

染料移動を用いたタイダイ染めシミュレーション

川添和泉^{†1} 濱川礼^{†2}

本論文では、染色のシミュレーションを用いて専門的な技術を必要とせずに染色模様を簡単に作成できる方法を提案する。染色は紙や布を染める技術として古くから発展してきた。その種類は絞り染めや友禅染めなど、多くの技法がある。その中でタイダイ染めは、染料を付ける際に布を縛ることでできる様々な味の色合いを魅力とした特殊な技法である。染めの段階が手作業なため、酷似していても同じ物は一本とない。そのため染色には経験や技術が必要とされ、さらには科学的な要素にも影響され、複雑な模様を作り出される。そこで、本研究では専門的な技術や労力を必要とせずに染色模様をデザインするための支援として、絞り染めにおける染料移動モデルを用いて染料供給分布を計算し、単色の染料を複数色の表現に変え、タイダイ染めに特化したシミュレーションを行う。

The tie dyeing simulation using dye movement model

IZUMI KAWAZOE^{†1} REI HAMAKAWA^{†2}

In this paper, the method of creating a dyeing pattern easily, without needing special technology is proposed using the simulation of dyeing. Hand dyeing has developed as technology of dyeing paper and cloth for many years. The kind has much technique, such as variegation and yuzen dyeing. In it, when tie dyeing attaches dye, it is a special technique which made charm various clever tone made by binding cloth. Since manual labor [the stage of dyeing], even if it resembles closely, there is no same thing in one. Therefore, experience and technology are needed for dyeing, it is influenced by the still more scientific element, and a complicated pattern is made. So, in this research, the simulation which specialized in tie dyeing is performed as support for designing a dyeing pattern, without needing special technology and labor. We calculate dye supply distribution using the dye move model in variegation, and use the technique of changing monochromatic dye into expression of two or more colors.

1. はじめに

本論文では、染色のシミュレーションを用いて専門的な技術や労力を必要とせずに染色模様を簡単に作成できるシミュレータを提案する。森本らの絞り染めにおける染料移動モデルを用いて、元画像のRGB値から染料量を算出し、供給分布を計算する。これによって、染料の移動をシミュレートする。さらに、いくつかのランダム性を付加することで、染色をする際に起きる人の手作業による不確実な要素を表現する。単色の染料を複数色の表現に変え、タイダイ染めのタイ模様絞りに特化した技法のシミュレーションを行う。

2. 背景・目的

染色とは、布の色を染料によって変えること、また、染料によって色が変わった布そのもののことを指す。染色は世界各地で古くから行われてきた繊維を着色する方法であり、現在でも繊維産業や伝統文化、趣味として、幅広い価値がある。その種類は藍を染料として用いitとや板など多様な道具を用いて布を圧迫することによって染色部分を限

定する絞り染めや、蠟を用いて染色部分を限定し蠟の割れ目から染みる染料によって独特の模様を布に描画するろうけつ染め、絵画のように筆などで描画する友禅染めなど、多くの技法が知られている。特にろうけつ染めや絞り染めのように染料の拡散を防ぐことで染色模様を作る技法のことを防染技法という。それらは更に細かな技法に枝分かれしており、染色技法は細かく分類すると何百種類以上に及ぶ[1]。

以上のような手工芸による染色は、布の変形や染料の移動などの組み合わせさせた複雑な現象であり、出来上がりの模様を素人がデザインするのは難しい。染色家は長年の経験と知識に基づいて出来上がる模様を予測する。また、染色工程は非常に時間を要し、道具や場所も必要である。このように、手工芸としての染色技法では、染色家としての経験、技術、労力、知識が必要であり、材料の科学的・物理的な状態にも影響されて、独特で唯一の模様を作り出される。

しかし、現在、染色に着目し、これを題材にしたIT技術の研究は少ない。染物を題材とした研究としては2004年にろうけつ染めの表現手法が提案された[2]。また、近年では森本らが絞り染めを題材としたシミュレーションについて研究を行っている[3]。Computer Graphics(CG)の研究分野では、これまでに写実的な表現ばかりでなく、非写実的な表現も様々な目的に応じて研究されており、近年では主な

^{†1} 中京大学大学院
Chukyo University

^{†2} 中京大学
Chukyo University

研究題材の一つとなっている。代表的な研究題材として「画材のシミュレーション」があり、水墨画[4][5]や水彩画[6]、油絵[7]、鉛筆画[8]などの絵画調表現が取り上げられている。これらは主にコンピュータによる芸術表現の幅を広げる目的で行われており、筆による手書きの面白みと同時に現実の描画ではできないパラメータ設定などの便利な機能を備えたシステムを提供する目的で研究されている。しかし、染料全般を表現するものは現時点ではその他に見当たらない。他には関連研究として、水墨画や水彩画の研究の中で布を扱ったものなどがいくつかあげられるが、いずれも染料に着目したものではない。

そこで、本研究では経験や技術がなく、染色を行ったことがない初心者でも、容易に染色後のデザインを想像できるよう、染色前の簡易なデザイン画像やパラメータの入力から、染色後の布画像を表示するシミュレータの開発を研究目的とする。

今回は特にタイダイ染めのタイル模様絞りに着目し、開発を行った。染色技法の中で、タイダイ染めは、染料を付ける際、布に施す折り、縛り、縫いなどの様々な手法による布形状の変化と、複数色の染料を用いた様々な味の色合いを魅力とした特殊な技法である。染めの段階が手作業なため、酷似していても同じ物は一本とない。そのため、染色後のデザインを想像することは初心者でなくとも難しい。

タイダイ染めは同じ染色家が同じ手順、同じ材料で染色を行っても、出来上がりはその時々で異なる。そのため、本研究ではシミュレータに三つのランダム性を提案する。一つは染料拡散における移動率のランダム性。そして、タイル模様絞りを表現する際の折り幅のランダム性。最後に、染料の付与におけるランダム性である。タイダイ染めは布に染料を与える際、藍染や草木染めのように染料に布を漬ける方法ではなく、人の手で布に染料をかける方法をとる。また、タイル模様絞りは折りと紐による圧迫によって模様が表現される技法である。折りたたんだ布を紐で縛り、形を固定して圧迫する。そして、そこに染料をかける。その際の縛り方の強弱が、布の圧迫される範囲を決定し、染料拡散に影響を及ぼす。また、縛り方以外に折り目も重要な要素となる。染料の付与は漬ける方法に比べ、ムラが出る。これらの要素は人の手で行う以上、ある程度の不正確さが生じる。そこで、紐による圧迫の強弱、布の折り目幅、染料付与にランダム性を取り入れ、染色過程における人の手による縛り方、折り方、染料液のかけ方の擦れを表現する。

3. 提案手法

3.1 概要

本シミュレータでは、まずユーザが用意した染色デザイン画像もしくはユーザが指定した染色のための簡単なパラメータから、RGB 値を取得し、仮想の染料量を算出する。この染料量から、森本らの appearance ベース染色シミュレ

ーションモデル[9]を応用して、染料量の拡散を行う。染料量の拡散は移動率（重み）を決める。本研究では、この移動率に乱数を用いてランダム性を与えることで、染色ならではの不確実性を付加している。拡散後の染料量と入力デザイン画像の RGB 値を元に平均化処理を行い、複数色の色付けと染色後のデザインを表現し、ユーザに提示する。

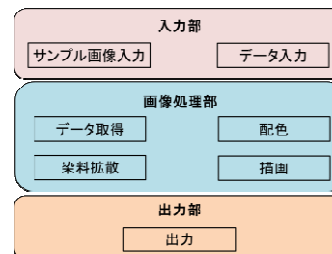


図 1 シミュレータの全体構成図

Figure 1 The whole simulator block diagram

3.2 ランダム性

ここでは、シミュレータに与えたランダム性について記述する。

(1) 紐による圧迫の強弱

本研究では、移動率 β に乱数を用いてランダム性を与えることで、染色ならではの不確実性を増す。移動率 β については、3.3(3)で詳細を述べる。このランダム性については、ユーザ入力の「紐による布の縛り方の強弱」を反映させる。ユーザは「紐による布の縛り方の強弱」を「強め」、「やや強め」、「やや弱め」、「弱め」の中から選択する。これらの選択肢にはそれぞれ値(表 1)が入力されており、その値を乱数 β に乗算することでランダム性の有無を調整している。ただし同行同列の移動率は均一に定義する。

縛り方の強弱	値
強め	0
やや強め	40
やや弱め	60
弱め	100

表 1 縛り方の強弱における値

Table 1 The value in the strength of a way to bind

(2) 布の折り目幅

本研究における折り目幅とは、布をじゃばらに折ったときに生じる折り目の幅である。折り目幅は人の手で折る以上、ある程度の不正確さが生じる。そこで、布の折り目幅にランダム性を取り入れ、人の手による折り方の擦れを表現する。擦れは 0~30pixel の間と定義した。

この折り目幅の生成には、ユーザが入力した「折り方の丁寧さ」が影響する。ユーザは「折り方の丁寧さ」を「丁寧」、「やや丁寧」、「やや粗雑」、「粗雑」の中から選択する。これらの選択肢にはそれぞれ値(表 2)が入力されており、

その値を乱数に乗算することでランダム性の有無を調整する。

折り方の丁寧さ	値
丁寧	0
やや丁寧	40
やや粗雑	60
粗雑	100

表 2 折り方の丁寧さにおける値
 Table 2 The value in the care of a way to fold

(3) 染料付与

タイダイ染めの特徴の一つは、布への染料の与え方である。友禅染は染料をつけた筆で絵を描くように、藍染や草木染めは染料の溶液を漬けることで染色を行う。しかし、タイダイ染めはボトルに入れた染料の溶液を布に垂らすことで染色する。この作業は人の手によって行われ、その加減で付与のされ方は不均一となる。そのためムラになったり、本来作り手が予想していなかった部分に染料が与えられたりすることがある。

そこで、本研究では染料拡散処理前の入力画像に対してランダムに斑点を描画し、染料付与のランダム性を付与することを提案する。「紐による布の縛り方の強弱」や「折り方の丁寧さ」同様、ユーザが入力した「染料付与の丁寧さ」によってランダム性の有無を調整する。ユーザが選択する選択肢と、それに対する値を以下の表に示す。

染料付与の丁寧さ	値
丁寧	0
やや丁寧	40
やや粗雑	60
粗雑	100

表 3 染料付与の丁寧さ
 Table 3 Care of dye grant

今回、本シミュレータにはこの染料付与のランダム性を実装することができなかった。

3.3 内部処理

図 1 に実装したシステムでの処理手順を示す。各処理について以下に説明する。

(1) データ入力

入力部ではユーザによるデータ入力と、システム側があらかじめ用意したサンプル画像(図 2)の入力を行う。

ユーザが入力を行うデータは、じゃばら折りにおける縦横それぞれの折り回数、折り方の丁寧さ、布に与える染料の RGB 値、紐による布の縛り方の強弱である。

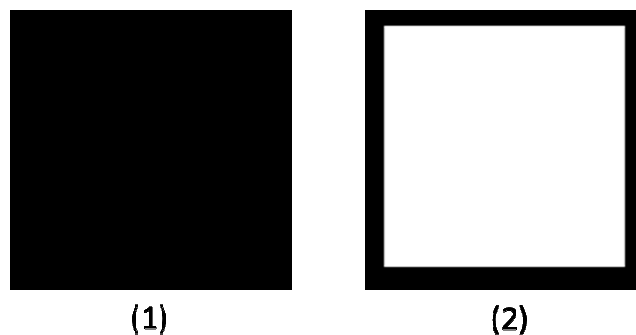


図 2 サンプル画像

Figure 2 Sample pictures

サンプル画像(1)、(2)は同じ pixel サイズである。今回は 200×200 としている。これらのサンプル画像を元に染料拡散を行う。

サンプル画像(1)は、布を折って縛ったとき、表面に位置する部分や表面と隣り合う部分などの、与えた染料が移動部分の元画像として用いる。また、サンプル画像(2)は、それ以外のタイル模様が出やすい部分の元画像とする。

(2) データ取得

データ取得では、まず出力画像の生成を行う。出力画像は実際の染色における布の大きさである。本システムでは、600×600pixel を布サイズとし、1pixel を一本の糸幅として定義する。また、本研究では織構造を平織りと定義して染料拡散を行うものとする。

次に折り目幅のランダム生成を行う。折り目は布を折った回数分生じるため、ユーザ指定の折り回数に従い、縦横それぞれの回数分折り目幅を生成する。

例として、ユーザが縦に 4 回、横に 3 回と指定した場合、折り目幅は以下の図 3 ように与えられる。

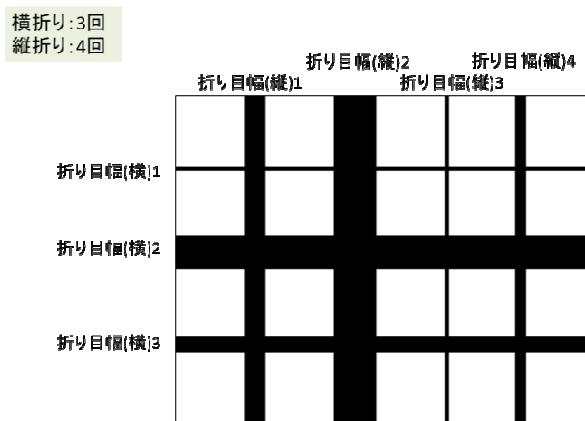


図 3 折り目幅生成例

Figure 3 The example of fold width generation

次に、入力画像のサイズ決定を行う。入力画像は、サンプル画像を複製した画像である。本システムでは、入力画像にサイズ変更や染料拡散などの画像処理を行い、出力画

像に繰り返し描画することで、タイル模様紋りを表現する。
入力画像のサイズは、前述の出力画像サイズと折り目幅から決定する。以下の式を縦横それぞれに用いて、入力画像サイズを決定する。

$$\text{input} = (\text{output} - \text{orism}) / (n + 1)$$

input : 入力画像サイズ
output : 出力画像サイズ
orism : 折り目幅の合計
n : 折り回数

入力画像サイズ決定後、サンプル画像(1)(2)(図 2)を入力画像に縮小して複製する。複製した画像は入力画像として保存する。これ以降はサンプル画像を用いず、入力画像を加工して処理を行っていく。今後、サンプル画像(1)を元にしたものを入力画像(1)、サンプル画像(2)を元にしたものを入力画像(2)と呼ぶ。

入力画像(1)(2)を元に、画像データを取得し、さらに初期値の計算を行って、構造体へ保存する。取得するデータは、1pixel ごとの RGB 値である。この RGB 値を用いて、1pixel 内に与えられた初期染料量を算出する(図 4)。

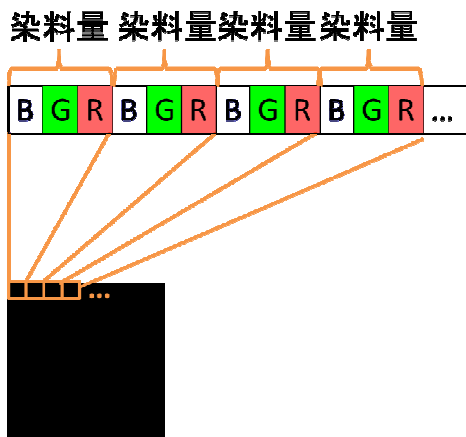


図 4 初期染料量算出

Figure 4 Calculation of the amount of initial quantity of dye

取得した RGB 値と算出した初期染料量を、1pixel ごとに画像データ用の構造体へ保存し、データ取得は終了する。

(3) 染料拡散

染料拡散は、森本らが提案した appearance ベースの染色モデルを応用し、セルオートマトンを用いた染料量の平均化処理を用いる。このモデルは、計算セルの単位を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。

表 4 に染料拡散に必要な各セルが持つ要素を示す。

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	セルの位置
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
染料移動率の有無	mr	紐の結び方の強弱をパラメータ化したもの

表 4 各セルが持つ要素

Table 4 The element which each cell has

本研究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。染料拡散モデルは染色の表現研究である参考文献[9]で森本らが提案した appearance ベースモデルを参考にして染料の浸透を表現する。具体的には、布に与えた染料を、隣のセルとの染料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。布の構造に従って定めたセルの三つのパターンの位置関係(図 5)によって近傍セルとの染料の移動率 β (重み) を決める。

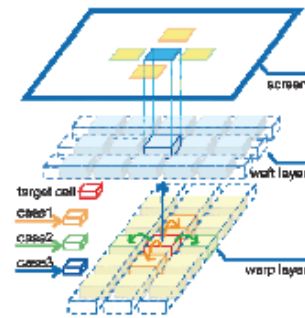


図 5 拡散におけるセルとセルの関係[9]

Figure 5 Relation between the cell and a cell in diffusion

```

s' ← s
for all cells(i, j) do
  for each cell(l, m) ∈ neighbors(l, j) do
    if sij > ε and sij > slm and slm > δ then
      Δs ← max(0, min(sij - slm, clm - slm)β × mr)
      s'ij ← s'ij - Δs
      s'lm ← s'lm + Δs
    end if
  end for
end for
s ← s'

```

図 6 染料拡散の擬似コード

Figure 6 The pseudo code of dye diffusion

このような条件のもとに染料の 4 近傍拡散を行う。図 6 にその擬似コードを示す。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。

(4) 配色

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。色を決める線形補間の式は、赤成分のみを見たとき、以下の式のようになる。

$$R_p = ((255 - R_b) \div 255) \times ((1 - q)R_a + qR_b) + R_b$$

$$q = \frac{c_p - c_a}{c_b - c_a}$$

R_p : 赤成分の結果

R_a : 元の布の色の赤成分

R_b : 染料の色の赤成分

c_p : 現在の染料量

c_a : 保有できる最少染料量

c_b : 保有できる最大染料量

青成分、緑成分においても同様の線形補間を行う。

(5) 描画

描画は染料拡散の直後に行う。ユーザ指定の折り回数から決定する描画回数分、出力画像に染料拡散処理と配色を施した入力画像を描画する。描画回数は以下の式によって表される。

$$\text{draw} = (\text{wn} + 1) \times (\text{hn} + 1)$$

draw : 描画回数

wn : 横折り回数

hn : 縦折り回数

また、拡散後の入力画像は、描画位置によって(1)か(2)のどちらを描画するかが決まる。布を折って縛ったとき、表面に位置する部分や表面と隣り合う部分などの、与えた染料が染み込みやすい部分に入力画像(1)を描画する。それ以外の部分には入力画像(2)を描画する。

本研究では、与えた染料が染み込みやすい部分とその部分に用いる入力画像を、以下の表 5 のように定義している。

	横折り回数が偶数のとき	横折り回数が奇数のとき
最初行開始三枚	入力画像(1)	入力画像(1)
最終行の最終列から前三枚	入力画像(1)	入力画像(2)
最終行開始三枚	入力画像(2)	入力画像(1)

表 5 描画位置と入力画像の関係

Table 5 A drawing position and the relation of an input picture

(6) 出力

描画した出力画像を出力し、画像ファイルとして保存する。

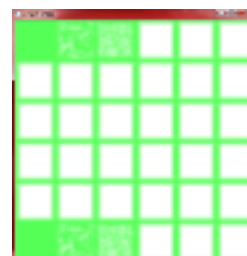
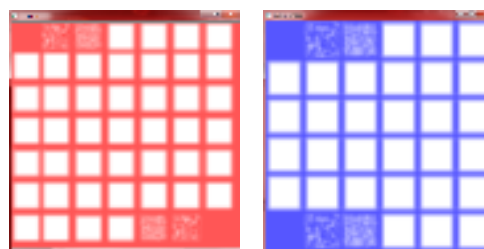


図 7 出力イメージ

Figure 7 Output image

4. 結果

経験や技術がなく、染色を行ったことがない初心者でも、容易にタイダイ染めのタイル模様絞りデザインを想像できるシミュレータを開発した。

4.1 評価実験

表 6 はランダム性を入力内容と出力結果画像の図の関係である。

	布の折り方 丁寧	布の折り方 やや丁寧	布の折り方 やや粗雑	布の折り方 粗雑
紐の縛り方 強め	図8	図9	図10	図11
紐の縛り方 やや強め	図12	図13	図14	図15
紐の縛り方 やや弱め	図16	図17	図18	図19
紐の縛り方 弱め	図20	図21	図22	図23

表 6 ランダム性を入力内容と出力結果

Table 6 The contents of an input of random nature and the output result

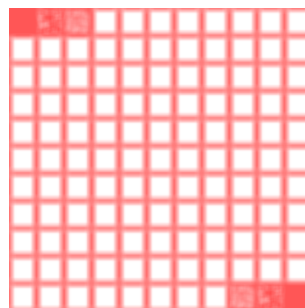


図 8

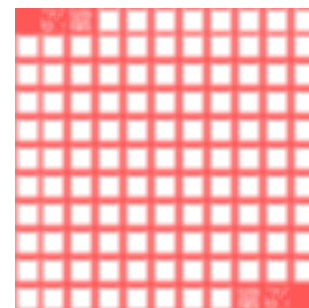


図 9

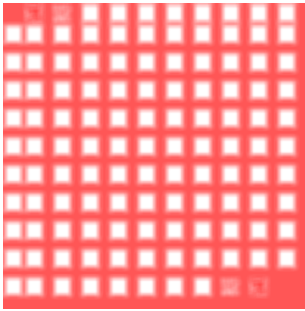


図 10

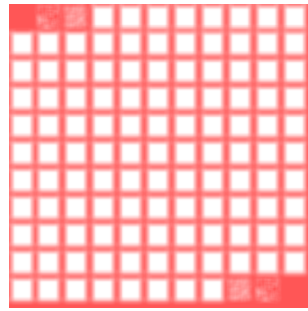


図 11

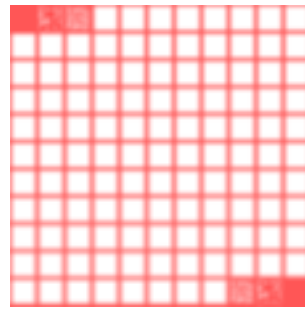


図 20

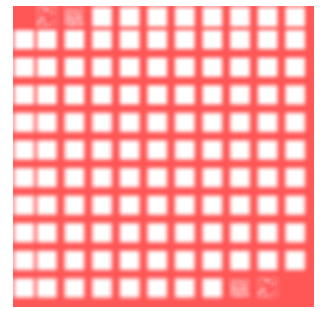


図 21

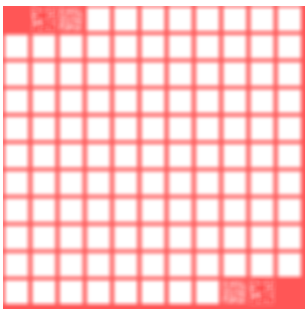


図 12

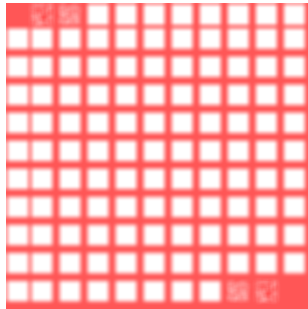


図 13

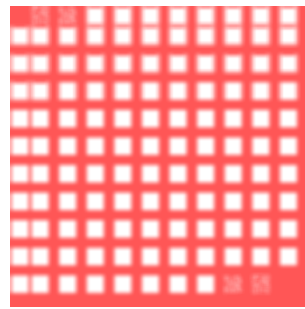


図 22

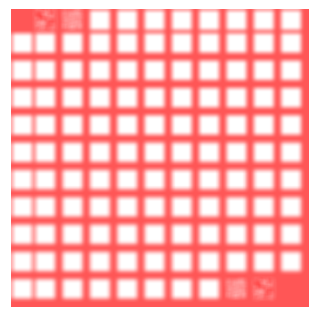


図 23



図 14

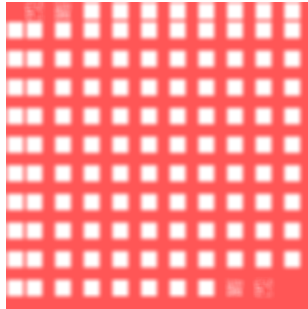


図 15

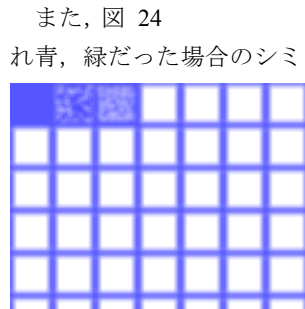


図 24

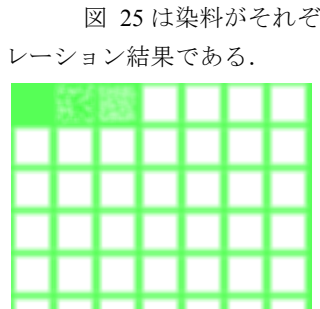


図 25

また、図 24 図 25 は染料がそれぞれ青、緑だった場合のシミュレーション結果である。

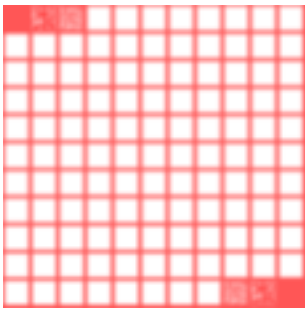


図 16

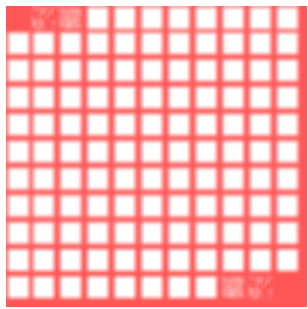


図 17

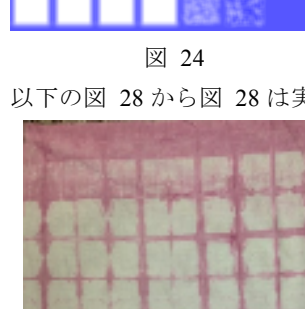


図 26

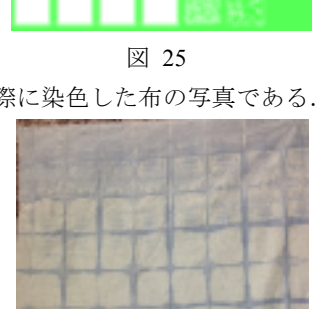


図 27

以下の図 28 から図 28 は実際に染色した布の写真である。

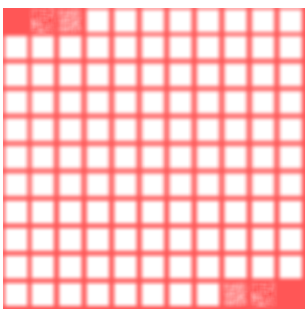


図 18

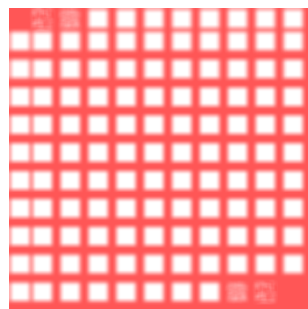


図 19



図 28

4.2 考察

実際の染色によって得られた図 26 図 27, 図 28 と本シミュレータによって得られたシミュレーション結果を比較すると, タイル模様の大さや色の均一性は表現されているが, その他の部分でいくつかの相違点が見られる.

まず, 実際の染色では白抜き部分が多く見られ, ときにはタイル同士が密着している. その点, シミュレーション結果は白抜き部分がはっきりと格子で区切られている.

実際の染色では一行目と最終行が全て染まっているのに対し, シミュレーション結果では一行目, 最終行それぞれ三マスのみが染まっている. これについては, 利用する入力画像の変更と布同士の染料拡散の改善によって解決できる.

また, 図 8 から図 11 の出力結果はいずれも紐による圧迫のランダム性がない状態, つまり染料移動のランダム性がない状態のシミュレーションである. これらの図は, 布の折り目幅のランダム性が表現されている. ただし, 実際に染色した布と比較すると, 行列が整い過ぎていることが分かる.

図 8, 図 12, 図 16, 図 20 は折り目幅のランダム性がない状態のシミュレーションである. これらの図から, 染料移動率のランダム性はシミュレーションに大きな影響を及ぼさなかったことが分かる.

4.3 展望

以上のことから, 今後の展望として折り目幅のランダム性の改善があげられる. 本研究では, 行や列によって折り目幅を同一の値で揃えていたが, これを全て不均一の値にすることで, よりランダム性を与えられるものと思われる.

今回実装できなかった染料付与のランダム性を取り入れ, さらに不確実性を与えることができ, 図 26, 図 27 で見られるようなランダムに染料が移った部分を表現することができる.

また, 本研究において着目したタイダイ染めのタイル模様紋以外にも染色には様々な技法がある. 今後は他の技法もシミュレーションできるように付加していきたい.

参考文献

- 1) きもの風土記
<http://mustang.c-mash.co.jp/>
- 2) Wyvill B., Van Overveld K., Carpendale S.: Rendering cracks in batik. In NPAR '04: Proceedings of the 3rd international symposium on Nonphotorealistic animation and rendering (New York, NY, USA), ACM Press, pp. 61-149, 2004
- 3) 森本有紀, 小野謙二: 布形状を考慮した絞り染め模様のシミュレータ, Design シンポジウム 2010
- 4) Guo Q., Kunii T. L.: Modeling the diffuse paintings of 'sumie', Modeling in Computer Graphics (1991).
- 5) Qing 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.
- 6) 佐藤 陽悦, 藤本 忠博, 村岡 一信 他 “ストロークベースの水彩画調レンダリング法” グラフィクスと CAD 研究報告 2001
- 7) Paul Haerberli.: Paint By Numbers: Abstract Image Representations, pp. 477-484, 1996.
- 8) Sousa, M.C. and Buchanan, J.W.: Observational models of graphite pencil materials, Computer Graphics Forum, 19(1) : pp. 27-49, 2000
- 9) 森本有紀: 布染色系ノンフォトリアリスティックレンダリングに関する研究, 九州大学