

肩関節屈曲姿勢における上半身形状の相同モデル化

Homologous Modeling of the Shape of the Upper Body during Shoulder Joint Flexion

横尾 優美* 武本 歩 未** 横井 孝 志** 大塚 美智子***
Yumi YOKOO Ayumi TAKEMOTO Takashi YOKOI Michiko OTSUKA

要 約 肩関節屈曲姿勢における精度よい三次元人体形状の把握を目的に、計測手法及び計測姿勢を変えて取得したスキャンデータが相同モデルの形状に与える影響を検討した。若年女性 15 名を対象に、肩関節屈曲 45° 及び 90° の姿勢における三次元形状を、3 条件 (①固定式スキャナ使用・両腕前挙, ②固定式スキャナ使用・右腕前挙, ③ハンデイスキャナ使用, 右腕前挙) で計測した。計測データから相同モデルを生成し、形状及び面間距離を用いて計測データにもとづいた形状と相同モデルの形状とを比較すると、条件①、②では腋窩周辺部の形状や前面部の面間距離が大きかった。一方ハンデイスキャナを用いた条件③の計測では、形状、面間距離の双方で相同モデル精度が高いことが示され、部分的な人体形状の計測において有効であると考えられた。

キーワード : 三次元人体形状データ, 相同モデル, 肩関節屈曲姿勢, アームホール形状, ハンデイスキャナ

Abstract The effects of scan data obtained by changing the method of and posture during measurement on the shape of a homologous model were investigated in order to accurately ascertain the 3D shape of the human body during flexion of the shoulder joint. The 3D shape was measured during 45° and 90° flexion of the shoulder joint under three conditions ((1) use of a fixed scanner and with both arms raised, (2) use of a fixed scanner and with the right arm raised, and (3) use of a handheld scanner and with the right arm raised). Homologous models were generated from the measurements and they were compared based on their shape and measurements of interplanar distances. Under conditions 1 and 2, there were large interplanar distances around the axilla and the front of the body, but accuracy was high under condition 3. A handheld scanner was effective for partial measurements of the shape of the human body.

Key words : 3D human body shape data, Homologous model, During shoulder joint flexion, Armhole shape, Handheld scanner

1. 緒言

アパレル分野における E コマース (EC) の市場

* 人間生活学研究科 生活環境学専攻
Graduate School of Human Life Science,
Division of Living Environment

** 被服学科
Department of Clothing

*** 日本女子大学名誉教授
Professor Emeritus of Japan Women's University

規模は年々拡大しており、進展が著しい。EC ではサイズ表に基づく既製服の販売だけでなく、オーダーメイドや消費者個人のサイズに合った商品の提案も行われるため、体型適合性の高い個別対応の衣服の設計や生産が期待されている。

このような背景から、体型適合性の高い衣服の設計を目指して、三次元人体形状データを用いた体型分析や、個々人の体型の特徴に合わせて仮想空間内のバーチャルボディを作成するための研究が進めら

れている¹⁾²⁾。これまでの研究では、腋窩や股といった影になる部分のデータの欠損を防ぐため、ISO20685³⁾に準拠した立位姿勢で三次元形状を計測し、分析に用いられる三次元人体形状データを取得して人体形状の把握が行われてきた。しかしながら、現実の人体の形状により近いバーチャルボディを作成するためには、標準的な立位姿勢以外の立位姿勢における人体形状特性も把握しておく必要がある。特に肩部およびアームホール周辺は衣服の着心地に影響を与える部位であるため、種々の立位姿勢におけるこれらの部位の立体形状を精度よく把握しておくことは重要である。

これまで、肩部およびアームホール周辺の形状特徴は三次元座標値データから捉えられてきた⁴⁾。しかし、さまざまな角度で上肢を挙上した姿勢における肩部およびアームホール周辺の形状把握は十分ではない。そこで本研究では、肩関節屈曲姿勢における肩部周辺形状の精度よい把握を目指して、種々の角度での肩関節屈曲姿勢における人体の三次元形状計測と相同モデル化を行うことによって肩部周辺形状を把握した。さらに、計測手法や姿勢の違いが相同モデル化した肩部周辺形状の精度におよぼす影響を検討した。

本研究で扱う相同モデルとは、物体形状を表現するポリゴンデータ（3次元座標データで表された多面体群）に対して、複数のランドマークを持つ標準的なテンプレートモデル上の個々のランドマークを対応させることによって、全ての人体形状を同一の点数（3次元座標データ数）、同一相幾何構造の多面体群として再構築したものである⁵⁾。相同モデル化することにより、三次元的な体型特徴の把握において平均形状の作成や主成分分析等の統計的な手法の適用が可能になる。したがって、三次元人体形状を分析するにあたり相同モデル化は不可欠であり、相同モデルの精度を高めることがバーチャルボディの精度向上にもつながる。これまで、三次元形状計測時の姿勢の個人差や被験者の体型が相同モデルにおよぼす影響⁶⁾や、テンプレートモデルを構成する頂点数の相同モデルへの影響⁷⁾が検討されてきたが、三次元形状計測手法の違いや計測姿勢の違いが相同モデルにおよぼす影響を検討したものはない。

これらのことから、本研究において相同モデルの精度を検討する際には、2種の計測手法（固定式スキャナによる計測とハンディスキャナによる計測）

及び2種の前挙姿勢（肩関節屈曲角度45°と90°、Fig.2参照）で取得した人体スキャンデータを用いた。また、上肢動作姿勢時の腋窩部形状の計測精度を検討するため、対象範囲を上半身とした。

なお、本実験研究は「日本女子大学人を対象とした実験研究に関する倫理審査委員会」の承認を得たものである（課題番号552,2022年9月23日承認）。

2. 方法

2-1 三次元人体形状の計測

スキャンデータの精度差による相同モデル化への影響を明らかにするため、以下の条件1,2,3に示した条件で三次元人体形状計測を行った。これらの計測では、実験衣はヌードに近い形態を保持するブラジャー及びショーツ、頭部には計測用の帽子を着用し、Fig.1に示す位置にランドマークを貼付して計測した。

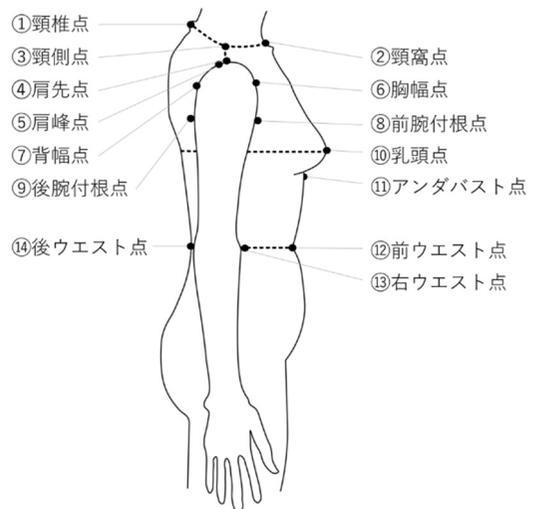


Fig. 1 Position of landmarks

条件1) 固定式スキャナ・両腕前挙姿勢

計測には固定式スキャナ（浜松ホトニクス(株)製ボディラインスキャナ、ライン光走査方式）を使用して、全身形状データを取得した。計測姿勢は、Fig.2に示すように肩関節屈曲角度が45°、90°となるよう両腕を前挙し、足軸間距離を20cmとした立位姿勢であった。欠損部の発生を抑えるため、計測機内での立位方向を正面より90°右に回転させた。

条件2) 固定式スキャナ・右腕前挙姿勢

計測には条件1と同じ固定式スキャナを使用し全身形状データを取得した。計測姿勢は、足軸間距離を20 cmとし立位方向を90°右に回転して立位した。条件1よりも腋窩および肩部周辺の計測精度を高めるため、肩関節屈曲角度を45°、90°に指示して右腕のみ前挙した姿勢で行った。

条件3) ハンディスキャナ・右腕前挙姿勢

計測にはハンディスキャナ（日本3Dプリンター(株)製 EinScan-Pro2XPlus, パターン投影方式）を使用した。計測姿勢は条件2と同じ角度で右腕のみ前挙した立位姿勢である。ただし、固定式スキャナの計測時間が約10秒である一方で、ハンディスキャナは計測範囲や計測者の技量などの影響で計測時間がより長くなる。そこで、計測時間の延長に伴う計測姿勢変化を可能な限り抑えるため、計測範囲を右上半身に限定し、被験者は天井から下げた紐を右手でつかんで腕屈曲角度を保った。

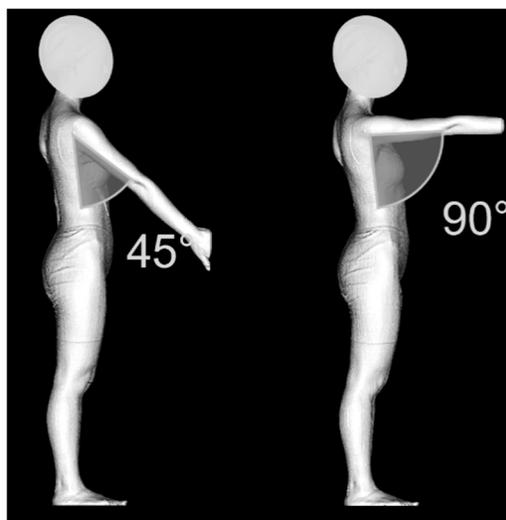


Fig. 2 Posture during measurement
(Left: flexion 45°, Right: flexion 90°)

2-2 被験者

条件1の計測を行った被験者は、18-23歳の健康な若年女性15名であった。条件2および条件3では同一の被験者とし、19-22歳の健康な若年女性15名であった。

2-3 解析方法

2-3-1 テンプレートモデルの作成

前述したように、三次元形状計測により取得した形状データ（スキャンデータ）を相同モデル化する

ためには、スキャンデータにフィッティングさせるテンプレートモデルが必要となる。しかし、産業技術総合研究所が提供するテンプレート Dhaiba Model ver.1.5 は、ISO20685 に準拠した三次元立位姿勢での計測データを対象としているため、肩関節屈曲姿勢で計測したスキャンデータに用いれば、テンプレートモデルのフィッティングに不具合が生じる。そこで、それぞれの条件で計測した被験者15名分のスキャンデータから、比較的欠損やノイズが少ないデータを5名分抽出し、(株)メディックエンジニアリング協力のもと肩関節屈曲45°および90°のテンプレートモデルを新たに作成した。

条件1の計測で取得したスキャンデータから、頭部と下半身、前腕を削除した上半身形状のテンプレートモデルを作成し、条件1の相同モデル化に使用した。条件2、3で使用するテンプレートモデルは、腋窩および肩部周辺の詳細形状が得られる条件3のスキャンデータをもととした。条件3の計測範囲は右上半身であるため、頭部と下半身、前腕、左半身を除いた右上半身形状のみのテンプレートモデルを作成した。

2-3-2 相同モデル化

条件1及び2、3のスキャンデータの範囲が各条件で使用するテンプレートモデルの範囲とほぼ同じになるようにトリミングして、スキャンデータの不要部を削除した。

次に、それぞれのスキャンデータとテンプレートモデルとのランドマーク位置が合うように調整を行った。すなわち、頸椎点と頸窩点を基準にy軸方向の身体のねじれ及びz軸方向の距離を、頸窩点と前ウエスト点を基準にz軸方向のねじれ及びx軸方向の距離を、肩先点と上肢を基準にx軸方向のねじれ及びy軸方向の距離を調整した。その後、条件1のスキャンデータに対しては上半身テンプレートモデルを用いて、条件2、3のスキャンデータに対しては右上半身テンプレートモデルを用いて相同モデルを生成した。

人体形状データのトリミング、位置調整、相同モデル化では、相同モデル化支援ソフト(HBM-Rugle, (株)メディックエンジニアリング)を使用した。

2-3-3 スキャンデータ計測精度の相違による相同モデル化精度の比較

スキャンデータとその相同モデルデータの形状を、3つの計測条件間で比較した。特に欠損の生じやす

い腋窩及び肩部周辺に重点を置き、欠損やノイズの発生個所の有無を検討した。また、3条件間の相同モデル精度を定量的に比較するために、個々のスキャンデータ a とその相同モデルデータ a を重合し面間距離を計測した。本研究における面間距離とは、相同モデルデータとスキャンデータを重合した時の、相同モデルを構成するポリゴンの各頂点の位置座標からスキャンデータの最も近い頂点の位置座標までの直線距離（絶対値）を計算し、これらを平均したものである。

3. 結果及び考察

3-1 スキャンデータ及び相同モデルデータ形状の比較

Fig.3 は、条件1の計測で得られた1名分の結果を示したものである。左の2つの図は実測データ（スキャンデータ）を、右の2つの図は相同モデル化したデータを示している。屈曲45°姿勢のスキャンデータでは、計測時にレーザー光が両腕に遮られたためアンダーバスト以下の胴部形状が正確に計測できていない。また腋窩部では、前後ともに上肢と体幹部の間の形状が不正確である。この影響は相同モデルデータにおいても反映されており、アンダーバスト以下の胴部が三角の形状に突出し不正確である。屈曲90°姿勢においても45°の場合と同様に、上肢の影となる部位の計測精度が著しく低い。スキャンデータでは計測時にレーザー光が両腕に遮られるため、腕の内側や胸部において欠損が発生して

いる。その結果相同モデルデータにおいても、胸部と腋窩にへこみや突出部が生じた。なお、45°、90°の姿勢とも、スキャンデータ及び相同モデルデータの背面部は前面部に比べて形状の歪みが少なかった。

このような傾向は、他の被験者においても見られた。

条件2及び条件3における屈曲45°姿勢の結果をFig.4に、屈曲90°姿勢の結果をFig.5に示す。これらの図の中の条件2及び条件3の結果は同一被験者1名から得られたものである。

肩関節屈曲45°姿勢の条件2 (Fig.4上) では、左腕前拳によるレーザー光の遮りがないため影の発生が抑止され、腹部の形状の歪みや変形は少ない。しかし胸部や腋窩部についてはレーザー光が遮られるため、ノイズが生じ形状が正確に計測されていない。このため、相同モデルデータにおいても胸上部がへこみ腋窩部形状も不正確であった。屈曲45°姿勢の条件3 (Fig.4下) では、条件2と比較して前面背面ともに滑らかであり、形状の歪みや変形は少なかった。これはハンディスキャナを使うことで、比較的体に近い距離で様々な方向からレーザー光を照射してスキャンすることが可能になったため、レーザー光が遮られる部分が少なくなったことが要因と考えられる。腋窩部や胸部にデータの欠損がやや見られるが、相同モデルデータにおける歪みや変形はほとんど見られない。条件2と条件3との間の相同モデルデータを比較すると、条件2で生じていた腋

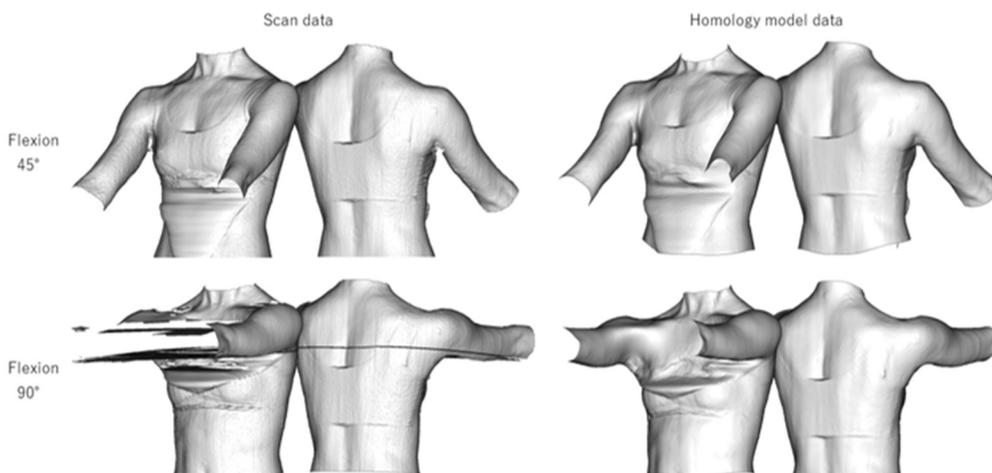


Fig. 3 Condition 1 Results of scanning and homology modeling

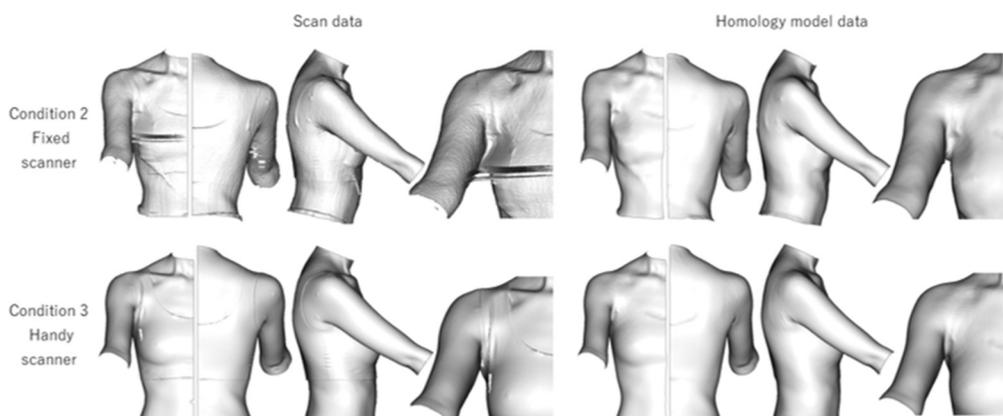


Fig. 4 Results of scanning and homologous modeling during 45° flexion (Conditions 2 and 3)

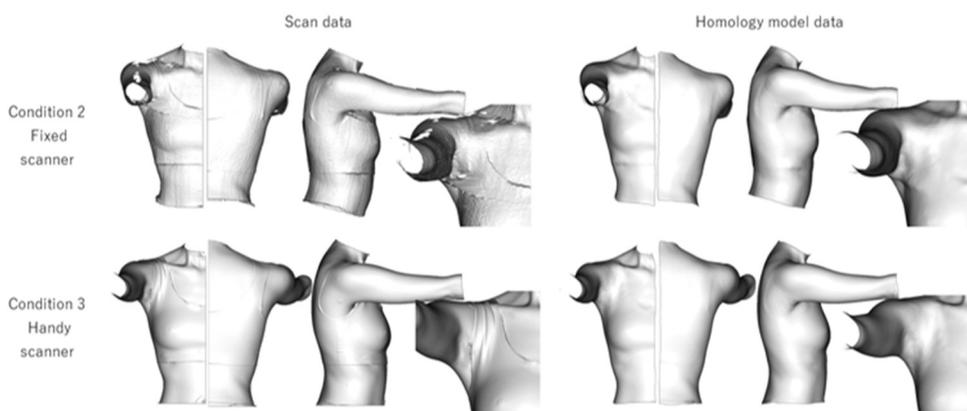


Fig. 5 Results of scanning and homologous modeling during 90° flexion (Conditions 2 and 3)

窩及び胸部の凹凸や変形が、条件3では軽減されたと言える。

一方、肩関節屈曲90°姿勢の条件2 (Fig.5 上) では、肩部から上腕にかけてデータの欠損が生じ、胸部から腋窩部にかけて表面がやや粗くノイズが生じた。相同モデルデータでは、欠損補完の影響は見られないものの、腋窩に不自然な凹凸が生じた。一方、肩関節屈曲90°姿勢の条件3では、欠損や表面の粗さの少ない滑らかなスキャンデータが得られ、相同モデルデータにおいても歪みや変形はほとんど見られず、精度高く腋窩形状を取得できた。

3-2 面間距離を用いた相同モデル化精度の検討

条件1, 2, 3のそれぞれにおいて、スキャンデータとその相同モデルデータを重ねて算出した面間距離平均値をもとに、相同モデル化精度を検討した。

ただし、スキャンデータに欠損やノイズが多ければ、相同モデル生成時の補完量が増えるため、スキャンデータと相同モデルとの間の面間距離は大きくなる。よって、面間距離が大きいほど精度が低いと判断する。

屈曲45°姿勢における条件1, 2, 3の面間距離をTab.1に、屈曲90°姿勢における条件1, 2, 3の面間距離をTab.2に示す。スキャンデータの頂点位置が、相同モデルを構成する各頂点位置より内側(身体を中心側)の場合の平均距離を+で、外側の場合を-で示した。本研究では、計測した距離を形状差として絶対値でとらえ、15名分データの平均値を算出した。また前述のとおり相同モデル精度の差は身体前面に見られることから、肩峰点を通る冠状面で身体を前面部と背面部に分けてそれぞれ面間距離を計

測し、これに前面部と背面部とを合わせた全体の計測値を含めた3つの値を比較した。

条件1では、背面部に比べ前面部の面間距離が大きく算出された。特に屈曲90°姿勢では顕著であり、前背面では+-方向ともに約2.6mmの差がある(Tab.2)。屈曲90°姿勢では、条件2において条件1と比較すると全体ではおよそ4分の1の値となり、特に前面部において面間距離は大幅に減少した。これは、両腕間のノイズやそれにとまなう形状欠損の発生が抑制されたためと考えられる。なお、45°姿勢における条件1と条件2の間の面間距離に大きな差は見られなかった。これは、いずれの条件においても腋窩周辺部の計測において同程度ノイズや欠損が生じたためであろう。

一方、屈曲45°、90°姿勢とも条件3では全体、前面、背面の全てにおいて条件1、条件2に比べて小さい値となった。また、全体、前面、背面の間の面間距離の差は小さかったことから、ハンディスキャナで得られたスキャンデータを用いて作成した相同モデル精度は、固定式スキャナの場合に比べて高いと考えられる。ハンディスキャナを用いた計測は、計測に時間を要するため被験者の姿勢の保持が難しいという問題はあるが、部分的な形状を精度よく詳細に捉えることが可能であるため、全身の立体形状計測の問題を補完する手法として有効であろう。

4. 結言

肩関節屈曲姿勢における肩部周辺形状の精度よい把握を目指して、種々の角度での肩関節屈曲姿勢における人体の三次元形状計測と相同モデル化を行うことによって肩部周辺形状を把握した。さらに、計測手法や肩関節姿勢の違いが相同モデル化した肩部周辺形状の精度におよぼす影響を検討した。その結果、次の2点が明らかになった。

- (1) 固定式スキャナを用いて両腕を前挙した姿勢での計測は、屈曲45°、90°ともに上肢によるレーザー光の遮断によって、欠損データが多く表面が粗いスキャンデータとなり、腋窩部形状が不正確で不自然な凹凸のある相同モデルが生成された。右腕のみ前挙した姿勢での条件では、両腕前挙時よりも欠損データや表面の粗さが抑制されたが、腋窩周辺部の精度は低かった。
- (2) ハンディスキャナを用いた計測では、形状、面間距離のどちらにおいても固定式スキャナと

Table 1 Measurements of interplanar distances during 45° flexion

	whole		front		back	
	+	-	+	-	+	-
Condition 1	0.700	0.657	0.788	0.708	0.611	0.595
Condition 2	0.657	0.658	0.746	0.744	0.647	0.612
Condition 3	0.448	0.441	0.470	0.463	0.458	0.439

(mm)

Table 2 Measurements of interplanar distances during 90° flexion

	whole		front		back	
	+	-	+	-	+	-
Condition 1	2.784	2.705	3.552	3.351	0.946	0.731
Condition 2	0.697	0.734	0.781	0.836	0.617	0.592
Condition 3	0.434	0.441	0.446	0.454	0.436	0.433

(mm)

比較して、相同モデル精度が高く、右上半身といった部分的な人体形状のスキャンに有効であることが明らかになった。

引用文献

- 1) 武本歩未, 大塚美智子: 手計測データの重回帰分析による三次元人体形状の推定—アパレル3D-CADのためのバーチャルボディ生成方法の精度検証—, 繊維製品消費科学会, Vol.62, No.5, 303-316 (2021)
- 2) 横尾優美, 武本歩未, 大塚美智子: 三次元人体形状データを用いた三次元立位姿勢からの自然立位姿勢二次元パターンの推定, 日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科, No.28, 31-38 (2022)
- 3) ISO 20685 : 2005 3D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases
- 4) 渡邊敬子, 木爪佳奈子, 田中千尋, 杉本由紀子: 衣服設計のための若年女性の肩部形状の3次元的把握, 京都女子大学生活造形学教室, 51, 53-58 (2006)
- 5) 持丸正明: 人間中心設計を支援するデジタルヒューマン「Dhaiba」の開発, 人間生活工学, 33号, 43-46 (2010)

- 6) 藤原裕子：全身形状データの相同モデル化と統計相同モデルの作成，人間生活工学，Vol.13，NO.1，9-14 (2012)
- 7) 武本歩未，大塚美智子：相同モデルを用いた体型分析方法に関する検討—生成方法および分析方法の相違による統計解析への影響—，日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科，No.27，219-226 (2021)

