

重回帰四角形推定による水彩絵の具の2色分解法の基礎検討

A Fundamental Study on Color Decomposition Method for Two Watercolors by Multiple Tetragonal Regression Estimation

寺井友一†
Tomokazu TERAI

水野慎士‡
Shinji MIZUNO

岡田 稔†
Minoru OKADA

1. はじめに

歴史的に貴重な文化遺産を電子データとして記録し、再現するデジタルアーカイブが注目されている。絵画作品のアーカイブ手法として、田中ら [1] は油彩画表面の凹凸や光沢などをマルチバンドカメラにより計測し、コンピュータグラフィックス技術によるリアルな再現を可能としている。筆者らは、浮世絵を仮想木版画に基づき版木として保存する浮世絵の知的符号化 [2] を提案している。浮世絵は多版多色刷木版画であり、一枚の紙に複数の版木と絵の具を用いて印刷される。各版の絵の具が重なる領域において水彩絵の具の重ね塗りと同様な混色表現が存在するため、従来手法ではその混色について物理的考慮が無く版木推定が不正確となる問題があった。

本論文では、浮世絵から多版多色刷木版木の版木形状を推定するため、水彩絵具2色の重ね塗り画像を色分解し各単一色塗り画像に分離する手法を提案する。浮世絵の重ね塗り混色は2色が大半で、3色以上の重ね塗りはごく僅かであることから本手法に意義がある。既に水彩絵の具の混色を色分解するため、混色を考慮して色合成する粒子密度モデル [3][4] が提案されており、それを合成色から各基本色要素に分解する逆問題解析に利用する [5]。また、絵の具標本と浮世絵のスキャン画像に対し色分解実験することで本手法の有効性を検討する。

2. 水彩絵の具の粒子密度モデル

粒子密度モデル [4] では、水彩絵の具を木版画という絵の具の厚みが薄く一定な重ね塗り混色に限定することで、並置混色 [6] に近似している。齋藤らは Kubelka-Munk による理論 [7] を直接的に実装した絵の具モデル [9] を提案し、 $L^*a^*b^*$ 色空間上の比較により優れた混色特性をコンピュータ上で再現している。しかし Kubelka-Munk による理論は非線型であるため合成色から基本色に分解する逆問題解析への利用が困難となる。そのため本研究では、粒子密度モデルによる線型方式が色分解に適している。筆者らは、粒子密度モデルを色合成問題 [4] から色分解問題 [5] へと検討を進めている。

2.1 粒子密度モデル式

図1のように複数の絵の具が n 層重ね塗りされると、第 i 層において観測される色 C_i は式 (1) に示す色空間ベクトルの内分関係で表されると仮定する。

$$C_i = \begin{cases} \rho_i T_i + (1 - \rho_i) C_{i-1} & (0 < i \leq n) \\ S & (i = 0) \end{cases} \quad (1)$$

† 早稲田大学大学院情報生産システム研究科
Graduate School of Information, Production and Systems,
Waseda University

‡ 豊橋技術科学大学情報処理センター
Computer Center, Toyohashi University of Technology

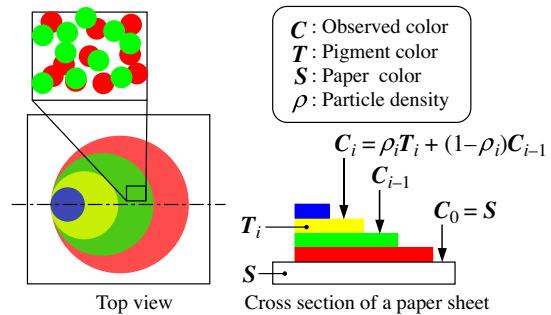


図1: 粒子密度モデル

Fig. 1: Particle density model.

ここで、 T_i, ρ_i はそれぞれ、第 i 層における絵の具の粒子色、粒子密度であり、 S は紙色である。

2.2 $L^*u^*v^*$ 色空間における2色重ね塗り画像の特徴

図2(a)より、A, Bの2色の絵の具の均一な重ね塗りを仮定すると、紙色 S , A, Bの重なり領域色 C_{BA} , 単色塗り領域色 C_A, C_B , の4色が観測される。本モデルに基づく、全ての観測色は加法混色の直線性を維持する $L^*u^*v^*$ 色空間 [8] において図2(b)のように、三角形 $ST_A T_B$ 上に存在し、観測色は四角形 $SC_A C_{BA} C_B$ (図2(b) Observed tetragonal area) を形成する。以下、本稿ではこの四角形を重回帰分析で推定することとし、求める四角形を重回帰四角形という。Aが塗られた領域色は C_A, C_{BA} (図2(b) Paint area of A), Bでは C_B, C_{BA} (図2(b) Paint area of B) となる。ここで、上塗りの絵の具Bの粒子密度 $\rho_B = 1$ のとき、下層を完全に隠蔽するため下塗りの絵の具Aの領域が推定できない。そのため本手法により2色の絵の具領域が推定可能な条件は $0 < \rho_B < 1$ のときである。

実際に2色の水彩絵の具 (Yellow, Blue) をローラーを用いてできる限り均一な厚みで重ね塗りした標本のスキャン画像 (図4(a) 第一段目, 512×265 pixel, 200dpi) を用意し、その全画素を $L^*u^*v^*$ 色空間 (図3(a), (b)) に描画させた結果、その分布はほぼ同一平面上に位置し、各絵の具の領域色に対応するとみられるクラスタが確認された。そこで、次節にて入力画像の色空間分布に基づく各絵の具領域の推定手法を示す。

3. 重回帰四角形推定による色分解手法

本色分解の必要条件として、入力画像は図2(a)のように4つの観測領域が存在し且つ色分解対象外の絵の具領域は含まれていないものとする。

(1) 対象画像の $L^*u^*v^*$ 色空間分布に基づく重回帰四

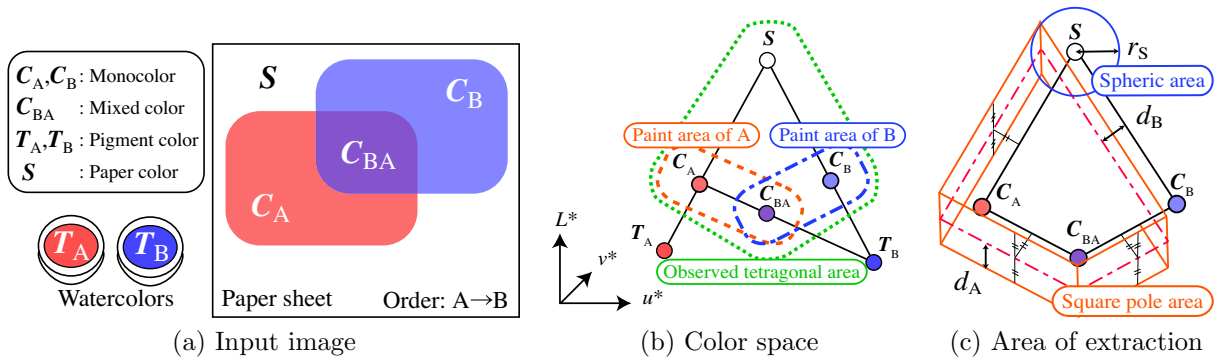


図 2: 粒子密度モデルに基づく色空間分布の例
 Fig. 2: Example of distribution based on our model in a color space.

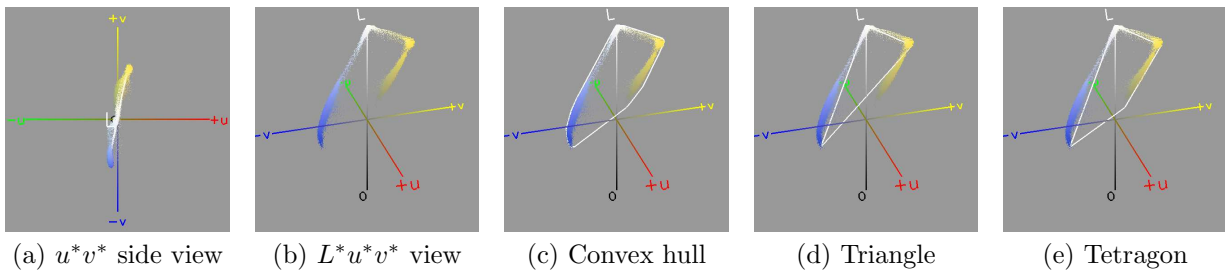


図 3: 入力画像の色空間分布から近似三角形を求める過程
 Fig. 3: The process of deriving approximate tetragon from color distribution of a given image.

角形の決定と、(2) 求めた四角形に基づく各絵の具の対応画素の抽出領域決定、の二つの手順に分けられる。抽出結果は絵の具塗り領域を示す二値画像を得る。以下にその二つの手順を示す。

3.1 重回帰四角形の決定

対象画像の色空間分布から重回帰平面の計算とその平面へ全画素値の正射影を行い、全射影点に対する凸包多角形を計算する。求めた凸包多角形 (図 3(c)) から、以下 4 つの手順で重回帰四角形を決定する。

1. 紙色頂点 S の決定 ($S: (L^*, u^*, v^*) = (100, 0, 0)$ に対し最短距離)
2. 内接する三角形の決定 (S が一頂点で且つ面積最大、ここで S の対辺を l_S とする、図 3(d))
3. 混色頂点 C_{mix} の決定 (l_S からの垂直距離が S の反対側で最長距離)
4. 重回帰四角形の決定 (三角形に C_{mix} の追加、図 3(e))

3.2 近似四角形に基づく抽出領域

抽出対象を絵の具 A の塗り領域とすると、抽出形状は図 2(c) としている。 d_A, d_B で設定される四角柱領域から r_S で定義される球状領域を除く形状をとっており、対象となる近似四角形の頂点 (図 2(b) の Paint area of A) と、若干の塗り斑による分布の広がりを考慮して、できる限り対象絵の具領域の画素を多く抽出する。

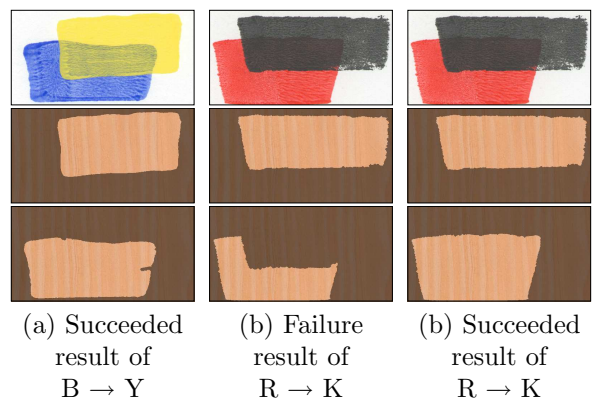


図 4: 色分解実験結果
 Fig. 4: Results of experiment.

4. 色分解実験

本提案手法を用いて色分解実験を行った。分解結果となる 2 値画像は、版木を想定して木目テクスチャが使用されており、切削領域に影が付けられている。抽出結果は、成分除去、領域成長・収縮の二値画像処理によってノイズ除去が施されている。

4.1 重ね塗り標本の色分解

2.2 の条件で 5 色 (Red, Yellow, Green, Blue, Black) の水彩絵の具の内 2 色を選択し、重ね順を考慮して全 $2 \cdot {}_5C_2 = 20$ 通りの重ね塗り標本を作成し本色分解手法

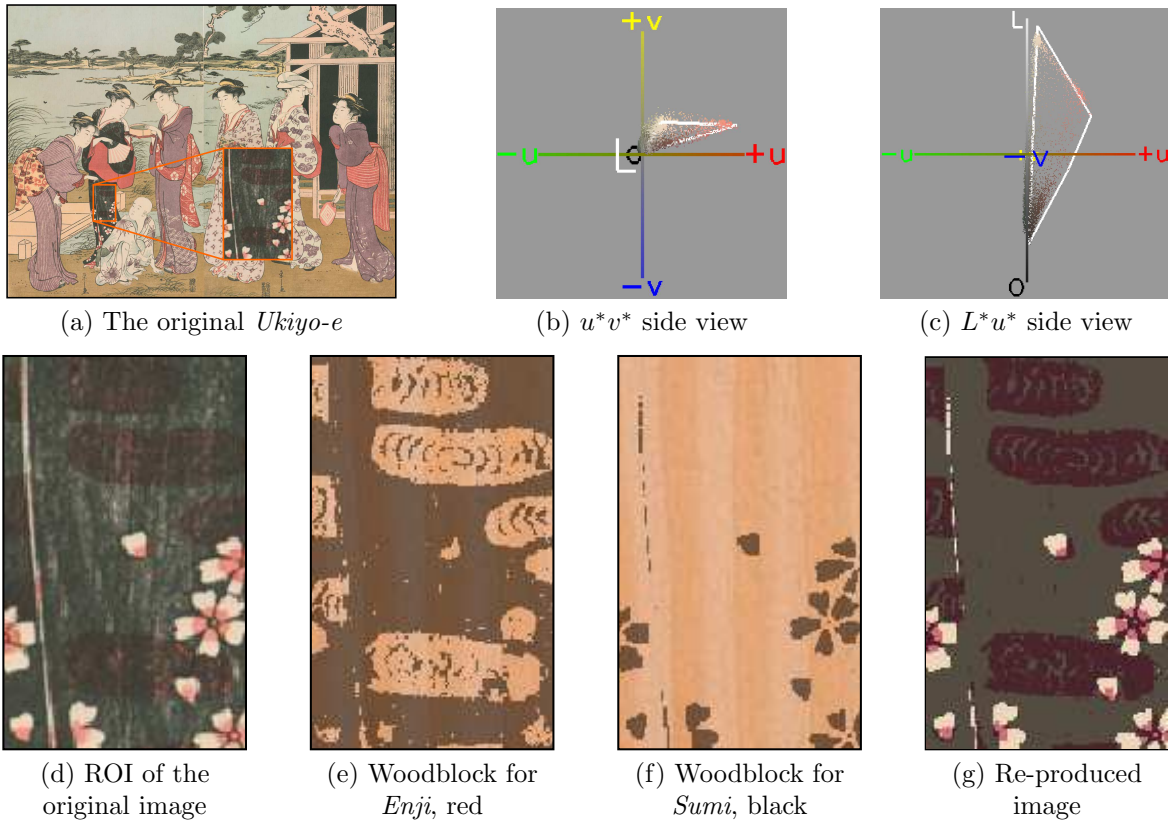


図 5: 浮世絵画像 (鳥文斎 栄之: “螢狩り”) の色分解結果

Fig. 5: An experimental result for an *Ukiyo-e*: ‘Firefly viewers’ by *CHOBUNSAI Eishi*.

を適用した．このときの抽出形状のパラメータ設定は，その標本の紙が全て同種であるため r_S は全て同じ値とし， d_A, d_B を次の二つの条件で設定し色分解した．

- (a) 全標本について共通な値で色分解の成功率が最大
- (b) 各標本に対して値を変化させ成功率が最大

その結果，条件 (a) では成功率が 11/20 となり，条件 (b) では 19/20 となった．ここで図 2(a) での三領域 C_A, C_{BA}, C_B の抽出欠損を目視判断して成功/失敗を主観判断した．図 4(a) は条件 (a), (b) 共に成功した例であり，図 4(b), (c) は同じ入力画像においてそれぞれ条件 (a) における失敗例，条件 (b) における成功例である．この結果から各標本の混色点の分布を考慮して粒子密度を推定し，パラメータ d_A, d_B の設定を自動化することで成功率の向上が期待できる．

4.2 浮世絵の色分解

図 5(a) に示す浮世絵 [10] では，女性の着物部分において紙の上に墨と臙脂 (えんじ) の 2 色の絵の具が重ね塗り¹されている．色分解対象領域 (図 5(b), 119×193pixel, 72dpi) の全画素に関する $L^*u^*v^*$ 色空間分布は絵の具標本と同じく粒子密度モデルに似た分布形状が得られた (図 5 (b), (c))．そして，本色分解手法を適用したところ，図 5(e), (f) の二つの領域画像に分離することがで

きた．図から重なり部分も考慮して分離され，臙脂の模様も抽出されているのが分かる．浮世絵の色分解ではノイズが多く，抽出時にノイズ除去を施しても模様の輪郭がきれいに現れなかった．ムラの多い刷りがされているため，上層の黒系統色が濃く出ているところが原因と考えられる．さて，図 5(d) では墨領域がかなりかすれているのに対し，同図 (f) では良好な分解結果が得られた．これは，単に色分解と考えた場合には問題となるが，摺り操作によるかすれの結果と考えるならば望ましい結果といえる．この問題については更なる検討が必要である．

次に，図 6(a) に示す浮世絵 [11] では雄黄と墨が重ね塗り¹されている．その領域 (図 6(b), 147×285pixel, 300dpi) について $L^*u^*v^*$ 色空間分布を示すと，先の浮世絵 (図 5(b), (c)) と同様にほぼ同一平面上に近かった．そこで本色分解手法を適用した結果，墨の領域 (図 6(f)) は抽出されたが，雄黄の領域 (図 6(e)) は現段階で抽出することは不可能であった．これは，上塗りの墨の粒子密度がほぼ 1 であり，本手法の適用範囲外の条件に相当すると考えられる．しかし，墨は浮世絵において輪郭線や頭髮などで多用されており，浮世絵の版木推定に必要なため検討を要する．

5. おわりに

本論文では水彩絵の具の重ね塗り混色の色分解手法を提案し，重ね塗り標本に適用することで良好な分解結果

¹日本の伝統色 [12] より目視判断

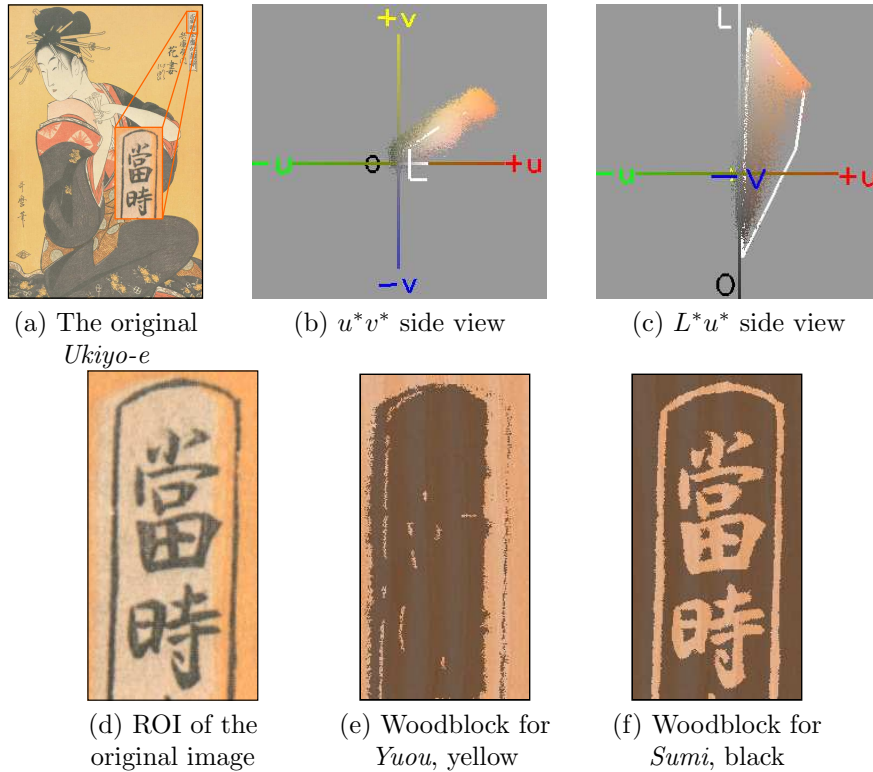


図 6: 浮世絵画像 (喜多川 歌麿: “当時全盛似顔絵揃 兵庫屋内 花妻”) の色分解結果
 Fig. 6: An experimental result for an *Ukiyo-e*: ‘Collection of Contemporary Popular Beauties’ by *KITAGAWA Utamaro*.

が得られ、抽出パラメータの適切な設定により成功率が上がることを示された。そして、本手法が実際の浮世絵スキャン画像についても有効であることも示された。また、重なり領域における上層の絵の具の粒子密度がほぼ1のときや、色分解対象としない3色以上の絵の具領域が含まれる画像には対応しておらず、浮世絵全体を入力として扱うためには、より一般的な条件に対応させる必要がある。しかし、本手法が頼りにしている情報は入力画像の色空間分布のみであり、各絵の具領域のエッジや絵の具粒子色の情報を知識として利用していない。これらの情報を導入することによってロバストな色分解手法となる可能性があり今後の発展性も期待される。今後の課題として、色空間における抽出領域パラメータ設定の自動化、浮世絵全体を入力画像としたときの各絵の具領域色の分割統合による色分解法の検討、日本の伝統色 [12] の色数限定による色分解支援があげられる。

参考文献

- [1] 田中法博, 駒田隆之, 富永昌治: “カラーカメラを用いた美術絵画の計測とレンダリング”, 情処論, Vol. 45, No. 1, pp. 350–361 (2004-1)
- [2] 岡田稔, 水野慎士, 鳥脇純一郎: “モデル駆動による仮想彫刻と仮想版画”, 芸術科学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 74–84 (2002-6)
- [3] 寺井友一, 水野慎士, 岡田稔: “水彩絵の具の重ね塗り効果の表現に関する基礎検討”, 情処研報, GCAD 研究会, 2002-CG-108-14, pp. 79–84 (2002-8)
- [4] 寺井友一, 水野慎士, 岡田稔: “粒子密度モデルを用いた仮想木版画におけるぼかし刷りの検討”, Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム 2003, pp. 87–92 (2003-6)
- [5] T. Terai, S. Mizuno and M. Okada: “Color Decomposition of Overlapped Watercolors”, *Proc. of ICPR2004 - 17th Int’l Conf. on Pattern Recognition* (to appear, Aug. 2004)
- [6] 大田登: “色再現工学の基礎”, コロナ社 (1997)
- [7] Von P. Kubelka and F. Munk: “Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche”, *Zeitschrift für technische Physik*, pp. 593–601 (1931)
- [8] 大田登: “色彩工学 第2版”, 東京電機大学出版局 (2001)
- [9] 齋藤豪, 中嶋正之: “Kubelka-Munk の理論を用いたデジタルペインティングのための絵の具モデル”, 信学論, Vol. J82-D-II, No. 3, pp. 399–406 (1999-3)
- [10] 菊地貞夫: “原色日本の美術 17 –浮世絵–”, 小学館 (1968-1)
- [11] 山根有三 他: “原色日本の美術 24 –風俗画と浮世絵師–”, 小学館, p. 65 (1977-1)
- [12] 福田邦夫: “日本の伝統色-色の小辞典”, 読売新聞社 (1987-5)