

## スギ四倍体の検出と保存

菊池秀夫<sup>(1)</sup>Kikuchi, Hideo : A Record on Detection and Conservation of  
Tetraploid Sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don

要旨：スギについて1966年から今日まで、天然林、人工林、在来さし木品種、園芸品種などから遺伝実験素材の収集を行ってきた。これらのスギ収集個体を用いて遺伝実験のための交配を行い、多くの交配家系を育成した。このなかの一部の家系について全個体の体細胞染色体数を調査し、また、多くの家系について外部形態の観察から倍数体と思われる個体の検出を行い体細胞染色体数を調べた。この結果、四倍体46個体及び異数性四倍体3個体を検出した。これら四倍体など49個体についてクローン化してオルテット及びラメートの保存に努め、筑波共同試験地のほか2か所に植栽した。また、この一連の染色体の観察のなかで、三倍体、異数体、混数体並びに正倍数の染色体の一部が認められない個体（染色体欠失）と考えられる個体を観察した。異数体については、染色体数23本が2個体、31本が1個体、41本が1個体、43本が2個体であった。混数体は2個体であった。染色体欠失は同一家系から2個体であった。本研究から(1)自然界においてスギ四倍体と多くの三倍体が存在することが想定された。(2)特定地域の林分から倍数体が多く出現することが予想された。(3)特定の二倍体交配親の組み合わせから四倍体と三倍体が多く作出される可能性が考えられた。

## 目次

1 はじめに .....	84
2 材料と方法 .....	84
2.1 材料の収集と四倍体の予備選抜の方法 .....	84
2.2 染色体数の確認方法 .....	85
3 結果 .....	85
3.1 人工交配家系における四倍体の出現 .....	85
3.1.1 自家受粉家系における四倍体の出現 .....	85
3.1.2 他家受粉家系における四倍体の検出 .....	86
3.2 自然受粉苗における四倍体の出現 .....	86
3.2.1 スギ天然林産種子における四倍体の出現 .....	86
3.2.2 スギ人工林産種子における四倍体の出現 .....	91
3.2.3 スギ精英樹採種園産種子における四倍体の出現 .....	91
3.2.4 柳杉苗における四倍体の出現 .....	91
3.3 スギの四倍体個体の保存 .....	91
3.3.1 さし木によるクローン化 .....	91

3.3.2 オルテット及びラメートの保存 .....	91
4 考察 .....	91
4.1 スギ苗にみられた染色体の数量的変異 .....	91
4.2 四倍体苗の外部形態と成長 .....	108
4.3 スギ四倍体の交雑稔性 .....	109
4.4 染色体欠失 .....	109
4.5 混数体 .....	110
謝 辞 .....	111
引用文献 .....	111
Summary .....	113

## 1 はじめに

植物の示す変異のなかには、染色体数の数量的変異、すなわち染色体数が自然に増減して倍数性、異数性、混数性を示す現象がある。スギの自然倍数体についてみると、四倍体を千葉（1951a, 1951b）、陣内ら（1951, 1955）が事業用スギ苗生産の苗畑で、佐々木ら（1982a）が造林地で検出した。また、三倍体については、造林地で斎藤ら（1958）、佐々木ら（1983a, 1983b）が、九州の在来さし木品種で松田ら（1977）、佐々木ら（1981）、戸田（1977）がその存在を確認した。さらに精英樹で、伊藤ら（1982）、近藤ら（1982）、森ら（1980）、佐々木ら（1982b, 1983c, 1993, 1994）、染郷ら（1980c, 1981）、田畑ら（1981）がそれぞれ三倍体を報告している。

筆者は1966年から林業試験場造林部遺伝育種第二研究室（現森林総合研究所生物機能開発部遺伝分析研究室）において、スギの諸形質の遺伝様式の解明を行うために、各地方の天然林、人工林、在来さし木品種、園芸品種などから遺伝・育種実験材料の収集を今日まで続けてきた。これらのスギのなかには表現型に特徴を持った個体が多く含まれている。これらのスギ個体を用いて遺伝実験のため、自家受粉・他家受粉家系を育成してきた。これらのスギ収集個体そのもの及びスギ交配家系苗のなかに体細胞染色体の数が一般にみられる $2n=22(2x)$ と異なる数の個体が観察された。これらのなかから染色体数の確認によって四倍体を検出し、その特徴を調べるとともに、四倍体の保存を行ったので報告する。さらに、これら一連の研究のなかで、三倍体並びに異数体、混数体と考えられる個体及び染色体の一部が欠失したと考えられる個体（染色体欠失）を観察したので併せて報告する。なお、本報告の一部はすでに報告済みである（菊池ら, 1983, 1984a, 1984b, 1985a, 1985b）。

## 2 材料と方法

### 2.1 材料の収集と四倍体の予備選抜の方法

遺伝実験用材料として収集した個体、または自家受粉・他家受粉による交配家系苗、あるいは母樹別自然受粉家系苗を森林総合研究所（旧林業試験場を含む）構内苗畑、千代田試験地、狭間苗畑（旧林業試験場浅川実験林）で育成した。これらの苗木から外部形態の観察によって倍数体と推定した個体を選

抜き、染色体の確認を行った。また、四倍体が出現した一部の自家受粉家系では全個体について染色体の確認を行った。

さらに、笠間営林署、千葉営林署の種苗事業所苗畑の事業用スギ苗（育種苗\*、普通苗\*\*）も調査対象とした。苗木（2～3年生時）の外部形態による四倍体の推定は次の基準（菊池ら、1985a）に基づいて行った。

- (1) 葉身が短く、針葉の基部が肥厚、葉身の中央部付近から葉先にかけて急激に細り、その先端は不規則にねじれる傾向がみられる。
- (2) 単幹性で枝や針葉の着生が疎にみえる。葉身は前述の(1)よりも細く、その基部の肥厚が少なく、葉先は不規則にねじれる傾向がみられる。成長は普通の二倍体に比べて特に劣っていない。
- (3) 前述(2)の形態に類似するものの成長が劣る。主軸の下部に多くの細い萌芽枝状のものが叢生し、その針葉はやや偏平で、葉先は不規則にねじれる傾向にある。
- (4) 単幹で成長が悪く、一般には育苗過程で若死にすると予測される。外部形態からの観察だけでは見落とす可能性が高い。

これらの特徴に基づいて倍数性個体の予備選抜を行った。

## 2.2 染色体数の確認方法

染色体数の確認は、さし木苗あるいは実生苗の根端の体細胞染色体で行った。各個体について4～9月に、異なる支根別に7本以上の根端を採取した。採取した根端は8-オキシキノリン0.002mol溶液で、12℃、24時間処理の後、ファーマ液で固定した。次いで1N塩酸で加水分解後、酢酸カーミンまたはホルゲンで染色し、押しつぶし法で観察した。染色体数が22本以外の個体については採根時期を変えて2～3回繰り返して染色体数を数えるとともに顕微鏡写真を撮影して、染色体数を繰り返し確認した。確認した四倍体の体細胞染色体の一例をPhoto 1に示した。

なお、染色体数の確認作業などには森 節子氏及び佐々木義則氏（現大分県林業試験場）の協力を得た。

## 3 結 果

### 3.1 人工交配家系における四倍体の出現

#### 3.1.1 自家受粉家系における四倍体の出現

四倍体が出現した自家受粉の6家系について、家系の全個体で行った体細胞染色体数の確認結果をTable 1に示す。二倍体に混じって四倍体が9個体、三倍体が56個体出現し、2家系から複数の四倍体が出現した。

さらに、外部形態の観察から倍数体と推定した自家受粉7家系の個体について行った体細胞染色体数の確認結果をTable 2に示す。四倍体が計10個体出現したが、このうちの1個体は染色体数が43本の異数性四倍体であった。

\*育種苗とは、精英樹選抜育種事業並びに抵抗性育種事業などにより選抜された個体のラメート及び実生苗である。

\*\*普通苗とは、育種改良が全くなされていない苗である。

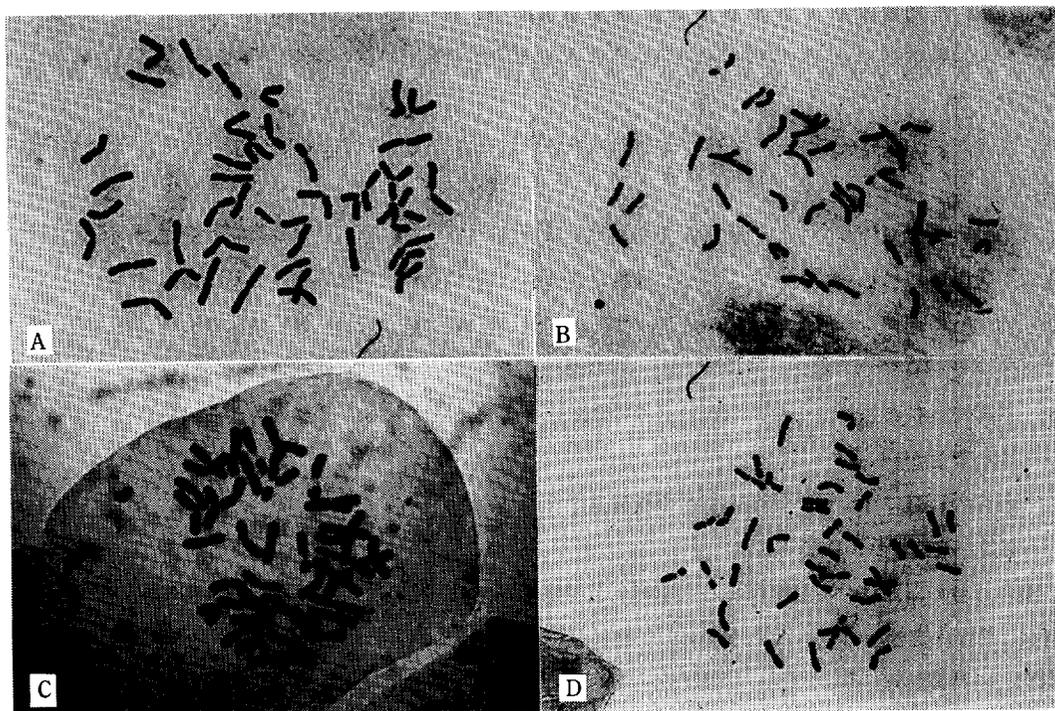


Photo 1. スギ四倍体の体細胞染色体 4 例  
Somatic chromosome of sugi tetraploid plants

A, 4X-15 (79-56-1)  $2n=44(4x)$

B, 4X-18 (79-63-2)  $2n=44(4x)$

C, 4X-19 (79-64-1)  $2n=44(4x)$

D, 4X-28 (79-265-4)  $2n=44(4x)$

### 3.1.2 他家受粉家系における四倍体の検出

他家受粉家系においては、外部形態の観察から倍数体と推定した個体について体細胞染色体数を確認した。その結果、四倍体は10家系から計10個体の出現であった (Table 3)。このなかから染色体数が41本と43本の2個体の異数性四倍体が認められた。

## 3.2 自然受粉苗における四倍体の出現

### 3.2.1 スギ天然林産種子における四倍体の出現

秋田営林局本荘営林署 (水林国有林) 及び能代営林署 (濁川国有林) 管内の天然林から採種を行い、育苗した実生苗から外部形態の観察により倍数体と推定した個体について染色体数を確認した結果、四倍体がそれぞれの林分から1個体ずつ2本出現した (Table 4)。

Table 1. 四倍体が出現した自家受粉家系（染色体数の全個体調査）における倍数体苗の出現率

Rates of polyploid plants in self-pollinated families in which tetraploid plants were detected after chromosome observation of all plants.

家系番号 Index No. of family	母樹の 個体番号 Index No. of mother trees	染色体観察 苗木数 Number of plants examined	倍数体別苗木数と出現率 Polyploid plants and their percentage						母樹の体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother trees
			二倍体 Diploid plants	出現率 Percentage of diploids	三倍体 Triploid plants	出現率 Percentage of triploids	四倍体 Tetraploid plants	出現率 Percentage of tetraploids	
79-255	72-58-6	86	70	81.4	15	17.4	1	1.2	22
79-261	72-59-7	31	5	16.1	24	77.4	2	6.5	22
80-264	72-53-3	22	13	59.1	8	36.4	1	4.5	22
3個体 小計 Sub-total		139	88		47		4		
79-56	精 飢肥署1 Obi	33	27	81.8	3	9.1	3	9.1	22
79-63	精 県久慈13 Kuji	56	51	91.1	4	7.1	1	1.8	22
79-64	精 県久慈18 Kuji	46	43	93.5	2	4.3	1	2.2	22
3個体 小計 Sub-total		135	121		9		5		
6個体 合計 Total		274	209		56		9		

スギ四倍体の検出と保存 (菊池)

Table 2. 自家受粉家系から表現型により倍数体を推定した個体の染色体数調査による四倍体苗の検出  
 Detection of tetraploid plants after chromosome observation of the plants which were supposed to be polyploid with their phenotypes in self-pollinated families.

家系番号 Index No. of family	母樹の個体番号 Index No. of mother trees	家系の苗木数 Number of plants observed phenotypes	倍数体と推定した 個体数 Plant numbers supposed to be polyploid	倍数体の出現 Detection polyploid plants			母樹の体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree
				三倍体 Triploid plant	四倍体 Tetraploid plant	四倍体の出現 Percentage of tetraploids	
79-51	67-102-1	22	1	-	1 <sup>1)</sup>	4.5	
79-265	72-59-19	449	4	-	4	0.9	22
79-276	72-71-1	72	6	5	1	1.4	
80-72	Cr-332	8	1	-	1	12.5	22
80-223	72-14-11	15	1	-	1	6.7	
80-228	72-21-1	72	1	-	1	1.3	
80-402	75-80-2	17	1	-	1	5.9	

1) : 異数体 Heteroploid  $2n=43(4x-1)$

Table 3. 他家受粉家系から表現型により倍数体と推定した個体の染色体数調査による四倍体苗の出現数

Detection of tetraploid plants after chromosome observation of the plants which were supposed to be polyploid with their phenotypes in cross-pollinated families.

家系番号 Index No. of family	交配組み合わせ Cross combination		調査対象苗木数 Number of plants observed phenotypes	倍数体と推定した 個体数 Plant numbers supposed to be polyploid	倍数体の出現 Detection polyploid plants		
	雌親 Female	花粉親 Male			三倍体 Triploid plant	四倍体 Tetraploid plant	出現率 Percentage of tetraploids
—	菊池署2 Kikuchi	× 県始良13 Aira	—	1	-	1	-
76-120	Cr-447	× Cr-332	198	1	-	1	0.5
76-239	72-22-13	× Cr-43	41	1	-	1	2.4
80-1	Cr-8	× Cr-240	77	1	-	1	1.3
80-13	Cr-3	× Cr-218	319	1	-	1	0.3
80-15	Cr-43	× Cr-240	287	1	-	1	0.4
80-86	Cr-450	× Cr-332	59	1	-	1 <sup>1)</sup>	1.7
80-97	Cr-400	× Cr-323	10	1	-	1	10.0
80-261	72-34-34	× Cr-308	20	1	-	1	5.0
80-436	75-100-1	× Cr-232	12	1	-	1 <sup>2)</sup>	8.3

1) : 異数体 Heteroploid  $2n=41$  ( $4x-3, 4x-2-1$  or  $4x-1-1-1$ )

2) : 異数体 Heteroploid  $2n=43$  ( $4x-1$ )

Table 4. 自然受粉の産地別スギ系統における四倍体苗の出現数  
Detection of tetraploids in open-pollinated progenies from different provenances.

家系番号 Index No. of provenances	採種源 Seed source	調査対象 Plant examined		倍数体と推定して 染色体を観察した 苗木数 Number of plants observed chromosome as putative polyploids	倍数体別出現数 Detected numbers of polypliod		10万本あたり 四倍体の出現率 Rate of tetraploid plants per 100,000 plants	検出場所 Detection site	苗木区分 Classification of seedlings
		苗齢 Age	苗木数 Number of seedlings		三倍体 Triploid plant	四倍体 Tetraploid plan			
-	水林国有林 (天然林) Mizubayashi(Natural forest)	1	-	1	-	1	-	民間苗畑 (鳥取県) Tottori Pref., private Nursery	普通苗 Planting materials
73-157	濁川国有林 (天然林) Nigorikawa (Natural forest)	2	680	1	-	1	-	旧林業試験場苗畑 GFES	普通苗 Planting materials
80-602	浅川国有林 (人工林) Asakawa (man-made forest)	2	約3×10 <sup>4</sup>	7	6	1	3.3	笠間営林署苗畑 Kasama District Forest Office, Tomobe Nursery	普通苗 Planting materials
80-603	大石採種園 (A) Ooishi seed orchard	2	約13×10 <sup>4</sup>	9	3	6	4.6	笠間営林署苗畑 Kasama District Forest Office, Tomobe Nursery	育種苗 Genetically improved planting materials
80-604	大石採種園 (B) Ooishi seed orchard	3	約2×10 <sup>4</sup>	3	2	1	5.0	笠間営林署苗畑 Kasama District Forest Office, Tomobe Nursery	育種苗 Genetically improved planting materials
79-81	柳杉 (中国) <i>Cryptomeria fortunei</i>	2	915	3	1	2	218.6	旧林業試験場苗畑 FFPRI	普通苗 Planting materials

### 3.2.2 スギ人工林産種子における四倍体の出現

北海道営林局函館営林支局木古内営林署管内千軒国有林（北海道松前郡福島町）のスギ人工林で20母樹を任意に抽出した。このうち球果が着生していた14母樹から個体別に採種を行い、育苗した。これらの苗から倍数体を推定した個体について体細胞染色体数の確認を行った結果、3母樹の家系苗から四倍体が6個体検出された。そのうちの2家系から複数の四倍体が出現した（Table 5）。

東京営林局東京（現平塚）営林署管内浅川国有林のスギ人工林から採種し、東京営林局笠間営林署友部種苗事業所で育てた山出苗（普通苗）から、倍数体と推定した苗の体細胞染色体数を確認した結果、四倍体を1個体検出した（Table 4）。

### 3.2.3 スギ精英樹採種園産種子における四倍体の出現

東京営林局大子営林署のスギ精英樹大石採種園から採種し、東京営林局笠間営林署友部種苗事業所で養成していた年次の異なる山出苗（育種苗）について、倍数体を予想して選抜した苗の体細胞染色体数を確認し、四倍体を7個体検出した（Table 4）。

### 3.2.4 柳杉苗における四倍体の出現

中国安徽省黟県産の柳杉について外部形態の観察から倍数体と推定した苗の体細胞染色体を観察し、四倍体を2個体、三倍体を1個体検出した（Table 4）。なお、柳杉の染色体の基本数は11本で、 $2n=22(2x)$ の二倍体植物が普通である（菊池ら，1984b；染郷ら，1983；戸田ら，1983，1985）。

## 3.3 スギの四倍体個体の保存

### 3.3.1 さし木によるクローン化

染色体数を確認した四倍体については、でき得るかぎりさし木によるクローン化を図った。

### 3.3.2 オルテット及びラメートの保存

オルテット（Ortet・元の親、ここではスギの倍数体苗そのものを意味している）とラメート（Ramet・オルテットからの分生個体）の保存を行うために、Table 6 に示す植栽地に植栽した（Fig. 1～6）。検出した四倍体並びに異数性四倍体について、Table 6 に示したように四倍体通し番号をつけた。さらに、個体番号、採種母樹名、受粉様式、受粉場所、体細胞染色体数、共同確認者、母樹の染色体数、表現形質の特徴、植栽場所などを示した。

## 4 考 察

### 4.1 スギ苗にみられた染色体の数量的変異

植物の染色体数はその種、品種あるいは系統によって特定の数を持ち、遺伝的には安定したものである。しかし、植物の示す変異のなかには染色体数が自然に増減する現象が認められている。染色体数の増減のなかには、染色体の基本数が整数倍の倍加をする場合とゲノム組成の1本から数本の染色体が増減する場合がある。前者を倍数性、後者を異数性と呼ぶ。大村（1980）は自然状態で自発的に生じる倍数体の出現率は、その植物種の遺伝的要因と環境条件に左右されると述べている。

Table 5. 自然受粉の母樹別家系から表現型により倍数体と推定した個体の染色体数調査による四倍体苗の出現率  
Rates of tetraploid in open-pollinated families of 14 mother trees selected from a plantation in Hokkaido

家系番号 Index No. of family	クローン番号 Index No. of clone	母樹名 Name of mother trees	調査対象 苗木数 Number of plants examined	四倍体の出現 Detection rates tetraploid plants		10万本当たり 出現数 Rates of tetraploid plants per 100 000 plants	親の体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother trees
				本数 Number of seedlings	出現率 Percentage of tetraploids		
72 - 74	Cr - 364	早検 南知内 6 Minamishiriuchi	315	3	0.95	952.4	22
72 - 77	Cr - 366	早検 南知内 9 Minamishiriuchi	159	2	1.26	1 257.9	22
72 - 83	Cr - 373	早検 南知内 19 Minamishiriuchi	459	1	0.22	217.9	22
上記の3採種木を除く11採種木の合計 Sub-total of 11 families			2 805	0	0.00	0.0	--
上記の3採種木を含む14採種木の合計 Total			3 738	6	0.16	160.5	

Table 6. スギの四倍体苗および異数性四倍体苗の検出一覧  
A comprehensive list of sugi tetraploids and hetero-tetraploids detected

1993. 3. 18 現在

四倍体 番 号	クローン番号 または 個 体 番 号	母樹名 または 両親名	受粉様式	母樹の所在地 または 交 配 場 所	体 細 胞 染色体数	染色体数観察		母樹の 体細胞 染色体数	表現形質の特徴	植栽場所	
						共同確認者	確認年			オルテット	ラメート
Index No. of tetra- ploids	Index No. of clone or individual	Name of mother tree or cross combination	Pollination scheme	Provenances of tetraploids or site of crossing	Somatic chromosome number	Co-researcher	Year	Somatic chromosome number of mother tree	Phenotypic characteristics	Ortet	Ramet
4X-1	Cr-7	精菊池署 2 × 県始良13 Kikuchisyo aira	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	熊本県菊池郡西合志村 九州林木育種場 採種圃 KFTBS, Seed orchard	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y	1982	--	成長並 Average growth	-	B,C
4X-2	Cr-38	-----	自然受粉 Wind-pollen	秋田県本荘市 秋田局本荘署水林国有林 天然林 Akita Pref., Honzyo District Forest Office, National forest, Natural forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y	1982	--	外向鉤形、短針葉 Outward-hooked needle, Short needle	A	A,B,C
4X-3	Cr-313	-----	----	不明 Unknown	2n=44(4x)	染郷 Somego, M. 佐々木 Sasaki, Y.	1979 1982	--		-	A,B
4X-4	72-74-5	早検 南知内 6 Minamishiruchi	自然受粉 Wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		-	B,C
4X-5	72-74-7	早検 南知内 6 Minamishiruchi	自然受粉 wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		-	B

スギ四倍体の検出と保存 (菊池)

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号 Index No. of tetra- ploids	クローン番号 または 個体番号 Index No. of clone or individual	母樹名 または 両親名 Name of mother tree or cross combination	受粉様式 Pollination scheme	母樹の所在地 または 交配場所 Provenances of tetraploids or site of crossing	体細胞 染色体数 Somatic chromosome number	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation	
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet
4X-6	72-74-8	早検 南知内 6 Minamishiriuchi	自然受粉 wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		C	-
4X-7	72-77-2	早検 南知内 9 Minamishiriuchi	自然受粉 wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		-	B
4X-8	72-77-3	早検 南知内 9 Minamishiriuchi	自然受粉 wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		B	C
4X-9	72-83-6	早検 南知内 19 Minamishiriuchi	自然受粉 wind-pollen	北海道松前郡福島町字千軒 函館局木古内署千軒国有林 人工林 Hokkaido, Kikonai District Forest Office, National forest, Man-made forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		-	B
4X-10	73-157-6	-----	自然受粉 wind-pollen	秋田県山本郡二ツ井町 秋田局能代署濁川国有林 天然林 Akita Pref., Noshiro District Forest Office, National forest, Natural forest	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	--	針葉大、成長並 Large needle Average growth	B	C

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号	クローン番号 または 個体番号	母樹名 または 両親名	受粉様式	母樹の所在地 または 交配場所	体細胞 染色体数	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation	
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet
Index No. of tetra- ploids	Index No. of clone or individual	Name of mother tree or cross combination	Pollination scheme	Provenances of tetraploids or site of crossing	Somatic chromosome number						
4X-11	76-11-1	Cr-7 須屋 7 Suya	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	東京都目黒区 林業試験場本場苗畑	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=44(4x)	針葉大 Large needle	B	C
4X-12	76-120-1	Cr-447×Cr-332	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	東京都目黒区 林業試験場本場苗畑	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		B	-
4X-13	76-239-1	72-22-13×Cr-43	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	東京都八王子市 林業試験場浅川苗畑	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	--	短針葉 Short needle	B	C
4X-14	79-51-1	67-102-1 self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県那珂郡陸大宮町 放射線育種場クローン集植所 IRB, Clone Bank	2n=43(4x-1)	森 Mori, S.	1983	--		B	-
4X-15	79-56-1	Cr-15 精飯肥署 1 Obi (a plus tree)	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	2n=22(2x)	針葉大 Large needle	B	-
4X-16	79-56-2	Cr-15 精飯肥署 1 Obi (a plus tree)	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	2n=22(2x)		-	-
4X-17	79-56-31	Cr-15 精飯肥署 1 Obi (a plus tree)	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	2n=22(2x)		B	C

スギ四倍体の検出と保存 (菊池)

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番 号 Index No. of tetra- ploids	クローン番号 または 個体番号 Index No. of clone or individual	母樹名 または 両親名 Name of mother tree or cross combination	受粉様式 Pollination scheme	母樹の所在地 または 交 配 場 所 Provenances of tetraploids or site of crossing	体 細 胞 染色体数 Somatic chromosome number	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation	
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet
4X-18	79-63-2	Cr-67 精県久慈 Kuji (a plus tree)	13 人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	2n=22(2x)	矮性 Dwarf	-	-
4X-19	79-64-1	Cr-68 精県久慈 Kuji (a plus tree)	18 人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	2n=22(2x)		B	C
4X-20	79-81-1	柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	自然受粉 wind-pollen	中国安徽省黟県 China;the People's Republic China	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	--		B	C
4X-21	79-81-2	柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	自然受粉 wind-pollen	中国安徽省黟県 China;the People's Republic China	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	--		B	C
4X-22	79-255-1	72-58-6 self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	佐々木・森 Sasaki, Y. & Mori, S.	1982	2n=22(2x)		B	C
4X-23	79-261-1	72-59-7 self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		B	-
4X-24	79-261-2	72-59-7 self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	佐々木 Sasaki, Y.	1982	2n=22(2x)		B	C

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号 Index No. of tetra- ploids	クローン番号 または 個体番号 Index No. of clone or individual	母樹名 または 両親名 Name of mother tree or cross combination	受粉様式 Pollination scheme	母樹の所在地 または 交配場所 Provenances of tetraploids or site of crossing	体細胞 染色体数 Somatic chromosome number	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation		
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet	
4X-25	79-265-1	72-59-19	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	針葉大 Large needle	B	C
4X-26	79-265-2	72-59-19	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)		B	C
4X-27	79-265-3	72-59-19	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)		B	C
4X-28	79-265-4	72-59-19	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)		B	C
4X-29	79-276-1	72-71-1	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1983	--	短針葉 Short needle	B	C
4X-30	80-1-1	Cr-8×Cr-240		人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)		B	-
4X-31	80-13-1	Cr-43×Cr-218		人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	針葉疎, 成長並 Scattered needle Average growth	B	C
4X-32	80-15-1	Cr-43×Cr-240		人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	短針葉 Short needle	B	C

スギ四倍体の検出と保存(菊池)

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号	クローン番号 または 個体番号	母樹名 または 両親名	受粉様式	母樹の所在地 または 交配場所	体細胞 染色体数	染色体数観察		母樹の 体細胞 染色体数	表現形質の特徴	植栽場所		
						共同確認者	確認年			オルテット	ラメート	
Index No. of tetra- ploids	Index No. of clone or individual	Name of mother tree or cross combination	Pollination scheme	Provenances of tetraploids or site of crossing	Somatic chromosome number	Co-researcher	Year	Somatic chromosome number of mother tree	Phenotypic characteristics	Ortet	Ramet	
4X-33	80-72-1	Cr-332	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	-	-	
4X-34	80-86-1	Cr-450×Cr-322	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=41(4x-3), (4x-2-1) or (4x-1-1-1)	森 Mori, S.	1982	--		B	C	
4X-35	80-97-1	Cr-400×Cr-323	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	冬季針葉色ミドリ Winter green needle	B	C	
4X-36	80-223-1	72-14-11	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	--	針葉ヨレ, 半矮性 Twist needle Semi dwarf	B	-
4X-37	80-228-1	72-21-1	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	--	短針葉, 扁平針葉, Short needle Flattened needle	B	-
4X-38	80-261-1	72-34-34×Cr-308	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	--	短針葉, 着生疎 Short needle	B	C	
4X-39	80-264-1	72-53-3	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	2n=22(2x)	短針葉, 着生密, 矮性 冬季針葉色ミドリ Short needle, Dwarf Winter green needle	B	-
4X-40	80-402-1	75-80-2	self	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFPRIC	2n=44(4x)	森 Mori, S.	1982	--	針葉重複 Curved needle	B	-

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号 Index No. of tetra- ploids	クローン番号 または 個体番号 Index No. of clone or individual	母樹名 または 両親名 Name of mother tree or cross combination	受粉様式 Pollination scheme	母樹の所在地 または 交配場所 Provenances of tetraploids or site of crossing	体細胞 染色体数 Somatic chromosome number	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation	
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet
4X-41	80-436-1	72-100-1×Cr-232	人工交配 (他家受粉) Cross-pollen	茨城県新治郡千代田村 林業試験場千代田試験地 FFRPIC	2n=43(4x-1)	森	1982	--	短針葉, 半矮性 白斑型 Short needle, Semi dwarf, Variegation	-	-
4X-42	80-602-1	笠間・浅川産 Kasama.Asakawa	自然受粉 Wind-pollen	東京都八王子市 東京局東京署浅川国有林 人工林 Tokyo, Tokyo District Forest Office, National Forest, Man-made forest	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉疎 Scattered needle	B	C
4X-43	80-603-1	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園) Ibaraki Pref. Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉疎荒, 巨大 Gigantic needle,	B	C
4X-44	80-603-3	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref. Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉巨大, 成長並 Gigantic needle, Average growth	B	C
4X-45	80-603-4	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref. Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉大, 成長並 Large needle, Average growth	B	C
4X-46	80-603-6	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref. Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉大 Large needle	B	C

スギ四倍体の検出と保存 (菊池)

Table 6. (つづき) (Continued)

四倍体 番号 Index No. of tetra- ploids	クローン番号 または 個体番号 Index No. of clone or individual	母樹名 または 両親名 Name of mother tree or cross combination	受粉様式 Pollination scheme	母樹の所在地 または 交配場所 Provenances of tetraploids or site of crossing	体細胞 染色体数 Somatic chromosome number	染色体数観察 Chromosome number observation		母樹の 体細胞 染色体数 Somatic chromosome number of mother tree	表現形質の特徴 Phenotypic characteristics	植栽場所 Location of conservation	
						共同確認者 Co-researcher	確認年 Year			オルテット Ortet	ラメート Ramet
4X-47	80-603-12	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref, Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉細, 密生 Slender debse needle	B	C
4X-48	80-603-15	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref, Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉細 Slender needle	B	C
4X-49	80-604-1	笠間・大石産 Kasama.Ooishi	自然受粉 Wind-pollen	茨城県久慈郡里美村 東京局大子署大石採種園 採種園 Ibaraki Pref, Daigo District Forest Office, Ooishi Seed orchard	2n=44(4x)	森	1983	--	針葉大, 成長並 Average growth	B	C
4X-50	-----	-----	人工交配 (自家受粉) Self-pollen	茨城県稲敷郡茎崎町 森林総合研究所・本所構内 FFPRI	2n=44(4x)	(中島)*	1986			A	C

KFTBS : 九州林木育種場 : Kyusyu Forest Tree Breeding Station, Kumamoto Prefecture  
 IRB : 放射線育種場 : Institute of Radiation Breeding, NIAS, Oomiya, Ibaraki Prefecture  
 GFES : 林業試験場 : Government Forest Experiment Station, Meguro, Tokyo  
 FFPRI : 林業試験場・森林総合研究所 : Forestry and Forest Products Research Institute, Kukizaki, Inashiki, Ibaraki  
 FFPRI : 林業試験場・森林総合研究所千代田試験地 : Forestry and Forest Products Research Institute, Chiyoda Nursery, Chiyoda, Niihari, Ibaraki  
 \* : 中島 清 (森林総合研究所生物機能開発部) : NAKASHIMA, Kiyoshi (FFPRI)  
 A : 森林総合研究所本所構内樹木園 : Arboretum of Forestry and Forest Products Research Institute  
 B : 森林総合研究所筑波共同試験地平団地 : Tsukuba cooperative experimental forest 17 Compartment (Kunugidaira Block). Forestry and Forest Products Research Institute  
 C : 森林総合研究所赤沼遺伝資源試験林 : Akanuma genetic resources experimental forest (No 16 Compartment). Forestry and Forest Products Research Institute



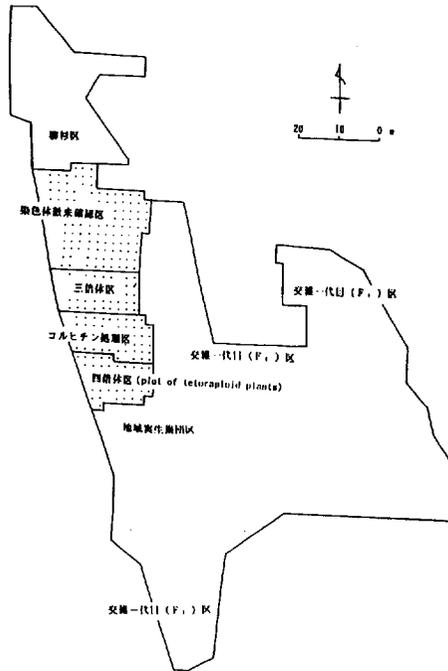


Fig. 3 筑波共同試験地桐平団地におけるスギ倍数体の植栽区画配置図 (Fig. 2. 参照) 筑波共同試験地 17や林小班 (桐平団地) Map of planting spots of sugi polyloid plants at the 17 comp. ya stand (Kunugidaira block) of the Tsukuba cooperative experimental forest (cf. Fig.2).

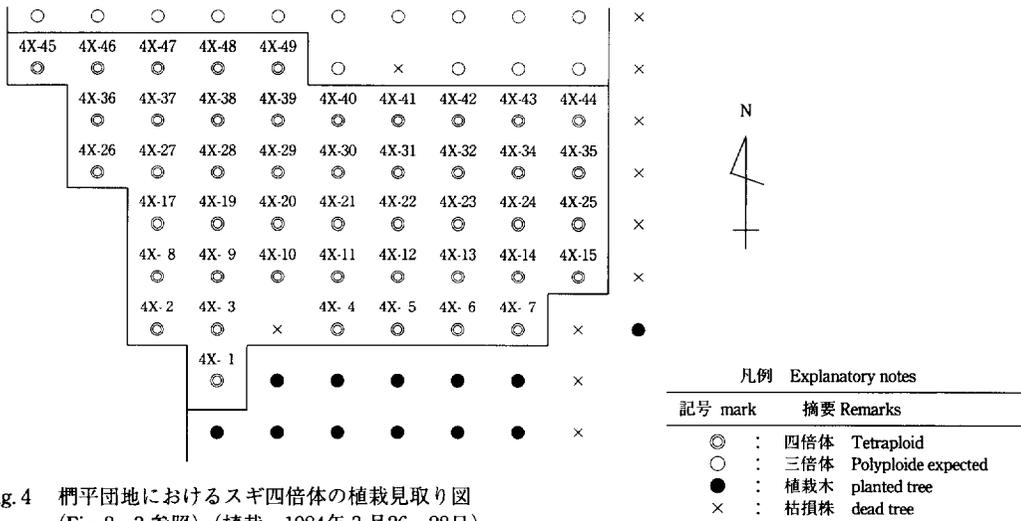


Fig. 4 桐平団地におけるスギ四倍体の植栽見取り図 (Fig. 2, 3 参照) (植栽 1984年3月26~28日) Map of planting spots of sugi tetraploid plants at the Kunugidaira block of the Tsukuba cooperative experimental forest (cf. Fig.2,3). Planting date: March 26 - 28, 1984



一般にみられるスギは二倍体植物で、その体細胞染色体数は22本で基本数は11本である。これらの二倍体を親にした後代家系苗の染色体数の調査結果で、基本数の整数倍の二倍体、三倍体、四倍体とともに低数性 (hypoploidy) と高数性 (hyperploidy) の異数体 (heteroploid) が観察された。異数体については、染色体数23本の異数性二倍体が2個体 (Photo 2)、染色体数31本の異数性三倍体が1個体 (Photo 3)、染色体数41本の異数性四倍体が1個体 (Photo 4) と染色体数43本の異数性四倍体が2個体 (Photo 5) である。

スギの遺伝実験のために1972年から1984年まで自家受粉延べ1,165家系、他家受粉延べ2,045家系を育成してきたが、四倍体が出現したのは自家受粉で13家系20個体、他家受粉で10家系10個体であった。天然林、人工林および採種圃で採種した自然交配種子で育苗を行った31系統からの四倍体の出現は7系統18個体であった。このなかで、特定林分の母樹別自然受粉種子による後代家系群または特定の親が関与する交配家系群で四倍体の出現割合が高い傾向が認められた。そこで、四倍体の出現頻度が高かった系統 (家系) の親子関係を調べた。複数の四倍体が出現した母樹別家系及び交配組み合わせの親 (雌親または花粉親) が関連した家系を集め、四倍体家系群としてまとめたところTable 7のとおりとなった。

北海道松前郡福島町 (北海道営林局函館営林支局木古内営林署千軒国有林) のスギ人工林から個体別に採種・育苗したCr-364, Cr-366, Cr-373の自然受粉家系 (Table 5) とは別に、Cr-360の自然受粉家系から次代の交配親に残した個体、数本を用いて行った自家受粉のうちの3家系から複数の三倍体と四倍体が出現した (Table 7)。苗畑におけるスギ倍数体の出現率をみると、営林署の事業苗畑で行われる間引き、選苗などによる倍数体の消失を割り引くとしても、千葉 (1951b) は20~30万本に1本、陣内 (1955) は1万本に1~2本、菊池ら (1985b) は四倍体の10万本当たりの出現を浅川産で3.3本、大石採種圃産A, Bでそれぞれ4.6本と5.0本と算定し (Table 4)、三倍体を含めるとさらに出現数が多くなることを報告した。これらに比べて、本報の千軒国有林産の自然受粉種子からの四倍体の出現はかなり高い (Table 5)。加えて、同国有林産の別の自然受粉個体の自家受粉家系からも倍数体が出現しており (Table 7)、千軒国有林産の後代子孫からは多くの倍数体が産出される可能性が想定される。このようなことが生ずる要因としては、この林分が、スギの自然分布の北限を越えて存在しているという環境条件の関与とともに、この林分を構成する個体群の遺伝的要因の関与が考えられる。

四倍体を含む倍数体が出現した家系の交配親 (雌親あるいは花粉親) のなかから、Cr-43, Cr-49, Cr-54, Cr-232, Cr-240, Cr-322, Cr-323, Cr-332, Cr-447が関連した家系をそれぞれ1グループとして9群にまとめた (Table 7)。これらの交配親は四倍体を生み出しやすい親として挙げるができる。また、この四倍体出現家系群の親木は、特定の交配相手との組み合わせで四倍体を含む倍数体を再び作出することが可能であると考えられる。

倍数体の発生の原因について田中 (1977) は、①体細胞分裂の紡錘体に異常が生じたとき、及び、②減数分裂の異常で非還元二倍性配偶子が生じ、その合体によることを挙げている。また、異数体について田中 (1955) は、①染色体の切断、及び、②還元分裂の際の染色体の不分離で生じることを挙げている。千葉 (1951a, 1951b, 1952)、陣内ら (1951) はスギの自然倍数体が出現する原因について、遺伝的要因よりも環境的要因が大きいと述べ、自然四倍体の発生については、形成された非還元配偶

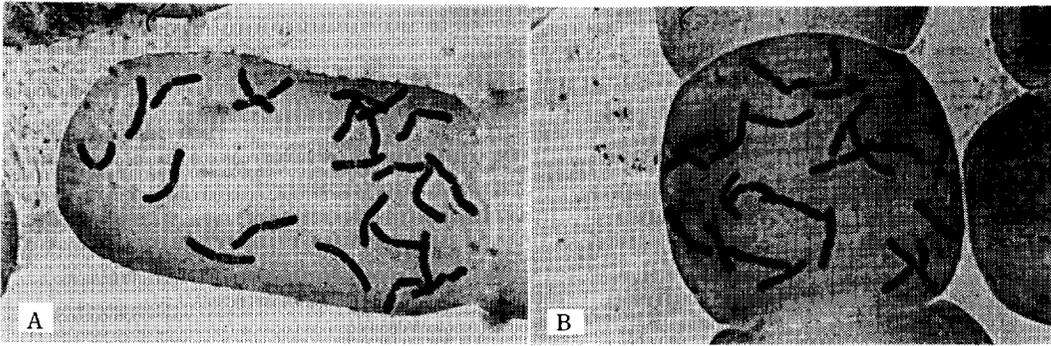


Photo 2. スギ高数性二倍体の体細胞染色体 2 例

Somatic chromosome of sugi hyperploidy diploid plants

A, 80-31-1  $2n = 23(2x+1)$

B, 80-31-2  $2n = 23(2x+1)$

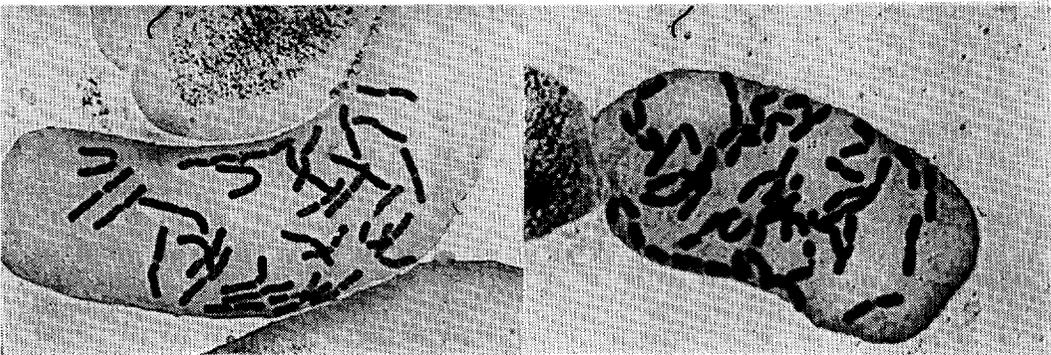


Photo 3. スギ低数性三倍体 (80-5-1) の体細胞染色体

Somatic chromosome of a sugi hypoploidy triploid plant (80-5-1)

$2n = 31(3x-2 \text{ or } 3x-1-1)$

Photo 4. スギ低数性四倍体 4X-34 (80-86-1) の体細胞染色体

Somatic chromosome of a sugi hypoploidy tetraploid plant 4X-34 (80-86-1)

$2n = 41(4x-3, 4x-2-1 \text{ or } 4x-1-1-1)$

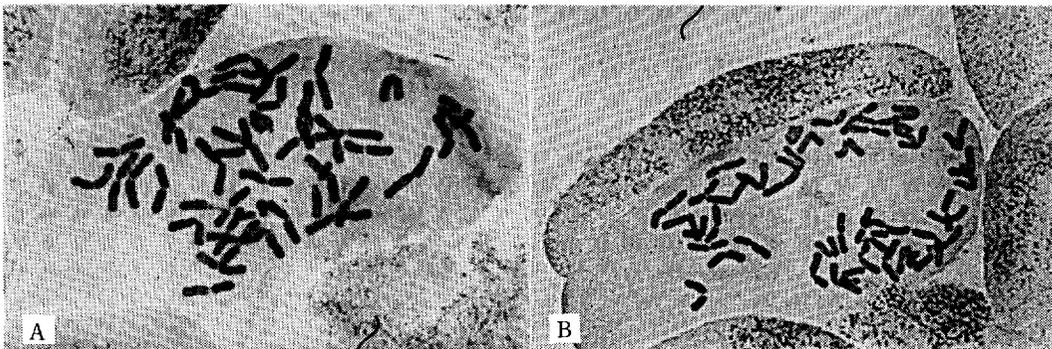


Photo 5. スギ低数性四倍体の体細胞染色体 2 例

Somatic chromosome of sugi hypoploidy tetraploid plants

A, 4X-14 (79-51-1)  $2n = 43(4x-1)$

B, 4X-41 (80-436-1)  $2n = 43(4x-1)$

Table 7. 四倍体が出現した系統または家系  
Groups or families in which tetraploids were detected

交配組み合わせ Cross combination	1代目家系 First filial families	2代目家系 Second filial families	確認した倍数体 Polyploid ascertained
千軒系統群 (人工林分) Sengen (man-made) groups			
Cr-360 早検南知内 1 Minamishiriuchi	自然受粉 (72-71-1) Wind-pollination	— 自家受粉 (79-276) Self-pollination	四倍体・三倍体複数本 A tetraploid, several triploids
	自然受粉 (72-71-2) Wind-pollination	— 自家受粉 (79-277) Self-pollination	三倍体複数本 A few triploids
	自然受粉 (72-71-4) Wind-pollination	— 自家受粉 (79-279) Self-pollination	三倍体複数本 Several triploids
	— 自然受粉 (72-74) Wind-pollination	—	四倍体複数本 A few tetraploids
Cr-364 早検南知内 6 Minamishiriuchi	— 自然受粉 (72-77) Wind-pollination	—	四倍体複数本 A few tetraploids
Cr-366 早検南知内 9 Minamishiriuchi	— 自然受粉 (72-83) Wind-pollination	—	四倍体 A tetraploid
Cr-373 早検南知内 19 Minamishiriuchi	— 自然受粉 (72-83) Wind-pollination	—	四倍体 A tetraploid
Cr-43 家系群 Cr-43 families			
Cr-43 × Cr-54	— 他家受粉 (72-22-13) Cross-pollination	— × Cr-43 戻し交配 (76-239) Back-cross	四倍体・三倍体 A tetraploid, a triploid
Cr-43 × Cr-218	— 他家受粉 (80-13) Cross-pollination	—	四倍体 A tetraploid
Cr-43 × Cr-240	— 他家受粉 (80-15) Cross-pollination	—	四倍体 A tetraploid
Cr-43 × Cr-49	— 他家受粉 (72-21-1) Cross-pollination	— 自家受粉 (80-228) Self-pollination × Cr-43 戻し交配 (80-229) Back-cross	四倍体 A tetraploid
	—		三倍体 A triploid
Cr-49 家系群 Cr-49 families			
Cr-43 × Cr-49	— 他家受粉 (72-21-1) Cross-pollination	— 自家受粉 (80-228) Self-pollination	四倍体 A tetraploid
		× Cr-43 戻し交配 (80-229) Back-cross	三倍体 A triploid
Cr-8 × Cr-49	— 他家受粉 (72-3-1) Cross-pollination	× (72-3-4) 兄妹交配 (80-202) Sib-mating	三倍体 A triploid
Cr-54 家系群 Cr-54 families			
Cr-43 × Cr-54	— 他家受粉 (72-22-13) Cross-pollination	— × Cr-43 戻し交配 (76-239) Back-cross	四倍体・三倍体 A tetraploid, a triploid
Cr-99 × Cr-54	— 他家受粉 (72-34-34) Cross-pollination	— × Cr-308 他家受粉 (80-261) Cross-pollination	四倍体 A tetraploid
Cr-232 家系群 Cr-232 families			
Cr-317 × Cr-232	— 他家受粉 (75-80-2) Cross-pollination	— 自家受粉 (80-402) Self-pollination	四倍体 A tetraploid
Cr-322 × Cr-232	— 他家受粉 (72-100-1) Cross-pollination	— × Cr-232 戻し交配 (80-436) Back-cross	異数性四倍体 A heteroploidy tetraploid

Table 7. (つづき) (Continued)

交配組み合わせ Cross combination	1 代目家系 First filial families	2 代目家系 Second filial families	確認した倍数体 Polyploid ascertained
Cr-240 家系群 Cr-240 families			
Cr- 8 × Cr-240	— 他家受粉 (80-1) Cross-pollination		四倍体 A tetraploid
Cr- 43 × Cr-240	— 他家受粉 (80-15) Cross-pollination		四倍体 A tetraploid
Cr-322 家系群 Cr-322 families			
Cr-322 × Cr-232	— 他家受粉 (72-100-1) Cross-pollination	— × Cr-232 戻し交配 (80-436) Back-cross	異数性四倍体 A heteroploidy tetraploid
Cr-450 × Cr-322	— 他家受粉 (80-86) Cross-pollination		異数性四倍体 A heteroploidy tetraploid
Cr-321 × Cr-322	— 他家受粉 (72-58-6) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-255) Self-pollination	四倍体・三倍体複数本 A tetraploid, many triploids
Cr-323 × Cr-322	— 他家受粉 (72-56-2) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-243) Self-pollination	三倍体 A triploid
Cr-323 家系群 Cr-323 families			
Cr-323 Self	— 自家受粉 (72-53-3) Self-pollination	— 自家受粉 2 代目 (80-264) Self-pollination	四倍体・三倍体複数本 A tetraploid, many triploids
Cr-323 × Cr-322	— 他家受粉 (72-56-2) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-243) Self-pollination	三倍体 A triploid
Cr-323 × Cr- 13	— 他家受粉 (72-50-1) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-234) Self-pollination	三倍体複数本 Many triploids
	— 他家受粉 (72-50-2) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-235) Self-pollination	三倍体 A triploid
	— 他家受粉 (72-50-4) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-237) Self-pollination	三倍体複数本 A few triploids
	— 他家受粉 (80-97) Cross-pollination		四倍体 A tetraploid
Cr-332 と Cr-447 家系群 Cr-332 and Cr-447 groups pedigrees			
Cr-332 Self	— 自家受粉 (80-72) Self-pollination		四倍体 A tetraploid
Cr-447 × Cr-332	— 他家受粉 (76-120) Cross-pollination		四倍体 A tetraploid
	— 他家受粉 (72-59-7) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-261) Self-pollination	四倍体複数本・三倍体複数本 A few tetraploids, many triploids
	— 他家受粉 (72-59-19) Cross-pollination	— 自家受粉 (79-265) Self-pollination	四倍体複数本 A few tetraploids
精英樹自殖家系群 (人工交配) Plus tree selfing groups (controlled pollination)			
Cr-15 精 飢肥署 1 Obi (a plus tree)	— 自家受粉 (79-56) Self-pollination		四倍体複数本・三倍体複数本 A few tetraploids, a few triploids
Cr-67 精 県久慈 13 Kuji (a plus tree)	— 自家受粉 (79-63) Self-pollination		四倍体・三倍体複数本 A tetraploid, a few triploids
Cr-68 精 県久慈 18 Kuji (a plus tree)	— 自家受粉 (79-64) Self-pollination		四倍体・三倍体複数本 A tetraploid, a few triploids

Table 7. (つづき) (Continued)

交配組み合わせ Cross combination	1 代目家系 First filial families	2 代目家系 Second filial families	確認した倍数体 Polyploid ascertained
精英樹採種圃大石系統群 (自然交雑)			
Plus tree seed orchard groups (wind-pollination)			
大石精英樹採種圃 (A) —	自然受粉 (80-603)		四倍体複数本・三倍体複数本
Ooishi seed orchard	Wind-pollination		Several tetraploids, a few triploids
大石精英樹採種圃 (B) —	自然受粉 (80-604)		四倍体・三倍体複数本
Ooishi seed orchard	Wind-pollination		A tetraploid, a few triploids

子が受精する確立は少なく、受精後の胚発生の時期、あるいは、胚完成後の発育の段階で倍加するものと推定している。佐々木ら (1982b, 1983c, 1993) は三倍体の成因は、還元配偶子と非還元配偶子の受精によるものと推察している。

本報における二倍体スギを親にした交配で、四倍体が出現した家系のうち、家系の全個体について体細胞染色体を数えたすべての家系から三倍体が出現した (Table 1)。この事象から、特定の交配家系や林分における四倍体あるいは三倍体の成因については、二倍体親の雌性及び雄性あるいはそのいずれか一方で形成された非還元配偶子の受精によって生じるものと推察するのが適当と思われる。また、Table 7 に示すように交配によって倍数体を生み出した親が共通していることから、染色体数の倍加現象には遺伝的要因が関与している可能性が高いと推察される。異数体の成因については、染色体の切断で生じるのではなく、減数分裂の際に、1～数対の相同染色体が両方の極に別れずに一方の極に行くことによって生ずる異数還元配偶子が、正常な還元配偶子と合体するものと推察される。

#### 4.2 四倍体苗の外部形態と成長

植物が示す倍数体の一般的な形態的特性について、大村 (1980) は個体、器官及び組織などの巨大性 (giantism) と矮小性 (dwarfism) を、渡辺 (1974) は同質倍数体の顕著な特徴としてギガス性 (巨大性) を挙げている。本報のスギ四倍体苗の外部形態的特徴については既報 (菊池, 1985a) で述べたとおり、針葉基部の肥厚、針葉中部から先端にかけての急激な細り、針葉先端の不規則なねじれ、主軸下部に生じる細い萌芽枝状の叢生などの形質が複合的に現れ、それらの外部形態的特徴が三倍体苗よりも四倍体苗が顕著になることである。

一般には四倍体の成長は劣るものが多いが、2～3年生時の育苗観察によれば、四倍体のなかにも二倍体スギと同様に育つクローンが存在した。その四倍体番号は4X-10, 4X-25, 4X-31, 4X-38, 4X-44, 4X-45, 4X-50の7クローンである。これらの外にも4X-1のように二倍体よりは劣るがほどほどの成長を示すクローンが観察されている。

自然界には多くのスギ倍数体が存在していると考えられる。スギ精英樹についてみると1970年現在の選抜数は3 563本である (林野庁, 1970)。このうちから1994年までに41本の三倍体が確認されている (佐々木, 1994)。さらに、九州地方の在来さし木品種にも三倍体の存在が確認されている (松田ら, 1977; 佐々木ら, 1981; 戸田ら, 1977)。今回報告した、二倍体と同様の成育をする四倍体の存在を考

慮すると、現在推進されている林木育種事業に倍数性利用の育種法を加える検討がなされても良いのではないかと考える。

#### 4.3 スギ四倍体の交雑稔性

検出した四倍体 (4X-3) と二倍体の交配一代目家系で観察された染色体数は三倍体または異数性三倍体であった (染郷ら, 1979, 1980a, 1980b)。また, 4X-11のように四倍体 (4X-1) の自家受粉で四倍体が出現している (Table 6)。このことから四倍体は稔性及び受精能力を有していると考ええる。

#### 4.4 染色体欠失

体細胞染色体の観察中に、33本の染色体を数えたうちの1本の染色体が、動原体から一方の腕が欠失したと認められる個体 (染色体欠失・deficiency) が80-261家系から2個体観察された (Photo 6, Fig. 7)。

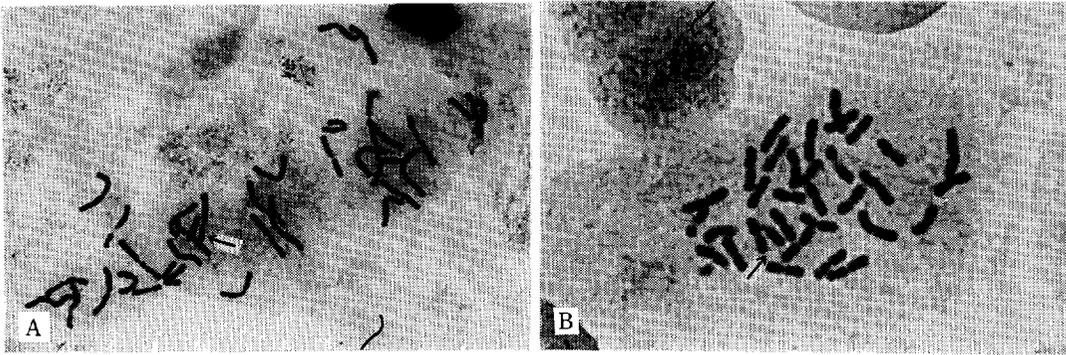


Photo 6. 染色体欠失と考えられるスギ三倍体の体細胞染色体2例

33本の染色体のうち、1本の染色体が動原体を境に一方の腕が欠除している (Fig. 7を参照)。

A chromosome with a deleted arm (arrow mark) from the centromere of a chromosome out of 33 chromosomes of sugi triploids. (cf. Fig. 7).

A, 80-261-31

B, 80-261-34

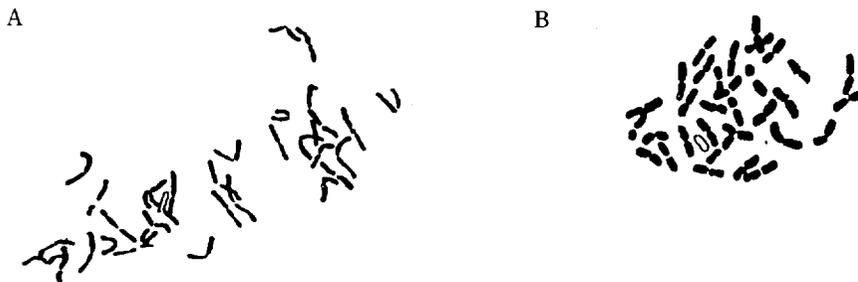


Fig. 7 染色体欠失と考えられるスギ三倍体の体細胞染色体2例

33本の染色体うち、1本の染色体が動原体を境に一方の腕が欠除している (白抜き)

A chromosome with a deleted arm (white color) from the centromere of a chromosome out of 33 chromosomes of sugi triploids.

A, (80-261-31)

B, (80-261-34)

#### 4.5 混数体

Photo 7 に示すように同一プレパラートにおいて染色体数の異なる細胞分裂像が観察された。すなわち、22本の染色体を持つ体細胞と44本の染色体を持つ体細胞が同一視野のなかで観察された。この事例は、79-279-4 (Photo 8 A) 及び79-68-31 (Photo 8 B) の異なる家系で各1個体ずつ観察されており、いずれも混数体 (mixoploid) と考えられる。この観察された体細胞の大きさをみると、22本の数の少ないものよりも44本の数が多いものの方が大きく、染色体の大きさでは22本の数の少ないものよりも44本の数が多い方が短小のようである。これらの特性については、さらに検討が必要である。

自然に生じる倍数体、異数体、混数体及び染色体欠失などの成因、遺伝的背景の解明並びにこれらの有効利用法の開発は今後に残された課題である。

上述の四倍体のほかにも倍数体 (四倍体を含む) と予想した染色体数未調査個体を筑波共同試験地柵平団地に植栽した。今後、これら植栽した倍数性個体が育種素材として、また、遺伝実験並びに各種実験材料として活用されることを期待する。

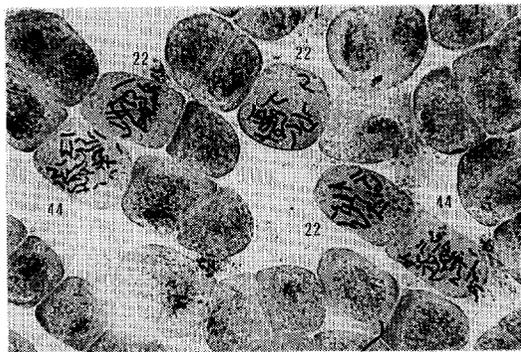


Photo 7. 混数体と考えられるスギ体細胞染色体 (79-279-4)  
同一視野に22本の染色体をもつ体細胞に混ざって44本の染色体をもつ体細胞が観察される。

Chromosome configurations of a supposed mixoploid of sugi (79-279-4).  
Cells with 22 or 44 chromosomes are observed at the same microscopic field.

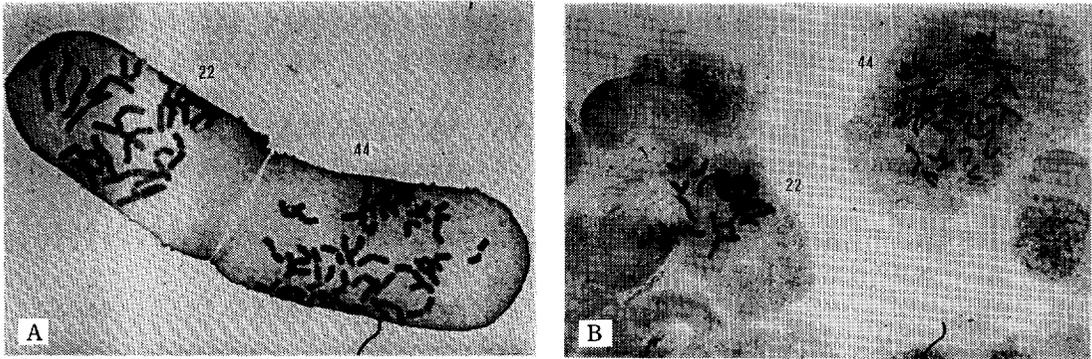


Photo 8. 混数体と考えられるスギ個体の体細胞の染色体 2 例  
隣接した 2 個の体細胞染色体の数が 22 本と 44 本と異なっている。  
Chromosome configurations of supposed mixoploids of sugi. (79-279-4, 79-68-31)  
Two adjacent cells have different chromosome numbers with 22 or 44.  
A, 79-279-4 B, 79-68-31

### 謝 辞

この研究をすすめるに当たり、四倍体の収集にご協力をいただいた入沢 宏氏 (株式会社入沢林業)、飯島源太郎氏 (元笠間営林署)、四倍体植物の育成管理をしていただいた森林総合研究所企画調整部連絡科実験林室・千代田試験地の各位、染色体の観察をしていただいた大分県林業試験場佐々木義則技師、森 節子氏及びとりまとめにご指導、ご助言をいただいた元筑波大学大庭喜八郎博士、森林総合研究所生物機能開発部山本千秋遺伝科長に心から感謝の意を表します。

### 引用文献

- 千葉 茂 (1951a) : 苗畑におけるスギ自然4倍体の選抜, 59回日林講, 129-130  
 CHIBA, S. (1951b) : Triploid and tetraploid of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) selected in the forest nursery, 林試研報, (49), 99-108  
 千葉 茂, 渡辺 操 (1952) : 高温によるスギの異常花粉の形成, 林試集報, (64), 12-20  
 伊藤信治, 染郷正孝 (1982) : スギ精英樹にみられる自然三倍体 (村上市2号・佐渡1号), 34回日林関東支論, 101-102  
 菊池秀夫, 佐々木義則, 森 節子 (1983) : スギ自殖家系にみられた倍数体苗の出現例, 94回日林論, 267-270  
 ———, ———, 寺尾喜典 (1984a) : スギ自然受粉苗における自然四倍体苗の出現—北海道道南地方・南知内のスギ人工林分の例—, 95回日林論, 329-330  
 ———, 森 節子 (1984b) : 柳杉における自然倍数体苗の検出, 95回日林論, 331-332  
 ———, ——— (1985a) : スギ精英樹の自殖家系に出現した倍数体苗, 日林誌, 67(4), 145-147  
 ———, ——— (1985b) : 愛宕山および友部種苗事業所の苗畑におけるスギ山出苗にみられた自然四倍体の出現頻度, 日林誌, 67(5), 196-199  
 近藤禎二, 半田孝俊 (1982) : スギ実験採種園の中の三倍体クローン, 93回日林論, 573-574  
 松田 清, 宮島 寛 (1977) : スギさし木品種の染色体数, 日林誌, 59(4), 149-150

- 森 節子, 岡田幸郎, 古田喜彦 (1980) : 立山スギ小原 5号の細胞学的研究, 91回日林論, 219-220
- 大村 武 (1980) : 倍数体 (木原 均, 山下孝介: 植物遺伝学 (I) 細胞分裂と細胞遺伝), 裳華房, 181-204
- 林野庁造林保護課 (1970) : 精英樹一覧表 -1970-, 林野庁造林保護課, 1-141
- 斎藤雄一, 橋詰隼人 (1958) : 造林地で選抜されたスギの三倍体に関する研究, 鳥取大農演習報, 1, 21-55
- 佐々木義則, 黒木嘉久 (1981) : 有用樹種の細胞遺伝学的研究 (V), ヒノデスギおよびウラセバルスギの核型, 日林九支研論, 34, 101-102
- , ——— : 川野洋一郎 (1982a) : 有用樹種の細胞遺伝学的研究 (VI), スギおよびヒノキの自然四倍体, 日林九支研論, 35, 69-70
- (1982b) : 有用樹種の細胞遺伝学的研究 (VII), スギおよびヒノキの精英樹にみられる三倍体, 大分林試研究時報, 5, 5-13
- , 川野洋一郎 (1983a) : スギ・ヒノキの核型に関する研究, スギ人工造林地にみられる自然三倍体, 大分県林試年報, 25, p.42
- , ——— (1983b) : スギ・ヒノキの核型に関する研究, スギおよびヒノキの形態異常木の細胞学的観察, 大分県林試年報, 25, p.45
- (1983c) : 有用樹種の細胞遺伝学的研究 (IX), 低稔性等を示すスギおよびヒノキ精英樹の細胞学的観察, 大分林試研究時報, 6, 1-20
- , 黒木嘉久 (1993) : 不稔性を示すスギおよびヒノキ精英樹の細胞遺伝学的研究, 林木の育種, 168, 19-28
- (1994) : スギ, ヒノキの細胞遺伝学的研究, 林木の育種, 172, 4-10
- 染郷正孝, 菊池秀夫 (1979) : 2倍体と自然4倍体スギの交雑から得られた人為3倍体および異数体スギ, 31回日林関東支講, p.23
- , ——— (1980a) : スギの人為3倍体および異数体, 林試研報, (310), 171-177
- , ——— (1980b) : スギ人為3倍体の減数分裂, 日林講, 91, 201
- , 伊藤信治 (1980c) : スギ精英樹中頸城5号の染色体数, 32回日林関東支論, 61-62
- , ———, 金川 侃 (1981) : スギ精英樹にみられる自然三倍体 (岩船7号, 新治1号), 33回日林関東支論, 81-82
- , 菊池秀夫 (1983) : 中国産スギ柳杉 (*Cryptomeria fortunei*) の核型, 94回日林論, 239-240
- 田畑正紀, 北上弥逸 (1981) : スギ精英樹の染色体異常クローン (遠田2号) について, 日林東北支誌, 33, 99-100
- 田中信徳 (1977) : 遺伝学辞典, 共立出版, 576pp.
- 田中義磨 (1955) : 基礎遺伝学, 裳華房, 363pp.
- 戸田義広 (1977) : 三倍体スギの核学的研究 (予報), 染色体, II-6(7), 186-190
- , 藤本吉幸 (1983) : スギ科の細胞遺伝学的研究 (II) 中国柳杉 (安徽省産) の核型について, 94回日林論, 241-242
- , ——— (1985) : スギ科の細胞遺伝学的研究 (IV), 中国柳杉の核型とスギの核型, 染色体, II-39-40(12), 1227-1232
- 渡辺好郎 (1974) : 倍数性の利用 (松尾孝嶺: 育種ハンドブック, 育種の技術), 養賢堂, p.424
- 陣内 巖, 千葉 茂 (1951) : 自然界に現れたスギの四倍体, 育種雑, 1, 43-46
- (1955) : 苗畑における倍数性スギの出現率, 日林誌, 37(11), 513-514

**The Detection and Conservation of Tetraploid Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON**KIKUTI, Hideo<sup>(1)</sup>**Summary**

Experimental materials of sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON) for studying its genetics and breeding have been collected since 1966. The scion or seed materials were sampled from natural and/or artificial stands, cutting cultivars, plus-tree clones and horticultural varieties. Ordinal diploid sugi has a chromosome number of  $2n=22$ , and  $x=11$ . Some of the vegetatively propagated materials and seedling progenies after selfing or out-crossing were found to be the so-called gigas type. As these were thought to be polyploids, their somatic chromosome numbers were examined in their root tips.

A total of 49 tetraploid plants with chromosome number  $2n=44$ , a considerably larger number of triploid plants, and a few mixoploids or chromosomal aberrant plants were found from different sources of clones, selfed or outcrossed seedlings derived from the collected materials. Six aneuploid plants with  $2n=23(\times 2)$  plants,  $2n=31(\times 1)$ ,  $2n=41(\times 1)$ , and  $2n=43(\times 2)$  were found. Also two each of mixoploids and chromosome aberrants with a chromosome arm deficiency were found.

It was concluded that, (1) a fairly large number of tetraploid and triploid seedlings might arise in nature, (2) seeds collected from certain stands, both natural and artificial, might produce more polyploid seedlings, and (3) specific diploid parents after selfing or crossing might produce more polyploid seedlings. The particularly large number of polyploids produced is thought to depend on the genetic background of the sugi parents concerned.

The tetraploid plants detected were propagated by cutting and their morphology, growth, cross-fertility were observed at the nursery stages. Clone banks of the tetraploid plants were established at the following four locations with two or more replications : the arboretum, two sites of the Tsukuba cooperative experimental field and Akanuma genetic resources conservation site of the Forestry and Forest Products Research Institute. Each clone bank has a record of genetic and phenotype characteristics as well as maps of the planted sites and can be used as genetic resource materials.