

石器の計量的分析

埴原和郎*・遠藤万里*・赤沢 威**

考古学ならびに歴史学の分野に数学的方法を導入しようとする試みは、すでに1940年代から行なわれていたといわれている。その後1950年には、ニューヨークでこの分野に関する最初の会合が開かれた。コンピューターの発達とともに研究の数も多くなったが、1959年にはウィーン郊外で“考古学における数理的方法の応用”と題するシンポジウムが開かれた。さらに1963年にはモスクワで、1966年にはローマで、また1970年にはルーマニアのママイアで同様の会議が開かれている。

いうまでもなく、このような研究を進めるためには、考古・歴史学者と数量的分析に明るい研究者との緊密な協同作業が要求される。ママイアの学会でうたわれたスローガンも、“数学者は歴史・考古学者と、そして歴史・考古学者は数学者と語り合おう”というものであった。

従来、歴史・考古学は数学とは無縁のものであり、数学を使う意味はまったくないという批判もあるが、これはいささか一方的な意見であって、たがいに話し合い、理解し合う態度がなければ、新しい研究分野を開くことは不可能であろう。残念ながらわが国では、まだ考古学的データを数量的に分析し、客観的判断の基礎にしようという気運にとぼしいように見える。その1つの理由は、数理解析はその専門家でなければできないという先入観にあるように思える。しかしすでに心理学、社会学、言語学などに広く応用されていることを考えれば、このような見方は当たらない。

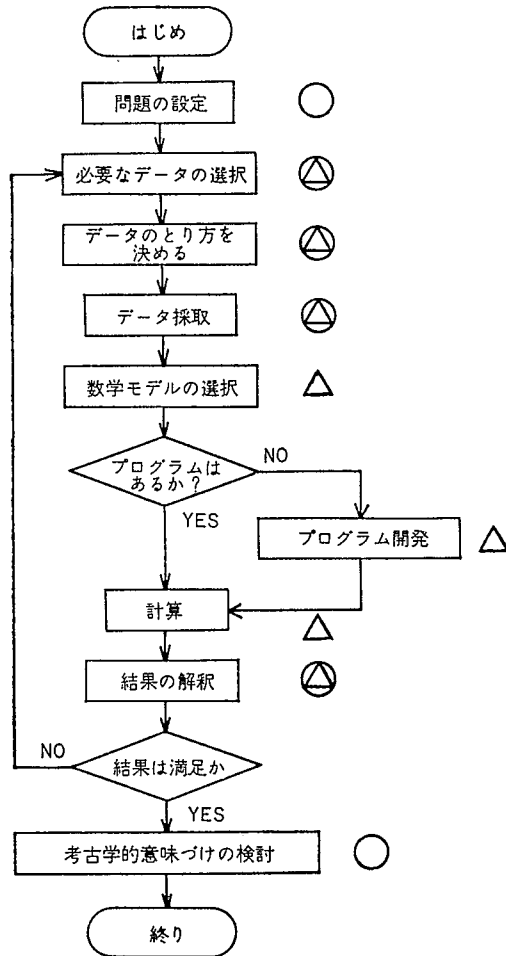
さて、考古学にたとえば統計学を導入しようとするときには、第1図のような流れ図を想定することができるが、これをみても考古学者と統計学者の協力がなければ、研究が進まないことがわかる。このような問題を処理するに当たって、統計学者が先走りすることがあってはならないし、また実際に先走りすることは不可能なのである。

昭和51年度から始まった文部省科学研究費補助金(特定研究)による“自然科学の手法による遺跡・古文化財の研究”では、さまざまな角度から自然科学者が考古学研究に参加することになったが、私どももその一端を担い、“石器型式とその時代的变化に関する計量的研究”という課題のもとに研究を始めた。

この班の目的は、考古学研究の一方法として数量的分析法をとりあげようということにあるが、

* 東京大学理学部人類学教室，東京都文京区本郷7-3-1

** 国立科学博物館，東京都新宿区百人町



第1図 考古学的データを数量的に処理する際の流れ図。

- 主として考古学者が関与する事項。
- △ 主として統計学者などが関与する事項。
- ⊙ 両者が緊密に連絡する必要がある事項。

まず比較的数量化しやすいと思われる旧石器時代の石器の分析を行なうこととした。具体的には、1) 各インダストリーが示す種々の属性に基づいてクラスター分析を行ない、遺跡間の類縁性を客観的に判断する手法を開発すること、ならびに、2) 石器の形態を数量的に表現する方法を開発することによって、従来の定性的、あるいは主観的判断による分類で起りやすい不確実要素を減少し、より客観的な石器の分析を可能にすること、という2点に問題をしぼることとした。

現在はまだ基礎的研究の段階であるが、ここでは昭和51年度に行なった研究の一端を述べることにする。

1. 遺跡のクラスター分析

まず、ある程度客観的な分類基準のある、中期旧石器時代の遺跡の分類を1つのモデルとしてとりあげた。その分類基準というのはボルド (F. Bordes) らのもので、この方法を利用すると、ヨーロッパ、中近東、アフリカの一部の中期旧石器については、共通した基準のもとに各遺跡相互の比較が可能であるとされている。

この場合、石器の各種の特徴は、遺跡ごとにそれらの出現頻度によって表わされるので、生物学や人類学で使われる距離係数を応用することができる。ただしこの場合、原データは連続量ではなく、非連続量になるので、そのようなモデルに該当するものでなければならない。そこでまず採用したのはスミス (C. A. B. Smith) のモデルである。

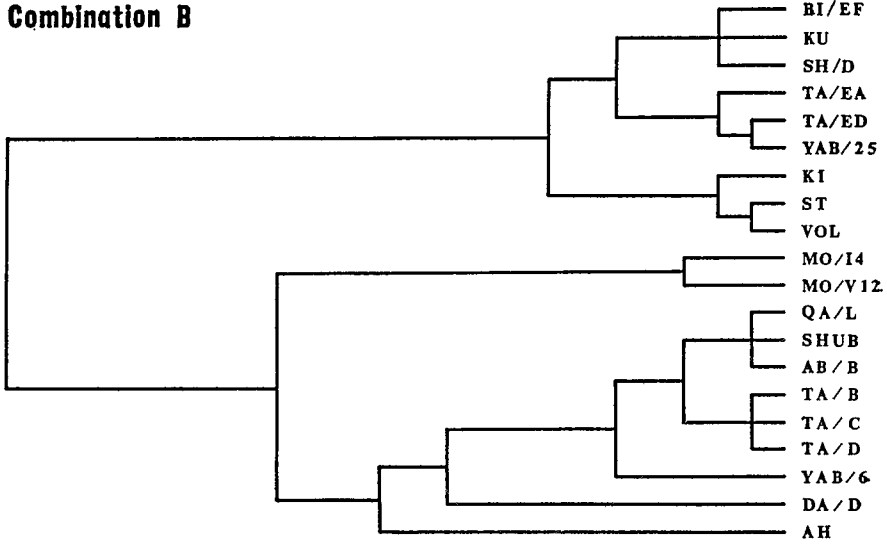
さて私どもは1974年に、シリアで中期旧石器遺跡のドゥアラ洞窟 (Douara Cave) を発掘調査し、おびただしい量の石器をえた。考古学的にみると、これらの石器の形態や組合せはかなりユニークなもので、他の同時代の遺跡との比較が重要な問題となる。そこで、ここではドゥアラ洞窟をはじめ、イラン、イラク、イスラエル、シリア、ウクライナなどの代表的な14遺跡から20インダストリーをえらび、ボルドの基準による分類特徴8種を用いて距離係数を計算した。第2図は各インダストリー相互間の距離に基づいて描いた樹状図であり、第3図はそれを数量化理論第4類の計算によって2次元に展開したものである。

2つの図を比較すると、当然のことながら同様のクラスター形成を認めることができる。その中でまず注目されるのは、20のインダストリーが2群に別れる点である。その2群の関係を第3図で示すと、ちょうどY軸を境にして左右に別れて分布するインダストリー群となる。ここで、今回の分析に利用した8種の変数の原データにもとづいてこの2群を比較してみると、6種の変数までは2群の間で大きな差異を示さないが、残る2変数、即ちルヴァロア型の剥片石器の頻度を示す数値が相互できわだった違いを示していることがわかる。

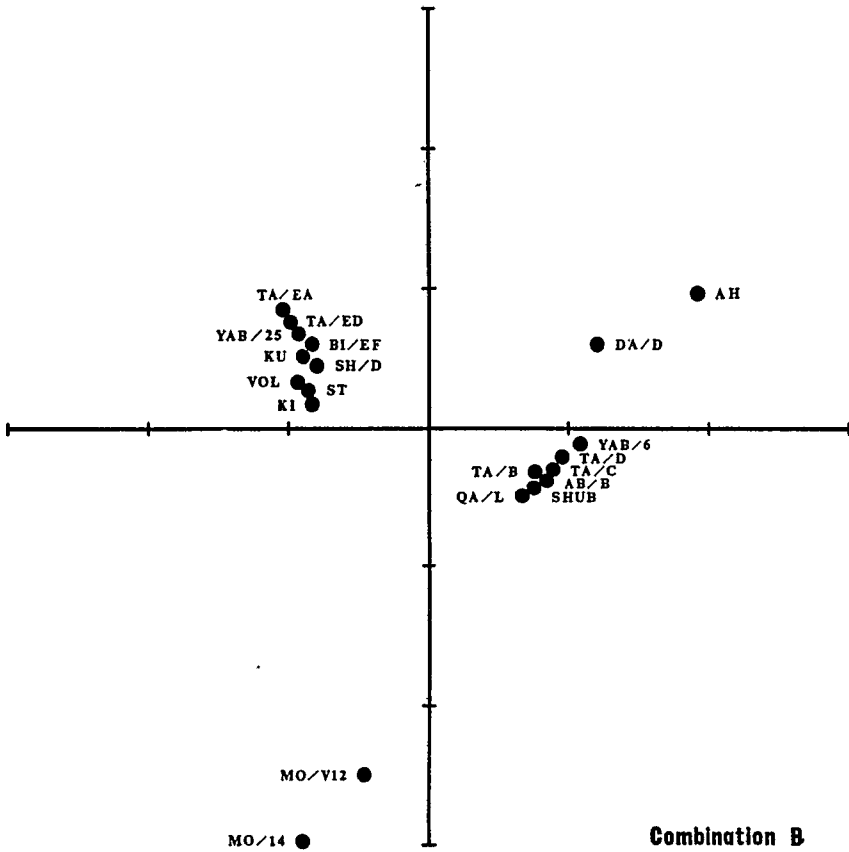
さて、中近東の中期旧石器インダストリーは、一口に言ってルヴァロア型の剥片石器の出現頻度に特徴があるといわれている。中近東で最も早く同定された中期旧石器であるレバンタイン・ムステリアンはルヴァロア型石器の頻度が高いインダストリーであり、一方、レバンタイン・ムステリアンとほぼ同じ分布を示すが、編年上それより古いヤブルディアン、および編年上は同じであるが分布が異なるウクライナとザグロスのムステリアンはルヴァロア型石器の出現頻度が極めて低いインダストリーであるといわれる。第3図のY軸を境にして右(頻度の高いインダストリー)と左(頻度の低いインダストリー)にわかれたクラスター形成は、これまで経験的にいわれている以上のような解釈を客観的に裏付けたといえる。

ところで、中近東のインダストリーはルヴァロア型石器の頻度だけで特徴づけられるものではない。ボルドの基準によれば、それ以外にムステリアン型、後期旧石器型など何種類かの石器の相

Combination B



第2図 西アジア中期石器遺跡の距離係数による樹状図。



第3図 数量化理論第4類による2次元的表现(第2図と同じ遺跡)。

対的出現頻度が重要であり、それらがインダストリー間で微妙な差異を示すといわれている。ルヴァロア型の石器の頻度によって大別された2つの群が、例えば第3図でみられるようにさらにX軸を境にしてそれぞれ上下2つずつのクラスターに別れたのは、まさにこのような事情を反映している可能性がある。

まずレバンタイン・ムステリアンのインダストリーがアハマル(AH)、ドゥアラ(DA/D)とそれ以外の群に分離したのは、ルヴァロア型石器の頻度に差が認められないのであるから、それ以外の理由を考えなければならない。そして原データを調べると、前者に比べて後者がムステリアン型石器を非常に高い割合で含んでおり、この関係によって、2つのクラスターが形成されたと考えられる。

次にルヴァロア型石器の頻度の低い群が、モロドワ(MO/I4, MO/12)とそれ以外に別れたのは次のようないくつかの原因が重なり合った結果であると思われる。図左に分布するインダストリーはルヴァロア型石器の頻度が極めて低く、その代わりにムステリアン型石器が高率を占めるという共通した特徴を有している。しかし詳細に調べてみると、モロドワで発見されたインダストリーだけが、ルヴァロア型石器の割合がやや高く、一方ムステリアン型石器の頻度が比較的低いという特徴を示している。しかしこれだけでは、この2つのインダストリーが他のインダストリーとは別に、しかも著しくかけ離れた位置で、クラスターを形成している事実を説明できない。ところが、この2つのインダストリーには、他の18インダストリーでは非常にめずらしい石器、即ち使用あるいは自然作用によって刃こぼれを生じたとみられる剥片石器が高い頻度で発見される。この種の石器は普通洞窟遺跡よりもオープン・サイトで多く発見されると報告されているが、モロドワ遺跡が今回分析した14遺跡の中で唯一のオープン・サイトであることを考えればうなづける結果である。すなわち、モロドワのインダストリーは、遺跡のタイプが他と異なり、おそらくその為他の洞窟インダストリーとは異なる性状を示すことになった。そのために、この2つのインダストリーが他のいずれのクラスターともかけ離れた位置でクラスターを形成することになったと考えられる。

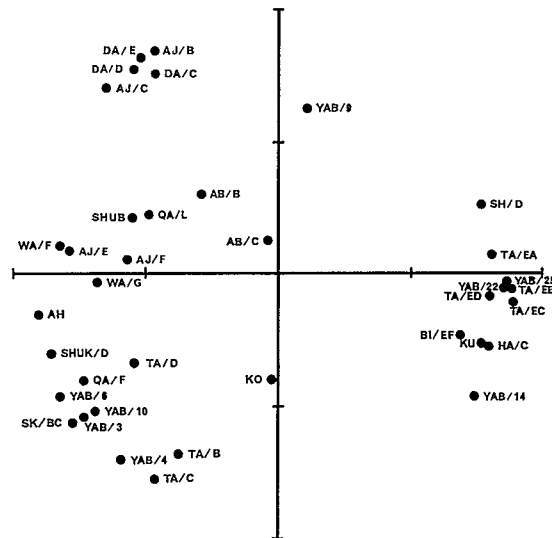
以上の結果は、インダストリーの特徴を、ポルドが考案した2つの基準のうち型式学的示標だけを利用して得られたものである。次にはもう一方の基準である技術的示標を加えた総計13の変数で同様の分析を試みた結果を検討してみる。分析資料は、ウクライナを除くレバント、ザグロス、の中期旧石器始代の37インダストリーである。分析方法は13の変数の出現頻度を逆正弦変換し、これを原データとしてQモード因子分析をおこなった。第4図はその結果算出された2組の因子負荷量にもとづいてインダストリーを二次元に展開したものである。

まず注目される点は、第3図の場合と同じように、Y軸を境にして左右に分布する2群がルヴァロア型石器の出現頻度の多少をあらためて忠実に反映していることである。右側に分布するのはその頻度が低いヤブルディアン、ザグロス・ムステリアンのインダストリーで、左は逆の特徴を持つレ

バンタイン・ムステリアンのインダストリである。ところが第3図と比較した時に、次のような興味ある違いが認められる。それはレバンタイン・ムステリアンが図の左上に位置する小集団と、ややその下方で散在する大きな集団とに別れたが、第3図で、同じクラスターを形成したアハマル(AH)とドゥアラD層(DA/D)とが第4図では別の群に分離していることである。そこで新たに追加した4個の技術的示標の原データを2つのインダストリーで比較してみると、石刃技法の頻度を示す示標がドゥアラのインダストリーでより高い数値を示すことがわかる。第4図の左上の小群を形成する残る4インダストリーの特徴を調べると、いずれもレバンタイン・ムステリアンに共通した特徴を有しながらも、一方でその中では例外的に多量の石刃を含んでいるインダストリーであることがわかる。

第4図の場合も、第3図の場合と同じく、大別4つのクラスター形成を認めることができた。しかし分析に使用した変数が相互に異なるので、その結果の意味するところは異なっている。その中で最も興味ある違いは、レバンタイン・ムステリアンの分離の様相が第3図、第4図の間で異なったことである。

まずインダストリーを石器の形式だけでもとづいて検討してみると(第2図、第3図)、レバンタイン・ムステリアンが2群に別れる傾向を示すが、これはルヴァロア型石器ではなくて、ムステリアン型石器の出現頻度に影響された結果とみなされる。もう少しわかり易くいえば、レバンタイン・ムステリアンには、剥片を2次的に加工して利用する伝統とそうでない伝統とが存在した可能性が認められそうである。次に石器の作り方にもとづいてみた場合(第4図)、石器の材料として石刃を多く作る伝統とそうでない伝統とが存在した可能性が指摘できる。



第4図 13変数による37インダストリーのQモード因子分析。

(第1, 第2因子負荷量による分類)

すなわち、これまでレバンタイン・ムステリアンと総称されているインダストリーの中に、実は以上のような異なる伝統を有するものが分離されないままで共存させられている可能性がある。現在知られているレバンタイン・ムステリアンは、地中海沿岸から数百 km 内陸の砂漠地帯にまで広く分布し、その存続期間も数万年という幅が考えられている。ところが最近、このレバンタイン・ムステリアンが、地域的・時間的に変異を示すのではないかという議論が盛んである。今回の分析結果もこのような意味で重要である。インダストリーのクラスター形成が、時代差を示すのか、地域差を示すのか、それとも同じ集団の活動の違いを示しているのか、それともサンプリング・エラーを示しているにすぎないのか、その辺についてこれ以上の分析は望めない。しかし今回のような分析方法が以上のような問題を解く上で重要な鍵をにぎることになるであろうことは確かである。

2. 石器形の簡便な計量法

ボルドが考案したインダストリーの表現法は、多種多様な形をもつ一群の石器と、形態的示標にもとづいて、観察者の判断により分類することが基礎となる。彼がインダストリーの技術的示標と称するものも、その算出基準は、石器の各種形状のなかから石器の製作技術を間接的に反映していると考えられるものを抽出しているにすぎない。

しかし実際には、石器の形態はかなり主観的に判断されて記述され、分類結果に個人差が現われることは免れえない。これでは各種の示標を設けて、共通の基準でインダストリー間の比較を行なおうとするボルドの試みにも検討の余地があることになる。このような問題を解決する方法として、石器の形態を数量化して客観的に表現することが考えられる。

近年、このような形の数量的表現法はパターン認識として開発されつつあり、これを適用することが望ましい。しかし、この種の方法は精密な光学機械や専用のオンライン・コンピューターを必要とするため、一般の考古学者にとって現実に用いることができないのが通例であろう。ここではパターン認識の方法から始めて、表現能力を低下させても実用上使用に耐え、しかもあまり高度な技術や高価な装置を必要としない簡便な方法の開発を試みた。

出発点として、パターン認識のさまざまな方法のなかで非周期性の図形の認識に適したモーメント法をとりあげる。対象が3次元の物体の形であっても、3次元形から2次元へ写像し、さらに2次元図形を1次元要素に分解することにより、結局1次元のパターン認識に帰着しうるので、1次元パターンが未知関数 $f(x)$ であるとする。これが既知関数 $F(x)$ で

$$f(x) \approx F(x)$$

のように表現できれば問題はないが、現実にはむしろ稀なことである。そのため未知関数 $f(x)$ を統計学にもちいられる特性関数に変換すると、

$$f(x) \leftrightarrow \varphi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} f(x) dx$$

となり、 $f(x)$ の k 次のモーメントを

$$m_k = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx$$

と定義すると、 $\varphi(t)$ は展開されて

$$\varphi(t) = m_0 + m_1 i t + m_2 \frac{i^2 t^2}{2!} + m_3 \frac{i^3 t^3}{3!} + \dots$$

となる。 $i^k t^k$ は既知といえるから、各次のモーメント値が測定できればこのパターンを既知関数として把握したことになる、各次のモーメントが係数としてパターンの性質を規定していることになる。つまりパターンがモーメント値列という数量で表現されたわけである。多少の省略を行なってモーメント値列を充分量の次数迄とし以後切捨てもよい。

ここで、あえて表現能力を低下させて簡略化を行なう。第1段階として、剥片石器を対象とすることを理由に三次元の剥片石器の主要特徴は二次元写像にあるとする。さらに前述のドゥアラ遺跡の中期旧石器時代のインダストリーに照準を合わせる。一般に中期旧石器時代のインダストリーには、その形状からフレイク、ブレイド、ポイント等の構成比率が主要な問題となる。しかし観察では現実にあるインダストリーからこの三者を客観的に抽出しえないほどばらつきがある。これらの形式の主要な特徴は輪郭形にあるので、輪郭に着目し、二次元関数 $f(x, y)$ は閉じた輪郭内で1をとり、外では0をとるとする。このようにすると、各次のモーメント値は k 次を例にとって

$$\text{X軸に関して } m_{k \cdot x} = \iint y^k dx dy$$

$$\text{Y軸に関して } m_{k \cdot y} = \iint x^k dy dx$$

となる。しかしこの簡略法でも数多くの石器を対象とする考古学者には骨の折れる作業や大掛かりな機械を必要とする。

第2段階では、これら各次のモーメントのうち物理学的に意味のある2次迄のモーメントのみを考え、それに加えて、それらのモーメントから計算される径を併せて考える。二次元の直交座標を慣性主軸にとり、原点を図心とすると、次のようにまとめることができる。

X軸に関して

Y軸に関して

$$1 \text{ 次元的 } L = \int dy$$

$$B = \int dx$$

$$D_x = \int y dy / L$$

$$D_y = \int x dx / B$$

$$2 \text{ 次元的 } A = \iint dx dy$$

$$A = \iint dy dx$$

$$M_x = \iint y dx dy = 0$$

$$M_y = \iint x dy dx = 0$$

$$I_x = \iint y^2 dx$$

$$I_y = \iint x^2 dy dx$$

$$R_x = \sqrt{I_x / A}$$

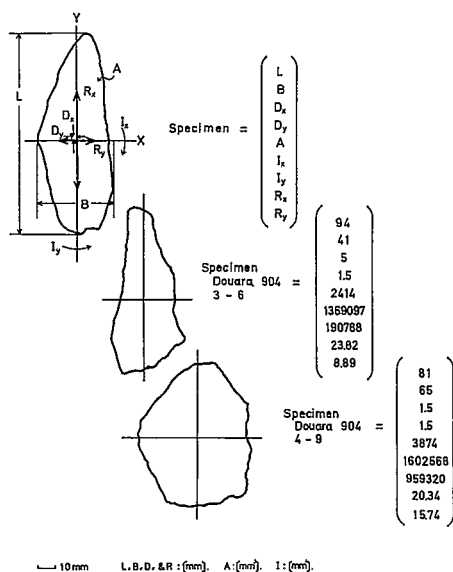
$$R_y = \sqrt{I_y / A}$$

M_x , M_y は0となるので、結局9個の特性値が得られる。これらのもつ意味は、 L = 長さ、 B = 幅、

D = 非対象性距離, A = 面積, I = 主慣性モーメント, R = 回転半径である。これらの値は, 対象とする図形が単位厚みと単位密度をもつ薄板と考えたときの運動方程式と, それから導かれる諸式に必要な係数であり, 図形の運動的側面から表現しているといえる。ここでこの方法を「慣性モーメント法」と呼ぶことにする。上記の特性値の大部分は実際には材料力学や構造力学にもちいられているものであって, 測定法やその計算は簡単であり, 不規則な図形でも必ずしもコンピューターを要しない。かなり安価な造船用インテグレーターとポケット型の関数電卓でも処理することができる。

1. 慣性モーメント法の適用

対象はドゥアラ洞窟で発見されたレバンタイン・ムステリアンのインダストリーで発掘区域9-04区の上層と下層のリタッチのない石器全点である。慣性モーメント法による石器形の表現例は第5図に示す。



第5図 慣性モーメント法による石器形の表現。

前述のフレイク, ブレイド, ポイントの基準はボルドの基準的図版 “Typologie du Paléolithique Ancien et Moyen” より典型的ルヴェロワ型のを各7点とする。この問題では寸法はあまり重要でなく, 特定の形状に焦点が絞られると思われるので, 慣性モーメント法から得る値をボルドの

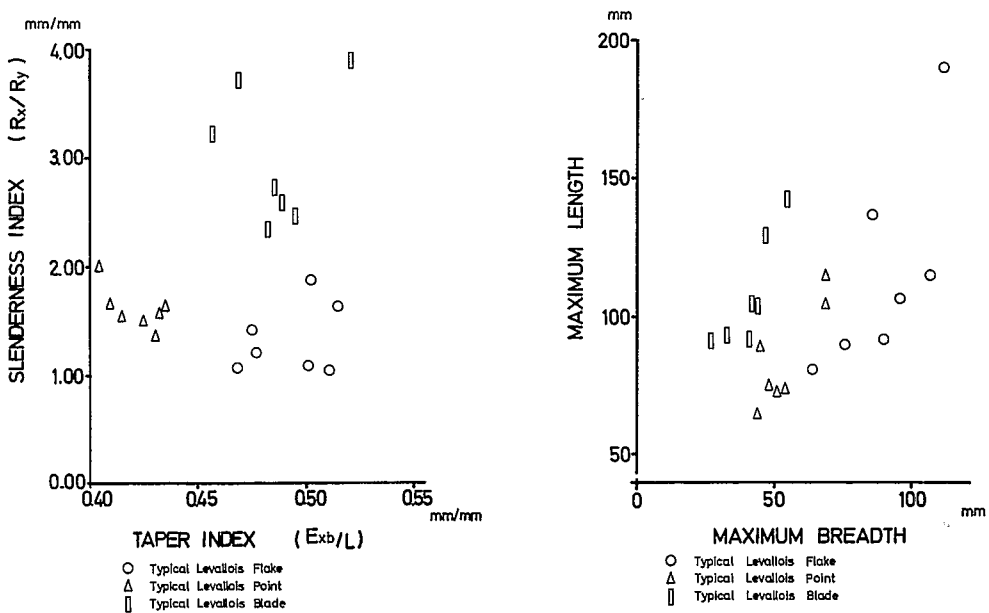
基準にあうように次のように無名数化する変換を行なう。

$$\text{細長さ示数 (Slenderness Index)} = R_x/R_y$$

$$\text{先細り示数 (Taper Index)} = (D_x + L/2)/L = E_{xb}/L$$

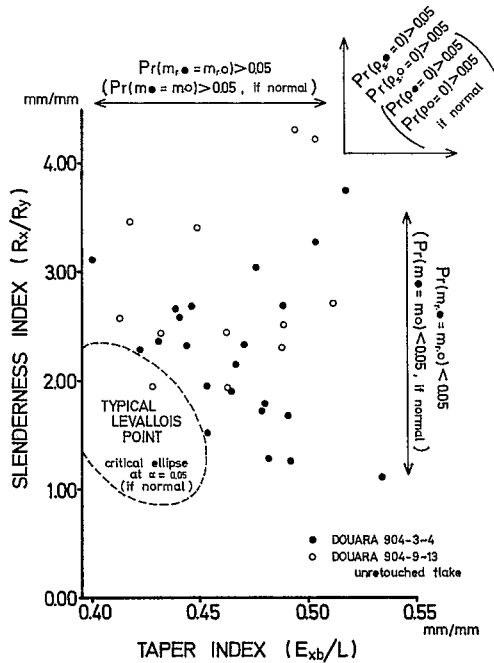
この2示数で前述の3基本形を2次元に図示すると第6図Aのように分離することができる。同図Bは従来の長さと幅による図示で、従来の方法では分離できないことが分る。

この2次元統計によってドゥアラのインダストリーをみると、この2変量を正規分布と仮定したとき典型的ポイントの棄却楕円に入るものは非常に少なく、わずか1点しかなく、ドゥアラのインダストリーは典型的ポイントに乏しいといえる。次に上層と下層とを比べると、安全に考えて順位による検定を行ってみると、両者共に2示数間にスピアマン相関がなく、細長さ示数にのみ有意の差が現われ下層のインダストリーは上層のものより全般的に細長いことがわかる。



第6図 中期旧石器時代の剥片石器3基本形の2変量による表現。

さて、第4図で示される分析結果にもとづいて、レバンタイン・ムステリアンが石刃を多量に含むインダストリーと、幅広の剥片を多く含むインダストリーとに分離される可能性があることを指摘した。ただし、その解釈が、ボルドによって考案された示標を利用した分析結果にもとづいていたため、さらに検討の余地を残していた。そして慣性モーメント法による今回の結果は、ドゥアラ洞窟の上層と下層のインダストリーの間にちょうど上と同様の関係が認められることを示した。



第7図 ドゥアラ中期旧石器時代層の上層と下層のインダストリーの性質。

黒丸は上層，白丸は下層． m = 平均， m_r = 順位の平均， p = 母相関係数，
 P_s = スピアマン順位相関係数．

石刃の出現頻度は中期旧石器時代以後のインダストリー同定に重要な意味をもち，特にその伝統の時代差，地域差を正確に捉えることは，原人と旧人，旧人と新人との関係，また異なる環境に適応していた旧人や新人相互の関係などを，技術的伝統という点から検討することを可能にするはずである。しかしそのためには，石器の分類法をできるだけ客観化する必要があり，今回の分析法はそのための新しい試みの1つである。

Numerical Analyses of Stone Implements

Kazuro HANIHARA*, Banri ENDO*

and

Takeru AKAZAWA**

* Department of Anthropology, Faculty of Science, The University of Tokyo, Tokyo

** Department of Anthropology, National Science Museum, Tokyo

In this study, we performed two kinds of numerical analyses on prehistoric stone implements. The first was a cluster analysis of Middle Paleolithic assemblages from Western Asia, including the one excavated at the Douara Cave, Syria, in 1974, by the Fifth Tokyo University Expedition to Western Asia. One purpose of this analysis was to determine the affinities of the Douara assemblage to the assemblages from similar sites in the same region.

Frequencies based on Bordes' standards for classification of stone implements were used as input data, and Smith's distances were computed between every pair of 20 sites including Douara Cave. Then the distance matrix was analyzed using Hayashi's quantification theory model IV to reduce dimensions, and each site was plotted in two-dimensional space.

The second was a pattern analysis of some of the stone implements from Douara Cave. In this case the flake tools were represented by silhouettes, expressing three-dimensional subjects in two-dimensions, with a minor loss of information. The basic data were produced by a pattern analyzer, and the inertia moment method developed by Endo was applied to several of these data.

Some of the basic values obtained by the pattern analysis were used to calculate a slenderness index and a taper index. Bordes' flakes, blades and points were classified satisfactorily by plotting these indices on an X-Y graph. The results were then explained and criticized from an archeological point of view.