

## カメラ画像を用いた簡易足型モデリングに関する研究

近藤 聰 赤木 康宏 北嶋 克寛

東京農工大学

### 1. 背景・目的

靴は、人々が日常生活で使用する製品の中で最も重要なもののひとつである。現在、ほとんどの消費者は、大量生産された様々なデザインやサイズの靴を店頭で試着し、自分に合う靴を選んで購入しているが、大量生産の靴では、自分にぴったりとフィットする靴を容易に見つけることができないなどの理由で、カスタムメイドの靴への志向が一部消費者の間で見られるようになっていく。今後このような傾向が一般的な消費者にも普及していくことが予想される。

カスタムメイドの靴の製造自体は、ネットが普及する以前から、個人の足型を木型で作ることにより行われている。しかし、このような方法ではかなり高価なものとなるため一般にはあまり普及してはいない。一方、現在のネット通販では、まだカスタムメイドの靴に対応できるような技術的な問題とコストの両面が解決されておらず、カスタムメイドの靴製造・販売の普及に至るまではまだいくつかの課題がある。そのうちの最も大きな課題は、木型に代わるバーチャルの「足型モデル」を、一定の精度内で、如何に迅速にかつ低成本で製作する技術を構築するかである。

そこで、本研究では、著者らが独自に開発した空間変形手法 (GFFD) とカメラ画像を用いて、精度のよい個人の足形状モデルを迅速かつ低成本で作成する方法を提案した。

### 2. 関連する研究と本研究の位置づけ

現在、カスタムメイドの靴設計に用いるための足形状の測定方法として、主に用いられている方法は 3 次元スキャナによる測定である。その中で、普及しているものとして、INFOOT が挙げられる。INFOOT は、靴屋の店頭やスポーツ競技会場などで個人の足形状をモデル化することで、個人の足形状に適合する靴や中敷きを自動設計することを目的として、デジタルヒューマン研究センターと(株)アイウェアラボラトリーカー共同開発した可搬型足部形状スキャナである[1]。

足型モデリングに関して、行われている研究として矢原らの研究がある。彼らは 3 次元レーザースキャナによって得られた身体の表面形状データから解剖学的特徴点（足の骨格情報に基づいて定義された点）の自動抽出を行っている[2, 3]。彼らは、多くの発表を精力的に行っており、靴設計に用いるための足部モデルの作成に大きく貢献していると言える。

しかし、INFOOT や 3 次元レーザースキャナは設備コストがかかるということもあり、設置店舗がまだ少なく、広く普及するに至っていない。そこで、本研究では、著者らが開発した独自の空間変形手法 (GFFD) を用いてその変形手法の利点を用いることで、市販の安価なデジタルカメラで撮影することにより取得した画像のみから、個人の 3 次元足型モデルを復元する手法を提案した。

### 3. GFFD に基づく足形状のモデル化

#### 3.1 足形状のモデル化の概要

人間の足形状は、輪郭などの全体的な外形の他にも、指やくるぶしといった特徴的な形状を持つ部位から構成されている。このことから、足を構成する幾何形状を直接扱うことは、非常に困難であるといえる。そこで、本研究では、足形状の持つ複雑な特徴を、少數の点の集合という簡略な情報としてモデル化した。そして、個人特徴を持った足形状の作成を、作成対象となる個人の特徴を表す点集合を基に、標準形状として用意した足型モデルを GFFD により変形することで行った。このようにモデル化することにより、足の幾何形状を比較的容易に制御することが可能となる。標準足型モデルに基づいて個人の足型モデルを生成するまでの全体の流れを、図 1 に示す。

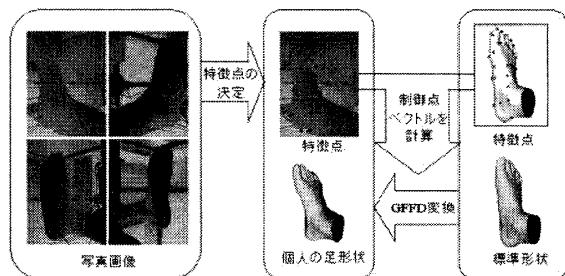


図 1. 個人の足型モデル生成までの流れ

#### 3.2 特徴点

各標準形状モデル上に、靴のフィッティングを行う際に重要となる箇所や足の形状を形作っている部位に特徴点を配置した（図 2）。なお、これらは、様々な配置パターンにおいて変形・検証を行い、最も誤差が小さくなるように特徴点の配置パターンを決定したものである。

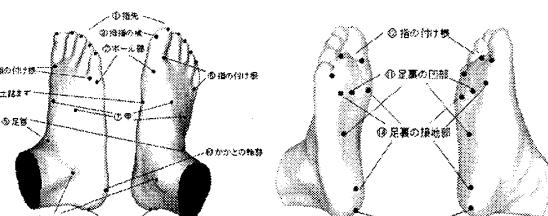


図 2. 特徴点配置

#### 3.3 GFFD (Generalized Free-Form Deformation)

GFFD は点  $\mathbf{p}(x, y, z)$  の移動を制御ベクトル  $\mathbf{V}_i(x, y, z)$  の重み付け線形結合として与える。

$$\mathbf{p}'(x', y', z') = \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_i G_i(x, y, z)$$

ここで、 $G_i$  を GFFD の基底関数と呼び、本研究では基底

関数としてユークリッドノルムを用いた。

$$\|\mathbf{x}\| = \sqrt{\mathbf{x} \cdot \mathbf{x}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

このときの GFFD における基底関数  $G_j (j=1,2,\dots,n)$  は

$$G_j(\mathbf{p}) = \|\mathbf{p} - V_j\| = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2}$$

となる。なお、GFFD の詳細については、参考文献[5]で述べている。

GFFD は任意個の変形を定義する点を任意の位置に配置することができ、基底関数として任意の関数を選択できる。また、任意の位置の頂点を移動させるために操作点を設け、操作点から格子点の位置を自動的に算出し、操作点の移動から変形を定義する点の移動を計算し空間を変形することで、物体の変形を行う。操作点を任意の位置に配置することができるので、操作点をモデル上において直接変形させることができるので、操作点をモデル上において直接変形させることができるので、これより、GFFD は従来の FFD と比べて自由な変形の制御が可能であるといえる。図 3 に、GFFD による形状変形の例を示す。

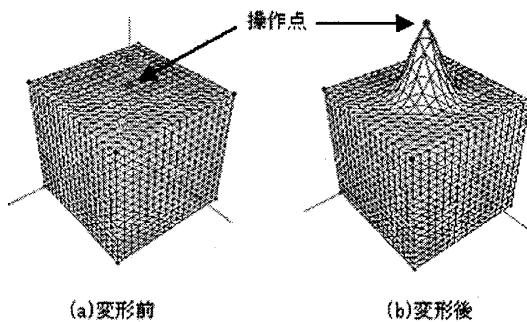


図 3. GFFD による変形例

#### 4. 実験・考察

##### 4.1 変形精度

GFFD による足型モデルの生成によって、任意の特徴を持った足形状を作成することが可能であるかを調べるための実験を行った。

実際の人間の足から石膏模型を作り、それらを使って実験を行った。石膏模型を実際の足と見立てて、撮影した写真を使い生成した足型モデルと 3D スキャナで計測した結果を比較することにより評価を行った（図 4）。

特徴点を配置している各部位での形状は誤差 1mm 程度の精度を実現できることが示された。また、平均誤差の分布の様子が個々の結果に近いことより、誤差の生じ方は入力画像に依存していないと言える。

##### 4.2 3 次元足型モデルの生成例

本研究で提案した一連の手法に基づき、足画像を用いて個人の足型モデルを作成した（図 5）。

生成した足型モデルと入力画像を比較すると、いずれのサンプルも、外形については人間の目で見る限りでは、大きく違った形になっているものではなく、入力画像に対応した足型モデルが生成できていると言える。

#### 5. まとめ

本報告では、あらかじめ準備した標準モデルを GFFD で変形することによって、写真画像から個人の足型モデルを簡便に生成する手法を提案した。そして、評価実験を行った結果、カメラ画像から、誤差を最小限に抑えた計測を行うことが可能であるという結果を得た。

今後の課題として、画像からの特徴点抽出の自動化を考えている。

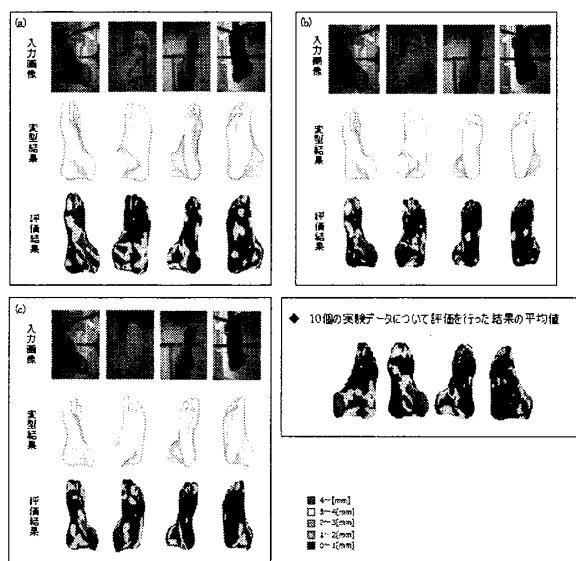


図 4. 変形精度

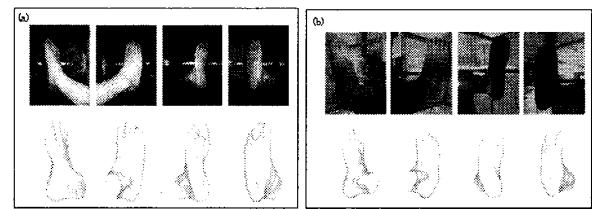


図 5 入力画像（上）と変型結果（下）

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、貴重なデータを提供いただいた産総研デジタルヒューマン研究センターの持丸正明副センター長に心より感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] M. Kouchi, M. Mochimaru: Development of a low cost foot-scanner for a custom shoe making system, 5th ISB Footwear Biomechanics, pp. 58-59, 2001
- [2] 矢原弘樹, 目隈直紀, 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 D-II, Vol. J87-D2 No. 4, pp. 967-977, 2004.
- [3] 矢原弘樹, 水野一徳, 福井幸男, 西原清一, 持丸正明, 河内まき子, “FFD 法を用いた 3 次元足部モデルの解剖学的特徴点の位置推定における誤差要因の分析”, 芸術科学会論文誌 Vol. 4 No. 4 pp168-175, 2005.
- [4] 横口靖和: “GFFD に基づく顔形状モデリングに関する研究” 東京農工大学大学院工学教育部情報コミュニケーション工学専攻修士論文 2002.
- [5] 吉田典正, 加納顯也, 北嶋克寛: “ガウス関数に基づく Free-Form Deformation”, 精密工学会誌, 65 卷, pp. 971-975, 1999.