

ガウス写像に基づく衣服形状の特徴付けの検証

吉田 哲也^{1,a)} 石川 歌穂²

概要: 本稿では、人体の曲面を曲率の観点から評価するアプローチとして、ガウス写像を用いた曲率の可視化に着目し、新文化式婦人原型に基づく衣服立体モデルを構築してガウス写像による可視化を行った結果を報告する。提案法では α -shape 法を用いて 3 次元点群から三角形分割を通じて多面体の推定を行い、推定した多面体を覆う三角形の法線ベクトルを活用することで、点群データに対するガウス写像を実現する。穴の開いた衣服モデルや、3 次元計測装置を用いて計測した実データに対してガウス写像を用いた可視化の有効性を確認した。

キーワード: 曲率, ガウス写像, 可視化

Verification of Clothes Shape Visualization via Gaussian Map

TETSUYA YOSHIDA^{1,a)} KAHO ISHIKAWA²

Abstract: This paper reports the verification of clothes shape visualization via Gaussian map. In our approach, various clothes solid models are constructed based on new bunkashiki pattern, and the characteristics of constructed solid models are visualized using Gaussian map. When defining Gaussian map in term of normal vectors on a surface, we use α -shape, which constructs polyhedron for point clouds via triangulation, to obtain normal vectors of triangles. Our approach was evaluated for various solid models and real-world point clouds. The results suggest that Gaussian map is useful for clothes shape visualization.

Keywords: Curvature, Gauss Map, Visualization

1. はじめに

人体にフィットする衣服を製作するためには、人体の形状を正確に知る必要がある。そのためには、人体の形状を正確に測り、その形状を特徴づけ、理解することが重要となる。これまでは長さに基づく人体計測が主流であり、メジャー等を用いて計測するマルチン計測法がしばしば使用されてきた。一般的によく使用されている新文化式原型も長さに基づいて型紙原型を作成する方法と言える。近年では、3次元計測装置の発達により、カメラやレーザーを用

いた計測も活用されるようになってきている。

被服構成学においては、人体の曲面を長さではなく曲率の観点から評価するアプローチも提案されている [2], [8]。角度や曲率を用いる利点として、長さと異なり曲率は相似変形に不変なため、サイズ変更などのグレーディングが容易となる可能性が示唆されている。曲率に基づく衣服形状の特徴付けとしては、衣服の3次元形状を閉多面体で近似し、閉多面体をガウス写像を用いて単位球面上に写像して可視化することが提案されている [6]。しかし、既存研究では袖口や首などの穴の開いた衣服を閉多面体としてモデル化してからガウス写像を使用していたため、位相（オイラー標数）の観点からは異なる曲面をガウス写像を用いて特徴付けていた。

本稿では、人体の曲面を曲率の観点から評価するアプローチとして、ガウス写像を用いた曲率の可視化に着目し、

¹ 奈良女子大学大学院人間文化研究科
Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University, Nara, 630-8506 Japan

² 奈良女子大学生活環境学部
Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University, Nara, 630-8506 Japan

a) tyoshida@cc.nara-wu.ac.jp

新文化式婦人原型に基づく衣服立体モデルを構築してガウス写像による可視化を行った結果を報告する。提案法では α -shape法を用いて3次元点群から三角形分割を通じて多面体の推定を行い、推定した多面体を覆う三角形の法線ベクトルを活用して点群データに対するガウス写像を実現する。穴の開いた衣服モデルや、3次元計測装置を用いて計測した実データに対して評価し、ガウス写像を用いた可視化の有効性を確認した。

2節でガウス写像に基づく形状の特徴付けを紹介し、3節で提案法の詳細を説明する。4節で評価実験を報告し、提案法の有効性を議論する。5節でまとめを述べる。

2. ガウス写像に基づく形状の特徴付け

2.1 準備

本稿では、小文字の太字イタリック体でベクトルを表記し、大文字の太字で行列を表記する。また、ベクトル \mathbf{v} の転置は \mathbf{v}^T 、行列 \mathbf{X} の転置は \mathbf{X}^T で表す。さらに、ベクトル \mathbf{a} と \mathbf{b} の内積は $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ 、外積は $\mathbf{a} \times \mathbf{b}$ と表記する。

2.2 ガウス写像

ガウス写像とは、曲面上の点を単位球面上の点に対応付ける写像のことである [5]。曲面上の点は、その点における単位法線ベクトルの始点を原点に移動した際、移動したベクトルの終点の位置に対応付けられる。

具体的には、曲面のパラメータ表示 $S(u, v)$ に対して、各点 $S(u, v)$ を始点として曲面に垂直な単位ベクトルを点 $S(u, v)$ における曲面 $S(u, v)$ の単位法線ベクトルと呼び、 $\mathbf{n}(u, v)$ と表す。単位法線ベクトルは、各点ごとに曲面のパラメータ表示における u -曲線の接ベクトル $\frac{\partial S}{\partial u}(u, v)$ と v -曲線の接ベクトル $\frac{\partial S}{\partial v}(u, v)$ を用いて以下で表される。

$$\mathbf{n}(u, v) = \frac{\frac{\partial S}{\partial u}(u, v) \times \frac{\partial S}{\partial v}(u, v)}{\left\| \frac{\partial S}{\partial u}(u, v) \times \frac{\partial S}{\partial v}(u, v) \right\|} \quad (1)$$

曲面 $S(u, v)$ に対して、単位法ベクトル $\mathbf{n}(u, v)$ の始点を原点にもってきたベクトルを $\hat{\mathbf{n}}(u, v)$ とすると、ベクトル $\hat{\mathbf{n}}(u, v)$ の終点は単位球面

$$S^2 = \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3; x^2 + y^2 + z^2 = 1\}$$

上の点に写される。この対応 $S(u, v) \mapsto \hat{\mathbf{n}}(u, v)$ を曲面 $S(u, v)$ のガウス写像と呼ぶ。ガウス写像により曲面上の領域は球面上の領域に写されるため、曲面の特徴を単位球を用いて表現することができる。また、ガウス写像により曲面の領域を写像する球をガウス球と呼ぶ。

2.3 関連研究

ガウス写像は多面体物体の認識においても活用されている [7]。この手法では、画像から得られたエッジ情報等のガウス球上分布と物体の3次元モデルのガウス球上分布を照

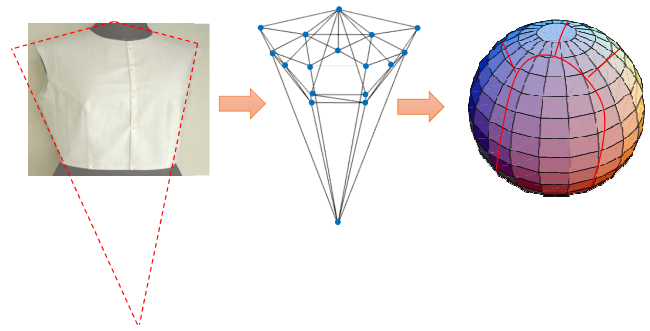


図1 型紙原型から作成した閉多面体とそのガウス球表示
Fig. 1 Gaussian sphere for a close polyhedron of pattern

合して物体の種類を特定し、その姿勢を定めている。エッジ情報は最低2本の直線部分が抽出できれば取得可能であるため、エッジの欠損や分断、ずれ等の誤差に強く、物体形状の欠損にも対応可能であると報告されている。

被服構成学においては、角度を用いた体系分類を行う際にガウス写像を用いる研究がある [6]。2次元の型紙原型に対して閉多面体図形を作成し、作成した閉多面体の頂点をガウス写像を用いてガウス球上に写像した像に基づいた体系分類を行っている (図1参照)。ただし、図1の左に示すように通常の衣服は袖口や首などの穴が空いているが、このアプローチでは衣服の曲面を閉多面体としてモデル化しているため、位相 (オイラー標数) の観点からは異なる曲面をガウス写像を用いて特徴付けている。

3. 点群に対するガウス写像の構築

本研究における3次元点群データに対するガウス写像に基づく衣服形状の特徴付けの概略を図2に示す。 α -shape法を用いて3次元点群データから三角形分割に基づいて多面体を推定し、各三角形における法線ベクトルを取得し、取得した法線ベクトルの大きさを正規化してガウス写像を構築し、衣服の形状をガウス球上の領域として可視化する。

3.1 3次元点群に対するガウス写像

ガウス写像を用いて曲面をガウス球上に写像するためには、曲面上の各点に対する法線ベクトルを得る必要がある。しかし、3次元計測装置などで計測される3次元点群データは個々の点の集まりに過ぎず、そのままでは点群データに対する曲面は得られない。そこで、まず点群データから多面体を推定し、多面体を構成する個々の面における法線ベクトルを用いてガウス写像を定義する。

3.2 α -shapeによる多面体の推定

3次元点群データに対する多面体の推定には α -shape法 [1], [4]を用いた。 α -shape法とは、点群から多面体を推定する手法である [1]。この手法は点の集合から近傍の点を取り除かないように半径 α の円 (あるいは超球) でくりぬ

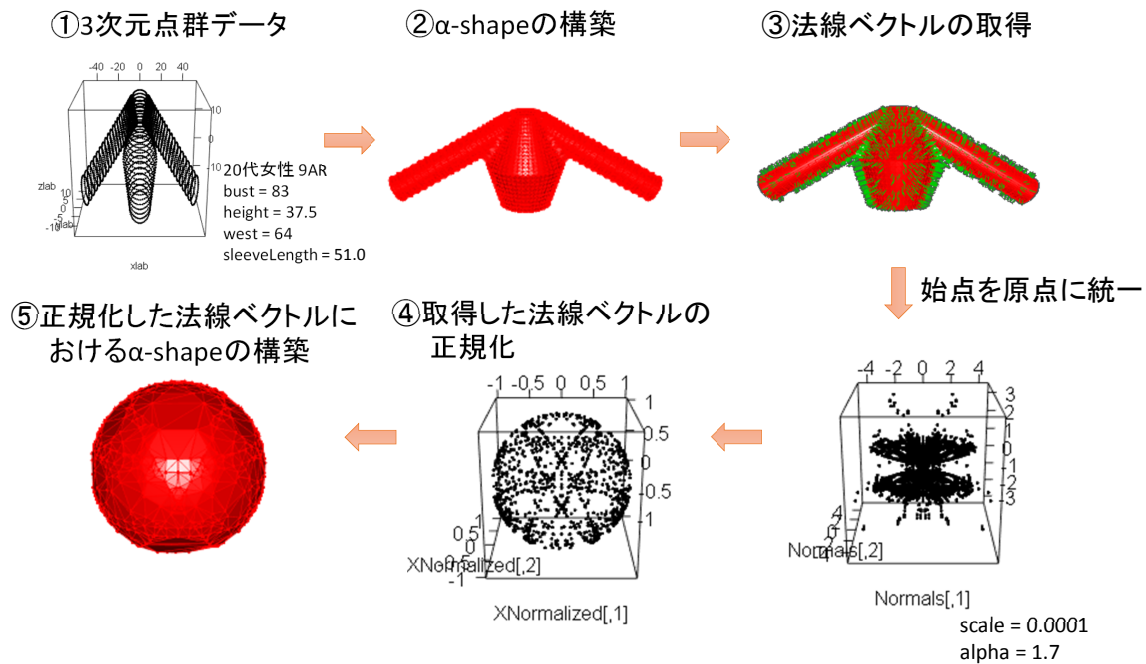


図 2 研究の概略
Fig. 2 Overview

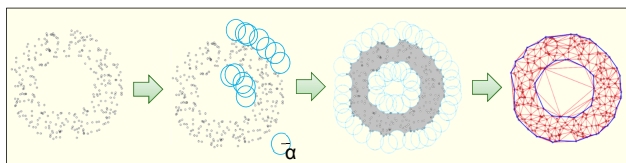


図 3 α -shape 法
Fig. 3 α -shape

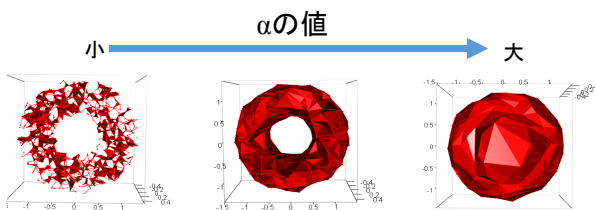


図 4 α -shape 法における α の影響
Fig. 4 Influence of α in α -shape

いていき、くりぬいた円に外接する最大の三角形（単体）に置き換えることで多面体を推定する（図 3 参照）。

3D α -shape 法とは、現実の 3 次元空間に特化して、3 次元の多面体を推定する手法である。点群から推定される多面体は α -shape と呼ばれるが、これはハイパーパラメータである α の値に依存し、 α の値が小さいと点群から構築した α -shape では穴が空くことになる。他方、 α を大きくすると α -shape は点群に対する凸包となることが知られている（図 4 参照）。

本研究では、R 言語のパッケージである alphashape3d [4]

Algorithm 1 法線ベクトルの正規化

Require: \mathbf{X} // 正規化を行う法線ベクトルの行列
// \mathbf{X} の行ベクトルがそれぞれ法線ベクトルに対応

- 1: ベクトル $\mathbf{d} = \text{diag}(\mathbf{X}\mathbf{X}^T)$
- 2: 対角行列 $\mathbf{D} = \text{diag}(\mathbf{d})$
- 3: 行列 $\mathbf{X}_{\text{normalized}} = \mathbf{D}^{-\frac{1}{2}}\mathbf{X}$ // $\mathbf{D}^{-\frac{1}{2}}$: 正規化行列
- 4: **return** $\mathbf{X}_{\text{normalized}}$

を用いて 3 次元点群データに対する α -shape 法を実現した。3 次元点群を α -shape 法を用いて三角形分割する際、alphashape3d では三角形分割で得られる各三角形の法線ベクトルも得ることができる。さらに、各法線ベクトルの大きさはそれぞれの三角形の面積に比例するため、大きさは 1 に正規化されていない。

3.3 法線ベクトルの正規化

3.2 節で述べたように、alphashape3d で取得される法線ベクトルの大きさは三角形ごとに異なるため、ガウス写像を定義するためには正規化する必要がある。そこで、取得した法線ベクトルの大きさを Algorithm 1 に示す手順で正規化した。Algorithm 1 における関数 $\text{diag}()$ は、引数が行列の場合にはその行列の対角成分をベクトルとして返し、また、引数がベクトルの場合にはそのベクトルを対角成分とする対角行列を返す関数である。

Algorithm 1 では、正規化の対象となる、alphashape3d で得られる各法線ベクトルを要素数 3 (x, y, z 成分) とする行ベクトルとして表現し、それらを列方向に結合した行列 \mathbf{X} を受け取る。次に、 \mathbf{X}^T により各法線ベクトルの長さの 2 乗を求め、その長さを対角成分とする対角行列 \mathbf{D} を

構築する。最後に、正規化行列 $D^{-\frac{1}{2}}$ を行列 X に左からかけて正規化した行列を返す。

4. 検証実験

ガウス写像による可視化の検証として、基本的な立体モデル（基本モデルおよび穴の開いたモデル）および新文化式婦人原型から作成した立体モデルを作成し、作成したモデルの表面上の点をランダムサンプリングして点群データを作成した。なお、ここでの点群データは立体図形の表面のみの形状を表すものであり、中身は存在しない。さらに、3次元計測装置を用いて計測した実データに対する可視化を行った。

多面体推定に使用した α -shape 法におけるハイパーパラメータである α の値は、想定する曲面に対する点群データに対して α -shape 法を適用した際、元の曲面にはない穴が開いてしまうことのない範囲で最小の値を使用した。また、 α -shape 法は一般に位置にない点群（例えば全て平面上に存在する点群）に対しては実行できない。このため、本研究では α -shape 法を 3次元点群データに適用する際に必要に応じて点群データにノイズを加えてこの問題を回避するようにした。

4.1 立体モデル

4.1.1 基本モデル

ガウス写像に基づく形状の可視化の検証として、球、円柱、円錐、円錐台、円錐台から円柱をくりぬいた凹図形、の計 5 種類の立体モデルを作成し、作成したモデルから生成した点群データに対してガウス写像による可視化を行った。結果を図 5 に示す。

図 5 より、実験で用いた立体モデルにおいて形状の違いがあるのと同様、3次元点群に対してガウス写像を適用して得られるガウス球上の領域にも形状の違いがあらわれた。この結果から、ガウス写像を用いることで形状の違いを可視化できることを確認した。

4.1.2 穴の開いた立体モデル

次に、ジャケットなどの衣服は首や両腕を通す「穴」が空いているため、穴の開いた立体モデルとして、上面に一つ、左右側面に一つずつ穴を開けた底面のない立方体、円柱、円錐+円柱、上下に円錐台を組み合わせた立体モデルを作成した。また、従来研究 [6] との比較として、2次元の型紙原型から作成した 20 頂点 31 三角形からなる閉多面体モデルを近似したモデルも作成した。

なお、ジャケットなどの衣服面のオイラー標数は -2 であり、穴の開いた立体モデルのオイラー標数は -2 であるが、閉多面体モデルでは穴がないためオイラー標数は 2 であり、オイラー標数の観点からもジャケットなどの衣服のモデル化に違いがある。

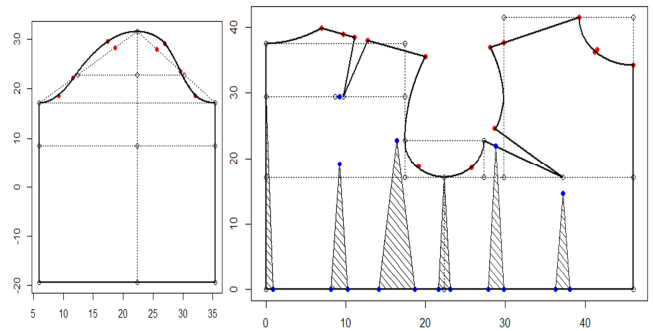


図 7 新文化式婦人原型

Fig. 7 New bunka female pattern

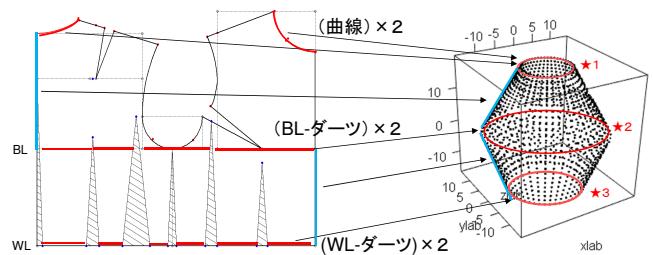


図 8 身頃の立体モデル

Fig. 8 Body model

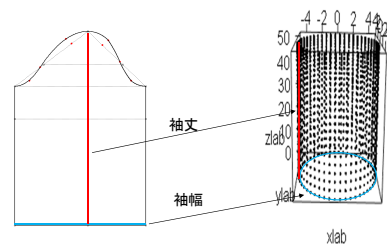


図 9 袖の立体モデル

Fig. 9 Sleeve model

穴の開いたモデルに対して、ガウス写像を用いた可視化を行った結果を図 6 に示す。図 6 より、穴の開いた立体モデルの場合でも、ガウス写像を用いて形状の違いを可視化できることを確認した。さらに、従来の閉多面体モデルと比較すると、提案手法は従来法に比べて多くの法線ベクトルを取得できることが分かる。

4.2 新文化式原型に対する立体モデル

現実の衣服に対する立体モデルとして、一般的によく使用されている新文化式婦人原型に基づく立体モデルを作成した。指定したサイズに応じて、図 7 に示す新文化式原型の作図法に従って身頃原型と袖原型を作成し、作成した原型の長さに基づいて身頃、袖の立体モデルをそれぞれ作成して結合した。詳細は [3] を参照されたい。

新文化式婦人原型から作成した立体身頃のサイズを変え、ガウス写像を用いた可視化を行った。サイズは成人女子用 JIS サイズ規格を使用し、表 1 に示す 158cmA 体型 20 代女性の 3AR ~ 19AR の全 9 タイプに対して実行した。結

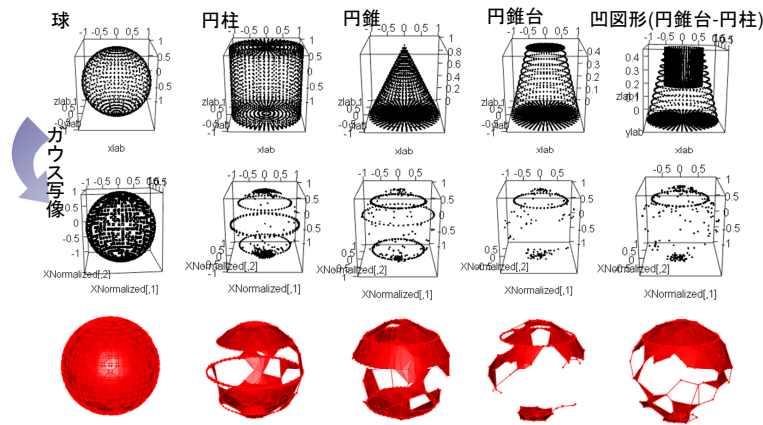


図 5 立体モデルの結果

Fig. 5 Result for solid model

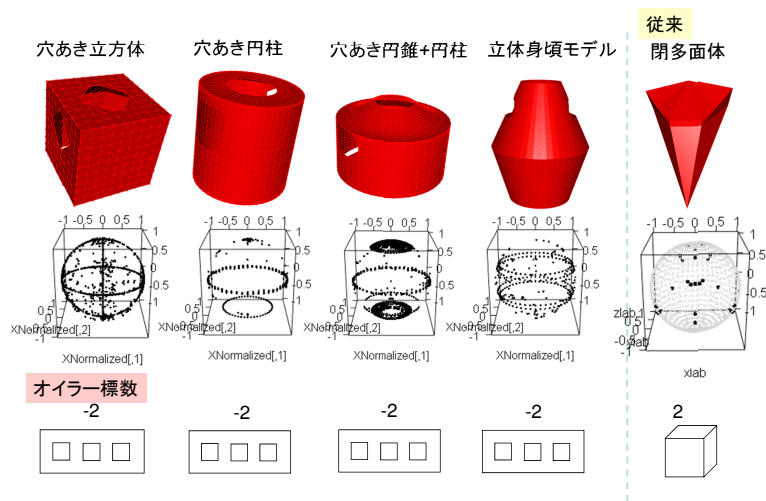


図 6 穴の空いた立体モデルの結果

Fig. 6 Result for solid model with hole

果の一例を図に示す. なお, 図では 4.1 節での結果と対比するため, 袖の描画を行わないモデルに対する結果を示している.

全てのサイズにおいて, 円周状の線が上下に二本ずつあられわれ, 形状における共通した特徴がガウス球上で可視化されることを確認した. さらに, サイズが大きくなるにつれて上下の円周状の線の幅が少しずつ広がっていることが分かる. この結果より, 類似した形状であってもそれらの違いがガウス球上に反映されることを確認した.

4.3 3次元計測装置で計測した実データ

実データへの適用例として, 図 11 に示すユビキタスドクター開発研究装置を用いて被服構成で使用されるトルソーを計測し, 3次元計測装置で計測した点群に対してガウス写像を用いた可視化を行った. この装置は天井に設置した 20 台のカメラから得られる画像を統合して 3次元点群を生成する. 実験では, サイズ 10 号のトルソーを計測し, カメラ 8 台分, 1 フレームのデータを使用してガウス

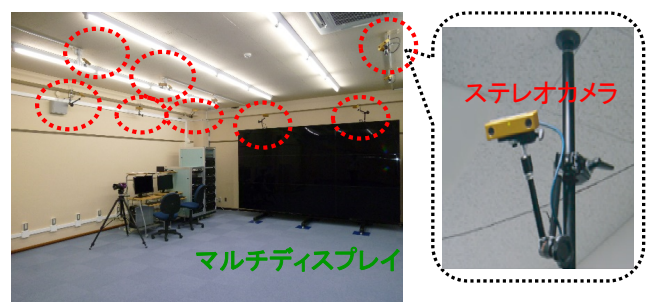


図 11 ユビキタスドクター開発研究装置

Fig. 11 Ubiquitous doctor room

写像を用いた可視化を行った. 結果を図 12 に示す.

図 12 より, 3次元計測装置で計測される実データに対しても, 本稿で提案したガウス写像を用いた可視化が可能であることを確認した. しかし, 図 11 の装置で計測される点群には多くのノイズが含まれており, 可視化した結果は現状ではトルソーの形状を忠実に反映しているとは言い難い. ノイズ処理などの計測データの前処理などの検討は今後の課題として残されている.

表 1 成人女子用 JIS サイズ規格

サイズ	3AR	5AR	7AR	9AR	11AR	13AR	15AR	17AR	19AR
バスト	74	77	80	83	86	89	92	96	100
ウエスト	58	61	61	64	67	70	73	76	80
背丈	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5

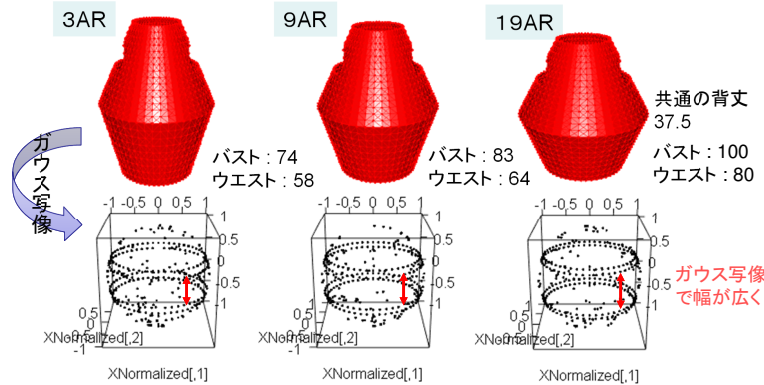


図 10 新文化式婦人原型の立体モデルの結果

Fig. 10 Result for solid model of New bunka female pattern

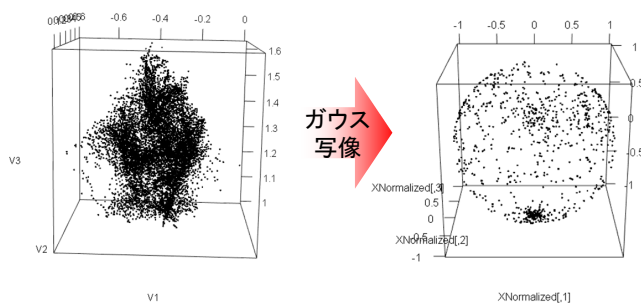


図 12 ユビキタスドクター開発研究装置での計測データ

Fig. 12 Data from ubiquitous doctor room

5. おわりに

本稿では、人体の曲面を曲率の観点から評価するアプローチとして、ガウス写像を用いた曲率の可視化に着目し、新文化式婦人原型に基づく衣服立体モデルを構築してガウス写像による可視化を行った結果を報告する。提案法では α -shape 法を用いて 3次元点群から三角形分割を通じて多面体の推定を行い、推定した多面体を覆う三角形の法線ベクトルを活用することで、点群データに対するガウス写像を実現する。穴の開いた衣服モデルや、3次元計測装置を用いて計測した実データに対してガウス写像を用いた可視化の有効性を確認した。

参考文献

[1] Edersbrunner, H. and Mücke, E. P.: Three-Dimensional Alpha Shapes, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 13, No. 1, pp. 43–72 (1994).
 [2] 今岡春樹：ガウス-ボネの定理 -角度は保存されている-, 繊維製品消費科学会誌, Vol. 37, pp. 227–232 (1996).

[3] 石川歌穂：ガウス写像に基づく衣服形状の特徴付けの検証, 奈良女子大学卒業論文 (2015).
 [4] Lafarge, T., Pateiro-Lopez, B., Possolo, A. and Dunkers, J. P.: R Implementation of a Polyhedral Approximation to a 3D Set of Points Using the α -Shape, *Journal of Statistical Software*, Vol. 56, No. 4, pp. 1–19 (2014).
 [5] 中内伸光：じっくり学ぶ曲線と曲面, 共立出版 (2005).
 [6] 李宇京：型紙の立体化と角度を用いた日本人成人女性の体型分類に関する研究, Ph.D.dissertation, 奈良女子大学 (2010).
 [7] 恒川法和, 山下淳, 金子透：エッジ情報のガウス球上分布を用いた物体認識, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 (2002).
 [8] 山田民子, 赤見仁, 今岡春樹：衣服設計のためのアームホール曲線の類型化に関する研究, 繊維製品消費科学会誌, Vol. 48, pp. 124–139 (2007).