

マツ類の交雑育種に関する研究

クロマツ×アカマツおよびクロマツ×タイワンアカマツ
雑種苗木の早期検定の指標について

中 井 勇

はじめに

京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地では、外国産樹種を導入し、その育成¹⁾を行なっているが、中でもマツ類の育成数は60余種に達している。これらの樹種を対象とした試験研究は数多く行なわれ、とくに、マツ類の交雑育種に関する研究は1960年から行なっていて、在来種のクロマツやアカマツおよび数種の外国産マツ類を用いて、それら相互間における交雑可能性の検討や雑種²⁾の諸形態について調査している。すでに、クロマツを雌性親とした各種の組合せにおける交雑可能性³⁾について明らかにし、交雑適期の検討、さらに、外国産マツを含む8種間64通りの交雑可能性⁴⁾についても明らかにした。また、雑種苗木の諸特性^{5,6,7)}についても調査報告している。

本報告は推定雑種を早期に検定する指標を検出するための一連の調査の中から、クロマツ×アカマツ、クロマツ×タイワンアカマツ雑種についての調査結果をとりまとめたものである。今回の報告に関する交雑ならびに調査にあたっては当試験地の藤本博次技官の協力を得、本報告をまとめるにあたっては、東京大学の勝田恒博士ならびに本学演習林の古野東州博士から御教示いただいたことに対し深謝いたします。

材料および方法

本実験の材料はクロマツ (*Pinus thunbergii* Parl.) S. 2号木を雌性親とし、アカマツ (*P. densiflora* Sieb. & Zucc.) S. 1号木およびタイワンアカマツ (*P. massoniana* Lamb.) S. 4号木を雄性親として1963年に交雑したもので、1964年10月に両親の自然交雑の球果ならびに人工交雑の球果を採取した。1965年1月採取した種子を温室内で播種、同年6月苗畑へ床替した苗木を用いた。針葉の調査は1966年10~12月にそれぞれの苗木群より無作為に5個体を選び、苗木の主軸中央部より、前年に伸長した針葉を1個体当たり30葉束ずつ、1種150葉束について次のような方法で測定した。

A. 肉眼的測定

- 1) 針葉長：葉鞘を含む基部より先端までの長さ。
- 2) 旋回度：針葉基部の腹面を平たんな板面上に置き、1回転を4とした。
- 3) 葉鞘長：針葉基部より完全に附着している部分長

B. 顕微鏡的測定

- 4) 鋸歯数：針葉基部から2cmの部位における葉縁1cm当りの鋸歯数
- 5) 気孔条数：針葉の基部から2cmの部位における腹、背面に発現する条数
- 6) 気孔数：前項5)と同部位における1cm長当りに発現する1条当りの気孔数

C. 解剖的測定

針葉の中央部を安全カミソリ刃を使って、フリーハンドで1針葉当り10数片のうすい横断切片を作り、70%アルコールに浸したのち、2%のフロログルミンの水溶液と稀塩酸で染色し検鏡した。

- 7) 葉 巾：横断面の腹面の長さ
- 8) 葉 厚：横断面の腹面に対し垂直方向に背面の中央部に達する長さ
- 9) 表皮細胞の大きさ：横断面背面中央部におけるもっとも平均的な1細胞の長，短径
- 10) 下表皮細胞：細胞層数を一般部位（角隅部位を除く）と角隅部位に分けて調べ，細胞の大きさについては前項 9) と同様の方法で行なった。
- 11) 気孔の大きさ：横断面における背面中央部に発現する気孔のもっとも大きいものを選び，前庭部と内腔部に分け，深さと巾を測定
- 12) 樹脂道：主樹脂道と副樹脂道の発現数と発現位置（外位率）を調べ，主樹脂の大きさを長，短径について測定
- 13) 保護鞘細胞：細胞数および，中でもっとも平均的な1細胞の長，短径
- 14) 中心柱：横断面の腹面に対し垂直方向に厚さ，水平方向に巾を測定
- 15) 内皮細胞：細胞数と横断面背面の中央部方向の平均した1細胞の長，短径

結果および考察

推定雑種を早期に検定することは，交雑育種を進める上で重要なことであり，その指標となる形態は針葉の諸形態の解析からの検出であろうと思われる。これらの諸形態の解析には，個体内の変異，さらには個体間の変異がともなう。この変異には2通りがあり，1つは不連続の変異，他は連続的変異であろう。早期検定の指標としては，不連続的変異を示すもので，両親間で明らかな差のある場合には，その検定は容易と思われるが，大部分の形態は連続的変異を示す場合が多く，この場合，その変異巾が問題であろうと思われる。すなわち，個体内で，その形態の変異巾が小さく，かつ，個体間で有意な差を示さないような形態が，両親それぞれ独立したモードにあるようなものや，その逆に個体内でかなりの変異をとめない，個体間で有意な差がなく，しかも両親間で接近した形で独立したモードを示すような形態や，その他種々なパターンが想定される。こうした観点から両親や雑種苗木の針葉の形態それぞれについて解析し，個体内変異，個体間の有意性について調べ，早期検定の指標となる形態を導き出そうとしたものである。

針葉の外部形態

両親の自然交雑による苗木と雑種苗木の針葉外部形態の調査結果は表1に示すとおりである。

両親雑種およびそれぞれの両親の自然交雑苗木の各形態における個体内の変異はそれぞれ連続的変異を示していて，その変異巾は各形態においてかなりの大小をとまっている。さらに，個体間では，タイワンアカマツの旋回度，クロマツ×タイワンアカマツの葉鞘長などでは有意な差を示さず，アカマツの縦断面形状比，クロマツ×タイワンアカマツの横断面形状比などでは5%レベルで有意であり，他の諸形態は1%レベルで有意であった。

しかしながら，個体差を示すものの中でもおのおのの形態の変異巾についてみると小さいものもあり，たとえば，針葉長では，クロマツ11.5cm，アカマツ14.8cmはともに変異係数6%程度にとどまっている。このように変異の巾が非常に小さいもの（変異係数10%以内）には，葉長，葉巾，葉厚，横断面積などが上げられ，これらのものは，雑種を検定する1つの指標となるものと思われる。

これらの形態における両親および雑種の分散状態についてみると，葉長では図1，2のとおり，両親雑種ではやや異った分散を示しているが，ともに雄性親に似かよっている。葉巾では図3，4に示すとおり，クロマツ×アカマツ雑種は雄性親，クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間的な分散

表1 雑種およびその両親の自然交雑苗木の針葉外部形態の調査結果

項目	P. thunbergii		P. densiflora		P. massoniana		P. thunb. × P. dens.		P. thunb. × P. masso.	
	平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo
葉長 (cm)	11.53±0.74	34.74**	14.82±0.97	28.52**	16.18±2.42	40.06**	13.87±1.28	62.52**	15.66±1.31	15.77**
葉幅 (μ)	1532.33±116.32	201.33**	1214.83±60.63	31.99**	1051.83±72.68	30.24**	1260.00±102.63	78.44**	1319.50±89.85	110.94**
葉厚 (μ)	987.83±66.74	69.33**	759.00±39.51	8.48**	620.33±41.63	10.73**	823.00±59.76	36.28**	785.33±59.64	37.29**
横断面積 (mm ²)	0.60±0.08	225.44**	0.42±0.07	4.30**	0.26±0.03	23.83**	0.42±0.07	123.50**	0.41±0.06	119.14**
体積 (mm ³)	69.05±15.02	52.31**	53.93±6.74	39.19**	43.71±15.93	27.91**	58.61±13.54	136.93**	64.29±12.31	94.50**
横断面形状比 (%)	64.62±3.85	17.97**	62.54±2.63	4.04**	59.11±4.03	7.49**	65.46±3.49	6.07**	59.60±3.76	3.09*
縦断面形状比 (%)	1.33±0.14	14.00**	0.82±0.07	3.00*	0.66±0.11	20.49**	0.91±0.03	5.00**	0.85±0.02	10.00**
葉鞘長 (mm)	6.07±2.60	10.11**	5.60±2.06	14.69**	8.58±1.55	8.89**	5.55±1.34	6.09**	7.97±0.88	1.31**
葉鞘比率 (%)	5.65±1.21	14.27**	3.81±1.14	19.92**	5.37±0.82	17.52**	4.03±1.05	8.66**	5.14±0.73	7.98**
鋸歯数	5.47±1.06	9.29**	4.66±1.01	7.10**	5.06±1.11	13.31**	4.65±1.10	31.59**	4.90±0.88	3.74**
回数	1.94±0.91	12.14**	3.46±1.30	4.99**	2.38±1.44	1.68**	3.32±1.22	14.26**	2.38±0.97	9.45**

* 5%レベルで有意

** 1%レベルで有意

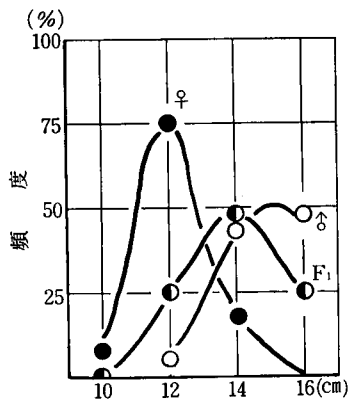


図1 クロマツ×アカマツ雑種苗木およびその両親の自然交雑苗木の針葉長

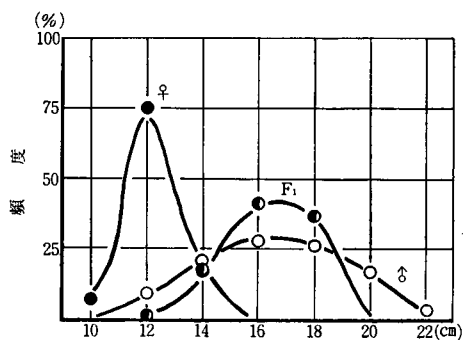


図2 クロマツ×台湾アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉長

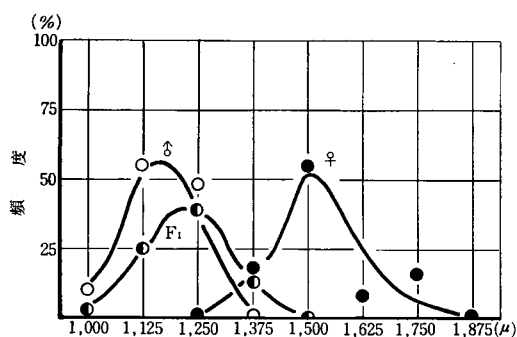


図3 クロマツ×アカマツ雑種苗木およびその両親の自然交雑苗木の針葉の横断面における葉巾

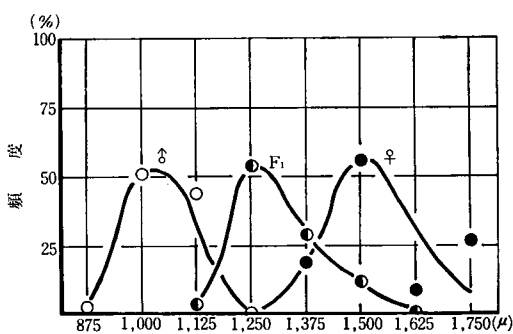


図4 クロマツ×台湾アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の横断面における葉巾

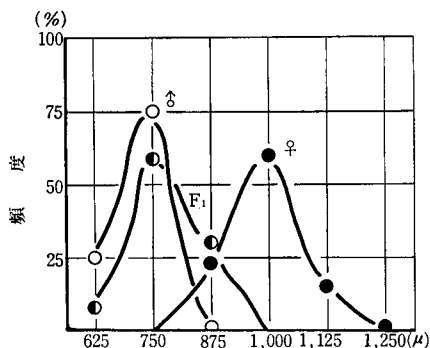


図5 クロマツ×アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の横断面における葉厚

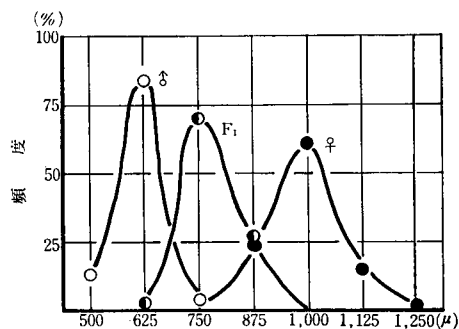


図6 クロマツ×台湾アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の横断面における葉厚

を示し、葉厚では図5、6のとおり、両雑種とも葉巾と似かよった分散を示している。

針葉の内部形態

両親の自然交雑による苗木と雑種苗木の針葉内部形態についての調査結果は表2のとおりである。

表2 雑種およびその両親の自然交雑苗木の針葉内部形態の調査結果

項目		種	P. thunbergii		P. densiflora		P. massoniana		P. thunb. × P. dens.		P. thunb. × P. masso.	
			平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo	平均値	Fo
表皮細胞	長径 (μ)		13.60 ± 2.46	2.24 [*]	11.23 ± 2.17	1.57	10.07 ± 1.26	1.68	11.23 ± 2.17	6.63 ^{**}	10.00 ± 0	—
	短径 (μ)		11.70 ± 2.44	2.57 [*]	10.03 ± 1.49	1.43	9.90 ± 1.22	1.00	10.43 ± 1.55	5.79 ^{**}	10.00 ± 0	—
	面積 (μ^2)		126.30 ± 38.49	3.47 ^{**}	89.14 ± 21.92	1.49	78.93 ± 16.63	1.06	93.15 ± 29.76	7.63 ^{**}	78.50 ± 0	—
下表皮細胞	長径 (μ)		22.50 ± 3.40	5.12 ^{**}	16.00 ± 3.11	1.29	12.70 ± 2.46	9.98 ^{**}	18.50 ± 4.42	10.36 ^{**}	15.50 ± 2.43	4.95 ^{**}
	短径 (μ)		19.73 ± 3.28	5.60 ^{**}	11.27 ± 2.31	1.93	10.47 ± 1.62	9.16 ^{**}	13.80 ± 3.79	5.79 ^{**}	11.23 ± 2.32	4.10 ^{**}
	面積 (μ^2)		352.44 ± 91.61	8.61 ^{**}	142.72 ± 46.6	2.15	105.28 ± 37.94	8.71 ^{**}	208.03 ± 93.70	8.81 ^{**}	137.88 ± 44.99	6.13 ^{**}
	一般部位の層数		2.0 ± 0	—	1.0 ± 0	—	1.0 ± 0	—	1.0 ± 0	0.75	1.0 ± 0	—
	角隅部位の層数		2.77 ± 0.45	9.71 ^{**}	2.09 ± 0.41	2.73 [*]	1.44 ± 0.50	25.80 ^{**}	2.25 ± 0.41	3.88 ^{**}	1.85 ± 0.35	2.23
気孔条数	背面		10.67 ± 1.21	23.93 ^{**}	7.38 ± 1.23	6.33 ^{**}	7.64 ± 1.38	14.11 ^{**}	8.53 ± 1.24	26.88 ^{**}	9.35 ± 1.49	31.49 ^{**}
	腹面		7.20 ± 1.08	32.47 ^{**}	6.35 ± 1.01	2.24	5.58 ± 1.16	7.90 ^{**}	6.21 ± 0.99	19.84 ^{**}	6.45 ± 0.81	6.57 ^{**}
	計		17.86 ± 2.02	48.67 ^{**}	13.73 ± 1.60	7.12 ^{**}	13.22 ± 2.14	25.68 ^{**}	14.75 ± 2.04	28.85 ^{**}	15.79 ± 1.96	33.31 ^{**}
1条当り気孔数	背面		10.15 ± 0.44	4.04 ^{**}	12.94 ± 0.93	11.14 ^{**}	12.44 ± 1.44	15.66 ^{**}	11.02 ± 0.75	39.24 ^{**}	10.91 ± 0.66	11.68 ^{**}
	腹面		10.07 ± 0.54	6.96 ^{**}	11.83 ± 1.42	5.11 ^{**}	12.53 ± 1.18	44.66 ^{**}	10.53 ± 0.81	20.75 ^{**}	11.07 ± 0.78	12.38 ^{**}
	計		20.22 ± 0.90	6.90 ^{**}	24.77 ± 1.51	15.56 ^{**}	24.98 ± 2.02	25.83 ^{**}	21.54 ± 0.37	35.73 ^{**}	21.98 ± 1.03	32.55 ^{**}
気孔前庭部	幅 (μ)		25.90 ± 5.80	6.69 ^{**}	15.33 ± 4.36	3.48 ^{**}	20.03 ± 6.40	36.41 ^{**}	21.27 ± 4.19	0.92	15.47 ± 3.96	0.74
	深さ (μ)		34.27 ± 7.99	2.93	15.90 ± 3.79	0.85	23.47 ± 10.16	113.57 ^{**}	21.57 ± 4.07	3.22 [*]	13.97 ± 3.65	1.29
	面積 (μ^2)		897.70 ± 297.47	10.38 ^{**}	244.50 ± 74.36	0.86	515.00 ± 326.73	74.38 ^{**}	460.33 ± 155.85	2.35 [*]	217.87 ± 108.52	1.08
気孔内腔部	幅 (μ)		26.97 ± 5.93	10.08 ^{**}	24.23 ± 5.17	1.57	19.90 ± 8.06	14.04 ^{**}	25.58 ± 3.65	20.07 ^{**}	19.33 ± 4.93	0.83
	深さ (μ)		70.47 ± 9.04	8.86 ^{**}	61.00 ± 7.98	1.36	39.33 ± 9.17	3.16 [*]	68.80 ± 10.04	8.72 ^{**}	41.47 ± 8.77	1.26
	面積 (μ^2)		1899.67 ± 464.65	11.55 ^{**}	1477.67 ± 329.70	3.84 ^{**}	800.83 ± 328.66	12.38 ^{**}	1701.17 ± 448.57	6.43 ^{**}	767.67 ± 274.60	2.31

樹脂道	主樹脂道数	2.0 ± 0	—	2.0 ± 0	—	2.0 ± 0	—	2.0 ± 0	—	2.0 ± 0	—
	副樹脂道数	0	—	3.29 ± 1.16	33.90	0.99 ± 1.01	84.47	1.01 ± 0.74	21.83	0.23 ± 0.42	7.53
	位置(外位率)(%)	0	—	100.0 ± 0	—	100.0 ± 0	—	31.82 ± 29.39	—	47.83 ± 42.18	—
	主樹脂道の長径(μ)	34.27 ± 11.90	8.85	36.37 ± 8.66	9.61	26.63 ± 6.35	2.48	34.60 ± 10.54	4.84	34.30 ± 8.89	1.38
	“ 短径(μ)	29.10 ± 10.49	9.54	30.27 ± 7.34	8.80	23.43 ± 5.40	3.95	28.10 ± 8.84	1.86	29.03 ± 7.49	1.06
	“ 面積(μ ²)	865.00 ± 569.14	8.11	898.56 ± 379.19	9.36	498.64 ± 94.17	95.71	815.60 ± 478.20	2.99	812.50 ± 402.15	1.27
保護鞘細胞	数	9.31 ± 1.10	3.26	7.56 ± 1.25	51.0	6.45 ± 1.19	27.99	8.80 ± 1.24	1.83	8.47 ± 0.94	0.25
	長径(μ)	21.00 ± 3.70	1.79	23.00 ± 3.61	1.38	19.77 ± 3.51	3.73	22.57 ± 3.38	1.36	21.77 ± 3.55	4.31
	短径(μ)	17.27 ± 3.43	1.14	20.27 ± 3.76	4.11	16.17 ± 3.75	2.99	19.97 ± 3.22	4.46	18.70 ± 3.48	2.01
	面積(μ ²)	287.91 ± 87.71	1.94	368.74 ± 109.49	2.99	258.02 ± 91.29	3.03	376.65 ± 102.37	176.91	323.18 ± 101.56	3.25
中心柱	幅(μ)	734.73 ± 57.24	119.95	616.40 ± 60.21	63.71	480.93 ± 50.61	41.00	622.27 ± 62.47	55.60	610.33 ± 56.07	39.56
	厚さ(μ)	483.00 ± 40.98	50.96	402.13 ± 26.95	7.87	318.33 ± 24.87	51.14	416.40 ± 33.25	39.66	383.67 ± 27.56	10.08
	面積(mm ²)	0.28 ± 0.03	100.00	0.19 ± 0.04	12.56	0.12 ± 0.03	20.33	0.20 ± 0.05	91.67	0.18 ± 0.06	1.00
中心柱と針葉	幅比(%)	47.85 ± 2.70	10.71	50.55 ± 4.37	29.31	45.73 ± 3.35	11.66	49.38 ± 2.00	9.48	46.16 ± 3.07	5.32
	厚比(%)	48.91 ± 2.73	7.31	52.90 ± 3.43	16.88	51.18 ± 5.13	4.08	50.64 ± 2.73	9.80	48.98 ± 3.24	8.60
	面積比(%)	46.69 ± 4.01	9.24	53.13 ± 5.71	23.81	46.76 ± 6.29	5.32	48.59 ± 3.57	1.16	44.89 ± 2.15	1.73
内皮細胞	数	34.97 ± 2.82	17.85	36.57 ± 4.37	72.34	28.15 ± 2.77	36.65	34.19 ± 3.36	30.07	31.76 ± 3.15	33.78
	長径(μ)	53.53 ± 9.26	5.30	44.53 ± 5.14	1.17	42.03 ± 6.22	0.53	46.37 ± 6.11	11.42	48.80 ± 6.90	1.87
	短径(μ)	30.33 ± 4.98	2.03	25.50 ± 3.73	4.56	25.73 ± 4.65	4.27	27.10 ± 3.97	1.07	30.03 ± 5.04	2.76
	面積(μ ²)	1283.94 ± 348.53	4.91	892.66 ± 126.77	11.67	851.09 ± 158.93	14.42	991.57 ± 222.46	4.73	1153.10 ± 293.28	2.14

* 5%レベルで有意

** 1%レベルで有意

両親および両雑種の各形態の個体内変異は、下表皮細胞の一般部位の層数、主樹脂道数、樹脂道の発現位置（雑種を除く）などのように不連続の変異を示すものと、各細胞の大きさなどのように連続的変異を示すものがある。

雑種を検定するための指標としては、下表皮細胞の一般部位の層数のように、クロマツ（雌性親）が2層、アカマツ、タイワンアカマツ（雄性親）が1層であるようなものについては、比較的その識別が容易である。しかしながら、樹脂道の発現位置についてみると、両親間で明らかなちがいを示しているものの、雑種の発現位置はかなりの変異がみられ、とくに、副樹脂道の発現しない個体もあり、主樹脂道の発現位置は比較的雌性親型に発現することから、発現数の少ない幼苗時には適当な指標となりがたいものと思われる。

連続的変異を示す形態の中で、それぞれの個体内の変異巾が比較的小さいものについては、検定に有効な指標となるものと思われる。こうしたことから、外部形態と同様に変異係数が10%以内の形態についてみると、気孔1条当りに発現する気孔数が上げられる（他の諸形態は全般的に変異係数10%以上であった）。気孔条数および1条当りの気孔数の関係についてみると図7、8、9、10のとおり

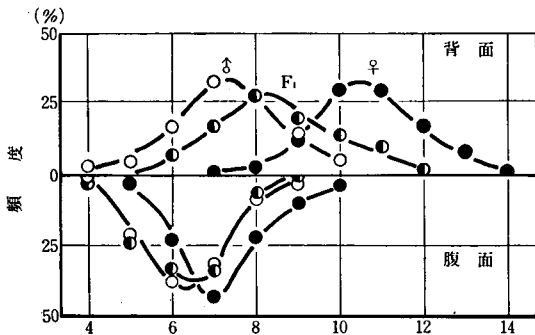


図7 クロマツ×アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の背・腹面における気孔条数

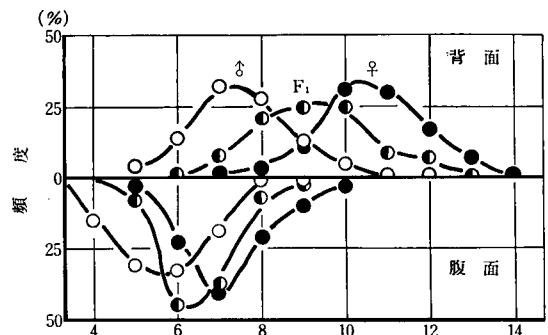


図8 クロマツ×タイワンアカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の背・腹面における気孔条数

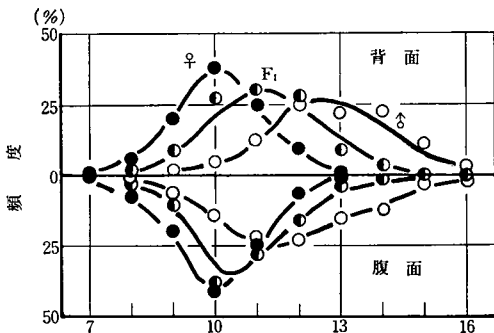


図9 クロマツ×アカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の背・腹面における1条当たりの気孔数

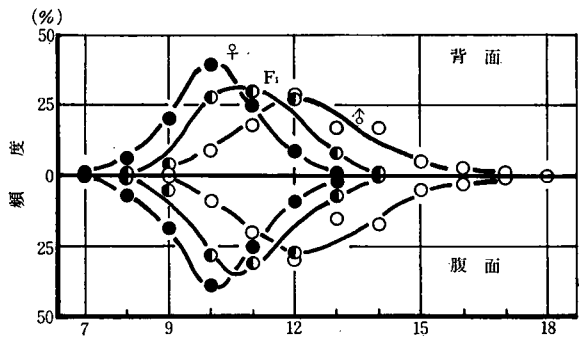


図10 クロマツ×タイワンアカマツ雑種苗木および、その両親の自然交雑苗木の針葉の背・腹面における1条当たりの気孔数

であって、気孔条数では全般的に背面より腹面の方が変異巾が小さく、雑種はともに両親の間ないし雄性親に接近したモードを示している。1条当たりの気孔数についてみると、背、腹面とも比較的似かよった分散を示し、雑種はともに両親の中間的な発現傾向を示した。また、気孔数と気孔条数との関係において、雌性親のクロマツは他の種とくらべ気孔条数が多いのに対し気孔数が減少している。しかし、雄性親はともに気孔条数がクロマツより少なく気孔数の増加がみられた。

個体間で有意な差を示さなかった諸形態は、雌性親のクロマツでは、表皮細胞の長径、下表皮細胞の一般部位の層数、主、副樹脂道数および樹脂道の発現位置、保護鞘細胞の大きさ、内皮細胞の短径などであり、雄性親の内アカマツでは、表皮細胞および下表皮細胞の大きさ、下表皮細胞の一般部位の層数、腹面における気孔条数、気孔前庭部の深さおよび面積、気孔内腔部の中および深さ、主樹脂道数、樹脂道の発現位置、保護鞘細胞の長径、内皮細胞の長径などであり、タイワンアカマツでは、表皮細胞の大きさ、下表皮細胞の一般部位の層数、主樹脂道数、樹脂道の発現位置、内皮細胞の長径などであった。両雑種の内、クロマツ×アカマツでは、下表皮細胞の一般部位の層数、気孔前庭部の巾、主樹脂道数、主樹脂道の短径、保護鞘細胞の数および長径、中心柱と針葉との厚比、内皮細胞の短径であり、クロマツ×タイワンアカマツでは表皮細胞の大きさ、下表皮細胞の一般部位の層数および角隅部位の層数、気孔部および内腔部の大きさ、主樹脂道数および大きさ、保護鞘細胞数および短径、中心柱の面積、中心柱と針葉との面積比、内皮細胞の長径および面積などが上げられる。さらに5%レベルで有意であった形態は、雌性親のクロマツでは、表皮細胞の短径、気孔前庭部の深さ、保護鞘細胞数、雄性親の内アカマツでは下表皮細胞の角隅部位の層数、保護鞘細胞の面積、タイワンアカマツでは、気孔内腔部の深さ、主樹脂道の長径、保護鞘細胞の短径および面積などであった。両雑種の内クロマツ×アカマツでは、気孔前庭部の深さ、面積、主樹脂道の面積、クロマツ×タイワンアカマツでは、保護鞘細胞の面積、内皮細胞の短径などであった。これら以外の諸形態はすべて1%レベルで有意であった。

雑種性の検討

雑種の諸形質は両親の形質をかねそなえていて、ある形質は雌性親から遺伝され、また、ある形質は雄性親から遺伝されることが考えられる。これらの形質を量的、質的の両面から考えてみると、前者は苗木の生育する環境によって変化する可能性が十分に存在するものと思われる。また、後者の場合についても、一般に遺伝的変異と環境変異とを併せて表現するために、遺伝的変異を含んでいても、その有無の識別は困難であろう。この量的なものを支配する遺伝子が同時に質的なものを支配しているか、あるいは両形質が連鎖関係にあることも考えられる。しかし、質的なものは一般に明らかな不連続的変異を示し、その識別が容易であるが、量的なものは連続的変異をとともなうことから、雑種を検定するためには、個体内の変異巾がどの程度であれば有効な指標となり得るかを判断することはむづかしい。したがって、ここでは、両親の形質が雑種の諸形態にどのように発現しているかについて検討した。

両雑種苗木とそれぞれの両親の自然交雑から育成した苗木間の針葉諸形態についての分散分析の結果を表3にとりまとめた。さらに、雌性親の諸形態の測定平均値を100として、雄性親および雑種を対比させると図11、12のようになる。

まず、両親間のそれぞれの形態の有意性についてみると、針葉外部形態においては、クロマツとアカマツとでは、葉鞘長、主樹脂道数、主樹脂道の大きさ、クロマツとタイワンアカマツとでは、主樹脂道数などにおいて有意を示さなかった他は1%レベルで有意であった。このような両親の関係と雑種の関係において、その雑種性を検討してみると、針葉長では、両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示し、雑種は雄性親に近く、葉巾では、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親との間で有意差を示さず、クロマツ×タイワンアカマツでは雌性親との間で5%レベルの有意差を示した。葉の厚さでは両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示し、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親の方にかたより、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間的な大きさであった。横断面積は両雑種とも葉巾、葉厚と同様の傾向であったが、体積では、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親にほぼかよった大きさを示し、クロマツ×タイワンアカマツは雌性親にかよった大きさを示した。横断面形状比に

表3 両雑種とそれぞれの両親の苗木の針葉諸形態についての有意性

項 目		種	クロマツ	クロマツ	クロマツ	クロマツ	クロマツ	クロマツ
			： クロマツ × アカマツ	× アカマツ ： アカマツ	：	： クロマツ × ワイワン アカマツ	× ワイワン アカマツ ：	：
外部形態	葉葉葉横体横縦葉葉鋸旋	長巾厚積積比比長率数度	++	++	++	++	++	++
	断面形状	断面形状	++	++	++	++	++	++
内部形態	表皮細胞	長短面	++	++	++	++	++	++
	下表皮細胞	長短面	++	++	++	++	++	++
		一般部位の層数	++	++	++	++	++	++
	気孔条数	背腹	++	++	++	++	++	++
		計	++	++	++	++	++	++
	一条当りの数	背腹	++	++	++	++	++	++
		計	++	++	++	++	++	++
	気孔前庭部	深面	++	++	++	++	++	++
		巾	++	++	++	++	++	++
	気孔内腔部	深面	++	++	++	++	++	++
巾		++	++	++	++	++	++	
樹脂道	主樹脂道	道位	++	++	++	++	++	++
	副樹脂道	道位	++	++	++	++	++	++
	主樹脂道	道位	++	++	++	++	++	++
	主樹脂道	道位	++	++	++	++	++	++
護保鞘細胞	長短面	++	++	++	++	++	++	++
	巾	++	++	++	++	++	++	++
	厚面	++	++	++	++	++	++	++
	厚面	++	++	++	++	++	++	++
中心柱と針葉	厚面	++	++	++	++	++	++	++
	厚面	++	++	++	++	++	++	++
内皮細胞	長短面	++	++	++	++	++	++	++
	厚面	++	++	++	++	++	++	++

++ : 1%レベルで有意

+ : 5%レベルで有意

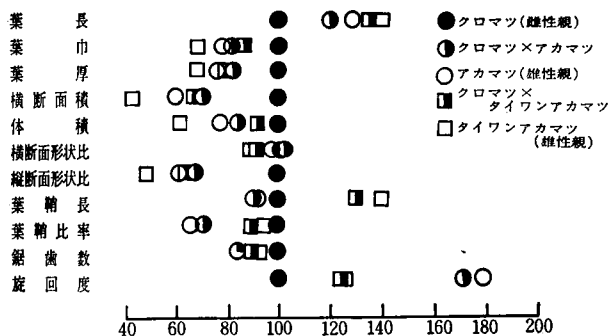


図11 クロマツ×アカマツ，クロマツ×タイワンアカマツ雑種および、その両親の自然交雑苗木の針葉外部形態において、クロマツ（雌性親）の測定平均値を100とした場合の関係

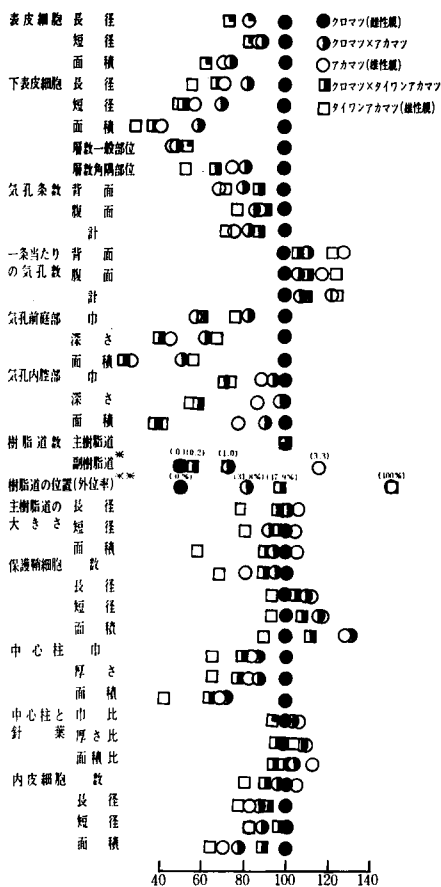


図12 クロマツ×アカマツ，クロマツ×タイワンアカマツ雑種およびその両親の自然交雑苗木の針葉内部形態においてクロマツ（雌性親）の測定平均値を100とした場合の関係

ついてみると、各種とも変異巾が小さく、クロマツ×アカマツ雑種ではクロマツとの間で5%レベルの有意差を示し、クロマツ×タイワンアカマツ雑種はタイワンアカマツとの間で有意な差を示さなかった。一方縦断面形状比では両雑種とも両親との間で1%レベルで有意差を示した。葉鞘長ではクロマツ×タイワンアカマツ雑種が両親との間で1%レベルの有意差を示し、クロマツ×アカマツ雑種でははっきりとした傾向を示さなかった。針葉長と葉鞘長との長さの比では両雑種とも雄性親にかよった比率を示した。鋸歯数についてみると、両雑種とも雄性親との間で有意な差を示さずとも雄性親にかよった鋸歯を有するようである。

旋回度においては、両親間で明らかな差がみられるが両雑種とも雄性親との間で有意な差を示さなかった。

以上、針葉の外部形態について雑種と両親との関係をのべてきた。

これらの諸形態の中で、Bissner-Fistscher⁸⁾は葉の長さは分類学上の一基準とし、クロマツやアカマツはともに7cm以上の部類に入れられるとした。また、Shaw⁹⁾はStrobiに属する *Pinus parviflora* P. *peuce*, *P. excelsa* の3種を分ける基準として主として葉長をもって行なっている。さらに、佐藤¹¹⁾はシラハタマツの研究において、葉長と樹脂道の発現位置との関係を調査し、その関係ははっきりとした傾向を見い出せなかったとしている。同じような調査をクロマツ、アカマツについて調べた遠山¹⁰⁾らも、樹脂道率との関係では明らかな差を示さなかったとのべている。Keng¹²⁾とLittle¹²⁾らによると、針葉長はその種の遺伝型、環境、年齢あるいは苗木（樹）の生活力などの相互の影

響が現われるが、概して、雑種は両親の中間に現われるとのべ、Vidacovic¹³⁾は Scots Pine と Austrian Pine の組合せから得られた雑種は両親の中間に現われたと報告している。この他、葉長に関する調査報告は数多くあるが、葉巾、葉厚、葉鞘長、旋回数などについての報告は数少ないようである。¹⁴⁻¹⁵⁻¹⁶⁾しかし鋸歯数については Fowler¹⁷⁾らが *Pinus peuce* × *P. strobus* で、また Keng と Little¹⁸⁾らは多くの雑種について鋸歯の有無について調べている。さらに、Wright と Gabriel¹⁵⁾らは本実験と同じ雑種（クロマツ×タイワンアカマツ）について調べているがあまり詳細な調査をおこなっていない。

本調査の結果と上述したそれぞれの報告などを総合的に考え合せると、針葉の外部形態のみで雑種の検定に有効な指標を検出するためには、種々な因子がからみ合っていることから非常にむづかしいと考えられる。ただ、雑種の形質発現が両親の中間、または両親のどちらかにかたよって発現することは明らかであった。したがって、雑種の針葉外部形態のかたよりについてまとめると次のとおりである。

1) 雌性親に近い形態

クロマツ×アカマツ：横断面形状比

クロマツ×タイワンアカマツ：体積

2) 両親の中間的形態

クロマツ×タイワンアカマツ：葉巾、葉厚、横断面積

3) 雄性親に近い形態

クロマツ×アカマツ：葉長、葉巾、葉厚、横断面積、体積、縦断面形状比、葉鞘比率、旋回数。

クロマツ×タイワンアカマツ：葉長、横断面形状比、縦断面形状比、葉鞘長、葉鞘比率、旋回数。

4) 1, 2, 3のグループに属さない形態

クロマツ×アカマツ：葉鞘長

ついで、針葉内部形態についてみると、表皮細胞の大きさでは両雑種とも雄性親との間で有意な差を示さず、下表皮細胞の大きさでは両雑種とも両親の中間ないし、雄性親に似た大きさであった。下表皮細胞の層数における一般部位では、両雑種とも雄性親と同数を示し雌性親の形質はほとんど発現しなかった。角隅部位では両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示したが、やや雄性親に近い層数であった。背面における気孔条数の発現についてみると、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親にちかい条数を示し、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間であった。一方腹面ではクロマツ×アカマツ雑種は雄性親との間で有意な差がなく、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間的発現であった。気孔一条当りに発現する気孔数では、両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示したが、そのかたより方はクロマツ×アカマツ雑種では、雌性親、クロマツ×タイワンアカマツ雑種では両親の中間的な発現傾向を示した。気孔前庭部の大きさでは、両雑種とも両親との間で1%レベルで有意差を示し、クロマツ×アカマツ雑種は両親の中間的大きさであったが、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親より小さかった。気孔内腔部の大きさではクロマツ×アカマツ雑種は両親の中間的大きさを示したが、クロマツ×タイワンアカマツでは雄性親にかよった大きさであった。樹脂道についてみると、主樹脂道数は一針葉に2個発現していて種間の差はみられなかったが、副樹脂道の発現数は両雑種とも両親との間で明らかな差を示し、概して両雑種とも雄性親の発現数に近かった。樹脂道の位置では両雑種の雄性親の発現位置が外位にあることから（雌性親の発現位置は中位）外位率によってまとめ、外位率のたかくなるほど雑種性のたかくなることを示したものである。全般にクロマツ型（中位）が優性に現われ、クロマツ×アカマツ雑種（32%）はクロマツ×タイワンアカマツ雑種（49%）より雌性親に近い形質発現のように思われる。主樹脂道の大きさでは、クロマツ×アカマツ雑種は両親より小さく、両親との間で有意な差を示さなかったが、クロマツ×タイワンアカマツ

雑種は両親との間で1%レベルの有意差を示し、雌性親にかよった大きさであった。保護鞘細胞数では、両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示し両親の間ないしは雌性親に接近した発現であった。細胞の大きさでは、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親との間で差がなく、クロマツ×タイワンアカマツは両親よりも大きかった。中心柱の大きさでは、両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示し、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親に比較的にかよった大きさを示し、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は、両親の中間的な大きさを示した。中心柱と針葉断面との大きさの関係では、雌、雄性親、雑種とも針葉断面の約1/2の大きさを示しているが、種間における差は判然としなかった。内皮細胞数では、クロマツ×アカマツ雑種は雌性親に接近し、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間に発現した。細胞の大きさでは、両雑種とも両親との間で1%レベルの有意差を示しているが、概して、クロマツ×アカマツ雑種は雄性親にかよった大きさを示し、クロマツ×タイワンアカマツ雑種は両親の中間的大きさであった。

以上、両雑種と両親との針葉内部形態の発現関係についてのべてきた。これらの形態の内、とくに、樹脂道の発現位置や下表皮細胞の厚さについては、古くより種の識別基準として用いられている^{19,20,21,22)}。しかし、針葉内部形態全般についての調査は個体内の変異が相当ともなうことから、上述の樹脂道の発現位置や下表皮細胞の厚さ以外の形態は種の識別基準としがたいとしている^{11,16,20,22)}。また、樹脂道の発現位置と他の形質との関係を調べた報告もあるが、ほとんど関係しないことを明らかにしている^{10,11)}。さらに、主樹脂道の発現位置と副樹脂道の発現位置の度合の異なることについて、柴田^{23,24)}や森川¹⁹⁾らののべているように、何か異なった遺伝子が働くのではないかと考えられる。樹脂道の発現位置や数および下表皮細胞の層数について中井³⁾らはクロマツ×タイワンアカマツ雑種を用いて、1個体のあらゆる部位から針葉を選び、その変異について調べた。その結果、概して樹脂道数や位置は抽出した部位ごとに変わることをみとめたが、下表皮細胞の層数は一定していたことをみとめている。気孔条数についてはそのバラツキは大きい^{7,8,10,11,26,27,28,29)}が、傾度曲線上では雑種は両親の中間に現われる場合が多いようである。

針葉内部形態についても外部形態と同様のことが考えられ、雑種を検定しようとする場合の指標となる形質の検出はさらに検討を要すると思われる。しかし、雑種の各形態のかたよりは比較的是っきりとした傾向を示している。すなわち、次のようなグループに分けることが出来る。

1) 雌性親に近い形態

クロマツ×アカマツ：主樹脂道の大きさ

クロマツ×タイワンアカマツ：気孔数、主樹脂道の大きさ、中心柱と針葉横断面の厚比

2) 両親の中間的形態

クロマツ×アカマツ：下表皮細胞の大きさ、気孔前庭部の大きさ、気孔内腔部の大きさ、樹脂道の発現位置、保護鞘細胞数、中心柱と針葉横断面との面積比

クロマツ×タイワンアカマツ：気孔条数、樹脂道の発現位置、保護鞘細胞、内皮細胞

3) 雄性親に近い形態

クロマツ×アカマツ：表皮細胞の大きさ、下表皮細胞の層数、気孔条数、樹脂道数、保護鞘細胞の大きさ、中心柱の大きさ、内部細胞

クロマツ×タイワンアカマツ：表皮細胞の大きさ、下表皮細胞の大きさ及び層数、気孔内腔部の大きさ、樹脂道数、中心柱と針葉横断面との巾比

4) 1, 2, 3のグループに属さない形質

クロマツ×タイワンアカマツ：気孔前庭部の大きさ、保護鞘細胞の大きさ、中心柱と針葉横断面との面積比

大部分のものは両雑種とも両親の間ないしは雄性親に近い発現を示していて、全体的には雑種の

検定が可能である。また、両雑種の発現傾向は多少異なっているようであった。

おわりに

推定雑種を早期に検定するため、針葉の諸形態から有効な指標となるものを検出するための基礎的な資料を集め分析してきた。その結果、両親間における下表皮細胞の一般部位での層数や樹脂道の発現位置などは個体内では不連続的変異を示し、個体間で有意な差を示さず、しかも種間の差異がはっきりと現われた。しかしながら、他の連続的変異を示した諸形態の大部分は種間で有意な差が現われている。したがって、雑種を早期に検定する場合、両親間でもっとも安定している形態を指標とすることから、上述の下表皮細胞の層数（一般部位）と樹脂道の発現位置などが適当だと思われる。ただし、樹脂道の発現位置については、副樹脂道の発現数と密接な関係があることから、幼苗時における検定には十分な指標とならないように思われる。

今回は両親と雑種の針葉の外部、内部形態のちがいをとめ、次回には生長をも含めた形質遺伝についてまとめたいと考えている。

参考文献

1. 伊佐義朗編：京都大学上賀茂試験地に導入された外国樹種とその生育状況，京大集報 **9**, 1~84, (1970)
2. 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，京大演報 **39**, 125~143, (1967)
3. 中井勇，藤本博次，伊佐義朗：マツ類の種間交雑に関する研究，林業技術 **299**, 25~27, (1967)
4. 中井 勇：マツ類の種間交雑について，林木育種，**55**, 3~5, (1959)
5. 中井 勇，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（Ⅳ）日林関西支講**19**, 141~143, (1969)
6. 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（Ⅲ）日林関西支講**17**, 18, (1967)
7. 中井 勇，藤本博次，稲森幸雄：マツ類の種間交雑に関する研究，日林関西支講 **15**, 39~40, (1965)
8. Beissen-Fitschenä：Nadelholzkunde. **3** Aufl, (1930)
9. Shaw. G. R.：The Genus Pinus. Cambridge Riverside Press, (1914)
10. 遠山富太郎：アカマツの遺伝的指標としての葉長，島根農大研報 **11**, 67~72, (1962)
11. 佐藤敬二：シラハタマツの植物学的研究，東大演報 **15**, 1~167, (1931)
12. Hsuan Keng and Elbert L. Little, J. R.：Needle character of Hybrid Pine. *Silvae Genet.* **10** (5) 131~146, (1961)
13. Vidakovic M.：Investigations on the Intermediate Type between Austrian and the Scots Pine. *Silvae Genet.* **7**(1), 12~19, (1958)
14. 山科健二：クロマツ針葉のねじれに関する研究，日林関西支講 **13**, 68~70, (1955)
15. 斉藤雄一：幼令期におけるアカマツ，クロマツおよびアイノコマツの葉の解剖学的構造とその性質について，日林関西支講 **1**, 25, (1950)
16. 斉藤雄一：クロマツとアカマツの人工雑種の形質について，日林講，**62**, 96~97, (1953)
17. Fowler. D. P. and Heimburgar C.：The Hybrid Pinus Peuce G. × Pinus strobus L. *Silvae Genet.* **7**(3), 81~86, (1958)
18. Wright. J. W. and Gabriel, W. J.：Species hybridization in the Hard Pine. Series Sylvestris. *Silvae Genet.* **7**(4), 109~115, (1958)
19. 森川均一：赤松と黒松との中間的性質を有する松の葉の解剖学的研究，九大農学部学芸雑誌 **2**, 2, 96~113, (1925)
20. T. Doi and K. Morikawa：Analytical Key to the Species of the Genus Pinus,

Pased on the Anatomical Characters of Leaves. Jour. of the Dep. of Agr. Kyushu. Imp. Univ. 2, 6, 1~11, (1929)

21. 金平亮三 : 松類の葉の断面による樹種の識別, 日林誌 11, 1~4, (1920)
22. 外山三郎 : 林木育種に関する知見 林試研報 66, 1~269, (1954)
23. 柴田 勝 : アイグロマツ分類に関する一考察 日林中部支講 15, 143~150, (1967)
24. 柴田 勝 : アイグロマツ分類に関する一考察 日林中部支講 14, 9~16, (1966)
25. 前田千秋 : マツ属の開花促進, 早期検定に関する研究, マツ属における交雑育種に関する研究 (中村賢太郎編) 20~25, (1965)
26. 齊藤雄一 : クロマツとアカマツの中間性のマツの数列について 日林講 59, 126~127, (1951)
27. 山科健二 : クロマツ葉の気孔条数について 日林関西支講 3, 68~70, (1955)
28. Mergen F. : Applicability of the Distribution of stomates to Verify Pine Hybrids. Silvae Genet. 8(4), 107~109, (1959)
29. Mergen F. : Genetic Variation in needle characteristics of Slash Pine and some of its hybrids. Silvae Genet. 7(1). 1~9, (1958)

Plate 1. 雑種およびその両親の自然交雑苗木の針葉長

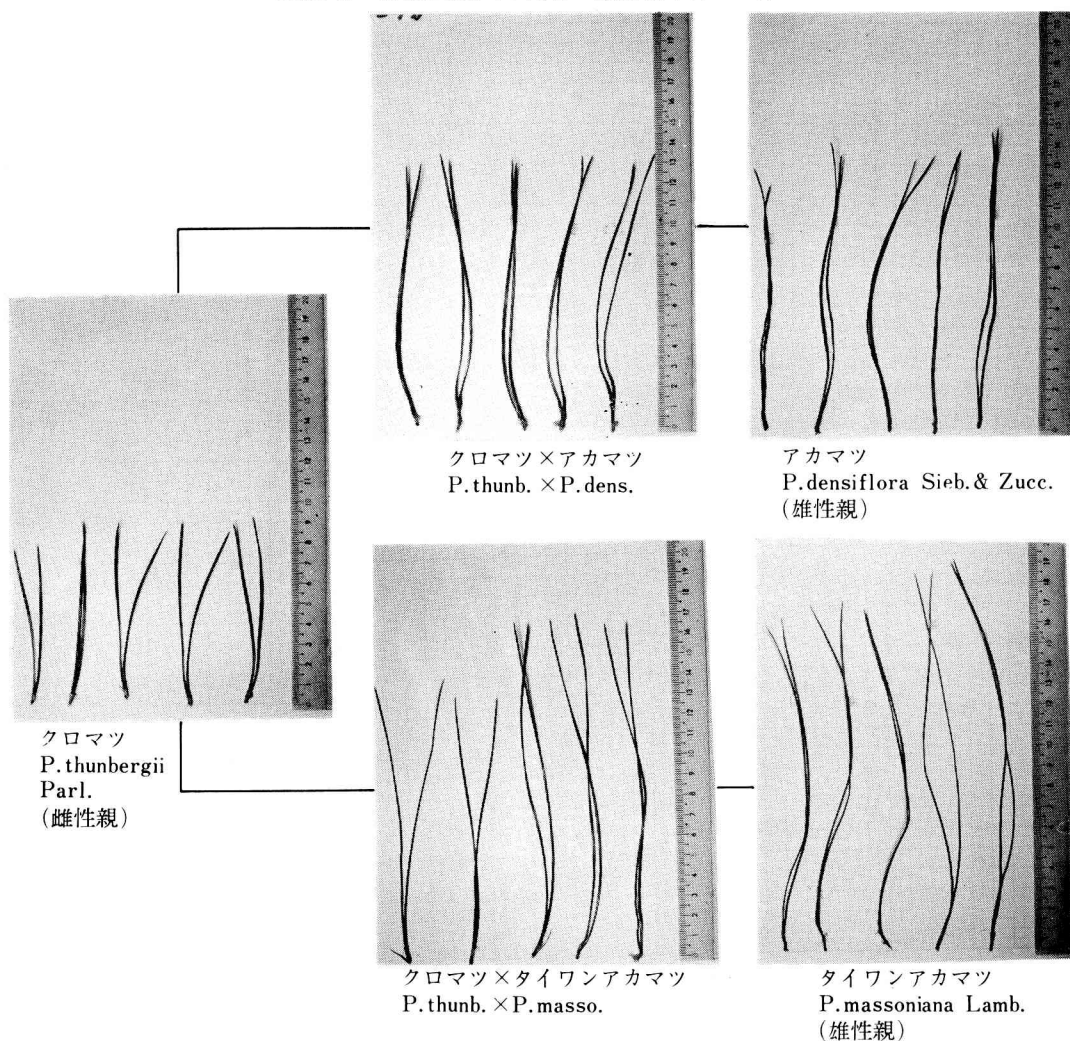


Plate 2. 雑種およびその両親の自然交雑苗木の針葉横断面

