

# オンデマンド着装品のための Human-statistics-based Vision

持丸 正明<sup>†</sup> 河内 まき子<sup>†</sup>

明治以降の高身長化と飽食によって顕在化した大きな体形の個人差を合理的にカバーし、すべての消費者に、体形に適合した気に入った着装品を提供できるしくみとして、店頭で消費者個人の人体形状を計測し、適合する着装品を販売するオンデマンド着装品ビジネスがある。このビジネスを通じて持続的に人体形状データが蓄積される技術社会を創成するための研究を総合的に行った。販売者向け技術である店頭での人体形状計測技術、製造者向け技術である人体モデル化と統計処理、適合製品設計技術、消費者向け技術である形状と感性の統計モデルに基づく製品推奨技術の研究を通して、人体形状データベースと人体統計モデルを利用したビジョン技術 (Human-statistics-based Vision) がオンデマンド着装品ビジネスの実現に資することを述べる。

## Human-statistics-based Vision for Fashion-on-demand

MASAAKI MOCHIMARU<sup>†</sup> and MAKIKO KOUCHI<sup>†</sup>

Due to secular increases in height and recent increases in obesity, variability of the Japanese body shapes has increased dramatically. Fashion-on-demand has the capacity to provide well-fitting wearables to consumers of various body shapes. Research has been conducted to realize fashion-on-demand, to accumulate data on human body shape, and to make use of gathered body shape data in the retail market. Such research has included technologies for retail shops such as easy and low-cost measurement of human body shape, technologies for manufacturers such as homologous modeling and statistics of 3-dimensional (3D) body shapes, and technologies for consumers such as recommendation systems based on relationships between human body shape and impression. We propose a vision technology based on a human body shape database and statistics of 3D body shapes to promote fashion-on-demand.

### 1. はじめに

店頭で顧客の人体形状を測り、適切なサイズの衣服や靴、メガネなどを製造・販売するビジネスが始まりつつある。Mass Customization と呼ばれるビジネス形態で、狭義にはデジタル化した人体データに基づいて、CAD/CAM 技術を駆使して効率良く個別対応品を生産するサービスを意味する。不良在庫が減り、消費地近郊型の製造拠点到回帰するという点で、現在の大量生産・大量流通のかかえる問題を解決しうる可能性を秘めている。とはいえ、狭義の Mass Customization サービスで現在の大量生産・流通に匹敵する低価格と即応性を実現するのは難しく、量産品に慣らされた消費者の理解は得にくい。そこで、集団に適合する量産パーツとカスタムパーツで個別対応するようなサービス、さまざまなサイズが用意された量産品から適切なサイズを選定するサービスが併用されることになる。

筆者らは、これらの方策も含めた、Mass Customization より広義のビジネスについて、消費者視点の呼称として「オンデマンド着装品 (Fashion-on-demand)」という考え方を提案している<sup>1),2)</sup>。

ビジネスの基本的な発想は特段新しいものではない。巻尺で顧客の人体寸法を測り、オーダーメイドをするサービスは以前からある。その計測工程がデジタル化することで、どのような恩恵がありうるのだろうか。大きく3つの段階があると考えている。オンデマンド着装品ビジネスにおける情報の流れ (図1) に着目し、3つの段階について説明する。第1段階 (矢印1) は巻尺などで測る寸法をデジタル採寸に置き換える段階である。店頭で消費者個人の体形と嗜好に関する情報を取得し、形状データから寸法を抽出して、それに基づいて量産品の中から適合製品を推奨する、あるいは、個別対応製品を設計・製造して提供する流れである。現在、販売店で実現しているサービスは、ほぼこのレベルにある。形状計測装置は巻尺に比べればずっと高価である。これを巻尺の代替として用いるには、できるだけ低価格化を進めるとともに、巻尺計測と同程度

<sup>†</sup> 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター  
Digital Human Research Center, National Institute of  
Advanced Industrial Science and Technology

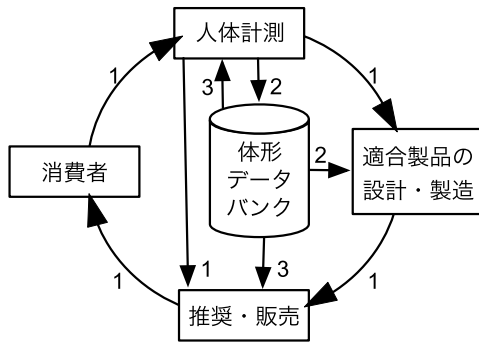


図 1 オンデマンド着装品における情報の流れ

Fig. 1 Information flow on Fashion-on-demand.

のスペース占有で、巻尺と同質の人体寸法を、巻尺よりも簡便かつ再現性良く計測できなければならない。人体寸法は個体間で対応をつけるために人体の解剖学的構造に基づく皮膚上で一意に決定できる点、解剖学的特徴点によって定義されており、巻尺計測と同質の人体寸法を取得するには体表面形状だけでなく、解剖学的特徴点情報を取得することが不可欠である。筆者らは、まず、この仕様を満足する足部形状計測装置を開発した(2章)。第2段階(矢印2)は、3次元形状データをネットワーク接続された共通データベースに蓄積し、適合製品設計に活用する段階である。3次元形状データが数多く蓄積されれば、それに基づいて量産品のサイズ分類を見直したり、量産パーツの適合設計ができたりようになる。このためには、形状から抽出した寸法の多変量解析だけでなく、3次元人体形状の統計処理が求められる。すなわち、3次元人体形状の変異の範囲を明らかにし、それを代表する平均形状や分布の周辺にある仮想形状を合成する技術が必要となる。これができて初めて、3次元CAD上で代表人体形状と量産製品を合わせながら設計できるようになる。筆者らは、これらの課題を解決するために、人体のモデル化技術(3章)、および人体モデルに基づく統計処理技術と量産品設計への応用(4章)を研究した。第3段階(矢印3)は、データベースを消費者個人の製品選びに活用する段階である。消費者は自分の体形に適合する製品に興味があるのであって、他人の体形に関心があるわけではない。データベースを活用することで、いつでもどこでも計測でき、自分の体形にフィットした着装品が入手できるだけでなく、自分の体形と着装品のコーディネートが他人にどのような印象を与えるかを知ることができれば、消費者の受けるベネフィットは大きい。筆者らは、人体形状データベースを用いることで解剖学的特徴点を自動抽出す

る技術(5.1節)、多視点画像のみから人体形状を計測する技術(5.2節)、欠落部分を合理的に補完する技術(5.3節)を開発した。また、形状データベースに感性統計モデルを追加することで体形と着装品のコーディネートが与える印象を推定する技術(6章)を研究した。3つの段階における技術課題は、次のように整理できる。すなわち、第1段階の技術課題は店頭設置のための販売者の要請に基づくもの、第2段階の技術課題は製品を製造する製造者の要請に基づくもの、第3段階は消費者がショッピングとファッションを楽しむことに視点を置いた技術課題である。本論文では、2章から6章で第1段階から第3段階までの個別の課題を解決した筆者らの研究を述べ、7章でそれらを総括し、これらの課題のうち筆者らが何を解決し、他の研究者らによって何が解決され、そして何が課題として残っているのかを述べる。

衣服や靴などの着装品の歴史は長く、本来はそれを着用する個人の体形に基づいて作られてきた。産業革命以降、大量生産によって製造コストが大幅に低減した一方で、集団全体にいかにして適合させるかという新たな課題が生まれた。さらに、明治以降になって日本人の身長は急激に高くなり、早い時代に生まれた高齢者は背が低く、若者は背が高いという世代差が顕在化してきた。飽食になり肥満傾向の人も増え、社会全体で体形の個人差が拡大している。それゆえ、集団の平均的な体形ではない人にとっては、体形に適合する気に入った着装品を手に入れにくい時代になっている。筆者らのモチベーションは、大量生産技術をうまく活用し、集団の平均的な体形ではない人にも適正な価格で、体形と嗜好に適合した製品を提供できるような技術社会を創成することにある。筆者らは、このための基盤技術が、体形の集団的特性を表すモデルとモデルを構成するための人体形状データベースであると考えている。人体形状データベースは、現在、産業基盤として税金による国家プロジェクトを通じて蓄積されているが、いつまでも税金で収集しなければならないのか。筆者らは、この人体形状データを民間の経済活動を通じて持続的に蓄積する社会インフラを創り出したいと考えている。オンデマンド着装品ビジネスは、集団の平均的な体形ではない人に適合した製品を提供しながら、人体形状データを大量に持続的に蓄積していくシナリオである。このために、店頭で人体形状を計測する技術を開発し、蓄積した人体形状が適合製品設計に活用できることを実証してきた。さらに、人体形状データベースから構成された統計モデルを利用して簡便に人体を計測する技術、体形と感性に適合する

製品を推奨する技術を開発してきた。本論文は、世代差・個人差の大きな時代においても個人に適合する製品を提供できる技術社会を、民間の経済活動を通じて創成するための筆者らの基盤技術開発を総合的に述べたものである。

## 2. 人体形状計測

ビジョン技術を用いた非接触の3次元形状計測は、工業製品の製造評価やリパースエンジニアリング分野で利用が進んでいる。人体の表面形状を計測対象とする場合でも、原理は工業計測と大きく変わらない。人体計測では工業計測のようなマイクロメートルレベルの高精度が要求されないかわりに、着装品の適合性向上に重要な腋の下や足裏などの隠れやすい部位を計測する技術、計測中の体動揺の影響を低減する技術、さらに個人間の比較や製品との対応付けのために解剖学的情報を形状とともに取得する技術が必要である。また、オンデマンド着装品ビジネスとして店頭で利用するには低価格、省スペース、自動化を進める必要がある<sup>2)</sup>。最近はこのらの要請をある程度満足する製品も出始めており、実際に店頭で利用され始めている。

筆者らも、熟練した計測者が巻き尺で測った寸法と同等のミリメートルレベルの精度を有し、足裏部位も隠れなく計測でき、かつ、解剖学的特徴点に貼ったマーカを自動検出・識別できる足形状計測装置 INFOOT を共同開発した(図2)<sup>3)</sup>。同装置は4台の半導体レーザープロジェクトで構成される平面光の反射を8台のCCDカメラで撮影し、光切断法で断面形状を計測する。レーザとカメラは1体になってポールネジで移動し、その移動量を検出して積層することで3次元形状を構成する。CCDカメラから得られるNTSCのアナログ信号から各走査線ごと(V)に高輝度領域(レー

ザ反射光を受光した部分)の中心座標(H)を算出する専用処理ボードを備えることで、8台のカメラ画像の全画素をデジタル化しなくても断面形状を計測できる。これにより、8台のカメラを低価格のPCボード1枚で同期計測でき、コスト削減に寄与している。

解剖学的特徴点の1つである踵点は形状データから自動的に同定できる。採寸と後述するモデル化に必要となるその他の解剖学的特徴点は、計測者が被験者の足を触察して体表面にマーカシールを貼って計測する仕様になっている。マーカシールはレーザ光を反射しにくい素材で、データの欠落部分として検出される。欠落部分を面積と形状でスクリーニングした後、解剖学的特徴点の相対位置関係に関する確率的情報に基づいてマーカ識別(どのマーカがどの解剖学的特徴点に相当するか)を行う。解剖学的特徴点が認識できれば、足に関する基本寸法計算は単なる幾何学問題に帰着する。5つの解剖学的特徴点に基づき17項目の足部寸法を計算できる。計算結果と熟練計測者の手作業による計測値との差が十分に小さいことを検証した<sup>3)</sup>。同装置は国内外の店舗で実際に利用されている。

## 3. 人体相同モデル

解剖学的特徴点は被験者間に対応があり点数も同一であるが、表面形状の特徴を反映するには数が少なすぎる。一方、体表面形状データは十分なデータ点数であるが、データ点に個人間の対応関係がない。個人間の比較をするには、解剖学的特徴点に基づいて表面形状データに個人間の対応をつける必要がある。同一点数、同一位相幾何的構造で、解剖学・発生学的に個人間に対応のついた形状モデルを相同モデル(homologous model)と呼ぶ<sup>4)</sup>。NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)などの数学曲面で記述する方法<sup>5)</sup>と、ポリゴンで記述する方法がある。近年は、GPU(Graphics Processing Unit)がポリゴン表現に特化するようになってきたことなどから、ポリゴン表現を用いる研究が多い<sup>6),7)</sup>。

筆者らは、解剖学的特徴点に基づいて人体に相同断面を定義し、さらに断面周長を分割することで相同モデルを構成してきた(図3)。この方法は上記のINFOOTに実装されており、足の形状を計測すれば図3右上にあるような足部相同モデルが即座に構成できる。また、浜松ホトクス社製の全身形状計測装置BL-Scannerにも、体幹部の相同モデル化ソフトウェアが実装されている(図3左)。これらの相同モデルは数百ポリゴン程度の粗い形状データであり、数万ポリゴンに及ぶオリジナルの計測データにあった詳細な

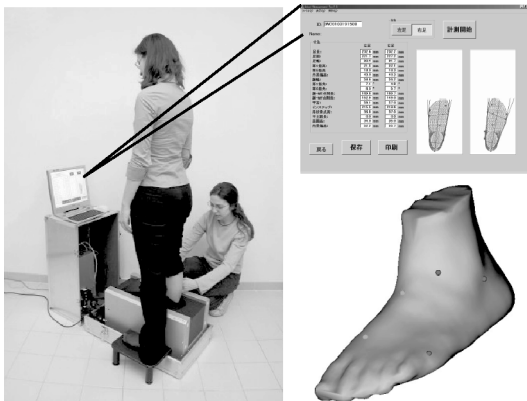


図2 足形状計測装置 INFOOT  
Fig.2 Foot scanner, INFOOT.

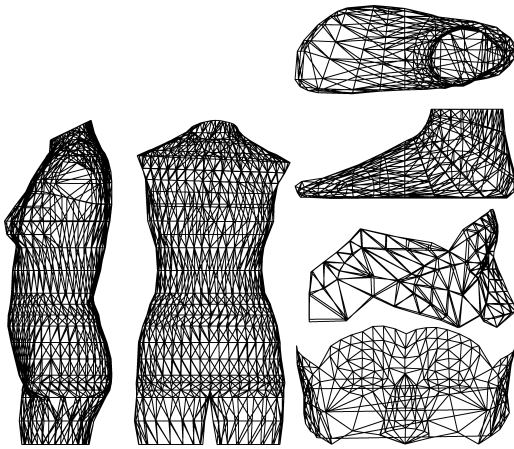


図 3 人体相同モデル

Fig. 3 Homologous body shape model.

形状情報は失われている。しかし、すべてのデータ点に解剖学的な情報が付加されているという点では、人体としての情報量が増していることになる。個人間の比較ができるだけでなく、製品と人体の適合を考えたうえでも、解剖学情報の付加は重要である。

一方で、このような粗い (sparse) 相同モデルでは、モデルデータから人体寸法を採寸し直すことができない。そのため、計算した人体寸法データを合わせて保存したり、将来、新たな寸法を計算し直せるように密な (dense) オリジナルデータを保持し続ける必要があった。そこで、筆者らは、東京大学・鈴木宏正教授らと共同で、細分割曲面を用いた密な相同モデルの構成技術を開発した<sup>8)</sup>。これは、粗い相同モデルを初期値として、これを細分割しながら、新たに生成された頂点が近傍の計測点にフィットするように変形していく技術である。粗い相同モデルの頂点のいくつかは解剖学的特徴点に一致しており、これらの頂点は実測された解剖学的特徴点にフィットする拘束を受ける。その他の細分割点は、点間の粗密の偏りを表す細分割点間弾性エネルギー (内部エネルギー) と細分割点と実測データ点の間の距離エネルギー (外部エネルギー) の重み付き総和を最小化するように決定した。具体的には、重み付き総和が最小になるように、初期の粗い相同モデルのデータ点を移動した。粗いモデルのデータ点そのものが、形状制御点となっている。細分割曲面による足のモデル化過程を図 4 に示す。図 4 右の細分割された相同モデルは 5,000 点を超える頂点を有し、実測したデータ点群の形状特徴を詳細に反映している。同一の粗い相同モデルを一定回数だけ細分割して生成したモデルであるから、個人間でデータ点数は同一である。粗い相同モデル上で定義した解剖学的特

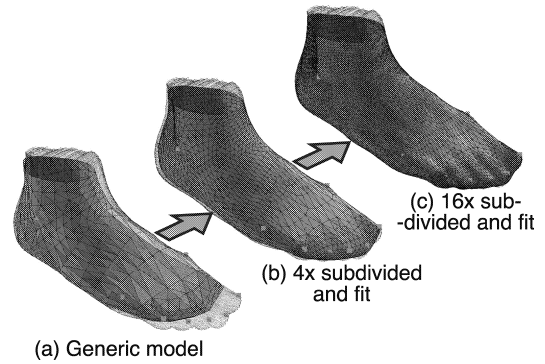


図 4 細分割曲面による詳細相同モデル

Fig. 4 Dense homologous model using Sub-division surface.

徴点を実測した解剖学的特徴点にフィットしているため解剖学的にも相同である。このようなモデルを用いれば、オリジナルデータはすでに不要であり、細分割モデルデータから人体寸法を十分な精度で採寸できる。また、細分割結果がフィットするように移動させた粗い相同モデルのみを配信すれば、受信後にそれを細分割して密な相同モデルを構成できることから、通信量を減らすことにも貢献できる。さらに、万が一、途中で形状データが漏洩しても、形状制御点としての粗い相同モデルであれば問題も少ない。

#### 4. 人体形状統計処理と製品設計

相同モデルが構成されれば、個人差の定量的検討は容易である。形状間の距離を計算し、それに基づいて多次元尺度法で分布図を作成し、分布図上の任意の位置にある仮想形状を合成できる<sup>9)</sup>。相同モデルのデータ点座標値すべてを用いて主成分分析を行うことで分布図を構成し、その固有値形状から仮想形状を合成する方法もある<sup>6)</sup>。デジタルヒューマン研究センターでは、これらの人体形状統計処理技術を HBS (Human Body Statistica) というライブラリにまとめライセンスしている。上記の INFOOT や BL-Scanner に組み込まれ、利用されている。

多人数の相同モデルデータを収集すれば、前記の技術で人体形状の個人差を示す分布図を得ることができ、その分布を効率良くカバーする新しい製品サイズ分類を検討することができる。筆者らは、メガネフレームメーカーと共同で、日本人男性 56 名の顔形状を計測・モデル化し、その形状分布をカバーする 4 つのサイズグループを提案した (図 5)。それぞれの平均形状を CAD に読み込んで、適合フレームを設計した。「co-co-chi」という商品名で市販されている<sup>10)</sup>。この

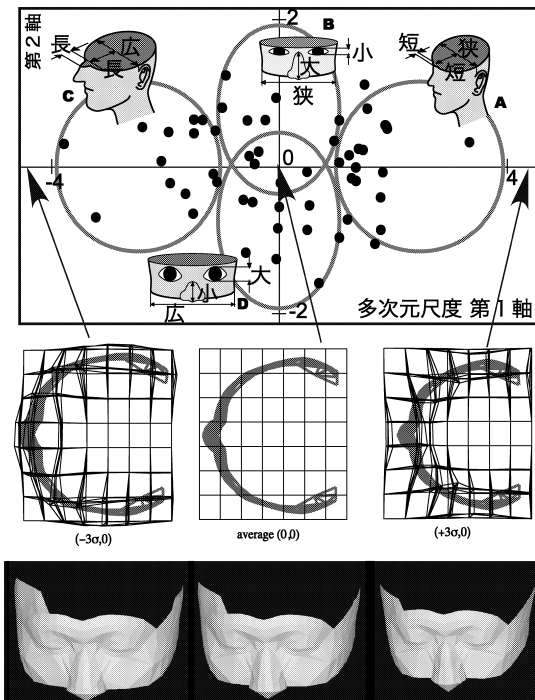


図5 顔形状の分布図とメガネフレームサイズ分類  
Fig. 5 Distribution map of face shapes and size classification for eyeglass frames.

ほかにも、衣服用人台、ガスマスク、補装具、サポート、手袋などへの応用を、企業との共同研究で進めている。

## 5. 形状統計モデルによる人体計測

集団の形態特性に合わせて設計された製品を適切に選定するには、個人の人体形状データが必要となる。これらを店頭で計測するのに、現在は2章で述べたINFOOTなどの装置が利用されている。しかし、これらの装置は解剖学的特徴点を計測者（店員）が触察してマーカを貼らなければならないなど、普及には問題が残っている。計測作業、処理作業、メンテナンスを容易にし、さらなる低価格化を進めるためには、従来のビジョン技術の延長ではない新しい技術が必要となる。ここでは、蓄積した人体統計情報を利用したビジョン技術の研究について述べる。

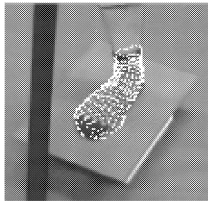
### 5.1 解剖学的特徴点の自動検出技術

マーカを貼ることなく解剖学的特徴点位置を推定する研究は数多く行われている<sup>11),12)</sup>が、曲率や最大・最小値からの推定には限界があり、特異な体形では20mmを超える大きな誤差を生じてしまう。これは標準的な体形で想定された解剖学と幾何学の関係を表す標準モデルが特異体形にはあてはまらないためである。

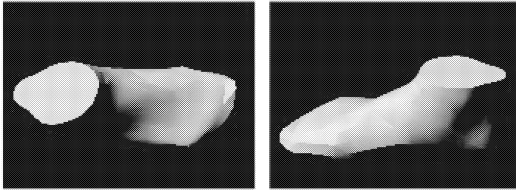
筆者らは、筑波大学・福井幸男教授らと共同で、このような標準モデルに基づく方法論に統計モデルを付加することで、解剖学的特徴点推定のロバスト性を向上させる研究を行った。触察で同定した解剖学的特徴点の実測データと形状データのデータベースを(図5)のような多次元尺度法による分布図としてモデル化しておく。解剖学的特徴点が未知である新しい形状データが、この分布図上のどこに位置するかを形状照合によって決定し、その位置に相当する解剖学的特徴点座標を推定する。新規形状データとデータベース上の形状データとの照合には、解剖学的特徴点によらずに計算できる幾何学的特徴量ベクトルを利用した。推定された解剖学的特徴点位置は、実測した新規形状データの体表上に正確に位置するわけではないため、推定座標を体表面に投影することで最終的な解剖学的特徴点を得る<sup>13),14)</sup>。平均誤差は2-4mm、最大誤差でも7mm程度であり、極端に大きな誤差を産み出すリスクは低い。一方で、曲率などから明瞭に認識できるようなケースでもある程度の誤差が生じてしまう。そこで、曲率などの標準モデルに基づく推定と、統計モデルに基づく推定の両方を行い、両者の推定値のずれが小さい場合は曲率に基づく推定値を、大きい場合には統計モデルに基づく推定値を採用する。

### 5.2 多視点カメラ画像による形状計測

同様のアイデアに基づき、人体形状統計モデルを用いた形状計測技術を開発した。形状計測装置で得られる人体形状データは数万点の座標値で構成されるが、実際にこれらを相同モデル化し、多次元尺度法や主成分分析によって人体の個人差の特徴次元を計算するとその数は全身でも100程度でしかない。対象を頭部や足部に限定すれば、特徴次元はさらに圧縮される。すなわち、個人の人体形状を特定・復元するのであれば、数万点の座標値は必ずしも必要ではなく、分布図上の個人の位置を同定する特徴次元数分の情報が得られればよいということになる。筆者らは慶應義塾大学・斎藤英雄教授らと共同で、人体標準モデルを人体統計量に基づいて変形し、多視点カメラ情報に適合させることで3次元形状データを得る技術を開発している。計測対象である人体形状について正しい主成分得点が得られれば、それに基づいて固有値形状から合成される相同モデルは実際の人体形状とよく一致する。このとき、相同モデル形状データ点の3次元座標を多視点カメラに投影すれば、カメラごとの対応画素周辺の輝度分布パターンはよく一致するはずである。そこで、相同モデルデータ点を多視点カメラに投影したときの対応画素周辺の輝度分布パターンのずれを最小化するよ



(a) Iterative model fitting



(b) Fitting results

図 6 人体統計モデルに基づく形状計測

Fig. 6 Foot shape capturing using foot shape database.

うに、人体相同モデルの位置・姿勢と形状主成分を繰返し演算によって計算した。足部を対象として、8台のカメラ画像から形状復元を行った(図6)<sup>15)</sup>。足部表面の輝度分布パターンにはあまり特徴がないため、格子パターンを印刷したソックスを履いて実験を行ったが、将来的にはこれをパターン投影などで解決することを考えている。

### 5.3 欠落形状の復元

同様の発想に基づいて、欠落した形状を復元する研究も行っている。これは、東京大学総合研究博物館・諏訪元教授らとの共同研究で、発掘された古人骨の形状復元を行うための技術開発である。あらかじめ欠損のない人骨形状を多数計測し、相同モデル化して平均形状と固有値形状を取得しておく。主成分値を未知数にして、発掘された人骨の部分形状データに相同モデルをフィットするように変形すれば、合理的に欠損部形状を復元できる(図7)<sup>16)</sup>。これは、2章であげた隠れ部位の低減にも役立つ。隠れ部位や解剖学的特徴点をきちんと計測した相同モデルデータベースがあれば、その統計モデルを用いることで隠れ部位を合理的に推定できることになる。

### 6. 形状・感性統計モデルによる製品推奨

人体形状にフィットする製品サイズが決まったとしても、製品にはさまざまなスタイルの選択肢が残されている。通常は、消費者個人の嗜好に基づいてスタイルデザインを選択する。しかし、製品を着装したときに与える印象は個人の体形に依存する。着装したときに他人に与える印象に応じてスタイルデザインを選定しないと、体形にフィットしていても似合わないとい

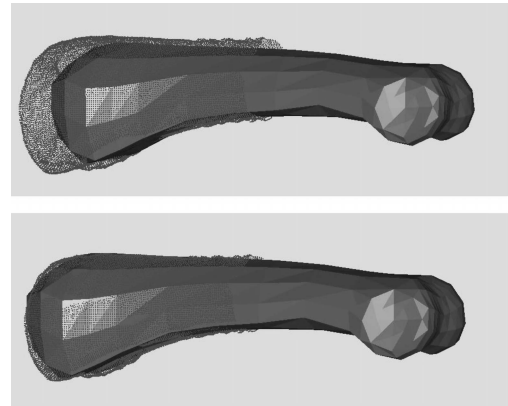


図 7 中指基節骨の形状復元

Fig. 7 Reconstruction of the finger bone using 3D bone statistics.

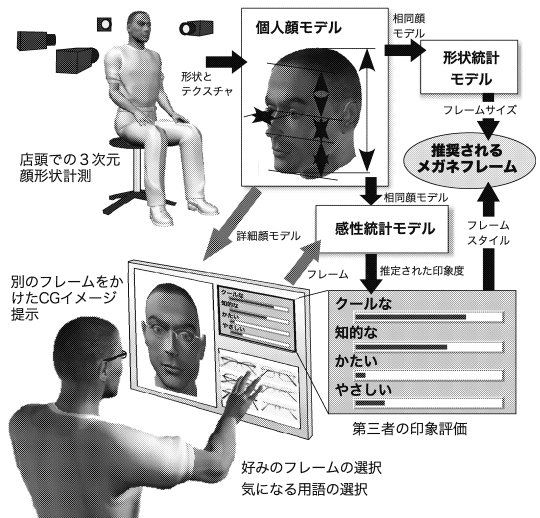


図 8 形状と感性に適合するフレームを推奨するシステム

Fig. 8 Suitable eyeglass frame recommendation system based on morphology and impression.

うことになる。そこで、筆者らは、人体形状と感性のデータベースに基づいて、体形と製品を組み合わせたときに第三者が受ける印象をモデル化し、第三者の目で「人のように人を見る」技術を開発した。

メガネフレーム販売に適用した場合のシステムイメージを図8に示す。これは、視力の弱い顧客が自分のメガネを外して店頭にあるフレームをかけたときに鏡がよく見えないという問題を解決するとともに、自分の顔つきとメガネフレームのコーディネート第三者がどのように見るのかという情報を提示するシステムである。5章のような多視点カメラ技術などで顧客個人の顔形状データとテクスチャデータを取得する。4章の技術に基づいてメガネフレームが設計されてい

れば、この個人データから適合フレームサイズを決定できる。形状データとテクスチャデータは仮想ミラーに送られ、そこで顧客の顔のCGを表示する。さらに、顧客の顔形状データと製品形状データを、人体形状と感性のデータベースに基づいてあらかじめ構成された感性統計モデルに入力して第三者の印象を推定し、それを顧客に提示する。

ここでは印象表現に言葉（感性ワード）を使うこととし、メガネをかけた写真を見たときの印象実験に基づいて感性ワードの因子分析を行った。この結果、明るい—暗い、涼しい—暑苦しい、やさしい—こわい、若い—老けたの4つの対語がメガネを掛けた顔の印象を表す因子として抽出された。次に、顔の形状データベースから、被験者の分布の中心および95%をカバーする確率楕円上にある18個の顔形状データを統計的に合成し、それを前顔面（顔正面）の2次元に投影して平均テクスチャをマッピングした。別途選定した12個のメガネフレームとの組合せで96個のCG写真を合成した。これをWEB上で20歳代女性評価者に提示し、先の4つの因子の印象度をVisual Analog Scaleで回答させた。評価者は300名で、1名あたり18枚のCG写真について回答を得た。12個のメガネフレームと4つの感性因子ごとの顔形状の物理データから印象度を推定する関数を取得した。全体の56%は物理量と感性量の関係が線形であったことから重回帰で、残りはニューラルネットワークでモデル化を行った。モデル化に用いなかったデータを使って検証した結果、モデルの推定誤差は平均5%程度であった。この形状と感性の統計モデルを用いれば、未知の顔形状とメガネフレームとの組合せを若い女性がどのように感じるかの印象度を推定できる。図9は、モデル化に用いなかった顔形状について推定した最も涼しいフレームと最も暑苦しいフレームである<sup>17)</sup>。

## 7. おわりに

1章で述べたとおり、オンデマンド着用品ビジネス具現化には3つの段階がある。2章では、この第1段階の課題を解決するために開発した足部形状計測装置を紹介した。本論文執筆時点で200台程度が、世界各国の靴店舗や研究機関で使われている。さらに、筆者以外の研究者によって、隠れ部位を低減し解剖学的情報を自動的に取得できる低価格・省スペースの全身ないしは頭部形状計測装置が開発されてきている<sup>18)</sup>。第1段階（2章）の技術課題はいっそうの低価格化と計測中の体動揺の影響を減らすための高速化に絞られている。第2段階では、人体の相同モデル化（3章）が

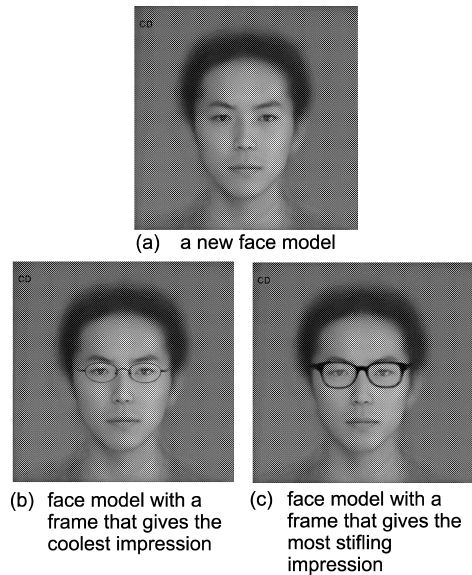


図9 感性モデルが選ぶ涼しい—暑苦しいフレーム

Fig. 9 The coolest and the most stifling frame for the customer.

データ利用の鍵になる。すでに実用化段階に入っている粗い相同モデル（図3）から詳細相同モデル（図4）へ展開することで、計測した密なオリジナルデータを配信する必要がなくなり、後からさまざまな人体寸法を計算し直せるなど、データベースの利用促進につながる。第2段階では実験室レベルで蓄積した粗い相同モデルデータを量産適合製品のサイズ分類や形状設計に活用した研究を紹介した（4章）。第1段階の計測装置と第2段階の相同モデル化技術が組み込まれたシステムが、店頭などに多数設置され持続的なデータ蓄積が進めば、実験室レベルでは実現しきれない地域差や年齢差も考慮した適合製品設計が実現できる。しかし、本論文執筆時点でオンデマンド着用品ビジネスが本格的に具現化しているわけではない。第1段階と第2段階の技術課題が解決されてもなお残された課題はどこにあるのか。筆者らは、消費者個人に対してさらなるベネフィットの提案が必要だと考えている。筆者らが開発した多視点カメラによる人体形状計測技術が実用化されれば自宅での体形計測も可能となる。また、筆者ら以外の研究で体形に応じた着装状態を可視化提示する技術も提案されている<sup>19)</sup>。体形と製品のコーディネートに対する感性モデル（5章）で着装状態のアドバイスを得ることができれば、ファッションはさらに楽しいものになろう。これらは、いずれも、人体形状データベースと統計モデルに基づいて「人をみる」技術であり、消費者に新しいベネフィットを提案できる

技術である。

対象物の構造や形状情報を含むモデルを用いて対象物をみるビジョン技術は Model-based Vision と呼ばれている。対象が人体である場合には、人体の標準的な構造・形状モデルに加え、個人差の統計モデルが有効になる。そこで人体の統計情報を利用して人を見るビジョン技術を、特に Human-statistics-based Vision と呼びたい。この基盤となる人体形状データベースは、まず初めに国家的な人体計測事業を通じて集められる。その後、本論文で述べたオンデマンド着装品ビジネスの具現化によって持続的に蓄積されていくものと期待している。このようなデータは、着装品の適合性向上だけでなく、美容・健康・安全・個人認証にも寄与しうる。たとえば、子どもの体形データを継続的に記録しておけば、成長曲線を統計的に比較することで、いじめなどに起因する成長異常を検知できる。また、体形データバンクと連携したドライビングレコーダ構想も提案されている。衝突時に、自動車搭載のレコーダから衝撃加速度と乗員 ID コードをセンタに送信する。センタでは乗員 ID に応じた体形モデルをデータバンクから引き出して、衝撃加速度に基づく衝突シミュレーションを実施し、事故による傷害のレベルを予測する<sup>20)</sup>。この予測値から救急活動を効率良く迅速に行うという仕掛けである。人体形状データベースの応用場面が増えれば、その蓄積が加速し、それを利用した Human-statistics-based Vision の開発が促進される。計測の自動化・省力化・低価格化が進むことで、いままでにない新しい場面で人体計測サービスが行われるようになるだろう。病院や老人福祉施設などでの計測とそれに基づく個別対応福祉機器サービス、パスポートや運転免許発行時にも 3 次元計測し、それを個人認証に使ったり、衝突シミュレーションに使ったりできる。

本論文で述べた筆者らの研究は、店頭での人体計測技術、データの統計処理技術と適合製品設計技術、統計モデルに基づく簡易計測・製品推奨技術で、オンデマンド着装品ビジネスの基盤をなすものである。このような人体形状データとその統計モデルを活用した人を見る技術 (Human-statistics-based Vision) は、販売者、製造者だけでなく消費者へのベネフィットを高め、オンデマンド着装品ビジネスに基づく民間経済活動による持続的な人体形状データベースの構築に資するものと考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) Kouchi, M. and Mochimaru, M.: Development of a low cost foot-scanner for a custom shoe making system, *Proc. 5th ISB Footwear Biomechanics*, Zurich (2001).
- 4) Mochimaru, M., Kouchi, M. and Dohi, M.: Analysis of 3D human foot forms using the FFD method and its application in grading shoe last, *Ergonomics*, Vol.43, No.9, pp.1301-1313 (2000).
- 5) 黒川隆夫, 伊東伸泰, 篠崎彰大, 中野 広: 人の体形記述の一方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.20, No.9, pp.829-836 (1984).
- 6) Allen, B., Curless, B. and Popović, Z.: The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans, *ACM SIGGRAPH 2003*, San Diego (2003).
- 7) Seo, H., Cordier, F. and Magnenat-Thalmann, N.: Synthesizing Animatable Body Models with Parameterized Shape Modifications, *Proc. 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp.120-125 (2003).
- 8) 稲垣知大, 浅田友紀, 倉賀野譲, 鈴木宏正, 持丸正明, 河内まき子: 解剖学的特徴点による点群からの足形状の再構成と人体寸法の抽出, 精密工学会春季大会学術講演会 (2004).
- 9) Mochimaru, M. and Kouchi, M.: Statistics for 3D Human Body Forms, *Proc. SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering (DHM) 2000*, SAE Technical Paper 2000-2001-2149, Dearborn (2000).
- 10) Kouchi, M. and Mochimaru, M.: Analysis of 3D face forms for proper sizing and CAD of spectacle frames, *Ergonomics*, Vol.47, No.14, pp.1499-1516 (2004).
- 11) Liu, X., Kim, W. and Drerup, B.: 3D characterization and localization of anatomical landmarks of the foot by FastSCAN, *Real-Time Imaging*, Vol.10, pp.217-228 (2004).
- 12) Li, P., Corner, B.D. and Paquette, S.: Evaluation of a surface curvature based landmark extraction method for three dimensional head scans, *XVth Triennial Congress International Ergonomics Association*, Seoul (2003).
- 13) 矢原弘樹, 日隈直紀, 福井幸男, 西原清一, 持丸正明, 河内まき子: FFD を用いた 3 次元足部モ



- デルの解剖学的特徴点抽出，電子情報通信学会論文誌，Vol.J87-D-II, No.4, pp.967-977 (2004).
- 14) Mochimaru, M., Kouchi, M., Yahara, H. and Fukui, Y.: Automatic landmarking based on 3-D foot database using the FFD method, *SAE Transactions Journal of Aerospace*, pp.276-281 (2004).
- 15) Wang, J., Saito, H., Kimura, M., Mochimaru, M. and Kanade, T.: Shape Reconstruction of Human Foot from Multi-camera Images based on PCA of Human Shape Database, *Proc. 5th International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling* (2005).
- 16) 松川慎也，持丸正明，河内まき子：三次元形状データベースを用いた現代日本人手指骨欠損部分の復元，第58回日本人類学会大会，長崎(2004).
- 17) Mochimaru, M. and Kouchi, M.: A KANSEI Model to Estimate the Impression Ratings of Spectacle Frames on Various Faces, *Proc. SAE DHM 2005*, SAE Technical Paper 2005-2001-2693, Iowa city (2005).
- 18) 山内航一郎，柴田進，二川貴志，佐藤幸男：人体の3次元形状計測システムの開発，画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004)，函館，pp.I-589-594 (2005).
- 19) 坂口嘉之：DressingSimによる仮想試着と仮想設計，繊維機械学会誌，Vol.54, pp.493-498 (2001).
- 20) 宮崎祐介，宇治橋貞幸，持丸正明，河内まき子：日本人の形態に基づいた頭部有限要素モデルの構築と衝撃シミュレーション，日本機械学会論文誌，Vol.71, No.704, pp.106-113 (2005).

(平成17年8月31日受付)

(平成18年3月17日採録)

(担当編集委員 谷口 倫一郎)



持丸 正明

昭和39年生。平成5年慶應義塾大学大学院理工学研究科生体医工学専攻博士課程修了。同年工業技術院生命工学工業技術研究所入所。平成13年改組により産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ副ラボ長。平成15年よりデジタルヒューマン研究センター副センター長。人体形状・運動計測とモデル化，産業応用研究に従事。博士(工学)。平成14年市村学術賞受賞，平成17年産総研理事長賞受賞。IEEE-CS, Society of Automotive Engineers, 日本人間工学会各会員。



河内まき子

昭和27年生。昭和54年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年理学部助手。昭和62年工業技術院製品科学研究所入所。平成5年改組により工業技術院生命工学工業技術研究所。平成13年改組により産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ。平成15年よりデジタルヒューマン研究センター主任研究員。人体形態の変異の分析，産業応用研究に従事。理学博士。平成12年工業技術院長賞受賞，平成13年ISB Footwear Biomechanics Symposium, Basic research award 受賞。日本人類学会，日本人間工学会，American Association of Physical Anthropologists 各会員。