

人体形状のモデル化・類型化と その被服設計への応用

堤 江美子

大妻女子大学人間生活科学研究所

適合度の高い衣服原型を人体形状の変異と関連づけて調べるため、生体学的な意味を含めて人体体幹上部を3次元的に掌握し、様々な図形的特徴量抽出の可能性を有する形状モデルに置き換えた。特に肩部が体幹部全体の形状の変異に大きく関わっていることから、モデルの肩部を使って形状の総合特性値を抽出し、体つきを分類した。各型のサンプル群間でモデルの近似展開図が示す差異を分析することにより、体形に合った衣服原型の設計条件を考案し、着用実験によって適合度を確認した。

GEOMETRICAL MODELING AND THE CLASSIFICATION
OF HUMAN PHYSIQUE AND ITS APPLICATION FOR THE CLOTHES PLANNING

Emiko TSUTSUMI

Institute of Human Living Sciences

12 Sanbanchou, Chiyoda-ku, Tokyo 155, Japan

Geometrical models for upper half trunks of 28 female students were generated to calculate geometrical properties. Control points for the model were obtained using moire topography system so that the model could have somatological information. As most of morphological features analyzed from the geometrical properties were concentrated upon the shoulder part, the shapes of the upper trunk were classified by 3 characteristic factors of the shoulder shape. The differences of the surface development among each morphological type were utilized well to improve shape of basic pattern of the clothes. New basic pattern could cover the various types of the human body figure.

1. はじめに

人体-衣服系の形態学的側面から適合度の高い衣服の成因を着衣基体である人体の形状変異との関係において調べ、両者の対応関係を見いだすことで個々の体形によく適合する衣服原型の設計方法を考える。そのために人体の形状解析を中心に計測、モデリング、特徴量の抽出、形状の類型化を通して体形と体表展開図との有機的関係を調べ、至近環境である衣服の原型設計を試みた。

2. 3次元計測と形状モデリング

2. 1. 人体形状の計測

今日までの研究では、人の形を一連の寸法の集まりとして表現し、性、年齢、人種など対象集団の特性に基づいて統計的に解析して評価・分類したものが多く見られる。計測項目は主として骨の長さ、体軸に直交する切断面の周径、そして皮下脂肪厚で、その解析結果は体形の客観的な生体学的指標として用いられている。しかし、複数の計測項目間にはトポロジカルな情報しかないのが元々の形を再構成できず、また同一寸法、たとえば同じ身長と胸囲を示す集団内の形の変化についても容易には言及することができない。

これに対し図形自体あるいは図形の幾何学的特徴量などによる形状表現では、身体計測値と併用すれば人の形をより現実的に把握できるはずだが、これら図形的情報を人体という複曲面から抽出することは容易ではない。人体では機械部品などと異なって明確な稜線や頂点がないうえ、個人間で比較可能な生体学的計測点の多くは骨の計測点であり外側から視覚的に判断することが難しい。それゆえ写真計測のようなシーンの単なる測定から構造記述的に特徴を抽出する方法では、他者と生物学的に比較できるような集団の中の一個人としての形状を決定することが困難である。つまり、人体形状の解析においては共通の計測点を指標に用いて生物学的妥当性を保つ必要があるのである。そこで、人

体に関する図形情報あるいはその特徴量を抽出するため、形と計測点とを同時に測定できるような3次元形状計測を考えた。

生体に対する3次元形状計測は、対象の変形を避けるために光学的非接触型計測が広く採用されている。ここでは原理も装置も単純で理解し易い光学的計測法であるモアレ(写真)法 Moire Topography (Meadows¹⁾、Takasaki²⁾)を用いた。ただし、他の全ての光学的計測法と共通した欠点としてモアレ法では照射方向から陰になる部分を観察できない。そのため人体を一つの立体として測定する場合には複数方向から同時測定しない限り呼吸や重心の移動というような生理的条件に起因する形状の経時変化の問題が生じるが、一つの解決法として先に堤³⁾はモアレカメラと表面鏡を組み合わせた装置を作った。ここでは、まずこの方法を拡張して体幹上部右半身の2方向同時撮影を実現した。その後、2台のモアレカメラを用いて効率よく2方向同時撮影を行うようにした(芦澤、他⁴⁾)。

使用したモアレカメラは前者の場合では格子投影型モアレカメラ FUJINON MOIRE CAMERA FM-80、また後者では FM-40である。鏡はアルミ蒸着した平表面鏡で光軸に対し45°角度をつけて垂直に設定した。2台のカメラを用いた場合には人体に対し45°と125°の方向にカメラを設置した。定量化にあたっては、測定空間内に設定した基準点を用いて各モアレ縞の次数を正確に算出した。

2. 2. 資料と処理

測定対象は21歳から25歳までの成人女子28名、および19歳から28歳までの成人女子54名の合計82名の体幹上部半身で、3次元計測時に同時に身体計測を行った。3次元計測結果から計算機内に形状記述・解析用のモデルをつくるため、対象体表上、生体計測点を含めた48点に1.6mm幅の黒色無光沢ドラフティングテープでクロスマークを付けた。このマークの位置については次章で述べる。

測定にあたっては自然の呼吸状態にある静止

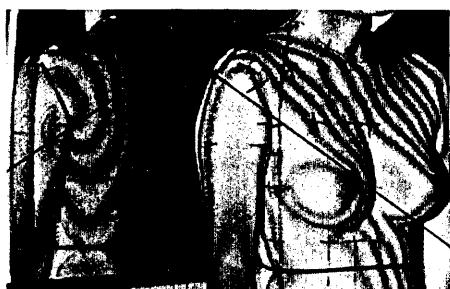


図1 測定結果の一例

立位の被験者を撮影した。なお、この装置の測定誤差は4%以内である(堤³⁾)。

3. 計測結果

3. 1. 等高線データ

図1は一測定結果の一例である。隣合う明暗の縞の奥行きは5mm前後で人体という大きさの対象に対して十分な感度であると考えられる。各縞の位置と奥行きはデジタイザとキーボードによって計算機に入力した。

3. 2. 形状モデリングと測定点

長島ら⁵⁾、堤ら⁶⁾は、生体還元石膏像あるいは一生体を対象に、3次元計測の結果座標値の集まりとして計算機内に表現された人体から形状モデルを生成し、人体に対するさまざまな図形処理の可能性を示してきた。複数生体の一例一例が持つ複雑な自由曲面の記述、あるいはその後の形状解析へのデータの橋渡しがこの形状モデルによって可能となった。また、コンピュータグラフィックスのさまざまな技法を用いて、形状を直接観察することもできるのである。このような複製的モデリングを行うには、対象の特徴的な凹凸などをめれなく表現するため、制御点となる人体の測定点を慎重に選択することが重要である。その一方で、先に述べたように形状解析に際して生体学的な意味を持つ計測点を参照できなければならない。以上のことより図2のように格子状に連なる測定点を体表上から選んで計測時にマークをつけた。

図中、水平方向の線はそれぞれ僧帽筋の上縁

(I)、胸骨角(III-前面)、肩甲骨内側縁の最後方突出部(III-後面)、乳頭点(IV)、乳房下縁(V)、最小寛上囲計測位置(VI)、頸椎点および頸窩点(VII)を測定点として含む。特に前・後面のIIIはそれぞれ前腋窩間弧長、後腋窩間弧長(保志⁷⁾)の計測位置にほぼ等しく、またVIIはVIIから体表上30mm上方に離れた位置である。IIの後面は肩甲骨による体表上の隆起を、同前面は上腕骨頭の前面をそれぞれ通過するように決定した。被服学の計測(柳沢⁸⁾)ではVIIが頸付根線、IIIがほぼ胸幅、背幅計測位置、IVが胸囲線、Vが下部胸囲線、VIが胴囲線に相当する。縦方向の線はそれぞれ頸側点(2、7、9、14)、乳頭点(3、13)、肩峰点あるいは被服学で用いる肩先点(4、5、11、12)を含み、1と8は前・後正中線にあたる。また4、5、11、12の線のIIIより上部は被服学の計測でいう腕付根線に一致している。

マークの位置は等高線と同様にデジタイザで入力しその奥行きを等高線データから補間によって計算した。又、左半身については体幹部矢状面を鏡映面として右半身と対称に発生させた。

格子のそれぞれの矩形について、四隅の測定点を制御点とする3次のBezier曲面片⁹⁾を定義し、隣合う曲面片では接続するべき境界線の接点における接線方向を一致させるようになめらかに接続してモデルを生成した(穂坂、他¹⁰⁾)。その一例を図3に示す。このモデルはなめらかな曲面で構築されながら生体学的な特徴を持っている。なぜなら上述の測定点をかならず通過

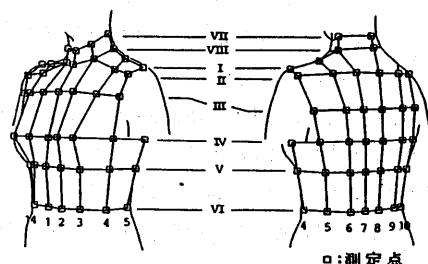


図2 測定点

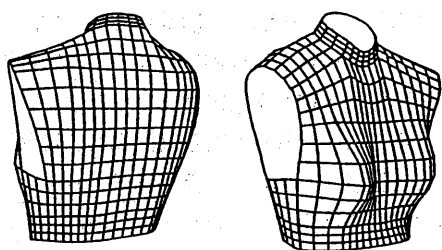


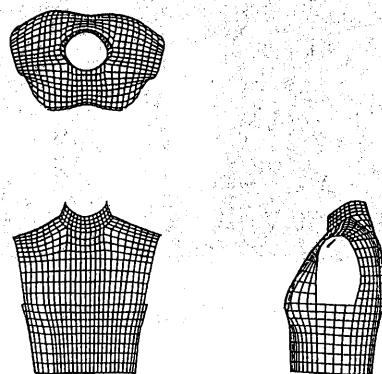
図3. 形状モデル

するのでそれらを参照できるからである。その一方で鎖骨の隆起による鎖骨上部のくぼみ、突出した両肩甲骨間の陥凹、筋肉・脂肪などによる細かな凹凸、乳房下垂による体表面の不連続性などはほぼ平滑化されている。これらの凹凸は体幹上部の形状を大局的に記述する場合には無意味で、平滑化は後の図形的解析にむけてだけでなく、被服形状の研究など本モデルの応用面からも望ましいと考える。制御点の数を適宜減らせばさらに大まかに人体を表現することもできるし、後で述べるような各種表示、特徴量などの情報も引き出すことができるので、人体形状について適度な近似を保ちながら幾何学的な解析や生体学的な解析の可能性を持っている。以下に形状モデルから抽出される特徴量による人体形状の解析について述べる。

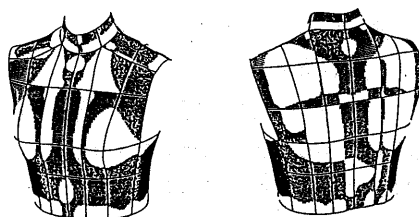
4. 形状の特徴解析と類型化

4. 1. 特徴量の抽出

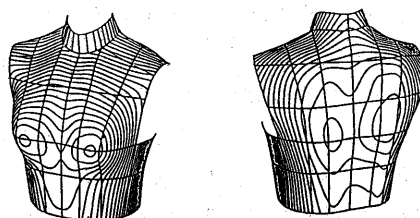
表示に関しては三面図（図4-a）、透視図、濃淡表示などが可能で、表面の凹凸をガウス曲率（図4-b）や曲率半径の分布図で表示することもできる。生体学的計測点間の投影長や体表長、体表面積、体積などの mass property の計算も容易なため、例えば体脂肪量の推定など生理学的な研究に応用できる。モデルを任意の方向で切断すると断面図や等高線（図4-c）が作成されるが、生体計測との関係で言えば周長測定位置を抽出することにもなる。人体を立体として解析する場合には次元をおとして単純化す



(a) 三面図



(b) ガウス曲率（負の部分）



(c) 等高線

図4 特徴量

ることが望ましく、その意味で人体を水平断面図の積層体と考えることは一つの常套手段でもある。この断面図では主慣性モーメントや図心、扁平率などの図形特徴量やフーリエ係数などを用いた形状の解析が考えられる。一方、衣服原型を考えていくうえでは体表面の広がりが必要になるが、モデルからは体表の近似展開図や動作に関するゆとり量をモデルに加えた副次的モデルなどを抽出できる。

4. 2. 断面図の図形特微量の解析

(1) 体幹上部の水平断面

頸部、肩部、胸上部、胸部、胸下部、胴部の各々から水平断面の周長、面積、主慣性モーメント、回転半径、扁平率、図心、断面間距離など47項目の値を各サンプルについて計算し、主成分分析によって総合特性値を調べた結果、全体の変動の81%を説明する5つの主成分を抽出し、これら図形特微量が体幹上部の充実度、傾き具合やプロポーション、あるいは上肢帯の状況を説明していることが分かった。換言すれば、個々の骨にはあまり関係しない脂肪や筋肉の充実度と、骨格に関係する上肢帯の配置や脊柱弯曲の変異が全体の約57%を説明し、残りの主成分がやや局所的な形状的特徴を表していたといえよう。ここで特筆すべきことは肩部の形状で、各主成分において胸囲より上方の特微量が関与している場合が非常に多く、“広義での肩部”の変異が体つきに与えている影響の大きさをうかがい知ることができる。たしかに頸肩腕部から胸部までは上肢帯という、上肢の運動に大きく関わる骨と筋群からなる機能的にも重要な部分を含み、実際の動作に基づく形状の変異の生じ易い部分でもある。衣服は実のところその重要な支持部でもある肩で着用するとさえ言われているものであるから、この広義の肩部をより詳細に把握することは大きな意義があると考えられる。そこで、次に肩部の詳細な解析について述べる。

(2) 肩部の水平断面

ここでは頸部から肩部までを2分割、肩部から胸部までを5分割して合計8枚の水平断面図を考え、体幹上部解析時と同様に各々の断面図について図形特微量と腕付根位置とを計算して主成分分析による総合特性値抽出のための生データとした。その結果、4つの主成分によって全体の変動の81%が説明された。最大の主成分は体の充実度を説明し、第2から第4までの主成分は程度の差こそあれ、高さによる断面図心の位置的変異を説明している“形”の主成分

で変動の内の40%強を説明していた。このことから矢状面内での体軸の動向、つまり前・後への傾きの変異が大きな要因となっていることが分かる。体幹部は“脊柱を軸とし、これにより下げられた肋骨と上肢帯による構築物を、筋肉、結合組織などが覆うことによって形作られている”ので、各断面の図心の位置の変異は脊柱の弯曲の程度と最も深く関わっていると考えてよいであろう。S字状に弯曲した脊柱は主として頸部と腰部でその運動量が大きく、今回の測定範囲では胸部より上方で特に大きな弯曲の変異が存在すると思われる。

(3) 総合特性値

(2)の肩部水平断面に対する解析結果から、大きさの主成分は別として、互いには独立した3つの形状の変異と反身・屈身という体軸の前後への傾斜の変異との複合された形での体つきの変異のさまが説明された。細かく説明すると第2主成分は“前肩”、“鳩胸”と従来呼ばれている体つきと平行して生じる屈身体様と反身体様、第3主成分は“猫背”と従来言われているような丸みを持つ背、あるいは扁平な背部と平行して生じる屈身体様と反身体様、第4主成分は“脂肪”、“骨格”など人体を構成する要因の発達程度に伴って生じる屈身体様と反身体様と解釈される。

4. 3. 形状の類型化

総合特性値として示された要因を用いて個々のサンプルの体幹上部形状を分類する。第1主成分は大きさを説明するものだったので全体的なサイズの指標として用いることとし、ここでは形を対比して説明する第2から第4主成分を用いて分類することにする。各サンプルの体つきは各主成分に対する主成分得点によって分類される。それぞれ直交する3つの主成分による6つの体つきの型を“前肩型”・“反身体型”、“猫背型”・“後傾体型”、“骨格型”・“脂肪型”と仮に命名すると、図5に見られるように各サンプルはこの3つの主成分を軸とする空間上に分布している。原点付近に存在している

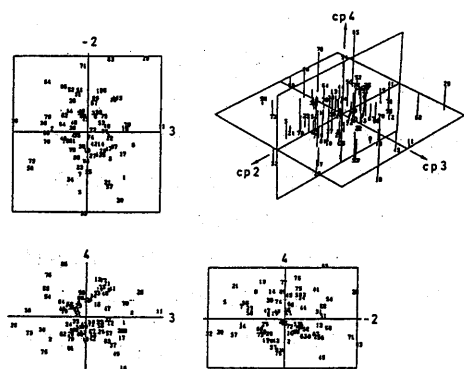


図5 第2から第4主成分得点の3次元図

サンプルは大きさは別としてどの型の徴候もさほど強く示さない平均型（標準型）と考えられる。一方、各々の軸上に乗るか、あるいは近接しているサンプルばかりではなく、軸から離れた場所に存在するサンプルも少なくない。彼らでは、いくつかの型の複合型体形を持っていることは言うまでもない。

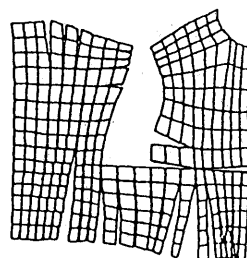
6. 衣服原型の設計

6. 1. 体表近似展開図

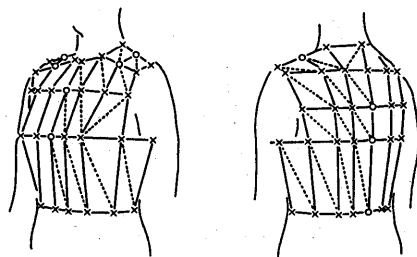
さて、従来の衣服設計では、一定の方法で製図された衣服原型を体形毎に補正して適合度を高めるという立場とってきた。そこで使用されてきた原型はいくつかの計測値、例えば胸囲、背肩幅、背丈というような2、3の寸法によって規定される大きさを持った、形の上で平均的な人によく適合するように設計されているものに過ぎなかったからである。ここでは立場を変えて、体形ごとに適合度の高い衣服原型の設計条件を考える。

モデルの形状的特徴とその展開図上での特徴との対応を見るために、体表近似展開図を作成した。図6-(a)は各パッチをu, v方向に1/3、2/3の位置で分割した9枚の小曲面をそれぞれ2枚の三角形で近似展開したものである。接続された展開面の隙間の分量によって形状の凹凸の特徴がよく表現されているが、全体としてまとまりが悪く、衣服原型の代用として形状と対応

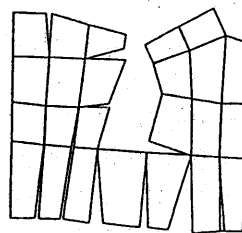
をとるには具合いがわるい。そこで、図6-(b)に示したように体幹上部の特徴的な凹凸を包むようなシェルを考えた。ここではモデリングの際の測定点のうちの突出点を利用して各水平断面の包絡線を作成し、これにしたがって陥凹部の測定点を移動した。また下部胸囲線上の測定点は取り除いて、乳房と肩甲骨の形状だけが体幹部全体の大きなふくらみとなるように単純化した。これにより展開した体幹上部近似展開図が図6-(c)である。



(a) 体表面細分割近似展開図



(b) 体幹上部シェル



(c) シェルの近似展開図

図6 近似展開

6. 2. 体形と体表近似展開図

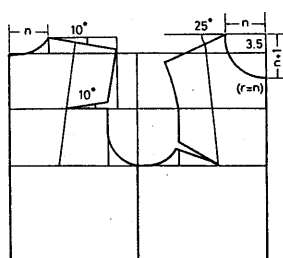
衣服設計上有効で、かつ形状の特徴をよく表現していると考えられる"区間長"26項目、"角度"10項目、"投影距離(高低差)"3項目をシェルの近似展開図から計算し、各々の型ごとに平均値と標準偏差、相関係数を計算し、相対する体つきのサンプル群間の平均値の差の検定を行った。この時、長さの項目に関しては胸囲で割って標準化して用いた。また、角度項目は衣服原型のダーツ量に対応している。以下に体つきによる近似展開図上の差について概説する。

前肩型と反身体型の差はその肩傾斜角度と背・胸ダーツ角度との有機的関係の対比として捉えられた。猫背型と後傾体型では、肩部および腋窩部の水平方向の長さした後肩傾斜角度、前後の胸囲線の高低差に差が見られた。そして脂肪型と骨格型では胸囲線から胴囲線までの距離、あるいは前・後肩傾斜角度、胸ダーツに差が表れた。このように体つきによる近似展開図上の差は、主として肩傾斜角度、背・胸ダーツ角度、

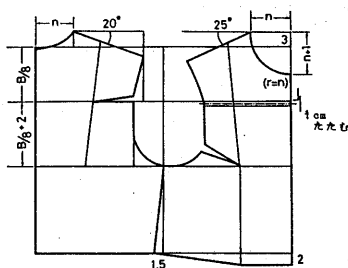
そして体側面の長さの違いによって表現されたが、これらが全39項目の中でも衣服原型上に比較的容易に表現できる部位であったことは、体つきについて原型設計上考慮すべき部位を直接示唆してくれたという点で興味深い。

6. 3. 衣服原型の設計

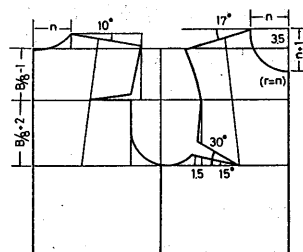
従来、多くの衣服原型設計法が考案されてきたが全ての体つきによく適合するものは希有である。これらの原型製図法の違いをまとめてみるとその差は、肩傾斜角度、あるいは胸囲線より上方の長さに関連性であった。これらの項目は今回の近似展開図上でも体つきによって有意差が見られた部分で、適合度の良否を左右している大きな要因であると言えよう。そこで、原型設計時に長さ項目と併せて定角度を用いているY(柳澤)式衣服原型設計法⁹⁾をとりあげ、生体計測値使用部位、定寸法使用部位などに関して近似展開図による分析を通してこれを改良することにより適合度の高い新衣服原型設計法を考案した。その結果を図7の(a)から(c)に示す。



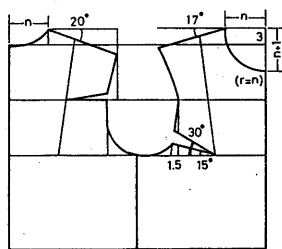
(a)-1 前肩型



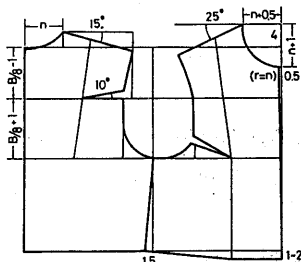
(b)-1 猫背型



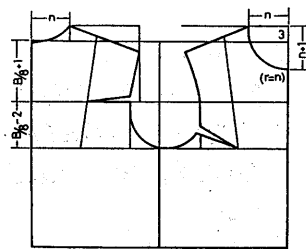
(c)-1 脂肪型



(a)-2 反身体型



(b)-2 後傾体型



(c)-2 骨格型 (cm)

図7 体形ごとの衣服原型製図法

それぞれの体つきを代表する被験者3名にこの製図法で実際に原型を作成して着用させた結果、肩部の形状適変異によく追従する製図法であることが確認された。Y式では体幹部各部の寸法的適合性が高くと高く、また胸囲と背肩幅を採寸項目として使用することによって体の厚みを間接的に考慮する方法であったが、肩部形状の変化を十分カバーするにはダーツ量や肩傾斜の定寸化などにやや問題があった。これに対し、今回の製図法では類型化された各々の体つきに対して近似展開図上の変異の調査結果に裏付けられた角度と長さを織り込んだので、適合度の高い衣服原型を設計できたと考える。

4. おわりに

人体の計測結果に基づく形状モデルを作成したことにより、従来、経験に基づいて視覚的に判断されていた人体形状の変異を客観的に類型化することができた。また、衣服設計上問題とされてきた”立体形状の違い”をその体表面近似展開図との対応で分析することができたので、より形に適合する製図条件を衣服原型に与えることができた。

参考文献

- 1) Meadows, D. H., W. D. Johnson and J. B. Allen. "Generation of surface contours by moire pattern", Appl. Opt., 9 (1970), 942-947.
- 2) Takasaki, H. "Moire Topography", Appl. Opt., 9 (1970), 1467-1472.
- 3) 堤江美子. "頸部表面展開における図形処理自動化の試み", 家政学雑誌, 31, 9 (1980), 672-676.
- 4) Ashizawa, K., T. Kuki, A. Kusumoto, E. Tsutsumi and S. Kato. "Approximate surface development of the left side half-trunk by a free-formed model", A. J. P. A., 76 (1988), 165-173.
- 5) Nagashima, S., E. Tsutsumi, K. Suzuki, K. Ashizawa and H. Ioda. "Generation of surface model of human trunk and its applications", J. Human Ergol., 12 (1983) 27-38.
- 6) 堤江美子、長島忍. "自由曲面による人体体幹部形状モデルの生成", 人類学雑誌, 94, 2 (1986), 163-175.
- 7) 保志宏. "生体の線計測法", てらべいあ, 東京 (1989), 253-255.
- 8) 柳沢澄子. "被服体型学", 光生館, 東京 (1976).
- 9) Bezier, P. E. "Numerical Control -Mathematics and Application", John Willey and Sons, London (1972).
- 10) Hosaka, M. and H. Kimura. "Synthesis methods of curves and surfaces in interactive CAD", Proc. Conf. Interactive Technique in CAD, IEEE, Computer Society Los Angeles, 78CH-1289-8c (1978), 151-156.