

J I E R - 0 0 6

委員会報告

光の量の視感覚による評価体系
研究調査委員会

昭和60年4月

光の量の視感覚による評価体系 研究調査委員会報告書目次

第1章 序論	1
第2章 活動概要	3
1. 活動期間	3
2. 委員会構成	3
3. 活動の経過と成果の大要	3
第3章 明所視の比視感度	5
第4章 表面色の明るさ	8
1. 問題点	8
2. 実験結果	9
第5章 色光の明るさ－輝度不一致 (B/L効果)	10
第6章 薄明視の比視感度と測光システム	13
第7章 薄明視での視覚障害者の視覚特性	17
1. はじめに	17
2. 方法	17
3. 結果	17
4. 考案および結論	18

第1章 序 論

光の強さはワットで測れるが、これに加えて、ルーメンという単位でも測れるようにしたのは、光を人間にとって意味のある測り方をしたかったからに他ならない。この測光系の開発によって私たちの視環境の設計は格段に進歩したのであり、CIEの比視感度関数 $V(\lambda)$ の設定は、人類にとってまさに世紀の出来事と言ってよいと思う。とくにそれが、視覚系の構造が未だ十分に分かっていない1920年代の出来事である事を考えると先人が如何に優秀であったかと感じざるを得ない。

しかしながら、いつまでも先輩の成果の上に安住することは許されることではない。視覚系の構造の解明は大いに進んだし、視覚系の特性を示すデータも豊富に蓄積されてきた。そこで、測光法を改善することは可能な時期になってきたし、またその努力を惜しむようでは、 $V(\lambda)$ を開発した諸先輩にも申し開きが出来ないような気がするのである。本研究調査委員会はそのような背景があって出発したものである。

では、どの所から測光法の改善を行うかとなると、課題が多くあり過ぎてその決定はなかなか難しい。たとえば視覚系の視野は左右上下に広くひろがり、その特性は決して一様ではない。中心窩で感じる色や明るさや形状がそのまま視角50度の所で感じられるかというとは決してそうではなく、色も、明るさも、形の見え方も異なる。視力も視野の部位によって大きく異なるのは周知の事実である。順応ということはどうかと言うとこれも大変である。明るい所での視覚特性と暗い所でのそれとは全然別のものでとも言える程の変化をする。あるいはまた年齢を考えるとどうであろうか。特別に疾患を考えなくても、加齢現象は数多くあり、眼球だけに話を限ってもレンズの分光吸収特性の変化とか、調節力の減少とか、あるいは瞳孔の調節範囲の減少とか、いくつもある。これに硝子体剥離などの疾患的なものを加えると年齢による光の感じ方の変化は決して小さいものとは言えない。

このように考えてくると、測光の再検討と言っても大変な作業であり、一研究委員会ではとても処理出来るものではない。そこで問題を大いに絞らなければならぬことになるが、本委員会では、それを「明るさ」にした訳である。即ち光の量を明るさ感覚という観点から考えてみようという事である。そして話をさらにしぼり「効率」のみを取り上げる。光に対する明るさ感覚の大きさを表現する事は極めて大切であるが、それはここでは取り上げない。ちょうど $V(\lambda)$ が効率のみを取り扱っているように、ここでも明るさの効率のみを取り扱うというように話を絞る。

したがって本研究調査委員会の目的は「明るさ感覚という観点から光の量を定義する測光法を開発すること」という事になる。具体的には、まず明るさという観点から光の量を検討してみて、どのような問題点があるかを明らかにし、ついで測光の基礎となる一定の明るさ感覚をもたらす光の効率 $V_0(\lambda)$ を求め、最後にそれがどのように活用され得るかの可能性をさぐる、という事になる。

問題をこれだけに絞っても、しかしまだまだ課題は多い。視覚系をどのような順応下に置いた場合を考えるのか、視野の大きさや位置はどうするのか、光源色か物体色か、年齢は、等等である。本委員会ではこれらの内、特に順応レベルについては最も重要視し、明るさ感覚による光の量を明るい所から暗い所まで、ほとんど全ての順応レベルで評価出来るような測光法を開発していくことを目標にした。もちろん2年や3年の期間でこの事は難しいが、姿勢だけはそのようにはっきりして置きたかったのである。

以上のような目標の下に本委員会は活動してきたが、あるものはかなりはっきりした結論が得られたし、また他のものは解決の可能性を示唆できるようになったし、あるものはまた次の新しい課題を提案する事になった。本委員会としてはこの辺りで一旦報告書をまとめ、考え方を整理し、学会員にも資料を提供して御批判を仰ぐことが適切ではないかという事になり、ここに報告書をまとめる次第である。なお、この報告書は極めて凝縮したものであり、要点のみを書いたものである。幸い、本報告書に関係した多くのことは学術論文になっているので、更に詳しく内容を知りたい向きは直接執筆者に問い合わせるとよいと思われる。

(東京工業大学総合理工学研究科 池田光男)

第2章 活動概要

1. 活動期間

本委員会は昭和58年4月から昭和61年3月まで活動した。

2. 委員会構成

委員長	池田光男	東京工業大学総合理工学研究科教授
幹事	佐川 賢	通産省工業技術院製品科学研究所主任研究官
	下藪裕明	東京光学機械(株)技術開発部(昭和59年6月まで)
委員	不破正宏	通産省工業技術院電子技術総合研究所主任研究官(昭和59年6月から)
	武内徹二	松下電器産業(株)照明研究所(昭和59年6月から)
	長谷川敬	NHK放送技術研究所
	斉藤一朗	通産省工業技術院電子技術総合研究所主任研究官
	内川恵二	東京工業大学総合理工学研究科助手
	河合 悟	中京大学心理学科教授
	市原 茂	中京大学心理学科講師
	畑田豊彦	東京工芸大学工学部教授
	佐藤雅子	千葉大学工学部助教授
	高浜幸太郎	通産省工業技術院電子技術総合研究所主任研究官
	市川一夫	社会保険中京病院眼科部長
	芋阪直行	追手門学院大学文学部講師
	森 礼於	(株)東芝総合研究所首席技監
	淵田隆義	(株)東芝総合研究所
	飯田陽久	日立照明(株)
小坂 武	ミノルタカメラ(株)千里センター	
明道 成	三菱電機(株)商品研究所	

3. 活動の経過と成果の概要

昭和58年度は7回の委員会を開催し、薄明視における測光上の問題点と測光モデルに関する研究を調査・検討した。また58年12月15日に機械振興会館において、テレビジョン学会の方式回路研究会、視覚情報研究会、画像処理・画像応用研究会と共催で「色彩工学とその応用」と題する研究会を開催した。また昭和59年度の照明学会全国大会において「明るさ感と新測光システム」と題するシンポジウムを開催した。

昭和59年度は5回の委員会を開催し、薄明視における測光の問題に加え、色光の明るさ評価に関する研究を調査・検討した。このなかでCIEの技術委員会(TC1-03)で検討中の明るさ評価方法について審議し、その結果をCIEに反映させた。また、59年11月7、8日に箱根において「明るさ感のとらえ方と定量

第3章 明所視の比視感度

明るさの比視感度を取り扱うに際しては、いくつかの実験条件について配慮しておく必要がある。順不同に記すと

(1) 順応レベルをどの辺にするか。一口に明所視と言っても順応レベルによって視覚特性は変わってくるので、明るさの比視感度関数 $V_b(\lambda)$ を求めるに当たっても、そのレベルについて合意を得ておかねばならない。私自身はそもそも明所視、薄明視、そして暗所視と三つに分ける事に疑問を感じている。比視感度関数は順応レベルに応じて連続的に変化するのであるから、全ての順応レベルに対して適切な比視感度関数が定義されるべきであると考えている。しかし本委員会では差し当たっては、という事で明所視レベルを100 tdくらいで代表させて明るさの比視感度関数を考えるということにした。

(2) 視野の大きさ。CIEでは2°と10°を代表的なものとして採用しているので本研究委員会でもこれら二つの条件について考える事にした。ただCIEではこれに加えて点光源も考えるべきだとの方向なので、それについても検討した。ところで視野を2°と10°にしたのは実用面よりも網膜の特性を考えて決めたのではないかと思われる。2°は一応桿体の影響は無い広さ、10°は黄斑色素の影響の無い広さという事である。実生活で本当に意味のある視野の広さはどのくらいかを、もう一度検討してみるのも無駄ではないような気がする。

(3) 年齢による影響。序論で述べた通り年齢に対する配慮は大切である。しかし実際はデータを集め易いということから20才代の被験者が圧倒的に多くなる。本委員会の報告書もその傾向は否めない。

(4) 被験者間の差。これは結構大きいという事が分かってきた。この点については報告書で詳しく述べる。

(5) 刺激呈示持続時間。これも大きな問題である事が分かってきた。特に1秒などの短い時間で刺激を呈示すると、色チャンネルの寄与が輝度チャンネルのそれに比べて相対的に増大し、ために $V_b(\lambda)$ のダブル・ピークがさらに強調されるという事が明らかになってきている。

以上のように $V_b(\lambda)$ は実験条件の影響を大きく受けるので、それぞれについての $V_b(\lambda)$ を決定する事があるいは理想的かもしれないが、見方を変えたと余り沢山の $V_b(\lambda)$ を定義すると、かえって複雑になり過ぎて使用に耐え得ないという事にもなる。そのような観点からCIEなどでは視野の大きさを点光源、2°、10°、照度レベルを100 td近辺、年齢は比較的若い層、ということくらいに条件を絞り、他の諸条件については特に区別しないという立場を取ろうとしている。それに従って、ここでも3視野の結果をCIE TC1-02 比視感度関数の技術報告書(案)から借りてきて示しておく。

点光源 Judd修正の $V(\lambda)$ と等しい。

2度視野 図1の白丸で示す。このように 570 nm の両側にピークを持つ。

10度視野 図1の十字で示す。2°との差は 410 nm から 520 nm の間だけであり、これは主として黄斑色素の無いことによる。

以上のように、明るさの分光感度が求められたので、少なくとも単色光の明るさの効率を知ることが出来るのである。例えば道路信号灯の明るさの比較などについても、それらが余りに単色光と違わない場合には可能となったのである。

差し当たって解決しなければならぬ課題は、加法則の問題であり、そのことが解決されると複合光についてもその明るさ効率が計算出来ることになる。既に幾つかの提案がなされている。また、これらの関数は明所視ということになっているが、前にも書いたように明所視でも順応レベルを変えると比視感度は変化するし、また順応レベルを下げて行くとやがて薄明視領域になるが、 $V_b(\lambda)$ の形状はスムーズに変化しながらその領域に入っていくはずであるから、後の章で取り扱われる薄明視比視感度との整合性も問題になる。

被験者間の差にも注意しなければならない。図2は12人の被験者の2°視野の比視感度をそれぞれについて示したものであるが、極めて大きなダブル・ピークを示すような被験者から、ほとんど $V(\lambda)$ に等しい比視感度を示す者まで、ほとんど連続的に変化している。このことは、一般に、明るさの実験結果を分析するとき、特に留意しなければならない点である。極言すれば、被験者を選ぶことによって、どのような結果も思いのままということである。また図1のような標準的比視感度関数を導出するに際しては、ある程度多くの被験者からのデータを基にしなければならないことをも示している。図1の場合は、2°については63人、10°については76人のデータに基づいており、人々を代表するものと考えられている。

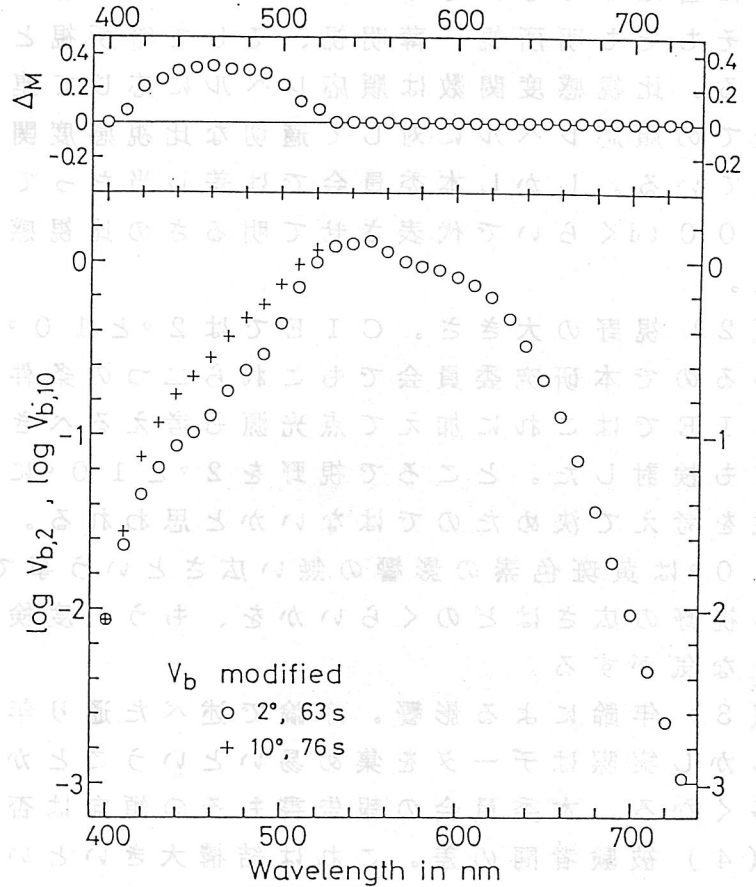


図 1

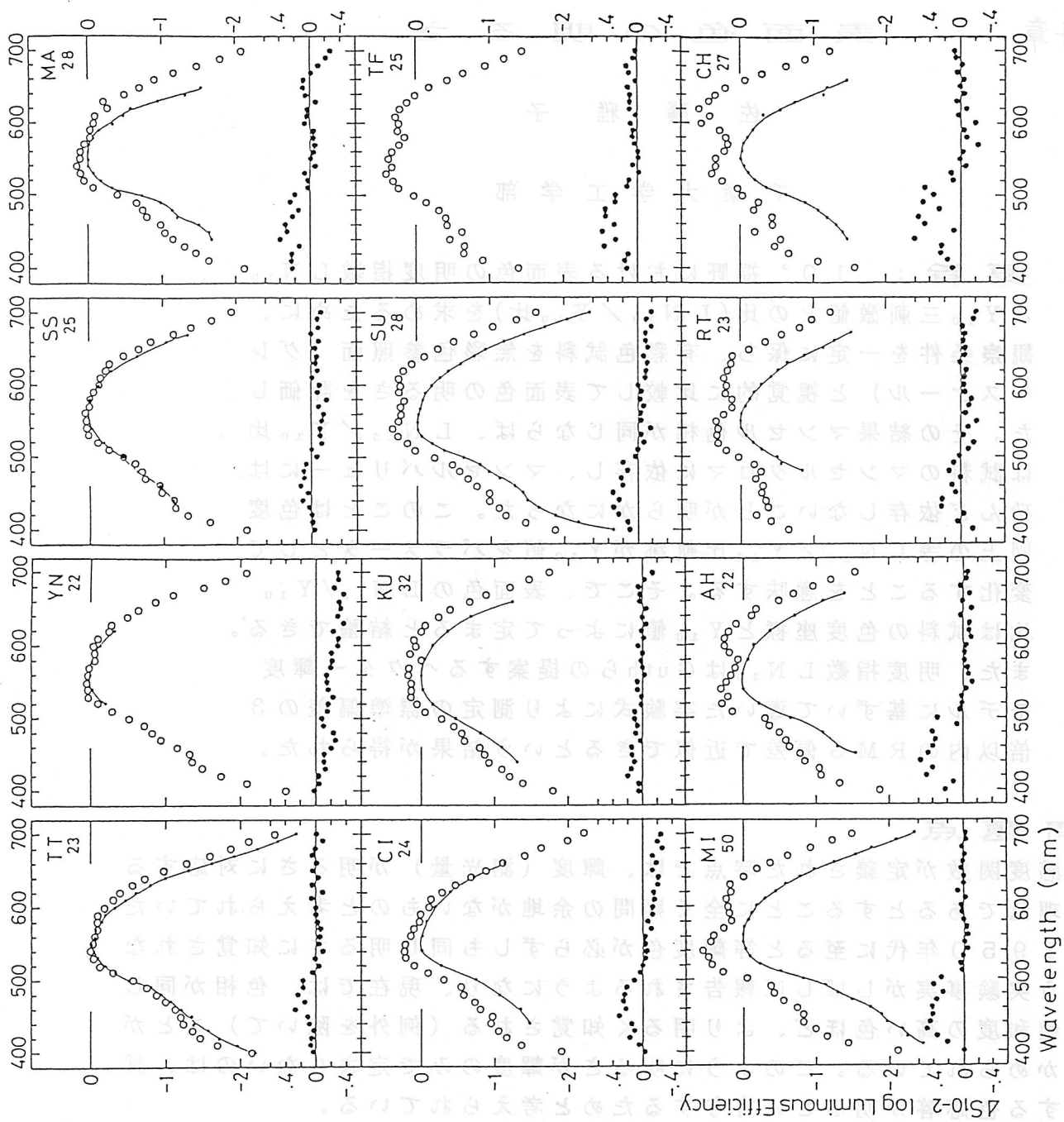


図 2

参考文献

CIE Technical Report of TC1-02, "Spectral luminous efficiency functions for brightness for monochromatic point sources, 2° and 10° fields." (1986) (Submitted).

M. Ikeda and Y. Nakano, "Stiles summation index applied to heterochromatic brightness matching." Perception (1986) (Submitted).

(東京工業大学総合理工学研究科 池田光男)

佐藤 雅子

千葉大学工学部

要旨： 10°視野における表面色の明度指数 $L N_{10}$ と Y_{10} 三刺激値との比 ($L N_{10} / Y_{10}$ 比) を求めるために、観察条件を一定に保ち、有彩色試料を無彩色参照面 (グレースケール) と視覚的に比較して表面色の明るさを評価した。その結果マンセル色相が同じならば、 $L N_{10} / Y_{10}$ 比は試料のマンセルクロマに依存し、マンセルバリューには殆んど依存しないことが明らかになった。このことは色度図上の等 $L N_{10} / Y_{10}$ 比軌跡が Y_{10} 値をパラメータとして変化することを意味する。そこで、表面色の $L N_{10} / Y_{10}$ 比は試料の色度座標と Y_{10} 値によって定まると結論できる。また、明度指数 $L N_{10}$ は Guthらの提案するベクター輝度モデルに基づいて導いた実験式により測定 of 標準偏差の3倍以内の RMS 偏差で近似できるという結果が得られた。

1. 問題点

比視感度関数が定義された時点では、輝度 (測光量) が明るさに対応する心理物理量であることに全く疑問の余地がないものと考えられていた。しかし1950年代に至ると等輝度色が必ずしも同じ明るさに知覚されないという実験事実がしばしば報告されるようになり、現在では、色相が同じならば飽和度の高い色ほど、より明るく知覚される (例外を除いて) ことがほぼ確かめられている。このように明るさが輝度のみで定まらないのは、試料に対する色応答が明るさに寄与するためと考えられている。

色刺激の明るさの問題を根本的に解決するには色覚メカニズムの解明を待たねばならないが、それと同時に、種々の観察条件において多くの被験者による実験を行ない、その結果を定量的に検討する必要がある。

一方、CIEは近く技術リポートにおいて、観察視野約2°の場合の明るさ指数 B と輝度 L との比 (B / L 比) を、WareとCowanによる次の式：

$$\log(B / L) = 0.256 - 0.184 y - 2.527 x y + 4.656 x^3 y + 4.657 x y^4 \quad (1)$$

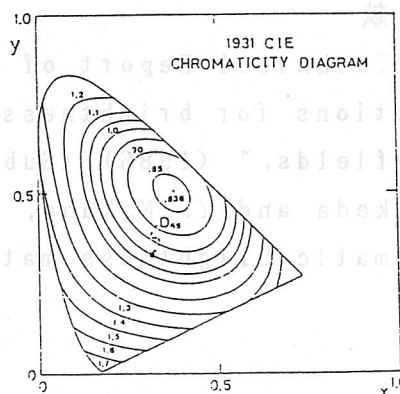


図1

で定義することを提案する予定になっている。図1に式(1)による等B/L比軌跡を示す。

このようにB/L比を定義しようという気運が高まっている現在、表面色の領域では観察視野が2°の場合のLN/Y比の特性、および10°の場合のLN₁₀/Y₁₀比の特性を定量的に、しかも体系的に把握することが急務である。この報告は観察視野が10°の場合のLN₁₀/Y₁₀比の測定値に関するものである。

2. 実験結果

周辺色に試料とほぼ等しいY₁₀値をもつ無彩色を用い、照度455lx(相関色温度6100K)のもとでグレースケールと比較して、マンセルバリュー4/, 5/, 6/, 7/, 8/の有彩色色紙373色の明るさを評価した。被験者は2名である。その結果得られたデータを図2~5に示す。

図2: 横軸はマンセルクロマ、縦軸は試料の(色相に関する)平均のLN₁₀/Y₁₀値を表わす。データ点の上下に現れている直線は標準偏差の3倍の範囲を示す。データは2人の測定値の平均による。

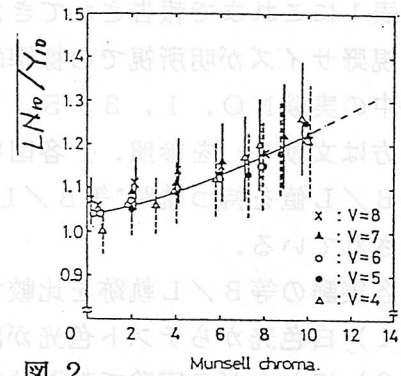


図3: 7/の試料の色度図上における等LN₁₀/Y₁₀比軌跡。軌跡が描かれている範囲は実測域であり、中央部の●印は無彩色点を示す。他のマンセルバリューでも同様の軌跡が得られているが、同じLN₁₀/Y₁₀比をもつ軌跡の大きさはマンセルバリューが増大すると逆に減少する。この結果はSandersとWyszecki [J. Opt. Soc. Am. 48 389 (1958)]による結果と一致しない。彼らの結果では軌跡のサイズは不変である。

図4: 実験式から得られた7/の試料に対する等LN₁₀/Y₁₀比軌跡。この実験式ではベクター輝度の概念に基づいて明度指数を次の式で近似する。

$$LN_{10} = [C_{200}X^2 + C_{020}Y^2 + C_{002}Z^2 + C_{110}XY + C_{011}YZ + C_{101}ZX]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここでX₁₀, Y₁₀, Z₁₀は三刺激値、C₂₀₀~C₁₀₁はY₁₀に依存する係数である。

図5: 実験式による5/に対する等LN₁₀/Y₁₀比軌跡を例として示す。

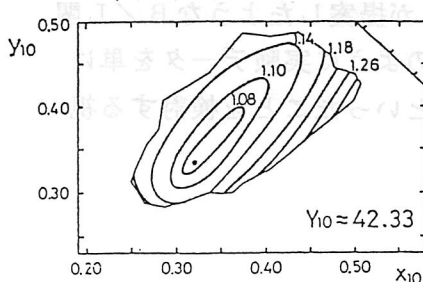


図3

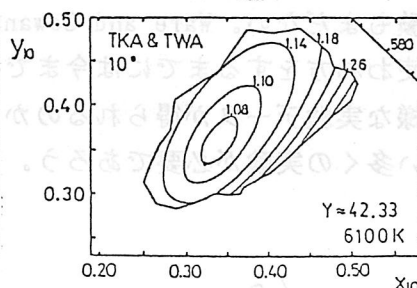


図4

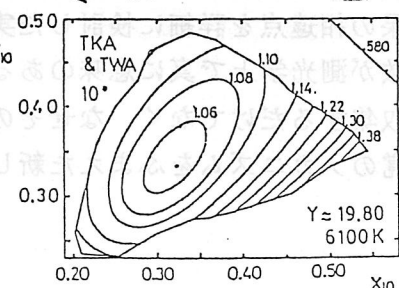


図5

第 5 章 色光の明るさ—輝度不一致 (B/L 効果)

等しい輝度 (luminance) にそろえた 2 つの色光は色度が異なると必ずしも等しい明るさ (brightness) にならないことは古くから指摘されており、また、その定量的な実験、理論的な考察もこれまでに数多く行われてきた¹⁻⁶⁾。色光の明るさと輝度との違いを定量的に表すために、心理物理学では、テスト色光と参照白色光を直接比較法により明るさマッチングし、その時の参照白色光の輝度 B とテスト色光の輝度 L との比 B/L がよく用いられる。 B/L はテスト色光が白色光の時は $B/L = 1$ 、テスト色光の方がより明るい場合は $B/L > 1$ となる。一般に、色光の彩度 (saturation) が増加すると B/L 値が増大し、この現象は B/L 効果と呼ばれている。この“輝度 ≠ 明るさ”という関係は輝度に基づく現在の測光システムの大きな問題点であり、CIE でも“明るさ”に基づく新しい測光システムの確立を急いでいる。

表 1 にこれまで報告されてきた B/L 効果を求めた実験を示す⁶⁾。ただしここではテスト視野サイズが明所視での標準的な観測条件である 2° に近いものを集めてある。図 1 に表中の実験 No. 1, 3, 5, 7, 8 の等 B/L 軌跡を示す。(等 B/L 軌跡の詳しい求め方は文献 6) を参照。) 各図中黒丸が測定に用いたテスト色度点を表し、各曲線が等しい B/L 値を持つ軌跡“等 B/L 軌跡”を示している。 B/L 値の対数値が各軌跡に沿って示されている。

各実験の等 B/L 軌跡を比較すると、共通点としては、

- (1) 白色光からテスト色光が離れるにつれて B/L 値は増大する。
- (2) ほとんどの実験で軌跡は黄領域から青紫領域へのびる形状をしている。

ことがあげられる。しかし、相違点としては、

- (1) B/L の値が各実験により異なる。
- (2) 青紫領域での曲線の形状が各実験により異なる。

ことがあげられる。

以上、示したように色光の B/L 効果は、一般的特性に関しては各実験間で一致しているが細かい形状、値になると相違点が多い。例えば、図 1 で $\log(B/L) = 0.1$ の軌跡だけを比較しても、No. 7 のように小さな範囲に広がるものから、No. 3 のように大きな範囲に広がるものまで、同じ値を持つ等 B/L 軌跡の色度図上の位置が実験によりかなり異なる。

Ware and Cowan⁷⁾ はこれらの相違点の解明はこれからの研究にまかせるとして、現段階においてとりあえず平均的な B/L 値を求めるために多くの実験結果を集め、それらのデータにフィットする軌跡を求めた。これを図 1 の右下に示す。Ware and Cowan の軌跡は色光の“明るさ”に基づく新しい測光関数の確立を一步進めたという点では意義深いものと言えよう。しかし、Ware and Cowan の軌跡と他の実験の軌跡とを比較すると明らかなように Ware and Cowan の軌跡はあくまでも平均値であり個々の実験結果とはかなり相違がみられる。現在までに B/L 効果を測定した実験は表 1 に示したように数が少なく、また結果の相違点を詳細に検討した実験もまだない。Ware and Cowan が提案したような B/L 関数が測光学上で真に意味のある使われ方をするまでには今までのように実験データを単に収集するだけでなく、なぜその様な実験データが得られるのかといったことを検討する視覚のメカニズムをふまえた新しい多くの実験が必要であろう。

表1 B/L効果の実験⁶⁾

No.	実 験 者	刺 激	明るさマッチングの方法* と輝度レベル	被 験 者 数
1	Sanders & Wyszecki	2°, 4角形視野, 表面色	参照光をテスト光に, 650 lx ($Y \approx 0.2$); $V(\lambda)$	2
2	Breneman	1°50', 2分視野, 開口色	テスト光を参照光に, 17 cd/m ² ; $V(\lambda)$	3
3	Kaiser & Smith	1°50', 2分視野, 開口色	テスト光を参照光に, 3.2 cd/m ² ; $V(\lambda)$	1
4	Alman	2°, 2分視野, 開口色	参照光をテスト光に, 10 cd/m ² ; $V(\lambda)$	17
5	矢口と池田	2°, 2分視野, 開口色	テスト光を参照光に, 100 td; $V(\lambda)$	1
6	Booker	1°, 円形視野, 開口色	参照光をテスト光に, 100 cd/m ² ; $V(\lambda)$	9
7	Burns et al.	2°, 2分視野, 開口色	参照光をテスト光に, 20 td ; 交照法	3
8	本 実 験	45°, 円形視野, 開口色	テスト光を参照光に, 150 td ; 交照法	2

* “参照光をテスト光に”とあるのは、参照光の明るさを変化させて輝度一定のテスト光の明るさにマッチングすること。“テスト光を参照光に”とあるのは、テスト光の明るさを変化させて輝度一定の参照光の明るさにマッチングすることを表わしている。

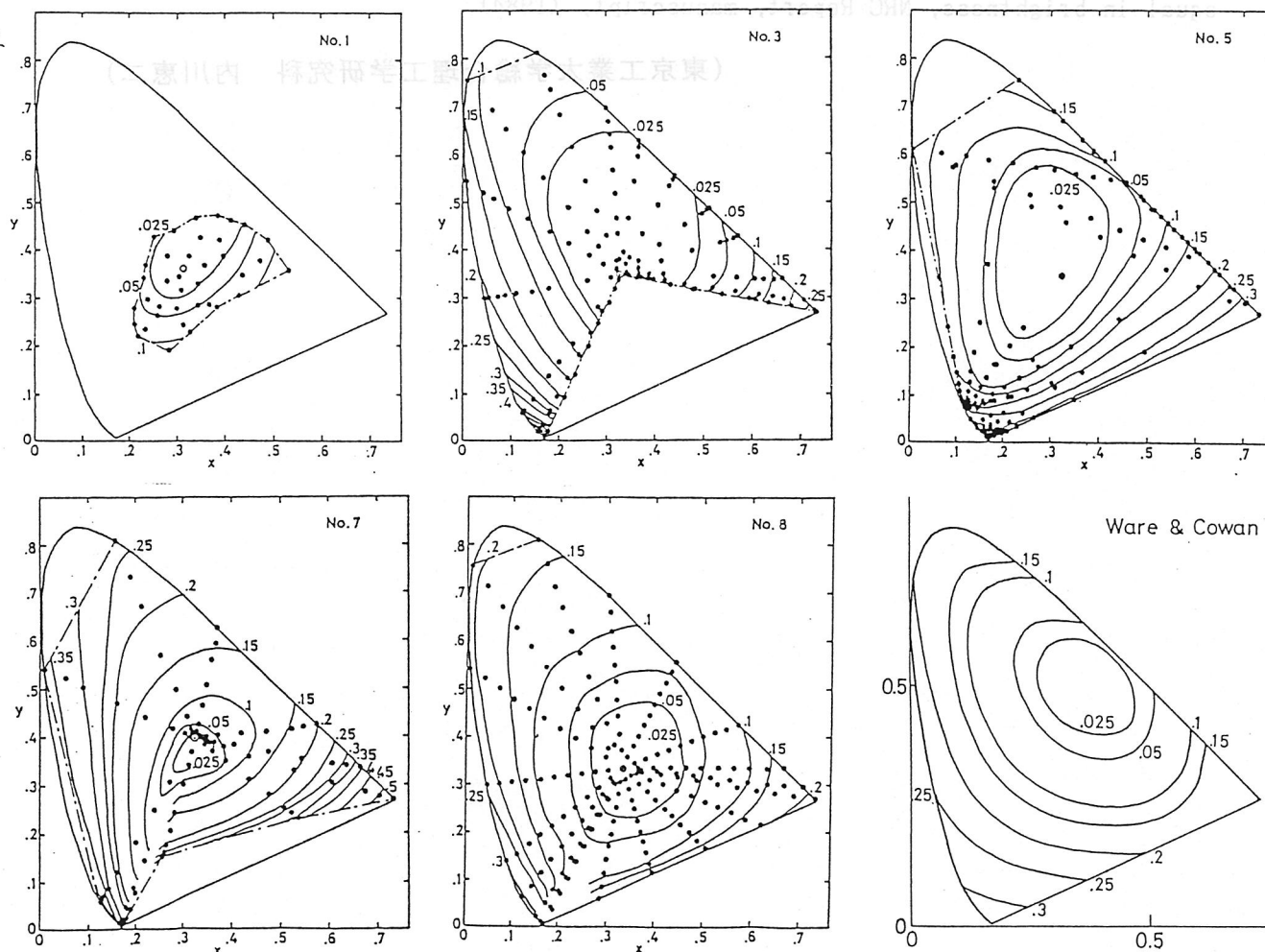


図1 等B/L軌跡。各番号は表1の実験番号と対応している。右下の図は Ware and Cowan⁷⁾ の求めた軌跡を示す。

参考文献

- 1) MacAdam, D. L., Loci of constant hue and brightness determined with various surrounding colors, J. Opt. Soc. Am. 40 (1950), 589-595.
- 2) Sanders, C. L. and Wyszecki, G., Correlate for lightness in terms of CIE-tristimulus values. Part I, J. Opt. Soc. Am. 47 (1957), 398-404.
- 3) 矢口博久、池田光男、明るさの加法性による Helmholtz-Kohlrausch 効果の検討、照学誌、64 (1980), 566-570.
- 4) Burns, S. A., Smith, V. C., Pokorny, J. and Elsner, A. E., Brightness of equal-luminance lights, J. Opt. Soc. Am. 72 (1982), 1225-1231.
- 5) Uchikawa, K., Uchikawa, H. and Kaiser, P. K., Luminance and saturation of equally bright colors, Color Res. Appl. 9 (1984), 5-14.
- 6) 内川恵二、内川弘美、Kaiser, P. K., 色光の"明るさ-輝度差"の色度の違いによる変化、照学誌、68 (1984), 259-264.
- 7) Ware, C. and Cowan, W. B., Specification of heterochromatic brightness matches: A conversion factor for calculating luminances of stimuli which are equal in brightness, NRC Report, manuscript, (1984).

(東京工業大学総合理工学研究科 内川恵二)

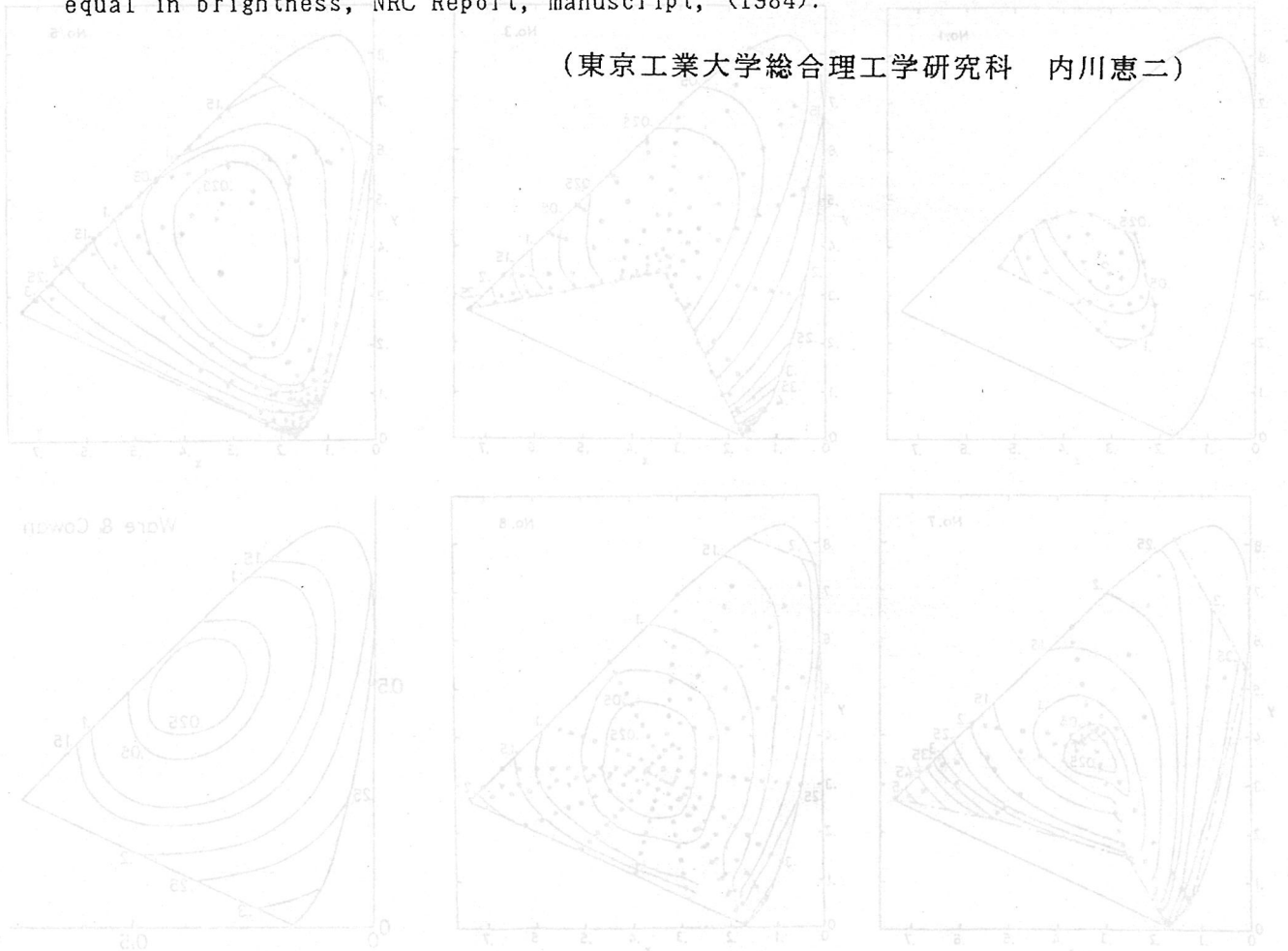


図1は、Ware & Cowan (1984) の図1と、Kaiser et al. (1984) の図1を比較して、明るさの加法性による Helmholtz-Kohlrausch 効果の検討を示す。

才6章 薄明視の比視感度と測光システム

(1) 薄明視の比視感度

薄明視の測光システムを開発する上で特に重要なのは、輝度レベルと共に徐々に変化する比視感度をどのように定量化するかである。図1は佐川、武市によって測定された24名の薄明視の比視感度データである。¹⁾²⁾ 測定は中心視10°直接比較法によるものである。参照光はXeランプより得られた白色光であり、その網膜照度を100 Tdから0.01 Tdまで9段階(0.5 log unit間隔)選定して、それぞれのレベルについて比視感度が求められている。各被験者の一番下の曲線は100 Tdのデータでこれは明所視型の比視感度となり中波長領域にピーク値を持っている。また、一番上の曲線は0.01 Tdレベルで、500 nm付近にピーク値を持つ暗所視型の比視感度になっている。その中間には輝度レベルと共に徐々に変化する薄明視の比視感度が見られる。

図2の黒丸(●)は24名の比視感度の平均値(幾何平均)である。平均値を見ると、各レベルとも滑らかな感度曲線となり、その曲線の形が輝度レベルと共に徐々に変化していく様子がよくわかる。

一番下の100 Tdの曲線は、明所視の2°の直接比較法のデータ³⁾に類似しているが、短波長領域(400-500 nm)で2°のデータよりも高い感度を示し、黄斑色素の影響が見られる。一方0.01 Tdの曲線は、 $V(\lambda)$ にほぼ一致しているが長波長側(600-700 nm)に見られる高い感度やピーク値のズレなど、僅かではあるが有意な差が見られる。したがって、薄明視の測光システムには広い視野に対する明、暗所視の比視感度を新たに確立する必要があると言える。

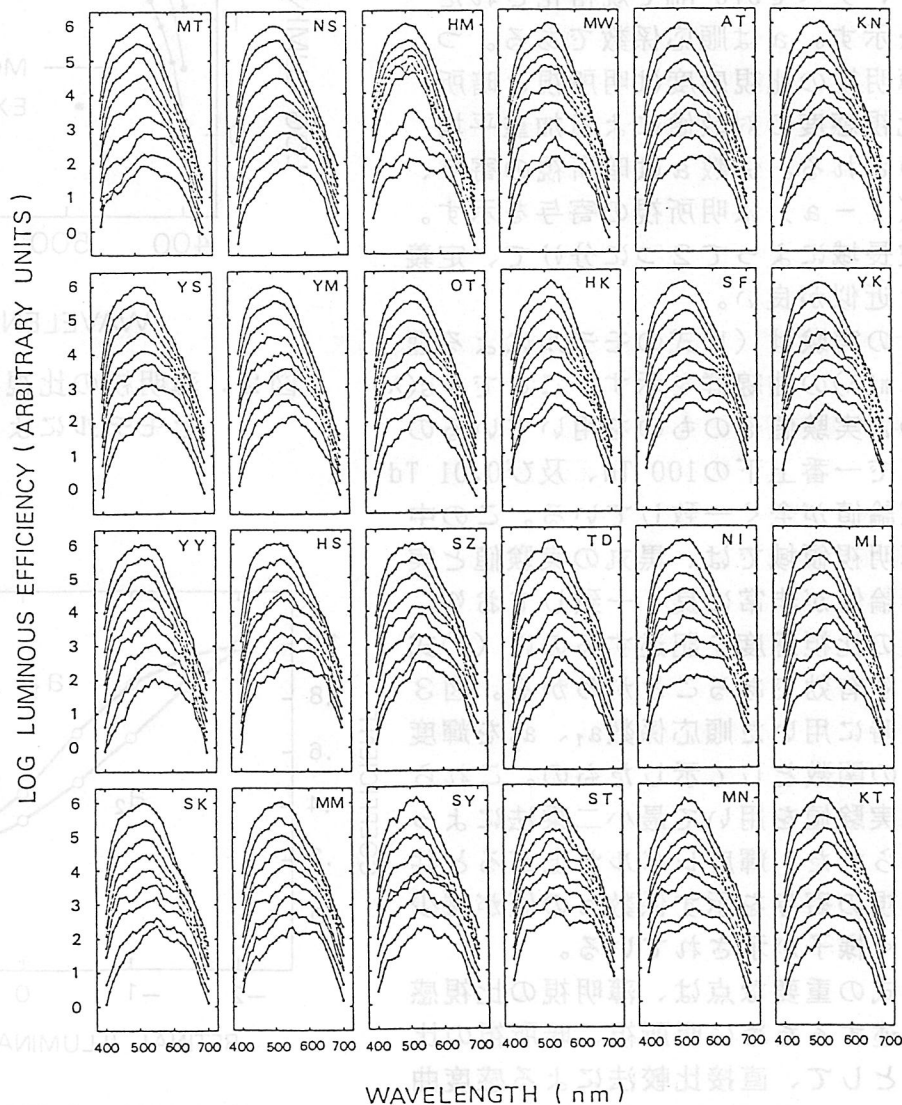


図1. 100 Td (下) から0.01 Td (上) における薄明視の比視感度曲線 (24名の結果)。

(2) 比視感度の
実験式

連続的に変化する薄明視の比視感度を記述する方法はこれまで、Palmar⁴⁾ Kokoschka -

Bodmann⁵⁾ Ikeda - Shimozono⁶⁾などが提案しているが、それぞれ長所、短所があり、決定的なものはない。ここでは、Ikeda - Shimozonoの考え方に基づいたSagawa - Takeichi²⁾の視感度記述モデルを以下に示す。Sagawa - Takeichiによると、薄明視の比視感度は次のように表わされる。

$$\log V_m(\lambda) = a \cdot \log V_s(\lambda) + (1-a) \log V_p(\lambda) \quad (1)$$

$$a = a_1 \quad \lambda \leq 570 \text{ nm}$$

$$= a_2 \quad \lambda > 570 \text{ nm}$$

ここで $V_m(\lambda)$ 、 $V_s(\lambda)$ 、 $V_p(\lambda)$ はそれぞれ薄明視、暗所視、明所視の比視感度で、すべて570 nmで規格化されたものを示す。 a は順応係数である。つまり薄明視の比視感度は明所視と暗所視の比視感度の対数値による加重平均で表わされる。係数 a は暗所視の寄与、逆に $(1-a)$ は明所視の寄与を示す。 a は波長域によって2つに分けて、定義すると近似が良い。

図2の実験は(1)式のモデルによる理論的 $V_m(\lambda)$ の曲線群を示す。ここで $V_s(\lambda)$ 、 $V_p(\lambda)$ は実験値そのものを用いているので図2で一番上下の100 Td、及び0.01 Tdでは理論値が全く一致している。この中間の薄明視領域では、黒丸の実験値と実線の理論値が非常に良く一致しており、薄明視の比視感度を記述するのに(1)式はかなり有効であることがわかる。図3はその時に用いた順応係数 a_1 、 a_2 を輝度レベルの関数として示したもの。これらの値は実験値を用いて最小二乗法によって求められた。輝度レベルが上がると共に暗所視の寄与を示す係数 a の値が減少していく様子が示されている。

(1)式の重要な点は、薄明視の比視感度を記述するために明所視、暗所視の比視感度として、直接比較法による感度曲線、つまり“明るさ”に対する分光感度を用いていることで、このことを最初に示したのはIkeda - Shimozono⁶⁾であり、この有効性はここでも確認されたことに

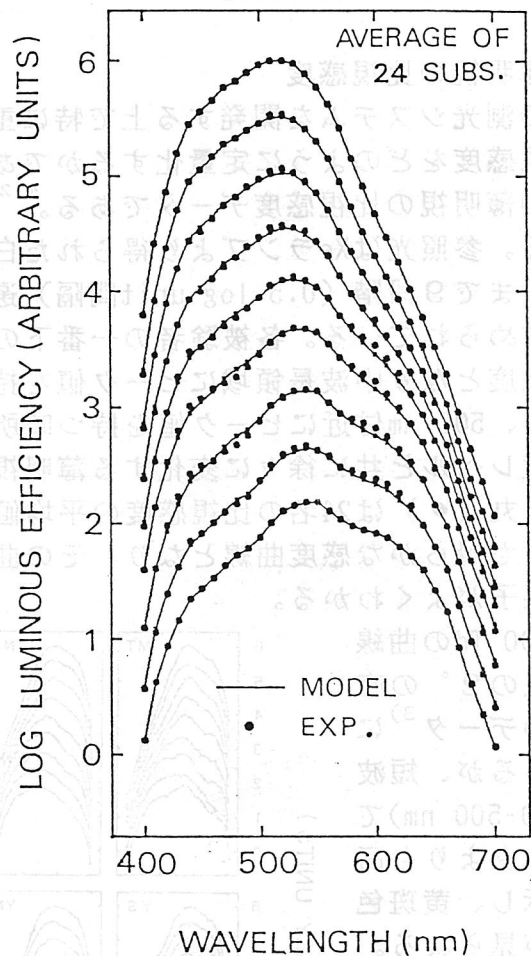


図2. 薄明視の比視感度(平均値)とモデルによる理論値。

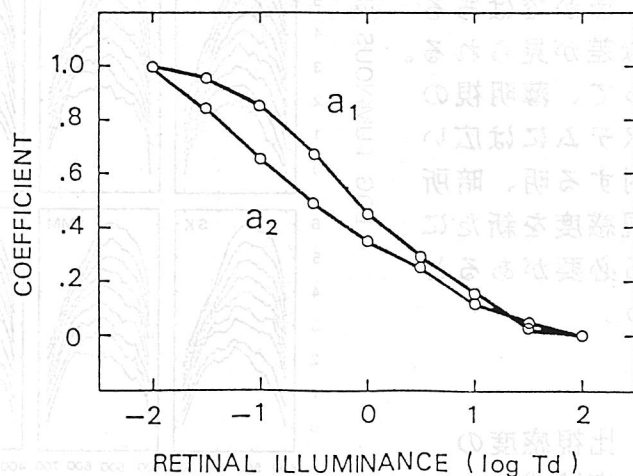


図3. 順応係数と網膜照度

a_1 は $\lambda \leq 570 \text{ nm}$ 、 a_2 は $\lambda > 570 \text{ nm}$ に対するもの。

なる。

(3) 測光モデル

(1)式そのものは単色光に対するモデルであるが、その基本的考え方、つまり、明所視と暗所視の明るさ感度で薄明視のそれを表わすという考え方は直ちに一般の複合光に応用できる。

ここで問題となるのは任意の色光の明所視、暗所視における明るさに対応する測光量 $L_{b,p}$ 、 $L_{b,s}$ であるが、これに対しては他で定量化されつつある B/L ratio や他の色覚モデルなどを活用することができよう。

図4はそうした考え方の基づいて構成した一般の複合光に対する薄明視測光システムの概略図である。測色に用いる x 、 y 、 z 及び $V'(\lambda)$ の4つのフィルターを用い、それらのフィルターを通して得た出力をそれぞれ X Y Z S としてこれらの量を用いて明所視、暗所視の明るさに対応する測光量 $L_{b,p}$ 、 $L_{b,s}$ を求める ($L_{b,s}$ は近似的には S で代用できる)。

次に (1)式を用いて薄明視の測光量 L_b を求める。但しこの時 a も L_b の関数となるのでこの2つの関係を同時に満足する L_b 、 a の値を求めることが重要である。

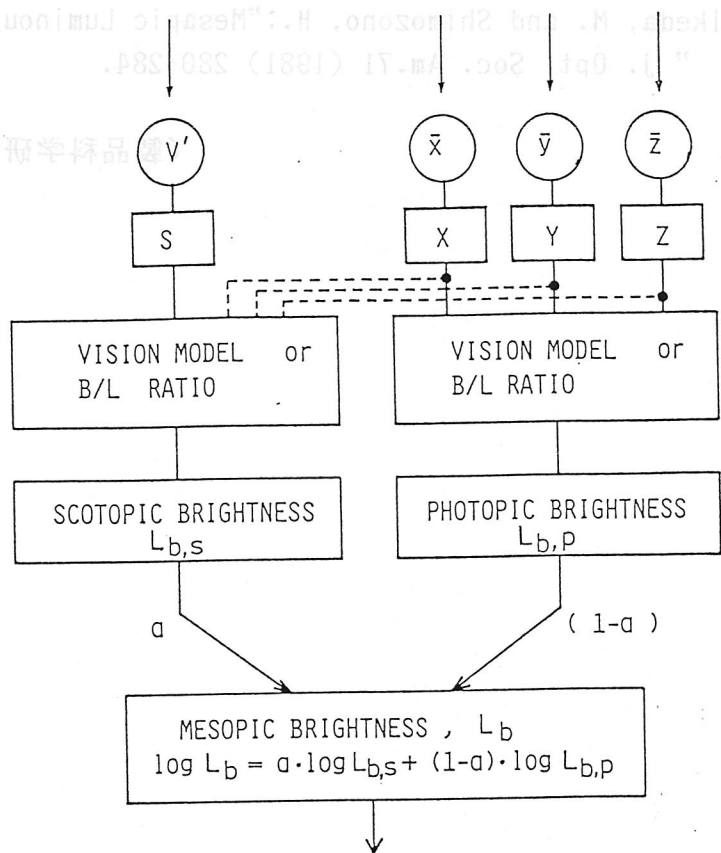


図4. 薄明視の測光システム

参考文献

- 1) Sagawa, K. and Takeichi, k.: "Spectral luminous efficiency functions for a ten-degree field in the mesopic range." J. Light Vis. Env. 7 (1983) 37-44.
- 2) Sagawa, K. and Takeichi, K.: "Spectral luminous efficiency functions in the mesopic range." J. Opt. Soc. Am. 73 (1986) 71-75.
- 3) Ikeda, M., Yaguchi, H. and Sagawa, K.: "Brightness Luminous-efficiency functions for 2° and 10° fields." J. Opt. Soc. Am. 72 (1982) 1660-1665.
- 4) Palmer, D. A.: "Standard observer for large-field photometry at any level." J. Opt. Soc. Am. 58 (1968) 1296-1299.
- 5) Kokoschka, S. and Bodmann, H. W.: "Ein Konsistentes System zur photometrischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptationsbereich." Proc CIE 18th Session (CIE, Paris, 1975) 217-225.

6) Ikeda, M. and Shimozono, H.: "Mesopic Luminous-efficiency functions" J. Opt. Soc. Am. 71 (1981) 280-284.

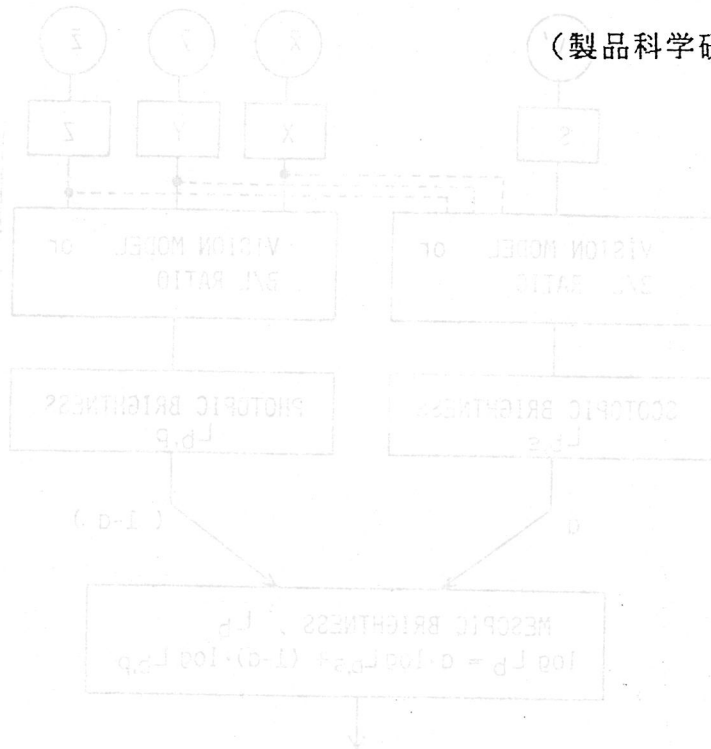


図4. 補明視の測光システム

この図は、補明視の測光システムを示している。図の上部には、3つの円（1, 2, 3）があり、それぞれX, Y, Zのラベルが付けられている。これらのX, Y, Zは、左側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスと右側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスに接続されている。また、X, Y, Zは、左側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスと右側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスにも接続されている。左側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスと右側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスの間には、破線の接続がある。左側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスと右側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスは、それぞれ下の「MESOPIC BRIGHTNESS」ボックスに矢印を向けて接続されている。この「MESOPIC BRIGHTNESS」ボックスには、以下の数式が記載されている：

$$\log L_p = a \cdot \log L_{p_s} + (1-a) \cdot \log L_{p_v}$$

(製品科学研究所 佐川 賢) 水野 (8)

この図は、補明視の測光システムを示している。図の上部には、3つの円（1, 2, 3）があり、それぞれX, Y, Zのラベルが付けられている。これらのX, Y, Zは、左側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスと右側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスに接続されている。また、X, Y, Zは、左側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスと右側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスにも接続されている。左側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスと右側の「VISION MODEL of S/L RATIO」ボックスの間には、破線の接続がある。左側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスと右側の「SCOTOPIC BRIGHTNESS」ボックスは、それぞれ下の「MESOPIC BRIGHTNESS」ボックスに矢印を向けて接続されている。この「MESOPIC BRIGHTNESS」ボックスには、以下の数式が記載されている：

$$\log L_p = a \cdot \log L_{p_s} + (1-a) \cdot \log L_{p_v}$$

参考文献

(1) Sasaki, K. and Takeuchi, K.: "Spectral luminous efficiency functions for a ten-degree field in the mesopic range," J. Light Vis. Env. 7 (1983) 37-44.
 (2) Sasaki, K. and Takeuchi, K.: "Spectral luminous efficiency functions in the mesopic range," J. Opt. Soc. Jpn. 73 (1988) 71-75.
 (3) Ikeda, M., Yasuchi, H. and Sasaki, K.: "Brightness luminous efficiency functions for 2° and 10° fields," J. Opt. Soc. Am. 72 (1982) 1880-1885.
 (4) Palmer, G. A.: "Standard observer for large-field photometry at any level," J. Opt. Soc. Am. 58 (1968) 1298-1300.
 (5) Korschka, S. and Bodmann, H. W.: "Ein konsistentes System zur photometrischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptationsbereich," Proc. CIE 18th Session (CIE, Paris, 1975) 217-225.

I. はじめに

薄明視に於いては正常者でも明所視と異なる視覚特性を示すことは以前より知られている。薄明視での視覚障害者の視覚特性を明らかにする上で正常者の薄明視での視覚特性を明確にすることは重要である。薄明視での視覚障害者の視覚特性について明らかにするにあたっては、正常者の薄明視での視覚特性と疾患の病態別の視覚特性について比較検討しなければならない。

正常者の薄明視に於ける色覚については以前より先天性第3色盲あるいは先天性第3色盲様の異常を示すと報告されている。第1にこの点について我々の経験した先天性第3色盲の臨床成績と後天性青黄色覚異常を示す各種疾患の臨床成績について比較検討した。疾患（患者）をとりあつかう関係上、検査法を簡略化し且つ検査条件を常に一定にする必要があることから、第2に深見氏により考案された色盲検査提示装置を改良しさらに照度レベル及び指標提示時間を可変することのできる装置をつくり、正常者と視覚障害者とを比較検討した。

II. 方法

1) 松下電器産業株式会社照明研究所にて作成された、1000 luxから0.1 luxまで照度を変えられる色覚実験用照度可変装置下にて、正常者10人、先天性第3色盲1例、優性遺伝性若年性視神経萎縮1例、典型的青黄色覚異常を示す網膜色素変性症1例について近見視力、各種臨床的色覚検査を施行した。

2) 照度レベル及び指標提示時間可変色盲表提示装置（仮称）内に標準色覚検査表第2部後天異常用（SPP part2）を入れ、照度920 luxから1 luxまで、指標提示時間を5秒から1秒まで変化させ、正常者5名、視力1.0と軽症な網膜色素変性症1例について検査した。

III. 結果

1) 低照度下に於いて正常者が示す色覚異常は、視力低下及び青黄色覚異常に少なからず赤緑色覚異常を伴うことから先天性第3色盲というより後天性青黄色覚異常と同じ範疇に入る異常である。

2) 正常者（平均23歳）に於いても30 luxレベルから色覚異常を示し秒数が短くなるほどより強く異常を示す傾向があった。軽症な網膜色素変性症1例については、920 luxレベルですでに異常をみとめ100 luxレベルから急に誤りが多くなった、誤りが最大になるまでの間は指標提示秒数が短くなるほどより強く異常を示す傾向があった。

IV 考案及び結論

薄明視において正常者が示す視覚特性のうち色覚については以前より先天性第3色盲あるいは先天性第3色盲様の異常を示すと報告されている。しかし視力低下及び青黄色覚異常に少なからず赤緑色覚異常を伴うことから先天性第3色盲というより後天性青黄色覚異常と同じ範中に入るべきであると考えられる。薄明視での視覚障害者の視覚特性について明らかにするにあたっては、疾患別に検討する必要があると考える。多くの眼疾患では後天性青黄色覚異常を示すことから、今回検討した網膜色素変性症例の結果で推測できるものと考えられる。即ち視覚障害者においては、軽症においてすら既に正常者の薄明視レベルの照度で指標の誤りが最大となり、薄明視の消失あるいは薄明視がより明るい照度で起こることが考えられる。しかし詳しくは、疾患別あるいは疾患の程度別に検討が必要であろう。また杆体系が先行して障害される疾患（錐体杆体ジストロフィなど）などでは、上述の疾患とは別の態度をとるものと考えられる。即ち飯沼氏らが述べる所の視力低下グレアの問題についての検討が今後必要になるものと思われる。

文 献

- 1) Brown, W.R.J.: The Influence of Luminance Level on Visual Sensitivity to Color Difference, J. Opt. Soc. Am., 41:684-688, 1951.
- 2) 相馬一郎, 橋本仁司: 色彩弁別の研究Ⅲ 低照度下における色彩弁別, 色彩研究, 2: 50-52, 1956.
- 3) 太田安雄: 後天性色覚異常に関する研究 第4報低照度下における後天性色覚異常者の色覚について, 日眼, 61: 1666-1670, 1957.
- 4) Verriest G., Buyskens A. and Vanderdonck R.: Etude quantitative de l'effet qu'exerce sur les resultats de quelques tests de la discrimination chromatique une diminution non selective du niveau d'un eclairement C, Rev. Opt. (Paris), 42:105-119, 1963.
- 5) Luria, S.M.: Color-name as a function of stimulus-intensity and duration, Am. J. Psychol., 80:14-27, 1967.
- 6) 市川一夫, 長坂智子, 宮川典子, 市川 宏: 低照度下色覚異常の研究—低照度下にみられる青黄色覚異常は、先天性第3色盲と同じか—, 眼臨, 79: 1116-1124, 1985.
- 7) 市川一夫, 中嶋 潤, 内藤尚久, 市川 宏, 田辺詔子, 深見嘉一郎: 低照度下色覚異常の研究(2) 低照度下における指標提示時間の影響, 第90回日眼発表予定。
- 8) 飯沼 巖: 道路交通と眼—視覚低下グレアに関する2, 3の問題—, 日眼75: 2032-2056, 1971.