

色光の見えのモードと明るさとの色度特性比較

鯉田孝和・内川恵二

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設
〒226 横浜市緑区長津田町 4259

(受付 1996 年 3 月 7 日; 改訂受付 1996 年 4 月 15 日; 受理 1996 年 4 月 26 日)

Comparison in Chromatic Characteristics of Modes of Appearance and Brightness for Colored Lights

Kouwa KOIDA and Keiji UCHIKAWA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology
4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226

(received 7 Mar 1996; received in revised form 15 Apr 1996; accepted 26 Apr 1996)

We studied shift in modes of color appearance for colored lights of 10 cd/m^2 surrounded by achromatic stimuli of various luminances ($0\text{-}30 \text{ cd/m}^2$). The subject estimated the magnitude of modes of color appearance. The results show that modes of color appearance for equal-luminance colored lights vary with their chromaticities. Saturated stimuli in reddish and blueish regions tend to appear in the aperture color mode. We also measured the brightness-luminance ratio for the same colored lights with the surround of 10 cd/m^2 . It is obviously shown in these results that shift in modes of color appearance for colored lights are related to their brightness.

1. はじめに

色見えには主に2つの全く異なる見えのモードがある¹⁾。1つは表面色(物体色)モード, もう1つは開口色(光源色)モードである。表面色モードとは色が物体の表面に付いているような見え方であり, 開口色モードとは対象自体が発光しているような見え方である。われわれが日常見ている色はほとんどが表面色モードの見えであるが, 測色学のデータは開口色モードから得られている²⁾。眼に入る光の物理組成が等しくても, 見えのモードによって知覚される色は全く異なってしまう

ことが知られている³⁾。したがって, 呈示条件によって色見えのモードがどのように変化するかを調べることは, 色知覚のメカニズムを探る上だけではなく, CRTと印刷物とのカラーマッチングといった測色学的な応用面でも非常に重要であるといえる。

見えのモードは, 実際にその刺激が発光体か反射表面かで決まるものではなく, テスト刺激と周辺刺激の呈示の仕方によって変化させることができる⁴⁾。テスト刺激は, 周辺刺激を十分明るくすると表面色モード, 十分暗くすると開口色モードとなる¹⁾。過去の研究では

このような方法で、2つの見えのモードを作りだし、色の見えの違いを測定している^{3,5)}。しかしながら、どの程度の強さの周辺刺激を与えれば開口色モードから表面色モードへ移行するのか、あるいはテスト刺激の色度とモード変化とはどのような関係にあるのかといった色の見えのモード変化に関しては正確にはわかっていない。

本研究では、色の見えのモード変化をテスト刺激の色度を変数として調べ、さらに、テスト刺激の明るさとモード変化の関係を明らかにすることを目的とした。実験1では色光の見えのモードの評価を行う。見えのモードは中心の刺激と周辺の刺激との輝度条件で表面色モードと開口色モード間を移動する。本実験では中心刺激として輝度一定の色光を用い、白色の周辺刺激の輝度を段階的にとることで、色光の見えのモードの変化を実現する。実験2では、色光見えのモード評価変化と比較するために輝度一定の色光の色度の違いによる明るさ変化を測定する。

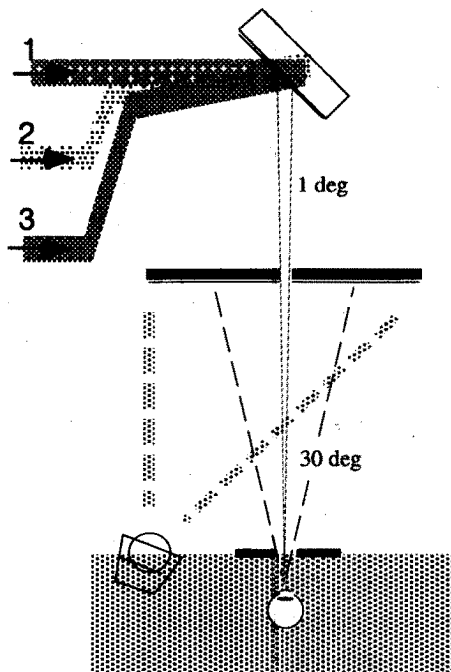


Fig. 1 Schematic diagram of configuration of apparatus. See text for details.

2. 方法

2.1 装置

中心に呈示するテスト刺激は、単色光や470 nm と 630 nm の光を混色して得た赤紫線上の色光を含め、実在色全領域をカバーするために光学系を用いて作る。光学系はキセノンランプを光源とした3光路から構成され、光路1と3では干渉フィルターにより任意の単色光をつくり、光路2では白色光を作る。Fig.1 に示すようにこれらの色光は完全白色板上で加法混色され、被験者はその反射光を手前に置かれた白色のアーチャーを通じて見る。このアーチャーは直径 5 mm の円形で、このサイズが刺激サイズとなる。アーチャーの被験者側の面はプロジェクターで照明され、周辺刺激となる。アーチャーまでの視距離は 30 cm、刺激サイズは視角直径 1 度である。アーチャーの手前にはシャッターが取り付けられていて、刺激呈示時以外には中心刺激が見えないようになっている。被験者は歯形台で頭の位置を固定され、眼前 5 cm におかれた直径 3 cm の円形アーチャーから右眼で刺激を見る。周辺刺激のサイズは、このアーチャーで決定され、視角直径 30 度である。

2.2 刺激

実験1では、中心に呈示するテスト刺激の輝度は 10 cd/m^2 一定である。テスト刺激の色度は xy 色度図上で、白色 ($x=0.33, y=0.33$) を中心として、おおよそユニーク色とその間の8方向の放射線状(主波長: 420, 490, 510, 540, 570, 600, -495, -540 nm, -は補色主波長を示す)に広がり、各方向でそれぞれ5段階の輝度純度(0.0, 0.45, 0.63, 0.78, 0.89, 1.0)計41点とった(Fig. 2 参照)。周辺刺激は白色 ($x=0.31, y=0.37$) で輝度は 0, 5, 10, 15, 30 cd/m^2 の5段階を設定した。実験2では、テスト刺激の色度は実験1と同じ41点を用いる。周辺刺激は 10 cd/m^2 のみを用いる。

2.3 手続き

被験者は試行を始める前に周辺刺激に対し

て5分間明順応する。実験1ではその周辺刺 者はテスト刺激を見た後にその見えのモード
 激で、テスト刺激が3秒間呈示される。被験 を次のようにして評価する。完全な開口色

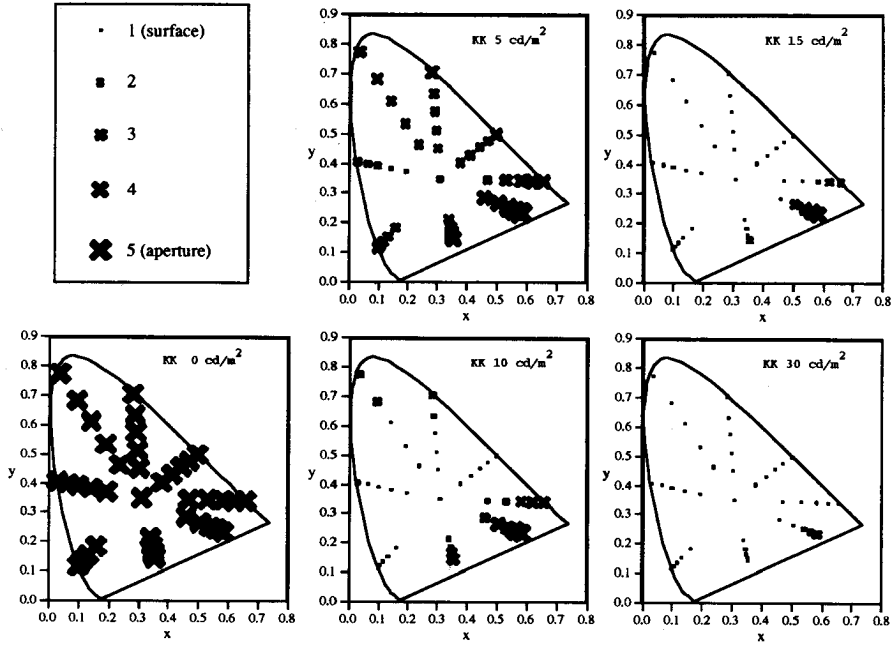


Fig. 2 Modes of appearance for subject KK. Each diagram corresponds to luminance of surround stimuli. Results are arranged at the 1931 CIE x,y chromaticity coordinates of the each stimulus. The symbol size denotes the score of aperture mode perception. The score correspond to average of twice estimations.

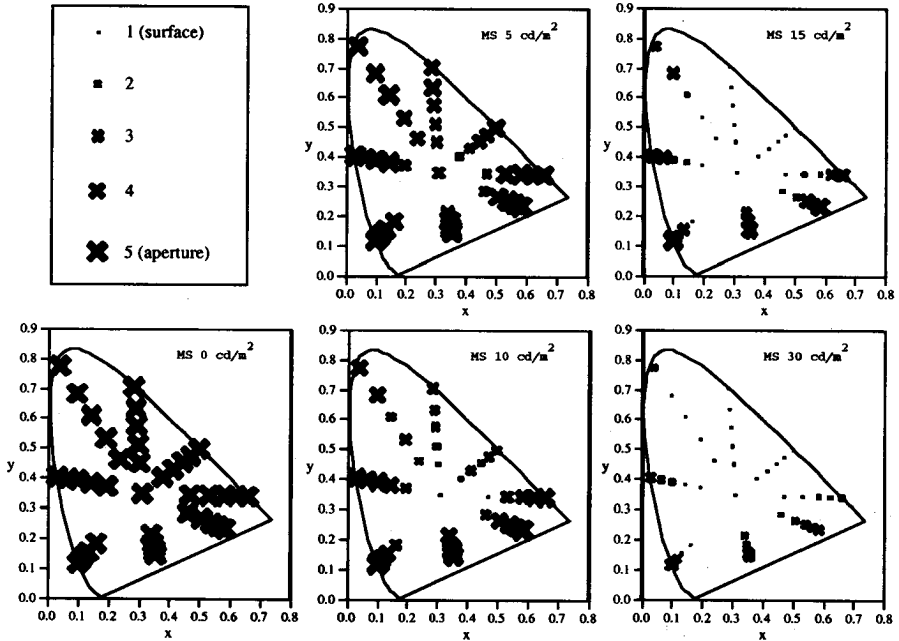


Fig. 3 Modes of appearance for subject MS. The meaning of the diagrams and symbols are the same as those in Fig. 2.

モードならば5, 完全な表面色モードならば1として, その間を3段階に分け, 合計5段階のマグニチュード評価を行う。テスト刺激は被験者が応答するまで何度も見ることができる。これが1試行である。次の試行のテスト刺激は41個の刺激中からランダムに1つ選ばれる。以上41回の試行を5つの周辺条件に対して行う。同じ条件での評価を2回繰り返す。

実験2では, 中心のテスト刺激に対して周辺刺激を参照刺激として, 明るさマッチングを行う。ここでは明るさマッチングの方法として上下法を用いた。1試行では1テスト刺激の明るさマッチングを行う。高輝度を出発点とするテスト刺激系列と, 低輝度を出発点

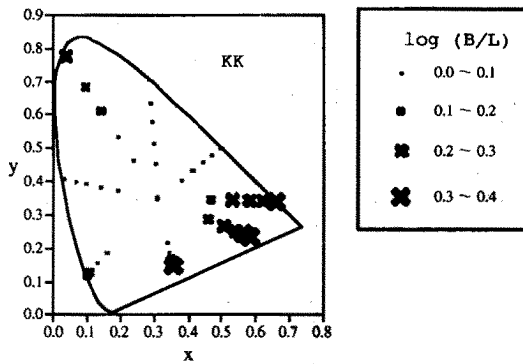


Fig. 4 Heterochromatic brightness matched data for subject KK. Symbol size denotes the $\log(B/L)$ score. B/L means the ratio of the comparison luminance of the surround stimuli (B) to the matched luminance of the chromatic stimuli (L).

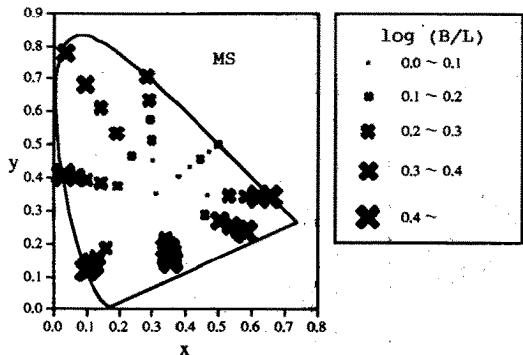


Fig. 5 Heterochromatic brightness matched data for subject MS. The meaning of the diagrams and symbols are the same as those in Fig. 4.

とするテスト刺激系列の2つの系列を用意し, それぞれの系列の提示はランダムとする。被験者はテスト刺激が3秒間提示された後, 周辺刺激に対してテスト刺激が明るいかわ暗いかわを強制選択する。テスト刺激は再度見ることできる。1つの系列内で, 被験者の応答が逆転してその応答が2回続くと次の提示刺激の輝度値の変化方向を反転させる。6回応答反転するとその系列は終了する。6回の反転点のうち, 後半の4点をとり, 4点の対数輝度値の平均を結果として得る。1試行では系列が2本あるので結果は2点求まる。同じ条件での明るさマッチングを2回繰り返す, 計4点の測定結果を得る。

2.4 被験者

色覚正常の男性2名, KK, MSを被験者として用いた。両名共に心理物理実験の経験者である。

3. 結果

3.1 実験1

Fig. 2, 3にそれぞれ被験者KK, MSの見えるモード評価結果を示す。図中, モード評価値はテスト刺激の(x, y)色度点上へプロットされ, シンボルの大きさをモード評価値の大きさを表している。結果は周辺刺激の輝度値ごとに別々のパネルに示す。周辺刺激 0 cd/m^2 の結果はすべてのテスト刺激が完全な開口色であったため, 同じ大きさのシンボルで表されている。

Fig. 2, 3より, 周辺刺激の輝度が増加すると中央のテスト刺激の見えるモードは開口色モードから表面色モードに変化することがわかる。また, 周辺刺激の輝度が同じであってもテスト刺激は色度によってモード評価値が異なっている。これはテスト刺激はすべて等輝度であったことから, 見えるモード変化には色度特性があることを示している。色度特性は, (1) 輝度純度が高いほど開口色モードになりやすい, (2) 赤から青の色方向のテスト刺激に対して開口色モードになる傾向が強い,

(3) 黄方向では純度が高くなっても開口色モードにはなりにくいとまとめられる。ただし青方向のテスト刺激の応答については、KKのモード評価値がMSと比べかなり小さい値と

なっているように、被験者間で個人差が存在している。

3.2 実験 2

Fig. 4, 5 に明るさマッチングの結果を被験

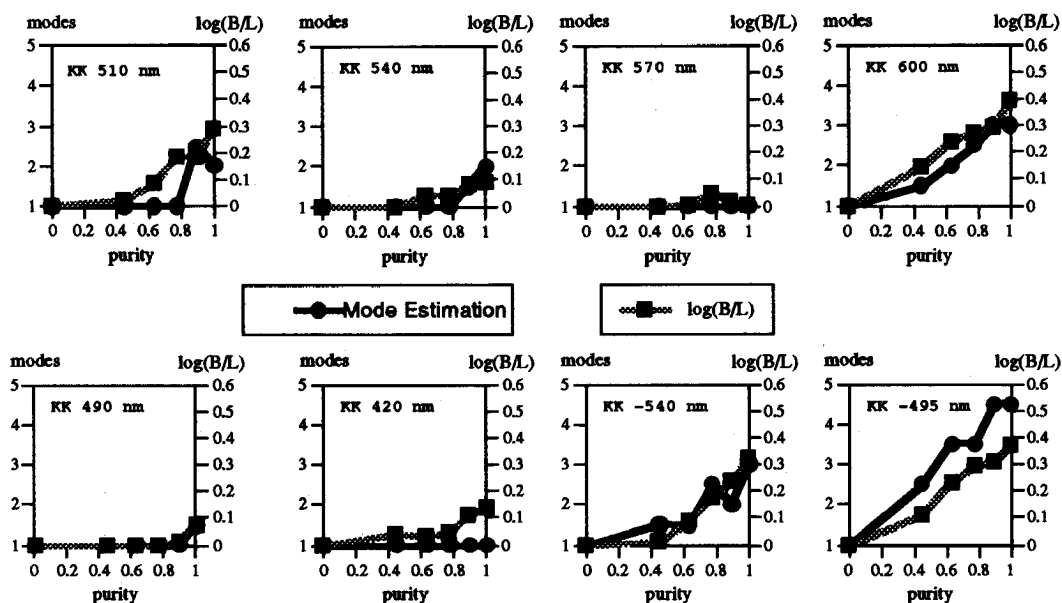


Fig. 6 Comparison between the modes of appearance and log (B/L) score for subject KK. The abscissa represents the purity of the test stimuli. The leftside and rightside columns represents the modes of appearance and log (B/L) score, respectively. Each diagram is classified by dominant wavelength of the test stimuli. Symbols : the estimations of the modes of appearance ●, log (B/L) score ■.

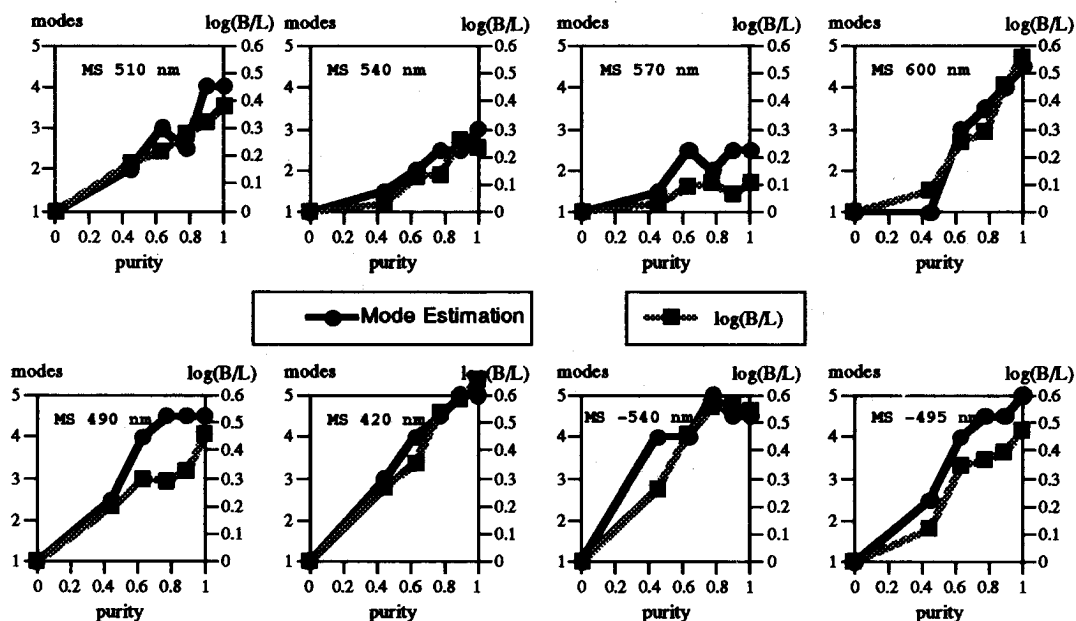


Fig. 7 Comparison between the modes of appearance and log (B/L) score for subject MS. The meaning of the diagrams and symbols are the same as those in Fig. 6.

者別に示す。ここではマッチングしたテスト刺激の輝度値 (L) に対する周辺白色参照光の輝度 (B) の比の対数、いわゆる B/L 比の対数をとっている。これは等明るさになるためのテスト刺激光の効率を表している。また、見方を変えると等輝度色光の明るさ評価値とも考えられる⁶⁾。図中では、シンボルのサイズが $\log(B/L)$ の大きさを示している。

図から明らかなように、テスト刺激の明るさには色度特性が存在し、(1) 輝度純度が高いほど明るさ効率が良い、(2) その変化は色相によって異なり、赤から青では明るさ効率が良い、(3) 黄方向ではあまり明るさ効率が良くないことがわかる。ただし、青方向のテスト刺激の明るさ効率は KK が MS に比べかなり低いというように、被験者間で異なっている。

4. 考察

2つの実験の結果から、色光のモード変化と明るさ変化の色度特性が極めて良く一致していることがわかる。Fig. 2, 3 の 10 cd/m^2 の図と Fig. 4, 5 をそれぞれ比較すると明らかなように、テスト刺激の色相および輝度純度変化に対する特性と青方向の被験者間の個人差がそれぞれ2つの実験で非常によく一致している。Fig. 6, 7 にテスト刺激の輝度純度変化に対するモード変化と $\log(B/L)$ 値を示す。縦軸の対応は一致するように適当に選んだ。この図からも、色光のモード変化と明るさ変化の一致が明らかである。

2つの実験の結果に共通して、青方向のテスト刺激に対する被験者間の個人差がある。これを説明するものとして、網膜中心窩付近に分布する黄斑色素濃度の個人差が考えられる。黄斑色素の分光吸収率は、400-450 nm 付近で高く²⁾、また、刺激の輝度は測光値から与

えているため、青領域の刺激の明るさは被験者によって大きく異なる可能性がある。もし各被験者ごとに輝度を等しくするならば、黄斑色素の影響をキャンセルすることができ、青方向の個人差は減少すると考えられる。

刺激の輝度は、標準比視感度 $V(\lambda)$ によって決定されている。しかしこれは、明るさそのものを評価しているわけではない。色光の明るさは見えを直接マッチングすることで測定できる⁹⁾。今回の実験では刺激を直接見て、刺激の面が輝いているか、あるいは物体表面に見えるかといった判断をしている。したがって、モードの評価は面を見る明るさメカニズムの寄与で決定されるのではないだろうか。見えのモードの決定が周辺刺激と中心刺激の輝度ではなく面の明るさで行われているとすれば、モード変化と明るさ変化の色度特性の一致は当然であろう。本実験は見えのモードが明るさメカニズムで決定されることを強く示唆するものであるといえよう。

文 献

- 1) R. M. Boynton: Human Color Vision. Holt, Rinehart & Winston, New York, 1979.
- 2) G. Wyszecki and W. S. Stiles: Color Science, John Wiley & Sons, 1982.
- 3) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: Influence of achromatic surrounds on categorical perception of surface colors. *Vision Research*, 29, 881-890, 1984.
- 4) 内川恵二: 開口色と表面色モードの色の見えの特徴. *Vision*, 6, 61-67, 1994.
- 5) 岡嶋克典, 阿山みよし, 内川恵二・池田光男: 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, 582-592, 1988.
- 6) 内川恵二, 内川弘美, P. K. Kaiser: 色光の“明るさ-輝度差”の色度の違いによる変化. *照明学会誌*, 68, 259-264, 1984.