

# 距離画像による頭蓋骨の形状計測と特徴比較支援システム

内山 晋二† 井口 征士††

人類学において、人類集団の起源・系統を調べる手段として、頭蓋骨形態の比較が用いられる。現在、頭蓋骨の形状の測定は、人体計測の標準となっているマルチン式計測法に基づいて、各種計測器具により人の手によって行われている。本研究では、まず、頭蓋骨の3次元形状計測を行うシステムを開発し、従来行われてきたマルチン式の頭蓋骨計測をコンピュータ上で実現する対話型マルチン式頭蓋骨計測環境を構築した。本研究は、文部省科学研究費・重点領域研究「先史モンゴロイド集団の拡散と適応戦略」の一貫として行った研究である。人間を分別する際に選ばれる身体形質を人種特徴というが、モンゴロイドの人種特徴である「鼻が低く頬骨が前方に張り出し鼻の突出度が少ないが、鼻腔が深い、眉間部の隆起が少なく眉間の段差が小さい」などの形状特徴を、画像処理の技術を用いて比較計測するシステムの開発が目的であった。それに対して、本研究では液晶レンジファインダを利用して3次元形状データを取得し、これまでのマルチン式計測法のコンピュータ化はもとより、従来計測できなかった、表面積、体積、曲率、平坦度などの特徴パラメータも計測可能となった。頭蓋骨の3次元形状の特徴を比較する実例として、20標本に対して、耳眼水平面上部体積、上顎骨鼻腔入口面積比、上顎骨平坦度、眉間部平坦度の計測を行い、頭蓋骨の形状特徴の比較を示した。

## 3D Shape Measurement of Crania and Its Application to Comparative Archaeology

SHINJI UCHIYAMA† and SEIJI INOKUCHI††

This paper deals with three dimensional image processing system for comparative archaeology. Measurement and comparison of shape are very important in anthropology. The comparison of shape of human bodies, bones and crania have been carried out based on Martin's method since long time ago. This method is basically manual and point-wise measurement. Recent development of 3-D imaging system can replace manual measurement with computer-aided measurement. This system provides an interactive supporting tool for detecting 3-D shape of crania using a range imaging system and for comparing their features based on image processing techniques. Range images taken from 6 directions such as stop, bottom, left, right, front, and back, are converted onto single 3-D coordinate. Pointing of the feature points described in Martins's method is done on CRT display by mouse device. Parametric features are easily obtained through image processing function, for example, length, depth, angle, area, volume, curvature, flatness, etc.. Experimental results show the comparison of volume of upper portion of reid's base line, flatness of maxilla, and flatness of pars glabella ossisfrontalis, among 20 crania.

### 1. ま え が き

現在、地球上に生存する人類は、生物学的にいえばすべてホモ・サピエンスという1つの種に属する。諸人種はいくら外見上差異があろうとも、分類学的にいえば、種より1つ下位の亜種に相当する。人種は、三

大人種群に分類される。

- (1) コーカソイド：ヨーロッパ、北アフリカ、インド
- (2) モンゴロイド：北アジア、東アジア、アメリカなど

- (3) ニグロイド：サハラ以南のアフリカ

また、オーストラリア原住民に関しては、ニューギニア、東南アジアの一部と合わせて、オーストラロイドと総称され、四大人種と呼ぶこともある。

本研究は、文部省科学研究費・重点領域研究「先史モンゴロイド集団の拡散と適応戦略」の一貫として行った研究である。人間を分別する際に選ばれる身体形質を人種特徴というが、モンゴロイドの人種特徴につい

† 株式会社エム・アール・システム研究所

Mixed Reality Systems Laboratory Inc.

†† 大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系・システム科学分野

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

と考えると、(1)身長が低い、(2)胸が厚く広い、(3)四肢が胴に比べて短く太い、(4)手足が小さい、(5)皮下脂肪が四肢の末端まで多く分布し、ずんぐりした体型を持つ、(6)頭髪は密で剛直、(7)顔毛体毛が少ない、(8)鼻が低く頬骨が前方に張り出し鼻の突出度が少ないが鼻腔が深い、(9)眉間部の隆起が少なく眉臉の段差が小さい、などがあげられる。このようなモンゴロイドに共通する人種特徴は、かつてシベリアにおいて寒冷な気象条件に適応する過程で獲得されたと考えられている<sup>1)</sup>。

このような人種特徴は、これまで人の目による観測で定性的にいわれてきたもので、ごく簡単な定量分析しか行われていない。(8)、(9)などについて考えると、これらは3次元的な形状特徴を人間が印象として獲得する類の特徴である。これまでは、こうした定性的な形状の特徴は、2点間の距離などでその特徴を裏付けるといった簡単な分析方法しか行われていなかった<sup>2)</sup>。その原因は、3次元形状を効率良く簡便に計測する手段を利用できる状況になかったからだと考えられる。

本研究では、3次元画像計測装置を用いて頭蓋骨の3次元形状計測を行った。本手法を用いると、これまでのマルチン式の計測法のコンピュータ化はもとより、従来計測できなかった、表面の法線、曲率、表面積、体積などの量も計測可能となる。また、頭蓋骨の3次元形状データベースを構築することにより、データの操作・管理などの取扱いが容易となる。

## 2. 頭蓋骨距離画像計測システム

本研究では、研究室で開発した液晶レンジファインダ<sup>3)</sup>による距離画像を形状計測に応用した。距離画像は、別名2.5次元画像と呼ばれるように、ある一方向から見た物体表面形状を計測するものである。頭蓋骨全体の3次元形状を得るには、複数方向から距離画像を計測し、それらを同一座標系に融合する必要がある<sup>4)</sup>。

複数方向から距離画像を計測する手段として、図1に示すように、1台のレンジファインダと回転角制御の可能なターンテーブルを用いた。ターンテーブルの回転軸は、基準物体を計測することによって求まり、回転角は既知で、1つの世界座標系上に距離画像計測値を得ることができる<sup>5)</sup>。頭蓋骨をこのターンテーブルに載せ、適当な角度回転させては距離画像を計測するという操作を複数回行うことによって、垂直軸中心周りから計測した形状データが得られる。

しかし、ターンテーブルを利用して、頭蓋骨の置

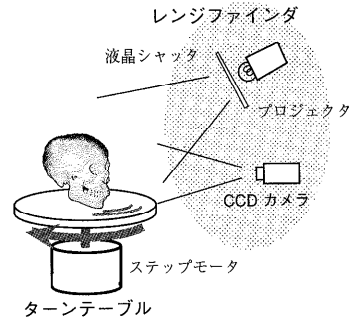


図1 計測システム

Fig. 1 Measurement system.

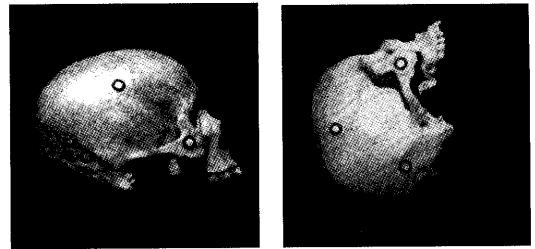


図2 計測中の頭蓋骨の置き方

Fig. 2 Pose of cranium under measurement.

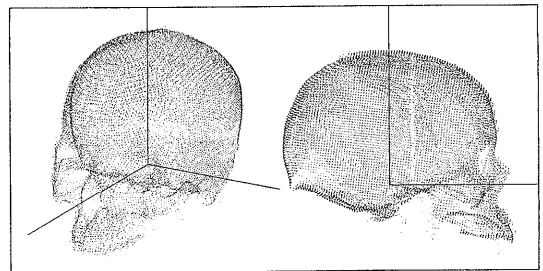


図3 3次元計測データ

Fig. 3 3-D data from rangefinder.

き方を変えないかぎり、真上や真下からしか計測できない部分の形状データは得られない。そこで図2に示すように、頭蓋骨を縦横2通りの置き方でターンテーブルに載せ、それぞれターンテーブルを90°回転させるごとに、4回距離画像を撮像する。その際、頭蓋骨に3点のマーキング・シールを貼り、置き方を変えた際の座標変換の指標としている。これにより、8枚の距離画像を同一座標系上にマッピングすることができる。8枚の画像のうち、側面の2組はほぼ同一の視野となるので、実際には6方向(前、後、左、右、上、下)からの6枚の画像から3次元形状を得ている。実際の頭蓋骨の計測で得られた点を同一世界座標系上にプロットしたものを図3に示す。

### 3. マルチン式人骨計測法

人体に関する計測は、生体、骨を問わずマルチン式計測法<sup>6),7)</sup>により行われるのが一般的である。これは、2点間距離、周長、2線のなす角度などについて、「どこをどう計るか」を体系化したものである。通常、これらの計測は、滑動計、触角計などを用いて人の手によって行われる。これは、逆にいえば、人の手による計測の限界から、従来このような簡便な2点間の距離や2線のなす角度といった特徴を用いてきたものであると考えることもできる。

本研究では、頭蓋骨の特徴を算出するために、図3に示したような3次元画像計測を用いる。この大きなメリットとしては、上述のような2点間距離といった簡単な指標値のみならず、表面の密な計測データを利用した特徴抽出が可能である点にある。このメリットを活かした手法に関しては、4章にて述べることとし、本章では、従来手法であるマルチン式人骨計測法を距離画像計測にて実現する方法に関して述べる。これは、距離画像の有用性を活かすものではないが、従来の人の手による計測と比較して、以下の点でメリットがあると考えられる。

- データ入力、指標値の算出が計算機内ですべて処理されるため、計測からデータ入力までが簡便になり、データベース化が容易となる。
- いったん3次元画像計測を行ってしまえば、以降実物を参照する必要がなく、繰り返しサンプルデータを参照したり、比較したりなどが行える。実物を直接参照できない立場の研究者がデータを利用することも可能となる。
- 計測を高速に行うことができる。
- 計測者による差が出にくく、客観性があり再現性のある指標算出が可能である。

以上の点を考慮し、マルチン式計測法を距離画像を基に実現するシステムを構築したので、以下にその詳細を述べる。

#### 3.1 基準面の設定

マルチン式の計測法では、頭蓋骨の前後上下左右を決定するための、水平面、垂直面が定められている。6方向からの距離画像計測で得られる形状データは、同一座標系上にはあるものの、そのときの頭蓋骨の向きは、計測した時点で計測装置に依存したもので、上述のような座標系とはなっていない。そこでマルチン計測法に合致するように、正中矢状面、耳眼水平面、前頭面を求め、図4に示すようにそれらの面がそれぞれ  $xz$  平面、 $xy$  平面、 $yz$  平面となるように座標変換

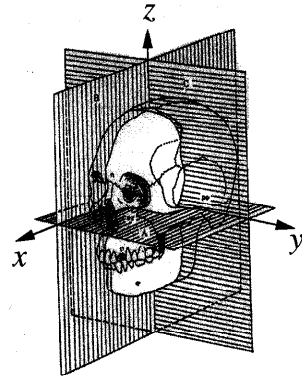


図4 頭蓋骨の座標系

Fig. 4 Coordinate of cranium.

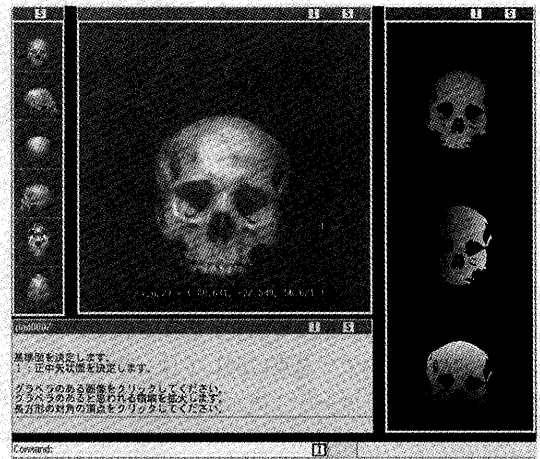


図5 計測システムの対話画面

Fig. 5 Screen of measurement system.

を行う。

本システムでのマルチン式計測の環境は、マウスを利用した対話型の環境である。図5に代表的な対話画面を示す。画面左に縦に表示されている6枚の濃淡画像が、6方向から計測した距離画像に対応する。この6枚の濃淡画像のいずれかをマウスでクリックすることによって、1つのデータ（距離画像、濃淡画像）を選択する。中央に表示されている濃淡画像が現在選択しているデータの濃淡画像である。右に縦に3枚の画像が表示されているが、上から  $x$  座標値、 $y$  座標値、 $z$  座標値を濃淡表示（256階調に正規化）したものである。濃淡画像中でマウスを動かすと、それに連動して距離画像中のカーソルも動き、点位置の把握の助けとなっており、また、濃淡画像下部にその点の3次元位置が表示される。この図は、グラベラ（眉間の外表面上の正中矢状面内での最前突出点）の位置の指定を

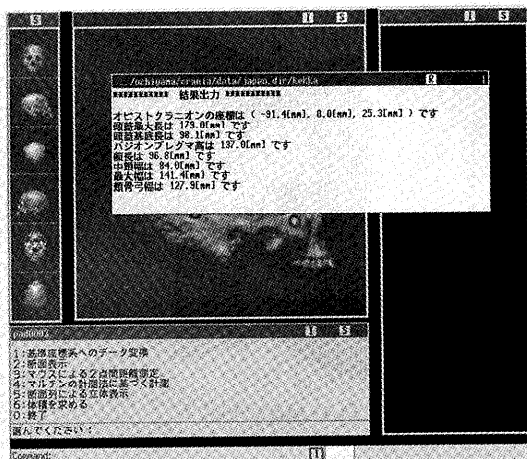


図 6 マルチン手法の結果例

Fig. 6 Screen of Martin's Method.

行っているところで、濃淡画像の中の点をマウスでクリックすることによって、その場所の座標位置を距離画像の対応している点位置として求める。このとき、細かい指定が可能のように、部分的に拡大することが可能となっている。

上述した方法により、正中矢状面、耳眼水平面、前頭面を求め基準面とする。この際、「後頭部の外表面にあって最も後方に突出する点」という定義であるオビストラニオンのような点に関しては、後頭部側データ中でグラベラ位置から3次元的に最長距離にある点を探索するといった手法を用いている。

### 3.2 マルチン式計測例

マルチン式計測はもともと点計測に基づくものであるが、その計測点は非常に多く、計測に時間がかかる。また直接巻尺をあてることができない部位もある。今回、マルチン式計測の実例として、頭蓋最大長、頭蓋最大幅、頭蓋基底長パジオンプレグマ高、顔長、中頬幅、上顔高、頬骨弓幅を求めるシステムを構築した。このとき、頭蓋最大幅、頬骨弓幅などの特徴は、マウスで探索領域を指定し、領域内で最も左右に突出する点を探索することによって求めている。

ある日本人の頭蓋骨に関して、マルチン式の計測を行った結果の出力例を図6に示す。今回実装している特徴量は、上述の7個であるが、本システムはこれらに限定されるものではない。まったく同様の実装を追加することにより、現システムの機能のまま、計測できる特徴量を増やすことが容易に行えるという、拡張性を持つ。このシステムを人類学の研究者に提供することによって、用途が広がるものと期待される。

## 4. 距離画像に基づく頭蓋骨形状の特徴抽出

3章で述べた手法は、従来、人の手により行われていたマルチン式計測法をGUI環境下で計測装置によって置き換えるものである。しかし、人の手によるマルチン式計測法を置き換えるだけでは、3次元画像計測を行うメリットは少ない。距離画像のように表面の形状データを密に計測できるデータが得られるからこそそのメリットを活かすべきである。そこで、従来、人類学者の間で定性的に判断されていた特徴を距離画像を利用することにより数値化する試みを行った。

本研究では、先史モンゴロイド集団の拡散と適応戦略を解明するための支援システムの構築を目指している。そのため、モンゴロイドの頭蓋骨の特徴として定性的に述べられてきた、

- (1) 頭蓋骨の体積が大きい、
  - (2) 鼻腔の入口の面積が狭く、上顎骨の部分が大きい、
  - (3) 鼻が低く、顔面が平坦で頬骨が前方に張り出している、
  - (4) 上顎骨の隆起が少なく平坦である、
- という特徴を数値化することで指標を策定する試みを行った。これらの特徴は、人の手による点間距離のような数値化では算出が困難であった特徴である。距離画像を基にすると、頭蓋骨の3次元表面形状が非常に密に得られており、対象を立体として3次元的な表面として特徴をとらえることが可能となる。

### 4.1 耳眼水平面上部体積

まず、頭蓋骨の大きさの指標となる特徴量として耳眼水平面上部体積を計測することを試みた。頭蓋骨のうち、耳眼水平面上方にある部分は主に脳蓋に相当し、頭の大きさ、脳の大きさを示す指標となると考えられる。頭の大きさは、人類学的に重要な特徴として利用されている特徴であるが、従来の計測法では、体積値を算出すること自体が困難であったため、定量化することが難しかった特徴である。以下に、具体的な体積の算出方法を述べる。

体積は、断面積の区分求積により算出する。ある小さい間隔ごとに、水平面での断面形状を求め断面積を計算することによって、 $\Sigma(\text{間隔幅} \times \text{断面積})$ により近似的な体積を求めることができる。まず、微小な厚みを持った水平な板状の空間領域を考え、距離画像計測点を全探索し、この領域中にある点を選び出す。見つかった点を水平面に正射影することで、点群としての輪郭形状が得られる。しかし、この点群は平面状に分布する規則性のない点の集まりにすぎないため、この

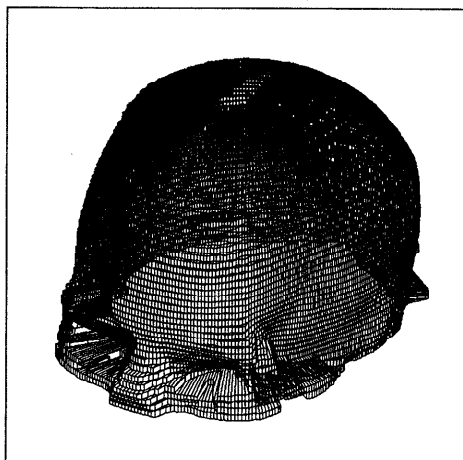


図7 頭蓋骨上部体積 (耳眼水平面より上部)  
Fig. 7 Volume of upper portion of cranium.

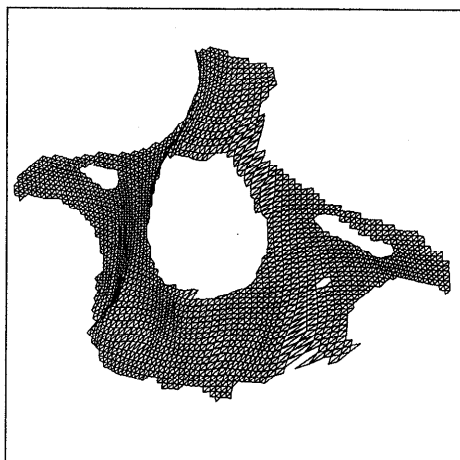


図8 上顎骨表面積  
Fig. 8 Surface of maxilla.

ままでは断面形状を表す輪郭線は得られない。そこで、 $z$  軸中心  $(x, y) = (0, 0)$  の点に各点の局座標変換を行い、角度によってソートしたのち、近接点間を補間することによって閉曲線として輪郭線形状を得る。断面形状が輪郭線として求まれば、画像上での輪郭線内部の画素数から断面積を求めることができる。ある日本人の頭蓋骨に関して、耳眼水平面上部の体積を求めた際に得られた立体形状を図7に示す。この頭蓋骨の場合、 $1778 \text{ cm}^3$  という値が得られている。

#### 4.2 上顎骨・鼻腔入口面積比

典型的モンゴロイドにみられる人種特徴に、鼻腔の入口の面積が狭く、上顎骨の部分が大きいという特徴がある。つまり、鼻腔が深く、鼻腔に比べて副鼻腔が大きい。この特徴は、従来、頭蓋骨の表面積を簡便に計測することが困難であったため、数値化することがなされていなかった特徴である。そこで、距離画像を基に、上顎骨・鼻腔入口面積比を特徴指標として利用することを試みた。上顎骨の外表面積を得るには、上顎骨部分を計測データから切り出さなければならない。上顎骨に関する形状情報は、すべて頭蓋骨正面から計測した計測データを用いる。

濃淡画像と距離画像との間では、同じ画素位置どうしの点に対応しているので、濃淡画像を利用して距離画像中の領域を指定することができ、また、距離画像から得られる形状エッジを濃淡画像中に付加することもできる。上顎骨部分の切り出しは、濃淡画像上でマウスによって対話的に輪郭形状を指定することを基本とする。ただし、距離画像から、画像中で計測できた領域と計測できなかった領域とのエッジ(シャドウエッジ)、および、計測値が連続でなく階段状の段差となっ

ているエッジ(ジャンプエッジ)が求まり、これらのエッジを上顎骨の輪郭形状として利用している。ここで、ジャンプエッジは、濃淡画像におけるエッジオペレータを距離画像に施すことによって検出できる。これらのエッジを濃淡画像に重ねて表示し、この状態を初期状態として、輪郭を対話処理によって追加削除していくことによって上顎骨部分を輪郭形状として切り出す。

上顎骨領域が距離画像上で決定された後、その領域の表面積を求める。これは、距離画像において近接画素間を結んで得られる微小三角形群によって、本来曲面である上顎骨外表面を平面群により近似表現し、それらの三角形の面積の総和を求めることによって表面積を算出する。図8に、ある日本人の上顎骨外表面を示す。

上顎骨形状が得られたならば、鼻腔入口は閉曲線である輪郭線として得られている。一般に閉曲線を通る曲面は一意には決定できない。そこで、輪郭線の3次元重心を求め、輪郭線上に微小な間隔をおいた2点とこの重心とで三角形を作り、輪郭線全体にわたってこの処理を行うことで、三角形の面積の総和として鼻腔入口の面積とする。

#### 4.3 上顎骨平坦度

モンゴロイドは、鼻が低く、顔面が平坦で頬骨が前方に張り出しているという人種特徴を持つ。そのため、上顎骨の隆起が少なく平坦である。この特徴は、従来、図9に示すように、両頬骨のエッジ  $g, h$  間を結ぶ線分を弦として正中点  $i$  (上顎骨の鼻腔入口部で最も前方に張り出している点) から弦に降ろした垂線が用いられ、特徴点間の長さで平坦度を表したりしてい

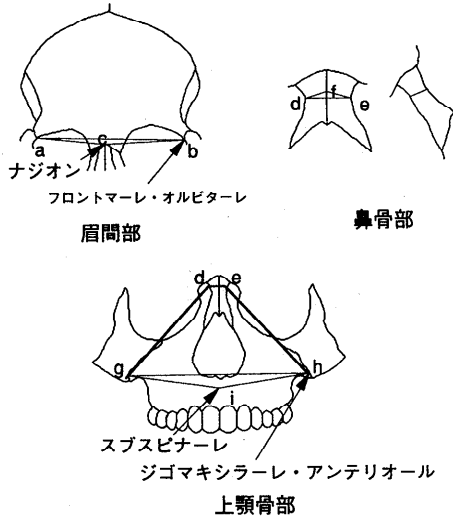


図9 顔面の平坦度計測  
Fig. 9 Measurement method of flatness of face.

た<sup>2),8)</sup>。人の手による計測では、このような直線と点の距離を測ることしかできず、表面全体の平坦度を計測することは不可能であったためである。

これに対して、距離画像計測を用いると、表面形状を密に獲得できるため、上顎骨の表面全体の面形状としての平坦度を算出することが可能となる。そこで、上顎骨に関して上顎骨基準面という面を考え、基準面からの距離分布、基準面と表面法線方向のなす角の分布という2つの平坦度の指標を用いることを試みた。この基準面は、図9のd点、e点、g点、h点の4点を通る面である。実際には左右の非対称性から4点を通る平面は存在しないので、4点を通る平面を最小二乗近似により求めている。

ある日本人の頭蓋骨に関して、上顎骨上の点と上顎骨基準面との距離を図10に示す。この線分の長さの分布、平均などが特徴指標となる。次に、法線方向を距離画像の各画素近接8近傍の点の平面最小二乗近似により求める。頭蓋骨正面の距離画像の法線方向の例を図11に示す。これは、法線ベクトルを表す長さ5mmの線分を頭蓋骨表面に貼り付けたものである。4.2節で切り出した上顎骨部分に関して、この法線方向と基準面の方向ベクトルとのなす角の分布を調べ、上顎骨部分の隆起凹凸の指標とした。

4.4 眉間部平坦度

上顎骨と同様に、モンゴロイドの特徴を見るうえでは、眉間部分の形状も重要な特徴を示す領域である。典型的モンゴロイドは、眉間領域においても平坦性が強く、隆起が少ないといわれている。そこで、眉間の

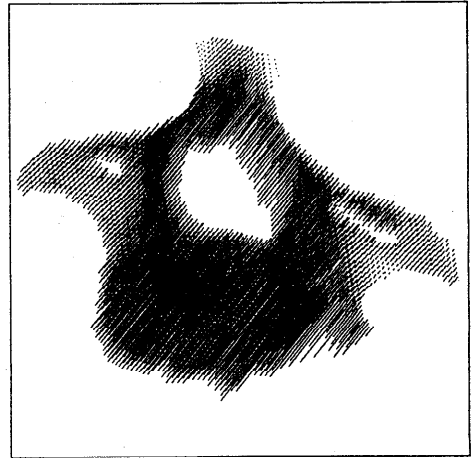


図10 上顎骨表面と上顎骨基準面との距離  
Fig. 10 Distance between maxilla surface and base plane.

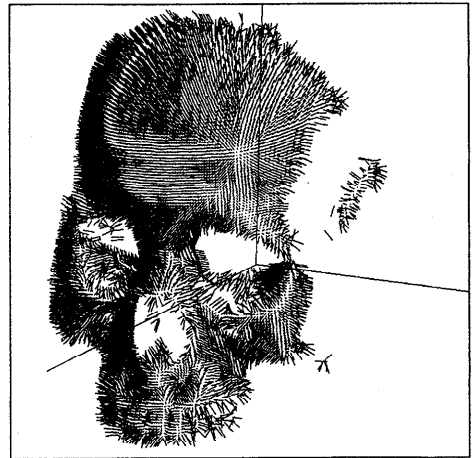


図11 頭蓋骨表面の法線方向  
Fig. 11 Normal direction on cranium surface.

隆起凹凸を調べる眉間部平坦度という特徴指標を用いることを試みた。この指標も、従来の計測法では、数値化が困難であった特徴である。ここでいう眉間部分とは、両眼腔の中央から上部にかけての前頭骨部分で、最も前方に張り出しているところまでの領域のことである。

眉間部分を正面からの計測データから切り出す方法を図12に示す。眼腔と前頭骨との境界は、距離画像のジャンプエッジから得られ、前頭骨と上顎骨との境界(縫合線)は、マウスを用いることによって指定する。これらは、上顎骨部分の切り出しの場合と同様である。その後、前頭骨眉間部分となると思われる領域付近の距離画像を縦方向にスキャンすることによって、1スキャンラインにつき1点の最前点を求め、それら

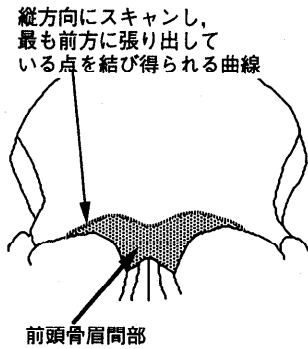


図 12 眉間領域の切り出し  
Fig. 12 Segmentation of glabella.

の点を連結することにより、前頭骨の最も前方にある表面上の曲線を得る。そして、これらの線が境界として囲む領域を、眉間部分とする。前頭骨眉間部分の平坦度の特徴指標として、法線方向の傾きを利用した。眉間部分の場合、基準面が考えにくいので、頭蓋骨前方方向に対する法線方向のなす角分布を調べ、眉間部分の隆起凹凸の指標とした。

### 5. 頭蓋骨形状の比較

システムの有用性を主張するため、実際に標本の計測を行った結果、どのような成果が得られたかを記述しておく。

#### 5.1 計測した頭蓋骨

計測した頭蓋骨は、モンゴロイド 18 体、コーカソイド 1 体、ポリネシア人 1 体である。モンゴロイドに関しては、数万年前の貴重な標本も含む。民族・地域・年代別に分類すると、11 種類の標本である。20 体のうち 18 体が男性で、南西諸島日本人のみ 2 体の女性が含まれている。それらを以下に示す。

- (1) オホーツク文化人 [約 700 年前]
- (2) 縄文人 (蝦島人) [約 4000 年前]
- (3) 港川人 [約 1 万 7000 年前]
- (4) 山頂洞人 [約 1 万 8000 年前]
- (5) 柳江人 [約 3 万年前]
- (6) 古墳時代人 [約 1500 年前]
- (7) ポリネシア人 [約 500 年前]
- (8) 日本人 [現代]
- (9) 南西諸島日本人 [近世]
- (10) 満州人 [現代]
- (11) インド人 [現代]

これら 20 体の頭蓋骨に対して、4 章で示した各特徴指標を求めた。図 13 に耳眼水平面上部の体積、図 14 に上顎骨鼻腔入口面積比、図 15 に上顎骨平坦度 1 (距

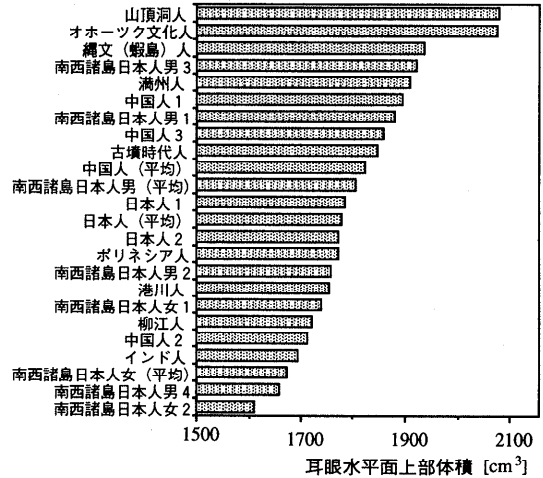


図 13 頭蓋骨上部体積 (耳眼水平面より上部) の比較  
Fig. 13 Comparison of volume of upper portion of cranium.

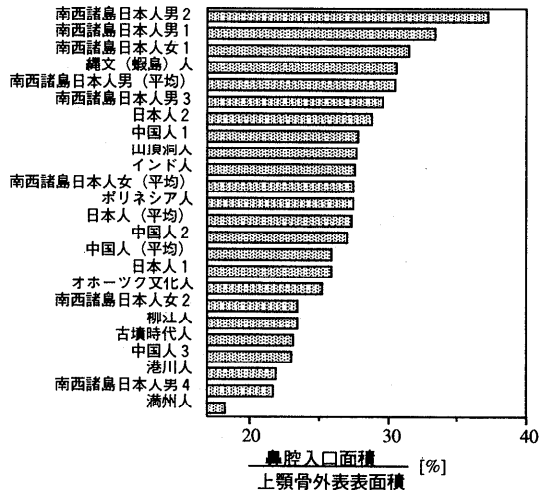


図 14 上顎骨鼻腔入口面積の比較  
Fig. 14 Comparison of nostril aperture.

離指標), 図 16 に上顎骨平坦度 2 (角度指標), 図 17 に眉間部平坦度の結果を示す。

#### 5.2 計測結果の考察

人類学的な立場からの民族の差異に関する考察を、本結果を基にして論じることは、本論文の主張点ではない。本論文の主張点は、このような三次元計測システムを人類学における頭蓋骨計測に利用することの有用性を示すことである。

そこで、本研究で得られた結果が、従来いわれてきた特徴と合致するものであるかを検証することによって、今回提案した指標が妥当なものであるかどうかを示し、本システムの有用性を示すこととする。

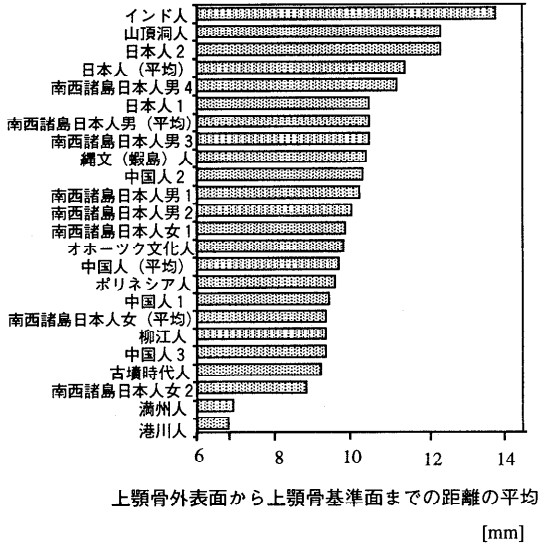


図 15 上顎骨平坦度 1 (上顎骨表面と上顎骨基準面との距離)  
Fig. 15 Average distance between maxilla surface and base plane.

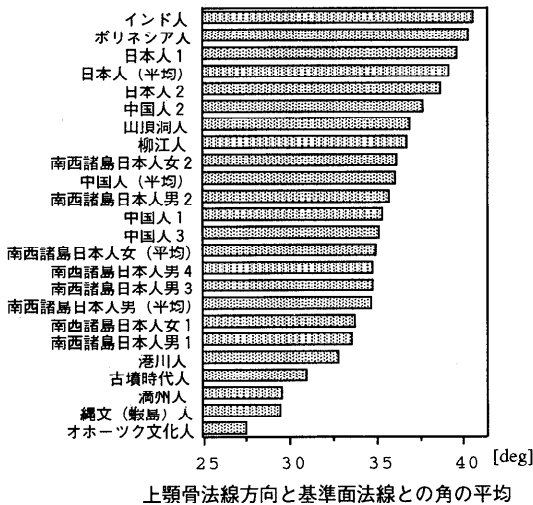


図 16 上顎骨平坦度 2 (上顎骨表面法線方向と基準面法線との平均角度)  
Fig. 16 Average angle between maxilla surface and base plane.

ここで、このような人類学的な考察を行う際には、民族などの差異の他に個体差に関して十分に注意する必要がある。これは、少ない資料から、民族・年代・地域などの形態の違いを判断する場合、誤った解釈をする可能性があるためである。以下に、今回提案した各指標に関する考察を述べる。

(1) 耳眼水平面上部体積

オホーツク文化人や満州人は典型的な北方モンゴロ

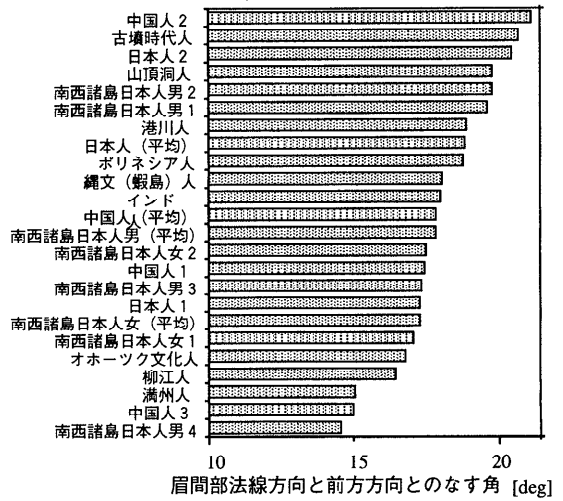


図 17 眉間部平坦度  
Fig. 17 Flatness of glabella.

イドであるとされているが、計測結果からも頭蓋骨の大きさが大きいことを示す結果が得られている。

山頂洞人は、中国の非常に古いホモ・サピエンスで、相当大きな頭蓋骨を持つことが分かる。それに比較して、同じ中国でも柳江人の頭蓋骨は小さく、港川人に近い。港川人は、縄文人との関係が注目されているが、縄文人と対照的に非常に小さい値となっている。港川人は、古典的な特徴を多く残していると考えられている<sup>1)</sup>が、その一要素となる結果である。

また、古墳時代人は、現代日本人と比較すると朝鮮からの渡来系の影響、すなわち、典型的モンゴロイドの傾向が強いといわれている。結果を見ると、現代日本人よりもかなり大きな値となっており、北方モンゴロイドに近い結果と思われる。しかし、古墳時代人の先住民族である縄文人も同様に大きな値となっており、この結果だけから判断することは困難であるともいえる。

(2) 上顎骨鼻腔入口面積比

まず、図 14 において、南西諸島日本人男 1 と南西諸島日本人男 2 は、頭蓋骨の上顎骨部分が完全ではなく、計測値の信頼性が低いと考慮しないこととする。典型的なモンゴロイド傾向が強いほど、この値が小さくなると考えられ、満州人やオホーツク文化人は小さい値となっている。古墳時代人に注目すると、現代日本人と比較して非常に小さな値となっている。これは、古墳時代人は現代日本人よりも典型的モンゴロイド傾向が強く、渡来系の影響を強く受けていたことを裏付ける結果であると思われる(縄文人の値は大きい)。



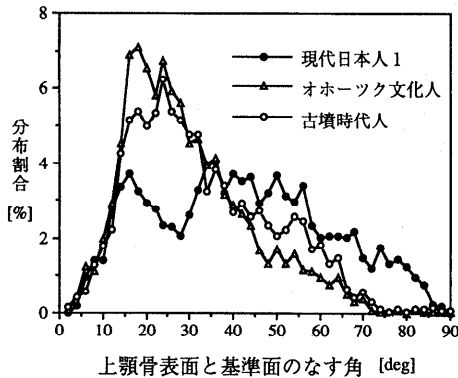


図 18 上顎骨角度分布比較

Fig. 18 Comparison of angular distribution of maxilla.

### (3) 上顎骨平坦度

上顎骨平坦度 1 は、外表面の大きな隆起の度合いを表す指標といえる。それに対して、上顎骨平坦度 2 は、微小な凹凸も同時に考慮された指標である。たとえばオホーツク文化人の場合、図 16 の値が図 15 に比べて非常に小さい値となっていることが分かる。これは、上顎骨の隆起もさることながら、凹凸がたいへん小さく、非常に平坦であることを意味している。これは、顔面が平坦なうえ犬歯窩がきわめて浅いという北方モンゴロイドの特徴を表す結果であるといえる。

コーカソイドであるインド人が大きな値となっており、特に図 15 において顕著である。これは、頬骨の張り出しがなく後方に下がっており、上顎骨と頬骨の縫合部分の位置も後方で、上顎骨の弓状に弧を描く形が強いためと思われる。すなわち、典型的モンゴロイドのような顔面が平坦であるという特徴を持っていないことを表す結果であるといえる。しかし、同様に現代日本人に関しても、大きな値となっており、これは、上顎骨歯槽突起によるためではないかと考えられる。

また、ここでも古墳時代人に注目してみた。古墳時代人、現代日本人、オホーツク文化人の上顎骨外表面の上顎骨基準面とのなす角の分布を図 18 に示す。この図を見ると、古墳時代人の角度分布が、オホーツク文化人の分布と非常に類似しており、現代日本人の分布と非常に異なることが分かる。このことから、古墳時代人の北方モンゴロイド的傾向の強さがうかがえる。

### (4) 眉間部平坦度

図 17 を見ると、満州人やオホーツク文化人といった北方モンゴロイドの特徴を強く持つと思われる頭蓋骨の結果は、小さい値となっている。また、港川人は原始的な形態を多く残す古いタイプのモンゴロイドで、

眉間部分の隆起が大きく、前頭骨が小さく頭蓋容積が少ないなどの特徴を持つとされる。

### (5) 総合判断

以上述べたように、今回距離画像を基にして数値化した特徴は、従来定性的にいわれてきた特徴と合致するものであり、それらの特徴を裏付ける数値データとなりうるものであると考えられる。従来不可能であったこれらの特徴を数値化することによって、人類学的な見地からの特徴を定量化する手法として利用することが期待できる。

## 6. ま と め

以上、三次元画像計測システムが、人類学にとって重要な骨の形状比較に有効であることを示した。特に、従来のマルチン式計測法では正確な計測が困難であった形状特徴の比較として、耳眼水平面上部体積、上顎骨鼻腔入口面積比、上顎骨平坦度 1、上顎骨平坦度 2、眉間部平坦度の 5 つの特徴指標を提案し、その計測結果を示した。また、これらの結果が、従来定性的にいわれてきた特徴と合致するものであることを示した。

一般に、古い時代の頭蓋骨標本は入手が困難であるため、個体数が少なく統計的な処理には適さない。実際、頭蓋骨の形状特徴指標をまず算出し、その結果から頭蓋骨の形態分類を行うという方法がとられることは少ない。現実には、見た目の判断で、頭蓋骨の形態に関する仮説を立て、その仮説を検定することが適している。すなわち、本システムの実利用形態としては、従来数値化が困難であった見た目の判断で立てた仮説を、実測・数値化することで定量的に裏付けるために利用されることが考えられる。

今後、本システムは、具体的な仮説の基に形状指標を用いて比較評価するための支援システムとして、有用性を発揮するものと期待している。

謝辞 本研究の機会を与えていただきました国立民族学博物館の杉田繁治教授に感謝いたします。また札幌医科大学医学部の石田肇先生、国立科学博物館の馬場悠男先生、大阪市立大学医学部の多賀谷昭先生、京都大学理学部の片山一道先生からは、各種頭蓋骨標本をご提供いただきました。また、札幌医科大学医学部の石田肇先生には、解剖学、人類学の立場から見た頭蓋骨に関する知識のご提供をいただきました。深く感謝いたします。

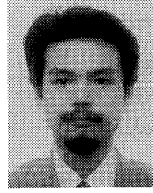
## 参 考 文 献

- 1) 馬場悠男:「モンゴロイドの原像」, モンゴロイドの地球 [1] アフリカからの旅立ち, 赤澤 威

- (編), pp.79-117, 東京大学出版会 (1995).
- 2) 石田 肇:「ベリンジャを渡る」, モンゴロイドの地球 [4] 北極の旅人, 米倉伸之 (編), pp.171-187, 東京大学出版会 (1995).
  - 3) 佐藤宏介, 井口征士:液晶レンジファインダ, 電子情報通信学会論文集, Vol.J71-D, No.7, pp.1249-1257 (1988).
  - 4) 井口征士, 佐藤宏介:三次元画像計測, 昭晃堂 (1990).
  - 5) Sakaguchi, Y., et al.:Generation of 3-D Models Based On Image Fusion of Range Data, *Proc. IAPR Workshop on Machine Vision Applications*, pp.147-150 (1990).
  - 6) Martin, R. and Saller, K.: *Lehrbuch der Anthropologie 3. Aufl.*, G. Fisher, Jena (1957).
  - 7) 馬場悠男:人類学講座 別巻1 人体計測法 第II部 人骨計測法, 人類学講座編集委員会編, 雄山閣出版 (1991).
  - 8) 石田 肇:アジアからのヒトの拡散と分化—北周りのモンゴロイド中心として, 文部省科学研究費補助金「重点領域研究」季刊誌モンゴロイド, No.10, pp.26-31, 文部省科学研究費重点領域研究「先史モンゴロイド集団の拡散と適応戦略」事務局 (1991).

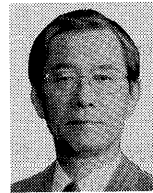
(平成 10 年 8 月 19 日 受付)

(平成 11 年 1 月 8 日 採録)



内山 晋二

1968 年生. 1990 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業. 1992 年同大学院修士課程修了. 同年キヤノン(株)入社. 3次元画像計測, パーチャルリアリティ, 複合現実感の研究に従事. 1997年より(株)MRシステム研究所に向中. 工学博士. 1996年度3次元画像コンファレンス優秀論文賞受賞. 電子情報通信学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員.



井口 征士 (正会員)

1940 年生. 1962 年大阪大学工学部電気工学科卒業. 1964 年同大学院修士課程修了. 1965 年基礎工学部制御工学科助手. 1969 年助教授. 1984 年教授 (現在, 大学院基礎工学研究科システム人間系). (財) イメージ情報科学研究所関西研究センター所長兼任. 1966~67 年フランス・サクレ原子力研究所, 1979~80 年南カリフォルニア大画像処理研究所客員. 工学博士. 専門はパターン計測 (特に 3 次元画像・音響信号等の計測), 感性情報処理. 著書「三次元画像計測」(昭晃堂), 「感性情報処理」(オーム社) 等. 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会, 人工知能学会, IEEE 各会員.