

画像解析による水玉模様の同時対比効果の新しい評価法

森 俊 夫, 浅 海 真 弓

(岐阜女子大学家政学部)

原稿受付平成 17 年 8 月 31 日; 原稿受理平成 17 年 12 月 21 日

A New Method for the Evaluation of the Simultaneous Contrast Effect of Polka-Dotted Patterns Using Image Analysis

Toshio MORI and Mayumi ASANOMI

Faculty of Home Economics, Gifu Women's University, Gifu 501-2592

Image analysis is applied to the characterization of color contrast of polka-dotted patterns. The color system developed in this research permit image features to be identified not only by lightness but also by other color attributes. Colors in an image are expressed in the NTSC_RGB color system. Therefore, three primary colors, red, green and blue (RGB), can be obtained for each pixel directly from the image. However, the RGB color system does not directly correspond to a person's visual perceptions. On the other hand, a color coordinate system based on hue (H^*), chroma (C^*) and lightness (L^*) is more consisted with visual perceptions. Consequently, RGB images are converted to $L^*C^*H^*$ images. Each pixel of the images is assigned a gray-level value from 0 for black to 255 for white. The co-occurrence contrast (CON) is calculated for L^* , C^* and H^* images. CON for achromatic images with a lightness contrast effect increases with the increase of the difference of lightness between the polka-dotted pattern (the test field) and the background (the inducing field), regardless of whether the lightness of the figure becomes higher or lower than that of the background. The simultaneous contrast effect combined with lightness, saturation and hue contrast is also discussed in terms of CON.

(Received August 31, 2005; Accepted in revised form December 21, 2005)

Keywords: color contrast 色対比, polka-dotted pattern 水玉模様, simultaneous contrast effect 同時対比効果, image analysis 画像解析, co-occurrence contrast 同時生起コントラスト.

1. 緒 言

水玉やストライプ模様などでは、図柄の色が周囲の影響を受けて、本来の色とは異なって見えることがある。このような色対比の中には、同時に同一面に置いた2色の布置関係によって起こる同時対比がある¹⁾²⁾。対比現象は心理的現象としてよく知られている。明るさが同じ灰色でも白の背景と黒の背景の中に置かれたときでは灰色の見え方が異なる。背景が白の場合には灰色は本来の明るさよりも暗く見え、黒の場合には明るく見える。このような対比は明度対比といわれるもので、有彩色でも同様な対比が起こる。しかしながら、有彩色の同時対比では明度対比の他にも彩度対比や色相對比などが同時に複合して起こるのが一般的である³⁾。対比が複合して起こると現象も複雑になり、心理的あるいは感覚的視点からはっきりと分離して明確

に捉えることは難しくなる。

本研究では、水玉模様において複合して起きている同時対比画像を画像解析により明度画像、彩度画像、色相画像に分離してとらえ、これらの画像に対して同時生起解析から求めた特徴量が色対比として一般的にすでによく知られている対比効果とどのような関係にあるかについて検討を行った。

1. 方 法

(1) 試 料

Photoshop 6.0 J の RGB を NTSC (1953) に設定し、HSB (H; 色相, S; 彩度, B; 輝度) および Lab (L; 明度, a, b; 色相と彩度を示す色度) カラーモデルを用いて、同時対比を示す水玉模様を作成した。Photoshop では Lab カラーモデルを内部に使用して、

他のカラーモデルへ変換することができるので、カラーピッカーから色相 (H°)、彩度 (S%), 輝度 (B%) および明度 (L) をいずれも数値で入力することにより、色を作成することができる。Fig. 1 には水玉模様の最小の繰り返し単位である水玉柄の明度対比を示す図形を示し、Table 1 には水玉の図柄 (検査領域) と背景 (誘導領域) の HSB 値および L 値を示した。彩度対比ではいずれの場合も図柄と背景の L および H

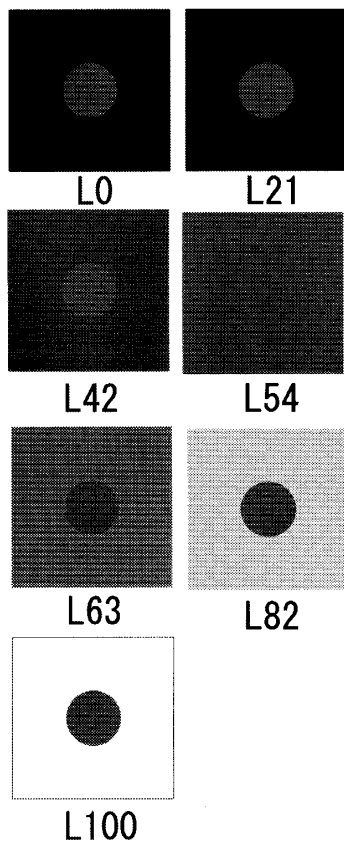


Fig. 1. Samples of lightness contrast

Details of sample symbols are listed in Table 1.

を同じ値に保ち、明度対比や色相対比が同時に起こらない試料を作成した (Table 2). 色の設定において、H および L 値を一定にして S 値を変化させていくと、Lab カラーモデルを通して変換が行われるので、H および L 値も若干変化することがある。このために、カラーピッカー上で H および L 値が常に一定になるように調整しながら、S 値を設定する必要がある。水玉模様は流行や年齢にかかわらず、幅広く衣服に利用されているが、本研究では水玉をイメージする色相として、比較的馴染み深い青 ($H=240^\circ$) を図柄の色相として選んだ。色相対比では Table 3 に示すように青の図柄を 13 種類の色相角の異なる背景色に置いたときの対比図形を作成した。明度対比や彩度対比では HSB 値などの値をいろいろと変化させて作成した対比図形の画像をカラー設定で色温度を昼光 (6,500 K)、コントラストおよび輝度をそれぞれ 50% に常時設定したカラーディスプレイで確認しながら、明度対比や彩度対比が識別できる程度の色情報を取り扱うことにした。なお、Table 3 に掲げられた試料では、色相対比のほかにも明度対比や彩度対比が同時に複合的に起こると考えられる。また、本研究では図柄と背景との面積比が対比効果に及ぼす影響を考慮して、いずれの試料も同じ面積比に設定した。

(2) カラーシステム

カラー画像は光の三原色である RGB の信号から構成されるので、色情報は各画素位置ごとに RGB に分けて、それぞれの色濃度を二次元配列として保存することになる。しかしながら、RGB 表色系は物理的な取り扱いには便利であるが、感覚的には不向きな表色系であるので、これを人の視知覚に基づいた属性、すなわち明度、彩度、色相を表す表色系に変換した方が感覚的にわかりやすいと考えられる。

CIE は 1931 年に原刺激 (R), (G), (B) として 700

Table 1. Brightness and lightness of samples for lightness contrast

Sample symbol	Background		Figure	
	Brightness B%	Lightness L	Brightness B%	Lightness L
L 0	0	0	50	54
L 21	20	21	50	54
L 42	40	42	50	54
L 54	50	54	50	54
L 63	60	63	50	54
L 82	80	82	50	54
L 100	100	100	50	54

画像解析による水玉模様の同時対比効果の新しい評価法

Table 2. Attributes of samples for saturation contrast

Sample symbol	Background			Figure		
	Saturation (S%)	Brightness (B%)	Lightness (L)	Saturation (S%)	Brightness (B%)	Lightness (L)
L 19 S 0	0	18	19	61	40	19
L 19 S 17	17	21	19	61	40	19
L 19 S 24	24	23	19	61	40	19
L 19 S 32	32	25	19	61	40	19
L 19 S 42	42	29	19	61	40	19
L 19 S 53	53	35	19	61	40	19
L 19 S 61	61	40	19	61	40	19
L 19 S 67	67	44	19	61	40	19
L 19 S 70	70	47	19	61	40	19
L 19 S 77	77	52	19	61	40	19
L 19 S 82	82	58	19	61	40	19
L 29 S 0	0	27	29	45	45	29
L 29 S 4	4	28	29	45	45	29
L 29 S 9	9	29	29	45	45	29
L 29 S 17	17	32	29	45	45	29
L 29 S 33	33	39	29	45	45	29
L 29 S 45	45	45	29	45	45	29
L 29 S 54	54	52	29	45	45	29
L 29 S 67	67	65	29	45	45	29

Table 3. Color attributes of samples for hue contrast

Sample symbol	Hue (H°)		Saturation (S%)		Brightness (B%)		Lightness (L)	
	Background	Figure	Background	Figure	Background	Figure	Background	Figure
H 240-0	0	240	100	50	100	100	54	54
H 240-30	30	240	100	50	100	100	68	68
H 240-60	60	240	100	50	100	100	98	98
H 240-90	90	240	100	50	100	100	90	90
H 240-120	120	240	100	50	100	100	88	88
H 240-150	150	240	100	50	100	100	88	88
H 240-180	180	240	100	50	100	100	91	91
H 240-210	210	240	100	50	100	100	53	53
H 240-240	240	240	100	50	100	100	30	30
H 240-250	250	240	100	50	100	100	31	31
H 240-260	260	240	100	50	100	100	34	34
H 240-270	270	240	100	50	100	100	39	39
H 240-300	300	240	100	50	100	100	60	60
H 240-330	330	240	100	50	100	100	56	56

nm, 546.1 nm および 435.8 nm の単色光を定め、これらの三つの原刺激を用いた等色関数により、RGB 表色系を定めたが、この等色関数は負の数値をもつな

どすべての色を再現することができなかったため、XYZ 表色系を提唱した。XYZ 表色系は RGB 表色系と (1) 式のような線型関係で表される⁴⁾。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

コンピュータにおける色指定で用いられる RGB 値で入力した色画像がカラーディスプレイに出力されたとき、その蛍光体が NTSC 方式で定められた色濃度値をもつとすると、CIE の RGB 三原色と NTSC 方式で定められるモニタ三原色 (R_{NTSC} , G_{NTSC} , B_{NTSC}) の間には (2) 式の関係が成立している⁴⁾。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.167 & -0.146 & -0.151 \\ 0.114 & 0.753 & 0.159 \\ -0.001 & 0.059 & 1.128 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{NTSC} \\ G_{NTSC} \\ B_{NTSC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

したがって、XYZ 表色系はモニタ三原色によって (3) 式で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{NTSC} \\ G_{NTSC} \\ B_{NTSC} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3) CIE $L^* a^* b^*$ 均等色空間と $L^* C^* H^*$ 変換

1976 年に CIE は実践的な利用に対して二つの色空間 CIELAB と CIELUV を推奨したが、多くの場合下式の CIELAB が利用されている⁵⁾。

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (4)$$

$$a^* = 500(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \quad (5)$$

$$b^* = 200(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \quad (6)$$

ここで L^* は明度指数、 a^* および b^* は知覚色度を表す。X_n, Y_n, Z_n は完全拡散反射面（入射した放射をあらゆる方向に同一の放射輝度で反射し、かつ分光反射率が 1 の理想的な面）の XYZ 表色系における三刺激値で、Y_n=100 に基準化された照明光の三刺激値に等しい。ここでは、照明光が D₆₅ 光（紫外線を含めた相関色温度が 6,504 K の平均的な昼光）のときの 2 度視野 XYZ 系に関する X_n=95.045, Y_n=100, Z_n=108.892 を用いた。

(4)~(6) 式を用いて XYZ から $L^* a^* b^*$ への変換を行うことができる。均等色空間の三つの座標軸に L^* , a^* , b^* を選ぶとき、メトリック明度 L^* 、メトリッククロマ C^* 、メトリック色相角 H^* は下式で定めることができる⁵⁾。

$$L^* = L^* \quad (7)$$

$$C^* = \{(a^*)^2 + (b^*)^2\}^{1/2} \quad (8)$$

$$H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (9)$$

したがって、これらの式を用いて RGB カラー画像を L^* 画像、 C^* 画像、 H^* 画像に $L^* C^* H^*$ 変換することができる。

(4) 同時生起コントラスト

同時生起行列は Fig. 2 に示されるようにグレイレベル値 i をもつ画素から変位 δ （角度 θ 方向に距離 d ）だけ離れた画素がグレイレベル値 j をもつ確率 $P_\delta(i, j)$ をすべてのグレイレベル値の組み合わせ (i, j) について求めたものである⁶⁾。ここでは $d=1$ の場合についてのみ、 θ は 0° , 45° , 90° および 135° の 4 方向について同時生起行列を求め、(10) 式で示されるコントラスト (CON) を算出した。 $d=1$ における特徴量を算出したのは、隣接領域が図形の知覚に及ぼす影響が大きく、隣接する他の表面に相対的な特徴が信頼できるためである⁷⁾。なお、本研究で用いた試料は二色配色であるために、CON 値は d の値に依存して変化しない。

$$CON = \sum \sum (i-j)^2 P_\delta(i, j) \quad (10)$$

CON は行列の差分モーメントであり、画素対の濃度差 ($i-j$) の 2 乗平均を表す。これより行列の値がその主対角線からどの位離れて分布しているかを測定することができるので、画像中に存在するコントラストを評価することができる。グレイレベル差の大きい画素対が多く存在するほど CON の値は大きく、コントラストが大きいと考えられる。ここでは、 0° , 45° , 90° および 135° の 4 方向の平均値を求め、これを CON の特徴量とみなして取り扱うことにした⁸⁾。

3. 結果と考察

(1) $L^* C^* H^*$ 空間での画像

Fig. 3a には図柄と背景の色相角を 240° (青) および輝度 B を 100% と同じにして、図柄の S を 50%、背景の S を 80% にして作成した対比図形を $L^* C^* H^*$ 変換した後の明度 (L^*) 画像、彩度 (C^*) 画像、色相 (H^*) 画像を示した。これらの画像はいずれも 0~255 の 256 階調のグレイレベル画像として表してある。ここでは図柄と背景の色相を同じ色相角にしてあるので、 H^* 画像では図柄と背景にグレイレベル差は表れない。しかしながら、 L^* や C^* 画像では図柄と背景の間にグレイレベル差が生じるので、この対比図形では明度対比と彩度対比が起きていると考えられる。Fig. 3b には図柄と背景の S と B を共に同じ 100% と

画像解析による水玉模様の同時対比効果の新しい評価法

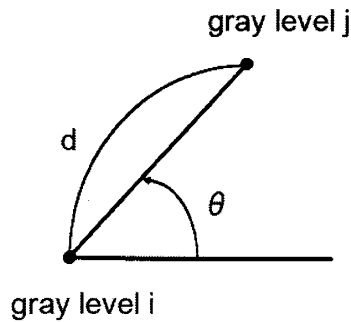


Fig. 2. The distance, d , and the direction angle of position, θ , between gray levels i and j

して、図柄の H を 240° 、背景の H を 190° にして作成した対比図形の L^* 画像, C^* 画像, H^* 画像を示した. この場合にはいずれの画像においても図柄と背景の間にグレイレベル差が生じるので, 色相対比の他にも明度対比や彩度対比が同時に複合的に起こると考えられる.

(2) 明度対比

明度対比では Fig. 1 からわかるように背景明度が図柄明度より低い場合には背景が暗くなるにつれて図柄が明るく見え, 背景明度が図柄明度より高い場合には背景が明るくなるにつれて図柄は暗く見える¹⁾. Fig. 1 の明度対比を示す画像について同時生起コントラスト (CON) を求め, 背景の L に対する CON の変化を Fig. 4 に示した. 図柄と背景の L が同じ 54 のとき, CON はゼロとなるが, ここを中心として背景の L が図柄の L より高くなっても低くなっても CON は増大する. これは CON が画素対のグレイレベル差 ($|i-j|$) の画像全体についての 2 乗平均を表すので, グレイレベル差すなわちコントラストの大きい画素対が多いほど, この値は大きくなるからである. CON の増大と共に明度対比効果も増大することから, CON の変化は明度対比効果と対応した関係にある. 本研究では, 背景の L が 54 について検討したが, 背景の L がいずれの値であっても同様の結果が得られることから, CON は明度対比効果を評価する有効なパラメータとして利用することができる. なお, 有彩色の明度対比効果を検討する場合には, 彩度対比や色相対比が同時に起こらないように試料を作成する必要がある. 現在の Photoshop の機能を用いてこのような試料を作成することは極めて困難であるので, 別の方法を考案するか, あるいは彩度対比や色相対比が複合的に起こる対比現象の中で明度対比を検討することになる. いずれにしても, 今後の研究課題として追究

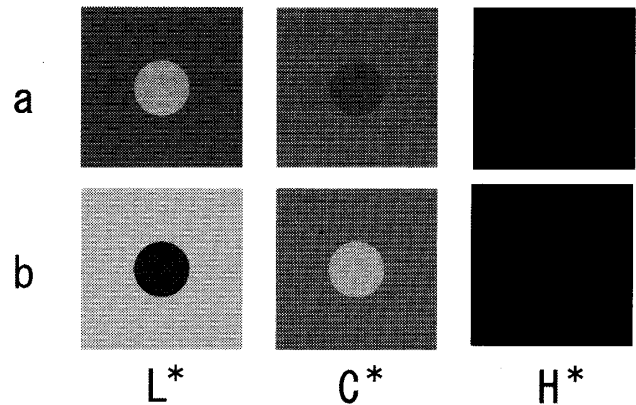


Fig. 3. Images of samples in L^* , C^* and H^* space transformed from HSB space using Eqs. (6), (7) and (8)

See the text for details. Figure {H: 240° , B: 100%, S: (a) 50%; (b) 100%} and Background {H: (a) 240° , (b) 190° , B: 100%, S: (a) 80%; (b) 100%}.

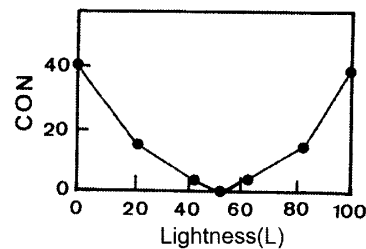


Fig. 4. Relation between C-ON of L^* image and lightness of background for samples of lightness contrast

する必要がある.

(3) 彩度対比

彩度対比では明度対比や色相対比が同時に起こるのを避けるために, 図柄と背景の L 値 (19) および H 値 (240°) を同じ値に保ち, 背景の S 値を変化させて作成した彩度対比試料を L^* , C^* , H^* 変換した. この結果, L^* 画像と H^* 画像ではいずれの場合も図柄と背景との間にグレイレベル差は見られなかったが, C^* 画像では多かれ少なかれグレイレベル差が現れた. したがって, これらの試料では彩度対比のみが起こり, 明度対比や色相対比は複合して起こらないと考えることができる.

彩度対比では背景の S が図柄の S より低くなると図柄は鮮やかに見えるようになるが, 反対に背景の S が図柄の S より高くなると図柄はくすんで濁って見えるようになる¹⁾. 同色相, 同明度で彩度差のある二色間では彩度対比が起こる. 用いた彩度対比試料では

図柄の S より高い背景の中では図柄は濁ってくすんで見えるが、反対に図柄の S より低い背景の中では図柄は鮮やかに見える。いずれの場合も、図柄と背景の彩度差が大きくなるにつれて、この効果は大きくなる。Fig. 5 には L 値が 19 と 29, H は 240° (青) のときの彩度対比試料の C^* 画像について同時生起解析を行って得られた特徴量 CON を背景の彩度 S に対してプロットした。いずれの場合も図柄と背景の S が同じとき, CON は 0 となるが、図柄と背景との間の彩度差の絶対値が増大するにつれて CON も増大する。したがって、彩度対比の場合も明度対比の場合と同様の変化を示すことがわかる。本研究では、一例として $H=240^\circ$ の場合について彩度対比効果と CON の関係を検討したが、その他の色相においても同様の結果が得られることを見出している。このことから、CON はいずれの色相においても、彩度対比効果を評価する有効なパラメータとして利用できると考えられる。彩度対比効果の程度は色相によって多かれ少なかれ異なるので、この結果については今後詳細に報告する予定である。

Fig. 5 から、彩度対比効果は画像の明るさによって影響を受けることがわかる。背景の S が図柄の S より高い領域では、画像が明るい (L 値が大きい) 場合の方が暗い (L 値が小さい) 場合に比べて、CON は大きくなるので、画像が明るいと濁ってくすんで見える効果が大きくなると推察される。逆に、背景の S が図柄の S より低い領域では、画像が暗い (L 値が小さい) 場合の方が明るい (L 値が大きい) 場合に比べて、CON は大きくなるので、画像が暗い (L 値が小さい) と鮮やかに見える効果が大きくなると解釈される。

(4) 色相対比

色相対比では図柄を注視すると、背景の刺激に対して網膜上の錐状体が反応して活性化し、やがて順応して負の残像が現れる。つまり、背景の色相の心理補色が誘発され、それが色フィルターを重ね合わすように図柄の色相と混色される。このために、図柄の色相は背景の色相の心理補色の方向へ変化して知覚される¹⁾。図柄の H を 240° (青) に固定して、背景の H を $0 \sim 330^\circ$ まで変化させて作成した 13 種類の色相対比図形は図柄と背景の間で L^* 値や C^* 値が必ずしも等しくなるとは限らないので、色相対比のほかにも明度対比や彩度対比が複合して起こると考えられる。したがって、これらの対比図形の L^* 、 C^* および H^* 画像について

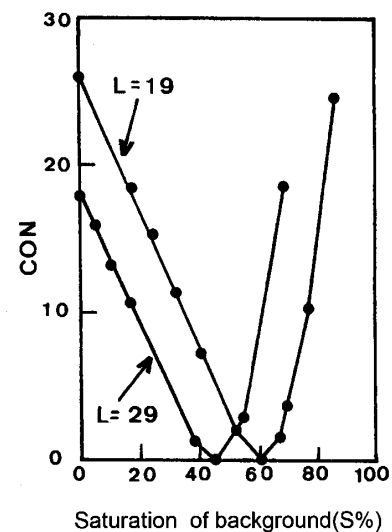


Fig. 5. Relation between CON of C^* image and saturation of background for samples of saturation contrast

それぞれの CON を算出し、Fig. 6~8 にそれぞれの CON と背景の H との関係を示した。

H^* 画像の CON の変化 (Fig. 6) では、図柄と背景が同じ色相角 ($H=240^\circ$) のとき CON は 0 となるが、両者の色相角の差が大きくなるに従って、CON も増大する。背景の色相が図柄の色相 (青) の補色 (黄) となるところ ($H=30^\circ$) で CON は最大となり、このときに色相対比は最も強くなると考えられる。 L^* 画像の CON と背景の色相角との関係 (Fig. 7) から、H が $30 \sim 210^\circ$ の間で明度対比が起きていると推察される。このためにこの色相領域では Table 3 からわかるように背景の明度 (L) が図柄の明度 (L) より高いために図柄は明度対比により暗く見えると考えられる。また、明度対比でも色相対比と同様に背景の色相が黄 ($H=30^\circ$) で CON は最大となり、このときに明度対比は最も強くなると考えられる。しかしながら、この場合には図柄と背景の関係が補色であることに起因するのではなく、黄 ($H=30^\circ$) の L 値が最も高いことに起因していると考えられる。 C^* 画像の CON と背景の色相角との関係 (Fig. 8) から、背景の色相角がいずれの場合にも多かれ少なかれ彩度対比が起こることがわかる。特に H が 180° (シアン) 付近では彩度対比が強く現れる。これらの試料では背景の彩度が図柄の彩度よりも低いために、図柄は鮮やかに見えると考えられる。

図柄と背景の色の関係が異なる二色間のもとでは、色対比が複雑に起こることが知られている。本研究で

画像解析による水玉模様の同時対比効果の新しい評価法

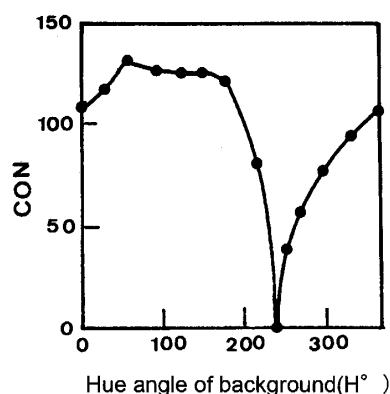


Fig. 6. Relation between CON of H^* image and hue angle of background for samples of hue contrast

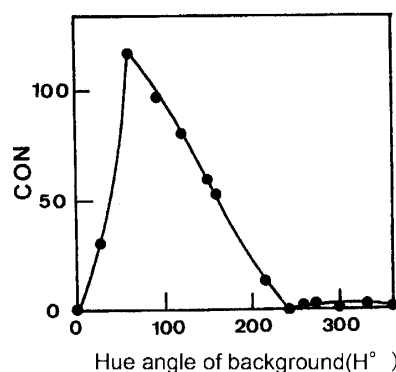


Fig. 7. Relation between CON of L^* image and hue angle of background for samples of hue contrast

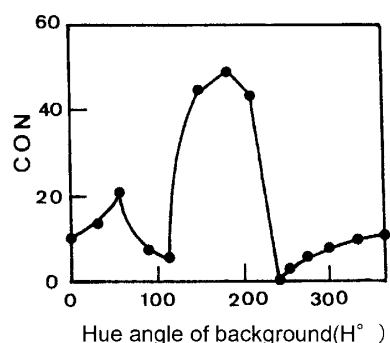


Fig. 8. Relation between CON of C^* image and hue angle of background for samples of hue contrast

は、一例として図柄の色相が $H=180^\circ$ の場合について対比現象を検討し、CON により対比効果を定量的に評価できることを見出した。この評価方法は、本研究で取り扱った特定の色相にのみ限られるものではなく、一般的に他の色相についても適用することができる。

今後はさらに種々の色相對比現象について、詳細な研究を行うことにより色相にどのような依存性を示すかについて多くの知見を得ることが必要である。

4. 結 論

本研究では水玉模様の明度対比、彩度対比、色相對比についてこれらの対比効果を明確にするために、光の三原色である RGB 信号で作成された色対比画像を CIE $L^* a^* b^*$ 表色系に画像変換を行い、明度 (L^*) 画像、彩度 (C^*) 画像および色相 (H^*) 画像を求めた。これらの画像について同時生起解析を試み、抽出された同時生起特徴量コントラスト (CON) と対比効果との関係を検討した結果、次のような結論を得た。

1) 無彩色の明度対比試料については、CON は水玉の図柄と背景の明度が同じ値のときに 0 を示すが、背景の明度が図柄より高くなっても低くなっても CON は図柄と背景の明度差の絶対値が増大するとともに増大する。このことから、CON は明度対比効果と対応した関係にある。

2) 図柄と背景の明度および色相を同じ値にして彩度のみを変えて作成された彩度対比画像では、 L^* 画像と H^* 画像の CON は 0 を示し、明度対比や色相對比が起こっていないことが確認された。 C^* 画像については明度対比試料と同様な結果が得られた。したがって、CON は対比効果を客観的に評価できるパラメータとして利用することが可能である。また、彩度対比の場合、画像が明るいと対比によって濁って見える効果が強くなり、画像が暗いと鮮やかに見える効果が強くなることを見出された。

3) 明度対比、彩度対比および色相對比が同時に複合して起こる色対比画像では、 L^* 、 C^* 、 H^* 画像に分解してそれぞれの画像について CON の変化を調べた結果、それぞれの対比効果を分離して評価することができた。色相對比では、色相差が大きくなるにつれて、対比効果が強くなり、図柄と背景が補色の関係になるところで CON が最大となり、このときに色相對比効果は最も強くなると解釈された。

本研究の一部は、平成 17 年度科学研究費補助金基盤研究 (c) (2) 「研究課題：画像解析による布外観や色彩テクスチャの視覚情報と感性評価」(課題番号 16500488, 研究代表者：森 俊夫) の成果の一部である。

引用文献

- 1) 出村洋二：『クロマチクス』，昭和堂，東京，32-35 (1998)
- 2) 大井義雄，川崎秀昭：『色彩』，日本色研事業株式会社，東京，32-35 (2000)
- 3) 財団法人日本色彩研究所：『色彩科学入門』，日本色研事業株式会社，東京，25-26 (2000)
- 4) Duckett, K., and Zapletalova, T.: Color Grading of Cotton, *Textile Res. J.*, **69**, 876-886 (1999)
- 5) 川上元朗，児玉 晃，富家 直，大田 登：『色彩の辞典』，朝倉書店，東京，49-52 (1995)
- 6) Mori, T., and Endou, Y.: Evaluation of the Visual Texture and Aesthetic Appearance of Lace Patterns, *J. Text. Inst.*, **90**, 100-112 (1999)
- 7) 乾 敏郎，安藤広志：『ビジョン』，産業図書，東京，285 (1973)
- 8) 森 俊夫：ニューラルネットワークによるレース模様の視覚評価，家政誌，**51** 147-156 (2000)