

森林資源の最適利用計画シミュレーション

誌名	農林業問題研究
ISSN	03888525
著者	岸根, 卓郎
巻/号	15巻3号
掲載ページ	p. 97-104
発行年月	1979年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



森林資源の最適利用計画シミュレーション

—森林の最適施業区分計画シミュレーション—

岸 根 卓 郎

I はじめに

森林政策にとって、森林資源の最適な経済的・公益的利用ほどに重要な課題は他にない。このことは現在と未来とを問わず、また世界の何れの国を問わず共通している。周知のように、森林には木材生産機能としての経済機能と環境保全機能としての公益機能とがあるが、一般には両機能は二律背反の関係にあって両立しがたい。なぜなら、両機能は同一の森林が分かちもち、しかも経済機能は森林の伐採によってのみ得られ、公益機能は森林の存立によってのみ得られるからである。加えて、前者は市場を通る有形財としての経済財に関する機能であるのに対し、後者は市場を通らない無形財としての外部効用に関する機能であるから、両機能の調和はこの面からも極めて困難な問題となる。

このような見地から、私はこの問題解決のための理論を「森林資源の最適利用計画論」として既に私の著書『森林政策学』（養賢堂）および『第89回日本林学会大会発表論文集』（1978年）において公表してきた。本論文は、上記の私論を更に実際の政策に適用するための事前評価（ポリシー・アセスメント）としての社会実験（数学モデルによるシミュレーション）に関し、新たに私見を問おうとするものである。いうまでもなく、このような社会実験が森林政策にとってことのほか重要な所以は、林業が他の如何なる産業にもその例をみないほどに超長期の予想計画を必要とするため、一度、その政策決定を誤まれば、それが影響するところもまた超長期に及び決定的なものとなるからである。

II 主成分分析による

森林の最適施業区分計画

上記のように、私論の究極目的は「森林資源の最適利用計画論」の現実政策への適用にあるが、本論文の目的は、そのうちの「森林の最適施業区分計画」について、そのポリシー・アセスメントのための社会実験

の理論と方法を明らかにすることにある。すなわち、本論文では、わが国の全森林を木材生産を主体とする「純経済林」（または「絶対的経済林」と水資源涵養、国土保全、洪水防止、森林レクリエーション等々を主体とする「純公益林」（または「絶対的公益林」）、およびその何れに利用してもよい「経済・公益調整林」（または「経済・公益無差別林」）の3者にそれぞれ最適施業区分するための科学的手法について私見を問おうとするものであるが、そのための手法として、本論文では、mesh 調査に基づく主成分分析によることにする。

ここに、主成分分析とは『相互に相関のある数多くの特性を相互に無相関な少数の総合特性（主成分）に要約するための理論』と定義されている¹⁾。周知のように、森林には極めて多数の異なる特性が相互に相関を保ちつつ全体としては1つの複雑な森林生態系を構成している。ゆえに、その1つ1つの特性についてみる限り、森林全体としての総合的な特性を把握することはできない。それは、まさに「木を見て森を見ざる」喩えのとおりである。そのような場合、森林内にあって相互に関係する数多くの個別特性を相互に無相関な少数の総合特性（主成分）に要約することができれば、それによって森林全体の特性を的確かつ鮮明に把握することが可能となるはずである。本論文において、森林の最適施業区分計画に主成分分析を適用する所以は正にここにある。なぜなら、主成分分析によって、各森林に固有の総合特性を明らかにすることができれば、そのような総合特性を最大限に発揮できるような施業計画によって、究極的には全国の森林施業区分を最適化することが可能となるからである。

このようにして、森林の最適施業区分計画に主成分分析を適用する意図が明らかにされたが、そのさい重要なことは、主成分分析によって計測された総合特性が果たして元のどのような個別特性を要約したものであるかを確定することである。なぜなら、この点の解明なくして、折角、明らかにした総合特性もそれがどのような内容の総合特性であるか判断できないからで

ある。主成分分析では、その判断のために因子負荷量を計測する。ここに、因子負荷量とは『ある総合特性(主成分)と、その元の特性の1つ1つとの単純相関係数をいう』と定義されているが²⁾、この因子負荷量を計測することによって、どの主成分がどの個別特性と高い相関をもつか(それゆえ、どの主成分がどの個別特性を総合的に要約したものか)を知ることができるから、それによって当該主成分の内容を判断することが可能となる。

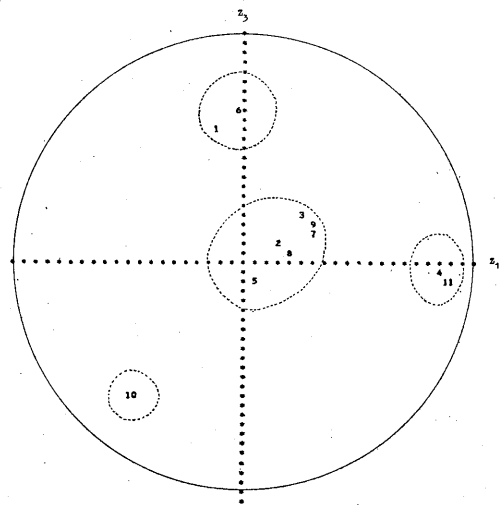
このような見地から、本論文では、表一に示す寄与率の高い主成分(総合特性としての説明力の高い主成分のことで、本例では第1、第2、第3、第4主成分の寄与率が高い)について、それぞれの因子負荷量を計測した。図一はその結果をよりわかりやすくするために図示したものである。同図は後の図一6の()内に示す森林の諸機能に關与する11個の個別特性と各主成分との関係(因子負荷量)をコンピュータによって図示したものであるが、因子負荷量は上記のように主成分と元の個別特性の1つ1つとの単純相関係数であるから、それは図にみるように全て半径1の円

内にあって、しかもその位置が円周に近いほど元の個別特性と主成分との相関は強いことになる。ゆえに、この図を基に、それぞれの主成分の内容を以下のように意味づけることができる。

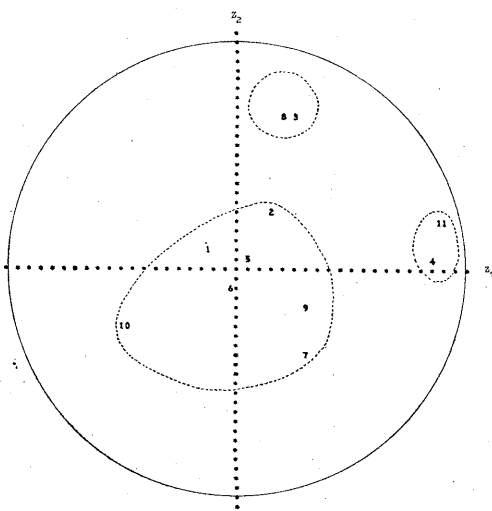
まず、同図Aについてみると、第1主成分の Z_1 は元の個別特性の11および4と強い正の相関をもっていることがわかる。しかも、特性の11および4はそれぞれ木材生産力因子と土壌因子であることから、結局、第1主成分の内容は生産力が高く土壌条件が良好なほどよりよく発揮されるような森林の機能因子、それゆえ

表一 寄与率

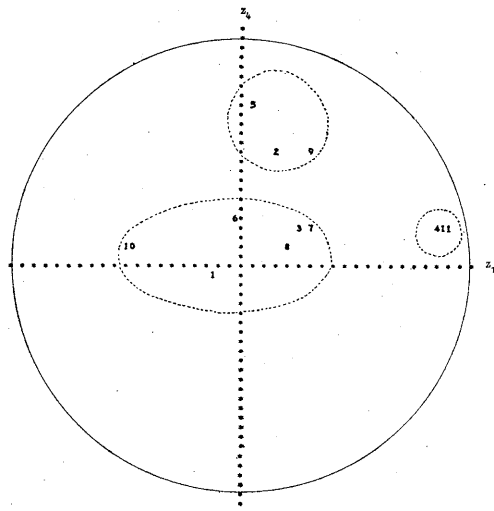
主成分	寄与率	累積寄与率
第1主成分 Z_1	25.8	25.8
第2主成分 Z_2	13.8	39.7
第3主成分 Z_3	12.5	52.2
第4主成分 Z_4	9.2	61.3



図一-B 因子負荷量 (Z_1-Z_3)



図一-A 因子負荷量 (Z_1-Z_2)



図一-C 因子負荷量 (Z_1-Z_4)

木材の生産機能に正に作用するような諸因子を総合的に要約したもの（それゆえ総合特性）であると解釈できる。ゆえに、このような主成分は「木材生産機能因子」と名づけてよいであろう。次いで、第2主成分の Z_2 は元の個別特性の3および8と強い正の相関をもち、しかも特性の3および8はそれぞれ谷密度因子と河川因子であることから、結局、第2主成分の内容は谷が密で河川の多いほどよりよく発揮されるような森林の機能因子、それゆえ森林の洪水防止機能に正に作用するような諸因子を総合的に要約した総合特性と考えられる。とすれば、このような主成分は「洪水防止機能因子」と名づけてよいであろう。

これに対し、原点に近い位置にある個別特性の1, 2, 5, 6, 7, 9, 10はこれら第1, 第2主成分とは全く相関がないか僅かしか相関をもたない個別特性である。しかし、これらの特性のうちには、同図のBおよびCにみるように、他の主成分とは強い相関をもっているものもある。すなわち、同図Bからは、特性の1および6は第3主成分の Z_3 と正の相関をもっていることがわかる。しかも、特性の1と6はそれぞれ地質因子と景観因子であることから、結局、第3主成分の内容は地質が豊かで森林景観が美しいほどよりよく発揮される森林の機能因子、それゆえ森林のレクリエーション機能に正に作用するような諸因子を総合的に要約した総合特性と考えられる。よって、このような主成分は「森林レクリエーション機能因子」と名づけてよいであろう。同様に、同図Cからは、特性の5, 2, 9は第4主成分の Z_4 と正の相関をもっており、しかも特性の5, 2, 9はそれぞれ標高因子、傾斜因子、森林帯因子であることから、結局、第4主成分の内容は標高が高く傾斜が急で森林構成が複雑（したがって、樹種が多様で複層した混交林）であるほどよりよく発揮される森林機能因子、それゆえ森林の国土保全に正に作用するような諸因子を総合的に要約した総合特性と考えられる。よって、このような主成分は「国土保全機能因子」と名づけてよいであろう。ここで、以上のところを整理して表示すると表-2のようになる。

表-2 主成分の名称

第1主成分 Z_1	木材生産機能因子
第2主成分 Z_2	洪水防止機能因子
第3主成分 Z_3	森林レクリエーション機能因子
第4主成分 Z_4	国土保全機能因子

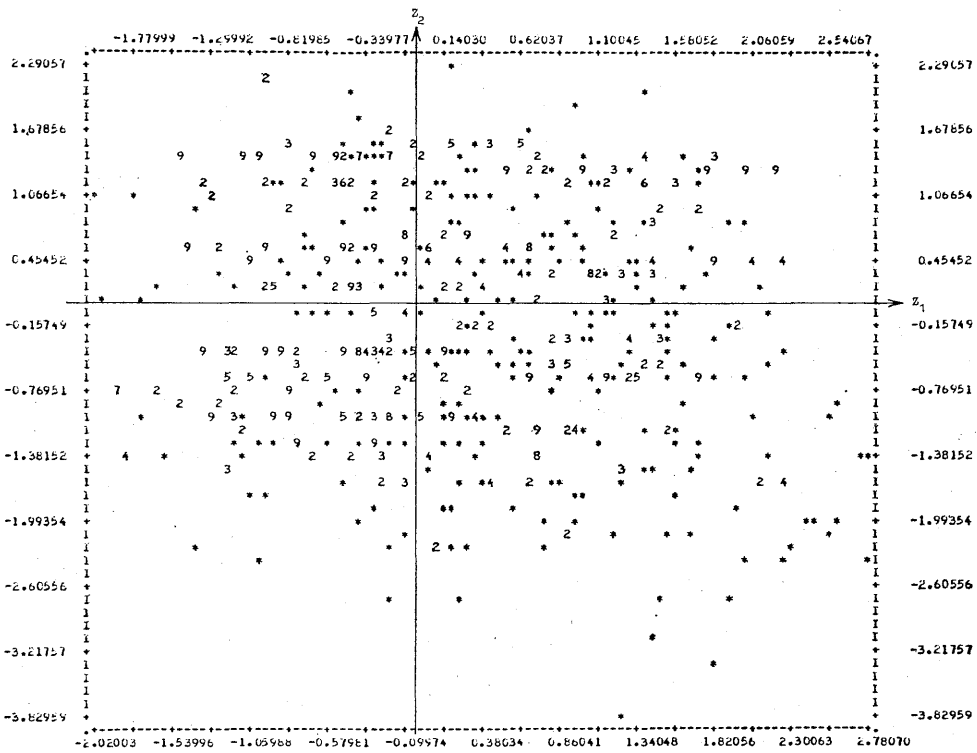
III 森林の最適施業計画シミュレーション

以上の分析によって、各主成分の内容が明らかにされたので、次に兵庫県内の全ての mesh（家島の4 mesh、淡路島の76 meshを除く本島の1,308 mesh）について、それぞれの主成分の総合特性値いわゆるスコアを計算しなければならない。ここに、総合特性値とは、主成分の回帰方程式の右辺の各変量（各特性）にそれぞれのデータ（本例の場合、mesh 調査で得られる森林機能の評価因子）を代入して求められる推定値であるが、総合特性値を計算する所以は、個々の mesh について各主成分の総合特性値を計算してみて、その値が高い主成分ほど、それぞれの mesh 内の森林の総合特性（それゆえ、mesh 内の森林の総合機能）をよりよく表わしていることになるから、各 mesh について総合特性値の最高主成分を目標に森林施業を行えば、結果的には、県内の全ての森林の機能分担を最適化する（それゆえ、全森林の施業区分を最適化することになるからである。すなわち、以下のとおりである。

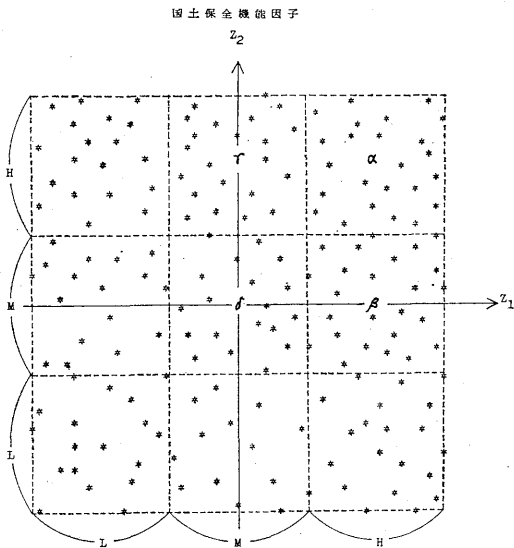
まず、全ての mesh につき寄与率の高い主成分のスコアを計算し、それらを各2組の主成分を両軸とする2次元平面（これをスコアの散布図という）にプロットする。本例の場合、寄与率の高い主成分は Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 であるから、 $Z_1-Z_2, Z_1-Z_3, Z_1-Z_4$ の各3組の散布図を作ることになる。図-2はそのうちの1つ（ Z_1-Z_2 散布図）をコンピュータによって図示したものである。

次いで、これら3組の散布図を相互に重ね合わせて、そのうちから各 mesh ごとに最高のスコアをとる主成分を選んで当該 mesh を代表する主成分とすればよい。なお、そのさい各 mesh を代表する主成分の選択基準は、私見では図-3に示すような方法による。

図-3は、先の図-2の場合の代表的主成分の選択基準を模式的に示したものであるが、その選択の方法は全 mesh のスコアを両座標軸の主成分につき最高値と最低値の間で3等分してH (high), M (middle), L (low) としたうえで、以下の基準で決定することにする。すなわち、いま、ある mesh のスコアが例えば α -zoneにおちたとすると、このことは当該 mesh では第1主成分も第2主成分もともに強いことを意味しているから、この mesh では第1主成分（木材生産機能）を十分に発揮できるように純経済林施業か、ないしは第2主成分（洪水防止機能）を十分に発揮できるよ



図—2 スコアの散布図 (Z_1 — Z_2 の散布図)



図—3 代表的主成分の選択基準

い。次いで、ある mesh のスコアが β -zone におちたとすると、当該 mesh では第 1 主成分は強いが第 2 主成分は弱いことを意味しているから、この mesh では木材生産機能を十分発揮できるように純経済林施業を選択するのが最適であることになる。また、ある mesh のスコアが γ -zone におちたとすると、当該 mesh では第 1 主成分は弱いが第 2 主成分は強いことを意味しているから、この mesh では洪水防止機能を十分発揮できるように純公益林施業を選択するのが最適であることになる。さらに、ある mesh のスコアが δ -zone におちたとすると、当該 mesh では第 1 主成分も第 2 主成分もともに弱いことを意味しているから、この mesh では木材生産のための純経済林施業も洪水防止のための純公益林施業もともに不適当ということになる。ただし、以上の選択基準は Z_1 - Z_2 散布図上での各 mesh の代表的主成分の選択基準であるから、散布図が異なれば (それゆえ、座標軸上での主成分の組み合わせが異なれば) 当然、選択基準も異なることになる。ゆえに、全ての散布図上の全ての mesh について以上のような選択を行い、かつそれらを相互に比較し

うな純公益林施業の何れかを選択するのが最適であることになる。もちろん、同じ zone 内での両者の選択は理論的には少しでもスコアの高い方を優先させればよ

て、そのうちから最高のスコアの主成分を選び、それをもって当該 mesh を代表する主成分としなければならないことになる。しかし、このような作業を全ての mesh (本例では、1,308個の mesh) について行うことは実際問題としては不可能に近い。そこで、それに代わる方法として、本論文では以下の手法を開発した。

すなわち、この新しい方法では、まず全ての mesh について各主成分のスコアを計算し、次いでそのスコアを大きさの順に表-3に示す基準に従ってパターン化(記号化)して全県の地図を描き、最後にその地図を基に各 mesh ごとに最高の主成分を選んで当該 mesh を代表する主成分とする。なお、ここに同表に示すパターン化規準は、各主成分につき、それぞれのスコアが最高値(H)をとるときはそれらを主成分の番号

表-3 総合特性値のパターン化基準

主成分		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
スコア					
最高値	H	1	2	3	4
中間値	M	A	B	C	D
最低値	L	#	.	%	*

(1, 2, 3, 4) で表わし、中間値(M)をとるときはアルファベット記号(A, B, C, D)で表わし、また最低値(L)をとるときはその他の記号(#, ., %, *)で表わすことを示している。ゆえに、どの mesh についても、各主成分のスコアが上記の3種の記号の何れかでパターン化されることになる。もちろん、これら一連の作業も全てコンピュータによって行うが、その結果を示したのが図-4である。

同図の見方は、例えばパターン化されたある mesh の記号が $\begin{matrix} 1 & B \\ C & * \end{matrix}$ のようであれば、この mesh では、第1主成分のスコアが最高値で、第2、第3主成分のスコアが中間値、第4主成分のスコアが最低値であることを示している。また、パターン化されたある mesh の記号が $\begin{matrix} \# & \% \\ B & * \end{matrix}$ のようであれば、この mesh では第3主成分のスコアが中間値で、第1、第2、第4主成分のスコアは全て最低値であることを示している。同様に、パターン化されたある mesh の記号が $\begin{matrix} \% & * \\ \cdot & \# \end{matrix}$ のようであれば、この mesh ではどの主成分のスコアも最低値であることを示している。そして、私見では、各主成分のスコアがそれぞれ最高値をとる場合の施業をもって最適施業とみなすから、上図に基づいて各 mesh ごとに最高のスコアをとる主成分を選んで施業すれば、自動的に全県の最適施業区分計画を達成する



図-4 森林の最適施業区分計画→パターン化表示一
こととなる。

なお、主成分のスコアが中間値または最低値をとるような mesh については、当該 mesh を特徴づけるような決定的な総合特性がないということであるから、そのような mesh に関しては私の別の数学モデル(経済・公益便益調整モデル)に基づいて最適施業区分計

画をたてることになる。ただし、このシミュレーションについては別の機会にゆずる。

次に、図-4の最適施業区分計画をより見やすくするためにハッチングして示したのが図-5である。これより、兵庫県下全体の森林の最適施業区分計画が一目瞭然となる。すなわち、黒のハッチングの mesh では木材生産のための純経済林施業を、また縦縞のハッチングと杉綾のハッチングおよび網目のハッチングの各 mesh では、それぞれ洪水防止とレクリエーションおよび国土保全のための純公益林施業を行うのが最適であることを示している。なお、点々のハッチングの mesh は森林のない平地(耕地、宅地、河川など)であるから、結局、最後に残った白いハッチングの mesh が経済林、公益林の何れによって施業しても適当な森林それゆえ私のいう“経済・公益調整林”(または“経済・公益無差別林”)ということになる。

最後に、本稿を閉ずるにあたり、シミュレーションの実行上当面するいくつかの問題点について私見を記しておこう。上記のように、本論文においては、森林の最適施業区分計画のための主成分分析にあたり必要なデータは全て兵庫県の行った既存の mesh 調査に依存した。その結果、以上に決定した最適施業区分計画の現実政策への適用にあたり、以下の諸点に注意を要する。

第1点は、兵庫県の mesh 調査では、森林機能の評価因子(主成分分析の基礎データとなる個別特性)の多くが自然条件に偏っている点である。いうまでもなく、森林の最適施業区分計画のためには、自然条件

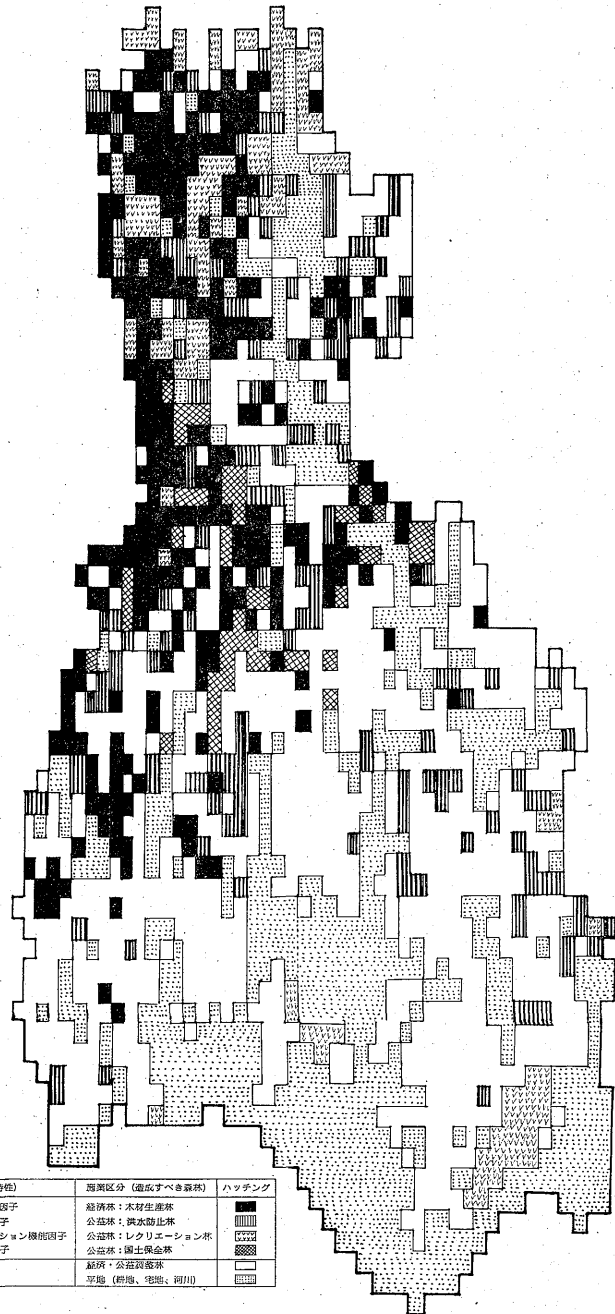
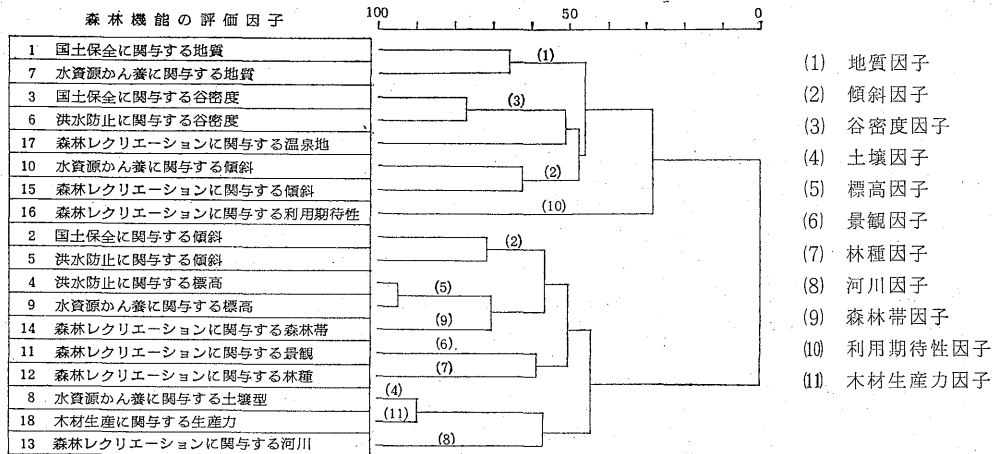


図-5 森林の最適施業区分計画—ハッチング表示—

(地形、地質、傾斜、土壌、標高、森林帯、谷密度、河川、景観、生産力、等々)のほかには経済条件(林野の所有形態、経営形態、利用形態、経済立地、利用施設の有無、等々)や社会条件(法制度、集落構成、社



図一六 森林機能の評価因子のクラスタリング（樹状図）

会慣行、過疎の状況、史跡名勝の有無、等々）をも考慮しなければならない。この点の配慮の重要性については既に私の前掲書『森林政策学』において指摘しておいたところであるが、兵庫県の mesh 調査（それは林野庁の全国対象の mesh 調査の一環として行われたもの）では、この点についての配慮に大いに欠けている³⁾。それゆえ、上記の森林の最適施業区分計画の現実政策への適用にあたっては、自然条件のほか経済条件や社会条件をも種々考慮したうえ、さらに最適化実験を繰り返さなければならない。ただし、シミュレーションとは条件を種々変えての模擬実験であることを考慮すれば、この点への配慮の必要性は自明の理であろう。

第2点は、兵庫県の mesh 調査では、同じく主成分分析のための森林機能の各評価因子（得点の形で評価された個別特性）に関し、それら相互間に類似度（相似性）が高すぎるという点である。この問題を回避するために、本論文では、主成分分析に先立って、クラスター分析によって森林機能の評価因子を相互に類似度の低いいくつかの群に層化する（クラスタリングする）という方法をとった。図一六はその結果を示したものである。

ここに、クラスター分析とは『ある集団を一定のアルゴリズムに従って客観的にいくつかの群（層、クラスター）に分類する方法』と定義されているが⁴⁾、このクラスター分析の適用によって、本例の場合、18の森林機能の評価因子（個別特性）が11のそれに分類されることになる。なお、クラスター分析では、個体間の類似度を何で測るかによっていくつかの方法がある

が、ここでは最大距離法（最低類似度法）によった。より詳しくは以下のとおりである。すなわち、兵庫県の mesh 調査では、森林の諸機能と高い相関をもつ評価因子の分析調査を行って、図の枠内に示すような18の個別評価因子と森林の個別機能との因果関係を設定した。しかし、森林の総合特性を計測することを目的とする本論文での主成分分析の立場からは、森林の個別機能とそれに関与する個別評価因子との因果関係は何ら意味をもたない。それゆえ、ここでは両者の個別対応を離れて、森林の全ての機能に関与する全ての評価因子の客観的分類という観点から、評価因子相互間の最低類似度を求めて、基準となる評価因子を選定したのが図一六の樹状図（デンドログラム）である。ただし、そのさい兵庫県の mesh 調査の機能評価スコア表（機能別の評価因子の得点表）の評価内容を全く無視するわけにはゆかないので、同表をも参考に、樹状図から最終的に基準評価因子を選定したのが同図の分類枝上の（ ）内に示す数字である。その結果、18の評価因子が11のそれに分類された。

以上、既存の mesh 調査によらざるを得ない場合に当面するであろう森林の最適施業区分計画の現実政策への適用上の注意について私見を述べた。もっとも、どのような分析であれ、必要なデータは分析目的に合致するように事前に計画し調査・収集するのが理想である。しかし、本例のように、必要なデータを mesh 調査によらざるを得ない場合、個人が新規に mesh 調査を企画、実行することは、時間、労力、費用の何れの面からも不可能に近い問題である。そのさい、上記の見解はこの問題解決にあたり大いに役立つものと考

えられる。

終わりに、研究室の森義昭講師および吉田昌之助手の協力に対し衷心謝意を表したい。特に、吉田助手には1,000個に余るmeshデータの整理やカードパンチのために多大の苦勞をかけたが、同君はこの厄介な作業を大学院学生の河西重雄君とともに誠意をもって遂行してくれた。ここに厚くお礼を申し述べたい。また、本論文では森林の最適施業区分計画シミュレーションの対象を兵庫県に求めたが、そのさい兵庫県庁よりは

mesh調査表の閲覽に対し特別の配慮を得た。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 注1), 2), 4) 奥野忠一他共著『多変量解析法』（日科技連）p.159, p.166, p.392を参照。
3) 林野庁計画課監修『森林計画業務必携』（日本林業調査会）pp.418～448, および兵庫県『森林の機能別調査』を参照。

（筆者・京都大学農学部）