

ディジタルカメラの色再現向上技術

福井 貴明

Color Image Processing in Digital Cameras

Takaaki FUKUI

Conceptual design techniques of realizing desirable color appearance performed in a digital camera is described. Image-processing techniques of color reproduction and the optical system design are also explained. In addition, image processing and viewing environment for the AdobeRGB color space are discussed.

Key words: digital camera, color image processing, color space, memory color reappearance, a spectrum sensitivity, AdobeRGB

ここ数年、デジタルカメラ業界は爆発的に市場規模が拡大しており、昨年は、普及価格帯の一眼レフカメラの発売、また携帯電話のほとんどの機種においてカメラ機能が搭載されるなど、ハイエンドから普及モデル、さらに携帯電話にいたるまで、カメラ機器の全面的なデジタルシフトが進行している。その一方で、プロの写真家をはじめとするハイエンドユーザーを中心にまだまだフィルム写真も根強い人気がある。その理由のひとつとして、フィルム写真とデジタル写真の間にある特徴差や好み、また色あわせなどプロクリエイターでの使用方法が難しく、その鑑賞方法も含めた使用方法が確立していないことがあると考えている。

本稿では、色再現特性からみたデジタルカメラの画像設計およびその特性と、それら画像を鑑賞するモニターの色（色空間）について、その処理の概要や特徴についての技術解説を行う。

1. デジタルカメラにおける色再現

1.1 デジタルカメラにおける信号処理の概略

人間がある風景を見た場合に、過去の経験や知識から瞬時に人や木や空といったものを認識し、必要な部分のみに注目している。それは、距離や明るさに応じて眼の焦点や

瞳孔を調整したり、周囲の光に色順応して無彩色のものを無彩色と感じることができたり、記憶に基づいて、たとえばポスト→オレンジ、りんご→赤、空→青といったような自動補正がされていることが知られている。

デジタルカメラにおいても同様に、実物をそのまま忠実に再現を行うのではなく、人間の脳で行っているさまざまな順応や記憶色再現を行うことで、美しいと感じる画像を得ることが可能となる。

それら記憶色再現をするうえでもっとも重要なポイントは、ポートレート、風景、夜景といった撮影シーンや撮影環境光源の推定である。これら推定結果に基づいて、レンズのフォーカスや絞り、ホワイトバランス（WB）や色再現のパラメーターなどを決定している。特に光源の推定精度は、画質に大きな影響を与え、屋外・室内、さらに電球や蛍光灯を推定し、それにあわせた色再現パラメーターを切り替えることで、あらゆる光源下において良好な色再現を実現している。このシーン解析技術こそが、メーカー間の画像処理の技術力として大きく画像に表れる部分である。

また、デジタルカメラは“決定的な瞬間を捉えたい”というニーズをもつため、非常に高速な処理スピードが必要とされる。一方、シーン解析や画像処理には、経験的な

情報蓄積やそれを処理する時間が多くかかってしまう。この処理をいかに高速にかつ正確に行うかが、デジタルカメラの性能を決定するといつても過言ではない。

デジタルカメラにおいて、画質に影響する素子は、レンズ、CCD (charge-coupled device) や CMOS (complementary MOS) などのイメージセンサー、画像信号処理回路の3パートに大別される。そのどれもが重要なキーデバイスであり、1つ欠けてもきれいな画像をつくり出すことはできない。その中の信号処理技術とは、上で述べたような人間の脳で行うシーン判別や適応的な補正を行う頭脳の部分に相当し、レンズやイメージセンサーといった素材を最大限活用するための技術であり、画質をつくり上げるうえで重要な要素であると考えている。

1.2 デジタルカメラにおける色再現のコンセプト

画像入出力機器の色再現性の良否を語るときに昔からよくいわれることに、忠実な色再現と記憶色的な色再現のどちらがよいかという議論がある。その答えは利用される分野や用途によって異なるが、一般的な写真では記憶色的な色再現がされているといわれている。

図1は、デジタルカメラおよびフィルムカメラで色再現チャートを撮影した際の色再現値とカラーチャートの測色値を、均等色空間であるCIE1976L*a*b*¹⁾のa*b*平面上で比較したものである。各種色再現結果とチャートの測色値とを比較すると、

- ・デジタルカメラは、全体的な彩度強調がされている
- ・フィルムカメラは、種類によって彩度の差が大きい
- ・青（シアン）が、測色値とフィルムカメラとデジタルカメラ間で大きく異なる
- ・デジタルカメラの色再現特性は、フィルムカメラに

比べると差異が少ない

という傾向がある。この結果からもわかるように、近年のデジタルカメラの色再現特性はメーカー間での色づくりが似てきている。

その原因のひとつは、デジタルカメラの画像はsRGBという標準的な色空間での鑑賞が前提として設計されており、その観察環境下での好ましい色再現というものを実現してきた結果であると思われる。しかし、好ましい色再現や階調性は個人の好みによって異なる。筆者らのデジタルカメラの画像設計を決定するプロセスでは、幅広いユーザーを対象にパネルテストを実施して決定している。具体的には、階調性や色再現というものを、複数の画像パラメーターで画像を作成し、好みの画像に点数をつけ統計処理を行っている。このようにすることにより、画質という官能的なものの定量化を行い、ほとんどのシーンやユーザーが満足する画像設計が可能となる。手法はどうあれ、各社ともユーザーの好みを反映させたプロセスで画像設計を進めていけば、色再現が似てくるのは当然の結果であるのかもしれない。

一方、銀塩フィルムカメラでは、個々のフィルムごとに色再現特性が異なり、ユーザーが好みや用途によってそれぞれのフィルムを選択して使用する。デジタルカメラにおいても同様に、ボタンひとつで色再現特性が容易に変更可能であり、たとえばポジフィルム風の色再現と一般的なネガフィルムの色再現特性など、複数のモードを備えるものが増えてきている（図2）。

このように、銀塩カメラではフィルムの選択や現像方法の指定という方法で行っていた色再現特性の調整・選択を、デジタルカメラでは容易に実現できる。今後のディ

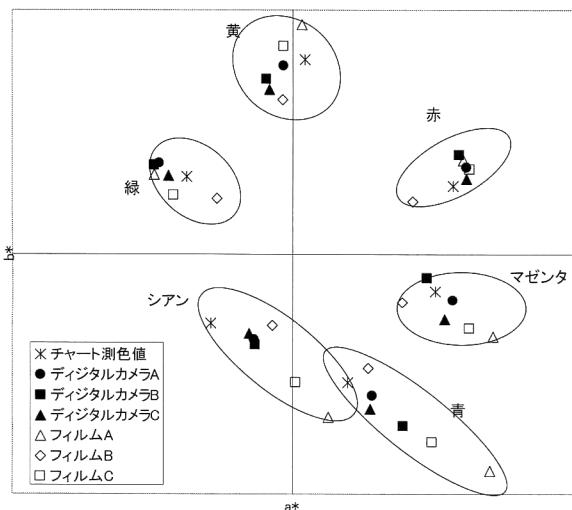


図1 デジタルカメラとフィルムの色再現比較。

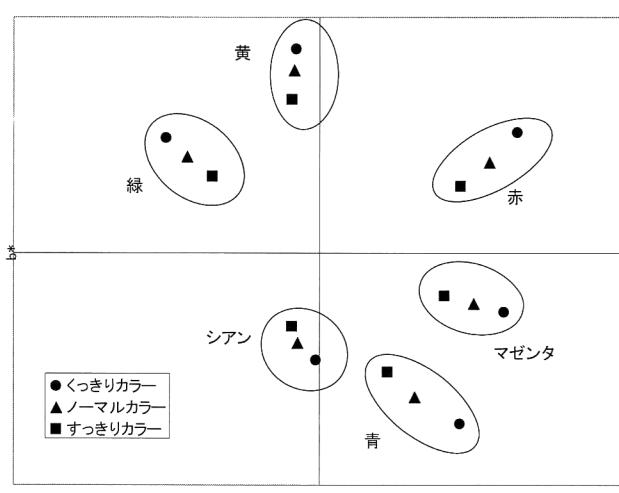


図2 色効果モードにおける色再現比較 (Canon PowershotG5)。

ジタルカメラのメリットを生かす、ひとつの方向性であると考えている。

1.3 分光感度と色再現特性について

デジタルカメラの画像設計は忠実色再現ではなく、記憶色重視の色再現であることは前述した。しかしながら、まったく現実の色と異なった色をつくっているのではなく、人間が見えている色にある程度までは近い色でなければならぬのも事実である。そのためには、デジタルカメラと人間の目の分光感度特性を近づけることは画像設計を行ううえで重要である。

1.3.1 マトリックス演算による色変換

人間の眼の分光感度特性として、CIE RGB 表色系の等色関数が知られている（図3）¹⁾。RGB 等色関数は、R に負の感度をもっているのに対し、デジタルカメラの分光特性は負の感度特性をもたない（図4）。しかし、式（1）のようなマトリックス演算を施すことによって、同等の効果

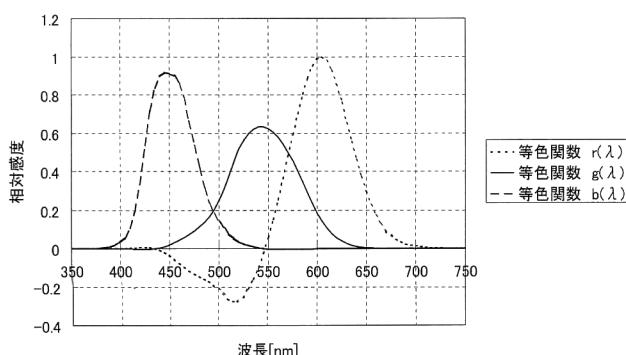


図3 RGB 表色系の等色関数。

を実現している。図5は、WB補正とマトリックス演算式（1）によって変換した後の分光感度をシミュレーションした例である。RGB 等色関数に非常に近づいている。

$$\begin{bmatrix} R'(\lambda) \\ G'(\lambda) \\ B'(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.35 & -0.3 & -0.05 \\ -0.05 & 1.1 & -0.05 \\ 0.05 & -0.25 & 1.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(\lambda) \\ G(\lambda) \\ B(\lambda) \end{bmatrix} \quad (1)$$

1.3.2 色再現特性の光学的なマッチング

撮像素子の分光感度特性（図6）は、半導体特性により、赤外波長においても大きな感度をもっている。人間の可視波長範囲はおよそ400～700 nm であり、この感度波長範囲に関しても一致させることが重要である。

たとえば、布の分光反射率は680 nm 近辺で急激に上昇する（図7）。人間の眼の感度は680 nm 近辺ではほとんどなく、たとえば黒やグレーなど無彩色の布のような被写体は無彩色として認識するが、撮像素子の分光感度特性で再現すると、赤外波長領域で大きく反応し、赤く再現されてしまう。これら画像劣化を防ぐため、赤外カットフィルターを用いる。赤外カットフィルターの構成として、赤外吸収ガラスと赤外反射コートを併用する場合と、赤外反射コートのみで構成される場合がある。その赤外カットフィルターのカット波長特性は、短波長側に寄りすぎると、センサーでの赤の感度が減少しノイズが増え、長波長側に寄りすぎても上述した色再現での弊害が生じる。この赤外カットフィルターの設計は、各メーカーが画像設計するうえでのノウハウであり、画質に重大な影響を与えるものである。

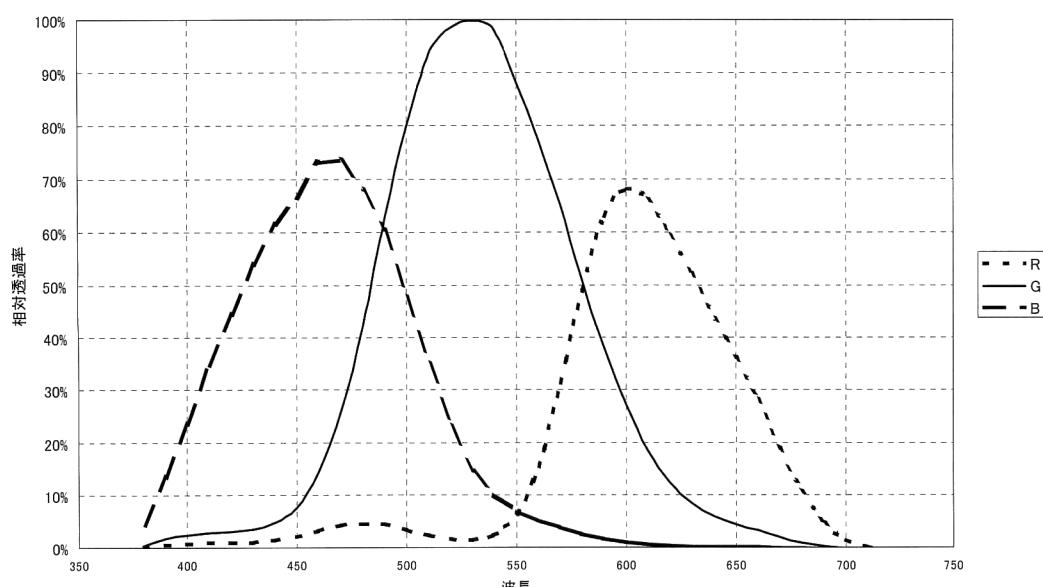


図4 デジタルカメラの分光特性 (Canon PowershotG5)。

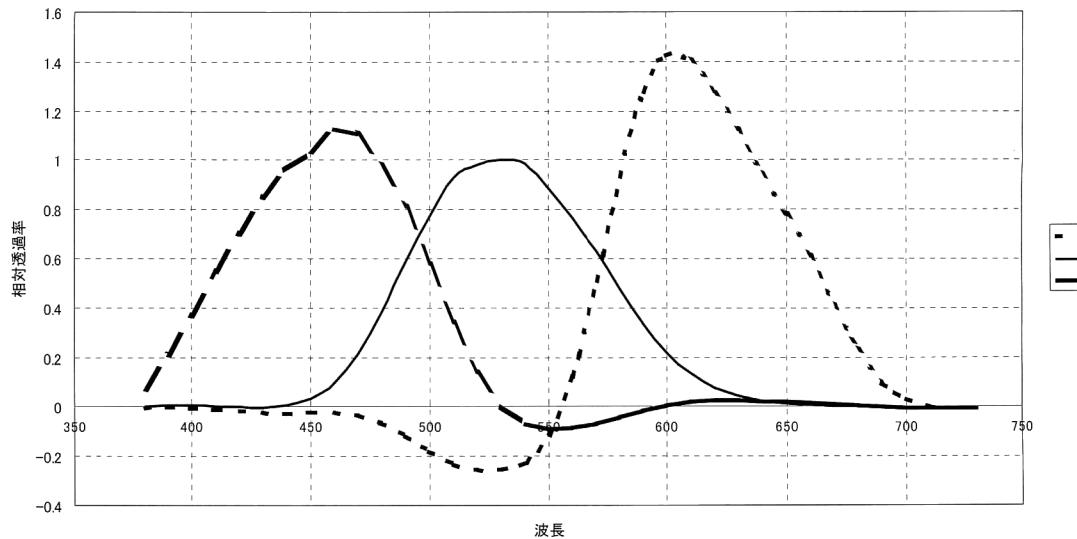


図5 マトリックス演算後の相対分光特性 (PowershotG5).

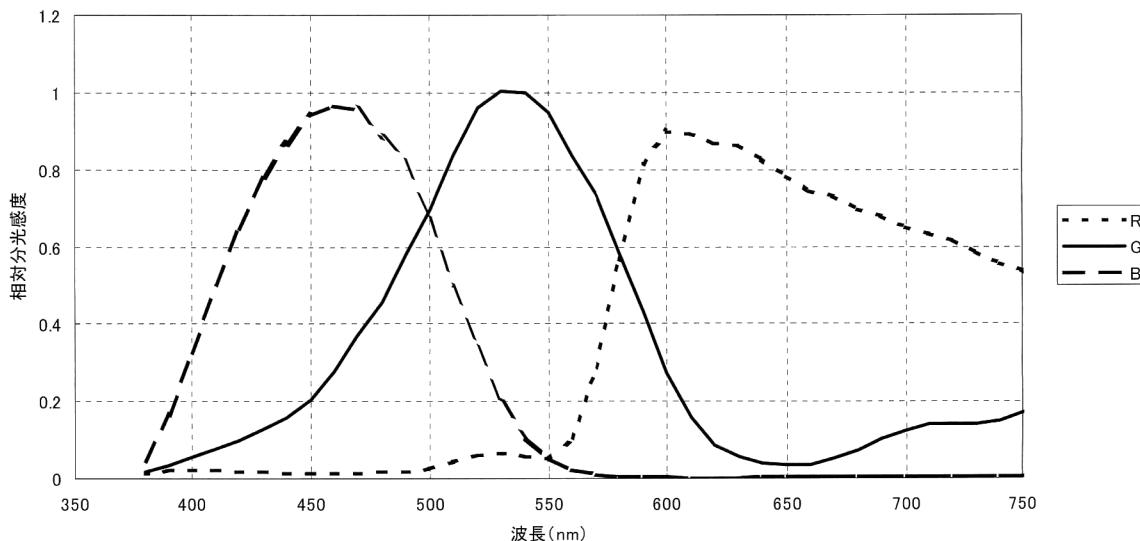


図6 撮像素子分光特性.

2. モニター鑑賞用色空間について

2.1 デジタルカメラにおけるファイルフォーマットの最近の動向

デジタルカメラの画像ファイルフォーマットは、一般的にExifが用いられている。Exifとは、JPEGファイルのヘッダー部分に撮影時情報の記録形式が定義されたもので、写真的アルバム機能や写真を印刷するときの画像補正の情報として用いられる。そのExifの最新バージョンであるExif2.21で定義されるモニター観賞色空間は、一般的に用いられるsRGBまたはその派生系であるsYCCに加え、AdobeRGBがサポートされた。AdobeRGBは、商業写真業界でよく用いられており、プロカメラマンをはじめとするハイエンドユーザー層の要望に応える形で2003年

秋に追加されたものである。以下、モニター色空間と画質設計の関係について述べる。

2.2 AdobeRGB 色空間における画像設計

AdobeRGBは、sRGBと比較して、広い色域を有している(図8)。その色域は緑方向に大きく広がっているが、画像として効果がみられるのは、オレンジとシアンである。これは、MacAdamの橙円からもわかるように、人間の感覚がグリーン領域の彩度方向で感度が鈍く、シアンやオレンジのほうが敏感であるためであると推測される。また、このシアンの領域は、印刷・プリンターのインク特性としてsRGBよりも広く色域をもっており、その目的と合致しているため近年注目されている色空間である。

一般的に、デジタルカメラの色空間は、sRGBをベース

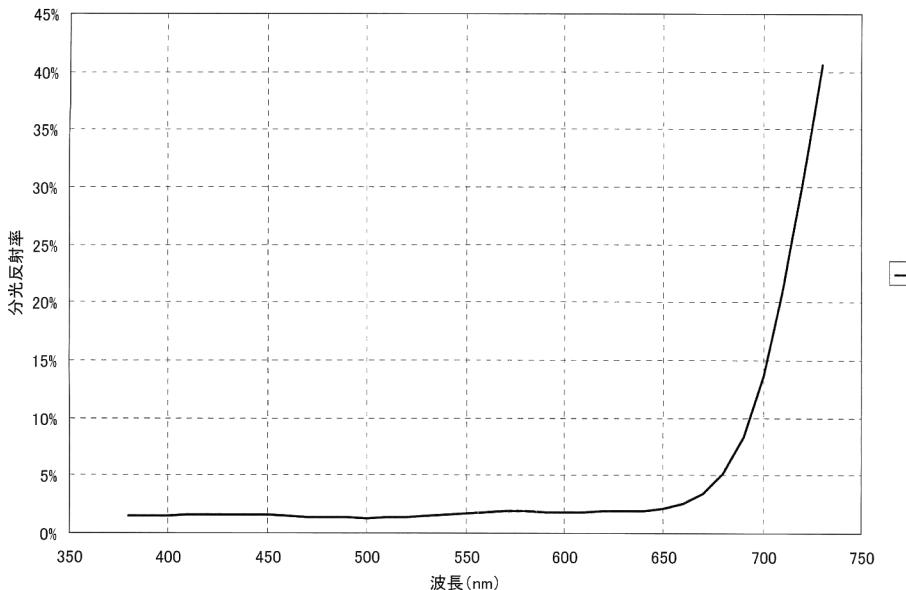


図7 黒布の分光反射率。

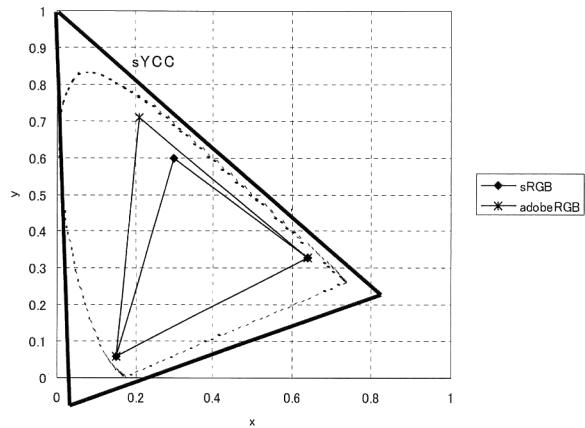


図8 色空間比較。

とした色空間である“sYCC”であった。この“sYCC”は、sRGBと比較して十分に広い色域をもっている(図8)。しかしながら、モニター観察環境がsRGBと定義されているため、実質的にはsRGBモニター上でもっとも美しくなる画像設計を行っていた。それに対して、AdobeRGBでの記録時には、AdobeRGBの環境で観察した場合に美しくなるように画像設計を行っている。つまり、画像設計としての色域圧縮がsRGBとAdobeRGBで異なることを意味する。従来においても、AdobeRGBにプロファイル変換を行って広い色域の画像をつくり出すことは可能であった。しかし、デジタルカメラの場合、被写体そのものから直接的に色域マッピングを行うため、その広い色域を最大限活用した画像をつくり出すことで、AdobeRGBの優位性を発揮させることが可能となる。

2.3 AdobeRGB の使用上の留意点

筆者らは、AdobeRGBの効用には十分期待しているが、現状ではOS(operating system)を含めたインフラがまだ整っていないため、AdobeRGBの利用に際しては以下のようない点に留意する必要がある。

2.3.1 観察環境について

AdobeRGBで記録された画像を鑑賞する手段が現段階で非常に少なく、モニターでAdobeRGB画像を“正しく”表現できるものは、研究段階のものは別として、一般用としてほとんど存在しない(2004年4月現在)。また、PhotoshopなどでAdobeRGBからsRGBへプロファイル変換することでも見ることは可能であるが、モニター自体がsRGBであるため、正しい色で再現されないことが多い。

2.3.2 精度について

AdobeRGBの色空間の色域が広いということは、その反面、同じビット数で記録する場合、1bitあたりの精度が粗くなる。極端な場合、8bitのJPEGで滑らかなグラデーションが擬似輪郭として見える可能性もある。8bit/Chにおける最大量子化間隔は、sRGBが $\Delta E^*ab = 1.189$ に対し、AdobeRGBでは $\Delta E^*ab = 1.655$ という報告もなされている²⁾。広色域でかつ精度を求める場合、各色16bitとより高精度での記録が望ましく、一部にはハイエンド用のデジタルカメラやその同梱アプリケーションにおいて、高ビット出力がサポートされているものもある。

AdobeRGBは、Exifで規格化されたこともあり、今後ますます対応機種が増え、利用範囲が広がり可能性が開けると予想される。しかし、そうした可能性を有効に活用し

ていくためにも、このような長所・短所を正しく理解し、利用目的にそって使い分けがなされることが望まれる。

3. 今後の色再現技術の方向性

近年、ビデオカメラ、スチルカメラ、テレビ、ビデオ、その他あらゆる映像入出力機器のデジタル化が進み、家庭に普及している。その背景には、PC やインターネットの技術が発展し、ストレスなく扱えるようになってきたことがあげられる。今後もさらに、ネットワークを介した画像の交換が増え、鑑賞方法や保存方法が多様化するであろう。また、カメラからプリンターへ PC を介さずに印刷可能な “PictBridge” に対応した機器も増え、ホームプリンタが気軽に家庭の中で楽しめるようになってきた。今後の色再現技術の方向性として、このような多様な環境におい

ても、いつでもきれいに出力することが可能な環境を構築することが大切であると考えている。たとえば、プリンターとデジタルカメラのマッチングや、プリンターとディスプレイのカラーマネージメントを簡単に構築することである。さらに、デジタルの長所を積極的に活用した、新たな“楽しさ”を提案していくことが、われわれメーカーの使命であると感じている。そして、一人でも多くの方にデジタルの楽しさを感じていただければ幸いである。

文 献

- 1) 日本色彩学会編：新編 色彩科学ハンドブック，第2版 (1998)
pp. 89-128.
- 2) 加藤直哉：日本写真学会誌，67，別冊1 (2004) 14-16.

(2004年4月28日受理)