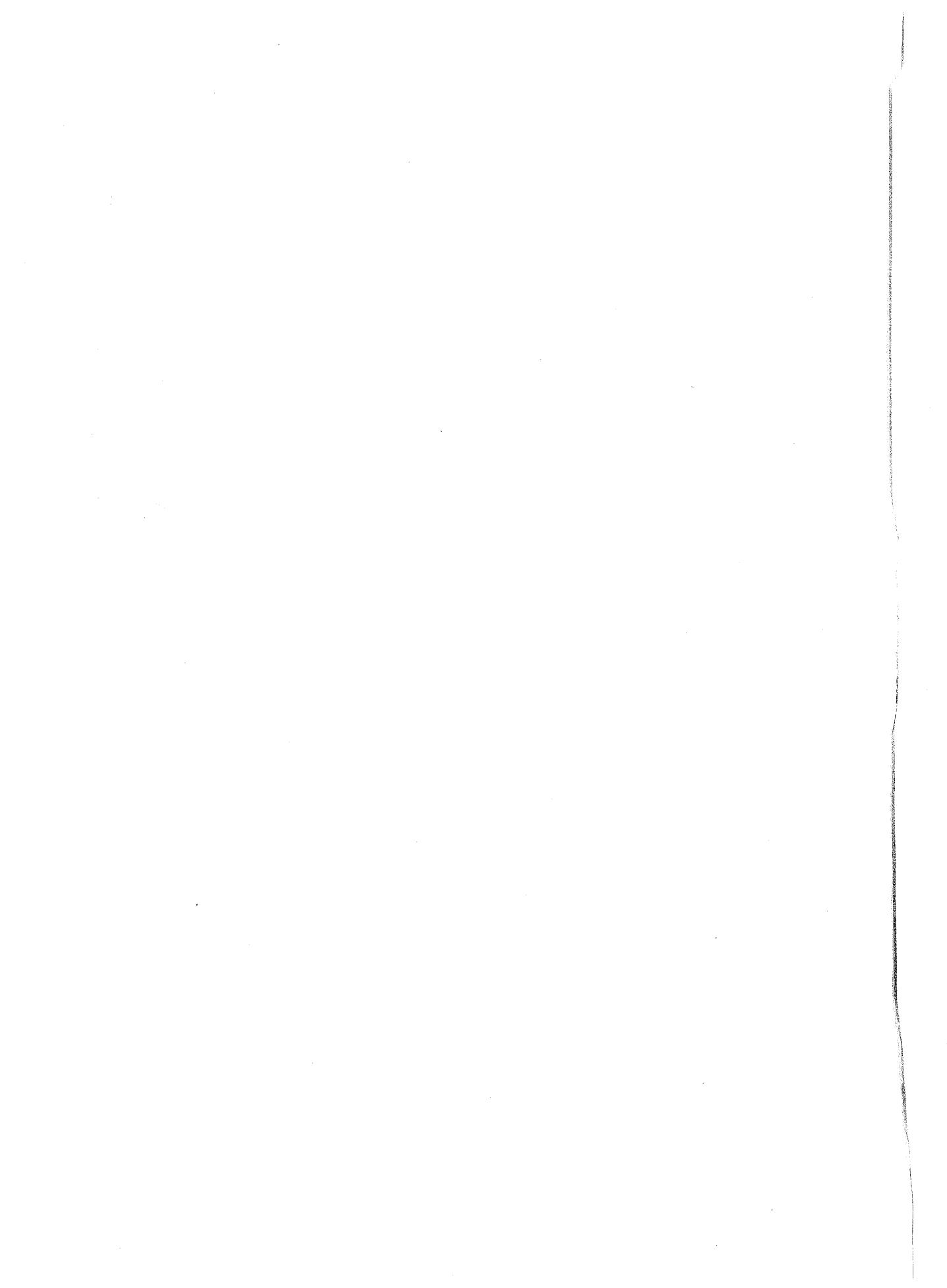


色光の luminance, brightness, saturation の関係

内川 弘美・内川 恵二・P. K. Kaiser

光学 第11巻第2号（1982年4月） 別刷



研究

色光のluminance, brightness, saturation の関係*

内川 弘美**・内川 恵二**・P. K. Kaiser**

(1981年8月4日受理)

The Relationship between Luminance, Brightness and Saturation of Colored Lights.*

Hiromi UCHIKAWA**, Keiji UCHIKAWA** and P. K. KAISER**

* This research was reported in part at 1980 Annual Meeting of
Opt. Soc. Am., Chicago.

** York University, Department of Psychology,
4700 Keele St., Downsview, Ontario M3J 1P3, Canada

The relationship between luminance, brightness and saturation of colored lights was investigated in two experiments. In the first experiment, colored lights were equated for brightness and luminance for 17 different dominant wavelengths ranging from 420 nm to 650 nm by successive comparison and flicker photometry methods. Saturation estimates of these colors showed that they were not equally saturated. In the second experiment, equally bright and equally saturated colors were obtained for 56 or 49 different dominant wavelengths in the range from 400 nm to 670 nm by employing the step-by-step brightness-saturation matching method. Luminance of these colors were measured and found not to be equal. Current color vision models fail to predict the present results. We discussed a possible account for those results.

1. はじめに

人間の視覚系のもつ明るさの分光感度曲線は、測定方法によりその形状が異なることが古くから知られている^{1~4)}。交照法(flicker photometry method)あるいはMDB法(minimally distinct border method)などを用いると、全スペクトル領域にわたり滑らかな形をもち、その最大値を550~560 nmにもつ分光感度が得られる。また、直接比較法(direct comparison method)、絶対閾値法(absolute threshold method)あるいは継時比較法⁴⁾(successive comparison method)などを用いると、570 nm付近にくぼみがあり、短波長領域および長波長領域ではじめのグループのものよりも高い感度を示す分光感度が得られる。前者の方法を基にして色光の明るさを定義したものを輝

度(luminance)と呼んでいる。後者の方法で測定される明るさ感覚は視覚系のもつ“明るさ”的感覚をより直接的に表わしているとしてそれを明るさ(brightness)と呼び、luminanceと区別している。

一方、色光のもつ色味の強さを表わす彩度(saturation)の測定もいくつかの方法で行われてきた。見えのsaturationを直接的に評価するマグニチュード評価法⁵⁾、白色光の上に単色光を加え、色味の弁別閾値から単色光のsaturationを求める方法^{6, 7)}、または逆に単色光に白色光を加える方法⁸⁾などがある。これらの方法で求められた単色光のsaturation閾値は、その絶対値に差があるが、形状はいずれも類似している。すなわちsaturation閾値は、570 nm付近で最小値をもち、両波長端に近づくにつれて増大する。

以上あげたluminance, brightness, saturationについて、Kaiser and Comerford⁹⁾は、交照法と直接比較法で求めた二つの明るさ分光感度の差がsaturation閾値とよく似

* この研究の一部は、1980 Annual Meeting of Opt. Soc. Am., Chicagoで発表された。

ていることを示している。この類似性は、Guth and Lodge²⁾の交照法と直接比較法、交照法と絶対閾値法の比較、またIkeda and Shimozono⁴⁾の交照法と継続比較法の比較にも表われている。色覚モデルの上では、luminanceはLチャンネル（輝度チャンネル）により、またbrightnessおよびsaturationは、Lチャンネルと二つの反対色チャンネルの相互作用により決められるとされている。したがって、この3者の相互関係を調べていくことは、色覚メカニズム、特に高次なレベルでの各チャンネルの結びつきを解明する上でたいへん興味深い。

そこで本研究では、luminance, brightness, saturationの3者の相互関係を二つの実験により調べることを目的とした。まず、実験Ⅰでは、単色光(λ)に白色光(W)を加えることにより、参照光570 nmと等しいbrightnessおよびluminanceを持つ $\lambda+W$ 刺激を求め、それらの刺激のsaturationを測定する。次に実験Ⅱでは、参照光と等しいbrightnessおよびsaturationをもった $\lambda+W$ 刺激を求め、それらの刺激のluminanceを測定する。特にここでは、等saturation刺激を求める方法として、逐次法(step-by-step method)による直接saturationマッチング法¹⁰⁾という新しい方法を試みる。

2. 装 置

使用した装置の概略図をFig. 1に示す。5チャンネルのマックスウェル視光学系で、光源として1 kWのキセ

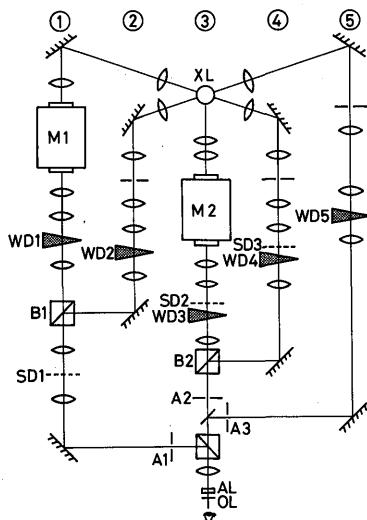


Fig. 1 Schematic diagram of the apparatus. Numbers at the top show the channel numbers. See text for details.

ノンランプを使用している。図の光路①、③では、それぞれモノクロメータ、M1、M2によって単色光 λ_1 、 λ_2 を作り、光路②、④、⑤ではそれぞれ白色光W₁、W₂、W₃を作る。 λ_1 とW₁はビーム・スプリッタB1で、 λ_2 とW₂はビーム・スプリッタB2で混色され、それぞれ λ_1+W_1 、 λ_2+W_2 を作る。各モノクロメータの半値幅は8 nm、白色光W₁、W₂の色度座標(x, y)はそれぞれW₁(0.320, 0.396)、W₂(0.326, 0.399)である。

中性濃度ウェッジWD1、WD2、WD3、WD4はマイクロコンピュータにより制御され、それぞれ独立に、または二つのウェッジWD1とWD2、WD3とWD4が組み合わされて二つが同時に、同じ方向あるいは異なる方向に動く。これによって、混色光 λ_1+W_1 と λ_2+W_2 のluminance、purityを自由に変化させることができるよう工夫した。セクターディスクSD1、SD2、SD3により λ_1+W_1 と λ_2 、あるいは λ_1+W_1 とW₂をフリッカーすることができる。アパーチャーA1、A2、A3は実験により異なるので、それぞれに対応した視野は後述する実験の項で説明する。被験者の眼の色収差を取り除くため、色収差補正レンズ(achromatizing lens)ALを図に示す位置に置いた。また必要な場合には視力矯正レンズ(ophthalmic lens)OLを用いた。

3. 実 験 I

3.1 方 法

実験Ⅰは二つのステージから成っている。まず第一に参照光と等brightnessかつ等luminanceをもつ刺激を求める。等brightnessにするためには継続比較法、等luminanceにするためには交照法を用いた。第二に求められた刺激のsaturationの測定を行なう。被験者は両ステージを通して3人、HU、KU、SNの色覚正常者を採用した。

第一のステージでは、参照光として λ_2 を用い、波長を570 nm、網膜照度51 tdとした。テスト光としては単色光 λ_1 と白色光W₁を混色したもの用いた。視野は直径2.5°の円形視野を用い、参照光570 nmとテスト光 λ_1+W_1 が時間的に交替して呈示される。交照法を行なう場合の周波数は各被験者、各波長で多少異なるが、13–16 Hzの間の値をとった。以後この周波数を高周波数と呼ぶ。継続比較法を行なう場合の周波数は、色の交替がはっきりとわかる0.5 Hzとした。以後この周波数を低周波数と呼ぶ。

次に手続きを説明する。

- (1) 周波数を低周波数にセットし、被験者は λ_1 の光量を調整しながら参照光との明るさマッチングを行なう。この間、 W_1 の光量は閾値以下にしておく。
- (2) (1)が成立した後、周波数を高周波数に切り替える。被験者は W_1 の光量を調整して λ_1 に加え、参照光との minimum flicker を求める。
- (3) 次に周波数を低周波数に戻して、明るさマッチングが成立しているかを確認する。マッチングが成立していない場合には、 λ_1 と W_1 の光量を同時あるいは独立に調整しながら明るさマッチングを行なう。
- (4) 再び周波数を高周波数に戻し、minimum flicker が成立しているかを確認する。成立していない場合には λ_1 と W_1 の光量を(3)と同様に調整しながら minimum flicker を求める。

- (5) 以下、(3)と(4)を繰り返し、最終的に(2)の明るさマッチング、(4)の minimum flicker が同時に成立する λ_1 と W_1 の光量を求める。これで一試行の終了とする。

λ_1 の波長は 420 から 630 nm の間で 17 波長を選んだ。被験者は各主波長について 4 回づつの試行を行なった。

第二のステージでは、第一のステージで求めた等 brightness・等 luminance 刺激の saturation を測定する。求められた 17 個の刺激に、参照光の 570 nm の刺激、および saturation の異なる 6 個のダミー刺激を加えて、それら 24 の刺激をランダムに呈示し、被験者は色味の割合 (% chromatic) のマグニチュード評価を行なう。ここでダミー刺激を加えたのは、被験者の応答の信頼性を高めるためである。刺激は第一のステージと同じ視野に定常呈示された。各刺激について 4 回づつの評価を行なった。

3.2 結 果

Fig. 2 に求められた刺激の saturation を測定した結果を示す。参照光 570 nm に対する評価は、HU で 34%，KU で 40%，SN で 60%，となり、同じ刺激に対して各被験者の判断基準が異なっていた。そこで図では、570 nm に対する 3 人の評価値の平均値を求め、そこに各被験者の値を合わせるようにグラフ全体を縦方向にシフトして示してある。この結果をみると、各被験者間の評価に差はあるが、どの被験者でも、各主波長の刺激に対する saturation の評価は全波長領域を通して等しくないといえる。参照光 570 nm に比べて 470—500 nm 付近ではどの被験者も低い値を示した。

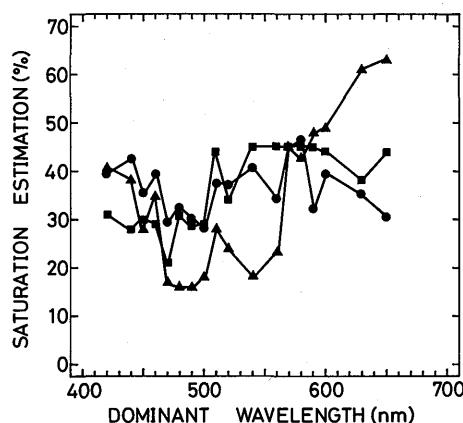


Fig. 2 The saturation estimation for equally bright stimuli of equal luminance as a function of dominant wavelength. Subject: SN (■), HU (●), KU (▲).

4. 実 験 II

4.1 方 法

実験 II は三つのステージから成っている。第一に、等 brightness かつ等 saturation の刺激を求め、第二に求められた刺激の brightness および saturation の確認を行ない、第三にこれらの刺激の luminance を測定する。三つのステージを通して被験者は、実験 I にも参加した HU, KU の 2 人を採用した。

まず第一のステージでは、step-by-step 法を用い、直接 brightness・saturation マッチングを行なう。ここで、step-by-step 法を用いるのは、saturation マッチングを行なう際に、参照光とテスト光の間の色差を小さくして被験者が容易にマッチングを行なえるようにするために、また色差が大きくなると生ずる色対比効果 (chromatic contrast effect) による影響を小さくするためである。

実験に使用した視野は Fig. 3 に示すように、直径が視角 0.75° の 3 つの視野から構成されている。各視野の間隔は 0.5° である。下の左右に並置された視野が交互に参照光、テスト光として使用される。上の視野には明るさの基準を与えるため白色光 W_3 が常に呈示されている。 W_3 の明るさのレベルは実験 I の参照光 570 nm と等しくした。

以下、手続きを述べる。

- (1) 最初の参照光を右視野 ($\lambda_2 + W_2$) にセットする。 λ_2 の波長は全波長領域の中で最も低い saturation をもつ領域から 570 nm を選んだ。明るさは、基準白色光 W_3 と明るさマッチングをして決める。その時 W_2 にはわ

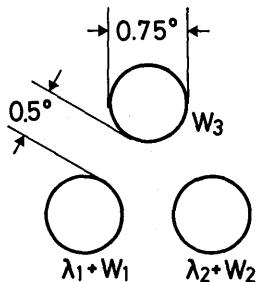


Fig. 3 The three circular stimuli employed in Experiment II. The top field (W_3) is a reference white field, and the bottom two fields ($\lambda_1 + W_1$, $\lambda_2 + W_2$) are used for variable fields.

ずかな一定の光量を与えておき、被験者により最も低い saturation をもつ波長が多少異なっても saturation マッチングが行なえるように配慮した。

- (2) (1)で求めた右視野 ($\lambda_2 + W_2$) を参照光とし、左視野 ($\lambda_1 + W_1$) をテスト光として、brightness および saturation マッチングを行なう。 λ_1 の波長は、570 + $\triangle\lambda$ nm とする。 $\triangle\lambda$ には被験者が両視野の色の差をほとんど弁別できない程度の大きさを選ぶ。テスト光として初め白色光 W_1 が呈示される。 λ_1 の光量は閾値以下にしておく。被験者はテスト光 $\lambda_1 + W_1$ の光量を調整しながら参照光の brightness および saturation に近づけていく、最終的にテスト光の明るさが、基準白色光とも等しくなるように注意する。
- (3) 次に(2)で求めた左視野の $\lambda_1 + W_1$ を参照光として、右視野 ($\lambda_2 + W_2$) をテスト光とする。マッチングの手続きは(2)と同じ要領で行なう。
- (4) (2)と(3)の過程を繰り返しながら、はじめにスペクトルの長波長端 (HU: 670 nm, KU: 665 nm) までいき、再び 570 nm まで戻り、次に短波長端 (HU: 410 nm, KU: 400 nm) までいき再び 570 nm まで戻る。以上で一試行シリーズとする。

ステップ幅 $\triangle\lambda$ は、波長弁別能のよい 570 および 480 nm 付近では 1 から 4 nm、波長弁別能の劣る 520 nm 付近および両端の波長領域では 10 nm となった。その結果、ステップ数は HU で 56, KU で 49 となった。各被験者とも試行シリーズを 2 回づつ行なった。なお被験者 HU は各ステップで 2 回のマッチングを行ない、その平均値を用いて次の参照光のセットを行なった。KU は各ステップで 1 回のマッチングを行なった。したがって最終的に各ステップで HU は 8 回、KU は 4 回のマッチングを行なうことになる。

第二のステージでは、第一のステージで求めた刺激が等 brightness かつ等 saturation であることを確認する。これはよく知られているように、step-by-step 法が誤差の累積する可能性の高い方法であるからである。求められた刺激のうち確認のため左視野 $\lambda_1 + W_1$ から HU は 12 個、KU は 11 個を選んだ。

まず等 brightness の確認を行なう。求められた刺激を左視野にセットし、白色光 W_2 を右視野に呈示する。この時、基準白色光 W_3 は呈示されていない。被験者は調整法により W_2 と各刺激の明るさマッチングを行なった。HU は 15 回、KU は 10 回の試行を行なった。

次に等 saturation の確認として、求められた刺激の % chromatic のマグニチュード評価を行なう。呈示刺激としては、求められた刺激に加えて各主波長について、等 brightness の単色光をコントロール刺激として、また等 brightness で saturation の異なる刺激を 2 個づつダミー刺激として用いた。ダミー刺激を加えた理由は実験 I と同様である。各主波長で計 4 個の刺激を用いたことになり、合計では HU で 48、KU で 44 となった。各刺激に対し 4 回づつの評価を行なった。各刺激は左視野に定常呈示された。また実験中、基準白色光 W_3 は判断基準を一定に保つため呈示した。

第三のステージでは、等 brightness ・ 等 saturation 刺激の luminance を交照法を用いて測定する。ここでも第二のステージと同じ刺激を用い、左視野に呈示する。テスト白色光 W_2 は左視野と空間的に重ねあわせる。HU は 12 回、KU は 8 回の測定を行なった。またこの場合もコントロール実験として各主波長で等 brightness の単色光の luminance を測定した。

4.2 結 果

Fig. 4 に求められた刺激が等 brightness であるかを確認した結果を示す。各刺激との明るさマッチングに要した白色光の光量の相対値が刺激の主波長に対して被験者別に示されている。各被験者のばらつきは、HU で最大 0.03 log unit、KU で最大 0.07 log unit ときわめて小さく、求められた刺激の間の brightness の差はほとんど認められなかった。

Fig. 5 に求められた刺激の saturation を確認した結果を実線で、また単色光に対する saturation の評価の結果を破線で示す。単色光の saturation に対するマグニチュード評価はこれまでにも報告されているが⁵⁾、ここで得られた結果も過去の結果とよく一致している。すなわち 570

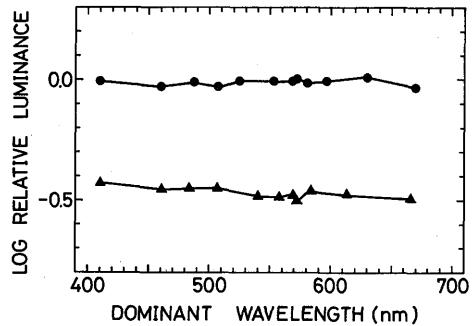


Fig. 4 The log relative luminance of white light required for equal brightness to the equally bright, equally saturated stimuli. The dominant wavelengths of the stimuli are shown on the abscissa. Subjects: HU (●), KU (▲). The data for each subject have displaced 0.5 log unit.

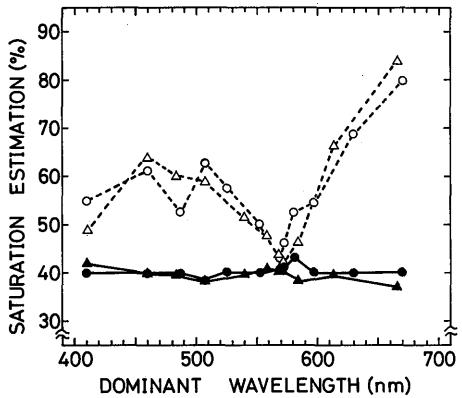


Fig. 5 The saturation estimation as a function of dominant wavelength. Subject: HU (○, ●), KU (△, ▲). Open symbols represent equally bright monochromatic lights and dark symbols equally bright, equally saturated stimuli.

nm付近で最小値を示し、両波長端に行くに従いその値は増大し、また500 nm付近に小さなくぼみを持っている。これに比較して、求められた刺激間のsaturationに対するマグニチュード評価の差は両被験者ともきわめて小さい。したがってFig. 4, Fig. 5の結果から求めた刺激は、等brightnessかつ等saturationであるといえよう。

Fig. 6の実線は求められた刺激のluminanceを測定した結果を各刺激の主波長の関数として示してある。破線は、等brightnessの単色光のluminanceを測定した結果である。両者は572 nmの点で正規化してある。各被験者とも、等brightness・等saturation刺激の値は570 nm付近で高く、両スペクトル端に従い低くなっている。

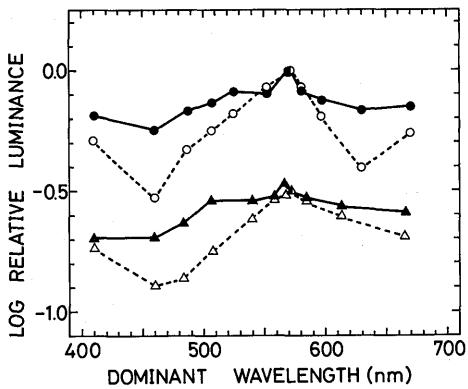


Fig. 6 The log relative luminance of white light required for flicker photometry with equally bright, equally saturated stimuli (dark symbols), and equally bright monochromatic lights (open symbols). Subject: HU (○, ●), KU (△, ▲). Solid and dashed curves of the same subject are normalized at 572 nm. Two sets of data have displaced 0.5 log unit.

特に500 nmより短波長領域では最低の値をとる傾向を示している。また等brightnessの単色光のluminanceは、Kaiser and Comerfordが示した結果⁹⁾とよい一致を示している。等brightness・等saturationの刺激間のluminanceの差は最大で単色光の場合の約1/2という比較的大きな値を示している。

5. 考 察

色光のluminance, brightness, saturationは、Guthら¹¹⁾による色覚モデルでは、それぞれ、

$$L = A \quad (1)$$

$$B = (A^2 + T^2 + D^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$S = (|T| + |D|) / (A + |T| + |D|) \quad (3)$$

と表わされる。ここで、A, T, Dは3次元ベクトル空間の直交する3軸で、それぞれLチャンネル、r-g反対色チャンネル、y-b反対色チャンネルに相当する。saturationは

$$S = \sqrt{T^2 + D^2} / A \quad (4)$$

とも定義できるが¹²⁾、このsaturation関数は式(3)のものと計算上大きな差は認められないで、以下式(3)を用いて検討を進めていく。Guthらは、式(1)～(3)で導びかれるそれぞれの関数が対応する実験結果とよく一致し、このモデルがほぼ適切なものであることを示している。しかし最近このモデルが閾上値での明るさの加法性について不完全であることが指摘されており¹³⁾、すべての実験

条件を満足するまでには到っていない。

ここで本実験 I, II から示された luminance, brightness, saturation の関係が、このモデルの上ではどのように扱えるか検討する。計算に際して A , T , D 関数にかかる係数の値は等 brightness の単色光の luminance を求めた実験結果 (Fig. 6 : 破線) と同条件の計算結果とを合わせるように決めた。Fig. 7 に実線で、実験 I と同条件、

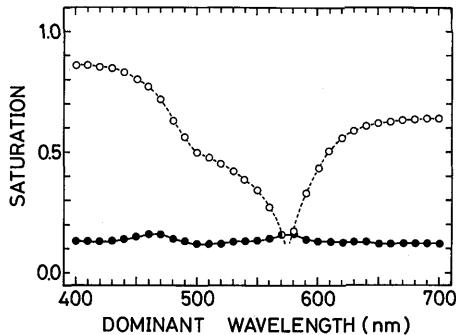


Fig. 7 The saturation function predicted by Guth's model for equally bright monochromatic lights (open circle) and equally bright lights of equal luminance (dark circle).

すなわち等 brightness・等 luminance の刺激の saturation を算出した結果を示す。また破線で等 brightness の単色光の saturation を算出した結果を示す。等 brightness・等 luminance 刺激の saturation は、470—480 および、550—570 nm 付近でわずかに高くなる傾向を示しているが、等 brightness の単色光の saturation と比較すればその差は小さく、全波長領域でほぼ一定であるといえよう。すなわちモデルでは、等 brightness・等 luminance 刺激は全波長領域で等 saturation になることを示している。しかし、これに対応する Fig. 2 の実験結果では、saturation 評価は全波長領域で一定値を示していない。またその差は、各単色光の saturation に対する評価の差 (Fig. 5 : 破線) と比較しても、かなり大きいものといえよう。

次に Fig. 8 に実線で実験 II の条件、すなわち等 brightness・等 saturation 刺激の luminance を算出した結果を示す。破線は等 brightness の単色光の luminance の算出結果である。等 brightness・等 saturation 刺激の luminance は、全波長領域を通してほとんど一定値を示している。しかし対応する実験結果 (Fig. 6 : 実線) では、luminance の値は 570 nm 付近で高く両スペクトル端にいくに従い低くなり、全波長領域を通して一定値を示し

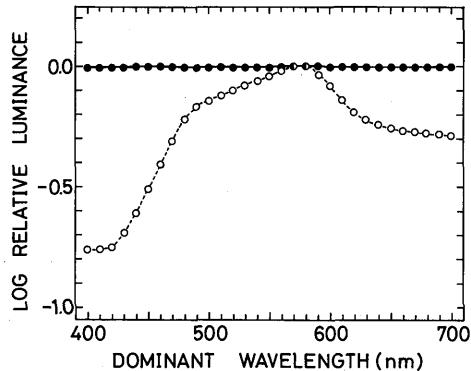


Fig. 8 The log relative luminance predicted by Guth's model for equally bright monochromatic lights (open circle) and equally bright, equally saturated lights (dark circle).

てはいない。

以上のことから色光の luminance, brightness, saturation の関係は Guth らの色覚モデルで示されるような関係では完全に説明しきれないことが指摘される。そこで 3 者の関係をさらに検討するために、Fig. 9, Fig. 10 に色光の saturation と luminance をその purity の関数として

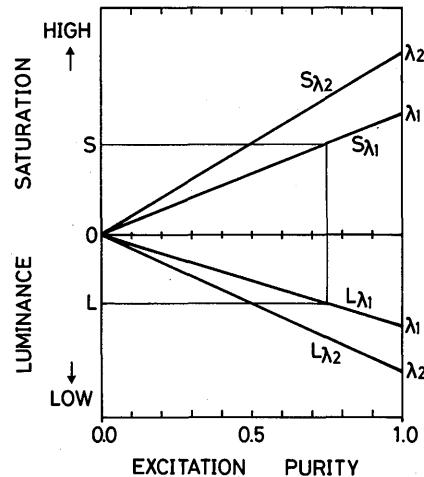


Fig. 9 The predicted relationship between saturation and luminance of equally bright colors with different excitation purity. The top figure illustrates saturation and the bottom figure luminance. λ_1 , λ_2 indicate two different dominant wavelengths.

示した。Fig. 9 はモデルによるもの、Fig. 10 は実験結果からのものを表わしている。Fig. 9, Fig. 10 ともに、上下 2 図から成っている。縦軸の上半分が saturation, 下半分が luminance を示し、横軸は刺激純度 (excitation purity) である。

Fig. 9 では主波長 λ_1 , λ_2 の色光の purity と saturation の関係 $S \lambda_1$, $S \lambda_2$, および purity と luminance の関係 $L \lambda_1$, $L \lambda_2$ を示している。色光はすべて等 brightness である。 λ_1 についてみると $S \lambda_1$ は purity 増加するにつれて増加し, $L \lambda_1$ は逆に減少する。ここで $S \lambda_1$ と $L \lambda_1$ は purity に対して線形である必要はないが、簡潔にするために直線で示してある。等 saturation 刺激が、等 luminance となるためには,

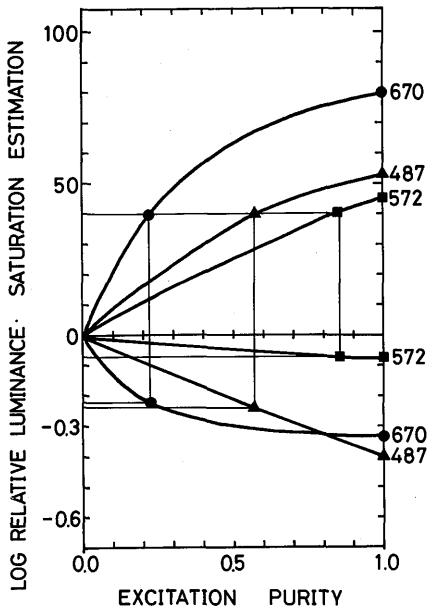


Fig. 10 HU's saturation estimations and log relative luminance of three dominant wavelengths of 572 (●), 487 (▲) and 670 (●) nm. The data were replotted from Fig. 5 and Fig. 6. Excitation purity shown in abscissa is expressed in the CIE u', v' chromaticity diagram.

$$S \lambda_2 / L \lambda_2 = S \lambda_1 / L \lambda_1 = n \quad (5)$$

という関係が成立することが必要である。ここで n は定数とする。図に細線で示したように λ_1 , λ_2 の saturation が S に等しい時, luminance はそれぞれ等しい値 L になり、また逆に luminance が等しい時, saturation は等しくなる。

Fig. 10 には本実験の結果を 3 主波長 487, 572, 670 nm について示してある。これらの値は、Fig. 5, Fig. 6 から HU の結果を再プロットしたものである*。この 3 主波長の $S \lambda$, $L \lambda$ 関数をみると、487 nm では purity に対して saturation は非線形に増加するが、luminance

は線形に減少している。670 nm では purity の増加に対し, saturation, luminance は共に非線形に変化する傾向がある。また 572 nm では、purity の増加に伴なう luminance の減少はわずかであるが、saturation は大きく増加している。ここでは 2 点だけで各関数を近似したため各関数の細部については議論できないが、式(5)の関係が成立していないことは明らかである。すなわち、式(5)の n の値が各主波長に依存し、たとえば 487, 670 nm ではその値は 572 nm のものより小さい。Fig. 10 は実験 II の結果より求まったが、これを用いると実験 I の結果も定性的にはほぼ説明することができる。

ここで、色覚モデルにおいて Fig. 10 の示す意味を検討してみよう。luminance と brightness については、式(1), (2)の関係をそのまま仮定する。Fig. 10 で、purity = 0 の時は、 $T = D = 0$ のため luminance と brightness は一致する。図中、purity の増加に伴ない、luminance が減少しているが、これは等 brightness 刺激を考えているので、式(1), (2)の A が減少し、 T , D が増加することを示している。purity に対する saturation の増加は、この T , D の増加によるものである。ここで、式(5)が成立するならば、 T , D の値が各色光で等しく saturation に寄与しているといえる。しかし、前述したように式(5)は不成立であり、 n の値は主波長に依存して異なっている。 n の値が大きい程、 T , D の値が saturation により大きく寄与しているといえよう。すなわち、反対色レスポンス T , D の brightness に対する寄与と saturation に対する寄与が相違していることが示唆される。

従来、単色光の分光感度を測定する方法の中で、step-by-step 法は、各単色光の luminance を一致させる方法であるとされていた¹⁴⁾。本実験では等 brightness · 等 saturation 刺激を求める際に step-by-step 法を用いたが、結果として Fig. 4 と Fig. 6 で示したように、各刺激の brightness が等しくなり、luminance は異なった。この主な原因として、本実験では基準白色光という明るさの一定な第三の視野 (Fig. 3: W_3) を呈示し、被験者は常にテスト刺激の明るさをこの基準白色光にもマッチングしていたという点が考えられる。

* Fig. 6 では各刺激の luminance は 572 nm で正規化し、相対値で表わしてあるので、新たに 572 nm の等 brightness 単色光と、等 brightness · 等 saturation 刺激の luminance をテスト白色光に対して測定した。Fig. 10 の各刺激の luminance は、テスト白色光に対しての相対値となっている。

実験Ⅱで等 saturation 刺激を異なった主波長で求めたが、この時に用いられた単色光と白色光の量から単色光の saturation を評価することを試みた。saturation 関数 S を次式で定義する。

$$S = (L_w + L_\lambda) / L_\lambda \quad (6)$$

ここで、 L_λ : 加えられた単色光の luminance,
 L_w : 加えられた白色光の luminance
 である。式(6)で与えられる saturation 関数は、輝度純度(colorimetric purity)の逆数で、従来の色弁別閾値から評価する際の saturation 関数と同等の式である。しかし、本方法はマグニチュード評価のように色味の閾上値から saturation 関数を求めており、本方法が saturation 関数の新しい評価法であると言えよう。Saturation 関数の算出結果を Fig. 11 に実線で示す。図中点線は、Jameson and Hurvich¹⁵⁾の反対色レスポンスから評価した saturation 関数を表わす。また破線は、色弁別閾値から求めた Priest and Brickwedde⁶⁾の saturation 関数を示す。本実験から

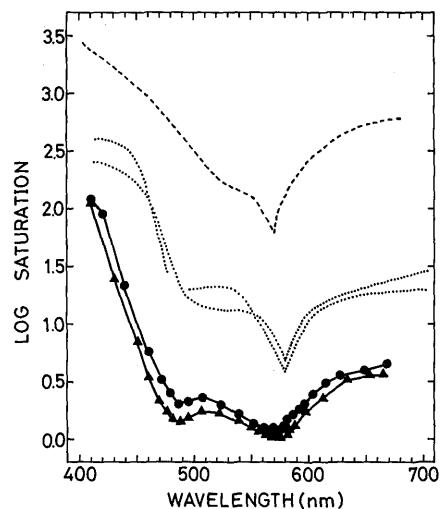


Fig. 11 Saturation functions derived with three different methods. Top: saturation discrimination experiment by Priest and Brickwedde⁶⁾. Middle: the ratio of chromatic to achromatic components derived by Jameson and Hurvich¹⁵⁾. Bottom: derived from equally bright, equally saturated stimuli obtained by the present step-by-step brightness-saturation matching method. Subjects: HU (●), KU (▲).

求めた saturation 関数が、色弁別閾値から求めた関数よりも、Jameson and Hurvich のものに類似していることは興味深い。

6. おわりに

色光のもつ luminance, brightness, saturation の関係を 2 実験により示した。その結果、第一に主波長の異なる色光の brightness および luminance を等しくした場合、それらの色光の saturation は一定にならないことが示された。第二に brightness 及び saturation を等しくした場合、luminance は色光の主波長により異なることが示された。それらの関係から現在の色覚モデルの問題点を検討し、また、得られた等 brightness・等 saturation 刺激から単色光の saturation 関数の新しい評価を試みた。

最後に、Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (APA295) に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) G. Wagner and R. M. Boynton: J. Opt. Soc. Am., **62** (1972) 1508.
- 2) S. L. Guth and H. R. Lodge: J. Opt. Soc. Am., **63** (1973) 450.
- 3) J. P. Comerford and P. K. Kaiser: J. Opt. Soc. Am., **65** (1975) 466.
- 4) M. Ikeda and H. Shimozono: J. Opt. Soc. Am., **68** (1978) 1767.
- 5) G. H. Jacobs: Percept. Psychophy., **2** (1967) 271.
- 6) I. G. Priest and F. G. Brickwedde: J. Opt. Soc. Am., **28** (1938) 133.
- 7) W. D. Wright and F. H. G. Pitt: Proc. Phys. Soc. London, **49** (1937) 329.
- 8) P. K. Kaiser, J. P. Comerford, and D. M. Bodinger: J. Opt. Soc. Am., **66** (1976) 818.
- 9) P. K. Kaiser and J. P. Comerford: Vision Res., **15** (1975) 1399.
- 10) K. Uchikawa, H. Uchikawa, and P. K. Kaiser: J. Opt. Soc. Am., 投稿中
- 11) S. L. Guth, R. W. Massof, and T. Benzschawel: J. Opt. Soc. Am., **70** (1980) 197.
- 12) C. R. Ingling, Jr. and B. H. Tsou: Vision Res., **17** (1977) 1075.
- 13) 矢口博久・池田光男:光学, **9** (1980) 44.
- 14) K. S. Gibson and E. P. T. Tyndall: Sci. Papers Natl. Bur. Standards, **19** (1923) 131.
- 15) D. Jameson and L. M. Hurvich: J. Opt. Soc. Am., **45** (1955) 546.