



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

岡嶋 克典・阿山みよし・内川 恵二・池田 光男

東京工業大学大学院総合理工学研究科 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1988年6月10日受理)

Comparison of Luminous-Efficiency for Brightness in a Light-Source Color Mode and a Surface Color Mode

Katsunori OKAJIMA, Miyoshi AYAMA, Keiji UCHIKAWA and Mitsuo IKEDA

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology Graduate School,
4259, Nagatsuda, Midori-ku, Yokohama 227

Colored lights with high saturation appear brighter than white light at equal luminance. The discrepancy between brightness and luminance (Helmholtz-Kohrausch effect) has been investigated in a light-source color mode and a surface color mode. We know that color appearance is very different in these two modes; but there has not been any discussion of the difference in B/L values for the two modes. In this paper, we created both modes using the same Munsell color chips. B/L values for the same subjects in each mode were compared. It is shown for two luminance levels that, even when colored lights in both modes have identical chromaticity coordinates and luminance, B/L values are not necessarily the same. These results suggest that when the brightness of colored lights is measured, it is necessary to consider the mode in which these lights appear.

1. はじめに

現在, 明るさに対応する測光量として, 分光感度 $V(\lambda)$ を基にした輝度が定義されている。しかし, 輝度は人間の明るさ知覚を正しく反映せず, 色度の異なる色光では, 等しい輝度においても等しい明るさに見えない場合がある。これは, 直接比較法によって求められた明るさの分光感度が, $V(\lambda)$ に比べて短波長領域と長波長領域で感度が高いことに対応している¹⁾。輝度と明るさの違いは, われわれの実生活におけるさまざまな視環境の明るさを測光する場合に大きな問題となっている。

ある色光の輝度と明るさの違いの程度を表わす量として, 色光の白色光に対する明るさ効率 B/L がよく用いられる。 B/L は次式で定義されている。

$$B/L = (\text{参照白色光の輝度}) / (\text{参照白色光と等明るさのテスト色光の輝度})$$

B/L は, テスト色光の色味の明るさへの寄与を反映する量と考えられており, $B/L > 1$ ならば等輝度のテスト色

光のほうが白色光よりも明るく, $B/L = 1$ ならば等輝度で両者は等しい明るさに見えることになる。

明るさの実験には, 光源色と表面色の2種類の光刺激が使用されている。照明光の下での物体は, それ自身が発光しているようには見えなく, 照明光に照らされているように見える。このような見えを, 表面色モードの見えという。これに対して, 自己発光体を見たときの見えは光源色モードの見えといい, 両者の見えは明らかに異なる。したがって, 明るさ効率 B/L も, 両モード間で異なっている可能性がある。

古くから, 色票などの表面色モードの刺激を使った明るさマッチングの実験が数多く行なわれてきている。Sanders ら²⁾や Wyszecki ら³⁾は色票の明るさマッチングの実験を行ない, 実際の明るさ知覚に対応する明度指標 (observed lightness index L) を, 刺激の3刺激値の2次式で表わしている。他方, 光学系を使った明るさ効率の測定実験も数多く行なわれているが, この場合, テスト光も参照光も光源色モードの刺激である。Sanders

ら⁴⁾は、光源色を使用した実験を行ない、 B/L の値は色光の彩度に対してほぼ線形に増加すると結論している。しかし、Uchikawa らは B/L の値は彩度が同じでも主波長によって異なる^{5,6)}こと、また Yaguchi らは刺激の空間的条件⁷⁾などの実験条件によって変化することを指摘している。

このように B/L の値は、それぞれのモードにおいて求められ、実験条件による特性の差も測定されているが、モードの違うデータの取扱いについては明確にされていない。Ware ら⁸⁾は、色度座標値による明るさ効率の実験式を決定する際、光源色モードのデータと表面色モードのデータを区別せずにまとめて平均しているが、モードの異なる実験データを同じように扱ってよいかは明らかではない。逆に、モードの異なるデータは、全く別個のものであるという保証もない。しかし、今までの両モードにおける明るさ効率の実験データには、同じ被験者で物理的に同じ刺激を使用したものはないために、単純にモード間の明るさ効率を比較することはできない。Sanders ら⁴⁾の結果は、被験者によって B/L は大きく異なることを示しており、データの違いが実験条件に起因するのか被験者の違いによるのかを、区別できないからである。そこで、モードの違いによる効果を、他の条件を揃えて、同じ被験者で測定することが必要である。また、われわれの周囲には光源と反射物体が混在していることから、光源色モードと表面色モードという異なる刺激条件における明るさ効率を直接的に比較することは、実用面においてもきわめて重要なことである。

本研究では、色票を用いても光源色モードの見えをつくることのできる装置によって、物理的に同一な刺激を同一被験者に対して表面色モードと光源色モードで呈示し、モードの異なる色光の明るさ効率 B/L を測定し、比較を行なった。また、背景刺激の明度によるテスト色票の見えのモードの変化についての実験も行なった。本研究は、照度レベルとテスト色票が異なる実験1と実験2から構成されている。

2. 方 法

2.1 装 置

本研究では、反射物体である色票を使って表面色モードと光源色モードの見えを作り、両モードでの明るさ効率を測定した。そのために、通常の表面色の実験のときとは異なる、特殊な色票呈示装置が必要となった。Fig. 1 (a) が実験に使用したブースの概略図である。上のAの部分にテスト刺激、下のBの部分に参照刺激(グレー

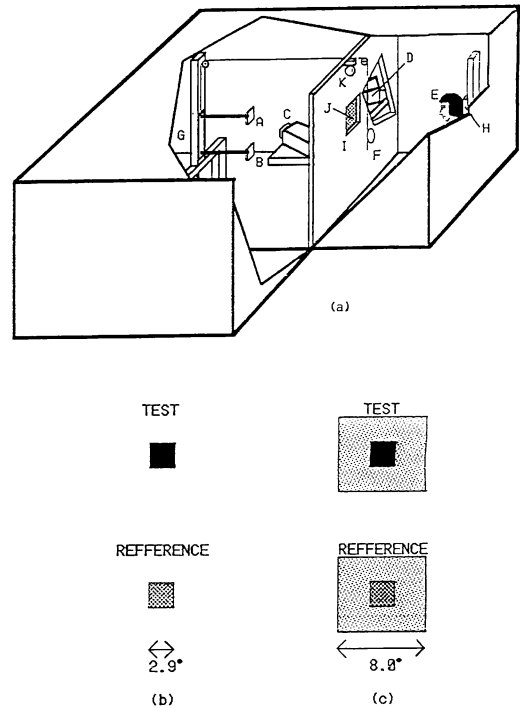


Fig. 1 Schematic diagram of the booth and stimuli. See text for details.

スケール) が装着される。上の位置にある色票は、斜め前から2台のハロゲンライドプロジェクターC、Dによって照明される。刺激A、Bは着脱が容易なように、水平棒にマジックテープで固定されている。被験者Eは、紐Fを上げ下げすることによって、上下2枚の刺激を支えるレールG上の垂直棒を動かし、刺激A、Bを被験者の前に交互に呈示することができる。被験者は後頭部を支持板Hの位置に固定し、顔前部の開口枠Iを通して刺激を見る。ブース内部はすべて暗幕で覆われており、プロジェクターは刺激のみを照らすように設置されている。こうすることにより、刺激の背後は被験者からは見え、刺激だけが暗黒中に浮いているように見える。

被験者は、刺激A、Bを交互に呈示させて、両者を同時比較することができる。このとき、刺激A、Bの昇降に連動して開口枠のシャッターJが開閉し、適切な位置に色票がきたときのみ被験者は刺激を観察する。また、シャッターが閉じている間は被験者の頭上にあるハロゲンランプKを点灯し、被験者が完全に暗順応をしないように配慮した。刺激呈示位置における照度レベルは、実験1で 10500 lx、実験2で 1200 lx である。実験2の場合、2台のプロジェクターの前にNDフィルターを設置

Table 1 Munsell notation and chromaticity coordinates for the 8 test chips and 4 background chips in Exp. 1. Luminance values are given in cd/m^2 .

Color Chip No.	Munsell notation	Chromaticity coordinates		Luminance
		x	y	L
Test				
1-1	7 B 6/6	0.3160	0.3814	1291.0
1-2	10 G 6/6	0.3268	0.4507	1371.0
1-3	2 G 5/8	0.3307	0.5173	906.9
1-4	5 Y 5/8	0.5031	0.4719	1103.0
1-5	7 YR 4/9	0.5570	0.4236	722.9
1-6	10 RP 4/12	0.5929	0.3250	731.8
1-7	2 RP 4/12	0.4748	0.3420	1064.0
1-8	5 PB 5/8	0.3144	0.3345	862.5
Background				
1-9	N 0.25/	0.4400	0.4268	10.9
1-10	N 3/	0.3996	0.4009	330.4
1-11	N 6/	0.4046	0.4044	1496.0
1-12	N 9/	0.4148	0.4083	3860.0

Illuminance level 10500 lx

して、光量を減じた。刺激の呈示位置と被験者までの距離は1mである。

2.2 刺 激

テスト色票には修正マンセル色票を、実験1では8枚、実験2では20枚使用した。実験1, 2とも、参照刺激には、0.5ステップのバリュウ1.0から9.5のグレースケールを使用した。Fig. 1(b), (c)にそれぞれ背景刺激なし、背景刺激ありのときの刺激の呈示状態を示す。被験者は(b)と(c)のそれぞれの条件で、テスト刺激と参照刺激のどちらかの刺激だけを見ることができ、刺激のサイズは $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ (視角 $2.9^\circ \times 2.9^\circ$)で、背景刺激のサイズは $14\text{cm} \times 14\text{cm}$ (視角 $8.0^\circ \times 8.0^\circ$)である。

Table 1, 2にそれぞれ実験1, 2で使用した刺激のマンセル記号と色度座標値および輝度値を示す。**Table 1**のNo. 1-1~1-8はテストの色票, No. 1-9~1-12は背景刺激として使用した4枚の色票である。同様に、**Table 2**のNo. 2-1~2-10はバリュウ4, No. 2-11~2-20はバリュウ7のテスト色票, No. 2-21~2-22は背景刺激として使用した2枚の色票である。

刺激光の物理的分光組成が同じでも、呈示条件によって色の見えがカテゴリー的に全く異なることが、定量的な実験⁹⁾によって明らかにされている。たとえば、背

Table 2 Munsell notation and chromaticity coordinates for the 20 test chips and 2 background chips in Exp. 2. Luminance values are given in cd/m^2 .

Color chip No.	Munsell notation	Chromaticity coordinates		Luminance
		x	y	L
Test				
2-1	5 R 4/8	0.5596	0.3664	69.4
2-2	5 YR 4/8	0.5534	0.4153	67.5
2-3	5 Y 4/6	0.5008	0.4625	60.5
2-4	5 GY 4/6	0.4220	0.5166	56.2
2-5	5 G 4/8	0.2683	0.5224	50.7
2-6	5 BG 4/8	0.2278	0.4219	46.1
2-7	5 B 4/6	0.2612	0.3640	48.0
2-8	5 PB 4/6	0.3134	0.3360	48.6
2-9	5 P 4/6	0.4081	0.3333	58.2
2-10	5 RP 4/8	0.5110	0.3348	62.6
2-11	5 R 7/8	0.5059	0.3860	249.5
2-12	5 YR 7/8	0.5117	0.4181	242.4
2-13	5 Y 7/6	0.4690	0.4544	238.9
2-14	5 GY 7/6	0.4240	0.4760	217.9
2-15	5 G 7/8	0.3336	0.4723	206.0
2-16	5 BG 7/8	0.2983	0.4350	197.1
2-17	5 B 7/6	0.3179	0.3882	194.6
2-18	5 PB 7/6	0.3502	0.3654	206.3
2-19	5 P 7/6	0.4061	0.3650	222.1
2-20	5 RP 7/8	0.4795	0.3663	241.8
Background				
2-21	N 3/	0.3947	0.4024	31.6
2-22	N 6/	0.4014	0.4026	153.0

Illuminance level 1200 lx

景が何も無いときには光源色的な橙色 (orange) に見える刺激も、背景刺激を与えると表面色的な茶色 (brown) に見える。したがって、本実験の呈示方法のように背景刺激がなく、暗黒中に浮いて見えるテスト色票は、光源色モードの見えを呈することが期待できる。また、今までの表面色による明るさの実験では、背景紙 (background) として N 5⁽²⁾などを使用していることから、本実験の背景刺激 N 6/ の条件は、過去の表面名モードの実験に対応している。

2.3 方 法

実験1では、高い照度レベル (10500 lx) でのテスト色票の見えのモードの背景刺激による変化を測定した (実験 1-1)。これは、**Table 1** に示されている4枚の背景刺激と背景刺激なしの5種類の呈示条件で、8枚のテ

スト色票が「光源色モード」に見えるか、「表面色モード」に見えるかを判断し、その割合を得点で答えることによって行なった。被験者は、光源的な見えと表面的な見えに対して、合計 10 点になるように得点を割り当てる。たとえば、刺激が完全に光源的に見えるときは「光源色モード 10」、物体の表面としてしか見えないときは、「表面色モード 10」、光源的にも表面的にも見えて区別できないときは「光源色モード 5、表面色モード 5」というように応答する。1 セッション内で、実験者はテスト刺激をランダムな順序で呈示する。被験者は、応答するまで刺激を自由に観察できるので、呈示時間は一定ではないが、通常数秒であった。

次に、実験 1-1 と同じテスト色票と背景刺激を用いて、同じ照度レベルでの各背景条件における明るさ効率 B/L を測定した (実験 1-2)。ここではグレースケールを参照刺激として、テスト色票と明るさマッチングを行なった。実験者は刺激呈示装置の上部にテスト刺激を、下部に参照刺激を共にランダムな順序で装着し (Fig. 1 参照)、用意ができると同時にシャッターを開ける。被験者は手元のロープを上下することによって、自由にテスト刺激と参照刺激を継時比較する。明るさマッチングは調整法によって行ない、被験者は参照刺激をテスト刺激と等明るさになるように、実験者に参照刺激 (グレースケール) の明度をより「低く」あるいは「高く」変えるように要求する。実験者はその要求にしたがい、参照刺激を付け替える。この手順を数回繰り返し、被験者はテスト色票と参照色票の明るさを「最も近く」なるように合わせる。

実験 2 では、実験 1 より低い照度レベル (1200 lx) でテスト色票を 20 枚使い、Table 2 に示されている 2 種類の背景刺激ありと背景刺激なしの 3 種類の呈示条件を設定して実験を行なった。ここでは、テスト色票の見えの評価と明るさマッチングを同一セッション内で行なった。被験者は、実験 1 と同様の方法でテスト刺激の明るさを参照刺激で合わせた後、見えの評価を行なうわけである。

同一条件に対して実験 1 では 5 回、実験 2 では 10 回の測定を繰り返し行なった。

2.4 被験者

被験者は、実験 1 では KO (25 歳, 男), KU (37 歳, 男), KS (24 歳, 男) の 3 名、実験 2 では KO, KU, MA (33 歳, 女) の 3 名で、全員色覚正常である。KO, KU, MA は心理物理実験の経験があるが、KS はナイーブな被験者である。

3. 結 果

Fig. 2 に、実験 1-1 の 3 人の被験者の結果を示す。横軸はテスト刺激の色票名を、縦軸はその色票を「光源色モード」と答えた点数の平均値を示し、データ点の縦棒は標準偏差を表わす。シンボルの違いは背景条件の違い

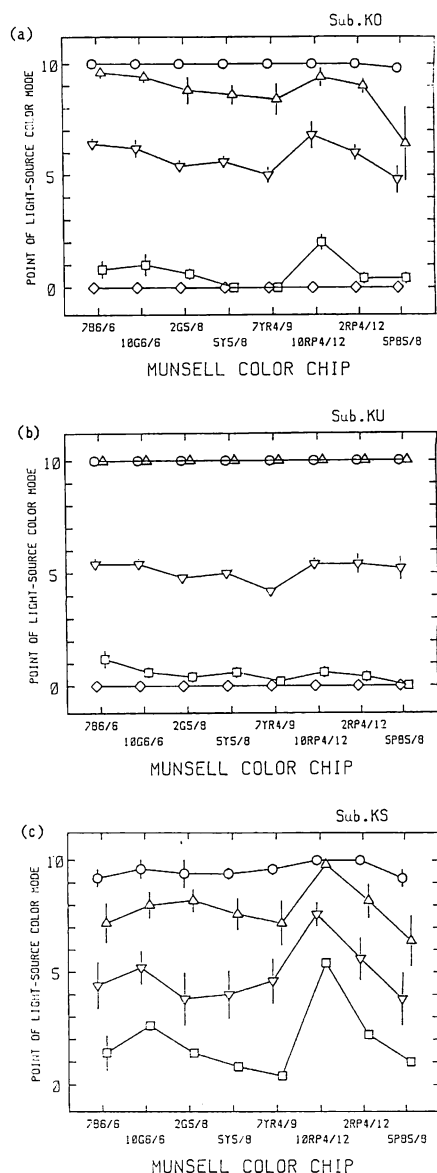


Fig. 2 Point values of light-source color mode for the test stimuli on each background condition (O none, Δ N 0.25%, ∇ N 3%, \square N 6% and \diamond N 9%) in Exp. 1-1. Error bars of standard error of the mean are shown when they are larger than the plot symbol. Observers: KO (a), KU (b) and KS (c).

いを表わしており, \circ は背景刺激なし, Δ は N 0.25/, ∇ は N 3/, \square は N 6/, \diamond は N 9/ の条件を示している. 縦軸の 0 は表面色モードの得点 10 に相当する. 全被験者に共通した傾向として, 背景刺激がない条件で, 刺激色票はほぼ完全に「光源的」な見えを呈していることがわかる. つまり, 色票であっても背景に何も存在しないような条件で呈示されると, 色票は光源色モードの刺激になるのである. 背景刺激の明度が高くなるにつれて, 刺激の見えは「光源色モード」から「表面色モード」の見え方に移行していく. 背景刺激が N 6/ の条件になると, 被験者 KS のテスト色票 10 RP 4/12 の場合を除くと, 全被験者ともに「光源的」な見えはほとんどなくなり, 色票本来の「物体表面的」な見えとなる. 刺激が光源色モードで見えるときの被験者の内観は, スリガラス状の発光体が輝いているような見えを呈したということであった. これらのことから, 光源色モードと表面色モードの二つの見えが, 背景刺激の明度を変えることによって, 色票で実現できることが示された.

被験者による結果の違いは, 各人の見えの判定規準の違いから生じていると考えられる. テスト刺激による結果の違いは, 輝度や色がテスト刺激によって異なるためであり, テスト色票の見えは背景条件だけで一意的に決定されるものではないことを示している. また, 背景刺激が N 3/ のときの刺激の見え方は, 光源的にも表面的にも見える中間的なモードを呈している. 被験者の内観によれば, どちらのモードにも見えるところがあるということであった. このことから, 光源色モードと表面色モードは完全に排他的な関係ではなく, 背景条件によって連続的に変化する性質であることがわかる.

Fig. 3, 4 は, それぞれ実験 2 のテスト色票の明度 4 と 7 の見えのモードの評価結果を示す. 横軸, 縦軸は **Fig. 2** と同様に, それぞれテスト刺激の色票名と「光源色モード」と答えた点数の平均値を示し, データ点の縦棒は標準偏差を表わす. シンボルの違いは背景条件の違いを表わし, \circ は背景刺激なし, ∇ は N 3/, \square は N 6/ の条件を示している. どちらも実験 1-1 の結果と同様に, 背景刺激なしのときは光源色モードの見えを呈し, 背景刺激の明度が高くなるにつれて表面色モードの見えに移行しており, 背景刺激が N 6/ になると, ほぼ完全に表面色モードの見えになっている.

これまでの通常の表面色による実験では, 他にもさまざまな物体が視野の中にあるので, 背景刺激の明度によって見えのモードが変わるということはなかった. しかし, 本実験のように刺激以外の物が視野内に存在せず,

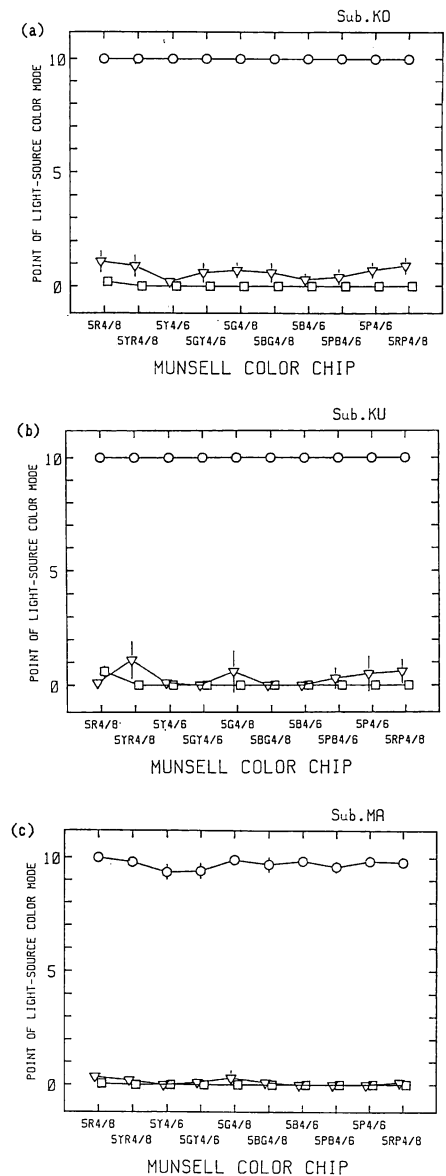


Fig. 3 Point values of light-source color mode for the test stimuli on each background condition (\circ none, ∇ N 3/ and \square N 6/) in Exp. 2. Error bars denote standard error same as **Fig. 2**. Munsell-value of all the test stimuli is 4. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

テスト色票の背景刺激だけでテスト色票の見えが決定されるならば, 背景刺激の明度によって見えのモードが変化するのである. これは, 設定した背景刺激だけによってつくられた, 他の物体の影響が全く入らない, 理想的な表面色モードと考えることができる.

Fig. 5 は, 実験 1-2 の色票の明るさ効率 B/L の結果

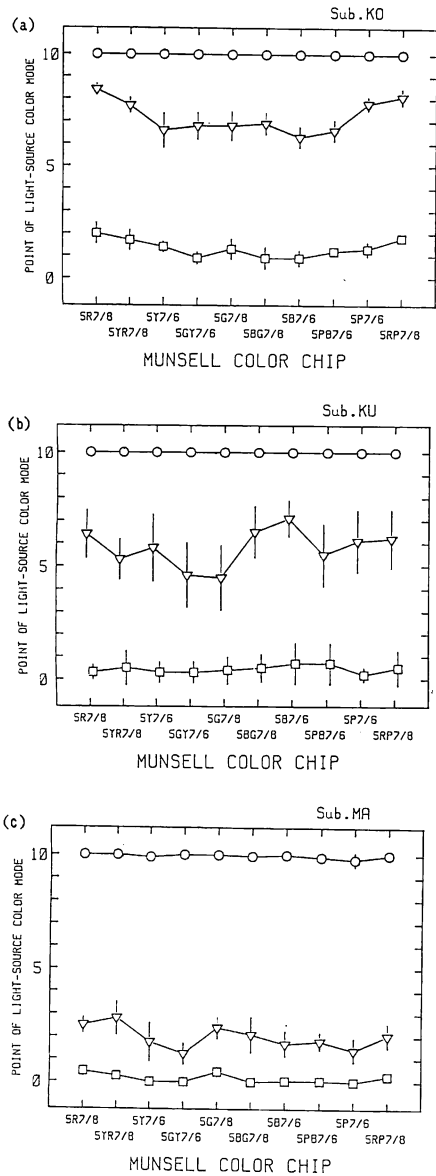


Fig. 4 Point values of light-source color mode for the test stimuli on each background condition (○ none, ▽ N3/ and □ N6/) in Exp. 2. Error bars denote standard error same as Fig. 2. Munsell-value of all the test stimuli is 7. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

のうち, 背景刺激なしと背景刺激が N6/ のときの結果を, xy 色度図上に示したものである. B/L は次のように定義される.

$$B/L = L_{ref} / L_{test}$$

L_{test} : テスト色票の輝度, L_{ref} : テスト色票と等明るさの参照色票の輝度

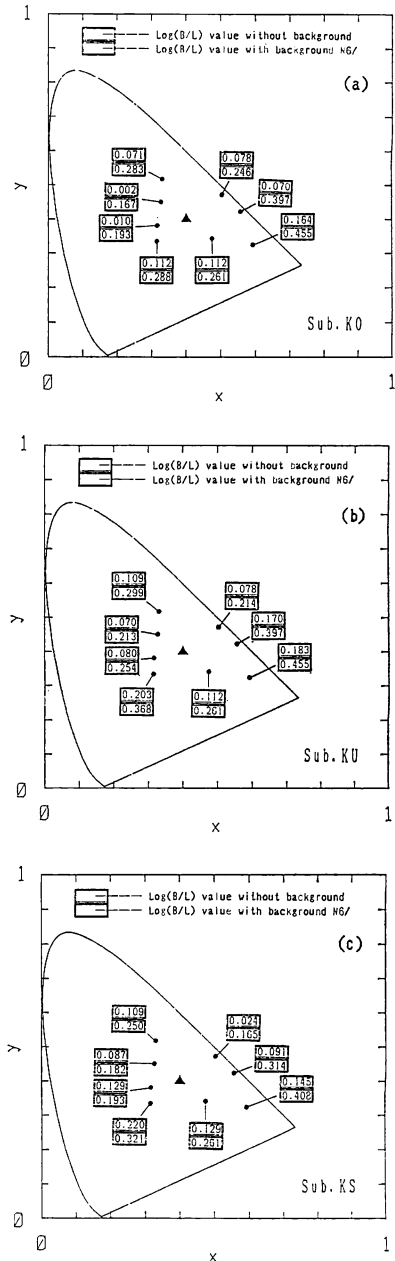


Fig. 5 $\text{Log}(B/L)$ values for the test stimuli without background and with N6/ background conditions in Exp. 1-2 plotted in the CIE-1931 chromaticity diagram. Observers: KO (a), KU (b) and KS (c).

背景刺激なしの条件は光源色モードの状態に, 背景刺激 N6/ の条件は表面色モードの状態に相当するものと考えられる. テスト色票の色度を示すシンボル (●) の数字は, 上段が光源色モードの, 下段が表面色モードでの明るさ効率 B/L の対数値である. また, 中央のシンボル (▲)

は、参照光の色度図上の位置を示す。テスト光と参照光が等輝度で等明るさになるとき、 $\log(B/L)$ の値は0となるが、どちらのモードにおいても、結果はすべてのテスト色票で $\log(B/L) > 0$ である。これは、彩度の高い

色光のほうがより少ない輝度で同じ明るさに見える現象 (Helmholtz-Kohrausch 効果) を示しているが、両モード間の $\log(B/L)$ の値に違いが見られる。表面色モードの色光の明るさ効率、物理的特性が同じ光源色モード

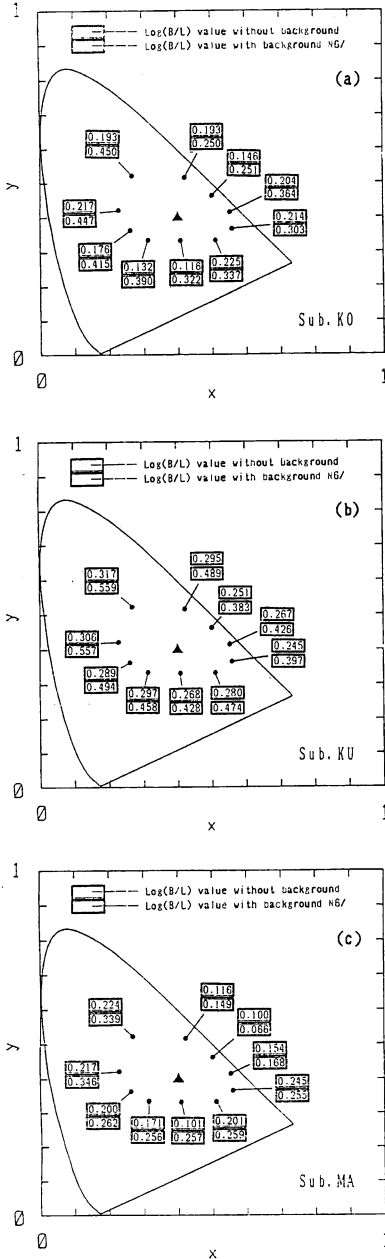


Fig. 6 $\log(B/L)$ values for the test stimuli without background and with N 6/ background conditions in Exp. 2 plotted in the CIE-1931 chromaticity diagram. Munsell-value of all the test stimuli is 4. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

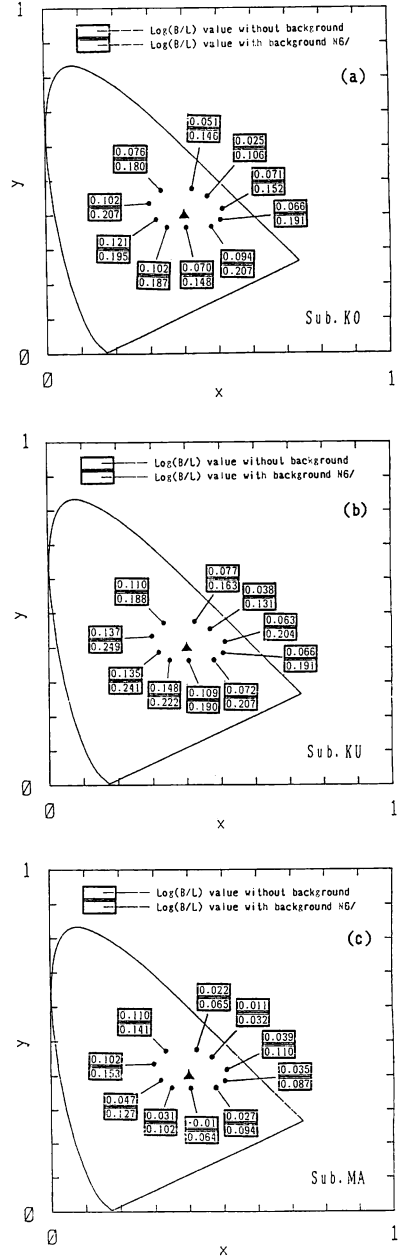


Fig. 7 $\log(B/L)$ values for the test stimuli without background and with N 6/ background conditions in Exp. 2 plotted in the CIE-1931 chromaticity diagram. Munsell-value of all the test stimuli is 7. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

の色光の明るさ効率に比べて大きい。この差は、 B/L の対数値において数倍から数十倍もあり、明るさ効率の値は、刺激の見え方によって大きく異なることがわかる。

Fig. 6, 7 は Fig. 5 と同様に、実験 2 の結果のなかからそれぞれテスト色票の明度 4 と 7 の背景刺激なしと背景刺激 N 6/ の条件におけるテスト色票の明るさ効率 B/L の結果を抜き出したものである。これも、Fig. 5 と同様な傾向を示している。したがって、二つの照度レベルにおいて、両モード間に色光の明るさ効率の違いがあることが確かめられたわけである。

Fig. 8 は、実験 1-2 の全背景条件でのテスト色票の明るさ効率 B/L の結果を示す。横軸はテスト刺激を、縦軸は B/L の対数値を、シンボルの違いは背景条件の違いを表わす。背景刺激の明度が上がるにつれて、色光の明るさ効率 B/L は増大している。これは、実験 1-1 の結果も合わせて考えると、光源色モードから表面色モードになるにつれて、徐々に色光の明るさ効率は増加することを示している。また、背景刺激が N 6/ と N 9/ の条件は、ともに表面色モードであるが、被験者 KS を除いて、背景刺激 N 9/ のときのほうが背景刺激 N 6/ のときよりも明るさ効率の値は大きい。したがって、表面色モードであっても色光の明るさ効率は一定ではなく、背景条件によって変化することがわかる。

Fig. 9, 10 は、それぞれ実験 2 のテスト色票の明度 4 と 7 の全背景条件でのテスト色票の明るさ効率 B/L の結果を示す。これも、Fig. 8 と同様な傾向を示している。これらのことから、同じ被験者であっても、見えのモードや背景条件によって、色光の明るさ効率は大きく異なるということが明らかとなった。

4. 考 察

本実験の結果から、同じ色度と輝度をもつ刺激でも、見えのモードによって明るさ効率が増加することが明らかとなった。光源 (光学系) を使った明るさの実験結果と、色票などの物体の反射光による明るさの実験結果は、それぞれ光源色モードと表面色モードにおける結果であるから、そのまま両者を単純に比較することはできない。明るさの実験を行なうときは、刺激が光源に見えるか物体表面に見えるかを、常に確認する必要があるといえよう。また、実際の知覚に忠実な明るさの測光を行なうためには、見え方のモードの違う場合の 2 種類のデータを用意し、測定物によって使い分けるなどの操作をする必要があると考えられる。また、表面色モードであっても明るさ効率が異なる場合もあることから、表面色

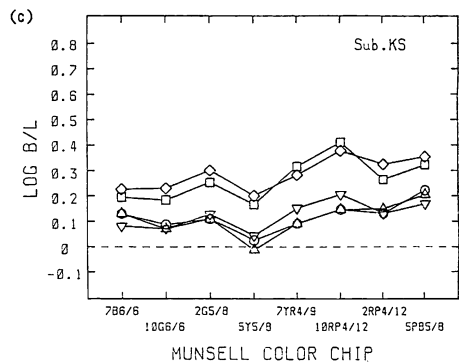
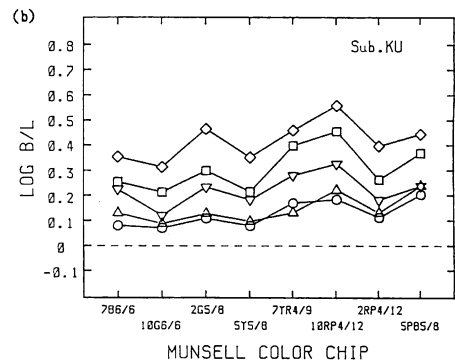
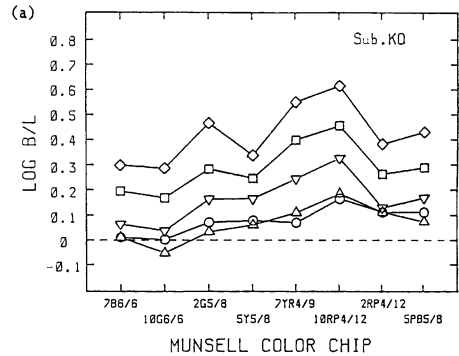


Fig. 8 Log (B/L) for the test stimuli on all background conditions (○ none, Δ N 0.25/, ∇ N 3/, \square N 6/ and \diamond N 9/) in Exp. 1. Observers: KO (a), KU (b) and KS (c).

の明るさ効率を、どのような条件で測定するかの問題も残る。これについては、さらに詳しい研究が必要であろう。

Fig. 11 は、色度図上に実験 2 のバリュー 4 のテスト色票の等 B/L 線をプロットしたものである。ここで等 B/L 線は、 $\log(B/L)$ のデータ値で参照白色光と各テスト色票の色度図上の距離を線形内挿して得られた点を、直線で結んで描いたものである。ただし、被験者 MA の

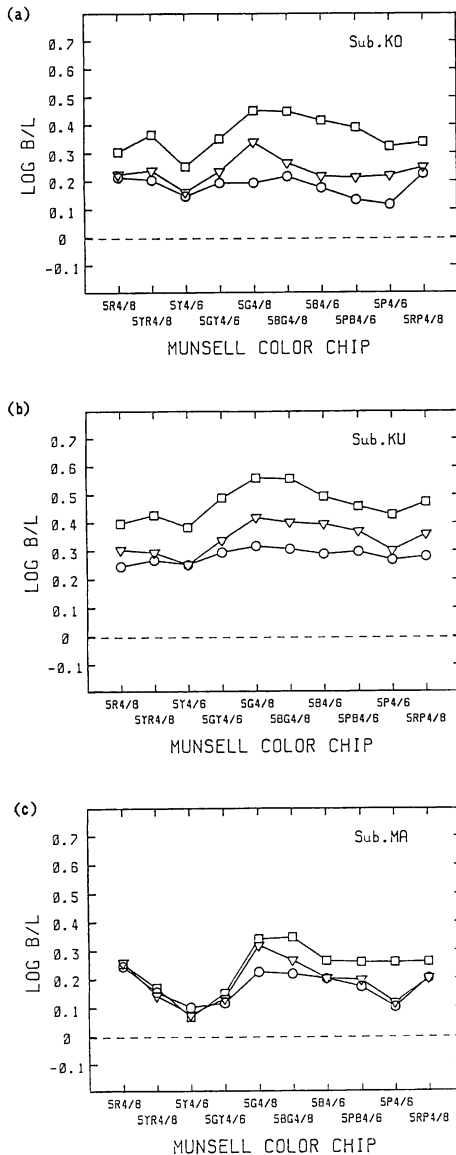


Fig. 9 $\text{Log}(B/L)$ for the test stimuli on all background conditions (\circ none, ∇ N3/ and \square N6/) in Exp. 2. Munsell-value of all the test stimuli is 4. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

背景刺激 N6/ の条件では、内挿不可能な点があるため不連続な線になっている。背景刺激なしと背景刺激 N6/ のときの等 B/L 線の形状はほぼ相似であり、その形状は被験者 MA を除いてほぼ横長の楕円形になる。これは、Ware ら⁸⁾による右下がりの縦長楕円形の等 B/L 曲線と異なっている。Ware らの B/L 実験式の導出には、単色光のデータが大きく寄与しており、そのため

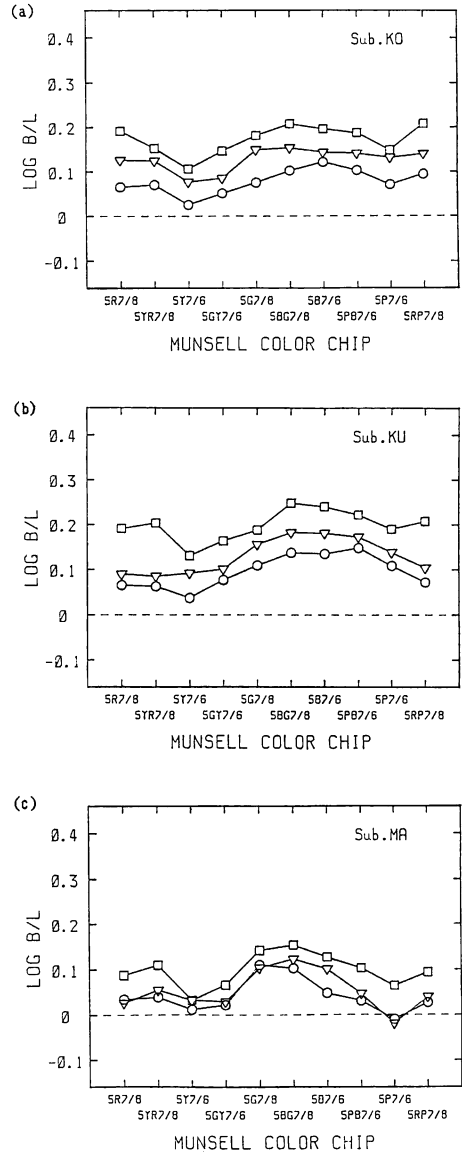


Fig. 10 $\text{Log}(B/L)$ for the test stimuli on all background conditions (\circ none, ∇ N3/ and \square N6/) in Exp. 2. Munsell-value of all the test stimuli is 7. Observers: KO (a), KU (b) and MA (c).

色度図内部 (白色) 付近の等 B/L 線の形が歪められている可能性がある。

外界の視覚情報を認識する場合に、対象物が光源なのか物体表面なのかを判断することは非常に重要なことである。実験 1-1 および実験 2 から得られた刺激の見えのモードの評価結果から、刺激が物理的に光源でなくても光源だと判断する場合があることがわかった。また、光

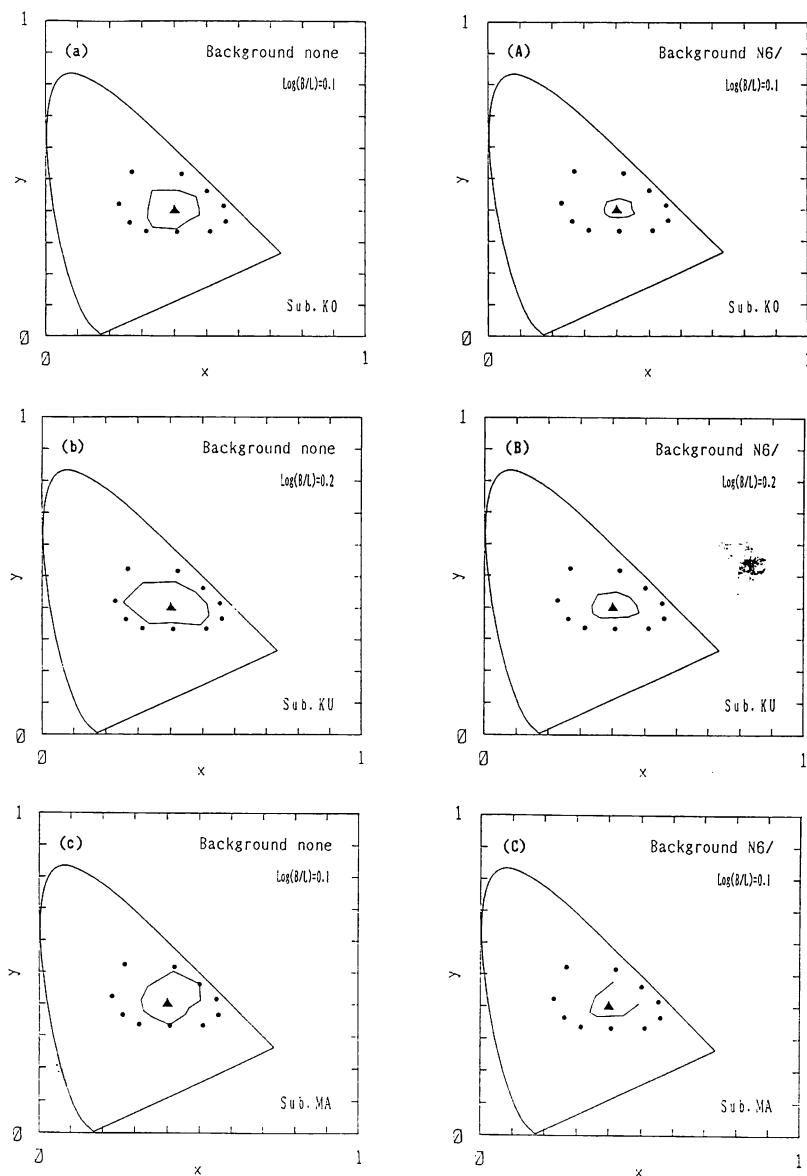


Fig. 11 Solid lines are contour lines of $\log(B/L)$ for the test stimuli without background ((a), (b) and (c)) and with N6/ background ((A), (B) and (C)) conditions in Exp. 2 plotted in the CIE-1931 chromaticity diagram, Munsell-values of all the test stimuli is 4. Observers: KO (a, A), KU (b, B) and MA (c, C).

源的にも表面的にも見える中間的な見えが存在することも確かめられた。Ullman¹⁰⁾ は、色票からなるモンドリアン図形の中に実際の光源を埋め込ませた刺激を使い、光源の検出法についての実験を行なっている。その結果、光源の検出には「視野中の最も高い強度」、「絶対的に高い強度」、「局所的コントラスト」、「大局的コントラスト」、「平均強度レベルとの関係」、「刺激明度の計算」

の六つが重要な要素であると述べている。本実験で背景刺激の明度を変えたことは、テスト色票と背景刺激との局所的コントラストを変化させたことに相当する。本実験のように、反射物体だけで作られた刺激においても、注目している刺激光とその周囲にある別の刺激光との相互作用が、見えのモードの決定にとって重要な要因であることが確かめられたわけである。

他の刺激光の見えに影響を与えている刺激光を、ここでは無彩色刺激を含めて効果色 (effective colors) と呼ぶことにすると、通常の色票の実験の際にはテスト色票に対するさまざまな効果色が存在しているが、本実験では背景刺激として使用した色票のみが、テスト色票に対する効果色となる。効果色としての背景刺激がなくなると、テスト色票は光源色見えになった。これを逆にいかえると、表面色とは効果色によって影響を受けた光源色と考えることもできる。したがって表面色と光源色は、これまで考えられてきたような別々の性質の異なる見えではなく、効果色を考慮することによって連続的に扱える可能性がある。

Fuldら¹¹⁾は光源刺激を用いて、周辺明度を高くすると白の応答が減少して黒の応答が増加することを、カラーネーミングによって示している。これは、黒の応答が表面色に特有なものであることを考えると、刺激を表面色モードにするためにはその周辺明度がある値にならないなければならないことを示唆しており、本実験の結果とよく一致する。

また、見えのモード間の色光の明るさ効率の違いは、効果色の明るさへの影響が有彩色と無彩色で異なることによるものと考えられる。表面色モードの場合に、黒の誘導 (blackness induction) が、輝度チャンネルの出力は減少させ、色チャンネルは変化させないならば、光源色モードのときに比べて無彩色光の明るさは、有彩色光よりも大きく減少する。そのために、白色光に対する色光の明るさ効率が増加したと考えれば、本実験結果を定性的に説明することができる。

5. ま と め

本研究では、二つの照度レベルで色票の見えのモードを変えて呈示し、モードの違いにおける色光の明るさ効率 B/L を比較した。その結果、テスト色票は、背景刺激がないか背景刺激の明度が低いと光源色モードの見えとなり、背景刺激の明度が高くなるにつれて表面色モードの見えに次第に移行することが明らかとなった。ま

た、同じ分光放射特性の色光でも、見えのモードによって明るさ効率は異なることが示された。表面色モードのときの色光の明るさ効率は、光源色モードのときの明るさ効率に比べて大きい。このことから、明るさを考える際には刺激の見え方を考慮する必要があると結論できる。刺激の見えのモードや、背景刺激による色光の明るさ効率の変化を定量化することは、明るさのメカニズムや実用的な明るさ測光システムを考える際において重要なことであると考えられる。

文 献

- 1) M. Ikeda, H. Yaguchi and K. Sagawa: "Brightness luminous-efficiency functions for 2° and 10° field," *J. Opt. Soc. Am.*, **72** (1982) 1660-1665.
- 2) C.L. Sanders and G. Wyszecki: "Correlate for lightness in terms of CIE-tristimulus values. Part 1," *J. Opt. Soc. Am.*, **47** (1957) 398-404.
- 3) G. Wyszecki and C.L. Sanders: "Correlate for lightness in terms of CIE-tristimulus values. Part 2," *J. Opt. Soc. Am.*, **47** (1957) 840-842.
- 4) C.L. Sanders and G. Wyszecki: "Correlate for brightness in terms of CIE color matching data," *CIE Proceedings 15th Session, Vienna, 1963*, Paper P-63.6 (CIE Central Bureau, Paris, 1964) pp. 221-230.
- 5) K. Uchikawa, H. Uchikawa and P.K. Kaiser: "Luminance and saturation of equally bright colors," *Color Res. Appl.*, **9** (1984) 5-14.
- 6) 内川弘美, 内川恵二, P.K. Kaiser: "色光の luminance, brightness, saturation の関係," *光学*, **11** (1982) 187-194.
- 7) H. Yaguchi: "Heterochromatic brightness matching with checkerboard patterns," *J. Opt. Soc. Am. A.*, **4** (1987) 540-544.
- 8) C. Ware and W.B. Cowan: "Specification of heterochromatic brightness matches: A conversion factor for calculating luminances of stimuli which are equal in brightness," *NRC Report* (NRC, Ottawa, 1984).
- 9) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R.M. Boynton: "Influence of achromatic surround on categorical perception of isolated surface colors," *Vision Res.*, (submitted, 1988).
- 10) S. Ullman: "On visual detection of light sources," *Biol. Cyber.*, **21** (1976) 205-212.
- 11) K. Fuld and T. A. Otto: "Colors of monochromatic lights that vary in contrast-induced brightness," *J. Opt. Soc. Am. A.*, **2** (1985) 76-83.