

# 浮世絵の異方性反射のレンダリング

## —浮世絵の光と影を捉え

尹 新\*, 蔡 康穎\*, 赤間 亮†, 田中 弘美\*  
\* 立命館大学 情報理工学部, † 立命館大学 文学部

浮世絵は日本伝統芸術の一つである。特殊な摺り手法によって浮世絵の表面に微細な凹凸が作られており、雲母や金粉などが顔料として利用されている。このため、照明や視線の方向の変化によって浮世絵の表面に様々な色の変化が生じる。このような現象を異方性反射と言う。本論文の目的は、この浮世絵の異方性反射を再現することである。浮世絵の凹凸と金粉などの領域を分割し、その領域から浮世絵表面の法線を求める。最後に、この法線情報と色情報を用いて、浮世絵をレンダリングし、異方性反射を再現する。

## Rendering of the Anisotropic Reflection on Ukiyo-e -Catch the Light and the Shadow of Ukiyo-e

Xin Yin\*, Kangying Cai\*, Ryo Akama†, Hiromi T.Tanaka\*  
\*College of Information Science and engineering, Ritsumeikan University  
†College of Letters, Ritsumeikan University

The Ukiyo-e is one traditional art of Japan. Some small bump structures are generated by special print method. The particle of the mica and the gold are used as the pigment. As these reasons, the color of Ukiyo-e will change if the direction of light and eye change. This phenomenon is called anisotropic reflection. The subject of this paper is to represent this anisotropic reflection of Ukiyo-e. At first, the segment of bump and the gold are generated. Then, the normal of Ukiyo-e surface are got from this segment result. Finally, the Ukiyo-e is rendered and the anisotropic reflection is represented.

### 1. はじめに

近年、CG（コンピュータグラフィックス）技術の発展に伴い、油絵、水彩画、水墨画など筆絵調に関する研究が多く行っている。これらの研究は、顔料と紙の性質をシミュレーションし、様々な筆絵調を表現した。浮世絵は日本を代表する一つの芸術である。図1には、浮世絵の写真を示している。特殊な摺り技法によって、浮世絵の色などは光や視線の方向が変化に従って変化している。本論文はこのような現象をCGによる表現することが目的とする。

### 2. 従来の研究

グラフィックスのレンダリング法は大別写真のようなリアルな結果を求めるPhotorealistic Rendering (PR)法と絵のような非写実的な結果を求めるNon-Photorealistic Rendering (NPR)法に二つ種類に分けている。NPRは、絵画、彫刻、版画、陶磁器、染色、毛筆など非写実的な表現に適している。Michael[1]とZhang[2]は早期のNPRの研究である。これらの研究は、実際の筆のスト

ロークや顔料粒子の動きをシミュレーションし、油絵、水墨絵など筆絵調を表現した。また、表現しようとするモデルは写真や3次元モデルなどを挙げられる。Johan[3]は写真から色領域を分割し、筆のストロークを設定することで水彩画風画像を生成した。川崎[4]は3次元モデルの形状から、筆のストロークの方向を設定することで、水墨絵を生成した。これらの手法では、主に顔料による



図1. 浮世絵の写真

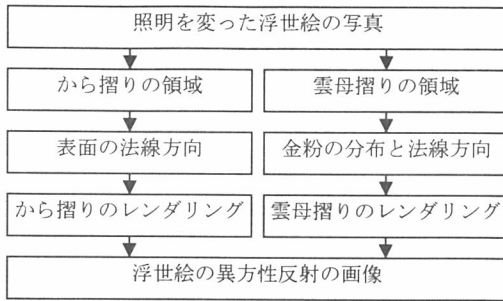


図2. 計算の流れ

等方性反射を表現している、浮世絵のような異方性反射の表現に適していない。

また、浮世絵の表現はNPRの一種として、従来から研究を行っていた。岡田[5]は、浮世絵の作る過程をシミュレーションし、仮想彫刻システムにより作った仮想版木を用いて、仮想紙に摺りことによって、浮世絵を再現した。また、浮世絵師岡本辰春は写真からコンピュータを用いて様々な浮世絵の作品を作っていた(岡本[6])。実際に、浮世絵は摺り技法によって、表面の色などが照明と視線の方向の変化に従って変化している。ここでは、これを浮世絵の異方性反射と言う。しかし、従来の浮世絵の表現手法では、この浮世絵の異方性反射を表現できない。

本論文では、浮世絵の二つの摺り技法(から摺りと雲母摺り)による色の変化現象の表現法を述べる。図2には、その計算の流れを示す。まず、から摺りと雲母摺りの領域を分割する。次に、浮世絵の表面の法線を計算する。最後に、から摺りを雲母摺りのレンダリング結果を組み合わせることによって、浮世絵の異方性反射の画像を生成する。



図3. 浮世絵の異方性反射

### 3. 浮世絵の背景知識

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。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、から摺りと雲母摺りの二つの摺り技法を挙げられる。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。雲母摺りは背景に雲母や金粉などの粉を摺りつける技法である。これら技法によって、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。図3には、異なる方向の照明で撮った浮世絵の異方性反射の写真を示している。浮世絵の表面に花のパターンはから摺りによる生成したものである。照明が浮世絵の正面から照明したとき(図3の左図)、から摺りによる生成した

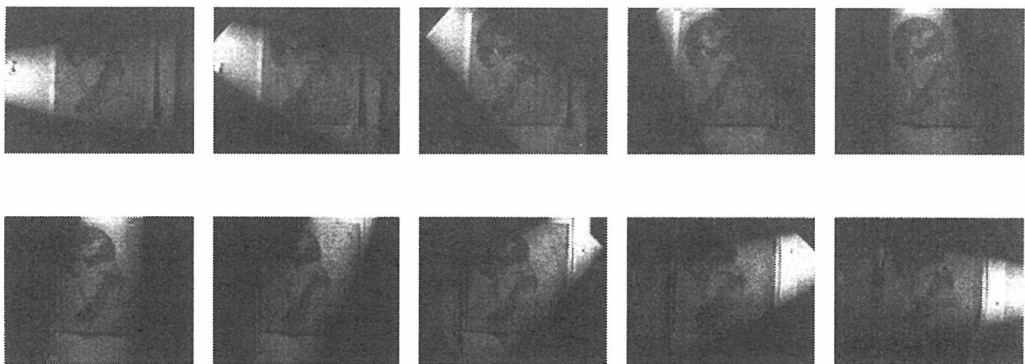
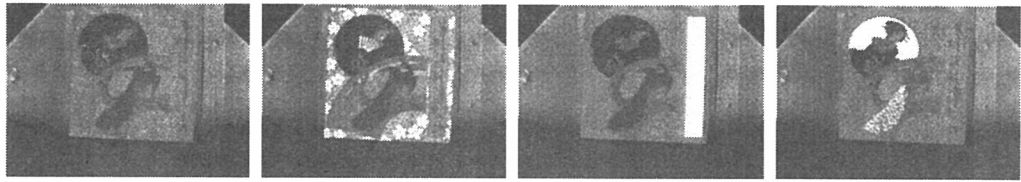


図4. 照明方向を変った浮世絵の写真



凹の領域

凸の領域

点の領域

雲母摺りの領域

図5. から摺りと雲母摺りの領域

花のパターンが見にくいですが、それに対して、照明が浮世絵の斜方向から照明したとき（図3の右図）、から摺りによる生成した花のパターンがはっきり見える。また、人物の背景の摺り手法は金粉を用いて雲母摺りである。照明が浮世絵の正面から照明したとき、金粉の光をはっきり見えるが、それに対して、照明が浮世絵の斜方向から照明したとき、金粉の光を見にくくなる。次章ではこのから摺りと雲母摺りの二つ技法によって生成した浮世絵の異方性のレンダリング法を述べる。

#### 4. 異方性反射のレンダリング

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、から摺りと雲母摺りの領域の分割手法を紹介する。次に、から摺りによる現象の表現法を解説し、最後に、雲母摺りによる異方性反射現象の表現法を説明する。

##### 4. 1. から摺りと雲母摺りの領域分割

から摺りと雲母摺りによる生成した現象が異なるので、ここでは、から摺りと雲母摺りの領域を分割する。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と一種類の雲母摺り領域を分割するため、照明の方向を変え、10枚写真と撮った。図4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度に設定された。また、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枚の写真的摺り領域を分割することが行う。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5に示している。4枚の図（左から右へ）

の白色の領域はそれぞれから摺りの凹の領域、凸の領域、点の領域および雲母摺りの領域である。

##### 4. 2. から摺りの表現

から摺りの結果としては、紙の上に微細の凹凸付け、浮世絵の法線方向も変化する。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もためる手法を説明する。

図6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で求める。図6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けるように設定する。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定める。

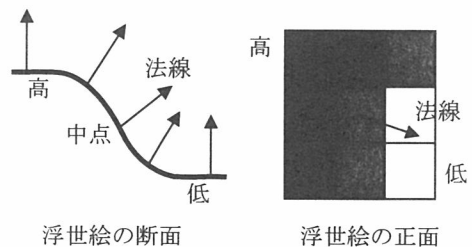


図6. 表面法線の計算

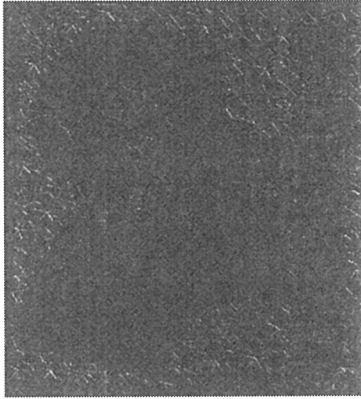


図7. 生成した表面法線の計算

その結果を図7に示す。図7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。

次に、レンダリングの手法を説明する。浮世絵の色情報は図1の写真から得られる。レンダリングは一般的な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。

#### 4. 3. 雲母摺りの表現

雲母摺りの結果としては、紙の上に小さな粉がランダムに分布している。直接に粉の分布をシミュレーションすることで雲母摺りの効果を得られる。

まず、金粉粒子の分布を求める。雲母摺りで浮世絵を作るとき、金粉が上から降る。金粉の降る

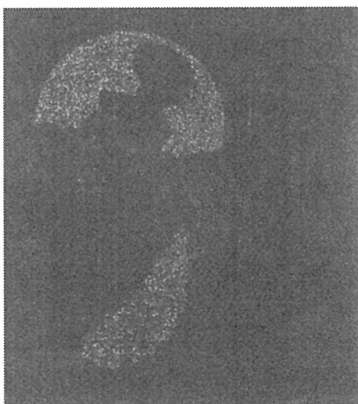


図8. 金粉粒子の分布

方向は特定な方向ではなく、その分布がランダムであると考えられる。このため、雲母摺りの領域内に金粉粒子の位置をランダム的に設定する。また、金粉粒子の色については、金の写真から幾つかのサンプルの色を参考しながらランダム的に決める。その結果を図8に示す。

次に、浮世絵表面に付いている金粉は主な反射面の向きが異なる。このため、金粉粒子の強い反射方向はそれぞれ異なる。このような現象を表現するために、金粉粒子の法線方向を異なる方向に設定することによって実現できる。また、金粉粒子の強い反射方向は紙の法線方向に近い。このため、金粉の法線方向を紙の法線の45度の範囲にランダム的に設定する。図9には、生成した金粉粒子の法線を示す。RGB値が法線ベクトルのxyz値に対応している。このように、金粉粒子の色情報と法線情報を組み合わせ、phongのモデルでレンダリングを行い、雲母摺りによる浮世絵の色の変化を表現できる。

#### 4. 4. から摺りと雲母摺りの組み合わせ

いままで、から摺りと雲母摺りの色の変化がそれぞれ表現された。ここでは、この二つ効果を組み合わせ、最後の結果を表現する。

この最後の結果を表現するには、から摺りと雲母摺りの結果を線性補間することによって実現する。具体的に、から摺りと雲母摺りの計算で得られた値はそれぞれ $I_k$ と $I_u$ とする。 $\alpha$ は線性補間の調整するパラメタである。ここで、 $\alpha$ の値が0から1までの値となる。このとき、最後に合成した結果の値 $I$ は次の式となる。

$$I = \alpha \cdot I_k + (1 - \alpha) \cdot I_u$$

このように、から摺りの結果画像と雲母摺りの結果画像のRGBの値を上で式で計算を行い、最後の結果画像を求める。

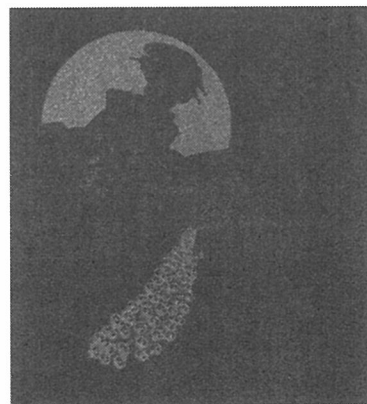


図9. 金粉粒子の法線

## 5. 実験結果

本研究は、GPU (Graphics Processing Unit) を用いて実験を行なった。グラフィックカードはNVIDIA GeForce 6800 GSである。また、二つの浮世絵を用いて実験を行なった。

図10には、その一つ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り、人物の背景や鳥の羽の一部が雲母摺りにより作られた。図10の中の図はそれぞれ光の入射方向が異なる。このように、光の入射方向が変わることに従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。また、金粉の反射光の変化も見られる。

図11には、もひとつの実験例を示す。左上の図は、幾つか面光源の照明環境で撮ったこの浮世絵の写真である。ほかの三つの図はレンダリングの結果である。この浮世絵は地面と傘の上の雪がから摺りにより作られた。女の服の一部が雲母摺りにより作られた。仮想の空間の中に照明方向が変化することでこの浮世絵の色も変化していることが分かる。から摺りの変化がよく見えるが、雲母摺りにより作った線が細いため、その変化は見にくくなっている。

本論文では、から摺りと雲母摺りにより生成した浮世絵の色変化を表現できたが、幾つか問題点を残している。まず、4.1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、この色の変化は浮世絵の摺り手法と関連している。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考えている。次に、4.2と4.3の部分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な手法ではない。実験結果から、少し金属の反射感覚があることが分かった。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考えている。

## 6. むすび

本論文では、から摺りと雲母摺りによる浮世絵の色変化のレンダリング法を提案した。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を挙げられる。また、紙の繊維を考慮したレンダリング手法の改良も必要となっている。

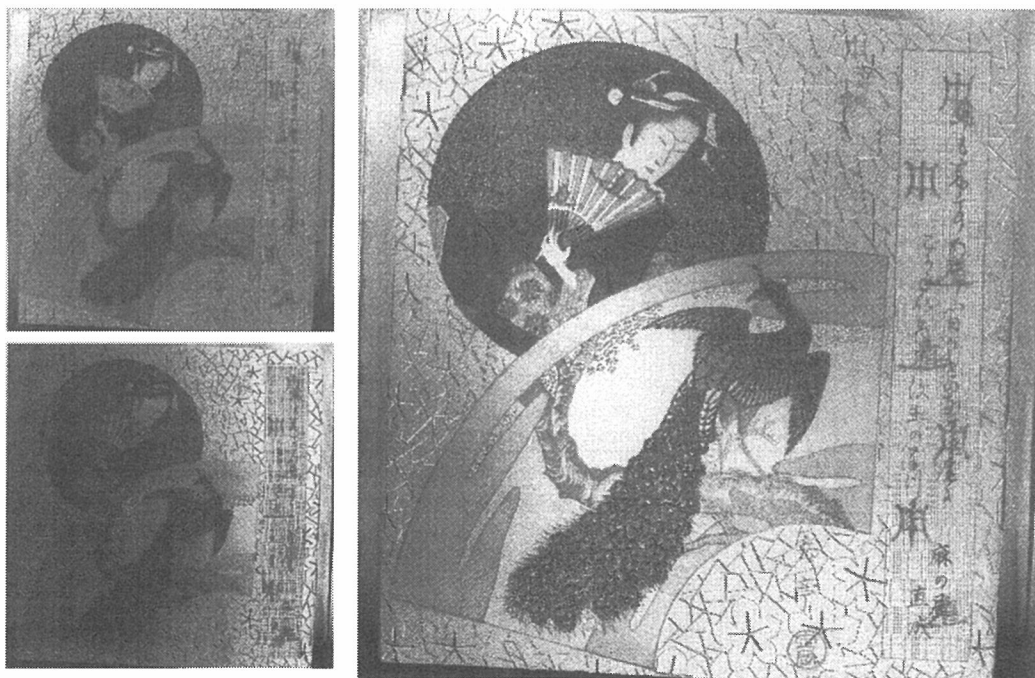


図10. 実験結果1

参考文献：

- [1] Michael P. Salisbury, Michael T. Wong, John F. Hughes, and David H. Salesin, Orientable Textures for Image-Based Pen-and-Ink Illustration, In proceedings of SIGGRAPH 97, pp. 401-406, 1997.
- [2] Q. Zhang, Y. Sato, J. Takahashi, K. Muraoka and N. Chiba, Simple Cellular-Automaton-based Simulation of Ink Behavior and Its Application to *Suibokuga*-like Rendering of Trees, The Journal of Visualization and Animation, pp. 27-37, 1999.
- [3] H. Johan, R. Hashimoto, and T. Nishita.

- Creating Watercolor Style Images Taking into Account Painting Techniques, the Journal of the Society for Art and Science, Vol. 3, No. 4, pp. 207-215. 2004.
- [4] 川寄 敬二, 中丸 幸治, 大野 義夫. NPRにおけるストローク方向の決定と水墨画調レンダリングへの適用. 芸術科学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 235-243. 2004.
- [5] 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.
- [6] 岡本辰春 <http://www.tatuharu.com/>

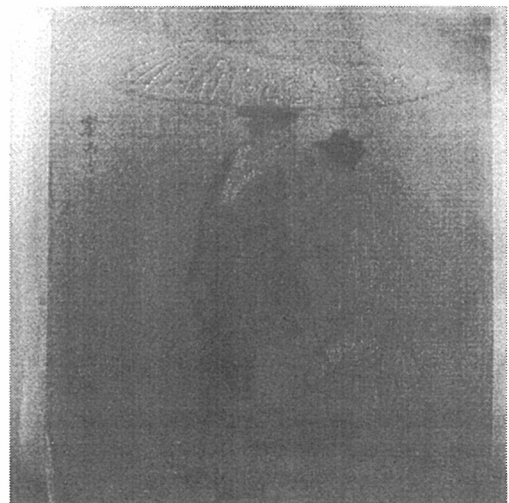
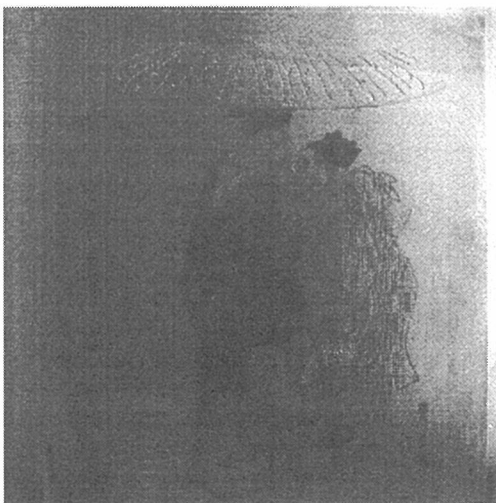
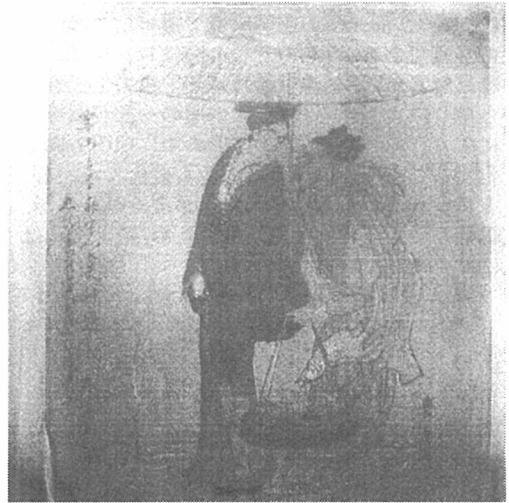


図 1 1 . 実験結果 2