



明順応周辺網膜における色光の見え

高瀬 正典^{*,**}・内川 恵二^{**}

* 防衛大学校応用物理学教室 〒239 横須賀市走水 1-10

** 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

(1991年3月13日受付, 1991年5月23日受理)

Appearance of Colored Lights in the Light-Adapted Peripheral Retina

Masanori TAKASE^{*,**} and Keiji UCHIKAWA^{**}

* Department of Applied Physics, National Defense Academy,
1-10, Hashirimizu, Yokosuka 239

** Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology
Graduate School, 4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

(Received March 13, 1991; Accepted May 23, 1991)

Appearance of four spectral lights near the unique-hues were measured with a color naming method as a function of eccentricity up to 70° across the horizontal and vertical meridians in the light-adapted retinae of 10 subjects. The colored lights, which were matched to a reference of 250 cd/m² in brightness at the fovea, were presented in a 2° aperture with a white surround of 120 cd/m². The surround was of a half spherical shape. The results show that the colored lights do not desaturate at periphery as much as the previous results obtained in the dark-adapted condition. Chromatic components-vs-eccentricity functions, normalized at the fovea, were turned out to be of the same shape for four test colored lights.

1. はじめに

周辺網膜における色見えについては、これまでの多くの研究から、刺激呈示の離心角 (eccentricity) の増加とともに彩度が急激に低下し、色相も変化することが知られている^{1,2)}。この特徴を色み (chromaticness) が知覚できる網膜領域である色視野として表すと、反対色対で同じ様相を示し、赤緑が狭く、黄青が広いという色視野の特性が報告されている³⁻⁶⁾。しかし、われわれの日常生活の経験ではこれまで言われているほどの急激な彩度の低下や顕著な色相の変化はないように思える。この違いについて考えられることは、従来の研究における実験条件では、テスト刺激を暗順応時の網膜に背景暗黒の条件で短時間呈示していることである。日常の視環境においては明順応レベルの明るい背景刺激が存在している場合が多い。また、従来の研究では、テスト刺激を明所視レベルで呈示するといっても、明るい昼間の視環境に比

べれば、低いレベルである。これらの実験条件と日常の視環境条件の違いを見ると、周辺網膜での色見えに対して、桿体の影響と、背景刺激の有無が大きな要因となっていると考えられる。

まず、桿体の影響について調べた研究には Stabell ら⁷⁻⁹⁾の実験がある。Stabell ら⁷⁾は、傍中心窩で暗順応過程における色見えを cone plateau レベルより 2 log ユニット高いテストスペクトル光について調べ、桿体は cone plateau 期間中には機能しないがそれ以降では色見えに大きな影響を及ぼし、彩度の低下と色相の黄青への変化が生ずることを示した。しかし、cone plateau 中であってもテスト刺激の輝度が閾レベルではなくそれ以上であれば、桿体の影響が混入する可能性もある。Stabell ら⁸⁾は、とくに桿体の寄与を除くように cone plateau 中の色見えをその閾上 2.5 log ユニットのスペクトル光について測定したが、暗順応条件と同様な結果を得ている。この結果は、彼らも指摘している

ように、桿体の寄与があることを示している。また、Stabell ら⁹⁾は、閾上さらに高いレベル (1,000 Td) のテスト刺激についての分光感度から明るさへの桿体の寄与を指摘した。

つぎに、テスト刺激の周囲に背景刺激がある場合とない場合での色の見えの変化については、従来の周辺視での色の見えの研究ではほとんど扱っていない。中心視においては、背景のない開口色モードの色の見えを背景(周辺)刺激を置くことによって表面色モードに変化させることができる^{10,11)}。この場合、テスト刺激の彩度は上昇する。したがって、周辺視においても背景刺激がある場合にはテスト刺激の彩度が上昇することが期待できる。

われわれの日常生活では昼夜に関わらず暗順応するような視環境はむしろ少なく十分に明るい視環境がほとんどの場合を占めている。したがって、日常生活時に機能するような色覚メカニズムによる周辺視での色の見えを調べることは極めて重要なことである。本研究では、日常の視環境に近い実験条件にするために、背景刺激のある条件にし、その輝度は桿体がほぼ飽和するレベルに設定した。テスト刺激としてはユニーク色に近い単色光を用い、色の見えはカラーネーミング法で調べた。網膜部位は水平方位と上下方位について調べ、さらにより一般的特性を得るために被験者の数を 10 人とした。

2. 実験方法

2.1 網膜部位

ここでは網膜部位をテスト刺激を呈示する視野空間上の方位角 (meridian) と離心角 (eccentricity) で表す。

方位角は、右眼視野の水平耳側を 0° とし、反時計方向を正として測る。離心角は、中心窩を 0° として、中心窩からテスト刺激までの視角とする。実験条件として、方位角は $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ および 270° の 4 方位、離心角は $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ (または 50°) および 70° とした。

2.2 刺激

被験者に呈示する刺激として、参照刺激、テスト刺激および背景刺激を用いた。参照刺激とテスト刺激はともに直径 2° の開口内に呈示される色光である。背景刺激は、参照、テスト刺激の周辺の灰色紙を蛍光灯で照明して作る。参照刺激は、Xe ランプからの白色光を拡散板で散乱させて作り、輝度は 250 cd/m^2 一定、色度は $x=0.347, y=0.356$ である。テスト刺激には、ほぼユニーク色である 465, 505, 576 および 630 nm の単色光を用いた。これらのテスト色光の輝度は、参照光に中心窩で明るさマッチングして決めた。明るさマッチングは、参照光から 10° の位置にテスト光を連続呈示し、被験者が両色光を継時的に中心窩で比較し、テスト光の輝度を調整することで行った。

背景刺激の色度は $x=0.298, y=0.349$ 、輝度は 120 cd/m^2 一定である。この輝度は、 $1,900 \text{ scotopic Td}$ に相当し、桿体の飽和網膜照度の下限にほぼ等しくなっている¹²⁾。テスト刺激位置にテスト色光を呈示しないときは、参照光と同じ色度を持ち、周辺背景と等輝度の 120 cd/m^2 の白色光が置き換わるようにした。

2.3 装置

実験に使用した装置を Fig. 1 に図示する。参照光、テスト光の光源として 500 W の Xe ランプ XL を用い、周辺の背景光用の光源に 4 本の 6 W 白色蛍光灯

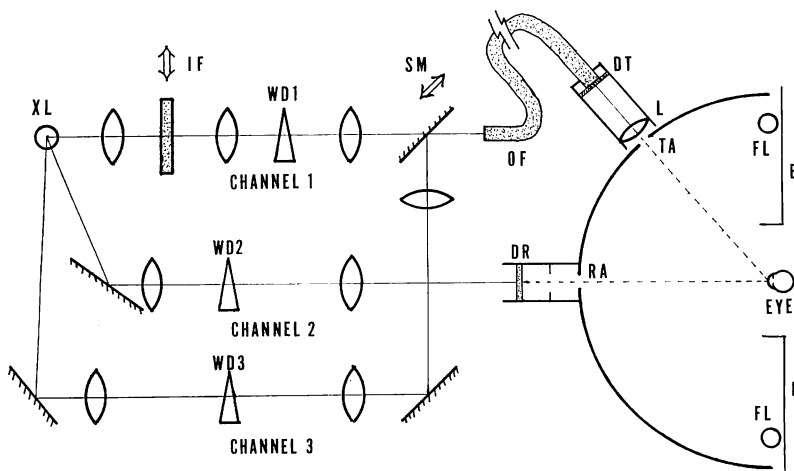


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

FLを用いた。装置は刺激呈示部と光学部に大別できる。刺激呈示部は180°視野の半球からなり、参照光はその中央に固定した視角2°の開孔RAに呈示される。テスト光はある方位に離心角10°ごとに設定した2°の開孔TAのいずれか一つに呈示される。半球内面はN5.5の灰色艶消し塗料で塗られている。この半球は参照光を中心として回転するように作られていて、テスト光の方位角の設定を行う。テスト光は図に示すように断面4mm×5mm、長さ1mのオプチカルファイバー束OFにより呈示される。OFの出射光角度分布をできるだけ均一にするために、出射端に拡散板DTを用いた。参照光およびテスト光に蛍光灯の光が混入しないように開孔TA、RAと拡散板DT、DR間にそれぞれ距離を置くとともに絞りを置いた。刺激呈示部の前面には穴の開いた遮蔽板Bを設け、蛍光灯が被験者から直接見えないようにした。使用していないテスト用開孔はN5.5のパッチで一時的に塞いである。

光学部においてテスト光は、光路1の干渉フィルターIFと光学ウエッジWD1を通ったのち、シャッターミラーSMが1秒間開くことによって、OFに入射する。OFから出射したテスト光は、視野レンズLにより、テスト開孔を一樣に満たすようになる。SMが開いていない間(テスト光が呈示されない間)は、光路3の白色光をOFに入射させた。参照光は光路2により作られ、輝度は光学ウエッジWD2で調整される。光学部と刺激呈示部のブースと、被験者用のブースは暗幕で覆われている。

2.4 色光の見えの評価

本研究では、刺激光の明るさはマグニチュード評価(magnitude estimation)法を、色相と彩度はカラーネーミング(color naming)法を用いて評価した。明るさのマグニチュード評価法では、中心窩に呈示される参照光の明るさを10点、暗黒を0点とし、それを基準として、周辺網膜に呈示されるテスト光の明るさの点数を評価する。

カラーネーミング法¹³⁾では、彩度の評価をする場合、色光の色見えを有彩色成分(色み成分)と無彩色成分に分け、合計10点で評価した。ただし、今回の実験条件においては、テスト光の周辺に刺激が存在するためテスト光に黒が知覚される場合があることから、無彩色成分の評価は白み成分と黒み成分に分けて評価することにした。色相の評価は、ユニーク色である赤、黄、緑および青を用いて、あるテスト色光の色相の見えを合計10点でユニーク色の割合に分割するものである。同時に用

いるユニーク色の数は通常2色までであるが、ここでは最大3色とし、反対ユニーク色対が応答に入ることも認めるようにした。

色みの割合に各ユニーク色の点数を乗じて、各ユニーク色が色光の色見え全体に占める点数を求めた。これは色光の見えにおける各ユニーク色成分値を表している。以降の解析においてはこのユニーク色成分値を用いた。

2.5 手順

まず被験者はブース内の椅子に腰をかけ、顎台で頭の位置を決め、背景視野に3分から5分間明順応する。引き続き実験は次の手順で行った。

- (1) 方位角180°、離心角10°に呈示したテスト色光と視野中央部に呈示された参照光とを中心窩で継続的に比較し明るさマッチングを行う。テスト光と参照光は連続呈示である。
- (2) 四つのテスト色光について(1)の手順をそれぞれ3回繰り返す、WD1の目盛値の平均を求める。
- (3) テスト色光の離心角をランダムに設定する。
- (4) テスト色光の方位角をランダムに設定する。
- (5) テスト色光の波長と輝度(平均のWD1の目盛値)を設定する。
- (6) 被験者は、参照光を固視し、手元スイッチを押すことでテスト色光を1秒間呈示する。
- (7) 被験者は、まず、明るさを評価する。
- (8) 被験者は、次に、色み、白み、黒みを評価する。
- (9) 被験者は、色相を表すユニーク色の割合を評価する。
- (10) (7)~(9)のそれぞれの評価では応答が得られるまで何度でも(6)を繰り返す。
- (11) 四つのテスト色光について(5)~(10)の手順を繰り返す。
- (12) 四つの方位角について、(4)~(11)の手順を繰り返す。
- (13) 条件で定めた離心角全部について、(3)~(12)の手順を繰り返す。これで1セッションが終了である。
- (14) 一人の被験者につき、測定回数が5回となるまで、(1)~(13)の手順を繰り返す。
- (15) 10人の被験者について、(1)~(14)の手順を繰り返す。

ただし、(13)の手順において離心角0°については、(1)から(2)の手順の後、刺激配置はそのままにして、

テスト色光を固視して(5)~(11)の手順を繰り返した。1セッションに要する時間は2時間から2時間30分であった。

3. 実験結果

一条件5回の繰り返し測定の結果から、白みと黒み、各ユニーク色成分値と明るさの評価値の平均と標準偏差を計算した。その一例を Fig. 2 (A), (B)に示す。この例は、データ点のばらつきがもっとも大きい例として選んだ。Fig. 2 (A)は、被験者 MS の 505 nm 単色光に対する 0° 方位と 180° 方位におけるカラーネーミング結果、Fig. 2 (B)は明るさ評価の結果である。図の横軸は離心角で、右側の 0° 方位(視野耳側)を正、左側の 180° 方位(視野鼻側)を負にとっている。図の縦軸は、(A)が色光の見えの成分値で、(B)が明るさの評価値である。Fig. 2 (A)の平均値のプロット点のうち、一番上の折れ線は10点から黒み成分を差し引いた値を表しており、中の破線は色み成分値を表し、そして一番下の折れ線はユニーク緑成分値を表している。すなわち、

Fig. 2 (A)は合計10点を上から、10点と上の折れ線の間では黒み成分、上の折れ線と中の破線の間では白み成分、中の破線と下の折れ線の間では第2の色相の黄成分、および下の折れ線と0点の間では第1の色相の緑成分に分割して表現している。プロット点に付けた上下の誤差棒は標準偏差 SD である。これらの誤差棒がよく見えるように、一番上のプロット点では左に 1.5° 、一番下のプロット点では右に 1.5° 移動させて描いてある。この例を見るだけでも、緑成分の低下が 0° 方位では 180° に比べて顕著ではないことに加えて、離心角 30° あたりまで中心窩より明るく感じていることがわかる。色の見えや明るさが網膜上において不均一であり、かつ中心窩に対して非対称となっている。

10人の平均値と標準偏差の一例を Fig. 3 (A), (B)に示す。図の表現は Fig. 2 と同じである。SD の大きさは、10人についての各平均値が相互にどのくらい違っているか、そのばらつきを表す目安となる。Fig. 3 (A)は最も SD が大きかった 576 nm 単色光の 0° と 180° 方位での結果であり、(B)は明るさの評価が最もば

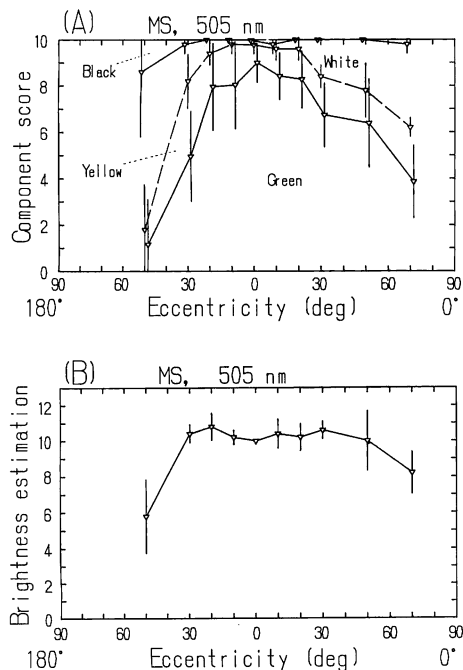


Fig. 2 (A) Component scores of black, white, chromaticness, first and second unique-hues by color naming, and (B) brightness estimation, by the subject MS for the 505 nm test light, as a function of visual eccentricity at the 0° and 180° meridians. Error bar shows standard deviation of 5 data.

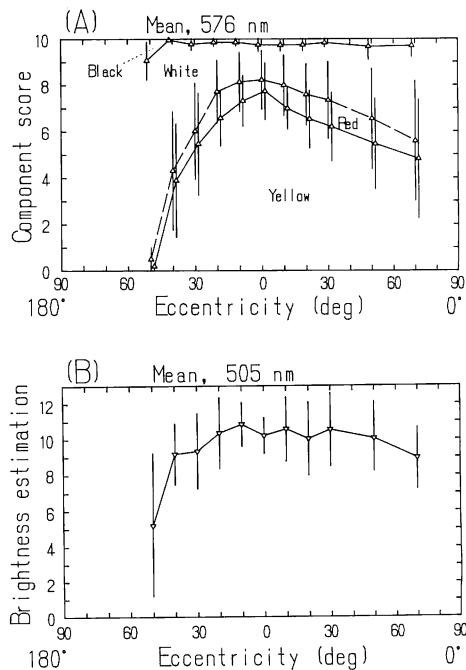


Fig. 3 (A) Mean component scores of black, white, chromaticness, first and second unique-hues by color naming for the 576 nm test light, and (B) brightness estimation, for the 505 nm test light, of 10 subjects as a function of visual eccentricity at the 0° and 180° meridians. Error bar shows standard deviation of 10 means.

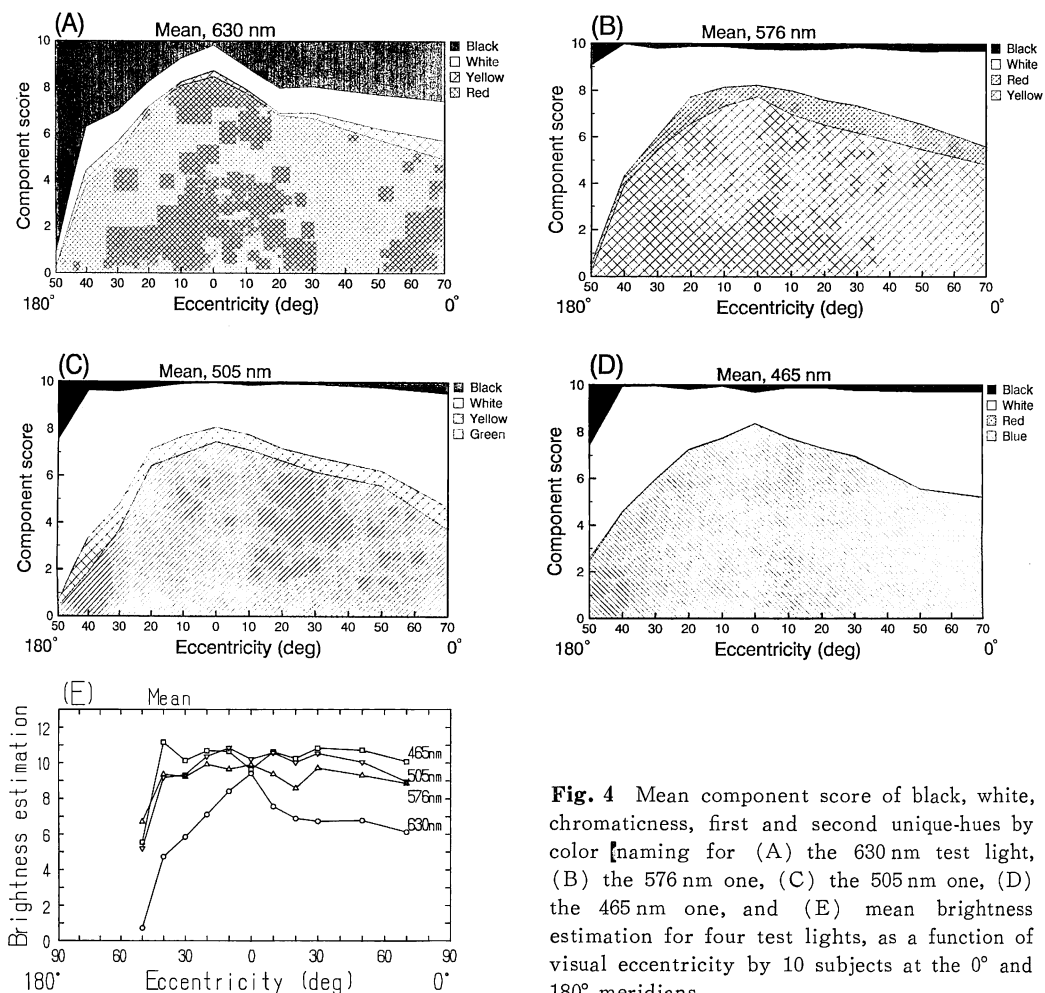


Fig. 4 Mean component score of black, white, chromaticness, first and second unique-hues by color [naming for (A) the 630 nm test light, (B) the 576 nm one, (C) the 505 nm one, (D) the 465 nm one, and (E) mean brightness estimation for four test lights, as a function of visual eccentricity by 10 subjects at the 0° and 180° meridians.

らついた 505 nm 単色光の 0° と 180° 方位の結果である。なお、10 人全ての被験者で応答がとれなかった条件もあり、Fig. 3 (A) の 180° 方位、離心角 40° の点は 7 人の結果の平均値、および同方位、離心角 50° の点は 3 人の結果の平均値である。Fig. 2 (A), (B) と Fig. 3 (A), (B) をそれぞれ比較すると、色光が異なっても折れ線の形状は似ている。しかし、SD の大きさは Fig. 3 の方が大きい。これは個人間の差の方が個人内の差よりも大きいことを意味している。この SD の大きさは、カラーネーミングでは 576 nm, 630 nm, 505 nm および 465 nm 単色光の順で小さくなり、明るさの評価では 505 nm と 465 nm 単色光で大きく、630 nm と 576 nm 単色光で小さかった。

Fig. 2 と Fig. 3 では、測定の際の繰り返しによるばらつきおよび被験者の個人差によるばらつきのもっとも大きい例を示した。他の被験者および条件についての結果の

ばらつきは同程度もしくはそれ以下であったので、以降の結果は 10 人の平均値のみで示す。

0° 方位と 180° 方位 (左右方位) でのカラーネーミングの結果を Fig. 4 (A)~(D) に、明るさ評価の結果を Fig. 4 (E) に示す。同図(A)~(D)において、まず明らかかなことは、0° 方位と 180° 方位で色の見えが極端に非対称で、しかも各色光の色み成分と第 1 ユニーク色成分についての傾向がほとんど同じであることである。彩度の急激な低下は、180° 方位では離心角 20° あたりから始まっているが、0° 方位では離心角 70° でもなかった。色光による違いとして、630 nm 単色光について黒み成分の誘導が大きかった。

次に、Fig. 4 (E) の明るさの評価は、465 nm と 505 nm 単色光で中心窩より周辺網膜において明るく感じしており、576 nm, 630 nm 単色光の順序で暗くなっている。とくに 630 nm 単色光では明るさ評価の低下と黒み成分

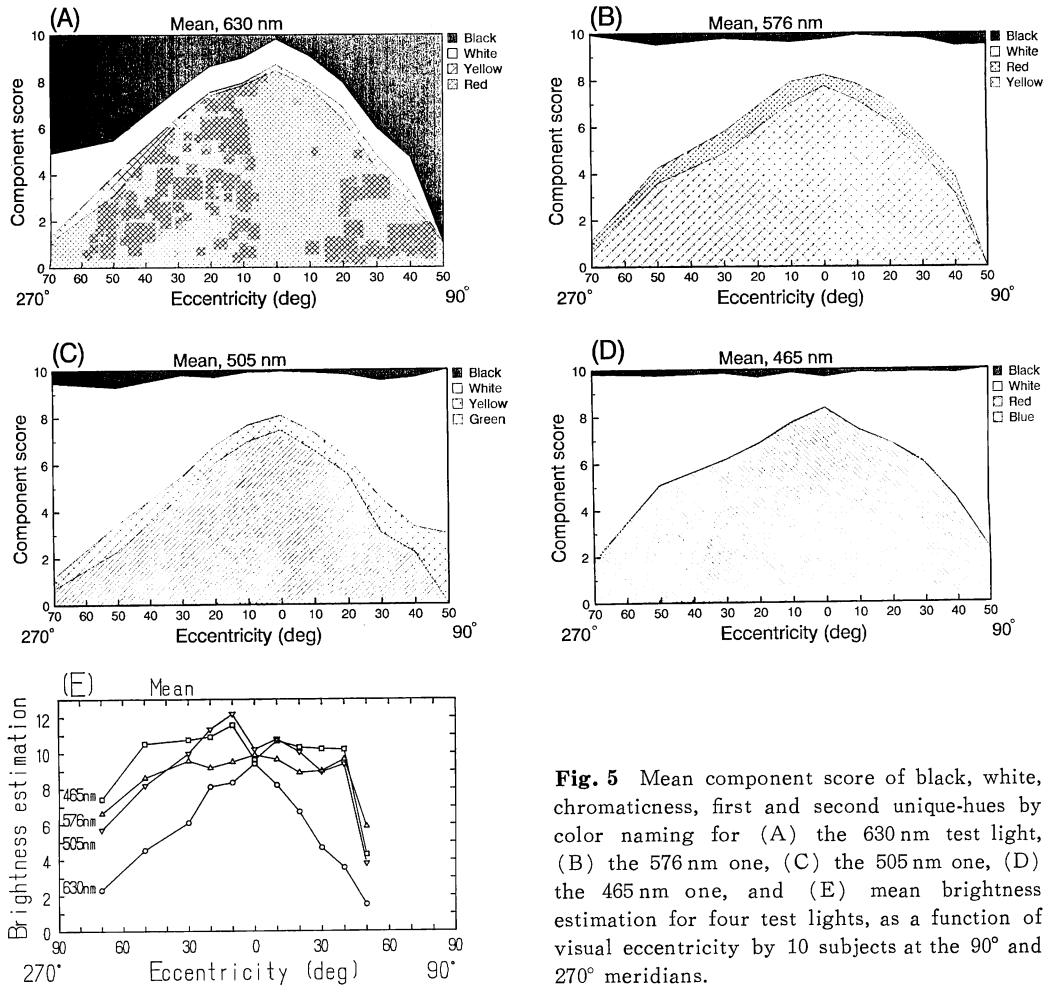


Fig. 5 Mean component score of black, white, chromaticness, first and second unique-hues by color naming for (A) the 630 nm test light, (B) the 576 nm one, (C) the 505 nm one, (D) the 465 nm one, and (E) mean brightness estimation for four test lights, as a function of visual eccentricity by 10 subjects at the 90° and 270° meridians.

の増加がよく一致している。中心窩での明るさの評価が10点からずれているのは、明るさマッチング時と明るさ評価時のセッションの違いによるものと思われる。

90°方位と270°方位(上下方位)でのカラーネーミングの実験結果を Fig. 5 (A)~(D), 明るさ評価の結果を Fig. 5 (E)に示す。Fig. 5を見ると、色の見えは、中心窩近くの部位での急激な彩度の低下はないが、幾分非対称で、かつ Fig. 4 に比べて見える範囲が狭くなっている。彩度の低下の傾向は、Fig. 4 と同様に色光による違いが少ない。また、Fig. 5 (A)の630 nm単色光についての黒みの誘導は Fig. 4 (A)と同様に大きかった。Fig. 5 (E)の明るさの評価の色光による違いは左右方位についての Fig. 4 (E)と同じ傾向を示した。

4. 考 察

まず、色み、色相の離心角に対する変化をテスト色光

間で比較する。Fig. 4 と Fig. 5 では各色光の中心窩における彩度が多少異なるので、両図の中の色み成分と第一ユニーク色成分について中心窩の値で正規化した。その結果の色み成分を Fig. 6 (A), (B)に、第一ユニーク色成分を Fig. 7 (A), (B)に示す。Fig. 6を見ると、正規化した色み成分は左右、上下方位ともに各色光で多少の値の差があるが、個人差の幅を考慮にいとすべて同じ一つの特性曲線で表されるといえよう。Fig. 7を見ると、正規化した第一ユニーク色成分は、離心角の大きいいくつかの網膜部位において差が生じているが、個人差よりもその差は小さい。それらの部位においてユニーク色成分間で差があり、テスト色光に実際に色相変化が生じてくるかどうかはさらに詳細な検討が必要である。従来の色視野の範囲では、黄、青は広く、赤、緑では狭いという傾向が示されているが、今回得られた特性はこの傾向と明らかに異なり、黄青赤緑については

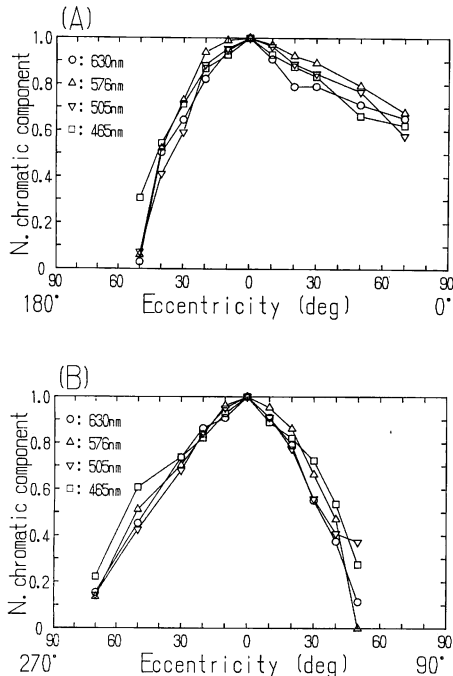


Fig. 6 N. (normalized at the fovea) chromatic component for four test lights as a function of visual eccentricity at (A) the 0° and 180° meridians, and (B) the 90° and 270° ones.

とんど同じ特性を示している。また、中心窩に近い部位での急激な彩度の低下もなかった。

以上をまとめると、周辺網膜で色み成分が従来の研究結果ほど劣化しなかった、および各テスト色光の正規化した色み成分間に差がないという二つの結果が得られた。これらの特性は本研究で初めて求めたものであり、従来の研究結果との相違について考察する必要がある。

まず指摘しなければならないのは、前述のように、実験条件が従来の研究と異なっている。すなわち、従来の研究においては、暗黒背景中に明所視レベルの刺激を暗順応した周辺網膜に呈示する方法を用いているのに対し、本研究では、桿体がほぼ飽和するほどの強い背景光に明順応した周辺網膜に、高い明所視レベルのテスト光を呈示している。これらの条件のうち、まず、背景（周辺）光は、Uchikawa ら⁵⁾の色票を用いた色弁別の研究で用いているだけで、他の研究では背景は暗黒である。したがって、背景光は彩度の低下を小さくする点で関与している可能性が強い。

次に、本研究では桿体はほぼ飽和状態にあったと考えられるが、従来の研究ではほとんど暗順応条件を用いて

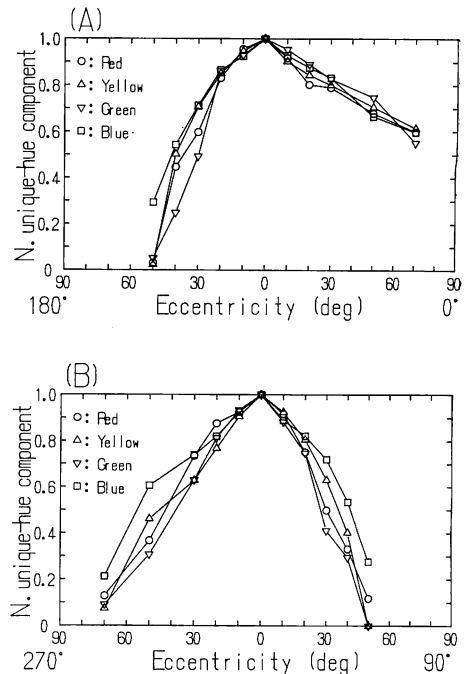


Fig. 7 N. (normalized at the fovea) unique-hue component for four test lights as a function of visual eccentricity at (A) the 0° and 180° meridians, and (B) the 90° and 270° ones.

いるのでかなりの桿体の寄与があったものと考えられる。桿体の寄与がある場合は色みは減少し、色相も変化するという報告があるので、本研究と従来の研究との違いが説明できる。しかし、桿体の出力がなくなったわけではないので、色の見えへの何らかの関与があるものと推測される。また、錐体についての明順応条件の色みに及ぼす効果がどのようなものか周辺網膜での研究が少ない¹⁴⁾ために明白でないが、何らかの効果があるものと考えられる。

本研究のテスト光の輝度レベルは、輝度 250 cd/m² (約 1,400 Td に相当) の参照光に明るさマッチングしたものである。このレベルは従来の研究と比べて高い方とはいえ、Gordon ら²⁾の 1,200 Td と同程度である。しかしながら、Stabell らの研究¹⁵⁾では、テスト光の輝度レベルを cone plateau 中でさらに高くし、闕上 3.5 log ユニットまで段階的に変化させると、方位 0° 離心角 70° での色光の見えは、テスト光レベルが低い間は黄青の 2 色性であるが、レベルが高くなるとかなり回復し、中心窩の見えに近づく結果が示されている。本研究の結果は、テスト光のレベルを cone plateau 闕上に換算しておよそ 4 log ユニットであることから、この

Stabell らの結果とはよく一致している。今回のテスト光の輝度は、晴れた昼間の戸外の例えば芝生の値 1,800 cd/m² に比べればまだかなり低い。したがって、より高い輝度のテスト光を用いれば、各ユニーク色間に見られた差異はさらに小さくなるように変化することが期待できる。

一方、明るさの評価において 465 nm と 505 nm 単色光について中心窩より高い評価が得られている。これは、桿体がほぼ飽和していることを仮定すると、中心窩近傍に分布する黄斑色素の効果とも考えられる。しかし、桿体の出力が飽和するといっても閾値が非常に高くなることであって、依然として高いレベルの出力があると考えるのが妥当であろう。さらにそれは、短波長光についての明るさ評価対離心角関数が桿体の分布密度関数に大まかに似ていることから推測される。したがって、明るさへの寄与は黄斑色素とともに桿体の効果も考えられる。

さらに、従来見られなかった特性として、赤のスペクトル光に対する黒み誘導が離心角の増大とともに増加する現象が見られた。他のスペクトル光については離心角の増大とともに白み成分が増加しており、これは従来の研究結果^{1,2)} と一致している。この黒み誘導の現象は、周辺背景光と赤のスペクトル光の間の対比効果と考えられるが、なぜ赤のスペクトル光にだけ顕著に現れるのか明らかでない。しかし、桿体は飽和していても出力があると考えられしかも 630 nm 単色光に対する感度がほとんどないことを考慮すると、桿体の何らかの関与の結果と考えることもできる。さらに推測するならば、白み成分の増加についても桿体の同様の関与の可能性もある。しかしながら、Fig. 4, 5 に見られるように、黒み成分および白み成分の離心角に対する増加の傾向は桿体の分布密度関数とは傾向が異なる。したがって、周辺背景光を持つ刺激についての周辺網膜における白みおよび黒みの増加は、視細胞レベルだけでなくさらに高次レベルの特性にも依存しているものと考えられる。

今回の結果から、周辺網膜での色の見えの分布が、周辺にいくと急激に減少する錐体の分布密度¹⁶⁾に対応しているとは考えにくい。むしろ、錐体以降の高次レベルの色チャンネルの特性が現れていると考えた方がよさそうである。また、この特性は従来の研究の結果から求めた暗順応時の特性とは全く異なるので、明るい視環境に近い条件時には本研究のような条件で求めた結果を応用しなければならない。

5. おわりに

昼間の明るい視環境に近い条件での周辺網膜における色の見えを知ることを目的として、蛍光灯照明の 120 cd/m² の灰色半球視野を用いて、等明るさテスト色光 (465, 505, 576, 630 nm) を周辺網膜に 1 秒間呈示するときの色の見えをカラーネーミング法で調べた。網膜部位は水平方位と上下方位の離心角 0°, 10°, 20°, 30°, 40° (50°) および 70°, 被験者は 10 名とした。

その結果、従来得られていた、周辺網膜では彩度は急激に低下するという特性および赤緑の色視野は狭く黄青の色視野は広いという特性とは異なり、各色成分の離心角に対する低下は緩やかでしかもテスト色光間で差がほとんどない特性が得られた。この新しい特性が得られた実験条件と従来の研究の条件の比較から、従来の研究結果は周辺網膜における色光の見えを限られた条件の下でしか求めていないことを明らかにした。また、赤のスペクトル光に対して黒み誘導が顕著にみられた。

網膜部位による色の見えの変化は、これから、各錐体の分布密度、色の受容野特性、色チャンネルの特性および桿体の関与などに関してのより詳細な色覚メカニズムの研究によって説明されなければならないが、応用面に関しては今回得られた特性を昼間の平均的な色光の見えとして利用できるものと考えられる。

最後に、本研究を遂行するにあたり多くのご支援とご指導をいただいた東京工業大学大学院総合理工学研究科教授池田光男先生に感謝いたします。また、被験者として協力いただいた内川研究室の皆様にも感謝します。

文 献

- 1) R. M. Boynton, W. Schafer and M. A. Neun: "Hue-wavelength relationship measured by color-naming method for three retinal locations," *Science*, **146** (1964) 666-668.
- 2) J. Gordon and I. Abramov: "Color vision in the peripheral retina. II. Hue and saturation," *J. Opt. Soc. Am.*, **67** (1977) 202-207.
- 3) Committee on Colorimetry Optical Society of America: *The Science of Color* (Thomas Y. Crowell Company, New York, 1953) pp. 101-105.
- 4) 関口修利, 池田光男: "色の見えに基づく色視野の測定," *日本眼光学誌*, **4** (1983) 122-127.
- 5) H. Uchikawa, P. K. Kaiser and K. Uchikawa: "Color-discrimination perimetry," *Color Res. Appl.*, **7** (1982) 264-272.
- 6) G. S. Wasserman: *Color Vision: An Historical Introduction* (John Wiley & Sons, New York, 1978) pp. 86-111.
- 7) B. Stabell and U. Stabell: "Rod and cone contributions to peripheral color vision," *Vision Res.*

- 16 (1976) 1099-1104.
- 8) U. Stabell and B. Stabell: "Color vision in the peripheral retina under photopic conditions," *Vision Res.*, **22** (1982) 839-844.
- 9) U. Stabell and B. Stabell: "Spectral sensitivity of the dark-adapted extrafoveal retina at photopic intensities," *J. Opt. Soc. Am.*, **71** (1981) 841-844.
- 10) 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** (1988) 582-592.
- 11) H. Uchikawa, K. Uchikawa and R. M. Boynton: "Influence of achromatic surrounds on categorical color perception of surface colors," *Vision Res.*, **29** (1989) 881-890.
- 12) G. Wyszecki and W.S. Stiles: *Color Science* (John Wiley & Sons, New York, 1967) pp. 580-582.
- 13) J. Gordon and I. Abramov: "Scaling procedures for specifying color appearance," *Color Res. Appl.*, **13** (1988) 146-152.
- 14) J. D. Moreland: "Peripheral color vision," *Handbook of Sensory Physiology*, **7/4**, eds. D. Jameson and L. M. Hurvich (Springer-Verlag, Berlin, 1972) pp. 517-536.
- 15) B. Stabell and U. Stabell: "Bezold-Brücke phenomenon of the far peripheral retina," *Vision Res.*, **22** (1982) 845-849.
- 16) C. A. Curcio, K. R. Sloan, Jr., O. Packer, A. E. Hendrickson and R. E. Kalina: "Distribution of cones in human and monkey retina: individual variability and radial asymmetry," *Science*, **236** (1987) 579-582.