

# パーソナルコンピュータ上での CG における色彩 表現に関する一考察

金沢大学工学部 土木建設工学科 ○ 近田康夫  
金沢大学大学院 土木建設工学専攻 宇野正高  
金沢大学工学部 土木建設工学科 城戸隆良  
金沢大学工学部 土木建設工学科 小堀為雄

## 1. はじめに

近年のコンピュータの発達と普及にともなって、その利用は多岐に渡っており、構造計算のみならず、CAD、CAM による定形業務の効率化、そして CG (コンピュータ・グラフィックス) による景観シミュレーションなども行われるようになってきた。

特に、近年の性能の向上が著しいパーソナルコンピュータによる CG への関心は急速に高まっており、単に構造物をディスプレイ画面上に表現するだけでなく、従来は大型計算機や EWS (エンジニアリング・ワーク・ステーション) を用いなければならなかった構造物の背景までも描いたり、陰影や光の反射までも表現できる周辺機器やソフトウェアが比較的安価に利用可能になったことから、開発計画や建設計画における基本的な意志決定の補助手段として注目されている。今日では、ディスプレイ画面上で表現できる色彩も、初期の 4 ビット階調 (4096 色) から 8 ビット階調 (1677 万色) へと拡大しており、きめ細かな色彩の表現が可能になったことから、リアルな景観をディスプレイ画面上に再現することが可能となっており、十分に実用性のあるレベルになっていると言えよう。

ところで、構造物の計画段階での意志決定の補助手段としてコンピュータ・グラフィックスを応用した場合に、ディスプレイ画面上に表示された構造物の色と実際の塗装色とを対応付けなければ実用にならない。しかし、現状における CG の利用は多くの色をディスプレイ画面上に表示できることを利用してよりリアルに表現することを目指しており、その表示した色から実際の塗料の色を指定する方法としては、ディスプレイ画面上の画像やカラーコピーと色見本を見比べておおよその対応をとるといった、あいまいな方法をとる場合がほとんどである。土木工学への CG の利用はようやく普及しはじめた段階といえるが、形状だけでなく、様々な媒体を通じて得る色彩情報を的確に判断し有効に利用することが重要な課題となってくるであろう。

本報告では、最近パーソナルコンピュータによる CG で利用されはじめたフルカラー・フレーム・バッファを利用した場合の色彩の計算機内部表現 (RGB 形式) と JIS にも規定されている一般的な色彩指標であるマンセル色票表現 (HV/C 形式) との対応 (相互変換) を普及率の高い 16 ビット・パーソナルコンピュータ (PC9801) 上で実現するとともに、現状での問題点を考察するものである。筆者らは、この色彩コードの相互変換機構を、開発中の橋梁景観シミュレーションシステム<sup>1)</sup>に組み込んでいる。

## 2. CG における色彩

現在の CG では、色の表現は RGB カラーモデル (赤、緑、青の組み合わせ) で行われる。一部の画像処理ソフトでは、HLS カラーモデルや HSV カラーモデルなどの人間の感覚量に対応したカラーモデルもあるが計算機の内部表現は RGB 方式のみであり、ディスプレイ画面上に表示するには RGB カラーモデルへの変換を行っている<sup>2) 3)</sup>。これらのカラーモデルについて簡単に述べておくと、

**RGB カラーモデル：** 加法混色の原理に基づいて、R、G、B を立方体の各頂点におき、それらの関係を最も単純に 3 次元的に表したものである (図-1 (a))。R、G、B のそれぞれの階調にしたがって数字を付けることで色を符号化するのが普通である。つまり、8 ビット階調ならば 0~255 の 256 段階の輝度レベルを表現できる。具体的に、(R、G、B) という並びで輝度を表すと、例えば、(255,0,0) は最も鮮やかな赤を、(0,0,0) は黒を、(255,255,255) は純粋な白を表す。

**HSV カラーモデル：** ソフトウェアによって、できるだけ色を間隔的に捉えやすくするために考えられたモデルで、RGB カラーモデルの色の 3 属性をもとにして作り変えた、いわば主観的な色モデルである (図

-1 (b)). まず、中心軸に RGB カラーモデルの白から黒に至る無彩色を置き、これが明度軸 (V) となる。そして、その回りを RGB カラーモデルの残りの 6 つの頂点である R, Y, G, C, B, M という色相 (H) が 6 角形に配置されている。したがって、この 6 角錐の側面から中心軸に至る割合が彩度 (S) となる。この場合色相は、R を 0 度とした角度で表す。

**HLS カラーモデル：** HSV カラーモデル同様、色を間隔的に捉えやすくするために考えられた主観的カラーモデルである (図-1 (c))。ちょうど、HSV カラーモデルを 2 つ、逆さにはり合わせた形となっている。HLS カラーモデルはもともと光源に対して適用することを目的として作られたカラーモデルなので、明るさ (L) と色相 (H) の関係はより自然である。現在市販されているコンピュータ・グラフィックス用のペイントシステムなどでも多く採用されている。

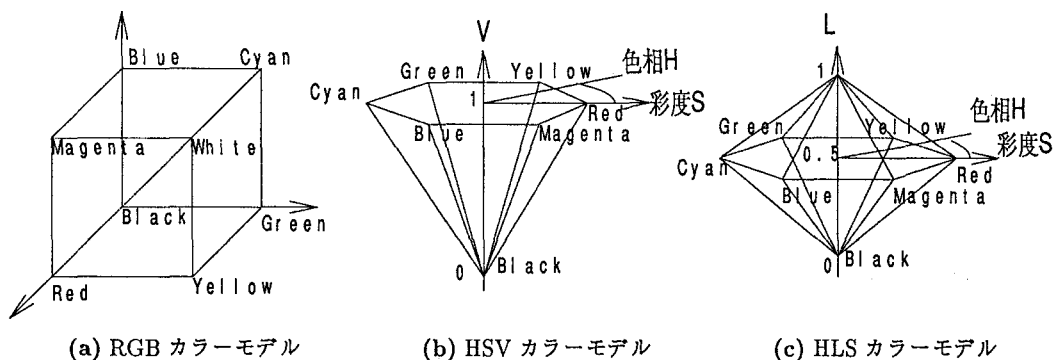


図-1 カラーモデル

PC9801 は基本的には  $4096 (=16^3)$  色から任意の 16 色が表現可能であるが、フレーム・バッファを増設することでフルカラー表示 (256<sup>3</sup>色/ドット) が可能となる。表現色数の違いは、3 原色を表現できる段階の数と対応するメモリの量で決まる。

このように、CG では色彩の表現に RGB カラーモデルを用いており、普通の色名や塗料の呼称とは異なる。フレーム・バッファなどの使用によりディスプレイ画面上にリアルな橋梁画像を作成してもその橋梁の色を実際の塗装色と対応付けるのは容易ではなく、色見本と見比べ色を同定する場合が多い。

逆に、橋梁に塗りたい色が決まっている場合には、塗料名 (JIS ではマンセル色名で表現する) を RGB モデルに変換してディスプレイ画面上に再現する必要がある。

このような実際の色名とディスプレイ画面上の RGB 表現との相互変換への対応に関しては、CG の実務への応用には欠かせない点であるにもかかわらず、ハード、ソフトともに対応が遅れているのが現状であり、その情報も十分ではない。

ここでは、RGB カラーモデルと工業分野 (JIS) で使用されているマンセル色名とを相互に対応させることを試みる。

マンセル色票は HV/C (色相・明度/彩度) で表現するが、JIS 規格では CIE (国際照明委員会: *Commission Internationale de L'Eclairage*) の制定した XYZ 表色系 (以下 CIE-XYZ または XYZ) との対で与えられる (具体的には、色度座標  $x, y$  と視感反射率  $Y_c$  による  $Y_{xy}$  表現)。CG においてマンセル色票と RGB カラーモデルを相互に対応付けるには、この XYZ 表色系による表現を介して行うことになる。

### 3. マンセル色名と RGB 表現の相互変換

#### (1) マンセル色名から RGB への変換

マンセル色名から RGB カラーモデルへの変換は、以下の手順で行うことができる。

Step 1 HV/C → XYZ 変換 任意のマンセル色名 (HV/C) から XYZ 表色系への変換は、JIS の表<sup>4)</sup>を内挿して行う。

Step 2 XYZ → RGB 変換 XYZ 表色系での Y<sub>xy</sub> 値 (実際には 3 刺激値 X,Y,Z) から RGB 表現への変換はマトリックス演算の形で表現できる<sup>5)</sup>。

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R \\ G \\ B \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、X<sub>r</sub>, Y<sub>r</sub>, Z<sub>r</sub> は単位量の原色 R を作るために必要な 3 刺激値である。X<sub>g</sub>, Y<sub>g</sub>, Z<sub>g</sub> と X<sub>b</sub>, Y<sub>b</sub>, Z<sub>b</sub> も同様である。例えば、(R, G, B) = (1, 0, 0) のときは上式より X = X<sub>r</sub>, Y = Y<sub>r</sub>, Z = Z<sub>r</sub> と求められる。残りの 2 原色についても同様にして変換マトリックスを得ることができる。

3 原色 R, G, B の CIE 色度座標 (x, y) が既知である場合、

$$\left. \begin{aligned} x_* &= X_*/C_* \\ y_* &= Y_*/C_* \\ z_* &= Z_*/C_* = 1 - x_* - y_* \\ C_* &= X_* + Y_* + Z_* \\ &(* = r, g, b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

が成り立つので、式 (1) は次式のようにも表現できる。

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r C_r & x_g C_g & x_b C_b \\ y_r C_r & y_g C_g & y_b C_b \\ (1 - x_r - y_r) C_r & (1 - x_b - y_b) C_g & (1 - x_b - y_b) C_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R \\ G \\ B \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

さらに、これをマトリックス表示すると、

$$\{X'\} = [C'] \{R'\} \dots\dots\dots (4)$$

一方、標準の白色の XYZ 表色系での色度座標 (x<sub>w</sub>, y<sub>w</sub>, z<sub>w</sub>) と輝度 Y<sub>w</sub> が既知である場合には、式 (3) に代入して解けば、C<sub>r</sub>, C<sub>g</sub>, C<sub>b</sub> が求められる。

$$\left. \begin{aligned} C_r &= (Y_w/y_w)[x_w(y_g - y_b) - y_w(x_g - x_b) + x_g y_b - x_b y_g]/D \\ C_g &= (Y_w/y_w)[x_w(y_b - y_r) - y_w(x_b - x_r) + x_b y_r - x_r y_b]/D \\ C_b &= (Y_w/y_w)[x_w(y_r - y_g) - y_w(x_r - x_g) + x_r y_g - x_g y_r]/D \\ D &= x_r(y_g - y_b) + x_g(y_b - y_r) + x_b(y_r - y_g) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

また、逆変換は、式 (4) から容易に

$$\{R'\} = [C']^{-1} \{X'\} = [C''] \{X'\} \dots\dots\dots (6)$$

なるマトリックス演算により求められる。なお、CIE-XYZ の標準光の 3 原色の色度座標は JIS で既知である。

注意しなければならないことは、CIE-XYZ は RGB との間では互いにアフィン変換で変換ができるが、HSV, HLS との間の変換はアフィン変換ではない (マトリックス演算の形で表わせない)。従って、HSV あるいは HLS 色モデルを用いた場合には、いったん RGB 色モデルに変換してから CIE-XYZ に変換することになる。

こうして問題はカラーディスプレイ装置の特性を把握することに帰着する。

まず、使用するカラーディスプレイ装置の採用している標準白色、3 原色の種類 (色度座標) を知ること。

次に、ディスプレイ装置の輝度は電子銃に印加する電圧に比例せず

$$I = \text{constant } V^\gamma \quad \text{ただし、} I: \text{輝度、} V: \text{電子銃への印加電圧} \dots\dots\dots (7)$$

なる関係にあるため ( $\gamma$ 特性と呼ぶ), この指数 $\gamma$ の値を知らなければならない(図-2).

筆者らが文献により調べた範囲では, 日本で製造されているカラーテレビ(あるいはディスプレイ装置)の標準白色は, C光源またはD<sub>65</sub>(D<sub>93</sub>とするものもあった)補助光源を採用している. また, 3原色としてはNTSC標準を用いているとされているが, ブラウン管に使用されている蛍光体の組合せによっても3原色の色度座標は異なる<sup>5)</sup>. CIEの色度座標空間における色域を図-3に示す. 図中の馬蹄形の範囲がCIEの色域であり, NTSC, CRTに関してはその3原色の色度座標で構成される3角形領域内の色のみが表現される. また, 色域内の点はそれぞれの標準光における白色の座標である.

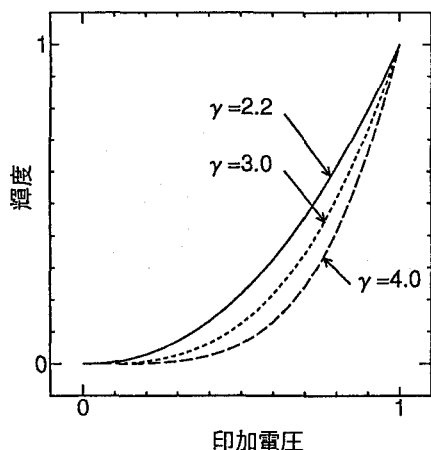


図-2  $\gamma$ 特性

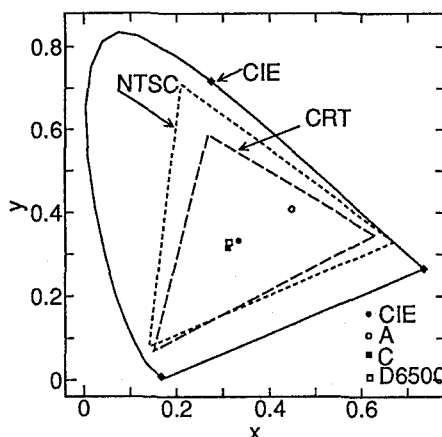


図-3 色域

$\gamma$ 補正値は2~4の範囲にあるとされるが, 普通は2.2であるといわれている<sup>3)</sup>.

結果的には, 筆者らが使用しているディスプレイ装置に関してのこれらの情報が得られず, また, ディスプレイ装置の $\gamma$ 特性を測定する機器も見あたらないため, 試みに, 標準光(A,B,C,D<sub>65</sub>)と3原色(CIE-XYZ, NTSC標準, CRTモニタ)の組み合わせにより, ディスプレイ画面上にマンセル色票の等色相断面を再現してみたところ, 視覚上は, C光源, NTSC標準の組み合わせが最も実物(マンセル色票)に近い結果となった( $\gamma=2.2$ ).

したがって, 当面は標準的な値(C光源, NTSC標準の組合せ)を採用することにした.

しかし, ディスプレイ装置を別の機種に替えると微妙に色のニュアンスが変化した. 他の光源と3原色の組合せの場合, 光源に関してはD<sub>65</sub>とCの間の違いはほとんどなく, 3原色の相違による影響が顕著であった.

概してTVモニタ兼用のCRTは発色が鮮やかで, 視覚上は最もCGに適しているように思えた. アナログRGBのCRTでは残光時間の違いで発色時に色ずれ減少が気になるものや, アナログRGB対応ではあっても同時発色は512色というものがあり, 選択には注意を要するようである.

なお, 最近急速に普及しつつあるMachintosh(アップルコンピュータ製)の一部の機種用には,  $\gamma$ 特性を補正する目的で, 専用のフレーム・バッファとディスプレイ装置の間でフィード・バックを行うキャリブレーションが開発されているが<sup>6)</sup>, PC9801用のディスプレイ装置には応用できない. 当面はハードウェアの充実を待つことになる.

## (2) RGB表現からマンセル色名への変換

逆に, RGBカラーモデルからマンセル色名への変換は, 以下の手順で行うことができる.

Step 1 RGB → XYZ 変換 XYZ 表色系から RGB 表現への変換式を逆変換すればディスプレイ画面上の RGB 表現に対応する Yxy 表現が得られる。もちろん、 $\gamma$ 補正を行わなければならない。

Step 2 XYZ → HV/C 変換 任意の Yxy 表現からマンセル式名 HV/C への変換は JIS の表を利用することになる。すなわち、マンセル名を求めたい Yxy の組み合わせ(すなわち色空間における座標)が、JIS の表にあるデータで構成できるどの 6 面体に含まれるかを調べることによって、色空間内での位置を求める。6 面体を構成する 8 節点の Yxy 値とマンセル名は既知であるので、内挿法によりマンセル名 HV/C を得る。

表-1 Yxy 値からマンセル色名への変換例

Y/x/y	本論文の手法	手計算
24.062/0.289/0.387	2.5G5.4/5.2	2.5G5.5/5.0
26.805/0.450/0.450	3.5Y5.7/7.9	3.5Y5.7/7.7

実際の変換結果の例を表-1に示す。JIS の表と色度図を用いて手計算によって、Yxy 値からマンセル名を求める方法が文献<sup>7)</sup>に述べられているが、その結果ともほぼ一致しており、プログラムの正しさが確認できた。

#### 4. 色彩表現の限界

既に述べたように、CG での色彩表現とマンセル色名との変換には、カラーディスプレイ装置の特性の把握がボトル・ネックとなっていることが分かった。

しかしながら、仮にこのボトル・ネックが取り除かれたとしても、微妙な陰影処理を施された橋梁画像のどの部分の RGB 値を用いるのかという疑問がある。

陰影処理機能を有するソフトウェアを使用した場合にも、面の色は RGB 値(あるいは、HLS 値)で与えられるものが多く、さらに、面の反射率など他の要因の特性も与えねばならないことを考えると、一見リアルに見える画像の色を実際と結び付けるのはかなり難しいことになる。市販のソフトウェアは、ディスプレイ画面上でのリアルな画像を描くことに重点がおかれており、表示した色彩の利用に関しては、十分とは言えない。

また、1670 万色余りの色を塗装色として厳密に識別する必要があるのかということ、RGB の組み合わせの数値が 1, 2 異なってもディスプレイ画面上ではほとんど識別できないことから、マンセルの色テーブルのどのあたりの色、または、色見本(1000 色余り)の中のどの色に最も近いといった情報で十分とも考えられるのである。この点では、布地の染色のシミュレーションなどとは要求される精度が異なっているといえよう。

筆者らの判断では、ディスプレイ装置の特性が正確に分かれればより厳密にはなるが、色名決定の元になるシミュレーション結果の画像の表現精度がペイント・ソフトで適宜修正した結果であることを考慮すると、ここで示した変換手法でも実用上は十分であると考えている。

このように、限界はあるものの、今回の研究を通して得た知見をできるだけ有効に利用する手段として、筆者等は以下のような手順を採用している。ただし、CG の利用環境は著しい速さで変化しており、あくまで暫定的な処理であることを強調しておく。

##### ・現時点での PC9801 上での色彩表現の調整

CG 画像を表示する CRT 毎に、かなり精度の低い近似ではあるが、先に述べた RGB 表現とマンセル色名との相互変換機構を組み込んだプログラムを使って、最終的なボトルネックとなる、標準白色、3 原色の組合せを選び、 $\gamma$ 補正値を調整して、視覚的にマンセル色票と同じに見えるようにすることで対処することにした。こうして変換作業に必要な諸数値を機器毎に設定しておくことで、同一の作業環境が構築できることになる。

なお、すべての R,G,B の組合せに対して RGB 表現とマンセル色名を対応させる計算を 1 度だけ行い、結果をデータ・ファイルに書き込み、変換時にはこのファイルから該当するデータを読みだすことも考えられる。この場合、計算結果のデータファイルは 1 組合せ毎に最低 3byte 必要となるので、ハード・ディスク上での利

用が前提となる。ファイルサイズも大きいことから、目的の組合せを探すのに要する時間と逐次変換する時間を考えあわせると、必ずしも効率がよいとはいえない。

## 5. 結言

土木工学におけるコンピュータ・グラフィックスでの色の取り扱いに関して、色彩学的な基本事項を確認するとともに、ディスプレイ画面上に RGB で表示した色とマンセル色名との CIE の  $Y_{xy}$  値を介しての相互変換フレーム・バッファを増設した PC9801 上で実現した。

初めに述べたように、土木工学におけるコンピュータ・グラフィックスではディスプレイ画面上にいかにもリアルな画像を表示するかが主目的となっているが、より実用的な利用のためには、ここで述べたような基本的事項の理解と表示された色を実際の塗装に直接に結び付けることが必要である。

今後は、ユーザーがハード、ソフトへの要求を高めてゆくことによって、より実用的な環境が整ってゆくことが望まれる。

### 参考文献

- 1) 近田康夫, 城戸隆良, 小堀為雄: パーソナルコンピュータ上での橋梁景観シミュレーションシステムの構築, 構造工学論文集, Vol.36A, pp.543~550, 1990.3.
- 2) 日本色彩学会編: 新編色彩科学ハンドブック, pp.83~146, 東京大学出版会, 1982.
- 3) 日本図学会編: CG ハンドブック, pp.424~456, 森北出版, 1989.
- 4) JIS ハンドブック 33 色彩, pp.129~167, 日本規格協会, 1990.4.
- 5) Rogers, D.F. 著 山口富士夫監修: 実践コンピュータグラフィックス基礎手続きと応用, pp.471~506, 日刊工業新聞社, 1988.
- 6) Vaughn, Frank: フルカラーの WY S I WY G を実現する, pp.337~343, 日経バイト, 1991.3.
- 7) 川上元郎: 新版色の常識, pp.68~72, 日本規格協会, 1987.12.