

## BLP法を用いた北関東・関東平野育種区における CO<sub>2</sub>吸収固定能力の高いスギ精英樹クローンの選抜

平岡裕一郎・渡邊敦史・藤澤義武（森林総研林育セ）

要旨：北関東ならびに関東平野育種区において、BLP法で推定したスギ精英樹クローンの成長と容積密度から求められる単木幹重量を指標としたCO<sub>2</sub>吸収固定能力の評価手法を検討した。対象とした形質は20年次、30年次の胸高直径と樹高、20年次以上に収集したピロディン貫入量および容積密度とし、30年次の直径と樹高、容積密度の育種価（BLP値）を推定した。算出した各形質のBLP値は、最小二乗推定値（LSE）と比較的良く一致した。両者の標準偏差を比較すると、BLP値の方が低い値となり、BLP法による育種価はLSEと比較して環境の影響が除かれていると考えられた。BLP値から算出した単木幹重量について、選抜強度38%で選ばれた集団の平均値はそれぞれの育種区で63.3、78.4kgとなり、改良効果はそれぞれ29.9、30.8%となった。本法はCO<sub>2</sub>吸収固定能力の高いクローンの評価・選抜と育種効果を表すのに有効と考えられた。

キーワード：スギ、BLP法、CO<sub>2</sub>吸収固定能力、次代検定林、ピロディン

### I はじめに

近年、地球温暖化対策の一つとして森林のCO<sub>2</sub>吸収固定機能に期待が寄せられている。林木育種センターではCO<sub>2</sub>吸収固定能力の高い精英樹クローンを選抜する目的で、スギさし木検定林における評価を進めている。CO<sub>2</sub>吸収固定能力の評価には成長データの他に容積密度データが必要であり、これらはクローン集植所や検定林の供試材からの直接測定と、ピロディンの幹貫入量（ピロディン値）による間接測定によるデータがある。

このような林木の検定データから系統評価を行う手法として、BLP (Best Linear Prediction) 法がある(6, 7)。この手法は、偏差値平均法や最小二乗法では対応が困難であった不揃いで不均一な林木の検定データにも柔軟に適用できることが示されている(7)。栗延らは、既に関東育種基本区のスギさし木検定林の成長データ等に本法を適用しており(1, 2)、さらに関西育種基本区の瀬戸内育種区でのスギのCO<sub>2</sub>吸収固定能力の評価への適用も試み、本手法の有効性を示している(3)。本報告では、北関東ならびに関東平野育種区に設定された検定林からのデータを基に、スギ精英樹クローンの成長と容積密度の育種価（BLP値）を算出し、CO<sub>2</sub>吸収固定能力の評価手法を検討した。

### II 材料と方法

BLP値の算出に必要な遺伝パラメータである遺伝分散、交互作用率（＝遺伝分散／（遺伝分散＋交互作用分散））と形質間相関（表-2）の算出のため、各検定林の分散分析および複数検定林の分散・共分散分析を行った。対象形質は20年次、30年次の胸高直径と樹高、20年次以上に測定した容積密度およびピロディン値の6つとした。検定林数とクローン数は北関東育種区で33と173、関東

表-1. BLP値算出に用いた検定林数とクローン数

形質	北関東育種区			関東平野育種区		
	検定林数	クローンのべ数	実数	検定林数	クローンのべ数	実数
20年次胸高直径	23	550	139	17	161	64
20年次樹高	24	519	139	16	136	64
30年次胸高直径	16	419	97	4	81	64
30年次樹高	17	428	97	2	38	38
ピロディン値	8	302	140	3	78	64
容積密度*	3	175	132	2	77	63

\*: クローン集植所のデータは各育種区に振り分けて集計した。

平野育種区で26と209であった。なお、容積密度はクローン集植所のデータも検定林のデータと同様に用いた。

30年次の胸高直径・樹高ならびに容積密度のBLP値を予測した。対象クローンはピロディン値あるいは容積密度を測定したもので、その数は北関東育種区で140、関東平野育種区で64であった（表-1）。BLP値 $g$ は次のBLP法の基本式を用いて算出した(7)。

$$g = C \cdot V^{-1} \cdot (y - \alpha)$$

行列 $V$ は表現型分散共分散行列で、その対角要素は各検定林の遺伝分散と誤差分散とし、非対角要素のうち同一検定林内はタイプA、その他は遺伝相関を用いた。 $C$ は遺伝分散共分散行列、 $y - \alpha$ は検定林での各クローンの偏差ベクトルである。以上の解析のうち、分散・共分散分析は農林水産研究計算・情報センターのSASを利用した。BLP値の算出には統計パッケージR (<http://www.r-project.org/>) で作成したプログラムを用い、各検定林・各形質の分散分析で遺伝分散が負となったデータを除いた上で行った。なお、遺伝分散が負のものを0とする方法もあるが、BLP値の算出では遺伝分散が0のものは計算上は反映されないため、このような方法を採用した。

各クローンの30年次の樹高と胸高直径のBLP値から以

下の式で単木材積を求めた (5)。

$$\log V = 1.849344 \log D + 1.008086 \log H - 4.219069$$

ここで  $V$  は立木幹材積 ( $\text{m}^3$ ),  $D$  (cm) と  $H$  (m) はそれぞれ胸高直径と樹高である。この材積  $V$  と容積密度の BLP 値の積 (単木幹重) を  $\text{CO}_2$  吸収固定能力の評価に用いた。

上位集団選抜後の改良効果は次式を用いた。

$$\begin{aligned} & \text{単木幹重の改良効果 (\%)} \\ & = (\text{選抜後の集団平均値} - \text{母集団の平均値}) / \\ & \quad \text{母集団の平均値} \times 100 \end{aligned}$$

### III 結果と考察

表-2 に示した遺伝パラメータおよび形質間相関は、瀬戸内育種区の報告 (3) と比較してほぼ同様の傾向であったが、成長形質とピロディン値・容積密度との関係がやや強かった。各形質の BLP 値は、最小二乗推定値 (LSE) と比較的良く一致した (表-3)。両者の標準偏差を比較すると、育種価である BLP 値の方が小さいことから、LSE と比べて環境の影響が除かれているといえる。また関東平野育種区の方が、北関東育種区と比較して LSE との回帰係数がやや小さくなった。BLP 値はクローンの供試回数やデータ精度の違いにより変化するため、このような育種区間の差異が生じたと考えられる。

BLP 値から算出した 30 年次の平均単木幹重は、北関東、関東平野育種区でそれぞれ 48.7, 59.9 kg であった。田村ら (4) は、2 検定林において選抜指数法によるスギ精英樹クローンの炭素貯蔵量の改良効果の試算を行った。本研究でそれと同等 (上位 38%) の選抜を行った場合、各育種区での選抜集団の平均値はそれぞれ 63.3, 78.4 kg で、選抜前と比べて 29.9, 30.8% 向上し、田村ら (4) の報告した 21.4% と比較してやや大きくなった。

今回、遺伝パラメータや形質間相関を変更したり、検定データの精度が悪く考えられるものを含めて BLP 値を繰り返し算出したところ、異常値が発生する場合がみられた (データ未掲載)。本法を利用する際にはこれらの数値の推定精度やデータの質が重要であろう。本研究

表-2. 各形質の遺伝パラメータと形質間相関

	20年次 胸高直径	20年次 樹高	30年次 胸高直径	30年次 樹高	ピロディン 値	容積密度
遺伝分散	1.9149	0.6564	4.5787	1.8064	3.3531	0.0003
交互作用率	0.6990	0.9573	0.7422	0.8986	0.8833	0.8614
形質間相関*						
20年直径		0.857	0.706	0.707	0.192	-0.297
20年樹高	0.910		0.673	0.658	0.106	-0.237
30年直径	0.706	0.673		0.937	0.321	-0.389
30年樹高	0.707	0.658	0.939		0.216	-0.232
ピロディン	0.394	0.312	0.453	0.390		-0.802
容積密度	-0.177	-0.150	-0.155	-0.108	-0.602	

\*: 相関の右上は遺伝相関, 左下は検定林内相関。

から、本法はクローンの  $\text{CO}_2$  吸収固定能力の評価、選抜と育種効果を表すのに有効と考えられた。

### 謝辞

今回用いたデータの一部は、関係各県に設定された次代検定林の調査結果を使用した。また林木育種センターの栗延晋博士には、解析に当たり貴重なご助言をいただいた。ここに感謝の意を申し上げる。

### 引用文献

- (1) KURINOBU, S. and MIYAURA, T. (1993) An application of a Best Linear Prediction to clonal tests of Sugi (*Cryptomeria japonica*) in the Northern Kanto Region. J. Jpn. For. Soc. 75: 350-355.
- (2) 栗延晋・宮浦富保・久保田権 (1993) 関東育種基本区のスギさしき検定データに対する BLP 法の適用について. 日林論 104: 441-442.
- (3) 栗延晋・山口和穂 (2008) BLP 法を用いた  $\text{CO}_2$  吸収固定能力に優れたスギ精英樹の評価と選抜について-関東育種基本区瀬戸内育種区への適用例-. 第 119 回日本森林学会大会学術講演集: I01.
- (4) 田村明・栗延晋・武津英太郎・飯塚和也 (2006) スギ精英樹クローンにおける炭素貯蔵量の選抜効果の試算. 日林誌 88: 15-20.
- (5) 東京営林局 (1963) 立木材積表. 103pp.
- (6) WHITE, T.L. and HODGE, G.R. (1988) Best linear prediction of breeding values in a forest tree improvement program. Theor. Appl. Genet. 76: 719-727.
- (7) WHITE, T.L. and HODGE, G.R. (1989) Predicting breeding values with an applications in forest tree improvement. 367pp. Kluwer Academic Pub., Dordrecht, Netherlands.

表-3. 各形質の平均値, 最小二乗推定値 (LSE) と BLP 値の関係と各標準偏差

形質	データ 平均値	LSE と BLP 値の関係		標準偏差	
		回帰係数	決定係数	LSE	BLP
北関東育種区					
20年次胸高直径 (cm)	12.0				
20年次樹高 (m)	8.5				
30年次胸高直径 (cm)	17.7	0.53	0.60	2.79	2.02
30年次樹高 (m)	13.3	0.47	0.50	1.94	1.25
ピロディン値 (mm)	23.6				
容積密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0.3	0.59	0.74	0.023	0.016
関東平野育種区					
20年次胸高直径 (cm)	12.5				
20年次樹高 (m)	9.3				
30年次胸高直径 (cm)	18.2	0.34	0.43	3.77	2.01
30年次樹高 (m)	14.3	0.44	0.53	2.11	1.31
ピロディン値 (mm)	21.9				
容積密度 ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0.3	0.52	0.71	0.024	0.016