

## 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 聡 赤木 康宏 北嶋 克寛  
東京農工大学

本研究では、複数方向から撮影したカメラ画像を用いて足形状モデルの生成を行う手法を提案した。本手法を用いることにより、各個人に対応した3次元足型モデルを小さな誤差で簡便で作成することができる。なお、本システムにおいて、変型結果に誤差が生じるのは、「GFFD（北嶋研究室が開発した空間変形手法）による標準形状の変型」と「画像からの特徴点の3次元座標決定」の2箇所である。そこで、それぞれの過程においてどの程度の誤差が生じているかについて評価・検証を行った。その結果、画像からでも誤差を最小限に抑えた計測を行うことができることが確認できた。

### Study on a Method of Generating a 3D Virtual Foot Model With Use of a Measuring Technique Based on Multiple Camera Image Data

Satoshi KONDO, Yasuhiro AKAGI and Katsuhiko KITAJIMA  
Tokyo University of Agriculture and Technology

We propose a novel method of generating a 3D virtual foot model with use of a measuring technique based on multiple camera image data. Our method costs very low and a 3D virtual foot model for each person can be generated easily and rapidly with acceptable error range. We have to estimate the cause of errors that can occur in the whole process and endeavor to lower the errors. The errors are mainly classified into two kinds. One occurs in transforming process with use of our original free deformation method called GFFD and the other in obtaining 3D coordinates of feature points. So, we devoted ourselves to do enough experiments and get to know how errors occur in each process.

#### 1. はじめに

従来、靴は、標準的な足形状を基に設計されている。このような設計を行うのは、製品の大量生産が容易になり製造コストを抑えることができ、また、一つのサイズで多くのユーザに対応することができる等の利点があるためである。

しかしながら、このように設計されている大量生産品の場合、ユーザによっては足への適合性が大きく異なる。そのため、実際に靴を購入する際にはその靴が自分の足に適合するか否かを実際に試着して確かめてみる必要がある。また、以前から手軽に利用されていた通信販売に加え、近年はコンピュータの普及により、ネ

ットショッピングといった方法も身近になり、実際に店舗に出向くことなく靴を購入する人がさらに多くなってきている。しかしながら、このような方法によって靴を購入する場合は、商品の試着が出来ないために、購入した靴がユーザの足に合わないといった問題が発生しうる。

そこで、各個人の足に適合した靴を手軽に入手するために、個人の足形状データからその人の足に適合した製品を個別に設計・製造するシステムに対する要求が高まっている。このような製品設計システムにおいては、靴と各個人の足との対応を取るために、足形状モデルの生成が必要となる。

## 2. 関連する研究と本研究の位置づけ

足型モデリングに関して、これまで行われている代表的なものとして矢原らの研究がある。彼らはFFD (Free-Form Deformation) 法を用いて解剖学的特徴点のテンプレートを推定し、対象の形状に変形させることで、解剖学的特徴点位置を自動推定する手法を提案している[1,2]。また、(株)アイウェアラボラトリーでは、足の3次元形状計測ができる自社開発の情報端末 INFOOT (ネットワーク接続可能) と独自のソフトウェアを組み合わせ、足形情報サービスを提供している。しかし、設置店舗がまだ少ないことや、設備コストがかかるということで、個人で利用するためには難しい面も多い。

本研究は、多方向から取得した複数枚の足画像を利用することによって、より理想的な足形状モデルを手軽に得ることを目的とする。なお、本研究では特徴点の選択は手動で行っている。

## 3. 標準形状モデルに基づく足型モデル生成

本研究では、足形状の持つ複雑な特徴を、少数の点の集合という簡略な情報としてモデル化する。足の形状特徴を少数の点としてモデル化することで、足の持つ形状特徴を比較的容易

に扱することができるからである。しかし、特徴点から実際の足形状を作成するためには、特徴点間の幾何形状を補間する必要がある。少数の点間の幾何形状を補間する方法としては、標準的な形状を対象の点の配置に合わせて変形する手法が一般的である。その際に、重要となるのは変形手法の選択であり、点の移動によって形状を滑らかに変形する手法が必要となる。本研究では、変形手法として、北嶋研究室が開発した空間変形手法の一般関数に基づくFree-Form Deformation(GFFD)[3,4]を用いた。GFFDを用いることで、特徴点で表現された足の形状特徴から、任意の足形状を作成することができる。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。

### 3.1. 一般化関数に基づく Free-Form Deformation

本研究で行う変形の対象は足形状であり、点の移動に伴う形状全体の変形が滑らかに行われることが必要となる。本研究では、一般化関数に基づく空間変形手法 (Generalized Free-Form Deformation(GFFD)) [3,4]を開発している。GFFDは変形の基準となる任意個の点を任意の位置に配置することができ、与えられた点群の変形前後の座標を満足するように変形できる特長があるので、特徴点の座標に基づいて任意の足形状を生成することが可能である (図2)。

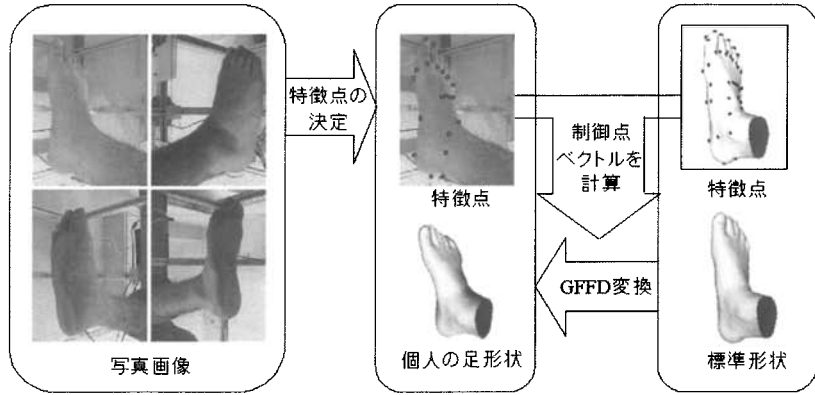


図1. 標準足型モデルを用いた個人の足型モデル生成までの流れ

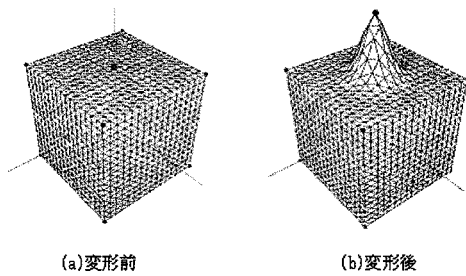


図2. GFFDによる変形例

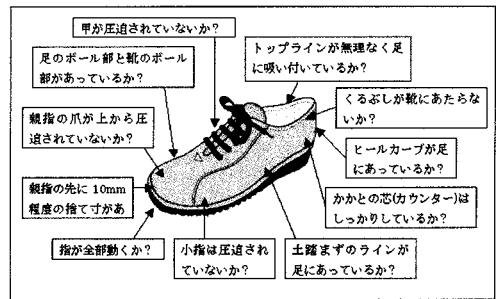


図3. 靴選びのチェックポイント

### 3.2. 標準足型モデル

標準足型モデルは、形状特徴を表す点(以下、特徴点)とそれによって定まる幾何形状からなる。

### 3.3. 特徴点

各標準形状モデルでは、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する。

靴選びの際に重要なチェックポイントを図3に示す。特に重要な点として、ボール部(拇指のつけ根の足が曲がる場所)・捨て寸(指の先から靴の先までのゆとり)・かかとのカーブ・土踏まず・足の甲・トップライン(靴の履き口のライン)の6点が挙げられる。

これらを基にして靴とのフィッティングの



図4. 特徴点

ために重要な点について考慮した上で、GFFD変形に用いる操作点を図4のように設定した。

### 3.4. 個人の足型モデルの生成

複数方向から撮影した個人の足画像から、特徴点の 3 次元座標を求める。この特徴点を GFFD の操作点として標準モデルを変形することによって個人の足型モデルを生成する。この変形には、3.1 節で述べた一般化関数に基づく空間変形手法 (Generalized Free-Form Deformation(GFFD)) [3,4]を用いる。

## 4. 評価方法

本実験では、入力データとして、既にある 3 次元足型データから取得した特徴点を利用することにより、標準形状を変形した結果得られた形状における各メッシュと画像の基となった足形状の 3 次元データのメッシュとの距離を計算することにより、変形がどの程度正確に行われているかを評価した。

図 5 において赤く塗りつぶされている三角形メッシュにおける変形誤差の計算方法を例として述べる。なお、赤い部分が標準形状を変形した結果得られた形状で、青い部分が基の 3 次元データの形状である。

変形結果の三角形メッシュの各頂点(図 5 中の D) から基の 3 次元データに向かってひいた垂線の長さ(図 5 中の d)を計算し、誤差として扱う。他のメッシュについてもこれと同様のことを行い、変形の精度について評価することができる。

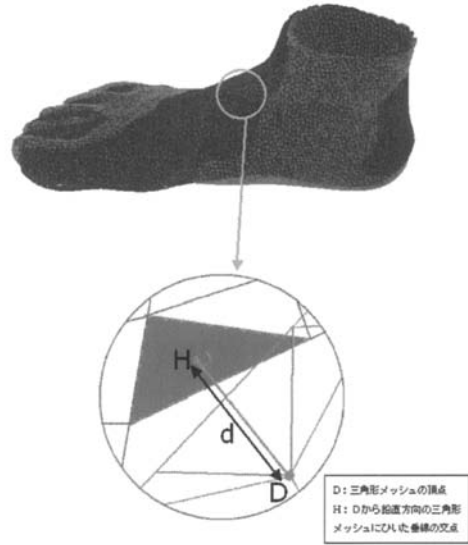


図 5. 評価方法

## 5. 精度について

### 5.1. GFFD による変形精度

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。

INFOOT(3次元足形計測機)によって取得した実在の人物の足形状から、特徴点を抽出し、それらの位置情報を基に標準足形状を変形する。生成した足形状と基の 3次元データを比較することによって、GFFD による足型モデルの変形精度が分かる。作成した足型モデルの各メッシュの頂点から、基の 3次元データのメッシュまでの距離の絶対値を誤差として計測した結果を図 6 に示す。

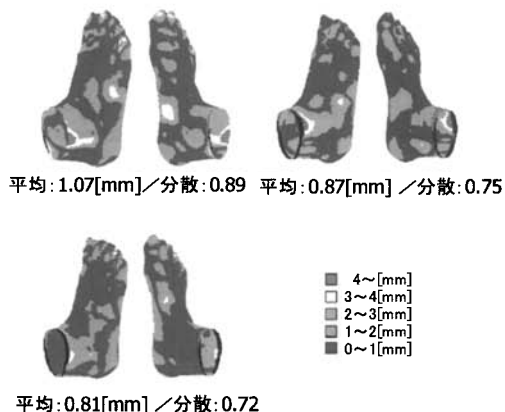


図 6. GFFD による足型モデルの変形精度

図 6 より、誤差 1mm 程度の精度で変形が行われており、十分に足形状の特徴を制御することができているということが分かる。

## 5.2. 画像からの特徴点座標の決定

4.1 節の結果より、画像から特徴点座標を精確に得ることができれば、誤差の小さい足型モデルの生成ができることが期待できるということが言える。

本研究では、以下の手順で画像から特徴点座標を決定した。

### 1) カメラ位置を固定して足画像を撮影

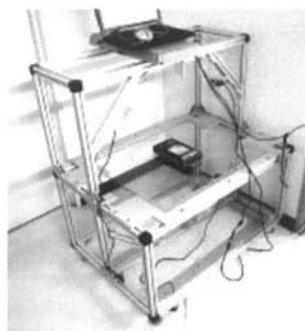
毎回、同様の条件下で撮影を行うことが好ましい。そこで、カメララック (図 7(a)) にカメラを固定して撮影するための簡便な装置を製作した。

### 2) カメラキャリブレーション

既知の 3 次元形状 (図 7(b)) を撮影し、3 次元点とその 2 次元像の間の射影を定める射影行列を求める。

### 3) 両眼視の原理によって特徴点の 3 次元座標を求める

2) で求めた射影行列を用いて各画像における特等点座標を計算する。そして、複数枚の画像における対応関係 (図 7(c)) より、各特徴点の 3 次元座標を決定する。



(a) カメララック



(b) 既知の 3 次元形状



(c) 両眼視の原理

図 7. 画像からの特徴点座標の決定

## 6. 生成例

以上の一連の手法に基づき、数人の被験者を用いて個人の足型モデルを作成した。その結果を図8に示す。

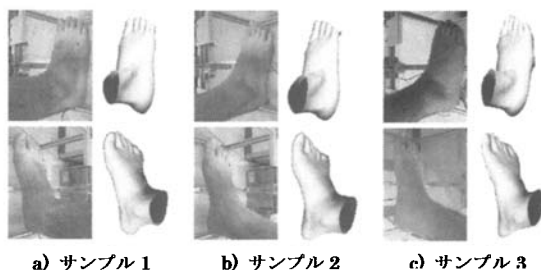


図8. 入力画像(左)と生成結果(右)

## 7. おわりに

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報告した。

また、特徴点座標を精確に得ることができれば、標準形状をGFFDにより変形することによって誤差の小さい足型モデルの生成ができることを確認した。

## 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] 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 D-II, Vol. J87-D2 No. 4, pp.967-977, 2004.
- [2] 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.
- [3] 樋口靖和: “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.
- [4] 吉田典正, 加納顕也, 北嶋克寛: “ガウス関数に基づく Free-Form Deformation”, 精密工学会誌, 65 巻, pp.971-975, 1999.
- [5] 徐剛, “写真から作る 3 次元 CG イメージ・ベースド・モデリング&レンダリング”, 近代科学社
- [6] 佐藤淳, “コンピュータビジョン-視覚の幾何学-”, コロナ社
- [7] 飯島貴志, 西條一止, “人体のしくみ CG デザイナーのためのグラフィックパイブル”, CGWORLD 編集部