

古墳の形状復元とシステム化†

小 沢 一 雅††

考古学的形状復元問題の一環として前方後円墳の形状復元をとり上げる。築造後約1,500年を経過した前方後円墳の現状は、一般に築造時の原形とはかなりの隔りがあり、原形を推定するためには経験的知識の活用が不可欠である。本稿では、他の考古学的なモニュメントへの応用をも意識しながら、前方後円墳の形状復元の手順とその基本をなす考え方を述べる。とくに、統計的手法の導入によるいわゆる経験的知識の再構成とその利用について述べ、システム化における基本方針を導く。考古学的形状復元問題に見られる現実の多様性に対応する開かれたシステムをめざして、ESRATと名づけた復元支援システムの構成を概説し、二三の具体的な事例について実施した復元実験を報告する。さらに、可視化の視点から、形状復元された古墳の3次元映像化を、曲面モデリングにもとづくレイトレーシング技法によって実行し、得られた映像作品を紹介する。

1. ま え が き

景観シミュレーション¹⁾などコンピュータによる不可視情報の可視化 (Visualization) が注目を集めているが、可視化は必ずしも一元的・一般的に論じ得るものではなく、対象とする問題に応じた個別の対応が求められる。

都市、住宅、あるいは産業機器や製品などの可視化では、その基礎となる物体形状が確定的であるという共通点がある。一方、本稿を含めた考古学的なモニュメントの可視化においては、対象とする物体形状に不確定性があり、その推定と記述に最も重要な問題が含まれている。

すでに筆者らは、破損して出土する土器 (須恵器) の形状復元を目的としたシステムの可能性を検討した²⁾。本稿では、こうした研究の一環として前方後円墳の形状復元問題をとり上げ、可視化の基礎となる復元形の推定手順とそのシステム化を中心に論ずる。さらに、具体的な事例をとり上げてそれらの復元形とレイトレーシングによる復元映像を紹介する。

2. 考古学的形状復元問題

2.1 経験的知識の役割

考古学は、遺物・遺構という物質的存在に基礎をおく科学であるが、発掘によって出土する遺物・遺構の現形にもとづいてもとの形状を推定・復元する操作がしばしば必要になる。小は土器の破片からその原形を復元したり、大は平城宮跡の遺構から平城宮の都市構

造を推定したりする例をあげることができる。

こうした操作にはかなり共通性があり、一括して考古学的形状復元問題とよぶことができる。その共通性の1つに、経験的知識が不可欠の役割をはたしていることがある。たとえば、土器の形状復元では、ほんの小さな破片からもとの全体形を推定し得る場合もあり、破片そのもののもつわずかなパターン情報よりむしろ、土器型式に関する豊富な知識が復元に決定的な役割をはたすことがある。

形状復元にかかわる主な経験的知識には、およそ以下のものがある。

- (1) 対象とする遺物・遺構についての型式分類に関する知識
- (2) 地域・年代に依存する変化傾向に関する知識
- (3) 素材や制作過程に関する物理・化学的知識
- (4) その他、歴史的・考古学的な基礎知識

ある遺物の形状復元を行う場合、遺物それ自身のもつパターン情報と上述の経験的知識とを併用することになるが、一般に遺物の破損がひどくそのパターン情報が貧弱な場合には、知識の役割が大きくなる。逆に、破損の程度が小さく、パターン情報が豊富な場合には、知識の役割も相対的に小さくなる。

2.2 古墳の形状復元と知識の再構成

4世紀初頭から6世紀後半にかけて、北は岩手県から南は鹿児島県に至るまで、全国にわたって盛んに築造された前方後円墳は、筆者の収集した資料によれば、現存するものに限ってもおよそ3,000基が確認される^{3),4)}。

墳丘の現状は、後世の人為的改変や自然崩壊などによって多かれ少なかれ変形をうけ、築造時の原形を完全にとどめるものはない。およそ1,500年の歳月を経た前方後円墳の形状を復元し、築造時の原形を再現す

† System Implementation for Restoration and Visualization of Japanese Ancient Tombs by KAZUMASA OZAWA (Faculty of Engineering, Osaka Electro-Communication University).

†† 大阪電気通信大学工学部

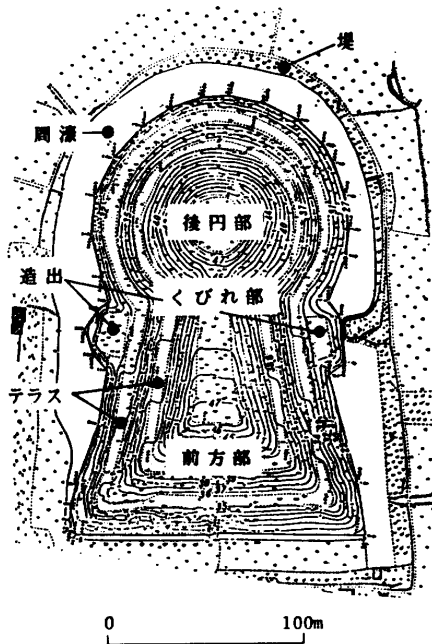


図1 実測図(菅田墓山古墳, 大阪府)

Fig. 1 A contour map (Konda-Hakayama tomb in Osaka Prefecture).

ることは、考古学的にはもちろんのこと、地域における文化や環境保全の視点からも重要な意義をもつ。

このような古墳の形状復元にあたって起点となる現形のパターン情報は図1のような実測図(等高線表示)から抽出される。パターン情報をどのように活用するか、何が利用できるかは、個々の事例に依存するが、一般的な方針が全くないわけではない。古墳の形態研究によって明らかにされた知見⁴⁾を軸にして、形状復元の標準的な手順を考えるための基本事項を以下にまとめておく。

前方後円墳は、基本的には自然地形の掘削や盛土による築造物であるが、無計画で奔放な土工によるものではなく、厳密な設計にもとづいて整然と築造されたものと考えられている。前方後円墳は、鍵穴型(Keyhole-shaped)をした墳丘主体部を中核とし、それをとりまく周濠・堤などによって構成される(図1)。周濠や堤などの施設それ自身も重要な意味をもつが、墳丘主体部を中心に考えれば、その形状復元に必要なパターン情報はつぎの3つの要素に分類できる。

- (1) 墳丘の骨格的な概形を規定する基本形状
- (2) 段築の形式を含む墳丘各部の詳細な形状
- (3) 付属的な施設である造出(つくりだし)の形状(位置・大きさ)

上記(1)にあげた基本形状は、古墳の型式分類の基

礎になるものであるが、形状復元のためにはこれだけのパターン情報では全く不十分であって、(2)および(3)の詳細なパターン情報も不可欠である。これらすべてが直接手に入れば、経験的知識を利用する必要は生じないが、現実にはむしろ逆であって、とりわけ(2)あるいは(3)に関する情報が欠落している場合が多い。

欠落している情報を埋めるにあたって、形状復元の対象となる古墳がどの型式(タイプ)に属しているかという点が、経験的知識利用の鍵になる。

一方、(1)~(3)に関連する経験的知識は豊富にあるが、本質的に断片的であり、「連続性」に欠ける点は現実的な利用を考えていく上で問題となる。1つの原因は、これら考古学的な知識が、本来、いくつかの事例から帰納した小法則の集合であって、法則間の整合性や矛盾などについて十分な調整が行われていないことにあると思われる。さらに、経験的知識における形状記述が定性的であって、形状復元に必要な定量的記述ではないことにも問題がある。

既存の経験的知識が内包するこうした問題点を解決するために、統計的方法を導入して経験的知識が包括する内容の一部を再構成し、利用可能な形式に整備することを試みた。再構成の重点の対象として、基本形状にもとづいた型式分類に関する知識をとり上げている^{4),5)}。内容を以下に要約する。

まず、基本形状の定量的記述を、図2に示す7つの部位の推定値 $a \sim g$ の組として与える。 $a \sim g$ を基礎パラメータとよぶことにする。基礎パラメータの推定は、図1のような実測図の形式で記述された墳丘の現形にもとづいて行われる人間のパターン認識の操作である。

筆者は、基礎パラメータの比率、すなわち a/b , c/b , d/b , f/e , g/e の5つの相対量についての主成分分析によって得られる第1主成分 z_1 と第2主成分 z_2 が、古墳の型式分類や形態の年代変化にかかわる経験的知識の再構成に有効であることを示し、それぞれを型式変

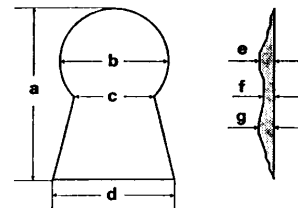


図2 7部位(基礎パラメータ)

Fig. 2 Seven dimensions (basic parameters).

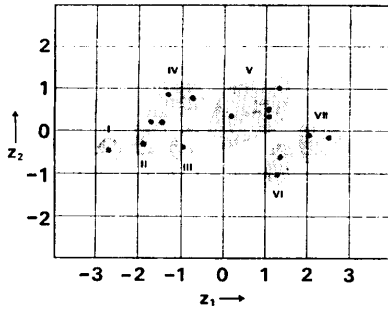


図3 分析チャート
7領域が型式 (I~VII) に対応する。
●印は指標古墳 (3.2.2 項参照).

Fig. 3 Analysis chart.
The seven domains correspond to Type I ~Type VII. ● denotes a reference tomb (See Section 3.2.2).

化指数および胴長指数とよぶことにした^{4),5)}。z₁ と z₂ の累積寄与率は約 80% で、それぞれの固有ベクトル表示を基礎パラメータによる算術式に書き下したものが次式である。

$$z_1 = \frac{0.70a + 3.58c + 1.79d}{b} + \frac{2.51g + 3.03f}{e} - 9.14 \quad (1)$$

$$z_2 = \frac{-4.83a + 1.74c - 0.73d}{b} + \frac{-0.05g + 1.61f}{e} + 7.26 \quad (2)$$

主成分 z₁ と z₂ を用いて、2.1 節で述べた経験的知識のうち、型式分類に関する知識が、図3に示す分析チャートの形式に再構成された^{4),5)} (分析チャート作成の基礎とした古墳は畿内大型 33 基で、年代的には 4 世紀初頭から 6 世紀中頃までの広がりがある)。任意の古墳 x の基礎パラメータが推定できれば式(1)および(2)から z₁ と z₂ が算出されるから、分析チャート上の位置に応じて x の型式 (タイプ) 判定が可能となるわけである。

一方、年代による古墳形態の変化傾向に関する経験的知識も、図4に示す編年曲線の形式に再構成された⁴⁾。編年曲線は、マーカーとなる既知の3点 (図中の●点) を通過する2次曲線 (放物線) であって、年代推定誤差を評価したものである (陰影)。編年曲線は1価関数であるから、z₁→年代という年代推定と同時に、年代→z₁ という推定も可能であり、形状復元に有効に利用できる。

* z₂ は、ほとんど最大因子 a/b によって支配されており、z₂ = -4.83a/b + 8.62 である。

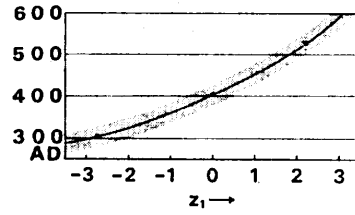
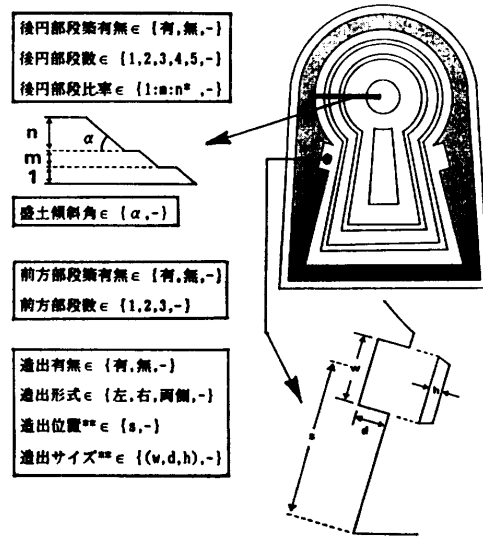


図4 編年曲線
Fig. 4 Chronological curve.

さて、型式分類や編年にかかわる経験的知識は考古学の通例として前述のように事例中心のものが多く、必ずしも一般法則化されたものではない。したがって、図3と図4のように「一般法則」として再構成された知識は、あくまで大局的であって、変則的な特例を説明し得るものではない。こうした特例に属する知識については、それらを集中的に体现しているとみられる古墳を指標古墳として選定し、随時参照可能な形式で当該知識を個別に保持させる方法が有効である (3.2.2 項参照)。

さきに列挙したパターン情報のうち、墳丘の基本形状については、基礎パラメータとして定量的に規定した (図2)。ここで、墳丘の段築や造出などの細部の形状を規定する細部パラメータを図5のように導入する。

前方後円墳という一つの3次元物体に関する2種類のパラメータ群を導入したが、対応するパターン情報が不十分な場合には、一部のパラメータを確定できない



- は不明を示す値 * は後円部段数=3の場合
** は後円部直径 b (図2) を100とする相対値 (ただし、hは後円部高 e を16とする相対値)

図5 細部パラメータ
Fig. 5 Decorative parameters.

い場合が生じる。このとき、関係する経験的知識によってこれらを補完することになる。たとえば、造出(図1および図5)は、その位置や大きさについて1つの型式内である程度の恒常性が認められるから、仮りに墳丘の崩壊が激しくパターン情報としてこれらを直接抽出することができなくとも、同一型式の他の古墳を参照して推定することができる。他の細部パラメータについても、多少の事情の違いはあれ、経験的知識の利用によって補完し得るものは多い。

3. システムによる形状復元

3.1 システムの目標

前章で述べた古墳の形状復元の構想を具体化するシステムの構築にあたって、つぎの各点を目標においた。

- (1) 実測図から抽出できるパターン情報のレベルに応じた柔軟な対応ができること。つまり、墳丘の崩壊が著しい場合から保存状態が良好な場合に至る、現実の多様性に対応できること。
- (2) 人間の判断力(あるいはパターン認識能力)を形状復元の過程で随時生かせる形式であること。
- (3) 必須ではないが、理想として、古墳に限らず他の考古学的形状復元問題にも参考となる現実性をもつこと。

上記(1)への具体的な対応として、細部パラメータをはじめ形状復元に必要な情報のうち、パターン情報として直接手に入るものは優先的にこれを採用し、そうでないものについては推定値(あるいは暫定値)をあてる方法を採用した。

一方、可視化の強力な手段たる3次元コンピュータグラフィックスについては、ここで述べる形状復元のためのシステムに含めず、いったん本システムによって出力された形状データにもとづくレイトレーシングによって実現することとした。

本システムの最終出力たる復元形の標準記述形式は等高線表示とした。その理由は、古墳の形状記述形式としてすでに実測図(等高線表示、図1参照)が定着していることにある。現形と復元形との比較も容易であり、学術的にも利用価値が高いと考えられるからである。

3.2 システム構成

3.2.1 概要

経験に依存するところが多い古墳の形状復元作業を円滑に支援するシステムを構築し、すでにいくつかの事例に適用した。本システムは、図形生成型のエキスパートシステムと考えることができるので、ESRAT(an Expert System for graphical Restoration of Ancient Tombs)と名づけている。

ESRATのシステム構成は簡単で、基本となる2つのモジュールとインタフェース部から成り立っている(図6)。

推定モジュールは、分析チャートと編年曲線を基礎にして型式判定、指標古墳の決定、年代による基礎パラメータの推定などを行い、さらに必要な細部パラメータを推定する。

作図モジュールは、与えられる全パラメータ(基礎パラメータと細部パラメータ)を矛盾なく体現する古墳の復元形を決定し、等高線表示出力を行う。

前述のように、本稿で考える古墳の形状復元では、各種パラメータが実測図からパターン情報として得られる場合、これを優先利用する方針がある。つまり、パターン情報として得られないパラメータのみを推定モジュールによって推定させることになる。極端な場合、全パラメータが実測図から直接手に入ることもある。このような場合には、推定モジュールを起動させる必要は全くなく、作図モジュールのみの動作によって形状復元が行われる。逆に、パターン情報が皆無(古墳が消滅し、実測図もない)の場合、少なくとも古墳の年代と基礎パラメータの一部(a と b 、図2参照)がわかれば、推定モジュールによって必要な全パラメータが推定される。

インタフェース部はこうした現実の多様性に対する

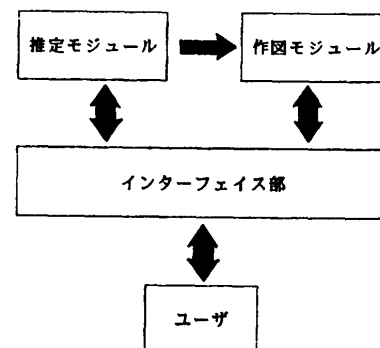


図6 ESRATの構成

Fig. 6 Conceptual structure of ESRAT.

対応や、復元形の対話的修正などに必要なモジュールの管理と対話機能をつかさどる。

3.2.2 推定モジュール

推定モジュールの標準的な動作は、基礎パラメータが与えられ、これによって必要な細部パラメータを推定することである。まず、この動作について述べる。

復元の対象とする古墳 x があり、その基礎パラメータ ($a \sim g$) が与えられるものとしよう。式(1)および(2)によって、ただちに2つの指数 $z_1(x)$ と $z_2(x)$ が求められる。2つの指数の組をつぎのように位置ベクトル x で表すことにする。

$$x = (z_1(x), z_2(x)) \quad (3)$$

x は指数平面 (分析チャート, 図3参照) 上の1点に対応する。型式判定の基本は、分析チャートに示される、重なり合うことのない7つの領域 T_i ($i = I \sim VII$) をそれぞれ型式 i に対応させることにある (この対応の考古学的妥当性はすでに検討済みであり⁴⁾、本稿ではこの点についての解説は省略する)。

すなわち、与えられる古墳 x について、

$$x \in T_i \quad (4)$$

となる領域 T_i が存在すれば、 x を型式 i と判定するわけである。

各型式に付随する基礎パラメータと細部パラメータは、それぞれその型式における平均的な基本形状と装飾的な特徴を表現するものであるが、型式によってはその内部でも形態の変動が認められ必ずしも型式全体を1組の基礎パラメータと細部パラメータで一元的に記述することができない場合が多い。つまり、同じデザインの服でも、着る人によって、体型による各部の寸法の違いや、微妙な装飾の違いがあるのに似ている。このような実態にあわせて各パラメータの表現形式を図7のような2階層フレーム形式としている。1つの型式内での形態の変動は、その型式内におけるいくつかのサブタイプが存在と関係しているとみられるため、各サブタイプを代表する古墳を指標古墳として選定し、それぞれの全パラメータを指標フレームに登録する。型式フレームと指標フレームの構造はほぼ同じであるが (継承関係を除いて同一のスロットの集まり)、指標フレームのスロット値が定義されている場合はこれを優先し、未定義の場合はデフォルト値として上位フレームたる型式フレームを参照する。なお、図7に示されるように、基礎パラメータはすべて後円部直径 $b=100$ かつ後円部高 $e=16$ とおいたときの相対値によって表現されている。形状復元処理がすべて

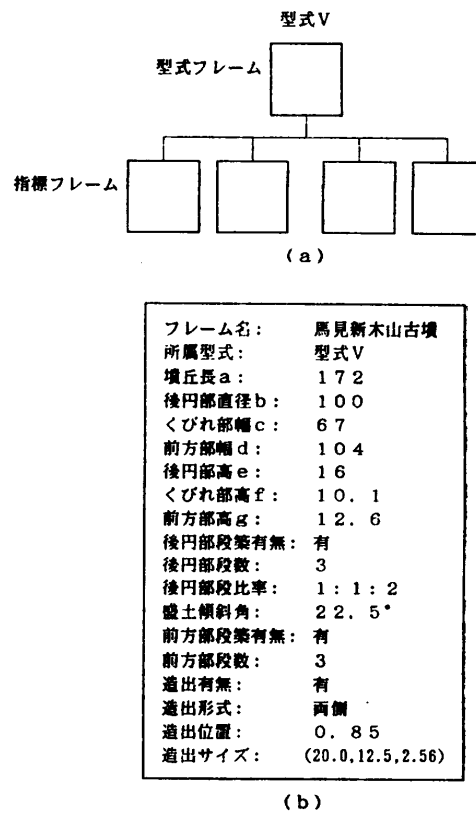


図7 型式フレームと指標フレーム
(a) 型式Vにおける2階層構造, (b) 指標フレームの内容

Fig. 7 A type frame and its reference frames.
(a) Two storied hierarchical structure for Type V, (b) Slot names and values of a reference frame.

相対値を基準として行われるからであるが、こうした b と e の基準値の設定は、経験法則 $e=0.14b+1.70$ にもとづいている⁴⁾。なお、この経験法則は推定処理のためのプログラム中にも埋め込まれており、高さ情報が失われた古墳における高さ (e, f あるいは g など) の推定に有効に働く。

指標古墳は、現在15基選定されている (図3において●印で表示)。型式 i に属する1つの指標古墳 u の位置ベクトルを u とすれば、式(4)をみたす古墳 x について、指数平面上におけるユークリッド距離

$$d(x, u) = \sqrt{(x_1 - u_1)^2 + (x_2 - u_2)^2}$$

を最小にする指標古墳 u を検出し、その指標フレームを利用することになる。

一般には、古墳 x に関する細部パラメータの一部がすでにパターン情報として得られている場合もある。このように「事実」として獲得されるパラメータ値は指標フレームにも優先し、最も高い優先度をもつ。

一方、古墳 x のパターン情報が皆無であり、まず基礎パラメータそのものを推定しなければならない場合には、図4の編年曲線を利用することになる。この場合、少なくとも x の年代が与えられれば、前述のように対応する z_1 が推定できる。さらに、状況証拠によって z_2 の暫定値を与えることができれば、位置ベクトル x の暫定値が得られ、上記と同様の手順で全パラメータの推定を行うことができる。

状況証拠から z_2 の暫定値を得る典型的な例は、古墳 x と比較的近い年代にあって、地理的にも近接し、かつ基礎パラメータの比率 a/b (z_2 の最大因子、2.2節参照) を計測できる古墳を参考にする方法である。しかし、このようにパターン情報が皆無な古墳の形状復元は所詮かなりの不確定性をともなうはずであり、つぎに述べる作図モジュールの援用による対話的な試行錯誤にゆだねられる部分が大いと思われる。ただし、現実にはこの種の極端な例は少なく、墳丘はほとんど崩壊していたとしても、発掘調査などによって墳丘長 a と後円部直径 b がかなりの確かさで確定できるものと考えている。

3.2.3 作図モジュール

作図モジュールは、形状復元の対象となる古墳 x の全パラメータ（基礎パラメータおよび細部パラメータ）が与えられれば作動し、その復元形を等高線表示で出力する。

古墳 x の全パラメータが実測図等のパターン情報から正しく確定できる例外的な場合を除いて、一般には推定モジュールによる推定値を含む暫定的なパラメータ値を基礎にして復元作業を開始する。等高線表示でとりあえず出力される復元案に対して、修正要求を出せば、必要な修正量を設定して再び新しい復元案が出力される。この操作を満足な復元案に到達するまでくり返すことになる。墳形の修正を支配する本質的変量は基礎パラメータと細部パラメータであるが、これらの各量の変化が墳形にどのように影響するかを直感的にとらえるのは必ずしも容易ではない。むしろ、墳形の特徴を象徴し、かつ目に見える装飾的な部位に対して、より具体的な修正要求が出せれば試行が円滑に進行することもあり得る。作図モジュールは、以下に述べるように、こうした現実を重視する構成になっている。

復元形の作図の出発点は、図8に示される概形図である。概形図は、基礎パラメータ（図2参照）に1つの経験法則（P点が $\angle FDC$ あるいは $\angle GEC$ の2等

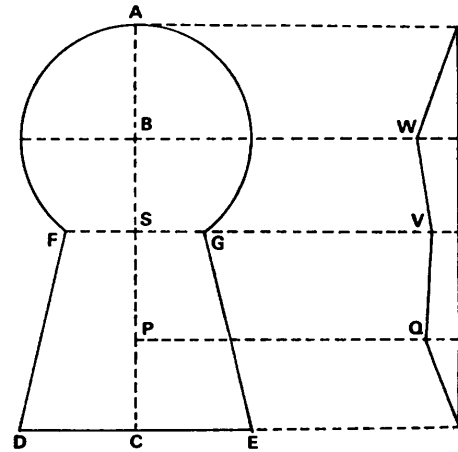


図8 概形図
Fig. 8 Basic sketch of outlines.

分線上にある) を適用して描かれる墳形の基本デッサンである。概形図をベースにして、細部パラメータが規定する墳丘細部の肉づけを行い、墳形を復元していく。この過程で、アルゴリズム中に埋め込まれたいくつかの経験法則が重要な役割をはたす。つまり、前方後円墳という3次元物体を仔細にみると、基礎パラメータと細部パラメータだけでは形状を決定できない部分が随所にみられるからである。とくに、後円部と前方部の接合部にあたるくびれ部のまわりにこうした

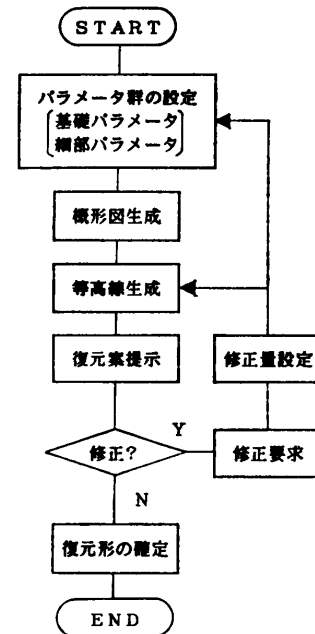


図9 復元形の作図過程
Fig. 9 Procedure for depicting a restored contour map.

傾向が顕著である⁴⁾。

さて、作図モジュールによる形状復元（等高線図の作図）の過程を概念的に図示したものが図9であるが、図中のフィードバックで示される修正操作が可能な対象はつぎのとおりである。

- (1) 基礎パラメータの全部
- (2) 細部パラメータの全部
- (3) 墳形の装飾的部分（5種類）

上記(3)として、後円部頂径（頂上の円形平坦部の直径）、前方部頂上平坦部のサイズ（長さ×幅）、くびれ部頂上平坦部の幅、テラス幅、造出の位置とサイズの5種類がある。これら装飾的部位の各々は、(1)と(2)に属する複数のパラメータの相互作用の結果として従属的にその形状が決まるため、どのパラメータをどれだけ変えれば満足な修正が行えるのかが直感的にとらえにくい傾向がある。したがって本質的な決定変数である(1)および(2)に加えて、従属的であるにもかかわらず(3)を操作対象とすることによって墳形の

対話的修正の円滑化をはかっている。ただし、指定される従属変数の修正量を実現する複数個の決定変数の各変化量を確定するのは単純ではなく、その過程でも対話的な試行が必要になる。図10に一例としてテラス幅修正の流れを示している。テラス幅を直接支配する細部パラメータとしての盛土傾斜角を変化させると、他の部位の形状も変化するため、対話的な調整が必要になっている。上記(3)に属する他の部位についてもほぼ同様な傾向をたどる。ただし、造出の修正に限れば、それ自身細部パラメータであり、他への影響もなく、クロスカーソルによる位置指定やサイズ指定によって比較的簡単に実行できる。

作図モジュールは、人間による等高線図の作図操作を代行するものであるが、上に述べたようにユーザたる専門家（考古学者）との対話を前提として作業を進行させていく。推定モジュールの利用を含めて、ESRATによる古墳の形状復元の全過程でこのようなユーザの適切な介入が不可欠である。このため、図6に示すインタフェース部のはたす役割は非常に大きい。

なお、作図モジュールによる復元形の出力は、修正要求のない場合、約6秒程度であり実用上問題なく高速である。ESRAT全体のサイズは576KB（ロードモジュール）であって、現在FACOM-VP30Eコンピュータ上で稼動中である。

3.3 復元の実施例

ESRATによる形状復元を実施した2つの事例について以下に紹介する。

1つは、大阪府羽曳野市にある応神天皇陵であって、実測図（図11(a)）に示されるように墳形は一部の崩壊部分を除いて比較的よく保全されているため、パターン情報からはほぼ完全に全パラメータが確定できる例である。この場合、推定モジュールを用いることなく、ただちに作図モジュールを起動して形状復元を行うことができる。図11(b)にその復元形を示す。

もう1つの事例は、神奈川県川崎市の白山古墳である⁵⁾。この古墳は昭和10年代に旅館の建築のため破壊され現存しないが、幸運にも破壊前に慶応大学による発掘調査が行われていたため、実測図を含む貴重な情報が報告書の形で確

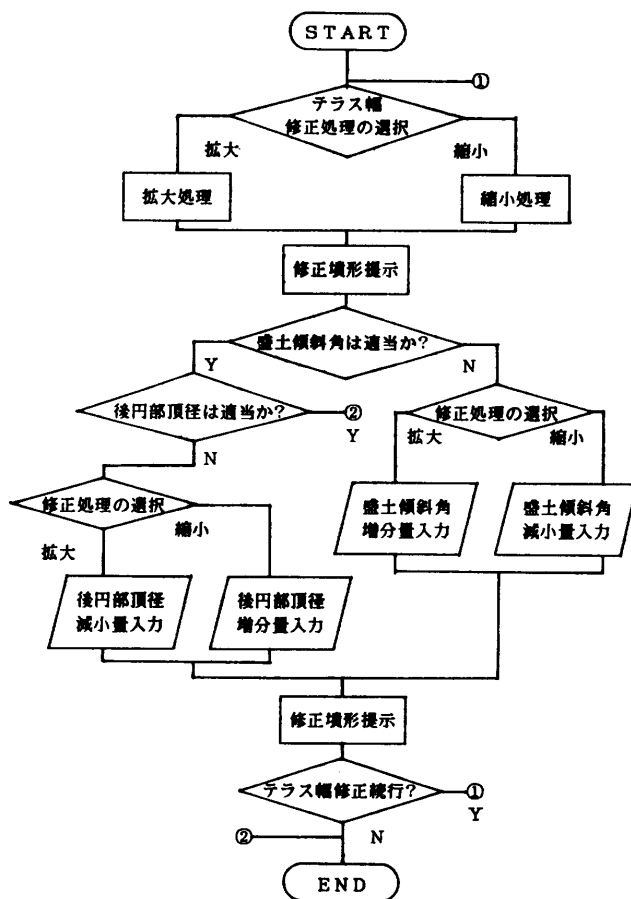


図10 テラス幅修正の流れ

Fig. 10 Flow diagram of changing the terrace width.

* 本古墳の形状復元は、川崎市市民ミュージアム開設にあたって同市教育委員会の委託により実施した。

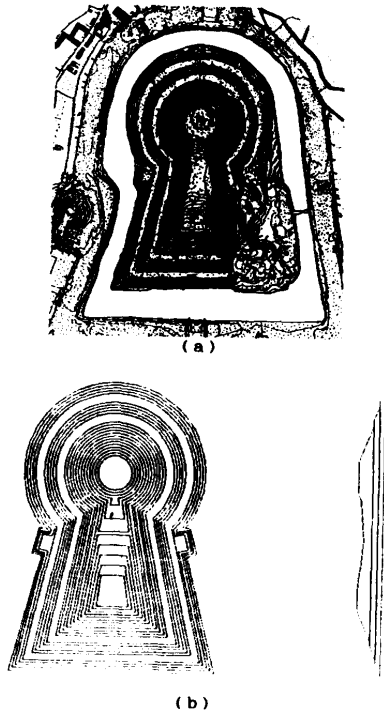


図 11 応神天皇陵の形状復元
(a) 実測図, (b) 復元形

Fig. 11 Restoration of Mausoleum of the Emperor Ojin.
(a) Original contours, (b) Restored contours.

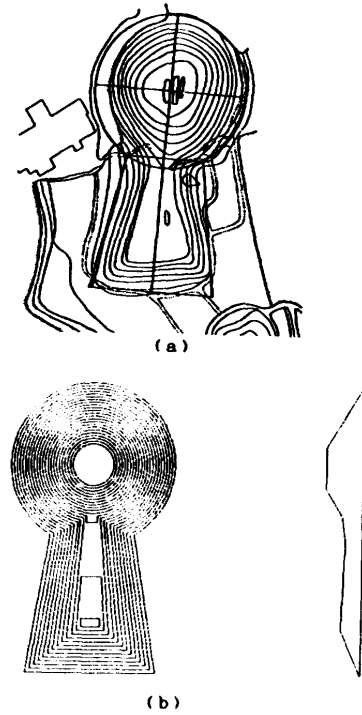


図 12 白山古墳の形状復元
(a) 実測図, (b) 復元形

Fig. 12 Restoration of Hakusan tomb.
(a) Original contours, (b) Restored contours.

保されている⁶⁾。白山古墳は多摩川と平行する矢上川の東岸の細長い独立台地（夢見ヶ崎台地）の西北端部に築かれた古墳であるが、実測図（図 12(a)）によれば、調査時点においてすでに墳丘の残存率は悪く、パターン情報もかなり不完全である。しかし、実測図の墳形から判断して少なくとも基礎パラメータは確保できるとみなし、図 12(a) に示す推定形にもとづいて7部位の推定値を定めた。これらをもとに推定モジュールを起動し、細部パラメータを推定した（型式Ⅱに属し、指標古墳は奈良県桜井市のメスリ山古墳）。図 12(b) に得られた復元形を示す。

3.4 3D 映像化

図 11 あるいは図 12 に示されている等高線表示の復元形は、墳丘に関する考古学的な研究など、学術的な用途を重視した標準出力形式である。一方、可視化の視点からみれば、等高線表示のみでは明らかに不十分であり、さらに徹底化が必要と考えられる。昨今、可視化の標準的技法としてレイトレーシング技法が主流となりつつあるが、ESRAT の標準出力をもとに適

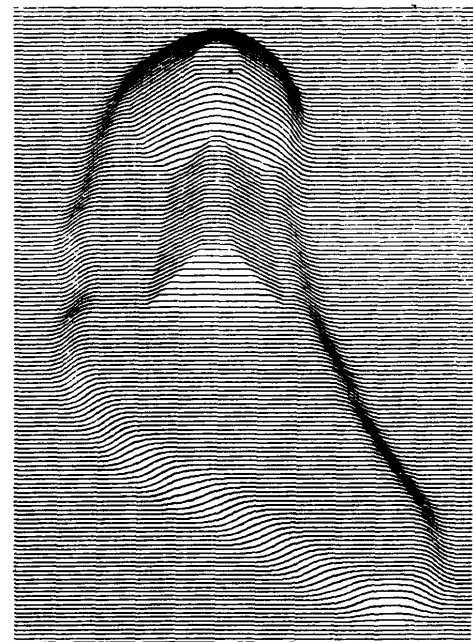
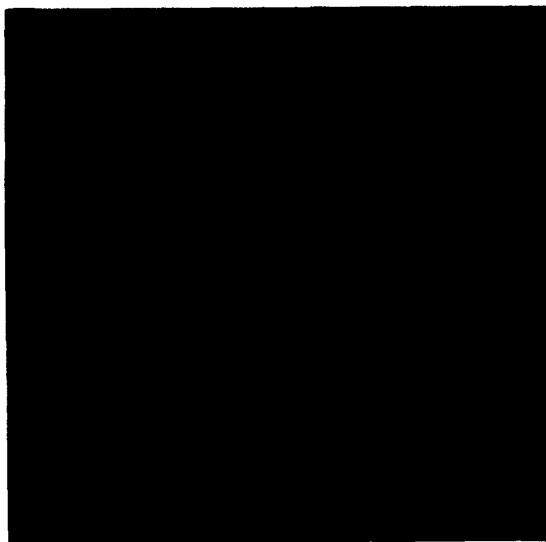
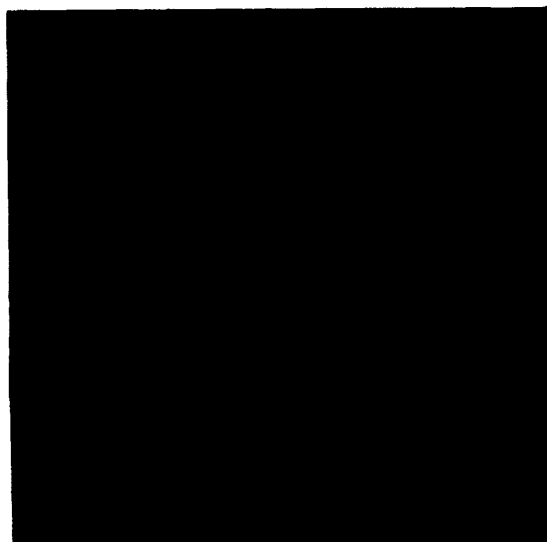


図 13 3次元曲面モデリング（白山古墳近傍）
Fig. 13 3-Dimensional surface modeling (Hakusan tomb and its surroundings).



(a)



(b)

図 14 古墳の復元映像化

(a) 応神天皇陵, (b) 白山古墳

Fig. 14 Visualization of the ancient tombs.

(a) Mausoleum of the Emperor Ojin,

(b) Hakusan tomb.

当なモデリングを行い、レイトレーシングによって前方後円墳の復元形の 3D 映像化を試みた。以下に要約する。

映像化にあたっては、ESRAT の復元目標たる墳丘主体部のみならず、それを囲む周濠、堤および自然地形などの環境を含めた 1 つの古代景観の復元をめざした。形状記述はサーフェイスモデルによったが、墳丘主体部をとり囲む環境の形状はそれぞれの古墳によ

て全く異なるので個別の対応が求められる。すなわち、周濠と堤（周濠がある場合）の形状および古墳近傍の地形の形状は、実測図とできる限り古い地形図（1/25,000、国土地理院）をもとに原形を推定する。この後、墳丘主体部を含めて等間隔メッシュサンプリングによって各標本点における標高値を定め、全体を三角パッチで被覆近似する（図 13）。遠景をなす山々については、自然地形を参考にしながら、大小の円錐体の論理和によって形成される曲面に確率的変動を加え、さらにスムージング処理を施した曲面を用いる。レイトレーシングによる各ピクセル輝度の決定過程において、あらかじめ登録されている物体の材質に応じた簡単な乱数処理を施し、テクスチャの差異を表現している。レイトレーシング技術そのものに関しては、高速化を含めて特別な工夫を加えているわけではなく、一般的な方式⁷⁾を踏襲した。図 14 に示される応神天皇陵と白山古墳の墳丘主体部に関しては、前者の標準的な葺石（表面の石張り）形式に対し、後者は文献 6) の記述および地域性を勘案して葺石なしとし単純盛土構造を想定した。2 つの復元映像の原画は 800×800 ピクセルであって、それぞれ、FACOM-VP30E コンピュータによるスカラ計算方式で約 3 時間 (CPU) のレンダリング時間を要した。

4. む す び

本稿では考古学的形状復元問題のうち、主として前方後円墳の形状復元に焦点をあて、その手続きからシステム化に至る考え方の大要を述べた。

本文中でも触れたが、考古学的形状復元問題では対象となる遺物・遺構の欠損状態はきわめて多様であり、復元作業の過程において人間の柔軟な判断力を随時活用できる開かれたシステムが現実的と考えられる。すなわち、完全に人間を代行するシステムではなく、いわば効果的な共同作業のあり方を追求することがむしろ重視されるべき方向であろう。ESRAT は、改良すべきいくつかの点を残しつつも、こうした意味において 1 つの範例を示すものと考えている。

今後の課題として、前方後円墳の時代を構成する人工物（住居等を含む）の形状復元、およびそれらを総合した古代景観シミュレーションの実施をめざしている。

謝辞 本研究に協力された大阪電気通信大学卒研究生 田中一士・佐川宣宏・西岡誠史・藤本 章・石田直幸・藤村句子・笹谷 修・戸井一夫の各君に深謝する。

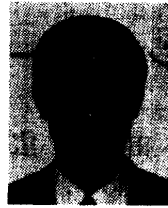
なお、本研究の一部は文部省科研費（一般研究(C) No. 01580037) による。

参 考 文 献

- 1) 中前栄八郎：景観シミュレーション，テレビジョン学会全国大会論文集，pp. 579-582 (1989).
- 2) 加藤常員，仁木 滉，小沢一雅：連想記憶モデルによる土器図形の復元シミュレーション，情報処理学会論文誌，Vol. 27, No. 12, pp. 1238-1248 (1986).
- 3) 小沢一雅：考古学研究支援型データベースシステムの構成，情報処理学会論文誌，Vol. 26, No. 5, pp. 936-945 (1985).
- 4) 小沢一雅：前方後円墳の数理，雄山閣出版，東京 (1988).
- 5) 小沢一雅：前方後円墳の築造企画，考古学ジャーナル，No. 276, pp. 11-16 (1987).
- 6) 柴田常恵，森 貞成：日吉加瀬古墳，三田史学会，東京 (1953).
- 7) 中前栄八郎：コンピュータグラフィックス，オーム社，東京 (1987).

(平成2年9月14日受付)

(平成3年3月4日採録)



小沢 一雅 (正会員)

昭和17年生。昭和41年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。昭和47年同大学院博士課程修了。工学博士。同年大阪電気通信大学工学部講師。昭和54年同教授。平成2年同大学大学院担当(兼任)。レーザOCRの研究を経て、パターン認識、コンピュータ考古学等の研究に従事。電子情報通信学会、テレビジョン学会、IEEE、英国BMVAおよびCAA各会員。著書「情報理論の基礎」(国民科学社)、「数理考古学入門」(共訳；雄山閣)、「前方後円墳の数理」(雄山閣)。