九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

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：

KYUSHU UNIVERSITY

第六章

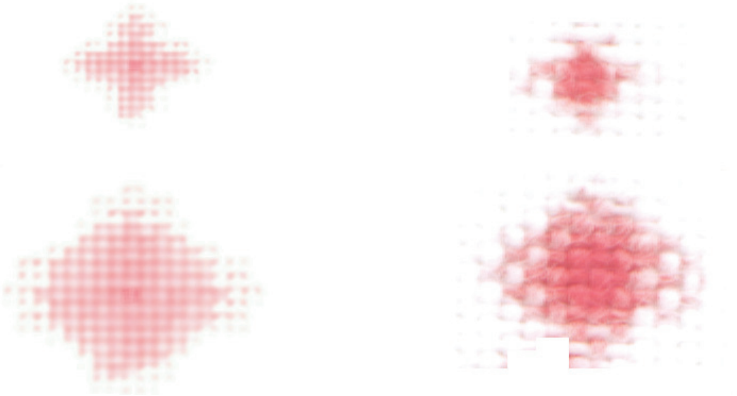
本研究で提案する各手法の比較と考察

本章の概要

この章では第三章から第五章までで述べた三つの提案モデルについて、それぞれ機能毎に分類して、比較と考察を行う。

６．１　拡散手法の比較と考察

appearance ベースによる染色モデルにおいては、セルオートマトンによる染料拡散に対して糸の方向による重みを与えることで染色らしい拡散表現ができた。ただし、この拡散手法では近傍数と３パターンの糸の方向のみが拡散の重みのパラメータとなっているため、実際にはまだらやすじなどの視覚的特徴を表現するには十分とは言えない。よって思い通りのイメージを作成する際に、直観的にパラメータを操作できないという難点がある。具体的には、図３－８の一部を拡大した図６－１を見ると、まだらの特徴はうまく出ておらず改善が必要であることが伺える。



(a) 本手法によって作成した染み　　(b) 実際の染み

図６－１　appearance モデルの欠点（図３－８の一部を拡大したもの）

physics ベースによる染色モデルにおいては、染料の広がりは拡散方程式を用い、拡散係数の値を操作することによって染色の表現を行った。このモデルでは各 diffusion cell に与える拡散係数のばらつきがあまり大きくなければ、ある程度の精度で全体的な染料の量を保存することができる。拡散の指向性を表すための拡散係数は糸の方向によって一本一本毎の糸によって設定するため、すじやまだらの特徴は appearance モデルの手法に比べ比較的表現しやすい。ただし各 diffusion cell における拡散係数の値の幅が大きいと計算が安定せず不適切な結果となってしまう。染色の特徴を表現する上で拡散係数の値を大きく変化させることは非常に重要である。また、このモデルでは糸

の指向性を反映しやすく、また、処理をシンプルにするために 3 近傍処理とした。これによって拡散の指向性は問題ない程度に表現できた。しかし、より柔軟な表現をするためには 3 近傍では不足であると考えられる。

染色理論を用いてパラメータ化された physics ベースによる染色モデルでは、より安定した拡散方程式の差分式を用い、拡散係数を布や染料の状態を考慮して決定することができ、実際に近い染色表現を実現しやすい形となった。拡散係数の値の幅を比較的大きくしても安定性条件（式６－１）を満たす限りは安定して計算を行える。また、拡散係数は一本一本の糸における屈曲度と多孔度、diffusion cell の持つ繊維の方向と diffusion cell 同士の位置関係、そして水中拡散係数や染料の平衡時の染浴の染料濃度、染料濃度などの要素から決められる。これによって繊維や染料の状態を考慮できる。様々な染色の特徴表現を屈曲度と多孔度の調整で行うことができる。これらの値を調節することには意味があるので、適当な値を設定していた前二つのモデルに比べれば直観的に染色のシミュレーションを行いやすい。しかし、今後更なる高速化を図るのであれば式６－１は厳しい条件である。よって、時間差分 Δt の値を大きくしても無条件に安定して計算が行える陰解法への発展が見込まれる。また、本論文で述べた拡散手法についての比較を表６－１に表を示す。

$$D\frac{\Delta t}{\Delta d^2} < \frac{1}{2} \qquad (6-1)$$

表６－１　拡散手法の比較

項目/モデル	第三章	第四章	第五章
拡散	Curtis らの Backruns の改良	Fick の法則	Fick の法則（D 可変）
近傍数	５近傍	３近傍	５近傍
拡散係数の設定の際に考慮する事項	３パターンの糸との隣接関係。	異なる層への拡散係数をパラメータで制御する。３近傍なので隣接関係がシンプル。	Weisz-Zollinger モデルに基づき、染料の種類や各糸毎の要素によって求める。特に屈曲度は、糸のねじれ・織構造・糸の隣接関係の三つから定義。
安定性	◎	△	○
処理速度	◎	○※	△※

※これらの処理速度は拡散方程式の解法を変えることによる改良の余地がある。

ここで、色素輸送における繊維構造の考慮についての既存手法との違いを述べる。既

存手法では繊維構造を考慮するために、大きく分けて二つの手法が提案されている。一つは、[7,8]などの多くの NPR で提案されているようなスキャンした紙画像のグレイスケール値を用いる方法である。これを、各セルの水の飽和量として、また、色素の輸送を妨げる要素として考慮する。もう一つは[1,4]などで提案されている方法である。生成した仮想の繊維メッシュ中の繊維の交差数によって各セルにおける色素の保有量を求めるものである。どちらの既存手法においても紙は 2 次元で表現されており、繊維の量によってそのセルの色素の量を制限するものである。本研究では、これらの手法と同じように繊維の多孔度を用いて繊維の密度からセルの保有できる染料量を制限しているだけでなく、拡散経路の屈曲による影響を考えることによって、セル間の繊維の向きの違いを考慮している。また、既存研究では繊維を量として捉えていたが、本研究では布表現を 2 次元ではなく 3 次元方向の要素を加えて行ったことにより、繊維の重なりを表現することができる。まだらやすじの表現は繊維の重なりによって実現される。表６－２に拡散手法についての既存研究との比較を示す。

表６－２　拡散手法についての既存研究との比較

項目/手法	既存手法１[7,8]	既存手法２[1,4]	本手法
計算空間	２次元	２次元	３次元（２層モデル）
繊維方向の考慮	×	○	○
繊維の隣接関係の考慮	×	×	○
繊維量の考慮	○	○	○
色素モデル	水と別	水と別	水と混合
繊維方向	／（※1）	◎（多方向※1）	○（２方向※1、2）

※1 繊維方向の定義がなくても繊維量によって各セルでの色素の飽和量を決めているのであれば、それが繊維方向を多少考慮することになる。

※2 この手法では繊維の隣接関係を含めて拡散方向への影響を考慮している。

６．２　吸着手法についての比較と考察

appearance ベースによる染色モデルでは吸着は考慮されていない。physics ベースによる染色モデルでは一定の割合で拡散している染料が各 diffusion cell に固定されるという手法を用いている。パラメータ化した physics ベースによる染色モデルでは吸着は吸着係数を用いて一方通行の拡散として定義している。このとき吸着の限界量を染料濃度や繊維の割合から求めている。吸着モデルに従って染料の吸着を行うことによって染色の結果は大きく異なり、染色の重要な視覚的特徴となることがわかった。吸着手法の比較についてまとめたものを表６－３に示す。

既存研究の吸着手法では第四章のモデルのように一定の割合で吸着するもの[7]や第五章のモデルのように一方方向の拡散として実現しているもの[8]がある。また、吸着だけでなく、脱着を考慮したもの[7]もあるがこれは本手法では扱っていない。しかし、第五章の吸着モデルでもう一つの吸着機能である吸着モデルを取り入れるような試みは既存のNPR研究においてされていない。

表６－３　吸着手法の比較

項目/モデル	第三章	第四章	第五章
吸着	／	△一定の割合で色素を定着。	◎一方向の拡散として吸着。 吸着モデルで制限。

６．３　布表現についての比較と考察

布の表現としては、実際の染物の観察に基づくもの（３．４．２)、実写の布画像に基づくもの（４．４．２)、そして Adabala らの手法を用いたもの（５．６）の三つを提案した。

布の観察に基づく方法は非常に簡単な方法なので理解しやすく実装も簡単であり、それなりのリアリティが得られる。しかし、拡大した場合の表現が不自然であり、一種類のテクスチャしか実現できないのが短所である。

実写の布画像に基づくものは質感としてはもちろんリアルであるが、染料拡散モデルと実際の布画像のデータを一致させることが必要となる。この作業は今のところ手作業で行っているが、データを一致させるにはかなりの手間がかかり、正確さも保証されないため現実的ではない。この部分を解決する方法を提案できれば、実写の布画像に基づく方法は有効であると考えられる。

Adabala らの手法[23]に基づく方法はいろいろな布テクスチャをいくつかのパラメータによって簡単に生成でき、リアルである。更に、拡大した際の表現も違和感がなく実写の布画像と間違われるくらいである。この手法であればかなりリアルな布の質感を本拡散モデルとともに実現できるので現時点では三つの方法の中では最も染色システムに適している。

布表現の比較についてまとめたものを表６－４に示す。表中の項目「遠距離・中距離・近距離」はそれぞれの距離から結果画像を見た際の評価項目である。

表６－４　布表現の比較

項目/モデル	第三章	第四章	第五章
手法の内容	布の観察に基づいて超楕円を用いた近似的陰影表現	実写画像を用いた陰影表現	Adabala らの手法[23]に基づく
遠距離	○※1	◎	○※1
中距離	○	◎	◎
近距離	×	◎	◎
拡散への影響	特になし	糸毎の値設定などが困難	特になし

※1 遠距離での第三、五章のモデルが劣るのはテクスチャとしての問題よりも糸の並びがまっすぐだからであると考えられる。

(a)超楕円を用いた陰影表現　(b)実写布画像を用いた陰影表現 (c)Adabala らの手法に基づいた陰影表現

図６－２　布の陰影表現の比較

また、布の織構造モデルについては appearance ベースによる染色モデルと physics ベースによる染色モデルにおいて縦糸と横糸を二層にした共通のモデルを用いている。パラメータ化された physics ベースによる染色モデルでは更にこれに隙間の要素を加えることによって、布の表現も拡散の表現も改良された。布の表現ではそれまでは隙間の存在がないことによって繊維を隙間なく配列するしかなかった。拡散の表現では隙間を入れることにより、diffusion cell 間での新たな関係性を屈曲度（τ_3）によって考慮することができるようになった。

また、着色方法は実際の染物画像から抜き出した複数色、もしくは適当に定めた複数色を染料の濃度によって線形補間する方法を用いた。実際の染料と布との色の関係を RGB 空間内の少ない点上の線形補間で表現できるようなものはあまりない。よって、理想的には染料量の推移に対する色を数多くプロットして補間することが望ましい。

６．４　拡散の制御方法についての比較と考察

提案した三つのモデルの中では染色技法を表現するために、染料を与える位置と量、防染をする位置と度合いを設定する方法を用いており、防染の方法では提案モデルによって違いがある。

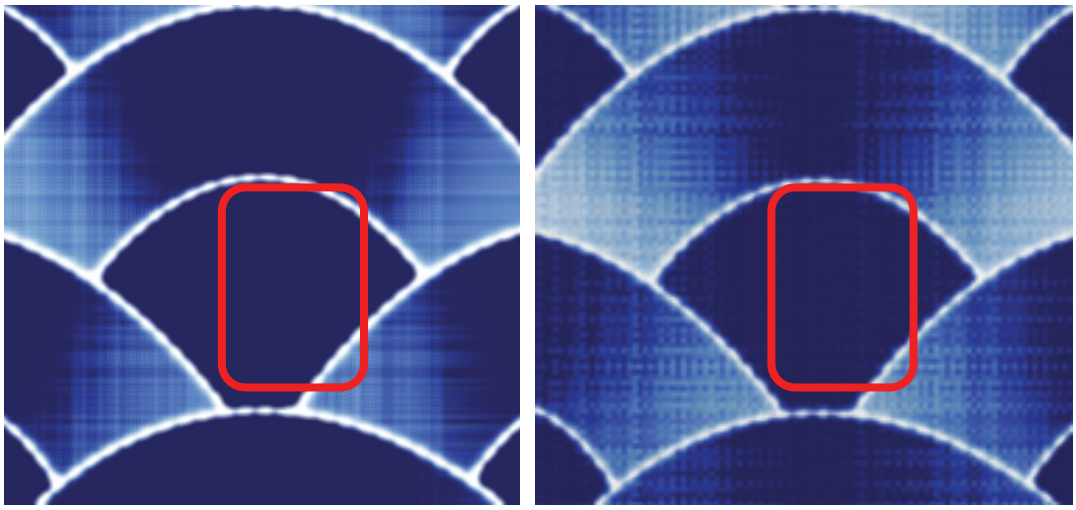
appearance ベースによる染色モデルでは防染を表現する方法は考慮されていないのでここでは比較・考察の対象としない。physics ベースによる染色モデルでは、防染の位置と度合いを拡散係数に反映させ、染色の起こりやすさによって防染を表現している。また、防染の度合によって diffusion cell が保有できる染料の飽和量を制限している。防染をする位置と度合いはそのまま diffusion cell の染料保有量に反映されるので直観的に防染模様を生成することが可能である。しかし、この手法ではすじやまだらなどを表現するために重要な糸毎の拡散係数のばらつきは diffusion cell の染料飽和量には関係がないため、十分に拡散が起こっている diffusion cell でのすじやまだらなどの表現を行いにくい。これは図６－３(a)（青海波）において、染料の飽和しているエリアではすじが見られないことからもわかる。一方、図６－３(b)では飽和部分においてすじの特徴が見られる。まだらやすじなどの特徴箇所は全く染料がないわけではなく少ししか染料がない、という状態である。しかしこのような場合、拡散係数を小さく設定するだけでは、染料が飽和状態に近い diffusion cell は視覚的な影響をほとんど受けないため、まだらやすじなどを表現するのが難しい。

これに対してパラメータ化された physics ベースによる染色モデルでは、防染による diffusion cell の飽和量の設定に加えて、多孔度による飽和量の決定を取り入れたことによって、模様や染料の視覚的特徴表現を各 diffusion cell における飽和量の制限によって統合的に扱っている。

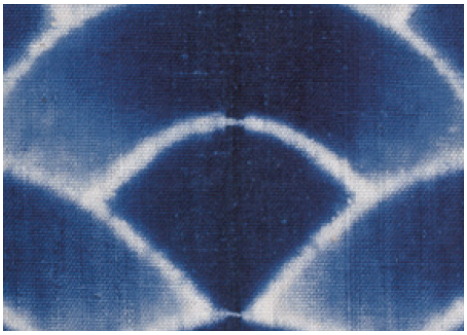
表６－５に拡散の制御方法の比較についてまとめたものを示す。

表６－５　拡散の制御方法の比較

項目/モデル	第三章	第四章	第五章
手法の内容	／	防染の度合に比例して diffusion cell の飽和量を設定	第四章の手法に加え、染色の特徴を表現するために重要な糸毎のパラメータによって飽和量を設定
特徴表現（まだら等）	△	○	◎



(a)第四章のモデルの結果画像　　(b)第五章のモデルの結果画像



(c) 実際の染物画像

図６－３　染料飽和部分の比較