

# 橋梁景観の色彩調和分析に関する研究

近田康夫\*・城戸隆良\*\*・宇野正高\*\*\*・  
小堀為雄\*\*\*\*

本研究では、コンピュータ上の橋梁景観画像をマンセル表色系に変換することで既存の色彩調和理論の応用を試みたものである。まずパーソナルコンピュータ上でRGB カラーモデルとマンセル表色系との相互変換を実現した。色彩調和理論としては定量的な定式化が容易なムーン・スペンサーの色彩調和論を採用した。分析結果はアンケート調査結果との比較によりその妥当性を検証した。

*Key Words : Bridge Scenery, Color Harmony, Computer Graphics*

## 1. はじめに

最近、橋梁の分野でも景観設計が注目を浴びてきており、その視覚化手段としてのコンピュータグラフィックス(CG)の利用が一般化しつつある。

特に橋梁景観の評価には、形状と色彩の2つが深く関連しているが既存の研究では形状の面からの研究が多いのが現状である。

形状の面からの評価手法としてはサイコベクトルの利用が注目されている<sup>1)</sup>、またゲシュタルト心理学の応用を試みたものも見られる<sup>2),3)</sup>。

一方、色彩の面からの研究は、アンケート手法を使った背景、橋梁形式とそれらの色の組合せに関する研究<sup>4)</sup>、ニューラルネットワークを利用した研究<sup>5)</sup>があるが、多くは実橋梁の架設(計画)時の塗装色決定における検討の報告であり、内容はCGの利用やカラーサンプルを実際に設置するといった手段の相違はあるものの、モニタリングによる意志決定である<sup>6),7)</sup>。また、都市計画の観点から、写真による都市空間の色彩分析<sup>8)</sup>や、色彩専門家の見取調査による環境色彩調査例も見られる<sup>9),10)</sup>が、橋梁景観に着目したものは見当たらない。

このように、形状の面からは客観的かつ定量的な評価手法が提案されているが、色彩の面からのそのような評価手法の提案はほとんどなされていないのが現状といえよう。しかしながら、視知覚としての形状と色彩は切り離して考えることはできないことは明らかであり、色彩の面から、あるいは形状と色彩を同時に考慮した評価手法の確立が必要と考えられる。

橋梁景観シミュレーションの実現手段としてのCGは

定着した感があるが、得られる画像情報は、RGB カラーモデル<sup>1)</sup>による表現であり、これをHLS カラーモデル<sup>2)</sup>に変換しても画像の色相、明度、彩度の分布を分析できるに留まっている<sup>11)</sup>。

一方、色彩学の分野では、数多くの色彩調和論が提示されているが、これらはほとんどがマンセル表色系で記述されておりそのままでは、CGの画像データを適用することはできない。また、これらの色彩調和論はせいぜい数色の配色実験に基づくものがほとんどであり、橋梁景観のように多くの色で構成された自然画像に適用できる保証はない。

これらの背景に立脚して、本研究では、橋梁景観の色彩の面からの客観的かつ定量的な評価手法の確立を試みるものである。具体的には、CGによる橋梁景観画像をマンセル表色系に変換する方法をパーソナルコンピュータ上で実現し、これに定量的な記述に適しているムーン・スペンサーの色彩調和論を適用して、橋梁景観の色彩調和評価を試みた。換言すれば、従来の色感情などによる主観的な指標ではなく定量化された客観的な景観の色彩調和指標を与える試みである。評価結果は、同一画像のスライドを使ったモニタリングテストによる評価実験結果と比較することによりその妥当性を検証した。

## 2. ムーン・スペンサーの色彩調和論

ムーン(P.Moon)とスペンサー(D.E.Spencer)が1944年に発表した色彩調和論は定量的な記述をしていることに加えて、総合的・科学的な取り扱いをしているところに特色がある。ムーン・スペンサーの色彩調和論の概要は以下のようである<sup>12),13)</sup>。

\* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部 土木建設工学科  
(〒920 金沢市小立野 2-40-20)

\*\* 正会員 金沢大学技術官 工学部 土木建設工学科

\*\*\* 正会員 工修 神戸市都市計画局 計画部

\*\*\*\* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部 土木建設工学科

<sup>1</sup> 赤(R), 緑(G), 青(B)を直交座標軸に採った加法混色による表示方式

<sup>2</sup> RGB カラーモデルを色相(H), 明度(L), 彩度(S)に変換したカラーモデル

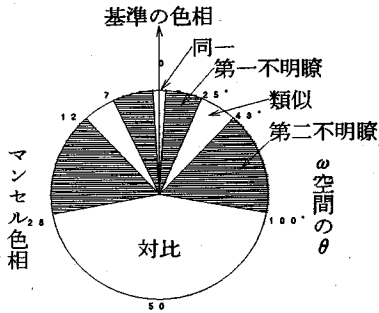


図-1 明度一定面における色相間の調和と不調和の範囲<sup>10)</sup>

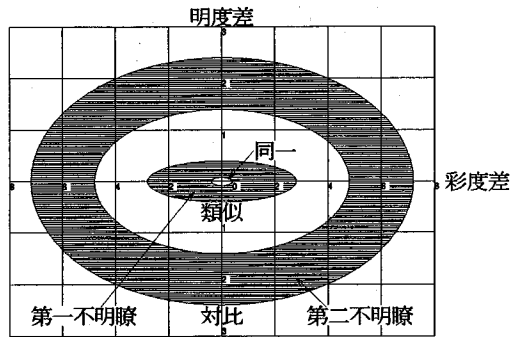


図-2 色相一定面における明度・彩度間の調和と不調和の範囲<sup>10)</sup>

(1) 色彩調和の区分

全ての色の組み合わせは調和と不調和のいずれかに分けることができ、調和配色は快感を与え、不調和配色は不快感を与え、また色の組み合わせには快と不快の順序があり、同時に美的価値があると考える。この美的価値が高いものを調和と呼ぶ。ここで、快的な組み合わせとは、

- ① 2色の間隔が曖昧でなく、
- ② オメガ空間(ムーンとスペンサーが色の3属性について知覚的に等歩度性を持たせようとした独自の空間。ただし、マンセル色空間に準拠しているから、普通はマンセル表色系を考えれば良い)で表した点が簡単な幾何学的関係にあるように選ばれたとき得られる、と仮定する。

そして、調和と不調和には次の種類があり、いずれもマンセル表色系上で説明され得る。すなわち、調和には、

- ① 同一調和—同じ色の調和
- ② 類似調和—似た色の調和
- ③ 対比調和—反対色の調和

があり、不調和には、

- ① 第一不明瞭—ごく似た色の不調和
- ② 第二不明瞭—やや違った色の不調和
- ③ 眩輝 (glare)—極端な反対色の不調和

がある。これを示すと表-1のようになる。また、以上の概念を図示すると図-1、図-2のようになる。

(2) 面積効果

色彩調和と面積との関係については次の三つの仮説を設けている。快的バランスは、

- ① オメガ空間のなかの順応点に関するスカラー・モーメント (scalar moment) が全ての色に対して等しいときに得られる。ここでスカラー・モーメントとは、マンセル表色系上である色から順応点 (N5, 灰色) までの距離と面積の積をいう。いま、マンセルの彩度を  $C$ 、明度を  $V$ 、色の面積を  $S$  とすると、

表-1 配色間の好ましい間隔範囲と曖昧な間隔範囲<sup>10)</sup>

調和範囲	不調和範囲	Vだけの変化	Cだけの変化	Hだけの変化
同一		0 - 1j.n.d*	0 - 1j.n.d	0 - 1j.n.d
類似	第一不明瞭	1j.n.d - 0.5	1j.n.d - 3	1j.n.d - 7**
	第二不明瞭	0.5 - 1.5	3 - 5	7 - 12
対比		1.5 - 2.5	5 - 7	12 - 28
	眩輝	2.5 - 10	> 7	28 - 50
		> 10	-	-

\*j.n.dは最小判別閾値 \*\*マンセル色相区分は100区分

表-2 美的係数<sup>10)</sup>

	同一	第一不明瞭	類似	第二不明瞭	対比	眩輝
H(色相間隔)	+1.5	0	+1.1	+0.65	+1.7	
V(明度間隔)	-1.3	-1.0	+0.7	-0.2	+3.7	-2.0
C(彩度間隔)	+0.8	0	+0.1	0	+0.4	
G(灰色の組合せ)	+1.0					

表-3 N5の周りのモーメント・アーム<sup>10)</sup>

V C	/0	/2	/4	/6	/8	/10	/12	/14
0 or 10	40	-	-	-	-	-	-	-
1 or 9	32	32.1	32.2	32.6	33.0	33.6	34.2	35.0
2 or 8	24	24.1	24.3	24.8	25.3	26.0	26.8	27.8
3 or 7	16	16.1	16.5	17.1	17.9	18.9	20.0	21.3
4 or 6	8	8.25	8.94	10.0	11.3	12.8	14.4	16.1
5	0	2	4	6	8	10	12	14.4

$$S[(C)^2 + 8^2(V - 5)^2]^{\frac{1}{2}} = (\text{面積}) \times (\text{ある色から N5 までの距離}) \quad (1)$$

で表される。

- ② スカラー・モーメントが簡単な倍数になるとき快適バランスが得られる。
- ③ 配色の感情効果はバランス・ポイントによって決まる。バランス・ポイントとは、配色を回転混色して見られる色をいう。遠目の色と考えても良い。

なお、ある色から N5 までの距離はあらかじめ計算されており、それを表-3に示す。

(3) 配色の美度

バークホフ (Birkhoff, G.D.) は美度  $M$  が、

$$M = O/C \quad (\text{ただし, } O \text{ は秩序, } C \text{ は複雑さ})$$

で与えられるとした。

ムーンとスペンサーはバークホフの公式を色彩調和の美度の計算に導入した。その際、 $O$ の決定に色相、明度、彩度の関係や面積のバランスなどを考慮して美的係数を定めた。それは表-2のようである。また、面積のバランスについては、スカラー・モーメントが1対1のときは1.0, 1対2のときは0.5, 1対1/2のときは0.5, 1対1/3のときは0.25, その他のときは0とする。さらに  $C$  は、

$$C = (\text{色数}) + (\text{色相差のある色対の数}) + (\text{明度差のある色対の数}) + (\text{彩度差のある色対の数}) \dots\dots\dots (2)$$

で決まるとした。

実際に美度  $M$  を計算するには、

- ① まず  $C$  を求める。
  - ② 配色の各色のスカラー・モーメントを計算して、面積のバランスによる  $O$  の成分を決める。
  - ③ 色相、明度、彩度の各々の調和区分 (表-2) に関する成分を計算する。
  - ④ 全部をまとめて  $M$  を求める。
- となる。たとえば、R5/6 と R4/3 の同面積の配色では、色数 2, 色相差のある色対 0, 明度差のある色対 1, 彩度差のある色対数 1 であるから  $C = 4$  が得られる。また、図-1, 2, 表-2より、2色の色相差は0で同一が1色対、明度差は1で類似が1色対、彩度差は3で類似が1色対となるので、以下のようにして美度  $M$  が算出される。

$$C = 2 + 0 + 1 + 1 = 4$$

$$O = 1(1.5) + 1(0.7) + 1(0.1) = 2.3 \dots\dots\dots (3)$$

$$M = 2.3/4 = 0.58$$

$M$  の値が 0.5 以上ならば、調和は一般的水準に達しているものとし、 $M$  の値が大きいほど調和は良いとされる。

3. RGB→HVC の相互変換

CG 画像は、計算機内部表現では RGB カラーモデルにより (Red, Green, Blue) の三原色の加法混色により数値表現されている。また、CG 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 (以下 CRT) 画面上に表示する際には RGB カラーモデルへの変換を行っている。一方、既述したようにムーンスペンサーの色彩調和論はマンセル表色系で表現されているため CG で作成した橋梁景観画像に直接適用できない。

そこで筆者等は、パーソナルコンピュータ上で以下のような手順により相互変換を実現した<sup>14)</sup>。

(1) HVC→RGB の変換

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 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。

- ① HV/C → XYZ 変換 任意のマンセル記号 (HV/C) から XYZ 表色系への変換は、JIS の表<sup>15)</sup>を内挿して行う。
- ② XYZ → RGB 変換 XYZ 表色系での  $Y_{xy}$  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>16)</sup>。

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R \\ G \\ B \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $X_r, Y_r, Z_r$  は単位量の原色  $R$  を作るために必要な 3 刺激値である。 $X_g, Y_g, Z_g$  と  $X_b, Y_b, Z_b$  も同様である。例えば、 $(R, G, B) = (1, 0, 0)$  のときは上式より  $X = X_r, Y = Y_r, Z = Z_r$  と求められる。残りの 2 原色に関し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、

$$\left. \begin{aligned} x_* &= X_*/C_* \\ y_* &= Y_*/C_* \\ z_* &= Z_*/C_* = 1 - x_* - y_* \\ C_* &= X_* + Y_* + Z_* \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(\* = r, g, b)

が成り立つので、式 (4) は次式のようにも表現できる。

$$\begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} x_r C_r & x_g C_g & x_b C_b \\ y_r C_r & y_g C_g & y_b C_b \\ z_r C_r & z_g C_g & z_b C_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} R \\ G \\ B \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

$$z_* = 1 - x_* - y_* \quad (* = r, g, b)$$

さらに、これをマトリックス表示すると、

$$\{X'\} = [C'] \{R'\} \dots\dots\dots (7)$$

一方、基準白色の XYZ 表色系での色度座標  $(x_w, y_w, z_w)$  と輝度  $Y_w$  が既知である場合には、式 (6) に代入して解けば、 $C_r, C_g, C_b$  が求められる。

$$\left. \begin{aligned} C_r &= \frac{Y_w x_w (y_g - y_b) - y_w (x_g - x_b) + x_g y_b - x_b y_g}{D} \\ C_g &= \frac{Y_w x_w (y_b - y_r) - y_w (x_b - x_r) + x_b y_r - x_r y_b}{D} \\ C_b &= \frac{Y_w x_w (y_r - y_g) - y_w (x_r - x_g) + x_r y_g - x_g y_r}{D} \\ D &= x_r (y_g - y_b) + x_g (y_b - y_r) + x_b (y_r - y_g) \end{aligned} \right\} (8)$$

また、逆変換は、式(7)から容易に

$$\{R\} = [C']^{-1} \{X'\} = [C''] \{X'\} \dots\dots\dots (9)$$

なるマトリックス演算により求められる。なお、CIE-XYZの標準の光の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CRTの特性を把握することに帰着する。

まず、使用するカラーCRTの採用している基準白色、3原色の種類(色度座標)を知ること。

次に、CRTの輝度は電子銃に印加する電圧に比例せず

$$I = \text{constant} V^\gamma \dots\dots\dots (10)$$

ただし、I:輝度、V:電子銃への印加電圧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。

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CRT)の基準白色は、標準の光Cまたは標準の光D<sub>65</sub>(CIE昼光D<sub>93</sub>とするものもあった)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>16)</sup>。

$\gamma$ 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>17)</sup>。

結果的には、筆者らが使用しているCRTに関してのこれらの情報が得られず、また、CRTの $\gamma$ 特性を測定する機器も見あたらないため、試みに標準の光(A,C,D<sub>65</sub>)および補助標準の光Bと3原色(CIE-XYZ, NTSC標準, CRTモニタ)の組み合わせにより、CRT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、標準の光C、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( $\gamma=1.8$ )。

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

しかし、CRT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、標準の光に関しては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現象が気になるものや、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

このHV/C→RGB変換は、その逆変換によるCG画像のHV/C表現を得るためだけでなく、例えばCG画像中の橋梁の色を変更したい場合などに必要になる。

#### (2) RGB→HVCの変換

① RGB→XYZ変換 RGB値を[C]<sup>-1</sup>によって変換し、 $\gamma$ 補正を行った後CIE値を求める。

② XYZ→HV/C変換

任意のY<sub>xy</sub>表現からマンセル記号HV/Cへの変換はJISの表を利用することになる。すなわち、マンセル記号を求めたいY<sub>xy</sub>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との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。

③ 6面体を構成する8節点のY<sub>xy</sub>値とマンセル記号は既知であるので、内挿法によりマンセル記号HV/Cを得る。

以上のような方法によりRGB表色系からマンセル記号への変換を行った。

#### 4. 橋梁景観CG画像の色彩調和評価

以下の手順で橋梁景観の色彩調和評価にムーン・スペンサーの色彩調和論を適用する。

① スキャナーで橋梁を含む景観をCG上に取り入れる。必要に応じて橋梁の色彩などを変更する。

② 景観をメッシュに区切り、その中のRGB値を1ドットずつ読みとりその値の平均値を求める。(平均値をCRT上に表示させるとモザイク画になる。)

③ 読みとったRGBの平均値をマンセル記号HV/Cに変換する。

④ 求めたHV/Cをムーン・スペンサーの式に代入しモザイク化したすべての画素を用いて計算を行う。

#### 5. モニタリングテストの結果との比較

CG画像にムーン・スペンサーの色彩調和論を適用することの妥当性を検証するために、以下のモニタリングテストを行った。

橋梁の種類としてアーチ橋、トラス橋、つり橋(以上の3橋、背景:山)、斜張橋(背景:海)の四種類を設定し、それぞれの組み合わせについて橋梁の色を白、赤、青、緑、黄と変えながら、一対比較法によるモニタリングテストから調和順位を求める。その結果と、ムーン・スペンサーの色彩調和論を利用した解析による調和順位を比較する。

解析対象のCG画像は、筆者等が構築した橋梁景観シミュレーションシステム<sup>18)</sup>を使って背景写真と計算機内で作成した橋梁画像を合成したものである。モニタリン



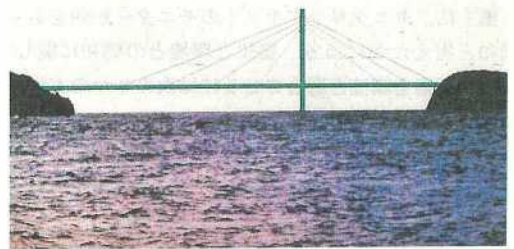
(a) CG画像:アーチ橋(白)



(b) CG画像:トラス橋(赤)



(c) CG画像:つり橋(青)



(d) CG画像:斜張橋(緑)

図-3 モニタリングに使用したCG画像

表-4 調和の順位の比較

調和順位		1	2	3	4	5	順位相関係数 $\rho$
1. アーチ橋 (山)	ムーン・スペンサー 美度 $M$	0.712	0.678	0.628	0.581	0.526	
	モニタリングテスト	R	W	B	G	Y	
	2. トラス橋 (山)	ムーン・スペンサー 美度 $M$	0.675	0.672	0.590	0.569	0.511
モニタリングテスト		R	W	B	G	Y	
3. つり橋 (山)		ムーン・スペンサー 美度 $M$	0.627	0.511	0.506	0.452	0.414
	モニタリングテスト	R	W	G	B	Y	
	4. 斜張橋 (海)	ムーン・スペンサー 美度 $M$	2.593	2.595	2.578	2.574	2.353
モニタリングテスト		W	R	B	G	Y	

ゲテストにはこのCG画像をスライドにしたものを用いた。使用したCG画像の一部を図-3に示す。

CG画像のモザイク化の単位は試行錯誤により1辺10dotの正方形とした。これによりCRT画面上(640dot×400dot)の画像は2560の画素で表現できるが、今回は橋梁から離れた背景の色彩の影響が強すぎないように橋梁周辺の長方形領域を解析対象に設定しCRT画面の約1/2の領域を対象に分析した。

モニタリングテストの対象は、土木工学を専攻する学生(3年生,113名)である。表-4はその結果の一部であるが、横の1~5の数値は調和の順位を示し、R, G, B, Y, Wはそれぞれ赤, 緑, 青, 黄, 白を示している。

表-4を見ると、1.のアーチ橋、4.の斜張橋に関しては、調和の順位は、ムーン・スペンサーを利用した解析結果とモニタリングテストによる結果がほぼ一致している。2.のトラス橋、3.のつり橋に関しても上位の二つ、

下位の三つがそれぞれその中で多少順位が入れ変わっているものの、調和順位の上位2者は一致している。2.のトラス橋に関しては調和順位1位(W)と2位(R)が入れ変わっているのにしても、美度Mの値を見るとWが0.675であるのに対し、Rでは0.672とほとんど差はないと考えてよい。

解析結果とモニタリングテスト結果の順序が同一と見なせるかどうかを、Spearmanの順位相関係数( $\rho$ )<sup>21)</sup>を指標に見てみる。 $-1 < \rho < 1$ の値を取り、 $\rho = 1$ で順位が完全に一致、 $\rho = -1$ で順位が完全に逆ということになる。表-4の右端列の $\rho$ の値は0.5～0.9であり、同一順序と見なしてもよいであろう。

ここでムーン・スペンサーによる解析結果とモニタリングテストの多少の順序の違いは以下のように考察できる。

第1に、モニタリングテストのモニターが何をもちて調和と捉えたかによる。橋梁と環境との調和に関して、加藤は橋梁を環境と融合させるには次の3つの方法が考えられるとしている<sup>19)</sup>。

- ① 消去法… 橋梁の存在をかくす。
- ② 融和法… 橋梁と環境をほとんど同じ状態で融合調和させる。
- ③ 強調法… 橋梁の存在を強調する。

一方、ムーン・スペンサーの色彩調和論は「多様の中の統一」を命題としており、色の調子を揃えるならきちんと揃えたらよいし、区別させるつもりならはっきり離れた色を選んだ方がよいという考え方であり、加藤の提案の①と③は考慮されているものの②はムーン・スペンサーの色彩調和論では第1不明瞭ということになり不調和ということになるのである。

したがって被験者がなにをもって調和とするかということによりこの差が生じると考えられる。

第2に、モニタリングの方法が考えられる。今回は一対比較法により橋梁の色を変えたスライドを二枚(一対)ずつ見せ、どちらが調和しているかを答えてもらい、計算によって順位をつけたが、この方法ではすべての組み合わせを見せるために、同じ色を何回も見せることになり最初に見ていた時と、後で見た時とでは、感じ方も違って来るのではないかと、ということである。逆に言えば色を変えた五枚のスライドを同時にみせた場合また違った結果がでたのではないかとと思われる。

第3に、橋梁の形式と色に対する先入観が考えられる。被験者にとって、この形式の橋にはこの色が合う、といったような、イメージがあるのに対し、本システムは色彩の調和のみを考慮したシステムであるので、その点は今後考えていかななくてはならない課題となる。今回はモニタリング対象が土木工学を専攻する学生であることからより顕在化した可能性がある。

第4に今回使用したCG画像がある。背景を山あるいは海のみにして周辺環境がほとんどないように設定するために、撮影した写真の一部を拡大するなどした。このためにやや焦点の合わない背景画像となったこと。また、天候の関係でCG画像として背景写真を取り込んだときに明度が高く(あるいは低く)かつ彩度の低い色調になったことによりいわゆる山=緑系統、海=青系統にはならずHV/Cに変換後はかなりの部分が無彩色となった。

このような事柄が考えられるものの、選ばれた結果はモニタリングテストの結果とよく一致しているといえる。

次に背景の違いで解析結果にどのような違いがあるかを見てみると1.～3.の背景が山のものに対し、4.の背景が海のもの調和度の順位はモニタリングテストとほぼ一致しているのだが、Mの値がかなり大きくなっている。背景が山のものとの海のものとの違いは、海のほうが取り入れた写真がやや明るく白っぽくなっており、その結果RGBの値をHV/Cに変換した場合無彩色が多くなっていることから以下の計算例<sup>22)</sup>を参考にして考察できる。

手計算で10P2/3と7.5P3.5/10という配色の美度を求めてみると、色相差2.5は第一不明瞭で0、明度差1.5は第二不明瞭で-0.2、彩度差7は対比の調和で+0.4となるから

$$O = -0.2 + 0.4 = 0.2$$

$$C = 2 + 1 + 1 + 1 = 5$$

$$M = 0.2/5 = 0.04$$

が得られ、この配色は不調和ということになる。そこで、この不調和な配色に対して、明度差の大きい無彩色N9を加えることにすると、美度はどんな変化をするだろうか。

色数は3色になり、無彩色と有彩色の色相差は無いと考えるので、色相差のある色の対は変わらず1組、明度差のある色の対は3組、彩度差のある組み合わせも3組になる。そこで、

$$C = 3 + 1 + 3 + 3 = 10$$

である。また、色相同一が2組だから、美的係数は $1.5 \times 2$ で3となり、色相第一不明瞭1組は0、明度差の対比が2組で、 $3.7 \times 2 = 7.4$ 、明度差第二不明瞭が1組で-0.2、彩度差対比は3組となって、 $0.4 \times 3 = 1.2$ ということになる。その和は、

$$O = 3 - 0.2 + 7.4 + 1.2 = 11.4$$

その結果、

$$M = 11.4/10 = 1.14$$

となって、不調和な配色は一変して調和に生まれ変わる。この計算の過程で、明度差が、いかに重要な役割を果たすかが分かる。

2つの配色が不調和な場合は、両方の色の間に白か黒をいれると美しくなるということは経験的に知られていることで、代表的な例はフランス国旗のトリコロール(青

白赤)であり、ステインド・ガラスの黒の縁である。このような配色法をセパレーション効果といっているが<sup>7)</sup>、前の計算はその効果を確認したことになる。

結論としてバランスのとれた無彩色の組み合わせは美度を増す効果があるということが言える。

このことから背景が無彩色の多い海の場合は、背景が山のものに対して美度がかなり大きくなったことも説明がつくわけである。

同一背景で異なる色の橋梁を比較する場合には問題ないが、背景の季節、天候を変えてその調和度を比較する場合に背景の色と、面積比率が大きく影響する可能性があることになる。

我々が見ている景観は季節、天候が変わると色が変わって見える。つまり景観を照らしている光が変わったために見掛け上色が変わって見えることになる。一方、その写真をスキャナーで取り入れマンセル表色系に変換することによってムーン・スペンサーの色彩調和論を適用している本研究の場合、ある光の下で見た景観を標準の光で見たものとして計算していることになる。したがってCG画像中の橋梁の色をソフトウェアなどを使って変更する場合には、マンセル名のわかっているプレート为背景と一緒に撮影するなどの方法で明度の calibration をする事が必要である。

以上、色彩計画におけるムーン・スペンサー適用上の妥当性について述べてきたが、この色彩調和論に対する批判の声もある。例えば、ポープ(Pope,A.)やアイゼンク(Eysenck,H.J.)は複雑な問題を単純化し過ぎているとか、色同士の対比を考えないで、各色と灰色(N5)との関係で面積を考えているとか、第1不明瞭というのは理解しにくいと批判している<sup>20)</sup>。ここで、アイゼンクの提案する

$$M = O \times C$$

という公式で解析を行ってみた。

解析結果は以下のようなものである(表-5)。

表-5を見るとわかるようにアイゼンクの公式による解析とモニタリングテスト結果とでは調和順位にかなり違いが見られる。

この結果を見る限りでは、ムーン・スペンサーの色彩調和論の方が優れているといえる(表-4,5の調和順位を比較)。また、Spearmanの順位相関係数の値も表-4の値と比較すると、かなり低く、マイナスのものさえある。

## 6. 結論

本研究は、橋梁の色彩計画における事前評価の道具としてコンピュータグラフィックスを用いた色彩調和の程度を定量的に評価するためのシステムを構築し、簡単な評価実験によりその妥当性を示したものである。

表-5 調和の順位の比較 ( $M = O \times C$ )

調和順位		1	2	3	4	5
1. アーチ橋(山)	アイゼンク	R	B	W	Y	G
	モニタリングテスト	R	W	B	G	Y
	順位相関係数 $\rho$	0.8				
2. トラス橋(山)	アイゼンク	R	Y	B	W	G
	モニタリングテスト	R	W	B	G	Y
	順位相関係数 $\rho$	0.3				
3. つり橋(山)	アイゼンク	R	Y	B	W	G
	モニタリングテスト	R	W	G	B	Y
	順位相関係数 $\rho$	0.25				
4. 斜張橋(海)	アイゼンク	G	Y	B	R	W
	モニタリングテスト	W	R	B	G	Y
	順位相関係数 $\rho$	-0.8				

得られた成果は以下のように要約できる。

- ① CG画像への既存の色彩調和論の適用を可能にするためにCRT上のRGB値とマンセル記号HV/Cとの相互変換をパーソナルコンピュータ上でほぼ実現した。
- ② ムーン・スペンサーの色彩調和論をCG画像に対して適用し、モニタリングテストの結果と比較したところ、良好な一致を見た。
- ③ この方法では美度Mを0.5以上になるような配色をとれば主張の強い個性的な配色ではないかもしれないが、無難な調和配色設計をすることができるといえる。
- ④ 従来、主観で決定されていた、あるいは色感情などの指標を使用はしていても定性的であった橋梁景観の色彩評価を定量的に評価する1つのアプローチが示せた。

今後の課題としては、本報告でも一部試みたが、他の既存の色彩調和論の適用結果との比較、さらにはそれらの併用や改良による評価精度の改善が望まれる。

色彩の評価には主観的な面が強いことからそれらを考慮するために例えば、スカラーモーメントを用いた面積効果の計算での面積比の値の評価にFuzzy理論の適用が考えられる。

また、本報告の内容は文献<sup>5)</sup>の手法を景観評価に採用する際に、ニューラルネットワークの色彩に関する学習ルールの構築に利用できるのではないかと考えている。

今回は背景写真と計算機で作成した橋梁図形とを合成したCG画像でのモニタリングテストを行ったが、今後一般橋梁の写真を使っただけの同様の分析を行って、上に述べた課題も含めてさらに検討を行う予定である。



参考文献

- 1) 杉山俊之・深沢泰晴・清水克彦・中村哲也・寺西功：加重目的的分析方を用いたサイコベクトルによる橋梁景観の定量的評価，構造工学論文集，Vol.37A，pp.677～686，1991.3.
- 2) 細谷学・松本勝・白石成人・山本康之：心理学的手法を用いた橋梁景観に関する研究，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，I-153，pp.336～337，1989.
- 3) 塩崎慎郎・松本勝・白石成人・黒石浩介：造形論の橋梁景観への適用に関する研究，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，I-153，pp.336～337，1989.
- 4) 中尾絵理子・古川浩平・古田均・畑中保：アンケートを用いた橋梁の色彩選定に関する一考察，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，I-342，pp.722～723，1989.
- 5) 白木渡・松保重之：色彩を考慮したアーチ橋の景観設計へのニューラルネットワークの適用，構造工学論文集，Vol.39A，pp.595～606，1991.3.
- 6) 吉田好孝・藤田和朗・貴志友基：明石海峡大橋の景観設計に関する手法，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，I-543，pp.1260～1261，1990.
- 7) 高橋守人・斎藤嘉之：白鳥大橋（はくちょうおおはし）の色彩検討土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，I-550，pp.1274～1275，1990.
- 8) 山岸政雄：雪国の新築住宅の色彩調査について-KR 北陸線沿いの300棟-，日本色彩学会誌，Vol.17，No.1，pp.63～64，1993.
- 9) 吉田慎悟：都市景観における色彩指導規準 - 兵庫県の都市形成等に関する条例 -，景観，pp.351～367-2，ぎょうせい，1991.
- 10) 吉田慎悟：藤沢市特別景観形成地区江ノ島の環境色彩，景観，pp.367-2～368，ぎょうせい，1991.
- 11) 榊原和彦・福井義員・三宅良司・土橋正彦：CGを援用した景観色彩分析システムの研究，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，IV-246，pp.534～535，1988.
- 12) 千々岩英彰：色彩学，pp.172～179，福村出版，1983.09
- 13) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，pp.592～598，東京大学出版会，1982.
- 14) 近田康夫・宇野正高・城戸隆良・小堀為雄：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，第17回土木情報処理システムシンポジウム論文集，pp.113～118，1992.10.
- 15) JISハンドブック 33 色彩，pp.129～167，日本規格協会，1990.4.
- 16) 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.
- 17) 日本図学会編：CGハンドブック，pp.424～456，森北出版，1989.
- 18) 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.
- 19) 山本宏：橋梁美学，p.191，森北出版，1980.11
- 20) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，pp.596～597，東京大学出版会，1982.
- 21) 西平重喜：統計調査法，pp.183～189，培風館，1984.
- 22) 福田邦夫・佐藤邦夫：色彩デザイン入門，pp.149～150，鳳山社，1975.

(1993.6.7 受付)

COLOR HARMONY ANALYSIS OF BRIDGE SCENERY

Yasuo CHIKATA, Takayoshi KIDO, Masataka UNO and Tameo KOBORI

This paper shows an approach for analysing color harmony of a bridge scenery image obtained by CG technique. The CG image of bridge scenery in full-color format RGB color model is translated into Munsell color name (H<sub>v</sub>/C) format, then, Moon-Spenser's color harmony theory is applied to the translated CG image. Thus quantitative color harmonic index *M* of bridge scenery is calculated. The result of color harmonic analysis is compared with the result of monitoring test, and they show good agreement.