

Fig. 1 Difference of the color range between Amateur-Profession

Fig. 1

区別された。

3) 属性パターンの分類と嗜好特性

前記3要素について全82色(47色に集約)の嗜好得点と性別, 年齢, 職業, 血液型, ライフスタイル, イメージスタイル等のカテゴリから66項目を入力し, 数量化Ⅲ類によるパターン分類を行った。この結果, 座標原点附近に2つの異なるトーン領域があり, エレメントによってこの2つのトーン群の何れかに対応する2種の典型的属性集団の存在がみられた。この属性集団の1つは行動, 革新派と考えられるグループ(女性, 20代, A型, O型, モダン派, カジュアル派, 行動派)で, こ

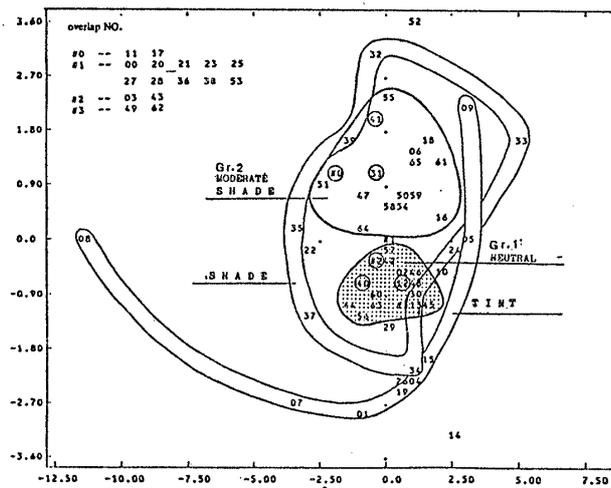


Fig. 2 2 Groups of attribution on sofa color preference

Fig. 2

れらの属性が中心となって構成されており, 他方のグループは保守・伝統派と考えられる(男性, 30代, B型, AB型, オーソドクス派, クラシック派, ムード派, 演出派, 伝統派)が中心属性となっているものである。Fig. 2はソファの例で, Neutral系トーン領域を好むタイプは行動・革新派が対応し, Moderate, Shade系トーンを好むタイプの属性は, 保守, 伝統派集団が対応している。

## 薄明視レベルでの明るさ知覚の視覚モデル

### A visual model for brightness perception at mesopic levels

中野 靖久\*  
Yasuhisa Nakano

池田 光男\*  
Mitsuo Ikeda

1. はじめに

薄明視領域では, 我々の視覚系は, 錐体と桿体が共に活動し, 明るさを知覚する。しかしながら, 我々は薄明視領域での明るさを評価するための測光システムを持っていない。現在定義されているのは, CIE  $V(\lambda)$  及び  $V'(\lambda)$  に基づいた, 明所視及び暗所視測光システムのみである。そこで近年視環境整備の立場から, 照明工学並びに測色工学の方面で, 薄明視測光システムの確立が要求されている。有用な測光システムを得るためには, まず薄明視視感度関数が網膜照度レベルによってどの様に変化するか, そしてまた, 錐体と桿体がどの様に相互作用して明るさの知覚に至るのかを理解する必要がある。薄明視視感度関数に関しては, かなりのデータが既に集められており, いくつかの実験式も提案されている<sup>1)~7)</sup>。しかし, これらの実験式が複合光に対しても適

\* 東京工業大学総合理工学研究所

用可能かどうかはあまり調べられていない。これを調べるには, 薄明視領域で明るさの加法性を測定し, 錐体と桿体の応答がどの様に相互作用し, 足し合わされているかを検討する必要がある。本研究では, 2つの単色光における明るさの加法性を薄明視領域で測定し, 複合光の明るさを評価するための視覚モデルを提案する。

2. 実験方法並びに実験装置

2つの単色光  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  をある放射輝度比で混合したテスト光と, ある網膜照度レベルに設定した白色参照光との間で, 直接比較法による明るさマッチングを行なう。今  $\lambda_1$  及び  $\lambda_2$  を単独で呈示し, 参照光と明るさマッチングした時のそれぞれの放射輝度を  $L^{\circ}e_{1,1}$ ,  $L^{\circ}e_{2,2}$  とする。次に  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  を混合して呈示し, 同じ参照光と明るさマッチングした時のそれぞれの放射輝度を  $Le_{1,1}$ ,  $Le_{2,2}$  とする。この時,  $\rho_1$  及び  $\rho_2$  を次の様に定義する。

$$\begin{aligned}\rho_1 &= Le_{1,1}/L^\circ e_{1,1}, \\ \rho_2 &= Le_{2,2}/L^\circ e_{2,2}\end{aligned}\quad (1)$$

いろいろな放射輝度比で混合したテスト光について明るさマッチングを行なうことによって、 $\rho_1$  と  $\rho_2$  の関係を求めることができる。 $\rho_1$  と  $\rho_2$  の間に  $\rho_1 + \rho_2 = 1$  の関係があれば、明るさの加法則が成り立つと言える。 $\rho_1 + \rho_2 > 1$  の場合は効率減少型加法則不軌、 $\rho_1 + \rho_2 < 1$  の場合は効率増大型加法則不軌と呼ぶことにする。

実験装置は4チャンネル・マックスウェル視光学系である。視野は  $10^\circ$  円形垂直二分視野で、左視野には  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  を混合したテスト光、右視野には白色参照光が呈示される。上述のマッチング視野が1秒呈示された後、 $18^\circ$  の円形白色順応視野が2秒呈示され、以後はこれが繰り返される。被験者は  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の放射輝度比を変えずに、テスト光全体の放射輝度を変え、調整法でテスト光と白色参照光の明るさを直接比較によりマッチングする。

網膜照度レベルは、明所視から暗所視までのレベルをカバーするために、100, 10, 1, 0.1, 0.01 tld の5レベル設定した。白色参照光及び白色順応光がこれらのレベルに設定される。波長  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の組み合わせは、490nm—610nm, 470nm—580nm, 500nm—570nm, 460nm—630nm の4種類を選び、 $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の混合放射輝度比は、単独を含めて9種類設定した。

### 3. 結果

$\lambda_1$ — $\lambda_2$  の組み合わせが 490nm—610nm の場合の結果を Fig. 1, Fig. 2 に示す。Fig. 1 は被験者 CI, Fig. 2 は YN の結果である。横軸、縦軸はそれぞれ、(1)式で定義した  $\rho_1, \rho_2$  である。傾き -1 の直線は  $\rho_1 + \rho_2 = 1$ 、即ち加法則が成立する時の条件を示す。網膜照度レベルは、各図の右上に示してある。

100, 10 tld の明所視レベルでは、被験者 CI の結果は、実験データが直線の右上方に位置しており、ここでは効率減少型の加法則不軌が生じている。この型の加法則不軌は、今日一般に認められており、その原因は明るさ感覚に対する反対色チャンネルの寄与にあるとされている<sup>8)~9)</sup>。一方被験者 YN の明所視での結果は CI の場合と異なり、実験データはほぼ加法則成立の直線に近い位置に来る。最近明所視での明るさ比視感度関数は、被験者間で大きく異なることが明らかになって来た<sup>10)</sup>。ある被験者は、はっきりとしたダブル・ピークを示す関数となり、ある被験者は1つのピークのみを持つ V( $\lambda$ ) 型の関数となる。従って、上に見られた2被験者間の相違

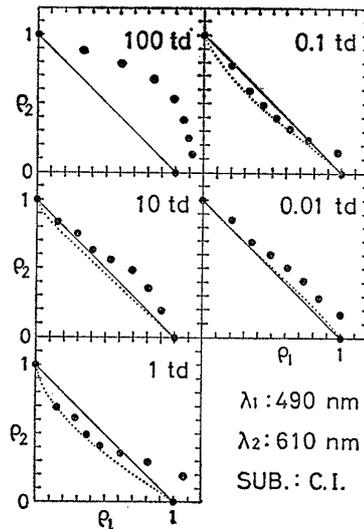


Fig. 1  $\rho_1$ — $\rho_2$  の実験値 (黒丸) と理論値 (点線)。

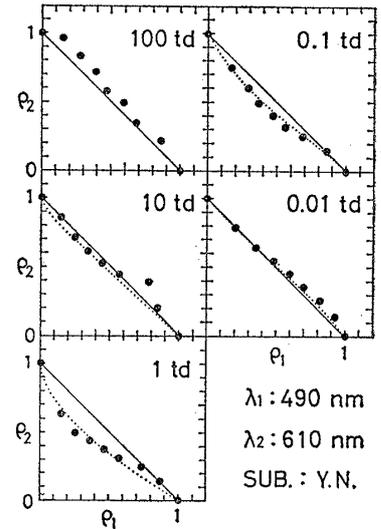


Fig. 2 Fig. 1 と同じ。

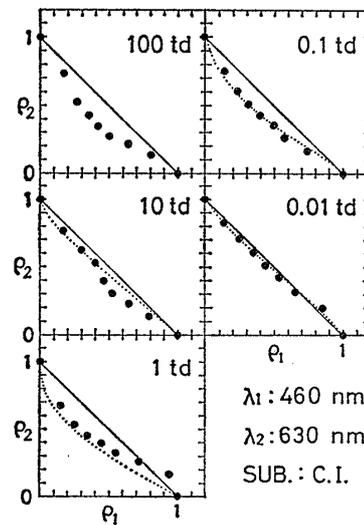


Fig. 3 Fig. 1 と同じ。

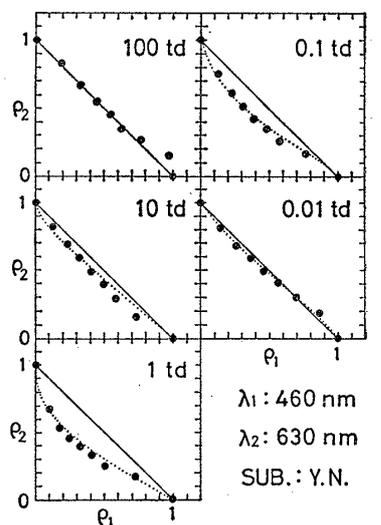


Fig. 4 Fig. 1 と同じ。

は、それぞれの明るさ比視感度関数の違いに由来すると考えられる。さらに言えば、被験者 CI は、明るさ感覚に対する反対色チャンネルの寄与が大きく、YN は小さいということである。

1, 0.1 tld の薄明視レベルでは、両被験者とも実験データは直線の左下に来る様になり、効率増大型の加法則不軌となる。即ち、490nm と 610nm を混合した光は、それぞれ単独の光よりも、明るさに対する効率が增大するのである。これらのレベルでは、錐体と桿体は共に活動し、610nm の光は主に錐体を、490nm の光は主に桿体を刺激していることから、上に見られた効率の増大は、錐体と桿体の相互作用によって生じていると考えることができる。Fig. 3, Fig. 4 は、 $\lambda_1 = 460\text{nm}$ ,  $\lambda_2 = 630\text{nm}$  の組み合わせについての結果を示す。この組み合わせは、 $\lambda_1$  が主に桿体を刺激し、 $\lambda_2$  が主に錐体を刺激するという分離の効果が、前の組み合わせよりも大きくなっている。この場合、薄明視レベルで見られる効率増大型加法則不軌は、前の組み合わせよりも大きく現れる。

## 4. 考察

薄明視における明るさの比視感度関数の変化を説明するためのモデルは、既にいくつか提案されている。それらの中で、Ikeda—Shimozono のモデル<sup>6)</sup>は錐体と桿体の応答が対数的変換を受けた後に足し合わされ、明るさの知覚に至るということを仮定している。これを式で表現すると、

$$\log S\lambda = a \log R\lambda + b \log C\lambda \quad (2)$$

となる。 $R\lambda$  は暗所視比視感度、 $C\lambda$  は明所視比視感度、 $S\lambda$  はあらゆるレベルでの比視感度を表す。 $a$  と  $b$  は桿体及び錐体の寄与の大きさを表す係数で、網膜照度レベルに従って変化する。 $a + b$  の値は、ほぼ 1 となる。

(2)式は、比視感度関数を説明するために提案されたモデルであるが、これを明るさの加法性に適用してみると、薄明視レベルで効率増大型の加法則不軌を生ずるという定性的性質は説明できるが、定量的に見ると満足な一致は見られなかった。そこでここでは、このモデルを次の様に改良した。係数  $a$ 、 $b$  は参照光の網膜照度レベルによって決まるのではなく、テスト光によって刺激される錐体の応答によって決まるとするのである。これを式で表現すると、

$$\log Lm = \frac{\sigma^\alpha}{\sigma^\alpha + A^\alpha} \log A' + \frac{A^\alpha}{\sigma^\alpha + A^\alpha} \log A \quad (3)$$

ここで、

$$A = K_a \int Le, \lambda V(\lambda) \text{ or } \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda,$$

$$A' = K'_a \int Le, \lambda V'(\lambda) d\lambda$$

となる。 $Lm$  は明るさを表し、 $V(\lambda)$ 、 $V'(\lambda)$  は CIE の明所視及び暗所視比視感度関数、 $\bar{y}_{10}(\lambda)$  は CIE の 10° 視野等色関数である。 $Le, \lambda$  は評価しようとする刺激光の分光放射輝度である。パラメータ  $\sigma$  と  $\alpha$  は、プルキンエ移行のレベルと速さを表す。このモデルでは簡単のために、反対色チャンネルの寄与は考慮していない。

(3)式では(2)式の  $a$ 、 $b$  にあたるものが、錐体輝度チャンネルの応答  $A$  のみによってコントロールされている。 $A$  が小さい時には、 $a$  は 1 に近づき、 $b$  は 0 に近づく。即ち、明るさは主に桿体の応答によって決まる。 $A$  が大きい時には、 $a$  は 0 に近づき、 $b$  は 1 に近づく。即ち、明るさは主に錐体の応答によって決まる。 $A = \sigma$  の時は、 $a$ 、 $b$  共に 1/2 となり、ここでは錐体と桿体の寄与が等しくなる。

未知のパラメータ  $\sigma$ 、 $\alpha$  及び  $m = K'_a/K_a$  は、被験者 YN の実験データに合うように、最小二乗法によって決

定した。その結果  $\sigma = 0.7td$ 、 $\alpha = 1.2$ 、 $m = 0.1$  となった。**Fig. 1~4** の点線は、これらのパラメータを用いて計算した(3)式による理論値である。薄明視から暗所視にかけては、どちらの被験者も理論値と実験値の一致は、非常によい。しかし、(3)式では、明るさに対する反対色チャンネルの寄与を考慮していないので、明所視での被験者 CI の実験データは説明できない。今後は、この反対色チャンネルの寄与についてさらに検討する必要があると思われるが、(3)式のモデルによって、基本的な錐体と桿体の明るさに対する相互作用が明らかになったと思われる。

## 参考文献

- 1) Kinney, J.A.S.; Comparison of scotopic, mesopic, and photopic spectral sensitivity curves. *Jr. Opt. Soc. Am.* **48**, 185, 1955.
- 2) Bridgmann, C.S.; The luminosity curves as affected by the relation between rod and cone adaptation. *Jr. Opt. Soc. Am.* **43**, 733, 1953.
- 3) Palmer, D.A.; Standard observer for large-field photometry at any level. *Jr. Opt. Soc. Am.* **58**, 1296, 1968.
- 4) Palmer, D.A.; Rod-cone mechanism underlying the Purkinje shift. *Nature* **262**, 601, 1976.
- 5) Kokoschka, S. and Bodmann, H.W.; Ein Konsistentes System für photometrischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptionsbereich. CIE Pub. No. 36, p. 217, 1976.
- 6) Ikeda, M. and Shimozono, H.; Mesopic luminous-efficiency functions. *Jr. Opt. Soc. Am.* **71**, 280, 1981.
- 7) Sagawa, K. and Takeichi, K.; Spectral luminous efficiency functions for a ten-degree field in the mesopic range. *Jr. Light & Vis. Env.* **7**, 37, 1983.
- 8) Guth, S.L. and Lodge, H.R.; Heterochromatic additivity, foveal spectral sensitivity, and a new color model. *Jr. Opt. Soc. Am.* **63**, 450, 1973.
- 9) Yaguchi, H. and Ikeda, M.; Subadditivity and superadditivity in heterochromatic brightness matching. *Vis. Res.* **23**, 1711, 1983.
- 10) Ikeda, M. and Yaguchi, H.; Brightness luminous-efficiency functions for 2° and 10° field. *Jr. Opt. Soc. Am.* **72**, 1660, 1982.