無彩色背景における有彩色と無彩色ラインの弱視者の視認性

STUDY ON THE VISIBILITY OF CHROMATIC AND ACHROMATIC COLOR LINES FOR VISUALLY CHALLENGED PEOPLE

岩田 三千子*, 北 本 裕 之**

Michico IWATA and Hiroyuki KITAMOTO

Visually challenged people require visual contrasts between targets and backgrounds. The authors performed a laboratory experiment to gauge the visibility of lines under 100 lx and 1000 lx illuminance conditions. These lines provide an essential reference point in the walking field for the visually challenged. In this paper the authors show the visibility based on the contrast of lines and backgrounds by chromatic and achromatic color combinations. A total of 43 colors were used as target lines and three achromatic colors were used for the backgrounds. Thus, a total of 129 color combinations were used. Data from this experiment may assist in the designing of walking lines on pavement surfaces which could serve as guidance, warnings and other important or useful directions for visually challenged people.

Keywords : *visually challenged, amblyopia, luminance ratio, color, barrier free, leading*

視覚障害者, 弱視者, 輝度比, 色, バリアフリー, 誘導

1. はじめに

近年, 高齢者や障害者が自立した日常生活や社会生活を送れるように, 世界各国で様々な法整備とともに生活環境の整備が進んでいる。わが国でも, 駅や空港, バスなどの公共交通機関, および, 大規模なビルや宿泊施設, 飲食店などの利用を円滑にするための, 「高齢者, 障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律 (バリアフリー新法)」や, 各自治体の「福祉のまちづくり条例」が定められて活動の場が広がっている。

そのような中, 視覚障害者の安全な歩行を促すことを目的に, 視覚障害者誘導用ブロック (以下, 誘導ブロックという) の設置が求められている。誘導用ブロックは JIS で形状が規格化されたこともあり, 街路空間における視覚障害者への対応技術として普及している。一方で, その敷設方法や管理方法についての課題も多く, 多方面から誘導ブロックについての研究が行われている。例えば, 本田ら¹⁾は, 視覚障害者の誘導ブロックのニーズと役割について, 坂口ら²⁾は, 誘導ブロックの設置状況と歩道舗装について, 佐々木ら³⁾は, 誘導ブロックが自転車利用者や歩行者の走行挙動に及ぼす影響について, 三上ら⁴⁾は, 敷設状態の触覚的認知性が利用者に及ぼす影響について, 山田ら⁵⁾は, 曲線歩行時の誘導ブロックの有用性について, さらに, 田中ら⁶⁾は, 誘導ブロックのみならずそれ以外の

街路空間における整備手法の可能性を検討している。

視覚障害者という点, 「目が見えない人」といった認識をされることが多いが, その中に全盲の人は少なく, 光を感じることができ視機能にある程度有する弱視者の割合が非常に多い。このような弱視者を対象とした光・視環境と誘導ブロックの関係については, 伊藤ら⁷⁾, 坂井ら⁸⁾, 坂口ら⁹⁾は, 誘導ブロックの利用状況調査より視認性確保の重要性を, 江寄ら¹⁰⁾は, 夜間街路照明下において誘導ブロックの視認性が低いことを, 田中ら¹¹⁾は, 夜間の街路歩行時の空間把握において現誘導ブロックの設置が歩行に有用でないことを指摘している。また, 今泉ら¹²⁾は, 蛍光材料を用いた誘導ブロックにより夜間の視認性向上を計る手法を提案し, 竹田ら¹³⁾は, 誘導ブロックと舗装面の色彩の組み合わせについて CG を用いて, 識別可能な輝度比を求め, 高井ら¹⁴⁾は, 屋内において一定の照度条件下で必要な輝度比を明らかにしている。

しかしながら, 未だ誘導ブロックの見えに関する設置基準等では, 「弱視者が認知しやすいよう」, 「明度, 色相, 彩度, 輝度比に配慮」, 「輝度比2.0以上確保」などの表現¹⁵⁾に留まっており, 有用かつ明確な数値指標が示されていない。先に挙げた研究成果でも, 現状の誘導ブロックを評価することが主たる目的であり, 弱視者の見えについての数値的なデータが得られているとは言い難い。

* 摂南大学理工学部住環境デザイン学科 教授・学博

Prof. Dept. of Living and Environmental Design, Faculty of Science and Engineering, Setsunan Univ., Ph. D.

** 大阪市立大学生活科学研究科 客員准教授・学博

Visiting Assoc. Prof., Graduate School of Human Life Science, Osaka City Univ., Ph. D.

そこで本研究では、視覚障害者のうち何らかの視覚情報を活用して日常歩行をし、歩行時に「誘導ブロックを目で確認したことがある」者（以下、弱視者という）を対象として、実験室実験により誘導ブロックに見立てた様々な無彩色および有彩色のラインを無彩色背景上に置いて、視認性を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図1に実験装置を示す。装置内には3波長型昼光色の蛍光灯が、被験者の目に入らないところに設置してある。被験者には開口部の顎のせ台の上に顎を置いて中を覗かせ、距離1mの垂直正面壁にある視標を観察させた。視標直上部には、照度計の受光部を設置して照度測定を行って、視標中心部の照度に換算した。実験装置の内部は拡散性のマンセル明度（以下、N）5の灰色のペイントで塗装してあり装置内部の輝度はほぼ一様である。

2.2 実験視標

図2に、実験で使用した視標のサイズを示す。ここで、ライン幅75mmは、距離1mにおいて視角約4.5°の大きさであり、例えば、目線高さ1.5mの歩行者が、幅30cmの誘導ブロックを約4mの距離から視認した大きさに相当する。通常健康診断では距離5mで視力測定をするが、それよりもやや短い距離を想定している。視標の背景には無彩色N9・N5・N3の3種類のラシヤ紙を使用し、ラインにはJIS標準色票（日本色彩研究所製マンセル色紙）より、表1に示す有彩色35色と無彩色8色を使用した。

有彩色ラインの選定には、まず、色相環を等間隔に20分割した20色相（色相：5, 10）の20色を選んだ。このとき、色を認識する際には明度の要素が重要であり、YR, Y, GYは低明度になると橙、黄、黄緑の色味の認識ができにくくなることから明度7または8とし、その他の色は明度4または5とした。いずれも彩度は誘導ブロックの汚れなどを考慮して低彩度の4とした。さらに、色相環を等間隔に5分割した5色相（色相：5）のうち、建築色彩にはあまり使用されない5Pを除いた4色相（5R・5Y・5G・5B）の彩度を2ずつ変化させた15色を加えた。

背景とラインとの輝度比LRおよび輝度対比Cを、それぞれ式1・式2で定義する。

$$LR = L_L / L_s \quad \dots \quad \text{式1}$$

L_L : 高い方の輝度[cd/m²], L_s : 低い方の輝度[cd/m²]

$$C = (L_b - L_t) / L_{\max} \quad \dots \quad \text{式2}$$

L_b : 背景の輝度[cd/m²], L_t : ラインの輝度[cd/m²]

$L_{\max}$: L_b, L_t の高い方の輝度[cd/m²]

ここで、Cが正のとき正対比、負のとき負対比と呼ぶ。輝度対比Cと、輝度比LRの関係は、次の式3・式4を用いて算出できる。

$L_b \geq L_t$ の場合

$$C = 1 - (1/LR) \quad \dots \quad \text{式3}$$

$L_b \leq L_t$ の場合

$$C = (1/LR) - 1 \quad \dots \quad \text{式4}$$

式1から、背景とラインとの組み合わせ129条件の輝度比を求めた。表2に輝度比の一覧を示す。なお、輝度測定にはハンディータタイプの輝度計（MINOLTA 社製 LS110）を用いた。ただし、ラインの明度値はJIS標準色票の正確な値であるが、背景のラシヤ紙の明

度は概数値である。そのため、背景とラインが同明度でも輝度比＝1ではない。

図1 実験装置（単位 mm）

表1 ラインに使用した有彩色および無彩色

有彩色						無彩色
5R4/2	5R4/4	5R4/6	5R4/8	5R4/10		
	10R4/4					N9
	5YR7/4					N8
	10YR7/4					N7
5Y8/2	5Y8/4	5Y8/6	5Y8/8	5Y8/10	5Y8/12	N6
	10Y8/4					N5
	5GY7/4					N4
	10GY7/4					N3
5G5/2	5G5/4	5G5/6	5G5/8			N2
	10G5/4					
	5BG5/4					
	10BG5/4					
5B5/2	5B5/4	5B5/6	5B5/8			
	10B5/4					
	5PB4/4					
	10PB4/4					
	5P4/4					
	10P4/4					
	5RP4/4					
	10RP4/4

図2 実験視標（単位 mm）

表2 背景とラインの輝度比

ライン	背景			ライン	背景		
	N9	N5	N3		N9	N5	N3
5R4/10	5.71	1.23	2.25	5BG5/4	3.85	1.17	3.23
5R4/8	5.71	1.27	2.13	10BG5/4	4.26	1.08	2.99
5R4/6	5.71	1.29	2.15	5B5/8	4.08	1.12	3.08
5R4/4	6.06	1.36	2.04	5B5/6	4.08	1.11	3.08
5R4/2	6.06	1.36	2.04	5B5/4	4.26	1.05	2.90
10R4/4	5.88	1.29	2.15	5B5/2	4.35	1.02	2.86
5YR7/4	2.06	2.20	6.06	10B5/4	4.00	1.12	3.13
10YR7/4	1.98	2.27	6.45	5PB4/4	5.56	1.23	2.27
5Y8/12	1.35	3.33	9.52	10PB4/4	6.90	1.52	1.85
5Y8/10	1.38	3.23	9.09	5P4/4	5.88	1.32	2.11
5Y8/8	1.39	3.23	9.09	10P4/4	6.67	1.48	1.89
5Y8/6	1.46	3.13	8.70	5RP4/4	5.56	1.23	2.27
5Y8/4	1.47	3.03	8.70	10RP4/4	7.14	1.60	1.75
5Y8/2	1.49	3.03	8.33	N9	1.09	4.08	11.11
10Y8/4	1.45	3.13	8.70	N8	1.49	3.03	8.33
5GY7/4	2.02	2.25	6.25	N7	2.02	2.22	6.25
10GY7/4	2.11	2.13	5.88	N6	2.70	1.67	4.65
5G5/8	3.85	1.18	3.28	N5	4.08	1.12	3.13
5G5/6	4.08	1.12	3.13	N4	6.45	1.43	1.94
5G5/4	4.08	1.11	3.08	N3	11.8	2.63	1.05
5G5/2	4.44	1.03	2.82	N2	25.0	5.88	2.08
10G5/4	4.44	1.04	2.86				

2.3 実験方法

図1の実験装置を暗室（摂南大学8号館3階）に設置した。被験者は実験前に暗室内で5分間の暗順応を行い、目の順応状態を統一させた。視標面照度は、JIS照度基準にある日常的な屋内生活環境の明るさを想定し、商業施設の廊下や地下歩行者通路などに採用されている数値を丸めた100lxと、その10倍で、屋内環境としては十分に明るい1000lxの2通りとした。100lx, 1000lxの照度条件の順に各3分程度実験条件に明順応させた。その後、実験視標をランダムに提示し、ラインの視認性について「4：わかりやすい」、「3：まあまあわかる」、「2：わかりにくい」、「1：わからない」の4段階の点数を口頭で回答させた。

2.4 被験者

被験者として単独歩行が可能な43～81才の弱視者31名（男15名、女16名）が参加した。視覚障害者は加齢とともに増加する傾向があり、ここでは20～30才代の若年者層を含んでいない。被験者の主たる疾病の箇所に基づいて、網膜系、光学系、その他の3分類で表し、属性一覧を表3に示す。両眼の視力の和^{注)}が0.1未満の者が22名で、そのうち光を感じることはできるがランドルト環の開きを判別するといったような細かい視作業ができない者（両眼ともに指数弁、手動弁、光覚弁）は6名であった。また、31名の内、14名が白杖を補助具として使用していた。

被験者の年齢と視力の関係について、年齢を横軸に左右の良い方の視力を縦軸にとって図3に示す。年齢と視力には相関がないことが分かる。また、視標面照度1000lxにおける背景N9の場合を例として、左右の良い方の視力と評価値との関係を図4に示す。これより、評価は視力に関係なくばらついていることが分かる。これは他の条件も同様の傾向であった。視力の数値で表せない指数弁、手動弁、光覚弁の6名は遠距離での視認は困難と考えられるが、半数は白杖を使用せず、歩行上、他と比べて明確な違いはない。

表3 被験者属性一覧

番号	性別	年齢	疾病名	分類	発症時期	視力		障害者等級	視野欠損	色覚異常	白杖
						右	左				
1	男	64	網膜色素変性症	網膜系	51	手動弁	指数弁	1	○	○	○
2	女	60	網膜色素変性症		55	0.01	指数弁	1	○	○	○
3	女	52	網膜色素変性症		34	0	0.02	2	○	○	○
4	女	59	網膜はく離		36	0	0.02	2	○	○	○
5	女	63	網膜色素変性症		52	0.03	0	2	○	○	○
6	女	72	網膜はく離		56	0.03	0.03	3	○	○	○
7	男	56	強度遠視・網膜はく離		46	0	0.08	3	○	○	○
8	女	60	網膜色素変性・緑内障		58	0	0.1	4	○	○	○
9	男	48	網膜はく離	光学系	14	0.1	光覚弁	4	○	○	○
10	女	68	白内障		先天性	手動弁	光覚弁	1	○	○	○
11	男	63	角膜白斑		15	0	0.02	2	○	○	○
12	男	63	強度近視(右)・白内障(左)		先天性	0.06	光覚弁	3	○	○	○
13	男	56	水晶体脱臼症		先天性	0.1	0.04	5	○	○	○
14	男	70	強度近視・網膜はく離・白内障		33	0.1	0.1	5	○	○	○
15	女	55	結膜炎		先天性	0.1	0.1	5	○	○	○
16	女	71	ぶどう膜炎・白内障		48	0	0.6	6	○	○	○
17	男	68	不明	その他	先天性	手動弁	手動弁	1	○	○	○
18	男	63	熟成しん瘡		57	手動弁	手動弁	1	○	○	○
19	女	54	小眼球症・ぶどう膜炎欠損症		先天性	手動弁	手動弁	1	○	○	○
20	男	57	交通事故		14	指数弁	指数弁	1	○	○	○
21	女	58	不明		先天性	0	0.01	1	○	○	○
22	男	49	視神経萎縮		13	0	0.01	1	○	○	○
23	女	55	小眼球症		先天性	0	0.02	2	○	○	○
24	女	55	強度近視		先天性	0.02	0	2	○	○	○
25	男	53	強度近視		先天性	0.02	0.02	2	○	○	○
26	男	62	無眼球(右)・小眼球症(左)		先天性	0	0.03	2	○	○	○
27	男	81	視神経萎縮・緑内障		15	0.03	0	2	○	○	○
28	女	57	視神経萎縮・緑内障		42	0.04	0	2	○	○	○
29	女	54	小眼球症・脈絡膜欠損		先天性	0.06	0	3	○	○	○
30	男	43	強度近視		先天性	0.1	0.3	6	○	○	○
31	女	52	視神経萎縮・緑内障		42	0	0.4	6	○	○	○

図3 年齢と視力の関係

図4 視力と評価値の関係

3. 実験結果

3.1 疾病分類および色覚による検討

被験者の疾病分類別に、無彩色ラインの照度別、背景別の評価平均値と標準偏差を図5に示す。いずれの条件も、最も評価平均値が低いのは網膜系であるが、疾病分類間の分散分析結果では、1000lxの背景N9を除いて5%水準で有意差が認められなかった。

次に、5名の色覚異常「あり」と、26名の「なし」のグループ別に、全有彩色ラインの評価平均値および有意水準5%での分散分析結果を図6に示す。有彩色ラインの評価平均値は、照度100lx背景N3の条件を除いて、色覚異常ありの方が有意に低いことがわかる。両者の評価平均値の差は、100lx背景N5の0.47が最大である。よって、3.3節の有彩色ラインの視認性については、色覚異常ありの被験者5名を除外して検討することとする。

図5 無彩色ラインの疾病分類別評価平均値

図6 色覚異常あり・なし別有彩色ラインの評価平均値と有意差

3.2 無彩色ラインの視認性

3.2.1 ラインの明度と肯定回答率の関係

照度別、背景別に、無彩色ラインの回答率を図7に示す。また、4段階評価のうち「4：わかりやすい」と「3：まあまあわかる」の合計回答割合（以下、肯定回答率という）を折れ線グラフで示す。これより、概して背景とラインの明度差が大きいほど肯定回答率が高いことが分かる。100lx、1000lxともに、背景N9では明度差3以上、背景N5およびN3では概ね明度差2以上で、肯定回答率が50%を超える。また、100lxと1000lxとを比較すると、背景とラインの明度差が大きい場合には肯定回答率は100lxの方が高いが、小さい場合には逆転して概ね1000lxの方が高いことが分かる。

3.2.2 輝度対比と肯定回答率の関係

正対比と負対比の別に、背景とラインの輝度対比と肯定回答率との関係を図8に、回帰式を表4に示す。ただし、図中の回帰直線は実験の範囲を実線で、それ以外は回帰直線のy軸（肯定回答率）の切片bを0以下として回帰し点線で示している。

図8より、肯定回答率80%および50%を得るための輝度対比に言及すると、80%については、100lxの正対比では0.8以上、負対比では-0.7以下、1000lxの正対比では0.9以上、負対比では-0.8以下である。50%については、100lxの正対比では0.5以上、負対比では-0.5以下、1000lxの正対比では0.6以上、負対比では-0.5以下である。また、正対比では輝度対比0.33、負対比では輝度対比-0.29で100lxと1000lxとの肯定回答率の逆転が生じていることが分かる。

回帰式の決定係数については、正対比の 100lx で 0.93, 1000lx で 0.90 と正の相関が高く、傾きは 100lx が 1.18, 1000lx が 1.00 である。また、負対比の決定係数は 100lx で 0.69, 1000lx で 0.55 と相関が高く、傾きはそれぞれ -1.21, -0.97 である。照度別には、正対比と負対比の傾きの絶対値はほぼ等しいことがわかる。さらに、輝度対比の絶対値が大きくなるほど、100lx と 1000lx の肯定回答率の差が大きくなることが分かる。

図7 無彩色ラインの評価分布と肯定回答率 (—●—)

図8 無彩色ラインの輝度対比と肯定回答率の関係

表4 輝度対比による無彩色ラインの肯定回答率回帰式

対比	100lx			1000lx		
	a	b	R ²	a	b	R ²
正	1.18	-0.12	0.93	1.00	-0.06	0.90
負	-1.21	-0.07	0.69	-0.97	0.00	0.55

3.2.3 輝度比と肯定回答率の関係

表4の各回帰式の輝度対比 x に式3, 式4を代入し, すなわち, 次の式5, 式6で輝度比と肯定回答率 y との関係を求めることができる。

$$\text{正対比} : y = a \cdot (1 - (1/LR)) + b \quad \dots \text{式5}$$

$$\text{負対比} : y = a \cdot ((1/LR) - 1) + b \quad \dots \text{式6}$$

y : 肯定回答率, LR : 輝度比

これより, 式5, 式6から輝度比と肯定回答率との関係を求め, 図9に示す。図9より, 肯定回答率80%および50%を得るための輝度比に言及すると, 80%については, 100lxの正対比では輝度比4.6以上, 負対比では3.5以上, 1000lxの正対比では7.1以上, 負対比では5.6以上であることが分かる。また, 50%については, 100lxの正対比では輝度比2.1以上, 負対比では1.9以上, 1000lxの正対比では2.3以上, 負対比では2.1以上であることが分かる。前述(3.2.1節, 3.2.2節)のように, 同じ輝度比では, 負対比が正対比より肯定回答率が高いことが分かる。さらに, 100lxと1000lxとの肯定回答率の逆転が, 正対比は輝度比1.50, 負対比は輝度比1.40で起こることが分かる。

次に, 肯定回答率の実験値と, 式5, 式6から得られる計算値との関係を図10に, 各回帰式を表5に示す。

正対比の回帰式の決定係数は, 100lxで0.93, 1000lxで0.90と高く, その傾きはそれぞれ, 0.93, 0.90で, ほぼ1対1の比例関係にあるといえる。一方, 負対比の決定係数は, 100lxで0.69, 1000lxで0.58, 傾きはそれぞれ0.70, 0.71である。

従って, 式5, 式6を用いて算出した計算値は, 負対比ではやや誤差はあるものの, おおよそ実用に耐えうるものといえる。

図9 無彩色ラインの輝度比と肯定回答率の関係

図10 肯定回答率の実験値と計算値との関係 (無彩色)

表5 実験値と計算値の回帰式 (無彩色)

対比	$y = a \cdot x + b$			y : 計算値 x : 実験値		
	a	b	R ²	a	b	R ²
正	0.93	0.03	0.93	0.90	0.05	0.90
負	0.69	0.24	0.69	0.71	0.19	0.58

3.3 有彩色ラインの視認性

有彩色ラインは, 色相, 背景との明度差 (輝度比), および, 彩度差が視認性に影響を与え, 中でも輝度比の影響は大きい。よって, これらを変数として, 以下に視認性 (肯定回答率) との関係を検討し, 照度別・色相別に彩度と輝度比より肯定回答率を得るための, 実用的かつ簡便な回帰式を提示する。

3.3.1 同彩度 (彩度4) 20色と肯定回答率との関係

彩度4の20色相の肯定回答率を図11に示す。図11では右回りに5YR~10GYが明度7または8であり, 5G~10Rが明度4また

は5である。よって、肯定回答率は明度差の影響を受けて、両照度とも背景 N9 では 5G~10R の低明度、背景 N3 では 5YR~10GY の高明度の肯定回答率が高いことが分かる。

また、無彩色ラインの視認性と同様に、100lx の方が 1000lx よりも肯定回答率が高く、特に 100lx では、背景 N9 の 5G5 および 5BG5~10R4、背景 N5 の 5YR~10GY、背景 N3 の 5YR~5B5 の 30 通りが 80%以上である。

一方、1000lx では、背景 N9 の 5B5 および 5PB4~10R4、背景 N5 の 5Y8 と 5Y4、背景 N3 の 5YR~10GY7 の 17 通りが肯定回答率 80%以上である。

図 11 彩度 4 の 20 色相の肯定回答率

3.3.2 彩度と肯定回答率の関係

彩度の段階を有する 5R4・5Y8・5G5・5B5 の 4 色相の 19 色について、肯定回答率と彩度との関係を色相別に図 12 に示す。同明度の無彩色ラインについても図中の彩度 0 の位置にプロットする(図中の△印)。また、図中の凡例の濃淡は背景の違いを表している。これより、4 色相の回帰式を背景別に表 6 に示す。

図 12 より、概ね彩度が高くなると肯定回答率が高くなる傾向が認められる。ただし、背景との明度差が大きいものは彩度が低くても肯定回答率が高く、彩度の効果は得られにくい。一方、彩度が高くても肯定回答率が顕著に低いものとして、背景 N9 の 5Y8 が上げられ、100lx では彩度 8 以上、1000lx では彩度 10 以上でないと肯定回答率が 50%以上にならない。

3.3.3 彩度および輝度比と肯定回答率との関係

表 6 の回帰式の傾き a、および、定数項 b に着目し、輝度比との関係を求める。照度別・色相別に、輝度比と傾き a との関係を図 13 に、それぞれの回帰式を表 7 に示す。また、輝度比と定数項 b との関係を図 14 に、それぞれの回帰式を表 8 に示す。ここで用いる輝度比は、表 2 の輝度比の実測値である。

図 13 および表 7 から、輝度比と傾き a との関係については、5Y8 の傾きが 100lx、1000lx とともに、他と比べて緩やかであることが特徴的である。それぞれの回帰式の決定係数は、100lx の 5Y8 で 0.59 とやや低いが、それ以外では 0.93 以上と高い値である。

図 14 および表 8 から、輝度比と定数項 b との関係については、色相の違いによる大きな差異はない。決定係数は、100lx の 5Y8 で 0.67 とやや低いが、それ以外では 0.82 以上と高い値である。

ここで、表 6 の回帰式に、表 7 および表 8 の回帰式を代入すると次式となる。

$$y = (a_1 \cdot \log_e x + b_1) \cdot xc + a_2 \cdot \log_e x + b_2 \quad \dots \quad \text{式 7}$$

y: 肯定回答率, x: 輝度比, xc: 彩度,

a₁: 表 7 の回帰式の傾き, b₁: 表 7 の回帰式の定数項,

a₂: 表 8 の回帰式の傾き, b₂: 表 8 の回帰式の定数項

式 7 の精度を検証するため、色相別に、肯定回答率の実験値と、式 7 から得られる計算値との関係を図 15 に、その回帰式を表 9 に示す。各回帰式の傾きは、5Y8 は 100lx で 0.68、1000lx で 0.77 であるが、他は 0.86~0.95 の範囲に収まり、それぞれの決定係数は 0.69 以上である。従って、色相により差異はあるものの、実験値と計算値は高い比例関係にあるといえる。

図 12 有彩色ラインの肯定回答率と彩度の関係

表 6 有彩色ラインの肯定回答率と彩度の回帰式

ライン	背景	100lx			1000lx		
		a	b	R	a	b	R
5R4	N9	0.009	0.88	0.68	0.012	0.74	0.65
	N5	0.076	0.30	0.96	0.068	0.20	0.94
	N3	0.052	0.36	0.96	0.051	0.40	0.89
5Y8	N9	0.038	0.19	0.96	0.027	0.22	0.99
	N5	0.005	0.89	0.60	0.008	0.74	0.73
	N3	0.008	0.88	0.59	-0.001	0.85	-0.41
5G5	N9	0.012	0.78	0.49	0.021	0.66	0.59
	N5	0.100	0.06	0.97	0.073	0.15	0.95
	N3	0.042	0.66	0.89	0.027	0.64	0.96
5B5	N9	0.025	0.83	0.83	0.017	0.72	0.69
	N5	0.098	0.07	0.97	0.071	0.15	0.95
	N3	0.042	0.61	0.89	0.015	0.65	0.94

図 13 輝度比と表 6 の各回帰式の傾き a との関係

表 7 輝度比と傾き a の回帰式

$$a = a_1 \cdot \log_e x + b_1$$

ライン	100lx			1000lx		
	a ₁	b ₁	R ²	a ₁	b ₁	R ²
5R4	-0.044	0.087	1.00	-0.038	0.079	1.00
5Y8	-0.016	0.036	0.59	-0.016	0.031	0.93
5G5	-0.065	0.108	0.98	-0.041	0.077	0.99
5B5	-0.054	0.102	1.00	-0.043	0.072	0.93

図 14 輝度比と表 6 の各回帰式の定数項 b との関係

表 8 輝度比と定数項 b の回帰式

$$b = a_2 \cdot \log_e x + b_2$$

ライン	b: 有彩色ライン回帰式の定数項 x: 輝度比					
	a_2	b_2	R^2	a_2	b_2	R^2
5R4	0.40	0.14	0.96	0.36	0.11	0.99
5Y8	0.36	0.21	0.67	0.33	0.19	0.82
5G5	0.56	0.01	1.00	0.41	0.12	0.97
5B5	0.56	0.02	1.00	0.44	0.12	0.98

図 15 肯定回答率の実験値と計算値との関係 (有彩色)

表 9 実験値と計算値の回帰式 (有彩色)

ライン	$y = a \cdot x + b$ y: 計算値 x: 実験値					
	a	b	R^2	a	b	R^2
5R4	0.87	0.10	0.89	0.87	0.09	0.87
5Y8	0.68	0.24	0.69	0.76	0.16	0.77
5G5	0.92	0.05	0.94	0.89	0.07	0.86
5B5	0.95	0.04	0.95	0.93	0.05	0.92

以上のことから、照度別、色相別に、式 7 を用いて算出した肯定回答率 (80%以下 10%刻み) と、輝度比および彩度との関係を図 16 に示す。ここで、輝度比 1 における肯定回答率 50%を満たすラインの彩度は、5R4 は 100lx で 4.2、1000lx で 4.9、5Y8 は 100lx で 7.9、1000lx で 10.0、5G5 は 100lx で 4.5、1000lx で 4.9、5B5 は 100lx で 4.7、1000lx で 5.2 である。すなわち、5Y8 は 7.9、10.0 と高いが、その他は 4.2～5.2 の範囲であることが分かる。

また、実験で扱った最低彩度 2 における肯定回答率 50%を満たす輝度比は、5R4 は 100lx で 1.8、1000lx で 2.3、5Y8 は 100lx で 1.9、1000lx で 2.2、5G5 は 100lx で 1.9、1000lx で 2.0、5B5 は 100lx、1000lx とともに 1.9 である。すなわち、肯定回答率 50%を満たす輝度比は、1.8～2.3 の範囲である。

4. 考察

岩田ら¹⁶⁾は、弱視者を対象とした 0～1000lx 条件下の背景 (N9・N3) と無彩色ライン (N8・N6・N4・N2) の視認性評価実験において、「眩しすぎて見にくい」の評価は、青年健常者が、1000 lx 以下で「眩しすぎて見にくい」と回答する者がいなかったのに対して、弱視者では、背景 N9 は 35%、背景 N3 は 28%となり、眩しさによる 1000lx での視認性の低下を明らかにしている。よって、本研究結果で、無彩色ライン、有彩色ラインのいずれも、100lx が 1000lx

よりも視認性評価が高くなったのは、弱視者の多くが眩しさに弱い視認特性をもつことによる影響が考察できる。

一方、誘導ブロックと舗装材 (背景) の組み合わせについて、岩崎ら¹⁷⁾は、輝度比 1.5～2.5 が、弱視者、晴眼者双方にとって問題ない範囲であるとしている。また、国土技術研究センターによる道路のバリアフリーガイドライン¹⁸⁾では、輝度比 2.0 程度あることを求めており、多くの自治体¹⁹⁾においてこれを目安に誘導ブロックの整備を進めている。

しかしながら、本研究の結果、無彩色背景における無彩色ラインは、肯定回答率 50%を満たすためには、100lx の正対比は 2.1 以上、1000lx の正対比は 2.3 以上、負対比は 2.1 以上必要であり、この輝度比 2.0 では、これらの条件で肯定回答率 50%を満たさないことが分かった。また、彩度 2 の有彩色ラインでは、肯定回答率 50%を満たすためには、1000lx の 5R4 および 5Y8 は輝度比 2.3 が必要であり、輝度比 2.0 では肯定回答率 50%を満たさないことが分かった。

竹田ら²⁰⁾によると、施工例の多い黄色の誘導ブロックの実測値は 5Y8/6 であるとしている。図 16 から、5Y8/6 で輝度比 2 の肯定回答率は、100lx で 61.6%、1000lx で 54.4%であり、6 割程度の肯定回答率であることが分かる。より高い肯定回答率を得るためには、図 16 に従って、目標とする肯定回答率に合った輝度比と彩度の関係を得ることで、設計目標に従った解決策が見いだせる。

図 16 輝度比と彩度と肯定回答率の関係

5. まとめ

本研究では、弱視者を被験者とし、100lx および 1000lx の照度条件下で、無彩色背景 (3 色) における無彩色ライン (8 色) および有彩色ライン (35 色) の視認性の検討を行った。得られた知見を以下にまとめて示す。

(1) 疾病および色覚による検討の結果、疾病別に無彩色ライン（輝度コントラスト）の評価が最も低かったのは網膜系であるが、概ね疾病間に有意差は認められなかった。また、有彩色ラインの評価を色覚で検討した結果、色覚異常ありの被験者の方が概ね有意に低かった。

(2) 無彩色ラインの視認性について、輝度対比および輝度比と肯定回答率の関係を、図および推定式で示した。視覚障害者誘導ブロックの設置の目安として輝度比2の数値が用いられているが、本実験条件下では、肯定回答率50%を得る上で、100lxの正対比では2.11以上、1000lxの正対比では2.27以上、負対比では2.06以上が必要であることが分かった。

(3) 有彩色ラインの視認性について、彩度4の色相別20色の肯定回答率は、明度差の影響を受けて、背景N9では5G～10Rの低明度色、背景N3では5YR～10GYの高明度色の肯定回答率が高かった。また、肯定回答率80%以上のものが100lxでは30通り、1000lxでは17通りあった。

(4) 5R4・5Y8・5G5・5B5の4色相の有彩色ラインについて、照度別、背景別に肯定回答率と彩度との関係を求めた。概ね彩度が高くなると肯定回答率が高くなる傾向が認められるが、明度差が大きいものは彩度が低くても肯定回答率が高く彩度の効果は得られにくいことが分かった。その特徴を持つものとして5Y8を示した。

(5) 5R4・5Y8・5G5・5B5の4色相の有彩色ラインについて、照度別、背景別に肯定回答率と彩度および輝度比との関係を肯定回答率10%刻み（80%以下）で図示した。この図を用いて目標とする肯定回答率に合った輝度比と彩度の関係を得ることができる。

6. おわりに

本研究により、弱視者を対象に無彩色背景における無彩色および有彩色ラインの視認性を検討し、背景とラインとの輝度比、有彩色ラインの彩度などと肯定回答率との関係を示した。その結果は、実験室実験によるものであり、実環境ではJIS標準色票などにより明度（V）を目視で測り、それを視感反射率（ $Y \approx V(V-1)$ ）に換えて反射率の比、すなわち輝度比を算定することにより対応することが可能である。しかし、実環境では個々の視環境条件に基づく利用上の判断を加えた適正な条件を設定する必要があることを追記する。

今日、路面は有彩色のタイルや舗装なども存在し、今回と同様の実験で、有彩色背景についての検討もしている²¹⁾ので、次の機会に報告したい。本研究の成果が、今後の弱視者を取り巻く生活環境の改善に寄与し、学術研究の新たな展開の一助となれば幸いである。

謝 辞

本研究のデータ収集においては、摂南大学工学部建築学科1997年度卒業生の福田高志君、西岡聡子さんの多大なる協力を得ました。また、被験者として多くの方に協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。本研究はJSPS科研費26289208の助成を受けたものです。

※本研究は、24th Session of the CIE, 1999に概要²¹⁾を投稿している。

注) 視力の和とは、両眼視による視力ではなく、両眼の視力を別々に測った数値の和のことで、視覚障害者等級を判定する際に用いられる。

参考文献

- 1) 本田恵子, 秋山哲男, 坂口陸男: アンケートによる視覚障害者のニーズと視覚障害者誘導ブロックの役割, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部 Vol.52, pp.80-81, 1997
- 2) 坂口陸男, 山下弘美, 秋山哲夫: 視覚障害者用誘導ブロックの設置状況と歩道舗装について, 土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 Vol.48, pp.788-789, 1993
- 3) 佐々木隆彦, 清田勝, 田上博: 点字ブロックが自転車利用者や歩行車の走行挙動に及ぼす影響, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集 Vol.2, pp.758-759, 1998
- 4) 三上貴正, 天野真二, 渡会奈由香, 坂井映二: 点字ブロックおよびその敷設状態の触覚的認知性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.528, pp.47-52, 2000.2
- 5) 山田美紀, 亀谷義浩: 視覚障害者の螺旋スロープ昇降における空間把握に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.707, pp.65-74, 2015.1
- 6) 田中直人, 岩田三千子: 視覚障害者誘導ブロックに関する敷設者と利用者の意識からみた現状と課題 - 福祉のまちづくりにおける高齢者および障害者を考慮したサインデザインに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第502号, pp.179-186, 1997.12
- 7) 伊藤納奈, 佐川賢, 岩田朋巳, 三谷誠二, 松下一馬: ロービジョン者を対象とした視覚障害者誘導用ブロック等の視認性に関する調査, 人間工学41(Supplement), pp.148-149, 2005
- 8) 坂井友香, 斉藤健治, 清田勝: 視覚障害者誘導環境のあり方について～佐賀市視覚障害者誘導用ブロックの利用実態と敷設の現状調査より～, 佐賀大学理工学部集報, 35-1, pp.63-77, 2006.6
- 9) 坂口陸男, 久下晴巳, 坂田耕一, 秋山哲夫: 視覚障害者用誘導ブロックの視認性と景観性に関する検討, 第15回交通工学研究発表会論文報告集, pp.133-136, 1995.11
- 10) 江寄公暢, 藤田晃弘, 今井宏樹: 視覚障害者誘導用ブロックの夜間における視認性評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.57, pp.43-44, 2002
- 11) 田中直人, 岩田三千子: 夜間歩行におけるロービジョン者の意識と街路空間の視環境調査, 日本建築学会計画系論文集, 第613号, pp.89-94, 2007.3
- 12) 今泉真, 藤田晃弘, 江寄公暢: 蛍光材料を用いた視覚障害者誘導用ブロックの視認性評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.58, pp.577-578, 2003
- 13) 竹田恵子, 川上 光彦, 菊岡雅治: CGを用いた視覚障害者誘導用ブロックと舗装面の色彩の組み合わせに関する実験的研究, 土木計画学研究・論文集13, pp.957-963, 1996.8
- 14) 高井智代, 石田秀輝: 視覚障害者誘導用ブロックの視認性: 公共空間における視覚障害者の歩行安全性に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 520, pp.153-158, 1999.6
- 15) 国土交通省: 高齢者、障害者等の円滑な移動等に配慮した建築設計標準, 2012.7
- 16) 岩田三千子, 北本裕之: 弱視者の明視に関わる照度と輝度比の関係, 日本建築学会環境系論文集, 第732号, pp.121-128, 2017.2
- 17) 岩崎聖司, 坂口陸男, 秋山哲男: 視覚障害者誘導用舗装の現況に関する調査例, 舗装29-4, 1994
- 18) (財) 国土技術研究センター: 増補 改訂版 道路の移動等円滑化整備ガイドライン (道路のバリアフリー整備ガイドライン), 大成出版社, 2011
- 19) 神戸市: 神戸市バリアフリー道路整備マニュアル ～ユニバーサルデザインをめざして～ [2016改訂版], 2016
- 20) 竹田恵子, 川上 光彦, 菊岡雅治: 視覚障害者誘導用ブロックと舗装面の色彩の適切な組み合わせに関する実験的研究, 土木計画学研究・講演集No.18(2), pp.831-834, 1995.12
- 21) Michico Iwata: Research on the visibility of tactile blocks for visually impaired people, 24th Session of the CIE, pp.123-125, 1999

STUDY ON THE VISIBILITY OF CHROMATIC AND ACHROMATIC COLOR LINES FOR VISUALLY CHALLENGED PEOPLE

Michico IWATA^{*} and *Hiroyuki KITAMOTO*^{**}

^{*} Prof., Dept. of Living and Environmental Design, Faculty of Science and Engineering, Setsunan Univ., Ph. D.

^{**} Visiting Assoc. Prof., Graduate School of Human Life Science, Osaka City Univ., Ph. D.

In this study, the authors have sought under laboratory conditions to evaluate the visibility of the targets and the backgrounds consisting of 129 color combinations under two illuminance conditions. The results of our research are as follows:

(1) The visibility of chromatic and achromatic color lines for visually challenged subjects suffering from defective eye conditions, such as retinal and or ophthalmological diseases, which included defective colour vision, were analyzed. Findings showed that subjects with diseases of the retina scored lowest for achromatic color lines. However, no significant differences were recognized between the groups suffering from defective eye conditions. Additionally, subjects with defective color vision showed low scores for the chromatic color lines.

(2) The affirmation visibility rates of the achromatic color lines are represented by two graphs which show estimated formulas using luminance contrast or luminance ratio. Thus, a luminance ratio of 2 adhered to guidelines which indicated the leading road line for the almost half of the visually challenged subjects to be inadequate.

(3) The affirmation visibility rates of the chromatic colour lines were greatly affected by the luminosity difference between the lines and the backgrounds.

(4) The relationship between the affirmation visibility rates and chroma of 5R4, 5Y8, 5G5, 5B5 chromatic colour lines showed that as chroma increased, the affirmation visibility rate also increased. When the luminosity difference between these lines and the backgrounds increased, the effectiveness of the chroma did not impact upon the affirmation visibility rates. The 5Y8 line shows this characteristic especially.

(5) The affirmation visibility rates of the 5R4, 5Y8, 5G5, 5B5 chromatic color lines are shown in the graphs, each with a rate of 10%. The affirmation visibility rates of chromatic color lines depend on the luminance ratio and the chroma is clearly depicted by these figures.

(2016 年 7 月 9 日原稿受理, 2016 年 12 月 28 日採用決定)