

松脂採取と成長との関係について

大	友	栄	松 ⁽¹⁾
真	辺		昭 ⁽²⁾
薬	袋	次	郎 ⁽³⁾
神	戸	喜	久 ⁽⁴⁾

1. 序 言

マツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) の成長は松脂の採取によつて影響されるかどうか、また影響があるとすればそれはプラスの向きかマイナスの向きか。さらにそれはどの程度の大きさかというような問題は、森林所有者や採脂業者の重要な関心事であらう。

これについてはこれまで諸外国において多くの研究が行なわれ、種々の結果が報告されている。たとえば HARPER (1937) は Longleaf pine および Slash pine の結果として、直径成長の減退は切付面上部で最も著しいが、影響は梢端にいたるまで認められる。そのため材積成長率は1面切付けでは平均27%、2面切付けでは40%の減少を示し、5年間の総材積では7%の成長減をきたすと述べている。また CRIVELLARI (1949) は *Pinus halepensis* に対し、フランス法を用いて4~5年間連続的に採脂したところ、若い木 (39年生) では4.04%、老齢木 (69年生) では1.63%成長が減少したと報告している。同様に PHILLIPIS (1950) は年輪幅のせまい老齢木では、直径成長の衰えは無規でできる程度であるが、若い木では採脂期間中は1/2~1/3にまで成長が落ちると述べている。また WYMAN (1932) は多数の著者の研究を引用して、この問題を論じているが、それによれば切付けによつては直径成長は変わらず (WEIDEMANN)、材積も事実上変わらないが、細胞膜が薄くなり (KIENTZ), 樹高成長もわずかに落ちるという説 (WEIDEMANN), あるいはまた控え目な採脂の場合には、かえつて直径成長が増加するという例 (WEIDEMANN, SCHWERTFEGER), のあることを報じている。しかしこれらの中で最も一般的な結論は GERRY の採脂溝の幅の試験 (Height-of-streak test) のものであらう。すなわち、Slash pine では地上4 1/2 ft の試験期間中の直径成長率は、採脂直前の

80% : 0.32 inch streak の場合

82% : 0.50 "

27% : 0.73 "

となつた。さらに WYMAN も溝の深さおよび切付面の幅を増した場合にも同様な傾向がみられると述べている。これらの結果は上記の HARPER や CARY の2面または3面切付けの場合の傾向とも一致している。

このように松脂をとることによつて生ずる成長減は、樹種、樹齢、直径、採脂方法およびその程度などの因子と密接な関連があつて、ときには正の効果さえみられるので、現象面だけでなく、樹木生理の面か

(1) 経営部経済科測定研究室長 (2)~(4) 経営部経済科測定研究室員

らこれらの因果関係を追求することが必要である。このような方向での研究として、各因子を実験計画で割りつけ、成長減の原因を回帰分析の方法で追求する試みが最近 SCHOPMEYER (1955) によつてなされている。

一方わが国独特の採脂方法である斜溝法はのこぎりを用いるため切付けの程度が前記の欧米諸法よりも一般に弱いと考えられている。そうして対象樹種も本邦では主としてアカマツであるから、諸外国での例を直ちに適用することはできないのであるが、この場合の採脂と成長との関係については従来ほとんどまとまつた結果が報告されていない。筆者らは当场林産化学部からの要請もあり採脂後数年間の成長傾向を採脂前の成長と対比して分析することとした。しかし資料が企業的な採脂をおこなつた林から得られたために成長と関係のある因子を事前に管理できなかつたことと、採脂を中止した年の秋に伐採をおこなつた関係上、

- (1) 採脂に対する個々の木の抵抗性
- (2) 採脂を中止した場合の残効果の持続性
- (3) 切付けの程度および化学処理などによる影響の差
- (4) 浸出量と成長との関係

などの問題はとりあげることができなかつた。

この研究をすすめるにあたつて供試木を提供され、調査に種々の便宜を与えられた青木農場主青木重夫氏、および種々の助言と援助を与えられた林産化学部材質第一研究室長横田徳郎技官に深謝の意を表す。

2. 資 料

調査地は栃木県那須郡高林村の那須山ろくに位する青木重夫ほか 2 氏の所有する約 500 ha のアカマツ天然生林の一部、林齢 55~67 年の林である。林内にはアカマツのほかはサクラ、クロモジ、ウリハダカエデその他のカエデ類、コナラ、リョウブ、ハンノキ、ハリギリが点在している程度でほとんど一斉林に近い林相である。この林は全く平坦で、地表の落葉は付近の農民により肥料用にすべて取り去られている。過去の成長はかなり良好で、寺崎博士の収穫予想表によれば関東地方としては地位中に属すると思われる。採脂したのは 1949 年から 1953 年までの 5 年間である。しかし採算上の理由で途中で採脂を中止した木や、浸出量が少なかつたためか 2 面切付けをおこなつた木が多く、切付けの状態はかなりふぞろいであつた。単木^モとの浸出量も記録がないために不明である。切付けの方法は一般に行なわれている斜溝法で化学処理は行なっていない。

供試木は採脂木、非採脂木のなかからそれぞれ 10 本を選び、樹幹析解によつて各部位を測定した。供試木の選び方は、処理（採脂）群と無処理（非採脂）群の比較を最も効果的に行なうため、直径、樹高ともほぼ同様な成長状況を示し、近接し、かつ同一地位に生立しているが相互の成長に影響をおよぼさない程度の距離にある胸高直径 25 cm 以上の処理木と無処理木を組にして、林内の 10 箇所からぬき出した。これらの供試木の採脂前（1948 年秋）の測定値を第 1 表に示す。表の中で 1 と 11、2 と 12……等の番号の木は同じ場所で選出された採脂木と非採脂木の対である。

採脂木は 1 面切付けのもののなかからできるだけ処理方法の類似した木を選んだ。処理の状態を第 1 図および第 2 表に示す。

第 1 表 供試木一覧表（樹幹析解の結果による） Tab.1 Sample trees

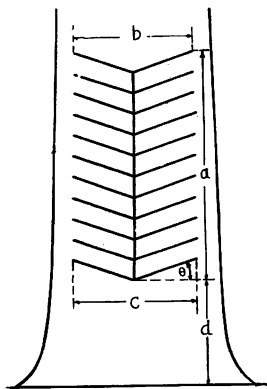
	樹 木 番 号	皮内胸高直径(cm)	樹 高 (m)	皮内材積 (m³)	樹 齢
採 脂 木	1	28.3	16.2	0.5243	52
	2	27.0	15.7	0.4404	52
	3	24.1	16.8	0.3655	51
	4	28.1	18.1	0.5345	61
	5	29.2	18.0	0.5707	61
	6	27.3	18.9	0.4990	62
	7	28.8	17.5	0.5201	61
	8	31.3	17.6	0.6604	61
	9	31.4	18.2	0.6627	62
	10	32.0	17.2	0.7007	61
	平 均	28.8	17.4	0.5478	58
非 採 脂 木	11	26.0	17.2	0.4473	51
	12	25.6	16.9	0.4022	52
	13	23.9	15.8	0.3441	51
	14	25.7	17.9	0.4450	60
	15	27.1	18.2	0.5016	61
	16	27.9	17.6	0.4860	62
	17	24.0	16.8	0.3866	61
	18	28.6	17.6	0.5656	61
	19	26.3	16.4	0.4155	62
	20	32.7	18.0	0.7369	60
	平 均	26.8	17.2	0.4731	58

第 2 表 処 理 状 況 Tab.2 Treatment

年 番 号	溝 の 数*						切 付 け 方 位	切付けの高さ(a)				上部の切付 け の 幅 (b)		下部の切付 け の 幅 (c)		切付 け角 (θ)	切付 け開 始位 置 (d)
	1949	1950	1951	1952	1953	計		左	右	中	平均	幅	幹周に 対する	幅	幹周に 対する		
1	33	33	30	10		106	105	90	90	80	86.7	59	58	82	73	44	68
2	33	33	29	16		111	135	90	80	80	83.3	65	62	85	74	44	65
3			40	25		65	170	51	50	40	47.0	65	67	60	65	40	85
4	31	39	40	40	25	175	135	112	118	108	112.7	59	63	80	68	42	60
5	40	51	39	36	22	188	124	117	130	115	120.7	51	49	85	68	38	50
6	35	50	36	40	24	185	124	115	128	115	119.3	60	64	73	67	45	45
7	35	50	36	38	24	183	124	115	130	111	118.7	52	54	70	57	41	50
8	35	40	44	23		142	300	120	113	103	112.0	57	54	90	73	44	75
9	24	39	44	37	28	172	270	126	130	115	123.7	60	55	85	66	42	55
10	41	44	36	29		150	180	121	118	106	115.0	73	62	90	66	42	43

* 年ごとの数は林産化学部横田技官の推定したものである。

樹幹析解においては最近 10 年間の連年成長量を正確に知るために、過去の樹高は枝節の位置から推定し、各断面の直径は 1 年ごとの値を読みとった。



第1図 斜溝法(模式図)
Fig.1 Chipping in the
Japanese saw method

3. 採脂前の成長傾向の比較

ある処理をほどこしたのちの成長傾向の変化を比較するためには、処理前の2群の成長が同一であることが望ましい。処理群と無処理群の採脂前3年間(1946~1948)の胸高直径、樹高および材積の連年成長量とこの期間の定期平均成長量を第3表に示す。成長を比較する方法としては、毎年の成長量の平均値を独立に t 検定または F 検定で比較することも考えられるが、連続的な成長傾向の推移を全体としてつかもうとするわれわれの目的には、成長量測定値は相互に相関があるのでこの方法は妥当でない。

したがって、以下においては Box (1950) の方法を用いて、ある期間内の成長傾向を水準(高さ)と型にわけて比較し、次にこれらの成長傾向を構成する連年成長量を別々に比較することにする。

まず、もとの大きさ、たとえば1946年の成長開始直前の直径を X_0 、1947年の成長開始直前の直径を X_1 というようにおけば、1946年から1948年までの連年成長量 x_i は

第3表 処理前の連年成長量
Tab.3 Annual growth before chipping

番 号	胸 高 直 径 (0.1m)				樹 高 (cm)				材 積 ($10^{-5} \times m^3$)			
	x_1 1946	x_2 1947	x_3 1948	$\bar{x}$ 平均	x_1 1946	x_2 1947	x_3 1948	$\bar{x}$ 平均	x_1 1946	x_2 1947	x_3 1948	$\bar{x}$ 平均
1	39	41	42	40.7	22	25	20	22.3	2662	2662	2597	2640.3
2	55	51	55	53.7	27	33	24	28.0	2724	2395	2745	2621.3
3	46	42	31	39.7	39	26	17	27.3	1955	1774	1482	1737.0
4	24	22	15	20.3	26	23	27	25.3	1469	1514	953	1312.0
5	64	39	36	46.3	28	21	25	24.7	2779	2123	1601	2167.7
6	20	23	23	22.0	22	20	13	18.3	1583	1708	1330	1540.3
7	45	46	37	42.7	22	17	23	20.7	2262	2548	2151	2320.3
8	49	31	20	33.3	28	21	21	23.3	2795	1786	1142	1907.7
9	49	37	33	39.7	23	23	22	22.7	2926	2407	1992	2441.7
10	58	56	40	51.3	18	18	20	18.7	3308	3022	2246	2858.7
和	449	388	332	389.7	255	227	212	231.3	24463	21939	18239	2154.7
11	47	47	40	44.7	41	39	34	38.0	2645	2582	2538	2588.3
12	58	47	40	48.3	26	25	22	24.3	2854	2577	2270	2567.0
13	33	35	30	32.7	20	19	18	19.0	1766	1288	970	1341.3
14	28	24	13	21.7	18	15	20	17.7	1612	1126	872	1203.3
15	42	30	23	31.7	24	27	25	25.3	2152	1946	1765	1954.3
16	39	43	27	36.3	22	18	18	19.3	2045	2031	1757	1944.3
17	50	51	42	47.7	25	22	25	24.0	2030	2358	1687	2025.0
18	30	35	26	30.3	28	29	27	28.0	1984	1720	1576	1760.0
19	46	44	35	41.7	22	20	22	21.3	1934	1673	1981	1862.7
20	44	29	15	29.3	15	22	22	19.7	3166	1819	1316	2100.3
和	417	385	291	364.4	241	236	233	236.6	22188	19120	16732	19346.5
処理/無処理 (%)	107.7	100.8	114.1	106.9	105.8	96.2	91.0	97.8	110.3	114.7	109.0	111.4

$$x_1 = X_1 - X_0$$

$$x_2 = X_2 - X_1$$

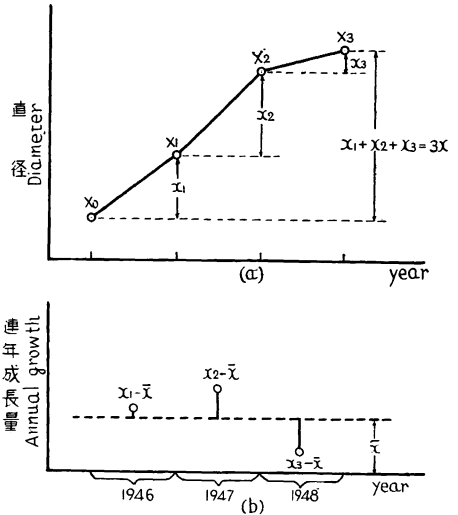
$$x_3 = X_3 - X_2$$

となる。またこの3年間の定期平均成長量 $\bar{x}$ は

$$\bar{x} = 1/3 (X_3 - X_0) = 1/3 \sum x_i$$

であるから、総成長曲線と連年成長量および定期平均成長量の関係は第2図のようになる。

(b) 図から、もし処理と無処理の間に差があれば、それは $\bar{x}$ と各期間の連年成長量 x_i の $\bar{x}$ からのブレの違いに分解することができる。このような分解の意味は次のように解釈できる。(b) 図で x_1, x_2, x_3 は年あたりの平均的な成長率 (普通の意味の成長率でなく (a) 図の折線の tangent である) を表わし、 $\bar{x}$ はその全期間の平均値である。もし、処理によつて各期間の平均成長率のみが影響をうけ、 x_1, x_2, x_3 が同等に変化したとすれば成長曲線は水準 (高さ) でのみ変化したといえる。また平均成長量からの偏差 $x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, x_3 - \bar{x}$ が影響されれば曲線は型においても変化したことになる (第3図)。採脂前3年間の皮内胸高直径、樹高および皮内材積に対する総成長量を图示すれば第4図のとおりである。



第2図 総成長曲線と連年成長量との関係

Fig. 2 Total growth curve and annual growth

A. 全体的検定

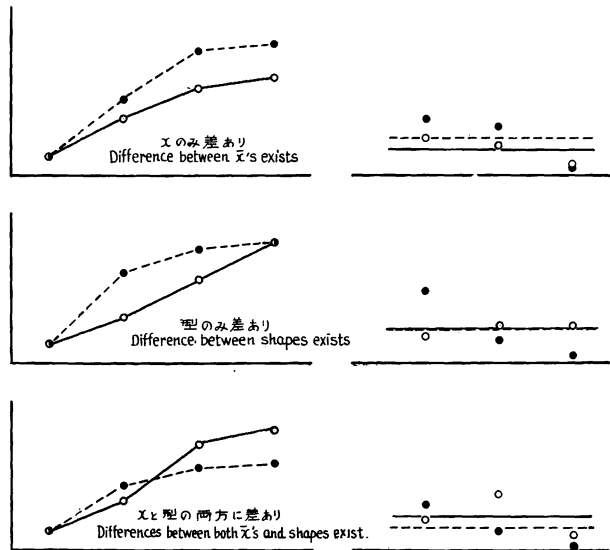
一般に樹木の連年成長量間の相関は非常に高く (第13表参照), 分散および共分散も一定でないと考えられる。

ゆえに第2図(a)に示したような成長曲線の群間の違いをみるには、ベクトル変量 (x_1, x_2, x_3) が分散共分散行列

$$\begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & f \\ e & f & c \end{pmatrix}$$

をもつ3変量正規分布に従うと仮定し、データはこのような母集団から抽出された大きさ20の標本と考えなければならない。そうするとこのような変量の組から一次変換で導かれる任意の変量の組も同様に多変量正規分布に従うことがわかる。

つぎに、ふつう単一変量、たとえば3年間の総成長量 $x_3 - x_0 = 3\bar{x}$ の処理間の差を検定するには、検定基準



第3図 成長曲線の水準と型

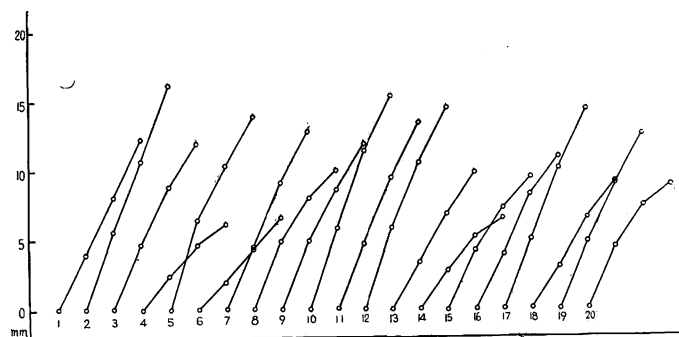
Fig. 3 Level and shape of growth curve

$$\frac{\text{処理の平均平方}}{\text{誤差の平均平方}} \dots\dots\dots (1)$$

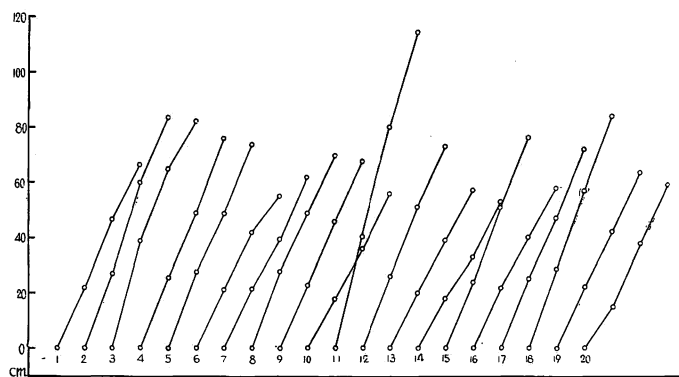
を計算してF表の適当な自由度の値と比較する。これと同等な検定として基準

$$A = \frac{\text{誤差の平方和}}{\text{誤差の平方和} + \text{処理の平方和}} \dots\dots\dots (2)$$

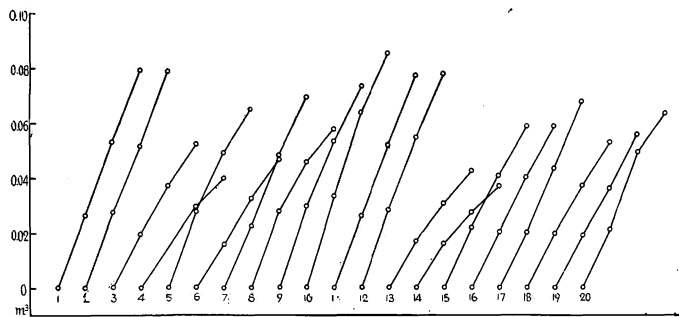
を求め、不完全B函数表の数値と比較することもできる。(2)式を多変量の場合に拡張したものは WILKS (1932, 1946) の A 基準とよばれるもので



第4—a図 直径 Diameter



第4—b図 樹高 Height



第4—c図 材積 Volume

第4図 処理前の総成長量

Fig. 4 Total growth before chipping

$$A = \frac{| \text{誤差の積和平方和} |}{| \text{誤差の積和平方和} + \text{処理の積和平方和} |} \dots\dots\dots (3)$$

で定義される。分母分子の行列式の要素は、単変量の場合の平方和を積和平方和でおきかえたものである。これを用いれば処理群、無処理群の 1946 年の連年成長量が等しく、また 1947 年の連年成長量も等しい……という仮説が検定できる。これは各 x_i を同時的に比較するものにあたる。すなわち後述の平均成長量(水準) $\bar{x}$ および型の検定を同時に行なうものであるから全体的検定ということにする。

一般の場合の A の分布は正確には知られていないが、 A から導かれる対数統計量の分布はいろいろ研究されている。いま n を(処理+誤差)の自由度、 q を処理の自由度、 p を変量の数とし、

$$M = n \log_e A^{-1} \quad A_1 = (p+q+1)/2n \quad f_1 = pq$$

とおくと、 $(1-A_1)M$ が自由度 f_1 の χ^2 分布に従うことが BARTLETT (1938) によつて示されている。しかし、これは近似であつて n が小さいか、 p, q が大きい場合には使えない。Box (1949) は $p \cdot q \geq 2$ であれば、小標本の場合でも M/b は近似的に自由度 f_1, f_2 の F 分布に従うことを示した。ただし、

$$f_2 = \frac{12n^2(pq+2)}{p^2+q^2-5} \quad b = \frac{pq}{1-A_1-f_1/f_2}$$

また p または q が 1 および 2 の特別な場合には次のような正確な検定方法が知られている (C. R. RAO (1948, 1952))。

第 4 表 特別な場合の検定方法
Tab.4 Test in the special case

p, q の 値	分 散 比 $= F$	自 由 度
$q=1$ (任意の p に対して)	$\frac{1-A}{A} \cdot \frac{n-p}{p}$	p および $(n-p)$
$q=2$ (")	$\frac{1-\sqrt{A}}{\sqrt{A}} \cdot \frac{n-p-1}{p}$	$2p$ および $2(n-p-1)$
$p=1$ (任意の q に対して)	$\frac{1-A}{A} \cdot \frac{n-q}{q}$	q および $(n-q)$
$p=2$ (")	$\frac{1-\sqrt{A}}{\sqrt{A}} \cdot \frac{n-q-1}{q}$	$2q$ および $2(n-q-1)$

このようにして全積和平方和行列 (S_{ij}) を処理すなわち級間の積和平方和行列 (Q_{ij}) と、誤差すなわち級内の (W_{ij}) に分析する方法を RAO は分散分析に対応させて変動解析 (Dispersion analysis) とよんでいる。多変量解析において、分散共分散行列は単変量の場合の分散と同じ働きをするため“一般化された分散”ともよばれるから、変動解析は“一般化された分散分析”と考えることができる。

第 3 表の値から計算した積和平方和 (Sum of product, S. P.) 行列、(W_{ij}) および ($S_{ij} = (Q_{ij} + W_{ij})$) は付表 1 のとおりである。

A を求めるには(3)の分子分母の行列式 $|Q_{ij}|$ と $|S_{ij}|$ を評価しなければならない。それには“掃き出し法 (Sweep out method)”によつて行列式の次々の中心要素 (Pivotal element) を求め、その積を計算すればよい。いま (x_1, x_2, x_3) に対する (S_{ij}) を

$$(S_{ij}) = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{vmatrix} \quad \text{ただし } S_{ij} = S_{ji}$$

とすれば行列式の性質によつて

$$\Delta = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} \end{vmatrix} = S_{11} \begin{vmatrix} 1 & \frac{S_{12}}{S_{11}} & \frac{S_{13}}{S_{11}} \\ 0 & S_{22} - \frac{S_{12}^2}{S_{11}} & S_{23} - \frac{S_{12} S_{13}}{S_{11}} \\ 0 & S_{23} - \frac{S_{12} S_{13}}{S_{11}} & S_{33} - \frac{S_{13}^2}{S_{11}} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

$$S_{22} - S_{12}^2 / S_{11} = S_{22.1}$$

$$S_{23} - S_{12} S_{13} / S_{11} = S_{23.1}$$

とおけば

$$\Delta = S_{11} \cdot \begin{vmatrix} S_{22.1} & S_{23.1} \\ S_{23.1} & S_{33.1} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

すなわち、

$$\Delta = \Delta_{123} = S_{11} \Delta_{23.1} \dots\dots\dots (6')$$

が成り立つ。このとき S_{11} を第 1 中心要素, $S_{22.1}$ を第 2 中心要素という。一般に $p \times p$ 行列式ではこの手続を $(p-1)$ 回繰り返すことにより p 個の中心要素が得られる。

全体的検定の基準の値は付表 1 から

胸高直径: $A(x_1, x_2, x_3) = 0.82737$

樹 高: " = 0.87425

材 積: " = 0.87215

である。 $p=3$, $q=1$ だから, 第 4 表の最初の分布が利用できて, 結果は第 5 表のようになる。

第 5 表 処理前の全体的検定
Tab.5 Overall test for data before chipping

	$A(x_1, x_2, x_3)$	分散比 = $\frac{1-A}{A} \cdot \frac{19-3}{3}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.82737	1.11	3 と 16
樹 高	0.87425	0.77	"
材 積	0.87215	0.78	"

$F_{16}^3(0.05) = 3.24$ だから, これらの分散比はいずれも有意でない。したがつて処理前の 2 群の成長に差があるとはいえない。

B. 水準と型の比較

全体的検定の結果と第 4 図から, 処理前の成長に関するかぎり, 群間の差は全くないように思われるが, 処理後の成長傾向の分析と対比させるため, 平均成長量 $\bar{x}$ と成長曲線の型の差の検定を行なつてみる。まず, $\bar{x}$ の差を調べる。(3)の右辺で分子分母について同時に“掃き出し”を行なえば

$$A = \frac{W_{11} (\text{誤差})}{S_{11} (\text{誤差} + \text{処理})} \cdot \frac{A_{23,1} (\text{誤差})}{A_{23,1} (\text{誤差} + \text{処理})} \dots\dots\dots (7)$$

$$= A_1 \cdot A_{23,1}$$

となる。 A_1 は(2)式の単変量 x_1 の分散分析に対応する検定基準で、 $A_{23,1}$ は x_1 を削除した後の残りの変量 x_2, x_3 に対する多変量共分散分析の検定基準である。この方法によつて任意の数の変量を削除することができる。このとき誤差の自由度は削除した変量の数に応じて減少する。

いま変量 x_1, x_2, x_3 の代わりに、これらから一次変換によつて導かれる変量 $\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}, x_3 - \bar{x}$ を考える。平均成長量からの偏差のうち、独立なものは 2 つだけだからもとの変量の組に含まれる情報はすべて $\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}$ に含まれる。したがつて新変量 $\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}$ に対する S. P. 行列を作り、(7)の分析を行なえば、これはもとの (x_1, x_2, x_3) の検定と同等となるから、 A_1 によつて平均成長量の差の検定ができる。これは A 基準が正則な一次変換のもとでは不変であるという重要な性質を有することを示している。また新変量の S. P. 行列も、もとの変量の組の S. P. 行列の列と行にこの変換を直接適用して求めることができる。処理前の成長量について計算した $(\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x})$ の (S_{ij}) および (W_{ij}) を付表 2 に示す。

(7)によつて $A_1 = A(\bar{x})$ は第 1 中心要素の比であるから

$$\text{胸高直径 } A(\bar{x}) = \frac{1813.222}{1845.311} = 0.98261$$

$$\text{樹 高 } " = \frac{424.06}{425.47} = 0.99669$$

$$\text{材 積 } " = \frac{4,167,992.99}{4,410,066.33} = 0.94511$$

となる。第 4 表の第 3 式から $\frac{1-A}{A} \cdot \frac{19-1}{1}$ は自由度 1 と $n-1=18$ の F 分布にしたがうことがわかる。実はこれは普通の分散分析における(1)式そのものである。よつて次の結果が得られた。

第 6 表 処理前平均成長量の比較
Tab.6 Comparison of mean growths before chipping

	$A(\bar{x})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{18}{1}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.98261	0.319	1 と 18
樹 高	0.99669	0.060	"
材 積	0.94511	1.045	"

$F'_{18}(0,05) = 4.41$ だから、予想どおり処理前の平均成長量には差がない。

型の差をみるには、 $(\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x})$ の行列の第 1 行第 1 列を除いた残りの行列に対して、全体的検定の方法を適用すればよい。 A は次のとおりである。

$$\text{胸高直径 } A(x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}) = \frac{\begin{vmatrix} 619.689 & -216.177 \\ -216.177 & 176.456 \\ 621.911 & -223.622 \\ -223.622 & 201.395 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 619.689 & -216.177 \\ -216.177 & 176.456 \end{vmatrix}} = 0.83217$$

$$\text{樹高 } A(x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x}) = \frac{\begin{vmatrix} 173.46 & -50.11 \\ -50.11 & 98.42 \\ 192.13 & -53.67 \\ -53.67 & 99.08 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 173.46 & -50.11 \\ -50.11 & 98.42 \\ 192.13 & -53.67 \\ -53.67 & 99.08 \end{vmatrix}} = 0.90128$$

$$\text{材 積} \quad " \quad = \frac{\begin{vmatrix} 1,701,422.23 & -482,978.31 \\ -482,978.31 & 442,143.15 \\ 1,701,700.98 & -480,668.62 \\ -480,668.62 & 461,280.58 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1,701,422.23 & -482,978.31 \\ -482,978.31 & 442,143.15 \\ 1,701,700.98 & -480,668.62 \\ -480,668.62 & 461,280.58 \end{vmatrix}} = 0.93697$$

ゆえに結果は第7表のようになる。

第7表 処理前型の比較

Tab.7 Comparison of shape of growth curve before chipping

	$A(x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{19-2}{2}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.83217	1.714	2と17
樹 高	0.90128	0.931	"
材 積	0.93697	0.572	"

$F_{17}^2(0.05) = 3.59$ だから、これらの分散比はいずれも有意でない。

以上によつて、処理前の成長傾向には全く差のないことが確かめられた。これは供試木を有意的に選んだにもかかわらず、抽出が妥当なものであつたことを示している。

4. 処理後の成長傾向の比較

採脂をはじめた1949年以降の胸高直径、樹高、材積の連年成長量と平均成長量を第8表に示す。第5図はこれから計算した5年間の総成長量曲線である。第5図を処理前の第4図と比べると、処理間に相当大きい違いがみられるが、これは各期の終わりの処理と無処理の総成長量（平均値）を次々にプロットした第6図をみれば一層はつきりする。すなわち、採脂前においてほとんど差のなかつた処理群（図中点線の部分は、処理前の平均成長量を表わす）の成長は、採脂第2年目から急激に低下して5年間の平均成長量は直径、樹高、材積についてそれぞれ無処理群の56.7%、71.4%、75.4%となつてゐる。このような処理間の差の有意性検定を行なうため、前と同じ方針で1949年から1953年までの連年成長量と平均成長量を $y_1, y_2, \dots, y_5$ および $\bar{y}$ で表わし、成長傾向を全体的検定と水準と型の3つにわけて比較する。

A. 全体的検定

変量の組 $(y_1, y_2, \dots, y_5)$ について S. P. 行列を求め（付表3）、 $A(y_1, \dots, y_5)$ を計算すると

胸高直径: $A(y_1, y_2, \dots, y_5) = 0.29063$

樹 高: " = 0.24996

材 積: " = 0.30815

となる。 $n=19, p=5$ であるから、 $\frac{1-A}{A} \cdot \frac{14}{5}$ は自由度5と14のFである。検定結果は次のとおりである。

第8表 処理後の連年成長量
Tab.8 Annual growth after chipping

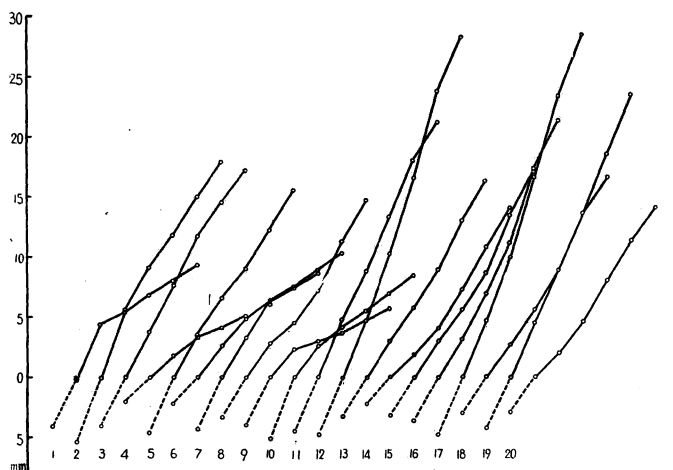
番 号	胸 高 直 径 (0.1 mm)							樹 高 (m)							材 積 (10 ⁻³ m ³)						
	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\bar{y}$	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\bar{y}$
	1946~ 1948 平均	1949	1950	1951	1952	1953	平均	1946~ 1948 平均	1949	1950	1951	1952	1953	平均	1946~1948 平均	1949	1950	1951	1952	1953	平均
1	40.7	44	10	14	12	13	18.6	22.3	28	21	17	15	16	19.4	2640.3	2824	1825	1785	1592	1453	1895.8
2	53.7	56	35	27	32	29	35.8	28.0	19	14	16	19	13	16.2	2621.3	2834	2572	2172	2352	2166	2419.4
3	39.7	38	38	41	28	27	34.4	27.3	16	19	25	16	24	20.0	1737.0	1839	2101	2431	1715	1401	1897.4
4	20.3	18	15	8	10	10	12.2	25.3	23	21	16	15	18	18.6	1312.0	1828	1112	1043	1126	1029	1227.6
5	46.3	35	31	24	32	33	31.0	24.7	21	18	19	14	18	18.0	2167.7	1768	1817	1662	1699	1534	1696.0
6	22.0	26	23	13	12	12	17.2	18.3	15	6	9	9	11	10.0	1540.3	1526	1422	1182	931	1063	1224.8
7	42.7	33	31	11	14	14	20.6	20.7	25	19	12	13	12	16.2	2320.3	1809	1950	1424	1805	1389	1675.4
8	33.3	28	17	27	41	34	29.4	23.3	29	6	19	13	11	15.6	1907.7	1623	1495	1998	2458	2153	1945.4
9	39.7	23	7	7	10	10	11.4	22.7	16	14	17	10	13	14.0	2441.7	1651	1468	1476	1744	1658	1599.4
10	51.3	26	16	13	14	15	16.8	18.7	11	9	9	12	11	10.4	2858.7	1771	1741	1752	1932	1858	1810.8
平 均	38.97	32.7	22.3	18.5	20.5	19.7	22.74	23.13	20.3	14.7	15.9	13.6	14.7	15.84	2154.70	1947.3	1750.3	1692.5	1735.5	1570.4	1739.20
11	44.7	48	40	45	47	32	42.4	38.0	29	26	25	20	25	25.0	2588.3	2534	2765	3009	3118	2365	2758.2
12	48.3	48	54	63	73	45	56.6	24.3	18	23	26	25	27	23.8	2567.0	2418	2893	3255	3482	2470	2903.6
13	32.7	30	28	31	41	32	32.4	19.0	12	16	16	17	19	16.0	1341.3	1116	1456	1577	1680	1217	1409.2
14	21.7	19	22	32	35	32	28.0	17.7	11	23	22	21	18	19.0	1203.3	1170	1323	1690	1726	1766	1535.0
15	31.7	30	26	31	47	36	34.0	25.3	13	10	27	21	23	18.8	1954.3	1674	2117	2336	2837	2266	2246.0
16	36.3	32	38	42	61	40	42.6	19.3	21	5	21	27	30	20.8	1944.3	1529	2179	2599	2965	2348	2324.0
17	47.7	47	52	67	67	52	57.0	24.0	28	17	24	24	24	23.4	2025.0	2120	2590	2982	3161	2464	2663.4
18	30.3	27	29	33	47	29	33.0	28.0	29	22	27	23	22	24.6	1760.0	1740	1824	2540	2758	1985	2169.4
19	41.7	45	44	47	49	49	46.8	21.3	21	24	27	24	26	24.4	1862.7	2136	2415	2818	2765	2449	2516.6
20	29.3	20	26	34	33	27	28.0	19.7	23	23	34	28	23	26.2	2100.3	1747	2674	2908	2973	2469	2554.2
平 均	36.44	34.6	35.9	42.5	50.0	37.4	40.08	23.66	20.5	18.9	24.9	23.0	23.7	22.20	1934.65	1818.4	2223.6	2571.4	2746.5	2179.9	2307.96
処理 / 無 処理 (%)	106.9	94.5	62.1	43.5	41.0	52.7	56.7	97.8	50.2	77.8	63.9	59.1	62.0	71.4	111.4	107.1	78.7	65.8	63.2	72.0	75.4

松脂採取と成長との関係について (大友・真辺・栗袋・神戸)

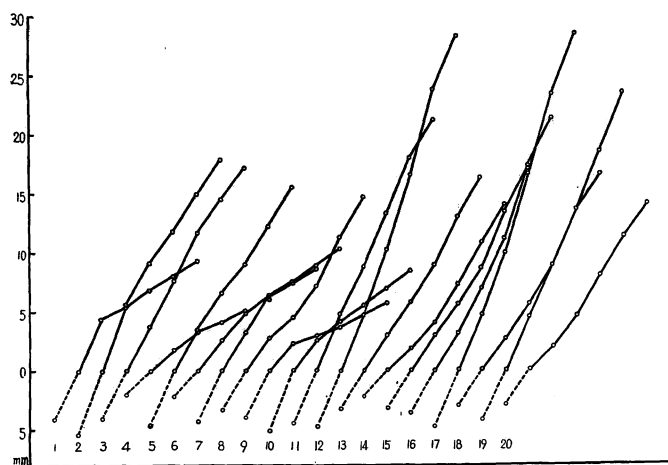
第9表 処理後の全体的検定

Tab.9 Overall test for the data after chipping

	$\lambda (y_1, y_2, \dots, y_5)$	分散比 $= \frac{1-\lambda}{\lambda} \cdot \frac{14}{5}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0,29063	6,83 **	5と14
樹 高	0,24996	8,40 **	"
材 積	0,30815	6,29 **	"



第5—a 図 胸高直径 Diameter



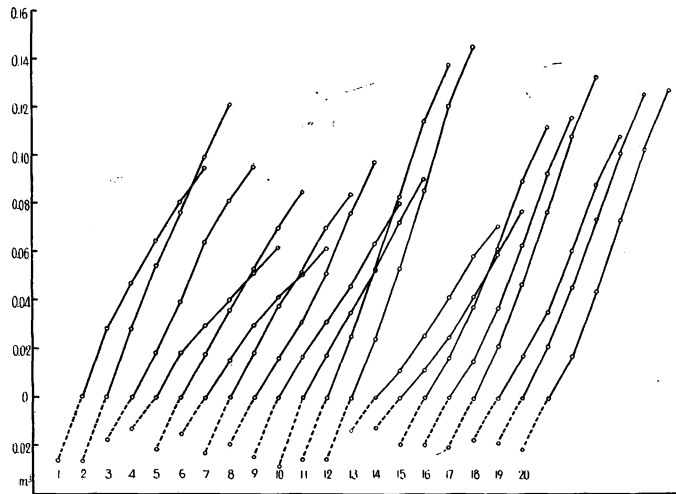
第5—b 図 樹高 Height

第5図 処理後の総成長量

(点線は処理前3年間の平均成長量を示す。)

Fig. 5 Total growth after chipping

(Dotted lines show mean growth during 3 years before chipping.)

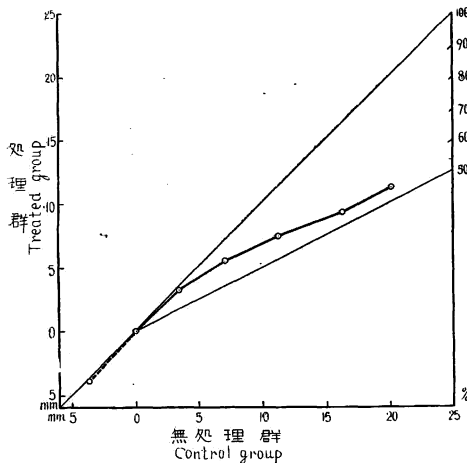


第5—c 図 材積 Volume

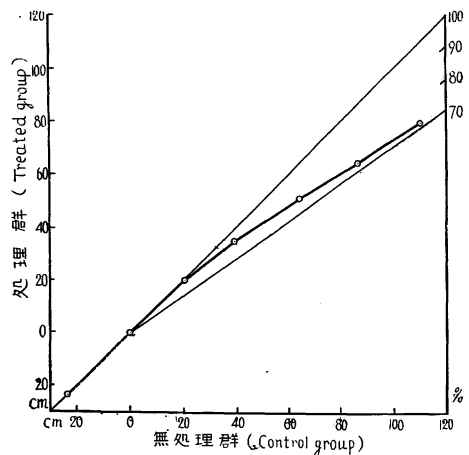
自由度5および14に対する0.01水準の F の値は4.69だから、これらの分散比はきわめて有意である。よつて、第6図に示した成長量の違いは偶然によるものでなく、明らかに処理の影響によるものだということが確かめられた。

B. 水準と型の比較

全体的検定での結果は、第5図、第6図からむしろ当然のように思われる。そこで $y_1, \dots, y_5$ を全体としてみたとき、処理間にこのように大きい差が生じたのはどの成分の寄与によるものかを調べねばならない。第5図をみれば、1949年から1953年までの総成長量 $5\bar{y}_1$ が、処理間で著しく異なっていることは



第6—a 図 胸高直径 Diameter

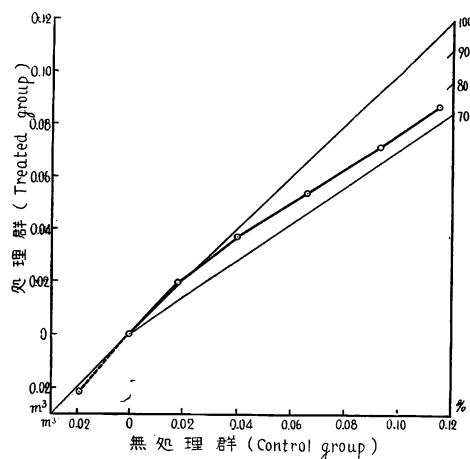


第6—b 図 樹高 Height

第6図 処理対無処理の総成長量 (平均値) (点線は処理前3年間の平均成長量を示す。)

Fig. 6 Total growth of the treated group to that of control group (mean values)

(Dotted lines show mean growth during 3 years before chipping.)



第6—c 図 材積 Volume

明らかである。しかしこれとともに処理群の曲線はだいたい上に凸で、処理がすすむにつれて成長量が減少する傾向を示しているのに、無処理群では 1948 年以前よりもかえって連年成長量が増加し、曲線が上に凹となる傾向がみられる。よつて 3 項で述べた分解を行なうと第 7 図のようになる。

まず平均成長量 $\bar{y}$ を比較してみる。必要な A 基準は

$$\text{胸高直径 } A(\bar{y}) = 0.54414$$

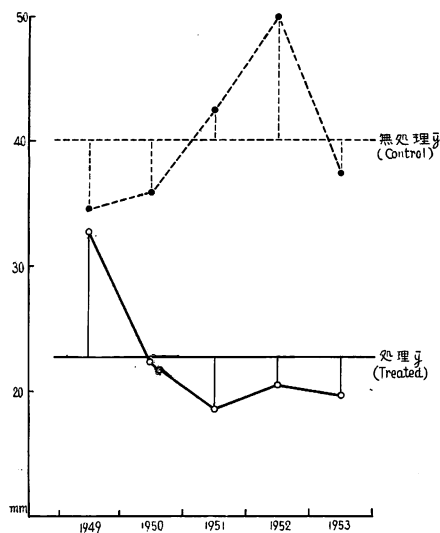
$$\text{樹 高 } " = 0.509281$$

$$\text{材 積 } " = 0.672958$$

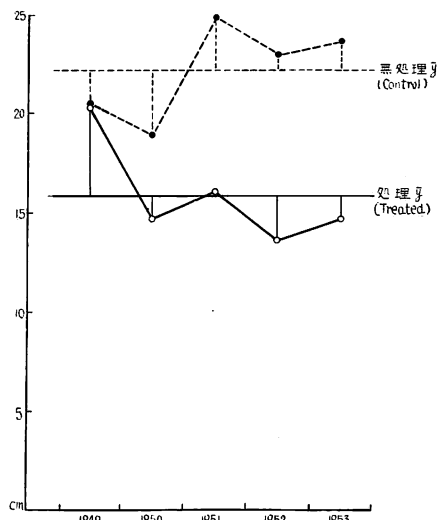
となつて検定結果は第 10 表のようになる。

第 10 表 処理後の平均成長量の比較
Tab.10 Comparison of mean growths after chipping

	$A(\bar{y})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{18}{1}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.54414	15.08 **	1 と 18
樹 高	0.50928	17.34 **	"
材 積	0.67296	8.75 **	"



第7—a 図 胸高直径 Diameter



第7—b 図 樹高 Height

第 7 図 処理後の平均成長量と連年成長量

Fig. 7 Mean growth and annual growth after chipping

$F_{18}^*(0.01)=8.28$ だからこれらの分散比はきわめて有意である。さらに型については、

胸高直径: $A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y}) = 0.30644$

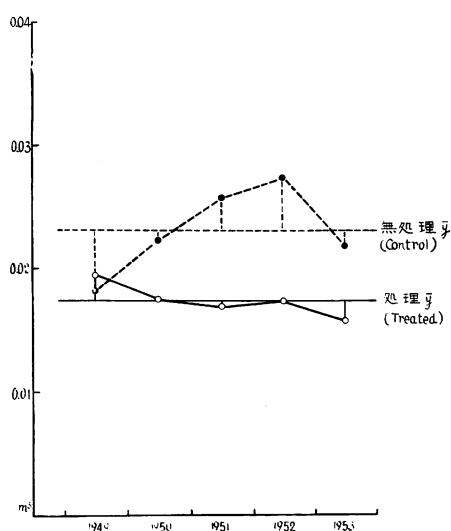
樹 高: " = 0.58727

材 積: " = 0.30885

であるから、結果は次のようになる。

自由度 4 と 15 の 0.05 水準および 0.01 水準に対する F の値は、それぞれ 3.06 と 4.89 だから、胸高直径と材積の成長曲線の型の差はきわめて有意である。

これまでは平均成長量と型の差を別々に取り扱ってきた。しかしこの 2 つでみられた処理の効果は独立なものではなく、同一の事実のあらわれかもしれない。たとえば、さきに述べた平均成長の低いものほど成長曲



第7—c 図 材積 Volume

第 11 表 処 理 後 の 型 の 比 較

Tab.11 Comparison of shapes of growth curves after chipping

	$A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y})$	分散比 = $\frac{1 - A}{A} \cdot \frac{15}{4}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.30644	8.49 **	4 と 15
樹 高	0.58727	2.64	"
材 積	0.30885	8.39 **	"

線が上に凸で、平均成長量の大きいものは上に凹になるという傾向は、平均成長量と型の間の関係から予想される以上のものでなく、 $\bar{y}$ の変動を考慮に入れば型の差は有意にならないかもしれない。あるいは逆に、樹高については、 $\bar{y}$ の違いを考慮しなかつたために型の差がはつきりしなかつたのかもしれない。これをみるには、 $\bar{y}, y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y}$ に対する積和平方和行列から $\bar{y}$ を“掃き出し”残りの行列について前と同様な検定を行なえばよい。

(7)と同じ理由で $A(\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y})$ は

$$A(\bar{y}) \cdot A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{y})$$

のように分解できる。この第 2 の因子が型の比較のための基準である。

ゆえに、

$$A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{y}) = \frac{A(y_1, y_2, \dots, y_5)}{A(\bar{y})}$$

この値は

$$\text{胸高直径 } A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{y}) = 0.53410$$

$$\text{樹 高 } " = 0.49080$$

$$\text{材 積 } " = 0.45790$$

となる。 (S_{ij}) の自由度は $\bar{y}$ が削除されたため、1 だけ減少して 18 となる。よつて検定は次のとおりであ

る。

第 12 表 平均成長量と型の間の内部的関係の検定
Tab.12 Test of internal relation between mean growths and shapes

	$A(y_1, -\bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{y})$	分散比 = $\frac{1-A}{A} \cdot \frac{14}{4}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.53410	3.05	4 と 14
樹 高	0.49080	3.37 *	"
材 積	0.45790	4.14 *	"

0.05 水準の F 表の値は 3.11 であるから樹高と材積の分散比は 5% 水準で有意である。胸高直径については有意差はみられないが、計算された分散比は 5% 点に非常に近いから、標本の大きさを増せば有意差がでてくるかもしれない。

以上によつて樹高と材積では平均成長量が同じものの間でも成長曲線の型が違つていくことがわかる。特に樹高の場合、 $\bar{y}$ を考慮に入れないと有意差がなかつたのであるから、直径や材積とは逆の傾向があるわけである。

5. 処理前と処理後の成長量間の関係

1946~1948 年の成長は処理間で有意な差がみられなかつたけれども、第 4 図からわかるように、級内の変動はかなり大きい。連年成長量は樹木の活力の指標と考えられるから、過去において盛んな成長を示したものは特別な事情のないかぎり将来も良好な成長を持続するであろう。これは第 13 表の相関行列で樹高以外では引きつづく年間の相関係数が非常に高いことから、うかがわれる（樹高のみが他と違つた

第 13 表 連年成長量間の相関係数
Tab.13 Correlation coefficients among annual growths

	処 理 群						無 処 理 群					
	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
直 径	1	0.6350	0.3118	0.2869	0.3102	0.3797	1	0.9671	0.9524	0.8839	0.8014	0.7256
y_1		1	0.5302	0.5275	0.4288	0.4664		1	0.9092	0.8219	0.7352	0.7303
y_2			1	0.6936	0.5108	0.5706			1	0.9620	0.8799	0.8310
y_3				1	0.8050	0.8260				1	0.8511	0.8225
y_4					1	0.9851					1	0.7683
y_5						1						1
樹 高	1	0.1982	0.4790	0.7994	0.8206	0.6519	1	0.6144	0.3353	0.1923	-0.2462	0.1960
y_1		1	0.3075	0.2918	0.2835	-0.0004		1	0.2824	0.4020	0.3703	0.4128
y_2			1	0.4313	0.5168	0.6898			1	0.3814	-0.0877	-0.2954
y_3				1	0.5042	0.7705				1	0.6209	0.2010
y_4					1	0.4805					1	0.6311
y_5						1						1
材 積	1	0.4948	0.5391	0.3399	0.5554	0.6070	1	0.8994	0.9368	0.9037	0.9137	0.7691
y_1		1	0.6276	0.3870	0.2791	0.2880		1	0.8898	0.9047	0.8410	0.7583
y_2			1	0.7337	0.5575	0.4924			1	0.9571	0.9175	0.8653
y_3				1	0.7038	0.6398				1	0.9610	0.9016
y_4					1	0.9510					1	0.8963
y_5						1						1

傾向を示しているのは型の比較でみられたこととあわせて、何か樹高成長の特質を表わすものかもしれない。したがって、この相関を利用して型の比較で用いた論法により $\bar{x}$ の効果を削除し、残変動を分析すれば精度の向上とともに処理前、処理後の成長傾向の間の関係を知ることができる。

まず $\bar{x}$ と各 y_i との積和、平方和を計算し、3. A の全体的検定の S. P. 行列に加えれば、 $(\bar{x}, y_1, \dots, y_5)$ に対する 6×6 行列ができる (付表 5)。これに“掃き出し”法を適用して変量 $\bar{x}$ を削除して得られる (S_{ij}) と (W_{ij}) の行列式の比をとれば、 $\bar{x}$ を考慮に入れた全体的検定の検定基準となる。 $\bar{x}$ を削除したからこれを $A(y_1, \dots, y_5: \bar{x})$ と書くこと計算によつて

胸高直径: $A(y_1, \dots, y_5: \bar{x}) = 0.27436$

樹 高: " = 0.25072

材 積: " = 0.24750

となる。ここで (S_{ij}) の自由度は $\bar{x}$ を削除したから、3. A の場合より 1 だけ減つて $n' = n - 1 = 18$ となる。よつて次の検定結果が得られる。

第 14 表 $\bar{x}$ を考慮に入れたときの全体的検定

Tab.14 Overall test under fixed $\bar{x}$

	$A(y_1, y_2, \dots, y_5: \bar{x})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{18-5}{5}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.27436	6.88 **	5 と 13
樹 高	0.25072	7.77 **	"
材 積	0.24750	7.91 **	"

自由度 5 と 13 に対する F の 1% 値は 4.86 だから、これらの分散比はきわめて有意である。

また変換 $(y_1, y_2, \dots, y_5: \bar{x}) \rightarrow (\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y}: \bar{x})$ に対応してこの全体的検定の (S_{ij}) (W_{ij}) を変形すると (付表 6)、前と同じく処理前の成長を考慮した場合の平均成長量、型および型と平均成長量間の内部関係の比較ができて結果は次のとおりである。

第 15 表 $\bar{x}$ を考慮に入れたときの平均成長量の比較

Tab.15 Comparison of mean growth under fixed $\bar{x}$

	$A(\bar{y}: \bar{x})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{18-1}{1}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.35373	31.06 **	1 と 17
樹 高	0.44460	21.24 **	"
材 積	0.35448	30.96 **	"

第 16 表 $\bar{x}$ を考慮に入れたときの型の比較

Tab.16 Comparison of shape under fixed $\bar{x}$

	$A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y}: \bar{x})$	分散比 $= \frac{1-A}{A} \cdot \frac{18-4}{4}$	$d \cdot f$
胸 高 直 径	0.31138	7.74 **	4 と 14
樹 高	0.51685	3.27 *	"
材 積	0.29261	8.46 **	"

第17表 $\bar{x}$, $\bar{y}$ を考慮に入れたときの平均成長量と型の間の内部的関係の検定Tab.17 Test of internal relation between mean growth and shape under fixed $\bar{x}$ and $\bar{y}$

	$A(y_1 - \bar{y}, y_2 - \bar{y}, \dots, y_n - \bar{y} : \bar{x}, \bar{y})$	分散比 = $\frac{1-A}{A} \cdot \frac{17-4}{4}$	$d \cdot f$
胸高直径	0.77561	0.94	4と13
樹高	0.56392	2.51	"
材積	0.69823	1.41	"

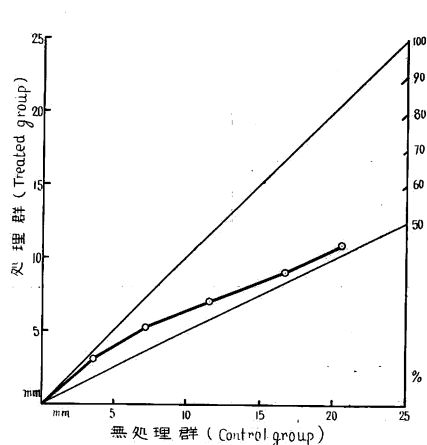
第14~17表で比較しているのは $\bar{x}$ に対する共通回帰によつて修正された処理と無処理の連年成長量の平均値および平均成長量の平均値で次のとおりである。

第18表 平均成長量の修正平均値と回帰係数

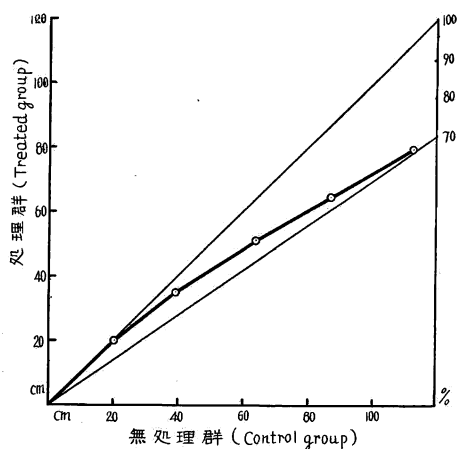
Tab.18 Adjusted means of mean growth and regression coefficient

	修 正 平 均 値			処理/無処理 (%)	回帰係数の比較		F の値 ($d \cdot f$ 1と16)
	処 理	無 処 理	差		回 帰 係 数		
					処 理	無 処 理	
胸高直径 (mm)	2.19	4.09	−1.90	53.5	0.3766	1.1419	5.59
樹 高 (cm)	15.9	22.1	−6.2	72.1	0.7926	0.2444	2.75
材 積 (m³)	0.016634	0.023838	−0.007204	69.8	0.4293	1.0361	6.18

これらの分散比を第9表から第12表までの対応する数値と比較すると、まず全体的検定の結果はほぼ同じであるが、平均成長量の分散比が非常に大きくなっている。したがつて、 $\bar{x}$ の等しいものの間でも、処理群の平均成長量は無処理群より著しく低いといえる。この事情は第9図をみればさらにはつきりする。また無処理群の直径と材積の回帰係数は1より大で、樹高についても処理前成長量が異状に大きいNo. 11を除けば、同様な傾向がみられる。これに対して処理群の回帰係数は直径、樹高、材積についてそれ



第8-a 図 胸高直径 Diameter



第8-b 図 樹高 Height

第8図 処理対無処理連年成長量 (修正平均値)

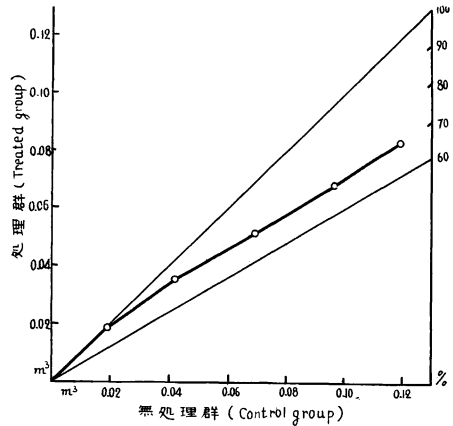
Fig. 8 Annual growth (adjusted means) of treated group to that of control

ぞれ 0.3866, 0.7926, 0.4293 で樹高を除けば非常に小さい。また処理群で回帰直線のまわりの変動が大きいのは、木によつて切付けに対する抵抗性が異なり、処理前の成長傾向がみだされるのかもしれない。しかし切付けがふぞろいであつたためとも考えられるので、この点はさらに追求する必要がある。

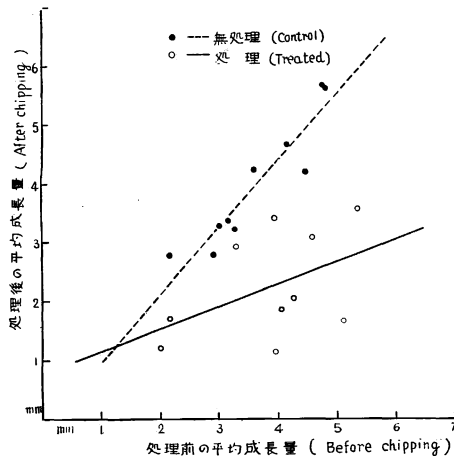
次に成長曲線の型は前に有意差のなかつた樹高が5%水準で有意となつた。直径・材積では分散比が少し減少したが、結論は前と同じである。よつて処理前成長量が等しいものの中では、曲線の型は処理間で違いがあることになる。しかし、第16表の結果からこの違いも処理によつて生じた $\bar{y}$ の差によつて説明できることがわかつた。

処理前の成長量を考慮にいれても、処理と無処理の成長傾向には明らかに差がある。そうするとこの違いは処理後何年目から生ずるのであろうか。これを調べるため、 $\bar{y}$ によつて修正した連年成長量の群平均値を別々に比較する。結果は第19表、第20表のとおりである。

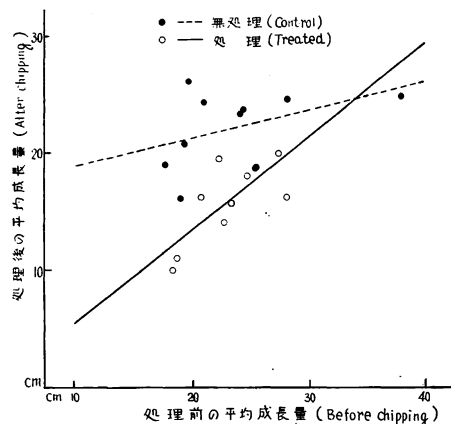
これから胸高直径、材積では処理後2年目より、また樹高では処理後3年目から採脂の影響があらわれ、4年目までしだいに差が大きくなることがわかる。そして第8図および第19表の分散比の減少からわかるように、5年目の成長量の差はそれまでよりも幾分小さくなつてゐる。しかし処理群の y_5 の値は樹高を除けば y_4 とほとんど変わらないから、この立直りは主として無処理群の成長量の低下によるもので、かならずしも No. 1~3, 8, 9 の採脂をやめたために生じたものとは考えられない。この点は処理効果の持続性という見方からさらに検討する必要がある。



第8—c 図 材積 Volume



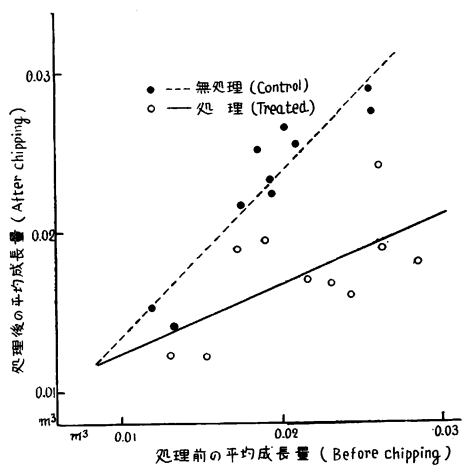
第9—a 図 直径 Diameter



第9—b 図 樹高 Height

第9 図 処理前対処理後の平均成長量

Fig. 9 Mean growth before chipping to that of the treated



第9—c 図 材積 Volume

第 19 表 連年成長量の修正平均値とその検定結果

Tab.19 Adjusted means of annual growth and its test

		修 正 平 均 値		処理 / 無処理 (%)	修正平均値の比較
		処 理	無 処 理		F の値 ($d \cdot f$ 1 と 17)
胸高直径 (mm)	y_1	3.16	3.57	88.46	1.56
	y_2	2.15	3.67	58.41	13.56 **
	y_3	1.76	4.34	40.65	30.91 **
	y_4	1.97	5.08	38.70	41.36 **
	y_5	1.91	3.80	50.22	26.55 **
樹 高 (cm)	y_1	20.47	20.33	100.69	0.004
	y_2	14.83	18.77	79.01	2.09
	y_3	16.00	24.80	64.52	18.64 **
	y_4	13.62	22.98	59.27	42.54 **
	y_5	14.78	23.62	62.57	26.99 **
材 積 (m^3)	y_1	0.018727	0.018931	98.92	0.015
	y_2	0.016692	0.023048	72.42	16.83 **
	y_3	0.016210	0.026429	61.33	30.57 **
	y_4	0.016465	0.028355	58.07	47.36 **
	y_5	0.015075	0.022428	67.21	27.56 **

第 20 表 回 帰 係 数 と そ の 検 定 結 果

Tab.20 Regression coefficient and its test

		回 帰 係 数		回 帰 係 数 の 比 較
		処 理	無 処 理	F の値 ($d \cdot f$ 1 と 16)
胸 高 直 径	y_1	0.6397	1.2528	3.46
	y_2	0.3057	1.2278	5.45 *
	y_3	0.2805	1.3244	5.71 *
	y_4	0.3213	1.1922	3.15
	y_5	0.3359	0.7125	0.92
樹 高	y_1	0.3571	0.7085	0.20
	y_2	0.8546	0.3815	0.44
	y_3	1.1835	0.1512	4.74 *
	y_4	0.7244	-0.1365	7.51 *
	y_5	0.8434	0.1081	3.05

第 20 表 (つ づ き)

		回 帰 係 数		回 帰 係 数 の 比 較
		処 理	無 処 理	F の 値 ($d \cdot f$ 1 と 16)
材 積	y_1	0.4572	0.9736	2.25
	y_2	0.4289	1.1493	6.06 *
	y_3	0.2857	1.1364	5.89 *
	y_4	0.5073	1.2110	4.27
	y_5	0.4673	0.7112	0.64

6. 要 約

処理前の成長状況が同一と認められる 2 群 (処理群と対照群) のアカマツについて、採脂後 5 年間の成長傾向を多変量解析の方法で比較した。その結果次のことがわかった。

1. 処理群の胸高直径、樹高、材積の定期平均成長量は、それぞれ無処理群の 53.5%, 72.1%, 69.8% にまで低下する。採脂によつて生じた材積成長量の 5 年間の損失は単木あたり $0.03602 m^3$ である。
2. 無処理群の成長曲線は上に凹で、処理群では逆に上に凸となる傾向がみられた。すなわち無処理群では連年成長量がいくぶん増加する傾向があるのに対して、処理群の連年成長量は年ごとに低下する。この違いは処理前の平均成長量が等しいもの間ではさらにはつきりする。
3. 処理効果のあらわれる時期は胸高直径、材積では採脂 2 年目以降、樹高では 3 年目以降である。

文 献

- 1) BARTLETT, M.S. : Further aspects of the theory of multiple regression. Proc. Camb. Phil. Soc. 34, 33, (1938)
- 2) Box, G.E.P. : A general distribution theory for a class of likelihood criteria. Biometrika, 36, (1949)
- 3) Box, G.E.P. : Problems in the analysis of growth and wear curves. Biometrics, 6, (1950)
- 4) CRIVELLARI, D. : Expériences sur les effets du gemmage sur *P. halepensis* Mill et sur *P. nigra* Arhold. (Abstract; For. Abstr. 11:2174. 1950)
- 5) HARPER, V.L. : The effect of turpentine on the growth of longleaf and slash pine. South. Forest Expt. Sta.; Occasional Paper, No. 64, (1937)
- 6) PHILLIPS, A. de : Les effets du gemmage sur *Pinus pinea* L. et sur *Pinus pinaster* Sol. (Abstract: For. Abstr. 11:2172. 1950)
- 7) RAO, C.R. : Tests of significance in multivariate analysis, Biometrika, 35, (1948)
- 8) RAO, C.R. : Advanced Statistical Method in Biometric Research. Wiley, (1952)
- 9) SCHOPMEYER, C.S. : Effects of turpentine on growth of slash pine: first year results. Forest Science, I, 2, (1955)
- 10) WILKS, S.S. : Certain generalization in the analysis of variance. Biometrika, 24, (1932)

- 11) Wilks. S. S. : Sample criteria for testing equality of means, equality of variances, and equality of covariances in a normal multivariate distribution. Ann. Math. Stat. 17, (1946)
- 12) 寺崎渡 : 関東地方アカマツ林収穫予想表, 林業試験場報告, 4, (1907, 明治 40)
- 13) WYMAN, L. : Experiments in naval stores practice. U. S. Dept. of Agriculture, Tech. Bulletin, 298, (1932)

On the Effect of Turpentining on the Growth of Pine Trees

Eishoh OHTOMO, Akira MANABE, Jiro MINAI and Kiku KANBE

(Résumé)

The growth trend, during five years, of two groups of Japanese red pine (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) in a district forest of the Kanto region, whose behavior of growth had been nearly equivalent before treatment (chipping by Japanese saws) was investigated by the method of multivariate analysis. Its results are as follows :

1. The reduction of mean growth, during five years after chipping, of diameters at breast height, heights, and volumes of turpentined trees is 53.5, 72.1, and 69.8 % respectively compared with round trees (controls). The loss of volume growth caused by turpentining during five years would be equal to 0.03602 m^3 per tree.
2. While the growth curves of round trees tend to be concave upwards, those of chipped trees convex on the contrary ; in the control group, the annual growth tends to increase more or less each year, but in the treatment group to decrease.

It seems that this difference appears more clearly in the two groups having equal mean growth.

3. The significant effects of turpentining seem to be seen two years after chipping in diameter and volume growth, and three years after in height growth.

付 表 Appendix

1. (x_1, x_2, x_3) に対する S.P. 行列

S.P. matrix for (x_1, x_2, x_3)

		胸 高 直 径			樹 高			材 積		
		x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3
(W_{ij})	x_1	2,559.00	1,593.30	1,476.50	747.40	494.90	254.70	5,566,411.70	3,417,124.30	3,065,937.70
	x_2		1,856.10	1,789.90		614.50	300.80		4,377,358.90	4,360,329.90
	x_3			2,184.50			353.80			5,881,382.50
$(Q_{ij} + W_{ij})$	x_1	2,610.20	1,598.10	1,542.10	757.20	488.60	240.00	5,825,192.95	3,737,785.55	3,237,358.95
	x_2		1,856.55	1,796.05		618.55	310.25		4,774,696.95	4,572,741.55
	x_3			2,268.55			375.75			5,994,934.95

2. $(\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x})$ に対する S.P. 行列

S.P. matrix for $(\bar{x}, x_1 - \bar{x}, x_2 - \bar{x})$

		胸 高 直 径			樹 高			材 積		
		$\bar{x}$	$x_1 - \bar{x}$	$x_2 - \bar{x}$	$\bar{x}$	$x_1 - \bar{x}$	$x_2 - \bar{x}$	$\bar{x}$	$x_1 - \bar{x}$	$x_2 - \bar{x}$
(W_{ij})	$\bar{x}$	1,813.222	63.044	-66.789	424.06	74.94	46.01	4,167,992.99	-151,501.76	-116,388.62
	$x_1 - \bar{x}$		619.689	-216.178		173.46	-50.11		1,701,422.23	-482,978.31
	$x_2 - \bar{x}$			176.456			98.42			442,143.15
$(Q_{ij} + W_{ij})$	$\bar{x}$	1,845.311	71.489	-95.078	425.47	69.80	47.00	4,410,066.33	-143,287.18	-48,324.98
	$x_1 - \bar{x}$		621.911	-223.622		192.13	-53.67		1,701,700.98	-480,668.62
	$x_2 - \bar{x}$			201.395			99.08			461,280.58

3. (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) に対する S.P. 行列

S.P. matrix for (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5)

		胸 高 直 径					樹 高				
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
(W_{ij})	y_1	2,310.50	1,652.50	1,702.50	1,496.50	1,116.70	750.6	212.4	194.8	121.2	92.4
	y_2		2,239.00	2,049.00	1,766.50	1,291.30		733.0	222.6	61.8	90.8
	y_3			2,645.00	2,243.50	1,646.50			415.8	152.6	175.4
	y_4				2,752.50	1,793.50				176.4	121.8
	y_5					1,548.50					280.2
$(Q_{ij} + W_{ij})$	y_1	2,328.55	1,781.70	1,930.50	1,776.75	1,284.85	750.8	216.6	203.8	130.6	101.4
	y_2		3,163.80	3,681.00	3,772.50	2,494.90		821.2	411.6	259.2	279.8
	y_3			5,525.00	5,783.50	3,770.50			820.8	575.6	580.4
	y_4				7,103.75	4,404.25				618.2	544.8
	y_5					3,114.95					685.2

		材 積				
		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
(W_{ij})	y_1	4,126,688.50	3,209,747.70	2,915,623.90	2,716,230.50	1,843,737.20
	y_2		4,196,532.50	3,806,263.10	3,630,038.50	2,471,889.40
	y_3			4,507,448.90	4,147,987.50	2,858,688.40
	y_4				5,125,217.00	3,555,147.50
	y_5					2,939,101.30
$(Q_{ij} + W_{ij})$	y_1	4,209,764.55	2,904,705.85	2,349,172.85	2,064,641.00	1,450,914.45
	y_2		5,316,596.95	5,886,179.95	6,022,570.00	3,914,271.15
	y_3			8,369,774.95	8,590,827.00	5,537,136.15
	y_4				10,235,822.00	6,636,170.00
	y_5					4,796,552.55

4. $(\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y})$ に対する S.P. 行列

S.P. matrix for $(\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y})$

		胸 高 直 径					樹 高				
		$\bar{y}$	$y_1-\bar{y}$	$y_2-\bar{y}$	$y_3-\bar{y}$	$y_4-\bar{y}$	$\bar{y}$	$y_1-\bar{y}$	$y_2-\bar{y}$	$y_3-\bar{y}$	$y_4-\bar{y}$
(W_{ij})	$\bar{y}$	1,800.50	-144.76	-0.84	256.80	210.00	209.90	64.38	54.22	22.34	-83.14
	$y_1-\bar{y}$		799.52	-2.40	-210.04	-369.24		411.94	-116.10	-101.82	-69.94
	$y_2-\bar{y}$			440.18	-7.46	-243.16			414.66	-63.86	-119.18
	$y_3-\bar{y}$				330.90	-23.80				161.22	3.50
	$y_4-\bar{y}$					532.00					132.78
$(Q_{ij}+W_{ij})$	$\bar{y}$	3,303.88	-1,483.41	-325.10	834.22	1,264.27	412.15	-131.51	-14.47	106.29	13.53
	$y_1-\bar{y}$		1,991.49	286.33	-724.19	-1,307.99		601.67	-49.57	-183.13	-163.57
	$y_2-\bar{y}$			510.12	-132.00	-470.55			437.99	-92.37	-152.01
	$y_3-\bar{y}$				552.68	381.13				196.07	43.63
	$y_4-\bar{y}$					1,271.33					178.99

		材			積	
		$\bar{y}$	$y_1-\bar{y}$	$y_2-\bar{y}$	$y_3-\bar{y}$	$y_4-\bar{y}$
(W_{ii})	$\bar{y}$	3, 328, 227. 82	-365, 822. 26	134, 666. 42	318, 974. 54	506, 696. 38
	$y_1-\bar{y}$		1, 530, 105. 20	112, 675. 72	-365, 756. 20	-752, 871. 44
	$y_2-\bar{y}$			598, 971. 84	24, 394. 32	-339, 552. 12
	$y_3-\bar{y}$				541, 272. 00	-5, 911. 24
	$y_4-\bar{y}$					783, 596. 42
$(Q_{ij}+W_{ij})$	$\bar{y}$	4, 945, 667. 51	-2, 349, 827. 77	-136, 802. 73	1, 200, 950. 67	1, 764, 338. 49
	$y_1-\bar{y}$		3, 963, 752. 58	445, 668. 84	-1, 447, 617. 56	-2, 295, 537. 23
	$y_2-\bar{y}$			644, 534. 90	-123, 635. 50	-550, 633. 27
	$y_3-\bar{y}$				1, 022, 206. 10	679, 870. 33
	$y_4-\bar{y}$					1, 761, 477. 51

5. $(\bar{x}, y_1, y_2, \dots, y_5)$ に対する S. P. 行列S. P. matrix for $(\bar{x}, y_1, y_2, \dots, y_5)$

		胸 高 直 径						樹 高					
		$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
(W_{ij})	$\bar{x}$	1,815.17	1,593.87	1,205.63	1,245.85	1,197.85	875.45	423.2	265.4	207.9	165.2	26.6	120.8
	y_1		2,310.50	1,652.50	1,702.50	1,496.50	1,116.70		750.6	212.4	194.8	121.2	92.4
	y_2			2,239.00	2,049.00	1,766.50	1,291.30			733.0	222.6	61.8	90.8
	y_3				2,645.00	2,243.50	1,646.50				415.8	152.6	175.4
	y_4					2,752.50	1,793.50					176.4	121.8
	y_5						1,548.50						280.2
$(Q_{ij} + W_{ij})$	$\bar{x}$	1,847.17	1,569.83	1,033.59	942.25	824.67	651.54	424.6	265.9	219.0	189.1	51.5	144.7
	y_1		2,328.55	1,781.70	1,930.50	1,776.75	1,284.85		750.8	216.6	203.8	130.6	101.4
	y_2			3,163.80	3,681.00	3,772.50	2,494.90			821.2	411.6	259.2	279.8
	y_3				5,525.00	5,783.50	3,770.50				820.8	575.6	580.4
	y_4					7,103.75	4,404.25					618.2	544.8
	y_5						3,114.95						685.2

		材				積	
		$\bar{x}$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
(W_{ij})	$\bar{x}$	4, 168, 432. 60	2, 828, 094. 90	3, 074, 652. 90	2, 710, 352. 50	3, 371, 565. 00	2, 383, 478. 70
	y_1		4, 126, 688. 50	3, 209, 747. 70	2, 915, 623. 90	2, 716, 230. 50	1, 843, 737. 20
	y_2			4, 196, 532. 50	3, 806, 263. 10	3, 630, 038. 50	2, 471, 889. 40
	y_3				4, 507, 448. 90	4, 147, 987. 50	2, 858, 688. 40
	y_4					5, 125, 217. 00	3, 555, 147. 50
	y_5						2, 939, 101. 30
$(Q_{ij} + W_{ij})$	$\bar{x}$	4, 410, 872. 80	2, 970, 013. 80	2, 553, 549. 60	1, 742, 683. 60	2, 258, 454. 00	1, 712, 419. 20
	y_1		4, 209, 764. 55	2, 904, 705. 85	2, 349, 172. 85	2, 064, 641. 00	1, 450, 914. 45
	y_2			5, 316, 596. 95	5, 886, 179. 95	6, 022, 570. 00	3, 914, 271. 15
	y_3				8, 369, 774. 95	8, 590, 827. 00	5, 537, 136. 15
	y_4					10, 235, 822. 00	6, 636, 170. 00
	y_5						4, 796, 552. 55

6. $(\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{x})$ に対する S. P. 行列

S. P. matrix for $(\bar{y}, y_1 - \bar{y}, \dots, y_4 - \bar{y} : \bar{x})$

		胸 高 直 径					樹 高				
		$\bar{y}$	$y_1 - \bar{y}$	$y_2 - \bar{y}$	$y_3 - \bar{y}$	$y_4 - \bar{y}$	$\bar{y}$	$y_1 - \bar{y}$	$y_2 - \bar{y}$	$y_3 - \bar{y}$	$y_4 - \bar{y}$
(W_{ij})	$\bar{y}$	975.50006	-394.29664	11.36246	241.88740	227.44746	151.52605	24.18219	35.37817	19.35731	-34.64549
	$y_1 - \bar{y}$		724.04302	1.23082	-214.55062	-363.96268		384.27017	-129.05601	-103.86685	-36.54435
	$y_2 - \bar{y}$			439.99952	-7.23942	-243.41808			408.58521	-64.81723	-103.52613
	$y_3 - \bar{y}$				330.63044	-23.48452				161.07203	5.97863
	$y_4 - \bar{y}$					531.63102					92.49303
$(Q_{ij} + W_{ij})$	$\bar{y}$	2,757.76090	-1,790.86666	-340.98274	868.00228	1,361.98494	340.81446	-169.16466	-32.90072	100.11504	63.75610
	$y_1 - \bar{y}$		1,818.31972	277.38510	-705.17402	-1,252.98058		581.79856	-59.29488	-186.38614	-137.05710
	$y_2 - \bar{y}$			509.65598	-131.01944	-467.70990			433.23128	-93.96268	-139.03244
	$y_3 - \bar{y}$				550.58844	375.08398				195.53786	47.97830
	$y_4 - \bar{y}$					1,253.84492					143.62684

		材 積				
		$\bar{y}$	$y_1 - \bar{y}$	$y_2 - \bar{y}$	$y_3 - \bar{y}$	$y_4 - \bar{y}$
(W_{ij})	$\bar{y}$	1,347,209.284	-334,432.184	-3,915.364	431,533.756	163,429.716
	$y_1 - \bar{y}$		1,529,607.884	114,871.564	-367,539.756	-747,432.216
	$y_2 - \bar{y}$			589,277.344	32,268.424	-363,565.236
	$y_3 - \bar{y}$				534,876.504	13,592.744
	$y_4 - \bar{y}$					724,115.884
$(Q_{ij} + W_{ij})$	$\bar{y}$	3,800,561.948	-2,718,001.108	-292,779.548	1,458,125.532	1,758,718.452
	$y_1 - \bar{y}$		3,485,377.768	395,519.408	-1,364,930.972	-2,297,344.192
	$y_2 - \bar{y}$			623,289.048	-88,605.332	-551,398.852
	$y_3 - \bar{y}$				964,448.188	681,132.568
	$y_4 - \bar{y}$					1,761,449.948