物体色と発光色の色の見えに関する最近の動向[†]

正会員 鈴木 恒 男* 正会員 瀧 田 隆 義**

I 序

最近の科学技術の発展は目覚ましいものがある、特にエレクトロニクス関係での進歩は特に顕著である。この発展は画像工学の分野に於いても新しい変化を引き起こしている。その変化とは、従来写真、印刷、テレビ等の各メディア独自の系で処理されてきた情報がメディア間で相互に利用可能な情報に変換する必要が要望されるようになったことである。このような考え方から「Media Independent Color Reproduction(MICR)」ということが提唱されている。例えば印刷においては色情報とは Yellow,Magenta,Cyan,Black 4 色のインキの網点面積率に還元され、テレビは Red,Green,Blue 3 色の蛍光体の発光量に還元されるが、この両者では情報を同じ平面で扱うことができない。そこでこれらの情報を CIE の三刺激値に変換し、三刺激値及びその変換されたもので各メディア間の情報のやりとりを行うことが MICR の例である。基本的考え方はこれであるが、ここでテレビ系と他の系での情報のやりとりに際

してテレビは発光体であり、他の系は反射及び透過体であるのにこの場合両者で三刺激値の一致がはたして色の見えでの一致を保証するだろうかという問題が生じてきた。この問題に関しては色の見え方 (Modes of Appearance of Color) が大きく影響を与えるであろうことが推測され、この古くから議論されてきた色の見え方が新たに注目を集めてきた。

II 色の見え方

色の見え方には実験現象学的観察から 9 種類に分類した D.Katz が知られている。この Katz の分類に関しては照明学会の色彩情報と色の見え研究調査委員会報告書 (委員長 矢口博久 千葉大学) で長谷川敬¹⁾ (聖心女子大学) がこの分類を平易にまとめてあるので、その表を表 1 に転載する。また別の立場から色の見え方に関してはアメリカ光学学会の測色学委員会も分類を行い 1943 年の Journal of the Optical Society of America に委員会の報告として「The Concept of Color」²⁾ との論文を発表し、その中で開口的見

表 1 色の見え方の分類¹⁾

注) () 内記号は [] に対応					
モード	基本的特徴	関連性	その他	例	CIE用語No.注)
面 色 film colour	眼前での一様な柔らかい広がり で存在位置の定位が不可。		開口色はこの一部。	大空、視感色彩計の色、 スチーム、霧、 一様な全視野	[開口色] (aperture colour) (845-02-21)
表面色 surface colour	表面としての定位が確実に可能でバリエー のような固い面、フレーム(限り)をもつ。		物体色とは一義的 には一致しない。 単眼視で特性は劣化。	紙、石、布、木、毛皮、 肌、限られた(フレーム のある)大空、煙	845-02-20 [物体色] (object colour) (845-02-19)
空間色 volume colour	三次元で構成され、その空間を充たす ように見える。透明性を要す。	面 色 光 輝 灼 熱 でのゴリウム感		びんの中の液体、 ゼリー(菓子)、 着色した素天	—
透明面色 transparent f. c.	空を含む明確な対象をガラスやフィルタ を通して見、対象とガラスの色の位置の 一致したときの色。両眼融合でも生じる。	フィルタと 対象との2重性	対象・フィルタ (不透明板も)-眼 の焦点位置など 微妙な設定条件が ある。	スタンドガラス、 サンダグラスを眼から 透してみた空や風景	—
透明表面色 transparent s. c.	両眼混色で対象(1眼)と不透明板 (他眼)が融合したとき板の肌理が 残存した見え方。			フィルタや不透明板の質感が 残る見え、うすい模様や汚れ のあるガラスを通して見た色	—
鏡映色 mirrored colour	円滑面での単純な反射で像を見る ときは鏡の特性をもつという。	反射面と分離し、面 の後面に色が見える ときは透明面色		通常の鏡でみる色	—
光 沢 lustre	像が見えず、部分的に表面構造が見え なくなりかつより明るくなる。	面色、表面色の 特性を失わない		金属光沢、 エナメル光沢、 シルク光沢	[光沢] (gloss) (845-04-73)
光 輝 luminosity	周辺より明るく、そこに三次元的な 厚みを覚えさせる色。同一照明光 で白色紙より明るい。	空間光量性という 点で空間色に近い	発光色の性質に近い。	照明光を集中して乳白ガラス や光沢紙にあてたとき透過す る色、EL、発光ダイオード	—
灼 熱 glow	フレーム(限り、形)をもつ必要のない光輝。	光輝に似るが より広汎	動いていてもよい。	炎	—

[†] The Current Studies of the appearance in Surface Color Mode and Luminous Color Mode

*慶応義塾大学法学部 Tsuneo Suzuki

**東芝ライテック㈱研究所 Takayoshi Fuchida

え方 (Aperture mode of appearance)、発光 (光学) 的の見え方 (Illuminant mode of appearance)、照明的見え方 (Illumination mode of appearance)、物体の見え方 (Object mode of appearance)、この物体の見え方を更に

表面的見え方 (Surface mode of appearance), 空間的見え方 (Volume mode of appearance) に分類している。

CIE の照明用語集 (CIE Publication No.17.4 1987 International Lighting Vocabulary 日本語版) で色の見え方に関する用語は物体色 (Object colour), 表面色 (Surface colour), 開口色 (Aperture colour), 発光色, 輝面色 (Luminous colour), 非発光色, 照明色 (Non-luminous colour), 関連色 (Related colour), 無関係色 (Unrelated colour) の 7 種類である。この様に色の見え方は分類する立場や人により異なり, この色の見え方と測色値との対応を考える際には情報が混乱するだけである。現在提案されている色の見え方がある体系のもとに分類整理することが必要である。ここではこの色の見え方をその表す意味により分類することを試みた。その分類を図 1 に示す, なお各用語の右肩にその用語が CIE で定義された場合には C, OSA で定義された場合は O, Katz が定義した場合には K と表示してある。色の見え方を大きく関係色と非関係色に分類する。関係色は物体色を下位概念とし, 非関係色は非物体色 (この用語は従来提案されていないが, 物体色の対応で新たに定義した) を下位概念とする。物体色には表面色から発光色までの 7 種類の見え方が含まれ, 非物体色には面色から開口色までの 5 種類が含まれる。関係色が物体の一部を構成し, 観察者はその物体とそれを取り巻く周囲の関係等を認識できる。通常関係色に認識するためには, 視野中に複数の色が存在する必要がある。一方, 非関係色とは色が視空間全体に広がり観察者と色との距離間隔等の関係が明確に認識されない色である。例えば, 照明された物体の色は関係色であるが, 照明する光源本体が直接視野に入らない場合の光源の色は非関係色と言える。関係色の特徴としては, 知覚上の白色点 (参照基準) が決められ, それとの相対関係で各色が定義できる, 一方非関係色は色の知覚が絶対的であり, 参照基準が存在しない。このような分類を考えるとその色の見え方の大きく異なるのは, 表面色モードと開口色モードではないかと考えられる。この両モードの見え方の差異に関しては過去に幾つかの研究がある。

III 表面色モードと開口色モードの対応

表面色モードと開口色モードの対応の初めとして考えていいものとしては, マンセル表色系と CIE の XYZ 表色系ではないか。この対応には, 色の見えと等色実験との相違も当然あるが, それ以外に表色系モードと開口色モードも大きく影響していると思われる。その対応関係の一部を図 2 に示す。この非線形な関係を如何に数式的に表現するかの努力の結果として三刺激値からマンセルの三属性を予測するために光源の三刺激値とパワーファンクションを導入した CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 表色系が生まれてきた。この表色系の予測精度は開口色モードで色が等色であるとの条件だけを満たしている三刺激値から表色系モードでの色の見えを予測する困難さを考えると完全とは言えないまでもある実用的な精度と言える。これは表色系と開口色モードだ

図 1 色の見え方の関係

図 2 xy 色度図上でのマンセル空間
(from Newhall etc)

けの問題ではないので, ここから全て結論は得られないが, ある方向を示唆するものである。

表色系モードと開口色モードの厳密なる対応関係を調べた研究が最近報告されている, その中の 2 つの論文を紹介する。H.Uchikawa K.Uchikawa and R.M. Boynton³⁾ は 11 個の色名カテゴリーを使用したカラーネーミングで, 暗黒中に一枚だけ提示された OSA の色票と, 色票の周囲に無彩色の周囲を設けた場合の色の見えを評価した。その結果, 暗黒中に提示された色票は自ら発光しているような開口色に見え, 周囲を設けた場合には表面色に知覚された。更に周囲の大きさを縮小していくと色の見えは表面色から開口色に変化した。色名で注目されることは, 開口色モードでは茶色の色名は出現せず, オレンジ色となる。6 名の評価者の平均値で OSA の j-g 画及び j-l 面上のどこに各色名が出現したかを周囲が無い場合 (黒四角), 周囲が視覚 33 分の場合 (白四角), 周囲が視覚 264 分の場合 (白丸) で示したのが図 3 である。この様に同じ色票でも周囲の状況が変わるとその見え方が変化することがこの論文から分かる。

岡島, 池田⁴⁾ は白色周辺光によって表面色モードにしたテスト色光を, 周辺光が無い場合, 開口色 (論文では光源色としているが, ここでは開口色として扱う) モードの色光とカラーマッチングし, 開口色に対応する表面色の測光

値を測定した。このようにして、開口色モードの色光が表面色モードになったときの色の見えの変化を求めた。2名の観察者が両モードの色をカラーマッチングした結果をCIE-色度図に示したのが図4である。この図では黒丸が表面色、黒三角が開口色を表している。この結果から白色周辺光を伴う表面色が色度図上で純度が高く低輝度の開口色とカラーマッチングすることを示している。

これらの論文から表面色に知覚された場合と開口色に知覚された場合では色度が同一でも色の見えが異なり、両者の関係を一義的に決めることは当面困難であると思われる。この表面色と開口色の関係が反射物体及び透過物体とテレビの見え方の相違となるかが次の問題である。

IV 好ましい肌色を指標した反射物とテレビの色の対応

印刷や写真の色が物体色のモードで知覚されることは疑問をはさむ予知はないが、テレビの色は何のモードとして知覚されるのであろうか。ここでは提唱した分類(図1)の関係色に分類され、その中の発光色に分類するのが妥当と考える。従来の考え方では開口色自ら発光しているかのように知覚されるため、発光色は開口色に近いものとして物体色的な取扱いができないと考えられてきたように思われる。

それではテレビの色と印刷等の色がどのような条件でどのような対応関係にあるのであろうか。それに関して確かなデータが公表されているか否かについては筆者の所には現在まで情報が得られていない。間接的にせよ反射物体とテレビの色の見えを比較した報告には、色再現の重要な対象である好ましい肌色の再現をテレビと印刷、写真の好ましい色で比較した報告がある(S.B. Novick)⁵⁾。この報告ではテレビと反射及び透過写真での好ましい肌色を比較して、テレビでは他に比較して好ましい肌色の刺激純度が高い特徴があるとしている。西村、浅山⁶⁾は肌、草、空の記憶色をテレビと色票で求め、両者を比較した結果、テレビの方が刺激純度が高いとの報告を行っている。筆者も印刷で作られた好ましい肌色とテレビで作られた好ましい肌色の関係を検討した(論文としては未発表)。印刷での好ましい肌色のデータは、三色のインキの網点面積率を変化させて40枚の肌色が異なった印刷物を製作し、その印刷物を1090名の男女(年齢は10代から50代まで)に見せ、各肌色が好ましい肌色として許容されるかの判定を求めた。この判定から1090名中何名が好ましい肌色として許容したから比率が印刷物の肌色の好ましさの指標となる。各印刷物は顔の部位10ヶ所を分光光度計(測定開口3mmの円形、東京電色製TC-1800M)で分光反射率を測定し、色評価用蛍光ランプ(相関色温度5000K)、10度視野等色関数で三刺激値を計算した。10ヶ所の三刺激値の平均値をその印刷物の代表値とした。テレビでの好ましい肌色は36名の女子大学生がCIE 1976 $L^*a^*b^*$ 表色系での L^* 、 H^*_{ab} 、 C^*_{ab} の量を調

図3 各モードでの色名³⁾

図4 光源色と物体色での等色点⁴⁾

節して好ましい肌色をモニタ上のモデルの顔に作り出すことで求めた。印刷で求めた好ましさの許容率とモニター上に作られた好ましい肌色の対応関係を求めるために、 L^* 、 H^*_{ab} 、 C^*_{ab} の各々で各量を2単位の幅に分割し、印刷の場合はその分割された幅に入る印刷物の平均許容率を求めた。一方、テレビはその分割された幅に何人の人が好ましい肌色を作ったかの頻度を求めた。横軸に L^* 、 H^*_{ab} 、 C^*_{ab} の何れかの量を取り、縦軸に、平均許容率（左側、黒丸）、頻度（右側、黒三角）をとり、印刷とテレビの好ましい肌色を比較したのが図5、図6、図7である。図5の色相角ではテレビと印刷での好ましさのピークは大きな差はない。図6のメトリッククロマでは従来の結果と同様にテレビの好ましさのピークは印刷よりも高い傾向はあるが、その差はさほど大きいものではない（両者の測定機器が異なることを考慮することの差は大きいとは言えない）。図7のメトリック明度では両者の差はほとんど無い。この結果ではテレビと印刷物（反射）での好ましい肌色と言う観点からの差異は見いだせなかった。しかし、この問題に関してはまだ検討が充分に行われていないのが現状であり、好ましさでなく色の見えで両者の差異があるかの検討は現在行われ始めたところである。この検討は現在CIEのTCでどのような条件で検討したらよいのかを審議している段階であり、次に審議経過を報告する。

V CIE 技術委員会 TC1-27の状況

現在、CIE 第一部会「視覚と色」には技術委員会 TC1-27が設置され、本報告に関連する「反射物体色と自発光ディスプレイ発光色の比較・表示方法」の研究が進められている。ここではこの技術委員会の状況について報告する。

TC1-27は前身のTC1-10「反射物体色と自発光ディスプレイの測色」の終了を受け、1989年10月のCIE第1部会会議（ウィーン）で新しく設置された委員会である。TC1-10では表示モードの違いによる問題を測色技術の立場から検討したが、TC1-27は印刷物や写真などの反射物体色とCRTディスプレイやLCDディスプレイなど自発光表示色の色比較・色表示を見え方（カラーアピランス）の立場から研究することをねらっている。委員長は米国コダックのAlessi博士が就任し、現時点における委員の構成は以下の通りである。

委員長 Ms. Paula J. Alessi (米)
 委員 Mr. A. Bittar (ニュージーランド)
 Dr. T. F. Chong (香港)
 Dr. M. Fairchild (米)
 Mr. A. Hanson (英)
 Dr. V. Koitcheva (ブルガリア)
 Dr. R. Luo (英)
 Dr. D. C. Rich (英)
 Prof. H. V. Thien (仏)
 Dr. J. Walraven (オランダ)
 鈴木恒男 (日) 慶応義塾大学法学部

図5 CRTと印刷の好ましい肌色の分布
(メトリック色相角)

図6 CRTと印刷の好ましい肌色の分布
(メトリック明度)

図7 CRTと印刷の好ましい肌色の分布
(メトリッククロマ)

瀬田隆義 (日) 東芝ライテック(株)研究所
 コンサルタント

納谷嘉信 (日) 大阪電気通信大学

Dr. R. W. G. Hunt (英)

Dr. M. Pointer (英)

TC1-27の活動の目的は、反射物体色（写真画像など）と自発光ディスプレイ表面色（CRT画像など）の等価な色の見えを成立させる表示方法を研究し、実用的な定式化と比

較評価方法を提案することがあるが、実用の場における緊急の問題解決の必要性がその背景にある。すなわち、印刷や染色の現場では、印刷・染色物とCRTディスプレイの両方を同時に観察して、印刷・染色物の色再現をCTR画面上で確認しながら評価・デザインする、という形態が急速に普及しつつあり、両者(反射物体色とCRTディスプレイ発光色)の等色にかかわる種々の問題が発生しているからである。なお、表示モードの違いによる色の見えの問題は、生理学や心理物理学の分野でも興味ある研究課題として各方面で精力的に研究されているが、TC1-27のねらいはあくまで実用レベルの問題解決にある。

TC1-27の活動計画では、第1ステップとして現在CIEで勧告している2つの均等色空間、すなわちCIELUV色空間およびCIELAB空間が両表示モードの色評価に使えるかを調べ、もし使えないならばどのような修正をすればよいかを検討し、実用的な解決策を早期にはかることである。第2ステップでは、色の見えモデルとして現在提案されている納谷モデルとハントモデルの応用について検討し、表示モードの違いによる色の見えの定量化を研究していくことである。

物体色と自発光表示色の色比較の問題は、国際標準化機構(ISO)内の技術委員会(ISO/IEC J-TC SC18-文書・オフィスシステムの色標準の開発)でも研究が進んでいる。TC1-27委員長 AlessiはこのISO技術委員会の委員でもあり、TC1-27の活動はISOと連携を密に進められ、TC1-27の活動成果はただちにISOへ展開できる体制がとられている。

TC1-27の活動は Alessi 委員長のもと非常に活発であり、92年7月時点で既に4回の委員会を開催している(第1回-90年6月27日仏カエン、第2回-90年8月31日独ベルリン、第3回-91年7月6日豪メルボルン、第4回-92年6月18日米プリンストン)。現在取り組んでいる第一段階の活動は前述の第1ステップの一環として、実験ガイドラインを作成することである。反射物体色と自発光表示色の両表示モードの違いによる色の見えに関する実験データは十分ではなく、まず標準的な実験方法を決め、各機関による実験をできるだけ共通化して、相互比較できるデータを多数集めることが必要である。

検討中の実験ガイドライン(CIE Guideline for Coordinated Research on Evaluation of Color Appearance Models for Reflection Print and Self-Luminous Display Image Comparisons)でまとめている実験方法は、図8に示すように同じパターン(実画像または多色配色パターン)のテスト刺激を提示したCRTディスプレイと反射物体色観察ブースを並置して、両者の色のスケーリング、等色を行うものである。第3回会議までに実験ガイドライン第2案がまとめられたが、第3回会議において、観察対象としてどのようなパターンを用いたらよいか、色の見えのスケーリング方法にはどのような方法がよいか、目の順応をどのように考えたらよいか、CRTの色表示特性の問題点などに関して修正がなされ、第4回会議を経て本年中に実験ガ

イドラインがまとまる予定である。

最終案としてまとめられる予定の実験ガイドラインでは、観察パターンには多色配色パターンのような幾何学的無意味図形よりも実画像を優先的に用いる、両表示モードの色比較評価方法として色の三属性直接スケーリング方法(Magnitude Estimation)を削除し、継時記憶色法に基づく等色(自発光ディスプレイ側の色を調節して、反射物体色と等色する)、および一対比較方法(同種の自発光ディスプレイ2台に、各照明下の物体色に対するディスプレイ対応色をXYZ,CIELAB,CIELUV,von Kries,Nayatani,Hunt各モデルで計算したものを表示し、どれが最も物体色の見えに近いかを評価する)を用いる。なお両表示モードの継時記憶色法に基づく等色評価方法には、両眼隔壁等色方法と継時記憶等色方法の折衷方法(Successive-Haploscopic Viewing)と、両眼で両表示を交互に見る Successive-Binocular Viewing)を用いる。Successive-Haploscopic Viewingでは従来の両眼隔壁法と同様に隔壁をはさんで右目、左目各々別々にCRT画面色、反射物体色を観察するが、片眼でCRT画面色を観察しているとき、もう一方の片眼は反射物体色から隔壁面へ視線をそらすことによって両眼間の順応の違いの影響を軽減することにした。この方法は両眼隔壁方法による等色精度と継時記憶色方法による実用性をそれぞれ取り入れたものである。

Successive-Binocular Viewingは両表示モードの等色を最も実用に近い状態で行うものであり、両眼で交互にどちらかの表示を観察し、両表示モードの等色が成り立つまで調節を繰り返す方法である。

本年6月の第4回会議に筆者らは残念ながら出席できなかったが、実験ガイドライン最終案は本年中には正式な実

図8 CRT表示色と照明された物体色の比較

図9 多色配色パターン

験ガイドラインとしてまとめられ、Color Research & Application に投稿される予定になっている。本問題に関心ある方は積極的に参加していただきたい。

VI まとめ

物体色と発光色の色の見えに関しては、実際上の関心が先行した形で問題が提起され、理論的扱いがそれを追いかけるのが現状である。そして国際的な動きとしては CIE の TC1-27 の活動のように基本的なデータを収集する作業が進行している。国内的には照明学会の研究調査委員会が平成 2 年から「物体色と光源色の見え研究調査委員会」(委員長 鈴木恒男 慶応義塾大学)を発足させ、平成 4 年度の活動としては委員の協力で CRT と物体色の色の見えに関する基本的実験を開始している。これらのデータが集積されてくると、色の見えに関するモデルへの問題となり、今後各方面で活動が注目されている。

VII 参考文献

- 1) 長谷川 敬: “見えのモード”
色彩情報と色の見え研究調査委員会報告書 第 6 章(1991)
- 2) O.S.A.*: “The Concept of Color”
J.Opt.Soc.Amer.Vol.33 No.10 544-554(1943)
- 3) H.UCHIKAWA,K.Uchikawa and R.M.Boynton: “Influence of achromatic surround on categorical perception of isolated surface colors”
Vis.Res. Vol.29 881-890(1989)
- 4) 岡島, 池田: “表面色モードと光源色モードにおける対応色の関係”
光学 第20巻第 6 号 363-368(1991)
- 5) S.B.Novick: “Preferred Caucasian Skin Colour in Colour Television”
B.K.S.T.Jour.Vol.45 No.5 130-135(1973)
- 6) 西村, 浅山: “色票とカラ受像管による記憶色の実験”
テレビジョン VOL.25 No. 3 230-209(1971)

(受付1992年7月7日)

10月号掲載予定目次

総 合 論 文	○蛍光ランプを光源とした人工光型植物工場の開発とその照明設計法
論 文	○室内照明空間における相互反射光の色彩変化に与える影響評価
	○蛍光体の帯電傾向と蛍光ランプの黒化現象
	○開閉式屋根付きスタジアムの昼光照度予測の研究
	○平面ディスプレイの人間工学的要件
研 究 資 料	○有限要素的手法による照度分布解析
	○光覚閾時間変化法測定による視覚疲労検査法の開発 —その 1—
委員会報告	○光源用新素材研究調査委員会報告
そ の 他	