

クロマツの近親交配に関する研究

15年間の生存率、樹高および直径における近交弱勢

齊藤 幹夫⁽¹⁾・中 島 清⁽²⁾明石 孝輝⁽³⁾・勝 田 桓⁽⁴⁾

Mikio SAITO, Kiyoshi NAKASHIMA, Takateru AKASI and Masaki KATSUTA :

Studies of Inbreeding in *Pinus thunbergii* PARL.Inbreeding depression in survival, height and diameter for
the 15 years after sowing

要 旨：近親交配は、有用遺伝子を集積し、有害遺伝子を排除するための一つの有効な方法であるが、他殖性の林木では近親交配により次世代の生産と生育が阻害されることも多い。クロマツで、計画的に近親交配の家系群を育成し、15年生時までの測定結果が得られたので、近交係数の増大による次世代での弱勢の発現について解析した。すなわち、5段階の異なる近交係数 ($F=0, 0.125, 0.25, 0.5, 0.75$) を持つ、2組の交配家系群を作り、1年生から15年生までの生存率、樹高(苗高)、直径について、近交弱勢の発現とその樹齢による変化を明らかにした。苗畑の3年間では、生存率、苗高、直径ともに弱勢は顕著でなく、生存率と近交係数との間には相関は認められなかった。試験地植栽後、生存率は樹齢が増すにしたがって低下し、とくに自殖第二代家系では、11~15年生時の低下が顕著であった。平均樹高、平均直径は、近交係数の増大にともない直線的に減少することが確かめられた。弱勢の程度は樹齢が増すとともに徐々に増大するが、その後、弱勢木の枯損等により平均値が上昇し、樹高で7~9年生時、直径で11年生時を境に減少することがわかった。15年生時における弱勢の程度 ($F=0.75$ の場合) は、樹高で15~20%、直径で19~24%であった。この弱勢の程度からみると、クロマツでは近親交配を組み込んだ新たな育種法を開発することが可能であろう。

I はじめに

近親交配は有用遺伝子の集積、特定遺伝子のホモ化、あるいはヘテロで保有されている有害遺伝子を集団から排除するうえできわめて有効な方法ではあるが、次世代の生産や生育等にマイナスの効果を及ぼすこともよく知られている。

林木では、近親交配により種子稔性、幼苗の活力、生存率、生長量等の形質で弱勢が発現することがあり、また、わい性個体、アルビノ等の形態異常、色素異常の個体が出現することもある。これらの形態異常、色素異常は、一般に主動遺伝子の支配によるものと考えられ、近親交配で問題となる種子の稔性や生長速度、あるいは適応力などの形質等とは区別して考える必要がある。

近親交配における近交度の強弱は近交係数 (F) で表され、自殖第一代は $F=0.5$ である。採種園等でしばしば問題となる自殖率は、この $F=0.5$ のものであるが、集団全体としての近交度上昇への影響は、これよりもっと近交係数の低い全兄弟間交配家系 ($F=0.25$) や半兄弟間交配家系 ($F=0.125$)、あるいはさらに高い近交係数をもつ自殖第二代家系 ($F=0.75$) などの家系群を考慮する必要がある。近交係数

1985年10月20日受理

造 林—120 Silviculture—120

(1) 浅川実験林

(2) (3) (4) 造 林 部

と近交弱勢の大きさとの間には、しばしば直線で表される相関が認められ、近交係数の増大にともない弱勢が強くなることが報告されている¹⁾⁸⁾¹⁶⁾。

近交弱勢の程度、生育過程での弱勢の発現時期などは、樹種により、個体により、あるいは生育条件などによっても異なることが多い。そこで、交雑による林木の遺伝的改良を効率的に進める上で、近親交配による弱勢化の程度と近交係数の関係、発育過程と弱勢の発現の関係を明らかにすることは重要な課題であるといえる。わが国のクロマツについても、自殖により近交弱勢が発現することはよく知られている^{7)~9)12)18)16)17)25)}。そこで筆者らは、クロマツにおける近交係数の増大にともなう後世代の弱勢化の程度、種々の特性の分離等を明らかにすることを目的として、1951年よりこの試験を開始した。

すでにこの試験の一部である球果、タネ、苗木のできかたに関する近親交配の影響については前報¹⁶⁾で報告した。この報告では、クロマツの一連の近親交配家系群で苗畑、試験地における1年生から15年生までの生存率、生長について調査した結果を報告する。

II 材料と方法

交配母材料、交配様式は前報¹⁶⁾で報告したように、本試験では1951年の交配で育成したクロマツ交配家系群を交配母材料として用い、自殖第二代 (S_2)、自殖兄弟間、全兄弟間、半兄弟間および異系間交配により材料の育成を行った。交配型と対応する近交係数を Table 1 に示す。これら一連の交配は2組の異母樹間交配家系群 (交配家系群 (I), (II)、ただし、前報¹⁶⁾ではミッシュウ群 II-1, II-3 で表示したものにそれぞれ対応する) について行った。このうち異系間交配は交配家系群 (I) および (II) に共通な対照家系として、それぞれの交配家系群に共通する母樹を含むよう計画した。

2組の交配家系群における各交配型の母樹別交配組合せの詳細は前報の Table 2, 3 に、また育苗方法等についても前報¹⁶⁾に記載したとおりである。

試験地は1973年4月、前橋営林局原町営林署管内、原町事業区326林班に小班 (Fig. 1) に設定した。

Table 1. 交配型と近交係数および家系数, 植栽本数
Mating types and inbreeding coefficient, number of families
and planted trees in experimental plantation.

交 配 型 Mating type	近 交 係 数 Inbreeding coefficient	交 配 家 系 群 (I) Mating group (I)		交 配 家 系 群 (II) Mating group (II)	
		家 系 数 Number of families	植 栽 本 数 Number of trees planted	家 系 数 Number of families	植 栽 本 数 Number of trees planted
異 系 間 交 配* Outcross	0.000	11	118	11	118
半 兄 弟 間 交 配 Half-sib cross	0.125	25	123	59	118
全 兄 弟 間 交 配 Full-sib cross	0.250	9	122	19	90
自 殖 兄 弟 間 交 配 Full-sib cross between selfed progenies	0.500	2	89	3	124
自 殖 第 二 代 Selfing of selfed progenies	0.750	3	117	7	120

* : 交配家系群 (I), (II) に共通な対照家系として使用した。

Same outcrossed families were used for control of group (I) and (II).

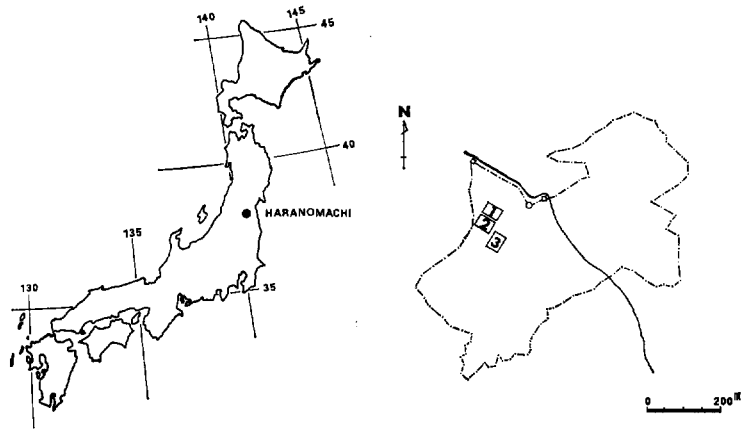


Fig. 1. 試験地の位置およびプロットの配置
Location of experimental plantation and plot arrangement.

試験地では3植栽区（1植栽区：40×50m）を設け、1.8×1.8mの間隔（ha当たり約3,000本）で単木混交植栽を行った（Table 2）。

苗畑では1, 2, 3年生時の苗高，1年生時の胚軸長，2～3年生時の地際直径を測定した。試験地では7, 11および15年生時に樹高，および直径（地上50cmの位置）を，また輪生枝の位置により5, 9, 13年生時の樹高をそれぞれ測定した。

各測定年次における各交配家系の平均樹高および平均直径と近交係数の関係を後者を説明変数とし，前者を従属変数とした回帰式で表した。また，測定年次ごとの近交弱勢の程度は，異系間交配家系の平均樹高および直径を100として回帰式から求め，相対値で表した。

Table 2. 試験地の概要
Outline of experimental plantation.

海抜高 Altitude	620～640m
面積 Area of site	0.60ha
プロットの大きさ Dimension of plot	40×50m
繰り返し Replication	3回
家系統数 Total number of families	138家系
家系植栽本数 Total number of trees planted	1,021本

III 結 果

1. 苗畑における生存率と生長

1970年4月，各交配家系ごとに播種し，その年の秋に生存率，胚軸長，苗高を，1971年，1972年秋にそれぞれ2年生，3年生時における生存率，苗高，地際直径を測定した。各家系ごとの生存率を Fig. 2 に，胚軸長，苗高および直径の平均値を Table 3 に示した。1970年の測定は全発芽数について，1971年と1972年には，それぞれ床替え本数に対する平均値で表してある。

1年生時，3年生時ともに各近交係数ごとにみた生存率には，家系間に大きな違いは認められなかった。なお，2年生時の生存率が他の2か年の生存率に比べて著しく低い原因については明らかでないが，床替え時における気象条件と苗木の取り扱いに問題があったものと推察される。

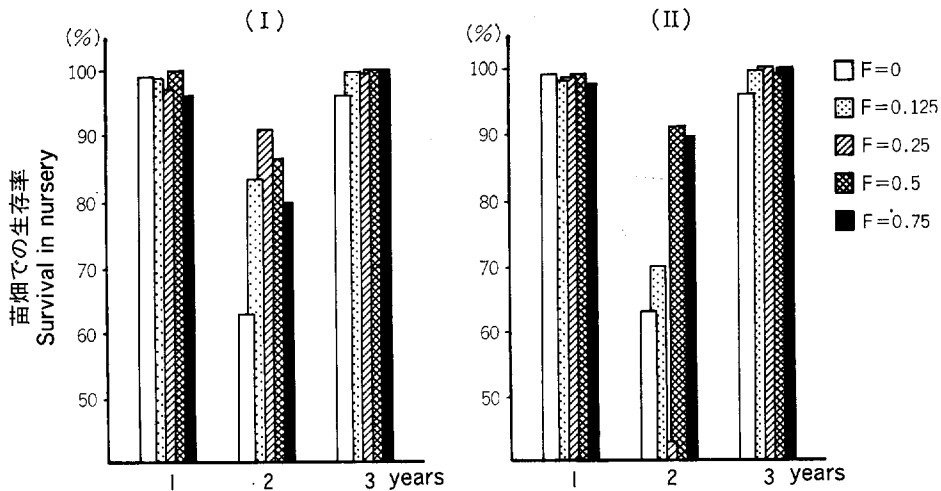


Fig. 2. 近親交配家系および異系間交配家系の生存率 (苗畑)
Survival ratios of inbred and outcrossed families in nursery.

Table 3. 苗畑での近親交配家系と異系間交配家系の苗高, 直径, 胚軸長
Mean height, diameter and hypocotyl length of inbred and outcrossed families in nursery.

交配家系 Mating group	近交係数 Inbreeding coefficient (F)	1 年生 1 year		2 年生 2 years		3 年生 3 years	
		苗 高 Height (cm)	胚軸長 Hypocotyl length (cm)	苗 高 Height (cm)	直 径* Diameter (cm)	苗 高 Height (cm)	直 径* Diameter (cm)
(I)	0,000	5,9	2,6	13,7	0,7	29,9	1,1
	0,125	5,6	2,6	13,3	0,7	28,1	1,1
	0,250	5,1	2,3	12,1	0,7	24,5	1,1
	0,500	5,5	2,3	12,5	0,7	25,4	1,0
	0,750	5,1	2,1	11,4	0,6	22,1	1,0
(II)	0,000	5,9	2,6	13,7	0,7	29,9	1,1
	0,125	5,6	2,3	12,9	0,6	28,5	1,1
	0,250	6,6	2,5	12,3	0,6	29,1	1,1
	0,500	5,8	2,3	13,5	0,7	29,5	1,2
	0,750	5,6	2,2	12,7	0,7	25,3	1,1

*: 直径は根元直径で求めた。

Diameter was measured at ground level.

生長量では, 交配家系群 (I) の自殖兄弟間交配家系 (F=0.5) を除き, 胚軸長, 苗高ともに近交係数の高い家系ほど平均値が小さい傾向が認められた。一方, 交配家系群 (II) では異系間交配家系 (F=0) と自殖第二代家系 (F=0.75) でそれぞれ最大, 最小の値を示している他は, 明らかな違いは認められなかった。とくに, F=0.5 の自殖兄弟間交配家系は異系間交配家系に匹敵する大きな値であった。地際直径については, 交配家系群 (I), (II) とともに近親交配の影響は認められなかった。Fig. 3 は, 近交係数に対応した各交配家系の平均苗高をプロットしたものであり, 近交係数と苗高との関係を回帰直線で表してある。両交配家系群とも 1 年生時の回帰直線はほぼ x 軸に平行であるが, 3 年生時から右下がり

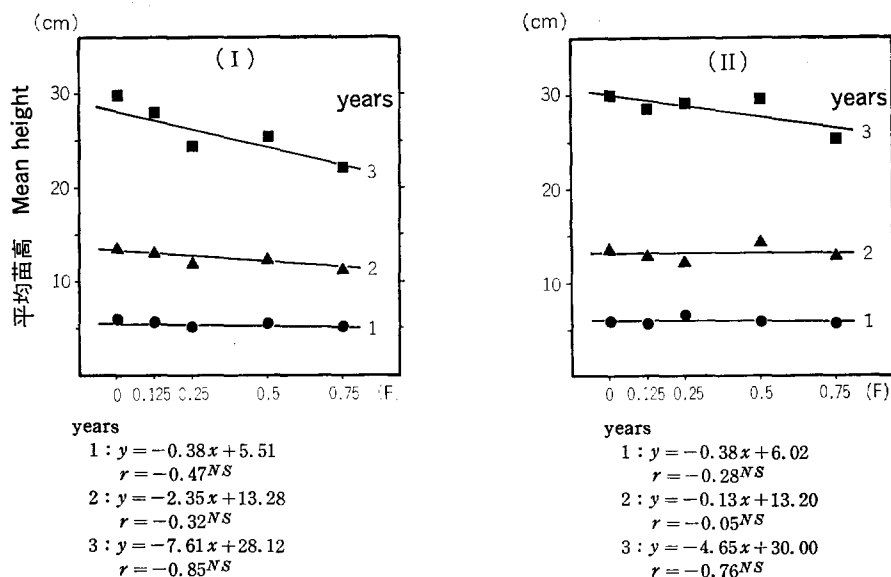


Fig. 3. 近親交配家系および異系間交配家系の平均苗高と近交係数の関係（苗畑）
 Regressions between mean height and inbreeding coefficient of inbred and outcrossed families in nursery.

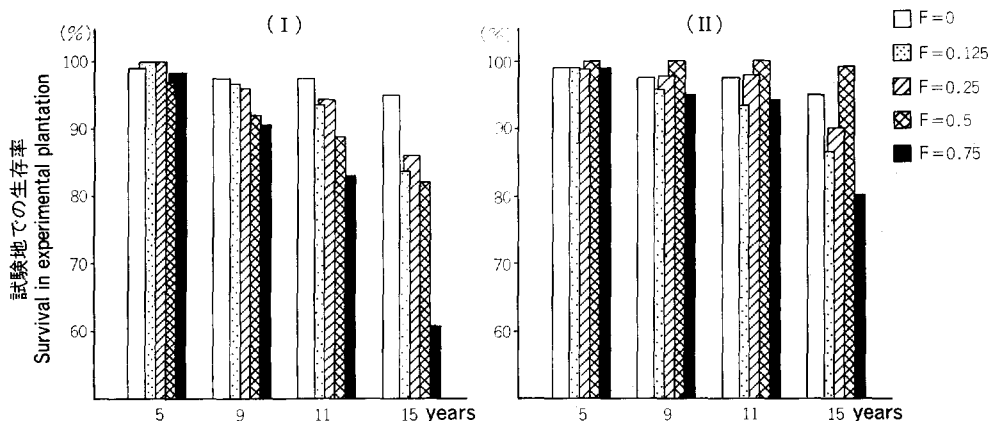


Fig. 4. 近親交配家系および異系間交配家系の生存率（試験地）
 Survival ratios of inbred and outcrossed families in experimental plantation.

となり，近親交配による弱勢が苗高で認められるようになった。しかし，交配家系群（II）では自殖第二家系を除いた近交係数が0.125～0.5の家系間の差は僅かで，この段階でまだ弱勢の発現は明らかではなかった。また，両交配家系群とも各年次の回帰直線についての相関係数はいずれも有意でなかった。

2. 試験地における生存率，生長

試験地植栽後の生存率の推移を Fig. 4 に示す。交配家系群（I）では異系間交配家系が15年生時で95%と高い生存率を保っているのに対し，F=0.125からF=0.75の近親交配家系は年次の経過とともに

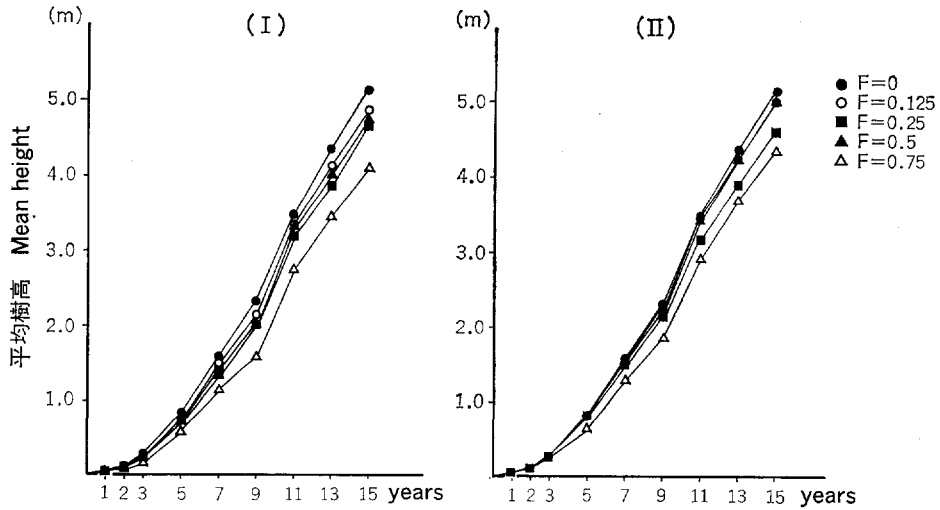
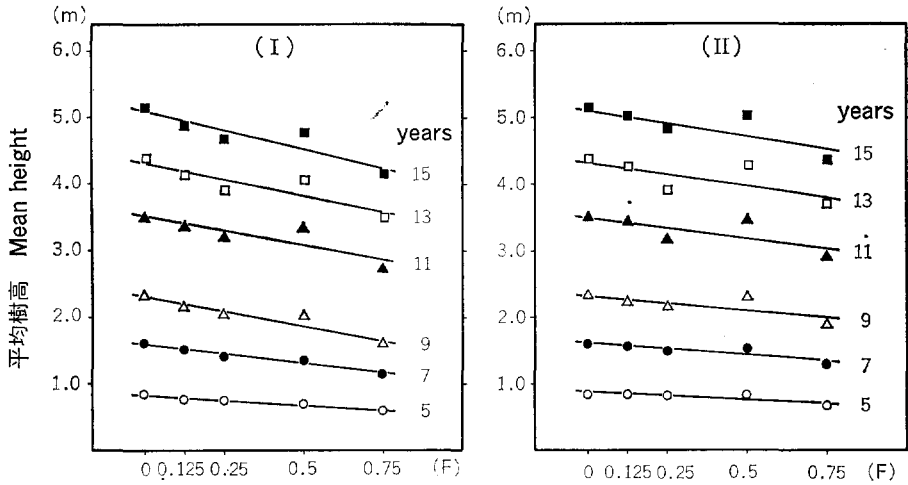


Fig. 5. 近親交配家系および異系間交配家系における15年間の樹高(苗高)生長
Height growth of inbred and outcrossed families for 15 years after sowing.



years	years	years	years
5 : $y = -29.31x + 82.00$ $r = -0.98^{**}$	11 : $y = -83.14x + 349.03$ $r = -0.86^{NS}$	5 : $y = -21.38x + 86.22$ $r = -0.74^{NS}$	11 : $y = -60.43x + 347.43$ $r = -0.74^{NS}$
7 : $y = -55.25x + 157.32$ $r = -0.98^{**}$	13 : $y = -98.14x + 429.03$ $r = -0.89^*$	7 : $y = -35.00x + 160.00$ $r = -0.87^{NS}$	13 : $y = -68.44x + 430.61$ $r = -0.72^{NS}$
9 : $y = -84.37x + 229.25$ $r = -0.95^*$	15 : $y = -114.13x + 507.66$ $r = -0.91^*$	9 : $y = -44.95x + 231.58$ $r = -0.75^{NS}$	15 : $y = -78.64x + 508.11$ $r = -0.73^{NS}$

Fig. 6. 近親交配家系および異系間交配家系の平均樹高と近交係数の関係(試験地)

Regressions between mean height and inbreeding coefficient of inbred and outcrossed families in experimental plantation.

に徐々に減少し、しかも近交係数の高い家系ほど生存率が低くなる傾向が見られた。一方、交配家系群（II）では $F=0.5$ の家系が最も高く、15年生時においても約99%が生存していた。しかし、この家系を除けば交配家系群（I）と同様に、近交係数の高い家系ほど生存率が低くなる傾向が認められた。

生存率における近親交配の影響は、交配家系群（I）では9年生頃より、交配家系群（II）ではこれよりやや遅れ、11~15年生で急速に大きくなっている。この傾向は両交配家系群ともに、とくに自殖第二代家系で顕著であった。

Fig. 5 は1年生から15年生までの平均樹高（苗高）を各近交係数ごとに求めてプロットしたものである。異系間交配家系と近親交配家系との間には生長量に明確な違いが認められるものの、極端な生長抑制はみられなかった。Fig. 6 は近交係数と平均樹高の関係を測定年次ごとに示したもので、回帰直線はいずれも右下がりとなり、近交係数が高い家系ほど弱勢がより強く発現することがわかる。相関係数は交配家系群（I）で11年生時を除いた各年次でそれぞれ有意となったが、交配家系群（II）ではいずれの年次も有意とならなかった。15年生時における弱勢の程度は、自殖第二代家系でそれぞれ20%（交配家系群（I））、15%（交配家系群（II））であった。

Fig. 7 は、平均樹高における近交係数と近交弱勢の関係が樹齢とともにどのように変化するかをみるために、先に求めた回帰式から異系間交配家系の平均樹高を100とした相対値を求めたものである。交配家系群（I）の自殖第二代家系では1年生時に異系間交配家系の95%であった平均苗高（樹高）が、測定年次ごとに減少して、9年生時には73%にまで低下し、年々弱勢が強くなっていることがわかる。しかし、それ以降、弱勢は弱まり、13、15年生時には約85%まで回復している。交配家系群（II）では、5年生時に弱勢が最も強くなるが、その程度は交配家系群（I）に比べて小さい。7年生時から徐々に弱

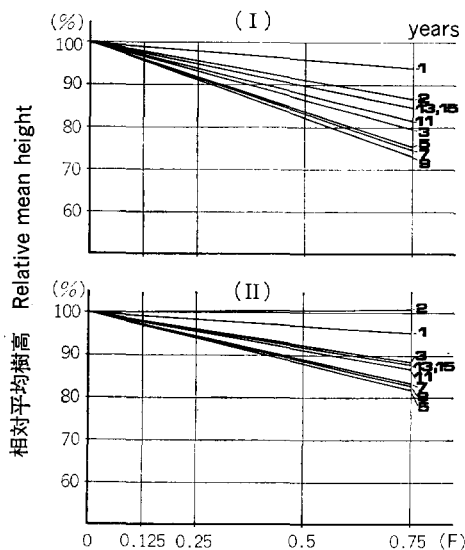


Fig. 7. 異系間交配家系の平均樹高を100とした相対平均樹高と近交係数の関係

Regressions between inbreeding coefficient and relative mean height which were calculated as percentage to mean height of outcrossed family.

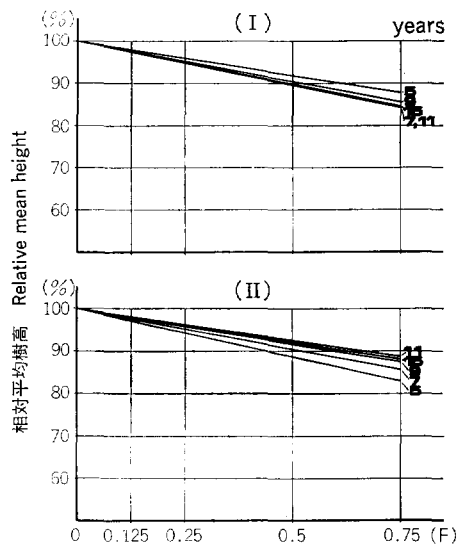


Fig. 8. 15年生時まで生存した個体について求めた相対平均樹高と近交係数の関係

Regressions between inbreeding coefficient and relative mean height in individuals which survived after 15 years.

Table 4-1. 全調査木についてみた樹高の変動係数 (プロット 1)
Coefficients of variation for heights in all inbred and outcrossed individuals which were measured at each year (Plot 1).

交配家系群 Mating group	近交係数 Inbreeding coefficient (F)	樹 齢 Age					
		5	7	9	11	13	15
(I)	0.000	33.717	22.813	18.086	13.080	11.649	11.360
	0.125	30.065	18.593	22.855	12.675	9.993	9.878
	0.250	38.246	23.911	33.546	19.728	15.145	14.860
	0.500	39.722	27.710	41.248	13.522	10.812	11.280
	0.750	48.630	31.180	44.472	27.734	17.368	17.448
(II)	0.000	33.717	22.813	18.086	13.080	11.649	11.360
	0.125	31.403	24.636	25.118	16.552	12.401	11.491
	0.250	30.369	23.924	20.448	16.806	16.614	16.889
	0.500	18.491	13.332	12.543	10.553	8.384	15.656
	0.750	33.725	26.612	31.358	22.647	17.891	17.904

Table 4-2. 15年生時まで生存した個体について求めた樹高の変動係数 (プロット 1)
Coefficients of variation for heights in inbred and outcrossed individuals which survived after 15 years (Plot 1).

交配家系群 Mating group	近交係数 Inbreeding coefficient (F)	樹 齢 Age					
		5	7	9	11	13	15
(I)	0.000	22.664	21.428	18.231	12.859	11.649	11.360
	0.125	15.479	13.496	13.911	9.748	9.993	9.878
	0.250	20.695	17.382	17.555	14.830	15.145	14.860
	0.500	20.952	15.816	14.444	10.977	10.812	11.280
	0.750	15.676	22.489	21.607	18.117	17.368	17.448
(II)	0.000	22.664	21.428	18.231	12.859	11.649	11.360
	0.125	21.724	18.404	13.916	10.838	12.401	11.491
	0.250	22.514	22.095	18.265	15.298	16.614	16.889
	0.500	17.669	12.569	12.413	9.975	8.384	8.241
	0.750	21.350	22.702	22.161	18.460	17.891	17.904

勢は弱まり、13、15年生時で約88%まで回復している。このように弱勢の年次変化には二つの交配家系群に違いが認められた。また、弱勢が回復する主因としては、生長の遅れた弱勢木の枯死による平均値の上昇が考えられる。そこで、1984年の調査時点まで生存していた個体のみについて、試験地植栽後の5年生から15年生までの交配家系ごとの変動係数および平均樹高と近交係数との関係を求めて示したのがTable 4 (プロット1のみを示す)、Fig. 8である。交配家系群(I)では、枯損木を除去することにより変動係数はずっと小さくなり、また、変動係数および回帰直線の年次変化も減少している。このことから、平均値を下げ、家系内の変異を大きくしていた弱勢木が順次枯死し、その結果、平均値が上昇したものと推察される。もともと弱勢の程度が弱く、生存率の減少が比較的少ない交配家系群(II)では、交配家系群(I)と同様の傾向が認められるものの、枯損木を除去した効果はそれほど顕著ではなかった。

試験地植栽後、7、11、15年生時の平均直径を Fig. 9に、平均直径と近交係数との関係を Fig. 10に

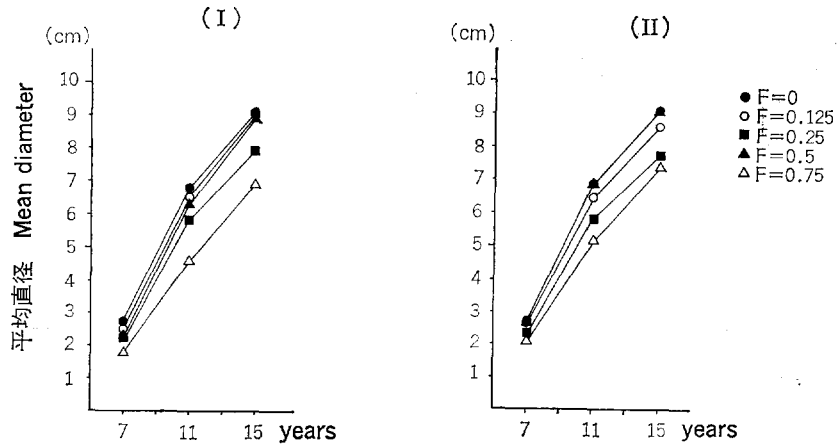


Fig. 9. 近親交配家系および異系間交配家系の直径生長（7年生から15年生まで）
Diameter growth of inbred and outcrossed families during the period from 7 to 15 years.

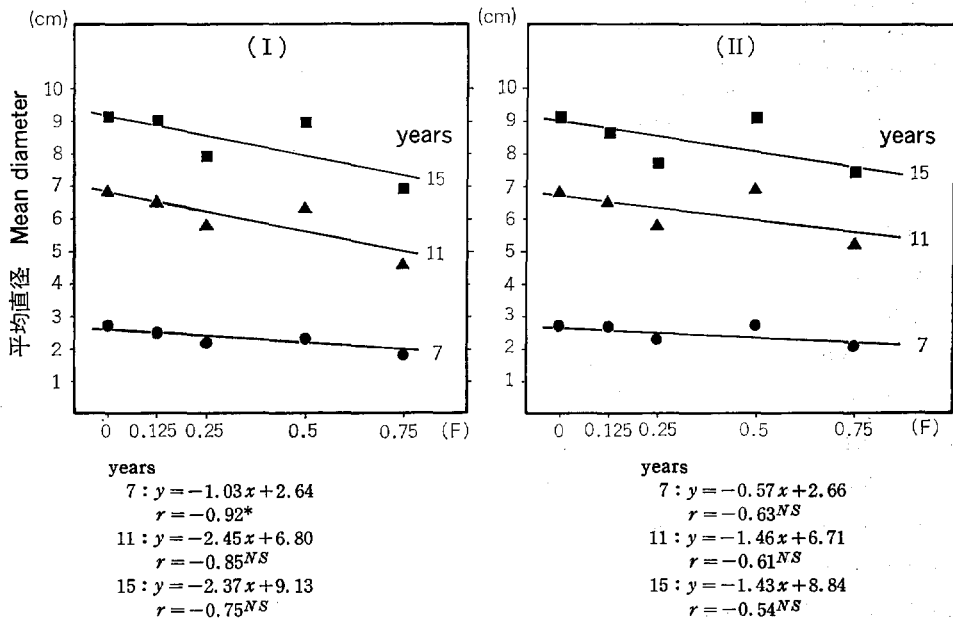


Fig. 10. 近親交配家系および異系間交配家系の平均直径と近交係数の関係
Regressions between inbreeding coefficient and mean diameter of inbred and outcrossed families.

示す。2～3年生時にはほとんど近交弱勢は認められなかった（Table 3）が，7年生時には $F=0.5$ の家系を除き，近交係数の高い家系ほど平均直径が小さい傾向が認められた。この関係は15年生時まで変わらず， $F=0.25, 0.75$ の家系と $F=0, 0.125, 0.5$ の家系との間で平均直径の差が拡大する傾向にあった。両交配家系群ともに $F=0.5$ の自殖兄弟間交配家系と異系間交配家系との差はほとんど認められないか，あるいは僅かであった。平均直径と近交係数の間の回帰直線は Fig. 10 に示すように，平均樹高の

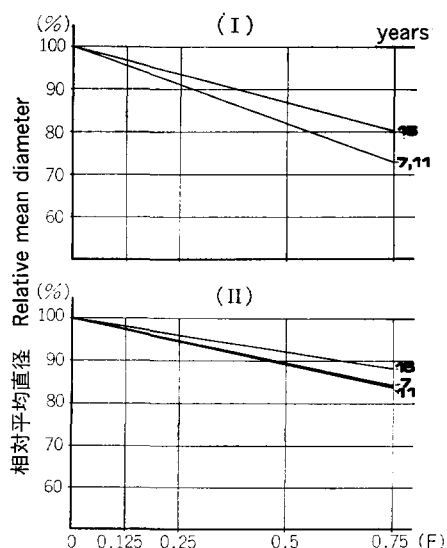


Fig. 11. 異系間交配家系の平均直径を100とした相対平均直径と近交係数の関係

Regressions between inbreeding coefficient and relative mean diameter which were calculated as percentage to mean diameter of outcrossed family.

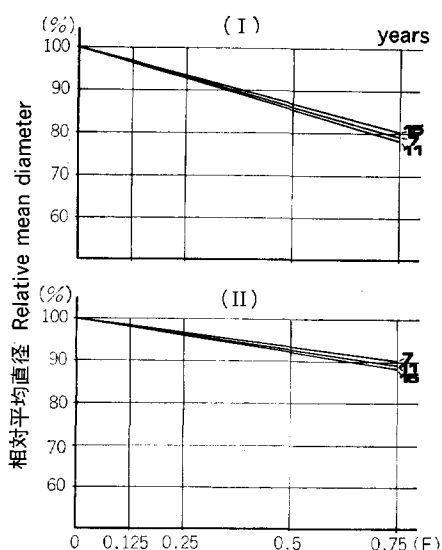


Fig. 12. 15年生時まで生存した個体について求めた相対平均直径と近交係数の関係

Regressions between inbreeding coefficient and relative mean diameter in individuals which survived after 15 years.

場合と同様に右さがりの傾きを持つ直線となり、相関係数は交配家系群 (I) の7年生時で有意 (5%) となったほかは、両交配家系群でいずれも有意とならなかった。15年生時における弱勢の程度は、自殖第二代家系でそれぞれ24% (交配家系群 (I)), 19% (交配家系群 (II)) であった。直径では、近交弱勢は樹高よりやや遅れて、しかし、より強く発現する傾向が認められた。Fig. 11 は異系間交配家系の平均直径を100として相対値で示した回帰直線である。ただし2, 3年生時の平均直径は測定部位が異なるため、ここでは示していない。両交配家系群とも7年生時と11年生時の回帰直線は近似している、この時期に最も弱勢が強く現われ、15年生時にはそれぞれ回復している。15年生時までに生存した個体について求めた回帰直線は、Fig. 12 に示すように、7, 11, 15年生時の3本の回帰直線は互いに接近して、年次変化はほとんど見られなかった。したがって、平均樹高の場合と同様に、弱勢が回復する現象は弱勢木が順次枯死するためと考えられる。

IV 考 察

林木では近親交配による弱勢化現象 (近交弱勢) は、多くの樹種で認められ、弱勢の発現する形質、弱勢の発現の程度などが報告されている。近交弱勢でとくに重要なものが自殖弱勢であり、近交弱勢を扱った報告の多くが自殖第一代家系に関するものである。近親交配の影響としては弱勢化する場合が多いが、マツの子葉数で報告されているように、プラスの効果をもつものもある²⁰⁾。しかし、次代の生産や収量などに関する形質の多くは近親交配によって弱勢化することが知られている。

苗畑および試験地での生存率に及ぼす近親交配の影響は、自殖第一代家系について他殖家系、自然交雑

家系との対比で弱勢の程度、発現時期などが調べられている。苗畑での幼齡期（1～3年生）の生存率は、クロマツの場合と同様、どの家系も高く、自殖家系と他殖家系、自然交雑家系との間に有意な違いは認められないことが多い^{6)11)19)~21)}。しかし、Black spruce¹⁵⁾、Douglas-fir¹⁴⁾の自殖家系のように比較的早くから弱勢が認められることもある。

生長とともに生存率に現われる近交弱勢の推移を調べた報告は少なく、しかもその多くは幼齡期に限られている。幼齡期に自殖家系と他殖、自然交雑家系との間で生存率に有意な違いが認められても生長とともに有意でなくなることが多い。Black spruce¹⁵⁾、White spruce⁶⁾、Douglas-fir、Ponderosa pine、Noble-fir²²⁾では、いずれも他殖家系に対する自殖家系の生存率の割合は生長とともに大きくなり、両者の間の生存率の差は減少している。

このように、生存率に現われる近親交配の影響は樹種、個体により異なり、しかも、生育条件によっても影響され、条件の厳しい所で生育したもののほど弱勢が強くと発現する傾向にある¹⁰⁾¹¹⁾。

近交係数の増大に伴って、樹高（苗高）生長や直径生長で弱勢が増大することは、Norway spruce¹⁾、Slash pine⁸⁾の苗高で報告されている。クロマツにおいても、近交係数が高くなるにつれ、弱勢は直線的に強くなることがわかった。相関係数（樹高）は交配家系群（I）の11年生時を除く各年次で有意となったものの、交配家系群（II）では自殖兄弟間家系（ $F=0.5$ ）の平均値が著しく大きいために、いずれの年次も有意とならなかった。しかし、相関係数は最小値でも -0.72 （交配家系群（II），13年生時）と相当大きく、近交係数の測点が多ければ、いずれも有意となるであろう値であり、近交係数の増大に伴い弱勢が強くなる傾向は明らかである。自殖兄弟間家系の平均値は、両交配家系群ともに回帰直線より高い位置にあり、とくに交配家系群（II）では、9年生以降、全兄弟間および半兄弟間家系よりも高い値である。この原因としては供試母樹数が少ないため（Table 1）、自殖兄弟間交配による弱勢発現に偏りの生ずることが考えられる。自殖兄弟間家系は、理論上、自殖第一代家系と同じ近交係数（ $F=0.5$ ）を持つが、本報のクロマツの自殖兄弟間家系では理論上の近交係数より低かったのではないと思われる。ここでは自殖第一代家系を欠いているので、自殖兄弟間家系の回帰直線からのズレが弱勢からの回復によるものなのか、あるいは供試母樹による偏りなのか確かめることはできないが、いずれにせよこの問題は今後、実験的に証明しておく必要があると思われる。

クロマツでは、苗高、胚軸長、地際直径ともに1～2年生時では近交弱勢はほとんど認められなかった。しかし、他の樹種では自殖第一代家系で1年生時に5～40%の近交弱勢が認められている²⁾⁴⁾⁶⁾¹¹⁾¹⁸⁾²¹⁾²²⁾²⁴⁾。樹高（苗高）および直径で発現する近交弱勢と樹齢との関係を詳細に調べた報告は極めて少ない。既往の報告によるとBlack spruce¹⁵⁾の2～6年生の間では弱勢にほとんど変化が認められていないが、Slash pine⁸⁾¹⁸⁾、Redwood¹¹⁾、Noble-fir²¹⁾、Picea pungens⁴⁾、Picea abies⁵⁾では自殖家系と他殖家系、自然交雑家系の生長量の差は年々拡大し、その結果、近交弱勢は徐々に増大することが観察されている。クロマツでは、近交係数と樹高（苗高）、あるいは直径から求めた回帰直線で表した弱勢の程度は、7～9年生時を境に増加から減少へと逆転している。これは枯損木を除去して求めた回帰直線の年次変化、各家系ごとの変動係数の推移などから、近親交配家系内で弱勢木が枯死し、その結果、平均値が上昇したためと考えられ、枯損木を除去したものについてみるかぎり、樹齢にともなう弱勢の著しい変化は認められなかった。

樹高（苗高）と直径では、弱勢の発現が多少異なっている。自殖第二代家系の15年生時で、異系間交

配家系に比べ樹高で80~85%, 直径で76~81%と樹高に比べ直径でやや強い。近交弱勢が樹高に比べ直径で強く発現することは Redwood⁴⁾, White spruce⁶⁾ で報告された結果と一致する。

Norway spruce¹⁾, Slash pine³⁾, クロマツの結果から明らかなように、近交係数が高くなるにつれ、近交弱勢は強くなる。しかし、クロマツでは弱勢が発現するのは3年生以降であり、苗畑で養苗中に生存率、苗高、直径等ではほとんど弱勢が認められないことから、この段階で近親交配に由来する個体を選別することは困難と思われる。そこで、次世代の生産を行う際にはできる限り近親交配が起こらないようにする配慮が必要である。一方、近交度の高い家系では、収量、その他の形質に及ぼす弱勢の影響は相当大きいものと考えられるが⁹⁾、中、弱程度の近交度の半、全兄弟間家系では弱勢の影響はそれほど大きくはない。また、近交弱勢の発現程度は樹種により、個体により、あるいは生育条件により異なることなどから、交配により育種母材料などを育成する際には、できる限り近交弱勢が強くないようにして目的形質の集積、あるいはホモ化を図ることが重要であると考えられる。

謝 辞

本実験の計画は元造林部長岩川盈夫氏により立案されたものである。実験の遂行に関して多大のご指導、ご鞭撻を頂いた氏には、心から厚くお礼申し上げます。試験地の設定と調査には、造林部遺伝育種第二研究室福原植勝室長、同第三研究室横山敏孝室長、同第四研究室山本千秋室長ならびに同第三研究室金指達郎技官のご協力を頂いた。また、本試験地では、試験遂行上支障のない十分な管理が行われてきた。これは、試験地設定から今日までの原町営林署歴代署長をはじめ、関係担当官、小宮担当区事務所歴代主任のご好意とご協力によるものである。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) ANDERSSON, E., R. JANSSON and D. LINDGREN : Some results from second generation crossings involving inbreeding in Norway spruce (*Picea abies*). *Silvae Genetica*, **23**(1~3), 34~43, (1974)
- 2) BINGHAM, R. T. and A. E. SQUILLACE : Self-compatibility and effects of self-fertility in western white pine. *Forest Sci.* **1**, 121~129, (1955)
- 3) BURROWS, P. M. and G. R. ASKEW : Experimental inbreeding depression. *Forest Sci.* **28**, 148~156, (1982)
- 4) CRAM, W. H. : Some effects of self-, cross-, and open-pollinations in *Picea pungens*. *Can. J. Bot.* **62**, 392~395, (1984)
- 5) ERIKSSON, G., B. SCHELANDER and V. AKEBRAND : Inbreeding depression in an old experimental plantation of *Picea abies*. *Hereditas* **73**, 185~194, (1973)
- 6) FOWLER, D. P. and Y. S. PARK : Population studies of white spruce. I. Effects of self-pollination. *Can. J. For. Res.* **13**, 1133~1138, (1983)
- 7) 勝田 桓 : クロマツとアカマツの自家受精, 東大演報, **15**, 23~35, (1964)
- 8) 勝田 桓 : ふたたびクロマツ, アカマツの自家受粉したときのタネのできかたについて, 東大演報, **16**, 35~41, (1966)
- 9) 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 (I), 1958~1960年の交雑経過および採種球果種子の特性と交雑性について, 新潟県林試研報, **9**, 1~27, (1968)
- 10) Koski, V. : On self-pollination, genetic load, and subsequent inbreeding in some conifers. *Comm. Inst. For. Fenn.* **78**, 1~40, (1973)

- 11) LIBBY, W. J., B. G. McCUTCHAN and C. I. MILLAR : Inbreeding depression in selfs of redwood. *Silvae Genetica* 30(1), 15~25, (1981)
- 12) 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数種類との種間交雑の可能性，京大演報，39，125~143，(1967)
- 13) 野口常介・渡辺 操：アカマツ精英樹クローンでの自家受粉によるタネのでき方，日林誌，54，356~359，(1972)
- 14) ORR-EWING, A. L. : Inbreeding and single crossing in Douglas-fir. *Forest Sci.* 11, 279~290, (1965)
- 15) PARK, Y. S. and D. P. FOWLER : Inbreeding in black spruce (*Picea mariana* (MILL.) B. S. P.) : self-fertility, genetic load, and performance. *Can. J. For. Res.* 14, 17~21, (1984)
- 16) 齊藤幹夫・岩川盈夫・渡辺 操：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，林試研報，255，31~46，(1973)
- 17) 佐藤大七郎・郷 正士・勝田 柁：クロマツ，アカマツの自家受精，マツ属における交雑育種に関する研究，29~30，(1961)
- 18) SNYDER, E. B. : Seed yield and nursery performance of self-pollinated slash pines. *Forest Sci.* 14, 68~74, (1968)
- 19) SNYDER E. B. : Five-year performance of self-pollinated slash pines. *Forest Sci.* 18, 246, (1972)
- 20) SORENSEN, F. C. and R. S. MILES : Self-pollination effects on Douglas-fir and ponderosa pine seeds and seedlings. *Silvae Genetica*, 23,(5), 135~138, (1974)
- 21) SORENSEN, F. C., J. F. FRANKLIN and R. WOOLLARD : Self-pollination effects on seed and seedling traits in noble fir. *Forest Sci.* 22, 155~159, (1976)
- 22) SORENSEN, F. C. and R. S. MILES : Inbreeding depression in height, height growth and survival of Douglas-fir, ponderosa pine and noble fir to 10 years of age. *Forest Sci.* 28, 283~292, (1982)
- 23) 渡辺 操・岩川盈夫：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)
- 24) WILCOX, M. D. : Inbreeding depression and genetic variances estimated from self- and cross-pollinated families of *Pinus radiata*. *Silvae Genetica*, 23(3~4), 89~96, (1983)

Studies of Inbreeding in *Pinus thunbergii* PARL.
—Inbreeding depression in survival, height and diameter
for the 15 years after sowing—

Mikio SAITO⁽¹⁾, Kiyoshi NAKASHIMA⁽²⁾, Takateru AKASI⁽³⁾
and Masaki KATSUTA⁽⁴⁾

Summary

The degree of inbreeding depression in survival, height and diameter was studied in two mating groups which comprised five families with different inbreeding coefficients ($F=0, 0.125, 0.25, 0.5, 0.75$) for 15 years after sowing.

In the nursery, there was no significant depression in survival, height and diameter of 1- to 3-year-old seedlings.

In the experimental plantation, depression in those traits increased linearly with the inbreeding coefficient. The degree of depression reached a maximum at 5 (group II) or 9 (group I) years in height and at 11 years in diameter but was less with the increased years.

The degree of depression of S_2 families ($F=0.75$) was about 18~20% in height and 19~24% in diameter at 15 years.

Received October 20, 1985

(1) Asakawa Experimental Forest

(2) (3) (4) Silviculture Division