(昭和63年11月29日受理)

人体の形の標準化と分類方法

信州大学繊維学部 清水義雄・汪 進・近田淳雄
東京家政大学家政学部 寺田恭子・雲田直子・神田和子

NEW METHODS ON STANDARDIZATION AND CLUSTERING OF
HUMAN BODY FOR APPAREL ENGINEERING.

By Yoshio Shimizu^{*1}, Jin Wang^{*1}, Atsuo Konda^{*1}, Kyoko Terada^{*2},
Naoko Kumota^{*2} and Kazuko Kanda^{*2}

*1 (Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University, Toki-
da, Ueda-shi, Nagano-Ken, 386)

*2 (Faculty of Home Economics, Tokyo Kasei University, Kaga, Itabashi-
Ku, Tokyo, 173)

Progress of computer aided engineering (CAE) for apparel industry is slow as compared with other fields, for instance, electric, machinery and chemical industries. The CAE for apparel has been partially developed in computer grading, computer marking, computer cutting systems and so on. The most of production process for apparel industry is still dependent on manual works. This is due to difficulty of material handling and body model for the computer system of apparel production.

Therefore, it is important to investigate the human body form for apparel engineering. In this paper, various problems regarding human body forms were studied and new methods for data reduction, representation and standardization of the human body form were explained. Furthermore, the cluster analysis of the human body form was proposed by means of power spectrum.

The method of low-pass filter was effective in data reduction. The standardization of the human body form using linear transformation of Fourier coefficient agreed approximately with the sensation of our visual feeling for forms. The cluster analysis was useful in grouping the human body form.

(Received November 29, 1988)

1. はじめに

あらゆる産業分野で CAE (Computer Aided Engineering) 化が進み、コンピュータ支援技術が重要な役割を果たしている。しかし、被服産業の様な分野においては、CAE 化は遅れており、型紙の自動グレーディング等一部の工程を除いて、未だにそのほとんどが人手によっている。その原因として、被服自体が柔らかく、ハンドリングが困難で形が特定できないということも考えられる¹⁾が、最大の原因は、被服によって覆われる人体の形が複雑であり、生産工程全体の基礎となる精密な生産モデルが作りにくいという事情がある。

被服造形システムのための人体の研究としては、①人

体測定、②測定データの圧縮、③標準人体の作成、④人体の形の分類等が行われる必要がある。①については、従来身長、胸囲等の個別の測定値に依っていた。それに対して人体全体の三次元測定にモアレ等高線法²⁾が用いられたが、まだ十分にそのデータを利用するに至っていない。また、光を用いた非接触三次元測定法により、迅速かつ正確に人体測定ができるようになった³⁾⁻⁷⁾が、測定データが膨大なため、②のデータ圧縮の問題が生じてきている。③と④については、従来の個別の測定値を各々平均化して標準人体を求めたり、多変量解析と比較分類を行う等の研究がなされている⁸⁾⁻¹³⁾。

本報告では、二次元データではあるが、シルエッターによる人体写真を用いて、次のような方法を提案した。

すなわち、②のデータ圧縮に関しては、ローパスフィルターを施す方法を応用し、人体の形のデータ圧縮を行った。③の標準人体についての従来の方法とは全く異なった複素フーリエ係数の重み付き平均化法を提案し、人体の形全体の標準化・平均化を試みた。④については、パワースペクトルによる形のクラスター分析の方法を提案した。③・④で提案する方法は、人体の形を全体的に処理する点において今までにない独自のものであり、人体の研究ばかりでなく、他の分野にも応用が期待される。

2. 人体の形のデータ圧縮および標準化と分類の方法

2.1 被験者および人体の形の測定方法

被験者は、19から20才の女子大生100人である。被験者は水着を着用し、頭部はキャップでぴったりとおさえた。人体の形としては、今回は二次元の図形を取り扱うこととした。すなわち、シルエット（日本シルエット（株）製）で、正面および側面から撮影した立位正常姿勢での人体の写真の輪郭を体の形として用いた。

2.2 人体の形の圧縮方法

測定された膨大な生データを圧縮する方法に、生データにスペクトル分析を施しローパスフィルターを施す方法¹⁴⁾、B-spline 曲線フィッティングを行う方法¹⁵⁾、二次元フーリエ係数による方法¹⁶⁾等が示されている。本報ではデータ圧縮に上坂の研究によるローパスフィルターを施す方法¹⁴⁾を用いてデータを圧縮を行った。

まず、シルエットによる人体の輪郭の曲線を用いて次のような処理をした。

形を表現する曲線Cは、長さが1に規格化されている。平面曲線Cは、複素平面上の曲線Z(s) (sは曲線の始点からの長さで、 $0 \leq s \leq 1$) とする。

Fig. 1 Representation of a curve C.

以下一定の δ によって、 $s=j\delta$ ($j=0, 1, \dots, n$) と離散化する。よって曲線Cは、図1に示すごとく、折線図形で近似されている。ここで、 $Z(j\delta)=Z(j)$ とする。折線単位ベクトル $W(s)=dZ/ds$ は、離散化によって、 $W(j)$ ($j=0, 1, \dots, n-1$) となる。従って平面図形は、 $W(j)$ の集合 $\{W(j) : j=0, 1, \dots, n-1\}$ として表現され、

$$Z(j) = Z(0) + \delta \sum_{r=0}^{j-1} W(r) \quad (1)$$

で与えられる。

曲線C上を点が移動するに従って、複素数 $W(j)$ は変化するが、縦軸に j の値をとると、点列 $\{W(j)\}$ は、図2の様な円筒状の軌跡として表せる。

Fig. 2 Representation of a tangential vector.

次に $W(s)$ の離散化されたフーリエ変換を次式のよう

$$c(k) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} W(j) \phi_k(j) \quad (2)$$

$$(k \in S, S = \{0, 1, \dots, n-1\})$$

ここで、 $\phi_k(j) = \exp(-2\pi i j k / n)$, $i = \sqrt{-1}$ であり、

$$W(j) = \sum_{k=0}^{n-1} c(k) \phi_k^*(j) \quad (3)$$

である。ここで $\phi_k^*(j)$ は $\phi_k(j)$ の複素共役である。

一般に図形は、全体をおおよそ表現する骨格と、細部を表現する明細とから成り立っていると考えることができる¹⁴⁾。今(2)式の $c(k)$ に対して、

$$\hat{c}(k) = \begin{cases} c(k) & (k=0, 1, \dots, \frac{n}{2}) \\ c(n+k) & (k=-\frac{n}{2}+1, \dots, -1) \end{cases} \quad (4)$$

と置くと、(3)式は、

$$W(j) = \sum_{k=-\frac{n}{2}+1}^{\frac{n}{2}} \hat{c}(k) \phi_k^*(j) \quad (5)$$

とも書ける。ここで $|k|$ について $|k| \leq N$ のときと、 $|k| > N$ のときの二つの部分に分けて $W(j)$ を表すと、

$$W_N(j) = \sum_{|k| \leq N} \hat{c}(k) \phi_k^*(j) \quad (6)$$

$$\tilde{W}_N(j) = \sum_{|k| > N} \hat{c}(k) \phi_k^*(j) \quad (7)$$

(6)式は図形の骨格に対応し、(7)式は図形の明細に対応すると考えられる。(6)式を N 次骨格、(7)式を N 次明細と言う。 N の値を適当に選択することにより図形の概略を N 次骨格として圧縮できる。

2.3 人体の形の合成と標準化の方法¹⁷⁾

(3)式は図2の様な円筒上の図形が、いくつかの周波数の円筒上のスパイラル曲線の合成として表されることを示している。

今、 m 個の平面図形 $A_1, A_2, \dots, A_m$ に対して、それぞれのフーリエ係数 $c_\alpha(j)$ ($\alpha=1, \dots, m$) の重み λ による線形結合

$$C_s(k) = \sum_{\alpha=1}^m \lambda_\alpha c_\alpha(k) \quad (8)$$

をフーリエ係数とする図形 $W_s(j)$ を図形 $A_1, A_2, \dots, A_m$ の合成図形と言う。

$$W_s(j) = \sum_{k=1}^{n-1} C_s(k) \phi_k^*(j) \quad (9)$$

この様な方法で異なる図形の合成を行うことは今までなされておらず、新しい図形の表現形式として重要である。重み係数 λ に種々な値を与えることによって、従来表現できなかった様々な図形の表現が可能となる。

2.4 分類の方法

フーリエ係数の次数の違いにより、図形は骨格と明細に分けて考えられることを前述した。このことから、フーリエ係数は、形の特徴把握に有用であると考えられる。また、フーリエ係数の絶対値の2乗であるパワースペクトルも、形の特徴を把握するのに有用と考えられる。そこで、本報では、パワースペクトルを用いて、人

体の形の分類を行った。

パワースペクトル $P(k)$ を(10)式によって定義する。

$$P(k) = |\hat{c}(k)|^2 \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (10)$$

図3に示したように、高域のパワースペクトルが急激に減少しているのを、本報ではパワースペクトルの次数を128 ($k=\pm 1 \sim \pm 64$) までとし、この128個のパワースペクトルを変量とするクラスター分析を行った。

クラスター分析の方法は、様々な方法があるが、ここでは階層的クラスター分析の手法¹⁸⁾を用いた。分類の基となる距離には、ユークリッド平方距離、標準化ユークリッド平方距離、マハラノビス距離等があるが、本報では、主としてユークリッド平方距離を用い、最大距離法により解析した。

3. 結果および考察

3.1 人体の形の圧縮

図3に、人体の正面シルエットのパワースペクトル例を示す。 k の絶対値の大きな高域の $p(k)$ は、急激に減少しているのを、人体のシルエットは、低域の骨格だけで元の形が良く再生できると期待される。

Fig. 3 Power spectrum of human body form.

Fig. 4 Representation of human body form with N -dimensional frame.

図4に、人体のN次骨格を示す。ローパスフィルターを通して見ると、人体は火の玉の様に、或は幽霊の様に見える。余り精密なモデルを必要としないときには、 $N=32\sim64$ でそれぞれの人体が十分に表現され、N次骨格によるデータ圧縮が可能である。

3.2 人体の形の合成と標準化

図5に、異なった人体の形の合成例 ($N=256$) を示す。図5 (a) では3人の被験者の正面のシルエットを、図5 (b) では2人の被験者の側面のシルエットを合成したものである。前者は3人のシルエットを等分に合成し、 λ は0.33、後者は2人を等分に合成し、 λ は0.5であるが、直感的な図形の平均化感覚をよく表現している。 λ を変更することにより、何れかの形により類似したシルエットを得ることができる。例えば、両親からどの様な子供が生まれてくるかを、 λ を適当に選ぶことによって種々に予想してみることは、可能である。

図6 (a) に10人の被験者の、図6 (b) に100人の被験者の人体の形を合成したシルエットを示す。このような手法を用いれば、大勢の人々の人体合成を行い、標準的な体型を予想することが可能である。ここで、われわれが示す人体の形の標準化とは、現実の人体の形を示すのではなく、あくまでも標準化した人体モデルのことである。今後は、この標準人体モデルを基準人体とし、現実の人体と比較することにより、各人体の特徴抽出を行うことができる。

3.3 人体の形の分類

次に人体の形の分類結果を示す。100人中からランダムに取り上げた10人の被験者のシルエットを図7に示す。このデータをクラスター分析したデンドログラムを図8に示す。このデンドログラムの枝の長さは、ユークリッド平方距離に対応しており、低い場所で枝別れが存

Fig. 5 Example of standardization from human body forms.

Fig. 6 Standardization from human body forms.
(a) From 10 subjects. (b) From 100 subjects.

在している組合せ程、形が類似しているといえる。このデンドログラムにより、この10人は (1, 2, 4, 7), (3, 6) および (5, 8, 9, 10) の三つのグループに分けられる。そのなかでも No. 2 と 4 が最も似ていることを示している。この結果は、図7に示す人体の形から、人間の目で分類した結果とよく一致している。すなわち、体の太さを考えると、普通の体型は No. 1, No. 2, No. 4 および No. 7, 細い体型は No. 3 と No. 6, 太い体型は No. 5, No. 8, No. 9 および No. 10に分けることができる。さらに局所的に考慮し、肩、首、胸部、足と手の部分の形によって類別すると、No. 2 と No. 4 は最も類似していると考えられる。

図9に、100人のデータのクラスター分析した結果を

Fig. 7 Human body forms using cluster analysis in Fig. 8.

Fig. 8 Dendrogram of cluster analysis for 10 subjects.

示す。この結果より、100人のシルエットは、少数の構成単位からなる小さいクラスターやそれが含まれる多数の構成単位からなるクラスターに分かれていることがわかる。最も枝の長さが短い組合せは、図9のNo.26とNo.27の組合せであるが、図10にこれらのシルエットを示す。人間の目でも、よく類似していることがわかる。また、これらが含まれる大きなグループは、例えば、図9のデンドログラムの枝を点線のところで切ると、AからFの6つのグループに分類される。分類された各グループの特徴は、通常われわれが行っている太ってい

No. 26

No. 27

Fig. 10 A pair of human body form which has the least Squared Euclidean Distance in the cluster analysis.

Fig. 9 Dendrogram of cluster analysis for 100 subjects.

る、やせている、足が長い、下半身が大きい。肩が張っている等の特徴とは必ずしも一致していない。人間の視覚は、より強く特徴が現われている部分に注目されやすいが、ここで行ったパワースペクトルによる類似度（非類似度）は、人間の視覚よりもより総合的な比較の結果と考えられる。

人間の視覚による分類との関係については、さらに詳しい研究を行う必要がある。この点については、現在クラスター分析による人体の分類と特徴抽出について、標準化した人体の形を用いた新しい方法を検討中である。さらに、人体全体にわたる解析のみではなく、肩部とか、胴部とかの人体の各部位をそれぞれ解析し、人体全体と併せて検討する予定である。

4. あとがき

本報では、人体の形のデータ圧縮の方法および人体の形の合成法・標準化の方法を提案した。また、人体の形のパワースペクトルによるクラスター分析を用いて、分類方法の検討も行った。

その結果、データ圧縮にN次骨格の表現方法が有効であることが分かった。

また、線形結合による形の合成法は、直感的な人間の形の平均化に近いと考えられる。この方法は、合成の際に合成の重み係数を様々に変化させることによりさらに一般化して形の合成を行うことができる。この様な手法を用いれば、大勢の人々の人体合成を行い、標準的な体型を想定することが可能である。今回は二次元の人体シルエットを用いて検討したが、現在はさらに、三次元の人体に、このような手法の適用を行っている。

クラスター分析による人体の形の分類方法は、人間の視覚による結果とほぼ一致していると考えられるが、大きなグループ分けについては、さらに検討の必要がある。現在パワースペクトルに代えて複素フーリエ係数を用いた形のクラスター分析を検討中である。

我々は、以上に示した方法によって、平均的な標準人体モデルを作り、このモデルと測定人体のデータとの比較により、各自の人体特徴表現と人体の形の分類を行う予定である。

付記：この研究の一部は、昭和62年度の繊維学会年次

大会において発表した。

謝辞：この仕事を始めるに当たって、東京理科大学の上坂吉則先生並びに統計数理研究所の種村正美先生には、貴重な御数示を頂きました。また、ローザ工芸(株)には、体の測定等に多大な便宜をお計り頂きました。心から感謝致します。

文 献

- 1) 石川欣造, 計測と制御, **27**, 763 (1988)
- 2) 芦沢玖美, 堤江美子, 柳澤澄子, 家政誌, **30**, 183 (1979)
- 3) 米国サイバーウェア研究所, 高速三次元デジタイジング・システムカタログ
- 4) 中小事業団公開普及説明会資料, “人間工学応用人体計測解析利用システム”
- 5) オーギー情報システム(株), 三次元形状計測装置カタログ
- 6) 工学社エンジニアリング(株), 三次元形状測定装置カタログ
- 7) 清水義雄, 東京家政大学紀要, **25**, 223 (1985)
- 8) 柳澤澄子, 解剖学雑誌, **33**, 539 (1958)
- 9) 間壁治子, 家政誌, **28**, 223 (1977)
- 10) 井上和子, 柳澤澄子, 家政誌, **29**, 32 (1978)
- 11) 川上梅, 長谷部ヤエ, 家政誌, **31**, 507 (1980)
- 12) 高部啓子, 松山容子, 秋月光子, 九鬼種美, 植竹桃子, 磯田浩, 柳澤澄子, 家政誌, **38**, 999 (1987)
- 13) 柳澤澄子, 鈴木啓子, 伊藤令子, 清水薫, 家政誌, **19**, 130 (1968)
- 14) 上坂吉則, 数理学, **246**, 38 (1983)
- 15) 広田源太郎, 黒川隆夫, 中野広, 篠崎章夫, 第3回 NICOGRAPH 論文コンテスト, p.275 (1987)
- 16) 今岡春樹, 渋谷淳夫, 第15回繊維工学研究討論会資料, p.33 (1986)
- 17) 清水義雄, 汪進, 近田淳雄, 鳥海浩一郎, 大安和彬, 鳥羽栄治, 形の科学会第12回シンポジウム予稿集, p.31 (1988)
- 18) Michel R. Anderberg, “Cluster Analysis for Applications”, Academicpress, New York, (1973)