	—	53 (2)	—
群 平 均 Mean of groups						93 (37)	

Note) ()内: 本数

Number in the parentheses shows number of trees measured.

中間型 Intermediate type (mm)					雌親の自然受粉 Open-pollination of mother trees (mm)	雌親の平均 Mean diameter at breast height of mother trees (mm)
S-14	S-15	S-19	S-17	平均 Means		
—	43 (1)	—	—	43 (1)	50 (25)	41 (27)
—	44 (1)	—	—	42 (3)	45 (26)	45 (36)
20 (1)	—	29 (1)	—	25 (2)	57 (25)	41 (46)
—	—	—	—	28 (1)	53 (5)	46 (7)
—	—	—	23 (1)	23 (1)	50 (27)	35 (35)
18 (1)	—	—	—	18 (1)	47 (15)	29 (18)
				30 (9)	50 (123)	40 (169)

中間型 Intermediate type (mm)					雌親の自然受粉 Open-pollination of mother trees (mm)	雌親の平均 Mean diameter at breast height of mother trees (mm)
S-14	S-15	S-19	S-17	平均 Means		
—	108 (1)	—	—	108 (1)	121 (12)	100 (14)
—	100 (1)	—	—	88 (3)	110 (12)	104 (22)
67 (1)	—	63 (1)	—	65 (2)	129 (12)	98 (33)
—	—	—	—	66 (1)	120 (3)	106 (5)
—	—	—	53 (1)	53 (1)	125 (12)	88 (20)
39 (1)	—	—	—	39 (1)	126 (9)	72 (12)
				70 (9)	122 (60)	95 (106)

Table 20. 樹高と胸高直径についての分散分析

Analysis of variance on tree height and diameter at breast height.

形 質 Traits	樹 高 Tree height					胸 高 直 径 Dimeter at breast height			
樹 齡 Age	7 年 生 7 yrs. old			13 年 生 13 yrs. old		7 年 生 7 yrs. old		13 年 生 13 yrs. old	
要 因 Factors	df.	M. S.	F	M. S.	F	M. S.	F	M. S.	F
群 間 Groups	2	14323.0000	7.651 *	54343.0000	8.379 *	533.9102	5.052 N S	4931.5000	11.496 *
家 系 Families	5	5344.1992	2.855	11280.5977	1.739	119.5531	1.131	476.0125	1.110
誤 差 Error	10	1872.0999		6485.5000		105.6844		428.9873	
全 体 Total	17								

Note) **: 有意水準5%で差あり

Significant at 5% level

N S: 有意差なし

Non-significance

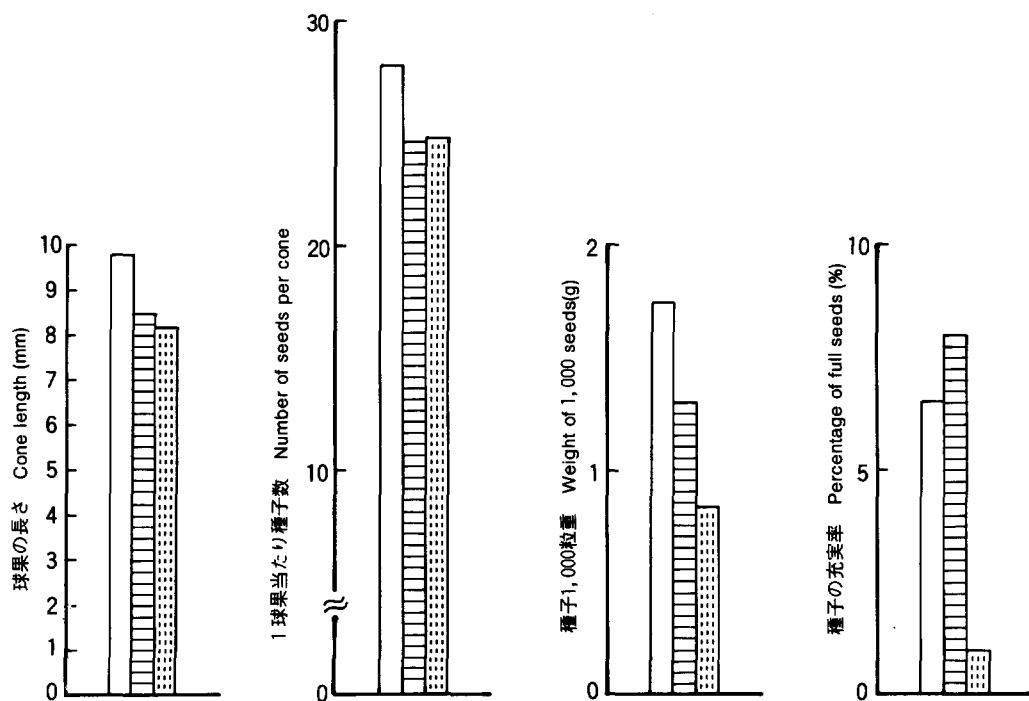


Fig. 18. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキ自然受粉家系群の球果の大きさ、種子の数・重量および充実率

Cone size, number and weight of seeds and percentage of full seeds of hybrids Hinoki × Sawara and open-pollinated families

ヒノキ自然受粉 Open-pollination in Hinoki
 ヒノキ型 Hinoki type
 中間型 Intermediate type
 } ヒノキ×サワラ Hinoki × Sawara

Table 21. ヒノキ×サワラの雑種の球果の大きさと種子の数、重量および充実率
Cone size, numbers and weight of seed and percentage of full seed on hybrid trees.

郡 Groups	交 配 組 合 せ Mating combination	個 体 数 Number of trees	球果の長さ Cone length (mm)	1球果当 りの種子数 Number of seeds per cone	種 子 の 1,000粒重 Weight of 1,000 seeds (g)	種 子 の 充 実 感 Percentage of full seeds (%)
ヒノキの自然受粉 Open-pollination in Hinoki	H-24 op	5	10.5	31.7	1.89	11.2
	H-25 op	5	10.2	29.1	1.78	5.1
	H-32 op	5	10.1	29.0	2.05	5.0
	H-27 op	5	9.0	27.4	1.35	6.4
	H-26 op	4	9.2	24.3	1.87	4.6
	H-30 op	5	9.9	27.3	1.66	6.8
	T ¹⁾ or M ²⁾	29	9.8	28.1	1.76	6.5
ヒノキ型 Hinoki type	H-24 × S-16	2	8.7	27.5	1.47	2.9
	H-24 × S-17	2	9.2	25.9	1.87	1.5
	H-25 × S-13	5	8.5	24.1	1.43	23.7
	H-25 × S-18	13	8.7	29.3	1.20	10.8
	H-32 × S-13	3	8.1	26.6	1.21	6.9
	H-32 × S-15	10	8.1	23.3	1.22	4.3
	H-32 × S-17	6	8.3	25.0	1.18	2.5
	H-32 × S-18	2	8.7	23.0	1.33	4.4
	H-32 × S-19	3	9.3	28.2	1.14	14.9
	H-27 × S-13	3	8.4	28.5	0.92	11.3
	H-27 × S-14	11	8.2	24.8	1.19	4.2
	H-27 × S-19	6	7.6	21.4	0.88	9.6
	H-26 × S-13	5	8.8	22.4	1.55	4.9
	H-26 × S-16	9	8.2	19.6	1.48	8.0
	H-29 × S-19	2	8.3	19.1	1.33	8.5
	H-30 × S-18	16	9.3	23.1	1.46	11.2
	T ¹⁾ op M ²⁾	98	8.5	24.5	1.30	8.1
中間型 Intermediate type	H-25 × S-15	1	9.1	25.0	1.00	1.4
	H-32 × S-17	1	10.4	30.4	0.84	0.8
	H-27 × S-14	1	6.9	32.0	0.38	0.0
	H-27 × S-19	1	8.7	27.0	0.92	1.4
	H-26 × S-13	1	6.8	19.0	0.80	0.8
	H-26 × S-15	1	7.8	19.8	1.06	3.2
	H-29 × S-13	1	7.6	20.2	0.92	0.4
	T ¹⁾ or M ²⁾	7	8.2	24.8	0.846	1.1

Note) 1) T : 合計 Total

2) M : 平均 Mean

Table 22. ヒノキ×サワラの雑種とヒノキの自然受粉家系での球果と種子の形質についての分散分析
 Analysis of variance on traits of cones and seeds of hybrids in Hinoki×Sawara and open-pollinated families in Hinoki.

形 質 Traits		球 果 の 長 さ Cone length		1 球果当りの種子数 Number of seeds per cone	
要 因 Factors	d. f.	M. S.	F	M. S.	F
群 間 Groups	2	4.8824	8.280 * *	30.3132	2.320 N S
誤 差 Error	26	0.589		13.0662	
全 体 Total	28				

Note) * * : 有意水準 1% で差あり
 Significant at 1% level
 N S : 有意差なし
 Non-significance

種が大きな値を示し、中間型の雑種は小さい値であった。

群間差を検定するために家系別平均値をデータとして、分散分析した結果は Table. 22 のとおりである。なお、充実率についてはデータを逆正弦変換して用いた。

群間差は 4 形質中、1 球果あたりの種子数について有意差が認められなかった。

1 球果あたりの種子数、種子の 1,000 粒重、種子の充実率をみると、ヒノキ×サワラの雑種とくに中間型の雑種で低い値になった。自然受粉のため花粉親が不明であるが、種子の充実率からみて、中間型の雑種の種子稔性は低いと判定される。

Ⅳ ま と め

ヒノキとサワラの優良な特性を併せもつ雑種を育成するために種間交雑における種子の稔性、雑種の識別と生長について調べた。

ヒノキ×サワラの交雑で得られた苗木の葉の外部形態の観察で、ヒノキと同じヒノキ型とサワラに近似した中間型の二種の雑種が認められた。種間交雑の稔性は低く、中間型の得苗率は約 0.18% で、雌親のヒノキの自然受粉種子に比較して 50 分の 1 以下であった。

稚苗の初生葉の展開段数を調べた結果、ヒノキ型の雑種はヒノキと同様の段数であり、中間型の雑種は、サワラに近い段数であった。成葉の形態について、上下葉と側葉の長さや幅等を測定し、主成分分析を行った結果、中間型の雑種は、側葉の長さが両樹種の中間の性質を示した。側葉における気孔の分布比率においても、中間型の雑種はヒノキとサワラの中間の性質を示した。

酸性フォスファターゼ・アイソザイム分析の結果では、ヒノキ型の雑種はヒノキと判定され、中間型の雑種は、ヒノキとサワラのそれぞれが独自に保有するバンドを併せもち、真正雑種と判定さ

種子の 1,000粒重 Weight of 1,000 seed		種子の充実率 Percentage of full seed	
M. S.	F	M. S.	F
1.3824	24.358* *	210.7653	11.747* *
0.567		17.9421	

れた。サワラ×ヒノキの交雑で得られた苗木は、すべてサワラに近似しているが、パーオキシターゼ・アイソザイムで雑種であることが確認された。交雑稔性が高く、得られた個体がすべて雑種であるサワラ×ヒノキの交雑は、効率的に雑種を育成するために活用すべきである。

ヒノキ×サワラの確実な雑種である中間型の雑種について、生長と種子の稔性を調べた。生長はヒノキよりも劣った。球果が小さく種子の稔性も低かったが、この原因については前田が報告した3倍体雑種の可能性がある。ただし、2倍体の雑種は、著者³⁾や大黒²⁷⁾も確認しており、雑種F₂世代の利用は今後の課題である。

なお、本研究の中で得られたヒノキとサワラの雑種の所在地を付表にして示す。

謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、元林業試験場造林部長岩川盈夫氏、同戸田良吉博士、元玉川大学教授石崎厚美博士、林業試験場造林部長勝田 柁博士からご親切なご指導をたまわり、また終始ご指導とご援助をいただいた林業試験場造林部遺伝育種第1研究室長明石孝輝博士に心から御礼申し上げます。

さらに、この研究の実施にあたり、ご援助いただいた林業試験場造林部遺伝育種第4研究室長山本千秋氏、アイソザイム分析について懇切なご指導とご援助をいただいた同研究室白石 進博士に感謝申し上げます。またこの研究について援助いただいた筑波大学農林学系津村義彦氏、北海道林業試験場黒丸亮博士、元林業試験場造林部育種第2研究室故沢崎銀太郎氏、日本大学農獣医学部教授片岡寛純博士および助教授本江一郎氏に厚くお礼を申し上げます。

また、ヒノキとサワラの人工交雑の作業、交雑材料の育成、材料の採取等にご援助をいただいた関東林木育種場、東京営林局平塚営林署、林業試験場調査部実験林室、千代田試験地、浅川実験林

の各位に深甚な謝意を表す次第である。

引用文献

- 1) 福原檜勝：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とその変異，日林講（75回），212～215，（1964）
- 2) ———・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。日林関東支論（17回），17，（1965）。
- 3) FUKUHARA, N. : Meiotic observations in the pollen mother cell of interspecific hybrid between *Chamaecyparis obtusa* and *C. pisifera*, J. Jap. For. Soc., **60**, 12, 437～441, (1978)
- 4) 福原檜勝・山本千秋：ヒノキとサワラの種間雑種の葉の形態。日林関東支講，**31**, 17, (1979)
- 5) 堀岡邦典・野原勇太・星沢正男：ヒノキ，サワラ交雑の基礎的研究。第1報 針葉に依るヒノキ，サワラの識別に関する研究。日林誌，**25**, 10, 3～10, (1943)。
- 6) 倉田 悟ら編：原色日本林業樹木図鑑，**1**, 275pp. 地球出版。（1967）。
- 7) 前田武彦・宮島 寛：ヒノキ初生葉の展開段数における変動に関する調査。日林九支研論集，**21**, 1～2, (1967)。
- 8) ———・———：ヒノキ精英樹の細胞学的研究，ヒノキとサワラの種間雑種と考えられる富士2号の細胞学的観察。日林誌，**59**, 213～220 (1977)。
- 9) ———：富士2号自然交配苗の細胞学的研究。日林関東支講（31回），18, (1979)
- 10) ———：林木の交配，1. 富士2号の自然交配による苗木の細胞学的調査。1978年試験成績書，農業技術研究所放射線育種場，91～102, (1979)。
- 11) MAETA, T. : Effect of gamma-ray irradiation on hybridization between *Chamaecyparis obtusa* Endl. and *C. pisifera* Endl. Gamma-field symposia, 18. Crop Improvement by Induced Mutation, 119～139, (1979)。
- 12) 松田 清・宮島安貞・宮崎 寛：富士2号の倍数性と雑種性。日林講（88回），187～189, (1977)。
- 13) 無名：交雑育種（ヒノキ）。関西林育四国支場年報（昭47年度），26～27, (1973)。
- 14) 野原勇太：林木の一，二遺伝試験に就いて（予報）3. 御料林，**185**, 2～10, (1943)。
- 15) ———：同上（予報）4. 同上，186, 35～42, (1943)
- 16) ———：同上（予報）5. 同上，187, 9～20, (1944)。
- 17) ———：同上（予報），6. 同上，188, 27～34, (1944)。
- 18) ———・陳野好之：林木の遺伝に関する研究（第3報），ヒノキ，サワラの第2世代雑種に表現せる稚苗の遺伝性について，日林誌，**33**, 3, 85～87, (1951)。
- 19) ———：二，三針葉樹の交配試験要報。山林，**964**, 10～19, (1964)。
- 20) ———：50年経ってやっと立証できたサワラ，ヒノキの人工交配の思い出。林木の育種，**132**, 29～32, (1984)。
- 21) 大黒 正・岡村正則・中平幸助：ヒノキ類の交雑育種。関西林育四国支場年報（昭43年度），（1969）。
- 22) ———・———・———：同上。同上。（10周年記念号），60～61, (1969)。
- 23) ———・———：ヒノキとサワラの一世代雑種。昭和47年度林木育種研究発表会講演集，42～44, (1973)。
- 24) ———・———：ヒノキ属の交雑育種。関西育四国支場年報（昭52年度），（1978）。
- 25) ———・———：同上。同上（昭53年度），67～69, (1979)。
- 26) ———・———：同上。同上（昭54年度），59, (1980)。

- 27) ———・—————：ヒノキ属の種間雑種（ヒノキ×サワラおよびローソンヒノキ）の形態および細胞学的研究. 林木育種場研究報告, **5**, 59~87, (1987).
- 28) 岡村正則・大黒 正・入交幸三：パーオキシターゼ・アイソザイムによるヒノキとサワラの一代雑種の識別. 昭和50年度林木育種研究発表会講演集, 58~62, (1976).
- 29) 斉藤英吉：瀬戸川国有林の天然更新に就いて, 造林技術研究 (長野営林局), 45~51, (1951).
- 30) 佐藤敬二：日本のヒノキ (上). 全国林業改良普及会, 東京, 275pp. (1971).
- 31) 四手井綱英・赤井龍男・斉藤秀樹・河原輝彦：ヒノキ林, その生態と天然更新. 地球社, 東京, 375pp., (1974).
- 32) 白石 進：上中久子：ヒノキ針葉テストターゼおよび酸性フォスファターゼの基質特異性. 日林九支研論集, **34**, 97~98, (1981).
- 33) ———・—————：ヒノキ針葉パーオキシターゼ・アイソザイムの遺伝. 94回日林論, 287~288, (1983).
- 34) ———・—————：ヒノキとサワラの識別マーカとして酸性フォスファターゼ・アイソザイム. 96回日林論, 287, (1985).
- 35) ———・—————：西村慶二：ヒノキ針葉および花粉のアスパラギン酸アミノ転移酵素アイソザイムの遺伝. 日林誌, **68**, 12, 499~504, (1986).
- 36) 鈴木真人：北見にある「サワラ」の人工林について. 北見林友, 2~5, (1973).
- 37) 田島正啓・宮島 寛・宮島安貞：ヒノキパーオキシターゼ・アイソザイムの遺伝子分析. 日林誌, **59**, 5, 173~177, (1977).
- 38) ———：ヒノキの自殖に関する遺伝学的研究. 九大演報, **51**, 39~124, (1979).
- 39) 山本千秋・福原裕勝：初生葉の展開段数によるヒノキとサワラの種間雑種の識別. 日林講(84回), 67, (1973).
- 40) ———・—————：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. 林試研報, **311**, 65~92, (1980).

Fertility in Interspecific Crossing between Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) and Sawara (*C. pisifera* Endl.) and Identification of the Hybrids

Narakatsu FUKUHARA

Summary

For the object to make the hybrids with superior traits both of Hinoki and Sawara, the fertility of seeds in interspecific crossing and the identification and growth of the hybrids were studied. There were the same type as Hinoki and the intermediate type similar to Sawara in seedlings obtained from interspecific crossing, Hinoki $\times$ Sawara. Seedlings of Hinoki type in Hinoki $\times$ Sawara were identified as Hinoki from results of isozyme analysis of acid phosphatase. These hybrids seemed to be induced by apomixis in Hinoki. Hybrids of intermediate type were clearly identified as hybrids between Hinoki and Sawara by isozyme analysis of acid phosphate.

As the characteristics of the hybrids of Hinoki type, (1) number of primary leaves are similar to Sawara, and (2) length of lateral leaves and ratio of distribution area of stomata to area of lateral leaves are intermediate between both species.

All of the seedlings obtained from interspecific crossing, Sawara $\times$ Hinoki was the same type as Sawara in appearances and identified as hybrids from results of isozyme analysis of peroxidase. Growth of the hybrids of intermediate type in Hinoki $\times$ Sawara was inferior to that of Hinoki open-pollinated families at 7 and 13-year old. Cone size of the hybrids of intermediate type was smaller and fertility of seeds was also lower than those of Hinoki open-pollinated families.

付表 ヒノキとサワラの雑種の所在地

Annexed table. Localities of interspecific hybrids between Hinoki and Sawara.

交 雑 組 合 せ Cross combination	個 体 数 Numbers of trees	交 雑 年 Year of crossing	植 栽 年 Year of planting	植 栽 地 Localities	備 考 Remarks
H-24×S-16	1	1971	1977	千代田試験地 Chiyoda Experimental site, For. For. Prod Res. Inst.	ヒノキ型
H-24×S-19	1	"	"		"
H-25×S-14	1	"	"		"
H-25×S-15	1	"	"		中間型
H-25×S-16	1	"	"		ヒノキ型
H-25×S-13	1	"	"		"
H-25×S-18	6	"	"		"
H-32×S-13	1	"	"		"
H-32×S-15	5	"	"		"
H-32×S-17	2	"	"		中間型1個体 ¹⁾
H-32×S-18	1	"	"		ヒノキ型
H-32×S-19	1	"	"		"
H-27×S-14	4	"	"		中間型1個体 ¹⁾
H-27×S-15	1	"	"		ヒノキ型
H-27×S-17	1	"	"		"
H-27×S-19	4	"	"		中間型1個体 ¹⁾
H-26×S-13	1	"	"		"
H-26×S-15	1	"	"		"
H-26×S-17	3	"	"		ヒノキ型
H-29×S-13	1	"	"		中間型
H-29×S-18	1	"	"		"
H-29×S-19	1	"	"		ヒノキ型
H-30×S-14	2	"	"		中間型1個体 ¹⁾
H-30×S-18	15	1971, 1972	"	浅川実験林 Asakawa Experimental Forest, For. For. Prod. Res. Inst.	ヒノキ型
H-30×S-19	5	1972	"		"
H-31×S-13	1	"	"		"
H-26×S-18	5	"	"		"
H-26×S-19	1	"	"		"
S-24×H-16	4	1968	1973		サワラ型
S-9×H-17	3	"	"		"
S-9×H-16	2	"	"		"
S-10×H-18	1	"	"		"
S-9×H-16	1	"	"		"
S-24×H-17	1	"	"		"
S-8×H-8	1	"	"		"
S-2×H-8	9	"	"		"
H-33×S-8	1	"	"		中間型
H-17×S-10	1	"	"		ヒノキ型
H-16×S-10	4	"	"		"
H-7×S-8	1	"	"		"
H-16×S-9	5	"	"		"
H-16×S-10	1	"	"		"

H-34×S-6	1	1963	1970	平塚営林署大平国有林 48林班ろ小班 Oodaira National Forest, Hiratsuka District Forestry Office.	ヒノキ型
H-14×S-7	3	1965	"		"
H-20×S-8	1	"	"		"
H-35×S-8	1	"	"		"
H-34×S-8	11	1966	"		"
S-25×H-8	1	1964	"		サワラ型
S-26×H-8	6	"	"		"
S-8×H-19	3	1965	"		"
H-3×S1	1	1961	1969	平塚営林署城山国有林 8林班ろ小班 Shiroyama National Forest, Hiratsuka District Forestry Office.	ヒノキ型
H-6×S2	1	"	"		"
H-34×S4	2	1963	"		"
S-1×H12	3	1962	"		"
S-3×H5	1	1961	"		"
S-6×H16	2	1962	"		"
S-7×H16	4	"	"		"
S-7×H8	6	"	"		"
S-7×H12	4	"	"		"
S-11×H2	6	1963	"		"

Note) 1) 中間型以外の個体はすべてヒノキ型である。

All of trees except intermediate type trees show Hinoki type.