

## 温室育苗によるスギの世代促進

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	大庭, 喜八郎 岡田, 幸郎 村井, 正文
巻/号	53巻5号
掲載ページ	p. 133-137
発行年月	1971年5月

## 論 文

## 温室育苗によるスギの世代促進

大庭喜八郎\*・岡田幸郎\*\*・村井正文\*\*

Advancing the Generation of Sugi, *Cryptomeria japonica*  
D. Don by Greenhouse Cultivation

Kihachiro OHBA\*, Yukio OKADA\*\* and Masafumi MURAI\*\*

**Summary:** An experiment to advance the generation of a Sugi clone (G-5), *Cryptomeria japonica* D. Don, which is heterozygous for a lethal recessive gene producing light green seedlings was made by greenhouse cultivation. Firstly, in 1965, outcrossing and selfing were made on G-5. In December 1965, the seeds were sown in a wooden box ( $55 \times 30 \times 13$  cm<sup>3</sup>) in a greenhouse, and they were promoted to grow to have a sufficiently large plant size for gibberellin treatment. In the summer of 1966, gibberellin treatment was made to induce flower bud differentiation. In the spring of 1967, these F<sub>1</sub> plants were back-crossed with the pollen of G-5 and the mature cones were collected in the fall. Thus one generation was advanced by full two years.

Eighty four F<sub>1</sub> plants (66.4%) out of the outcrossed progeny had cone (s). Meanwhile, 36F<sub>1</sub> plants (59.0%) out of 61 selfed F<sub>1</sub> plants had cone (s). Number of mature cone per plant ranged between 1 and 10, and their mean values were a little more than 3 in both progeny groups. In the selfed progeny, mean 1000-seed-weight, mean number of the seeds per cone were significantly lower than those of the outcrossed progeny.

After a germination test, mean germination percentage of the selfed progeny was significantly lower than that of the outcrossed progeny. On the other hand, selfed seeds of G-5 in 1965 and back-crossed seeds of the selfed progeny showed the same level of germination at ca. 27%.

Observed genotypic frequencies of both progeny groups were as follows: in the outcrossed progeny; dominant homozygote vs. heterozygote was 35:27, and in the selfed progeny; dominant homozygote vs. heterozygote was 9:12. They showed good agreement with the expectation of 1:1 in the former, and 1:2 (hetero) in the latter, respectively. By the back-crossing of G-5 to the heterozygous F<sub>1</sub> plants, segregation of the seedlings in the ratio of normal vs. light green is 3:1 is expected. Meanwhile, smaller number of light green seedlings were segregated in the outcrossed progeny.

In this back-crossed F<sub>2</sub> generation, more than 2000 seedlings were raised from 83 F<sub>1</sub> plants. In the practical Sugi breeding works with an advancement of the generation, it may be important to use individuals or strains which have abilities to bear a plenty of flowers of both sexes by gibberellin treatment and have higher cross- and self-compatibilities in addition to their specific traits for, for examples, fast growth, disease- and cold resistances. Moreover, development of early progeny testing techniques for respective breeding purposes is essential.

**要 旨:** 致死の淡緑色苗を生ずる劣性遺伝子について、ヘテロ接合型のスギのクローン (G-5) の後代を、温室育苗により世代促進試験をおこなった。まず、1965年、G-5について自殖と他殖とをおこない、同年12月にこれらの種子を1個の木箱 (55 cm × 30 cm × 13 cm) にまきつけ、ジベレリン処理ができるような大きさになるよう温室内で育苗した。1966年の夏にジベレリン処理をして花芽の誘起をはかり、1967年の春、これらのF<sub>1</sub>後代にG-5の花粉を戻し交配し、秋に球果を採取した。こうして、一世代を満2年に短縮した。

他殖後代 127 個体の F<sub>1</sub> 個体のうち 84 個体 (66.4%) に球果がついた。一方、自殖による 61 本の F<sub>1</sub> 個体のうち 36 個体 (59.0%) に球果がついた。個体あたりの成熟球果数は 1 個から 10 個の範囲であり、その平均値は両後代群とも 3 個をわずかに上回った。自殖後代における平均 1,000 粒重、球果あたりの平均実粒数は他殖後代のそれよりも有意に低かった。

\* 農林省農業技術研究所・放射線育種場 Natl. Inst. Agric. Sci., Inst. of Radiat. Breed., Ohmiya, Ibaraki

\*\* 農林省林業試験場 Gov. For. Exp. Sta., Meguro, Tokyo

発芽試験の結果、自殖後代の平均発芽率は他殖後代のそれより有意に低かった。一方、G-5の自殖種子(1965年)および自殖後代への戻し交配をした種子(1967年)の発芽率は、ともに約27%で同じ程度であった。

両後代群で観察されたF<sub>1</sub>個体の遺伝子型頻度は次のようであった。他殖後代において、優性ホモ接合型:ヘテロ接合型は35:27であり、自殖後代では同じく、9:12であった。これらの分離比は、1:1および1:2(ヘテロ型)の期待値にそれぞれよく適合した。ヘテロ接合型のF<sub>1</sub>個体へのG-5花粉の戻し交配により、正常苗:淡緑色苗は3:1の分離が期待される。しかし、他殖後代においては淡緑色苗の分離が少なかった。

83本のF<sub>1</sub>個体から戻し交配によるF<sub>2</sub>世代として、2,000本以上の苗がえられた。世代促進を用いる実際のスギの育種事業においては、特定の形質、たとえば、早い生長、耐病性、耐凍性にすぐれているほかに、ジベレリン処理により特異的に多量の雌花、雄花をつける能力および高い交雑和合性、自家和合性をもつ個体や系統を使用することが重要である。さらに、それぞれの育種目標にかなった早期検定技術の開発が必要である。

## 1. はじめに

加藤ら<sup>1,2)</sup>によりジベレリンがスギの花芽分化を促進することが報告されていらい、スギの人工交配は非常に容易になった。スギの交雑育種における育種期間の短縮、同じく純系育成や遺伝子分析などの交配にジベレリンを利用し、世代の促進(短縮)ができれば好都合である。すでに市河・四手井<sup>3)</sup>はジベレリン処理によって開花したスギの交配種子よりの当年生稚苗に、さらに、ジベレリン処理をおこない雌雄花芽を着生させている。これは少なくとも満2年で一世代を経過させる可能性を暗示するものである。

この試験では大庭・村井<sup>4)</sup>が報告した致死の淡緑色苗を生ずる劣性遺伝子をヘテロでもつ個体、G-5(放射線育種場でクローン化して保存)の他殖および自殖による種子を温室内では種し、遺伝子分析をおこなったF<sub>1</sub>集団について、さらに、温室育苗により世代促進試験を試み、あわせて両F<sub>1</sub>集団内で同遺伝子をヘテロでもつ個体の頻度、F<sub>2</sub>集団での淡緑色苗の分離を調査した。

## 2. 材料と方法

放射線育種場で保存しているスギの1みしょう個体、G-5は子葉、本葉とも淡緑色の苗を生ずる劣性遺伝子をヘテロもっている。この淡緑色苗は自然条件のもとでは、発芽後1年以内にほとんど枯死する。この試験にはG-5のほかにもう1本のみしょう個体、C-5を用いた。1965年の春、自然着生およびジベレリン処理により着生したG-5の雌雄花とC-5の自然着生の雌雄花をもちい、つぎのような交配をした。(1)G-5(自然着花)×C-5、(2)G-5(自然着花)の自殖、(3)G-5(ジベレリン処理着花)の自殖および、(4)C-5(自然着花)の自殖である。1965年の秋に採集したこれらの種子を1965年12月1日に温室内では種した。木箱(長

さ、幅、深さがそれぞれ55cm×30cm×13cm)にふるった土をつめ、播種床とした。元肥として硫加磷安12号(N:13, P:17, K:12)を100g/m<sup>2</sup>の割合で施肥した。この木箱内に28cmのは種溝を11列もうけ、1は種溝あたり100粒をまきつけた。各交配組み合わせごとのは種溝数は、(1)他殖:3列、(2)と(3)のG-5の自殖:各3列、(4)C-5自殖:2列であった。平均発芽率は、(1)他殖:65.0%、(2)G-5(自然着花)の自殖:27.7%、(3)G-5(ジベレリン処理着花)の自殖:15.6%および(4)C-5(自然着花)の自殖:16.5%であった。こうして、温室内で発芽し、生長したF<sub>1</sub>苗、次の世代促進試験の交配に使用した。なお、自然枯損のほかは間引きをしなかったので過密の状態であった(写真-1参照)。

世代促進試験の結果は、(1)G-5の他殖と(2)、(3)



写真-1. 木箱(55×30×13cm<sup>3</sup>)で育てた他殖と自殖によるF<sub>1</sub>植物(1967年3月)。この一箱のF<sub>1</sub>植物からF<sub>2</sub>世代として2000本以上の苗がえられた

Photo. 1. Outcrossed or selfed F<sub>1</sub> plants being grown in a wooden box (55×30×13 cm<sup>3</sup>) in late March 1967. From these F<sub>1</sub> plants, more than two thousand seedlings were raised as F<sub>2</sub> generation

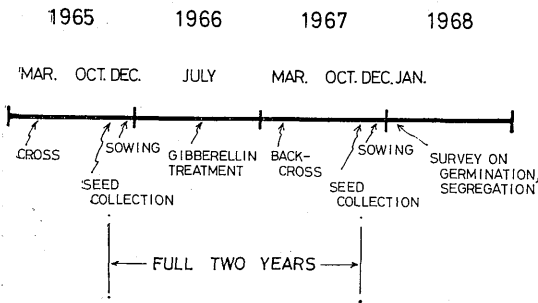


図 1. 試験経過の概要

Fig. 1. An outline of the experimental procedures

をこみにした G-5 の自殖の 2 集団としてまとめた。図-1 に試験経過の概要を示した。

1966 年 7 月 19 日から 8 月 1 日までの期間に 100 ppm のジベレリン水溶液を 3 回散布した。1967 年春の交配は母樹 G-5 を花粉親とする戻し交配であり、交配作業はガラス室内でおこなったが、雌親として用いた F<sub>1</sub> 苗に着生した雄花は除去しなかった。また、G-5 の系統の雌花、雄花の開花は他の系統より早いので、他の花粉からの隔離をはかる袋かけなどの措置は省略した。G-5 母樹から雄花のついた小枝を切りとり、パケツに水ざしし、これらの F<sub>1</sub> 苗の上でゆさぶり、花粉を散らせた。F<sub>1</sub> 苗の雌花は 2 月 20 日ころから開き始め、授粉は 2 月 26 日から 3 月 6 日まで毎日、1~2 回おこなった。F<sub>1</sub> 苗に着生した雄花は 2 月 28 日ころから飛散し始め、3 月 3

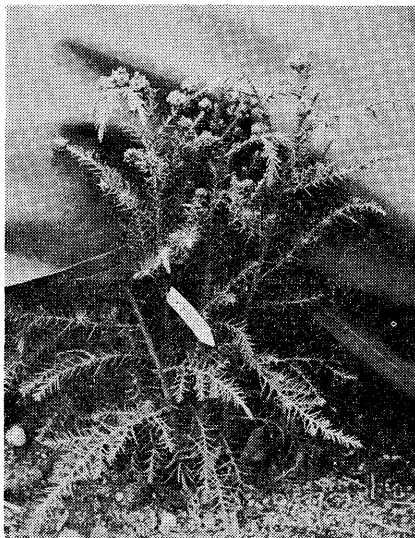


写真-2. 发育中の球果をつけた他殖による F<sub>1</sub> 植物 (G-5 x C-5) (1967 年 5 月)

Photo. 2. Outcrossed F<sub>1</sub> plants (G-5 x C-5) with maturing female cones in May 1967

日ころにはほとんどの F<sub>1</sub> 苗が花粉を飛ばせていた。

交配が終わった後、管理の手間を省くため、木箱をとり除き、そのまま露地に植えこんだ。5 月下旬の球果の发育状況を写真-2 に示した。

1967 年 10 月に成熟した球果を F<sub>1</sub> 個体別に採取した。球果は天日乾燥させ、種子をはたきだした。肉眼判定で扁平粒、小粒などを除去した残りを実粒とした。

1967 年 12 月 29 日からこれらの F<sub>1</sub> 個体別種子のうち、それぞれ、実粒 5 粒以上ある他殖後代 65 系統、自殖後代 24 系統の発芽試験を始めた。発芽試験の方法は前回のそれとほぼ同様であるが、今回はピット温室内でおこない、暖房には石油ヒーターを用いた。約 15°C を最低温度とした。1 月末に発芽関係の調査を打切った。

3. 結 果

表-1 に球果採集時に生存していた F<sub>1</sub> 個体数と成熟球果をつけた個体数、表-2 に F<sub>1</sub> 個体あたりの成熟球果数

表-1. 他殖後代および自殖後代における F<sub>1</sub> 個体数と球果着生個体数

Table 1. Numbers of F<sub>1</sub> plants and of the plants with female cone(s) in outcrossed and selfed progenies

交配組合 Cross combination	F <sub>1</sub> 個体数 Number of F <sub>1</sub> plants		球果着生個体率 Ratio of plants with female cone (%)
	Survived	with female cone	
他殖後代 Outcrossed progeny (G-5 x C-5)	127	84	66.1
自殖後代 Selfed progeny (G-5)	61	36	59.0
合 計 Total	188	120	63.8

表-2. 他殖後代および自殖後代における F<sub>1</sub> 個体あたりの成熟球果数と F<sub>1</sub> 個体の頻度

Table 2. Numbers of mature female cones per F<sub>1</sub> plant and the frequency of F<sub>1</sub> plants in outcrossed and selfed progenies

成熟球果数 Number of mature female cone	F <sub>1</sub> 個体の頻度 Frequency of F <sub>1</sub> plant		合 計 Total
	Outcrossed progeny	Selfed progeny	
1	26	10	36
2	18	7	25
3	13	6	19
4	9	2	11
5	4	2	6
6	3	2	5
7	4	6	10
8	4	0	4
9	0	1	1
10	3	0	3
合 計 Total	84	36	120

表-3. 球果, 種子および発芽に関する調査  
Table 3. Survey on cone and seed characters and on germination

項目 Item	交配組合 Cross combination		有意差検定 Test of the significance
	Outcrossed progeny	Selfed progeny	
個体あたり平均球果数 Mean number of cones per plant	3.2(84)	3.4(36)	t = 1.19
球果あたり平均実粒数 Mean number of seeds per cone	19.3(65)	13.0(24)	t = 3.59**
平均1,000粒重 Mean 1,000-seed-weight (g)	2.570(65)	1.628(24)	t = 5.06**
平均発芽率(アークサイン) Mean germination percentage (arcsin)	41.0(64)	30.9(21)	t = 4.53**
平均発芽率(実数) Mean germination percentage	43.5(64)	27.2(21)	

Figures in parentheses: Numbers of F<sub>1</sub> plants examined  
\*\*: Statistically significant at the probability of 0.99

と F<sub>1</sub> 個体の頻度, 表-3 に球果, 種子および発芽率についての調査結果をまとめた。G-5 の他殖後代および自殖後代での成熟球果をつけた F<sub>1</sub> 個体の割合は, それぞれ, 66% と 59% であった。個体あたりの成熟球果数は 1~10 個の範囲であったが, 大多数の F<sub>1</sub> 個体の球果数は 5 個以下であった。表-3 に示したように, G-5 の他殖後代および自殖後代において, F<sub>1</sub> 個体あたりの平均球果数は, とともに 3 個で有意差はなかったが, 球果あたり平均実粒数, 平均 1,000 粒重についてはいずれも, 自殖後代は有意に低い値を示した。

G-5 の系統は発芽が早く, かつ, 斉一な発芽をする特性がある。1967 年 12 月 29 日には種し, 翌年 1 月 10 日ころから発芽が始まり, 同じく 20 日頃にはほとんど発芽し終わった。淡緑色苗を分離した個体および淡緑色苗の頻度は 1 月 30 日に調査した。結果のとりにまとめに際し, 立枯病で枯死した一部の F<sub>2</sub> 系統は平均発芽率, 淡緑色苗の分離調査から除外した。表-3 に示したように他殖後代, 64 系統の平均発芽率は 43.8%, 自殖後代, 21 系統のそれは 27.2% であり, 両集団のアークサイン変換した発芽率の平均値についても, 自殖後代は有意に

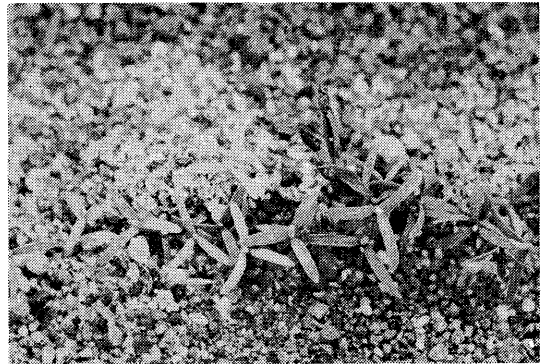


写真-3. 戻し交配したヘテロ接合型の F<sub>1</sub> 植物, 1 個体からの淡緑色苗の分離 (1968 年 1 月)  
Photo. 3. Segregation of light green seedlings, in January 1968, from a heterozygous F<sub>1</sub> plant after back-crossing

低い値を示した。F<sub>1</sub> 世代について淡緑色苗を分離した個体と分離しなかった個体の頻度を表-4 にまとめた。劣性遺伝子ホモ個体の淡緑色苗が致死であるため, この劣性遺伝子についての遺伝子型頻度は, 他殖後代では優性ホモ型:ヘテロ型は 1:1, また, 自殖後代では優性ホモ型:ヘテロ型は 1:2 の割合が期待される。観察された両遺伝子型の頻度は期待された分離比に近く, それぞれについて  $\chi^2$  検定の結果, いずれも有意差はなかった。また, ヘテロ遺伝子型の F<sub>1</sub> 個体へ同じくヘテロ型の母樹, G-5 を戻し交配したため, この F<sub>2</sub> 集団における分離比は, 正常苗:淡緑色苗は 3:1 が期待される。表-5 に示したように自殖後代では期待値どおりであったが, 他殖後代では淡緑色苗の分離割合が少なかった。

4. 結果の検討

当初, G-5 の淡緑色苗を生ずる劣性遺伝子の分析を目的として発芽試験をおこなったため, 育苗の際, 苗の密度が高すぎたこと, また, 病害などで発芽本数のうち, 他殖後代では約 2/3, 自殖後代では約 1/2 (遺伝的致死の淡緑色苗を除外すると約 2/3) が世代促進の戻し交配

表-4. 戻し交配により淡緑色苗を分離した F<sub>1</sub> 個体  
Table 4. Segregation of light green seedlings in back-crossed F<sub>1</sub> plants

交配組合 Cross combination	調査 F <sub>1</sub> 個体数 Number of F <sub>1</sub> plant examined	F <sub>1</sub> 個体数 Number of F <sub>1</sub> plant		分離比期待値 Expected ratio		$\chi^2$ 検定 Chi-square test
		No segregation	Segregation	Dom. homo:	Hetero	
他殖後代 Outcrossed progeny	62	35 (949)	27 (817)	1	: 1	1.03
自殖後代 Selfed progeny	21	9 (119)	12 (283)	1	: 2	0.86
合計 Total	83	44(1,068)	39(1,100)			

Figures in parentheses: Numbers of seedlings germinated as F<sub>2</sub> generation

表-5. ヘテロ接合型の  $F_1$  個体への戻し交配による淡緑色苗の分離

Table 5. Segregation of light green seedlings in the seedlings derived from heterozygous  $F_1$  plants after back-crossing

交配組合 Cross combination	調査苗数 Number of seedlings examined	苗数 Numbers of seedling		$X^2$ 検定 Chi-square test (3:1)
		Normal green seedling	Light green seedling	
他殖後代 Outcrossed progeny	817	649	168	8.58*
自殖後代 Selfed progeny	283	214	69	0.06
合計 Total	1100	863	273	7.00

\*: Statistically significant at the probability of 0.99; 0.01 < P

したのちの球果採集時期まで生存していた。これらの  $F_1$  集団での劣性遺伝子の頻度は、両集団で期待値どおりであったので、この約 1/3 の個体の致死によっても期待される遺伝子型頻度にひずみはなかったことになる。この生存  $F_1$  苗での球果着生個体率および個体あたりの平均球果数については、自殖後代と他殖後代との間に大きなちがいはなかったが、球果あたり平均実粒数、平均 1,000 粒重および発芽率は、自殖後代において有意に低下した。これらは自殖弱勢の一つのあらわれと考えられるが、育苗の際、本数密度が高かったため自殖後代の  $F_1$  苗の生育不良にも一因があるものと思われる。

調査年次はちがうが、1965 年の (1) G-5×C-5 と (2) G-5 (自然着花) の自殖における発芽率は、それぞれ、65.0% と 27.7% であったのに対し、1967 年にこの両  $F_1$  苗に G-5 を戻し交配した  $F_2$  世代の種子の平均発芽率は、それぞれ、43.5% と 27.2% であり、自殖後代の平均発芽率は G-5 の自殖そのものとほとんど同じ値であった。これは G-5 が遺伝的に自殖発芽率が高いためと考えられるが、自殖後代での淡緑色苗の分離が期待どおりの 25% であったことを考えると、一般的に、戻し交配や兄弟交配などによる世代促進では、後代の発芽率はその母本の発芽率からそれほど低下しないのではないかと予想される。

この世代促進試験で約 2,000 本の  $F_2$  苗が発芽したが、この方法をさらに改良すれば、実際に世代促進法として利用できよう。スギの世代促進の原則としては、雌花芽

や雄花芽を着生させ、球果に発育させることのできる物理的な大きさと生理的な能力とを、いかに早期にスギ幼苗にもたせるかということであろう。

大庭 (未発表) はスギの精英樹について、発芽後間もなく枯死する白子苗、黄子苗あるいは淡緑苗を生ずる劣性遺伝子が 2 クローン～5 クローンについて、1 クローンの割合でヘテロに含まれていることを認めている。これはスギが他殖性のためと推測されるが、これらの劣悪遺伝子の除去にはこの世代促進法を利用できる。つぎに、幼苗時期に簡単に実行できる検定法——たとえば、耐病性、耐凍性など——が確立されれば、さらに、応用の道が開けよう。しかし、このような世代促進の場合、(1) ある程度の年数を経なければ検定できないような特性——生長量、材質など——についての選抜がむずかしいこと。(2) 世代が進むにつれて個体数が急増するので、目的に応じ残存個体数をしぼる方法。(3) もし、個体別の自殖や兄弟交配を続けようとする場合、十分な量の雌雄花、また、十分に高い種子発芽率を確保する方法などを考慮しなければならない。スギでこのような世代促進をおこなう場合、育種目標についての特性のみならず、ジベレリン処理による雌花、雄花の着生の多少や交雑和合性あるいは自殖による発芽率の高低をも加味して、育種母本を選定する必要がある。

この試験を遂行するにあたり、いろいろご指導とご援助をいただいた放射線育種場 河原清元場長、龍野得三前場長、仮谷 桂場長、西田光夫放射線育種場第二研究室長ならびに九州大学名誉教授 佐藤敬二博士に心からお礼を申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 加藤善忠・三宅 勇・石川広隆: ジベレリンによるスギ花芽分化の促進. 日林誌 40: 35~36, 1958
- 2) 加藤善忠: ジベレリンによるスギの花芽分化の促進 (第 2 報). 日林誌 41: 138~141, 1959
- 3) 市河三次・四手井綱英: GB 処理により開花したスギの交配種子よりの当年生稚苗 (GB  $F_1$  稚苗) の GB 処理による開花について. 71 回日林講: 153~155, 1961
- 4) 大庭喜八郎・村井正文: 林木の放射線感受性に関する研究 (V). スギの自殖種子, 他殖種子および一つの標識遺伝子をもった種子の放射線感受性のちがいについて. 日林誌 49: 45~52, 1967

(1970 年 12 月 3 日受理)