

モデル駆動による仮想彫刻と仮想木版画

Virtual Sculpting and Virtual Woodblock Printing by a Model-Driven Scheme

岡田 稔[†], 水野慎士^{††}, 鳥脇純一郎^{†††}

Minoru OKADA[†], Shinji MIZUNO^{††} and Jun-ichiro TORIWAKI^{†††}

[†] 中部大学工学部情報工学科

^{††} 豊橋技術科学大学情報処理センター

^{†††} 名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

[†] Department of Computer Science, College of Engineering, Chubu University

^{††} Computer Center, Toyohashi University of Technology

^{†††} Department of Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University

[†] okada@cs.chubu.ac.jp, ^{††} mizuno@cc.tut.ac.jp, ^{†††} toriwaki@nuie.nagoya-u.ac.jp

アブストラクト: 本論文では、仮想彫刻に基づく仮想木版画の生成法と応用について解説する。提案法は芸術・工芸の模擬を目指した非写実的画像合成法 (NPR) のひとつである。一般に絵画などを志向した NPR で用いられている技法は、(a) ABR: 生成外観を模擬したレンダリング手法, (b) PBR: 物理モデルに基づくレンダリング手法, に大別されるが、本論文で解説する仮想木版画は (b) PBR に基づくものである。まず仮想彫刻システムによって仮想版木が生成される。次いで仮想版木、仮想紙、仮想馬連、仮想絵の具により、仮想木版画画像が生成される。このように提案法は木版画の制作工程を重視したものであるため、生成画像は物理的な裏付けを持ち、外観上も良い結果を与えている。また、仮想木版画手法を用いた仮想浮世絵の知的符号化、及びそれを通した仮想彫刻と仮想木版画の問題点と今後の課題についても言及する。

Abstract: In this paper we introduce a method to synthesize a woodblock print in a virtual world based on virtual sculpting. The proposed method is one of non-photorealistic rendering (NPR) techniques aiming at fine arts. The NPR techniques can be categorized into two strategies; (a) ABR: appearance-based rendering, and (b) PBR: physics-based rendering. Since our virtual woodblock printing follows PBR and is based on the processes of woodblock printing in the real world, generated images have high physical fidelity and good appearance. An application to produce Japanese traditional printing 'Ukiyo-e' utilizing the proposed method, and problems and future studies for the method are also introduced.

キーワード: 仮想彫刻, 仮想木版画, 仮想浮世絵, 非写実的画像合成, 物理モデル駆動

Keywords: Virtual Sculpting, Virtual woodblock Printing, Virtual Ukiyo-e, Physics-Based Rendering

1 はじめに

コンピュータグラフィックスにおける非写実的画像合成法 (NPR: non-photorealistic rendering)[12] は旧来の写実的画像合成法 (PR: photorealistic rendering) の対極にあり、その基本手法はかなり異なったアプローチが採用されてきた。これまでの NPR の目的は二つに大別される。すなわち、scientific visualization あるいは医用三次元画像表示などにおける関心領域の強調などの可視化・強調を目的としたもの、特に絵画などの美術・芸術・工芸技法の模擬を目的としたもの、である。後者を目的とした NPR では、対象とする技法が生み出す視覚的效果を模擬するためにさらに二つのアプローチに大別される。物理モデル駆動による PBR (Physics-Based Rendering) と、目視外観主体駆動による ABR (Appearance-Based Rendering) である。PBR は NPR に分類こそされるが、美術工芸という現実の物理現象のモデル化に基づくという点では、例えば光学現象に基づく光線追跡法やラジオシティ法などと同様なある意味で「写実的手法」であろう。工芸的色彩の強い技法では、その制作過程・工程と、それによる物理的效果・視覚効果が重要である。

筆者らはこれまでに PBR アプローチによる、仮想彫刻 [15, 18, 19] と仮想木版画 [16, 17]、およびその応用に関する研究 [26] を展開している。そこでは特に日本の伝統工芸のひとつである木版画 [1, 2, 3, 4] に注目し、その工程、すなわち画工、彫工、摺工の三工程における作業、技術、現象をモデル化し、また特に摺工における絵の具付着の物理モデルを重視している。このように仮想木版画をコンピュータグラフィックスの一分野として正面から扱った研究プロジェクトは他に類を見ないものである。しかしながら、本プロジェクトに関するこれまでの各論文は個々の要素技術を提案しているが、それらの間の関係、基礎となる概念などは必ずしも自明ではない。そこで本論文では、筆者らのこれまでの仮想

彫刻・仮想木版画に関する一連の研究を全体構想を明確にして体系的に解説するとともに、応用事例特に浮世絵の知的符号化の基本的な考え方と将来展望を紹介する。また、それらの応用事例を通して現在の仮想彫刻・仮想木版画の問題点と検討課題にも言及する。

2 全体戦略

仮想彫刻・仮想木版画の概要は次の通りである。彫刻操作を含む一般の木版画制作過程は、下絵を書く画工、版木を切削する彫工、パレン操作による摺工、の三工程からなる。仮想木版画ではその三工程を重視し、現実世界における木版画制作と同様な過程で版画を制作することを特徴としている。特に摺工における絵の具の付着とそれによる色再現の過程において物理モデルを導入している。本研究では、これらをモデル駆動、特に物理モデルによる画像合成と位置付けており、刷り上がりの版画画像の品質の裏付けとするとともに、過程、工程そのものを模擬することによる様々な効果 (娯楽性、教材利用 [35] など) を期待するものである。また、その基本的な考え方から逸脱しない範囲で、計算機を用いた仮想木版画特有の効果として版木の自動生成などの様々なバリエーションを模索している。

形状表現の一手法として半空間と三値論理代数系に基づく多面体表現 [13] を採用する。これを利用して曲面を含む一般多面体 [14] を定義し、彫刻素材と彫刻刀に対応する部分空間の集合差演算により彫刻操作を表現し、仮想彫刻システム [15, 18, 19] を構築する。次いで、仮想彫刻システムによって版画生成を目的とした版木の切削を試みる。仮想版木の生成方式として、会話型システムによる用手法切削のほか、下絵として入力された画像の特徴量抽出に基づく自動切削 [21, 36]、入力された三次元シーンとカメラパラメータに基づく自動切削 [21] も行う。以上の仮想彫刻あるいは版木切削に関しては 3 で述べる。

仮想版木を仮想彫刻システムにより生成し

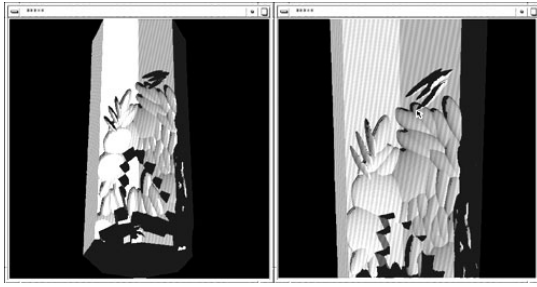


図 1: 画面とマウスによる会話的切削の様子
Fig. 1 Chisel operation by traditional views and a mouse.

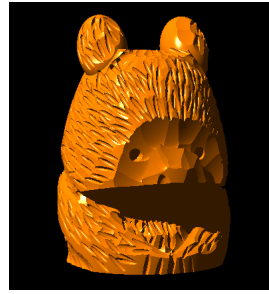


図 2: 用手法切削による
仮想彫刻作品の例
Fig. 2 A virtual sculpture by manual cutting.

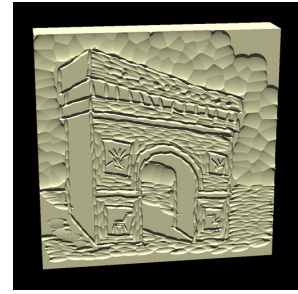


図 3: 用手法切削による
仮想版木の例
Fig. 3 A printing block by manual cutting.

たうえて仮想紙と仮想絵の具，仮想バレンによる仮想摺り操作を行うことで仮想木版画システム [16, 17] の基本アプローチとする．ここでは特に絵の具とその水分量による着色を現実の現象のモデル化 [27, 28] により表現する．以上の摺り操作におけるモデル化と実現方式については 5 で述べる．

本研究プロジェクトでは工程のモデル化と，特に摺りの物理モデルを中心としたモデル駆動をその基盤としている．この考え方を明確に位置付けることと，その実証的応用のひとつとすることを目的として，浮世絵の生成を目指している．そこで，提案法による浮世絵の再現を試み，重要文化遺産の電子保存という目的を意図した浮世絵の知的符号化の可能性 [33, 34] については 5.2 で検討する．

3 彫工: 仮想彫刻と版木生成

3.1 CSG による形状表現と切削方式

筆者らは文献 [13] において平面による半空間プリミティブ，および三値論理代数による CSG とに基づいた多面体の形状表現法と光線追跡アルゴリズムを示した．また，文献 [14] では先の平面を二次関数による二次曲面群に拡張し，曲面多面体の形状表現方式の検討をした．本仮想彫刻はそれらに基づき，例として円柱や直方体をあらかじめ用意された基本

形状とし，楕円体との差演算を繰り返すことにより，彫刻操作とそれによる形状を近似表現した．彫刻刀を表現する楕円体の三軸の長さをパラメータとして変化させることにより，丸刀のバリエーションを表現している．基本形状 R_0 ，彫刻刀形状 C_i による i 回目の切削操作による対象形状 R_i は次のように S 式によって表現できる．

$$R_i = (\text{and } R_{i-1} \text{ (not } C_i)) \quad (1)$$

基本形状と彫刻刀形状に対する内部表現としての平面または二次関数のパラメータ，および，会話的に生成された S 式により彫刻形状が表現されている．仮想版木を切削する場合は基本形状として板状の直方体を使用する．

3.2 用手法切削

仮想版木の切削の基本は，会話的操作による用手法切削である．そのインタフェースとして，表示は視点と視線方向を設定できる複数の三次元投影図，およびマウス操作による切削方式を用いた (図 1)．用手法切削による仮想彫刻作品，仮想版木の例を図 2, 3 に示す．より高い没入感のためには HMD などによる立体視，およびペン型デバイス，データグローブなどによる入力デバイスの利用が望まれる．

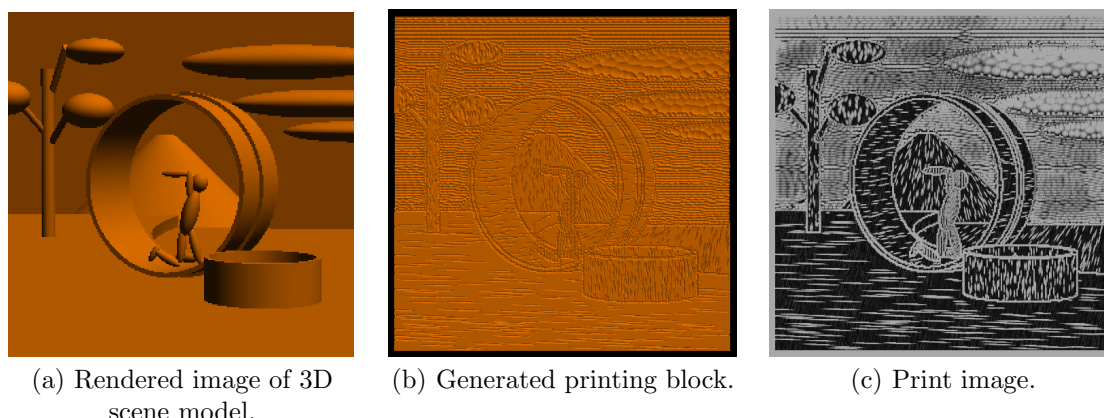


図 4: 3D シーンモデル入力による仮想版木の自動切削
Fig. 4 Automatic printing block carving by 3D-scene model.

3.3 下絵画像入力による自動切削

これは下絵として用意された濃淡画像を入力として、パターン認識による特徴抽出・解析結果に基づいて切削パラメータを決定する方式である。切削パラメータに基づいて、仮想彫刻刀により自動切削を行う。この方式は、「仮想彫師」として実装され、5で述べる浮世絵生成のための版木の自動切削にも用いられる。特徴抽出の概要は以下の通りである [21, 22, 23, 36].

1. 彫刻刀の大きさと深さの決定
2. 強い輪郭の抽出と、その方向に沿った切削
3. グラデーションの抽出と、その方向に沿った切削 (濃度値勾配に平行または垂直)

3.4 下絵画像入力による会話型切削支援

3.3で述べた自動切削方式では、あらかじめ設定された特徴量と切削パラメータにより切削しているため、自由度の点で問題があり、生成する版画画像において作風の固定化をもたらす。その問題点の改善の一方法として切削支援システム [20, 25] を構築した。固定化されていた特徴量と切削方式について多くのパターンを用意し、操作者が適宜選択する方

式である。それらの組み合わせによって自由度が増し、作風の表現が可能となった。

3.5 三次元シーン入力による自動切削

二次元画像などではなく、CSGで記述された三次元シーンを入力し、設定されたカメラパラメータ (視点・視線方向など) に基づくシーンの解釈に基づく切削である [21]。図4 (a) は入力されるCSGによる三次元シーンをレンダリング表示したものである。設定された光源を含む環境パラメータに基づいて仮想スクリーンに投影、自動切削したのが同図 (b) の仮想版木である。後の章で述べる摺り操作によって同図 (c) の仮想版画が生成される。

4 摺工: バレン操作と濃度値決定

4.1 摺り過程の濃度値決定のモデル

摺り過程における重要な物理的現象として、絵の具中の水分率 ω 、紙-版木間の距離 l に対する、着色平均濃度値の変化と、多色刷りで絵の具の重ね合わせの効果があげられる。これらによって刷り上がりの版画で観測される濃度値が決定される。

まず単色刷りに限定すると、版木上の絵の具がバレン操作によって紙に転写される。転

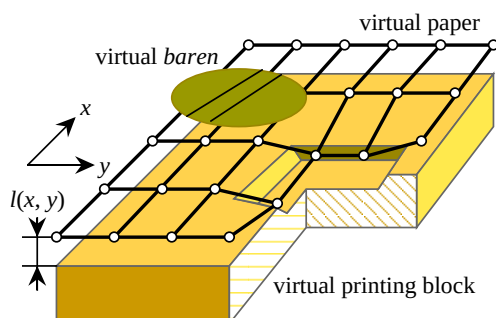


図 5: バレン操作による距離制御
Fig. 5 Distance control by Baren operation.

写された絵の具は、バレン操作の強弱に応じた濃度値で観測される。本手法ではその強弱によって紙-版木間の距離が変化する，すなわち，濃度値 $f(x, y)$ は紙-版木間の距離 $l(x, y)$ の関数であると仮定した。また，絵の具中の水分率もこの観測値に影響を与えることから $f(x, y)$ は水分率 ω の関数でもある。さらに，多版多色摺りの場合では，各色の混合を考慮する。それらは 4.2, 4.3 で紹介する。

4.2 摺り過程の基本物理モデル

本研究では，座標値 (x, y) における水分率 ω と紙-版木間の距離 l による濃度値を表す関数 $f(\omega, l)$ を次のように定めた。すなわち，実際の摺り工程における観測結果に基づいて，連立偏微分方程式 (2), (3) の特殊解である式 (4) によってモデル化した [27]。この詳細については別稿で詳細に検討する予定である。

$$\frac{\partial f(\omega, l)}{\partial \omega} = -k_1(l)\omega \quad (2)$$

$$\frac{\partial f(\omega, l)}{\partial l} = -k_2(\omega)l \quad (3)$$

$$f(\omega, l) = \omega^2 \left[\left(\frac{l}{l_t} \right)^2 - 1 \right] - \left(\frac{l}{l_t} \right)^2 + 1. \quad (4)$$

4.3 多版多色刷りのモデル

式 (4) による各絵の具の濃度値は，それが重ね塗りされた結果が合成色として観測され

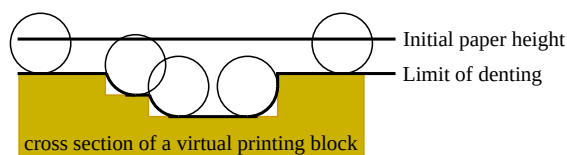


図 6: α -hull による紙-版木間距離の近接限界
Fig. 6 Limitation of denting by α -hull.

る [10, 11]。この多色刷りのモデルとして次のような仮説 [24, 29, 30, 31] を検討した。すなわち，重ね塗された上層の絵の具の粒子の間隙を通して，下層の絵の具の粒子が観測され，結果として次式の色値 $f(x, y)$ が観測されると仮定する。

$$f(x, y) = f_n(x, y) \quad (5)$$

$$f_i(x, y) = \rho_i C_i(x, y) + (1 - \rho_i) f_{i-1}(x, y)$$

$$f_0(x, y) = C_p$$

ここで $f_i(x, y)$ は第 i 層までにおいて観測される色値， $C_i(x, y)$ は第 i 層の絵の具の色値， C_p は紙の色値， ρ_i は第 i 層の絵の具の粒子密度，すなわち単位面積当たりに粒子が占有する割合である。

このモデルを用いた色合成は重要な課題である。また，版木の自動生成において，この色合成の逆問題としての限定色 [9] に基づく自動色分解は興味ある課題である。

5 浮世絵の知的符号化

5.1 浮世絵とその保存

浮世絵 [4, 5, 6] は江戸時代初期に錦絵の一つ，肉筆浮世絵として上流社会に導入された。江戸時代中期に木版画技術が取り入れられて大量生産が可能となると庶民が入手することも容易となった。元禄以後，多版多色木版画技

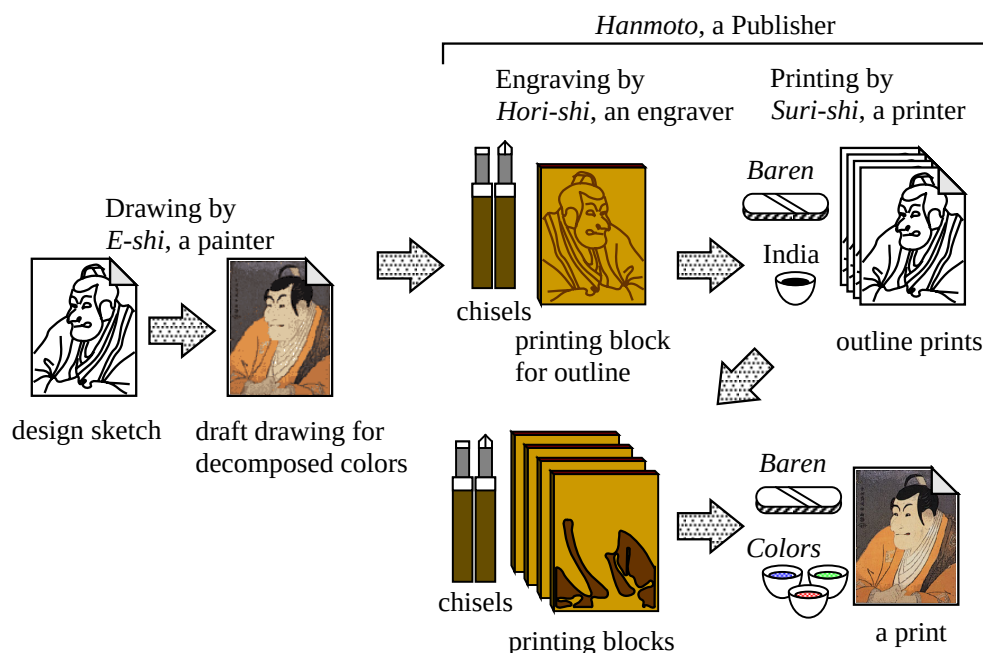


図 7: 実際の浮世絵版画の制作工程
Fig. 7 The process to produce an actual *Ukiyo-e* print.

術が完成の域に達すると一挙に流行し、伝統工芸としての地位が確固なものとなった[7, 8].

浮世絵は版元のマネージメントにより、絵師、彫師、摺師により作成された。絵師は浮世絵の原作者として位置付けられ、彫師は絵師の下書きに基づいて版木を彫る。さらに絵師の色指定・技法指定により摺師が印刷を行う。ひと組の版木からは通例 200~300 枚の浮世絵が刷られたとされている。しかしながら明治維新以後の海外流出、第二次世界大戦における焼失などにより現存する浮世絵はごく僅かにすぎないことは衆知の通りである。もちろん版木に至っては木製の消耗品であるため使用できないし、例えば良好に保存されていたとしてもその文化遺産的価値からその再利用は不可能である。そのため、現存する浮世絵からの模写、すなわち後世の彫師・摺師の手によるいわゆる復刻版も数多く流通しており、それらに対しても一定の意義・価値が認められている。ただ、復刻版ではオリジナルの版木における木目などの効果が正確でないし、高度な摺り技法などの再現もかなり困難

とされている。

5.2 知的符号化の方法

本研究の応用例として、知的符号化に基づく浮世絵の電子保存 [33, 34] を行う。すなわち、他の絵画作品の保存で行われているような画像形式での保存ではなく、浮世絵の特徴を活かした保存を行う。同一の版木から作成された版画は同一のものではなく、その一枚一枚に固有の価値がある。絵画・フレスコ画・壁画などの電子保存にみられるデジタル画像による保存はその単なる表面的な複製に過ぎないため、浮世絵を代表とする版画などの電子保存には必ずしも最適ではない。そこで、現存する版画に基づいて版木を逆問題として推定し、その仮想版木に基づいた摺り操作を行えば、多版多色木版画としての浮世絵の特質を生かした一電子保存方法となろう。この版木推定問題を浮世絵の知的符号化という位置付けで検討する。一旦、仮想版木が生成されれば、仮想木版画技術により浮世絵が仮想

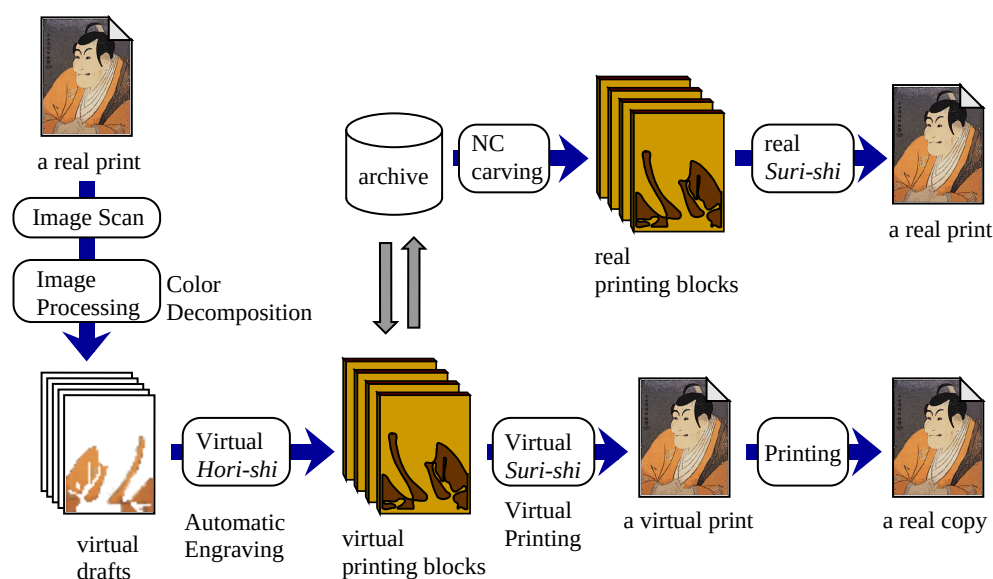


図 8: 浮世絵の知的符号化による保存プロジェクトの概要
Fig. 8 Overview of the *Ukiyo-e* preserving project.

空間で再現できるとともに、仮想版木を NC 工作機械等によって現実のものとすれば、現実の摺師によって本物の浮世絵復刻版を生成することもできる (図 8)。すなわち単なる画像の保存に留まらず、生成過程までもを含めた浮世絵文化の保存という点で意義がある。

5.3 予備実験

図 9 は、仮想木版画システムを利用した本計画の予備実験 [35, 37] の結果である。図 9(a) は原画像として用いた書籍掲載写真 [7]、図 9(b), (c), (d), (e) は自動切削した仮想版木群、図 9(f) は仮想摺師による最終作品である。予備実験のため、原画像および生成画像の解像度は 512×512 画素とした。図 9(a) において濃色部分が ROI である。また、色分解はオリジナルのものとは異なり、実験者による目視判断とした。例えば、図 9(a) に示した浮世絵のオリジナルでは藍、代赭、薄墨、藍草、淡藍、藍、濃藍の 7 版 6 色 [7] であるが、今回の実験では 4 版 4 色としている。図 10, 11 には他の実験例を示す。

5.4 検討

以下、本予備実験で得られた知見を示す。

解像度:

実際の浮世絵では、図 9(a) などで用いられた大判・錦絵とよばれるサイズで約 $26.3 \text{ cm} \times 39.3 \text{ cm}$ である [8]。今回の実験では縦横画素数ともに 512 としたため、約 50dpi に相当する。生成画像の解像度として仮に比較的低解像度の印刷などで使用されている 600dpi を目標と定めても、その画像サイズは 6212×9283 画素程度となる。このような大規模画像の入力に伴う、特に仮想版木自動生成部における色分解と特徴抽出での大規模画像処理のコスト (メモリ、計算量とも) の削減が重要課題となる。

色分解と色合成:

版木情報が全くない条件での版木推定は困難を極める。特に版木の数と色の推定は容易ではない。ただ、古来の日本の絵画・版画ではその絵の具となる顔料が伝統色 [9] としてかなり限定されている。それによる拘束条件と経年変化を考慮した色分解、色合成法が期待される [29, 30, 31]。

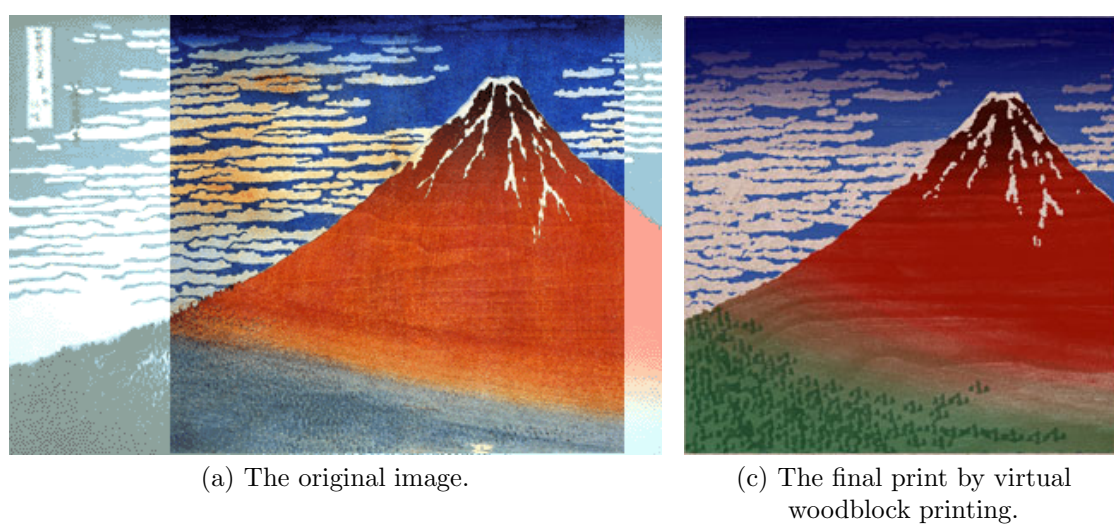
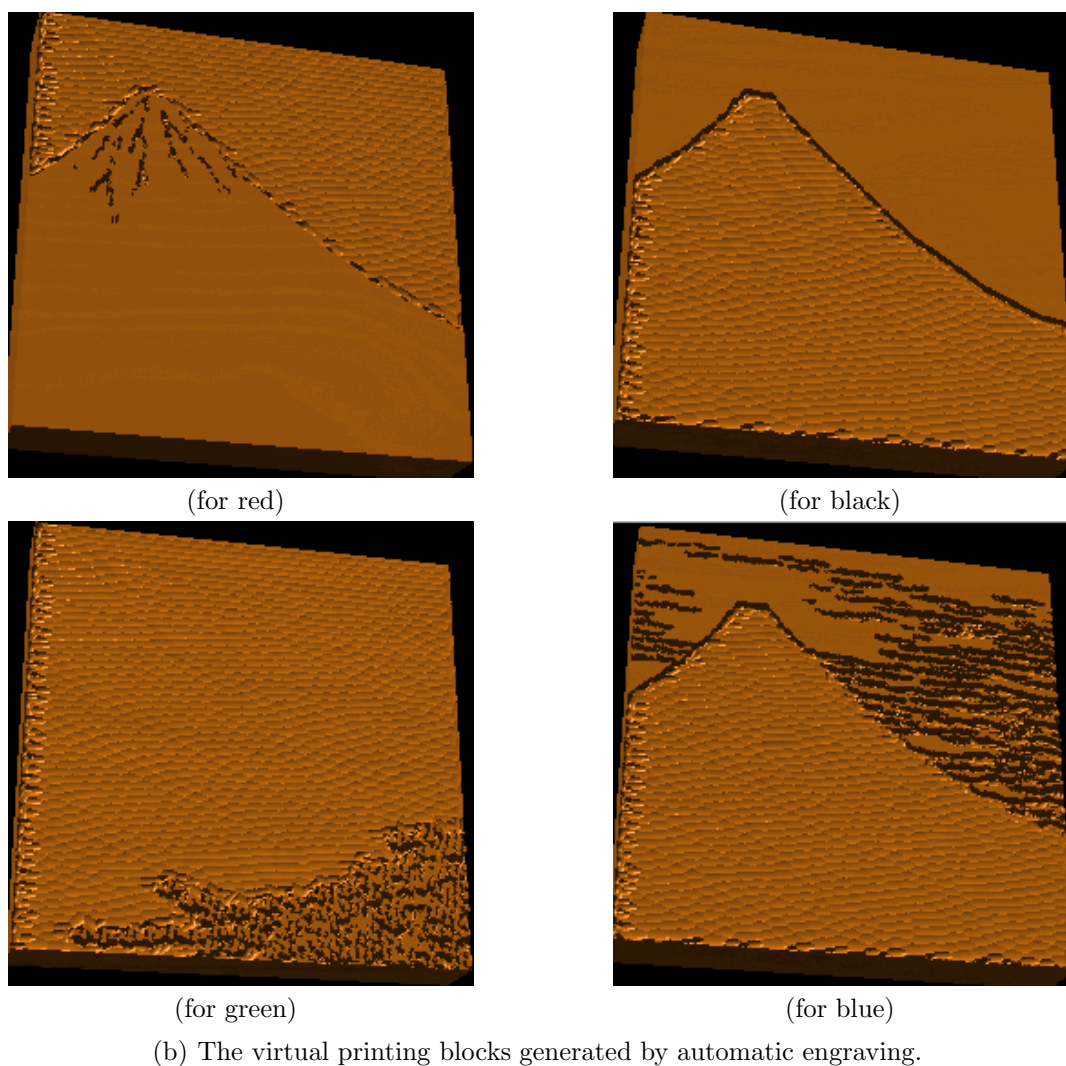


図 9: 富嶽三十六景: 凱風快晴 (葛飾北斎) による浮世絵の再現実験結果
 Fig. 9 An experimental result of virtual printing for an *Ukiyo-e*: 'Red Fuji' from 'The Thirty-Six Views of Mt. Fuji' by Hokusai.



(a) The original.



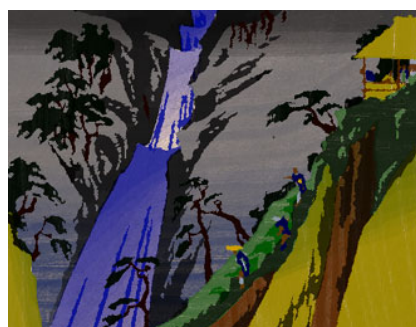
(b) Produced copy by the method.

図 10: 東海道五十三次: 蒲原夜の雪 (歌川広重) に基づく実験結果

Fig. 10 An experimental result for an *Ukiyo-e*: ‘Night Snow at Kanbara’ in ‘The Fifty-Three Stations on the Tokaido’ by Hiroshige.



(a) The original.



(b) Produced copy by the method.

図 11: 本朝名所: 摂州布引の瀧 (歌川広重) に基づく実験結果

Fig. 11 An experimental result for an *Ukiyo-e*: ‘Nunobiki Waterfall in Sesshu’ in ‘Honcho-Meisho’ by Hiroshige.

特殊効果:

木目の効果, 暈し刷りなどの特殊効果と顔料発色の分離は詳細なモデルによる検討を必要とするであろう. 同様に経年劣化, 変色, 汚れと本来の色合成・版木生成の分離は興味ある課題である.

切削痕形状:

現在の版木切削は楕円体の仮想彫刻刀, すなわち版木素材と楕円体との差演算に基づいている. しかしながら, 浮世絵においては切り出しなどによる連続的な直線, 曲線の構成要素が多く, 楕円体による形状表現には限界がある. 現在, Bezier 曲線による切削痕表現

の検討を開始している.

6 まとめ

モデル駆動アプローチに基づく仮想彫刻と仮想木版画の一実現法について解説した. 版画は絵画などとは異なり, 工芸的色彩が強く制作工程が重要であること, 多数の版画が制作されるがそれらは一枚一枚に固有の価値があること, という特徴がある. 制作工程, および特に摺りにおける絵の具の発色をモデル化したことにより, そのような版画の特徴を活かした画像合成が行えたものと言える.

提案法による日本の伝統工芸である浮世絵の生成と知的符号化への応用の基礎実験を試みたが、現時点での生成画像の品質はさておきその可能性は十分に示唆された。しかしながら、解像度、切削痕形状、色分解と色合成における問題点など、改善の余地の大きさを思い知る結果となった。Bezier 曲線による切削痕表現、伝統色に限定した色分解と色合成、さらに各種の特殊な摺り技法の検討とモデル化も重要課題として研究を進めている。

本研究の他の工芸技術への直接的な応用の可能性として、シルクスクリーン、銅版画、インタグリオ (エッチング)、リソグラフなどがある。しかしこれらは版画としての側面よりも印刷技術としての側面が強く、特に浮世絵にみられる個々の摺りの価値のような特徴は必ずしも大きくないという点で NPR の対象としての意義は検討を要する。それぞれの工芸の特徴を活かした研究が望まれよう。

謝辞

本研究の実験・検討に協力戴いた、(株) ソニー・大河内俊雄、(株) ホーユー・牛田明秀の各氏に感謝する。また本研究の一部は、文部科学省・日本学術振興会科学研究費、中山隼雄科学技術文化財団、(財) 大川情報通信基金の助成により行われた。

参考文献

- [1] 多摩美術大学校友会編: “新しい木版画入門”, 誠文堂新光社 (2000-3)
- [2] 北岡文雄: “木版画 – 間接法芸術としての彫りと摺りのテクニック”, 創元社 (1979-11)
- [3] 黒崎彰: “木版画 – その基本と実際”, 六曜社 (1998-6)
- [4] H. Munsterberg: “The Japanese Print – A Historical Guide”, Weatherhill (1982)
- [5] R. Faulkner: “Masterpieces of Japanese Prints – Ukiyo-e from the Victoria and Albert Museum”, Kodansha Ltd. (1991)
- [6] G. Fahr-Becker: “Japanese Prints”, Taschen (1999)
- [7] 小林忠, 他: “浮世絵の歴史”, 美術出版社 (1998)
- [8] 小林忠, 大久保純一: “浮世絵の鑑賞基礎知識”, 至文堂 (2000)
- [9] 福田邦夫: “日本の伝統色 – 色の小辞典”, 読売新聞社 (1987-5)
- [10] 鈴木輝實: “透明水彩混色教室”, グラフィック社 (1999-4)
- [11] グラフィック社編集部編: “油彩・水彩・デッサン&スケッチ – 画材全科”, グラフィック社 (1995-5)
- [12] 大野義夫: “フォトリアルでない CG 画像表現の手法について”, 情報処理学会研究報告, グラフィクスと CAD 研究会, 95-CG-76-1, pp. 1-7 (1995)
- [13] 岡田稔, K-E. Kim, 鳥脇純一郎: “半空間プリミティブと 3 値論理代数系に基づく多面体の記述”, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 8, pp. 1583-1592 (1997-8)
- [14] 水野慎士, 岡田稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “曲面多面体の CSG モデリングに関する一考察”, 電子情報通信学会技術報告, パターン認識・理解研究会 PRU94-88, pp. 23-30 (1994-12)
- [15] 水野慎士, 岡田稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “仮想彫刻 – 仮想空間における対話型形状生成の一手法”, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 12, pp. 2509-2516 (1997-12)
- [16] 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎: “仮想彫刻システムを用いた版画画像の生成”, 画像電子学会誌, Vol. 26, No. 4, pp. 325-332 (1997-8)
- [17] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: “Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing”, *Visual Computer: Int'l J. of Computer Graphics*, Vol. 14, No. 2, pp. 39-51 (1998-6)
- [18] 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎: “EURO-GRAPHICS'99 : An Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing”, グラフィクスと CAD / Visual Computing 合同シンポジウム'99 招待講演 (1999-6)
- [19] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: “An Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing”, *Computer Graphics Forum: The Int'l J. of*

- the EuroGraphics Association*, Vol. 18, No. 3, pp. 184–193, 409 (Sept. 1999)
- [20] S. Mizuno, S. Yamamoto, M. Okada and J. Toriwaki: “An Interactive CG System based on Virtual Sculpting and Virtual Woodblock Printing”, *Proc. of SMC’2000 - 2000 IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conf.*, Vol. 2, pp. 977–982 (Oct. 2000)
- [21] 水野慎士, 大河内俊雄, 岡田稔, 鳥脇純一郎: “濃淡画像及び三次元モデルに基づく仮想版木の自動生成法”, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 10, pp. 3483–3492 (1999-10)
- [22] 水野慎士, 笠浦毅, 大河内俊雄, 山本真司, 岡田稔, 鳥脇純一郎: “EUROGRAPHICS2000: Automatic Generation of Virtual Woodblocks and Multicolor Woodblock Printing”, *グラフィクスとCAD / Visual Computing 合同シンポジウム 2000 (招待講演)*, pp. 101–106 (2000-6)
- [23] S. Mizuno, T. Kasaura, T. Okouchi, S. Yamamoto, M. Okada and J. Toriwaki: “Automatic Generation of Virtual Woodblocks and Multicolor Woodblock Printing”, *Computer Graphics Forum: The Int’l J. of the EuroGraphics Association*, Vol. 19, No. 3, pp. C51–C58, C521 (Aug. 2000)
- [24] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: “Multi-color Woodcut Printing”, *Proc. of VSMM’99 - 5th Int’l Conf. on Virtual Systems and MultiMedia 1999*, pp. 523–530 (Sept. 1999)
- [25] 大河内俊雄, 岡田稔, 水野慎士, 鳥脇純一郎: “仮想版画 — 自動切削による仮想版木作成支援と多版多色刷りの検討”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J83-D-II, No. 12, pp. 2698–2706 (2000-12)
- [26] 伊藤寛真, 水野慎士, 岡田稔: “仮想彫刻と仮想版画による仮想空間における形状創成と非写実的画像合成”, 情報処理学会研究報告, *グラフィクスとCAD 研究会*, 01-CG-102-2, pp. 7–12 (2001-2)
- [27] 牛田明秀, 水野慎士, 岡田稔: “仮想木版画における物理モデルの基礎検討”, 情報処理学会研究報告, *グラフィクスとCAD 研究会*, 01-CG-102-3, pp. 13–18 (2001-2)
- [28] S. Mizuno, A. Ushida, S. Yamamoto, M. Okada, J. Toriwaki: “Improvement of the Printing Model in Multi-colored and Multi-woodblock Virtual Printing”, *Proc. of Eurographics 2001 (Short Presentations)*, pp. 149–154 (Sept. 2001)
- [29] 薮腰梨里, 水野慎士, 岡田稔, 吉村ミツ: “多版多色刷り仮想版画における色の分解と合成”, 平成 12 年度電気関係学会東海支部連合大会, No. 740, p. 370 (2000-9)
- [30] 岡田稔, 水野慎士: “水彩絵の具の重ね合わせ効果とその表現に関する検討”, 情報処理学会第 62 回全国大会特別トラック (2) 講演論文集 (慶応義塾大学), No. 1D-03, pp. 9–12 (2001-3)
- [31] 水野慎士, 岡田稔: “多版多色刷り仮想版画における色合成の改良”, 電子情報通信学会総合大会 (立命館大学), No. D-12-88, p. 255 (2001-3)
- [32] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: “Virtual Sculpting and Virtual Woodblock Printing as a Tool for Enjoying Creation of 3D Shapes”, *FORMA*, Vol. 15, No. 1, pp. 29–39 (May 2000)
- [33] 梨谷克仁, 水野慎士, 岡田稔: “知的符号化に基づく浮世絵の保存の一方法”, 情報処理学会研究会資料, *グラフィクスとCAD 研究会*, 01-GCAD-104-7, pp. 25–28 (2001-9)
- [34] M. Okada, S. Mizuno and J. Toriwaki: “Digital Ukiyo-e Preserving Project: Intelligent Coding and Constructing Archives of Printing Blocks”, *Proc. of VSMM2001 - 7th Int’l Conf. on Virtual Systems and Multi-Media 2001*, pp. 209–217 (Sept. 2001)
- [35] S. Mizuno, M. Okada, S. Yamamoto and J. Toriwaki: “Japanese Traditional Printing “Ukiyo-e” in a Virtual Space”, *FORMA*, Vol. 16, No. 4, pp. 233–239 (Dec. 2001)
- [36] S. Mizuno, A. Kasaura, M. Okada, S. Yamamoto and J. Toriwaki: “Automatic generation of woodblocks for virtual printing”, *Proc. of ICPR2000 - 15th Int’l Conf. on Pattern Recognition*, Vol. 4, pp. 459–462 (Sept. 2000)
- [37] S. Mizuno, M. Okada, S. Yamamoto and J. Toriwaki: “Improvement of the Virtual Printing Scheme for Synthesizing Ukiyo-e”, *Proc. of ICPR2002 - 16th Int’l Conf. on Pattern Recognition*, (to appear, Aug. 2002)