

## 浮世絵のデジタルコンテンツ化のための3次元物体モデリングと可視化

尹 新, 許 威威, 田中 弘美  
立命館大学

浮世絵は日本伝統芸術の一つである。近年、浮世絵のデジタルコンテンツ化に関する技術の開発が活発的に行われている。本文では、それに関する3次元物体モデリングと可視化の二つの技術について述べる。一つ目の技術は、浮世絵から歌舞伎演劇者の3次元の顔を生成する手法である。この手法では、3次元の標準顔を浮世絵に従って変形させることで3次元顔モデルを生成する。また、変形の誤差を減少できる多層のRBF (Radial Basis Function) も提案する。もう一つの技術は、摺り方法によって生成した浮世絵の表面の微細な凹凸のモデリングと可視化手法である。浮世絵を表現するために、まず、浮世絵の表面の凹の領域と凸の領域を分割する。次に、分割した領域から浮世絵の表面の法線の変化(3次元モデリング)を求める。最後に、法線の変化に従って、浮世絵をレンダリングすることで浮世絵を表現する。

## 3D Modeling and Visualization for the Digital Contents of Ukiyo-e

Xin Yin, Weiwei Xu, Hiromi T. Tanaka  
Ritsumeikan University

The Ukiyo-e is one traditional art of Japan. Some technologies for digital contents of Ukiyo-e were developed recently. In this paper, two technologies for 3D modeling and visualization of Ukiyo-e are introduced. One is the technology for modeling 3D face model from the Ukiyo-e. A standard face model is used and is transformed according to the Ukiyo-e. In order to decrease the errors of the transformation, the multi-level RBF (Radial Basis Function) is proposed. Another is the technology for modeling and visualization of small bump structure on the surface of Ukiyo-e. At first, the segments of bump are generated. Then, the normal of Ukiyo-e surface are got from this segment result. Finally, the Ukiyo-e is rendered according to the normal of Ukiyo-e.

### 1. はじめに

浮世絵の「浮き世」とは「現実」という意味で、16世紀後半に京都の庶民生活を描いた絵として始まった。そこから、様々な技法を進化すると共に、多くの作品が生まれた。図1には、浮世絵の二つの写真を示している。近年、コンピュータ技術の発展と共に、浮世絵に関する様々なデジタル技術の開発を行っていた。本文では、浮世絵に関連している3次元モデリングと可視化の二つの技術を紹介する。一つが浮世絵で表現している2次元の歌舞伎演劇者の顔から3次元の歌舞伎演劇者の顔モデルを生成することである ([1])。もう一つが浮世絵の独特の摺り方法によって生成した浮世絵表面の微細な凹凸構造のモデリングと可視化である ([2])。

### 2. 従来の研究

近年、CG (コンピュータグラフィックス) 技術の発展に伴い、様々な3次元モデリング法とレン



図1. 浮世絵の写真

ダリング法が提案された。本研究と関連しているのは、3次元顔のモデリング法と浮世絵のレンダリング法である。以下には、それに関連している従来の研究を紹介する。

顔のモデリングについては、レンジデータや写真などから3次元モデルを作る手法が挙げられる。[3] はレンジデータから顔モデルを作り、表情の生成手法を提案した。また、[4]はいくつかの写真から顔のモデルを作り、表情を表現した。



図2. から摺りによる微細な凹凸

これらの手法は実際のデータ（レンジデータや写真）に基づいて3次元の顔のモデルを作った。しかし、浮世絵の中の顔はこれらのデータと比べ、幾つか異なる点が存在している。まず、写真の場合には、多方向から撮影が可能であることに対して、浮世絵の中の顔を見る方向が限られている。また、浮世絵の場合には、人間の顔が変形しており、真実の顔から離れている。これらの原因で、従来の手法で浮世絵の中の顔の3次元モデルを作るのは難しい。このため、本研究では、顔の3D情報を得られるため、事前に生成した標準顔の3次元モデルを利用する。そして、この標準顔が浮世絵の中の顔に従って変形させ、歌舞伎演劇者の3次元顔モデルを求める。変形するとき、誤差を減少することが必要となっている。[5]は、RBF (Radial Basis Function) を用いて表面の一定範囲の平滑化が行った。ここでは、新たに提案した多層のRBFを用いてその変形の誤差を減少する。浮世絵のモデリングと可視化については、いくつか手法が存在している。[6]は画像処理のソフトウェアを用いて写真を処理し、浮世絵の作品を表現した。また、[7]は実際の浮世絵の製作の過程をシミュレーションし、仮想空間の中に浮世絵を再現した。実際の浮世絵は特殊な摺り技法によって、浮世絵の表面に微細な凹凸が作られ、照明や視線の方向が変化に従って浮世絵の色も変化している。ここではこのような現象をCGによる可視化する。

### 3. 浮世絵の背景知識

基本的には、一つの浮世絵を完成するために、画工、彫工、摺工の三工程における作業が必要となる。最初には、画工が絵を完成する。次に、彫工が絵に従って木材を彫り、版木を完成する。最後に、摺工が顔料を版木の上に塗り、紙に摺ることによって、浮世絵を完成する。

浮世絵をよりうまく表現するため、幾つか技法

が挙げられる。その一つはから摺り技法である。から摺りは、絵の具を用いずに、版木を強く押し当てて摺ることによって、紙に凹凸をつける技法である。図2には、その技法により生成した微細な凹凸を示している。この技法によって、照明や視線の方向が変化すれば、様々な浮世絵の色の変化が見られる。

### 4. 浮世絵から顔のモデリング

本章では、まず、RBFを説明する。次に、多層のRBFを提案する。最後に、この多層のRBFを用いて、3次元標準顔モデルを浮世絵に従って変形させ、3次元の歌舞伎の顔モデルを生成する。

#### 4. 1 基本のRBF

RBF (Radial Basis Function) ネットワークは次の式で定義される。

$$y = \sum_i w_i h_i(x) \quad (1)$$

ここで  
 $y$ : 出力  
 $x$ : 入力  
 $w$ : 重み係数  
 $h$ : 基底関数  
 である。

基底関数  $h$  については、普通に、中心  $c_i$  と半径  $r_i$  による作ったガウス関数が使われる。

また、重み係数  $w$  については、次の式の値が最小するように求められる。

$$g = \sum_i \left( y_i - \sum_j w_j h_j(x_i) \right)^2 + \lambda \sum_i w_i^2 \quad (2)$$

そして、[5]の手法で適当な  $\lambda$  を選び、重み係数  $w$  を求められる。

通常、RBFは入力の雑音の減少などに応用しているが、ここでは、3次元表面の特徴点の間の補

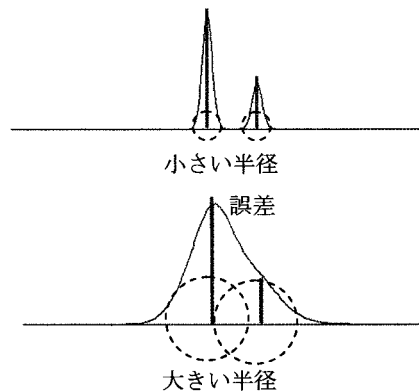


図3. 半径の影響

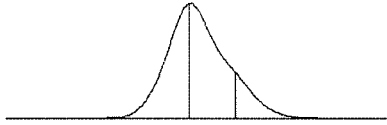


図4. 多層のRBF

間に応用する.

#### 4. 2 多層のRBF

基本のRBFは、一つ中心を決め、半径を調整することで、形を調整している。このため、半径だけを調整することで、満足できる結果を得られることが難しい。図3には、半径だけの調整した結果を示している。図3の上の図には、小さい半径の状況を示している。このとき、特徴点のところの誤差が小さいが、特徴点間の曲線の形が良くない。図3の下の図には、大きい半径の状況を示している。このとき、特徴点間の曲線の形が良くなるが、特徴点のところの誤差が大きい。このため、まず、大きい半径で、補間曲線を求める。次に、特徴点のところの誤差に対して、小さい半径で補間を行う。このように、残っている誤差に対して、繰り返してRBFを用いて補間計算を行う。具体的に、式が以下のように直す：

$$y = \sum_j \left( \sum_i w_{ij} h_{ij}(x) + \lambda_j \sum_i w_{ij}^2 \right), \quad r_{j_1} > r_{j_2}, \text{ if } j_1 > j_2 \quad (3)$$

式の各パラメタの意味が前の式と同じ。以下には、この式に基づいて計算の流れを説明する。

- A, 特徴点と誤差の閾値を決める。
- B, 各特徴点の間の最長距離の半分を最初の半径として決める。
- C, いまの重み係数  $w$  を計算する。そして、計算した結果をいまの層に保存する。
- D, 各特徴点の誤差を求める。この誤差が閾値より小さい場合には、計算を中止する。
- E, 半径を半分に減少して、残った誤差に対して、Cのステップに戻って、次の層の重み係数を求める。

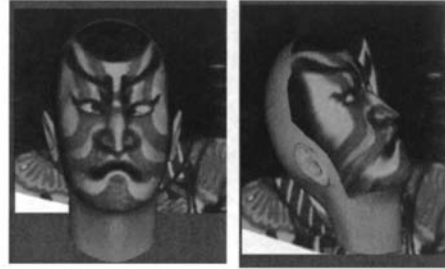


図6. 生成した3次元顔モデル

F, 誤差が閾値より小さいまでに、CとEのステップ間の計算を繰り返して行う。

多層のRBFの計算結果として、図4に示すように、特徴点のところの誤差の減少することと特徴点の間の平滑な補間曲線が同時に得られる。

#### 4. 3 3次元顔モデルの構築

浮世絵が2次元であり、3次元の顔モデルを求めするために、3次元の標準顔を用いて計算を行う。

図5には、一つ浮世絵の画像から3次元の顔モデルの生成する流れを示している。まず、3次元標準顔と浮世絵の対応点を指定する。対応点は、顔の特徴を決める点を指定する。例えば、口や目の周り点を顔の特徴点として、対応点に指定する。そして、図5に示すように、3次元顔モデルを大きさと向き方向を調整し、浮世絵の顔の位置と合わせる。次に、4.2に述べた多層のRBFを用いて、対応点を移動し、対応点の周り点も移動する。結果として、3次元の顔モデルが浮世絵の画像に従って変形していく。図5には、その変形している過程を示している。最後には、3次元顔モデルが浮世絵の画像に完全に合わせた。このとき、浮世絵の色テクスチャを用いて、3次元モデルにマッピングすれば、3次元の歌舞伎の顔モデルを得られる。その結果を図6に示している。

また、多層のRBFが対応点の誤差が減少できることから、マッピングのときに、対応点の間の誤差も減少できる。図7には、その応用例を示して

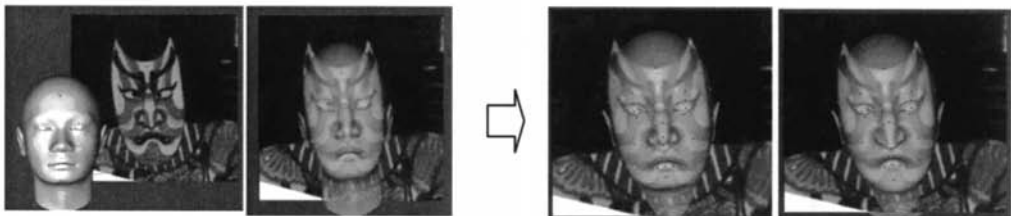


図5. 対応点の指定と3次元標準顔モデルの変形

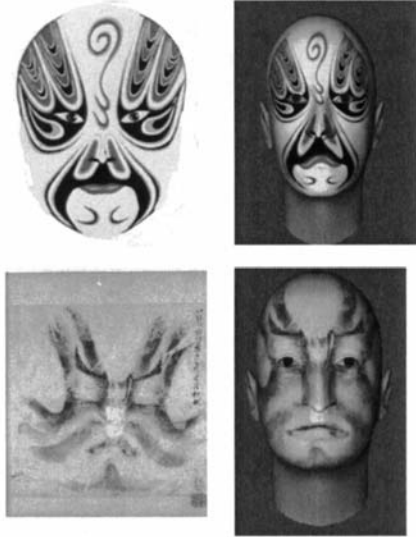


図7. 多層のRBFのマッピングの応用例

いる。図7の上の図には、京劇の顔テクスチャのマッピングした例を示している。図7の下図には、限取のマッピングした例を示している。

#### 4. 4 3次元顔モデリングのまとめ

本章では、多層のRBFを提案し、浮世絵から3次元の歌舞伎の顔を作った。また、多層のRBFのマッピングの応用例を示した。将来の課題としては、生成した3次元顔のレンダリングの技術の開発が挙げられる。

#### 5. 微細構造のモデリングと可視化

浮世絵の異方性反射の原因は、紙の法線方向の変化や顔料の異方性などを考えられる。本章では、

まず、から摺りの領域の分割し、表面の微細構造のモデリング法を紹介する。次に、から摺りによる現象の可視化の手法を説明する。

##### 5. 1 から摺りの領域分割

微細構造の自動的に構築については、[8]に述べたが、浮世絵の表面には、曖昧なところが多いため、本研究では、最初の領域の分割することは、手作業で行う。具体的には、照明の方向を変え、浮世絵の写真を撮ることによって、浮世絵の凹凸を観察し、手作業で凹凸の領域の分割を行う。

浮世絵のから摺りの領域が何種類に分類されている。周りの高さより低いところが凹の領域と言われる。これに対して、周りの高さより高いところが凸の領域と言われる。また、たくさん小さな凹凸が緊密的に繋がっているところが点の領域と言われる。この三種類のから摺り領域を分割するため、照明の方向を変え、10枚写真を撮った。図8には、これらの写真を示す。凹凸の特徴を観察しやすいため、照明の方向と浮世絵の平面の法線方向の角度が80度に設定し、照明の水平方向の変化が20度の間隔で変化していく。そして、実際の浮世絵を参考しながら、手作業でこの10枚の写真的から摺り領域を分割することが行われる。最後に、この10枚の画像で分割した結果を一枚画像にまとめ、その結果を図9に示す。3枚の図（左から右へ）の白色の領域はそれぞれがから摺りの凹の領域、凸の領域、点の領域である。

##### 5. 2. 微細構造のモデリング

から摺りの結果としては、紙の上に微細な凹凸付け、浮世絵の法線方向が変化している。法線方向を求めるために、表面の高いところと低いところの設定が必要である。まず、凹の領域と凸の領域はそれぞれ低いところと高いところに設定す

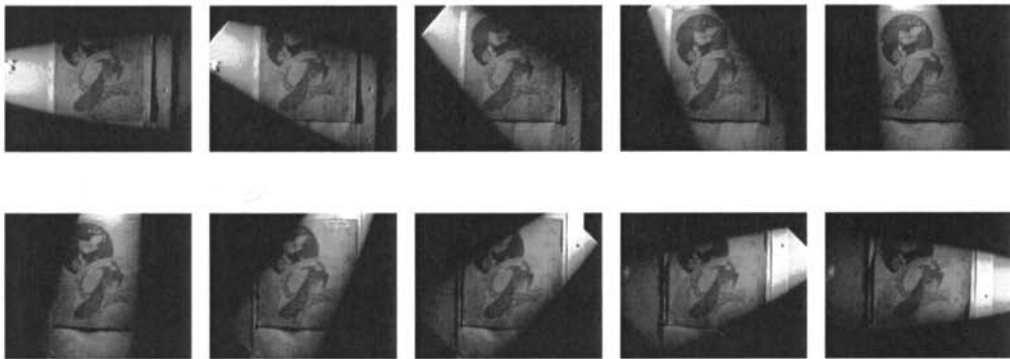


図8. 照明方向を変えた浮世絵の写真

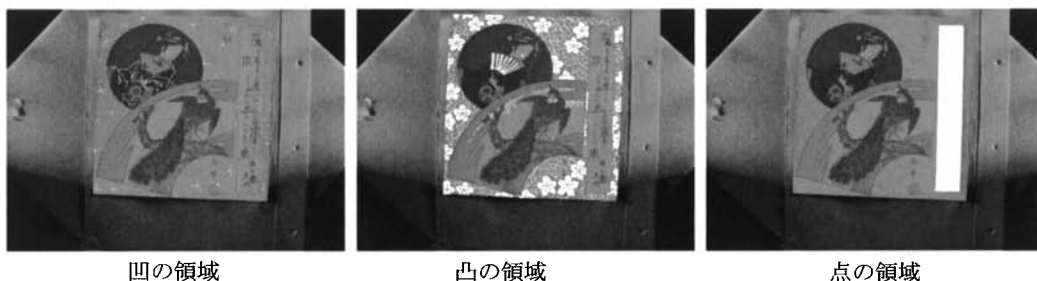


図9. から摺りの領域

る。次に、点の領域の高さを設定するために、まず、横方向と縦方向で幾つかの三角関数で合成した曲線を設定する。そして、これら曲線の交差点に高いところに設定する。他のところを低いところに設定する。以下にはこれらの高さ情報を用いて法線の求める手法を説明する。

図10の左図には浮世絵の断面から見た法線方向の分布状態を示す。高いところと低いところの法線は水平面との角度は90度である。高いところと低いところの間の中点の法線方向が水平面との角度は45度である。それ以外のところの法線方向は、この三つのところ（高いところ、低いところ、中点）の法線方向から補間計算することにより求める。図10の右図には浮世絵の正面から見た法線の状態を示す。黒い色のところは高いところを示す。白い色のところは低いところを示す。また、灰色のところは高いところと低いところの間を示す。この灰色のところの法線方向は周り高いところの重心から周り低いところの重心に向かうように設定する。このように、浮世絵の断面と正面の両方向から最後の浮世絵表面の法線を決める。その結果を図11に示す。図11のRGB値が法線ベクトルのxyzに対応している。このように表面の法線方向の変化を求めることによって、浮世絵の表面の微細構造の変化が表現できる。

### 5. 3 レンダリング

浮世絵の色情報は図1の写真から得られる。レ

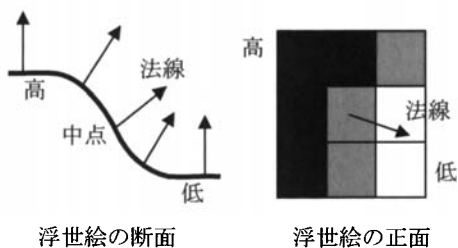


図10. 表面法線の計算

ンダリングは最一般的なphongのモデルを用いて行う。そして、上に述べた手法で得られた法線情報に基づいて鏡面反射と拡散反射を計算し、から摺りによる浮世絵の色の変化を表現する。

本研究は、GPU (Graphics Processing Unit) を用いて実験を行う。グラフィカードはNVIDIA GeForce 6800 GSである。

図12には、その実験例を示している。この浮世絵は、花などがから摺りにより作られたパターンである。図12の中の図はそれぞれ光の入射方向が異なる。このように、光の入射方向が変化することによって浮世絵の表面の色も変化していくことが確認できた。から摺りで作った花のパターンはときには見やすく、ときには見にくくなっている。

### 5. 4 微細構造モデリングと可視化のまとめ

本章では、から摺りにより生成した浮世絵の色変化を表現できたが、幾つか問題点を残っている。まず、5.1で述べた領域分割については、いまのところで手作業で行った。この領域分割の手作業の時間がかかる。実際には、照明方向を変えることで、画像の色の変化が起る、この色の変化は浮

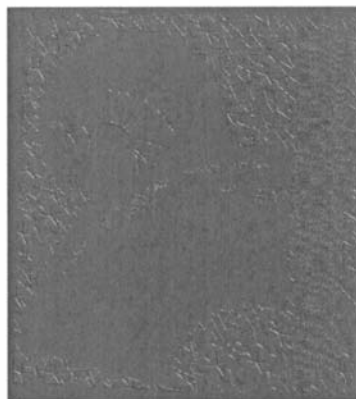


図11. 生成した表面法線の計算



世絵の表面の微細構造に関連している。このため、色の変化から画像処理の手法でこれらの領域を自動的に分割することが可能であると考えられる。今後では、この自動的な領域分割法の開発を行うことがあげられる。次に、いまのレンダリング手法はphongのモデルに基づいて行った。このモデルは浮世絵のレンダリングに対しては精密的な手法ではない。実験結果から、少しい金属の反射感覚があることはわかる。今後には、紙の繊維を考慮したレンダリング法の開発することが挙げられる。

## 6. むすび

本論文では、浮世絵のデジタルコンテンツに関連している二つ技術を紹介した。その一つが浮世絵から3次元の顔モデルの生成する技術である。もう一つがから摺りによる浮世絵表面の微細構造のモデリングと浮世絵の色変化の可視化法を提案した。将来の課題としては、自動的に紙表面の微細構造の計測法や紙の形変化のシミュレーション法の開発が挙げられる。また、3次元顔モデルのレンダリング法や繊維を考慮した浮世絵のレンダリング法の改良も必要だと思っている。

## 参考文献：

[1] Weiwei Xu, Ryo Akama, Hiromi T. Tanaka. 3D

Face Modeling from Ancient Kabuki Drawings. in the 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, VAST 2005, pp. 59-65, 2005.

[2] 尹新, 赤間 亮, 田中 弘美. 浮世絵の異方向性反射のレンダリング. 人文科学とコンピュータシンポジウム (じんもんこん 2006), IPSJ Symposium Series Vol.2006, No.17, pp. 33-38, 2006年12月.

[3] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinski, R. Szeliski, D. H. Salesin, Synthesizing Realistic Facial Expressions from photographs, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 75-84, 1998.

[4] Y. Li, D. Terzopoulos, K. Waters, Realistic modeling for Facial Modeling, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 55-62, 1995.

[5] M. J. L. Orr, Introduction to Radial Basis Function Networks, Technical report, Center for Cognitive Science, 1996.

[6] 岡田 稔, 水野 慎士, 鳥脇 純一郎. モデル駆動による仮想彫刻と仮想木版画, 芸術科学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 74-84, 2002.

[7] 岡本辰春 <http://www.tatuharu.com/>

[8] J. A. Paterson, D. Claus and A. W. Fitzgibbon. BRDF and geometry capture from extended inhomogeneous samples using flash photography. Computer Graphics Forum, Vol. 24, No. 3, pp. 383-391, 2005.

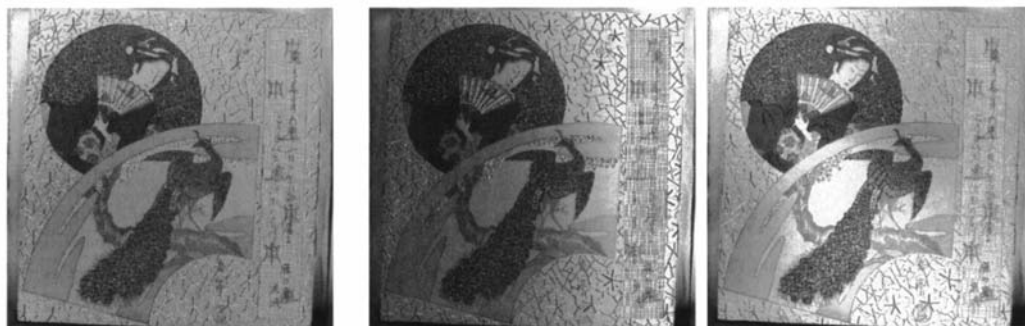


図 1 2. 浮世絵の可視化の実験結果