

A Study on Non-Photorealistic Rendering Technique for Visualization of Dyeing Cloth

森本, 有紀
九州大学大学院芸術工学府

<https://doi.org/10.15017/10322>

出版情報 : 九州大学, 2007, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第三章

appearance ベースによる染色モデル

本章の概要

前章で述べた染色の要素を CG で実現するため、本論文では appearance ベース、physics ベースの二通りの立場からモデルを提案する。本章ではこのうちの前者、appearance ベースの染色モデルについて述べる。この手法は physics based simulation を行わず、セルオートマトンを用いた染料量の平均化処理と観察に基づいた布の陰影方法を用いる。更に計算セルの単位も糸の幅で定義しているため全体の計算点が少なく、高速に処理を行うことができる。

3. 1 モデルの概要

ここでは本染色モデルの概要を述べる。以下に染料拡散処理の手順を示す。

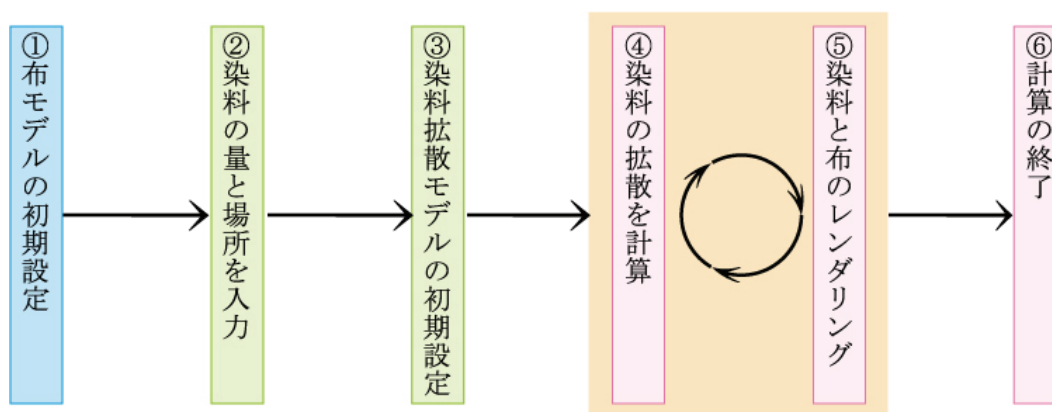


図3-1 appearanceベースによる染色モデルの流れ

①で扱う布モデルの初期設定に関する要素を表3-1に示す。縦・横それぞれの糸幅を設定し、織構造の種類を設定する。これに基づいて計算空間が定義されるので布モデルの設定を最初に行う。

②は3.5の実験の中で述べる。染料の量と場所は、画像などの2次元データとして与える。本モデルでは、一点を中心に染みを作る方法と入力画像を与え染色風にする方法、そして擬似的に布を折り畳んで染色する方法の三つを用いる。

③で扱う各要素を表3-2に示す。各セルでの要素の設定を行い、初期染料量などを決める。これらの値は実際の物理法則に基づいたものではないので、実際の単位に基づいていない。

④は3.3にその手法の詳細を記す。ここではCurtisらの研究[7]で用いられた簡単な繊維中の液体の移動表現に基づいて布内の染料拡散をシミュレートする。

⑤では④で求めた染料の量を元に各セルの色を求めた上で、実際の染物の陰影を近似した appearance ベースのシンプルな陰影表現を行う。④⑤は一連の処理として繰り返し行われる。

⑥実際の染色家は染料の量や染色時間などで調節するが、最も理想的なのは拡散を止めたいと思うタイミングで止められることである。よって染料の拡散を任意のタイムステップで終了するものとする。

表 3-1 布モデルの要素

項目	説明
縦糸の幅	Pixel単位で設定
横糸の幅	Pixel単位で設定
織構造の種類	平織り

表 3-2 各セルが持つ要素

項目	変数	説明
染料の量	s	実際保有している染料の濃度
染料の移動に必要な最小限の染料量	ϵ	
これ以上受け取れない染料の量	δ	
位置	i, j, k	セルの位置(kは縦・横糸層を示す)
セルにおける染料の飽和量	c	保有できる染料量の限界値

3. 2 布の織構造モデル

布はセルによって表現する。セルを並べることによって糸のモデルを作り、更にそれを布の構成要素である縦糸と横糸とし、織構造に従って糸のモデルを配置することによって糸の幅とする（図 3-2）。セルの大きさは一本一本の糸の幅とする。よって一つのセルは実際の布での一つの布目を表す。布を構成する糸の大きさは厳密には少しずつ違う。よって、より自然な表現を目指すために糸の幅はランダム関数を用いてわずかに不均一にしている。縦糸と横糸は二層構造を作っている。2次元平面（xy座標空間）ではこの二層は同じ場所に位置しており、織構造に従ってスクリーン上でどちらの層のセルを表示するかを決める。

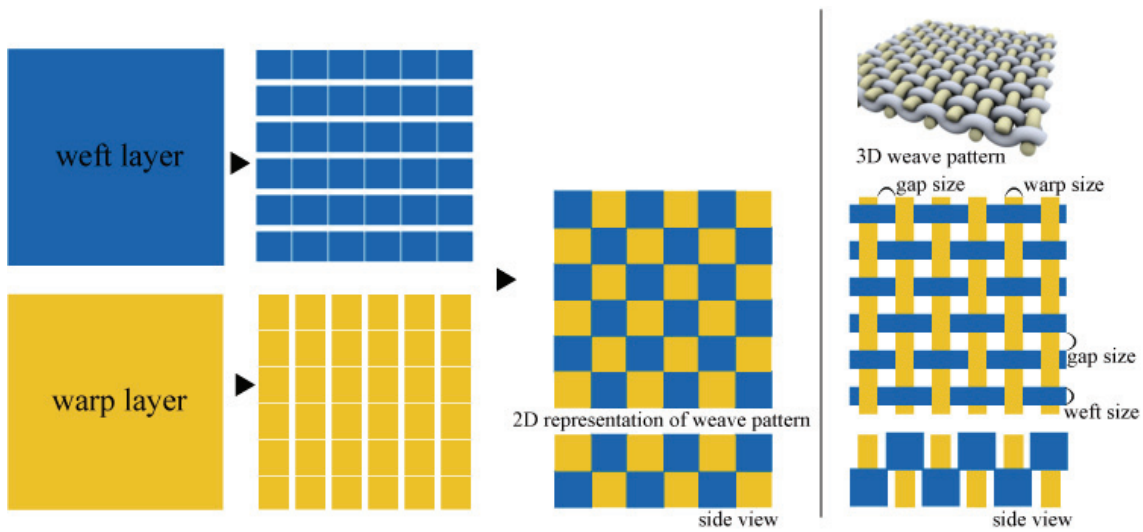


図 3-2 織構造モデル

3. 3 染料拡散モデル

本モデルでは簡単なセルオートマトンを用いて布内での染料の拡散を表現する。染料拡散モデルは水彩画の表現研究である参考文献[7]で提案されている Backruns を参考に染料の浸透を表現する。Backruns は水が乾いた紙内で浸透する現象をシミュレーションしたものである。具体的には、紙の上の水を繊維内に吸収しながら、隣のセルとの水の量の差分を近傍数で割った分だけ着目セルに移動するものである。本研究では、紙とは違い布にそれを適応するので、布の構造に従って定めたセルの三つのパターンとの位置関係によって近傍セルとの染料の移動率 β (重み) を決める。図 3-3 はこの位置関係とスクリーンへのセルの投影を示したものである。以下にあるセル (図 3-3 中の赤色のセル) を中心としてその三つのパターンを示す。

パターン 1 (β_1) : 同一糸内で隣接する二つのセル (図 3-3 の黄色のセル)

パターン 2 (β_2) : 両側の隣接糸に対して隣接する二つのセル (図 3-3 の緑色のセル)

パターン 3 (β_3) : 異なる層内にあり隣接する 1 つのセル (図 3-3 の青色のセル)

この 3 パターンの位置関係に従ってセルの 5 近傍処理を行う。このとき、以下の条件によって染料量の保存と糸方向への染料の拡散の指向性を表す。

$$2\beta_1 + 2\beta_2 + \beta_3 = 1, \quad \beta_1 > \beta_2 \quad (3-1)$$

このような条件のもとに染料の 5 近傍拡散を行う。以下の図 3-4 にその疑似コードを

示す。これは1タイムステップに行う染料拡散の処理であり、これを任意のタイムステップ数の分だけ繰り返すことによって拡散が行われる。

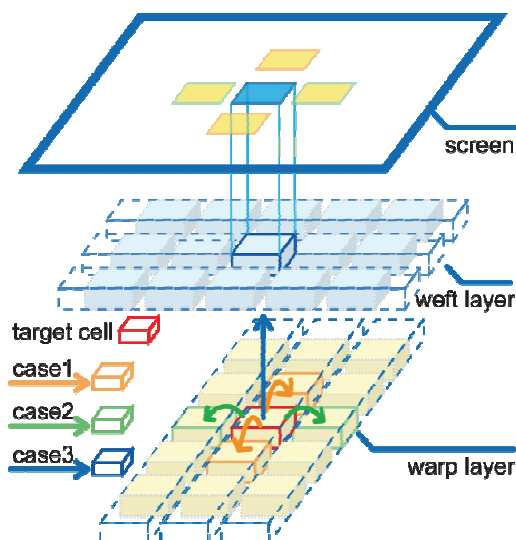


図3-3 拡散におけるセルとセルの関係

```

s' ← s
for all cells (i,j,k) do
  for each cell (l,m,n) ∈ neighbors(i,j,k) do
    if  $S_{i,j,k} > \epsilon$  and  $S_{i,j,k} > S_{l,m,n}$  and  $S_{l,m,n} > \delta$  then
       $\Delta s \leftarrow \max(0, \min(S_{i,j,k} - S_{l,m,n}, C_{l,m,n} - S_{l,m,n}) \beta)$ 
       $s'_{i,j,k} \leftarrow s'_{i,j,k} - \Delta s$ 
       $s'_{l,m,n} \leftarrow s'_{l,m,n} + \Delta s$ 
    end if
  end for
end for
s ← s'

```

図3-4 appearance based model における染料拡散

3. 4 染料と布のレンダリング

3. 4. 1 染料の量による色の決定

染料の拡散モデルによって各セルの染料の量が決まると、その量に応じて色を決める。この色は実際に染料を用いて生成した染みの色素のデータから決定する。実際の画像から最も明度の高い部分と低い部分の色素データを取り出し、線形補間で間の色を決定する。必要であれば明度の中間値の部分のデータも取り出して補間を行う。すると、図3-5 (a)のような平坦なグラデーションの染料分布画像が得られる。色を決める線形補間の式は、赤成分のみを見たとき、式3-2のようになる。

$$R_p = (1 - q)R_a + qR_b, \quad q = \frac{c_p - c_a}{c_b - c_a} \quad (3-2)$$

この場合、 R_p は赤成分の結果を表し、 R_a は元の布の色の赤成分、 R_b は染料の色の赤成分を表す。 q はセルの保有できる染料の量の最大 c_b と最少 c_a の間で現在の染料の量 c_p を示すパラメータである。青成分、緑成分においても同様の線形補間を行う。

3. 4. 2 布の陰影表現

拡散モデルで得た画像では、布の陰影表現が行われていないために布特有の糸の丸みなどが表現できていない(図3-5 (a))。そこで陰影表現を行う。本研究ではシンプルな陰影表現を提案する。



図3-5 陰影と毛羽立ちの表現

布と染み込みのモデルによって得られたセルの色情報を基に陰影を表現する。図3-6は本研究の陰影表現の原理と処理を表したものである。図中の(a)は実際の染色の拡大図であり、(b)は(a)のRGB値の平均値を等高線グラフにしたものである。それを縦横と横糸の幅で区切ると本研究のセルの大きさに等しい(図3-6 (c) (d))。更にそれを超楕円で近似すると(e)のようになることから、これをセル内の陰影として用いる。

布の表現において細かい繊維はばらけた状態で広がっている。このような繊維の毛羽立ちは糸の輪郭を曖昧に、かつ、柔らかく見せる働きをしている。本研究では陰影表現で得ることのできた画像(図3-5(b))に平滑化処理を行うことで糸のはっきりとした輪郭を曖昧にし、繊維の毛羽立ちを表現する(図3-5(c))。

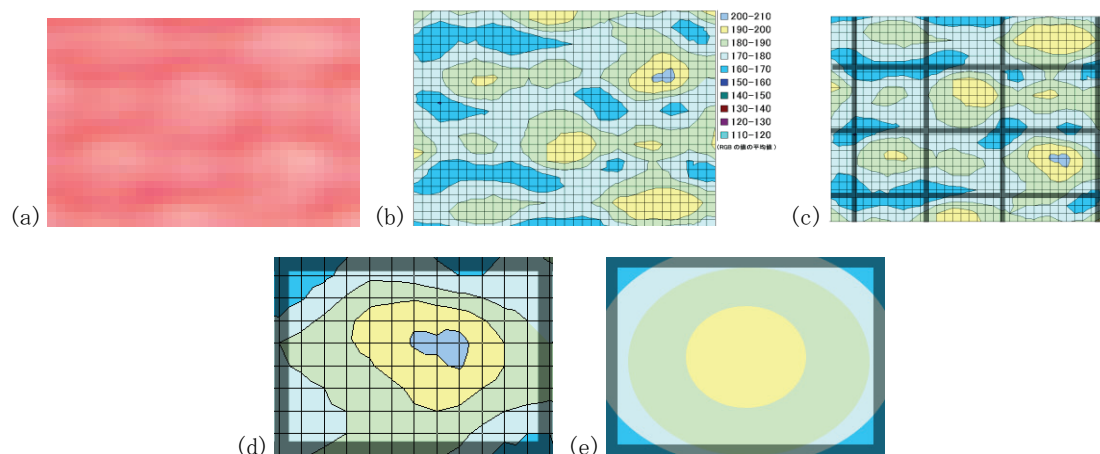


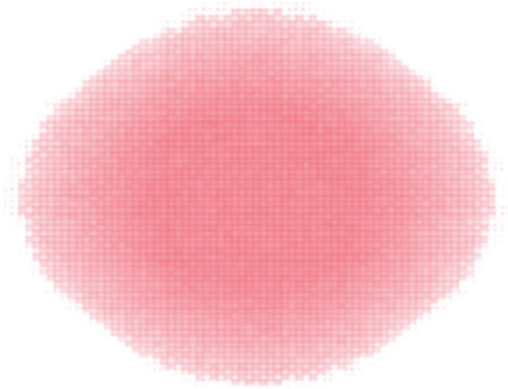
図3-6 陰影表現の手法

3. 5 実験と結果

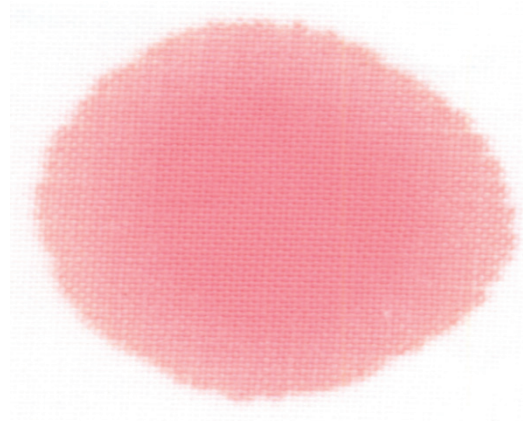
3. 5. 1 染色の特徴表現

一滴の染み 図3-7は一滴の染料を乾燥した布に対して滴下したときにできる染みの比較である。このときレンダリングは5. 3で提案した手法を使っている。色の変化や輪郭の不規則性、また、輪郭付近の「まだら」がうまくでていように見える。また、拡大してみると陰影表現によって糸のつながりや隙間などが表現されており、本研究の陰影表現の有効性が伺える。しかし、実際の染みに見られる輪郭部の濃さや不ぞろいな糸の並びは本手法による染みには見られない。

糸の指向性 図3-8では染料の量の違いによる染みのでき方について比較している。このように染料の量が違うと染みの外形が変化するのは糸の指向性と布の織物組織を反映するからである。与える染料の量が少ないほど隣接糸への拡散は起こりにくく、同一糸内だけで染み込みが起こる。すると染みの形はひし形のような形に近づいていく。図を見ると染みの外形はそれぞれの染料の量において類似していると言える。よって、本手法の有効性を示すものと言える。ただし、染みの拡大画像を比較してみると、まだらの表現は十分とは言えないことがわかる。

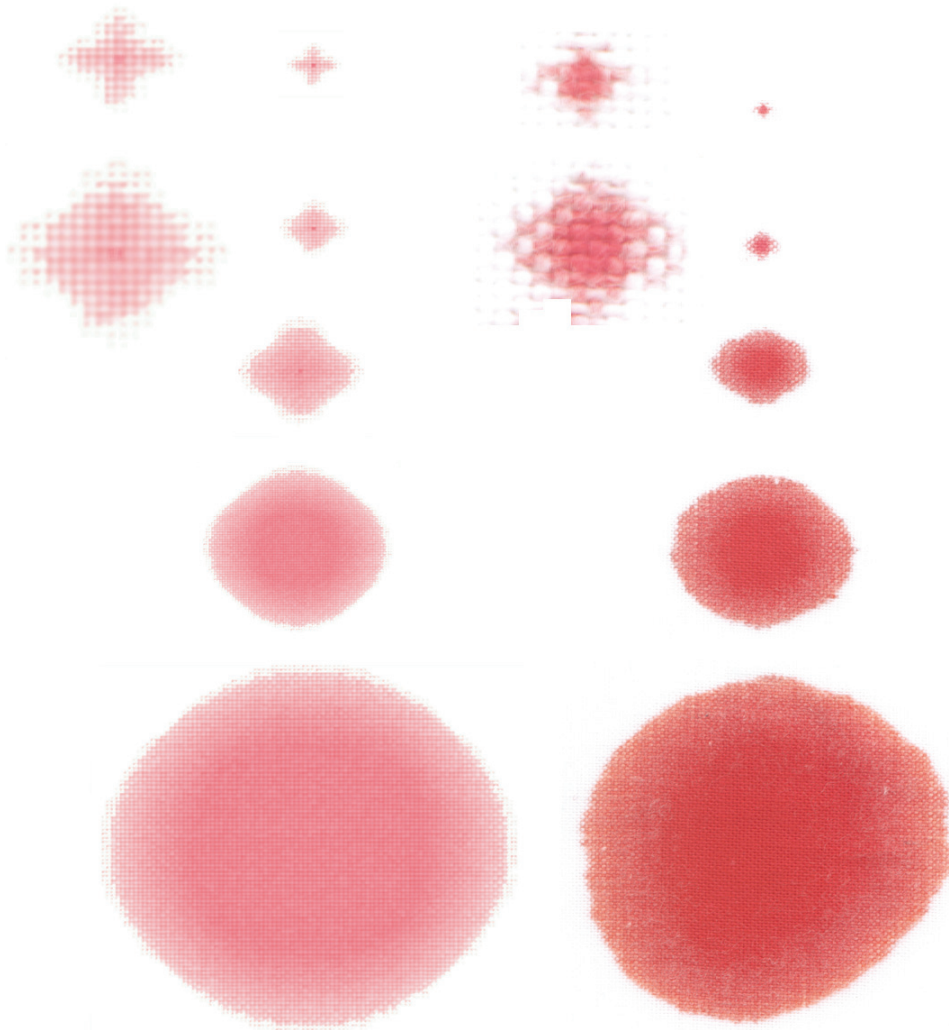


(a) 本手法による染み



(b) 実際の染み

図3-7 乾いた布に対する一滴の染みの比較



(a) 本手法を用いて作成した染み

(b) 実際の染み

図3-8 与える染料の量によって異なる染みの形の比較

時系列にそったアニメーション表現、その他 本モデルでは染料の拡散の計算及びレンダリングの単位が布の糸の幅で区切ったセル毎となっているため、アニメーションにすると拡散の広がり方が不自然である。よって、より自然な表現のためには拡散の単位を細かくするなどの改良が必要である。

本モデルには吸着の機能がないため、染料が時間の経過に関わらず固定されない。つまり、時間が経過すると染料は均一になってしまう。また、値の設定次第で様々な表現が可能であるが、数値の設定から結果がどうなるのか直観的にわかりにくい。よって、操作しやすいモデルに改良するためには物理的な要素を考慮しパラメータ化することが考えられる。第四章、第五章ではこれらの課題に取り組んでいる。

3. 5. 2 染色風画像の表現

染料を与える範囲として入力画像の RGB 値の分布を用い、式 3-3 に従って RGB 値の平均値を染料の量に変換し、染料の拡散を RGB の三要素に分けてそれぞれ拡散させると染色風画像を作ることができる。

$$\text{染料の量} = \left(255 - \frac{R+G+B}{3}\right) \frac{c}{255} \quad (3-3)$$

図 3-9 はその例である。まず、実際の絞り染め(a)を参考に(b)のような模様を描き出す。次に(b)の画像の RGB 値を用いて拡散計算を行う。すると(c)のような結果画像が得られる。また、図 3-10 にその他の結果画像を示す。

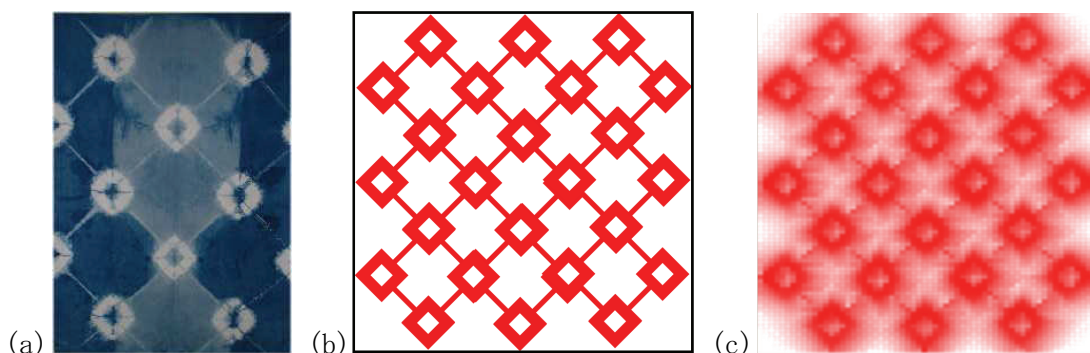


図 3-9 染色モデルの画像への適用

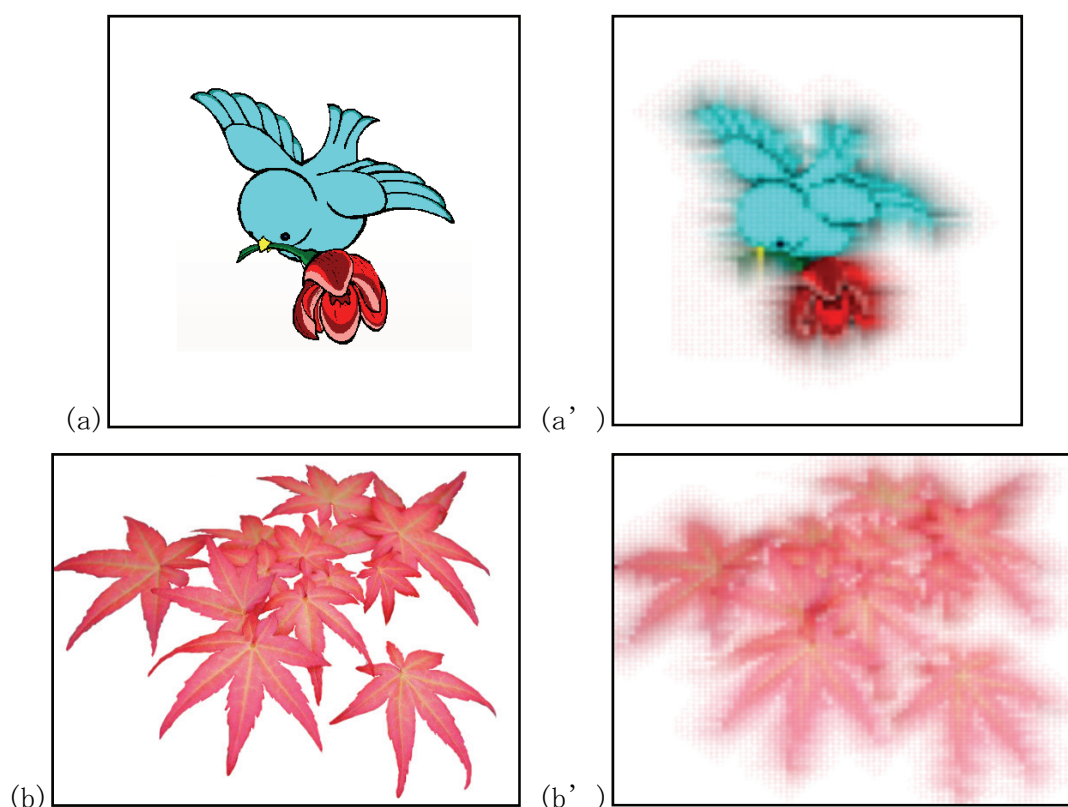


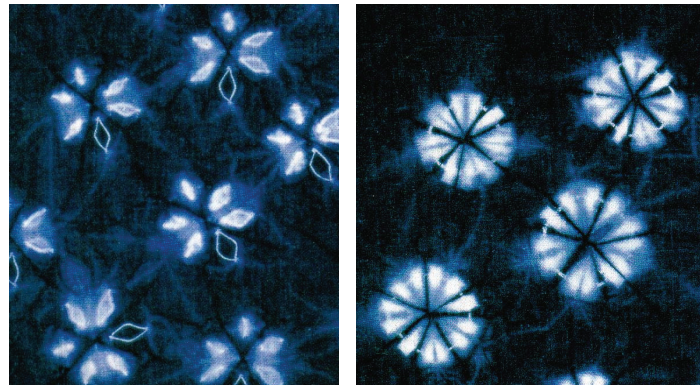
図 3 - 1 0 その他の染色風画像

(a') (b')は(a) (b)に拡散処理を行った結果画像。

3. 5. 3 染色技法の表現

絞り染め技法には布を折り畳んだ後に糸や板を使って引き締めるものがある(図 3 - 1 1)。また、その他にも一点を中心に鏡映対称である図形を基本とした染色模様は数多い。ここではこのような一点を中心とした鏡映対称の図形に基づいた染色風模様を作る方法を提案する。システムは布を何回折り畳むかを指定し、その後ユーザが布に対して描画を行う。その描画内容を鏡映変換した図形をリアルタイムに作成する。次にその図形を入力画像として 3. 5. 2 と同じように RGB 値を染料量に変換して拡散計算を行う。すると鏡映模様の染色風画像が生成される。この処理では描画内容と描画内容を鏡映変換したもの 1 セットをユーザの指定した布を折る回数に基づいて一点を中心に少しずつ角度をずらしながらコピーしていく。図 3 - 1 2 はその説明図である。具体的には、①布の中心に対して何回畳むか指定する。図では 3 回折り畳むと指定している。次に、②において描画を行う。次に③描画したものを折り畳んだ線に対して鏡映変換したものを描画する。最後に、⑤元の描画内容と鏡映変換によって作られた描画内容を 1 セットとして、2 の (畳む回数 - 1) 乗セット作る。よって、 $(360 / (2 \text{ の (畳む回数} - 1))$

乗)) 度ずつらしながら最初の描画内容を2の(畳む回数-1)乗分コピーする。



(a) 中国絞りの華絞り (b) 菊花絞りの図

図3-1-1 点对称的な染色模様[30]

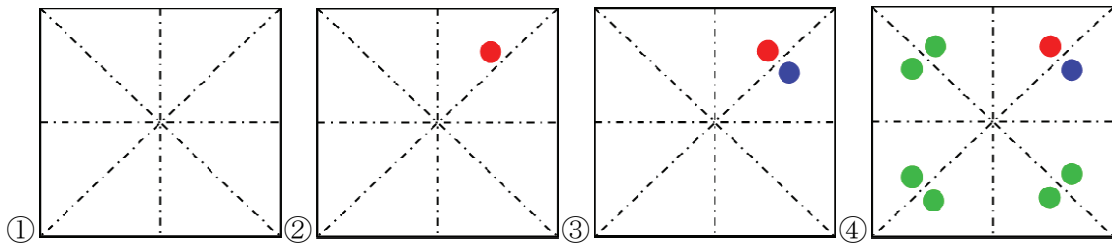


図3-1-2 鏡映変換の説明図

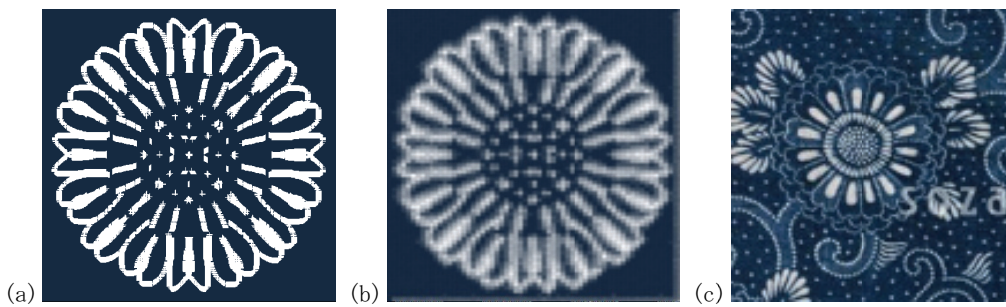
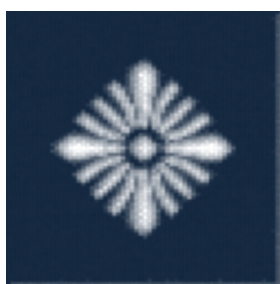


図3-1-3 鏡映変換を用いた折り畳み疑似シミュレーション

- (a) 描画内容を鏡映変換し、コピーしたもの (b) (a)を本モデルによって染色風画像にしたもの
 (c) (b)に類似した染色模様の例[36]

図3-1-3、図3-1-4に鏡映変換を用いた染色模様を作るシステムによる結果画像

と比較のための実際の染物を示す。このように現実の染色模様に近いものを表現することができている。また、図3-15にはその他のシミュレーション結果を示す。このような模様は布を折ることによる防染技法を利用するので、この方法によって実際の染色過程をシミュレートしたとは言えない。しかし、本システムによって染色模様をシミュレートできる可能性が伺える。実際には布は厚みを持っているのでリアルなシミュレーションのためには3次元物体として折り畳みなどを表現しなければならないが、2次元のスケッチインターフェースによって簡易的に染色風画像を実現できるといえるであろう。



(a) 本モデルによって作成された染色風画像 (b) (a)に類似した染色模様の例[36]

図3-14 その他の鏡映変換を用いた折り畳み疑似シミュレーション

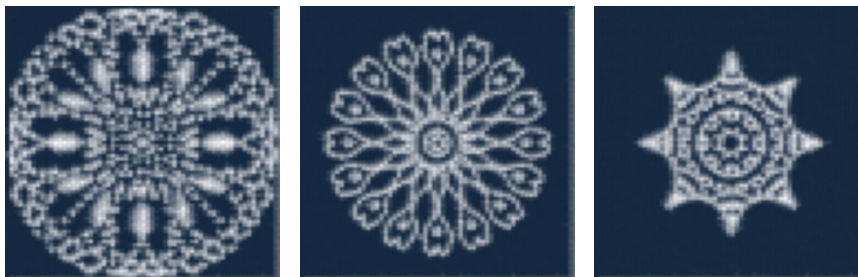


図3-15 その他の鏡映変換を用いた折り畳み疑似シミュレーションの例