

[A. 林業統計学の研究]1. 林木育種のための統計入門 (1)

木梨, 謙吉
九州大学農学部附属演習林 : 教授

宮崎, 安貞
九州大学農学部附属演習林 : 講師

<https://doi.org/10.15017/1456333>

出版情報 : 演習林研究経過報告. 昭和44年度, pp.3-11, 1970. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

A 林業統計学の研究

1 林木育種のための統計入門(1)

木梨謙吉・宮崎安貞

林学の基礎的な研究分野として林木育種の重要性は強調されねばならない。大学演習林の多くの実験の造林地と天然生林は材料林であると共に検定林でなくてはならない。大学演習林が単に経営林で終るならば、十分に研究的な意味で森林を活用しているとは言えないであろう。

林木育種の計画もその投入と産出に効率的な配慮をして、効果的に材料をとり、どれだけの改良を目指すかを計算してかかる必要がある。一般には普通の植栽林から材料がとられ、すすんだ段階では家系選抜となり、次代検定へと進んでゆくであろう。家系としては half-sib, full-sib, clonal などがある。

九州のスギ・ヒノキの育種では clonal なものが中心となる。しかしマツのような交雑による改良も重要な問題であり、林木改良という重要な研究をより積極的に進めるために、我々は林木育種施設の拡充を進めてきた。

林木生育に適した土地、均一な造林環境、一斉同令林、これ等の条件は個々の林木の遺伝子型特性 (genotypic characteristics) を最もよく表わす最大の機会を与えるといわれている。

このことは又同令天然生林についても同様であるという。これに対して過去の歴史がわかっていない異令林からの選抜は一般に不正確と言われている。いずれの場合でも林木改良の目標としての特性を正確に認識するに足だけの林令に達していることが必要である。

又遺伝子型×環境 (genotype × environment) の交互作用 (interaction) について、着目する必要がある。これはある品種が広い地理的範囲にわたって適している場合でも、個々の遺伝子型はしばしばその最適表現に対して非常に多くの制約範囲を持っているということである。

以上のような立場から林木育種を進めるに必要な統計学の知識を基本的なものについて集め、考察しよう。

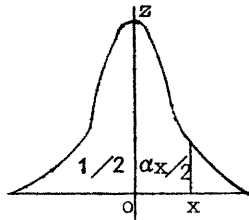
Selection differential(選抜差)

ある特性について、母集団のあらゆる個々のものの値を X とすると、 X は母集団の平均からの偏りとしてあらわされ $X - \bar{X}$ 、又標準偏差の項であらわすと $(X - \bar{X}) / \sigma_x$ となる。

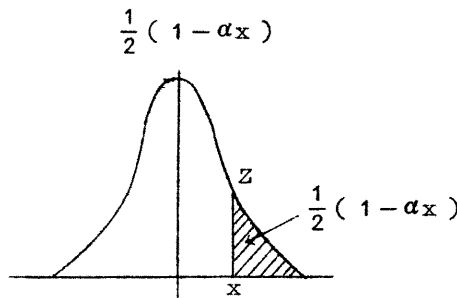
選抜が方向的であるとき、すなわち大きい方に片寄つて選抜されるとき、母集団の中でその比率 v は、 X の頻度分布の右端の方から取られる。選抜された group と捨てられる group を分離する点の縦軸の高さを Z とする。正規分布の性質から、選抜される右端尾部における $(X - \bar{X}) / \sigma_x$ のすべての個々の値の平均値は z/v であらわされる。これを標準偏差であらわされた selection differential(選抜差) と言う。

一般に選抜量を selection intensity (選抜強度) とよび、片側選抜 (directional selection) のとき、intensity v は正規分布の右側尾部の面積比率によつて表わされる。

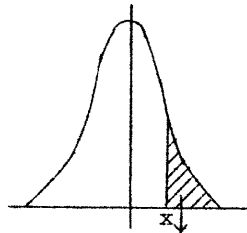
統計数値表によると $p = \frac{1}{2} (1 + \alpha_x)$ で示されている表がある。 $\alpha_x/2$ は正規曲線下の中心 o から x までの面積を示し、 x における縦軸を z とすると $p = \frac{1}{2} (1 + \alpha_x) = \frac{1}{2} + \int_0^x z dx$ となり下図の通りである。



ところが選抜は x より右側の片側からだけぬきとるとすると、その面積は斜線部分となるが、



この斜線部分を v (intensity) とよぶことになる。 x における縦軸の高さ z を v で割ると、正規分布の性質から斜線部分の平均値となる。



斜線部分の平均値 i

選抜比率、縦軸(z)、平均値 i 、 x 、および両端から x までの面積を表からうつしとると下の通りである。

$\frac{1}{2}(1 - \alpha_x)$	Z	$\frac{Z}{\frac{1}{2}(1 - \alpha_x)}$	X	$\frac{1}{2}(1 + \alpha_x)$
右端から		i		左端から
.500	.3989	.7979	.0000	.500
.400	.3863	.9659	.2533	.600
.300	.3477	1.1590	.5244	.700
.200	.2800	1.3998	.8416	.800
.100	.1755	1.7550	1.2816	.900
.050	.1031	2.0627	1.6449	.950
.010	.0267	2.6652	2.3263	.990
.001	.0034	3.3671	3.0902	.999

これをまとめると

選抜率 $(\frac{1}{2}(1 - \alpha_x))$	50%	40%	30%	20%	10%	5%	1%	0.1%
選抜集団平均値と母集団平均値の標準偏差単位で示した差(i) (selected differential)	.80	1.00	1.16	1.40	1.80	2.06	2.67	3.37
$Z/\sqrt{v} = Z / \frac{1}{2}(1 - \alpha_x)$								

i に標準偏差 σ を乗じて、選抜差 S を計算する。

$$S = i \times \sigma$$

ここに σ 、S は普通の尺度で示される。

選抜度（母集団での比率）と遺伝的獲得量との間には対数的関係がある。たとえば Shelfourne は *P. radiata* の直径での獲得量を 11.0% から 12.9% まで 1.9% 増加させるには、選抜 Cost は 10 倍に増加されねばならないという。すなわち、1本の選抜木を見出すために 1,000本の木が調査される代りに 10,000本調査されねばならない。

獲得量の推定

育種プログラムから獲得量を推定するには、

- (1) selection differential 選抜差 = S
- (2) heritability of the characteristics 特性の遺伝力 = h^2
- (3) 獲得量 (gain) $\Delta G = S \times h^2 \times k$

$$\text{ここに } k = \begin{cases} \text{栄養繁殖に対しては } 1 \\ \text{full-sibs (すなわち両親が選ばれる) に対しては } \frac{1}{2} \\ \text{half-sibs (すなわち片親が選ばれる) に対しては } \frac{1}{4} \end{cases}$$

(3)式は又 $h^2 = \frac{\Delta G}{k S}$ であるから、 ΔG 、S を測定して h^2 をおさえることも必要であろう。

特性の選択の基準としては経済性の重要度、変動性、遺伝性、相関性、調査の難易などがあげられる。

実際の選別はたとえば直径と通直性について考えると集団の中でまず通直性のあるレベルで切り、ついでその合格したものを、直径の高いレベルで切る。すなわち独立なよりわけレベルで直交的に行う。又別の方法としては選抜指数を測定値と経済性×遺伝性の関数として選別する。後者の方法は林学では簡単ではないが、経済的には有効な方法とされている。

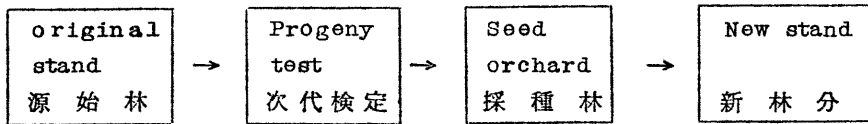
一般に一本の選抜木を選別するのに必要な母集団の大きさは、特性の数の増加で急激に増す。たとえば特性数 1 のときの選抜強度が 1% であるならば、そして特性が相関してないならば、

特性数	各選抜木の背景となる母集団
1	100
2	10,000
3	1,000,000
4	100,000,000

或る特性は「complex」といわれるが、それはいくつかの単一特性の合成結果とみられる。

選抜木は何本必要か、親木の最小数は少くとも 20本、おそらく 50本は必要で、新しい世代

に遺伝的多様性を確保するためにはこのくらいは必要とされる。又それは育種法にもよる。一般的の結合のための循環選抜では下のような順序で示されている。



2つ又は3つの特性を考える場合には500家族をテストする必要があるといわれる。

選抜の実際には、真に重要な特性、野外においてスコアをつけて調査する、その重みを決定し、此等の調査は普通一般のたとえば間伐材の印付などとは格別に異つた特殊な専門班で調査することが好ましい。ここにはラジアタ松のスコアのつけ方の一例を示す。

P. RADIATA プラス木評価表

植栽地 _____ 林小班 _____ 樹番号 _____
 年 令 _____ 胸高囲 _____ 樹 高 _____
 超優勢木、優勢木、準優勢木

候補木はすべての特性において良好でなくてはならない。そして1つあるいは2つの特長において優秀でなくてはならない。重要な特性において劣つているものは、第1段階で選抜さるべきでない。

生長旺盛度(30点+)候補木は約10mの半径内の他の木と比較すること。すなわち80本まで。

直 径 胸高直径(皮外)(主林木10本)

点数0 - 4 平均より小さい

5 平均(主林木)

6 - 14 中間

15 プロット内の他の最大の木に等しい

15 - 20 プロット内の他の木より大きい

プロット内主林木10本の直径

平 均 _____

樹高 候補木の樹高測定、目測で他の木と比較する。

- 点数 0 - 1 平均より低い
2 平均(主林木の)
3 - 7 中間
8 他の最高木に等しい
9 - 10 プロット上の他の木より高い

ボーナス 特点 1 - 5 点

候補木が1エーカー以上の範囲で比較される地位上のいかなる他の木より
大きい場合

点

幹形 (30点+)

- 幹完全通直 30
基部そり - 減点 1 - 5 (遺伝的でない)
幹垂れ、らせん型、減点 1 - 20
幹曲り、減点 1 - 15
傾斜 - 減点 1 度当 1 点
断面 - 減点 1 - 3 円形でない場合
節ふくれ - 減点 1 - 5 検出しうるようなふくれ

点

枝付 (30点)

- 単一枝、複数枝ともよい。
候補木の特長を記述する。

枝密度 (15) 生長旺盛木に関して

- 点 1 1 - 15 生長旺盛木としては著しく疎
7 - 10 中間
5 平均
0 - 4 平均より密

枝角 (15) 幹の2点(10呎~20呎と30呎)で測定、点の合計

	(10' - 20')	30'
80° - 90°	10	5
70° - 80°	8	4
60° - 70°	6	2
50° - 60°	3	0
40° - 50°	0	-1
40°	-3	-2

点

枝の長さ 極端に長い減点 1 - 5

分枝球果 減点 1 - 10
(Ramicorns)

点

幹着生球果 10点

- 10 成熟直後幹より落下
- 5 点在
- 0 無数着生

点

健全度 候補木は健全で病虫害に抵抗性が期待される。過去の梢死、針葉落下などは減点

点

追記

総点

オーストラリアのラジアータ・マツの挿木繁殖の場合は、一般に九州のスギの挿木とかなり異つた特長がみられる。たとえば挿木は幹の下部で完満 (reduced underbark taper on the lower part of the stem)、樹皮が剥生にくらべて非常に薄くなる、枝が少なく細い、根張りが剥生より小さい、そして挿木の古い葉にある種の病菌(Dothistroma)にかかりにくい。

林木育種の目的と方法

優秀な木が選抜されたら、選ばれた木から穂木 (scion) を集め、クローンを作るためにつぎ木 (grafting) し、種子採取林としてこれ等をうえ、その結果出来た種子をもつて新しい経済林を作ることが広く行われて来ており、特に松の育種プログラムについては木の形 (tree form) とその生長量 (vigour) の改良が目的であつた。

他の樹種や、又病虫害抵抗性品種造成の目的などで最も敏速なプログラムが要求される。しかし目的の性質、時間と経費、樹種の生物学的特性、利用される材料など種々の問題がある。林木の育種は他の作物と異り極めて長時間を要することも問題の一つである。又重要な点としては林木は自然の中で選抜することが出来ることである。林木育種プログラムは通常健全、生長旺盛、幹型の良好な均一な蓄積を目標とし樹間の変異性、測定調査の低いこと、有用な特性と無用な特性間に相関のないこと、遺伝性の高いことなどが要求されている。

変異性ではたとえば *P. radiata* が通直性においてよい形質の頻度部分があるのに、*P. densiflora* は殆んどよい形質のものが無いといつたことが林木育種を困難にしている。調査のやりやすさでは通直性など一目でわかるものはよいが、材質になるとその調査に手数が非常にかかる欠

点がある。又よい性質と悪い性質が結びついてあらわれるのも困る。遺伝力の高いことは選抜された良い性質が高頻度であられることで、低いのはその反対の場合である。数値的に1から0の範囲である。

林木育種法は次の5つに分けられる。

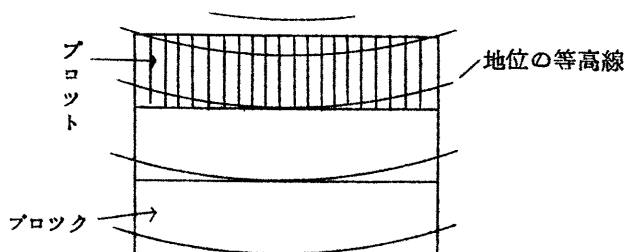
- 1 Mass selection (集団選抜)
- 2 Mass selection and progeny testing (集団選抜と次代検定)
- 3 Hybrid varieties (交雑品種)
- 4 Recurrent selection (繰り返し選抜)
 - a Simple recurrent selection (単純繰り返し選抜)
 - b Recurrent selection for general combining ability (一般組み合わせ能力の繰り返し選抜)
 - c Reciprocal recurrent selection (正逆繰り返し選抜)
- 5 Vegetative propagation and clonal selection (栄養繁殖とクローン選抜)

特に九州でのスギ、ヒノキの育種については5が主となる。

次代検定 (progeny test) は林木育種の重要なステップである。その目的は選抜木の特性力の検定、遺伝パラメーター (遺伝力及相関度) の推定、生産力の検定などであるが、長期を要する仕事であるからよほどしっかりした定義付けをして試験地として設定しておかねばおよそ長期の内には意義を失ってしまうであろう。

次代検定林としての実験林の設定においては実験計画には次の点に注意する必要がある。

- ① 1 plot 当り、25本から100本
- ② 繰り返し (replication は3-5 (plot が大きいとき) 6-20 (plot がより小さいとき))
- ③ plot の形は正方形から長方形に移りつつあり、地位の等高線に直角に長辺を置くようにする。
- ④ Block 形も長方形が好ましく、地位の等高線に平行とする。但し地位の方向が不明のときは正方形とする。



⑤ 実験計画

- | | |
|-------------------------------|---|
| ① Randomised Block (乱かい法) | } 六大学試験地は乱かい法によつて
ここ3年つとけたが、昭46年には
格子法を採用する計画をすす
めている。 |
| ② Incomplete Block (不完備ブロック法) | |
| ③ Lattice Design (格子法) | |

以上は主として Australian Forestry & Timber Bureau, Forest Research Institute の A.G. Brown 氏のプリントを参考とした。感謝の意を表する。

参考文献

- D.S. Falconer: Introduction to Quantitative Genetics. 1964
Oscar Kempthorne: An Introduction to genetic Statistics. 1963
I. Michael Lerner: The genetic Basis of Selection. 1964
Oscar Kempthorne: Biometrical genetics 1960
C.C. Li: Population genetics 1962

統計数値表

A.G. Brown : Tree Breeding

2 ヒノキ林間伐・枝打要因配置実験

木梨謙吉・常岡雅美

(1) 試験地の説明

位置: 粕屋演習林 15, 163

林分: 大正12年植栽ヒノキ林分

実験計画: 間伐3レベル、枝打3レベル、4回繰返し(ブロック)の乱かい法とする。

間伐は1960年、全林間伐の際、各ブロックごとにランダムに3プロット(10m×10m)をおき、立木本数が、20、15、10本となるようにした。(Plot level 1, 2, 3)

枝打については1967年、プロット内の3本の木につき樹冠の樹高に対するパーセンテージが20%、30%、40%になるようにしてある。(Crown level A, B, C)

従つて、試験測定木は $3 \times 3 \times 4 = 36$ 本とする。なお各プロットには別に1本毎枝打をしてない対照木も測定している。

測定木の測定部位は地上60cm、3m60cm、6m60cmの3ヶ所とし、測定に当つては木