

森林施業体系因子の総合検討

森林施業体系因子の総合検討

I 試験担当者

機械化部 作業第一研究室 豊川勝生, 奥田吉春, 石井邦彦
 作業科長 辻 隆道

II 試験目的

この研究は、森林の中でも、経済林として考えられる人工林を対象に、森林施業の中の作業という側面から、施業方法の検討を行うものである。そのために、

- ① 施業体系、作業体系にかかわる具体的因子の検討
- ② 実行結果からの作業ごとの特徴把握
- ③ 作業間の関連と作業選択

の順に、研究を進めた。

III 試験の経過と得られた成果

この試験は、昭和50年度より始まり、昭和51年度、完了になったものである。

序

現在の保有作業には、密度管理や照度の理論がとり入れられ、また、造林投資に関しては、画一的な方法を避け、土地生産力に応じた傾斜投資方式が導入されるなど、より科学的な裏付けある方法への転換がはかられてきている。この様な現状で、施業体系選択基準、保育作業選択基準を考えると、その方法として、実験とか、モデルを作成してシュミレートさせる等の方法が考えられるが、一番簡単な方法として、現在ある林分を対象に、その林分に年々行なわれてきた作業の変化を検討する方法がある。本研究では、この方法を取り、資料としては、全営林局中、造林率64%（林地面積に対する造林地面積）で、第一位の実績をもつ高知営林局管内のスギ人工林を対象にした。

(1) 調査項目

資料数：スギ人工林	40年生以上	138例
	40年生未満	28例

営林署名, 林小班, 面積

地況: 傾斜, 方位, 標高, 温量指数, 土性, 土壌型, 有効深度, 堆積型, 局所地形

林況: 林令, Ha 当り蓄積, Ha 当り本数, 平均胸高直径, 平均樹高

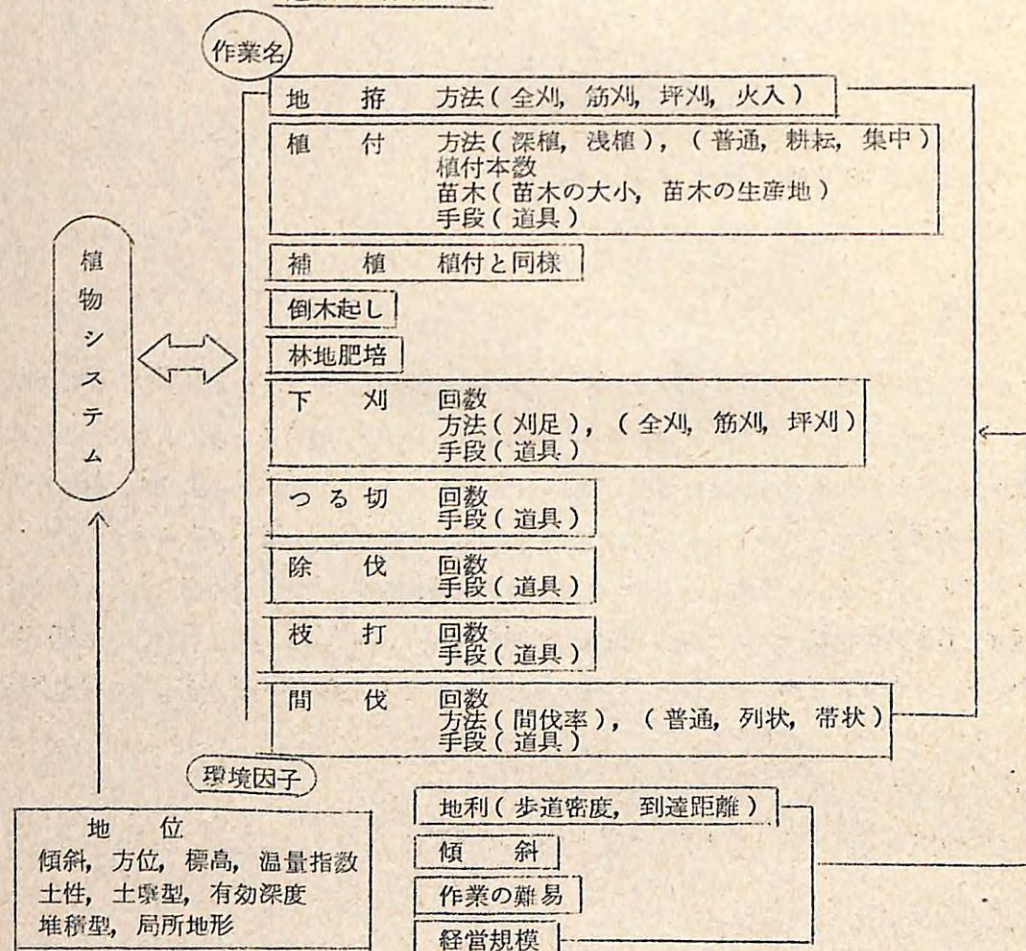
保育形成: 植栽本数, 年代別の作業名, 年代別のHa 当り人工数

環境: 歩道密度, 近くの部落からの到達距離

(2) 作業体系の考え方

作業体系を考える場合, 表1の様に, 実施年度や回数, 方法, 手段等はそれぞれの作業ごとに異なり, さらに, これらの作業が実施される林地そのものの影響も加わるという複雑な作業体系をなしている。本研究では, 各作業の基準となるものとして, 保育回数, 人工数を考えてみた。又, 年代としては, 保育作業完了時期からみて, 40~60年生の林分を中心に考えてみた。

表1 造林の作業体系



(3) 造林保育作業の実態

(イ) 保育回数, 保育人工数について

保育回数比は, 下刈が50%, 除伐が15%, つる切が12%となる。つまり, 回数においては, 植付から15年位の間に大半の保育を終えてしまうことになる。これを, 投下人工数の比でみると, 地拵9%, 植付15%, 下刈37%, 補植4%, その他が35%となる。ここで保育回数比とは, 全保育回数でそれぞれの作業の保育回数を割ったもので, 投下人工数の比とは, 総投下人工数で, それぞれの作業の人工数を割ったものである。

次に, 作業1回毎のHa 当り平均人工数をみると, 地拵9, 植付15, 下刈7, 補植4, その他の作業27となり, その他の作業, 除伐, つる切, 枝打, 間伐が手のかかる作業となることがわかる。なお, 作業ごと, 林令ごとに保育回数累計をとったのが, 図1, 図2, 図3である。これによって,

- ① 図1の作業別のものでは, 保育回数の多い, 下刈, つる切, 除伐の地位がⅠ, Ⅲ, Ⅱの順であり, 枝打, 間伐では後期になる程保育回数はⅢ, Ⅱ, Ⅰの順に多くなり, Ry 値においては, 間伐にその傾向が強い。
- ② 総合計保育回数を指標にした図2では, 地位別, Ry 値別の変化は, ほとんどない。
- ③ 図3の作業ごとの保育回数では, 下刈, 除伐, つる切, ……の順に多く, 下刈は1~7年, つる切りは8~15年, 除伐は10~30年の時期に多い。

(ロ) 形状比とRy 値について

保育作業を考える場合には, 作業の指標となるものに, Ry 値がある。これと, 形状比 (平均樹高-1.2/平均胸高直径) の関係を見ると, 図4の様になり, Ry 値が小さくなる程, つまり低密度に管理される程, 形状比が小さくなることがわかる。

(ハ) 植栽本数について

林令と植栽本数についての関係は, 図5の様になるが, 林令をいわゆる, 旧藩期, 国有林成立期, 特別経営期, 択伐期, 低迷期, 現代と分けてみると, 国有林の成立期では, まだ施業方針も一定でない様で植栽本数も一定でなく, 特別経営期に入って, 植栽本数は一定となり, 択伐期では, バラツキがみられ, 低迷期では疎植時代となることがわかる。

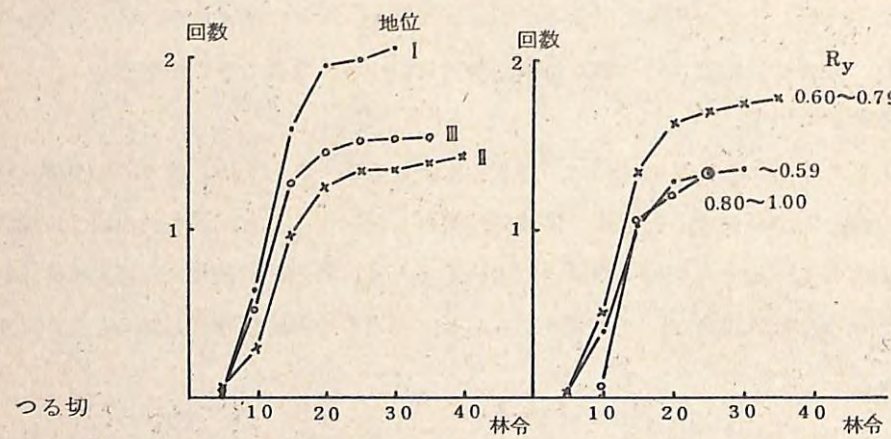
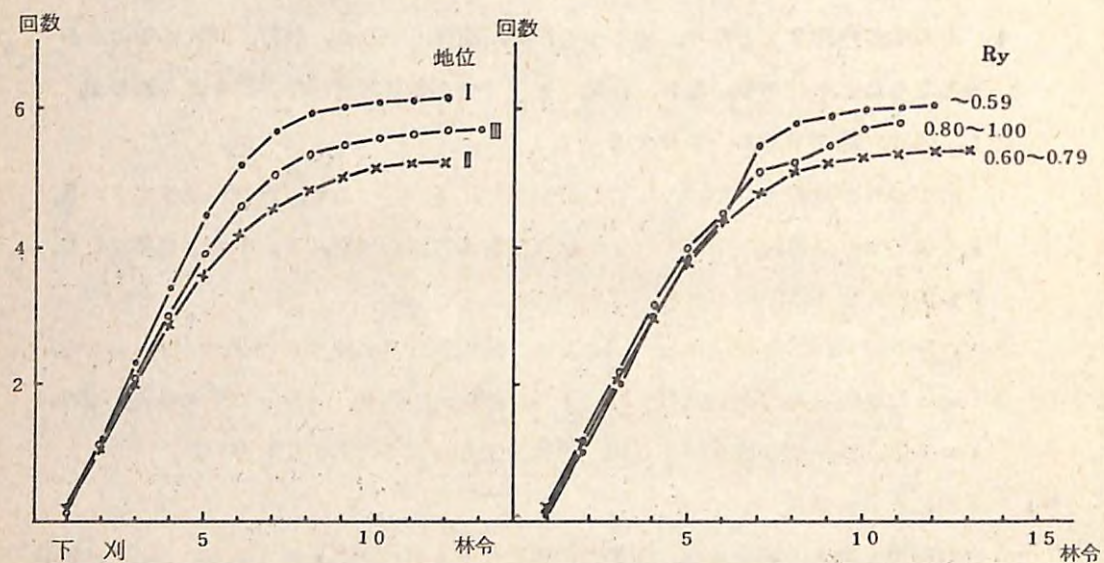
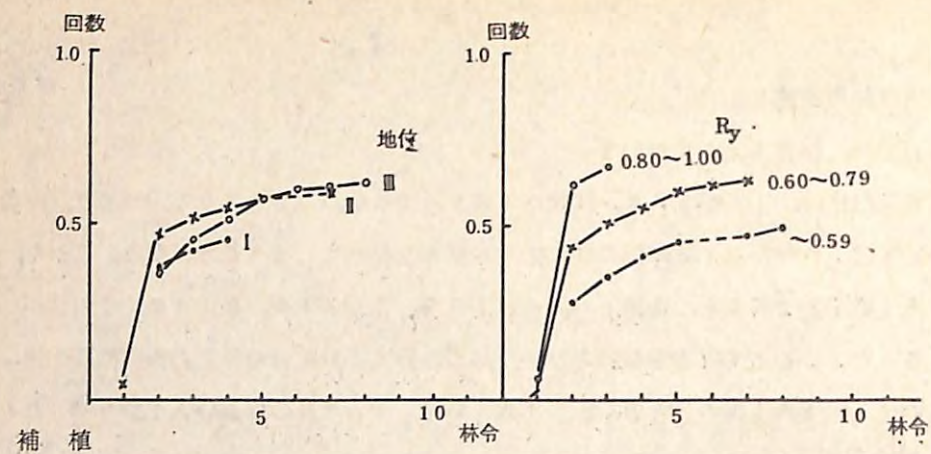
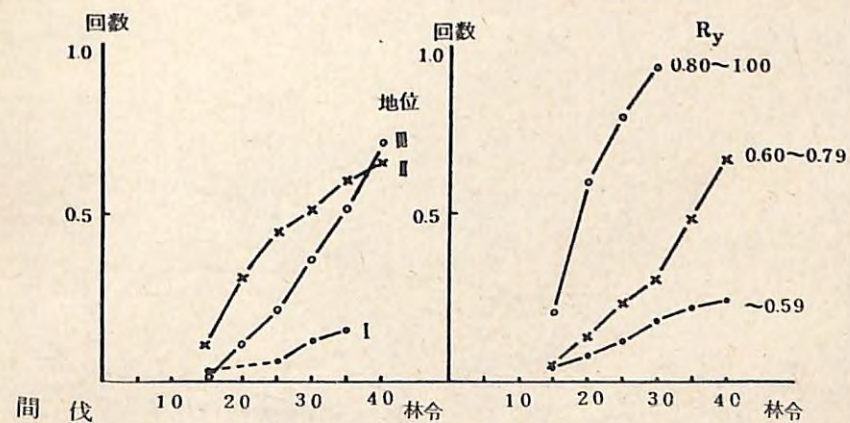
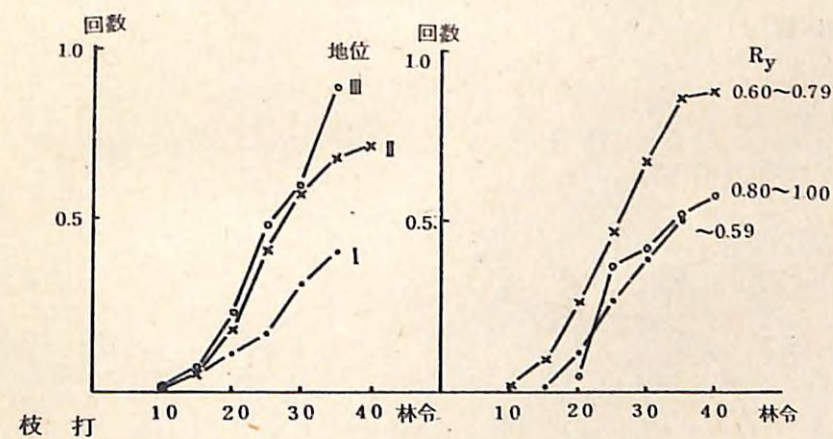
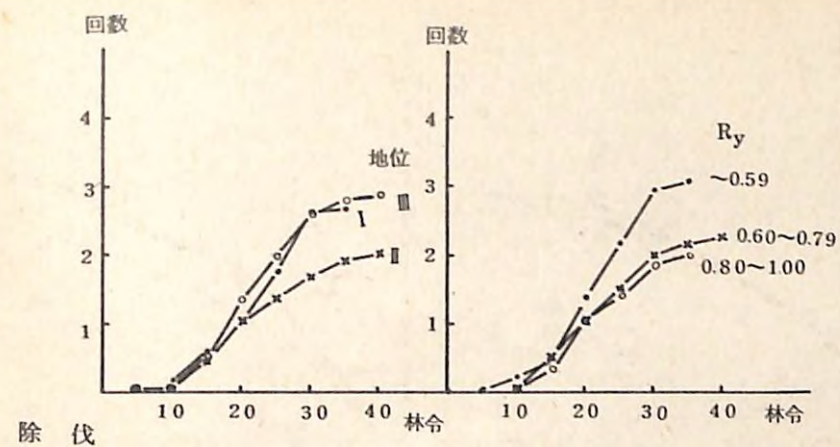


図-1



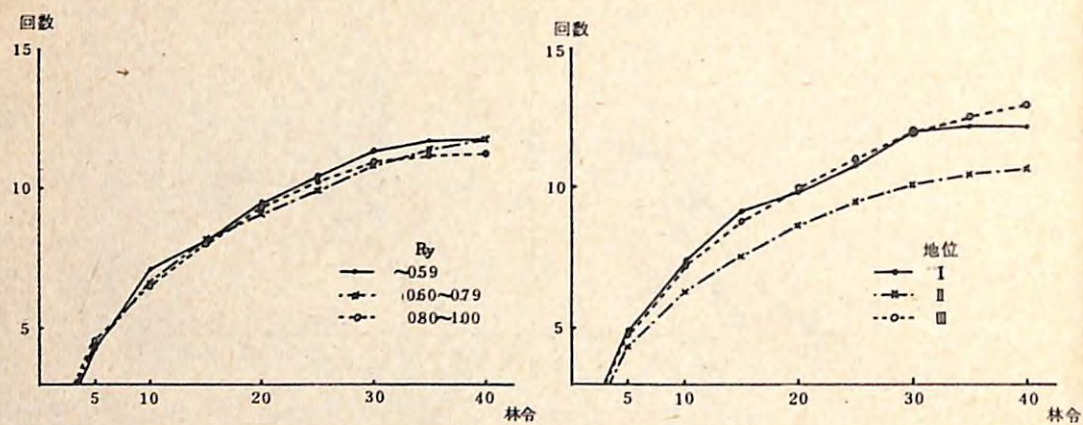


図2 保育回数

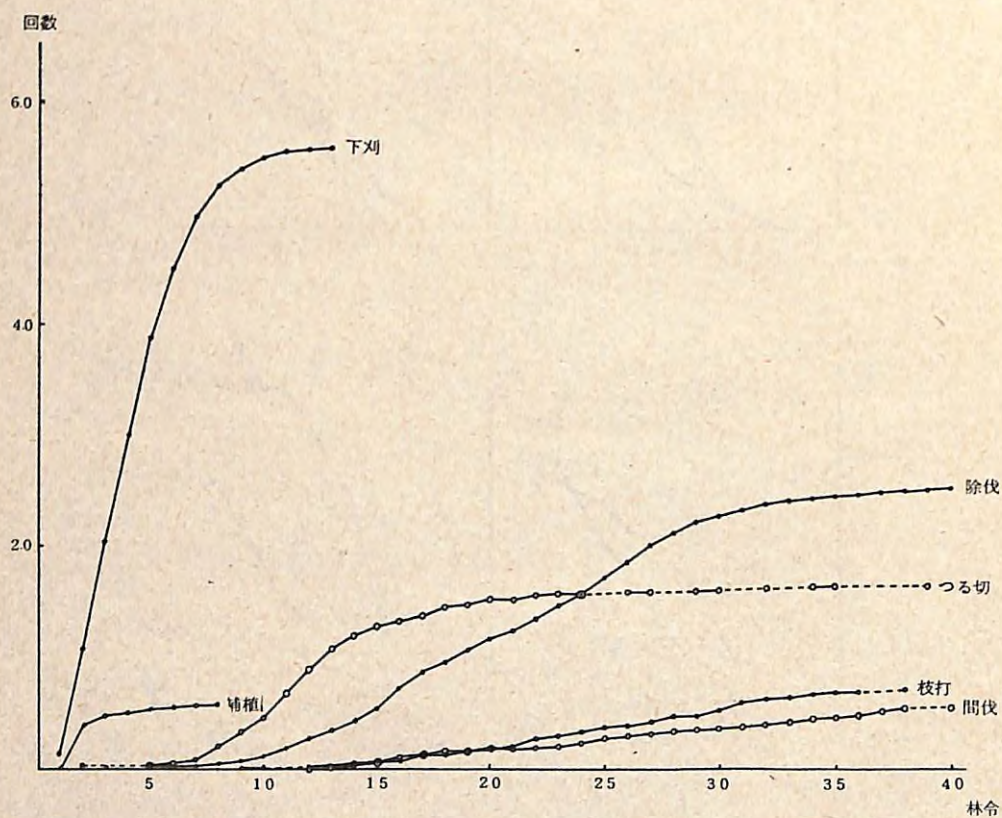


図3 作業毎の保育回数

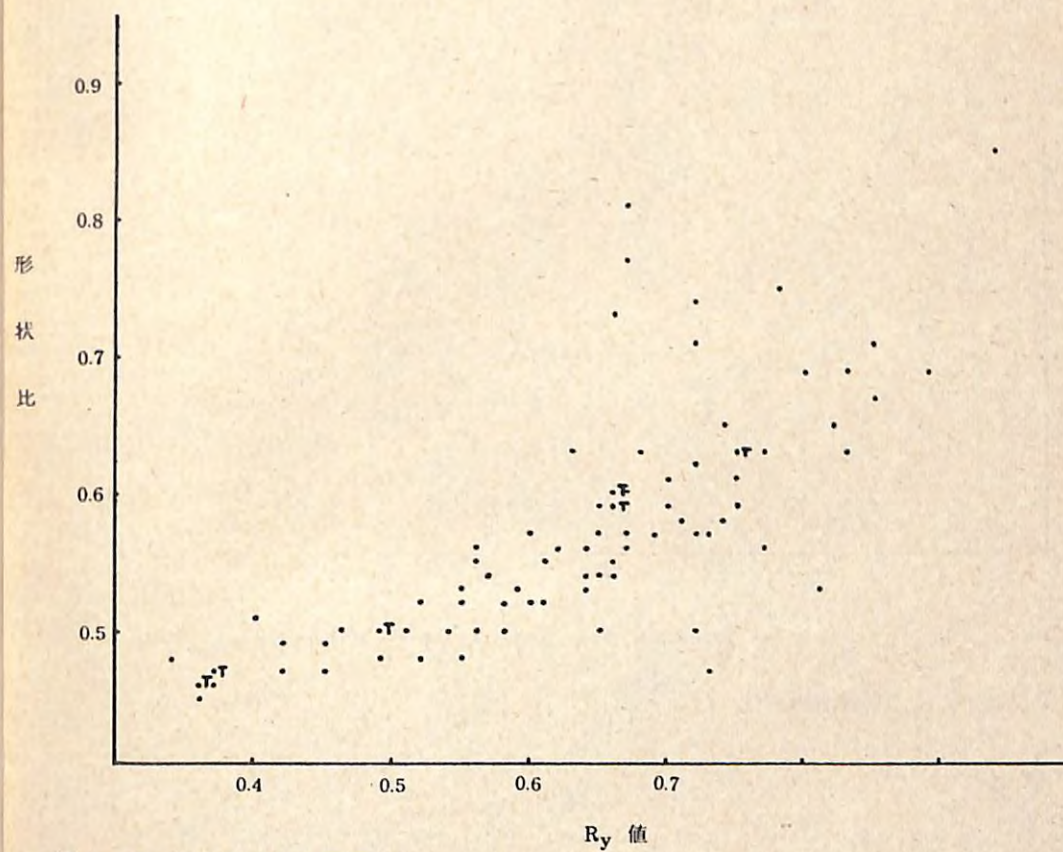


図4 Ry 値と形状比の関係

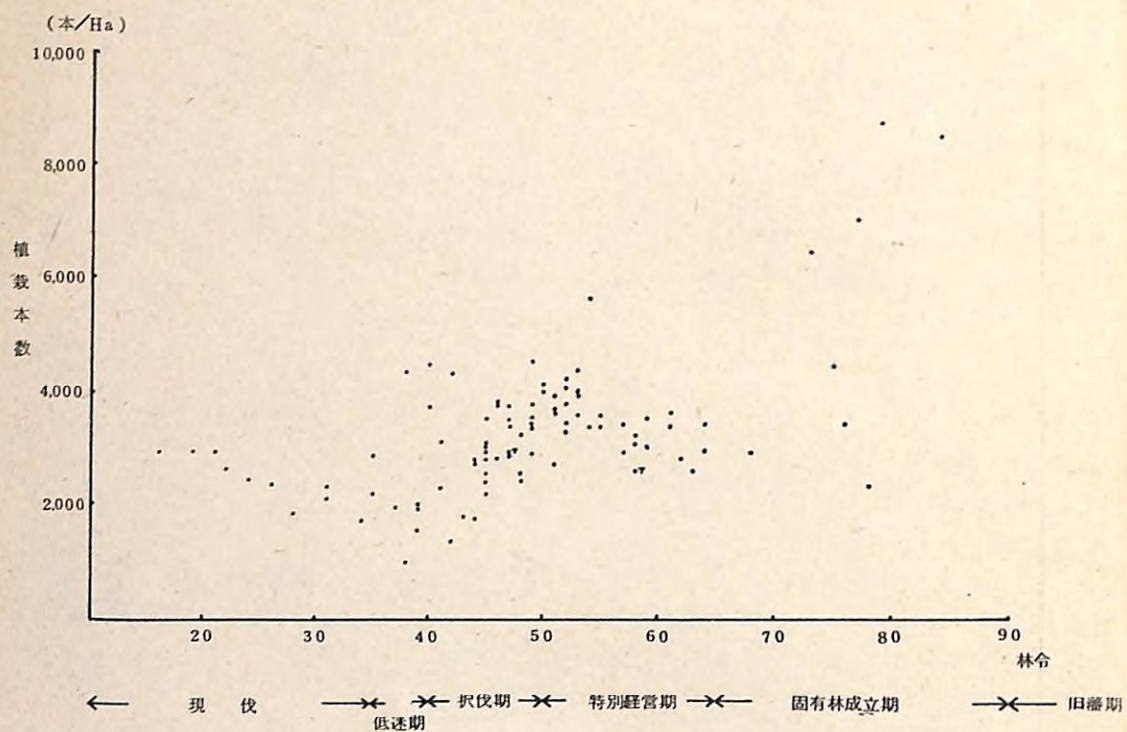


図5 林令毎による植栽本数変化

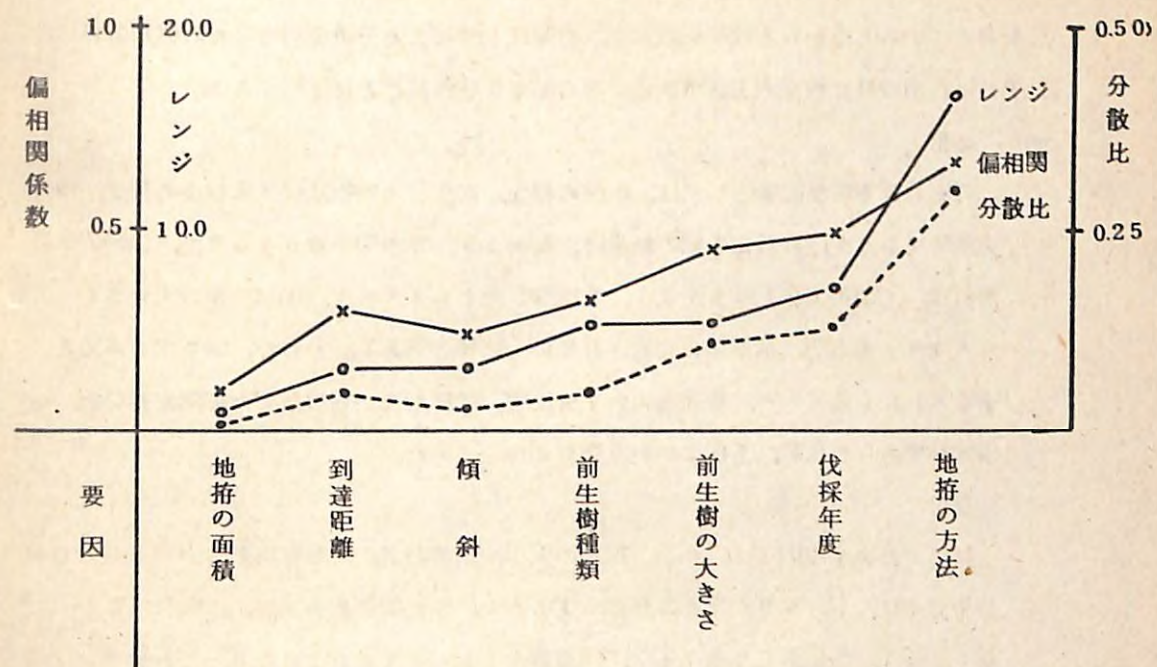


図6 地拵

(4) 作業工程について

環境因子が、どの程度人間の作業に変化を与えるかを把握するため、それぞれの作業に影響を与えていると思われる因子を選んで、数量化I類による分析を行なった。外的基準はそれぞれの作業のHa当り人工数である。その結果を各作業ごとに述べてみる。

イ) 地拵

考えられる環境因子としては、植生の種類、密度、地被物及び末木枝条の種類、地拵方法等であるが、数量化I類の結果は、 $N=54$ 、重相関係数 0.802 で、偏相関係数順位は、①地拵方法(0.672)、②伐採年度(0.486)、③前生樹の大きさ(0.448)で方法、前生樹に左右されている作業といえる。これを、スコアでみると、手を入れた(筋置とか、普通火入れ)方法程、伐採してから放置した期間が長い程、以前前大林であった所程、工程はかかり増しとなっていた。

ロ) 植付

植付に影響する因子は、傾斜、苗木の大小、地拵の方法、植付本数等が考えられるが、分析結果は、 $N=99$ 、重相関係数 0.713 で、偏相関係数順位は、①植付本数(0.625)、②傾斜(0.274)、③地拵人工数(0.269)となり、これをスコアで考えると、植付本数の多い程、工程はかかり増しとなる。

ハ) 下刈

下刈は、方位、植栽木の大きさ、植付本数等に影響を受けられる。分析結果は、 $N=754$ で、重相関係数 0.770 、偏相関係数順位は、①時代(0.584)これは、現在の林令で10年ごとに分けたもの、②前回との比較(0.456)……現在の人工数を前回の人工数で除した割合、③林令(0.359)……下刈が入った時の林令であった。スコアとの関連で、これをみると、時代は過去になる程、又、林令が高くなる程、工程はかかり増しとなっており、その他、植付本数が多くなる程、又、混交率が50%に近くなる程、つまり樹種が単一樹種でない程、工程はかかり増しとなる。又、間隔を入れた分析では、間隔が開く程、工程は大、下刈回数を外的基準とした場合には、日当りの良い南側の山頂附近程、回数を少なめにして終了している結果となっている。

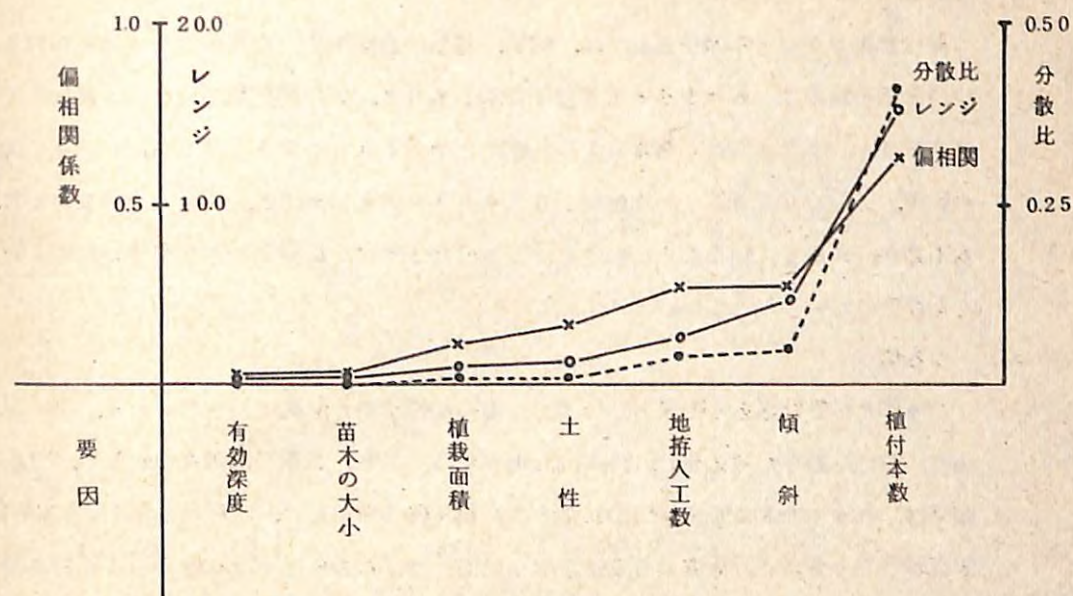


図7 植付

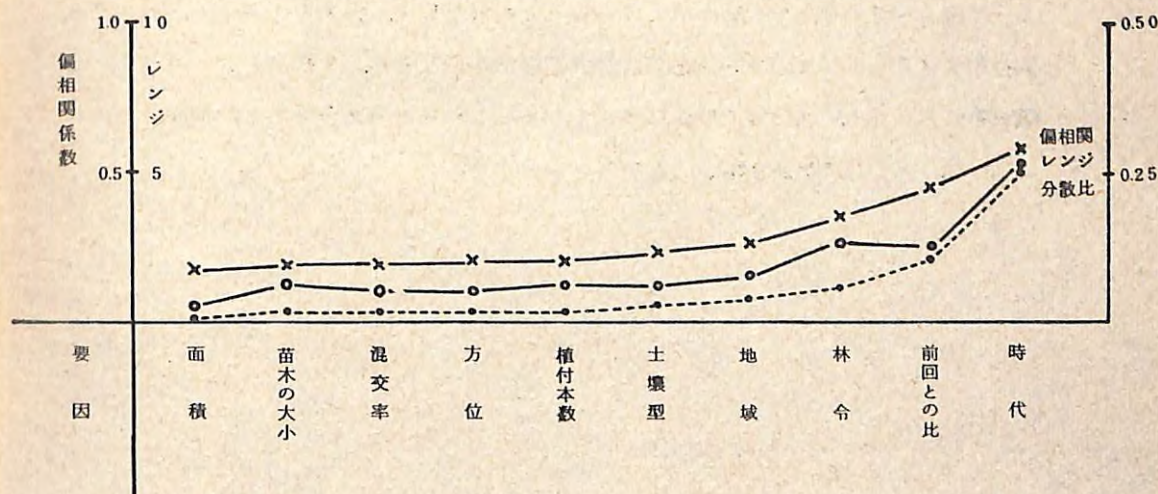


図8 下刈

二) 除伐

除伐に影響を与える因子としては、傾斜、植生の種類密度、立木密度等が考えられるが、分析の結果は、 $N=168$ で重相関係数 0.868 、偏相関係数順位は、①林令(0.769)、②温量指数(0.401)、③局所地形(0.377)の順であった。その他の因子、方位(0.336)、土壌型(0.306)を考え合わせると、乾いた南向き斜面に、人工数が、かかっていることがわかる。この様な土地は、広葉樹が入りやすい地形といえるのではないだろうか。

ホ) つる切

つる切に影響を与える因子としては、つるの出やすさと関係すると思われる、土壌型、方位、植付本数等が考えられ、作業的な面からは、傾斜、面積等が考えられるが、分析結果は、 $N=163$ で重相関係数 0.739 、偏相関係数順位は、①局所地形(0.547)、②面積(0.484)、③方位(0.471)であった。この他、レンジの高い、植付本数等を考え合えると、中腹で方位は南向き傾斜は緩い所という作業のしやすい所につるは茂りやすく、又、面積の小さい程、植付本数の多い程、作業はしにくいと考えられる。

ヘ) 枝打

枝打に影響を及ぼす因子としては、小出氏は、枝打する幹の高さ、地形、本数密度、単位面積当りの枝打本数をあげている。又、枝の太さは立木本数密度、土壌のちがいで決まってくるとしている。これらのことを考慮して、分析してみると、 $N=75$ 、重相関係数 0.699 で、レンジと偏相関係数順位が異なるが、①樹高(0.619)、②傾斜(0.350)、③方位(0.309)となる。これらを考え合えると、南向きの樹高が高い程、人工数はかかり増しとなることがわかる。

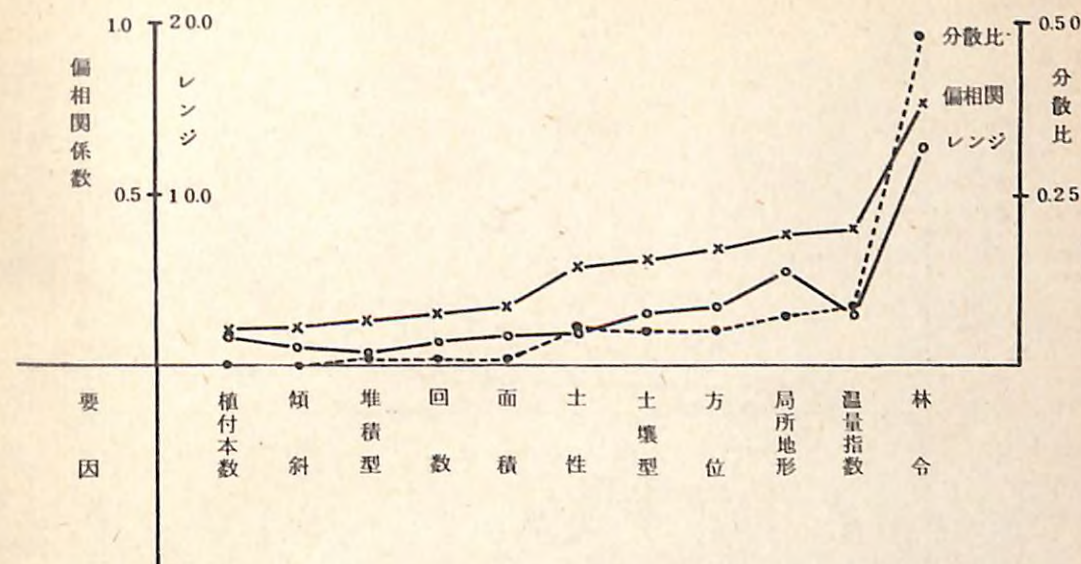


図9 除伐

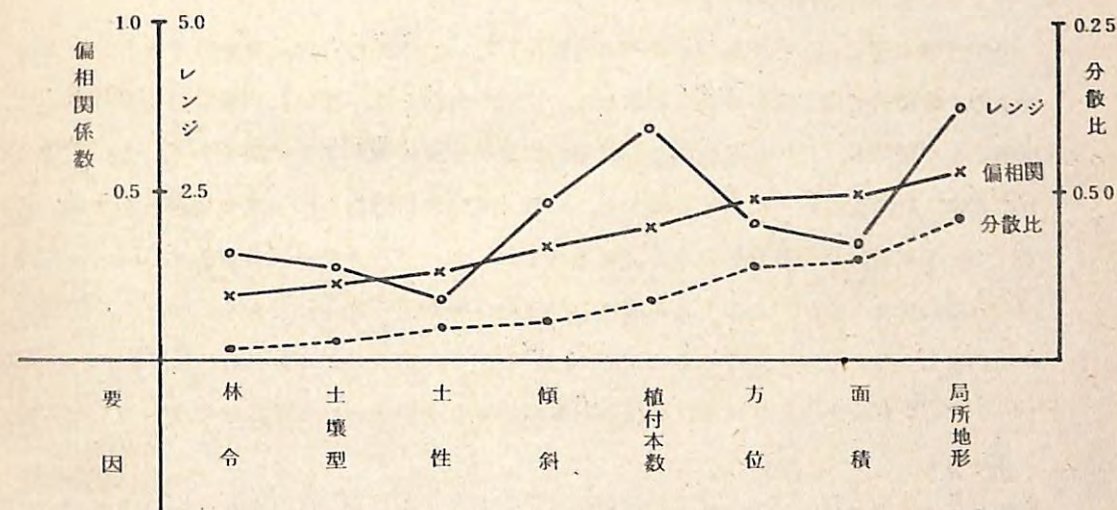


図10 つる切

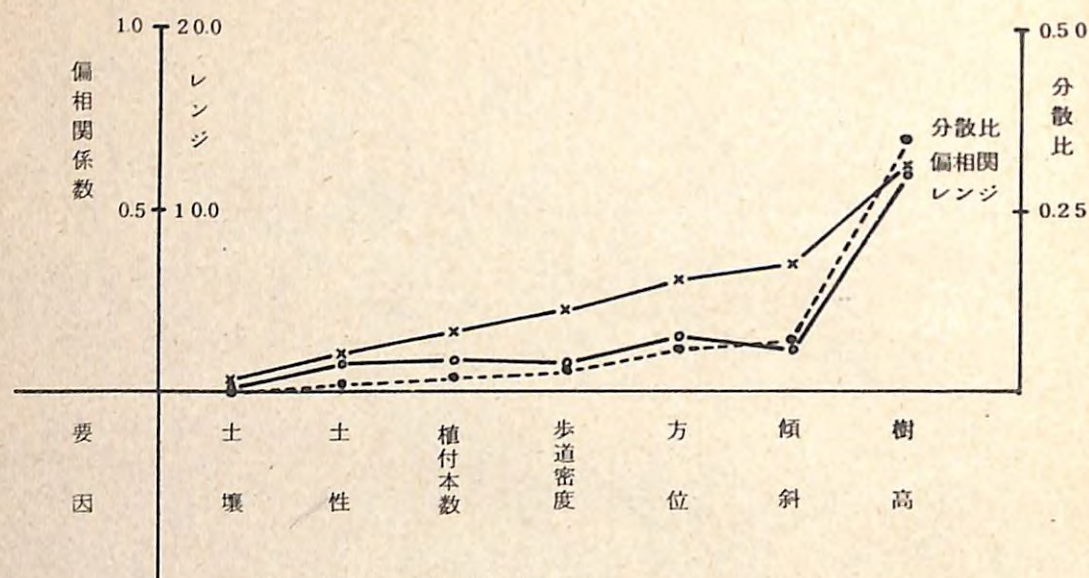


図 1.1 枝 打

(5) 作業間の関連性と作業のパターン

各作業間の関連と、各作業のパターン分類を行ない、作業の選択基準を得ようとしたものである。分析方法は主成分分析を使用した。主成分分析とは、互いに相関のある多種類の特性値のもつ情報を、互いに無相関な少数個の総合特性値に要約する手法である。この主成分分析には、相関行列から出発する場合と、分散・共分散行列から出発する場合とがある。さて、ここで主成分分析の分析の考え方を述べておくと、データを主成分分析すれば、情報は得られるのであるが、どこまでとればある程度の情報が得られるかである。つまり、主成分の第何番目までとるかということであるが、経験的に、次のことが言われている。

- ① 一応の情報をとり出すには、累積寄与率が、60%以上となる主成分の番号までとれば良いこと。
- ② とる主成分の番号の寄与率が平均以上であること。このことは、分散・共分散行列から出発した時は、固有値 \geq 各固有値の和/主成分の個数 となる固有値の主成分番号までということであり、相関行列から出発した場合は、固有値 ≥ 1.0 となっている主成分番号までということと同じことである。
- ③ なるべく各主成分の各変数に対する寄与率が、それぞれ50%以上となること。

この3つの条件のうち、①、②は必須条件であるが、③の条件は、これをすべて満たすためには、主成分数を大分とらなければならないので、この報告では、①、②の条件を中心として考え、その上で、③の条件も考えることとする。

1) 作業間の関連性

1) 作業ごとの人工数による分析

各作業間の関係をみるために主成分分析にかけてみた。特性値としては、①地拵、②植付、③補植、④下刈、⑤つる切、⑥除伐、⑦枝打、⑧間伐、の各総人工数である。前にも述べた様に、主成分分析は、相関行列から出発する場合と、分散・共分散行列から出発する場合があるが、このどちらか一方のあてはまりの良い方を選べば良いことになる。この場合は、分散・共分散から出発した場合を中心に考えてみた。

この場合、第何主成分までとするかを決めると、①累積寄与率が60%以上となるのは、第2主成分まで、②固有値 λ が $\lambda \geq \sum V_{ii} / P$ となるのは、 $P=8$ なので $\lambda \geq 380.96$ 。よって第2主成分まで、③なるべく各主成分の各変数に対する寄与率が、それぞれ50%以上となるためには、第4主成分までとなる。

表 2

主 成 分 №	固 有 値	累 積 寄 与 率
1	1 6 1 4.3 8	0.5 3
2	6 4 2.1 7	0.7 4
3	2 9 3.5 8	0.8 4
4	1 6 1.6 8	0.8 9
5	1 4 5.3 0	0.9 4
6	9 0.1 7	0.9 7
7	7 3.3 8	0.9 9
8	2 7.0 0	1.0 0

次に、それぞれの作業の人工数から総合特性値である第1主成分から第8主成分までを表わすそれぞれの係数(固有ベクトル)で、第1主成分から第4主成分までを表わしてみると、

$$\text{第1主成分 } Z_1 = -0.05X_1 + 0.03X_2 \cdots + 0.98X_6 + \cdots - 0.12X_8$$

第2主成分 $Z_2 = 0.05X_1 + 0.03X_2 + \dots + 0.34X_7 + 0.93X_8$

第3主成分 $Z_3 = 0.15X_1 + 0.13X_2 + \dots + 0.97X_4 + \dots - 0.05X_8$

第4主成分 $Z_4 = 0.03X_1 + 0.75X_2 + 0.62X_3 - \dots + 0.02X_8$

となる。(X₁:地拵 X₂:植付 …… X₈:間伐)

表3 固有ベクトル

作業名	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
① 地拵	-0.05	0.06	0.15	-0.03
② 植付	0.03	0.03	0.13	0.75
③ 補植	-0.01	0.02	0.07	0.62
④ 下刈	0.08	0.02	0.97	-0.13
⑤ つる切	0.04	0.12	0.03	-0.17
⑥ 除伐	0.98	0.06	-0.09	0.01
⑦ 枝打	0.15	0.34	0.05	-0.08
⑧ 間伐	-0.12	0.93	-0.05	0.02

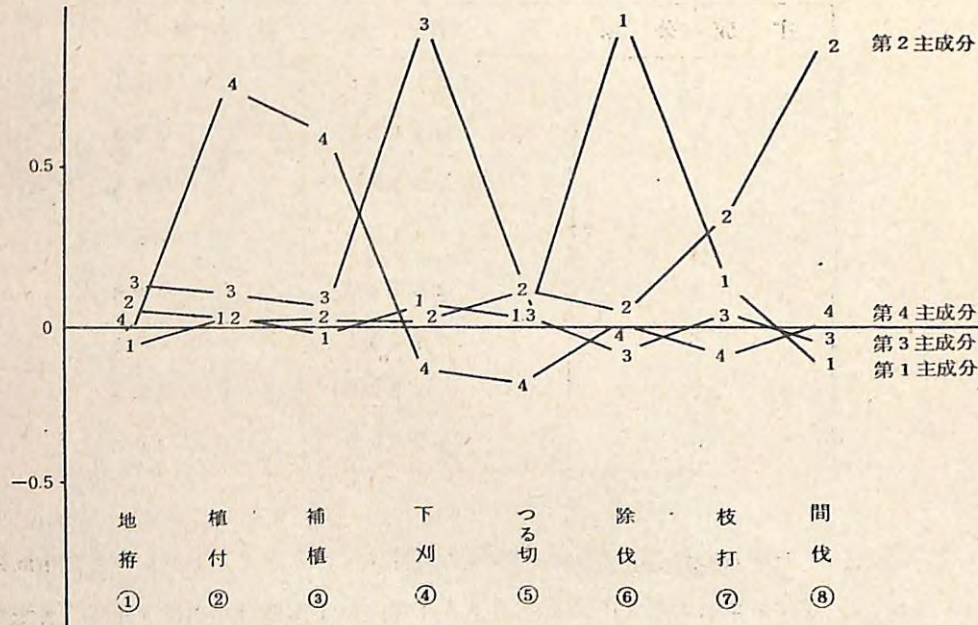


図12 固有ベクトル

この固有ベクトルを図にしたものが、図12である。また、因子負荷量は表4、図13の様になる。但し、図では、第3主成分までを描いている。この各主成分に対する固有ベクトルと因子負荷量から、各主成分の意義を解釈してみる。

表4 因子負荷量

作業名	Z ₁	Z ₂	寄与率	Z ₃	寄与率	Z ₄	寄与率
① 地拵	-0.22	0.18	0.28	0.27	0.39	-0.03	0.39
② 植付	0.11	0.07	0.13	0.21	0.25	0.90	0.93
③ 補植	-0.03	0.05	0.06	0.14	0.15	0.87	0.88
④ 下刈	0.19	0.03	0.19	0.97	0.99	-0.10	0.99
⑤ つる切	0.17	0.29	0.34	0.05	0.34	-0.21	0.40
⑥ 除伐	1.00	0.04	1.00	-0.04	1.00	0.00	1.00
⑦ 枝打	0.39	0.56	0.68	0.06	0.68	-0.07	0.68
⑧ 間伐	-0.19	0.97	0.99	-0.04	0.99	0.01	0.99

① 第1主成分

固有ベクトルでは、除伐の係数が高く、他の作業は、ほとんど0である。これを因子負荷量でみると、除伐、枝打、下刈、つる切の順となる。つまり、幹生産という林業においては、これらの作業は少なければ少ない程良い作業であり、非生産的な作業に関係する成分といえる。一応作業名をとって、除伐型とする。

② 第2主成分

固有ベクトルでは、間伐の係数が高く、次に枝打、つる切となっている。係数はすべて正である。これを因子負荷量でみると、間伐、枝打、つる切の順となる。これは、林分成長において幹の太さに関係する成分といえるのではないと思われる。一応作業名をとって、間伐型とする。

③ 第3主成分

固有ベクトルでは、下刈の係数が高く、他の作業は、ほとんど0である。これを因子負荷量でみると、下刈、地拵、植付、補植の順となる。このことから、第3主

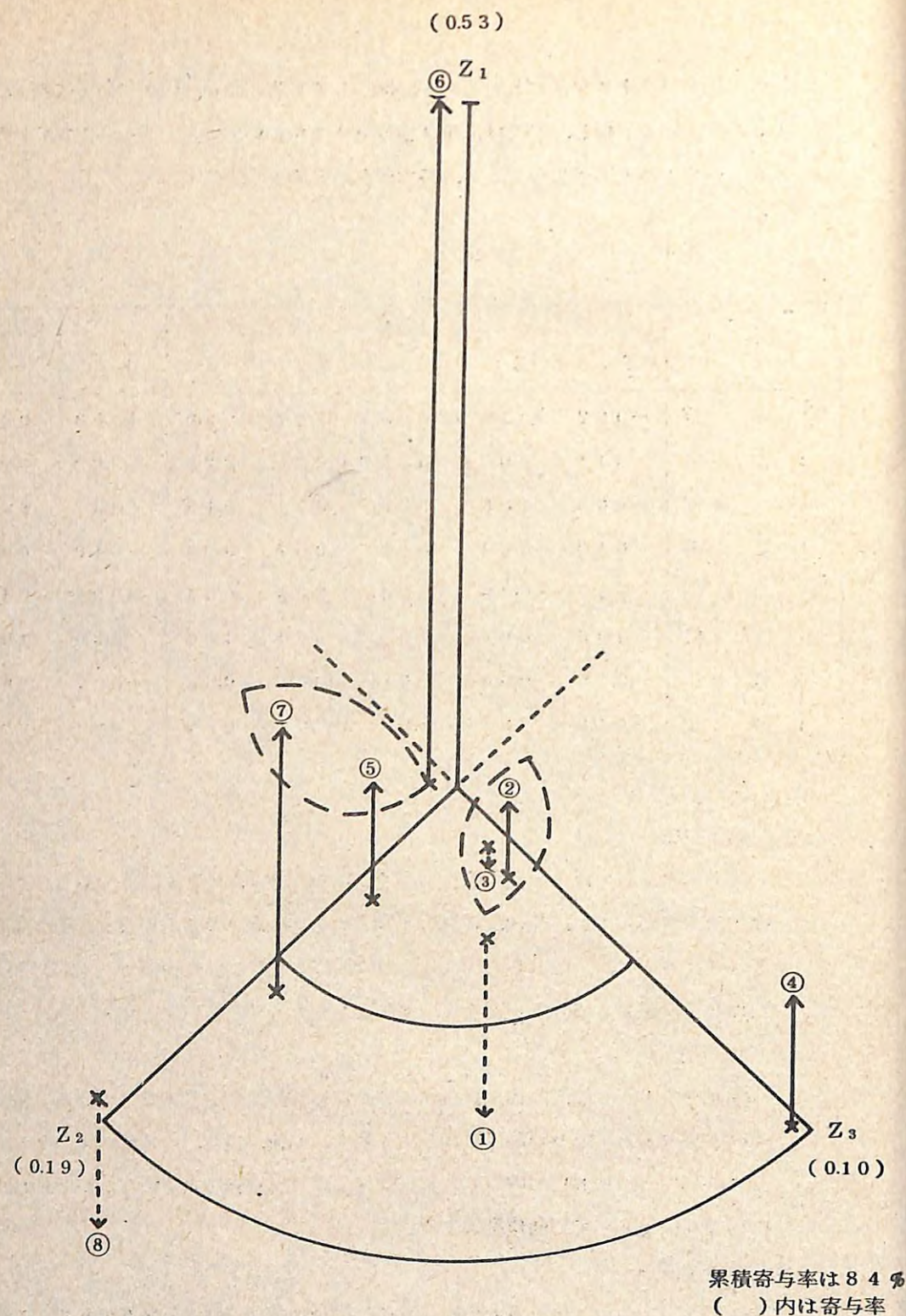


図13 作業間の関連を示す図

成分には、植生と関係の深い作業が集まっているといえる。一応、作業名をとって、下刈型とする。

④ 第4主成分

固有ベクトルでは、植付、補植の順に係数が高く、他の作業は、ほとんど0である。これは、苗木に関係する成分といえる。一応、作業名をとって、植付、補植型とする。

次に、因子負荷量で作業間の関連性をみると(図13)、枝打とつる切、植付と補植がそれぞれのグループをなし、他の作業はそれぞれ別々に位置している。これは枝打とつる切、植付と補植が同様な作業形態をなしていると考えられる。枝打とつる切は、それぞれ幹にまわりつく枝、つるを切る作業でありその位置的な意味で同じグループになったと思われる。植付と補植は、苗木植付という同様な作業形態から、同じグループになったと思われる。

ここで、軸の安定性について考えてみる。軸の安定性とは、それぞれ、第1主成分が除伐型、第2主成分が間伐型、第3主成分が下刈型、第4主成分が植付型と名づけたわけであるが、この各主成分スコアとそれぞれの名づけられた作業名の人工数を使って、t検定を行ない、さらに軸の意味づけをはっきりさせることである。今、それぞれのスコアを大きさの順にならべ、大きいものを30例、小さいものを30例を取り出す。これを使って、t検定を行なってみると、表5のようになる。この表からわかる様に、各主成分の意味づけに使用した作業名が、各主成分とも1%水準で有意となり(補植のみ5%水準で有意)、各主成分の意味づけが、正しいこととなる。

表5

主成分名	使用する人工数の作業名	t検定値	自由度	
1	除伐	8.357	58	$t_{58}(0.01)$
2	間伐	5.719	58	$=2.66$
3	下刈	15.294	58	$t_{58}(0.05)$
4	植付	3.676	58	$=2.00$
	補植	2.157	58	

ii) 作業ごとの回数による分析

i) で作業ごとの人工数の分析を行なったので、次に作業ごとの回数の分析を行なってみた。作業としては、③補植、④下刈、⑤つる切、⑥除伐、⑦枝打、⑧間伐、⑨倒木起しをとってみた。分析は、分散・共分散から出発した場合をとった。主成分数は、①累積寄与率が60%以上となるのは、第2主成分まで、②固有値 λ が $\lambda \geq \sum V_{ii} / P$ となるのは、 $P=7$ なので $\lambda \geq 1.753$ 。よって、第2主成分まで、③なるべく各主成分の各変数に対する寄与率が、それぞれ50%以上となるためには、第3主成分までとなる。(ここで作業名番号を③~⑨ととったのは、i)の作業名番号と同じにするためである。)

表6

主成分No	固有値	累積寄与率
1	5.295	0.43
2	2.915	0.67
3	1.660	0.80
4	1.129	0.90
5	0.621	0.95
6	0.423	0.98
7	0.229	1.00

次に、固有ベクトル(それぞれの主成分を表わすために特性値にかかる係数)の式は、

$$\text{第1主成分 } Z_1 = -0.02X_3 + 0.20X_4 + \dots + 0.97X_6 + \dots - 0.03X_9$$

$$\text{第2主成分 } Z_2 = 0.04X_3 + 0.11X_4 + 0.51X_5 + \dots + 0.74X_6 + 0.22X_9$$

$$\text{第3主成分 } Z_3 = 0.08X_3 + 0.79X_4 + 0.37X_5 - \dots + 0.20X_9$$

となる。(X_3 : 補植 X_4 : 下刈 \dots X_9 : 倒木起し)

この固有ベクトルを図にしたものが、図14である。また、因子負荷量は表8、図15のようになる。但し、図では、第2主成分までを描いている。この各主成分に対する固有ベクトルと因子負荷量から、各主成分の意義を解釈してみる。

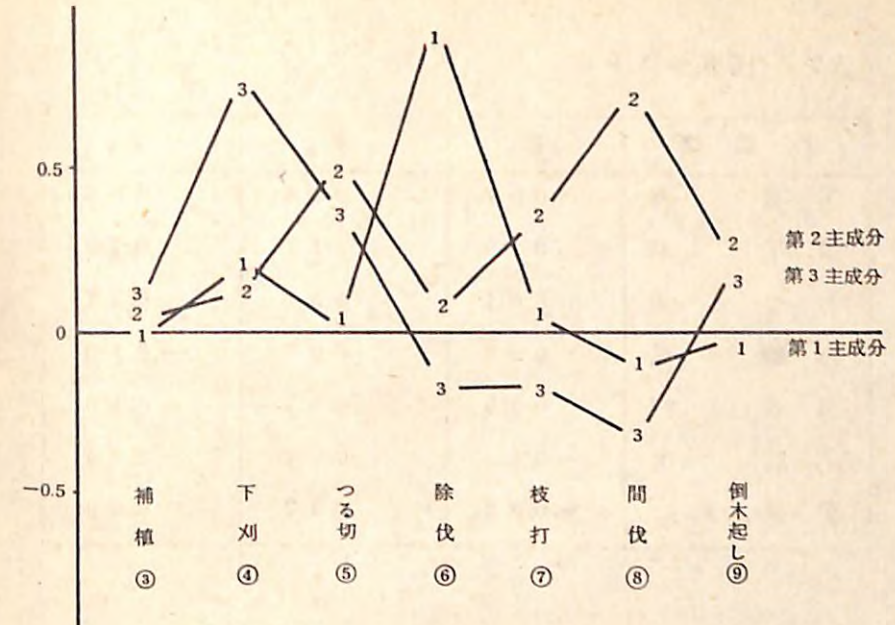


図14 固有ベクトル

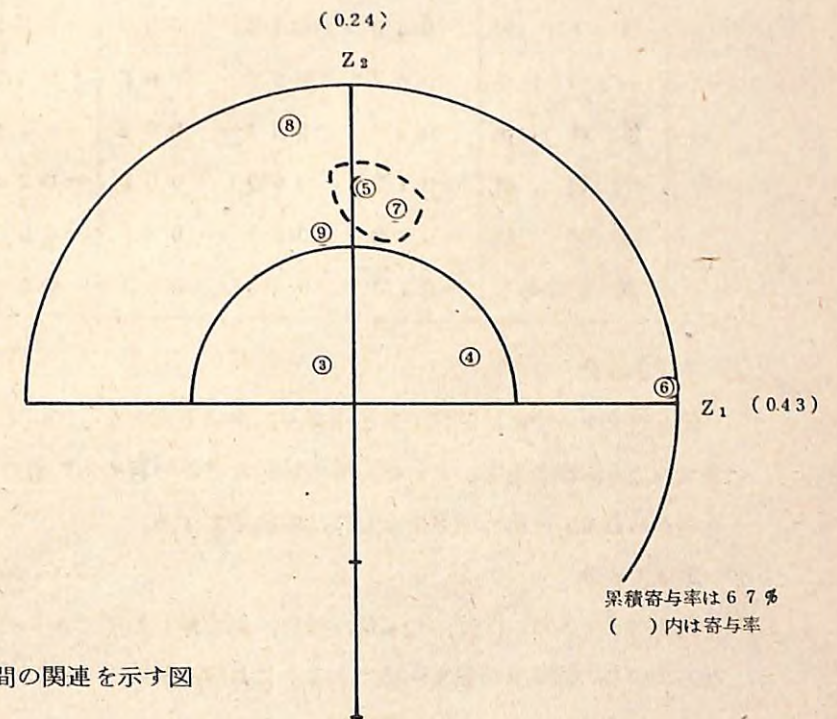


図15 作業間の関連を示す図

表7 固有ベクトル

作業名	Z_1	Z_2	Z_3
③ 補植	-0.02	0.04	0.08
④ 下刈	0.20	0.11	0.79
⑤ つる切	0.01	0.51	0.37
⑥ 除伐	0.97	0.05	-0.19
⑦ 枝打	0.05	0.35	-0.18
⑧ 間伐	-0.11	0.74	-0.34
⑨ 倒木起し	-0.03	0.22	0.20

表8 因子負荷量

作業名	Z_1	Z_2	寄与率	Z_3	寄与率
③ 補植	-0.08	0.13	0.15	0.17	0.23
④ 下刈	0.36	0.15	0.39	0.81	0.90
⑤ つる切	0.02	0.68	0.68	0.37	0.77
⑥ 除伐	0.99	0.04	0.99	-0.11	1.00
⑦ 枝打	0.13	0.60	0.62	-0.24	0.66
⑧ 間伐	-0.18	0.87	0.89	-0.30	0.94
⑨ 倒木起し	-0.10	0.53	0.54	0.36	0.65

① 第1主成分

固有ベクトルでは、除伐の係数が高く、次に下刈となっている。これは因子負荷量でみても同様である。これは、非生産的な外界の目的木以外の植生に関する成分と考えられる。一応作業名をとって、除伐型とする。

② 第2主成分

固有ベクトルは、間伐、つる切、枝打、倒木起しの順であり、係数はすべて正となっている。因子負荷量も同様である。これは、幹の太さに関係する因子と考えられる。一応作業名をとって、間伐型とする。

③ 第3主成分

固有ベクトルは、下刈、つる切、倒木起しの順であり、マイナスの因子として、間伐、枝打、除伐がある。因子負荷量も同様である。これは、植生の因子、特に草本の植生因子に関係するものと考えられる。一応作業名をとって、下刈型とする。

次に、因子負荷量で、作業間の関連をみると、図15の様に、(i)と同様に、枝打とつる切がグループをつくる。以上の様に、(i)と(ii)により、第1主成分が非生産因子に関係すると思われる除伐型、第2主成分が幹の太さに関係すると思われる間伐型、第3主成分が植生に関係すると思われる下刈型となった。

ロ) 投下労働量の増加パターンについて

各データの増加パターンをつかむという目的で、5年度ごとの投下労働量増加分をとって、分析してみた。分析方法としては、主成分分析を使い、相関行列から出発した場合を中心に考えてみた。特性値は、①0～5年の人工数、②6～10年の人工数、③11～15年の人工数、④……⑦、⑧36～40年の人工数をとった。分析結果は表9のようになるので、 $\lambda \geq 1$ となるのは、第3主成分までで、ここまでの約59%以上の情報が集まることとなる。

表9

主成分%	固有値	累積寄与率
1	2.32	0.29
2	1.29	0.45
3	1.12	0.59
4	0.89	0.70
5	0.81	0.80
6	0.60	0.88
7	0.57	0.95
8	0.39	1.00

表10 固有ベクトル

5年度毎の人工数	Z_1	Z_2	Z_3
① 0～5年	0.07	0.56	0.41
② 6～10年	0.21	0.58	-0.30
③ 11～15年	0.30	0.34	-0.53
④ 16～20年	0.44	0.03	0.28
⑤ 21～25年	0.49	-0.36	0.06
⑥ 26～30年	0.43	-0.17	0.08
⑦ 31～35年	0.48	-0.10	-0.09
⑧ 36～40年	0.08	0.24	0.60

固有ベクトルは表10の様になり、

$$\text{第1主成分 } Z_1 = 0.07X_1 + 0.21X_2 + \dots + 0.08X_8$$

$$\text{第2主成分 } Z_2 = 0.56X_1 + 0.58X_2 + \dots + 0.24X_8$$

$$\text{第3主成分 } Z_3 = 0.41X_1 - 0.30X_2 - \dots + 0.60X_8$$

となる。これらの特徴から次のことが言える。

- ① 第1主成分 Z_1 の係数は、すべて正で、特に20年～35年にかけて、値が大きい。これは、後期保育型といえる。
- ② 第2主成分 Z_2 の係数は、正、負のものがまじっているが、5年～15年にかけて、値が大きい。これは、前期保育型といえる。
- ③ 第3主成分 Z_3 の係数は、正、負のものがまじっているが、40年、5年と値が大きい。これは、初期、収穫期型といえる。

次に、因子負荷量について考えてみると、表11、図16の様になるが、図16の様に点線で囲んであるものが、1つのグループをなすものと、解釈できそうである。これによると、

第1のグループは、①、⑧

第2のグループは、②、③

第3のグループは、④、⑤、⑥、⑦

となる。このグループ分けの意味を考えると、

第1のグループである①、⑧で考えられる作業名は、地拵、植付、補植、間伐等であり、それぞれが前生樹の伐採方式に影響を受け、又、植栽木そのものに関係する因子といえそうである。よって、初期の植付期と、後期の収穫期とでは、他の時期と異なり、植栽木との関連が強くなる時期といえそうである。

第2のグループである②、③で考えられる作業名は、下刈であり、作業対象が植栽木そのものというよりまわりの植物システムとの関連でみた方がよいものである。時期としては前期保育期といえる。

第3のグループである④、⑤、⑥、⑦で考えられる作業名は、つる切、除伐、枝打等であるが、これは、植栽木そのものでなく、そのまわりのものではあるが、幹との関係があるもの、つる、枝、他の木という非生産因子を取り除く作業といえる。時期としては、後期保育期といえる。

よって、固有ベクトルと因子負荷量から、時期は、3つに要約され、初期、収穫期と前期保育期と後期保育期とになることがわかる。

表11 因子負荷量

5年度毎の人工数	Z_1	Z_2	寄与率	Z_3	寄与率
① 0～5年人工数	0.11	0.64	0.42	0.43	0.61
② 6～10年	0.33	0.66	0.54	-0.32	0.65
③ 11～15年	0.45	0.39	0.35	-0.56	0.67
④ 16～20年	0.68	0.03	0.46	0.29	0.55
⑤ 21～25年	0.75	-0.41	0.73	0.07	0.74
⑥ 26～30年	0.66	-0.19	0.47	0.09	0.48
⑦ 31～35年	0.73	-0.11	0.55	-0.10	0.56
⑧ 36～40年	0.12	0.28	0.09	0.64	0.50

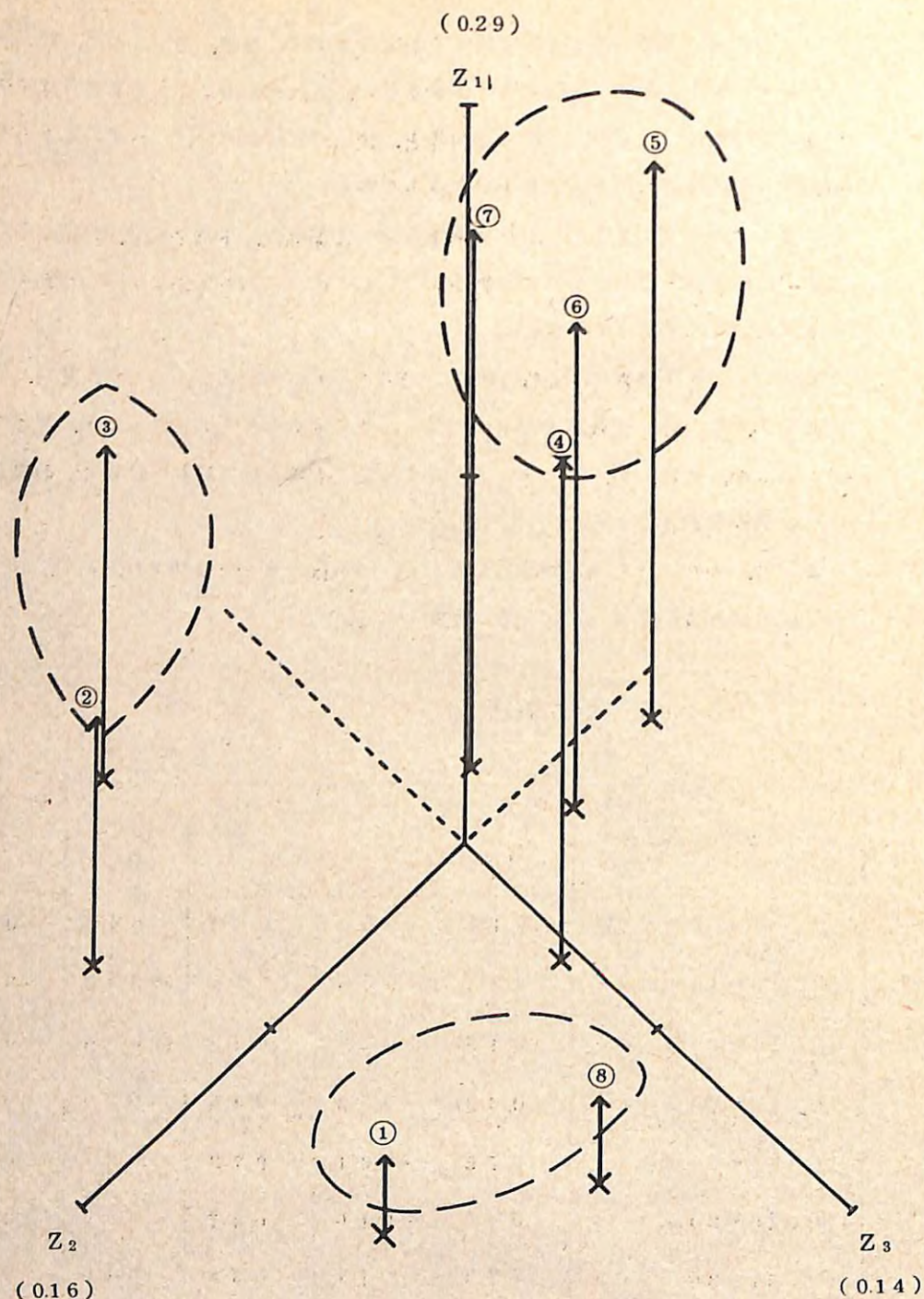


図 16 年度の関係を示す図

累積寄与率は 5.9 %
() 内は寄与率

ハ) 作業ごとと 5 年度ごとの人工数の関係

今, 138 例のデータの作業ごと, 5 年度ごとの人工数による各主成分のスコア間の相関係数を求めてみると, 表 12 の様になる。

これによると, 除伐型がいわゆる後期保育期に対応し, 間伐型が後期保育期, 初期・収穫期に対応し, 下刈型が前期保育期に対応することがわかる。

表 12

		作 業 毎			
		Z_1	Z_2	Z_3	
5 年 度 毎	Z_1	0.818	0.515	0.102	後期保育期
	Z_2	-0.113	-0.073	0.657	前期
	Z_3	-0.061	0.322	0.074	初期・収穫期
		除 伐 型 間 伐 型 下 刈 型			

ニ) 林分材積と作業のパターン

材積の増分 (ΔV) に対する各主成分の寄与の仕方を重回帰分析を使って検討してみた。ここでいう増分 (ΔV) とは, 地位判定基準図とスギ林林分収穫表より作成した材積の地位と年令の関係を表わした図 (図 17) より, 各データの地位による推定材積と, 各データの実際の材積を 40 年生で比較した増減分を表わしている。いわゆる, 地位とは, 平均的な作業をした平均的な林分での値という仮定をたてた上での検討である。

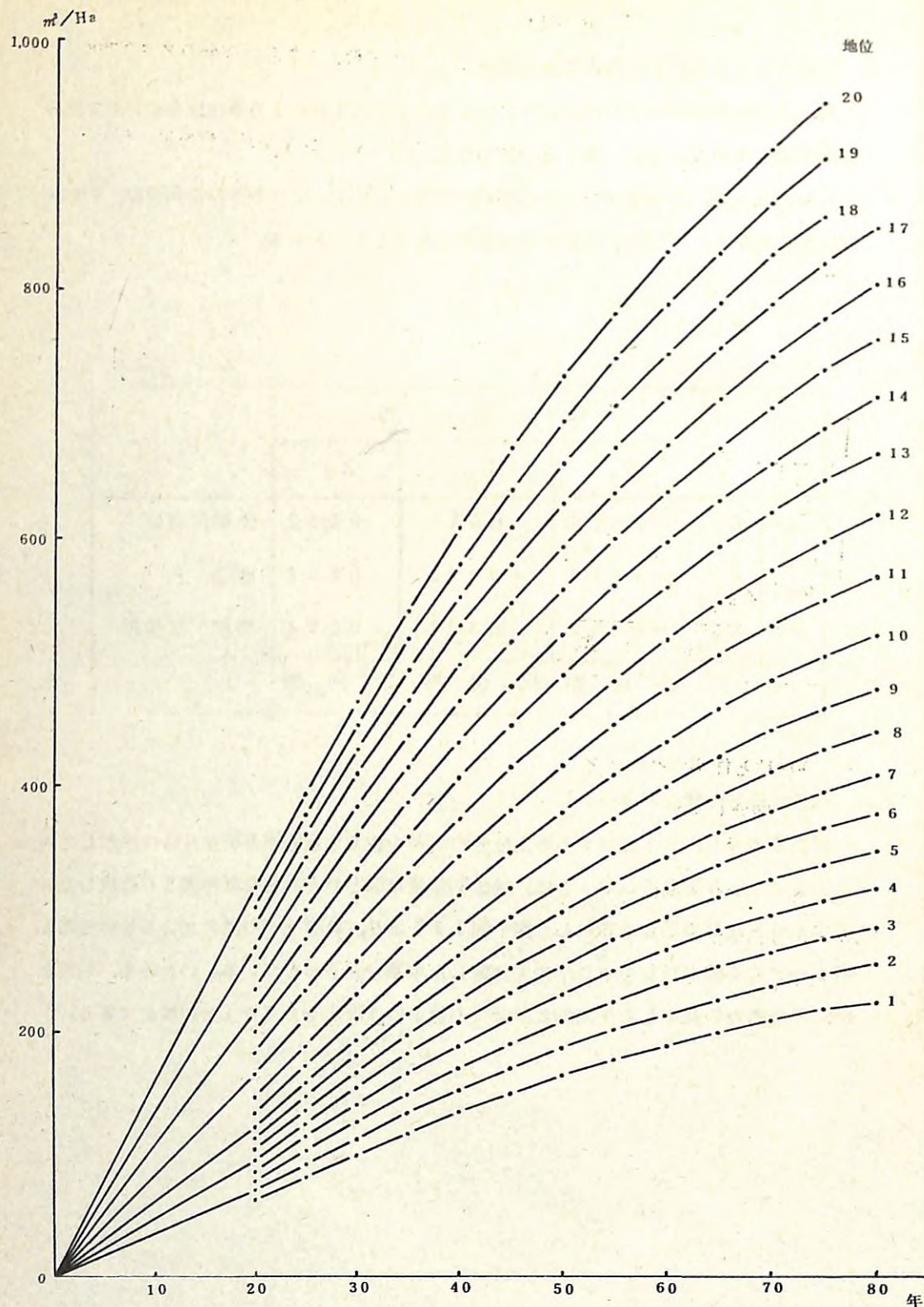


図1-7 地位判定基準図(材積)

1) 作業ごとの人工数による作業パターンの場合

まず、 ΔV を目的変数として、第1主成分のスコア、第2主成分のスコア、第3主成分のスコアを説明変数とした場合を検討する。ここで用いる主成分スコアは、作業パターンをみるためにすでに分析してきたものであり、第1主成分除伐型、第2主成分間伐型、第3主成分下刈型と名づけたものである。

重回帰の検定では、表1-3の様になり、1%水準で有意となる。

表1-3 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全体	$n-1$ 137	$S_{yy} 2321 \times 10^6$		
回帰による	P 3	$S_R 4583 \times 10^6$	$V_R 153 \times 10^6$	10.99**
回帰からの	$n-P-1$ 134	$S_e 1863 \times 10^6$	$V_R 139 \times 10^4$	

$$F(3, 134; 0.01) = 3.95$$

この場合の重回帰式は

$$y = -260.6 + 3.3X_1 + 50.9X_2 + 27.2X_3$$

標準偏回帰係数を使った回帰式は

$$y' = 0.026X'_1 + 0.391X'_2 + 0.209X'_3$$

但し、偏回帰係数の検定では、

$$X_1 \text{ の係数: } t = 0.332$$

$$X_2 \text{ の係数: } t = 5.058^{**}$$

$$X_3 \text{ の係数: } t = 2.703^{**}$$

$$t_{134}(0.01) = 2.576$$

よって、 X_2 、 X_3 の係数のみ有意であった。ここで、 X_1 、 X_2 、 X_3 は、作業ごとの人工数による分析で、第1主成分(除伐型)第2主成分(間伐型)第3主成分(下刈型)の各スコアで、 y は材積の増減分である。

重相関係数は $R \cdot Q = 0.444$ であった。

この分析から、 ΔV の変化は、回帰係数の検定が、除伐型で有意とはならなかったが、一応間伐型と下刈型の順に影響を受けそうである。

次に、前の分析で有効とみられる第2主成分、第3主成分のスコアを説明変数とし

て、 ΔV を目的変数とした場合を検討すると、次の様になる。重回帰の検定では、表14の様になり、1%水準で有意となる。

表14 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全 体	$n-1$ 137	$S_{yy} 2.321 \times 10^6$		
回帰による	P 2	$SR 4.567 \times 10^5$	$VR 2.28 \times 10^5$	16.54 **
回帰からの	$n-P-1$ 135	$Se 1.865 \times 10^6$	$Ve 1.38 \times 10^4$	

$$F(2.135; 0.01) = 4.61$$

この場合の重回帰式は、

$$y = -257.7 + 50.9X_2 + 27.2X_3$$

標準偏回帰係数を使った回帰式は、

$$y' = 0.391X'_2 + 0.209X'_3$$

偏回帰係数の検定では、

$$X_2 \text{ の係数: } t = 5.068^{**}$$

$$X_3 \text{ の係数: } t = 2.712^{**} \quad t_{135}(0.01) = 2.576$$

よって、 X_2 、 X_3 の係数は1%水準で有意となる。

ここで、 X_2 、 X_3 は、作業ごとの人工数の分析における第2主成分、第3主成分のスコア、 y は材積の増減分である。

重相関係数は、 $R \cdot Q = 0.444$ であった。

このことから、 ΔV の変化は下刈的なものより間伐的なものに影響を受けることになる。

ii) 5年度ごとの人工数による作業パターンの場合

ΔV を目的変数として、第1主成分、第2主成分、第3主成分の各スコアを説明変数とした場合を検討する。ここで用いる主成分スコアは、5年ごとの増加パターンをみるために分析してきた、第1主成分後期保育型、第2主成分前期保育型、第3主成分初期・収穫期型と名づけたものである。

重回帰の検定は、表15の様になり1%水準で有意となる。

表15 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全 体	$n-1$ 137	$S_{yy} 2.322 \times 10^6$		
回帰による	P 3	$SR 3.139 \times 10^5$	$VR 1.05 \times 10^5$	6.98 **
回帰からの	$n-P-1$ 134	$Se 2.008 \times 10^6$	$Ve 1.50 \times 10^4$	

$$F(3.134; 0.01) = 3.94$$

この場合の重回帰式は

$$y = -150.2 + 3.18X_1 + 1.41X_2 + 3.06X_3$$

標準偏回帰係数を使った回帰式は

$$y' = 0.244X'_1 + 0.105X'_2 + 0.267X'_3$$

但し、偏回帰係数の検定は

$$X_1 \text{ の係数: } t = 3.039^{**}$$

$$X_2 \text{ の係数: } t = 1.300$$

$$X_3 \text{ の係数: } t = 3.316^{**} \quad t_{134}(0.01) = 2.576$$

よって、 X_1 、 X_3 の係数のみ有意であった。ここで、 X_1 、 X_2 、 X_3 は、5年度ごとの人工数による分析で第1主成分(後期保育型)、第2主成分(前期保育型)、第3主成分(初期・収穫期型)の各スコア、 y は材積の増減分である。なお、重相関係数は $R \cdot Q = 0.353$ となる。よって、この分析で、初期・収穫期、後期保育期が ΔV への影響があると考えられる。

次に、この分析で有効とみられる第1主成分、第3主成分のスコアを使って、 ΔV への影響を検討してみる。重回帰式の検定では、表16の様になり、1%水準で有意となる。

表16 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全 体	$n-1$ 137	$S_{yy} 2.322 \times 10^6$		
回帰による	P 2	$S_R 2.886 \times 10^5$	$V_R 1.442 \times 10^5$	9.581 **
回帰からの	$n-P-1$ 135	$S_e 2.033 \times 10^6$	$V_e 1.506 \times 10^4$	

$$F(2.135; 0.01) = 4.76$$

よって、この場合の重回帰式は

$$y = -1518 + 3.13X_1 + 29.6X_3$$

標準偏回帰係数を使った回帰式は

$$y' = 0.241X'_1 + 0.258X'_3$$

偏回帰係数の検定は

$$X_1 \text{ の係数: } t = 2.987 **$$

$$X_3 \text{ の係数: } t = 3.205 **$$

$$t_{135}(0.01) = 2.576$$

よって、1%水準で両方とも有意となる。ここで、 X_1 、 X_3 は、5年度ごとによる分析における第1主成分、第3主成分のスコア、 y は材積の増減分である。

なお、重相関係数は $R \cdot Q = 0.353$ である。

よって、標準偏回帰係数による、 ΔV への影響の仕方は、初期・収穫期、後期保育期が大で、前期保育期はそれ程でもないことがわかる。これを(=)-(I)の分析と考え合せると ΔV へは作業として間伐的なものが強く影響しているのではないかと思われる。

iii) データを地位別にグループ分けした時の ΔV への影響

次に、データを地位によって、上(地位14以上)、下(地位13以下)に分け、それぞれスコア(作業ごとの人工数による分析で得られたスコア)を説明変数として、 ΔV を目的変数とした重回帰分析にかけてみた。いわゆる傾斜投資、つまり、地位の高い所に人工数や資金を多く投入して、材積の増加をはかるものであるが、これが有効であるかどうか、その傾向をみようとするものである。分析結果は、重回帰の検定では、表17、表18の様になり、どちらも1%水準で有意となっている。

表17 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全 体	$n-1$ 61	$S_{yy} 5.215 \times 10^5$		
回帰による	P 3	$S_R 1.134 \times 10^5$	$V_R 3.780 \times 10^4$	5.373 **
回帰からの	$n-P-1$ 58	$S_e 4.081 \times 10^5$	$V_e 7.036 \times 10^3$	

$$F(3.58; 0.01) = 4.16$$

表18 分散分析表

変動因	自由度	平方和	分散	分散比
全 体	$n-1$ 75	$S_{yy} 6.803 \times 10^5$		
回帰による	P 3	$S_R 1.026 \times 10^5$	$V_R 3.420 \times 10^4$	4.262 **
回帰からの	$n-P-1$ 72	$S_e 5.777 \times 10^5$	$V_e 8.024 \times 10^3$	

$$F(3.72; 0.01) = 4.08$$

よって、重回帰式は

$$\text{地位(上)の場合 } y = -314.0 - 4.20X_1^* + 3.46X_2^* + 3.33X_3^{**}$$

$$\text{地位(下)の場合 } y = -126.0 + 0.3X_1 + 29.0X_2^{**} + 1.06X_3$$

標準偏回帰係数を使った回帰式は

$$\text{地位(上)の場合 } y' = -0.303X'_1 + 0.160X'_2 + 0.343X'_3$$

$$\text{地位(下)の場合 } y' = 0.004X'_1 + 0.379X'_2 + 0.116X'_3$$

それぞれの重相関係数は

$$\text{地位(上)の場合 } R \cdot Q = 0.466$$

$$\text{地位(下)の場合 } R \cdot Q = 0.388$$

となる。

又、回帰係数の検定では、地位(上)の場合、第1主成分、第3主成分が、地位(下)の場合には、第2主成分が有意(*: 5%水準で有意, **: 1%水準で有意)となった。標準偏回帰係数順位は、地位(上)の場合、第3主成分、第2主成分、第1主成分

分の順、地位(下)の場合は、第2主成分、第3主成分、第1主成分の順となった。よって、いずれの地位においても、下刈的な作業、間伐的な作業を多くすれば、 ΔV は増加傾向にあると思われる。

又、地位(上)、地位(下)の標準偏回帰係数のちがいをみると、地位(上)では、下刈的なものが高く、地位(下)では間伐的なものが高くでいた。

(6) 今後残された問題点について

以上(1)~(5)まで、述べてきたわけであるが、ここで、今後考えられること、そのために必要なことを述べておくと、まず、資料の整備があげられる。本報告では、高知営林局管内の人工林138例を選んだわけであるが、資料数が少なく、特に多変量解析的な解法をはかるには、資料数が若干、不足であった。また更に人工林以外の天然林の施業方法についても、検討してみる必要があると思われるが、そのための資料が不足しており、検討が困難であった。次に、作業という面に目を向けてみると、もう少し詳しい動作的な基本研究が必要であると思われる。また、作業は単独作業でなく、集団作業なので、集団的に動く人間の行動をつかんでいく必要があると思われる。以上、今後に残された問題点をあげてみた。