

## 高速移動する縞柄シャツの配色視認性

名古屋市立女子短期大学 稲垣 勝彦  
(共同研究者) 大阪市立大学 花田 嘉代子  
名古屋市立女子短期大学 大川 由子

### **The Visual Recognition of Striped Shirt Moving at High Velocity**

by

Katsuhiko Inagaki

*Nagoya Municipal Women's Junior College*

Kayoko Hanada

*Osaka City University*

Yoshiko Ohkawa

*Nagoya Municipal Women's Junior College*

#### **ABSTRACT**

A problem of clothing is how stripes of a sporting shirt could be seen when players wearing the shirt move round rapidly in a game. Here it was studied that what kind of pattern of stripe could be easy to recognize visually during rapid movement and that what conditions could affect on the visual recognition, using an experimental model which could rotate laterally a drum put on a two-tone-coloured paper with vertical stripes.

Results were as follows:

1. The increase in the velocity of drums showed that at first "optical illusion" (a tail of the stripes) was made wavering and it run away (I), then the stripes became to difficult to be recognized visually (II) and finally fusion of colours of the stripes was observed (III). These three findings were very clearly distinguished.

2. The clear state of fusion of the two colours was considered to be similar to CFF (critical fusion frequency) of flickering of light spot.

3. The stronger the retinal illumination of colour was and also the widely the view range was, the easier the stripes were recognized visually even in the relatively higher velocity of drum rotation.

## 要 旨

縞柄シャツを着用した競技者がゲーム中高速で移動する場合の縞柄の視認性の問題は、被服での未解決の問題である。

本報では縞柄が高速移動しているとき、どのような配色の縞柄が見えやすいか、またこれを観測する場合、どのような要素が縞柄の見え方に影響を与えるかについて、横方向に回転できるドラム面に縞柄を貼付した実験装置を用いて検討した。

結果は以下の通りである。

(1) 移動速度の増加にともなわず縞柄がにじむように見える状態(I)が生じ、つぎに縞柄の識別が困難(II)になり、最終的には混色状態(III)になることがわかった。

(2) 縞柄の配色が混合状態になる現象は、光点のフリッカーにおけるCFF(critical fusion frequency)値と類似した現象であることが説明できた。

(3) 縞柄の配色の網膜照度が大きいほど縞柄は高速移動しても見えやすく、またそれを見る視野が大きいほど見えやすいことがわかった。

### 1. はじめに

スポーツシャツには、競技者を識別するため、縞柄をプリントしたものが多い。しかし縞柄は、配色、縞の太さ、方向によっては、高速に移動すると柄がぼやけたり、配色が判別し難くなる。集団競技にあっては、そのため試合中の競技者の行動を迷わせるばかりでなく、事故を起こす原因にもなり、安全性にもつながる場合が考えられる。

このように高速で移動する縞柄の見え方に関する上記の問題は早急な新しい知見が要請されるところである。しかし、被服学における縞柄の研究は、例えば、縞柄の被服を着装したときのデザインのイメージが縞柄の太さや方向、配色などによりどのように異なるかを解析する<sup>1)</sup>というよう

に、静的意匠の面に限って検討されてきた。

一方動いている物体の見え方についても研究がないわけではなく移動を認識する速度の極限の問題などが扱われている。例えば「近くを行く船の動きはよくわかるが遠くにあると動いているか止まっているかわからないという問題や、また反対にあまり速く運動する物は個々の位置に在る像が見えず、流星のように一本の光が線のように見える<sup>2)</sup>」などの研究である。

しかし、縞柄のように模様が周期的に繰り返される物体の移動の問題は模様の識別についてであり、その考察例は見あたらない。すなわち、縞柄が非常に高速で動いているときには、柄を構成する色が混合し、もはや縞柄と認識できなくなることは、誰もが経験するところである。それがどの程度の移動速度になると識別が困難になったり、色が混合するかさえ検討されていないのが現状といえよう。

そこで、ここではまず高速で移動する縞柄の見え方はどのようなとき、どのような現象として視認されるかをあらかじめ調査した上で、つぎに縞柄が移動することは、配色が周期的に変化することであるという面を重視して、微視的解析法としてフリッカーとの類似性を検討しこの事実を写真により示す試みを行った。さらに現実に経験する面で、移動する縞柄の識別に影響すると考えられる移動速度、直視距離、視野の大きさなど各種要因による見え方の相違を検討した。

## 2. 実験装置および試料

### 2.1 実験装置

実験装置は図1および写真1に示すとおりである。図において回転台(a)によりドラム(b)は線速度0—200cm/secの範囲で回転する。ドラム表面には試料としての縞柄が巻き付けられる。このドラム正面には、長方形の窓を有する衝いたて(c)およびフード(d)をおく。衝いたての窓の大

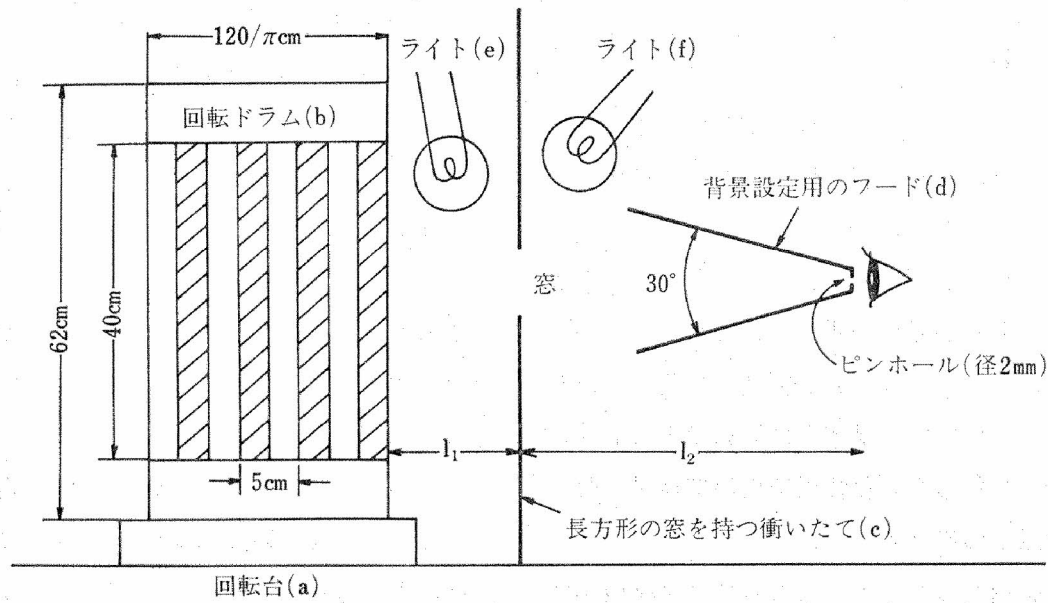


図1 実験装置

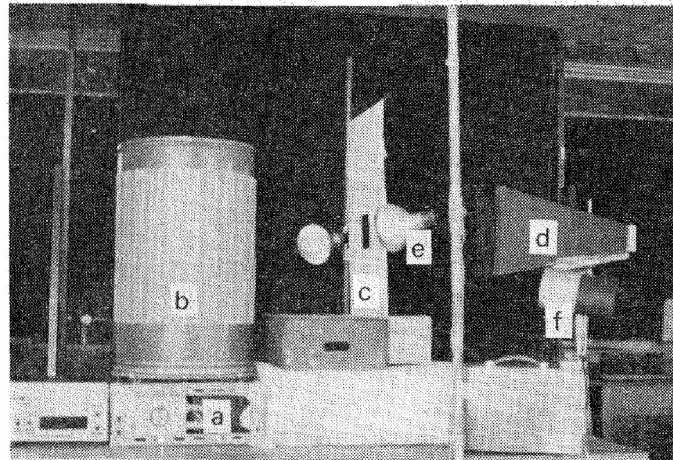


写真1 測定装置

きは図2 Aに示すように視野面積を一定にするため、縦、横それぞれ10cm×5cm, 10cm×10cm, 10cm×20cmの3種の長方形および直径5mm円孔を開けた4種を用意した。

またフード(d)は視野角30度で対象物とその背景となる衝いたて(グレー)のみが見えるように作られている。フードのピンホールは直径2mmで、ここから片眼でドラム表面を観察するようにした。

この理由は一つは観察者の視線を一定にするためと観察者の瞳孔面積(しばりに当る)を一定にして人間の網膜照度を画面の輝度と比例関係におくことにより個人差を少なくするためである。

なお、ドラム面から衝いたてまで、衝いたてからピンホールまでの距離  $l_1$ ,  $l_2$  は変化することができる。またライト(e)は縞柄を、(f)は背景を照明するようドラム、背景それぞれの両側に配置されている。(e)は250W、(f)は100Wのタングステンランプである。また縞柄や背景の輝度を測定するため照度計をあわせ用いた。

## 2.2 試料

縞柄を構成する色は表1 Aに示す8種であり、各色の明度、色度はマンセル記号で示されている。この色の輝度は表に示された値になるように照明条件を調整することにした。縞柄はこれらの色紙の幅2.5cm、長さ40cmの短冊を台紙に交互

表1A 試料(色紙)

色名	マンセル記号	輝度(ニト)
黄	6Y 9.0/10.5	86.4
白	N-9	78.5
橙	7YR 7.0/12.0	66.8
赤	6.5R 3.5/13.0	43.2
茜色	10RP 4.0/10.0	27.5
緑	4G 5.5/9.0	27.5
青	1PB 5.0/9.0	19.6
黒	N-2	7.9
背景	N-8	42.0

表1B 試料(縞柄)

縞柄の配色	色 差	輝度差(ニト)
A 黒*白	0	70.68
B 赤*緑	0.26	15.71
C 青*橙	0.21	47.12
D 黄*茜色	0.09	58.90
E 黒*茜色	0.15	19.63

に貼って作られた2色配色で横方向の配色の周期は5cmになる。

またこれらの短冊を組み合わせた縞柄配色は表1

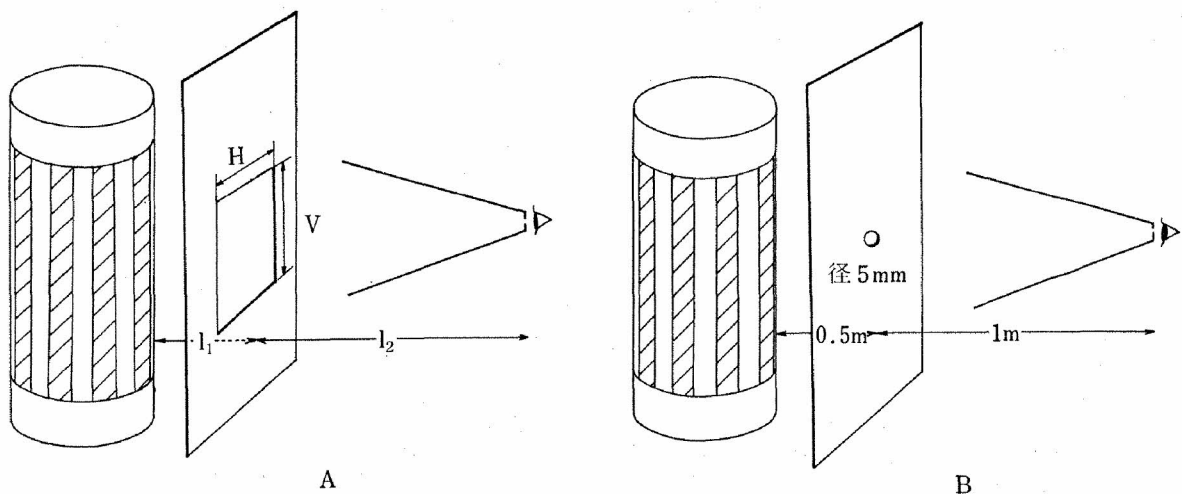
Bの通りである。このような5種の配色を選んだ理由はA(黒, 白)は無彩色どおしB(赤, 緑), C(青, 橙)はそれぞれ補色関係の組み合わせで2組の間では色差の相違は小さいが, 輝度差の相違が大きい2例として選んでいる。

またD(黄, 茜)は比較的明度差, 彩度差の大きい組み合わせ, E(黒, 茜)は逆に明度差, 彩度差の小さい組み合わせの例として選んだものである。ここに各配色の輝度差は表1Aの単色の輝度 $B_1, B_2$ の差である。

### 3. 動いている縞柄の観察

動いている縞柄は, 縞柄の速度と見え方との間にどのような関係があるかをまず観察した。図2Aに示すような窓の大きさを $V=10\text{cm}$ ,  $H=5, 10, 20\text{cm}$ に設定し, 目から縞面までの測定距離が $l_1=0.5\text{m}$ ,  $l_2=1.0\text{m}$ の条件下で, 縞柄の速度を $0-200\text{cm/sec}$ 変化させ, 縞柄の見え方をピンホールから観察する。その結果はつぎのようである。

1) 一般に縞柄を回転させると縞柄表面の線速度の増加にともない, まず柄の境界線が移動方向と反対方向にぼけてくるにじみの状態(I)とな



V : 10cm  
H : 5 cm, 10cm, 20cm

図2 視野および距離の条件

り、つぎに平行に見えていた縞がゆらぎはじめ互いに激しく交錯して縞柄の識別が不可能(Ⅱ)になり、最後にはそのちらつきが弱くなり混色状態(Ⅲ)になることがわかった。この事実はV×Hの大きさがいずれの場合でも同様であり、かつすべての配色の試料についても一致した現象でこの3段階の変化は明確である。これから、縞柄の視認性の問題は評価基準Ⅰ、ⅡおよびⅢの3段階でとらえられることがわかった。

ただし以上は縦縞の場合で、例えば新幹線が走行するように、横縞が動くときはそのような現象はあらわれない。

そこでいまドラムの縦軸と斜め方向に角度 $\theta$ をもって構成される縞柄を角度別に観察すると、 $\theta = 45$ 度を境として見え方は $\theta > 45$ 度ならば縞柄が横方向に移動し、 $\theta < 45$ 度ならば理髪店の看板のように縦方向に移動することがわかる。この動きはドラムの回転方向をかえれば反対になる。またこのような動きの中で、前述の3つの評価基準に達する時点の縞柄線速度を(赤・緑)の配色を例として求めると表2に示すようである。表に示すよ

表2 縞角度と3評価基準に達する時点の縞柄線速度

縞の傾き ( $\theta$ 度)	線速度 (cm/sec)		
	(Ⅰ) にじみ始める 時点	(Ⅱ) 視認不可能な 時点	(Ⅲ) 混色する 時点
90(縦縞)	44.4	70.0	112.6
60	44.4	66.6	130.0
45	55.6	66.6	153.4
30	64.4	70.0	—

うに、 $\theta$ が小さくなるに従い、にじみ始める時点と混色する時点の線速度は大となるが、視認不可となる時点の線速度はほとんど変りなかった。また、 $\theta$ が大きくなれば窓から見える縞柄の横方向の縞幅は小さくなるので、混色に至る線速度が小さいのも当然であろう。そのため $\theta$ が大きいとき

は、にじみ始める時点から視認不可となる時点に至るまでの線速度の差は大きい、 $\theta$ が小さいときはにじみはじめて間もなく視認不可となるという相違ができる。

### 2) 動いている縞柄の写真撮影

今、縞柄をシャッターの速度を一定にして撮影すると、シャッターの開放時間内に移動した縞柄は、フィルム面に重畳して写ることになる。そこでシャッタータイムが目の残像時間と等価と考えると、縞柄の見え方は写真撮影である程度代弁できると考えられる。そこで、種々の線速度の縞柄を一定のシャッター速度で写真撮影した。

写真2 A, B, C, Dは、縞柄移動の線速度を0 cm/sec, 30cm/sec, 70cm/sec, 150cm/sec, シャッター速度1/30secで撮影したものである。線速度の増加に従い縞のにじみが大きくなるが、150cm/secでは、均一混合していることがわかる。このときは縞柄がシャッター開放時間内(1/30sec)に丁度一周分(5 cm)移動した計算になる。このような条件は他の配色縞柄についても同様である。

### 3) 動いている縞柄の観察と写真との関係

動いている縞柄の観察結果と写真2とを対応させると、観察結果を代弁できるのは均一混合の時点のみで、他の時点の状態については対応できないことがわかる。すなわち視感に訴えられる、縞柄がにじむ、縞の識別が困難になる現象は単純な物理的説明ができないことがわかった。

## 4. 縞柄のちらつき現象の解析

### 1) 縞柄の CFF (critical fusion frequency) 値と網膜照度との関係

いま動いている縞柄面を図2 Bに示すようなスポットの狭視野で見るとき、そこではもはや縞柄の形状は見えず、縞を構成する2色のスポットが交替であらわれる。これは、まさにフリッカー現象である。

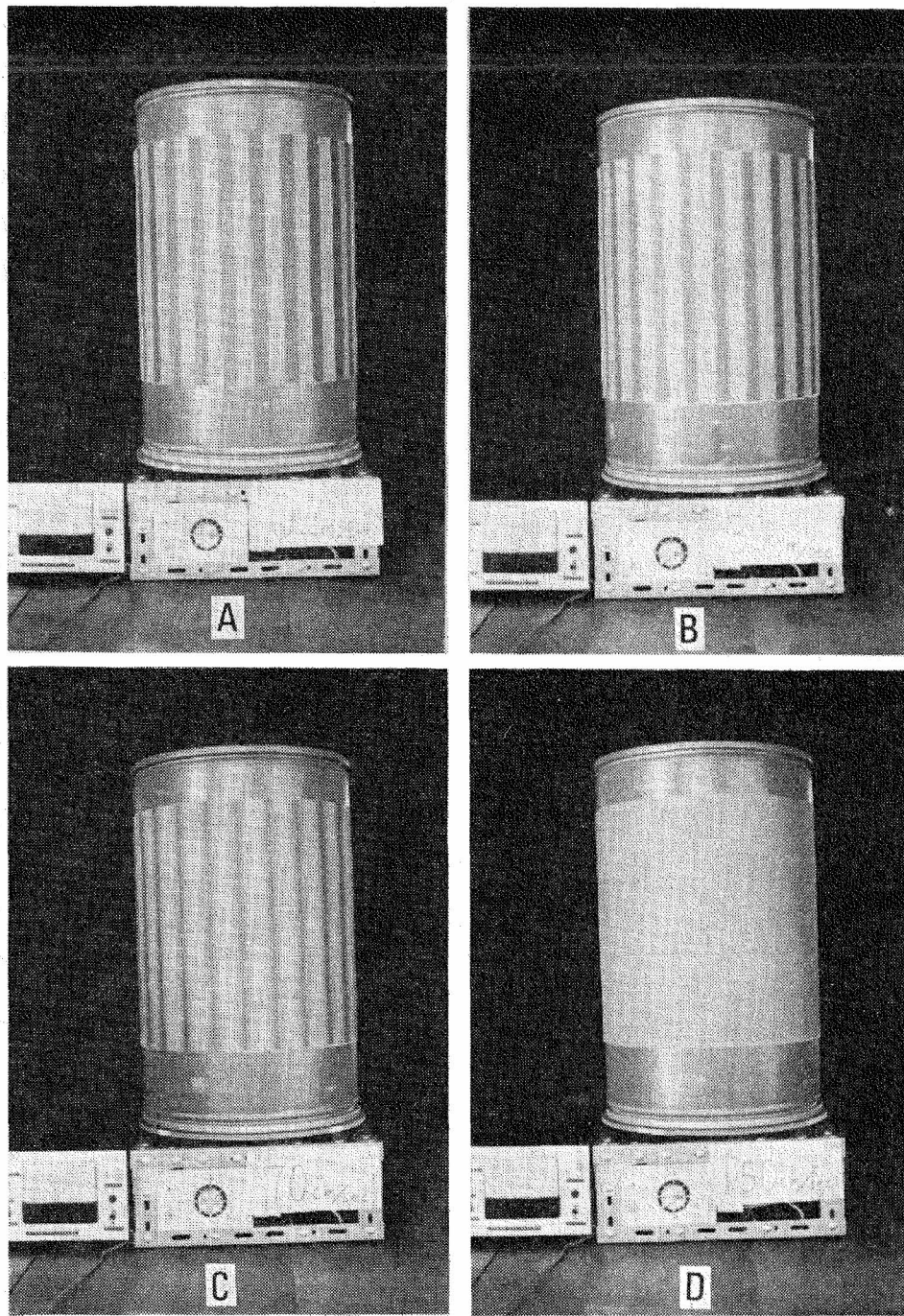


写真2 縞柄の表面速度とシャッター速度との関係

そこではじめにフリッカーの CFF 値を測定した。なお、CFF 値の周波数は縞柄の線速度をその周期 5 cm で割って求めた。

さて一般にフリッカー現象の CFF 値は、光点の色が異なっても、その値が人の目を刺激する網膜照度の対数に比例するという事実が知られている<sup>3)</sup>。この知見を利用すれば、もしも移動する 2 色配色の縞柄の CFF 値と網膜照度の対数との関係

が上の事実の関係曲線の上に乗るならば、どのような配色の縞柄の移動も、微視的には、すべてフリッカー現象として扱えることになる。そこでつぎの実験を試みた。

移動する縞柄の場合、網膜照度に相当する  $mL_0$  は古川のモデル<sup>4)</sup> から求めてよいであろう。

すなわち、

$$mL_0 = (L_1 + L_2) / 2 \times 2(L_1 - L_2) / (L_1 + L_2)$$

$$=L_1 - L_2$$

ここに  $L_1$ ,  $L_2$  は縞柄を構成する2色の輝度  $B_1$ ,  $B_2$  (表1 A) をそれぞれフードのピンホール面積で割ることにより求められる。

図3は、図2 Bの装置を用いて2名の被験者による各縞柄のCFF値の測定結果を  $mL_0$  の対数 (= 網膜照度の対数) を横軸にとって示したものである。図はよく知られている Hecht<sup>3)</sup> によるCFF値と網膜照度との関係であるが、図中の○□印に示すように5種の輝度差の異なる配色の縞柄の実験値はよくこの線上にあることが示された。すなわち、狭視野で見た縞柄の移動は一般のフリッカーとまったく同じ現象と考えることができた。

### 2) 縞柄の均一混合とCFF値との関係

高速で動く縞柄を狭い視野で見たときの見え方は、光点のフリッカーと同じ現象とみなせたが、大きな視野で見るときは、狭い視野で見た点が時

空間的に多数集まったものと考えることができ。このとき空間的に広がった点での色交替は、位相が異なっても同一周期で起っている。従って先の狭い視野で測定したCFF値にあたる線速度では、大きな視野の中で位相の異なる移動の周期現象が散在することになり、それが均一混合現象を呈すると理解される。

また一方、先の写真において縞柄が均一混合するのはシャッターの開放時間と縞柄の周期が一致する条件の時であったから、これは人間におけるフリッカーのCFF値に他ならない。以上のことから高速移動する縞柄の均一混合は一種のフリッカーのCFF値として説明されることがわかる。

### 5. 縞柄の見え方の配色による相違

#### 1) 実験方法

縞柄を観察するときどれだけの面積(何周期分)

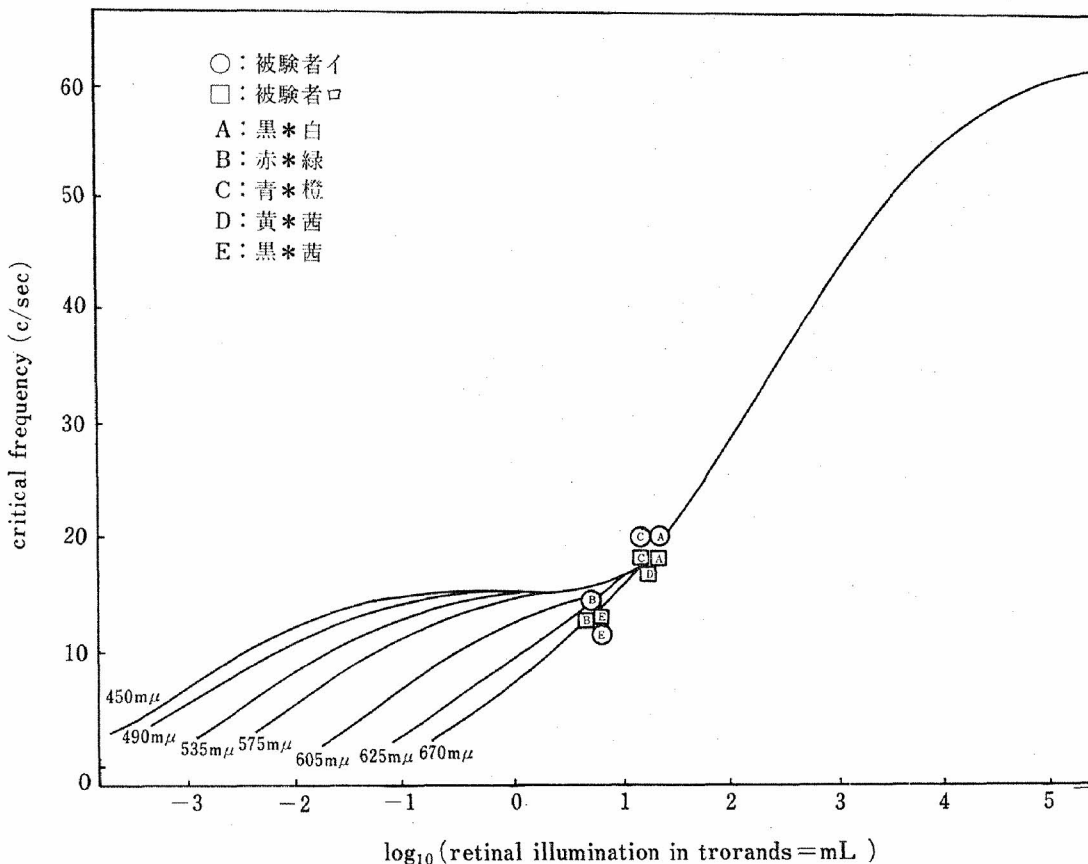


図3 cff 値と網膜照度 ( $mL_0$ ) との関係

の縞柄をどのくらいの距離（視野角）から見る時を考えればよいかという問題がある。

実験は図1Aの装置において、衝いたての窓の大きさ、ドラム面と衝いたてまでの距離  $l_1$ 、衝いたてとフードのピンホールまでの距離  $l_2$  を変化させて表3に示す6種のケースを行った。表中の数字は組み合わせによって生じた視野角と縞の周期であり、図4に示すような6条件になる。すなわち、同じ周期数のものを視野角を変えてみた場合

表3 測定条件

窓の大きさ (cm)	10×5	10×10	10×20
$l_1+l_2$ (cm)			
0.5+1.0	2.9度, 1.5	5.8度, 3.0	11.6度, 6.0
1.0+2.0	1.45度, 1.5	2.9度, 3.0	5.8度, 6.0

(表中の数字は視野角, 縞の周期数をあらわす)

と同じ視野角で周期数の異なるものをみた場合が含まれている。

実験は縞柄を回転移動したときに、縞柄が変貌する3評価基準すなわち(I)縞柄がにじみはじめる時点、(II)縞柄の識別が不可能になる時点および(III)縞柄が均一混合する時点を被験者に回答させ、そのときの縞柄線速度を測定する。

なお回転移動は低速度から高速度へ変化させる場合とその逆の場合を実施して、2つの測定値を平均した。被験者は女子短大の学生から矯正視力1.0以上の者10人を選び各人は日を改めて2回の実験を行っている。なお6種の配色については、1人の被験者が続いて実験することを避けている。

2) 実験結果

実験結果は図5, 6および7に示すようである。

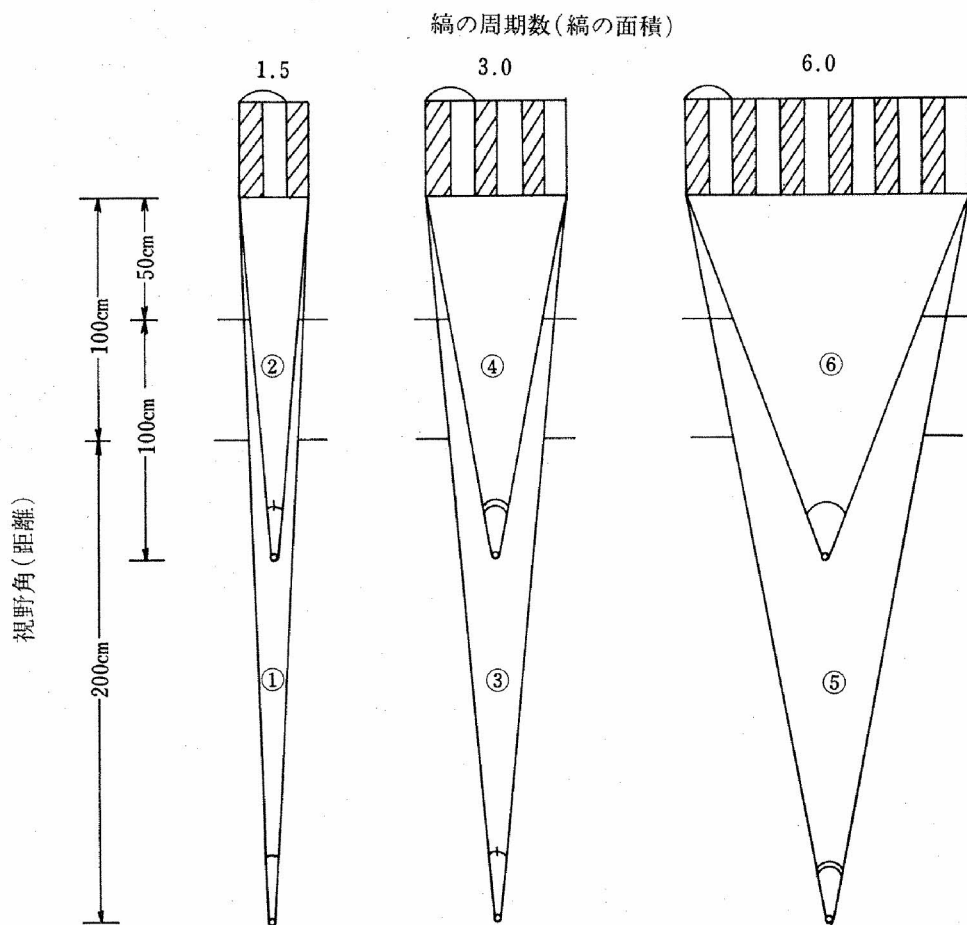


図4 測定条件



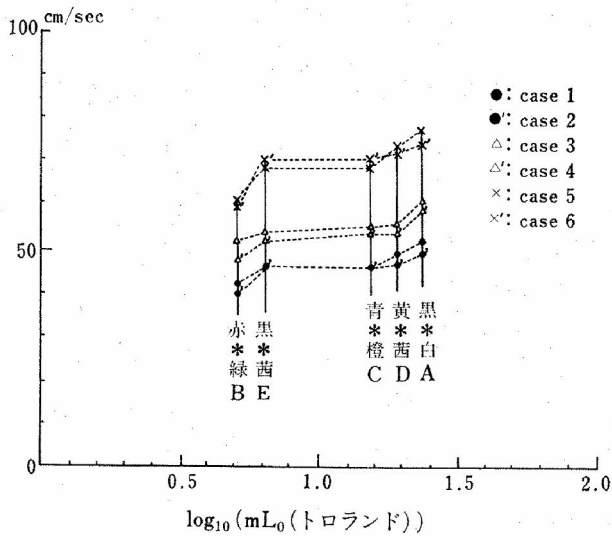


図5 縞柄の線速度と縞配色の網膜照度との関係 (縞柄がにじみ始める時点)

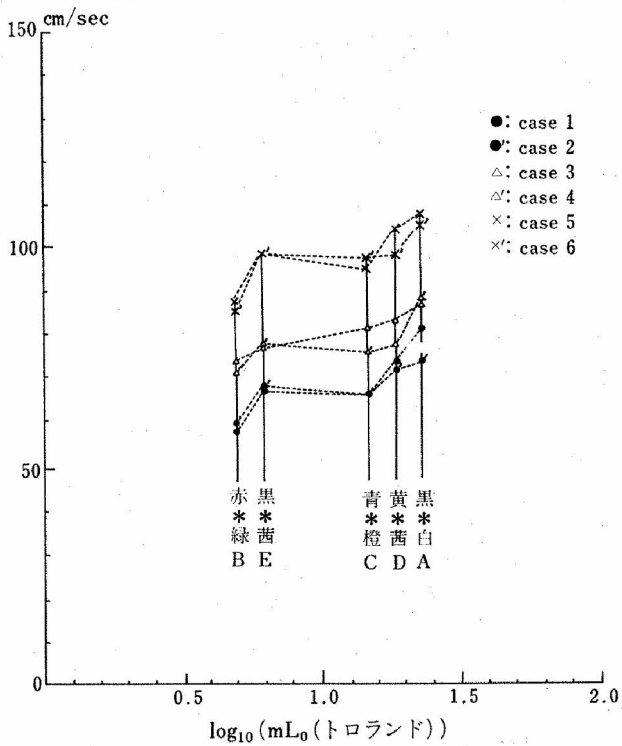


図6 縞柄の線速度と縞配色の網膜照度との関係 (縞柄の識別が不可能になる時点)

図は横軸に各配色に対する人間の網膜照度の対数を取り、縦軸に縞柄線速度をとったものである。

図に示されるように、ケース②と③、ケース④と⑤を比較することにより、同一視野で見るときの縞の周期のちがいによる影響がよくわかる。す

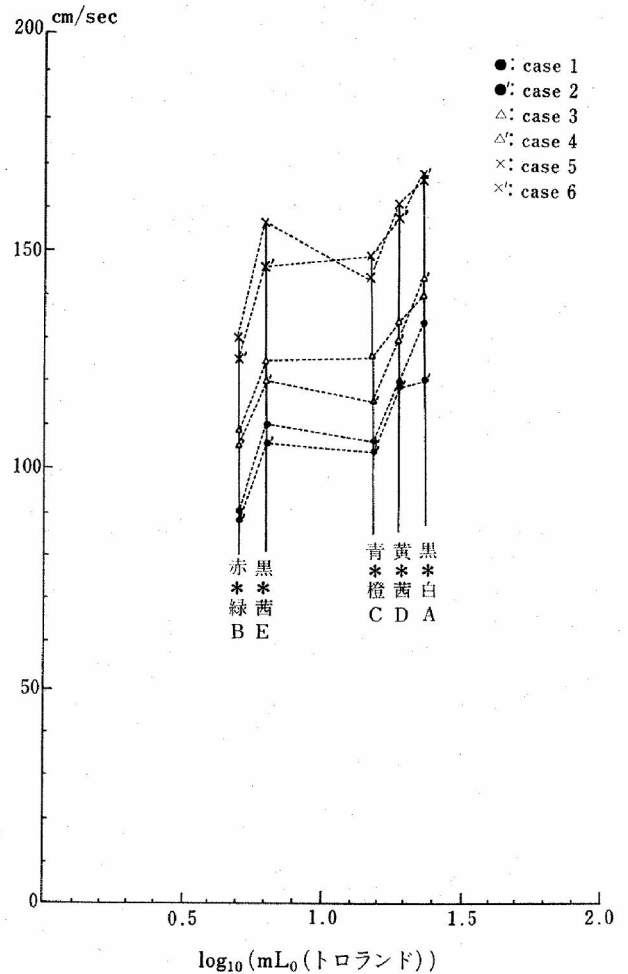


図7 縞柄の線速度と縞配色の網膜照度との関係 (縞柄が混色する時点)

なわち縞の周期数が少ない方が(面積の狭い方が)低速で視認しにくくなることがわかる。

この事実はすべての配色で、またすべての評価基準で言うことができる。このとき網膜照度と線速度との関係曲線は、視野に入ってくる縞柄の周期数が異なっても同じ傾向を示している。ここで注目することは、(黒, 茜)の配色が網膜照度が低いにもかかわらず、線速度がかなり大きいことで、これは現実には(黒, 茜)の縞柄は移動しても視認しやすいことを意味している。このことは被験者が実験中同様に感じていたことである。

つぎに、ケース①と②、③と④、および⑤と⑥を比較し、同じ大きさに見えるものでもそれを見る時の距離のちがいで視認しやすさが異なるかど

うかを調べると、必ずしも同じ傾向を示すとは言えないが、多くの配色では視野角が小さい方(距離が遠い方)が視認しやすいという場合が比較的多くあった。

この事実はいずれの評価基準でも言えることであつた。ただし配色の組み合わせによる影響は明らかではなかつた。このような結果が得られたのは、本実験が片眼を使用して、視線を固定したからであり、もしも両眼でみると、必ずしも同じ結果にはならないといえる。

しかし両眼のときは眼球運動のため縞柄はかえって停止したり、眼球運動の方が速いため縞柄が一時的に逆転したりするような不安定な状態がおこることを付記しておきたい。そのときは線速度と眼球運動との関係の下で視認性を論ずる必要がある。

## 6. 結 び

縞柄のスポーツシャツを想定して、競技中に高速移動するシャツの配色の視認性について検討を行った。現実にはどのような配色の縞柄が高速でも視認しやすいかを知るのが目的であるが、それがどのような状態における観察で言えるのかということを見ると、実験方法はかなり複雑になる。

本研究の場合は初段階であるので、はじめは調査的観察を、つぎに基礎的な解析を行い、さらに種々の場面を想定した実験を行った。得られた結果はつぎのようである。

(1) 一般に縞柄を回転させると、縞柄表面の線速度の増加に伴い、(I)縞柄が移動する方向の反対側ににじみを生ずる。さらに速度を増大すると、(II)縞の判別が困難となり最後に、(III)2色が混色状態となる。

なおこの事実の他に縞柄が流れるという移動があり、それは縞の角度が45度以上では縞の移動方向と同方向に縞が流れ、45度以下では縞の移動方向と直角方向に縞が流れる。また移動する縞柄を

写真撮影するときは、縞柄がシャッターの開放時間内に丁度一縞の周期分が移動する速度のとき、配色が均一混合した状態で写し出され、それは視感と一致する。

(2) 移動する縞柄は狭視野で観察すると2色のスポットが交替するのでその事実はフリッカー現象と考えた。

そこでフリッカー測定器と同じように、縞柄のちらつきの CFF (critical fusion frequency) を求めた。そして、種々の配色について、配色の輝度差を観察者の網膜照度に換算したものと、その配色における CFF 値との関係を求めると、その結果はフリッカー現象で言われている Hecht の関係によく一致した。

そこで現実の縞柄ではこのフリッカー現象が縞全面に対し時空間的位相差をもってあらわれるので、それが混色として観察されると理解される。すなわち、移動する縞柄の混色現象はフリッカー現象として解決できることがわかつた。

(3) 移動する縞柄を観察するときの柄の見え方は何周期分の柄をどの位の距離から見るかにより異なる。いま同一視野角で縞柄の周期数の異なる移動を観察すると、周期数の少ない方がすなわち縞柄の観察面積の少ない方が低速移動で視認しにくくなることがわかる。一般に網膜照度の大きい配色は移動速度が速くても視認しやすいといえるが、配色が(黒、茜)の場合は網膜照度が小さいにもかかわらず視認しやすい結果が得られている。また同じ周期数を持つ面積を見るときの距離のちがいと見え方には明らかな傾向はみられないが、視野角が小さい方(距離が遠い方)が視認しやすいようである。

(4) 以上の実験は視線を固定するために片眼により観察されたが、もしも両眼でみるときは眼球運動の影響が加わる。このときはかえって視認が不安定となるのであるが、今後は線速度と眼球運動との関係で視認性を論ずる必要がある。

終わりに本研究を実施するにあたり懇切なる御指導をいただきました大阪市立大学三平和雄教授に深謝いたします。

#### 文 献

1) 例えば吉岡；被服における図柄のイメージ，家政

学雑誌，Vol.36，No.10，794（1985）

2) 例えば久保田；光学，p.355，岩波書店（1972）

3) 勝木；生理学大系，感覚生理学，p.127，医学書院（1967）

4) 古川；色のちらつき融合の視覚モデル，電気通信学会論文誌，Vol.56，No.11，601（1973）