

# 仮想版画における濃淡画像および三次元モデルに基づく 仮想版木の自動生成法

水野 慎士<sup>†</sup> 大河内 俊雄<sup>††</sup>  
岡田 稔<sup>†††</sup> 鳥脇 純一郎<sup>††</sup>

本論文では、フォトリアルでない画像生成法の1つとして木版画風画像合成を取り上げ、任意の濃淡画像および三次元モデルの入力に基づき版画画像を自動合成するための手法を提案する。本手法は仮想空間内に定義された版木を用いた版画画像合成手法を応用したものであり、仮想版木を自動で作成することにより、版画画像を得る。濃淡画像に基づく手法では、与えた画像の特徴量により、仮想版木を作成するための彫刻刀の大きさ、切削領域、方向などが決定される。また、三次元モデルに基づく手法では、三次元物体表面の法線方向や切削パラメータにより彫刻刀が決定される。作成された版木は、仮想ばれんと仮想紙を持つ仮想版画システムによって使用され、版画画像が印刷される。提案手法は非写実的な画像合成の一手法として有用である。

## Automated Generation of a Virtual Printing Block from a Gray Value Image or a 3D Model in Virtual Woodcut Printing

SHINJI MIZUNO,<sup>†</sup> TOSHIO OHKOUCHI,<sup>††</sup> MINORU OKADA<sup>†††</sup>  
and JUN-ICHIRO TORIWAKI<sup>††</sup>

In this paper, we propose a method of synthesizing virtual woodcut prints by inputting either gray value images or 3D models. As an extension of our former study in the manual virtual carving, these alternatives are aimed to produce the woodcut effects automatically. In the gray value method, the size of the chisel, and the area and direction of the carving are decided by the features of the given image. In the 3D model method, normal vectors of given 3D objects and their carving parameters are used to produce a printing block. Virtual printing is completed by our virtual printing system with a produced virtual printing block, a virtual paper, and a virtual printing blush. The proposed method is useful to generate non-photorealistic CG images.

### 1. ま え が き

コンピュータ・グラフィクス (CG) において、フォトリアルな画像生成に関する研究は非常に熱心に行われてきており、その進歩はめざましい。そのため多くの分野で利用されており、特に映画の特殊撮影などでは必要不可欠なものとなっている。その一方で、現実の日常世界ではイラストや芸術作品など写真以外の表現も多く用いられており、こうしたフォトリアルでない表現を CG によって再現することの必要性が唱えられ、研究者の関心を集めている<sup>1)</sup>。そして、フォトリアル

でない画像を生成する研究がいくつか報告されている。たとえば、二次元画像を与えてこれを絵画風の画像に変換する手法があり、油絵風の画像生成などに応用されている<sup>2),3)</sup>。また、三次元形状データを与え、レンダリングの際に各種絵画風の画像を生成する手法や<sup>4),5)</sup>、輪郭や陰影の強調によって人が理解しやすい画像を生成する手法の研究<sup>6)</sup>が報告されている。さらにペンや筆などの筆跡パターンを用意しておき、対話操作的に画像を生成する手法もある<sup>7),8)</sup>。

このようなフォトリアルでない画像生成方法の1つとして、我々は木版画風の画像 (以下、版画画像) の合成に関する研究を行っている<sup>9),10)</sup>。これは、我々が開発した仮想彫刻システム<sup>11),12)</sup>を用いて三次元仮想空間内に作成した版木に基づき、版画画像を合成するシステムである。それは平板を彫刻刀で削って版木を作成し、墨を塗った版木の上に紙を置いてこれをばれんとこする、という木版画の作成過程をコンピュータ上

<sup>†</sup> 豊橋技術科学大学情報処理センター

Computer Center, Toyohashi University of Technology

<sup>††</sup> 名古屋大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagoya University

<sup>†††</sup> 中部大学工学部

College of Engineering, Chubu University

で再現することにより、対話的に版画画像を得るものであった。しかしながら、版画画像の合成を目的とするならば、仮想版木は必ずしも人が直接作成する必要はなく、自動的にコンピュータで生成してもよい。人の手による版木作成は仮想版画においてもかなり時間や手間のかかる作業であるが、仮想版木の自動生成はその手間を大きく軽減し、版画作成をより手軽なものにする。また、コンピュータによる新たな作品イメージの創造も期待できる。

そこで、本論文では仮想版木の作成をユーザが対話的に行うのではなく、自動的に版木を作成するための2手法、すなわち、(1)濃淡画像からの版木自動生成法<sup>13)</sup>、(2)三次元形状モデルからの版木自動生成法<sup>14)</sup>、について考察する。第1の手法では与えた濃淡画像の小領域における画像特徴量を求め、その値より仮想空間内に用意した平板の対応する領域での切削方法を自動的に決定する。そして、この操作を濃淡画像全体に対して行うことにより、与えた濃淡画像に対応する仮想版木を作成する。作成した版木を版画画像合成システム<sup>9),10)</sup>において用いることにより、与えた画像を版画風に交換させた画像を得ることができる。第2の手法として、濃淡画像のかわりに三次元形状モデルを与えることにより、仮想版木を自動的に作成する手法についての検討を行う。ここでは物体をスクリーンに投影したと仮定し、物体の形状(法線)および表面属性に基づいて仮想平板の各点における切削方法を決定する。そして、この操作をスクリーン全体に対して行うことにより仮想版木を作成する。この版木を用いることにより、三次元モデルに対応した版画風レンダリング画像を得ることができる。本研究は、木版画作成の3つの要素である「下絵描き」、「彫版」、「刷り」の1つである「彫版」を自動的に行うものである。彫版は版画の作風を大きく左右する要素であり、その表現方法は多種多様である。単色刷りの木版画は基本的に描画対象の二値化や単色化と考えられるが、本研究では、一般的な木版画における「下絵」に対する典型的な彫版手法を実現する。すなわち、木版画は用いる版材によって大きく板目版画と木口版画に分けられるが<sup>15)</sup>、日本古来の手法である板目版画で多く見られる輪郭および切削方向による描画対象の表現、そして西洋で発展した木口版画で多く見られる、緻密な切削による濃度変化の表現を行う。そして、「刷り」の要素も加えることで木版画独特の画像生成を実現する。

以下、本論文では、2章で仮想版画の概要について述べ、3章では濃淡画像に基づく仮想版木自動生成法について述べる。さらに4章で三次元モデルに基づく

仮想版木自動生成法について述べ、5章で両手法による版画画像合成の実験を行い、版画作品の例を示す。

## 2. 仮想版画合成の概要

### 2.1 仮想彫刻と仮想版画

仮想版画を合成するには、実際の版画と同様に仮想空間内に定義された「版木」、「紙」、「ばれん」を用いて作成する<sup>9),10)</sup>。

まず仮想彫刻システム<sup>11),12)</sup>を用いて仮想版木を作成する。仮想彫刻システムは三次元空間内に用意した彫刻素材を、1個の楕円体で定義された仮想彫刻刀によって切削あるいは付加するという操作を繰り返すことによって物体形状を生成するシステムである。なお、切削は彫刻刀内部の部分素材から取り除くことによって、付加は同じ内部を素材に付け加えることによって実現される(図1)。仮想彫刻刀として楕円体を用いた理由の1つは、実際に木を彫刻刀の丸刀で切削した表面形状が楕円体に似ていることである。仮想版木は、彫刻素材として平板を用い、その片面を仮想彫刻システムで切削するが、実際に木を切削して作成した版木と似た表面形状が作成される。また、木目による表面の凹凸も与えている。

仮想紙は、二次元格子で構成されたデジタル画像で表現され、仮想彫刻システムで作成した仮想版木上に置かれる。仮想紙の各格子点は、ユーザによる仮想ばれんの操作によって仮想版木に対して垂直方向に移動する。このとき、紙の変形量を制限することにより、版木形状とばれん操作に対する仮想紙の変形を実際の紙に近いものにしていく。ばれん操作に対して、各格子点ごとに版木表面との距離に基づいて黒色濃度値が求められ、版画画像が逐次合成される(図2)。

以上のような手法によって合成される仮想版画は、ばれん操作および版木形状や木目による摺りむらを実現し、実際の木版画の雰囲気によく似た画像となる

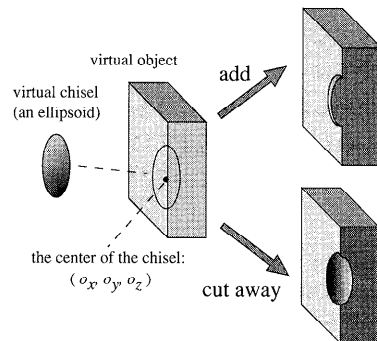


図1 仮想彫刻刀による切削と付加

Fig. 1 Cutting away and adding a virtual chisel.

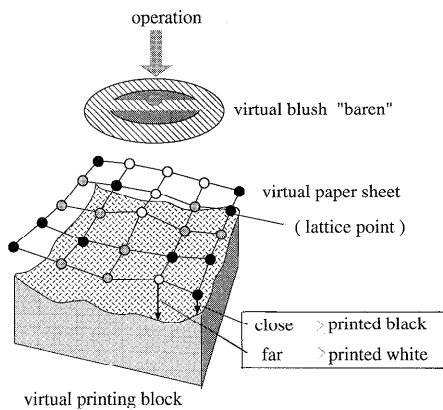


図2 仮想版画  
Fig. 2 The virtual woodcut print.

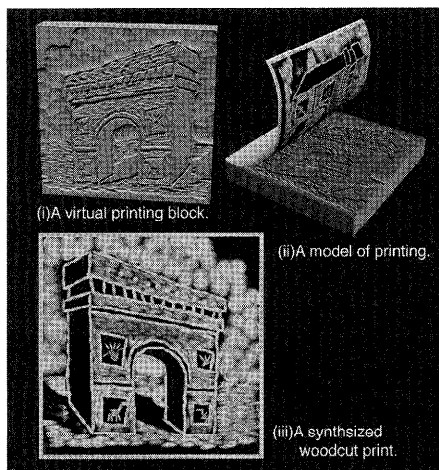


図3 手彫りの仮想版画の例  
Fig. 3 An example of virtual printing with a printing block generated by a user.

(図3). 仮想版木作成から版画画像作成までの流れを  
図4に示す.

### 2.2 仮想版木自動生成と意義

従来の手法では、ユーザ自身が仮想彫刻システムを対話的に操作して平板を切削することにより仮想版木を作成していた。本論文の提案手法では、仮想彫刻システムを拡張して、濃淡画像または三次元形状モデルを版木の下絵として与えることにより、それから自動的に平板の切削を行い仮想版木を作成する。ここで、木版画の一般的な特徴である、下絵の輪郭の切削や切削法による濃淡表現を仮想版木に対して行う。作成された仮想版木を用いて版画画像を合成する部分については従来の版画合成システムを用いており、新たな変更はない。

なお、版画画像の合成は仮想版木などを用いない手法も考えられるが、本手法では、実際の版画作成と同様の手順に基づくことにより、「下絵描き」、「彫版」、「刷り」のそれぞれが重要な要素である木版画制作において、好みの作風を実現する制作手順を考察しやすい。また、版木の削り方およびばれんの使用法による「板ばかし」などの木版画独特の手法<sup>15)</sup>も、特別な拡張をすることなく再現可能である。

### 3. 濃淡画像からの版木自動作成法

#### 3.1 基本的な考え方

本手法は、写真などの濃淡画像を入力して、その画像の特徴量から、輪郭として切削する部分や濃淡表現のために切削する部分を抽出して、用いる彫刻刀の刃先である楕円体の大きさや切削方向などを決定し、仮想空間内の平板を自動的に切削することにより仮想版木を作成する。作成された仮想版木を用いることで、与えた濃淡画像を木版画風に変換した画像が得られる。

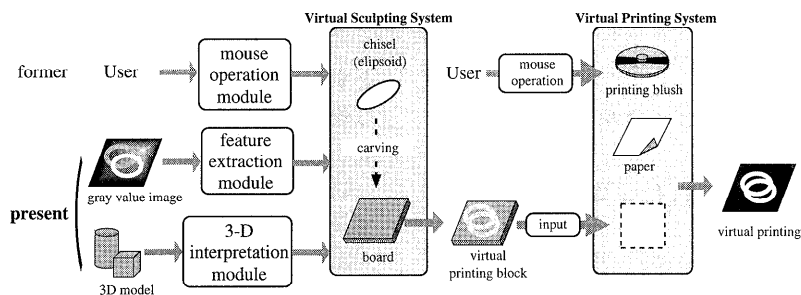


図4 仮想彫刻と仮想版画システムの概要  
Fig. 4 Schematic diagram of the virtual sculpting and printing system.

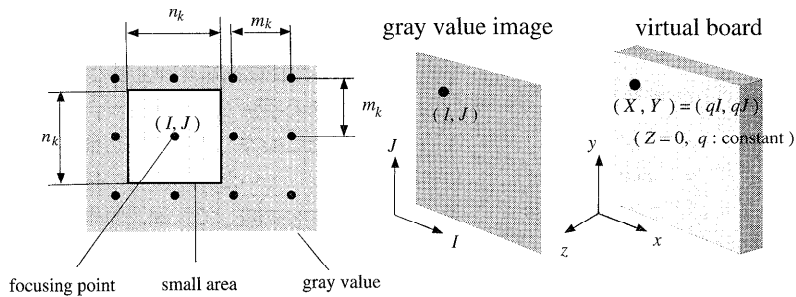


図5 濃淡画像の小領域

Fig. 5 Small area of the gray value image.

与えた濃淡画像において適当な画素間隔 ( $m_k$ ) ごとに切削を行うための注目画素 ( $I, J$ ) を定め、その周囲の  $n_k \times n_k$  画素の正方形小領域における画像特徴量を求める。ここで、 $k=0, 1$  であり、それぞれ後述する輪郭部および濃淡部を表す。また、平板は仮想空間内の  $x-y$  平面に平行に置かれている。そのため、各注目画素は平板上の1点  $(X, Y)$  と対応している (図5)。

求めた画像特徴量によって注目画素に対応する平板上の点における切削の有無、使用する彫刻刀の種類、切削方向、切削の深さなどを決定する。これらの操作を濃淡画像全域において行うことにより仮想版木が作成される。

どの位置をどのように切削するかについては、以下に述べるように、注目画素とその周囲の小領域を用いて輪郭部と濃淡部を選択し、それぞれに対応して切削法の中から詳細を定める。

### 3.2 画像特徴量

画像特徴量は注目画素の周囲の正方形小領域に対して求める。求める特徴量は、黒色濃度値の平均、分散、勾配ベクトルである。ここで、小領域の各画素の黒色濃度値を  $f_{ak}(i, j)$  ( $0 \leq i, j \leq n_k - 1$ ,  $0 \leq f_{ak}(i, j) \leq 1$ ) とする。このとき、濃度平均値  $\mu_k$ 、濃度値分散  $\sigma_k^2$  は、

$$\mu_k = \frac{1}{n_k^2} \sum_{i,j} f_{ak}(i, j)$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n_k^2} \sum_{i,j} (f_{ak}(i, j) - \mu_k)^2$$

と定義する。また、濃度勾配ベクトル  $\mathbf{g}_k = (g_{xk}, g_{yk})$  は、

$$g_{xk} = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \left\{ f_{ak}(i, j) \cdot \left( i - \frac{n_k - 1}{2} \right) \right\}$$

$$g_{yk} = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \left\{ f_{ak}(i, j) \cdot \left( j - \frac{n_k - 1}{2} \right) \right\}$$

$$N = \begin{cases} \frac{1}{8} n_k^3 & (n_k : \text{even}) \\ \frac{1}{8} (n_k^3 - n_k) & (n_k : \text{odd}) \end{cases}$$

と定義する。このとき、

$$-1 \leq g_{xk}, g_{yk} \leq 1, \quad 0 \leq |g_k| \leq 1$$

を満たす。

### 3.3 輪郭部の切削

本手法では、左上から右下に向かって与えられた濃淡画像を2回走査する。最初の走査で、与えた濃淡画像から輪郭部を抽出して切削を行う。輪郭部は濃淡画像に対して  $n_0 \times n_0$  画素の正方形小領域を  $m_0$  画素間隔で定めたとき、各小領域における濃度勾配ベクトルの大きさがしきい値  $g_{t0}$  に関して、

$$|g_0| \geq g_{t0}$$

を満たす小領域と定義する。小領域が輪郭部と判定された場合、その対応する平板上の領域に対して切削操作が行われる。このときは大きさ固定の輪郭切削用の彫刻刀 (楕円体) が用いられるが、この楕円体は小さくて深く切削できる形状である。切削方向は平板法線を軸とする回転だけを考え、濃度勾配ベクトルに対して直角方向とする。ここで、切削方向は彫刻刀楕円体の長軸の方向である。また黒色部分を保護するため彫刻刀楕円体の中心は濃度勾配ベクトルの反対方向に少しずらす。つまり、輪郭切削楕円体の中心の  $x, y$  座標を、

$$(o_x, o_y) = \left( X - t \cdot \frac{g_{x0}}{|g_0|}, Y - t \cdot \frac{g_{y0}}{|g_0|} \right)$$

$$(t : \text{constant})$$

とする (図6)。なお、彫刻刀楕円体の中心の  $z$  座標は仮想平板表面上に固定され、長軸は平板表面上に存在している。

以上の操作を各小領域に対して順に行うことにより、濃淡画像全体における輪郭の切削を行う。

### 3.4 濃淡部切削の概要

濃淡画像全域について輪郭部の切削が終了した後、2回目の走査を行って濃淡部の切削を行う。これは、基本的には与えられた画像の淡い部分は深く、濃い部分は浅く切削することを目的とし、木口版画における緻

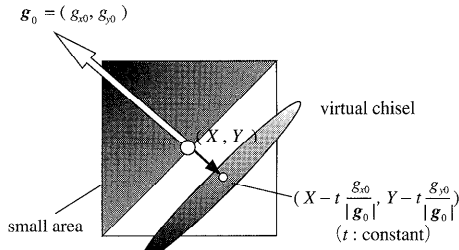


図6 輪郭部の切削  
Fig. 6 Carving at an edge area.

密な切削による濃淡表現に対応する。濃淡部は濃淡画像に対して  $n_1 \times n_1$  画素の正方形小領域を  $m_1$  画素間隔で定めるとき、各小領域における黒色濃度平均があるしきい値  $\mu_t$  により、

$$\mu_1 \leq \mu_t$$

を満たす小領域である。小領域が濃淡部と判定された場合、即座に対応する平板上の点の切削を行う。この操作を各小領域に対して順に行うことにより、濃淡画像全体における濃度に応じた切削を行う。

与えられた濃淡画像の濃度値の分布で描かれた形状を版画で表すためには、抽出された濃淡部ごとの平均濃度値に応じた切削が必要になる。版画による濃淡の表現方法にはいくつか考えられ、作風を定める要素の1つと考えられる。本論文では、(1) 切削の深さ、および、(2) 切削面積、によって版画画像の濃淡を表すことにした。

(1) の切削の深さによって濃淡を表現する場合、仮想平板表面の  $z$  座標を 0、その上部を正として、彫刻刀の中心の  $z$  座標  $o_z$  を、

$$o_z = r \cdot \mu_1$$

とする。ただし、 $r$  は定数である。今回は  $r$  として、使用する彫刻刀楕円体の長軸を平板表面 ( $x$ - $y$  平面) に平行に置いたときの楕円体の  $z$  軸半径を用いた。つまり、彫刻刀の形状は一定で位置を濃度により上下させ、与えた濃淡画像の黒色濃度が低い小領域ほど平板の対応する点を深く切削する。

(2) の切削面積によって濃淡を表現する場合、切削回数を濃度値により変化させる。これは、黒色濃度値にいくつかのしきい値を設けて段階に分割し、濃度値が低い段階ほど切削回数を増やすことにより実現する (図7)。なお、切削回数は切削方向に平行な方向に増加させるため、彫刻刀は細長い形状を1種類用いる。

### 3.5 濃度値分布による切削方向の決定

濃淡部における切削方向は、輪郭部の場合と異なり、小領域の濃度値分布により一意に定める必要は必ずしもない。しかし、切削痕を効果的に残すため、平板の

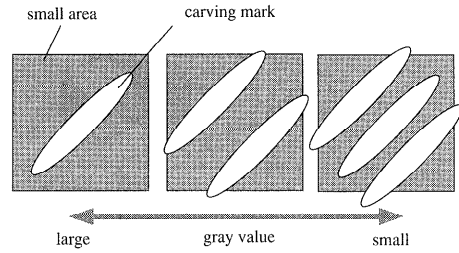


図7 切削回数による濃淡表現

Fig. 7 Representation of the gray values with the carving times.

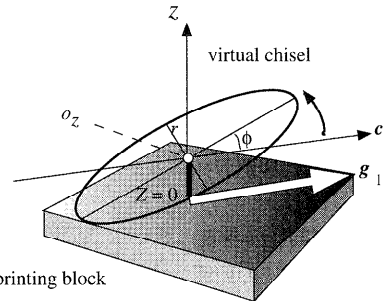


図8 仮想彫刻刀の位置決定

Fig. 8 Decision of the position of a virtual chisel.

法線軸周りの切削方向は各小領域の勾配ベクトルの方向と一致させる (図8)。ただし、濃度勾配ベクトルの大きさがしきい値  $g_{t1}$  を下回る場合は、切削方向に統一性を与える。このとき、切削方向を完全にある方向  $g_d$  に一定させるのではなく、一様乱数により方向に揺れ  $s$  を与えることで、より効果的な切削痕を表現している。平板の法線周りの切削方向ベクトル  $c_1$  は以下のように定められる。

$$c_1 = \begin{cases} g_1 & : |g_1| \geq g_{t1} \\ g_d + s & : |g_1| < g_{t1} \end{cases}$$

これに加えて、濃度表現法の別にかかわらず、濃度値分散が非常に小さい場合には、小領域の大きさに比べて大きめの彫刻刀を用いて、濃度変化が少ない領域における大胆な切削を再現している。濃淡部では平板の法線周りの方向だけでなく、平板表面に対する角度も変化させることが考えられる。この角度は、

$$\phi = \phi_{max} \cdot |g_1|$$

とする (図8)。平板表面に対する角度を考慮した切削を行った場合、濃度変化が滑らかな作風の版画画像が合成される。

なお、輪郭部や濃淡部の切削方法は版画の作風を左右するものであり、以上にあげた決定法はその一例で

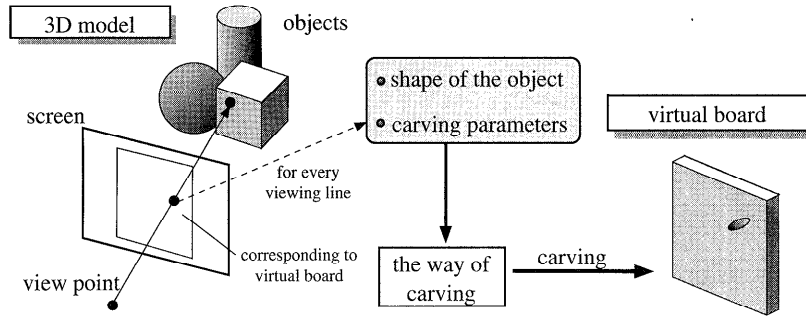


図9 三次元モデルからの仮想版木作成  
Fig. 9 Generation of a virtual printing block from a 3D model of objects.

ある。たとえば、本手法による輪郭部および濃淡部の切削を施した仮想版木を用いて合成した画像は、木口版画に近い作風となる。輪郭部のみ切削を行った場合は板目版画に近い作風となる。また、濃淡部における濃度表現方法や切削方法によっても作風が大きく変化する。

### 3.6 切削実行の判定

濃淡部の切削において、注目画素間隔  $m_1$  や用いる彫刻刀楕円体の大きさにより、切削が密に行われすぎる場合がある。このとき、切削痕がつぶれて木版画特有の画像を生成することができず、切削回数が不必要に増加する。そこで以下のようなルールを設ける。

[各小領域において]

- (1) 確率  $P$  で (2) に移行。それ以外は切削は行わない。
- (2) 輪郭切削または、隣接する小領域における切削により、小領域中心がすでに切削されているかどうかを調べる。
- (3) すでに切削されていればこの小領域での切削は行わない。そうでなければ切削を行う。

これにより輪郭部の切削痕も保護され、版画特有の彫刻刀の跡を生かした画像が生成できる。

## 4. 三次元形状モデルからの版木自動生成法

### 4.1 概要

本章では、もう1つの版木自動生成の手法として、三次元形状モデルを与えることにより用いる彫刻刀の種類や切削方向を決定し、仮想平板を自動的に切削していき版木を作成する手法について述べる。本手法では三次元形状の情報を用いることで、濃淡画像に基づく版木自動生成法では困難であった切削方向による描画対象の表現が可能となる。作成された版木を用いることで三次元形状モデルの木版画風レンダリングが実現できる。三次元モデルとしては、物体の形状、光源、

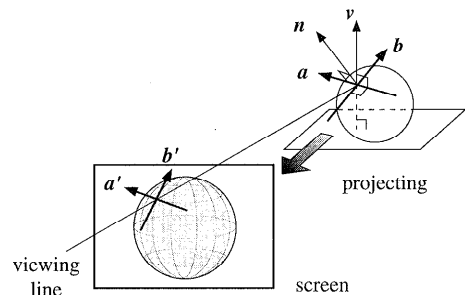


図10 三次元モデルからの版木作成手法における切削方向決定法  
Fig. 10 Decision of the direction of cutting in the 3D model method.

視点、スクリーンが与えられ、仮想版木を定義する空間とは別の仮想空間に配置される。スクリーン上の各画素は切削を行う仮想平板上の点と対応する。そして与えた視点から物体に対して光線追跡を行う。スクリーン上の各画素について、視線にある物体の法線ベクトルや明るさなどから、平板の対応する点における切削方法を決定する。この操作をスクリーン全体に対して行うことにより仮想版木が作成される (図9)。

### 4.2 切削パラメータ

版木切削のために与える三次元物体の表面には、切削パラメータが与えられる。これは通常のレンダリングの際に用いる物体表面の色やテクスチャに相当するものである。パラメータとしては、切削角度決定方法、使用する彫刻刀楕円体の種類、濃度表現法、切削確率がある。なお、現システムでは三次元物体を CSG 表現で定義している<sup>16),17)</sup>。そして、切削パラメータは物体形状を定義するプリミティブごとに設定している。

### 4.3 版木切削法

版木の切削は視点からスクリーン上の各画素への視線ごとに行われる。切削方向は、視線上で最も視点に近い三次元物体表面の点 ( $p$ ) における法線ベクトル  $n$  および鉛直ベクトル  $v$  に基づいて決定する (図10)。

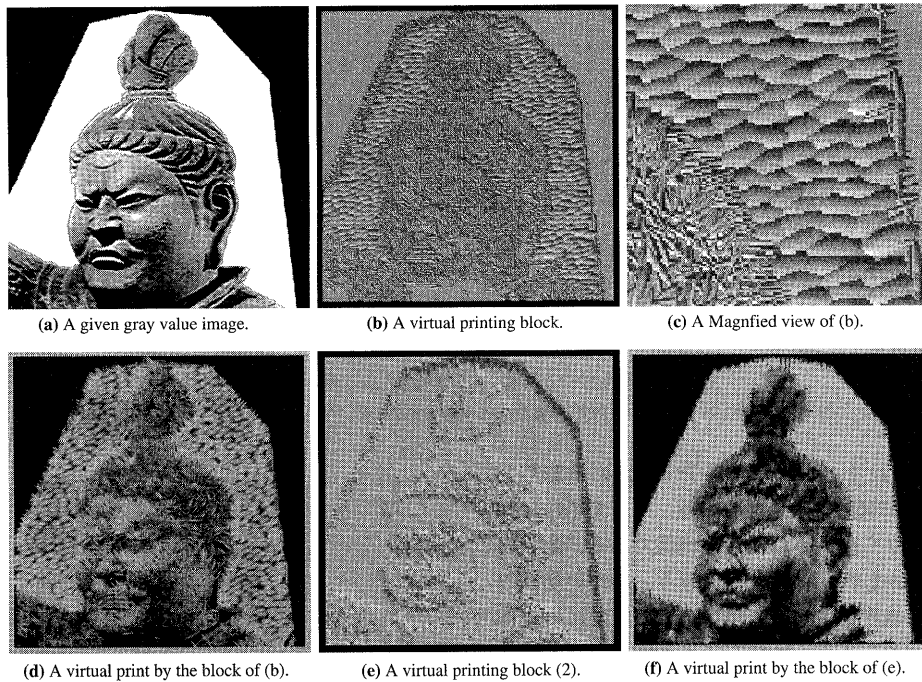


図 11 濃淡画像に基づく仮想版木作成と版画画像合成例

Fig. 11 Examples of virtual printing blocks generated by the gray value method and its prints.

まず、与えた三次元モデルを定義する仮想空間において、 $n$  と  $v$  に直交する方向を定めるベクトルの 1 つ  $a$ 、また  $n$  と  $a$  に直交する方向を定めるベクトルの 1 つ  $b$ 、

$$a = n \times v$$

$$b = a \times n$$

が求められる。ここで求めた 2 つのベクトルを、それぞれ視点に基づいてスクリーンに中心投影することにより、ベクトル  $a'$ 、 $b'$  が求められる。スクリーン面は仮想平板表面に対応しており、スクリーン面上に存在する  $a'$ 、 $b'$  を用いれば、平板法線を軸とする切削方向を定めることができる。なお、2 つのうちどちらの切削方向を選択するかは、三次元物体表面  $p$  の切削パラメータによって決定する。本手法により作成した仮想版木は、濃度値変化を表現しない場合でも、切削方向で描画物体の形状を表現することができる。ここで、平板表面からの角度はつねに一定 (0 度) とした。また、 $n$  と  $v$  が一致するなど、本手法により切削方向が求められない場合は、あらかじめ定めた方向に  $a'$ 、 $b'$  を定める。

切削に用いる彫刻刀楕円体も、点  $p$  での切削パラメータによってあらかじめ用意された形状の中から選択する。ただし、点  $p$  の視点からの距離により大きさを連続的に変化させる場合もある。すなわち、楕円

体の各軸の長さを視点からの距離に反比例させる。これは遠近感がはっきりした版画画像合成を得るためである。

また、モデルより計算される点  $p$  での明るさに基づいて切削の深さまたは面積が決定される。これは、前章で述べた濃淡画像からの版木自動生成法において、黒色濃度に応じて切削法を変化させる手法と同様である。どの濃度表現法を用いるかについては切削パラメータによって選択される。

切削実行の有無判定についても、濃淡画像に基づく手法と同様である。ただし、判定に用いる確率は一定ではなく、各プリミティブに切削パラメータの 1 つとして与えている。

## 5. 実験および考察

### 5.1 実験結果

今回提案した手法に基づき、版画画像を合成する実験を行った。

まず、3 章の濃淡画像からの版画画像合成について、図 11 に例を示す。図 11 (a) は与えた濃淡画像である。画像サイズは  $512 \times 512$  である。そして (b) は自動的に作成された仮想版木である。このとき、切削操作間隔は、 $m_0 = 4$ 、 $n_0 = 4$ 、 $m_1 = 4$ 、 $n_1 = 8$  とした。また、濃淡部の切削は面積による濃淡表現手法に基づい

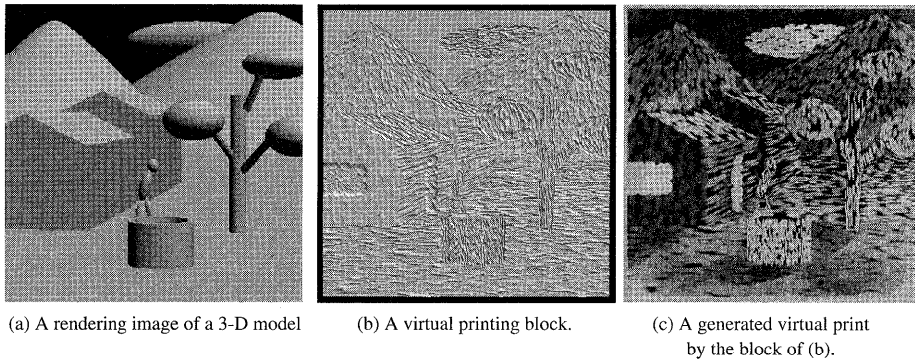


図 12 三次元モデルに基づく仮想版木作成と版画画像合成例  
 Fig. 12 An example of a virtual printing block generated by the 3D model method and its print.

て行った。(c)はその拡大した様子で版木には彫刻刀による切削痕が適度に残されている。そして(d)は作成された版木から合成された版画画像である。彫刻刀の切削痕を生かした画像となっており、細かい切削の回数によって濃度値変化を表現した木口版画に近い作風になっている。また、ばれんによる刷りむらも再現されている。さらに、(e)は同じ濃淡画像を用い、切削の深さによる濃淡表現手法に基づき濃淡部を切削した版木で、(f)はその版木を用いて合成した版画画像である。(d)の版画画像とはまた違った作風となっている。

次に、4章の三次元モデルからの版画画像合成手法について、図12に例を示す。図12(a)は与えた三次元モデルの光線追跡法による表示で、(b)は自動的に作成された仮想版木である。視線本数は $128 \times 128$ で、濃淡表現は切削の深さによるものである。そして、(c)は合成された版画画像である。与えた三次元モデルによって適当な切削が行われ、切削方向によってモデルの描画を行う版画風レンダリングが実現されている。

また、図13に、濃淡画像として三次元モデルのレンダリング画像(図12(a))を与えて、3節の濃淡画像に基づく手法で合成した版画画像を示す。図12(c)に比べると、家の壁面などで形状に対して適切な方向の切削が行われていない。よって、同じ描画対象について版木を自動生成する場合、濃淡画像を用いる手法は三次元モデルを用いる手法に比べて、三次元形状の情報が使えないために、描画対象を適切に表現できない場合があることが確認できる。

## 5.2 考 察

濃淡画像に基づく手法では、合成される版画画像は、主に切削の深さや面積に変化を与えて濃淡によって描画対象を表現した、木口版画にしばしば見られる作風となる。これは主に西洋で見られ、また実際に手彫り

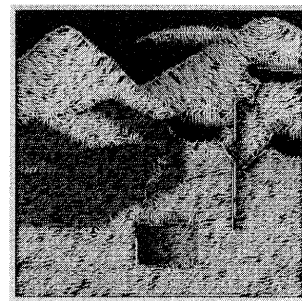


図 13 三次元モデルレンダリング画像から濃淡画像に基づく手法で合成した版画画像  
 Fig. 13 A woodcut print generated from a rendering image of a 3D model with the gray value method.

で作成するには熟練を必要とするので、日本ではあまり馴染みのない作風である。ここで、輪郭部の切削を強調することで板目版画の作風に近づくが、輪郭部のみの切削の場合には描画対象を適当に表現できない場合がある。本手法で用意するものは任意の濃淡画像であるため、入手しやすく特別な準備を必要としない。そして、与えられた濃淡画像に対して、注目画素間隔 $m_k$ 、小領域の大きさ $n_k$ 、用意する彫刻刀の大きさ、切削方法などを適当に定めることにより、与えられた画像の濃淡分布を版画風に表現した良好な画像が得られる。ここで、小領域のサイズを小さくすれば濃淡の細かい部分まで切削を行う、といったように、小領域の定める値や切削方法は作風を左右し、最適な1つの値を定めることはできない。ただし、隣り合う小領域に対する切削痕がある程度重なるように切削間隔を定めない場合、注目画素による格子模様が発生することがある。格子模様の発生は、小領域間隔を小さくして、切削実行の有無にランダムな要素を加えることで防いでいるが、さらに注目画素の位置決定にランダムな要素を加えるなどの改善する必要がある。また、与える



画像によっては、前述した値を変化させても良好な版画画像が合成されない。特に濃淡のはっきりしない画像や極端に細かい画像を与えた場合については、改善する必要がある。

一方、三次元モデルに基づく手法では、合成される版画画像は、濃度に加えて切削方向によって描画対象を表現した作風となる。そして三次元形状データをあらかじめ入手する、もしくは自ら作成するため、濃淡画像に基づく手法に比べて版画作成に多くの準備が必要である。ただし、その結果、濃淡だけでなく形状を考慮した版木の切削が行われ、モデルの任意の視点からの版画画像を合成できる。濃淡表現を行わない場合でも、切削方向だけで描画対象の形状を明確に表すことができるため、板目版画に近い作風でも良好な彫版を行うことができ、ユーザが手彫りで作成した仮想版木による版画に近い作風となる(図3)。また、大まかな形状モデルにより自動的に切削したあと、ユーザ自身が細かい部分を切削するといった利用もできる。しかし、本手法では今のところ輪郭の抽出を行っておらず、周囲の画素との関係も無視しているため、これらを考慮した切削を実現する必要がある。また、濃淡画像の場合と同様、切削を行うための視線による格子模様が発生する場合があります、改善する必要がある。

さらに、両手法とも局所的な特徴に基づく切削であるが、より広域的な特徴量の抽出などにより合成される版画画像の幅も広がると思われる。

なお、使用した計算機は、シリコングラフィクス社の Indigo2 High IMPACT (R10000 195 MHz) である。版木作成に要する時間は、濃淡画像に基づく手法では、小領域の大きさや数、そしてそれにとまう切削回数によって異なるが、図11(d)の場合、約20秒(切削回数、約8000回)である。また、三次元モデルに基づく手法では、視線の本数やそれにとまう切削回数の他に、CSGで記述されたモデルのプリミティブ数によって異なり、図12(c)の場合、モデルの交点計算に約30秒、版木の切削に約15秒(切削回数、約4500回)の時間を要した。

## 6. む す び

本論文では、フォトリアルでない画像合成法の1つとして版画画像合成システム<sup>9),10)</sup>において、(1)濃淡画像入力、および、(2)三次元形状モデル入力、に基づいて仮想版画を合成するための仮想版木を自動作成する手法を提案した。これらの手法は、一般的な木版画に多く見られる描画対象の輪郭の切削および濃淡と切削方向の変化による形状表現を実行する。これにより、

従来はユーザが作成していた仮想版木を自動的に作成することにより、版画画像合成の手間を軽減したり、下絵として与える濃淡画像や三次元モデルからユーザが思いつかなかった作風を提示したりする可能性も示した。

手法(1)では、原画像の特徴量により切削方向、深さ、彫刻刀の種類などを決定する。ここで輪郭の切削、適度な切削間隔、確率的要素を加えることなどにより、作成された仮想版木は彫刻特有の切削痕を有し、この版木を用いることで実際の木版画に近い版画画像が合成されることを確認した。また、切削方法によってはユーザ自身が仮想版木を作成するものとは違った独特の作風の作品も合成されることを確認した。

手法(2)では、与えた物体表面の法線ベクトルや切削パラメータに基づいて切削法を自動的に決定し版木を作成する。そして作成された版木を用いることで三次元モデルの版画風レンダリングを実現した。

今後の課題として、作風に関する詳細の検討、平刀や角刀による切削の実現、多色刷りへの対応などがある。また、濃度値に基づく手法に三次元モデルに基づく手法を融合させた版木自動生成手法についても検討したい。

謝辞 日頃熱心にご指導、ご討論をいただく名古屋大学横井茂樹教授、安田孝美助教授、および鳥脇研究室の皆様へ感謝する。なお、本研究の一部は文部省科研費による。

## 参 考 文 献

- 1) 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, 95CG76-1, pp.1-7 (1995).
- 2) Haerberli, P.: Paint by Numbers: Abstract Image Representations, *Proc. SIGGRAPH 90*, pp.207-214 (1990).
- 3) 齋藤 豪, 中嶋正之: FFTを用いた写真からの手書き風画像の自動作成, 情報処理学会研究報告, グラフィクスとCAD, 95CG74-3, pp.11-16 (1995).
- 4) Meier, B.J.: Painterly Rendering for Animation, *Proc. SIGGRAPH 96*, pp.477-484 (1996).
- 5) Winkenbach, G. and Salesin, D.H.: Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration, *Proc. SIGGRAPH 94*, pp.91-100 (1994).
- 6) Saito, T. and Takahashi, T.: Comprehensible Rendering of 3-D Shapes, *Proc. SIGGRAPH 90*, pp.197-206 (1990).
- 7) 松下政親, 中村剛士, 世木博久, 伊藤英則: 毛筆文字出力システムにおけるかすれのパターンの多様化, 1994年度電気関係学会東海支部連合大

会講演論文集, p.285 (1994).

- 8) Greene, R.: The Drawing Prism: A Versatile Graphic Input Device, *Proc. SIGGRAPH 85*, pp.103-110 (1985).
- 9) 水野慎士, 岡田 稔, 鳥脇純一郎: 仮想彫刻を用いた版画画像の合成, 情報処理学会研究報告, グラフィクスとCAD, 96CG83-5, pp.31-36 (1996).
- 10) 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).
- 11) Mizuno, S., Okada, M., Yokoi, S. and Toriwaki, J.: A Virtual Sculpture System, *Proc. International Conference on Virtual System and MultiMedia '95*, pp.308-313 (1995)
- 12) 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).
- 13) 大河内俊雄, 水野慎士, 岡田 稔, 鳥脇純一郎: 仮想版木自動生成による版画画像合成の一手法, 情報処理学会研究報告, グラフィクスとCAD, 97CG86-1, pp.1-4 (1997).
- 14) Mizuno, S., Okouchi, T., Okada, M. and Toriwaki, J.: Automatic Printing Block Generation from a 3D model for Virtual Woodcut Printing, *Proc. International Conference on Virtual System and MultiMedia '98*, pp.134-139 (1998).
- 15) 内田静馬: 木版画の制作技法, 理工学社 (1972).
- 16) 岡田 稔, KIM, K.E., 横井茂樹, 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).
- 17) 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, 情報処理学会研究報告, グラフィクスとCAD, 94CG72-17, pp.127-134 (1994).

(平成9年12月15日受付)

(平成11年6月3日採録)



水野 慎士 (正会員)

平成5年名古屋大学工学部情報工学科卒業。平成10年同大学大学院博士後期課程(情報工学)修了。同年12月名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリ非常勤研究員を経て,平成11年豊橋技術科学大学情報処理センター助手,現在に至る。工学博士。コンピュータグラフィクスに関する研究に従事。



大河内俊雄

平成9年名古屋大学工学部情報工学科卒業。平成11年同大学大学院博士前期課程(情報工学)修了。同年ソニー(株)入社,現在プラットフォームSOCソリューションセンター勤務。在学中,コンピュータグラフィクスに関する研究に従事。



岡田 稔 (正会員)

昭和59年名古屋工業大学工学部電気工学科卒業。平成元年名古屋大学大学院博士課程後期課程情報工学専攻修了。工学博士。昭和63・平成元年度日本学術振興会特別研究員,平成2年名古屋大学情報処理教育センター助手,平成5年同助教授,平成10年同大学院工学研究科情報工学専攻助教授を経て,平成11年中部大学工学部工業物理学科教授,現在に至る。平成7年より1年間,米国ミシガン大学客員准教授。画像の認識と理解,計算幾何学,画像合成,情報ネットワークの構成理論に関する研究に従事。電子情報通信学会,画像電子学会,IEEE各会員。平成4年度情報処理学会研究賞,平成6年度市村賞学術貢献賞,平成9年度電気通信普及財団賞各受賞。著書「Cによるプログラミング演習」(近代科学社),「情報科学基礎論」(朝倉書店),「インターネット時代のコンピュータ活用法」(コロナ社)等。



鳥脇純一郎 (正会員)

昭和14年生。昭和37年名古屋大学工学部電子工学科卒業。昭和42年同大学大学院博士課程修了。同年4月同大学工学部助手。以後,昭和45年同助教授,昭和49年同大学大型計算機センター助教授,昭和55年豊橋技術科学大学情報工学系教授,昭和58年名古屋大学工学部電子工学科教授を経て,昭和60年4月より同大学工学部情報工学科(現大学院工学研究科情報工学専攻)教授。工学博士。パターン認識,画像処理,グラフィックス,および,それらの医学情報処理への応用に関する研究に従事。著書「画像理解のためのデジタル画像処理[I],[II]」(昭見堂),「パターン情報処理の基礎」(朝倉書店),「認識工学」(コロナ社),「見えないイメージを見る」(共立出版)。電子情報通信学会,日本エムイー学会,画像電子学会,人工知能学会,コンピュータ支援画像診断学会,IEEE各会員。