

## 色の見えのモード変化のための等価反射率条件

山内泰樹・内川恵二・栗木一郎

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

### 1. はじめに

色の見えには大きく分けて2つのモードがあり、たとえ測色値が同じ刺激であっても、周辺に呈示される刺激の条件に応じてその色の見えのモードは物体の表面のように見えたり（表面色モード）、光源からの光が来ているように見えたり（開口色モード）することはよく知られている<sup>1)</sup>。しかし、このような色の見えのモードを決定するための拘束条件についてはほとんど調べられていない。

我々を取りまく自然界には、表面の反射率が100%を超える物体は存在しない。そのため、入射光よりも強い反射光を呈する刺激、すなわち反射率が100%を超えるような刺激を観察した際には、我々はその刺激領域に物体（の表面）が存在するのではなく、その領域自身が発光していると感じ、その刺激に対する色の見えのモードを表面色モードから開口色モードへと変化させて、その状況に対応している可能性がある。

そこで、本研究では等価的に反射率が100%以上になるような刺激を作り、この仮説の妥当性を調べた。

### 2. 実験方法

#### 2.1 原理

色の見えのモードは、周辺の刺激と中央の刺激を適切な条件に設定することにより決めることができる。今回の実験では、複数色の色票とCRTを刺激として設定し、色票中に開口部を設

け、そこを通してCRT上に表示されたテスト刺激を観察する。色票は、プロジェクターにより照明されている。そして、テスト刺激の輝度を変化させることによりその刺激の見えのモードの変化を実現した。

ここでは、「輝度等価反射率」を導入する。テスト刺激から出ている色光を入射光に対する反射光とみなす。100%に近い反射率を持つ標準白色板に入射光（プロジェクターによる照明光）が当たった時の標準白色板の反射光の輝度を、入射光の輝度とする。この輝度値に対するテスト刺激光の輝度値の比を輝度等価反射率とする。

#### 2.2 装置

実験装置は被験者の入るブースと、刺激が置かれ照明されているブースの2カ所からなる。両方のブースの境界には視角67 deg × 38 degの開口部が設けられ、そこに開閉自在なシャッターが設けられている。被験者は実験者の要請に応じてシャッターの開閉を行い、刺激を観察する。被験者用ブースはD<sub>65</sub>模擬蛍光灯で照明されており、照度は被験者の手で90 luxである。

色票刺激は、被験者からは見えない2つのプロジェクターにより一様に照明される。刺激の位置に置いた標準白色板に対する照明条件が色温度5900 K、輝度が45 cd/m<sup>2</sup>となるように、カラーフィルターとNDフィルターを用いてプロジェクター光を調節した。また、刺激中央の開口部を通るプロジェクターによる照明光がCRT上の刺激呈示箇所を照明しないよう、色票からなる刺激とCRTとの距離は調整されてお

り、照明光の影響を受けない刺激の呈示を実現している。

刺激の観察距離は 120 cm とし、被験者の頭の位置は特に固定せず、両眼で自由に刺激を観察できるようにした。また手元のトラックボールにより、CRT 上のテスト刺激の輝度を調整することができる。

### 2.3 刺激

16 個のテスト刺激を、xy 色度図上で CRT の色再現域を網羅するように選択した。周辺刺激は図 1 に示すように、マンセル N5 の背景上に N9.5 の枠と、11 色の基本色からの 8 色（青、黄、赤、緑、ピンク、紫、オレンジ、茶）のマンセル色票から構成される。中央の開口部には CRT によるテスト刺激が観察されるが、輝度に応じてその開口部にあたかも色度可変な色票が呈示されたか（表面色モード）、開口部から光がきているか（開口色モード）の 2 つのモードの知覚を得た。刺激パターンを構成する各色票の大きさは 2 deg × 2 deg、色票の間隔及び N9.5 の枠の幅は 0.5 deg である。テスト刺激及び刺激パターンに用いた色票の xy 色度は図 2 に示す通りであり、黒シンボルがテスト刺激、白シンボルが色票の色度を表す。なお、テスト刺激の色度点に付された番号は便宜的につけたものである。

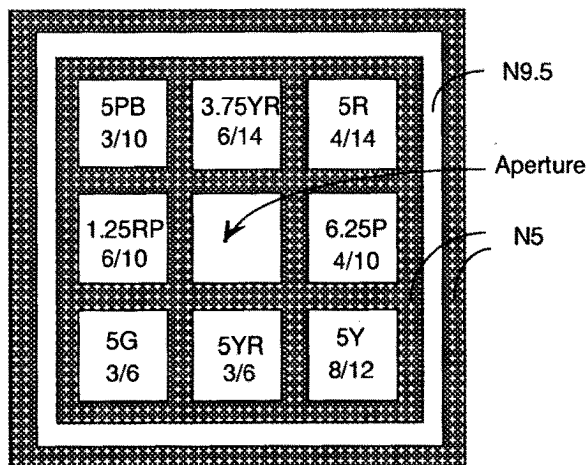


図 1 実験に用いた刺激

### 2.4 被験者・手続き

被験者は色覚正常者 14 名（男 12 名、女 2 名）である。被験者は、被験者内ブースから開口部を通じて刺激全体を見ながら、中央に呈示されたテスト刺激が完全に表面に見える限界にテスト刺激の輝度を調整する。被験者は実験を始める前に被験者用ブース内で 3 分間順応し、その後シャッターを開き刺激の置かれている空間を 1 分間観察する。その後 16 個のテスト刺激がランダムに刺激中央部に呈示される。全ての被験者が各テスト刺激に対して 5 回の試行を行った。

### 3. 結果

図 3 に、刺激パターンに用いた色票の輝度と、個々の刺激の見えのモードが変化する閾値の全被験者の平均値を示す。各刺激の輝度等価反射率を図 4 中に黒シンボル（実線）にて示す。図中、横軸は図 2 に示したテスト刺激の番号を、縦軸は等価反射率の値を示し、データ点に付されているエラーバーは標準偏差である。等価反射率は、各刺激の閾値となった輝度値と標準白色板の輝度値の比から計算した。

以上の結果から、

- 1) 等価反射率が 100 % より低い値で表面色モードから開口色モードへの移行が始まること、

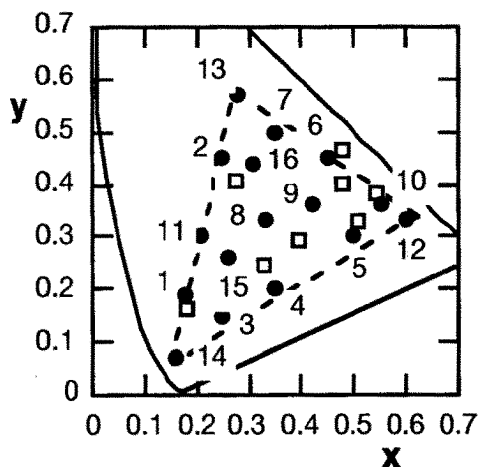


図 2 テスト刺激（黒シンボル）と色票（白シンボル）の色度点

2) 刺激の色度によって輝度等価反射率の閾値が異なること、  
 が分かる。

#### 4. 考察

今回の結果では、等価反射率が100%を超えた時には色の見えのモードを変化させて対応しているとする仮説は支持されなかった。輝度等価反射率を求める上で、入射光輝度として標準白色板の輝度値を用いたが、我々がおかれた照明環境下で反射率100%の物体の輝度がどの位であるかを判断でき、それをもとにして反射率を考えて色の見えを決定しているとは限らない。被験者に与えられた照明環境の条件を知る手がかりは照明された刺激だけである。そこで、刺激内での最大の輝度を与えるものから反射率を考えたものを図4に白シンボル(破線)で示す。刺激内ではマンセル N9.5 が最大輝度値をとるため、この値と各テスト刺激の閾値の平均輝度値の比を求めたものである。これを見ると、輝度等価反射率よりも高い値をとっているが、まだ100%を超えてはならず、これだけで色の見えのモードが決定されているとは言えないようである。

自分の置かれた環境における照明条件のみから色の見えのモードを決定しているだけでなく、刺激を観察した時に、その刺激の色としてはどの程度のもので物体色として存在するかを我々が経験的に知っており、それによって色の見えのモードが決定されているという可能性も考えられる。オプティマルカラーにより、ある反射率を仮定したときに存在する物体色の限界を求めることができる。今回は  $D_{65}$  照明下での計算値を用い<sup>2)</sup>、この値と今回の実験から得られた結果との比を求めたものが図5である。図から刺激間での差が小さくなっていることがわかる。彩度が高くなると存在する物体色の限界値が低くなることが影響していると考えられ、色の見えのモードが色みに依存して決定されていることを示唆している。しかしながら、依然として閾値を与える輝度値とオプティマルカラーの比は1を超えておらず、経験的に存在する物体色の限界を知っており、それが色の見えのモードに影響を与えているとはいえないようである。

刺激の色度によって閾値が異なっていることの要因としては、彩度の影響が考えられるが、単純に彩度が上がれば閾値が低くなるわけでは

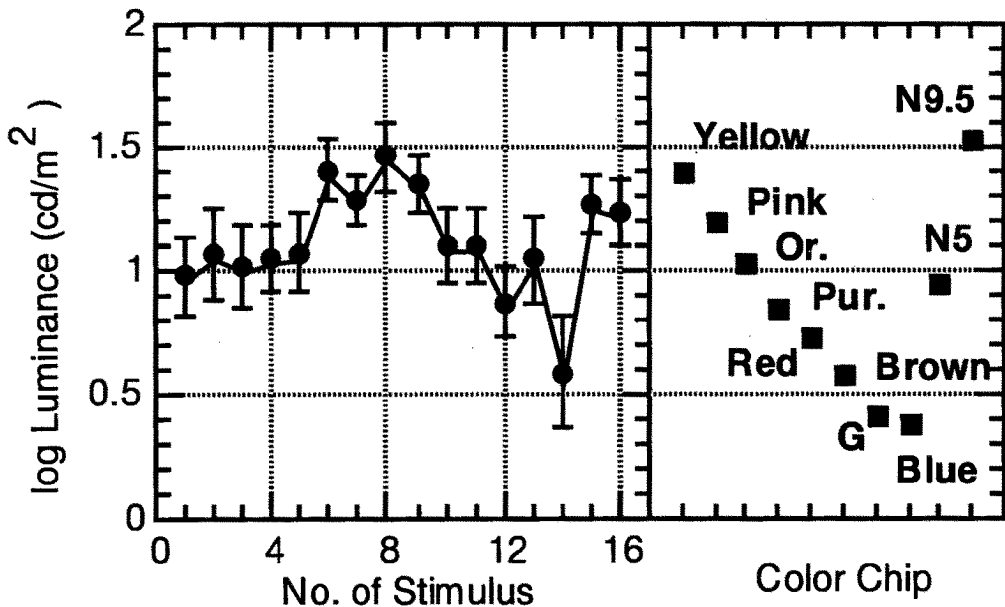


図3 各テスト刺激における閾値(全被験者の平均値)と色票の輝度

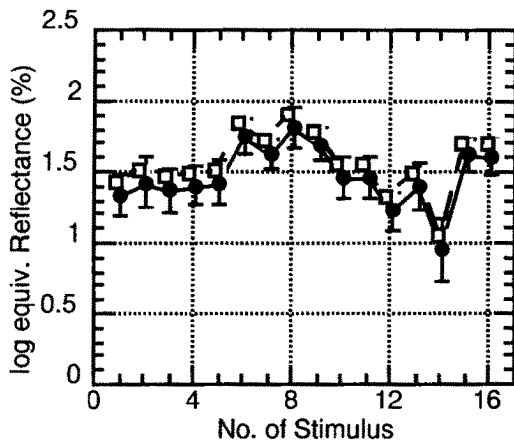


図4 結果から求めた等価反射率。黒シンボルが標準白色板の輝度との比、白シンボルが刺激内最大輝度 (N9.5の輝度) との比を表す。

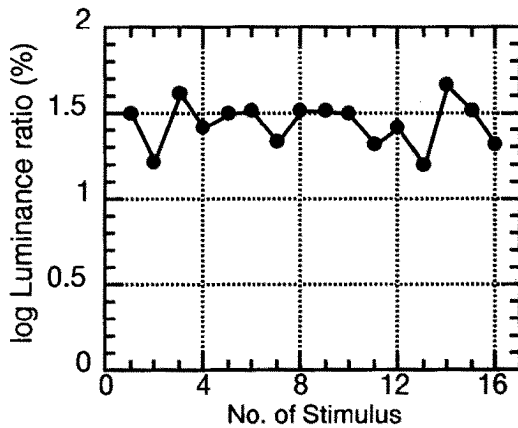


図5 オプティマルカラーとの関係を示したもの

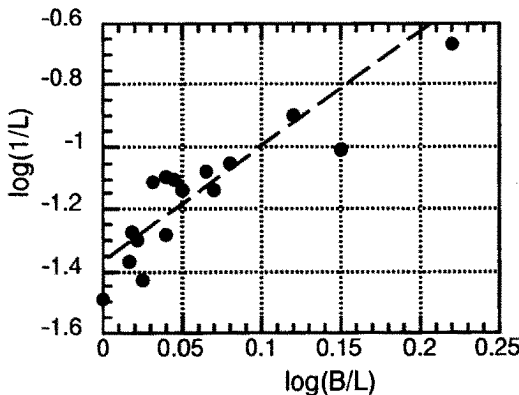


図6 B/Lとの関係を示したもの

ないことが今回の結果から分かった。そこで、刺激の明るさ (Brightness) が影響している可能性を調べた。等B/L曲線から<sup>3)</sup>各刺激の色度点におけるB/Lを求め、閾値を与える輝度値との関係を調べた結果を図6に示す。B/Lが大きくなるにつれて閾値を与える輝度値が小さくなり、表面色の限界に早く到達する傾向があることがわかり、Brightness と色の見えのモードの相関があることを支持する結果を示している。今回、各被験者の明るさ感を測定しなかったため、個々の刺激における閾値との関係までは求めることができなかったが、オプティマルカラーで求めたのと同じように、各刺激間での差が小さくなるような結果が得られると予想される。

#### 5. まとめ

被験者間での差はあったが、被験者内ではほぼ安定した結果が得られていたことから、このような実験方法により表面色モードから開口色モードへの変化を求められることが示された。色の見えのモードに対して背景が及ぼす影響や呈示された刺激の影響について、今後さらに考察を加えていく必要がある。色の見えのモード移行に対する色みの影響に関しても、この実験条件において各被験者での明るさ感 (B/L) を測定するなどの検討をこれから行っていく予定である。

#### 文献

- 1) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: Influence of achromatic surrounds on categorical perception of surface colors. *Vision Research*, 29, 881-890, 1984.
- 2) G. Wyszecki and W. S. Stiles: *Color Science* (2nd ed). John Wiley & Sons, New York, 1982.
- 3) 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.