



小視野における色覚特性

矢野 正・矢口 博久・三宅 洋一・久保 走一

千葉大学工学部画像工学科 〒260 千葉市弥生町 1-33

(1989年1月20日受理)

Color Perception for Small Fields

Tadashi YANO, Hirohisa YAGUCHI, Yoichi MIYAKE and Souichi KUBO

Department of Image Science and Engineering, Faculty of Engineering,
Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Chiba 260

Color appearance depends on the size of the visual angle. The present experiment was designed to evaluate the color perception for small fields. It consists of the measurement of color appearance by color matching, the measurement of color discrimination, and the measurement of the color appearance under the blue adaptation. The saturation decreased and the hue shifted toward a line connecting unique red and unique green on the chromaticity diagram, decreasing the visual angle. It is considered that the contribution of the blue cone to color perception for small fields is very weak since lines connecting the test colors and the perceived colors for 3' field, converged upon the blue cone point of the chromaticity diagram. It was also supported by the color discrimination experiment. The saturation decreased more on a surface mode color, because blackness was added to the color appearance. This small fields mechanism seems to be different from the mechanism of temporal contrast under the blue adaptation.

1. はじめに

われわれが物を見るとき、その大きさによって色が異なって知覚されることがある。とくに対象物が小さい場合の色の見えは青錐体の欠如による色覚異常である第3色覚異常とよく似た現象を呈することから、スモール・フィールド・トリタノピア (small field tritanopia) として知られている。これは19世紀末に König により最初に観測され、中心小窩では青、緑、黄は同色に見えるが赤と緑は弁別できるというものであった¹⁾。その後、微小視野における色覚に関する研究は数多く報告されている。

Willmer²⁾ は、4分割の円形色票を用いて中心小窩では、青緑と水色、橙茶と淡赤紫は識別できないことを示し、König の観測の再確認を行なった。Willmer ら³⁾ は 460 nm と 650 nm の2種類の刺激波長で等色実験を行ない、中心小窩では全可視光域で等色できることを示した。Middleton ら¹⁾ は、マンセル色票を視野角 1' および 2'、色票の呈示持続時間を自由、5秒、1/7秒、

1/25秒と変化させて観察し、その色の見えを Fransworth の色度図上に示し、微小視野、短呈示時間ではトリタノピアの見えの傾向が強くなることを示した。Burnham ら⁴⁾ は、刺激の形、方向性について色の見えが変化するかを調べるために両眼隔壁観測装置を用いて等色実験を行なった。その結果、刺激の形や方向性については影響がないことを示した。Hasegawa⁵⁾ は、光学装置を用いて光源色と疑似物体色をつくり、モードの違いの観点から刺激の大きさや呈示持続時間を変化させて等色実験を行ない、微小刺激と短呈示持続時間との現象は同じ傾向を示すが、光源色と物体色ではそのメカニズムが異なることを示唆した。

これらの結果から、小視野においては彩度が低下し2色型色覚異常になる傾向があり、またその変化は個人差が大きいことがわかった。また、視野サイズによる色の見えの変化は網膜における錐体分布の不均一性にあるという観点から、Hartridge⁶⁾、Weitzman ら⁷⁾、Ingling ら⁸⁾ は網膜上の位置を変化させて色の見えを測定し、刺激を十分に小さくすることによって2色型色覚になる

が、中心窩周辺部ではこの傾向は大きく、第3色覚異常というよりも第2色覚異常の傾向があることを示した。この現象に関し種々の説明がなされているが、どの説明もそれを証明する決定的な実験データはない。

そこで本研究では、小視野における色覚特性が1°視野に比べてどのくらい異なって色の見えが生じるか定量的なデータを色度図上で得るために、(1)等色実験による色の見えの測定、等色実験以外の方法によって(1)で得られた結果の信頼性を高めるために、また、色彩産業において、色弁別のデータは非常に大切なことから、(2)色弁別閾値測定、さらに青色の見えが低下する減少として色順応効果があることから、(3)青色順応による色の見えの測定の三つの実験を基に解析し、さらにその結果を手掛かりとして、心理物理学的立場から人間の色覚メカニズムの一部を考察することを目的とした。

2. 実験装置

実験はすべてコンピュータ・グラフィック装置を用い、カラーCRTに刺激を呈示することによって行なった。実験装置はFig. 1に示すような画像出力装置(NEXUS 6410)、カラーCRT (SONY PVM-1371 Q)、パーソナルコンピュータ (NEC PC-9801 E)、画像入力装置(マウスまたはキーボード)から構成されている。この装置はCRTの赤(R)、緑(G)、青(B)各原色を8 bit、256階調を変化することができ、約1600万色をCRT上の任意の場所に呈示することができる。表示された色はCowan⁹⁾による2次ガンマ補正式を用いて、CIE表色系に変換できる。また任意のCIE色度値の色刺激を呈示することができる。この変換について簡単に説明する。

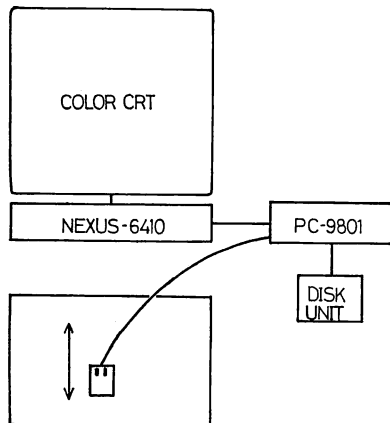


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus used for the experiment.

まずCRTの各原色について256階調に対する輝度を実測し、入出力特性を調べた。このときの刺激の大きさは1°である。この特性を下式に示すCowanによるガンマ補正式で近似した。

$$\ln(E_a(V_a)) = A_a \ln(V_a/V_{a\max}) + B_a(\ln(V_a/V_{a\max})) \quad (1)$$

$$E_a(V_a) = L(V_a/V_{a\max}) \quad (2)$$

ここでVは階調レベル(0~255)で、aは、赤、緑、青の各原色を表わす。またL(V_a)は原色aの階調レベルがV_aのときの輝度を示す。各原色に対し係数A_a、B_aを最小2乗法で求めた。

次に赤、緑、青の各原色の輝度をL(V_R), L(V_G), L(V_B)とおけばCIE XYZ三刺激値との関係は次のとおりである。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_R/y_R & x_G/y_G & x_B/y_B \\ 1 & 1 & 1 \\ z_R/y_R & z_G/y_G & z_B/y_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L(V_R) \\ L(V_G) \\ L(V_B) \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで(x_R, y_R, z_R), (x_G, y_G, z_G), (x_B, y_B, z_B)は赤、緑、青の各原色の色度座標を示す。

上記の校正により計算した色度値と実際に分光放射輝度計(TOPCON SR-1)で測定した実測値をTable 1に示す。実測値は色弁別閾値測定で使用したもので刺激の大きさは3'である。

3. 等色実験による色の見えの測定

3.1 実験方法

実験は本システムを用いてCRT上に、大きさの異なる正方形のテスト刺激と参照刺激を間隔(ギャップ)を置いて左右に併置し、観察者が、参照刺激のR, G, B

Table 1 Calculated chromaticities by the gamma correct equation for 1° field and measured chromaticities for 3' field with spectral colorimeter.

Calculated chromaticities			Measured chromaticities		
u'	v'	Y(cd/m ²)	u'	v'	Y(cd/m ²)
0.253	0.376	15.00	0.280	0.402	15.18
0.285	0.353	15.00	0.320	0.380	15.09
0.277	0.401	15.00	0.300	0.420	15.14
0.334	0.498	15.00	0.359	0.499	14.89
0.148	0.505	15.00	0.141	0.520	14.98
0.174	0.362	15.00	0.180	0.399	15.02
0.152	0.304	15.00	0.159	0.342	15.15
0.166	0.288	15.00	0.180	0.322	15.07
0.196	0.462	15.00	0.199	0.481	14.91
0.158	0.412	15.00	0.160	0.440	14.88

原色の輝度を調節することによってテスト刺激とのカラー・マッチングを行なった。テスト刺激の大きさは 3', 8', 30' の 3 種類を用いた。参照刺激は 1° で、刺激間のギャップの大きさは 3', 6', 12' の 3 種類である。背景およびギャップは暗黒である。テスト刺激の色は各色相、彩度をもつ計 21 色であり、各セッションの目的によりそれらの色から選んで実験を行なった。CRT の装置上の誤差をなくすために、テスト刺激と参照刺激の左右の位置関係をセッションにより変えた。1 色につき、少なくとも 10 回の等色を行なった。観察者は HY, TY の男性 2 名は全セッションを行ない、HM, MY の男性 2 名は一部のセッションを行なった。すべて色覚正常者である。また、観察には、両眼、自由視で行なった。

3.2 視野サイズによる色の見えの変化

Fig. 2 に観察者 HY, TY の視野の大きさにおける

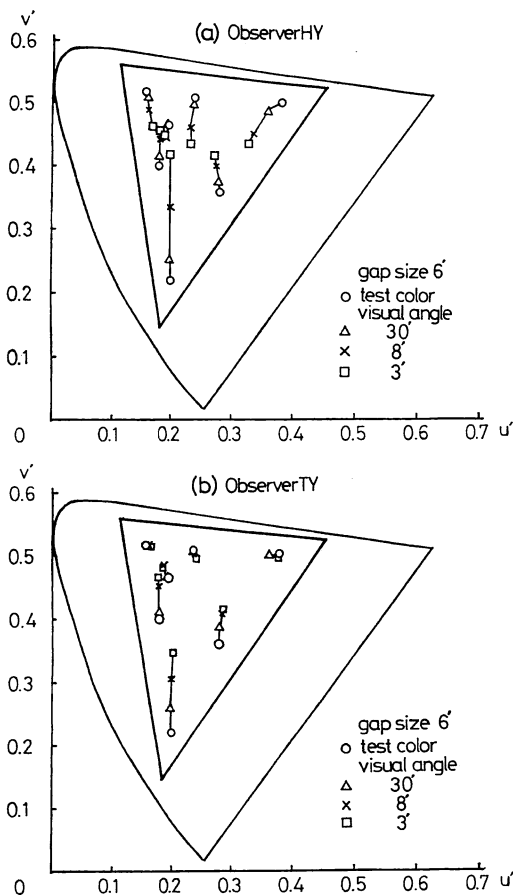


Fig. 2 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing the shift of the perceived test color for 3', 8', 30' fields.

色の見えの変化を CIE 1976 $u'v'$ 色度図上に示す。○はテスト刺激の色度座標を示し、□は 3' のテスト刺激を観察したとき知覚された色、すなわち、テスト刺激と等色したときの参照刺激の色度を示す。同様に×は 8' のテスト刺激を示し、△は 30' のテスト刺激の場合を示す。どの点も 10 回の観察データの平均を示している。ギャップの大きさは 6' である。テスト刺激の大きさが 30', 8', 3' と小さくなるにつれて、彩度の低下する方向に色の見えが変化することがわかる。テスト刺激の色相によってその低下の割合は大きく異なり、とくに、青色系統の刺激はその変化は著しい。逆に赤、緑は観察者によってほとんど色の見えが変化しない場合もある。また、彩度の変化と共に色相も変化し、さらに視野の大きさを小さくしても白色の一点には集まらない傾向を示している。この点については、後で詳しく解析を行なう。

Fig. 2 で示した 2 人の結果とここでは結果を図示していないが観察者 HM の結果を含めた 3 人の観察者を比較してみると傾向は同じであるが、その場合において個人差が大きいことがわかった。ここで、観察者 HY は眼鏡使用、38 歳、観察者 TY はコンタクトレンズ使用、24 歳、観察者 HM は裸眼、24 歳である。眼鏡の使用で実際の大きさより刺激が小さく見えることは考えられ、視力が悪いと刺激のエッジ部がはっきりせず彩度が減少する効果もある。また、年齢が進むに従って水晶体が濁り、短波長域の感度が低下すると言われており、これも個人差の一つの要因と考えられる。さらに光受容体の感度の個人差もある。このような個人差は主に視力、眼鏡、年齢によって生じることが考えられる。

Fig. 3 に視野の大きさにおける色の見えの分散を色

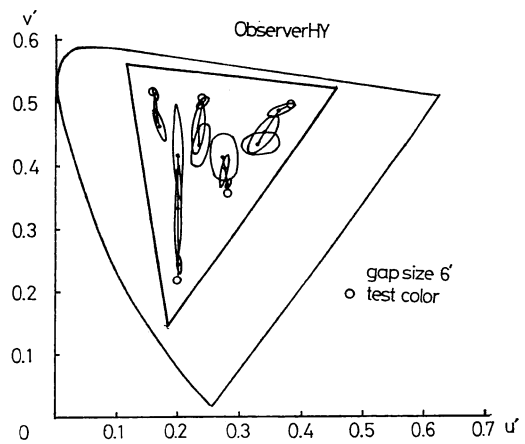


Fig. 3 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing the dispersion of the changes in the perceived test color for 3', 8', 30' fields.

度図上に示す。Fig. 2(a) で示した観察者 HY の各大きさによる色の見えと対応した図である。各点の楕円は、10 回観察されたデータを計算により求めた 75% の確率楕円を示す。テスト刺激の大きさが小さくなるにつれて等色が困難になり、分散が大きくなることがわかる。また、分散に方向性があるがあり、色の見えと同様に青はその方向性が著しく v' 方向に向いている。また、テスト刺激と参照刺激のギャップの大きさを変化させて実験を行なったが、その結果観察される色度は変化しないがその大きさによって分散は変化し、刺激の大きさにより等色しやすいギャップの大きさがあることがわかった。以後の実験ではギャップの大きさは $6'$ と固定した。

次に、とくに彩度の低下が著しい青系統のテスト刺激について、カラー・マッチングを行なった結果を Fig. 4 に示す。テスト刺激の大きさは $3'$ である。○はテスト刺激の色度座標を示し、□は、 $3'$ 視野のテスト刺激と等色したときの参照刺激の色度を示す。観察者は TY である。これら二つの色度を各テスト刺激ごとに直線で結ぶと一点で交わり、その色度は $(0.193, 0.064)$ で標準偏差にして $(\pm 0.005, \pm 0.048)$ の違いがあった。これはトリタノピアの混合色中心と考えられる。すなわち、青錐体だけにより知覚される色の色度座標である。

混合色中心の色度座標は色覚異常者によって測定されたいろいろな報告があるが、有名なものとして Vos¹⁰⁾ と Smith ら¹¹⁾ の結果がある。これらの混合色中心の色度座標と比較すると、 u' 方向、 v' 方向それぞれに約

0.06 の差がある。観察者 HY の結果は u' 方向に約 0.06 の差があった。しかし、Vos と Smith らの結果は色覚異常者のものであって色覚正常者のものではない。したがって、このような違いは個人差および装置の操作性 (赤、緑、青の輝度を調節することによって等色するため原色の色度値と相関した実験データが得られやすい) の影響と考えられる。

さて、○と□を結んだ直線上の色はすべて□で示された色で知覚されるのであろうか。それとも、どの色も $3'$ 視野における固有の知覚される色をもつのであろうか。そこで次に $3'$ の小視野で観察したときの、色の見えの軌跡について調べた。結果を Fig. 5 に示す。ギャップ

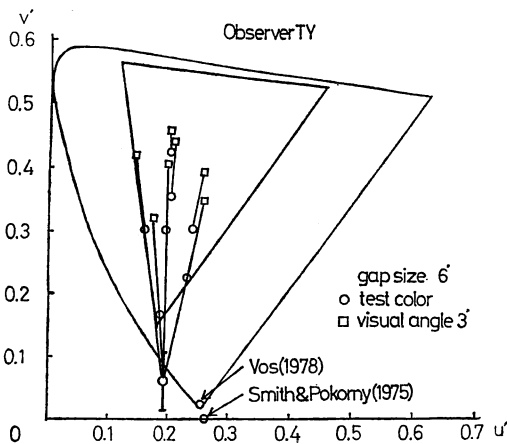


Fig. 4 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing lines connecting the test colors and the perceived colors for $3'$ field and the confusion points of the tritanopes by Vos (1978), and Smith and Pokorny (1975).

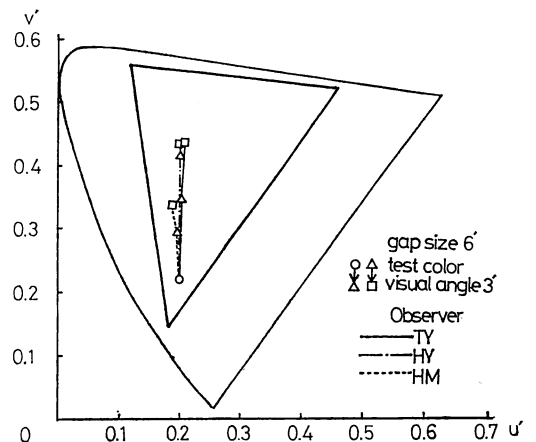


Fig. 5 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing the loci of the changes in the perceived test color for $3'$ field.

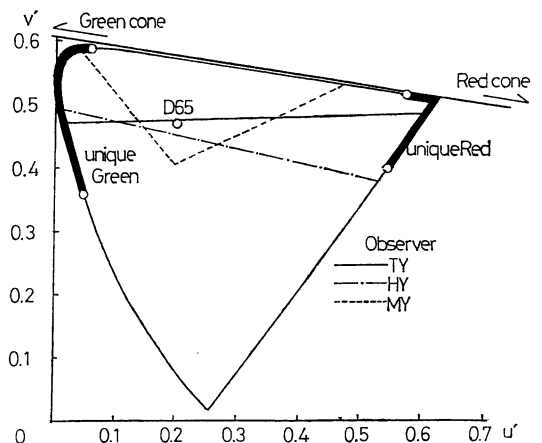


Fig. 6 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing lines derived from perceived low saturation test color for $3'$ field and unique red and unique green.

の大きさは 6', ○は、テスト刺激の色度であり、それを視野サイズ 3' で等色された参照刺激の色度を△で示す。また、△をテスト刺激として用いたとき、等色された参照刺激の色度を□で示す。各色度点はある特定の一点に集まるのではなく、その色も固有の知覚される色をもち、相対的に彩度の低い方向に色の見えは変化することがわかる。

次に低彩度のテスト刺激を 3' 視野で観察したときの色の見えを Fig. 6 に示す。3' 視野で知覚した色度は D 65 の白色を中心としてほぼ左右に直線上に分布したので、それらの色度点を最小 2 乗法で 1 次近似した直線を示してある。また Ayama ら¹²⁾ により得られているユニーク red とユニーク green の範囲を示す。この結果より色の見えは白色点に集まることはなく、赤と緑を結んだ線上に集まることわかる。

これらを比較すれば、1 次近似により得られた直線は

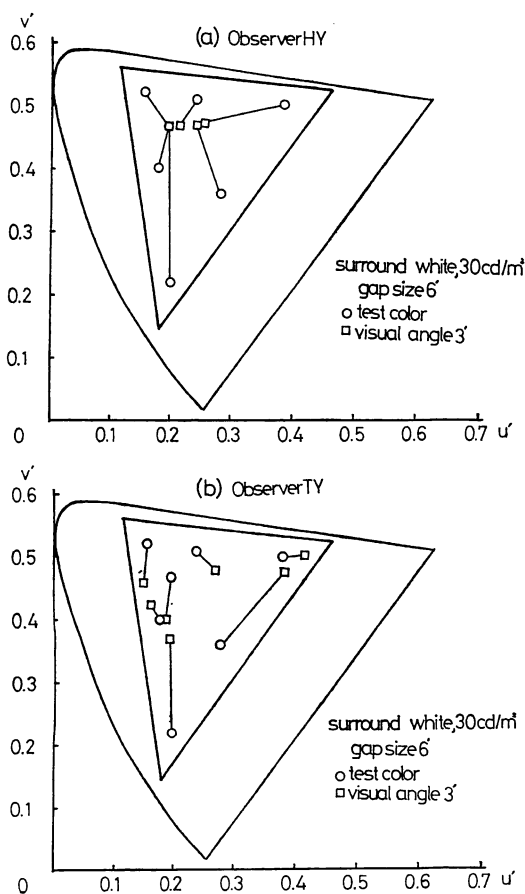


Fig. 7 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing the shift of the perceived test color for 3' field under the white surround, 30 cd/m².

反対色チャンネルの red/green 軸と考えられる。微小視野では、反対色の yellow/blue 色チャンネルの応答は著しく減少し、主に red/green 色チャンネルで色を識別していることが考えられる。

3.3 光源色モードと物体色モード

背景が暗黒の場合と白色の場合では刺激の色の見えは異なって見える。前者は光源色のように見え、後者は物体色のように見える。ここではこれらをそれぞれ光源色モード・物体色モードと呼ぶことにする。König の観測、Willmer, Hartridge の実験は色票を用いたものであり、物体色での色の見えであった。Middleton らは色票を用いたが背景輝度を色票とそろえたため、光源色と物体色の中間モードであった。Willmer ら以下は光学装置または色彩計 (colorimeter) や本実験装置に似た装置を使用した光源色モード下での実験であり、小視野知覚においてモードによる影響はほとんどないと考えられていた。しかし、Hasegawa により光学装置を使用するこのモードの違いについて実験され物体色ではス

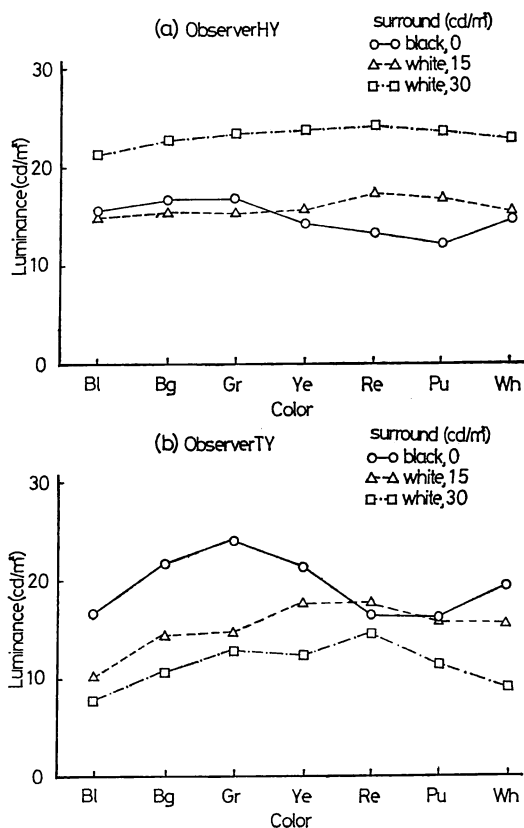


Fig. 8 The luminance of the reference stimuli matching in color to the test stimuli for 3' field with the dark surround (○) and the white surround of 15 (△) and 30 (□) cd/m².

モール・フィールド・トリタノピアの現象を示すが光源色では示さないことが示唆された。

そこでこれらの結果のくい違いを調べるためにテスト刺激の背景に D 65 の白色を用いて疑似物体色モードをつくり、カラー・マッチングを行なった。使用した背景輝度は、15, 30 cd/m² の2種類である。背景輝度 30 cd/m²、観察者 HY, TY の結果を Fig. 7 に示す。○はテスト刺激の色を示し、□はテスト刺激の色に等色された参照刺激の色を示す。

どの観察者においても背景輝度 15 cd/m² も 30 cd/m² も同様の結果を示しており、モードの違いというよりも白色背景の有無により効果が現われている。これは白色との色対比および白色による刺激の囲い込みによって起こると考えられる。背景色のない Fig. 2 と比較するとどの観察者も白色背景のほうが明らかに彩度、色相の変化が大きいくことがわかる。また青色のみではなく、他のテスト色の色の見えの変化も大きい。

そこでこの原因を調べるために、各背景における等色時の参照刺激の輝度を Fig. 8 に示す。観察者 TY は白色背景の輝度が増すにつれて、テスト刺激の色が暗く見えていく様子を示している。観察者 HM についても同様の傾向を示した。逆に観察者 HY は背景輝度が上昇するに従い、テスト刺激が明るく見える傾向を示した。色度図と対応してみると、観察者 HY は白色背景ではほとんどどのテスト色も白色に見えることを示している。すなわち、テスト刺激は背景色とほとんど同化してしまい、テスト刺激を弁別することが困難となっている。観察者 TY の場合はテスト刺激の弁別はできるのであるが、非常に刺激を暗く感じ色味成分を著しく失っている。これは物体色モードになることにより、いわゆる黒味成分が新たに加わったと考えれば輝度と色度の関係を説明できる。とくに色の見えの変化が少ない赤色は輝度においても変化は少ない。

このように白色背景において、テスト刺激がはっきりと弁別できる場合は新たに黒味成分が加わり、モール・フィールド・トリタノピアの現象をさらに大きくし、テスト刺激を弁別できない場合は、背景色と加法混色したかのように同化し明るく見える傾向があると考えられる。

4. 色弁別閾値測定

4.1 実験方法

CRT 上の中央に固視点を呈示し、次にその点の周りに四つの刺激を1秒間呈示する。この四つの刺激のうち

三つは同色の比較刺激であり、一つだけが異なる色のテスト刺激である。刺激が消えた後にどの位置にテスト刺激が呈示されたかを観察者にキーボードで応答してもらい、比較刺激に対する色弁別閾値の測定を行なった。刺激の大きさは 3', 8' の2種類で正方である。また、刺激間のギャップの大きさは 2' である。実験は1セッションの間は比較刺激の色は一定で、テスト刺激は色度図上で比較刺激の周囲の色をランダムに選んだ。また、テスト刺激の呈示位置もランダムに呈示された。比較刺激は青色系統の3色、緑、黄、赤、白の7色でテスト刺激は色度座標で $u'v'$ 方向に各 0.02 間隔の 171 色である。比較刺激、テスト刺激とも輝度は 15 cd/m² である。

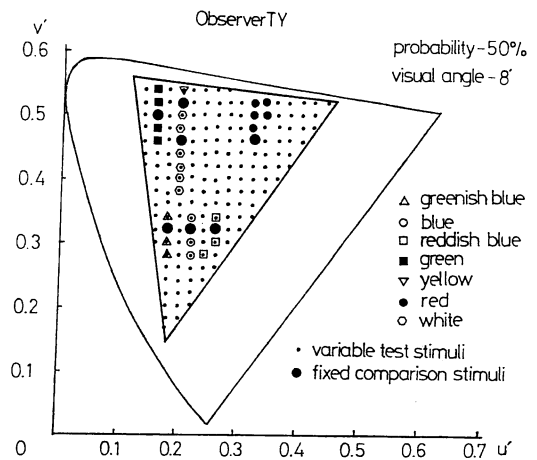


Fig. 9 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing color confusion points in 50% probability for 8' field.

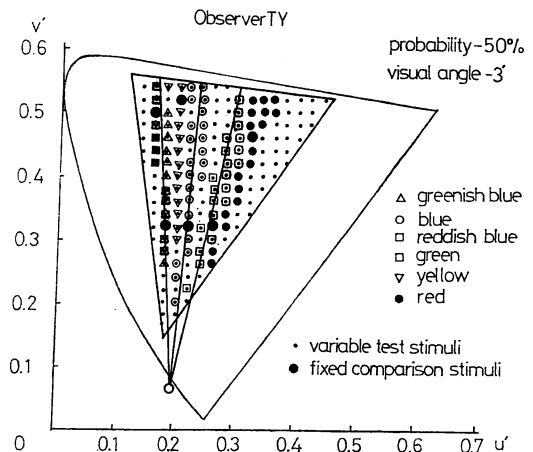


Fig. 10 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing color confusion points in 50% probability and confusion lines for 3' field.

Table 2 The angle as a degree unit between the line connecting the point converged on color matching, and the center point of the color confusion points, and the line calculated from the covariance matrix of the confusion points.

Color name	Observer	
	HY	TY
Blue	2.40	0.07
Reddish Blue	0.98	0.98
Greenish Blue	0.21	0.96
Green	0.04	2.66
Yellow	0.79	1.83
Red	0.95	0.27
White D 65	**	1.16

4.2 視野サイズによる色弁別の変化

Fig. 9, 10 に知覚確率が 50% のときの色弁別閾値の結果を CIE 色度図上に示す。観察者は TY で Fig. 9 は視野の大きさが 8', Fig. 10 は視野の大きさが 3' の結果である。どの色でも視野の大きさ 3' のほうが弁別は悪く、また yellow/blue の方向に弁別が悪くなっていることがわかる。さらにその方向はカラー・マッチングにより求めた青色の混合色中心に向かっている。Fig. 10 にその混合色中心と弁別閾の中心点を結んだ直線を示している。この直線はどの色の弁別閾においてもフィットしており、カラー・マッチングの結果と一致している。

各比較刺激の弁別閾値内の色度値の u' , v' の共分散行列から求めた第 1 主成分の固有値ベクトルと Fig. 10 に示された直線との間の角を Table 2 に示す。これらの角度は、等色実験で得られた色の見えの方向と色弁別閾値の方向が同じであることを示しており、小さいほどそれらの方向は等しい。最も大きな値でも 3° 以下であり、また、本研究では方向ベクトルを一次近似しているため、それらの方向はほぼ等しいことがわかる。この結果より小視野では、青錐体の寄与が著しく減少することが確実となった。

5. 色順応による色の見えとの関係

5.1 実験方法

本実験も 3.1 項と基本的には同じ等色実験であるが、左右の眼をそれぞれ独立に順応させるため両眼隔壁等色法 (haploscopic color matching) を用いた。初めに青色刺激を用いて右眼を 10 秒間順応する。順応刺激が消え 1 秒後、右眼のみで刺激を 2 秒間観察する。観察後テス

ト刺激は消え、左眼に参照刺激が呈示される。観察者は参照刺激の R, G, B 原色の輝度を調節することによって記憶されたテスト刺激の色との等色を 15 秒間行なう。この操作を、観察者がテスト刺激と参照刺激とが等色したと判断するまで続けられた。

同様の操作に従って左眼を順応させて、右眼での等色実験も行なった。順応刺激は CRT の青発光体のみを発光させ 17.7 cd/m² である。テスト刺激の大きさは 3', 1° の 2 種類で参照刺激は 1° であり、15 cd/m² である。テスト刺激の色は 6 色で 3.1 項で用いた 21 色中の 5 色と 4.1 項で用いた黄を使用した。観察は 10 回以上行なった。観察者は 3.1 項と同様である。

5.2 青色順応時の視野の大きさによる色の見え

Fig. 11, 12 に青色順応時の色の見えの変化を色度図上に示す。Fig. 11 は観察者 HY、視野の大きさは 1°, テスト刺激と参照刺激とのギャップの大きさは 6' である。全観察者において色の見えの変化は補色というよりは赤色方向に変化している。Fig. 12 は視野の大きさが 3' の結果であり観察者によって変化の方向が異なっている。観察者 HY は小視野の影響が大きいため、色の変化の方向も Fig. 2(a) に示したように小視野の色の見えと同様な方向を示している。観察者 TY は観察者 HY と比べて小視野でも影響が少なく、1° 視野における青色順応時の色の見えの変化と同様の方向を示している。観察者 HM は前者らの中間の変化を示し、3' 視野で青色順応時のときの色の見えは、3' 視野の時の色の見えの変化と青色順応のときの色の見えとをたし合わせた変化を示した。

このように各観察者において結果は非常に異なり個人

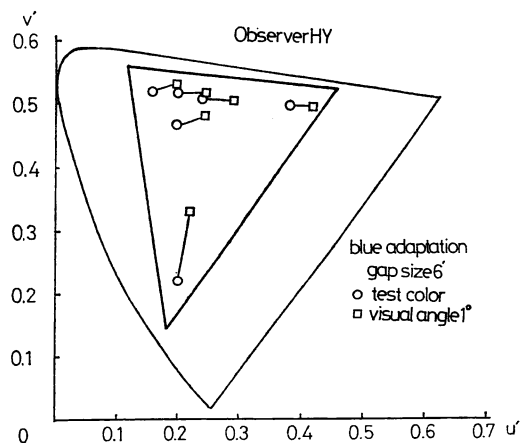


Fig. 11 CIE 1976 $u'v'$ chromaticity diagram showing the changes in the perceived test color for 1° field under the blue adaptation.

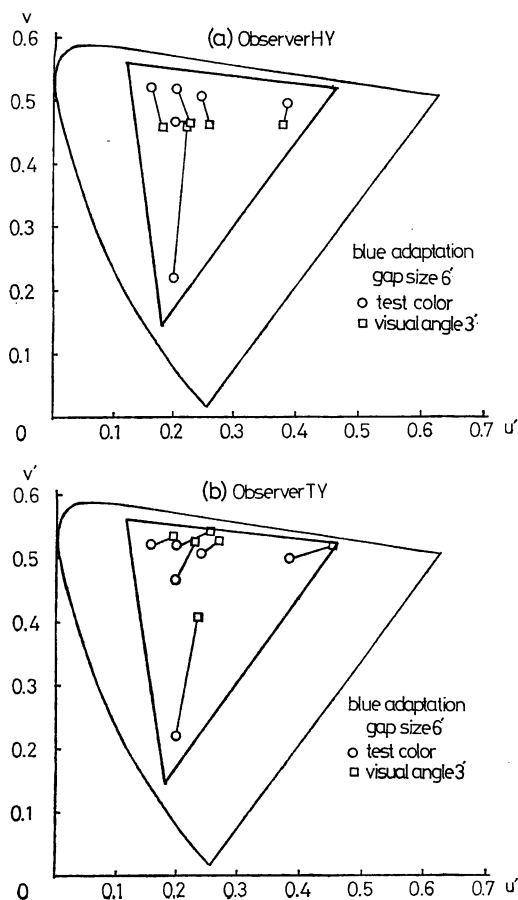


Fig. 12 CIE 1976 u'/v' chromaticity diagram showing the changes in the perceived test color for 3° field under the blue adaptation.

差が大きいことがわかる。しかし、以上の結果から小視野における色の見えと青色順応による色の見えのメカニズムは異なることが言える。すなわち、青色順応では青錐体の分光感度が減少するが、赤錐体の分光感度はそのままであるため、yellow/blue 反対色メカニズムの出力はゼロにならない。よって補色の黄色は知覚されるが、小視野では青錐体の寄与がほぼゼロになるため yellow/blue 反対色メカニズムの出力もゼロになり、黄色も同時に知覚されなくなると考えられる。

また、定性的に、色の時間対比現象は眼がそれ以前に見ていた色の補色の色味が増加すると言われていたが、青色順応時では補色の黄色というよりはむしろ赤色が増加することがわかった。これは本実験で使用した青色順応光により、緑錐体まで順応を受けたとも考えられ、また反対色系の yellow/blue 軸は赤錐体と青錐体の信号を受けているとも考えられる。

6. ま と め

以上の結果から小視野における色覚特性をまとめると次のようになる。

- ① 視野の大きさが小さくなるにつれて彩度が減少し色相も変化し、最終的に反対色系の red/green 反対色チャンネル軸の色の見えは変化する。
- ② 参照刺激と微小視野 (3°) で知覚された色を結んだ直線は、青錐体の色度点で交わることで、色弁別閾値の方向は同点を示すことから、微小視野では青錐体の寄与が非常に減少する。
- ③ 物体色モード (白色背景) では、刺激が明らかに弁別できる場合黒味成分が加わり小視野の効果はさらに大きくなり、刺激が弁別できない場合、背景と同化し加法混色した傾向を示す。
- ④ 青色の時間対比現象とはメカニズムが異なる。

これらの結果から小視野におけるメカニズムを考えた場合、白色を知覚するために必要な絶対感度というものが網膜レベル以降にあると考える。網膜上の青錐体の密度と本実験の結果から考えれば微小視野では青錐体の寄与が著しく減少することで大半を説明できる。しかし黄色が白色に見えること、低彩度のテスト刺激の観察により反対色系の red/green 色チャンネル軸が色度図上に現われたことを考えると絶対感度の存在は可能である。青色の時間対比現象、物体色モードのメカニズムはこの絶対感度を変化させるのではなからうか。

本研究を行なうにあたって分光放射輝度計 (TOPCON SR-1) を快く貸して下さった東京工業大学の池田光男教授、および観察者として協力して下さった方々に深く感謝いたします。

文 献

- 1) W. E. K. Middleton and M. C. Holmes: "The apparent colour of surfaces of small subtense—A preliminary report," *J. Opt. Soc. Am.*, **39** (1949) 582.
- 2) E. N. Willmer: "Colour of small objects," *Nature*, **153** (1944) 774.
- 3) E. N. Willmer and W. D. Wright: "Colour sensitivity of the fovea centralis," *Nature*, **156** (1945) 119.
- 4) R. W. Burnham and S. M. Newhall: "Color perception in small test fields," *J. Opt. Soc. Am.*, **43** (1953) 899.
- 5) T. Hasegawa: "The appearance of colors produced by a minimum-energy stimulus and two pairs of fundamental colors," *Color Res. Appl.*, **7** (1982) 201-204.
- 6) H. Hartridge: "Colour vision of the fovea centralis," *Nature*, **155** (1945) 391.
- 7) D. O. Weitzman and J. A. S. Kinney: "Effect of sti-

- mulus size, duration and retinal location upon the appearance of color," J. Opt. Soc. Am., **59** (1969) 640.
- 8) C. R. Ingling, Jr., H. M. O. Scheibner and R. M. Boynton: "Color naming of small foveal fields," Vision Res., **10** (1970) 501-511.
- 9) W. E. Cowan: "An inexpensive scheme for calibration of a colour monitor intemes of CIE standard coordinates," Comput. Graph., **17** (1983) 321-351.
- 10) J. J. Vos: "Colorimetric and photometric properties of a 2° fundamental observer," Color Res. Appl., **3** (1978) 125-128.
- 11) V. C. Smith and J. Pokorny: "Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm," Vision Res., **15** (1975) 161-171.
- 12) M. Ayama, T. Nakatsue and P. K. Kaiser: "Constant hue loci of unique and binary balanced hues at 10, 100, 1000 Td," J. Opt. Soc. Am. A, **4** (1987) 1136-1144.