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

Neugebauerモデルに基づくカラー画像の強調

張，子シュ
九州大学大学院芸術工学府

井上，光平
九州大学大学院芸術工学研究院

原，健二
九州大学大学院芸術工学研究院

浦浜，喜一
九州大学大学院芸術工学研究院

https://hdl.handle.net/2324/1913951

出版情報：映像情報メディア学会誌. 71 (4), pp.J155-J158, 2017-04-01. 映像情報メディア学会
バージョン：
権利関係：https://www.ite.or.jp/contents/paper/wabunkitei.pdf

KYUSHU UNIVERSITY

映像情報メディア学会誌 Vol. 71, No. 4, pp. J155～J158（2017）
© 2017 一般社団法人映像情報メディア学会

研究速報

Neugebauer モデルに基づくカラー画像の強調

Color Image Enhancement Based on Neugebauer Model

張 子 シ ュ†, 正会員 井 上 光 平†, 原 健 二†, 浦 浜 喜 一†

Zixu Zhang†, Kohei Inoue†, Kenji Hara† and Kiichi Urahama†

あらまし 任意の色を RGB 色立方体の頂点色の重み付き平均色として表す Neugebauer モデルに基づき，その重みを単調増加関数で強調または抑制することによってカラー画像を強調する方法を提案する．また，上記の関数のパラメータを入力画像の平均明度に応じて変える方法も示す．従来手法との比較実験を行い，提案手法の有効性を確認する．

キーワード： カラー画像強調，Neugebauer モデル，彩度，ヒストグラム均等化

1. ま え が き

カラー画像の強調では，色の 3 要素である色相，明度，彩度のうち，色相を保存して，彩度と明度（明暗のコントラスト）を強調することが多く，コントラストの強調にはヒストグラム均等化がよく用いられる[2]．ヒストグラム均等化で明度を決める場合，それに対応する色が RGB 色立方体の外に出ないように注意する必要がある．Naik らは強調後の色が必ず RGB 色立方体内に収まる方法を提案した[1]．しかし，Naik らの手法[1] ではしばしば彩度が低下するため，村平らは彩度の低下を抑えた方法を提案した[3]．また，井上らは色相を保存して彩度を最大化する方法を提案し[4]，畔津らはガンマ補正により彩度を調整する方法を提案し[5]，Ueda らは畔津らの方法[5] を応用して，食べ物画像を美味しくみせる方法を提案した[6]．Yu らはヒストグラム均等化を用いないカラー画像強調法として，色相保存アンシャープマスキング法を提案した[7]．

本論文では，任意の色を RGB 色立方体の頂点色の重み付き平均色として表す Neugebauer モデル[8] で表し，その重みを変えることによってカラー画像を強調する方法を提案する．重みの変更には単調増加関数を用い，そのパラメータを入力画像の平均明度に応じて変える．ヒストグラム均等化を用いる従来手法との比較実験を行い，提案手法の有効性を確認する．

2. Neugebauer モデル

ある色の RGB 値を r, g, b とし，それらを $\boldsymbol{p} = [r, g, b]$ と表し，各値の取り得る範囲を $0 \leqq r \leqq 1$, $0 \leqq g \leqq 1$, $0 \leqq b \leqq 1$ とする．また，RGB 色立方体の頂点色を $\boldsymbol{R} = [1, 0, 0]$, $\boldsymbol{G} = [0, 1, 0]$, $\boldsymbol{B} = [0, 0, 1]$, $\boldsymbol{K} = [0, 0, 0]$, $\boldsymbol{C} = [0, 1, 1]$, $\boldsymbol{M} = [1, 0, 1]$, $\boldsymbol{Y} = [1, 1, 0]$, $\boldsymbol{W} = [1, 1, 1]$ とすると，$\boldsymbol{p}$ は

$$\boldsymbol{p} = a_R\boldsymbol{R} + a_G\boldsymbol{G} + a_B\boldsymbol{B} + a_K\boldsymbol{K} + a_C\boldsymbol{C} + a_M\boldsymbol{M} + a_Y\boldsymbol{Y} + a_W\boldsymbol{W} \tag{1}$$

と表せる．ここで

$$\begin{aligned} a_R &= r(1-g)(1-b), \quad a_C = (1-r)gb \\ a_G &= (1-r)g(1-b), \quad a_M = r(1-g)b \\ a_B &= (1-r)(1-g)b, \quad a_Y = rg(1-b) \\ a_K &= (1-r)(1-g)(1-b), \quad a_W = rgb \end{aligned} \tag{2}$$

であり，

$$a_R + a_G + a_B + a_K + a_C + a_M + a_Y + a_W = 1 \tag{3}$$

が成り立つ．(2) 式を係数とする (1) 式の色表現法は Neugebauer モデル[8] と呼ばれる．次節では，与えられた色 $\boldsymbol{p}$ を (1) 式の右辺のように 8 つの頂点色の加重和に分解し，その係数を変更して再合成する色強調法を提案する．

3. カラー画像の強調

カラー画像を I とし，I のある画素の色を $\boldsymbol{p}$ とすると，各 $\boldsymbol{p}$ を (1) 式のように分解し，

$$\tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha = \frac{a_R^\alpha\boldsymbol{R} + a_G^\alpha\boldsymbol{G} + a_B^\alpha\boldsymbol{B} + a_K^\alpha\boldsymbol{K} + a_C^\alpha\boldsymbol{C} + a_M^\alpha\boldsymbol{M} + a_Y^\alpha\boldsymbol{Y} + a_W^\alpha\boldsymbol{W}}{a_R^\alpha + a_G^\alpha + a_B^\alpha + a_K^\alpha + a_C^\alpha + a_M^\alpha + a_Y^\alpha + a_W^\alpha} \tag{4}$$

のように再合成して色を強調する方法を提案する．ここで各係数は単調関数 $f(x) = x^\alpha$ で変更されており，α は強調の度合を調節するためのパラメータである．$\alpha > 0$ とする

2016 年 10 月 12 日受付，2016 年 12 月 12 日再受付，2017 年 1 月 25 日採録
† 九州大学 大学院芸術工学研究院
（〒 815–8540 福岡市南区塩原 4–9–1，TEL 092-553-4512）

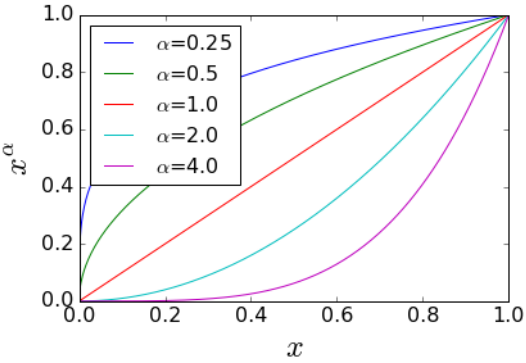


図 1　単調増加関数の例

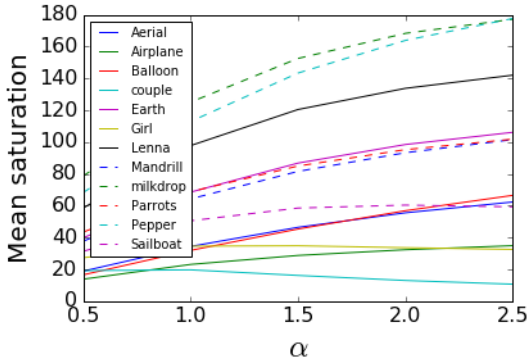


図 2　平均彩度と α の関係

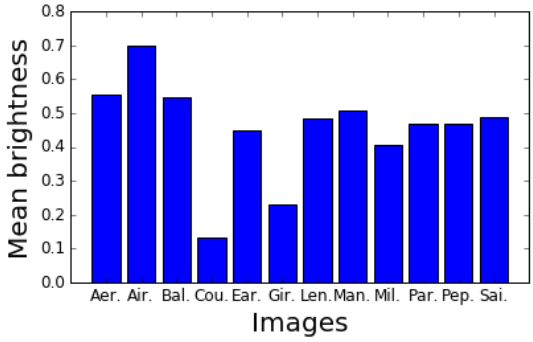


図 3　各画像の平均明度

と，$f(x)$ は単調増加関数になる．$f(x)$ を単調増加関数に限ることによって，係数間の大小関係を保つことができる．$\alpha < 0$ とすると，$a_X = 0$ $(X \in \{R, G, B, K, C, M, Y, W\})$ のとき 0 除算が生じるので，ここでは $\alpha < 0$ は含めないことにする．また $\alpha = 0$ のときには，全画素が灰色（$\tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha = [1/2, 1/2, 1/2]$）になるので，これも除外する．なお，$\alpha = 1$ のときには，(3) 式より (4) 式の分母は 1 になり，$\tilde{\boldsymbol{p}}_{\alpha=1} = \boldsymbol{p}$ が成り立つ．以下では，(4) 式の $\tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha$ を画素値とする画像を $\tilde{I}_\alpha$ と表すことにする．

4. パラメータの適応的指定法

(4) 式による色強調では，α の値の与え方によって強調の仕方が変わる．α の値を変えたときの $f(x) = x^\alpha$ のグラフの変化を**図 1** に示す．$\alpha > 1$ のとき，$f(x)$ は下に凸になり，大きい係数をもつ頂点色が強調され，$\alpha < 1$ のとき，$f(x)$ は上に凸になり，小さい係数をもつ頂点色が強調される．このように，$f(x)$ を用いた色強調では，$\alpha = 1$ を境に強調の傾向が変わる．そこで，実際の画像を用いて α の効果を調べた．標準画像データベース SIDBA[9] の 12 枚のカラー画像を，(4) 式で強調したときの各画像の平均彩度を**図 2** に示す．この図の縦軸は 1 画素当たりの平均彩度であり，横軸は α であり，$\alpha = 0.5,\ 1.0,\ 1.5,\ 2.0,\ 2.5$ と変化させた．α の値を大きくすると平均彩度も向上する画像が多いが，Couple（シアンの実線）や Girl（黄色の実線）では彩度が低下している．この 2 枚の画像は，他の画像と比べて全体的に暗く，α の値を大きくすると黒が強調されて良好な結果が得られなかった．実際，各画像の平均明度は**図 3** のようになっており，Couple と Girl の平均明度は他に比べて低かった．このことが図 2 における平均彩度の傾向の違いの主な原因であると考えられる．そこで，入力画像の平均明度の大小によって α の値を適応的に変える次のような方法を提案する．

カラー画像 I の平均明度（I のグレースケール画像の平均画素値）を $\bar{Y}$ とし，$\bar{Y}$ と予め設定しておくしきい値 θ との大小関係に応じて，次のように α の値を切り替える．

$$\alpha = \begin{cases} \alpha^{\mathrm{Low}} & \text{if} \quad \bar{Y} \leqq \theta \\ \alpha^{\mathrm{High}} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

ここで α^{Low} と α^{High} は予め設定しておく α の値であり，$\alpha^{\mathrm{Low}} < 1$, $\alpha^{\mathrm{High}} > 1$ とする．

5. 後　処　理

(5) 式で α の値を決めて (4) 式で $\tilde{I}_\alpha = [\tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha]$ が得られたとする．$\tilde{I}_\alpha$ の全要素の最小値を $v_{\min}$，最大値を $v_{\max}$ とすると，$\tilde{\boldsymbol{p}}_\alpha$ が RGB 色立方体に含まれることから，$0 \leqq v_{\min} \leqq v_{\max} \leqq 1$ が成り立ち，実際には $0 < v_{\min} < v_{\max} < 1$ であることが多い．そこで，最終的な出力画像を

$$J_\alpha = \frac{\tilde{I}_\alpha - v_{\min} I_W}{v_{\max} - v_{\min}} \tag{6}$$

とする後処理法を提案する．ここで I_W は I と同じ大きさの白色の画像を表す．このようにすると，J_α の全要素の最小値は 0，最大値は 1 になり，RGB 色空間全体を有効利用できる．

6. 実　験　例

図 4 に標準画像データベース SIDBA[9] の 12 枚のカラー画像の強調例を示す．1 行目は入力画像であり，2 行目は村平らの手法[3] による結果であり，3 行目は提案手法による結果である．提案手法では，$\theta = 0.3$, $\alpha^{\mathrm{Low}} = 0.5$, $\alpha^{\mathrm{High}} = 2.0$ とした．図 4 の画像の平均彩度を**図 5** に示す．棒グラフの色は，青が入力画像，緑が村平らの手法[3]，赤が提案手法を

図 4 カラー画像強調の例: (1 行目) 入力画像，(2 行目) 村平らの手法[3]，(3 行目) 提案手法

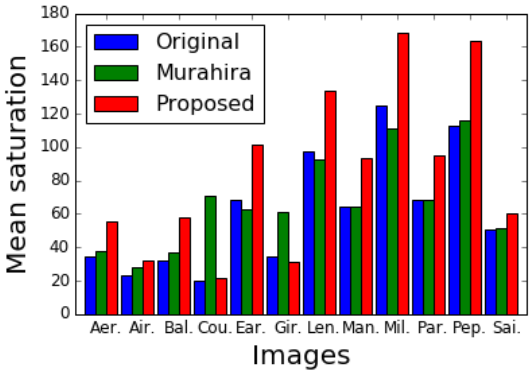
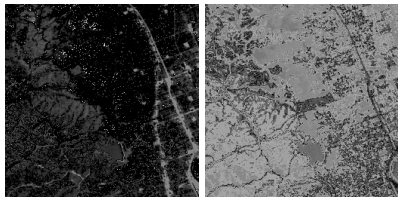


図 5 図 4 の画像の平均彩度



(a) 色相　　(b) 明度

図 6 提案手法による色相と明度の変化

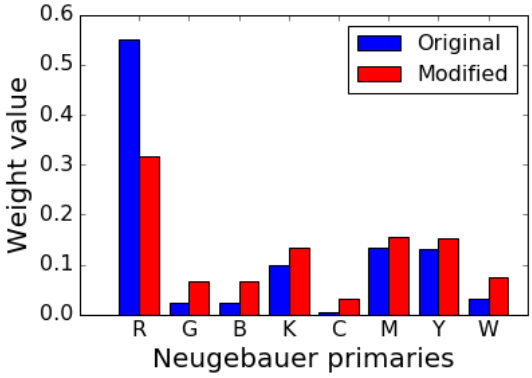
表す．Couple と Girl の画像では村平らの手法[3] の平均彩度が高いが，その他の画像では提案手法が高い値を示した．12 枚の画像全体での平均彩度は，入力画像が 60.93，村平らの手法[3] が 66.70，提案手法が 84.55 であった．このように，提案手法により，多くの画像で高彩度の強調画像が得られた．

提案手法では，Naik らの手法[1] に代表される従来の色相保存画像強調法と異なり，厳密な色相保存を行っていないため，強調の前後で色相は保存されない．また，明度も強調の前後で変化する．例えば，Aerial の画像における元画像と強調画像の色相の差の絶対値を画像表示すると，**図 6**(a) のようになる．この画像が黒一色であれば色相が保存されていることを示すが，図 6(a) には黒でない画素も含まれていることから，色相が変化していることがわかる．しかし，その変化は大きくはない．その理由は，提案手法では (4) 式における係数の変更に，図 1 に示したような単調増加関数を用いており，係数の大小関係が保たれるためであると考えられる．また，図 6(b) に示すように，提案手法では明度も変化する．なお，従来の色相保存画像強調法では，ヒストグラム均等化等を用いて明示的に明度を変化させている．

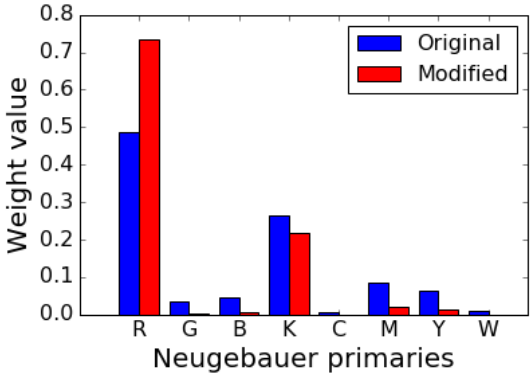
提案手法では，明度の低い画像に対しては，彩度の強調をうまく行えなかった．特に Girl の画像では，図 5 に示したように，原画像よりも平均彩度が低下している．この原因を調べるために，まず画素ごとに彩度がどう変化するかを**図 7** に示す．図 7 の画像は，黄色が強いほど，提案手法による彩度の増加が大きいことを表し，シアンが強いほど彩度の減少が大きいことを表す．図 7(a), (b) はそれぞれ，Girl と Peppers の画像での結果である．Peppers は平均彩度の増加が最も大きい画像であり，図 7(b) には黄色が多く含まれている．図 7(a) は同図 (b) よりも全体的に暗く，原画像からの彩度の変化が小さいが，画素ごとに見ると彩度が増加しているもの（黄色の画素）もある．逆に，図 7(b) にも彩度の減少を示すシアンの画素がある．これら 2 枚の画像で彩度の増加が最も大きい画素を探し，その画素における Neugebauer モデルの係数の変化を調べた結果を**図 8** に示す．図 8(a), (b) はそれぞれ Girl と Peppers の係数を表しており，グラフの縦軸は係数であり，横軸には RGB 色立方体の 8 つの頂点色を並べている．棒グラフの棒の色は，青が元の係数を表し，赤が変更後の係数を表す．なお，赤のグラフは係数の総和が 1 になるように規格化した後の値を表示している．(5) 式の α は，図 8(a) が $\alpha = \alpha^{\mathrm{Low}}$ であり，同図 (b) が $\alpha = \alpha^{\mathrm{High}}$ である．α^{High} を用いると，関数 x^{α} は下に凸になり，大きい係数はより大きく，小さい係数はより小さくなる効果（図 8(b)）が得られ，彩度強調の効果が期待される．しかし，Girl の画像のように平均明度の低い画像で α^{High} を用いると，多くの画素で黒（$\boldsymbol{K}$）の係数が大きくなり，図 2 に示したように彩度が低下する．それを避けるために，提案手法では Girl の画像に対しては α^{Low} を用いるが，そうすると，x^{α} は上に凸になり，大きい係数は小さく，小さい係数は大きく変更される（図 8(a)）ため，大幅な彩度強調は困難である．すなわち，提案手法で明度の低い画像の彩度を強調することが困難な理由は，Neugebauer モデルの係数の変更に x^{α} という比較的簡単な関数を用いているためであると考えられる．この難点の

(a) Girl　　(b) Peppers

図 7　提案手法による彩度の増減



(a) Girl



(b) Peppers

図 8　Neugebauer モデルの係数の変化

解決策としては，x^{α} の代わりにシグモイド関数などの非線形性のより強い関数を用いることが考えられる．

7. む す び

Neugebauer モデルの係数を単調増加関数で調節するカラー画像強調法を提案し，従来の彩度低下を抑えたカラー画像強調法よりも多くの画像で高彩度の画像が得られることを実験で確認した．Neugebauer モデルの係数を調節する関数の形状とそのパラメータの設定方法の検討が今後の課題である．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP16H03019 の助成を受けたものです．

〔文　献〕

1）S. K. Naik, C. A. Murthy: “Hue-preserving color image enhancement without gamut problem”, IEEE Trans. Image Process., **12**, 12, pp. 1591–1598 (2003)
2）村平宏太, 田口亮: “ヒストグラム均等化に基づくカラー画像強調法”, 信学論, **J95-A**, 12, pp. 817–821 (2012)
3）村平宏太, 田口亮: “色相を保存した RGB 色空間におけるカラー画像処理形態の一提案”, 信学論, **J96-A**, 5, pp. 264–272 (2013)
4）井上光平, 原健二, 浦浜喜一: “明度ヒストグラム均等化と等色相面における彩度最大化によるカラー画像強調”, 2013 年映情学年次大, 1-7 (2013)
5）畔津忠博, 上田千晶, 末竹規哲, 内野英治: “RGB 色空間における色相を保持した彩度調整によるカラー画像強調”, 映情学誌, **68**, 11, pp. J482–J487 (2014)
6）C. Ueda, M. Ibata, T. Azetsu, N. Suetake, E. Uchino: “Food Image Enhancement by Adjusting Intensity and Saturation in RGB Color Space”, IEICE Trans. Fundamentals, **E98-A**, 11, pp. 2220–2228 (2015)
7）Z. Yu, K. Urahama: “Hue-Preserving Unsharp-Masking for Color Image Enhancement”, IEICE Trans. Information and Systems, **E97-D**, 12, pp. 3236–3238 (2014)
8）E. Reinhard, E. A. Khan, A. O. Akyuz, G. M. Johnson: Color Imaging: Fundamentals and Applications, A. K. Peters, Ltd. (2008)
9）坂内正夫, 大沢裕, 曽根光男, 尾上守夫: “画像処理研究用標準画像データベース SIDBA の運用について”, テレビ学技報, **8**, 38, pp. 7–12 (1984)

張（ちょう）　子シュ（じしゅ） 2015 年，北京師範大学珠海分校卒業．現在，九州大学大学院研究生．画像処理，コンピュータグラフィックスに関する研究に従事．

井上（いのうえ）　光平（こうへい） 1996 年，九州芸術工科大学画像設計学科卒業．2000 年，同大学大学院博士後期課程修了．同年，九州芸術工科大学助手．2003 年，九州大学助教．現在，同大学准教授．パターン認識，画像処理，コンピュータビジョンに関する研究に従事．正会員．

原（はら）　健二（けんじ） 1989 年，京都大学大学院工学研究科修士課程修了．同年，武田薬品工業 (株) 入社．1991 年，福岡県工業技術センター入所．2001 年，東京大学生産技術研究所協力研究員．現在，九州大学大学院芸術工学研究院准教授．博士 (工学)．コンピュータビジョン，画像処理に関する研究に従事．

浦浜（うらはま）　喜一（きいち） 1980 年，九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了．同年，同大学助手．1989 年，九州工業大学助教授．現在，九州大学大学院芸術工学研究院教授．パターン認識，画像情報処理の研究に従事．