全照度レベルにわたって目立つ2色配色

芦澤 昌子*,**, 池田 光男**

Conspicuous two colors combinations at all illuminance levels

Shoko Ashizawa (Member)*

Mitsuo Ikeda (Fellow Member)**

ABSTRACT

Conspicuity of color changes according to illuminance because of the Purkinje shift. This makes it difficult to design safety clothes with a single color which gives always high conspicuity at any illuminance. To overcome the difficulty the combination of two colors, one being very conspicuous at day time and the other at night time, was proposed to use for the clothes. To evaluate the conspicuity throughout different illuminances the conspicuity index was introduced as the sum of the conspicuity points of a color combination at three typical illuminances, 0.1, 10 and 1000 lx. The indices were experimentally determined for 12 color combinations and it was shown that they agreed quite well with those of theoretical prediction.

1. ま え が き

自動車数の増大にともなう輪禍という不幸な出来事を、できるだけ減少させようとの観点から、どの照度レベルでも、歩行者の服装を運転者によく目立つ色のものにすることを提唱し、その基礎的研究として色の目立ちの定量化を試み、色の目立ち評価点 (Conspicuity Point, CP) を計算できる目立ち空間を、12色のそれぞれの色票の目立ちを実験的に求めることによって、提案してきた^{1), 2)}。そこで明らかになったことは、全照度にわたっていつでもよく目立つ色は存在しないということであった。そこで我々は安全衣服の色として、2色採用方式を提案した³⁾。すなわち、明るいところで目立つ色と暗いところで目立つ色という照度特性において反対の性質をもつ2色を併用し、かつ後者を輪郭部に、前者を内部に配色して、暗いところでも輪郭がよく見えるようにする方法である。2色が相補的に作用して、どの照度レベルでもよく目立つことが期待されるのである。

2. 本研究の目的

従来の我々の研究では、前述したように、刺激として単一色のみを採用したのであって、2色配色の刺激の目立ちが、照度レベルの変化とともにどのように変わっていくかについての定量的デ

ータは未だ充分に得られていない。そこで本研究では、まず種々の2色配色刺激を作製し、それらの目立ちを実験的に検討し、各刺激の目立ちが全照度レベルにわたってどのように変化するかを明らかにする。ついでいままで単一の色の刺激の目立ち実験から導出した目立ち空間が、2色配色の刺激の目立ちにも活用できるかどうかについても検討する。すなわち、本研究の2色配色の刺激を作製するに当たって、先に導入した目立ち空間を利用する。ある背景上の、ある色の目立ち評価点は、この空間での背景からの距離で与えられるとしているので、この空間における背景から輪郭部の色までの距離と輪郭部の色から内部の色までの距離の和が、その2色配色刺激の目立ち評価点に対応すると考えるのである。この考えに立って、種々の目立ち評価点の刺激を作り、実験的に目立ち評価点を決定し、両者の相関を検討してみようとするものである。

ところでこれら目立ち評価点はある照度レベル固有の値であることは勿論である。安全服という観点からは全照度レベルにわたっての目立ち評価点がほしい。そこで、明るい所の代表として1000 lx、薄暗い所の代表として10 lx、暗い所の代表として0.1 lxを選び、それぞれの照度レベルでの目立ち評価点の総和でもって安全服の目立ち方を定量化することにする。これを目立ちインデックス (Conspicuity Index, CI) という名称をつける。

このようにして本研究では、実際に12種の色刺激を作成し、まず目立ち実験を行い、実験的に目立ち評価点ならびに目立ちインデックスを求める。ついでCP値とCI値の理論値と実験値の相関を求める。これによって2色の目立ち評価点が得られ、さらに1色だけからなる刺激を使って求めた理論的目立ち空間が、2色

* 青葉学園短大

** 東京工業大学総合理工学研究所

の場合に活用できるかどうかの検討ができ、また被験者 5 人だけの目立ち実験を基に導出したその目立ち空間が、他の多くの被験者にも活用できるかどうかの検討ができる。さらに CI 値の高い安全服に適した 2 色配色刺激はどれかを具体的に提案することができるのである。

3. 実 験

(1) 刺 激

すでに目立ち実験のデータを多く持っている 12 色すなわちマンセル表色系による HVC 値

8R4/14	7YR4/9	5Y5/8
3GY5/8	2G5/8	10G6/6
8BG6/6	7B6/6	5PB5/8
3P5/8	2RP5/8	10RP4/12

の色を組み合わせる本実験の刺激を作ることとする。刺激の形状は図 1 に示すように、内側に一边 2 cm の正方形を含む一边 5 cm の正方形である。これを約 50 cm の距離から観測して約 6 度の視角になる。いま外側の色を C_o 、内側のそれを C_i とすると、これは C_o-C_i の組合せの 2 色配色刺激ということになる。

この刺激を N 2 の背景の上に載せたときの理論的目立ち評価点 (CP) は、目立ち空間において

$$CP = (N2 \text{ から } C_o \text{ までの距離}) + (C_o \text{ から } C_i \text{ までの距離}) \quad (1)$$

で与えられると仮定する。目立ち空間は CIE の L^* , a^* , b^* を次式のように修正して得られた²⁾。

$$L_{RC} = (1-e)L_R^* + eL_c^*$$

$$a_m^* = j m_a^* \otimes a^* \dots \dots \dots (2)$$

$$b_m^* = j m_b^* \otimes b^*$$

ここで L_c^* は錐体視のときの L^* 値で、明所視の Y 値を基に CIE 1976 の L^* 式で求める。また L_R^* は桿体視のときの L^* 値としたもので、 $V(\lambda)$ の代わりに $V'(\lambda)$ を使って Y 値を求め、それを L^* 式に代入して求める。また e は順応係数で、照度に応じて 0 から 1 までの値をとる。 j は照度によって変化する値で、順応係数、色票のカラフルネス、個人係数などによって決められ、その実験的に決められた値は前報に報告している²⁾。 m_a は $a^* > 0$ なら 3.0, $a^* < 0$ なら 1.0 の値を持ち、また m_b は $b^* > 0$ なら 0.1, $b^* < 0$ なら 1.0 の値を持つもので、かけ算符号 $\otimes$ はこれを実行するためのオペレーターである。各色票と背景 N 2 の L^* , a^* , b^* の値については前報を参照されたい²⁾。

図 2 にこのように定義された色の目立ち空間に先程の 12 色票

図 1 2 色配色刺激の仕様

図 2 3つの照度レベルの目立ち空間にプロットした 12 色票。a, 0.1 lx; b, 10 lx; c, 1000 lx

ならびに背景 N 2 を、実験で使用した高忠実自然昼白色蛍光灯 N — EDL で照明したときの座標点をプロットしたものを、0.1 lx, 10 lx, 1000 lx の場合について示しておく。 L^* 値で正規化している。照度の低下によって式(2)の j が減少していくので、色票の a_m^* , b_m^* の値が明度の値 L_{RC}^* に比較して小さくなり、空間が縮小していくのが分かる。また縦軸の明度 L_{RC}^* についても順応係数 e の変化によって照度が低くなると 8 R など赤系の色票の明度は小さくなり、代わって 8 BG など青系の色票の明度が大きくなっていくことも分かる。なお参考のため図 3 に同じ色票を CIE $L^* a^* b^*$ 空間にプロットしておく。

さて各刺激の目立ちインデックス CI は次式で計算される。

$$CI = CP_{0.1} + CP_{10} + CP_{1000} \dots \dots \dots (3)$$

ここで $CP_{0.1}$, CP_{10} , CP_{1000} は 0.1, 10, 1000 lx のときの目立ち評価点であるが、目立ち空間は図 2 で分かるように照度が低くなると縮小していくので CP の値も小さくなる。そのため式(3)を活用する際には $CP_{0.1}$, CP_{10} , CP_{1000} の値の間が同程度の大きさになるような正規化操作が必要になる。

本研究では 12 色を組み合わせる 12×11=132通りの刺激が可能

図 3 CIE $L^*a^*b^*$ 座標にプロットした 12 色票

である。それら全てについて CI 値を計算したのが表 1 である。ただしここで用いた CP の値は、各照度レベルでの 132 通りの CP 値の平均値がすべて 50 になるように正規化して得たものである。50 という数値にはとくに意味はない。

本実験では刺激の目立ちを順位法で決定するが、被験者の疲れを勘案すると刺激の数はあまり多すぎない方がよい。しかし順位法を基に目立ちの度合を定量化するにはある程度の数は必要である。それらの折衷案として我々は以前から 12 刺激を採用してきた。今回もこの数の刺激を使うことにして、これらの 132 配色を 12 にしぼりこむ。まず、暗い所で刺激の輪郭がよく分かること、つまり暗い所で目立つ色が外側の色 C_0 を構成するという必要条件から、 C_0 としては青系の 7B, 8BG, 10G の 3 色に限定する。表 1 の太線で囲んだ内側の組合せである。つぎにそれぞれの C_0 に対して 4 組を選ぶが、このとき最終的に残る 12 組の CI 値が小さいものから大きいものまで、ほぼ均一に並ぶように選ぶ。以上のような経過で選定した 12 刺激がアンダーラインを引いたものであり、CI 値は 10G—8BG の 124 から 8BG—8R の 255 までとなっている。

これらをまとめたのが表 2 である。各組合せの目立ち評価点 $CP_{0.1}$, CP_{10} , CP_{1000} の理論値も示しておく。ただしこれらの値は上に述べた CP の値を基に 12 刺激のうちの最大値が 11、最小値が 0 になるように線形変換したものである。これは実験値との

表 1 12 色票の組合せによる目立ちインデックスの計算値

四角の中にアンダーラインを引いたものが実験に採用したもの。

	外 側 C_0											
	2RP	3P	5PB	7B	8BG	10G	2G	3GY	5Y	7YR	8R	10RP
2RP		128	158	192	203	198	162	139	124	105	145	137
3P	138		124	161	174	171	136	119	110	111	174	167
5PB	165	122		138	151	150	120	113	117	131	200	194
7B	181	140	119		132	135	125	123	131	149	218	211
8BG	189	149	129	129		124	120	123	134	155	225	219
10G	187	149	131	135	127		116	118	131	152	222	216
2G	178	141	128	152	150	143		97	113	132	205	200
3GY	165	135	131	160	163	156	108		94	113	185	181
5Y	151	127	137	169	176	170	125	95		98	169	164
7YR	149	144	168	205	213	207	160	131	115		134	138
8R	161	180	209	245	255	250	205	175	158	106		111
10RP	146	166	195	231	242	236	193	163	145	102	103	

表 2 各刺激の目立ち評価点 (CP) と目立ちインデックス (CI) の理論値

刺激番号	$C_0 - C_i$ (外) (内)	理 論 値			
		$CP_{0.1}$	CP_{10}	CP_{1000}	CI
1	8BG—8R	11.0	11.0	11.0	33.0
2	8BG—10RP	8.7	10.5	10.4	29.6
3	7B—10RP	8.5	9.3	9.3	27.1
4	8BG—7YR	9.4	7.1	6.1	22.6
5	10G—7YR	8.2	6.9	6.0	21.1
6	7B—2RP	4.5	6.2	6.4	17.1
7	8BG—5Y	6.1	3.9	3.3	13.3
8	10G—5Y	4.9	3.6	3.1	11.6
9	7B—3GY	5.4	2.3	1.6	9.3
10	10G—5PB	1.2	2.8	2.5	6.5
11	7B—10G	0.7	1.0	1.1	2.8
12	10G—8BG	0	0	0	0

比較を分かりやすくするための操作であって、質的な変換ではない。したがってこれらを単純加算した右端の目立ちインデックス (CI 値) の理論値は表 1 のものとは異なるが質的にはやはり変わらない。

(2) 被 験 者

合計 31 名が実験に参加した。このうちの 1 名は 54 歳の男性 (MI), 1 名は 46 歳の女性 (SA) で、共に前報^{1), 2)}の実験にも参加している。残りの 29 名は全て 19 歳の女性で、短大生である。被験者は石原式色覚異常検査表の検査で全て色覚正常者である。

(3) 手 順

実験は N—EDL 蛍光灯で照明される卓上の照度が正確に制御できるメソピック・ルームで行った。被験者 SA と MI は東京工大のルームで、また他の 29 名の被験者は青葉学園短大のルームで実験をした。

12 の刺激は、実験用テーブルの上に置かれた横 50 cm、縦 38 cm の N 2 の背景色票の上に、横方向 4 個、縦方向 3 個に配列した。その配列順序は実験者が適当に選ぶ。被験者は 1000 lx の照度レベルに 8 分から 10 分間順応したあと、これらの刺激を観察し、一番よく目立つと思うものから順に取り上げていく。目立ち評価点 11, 10, …… 1, 0 がその順につけられる。これが終わると照度が 10 lx に下げられ、被験者は再び 8~10 分の順応時間を持つ。実験者は刺激の順序を変える。そして被験者は 1000 lx のときと同じように刺激を一つ一つ取り上げていく。次の 0.1 lx についても同じような手順で実験をする。

29 名の短大生のうちの 20 名は以上の手順で実験終了である。残りの 9 名は上記の実験を 3 回行った。ただし照度レベルの順序は明から暗、暗から明、そして明から暗であった。また被験者 SA と MI は、それぞれ 5 回の実験を行った。照度レベルの順序も明から暗、暗から明と適宜選択された。結果の示すところではこれらの順序効果はなかったため、9 名とこの 2 名の目立ち評価点のデータはそれぞれ平均し、それを他の 20 名のデータに加えた。

4. 結 果

実験結果を被験者 31 名の平均値で、まとめて表 3 に示す。行および列は表 2 の理論値の場合と対応しているが、この場合は 31 名のデータの標準偏差 σ が加わっている。標準偏差値は刺激

番号の両端では 0.3 や 0.4 のように小さい値となっているが、これは本実験のような順位法に特有の性質であろう。

まず、各照度レベルでの目立ち評価点 CP を図にプロットしてみる。図 4 がそれで、表 3 の実験値 $CP_{0.1}$, CP_{10} , CP_{1000} をプロットしたのが右側、表 2 の理論値をプロットしたのが左側である。刺激番号 1 の実験結果は予測したようにどの照度レベルでも高い CP 値を示している。これは暗い所では外側の 8 BG が良い目立ちを与え、明るい所では内側の 8 R が良い目立ちを与えていることによっている。青と赤が互いに他を補って、いつでもよく目立つ刺激になっているのである。他の刺激についても左側の理論値の図と比較対照してみると、形状はよく似ており、定性的には理論値は実験結果をよく予測していると言えそうである。このことを図で示したのが図 5 で、横軸に CP

表 3 各刺激の目立ち評価点 (CP)、標準偏差値 (σ) および目立ちインデックス (CI) の実験値。最下行は理論値 (表 2) との相関係数。

刺激番号	$C_o - C_i$ (外) (内)	実 験 値						CI
		$CP_{0.1}$	σ	CP_{10}	σ	CP_{1000}	σ	
1	8BG-8R	10.8	0.4	10.9	0.4	10.9	0.4	32.6
2	8BG-10RP	9.3	1.1	9.5	0.5	9.5	0.7	28.3
3	7B-10RP	9.1	0.8	9.5	0.7	9.4	0.8	28.0
4	8BG-7YR	7.9	1.0	7.3	0.9	7.4	0.7	22.6
5	10G-7YR	7.5	1.1	6.7	1.0	6.9	1.0	21.1
6	7B-2RP	4.2	1.4	5.8	1.5	5.8	1.6	15.8
7	8BG-5Y	5.2	1.2	4.4	0.9	4.7	0.9	14.3
8	10G-5Y	4.4	1.1	4.4	1.3	4.5	1.1	13.3
9	7B-3GY	4.1	1.0	3.5	1.3	3.4	1.2	11.0
10	10G-5PB	1.9	0.3	2.9	1.6	2.5	1.1	7.3
11	7B-10G	1.2	0.8	1.1	0.2	1.1	0.4	3.4
12	10G-8BG	0.3	0.6	0.1	0.3	0.1	0.2	0.5
相関係数 r		0.982		0.990		0.973		0.997

図 4 各刺激の各照度レベルにおける目立ち評価点。
a, 理論値; b, 実験値

図 5 12 刺激の CP の理論値と実験値を、照度 0.1 lx ($\square$), 10 lx ($\triangle$), 1000 lx ($\circ$) について、プロットしたもの。被験者 31 人の平均。

図 6 目立ちインデックスの理論値と実験値の対応

の理論値を、縦軸に実験的に得られた CP 値をとっている。3つの照度レベルに対応してそれぞれ別の記号でプロットしている。両者の相関はどの照度レベルについてもかなり良く、そのことは表3に示した目立ち評価点の理論値と実験値の間の相関係数 r によっても確認される。すなわち表3の最下行の値がそれで、3照度レベルの結果はいずれも r の値が 0.97 以上である。

CP 値を3照度レベルにわたって加算した目立ちインデックス CI の実験結果も理論値によく合致するものが得られている。表2と表3の最右端の列をグラフにしたのが図6である。12点はほぼ $(0, 0)$, $(33, 33)$ の座標点を結ぶ直線で近似され、かつ相関係数は 0.997 という極めて高い値となっている。理論値を計算するに用いられた色の目立ち空間が極めて有用であることを示すと言ってよいであろう。

5. 考 察

どの照度レベルでも目立つ安全服には2色の配色が不可欠であることを指摘し、2色配色で作った12刺激について目立ち評価点、目立ちインデックスを実験的に求めた。その結果を考察したところ、以前に提案した色の目立ち空間を基に計算した理論値とよく合うことが示された。この空間は元々1色だけの刺激を使って行った実験結果から導出されたものであったが、本実験によってそれが2色配色の刺激の目立ち評価点の計算にも適用できることが明らかにされたと思う。

本研究では目立ちインデックスというものも導入した。このとき採用した3つの照度レベルは 0.1, 10, 1000 lx であった。非常に暗いところから明るい所にわたる代表的照度レベルということでこれらを選んでいく。対数値で -1, 1, 3 であって、等間隔である。したがって中間の 10 lx は薄明視を代表するものでは必ずしもない。しかし薄明視の始まる照度を、我々は色票の異色明るさマッチングの実験を基に当初は 8 lx⁽⁴⁾、あるいは色布地の実験を基に 2.5 lx⁽⁵⁾、さらに色の目立ち実験を基に 10 lx⁽²⁾ などと推定した。さらにまた色票の異色明るさマッチングの精密な実験を基には 3 lx という値を得ている⁽⁶⁾。したがって本研究で採用した 10 lx はほぼ薄明視の入口ともいえるもので、本研究の CI の定義に使った3照度レベルは暗所視、薄明視、明所視を代表するものと表現しても間違いではないといえよう。

被験者31名中の20名は目立ち評価実験を各照度レベルともそれぞれ1回だけしか行わなかった。これは1人にかかる実験時間が充分にとれなかったこと、また出来るだけ多くの被験者数を確保したかったためである。しかし被験者間のばらつきは表3の標準偏差値からそれほど大きくなかったと言えるし、また31名の結果が先の5名の被験者の結果から導出した目立ち空間から計算された理論値と CP 値においても、また CI 値においても高い相関を示すことから、式(1)、(2)および(3)の妥当性が示されたといえるのではなかろうか。

本研究の結果、最も高い目立ちインデックス値を与える色の組合せは、採用した12色の中では、外側に8BG、内側に8Rを配したものであることが分かった。しかしこれはN2というきわめて暗い背景を採用したときの結果である。背景の明度が明るいものになれば結果は当然変わってくる。したがって今後の課題の一つとして、とくに夜の戸外の背景の明度が、実際にはどのようなものであるかを検討することがあげられる。またもう一つの課題としては、本実験で得たよく目立つ色の組合せ、すなわち8BG—8Rの組合せを実用に即する衣服にいかに取り入れるかがある。この色の選定に当たっての尺度は目立つということだけであって、嗜好や美的感覚、可愛さなど、衣服の着用に際しての重要な項目は取り入れていない。したがってこれらの色を使いつつも、しかし着用が無理のない衣服や装飾、あるいは人体のシルエットは分からないまでも、人の動きによって人の存在をアピールするような、帽子、スカーフ、ボシエット、ランドセル、手下げ鞆、靴等、衣服以外の付属品などを開発していくことが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 芦澤, 池田: 照学誌 71 (1987) 612
- (2) 芦澤, 池田: 照学誌 72 (1988) 79
- (3) 芦澤, 池田: 織消誌 29 (1988) 376
- (4) 池田, 永田, 矢口, 芦澤: 照学誌 67 (1983) 491
- (5) 芦澤, 池田: 照学誌 67 (1983) 503
- (6) Ikeda, M., Huang, C. C. and Ashizawa, S.: Col. Res. Appl. 14 (1989) 198

(受付 1989 年 1 月 12 日)