

クロマツの近親交配における球果・タネ および苗木のできかた

斎藤 幹夫⁽¹⁾・岩川 盈夫⁽²⁾・渡辺 操⁽³⁾

Mikio SAITO, Mitsuo IWAKAWA and Misao WATANABE: Effects of Inbreeding
on Cone, Seed, and Seedling Yields in *Pinus thunbergii* PARL.

要 旨：近親の度合をあらわす、近交係数 F の値が 0, 0.125, 0.250, 0.625 および 0.750 となるような、異系交配、半きょうだい間交配、全きょうだい間交配、自殖きょうだい間交配および自殖 2 代などの交配をクロマツで行ない、近親の度合が球果、タネおよび苗木のできかたに、どのような影響があるかをしらべた。

苗木のできかたは、近親の度合が高まるにしたがい、すなわち、近交係数の増加にともなって減少した。この減少は結果率と 1 球果あたりの充実粒数の減少によるものである。

なお、1 球果あたりのタネの総数、真正発芽率および成苗率などは近交係数との相関が高くなかった。

これらの結果から、一連の近親交配では、球果と充実粒ができるときには、近親の度合によって影響をうけるが、充実粒となった後の発芽や稚苗の生存には、近親の度合によって、とくべつ大きな障害をうけることがないと考えてよさそうである。

I はじめに

林木の近親交配については、いままでも数多く研究されているが、これらの研究のほとんどは近親度の点からみれば申程度の、任意の個体における自家受粉についてである。その対象樹種としては、*Pinus*⁽²⁾ ~^{(7)(8)(9)(15)(16)(17)(22)~(26)(28)(29)(30)}, *Pseudotsuga*⁽¹⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾, *Picea*⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁴⁾ および *Larix*⁽²¹⁾ などの多くの種がとりあげられている。

しかし、この自家受粉よりも近親度の低い近親交配、たとえば全きょうだい間交配⁽⁹⁾⁽¹²⁾⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾、戻し交配⁽⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾、半きょうだい間交配⁽¹²⁾⁽²⁴⁾ など、また、上記の自家受粉よりもさらに近親度の高い近親交配、たとえば、自殖きょうだい間交配⁽⁹⁾ および自殖 2 代⁽⁹⁾⁽¹²⁾⁽²⁰⁾、またはそれ以上の交配などについては、まだまだ研究されていない。

さらに、これら一連の近親交配が同時にとりあつかわれた例はなく、大部分の交配型について行なわれた場合でも、数量的に十分といえない例が多い。

筆者らはアカマツとクロマツの雑種 F_1 個体群を主体として、半きょうだい間、全きょうだい間の交配、戻し交配および自殖の反復等一連の近親交配を行ない、近交係数（ある集団内の任意の個体の相同遺伝子が共通の祖先遺伝子から由来した確率）の増大にともなう後世代の弱勢化の程度、特性の分離、それらの間の交配稔性等をしらべることがを目的として、1951 年より試験を開始した。

ここでは、この試験の一部であるクロマツについての、一連の近親交配における球果やタネのできかた、

1973年2月14日受理

(1) (2) 造林部 (3) 東北林木育種場

また、苗木のできかたなどについて報告する。

この試験計画は岩川が立案し、交配母材料の作出は渡辺が行ない、交配タネの調査、養苗ならびに資料のとりまとめは斎藤が行なった。

本試験の交配の実行は、林業試験場と関東林木育種場が共同してすすめた。1963年から1968年にわたる交配は主として、当時、それぞれの掌にあった岡本敬三技官（現林野庁）、遺伝育種第4研究室 三上進室長、武藤 惇技官、遺伝育種第3研究室 福原栖勝室長、山本千秋技官ならびに斎藤によって実行された。また、関東林木育種場の歴代原種課長、ならびに原種課職員の方々の絶大な協力をいただいた。長期にわたる交配の年次計画と実行は、これら多くの方々によってなされたものである。記してあつくお礼申し上げる。

Table 1. クロマツの近親交配・異系交配における Cone, seed and seedling yields, and germinability in different

ミ シ ョ ウ 群 Group	交 配 型 Type of mating	母 樹 数 Number of seed parent	花 粉 親 数 Number of pollen parent	交 配 組 合 せ 数 Number of mating attempted	雌 花 数 Number of pollinated female flower	球 果 の べ つ 交 配 組 合 せ 数 Number of mating yielding cone	球 果 数 Number of cone
II-1 (T20×T44)	自 殖 2 代 Selfing of selfed progenies	3	3	3	236	3	51
	自殖きょうだい間交配 Full-sib cross between selfed progenies	3	3	3	117	2	23
	全きょうだい間交配 Full-sib cross	8	4	9	203	9	102
	半きょうだい間交配 Half-sib cross	7	14	28	500	28	258
	小 計 Sub total	21	24	43	1,056	42	434
II-3 (T21×T44)	自 殖 2 代 Selfing of selfed progenies	9	9	9	781	8	196
	自殖きょうだい間交配 Full-sib cross between selfed progenies	6	4	6	297	3	30
	全きょうだい間交配 Full-sib cross	9	4	21	326	19	176
	半きょうだい間交配 Half-sib cross	13	14	65	1,156	63	653
	異 系 交 配 Outcross	5	3	12	218	11	131
	小 計 Sub total	42	34	113	2,778	104	1,186
合 計 Total		63	58	156	3,834	146	1,620

II 材料と方法

この試験でとり上げた, クロマツ×クロマツ異母樹間交配ミシヨウ群の全きょうだい間, 半きょうだい間の交配, 異系との交配およびミシヨウ群の片親の自殖2代, 自殖きょうだい間の交配などを実行するためには, 前もって, つぎのような交配母材料をつくるのが前提条件となる。

1. 全きょうだい間交配……異母樹間交配によるミシヨウ群
2. 半きょうだい間交配……上記1の母樹と片親が同一の異母樹間交配によるミシヨウ群
3. 自殖きょうだい間交配および自殖2代……上記1の母樹または花粉親の自殖によるミシヨウ群
4. 異系交配……上記1の両親と異なる異母樹間交配によるミシヨウ群

球果, タネ, 苗木のできかたおよび発芽力
intensities of inbreeding, and in outcross in *Pinus thunbergii*

タネのつくり 組合せ母数 Number of mating yielding seed (empty and full seed)	タネの 数 Number of seed (empty and full seed)	充実粒のできた 組合せ数 Number of mating yielding full seed	充 実 粒 数 Number of full seed	ま き つ け 数 Number of sown seed	発 芽 数 Number of germinated seed	調 査 対 象 本 数 Number of seedling investigated	成 立 本 数 Number of seedling after one year growth	交 配 年 度 Year of pollination	採 種 日 期 Date of sowing
3	787	3	292	288	279	246	236	1968	1970 IV/16~21
2	425	2	169	164	164	143	143	1968	"
9	3,190	9	1,907	429	400	344	334	1963 1967	"
26	6,932	25	3,754	1,602	1,573	1,377	1,361	1963 1967	"
40	11,334	39	6,122	2,483	2,416	2,110	2,074		
7	2,450	7	1,177	1,153	1,122	1,010	985	1963 1968	"
3	841	3	457	451	444	417	413	1963 1968	"
19	4,230	19	2,571	392	354	295	291	1963 1967	"
60	14,891	59	10,620	1,505	1,462	1,254	1,231	1963 1967	"
11	3,058	11	2,506	397	381	286	283	1967	"
100	25,470	99	17,331	3,898	3,763	3,262	3,203		
140	36,804	138	23,453	6,381	6,179	5,372	5,277		

これら交配母材料作出のための交配のうち、前記 1 の異母樹間交配を除くその他の交配では、組合せ数、または母樹数で実行された。また、4 の異系交配を除くすべての交配ミショウ群は、1 の異母樹間交配の両親のいずれかに一連の関係がある。

交配母材料としてのミショウ群は、繰り返しの意味で 2 ミショウ群をつくった。

これらの交配は 1951 年に母樹の所在地である水戸市で実行された。交配の結果、得られたタネは 1953 年に、目黒林試構内苗畑にまきつけを行ない、養苗後、1957 年に茨城県水戸市、関東林木育種場構内に定植、保育がつづけられた。以上が交配母材料の作出、定植である。

本試験の交配は、これらの母材料が開花年に達した 1963 年の春に実行した。しかし、交配組合せ数が多数のため、この 1 年で全交配を終了することはできなかった。1963 年に交配不実行の交配型および予定数量のタネが得られなかったものについては、1967 年と 1968 年に交配を行ない補足した。

本試験で実行した交配型と近交係数との関係は、下記のとおりである。

交 配 型	近 交 係 数
異 系 交 配	0
半きょうだい間交配	0.125
全きょうだい間交配	0.250
自殖きょうだい間交配	0.625
自 殖 2 代	0.750

これら一連の交配は 2 ミショウ群について行なった。このうち、1 ミショウ群については供試予定木に枯損や花芽のつかないものなどが生じたことから、異系との交配は不実行に終わった。

2 ミショウ群の各交配型の交配に使用された母樹数および花粉親数、交配組合せ数などは Table 1 に示したとおりである。

交配母樹数および花粉親数は、1 交配型で最低 3 個体以上が使用されるよう計画された。

また、異系交配や半きょうだい間交配のように、異系として、また半きょうだいとしての系統がある場合には、最低 3 系統以上、各系統とも交配母樹数および花粉親数がそれぞれ 3 個体以上の使用が計画された。異系交配では諸般のつごうにより、1 系統だけが使用された。しかし、充実粒を生産した母樹数や花粉親数はそれぞれ 3 個体以上である。この異系交配を除いた他の交配型では、交配の実行段階まではこれらの最低線を満足したが、2 ミショウ群の各交配型のうちのただ 1 つ、II-1 のミショウ群の自殖きょうだい間交配では、1 母樹から球果が生産されなかった。

なお、2 ミショウ群のそれぞれにおける、各交配型の母樹別交配組合せの詳細は Table 2, 3 に示したとおりである。

袋かけ、花粉の採集、受粉の方法はつぎのとおりである。袋かけは、まだ花粉が飛んでいない 4 月上～中旬に白色袋（白色パーチメント紙とセロハン紙による 2 重袋、18 × 40 cm）をつかって行なった。そして、花粉が飛ばなくなった 5 月下旬～6 月上旬に袋をとり、そのまま放置した。花粉は開葯直前の雄花群を枝からつみとり、室内で十分に間隔をとった紙の上で開葯させ採集した。また、交配には原則として、1 年間 4℃（貯蔵庫）でデシケーター中に保存した花粉を使用した。受粉は雌花のりん片の間隔が十分に開いたときを適期とし、この期間に 2 回、花粉銃を用いて行なった。

この試験のために用いた雌花数、球果数、タネの数および充実粒数は Table 1 に示したとおりであ

Table 2. クロマツの近親交配に用いた母樹の交配組合せ表（ミシヨウ群 II-1）
 Cross combinations of tested trees in inbreeding in *P. thumbergii* (Group II-1)

		Family																								
		T20 × T20	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44	T20 × T44													
♀	♂	A948	A953	A956	A945	A943	A941	A944	A977	A966	A965	A975	A827	A846	A851	A852	B80	B81	B92	B10	B15	B18				
		S ₂	S ₂	S ₂																						
		T 20																								
		×																								
		T 20																								

注) S₂ : 自 殖 2 代
 Selfing of selfed progenies.
 F. S : 自殖きょうだい間交配
 Full-sib cross between selfed progenies.
 F : 全きょうだい間交配
 Full-sib cross.
 H : 半きょうだい間交配
 Half-sib cross.

Table 3. クロマツの近親交配および異系交配に
Cross combinations of tested trees in inbreeding

♀	♂	T44 × T44										T21 × T44			
		B187	B188	B193	B194	B195	B196	B197	B198	B200	B10	B15	B16	B18	
		T44 × T44	B187 S ₂	B188 S ₂	B193 S ₂	B194 S ₂	B195 S ₂	B196 S ₂	B197 F. S	B198 F. S	B200 S ₂	B10	B15	B16	B18
T21 × T44	B 9	B 10	B 13	B 16	B 17	B 18	B 21	B 22	B 23	B 20	B 8	B 14	B 12	B 15	B 19

注) S₂ : 自 殖 2 代 Selfing of selfed progenies.
 F. S : 自殖きょうだい間交配 Full-sib cross between selfed progenies.
 F : 全きょうだい間交配 Full-sib cross.
 H : 半きょうだい間交配 Half-sib cross.
 O : 異 系 交 配 Outcross.

る。充実粒は軟 X 線写真によって判定し、まきつけ直前まで、4°C の貯蔵庫内のデンケータ中に貯蔵した。

まきつけには充実粒のみをつかい、1970年4月16~21日の間に、目黒林業試験場構内苗畑にまきつけた。

まきつけ床には幅1m、長さほぼ7mの板わくで囲った床を3本使用し、土壌消毒およびBHC散布、施肥などの後に整地を行なった。各区分のタネは、3回くり返し、ランダム配置とした。

用いた母樹の交配組合せ表（ミシヨウ群 II-3）
and outcross in *P. thunbergii* (Group II-3)

Family																
T31 × T44				T24 × T44				T26 × T44			T20 × T44			T20 × Tm		
Tree No.																
A827	A846	A851	A852	B97	B80	B81	B92	B93	B105	B106	A941	A944	A945	A966	A975	A965
	H	H	H		H	H		H								
														O	O	
	H	H	H					H	H	H				O	O	O
					H	H	H	H	H	H	H	H	H			
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H			
	H	H	H		H	H	H	H	H	H	H	H	H			
					H	H	H	H	H	H	H	H	H	O	O	O
								H	H	H	H	H	H			O

タネのまきつけには、4 cm 間隔にまきつけ用の小さな穴を開け、この穴に1粒ずつまきつけした後、消毒をした川砂を用い厚さ2〜3 mm に覆土をした。覆土後、板わくの床面からの高さを利用して、よしずつが床面にふれない状態で床面上部をよしずつで覆った。よしずつは発芽の早い稚苗の成長に、悪い影響を与える以前にとり除いた。

発芽数は数日置きに観察、記録した。発芽終了時には、未発芽のものについては実際にタネがまきつけられていたかどうかを確認、同時に未発芽の原因を調べた。

発芽後は必要に応じて枯損および被害調査を行ない、その位置と原因を記録した。根切虫、小鳥および小動物による被害がごく一部で認められ、また、8月上旬以降には一部、BHCの葉害と判定された、地ぎわ部がコブ状に肥大した稚苗が認められたが、これらの苗木は成立本数の調査対象からは除外した。

Table 1 に示した、2 ミシヨウ群の各交配型別の雌花数、球果数、タネの数、充実粒数、まきつけ数、発芽数および成苗木数を基にして、交配年度を考慮せず、2 ミシヨウ群の各交配型別に、つぎのような形質、すなわち、結果率、1 球果あたりのタネの数、1 球果あたりの充実粒数、充実率、真正発芽率および成苗木率を算出した。

さらに、これらを基にして、1 雌花あたりの苗木本数（結果率×1 球果あたりのタネの数×充実率×真正発芽率×成苗木率）を算出した。

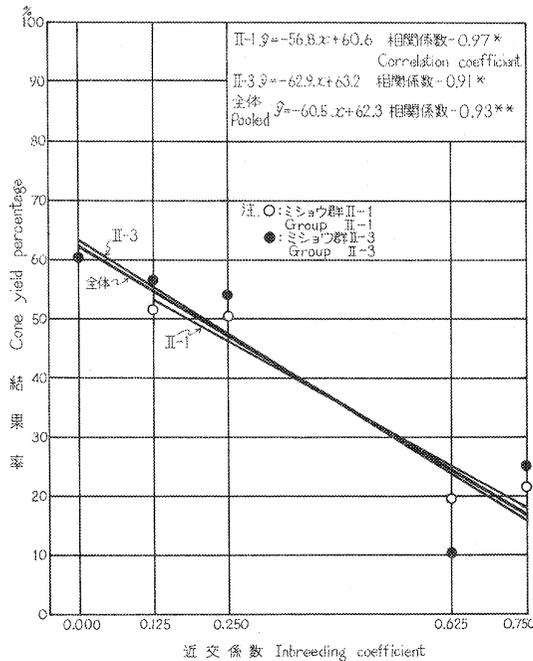
また、これらの各形質を従属変数とし、近交係数を独立変数とした回帰式を求めた。

回帰式の計算には各交配型ごとの各形質の平均値を用い、2 ミシヨウ群のそれぞれと、両群を込みにした 3 者について式を求めた。

III 結果と考察

1. 結果率

結果率の近交係数に対する回帰は Fig. 1 に示したとおりであり、2 ミシヨウ群のそれぞれと、両者を込みにした 3 者とも高い相関が認められた。



*: 危険率 5% で有意。 Significant at 5% level.
**: 危険率 1% で有意。 Significant at 1% level.

Fig. 1 結果率と近交係数との関係

Regressions of cone yield percentage over inbreeding coefficient.

2 ミシヨウ群を込みにした回帰によれば、異系交配では供試した雌花の約 62% の球果が、また、近交係数が 0.750 となるような近親度の高い自殖 2 代では、供試した雌花の約 17% の球果が、それぞれ採集できた。この交配型間の結果率の差は約 45% と大きく、近交係数 0.1 の増加に対して結果率は約 6% 減少した。

BINGHAM²⁾ は *Pinus monticola* の 22 母樹で自家受粉と他家受粉を行なった結果、それぞれの結果率は 71.7% と 71.8% で差がなかった。また、SQUILLACE²⁴⁾ らは *Pinus elliotii* var. *elliotii* で混合花粉を含む異系との交配に比較して、半きょうだい間交配、戻し交配、全きょうだい間交配および自家受粉などでは結果率に差がなかったと報告している。

しかし、クロマツ、アカマツの自家受粉では自然受粉や他家受粉に比較して、平均では大きな違いがなかったという報告¹⁶⁾¹⁷⁾

や自家受粉の結果率が低い結果になった報告⁷⁾⁸⁾³⁰⁾などがある。

勝田⁸⁾は自家受粉をしたときの球果のできかたは，おなじ種内で他家受粉をしたときよりもクロマツで約12%，アカマツで約37%低くなったという。

本試験の結果は *Pinus monticola* や *Pinus elliottii* var. *elliottii* とは一致しないが，クロマツやアカマツの小林ら⁷⁾，勝田⁸⁾，渡辺ら³⁰⁾の結果とは近親交配では結果率が低下するという点で一致した。

なお，本試験では，自家受粉を実行していないが，回帰から推定すると，自家受粉の結果率は異系交配よりも約48%低く，勝田のクロマツでの結果よりも低下する割合はさらに大きかった。

Pinus monticola や *Pinus elliottii* var. *elliottii* での結果と，本試験の結果とは大きな違いがあるが，これはおそらく，樹種の違いによるものと思われる。

2. 1球果あたりのタネの数

1球果あたりのタネの数の近交係数に対する回帰を，2ミシヨウ群のそれぞれと両者を込みにして Fig. 2 に示した。1ミシヨウ群についての相関係数は -0.91 ときわめて高いが，自由度の少ない関係からか，統計的には有意ではなかった。2群を込みにした相関も有意ではなく，以上の結果から，この形質については近交係数の影響があるとは結論することができなかった。

1球果あたりのタネの数については，アカマツ，クロマツ⁸⁾で自家受粉のときに少なくなることが多いという報告と，*Pseudotsuga*¹⁾の自家受粉では，充実粒とシイナを分離しないときの数は，対照と変わらないという報告などがある。

1球果あたりのタネの数が減少するということは，勝田⁸⁾が指摘しているように，シイナほど種皮が発達しない，タネの痕跡のようなものが多くなるということである。

その原因として考えられている受精前の配偶体の崩壊については，マツ類の種間交雑¹³⁾や *Pinus sylvestris*⁴⁾ および *Pseudotsuga*¹⁹⁾の自家受粉でもおこることが報告されている。

3. 1球果あたりの充実粒数

1球果あたりの充実粒数の近交係数に対する回帰は Fig. 3 に示したとおりであり，2ミシヨウ群のそれぞれと，両群を込みにした3者とも相関係数は高いが，2ミシヨウ群の相関は有意ではなかった。しかし，両群を込みにした相関では有意であった。

回帰によれば近交係数0.1の増加に対して，1球果あたりの充実粒数は約1.5粒の減少をきたした。

近親交配をすると1球果あたりの充実粒が減少するということは，*Pinus* 2)4)7)8)16)17)24)25)30) や *Pseudotsuga*¹⁾な

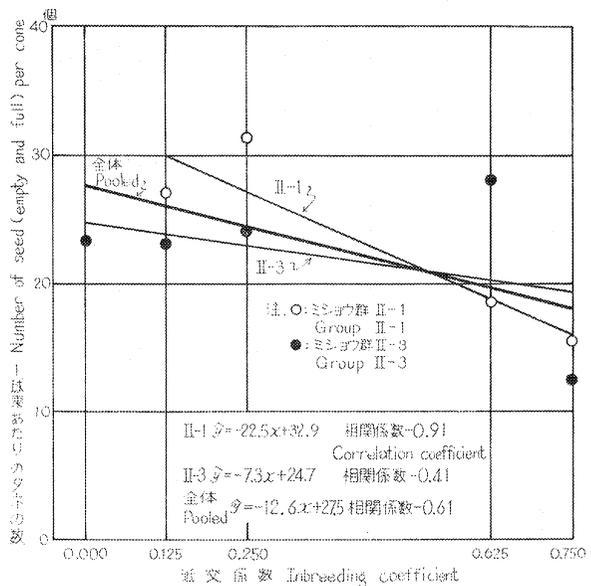
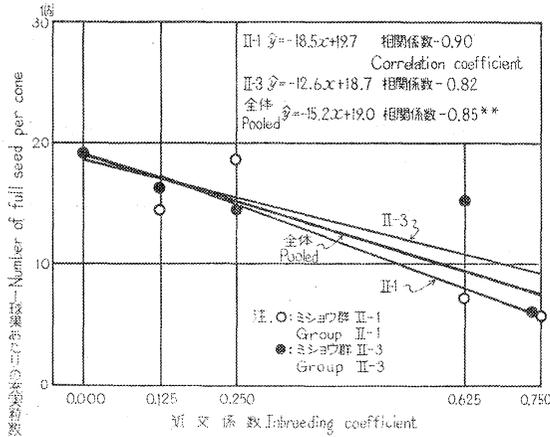
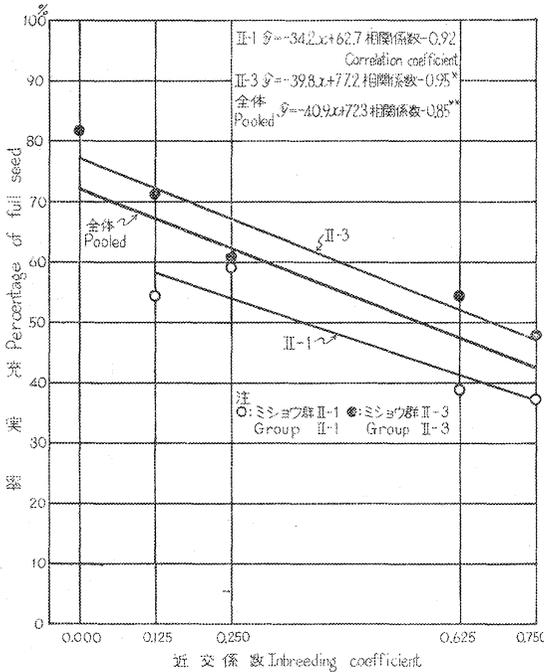


Fig. 2 1球果あたりのタネの数と近交係数との関係
Regressions of number of seed (empty and full) per cone over inbreeding coefficient.



** : 危険率 1% で有意。 Significant at 1% level.
 Fig. 3 1 球果あたりの充実粒数と近交係数との関係
 Regressions of number of full seed per cone
 over inbreeding coefficient.



* : 危険率 5% で有意。 Significant at 5% level.
 ** : 危険率 1% で有意。 Significant at 1% level.
 Fig. 4 充実率と近交係数との関係
 Regressions of percentage of full seed over
 inbreeding coefficient.

自由度の少ない関係からか、有意ではなかった。他の 1 ミシヨウ群と両群を込みにした相関はともに有意であった。

回帰によれば、近交係数 0.1 の増加に対して、充実率は約 4% 減少した。

どで多くの報告がある。

本試験の結果は充実粒数が減少するという点で、これらの報告と一致した。自家受粉での 1 球果あたりの充実粒数はクロマツで 20.7 粒¹⁶⁾、16.2 粒³⁰⁾、13.9 粒⁸⁾、12.6 粒²⁵⁾、アカマツで 14~16 粒¹⁷⁾(4 か年の年次ごとの平均で)、7.1 粒³⁰⁾、4.9 粒⁸⁾、3.5 粒²⁵⁾ などであり、また、*Pinus monticola* では他家受粉の 50% だったことが知られている。本試験では自家受粉は実行していないが、回帰から推定すれば、自家受粉の 1 球果あたりの充実粒は 11.5 粒 (異系交配の約 60%) となる。したがって、1 球果あたりの充実粒数はクロマツとしては少ないほうであった。また減少の程度は *Pinus monticola* にほぼ一致した。

また、SQUILLACE ら²⁴⁾ が *Pinus elliotii* var. *elliotii* で半きょうだい間交配、戻し交配、自家受粉などを行ない、近交係数 0.1 の増加に対して、1 球果あたりの充実粒が 5 粒減少したという報告よりは、減少率が小さかった。

Pinus elliotii var. *elliotii* の結果と一致しないのは樹種による違いかもしれない。

4. 充実率

いろいろな交配型でできたタネのなかに、充実粒がどの程度含まれているか、また、各交配型間に違いがあるかどうかを検討した。

充実率の近交係数に対する回帰は Fig. 4 に示したとおりであり、2 ミシヨウ群のそれぞれと、両者を込みにした 3 者とも相関係数はきわめて高いが、1 ミシヨウ群では

近親交配によって充実率が減少するという報告は，KING ら¹⁰⁾の *Picea glauca* を用いての自家受粉での結果や，ORR-EWING²⁰⁾の *Pseudotsuga* の自殖 2 代での結果，また，クロマツ⁷⁾⁸⁾¹⁶⁾³⁰⁾，アカマツ⁷⁾⁸⁾¹⁷⁾³⁰⁾の自家受粉での結果などがあるが，充実率が減少するという点では，本試験の結果と一致した。

自家受粉での充実率はクロマツで 69%³⁰⁾，44.8%¹⁶⁾，アカマツで 42%³⁰⁾，39%¹⁷⁾ などであることが知られている。さらに，勝田⁸⁾はアカマツ，クロマツの自家受粉で，母樹を決めると，年度を変えても充実率はあまり変わらないことを指摘している。また，母樹別の充実率はクロマツで 39~89%，アカマツで 0~66% であったという。本試験では自家受粉は実行していないが，回帰からの推定では，自家受粉の充実率は 52% となり，勝田のクロマツの母樹別，充実率のはぼ中間の値を示した。

5. 真正発芽率

苗床にまきつけたタネは，軟 X 線写真によって判定した充実粒だけであることは前述のとおりである。したがって，発芽率は真正発芽率である。各交配型とも，まきつけた充実粒の 90% 以上の発芽が認められた。

真正発芽率の近交係数に対する回帰は Fig. 5 に示したとおりであり，2 ミシヨウ群のそれぞれと，両群をだみにした 3 者とも有意ではなかった。このことから，この形質については近交係数の影響があるとは全く認められなかった。したがって，近親交配のどのような交配型のタネであろうとも，胚と胚乳が充実しているかぎり，発芽の段階でとくべつの障害をうけることはないと考えてよさそうである。

勝田⁸⁾はクロマツ，アカマツの自家受粉でできた充実粒の発芽率は，自然受粉でできた充実粒の発芽率よりいくらか低いようだと報告している。

また，自家受粉のタネは自然受粉や他家受粉のタネよりも発芽率が低いという例が，*Pinus monticola*³⁾²³⁾で数例報告されている。

なお，SQUILLACE ら²⁴⁾は *Pinus elliotii* var. *elliotii* で混合花粉を含む異系との交配および半きょうだい間交配，戻し交配，全きょうだい間交配，自家受粉などを行なった結果，近交係数 0.1 の増加に対して発芽率が 5% 減少したと報告している。しかし，SQUILLACE らはその報告のなかで，風速をほぼ完全に行ない，シナを除いた標本では発芽率の低下の少ないことを指摘している。また，ORR-EWING¹⁸⁾は *Pseudotsuga* の自家受粉の真正発芽率は自然受粉のそれとほぼ同じであったと報告している。本試験の結果は，ORR-EWING の *Pseudotsuga* の結果にほぼ一致した。

上記のいくつかの報告では，充実粒だけに基づかない（シナも含む）発芽率で表現されている場合がある。前にのべたように，近交係数の増加にともない充実率は低下する（シナの含有量が多くなる）ので，近交係数の大きくなるような近親交配ほど，シナを含む割合が大きくなる。したがっ

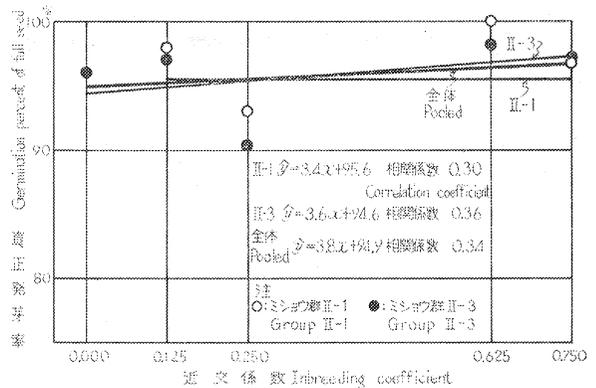


Fig. 5 真正発芽率と近交係数との関係
Regressions of germination percent of full seed over inbreeding coefficient.

て、未精選のタネをまきつければ、近交係数の増加にともなって、発芽率の低下する割合は当然大きくなる。

なお、これに精選が加わると、精選の割合により発芽率は変化する。また、各交配型間の精選の割合に一様性のない場合には、判定に混乱が生ずることにもなる。

SNYDER²⁶⁾ は *Pinus elliottii* var. *elliottii* で自家受粉を行ない、タネの発芽率はタネのとれやすい 8 母樹では平均 64%，タネのとれにくい 24 母樹で平均 49% であり、一方、成苗率は前者で平均 82%，後者では平均 89% であったという。そして、この結果から、タネのとれにくい母樹のタネに含まれている致死遺伝子は発芽の時点では大きく働くが、その後の生育に与える影響は少ないことを示すものであろうとのべている。ここでは、タネの精選については何もふれていないので、もし、タネのとれにくい母樹からのタネにはシイナが多く含まれていたとするならば、発芽の時点で致死遺伝子が働くという SNYDER の推論には疑問があるといえよう。

6. 成 苗 率

タネが発芽したあと、1 成長期間後の残存率を成苗率とした。各交配型とも 90% 以上の成苗率が認められた。

成苗率の近交係数に対する回帰は Fig. 6 に示したとおりであり、2 ミシヨウ群のそれぞれと、両群を込みにした 3 者の相関はともに有意ではなかった。

有意な結果にならなかったのは、発芽後の苗木の生存に影響するような劣性遺伝子を保有する供試母樹がきわめて少なかったためとも考えられる。

SNYDER²⁶⁾ は *Pinus elliottii* var. *elliottii* の自家受粉の成苗率は 88% であるのに対して、自然受粉（厳密な対照としては問題はあるが）では 97% だったとのべている。

いずれにしても、マツ類における成苗率に対する近親交配の影響はあまり大きくはないと思われる。

しかし、本試験では稚苗 1 本あたりの占有面積を前記のとおり、十分に与えた場合の結果である。したがって、一般事業的な方法でまきつけされた場合、もし、近親交配によって苗高の低いものの現われる頻度が高いときには、成立本数密度の高い苗床では、苗高の低いものの生存率が低下する可能性もある。苗

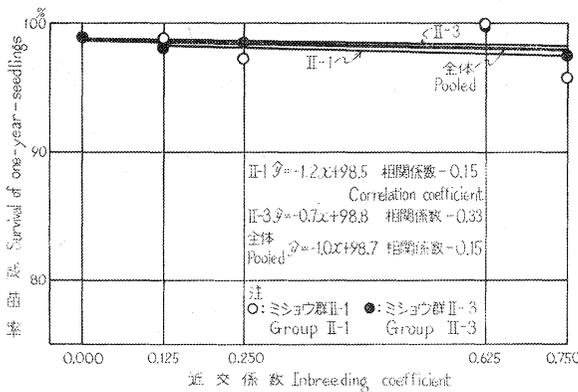


Fig. 6 成苗率と近交係数との関係

Regressions of survival of one-year seedlings over inbreeding coefficient.

高の分布、苗木の成長などについては別途、とりまとめて報告の予定である。

7. 1 雌花あたりの成苗本数

1 雌花あたりの成苗本数は、前項までのべた諸形質を総括した指標としての 1 形質である。

1 雌花あたり成苗本数の近交係数に対する回帰は Fig. 7 に示したとおりであり、2 ミシヨウ群のそれぞれと、両群を込みにした 3 者とも高い相関が認められた。

回帰によれば近交係数 0.1 の増加に対して、1 雌花あたりの成苗本数は

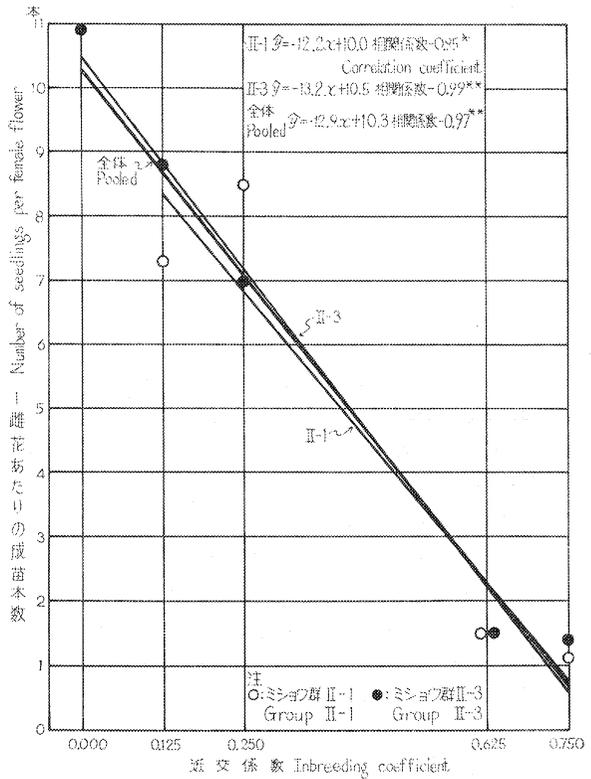
1.3 本減少した。

SNYDER²⁶⁾ は *Pinus eliottii* var. *elliottii* の 35 母樹で自家受粉を行なった結果、80%の母樹で1雌花あたり1本以下の苗木しか生産しなかったと述べている。

本試験の回帰から推定すると、自家受粉では約4本となり、*Pinus eliottii* var. *elliottii* よりも本試験でのクロマツのほうが苗木のできかたがよいことになる。

また、BINGHAM²⁾ らは *Pinus monticola* の自家受粉の苗木のできかたは、他家受粉の約50%であったと報告している。

本試験では、自家受粉を行っていないが、回帰から推定すると、異系交配の約37%であり、*Pinus monticola* よりも、本試験でのクロマツのほうが、異系交配に対する苗木のできる割合がやや小さかった。



*: 危険率 5% で有意。 Significant at 5% level.
 **: 危険率 1% で有意。 Significant at 1% level.

Fig. 7 1雌花あたりの成苗木数と近交係数との関係
 Regressions of number of seedling per female flower over inbreeding coefficient.

IV む す び

クロマツを使って近交係数Fの値が0, 0.125, 0.250, 0.625, 0.750となるような異系交配, 半きょうだい間交配, 全きょうだい間交配, 自殖きょうだい間交配, 自殖2代などの交配を行ない, 近親の度合いが球果やタネのできかた, また, 苗木のできかたにどのような影響があるかをしらべた。

この結果, 苗木のできかたは, 近交係数の増加にともなって減少した。この減少は球果のできかた, および1球果あたりの充実粒数の減少によるものである。

近親交配によって1球果あたりの充実粒数が減少するという事は, いままでもマツ類を含む, 多くの樹種で知られているところであるが, 球果のできかたは, アカマツやクロマツでは差がないという報告と, 減少したという報告があり, アカマツ, クロマツを除いた他の樹種では差がないという報告が多い。

なお, 1球果あたりのタネの数, 真正発芽率, 成苗木率などは各交配型間に差がなかった。

以上のことから, 一連の近親交配では球果と充実粒ができるときには, 近親の度合いによって影響をうけるが, 充実粒となった後の発芽や稚苗の生存には, 近親の度合いによって, とくべつ大きな障害をうけることはないと考えてよさそうである。

近交係数の増加にともなって, 減少した各形質の減少値はつぎのとおりであった。

形 質	異系交配*1	近交係数 0.1 の増加に 対する減少値
結 果 率	62%	6%
1 球果あたりの充実粒数	19粒	1.5粒
充 実 率	72%	4%
1 雌花あたりの成苗木数	10本	1.3本

注) *1 : 各形質の近交係数に対する回帰直線 (2 ミショウ群を込みにした) の近交係数 0 における値。

文 献

- 1) ALLEN, G. S. : Parthenocarpy, parthenogenesis, and self-sterility of Douglas-fir. *Jour. For.*, **40**, 642~644, (1942)
- 2) BINGHAM, R. T. and A. E. SQUILLACE : Self-compatibility and effects of self-fertility in western white pine. *For. Sci.*, **1**, 121~129, (1955)
- 3) BALNES, B. V., R. T. BINGHAM and A. E. SQUILLACE : Selective fertilization in *Pinus monticola* Dougl. *Silv. Genet.*, **11**, 103~111, (1962)
- 4) EHLENBERG, C., A. GUSTAFSSON, C. P. FORSHELL and M. SIMAK : Seed quality and the principles of forest genetics. *Hereditas*, **41**, 291~366, (1955)
- 5) FOWLER, D. P. : Effects of inbreeding in red pine, *Pinus resinosa* Ait. II pollen studies. *Silv. Genet.*, **14**, 12~23, (1965)
- 6) 岩川盈夫抄訳 : W. LANGNER—林木のタネを生産する場合の同系繁殖の問題, 林木の育種, **21**, 4~5, (1962) (文献 No. 12 の抄訳である)
- 7) 小林 隆・今井元政・鈴木正平 : アカマツ, クロマツの種間交雑試験 (1) 1958~1960 年の交雑経過および採取球果種子の特性と交雑稔性について, 新潟県林試研報, **9**, 1~27, (1963)
- 8) 勝田 柁 : クロマツとアカマツの自家受精, 演習林, **15**, 23~35, (1964)
- 9) 勝田 柁 : ふたたびクロマツ, アカマツの自家受精したときのタネのできかたについて, 演習林, **16**, 35~41, (1966)
- 10) KING, J. P., R. M. JEFFERS and H. NIENSTAEDT : Effects of varying proportions of self-pollen on seed yield, seed quality and seedling development in *Picea glauca*. IUFRO Sec. 22, Working Group Meeting on the Sexual Reproduction of Forest Trees, Finland, (1970)
- 11) LANGNER, W. : Selbstfertilität und Inzucht bei *Picea omorika* (Pančič) Purkyne. *Silv. Genet.*, **8**, 84~93, (1959)
- 12) LANGNER, W. : Einige Versuchsergebnisse zum Inzuchtproblem bei der forstlichen Saatgutgewinnung. *Proceedings of the 13th IUFRO Congress, Wien, 1961*, 2 Teil, Band 1, 22~1, (1962)
- 13) McWILLIAM, J. R. : Interspecific incompatibility in *Pinus*. *Amer. J. Bot.*, **46**, 425~433, (1959)
- 14) MERGEN, F., J. BURLEY and G. M. FURNIVAE : Embryo and seedling development in *Picea glauca* (Moench) Voss. after self-, cross-, and wind-pollination. *Silv. Genet.*, **14**, 188~194, (1965)
- 15) 野原勇太・陳野好之・伊藤徳彦 : 林木遺伝に関する研究 (IV 報) 邦産アカマツと外国産タイダマツの人工交雑に関する研究, 日林誌, **33**, 87~92, (1951)
- 16) 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 (1) : クロマツの種内交雑ならびに他のマツ類数種との種間交雑の可能性, 京大農演報, **39**, 125~143, (1967)
- 17) 野口常介・渡辺 操 : アカマツ精英樹クローンでの自家受精によるタネのでき方, 日林誌, **54**, 356~359, (1972)

- 18) ORR-EWING, A. L. : Inbreeding experiments with Douglas fir. For. Chron., 30, 7~16, (1954)
(文献 No. 2 による)
- 19) ORR-EWING, A. L. : A cytological study of the effects of self-pollination on *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Silv. Genet., 6, 179~185, (1957)
- 20) ORR-EWING, A. L. : Inbreeding and single crossing in Douglas fir. For. Sci., 11, 279~290, (1965)
- 21) PIATNITSKY, S. S. : Experiments on self-pollination of *Larix*, *Acer*, and *Quercus*. U. S. Forest Serv. Trans. 290, 22 pp, (1936) (文献 No. 2 による)
- 22) RIGHTER, F. I. : *Pinus* : the relationship of seed size and seedling size to inherent vigor. Jour. For., 43, 131~137, (1945)
- 23) SQUILLACE, A. E. and R. T. BINGHAM : Selective fertilization in *Pinus monticola* Dougl. Silv. Genet., 7, 188~196, (1958)
- 24) SQUILLACE, A. E. and J. F. KRAUS : Effects of inbreeding on seed yield, germination, rate of germination, and seedling growth in slash pine. Proc. For. Genet. Workshop 1962, 59~63, (1963)
- 25) 佐藤大七郎・郷 正士・勝田 桓 : クロマツ, アカマツの自家受精, (中村賢太郎) マツ属における交雑育種に関する研究, 29~30, (1961)
- 26) SNYDER, E. B. : Seed yield and nursery performance of self-pollinated slash pines. For. Sci., 14, 68~74, (1968)
- 27) SORENSEN, F. : Estimate of self-fertility in coastal Douglas-fir from inbreeding studies. Silv. Genet., 20, 115~120, (1971)
- 28) 外山三郎 : 林木育種に関する知見, 林試研報, 66, 1~269, (1950)
- 29) WRIGHT, J. W. and W. J. GABRIEL : Species hybridization in the hard pines, series sylvestres. Silv. Genet., 7, 109~115, (1958)
- 30) 渡辺 操・岩川澄夫 : マツ類の人工受粉技術 ならびに種間交雑について, 林試研報, 224, 125~146, (1969)

**Effects of Inbreeding on Cone, Seed, and
Seedling Yields in *Pinus thunbergii* PARL.**

Mikio SAITO⁽¹⁾, Mitsuo IWAKAWA⁽²⁾, and Misao WATANABE⁽³⁾

Summary

Cone, seed, and seedling yields following several intensities of inbreeding (half-sib crossing, full-sib crossing, full-sib crossing between selfed progenies, and selfing of selfed progenies, representing inbreeding coefficients, F , of 0.125, 0.250, 0.625, and 0.750, respectively) were compared with those following outcrossing, in *Pinus thunbergii* PARL.

Seedling yield decreased with increase of inbreeding coefficient.

Cone yield percentage and number of full seed per cone decreased with inbreeding intensities.

On the other hand, number of seed per cone (full and empty), germination of full seed, and survival of one-year-seedlings were not affected by inbreeding.

Therefore, it seems that the decrease of seedling yield following inbreeding was mainly based on the decreases of cone yield and full seed yield in this experiment.

From those results, it may be reasonable to presume that the intensity of inbreeding affects the development of cone and full seed. After the seed development has completed, however, the intensity of inbreeding affects little the germination of full seed and the survival of one-year-seedlings.

Estimations from the regression show that an increase of 0.1 in the inbreeding coefficient resulted in a decrease of about 6 per cent in cone yield percentage and about 8 per cent (1.5 seeds) in number of full seed per cone, on the average.

Received February 14, 1973

(1)(2) Silviculture Division

(3) Tohoku Forest Tree Improvement Station