

## 色メカニズムの時間的位相特性

吉沢達也・内川恵二・中野靖久

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

### 1. はじめに

色覚メカニズムの時間的特性を調べることは心理物理学において古くから行われてきた。それらの研究によると時間的応答特性および位相特性は色メカニズム間で異なるかは議論のあるところである。吉沢ら<sup>1,2)</sup>や他の研究<sup>3,4)</sup>によると時間的応答特性については色メカニズム間に違いは見られないことが報告されている。

一方、位相を固定した赤-緑のフリッカを minimum flicker に調整するとき residual flicker が知覚されることは古くから知られている。これは、赤メカニズムと緑メカニズムの位相特性(潜時)の違いに生じると説明されている。また、過去の実験では刺激条件によりその特性が変わることも知られている。本研究では色チャンネルを選択的に刺激し、色光に対する視覚系の過渡的な応答を捕えることにより色メカニズム間での潜時の違いについて調べた。

### 2. 実験

#### 2.1 実験原理

本研究では色チャンネルだけを選択的に刺激するために等輝度2刺激法を用いた(図1(a))。予め、白色光(図1(a)中のw)と交照法により等輝度に設定された二つの色光 1st pulse と 2nd pulse を継時的に呈示し、それらの色光に対する視覚系の応答の時間的足し合わせ特性を刺激呈示開始時間間隔(SOA)の関数として求める。図1(b), 1(c)に示すように二つの異なる色光に対する時間的足し合わせ特性より、それぞれに反応する色メカニズム間の潜時に違いがある場合(図1(b), 1(c)に示すようL1とL2が違

う場合)、二つの色光の呈示される時間的順序を入れ替えると時間的足し合わせ特性に差が生じる(図1(d), 1(e))。

#### 2.2 装置と刺激

**装置** 赤、緑、青の3色のLEDを光源とした6チャンネルのマックスウェル視光学系を用いた。被験者は歯型台で頭部を固定される。網膜照度は100 Tdで、背景のない視角1.5°の円形刺激を用いた。

**刺激** 刺激は図2の色度座標に示すように白色W(0.355, 0.416)よりトリタノピック混同色線を変化する色光T-Blueとr-g cardinal axis上を変化する色光C-RedとC-Greenを使用し、C-RedとC-Green, C-RedとT-Blueの組み合わせで呈示される。トリタノピック混同色線はSmith and Pokorny<sup>5)</sup>の混同色中心(0.1748, 0)と白色Wを通る。各色光は白色Wと交照法により

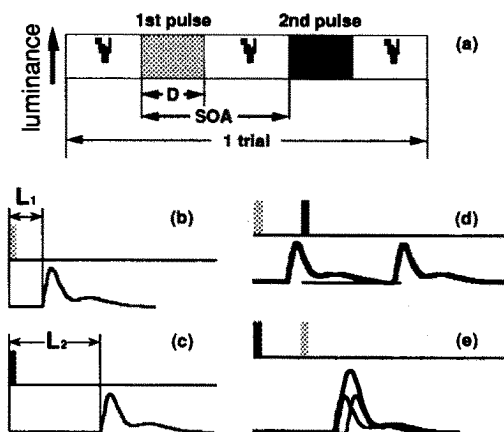


図1 等輝度2刺激法と刺激に対する視覚系の応答  
(a) 等輝度2刺激法。(b) 1st pulse に対する視覚系の応答。(c) 2nd pulse に対する視覚系の応答。(d) 2色光に対する視覚系の応答。(e) (d)の色光の呈示順序を入れ替えたときの視覚系の応答。

表1 刺激の呈示持続時間(D)と刺激呈示開始時間間隔(SOA) (msec)

condition	subject	D	SOA
T-Blue,C-Red C-Red,T-Blue	TY	10	10,20,30,40,50,60,80,100,120,150,200, 300,400,600,1000,1500,2000
	TS	15	15,20,30,40,50,60,80,100,120,150,200, 300,400,600,1000,1500,2000
	YN	20	20,30,40,50,60,80,100,120,150,200, 300,400,600,1000,1500,2000
C-Red,C-Green C-Green,C-Red	TY	10	20,30,40,50,60,80,100,120,150,200, 300,400,600,1000,1500,2000
	TS	15	
	YN	20	
short SOA	TY	10	10,12,15,20,25,30,35,40
T-Blue,C-Red C-Red,T-Blue	TS	15	15,17,20,25,30,35,40
	YN	20	20,22,25,30,35,40,45,50
	short SOA	TY	20,22,25,30,35,40,45,50
C-Green,C-Red	TS		
C-Red,C-Green	YN		

被験者ごと等輝度にした。刺激の呈示持続時間(D), および, SOAを表1に示す。

### 2.3 手順と被験者<sup>1)</sup>

**手順** 被験者は計算機により任意に設定されたSOAの刺激を観察し, 時間的に変化があるときはYES, 変化がなければNOと応答する。閾値は恒常法により検出率50%の値とした。

**被験者** 被験者は色覚正常者の男性3名, YN

(31歳), TY (29歳), TS (25歳)。

### 3. 結果と考察

2色光に対する時間的足し合わせの程度を式(1)で定義される Summation Index で表わす。

$$\text{Summation Index} =$$

$$-\text{Log} \{ (dLp1/dLs1 + dLp2/dLs2) / 2 \} \quad (1)$$

ここで, dLp1 と dLp2 は各 SOA での一番目と二番目のパルスの閾値とし, dLs1 と dLs2 は一番目または二番目のパルスのどちらか一つの色光 (以後, 単一パルスと呼ぶ) だけを呈示したときの閾値とする。Summation Index が 0.3 (= -Log (1/2)) のときは閾値が単一パルスの半分であることを示す。

図3, 4に実験結果を示す。横軸はSOA, 縦軸は Summation Index である。図3(a)は各被験者の C-Red と T-Blue の足し合わせの結果である。図3中の●は C-Red, T-Blue の順番で刺激が呈示され, ○は T-Blue, C-Red の順番で呈示されたときの結果を表している。SOAの増加とともに Summation Index は減少し, 100~150 ms 付近で再び上昇した後, SOA = 200~300 ms を

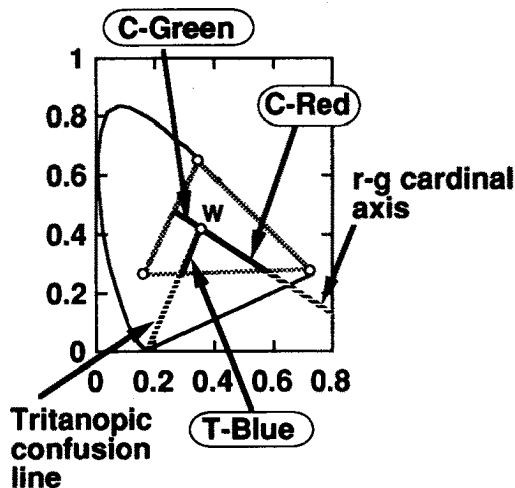


図2 実験に用いた刺激のxy色度座標

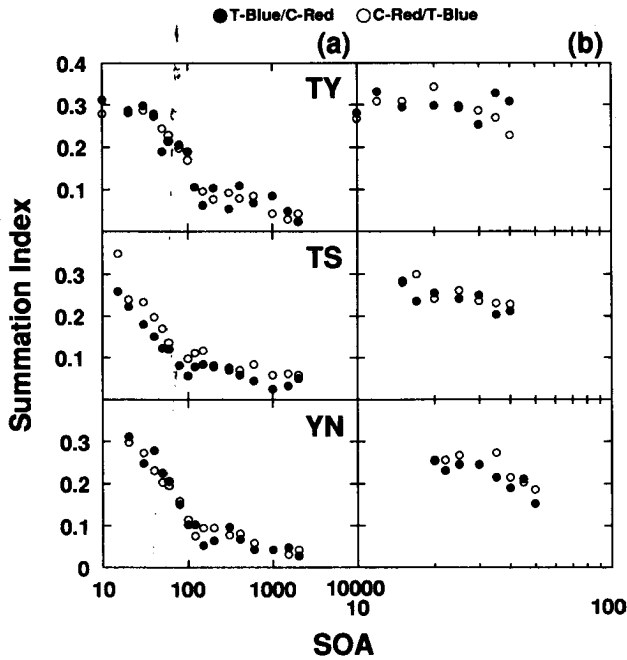


図3 色光 T-Blue と C-Red を用いたときの時間的足し合わせ特性。(a) SOA が10~2000 ms のときの結果, (b) SOA が短いときの結果. 上段: 被験者 TY の結果, 中段: 被験者 TS の結果, 下段: 被験者 YN の結果. ●は T-Blue, C-Red の順番で, ○は C-Red, T-Blue の順番で色光が呈示されたときの結果.

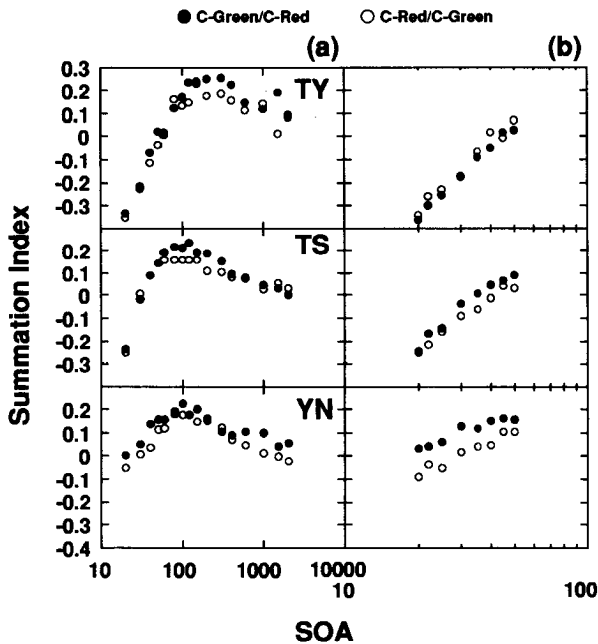


図4 色光 C-Red と C-Green を用いたときの時間的足し合わせ特性。(a) SOA が10~2000 ms のときの結果, (b) SOA が短いときの結果. 上段: 被験者 TY の結果, 中段: 被験者 TS の結果, 下段: 被験者 YN の結果. ●は C-Green, C-Red の順番で, ○は C-Red, C-Green の順番で色光が呈示されたときの結果.

ピークに再び減少し, 確率的足し合わせのレベルで一定になる. この特徴は色光の呈示順序が入れ替わっても同じである. またどの被験者にも同一の特徴が見られ, C-Red と T-Blue に応答する色メカニズム間に潜時特性の差がないことがわかる.

一方, 図4(a)に示す C-Red と C-Green の結果は, SOA の増加とともに Summation Index は増加し, SOA=100~300 ms をピークに減少し, SOA=400~600 ms 以上では確率的足し合わせのレベルで一定になる. 被験者間ではピークになる SOA が異なる. また, 被験者 YN では SOA が短いとき C-Red と C-Green の呈示する順番を入れ替えると Summation Index が異なる. そこでさらに詳細に検討するために SOA の短いところだけ(表1中の Short SOA の条件)を調べて色光の呈示順番により結果が異なるかを調べる. 図3(b)と4(b)が結果である. 図3(b)ではどの被験者も色光の順番の違いにより結果の系統的な違いは見られないが, 図4(b)では図4(a)と同様被験者 YN は色光の順番の違いにより結果が異なっている. 被験者 TS は YN と同様な傾向が見られるがその違いは小さい. TY には大きな違いはあまり見られない. ここで, 図4(b)の YN の結果についてさらに考察する. 図5は▲が図4(b)中の YN の○(C-Red, C-Green の順で呈示したときの結果)を求めたときの各単一パルスの閾値を用いて C-

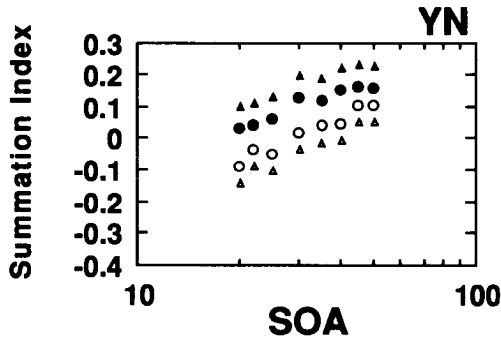


図5 単一パルスの閾値に関する考察。▲は図4 (b)中のYNの○を求めたときの各単一パルスの閾値を用いて、各●を再計算した値を示し、△は図4 (b)中のYNの●を求めたときの各単一パルスの閾値を用いて、○を再計算した値を示す。●と○は図4 (b)中のYNの結果と同じ。

Green, C-Red の順で呈示したときの各 SOA の Summation Index を計算した値を示し、△が図4 (b)中のYNの●(C-Green, C-Red の順で呈示したときの結果)を求めたときの各単一パルスの閾値を用いて、C-Red, C-Green の順で呈示したときの各 SOA の Summation Index を計算した値を示す。もし、●と△、○と▲がそれぞれ一致すれば、潜時の違いにより図4 (b)中のYNの●と○に違いが生じたのではなく各単一パルスの閾値の違いにより生じたものであるが、図5で明らかなように、●と△、○と▲は一致していない。そのため、図4 (b)中の●と○の系統的な違いは潜時特性の違いによるものであると考えられる。

これらの結果より、C-Red と T-Blue に応答する視覚経路の潜時特性には違いがないが C-Red と C-Green に応答する視覚経路の潜時特性には違いがあると言える。

#### 4. まとめ

色メカニズムの潜時特性についてはいろいろな方法で調べられてきたが、本研究では視覚系の過渡的応答を等輝度2刺激法を用いて測定し、その特性を調べた。本研究の実験条件では C-Red と T-Blue の間には潜時特性の違いは見ら

れなかった。しかし、C-Red と C-Green の間には被験者 YN の場合特性の違いがあった。この結果は赤-緑のフリッカー光で交照法を行なった際に residual flicker が知覚されこととも一致するが、過去の研究では刺激条件により潜時特性は異なることも報告されている。

今回の結果を説明するモデルの考察が今後の課題である。

#### 文 献

- 1) 吉沢達也, 内川恵二: 色応答の時間的足し合わせ特性の色相間比較. *VISION*, 5, 1-9, 1993.
- 2) 吉沢達也, 内川恵二, 中野靖久: 青色メカニズムの時間的足し合わせ特性と色応答モデル. *光学*, 22, 503-511, 1993.
- 3) V. C. Smith, R. W. Bowen and J. Pokorny: Threshold temporal integration of chromatic. *Vision Research*, 24, 653-660, 1984.
- 4) K. Uchikawa and M. Ikeda: Temporal integration of chromatic double pulses for detection of equal-luminance wavelength changes. *Journal of the Optical Society of America*, A3, 2109-2115, 1986.
- 5) V. C. Smith and J. Pokorny: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500nm. *Vision Research*, 15, 161-171, 1975.