

拡張 MSR モデルを用いた)
ネガカラーフィルムの画質改善)

柏) 潔 *・高) 清 **・津村徳道 *・三宅洋一 *

)

*千葉大学大学院自然科学研究科情報科学専攻

〒263-8522) 千葉県稲毛区弥生町 1-33

**コニカ株式会社 東京事業場中央研究所

〒192-8505) 東京都八王子市石川町 2970 番地

Improvement of image quality for negative color film
with extended-MSR model

Jie BAI*, Qing GAO**, Norimichi TSUMURA*, Yoichi
MIYAKE*

)

* Department of Information-Science, Graduate School of
Science and Technology, Chiba University

1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba, 263-8522, Japan

** Central Institute of Tokyo Office, Konica Corporation,
2970, Ishikawa-cho, Hachioji, 192-8505, Tokyo, Japan

)

)

)

)

)

)

)

)

)

要 旨

Land により提案された視覚系の色や明るさに対する恒常性についての Retinex 理論をカラー画像の色やコントラストの補正に応用するための研究が注目されている。これらの中で，MSR (Multi-Scale Retinex) モデルは，カラー画像の画質改善に有効な手法であることが知られている。しかし，このモデルはフィルム画像の RGB 濃度分布が大きく異なる場合，すなわち大きな色の偏りがある画像の色補正が困難であること，色再現とコントラストを同時に改善できないことが指摘されている。そこで，本研究では注目画素の周辺画素値の変化を考慮し，MSR 計算式の重み係数を改良するとともに，Retinex 出力値だけでなく，オリジナル画素値も導入した拡張 MSR (extended- Multi-Scale Retinex) モデルを提案し，カラーネガフィルム画像の画質改善を試みた。逆光撮影などにより劣化したカラーフィルム画像を本論文で提案した手法と，従来の補正法である線形変換，ヒストグラム平坦化，MSR による処理法により比較検討した。その結果，主観評価実験を通して本提案手法の有効性を確認することが出来た。)

)

Abstract

MSR (Multi-Scale Retinex) and SSR (Single-Scale Retinex) methods based on Land's Retinex model for lightness and color constancy of human vision have been applied to image processing for color correction. However, these methods are not always effective to correct simultaneously both color and contrast of negative color film taken by rear light, particularly if the RGB density distribution of film image is remarkably different each

other.

In this paper, we introduce a new algorithm to correct color and tone at the same time which is modified the MSR model under the consideration of the weighting coefficient in MSR and relationship between original image and processed image by MSR. It is shown that the proposed method is significant to improve the color and tone by comparison with linear transformation, histogram equalization and MSR processing methods.

)

キーワード：)

レチネックス，MSRモデル，拡張 MSR モデル，色再現，色補正)

)

Keyword:

Retinex, Multi-Scale Retinex model, Extended-MSR, color reproduction, color correction

)

)

)

)

)

)

)

)

)

)

)

)

)

1. はじめに

写真撮影において、露光はネガカラーフィルムやデジタル写真の画質に大きく影響を与える。現在、大部分の市販のコンパクトカメラや一眼レフカメラには自動測光の機能が付加されているが、逆光などの場合には、フラッシュによる補助光など経験的な技術が必要となる。人間の目は多様な光源の状態に順応し、正しく色を認識することができるが、フィルムのダイナミックレンジには限度がある。従って、撮影者の撮影意図の通り被写体を表現するのは困難であることがよく知られている。このような写真をデジタル画像処理手法で改善しようとする際、これまで線形変換やヒストグラム平坦化処理手法が用いられてきた。しかし、これらの方法では、画像のコンテンツを考慮せず、画像全体に対して1つの関数を用いるため、逆光や色かぶりなどの画像には適正な色補正が実現できない。)

1970年代、E・Landが視覚の明るさ及び色恒常性を考慮し、Retinexモデル⁽¹⁾を提案して以来、多数の研究者が様々なRetinex計算モデルを検討してきた。例えば、JobsonらのSSR(Single-Scale Retinex)モデル⁽²⁾に基づいたMSR(Multi-Scale Retinex)モデルは、画質改善に有効である⁽³⁾⁽⁴⁾ことが報告されている。しかし、このモデルは画像への依存性が非常に高いため、非適正露光の画像に対して色再現とコントラストを同時に改善できないという欠点がある。)特に、フィルム中のRGBの濃度分布がそれぞれ大きく異なる場合には、適正な色補正が困難である。)

そこで、本研究では、まず、MSRモデルの一般的な

重み係数に対して，処理する画素の周辺隣接画素間の差分をその領域のコントラストの尺度とし，重み係数を再設定した。次に，MSRモデルでは適正な色補正を実現するのが困難であることから，MSR出力値だけでなく，オリジナル画素値も導入して拡張MSR（extended Multi-Scale Retinex）モデルを提案し，色改善への応用を試みた。さらに，本提案手法と線形変換，ヒストグラム平坦化，またMSRによる処理法との比較を行った。）

）

2. ）拡張 MSR モデル）

2. 1 Retinex による色補正の従来のモデル）

）1997年Jobsonら⁽¹⁾はRetinex理論を画質改善へ応用するため，SSRモデルを提案した。SSRによる処理画像は式(1)で表される。）

$$R_i(x,y) = \log I_i(x,y) - \log [F(x,y) * I_i(x,y)] \quad (i \in R, G, B) \quad (1)$$

ここで， $I_i(x,y)$ は座標 (x,y) におけるRGB各バンドの画素値，“*”はコンボリューション積分である。 $F(x,y)$ は周辺関数であり，式(2)で定義される。）

$$F(x,y) = k \cdot e^{[-(x^2+y^2)/c^2]} \quad (2)$$

k は $\iint F(x,y)dx dy = 1$ を満たす。 c はガウス周辺関数の標準偏差であり，周辺領域の面積によって決められる⁽²⁾。この手法により，ダイナミックレンジ圧縮，シーン照明から無関係な色補正，また色及び明度のレンドリングを実現できる。しかし，SSRモデルは色再現とコントラストを同時に改善できないという問題がある。そこで，色再現とコントラストを同時に改善できるように，いくつかの異なる c を持つSSRの出力を組み合わせ，最後の出力とするMSRモ

デルが提案された。

従来の MSR モデル⁽⁴⁾は式(3)で表される。)

$$T_{m,i}(x,y) = \sum_{n=1}^N w_n \cdot \{\log[I_i(x,y)] - \log[I_i(x,y) * F_n(x,y)]\} \quad (3)$$

($i \in R, G, B$)

$T_{m,i}(x,y)$ は MSR の出力値， N はフィルタの数である。また w_n は n 番目のフィルタの重み係数であり，通常は $1/n$ である⁽⁵⁾。 $F_n(x,y)$ は周辺関数を表し，SSR モデルの周辺関数と同様である。)

2. 2 MSR の重み付き係数 w の再設定)

) 重み係数は通常同一な値が用いられるが，実際の画像ではそれぞれの中心画素の周辺状況は異なる。従って，重み係数がそれぞれの中心画素の周辺状況によって決められるはずである。例えば，中心画素と周辺画素値の変化が激しい場合には，大きなフィルタを用いて，ダイナミックレンジ圧縮を実現する必要がある。一方，中心画素と周辺画素値の変化が穏やかな場合，小さなフィルタを用いることが重要である。画像のすべての画素に対して，大きさの異なるフィルタに同一な値を与えると，異なるフィルタの働きを十分に生かせない。そこで，本研究では，中心画素と周辺画素値の変化を尺度とし，この尺度により，重み係数を決定することを考えた。)

) 具体的には，まず， n 個のフィルタに対して，それぞれ $1 \sim (n-1)$ 番目のフィルタの外接正方形を取る。次に，式(4)を用いて，Fig.1 に示されるように外接正方形内の隣接画素の差分値 $f_{i,j}(x,y)$ を計算し，正規化する。最後に，式(5)を用いて，係数 w_n を求める。)

Fig.1 挿入

$$f_{i,j}(x,y) = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^N [I_i(p+1,q) - I_i(p,q)]^2} \quad (4)$$

$(i \in R, G, B; \quad j \in [1, n-1])$

$$\begin{cases} w_n = 1 - \hat{f}_{n-1}; \\ w_{n-1} = \hat{f}_{n-1}(1 - \hat{f}_{n-2}); \\ \cdots; \\ w_j = \hat{f}_{n-1} \hat{f}_{n-2} \cdots \hat{f}_j (1 - \hat{f}_{j-1}); \\ \cdots; \\ w_2 = \hat{f}_{n-1} \hat{f}_{n-2} \cdots \hat{f}_2 (1 - \hat{f}_1); \\ w_1 = \hat{f}_{n-1} \hat{f}_{n-2} \cdots \hat{f}_2 \hat{f}_1; \end{cases} \quad (5)$$

ここで， M, N はそれぞれ外接正方形内の横及び縦の画素数である。添字 $j(j=1,2,\cdots,(n-1))$ は j 番目フィルターの外接正方形を表す。“ $\wedge$ ” は正規化を意味する。)

本研究では，3つのフィルターを用いて，それぞれの重み係数 w_1, w_2, w_3 を $w_1=w_2=\hat{f}_{i,2}/2, w_3=1-\hat{f}_{i,2}$ とし，画像処理を行った。)

)

2. 3 拡張 MSR モデル式及び重み付き係数 d の設定)

SSR や MSR モデルでは，人間の視覚特性を模擬した色補正法である。しかし，このモデルでは，被写体によって，適正な色補正ができない場合も多い。すなわち，実際の処理では，画像全体の照明むらを除去する傾向があるため，光源の影響を削除するとともに，被写体の元の色を変えてしまうことがある。そこで，本研究では，オリジナル画素値を導入し，式(6)に示されるようにオリジナル画素値と MSR 出力値の重み付き加算を最終出力値とした。)

$$T_{f,i}(x,y) = \hat{T}'_{m,i}(x,y)d + \hat{I}_i(x,y)(1-d) \quad (6)$$

ここで， $T_{f,i}(x,y)$ はオリジナル画素値と MSR 出力値の重み付き和であり，最終出力値とする。 $\hat{T}'_{m,i}(x,y)$ は

重み付き係数が再設定された MSR の正規化された出力値， $\hat{I}_i(x,y)$ は正規化されたオリジナル画像の画素値である。 d は MSR 値とオリジナル値がそれぞれ最終出力値に与える割合を決定するパラメータである。))

） 原画像が撮影照明光源の色温度変化により劣化されている場合には，画面全体の色度値がある方向にシフトする。しかし，MSR で色補正を行うと，Fig.2(a)に示すように，処理された画像の Lab 色度分布は原画像より色域が広がり，またそれぞれ色相の変化を伴わない補正が行われていることが判る。Fig.2 挿入

） 一方，Fig.2(b)は，大きな色偏りを持つ画像の MSR による処理前後の色度値を Lab 空間上で表したものである。図から明かるように，画像全体の色はそれぞれ異なる方向へ移動した。）

） そこで，色劣化が被写体の色偏りによるものか，撮影照明光の色温度変化によるものかを明らかにするため，式(7)で重み付き係数 d を定義した。）

$$d = \exp \left[-\log \left(\frac{\text{std}(\Delta a^*) + \text{std}(\Delta b^*)}{2} \right) \right] \quad (7)$$

） ここで， Δa^* と Δb^* はそれぞれ CIELAB 空間上における処理画像の原画像からの変動量である。 $\text{std}(\Delta a^*)$ と $\text{std}(\Delta b^*)$ はそれぞれ Δa^* と Δb^* の標準偏差であり，式(8)で計算される。このように，前者の場合には MSR による処理画像に大きい重み係数 d を付加し，後者の場合には小さい重み係数 d を付加することによって撮影照明光か被写体の色分布によるかを明らかにし，良好な色補正画像を得ることが可能となった。）

$$\text{std}(\Delta c) = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [\Delta c(x, y) - \overline{\Delta c(x, y)}]^2} \quad (c = a^*, b^*) \quad (8)$$

)

2. 4 処理結果)

) 適正露光により得られた画像 Fig.3(a)に対して、それぞれ MSR モデル及び拡張 MSR モデルを用いて処理した結果を Fig.3 の (b)(c)に示す。MSR モデルは画像全体の偏りを無くす傾向があるため、オリジナル画像全体の色が少し変化するが、オリジナル画像に照明むらなどの大きな問題がないため、処理後の画像 (b)(c)は処理前の画像 (a)とほとんど画質の変化はない。)

Fig.3 挿入

Fig.4 挿入

) Fig.4(a), (b), (c)に逆光画像の処理例を示す。MSR モデルを用いた場合、画像の照明むらがなくなり、ダイナミックレンジが圧縮され、画像全体は明るくなるが、色バランスが変化するため、人物の服が青白く変化する。しかし、拡張 MSR モデルを用いた場合、オリジナル画像の画素値を MSR の出力値と組み合わせ、画像全体の色バランスが補正され、色再現が改善された画像を得ることができた。)

Fig.5 挿入

) Fig.5(a), (b), (c)と Fig.6(a), (b), (c)にそれぞれ強い色偏り画像及び照明の影響を受けた画像の処理例を示す。いずれの場合でも逆光画像と同じように、MSR モデルで処理したものは、色の再現が良好に実現できないことに対して、拡張 MSR モデルを用いて処理した画像は照明むら無くすと共に、良い色再現を実現できた。)

Fig.6 挿入

)

3. 主観評価実験及び考察)

実験画像は、逆光や被写体による顕著な色偏りの

ある画像，照明光による色偏りのある画像，RGB濃度分布が比較的近い適正露光画像を5枚ずつ，合計20枚のネガカラー画像を選んだ。これらの画像をKonica Qscanでスキャンし，それぞれ(1)線形変換処理法，(2)ヒストグラム平坦化処理法，(3)MSRによる処理法，また本論文で提案した(4)拡張MSRによる処理法で処理し，高精細カラーモニター上（Sony Multiscan TC CRT）に表示し，一対比較法を用いて，主観評価実験を行った。評価は異なる処理法で処理した同一な画像をランダムに提示して比較した。評価は研究室内10人の学生により2回ずつ，合計で20回行った。）

ここで用いた主観評価は色補正の処理手法を因子とする一因子の評価である。従って，被験者個人による画像の内容に対する心理要素などの影響は考慮していない。いま，各処理法により処理された画像が得た評価ポイントを $x_{l,i,j}$ （ $x_{l,i,j} \leq 4C_2$ ， $4C_2=6$ ）とすれば，各補正法により処理された画像が得た評価ポイントの平均値 $\bar{x}_l$ 及び偏差 Δ_l はそれぞれ式(9)と式(10)で計算できる。ここで n は評価に用いた画像枚数($n=20$)， m は実験回数($m=20$)， l は処理手法($l=4$)である結果をFig.7に示す。）

Fig.7 挿入

$$\bar{x}_l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{l,i,j} \quad (9)$$

$$\Delta_l = \frac{3}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m x_{l,i,j} - \bar{x}_l \right) \quad (10)$$

Table.1 挿入

Table.1 はそれぞれ4種類の処理法で処理した画像が得た評価ポイントの平均値の差である。また，有意水準5%のときの最小有意差⁽⁶⁾は9.611であった。）

Table.1 は，拡張MSR処理法が得たポイントの平

均値とその他の処理法との差はすべて有意水準 5% のときの最小有意差より大きいことを示している。すなわち，拡張 MSR 処理法は総合的に画質改善において，他の処理法と比べて効果的であることを確認できた。また，Fig.7 に示すように，拡張 MSR 処理法で処理した画像が得た評価ポイントの平均値は最も高く，46.25 に達した。このことより，拡張 MSR 処理法は画質改善において，総合的な効果が良いことが確認された。）

）しかし，本手法による処理効果は色に大きな偏りを持つ被写体の面積に大きく影響される。Fig.8 に示すようにある特定色を持った被写体が画面の広い面積に分布するような場合，画像の偏りの原因は光源にあると判断され，被写体の色が変化し，十分な色補正ができなかった。）

Fig.8 挿入

4. ）まとめ）

本手法では，画素値の変化情報を用いて，従来の MSR モデルに重み付き係数を再定義した。また，オリジナル画像と SSR 処理後の画像の色度差の標準偏差を用いて，RGB 濃度分布に大きな偏りがある画像に対して，色再現の改善が出来た。）

しかし，ある特定色を持った被写体が画面の広い面積に分布するような場合，本手法では十分な色補正ができなかった。）このような画像に本手法を適用するため，重み付係数 w 及び d を改善する必要がある。さらに，本モデルによる画質改善の効果を評価するための物理的な尺度を検討する必要がある。今後，本手法の改良，定量的な画質評価基準について検討を行う予定である。）

)

参考文献)

本研究の一部は 2000 年 11 月の日本写真学会秋季大会にて発表した。)

1. E. H. Land, J. J. McCann: "Lightness and Retinex Theory", J. Opt. Soc. Am., Vol.61, pp.1-11, 1971
2. D. J. Jobson, Z. Rahman: "Properties and Performance of a Center/Surround Retinex", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.6, No.3, pp.451-462, March 1997
3. Z. Rahman, G. A. Woodell, D. J. Jobson: "A Comparison of the Multiscale Retinex with Other Image Enhancement Techniques", Proceedings of the IS&T 50th Anniversary Conference, pp.426-431, May 1997
4. Z. Rahman, D. J. Jobson, G. A. Woodell: "Multi-scale Retinex for Color Image Enhancement", International Conference on Image Processing(ICIP), 1996
5. D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell: "A Multiscale Retinex for Bridging the Gap Between Color Images and the Human Observation of Scenes", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.6, No.7, pp.965-976, July 1997
6. 鷲尾泰俊:) 実験の計画と解析,) 岩波書店, 1988.5

Figure and Table captions

Fig.1 Difference of adjacent pixels.

Fig.2 Lab chromaticity distribution of two different kinds of images, the original one and the one processed by MSR

(a) color failure by inappropriate illuminant

(b) color failure by content of image

Fig.3 Image processing result by MSR and extended MSR models

(a) original image taken by correct exposure, (b) image processed by using MSR model, (c) image processed by using extended-MSR model.

Fig.4 Color correction of image taken by rear light
(a) original image, (b) image processed by using MSR model, (c) image processed by using extended-MSR model.

Fig.5 Color correction of image with strong color failure

(a) original image, (b) image processed by using MSR model, (c) image processed by using extended-MSR model.

Fig.6 Color correction of image taken under inappropriate illuminant

(a) original image, (b) image processed by using MSR model, (c) image processed by using extended-MSR model.

Fig.7 Result of subjective evaluation.

Fig.8 Color correction of image that almost pixel has similar color

Table.1 Differences of average subjective rating value between four kinds of methods.