継時呈示における等色繰り返し精度に対する時間ギャップの影響

正会員 篠田 博之 (京都大学)

専門会員 池田 光男 (京都大学)

Color Matching Repeatability as a Function of Time Interval in Successive Presentation.

Hiroyuki Shinoda (Member)

Mitsuo Ikeda (Fellow Member) (Kyoto University)

ABSTRACT

A color matching task was done by one subject repeatedly to study color discriminability as a function of inter stimulus interval (ISI) in successive stimuli presentation. Reference and matching stimuli were presented alternately with a certain ISI (0-1000 msec.) The subject adjusted the color of the matching stimulus to match the color of the reference stimulus while switching their presentation at will. The distribution of matching points was assessed by an ellipsoid in xyY color space. The size of the ellipsoid was constant in spite of the ISI increase, but was nevertheless larger than that obtained in simultaneous presentation. The fact shows that the time interval between successive fixations was not a primary factor of low discriminability for spatially separated stimuli.

KEYWORDS : color discrimination, color matching, stimuli separation, gaze shift, time interval and color memory.

1. はじめに

色差知覚や色弁別能力は刺激呈示の物理的パラメータに依存する。過去の研究から刺激の配置、特に刺激間の空間的なギャップが色弁別能力を低下させることが明らかになっている^{1,2)}。しかしここで扱われているギャップは視角で数度以内が殆どである。ところが普段我々は空間的に広範囲に分布した物体の色を比較しており、時には比較対象が同一視野にないこともある。そのような状況では、眼球運動や頭部回転により視点を移動しながら、動的に外界を観察しなければならない。

以前我々は大きな視点移動を伴う状況での色弁別能力を調べるために、2刺激の間隔を変えて等色の繰り返し精度を測定した³⁾。刺激間隔(中心間の距離)を6°から120°の範囲で変化させたところ、間隔の増大に伴って60°付近までは精度が低下し、それ以上ではほぼ一定となる傾向を示した。図1にその結果を示す。縦軸はxyY色空間(CIE1931xy色度平面に輝度軸Y(cd/m²)が直行する空間)における95%等色楕円体の、中心を通る等輝度断面での楕円面積である。ただし面積の平方根を、6°での値A₆に対する相対値で表示した。

色弁別や等色作業には細かい色の差を見分ける能力が反映されるため、色知覚特性の良い網膜中心窩の色情報が重要な意味を持つ。もしも網膜中心窩の物理的条件だけで色弁別閾値が決まるなら、刺激の空間的な間隔を変えたときの色弁別能力の変化は視点移動に要する時間、つまり刺激呈示の時間間隔で説明できる。

視点移動時間に関しては、光点の数を比較する作業⁴⁾や自動車運転中⁵⁾の視点の解析結果から、移動量に対して線形に増大するとの報告がある。しかし等色作業あるいは色弁別作業中の視点移動を解析した研究はない。そこで次に我々は、等色作業中の視点の動きを計測し、視点移動に要する時間を求めた⁶⁾。結果を図2に示す。横軸が視点移動量(ΔG)、縦軸が移動時間(ΔT)である。

図1 空間的な刺激間隔の関数としての等色楕円面積A³⁾。
横軸は刺激の中心間距離、縦軸は刺激間隔6°の値A₆に対する相対値の平方根(A/A₆)^{1/2}で、全参照刺激にわたる平均値である。
○: 被験者 HS, ●: TI。
Figure 1 Mean square root of area of color matching ellipses A^{1/2} as a function of spatial separation.³⁾ A₆ is area of ellipse obtained in 6 deg. separation. ○, subject HS; ●, TI.

図2 視点移動量 ΔG と移動に要する時間 ΔT 。⁶⁾

○：被験者 HS，●：TI。平均値を折れ線で示す。

Figure 2 Gaze shift size (ΔG) and duration taken for gaze shift (ΔT)⁶⁾.

○, Subject HS; ●, TI. Lines indicate average values.

移動量の増大に伴って移動時間は上昇するが、後半で飽和する傾向が見られる。

色弁別の時間特性に関する研究としては、恒常法によるもので Uchikawa *et al.*⁷⁾, Romero *et al.*⁸⁾, 等色法では Uchikawa *et al.*⁹⁾, Newhall *et al.*¹⁰⁾, 等がある。いずれも同時比較時に比べて継時比較時の色弁別能力は低いことが示されている。Uchikawa *et al.*⁷⁾では2刺激の時間間隔は SOA (stimulus onset asynchrony, 片方の刺激の呈示開始からもう一方の刺激の呈示開始までの時間間隔) で 0 ~ 5450 msec. であるが呈示時間が 110 msec. と等色作業中の注視時間に比べて極端に短い。その他の研究では時間間隔が 5 秒以上であり、むしろ色記憶の領域に入ると思われる。またどれも観察が 1 回だけであるとか呈示時間が決められているなどの制限がある。

そこで本研究では被験者が自由に観察できる状況を実現し、刺激呈示の時間的ギャップを変えて等色の繰り返し精度を測定する。そして刺激が空間的に離れているときに見られる色弁別能力低下の原因が、視点移動による時間的ギャップにあるのか確かめる。

2. 実験

2.1 装置

図3に装置の概略を示す。等色刺激呈示用のバーンハム色彩計と参照刺激呈示装置は、ともに150Wのハロゲンランプの光源と色フィルタにより構成されている。装置は基本的には篠田³⁾に記述の装置と同一であるが、呈示時間を制御するためのシャッタ、およびタイマ部が増設されている。シャッタは、それぞれ色彩計中のウェッジフィルタ直前、参照刺激呈示装置中の色フィルタ手前に配置された。参照刺激と等色刺激の中心間の距離は 6° ~ 120° の範囲で設定できる。被験者は色彩計の3つのノブと刺激呈示をコントロールするボタンを操作する。

2.2 呈示条件

被験者から刺激までの距離は約50cm。参照刺激、等色刺激はともに一辺 2° の正方形で、中心間の間隔は 6° に固定されている。ブース内は無照明で、両刺激は光源色モードの見えになる。刺激の呈示条件を図4に示す。一つは継時呈示条件である。始め等色刺激のみが呈示されているが、被験者がボタン ON と同時に等色刺激が消え、ある時間の後、参照刺激が呈示される。ボタン ON の間、参照刺激は呈示され続ける。ボタンを離すと同時に参照刺激が消え、またある時間間隔の後に等色刺激が呈示される。被験者は等色するまでこれを繰り返す。観察時間は被験者が自由にコン

トロールできるため、2刺激の時間間隔は SOA (stimulus onset asynchrony) ではなく、ISI (inter stimulus interval, 片方の刺激の呈示終了からもう一方の刺激の呈示開始までの時間間隔) で定義する必要がある。したがって本研究では刺激呈示の時間間隔および時間ギャップという語はこの ISI を指すものとする。時間間隔 (ISI) は視点移動に要する時間と同程度とするため、篠田⁶⁾を参考に 0, 50, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000 msec. の 9 条件とした。もう一つの呈示条件は同時呈示であり、ボタンを押しても参照刺激が呈示されるだけで等色刺激は消えない。篠田³⁾

図3 実験装置の概略図。

P1, P2: スライドプロジェクタ; F1-3, F4: 色フィルタ; IB1, IB2: 積分管; W: ND ウェッジフィルタ; S1, S2: シャッタ。詳細は参考文献(3)に記述されている。

Figure 3 Schematic diagram of the apparatus.

P1 and P2, projectors; F1-3 and F4, color filters; IB1 and IB2, integrating bars; W, ND wedge filter; S1 and S2, shutters. For more details, see reference 3

Successive Presentation with Inter Stimulus Interval (ISI)

図4 刺激の時間呈示条件。

Figure 4 Time course of stimuli presentation.

の刺激間隔 6° と等価な条件であり、コントロールとしてこの条件を加えた。以上、刺激呈示条件は全部で10条件となる。

2.3 刺激、被験者

参照刺激は篠田³⁾と同一の Yellow-Green, Orange, Purple と今回新たに加えた Achromatic の4種類である。Achromatic にはフジフィルム社製の色フィルタ ND-0.7 (1枚)

と LBB-2 (2 枚) の計 3 枚を重ねて用いた。ミノルタ社製色彩計 CS-100 による、実験終了後の測色値を表 1 に示す。

被験者は 27 才の男性 HS 1 名で、篠田ら³⁾の実験に参加した被験者の一人である。

表 1 参照刺激の測色値 (CIE1931xy 色度座標, および輝度)。
Table 1 Colorimetric value for the reference stimuli.

参照刺激	x	y	Y (cd/m ²)
Yellow-Green	0.396	0.543	179.0
Orange	0.616	0.355	39.7
Purple	0.380	0.212	46.2
Achromatic	0.396	0.401	51.1

2.4 手 順

測定は篠田ら³⁾と同様の手順に沿って行なわれた。被験者はブース内で数分間の暗順応の後、等色作業を開始する。等色が終了したら実験者は色彩計の読みを記録する。その後、被験者は自分で等色を崩し、次の等色作業に入る。等色は 5 回続けて繰り返す (1 ブロック)。1 ブロックが終了したら参照刺激を取り替えて同様の作業を行なう。1 セッションは 4 種類の参照刺激に対する等色 (4 ブロック) で構成され、セッション内の呈示条件および ISI は一定とした。各参照刺激、各呈示条件に対し計 50 回の等色とな

るように、全部で 100 セッションの実験を行った。

3. 結 果

3.1 95%等色楕円体

色彩計の読みから (x, y) 色度座標値、輝度値 Y (cd/m²) に変換し、x, y, Y の各ブロック毎の平均値と全体 50 回の平均値を計算する。さらに各ブロックの平均値が全体 50 回の平均値に重なるように各ブロック毎に 5 点を xyY 空間内で平行移動する。平行移動後の等色点に対し統計処理を施し、3 次元の正規確率分布で近似する。そして 95% の確率分布を包括するように楕円体を決定する。データ処理および等色楕円体の導出方法は篠田ら³⁾に詳細に記述されている。

得られた全等色点と楕円体を図 5 ～ 8 に示す。一番上のグラフは同時呈示条件によるもの、下のグラフは継時呈示条件によるものである。いずれの楕円も楕円体の中心を通る等輝度での断面で、点は等色点の xy 平面への投影を示す。また比較のため、継時提示条件のグラフに、同時提示条件の楕円を破線で表示した。図 5 は Yellow-Green に対する等色の結果であるが、条件に依らず楕円の向きに大きな変化は見られない。また同時呈示条件と ISI100 msec. 条件で僅かに等色点が密に分布している程度で、楕円体の大きさも殆ど変化していないと言える。図 6 の Orange では同時呈示条件の楕円が明らかに小さい。楕円近似の弱点であるが、正規分布を仮定するために、得られる楕円体は中心から遠く離れた 1 点の影響を受け易い。特に ISI 400, 800, 1000 msec. 条件で楕

図 5 参照刺激 Yellow-Green に対する等色楕円体。
黒点：等色点の xy 色度平面への投影、楕円は等色楕円体の中心を通る等輝度断面、破線：同時呈示条件、実線：継時呈示条件。被験者 HS。
Figure 5 Color matching ellipsoids for reference Yellow-Green.
Dots, projection of matching points to xy chromaticity plane.
Ellipses, cross sections of ellipsoids at the constant-luminance plane through the center. Dashed lines, simultaneous presentation; solid lines, successive presentation. Subject HS.

図 6 参照刺激 Orange に対する等色楕円体。
Figure 6 Color matching ellipsoids for reference Orange.

円が大きくなっているのはこのためである。図7のPurpleでも同時呈示条件の楕円が他に比べて小さい。ISIによって、楕円の大きさに変化はあるが、システマティックなものではない。図8はAchromaticであるが、楕円の向きが一定していない。これは等色点分布に偏りが少ない、つまり円に近い分布をしているからであろう。大きさには大きな変化は見られない。ただし、他と同様に同時呈示条件の楕円が小さい。

3.2 等色中心位置

楕円体中心、つまり等色中心位置の変化にある傾向が見られたので図9にそれを示す。楕円は同時呈示条件のもので、中心点を同時呈示、ISI 0 msec., 50msec., 100msec.・・・と順に折れ線で結んでいる。Yellow-Greenでは同時呈示から継時呈示、さらにISIの増大に伴って等色位置がY座標減少の方向に移動している。Orangeでは左下方向つまりx, yともに小さくなる方向に、Purpleではその逆方向に、AchromaticではYの減る方向に各々移動している。変化の大きさは僅かで、楕円を大きく外れるものではない。図9の下段に変化方向を矢印で示したが、これを見ると中心位置は彩度低下の方向に移動していることが分かる。輝度方向に関しては殆ど変化が見られなかったため図は割愛する。これとは逆に、Newhall *et al.*¹⁰⁾では、同時等色に比べて記憶等色のときは高い彩度で等色している。また、我々でも空間的なギャップを変えたときには今回のような傾向は見られなかった³⁾。本実験も被験者1人だけであり、低彩度方向に移動するという傾向が一般的とは断定できない。

3.3 等色楕円体の大きさ

等色の繰り返し精度を与える指標として95%等色楕円体の体積V, 中心を通る等輝度断面の楕円面積A, 輝度軸方向の径dYを考える。図10に体積V, 面積A, 径dYをISIの関数として表示した。上段のグラフでは値そのものを縦軸にとっている。シンボルの違いで参照刺激の違いを表わしている。また白抜きシンボルは同時呈示条件を表わしている。(A)の楕円面積Aでは、ISIによって値の上下はあるが、変化に一貫した傾向は見られない。しかし、いずれも同時呈示(白抜きシンボル)の方が継時呈示(黒シンボル)に比べて低い値を示している。この継時比較での弁別能力の低下は過去の研究報告と一致する。(B)は等色楕円体の輝度軸方向の径dYであるが、Yellow-Greenだけ値が高い。これは刺激輝度がそもそも高いため、楕円体中心の輝度値Yとの比dY/Yで見れば他と変わらない。ここでも面積同様、ISIによる変化は見られない。しかし継時呈示と同時呈示の差は一貫していない。PurpleやAchromaticでは同時呈示の方が低く、逆にYellow-Greenでは高い値を示している。(C)の楕円体体積Vにおいても、ISIによる値の上下はあるが一貫した変化は見られない。また、いずれも同時呈示の方が低い値になっている。どのグラフも参照刺激によって値にかなりばらつきがある。そこで次に同時呈示で得られた値を基準にして相対的にプロットした。下段にそれを示す。縦軸は同時呈示条件の値(As, dYs, Vs, 添字sはsimultaneousの意)で割った相対値である。また体積、面積は次元を揃えるため、各々1/3乗、1/2乗とした。これらのグラフを見ると、相対値表示では参照刺激による差が小さくなるということが分かる。特に、(E)でその効果が大きい。(B)のYellow-Greenの100msec.で見られる落ち込みも(E)では目立たない。下段のグラフでは参照刺激による差が小さいので、平均値を求め、値を折れ線で結んだ。ただしシンボルは表示していない。(D)の楕円面積では全て1以上の値になった。これは先に述べた通り、同時呈示の方が楕

図7 参照刺激Purpleに対する等色楕円体。
Figure 7 Color matching ellipsoids for reference Purple.

図8 参照刺激Achromaticに対する等色楕円体。
Figure 8 Color matching ellipsoids for reference Achromatic.

図9 等色中心位置の変化。

楕円体の中心を同時呈示, ISI 0 msec., 50msec., 100msec. の順に折れ線で結んでいる。楕円は同時呈示で得られたもの。下段にずれの方向を矢印で示した。

Figure 9 Shifts of center of the ellipsoids.

The centers are connected by lines in order of ISI. Ellipses are obtained in simultaneous presentation. The arrows show the shifts direction.

図10 ISI の関数としての等色楕円体の大きさ変化。

(A) 楕円面積 A , (B) 輝度軸方向の径 dY , (C) 楕円体体積 V , (D) 楕円面積 A の同時呈示での値 A_s に対する相対値の平方根 $(A/A_s)^{1/2}$, (E) dY の同時呈示 dY_s に対する相対値 dY/dY_s , (F) 楕円体体積の相対値の立方根 $(V/V_s)^{1/3}$. 黒シンボルは継時呈示での値, ■: 参照刺激 Yellow-Green, ●: Orange, ▲: Purple, ◆: Achromatic. 白抜きシンボルは同時呈示での値, 下段(D)~(F)での折れ線は, 4 参照刺激に対する結果の平均値を示す。

Figure 10 Size of the ellipsoid as a function of ISI

(A) Area of ellipsoids A , (B) luminance radius dY , (C) volume of ellipsoids V , (D) relative value of $A^{1/2}$ to that for simultaneous presentation $A_s^{1/2}$, (E) dY/dY_s , (F) $(V/V_s)^{1/3}$. ■, Yellow-Green; ●, Orange; ▲, Purple; ◆, Achromatic. Open symbols indicate values for simultaneous presentation. Lines show average values for all references in (D), (E) and (F).

円面積が小さいことを示している。継時呈示においては ISI による影響は見られず, 平均値は1.4付近ではほぼ一定となっている。

(E) では殆どの点が1付近に分布しており同時呈示と継時呈示で差がないことを示している。平均値も約1で ISI に依らず一定である。(F) では Yellow-Green の100msec. 以外, 1以上になっている。また ISI に依らず一定 (平均値は約1.3) の傾向を示している。以上から, 次のことが示される。楕円面積、つまり色度弁別に関しては同時呈示に比べて継時呈示での弁別能力は低い。しかし、継時呈示においては ISI の大小に依らず色度弁別能力は一定である。また、ISI = 0 msec. 条件と同時呈示条件との差は、この色度弁別能力の低下が時間条件の違いによるものではなく、網膜周辺の条件の違い (片方の刺激を観察しているときに、もう一方の刺激が呈示されているかどうかの違い) によるものであることを示している dY の輝度弁別に関しては、同時と継時の差はない。また継時呈示においては、時間的ギャップ (ISI) の大小に関係なく、輝度弁別能力は変わらない。

4. 考 察

4.1 等色中心位置に関して

同時呈示から継時呈示, さらに時間的ギャップ (ISI) の増大という変化に伴って, 等色する点は僅かに彩度の低下する方向にずれる。この等色点のずれは, 色記憶に関する過去の研究報告¹⁰⁾とは逆の方向である。また、ずれの大きさもかなり小さい。記憶実験のように1回の観察だけならば、記憶での色のずれが生じる可能性はある。しかし、今回のように自由に何回でも観察できる状況ではずれは起こりにくいと考えられる。それでも僅かにずれが生じたということは、比較作業が等色刺激から参照刺激、参照刺激から等色刺激というように双方向的に行なわれていない可能性がある。もしそうだとすると、本実験と Newhall *et al.*¹⁰⁾の結果を考え併せて、まず(1)等色刺激を観察し記憶する、次に(2)参照刺激を観察し記憶した色と比較する、そして(3) (2)で得た印象を基にして調色、という順序が優勢であると予想される。しかし、被験者1人だけの結果であり、これ以上の考察は本研究の主題から

外れることになるので、等色点のずれに関してはまた機会をあらためて実験を設定し、検討することが必要である。

4.2 等色の繰り返し精度に関して

等色の繰り返し精度として95%等色楕円体の体積V、等輝度断面の楕円面積A、輝度方向の径dYを求め、条件の違いによる影響を検討した。継時呈示条件においては等色楕円体の大きさに時間的ギャップ (ISI) の影響は見られなかった。しかし、楕円面積Aや楕円体体積Vでは、同時呈示と比較して明らかな上昇が観察された。輝度方向の径dYで差がでなかったのは、輝度弁別は継時呈示条件でも同時呈示条件と同程度の能力であることを示している。一方 Uchikawa *et al.*⁹⁾は継時比較での輝度弁別能力の低下を報告している。その実験では2刺激は二分視野として、空間的に隣接配置されている。しかし今回の実験ではすでに刺激間に6°の空間的ギャップがあり、この違いが結果に影響している可能性がある。また、この特性は被験者HSに特有であるとも考えられる。というのは、空間的ギャップの影響を調べた実験³⁾でも、dYの変化は他の被験者と比較して小さかったからである。

図10の(A)および(D)に示されるように、楕円面積Aの結果において、同時呈示に比べて継時呈示での色度弁別能力が低下していたことは過去の報告^{7)~10)}と一致している。しかしISIの大小に関係なく一定という事実は「刺激と刺激の時間間隔は色度弁別能力に影響しない」ことを示している。継時呈示のISI 0 msec.条件と同時呈示条件との物理的条件の違いは、網膜中心窩で片方の色刺激を観察しているときに、網膜周辺部に比較対象となるもう一方の色刺激が呈示されているかどうかだけである。従ってこの2条件間に見られた色度弁別閾値の差は「弁別能力に影響を与えるのは呈示の時間条件の違いではなく、網膜周辺の条件の違いである」ことを示唆している。

4.3 空間的ギャップと時間的ギャップ

視点移動による時間的ギャップが、刺激が空間的に離れているときに見られる色弁別能力低下の主要因ではないことは、ここまでの考察から明らかである。図11に空間的ギャップに対する楕円面積の変化を示す被験者HSのデータ(図1の白抜きシンボル)を、同じく被験者HSの視点移動時間ΔTの値(図2の破線の縦軸値)を横軸として再プロットし、時間的ギャップ効果のグラフ

図11 被験者HSの空間的に離れた刺激配置での等色楕円面積 $(A/A_s)^{1/2}$ を視点移動時間 (ΔT) の関数として再表示し (○) 本実験で得られた継時呈示での値 $(A/A_s)^{1/2}$ (●) と比較した。
Figure 11 Relative values of area $(A/A_s)^{1/2}$ obtained by subject HS for spatially separated stimuli as a function of ΔT (○) and those $(A/A_s)^{1/2}$ for temporally separated stimuli as a function of ISI (●).

(図10のD)とあわせて表示した。白抜きのシンボルは空間的ギャップ効果のグラフであるが、空間間隔6°~60°の変化に対して、視点移動時間ΔTは約100~600msec.の範囲で増大し、楕円面積は1から1.4付近まで上昇している。一方、空間間隔を6°に固定したままで、時間間隔だけを変化させたとき(黒シンボル)は1.4付近の値で殆ど変化していない。2つの曲線で、横軸の値が等しい所では網膜中心窩に与える刺激の時間的條件は等しいはずである。違うのは注視時の網膜周辺に与えられる情報、つまりもう一方の刺激が呈示されているかどうかである。したがって、斜線部分が生ずる弁別能力の差は網膜周辺部の情報の差によるものと考えざるを得ない。つまり空間的に離れて行ったときの60°までの上昇(白シンボル)は、視点移動による時間的ギャップではなく、周辺視の特性に従う。そして60°以上では視野から外れてしまうため、弁別能力はあまり変化しないと考えられる。しかし、はたして片方の色刺激を観察しているときの周辺での色の見えが、色弁別に影響を及ぼしているのだろうか。そこで次に、その可能性を探るために、周辺視でのカラーネーミングを試みた。

4.4 周辺視によるカラーネーミング

4.4.1 実験

被験者はHS 1名。刺激呈示には本実験と同じ装置を用いた。ただし、色彩計の積分管の前面に、開口のあるマスクを設置し、0.1°の固視点を呈示した。対象となる刺激を7種類用意した。その中の4つは本実験で用いた参照刺激である。新たに加えた3つは本実験以外の等色実験で用いた刺激で、比較的低彩度であるため、語尾に Low Saturation (LS) を付して区別した。測色値は表2に示す。被験者は固視点に対し正面を向き、それを固視した状態で、周辺に呈示される2°正方形の参照刺激を観察し、カラーネーミングをする。観察は両眼で行なう。何回でも見ることができ、トラクスラー効果(固視を続けていると色が消えてゆく現象)¹¹⁾を避けるため、1回の呈示時間は500msec.とした。参照刺激の呈示位置は固視点から左に6°, 15°, 30°, 60°, 90°, 120°とした。また参照刺激を固視、つまり中心窩でのカラーネーミングも行なった。カラーネーミングは、反対色応答に基づいて知覚量の成分比率を答える方法である^{12,13)}。まず全体を10として白み成分、黒み成分を答える。次いで、赤、青、黄、緑の中から反対色にならないように2色以内を用いて色相を表現する。このときも全体を10として割合を回答する。例えば、黒み1、白み3(残りは色み6)、さらに赤7、黄3と答えたとき、黒成分は0.1、白み成分は0.3、赤成分は $0.6 \times 0.7 = 0.42$ 、黄成分は $0.6 \times 0.3 = 0.18$ となる。各刺激、各条件に対し、計5回のカラーネーミングを行なった。

表2 カラーネーミングに用いた参照刺激の測色値(追加分)。
Table 2 Colorimetric value for the reference stimuli for color naming experiment (addition).

参照刺激	x	y	Y (cd/m ²)
Yellow-Green(LS)	0.529	0.378	42.2
Orange(LS)	0.362	0.501	59.9
Purple(LS)	0.361	0.292	46.1

4.4.2 結果

いずれの場合も黒の回答は得られなかった。光源色モードの典型的な色応答である。5回の結果を平均し、図12に表示した。グラフは極座標表示で、中心からの距離は色み成分の大きさを、角度方向は色相を表わしている。中心窩の結果を大シンボルで表わし、6°, 15°...と順に折れ線で結んだ。Achromatic 以外は彩度の変化が見られる。Yellow-Green, Orange, Purple といった

図12 周辺視でのカラーネーミングの結果。

中心からの距離で有色成分の量を、角度方向で色相を示す。大シンボルは中心窩での結果を示している。中心窩、周辺 6°, 15°, 30°, 60°の順に折れ線で結んだ。

Figure 12 Color naming in peripheral viewing.

Radius shows chromatic component and angle shows hue components. The large symbols show results for central viewing. Lines connect points in order of eccentricity.

高彩度の刺激では周辺に行くほど彩度が低下する傾向を示している。Yellow-Green(LS), Orange(LS), Purple(LS)といった低彩度の刺激ではいったん彩度が上昇してから低下する方向へ変化している。Purple, Purple(LS)以外では色相の変化も起きている。さらに Orange や Purple, Achromatic を除いた刺激では、6°ですでに大きく色見えが変化している。微細な色の違いを見分けなければならない色弁別作業では、これらの色見えの変化は致命的であり、網膜周辺から得た「色情報」を利用しているとは考えにくい。では色見え以外の網膜周辺情報の、いったい何が等色精度や色弁別に効いているのだろうか。これについての議論は、今後の研究成果を待たなければならない。

4.5 色弁別メカニズムについて

小視野^{14,15)}、あるいは低輝度¹⁶⁾で見られる色弁別能力の低下と、我々の扱った空間ギャップや時間ギャップを伴った呈示法での色弁別能力の低下では、その原因が本質的に異なると考えている。前者では網膜レベルで刺激呈示条件の影響を受けている。したがって色見え（色知覚）自体が曖昧になっており、被験者は“同じ”に見える（これ以上は違いが分からない）と感じて等色を終了することができる。以前我々の実験でも、低輝度で等色の繰り返し精度を測定したときに、精度は大きく低下しているにも拘らず、作業にそれほどの苦痛は伴わないという内観報告が得られている。それに対し時間空間ギャップのある刺激呈示での色弁別作業では、色知覚自体ははっきりしているにも拘らず、比較がうまく出来ないため、“同じ”か“異なる”かの判断をするときに、大きな精神的ストレスが伴う。そのため等色作業も非常に難しく感じるのである。

我々は後者の、時空間ギャップのある刺激呈示での弁別能力低下の原因に関して、次のような色弁別メカニズムを想定して解釈を試みた。『色弁別は視覚系内の様々なレベルで行なわれ、その処

理レベルによって弁別能力が決まる。また、どのレベルで処理されるかは、刺激の呈示条件によって流動的に決定される』と考える。同時呈示で、空間的にも隣接している場合のように最良の条件では、境界部分から差を直接観察できる。このときの弁別能力は最も高く、仮にこれを“知覚レベル”での色弁別と呼ぶ。ところが条件が悪くなる、つまり空間的にギャップが入ったり継時呈示になると、記憶に頼る必要が生じる。すなわち、差を直接知覚できないため、知覚している色と記憶している色の比較から差を引き出さなければならず、弁別能力は低下するのである。その延長線上にあるのが長期記憶による色弁別であり、これを“長期記憶レベル”での色弁別と呼ぶことにする。2刺激の間に時空間的なギャップが存在している条件での色弁別も、この知覚レベルと長期記憶レベルの間の、どこかのレベルで行われていると考えられる。このレベルの決定に際して、周辺網膜からの情報がレベルを知覚レベルの方へ下げる働きをしているのではないだろうか。それに対し、時間的ギャップの大小はレベルの決定に影響しない、その結果等色精度にも変化が現れなかった、と解釈している。しかしこれはあくまで推測であって、客観的根拠に基づくものではない。

今後、様々な環境において色差を扱うためには、さらに多様な刺激呈示条件で色弁別能力を測定し、色差式や均等色空間に反映させておくことが必要とされる。その際、やみくもに測定するのではなく、物理条件の変化が色弁別メカニズムの何処に、あるいは何に影響を及ぼしているのかを考慮しながら、測定しておくことが重要なのではないだろうか。

5. まとめ

刺激を継時呈示するときに、時間的ギャップ(ISI)を0から1000 msec.の範囲で変化させ、等色の繰り返し精度を測定した。等色点のばらつきをxyY色空間内の楕円体で評価したところ、楕円体の大きさはISIによらず一定であった。しかし同時呈示と比べると明らかな増大が見られ、注視観察時の網膜周辺情報の重要性が示唆された。

謝辞

この研究は日本学術振興会特別研究員制度の援助を受けて行なわれた。

参考文献

- (1) Witt, K.: Parametric effects on surface color-difference evaluation at threshold, Color Res. Appl., 15-4, pp.189-199(1990)
- (2) Sharpe, L. T. and Wyszecki, G.: Proximity factor in color-difference evaluations, J. Opt. Soc. Am., 66, pp.40-49(1976)
- (3) 篠田博之, 池田光男: 大きな視点移動を伴う等色作業における繰り返し精度, 照学誌, 78-2, pp.76-82(1994)
- (4) Sanders, A. F.: Some aspects of the selective process in the functional visual field, Ergonomics, 13-1, pp.101-117(1970)
- (5) Land, M. F.: Predictable eye-head coordination during driving, Nature, 359, pp.318-320(1992)
- (6) 篠田博之, 池田光男: 等色作業中の視点の動き, 照学誌, 78-10, pp.51-60(1994)

- (7) Uchikawa, K. and Ikeda, M. : Temporal deterioration of wavelength discrimination with successive comparison method, Vision Res., 21, pp.591-595(1981)
- (8) Romero, J., Hita, E. and Jimenez del Barco, L. : A comparative study of successive and simultaneous methods in colour discrimination, Vision Res., 26-3, pp.471-476(1986)
- (9) Uchikawa, K. and Ikeda, M. : Accuracy of memory for brightness of colored lights measured with successive comparison method, J. Opt. Soc. Am., A, 3-1, pp.34-39(1986)
- (10) Newhall, S. M., Burnham, R. W. and Clark, J. R. : Comparison of successive with simultaneous color matching, J. Opt. Soc. Am., 47-1, pp.43-56(1957)
- (11) Clarke, F. J. J. : A study of Troxler's effect, Optica Acta, 7, p.219(1960)
- (12) Hård, A. and Sivik, L. : NCS-Natural color system : A Swedish standard for color notation, Color Res. Appl., 6, pp.129-138(1981)
- (13) Gordon, J. and Abramov, I. : Scaling procedures for specifying color appearance, Color Res. Appl., 13-3, pp.146-152(1988)
- (14) Brown, W. R. J. : The effect of field size and chromatic surroundings on color discrimination, J. Opt. Soc. Am., 42-11, pp.837-844(1952)
- (15) Bedford, R. E. and Wyszecki, G. W. : Wavelength discrimination for point sources, J. Opt. Soc. Am., 48

-2, pp.129-135(1958)

- (16) Brown, W. R. : The influence of luminance level on visual sensitivity to color differences, J. Opt. Soc. Am., 41-10, pp.684-688(1951)

(受付日1994年4月11日/採録日1994年8月4日)

しのだ ひろあき
篠田 博之 (正会員)

京都大学工学部

〒606-01 京都市左京区吉田本町

昭和41年生まれ。平成元年東京工業大学理学部物理学科卒、平成3年同大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻修士課程修了。

現在は京都大学大学院工学研究科建築学専攻博士後期課程。専門
は視覚環境、色彩、視覚情報処理。日本視覚学会会員。

いけだ みつお
池田 光男 (専門会員)

京都大学工学部建築学教室

〒606-01 京都市左京区吉田本町

昭和30年大阪大学工学部精密工学科卒業。昭和37年米国ロッチェスター大学大学院博士課程修了、PhD。東京工業大学教授を経て現在

京都大学工学部建築学教室教授。視覚情報処理、色覚、色彩工学、色彩環境学の研究と教育に従事。応用物理学会、日本色彩学会、日本建築学会各会員、日本照明委員会会長、国際照明委員会第1部会長、国際色彩学会副会長。