

J I E R - 0 8 5

照明光の評価方法に関する
研究調査委員会 報告書

平成 17 年 10 月

はじめに

照明光は文字通りものを照らすための光であり、その評価をするためには光源そのものだけではなく照らされたものを主体に考える視点が必要である。しかしながらこれまで照明光の評価は、光束や照度などの明るさに関する側面と、平均演色評価数(Ra)などの光の質的側面から行われてきた。しかし、近年、光束や照度だけでは人間の明るさ感覚を、平均演色評価数だけでは照明光の質を適切に評価できないことが明らかになってきた。照度や演色評価指数の限界を打ち破るべく様々な研究がなされているものの、未だ問題点指摘の域を出ない。

LED光源の実用化、照明器具の多様化、新しいディスプレイの普及、そしてバリアフリーというデザインコンセプトの台頭など照明環境を取り巻く基盤技術や社会的コンセンサスは時代と共に常に変化している。照明光の評価方法もそれらの変化に呼応するべくある種の柔軟性を備えて行かなくてはならないし、そのためにはサーベイを兼ねた調査研究が定期的に行われる必要がある。

今から約20年前(1985年から1986年にかけて)には、急速に普及するオフィスのOA化と高齢化社会への対応を見据え、VDT施設使用時の照明要件と高齢者視覚特性の研究調査に関する「新時代に適合する照明環境の要件に関する調査研究」(委員長:栗田正一(慶応義塾大学))が実施された。各種視作業に対する必要照明条件の調査研究を主目的とする第1分科会(主査:池田紘一(東京理科大))と、視環境整備におけるグレア制御基準の調査研究を主目的とする第2分科会(主査:成定康平(松下電器産業))の2つの分科会から構成され、第1分科会では、(1)高齢者の近距離視力測定法の確立と測定装置の試作と(2)高齢者が視作業を行うのに必要な照明要件の調査研究を、第2分科会では、オフィス・オートメーション化に向けて、グレアの影響と制御の観点からVDT使用場所の視環境整備に関する調査研究を行った。第1分科会の結果としては、年齢別の視力と順応輝度の詳細な関係および照度と読み易い漢字活字のサイズの関係が示され、第2分科会の結果としては、オフィス照明の調査やグレア防止ルーバーの実地検査結果が示されており、当時の照明設計の基礎資料となったと考えられる。

上記の研究調査以外にも照明学会では従来までに、明るさや色の見えという視覚の基本特性に関するいくつかの研究調査委員会が設立され、各々の視点からの研究調

査を実施してきた。その結果、「明るさ感」や「不快グレア」、「薄明視での明るさ」、「物体色の見え」などの様々な視点からの視環境評価に関する研究がまとめられている。また、照明の実際への応用に主眼をおいた調査研究も多数なされてきた。しかしながら現状では、照明産業界に於てこれらの新しい評価方法が十分に活用されているとは言い難い。そこで、これまでの研究を俯瞰し、貴重な知見をより実用へと結びつける試みが必要である。

以上のような背景から本研究調査委員会は発足した。国内外に認められうる新しい照明光評価方法の確立への足がかりとなれば幸いである。

2005年9月

社団法人照明学会

照明光の評価方法に関する研究調査委員会

委員長 宇都宮大学大学院 阿山みよし

目次

1. 委員会の目的と活動経緯	1
1.1 委員会の目的	1
1.2 委員会の構成	1
1.3 委員会活動の経緯	2
1.3.1 経緯	2
1.3.2 関連活動	2
2. 照明光の評価方法とその課題	3
2.1 光源の評価方法とその課題	3
2.1.1 色度座標	3
2.1.2 色温度、相関色温度	4
2.1.3 演色性	4
2.1.3.1 平均演色評価数(Ra)、特殊演色評価数(Ri)	4
2.1.3.2 色域面積比(Ga)	5
2.2 視環境評価方法とその課題	5
2.2.1 CIE/ISO規格 屋内作業場の照明	5
2.2.1.1 照明設計基準	6
2.2.1.2 照明要件一覧表	8
2.2.2 オフィスの照明環境に関する過去の研究	10
2.2.2.1 オフィス光環境の設計・評価	10
2.2.2.2 タスク・アンビエント照明システム	15
2.2.2.3 オフィス照明の質的評価	17
2.3 視覚色覚研究に基づく評価方法と課題	21
2.3.1 基本色の認識と反対色の知覚	21
2.3.2 視覚・色覚に関する過去の研究	24
2.3.2.1 種々の照明環境における色の認識特性	24
2.3.2.2 視覚特性の年齢効果	28
2.3.2.3 視認性に関する研究	32
3 新しい照明光評価方法の提案	35
3.1 光源の演色性評価方法	35
3.1.1 これまでの演色性評価方法	35
3.1.2 カテゴリカルカラーレンダリングインデックス	36
3.1.3 白色感評価方法	42
3.1.4 肌色の好ましさに基づく演色性評価方法	48
3.1.5 演色性による明るさ感の増加効果評価方法	50

3.1.6	目立ち感に基づく光源の演色性評価方法	52
3.2	明るさ, 明るさ感の評価方法	53
3.2.1	コントラスト・プロファイル	54
3.2.2	新しい明るさ感評価方法 — 仮想輝度分布法	58
3.2.3	色モード境界輝度	68
3.3	新しい視環境評価方法	74
3.3.1	照明認識視空間	74
3.3.2	視野輝度変動時の輝度差閾値と文章の読みやすさ	79
3.3.3	行為に応じた適当な明るさ	84
4.	まとめ	88

1. 委員会の目的と活動経緯

1.1 委員会の目的

本研究調査委員会では、過去の照明学会での活動成果を含め、照明光の評価方法として現在までにどのような研究と技術開発が行われているのかを調査研究すると共に、照明産業の様々な場面においてそれら既往研究の知的蓄積をどのように活用したら良いかについて議論し、その方法を模索することを目的とした。

1.2 委員会の構成

委員会の構成メンバーは、下表のとおりである。

区分	氏名	所属	備考
委員長	阿山みよし	宇都宮大学大学院 工学研究科	
幹事	岡嶋克典	東京工業大学大学院 理工学研究科 防衛大学校 応用物理学科	
委員	向 健二	松下電器産業（株）照明社	
委員	石田泰一郎	京都大学大学院 工学研究科	
委員	一條 隆	東芝ライテック（株）研究所	
委員	井上容子	奈良女子大学 人間環境学科	第4回より
委員	岩井 彌	松下電工（株）照明分社	
委員	岩田三千子	摂南大学 工学部	
委員	氏家弘裕	産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門	
委員	金谷末子	金沢工業大学 建築学科／居住環境学科	
委員	江湖俊介	岩崎電気（株）技術開発室	
委員	篠田博之	立命館大学 理工学部	
委員	中村芳樹	東京工業大学大学院 総合理工学研究科	第5回より
委員	原 直也	関西大学 工学部	第4回より
委員	舟川政美	（社）人間生活工学研究センター 研究開発部	
委員	面出 薫	（株）ライティングプランナーズアソシエーツ	第3回より
オブザーバ	武内徹二	松下電器産業（株）照明社	

※所属は委員会終了時のもの。

1.3 委員会活動の経緯

1.3.1 経緯

照明学会照明光の評価法に関する研究調査委員会は2002年度に発足し、2002年6月13日に第1回委員会が開催された。その後、2004年2月20日の最終委員会まで、2002年度に3回、2003年度に5回、計8回の委員会が開催された。その間、委員会では1.1項に示されている委員会の目的達成のために、研究発表、討議が続けられた。

委員会の活動の主な内容を以下にまとめる。

- (1) 過去に発表された照明光評価方法に関する研究の調査
- (2) 照明光評価方法に関する過去の照明学会研究調査委員会での成果の調査
- (3) 各研究機関(大学、メーカー)において進められている照明光の評価方法に関する研究発表
- (4) 照明光評価方法の分類
- (5) 照明設計の現場における照明光評価方法活用実態の調査
- (6) 新しい照明光評価方法の照明設計への応用促進

1.3.2 関連活動

照明光の評価方法に関する研究調査委員会では、各回の委員会の中で、また、各回の委員会以外にも次に示すような活動を行なった。

- (1) 第3回委員会を建築学会近畿支部光環境部会との共催とし、「照明認識視空間の概念による幾つかの基礎的研究と応用研究」、「基本色の認識と反対色の知覚」に関する研究発表を行なうことで、建築関係の参加者に視覚の基礎に基づいた照明光の評価方法の詳細を紹介するとともに、その設計への活用における課題などを十分に討議した。
- (2) 映像情報メディア学会、応用物理学会との共催でヒューマンインフォメーション研究会を開催した。そこでは、「日本人とフィンランド人における知覚的白色感評価」などをテーマにした研究が発表され、照明光の評価方法を確立する上での視覚の基礎の応用に関する課題などを十分に討議した。

(向 健二 松下電器産業)

2. 照明光の評価方法とその課題

2.1 光源の評価方法とその課題

照明光の代表的な評価方法として、①光束、②ランプ電流、ランプ電圧、ランプ電力などの電気特性、③xy、uvなどの色度座標、④色温度、相関色温度、⑤演色性、⑥グレアなどがある。ここでは、これらの評価方法のうち、色に関するものを採りあげ、それらの内容と課題について報告する。

2.1.1 色度座標

視対象が光源の場合、その色は、照明光源の分光分布と眼の等色関数を用いた計算によって定量的に表すことができる。CIEのXYZ表色系はこのような考え方に基づいたもので、三刺激値X、Y、Zは次式で表される。

$$X=K\sum P(\lambda)\cdot\bar{x}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$Y=K\sum P(\lambda)\cdot\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$Z=K\sum P(\lambda)\cdot\bar{z}(\lambda)\Delta\lambda$$

Kは定数

P(λ)は光源の5nm毎の分光感度

$\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ は等色関数

Δλは5nm

このように、光源の色は三刺激値で表すことができるが、一般には三つの座標値(X、Y、Z)を、次式で表される変換式を用いて、二つの座標値(x、y)に変換して表すことが多い。

$$x=X/(X+Y+Z)$$

$$y=Y/(X+Y+Z)$$

この式で得られるx、yの値を光源の色度座標といい、光源の色を定量的に表すものである。

このxy色度座標は光源の色を表すためにもっとも広く用いられているが、改良すべき課題もある。その中でもっとも大きな課題は、xy色度座標上であらわされる2点間の距離の大きさと実際に感じられる色差感覚とが対応しない点である。この課題を解決するため、色度座標上での距離が実際の色度感覚とより良好に対応するような色度座標として定められたものが、CIEuv色度座標である。uv色度座標の値は、三刺激値(X、Y、Z)あるいはxy色度座標から次式によって求められる。

$$u=4X/(X+15Y+3Z)=4x/(-2x+12y+3)$$

$$v=6Y/(X+15Y+3Z)=6y/(-2x+12y+3)$$

上述したように、色度座標を用いることで光源の色を定量的に表すことができる。物体の色についても上述の色度座標を用いて表すことができるが、これらの色度座標には物体の明暗の程度を表す情報は含まれていない。物体の明暗の程度も含めた色差感覚が、空間内の2点間の距離に対応するような均等色空間が、これまでにCIEからいくつか勧告されている。その代表的

なU*V*W*色空間は次式によって求められ、光源の演色評価数を計算する際に活用されている。

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17 \quad 1 \leq Y \leq 100$$

$$U^* = 13W^*(u - u_0)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0)$$

u_0, v_0 は照明光源の色度座標

u, v は照明光源の下での物体の色度座標

2.1.2 色温度、相関色温度

黒体(炭のようなもの)を熱していくと、赤色からオレンジ色、黄色、白色、青白色へと色が変わっていく。この黒体の温度と光の色を対応させ、同じ色に見える黒体の温度で光の色を表す。すなわち、5000Kの黒体の色と同じ色に見える白い光の色温度は5000K、3000Kの黒体と同じ色に見えるオレンジ色の光の色温度は3000Kと表現する。

ただし、光の色は必ずしも黒体放射軌跡上にあるとは限らない。黒体放射軌跡上にない光の色を表すために、相関色温度を用いる。uv色度座標上で、光の色度点から黒体放射軌跡に垂線を下ろし、この垂線と黒体放射軌跡の交点の色温度の値を相関色温度として定義する。

相関色温度を用いる際の課題として、その光の色度座標が、黒体放射軌跡からどの程度はなれているかが表現できない点が挙げられる。すなわち、相関色温度が同じ5000Kであっても、黒体放射軌跡から上方に離れた、色度座標が $(u, v) = (0.2080, 0.3268)$ の光と下方に離れた、色度座標が $(u, v) = (0.2149, 0.3195)$ の光では全く色が異なる。

2.1.3 演色性

2.1.3.1 平均演色評価数(Ra)、特殊演色評価数(Ri)

平均演色評価数は、試料光源の下で8色の試験色の色の見えが、基準光源の下と比較してどれだけ近い色に見えるかを次式によって数値化したもので、最高で100となる。

<計算方法>

- ①8色の各色に対して、試料光、基準光それぞれの下でのU*V*W*を計算する。
- ②試料光と基準光の下での8色の各色のU*V*W*色空間上での距離を計算する。
- ③距離を平均する。
- ④距離の平均を4.6倍し、100から引く。

特殊演色評価数は、試料光源の下で7色の試験色のそれぞれの色の見えが、基準光源の下と比較してどれだけ近い色に見えるかを数値化したもので、最高で100となる。計算方法は、平均演色評価数を求める方法に準じる。ただし、7色の距離を平均せず、それぞれを個別に4.6倍し、100から引く。

$$\Delta E_i = [(U^*_{ki} - U^*_{ri})^2 + (V^*_{ki} - V^*_{ri})^2 + (W^*_{ki} - W^*_{ri})^2]^{1/2}$$

$$\Delta E_a = 1/8 \sum \Delta E_i$$

$$R_a = 100 - 4.6 \Delta E_a$$

$$R_i = 100 - 4.6 \Delta E_i$$

平均演色評価数、特殊演色評価数を用いる際の課題として、試料光源毎に基準光源が異なる点が挙げられる。すなわち、相関色温度が3000Kの試料光源に対しては3000Kの基準光源が設定され、相関色温度が5000Kの試料光源に対しては5000Kの基準光源が設定される。当然、3000Kの基準光源の下と5000Kの基準光源の下とでは色の見えは異なる。したがって、相関色温度が異なる光源間では、演色評価数を直接比較することができない。

また、演色評価数は基準光源の下での色からの単純なずれを示しているに過ぎず、そのずれがより鮮やかな方向にずれているのかよりくすんだ方向にずれているのかは表現できない。

2.1.3.2 色域面積比(Ga)

色域面積比は、光源の下で再現される試験色8色の鮮やかさを示したもので、この数値が大きいほど、色が鮮やかに再現される。

<計算方法>

$$G_a = S_k / S_r$$

Sk: 試料光源下での8角形の面積(U*V*平面上)

Sr: 基準光源下での8角形の面積(U*V*平面上)

色域面積比を用いる際の課題としては、演色評価数と同様、基準光源が試料光源の相関色温度毎に設定されるという点が挙げられる。

(向 健二 松下電器産業)

2.2 視環境評価方法とその課題

視環境の評価としては、CIE/ISO の規格として屋内作業場の照明に関する諸事項が勧告されている。また、照明学会ではオフィスの照明環境に関連する研究調査委員会報告が発行されている。ここでは、それらの規格及び調査研究報告を概説する。

2.2.1 CIE/ISO 規格 屋内作業場の照明

CIE/ISO 規格「屋内作業場の照明」の策定に向けた審議のスタートは、10余年前の CIE 第3部会(屋内環境と照明設計)の技術委員会 TC3.21(CIE/ISO 屋内照明基準)にさかのぼる。長年にわたる技術委員会での審議を経て、2001年5月に正式に CIE S008 国際規格として出版された。2002年7月には、ISO8995国際規格として正式に採択された。ISO8995が採択された後、ISOTC159(人間工学)に関する国際審議団体である日本人間工学会では、日本照明委員会、照明学会、日本電球工業会、日本照明器具工業会など関連学協会の絶大なるご協力を得

てJIS原案作成委員会第3分科会を発足させ、現在、JIS原案「屋内作業場の照明」の作成に取り組んでいる。

CIE/ISO規格「屋内作業場の照明」は、屋内のさまざまな作業場や作業に対して作業者の安全性、健康、心地よさを保ち、効率よく、また快適に視作業ができるための照明要件を定めたものであり、照度だけでなく、不快グレアの程度を表すUGR下限値、光源の平均演色評価数の下限値を定めた照明要件一覧表を示している。

本報告では、CIE/ISO規格「屋内作業場の照明」の概要を紹介する。

2.2.1.1 照明設計基準

照明環境 作業場のために良い照明とは、作業に良好な視認性を提供するだけのものではない。作業が容易に、かつ快適に行なえることが最も重要である。したがって、それぞれの環境に応じて求められる照明は、量と質とを共に満たすものでなければならない。これらを満たすために、照明環境に影響する、輝度分布、照度、グレア、光の指向性、光の色と表面の色彩、昼光、保守などのパラメータに注意を払う必要がある。

(a)輝度分布 視野内の輝度分布は、作業の視認性に影響する眼の順応レベルを左右する。バランスの良い輝度分布は、視力、コントラスト感度、視覚特性を工場させるために必要である。また、輝度が高すぎるとグレアを生じたり、輝度対比が大きすぎるとたえず眼の順応状態が変わり視覚的疲労感を生じることがあるので注意を要する。その反面、輝度が低すぎたり、輝度対比が小さすぎると、単調で刺激のない作業環境となるので、適切な輝度分布が必要である。さらに、建物内のゾーンからゾーンへ移動する場合の順応に対して留意することが望ましい。室内を適切な輝度分布に設定するためには、室内表面の輝度が重要である。主な室内の表面の推奨される反射率は、天井面が0.6～0.9、壁面が0.3～0.8、作業面が0.2～0.6、床面が0.1～0.5の範囲である。

(b)照度 作業領域と作業近傍における照度とその分布は、いかに速く、且つ安全で快適に知覚し、視作業を行えるかを決定する主要因である。本規格で定める照度値は維持照度であり、視作業時の安全性と作業性の要求を満たすものである。後述する作業別の照明要件一覧表に示す値は、水平面、円直面又は傾斜した面における作業領域全体の維持照度である。継続して作業する場所では、維持照度が200[lx]未満にならないようにしなければならない。作業近傍の照度は、作業領域の照度値によって定めるべきであり、視野内で調和のとれた輝度分布になるようにすることが望ましい。作業領域の周辺に急激な照度の変化があると視覚的ストレスや不快感を生じることがある。作業近傍の照度は、表-1に示す照度を下回らないようにすべきである。

表-1 作業領域の照度に対する作業近傍の照度

作業領域の照度 [lx]	作業近傍の照度 [lx]
750以上	500
500	300
300	200
200以下	作業面の照度と同一照度

(c) 均斉度 照度の均斉度は、平均値に対する最小値の比で表す。作業領域はできるだけ一様になるように照明しなければならない。作業領域の照度値の均斉度は0.7以下になってはならない。作業近傍の照度の均斉度は0.5を下回ってはならない。

(d) グレア グレアは視野内の高輝度部によって生じる視覚であり、不快グレア又は減能グレアとして経験されることがある。また、グレアは光沢面での反射によって生じることがあり、光幕反射や反射グレアとして知られている。グレアを抑制することは、作業ミス、疲れ、事故を軽減させるために重要である。減能グレアは、屋外照明によくあるが、比較的暗い屋内のスポットライトや窓のような面積が大きく輝度が高い光源からも生じる。屋内におけるグレアは、一般には輝度が高い照明器具や窓から直接的に生じる。不快グレアが抑制されれば、減能グレアは通常大きな問題とならない。照明設備に対する不快グレアの評価は、CIEUGR(Unified Glare Rating)表によって定める。照明設備のUGR値は後述する種々の室、作業の種類に対する照明要件一覧表に示した値を超えないことが望ましい。UGR目盛は 13,16,19,22,25,28 で、各ステップで不快グレアの程度は異なり、数字が高くなるにつれて、不快グレアの程度が大きくなる。

(e) 光の指向性 指向性のある照明は、物体を際立たせたり、質感を表現したり、空間内の人の見えかたを向上させるために用いられる。これは、モデリングという言葉で表現される。指向性のある照明は、視作業における視認性も向上させる可能性がある。

(f) 光色と演色性 白色に近いランプの色の特性は、ランプ自体の光色とランプによって照明された物の色の見えを左右する演色性に大別できる。

ランプの光色は、相関色温度に応じて通常、表-2 に示すように3グループに分類される。

表-2 相関色温度と色の見え

光 色	相関色温度
暖 色	3300K未満
中間色	3300~5300K
涼 色	5300Kを超える

光色の選択は、心理状態、美的感覚に関わる問題で、自然に見えるように考慮する。その選択は、照度、部屋や家具の色、気候、その室の用途などに依存する。暖かい気候では、一般に涼

しい光色が好まれ、寒い気候では暖かい光色が好まれる。

演色性は、視覚機能にとって重要であり、また、周辺にある物や人の膚などの色が自然に正しく見えて、人々を魅力的、健康的に見せるような方法で快適感や満足感を得るのに重要である。安全色彩は、常に認識でき、明確に識別できなければならない。光源の演色特性を客観的に表わすのに平均演色評価数(Ra)を用いる。Raの最大値は100となる。この値が下がるにつれて演色特性は低下する。Raが80未満のランプは、仕事をしたり、あるいは、長い間滞在する室内では使用しないことが望ましい。室や作業の種類に応じた平均演色評価数の推奨最小値は後述する照明要件一覧表に示す。

(g) 昼光 側窓のある室内では、利用できる昼光は窓からの距離によって急激に減少する。これらの室内では、窓のある壁から3m、横壁から1mの作業面で昼光率が1%以下にならないことが望ましい。作業面の必要照度を確保し、室内の輝度分布をバランスさせるために、補助照明を用いることが望ましい。

(h) 保守 それぞれの作業に対して推奨される照明のレベルは、維持照度で規定される。維持照度はランプの保守特性、照明器具および環境と保守計画に依存する。照明計画は、選ばれた照明器具、空間と特定の保守計画について計算された総合保守率を用いて行われるべきである。保守率の計算値は0.7未満にならないことが望ましい。

(i) エネルギーへの配慮 照明器具は、室や作業の照明用件をエネルギーの無駄なしで満たすことが望ましい。しかし、照明設備の視覚的側面を、エネルギー消費を減らすことで妥協しないようにすることが重要である。このためには、適切な照明システム、照明器具、制御および昼光利用を考慮する必要がある。

(j) VDT作業のための照明 VDTのための照明は、ワークステーションで行われる、VDT画面上と紙面上のものを読む、書く、キーボード操作など、全ての作業に適切でなければならない。このためには、照明器具の選定、照明器具の配置、照明器具の制御を適切することが必要である。設計者は、作業の妨げになる反射を生じないように、その源となる取り付け位置の範囲を決め、適切な照明器具を選び、取り付け位置を決めなければならない。

VDTを操作する場所に使用する照明器具の輝度規制値は、スクリーン表面に反射防止処理が施されている場合には照明器具の平均輝度の制限値を1000cd/m²未満、反射防止処理が施されていないスクリーンの場合には照明器具の平均輝度の制限値を200cd/m²未満に設定することが必要である。

2.2.1.2 照明要件一覧表

CIE/ISO 規格「屋内作業場の照明」では、通常の建物エリア、オフィス、商業施設、ホテル・レストラン、各種工場、教育施設、医療施設など31の主要施設と各施設で行われる作業内容ごとに、平均維持照度、不快グレア規制値、平均演色評価数の最低値を規定している。本稿では、紙面の都合上、一例を表-3に示す。

表-3 照明要件一覧表

室の種類と作業内容	平均維持照度	UGR	Ra (lx)
一般的な建物領域			
玄関ホール	100	22	60
ラウンジ	200	22	80
通路、廊下	100	28	40
階段、エスカレータ、動く歩道	150	25	40
荷積みランプ/ハイ	150	25	40
食堂売店	200	22	80
休憩室	100	22	80
トレーニング室	300	22	80
クローク、化粧室、浴室、トイレ	200	25	80
病室	500	19	80
医療室	500	16	90
機械室/配電盤室	200	25	60
郵便集配室、電話交換室	500	19	80
倉庫、貯蔵室、冷凍倉庫	100	25	60
発送用梱包出荷エリア	300	25	60
制御室	150	22	60
事務所			
書類の整理・複写配布など	300	19	80
文書作成・タイプ・データ処理	500	19	80
製図	750	16	80
CADワークステーション	500	19	80
会議室	300	19	80
受付	300	22	80
書庫	200	25	80

以上、CIE/ISO 規格「屋内作業場の照明」について概説した。本規格は、屋内作業場の照明環境に関する性能規格であって、照明製品自体の特性規格ではないが、ランプメーカーや照明器具メーカーに対して照明環境に関わるランプ特性や照明器具特性を供することを求めている。照明環境に関連する国際規格化の動きは活発化しつつある。国際規格の策定作業にはかなりの期間を要するが、策定段階から積極的に参加できるような体制を整えることが必要である。

(金谷末子 金沢工業大学)

2.2.2 オフィスの照明環境に関する過去の研究

2.2.2.1 オフィス光環境の設計・評価

(社)照明学会 オフィス光環境の設計・評価研究調査委員会(1991 年5月～1993 年3月)の報告書 JIER-026 「オフィス光環境の設計・評価に関する研究調査」の内容についてその概略を紹介する。本報告書では、大まかに、1)オフィス光環境設計の現状、2)オフィス光環境設計・評価の手法、3)オフィス光環境の POE 手法、について述べられており、新規な評価方法ではなく、これまでの手法を有効に活用するための運用に関する提案を行っている。

最初、1)オフィス光環境設計の現状では、オフィス照明の変遷、オフィス照明基準の動向、オフィス設備の現状に関する概観の他、情報化への対応と快適性の重視への大きな流れ、快適性追求と省エネルギーとの調和の重要性を指摘している。

次に、2)オフィス光環境設計・評価の手法では、設計要点を表1の様にまとめ、オフィス照明の平均的レベルとの比較が可能な照明設計チェック・シートを示した。これによって、設計終了時、執務室単位で、譲歩したところや改善すべきところを把握し、一般(平均)との比較で「望ましい」「望ましくない」評価が可能である。

表1 照明設計のチェック項目

	チェック項目		チェック項目
照明要素	照度	意匠上の配慮	天井面の見栄え
	均一性		外観の見栄え
	不快グレア		形状・デザイン
	光膜反射	施工上の配慮	システム化の検討
	演色性		建築上の納まり
	光源の光色	コスト	イニシャル・コスト
	モデリング		ランニング・コスト
	ちらつき	留意点	<ul style="list-style-type: none"> 部屋の条件 ・部屋の大きさ、利用方法、内装、机・椅子の配置 部屋の性質 ・利用者、利用形態、 その他 ・建物全体からの視点
	明るさのコントロール		
照明器具としての機能	用途変更への対応		
	光束		
	配光		
	モジュール		
	他用途との融合		

また、標準的な部屋を想定し、そこでの照明設計及び評価を行い、照明器具の種類、器具取付間隔、灯数、配置等の設計要素が、水平面照度、鉛直面照度、均斉度等に与える影響を系統的に示した。

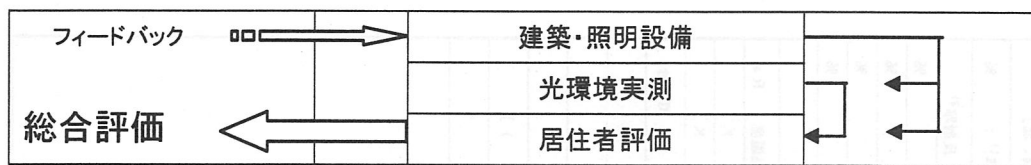


図1 光環境の POE

最後に、3)オフィス光環境の POE 手法において、オフィス環境の快適性向上のため、「計画された居住環境の居住者(個人、集団、組織)に対する動的な効果(機能的、心理的)を検証し、居住者が主体となり実際の場面を対象とし、その環境を常時体験している当事者が評価する」ものとして、POE (居住後評価、Post Occupancy Evaluation)を推奨している。光環境の POE は、建築・照明設備の調査、光環境の実測、居住者の評価の3つから構成される。総合評価は居住者評価であり、その背景には建築・照明設備があり、中間に両者を結び付ける光環境実測がある(図1参照)。それぞれに対して、建築と照明設備の調査シート(図2)、光環境の実測シート(図3)と診断シート(図4)、居住者評価の調査シート(図5)と診断シート(図6)が提供された。診断シートは、問題点の洗い出し、改善策の検討に役立つ。情報化への対応と快適性の重視の視点、及び、照明学会「インテリジェントオフィス視環境特別調査委員会」の調査に基づいて、従来の評価項目の見直しも行っている。

前述のように、本報告書の主題は、新規な評価方法ではなく、これまでの手法を有効に活用するための運用に関する提案である。現在(2004 年春)、これらの提案が光環境設計の現場に受け入れられ定着しているとは言い難い。POE のサイクルは長く、効果が現れるのに時間を要することから意外な結果ではないが、オフィス環境のリフォームや省エネルギーが定着した今こそ、POE が説得力を持つのではないかとと思われる。新しい評価法は、日々開発され提案されているが、その目的は、居住者の視覚特性をより正確に精密に効率良く測定することにある。本報告書の趣旨である運用上の工夫や運用の継続性は、また別の問題であり、その重要性は、もっと指摘されても良いであろう。

ビル名:	所在地:	竣工年月:	年月
部屋の名称:	部屋の位置: [] 階、 窓の向き: [東、西、南、北]		
部屋の用途:	面積: m ² 天井高さ: m 外壁開口率 ¹⁾ : %		
内装材:	(材質)	色 (マンセル記号):	反射率 ²⁾ : %
天井	()	()	()
壁	()	()	()
床	()	()	()
パネリング	()	()	()
机の高さ: m	机の個数: 台	パネリングの高さ: m	
光源: [] 種類	ランプ種類 (型名)	定格電力, 光色, 相関色温度, Ra	
1	()	W; K	
2	()	W; K	
器具タイプ: [天井直付, 天井吊下, その他 ()]	ランプ灯数	灯/台	
器具グレア分類 ³⁾ : [V1, V2, V3, G0, G1, G2, G3]			
安定器タイプ: [電子式, 磁気回路式, 調光形電子式, その他 ()]			
照明器具消費電力 ⁴⁾ : W/台			
照明方式: [直接全照, 半間接全照, 間接全照, タスクライト併用, その他 ()]			
照明器具台数: 台	照明負荷密度 ⁵⁾ : W/m ²		

天井	反射率 (%)
9.5	70.81
9.0	70.06
8.5	69.30
8.0	68.55
7.5	67.80
7.0	67.05
6.5	66.30
6.0	65.55
5.5	64.80
5.0	64.05
4.5	63.30
4.0	62.55
3.5	61.80
3.0	61.05
2.5	60.30
2.0	59.55
1.5	58.80
1.0	58.05

※ 測定値のしめ込め

1) 外装開口率は、(開口面積/天井面積) × (天井高さ) で算出します。
2) 反射率は、右表の天井の反射率より算出することとなります。
3) グレア分類は、「オフィス照明設計の留意点」(社) 日本建築工業協会「照明設計ガイドブック」を参照して記入する。
4) 照明器具消費電力は、器具の定格消費電力 × 器具台数 × 器具の平均電力とする。
5) 照明負荷密度は、(器具消費電力) × 器具台数 / (室内面積) で算出する。

図2 光環境の POE/建築と照明設備の調査シート

部屋の名称:	測定年月日:	天候:
測定高さ: 0.85m () 昼間の長時間: 時 分 ~ 時 分	測定点	昼間 (曇天)
(平面レイアウト測点位置)	1	1x
※ 測定時の注意事項	2	1x
○測定位置は、図面化して机上に 85cm の水平面とする。	3	1x
ただし、机上に照度計を置いて測定してよい。	4	1x
この場合、机の高さを測定値として記録する。	5	1x
○机上でも、机上に照度計を置いて測定してよい。	6	1x
○測定者は任意の姿勢で、ただし片足で立ちかたまりを避ける。	7	1x
○測定中は測定ポイントを移動するは可なり。	8	1x
	9	1x
	10	1x
	平均	1x
	均斉度	1x
	測定点	昼間 (曇天)
	Q1	1x
	Q2	1x
	Q3	1x
	平均	1x
	均斉度	1x
	測定点	夜間
	1	1x
	2	1x
	3	1x
	平均	1x
	均斉度	1x

作業面照度 / 照度均斉度	昼間 (曇天)	夜間
	VDT面	VDT面
	1	1x
	2	1x
	3	1x
	平均	1x
	均斉度	1x

結直照度	昼間 (曇天)	夜間
	VDT面	VDT面
	1	1x
	2	1x
	3	1x
	平均	1x
	均斉度	1x

補足調査) 結直の測定 (視野角):		
測定点	昼間 (曇天)	夜間
作業面の照度	cd/m ²	cd/m ²
天井の照度	cd/m ²	cd/m ²
壁の照度	cd/m ²	cd/m ²
パネリングの照度	cd/m ²	cd/m ²

測定の注意は、図面化で行う。この測定は結直に実施すること、厳密に実施する。
※ 測定時の注意事項
○測定者は任意の姿勢で、ただし片足で立ちかたまりを避ける。その姿勢を記録する。

図3 光環境の POE/光環境の実測シート

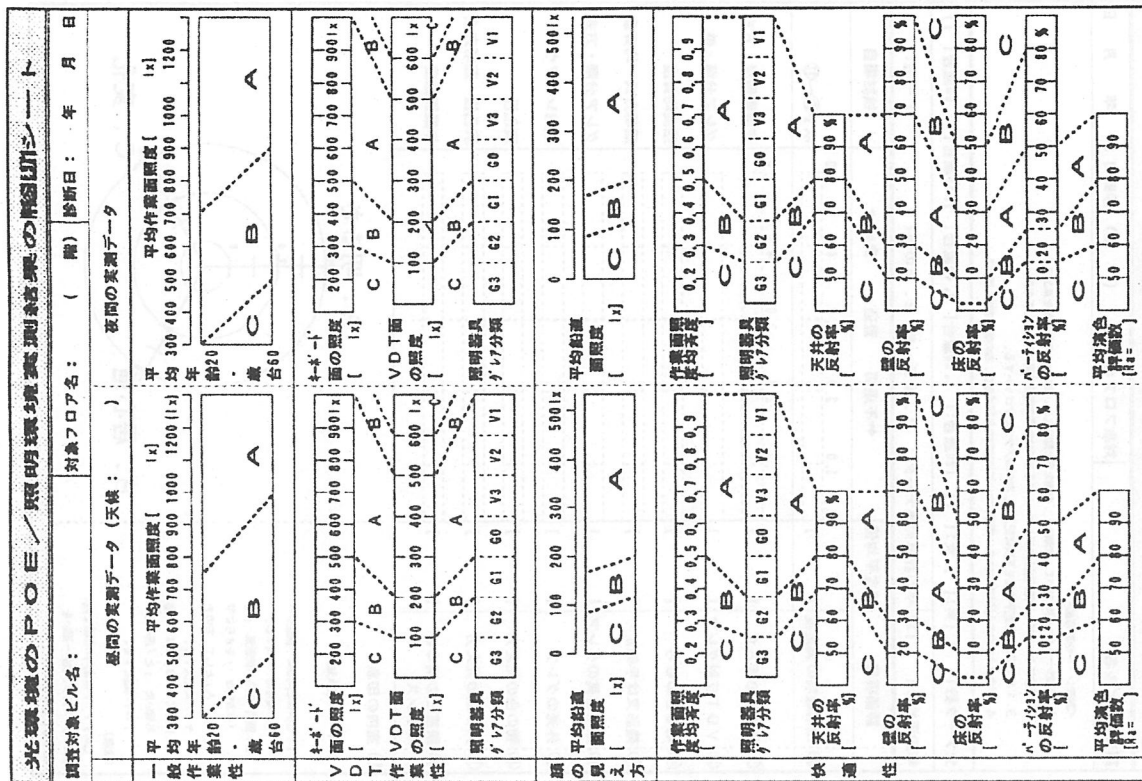


図4 光環境のPOE/光環境の実測診断シート

調査対象ビル名:	調査番号:	調査日:	調査時間:	調査場所:	調査者:
オフィスの居住性を考える際、昼光や照明による光環境は1つの重要な要素であり、このアンケートは現状の光環境を把握と改善方向を探ることを目的として実施します。	記入日: []年[]月[]日 天気: []	記入時間帯: 午前、午後、日没後	性別: []性 年齢: []歳	作業内容: 一般事務、VDVT作業、製図作業、その他 []	
質問項目	評価	備考			
① あなたは現在の照明環境 (全体の雰囲気) に満足していますか。	不満 普通 満足	満足			
② 机上面の明るさについては満足していますか。	不満 普通 どちらともいえない 感じない	満足			
③ OA作業時、ディスプレイ画面上の照明器具の反射 (映り込み) が煩わしいと感じますか。	感じる どちらともいえない 感じない	感じない			
④ 室内全体として、明るさのむらを感じますか。	感じる どちらともいえない 感じない	感じない			
⑤ 作業の妨げとなる陰影又は手陰がりがありますか。	ある どちらともいえない ない	ない			
⑥ 照明器具 (光源) のまぶしさが気になることはありますか。	ある どちらともいえない ない	ない			
⑦ 窓からの外光のまぶしさが気になりますか。	ある どちらともいえない ない	ない			
⑧ 物の色は自然に見えますか。	不自然 どちらともいえない 自然	自然			
⑨ 離れて立っている人の顔の見え方は自然ですか。	不自然 どちらともいえない 自然	自然			
⑩ この室と他の室との明るさの割合は適切ですか。	不適当 どちらともいえない 適切	適切			
⑪ 照明器具、及び室内全体を見渡して、その印象について感じてきたまま回答して下さい。					
暗い雰囲気である	明るい雰囲気である				
閉鎖的な雰囲気である	開放的な雰囲気である				
落ち着かない雰囲気である	落ち着いた雰囲気である				
居心地が悪い	居心地が良い				
単調な雰囲気である	変化に富んだ雰囲気である				

図5 光環境のPOE/居住者評価の調査シート

光環境のPOE／居住者評価の調査診断シート

調査対象ビル名： _____ 対象フロア名： _____ (階) 診断日： _____ 年 月 日

＜対象ビルの概要＞

1. 調査シート①～④について、各階を1～5階まで確認し、各階の平均値を算出する。
2. 場合によっては、5階以上のアンケートにもついでに平均値等を用いて算出しても良い。
3. 1.2.で算出した平均値を下表に記入し、その平均値にプロットする。
4. グラフ上中央の円周線に決まらぬ項目については線分の必要があり、その線分長さを決める。

全データ数 [] (男: [], 女: []) (20歳台: [], 30歳台: [], 40歳台: [], 50歳台: [], 60歳台: [])

年齢平均: [] 歳 平均計算対象データ: 1. 全データ 2. その他 [] データ数: []

評価項目	←不適切 普通 良好→					検討項目
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
① 照明環境の満足度 []						以下②～④
② 机上面の明るさ []						作業面照度・方式
③ VDT反射グレア []						グレア分類・他
④ 明るさのむら []						照度均斉度
⑤ 陰影又は手暗がり []						照明方式・均斉度
⑥ 照明器具のグレア []						グレア分類・方式
⑦ 外光のグレア []						室内レイアウト
⑧ 物の色の見え方 []						演色性
⑨ 人の顔の見え方 []						演色性・照明方式
⑩ 調音との明るさバランス []						作業面照度

⑪ 室内の印象

＜チャートの記入法＞

1. ①～⑩と同様に、調査シートの利用等、平均する。
2. 図例「明るい雰囲気」と「静かな雰囲気」をさらに平均、「A」として、そのチャートに記入する。
3. 同様に、「B」には、「静かな雰囲気」と「居心地」の平均値とする。

(注意)
このチャートは室内の印象を表現するための図であり、図例を参考に判断することはありません。

図6 光環境のPOE／居住者評価の調査診断シート

(舟川政美 日産自動車)

2.2.2.2 タスク・アンビエント照明システム

タスク・アンビエント照明は、かつては省エネルギーの観点から最も注目されたオフィス照明手法の一つである。今日では、間接・半間接照明による建築化照明手法の多様化、オフィス環境のパーソナル化とアメニティー性の向上によって、ユニバーサルデザインの観点からも評価を得ている。しかし、長い歴史を有し、広くその内容が知られているにもかかわらず、未だタスク・アンビエント照明システムに関する、適切な設計基準やマニュアルの整備が十分に行われているとは言いがたい。

そこで1993年10月、照明学会では「タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会」が設立され、「タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会報告書」(1995)が提出された。

ここでは、初めに、わが国の照明学会や北米照明学会の基準、および英語辞典などをもとに調査し、タスク・アンビエント照明システムについての用語を次のように定義している。

(1)タスク・アンビエント照明システム

作業を行う領域には所要の照度を与え、その周辺領域には、これより低い照度を与える照明方式。

(2)タスク照明(タスクライティング)

ビジュアルタスク(視作業対象)のための照度を供給するため、特定の面や領域に向ける照明。

(3)アンビエント照明(アンビエントライティング)

全般照度を生むビジュアルタスクが行われる領域全体の照明。

また同報告書では、タスク・アンビエント照明システムを用いた国内外のオフィスビルの実態調査結果を示すとともに、同委員会委員の所属オフィスにおいて作業者在席率を調査して、「平均座席率 50%」という結果を導き出した。これらをもとに、照明設備電力の試算モデルを示し、タスク・アンビエント照明システムの一次的な高い省エネルギー効果と、二次的な地球環境保全への効果について述べている。また、これらの結果を踏まえて、タスク・アンビエント照明システムの設計基準について、次のように提案している。

(1)タスク・アンビエント照明システム導入の検討が望ましいオフィス

- ・執務者個々の作業(仕事)の独立性が高い
- ・執務者一人当たりの占有面積が大きい
- ・高いタスク照度(1000 lx 以上など)を必要とする
- ・ビジネスアワーの在席率が低い
- ・フレックスタイムを採用
- ・24時間対応

(2)照明方式

- ・タスク照明;直接照明
- ・アンビエント照明;直接・半直接照明方式

(3) 照度

- ・アンビエント照度;250~600 lx
- ・タスク照度(作業域(机上面)の平均タスク照度(アンビエント照度+タスク照度));
照明学会オフィス照明基準に従う(執務 500,750,1500 lx)
- ・照度の均斉度;平均タスク照度/平均アンビエント照度=2/1 以内(思考的作業を除く)、
作業域の最低照度/最大照度=0.6 以上
- ・鉛直面照度;顔面 150 lx 以上、壁 100 lx 以上(反射率 50%の場合)

(4) パーティション

- ・反射率;低すぎない
- ・高さ;1100~1200mm、1300mm 以上

(5) 照明器具

- ・アンビエント照明;蛍光灯器具、固定式、高演色、高効率、調光可能
- ・タスク照明;可動式、高演色、高周波点灯方式、グレア制御

(6) その他

- ・照明の制御;タスク照明・アンビエント照明ともに在席センサーにより制御可能
- ・窓の輝度コントロール;室内最大輝度比 1/10 程度
- ・昼光;アトリウム、ボイド、ライトシェルフなどにより拡散光を積極的に利用、調光可能

(7) チェックリスト

- タスク照明器具のランプが直接執務者から見え、光が作業域に十分拡散され、安定期の騒音が少ないか
- 安定器と照明器具からの熱放射が少ないか
- 光膜反射が強くないか
- 作業領域と周辺の輝度対比が適切な範囲に入っているか
- 照明器具は清掃と保守(ランプ、安定器の交換など)が容易か
- タスク照明器具は少々の振動ではガタつかないか
- タスク照明器具への電源供給が容易か

報告書が提出された当時、わが国には高齢者や障害者を対象としたデザイン概念はあまり浸透していなかった。1990年に米国において「障害をもつアメリカ人法(ADA:障害者の差別禁止法)」が施行されて後、1994年にわが国でも「ハートビル法」が施行され、続いて1995年にロン・メイス(米国)によって「ユニバーサルデザインの7原則」が発表された頃であった。報告書では、タスク・アンビエント照明システムの照明設備電力削減効果が検討の主題であり、高齢者や障害

者を対象とした多様なニーズへの積極的活用や、照明環境のユニバーサルデザイン化へ適用については、一切触れられていない。今後、さらにこれらの観点からタスク・アンビエント照明システムについて検討を加え、設計基準やマニュアルの整備を行う必要があるといえよう。

(岩田三千子 摂南大学)

2.2.2.3 オフィス照明の質的評価

照明学会の調査研究委員会として1998年度から2年間活動した「オフィス照明の質的評価研究調査委員会」の取り組みの概要を以下に紹介する。

この委員会は、質的レベルの高いオフィス照明を実現しようとする市場の気運を受けて、オフィス照明の質とは何か？というテーマに取り組んだもので、これまでの議論や考え方を整理して委員会からの提言をまとめるという側面と、新たにオフィス照明の質的評価に関連したデータ収集を行なうという側面から、オフィス照明の質にアプローチしている。

① 委員会からの提言

1998年CIEシンポジウム「照明の質」の講演集を取り上げ、基調講演を読み解き、3つのカテゴリーに分けて委員会としての提言をまとめている。

I. 「照明の質」を評価する主体と文脈に関連した提言

「照明の質」は、オフィス照明に限定したとしても、照明に対する関心や照明に関わる立場により、評価の視点(文脈)が明らかに異なる。このため、「照明の質」とは、誰かがある文脈で行なった照明環境の評価であると指摘し、『視点の違い、その結果生じる評価の差を無視して「照明の質」は語れない。』と提言している。

II. 「照明の質」を考える範囲をどのように設定するかという問題に関連した提言

「照明の質」を評価しようとする、光の量、光の属性、光の方向性、点灯パターン、照明による雰囲気、調光の有無、昼光利用の有無、コストなど多くのことを考慮する必要があり、『「照明の質」を考えるには、誰もが納得する定義をすることは難しいことから、少なくとも考えている要因の範囲を明示することが不可欠である。』と提言している。

III. 質の高い照明環境を実現するための手段についての提言

質の高い照明環境を実現するためには、『照明の果たす役割を明確にし空間設計のプロセスに照明設計を組み入れることと、照明環境の質的レベルの高さを客観的に評価する方法を示すことが必要である』と提言している。

② オフィス照明の質に関する調査

I. オフィス照明の意識に関する面接調査

立場の相違により視点や質に対する理解に違いがあるかを、一般のオフィスワーカー、照

明デザイナー、照明エンジニアら 55 名を対象に面接調査を実施している。この調査により、オフィスワーカーは、認識している事項が少ないため、デザイナーやエンジニアとの乖離があったこと、デザイナーとエンジニアは、「デザイン」「雰囲気」といった、これまで設計の舞台に上がってこなかった認識により分かれていることなどを確認している(図1)。

II. オフィス照明の質的評価のためのアンケート調査

オフィス照明を構成する側面の重要度を定量化するために、コンジョイント分析により、あらかじめ設定したオフィス照明を構成する要因について、被験者 229 名(男性 161 名、女性 68 名)にアンケート調査を実施した。

その結果、図2に示すように、照度やグレアのような照明の性能を示す属性が、他の属性に比べオフィスを評価する際に重視されることや、図3に示すように、被験者の部分効用値を算出して評価属性の重み付けを示した。さらに、オフィス照明の質的レベルの高さを判断する一つの目安として図4に示す「オフィス照明の質の評価式」を提案した。

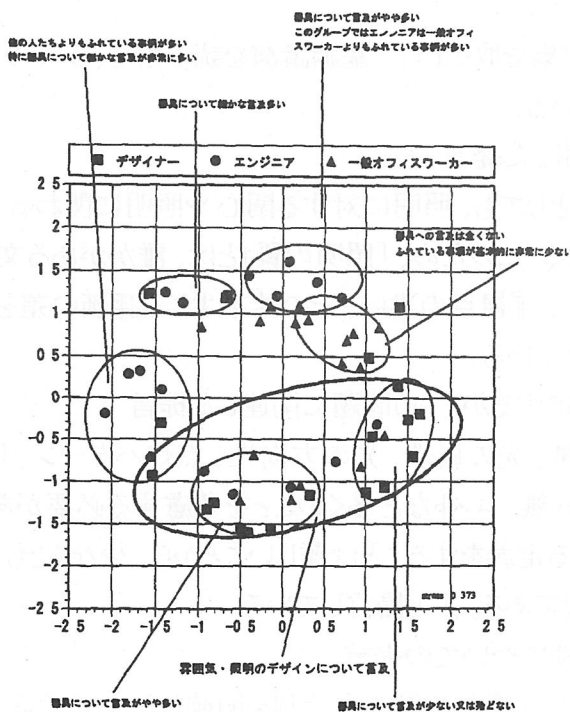


図1. 被験者間差異と属性間差異

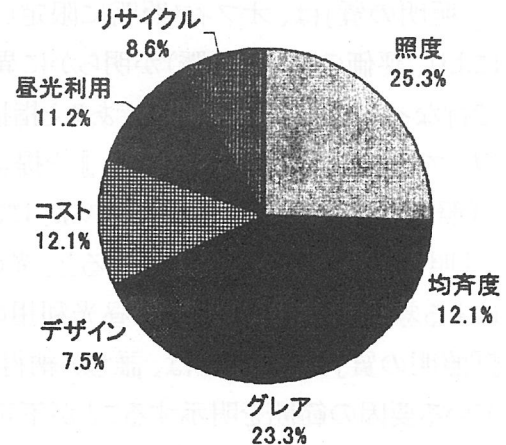


図2. 属性重要度

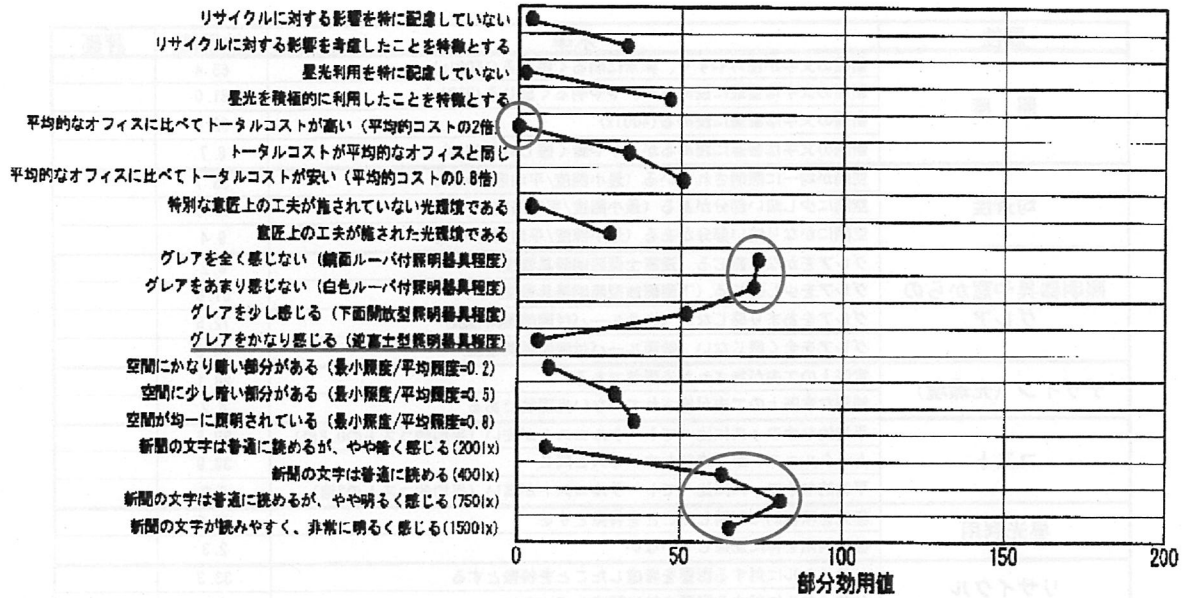


図3. 部分効用値

属性	水準	効用値	評価
照 度	新聞の文字が読みやすく、非常に明るく感じる(1500lx)	65.4	
	新聞の文字は普通に読めるが、やや明るく感じる(750lx)	81.0	
	新聞の文字は普通に読める(400lx)	62.8	
	新聞の文字は普通に読めるが、やや暗く感じる(200lx)	8.7	
均 斉 度	空間が均一に照明されている(最小照度/平均照度=0.8)	35.7	
	空間に少し暗い部分がある(最小照度/平均照度=0.5)	29.5	
	空間にかなり暗い部分がある(最小照度/平均照度=0.2)	9.4	
照明器具や窓からの グレア	グレアをかなり感じる(逆富士型照明器具程度)	6.2	
	グレアを少し感じる(下面開放型照明器具程度)	51.8	
	グレアをあまり感じない(白色ルーバ付照明器具程度)	72.5	
	グレアを全く感じない(鏡面ルーバ付照明器具程度)	74.0	
デザイン(光環境)	意匠上の工夫が施された光環境である	28.1	
	特別な意匠上の工夫が施されていない光環境である	4.2	
コ ス ト	平均的なオフィスに比べてトータルコストが安い(平均的コストの0.8倍)	50.6	
	トータルコストが平均的なオフィスと同じ	33.9	
	平均的なオフィスに比べてトータルコストが高い(平均的コストの2倍)	0.0	
昼光利用	昼光を積極的に利用したことを特徴とする	46.6	
	昼光利用を特に配慮していない	2.3	
リサイクル	リサイクルに対する影響を考慮したことを特徴とする	33.3	
	リサイクルに対する影響を特に配慮していない	4.0	
光幕反射	映り込みはない。	63.4	
	映り込みがある。	0.0	
明るさのコントロール	明るさを自由に調節できる。	46.4	
	明るさの調節はできない。	0.0	
モデリング	人物の顔の見え方がよい。	46.3	
	特によいわけではない。	0.0	
演色性	対象物の色見え方がよい。	44.7	
	特によいわけではない。	0.0	
居心地	部屋が居心地の良さそうな雰囲気である。	43.1	
	特に居心地が良さそうというわけではない。	0.0	
システム化の検討	システム天井を用いている。	40.7	
	システム天井ではない。	0.0	
用途変更への対応	ランプの増設やルーバ等が変更しやすい	40.6	
	特に変更しやすいわけではない。	0.0	
省エネルギー	省エネルギーを配慮している。	38.7	
	特に配慮していない。	0.0	
天井伏せ	天井面の見栄えがよい。	38.6	
	特によいわけではない。	0.0	
長寿命	長寿命な照明器具、光源等を使用している。	37.0	
	特にそのような器具等を使用していない。	0.0	
明るさ感	部屋の雰囲気が明るい。	36.7	
	特に明るいわけではない。	0.0	
他用途との融合	照明器具が空調設備と一体となっている。	36.4	
	一体とはなっていない。	0.0	
落ち着き	部屋の雰囲気が落ち着いている。	34.4	
	特に落ち着いているわけではない。	0.0	
建築上の納まり	建築上の納まりがよい	34.1	
	特によいわけではない。	0.0	
外観からの見栄え	外から見た場合の照明の見栄えがよい。	33.8	
	特によいわけではない。	0.0	
開放感	部屋の雰囲気が開放的である。	32.9	
	特に開放的であるわけではない。	0.0	
形状、デザイン	照明器具が美しい。	31.5	
	特に美しいわけではない。	0.0	

図4. オフィス照明の質の評価式

(江湖俊介 岩崎電気)

2.3 視覚色覚研究に基づく評価方法と課題

2.3.1 基本色の認識と反対色の知覚

色を定量的に取り扱う場合、測色値である三刺激値(X 、 Y 、 Z)を用いることが多い。今、ある光の分光放射輝度を $L_e(\lambda)$ とすると、三刺激値はそれぞれ

$$X = Km \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad Y = Km \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad Z = Km \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

で求まる。ここで Km は最大視感度 (683 [lm/W])、 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ は等色関数と呼ばれている。三刺激値が等しければ、光の物理的な分光組成にかかわらず、人間には同じ色に見える。しかし、ある三刺激値 (X 、 Y 、 Z) だけが与えられても、それが実際にどのような色として見えるかは同定できない。例えば、物理的に同じ中心パッチが、暗い周辺光に囲まれると明るく輝いて見えるのに対し、明るい周辺光に囲まれると暗く見える。これは「対比現象」あるいは「色の見えのモードの問題」と呼ばれており、測色値だけで色の見えを規定することができない要因の1つである。他にも、眼の順応や恒常性、個人差や加齢変化が、色の見えの定式化を困難にさせている。

色覚メカニズムは段階的であり、機能的には錐体レベル、反対色 (赤・緑・黄・青) の知覚レベル、色名の認識レベルに分けることができる。これまでの生理学的研究から、錐体レベルは網膜、反対色の知覚レベルは網膜から外側膝状体及び視覚皮質 V1 (第1次視覚野) から V4 (第4次視覚野) 付近まで、色名の認識レベルは V1~V4 及び IT 野 (Inferior Temporal: 下側頭皮質) に対応すると推定されている。例えば生理学的研究において、サルの IT 野で特定の色度領域の色光にのみ応答する細胞が発見されており、特定の色カテゴリー (色範疇) を認識するメカニズムが脳内に存在することが示唆されている。

ところで、誰もが日常的に用いる一般的な色名を「基本色名」と呼び、日本を含む文明国では最低でも 11 の基本色名 (赤、緑、黄、青、紫、橙、桃、茶、白、灰、黒) が存在すると考えられている。連続的にスペクトルが並んでいる虹は、本来無限種類の色が連続して配置されているように知覚されるはずだが、通常わずか7色以下の帯に分断されて見えるのも、我々に色をカテゴリー化して知覚する働きが備わっているからである。そこで今回は、色応答を測定し、色名の認識レベルにおいて色情報は 11 次元の応答に帰着された上で選択される (すなわち「認識」される) と仮定し、測色値から反対色応答、最終的に基本色名の応答が予測できるモデルを図1に示す。本モデルは、左側の反対色応答の入力分布によって、色名応答が決定されるというモデル構造を有する。反対色成分がAND素子で積算 (\times) され、係数 K_i (i =橙、紫、桃、茶、灰) がゲインとして乗じられる。「彩度」は4つの反対色成分の和、「MAX有彩色」は有彩色のうち応答が最大の色名、「MAX無彩色」は無彩色のうち応答が最大の色名を示し、最終的にどちらが選択されるかは「彩度」の量で決定される。

このモデルをコンピュータ内に構築し、6個の定数 ($K_{\text{橙}}$ 、 $K_{\text{紫}}$ 、 $K_{\text{桃}}$ 、 $K_{\text{茶}}$ 、 $K_{\text{灰}}$ 、閾値) を未知数として、予測結果の正当率 (実験結果と一致する割合) が最も高くなる定数の値を繰り返し計

算で求めた結果、被験者KOで 97.0%、被験者GHFでも 92.7%の高い正答率で予測できた。その時の各定数の値を表1に示す。

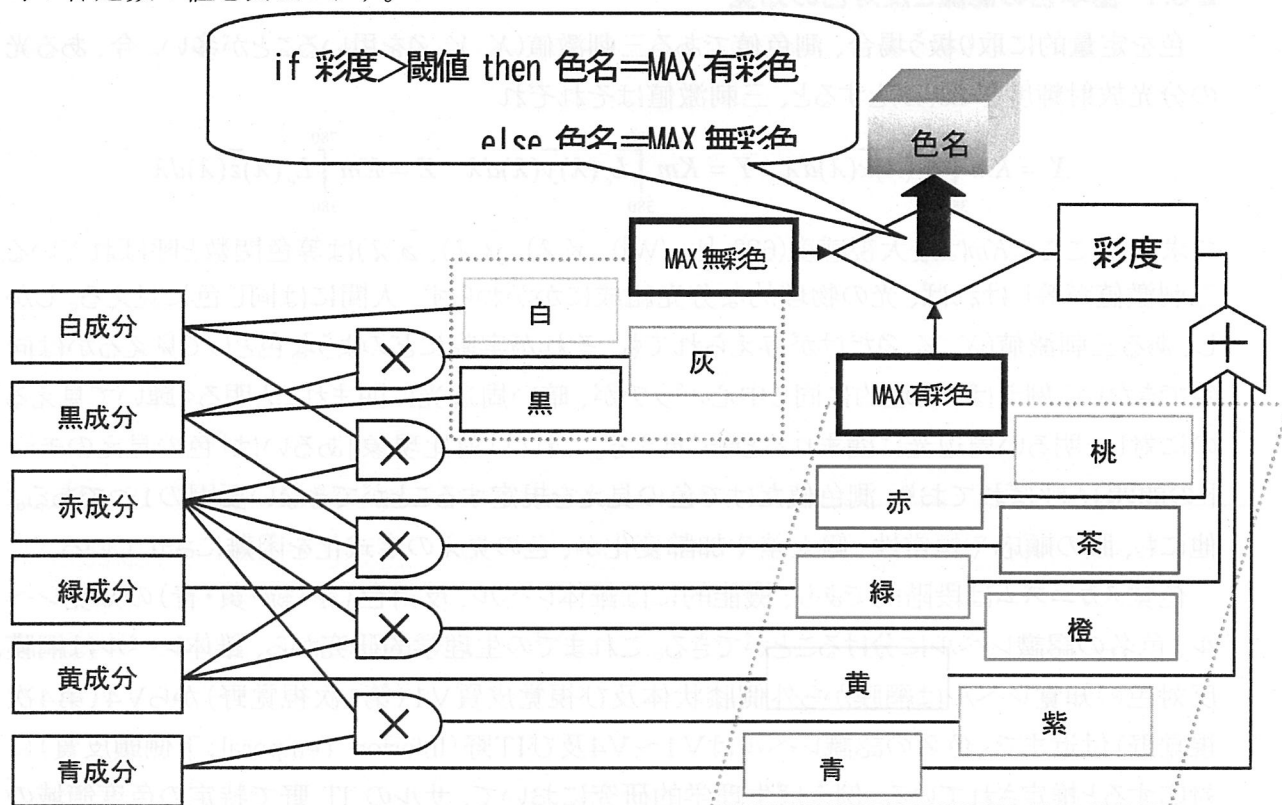


図4 色認識のネットワークモデル

表1 モデルの係数

被験者	$K_{橙}$	$K_{紫}$	$K_{桃}$	$K_{茶}$	$K_{灰}$	閾値
KO	1.0	1.0	2.0	2.5	1.0	1.0
GHF	1.3	1.3	1.9	2.5	1.7	1.0

両被験者間で定数値に若干の違いが見られるが、これは実験結果の個人差(各色応答の分布の違い)を定量的に表すものであり、これらの定数の違いだけでカテゴリーカル・カラーネーミング実験の結果の個人差を説明できることを意味している(実際にはエレメンタル・カラースケーリングの結果にも個人差があるので、両方の個人差の影響を含んでいる)。色応答の個人差を、具体的に数値化して比較・検討できるのも本モデルの特徴の1つである。

本モデルの最大の特徴は、色光が光源色モードか物体色モードかにかかわらず、すなわち黒応答の有無や量の違いに依らず、基本色名の応答結果を1つのメカニズムで説明できる点にある。また、光源色モードと物体色モードにおける色の見えを統一的に説明できる「非線形色認識モデル」としての高い汎用性と、錐体の応答から系統的に色の認識を説明できる簡潔性を有

している。

錐体は、長波長域で感度が高いL錐体、中波長域で感度が高いM錐体、短波長域で感度が高いS錐体の3種類が存在し、光の波長情報を3種のスカラー量(L、M、S)に変換する。すなわち、錐体の分光感度を(\bar{l} 、 \bar{m} 、 \bar{s})とすると、

$$L = \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{l}(\lambda) d\lambda \quad M = \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{m}(\lambda) d\lambda \quad S = \int_{380}^{780} L_e(\lambda) \bar{s}(\lambda) d\lambda$$

で決定される。さらに次段の反対色の知覚レベルでは、赤／緑、黄／青、白／黒の6次元の信号に変換される。詳細は省くが、赤緑黄青の各応答量は $\alpha_r, \beta_r, \gamma_r$ ($i = r, g, y, b$)を定数として、

$$\text{赤応答} \propto \alpha_r L - \beta_r M + \gamma_r S$$

$$\text{緑応答} \propto \alpha_g M - \beta_g L - \gamma_g S$$

$$\text{黄応答} \propto \alpha_y L - \beta_y M - \gamma_y S$$

$$\text{青応答} \propto \alpha_b M - \beta_b L + \gamma_b S$$

というL、M、Sの和で説明できることが示されている(ただし、緑応答以外は非線形性を示すことが示唆されている)。白黒応答、特に黒応答については未だ不明な点が多く、今回残念ながら定式化には至っていないが、これらの反対色成分の応答がすべて定式化されれば、モデルを用いて錐体応答から最終的な色名同定が実現可能となる。

最近の研究から、眼光学系の顕著な加齢変化が存在するにもかかわらず、基本色名の認識特性には年齢による顕著な違いが見られないことが示されている。このことは、反対色の知覚メカニズムならびに基本色名の認識メカニズムに、眼光学系の加齢変化を補償する働きがあることを示唆しており、興味深い。すなわち、色覚の神経ネットワークは、加齢による眼の老化の影響を適時補正し、高齢になっても若いときと同じ色が見えるように適応変化してくれているのである。具体的には、黄応答と青応答の係数である($\alpha_y, \beta_y, \gamma_y$)と($\alpha_b, \beta_b, \gamma_b$)が、年齢とともに変化すると考えられる。しかし、その補償作用は完全ではなく、系統的な差が存在することも示唆されている。

今回紹介したモデルは、比較的シンプルな積算回路を有するネットワークモデルであるが、光源色モードや物体色モード等の見えのモードにかかわらず、1つのモデル(パラメータ)だけで基本色名の応答を反対色応答から統一的に精度良く予測できる。本モデルは、色覚の段階的に基づくだけでなく、色見えを予測するための計算ツールとしての応用性も高い。さらに本モデルを、照明光の影響を考慮した色順応モデルと統合することによって、測色値からその基本色の応答までを一貫して予測できる、適用範囲の広い色覚モデルが構築可能である。

参考文献

- ・岡嶋克典：日本色彩学会誌、**24**、51-57 (2000).
- ・K. Okajima et al., Color Research and Application, **27**, 225-232 (2002).
- ・K. Okajima and M. Takase, Optical Review, **8**, 64-70 (2001).
- ・K. Okajima et al., Proc. 8th Congress of the Int. Colour Association, 203-206 (1997).
- ・K. Okajima et al., Proc. 9th Congress of the Int. Colour Association, 259-262 (2002).

(岡嶋克典 横浜国立大学)

2.3.2 視覚・色覚に関する過去の研究

2.3.2.1 種々の照明環境における色の認識特性

[1] はじめに

色の見え方と照明は密接な関係にある。同じ物体表面であっても照明の分光分布や照度が異なれば、一般に色は異なって見える。このような照明の影響を評価するために、光源の演色性や照度に応じた明るさ変化などが定量的に調べられてきた。ただし、従来の色の評価は、色の見えを連続的な変化として捉えたものがほとんどである。確かに、色の見えは色空間上で連続的に変化する。しかし、色空間上で適当な間隔において色を選択した場合、それらの色は量的な違いのみならず、明確に区別可能なカテゴリーに属する色として認識される。赤、黄、緑、青などの色名で表わされる色の認識はその典型である。つまり色の見えは連続的に変化する性質とカテゴリーに区分される性質を合わせもっている。

この色のカテゴリー性は、色を情報として用いるときに重要な意味をもつ。様々なサインや分類の色コード、画像メディアによる情報伝達など、色彩情報の有効性は、色が明確なカテゴリーとして同定できること、あるいは分離できることに依存しているからである。明るい環境で容易に識別できた色が薄暗い環境では、見分けがつかなくなったり、別の色に誤認されたりすることもある。色による確実な情報の伝達を実現するためには、照明環境に応じたカテゴリーカル色認識の特性を理解することが重要となる。さらに、色のカテゴリー性を用いることによって、新しい照明評価手法や色彩環境の分析法の開発が実現されることも期待される。

照明学会では、照明環境とカテゴリーカル色認識の特性に関する研究の調査と測定データの検討を行い、その基礎から応用に至る最新の知見を整理することを目的として「種々の照明環境における色の認識特性研究調査委員会(以下、色認識委員会)」(平成10年4月～平成12年3月)を設置し、検討を重ねてきた。その活動成果は、研究調査委員会報告書「照明環境とカテゴリーカル色認識－基礎から応用へ－」(平成13年3月発行)としてまとめられている。本稿では、色認識委員会の概要を説明し、後半では照度レベルに応じた色同定の実験データを紹介することにする。

[2] 種々の照明環境における色の認識特性

照明学会研究調査委員会

[2.1] 委員構成

委員長 石田泰一郎 (京都大学)
幹事 清水正則 (松下電器産業(株))
委員 芦澤昌子 (青葉学園短期大学)
阿山みよし (宇都宮大学)
岡嶋克典 (防衛大学校)
栗木一郎 (東京工業大学)
小林信治 ((財)日本色彩研究所)
阪口敏彦 (松下電工(株))
佐川 賢 (生命工学工業技術研究所)
矢口博久 (千葉大学)
小島浩之 (東芝ライテック(株))
(所属は委員会設置時)

[2.2] 活動概要

色認識委員会では、色を専門とする委員の参加を得て、毎回活発な意見交換が行われた。平成10年度に3回、平成11年度に3回の委員会を開き、平成11年4月には公開研究会「照明環境とカテゴリカル色知覚 — 基礎から応用へ」(主催:照明学会視覚専門部会)を開催した。委員会では関連研究の調査やデータの検討に加えて、それぞれの委員が進めている色カテゴリーに関する最新研究の紹介と討議を行った。

[2.3] 報告書概要

色認識委員会の報告書¹⁾は以下の各章より構成されており、その内容は委員会での議論に基づいて、カテゴリカル色認識の基礎的な解説、照明環境や観察条件に応じた色カテゴリーの実験データ、カテゴリカル色認識のモデルの提案と分析、さらにカテゴリカル色認識特性の応用とその将来展望についてまとめられている。

第1章「カテゴリカル色認識の基礎研究」では、Berlin&Kayによって提唱された基本色名(Basic color terms)に関する文化人類学的研究、心理学的研究、生理学的研究、さらに計算論的研究を概観し、カテゴリカル色認識とはどのようなものであるのか解説した。

第2章「照明環境とカテゴリカル色認識特性の研究」では、カテゴリカル色認識の特性を測定した研究を調査し、測定方法や観察条件をまとめた。さらに、照度レベル、視野位置、光源の分光分布、観察者の年齢などに応じたカテゴリカル色認識の最新の研究を紹介した。

第3章「カテゴリカル色認識のモデル」では、カテゴリカル色認識と色知覚モデルとの関連が検討されている。具体的には、カラーアピランスモデル CIECAM97s の空間上でカテゴリカル色認識の領域を評価した研究、反対色応答量からカテゴリカル色認識を導き出す計算モデルを開発した研究が紹介されている。

第4章「カテゴリカル色認識の照明・色彩工学への応用」では、カテゴリカル色認識を光源の開発や色彩工学に応用した研究の紹介と将来の展望を述べている。交通照明などへの応用が期待されるカテゴリカル色認識を維持する高効率ランプの開発、あるいは色カテゴリーを照明の演色性の評価基準としたカテゴリカルカラーレンダリングについての研究が紹介されている。

次節では、これらの研究の中から、明所視から薄明視の照度レベルにおける色の同定に関する研究について紹介する。

[3] 照度レベルに応じた色の同定特性の測定

物体表面の色の見えに大きく影響する照明の変数は照度である。この色の見えの変化は、光環境の変化に伴って視覚系の光受容システムが錐体系から桿体系へ移行することに起因する現象であり、人間の色覚特性に関わる問題である。ところで、色彩情報は色を一種の記号として利用するものであり、微妙な色の見えの違いよりも、色がどのカテゴリーに属するのか、つまり何色として同定されるのかという性質が重要になる。そこで、色彩情報の基礎データ構築を目的として、照度に応じた色同定特性を測定した。

この研究²⁾は、明所視から薄明視に及ぶ照度レベルにおいて、色空間から系統的に選択した色票の色の同定を調べたものである。色の同定は、被験者が提示された色票に対して、あらかじめ指定された13の色名(赤, オレンジ, 黄, 黄緑, 緑, 青緑, 青, 紫, ピンク, 茶, 白, 黒)の中からひとつの色名を与える方法によって行った。使用する色票は、マンセル色票の明度(バリュー) $V=4, 6, 8$ の平面から選択した計156枚である。照度レベルは1000, 10, 1, 0.1 lx の4段階を設定した。光源は高演色性の昼白色蛍光ランプである。色票は30×36 cmの灰色($N=5$)を背景として、3×3 cmの大きさで呈示される。観察距離は約70 cmである。色名の回答に加えて、その回答時間も記録した。実験に参加した被験者は15人である。

図1に実験結果(照度1000 lx, 1 lx)を示す。縦方向に照度条件、横方向に明度条件をとって結果を配列している。それぞれのパネルは $V=4, 6, 8$ のマンセル色平面を表し、○が使用した色票の位置である。各色票の結果は15人の被験者による計30回の判断をすべて集計したものである。○の中の文字記号は、その色票に対する最多回答を示している。例えば、「R」と記してあれば、その色票には「赤」という色名が最も多く与えられたことを示している。(何も記されていない○は、回答同数のため最多回答色名を決定できなかった場合である。)次に、○が色で塗りつぶされている場合は、その色名回答が50%より高い一致度で与えられたことを示している。さらに○が太線で記されている場合、その色名が90%以上の試行において一致していたことを表

している。

結果を見ると、明所視の 1000 lx では、色名領域が高い一致度をもって形成されていることが分かる。この実験の主要な関心は、明所視における色同定の特性が照度の低下に伴ってどのように変化するか確かめることである。グラフは省略しているが、10 lx では、色同定にそれほど顕著な変化は見られない。しかし回答の一致度には低下が見られ、すでに色の見えが劣化している。1 lx になると、色の同定特性には明らかな変化が現れている。特に目立つ変化は、緑の領域への青の進出であり、この照度では緑と青は互いに誤認される危険性がある。また、ピンクとオレンジの置き換えも発生している。0.1 lx では、色同定の一致度はさらに低下しており、もはや色彩情報が機能する環境ではない。このレベルでは、緑色の領域は青の回答でほぼ完全に置き換えられている。

[4] まとめ

色のカテゴリー性は古くて新しいテーマといえる。特に近年はその応用やデータベース構築を目指した研究が盛んになってきている。色認識委員会では、色カテゴリーの研究とその応用について最新の動向を検討してきた。さらに、CIE 第1部会は 2000 年に Rochester(米国)の会議で TC1-61 "Categorical Colour Identification" を設置した。TC の目的は「明所視と薄明視の照明レベルにおける色カテゴリーマップを記述する」ことである。これまでに色カテゴリーの実験データの検討、既往研究のリストアップ、色カテゴリーデータの記述方法などについて討論を行ってきた。将来的には、このようなデータを統合し、照明環境に応じたカテゴリーカル色認識特性のデータベースの構築やモデルの開発が望まれるところである。色を連続量としてではなく離散的な性質をもつものとして捉えるカテゴリーカル色認識の考え方は、照明工学や色彩工学、さらに色によるコミュニケーションといった分野に新しい展開をもたらす可能性を有していると言えるだろう。

参考文献

1) 「照明環境とカテゴリーカル色認識 —基礎から応用へ—」, 照明学会, 種々の照明環境における色の認識特性研究調査委員会報告, 2001

2) Ishida, T.: Color Res. Appli, 27(4), pp.252-259, 2002

(石田泰一郎 京都大)

2.3.2.2 視覚特性の年齢効果

水晶体は、加齢とともに弾力性の低下、硬化、毛様体筋の弱体化が生じ、調節力低下によっていわゆる老眼となる。また、加齢に伴う水晶体の濃度増加(厚の増大、不透明化(蛋白分子の凝集))により、透過率が減少し、網膜に到達する光量(網膜照度)が低下する。したがって、同じ照明光でも若年者より高齢者の方が暗く感じられると予想される。また、分光透過率の変化(黄色化・褐色化)も生じ、短波長光ほど透過率が大きく減少する。これにより、色の見えの変化が予想されるが、実際は加齢による色の見えの大きな変化はないことが実験的に示されている。この青色光の透過率減少は、紫外線フィルタの役割も担っており、有害な紫外線から網膜を保護することにも役立っているという説もある。また、健常者であっても、水晶体の加齢変化には個人差が大きい。

高齢者では、老人性縮瞳(senile miosis)が生じ、明所で直径2mm(若年者は4~5mm、新生児も2mm)程度しか瞳孔が開かなくなる。これは、瞳孔散大筋の萎縮、瞳孔括約筋下の硝子様物質の沈着、対光反応に関与する網膜視細胞の減少が原因と考えられており、そのため若年者に比べて特に低照度下で網膜照度が低下する。また、対光反射も劣化し、照度変動に対する追従が悪くなることから、急激な明るさ変化に対応しにくくなる傾向も現れる。これは、自律神経系の機能低下、脳内情報処理の反応遅延、虹彩自体の加齢変化が原因と考えられている。瞳孔径の加齢変化も個人差が大きい。

網膜内の細胞数は加齢とともに減少し、解像度低下、感度低下が生じる。網膜上の視細胞の1種、明所で働く錐体は、加齢とともに形状が変化(短くなり方向が無秩序科)し、視物質濃度が減少することによって、感度低下やノイズの増大が生じ、結果的に絶対閾の増大や分解能の劣化が起こる。錐体の感度は、10年間で約0.13 log 減少し、もしこの錐体感度の影響が、最適照明の決定にも影響を及ぼしているとするならば、22歳に対して70歳の人の錐体感度は $-0.624\log$ 、すなわち0.238倍に低下することになるが、実際の照度評価に影響している可能性は今のところ少ない。また、もう1種の視細胞、暗所で働く杆体も、感度低下や暗順応能の劣化が生じ、そのため必要な暗順応時間が増大するため、明るいところから暗いところへ移動した時の眼の感度追従が悪くなる。黄斑色素の濃度は、加齢による系統的な違いはなく、むしろ個人差の方が大きいといわれている。

神経節細胞の損失(30~70歳で約15~25%減少)が認められているが、補償されている可能性も見つかっている。また、神経伝達時のノイズの増大(コントラスト感度・色弁別能の低下)も示唆されている。また、劣化だけでなく、色メカニズムの変化により、ユニーク白色の恒常性、すなわち色覚が維持されており、それは主に黄青チャンネルによって実現されていると考えられる。

輝度視感効率(分光感度)は、ほぼ水晶体の加齢変化で説明が可能であることが知られている。また、明るさ分光感度は水晶体の変化ほどの違いは見られないことから、短波長(青)領域で、神経系による明るさの補償が示唆されている。しかし、これらは相対感度に関するものであり、絶

対感度は全波長域で大幅に低下している可能性がある。

不快グレアは比較的低輝度の時に生じ、これは「まぶしくて不快」という感覚のことをいう。また、減能グレアは比較的高輝度の時に生じ、「まぶしくて物が見えない」レベルである。不快グレアは、一般に高齢者の方が低輝度で生じるといわれているが、逆のケースも存在する。グレアの原因は、生理的には眼光学系の混濁、光学的散乱、神経系の機能低下、物理的には高光源輝度、視線に近い光源、大きいグレア源が原因と考えられ、特に暗順応時に生じやすい。許容輝度レベル(BCD輝度=Borderline between Comfort and Discomfort)は、年齢の逆数に逆比例するといわれている。色温度にも依存するが、その効果は現時点では明らかではない。また、光源の位置によってもグレア感は大きく変化することに注意が必要である。

照度(輝度)が低下すると、色弁別能は大きく低下する。また、色弁別能低下は、年齢に伴い、高い照度(輝度)レベルで生じるようになる。高齢者の色の見えは、若年者に比べて、色相には大きな違いはなく、彩度が若干低く知覚される傾向が見られる。色弁別能低下も彩度低下も、眼光学系ではなく、錐体 and/or 神経系の加齢変化が原因と考えられる。すなわち、高齢者では細かい色の違いを判別する能力である色弁別能は若年者に比べて大幅に低下する。しかし、水晶体の分光透過率変化に対応する大きな色の見えの変化はない。高齢者のための配色を考える際に注意すべきこととして、

- 1 ある照度以下は用いないようにし、できるだけ高照度にする。
- 2 低い照度にする場合は、色情報以外の情報(文字等)を付加する。
- 3 高齢者の網膜輝度の変化は、色によって異なるため、輝度差にも注意して配色する必要がある。(例えば、青色は赤色に比べて実効輝度の低下が大きいため、特に(青の輝度) > (赤 or 白 or 黒の輝度)の隣接関係の場合に注意する。
- 4 できるだけ高彩度 & 高明度にした方が、低照度での彩度低下の影響が小さい。
- 5 波長に対する相対的明るさが補償されているだけで、絶対的明るさは低下していることに注意する必要がある。(眼光学系の加齢効果から推定される網膜照度低下による明るさの減少を考慮する必要がある。)

等があげられる。

Pokornyらによって Two-factor モデル(以下 TF モデル)が提案されている。TF モデルは、分光光学濃度 $L(\lambda)$ を年齢(A)の関数として記述しており、これを $L(\lambda, A)$ とすると、

$$L(\lambda, A) = [1.00 + 0.02(A - 32)]TL_1(\lambda) + TL_2(\lambda) \quad \text{for } 20 < A < 60$$

$$L(\lambda, A) = [1.56 + 0.0667(A - 60)]TL_1(\lambda) + TL_2(\lambda) \quad \text{for } A > 60 \dots (1)$$

と書ける。これから各年齢の分光透過率を計算した結果が図2である。これを見ると、加齢とともに

に全体の透過率が減少すること、特に短波長光の透過率の減少が顕著なこと、60歳以降の変化が大きいことが分かる。これにより、水晶体を透過する光の総量は減少するため、実効的な照度が低下することが示唆される。実際、70歳では、20歳の約0.7倍に実効照度が減少することが計算から求めることができる。

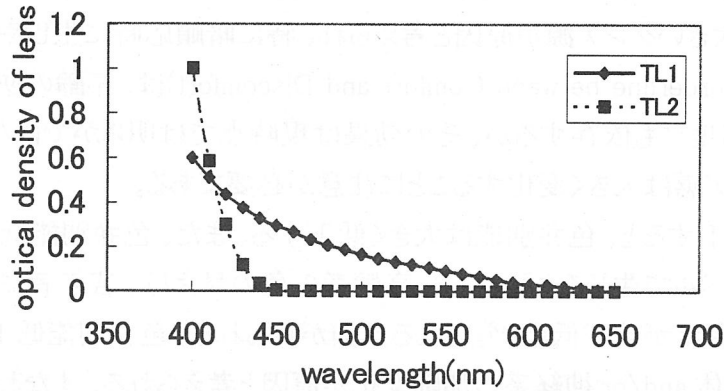


図1 Two-factor モデルの2つの光学濃度成分

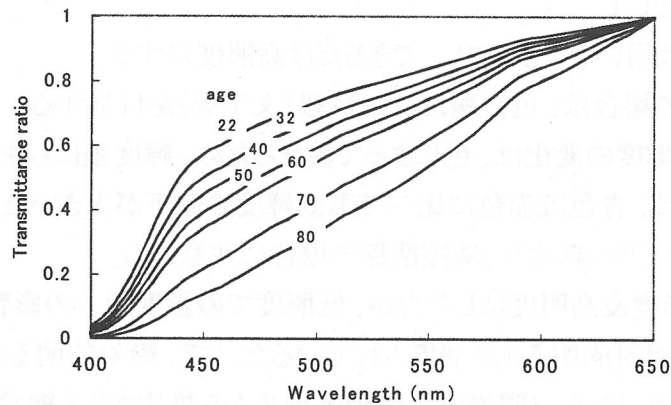


図2 水晶体加齢モデル (TF モデル) から得られた各年齢での水晶体分光透過率

Winn らによる、幅広い年齢層の白人 91 人で照度レベルを変えて測定した瞳孔径データから、照度レベルに対する瞳孔面積を各年齢に対してプロットしたのが図3である。各シンボルが各年齢でのデータ、曲線は各年齢のデータを3次多項式で回帰した結果である。この結果から、例えば70歳の瞳孔面積は、数 lx オーダーで20歳の半分以下になることが分かる。

水晶体と瞳孔径の加齢変化を統合して得られる、等価網膜到達照度の換算式は、最終的に

$$\text{D65 照明: } E' = \left[\left(\frac{113.13 - 0.400 A}{149.23 - A'} \right) \left(\frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613 + 0.001 A} \right]^{\frac{1}{0.7613 + 0.001 A'}} \dots (2)$$

$$A \text{ 照明: } E' = \left[\left(\frac{130.89 - 0.383 A}{167.68 - A'} \right) \left(\frac{112.73 - A}{112.73 - A'} \right) E^{0.7613 + 0.001 A} \right]^{\frac{1}{0.7613 + 0.001 A'}}$$

と記述できる。若年者の年齢 A 、高齢者の年齢 A' 、そして若年者の照度 E を与えれば、(2)式から高齢者の等価照度 E' 、すなわち網膜到達照度を同じにする外界の照度 E が計算できる。ただし、導出に用いたデータの関係から、この式は $20 \leq A < 60$ 、 $60 \leq A' \leq 80$ 、 $2 \leq E$ 、 $E' \leq 1050$ の範囲でのみ有効な式である。この式からさらに比 E'/E が求まるが、これは等価照度の倍率を表す。図4にそのプロットを示す。22歳の100 lxの時と同じ光量を60、70、80歳の高齢者の眼に入力するためには、それぞれ約2、3、4倍、すなわち約200、300、400 lxの照度が必要であることを示す。もし、実験的に得られた若年者と高齢者の照度比がこの数値に近い場合、眼の光学的加齢変化を考慮した等価照度の考え方で、照度倍率の実験結果を説明することができる可能性がある。

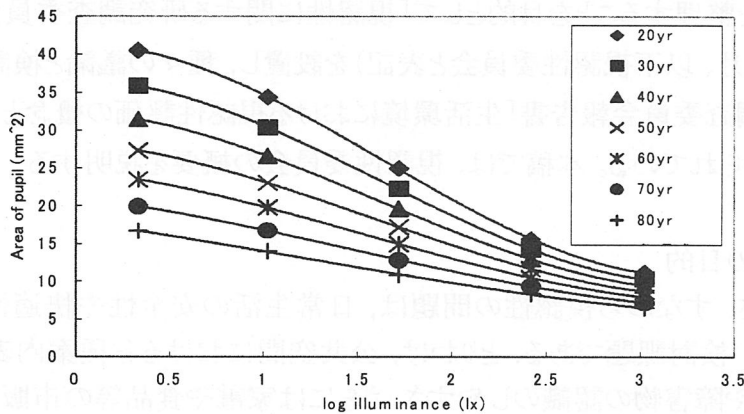


図3 Winnらのデータから求めた各年齢での照度に対する瞳孔面積

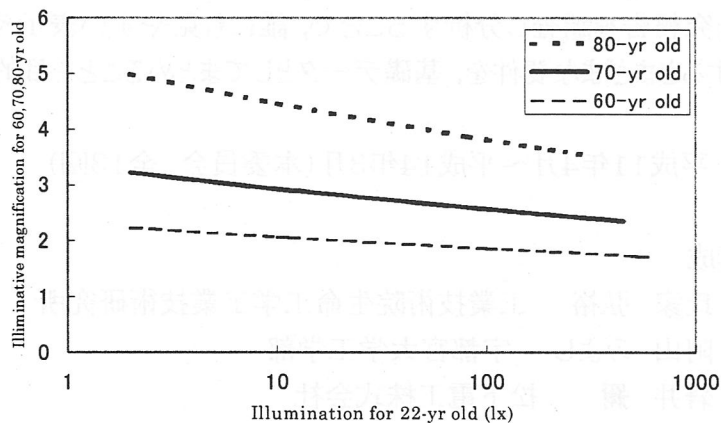


図4 22歳に対する60、70、80歳の等価照度の比(照度倍率)

参考文献

- ・岡嶋克典:「視覚特性の年齢効果に関する特別研究委員会報告」, 照学誌, 84, 65-66 (2000).
- ・岡嶋克典:「水晶体と瞳孔の年齢変化から導出した高齢者の等価照度換算式」, 照学誌, 83, No.8A, 556-560 (1999).
- ・J.Pokorny et al. “Aging of the Human Lens,” Applied Optics, 26, 1437-1440 (1987).
- ・B.Winn et al. :“Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects,” Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 35, 1132-1137 (1994).

(岡嶋克典 横浜国立大学)

2.3.2.3 視認性に関する研究

照明学会では、視認性に関する研究の調査と測定データの検討を行い、その基礎から応用に至る最新の知見を整理することを目的として「視認性に関する研究調査委員会」(平成 11 年 4 月～平成 14 年 3 月、以下視認性委員会と表記)を設置し、種々の議論と検討を重ねた。その活動成果は、研究調査委員会報告書「生活環境における視認性評価の概念と課題」(2002 年 3 月発行)としてまとめられている。本稿では、視認性委員会の概要を説明する。

[1] 委員会設立の目的

対象の見やすさ、すなわち視認性の問題は、日常生活の安全性や快適性を整備するうえで欠くことのできない検討課題である。とりわけ、公共空間における各種案内表示や標識、あるいは通路等の段差や障害物の認識のしやすさ、さらには家電や食品等の市販商品の各種表示内容の読みやすさの問題は、現在増え続ける高齢者の視覚特性をも考慮する必要がある、近い将来切実な問題となるといえる。実際に、この問題に関連してエイジレスなデザインを実現するための指針や手法を求める社会的ニーズは高まっている。そこで本委員会では、このような視認性の問題を、観察者側の視覚特性、照明などの環境条件、対象の物理特性に分類し、各々について過去の研究報告を調査し分析することで、誰にも見やすい表示や標識に必要な、照明環境をはじめとするさまざまな要件を、基礎データとしてまとめることを目的とする。

[2] 活動年度：平成11年4月～平成14年3月(本委員会 全13回)

[3] 委員会の構成

委員長	氏家 弘裕	工業技術院生命工学工業技術研究所
幹事	阿山 みよし	宇都宮大学工学部
幹事	岩井 彌	松下電工株式会社
委員	井戸 健二	株式会社東芝デザインセンター
委員	岩田 三千子	摂南大学工学部
委員	岡嶋 克典	防衛大学校応用物理学科

委員	菊池 里子	株式会社東芝デザインセンター
委員	久保 千穂	豊田合成株式会社開発部
委員	佐藤 孝	スタンレー電気株式会社
委員	田村 徹	東京工芸大学工学部
委員	永田 雅典	豊田合成株式会社開発部
委員	深谷 美登里	株式会社東芝デザインセンター
委員	舟川 政美	社団法人人間生活工学研究センター研究開発部
委員	向 健二	松下電子工業株式会社照明社
委員	望月 正人	いすゞ自動車株式会社 CV 商品企画室

(延べ15名, 最大12名)

[4] 調査の要点

(1) 視認性に関わる用語とその機能的分類

- ・可読性, 誘目性, 可視性, 他

(2) 文字の読みやすさとその評価法の調査

- ・ 照度・文字サイズと読みやすさ(印東・河合の読みやすさ評価式)
- ・ VLと読みやすさ(Blackwell の VL, 田辺・大竹の検討)
- ・ VELと等視力曲線(佐藤の VEL 他)
- ・ 明視三要素と等見やすさ曲面(佐藤・原)
- ・ VIFによる読みやすさ評価(岩井・岡嶋)
- ・ CSFによる読みやすさ評価(氏家・佐川)
- ・ その他, 視対象の空間周波数成分と位相, 色コントラストの可読性に関わる影響や眼球運動との関わり等についての文献を収集整理.

(3) 操作パネルの視認性に関する調査

- ・ 操作パネルに関わるさまざまな規格, 勧告などの整理分類
- ・ コントラスト, 周囲の明るさ, 表示輝度
- ・ 文字の大きさ
- ・ 文字の線幅, 行間隔/文字間隔
- ・ 表示色
- ・ グレアなど

(4) 道路環境の視認性に関する調査

- ・ 有効視野に関する文献調査
- ・ 自動車照明の規格と問題点の抽出
- ・ 道路照明の問題点について議論など

[5] 本委員会以外の活動

- ・ 照明学会技術講演会「道路付帯設備(視線誘導設備)の視認性評価について」
(北大萩原先生;視覚研究専門部会主催,共催:道路照明のビジュアルリティに関する研究調査委員会,視認性に関する研究調査委員会)
- ・ 照明学会研究会「視認性の評価手法と生活環境における課題」
(視覚研究専門部会主催)
- ・ CIE TC1-19「視作業における可視度評価」の技術報告書に対する日本照明委員会への意見回答

[6] まとめ

文字の可読性について,さまざまな評価式が存在するが,閾レベルと閾上とでその利用に留意する必要がある.できれば統一的な評価式が欲しいところ.可読性の具体的現場の1つである操作パネルディスプレイについてはさまざまな観点からの規格・勧告があり,現状では無難なところで納まっている.ただし,何らかの統一性のある展開を考えていく必要がある.またもう1つの具体的現場である道路環境では問題が複雑なこともあり,とりあえずの規格はあるもののその妥当性や種々の場面のもとでのさらなる検討が必要と思われる.

(氏家弘裕 産総研)

3 新しい照明光評価方法の提案

3.1 光源の演色性評価方法

3.1.1 これまでの演色性評価方法

光源の演色性は、本来、色再現の忠実性の側面と鮮やかさや好ましさの側面の両面で評価されるべきであるが、これまでは、主に忠実性の側面で評価されてきた。代表的な忠実性の評価指標として、平均演色評価数(Ra)が挙げられる。ここでは、照明学会演色性の評価方法研究調査委員会の概要をまとめることで、忠実性の側面を中心とした演色性評価方法の変遷の概要を報告する。

照明学会演色性の評価方法研究調査委員会は、昭和60年度から昭和62年度の3年間活動し、主に、平均演色評価数の計算方法の改定に関して議論された。委員会の当初の目的は、JIS Z8726-1975(光源の演色性評価方法)をCIE演色性評価方法第2版に整合させることであつたが、活動中に、CIEが第3版を作成するという計画が伝えられたため、その目的を、JIS Z8726-1975(光源の演色性評価方法)をCIE演色性評価方法第3版整合させることに変更した。しかし、CIEは第3版をまとめることなくTCを解散したため、目的を当初の第2版に整合させることに戻し活動を継続し、所期の目的を達成した。

委員会では、演色性研究の起こりからその時点までの演色性評価方法の変遷の大筋をまとめている。この委員会の報告書の中では、演色性研究の起こりであるP. J. Boumaの論文や、日本での初期の演色性研究である東、森の研究などが紹介されている。また、CIE演色性評価方法(第1版、第2版)の制定経緯とその内容、JIS Z8726との相違点、第2版以降の改定のための議論の内容なども紹介されている。

最終的に、この委員会ではJIS Z8726の改定案を提案している。この改定案に基づき、JIS Z8726は1990年に改定され、現在に至っている。JIS Z8726-1990に基づく平均演色評価数計算方法の概要を以下に記す。

<計算方法>

- ①8色の各色に対して、試料光、基準光それぞれの下での $U^*V^*W^*$ を計算する。
- ②試料光と基準光の下での8色の各色の $U^*V^*W^*$ 色空間上での距離を計算する。
- ③距離を平均する。
- ④距離の平均を4.6倍し、100から引く。

$$\Delta E_i = [(U^*_{ki} - U^*_{ri})^2 + (V^*_{ki} - V^*_{ri})^2 + (W^*_{ki} - W^*_{ri})^2]^{1/2}$$

$$\Delta E_a = 1/8 \sum \Delta E_i$$

$$Ra = 100 - 4.6 \Delta E_a$$

$$Ri = 100 - 4.6 \Delta E_i$$

(向 健二 松下電器産業)

3.1.2 カテゴリカルカラーレンダリングインデックス

A PROPOSAL OF COLOR RENDERING INDEX BASED ON CATEGORICAL COLOR NAMES

[1] INTRODUCTION

If an identical object is illuminated with different light sources, the color may sometimes appear different one another. For example, an object that appears red under a tungsten lamp may appear orange under a white fluorescent lamp. Such a case, rendering of the color may be judged to be unsatisfactory, because even the same object is differently categorized in color name. The color name plays an important role in many practical situations, such as color communication, color signaling, color coding, color reproduction and so on. Since the color name is considered to one of the attributes of color appearance and the color name itself is independent of the viewing condition, the use of color names is very useful method to communicate color information under various illuminating conditions.

Currently, we use the CIE color rendering index or the CIE metamerism index for evaluating color rendering quality of light sources. These indices are, however, based on color difference between colors illuminated under a testing lamp and a reference illuminant. The purpose of the present study is to take account of color categorization rather than color difference in evaluating the practical color rendering property of various light sources. In the present study, we propose a new color rendering index based on categorical color name rather than color difference.

[2] EXPERIMENTS

Experimental Materials

The set of JIS color chips specified with the Munsell Color System is used for the experiment. We employed 292 color samples which consists of all samples found at even value(V) levels, even chroma(C) levels, and hue(H) labeled 5 and 10. The size of each color chip was 5.5 x 7 cm, and it was put on an N5 gray background.

Light sources

Fourteen kinds of light sources including eight of fluorescent lamps, five of HID lamps and an incandescent lamp were used for the present study. They were fluorescent lamp (D65) as a simulator of CIE standard illuminant D65, cool white fluorescent (W), three-band type fluorescent "warm white" (EX-L), three-band type fluorescent "neutral" (EX-N), narrow band red radiation fluorescent (R100), narrow band green radiation fluorescent (G100), combined narrow band 55% green and 45% red radiation fluorescent (G55R45), combined narrow band 80% green and 20% red radiation fluorescent (G80R20), low pressure sodium (NX), high pressure sodium (NH), metal

halide (MHL), high pressure mercury (H), fluorescent high pressure mercury lamp (HF), and halogen (IL). The illuminance was 1000 lx for all illuminants.

Categorical Color Naming

Subjects were asked to sort samples into eleven basic color categories specified by Berlin and Kay [1]. These colors are *red*(AKA), *green*(MIDORI), *yellow*(KI), *blue*(AO), *orange*(ORENJI), *pink*(PINKU), *purple*(MURASAKI), *brown*(CHA), *white*(SHIRO), *gray*(HAI), and *black*(KURO). Sorting of color samples under each illuminant was repeated three times for each subject in different experimental sessions.

Subjects

Four students with normal color vision checked by the Ishihara plates participated in the experiment as observers.

[3] RESULTS

Color samples sorted into the same color category consistently for all three trials under each illuminant are selected for each subject. Color samples selected from four subjects were not much different from subject to subject. In order to examine consensus colors, we extracted color samples named with a same color more than 75% responses for all trials for all observers, that is more than nine out of twelve responses. Figure 1 shows examples of these color samples in the Munsell hue circle under three different light sources; the D65 fluorescent lamp, the high-pressure mercury lamp H, and the halogen lamp IL. The results from D65 and IL were very similar with each other. On the other hand, the results from H were very different from other two illuminants. You can notice that there is no red response in any lightness levels under the mercury lamp. Although the results from the other lamps are not shown here, The distributions of color category for the fluorescent lamps EX-N, EX-L, W, the metal halide lamp MHL were very similar to the results from the D65 fluorescent lamp. On the other hand, color categories for narrow band red radiation fluorescent (R100), high-pressure sodium NH, low pressure sodium (NX) and high-pressure mercury H were different from one illumination to another.

[4] COLOR CATEGORIES IN CIECAM97s SPACE

All experimental data were plotted on the CIE 1931 (x, y) diagram and the (a^*, b^*) diagram of the CIELAB color space. Although it can be easily imagined, color name regions in the (x, y) diagram are greatly depends on light sources. Even in the CIELAB space, any color name region under a given light source slightly overlapped with the different color name region under the other light sources. In order to allocate the basic color name regions in a viewing-condition independent color space, we applied the CIE Color Appearance Model (CIECAM97s) [3] to our data. The lightness J , the chroma C and the hue angle h of the CIECAM97s output were calculated for all color samples which were consistently sorted in a same color name under each illuminant. Figure 2 shows the basic color name regions in the hue circle of the CIECAM97s space at four different

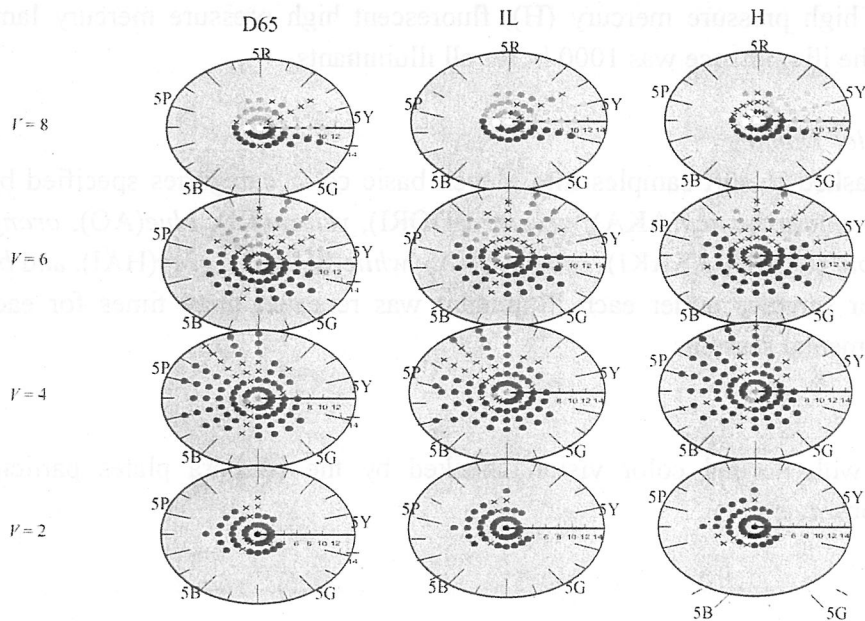


Figure 1. Color samples consistently sorted into the same category of color name for typical three illuminants: D65, IL and H.

lightness levels. Each color name region was determined with an OR-region for all. Although some regions of the color name such as black and gray seem to be overlapped with each other, they are separated in lightness. It is found that the eleven basic color name regions are clearly separated in the CIECAM97s space with each other. This means that the CIECAM97s provide a good prediction of color names under various light sources. There are, however, a few exceptions. Since lamps such as a narrow band red radiation fluorescent R100 and a low pressure sodium NX emit very saturated color, the CIECAM97s failed to predict color appearance of the objects lit by these two light sources.

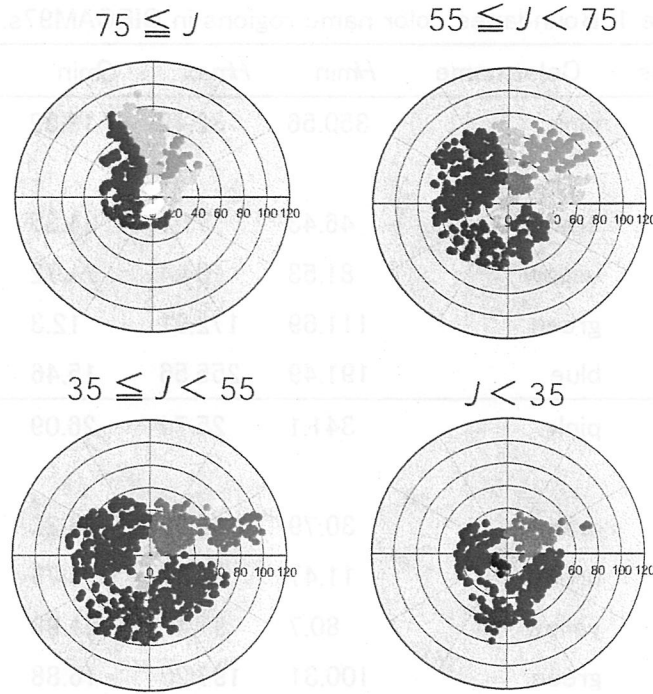


Figure 2. Color name regions in CIECAM97s space.

In order to specify the color name region in the CIECAM97s space, each color name region is allocated by a fan shape area at a given lightness range. The fan shape area for each color name are specified with an maximum and minimum hue angle; H_{max} and H_{min} , and maximum and minimum chroma; C_{max} and C_{min} , those are shown in Table 1.

[5] CATEGORICAL COLOR RENDERING INDEX

In order to quantify the category overlap for two different illumination conditions, an evaluation method for the categorical color rendering was developed. The idea of the method proposed here is similar to percent overlap developed by Boynton, Fargo and Collins [2]. Assuming the D65 fluorescent illumination as a reference illuminant, the comparison was made between the color category area under the D65 fluorescent illumination and those of the test light sources.

At first, four color-chips which lie on the boundary of the fan shape area in the hue circle for each of eleven basic categories under the D65 illuminant are selected as reference color samples. Let this region of each color name S_i . The subscription i corresponds to each color name. Then the $JChs$ for these four color samples under the test light sources are calculated to obtain the region S_t under the test light sources. The overlap area between S_i and S_t , $(S_i \cap S_t)$ are determined. The categorical color rendering index proposed here was defined as $100(S_i \cap S_t) / S_t$. A general categorical color rendering index may be obtained by taking an average of S_i for all color names.

Table 1. Boundaries color name regions in CIECAM97s.

Lightness	Color name	H_{min}	H_{max}	O_{min}	O_{max}
$75 \leq J$	pink	350.56	32.42	18.32	42.05
	orange	46.43	71.1	34.85	57.73
	yellow	81.53	104.4	21.72	100
	green	111.69	172.91	12.3	77.88
	blue	191.49	255.56	15.46	43.47
$55 \leq J < 75$	pink	341.1	25.74	26.09	72.16
	orange	30.79	66.62	48.22	95
	brown	11.47	84.37	6.79	28.97
	yellow	80.7	97.48	41.98	72.5
	green	100.31	197.28	16.88	83.75
	blue	214.26	263.13	27.5	68.21
	purple	277.26	327.41	17.07	54.52
$35 \leq J < 55$	red	6.64	27.49	58.96	105
	brown	11.79	84.45	10.63	58.51
	green	93.33	203.97	17.26	73.61
	blue	218.72	275.34	47.02	83.75
	purple	280.27	343.99	19.84	70.13
$J < 35$	brown	5.55	93.11	15.86	44.36
	green	103.44	210.67	15.13	46.35
	blue	242.36	264.66	31.86	80
	purple	280.71	362.13	22.26	69.04

Figure 3 shows the categorical color rendering indices as a function of the CIE general color rendering index, R_a . The order from best to worst rate by the categorical color-rendering index does not completely agree with R_a . It could be said that illuminants of which R_a is higher than about 60 shows a similar performance for categorical color cognition and they are ranked in high categorical color-rendering indices above 90.

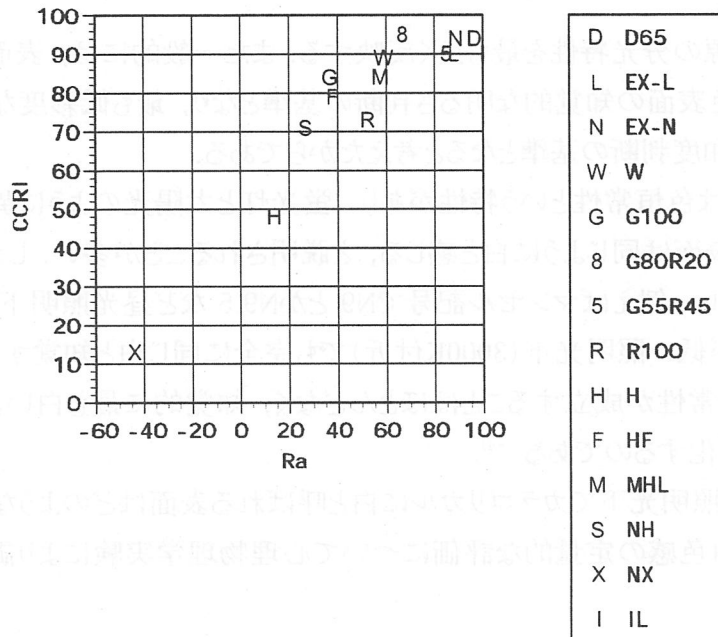


Figure 3. Relation between the categorical color rendering index and the general color rendering index.

[6] CONCLUSION

The present study shows that the CIECAM97s can predict the color name for any color sample under various light sources except for a very saturated colored light. Using categorical color name regions of the CIECAM97s, we propose a new method for evaluating the practical color rendering property which takes account of color categorization rather than color difference.

REFERENCES

1. BERLIN B and KAY P 1969, "Basic color terms: The universality and evolution", Berkeley: University of California Press.
2. BOYNTON RM, FARGO L and COLLINS BL. 1990, "Categorical color rendering of four common light sources", Color Res. Appl., 15, 222-230.
3. LUO MR and HUNT RWG. 1998, "The structure of the CIE 1997 Colour Appearance Model (CIECAM97s)", Color Res. Appl., 23, 138-146.

(矢口博久、高橋良香、塩入諭 千葉大)

3.1.3 白色感評価方法

[1] はじめに

新しい光源の演色性評価方法確立の一つの試みとして、我々は白い表面の知覚的な白さ、すなわち「白色感」を利用できないかと考え、様々な照明光下での白色感の特性を明らかにする研究を行ってきた。

白色表面は、光源の分光特性を最も良く反映する。また一般的には、表面色の中で最も明るいので他の有彩色表面の知覚的な明るさ判断の基準となり、最も低彩度なので他の有彩色表面の知覚的な飽和度判断の基準となると考えたからである。

人間の視覚系には色恒常性という特性があり、蛍光灯と太陽光のように異なる分光特性の照明光下でも白い表面は同じように白と感じる、と説明されることが多い。しかしながら厳密にいうとこれは正しくない。例えばマンセル記号でN9とかN9.5など昼光照明下では白と感じる色票を、相関色温度が低い照明光下(3000K付近)でも完全に同じ白と知覚するかというところでもない。完全な色恒常性が成立することはほとんどなく、知覚的に最も白いと判断される色度点は照明光により変化するのである^{1~4)}。

ここでは、種々の照明光下でカテゴリカルに白と呼ばれる表面はどのような範囲にあるのか、またその内部での白色感の定量的な評価について心理物理学実験により調査した研究について紹介する。

[2] 実験

[2.1] 刺激色票

マンセル色票 84 枚を用いた。内訳は N9.5 が1枚、N9.25 はマンセルクロマ 0.5 と 1.0 を合わせて 34 枚、N9.0 はマンセルクロマ 0.5 と 1.0 と 1.5 を合わせて 49 枚である。1辺 35mm の正方形を幅 5mm の灰色の枠で囲んだカードを作成した。

[2.2] 照明光

照明光としては市販の3波長域発光形蛍光灯2種を用いた。昼光色と電球色で、各々相関色温度 6700K と 3000K である。

[2.3] 実験装置

実験装置は 2.1m×2.1m×2.1m の立方体ブースで、天井には蛍光灯用の照明器具が設置されており、実験により昼光色または電球色蛍光灯を取り付けた。調光可能で、ブース内のローテーブル上の照度が 500lx になるように設定した。

実験ブースの内装には、壁も床面も灰色の無彩色空間、壁に簾をたらし障子風のついたてを置き床には畳風の敷物を敷いた和風空間、壁には白いロールスクリーンを据え付け鮮やかな

色のクッションを置いたモダン空間の3種類である。

[2.4] 実験手順

色の判断に自らの服装の色が影響するのを防ぐため、被験者には灰色の布をまもってもらった。被験者は一人でブースに入ってローテーブルの前に座り、空間を見回しながらその照明光に5分間明順応した。

被験者はローテーブル横の色票入れから色票カードを1枚ずつ取り出し、テーブル面に45度の角度で設置されている観察台にセットして観察した。まず第1段階としてカテゴリカルに白といえるかどうか判断し、白であれば白カード専用の箱へ、白とはいえない場合は色名を答えてから別の専用の箱へ入れた。色名応答はブース外にいる実験者が記録した。この作業を84枚のテスト色票カードに対して繰り返した。次に第2段階として白カード専用の箱から全ての色票を取り出し、第1群(ほとんど色味がない)、第2群(ほんのわずかに色づいている)、第3群(やや色づいている)に分類した。最後に第3段階として、最も白い色票を1枚選択した。この作業が終了した時点で被験者はブースから出て、実験者がブースに入り色票選別結果を記録した。

無彩色空間では7名、和風とモダン空間では6名の被験者が実験を行った。全員100ヒューテストにより色覚正常と判定されている。各々の空間において、昼光色と電球色の2種の照明光での実験を行った。各条件において各被験者4セッションずつ行った。

[3] 結果

最も白い色票に4点、第1群に3点、第2群に2点、第3群に1点を割り当て、4セッションの総計を各々の色票の白色感評価指数とした。最高点は16点である。図1及び図2に各々電球色と昼光色蛍光灯照明条件における3種の空間での結果を示す。横軸は色票のマンセル記号で、縦軸は、無彩色空間条件では7名の、モダンと和風空間条件では6名の被験者の平均白色感評価指数である。

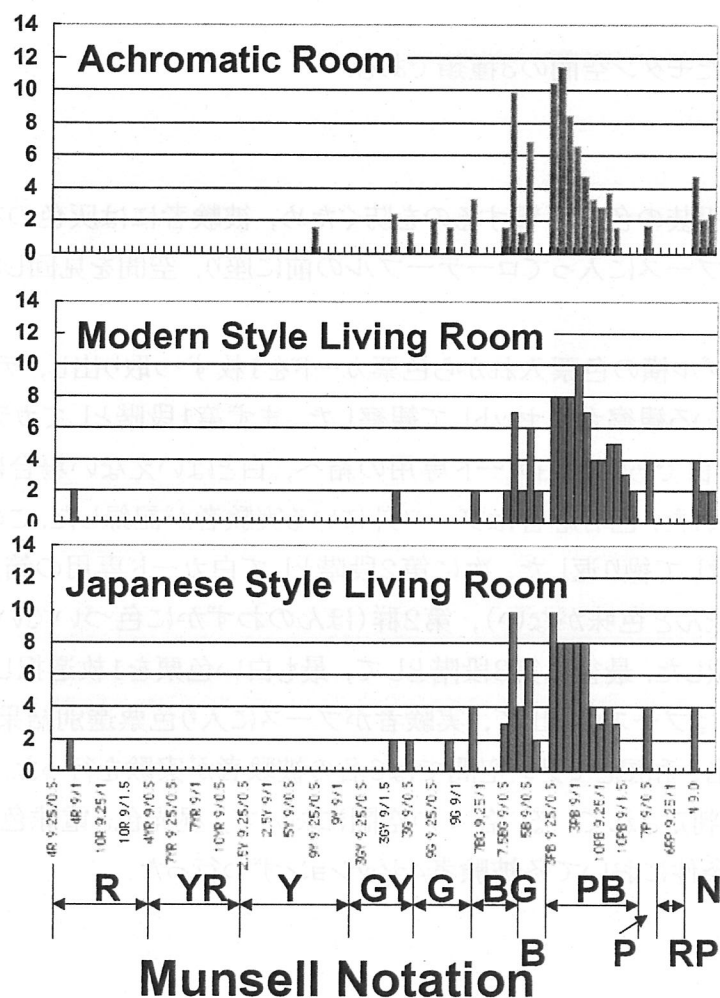


図1. 3種の空間における電球色照明光下における白色感評価指数

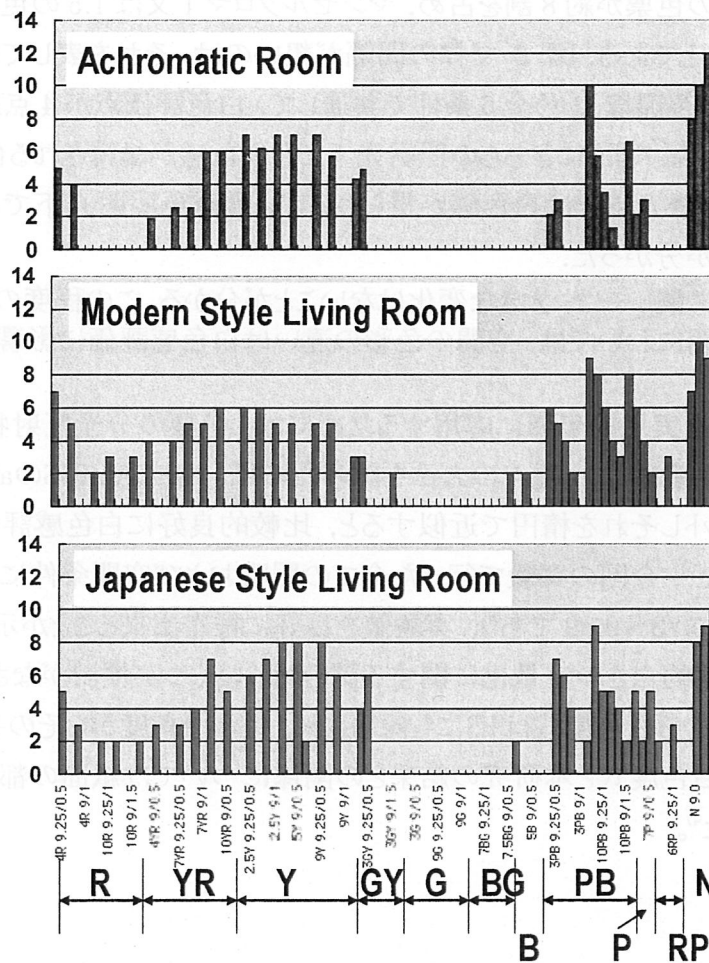


図2. 3種の空間における昼光色照明光下における白色感評価指数

図1と図2より、空間条件よりも照明光間の変化が特に大きいことがわかる。電球色照明光下では、Nを含めPB系からB系でクロマ1.5までを含めた白色領域が存在し、クロマ0.5では5RやG領域で散見される。最高点は、無彩色空間では 3PB9.25/1 の 11 点，和風空間では 3PB9.25/0.5 と 5B9.25/0.5 の 10 点，モダン空間では 3PB9/1.0 の 10 点である。これに対して N9.5, N9.25, N9.0 の白色評価点が低いのが目立つ。電球色照明光下でN系の白色評価点が低い理由として、完全に色恒常性が成立していない先行研究結果と一致している¹⁾。昼光色照明光下では、電球色照明光下と同様PB系に密な分布が見られると共に、クロマ0.5において5Rから10Yにかけて白色領域が分布している。PB系を中心とする分布は電球色照明条件の範囲よりP側に拡がりBG側では縮退し、無彩色空間では7P9/0.5から3PB9.25/0.5、和風空間とモダン空間では6RP9.25/1.0から5B9.25/0.5までとなっている。ここでの特徴は、7P、10PB、3PBというマンセルヒューであれば、9.25/0.5でなくとも白色領域に入っていることである。それに対して、YからR系にかけての分布の特徴は3GYから4Rまで広範囲のマンセルヒューに分布するが、

マンセルクロマ 0.5 の色票が約 8 割を占め、マンセルクロマ 1 又は 1.5 の色票はほとんど白色領域に入っていないことである。図 6 で棒の間隔が粗いのは、それを表している。2 種の照明光各々における 3 種の視環境という全 6 条件で共通して、白色評価点が 4 点以上の色票は、N9.0 の 1 枚であった。PB系のようにどちらの照明光下でも白色感が維持される色票や、P,Y,YR系色票のように昼光色照明光下では白色感が得られるが、電球色照明光下では白色とは判断されない色票があることが分かった。

空間条件の違いに関しては、大きな変化はないことが分かる。この程度の大きさの実験装置と、実際的な配色の範囲においては、空間の色彩の違いは白色感評価に影響しない範囲内であることが分かる。

白色感評価指数を実用的場面に応用するためには、色票の分光反射特性と照明光の特性から推定できることが望ましい。種々の方法を試みた結果、CIECAM97Sのab色度図上に各々の色票の色度をプロットしそれを楕円で近似すると、比較的良好に白色感評価指数を推定できることが明らかとなった⁵⁾。今回の実験で行った全ての照明および空間条件において、推定値と実験値の相関係数は 0.73~0.89 であり、実験値を良好に推定出来ることが示された⁵⁾。

従来までも知覚的白さの定量化に関する試みは、いくつか検討がなされている^{6)~9)}。特に CIEから勧告されている白色度式はJISにも採用され、様々な角度からその妥当性の検討がなされている^{10),11)}。CIE白色度式と本研究の結果との関係については紙面の都合でここでは触れないが、他に詳述した⁴⁾。

[4] まとめ

84枚の高バリュー低クロマのマンセル色票を用い、2種の照明光各々において3種の視空間で、白色領域とその内部の白色感分布を心理物理学実験により測定した。各々の条件で、白色感の結果を点数化した白色感評価指数の分布を求めた。今回の研究においては、同一条件内での白色感評価指数を推定する方法は提案されたが、異種照明や異種空間条件間での白色感評価値の比較については踏み込んでいない。異なる条件間での白色感を定量的に比較する方法についての検討が今後の課題である。

参考文献

- 1) I.Kuriki, K.Uchikawa: Limitations of surface-color and apparent-color constancy. J Opt Soc Am A, Vol.13, pp.1622-1636, 1996.
- 2) 栗木, 内川: 色恒常性の二つの段階: 完全色恒常性と部分色恒常性, 照学誌, 81, pp.55-64 (1997).
- 3) M.Ayama, T.Akatsu, E.Toriumi, K.Mukai, S.Kanaya: Whiteness perception under different types of fluorescent lamps. Color Research & Application, Vol.28, No.2, pp.96-102, 2003.
- 4) 江田, 阿山, 金谷, 向: 電球色及び昼光色蛍光灯照明下における知覚的白色領域, 照学誌

88-2, pp91-99 (2005).

- 5) 阿山:新しい演色性評価方法—白の演色性, 照明学会研究会資料「最新の照明光評価方法」VP-04-5
- 6) Ganz E:Whiteness perception : Individual differences and common trends. Appl Opt, 18, pp.2963-2970(1979)
- 7) 鈴木恒男:知覚的白さの許容度に基づく白色度, 色学誌, 14-2, pp114-121 (1990).
- 8) 鈴木, 湊田, 小松原, 坂田:光源色での白色度の研究, 照学誌, 77-2, pp9-12 (1993).
- 9) 鈴木恒男:知覚的白さの定量化に関する試み, 色学誌, 23-3, pp.168-175 (1999).
- 10) 馬場護朗:白さの定量的評価, 光学, 10-1, pp11-17 (1981).
- 11) 内田洋子:CIE 白色度式についての一考察, 色学誌, 14-2, pp106-113 (1990).

(阿山 みよし 宇都宮大学)

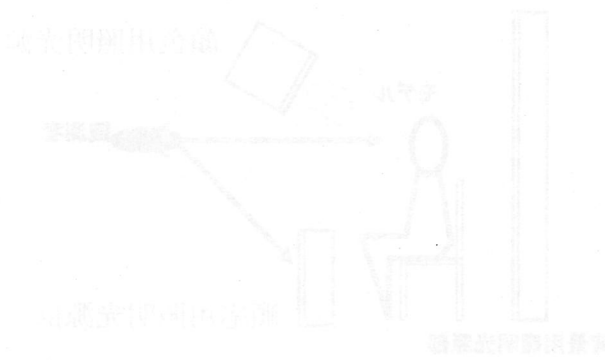


図 1 測定装置の概略図

項目	測定装置	単位	測定値
光源色	光源色計 (分光測光計)	相対色温度	2700K
被験者	被験者	年齢	20代
測定時間	測定時間	時間	15分
測定場所	測定場所	場所	実験室
測定条件	測定条件	条件	標準

3.1.4 肌色の好ましさに基づく演色性評価方法

光源の演色性は、本来、色再現の忠実性の側面と鮮やかさや好ましさの側面の両面で評価されるべきであるが、これまでは、主に忠実性の側面で評価されてきた。近年、色再現の鮮やかさ、好ましさの側面を評価する方法がいくつか提案されている。ここでは、肌色の好ましさに基づいて光源の演色性を評価する方法に関する最近の研究成果を報告する。

矢野、橋本は、照明学会誌、第82巻、第11号(1998)、pp. 895-901で「照明光下での日本人女性の肌色に対する好ましさの評価方法」を発表している。この論文では、CIE、JIS で規定されている光源の演色性評価方法は、色の見えの忠実性を評価するものであるが、一般照明環境下では、色の見えの好ましさが重要視される場合もあることから、好ましい色の見えに基づく演色評価方法を確立する必要があるとしており、特に重要でなじみ深い日本人女性の肌色の好ましさの評価する方法を提案している。

この研究において行なわれた実験の概要は以下のとおりである。

図3. 1. 4. 1に示すように、観測者は顔色用照明光源で照明された女性モデルの顔色を31種類の形容詞対を用いたSD法で主観評価した。モデルは女性3名(24歳, 28歳, 33歳)で、ポイントメイクなしの普段の化粧をしており、グレーのタートルネックのセーター着用している。顔色用照明光源の光色は40種類(RGBの蛍光ランプを調光して混光)で大きさは60cm×60cm、モデルの顔面照度は1000lxとした。背景用/順応用照明光源は相関色温度6100Kの3波長域発光形蛍光ランプで、100cd/m²とし、観測者は20歳~32歳の女性20名で、事前に十分な練習を実施した。実験手順は、表3. 1. 4. 1に示すとおりである。

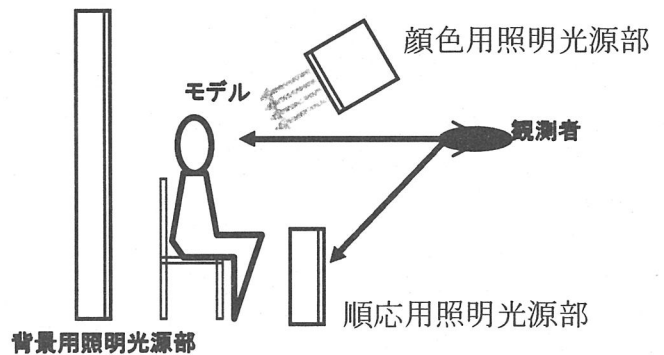


図3. 1. 4. 1 実験装置、観測者、モデルの配置

表3. 1. 4. 1 実験手順

照明光	時間	観測対象	行為
	5分間	順応用照明光源部	輝度順応・色順応
照明光1	2分間 1分間	モデルの顔 順応用照明光源部	7段階評価 輝度順応・色順応
照明光2	2分間 1分間	モデルの顔 順応用照明光源部	7段階評価 輝度順応・色順応
照明光n	...		
照明光40	2分間 1分間	モデルの顔 順応用照明光源部	7段階評価 輝度順応・色順応

実験結果を因子分析した結果、活気、品、自然さの三つの因子が抽出された。また、第1因子(活気)の因子得点は顔色のu'値との間に高い相関があり、第2因子(品)の因子得点は次式で表される ΔE_{uv} との間に相関があることがわかった。

$$\Delta E_{uv} = \{(u' - u'_{max})^2 + (v' - v'_{max})^2\}^{1/2}$$

さらに、重回帰分析により、肌色の好ましき指数PSを次式で求めた。

$$P = 446.846 + 2024u' + 145u'^2 + 8689u'^3 - 4318v' - 8719u'v' - 16082u'v'^2 + 12260v'^2 + 18608u'v'^2 - 12579v'^3$$

$$PS = 4 \times 5P$$

また、既存のランプの肌色の好ましき指数を表3. 1. 4. 2のとおり示した。

表3. 1. 4. 2 各種ランプの肌色の好ましき指数計算値

ランプの種類	PS	Tc	Ra
白熱電球	94	2820	100
高演色形電球色蛍光ランプ	89	2710	93
高演色形昼白色蛍光ランプ	89	5060	98
高演色形昼光色蛍光ランプ	75	6500	98
3波長形電球色蛍光ランプ	89	3000	88
3波長形昼白色蛍光ランプ	88	5000	88
3波長形昼光色蛍光ランプ	80	6700	88
普通形温白色蛍光ランプ	43	3450	58
普通形昼白色蛍光ランプ	37	5200	70
普通形昼光色蛍光ランプ	29	6100	71
普通形高圧ナトリウムランプ	47	2050	26
メタルハライドランプ	28	4710	62
透明形水銀ランプ	0	5780	14

(向 健二 松下電器産業)

3.1.5 演色性による明るさ感の増加効果評価方法

光源の演色性が異なると、照明された物体の輝度が同じでも明るさ感が異なることは、以前から定性的には知られていたが、定量的にその効果を評価する方法は確立されていなかった。

照明学会明るさ感覚研究調査委員会は、昭和58年度から昭和59年度の2年間活動し、

- ① 各研究所における実験の発表
- ② 各実験の実験方法と結果の詳細かつ具体的な説明とそれに対する疑問点の解消
- ③ 実験結果の整理と比較
- ④ 実験式の提案と実験式使用上の注意事項のまとめ
- ⑤ 明るさと輝度との相違(B/L効果)に関する研究サイドからの発表
- ⑥ B/L効果と蛍光ランプによる明るさ感増大との比較および両者の差異に関する検討
- ⑦ 明るさ感に関する用語の定義

について議論された。

その結果、B/L効果だけでこの現象を説明することができない可能性が見出され、標準光源と照明光源が同じ明るさ感を与えているときの両者の照度の比を種々の照明光源について調べることで、等明るさ感照度比を照明光源の物理的あるいは心理物理的の量から予測する予測式を導出した。

この研究調査委員会の報告書「等明るさ感照度比の定量化の試み」では、海外における研究として、

- ① Kruithofの実験(1941)
- ② Bodmannらの実験(1963)
- ③ Astonらの Visual Clarity に関する実験(1974)
- ④ Bellchambersらの Visual Clarity に関する実験(1971, 1972)
- ⑤ Boyceの Satisfaction に関する実験(1974)
- ⑥ Lemonsらの Visual Clarity に関する実験(1976)

が紹介されている。

また、国内における研究として

- ① 広島工業大学による実験(1983, 84)
- ② 東芝による実験(1979~82)
- ③ 松下電器による実験(1975, 77, 79)
- ④ 三菱電機による実験(1983)
- ⑤ 東京工芸大学による実験

が紹介されている。

さらに、これらの実験結果を詳細に検討することで、次式で求められる、経時比較、両眼隔視比較による等明るさ感照度比(rEA)、併置同時比較による等明るさ感照度比(rES)を導出し

た。

$$r_{EA} = 1.16 \times \frac{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C^*_{UVi,k} + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C^*_{UVi,k} + C^*_{UVi,15}}{\frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 C^*_{UVi,w} + \frac{1}{4} \sum_{i=9}^{12} C^*_{UVi,w} + C^*_{UVi,15}} - 0.16$$

この式で示される等明るさ感照度比は、ある光源で照明された視環境の中にいる人間が感ずるであろう明るさ感に対する『等明るさ感照度比』を求めるときに適用できる。

$$r_{ES} = 0.88 \times \frac{U^*_{8,k} \cdot V^*_{1,k} - V^*_{8,k} \cdot U^*_{1,k} + \sum_{i=1}^7 (U^*_{i,k} \cdot V^*_{i+1,k} - V^*_{i,k} \cdot U^*_{i+1,k})}{U^*_{8,w} \cdot V^*_{1,w} - V^*_{8,w} \cdot U^*_{1,w} + \sum_{i=1}^7 (U^*_{i,w} \cdot V^*_{i+1,w} - V^*_{i,w} \cdot U^*_{i+1,w})} + 0.12$$

この式で示される等明るさ感照度比は、異なった光源で照明された視環境を外から眺めたときに感ずるであろう明るさ感に対する『等明るさ感照度比』を求めるときに適用できる。

なお、これらの等明るさ感照度比を求める実験式の使用上の注意は以下のとおりとしている。

- ① 『等明るさ感照度比』の値を、そのまま明るさの感覚量である『明るさ感』を示す数値と誤解されるような使用は避ける。
- ② 『等明るさ感照度比』の値は、対象のランプによる照明が基準のランプと同じ明るさ感が得られている場合以外には、明るさの感覚に関連はない。
- ③ 『等明るさ感照度比』が高くても照度を低くするには慎重を要する。
- ④ 『等明るさ感照度比』の値と他の測光量の数値を乗除した数値を『明るさ感』を示す数値として取り扱わない。
- ⑤ 『等明るさ感照度比』の値の精度、物理学的な数値と同じ精度であるような取り扱いはしない。

(向 健二 松下電器産業)

3.1.6 目立ち感に基づく光源の演色性評価方法

光源の演色性は、本来、色再現の忠実性の側面と鮮やかさや好ましさの側面の両面で評価されるべきであるが、これまでは、主に忠実性の側面で評価されてきた。近年、色再現の鮮やかさ、好ましさの側面を評価する方法がいくつか提案されている。ここでは、目立ち感に基づいて光源の演色性を評価する方法に関する最近の研究成果を報告する。

橋本、納谷、矢野は、照明学会誌、第79巻、第11号(1995)、pp. 29-37で「目立ち感に基づく光源の演色性評価方法」を発表している。この論文では、visual clarityはRaと相関が高いという報告が多く、試験色を基準色より高彩度に演色する光源はRaが低くてもvisual clarityが高いことが報告されたにもかかわらず、visual clarityを適切に評価できる指標は確立されていないことを背景に、目立ち感(visual clarity)を適切に評価する方法を提案している。

この研究において行なわれた実験の概要は以下のとおりである。

隣接した2つの光源ボックスを使用し、一方を基準光源(白色蛍光ランプ:Ra=63, 4200K)で照明し、他方を試験用光源で照明した。両眼隔壁法で、両ボックス内の4色配色サンプルの目立ち感が等しくなるように、試験用光源の照度を被験者に調節させた。実験に使用された光源の種類を表3.1.6.1に示す。

図3.1.6.1に示すように、実験結果から相関色温度、平均演色評価数ともに、等目立ち感照度との相関は高くないことを明らかにした。

さらに、等目立ち感照度を予測するため、演色性の異なる照明光下での配色サンプルの目立ち感情は、サンプルのブライトネス、カラフルネスに基づいて評価されることを明らかにした。赤サンプルと他の3色との知覚差が配色サンプルの目立ち感情の主要因となっていることから赤サンプルを4色配色サンプルの基準色とし、目立ち感情の評価は、ブライトネス(B)、カラフルネス(Mr-b:赤-緑成分, My-b:黄-青成分)の3次元空間において、赤サンプルを基準とするGamut Areaに基づいて計算するとした。

<計算方法>

表3.1.6.1 実験に使用した光源

光源	種類	Ra	相関色温度
蛍光ランプ	1 WW	56	3600
	2 D	78	6250
	3 EX-N	84	5000
	4 W-SDL	89	4430
	5 D-SDL	93	7000
	6 N-EDL	98	4900
電球	7 Ld	100	2760

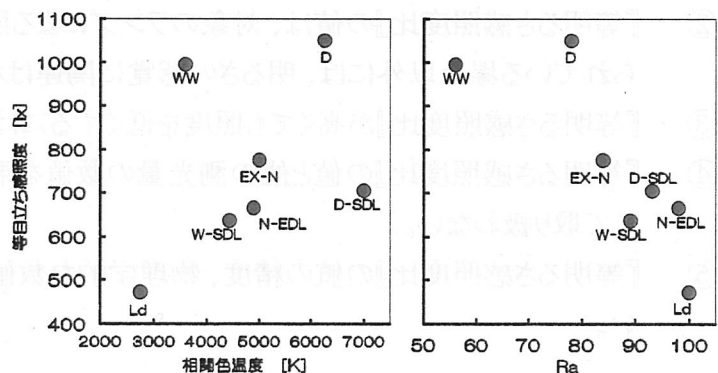


図3.1.6.1 光源の色温度、平均演色評価数と等目立ち感指数との関係

- ① 基準用光源である白色蛍光ランプ1000lx下での4色配色サンプルの各構成色(R, Y, G, B)のブライトネス(B)、カラフルネス(Mr-b: 赤-緑成分, My-b: 黄-青成分)を納谷らの非線形色知覚モデルに基づいて計算する。
- ② B, Mr-b, My-bの3次元空間上において、赤サンプルを基準として赤、黄、緑の三角形の面積S1と赤、青、緑の三角形の面積S2を求め、S1とS2の面積の和として求められるGamut Area(Gw)を計算する。
- ③ 試験用光源(P)について照度を変化させて、各照度ごとに同様の手順でGamut Area(Gp)を順次計算し、GpがGwと等しくなる照度を求める。
- ④ この照度を試験用光源の基準用光源(1000lx)に対する等Gamut Area照度、すなわち、等目立ち感照度の推定値とする。

実験で得られた等目立ち感照度の実測値と、上述の計算式から得られた等目立ち感の推定値は、図3. 1. 6. 2に示すように、よく一致している。

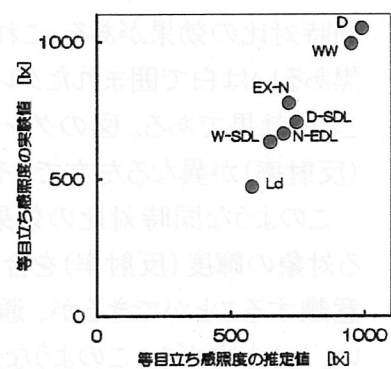


図3. 1. 6. 2 等目立ち感照度比の実測値と推定値

(向 健二 松下電器産業)

3.2 明るさ, 明るさ感の評価方法

従来までの「明るさ」の評価は、極端に言えば、光学系で作成した二分視野の世界に限定されていた。20世紀における「明るさ」への取り組みは、分光視感効率を精確に測定し、ものの明るさと相関が高く且つ再現性良く測定可能な「輝度」という測光量を確立し、それを活用できる評価システムを構築することであったともいえよう。国際規模の多大な努力により $V(\lambda)$ が確立されたが、20世紀前半以降、 $V(\lambda)$ の様々な問題—短波長領域での感度の過小評価、明るさの加法性不軌など—が明らかとなり、 $V_M(\lambda)$ 、 $V_b(\lambda)$ が提案された。さらに明るさのレベル変化への対応は現在でも問題となっている。照度でいえば0.1から数ルクスの範囲を薄明視というが、その範囲の明るさを定量的に表す方法はいまだない。暗所視の分光視感効率である $V'(\lambda)$ と、上記の明所視の $V(\lambda)$ を用いて表そうとの試みがいくつか提案されており、国際照明委員会の技術委員会TC1-37、TC1-58で検討中である。

このような新しい測光システム構築の動きの一方で、今世紀に入り、3次元的に広がる空間の明るさの定量化に関心がもたれるようになってきた。照明設計の視点からは、「空間の明るさ・明るさ感」は、今まで照明デザイナーの勘と経験に頼るしかなかったのが実情なので、その定量的評価方法の確立は大いに役立つものである。まだいくつかの試みが始められたばかりの状況であるが、ここでは、それらの新しい評価方法の提案とその研究成果を紹介する。

3.2.1 コントラスト・プロフィール

人の明るさ知覚は、輝度や照度といった心理物理量と単純な関係にはないことは以前より知られており、明るさ知覚に影響を及ぼす要因にはさまざまなものが考えられている。それらの要因には、領域の認識といった、視覚系のかなり高次レベルの影響なども考えられており、現在の段階では、それらの要因が十分に整理され、解明されているわけではない。しかしながら、以前より知られている大きな要因の一つに、明るさの同時対比の効果がある。これは、図 1 に示すように、ある視対象の明るさ知覚(図では、黒あるいは白で囲まれたグレーの領域の明るさ)が、背景の明るさとの対比で変化するという効果である。図のグレーの中心領域の輝度(反射率)は同じだが、背景の輝度(反射率)が異なる左右で、その明るさが異なって見えることが解るだろう。

このような同時対比の効果は、図のように、比較する対象の輝度(反射率)を合わせるという操作をすることで意識することができるが、通常は意識されることはない。しかしながら、このような効果が、通常の光環境を体験しているときにも、無意識の内に生じていることは間違いない。このような効果を客観的に考慮することができなければ、明るさ知覚を検討できないことは明らかである。

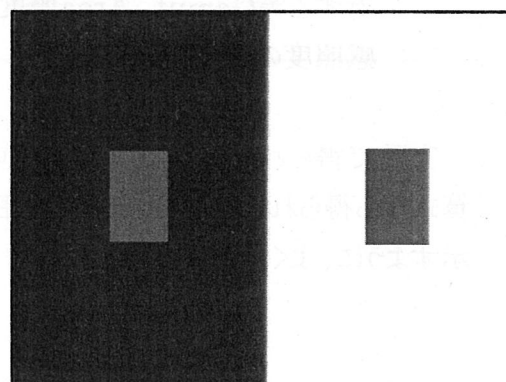


図 .1 明るさ対比の効果

明るさの同時対比の効果を定量的に検討するためには、視対象の輝度と周辺輝度との対比の状態を定量的に表すことがまず必要となる。コントラスト・プロフィールは、このような周辺と対象の輝度の対比の状況を客観的に表す方法として提案されたものである。

一般的に輝度の対比の状況は、次の二つの式で表現される。

- (1) 輝度比=(対象輝度/周辺輝度)
- (2) 輝度対比=(対象物輝度-背景輝度)/背景輝度

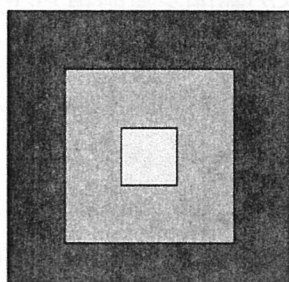


図 2 背景と近傍がある場合



図 3 実環境の輝度分布

上記の式は、背景が一定であるという条件では算出可能だが、例えば図 2 のように、

背景に近傍領域が存在する場合は計算することができず、図3のような実際の輝度分布では全く不可能となる。

視野内の輝度変化を定量的に表現する方法として、中村ら^(文献1)は特定の空間周波数の輝度変化を、フィルタリングを用いて定量的に表現する方法を提案した。このフィルタリングを輝度分布に適用する計算には二つの方法があるが、輝度分布のデータそのままを使う計算(実領域での計算、たたみ込み演算という)の具体的な方法は、下記のように、ある点を中心にした領域とその周辺領域について、重み付け加算を行うことである^(文献2)。

$$F(m,n) = \sum_k \sum_l L(m-k, n-l) \cdot N(k,l)$$

ここで、Fはフィルタリングした結果の画像、Lは輝度画像、Nはフィルタ関数を表している。

この計算を、対数をとった輝度画像に適用すると、ある点(視対象)と周辺との輝度比を算出していることになるが、この輝度比は、検出される空間周波数ごとに与えられることになる。すなわち、ある点と周辺の対比の量は、検出される周波数に対応したさまざまな空間的な大きさについて考えなければならないことが分かるが、その様子を表したものが図5に示すコントラスト・プロフィールである。これは、図4にあるように、検出する空間波長を変化させた結果得られるものである。

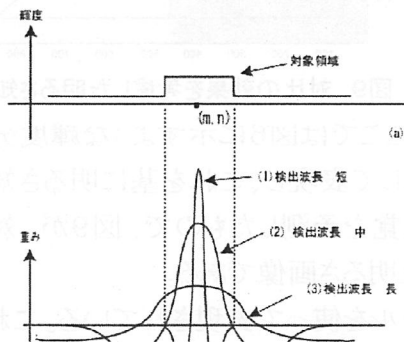


図4 検出波長を変化させる

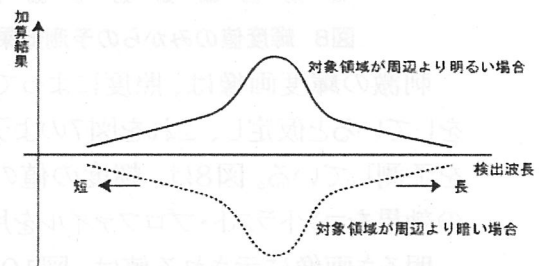


図5 コントラスト・プロフィールの例

このようなコントラスト・プロフィールを用いて、視対象と周辺との対比の状況が記述できるとすると、そのような記述の結果と明るさ知覚の関係を導くことが次の段階で必要となる。中村らは、単純な条件での明るさ知覚を測定し、その結果を、コントラスト・プロフィールを用いて一般化することによって明るさ知覚の予測式を作成した^(文献3, 4)。その予測式を、図1の単純な明るさの同時対比の図に適用した結果が、図9に示すようなものである。

3	3	3	3	3	3	88	88	88	88	88	88
3	3	3	3	3	3	88	88	88	88	88	88
3	3	20	20	3	3	88	88	20	20	88	88
3	3	20	20	3	3	88	88	20	20	88	88
3	3	3	3	3	3	88	88	88	88	88	88
3	3	3	3	3	3	88	88	88	88	88	88

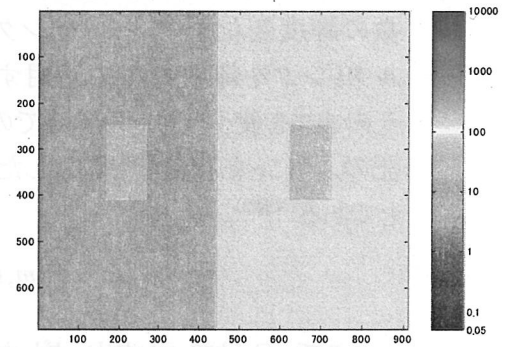


図6 計算に使った輝度値

図7 輝度画像

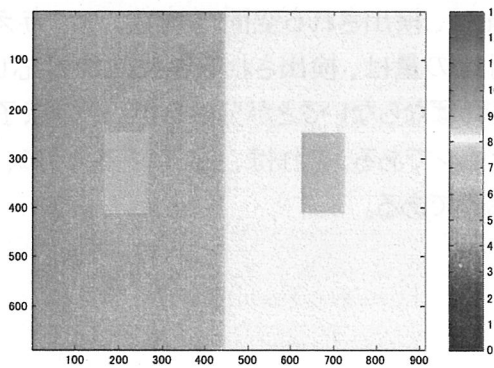


図8 輝度値のみからの予測結果

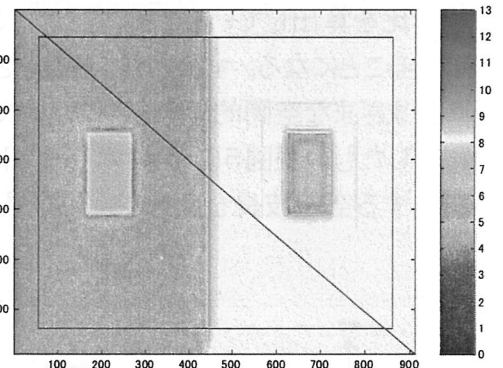


図9 対比の効果を考慮した明るさ知覚の予測結果

刺激の輝度画像は、照度によって変化するが、ここでは図6に示すような輝度分布をしていると仮定し、これを図7のような輝度画像として表現し、これを基に明るさ知覚を予測している。図8は、輝度の値のみで明るさ知覚を予測したもので、図9が、対比の効果をコントラスト・プロファイルを用いて予測した明るさ画像である。

明るさ画像に示される値は、図10のようなスケールを使って表現されている。これらの図は、カラー表示を白黒に変換したもので分かりにくいですが、左の背景が黒の場合は平均 7.5 程度(若干明るい)の明るさ知覚、右側の背景が白の場合は 5.5 程度(若干暗い)の明るさ知覚となり、明るさの同時対比が生じている様子が定量的に予測できていることが分かる。

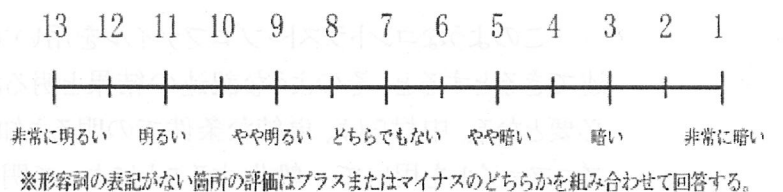


図10 明るさの評定尺度

参考文献

- (1) 中村芳樹、乾正雄、沢田敏実:輝度分布の表現法に関する研究;日本建築学会計画系論文報告集 [431], 17-24 (1992)
- (2) 中村芳樹:光環境における輝度の対比の定量的検討法;照明学会誌、Vol.84, No.8A, 522-528, 2000
- (3) 中村芳樹、江川光徳:均一背景をもつ視対象の明るさ知覚 —輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その1)—;照明学会誌、Vol.88, No.2, 77-84, 2004
- (4) 中村芳樹、江川光徳:多重フィルタリングを用いた明るさ感の予測、平成 14 年度照明学会全国大会講演論文集、229-230、2002

(中村芳樹 東工大)

3.2.2 新しい明るさ感評価方法 -- 仮想輝度分布法

[1] はじめに

空間全体に対する明るさの印象，すなわち空間の明るさ感は照明設計の重要な要素であり，空間の明るさ感を定量的に推定することができれば，基準照度に依拠した方法とは異なる新たな照明設計の可能性が見えてくる。しかし，空間の明るさ感は平均輝度，光源の高輝度部の存在など多くの物理要因の影響を受けるとされている。したがって，特定の位置で計測した単一の照度，輝度などの測光量から空間の明るさ感を単純に推定することは困難である。

これまでの研究によって報告された空間の明るさ感に影響する物理要素をまとめると次のようになる。

1. 光源の種類 -- 演色性¹⁻⁶⁾，色温度⁷⁾など。
2. 視野内の光源(高輝度部分)の有無 -- 視野内の光源の有無⁸⁾，照明器具の輝き^{9, 10)}など。
3. 輝度分布 -- 水平面を中心とした上下 40° 視野の平均輝度¹¹⁾，輝度の非一様性¹²⁻¹⁴⁾，粗い輝度変化¹⁵⁾，隅角部の輝度など。
4. その他 -- 室内内装の明度と彩度¹⁶⁾など。

このように，空間の明るさ感に影響する物理的な特徴は多岐にわたって検討されている。しかし，これらの研究の多くは明るさ感と相関の高い物理量を明らかにすることに主眼が置かれ，空間の明るさ感決定の心理過程について考慮された研究^{17, 18)}は少ない。そこで，われわれは空間の明るさ感を決定する心理過程を適切にモデル化し，このモデルに基づき空間の明るさ感を工学的に推定することが必要であると考えた。

本発表ではこの考え方に基づいてわれわれが提案してきた仮想輝度分布法^{19, 20)}という新しい明るさ感評価方法と，仮想輝度分布法を検証するための実験について紹介する。

[2] 空間の明るさ感評価の考え方

空間の明るさ感の一般的な評価モデルを作るためには，まず第一に，その感覚が照明空間に存在する光のどのような物理的特徴によって導かれたものであるのか明らかにすることが必要である。

そこで，まず初めにわれわれは空間の明るさ感を決定する感覚量について検討するための実験²¹⁾を行った。まず，建築空間に存在する物理的な光の成分を大別することに着目し，空間を直接照射する光と内面で反射して空間内に拡散している光の二つの成分に分けて考えた。実験ではこの二つの光の成分に対する認識が独立に成立するかどうか，またそれぞれの認識量が空間の明るさ感とどのように関係するのか調べた。すなわち，実験で観察者が評価した感覚量は，空間を照明する光源の強さに対する感覚(光源の強さ感)と，壁面など表面間の相互反射により空間を満たしている光の量に対する感覚(空間の光量感)であり，これらの感覚と空間の明

るさ感を評価する実験を行った。実験の結果、空間の明るさ感評価値は、空間の光量感評価値との相関関係が強いこと、および光源の強さ感評価値との相関関係は弱いことが示された。この実験結果は、空間の明るさ感を決めている主要な感覚量は空間の光量感であることを意味していると考えられる。すなわち空間の明るさ感推定のためには空間の光量感に対応する指標を光環境の物理量から算出すればよいということがいえる。

ここで、人間の視覚に対する主要な入力情報は輝度分布であることを考えると、空間の明るさ感推定のベースとなる物理量として空間の輝度分布を採用することが適当であると考えられる。すなわち、次の問題は室空間の輝度分布データから、その空間に満ちていると人が感じる光の量をどのようにして算出するかということである。空間に満ちている光の認識がどのような情報に基づいて成立するのか詳細は明らかではないが、基本的には空間全体にわたる拡散的な光の成分が主要な決定要因になると思われる。例えば、照明配光や内装反射率がほぼ一樣な場合は、輝度の平均値を用いれば、目的とする量を近似的に表現できそうである。ただし、より一般的な状況で空間の光量感を評価するためには、スポット光による高輝度領域や低反射率表面による低輝度領域などの局所的な輝度変化は、全体の輝度変化から排除して考えなくてはならない。なぜならば、それらはあくまでも局所的な光の変化と認識されるため、空間全体を占めると認識される光の量、すなわち空間の光量感に与える影響は小さいからである。したがって、空間の光量感に対応する物理量を算出するためには、空間内の光の分布から局所的な変化の成分を除外して、空間全体にわたる成分を抽出することが必要になる。しかし、このような局所的な光の成分と全体に渡る光の成分を自動的に分離することは困難である。

そこで、あらかじめ拡散的な光によって室内が満たされている状態を仮定し、そのときの輝度分布(以下、仮想輝度分布と呼ぶ)を実測輝度分布にあてはめることによって、現実の空間の拡散的な光の量を評価することを試みる。ただし、明るさ感推定の対象となる空間(テスト空間)の形状、内壁や床の反射率の情報は既知とする。一般的な計算手順は次のとおりである。

1) 仮想輝度分布算出

仮想輝度分布を算出する。この仮想輝度分布は人間がこの空間に満ちていると認識する光によるものであり、対象空間の形状と内部反射率から実際の照明に関係なく算出することが可能、かつ制約条件を適切に設定することで仮想輝度分布を決めるパラメータは少数(理想的には1つ)にすることができると考えられる。

2) 評価空間の輝度分布(実測輝度分布)測定

テスト空間の輝度分布を測定する。測定によって得られたテスト空間の輝度分布を以下では実測輝度分布と呼ぶ。実測輝度分布は近年輝度計、デジタルカメラなどにより比較的容易に測定可能である。

3) 仮想輝度分布と実測輝度分布から明るさ感指標を算出

仮想輝度分布と実測輝度分布が一定の関係を満たすように仮想輝度分布のパラメータを決定する。パラメータの決め方としては、例えば仮想輝度分布と実測輝度分布の残差が最小となるようにするなどが考えられる。

このように決定された仮想輝度分布のパラメータが実測輝度分布に対する空間の光量感、すなわち空間の明るさ感の指標になると考えられる。

[3] 実大空間での検証実験

[3.1] 実験概要

仮想輝度分布法による明るさ感推定の実大空間への適用可能性を検証することを目的として、実際の建築空間を想定した実大実験ブースでの明るさ感評価実験²²⁾を行った。

実験では被験者は一般住宅の居室を想定した実大ブース内の明るさ感を評価した。明るさ感の評価にはマグニチュード推定法を採用した。

データ解析では、仮想輝度分布法により推定した明るさ感評価値(以下、「明るさ感推定値」と呼ぶ)と実験で被験者が与えた明るさ感評価値(以下、「明るさ感評価値」と呼ぶ)とを比較することにより、仮想輝度分布法が実大空間の明るさ感推定に適用可能かどうかを検討した。

[3.2] 実験装置

実験ブースの概要を図1に示す。実験ブース内には一般住宅の居室を想定して、本棚、テーブルなどを配置した。ブースには大きく分けてブース全体を照明する全体照明と、ブースの壁面の一部を照明する局部照明が設置された。全体照明は天井直付け型ベースライト2台である。また、局部照明は壁面照明(100V 40W 電球色コンパクト蛍光灯)、スポットライト A(12V 50W ハロゲンランプ×4台)、スポットライト B(100V 75W ハロゲンランプ×2台)の3系統である。

2台の全体照明はそれぞれ独立に、「高」、「中」、「低」、「消灯」の4段階調光が可能である。また、3系統の局部照明は系統ごとに独立に点滅可能である。なお、天井照明の調光状態および局部照明の点滅は実験者が手元のスイッチで切り替える。

被験者は実験ブース内の椅子に座り、自然な姿勢で自由に室内を観察することができる。ただし、順応状態の極端な変動を避けるため、照明器具を長時間直視することは禁止した。

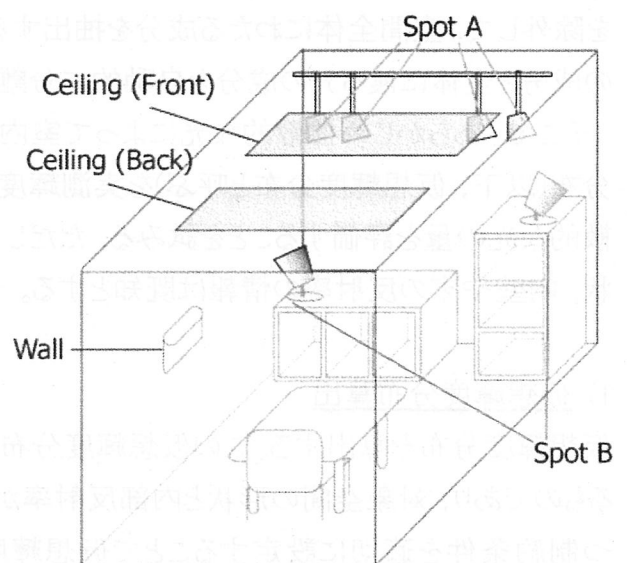


図1 実験ブースの概略

[3.3] 実験条件

2 台の天井照明を「中」で点灯し、室内全体をほぼ均等に照明した条件を明るさ感評価の基準となる「基準条件」とした。空間の明るさ感評価の対象となるテスト条件は、天井照明 2 台の調光と局部照明 3 系統の点滅の組合せによる 18 通りである。テスト条件は天井照明のみ、あるいは天井照明と局部照明 1 系統の組合せからなる「天井照明 F 系列」(条件 1~4)、「天井照明 B 系列」(条件 5~8)、「天井照明 F&B 系列」(条件 9~12)の 3 つの系列と、天井照明と局部照明 2 系統を組み合わせた 6 条件(条件 13~18)からなる。基準条件を含む各照明条件の光源の組み合わせを表1に示す。

表 1 各条件での照明器具の明滅パターン

	天井 照明 F	天井 照明 B	壁面 照明	スポット ライト A	スポット ライト B	水平面 照度 [lx]	鉛直面 照度 [lx]	明るさ感 推定値 [-]
基準	中	中				300	198	(100)
1	強					444	360	115
2	強		○			560	453	115
3	強			○		502	450	122
4	強				○	484	407	117
5		強				192	75.1	56.9
6		強	○			311	169	64.4
7		強		○		269	164	88.5
8		強			○	234	122	73.6
9	弱	弱				215	156	85.0
10	弱	弱	○			338	252	91.9
11	弱	弱		○		288	241	99.8
12	弱	弱			○	254	201	91.8
13	弱		○	○		363	320	103
14	弱		○		○	329	279	94.8
15	弱			○	○	281	270	93.2
16		弱	○	○		237	198	79.9
17		弱	○		○	203	158	73.9
18		弱		○	○	153	148	83.6

分析のベースとなる測光量として、各照明条件について被験者の前のテーブル(高さ 70cm)中央での水平面照度、被験者の目の位置(高さ 120cm)での鉛直面照度、および被験者の目の位置からの室内の輝度分布を測定した。水平面照度と鉛直面照度の測定には照度計(ミノルタ T-10)を用いた。また、輝度分布は Moore らの研究 23)を参考にデジタルカメラ(オリンパス C3040)で撮影した画像から算出した。

[3.4] 実験手順

実験を始める前に被験者は基準状態に対して 3 分間順応した。順応を待つ間に実験者が被験者に対してインストラクションを与えた。インストラクションは次のとおりである。

「今からこの部屋の明るさ感を評価する実験を始めます。現在の照明は評価の基準となる基準条件です。この部屋の照明がさまざまに変化しますので、基準条件の明るさ感を 100 として、それぞれの条件での部屋の明るさ感を数字で評価してください」。

各試行前に一旦約 1 秒ブース内の照明を消灯した。その後、基準条件を 10 秒間提示し、続けてテスト条件を 10 秒間提示した。10 秒経過したら改めて基準条件に戻し、被験者がテスト条件時のブース内の明るさ感評価値を口頭で実験者に伝えた。照明条件を切り替える際には約 1 秒ブース内の照明を消灯している。なお、要求があればもう一度テスト条件を提示すると被験者には伝えていたが、実際に 2 回提示することはなかった。

この実験での明るさ感評価はあくまで相対評価であること、各条件を提示する際の時間的な条件を統一していることから、被験者の明るさ感評価への経時対比の影響は小さいと考えられる。

実験は 18 条件について 5 回ずつ、計 90 回の評価で構成される。実験前の順応を開始してからすべての評価が終了するまでの所要時間は 1 時間～1 時間 15 分程度であった。

被験者は研究室内部の学生 6 名で、うち 4 名は過去に心理物理実験の被験者をした経験がある。被験者は実験の詳細な目的について知らされていなかった。

[3.5] 仮想輝度分布法の適用

仮想輝度分布法により各条件の明るさ感の推定値を算出した。具体的な計算法は次のとおりである。まず、仮想輝度分布 L_{vi} を算出した。計算時には内部反射率構成とサイズが実験ブースと同じ仮想的な直方体の空間を想定し、各面を 10×10 (計 600) のパッチに分割して、光源輝度 L_{vs} を 1 として各パッチ i の中央の輝度を算出した。次に、18 個の条件それぞれについて、被験者視野内の輝度分布を前述の方法により測定した。

続いて、各テスト条件と基準条件について実測輝度分布と仮想輝度分布より明るさ感推定値を算出した。実測輝度測定範囲(左右側面, 奥面, 床面)内の各パッチ i (計 260 個) について、仮想輝度 L_{vi} と実測輝度 L_{ri} から対応する仮想光源の輝度 L_{vsi} を次式により算出する。

$$L_{vsi} = L_{ri} / L_{vi} \quad [1]$$

ただし、一般には仮想輝度分布と実測輝度分布の形状は異なるため、 i によって L_{vsi} は異なる値をとる。そこで、各パッチについて求められた L_{vsi} の値の分布の下 5 パーセンタイル値を明るさ感指標 L_B とする。

最後に L_B と基準条件の明るさ感指標 L_{0B} から明るさ感推定値 B_e を次式により算出する。

$$B_e = L_B / L_{0B} \times 100 \quad [2]$$

ただし、明るさ感評価値は仮想輝度分布法による明るさ感指標と正比例の関係にあることを仮

定している。各条件について算出された明るさ感推定値を表 1 に示す。

[3.6] 実験結果

明るさ感評価の結果を図 2 に示す。図の横軸は照明条件、縦軸は明るさ感評価値を表わす。被験者 6 名全員の各条件での明るさ感評価値の平均と標準偏差をプロットしている。また、仮想輝度分布法によって推定した明るさ感推定値に対して、被験者の明るさ感評価値をプロットしたグラフを図 3 に示す。

仮想輝度分布法による明るさ感推定値と明るさ感評価値との相関はきわめて高く、仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の原理は実大空間に対しても適用可能であることが示された。

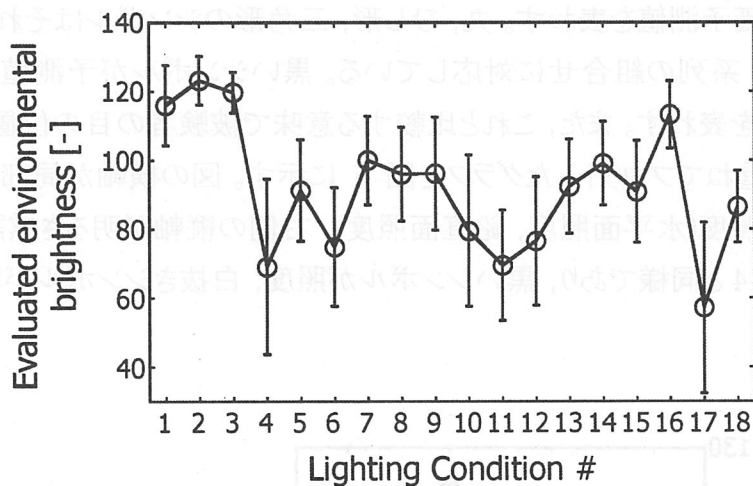


図2 明るさ評価実験の結果。各被験者の平均と標準偏差

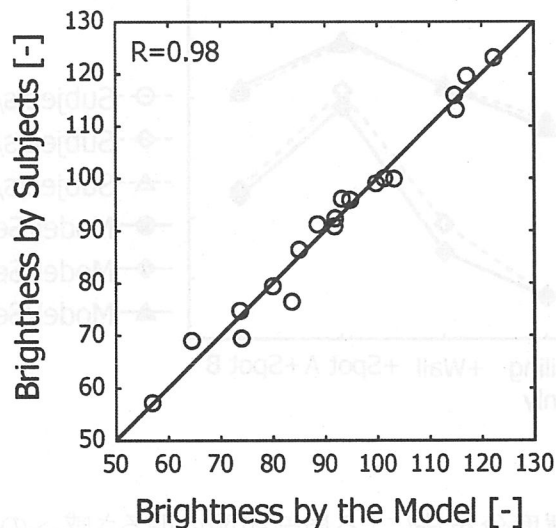


図3 仮想輝度分布法による明るさ感推定値と被験者による明るさ感評価

[4] 局部照明の明るさ感への影響

次に本実験における局部照明の導入による空間の明るさ感への影響について検討する。検討の対象となったのは、天井照明 F 系列(条件 1~4), 天井照明 B 系列(条件 5~8), 天井照明 F&B 系列(条件 9~12)の 3 系列, 計 12 条件である。各照明条件系列で明るさ感評価値と、仮想輝度分布法による明るさ感評価予測値および被験者の目の位置での鉛直面照度との比較を行った。

それぞれの系列において仮想輝度分布法による明るさ感評価予測値と明るさ感評価値とを重ねてプロットしたグラフを図 4 に示す。図の横軸は局部照明の違いを表わし、縦軸は明るさ感評価値または明るさ感評価予測値を表わす。丸, ひし形, 三角形のシンボルはそれぞれ天井照明 F 系列, B 系列, F&B 系列の組合せに対応している。黒いシンボルが予測値, 白抜きシンボルが明るさ感評価値を表わす。また、これと比較する意味で被験者の目の位置での鉛直面照度明るさ感評価値とを重ねてプロットしたグラフを図 5 に示す。図の横軸が局部照明のタイプを表わし、左側の縦軸が照度(水平面照度, 鉛直面照度), 右側の縦軸が明るさ感評価値を表わす。シンボルの違いは図 4 と同様であり、黒いシンボルが照度, 白抜きシンボルが明るさ感評価値を表わす。

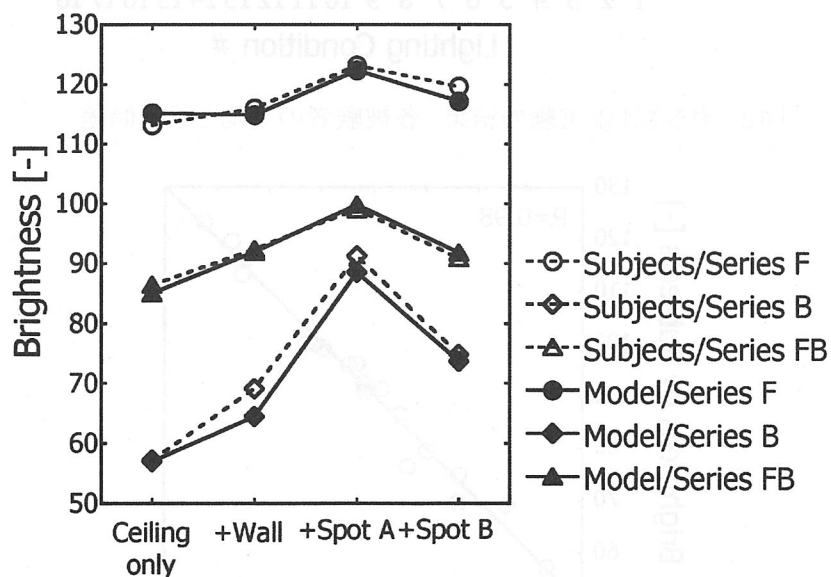


図 4 仮想輝度分布法による局部照明の明るさ感への影響予測

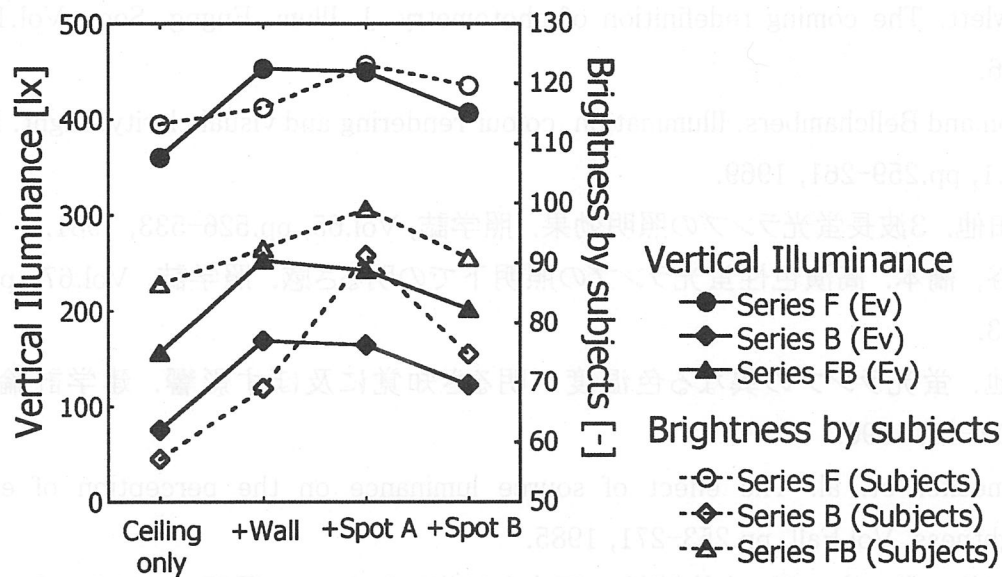


図5 鉛直面照度と明るさ感評価値の変化

この結果によって、局部照明を導入することによる明るさ感への影響は鉛直面照度ではうまく予測できないのに対して、仮想輝度分布法によってうまく予測できることが示された。

5. まとめ

実大スケールの空間の明るさ感は仮想輝度分布法によって良好に推定することができた。また、局部照明の影響も定量的に評価できることが示された。仮想輝度分布法により空間の明るさ感を定量的に設計することが可能となるため、光源の配置や配光の最適化などの応用が考えられる。

現時点での仮想輝度分布法の適用範囲は、全体として対称な空間の光の分布を持つ空間の相対的な明るさ感評価を想定している。今後は片側採光など全体として非対称な光分布の空間の明るさ感推定や、明るさ順応との関連付けによる明るさ感の絶対尺度化などが課題として挙げられる。

参考文献

- 1) Bellchambers. Illumination, colour rendering and visual clarity. Light. Res. Tech., Vol. 4,

- pp.104-106, 1972.
- 2) Levermore. Perception of lighting and brightness from HID sources. Light. Res. Tech., Vol.26, p. 145.
 - 3) Howlett. The coming redefinition of photometry. J. Illum. Engng. Soc., Vol.15, pp.5-8, 1986.
 - 4) Aston and Bellchambers. Illumination, colour rendering and visual clarity. Light. Res. Tech., Vol.1, pp.259-261, 1969.
 - 5) 湊田他. 3波長蛍光ランプの照明効果. 照学誌, Vol.65, pp.526-533, 1981.
 - 6) 納谷, 橋本. 高演色性蛍光ランプの照明下での明るさ感. 照学誌, Vol.67, pp.260-265, 1983.
 - 7) 尹他. 蛍光ランプの異なる色温度が明るさ知覚に及ぼす影響. 建学計論, Vol.489, pp.11-16, 1996.
 - 8) Bernecker et. al. The effect of source luminance on the perception of environment brightness, Vol.Fall, pp.253-271, 1985.
 - 9) 明石他. 省エネルギーと快適性の両立を目指したオフィス照明システム-パーソナル&アンビエント照明方式の実用化-. National Tech. Rep., Vol.43-2, pp.200-206, 1997.
 - 10) Akashi et. al. Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression: A pilot study., Light. Res. Tech., Vol.32, pp.19-26, 2000.
 - 11) Loe et. al. Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. Light. Res. Tech., Vol.26-3, pp.119-133, 1994.
 - 12) Tiller and Veitch. Perceived room brightness: Pilot study on the effect of luminance distribution. Light. Res. Tech., Vol.27-2, pp.93-101, 1995.
 - 13) Shepherd et. al. Gloom as a psychological phenomenon. Light. Res. Tech., Vol.21-3, pp.89-97, 1989.
 - 14) Shepherd et. al. Measuring appearance: Parameters indicated from gloom studies. Light. Res. Tech., Vol.24, pp.203-214, 1992.
 - 15) 小林他. 空間の輝度分布が室内の明るさ感に与える影響. 建学計論, Vol.487, pp.33-41, 1996.
 - 16) 池田, 金子. 照明認識視空間への初期視覚情報の影響-明度と彩度の場合-. 照学誌, Vol.80, pp.319-324, 1996.
 - 17) 山口他. 照明認識視空間の明るさサイズの測定による実環境における空間の明るさ感の評価. 照学誌, Vol.86, pp.830-836, 2002.
 - 18) 加藤他. 光の到来バランスを考慮した空間の明るさ感の評価. 建学環論, Vol.568, pp.17-23, 2003.

- 19) 荻内, 石田. 仮想輝度分布法による空間の明るさ感の物理的な評価法-均等拡散面の場合-. 照学誌, Vol.84, pp.529-533, 2000.
- 20) 荻内, 石田. 仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の有効性. 照学誌, Vol.87, pp.105-112, 2003.
- 21) 石田, 荻内. 空間の明るさ感の心理的決定要因-光源の強さ感と空間の光量感-. 照学誌, Vol.84, pp.473-379.
- 22) Ogiuchi and Ishida. Environmental brightness estimation for full-scale spaces by the virtual luminance distribution method. In Proceedings of CIE 25th Session, Vol.1, pp.D1-30-33. CIE, 2003.
- 23) Moore et. al. Approximate field measurement of surface luminance using a digital camera. Light. Res. Tech., Vol.32, pp.1-11, 2000.

(石田泰一郎・荻内康雄 京都大)

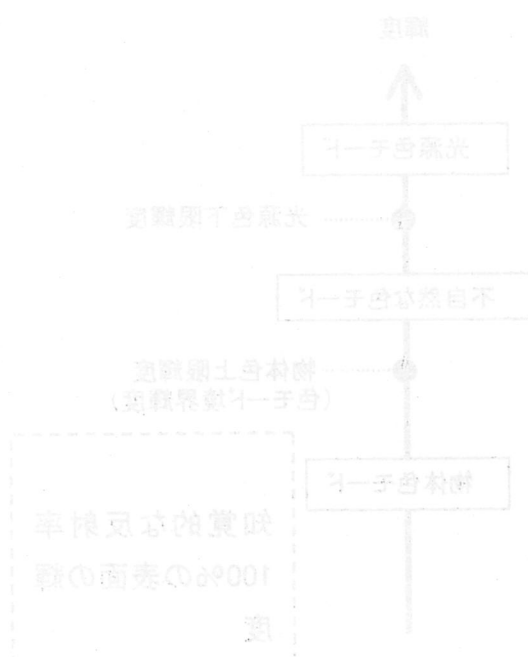


図1 更新用仮想輝度1-1 (図)

3.2.3 色モード境界輝度

照明計画は JIS Z9110 などの水平面照度基準に基づいてなされることが多い。作業性重視の光環境ならともかく、雰囲気重視の光環境には物理的な光の指標、照度だけでは不十分である。以下に人の感じる空間の明るさの指標として「色モード境界輝度」を提案する。

[1] 色の見えのモードと色モード境界輝度

色の見えのモードの代表的なものに「物体色モード」と「光源色モード」がある。しかしこれらの見え方は物理的な状況に必ずしも一致しない。例えば自発光の CRT でも物体色に見えることがあり、反射物体でもその場所だけに強いスポット照明を与えると自発光のように見せることができる。後者の典型例は建築物のライトアップである。

いま、ある色票にスポット照明を当て徐々に輝度を上げる状況を考える。スポット照明の強度が弱いと色票は物体色モードのまま、単に高明度の色票に置き換わるように見える。さらに高輝度になるともはや反射表面ではなく自発光しているような光源色モードとなる。注意深く観察すると、光源色モードに至る前にまだ自発光ではないが反射物体としては不自然に見える状態がある(明るすぎる、色がきつい、ギラギラしている、蛍光塗料や透明色に見えるなどと表現できる)。このように輝度を「物体色」、「不自然な色」、「光源色」という3つの色モードに対応する領域に分け、物体色モードから不自然な色モードに切り替る輝度を「物体色上限輝度」、光源色モードに見え始める輝度を「光源色下限輝度」とし、両者を総称して「色モード境界輝度」と呼ぶ(図1)。とくに前者の「物体色上限輝度」を局所的な空間の明るさ感の指標として提案する。

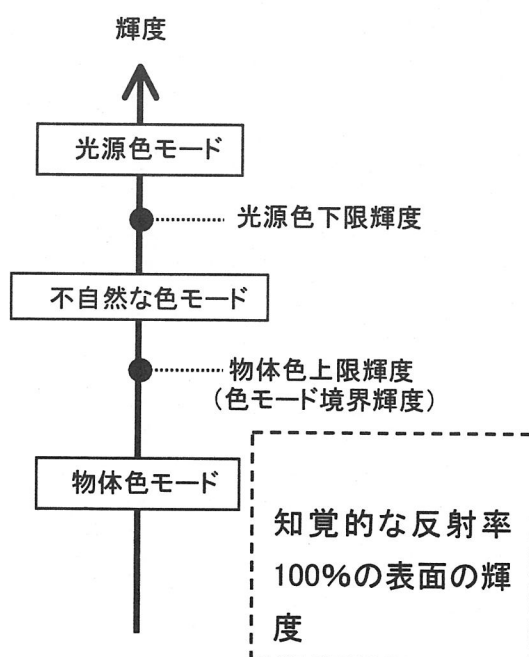


図1 色モード境界輝度の概念図。

[2] 明るさ感指標としての色モード境界輝度

明るい場所では色モード境界輝度も高くなるように、周囲の輝度や照度に対応して色モード境界輝度は上下する¹⁾。しかし隣接背景との輝度対比が唯一の決定要因でもない²⁾。物理的に100%を超える反射率の表面は存在しないため、視覚系も何らかの方法で刺激表面に降り注ぐ光の強さと表面反射率に相当する値を算出し、色モードを決定していると考えられる。つまり物体色モード上限輝度は知覚的に100%反射率を持つ物体表面の輝度であり、表面を照明する光強度の知覚量に相当する。視覚系が想定する光の強さをその場所の明るさ感とするならば、物体色モード上限輝度は明るさ感指標として妥当である(図1)。色モード境界輝度値は刺激の色に依存するが、無彩色刺激に対する物体色上限輝度を明るさ感指標と定義し、以下ことわりがない限り「色モード境界輝度」は、無彩色刺激に対する物体色上限輝度とする。

[3] 色モード境界輝度測定法

測定には環境の照明光とは独立に輝度調整できる無彩色刺激が必要である。我々の装置では6cm正方形のマンセルN5のマットな色票を垂直から約45°傾けて約1mの高さに設置し、下方からスライドプロジェクタでスポット照明する。その光路中に可変中性濃度フィルタを置き調光可能とした。この装置を明るさを測りたい場所に置き、観察者は自ら輝度を調整して物体色から不自然な色モードに切り替る輝度(色モード境界輝度)に設定する(図2)。



図2 色モード境界輝度測定.

(例1) 内装の異なる室における色モード境界輝度測定³⁾

6畳のリビングルームを、壁や物体の明度制限をしない通常的环境N(normal)と最高明度をマンセルバリュー5以下に制限した環境L(limited)に設定した(図3)。環境Lでは壁Wを5Y9/1からN2へ、カーテン、雑誌M2、観葉植物の幹Tr、造花Fwをそれぞれバリュー5以下のものに替えた。それ以外は環境Nと同一である。部屋中央のテーブルTb上の水平面照度を3~300lxに設定し、9名の被験者(6名は3、30、300lxのみ)に色モード境界輝度を設定させた。図4の結果は色モード境界輝度が照度にほぼ比例することを示す(傾き0.9程度)。しかし環境Lの境界輝度は環境Nに比べて約0.7倍と低く、水平面照度が同じでも環境Lは暗く感じていることが分かった。さらに周辺輝度や局所的な水平面照度の影響を調べるため、300lx照度条件で位置を変えて色モード境界輝度を測定した(表1)。環境LのP1~P4では刺激位置での照度と背景輝度に約2倍の違いがあるが色モード境界輝度はほぼ等しい。環境NではP3のみ0.8倍と若干低くなったが隣接背景輝度の比1/20からするとその影響は小さい。さらに環境NのP3と環境LのP1では照度、背景輝度ともほぼ等しいが、色モード境界輝度値は2倍以上の開きがある。つまり局所的な水平面照度や隣接背景の輝度の影響は環境NとLの違いによる影響に比べて小さく、照度や隣接背景輝度は単独では色モード境界輝度の決定要因になり得ないことが示された。

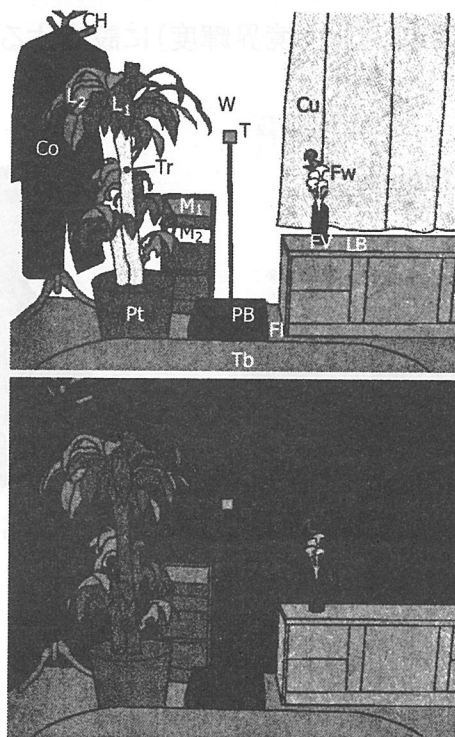


図3 2つの実験環境。
環境N(上), 環境L(下)。

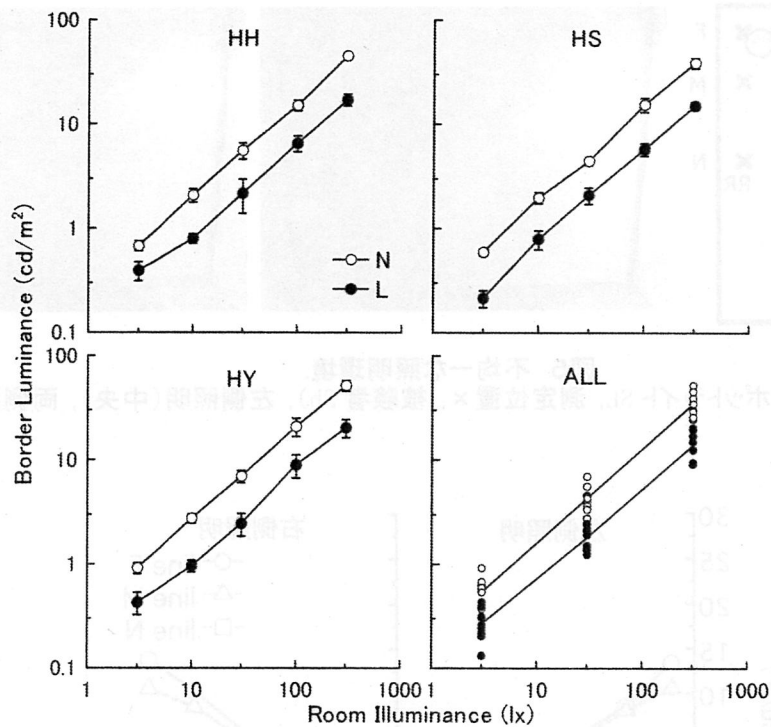


図4 実験結果. ○環境N, ●環境L, 15回の平均値. 右下の点は9名の被験者の設定値.

(例2) 不均一照明環境での色モード境界輝度測定⁴⁾

幅 2.4m 奥行 2.4m 高さ 2.0m のブースの天井の奥、左右2ヶ所にスポットライトを設置し(図5左 SL)、不均一な照明環境を実現した。照明条件は右側照明、左側照明、両側照明の3条件とし、図5の左に×で示す15箇所で測定した。左側照明時、床から1mの高さの水平面照度は部屋中央(N-Cの位置)で30lx、F-LLでは1400lxであった。両側点灯時はそれぞれ60lx、1400lxであった。図6の上段左右、下段右は被験者3名による10回の平均設定値である。どれも光源から遠ざかるにつれて色モード境界輝度が減少、つまり不均一に明るさが変化している(ただし各位置の局所的な照度値に完全には比例していない)。図6の下段左は、左側照明と右側照明時に得られた色モード境界輝度の和であり、両側照明条件下で実際に設定された値(下段右)に一致した。すなわち色モード境界輝度においては「右単独点灯+左単独点灯=両側点灯」を満たし、加法性が成り立つ。これをより明解に示したものが図7である。片側点灯時の色モード境界輝度値の和(横軸)と、実際に両側点灯時に得られた色モード境界輝度値(縦軸)の相関は非常に高い(相関係数 $r^2=0.98$)。言い換えると、複数の照明を用いて複雑な光環境を実施したときの明るさ感が、単独の照明の下で生じる明るさ感の和になることを示しており、複雑な光環境を扱う上で非常に便利な性質と言える。

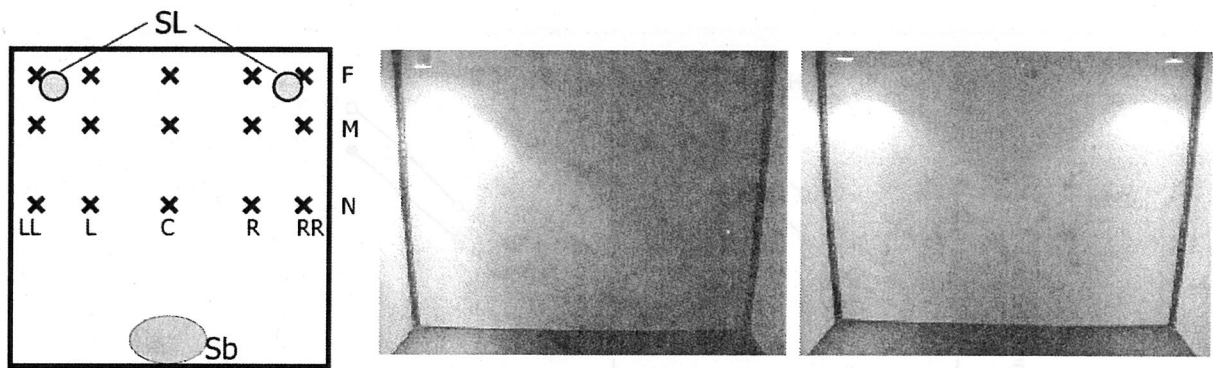


図5 不均一な照明環境.
 平面図(左, 天井スポットライト SL, 測定位置×, 被験者 Sb), 左側照明(中央), 両側照明(右)

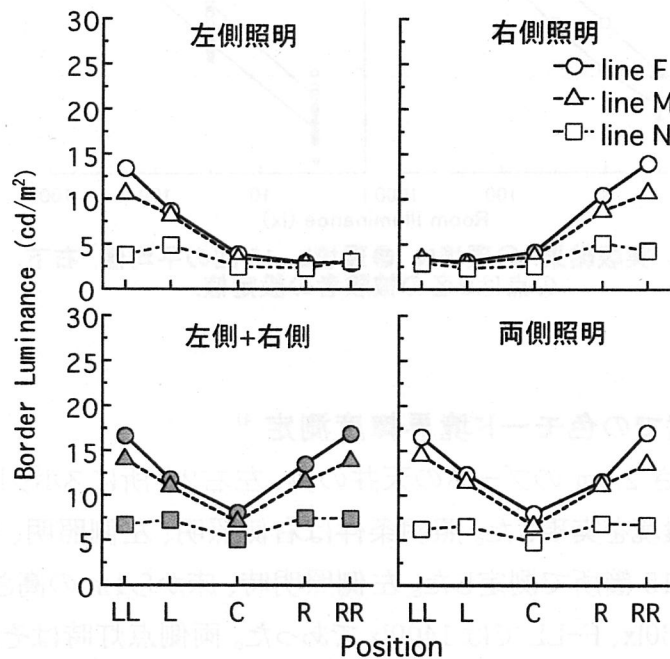


図6 不均一な照明環境下での色モード境界輝度.

色モード境界輝度の特徴と課題

色モード境界輝度測定では、知覚的な 100%反射率表面の輝度、すなわち刺激表面に注ぐ局所的な照明光の知覚的な強度を求めている。その特徴は(1)絶対評価、(2)局所的な明るさ感評価、(3)加法性成立の3点。しかしn倍の色モード境界輝度がn倍の明るさ感に対応しているわけではなく、完全な明るさ感指標とするには、比例尺度として確立する必要がある。また室全体の明るさ感を評価するものではないため、室全体の明るさ感の決定機構については別途検討しなければならない。その代わり不均一な光環境でも局所的な明るさ感を評価でき、より多様な光環境に対応できる。つまり明るさ変化のある空間を計画・評価できる。3点目の加法性も複

雑な光環境を扱うのに適した性質である。

これからの照明計画においては、明るさ感指標を導入し、照度とあわせて用いることで物理量の光と感覚量の光を分離し、作業性重視の光環境と雰囲気重視の光環境を明確に区別して扱うことが重要である。それにより、例えば「作業に十分な光量を確保しつつ落ち着いた雰囲気を作り出す」、「光量を抑えつつ十分に明るく感じる省エネルギー照明」など多様な照明設計が可能になる。

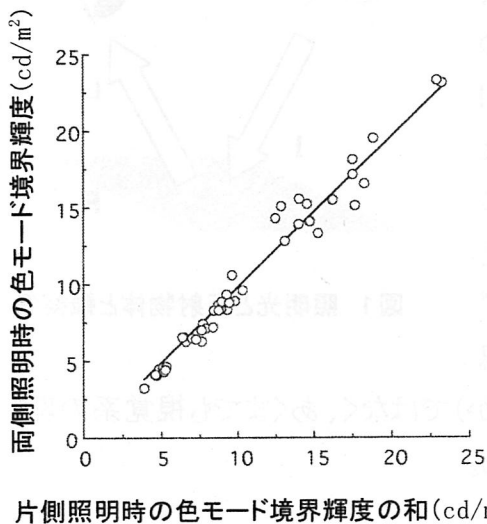


図7 色モード境界輝度の加法性.

表1 測定箇所での水平面照度, 隣接背景の輝度.
部屋中央 Tb 上の水平面照度は 300lx.

Room Type	Environment N			Environment L		
	P1	P2	P3	P1	P2	P4
I_T (lx)	400	200	400	400	200	400
L_B (cd/m^2)	36.1	36.1	1.80	1.76	1.76	3.20

参考文献

- 1) 山口ほか: 照明認識視空間の明るさサイズの測定による実環境における空間の明るさ感の評価、照学誌、86-11、pp.830-836(2002)
- 2) Y. Thiangthantum et al.: Not the immediate surrounding luminance but the room illuminance that determines the border of an object from the natural to unnatural object color, Optical Review, (accepted)
- 3) 山口ほか: 室内環境の最高明度が照明認識視空間の明るさサイズに与える影響、照学誌 (in press)
- 4) H. Yamaguchi et al.: Space brightness of non-uniformly illuminated space measured by border luminance, Proc, AIC2003, Bangkok, Thailand, pp.137-141 (2003)

(篠田博之 立命館大)

3.3 新しい視環境評価方法

3.3.1 照明認識視空間

[1] 照明認識視空間とは

なぜ異なる照明の下でも物体表面は同じ色に見えるのか(色恒常性)、なぜ自発光の光源を容易に見つけるのか(光源色の知覚)。これに対して多くの研究者がこう考える。視覚系は照明光の情報を持っている、つまり視覚系中枢内には照明光に対する何らかの表現(representation)ができていないか(図1)。照明認識視空間(Recognized Visual Space of Illumination, RVSI)も同じである。ただしそれは3次元空間を満たす光に対する表現であり、照明認識視空間には視覚系による3次元空間の理解が伴う。環境は常に3次元であり、たとえ2次元的な刺激を観察していても視覚系は必ず3次元の環境を想定すると考えるからである。ここで用いる「認識」という語は、観察者の認識(観察者自身にどう見えているか)ではなく、あくまでも視覚系の理解を指すこととし、意識に上がらない過程をも含めることとする。

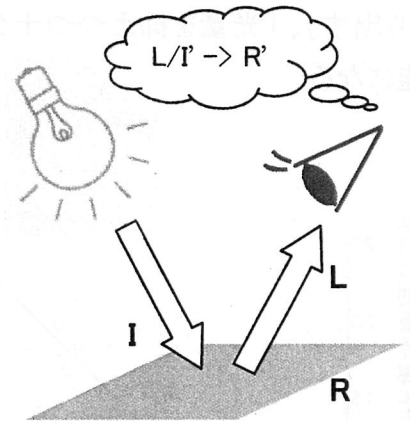


図1 照明光と反射物体と観察者

[2] 照明認識視空間の表現形式

照明された様々な物体(初期視覚情報)を手掛かりにして、視覚系内にRVSIが形成される。そして対象物から視覚系に入射する光は構築されたRVSIにてらして評価され、自発光か反射物体かの判定、その色の見えが決まる。

RVSIの属性としては強度と色があり、それぞれ球(円)の大きさと回転で表現する。球(円)を描く空間は極座標空間であり、その半径方向または原点からの距離に輝度、角度方向に色度をとる(図2左図)。

物理的な白色(等エネルギー白色やD65)を鉛直上方向にとり、そこから傾くほど高彩度の色度に対応させる。外周は物体色として知覚される上限の輝度である。例えばある色票を主照明とは別の光源でスポット照明し、色度を保ったまま輝度を上昇させるとき、その刺激に対応する点はその色度に対応する直線上を外に向かって移動する。このとき反射物体として見える上限の輝度、あるいはそれを超えると不自然な見えになり始める輝度を物体色上限輝度と呼び、それを様々な色度に対して求めると、それは球(円)の外周を形成する(図2右図、特にグレー色票に対する物体色上限輝度値、図中○を

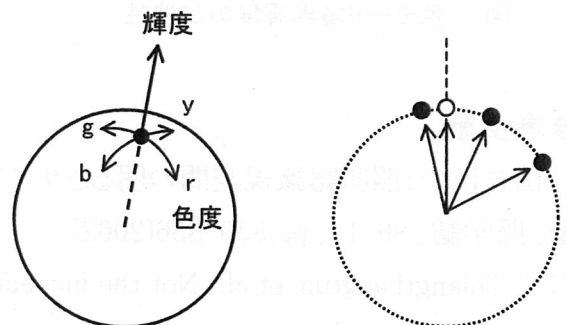


図2 照明認識視空間を表す模式図

「空間の明るさ感指標」として用いることを 3.2.4 で提案した)。すなわち RVSI の外周は、知覚的なオプティマルカラーまたは知覚的な最明色の集合である。球内は物体色の領域で、半径に対する点までの相対的な距離で見えの明度が決定される。球外は蛍光色や光源色モードの領域となる。この球(円)の大小を照明認識視空間のサイズが大きい小さいと表現することもある。

[3] 明度知覚、光源色判定、明度の恒常性

ある空間に置かれた反射物体 C1 と自発光物体 C2 を考える。両者とも物体色上限輝度以下の輝度を持ち、円の内側に点が打てるとする(図3左)。この時点では両者は物体色として見えている。ここで照明を暗くすると円は小さくなる(図3右)。反射物体の輝度も同じ比率で下がるため、円の半径に対する C1 の相対的な位置は変わらない。したがって見えの明度も変化しない(明度の恒常性)。ところが自発光物体 C2 は照明によらず同一輝度のため円に対する相対的な位置は保たれない。この図の場合、C2 が R2 の外側に飛び出し、蛍光色や光源色など、反射物体としては不自然な見えに変化したことを示す。後者は自発光しているネオンサインや建築物のライトアップ、舞台照明でのスポット照明などの状況に対応する。

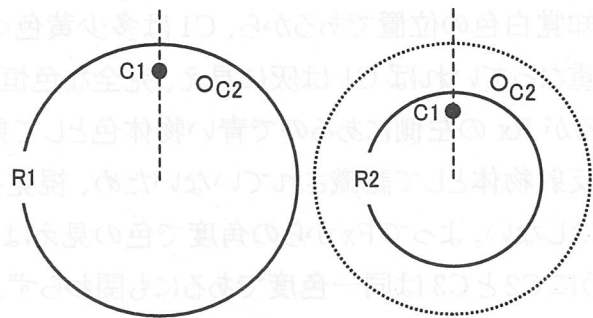


図3 異なる明るさの照明に対する RVSI
●反射物体、○自発光物

[4] 色知覚、色の恒常性、色知覚の二元性

色の原点として、暗黒中での知覚白色の方向を認識基本軸 F_x と定義する。通常それは物理的な白(例えば D65)にほぼ等しく、 F_x を物理的な白と考えて差し支えない。図では F_x を鉛直上向き、時計回りに黄、反時計回りに青方向として描いている。照明光の物理的な色を照明軸 I_x で表し、視覚系が理解した照明光の色の方向を認識軸 R_x で表す。つまり R_x はある照明状況における知覚上の白色であり、これよりも時計回り方向にあるものは黄色に、反時計回り方向にあるものは青く見えると考える。

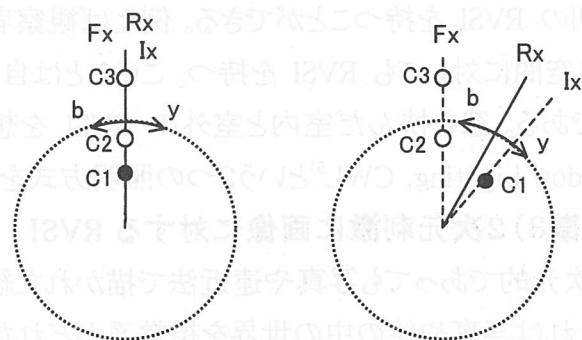


図4 異なる色の照明に対する RVSI
●反射物体、○自発光物

いま D65 で照明された空間に置かれたグレーの反射物体 C1、自発光の色 C1 と C2 を考える。C1 と C2 の輝度は物体色上限輝度以下、C3 のそれは物体色上限輝度以上とする。D65 照明で

あるから I_x は F_x に重なっており、 R_x も同じ位置にあると考えられる。 $C1$ は照明光 $D65$ をそのまま反映するので同じ色度となる。さらに自発光物体 $C1$ と $C2$ も $D65$ と同じ色度で発光しているとする。 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ はいずれも F_x 、 I_x 、 R_x 上にプロットされ、灰または白に見えていることを示す(図4左)。次に照明光を低色温度の黄色いものに変える(図4右)と、 I_x はその色度の分だけ黄色方向に傾き、反射物体である $C1$ の点も共に移動する。しかし自発光している $C2$ と $C3$ の点は動かない。認識軸 R_x は I_x に伴って傾くが完全に一致しないことが多い(不完全色順応)。 R_x は知覚白色の位置であるから、 $C1$ は多少黄色く見えることになる(不完全色恒常)。もし R_x が I_x に重なっていれば $C1$ は灰に見え、完全な色恒常が成立する。 $C2$ は物理的にはニュートラルであるが R_x の左側にあるので青い物体色として見えることになる。 $C3$ も同じく R_x の左側にあるが、反射物体として認識されていないため、視覚系は入射光から照明光成分を考慮するような処理はしない。よって F_x からの角度で色の見えは決まり、依然として白い光源色として見える。このように $C2$ と $C3$ は同一色度であるにも関わらず、モードによって異なる処理がなされ色の見えが異なる。これを「色知覚の二元性¹⁾」と呼ぶ。

(特徴1) 照明光を変えずに RVSI を操作する

照明認識視空間の属性は照明の物理的な強度(照度)と色(色度)だけでは決まらない。照度が等しくても壁の明度や置く物体の明度によって RVSI のサイズが異なることは 3.2.4 で述べた。色においても同様で、白色照明の下でも壁や物体の色を操作すると認識軸 R_x が傾く^{2,3)}。照明計画では光源のことだけを考えていては不十分である。言い換えると、部屋の内装や物体を操作することでより多様な照明計画ができるということでもある。

(特徴2) 他空間に対する RVSI、複数の RVSI

RVSI は空間に対する脳内表現であるから、同時に複数の空間を見るときそれぞれに対応する個別の RVSI を持つことができる。例えば観察者のいる自空間だけでなくドアや窓を通して見える他空間に対しても RVSI を持つ。このことは自分のいる環境に対してのみ働く「順応」とは対照的である。窓を挟んだ室内と室外の RVSI を想定することで連続感照明⁴⁾と Communication Window Lighting, CWL⁵⁾という2つの照明方式を提案している。

(特徴3) 2次元刺激に画像に対する RVSI

2次元的であっても写真や遠近法で描かれた絵画に対して RVSI を形成することがある。もちろんそれは写真や絵の中の世界を視覚系がどれだけ3次元空間として理解しているかに依存する。写真や絵を観察する環境の照明計画ではこのことを考慮する必要がある⁶⁾。

(特徴4) RVSI の構築、異なる RVSI への連続的な移行

認識軸 R_x が照明軸 I_x に一致しないことがある。(特徴1)がその一例で I_x を動かさずに R_x を操作した。その逆に物理的には照明が与えられていても RVSI ができない状況がある。例えば白色照明された部屋の中、ある灰色の物体に赤いスポット照明を当てる。スポット照明に照らされ

た物体が他になければスポット照明に対する RVSI ができない(隠匿照明)。周囲の空間に対する Rx(白色照明でありほぼ Fx の位置にある)によって物体の色の見えが判定され、赤い物体として認識される。次にスポット照明の領域内に物体を入れてゆく、あるいは照明の領域を広げてゆく。すると赤い照明が当たっていたことに気付く。スポット照明に対する新たな RVSI が形成され、その Rx は赤い方向に傾くため物体はもう赤くは見えない。

ここで大切なのは、この過程が連続的であるということである。つまりスポット照明に照らされた物体の数(量)に応じて徐々に色が見えが変化する^{7,8)}。RVSI のでき具合を考えることは重要である。例えば、隠匿照明のように照明を用いて色付けて見せたり光源色に見せるなど積極的な演出効果を狙う場合、スポット照明に対する RVSI ができない方がよい。逆に商品の色を正確に伝えたいなど色恒常性を目指すとき、RVSI はしっかりと形成されないといけない。他にも例をあげる。赤い光を当てれば赤く見えるのではない。赤い照明に対する RVSI ができれば照らされた物はそれほど赤く見えない。また周囲に赤い物を配置して色が見えが変わるのは赤い物体が直接効果を及ぼしているのではない。視覚系が赤い照明が当たっていると解釈しその結果物体表面に感じる赤みが減るのである。視覚系が照明をどの程度理解しているのか(RVSI が構築されているのか)、常にそのことを考えながら照明計画をするべきである。

[5] 照明認識視空間の課題

照明認識視空間を照明の現場で活用するには、具体的な数値を用いた記述が要求される。一つは RVSI の球(円)を描く空間を既存の測色値に対応させることである。球(円)の代わりに、例えば Yxy 空間内に、知覚白色(Rx)の色度でピークを持つような凸型の曲面で表現することも可能である⁹⁾。しかし細部を追求してシンプルさを失ってはいけない。なぜなら現在の RVSI の球(円)モデルは極めて直感的であり、だからこそ様々な状況を定性的に表現し易く、そこから得られる示唆も多いのだから。もう一つの課題は、照明認識視空間の構築メカニズムの解明である。与えられた状況に対してどの様な RVSI が構築されるのか。これが分からなければ RVSI を適用しようがない。しかしこちらは照明認識視空間というより視覚系の色覚メカニズム全体に関わる問題であろう。

照明認識視空間はまだ発展途上であり解決すべき課題も少なくない。しかし上に示したように、様々な明るさ・色の見えの現象を説明でき、そこからすでにいくつかの照明応用への発想も生まれている。照明を扱う強力なツールとなる可能性を持っている。なお照明認識視空間の考え方や応用に関しては、池田による照明学会誌の解説^{10,11)}を参照されたい。

参考文献

- 1) A. Kusumi et al.: Duality of color perception with colored eyeglass for different color appearance modes, proc. of AIC Midterm Meeting2003, Bangkok, Thailand, pp.422-425 (2003)

- 2) Y. Mizokami et al.: Color property of the recognized visual space of illumination controlled by interior color as the initial visual information, *Optical Review*, 7-4, pp.358-363 (2000)
 - 3) P. Cunthasaksiri et al.: Recognized visual space of illumination: a new account of center-surround simultaneous color contrast, *Color Research and Application*, 29-4 (in press)
 - 4) 村中他: 居住空間における連続感照明の自動化, 照明学会第 34 回全国大会論文講演集, p.231 (2001)
 - 5) 井上他: コミュニケーション・ウィンドウ・ライティング(CWL)による外界情報伝達, 照明学会第 36 回全国大会論文講演集, p.170 (2003)
 - 6) 吉田他: 景色の色印象再現のための写真サイズと色補正量の関係, *日本色彩学会誌*, 27 巻 Supplement, pp.18-19 (2003)
 - 7) 山内他: 初期視覚情報の増大による照明認識視空間の構築, *光学*, 30-1, pp.41-48 (2001)
 - 8) 山内他: 隠匿照明に対する初期視覚情報の増大による照明認識視空間の構築—色の性質の場合—, *光学*, 32-9, pp.558-565 (2003)
 - 9) 原田他: 色モード境界輝度による照明認識視空間の認識軸の測定, 照明学会第 36 回全国大会論文講演集, p.169 (2003)
 - 10) 池田: 照明認識視空間の照明設計への応用(その1), *照学誌*, 83-12, pp.913-916 (1999)
 - 11) 池田: 照明認識視空間の照明設計への応用(その2), *照学誌*, 84-1, pp.50-53 (2000)
- (篠田博之 立命館大)

3.3.2 視野輝度変動時の輝度差閾値と文章の読みやすさ

観察者の視線移動や、昼光などの光環境の変動により、観察者は視野輝度が変動する状態において視対象を見ることがある。視野輝度変動に関わる研究としては、フリッカの知覚に関する研究や、単一の視野輝度変動における輝度変化の知覚¹⁾や輝度差閾値の過渡過程²⁾に関する研究などがある。ここでは連続的な輝度変動下において順応輝度に対応する輝度差閾値と作業性に対応する読みやすさとを対象にする。

視野輝度が変動しない定常時の文章の読みやすさの主要因は明視三要素(順応輝度、輝度対比、文字の視角)であり、順応輝度は視野内の輝度の空間的な分布と対応づけられる³⁾。視野全体の輝度が変動する状態では、視対象側の要因である輝度対比と文字の視角は定常であるが、人側の要因である順応輝度が変動すると考えられる。順応輝度は視野輝度の変動履歴に左右され、その特定には視野輝度変動に対する人の視覚特性の把握が必要となる。ここでは規則的かつ周期的な変動の代表例として矩形波状に視野輝度が変動する状態において、被験者に背景と視対象との輝度差閾値を調整させた結果および呈示文章の読みやすさを評価させた結果を基に、視野輝度変動が輝度差閾値と読みやすさとに及ぼす影響を概観する。

[1] 視野輝度変動時の輝度差閾値について

図1に視野全体の輝度が矩形波状に変動する状態において推測される輝度差閾値の変動過程の模式図を示す。順応が輝度変動に完全に追従するならば輝度差閾値としては図中破線のように①上限定常閾値と④下限定常閾値とが交互に現れるが、順応には時間を要することや明順応と暗順応でのその時間の差から実際には実線のごとく推移すると考えられる。

視対象と背景との輝度差が輝度差閾値の変動範囲の上端(②)より大きい場合は視対象は連続して視認できる(連続視)、下端(③)より小さい場合は常に視認できない(不可視)、それら上下端の間にある場合は視認できる状態とできない状態が交互に出現する(断続視)見え方になる。

変動する視野全体の輝度に対して視対象と背景との輝度差を独立して調整可能とするため視対象を光像(投影画像)として呈示し、上述の見え方の境界となる輝度差(②上限定常閾値、③下限定常閾値)に視対象の輝度を調整させ、それらの間を輝度差閾値の変動範囲として特定した^実験の詳細は4.5,6)。

一辺の視角が観察距離0.8mで16、64、256(分)の3種となる正方形視対象を設定した。周期1,4,10[s]、振幅係数1.1,1.3,1.5、平均輝度10,100,1000[cd/m²]の各3段階

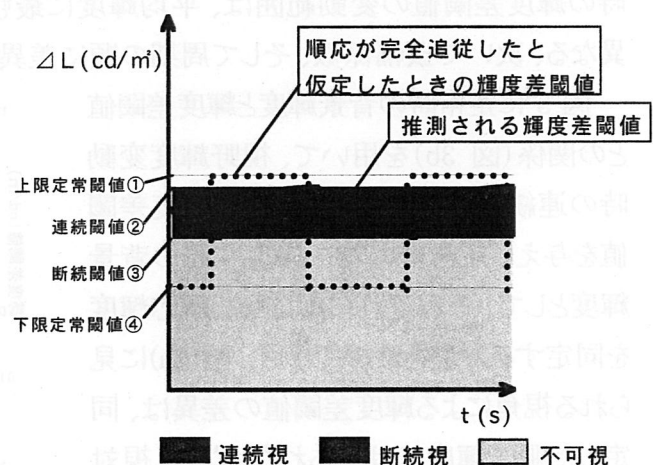


図1 矩形波状の視野輝度変動時に推測される輝度差閾値の変動範囲

の変動特性値の組み合わせで規定される27パターンの視野輝度変動を設定した。視野輝度は平均輝度に振幅係数(k)とその逆数(1/k)をそれぞれ乗じた輝度で変動する。被験者2人の内 K.S から得られた輝度差閾値の対数平均値で結果を示す。

図2は視対象の視角256(分)において、振幅係数1.1、1.5と背景の平均輝度10、1000(cd/m²)の組み合わせ条件での、周期と輝度差閾値との関係を示す。連続閾値、断続閾値を実線で示し、視野輝度変動の上限・下限定常閾値(周期に関わらず同一値)を破線で示す。全ての条件において視野輝度変動に伴う輝度差閾値は上下限の定常閾値の範囲内で変動する。

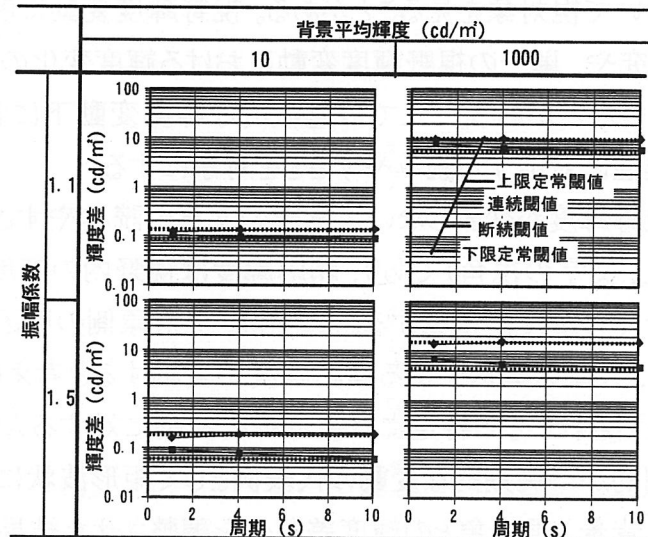
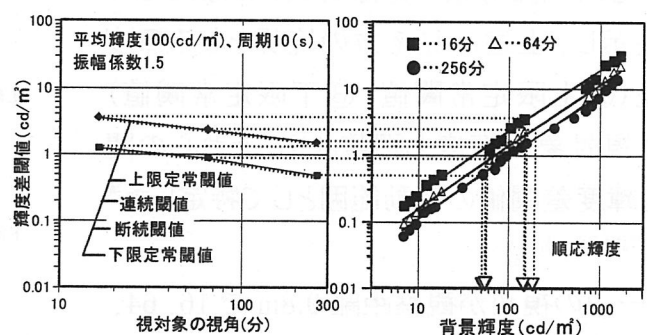


図2 周期と輝度差閾値の関係(被験者 K.S、視角 256 分)

周期が小さい1(s)では、輝度差閾値の変動幅は、上下限の定常閾値の幅に対して明らかに小さく、その範囲は上限定常閾値側に偏っている。変動幅の縮小は上下限の定常閾値と差があり定常閾値に到達する前に次の視野輝度に変化するためと考えられ、その偏りは明暗順応に要する時間の差異が原因と考えられる。周期が大きいほど輝度差閾値の変動幅は上下限の定常閾値の幅に近くなり、周期が十分に大きい条件では次の視野輝度変化の前に定常閾値に達すると考えられる。

視野輝度変動時の輝度差閾値は上下限定常閾値の範囲内で周期が大きいほど振幅係数が大きいほど変動幅が広くなり、背景輝度が高いほど高い輝度差閾値で変動する。視野輝度変動時の輝度差閾値の変動範囲は、平均輝度に最も大きく影響を受け変動範囲のレベルが大きく異なる、次いで振幅係数、そして周期の順に差異が大きい。

図3に定常時の背景輝度と輝度差閾値との関係(図3b)を用いて、視野輝度変動時の連続閾値、断続閾値と同じ輝度差閾値を与える定常時の均一輝度視野の背景輝度として、それぞれに対応した順応輝度を同定する方法を破線で示す。図3a)に見られる視角による輝度差閾値の差異は、同定した順応輝度では見られなくなる。視対象の輝度では視対象の大きさが順応輝度



a)視対象の視角と輝度差閾値 b)輝度差弁別閾値曲線

図3 順応輝度の同定方法

には大きく影響を及ぼさないためと考えられる。

図6に視対象の視角16分について、設定した全ての振幅係数及び平均輝度の組合せ条件において周期と輝度差閾値の変動幅に対応した順応輝度の変動幅(それぞれ△、▽)との関係を破線で示す。視野輝度変動時の順応輝度は、平均輝度を跨いで変動し、周期が大きいほど振幅係数が大きいほど変動幅が広がる。

視野輝度変動時の読みやすさについて

輝度差閾値と同じ27パターンの視野輝度変動を設定し、文字の大きさ三段階(9.1, 18.2, 36.4分)の文章視対象(輝度対比0.85)を呈示し、6段階の評価尺度で被験者にその読みやすさを評価させた(実験の詳細は7)。

図4に代表的な文字の視角と平均輝度の組み合わせにおいて周期と読みやすさ(50パーセントイル評価値)との関係を振幅係数毎に示す。定常時の読みやすさも併記している。定常時は平均輝度が大きく、文字の視角が大きいほど読みやすいと評価される。視野輝度変動時は概して定常時に比べて読みにくくなり、周期が大きく、振幅係数が小さく、平均輝度が大きく、文字の視角が大きいほど読みやすいと評価される。周期10[s]においては、振幅係数による差異も少なく定常時の読みやすさとほぼ同じ評価が得られている。

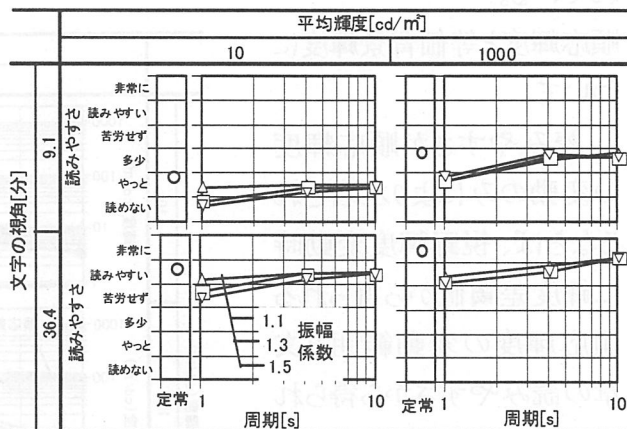
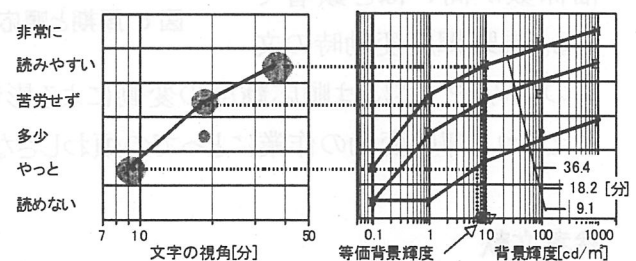


図4. 周期と読みやすさとの関係

図5に定常時の背景輝度と読みやすさとの関係(図5b)を用いて、視野輝度変動時の読みやすさと同じ読みやすさを与える定常時の均一輝度視野の背景輝度として等価背景輝度を同定する方法を破線で示す。図5a)においては視角により読みやすさに差異が見られたが、同定した等価背景輝度には差異は見られない。視野輝度変動は文字の視角とは独立して文章の読みやすさに影響を及ぼしていると考えられる。



a) 視野輝度変動下での読みやすさ b) 定常時の文字の視角と読みやすさとの関係

図5 等価背景輝度の同定方法

図6には設定した全ての振幅係数及び平均輝度の組合せ条件において周期と等価背景輝度との関係を文字の視角毎(■、●、▲はそれぞれ文字の視角9.1、18.2、36.4分)に実線で示す。前述の通り文字の視角が異なることによる等価背景輝度の差異はほとんどない。実験で設定した

視野輝度変動の範囲においては等価背景輝度を用いることで文字の視角が明視性に及ぼす影響と視野輝度変動が明視性に及ぼす影響とを独立して取り扱い可能であることが確認された。全ての振幅係数及び平均輝度の組合せ条件において周期が大きいほど等価背景輝度は高くなる。周期が 1(s)では平均輝度と振幅係数による等価背景輝度の差異は少なく、周期が 4,10(s)では平均輝度が高いほど等価背景輝度は若干高く、振幅係数が大きいほど等価背景輝度は若干低くなる。視野輝度変動時の等価背景輝度は、平均輝度や振幅係数などよりも周期に大きく左右されている。

順応輝度と等価背景輝度について

読みやすさが順応輝度の変動のみにより左右されるならば、視野輝度変動時に輝度差閾値から得られる順応輝度の変動範囲と文章の読みやすさから得られる等価背景輝度とが一致すると考えられるが、図6はそれらが大きく異なることを示している。また、その差異は視野輝度変動の平均輝度が高く、周期が短く、振幅係数が高いほど顕著である。視野輝度変動時の文章の読みやすさには順応輝度の変動による影響だけでなく、他の要因が大きく影響していると考えられ、輝度変動の作業にとっての煩わしさなどを評価させる必要があると考えている⁷⁾。

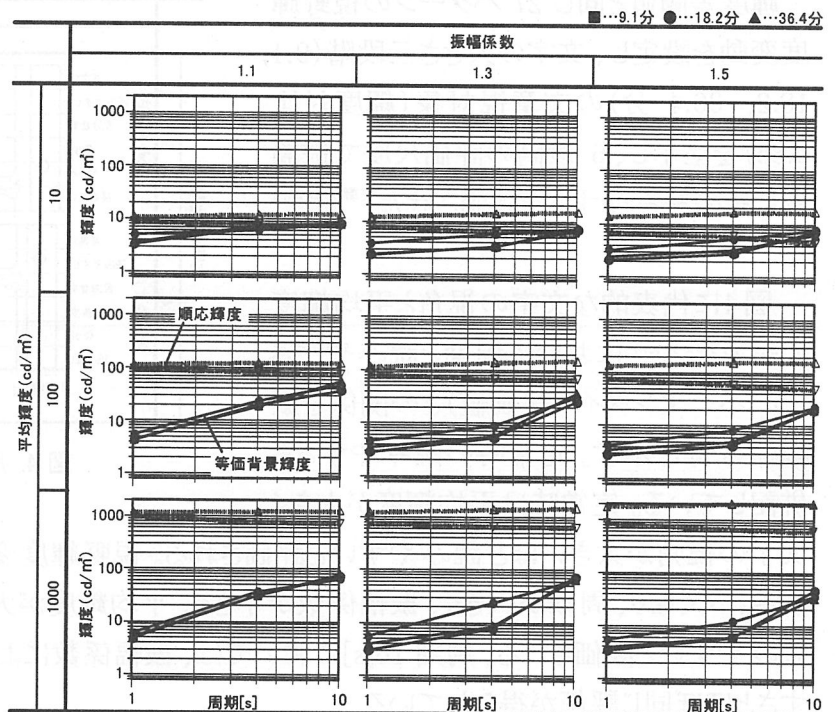
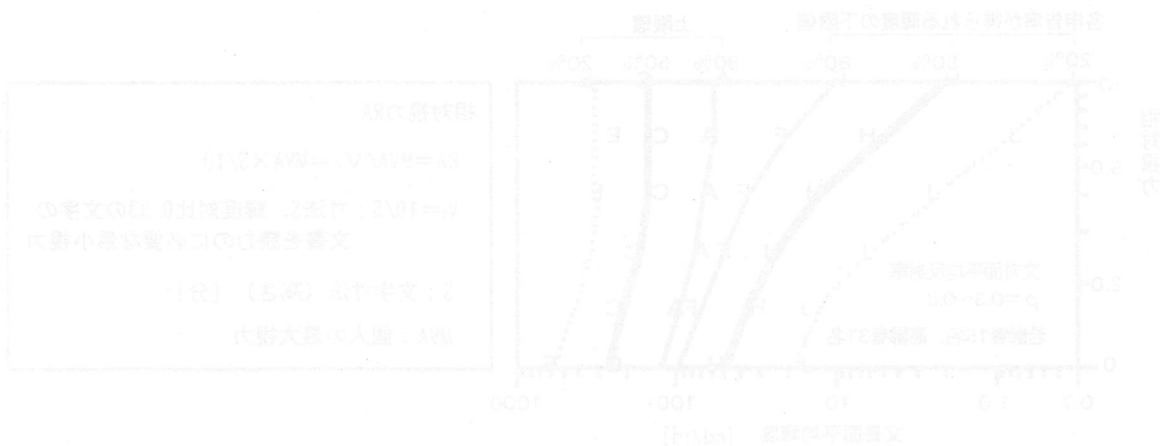


図6 周期と順応輝度、等価背景輝度との関係(被験者 K.S)

参考文献

- (1) T. SHIKAKURA, H. MORIKAWA and Y. NAKAMURA: Perception of Lighting Fluctuation in Office Lighting Environment, Journal Of Light & Visual Environment, 27-2, pp. 75-82 (2003)
- (2) 井上容子、伊藤克三: 均一輝度視野における視認能力の動的評価図 - 実効輝度を用いた視認能力の動的評価法(その3) -, 日本建築学会計画系論文集, 501, pp. 17-21 (1997)
- (3) 木村、原、野口: 実在空間における順応輝度の特定方法に関する研究, 照明学会全国大会講演論文集, pp. 236-237 (2002)

- (4) 田中、原、野口：視野内輝度の経時変動状態に於ける順応に関する研究，照明学会全国大会講演論文集， pp. 232-233 (2002)
- (5) 大垣、田中、原、野口：視野輝度変動下における視作業性に関する研究 その2- 輝度変動時の読みやすさの予測法の枠組みについて -，日本建築学会近畿支部 研究報告集， 43, pp. 45-48 (2003)
- (6) 大垣、田中、原、野口：視野輝度変動時の読みやすさの予測法の枠組みについて，照明学会全国大会講演論文集， p. 177 (2003)
- (7) 田中、原、野口：視野輝度変動下における視作業性に関する研究 その1 - 視環境条件と種々の主観評価との関係 -，日本建築学会近畿支部 研究報告集， 43, pp. 41-44 (2003)
(原直也 関西学院大)



3.3.3 行為に応じた適当な明るさ

視作業を前提とした明視設計においては、当該作業に必要とされる視力が得られる照度や輝度が確保されることが必要条件である。しかし、作業効率の良い視力や必要な読み易さが得られたとしても、作業を行う上で暗すぎると感じたり、あるいは明るすぎると感じることは回避しなくてはならない。見えの確保と同時に、各作業にふさわしい明るさ、作業者が適当と感じる明るさがある。作業者の感じる明るさは、空間全体を対象とした視環境計画においては特に重要であり、視線の動きなどに伴って不適当な明るさを感じることは、疲労の原因ともなり、作業能率の低下をも招来する。従って、設計目標に応じた適切な明るさをもたらす照度または輝度を把握しておくことが必要である。

ここでは、「視作業に求める明るさ」と「くつろぎに求める明るさ」を紹介する。

(1) 文書を読むために丁度良い明るさ

図1は、文書を読むのに丁度良い明るさの得られる作業面輝度を示したものであり、文書視標を読む際の作業面（文書面）の明るさを評価させた結果である¹⁾。図中の数値は、丁度良い明るさであると答える人のパーセントを示している。被験者は若齢者15名、高齢者31名であり、図は両年齢層を併せて相対視力に対して示したものである。

相対視力とは、文書を読むのに必要な最小視力に対する各人の最大視力の倍率である。文字が小さいと相対視力は小さくなり、相対視力が1.0以下では文字を読むことが出来ない。文書を読むのに必要な最小視力は、文字の大きさや輝度対比などの文字の物理条件によって決定される。

図1に示されるように丁度良い明るさの下限値は相対視力によって、即ち作業者の視力や文字条件によって異なるが、上限値は作業者の視力や文字条件に関係なくほぼ一定である。高齢者は視力が低い場合が多いため、視対象が同じ場合は相対視力は若齢者に較べると小さくなり、高齢者の方が適切な明るさ感の得られる下限値が若齢者より高い。

図1より、文書面平均輝度が約50~150 [cd/m²] であれば、視力や文字条件に関わらず50~80%の人が丁度良い明るさであると感じることがわかる。照度にすると、通常の文書（白地に黒文字）の平均反射率は約0.80以上であるため、およそ200~600 [lx] となる。

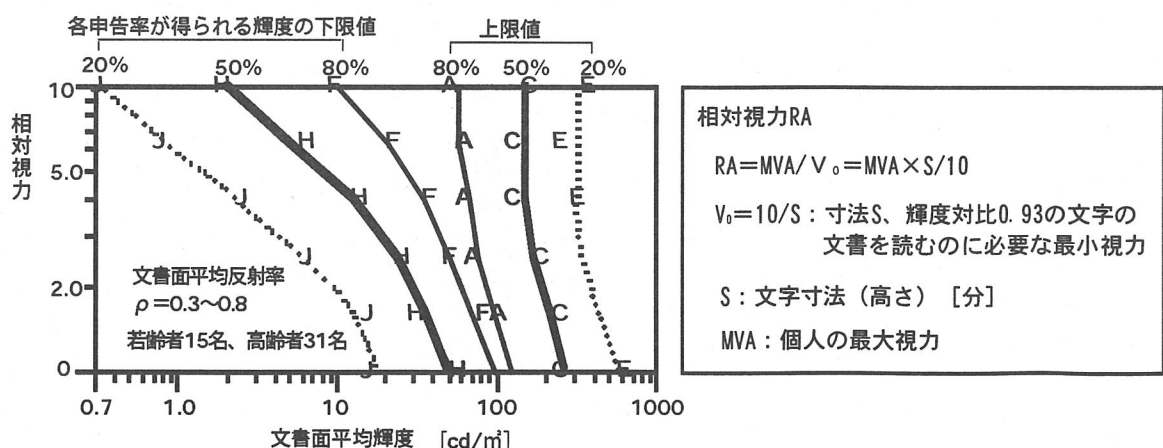


図1 等明るさ感曲線：文書を読むのに丁度良い明るさの得られる作業面照度

図2に背景輝度と最大視力の関係を求めた例を示す²⁾。均一背景において両眼視によって輝度対比0.93のランドルト環を用いた測定結果である。図より200cd/m²付近から輝度の増加に伴う視力の上昇率が小さくなり、約800~900cd/m²で視力はほぼ飽和し、これ以上になるとまぶしさ等の影響により視力が低下する例も見られることがわかる。

従って、最大視力の得られる明るさ、即ち最も文字が読み易い明るさは、約800~900cd/m²であるといえる。これは白色上質紙の文書面照度にして約3000~3500 lxとなる。図1によると、約800~900cd/m²では、殆どの方が明るすぎると感じている。従って、図1の結果は、文字を読む条件として、読み易さよりも不快のない明るさの方を評価者が優先した結果であると言える。

(2) 「団欒」に求める明るさ

表1に、団欒やくつろぎの明るさに関する3つの研究で報告されている適正照度範囲を示す。評価方法や光源、照度の測定点は各研究によって異なるが、得られている値は200~500lx前後であり、図1に示した読書に丁度良い明るさとほぼ等しい。

表1 団欒のための明るさ

著者	行為	照度 (lx)	光源	色温度 (K)	測定位置
① 宮本他	団欒	400~600	蛍光灯	3000~6500	机上面
② 中村他	団欒	400~800	蛍光灯	3000~5600	机上面
	くつろぎ	200~400			
③ 石橋他	指定なし	20~300	白熱電球	2100~2450	不明
		300~450	蛍光灯	3200~7050	

表1に示した各研究の概要を以下に略述する。

- ① (宮本他⁴⁾、1997年) : 4200Kのランプを用い、照度50lxの前室から、机上面照度200lxまたは400lxを基準とした実験室に入室し、「団らん」をイメージさせ、10種類のランプを用いて被験者に照明を調光させる。好まれる明るさとして、全使用ランプの平均値から机上面で400~500lxとしている。
- ② (中村他⁵⁾、1997年) : 机上面照度200lx、色温度3900Kで1分間順応し、17種類の予め定めた設定と、「200lx、3900K」の基準シーンを比較し、評価を行う。「団らん」と「くつろぎ」の2つのシーンを想定。机上面で200lx、および400lxが好ましいと評価されている。
- ③ (石橋他⁷⁾、2002年) : 白熱電球と蛍光ランプの6種類のランプを用い、9段階の照度を設定し、それぞれの満足度の割合を算出している。80%以上の満足度が得られた蛍光ランプによる結果が、約300~450lxであることが図より読みとることができる。ただし、照度の測定点は不明である。

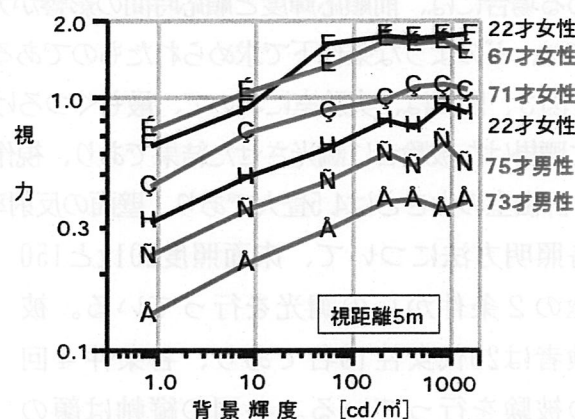


図2 明るさによる視力の変化
(両眼視、輝度対比0.93、真の正答率80%)

(3) 作業を伴わない場合の「くつろぎ」に求める明るさ

くつろぐために丁度良いとされる明るさは、照明の設置位置、大きさ、配光、拡散性、照明光の色温度、壁面色、前順応輝度、順応時間などの影響を受けるが、このうち、実験から適当な明るさを求める場合には、前順応輝度と順応時間の影響が大きい^{8) 9)}。このため、実験結果を利用するに当たっては、どのような条件下で求められたものであるのかという実験条件に対する注意が必要である。

図3、図4は、実験室において、最もくつろげる明るさになるように室内の照明を壁際のソファーに腰掛けた被験者に調光させた結果であり、視作業を伴わない場合の明るさ評価である^{8) 9)}。

評価室の大きさは4.5畳大であり、壁面の反射率は0.93、床面は0.26である。照明方法は3種類で、各照明方法について、床面照度20lxと150lxの2条件からの調光を行っている。被験者は20代女性10名であり、各条件4回の被験を行っている。各図の縦軸は顔の位置での前向き鉛直面照度（中央値）、横軸は順応室から評価室に入室してからの時間である。入室時の評価室の照度は順応室と同じレベルに設定してある。入室2分後に最もくつろげる明るさに照度を調節させ、その後一定時間経過毎に、32分後まで調節を行わせている。照度設定と同時に、くつろぎのための明るさとしての満足度の評価も行っている。

図3は、設定照度（被験者の顔の位置での前向き鉛直面照度）の時間経過を10名の被験者の設定照度の平均値を用いて示したものである。条件C₁₅₀（光天井、初期条件20lx）では設定照度と時間との関係に個人差が見られたが、他の5条件では、設定照度の値は個人によって異なるものの、時間と共に設定照度が低下するという傾向は全被験者に共通していた。図3より、初期条件が150lxの場合、評価室に入室後32分では被験者による設定照度は飽和せず更に時間と共に低下していく傾向にあるといえる。

表2 実験条件（初期順応照度と照明方法）

条件	凡例	初期照度	照明方法	光源
A ₂₀	●	20	ブラケット (壁中央)	白熱電球
A ₁₅₀	○	150		
B ₂₀	▲	20	天井中央	白熱電球
B ₁₅₀	△	150		
C ₂₀	■	20	光天井	蛍光灯 (3000K)
C ₁₅₀	□	150		

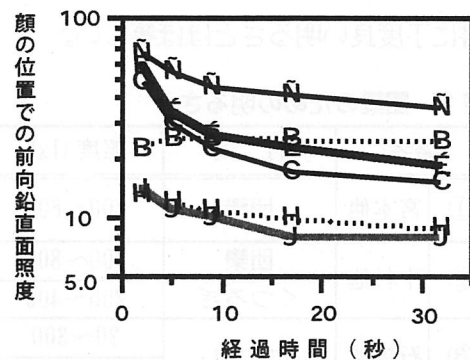


図3 最もくつろげる明るさの時間経過

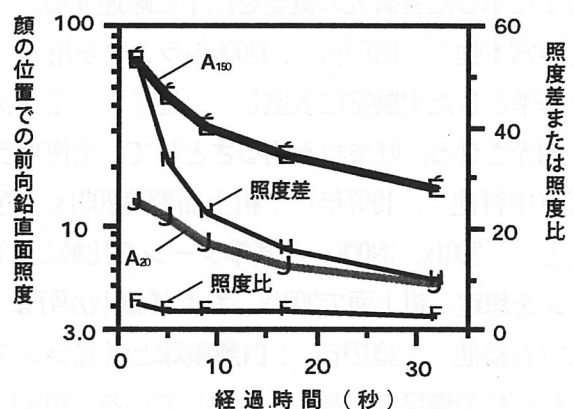


図4 満足できる明るさの時間経過

尚、図3に示した設定照度に対するくつろぎのための明るさとしての満足度は、何れの条件においても、時間と共に高くなっている。

図4は条件A₀（壁中央点光源、初期順応20lx）と条件A₁（壁中央点光源、初期順応150lx）の結果の中、「満足」と回答した場合の設定照度のみを抽出し、各時点での設定照度の中央値、及び両条件の設定照度差と照度比を示したものである。図4に示すように、32分では最初の順応照度の違いが依然として設定される照度に影響を及ぼしている。しかし、初期順応条件の違いによる設定照度の差は、2分後では約55lxであるが、32分後では10lxにまで縮まっている。設定照度比は2分後では約5で、32分後では約3である。

仮に、長時間室に滞在した場合、初期順応の影響がなくなり、20lxの場合と150lxの場合が同一の設定照度になると考えた場合、作業を伴わない「くつろぎ」に求める照度は数lxから十数lx程度のかなり低い値であると推定される。ただし、図3よりその値は照明方法によって異なると考えられ、天井設置の面光源（ここでは光天井）の場合は点光源の場合ほど低くならず、20～30lx程度の値になると推定される。

(4) 適正な明るさの計画

くつろぎの空間に、雰囲気を壊さないで必要に応じて最低限の視認性が確保されるような計画上の工夫、あるいは、視作業を主目的としない空間と視作業の為の空間のつながりを支障無く計画する事が必要であり、そのためには、各目的にふさわしい明るさを把握しておくことが必要である。

この他にも、明るさを計画していくには、エネルギー消費面からの制約や空間計画上の制約も生じてくる。これら複数の側面からの設計上の要求に十分に配慮することが、快適視環境の計画に求められている。

参考文献

- (1) 井上容子：やさしい照明技術、利用者の視力に応じた必要輝度の予測方法－利用者の最大視力と視力比曲線を用いて－、照明学会誌、Vol. 86、No. 7、pp. 446-468、2002
- (2) 秋月有紀、井上容子：個人の最大視力に対する視力比の概念の導入－個人の視力に配慮した視認能力評価における背景輝度と視距離の影響の取り扱いについて、照明学会誌、Vol. 86、No. 10、pp. 819-829、2002
- (3) 湯尻照：照度、色温度、演色評価が視環境評価に及ぼす影響、照明学会誌 第70巻、第2号、pp. 32～35、1986
- (4) 宮本雅子、梁瀬度子：蛍光ランプの色温度・演色性が室内雰囲気に及ぼす影響、照明学会誌、第81巻、第2号、pp. 107～115、1997. 2
- (5) 中村肇、唐沢宜典：照度・色温度と雰囲気の好ましさの関係、照明学会誌、第81巻、第8A号、pp. 69～76、1997. 8
- (6) 垣鏑直、茂吉雅典、中村肇、稲垣卓造、堀越哲美：心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究日本建築学会計画系論文集、NO. 532、pp. 87～92、2000. 6
- (7) 石船淳一、堀越哲美、宇野勇治、横家あさみ：照度・色温度・気温・周囲色彩が人間心理に及ぼす複合影響その2、日本建築学会学術講演梗概集 pp. 423～424、2001. 8
- (8) 石田享子、井上容子：順応と順応時間がくつろぎの明るさに与える影響、日本建築学会学術講演梗概集 pp. 323～324、2003. 8
- (9) 石田享子、井上容子：くつろぎの明るさに対する順応レベルと経過時間の影響、照明学会全国大会講演論文集、2004. 8

(井上容子 奈良女子大学)

4. まとめ

本報告では、第1章では委員会活動を紹介し、第2章では従来までの照明光の評価方法を概説するとともにその課題を取り上げ、これまでになされて来た視環境評価に関する各種の基準や評価方法、及び視覚特性に基づく明るさや色、文字の視認性に関する評価方法について紹介した。第3章では、新しい照明光評価方法として、演色性、明るさ、視環境の観点からの最新の研究を紹介した。これら新しい評価方法は各々がいまだ発展途上であるので、それらをどのように照明設計の現場で活用してゆくべきかの具体的指針を示すには時期尚早であった。しかしながら過去・現在の関連研究を一つの報告書としてまとめたことで、少なくともその目的への基盤にはなりえたと考えている。

インターネットの普及により世界とリアルタイムで情報交換する現在、昼夜を問わない勤務形態は増々増加し、疲労の少ない快適な人口照明空間へのニーズは高まる一方である。潤沢な予算に恵まれたモニュメント的公共空間や一部の贅沢なプライベート空間だけでなく、限定された予算内での設計が一般的であるオフィスや住居においても快適な人口照明空間を提供して行くのは、照明産業及び関連学術分野に関わる人々に課せられた大きな課題である。

そのためには第3章で紹介された種々の新しい評価方法が実用的に利用できるようになること、それに対応した照明機器が開発されることが肝要である。これまで個別に、しかも異なる学会で発表されて来たいくつかの研究が一つ所にまとめられたことで、新しい切り口の発見や新規分野への展開も可能となる。委員を初めとする関係各位の研究のさらなる発展を期待するとともに、本報告書が何らかの形ででもそのような発展へのきっかけとなれば幸いである。

2年間にわたり委員会活動にご協力戴いた委員各位に深く感謝するとともに、各位の所属機関のご理解・ご支援に深甚なる謝意を表するものである。また諸事情により報告書発行が大幅に遅れたことを心よりお詫び申し上げます。

(委員長 阿山みよし)

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。

