種々の視環境における明るさ効率比

准員 鳥海 英一郎 (宇都宮大学) 非会員 森 井 莊 介 (宇都宮大学)
 専門会員 阿山 みよし (宇都宮大学) 非会員 熊 谷 毅 (宇都宮大学)

Brightness-to-Luminance Ratio of Colored Lights in Various Environments

Associate Member Eiichiro Toriumi (Utsunomiya University),
 Non Member Sosuke Morii (Utsunomiya University),
 Fellow Member Miyosi Ayama (Utsunomiya University)
 and Non Member Takeshi Kumagai (Utsunomiya University)

ABSTRACT

Although a number of studies have been reported on the distribution of the B/L ratio in the chromaticity diagram, most of the results were measured with a simple achromatic surround condition. In real life we encounter a variety of visual environments that contain many colors of different luminances. Thus we measured the distribution of the B/L ratio in the chromaticity diagram under five different surround conditions: one was a dark condition comparable with those in previous studies, and the others were pictures of real scenes such as daytime residential, daytime downtown, nighttime downtown, and nighttime residential areas. The results obtained under the nighttime residential surround showed good agreement with the results of the dark surround, whereas the results of the other three surround conditions showed some deviations from the dark surround results. The average deviation of the B/L ratio from the dark surround results increased as a function of the average luminance of the surround. This suggests that the average luminance of the scenery surround is an important factor in determining the B/L ratio.

KEYWORDS : brightness, luminance, B/L ratio, visual environment, chromaticity diagram

1. はじめに

現在の測光システムでは、色光の明るさを評価する量として、輝度が用いられている。輝度 L (心理物理量) は国際照明委員会 (CIE) により勧告されている明所視の分光視感効率 $V(\lambda)$ (明所視での人間の分光感度関数) を用いて次式で表される。

$$L = K_m \int_{\lambda} L_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで K_m は最大視感度、 $L_{e,\lambda}$ は刺激光の分光放射輝度である。しかし、(1)式で表された輝度は人間の知覚する明るさを正しく評価しない場合がある。例えば、光を等輝度に調整しても、有彩色は無彩色より明るく見えるという問題である。古くからこの問題は、「輝度と明るさの不一致」として指摘されている。この問題の原因として、以下の原因があげられる。

第1の原因として、先ほど示した(1)式の $V(\lambda)$ が適正な分光感度関数ではないということがあげられる。これは、 $V(\lambda)$ が主として交照法により得られた分光感度関数に基づいているからである。交照法とは、参照光とテスト色光を視野内の同じ位置で時間

的に交互に繰り返し呈示する方法で、ちらつきが一番小さくなったときに参照光とテスト色光の明るさが等しくなったと考える。このように、交照法はちらつき感を判断基準としているため、静止した視対象の明るさを正しく評価しているとはいえない。そこで、スペクトル光に対しては「等しい明るさ」を判断基準とする分光感度関数 $V_b(\lambda)$ が定められ、関連分野では既に活用され始めている¹⁾²⁾。この $V_b(\lambda)$ を求めるのには、直接比較法が用いられた。直接比較法とは、参照光とテスト色光を同時に呈示して、両者が等しい明るさになるように、参照光もしくはテスト色光のどちらかを調整する方法である。

第2の原因として、異なる波長光の間で明るさの加法的な不軌が起こることである。(1)式は、輝度の加法則成立を前提として複合光の輝度を波長積分で表している。しかし明るさについては加法則が成立しないので、(1)式のような積分の式で表現することはできない。

また、第1と第2の原因が同時に起こる場合にも「輝度と明るさの不一致」が生じる。

この様な現状から、CIE では「輝度と明るさの不一致」を克服する新測光システムの確立をめざし様々な検討がなされている³⁾。その中で、知覚的明るさを正しく評価する量として「等価輝

本論文の一部は平成9年度照明学会全国大会で鳥海英一郎が講演した。

表 1 先行研究の実験条件

Table 1 Experimental conditions of previous studies

実験者	発表年	刺激サイズ	輝度レベル	テスト 光個数	明るさマッ チングの手法	周辺視野	被験 者数
Brenman	1958	1'50", 2分視野	17cd/m ²	18	テスト光を 参照光に	白色(x,y)=(0.308, 0.333)	3
Sanders & Wysecki	1964	10", 2分視野	20cd/m ²	96	参照光を テスト光に	白色(x,y)=(0.294, 0.335)	20
Kaiser & Smith	1972	1'50", 2分視野	3.2cd/m ²	141	テスト光を 参照光に	暗黒	1
Alman	1977	2", 2分視野	10cd/m ²	26	テスト光を テスト光に	暗黒	17
矢口&池田	1980	2", 2分視野	100td	187	参照光を 参照光に	暗黒	1
Booker	1981	1", 円形視野	100cd/m ²	20	テスト光を テスト光に	暗黒	9
Burns et al.	1982	2", 2分視野	20td	89	参照光を テスト光に	暗黒	3
K.Uchikawa, H.Uchikawa & Kaiser	1984	45", 円形視野	150td	209	テスト光を 参照光に	暗黒	2
阿山, 黄&池田	1989	2", 2分視野	100td, 1td	177	テスト光を 参照光に	暗黒	1
Ayama & Ikeda	1998	2", 2分視野	120td	195	テスト光を 参照光に	暗黒	4

度」という概念が導入されている。これは、ある光源や物体の明るさを特定の参照光の輝度値で等価的に表すという考えである^{3)~5)}。

等価輝度 $L_{e,q}$ は次の式で求める。

$$L_{e,q} = L_{i(x,y)} \cdot (B/L)_{(x,y)} \dots\dots\dots (2)$$

$L_{i(x,y)}$ は色度 (x,y) の色光の輝度で、測光器等で測定することにより求められる。また、 $(B/L)_{(x,y)}$ は色度 (x,y) における明るさ効率比 (B/L 比) である。これは直接比較法を用い同じ明るさにそろえた参照光 (白色光もしくは特定の単色光) の輝度 B とテスト色光輝度 L の比率である。 B/L 比が1ならば、等輝度で等しい明るさに見える。また、 B/L 比が1以上なら、等輝度のテスト色光の方が参照光より明るく見える。この B/L 比は、複合光の色度により不規則に変化してしまう。このため、あらゆる複合光に対応させるには、色度図全域にわたり B/L 比を測定し、 B/L 比分布を求めることが必要である。

表1に代表的な先行研究^{6)~15)}の実験条件を示す。ここに示すように、明るさマッチング実験に基づく色度図全域の B/L 比分布や、個人差の範囲についての知見はすでに得られ、 B/L 比分布のデータはCIE第1部会の技術委員会 (Technical Committees) 1-21, 1-37においてまとめられつつある⁴⁾。しかし表1から分かるように、これらの先行研究の結果は、いずれも周辺視野が暗黒もしくは白色という標準的観測条件における実験結果である。しかしながら、私たちはこのような標準的観測条件下で暮らしているわけではなく、様々な視環境において生活している。

そこで本研究では、様々な視環境条件下での B/L 比分布を測定し、暗黒周辺条件における実験結果と比較する。これにより従来までに蓄積されてきた標準的観測条件における B/L 比分布特性との相違点を明らかにし、多様な視環境においても適用できる真に有用な新しい測光システム確立への基礎的知見を提供することが本研究の目的である。

2. 実験

2.1 実験原理

本研究の目的は、暗黒周辺という標準的観測条件だけでなく、様々な視環境での B/L 比分布を測定し、従来までに得られた研究知見の実際の視環境への適用範囲について検討することである。そのために、以下のような実験を行った。 B/L 比測定のための参照光とテスト光のまわりに実際の視環境を模した周辺視野を配置した刺激視野を作成した。周辺視野として、昼の住宅街、昼

の繁華街、夜の繁華街、夜の住宅街の4種を採用した。

これらに標準的観測条件として暗黒周辺条件を加え計5種類の条件で B/L 比の測定を行い、暗黒条件と他の条件における結果を比較した。

2.2 実験装置

図1に実験装置を示す。被験者用のブースは、90cm(W)×180cm(D)×180cm(H)で外部からの光を遮断するよう暗幕で覆った。被験者の正面に黒く塗った板を設置し、その板に長方形の観察窓を開けた。この観察窓からは周辺視野及びテスト光と参照光以外のものは見えないようにした。その奥に、周辺視野の画像を反射させて被験者に見せるために60cm×60cmの正方形の鏡を斜め45°に置き、鏡の中央から被験者までの距離が95cmになるよう設定した。この鏡には、鏡の奥に設置してあるディスプレイより呈示されるテスト光及び参照光を見せるために、中央部に楕円形の穴があいている。被験者は顎台により顎を固定し、常に同じ位置から刺激を見るようにした。また、被験者は左目を眼帯で隠し、右目だけで視野を観察した。なお、周辺視野呈示用ディスプレイにはMacintosh16"Color Display (表示色: 約32000色) を、またテスト光及び参照光呈示用ディスプレイには、Macintosh13"Color Display (表示色: 約1670万色) を使用した。テスト光及び参照光呈示用ディスプレイ及び、周辺視野呈示用ディスプレイは各々別のパソコンで制御した。

2.3 刺激視野

実験に使用したテスト光及び参照光の色度を図2のCIE1931 (x,y) 色度図上に示す。図中の三角形はCRTディスプレイの表示領域を示している。参照光として輝度43.6cd/m²、 $(x,y)=(0.27, 0.30)$ の白色光を使用した。また、テスト光はCRTディスプレイの表示領域をほぼ均等にカバーするように選んだ48点を使用した。CRTディスプレイの赤、緑、青のRGB信号をそれぞれ0~255までの256段階に変化させることによりテスト光の輝度がマウスの動きに連動して連続的に変化するように刺激を作成した。

暗黒条件以外の周辺視野は、昼の住宅街、昼の繁華街、夜の繁華街、夜の住宅街の各条件につき実際にそれらに相当する視環境において撮影した12枚の写真をスキャナー (MICRONICS社製SII CS-6151) で取り込んだものを用いた。各条件の周辺視野を1例ずつ図3に示す。また、各条件の平均輝度は、昼の住宅街27.19

図1 実験装置
Fig.1 Apparatus.

図2 テスト光及び参照光
Fig. 2 Reference and test stimuli plotted on the CIE 1931 (x, y) chromaticity diagram.

cd/m², 昼の繁華街22.58cd/m², 夜の繁華街9.21cd/m², 夜の住宅街2.09cd/m², 暗黒0.03cd/m²である。これらの値は以下の手順で求めた。まず各画像（実験では各画像は617×878ピクセルの解像度で表示）に10×10ピクセルのモザイクをかけ約5200画素に分割し、各々の画素のRGB値を求めた。次に出現したすべてのRGB値の組み合わせの色3012種についてその輝度及び色度をPHOTO RESEARCH PR-704 Spectra Scan Syatemにより測定した。この測定値を基に、輝度については各画像ごとに輝度の平均値を求め、さらに各条件ごとにそれらの結果を平均したもの（12枚の画像各々の平均輝度の平均値）を各々の条件の平均輝度とした。

被験者が観察する刺激視野を図4に示す。周辺視野は縦約13°、横約18°、また、テスト光及び参照光は直径約3°のほぼ円形の2分視野である。なお、鏡の厚みにより、中央部円形視野の左右に約0.2°の黒い縁がある。

2.4 手続き

明るさマッチングはテスト光の輝度を調整法によりマウスで変化させて行った。1セッションは、2分間の暗順応から始まり、テスト光48点からランダムに選ばれた24点各々に5種類の周辺条件をランダムにあてはめた24試行から構成される。1試行は、30秒間の暗順応、45秒間の周辺視野への順応、テスト視野が呈示さ

(a) 昼の住宅街

(b) 昼の繁華街

(c) 夜の繁華街

(d) 夜の住宅街

図3 周辺視野

Fig. 3 Surround field.

図4 刺激視野
Fig. 4 Stimulus field.

れ1回目の明るさマッチング、テスト光と参照光の左右位置を入れ替えた2回目の明るさマッチングから成る。マッチングの間テスト刺激は定常的に呈示された。48点のテスト光各々につき、5種類の周辺条件で12試行ずつ（2880回の明るさマッチング）行うために、被験者1人につき120セッション行った。周辺視野への順応の際、被験者には周辺視野全体を見るよう指示した。このとき、顎台により顔は固定され、視線を自由に動かして周辺視野を見るよう指示した。

被験者はMA（42歳、女性）、ET（22歳、男性）、SM（23歳、男性）の3名である。全員100ヒューテストにより色覚正常であることが確認されている。ETとSMは、これまでに明るさマッチング実験の経験はない。

3. 結果

図5(a)～(e)から図7(a)～(e)に、被験者MA、ET、SMの各条件における各測定点での明るさ効率比を基に、CIE1931xy色度図上に等 B/L 曲線を描いたものを示す。各条件において1測定点の値は、12試行（24回のマッチング）の平均値に基づいている。等 B/L 曲線は、各測定点の実測値からラグランジュ補間により一定値をとる点を求め、さらに滑らかな曲線を引くために、補間された点に対し平滑化スプライン関数を用いて曲線を描いた。図中の値は各々の等 B/L 曲線の対数で表した B/L 比である。また、黒く塗りつぶした三角形は参照光を、点線の三角形はRGBディスプレイの表示領域を示している。

どの被験者のどの条件においても0もしくは0.05の等 B/L 曲線は参照光の近くに位置し、色度図上の黄領域から青領域にのびる閉曲線もしくはそれに近い形状である。さらに、それより色度図の外側に向かうにつれて、 B/L 比の値は大きくなり、等 B/L 曲線群は全体で谷型の B/L 比分布特性を示している。

本研究の目的は様々な色や明るさの物体が存在する実際の視環境を模倣した種々の視環境条件における B/L 比分布と暗黒周辺の B/L 比分布を比較し、その相違点を定性的、定量的に検討することである。そこで、各被験者において4種の周辺条件の結果を、暗黒条件と比較してみた。

各被験者の暗黒条件と各周辺条件の等 B/L 曲線を比較するた

めに、図8(a)～(d)から図10(a)～(d)に各条件の結果に暗黒条件の結果を重ねたものを示す。見やすくするために $\log(B/L)$ の値が0, 0.1, および0.25の3本の曲線のみを示した。

3名の被験者の結果はともに、周辺視野の画像の色や明るさが暗黒条件と顕著に異なっている昼の繁華街・昼の住宅街の結果が暗黒条件の結果と大きく相違し、これに対して、周辺視野の画像が暗黒条件に最も似ている夜の住宅街の結果が暗黒条件に最も類似していることを示している。3名の被験者の結果、ともに夜の繁華街の条件は、その中間的な結果となった。

4. 考察

測定範囲全域について、暗黒条件と各条件の違いを定量的に比較するために、(3)式に示す非類似度指数を定義した。

$$\text{非類似度指数} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{48} \left\{ 1 - \frac{(B/L)_{\text{each cond.}, i}}{(B/L)_{\text{dark}, i}} \right\}^2}}{48} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $(B/L)_{\text{each cond.}, i}$ は昼の住宅街、昼の繁華街、夜の繁華街、夜の住宅街の4条件のそれぞれの測定点*i*における B/L 比を、また、 $(B/L)_{\text{dark}, i}$ はその点での暗黒条件の B/L 比を示している。48は、測定点の個数である。すなわち各測定点における暗黒条件からの相対的なずれの自乗の和を1/2乗し測定点数で割ったものである。非類似度指数が大きいほど暗黒条件の結果からのずれが大きいことを示し、完全に一致すれば0となる。ただし(3)式は、各測定点における{ }内の値の正負が測定範囲全体で相殺されることなく、1.0からのずれが積算されるよう分子を自乗和としてから1/2乗したため、全体として B/L 比が暗黒条件より大きい方にずれているのか、その逆かについての情報は表現されていない。図11に被験者ごとの各条件における非類似度指数を示す。3名の被験者に共通して昼の住宅街、昼の繁華街が同程度の大きい値となり、夜の繁華街、夜の住宅街となるにつれ非類似度指数は小さい値となり、暗黒条件に近い結果を示していることが分かる。

図11では、3名の被験者全員が、昼の住宅街や昼の繁華街で暗黒との差が大きく、夜の住宅街ではその差が小さいという傾向を示した。しかし、前述のように(3)式では、各条件の B/L 比が暗黒条件より増大する方向と減少する方向のどちらにずれているのか、については表されていない。この B/L 比のずれの方向については本研究の3名の被験者において増大と減少の両方のタイプが見られた。図12は、3名の被験者について、各周辺条件で B/L 比が暗黒条件より増大した測定点と減少した測定点の個数を示したものである。被験者MAとETは全体的に B/L 比が増大した点が多く、SMは逆に減少した点が多い。これは3. 結果において示した等 B/L 曲線の図からも分かる。例えば図9(a)と図10(a)を比較すると、図9(a)のETの結果においては、昼の住宅街の $\log(B/L) = 0.1$ の等 B/L 曲線は、暗黒条件のそれよりも色度図の内側にある。すなわち、同じ色度点を比べると、昼の住宅街のほうが暗黒条件に比べて B/L 比が増大していることを示している。これに対して、図10(a)のSMの結果においては、昼の住宅街の $\log(B/L) = 0.1$ の等 B/L 曲線が暗黒条件のそれよりも色度図の外側にある。すなわち、この被験者では同じ色度点を比べると昼の住宅街の方が暗黒条件より B/L 比が減少しているのである。このように被験者により反対の傾向を示す結果となった原因については、現在のところ不明である。

色刺激の見えは、その刺激自体が輝いているように見える光源

図5 等 B/L 曲線 (MA の結果)。図中の三角形は RGB ディスプレイの表示領域。▲は参照光。

Fig. 5 Equal B/L contours in scenery and dark surround conditions for observer MA. Numbers denote $\log B/L$ values. Black triangle represents the reference stimulus.

図6 等 B/L 曲線 (ET の結果). 図中の三角形は RGB ディスプレイの表示領域. ▲は参照光.

Fig. 6 Equal B/L contours in scenery and dark surround conditions for observer ET. Numbers denote $\log B/L$ values. Black triangle represents the reference stimulus.

図7 等 B/L 曲線 (SM の結果). 図中の三角形は RGB ディスプレイの表示領域. ▲は参照光.

Fig. 7 Equal B/L contours in scenery and dark surround conditions for observer SM. Numbers denote $\log B/L$ values. Black triangle represents the reference stimulus.

図8 暗黒条件と各周辺条件の等 B/L 曲線の比較 (MA の結果)

Fig. 8 Comparison of the B/L contours of scenery surrounds with dark surround condition for observer MA. Numbers denote $\log B/L$ values.

図9 暗黒条件と各周辺条件の等 B/L 曲線の比較 (ET の結果) (その1)

Fig. 9 Comparison of the B/L contours of scenery surrounds with dark surround condition for observer ET. Numbers denote $\log B/L$ values (1).

図9 暗黒条件と各周辺条件の等 B/L 曲線の比較 (ETの結果) (その2)

Fig.9 Comparison of the B/L contours of scenery surrounds with dark surround condition for observer ET. Numbers denote $\log B/L$ values (2).

図10 暗黒条件と各周辺条件の等 B/L 曲線の比較 (SMの結果)

Fig.10 Comparison of the B/L contours of scenery surrounds with dark surround condition for observer SM. Numbers denote $\log B/L$ values.

図11 非類似度指数
Fig.11 Dissimilarity indices for the scenery surrounds for three observers.

図13 非類似度指数と各周辺条件における平均周辺輝度との関係
Fig.13 Relationship between dissimilarity index and the average luminance of scenery surround condition.

色モードや、物体の表面のように見える表面色モードといった見えのモードに依存する¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁹⁾。明るさも色見えの1つの属性であり、色刺激の知覚的明るさは見えのモードと深く関わっている¹⁸⁾¹⁹⁾。色刺激の見えのモードは周辺条件に依存し、暗黒周辺視野中で物体としての手がかりを排除した観測条件での色刺激は光源色モードとなり、周辺に中程度の明度の灰色を提示すると物体色

図12 暗黒条件に比べて B/L 比が増大又は減少したテスト刺激の個数
Fig.12 Number of the test points of which B/L ratio is larger or smaller than that in the dark surround condition.

モードとなる¹⁹⁾²⁰⁾。岡嶋らは、見えのモードの相違が B/L 比にどのように影響するかを実験的に検討し、3名の被験者において表面色モードの方が光源色モードより B/L 比が増大する結果を示した¹⁸⁾。本研究では各周辺条件においてテスト刺激の見えのモードを測定してはいないが、暗黒条件では光源色モードに見え、平均輝度の高い昼の住宅街や昼の繁華街では、表面色モードに近い見え方をしていたと考えられる。したがって、本研究における被験者 MA と ET の結果は、岡嶋らの結果と一致するが、被験者 SM の結果は一致しない。しかし、暗黒周辺条件よりも灰色周辺や複数の色刺激がテスト刺激の周辺に配置された条件の方が、 B/L 比が減少するタイプの被験者が存在することが、武田ら²¹⁾により報告されている。これは本研究における被験者 SM と同じ傾向である。見えのモードと B/L 比の関係における個人差については今後の検討課題である。

次に図13に各周辺視野の平均輝度と非類似度指数の関係を示す。横軸に各周辺条件の平均輝度を、縦軸に非類似度指数を示す。このように縦軸をとると、縦軸の値が大きくなるほど暗黒条件の B/L 比とのずれが大きくなる。図中の曲線は各被験者の結果を対数関数でフィッティングしたもので、結果をよく近似している。周辺がある条件で暗黒より増大するタイプの被験者も減少するタイプの被験者も共に対数関数で近似できるのは興味深い。これより、周辺輝度が高くなるにつれ各条件と暗黒条件との B/L 比の差が対数関数的に広がるのが分かる。周辺条件の平均輝度が、谷形の B/L 比分布の傾斜を決める重要な要因と考えられる。

では周辺視野の色度はどのように影響しているのだろうか。昼の繁華街や夜の繁華街の方が、看板や人の服などがあり、昼の住宅街や夜の住宅街より色どりの多いのは当然である。しかし、各々の色は輝度や面積がそれぞれ異なり、実際の視環境における複雑な色彩条件を定量的に表現するのにどのような変数が適当かというのは難しい問題である。ここでは、第一近似として輝度は

無視して色度分布にのみ注目してみた。各周辺条件における平均輝度を算出するための測光において、各々のRGB値の組み合わせについて色度も測定した。各周辺条件の画像12枚において存在した色度点の画素数の総合計を図14(a)~(d)に示す。予想どおり昼の繁華街、夜の繁華街の色度分布は、昼の住宅街や夜の住宅街より広い。しかし、暗黒条件とのB/L比分布の相違は昼の住宅街・昼の繁華街が、夜の繁華街・夜の住宅街より大である。すなわち、広い色度分布の条件で暗黒条件との差が大になるという訳ではない。このため、本研究の実験条件の範囲では色度分布の影響は少ないと考えられる。

今回の実験の結果、本研究で採用した5種の周辺条件においては、周辺条件による等B/L曲線の大まかな形状の変化は見られないが、細部についてはB/L比の値に変化が見られた。また、夜の住宅街の結果が、暗黒条件の結果に最も類似していることが分かった。これらのことより、既存のデータを様々な視環境条件に適用するには、各々の周辺条件にあった補正をする必要があると思われる。

本研究で用いた周辺視野は、実際の視環境を撮影した画像を用いたが、写真の現像や電子化の段階で色度・輝度共に加工され、またCRTディスプレイを用いたので視野サイズが小さくなり、

図14(a) 昼の住宅街の色度分布

Fig.14(a) Chromaticity distribution map of the daytime residential area.

図14(b) 昼の繁華街の色度分布

Fig.14(b) Chromaticity distribution map of the daytime downtown area.

図14(c) 夜の繁華街の色度分布

Fig.14(c) Chromaticity distribution map of the nighttime downtown area.

図14(d) 夜の住宅街の色度分布

Fig.14(d) Chromaticity distribution map of the nighttime residential area.

現実の視環境とはかなり隔たりがある。それに加え、今回の実験では周辺視野の画像のさらに外側は暗黒であった。このため、視野サイズを大きくするなど実験条件を改善しなければならない。また、テスト刺激及びマッチング刺激をCRTディスプレイを用いて呈示したため、CRTディスプレイの色表示領域についての B/L 比分布の測定にとどまった。より一般的な物体や、色光の明るさ評価に適用しうるデータとするためには、色度図全域の B/L 比分布を測定する必要がある。また、本研究では周辺視野の輝度は参照刺激の輝度より低い場合、周辺視野の輝度が参照刺激の輝度より高い場合や同じ輝度の場合を測定していない。岡嶋らによると背景色の輝度が高くなるにつれ見えのモードは表面色モードに近付き、また同じ色度点においては B/L 比が増加するという¹⁸⁾。従って周辺視野の輝度が参照刺激の輝度と等しいまたはそれより高い場合は、全体的に B/L 比が増加すると考えられる。ただし岡嶋らは均一な無彩色周辺刺激を用いており、本研究のように周辺視野が実際の視環境の場合でも同様の結果が得られるかについては、実験的検討が必要である。

本研究においては、周辺視野とテスト刺激が明らかに文脈的に解離されておりテスト刺激は実際の視環境上の物体としては認知されていない。その結果、テスト刺激が周辺視野上においてポツカリと別の物体が存在しているように感じられる。実用上問題なのは、実際の視環境における色刺激の明るさと輝度の関係である。しかし、周辺視野上の物体としてテスト刺激を認知させるには、様々な条件において不自然でない刺激を作らねばならない。また少なくとも参照刺激は、各々の視環境において同じサイズであることが望ましい。仮に看板や信号など一般に存在するものを模倣しテスト刺激を作ったとしても、刺激が小さすぎたり、住宅街の条件などでは違和感がでてきたりしてしまうと思われる。このため、様々な条件に合う刺激を作るのは非常に困難である。そこで本研究では、 B/L 比測定、いかにすれば等価輝度の実際の視環境における実用性の検討という大きな課題への第一段階の取り組みとして、テスト視野を周辺視野の風景とは無関係の二分視野にした。認知的な違和感があるという欠点はあるが、逆にテスト視野として従来までの B/L 比測定に関する多くの基礎研究と同様の二分視野を用いたことにより、長年にわたり蓄積されてきた知見との関係を直接的に検討することができる。

正方形や長方形の色票といった抽象的図形のテスト刺激を用いて得られた実験結果の、実際の視環境を模擬した刺激における適用可能性は、いくつかの研究において示唆されている。池田らは本や置き物を配して書斎を模したテスト室を設定し、無彩色と有彩色のテスト色票各一枚について風景の照明条件に対して自然に感じるテスト色票の輝度と風景の照度の関係を測定した²²⁾。その結果、実験で得られた関係式の傾きは、実際の物体ではなくモンドリアンパターンを用いた実験²³⁾で得られた値と非常に近いものとなった。また篠田らは傘を差した母と子の絵を用いて、その図形の印象が明度ではなく明るさに基づく等価明度(1. はじめに、で述べた輝度と等価明度を反射物体に対して適用した概念)に対応し、長方形の色票とグレースケールを用いた実験から得られた等価明度の算出式からある程度予測されることを示した²⁴⁾。何らかの工夫をして、実際の視環境の中の各々の輝度と明るさの定量的関係を明らかにすることは、今後の重要な研究課題である。

5. 結び

現在、CIEでは、輝度と明るさの不一致を克服した新測光シス

テムの確立を目指して様々な検討がなされている。そのなかで等価輝度という概念が導入され、その等価輝度の算出に必要な B/L 比の色度図全域における測定が多数行われている。しかしそれらの研究で用いた周辺視野は、暗黒などの標準的観測条件のみである。そこで本研究では、暗黒周辺だけでなく様々な周辺視野での B/L 比分布を測定し、暗黒条件との比較を行った。その結果、周辺条件により B/L 比の値に違いが見られ、既存のデータを様々な視環境に適用するには、各々の視環境にあった補正を行う必要があることが示された。

今回の実験の結果、周辺条件による B/L 比の変化には、周辺輝度が強く影響していることが示された。このため、周辺輝度により、 B/L 比分布にどのような影響があるかを定量的に推定することができれば、既存のデータを様々な視環境に適用する際の補正に対する手がかりになる。本研究の結果は各測定点における B/L 比の暗黒条件との差が周辺平均輝度の対数関数で良好に近似されることが示されたが、被験者数も少なく、色度図全域での B/L 比分布でもないの、一般的な条件に適用するにはさらに詳しい実験的検討が必要である。

参 考 文 献

- (1) M. Ikeda, H. Yaguchi and K. Sagawa: "Brightness Luminous-Efficiency Functions for 2° and 10° Fields", J. Opt. Soc. Am., 72, pp.1660-1665 (1982).
- (2) "Spectral Luminous Efficiency Functions Based Upon Brightness Matching for Monochromatic Point Sources 2° and 10° Fields", CIE Publ. No.75, CIE Vienna (1988).
- (3) M. Ikeda and K. Sagawa: "New Photometric System Based on Heterochromatic Brightness Matching at Photopic, Mesopic, and Scotopic Vision", in Proceeding of CIE 22nd Session, CIE Vol.1, pp6-7, Vol.2, pp.59-61 (1991).
- (4) K. Sagawa: "Scope of CIE TC1-37. Supplementary System of Photometry.-A Compromise Between Visual System and Practical Applications-", in Proceeding of '94 International Symposium of the Illuminating Engineering Institute of Japan, Illum. Eng. Inst. Jpn., pp.63-68 (1994).
- (5) M. Ikeda and K. Sagawa: "Equivalent Luminance", in Proceedings of CIE 23rd Session, CIE, Vol.1, pp.491-492 (1995).
- (6) E. J. Breneman: "Dependence of Luminance Required for Constant Brightness upon Chromaticity and Chromatic Adaptation", J. Opt. Soc. Am., 48-4, pp.228-232 (1958).
- (7) C. L. Sanders and G. Wyszecki: "Correlate for Brightness in Terms of CIE Color Matching Data", in Proceedings of CIE 17th Session, Vienna, 1963, CIE Central Bureau, Paris, pp.221-230 (1964).
- (8) P. K. Kaiser and P. Smith: "The Luminance of Equally Bright Colors", in Proceedings of CIE 17th Session, Barcelona, 1971, CIE Central Bureau, Paris, pp.143-144 (1972).
- (9) D. H. Alman: "Errors of the Standard Photometric System when Measuring the Brightness of General Illu-

mination Light Sources", J. Illum. Eng. Soc., 7, pp.55-62 (1977).

- (10) 矢口, 池田:「明るさの加法性による Helmholtz-Kohlrausch 効果の検討」, 照学誌, 64-10, pp.566-570(1980).
- (11) R. L. Booker: "Luminance-Brightness Comparisons of Separated Circular Stimuli", J. Opt. Soc. Am., 71-2, pp. 139-144 (1981).
- (12) S. A. Burns, V. C. Smith, J. Pokorny and A. E. Elsner: "Brightness of Equal-Luminance Lights", J. Opt. Soc. Am., 72-9, pp.1225-1231 (1982).
- (13) K. Uchikawa, H. Uchikawa and P. K. Kaiser: "Luminance and Saturation of Equally Bright Colors", Color Res. Appl., 9-1, pp.5-14 (1984).
- (14) 阿山, 黄, 池田:「色度図全域における明るさ効率比の測定」, 光学, 18-10, pp.549-557 (1989).
- (15) M. Ayama and M. Ikeda, "Brightness-to-Luminance Ratio of Colored Light in the Entire Chromaticity Diagram", Color Res. Appl. (in press).
- (16) 岡嶋, 池田:「表面色モードと光源色モードにおける対応色の関係」, 光学, 20-6, pp.363-368 (1991).
- (17) 内川:「開口色と表面色モードの色の見え」, VISION, 6, pp.61-67 (1994).
- (18) 岡嶋, 阿山, 内川, 池田:「光源色モードと表面色モードにおける明るさ効率の比較」, 光学, 17-11, pp.582-592(1988).
- (19) 山下:「色の見えのモードと知覚色の変化」, 色学誌, 21-1, pp.15-24 (1997).
- (20) 岡嶋, 池田:「白色光における輝面色モードと表面色モードの見えるの定式化」, 光学, 18-10, pp.558-564 (1989).
- (21) 武田, 阿山:「単色及び複数色提示における明るさ知覚について」, カラーフォーラム JAPAN'95論文集, pp.163-166 (1995).
- (22) 池田, 篠田, 内田:「景色の照度増大にともなうテスト刺激の照明認識視空間内部への移行」, 照学誌, 81-11, pp.1004-1009 (1997).
- (23) 池田, 本永, 松澤, 石田:「色パターンの照明認識視空間と局所照明認識」, 光学, 22-5, pp.289-298 (1993).
- (24) 篠田, 池田, 新元:「図形の印象における等価明度の重要性」, 照学誌, 81-8A, pp.695-699 (1997).

(受付日1997年11月25日/採録日1998年6月4日)

とりへい いちろう
鳥海英一郎 (准員)

宇都宮大学大学院工学研究科情報工学専攻

在学中。日本視覚学会会員。

昭和49年3月10日生れ。平成9年3月宇都宮大学工学部情報工学科卒業, 同年4月同大学大学院工学研究科に進学, 情報工学専攻に

もり い しょうすけ
森井 荘介 (非会員)

昭和48年5月19日生れ。平成9年3月宇都宮大学工学部情報工学科卒業。現在, TDC ソフトウェアエンジニアリング株式会社勤務。

あやま みよし
阿山みよし (専門会員)

宇都宮大学工学部情報工学科

昭和29年4月10日生まれ。昭和53年東京工業大学理学部応用物理学科卒業, 昭和58年東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士後期課程修了。工学博士。視覚情報処理, 色彩科学, 視聴覚相互作用の研究と教育に従事。照明学会, 日本照明委員会, 日本視覚学会, 応用物理学会(日本光学会), 日本色彩学会, 映像情報メディア学会, 米国光学会 (OSA) 会員。

くまがい たけし
熊谷 毅 (非会員)

宇都宮大学工学部情報工学科

1953年9月24日生まれ。1976年名古屋大学工学部電気学科卒。1978年名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。博士(工学)。宇都宮大学助手, 名古屋大学助手を経て, 現在宇都宮大学工学部情報工学科助教授。生体信号処理, 並列計算機アーキテクチャ, 言語処理系, 画像検索などの研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, ACMなどの会員。