

人体形状計測の展開 ～ファッションから健康産業まで

持丸 正明

産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター

コンピュータビジョン技術を用いて3次元人体形状を計測するシステムが実用化され、ファッション産業や健康産業での活用が始まっている。ファッション産業では、個人の体形に適合する製品の設計・製造、適合製品の選択サービスからなるオンデマンドファッションサービスとして、健康産業では、個人内の体形変化の定式化や生理量との関連に基づくテーラーメイドの健康管理サービスとしての利用が注目されている。本稿では、3次元人体形状データをこれらのサービス産業に活用するためのデータ処理技術について述べ、さらに、これらのサービスを通じて社会の中で持続的に縦断的な体形データを蓄積し、再利用する人間生活情報データベースの構想を述べる。

The spread of 3D body scanning for on-demand fashion and healthcare services

Masaaki MOCHIMARU

Digital Huma Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

3D body scanning systems based on computer vision technologies are used for fashion service and healthcare service business. As the service business of on-demand fashion, well-fitting fashion products are designed and manufactured based on the individual body shape. As the service business of tailor-made healthcare, modeling methods of the intra-individual change of body shapes are required. In the present paper, digital human modeling technologies for these service industries are mentioned. A national project is planned to establish the sustainable database that stores the longitudinal human factors through these service business.

1. 体形データ利用 -ファッションから健康へ

メタボリックシンドロームの予兆を体形から知ることができると言われて以来、QOL向上のための定量化手段として体形データを計測・記録することの関心が高まっている。筆者らは、いままで主にファッション産業や自動車産業応用のために体形データを計測・記録してきた¹⁾が、このための計測技術やモデル化技術、統計処理技術が健康管理サービス産業へも活用され始めている。

体形データとは、狭義には身長や体重、ウエスト寸法など巻尺や体重計などで計測できる計測量のことを指す。これらは、人体寸法 (body dimensions) と呼ばれ、体重も人体寸法の1項目として含まれる。人体寸法は、通常、解剖学的特徴点 (landmark) を熟練した計測者が触察によって同定し、体表面にマーキングした後、専用の計測器具 (大きなノギスのようなものや巻尺) を用いて測る。計測方法には100年の歴史があり、寸法項目の名称や計測方法には国際標準まである²⁾。人が人を手作業で測る、と聞

くと、多くのエンジニアは「それは精度が悪い」と考えがちである。実際にはエンジニアが考えるほど精度の悪い計測法ではない。筆者らも手計測による人体寸法計測精度 (計測者内の再現性、計測者間誤差) を検証しており、ウエスト囲などの大きめの周囲長で数[mm]、手や足の寸法であれば1[mm]以下の再現性であることを確認している³⁾。とは言え、この精度で計測するためには熟練した計測者が必要である。また、人体には相似性がないため、全身各部の寸法 (多いときは100項目以上) を手作業で計測・記録しなければならず、被計測者に与える時間・コスト負担は小さくない。そこで、3次元形状計測技術を用いて体表面の形状データを計測し、そこから寸法を計算する方法が提案された。通常は、光学式の非接触形状計測機が利用される⁴⁾。この場合、人体寸法だけでなく、3次元の体形情報すべてが計測、記録されることになる。広義な体形データとは、この3次元体形情報を指す。

筆者らは、3次元体形データを計測し、それを解剖学的にモデル化して3次元体形を統計処理する技術を提案してきた。また、それらの技術をベースに店頭で体形を測り、個人に適合するファッション製品を推奨・選定する技術、そのようにして蓄積された大量の体形データを統計処理する技術を開発してきた⁵⁾。本稿では、その技術の概要を紹介しながら、それらが、健康管理サービス産業にいかにして適用できるかを述べる。

2. 人体形状計測と体形モデリング

対象物の立体的な形状を光学的に計測する技術はコンピュータビジョンの分野で長く研究されてきた。さまざまな方法が提案されているうち、実際に製品化されているのは光切断法と呼ばれる方法が中心である。これは、対象物にレーザー光を投射し、対象物表面で反射した光を別の方向のカメラで撮影する方法である。あらかじめレーザー光の投射方向とカメラの向きを校正しておけば、三角測量の原理でカメラから対象物までの奥行き情報を得ることができる。カメラ撮像面の2次元情報と奥行き情報をあわせて対象物の3次元情報を計測する。人体計測では、レーザー投光器とカメラを複数台組み合わせることで死角を減じるようになっている。レーザー光が体を走査して断面形状を計測・積層し、全体の3次元形状を得ることから、人体形状スキャナ (body scanner) と呼ばれている (図1)。



図1 人体形状スキャナの例

人体形状計測では、単に体表面の形状を計測するだけでなく、骨格上の対応を示す解剖学的特徴点の座標データを同時に計測する必要がある。多くの市販人体形状スキャナは、このために熟練者が体表に貼ったマーカシールの位置座標を検出する機能を持っている。しかしながら、マーカは全身で数十個も貼り付ける場合があり、それぞれの位置が検出できても、それぞれのマーカの名称 (解剖学的意味) を認識できなければ意味がない。手作業によるマーカ名称のラベリング作業は、実際には被計測者にマーカを貼る以上に時間がかかる。そこで、あらかじめ解剖学的特徴点の相対的な位置情報データベースをもっていて、それと照合することで自動的なラベル付けを実現するシステムがある。さらには、体表面の曲率やデータベースに基づいて、マーカを貼ることなく解剖学的特徴点位置を推定する技術⁶⁾もシステムに組み込まれるようになってきている。解剖学的特徴点位置が計算できれば、体形データとあわせて、人体各部の寸法を幾何学的に計算できる。すなわち、最新の人体形状スキャナのいくつかは、マーカフリーで解剖学的特徴点を推定し、さらに人体寸法を計算する機能を備えていると言うことになる。残念ながら、これらの推定技術は熟練する計測者の再現性や精度には及ばない⁷⁾。とは言え、自動化によって誰でもどこでも簡便に体形データを取得できるようになった技術的インパクトは大きい。

計測したデータから3次元体形データそのものの統計処理を行うために、体形データのモデル化が必要となる。通常、計測されたデータは計測機の計測ピッチ、座標系で記述されており、背の高い人はデータが多く、背の低い人はデータ点数が少ない。これでは個人間の比較が容易ではない。そこで、共通する解剖学的特徴点に基づいて、人体形状を同一点数・同一位相幾何構造のポリゴンで再構成し直す。これを人体の相同モデリング (homologous body modeling) と呼ぶ。筆者らは全身のみならず、足部や頭部などさまざまな部位についても、製品設計応用をベースとした人体相同モデルを提案し、また、細分割曲面を用いて汎用的に相同モデルを生成する技術 (図2) を開発してきた。このソフトウェアは、HBM (Homologous

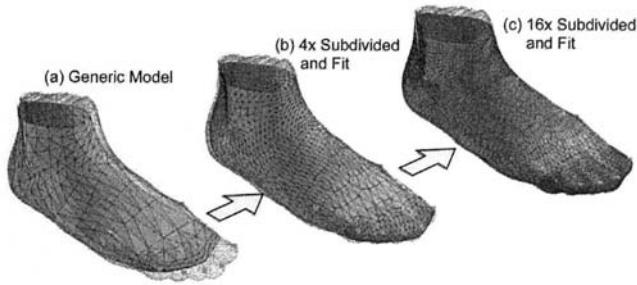


図2 細分割曲面による相同モデリング

Body Modeling) という名称で販売され、すでに、複数の人体形状処理ソフトウェアに組み込まれている(図3)。

3. 個人間差-自分の体形の特徴を定量化

体形データが相同モデル化できれば、個人差解析は容易になる。多くの体形データに対して、体形の特徴分布を明らかにし、その分布を代表する仮想体形を生成することができるようになる。筆者らの提案する方法⁹⁾では、相同モデル化された体形データ間の距離を、対応する頂点間のユークリッド距離の総和として定義

し、複数体形データ間の距離をすべて計算し、その距離行列を表現する分布状態を多次元尺度法で求める。ここで、多次元尺度の各分布軸に沿って人体形状がどのように変化するかを空間の格子変形パターンとして定式化することで、分布図上の任意の位置の仮想形状を合成できるようになる(図4)。同様の分布図作成と仮想形状合成は、主成分分析でも可能である。主成分分析は合成処理

計算が高速である反面、多次元尺度法に比べて個人差を表現するための特徴軸が数多く必要となる¹⁰⁾。このような体形分布図に基づいて、顧客集団を効率よくカバーするサイズ分類を考え、その分類群を代表する仮想形状を合成し、CAD上で適合製品を設計するという応用もおこなわれている¹⁰⁾。なお、多次元尺度法と主成分分析法による人体形状の統計処理ソフトウェアは、HBS (Human Body Statistica) として販売されており、一部の市販人体形状スキャナに組み込まれている。これらのスキャナでは、解剖学的特徴点の取得-ラベル付け-人体寸法計算

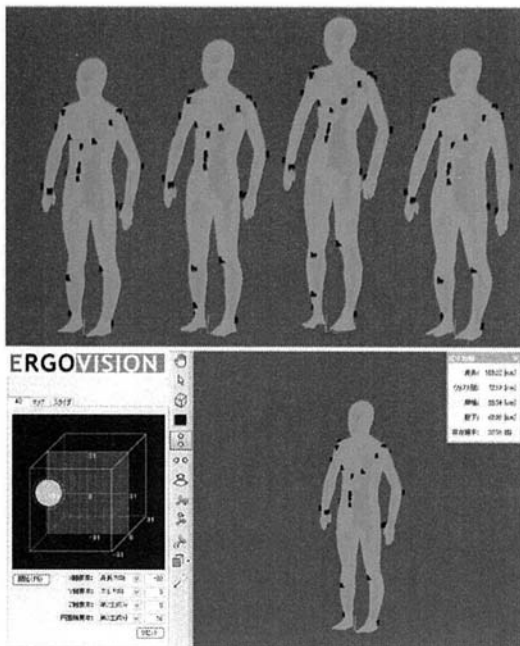


図3 全身相同モデルによる体形データベース閲覧ソフトウェア

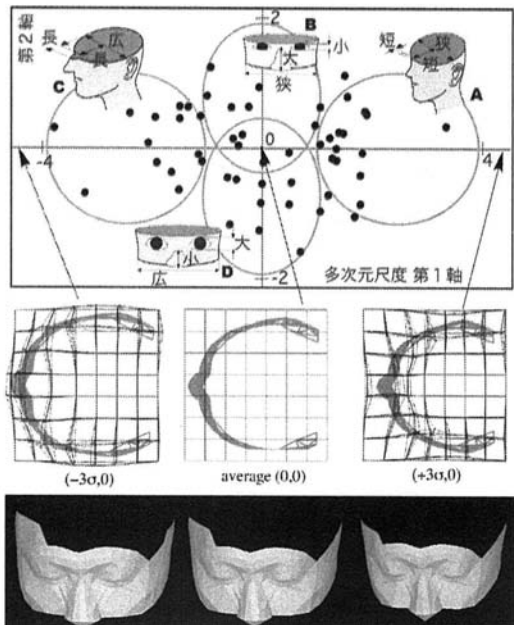


図4 形状分布図と代表仮想形状の合成(顔形状に基づくメガネフレーム設計の事例)

-相同モデル化-形状統計処理までを比較的簡便に処理できるようになっている。

4. 個人内変動-体形変化を定量化

体形の相同モデルは、個人間の差を統計的に比較するだけでなく、個人内の変動を定量化するにも有効である。筆者らは、(株)資生堂と共同で、化粧品とサプリメントを継続的に使用することで、どのような体形変化が生じるか、相同モデルに基づいて研究した⁹⁾。成人女性被験者20名の2ヶ月間(3回計測)の体形データをモデル化し、多次元尺度法によって得られた分布図を図5に示す。図中には20人×3回の60のプロットがあり、同一個人内の変化を矢印で結んである。第1軸は身体の大きさを表す軸で、当然、ダイエットによってほとんど変化していない。第2軸は姿勢の変化を表す軸、第3軸は太り-痩せを表す軸と解釈できる。2ヶ月間の化粧品とサプリメントの併用によって、第3軸の痩せ体形に変位しているだけでなく、第2軸においても背中への反りがとれ背筋の伸びた体形に変化していることが分かる。1ヶ月のインターバルにおいても姿勢を再現性良く計測できるよう計測装置には手すりをつけ、手すりを持つ位置を被験者ごとに記録し再現して計測を行った。その上で、このような系統的な姿勢変化が生じたのは想定外であった。背筋が伸びた傾向がほとんどの被験者に現れていることから、この変化が単なる計測条件設定の問題ではなく、体形変化に起因するものと考えられる。このような個人と全体の傾向を把握するだけでなく、効果のあった特定の被験者についてより効果的な可視化を行える点も形状計測の利点である。図6はある被験者の1ヶ月間の体形変化を可視化したものである。胴回りが大きく変化していることがよく分かる。人体形状スキャナを用いることで、サイズと姿勢の変化を定量分析し、明瞭に可視化できることになる。体形の可視化は変化の定量的把握のみならず、健康維持のための動機づけとしても効果的である。

5. 人間生活情報の蓄積・循環社会へ

人体形状計測の自動化が進み、解剖学的特徴点の推定、寸法の計算、相同モデルの計算や統計処理が、熟練者でなくとも簡便に行えるよう

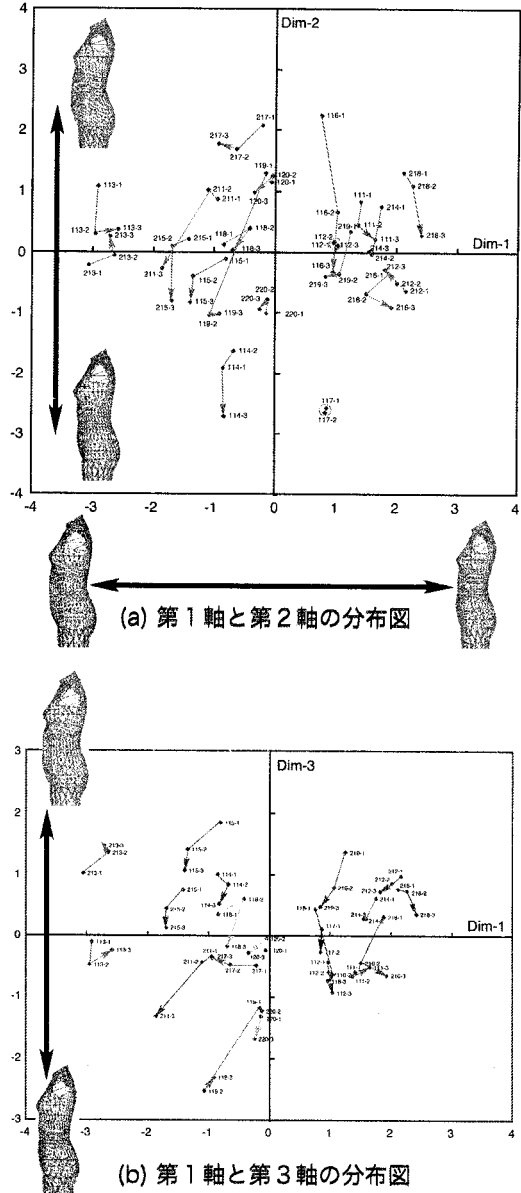


図5 2ヶ月の体形変化を示す分布図

にシステム化されてきた。これは、人体形状スキャナが、研究用の計測装置から実用的なソリューションシステムに変わりつつあることを意味している。筆者らが提唱してきた「オンデマンドファッション」とは、このスキャナを衣料品店舗に設置し、そこで顧客個人の体形データを取得して、それに応じて製品を作る・選ぶサービスを実現しながら、民間活力を使って持

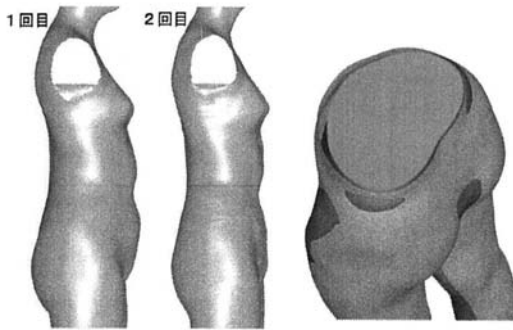


図6 2ヶ月の体形変化の可視化

続的な人体形状データの蓄積を図るというものである⁹⁾。人間が使用するさまざまな製品の設計には人体寸法や形状データの統計量が不可欠であり、これらは税金を使った国家的な計測事業¹¹⁾によって、定期的に横断計測され、国の知的基盤として整備されてきた。オンデマンドファッションというビジネスモデルを通じて大量の体形データを持続的に蓄積することで、データ蓄積の主角を「官から民へ」移行させるだけでなく、個人の体形を継続して測ることで「横断計測から縦断計測へ」移行させることを指向している。

このオンデマンドファッションに健康産業がリンクすることで、データの利用価値とビジネス展開はより大きなものとなる。フィットネスクラブなど「裸になる」場所で全身形状をスキャンして登録し、それを健康管理だけでなく、ファッション製品の推奨・選定に利用できる仕掛けである(図7)。体形が登録されていれば、電子商取引でフィットするファッション製品を見つけ出すことも容易になる。ただし、健康サービスに利用するには、体形データだけを記録するのでは意味がない。生理情報(血圧、心拍、血糖値)や生活情報(運動、歩数)を体形データとあわせて記録していくことで、被計測者個人に向けた健康サービス、ファッションサービスを高度化することができる。そのためには、ショップや

フィットネスクラブなどに設置した“Site”の高度計測システムだけでなく、家庭にある体脂肪計のような“Home”の装置で記録した情報や、身体に取り付けた歩数計のような“Wear”のデバイスの情報を、個人と時間軸で統合する人間生活情報データベースが不可欠である。Site > Home > Wearの順で精度が向上し、Wear > Home > Siteの順にデータ更新の時間分解能が高くなる。これらの情報をネットワーク上で統合することで、研究室レベルでの実験的な研究だけでは到達できない、大規模な人間生活情報データベースを構成できると考えている。これにより、人間情報(体形、姿勢、生理)と生活情報を縦断的・持続的に蓄積し、その統計情報を健康サービスやファッション産業に再利用するという「知識循環型社会」を構築していきたい。その足掛かりとして、経済産業省は、平成19年度から3年間のプロジェクトとして「健康家計簿・オンデマンドファッションPJ(仮称)」を推進しようとしている。健康産業とファッション産業が連携し、データ蓄積が官から民へ、横断計測から縦断計測へと移行することで、知識が循環する社会構築の足掛かりとなる。

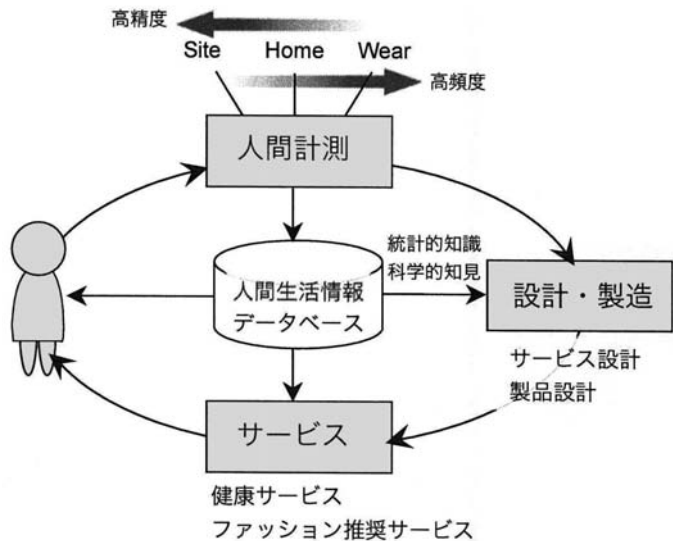


図7 健康・オンデマンドファッションサービス

参考文献

- 1) 持丸正明, 河内まき子: オンデマンド着装品のためのHuman-statistics based Vision, 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.47 No.SIG9 (CVIM14), pp.46-54, (2006).
- 2) ISO 7250: 1997, Basic human body measurements of technological design.
- 3) M. Kouchi, M. Mochimaru, K. Tsuzuki and T. Yokoi : Interobserver Errors in Anthropometry, Journal of Human Ergology, Vol.28 pp.15-24, (1999).
- 4) 持丸正明: オンデマンド着装品で変わる人体形状計測, 画像ラボ, Vol.16 No.3, pp.13-17, (2005).
- 5) 持丸正明, 河内まき子: デジタル人体形状に基づく着装品のオンデマンド製造, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.8 No.4, pp.407-412, (2003).
- 6) H. Yahara, N. Higuma, Y. Fukui, S. Nishihara, M. Mochimaru and M. Kouchi : Estimation of Anatomical Landmark Positions from Model of 3-Dimensional Foot by the FFD Method, Systems and Computers in Japan, Vol.36 No.6, pp.26-38, (2005).
- 7) M. Kouchi and M. Mochimaru : Why scan-derived body measurements differ from measurements by the traditional methods?, 16th World Congress on Ergonomics (IEA 2006), pp.art0894, (2006).
- 8) 特許第3364654号: 仮想形態生成装置及び生成方法, (2002).
- 9) M. Kouchi and M. Mochimaru : Inter-individual Variation in the Intra-individual Shape Change Patterns, SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference 2006, pp.2006-01-2353, (2006).
- 10) M. Kouchi and M. Mochimaru : Analysis of 3D face forms for proper sizing and CAD of spectacle frames," Ergonomics, Vol.47 No.14, pp.1499-1516, (2004).
- 11) size-JPN 2004-06プロジェクト, <http://www.hql.jp/project/size2004/jpn/>