

開口色と表面色モードの色の見えの特徴

内川 恵二

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

1. はじめに

色の見えには様々なモードがあり¹⁾、モードが違えば測色値が等しくても、刺激の色は全く異なって見えることはよく知られている²⁾。しかし、モードによって実際に色がどのように違って見えるかについて調べた研究は少なく、色の見えの定量的な違いについてはあまりよく知られていない。そこで、ここでは、特に最近問題になっているカラーCRTと印刷物の色の

見えの違いに注目して、開口色と表面色モードによる色の見えの実験データを紹介し^{3, 4)}、両モードでの色の見えの特徴について述べる。

2. モードの実現法

図1に開口色モードの見え、図2に表面色モードの見えを実現する方法を示す。図1の上からCRT、色票、色光の順に色表示媒体を表わしている。CRTはそれ自体発光体であるか

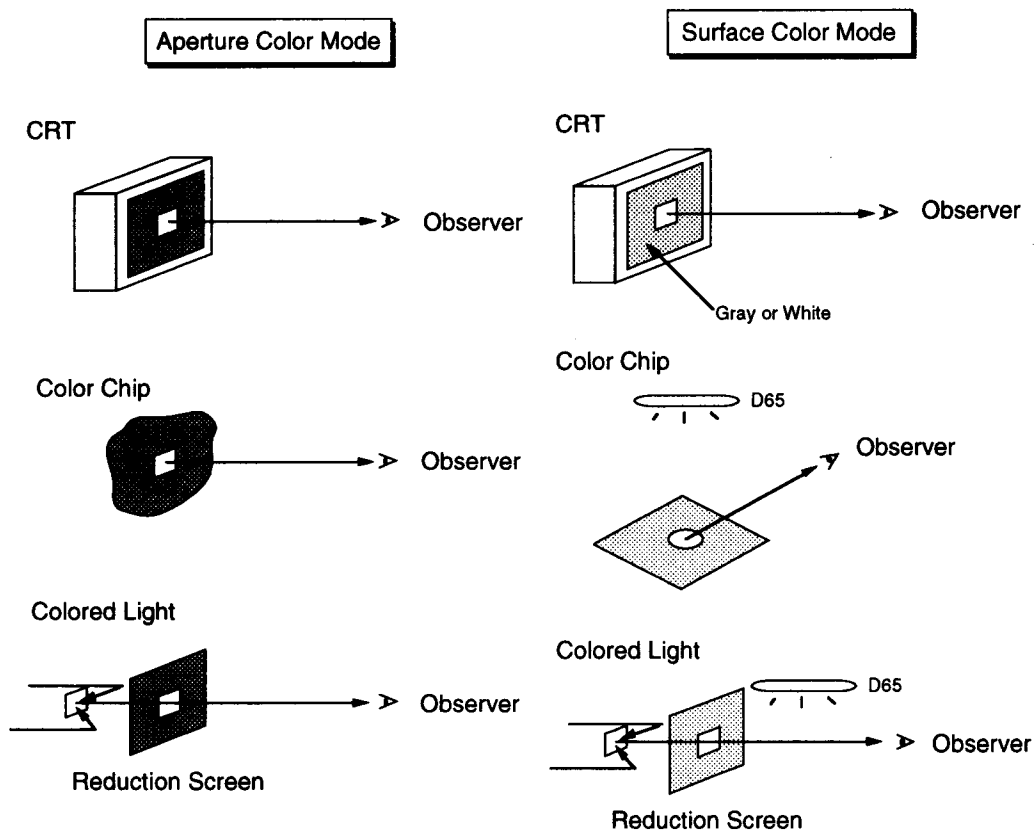


図1 開口色モード

図2 表面色モード

ら刺激のみをCRT面の一部に表示すれば、開口色モードに見える。色票は反射物体であり、単にそれを照明するだけでは表面色モードで見えてしまうので、特に工夫が必要である。反射面であってもその周囲に全く何も置かず暗黒のなかに浮いて見えるようにすると、その空間から光が発しているように見え、開口色モードの見えとなる²⁾。色光の場合は、観察するための開口が必要であり、図1ではリダクションスクリーンによって開口を作っている。このようにすると、開口を色光が埋めているように見える。

図2は表面色モードの実現方法を示している。CRTでは刺激の周囲に灰色か白の刺激を付けることで、中央の刺激が物体の表面のように見え、表面色モードとなる。色票は単に光源の下に置き観察すれば、表面色モードとなる。色光の場合はリダクションスクリーンを照明することで刺激の周囲に白色刺激を付けることができ、表面色モードを実現できる。本論文ではこれらの中でCRTと色票に注目し、両者によって作られた開口色と表面色モードの色の見えのデータを示すことにする。

3. 色の見えの測定法

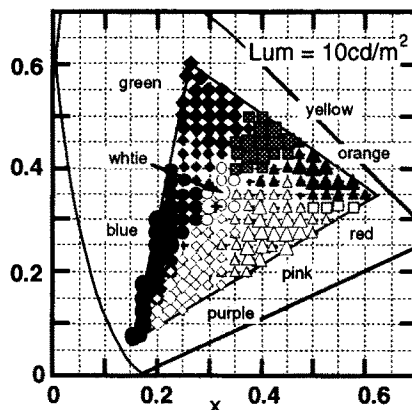
色の見えを測定するにはカラーマッチング法やカラーネーミング法があるが、ここでは開口色モードと表面色モードの両方の見えに適した方法でなければならない。カラーマッチング法では標準的な観測条件で呈示した参照刺激にテスト刺激の色を等色することになるが、モード間に共通した標準的な観測条件というものはない。また、モード間にまたがる等色は見えが違い過ぎて困難であり、無理をしてこのような方法でデータを集めても信頼性のないものになってしまう。そこで、色を直接評価するカラーネーミング法がこの場合適している。

カラーネーミング法はこれまで主に反対色を用いたカラーネーミング法が一般的であったが、この方法は開口色モードの色の見えを表わすことを目的に考えられたものであり⁵⁾、表面

色モードの色に適用するにはかなり無理がある。たとえば、茶色は表面色モードに特有な色であるが、これを赤、緑、黄、青、白、黒を用いて表現することは難しく、たとえ表現したとしても元の色を正確に記述しているとは言い難い。最近、単一色名を用いたカテゴリカルカラーネーミング法が表面色モードの色の見えを表わすのに有効であることが示されている^{6, 7)}。カテゴリカルカラーネーミング法は開口色モードの色の見えにもそのまま適用できるので、ここでは、その中でも特に11個の基本色名を用いたカテゴリカルカラーネーミング法によって求めた実験データを示すことにする。

単一色名を用いたカテゴリカルカラーネーミング法以外にも、色名を複数用いたカテゴリ比率評価法というカテゴリカルカラーネーミング法

CRT Aperture



CRT Surface

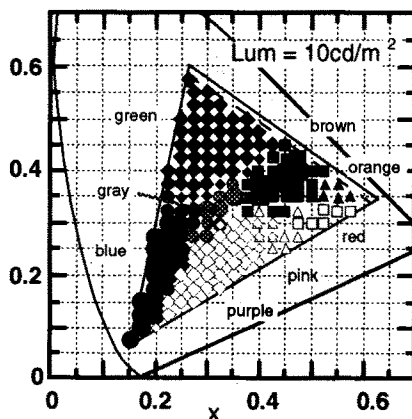


図3 CRTによる色の見え(単一カラーネーミング)

グ法もある⁴⁾。単一カテゴリー法は刺激の色を一つの色名で答える方法で、色空間をカテゴリーカル領域に分割するために用いられる。比率評価法は刺激の色がどのフォーカル色（そのカテゴリーの色を最もよく表す代表色）に近いかを判断して、近い順に色名を答える方法であり、色の見えを細かく評価するために用いられる。この方法では色名を3個まで使うことができ、用いられた色名が1個ならばその色名に6点、2個ならば近い順に4点、2点、3個ならば近い順に3点、2点、1点を与え、格色名毎に合計ポイントを計算する。

4. CRTによる開口色と表面色モードの色の見え

図3上にCRTによる開口色モード（図1上参照）と図3下にCRTによる表面色モード（図2上参照）の色の見えを単一色名法によって測定した結果を示す。刺激は視角 2° の正方形、表面色モードの場合の周辺刺激は $10^\circ \times 7^\circ$ 、 30 cd/m^2 の灰色である。被験者3名、各被験者2回の応答結果をまとめたものである。図3の結果はテスト刺激の輝度が 10 cd/m^2 の場合である。図中各シンボルはそれぞれの色名を表わし、大シンボルは応答の100%がその色名

CRT Aperture Mode

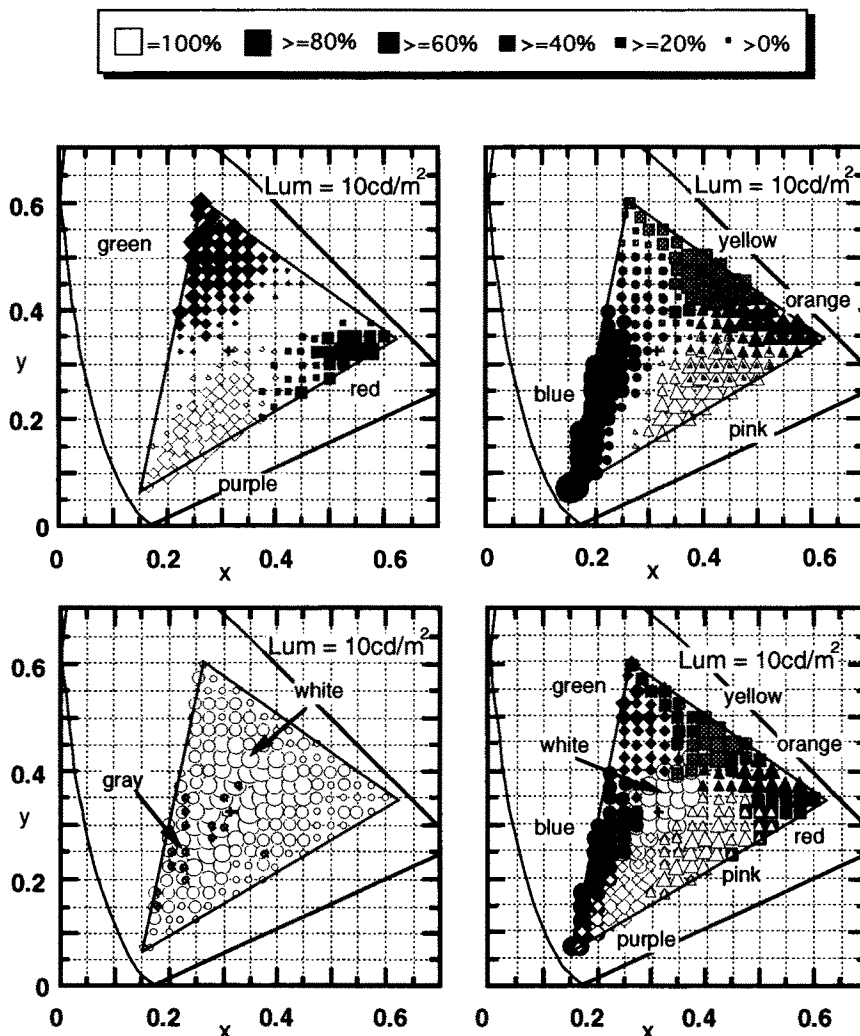


図4 CRT開口色モードの色の見え（カテゴリー比率評価法）

であったこと、小シンボルは応答の50%以上がその色名であったことを表わしている。両モードで刺激の測色値（輝度、色度）は全く等しい。周辺があるかないか、すなわち、モードが違って見えるかどうかで色の見えが異なることをこの結果は示している。

図3よりも、測定点がほとんどすべて50%以上のシンボルで埋め尽くされていること、すなわち、色空間は被験者によらず場合によらず安定してカテゴリーに分割されることがわかる。モードの違いをみると、開口色モードではyellowがあるがbrownがなく、反対に表面色

モードではyellowがなくorangeが少なくbrownが存在することがわかる。表面色モードのbrownは開口色モードのyellowとorangeの境界領域に出現して広がり、逆に開口色モードのyellowは表面色モードのbrownとgreenの境界に消失してしまう。これより、brownはblackとyellowからできるわけではなく、むしろorangeが変化すること、また、開口色モードのyellowのうちで表面色モードでgreenに変化してしまうものがあることがわかる。また、表面色モードになると、pinkが少なくなり、purpleが増す、whiteはgrayに変わるが、greenとblue

CRT Surface Mode

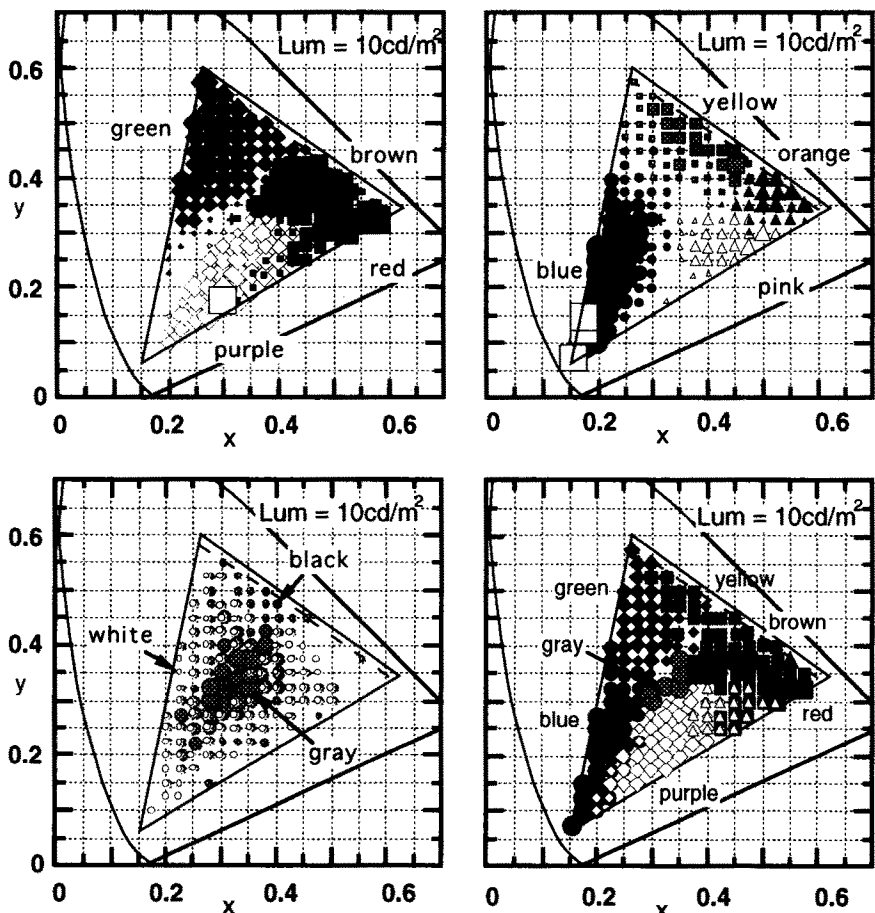
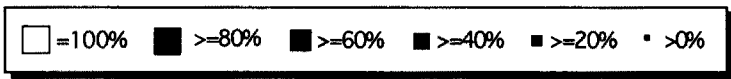


図5 CRT開口色モードの色の見え（カテゴリー比率評価法）

の境界はあまり変化しないことも示されている。

図4, 5にそれぞれCRTの開口色と表面色モードの色の見えを、カテゴリー比率評価法によって測定した結果を示す。両モードとも 10 cd/m^2 の場合で、図3と同じ刺激を見た場合である。シンボルはそれぞれの色名で応答のポイントが大きいほど大きくなっている。ただし、右下の図はすべての色名をまとめて描いたもので、ここでは大シンボルが60%以上、小シンボルが20%以上の応答を表わしている。この図ではwhiteあるいはgrayは見やすくするために大シンボルのみが示されている。図4の開口色モードでは、redとgreenの境界ははっきりしているがyellowとblueの境界ははっきりしていない、yellowとblueがgreenの領域まで広がっている、whiteがほとんどすべての領域を覆っているなど、図3ではわからなかった色の

詳細な変化が明らかになっている。図4右下図は図3上図とよく類似し、whiteを例外とすると、色の見えで最も近いフォーカル色がカテゴリー色になっていることがわかる。図5の表面色モードでは、brownの応答が図4の場合と最も違う点であるが、yellowとorangeも応答は小さいが図4と同じように残っている。これはyellowとorangeの見えが依然として表面色モードでも存在していることを示し、brownというカテゴリーはyellowとorangeに置き変わるような形で入ってくるのではなく、今までのyellowとorangeの構造の上に新しく加わってくるといえよう。また、図4のwhiteは図5ではgrayに置き変わっている。

テスト刺激の輝度変化に伴う色の見えの変化については、開口色モードではほとんど変化しないが、 2 cd/m^2 以下といった極端に低い輝度になるとgrayの応答が出現する。表面色モードで

CRT Surface Mode

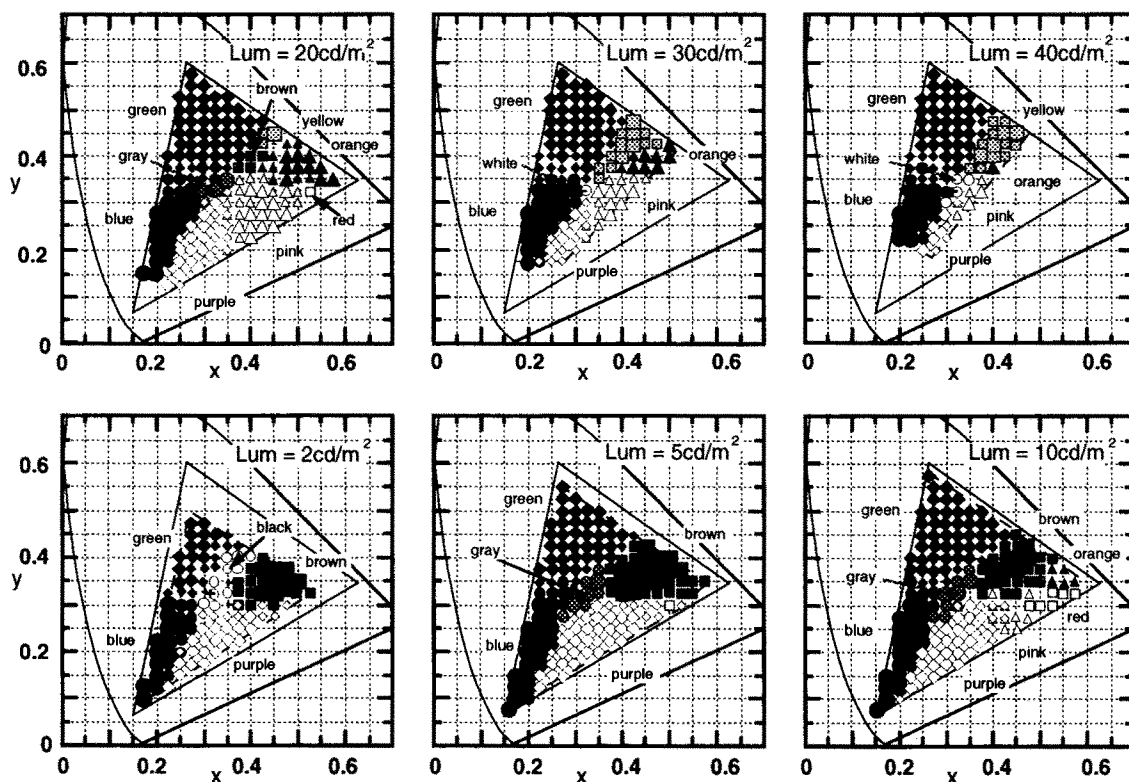


図6 CRT表面色モードのカテゴリー分割の輝度レベルによる変化

は、テスト刺激の輝度変化は色票の明度変化に対応し、図6に示すようにカテゴリー的に大きく変化する。輝度レベルが増加すると、blackはgray、whiteへと変化するが領域には変化がなく、redは色再現面積から外れてしまうので不明、greenは変化なし、blueはgreenとblueとwhiteの境界領域に拡大、yellowはbrownとgreenの境界領域から出現し拡大することがわかる。さらに、brownは減少してほとんどorange領域に消失してしまい、purpleは減少して一部pinkに変化し、pinkはredとpurpleの境界領域から出現し増大し、orangeはredとbrownの境界領域から出現し増大することがわかる。

5. 色票による開口色と表面色モードの色の見え

図7上に色票による開口色モード（図1中参照）と図7下にCRTによる表面色モード（図2中参照）の色の見えを単一カテゴリーカラーネーミング法によって測定した結果を示す。刺激は開口色モードでは視角 2.2° の正方形、表面色モードでは視角直径 3° の円形、周辺は 26 cd/m^2 の灰色である。被験者6名、各被験者2回の応答結果をまとめたものである。図7の結果はテスト刺激輝度が 24 cd/m^2 の場合である。ここでも両モードで対応した刺激の測色値（輝度、色度）は全く等しい。シンボルは図3と同様である。両モードとも図3で述べたものとはほぼ同様な特徴を示している。

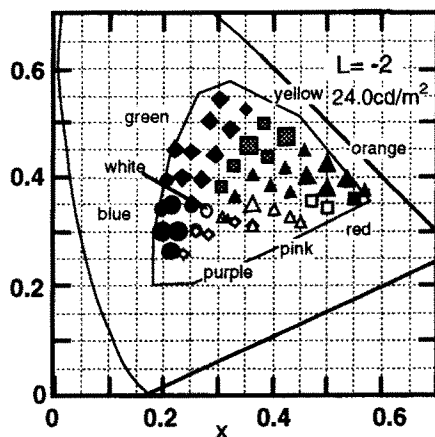
6. 色表示媒体間の比較

開口色モードの色の見えをCRTと色票で比べてみる。図3と図7の上図を比較すると、色票の場合は色表示面積が狭いが、両者でカテゴリーカル色名領域はほとんど変わらないことがわかる。また、表面色モードの色の見えも、図3と図7の下図を比較すると、CRTと色票でほとんど同じことがわかる。したがって、色の見えは物理的な色表示媒体によって変わるのではなく、色の見えのモードが何であるかに依存し

ているといえよう。

しかし、詳細に図3と図7の条件を見てみると、輝度値が異なっていることに気づく。CRTでは 10 cd/m^2 だが、色票では 24 cd/m^2 であり、色票の方が輝度値が高い。そこでCRTの輝度値に近い色票の 9.5 cd/m^2 の結果を図8に示す。図8の色票の開口色モードではgrayやbrownの応答が残り、yellowの領域も狭い。また、表面色モードではbrownがorangeの領域まで完全に広がっている。さらに、ここではデータを示さないが、表面色モードにおけるyellowの出現輝度値をみると、CRTでは 20 cd/m^2 以上であるが、色票では 30 cd/m^2 以上となり、同じ見えを得るには色票の方の輝度を高くしなけ

OSA.UCS Aperture



OSA.UCS Surface

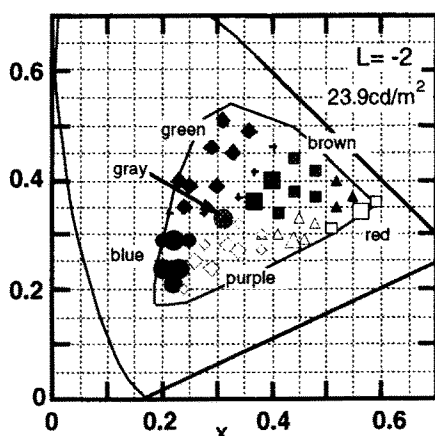
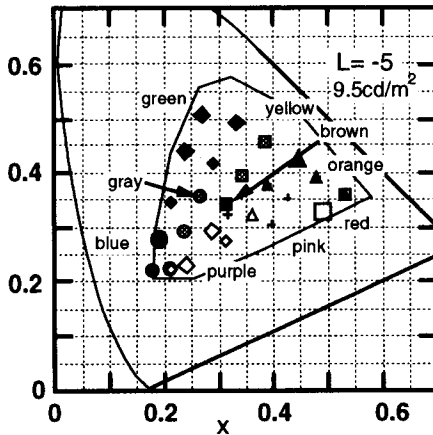


図7 色票の両モードでの色の見え（単一カテゴリーカラーネーミング法）

OSA.UCS Aperture



OSA.UCS Surface

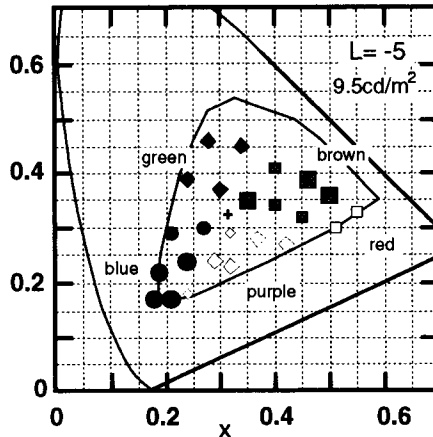


図8 図7と同様。CRTの輝度値に近い色標による。

ればならないという結果が得られている。これは、CRTでも色票でも輝度変化に対しては同じ色の見えの変化をするが、このような方法ではまだ、CRTの表面色は色票の表面色に比べると開口色的であり、また、逆に色票の開口色はCRTの開口色に比べるとまだ表面的であることを示していると考えられる。しかし、モードの実現方法をさらに改良すれば、このようなアーティファクトもなくなると思われる。

7. おわりに

色の見えは開口色と表面色モードにより大きく異なることが実験データに基づき示された。これらの結果は被験者によらず場合によらず安

定しているの、それぞれのモードでの色の見えを表わす標準的なデータにも発展できると考えられる。また、色表示媒体そのものは色の見えを決めるのには重要ではなく、CRTでも色票でも同じ色の見えが作れることも示された。これは色表示媒体間でのいわゆるデバイスにインディペンデントな色表示法を確立するうえで重要な指針を与える。色の見えを決める観察条件をそれぞれの色表示媒体で設定すればよく、あとは刺激の測光値をそろえればどんな色表示媒体でも同じ色の見えが実現できることになる。

ここでは、開口色と表面色モードの実現を周辺刺激の有無により行ったが、モードが変わるその他の要因やモードを決める視覚系のメカニズムについては触れなかった。これらについてはさらに研究が少なく、色の見えの研究分野での一つの大きな未開拓地として残っている。

文献

- 1) 鈴木恒男：カラーアピランスとカラーマネジメント：色の見えのモードを中心として。VISION, 6, 25-36, 1994.
- 2) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: Influence of achromatic surrounds on categorical color perception of surface colors. Vision Research, 29, 881-890, 1989.
- 3) 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之：開口色と表面色モードにおける色空間のカテゴリカル色名領域。照明学会誌, 77, 74-82, 1993.
- 4) 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之：カテゴリ比率評価法による開口色と表面色モードの色の見えの表現。照明学会誌, 78, 83-93, 1994.
- 5) R. M. Boynton, W. Schafer and M. E. Neun: Hue-Wavelength relation measured by color-naming method for three retinal locations. Science, 146, 666-668, 1964.
- 6) R. M. Boynton and C. X. Olson: Locating Basic colors in the OSA Space. Color Research and Application, 12, 94-105, 1987.
- 7) K. Uchikawa and R. M. Boynton: Categorical color perception of Japanese observers: comparison with that of Americans. Vision Research, 27, 1825-1833, 1987.