

大沢スギ採種園の着花，種子および種苗の特性

菊地 健*・大島紹郎*

Flowering , seed and seedling characteristics Ohsawa
Cryptomeria japonica D . Don . seed orchard

Ken KIKUCHI* , Tsugio OHSHIMA*

要 旨

松前町・大沢スギ採種園の雄花および球果の着花（果）状態，並びに球果および種子の諸特性について調査し，採種木の断幹後における自然自殖率の推定および自殖弱勢について検討を行った。その主な結果を次に示す。

- 1 雄花の着生している個体が非常に少なく，園内の花粉親が限られている可能性が高いことが示唆された。
- 2 球果の大きさと球果1個当たりの種子数および1000粒種子重との間に正の相関が認められた。また，球果形状比は，家系ごとに差がある。
- 3 園内の自然自殖率は25%程度と推定され，過去に本州地方で報告されている値と同程度であった。

はじめに

大沢スギ採種園は，北海道内の精英樹を接木した63クローンにより構成され，現在では事業レベルで種子生産が行われている。

今後，採種木の成長に伴い実行しなければならないのは，次代検定林や採種園の特性調査に基づき，採種園を構成するクローンの中から成長，材質および着花性などの劣るものや気象害，病虫害に対する抵抗性の小さいものをとり除くことである。

以上のことから，今回は，採種園の体質改善を図るための基礎資料を提供する目的で，採種園の諸特性についての現在までの調査結果をまとめた。

材料および調査方法

1 大沢採種園の概要と施業経過

大沢採種園の概要を表-1に示す。種子を毎年継続的に採種することと採種後の樹勢の回復を図るために，Dブロックを除くA，B，Cの3ブロックで，毎年1ブロックずつを対象に巡回して採種している。そして，採種予定年のブロックについては，前年に12~13mg/本のジベレリン処理による結実促進を行っている。また採種木相互の庇蔭を防ぐことや効率的な採種ができるように1982，1984年の両年に採種木を地上高4.5mで断幹した。ただし，各ブロックの周囲一列は，花粉木として断幹を行っていない。

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute , Bibai , Hokkaido 079 - 01

〔北海道林業試験場研究報告 第28号 平成2年11月，Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute , No . 28 . November , 1990 〕

2 調査方法

1) 着花(果)量

採種予定ブロック内の全木の雄花および球果の着花(果)量を肉眼で判定し、次に示す着花指数によりグレード区分した。1:雄花および球果の着生量が極めて少ないものおよび全く着花していないもの。2:雄花および球果の着生量が少ないもの。3:雄花および球果の着生量が中程度のもの。4:雄花および球果の着生量の多いもの。また、クローン別の平均着花指数(\bar{a})を次式により算出した。

$$\bar{a} = \sum a_{ij} / n_i$$

(ただし a_{ij} は i クローンの j 番目の着花指数, n_i は i クローンの総本数)

2) 球果および種子の特性

球果および種子の特性調査は、1979, 1983, 1987, 1988 年に行った。各年ともクローン別に 200 個ずつ球果を採取し、その球果の高さおよび直径を mm 単位で測定した。そのうち 1987, 1988 両年には、球果の重量および種子の粒数を調査した。

風乾種子の 1000 粒重を測定した。さらに発芽率、充実率を各クローン 100 粒ずつ、3 反復で、定温器を用い、常法により調査した。

3) 交配様式、自然自殖率および自殖弱勢

1983 年に人工交配を行い、同一クローンから自家受粉(S), 他家受粉(C)および自然受粉(W)種子が対応して得られた 14 クローンを供試材料とした。他家受粉は、供試クローン以外の精英樹 5 クローンの混合花粉を人工交配をしたものである。播付けは、1984 年に各クローン 500 粒ずつ 3 反復で行った。

発芽率は、播付け粒数に対する発芽数の割合とし、自然自殖率は各交配様式別の発芽率により次式により求めた。

$$R = (c / s - w / s) / (c / s - 1)$$

その後、生存個体はすべて床替えした。床替えは 4 年生秋まで毎年行い、その間の苗高および当年伸長量を全個体について測定し、これらの測定値について {自然受粉(W) - 自家受粒(S)} / 自然受粉(W) 比を求め自殖弱勢の程度を判定した。

結果および考察

1 精英樹クローンの着花特性

着花(果)性の良否は種子の生産性や品質に関連する極めて重要な特性である。また、この採種園ではジベレリン処理により強制的に着花促進を行っていることもあって、これに対する着花(果)反応を明らかにする必要があり、1987 年から 1989 年の 3 ヶ年、雄花と球果の着生状況を調査した。

3 ヶ年の雄花および球果の着花指数別の立木本数を図 - 1 に示す。球果の 3 ヶ年の着生状況は、並作 並作で推移したことがうかがえる。一方、雄花については、3 ヶ年とも着花個体が非常に少ないことを示している。また、このことに関連して、ブロックの周囲に残した花粉木と断幹した採種木について、着花指数別の相対頻度を比較した(図 - 2) 図に示されるように、両者の着花指数別の頻度分布が類似し

表 - 1 松前林務署大沢採種園の概要

ブロック	造成年度	面積 (ha)	本数 (本)	家系数	植栽間隔
A	1962	1.00	625(608)	49	4m × 4m
B	1963	0.88	982(941)	39	3m × 3m
C	"	0.90	1021(964)	27	"
D	"	0.22	257	27	"
合計		3.00	2885	63	

() 内は 1989 年現在の本数

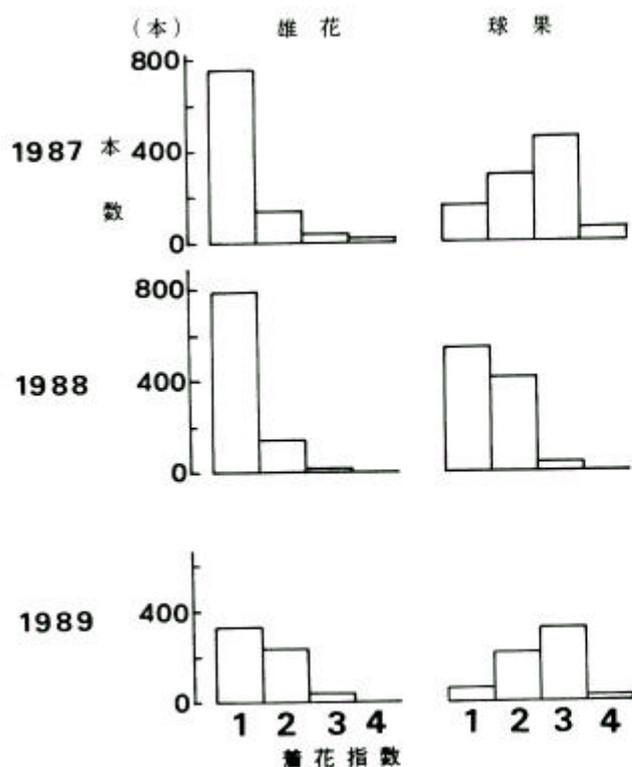


図-1 3ヵ年の着花指数別本数

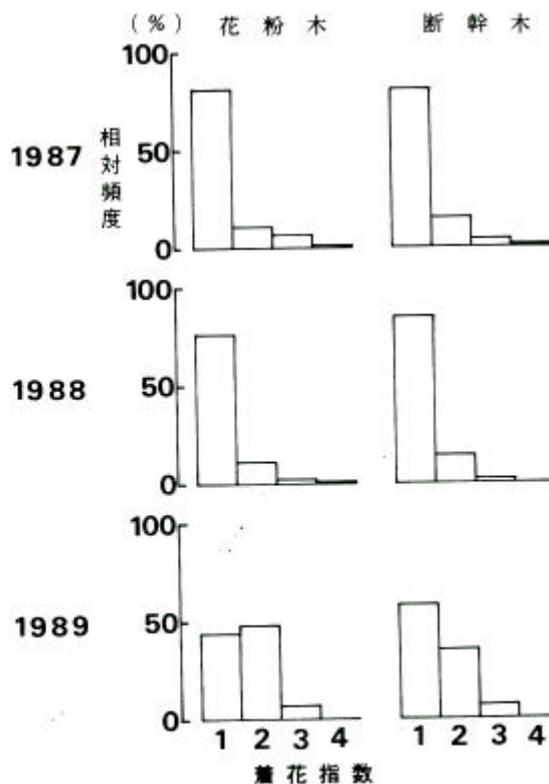


図-2 3ヵ年の花粉木および断幹木の雄花の着花指数別の相対頻度

ていることから、周囲の未断幹木は花粉木としての機能をほとんど果していないと考えられる。

次に、球果および雄花の着花指数が3および4と判定された立木の位置の分布様式を I 指数 (MORISITA, 1959) をもちいて解析した (表-2)。指数は次式で表わされる。

$$I_d = q \frac{\sum_{i=1}^q n_i (n_i - 1)}{N(N-1)}$$

ただし、 q : 方形枠数

n_i : 第 i 枠における個体数

$N = \sum n_i$: 総個体数

球果については、不作年である1988年には、方形枠の大きさにかかわらず、 I 値が1よりも大きく、集中的な分布傾向を示している。一方、並作である1987, 1989 両年には、方形枠の面積を小さいものから大きい面積にするにしたがい、 I 値が1より小さい値から1になっており、規則分布を示している。雄花については、1987, 1988 年には集中分布を、1989 年には規則分布を示している。以上のことから、不作年には着花 (果) 木は集中する傾向がある。また、並作には、球果の着果木は規則的な分布を示し、雄花の着花木は集中する年と規則的な年とがある。したがって、雄花の着花木は場所的に片寄ることが懸念

表-2 雄花および球果の年度別 I の値*

区画面積	6m×6m	12m×12m	24m×24m
1987年			
雄花	1.37	1.56	1.55
球果	0.78	0.94	1.00
1988年			
雄花	1.34	2.65	1.81
球果	4.82	4.93	3.44
1989年			
雄花	0.54	1.04	1.00
球果	0.78	0.96	0.99

*は、着花指数が3および4と判定された採種木位置の値

表-3 雄花・球果の分散分析

要因	雄花			球果		
	自由度	平均平方	F	自由度	平均平方	F
クローン	21	0.13	3.98 ^{**}	21	0.10 [*]	2.41 ^{**}
年度	2	0.52	15.88 ^{**}	2	6.41	160.96 ^{**}
誤差	42	0.03		42	0.04	
全体	65			65		

^{**}は1%水準で統計的に有意であることを示す

される。

次に、クローンごとの雄花および球果について平均着花(果)指数を求め、年次別に分散分析(表-3)およびそれらの相関(表-4)を求めた。分散分析の結果からクローン間に1%水準で有意な差が認められ、着花性の良否はクローン特性と考えられる。さらに、クローンの年次相関では、雄花について相関係数0.6以上の高い値が示され

表-4 クローン別の着花性に関する年次間相関

		1987		1988		1989	
		雄花	球果	雄花	球果	雄花	球果
1987	球果	0.593 ^{**}					
1988	雄花	0.612 ^{**}	0.399 [*]				
	球果	0.235	0.275	0.193			
1989	雄花	0.706 ^{**}	0.575 ^{**}	0.807 ^{**}	0.335		
	球果	0.515 ^{**}	0.536 ^{**}	0.336	0.343	0.560 ^{**}	

^{*}, ^{**}は、それぞれ5%, 1%水準で統計的に有意であることを示す。

ている。球果については、不作年の1988年に対してはいずれの場合も相関が認められない。一方、並作年の1987年と1989年との相関には有意な差が認められる。また、同年次の雄花と球果の相関では、1988年を除き相関がみられる。

これらのことから、並作年においては、クローンごとに着花性が安定しており、雄花を多くつけるクローンと球果を多くつけるクローンが一致する傾向にあることと、雄花を多くつけるクローンがきまっていることを意味し、土屋の報告(1983)と同様な傾向が確かめられた。

以上の結果をまとめると、各クローンの雄花としての次代生産に対する寄与は、クローンによって違いがあり花粉親としてのクローンは場所的にも、非常に限られていることである。これは単にジベレリン処理によるクローンごとの感応の差によるものなのか、あるいはジベレリン処理の方法の問題であるのか、今後の検討課題である。

2 球果および種子の特性

1979, 1983, 1987, 1988年に採取した球果および種子について、それらの特性値として家系単位の最低値・最高値・平均値を求め、表-5に示した。

スギの球果の大きさについての報告例は少なく、関東地方での萩行ら(1970)の報告があるにすぎない。この萩行らの報告では、2ヵ年について17クローンの平均値が示されており、その値は、球果の長さが16.5mm, 17.0mm, 直径が18.2mm, 18.7mmとなっている。今回の結果では、クローン間、年度間の変動もあるが、前述の報告値よりも全般に小さい値となっている。これは、ジベレリン処理によって着花促進を行った場合、球果が小さくなるという報告(野口, 1982)のとおりと考えられる。

球果の形状比については、各クローン間の変異幅は小さい。また、年度別にみると、発芽率の非常に低かった1983年を除き、0.92~0.93と同程度の値を示している。

球果1個当たりの種子粒数は、1987年には29.5個から69.7個、平均値で48.2個、1988年は28.8個から60.7個、平均値で51.7個となっており、両年ともクローンによる変動が非常に大きい。また、萩行らの報告(1970)では平均値が77.3個、85.0個となっており、この値と比較するとかなり少ない値となっており、ジベレリンの影響であると考えられる。

1000 粒種子重は、各年度ともクローン間の変動が大きい。各年度の平均値は、1987 年が 3.6 g と大きい値を示しているが、他の年度には、2.4 g から 2.8 g の値である。野口 (1982) は、埋幹によるジベレリン処理を行った 4 地域の平均は 2.59, 無処理の場合は 3.1 g となっている。また、岩手県林試の葉面散布によるジベレリン処理を行った場合の報告 (草葉, 1985) では、不作年が 2.5 g から 2.8g, 豊作年が 3.3 g から 3.5 g となっている。

以上の報告例から判断すると、今回得られた結果は、ジベレリン処理をして、採取される種子の値としては、平均的なものと考えられる。発芽率、充実率に関しては、1983 年に平均発芽率が 13.6% と低い値となっているが、充実率では、高い値を示しており、全体的には問題は少ないと考えられる。

次に、いままで述べた形質間および年度間の関係をみるために、クローンごとの平均値から相関係数を求め表 - 6 に示した。

これらの特性値の中で、特にはっきりとした相関が認められたものは、同一年における球果の長さ

表 - 5 スギ精英樹クローンの球果および種子の形質

調査年	クローン数	球果の大きさ(mm)と形状比			球果 1 個の重量(g)	球果 1 個当たりの種子粒数(個)	1000 粒種子重(g)	発芽率 (%)	充実率 (%)
		高さ(H)	直径(D)	形状比(H/D)					
1979	52	14.6	15.6	0.93			2.6	29.3	36.8
		11.9 ~ 16.8	12.8 ~ 19.0	0.87 ~ 0.97			1.7 ~ 4.0	5.5 ~ 57.5	14.0 ~ 61.7
1983	51	14.0	16.9	0.83			2.8	13.6	37.5
		11.1 ~ 18.7	13.2 ~ 22.2	0.77 ~ 0.92			1.6 ~ 4.2	1 ~ 46	8 ~ 82
1987	35	16.0	17.5	0.92	1.9	48.2	3.6	23.8	29.5
		13.2 ~ 19.7	14.4 ~ 22.3	0.84 ~ 0.97	1.0 ~ 3.6	29.5 ~ 69.7	1.7 ~ 5.6	5.0 ~ 51.0	16.8 ~ 53.5
1988	28	15.0	16.3	0.92	1.1	51.2	2.4	23.5	29.9
		12.8 ~ 17.8	13.3 ~ 19.4	0.86 ~ 0.98	0.5 ~ 1.9	28.8 ~ 60.7	1.2 ~ 3.4	4.5 ~ 51.0	8.5 ~ 59.5

クローン平均値
最低クローン ~ 最高クローン

表 - 6 球果および種子の各特性値の相関係数

		球果の長さ				球果の直径				球果の形状比				球果 1 個当たりの種子粒数				1000 粒種子重				発芽率			
		1979	1983	1987	1988	1979	1983	1987	1988	1979	1983	1987	1988	1979	1983	1987	1988	1979	1983	1987	1988	1979	1983	1987	1988
球果の長さ	1979																								
	1983	0.526**																							
	1987	0.658**	0.237																						
	1988	0.343	0.336	0.464*																					
球果の直径	1979	0.963**																							
	1983		0.951**			0.956**																			
	1987			0.949**		0.829**	0.267																		
	1988				0.915**	0.349	0.496*	0.523**																	
球果の形状比	1979	0.143				-0.125																			
	1983		0.122				0.188																		
	1987			-0.132				-0.442**					0.475**												
	1988				-0.392*				-0.720**	0.347	0.496**	0.515**													
球果 1 個当たりの種子粒数	1979																								
	1983																								
	1987			0.614**				0.596**					-0.119												
	1988				0.562**				0.520**					-0.264											
1000 粒種子重	1979	0.653**				0.716**																			
	1983		0.809**				0.816**					-0.113													
	1987			0.642**				0.830**				-0.048													
	1988				0.671**				0.853**				-0.165												
発芽率	1979	0.287*				0.322*																			
	1983		0.472**				0.481**																		
	1987			0.485**				0.530**																	
	1988				0.369*				0.390*																

*、** は、それぞれ 5%、1% 水準で統計的に有意であることを示す。

直径で、相関係数 0.9 以上を示した。このことは、球果の大きさの指標として、どちらか一つの測定値で代表できることを意味する。次に、球果の大きさを表わす球果の長さおよび直径と球果 1 個当りの種子数および 1000 粒種子重との間に正の相関が認められる。すなわち、球果が大きくなるにしたがい種子数は多くなり、種子重も重くなる傾向にある。また、これらと関連して、球果の大きさと発芽率においても、統計的に有意な相関が認められる。

次に、クローンとして固有の特性があるかどうかを検討するために、同一形質について採取相互の関係をみると、球果の長さ、直径、1000 粒種子重は、1979 年と 1983 年、1979 年と 1987 年に有意な相関が認められるが、すべての組合せに認められるわけではない。したがって、これらの特性はクローン固有の特質の可能性もあるが、受粉状態などの影響が大きいと考えられる。球果形状比は、1979 年と 1988 年の組合せ以外はすべて有意な相関がみられ、母樹固有の比較的安定した形質と考えられる。また、年次別の分散分析(表-7)の結果からも、クローン間に 1%水準で有意な差が認められる。

表-7 形状比の分散分析

要因	自由度	平均平方	F
クローン	19	0.0024	4.27 ^{**}
年 度	3	0.0500	90.55 ^{**}
誤 差	57	0.0006	
	79		

^{**}は 1%水準で統計的に有意であることを示す

3 交配様式と自殖弱性および自然自殖率

一般的に、理想的な採取園のクローン配置は、選抜された多数のクローンによる任意交配が行われ、各クローンの自殖の頻度が低くなることである。そこで、現実の採種園がこのような理想モデルと、どの程度の差異を示すかを検討しておく必要がある。

ここでは採種園の自然受粉家系を自家受粉と他家受粉の集団、つまり部分自殖と考え、14 家系の精英樹について交配様式ごとの発芽率、生存率、苗高成長を測定し、自殖弱性の程度を調査した。また、採種園における自然自殖率を推定した。

各家系について交配様式別に発芽率を求め、これらの発芽率をもとにして、自家受粉家系と他の交配家系との違いを比較するため他家受粉(C)/自家受粉(S)、自然受粉(W)/自家受粉(S)、他家受粉(C)/自然受粉(W)比を求め、表-8に示した。

発芽率は、自家受粉各家系が 1.1~21.7%、他家受粉が 8.5~39.9%、自然受粉が 7.5~36.3 といずれも家系間変動が大きい。交配様式別の平均値では、自家受粉が 6.6%、他家受粉が 23.4%、自然受粉が 21.5%であり、自家受粉が非常に小さい値を示している。また、C/C、W/S比でも、いずれも 1 以上の

表-8 自家受粉、他家受粉および自然受粉種子の発芽率とそのC/S、W/S およびC/W 比

家系名	自家受粉(S)	他家受粉(C)	自然受粉(W)	C/S	W/S	C/W
桧山 1	2.7	14.2	9.5	5.26	3.52	1.49
" 2	3.4	9.9	10.4	2.91	3.06	0.95
留萌 1	13.2	33.9	27.7	2.57	2.10	1.22
" 2	10.9	35.9	36.3	3.29	3.33	0.99
渡島 27	7.9	30.6	26.4	3.87	3.34	1.16
" 28	7.0	15.4	7.5	2.20	1.07	2.05
" 30	3.7	15.2	19.1	4.11	5.16	0.80
" 33	1.1	22.9	20.9	20.82	19.00	1.10
" 36	2.9	8.5	16.7	2.93	5.76	0.51
" 39	8.8	28.0	11.2	3.18	1.27	2.50
" 41	1.3	9.5	29.1	7.31	22.38	0.33
" 46	2.5	26.1	15.8	10.44	6.32	1.65
松前 2	5.7	39.9	35.3	7.00	6.19	1.13
" 15	21.7	37.9	35.7	1.75	1.65	1.06
平均	6.6	23.4	21.5	5.55	6.01	1.21

値を示しており、自家受粉の発芽率が他の交配様式より劣っている。C / S, W / S 比のクローン平均値からは、他家受粉、自然受粉の発芽率が自家受粉に比較して6倍近く発芽率が高いことがわかる。さらに図-3には、交配様式別の発芽率と4年生苗になるまでの生存率の関係を示した。発芽率の高い家系ほど生存率が高い。また、交配様式別に検討すると、他家受粉(C)と自然受粉(W)の各家系は、類似のパターンを示し、家系間の変異幅が大きい。一方、自家受粉(S)の各家系は、発芽率が非常に低く、生存率も非常に低い。

このような傾向は、4年生苗高および4年生の当年伸長でもみられる。そこでこれらの自殖弱勢の程度を推定するために、家系および交配様式別に4年生苗高、当年伸長量を測定し、自然受粉(W)に対する自殖弱勢度を次式によって求めた(図-4)。

$$\{(W) - (S)\} / (W) \times 100$$

0-36の家系でマイナスの値となっているが、これは、(S)苗木の生存本数が少なく、小さい苗木が枯死したためである。家系全体の平均自殖弱勢度は、4年生苗高、当年伸長とも20%程度である。これらの値は、関東地方での古越(1978)の報告の半分程度となっている。いずれにしても、スギの生長量は自殖によって、抑制されていることは明らかである。しかも、ここで示されている自殖弱勢度は、生存個体の平均値の比較であり、図-3に示されている生存率を勘案すると、スギの自殖弱勢の程度は非常に大きいと考えられる。

続いて、園内の自然自殖率推定について検討を行った。自然自殖率の推定には、(W)に対応する(C)および(S)種子の内容充実率から推定する方法(FRANKLIN, 1971)や自然受粉家系集団に現れる色素異常個体の比率から推定する方法(大庭ら, 1967, 1979, 1971, 1973)などがある。ここでは、交配様

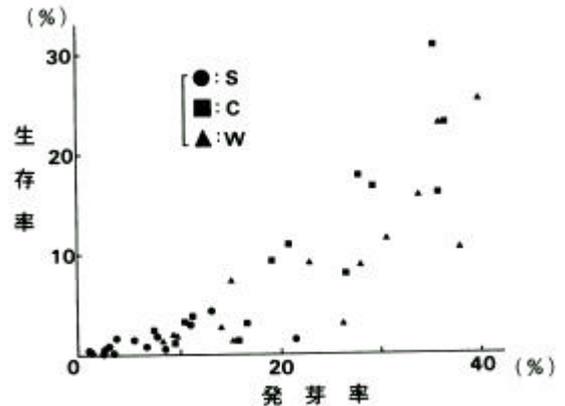


図-3 交配様式別の発芽率と4年生苗の生存率の関係

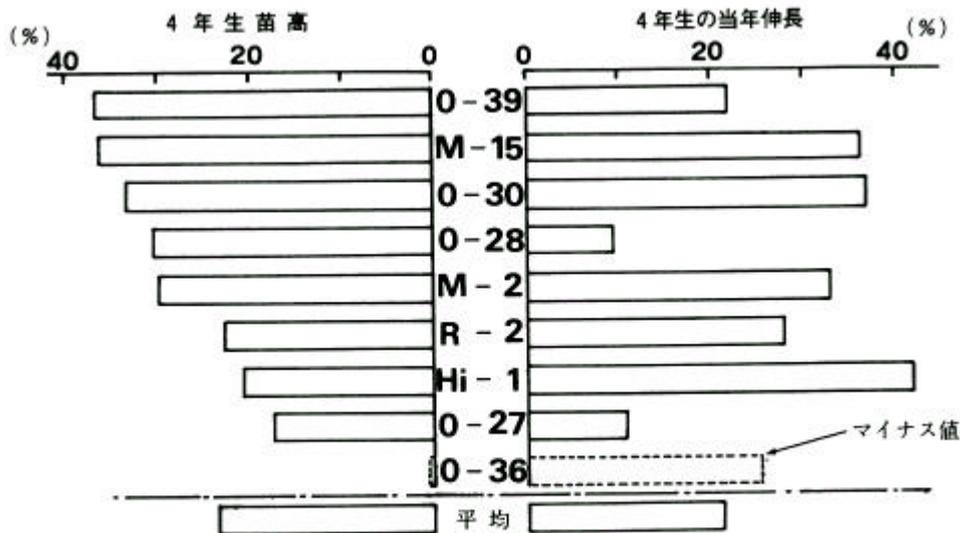


図-4 各家系の4年生の自殖弱勢度 ($W - S / W \times 100$)
O: 渡島 M: 松前 R: 留萌 H: 桧山

式別の発芽率をもとにした古越(1978)による自然自殖率(R)の推定の近似式 $R = (C/S - W/S)/(C/S - 1)$ により求めた。

各家系の自殖率の推定値を図-5に示す。理論値は、0から1の間の値をとるが、5家系が負となった。推定値が負となるのは(C)種子の発芽率が(W)種子より小さいときであり、このような状態になる原因として、人工交配時の袋かけの影響も考えられる。いずれにしても、この推定法にはある程度の誤差は含まれ、今後検討する必要があるが、一応ここでは負の家系をOとし、14家系の単純平均を求めると25.1%となる。関東地方の古越の報告(1978)では、20~30%と推定しており、今回得られた結果は同程度の範囲にあるといえよう。

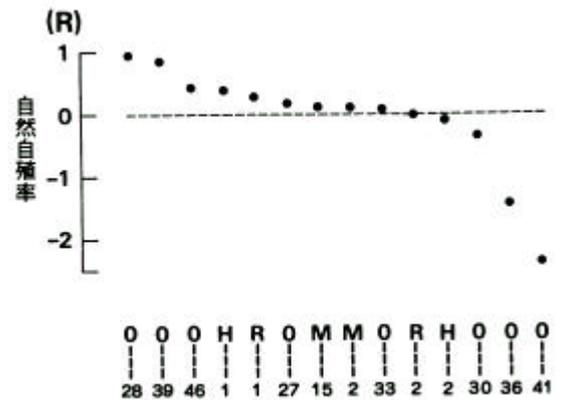


図-5 各家系の自然自殖率

おわりに

今回の報告に先立ち、この採種園を実験材料として、ジベレリン処理方法についての報告(増田, 1975)および生産された育種種子や養苗成績についての報告(大島, 1984)がなされている。この時点の調査結果では、ジベレリン処理による発芽率や養苗成績への影響はほとんど問題にならない程度であると結論されている。その後、採種木の生長に伴い、種子採取を容易にするため断幹を行ったので、花粉の飛散距離や飛散量が十分でなく、自殖率が高まることが懸念された。

今回の結果では、自殖率について、一般に報告されている平均的な値で問題は少ないと考えられるが、特に問題となるのは、採種園全体の雄花の着花量が非常に少ないことである。この原因が、ジベレリンの処理方法にあるならば、スギの雄花、雌花の比率は、温度条件および光質条件によって大きく影響されるという報告(長尾, 1975, 1980, 1981)もあり、北海道に適合した、処理時期を検討すべきである。

また、採種木の生長に伴いクローネが発達してきており、陽光および通気通風に関連する本数管理も、今後の検討課題である。なお、この研究を進めるに当たり多くのご協力をいただいた松前林務署の関係各位に深く謝意を表します。

文 献

FRANKLIN, E. C. 1971 Estimates of natural selfing and the inbreeding coefficients in loblolly pine, *Silvae Genet.* 20: 194~195

古越隆信 1978 スギ採種園の花粉管理に関する基礎的研究. 林試研報 300: 41~120

萩行治義・横山周一・河野耕蔵 1970 スギの球果とタネ. 林木の育種 60: 12~16

草葉敏郎 1985 スギ採種園構成クローネの着花特性と種子生産性. 岩手県林試成果報告 18: 25~42

増田憲二郎・館 和夫・永井永蔵・大崎巳代治 1975 ジベレリン処理によるスギ採種園の結実促進. 光珠内季報 26: 1~7

MORISITA, M 1959 Measuring of the dispersion of individuals analysis of the distributional patterns, *Men. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. E (Biol.)* 2(4): 215~235

- 長尾精文・浅川澄彦 1975 スギの花芽分化におよぼす温度と光質の影響．86 回日林講：202～203
1980 スギの花成におよぼす温度の影響．日林誌 62：280～282
1981 異なる温度条件下におけるスギの花成におよぼす光質の影響．日林誌 63：367～371
- 野口常介 1982 スギ採種園産種子とその養苗技術．林木の育種 122：29～32
- 大庭喜八郎ほか 1967 林木の変異に関する研究()クマスギと他のさし木スギ系統間の交雑親和性．
日林誌 49：361～367
・村井正文 1969 イワオスギの自殖および他殖実生における葉緑素変異苗の発生と苗高生長
について．日林誌 51：118～124
・百瀬行男・前田武彦 1973 スギ精英樹からの異常苗の分離．林試研報 250：53～76
- 大島紹郎 1984 ジベレリン処理による採種園産稚苗の特性．昭和 58 年道林研論：140～141
- 酒井 昭・高樋 勇・渡辺富夫 1963 林木の寒風害の研究()．日林誌 45：412～420
- 土屋辰雄・斉藤清雄・寺田貴美雄 1983 スギ精英樹クローンのジベレリンに対する着花反応．日林東北
支誌 35：164～166