

特集 「色彩科学における実験環境の構築」

写真やカラーシミュレーション画像を刺激とする場合の画像編集作業

Image Editing for Color Stimuli from Color Simulation Images or Photographs

田中 法博 Norihiro Tanaka

長野大学 企業情報学部

Faculty of Business and Informatics,
Nagano University

あらまし

本稿ではデジタルカメラによって撮影された物体や景色などの画像の色を解析したり、その画像を視覚刺激として用いたりする場合の撮影・画像加工技術について述べる。撮影において対象の色を極力忠実に再現するためのカメラ設定の留意点といった「入力」の問題から、撮影後のデジタル画像におけるカラー補正や画像再現手法など「編集」作業について基礎的なスキルについて解説する。ここではデジタル画像の獲得手段としてデジタルカメラを主に取り上げる。その上で、そこから得られたデジタル画像を色彩実験にどのように応用するのかを一つの視点から取り上げる。

1. はじめに

デジタルカメラやイメージスキャナが一般に市販されるようになって一定の年月が経過しており、近年ではこういったカラーイメージングデバイスの性能が大きく向上し、色彩実験等に用いられるようになるなど色彩学の立場からも重要な役割を果たしてきている。こういったデバイスの利点は撮影してすぐにPC等で撮影画像が表示できるというだけでなく、画像情報がデジタルデータであるため画像の処理や加工が極めて簡単に行えるという大きな特徴を持つ。またデジタルカメラでは、撮影から画像表示までにフィルムカメラ（銀塩写真）のような化学的な処理が入らないため表示する色が安定しているという点も色彩学的には大きな利点となる。このような特徴からデジタルカメラとデジタル画像は色彩を扱う様々な分野で強力なツールとなっている。ただ、デジタルカメラは手軽に高品質な画像が得られるため、その特性に関しての理解が不十分なまま利用される事例が散見される。実はデジタルカメラの特性を十分に理解した上で、そこから得られた画像を利用しなければ、色彩実験を行う本来の目的

を果たすことが極めて困難になる。

しかし、デジタル画像を用いた色彩実験は既に極めて広範囲にわたっており、文化面からの研究、色彩心理といった分野からさらに色彩工学やコンピュータビジョン分野の応用なども含めるとその適用例を全て把握することは極めて難しい。本稿では、そういった中でデジタル画像、特にデジタルカメラを使った色彩実験において、いずれの分野でも必要となる技術について最小限度のポイントを述べたい。

2. カラー画像の獲得

2.1. カラー画像の獲得手段

カラー画像計測を行うデバイスとしてはデジタルカメラとイメージスキャナが最も代表的なものである。これらは対象の像を光学系でとらえその光信号をCCD (Charge Coupled Device) やCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) といった個体撮像素子で電気信号に変換し、それをさらにA-D (Analog-Digital) 変換してデジタル信号を得る。A-D変換とはアナログ信号である電気信号をデジタルデータ (数値情報) に変換することである。このデジタル信号の集まりが画像となる。

ただし、撮像素子は単に光を電気信号に変換することしかできないので、カラー画像を得るためにはカラーフィルタを用いたり、複数の色の光源を使用したりするなど色を識別させる必要がある。

2.2. デジタルカメラのカメラ出力モデル

図1は物体をRGBカラーカメラで計測したときのカメラ出力をモデル化したものである。カメラ系に入力する色信号 $C(\lambda)$ は物体の分光反射率 $S(\lambda)$ と光源の分光分布 $E(\lambda)$ から $C(\lambda) = E(\lambda) S(\lambda)$ と記述できる。次にRGBカラーカメラのカメラ出力 ρ はRGB3つの値

を持つ 3×1 のベクトルで示す。これをモデル化すると(1)式ようになる。カメラの分光感度関数はRGBそれぞれのチャンネルに対して $R_R(\lambda)$, $R_G(\lambda)$, $R_B(\lambda)$ である。ここで一つの画素あたりのカメラ出力 ρ を可視波長域(400nm-700nm)に関してモデル化すると次式のようなになる¹⁾。

$$\rho = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \int_{400}^{700} C(\lambda) \begin{bmatrix} R_R(\lambda) \\ R_G(\lambda) \\ R_B(\lambda) \end{bmatrix} d\lambda \quad (1)$$

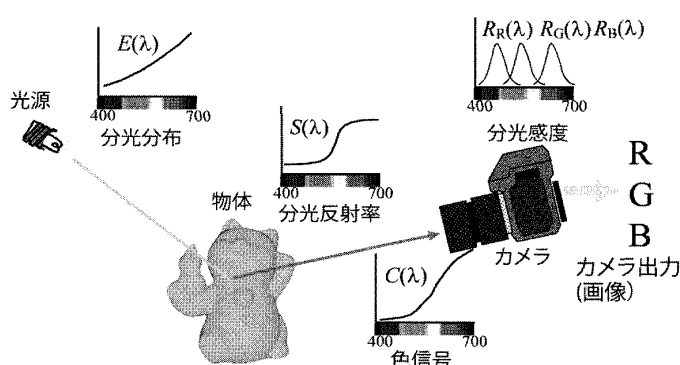


図1 デジタルカメラのカメラ出力モデル

3. デジタルカメラ

デジタルカメラは3次元空間にある物体の像を2次元のスクリーン上に投影したものをデジタル画像として獲得する。図2は現在市販されているデジタルカメラである。同じデジタルカメラでも高機能な高級機と安価なコンパクトデジカメと呼ばれるものまで幅広く存在する。



図2 デジタルカメラ

3.1. デジタルカメラによるカラー画像の獲得

カメラの色特性のうち最も重要なものは分光感度特性であるが、この分光感度特性はCCDの感度特性とフ

ィルタの透過率により決まる。デジタルカメラでは一般にRGB三原色説に基づいて色を表現するため、3種類のカラーフィルタで色を分離する。カラーフィルタは、R(赤)、G(緑)、B(青)の原色を直接用いる原色フィルタと、C(シアン)、M(マゼンタ)、Y(イエロー)といった補色を用いる補色フィルタとがある。

原色フィルタはカメラの分光感度特性が狭帯域であるため鮮やかな色が得られるが、フィルタの透過率が低くなるため暗いところでの撮影が難しくなる。補色フィルタは、原色2色分の光を透過するため分光感度特性が広帯域になる。そのためフィルタの透過率が高くなり暗いところでの撮影に強くなる。しかし、分光感度特性が広帯域であるため鮮やかな色の獲得が難しくなる。

3.2. デジタルカメラの撮像素子

(1) 方式

撮像素子の方式に1CCDや1CMOSと呼ばれる撮像素子を1枚だけ使用した単板式や3CCDや3CMOSと呼ばれる3板式のものがある。

単板式では一枚の撮像素子でRGB3つの色を獲得する。この場合、各画素はR、G、Bいずれか一色しか認識できないため、他の2色は隣接する画素などから補間によって求める。このときR、G、Bそれぞれに対応する画素数は均等ではなくGの画素の数が最も多い。この理由はデジタルカメラの輝度情報をGの画素から得るからである。たとえばsRGBからCIE-XYZへの変換は(2)式によって計算されるが、輝度を表すY値への貢献はGが最も大きいことがわかる。

$$\begin{aligned} X &= 0.4124R + 0.3576G + 0.1805B \\ Y &= 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B \\ Z &= 0.0193R + 0.1192G + 0.9505B \end{aligned} \quad (2)$$

人間の視覚は、色よりも輝度(明暗の変化)に対して敏感な特性を持つため、画素数を変化させずに画質を向上させるためには色情報よりも輝度情報を多く持たせれば効率が良くなる。

3板式ではR、G、Bに対応する3枚の撮像素子を用意して、ハーフミラーやプリズムなどを用いて光を3つの経路に分離し、RGBそれぞれ別の撮像素子で光を検出する。このとき同じ面積の画像を得ようと考えれば、3枚の撮像素子が必要になるためコスト面や明るさの面で不利になるが全ての画素にRGB全ての値を持たせることができるため、色の再現性は向上する。

(2) 原色フィルタと補色フィルタ

原色フィルタとは撮像素子にR(赤)、G(緑)、B(青)の三原色のフィルタを持たせたものである。これに対して、補色フィルタと呼ばれるR、G、Bそれぞれの補色であるC(シアン)、M(マゼンタ)、Y(イエロー)フィルタを持たせたものがある。ただし、補色フィルタであっても先に述べた輝度値を得るためにCMYに加えてGのフィルタを持つものがある。

原色フィルタは、カメラの分光感度特性が狭帯域(色が鮮やか、濃い)であるため色の再現性は良くなるがフィルタの透過率が低くなるため感度が低くなる(画像が暗くなる)という問題がある。それに対して、補色フィルタは原色フィルタ2色分の光を透過させるため、分光感度特性が広帯域(色が薄い)となり色の再現精度が少し低下する傾向があるが、フィルタの透過率が高いため感度を高めやすい。

3.3. RAW画像とデジタルカメラにおける現像処理

デジタル一眼レフカメラあるいは、コンパクトデジタルカメラでも高機能なものではRAW画像と呼ばれる形式で画像データが記録される。RAW画像は撮影時に撮像素子から送られてきたデータが色変換されず未加工のまま記録されている。

このとき、カメラによっては異なる場合があるが、一般的にホワイトバランス、使用する色域(sRGBやAdobeRGBなど)、色味といったカメラの設定は、直接画像を変換するのではなく設定情報をRAW画像とともに記録しておき、現像の段階でカメラの設定に基づいて画像変換処理を行う(図3)。つまり、カメラのホワイトバランスなどの設定を変更しても、その場ではRAW画像には何も変化は与えられず、設定値だけが記録される。

デジタルカメラで撮影されたRAW画像は、実際にユーザが見ることのできる形式の画像にソフトウェア処理によって変換がされる。この変換処理はデジタルカメラでも「現像」という言葉が使われる。ただし、ここでは銀塩写真とは異なり現像液などによる化学処理によって像を作り出すのではなく、「ソフトウェアによってRAW画像から(見ることのできる)画像への変換」を意味する。

RAW画像で記録された画像は、この現像段階で画像に対して様々な処理を行うことができる。明るさやトーンカーブの調整、ホワイトバランスの調整、使用する色域(sRGBやAdobeRGBなど)、コントラスト

や色合いの変更、黒レベルの調整といった処理を加えて好みの画像を生成できる。デジタルカメラの色特性は撮像素子のハードウェア的な色特性だけでなく、こういったメーカー独自の画像処理ソフトウェアにも依存する。

通常、色彩実験に使用する画像はRAW画像として記録する必要がある。一般的なJPEG画像のような非可逆圧縮した画像では色情報が大幅に欠落していたり、何らかの色補正がなされていたりするため正確な色を表現することができない。



図3 デジタルカメラの設定パネルの例

3.4. カメラのISO感度とゲイン

デジタルカメラではゲインを変化させてシーンの明るさに対するカメラの感度特性を調整することができる。ゲインとは電気回路における入力信号と出力信号の比率のことであるが、デジタルカメラにおいては入射した光の強さに対する電気信号の強さの比率を意味する。ここではセンサに入った光の信号をアナログ的に増幅している。

これにより同じ露出(シャッター速度と絞りの組み合わせ)でもゲインを上げることにより暗いシーンの画像を撮影することができる。ただし、ゲインを上げるとノイズまでが増幅されるため画像中のノイズが大きくなる。

一般に市販されているデジタルカメラではゲインはISO感度を想定して設定する。ISO感度とは国際標準化機構(International Organization for Standardization)によって定められた写真フィルムの感度の規格である。カメラの撮像素子の感度は設定したISO感度に相当するようにゲインが調整される。このときゲインの設定は、撮像素子から出力された電気信号をアナログ的に増幅するので、ホワイトバランス等の他のカメラ設定とは異なり撮影時にRAW画像に直接影響を与える。このためゲイン調整によるISO感度の設定は撮影後の現像段階では変更できない。

3.5. ダイナミックレンジ

ダイナミックレンジの本来の意味は識別可能な最小値と最大値の比率をさすが、デジタル画像を扱う場合、銀塩フィルムでラチチュードと呼ばれているものとはほぼ同義で使われている。暗い部分から明るい部分まで、どの程度なだらかに表現できるかの指標となる。デジタルカメラでは最も暗い黒から最も明るい白までをデジタル信号としてサンプリングするため、ダイナミックレンジの広さをbitで表現する。たとえば、一般的なデジタルカメラのダイナミックレンジは8bitのものが多く、この場合最も暗い部分から、最も明るい部分までを8bitつまり $2^8=256$ 段階(0から255)で表現する。最近のカメラではこのダイナミックレンジが8bitではなく、12bit(4096段階)や14bit(16384段階)といった広いものが市販されている。

ただし、この場合数値的に幅広いダイナミックレンジを持っていても、それはA-D変換装置の分解能を示すものであって、実際の画質(アナログ信号)は撮像素子の性能に依存するため、実質的にはそれだけのダイナミックレンジを持っていない場合がある。

3.6. 撮像素子の大きさ

CCDやCMOSといった撮像素子の大きさは撮影されたデジタル画像の品質に大きく影響する。撮像素子は光信号を受け、それを画素毎に電荷として蓄える。この電荷の量が明るさ情報となる。

同一の大きさの撮像素子では、解像度が上がれば一画素あたりに蓄えられる電荷の量が減少するため、画素の値は電荷の量の変動に敏感になる。それが誤差となり、安定した画素値が得られなくなる。これはノイズとなって画像上に現れる。逆に同一解像度で撮像素子が大きくなれば、一画素あたりに蓄えられる電荷の量が増えるため電荷の量の変動に対しても安定した画素値が得られる。つまり画像上のノイズが減少する。

通常市販されているデジタルカメラでは、プロ仕様の一眼レフカメラで大型のものは35mmフルサイズ撮像素子と呼ばれるものがあり、撮像素子の大きさは、36mm×24mmとなる。これは撮像素子が35mm銀塩フィルムとほぼ同一の大きさとなる。これに対してコンパクトデジカメでは、撮像素子の大きさは小さくなり、たとえば、1/2.33型と呼ばれるものが採用されている。この撮像素子の大きさは6.2mm×4.6mmしかならず面積にして35mmフルサイズ撮像素子3.3%程度の面積しか持たない。この場合、単純に考えれば

同一解像度の1/2.33型撮像素子は、35mmフルサイズ撮像素子に対して3.3%程度の電荷しか持てないことになる。つまり、それだけ1/2.33型撮像素子は35mm型撮像素子と比べてノイズに弱いと言える。

図2の左側のカメラは35mmフルサイズ撮像素子を持ち、右側のカメラは1/2.33型撮像素子を持つ。こういった撮像素子の違いからも高級機と普及機の差がでてくる。

4. イメージスキャナ

イメージスキャナはデジタルカメラとは異なり、印刷物や写真などの二次元的な画像をデジタル化するために用いる。図4は市販されているイメージスキャナであり、撮像素子と光源が一次的に配置し、これを移動させることによりデジタル画像を獲得する。

スキャン方式には、一般に民生用に使われる原稿を固定しておき撮像素子を移動させてスキャンを行うフラットベッドタイプや、印刷会社などで使われる高解像度のスキャンが可能ドラムタイプがある。

またイメージスキャナは縮小光学系(Charge Coupled Device(CCD)方式)と密着光学系(Contact Image Sensor(CIS)方式)といった光学系の方式で分類できる。

前者の縮小光学系は光学系を用いて撮像素子(CCD等)に結像させる方式で、撮像素子側にRGBのフィルタを持たせて色を識別する。利点は、ピントの合う範囲を広くとることができるため読み取る対象(原稿や写真)が原稿台に密着していなくても対象の像を読み取ることができる。また、撮像素子側にカラーフィルタを持っているので色の再現性が高いという利点がある。このため印刷物などだけでなく、織物などある程度立体的な対象にも使用することが可能である。問題点としては、十分な光路を確保しなければならない

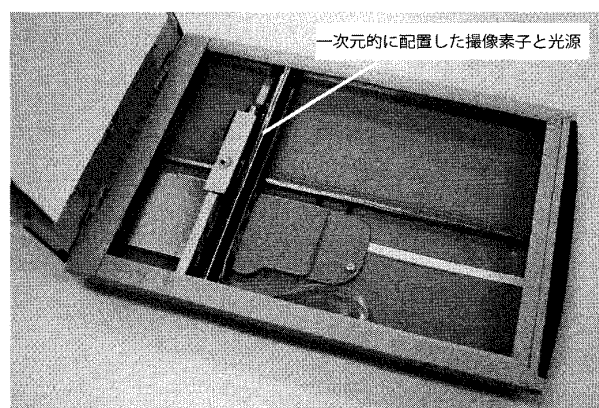


図4 イメージスキャナの一例

め機構が大型化することである。

後者の密着光学系方式は、原稿と同じ幅の撮像素子を原稿台に極めて接近させて配置したものである。このため前者の方式とは異なり、複雑な長い光路は必要ないため構造が単純化できる。しかし、光路が極端に短い場合ピントの合う範囲が狭く、読み取る対象が原稿台に密着していなければ像がぼけてしまう問題がある。さらにこの方式では光源側で分光するため色の再現精度が低下するという問題がある。

5. デジタル画像の性質

ここではデジタル画像を扱う時の画像の性質やその性質に応じた補正方法について一般的な技術について紹介する。デジタルカメラを様々な対象を撮影する上でデジタル画像の性質についての特性を知ること、またデジタルカメラの各設定が画像にどのような影響を与えるかということ把握することは重要である。

5.1. カラーヒストグラム

画像中にどの明るさの画素がどの程度ふくまれているかをRGBそれぞれの色ごとに示したグラフである。露出や画像の明るさを定量的に確認することができる。たとえば、画像中の色のバランスや画像の明るすぎる部分が白く飛んでしまう白とびや暗いところが黒く潰れてしまう黒つぶれの程度を調べるのに役立つ。

5.2. 画像の諧調性

画像の濃淡の変化の滑らかさを示す。濃淡が滑らかに変化していること、つまり微妙な色の違いを表現できることを諧調性が高いと呼ぶ。

5.3. 鮮鋭度

画像を見たときの鮮鋭感を示す指標である。鮮鋭度が高い画像ははっきりとした感じに見え、鮮鋭度が低いとボヤけたように見える。

5.4. 解像度

画像中でどれだけ細かいものが表現できるのかを表す指標である。解像度の単位はDPI(dot per inch)が使われることが多い。これは1インチ辺り、いくつの点が表現できるのかで画像の解像度を定量的に示す。

5.5. ホワイトバランス

画像は撮影時の光源によって色が変化する。たとえ

ば太陽光の下で撮影したものは白熱電球の下で撮影した場合には全体的により赤っぽくなる。このままでは人間が見た自然な色と異なってしまうので補正する必要がある。ホワイトバランスとは、このように様々な色の光源の下で白色を基準に色のバランスを補正することである。このとき光源の色は色温度で示される。色温度とは光源を黒体輻射と考えた場合の黒体の絶対温度(K、ケルビン)である。

5.6. 画像のノイズ

画像中には様々な要因でノイズ(雑音)が混入する。ノイズの種類を発生源別に見ていくと固体撮像素子を駆動する電流によって生じる暗電流ノイズ、A-D変換の過程で量子化誤差によって生じるノイズ、信号路への外的要因によって混入するノイズなどが存在する。

雑音の量を示すのにSN比(Signal-noise Ratio)という指標を用いる。SN比の単位はdB(デシベル)である。

5.7. ダーク補正

固体撮像素子は光を電気信号に変換するということは先にも述べたが、このとき真っ暗なシーンを撮影した場合には電気信号はゼロにならない。しかし、この場合でもごくわずかな不要な信号(電流)が出力されてしまう。これは固体撮像素子を駆動するための電流が出力として漏れ出てしまうからである。この不要な信号は暗電流ノイズと呼ばれる。

ダーク補正とは、こういったノイズが画像中に固定パターンのノイズとして発生するため、予めこの固定パターンを撮影しておき、撮影後に引き算をすることによりノイズを軽減することである。この暗電流ノイズは、カメラのゲインを上げる、長時間露光する、撮像素子の温度が上がると顕著に出てくる性質がある。

5.8. ガンマ補正

CCD(入力デバイス)やディスプレイ(出力デバイス)は入力信号と出力信号が線形になっていない場合が多い。この入出力の関係を線形に補正するのがガンマ補正である。

6. デジタル画像を用いた実験の事例

6.1. 物体の色を計測

近年では撮像素子の精度の向上やカラーマネジメント技術の向上により、デジタルカメラを測色の道具として使用することも可能となってきた。これは実物の

色を精密に再現できるようにハードウェア、ソフトウェアともに発達してきたからである。現在のデジタルカメラの高級機の感度特性は、カラーマネジメントの重要性から完全では無いものの程度ルータ条件を満たすようになっており、またガンマ特性も線形に近いものになってきている¹⁾。

6.2. 色再現

実物とそれを再現した画像の色を合わせることは重要なテーマの一つである。これまで写真撮影による画像記録では、ある程度の基準はあったものの写真家の経験と主観的な判断に基づいて色再現が行われてきた。それに対してデジタル画像に関しては色変換がコンピュータ上でできることからカラーマネジメントの技術が発達してきている²⁾。

同じものを撮影して画像再現してもカメラやディスプレイが変われば再現される色が異なるという問題は一般によく知られている(図5)。各デバイスの持つRGB値やCMY値はデバイス固有のものであるため物理的な根拠を持たない。こういった色はデバイス依存色と呼ばれている。そういった問題を解決するために近年では各デバイス間の色を相互変換し、正しい色を表示するためカラーマネジメント技術が、現在ではコンピュータのオペレーティングシステム(OS)にも標準的に実装され、一般的に利用されるようになってきた。たとえばApple社がMac OS用に開発したカラーマネジメントシステムとしてはColorSync、そしてMicrosoft社がWindows用に使用しているカラーマネジメントシステムとしてはImage Color Management(ICM)などが知られている。これらは個々のデバイスのカラー特性を記録したプロファイルと呼ばれる情報に基づいてデバイス間で相互に色変換する。カラーデバイスのプロファイルはInternational Color Consortium(ICC)によって標準化されたICCプロファイルなどが使われている。

現在市販されているデジタルカメラ、スキャナ、ディスプレイといったカラーデバイスの中には、このICCプロファイルがメーカーから提供されているものが多く出てきており、添付のカラープロファイルをOSにインストールすれば手軽にカラーマネジメントシステムを使用することができる。しかし、メーカーから提供されているプロファイル情報は、その製品の代表的な特性であるため、精密な色再現を実現するためには同一メーカー、同一機種であっても個体ごとに

色特性はわずかに異なるという問題が残る。図5は同じカメラで一つの物体を撮影し、実物と再現画像を比較している様子である。同じものを撮影してもカメラによって再現した色が異なることがわかる。

こういったことから最近ではカラーキャリブレーション用のハードウェアやソフトウェアが市販されており、一般にも利用できるようになってきた(図6)。

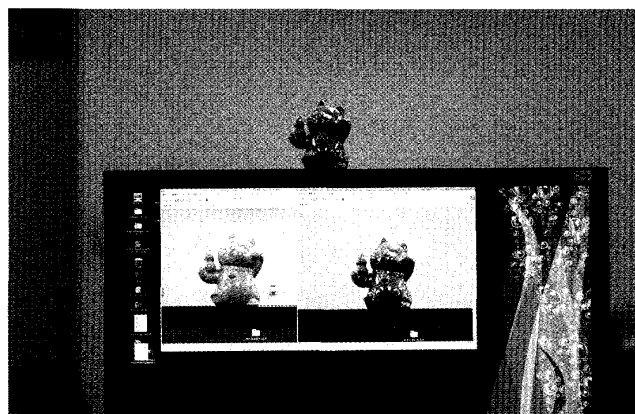


図5 異なる2つのカメラで物体を撮影し実物と再現画像を比較している様子

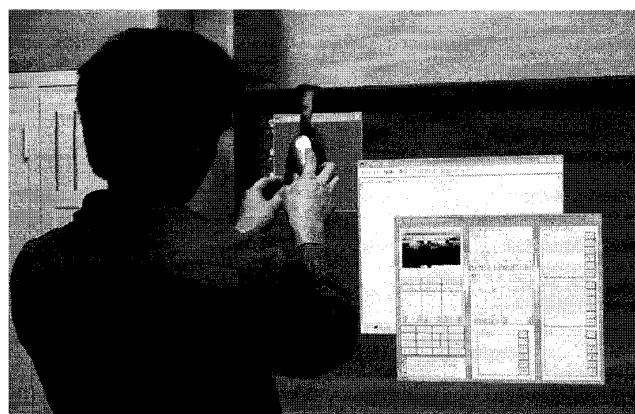


図6 カラーキャリブレーションツールでディスプレイの色特性を計測している様子

6.3. 視覚特性に基づく画像の再現

デジタル画像を用いた人間の視覚特性に基づく色彩実験は、たとえば、自動車や建築物のカラーシミュレーション、色順応予測、好ましい色の評価等の心理の実験といったように数多くの応用が考えられる。こういった実験においては、何らかの形で実物の色をデジタル画像で精密に設定したり、再現したりする必要がある。

図7はデジタル画像を用いて色再現の実験を行っている様子を概略図で示したものである。図8は実物とそれを3DCGで再現した画像を比較している様子である。デジタル画像を用いた多くの色彩実験においてはほぼ類似したモデルで示すことができる。ここでは、この

図7に従って画像の色再現プロセスを述べる。

(1) 物体の観測

物体は光源 $E(\lambda)$ で照明され、それが物体の分光反射率 $S(\lambda)$ で反射して色信号 $C_1(\lambda)$ が観測者やカメラに到達する。観測者はその色信号から色を認識し、カメラはその色信号からデジタル画像を出力する。入射した色信号は視覚系で色に変換されるが、ここでの色情報は視覚系の特性に依存し、それぞれの視覚系(カメラ系も含む)によって異なった色情報となる。ただし、光源からの光が物体表面で反射し、視覚系あるいはカメラ系に色信号として入射するまでは純粋に物理的なプロセスであるため、観測者の心理的条件や撮影デバイスの特性には依存しない。

(2) ハードコピー

ハードコピーは印刷面での光の反射により色を再現する。ハードコピーを用いた色彩実験は多くの要因で色が変わることに注意する。再現画像からの色信号 $C_2(\lambda)$ は、ハードコピーを照明する光源 $E'(\lambda)$ とハードコピーの分光反射率 $S'(\lambda)$ によって決まる。このとき $S'(\lambda)$ は実物の分光反射率 $S(\lambda)$ とは異なり、また、それだけではなく計測時の照明環境や計測機器の色特性、出力時のプリンタの色特性の影響も受けている。さらに照明光源においても $E(\lambda) \neq E'(\lambda)$ となる場合もある。

(3) ディスプレイ

ディスプレイの場合は画像自体が発光しているた

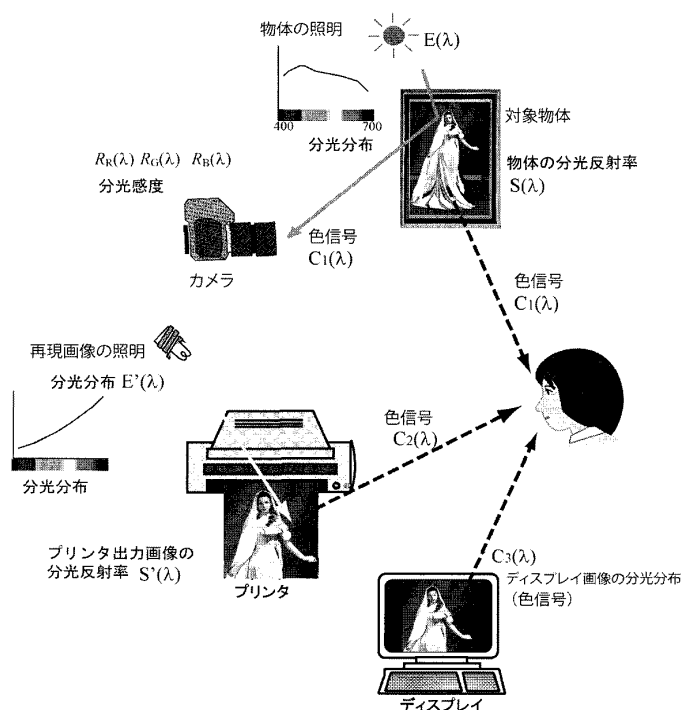


図7 デジタル画像を用いた色彩実験の例



図8 実物を画像で再現する実験の例（実物を照明する光源環境とともに3DCGで物体を再現して比較している）

め、ディスプレイの分光分布が直接色信号 $C_3(\lambda)$ として観測者に到達する。この場合も出力されているデジタル画像の色はディスプレイ装置の色特性の影響を受けていることに注意する必要がある。

ここで本稿では暗室環境での色彩実験を想定しているため周囲の照明環境の影響は考慮しない。

7. まとめ

本稿では主にデジタルカメラの特性や設定について述べ、それが色彩実験を行う上でどのような影響を与えるのかを述べた。デジタルカメラとそれで撮影されたデジタル画像は色彩を扱う様々な分野で強力なツールとなっている。ただ、デジタルカメラは手軽に高品質な画像が得られるため、その特性についての理解が不十分なまま利用される場合があり、これらは色彩実験を行う上で極めて致命的な問題を引き起こす可能性がある。

デジタル画像を用いた色彩実験は既に極めて広範囲にわたっており、文化面からの研究、色彩心理といった分野からさらに色彩工学やコンピュータビジョン分野の応用なども含めるとその適用例は極めて広い。本稿では、そういった中でデジタル画像、特にデジタルカメラを使った様々な分野における色彩実験において有用な技術を紹介した。

参考文献

- 1) 田中法博、禹在勇、更科友啓、望月宏祐：分光的な光反射計測に基づいた物体の表面反射特性推定、日本感性工学会論文誌、8-3 (2009) 943-950
- 2) 田中法博：分光的な光反射モデルに基づいた美術絵画のデジタルアーカイブ、日本色彩学会誌、31-4 (2009) 292-297