

## 両眼色融合における色刺激の呈示周波数と周辺光の効果

石田 祐司・岡嶋 克典・高瀬 正典

防衛大学校応用物理学教室 〒239 横須賀市走水 1-10-20

### Effects of Frequency and Surround Light of Color Stimuli to Binocular Color Fusion

Yuji ISHIDA, Katsunori OKAJIMA and Masanori TAKASE

Department of Applied Physics, National Defense Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka 239

It is well known that when binocular color stimuli with small color difference are presented to the respective eyes, binocular color fusion occurs instead of binocular color rivalry. In the present study the frequency of binocular color fusion observed has been measured using six complementary color pairs with and without a surround light (D 65 white). Two temporal conditions, an alternate presentation (30 Hz) and continuous presentation (60 Hz) for color stimuli, were used. The results shows that the duration of color fusion within a certain presentation period was longer in the alternate presentation than in the continuous presentation. It is also showed that the surround light of color stimuli decreases the frequency of binocular color fusion, and its decrease can be described as a function of surround luminance. Finally, a model of binocular color vision with two gates is proposed for explaining these results.

#### 1. はじめに

我々は、通常左右2つの眼を使って外界を観察している。そのとき、両眼に入る映像は両眼の視点位置の違いから若干異なっており、この映像の違いから生じる両眼視差情報によって立体視が可能となる。近年、このような視差情報を含む両眼の映像をコンピューターで作り出し、映像に立体感を与えて仮想的空間を作る手法は、バーチャルリアリティー技術に代表される三次元映像の臨場感実現に幅広く活用されてきている。

自然な両眼視の場合、左右像の違いは奥行き情報として吸収されて、1つの像として安定して知覚される。しかし、人工的に左右の眼に異なるパターンを呈示した場合、パターンの違いによって左右の網膜パターンが融合するとは限らず、一方のパターンが抑制されて左右のパターンが交互に知覚されたり、左右のパターンが部分的に闘争して知覚されることが知られている<sup>1-3)</sup>。また、パターンが同じでも左右パターンの色が異なる場合、左右の眼へ呈示する色の差が小さい場合には両眼色融合(binocular color fusion)が生じるが、左右の色の違いが大きい場合には両眼色闘争(binocular color rivalry)

や両眼色混在(binocular color composite)と呼ばれる知覚現象が生じる。両眼色融合が生じるための左右の色の差の限界は、その両眼に呈示される刺激の色差あるいは刺激に含まれている反対色成分によって決定されるといわれている<sup>4,5)</sup>。一方、色刺激の呈示方法が色の両眼視に対してどのような影響を与えるかについては、刺激の長時間呈示、刺激が小さく形状が左右で一致していること、暗い周辺視野、左右の刺激間の小さい色差が、両眼色融合を生じやすい条件であることが報告されている<sup>1)</sup>。

最近の三次元立体画像はフルカラーが当たり前となり、その表示には、液晶シャッター方式や偏光メガネ方式が主に用いられている。したがって、快適な3-D画像の観察環境を実現するためには、表示方式の時空間属性による両眼視への影響や、色刺激の時空間属性による両眼視への影響を明らかにしておく必要がある。また、呈示刺激の時空間属性が両眼色融合に与える影響を調べることによって、両眼色情報の統合過程を知る手掛かりになることが期待される。

本研究では、左右眼に呈示される色刺激の時間的・空

間的属性の違いによって、両眼色融合の発生頻度がどのような影響を受けるのかを測定し、色の両眼視における刺激の時空間属性の効果を調べることを目的に実験を行った。時間的属性の異なる条件として、左右の映像を交互に呈示する「交互呈示法」と、左右の映像を同時に呈示する「定常呈示法」の2種類を用いた。「交互呈示法」は、液晶シャッターによる三次元立体画像を作り出すために使われるような呈示法であり、「定常呈示法」は、偏光メガネを用いる呈示法に対応する。また、空間的属性の異なる条件として、周辺に D 65 白色光を置いて刺激が表面色モードに見える色刺激と周辺光なしで光源色モードに見える<sup>9)</sup>色刺激を用い、周辺光による両眼色融合特性の違いを測定した。

## 2. 方 法

### 2.1 刺 激

本実験に使用された刺激は、コンピュータ (PC-H 98 S : NEC) に接続されたディスプレイ (CR-5000 : EPSON) に呈示された。測光は色彩色差計 CS-100 (ミノルタ) によって行い、刺激の輝度はすべて  $16 \text{ cd/m}^2$  に設定した。ただし、交互呈示の色刺激については、時間的平均輝度が  $16 \text{ cd/m}^2$  になるように設定した。左右眼に呈示される色刺激対として、 $xy$  色度座標上で D 65 白色の色度位置 (0.3127, 0.3290) がほぼ中点になる6種類 (C1 から C6) を用いた。両眼の刺激に含まれている反対色成分が両眼色融合の限界を決定しているとする報告<sup>9)</sup>にもあるように、補色どうしは通常、両眼色融合しにくい<sup>9)</sup>が、本実験では両眼色融合が生じうる小さい色差の刺激対を含む色刺激対を設定した。Table 1 に、実験に使用した色刺激対の  $xy$  色度座標の色度点と  $u'v'$  色度を用いて計算した色差の値を示す。ここでの色差は、 $(u'_l, v'_l)$  は左眼に呈示した色刺激の  $u'v'$  色度とし、 $(u'_r, v'_r)$  は右眼に呈示した色刺激の  $u'v'$  色度として、その刺激の  $u'v'$  色度座標上での距離  $\Delta C = \sqrt{(u'_l - u'_r)^2 + (v'_l - v'_r)^2}$  で定義している。C1 から C6

Table 1. The  $xy$ -chromaticities and the color difference values of each stimulus pair.

Stimulus No.	Right ( $x, y$ )	Left ( $x, y$ )	$\Delta C (u', v')$
C 1	(0.280, 0.325)	(0.348, 0.325)	0.048
C 2	(0.366, 0.388)	(0.270, 0.263)	0.085
C 3	(0.248, 0.325)	(0.380, 0.325)	0.094
C 4	(0.348, 0.275)	(0.280, 0.375)	0.097
C 5	(0.254, 0.400)	(0.354, 0.250)	0.145
C 6	(0.400, 0.450)	(0.216, 0.200)	0.174

$$\Delta C (u', v') = \sqrt{(u'_l - u'_r)^2 + (v'_l - v'_r)^2}$$

は色刺激対の番号であり、色刺激対の  $u'v'$  色度座標での色差は C1 から C6 へ順に大きくなる色刺激対である。Fig. 1 は左右の色刺激の組合わせを  $xy$  色度座標に示したものであり、6 種の色刺激の組合わせを線で結んだシンボルによって示した。白抜き正方形のシンボルは、周辺光と融合枠に用いた D 65 白色の  $xy$  色度座標を示す。左右の等輝度色刺激が両眼色融合した場合、混色理論によって  $xy$  色度座標上のそれらの色刺激を結んだ中点の色になることが予想される。したがって本設定により、左右の色刺激が両眼色融合したかどうかを、色刺激が白色に見えるかどうかという基準で容易に判定することができる。

色刺激は視角  $3^\circ$ 、周辺光は視角  $5^\circ$  の正方形とした。また、左右の色刺激の周辺に D 65 白色の融合枠 ( $16 \text{ cd/m}^2$ 、視角  $5^\circ$ ) を呈示し、左右の刺激パターンの空間的融合を容易に行えるようにした。

実験で使用した色刺激の呈示条件を Fig. 2 に示す。周波数 30 Hz で左右交互に色刺激を呈示する交互呈示条件と左右の色刺激を同時に呈示する定常呈示条件の2種の時間属性(a)、および D 65 白色の周辺光がある表面色モードの呈示条件と周辺光がない光源色モードの呈示条件の2種の空間属性(b)を組み合わせ全4条件を設定した。周辺光の有無によって上記の通り、色の見えのモードが変化することは実験のはじめに全被験者に対して確かめられた。交互呈示の場合、ディスプレイ上の色刺激は、時間的平均輝度が  $16 \text{ cd/m}^2$  になるように定常時に  $32 \text{ cd/m}^2$  となる色を実際には表示した。この交

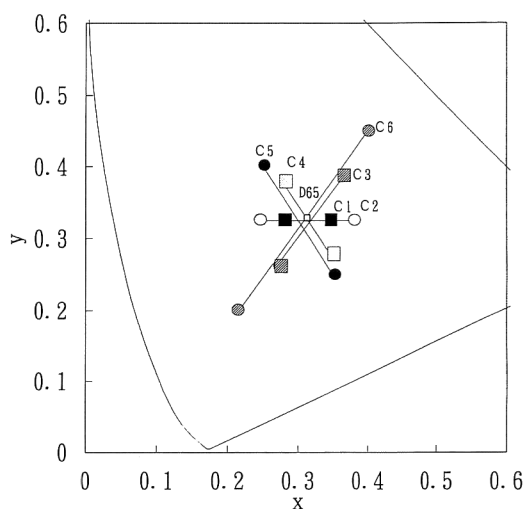
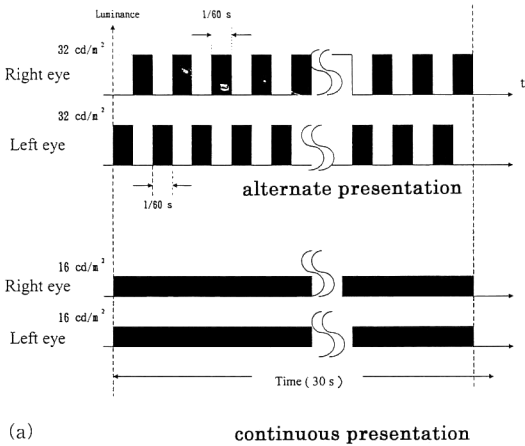
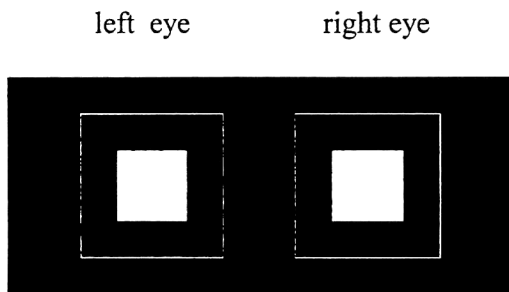
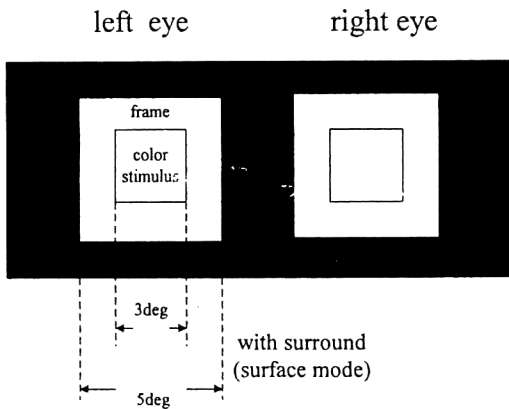


Fig. 1. Six pairs of color stimuli plotted on the  $xy$ -chromaticity diagram. The small open square indicates D 65 white point.



(a)

continuous presentation



(b)

no surround  
(luminous mode)

Fig. 2. Experimental conditions: (a)temporal conditions (alternate presentation and continuous presentation), (b)spatial conditions (with surround and no surround).

互呈示の刺激は、多少のちらつきが観察されたが、視感評価で  $16 \text{ cd/m}^2$  の定常刺激とマッチングし、色彩色差計による輝度値も  $16 \text{ cd/m}^2$  を示していた。

## 2.2 手順

暗室において、被験者の正面に置かれたディスプレイに色刺激が表示された。左右の刺激はディスプレイに対して垂直に置かれた黒い板によって空間的に干渉しないようにし、被験者は左右それぞれの眼でそれぞれの色刺激を観察する。1 トライアルの流れを時間チャートに示したのが Fig. 3 である。被験者がキーボードを押すと、ディスプレイの全面に D 65 白色が 30 秒間呈示される。その D 65 白色は、直前のトライアルにおける色順応の効果をキャンセルするために呈示した。次に、パターンの両眼融合を容易にする視角  $5^\circ$  の 2 つの枠がディスプレイ上に呈示される。被験者は右の枠と左の枠を融合 (free fuse) させ、融合が完了したらキーボードを押す。その 3 秒後に、左右の色刺激が 30 秒間呈示される。被験者は左右の色刺激が両眼色融合しているとき、すなわち見えている色刺激が一樣な白色に見えるときにキーボードを押す、それ以外のときには離す。キーボードデータのサンプリングは 1 秒間に 5 回行い、1 トライアル 30 秒間で 150 回のオン・オフデータが得られた。

色の組み合わせ 6 種類と時間属性 2 種類、空間属性 2 種類を組み合わせ、計 24 種のトライアルを 1 セッションとし、コンピューター制御でランダムに呈示した。各被験者とも全 5 セッションの実験を実施した。

## 2.3 被験者

被験者は色覚正常、視力矯正の 3 名の男性 YI (27 歳)、KO (31 歳)、KT (26 歳) で、YI と KO は共に心理物理実験の経験者で実験の目的を知っていたが、KT は実験の目的を知らず、初めて心理物理実験に参加した被験者であった。

## 3. 結果

始めに、周辺光のない条件 (光源色モード) での結果について述べる。Fig. 4 は、3 人の被験者の周辺光のない条件 (光源色モード) での交互呈示 (塗りつぶした棒) と定常呈示 (斜線の棒) の条件での結果を、縦軸に両眼色融合した割合 (= (各刺激における総融合時間) / (各刺激の総呈示時間)) をとり、各色刺激に対してプロットしたものである。全体の傾向として、両眼色融合の生じる割合は交互呈示のほうが定常呈示よりも大きく、平均で 55 % 程度交互呈示のほうが大きい。また、色差の効果に注目すると、両眼色融合の生じる割

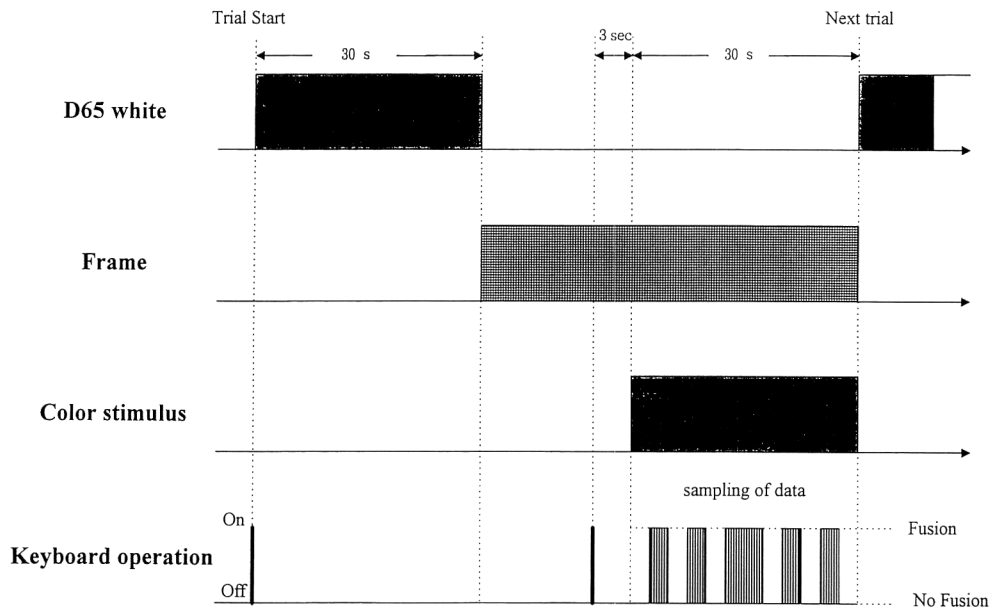


Fig. 3. Time flow chart of one trial on the experiment.

合は色差が小さいほうが大きい傾向がみられる。Fig. 4(a)の被験者 YI の場合、C1 の色刺激対 (色差 0.048) については交互呈示も定常呈示も 90% 程度の融合割合である。これは被験者 YI にとってこの色刺激対がほぼ完全に両眼色融合する色刺激対であるため、融合割合が飽和していると考えられる。被験者 KO (Fig. 4(b)) にとって、両色間の色差が大きい C6 の色刺激対は両眼色融合が全く生じない色刺激対である。Fig. 4(c) から被験者 KT も、C3 の色刺激対の場合を除いて両眼色融合が生じる割合は定常呈示よりも交互呈示のほうが大きい。

色差による特性を詳しくみるために、横軸に左右眼刺激間の色差をとり、縦軸に両眼色融合の生じた割合をとって Fig. 4 をプロットしたものが Fig. 5 である。Fig. 5(a) は交互呈示の結果で、Fig. 5(b) は定常呈示の結果である。シンボルの違いは、被験者の違いを表す。Fig. 5 の (a) と (b) とともに両眼色融合の生じる割合が全被験者で全体的に右下がり減少しており、両眼色融合の生じる割合は色差が大きくなるにつれて小さくなることを示している。しかし、両眼色融合の生じる割合と色差の関係は線形的ではなく、両眼色融合の発生する割合は各被験者とも共通して色差が 0.095 付近で大きく減少しており、それ以上の色差においては、両眼色融合の生じる割合はかなり低い値になっている。これは、本実験条件のように D65 白色を挟んだ補色である色刺激対

を用いたとき、両眼に呈示させる色刺激の色差が 0.095 程度になると両眼色融合の生じる割合が大きく変化することを示唆している。

次に、Fig. 6 は、3 人の被験者の周辺光のない場合 (a) と D65 白色周辺光のある場合 (b) における交互呈示と定常呈示の両眼色融合の生じた割合を全刺激について平均したものである。塗りつぶした棒グラフは交互呈示の平均値で、斜線の棒グラフは定常呈示の平均値である。周辺光がある場合、被験者 YI ではどの色刺激対に対しても両眼色融合が生じなかった。また、被験者 KO についてもほとんど両眼色融合の応答はみられず、被験者 KT についても両眼色融合の生じる割合が 5% 以下である。したがって、周辺光 (D65 白色) のある場合のほう (表面色モード) が周辺光のない場合 (光源色モード) よりも、両眼色融合の生じる割合は同じ色差をもつ色刺激対であっても小さくなるということが示された。

以上の結果をまとめると、D65 白色に対して補色となる等輝度色刺激対を両眼視した場合、両眼色融合する割合は交互呈示の方が定常呈示よりも大きいこと、色刺激と等輝度の周辺光を伴うと両眼色融合はほとんど生じなくなることが明らかになった。色差に関して、両眼色融合の生じる割合は色差の大きいほうが減少する傾向がみられた。

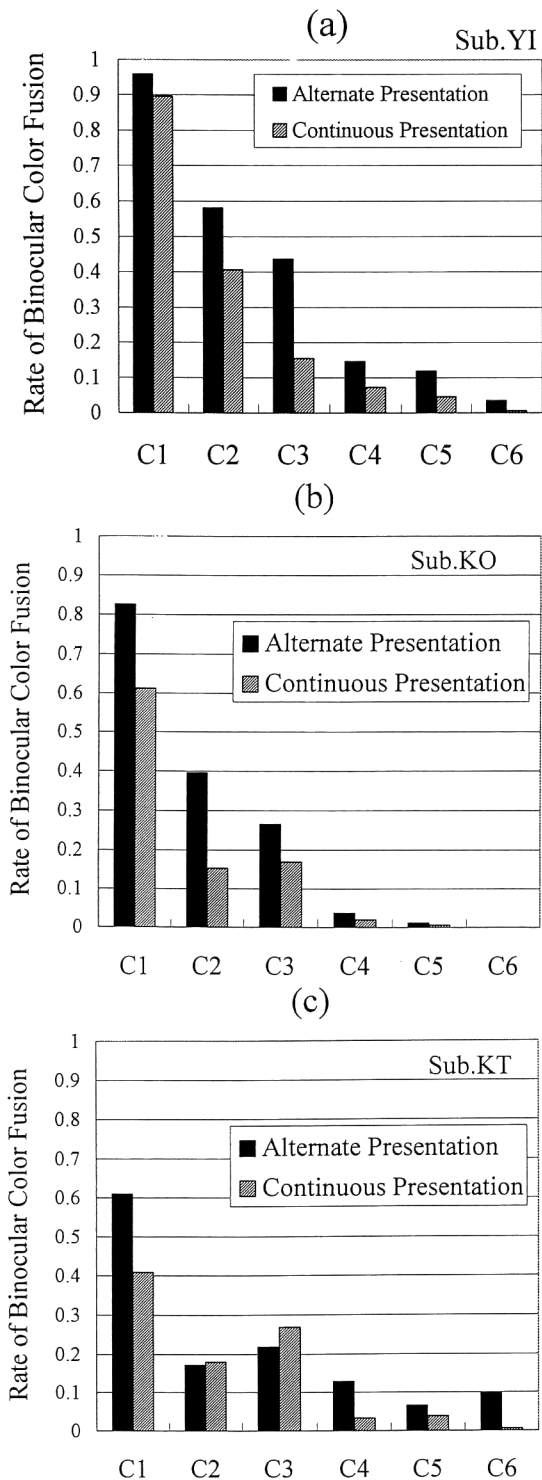


Fig. 4. Rates of binocular color fusion under no surround condition plotted for (a)subject YI; (b)KO; (c)KT. Black bars: alternate presentation, and the gray bars: continuous presentation.

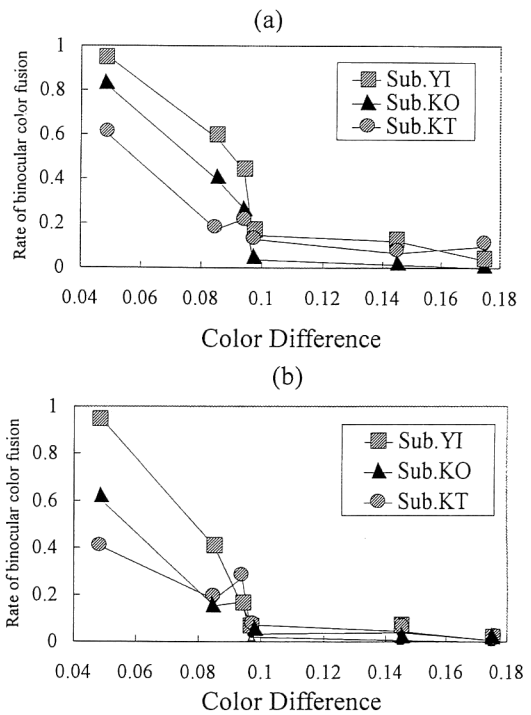


Fig. 5. Rates of binocular color fusion (a)without surround and (b)with surround plotted as a function of color difference.

## 4. 考 察

### 4.1 両眼色融合における周辺光の影響

本実験において、等輝度の周辺光を伴うと両眼色融合はほとんど生じなくなるとの結果を得た。そこで両眼色融合に対する周辺光の影響をさらに詳しく調べるために、我々は補足実験として周辺光の輝度を2~8 cd/m<sup>2</sup>の範囲で変えて同様の実験を行った。補足実験の手順は本実験の手順と同じであるが、被験者はYIのみとし、16 cd/m<sup>2</sup>の色刺激に対して、2, 4, 6, 8 cd/m<sup>2</sup>のD 65白色周辺光を伴った刺激をランダムな順序で呈示し、それを1セッションとして全5セッションの実験を実施した。その結果に、先の本実験での周辺光なしの場合(0 cd/m<sup>2</sup>)と周辺光ありの場合(16 cd/m<sup>2</sup>)のデータを加えてプロットしたのがFig. 7である。縦軸は両眼色融合の生じた割合で、横軸は周辺光の輝度である。この結果は、両眼色融合する割合が周辺輝度に大きく影響されていることを示している。また、図中の直線は、0, 2, 4, 6, 8 cd/m<sup>2</sup>のデータ点を直線近似したものであるが、周辺光の輝度が増大するにつれて両眼融合の生じる割合がほぼ線形に8 cd/m<sup>2</sup>付近まで減少していくことを示している。近似直線を外挿すると、周辺光の輝度が

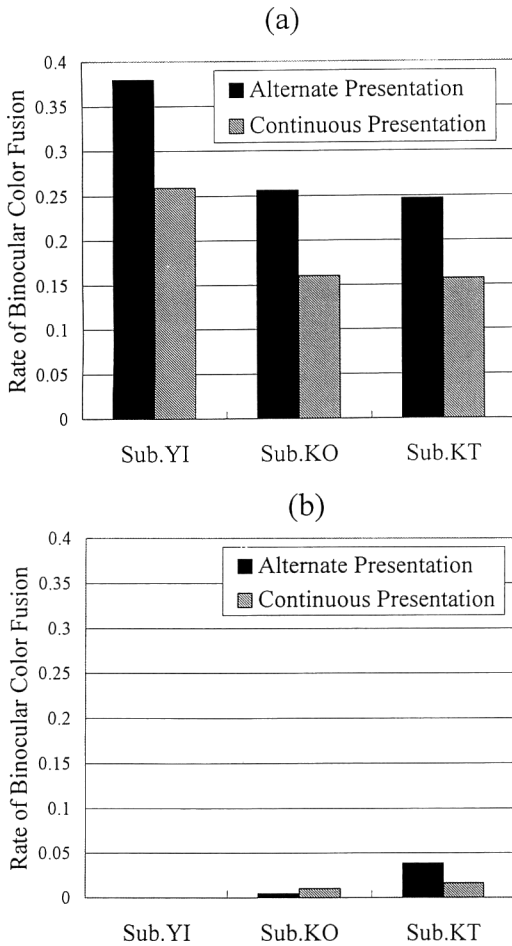


Fig. 6. Average rates of binocular color fusion under (a) no surround condition and (b) surround condition, plotted for each subject. Black bars represent the data at alternate presentation and the gray bars represent the data at continuous presentation.

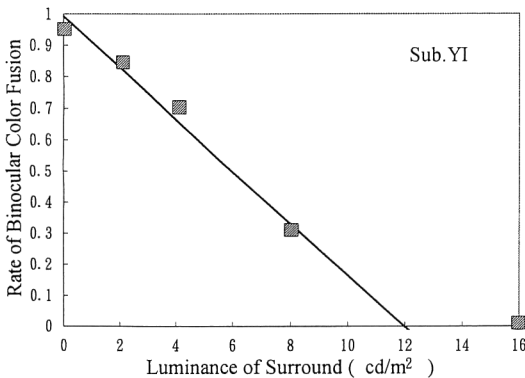


Fig. 7. Rates of binocular color fusion for sub. YI plotted as a function of surround luminance. The solid line was estimated from the data.

12  $\text{cd/m}^2$  付近で両眼色融合の生じる割合は 0 になることが示唆される。したがって、周辺光の輝度が 12  $\text{cd/m}^2$  以上の場合には両眼色融合は生じないことが予想され、本実験の周辺光ありの場合の周辺光輝度 16  $\text{cd/m}^2$  の場合（表面色モード）に両眼色融合が生じなかったことを説明することができる。

以上のような周辺光の効果を説明する要因として、対比効果による色見えの変化が考えられる。白色周辺光があると対比効果によって各色刺激の彩度が増すことが岡嶋らによって報告されている<sup>6)</sup>。したがって、互いに補色どうしの色刺激対の知覚上の色差が増大し、両眼色融合の生じる割合が小さくなったと考えることができる。周辺輝度が高くなると対比効果も大きくなることから、周辺光の輝度の増大とともに知覚される色は彩度が増して、 $xy$  色度座標上の D 65 白色から徐々に離れる方向に変化し、左右の刺激間の見かけの色差が、融合限界色差を超えたために両眼色融合しにくくなったものと考えられる。周辺光による色見えの変化と両眼色融合限界の関係の関係を明らかにするためには、色見えの評価を含む実験的研究がさらに必要であると考えられる。

#### 4.2 交互呈示と定常呈示の違い

次に、両眼色融合に対する刺激の時間属性の影響について考察する。本実験において、刺激の定常呈示と交互呈示という 2 つの時間的条件において、交互呈示のほうが両眼色融合の生じる割合は大きいという結果を得た。つまり、左右交互に色刺激が呈示されたとき、両眼色闘争や両眼色混在が生じにくくなることが示されたわけである。この現象の説明として、両眼色闘争時の優勢眼 (dominant eye) が交互呈示の周波数にあわせて左右高速に切り替わり、左右の色刺激が両眼統合後において時間的に混色し、その結果両眼色融合知覚が生じていた可能性が考えられる。左右眼の刺激に大きな強度差がある場合、強度の大きいほうの刺激が独占的に知覚される (permanent suppression)。本実験の交互呈示時においても、ある瞬間においては左右どちらかの刺激のみが入射しており、片眼優位状態が左右交互に生じる場合があると仮定する。このとき、視覚系の両眼情報統合部への入力に左右交互に 1/30 s の短い時間ごとに行われるため、両眼情報統合後の経路において左右の色刺激が時間的に混色し、白色光の知覚が生じると考えられる。被験者は、この両眼統合後の時間的な混色時にも、本来の両眼色融合と区別できず、両眼色融合していると応答するはずである。このようにして、結果的にこの擬似両眼色融合時間が定常呈示時と同程度の両眼色融合時間に上乗せ

され、交互呈示のときのほうが定常呈示のときよりも両眼色融合する時間的割合が大きくなったと考えることができる。この推測が正しいとすると、両眼闘争時における左右眼の刺激経路を交替させるメカニズムが存在すれば、そのメカニズムは30 Hzの切替えに追従する能力を有していることを示唆している。また、この時間的混色の効果は、色差が大きくなると減少するものと考えられる。

本実験で「交互呈示法」は30 Hzで左右に交互に呈示する方法であるのに対して、「定常呈示法」は60 Hzでの左右同時呈示である。つまり、「交互呈示法」と「定常呈示法」を比較すると、左右の呈示の位相と呈示の周波数がそれぞれ異なっている。「交互呈示法」と「定常呈示法」の両眼色融合の生じる割合の違いは、刺激の周波数の違いによる可能性も否定できない。周波数の効果を明確にするために、30 Hzで左右同時に呈示する刺激を使った条件も検討したが、予備実験の結果、ちらつきが大きいため融合状態と闘争状態が判別しにくく、刺激の見えかたが前述の2条件に比べて大きく異なることから、このような実験条件は採用しなかった。しかし、位相と周波数の効果を詳細に検討するために、CRTディスプレイ以外の装置を用いて他の周波数条件においても実験を行う必要もあると考えられる。

### 4.3 刺激呈示時間の効果

過去の研究<sup>1)</sup>において、被験者が色刺激を長時間観察すると両眼色融合が生じる割合が大きくなることが報告されている。これは被験者の眼が刺激に色順応して知覚される彩度が減少し、左右の色刺激の知覚上の色差が小さくなるために色融合の生じる割合が大きくなると考えられている。本実験では、色刺激呈示前にD 65白色を30秒間呈示して、色順応の効果をトライアルごとにキャンセルし、結果を両眼色融合した総時間数で評価しているので、色順応の効果があるにしてもこれまでの議論に大きな影響はない。しかし、刺激が呈示されている30秒の間に色順応の効果がどの程度影響し、両眼色融合する割合がどのように変化しているのかを知ることは、両眼視の時間経過を知るうえで重要である。被験者YIのすべての色の組み合わせの結果を全セッション分足し合せ、両眼色融合する割合を求めて、その時間変化をプロットしたのがFig. 8である。横軸は刺激呈示後の経過時間(秒)、縦軸は両眼色融合の生じた割合を示す。グラフの各点は、全セッションのデータの平均である。刺激呈示開始から1秒間は被験者の応答がほとんど得られなかったため、ここでは除外した。また、実線はデータ点を直線近似したものである。刺激の呈示時間が長くなるにしたがって、両眼色融合する割合がわずかながら増大しており、色順応の効果が30秒の呈示時間内に存

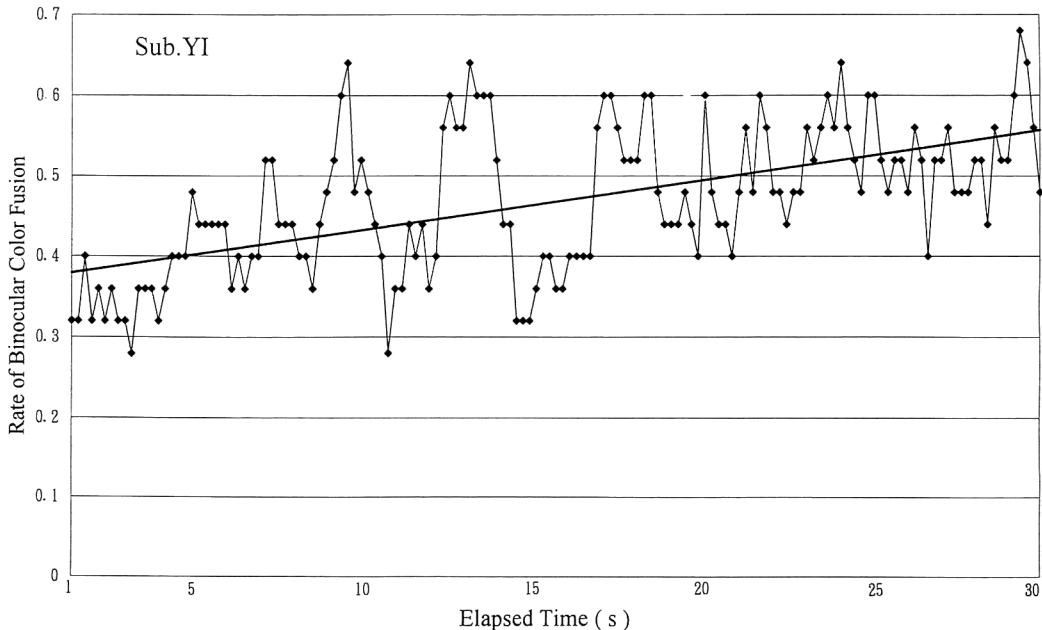


Fig. 8. Time variation of the frequency of binocular color fusion without surround for sub. YI. The abscissa indicates the elapsed time of stimulus presentation period. The solid line was calculated by the liner regression.

在していることが示唆された。したがって、刺激が呈示されている30秒の間に色順応の効果が時間とともに線形的に増加するが、その割合がわずかであることが示された。

#### 4.4 色の組み合わせ（色差の効果）

左右の刺激の色の両眼色差が小さい程両眼色融合が生じやすいことは、本実験によっても確かめられた。しかし、Fig. 5からもわかるように、左右の刺激の色差と両眼色融合の生じる割合は単純な線形関係ではなく、各被験者とも共通して色差が0.095付近で両眼色融合の発生する割合は大きく低下しており、それ以上の色差においては10%以下のかかなり低い値に落ち込んでいる。このことから、両眼色差0.095付近が両眼色融合の生じる割合が大きく変化する臨界色差である可能性がある。ただし、この臨界色差0.095が本研究で用いた補色以外の組み合わせにおいても成立するかは不明であり、他の条件でも実験する必要がある。また、左右の色刺激に含まれている反対色成分が両眼色融合の生じる割合を決定する要素であるとの研究報告もある<sup>9)</sup>。つまり、左眼に呈示される色刺激が含んでいるユニーク色成分の反対色成分を右眼に呈示される色刺激が含んでいるとき、両眼色融合しにくいというものである。例えば、赤成分を含んでいる色は、緑成分を含んでいる色と両眼色融合しにくくなるというものである。しかし、本実験では、D65白色近傍の補色の色刺激対を使っているため、スペクトル光（波長）で得られた反対色による両眼色融合限界の説明と比較することは困難である。現在、両眼色融合のメカニズムに対する色の見えの効果を明らかにするための実験的研究も進められている<sup>7)</sup>。

#### 4.5 両眼視情報処理モデル

両眼視の知覚現象の特徴は、ある状態が徐々に変化していくのではなく、状態と状態の切替えが排他的に生じるということにある<sup>1-5)</sup>。このことから、両眼視のメカニズムには情報経路の切替えを行うメカニズムが存在することが示唆される。両眼視の現象には大きく分けて両眼情報が融合する状態（融合状態）と融合しない状態（闘争状態）があり、この切替えが視覚系内において行われていると考えられる。さらに、両眼情報が融合しない場合、右眼の刺激情報が知覚される場合と左眼の刺激情報が知覚される場合とがあり、この2つの情報処理経路の切替えも行われていると考えられる。これら2つの情報処理経路の切替えメカニズムを想定し、Fig. 9のような色の両眼情報処理メカニズムのモデルを提案する。

まず、右眼に入った光情報Rと左眼に入った光情報Lとが左右独立的に処理される。ここでの処理過程において、空間属性のひとつである周辺光による対比効果や色順応の効果等が生じる。つまり、刺激の空間属性および色刺激に対する色順応の効果はそれぞれの眼の独立的経路で処理され、右眼の明るさ情報R'と色情報R''が計算され、同様に左眼の明るさ情報L'と色情報L''が計算される。また、RとLの情報が足し合わされる経路（融合経路）も存在すると考えられる。また、経路切替えのためのメカニズムGate 1, Gate 2を想定し、左右の刺激強度の情報R'とL'はGate 1に伝達され、左右の刺激の色情報R''とL''はGate 2に伝達されると考える。Gate 1では左右の刺激強度のどちらが大きいか（すなわち(R'-L')の符号)によってRとLのどちらかの経路が選択される。次に、Gate 2では、刺激の色情報の差|R''-L''|が計算され、値がある閾値 $\alpha$ よりも大きい場合には左右の色刺激の質的違いが大きいと判断されて、非融合経路が選択される。逆に値が閾値 $\alpha$ よりも小さい場合には、左右の色刺激の質的違いが小さいと判断されて融合経路が選択される。Gate 1とGate 2は、判断基準が閾値付近である場合には、情報伝達経路の選択が確率的にゆらいでしまい、選択される経路が確率的に変化する特性があると考えられる。両眼色融合の知覚が得られるのはFig. 9で④→⑤の経路が選択された場合で、左右の色刺激の輝度差を含めた色差が閾値 $\alpha$ より小さい場合である。Gate 2における選択は融合と非融合の選択である。本実験の条件は、すべて等輝度の刺激を用いていることから、Gate 1はかなりゆらいでいる（不安定な）状態であったと考えられる。両眼色闘争状態は、①→③→⑤あるいは②→③→⑤の経路が選択されている場合に生じる。色の差である|R''-L''|は臨界色差である閾値 $\alpha$ より大きいいため、Gate 2は闘争経路を選択する確率が高くなるが、刺激強度R'とL'の差が小さいため①と②の経路の選択基準が曖昧になり、左右の情報が交互に見える両眼色闘争の状態を生じると考えられる。両眼色混在状態は、Gate 1とGate 2の経路の選択が刺激領域に対して均一には行われず、両眼視での融合や闘争等を刺激サイズの最小単位領域<sup>9)</sup>のような部分領域ごとにも経路が選択され、空間的に点在して両眼色闘争と両眼色融合が生じ、その分布が時間とともに変動することによって生じた結果と考えられる。片眼優位状態（permanent suppression）は、例えば右眼の情報が完全に優勢になり、左眼の情報が完全に抑制される状態で、左右眼の刺激に著しい強度の違いがある場



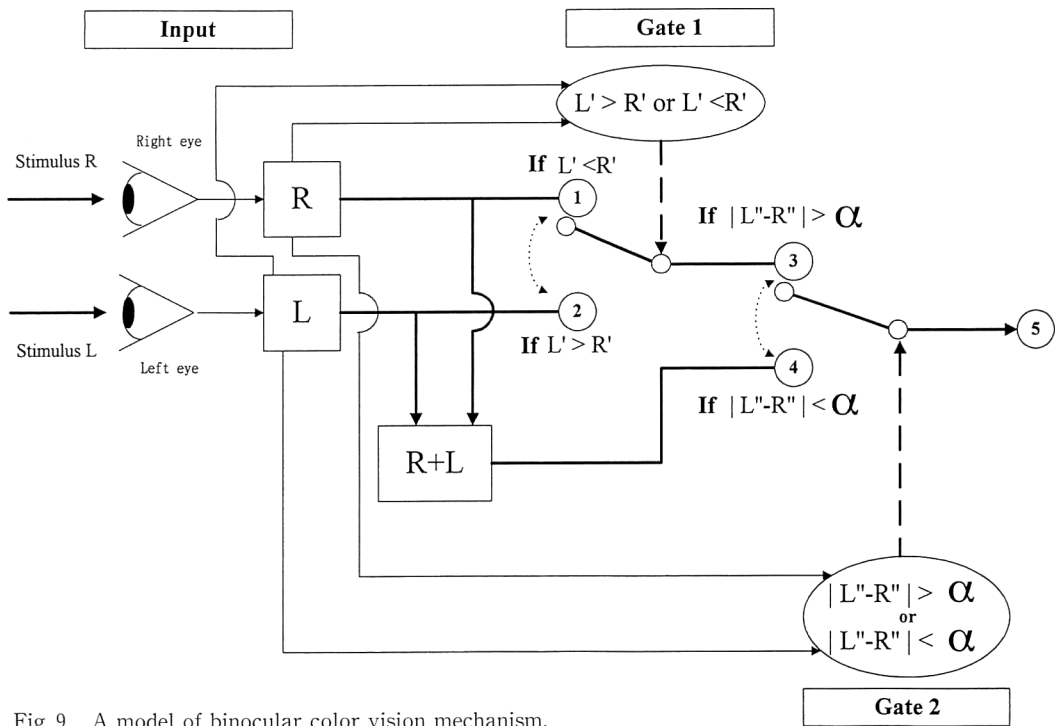


Fig. 9. A model of binocular color vision mechanism.

合に生じる。この状態の伝達経路は①→③→⑤または②→③→⑤のいずれかで、完全に右の眼の情報もしくは左の眼の情報のみが知覚される状態と考えられる。また、交互呈示の場合は、Gate 1 が 30 Hz に追従できたときには左右交互に片眼優位状態が生じるが、時間的に交互に入力される左右の色が⑤の経路において時間的に混色されるため、Gate 2 が両眼色闘争経路に選択されている場合でも両眼色融合と同じ知覚を与える。そのときの応答が本来の両眼色融合状態（Gate 2 が両眼色融合経路を選択している状態）の応答として加算されるため、被験者の両眼色融合時間が定常呈示時よりも増加したものと考えられる。交互呈示においても刺激の色差の影響は存在することから、左右眼間の刺激の色差が大きくなると、時間的混色知覚が生じにくくなるか、または Gate 1 の時間的追従が劣化する特性があることが示唆される。

このように Fig. 9 のモデルによって色の両眼視の知覚される状態がすべて説明できることから、視覚系の色の両眼情報処理にはこのようなメカニズムの存在が示唆される。そして、本実験の結果は、刺激の時空間属性が両眼視の情報経路選択メカニズムに影響していることを示したといえる。

## 5. 結 論

本研究では、色の両眼視の特性を、呈示する刺激の時空間属性を変えて測定し、両眼色融合の発生頻度に対する効果を調べた。結果は、定常呈示の刺激よりも交互呈示の刺激のほうが両眼色融合する割合が大きいのを示した。また、周辺光がない光源色モードの刺激は周辺光がある表面色モードの刺激よりも両眼色融合しやすく、その変化は周辺光の輝度に対して連続的に減少する領域が存在することが示された。今回は、両眼色融合における呈示法の違いを検討したが、左右の色の違いによって知覚が変化する両眼視メカニズムを明らかにするためには、刺激の時空間属性による影響を考慮しながら、さらに実験的研究を進めていく必要があると考えられる。

## 文 献

- 1) Ch. M. M. de Weert and W. J. M. Levelt: "Comparison of normal and dichoptic color mixing," *Vision Res.*, **16** (1975) 59-70.
- 2) P. F. M. Stalmeier and Ch. M. M. de Weert: "Binocular rivalry with chromatic contours," *Percept. Psychophys.*, **44** (1988) 456-462.
- 3) J. H. Bossink, P. F. M. Stalmeier and Ch. M. M. de Weert: "A test of Levelt's second proposition for binocular rivalry," *Vision Res.*, **33** (1993) 1413-1419.

- 4) M. Ikeda and Y. Nakashima: "Wavelength difference limit for binocular color fusion," *Vision Res.*, **20** (1979) 693-697.
- 5) M. Ikeda and K. Sagawa: "Binocular color fusion limits," *J. Opt. Soc. Am.*, **69** (1979) 316-321.
- 6) 岡嶋克典, 池田光男: "表面色モードと光源色モードにおける対応色の関係", *光学*, **20** (1991) 363-368.
- 7) Y. Ishida, K. Okajima and M. Takase: "Relationship between binocular-color-fusion limits and color responses," *Perception*, **24** suppl. (1995) 62.
- 8) R. Blake, R. P. O'shea and T. J. Muller: "Spatial zones of binocular rivalry in central and peripheral vision," *Visual Neurosci.*, **8** (1992) 469-478.