

スギモデル実生採種林における樹高と胸高直径の 遺伝パラメータの成長初期の年次変化

宮浦 富保⁽¹⁾・栗延 晋⁽²⁾・蓬田 英俊⁽³⁾

Tomiyasu MIYAURA⁽¹⁾, Susumu KURINOBU⁽²⁾ and Hidetoshi YOMOGIDA⁽³⁾

Age Trends in Genetic Parameters of Height and Diameter in the Early Growth Stage of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Tree in a Seedling Seed Orchard

要旨：旧林木育種センター（茨城県水戸市）構内に1985年に設定されたスギのモデル実生採種林における、1985年から1994年までの10年にわたる樹高と直径の測定値を用いて、成長初期の遺伝分散等の変化について解析した。この実生採種林は精英樹相互間2セット（以下精英樹集団と呼ぶ）と気象害抵抗性候補木間2セット（以下抵抗性集団と呼ぶ）の合計4セットの6×6ハーフダイヤレルクロスで得られた苗木を用いて造成されたものである。1交配組合せあたりの植栽本数は基本的には18本であり、1プロット3本ずつの6回繰り返して植栽されている。樹高の遺伝率は4年次頃までは比較的小さな値であったが、特に測定期間の後期（5～10年次）に増加する傾向が認められた。プロット内個体変動等の一般組合せ能力以外の分散成分の相対的な減少が遺伝率の増加に寄与していた。胸高直径の遺伝率も7～8年次以降、増加する傾向が認められた。10年次での樹高の遺伝率は精英樹集団では0.30であり、抵抗性集団では0.27であった。また10年次の胸高直径の遺伝率は精英樹集団が0.07であり、抵抗性集団が0.16であった。

1 はじめに

第2世代の育種母集団を効率的に創出するためには、主要な形質についての遺伝様式を把握することが必要である。また、遺伝分散や年次相関が年次の経過とともにどのように変化していくのかを把握し、最適な選抜時期を探ることも重要な課題である。このような目的のために、旧林木育種センター（茨城県水戸市）構内に、スギのモデル実生採種林が造成され、1985年から1994年まで10年にわたって、樹高、直径などの調査がおこなわれた。これま

(1) 林木育種センター

〒319-1301 茨城県多賀郡十王町伊師3809-1
Forest Tree Breeding Center
3809-1 Ishi, Juo, Taga, Ibaraki 319-1301, Japan

(2) 林木育種センター九州育種場

〒861-1102 熊本県菊池郡西合志町大字須屋2320
Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
2320, Suya, Nishigoshi, Kikuchi, Kumamoto 861-1102, Japan

(3) 岩手県林業技術センター

Iwate Prefectural Forestry Technology Center
560-11, Kemuriyama, Yahaba, Shiwa, Iwate 028-3623, Japan

で、植栽後3成長期経過した時点での樹高についての解析結果が報告されている⁵⁾。また、1985年から1991年までの樹高の遺伝分散の経年変化の報告が行われている⁶⁾。今回は、これに3回分の調査データを加え、成長初期の10年の遺伝分散等の変化について報告する。

2 材料と方法

この実生採種林は1985年に旧林木育種センター（茨城県水戸市）構内に造成されたものである。精英樹相互間2セット（以下精英樹集団と呼ぶ）と気象害抵抗性候補木相互間2セット（以下抵抗性集団と呼ぶ）の合計4セットの6×6片面ダイヤルクロスによる交配で得られた苗木が植栽されている。交配作業の詳細については半田による報告⁴⁾にゆずる。実生採種林の設計にあたっては、1交配組合せあたり18本の苗木を用いる予定であったが、交配組合せによっては予定の18本の苗木が得られないものがあった。このような組合せについては、他の組合せの余った苗木を代わりに植栽した。ただしこれらについては解析の対象としなかった。

1交配組合せあたり18本の苗木を1プロット3本ずつの6回繰り返して植栽した。植栽地の地形は、傾斜のない平坦地である。この植栽地に、東西方向に1.2m間隔、南北方向に2m間隔で苗木を植栽した。1プロット3本の苗木が東西方向に並ぶように配置した。なお林縁効果を防ぐために植栽地の東側と西側にそれぞれ3列ずつ、北側と南側にそれぞれ1列ずつの同樹種の林縁木を配置した。植栽配置の詳細については栗延の報告⁶⁾にゆずる。1994年現在の平均樹高は精英樹集団が7.5m、抵抗性集団が7.1mであり、林冠は閉鎖しつつある。

1985年から1994年まで、毎年成長休止期である秋から冬に、各個体の樹高と胸高直径を測定した。今回の分析には、樹高については1985年から1994年までのデータを用い、胸高直径については1990年から1994年までのデータを用いた。1985年～1989年までの間は、樹高が胸高（地上1.3m）に達していない個体があったため、この期間の胸高直径は解析の対象としなかった。

欠落組合せや枯死などのために、今回の解析で用いた測定個体数は、1985年のデータについては、精英樹集団が371本、抵抗性集団が450本であった。解析に用いた交配組合せごとの個体数を表1に示す。なお、その後の枯死等により、解析対象の個体数は若干減少している。

解析にあたっては、個体の樹高あるいは胸高直径の測定値が以下の線形モデルで表されると仮定した。

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + g_j + g_k + s_{jk} + rc_{ijk} + e_{ijkl} \quad (1)$$

ここで、 y_{ijkl} は i 番目の反復に植栽された j 番目の親と k 番目の親との交配組合せに属する l 番目の個体の樹高であり、 μ は対象集団の平均値、 r_i は i 番目の反復の効果、 g_j と g_k はそれぞれ j 番目の親の一般組合せ能力および k 番目の親の一般組合せ能力、 s_{jk} は j 番目の親と k 番目の親との特定組合せ能力、 rc_{ijk} は j 番目の親と k 番目の親との交配組合せと i 番目の反復との交互作用、 e_{ijkl} は i 番目の反復区における j 番目の親と k 番目の親との交配組合せ内の l 番目の個体の変動を表す。実際の分析には、栗延⁷⁾の開発した、欠落組合せや測定値のアンバランスに対応したプログラムを使用した。

測定年次ごとに推定された分散成分を用いて、各年次の樹高の遺伝率 h^2 を

$$h^2 = 4\sigma_g^2 / (2\sigma_g^2 + \sigma_s^2 + \sigma_r^2 + \sigma_w^2) \quad (2)$$

で計算した。ここで、 σ_g^2 は一般組合せ能力の、 σ_s^2 は特定組合せ能力の、 σ_r^2 は反復と交配組合せとの交互作用の、 σ_w^2 はプロット内個体の各分散成分の推定値である。 σ_s^2 の推定値が負になったものについては $\sigma_s^2 = 0$ とし

表1. 解析に使用した各交配組合せの個体数

set A						set B					
番号 精英樹名	番号					番号 精英樹名	番号				
	2	3	4	5	6		8	9	10	11	12
1 久慈14	7	15	7	12	12	7 久慈32	16	17	16	17	13
2 足柄上5		10	7	11	6	8 鬼泊7		12	16	17	17
3 大子10			-	-	17	9 西川17			10	9	16
4 鬼泊9				11	12	10 丹沢3				16	18
5 久野1					17	11 中1					17
6 秩父(県)5						12 新治2					

set C						set D					
番号 精英樹名	番号					番号 精英樹名	番号				
	14	15	16	17	18		20	21	22	23	24
13 耐寒風茨城1	18	15	13	14	18	19 耐寒風茨城17	17	10	17	16	16
14 耐寒風茨城10		17	18	12	16	20 耐寒風茨城36		15	14	18	17
15 耐寒風茨城31			17	15	18	21 耐寒風茨城43			12	16	15
16 耐寒風茨城46				18	16	22 耐寒風茨城26				3	7
17 耐寒風茨城110					17	23 耐寒風茨城21					15
18 耐寒風茨城117						24 耐寒風茨城36					

注) 表中の個体数は1985年現在の値である。

て h^2 を計算した。

一般組合せ能力, 特定組合せ能力及びプロット内個体変動について, 1985~1993年の各年次と1994年との年次相関を調べた。

3 結果と考察

図1に平均樹高の成長経過を, また図2に平均胸高直径の成長経過を示す。平均樹高については, 4年次(1988年)頃までは, 精英樹集団も抵抗性集団もほぼ似通った成長のしかたであったが, それ以後の平均樹高は精英樹集団のほうが大きくなる傾向が見られる。また, 1989年以後の樹高成長速度は両集団ともほぼ一定のように見える。

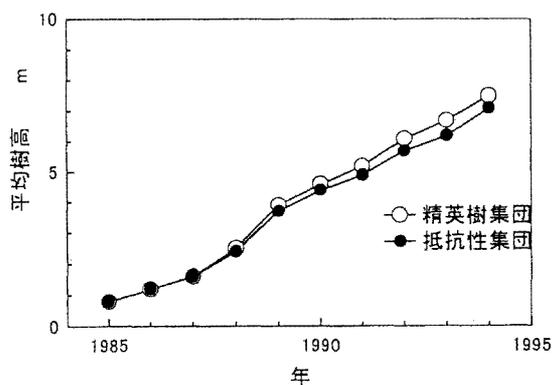


図1. 平均樹高の成長経過

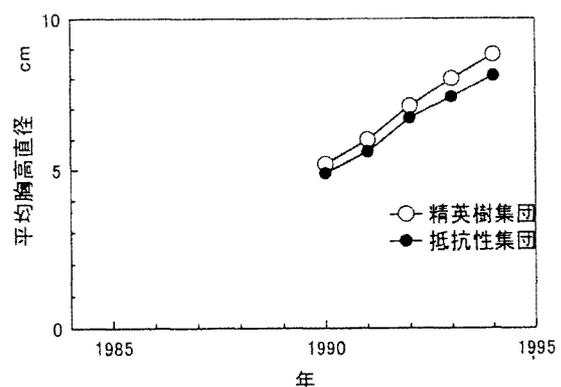


図2. 平均胸高直径の成長経過

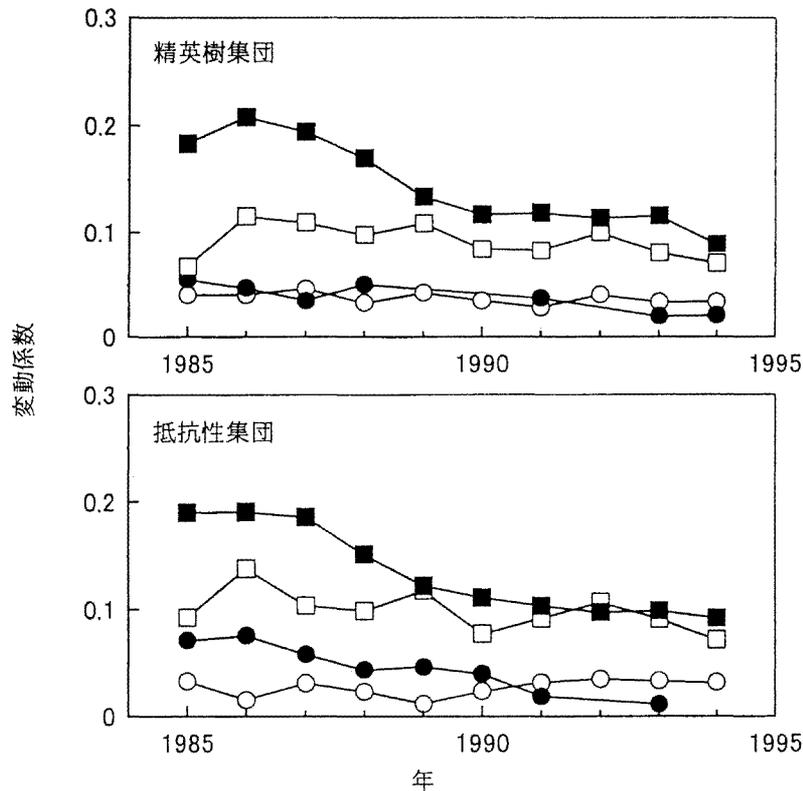


図3. 樹高についての変動係数（各分散成分の平方根の集団平均樹高に対する比）の変化

○：一般組合せ能力，●：特定組合せ能力，□：反復と交配組合せとの交互作用，
■：プロット内個体変動

ちなみに、1989～1994年の年間平均樹高成長は、精英樹集団が0.74m/yrであり、抵抗性集団が0.67m/yrであった。

図3に、樹高についての各分散成分の平方根の集団平均値に対する比（以後変動係数と呼ぶ）の変化を示す。精英樹集団では、1989年と1990年及び1992年には特定組合せ能力の分散成分の推定値が負であったので、対応する変動係数は算出できなかった。プロット内個体変動に起因する変動係数が最も大きかったが、これは年々減少する傾向が見られた。反復と交配組合せとの交互作用及び特定組合せ能力も全体的に減少傾向にあった。一般組合せ能力については、多少の変動はあるものの、3～4%程度の変動係数で推移している。

図4に、胸高直径についての変動係数の変化を示す。全体的な傾向は樹高の場合とほぼ同じである。ただし、精英樹集団の一般組合せ能力については、樹高の場合よりも変動係数が小さい傾向にある。

図5に、樹高の遺伝率の年次変化を示す。両集団とも4年次頃までは比較的低い遺伝率の値であったが、特に測定期間の後期（5～10年次）に、遺伝率が増加する傾向が認められた。遺伝率算出式の分子にあたる一般組合せ能力の分散成分が増加していることはもちろんであるが、プロット内個体変動や反復と交配組合せとの交互作用、及び特定組合せ能力の効果が相対的に小さくなっていること（図3）が、遺伝率の増加となって現れている。テーダマツの樹高について、狭義の遺伝率が5年次頃から増大し始め、15年次頃に最大になるという調査例が報告されている³⁾。今回の精英樹集団と抵抗性集団の遺伝率の年次変化傾向は、10年次までの期間ではあるが、このテーダマ

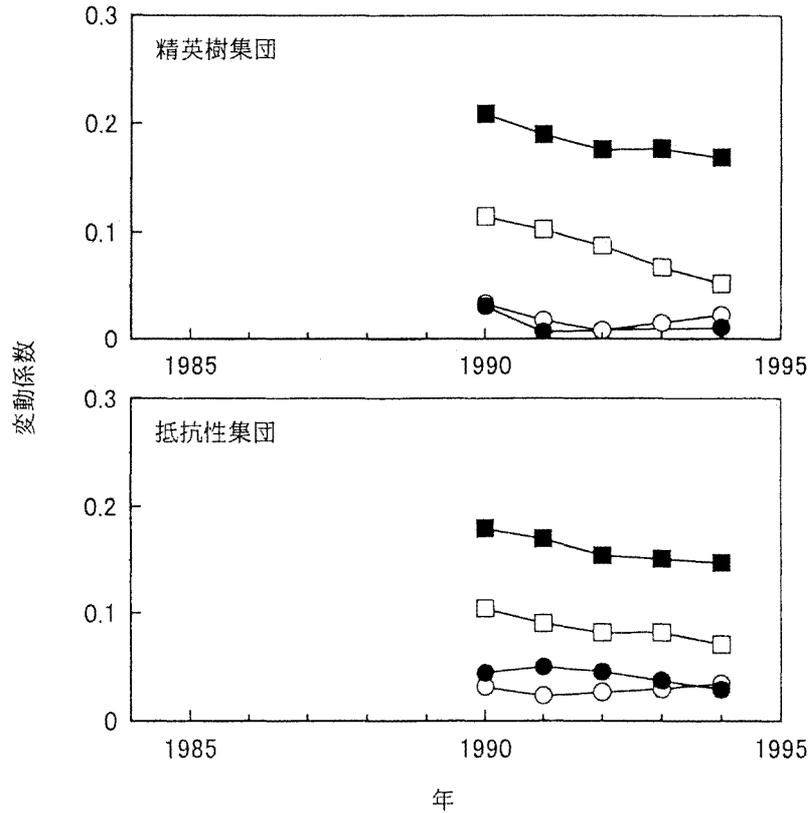


図4. 胸高直径についての変動係数（各分散成分の平方根の集団平均胸高直径に対する比）の変化

○：一般組合せ能力，●：特定組合せ能力，□：反復と交配組合せとの交互作用，
■：プロット内個体変動

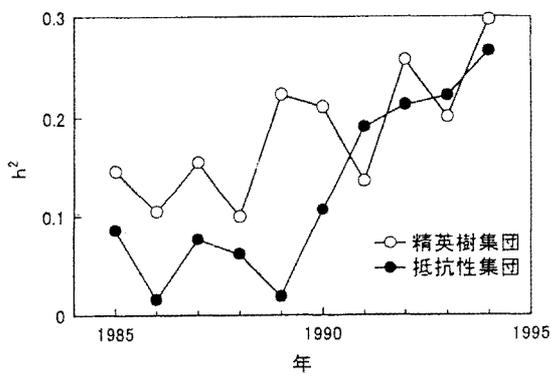


図5. 樹高の遺伝率 (h²) の変化

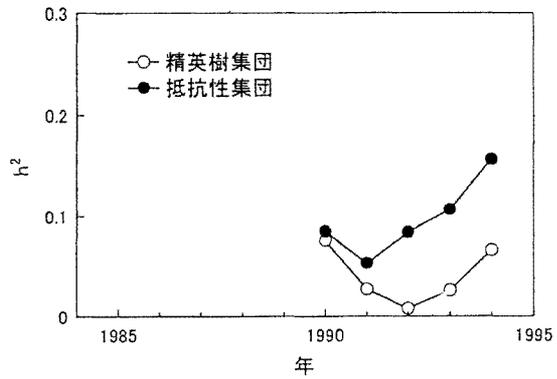


図6. 胸高直径の遺伝率 (h²) の変化

ツの例と類似している。抵抗性集団は1990年頃までは精英樹集団よりも樹高の遺伝率が小さかったが、1991年以降は両集団の樹高の遺伝率はほぼ等しい状態で推移している。10年次（1994年）での樹高の遺伝率は、精英樹集団が0.30、抵抗性集団が0.27であった。他の報告例¹⁾²⁾⁹⁾¹⁰⁾と比較してみると、この値はほぼ妥当な推定値であろう。

図6に、胸高直径の遺伝率の年次変化を示す。対象とする期間は短いものの、遺伝率が一度減少しその後上昇するという傾向が、両集団に共通して認められる。抵抗性集団では7年生時（1991年）に最低値をとり、精英樹集団

では8年生時（1992年）に最低値をとっていた。樹高の遺伝率よりも胸高直径の遺伝率が全体的に小さい傾向にあった。また、精英樹集団の胸高直径の遺伝率は抵抗性集団の遺伝率よりも小さかった。10年次（1994年）での胸高直径の遺伝率は、精英樹集団が0.07、抵抗性集団が0.16であった。

成長形質に対する淘汰を経た精英樹集団の遺伝率は抵抗性集団の遺伝率よりも小さくなると考えられる。胸高直径に関しては精英樹集団の遺伝率が抵抗性集団の遺伝率よりも小さかったが、樹高に関しては両集団の遺伝率はほぼ等しかった。精英樹集団が関東平野一円から選抜されているのに対して、抵抗性集団は茨城県内選抜の材料に限定されていることがその原因の一つと考えられる。

図7に、樹高の一般組合せ能力、特定組合せ能力、及びプロット内個体変動についての、1985～1993年と1994年との年次相関を示す。特定組合せ能力については、精英樹集団の1989年、1990年、1992年の分散成分の推定値が負であったため、これらの年次については1994年との年次相関を計算することができなかった。また抵抗性集団の特定組合せ能力については、1994年の分散成分の推定値が負であったため、年次相関の計算ができなかった。また、抵抗性集団の1989年の一般組合せ能力については、1994年との間に1を大きく上回る相関（1.74）が計算されたので、図にはプロットしなかった。これは1989年の一般組合せ能力の分散成分の推定値が過小であったためと思われる。

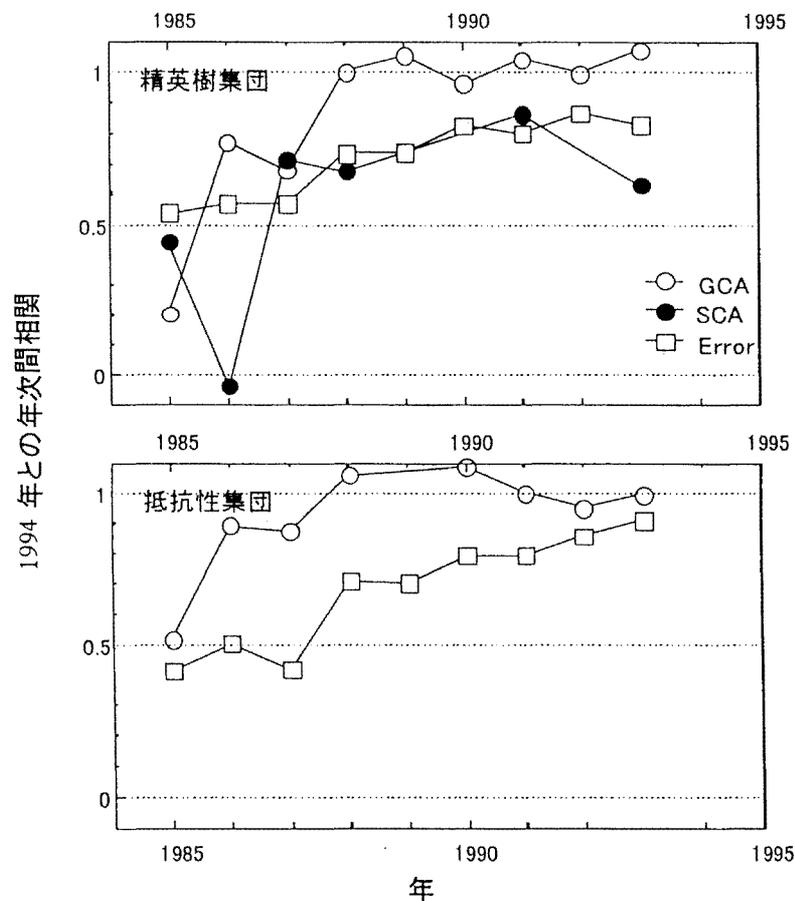


図7. 樹高に関する一般組合せ能力（GCA）、特定組合せ能力（SCA）及びプロット内個体変動（Error）の1985～1993年の各年次と1994年との年次間相関

る(図3参照)。年次が1994年に近づくにつれて相関が高くなるという一般的な傾向は認められた。特に、一般組合せ能力に関しては、両集団とも比較的早い時期(1988年頃)にほぼ1に等しい相関の値となっている。年次相関のみから考えれば、仮に10年次の成長を基準にすると、4年次頃の選抜も可能であるかもしれない。

4 おわりに

成長のごく初期に限られてはいるが、遺伝率等の年次変化の傾向をある程度明らかにすることができた。これらの情報は次世代精英樹の選抜計画の策定等にあたって有効に利用されると期待される。

次世代精英樹の選抜を行うためには、今回のような測定を継続して行い、遺伝率の年次変化を把握するとともに、年次相関などの遺伝的な情報にもとづいて伐期での育種価を予測する必要がある。残念ながら、林木育種センターの移転後、このスギモデル実生採種林は廃止されてしまったので、この後遺伝パラメータがどのように変化していくのかは解明できない。

なお、今回解析した実生採種林の1992年の樹高(H)と胸高直径(D)の測定値を用いて、 D^2H の値を基準にして、各交配組合せの中から最大のもの2個体及び最小のもの2個体、合計4個体ずつを選択し、さし木増殖して、林木育種センター構内(茨城県十王町)に保存している。今後これらの材料を、次世代精英樹選抜等の実践的な研究に活用していく予定である。

引用文献

- 1) 明石孝輝・戸田忠雄・西村慶二：スギ苗木の高さと根元直径についての遺伝子分散と優性分散の分割，日林誌54，12～16，1972
- 2) 明石孝輝・村井正文：産地の遠いスギ個体間の組み合わせ能力，日林誌58，462～464，1976
- 3) Balocchi, C.E., Bridgewater, F.E., Zobel, B.J. and Johromi, S.: Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine. For. Sci. 39, 231-251, 1993
- 4) 半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトの第1回交配作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報16，179～194，1982
- 5) 河崎久男・栗延 晋：スギモデル実生採種林の2集団の3年次樹高データの解析，林育研報9，83～92，1991
- 6) 栗延 晋：関東林木育種場構内のスギ・ヒノキ実生採種林の設計，関東林育年報22，41～48，1990
- 7) 栗延 晋：不連続片面ダイヤレル交配の最小2乗法による分散分析プログラム，林育研報9，123～151，1991
- 8) 宮浦富保・栗延晋・蓬田英俊：スギモデル実生採種林における樹高の遺伝分散の経年変化，103回日林論，299～300，1992
- 9) 佐々木研・河村嘉一郎・千葉幸弘：スギ交雑苗木の1-1年生時における苗高についての組合せ能力と遺伝率の推定，林育研報9，37～46，1991
- 10) Zobel, B. and Talbert, J.: Applied Forest Tree Improvement, 505pp, John Wiley & Sons, New York, 1984

Age Trends in Genetic Parameters of Height and Diameter in the Early Growth Stage of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Tree in a Seedling Seed Orchard

Tomiyasu MIYAUURA⁽¹⁾, Susumu KURINOBU⁽²⁾ and Hidetoshi YOMOGIDA⁽³⁾

Summary : Tree height and diameter at breast height were measured from 1985 to 1994 for the trees in a sugi (*Cryptomeria japonica*) seedling seed orchard established in the Forest Tree Breeding Center at Mito, Ibaraki Prefecture in 1985. Age trend in genetic parameters of height and diameter in the early growth stage was analyzed. The seedling seed orchard was consisted of the seedlings derived from 2 sets of 6×6 half-diallel mating among plus-trees (plus-tree population) and 2 sets of 6×6 half-diallel mating among candidates for the resistant trees against cold wind damages (resistant population). Total of 18 trees per each cross were planted with 6 replications of 3 trees per plot. Heritability for height was relatively small until 4 year-old, then it began to increase until 10 year-old. The relative decrease in variance components other than general combining ability contributed to the increase in heritability. Heritability for diameter tended to increase after 7-8 year-old. Heritability for height at 10 year-old was 0.30 for the plus-tree population and 0.27 for the resistant population. Heritability for diameter at 10 year-old was 0.07 for the plus-tree population and 0.16 for the resistant population.

(1) Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Taga, Ibaraki 319-1301, Japan

(2) Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

2320, Suya, Nishigoshi, Kikuchi, Kumamoto 861-1102, Japan

(3) Iwate Prefectural Forestry Technology Center

560-11, Kemuriyama, Yahaba, Shiwa, Iwate 028-3623, Japan