色コントラストと可読性に関する実験研究

正会員 舟 川 政 美 (日産自動車株式会社)

Psychophysical Studies on Legibility and Chromatic Contrast

Member Masami Funakawa (Nissan Motor Co. Ltd.)

ABSTRACT

Color differences in the CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space were scaled by measuring the critical area of detection with a colored patch on a white background. Several colors were selected to all have the same chromatic contrast with the white background but differ from one another in hue. The legibility of numerals painted with the selected colors were evaluated under Gaussian luminance noises. We found that red and green numerals were more legible than yellow and blue ones, despite the equalized chromatic contrast. The results are explained by differences in spatio-temporal resolution limits, which were estimated from the cut-off frequencies of chromatic contrast sensitivity functions measured for different hues.

The following properties of color vision must be kept in mind for coloring a legible display : (1) the low spatio-temporal resolution of chromatic systems compared with that of a luminance system ; (2) the decolorization in the peripheral visual field ; (3) the deterioration of color discrimination, caused by aging or several types of color deficiencies ; (4) the wavelength-dependent loss of luminance, caused by aging or several types of color deficiencies ; (5) the lower spatio-temporal resolution for yellow and blue relative to red and green.

KEYWORDS : color, chromatic contrast, legibility, visibility

1. 緒言

情報表示の見やすさ・わかりやすさに対する社会的要請を背景として、表示を構成する文字やアイコンのコントラスト、大きさ、配置等の最適化が試みられている¹⁾²⁾。本研究では、視覚情報の伝達を媒介している2つのコントラスト、即ち、輝度コントラストと色コントラストの性質について考察し、表示デザインの審美性や快適性に重要な影響を与える色彩について、可読性の観点から実験的検討を行った。情報を伝えるという実用性を有する製品にあっても、デザイン優先やファッション性を理由にしばしば使いやすさを犠牲にしたデザインが見受けられるが、高齢者や様々なタイプの視覚障害者等の視覚弱者にとってそのようなデザインは障害となっている。輝度コントラストと色コントラストに対する人間の視覚特性を理解し、両者を適切に使い分けることによって、多くの改善が得られると思われる。

2. 色コントラストと視認性

各種表示機器が我々に伝える情報は、明るさの差異と色の差異によって表現されている。前者が輝度コントラスト、後者が色コントラストである。視覚情報処理過程においても、両者は心理物理学的に区別され、輝度チャンネル、色チャンネルと呼ばれている。輝度コントラストは、分光エネルギー分布と比視感度から計算される輝度に基づいて定義され、明るさの差異を表す尺度として広

く利用されている。しかし、色コントラストを定量的に扱うための定義や色コントラストを測る共通のものさしはなく、等色差性を備えた色度図もない。従って、異なる色相の色に対する感度を比較することも、輝度コントラストと比較することも、現時点ではできない。それでも、錐体反応に基づいた尺度化の試み³⁾や色彩情報の符号化に関する理論的解析⁴⁾などから、輝度コントラストに対する感度に比べ、色コントラストに対する感度は、時間的にも空間的にも分解能が低いことが示唆されている。情報の伝達における色コントラストの役割を考えると、可読性の主たる決定因である時空間分解能が低いことは、決定的な限界である。高い色コントラスト感度は、低時空間周波数領域に限定されており、輝度コントラスト感度との機能分化を示唆している。

視野特性や色覚障害や加齢に伴う視覚機能低下も無視できない。色コントラスト感度が中心窩からの離心角に従って低下することは、錐体分布、色視野の測定や周辺視野における色の見えを調べた研究結果⁵⁾から容易に予測できる。色覚障害の混同色線⁶⁾は、互いに弁別が難しい色の軌跡を示している。色覚正常者が容易に弁別できる赤と緑や黄と青など反対色の組合せが、色覚異常者にとって弁別し難いことを示している。加齢に伴う眼光学系の光学濃度上昇は、短波長光に対する感度を選択的に低下させる⁷⁾。その結果、高齢者の低照明下での色弁別特性は、第3色覚異常に似た様相を示す⁸⁾。

色覚異常や加齢は、輝度の知覚にも影響を与える。2色型第1

色覚異常は長波長側、2色型第2色覚異常は短波長側で視感度が低下するという報告がある⁹⁾。加齢もまた短波長側での視感度低下をもたらす⁷⁾。従って、青や赤が暗く見え、配色によっては、想定したレベルより輝度コントラストが低下する可能性がある。

情報表示系において色彩は重要な要素であるが、色彩を効果的に利用するには、輝度コントラストと色コントラストに対する視覚特性の違いを十分に理解しておく必要がある。表示系デザインのために考慮すべき色覚特性は、(1)色覚の低時空間分解能、(2)周辺視野における色覚機能の低下、(3)色覚異常や加齢に帰因する色弁別特性の低下、(4)色覚異常や加齢に帰因する波長選択的な輝度知覚の低下、である。

3. 実験1：色弁別における臨界面積の測定実験

3.1 目的

任意の2つの色の差異は、色空間における距離、即ち、色差によって表される。本実験の目的は、色差を何らかの基準でもって尺度化することである。本研究では、全ての刺激がCIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間で記述された。 $L^*a^*b^*$ 色空間には、2つの色光A、Bを加法混色して得られる色光Cの色度点が、色光A、Bの色度点を結んだ直線上にないという問題もあるが、応用場面で広く利用されており、また、明度・彩度・色相という色の3属性と色空間軸との対応が考えやすいという利点がある。

空間周波数の関数としての色コントラスト感度がローパス型であることから³⁾、臨界面積が色差を尺度化するための基準となり得る。任意の2色をそれぞれ背景と視標の色とし、2色の色弁別が可能な視標の最小面積、即ち、臨界面積を測定できる。色差に対する弁別閾を単位として色差を尺度化することは可能であるが、弁別閾と比較して色差が大きくなるほどその信頼性は低下すると考えられる。また、無彩色背景上のマンセル色票に関して視認距離を測定した研究は、背景との明度差の効果を1とした時、彩度差が0.125、色相差10度が0.0226と報告している¹⁰⁾。即ち、視認距離の大半を決めているのは輝度コントラストである。この報告は、色彩による視認性の差を調べるには、輝度情報を排除すべきであることを教えている。多くの研究で、任意の2色に関し主観的等輝度を求めているが、被験者毎、実験条件毎に行わなければならない。本実験では、ガウシアン輝度ノイズを付加することによって、輝度コントラストが視標の検出に与える効果を排除した。輝度ノイズの付加によって、輝度コントラストに基づいて背景と視標を区別することはできなくなり、色コントラストによってのみ背景と視標とが区別されると仮定できる。

本実験で色弁別における臨界面積を測定した2色の一方は、常に無彩色であった。また、色差の方向は、白色点を中心とする8方位であり、色差は彩度（クロマ）の差であった。

3.2 方法

被験者

正常色覚を有する2名（MF：男性39才、MT：女性29才）

装置

装置は、フレーム・バッファ（DIGITAL ARTS HyperFrame3）を介しコンピュータ（NEC PC9801）により生成・制御され、9"カラーCRT（Victor CM-9G72）上に呈示された。観察者の反応は、I/Oモジュールを介して反応キーから上記コンピュータへ入力された。

刺激

背景及び色視標の色度は、全て $L^*a^*b^*$ 色空間で記述した。事前

にディスプレイを測色し、デジタル画像のRGB値とディスプレイ表示の色度との対応付けを行った。画面の平均輝度は、 14.5 cd/m^2 ($L^*=45$)であった。背景の色座標 (a^*, b^*) は (0,0)であった。背景の座標点を中心に8方位に色差2, 4, 8, 16, 32の計40色の色視標（円形）について、臨界面積 A_c を測定した（色視標の色度がディスプレイの色域を超える場合、表示可能で最も近い値を用いた）。刺激画面全体には、輝度コントラストが検出の手がかりを与えるのを避けるため、ガウシアン輝度ノイズ（平均 $L^*=45$, $\sigma=2$, $11.3\sim18.4 \text{ cd/m}^2$ ）を付加した。色視標の呈示位置は、ディスプレイ中央から左右に1度の位置を中心に周囲 0.5×0.5 度の範囲でランダムに選択され、呈示時間は500msであった。手続

被験者は、暗室内で観察距離114cmからディスプレイ中央を観察した。被験者の眼は、顎台により固定され、両眼視、自然瞳孔で観察した。セッションの最初に検出すべき色視標が3秒間呈示された。試行は、ピープ音により始まり、被験者は、色視標が画面の右側に呈示されたか左側に呈示されたかを判断した（強制選択）。反応には、正誤のフィードバックが与えられた。正反応が2度連続した場合、次試行で呈示される色視標の大きさは縮小し、誤反応の場合、逆に拡大した。この手続きを繰り返し（上下法）、正誤の反応の変換点における複数のデータの幾何平均から、正答率約70%に相当する閾値（臨界面積）が決定された。

3.3 結果

図1に、背景の色度を中心にして8方位の色相毎に、色差（彩度あるいはクロマの差）の関数として臨界面積の測定結果を示す。また、図1の中央に臨界面積を基準に被験者毎に求めた等感度曲線を示す。

色視標と背景との色差が小さいほど、臨界面積は大きくなり、その関係は、べき関数で記述できた。べき関数の各係数は、被験者及び背景色からの色差の方位（色相角）によって異なっている。等感度曲線は、 b^* 軸から反時計回りの方向に約45度傾けた軸を長軸とする楕円形をしており、MacAdamの色弁別楕円と同様の形状と傾きである¹¹⁾。また、総じて、第2象限（Munsell hue Y-G）と第4象限（RP-PB）で感度が低く、第2象限が最も感度が低い。結果は、 $L^*a^*b^*$ 色空間の等色差性の不完全さを反映している。また、色視標を拡大すること、低空間周波数帯域におけるパワーを増加させることであるから、本結果は、各色相における低空間周波数帯域における感度と相関していると考えられる。

4. 実験2：色文字の可読性評価実験

4.1 目的

実験1の結果に基づいて、臨界面積をものさしとして、背景と色コントラストが等しく、色相が異なる複数の色を設定することができる。これらの色を使って、色相による可読性の差異を測定するのが、本実験の目的である。視認性における色彩の効果に関して、多くのデザイナを悩ませている問題は、色相によって視認性に違いがあるか、という問題である。色コントラスト感度は、空間分解能が低く、色コントラストのみによって定義された文字の可読性は低いことが予想されるが、色相によって差異があるか否かは不明である。

4.2 方法

被験者

正常色覚を有する2名（MF：男性39才、MT：女性29才）

装置

図1 実験1の結果、色相毎の臨界面積と等感度線
Fig. 1 The critical areas measured by different hues and the equi-sensitive contours.

実験1と同一の装置を使用した。
刺激

刺激としてセグメント型の数字書体（0～8）を使用した（図2参照）。文字サイズは、視角 $0.35(W) \times 0.66(H)$ 度であった。

被験者毎に、無彩色（ a^* , b^* ）=（0,0）を中心に色環を成す8種の色相について、臨界面積を基準に等色コントラスト（等彩度）の色を計算した。背景との色コントラストは、3段階（低・中・高、それぞれ臨界面積 $A_c=0.01$, 0.00563 , 0.00316 DEG^2 に対応）とした（図2参照）。被験者毎に選択された色座標を図3に示す。可読性測定は、(1)無彩色背景上の有彩色文字、(2)有彩色背景上の無彩色文字、(3)有彩色背景上の有彩色文字（彩度高の条件のみ）

の3条件で行った。条件(1)、(2)の無彩色は、実験1の背景色（ a^* , b^* ）=（0,0）と同じであった。条件(3)の文字色は、高彩度条件の a^* , b^* 軸上にある4色、背景色は、色座標上で文字色の反対側に位置する5色とし、合計20通りの組合せについて可読性測定を行った。条件(3)の有彩色の各色対は、相互にその色コントラストを比較することはできない。ここでは、探索実験の意味合いでこの条件を設定した。実験1同様、画面の平均輝度は 14.5 cd/m^2 ($L^*=45$) とし、輝度コントラストが数字の読み取りの手がかりを与えないよう、刺激画面全体にガウシアン輝度ノイズ（平均 $L^*=45$, $\sigma=2$, $11.3 \sim 18.4 \text{ cd/m}^2$ ）を付加した。

手続き

$$A_C=0.01 \text{ DEG}^2$$

$$A_C=0.00563 \text{ DEG}^2$$

$$A_C=0.00316 \text{ DEG}^2$$

図2 可読性評価用の刺激文字
Fig. 2 The colored numerals with luminance noises.

図3 可読性評価に用いた色の色度
Fig. 3 Chromaticities of the stimulus colors.

被験者は、暗室内で、観察距離114cmから、ディスプレイ中央の凝視点を観察した。被験者の眼は、顎台により固定され、両眼視、自然瞳孔で観察した。

刺激条件(1), (2), (3), 及び3種の色コントラスト条件毎に可読性評価実験を行い、各実験では背景色と文字色の組合せ毎の可読性を測定した。各試行では、検出すべきターゲット文字が最初に呈示され、ビープ音の後、ランダムに選択された8個の文字がディスプレイに継続的に、呈示された (Inter-stimulus interval = 0)。試行毎にターゲット文字がランダムに選択・呈示され、従って、得られた可読性測定値は、0～8の数字セットに対する評価値となる。数字の向きは、常に正立で、位置は、凝視点を中心に1.65 (W) × 1.93 (H) 度の矩形領域内でランダムに変化した。被験者は、呈示された文字系列の中にターゲットがあったか否かを判断し (強制選択)、手元の2つの反応キーのどちらかを押した。反応には、正誤のフィードバックが与えられた。ターゲット文字が呈示される確率は1/2であった。正答が2度連続した場合、次試行におけるフレーム呈示時間 (一文字当たりの呈示時間) が短くなり、誤答の場合は、逆に、長くなった。この手続きを繰り返し (上下法)、正誤の反応の変換点における複数のデータの幾何平均から、正答率約70%に相当する閾値 (フレーム呈示時間) が決定された。

4.3 結果

可読性は、フレーム呈示時間として測定された。結果は、図4、図5にフレーム周波数 (フレーム呈示時間の逆数) に換算してプロットした。視覚系において空間分解能と時間分解能は trade-off の関係にあるから、フレーム周波数が高いほど (即ち、時間周波数帯域が高いほど)、低空間周波数帯域を使った読み取りが行われたことを意味し、即ち、可読性が高いと考えられる。結果は、以下の様にまとめることができる。

- (1) 無彩色背景上の有彩色文字でも、有彩色背景上の無彩色文字でも、有彩色の色相に関わらず、背景と文字との色コントラスト (彩度方向の差) が大きいほど、可読性は高い。
- (2) 無彩色背景上の有彩色文字でも、有彩色背景上の無彩色文字

図4 実験2の結果。色文字の可読性
Fig. 4 The results of legibility evaluation of the colored numerals.

でも、赤・緑に比べ、黄・青の可読性は低い。

- (3) 有彩色背景上の有彩色文字の場合、赤・緑文字では、文字と背景間に予想される色差が大きいほど可読性が高い (逆U字型) が、黄文字では赤や青より緑背景、青文字では緑や黄より赤背景の方が可読性が高い (S字型)。

臨界面積に基づいて、色コントラストを尺度化したにもかかわらず、色相間で可読性の差異が見出された。時間周波数 (フレーム周波数) によって可読性を評価したためとすれば、時間周波数によって色差の効果が変動することを示唆している。有彩色背景

図5 実験2の結果。配色の効果

Fig. 5 The results of legibility evaluation of the colored numerals.

上の有彩色文字の場合、色差の尺度化は行われていないが、他の条件同様、その結果を色差で説明することは難しい。

5. 実験3：色コントラスト感度の測定実験

5.1 目的

実験2において見出された色相による可読性の差異は、如何に説明されるのか。実験1において、色視標を拡大することは、低空間周波数帯域におけるパワーを増加させることであった。臨界面積で色コントラストを尺度化することは、各色相に対する色コントラスト感度のピーク値、即ち、低空間周波数に対する感度を基準とすることに等しいと推論できる。従って、本実験では、色コントラスト感度を様々な時空間周波数で測定した。実験2において見出された赤や緑に比べ黄と青の色相で可読性が低いことは、後者の時空間分解能が低いことを示唆しているからである。

5.2 方法

被験者

正常色覚を有する2名(MF：男性40才、MT：女性30才)

装置

装置は、フレーム・バッファ(DIGITAL ARTS HyperFrame3)を介しコンピュータ(NEC PC9821)により生成・制御され、15"カラーCRT(NEC PC-KD881)上に呈示された。観察者の反応は、I/Oモジュールを介して反応キーから上記コンピュータへ入力された。

刺激

刺激は、水平方向に彩度変調する正弦格子にガウス関数を乗じて作られるGabor barであった。色度変調は全てCIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間で行った。平均色度は、 a^* 、 b^* 軸上にある白、赤、緑、黄、青の5色相に近いものとして、また、有彩色の場合ディスプレイの色域内でできるだけ彩度の高いものとして、それぞれ色座標(L^* , a^* , b^*) = (50, 0, 0), (50, 40, 0), (50, -18, 0), (50, 0, 38), (50, 0, -30)を選んだ。変調軸は、色座標(50, 0, 0)の場合のみ a^* 軸と b^* 軸の2通り、その他は彩度方向(a^* 軸か b^* 軸方向)とした。時間周波数は、0.58, 1.15, 2.31, 4.62Hzの4条件、空間周波数は、0.13~12.7CPDの範囲で14種であった。画面の大きさは、観察距離114cmの時、視角12.6×8.4度であった。観察距離は、高空間周波数(8.5, 12.7CPD)の測定の場合228cm、低空間周波数(0.2, 0.13CPD)の測定の場合57cmと変化した。正弦格子の大きさは3サイクルで、1サイクル分左右に移動する間だけ呈示され、この間、刺激パターン全体が時間的にガウス関数に従って変調した。刺激呈示開始時における位相は、試行毎にランダムであった。平均輝度は、18.4cd/m²($L^*=50$)で、輝度コントラストが格子の運動検出の手がかりになるのを避けるため、刺激画面全体に L^* 値±5の範囲のガウシアン輝度ノイズ(平均 $L^*=50$, $\sigma=2$, 14.5~22.9cd/m²)が付加された。

手続き

被験者は、暗室において、所定の観察距離から両眼・自然瞳孔で画面中央の凝視点を観察した。被験者の眼は、顎台により固定された。凝視点が消え、正弦格子が呈示された。被験者は、格子の運動方向(左右)を判断し、反応キーを押した(強制選択)。反応には、正誤のフィードバックが与えられた。正答が2度連続した場合、次試行における彩度変調の振幅は小さくなり、誤答の場合は、逆に、大きくなった。この手続きを繰り返す(上下法)、正誤の反応の変換点における複数のデータの幾何平均から、正答率約70%に相当する色コントラスト閾が決定された。

5.3 結果

色度変調の振幅を色差で表したものを色コントラスト閾とし、その逆数を色コントラスト感度とした。さらに、最も低い時間周波数条件で測定した色コントラスト感度の最大値を1として、各色相毎に標準化した。この操作は、実験1において臨界面積をものさしに、色コントラストを尺度化したことに対応する。また、色コントラスト感度測定では、色収差と回析によって、想定外の輝度変調が生じるという問題がある。この効果は、本刺激画面には、色収差や回析によって生じる輝度変調より大きな振幅の輝度ノイズが付加されていること、相対的に低い空間周波数を使っていることによって、最小化されていると考えられる。結果を図6、図7に被験者毎、色相毎に示す。時間周波数条件毎にGumbel関数をフィッティングした。結果は、以下のようにまとめることができる。

- (1) どの色相においても、色コントラスト関数は、空間周波数に対しローパス型となった。
- (2) どの色相においても、時間周波数上昇によって色コントラスト感度は低下した。

図6 実験3の結果。色コントラスト感度 (被験者 MF)
Fig.6 Chromatic contrast sensitivity functions (sub. MF).

図7 実験3の結果。色コントラスト感度 (被験者 MT)
Fig. 7 Chromatic contrast sensitivity functions (sub. MT).

(3) 平均色度が等しい赤緑格子と黄青格子に対する色コントラスト感度関数を比較すると、後者の方が高周波側のカットオフ周波数が低くなった。

(4) 赤・緑・黄・青の彩度変調格子に対する色コントラスト感度関数を比較すると、赤・緑・青・黄の順序でカットオフ周波数は低くなった。

輝度変調する正弦格子を用いたコントラスト感度測定実験の結果¹²⁾と本実験結果を比較すると、測定条件が異なることを考慮に入れても、コントラスト感度関数の高周波側のカットオフ周波数、即ち、空間解像度はかなり低い。輝度チャンネルに対し、色チャンネルの時空間分解能が低いことが示された。

6. 考察

視覚の時空間分解能に基礎を置く可読性に関して、色相間で差異が認められた。本研究において、色は全て CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間において扱われたため、色覚のメカニズムに関して言及するには限界がある。本研究で用いた刺激は、色覚機構を構成する3種の錐体機構や2つの反対色チャンネルの反応を分離するものではない。しかし、本研究結果の基礎には2つの反対色チャンネル間の時空間分解能における差異があると、推測できる。

色コントラスト感度関数の高周波側のカットオフ周波数は、空間分解能の上限を規定している。実験3で見出されたこのカットオフ周波数における色相による差異は、実験2の無彩色背景上の有彩色文字や有彩色背景上の無彩色文字の条件で見出された色相による可読性の相違と、ほぼ一致している。実験2の有彩色背景上の有彩色文字の場合、有彩色同士の色差が尺度化されていないが、様々な配色間に見出された可読性の差異は、色差からは説明し難い。しかし、背景か文字のどちらか一方でも、黄か青だと可読性が低下することから、黄青の時空間分解能が相対的に低いことを仮定すれば、説明可能であろう。低空間周波数帯域における感度（即ち、感度の最大値）に基づいて色コントラストの尺度化を行うと、色相によって時空間分解能に差が生じることは、色覚を構成する下位モジュール間に時空間分解能の差異があることを示唆している。

2つの反対色機構である赤緑チャンネルと黄青チャンネルにおいて、黄青チャンネルの時空間分解能が低いことは、S錐体がL・M錐体に比べ密度が極端に低いこと、黄を符号化するにはL・M両錐体の出力が必要なことなどから、定性的に予想できる。即ち、色変調の符号化のための網膜上のサンプリング周波数は、赤・緑に比べ黄・青の方が低い。また、操作的に両チャンネルの反応を分離し測定した色コントラスト感度関数³⁾⁴⁾から見ても、妥当な推論であると考えられる。両チャンネル間の時空間分解能の差異がこれまであまり重要視されてこなかったのは、色コントラスト感度測定の方法論的困難さに帰因するデータの少なさや、色相による可読性の差異といった視点を欠いていたことなどのためであろう。

最後に、8種の色相を使った本実験結果、及び、色覚異常者にとって反対色の弁別が困難であることを考慮して、可読性の観点から配色について有効な指摘ができる。即ち、赤青緑黄の順に並んだ色環において、約225度の角度をなす2色の配色が可読性の点から優れているということである。

7. 結語

CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間において、臨界面積を基準に色コントラストの尺度化を行い、無彩色との色コントラストが等しい色を

8種の色相毎に求めた。それらの色を使った数字文字の可読性を時間周波数を尺度に測定した。その結果、赤・緑に比べ、黄・青の可読性が低いことが見出された。CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間で色度変調する正弦格子を刺激とし、様々な時空間周波数で色コントラスト感度を測定した結果、色コントラスト感度関数の高周波側のカットオフ周波数が、赤・緑・青・黄の順で低いことが見出された。文字の可読性の低下と色コントラスト感度関数のカットオフ周波数の低下には、高い相関があった。

表示系のデザイン要素として色彩を考える際、(1)色覚の低時空間分解能、(2)周辺視野における色覚機能の低下、(3)色覚異常や加齢に帰因する色弁別特性の低下、(4)色覚異常や加齢に帰因する波長選択的な輝度知覚の低下、の4点に配慮すべきであると述べた。本研究結果から、(5)時空間分解能は赤緑に比べ黄青に対して低い、を付け加えることができる。

本研究の主題である可読性について言えば、色コントラストの役割は限定されており、可読性は、より時空間分解能が高い輝度コントラストによって達成されるべきである。輝度コントラストと色コントラストの機能は、区別しなければならない。視環境を照らす光が太陽光のような広帯域の光である限り、その強度変化に対し、輝度は大きく変動するが、色の変動幅は小さい。様々な要因によって輝度ノイズが生じてても、本実験場面の様に、色コントラストは知覚される。色彩は、誘目性や快適性とも関連が深く¹³⁾、注意や情緒的な反応を促したり、危険・安全・注意・正常・異常といった曖昧だが直感的、情緒的な意味を伝えることができる。視野の分節化や図地の分化に果たす役割も大きい。視覚特性を考慮した見やすい表示系を実現するには、このような色コントラストの利点を活かし、前述した注意点に配慮しながら、輝度コントラストと色コントラストを適切に使い分ける必要がある。

参考文献

- (1) 舟川政美、小田浩一：ローパス・フィルタリング法による形状の視認性評価、照学誌、81、pp.438-445 (1997)。
- (2) 舟川政美：文字の可読性に関する実験的研究、照学誌、84-11、pp.785-792 (2000)。
- (3) K. T. Mullen : The contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings, Journal of Physiology, 359, pp.381-400 (1985)。
- (4) K. T. Mullen and F. A. A. Kingdom : Colour contrast in form perception, P. Gouras (Ed.) The Perception of Colour, Vision and Visual Dysfunction, Vol.6, London : Macmillan Press (1991)。
- (5) 瀬川かおり、内川恵二、栗木一郎：周辺視野におけるカテゴリーカル色知覚、照学誌、83、pp.860-868 (1999)。
- (6) G. Wyszecki and W. S. Stiles : Color science : Concepts and methods, quantitative data and formulas, New York : John Wiley (1982)。
- (7) J. M. Kraft and J. S. Werner : Spectral efficiency across the life span : flicker photometry and brightness matching, J. Opt. Soc. Am. A, 11, pp.1213-1221 (1994)。
- (8) K. Knoblauch, F. Saunders, M. Kusuda, R. Hynes, M. Podgor, K. E. Higgins, and F. M. de Monasterio : Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test, Appl. Opt., 26, pp.1441-1448 (1987)。
- (9) R. M. Copenhaver and R. D. Gunkel : The spectral sensi-

tivity of color defective subjects determined by electror-
etinography, Arch. Ophthalmol., 62, pp.55-68 (1959).

- (10) 大島正光：人間工学，コロナ社（1970）.
- (11) A. R. Robertson：The CIE 1976 color-difference formulae, Color Res. Appl., 2, pp.7-11 (1977).
- (12) J. G. Robson：Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system, J. Opt. Soc. Am., 56, pp. 1141-1142 (1966).
- (13) 神作博：色光の誘目性について，照学誌，51, pp.684-690 (1967).

(受付日1999年12月3日／採録日2000年7月6日)

舟川 政美（正会員）

日産自動車株式会社総合研究所車両交通研究
所

1956年4月生まれ。1981年千葉大学人文学
部人文学科卒業。1988年北海道大学大学院文
学研究科博士後期課程単位取得退学。同年北星学園大学文学部助
手。1990年日産自動車株式会社中央研究所基礎研究所入社。視認
性・視界研究等に従事。現在(財)人間生活工学研究センター（〒305
-0046 つくば市東1-1 生命工学工業技術研究所内）へ出向。産
業技術基盤研究開発プロジェクト「人間行動適合型生活環境創出
システム技術」に従事。放送大学非常勤講師。文学博士。日本視
覚学会，日本心理学会，基礎心理学会，ARVO，日本色彩学会会
員。