

3次元頭髪モデルにおける 染色・褪色のビジュアルシミュレーション

堀江 康晃

藤代 一成

慶應義塾大学理工学部情報工学科

1 序論

近年、頭髪の染色はひじょうに手軽かつ身近なものとなり、多くの人々が楽しむようになっている。しかし、事前に頭髪を染色した後のイメージを予測することは困難である。また、染色後の頭髪は紫外線や洗髪の影響により徐々に褪色するため、染色直後とは異なる色に変わる。

頭髪の色は毛内部のメラニン色素量により決定される。頭髪の染色は、毛に塗った染毛剤によってメラニン色素を脱色するとともに、染料の色素が毛の内部に吸着することにより実現される。また、褪色は染色後の頭髪から染料による色素が抜け落ちることにより発生する。

本研究では、事前に染色後の頭髪色の様子を予測するための、メラニン色素と染料による色素の量の変化に依存した頭髪色の時間変化を表現するビジュアルシミュレーションモデルを提案する。

2 メラニン色素による頭髪の色

頭髪内には2種類のメラニン色素(ユーメラニン、フェオメラニン)が存在する。前者は濃い褐色～黒の色素、後者は黄～赤の色素であり、頭髪の色はこれらの量に依存する。例えば、日本人のような黒髪にはユーメラニンが多く、欧米人に見られるような金髪にはフェオメラニンが多く含まれている。頭髪の染色時にメラニン色素が脱色されることから、頭髪の色をこれらの色素の量によって表す。メラニン色素によって吸収される色は、既存研究のメラニンモデル [1] により式 (1) で表される:

$$A_i = -\ln(\hat{m}_1^{p_i} \hat{m}_2^{q_i}) \quad (1)$$

ここで、 A_i は吸収する色の r, g, b の値を表し、 \hat{m}_1, \hat{m}_2 は $(0, 1]$ の範囲で表されるユーメラニン、フェオメラニン濃度である。 r, g, b それぞれに対して $p_r = 1, q_r = 1, p_g = 1.3036, q_g = 1.6390, p_b = 2.2272, q_b = 3, 8370$ と定義される。物質の色は吸収された色の補色として観測されるため、式 (1) で求めた色の補色を式 (2) から求め、頭髪の色 C_i とする。

Visual Simulation of Dyeing and Fading for Three-Dimensional Human Hair Models
Yasuaki Horie, Issei Fujishiro
Department of Information and Computer Science, Keio University

$$C_i = (A_{max} + A_{min}) - A_i \quad (2)$$

ここで、 A_{max}, A_{min} は、 A_r, A_g, A_b のうち最大、最小のものである。

例えば、図 1(a) は $\hat{m}_1 = 1, \hat{m}_2 = 1$ 、図 1(b) は $\hat{m}_1 = 0.6666, \hat{m}_2 = 1$ のときの頭髪の色である。

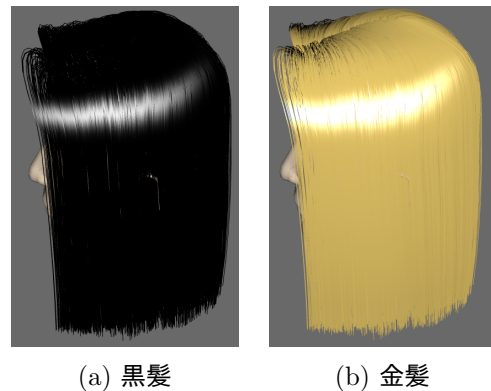


図 1: メラニン量による頭髪色の表現

3 染毛剤による頭髪の色の変化

頭髪染色時の、メラニン色素の脱色と染料の色素吸着、さらにその後吸着した色素が抜け落ちて起こる褪色について、それぞれの色の変化を考察する。ここでは染毛剤を頭髪に対して均一に塗るものとし、塗りむらは考慮しない。また、染料は毛全体に拡散していると仮定する。

3.1 脱色による色変化

染毛剤は毛の内部へ浸透し、接触したメラニン色素を脱色するとともに、染料の色素を吸着させる。したがって、脱色されるメラニン色素量は染料の吸着量に依存すると考えられる。そこで、繊維への染色のシミュレーション [2] を参考にして、染色物理に基づいた吸着等温式の形でメラニンの減少量を表す。

黒色の毛に対し、脱色のみを 15 分間、30 分間行ったものと、脱色と染色を 30 分間行ったもののサンプル画像を 1 枚ずつ用意し、その一部を切り取り、図 2 の画像を得た。

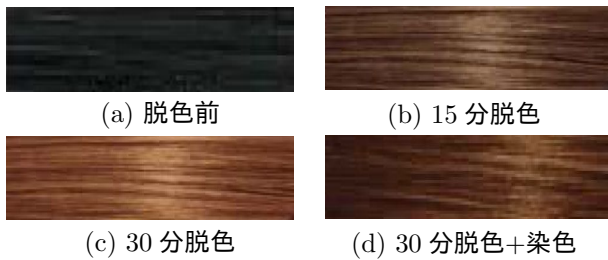


図 2: 染色前と各条件で色を変化させた頭髪

図 2(a) の黒髪を脱色した毛のサンプル画像である図 2(b), 図 2(c) から画像処理により色の中央値を計算する. その後, 2 種類のメラニンが同じ割合で脱色されると仮定して, 頭髪の色が求めた中央値に最も近くなるようなメラニンの減少量を計算した. 染毛剤を塗った直後から減少が始まるとして, 開始直後, 15 分後, 30 分後のメラニン減少量から累乗近似曲線を求めると, 両メラニンの減少量は $m = 0.017t^{0.41}$ (t は分) と表され, フロイドリッヒ型の吸着等温式 [2] と同形の式となる. この式を用いてタイムステップごとに両メラニン色素を減少させることで頭髪の色を変化させる.

3.2 染料による色変化

染料による色の変化は, まず 3.1 項と同様に, 図 2(d) の染色した毛の色の中央値を計算し, その後脱色のみを行った頭髪の色との差分を染料の色素による変化として求めた. 脱色と同様に染色開始後から染料が吸着するとして, 開始直後と 30 分後の色の値から近似曲線を求めると, 今回用いた染料に関して r, g, b それぞれの変化量は $r = 0.021t^{0.44}$, $g = 0.013t^{0.37}$, $b = 0.017t^{0.41}$ となった. この値をメラニンの量から決まる頭髪の色から変化させることで染料による色の変化を表現する.

3.3 褪色

褪色は染色後 1ヶ月程の期間で発生するが, 頭髪の色の変化は徐々に小さくなる. したがって, 抜け落ちる色素の量は指数関数的と予測できる. この関数を決定するために, 染色と同様に今後実際に褪色した毛の画像から近似式を導出する予定である.

4 結果

図 1, 図 3 の画像は, すべて PC (OS:Windows8 64bit, CPU:Intel Core-i7 3.4GHz, GPU:GeForce GTX750Ti, RAM:8GB) 上で, API として Direct3D11.2 を使用して作成した. 頭髪モデルは Cem Yuksel 氏が公開しているモデル (<http://www.cemyuksel.com/research/hairmodels/>, 2014 年 12 月 29 日) を使用し, ライン表現で描画した. 使用したモデルの複雑度は, 髪の本数 10,000 本, 頂点数 160,000 点である.

図 3(a) と図 3(b) は, それぞれ図 1(a) において 15 分間, 30 分間の脱色をシミュレーションした結

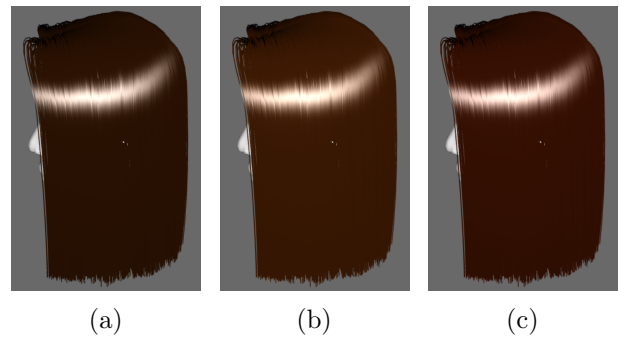


図 3: 脱色のみ ((a)15 分間, (b)30 分間) と, 脱色 + 染色 ((c)30 分間) を行った頭髪の色変化のビジュアルシミュレーション結果

果である. 時間が経過するにつれてメラニン色素が脱色され色が明るくなっていることがわかる. 図 3(c) は 30 分の脱色に加えて染料の色素による変化を加えたものである. 図 3(b) と比較して, 染料の色素の影響で赤みがかった色になっている.

5 結論と今後の課題

本稿では, メラニン色素と染料による色素の量の時間変化による頭髪の色変化に対応するビジュアルシミュレーション手法を提案した. 本手法により, 実際の頭髪内の色素量に基づいた脱色, 染色のシミュレーションが可能となった. また, 褪色に関しても同様に近似式を導出することでシミュレーション可能である.

しかし問題点として, 現時点では髪の太さなどの要因による染まり方の個人差は考慮されていない. さらに, 頭髪に対して染毛剤を均一に塗っていると仮定しているため, 染めむらによる色の部分的な違いは発生していない. また, 頭髪の伸びによる見た目の変化も考慮していない. 今後はこれらの点を考慮したシミュレーションモデルへ拡張する予定である.

謝辞

本研究の一部は, 平成 26 年度科研費基盤研究 (A) 26240015 の支援により実施された.

参考文献

- [1] Nicolas, B., Sylvain, P., Michiel van de, P., and George, D.: “Single Photo Estimation of Hair Appearance,” *Computer Graphics Forum*, vol. 28 (4), pp. 1171-1180, 2009.
- [2] 森本有紀, 鶴野玲治, 高橋時市郎: “拡散・吸着理論に基づいた染色技法のためのビジュアルシミュレーションモデル”, 画像電子学会誌, vol. 43 (3), pp. 348-356, 2014.