

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

大 黒 正⁽¹⁾・岡 村 政 則⁽²⁾

Tadashi OHGURO and Masanori OKAMURA: Morphological and Cytological Studies
on Hybridization Among *Chamaecyparis obtusa* SIEB. et Zucc., *C. pisifera*
SIEB. et Zucc. and *C. lawsoniana* PARL.

要旨：ヒノキ属のヒノキ、サワラおよびローソンヒノキの3種を交配母樹に用いてヒノキ×サワラ、ヒノキ×ローソンヒノキの相互交雑を行った。その結果、サワラ×ヒノキの組合せを除いて雑種苗を得ることができた。雑種苗の外部形態は両親の中間型を示すが、生育するにしたがって識別はできにくくなってきた。また、針葉形態が両親よりもやや大型化する個体も出現した。体細胞染色体数を調べた結果、雑種個体には2倍体と3倍体があった。さらに、交配母樹のもつ付随染色体を標識染色体として雑種を調べると、2倍体雑種は両親に由来する染色体を1組ずつもっていることが認められ、3倍体雑種は雌親に由来する染色体1組と、雄親に由来する染色体2組をもっていることから、雄親染色体の倍加による3倍体であることを認めた。また、還元分裂の第一分裂中期における染色体対合型から、ヒノキとサワラの間には8個の相同もしくは部分相同染色体と、各3個の非相同染色体があり、ヒノキとローソンヒノキの間には9個の相同もしくは部分相同染色体と、各2個の非相同染色体があることがわかった。2倍体雑種には二価染色体のほかに一価染色体がみられ、また、3倍体雑種には三価、二価および一価染色体がみられた。さらに、核板に遅滞する染色体等によって第一および第二分裂を通して両親への染色体配分は不均等となることが多かった。雑種の花粉は外見的には充実粒が多かったが正常な染色体数を有するものは少ないと推察された。

I はじめに

我が国に分布するヒノキ属の種は少なく、変種等を除けばヒノキとサワラの2種である。特にヒノキは材質が優れていることから優良造林用樹種として広く造林され、その面積も年々増加している。国立林木育種場が設置されてからは、林木育種事業の中でヒノキおよびサワラについても精英樹選抜が行われてきた。関西林木育種場四国支場においてもヒノキ精英樹105個体が選抜され、次代検定林あるいはクローン集植所等で特性の調査が継続されている。

著者らはこれらと並行してヒノキ属の種間雑種の形態および細胞学的特性を比較しようと考え、雑種の育成を図ってきた。このような研究は既に堀岡・野原・星澤²⁾によって行われ、ヒノキとサワラの交雑によって雑種第一代(F_1)が多数得られており、国立林業試験場浅川実験林等に植栽されている。これら雑種の外部形態は母樹であるヒノキに類似したものと、ヒノキとサワラの間間型の2つの型があると報告されている²⁾。

当场においても1965年頃より種間交雑を実施し、ヒノキ×サワラ、ヒノキ×ローソンヒノキの交配組合せで F_1 を育成することができ、集植所等に植栽してある。これら F_1 の外部形態は堀岡²⁾らの調査結果と同様にヒノキ×サワラの F_1 はヒノキ型と両親の間間型に分かれて出現した。また、ヒノキ×ローソンヒノキの F_1 でも、ヒノキ型と両親の間間型の2つの型に出現することを認めた。

これら F_1 個体の細胞学的特性を明らかにするために、着花結実をするようになってから、外部形態の異なった集団より数個体を抽出して、還元分裂における染色体の行動を観察した。その結果、母樹と同じ外部形態を示したヒノキ型個体はヒノキとまったく同じ還元分裂であった。また、両親の間間型の個体についてはさらに詳細な観察を繰り返したところ、2倍体雑種の他に3倍体雑種も出現することを認めた。このことは体細胞染色体の調査結果とも一致し、細胞学的にも興味深く思われたのでとりまとめることとした。なお、 F_1 の幼齢時における外部形態調査で、ヒノキ×サワラの F_1 は交配母樹のヒノキに類似したヒノキ型とサワラとの間間型を示す2つの型に分類できた⁷⁾。このうちのヒノキ型の個体は外部形態やパーオキシターゼ・アイソザイムによる調査⁶⁾および細胞学的観察によっても、交配母樹のヒノキと識別できなかったことから、これらについては今後の調査・研究を待つこととし、本報は中間型の個体についての調査結果である。

本研究を実施するにあたっては、元林業試験場四国支場調査室長 中平幸助農学博士には、染色体の観察方法から、とりまとめにいたるまで懇切丁寧な指導を頂き深く感謝申し上げる。また、この研究を進めるにあたって、関西林木育種場四国支場の時信憲義元場長、大谷明巳前場長、上田利文場長をはじめ、前育種研究室長 小笠原健二農学博士には、ご配慮とご支援を頂き厚くお礼申し上げる。

特に、半田孝俊育種研究室長には、研究のとりまとめにあたり多大のご指導とご尽力を頂き心から感謝申し上げます。

II 材料および方法

種間雑種の育成に用いた交配母樹は、ヒノキ精英樹クローン越智1号、関東林木育種場長野事業場より移入したサワラ1クローンおよび京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地より移入したローソンヒノキ1クローンで、関西林木育種場四国支場（高知県香美郡土佐山田町）構内に植栽されている。

Table 1. 交配組合せと交配結果
Hybridization among *C. obtusa*, *C. pisifera* and *C. lawsoniana*

交 配 組 合 せ Cross combination	交配年月 Date of pollination	雌 花 数 No. of female flowers	球 果 数 No. of matured cones	結果率 Cone yield (%)	1g当種子 数 No. of seeds per gram	まき付数 No. of seeds sown	発 芽 数 No. of seeds germi- nated	発 芽 率 Germina- tion percent- age (%)
<i>C. hamaecyparis</i> <i>obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	1970. 4	287	200	70	675	6010	[106]* 11	[1.76]* 0.18
<i>C. pisifera</i> × <i>C. obtusa</i>	1977. 4	301	197	65	1629	3090	4	0.13
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i>	1979. 4	2293	955	42	564	17730	60	0.34
<i>C. obtusa</i> × <i>C. lawsoniana</i>	1975. 4	194	118	61	554	6450	3	0.05

* Number of *C. obtusa* type seedlings

交配時の母樹の樹齢は5～14年生で、交配前年に花芽分化促進のためにジベレリン処理をした。

人工交配は1970年にヒノキ×サワラ、1975年にヒノキ×ローソンヒノキ、1977年にサワラ×ヒノキ、1979年にローソンヒノキ×ヒノキの4組合せを行った（Table 1）。

交配用の花粉は、開花予定の1週間程度前にグラシン紙製の袋をかけたのち、枝を切りとって室内で水挿しをして、成熟し開葯したものから採取した。受粉は、雌花の開花最盛期に花粉銃を用いて2回行った。約40日後に交配袋を除去した。

交配結果を Table 1 に示した。球果の採取は交配年の秋に行い、自然乾燥後脱粒した種子を冷蔵庫に貯蔵した。翌年4月に露地の播種床に全量をまき付け、発芽数を調べた。なお、サワラ×ヒノキの F₁ は、養苗途中で立枯病で枯死したので調査を行うことができなかった。

外部形態および細胞学的観察は供試木を選んで行った。F₁ の中には 2x（2倍体 2n=22）と 3x（3倍体 2n=33）が存在していたことから（後述）、供試木はヒノキ×サワラの F₁ からは 2x 3個体、3x 4個体、ローソンヒノキ×ヒノキの F₁ からは 2x 41個体、3x 10個体の中から、いずれも3個体ずつ無作為に選んだ。また、ヒノキ×ローソンヒノキの F₁ の3個体はいずれも 3x であったのでこれを供試木とした。さらに、交配母樹をクローン化したものについても同時に調査を行った。

各供試木は関西林木育種場四国支場構内のクローン集植所および育種樹木園に植栽されており、交配母樹と同一クローンのヒノキ（つぎ木）、サワラ（さし木）、ローソンヒノキ（つぎ木）で樹齢はいずれも13年生である。また、ヒノキ×サワラの F₁ は15年生、ローソンヒノキ×ヒノキの F₁ は6年生、ヒノキ×ローソンヒノキの F₁ は10年生である（Table 2）。これらの供試木には花芽分化促進のためのジベレリン処理を行い着花を促した。

外部形態の調査は、樹型、樹皮、針葉形態および気孔帯について観察を行った。また、生長については樹高と胸高直径を測定した。さらに、球果の調査は1985年秋に採取したものについて行ったが、球果の大きさが着生量によって極端に異なっていたので、各供試木の中から自然受粉球果の着生量が比較的似かよった1個体を選び、球果60個について軸方向の高さと、軸に直角方向の直径をノギスで測定して形状比（高さ／直径）を求め、各形質毎に5%水準で有意差を検定した。

花粉の稔性の調査は1986年4月に行ったが、花粉飛散前の寒害によってすべての供試木からは花粉が採

Table 2. 供試材料一覧表
Somatic chromosome number, age, height and diameter of studied trees

種 Classification	別	染色体数 Somatic chromosome number	供試本数 No. of Saplings	樹 齢 Tree age (年)	平均樹高 Average height (m)	平均胸高直径 Average diameter (cm)
<i>C. obtusa</i>		2n=22	1	13	6.85	16.2
<i>C. pisifera</i>		2n=22	1	13	6.30	14.4
<i>C. lawsoniana</i>		2n=22	1	13	5.70	8.6
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -2x	2n=22	3	15	7.15	12.9
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -3x	2n=33	3	15	7.35	12.2
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i>	F ₁ -2x	2n=22	3	6	2.50	1.7
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i>	F ₁ -3x	2n=33	3	6	2.55	1.9
<i>C. obtusa</i> × <i>C. lawsoniana</i>	F ₁ -3x	2n=33	3	10	6.40	9.4

取できず、被害のより少ない1個体を選んで採取した。調査は酢酸カーミンで染色し稔性と粒径について行った。稔性は花粉粒300個を対象に充実粒と未成熟粒を判定し、形態的稔性を求めた。花粉粒径は150個を測定し、5%水準で有意差を検定した。

細胞学的観察のうち、体細胞染色体については各供試木のさし木苗を養成して、その根端を採取し、5℃の0.002M 8-オキシキノリン溶液で24時間前処理後、ファーマー氏液で固定、1規定の塩酸で解離し、無色塩基性フクシンで染色、おしつぶし法によって観察した。

花粉母細胞分裂における還元分裂の観察は、分裂中の雄花をファーマー氏液で固定し、70%アルコールに貯蔵したものを適宜取り出して酢酸カーミンで染色、なすりつけ法により数年にわたり観察した。

体細胞分裂および還元分裂の観察は、各供試木について行ったが、同じ組合せの供試木間には問題となる差異は認められなかったので、とりまとめにあたっては、母樹、組合せごとの2倍体雑種（以下F₁-2xと記す）および3倍体雑種（以下F₁-3xと記す）にまとめて分析を行った。

Ⅲ 外部形態の観察結果

1. 外部形態の特徴

F₁の樹型は、いずれも両親の中間型を示したが、ヒノキ×サワラのF₁は枝が下垂する特徴があった。また、ローソンヒノキ×ヒノキのF₁およびヒノキ×ローソンヒノキのF₁は枝が小さく、枝張りが狭い傾向がみられる等、徐々に特性が現れてきてはいるが、まだその特性を見極めるには至っていない(Photo. 1)。

樹皮の形態は幼齢時には、ヒノキ×サワラのF₁はサワラに、ローソンヒノキ×ヒノキのF₁は両親の中間型に、ヒノキ×ローソンヒノキのF₁はローソンヒノキにそれぞれ類似した形態を呈していた。その後生長するにしたがって樹皮形態が変化しつつあるが、F₁-3xの樹皮はF₁-2xに比べて裂溝が深く、裂片も大きい傾向が見られる(Photo. 2)。

針葉の形態および気孔帯の分布は、幼齢時には初生葉とともに両親の中間型を呈すると報告したが⁷²⁸⁾、5年生頃から針葉形態が大型化する等の変化が生じ、樹齢を重ねるごとにヒノキに近くなっている。また、気孔帯の分布は樹齢を重ねるごとに分布面積が狭くなる傾向がみられている。

両親とF₁の針葉形態および葉の裏側の気孔帯の分布はPhoto. 3のとおりで、針葉形態はF₁-2xよ

りも F_1-3x が大きく、また、 F_1-2x も両親よりは大きい傾向がみられた。しかし、針葉形態や気孔帯の分布だけでは F_1 を識別することはできにくくなっている。

生長状態は Table 2 に示すように、旺盛な生育をしているが、樹齢が異なること等から比較は困難である。そのためクローン化して不寒冬山試験林（高知県香美郡土佐山田町檜谷）に植栽して観察中である。

2. 花粉の稔性および球果と種子形態の特徴

花粉の稔性および粒径を調査した結果は Table 3 のとおりである。

F_1 の充実花粉は94～97%であり、交配母樹のそれは98～99%で F_1 は幾分低くなっている。しかし、これは外見上の充実花粉であって、後述するように、 F_1 の花粉には正しい染色体数を有するものは少ないと推察され、実際の稔性はきわめて低いと考えられる。

交配母樹の花粉粒径の平均は、ヒノキが29.6 μ 、サワラが31.4 μ 、ローソンヒノキが32.5 μ であった。ヒノキ×サワラの F_1-2x のそれは31.5 μ で雄親の花粉とほぼ同じであり、 F_1-3x は35.4 μ と両親よりも大きかった。 F_1 とその交配母樹で有意差検定を行った結果、サワラと F_1-2x 間を除き有意差が認められた。また、ローソンヒノキ×ヒノキの F_1-2x は、32.0 μ で雌親とほぼ同じであり、 F_1-3x は34.7 μ 、ヒノキ×ローソンヒノキの F_1-3x は35.8 μ と両親よりも大きかった。有意差検定の結果、ローソンヒノキとローソンヒノキ×ヒノキの F_1-2x 間を除き有意差が認められた。 F_1-3x 花粉はいずれも両親および F_1-2x よりも大きく倍数体花粉の特性がでていた (Photo. 4)。

花粉粒径の頻度分布は Fig. 1, 2 のとおりで、 F_1 は両親よりも分布が広く、 F_1-3x は F_1-2x と比較して分布が広く不揃いであった。このことは後述する還元分裂の第一、第二分裂後期における染色体の不均衡配分と、倍数化によるためと考えられる。

球果の大きさと形状比は Table 4 のとおりである。球果の大きさの平均は、ヒノキ×サワラの F_1-2x の球果が高さ6.7mm、直径6.6mm、同 F_1-3x は高さ7.8mm、直径7.5mmで3倍体が大きかった。雌親のヒノキは、高さ9.6mm、直径10.0mm、雄親のサワラは高さ6.3mm、直径6.2mmであり、 F_1 の大きさは両親のほぼ中間であった。また、形状比はヒノキ0.96、サワラは1.02、 F_1 は1.02～1.04でサワラに近かった。 F_1 とその交配母樹で有意差検定を行ったところ、球果の高さ、直径ともに、すべての種の間

Table 3. 花粉の稔性と大きさ
Pollen fertility and diameter of grain

種 別 Classification	花 粉 の 稔 性 Morphological pollen fertility			花 粉 の 大 き さ Pollen diameter				
	観察数 No. of pollen observ- ed	充実花粉 Matured (%)	未成熟 花 粉 Immatur- ed (%)	測定数 No. of pollen meas- ured	平 均 Mean (μ)	最小 Min. (μ)	最大 Max. (μ)	変動 係数 C. V.
<i>C. obtusa</i>	300	297(99.0)	3(1.0)	150	29.6 $\pm$ 1.8	25.3	34.8	0.061
<i>C. pisifera</i>	300	297(99.0)	3(1.0)	150	31.4 $\pm$ 1.7	26.9	36.3	0.054
<i>C. lawsoniana</i>	300	295(98.3)	5(1.7)	150	32.5 $\pm$ 2.2	26.9	36.3	0.068
<i>C. obtusa</i> $\times$ <i>C. pisifera</i> F_1-2x	300	287(95.7)	13(4.3)	150	31.5 $\pm$ 2.8	23.7	37.9	0.089
<i>C. obtusa</i> $\times$ <i>C. pisifera</i> F_1-3x	300	283(94.3)	17(5.7)	150	35.4 $\pm$ 2.8	28.4	44.2	0.079
<i>C. lawsoniana</i> $\times$ <i>C. obtusa</i> F_1-2x	300	288(96.0)	12(4.0)	150	32.0 $\pm$ 2.9	23.7	37.9	0.091
<i>C. lawsoniana</i> $\times$ <i>C. obtusa</i> F_1-3x	300	287(95.7)	13(4.3)	150	34.7 $\pm$ 2.9	26.9	44.2	0.084
<i>C. obtusa</i> $\times$ <i>C. lawsoniana</i> F_1-3x	300	291(97.0)	9(3.0)	150	35.8 $\pm$ 2.8	26.9	44.2	0.078

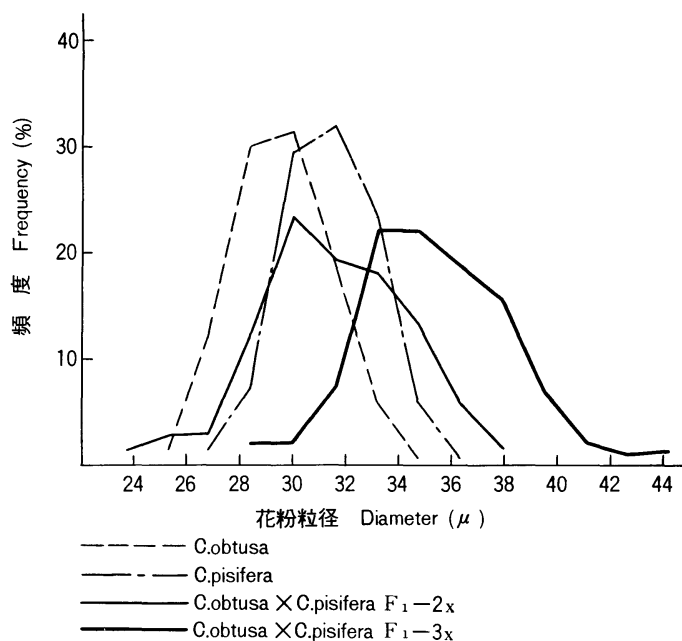


Fig. 1. ヒノキ×サワラ F₁-2_x, 3_x の花粉粒径の分布
Distribution of pollen grain diameter

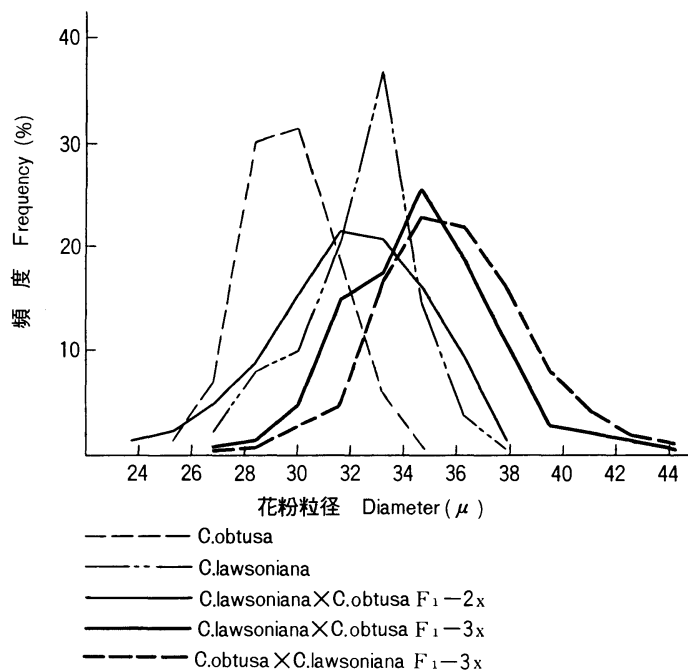


Fig. 2. ローソンヒノキ×ヒノキ F₁-2_x, 3_x, ヒノキ×ローソンヒノキ F₁-3_x の花粉粒径の分布
Distribution of pollen grain diameter

Table 4. 球果の大きさと形状比
Cone height and diameter

種 別 Classification	測定数 No. of cones measured	球 果 高 Cone height		球 果 直 径 Cone diameter		球果形状比 Ratio of height to diameter
		平 均 Mean (mm)	変 動 係 数 C. V.	平 均 Mean (mm)	変 動 係 数 C. V.	高さ／直径 Height/ Diameter
<i>C. obtusa</i>	60	9.6±0.5	0.052	10.0±0.5	0.050	0.96
<i>C. pisifera</i>	60	6.3±0.4	0.063	6.2±0.3	0.048	1.02
<i>C. lawsoniana</i>	60	8.3±0.5	0.060	9.0±0.4	0.044	0.92
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i> F ₁ -2x	60	6.7±0.6	0.090	6.6±0.4	0.061	1.02
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i> F ₁ -3x	60	7.8±0.7	0.090	7.5±0.6	0.080	1.04
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F ₁ -2x	60	9.8±0.6	0.061	10.4±0.5	0.048	0.94
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F ₁ -3x	60	10.7±0.8	0.075	11.2±0.8	0.071	0.96
<i>C. obtusa</i> × <i>C. lawsoniana</i> F ₁ -3x	60	9.8±0.7	0.071	10.0±0.8	0.080	0.98

に有意差が認められた。また、形状比ではヒノキとサワラ、ヒノキと F₁-2x, F₁-3x の間に有意差が認められた。

ローソンヒノキの球果の大きさは、高さ 8.3mm, 直径 9.0mm, ローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x は高さ 9.8mm, 直径 10.4mm であり、同 F₁-3x は高さ 10.7mm, 直径 11.2mm であった。ヒノキ×ローソンヒノキの F₁-3x は高さ 9.8mm, 直径 10.0mm であり、F₁ は両親の球果よりも大きかった。これら F₁ の形状比は 0.94~0.98 であり、ローソンヒノキの 0.92 よりも高く、ヒノキの 0.96 に近い形状比を示した。有意差検定の結果、球果の高さではヒノキとローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x, ヒノキ×ローソンヒノキの F₁-3x 間およびローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x とヒノキ×ローソンヒノキの F₁-3x 間を除き有意差が認められた。また、直径ではヒノキとヒノキ×ローソンヒノキの F₁-3x 間を除き有意差が認められた。さらに、形状比ではヒノキとローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x, 同 F₁-3x 間, ローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x と同 F₁-3x 間およびローソンヒノキとローソンヒノキ×ヒノキの F₁-2x 間を除き有意差が認められた。

球果の形はヒノキ×サワラの F₁ は 2x, 3x とともに表面に凹凸があり、サワラの球果を大きくした形をしている (Photo. 5)。また、ローソンヒノキ×ヒノキおよびヒノキ×ローソンヒノキの F₁ の球果は、2x, 3x とともにヒノキの球果にわずかの凹凸があるような形であった。球果が熟するとヒノキよりも早く亀裂を生じ、種子の翼の一部が表面に出るローソンヒノキに似た特徴があった。

種子の形はヒノキ×サワラの F₁ はヒノキよりも翼が広く、サワラを大きくしたような形をしており、色はサワラよりも濃く、ヒノキよりはやや淡い茶褐色であった (Photo. 6)。ローソンヒノキ×ヒノキおよびヒノキ×ローソンヒノキの F₁ の種子は 2x, 3x とともにローソンヒノキに近い形状であったが、色はローソンヒノキよりもやや濃い傾向があった。

IV 細胞学的観察結果

1. 体細胞染色体

両親と F₁ について体細胞分裂中期における染色体を、黒木³⁾ が報告している方法によって、染色体の

大きい順に配列したところ (Photo. 7), ヒノキおよびサワラは染色体数 $2n=22$ で, ヒノキには第6染色体, サワラには第8染色体に付随染色体1対が観察され, 既報³⁾と一致した。また, ローソンヒノキも $2n=22$ であったが, 第6染色体と第7染色体に各1対の付随染色体が認められた。

黒木³⁾によるとヒノキの付随染色体は, ヒノキ属の他種の付随染色体と形態に差異があると報告されている。また, 前田・宮島⁴⁾は, この付随染色体はサワラの付随染色体と容易に区別できると報告しているように, 本観察でもヒノキの付随染色体はサワラおよびローソンヒノキの付随染色体とは識別することができた。

そこで, F_1 の観察にあたっては, これらの付随染色体を標識染色体として, 便宜的にヒノキを第6染色体に, サワラは第8染色体の位置に配列した。また, ローソンヒノキは第6および第7染色体の位置に配列したが, 第6染色体の位置はヒノキの付随染色体と重なることからヒノキ, ローソンヒノキの順序に配列して観察を行った。

これによると, ヒノキ×サワラの F_1-2x は $2n=22$ で, ヒノキとサワラの各1個をもっていることが認められた。また, F_1-3x は $2n=33$ が観察され, ヒノキの1個とサワラの2個が認められた。さらに, ローソンヒノキ×ヒノキの F_1-2x は $2n=22$ で, ローソンヒノキ2個とヒノキ1個を有しており, F_1-3x は $2n=33$ で, ローソンヒノキ2個とヒノキ2個を合わせて4個が観察された。さらにまた, ヒノキ×ローソンヒノキの F_1-3x は付随染色体が5本観察されたが, そのうち1個はヒノキで4個はローソンヒノキであることが確認できた。

以上のような核型, なかでもヒノキとローソンヒノキの相互交雑による F_1-3x の標識染色体の構成から後述するように, 雄親染色体の倍加による3倍体であると考えられた。

2. 花粉母細胞における還元分裂

(1) ヒノキ×サワラの F_1

a. F_1-2x

交配親であるヒノキ, サワラとも, 還元分裂における染色体の行動は, 第一分裂中期に 11II の対合型を示し, 二価染色体の結合は固く, 後期には分離して両極に移行するが, その行動はきわめて正常であった (Photo. 8)。第二分裂における娘核の分裂も正常で花粉四分子を形成し, 花粉の稔性は良好であった。

F_1-2x は第一分裂中期に観察したすべての細胞が $8\text{II}+6\text{I}$ の対合型を示し (Table 5, Photo. 9), 両極への分離も両親とはかなり異なった行動をすることが認められた。すなわち, 8個の二価染色体の結合は固く, 核板中央部にあるが, 6個の一価染色体は, 二価染色体の外側に散在している場合が多く観察された (Photo. 9. a, b)。後期には二価染色体は正常に分離して両極に移行する。一価染色体の中で両極近くにあった染色体は, 二価染色体が分離移行するよりも早く移行するものも認められたが, 観察した全細胞に1~6個は核板に遅滞する染色体が観察された (Table 6, Photo. 9. c)。遅滞した一価染色体は, 主核が両極に移行した後, 縦裂して一分染色体となり (Photo. 9. d, e), 両極へ配分されるものと, 一方の極へ帯同して移行し, 主核に合流する場合がみられ, 核板に残存するものは認められなかった。したがって, 娘核は正しい染色体数をもつことは少なく, 不均等配分が多くみうけられた。

第二分裂では, 第一分裂で二価対合後分離して移行した染色体は, 縦裂して正常な行動をとり両極へ移行するが, 一価から縦裂して一分染色体となって移行したものは, そのまま主核に帯同して移行する。その配分率は任意であった。さらに, 第一分裂で一価に由来する染色体のうちで, 主核より早く移行して小

Table 5. ヒノキ, サワラ, ヒノキ×サワラ F₁-2x, 3xの還元分裂
第一中期における染色体の対合型と出現率
Chromosome pairing type at metaphase I

種 Classification	別	対 合 型 Chromosome pairing type	観 察 数 No. of cells observed	出 現 率 Frequency (%)
<i>C. obtusa</i>		11Ⅱ	50	100.0
<i>C. pisifera</i>		11Ⅱ	50	100.0
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -2x	8Ⅱ+6Ⅰ	80	100.0
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -3x	8Ⅲ+3Ⅱ+3Ⅰ	27	19.3
		7Ⅲ+4Ⅱ+4Ⅰ	35	25.0
		6Ⅲ+5Ⅱ+5Ⅰ	36	25.7
		5Ⅲ+6Ⅱ+6Ⅰ	31	22.1
		4Ⅲ+7Ⅱ+7Ⅰ	11	7.9

Table 6. ヒノキ×サワラ F₁-2x, 3x の還元分裂第一後期における遅滞染色体数
Number of lagging chromosomes at anaphase I

種 Classification	別	観 察 数 No. of cells observed (%)	遅 滞 染 色 体 数 Number of lagging chromosomes						
			0	1	2	3	4	5	6
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -2x	122 (100.0)	2 (1.6)	4 (3.3)	19 (15.6)	48 (39.3)	31 (25.4)	14 (11.5)	4 (3.3)
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -3x	53 (100.0)	7 (13.2)	7 (13.2)	9 (17.0)	11 (20.8)	12 (22.6)	4 (7.5)	3 (5.7)

Table 7. ヒノキ×サワラ F₁-2x, 3x の四分体期の分割数
Number of microspores separated at pollen tetrad stage

種 Classification	別	観 察 数 No. of cells observed (%)	分 割 数 Number of microspores		
			4	5	6
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -2x	107 (100.0)	89 (83.2)	15 (14.0)	3 (2.8)
<i>C. obtusa</i> × <i>C. pisifera</i>	F ₁ -3x	69 (100.0)	62 (89.9)	6 (8.7)	1 (1.4)

室を形成する細胞が少数あり、四分体期には五分子、六分子が約17%認められた (Table 7)。以上のことから花粉には正しい染色体数を有するものは少ないことが予想された。

b. F₁-3x

3倍体 F₁ の染色体対合型は6Ⅲ+5Ⅱ+5Ⅰをモードとして、7Ⅲ+4Ⅱ+4Ⅰ, 5Ⅲ+6Ⅱ+6Ⅰ等の対合型が多くみられた (Table 5, Photo. 10. a, b)。三価染色体は核板中央部に多くみられたが、二価および一価染色体はその外側に散在していることが多く観察された。

後期には、三価染色体および二価染色体は分離して両極へ移行する。三価染色体は任意の極へ2:1に

配分されるが、一部の染色体は核板に遅滞するものもあった。一価染色体で両極に近い位置に散在していたものは、主核と同時に移行するものもあったが、核板に遅滞することが多くみられた。したがって、各細胞には核板に1～6個遅滞染色体が認められた (Table 6, Photo. 10. c)。遅滞染色体のみられない細胞は13.2%で、2～4個あるものが多く、5、6個の細胞は少なかった。これら遅滞染色体は F_1-2x と同様に、その後縦裂して両極へ移行し主核と合流するが、一方の極へ帯同して移行する染色体も一部にみられた。したがって、両極への染色体配分は不均等であることが認められた。

第二分裂では、二価および三価染色体が分離して移行した染色体、ならびに、一価染色体の中で主核と同時期に移行した染色体は、縦裂して両極に配分されるが、第一分裂で遅滞して縦裂後移行した染色体は、そのまま任意の極に配分された。第一分裂における染色体配分が不均等であるため、第二分裂でもその傾向は同様であった。四分子形成時に小室を形成し、五分子、六分子となるものは、合わせて10%位で、ほとんどは正常とみなされる四分子が多く、花粉も外見的には充実粒が多く観察されたが、それぞれが有する染色体数は不均等であると推察された。

(2) ローソンヒノキ×ヒノキの F_1

a. F_1-2x

交配親のうちでヒノキの還元分裂については、先に述べたとおりであるが、ローソンヒノキも同様に第一分裂中期には11Ⅱの対合型を示し、二価染色体の結合は固く、後期には分離して両極に移行し娘核を形成した。第二分裂においても染色体の分裂はきわめて正常に行われ、四分子形成および花粉にも異常は認められなかった。

F_1-2x の還元分裂第一中期における染色体の対合型は9Ⅱ+4Ⅰを示す細胞が78.2%、8Ⅱ+6Ⅰが21.8%みられた (Table 8, Photo. 11. a, b)。両極への分離も両親とは異なっていることが認められた。すなわち、二価染色体の結合は固く、核板中央部にあるが、4～6個の一価染色体は、その外側に散在している場合が多く観察された。後期には二価染色体は正常に分離して両極に移行した (Photo. 11. c, d)。一価染色体の中で極近くにあったものは、主核と同時期に移行する場合もみられたが、1～4個は核板に遅滞す

Table 8. 両親とローソンヒノキ×ヒノキ F_1-2x , $3x$, ヒノキ×ローソンヒノキ F_1-3x の還元分裂第一中期における染色体の対合型と出現率
Chromosome pairing type at metaphase I

種 別 Classification	対 合 型 Chromosome pairing type	観 察 数 No. of cells observed	出 現 率 Frequency (%)
<i>C. obtusa</i>	11Ⅱ	50	100.0
<i>C. lawsoniana</i>	11Ⅱ	50	100.0
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F_1-2x	9Ⅱ+4Ⅰ	93	78.2
	8Ⅱ+6Ⅰ	26	21.8
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F_1-3x	9Ⅲ+2Ⅱ+2Ⅰ	6	4.7
	8Ⅲ+3Ⅱ+3Ⅰ	51	40.2
	7Ⅲ+4Ⅱ+4Ⅰ	70	55.1
<i>C. obtusa</i> × <i>C. lawsoniana</i> F_1-3x	9Ⅲ+2Ⅱ+2Ⅰ	12	28.6
	7Ⅲ+4Ⅱ+4Ⅰ	30	71.4

Table 9. ローソンヒノキ×ヒノキ F_1-2x , $3x$, ヒノキ×ローソンヒノキ F_1-3x の還元分裂第一後期における遅滞染色体数
Number of lagging chromosomes at anaphase I

種 別 Classification	観 察 数 No. of cells observed (%)	遅 滞 染 色 体 数 Number of lagging chromosomes						
		0	1	2	3	4	5	6
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F_1-2x	40 (100.0)	17 (42.5)	9 (22.5)	8 (20.0)	4 (10.0)	2 (5.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
<i>C. lawsoniana</i> × <i>C. obtusa</i> F_1-3x	50 (100.0)	0 (0.0)	2 (4.0)	10 (20.0)	18 (36.0)	11 (22.0)	7 (14.0)	2 (4.0)
<i>C. obtusa</i> × <i>C. lawsoniana</i> F_1-3x	64 (100.0)	11 (17.2)	18 (28.1)	14 (21.9)	12 (18.8)	5 (7.8)	2 (3.1)	2 (3.1)

る細胞が多く、遅滞染色体のみられなかった細胞は42.5%であった。その後遅滞した一価染色体は縦裂して一分染色体となり、両極へ配分されるが、一方の極へ帯同して移行し、主核に合流する場合も認められた(Photo. 11. e)。残存して小核を形成することはなかったが、不均等配分される細胞があることから、娘核には正しい染色体数を有しないものがあることが予想された。

第二分裂では、第一分裂で主核を形成した染色体は、縦裂して正常な行動をとり両極に移行するが、一価染色体が縦裂後移行したものは、そのまま主核に帯同して移行する(Photo. 11. f)。しかし、その配分は任意であり、不均等配分が多く観察された。四分子形成はほとんどの細胞が正常で、まれに五分子、六分子がみられたがこれらは第二分裂後における小室形成によるものと思われる。花粉は充実粒が多くみられたが、第一、第二分裂における染色体の不均等配分から正しい染色体数を有するものは少ないと推察される。

b. F_1-3x

F_1-3x の還元分裂第一中期における染色体対合型は $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ が 4.7%， $8\text{III}+3\text{II}+3\text{I}$ が 40.2%， $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ が 55.1% であった (Table 8)。二価および三価染色体の結合は固く、三価染色体は核板中央部に位置しているが、二価および一価染色体はその外側に散在している場合が多く観察された (Photo. 12. a, b)。後期には二価および三価染色体は分離して両極に移行し、主核を形成するが、三価染色体は 2 : 1 に分かれ、その配分は任意であり不均等であった。また、一部の細胞では少数の染色体が核板に遅滞するものもみられた。さらに、一価染色体で両極近くに散在していた一部のものは、主核と同時期に移行するが、多くの染色体は核板に遅滞するようであった。これらの遅滞染色体は全細胞にみられ、3 個の細胞がもっとも多く観察数の 36.0% であった。その後縦裂して一分染色体となり、両極に移行して主核に合流するが、縦裂後一方の極へ帯同して移行する場合も観察され、娘核への染色体配分はさらに不均等となるようであった (Photo. 12. c, d, e)。

第二分裂では、第一分裂で主核を形成した染色体は、縦裂して正常な行動をとり両極へ移行する。第一分裂で遅滞していた染色体は、第二分裂ではそのまま主核と同時期に移行するが、この場合も一方の極へかたよって配分される細胞が観察され、不均等配分が多くみられた (Photo. 12. f)。四分子期にはまれに小室を形成した五分子、六分子がみられたが、多くは正常に分割された四分子であった。しかし、花粉には第一および第二分裂による染色体の不均等配分によって、それぞれの花粉は、異なった染色体数とな

ていることが予想される (Table 8)。

(3) ヒノキ×ローソンヒノキの F_1

a. F_1-3x

この組合せでは先に述べた逆交配の場合と異なって F_1-2x の苗は得られず、出現したのは3倍体であった。還元分裂における染色体の行動はローソンヒノキ×ヒノキの F_1-3x に類似していた。第一分裂中期の染色体対合型は $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ が28.6%, $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ が71.4%で、その他の対合型は観察されなかった (Table 8, Photo. 13. a, b)。二価および三価染色体の結合は固く、三価染色体の多くは核板中央部に位置するが、二価および一価染色体はその外側に散在している細胞が多くみられた。後期には二価と三価染色体は分離して両極へ移行するが、三価染色体は2:1に分かれ配分は任意であった。しかし、一部の染色体は核板に遅滞するようであった。一価染色体で両極近くにあったものは、主核と同時期に移行するが、核板に遅滞することが多かった。遅滞染色体のみられなかった細胞は17.2%であったが、その他の細胞には1~6個みうけられ、1個がもっとも多く28.1%であった (Table 9, Photo. 13. c)。これらの遅滞染色体は、その後縦裂して一分染色体となって両極に配分され、主核に合流するが、一部の染色体は縦裂後同一の極へ帯同して移行するものもみられた (Photo. 13. d, e)。したがって、第一分裂における両極への染色体配分は不均等であることが認められた。

第二分裂では第一分裂で主核を形成した染色体は正常に縦裂して両極へ移行するが、遅滞後縦裂して移行した染色体は、そのまま主核と同時期に移行する。しかし、一方の極へかたよる場合もあり、後期における染色体配分は不均等であった (Photo. 13. f)。

四分子期における分割数はまれに五、六分子がみられたが、ほとんどは四分子であった。花粉には充実粒が多くみられたが、第一および第二分裂における染色体の不均等配分により、それぞれの花粉は異なった染色体数となっていることが予想される。

V 考 察

1. ヒノキとサワラの雑種

ヒノキ×サワラによって得られた F_1 の外部形態は、幼齢時には初生葉の着生数、針葉の形および気孔帯の分布状態等で中間型を示していた⁷⁾が、5年生頃から識別が困難になるような傾向があった。また、この頃から外見的に針葉が大型化する個体が出現するようになり、調査をかさねた結果、2倍体と3倍体が存在することを認めた。

ヒノキおよびサワラの核型は、ヒノキの第6染色体とサワラの第8染色体に付随体を有し、両者の付随染色体は容易に識別可能である³⁾。本報告では、この付随染色体を標識染色体として観察したところ、 F_1-2x はヒノキの付随染色体1本とサワラの付随染色体1本をもっていた。つまり、ヒノキとサワラに由来する染色体をそれぞれ一組ずつもっていることが明らかになった。また、 F_1-3x はヒノキに由来する染色体1組と、サワラに由来する染色体2組をもつことが確認できたので、雄親染色体の倍加による3倍体雑種であると推察された。さらに、 F_1-3x に類似した倍数体としては、前田・宮島⁴⁾による精英樹富士2号についての報告があり、体細胞染色体とくに付随染色体について調査し、ヒノキの第6染色体2本、サワラの第8染色体1本を有する3倍体であることを確認しており、両種に起因する雑種ではないかと述べている。このことは F_1-3x とは逆の付随染色体をもっていることになり、本調査研究によって推察した雄

親染色体の倍加による現象であるとするれば、サワラ×ヒノキによって出現した倍数体であると考えられた。

ヒノキとサワラからなる雑種の還元分裂における染色体の行動についての報告は、福原¹⁾がヒノキ×サワラの F_1 の中でヒノキ型の1個体について行い、第一分裂中期に $8\text{II}+6\text{I}$ の対合型を示す2倍体雑種であると述べている。また、3倍体雑種の富士2号についても観察されており⁴⁾、第一分裂中期における対合型は $8\text{III}+3\text{II}+3\text{I}$ をはじめ種々の対合型がみられている。

F_1-2x の還元分裂第一中期における染色体対合型は観察した全細胞が $8\text{II}+6\text{I}$ であった。このことから、ヒノキ×サワラから育成された2倍体雑種は、中間型の F_1-2x および福原が観察したヒノキ型の染色体対合型からヒノキとサワラの間には、8個の相同もしくは部分相同染色体と、各3個の非相同染色体の存在することを示していると考えられる。

F_1-3x の還元分裂第一中期における染色体対合型は、体細胞染色体の推察による雄親染色体の倍加現象と、 F_1-2x の対合型から考えて、基本対合型は $8\text{III}+3\text{II}+3\text{I}$ であると予想されたが、観察結果はその他に $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ をはじめ種々の対合型がみられている。このことは、第一分裂前期から中期にかけての細胞内における染色体の位置によって、対合が阻害された結果によるものと考えられる。また、前田・宮島⁴⁾による富士2号にも同じような対合型を示すことが報告されている。

F_1-2x 、 F_1-3x とも第一分裂後期には核板に遅滞染色体が認められる等、第一、第二分裂を通して染色体の配分は不均等となっており、花粉には充実粒が多く観察されたが、正しい染色体数を有するものはきわめて少ないことが予想され、両 F_1 ともにその子孫は細胞学的に不安定であると考えられる。

ヒノキとサワラの種間雑種を育成するにあたって、前田⁵⁾はヒノキおよびサワラにガンマー線照射、あるいは自然状態で相互交雑を行い F_1 を得ている。しかし、そのほとんどは交配母樹と同一表現型をした個体で雑種ではなかったが、ヒノキ×サワラの組合せで9個体の雑種が存在している。その内の1個体はヒノキの付随染色体2本と、サワラの付随染色体1本をもっており形態はヒノキ型をしている。また、他の8個体はヒノキの付随染色体1本、サワラの付随染色体2本をもっておりサワラ型であった。さらに、これらの雑種はすべてヒノキとサワラの染色体をもつ異質3倍体であった。このことから、ヒノキとサワラの交雑種では、ヒノキとサワラそれぞれの1染色体組からなる2倍性雑種の育成はきわめて困難であり、いずれかの染色体組が重複している必要があるものと考えられると述べている⁵⁾。しかし、前述のように著者らが育成した F_1 の中には、3倍体雑種の他に2倍体雑種のあることを確認し、細胞学的な特性についても明らかにすることができた。また、福原¹⁾は同組合せによる F_1 について調査を行い、2倍体雑種であったことを確認している。

2. ヒノキとローソンヒノキの雑種

ヒノキとローソンヒノキの相互交雑によって得られた F_1 の外部形態は、いずれも両親の中間型を示し⁶⁾、5年生頃までは両親とは容易に識別できたが、その後は困難になる傾向があった。また、この頃からヒノキ×サワラの F_1 と同様に外見的に針葉が大型化する個体が出現するようになった。これらの F_1 を調査した結果、2倍体と3倍体があることが明らかになった。しかし、ヒノキ×ローソンヒノキでは2倍体は認められずすべて3倍体であった。

ローソンヒノキの体細胞染色体は第6および第7染色体に付随体を有しており、ヒノキの付随染色体とは容易に識別できた。これらの付随染色体を標識染色体として観察した結果、ローソンヒノキ×ヒノキの F_1-2x には、ヒノキとローソンヒノキに由来する染色体をそれぞれ1組ずつもっていることを認めた。

また、同 F_1-3x には、ヒノキに由来する染色体2組とローソンヒノキに由来する染色体1組をもっていることが認められた。さらに、ヒノキ×ローソンヒノキの F_1-3x は、ヒノキに由来する染色体1組とローソンヒノキに由来する染色体2組をもっていることを明らかにすることができた。このことは両 F_1-3x が雄親染色体の倍加による3倍体雑種であると推察することができる。

ローソンヒノキ×ヒノキの F_1-2x の還元分裂第一中期における染色体対合型は $9\text{II}+4\text{I}$ が約78%、 $8\text{II}+6\text{I}$ が約22%観察されたが、後者はこれまでの調査では観察されなかった⁹⁾ ので、前者が基本対合型であるとみなすことができた。したがって、両種のゲノムには9個の相同もしくは部分相同染色体と各2個の非同相染色体があると考えられることから、8個の相同染色体が観察されるヒノキとサワラの間よりも、ローソンヒノキとヒノキの間の類縁関係がより近いと推察される。

ローソンヒノキ×ヒノキ F_1-3x の還元分裂第一中期における染色体対合型は、 F_1-2x の対合型から考えて、基本対合型は $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ であろうと思われたが、この対合型は少なくとも $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ が多くみられており、このことはヒノキ×サワラの F_1-3x と同様に、細胞内における染色体の位置によって、対合が阻害されたものであると推察された。

ヒノキ×ローソンヒノキの F_1-3x の還元分裂第一中期における染色体の対合型は、逆交配のローソンヒノキ×ヒノキの F_1-3x と類似しており、 $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ の対合型が約71%観察され、基本対合型と考えられる $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ は少なく約29%であった。これは第一分裂前期から中期にかけて細胞内における染色体の位置によって対合が阻害されたものと考えられた。

F_1-2x , $3x$ とともに第一分裂後期には核板に停滞染色体が認められる等、第一、第二分裂を通して染色体の配分は不均等となっている。しかし、四分子形成は正常であるようにみうけられ、花粉は充実粒が多く観察されたが、正しい染色体数を有するものは少ないと考えられる。これら F_1 の子孫は細胞学的に不安定であると推察される。

今回の調査ではヒノキ×ローソンヒノキの F_1 には2倍体雑種が認められなかったが、ヒノキ×サワラの F_1 のように、種々の交配母樹を使用する等多くの F_1 を育成し、細胞学的な調査を行えば2倍体雑種も出現するのではないかと考えられる。

3倍体雑種形成について前田⁵⁾ は、卵細胞の倍加による場合を除いて、花粉親に由来する場合は、(1)花粉が既に倍加したものが受精にあずかる。(2)花粉管内での精核の分裂異常により倍加が起こり受精する。(3)2個の精核が同一卵細胞に侵入する。これら3つのいずれかによって形成されると述べているが、何時の時期に雄親染色体が倍加するのか、また、その要因についても今後の研究が必要であり興味深い課題である。

以上のようにヒノキとサワラ、ヒノキとローソンヒノキの組合せによって得られた F_1 は、還元分裂において相同もしくは部分相同染色体の多い対合型を示したことから、ゲノム組成はきわめて高い近縁種であると考えられる。また、 F_1-3x の還元分裂における対合型が、三価染色体の多いことも近縁種であることを裏付けていると考えられる。さらに、北米大陸原産のローソンヒノキがヒノキのゲノムと近縁であることは、今回交配に使用した3種以外のヒノキ属の種にも近縁のものと予想され、それらとの交雑を行い、細胞遺伝学的な調査を行うことによって、ヒノキ属のゲノム組成を明らかにすることは可能であると考えられる。

引用文献

- 1) FUKUHARA, N: Meiotic Observations in the Pollen Mother Cell of Interspecific Hybrid between *Chamaecyparis obtusa* and *C. pisifera*, 日林誌, **60** (12), 437~441, (1960)
- 2) 堀岡邦典・野原勇太・星澤正男: ヒノキ・サハラ交雑の基礎的研究 第一報 針葉に依るヒノキ・サハラの識別に関する研究, 日林誌, **25** (10), 3~10, (1943)
- 3) 黒木嘉久: 主要針葉樹の核型に関する研究, 宮崎大演報, **5**, 1~103, (1969)
- 4) 前田武彦・宮島 寛: 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** (6), 213~220, (1977)
- 5) 前田武彦: ヒノキとサワラの種間交雑におけるガンマー線照射の影響に関する研究, 放育研報, **5**, 1~87, (1982)
- 6) 岡村政則・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年度林育研講, 58~62, (1976)
- 7) 大黒 正・岡村政則: ヒノキとサワラの一代雑種, 昭和47年度林育研講, 42~44, (1973)
- 8) 大黒 正・岡村政則: ローソンヒノキとヒノキの一代雑種の形態的特性, 日林関西支講, **26**, 55~58, (1975)
- 9) 大黒 正・岡村政則・中平幸助: ローソンヒノキとヒノキの雑種 (F_1), 日林論 **91**, 211~212, (1980)

**Morphological and Cytological Studies on Hybridization among
Chamaecyparis obtusa, *C. pisifera* and *C. lawsoniana***

Tadashi OHGURO⁽¹⁾ and Masanori OKAMURA⁽²⁾

Summary

The authors have attempted interspecific reciprocal crosses among *Chamaecyparis obtusa*, *C. pisifera* and *C. lawsoniana*. Hybrid seedlings were gotten except a cross combination of *C. pisifera* × *C. obtusa*.

(1) Morphological characteristics of hybrids

Morphological characteristics of hybrid seedlings were mostly in the middle of these of their parents at the young stage. But after five years old, their characteristics had changed. Some of them had gigant-type leaves.

(2) Somatic mitosis of hybrids and parents

C. obtusa and *C. pisifera* had a pair of SAT-chromosome, and *C. lawsoniana* had two pairs of SAT-chromosomes. All pairs of SAT-chromosome were cleanly distinguished each other. In hybrid, diploids and triploids were found out. The diploids had two different types of SAT-chromosome, one was originated from a female parent and another one was from a male parent. The triploids had three SAT-chromosomes, one was from a female one and two were the same types of SAT-chromosome from a male one.

(3) Meiosis of hybrids

The diploid hybrids between *C. obtusa* and *C. pisifera* had 8 bivalents and 3 univalents. The diploid hybrids between *C. obtusa* and *C. lawsoniana* had 9 bivalents and 2 univalents. All of triploid hybrids had trivalents, bivalents and univalents. At anaphase I, some lagging chromosomes were found in all hybrids. So, it was presumed that most of pollens had irregular number of chromosomes.

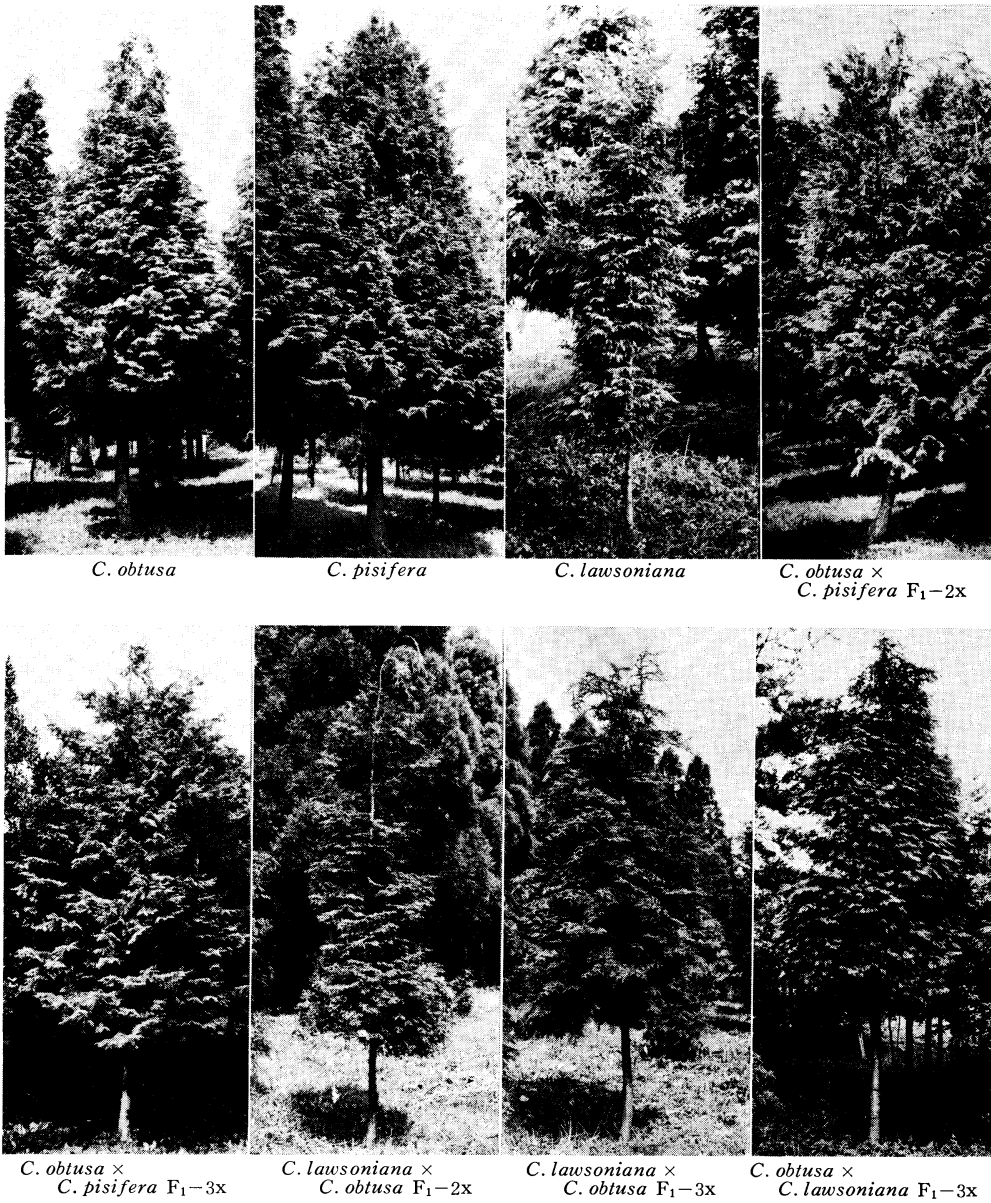


Photo. 1. 両親と雑種の樹型
Tree forms of hybrids and their parents

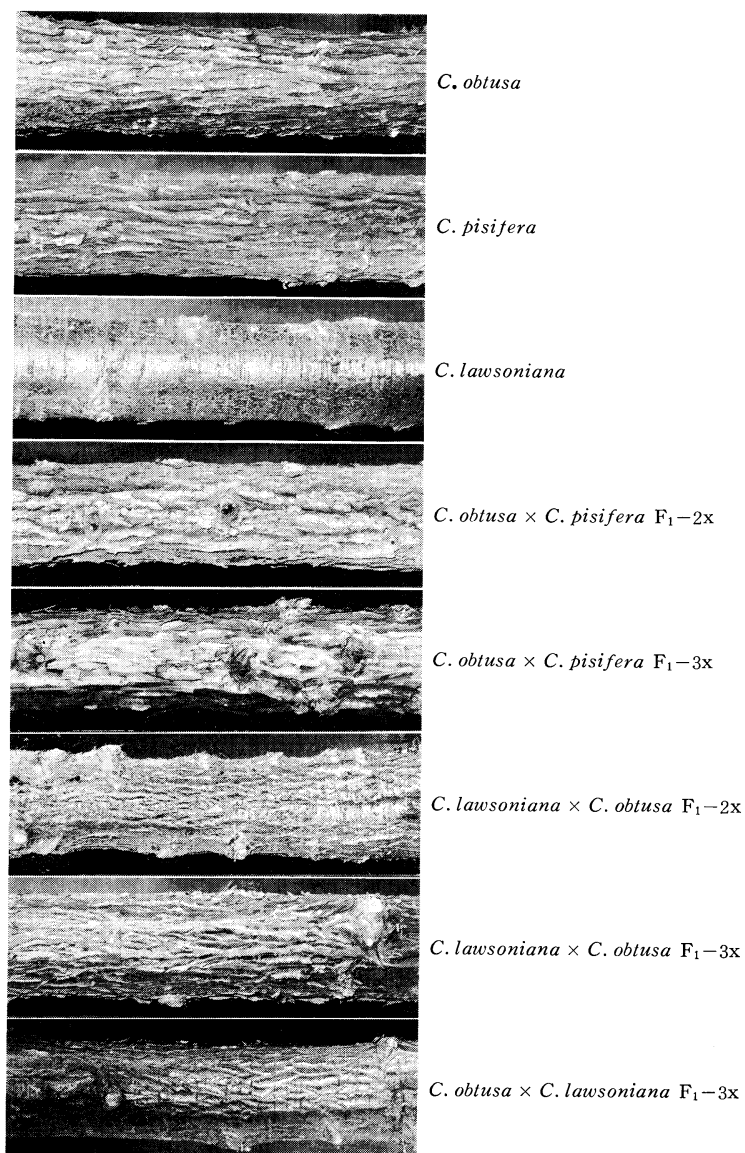


Photo. 2. 両親と雑種の樹皮
Bark forms of hybrids and their parents

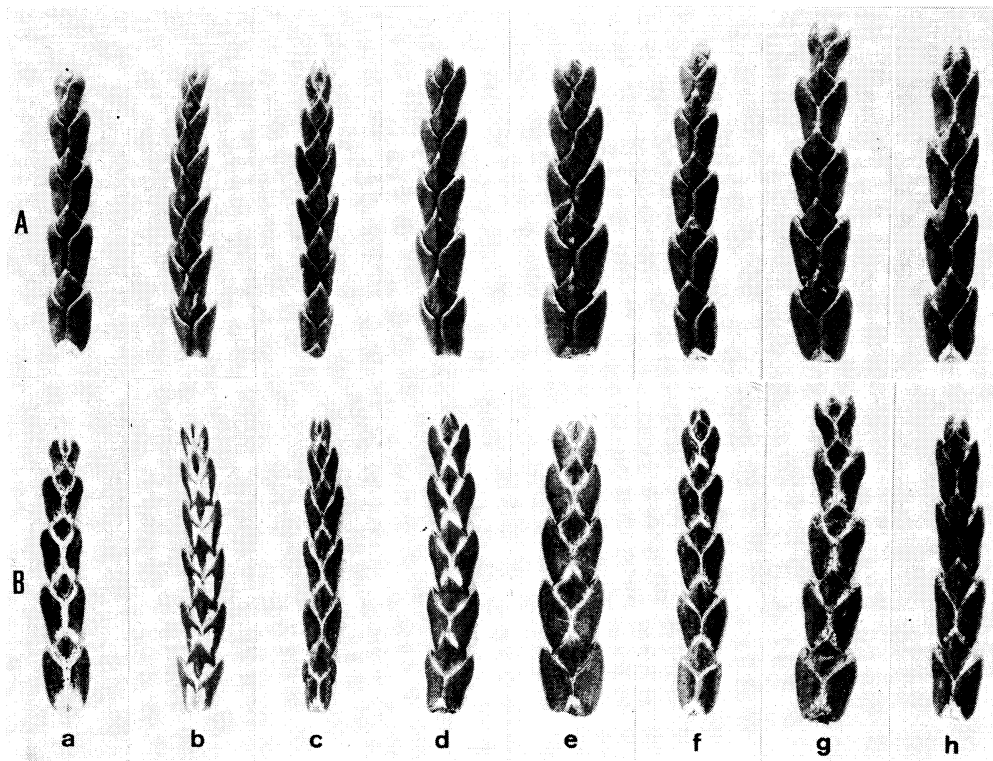


Photo. 3. 両親と雑種の針葉

A: 針葉の表面 B: 針葉の裏面

Leaves of hybrids and their parents

A: Obverse of leaves B: Reverse of leaves

a: *C. obtusa*, b: *C. pisifera*, c: *C. lawsoniana*, d: *C. obtusa* × *C. pisifera* F₁-2x
e: *C. obtusa* × *C. pisifera* F₁-3x, f: *C. lawsoniana* × *C. obtusa* F₁-2x
g: *C. lawsoniana* × *C. obtusa* F₁-3x, h: *C. obtusa* × *C. lawsoniana* F₁-3x

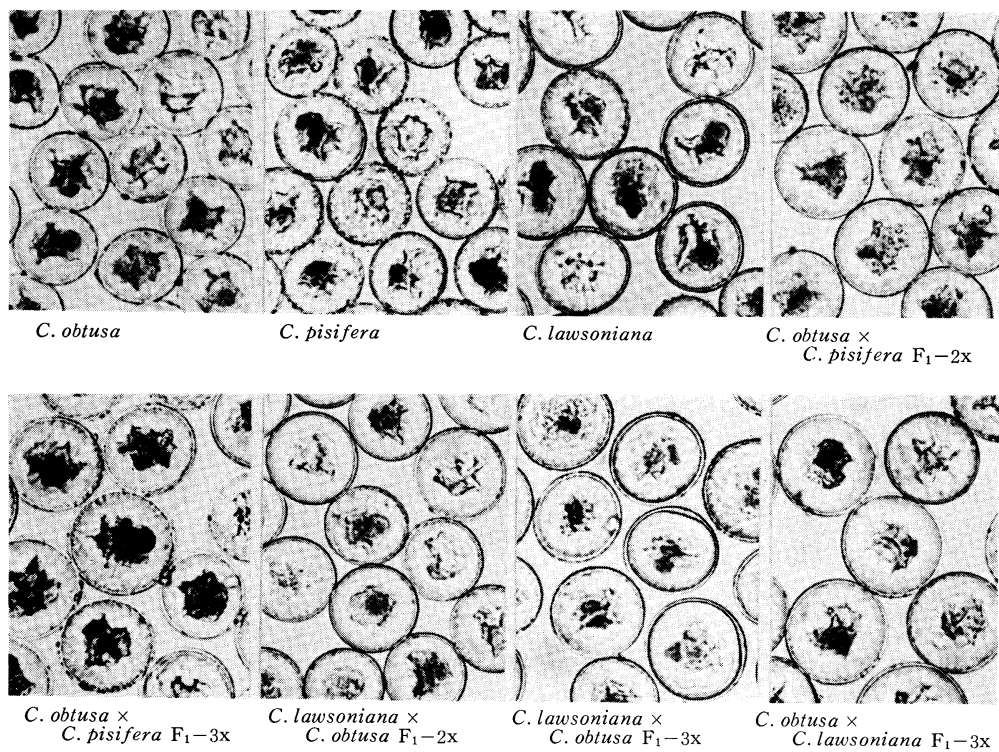


Photo. 4. 両親と雑種の花粉
Pollen grains of hybrids and their parents

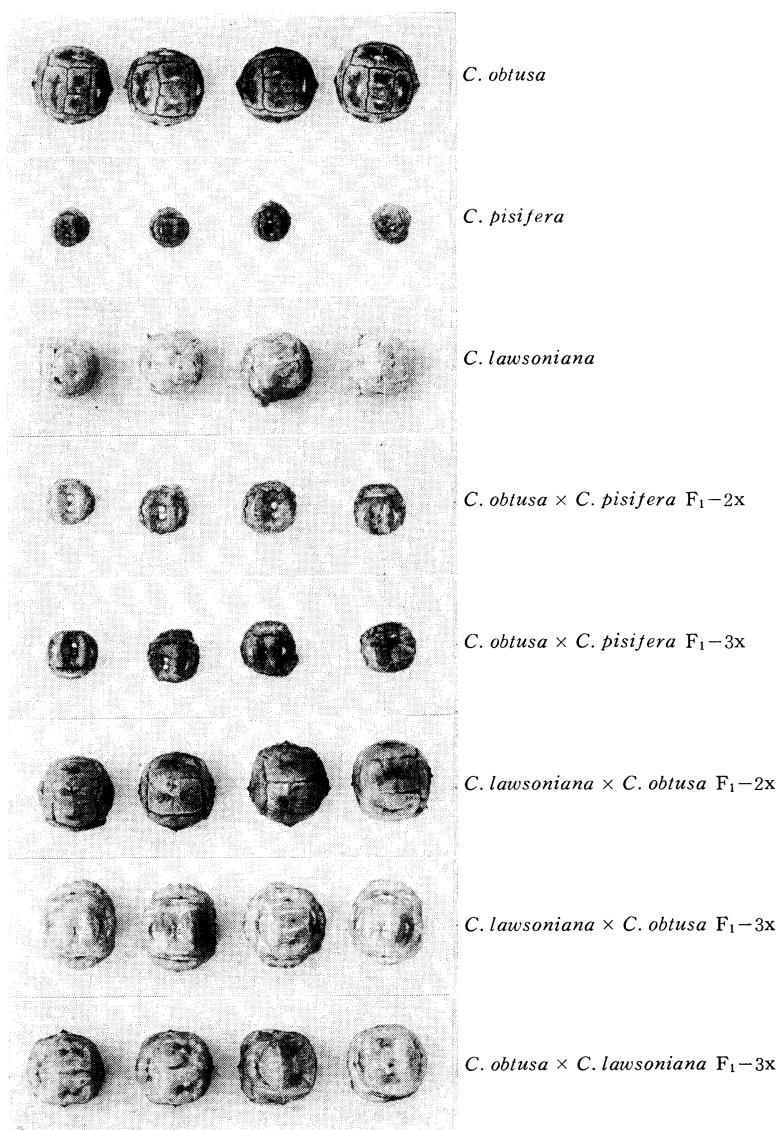


Photo. 5. 両親と雑種の球果
Cone shapes of hybrids and their parents

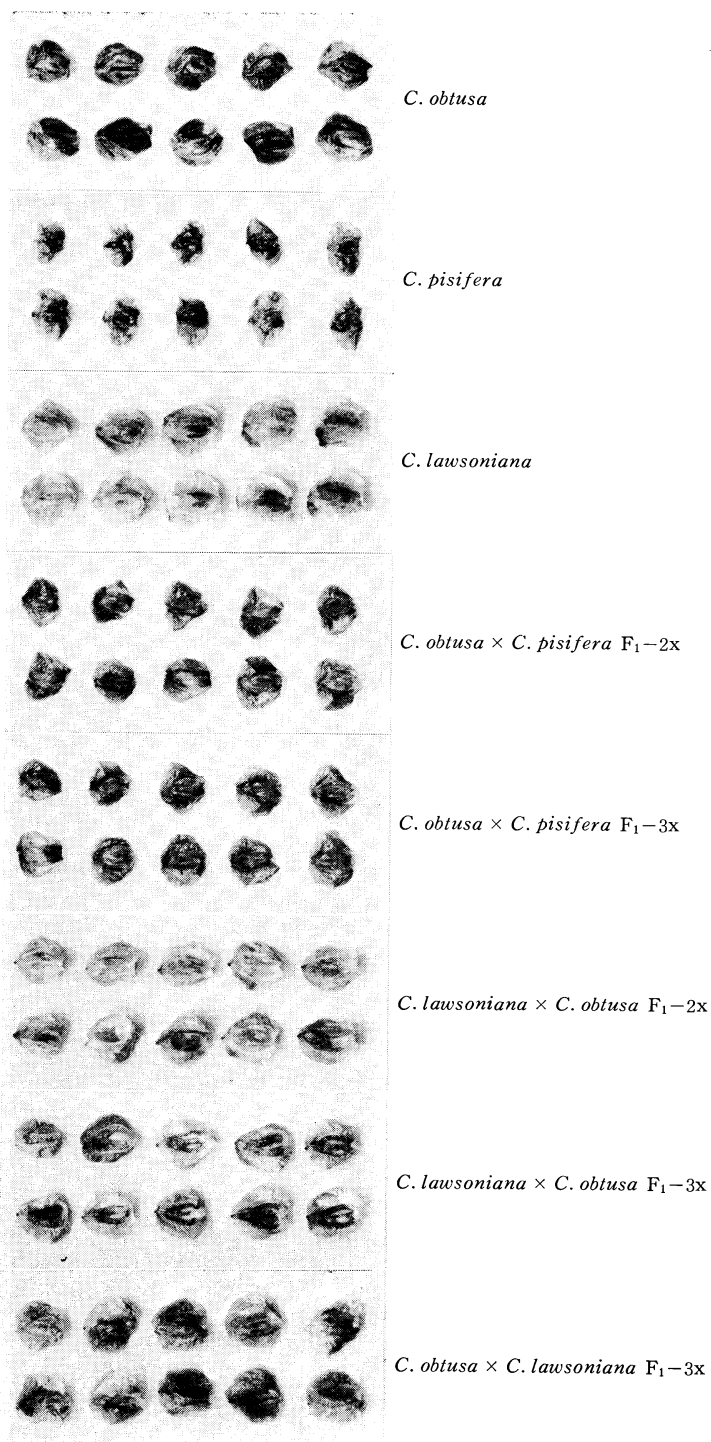


Photo. 6. 両親と雑種の種子
Seed shapes of hybrids and their parents



Photo. 7. 両親および F_1 の体細胞染色体の形態

Somatic chromosome complements of hybrids and their parents

- a: *C. obtusa* ($2n=22$)
- b: *C. pisiifera* ($2n=22$)
- c: *C. lawsoniana* ($2n=22$)
- d: *C. obtusa* × *C. pisiifera* F_1-2x ($2n=22$)
- e: *C. obtusa* × *C. pisiifera* F_1-3x ($2n=33$)
- f: *C. lawsoniana* × *C. obtusa* F_1-2x ($2n=22$)
- g: *C. lawsoniana* × *C. obtusa* F_1-3x ($2n=33$)
- h: *C. obtusa* × *C. lawsoniana* F_1-3x ($2n=33$)

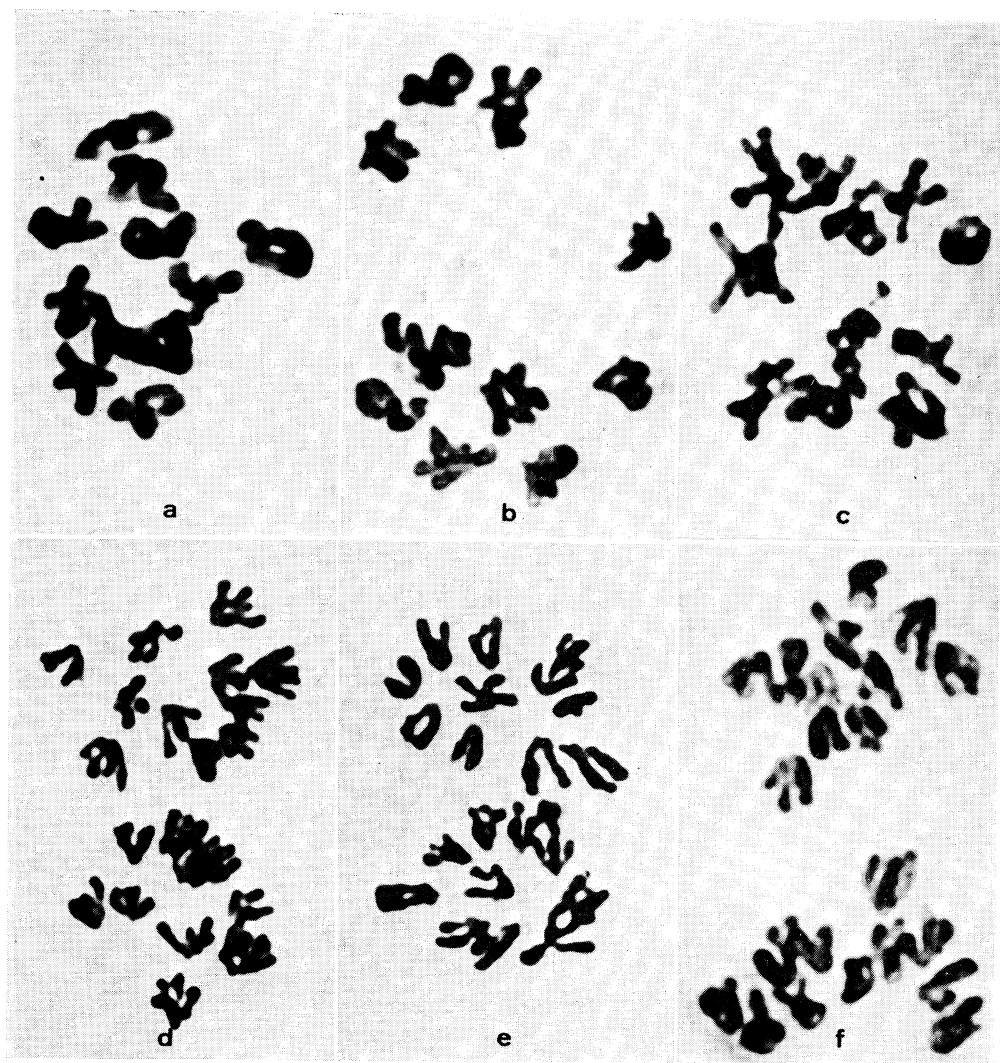


Photo. 8. ヒノキ, サワラおよびローソンヒノキの還元分裂
a: ヒノキ, b: サワラ, c: ローソンヒノキの第一分裂中期の染色体対合
11Ⅱ, d: ヒノキ, e: サワラ, f: ローソンヒノキの第一分裂後期

Meiosis of *C. obtusa*, *C. pisifera* and *C. lawsoniana*

a: Metaphase I of *C. obtusa*, b: Metaphase I of *C. pisifera*
c: Metaphase I of *C. lawsoniana*, d: Anaphase I of *C. obtusa*
e: Anaphase I of *C. pisifera*, f: Anaphase I of *C. lawsoniana*

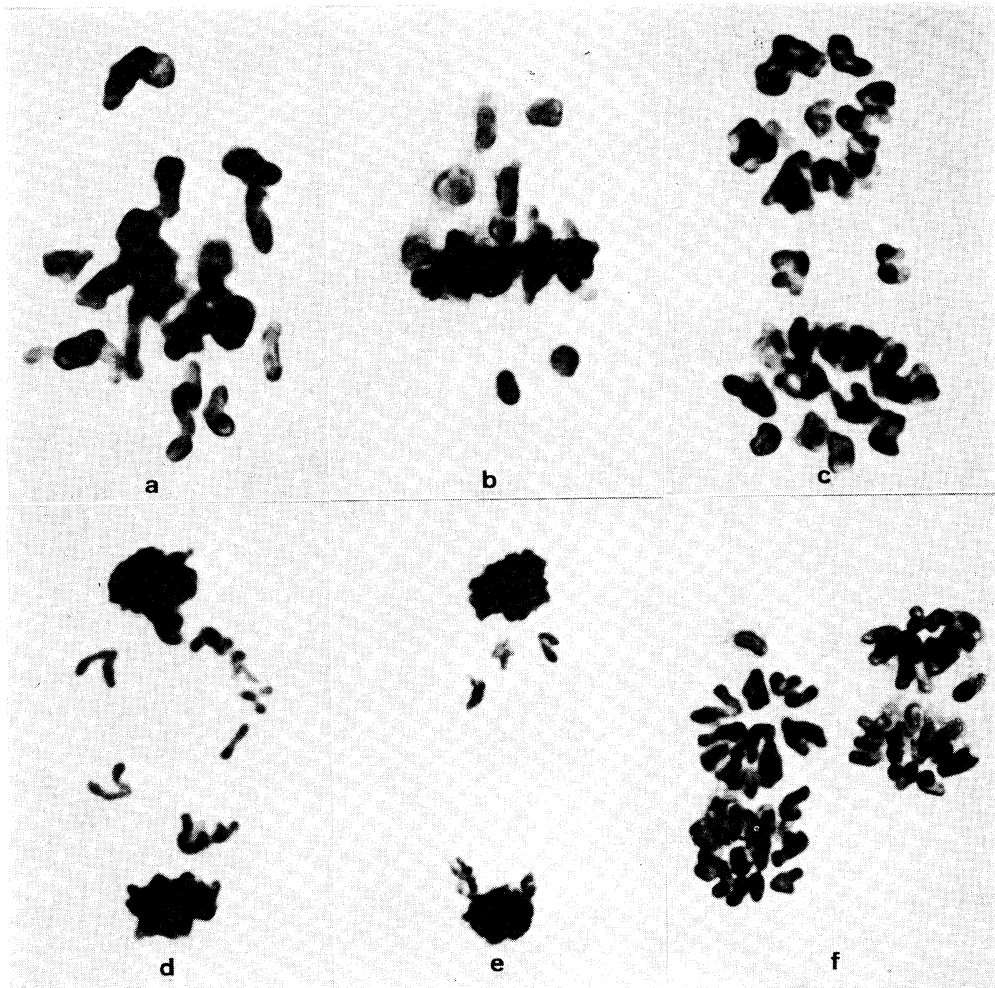


Photo. 9. ヒノキ×サワラ F_1-2x の還元分裂

a, b: 第一分裂中期の染色体対合 $8\text{II}+6\text{I}$ c: 同後期
d, e: 同遅滞染色体の縦裂と行動 f: 第二分裂後期

Meiosis of diploid hybrid of *C. obtusa* × *C. pisifera*

a, b: Pairing type is $8\text{II}+6\text{I}$ at metaphase I, c: Anaphase I, d, e: Lagging chromosomes separated toward each pole at anaphase I, f: Anaphase II

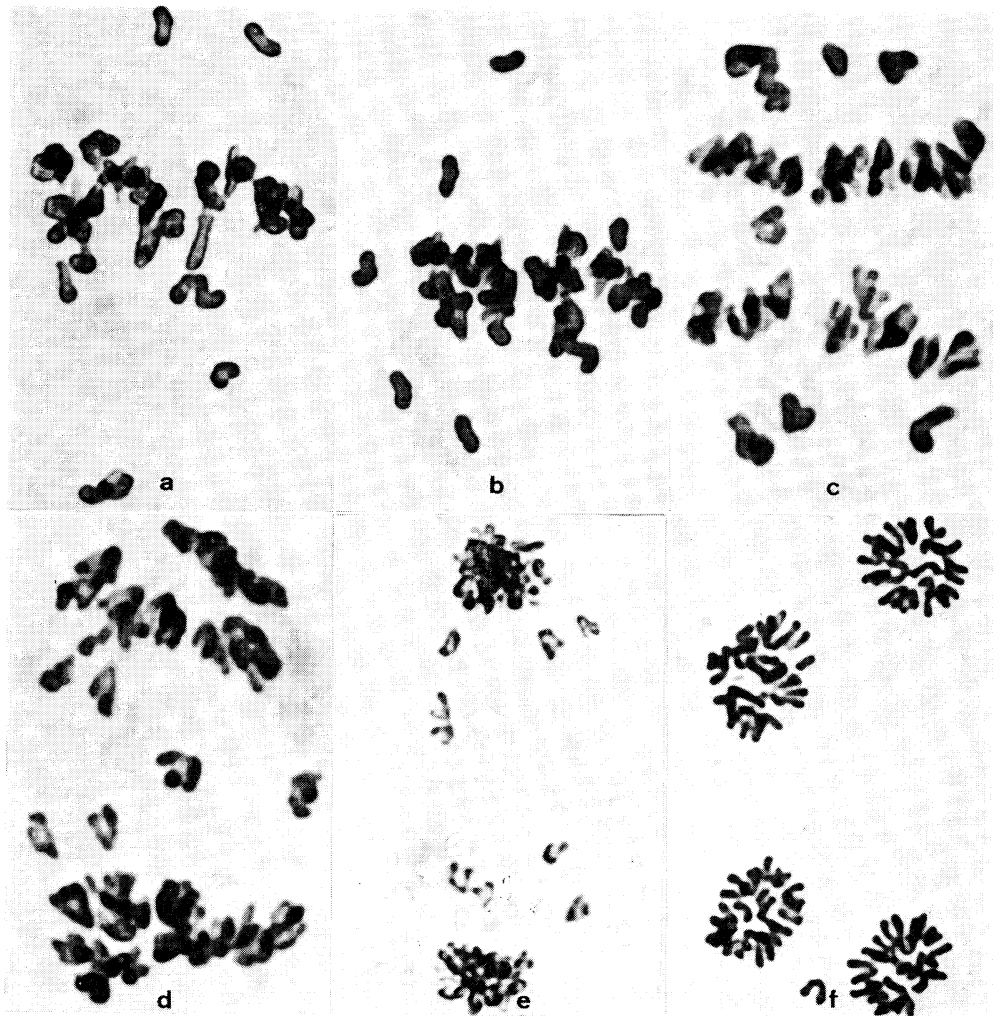


Photo. 10. ヒノキ×サワラ F_1-3x の還元分裂

a: 第一分裂中期の染色体対合 $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ b: 同 $6\text{III}+5\text{II}+5\text{I}$
c, d, e: 同後期の遅滞染色体の縦裂と行動 f: 第二分裂後期

Meiosis of triploid hybrid of *C. obtusa* × *C. pisifera*

a: Pairing type is $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ at metaphase I, b: Pairing type is $6\text{III}+5\text{II}+5\text{I}$ at metaphase I, c, d, e: Lagging chromosomes separated toward each pole at anaphase I, f: Anaphase II

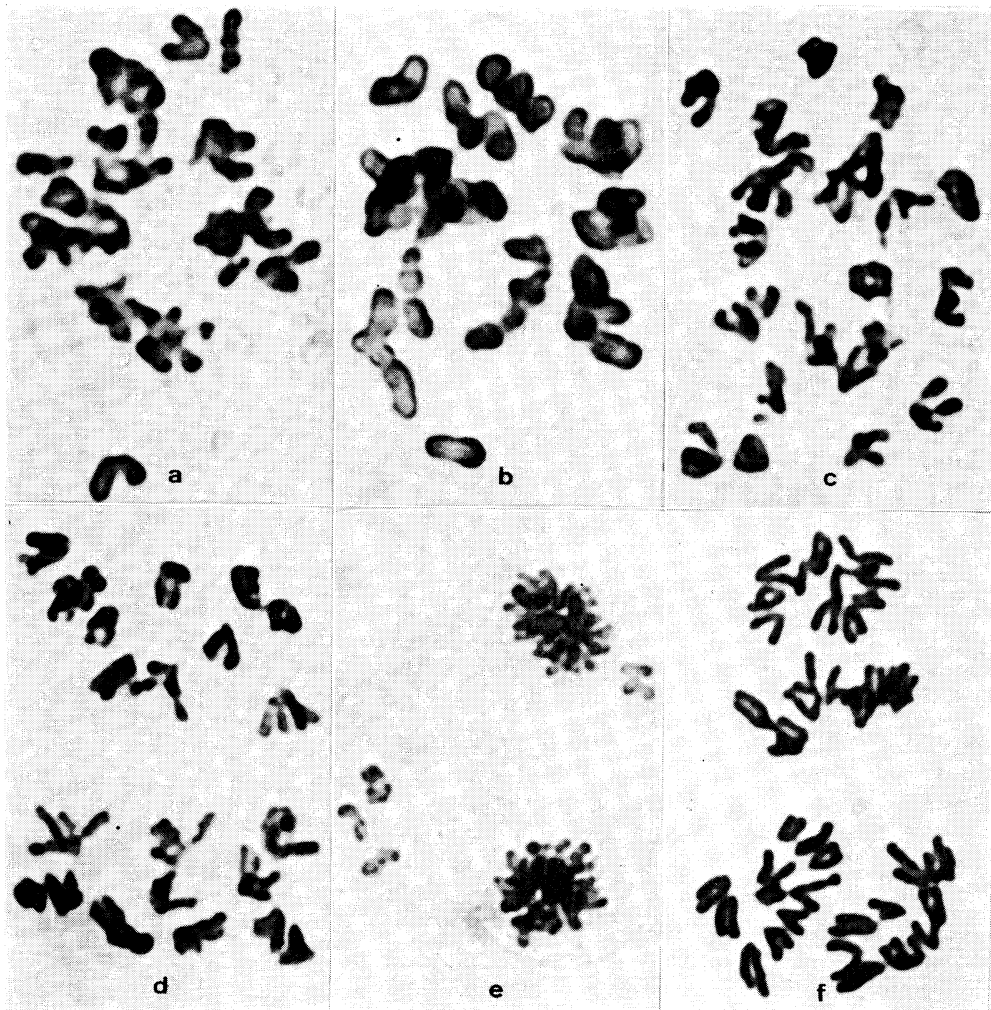


Photo. 11. ローソンヒノキ×ヒノキ F_1-2x の還元分裂

a, b: 第一分裂中期の染色体対合 $9\text{II}+4\text{I}$ c, d: 同後期

e: 同遅滞染色体の縦裂と行動 f: 第二分裂後期

Meiosis of diploid hybrid of *C. lawsoniana* × *C. obtusa*

a, b: Pairing type is $9\text{II}+4\text{I}$ at metaphase I, c, d: Anaphase I,

e: Lagging chromosomes at anaphase I, f: Anaphase II

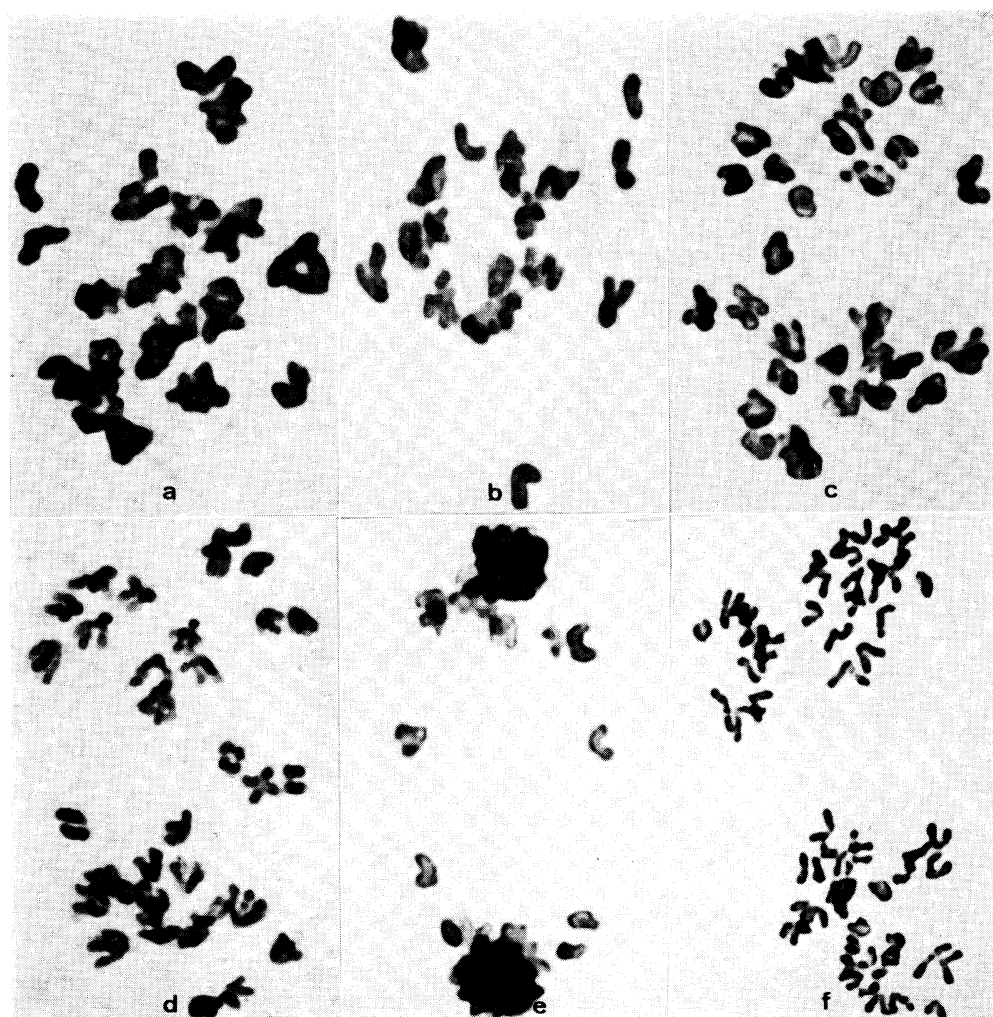


Photo. 12. ローソンヒノキ×ヒノキ F_1-3x の還元分裂

a: 第一分裂中期の染色体対合 $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ b: 同 $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$

c, d, e: 同後期の遅滞染色体の縦裂と行動 f: 第二分裂後期

Meiosis of triploid hybrid of *C. lawsoniana* × *C. obtusa*

a: Pairing type is $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ at metaphase I, b: Pairing type

is $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ at metaphase I, c, d, e: Lagging chromosomes

separated toward each pole at anaphase I, f: Anaphase II

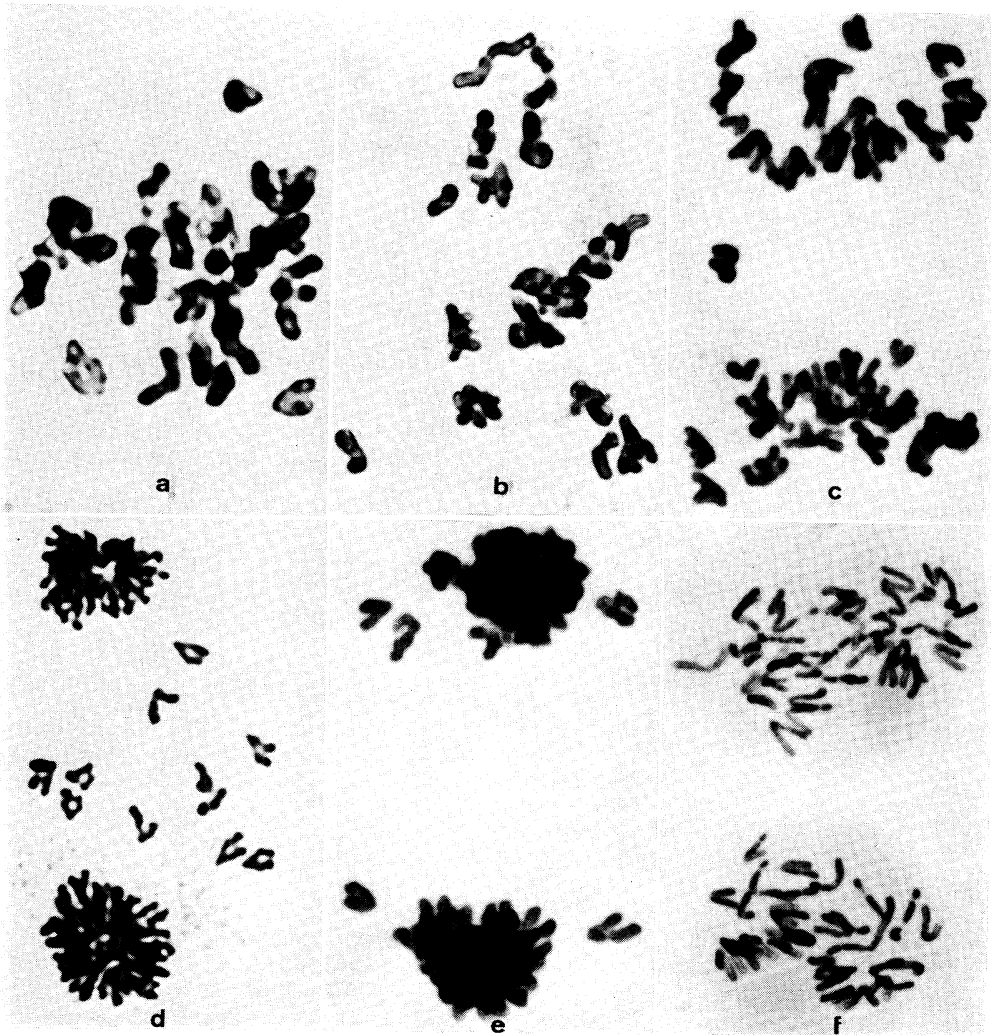


Photo. 13. ヒノキ×ローソンヒノキ F_1-3x の還元分裂

a: 第一分裂中期の染色体対合 $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ b: 同 $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$
c, d, e: 同後期の遅滞染色体の縦裂と行動 f: 第二分裂後期

Meiosis of triploid hybrid of *C. obtusa* × *C. lawsoniana*

a: Pairing type is $9\text{III}+2\text{II}+2\text{I}$ at metaphase I, b: Pairing type is $7\text{III}+4\text{II}+4\text{I}$ at metaphase I, c, d, e: Lagging chromosomes separated toward each pole at anaphase I, f: Anaphase II