人体形状シルエットの特徴点抽出と特徴点に基づく日本人成人女子の体形分析*

岡部和代*, 黒川隆夫**

Using a 2-dimensional body shape model, Kurokawa et al. advocated a method for describing human body shape with 15 technologically important curves, including silhouettes. In this study, essential feature points were extracted from 173 points in Kurokawa's method to create a much simpler body shape model. A total of 40 feature points, 24 points from the lateral silhouette and 16 points from the frontal silhouette, were chosen including concave and convex apexes, which were considered to contain important information for body shape analysis. Principal component analysis was performed to classify silhouette curves obtained from 428 Japanese women. It was confirmed that our method with 40 feature points was useful for describing human body shape.

黒川らは二次元体形モデルとして、平面に投影した人体上に、シルエット曲線を含む人間工学的に重要な15の曲線を定義し、その形状を記述する方法を提案してきた。本報では173の節点のうち人体形状記述に必須の特徴点だけを残し、冗長と考えられるものを削除することで、より簡便な体形モデルを提案することを目的とする。特徴点の抽出については凹凸情報が人体形状を最もよく表すと考え、凹凸点を中心に体形情報がより多く含まれ、かつ少数個になるような特徴点として、側面24点、正面16点の合計40点を抽出した。抽出した特徴点を用い、日本人女子428名の人体シルエット曲線を主成分分析法で分析し、抽出した40の特徴点が人体シルエットの体形を表すのに十分かつ主要な情報を含むことを示した。(キーワード: 人体シルエット, 節点, 特徴点, 体形分析, 体形記述)

1. はじめに

人体形状の研究は種々のメッセージを担う情報源で、人間工学にかかわる多くの分野の重要な研究項目の一つである。衣服の分野でも人体形状が非言語情報として種々の影響力をもっていることがいくつか報告^{1~5)}されている。また、衣服のシルエットが着衣基体である人体の形状に左右されることから、女子がブラジャーやガードル、ボディースーツなどの補整用下着で自身のシルエットを整えているが、この下着デザインへの応用においても人体シルエット分析が注目されてきた⁶⁾。

人体の二次元形状を把握する方法としてシルエッター法や単写真法があり、簡便で効率よく体形を分析できること、また撮影に要する時間が短く人体の揺れの影響を受けにくいなどの利点をもっている。人体の二次元形状

を分析した報告^{7~9)}では、シルエット資料の垂直水平距離や角度によって人体の二次元形状のデータ化が図られている。この方法は、体形分析に有効で成果が評価されるが、シルエットを高精度に再構成することは困難である。そこで、人体シルエット上の二次元に分布した曲線のデータの特徴をとらえ、人体形状を高精度で再構成する方法が得られれば、効率よく正確に人体シルエットをコンピュータ画面上に描くことができるだけでなく、人体形状の類型化や平均シルエットの描画ならびにシルエットの評価など、実用化できる汎用性の高い情報を提供できると考えられる。

黒川らは二次元体形モデルとして、平面に投影した人体上に、シルエット曲線を含む人間工学的に重要な15の曲線を定義し、その形状を記述する方法を提案してきた^{10,11)}。これは、人体曲線の複雑さに応じて定めた数で曲線を等分割し、分割点を節点として曲線上に配置し、節点を順に結ぶ折線によって原曲線を表現するものである。原曲線と折線の間の誤差を5mmとする条件で、許容値以上の誤差を含む区間についてはさらに曲線を2等分し、新たな節点を求める際には適応的細分割法を適用した。図1は人体上に15の曲線(A~O)上に173

* 受付: 2004年7月2日 受理: 2004年12月13日

** 京都女子大学短期大学部
Kyoto Women's Junior College*** 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

節点（側面 71 点，正面 102 点）を配置した二次元体形モデルである。枠で囲んだ節点記号が 15 の曲線の端点である。

この 173 節点は，各曲線の端点を頤高 (A 0100, C 10100, F 0100, G 0100)，第 7 頸椎高 (A 00100)，クロッチ高 (I 0100, L 0100, M 0100, K 0100)，前部脚付根高 (E 0100) に基づいて定義した後に，適応的細分

割アルゴリズムによって 5～54 歳までの日本人女子 347 名を対象として，原曲線と折線との間の許容誤差を 5 mm とする条件で 99% 以上の人に適応した配置である¹¹⁾。曲線の端点を厳密に計測すれば，このアルゴリズムによって任意の被験者の節点座標を自動的に求めることができる。各節点はすべての被験者で共通の意味をもち，体形分析や平均体形の算出などに応用されてきた¹²⁾。しかし，体形の高精度記述と再現性に重点を置いた上記の方法は，体形特徴に焦点を当てて分析し，的確に記述するという目的のためには冗長性が大きく，情報の要約や予測，類型化などの処理を容易に高速に行うには必ずしも適していない。

本報では 173 の節点のうち人体形状記述に必須の特徴点だけを残し，冗長と考えられるものを削除することで，シルエットの特徴をより明確にとらえ，また体形分析の結果に基づいて人体形状を平均化して表示し，体形の直接的な解釈と理解を可能にすることを目的とする。さらに得られた少数の特徴点を用いて，主成分分析法による人体形状分析を行い，全節点 173 個の情報を用いた場合と遜色がない結果が得られることを示す。

2. 節点データの抽出と体形特徴点の抽出

日本人女子 18～58 歳の 428 名の側面および正面写真から，黒川らの二次元体形モデルを用いて 173 の節点データを求めた。節点データの導出には，被験者がパンティのみを着用し，体表上の測定点をマークした後，耳眼水平の直立姿勢で一定の距離（約 10 m）から撮影した写真を用いた。写真をスキャナでコンピュータに取り

図 1 日本人女子の体形モデルとシルエット曲線上の節点配置

Fig. 1 Body shape model of Japanese women, or original nodal point configuration along silhouette curves.

図 2 人体シルエットの節点配置(a)(f)と特徴点抽出のプロセス(b)～(e)と(g)～(i)

18～58 歳の日本人女子 428 名の平均シルエット上に描いた特徴点抽出までのプロセス

Fig. 2 Original body shape description (a)(f) and process of feature point extraction (b) through (e) and (g) through (i).

Each drawing shows the feature points obtained at each stage of the feature extraction process and the average body shape of 428 Japanese women aged 18 to 58.

● : indicates locations of the extracted feature points.

込み、基準線を側面ではクロッチ高における前後シルエットラインを直線で結ぶ二等分点を通る垂線、正面ではクロッチ点を通る垂線とし、高さの原点を床面として、側面 89 点、正面 130 点、計 219 点の分割点を入力した。写真撮影時に計測した右乳頭点と膝蓋中央点の高径値を利用して各節点の座標値を実寸に換算した。シルエット曲線と乳房基底曲線（以下では乳房基底曲線も含めてシルエット曲線と呼ぶ）を抽出した後、二次元体形モデルを適用して節点座標値を得た。

本研究では、まず 173 節点から体形を簡易表現するに必要な十分な情報量をもった特徴点を抽出する。なお、正面の 102 の節点から特徴点を抽出するに際しては、体形の左右対称性を考慮して、右側部のみを対象とする。また脚部内側の曲線は肥えた体形では正確に把握し難いため対象から除外する。したがって、対象とする節点数は 116（側面 71、正面 45）になる。428 名の節点座標平均値を算出し、節点間を直線補間して平均体形を描くと図 2(a)および(f)のようになる。

3. 人体シルエットの特徴点抽出

以下では 116 の節点座標を基データとし、人体シルエットを表現するのに必要十分な情報量をもつ冗長性のない特徴点を抽出する手順を述べる。このためにまず、シルエットの特徴を最も端的に表す代表的な点として、シルエット上の凹凸点を個人ごとに抽出する。次に、凹凸点で分割された各部位の人体特有の丸みを表現する点を、水平偏差を利用して抽出する。なお、水平偏差を利用して抽出した点に、冗長性の認められる場合は、その点を削除する。さらに、その抽出した特徴点が、適切に人体形状シルエットをとらえているかを主成分分析により検討して、特徴点を決定する。この手順に従って以下説明を行い、各アルゴリズムを適用した人体シルエットの結果を示す。

3-1. シルエット曲線上の凹凸点の抽出

人が曲線の特徴を認知するときは、曲線の凹点や凸点に注目することが知られている。人体シルエットの場合も同様であり、凹凸点を中心に幅や厚みや全体のプロポーションなどに注目して総合的に判断することが分かっている。すなわち人体形状の特徴を最もよく表現するのは曲線の凹凸点といえる。

そこでまず、人体シルエット曲線（図 1 の A~F, H, I, N）上の節点集合から端点と凹凸点を抽出する。凹凸点は曲線 A~I では水平方向に、また乳房基底曲線

N では垂直方向に定義した。全被験者の凹凸点を求めて、50%以上の被験者で抽出される点を特徴点として採用したところ、側面 17 点、正面 11 点が抽出された。図 2(b)と(g)は、この特徴点のみで再構成した 428 名の平均シルエットである。しかし、凹凸点のみで再構成したこのシルエットは、膝部や殿部などの形状が十分に表現できず、人体形状曲線の記述には不十分と考えられる。その理由は特徴点間の長い区間では、図 2(b), (g)に見られるように、補間直線と原曲線との隔たりが大きく、シルエットを十分に表現していないためである。

3-2. 原曲線との水平偏差を利用した特徴点抽出

元の節点データと、3-1 節で得た特徴点を直線補間して構成したシルエットとの水平距離（乳房基底曲線については垂直距離）を求めて、両者の差を水平偏差（乳房基底曲線については垂直偏差）と定義し、一定値を超える区間から、新たな特徴点を抽出した。アルゴリズムは以下のとおりである（図 3）。

- ① 3-1 節で抽出された特徴点より隣接する 2 点を選ぶ。
- ② この 2 点を結ぶ直線とその区間内に存在する節点との水平偏差が 5 mm より大きい点のなかから最大のものを新しい特徴点として加える。
- ③ 上記①と②を反復し、すべての区間で水平偏差が 5 mm 以上の点がなくなれば抽出を終了する。

上記のアルゴリズムにより新たな特徴点を抽出した結果、側面では 16 点、正面では 17 点が追加されて、特徴点数はそれぞれ 33, 28 となった。図 2(c)および(h)にこれらの特徴点から得られた平均シルエットを示す。

3-3. 冗長な特徴点の削除

図 2(c)および(h)の平均シルエットは体形の特徴をほぼ

図 3 水平偏差に基づき抽出する特徴点

Fig.3 Feature point extraction based on horizontal deflection.

表現しているが、いくつかの部位で、元の節点集合で高い相関をもつ隣接点が両方とも抽出されていて、冗長となっている可能性がある。体形分析のデータとしては、人体シルエットの情報をできるだけ多く含みつつ、できるだけ少ない特徴点で構成されていることが望ましい。

このため、各曲線における節点間の最小垂直距離（乳房基底曲線は最小水平距離） s を用いて、以下のアルゴリズムにより特徴点の一部を削減する。

- ① 特徴点間の垂直距離が s で、凹凸点と相隣の特徴点对となる場合は、原曲線との水平偏差で抽出された点を削除する。
- ② ①で残った特徴点のうち凹凸点間で $2s$ 以下の垂直距離を置いて連なっているものの数が奇数であれば中央の特徴点を削除し、偶数であれば中央の2点のうち3-2節で求めた水平偏差の平均値が小さいほうを削除する。
- ③ 凹凸点の間で $2s$ 以下の垂直距離を置いて連なっているものがなくなるまで、②を繰り返す。

この結果、隣接していた冗長性のある点、側面6点と正面12点が削除され、側面27点、正面16点の特徴点を得られた。図2(d)および(i)にこれらの特徴点から得られた平均シルエットを示す。

3-4. 主成分分析による特徴点の絞り込み

上記3-1節から3-3節の方法によって得られた特徴点の基準線からの水平距離（乳房基底曲線については垂直距離）に対して主成分分析を適用し、体形の図形的な表現で大きな意味をもたない点、あるいは他の点で代用されると考えられる点の有無について検討した。固有値1以上の主成分について、隣接する特徴点对ごとに相関係数を求め、相互のデータの相関が非常に高く（ $r \geq 0.95$ ）、かつ相互の因子負荷量の相関も非常に高い（ $r \geq 0.95$ ）とき、その2点のうち体形の図表的表現においての意味が相対的に小さいと判断される点を削除することにした。正面には隣接特徴点の間で相関の高い点は存在せず、3-3節で得られた特徴点から除外するものはなかった。しかし側面に関しては、側面の喉部、足首前部、下腿後部に相関の高い点对が認められたので、それぞれから1点を削除した。

以上の結果より、対象とした全節点の約3割、すなわち側面では71点を24点に、正面では45点を16点に絞ることができ、最終的な特徴点として合計40点を得た。図2(e)および(i)は、以上の特徴点を用いて描いた428名の平均シルエットである。これらの平均シルエットはほ

ぼ人体形状の特徴を記述し、冗長性がなくかつ、体形分析を効率的に行うことができると判断した。

4. 特徴点を用いた体形分析

最終的に抽出された特徴点40個を用い、18～58歳の日本人女子428名の人体シルエットを分散共分散行列による主成分分析法で分析し、重要な体形情報の抽出を行うことにした。モデルの導出法により、特徴点の垂直座標値は図1の各曲線の端点垂直座標によって定まるので、垂直データとしては、頤高（側面C 10100、正面F 0100）、前部脚付根高（E 0100）およびクロッチ高（I 0100）の側面2点、正面2点のみを分析に用いれば十分と考えた。なお、抽出された特徴点に人間工学的に重要な殿溝が含まれていないことを考慮し、殿溝点にもっとも近い節点（B 0201）の水平座標値を側面データに加えた。

この結果、分析項目数は側面27、正面18となった。人体計測値の主成分分析では通常第1主成分にサイズ因子が現れるが、形状を問題とする場合はサイズ因子が除外されるほうが望ましい。そこで、シルエット曲線最高点である頤高の垂直座標値で全項目を正規化した値を分析に用いることにした。また分析は側面と正面に分けて行った。説明変数の単位が同じであることから、変数間の差を最大限に生かせる分散共分散行列に基づく分析とした。さらに、元の体形モデルと比較するために側面71節点、正面右半身のうち特徴点と同じ上下限内にある45節点の水平座標に、上記垂直座標を加えたデータについても同様の分析を行った。サンプル数は特徴点の場合と同じく428である。

分析の結果、24個の特徴点を用いた場合に累積寄与率が80%を超える主成分として、表1に示すように側面5主成分、正面4主成分が抽出された。さらに、各主成分の個人得点（ x ）を利用し、得点の平均値 $\pm 0.5\sigma$ （ σ ：標準偏差）で、428名の体形を三つのカテゴリに分類した。 $+0.5\sigma \leq x$ のカテゴリをHigh、 $-0.5\sigma < x < +0.5\sigma$ のカテゴリをMiddle、 $-0.5\sigma \geq x$ のカテゴリをLowとした。各カテゴリに入る体形比率は表1に示すとおりである。

図4は、各図の上から順にシルエット曲線A～Eの各節点（特徴点）に対応する固有ベクトルの成分（因子負荷量）を表す。この図から第4、第5主成分の固有ベクトルが逆符号になっている点を除けば、いずれも類似のプロフィールになっていることが分かる。さらに、図5には各主成分が意味する体形の特徴を視覚的に読み取り

やすくするために、表1で示した各主成分の3カテゴリの平均シルエットを二次元体形モデルで描いた。

側面では、第1主成分が上半身の前傾・後傾、第2主成分が体幹部の厚み、第3主成分が下半身の前傾・後傾、第4主成分が体幹部の丸み、第5主成分がヒップの高さを意味すると解釈できる。各主成分の個人得点の平均値を x とすると、図5に見られるように、第1主成分では、 $+0.5\sigma \leq x$ のカテゴリ (High) に上半身前傾体形が、 $-0.5\sigma \geq x$ のカテゴリ (Low) に後傾体形が属する。また第2主成分では、High のカテゴリに扁平体形が、Low のカテゴリに厚み体形が属する。第3主成分では、High のカテゴリに下半身前傾体形が、Low のカテゴリに後傾体形が属する。

正面では、第1主成分が乳房の位置の高低と大きさ

表1 日本人女子428人の人体形状の主成分分析結果
Tab.1 Results of principal component analysis of body shape of 428 Japanese women.

principal component	24 feature points				71 nodal points	
	Accumulated contribution ratio (%)	Category size (%)*			Accumulated contribution ratio (%)	
		High	Middle	Low		
Side	1st	36.04	30.14	40.19	29.67	41.55
	2nd	59.28	33.64	40.89	25.47	63.77
	3rd	71.58	32.48	38.55	28.97	78.78
	4th	79.73	28.04	40.65	31.31	84.51
	5th	85.67	31.07	39.25	29.67	87.91
Front	1st	50.84	32.01	38.08	29.91	51.62
	2nd	72.92	30.37	41.82	27.80	77.25
	3rd	79.17	28.04	40.65	31.31	82.80
	4th	83.93	29.44	39.72	30.84	87.20

* 各主成分の個人得点の平均値 $\pm 0.5\sigma$ で三つのカテゴリに分類し、各カテゴリに入る体形比率

* Percent ratio of the number of members in the three categories at 0.5σ and -0.5σ of the scores for each principal component

を、第2主成分が上半身の横径を、第3主成分が下半身の横径を意味する。また第4主成分は腰部から膝部にかけての高さを意味すると解釈できる。図5に見

図4 側面5成分の固有ベクトル (特徴点24の場合と節点数71の場合の対比)

Fig. 4 Eigenvectors of the 5 major factors at each feature point on the lateral silhouette (Comparison between 24 feature points and 71 nodal points).

図5 各主成分別3カテゴリの側面と正面の平均シルエット

Fig. 5 Average side and front silhouettes of the three categories for each principal component.

られるように、第1主成分では、Highのカテゴリに乳房の基底曲線が高く乳房の小さい体形が、Lowのカテゴリに基底曲線が低く乳房が大きい体形が属する。この主成分だけで体形の50.8%を説明できる。第2主成分では、Lowのカテゴリに上半身の横径が大きい体形が属する。第3主成分では、Highのカテゴリに脚のシルエットが内方にある体形が属する。第4主成分は、Highのカテゴリに腰の位置の高い体形が属する。

ついで、全節点（側面71点、正面45点）を用いた場合と、全節点の約3割に絞った特徴点による場合とで、主成分分析結果に大きい差異が生じるか否かを検討してみる。すでに側面については固有ベクトルのプロフィールがほぼ等しいことを見たが、これより抽出された5主成分が両者で等しい意味をもつことが分かる。ただし、全節点を用いた主成分分析の累積寄与率は表1の右に示したとおり、第4主成分までが80%を超え、特徴点に絞った場合より一つ少ない。正面も同様に、主成分の解釈は特徴点で分析した場合と同じとなったが、累積寄与率は第3主成分までで80%を超えた。つまり正面でも抽出された主成分は特徴点を用いる場合より一つ少なかった。これは全節点を用いることにより、側面では第1主成分方向、正面では第2主成分方向の分散が大きくなって、それが固有値に反映されたことによる。しかし上位のすべての主成分について両資料間の差は小さく、側面で第5主成分まで採用するか、第4主成分までに留めておくかの判定は微妙である。正面に関しても同じことが言える。結果として、いずれも資料より抽出される体形特徴も同じと考えることができ、点数を削減した特徴点のみの分析によっても全点を用いる場合と遜色のない体形分析が可能であることが判明した。

5. おわりに

人体形状シルエットを構成する曲線が高精度で記述できる173の節点集合から、人体形状記述に必須の特徴点だけを残し、冗長と考えられるものを削除することで、体形特徴に焦点を当てて的確に記述する40の特徴点を提案することができた。さらに得られた少数の特徴点を用いて、主成分分析法による人体形状分析を行い、シルエットの特徴をより明確にとらえ、また体形分析の結果に基づいて人体形状を平均化して表示し、体形の直接的な解釈と理解が可能となった。このことから、アパレル分野における体形分析¹³⁾、たとえば加齢や妊婦などの時系列データを対象とした体形変化を、効率よく正確に、

かつ簡便で遜色のない分析方法で行うことができるほか、体形モデルを用いたデザインとその評価にも応用できると考えられる。この成果を成長期の日本人女子の人体シルエット分析と体形変化の類型化に利用したいと考えている。

謝辞 最後に、本研究の一部で助力を得た京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科博士前期課程の洪德基君並びに日頃共同研究でお世話になっている㈱ワコール人間科学研究所に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 岡田宣子：体つきの意識と生活行動—女性の下着の衣生活を中心として—, 日本家政学会誌, 43(1), 37~44, 1992.
- 2) 岡部和代, 山名信子, 山本和枝：成人女子のシルエット分析と年齢の特徴を表すシルエットの評価, 繊維製品消費科学, 35(9), 491~498, 1994.
- 3) 岡部和代, 山名信子, 山本和枝：成人女子シルエットの体つきの評価と服装シルエットとの関連について, 繊維製品消費科学, 36(3), 295~300, 1995.
- 4) 高部啓子, 布施谷節子, 有馬澄子：女子短大生の他者のからだつきに対する評価, 日本家政学会誌, 49(9), 1021~1026, 1998.
- 5) 杉田洋子, 田中美智, 高橋裕子, 佐藤由紀子, 山田 寛：若い女性の身体シルエットに対する女子大生の好ましさの判断, 日本家政学会誌, 52(5), 421~427, 2001.
- 6) 黒川隆夫, 篠崎彰大, 中野 広：シルエット（2次元身体形状）分析装置の下着への応用, Human Interface News and Report, 2, 65~74, 1987.
- 7) 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：写真計測資料による人体姿勢の解析, 日本家政学会誌, 38(11), 999~1007, 1987.
- 8) 高部啓子, 植竹種美, 植竹桃子, 松山容子, 磯田 浩, 柳澤澄子：写真計測資料による人体姿勢の解析（第2報）人体姿勢を表す主成分の再現性, 日本家政学会誌, 41(1), 35~41, 1990.
- 9) 山名信子, 岡部和代, 中野慎子：シルエットからみた体型の類似性, 日本家政学会誌, 39(11), 1187~1195, 1988.
- 10) N. Ito, T. Kurokawa, A. Shinozaki & H. Nakano: Measurement of human body form using pattern processing techniques, Proc. 8th Congress of International Ergonomics Assoc., 220~221, 1982.
- 11) 黒川隆夫, 伊東伸泰, 篠崎彰大, 中野 広：人の体型記述の一方法, 計測自動制御学会論文集, 20(9), 829~836, 1984.
- 12) 黒川隆夫, 篠崎彰大：人体形状のパラメータ記述とシミュレーション, 京都工芸繊維大学地域共同研究センター研究成果報告書, 3, 1~9, 1994.
- 13) 黒川隆夫：アパレル分野における体形モデルとその応用, 繊維学会誌, 54(6), 204~208, 1998.