

JIER-021

色彩情報と色の見え研究調査委員会  
報告書

1991年8月

社団法人 照明学会  
色彩情報と色の見え研究調査委員会

# 色彩情報と色の見え研究調査委員会報告書

## 目 次

	頁	執筆分担者
第1章 委員会の目的と活動経緯	1	(矢口)
1. 1 はじめに	1	
1. 2 研究調査項目	1	
1. 3 委員会の構成	2	
1. 4 委員会活動の経緯	2	
第2章 色覚のメカニズムと色の見え	3	(矢口)
2. 1 はじめに	3	
2. 2 等色関数と色の見え	3	
2. 3 提唱されている錐体の分光感度	4	
2. 4 CIEの動き	4	
第3章 色順応と色の見え	7	(側垣, 橋本)
3. 1 はじめに	7	
3. 2 色順応の測定法	8	
3. 3 色順応理論	9	
3. 4 CIE色順応式の実地試験	10	
3. 5 今後の展望	11	
第4章 色の見えの評価と予測	18	(橋本, 側垣)
4. 1 はじめに	18	
4. 2 複雑な視野における色の見えの実験報告	19	
4. 3 2種の色知覚モデルの概要	19	
第5章 色差の問題点	24	(小松原)
5. 1 色差研究の動向	24	
5. 2 新しく提案された色差式	24	
5. 3 色差式の性能試験	27	
5. 4 色差値と許容色差	29	
5. 5 今後の動向	29	
第6章 見えのモード	33	(長谷川)

第7章 色彩情報としてのカラーネーミング	36	(小泉)
7. 1 はじめに	36	
7. 2 JIS Z 8102とその問題点	38	
7. 3 JIS Z 8110とその問題点	40	
第8章 色再現方式の測色的比較	43	(鈴木)
8. 1 はじめに	43	
8. 2 混色の分類	43	
8. 3 各色再現方式の混色における特徴	44	
8. 4 支持体での光散乱の影響	45	
第9章 印刷における色再現と評価	47	(東)
9. 1 印刷方式の種類と特徴	47	
9. 2 オフセット印刷における色再現	47	
9. 3 墨加刷による色再現性への影響	49	
第10章 CRTディスプレイにおける色再現と評価	54	(明道)
10. 1 カラーCRTの構造・発色機構	54	
10. 2 カラーCRTの種類	54	
10. 3 色再現に影響を及ぼす要因	57	
第11章 CRTにおける色の見えの問題点	60	(淵田)
11. 1 はじめに	60	
11. 2 CRTディスプレイの色表示方法と色再現の特性	60	
11. 3 CRTディスプレイの視覚刺激表示装置としての限界	61	
11. 4 CRTディスプレイの測色校正	63	
第12章 VDT画面色の心理的評価	73	(武市)
12. 1 VDT画面色に関するガイドライン	73	
12. 2 心理的評価法	74	
12. 3 画面色の心理的評価	75	
12. 4 快適さ、読みやすさとパフォーマンス	75	
12. 5 VDT作業と疲労	75	
第13章 好ましい色再現	77	(西村)
13. 1 記憶色	77	
13. 2 カラープリントの好ましい色再現	80	
13. 3 CRT画面の好ましい色再現	81	
13. 4 液晶テレビ画面の好ましい色再現	86	

第14章	メディア間の色再現に関連する国際規格の現状	88	(山崎)
14.1	国際標準化の動き	88	
14.2	ODAのカラーへの拡張	88	
14.3	ODA カラーアデンダム	88	
第15章	メディア間の色再現についての提言	93	(佐柳)
15.1	はじめに	93	
15.2	色再現システム	93	
15.3	現状と問題点	94	
15.4	メディアインディペンデントカラーのために	95	
15.5	再現目標色の明確化	96	
15.6	まとめ	96	



## 第1章 委員会の目的と活動経緯

### 1. 1 はじめに

近年、色の再現性を重視する画像工学の分野のみならず、交通信号・交通情報をはじめとする情報伝達的手段として、あるいはリモートセンシングや医用画像処理の分野では計測を表現する手段として、色が使われることが多くなってきている。これにともなって、色彩情報がどのように見えるか、それを定量的に表現したい、さらに効率的に色情報を伝達するにはどのような方法が有効か、等の要求が増えてきている。

従来色の取り扱いは、CIEのXYZ表色系で代表されるように、対象とする色を三刺激値で値付けしているにすぎない。同一の三刺激値を有する色刺激でも呈示時間、大きさ、周囲の色や明るさ等の呈示条件、観察者の目の順応状態、光源色か物体色といった色の現われ方の違い、等の種々の条件によって色の見えが異なる場合が多々ある。このような場合、測色値よりも、人間にとってその色がどのように見えるかが重要になる。

本委員会の目的は、上記のような要望に応えるため、まず種々の色彩情報の色の見えについての国の内外における研究動向を、基礎から応用にかけて幅広く調査しようというものであった。3年の期間において、委員の協力のおかげで、幅広い分野において多くの研究調査が行なわれた。本報告書はそれらをまとめたものであり、今後の色の見えの研究あるいは応用に極めて貴重な資料を提供するものと確信する。

### 1. 2 研究調査項目

下記の項目について研究調査を行なった。

- (1) 色覚のメカニズムに関する研究
- (2) 色順応に関する研究
- (3) 色の見えに影響を与える要因に関する研究
- (4) 色の見えの評価法に関する研究
- (5) 色再現システムの研究
- (6) 色彩情報表示機器における応用

### 1. 3 委員会の構成

本委員会は下記の構成で活動した。

委員長	矢口博久	千葉大学工学部情報工学科
幹事	橋本健次郎	松下電器産業（株）照明研究所
	淵田隆義	東芝ライテック（株）技術本部研究所
	明道 成	三菱電機（株）生活システム研究所
委員	東 吉彦	大日本印刷（株）画像研究所
	小松原仁	（財）日本色彩研究所色彩工学研究室
	佐藤隆夫	NTT基礎研究所情報科学部
	佐柳和男	（株）写研写研メディア研究所（平成3年1月9日逝去）
	杉山正美	ミノルタカメラ（株）計測機器事業部
	鈴木恒男	慶応義塾大学法学部
	側垣博明	電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センター
	高橋 誠	（財）労働科学研究所労働生理・心理学研究部
	武市敬司郎	製品科学研究所基礎人間工学部感覚情報工学課
	西村 武	京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科
	長谷川敬	聖心女子大学心理学研究室
	三星宗雄	神奈川大学外国語学部心理学教室
	鎧沢 勇	NTTヒューマンインターフェイス研究所
	小泉直彦	双葉電子工業（株）開発研究所
	山崎 徹	富士ゼロックス（株）システム技術研究所

### 1. 4 委員会活動の経緯

（活動期間）

本委員会は昭和63年7月から平成3年3月まで活動した。

（活動の経緯）

昭和63年度は5回の委員会を開催し、本委員会の活動計画と研究調査項目を検討し、研究調査項目（2）、（4）、（5）、（6）の研究現状、問題点を検討した。

平成元年度は6回の委員会を開催し、研究調査項目（1）、（3）、（5）、（6）の研究現状、問題点を検討した。

平成2年度は6回の委員会を開催し、委員会報告の作成にとりかかり、委員会報告書の内容を検討した。また、平成2年度の照明学会全国大会において「メディア間の色再現」と題するシンポジウムを開催し、その中で本委員会の活動の中間報告を行なった。最後に、これまでの成果を報告書（本報告書）にまとめ、終了した。

## 第2章 色覚のメカニズムと色の見え

### 2. 1 はじめに

色の見えは視覚情報処理過程における最終の出力である。色の見えを現象としてだけ捉えるのではなく、どのような原理で色の見えが生じるかというメカニズムを知ることは色の見えの予測あるいは評価に大いに役立つ。色の見えの観察から人間の色覚のメカニズムを推測することは、出力から内部のメカニズムを推定することであるので、容易なことではない。しかし、物理刺激の分光特性、空間特性、時間特性を変化させること（入力の変化）によりどのように色の見えが変化するか（出力の変化）を観察するという心理物理的な手法はこれまでも色覚のメカニズムの解明に多くの成果をもたらしている。一方、網膜から大脳視覚領に至る色覚に関係する細胞、神経など各部位の役割、機能、また、それらがどのように連結しているか（ニューラルネットワークの構造）などの研究は解剖学、電気生理学、さらに大脳生理学などに負うところが多い。これら生理学、心理物理学などの研究から得られた知見を整理し総括することによって、色覚のメカニズムの全貌が解明されていくであろう。当初、本委員会でも色覚のメカニズムに関する知見の整理を研究調査の対象にしたが、これだけでも別の委員会を設立する必要があるほど大きな調査対象である。ここでは、色覚のメカニズムの初期段階である錐体レベルを中心に述べる。

### 2. 2 等色関数と錐体の分光感度

等色関数とは単位エネルギーのスペクトルに対する三刺激値である。等色実験を求めるには、原刺激を(R), (G), (B)を決め、各三刺激値の単位を決め、テスト光として単位エネルギーの単色光を用い、各波長について等色実験を行えばよい。しかし、実際にはテスト光を等明るさにして実験を行ない、この時の波長 $\lambda$ のテスト光のエネルギー $L(\lambda)$ 、また三刺激値 $R(\lambda)$ ,  $G(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ を用いて次式で等色関数を定義する。

$$\bar{r}(\lambda) = \frac{R(\lambda)}{L(\lambda)}, \quad \bar{g}(\lambda) = \frac{G(\lambda)}{L(\lambda)}, \quad \bar{b}(\lambda) = \frac{B(\lambda)}{L(\lambda)}$$

等色実験において、2つの視野が等色しているということは3種類の錐体の各々の応答が2つの視野の間で等しいことを意味している。したがって、各々の錐体の応答について次式が成立する。

$$\begin{aligned} l(\lambda)L(\lambda) &= l_r R(\lambda) + l_g G(\lambda) + l_b B(\lambda), \\ m(\lambda)L(\lambda) &= m_r R(\lambda) + m_g G(\lambda) + m_b B(\lambda), \\ s(\lambda)L(\lambda) &= s_r R(\lambda) + s_g G(\lambda) + s_b B(\lambda). \end{aligned}$$

ここで、 $l(\lambda)$ ,  $m(\lambda)$ ,  $s(\lambda)$ はそれぞれL錐体, M錐体, S錐体の分光感度であり,  $l_i$ ,  $m_i$ ,  $s_i$  ( $i=r, g, b$ )は各原刺激に対するL, M, S錐体の感度である. これらの式は等色関数を用いて次式のように書き表せる.

$$\begin{bmatrix} l(\lambda) \\ m(\lambda) \\ s(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_r & l_g & l_b \\ m_r & m_g & m_b \\ s_r & s_g & s_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}.$$

このように錐体の分光感度は等色関数の線形結合で表わせる. すなわち, 等色関数から錐体の分光感度への変換は色空間における座標軸の変換である. したがって, その等色関数の原色系における色空間での各錐体の軸の位置が分かれば, 上式の係数行列は決定される. この錐体の軸の座標は2色型色覚異常者の混同色中心になる. この導出原理により種々の錐体の分光感度が提唱されている.

### 2. 3 提唱されている錐体の分光感度

代表的な3つの錐体分光感度を示す.

Smith and Pokorny (1975)<sup>1)</sup>

$$\begin{bmatrix} l(\lambda) \\ m(\lambda) \\ s(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.15514 & 0.54312 & -0.03286 \\ -0.15514 & 0.45684 & 0.03286 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}$$

Vos (1978)<sup>2)</sup>

$$\begin{bmatrix} l(\lambda) \\ m(\lambda) \\ s(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.15516 & 0.54307 & -0.03701 \\ -0.15516 & 0.45692 & 0.02969 \\ 0 & 0 & 0.00732 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}$$

Esteves(1979)<sup>3)</sup>

$$\begin{bmatrix} l(\lambda) \\ m(\lambda) \\ s(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3845 & 1.0062 & 0.0512 \\ 0.1248 & 1.3478 & 0.1039 \\ 0 & 0.0305 & 1.5551 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}$$

Smith and PokornyとVosの用いている等色関数はJudd修正の等色関数である. また, Estevesの用いた等色関数はStiles and Burch(1955)<sup>4)</sup>のものである.

### 2. 4 CIEの動き

CIEでは錐体の分光感度に基づく表色系の確立に向けて技術委員会TC 1-04 "Physiological based system of colour specification"が検討を重ねてきたが、委員の総

意を得ず、1991年のCIEメルボルン大会において、TC 1-36 "Fundamental chromaticity diagram with physiologically significant axes"が設立され、引き続きこの問題を検討することになった。

#### 参考文献

- (1) V.C.Smith and J.Pokorny, "Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm," *Vision Res.* **15**, 161 (1975).
- (2) J.J.Vos, "Colorimetric and photometric properties of a 2° fundamental observer," *Color Res. Appl.* **3**, 125 (1978).
- (3) O.Estevez, "On the fundamental data-base of normal and dichromatic color vision," Ph.D. dissertation (University of Amsterdam, 1979).
- (4) W.S.Stiles and J.M.Burch, "Interim report to the Commission Internationale de l'Eclairage, Zurich, 1955, on the National Physical Laboratory's investigation of colour-matching," *Optica Acta*, **2**, 168 (1955).

#### その他等色関数、錐体分光感度に関する文献

- Fry,G.A. "Mixture and luminosity data for dichromats," *Am.J.Optom.Physiol.Opt.* **61**, 34 (1983).
- Fry,G.A. "Dichromatic confusion lines and color vision models," *Am.J.Optom.Physiol.Opt.* **63**, 933 (1986).
- Fry,G.A. "Judd's 1951 color-mixture diagram," *Color Res.Appl.* **12**, 88 (1987).
- Fry,G.A. "Stiles-Burch two-degree color mixture data," *Am.J.Optom.Physiol.Opt.* **65**, 921 (1988).
- Fry,G.A. "Amalgamation of the Wright and Guild color-mixture data," *Color Res.Appl.* **13**, 50 (1988).
- Guild,J. "The colorimetric properties of the spectrum," *Philos.Trans.R.Soc.London Ser.A* **230**, 149 (1931)
- Judd,B.D. Report of the Secretariat, Technical Committee No.7, Colorimetry and Artificial Daylight, Sec.7, *CIE Proceedings*, Stockholm, 1951, Vol I, Bureau Central de la CIE, Paris.
- Smith,V.C., Pokorny,J. and Starr,S.J. "Variability of color-mixture data - I. Interobserver variability in the unit coordinates," *Vision Res.* **16**, 1087 (1978).
- Smith,V.C., Pokorny,J. and Zaidi,Q. "How do sets of color-matching functions differ?" in *Colour Vision*, J.D.Mollon and L.T.Sharpe, eds. (Academic, New York, 1983), pp.93-105.

- Stiles, W.S. "18th Thomas Young oration: the basic data of colour-matching," in *Physical Society Year Book* (Physical Society, London, 1955), pp.44-65.
- Stiles, W.S. "The average colour-matching functions for a large matching field," in *Visual Problems of Colour Vol I*, National Physical Laboratory (UK) Symp. No.8 (H.M. Stationary Office, London, 1958). pp.209-247.
- Stiles, W.S. and Burch, J.M. "N.P.L. colour-matching investigation: final report (1958)," *Opt. Acta* **6**, 1 (1959).
- Trezona, P.W. "Individual observer data for the 1955 Stiles-Burch 2° pilot investigation," *J. Opt. Soc. Am. A* **4**, 769 (1987).
- Vos, J.J. and Walraven, P.L. "On the derivation of the foveal receptor primaries," *Vision Res.* **11**, 799 (1971).
- Wright, W.D. "A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours," *Trans. Opt. Soc. (London)* **30**, 141 (1928-1929).

### 第3章 色順応と色の見え

#### 1. はじめに

色順応は我々の日常生活においてよく体験するが、それは我々の意志とは関係なく起こる現象のため殆ど気付かない。しかし、次のような体験はあるだろう。突然、屋外から白熱灯で照明された部屋に入ると、始めは室内全体が黄なっぼく感ずるが、しばらくすると屋光下で見ているような印象を受ける。例えば、白い紙は白に見え、色の不自然さは感じなくなる。これは人間の眼が照明光に慣れる（順応）に従い、眼の感度が都合よく調節され色を恒常的に保とうとする作用であり、これを色順応現象と呼んでいる。

測色はCIEのシステムに基づいており、Hunt<sup>1</sup>は測色の発展を3つの局面に分類している。それらは等色、差および見えに対応する。そして、彼は測色を3つの局面に対応させる用語として、サイコフィジカル（心理物理）、サイメトリック（心理計量）およびサイココントラスト（心理量）等を適用している。サイコフィジカルの代表的なものはCIEのXYZ表色系であり、この系では一定照明の下における2色の一致・不一致の判定を与える。サイメトリックの代表的なものは、メトリック明度、メトリックロムおよびメトリック色相等である。これらは近似的に等知覚差の2色間の色差を表わすのに使われる。サイココントラストの代表的なものは、 $CIE L^*a^*b^*$ や  $CIE L^*u^*v^*$ 等である。上記のサイコフィジカルおよびサイメトリックなメジャーでは、問題とする2つの刺激は同一メディアで、且つ同一観測条件で提示されるべきである。これらのメジャーでは、異なる照明間における照明光の質や強度の変化に対する色変化は判定できない。この問題に対し、サイココントラストなメジャーの導入が必要であり、その一つの解決策は色順応を考慮することである。

CIE TC 1-06(色順応小委員会：現在はLTC)の故 Bartleson<sup>3</sup>委員長は1978年にCIE勧告とすべく色順応に関する当時の最新研究の結果を比較・検討した。しかし、CIE勧告とすべき結果は得れなかった。その後、Bartleson<sup>4</sup>、Richter<sup>5</sup>および納谷ら<sup>6,7</sup>が相次いで色順応式を提案した。納谷らは一連の色順応研究を展開し、非線形モデル<sup>6,7</sup>に基づき非線形色順応方程式<sup>8-10</sup>を定式化した。上記の提案の中から、CIE TC 1-06は1982年のベルリン大会において納谷らの非線形色順応方程式<sup>10</sup>をCIE色順応式<sup>11</sup>として国際勧告案に決定した。そして、次のCIEベニス大会

の本会議において採択可否の投票を行なった。その結果はペンディングとなり今日に至っている。

## 2. 色順応の測定法

Bartleson<sup>12</sup> は色見えに関する研究の全般的なレビューを行なっている。それらの方法は4つのグループに分けることができる。それらは、両眼隔壁等色法<sup>13-16</sup>、局所順応法<sup>17</sup>、マグニチュード評価法<sup>18-24</sup>、および記憶等色法<sup>25</sup>等である。

両眼隔壁等色法では、一方の眼の順応は他方の眼の感度に影響しないと仮定している。

観測者は左右の眼を別々の照明光に順応させ、左視野の無彩色背景上に与えられた試験色に対して、右視野の標準色票から試験色と同じ見えを与える色票（対応色）を選定するよう要請される。このときの選定色が測定値である。

局所順応法では、網膜の半分への順応刺激は併置した半分の面積への影響は無視できると仮定している。この方法は片眼における順応状態の異なる網膜部位を用いる。観測者に2分割視野を提示し、両分割視野に対応する隣接網膜部位A、Bをそれぞれ順応光に順応させる。順応後、2分割視野は2つの順応刺激から試験刺激と比較刺激に置き換えられ、異なった順応状態にある網膜部位間で色合わせが行なわれる。

マグニチュード評価法では、観測者をトレーニング（例えば、色相、明度、彩度などの色属性の評価）する必要がある。この方法では白あるいは灰の無彩色背景が試験光で照明され、観測者は試験光に順応する。そして、視野の中央に順次提示される一連の試験色の見えの色をインストラクションに従って評価し、評価値を言語で応答する。これが終了すると、次に照明光を基準光に換えて、同様な評価を行なう。これらの評価データを基に両光源間で同じ応答を引き出す色を見出すことにより対応色が決定される。

記憶等色法は適当な表色系（例えば、マンセル表色系<sup>26</sup>）を選び、観測者にこれについて基準となる照明下（例えば、昼光）における知覚色を記憶させる。次に、試験光源下において基準光下で見た色と同じ見えを与えるサンプルを選定させる。選定されたサンプルが対応色である。

### 3. 色順応理論

#### 3.1 フォンクリースの係数則

対応色を求める古典的な方法として、フォンクリースの係数則がある。この理論では、対応色の間にはXYZの一次変換で表される基本（生理的）三刺激値R, G, Bに(1)式の比例関係が成り立つとする。

$$\left. \begin{aligned} R' &= \frac{R \cdot R_0'}{R_0} \\ G' &= \frac{G \cdot G_0'}{G_0} \\ B' &= \frac{B \cdot B_0'}{B_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、R, G, Bは順応刺激 $R_0, G_0, B_0$ の中に見るサンプルの基本三刺激値である。R', G', B'は基準刺激 $R_0', G_0', B_0'$ の中で順応刺激と等しく見える色刺激、すなわち色順応によるR, G, Bの対応色の三刺激値である。フォンクリースの係数則によると、無彩色のようにR, G, Bが一定な刺激は、照明光の色を変えても常に無彩色に見えることになる。これは色順応の第一近似としては正しく、例えばCIEの演色性評価方法（第2版）にはそれが実用されている。

しかし、フォンクリースの係数則では、次の3種類の色知覚効果は予測できない。

- ① 同じ照明で照度を上げると、白いものはより白く、黒はより黒く見える（ステューブンス効果）。
- ② 同じ照明で照度を上げると、有彩物体色の鮮やかさ（カラフルネス）が上がって見える（ハント効果）。
- ③ 色光照明下では、白い物体にはその照明光の色相を、黒い物体には補色の色相を感じる（ヘルソン-ジャッド効果）。

#### 3.2 CIE色順応式

CIE色順応式は色順応効果を含め上記の3種の色知覚効果を予測するため、フォンクリースの係数則に(2)式のように非線形要素として指数を加えたものである。

$$\begin{aligned}
 R' &= \frac{(R+1)^{p_r} (R_0' + 1)}{(R_0 + 1)^{p_r}} - 1 \\
 G' &= \frac{(G+1)^{p_g} (G_0' + 1)}{(G_0 + 1)^{p_g}} - 1 \\
 B' &= \frac{(B+1)^{p_b} (B_0' + 1)}{(B_0 + 1)^{p_b}} - 1
 \end{aligned} \tag{2}$$

ここで、 $p_r, p_g, p_b$  は試験視野および基準視野における周囲視野の視感反射率と照度との積（順応輝度）の関数で、 $p_r, p_g$ と $p_b$ とではその関数の定数が異なっている。

#### 4. CIE色順応式の実地試験

第1節で述べたように、我国から提案されたCIE色順応式は国際勧告に至っていない。日本色彩学会により1989年に森礼於博士を委員長として「CIE色順応式の実地試験」調査研究委員会が組織された。その目的は信頼できる組織的な実験を行いCIE色順応式の実地試験を行なうというものである。このため委員会により詳細な実験計画が策定され、国内の11機関の協力を得て色順応効果を含め上記の3種の色知覚効果が観測された。

この研究会の報告書<sup>28, 29</sup>によれば、これまでに得られている結果は以下のようである。

- (1) D65-A光間の色順応効果に関しては、延べ109名の大量データが得られている。観測結果をCIELABの $a^*$ ,  $b^*$ 座標上で図1(a), (b), (c)に示す。図1(a)はテスト色が明度 $V=7$ (観測者30名), (b)は $V=5$ (観測者53名) および(c)は $V=3$ (観測者26名)に対応する。図中黒丸●印は観測結果の平均値を、白四角□印はCIE色順応式による予測値を示す。図1(b)の結果は観測による対応色が黄色相の方向で拡大され、青色相の方向では圧縮の傾向を示している。この傾向は、これまでに報告<sup>4, 27</sup>されている結果と一致している。明度 $V=3$ および $V=7$ のテスト色に関しては、CIE色順応式による予測結果は無彩色点青色相方向および黄色相方向にシフトしている。これはCIE色順応式がA光下におけるヘル

図1

ソーンジャッド効果を予測しているためである。明度 $V=7$ の●印は黄色相方向にシフトしておりヘルソーンジャッド効果が観測されている。しかし、明度 $V=3$ のテスト色に対する観測結果は無彩色点のシフトは認められない。

(2) スティープンス効果に関しては、31名の観測データが得られている。

照度レベルの変化に対する無彩色サンプル系列(N2~N8)の白味-黒味の観測結果とCIE色順応式による観測結果との比較を図2に示す。図で横軸は照度(ルクス)の値、縦軸は観測および予測された無彩色サンプルの $L^*$ の値を示す。

図2

図から明らかなように、明度の高いサンプル(N8, N6.5)に対しては、予測結果と観測結果は良好に対応するが、明度の低いサンプル(N3.5, N2)に関しては対応は良くない。つまり、照度レベルの増加にしたがい、明度の低いサンプルはより明度が低く(より黒く)知覚されるように予測されるが、観測では照度レベルの上昇にともないわずかながらもより高明度に知覚されている。しかし、このようなスティープンス効果は、従来のフォンクリース式では予測できない。

(3) ハント効果に関しては、35名の観測データが得られている。照度レベルの上昇(10 lx~3000 lx)にともなって生じる有彩色サンプル( $V=5, C=6$ )のクロマティックネスの増加について、観測結果とCIE色順応式による予測結果の比較を図3に $a^*$ 、 $b^*$ 色度座標上で示したものである。

図3

図から明らかなように、観測結果は予測結果にくらべわずかに高クロマティックネスの方向にシフトしているが、両者は良好な一致を示している。なお、このようなハント効果についても、従来のフォンクリース式では予測することはできない。

(4) ヘルソン効果に関しては、33名の観測データが得られている。図4に、赤、黄、緑、青の各色光照明下での無彩色サンプル(N2, N5, N8)それぞれの色の見えに関する観測とCIE色順応式による予測結果を $a^*$ 、 $b^*$ 色度座標上に示す。

図4

図より、いずれの色光照明下においても観測と予測結果は比較的良好に対応している。厳密には、高明度の無彩色サンプル(N8)に対しては、観測結果と予測結果とは比較的良好に対応するが、低明度サンプル(N2)についてCIE色順応

式は観測結果よりも高クロマに予測している。しかし、ヘルソン効果の観測は、観測経験の程度や個人差が大きいことを考慮すれば、CIE色順応式は観測結果を良好に予測していると考えられる。なお、このようなヘルソン効果についても、従来のフォンクリース式では予測できない。

CIE色順応式はD65-A光間の色順応効果のほか、上記の3種類の色知覚現象の観測結果を良好に予測している。このことよりCIE色順応式は、異なる照明間における広範囲な照明光の質や強度の変化に対する色変化を十分予測することが確認されている。

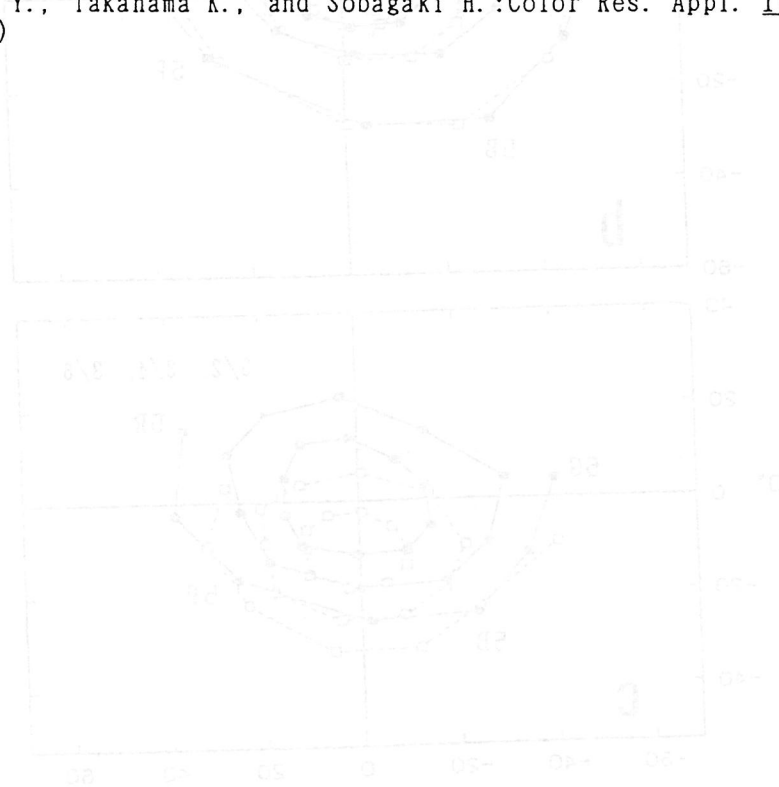
#### 5. 今後の展望

CIE TC 1-06 (色順応小委員会) の故 Bartleson 委員長は「色順応効果予測とは対応色を定めることである」と委員会内での統一見解を取り決めている。しかしながら、次のステップとして色彩関連工業では対応色 (X, Y, Z三刺激値) よりもむしろ直接、見えの色が予測されるほうが利用しやすい。この線にそって、Hunt<sup>30, 31</sup> および 納谷ら<sup>32, 33</sup> は色知覚モデルの構築に注力している。色知覚モデルが完成されると、均等色空間の改善および現在 CIEがかかえている問題 (例えば、CIE L\*a\*b\* と L\*u\*v\*色差式の統一や演色評価法の改善)、あるいは照度を考慮した色差式の構築といった種々の問題解決への道が開けるだろう。

#### 引用文献

1. Hunt R.W.G.: Color Res. Appl. 2, 55-68(1977).
2. CIE, Colorimetry, 2nd ed., CIE Pub.No.15-2, CIE Paris, (1986).
3. Bartleson C. J.: Color Res. Appl. 3, 129-136(1978).
4. Bartleson C. J.: Color Res. Appl. 4, 143-155(1979).
5. Richter k.: Color Res. Appl. 5, 25-43(1980).
6. Nayatani Y., Takahama K., and Sobagaki H.: 19th CIE Proc. P-79-80, 490-494(1979).
7. Nayatani Y., Takahama K., and Sobagaki H.: Die Farbe 29, 109-126(1981).
8. Nayatani Y., Takahama K., and Sobagaki H.: Color Res. Appl. 6, 161-171(1979).
9. Nayatani Y., Takahama K., Sobagaki H. and Hirono J.: Color Res. Appl., 7, 34-45(1982).
10. Takahama K., Sobagaki H., and Nayatani Y.: Color Res. Appl. 9, 106-115(1984).
11. CIE Research Note, CIE Journal 5, No.1, 16-18(1986).
12. Bartleson C. J.: Color '77, 63-96(1977).
13. Hunt R. W. G.: J. Opt. Soc. Am. 42, 190-199(1952).
14. Hunt R. W. G.: J. Opt. Soc. Am. 43, 479-484(1953).

15. Burnham R.W., Evans R.M., and Newhall S.M.: J. Opt. Soc. Am. 42, 597-605(1952).
16. Wassef E.G.T.: Optica Acta, 2, 144-150(1965).
17. MacAdam D.L.: J. Opt. Soc. Am. 46, 500-513(1956).
18. Nayatani Y., Yamanaka T., and Sobagaki H.: Acta Chromatica, 2, 129-138(1972).
19. Padgham C.A. and Rowe S.C.H.: J. Color & Appearance, 11, 18-22(1973).
20. Sobagaki H., Yamanaka T., Takahama K. and Nayatani Y.: J. Opt. Soc. Am. 64, 743-749(1974).
21. Sobagaki H., Takahama K., Yamanaka T., Nishimoto A. and Nayatani Y.: CIE Pub. No. 36, P-75-13, 192-199(1976).
22. Sobagaki H., Takahama K. and Nayatani Y.: Acta Chromatica, 3, 35-45(1976).
23. Bartleson C.J.: Color Res. Appl. 4, 119-138(1979).
24. Pointer M.R., Ensell J.S. and Bullock L.M.: Color Res. Appl. 2, 131-136(1977).
25. Helson H., Judd. D.B., and Warren M.H.: Illum. Eng. 47, 221-233(1952).
26. Newhall S.M., Nickerson D., and Judd. D.B.: J. Opt. Soc. Am. 33, 385-418(1943).
27. 側垣, 高浜, 納谷, 田中: 昭和62年度 照明学会全国大会, 63(1987).
28. 日本色彩学会「CIE色順応式の実地試験」調査研究委員会報告書, スカウエザリカ 技術振興財団(平成2年3月)
29. 日本色彩学会「色順応予測に関する調査研究」委員会報告書, スカウエザリカ 技術振興財団(平成3年3月)
30. Hunt R.W.G.: Color Res. Appl. 7, 95-112(1987).
31. Hunt R.W.G.: Color Res. Appl. 12, 297-314(1987).
32. Nayatani Y., Takahama K., and Sobagaki H.: Color Res. Appl. 11, 62-71(1986).
33. Nayatani Y., Takahama K., and Sobagaki H.: Color Res. Appl. 12, 231-242(1987)



色相の異なる光源の色を調べるための実験が図に示されている。この図は、色相の異なる光源の色を調べるための実験の結果を示している。図中の各点は、色相の異なる光源の色を示している。図中の各点は、色相の異なる光源の色を示している。図中の各点は、色相の異なる光源の色を示している。

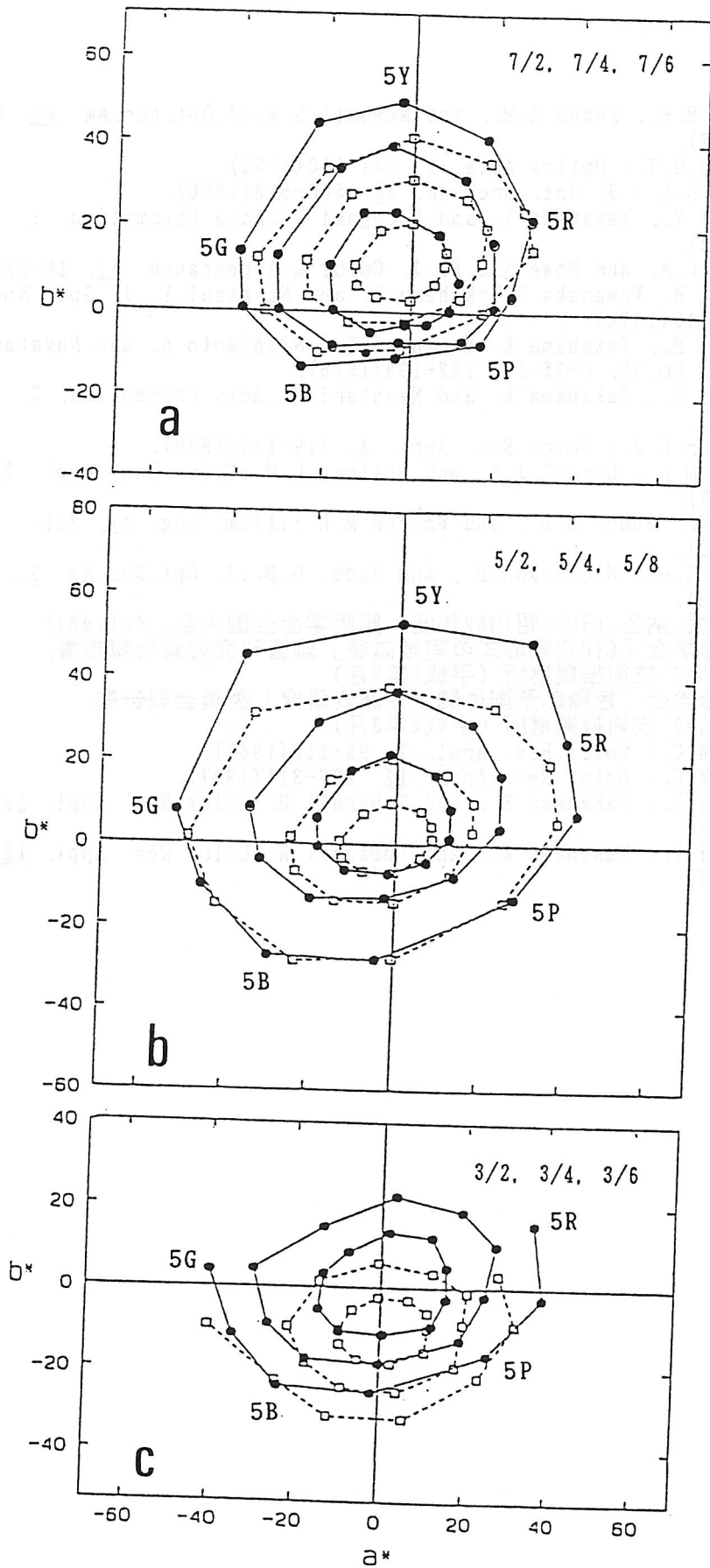


図1 D65-A光間で観測された対応色と予測値の比較。  
 図中●印付きの閉曲線は観測者平均の対応色度を示す。  
 □印付きはCIE色順応式による予測対応色度を示す。  
 図の上段はテスト色の明度7に、中段は明度5に、下段は明度3にそれぞれ対応する。図の横軸はCIELAB系の $a^*$ を、縦軸は $b^*$ を表わす。

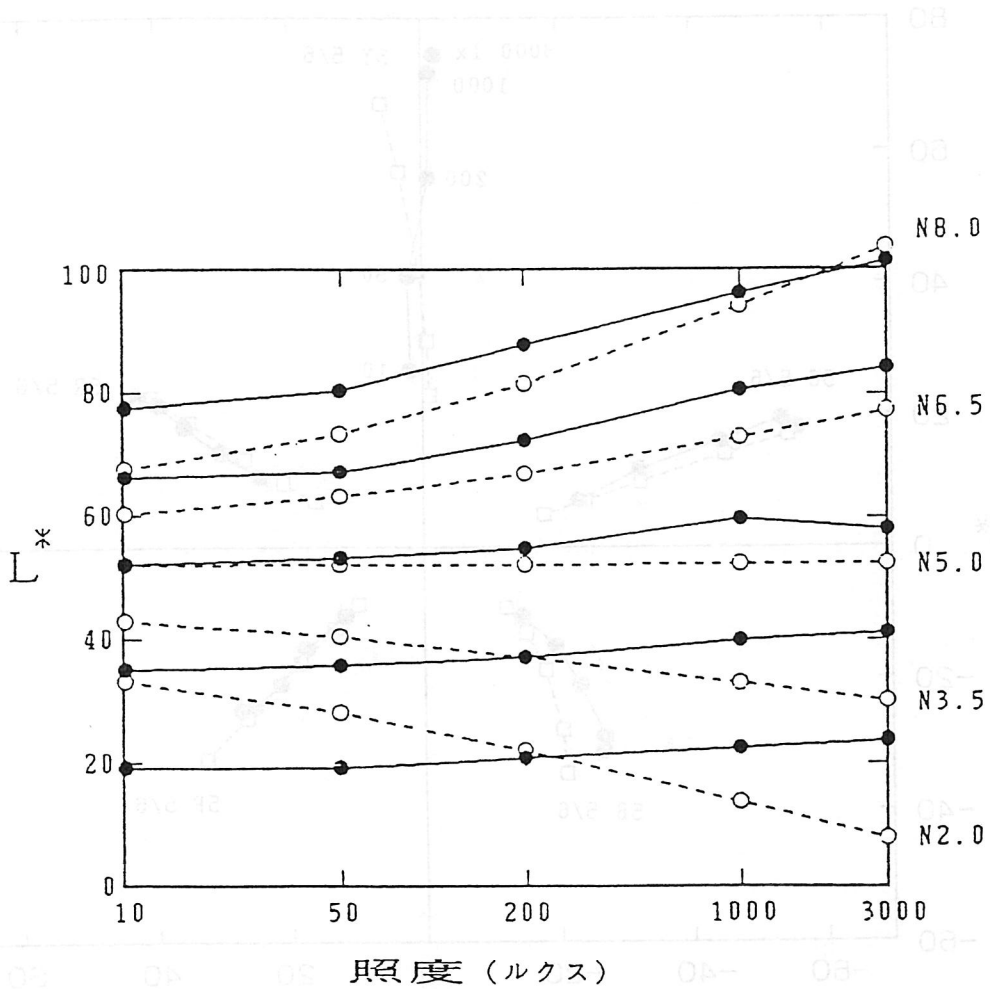


図2 スティーブンス効果の観測値と予測値の比較。  
 図中●印付きの実線は観測者平均の対応色を示す。  
 ○印付きはCIE色順応式による予測対応色を示す。  
 横軸は試験視野の Log照度 (ルクス) を、縦軸は  $L^*$  を表わす。

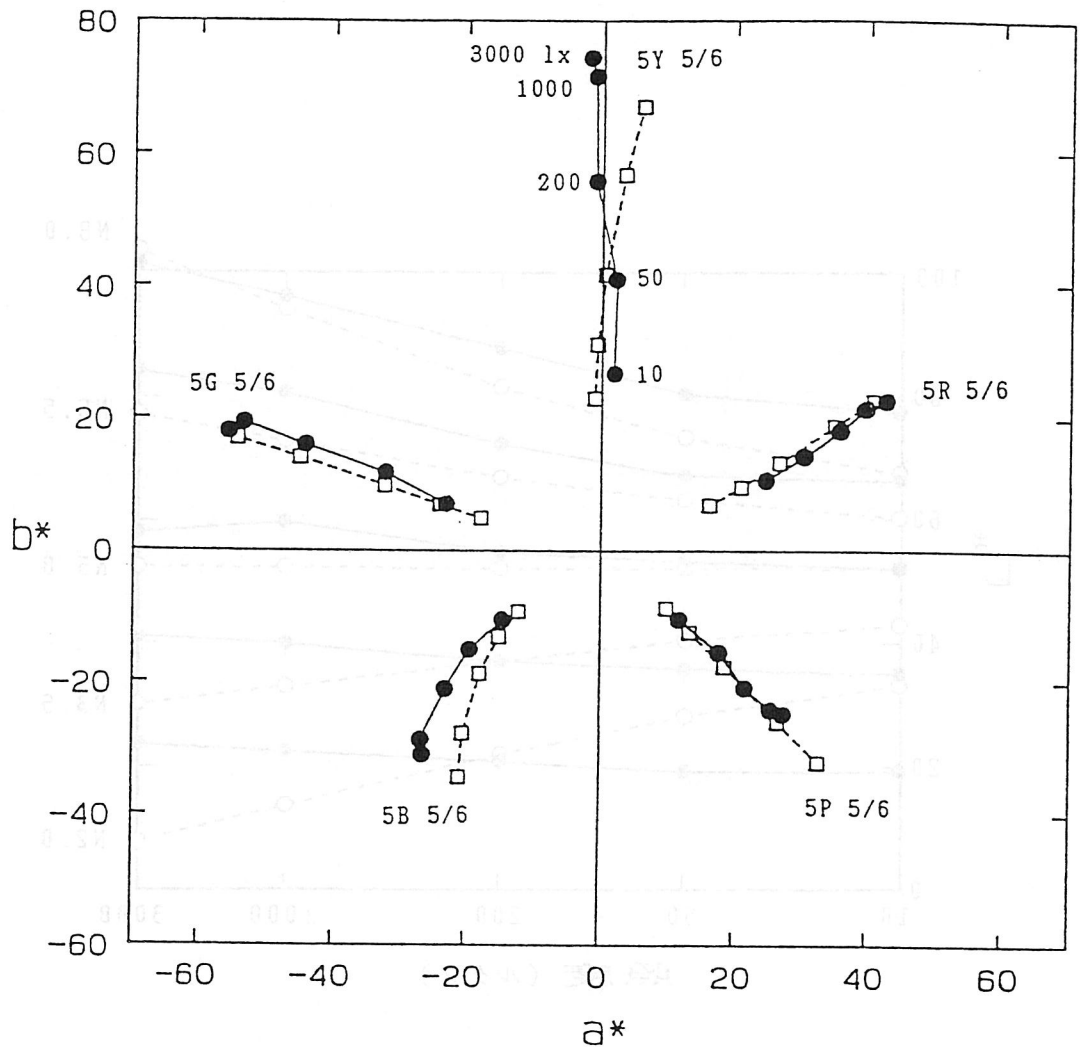


図3 ハント効果の観測値と予測値の比較。  
 図中●印付きの実線は観測者平均の対応色度を示す。  
 □印付きはCIE色順応式による予測対応色度を示す。  
 横軸はCIELAB系のa\*座標を、縦軸はb\*座標を表わす。

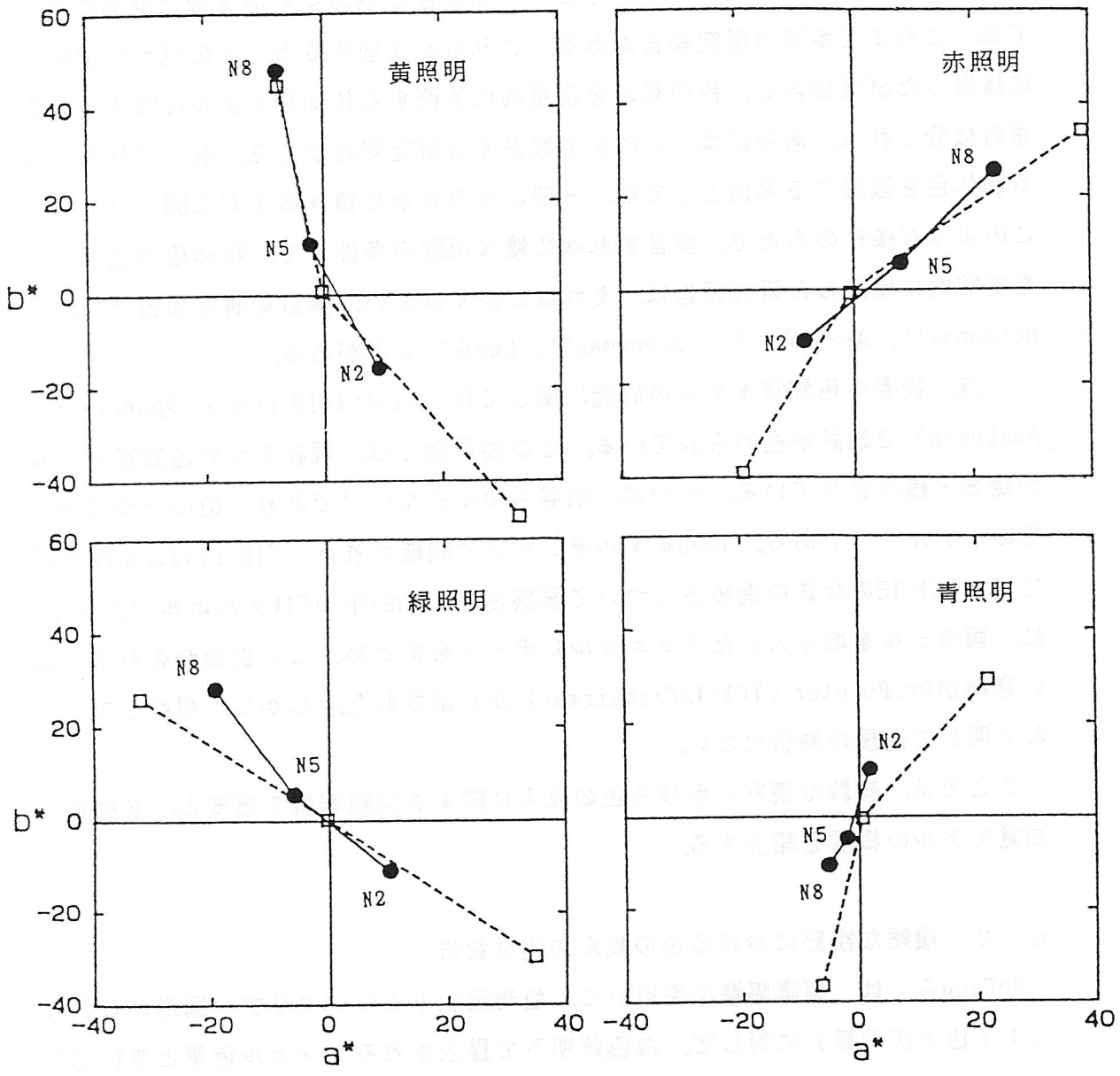


図4 ヘルソン効果の観測値と予測値の比較。  
 中●印付きの実線は観測者平均の対応色度を示す。  
 □印付きはCIE色順応式による予測対応色度を示す。  
 横軸はCIELAB系の $a^*$ 座標を、縦軸は $b^*$ 座標を表わす。

## 第4章 色の見えの評価と予測

### 4. 1 はじめに

種々の照明光及び照度レベルのもとでの物体色の色の見えの評価と予測に関しては、これまで多数の研究報告がある。これらを大別すると、色の見えを実験的に検討した研究報告と、色の見えを定量的に予測する色知覚モデルに関する研究報告に分かれる。前者には、これまで数多くの研究報告がある。我々が日常、ある物体色を観察する場面としては、一般にその背景に種々の色彩に囲まれている。このような条件のもとで、換言すれば複雑な視野の条件下で、物体色の色の見えを実験的に検討した研究報告は、それほど多くはない。最近の研究報告では、McCannら<sup>1)</sup>、Arendら<sup>2)3)</sup>、Breneman<sup>4)</sup>、Luoら<sup>5)</sup>などがある。

一方、後者の色知覚モデルの研究に関しては、CIETC1-13 (Color Appearance Analysis) で検討が進められている。この委員会では、現在2つの色知覚モデルが提案・検討されている。一つは、納谷らのモデル<sup>6)7)</sup>であり、他の一つはHuntらのモデル<sup>8)9)</sup>である。1989年アルゼンチンで開催された、CIE Div1の中間会議では、TC1-13の今後の進め方について審議され、1991年のCIEメルボルン大会までに、両モデルを取り入れたテクニカルレポートをまとめ、この委員会を終了したい意向がDr. Pointer (TC1-13のchairman) から示された。しかし、現在まで、これに関して進展の報告はない。

ここでは、複雑な視野における色の見えに関する実験報告の概要と、2種の色知覚モデルの概要を紹介する。

### 4. 2 複雑な視野における色の見えの実験報告

McCannら<sup>1)</sup>は、両眼隔壁法を用いて、色光照明下のモンドリアン図形の各領域(17色+灰背景)に対して、白色照明下で提示されるマンセル色票と等色実験を行なった。使用された色光照明は白、緑、ピンク1、ピンク2、紫の5種類である。これら色光での実験は、灰実験、赤実験、青実験、緑実験、黄実験とよばれている。観測結果で特徴的な点は、例えば、ピンク照明下での灰色背景は灰色に見えず、赤味をおびて見える。つまり、不完全色恒常を示す。この点については、両眼隔壁法によるためであると高浜らが述べており、不完全色恒常を考慮し

た順応係数を取り入れた色知覚モデルによってMacCannらの実験結果を予測できることが報告されている<sup>10)</sup>。

Arend<sup>3)</sup>は、CRT上に2つのモンドリアンパターンを併置した画像について色の見えに関する実験を行なった。一方(向かって左側のパターン)を規準画像とし、標準の光D<sub>65</sub>で照明され、他方(向かって右側のパターン)をテスト画像とし、4000Kあるいは10000Kの黒体で照明した。実験は、モンドリアンパターンの中のある色(5種類)について、両パターンを比較し、次の2種類のマッチング実験を行なった。(a) hueとsaturationが等しくなるようにテスト側の色を変化させる。(b)異なる光源で照明された2つのパターンは、全く同じ紙であると知覚されるようにテスト側の色を変化させる。実験の結果、(a)と(b)でマッチングされた色度が全く異なり、(a)の条件では色恒常性がほとんど成立しないが、(b)の条件では色恒常性が完全に成立することが明らかになった。同様な実験をArend<sup>2)</sup>は、白黒のモンドリアンパターンについて実験をおこなっている。

Breneman<sup>4)</sup>は、左右の眼を複雑な視野の異なる光源に順応できる装置を用いて、左右の視野の条件が異なる9種類(光源の種類と照度レベルが異なる9条件)について、視野内の中央の位置に提示される2つの色(13種類の色刺激がランダムに提示される)、の見えるのマッチングを行なった。Brenemanは実験結果をvonKries変換による順応係数で説明しようとした。Brenemanの実験結果に関して色知覚モデルにもとづいて分析されており、納谷らの色知覚モデルの方がHuntらの色知覚モデルよりもより有効であることが明らかにされている<sup>11)</sup>。

Luoら<sup>5)</sup>は、表面色を用いた場合とCRT画像を用いた場合について、色の見えるの絶対評価を行なった。光源の種類(4種類)、輝度レベル(2条件)、背景(5条件)などを組み合わせた条件について、4332の評価が行なわれた。Luoらはさらにこれらの実験結果と色知覚モデルとの対応を検討し、Huntらの最新の色知覚モデル<sup>12)</sup>が最も予測精度がよいことを報告した。しかし、Luoらの実験では、色の見えるの絶対評価を行なっているにもかかわらず、明度の規準サンプルやカラフルネス評価のための規準サンプルが設定されており、評価に曖昧が多い。

#### 4. 3 2種の色知覚モデルの概要

##### 4. 3. 1 納谷らの色知覚モデル

納谷らの色知覚モデルの基本体系を図4.1 (Color Res. Appl. Vol 11-No. 1 1986, p.64から抜粋)に示す。この図は、納谷<sup>6)</sup>らによって最初に報告された色知覚モデルの体系である。その後、用いる原色系の変更や、カラフルネスとクロマとを区別する必要性(実験結果<sup>13)</sup>にもとづく)などから、第1次のモデルを若干修正・拡張した第2次の色知覚モデル<sup>7)</sup>を報告した。しかし、モデルの基本的な考え方は変わっていないため、図4.1にもとづいて、モデルの構成を紹介する。

図4.1から明かなように、モデルは3つのZONEから構成されている。ZONE 1は、網膜での3種の錐体(R, G, B)の順応光に対する感度変化を表わす。このZONEでは、基本的にvon Kriesタイプの変換であるが、錐体のNoise成分を取り入れているのが特徴で、一種の修正von Kries変換である。ZONE 2の段階は、ZONE 1での錐体応答の非線形変換であり、さらに反対色応答変換につづく。ZONE 3は、ZONE 2の出力から物体色のメトリック量に変換される段階を示す。さらに、図4.1では、最後に色チャンネル応答を含んだBrightness応答が示されている。なお、有彩色物体のBrightnessの式は、NCS表色系を参考にした新たな式が提案されている<sup>14)</sup>。

納谷らの色知覚モデルの特徴は、すでに提案された色順応方程式を拡張した点にある。つまり、色順応とそれにつづく色知覚が、同一のモデルで説明される。色順応方程式は、図4.1のZONE 1とZONE 2の非線形変換までの式を用いて構築されている。

納谷モデルで、T, Pの値が基準化照度のもとでCIELAB系の $a^*$ ,  $b^*$ に対応するようになっている。納谷モデルの妥当性については、今後、種々の実験結果との対応を検討していく必要があるが、モデルによる予測と実験結果とが良好に対応することが報告されている<sup>15)</sup>。

#### 4. 3. 2 Huntらの色知覚モデル

1982年に、Huntらは納谷らのモデルよりも早く第1次の色知覚モデルを報告した<sup>8)</sup>。しかし、このモデルは、種々の照明光下での物体色の色の見えを予測するように構築されているものの、照度レベルの変化に対する色の見えは予測できないという課題があった。このため、1987年に任意の照度レベルに対しても色の見えを評価・予測する第2次の色知覚モデルに変更した<sup>9)</sup>。第2次の

色知覚モデルは、第1次の色知覚モデルと大きく変更されている。さらに、この第2次の色知覚モデルを修正した第3次色知覚モデルが報告されている<sup>12)</sup>。第3次色知覚モデルの文献は未入手で詳細は不明であるため、ここでは第2次の色知覚モデルを簡単に紹介する。

Huntの色知覚モデルは、R、G、Bの錐体の入出力応答に関する心理物理的特性結果を基礎にした色知覚モデルであるが、納谷モデル(図4.1)のように、モデルの体系が必ずしも明確ではない。また、この色知覚モデルに対応する色順応方程式は明らかにされていない。さらに、色知覚に関する諸量(例えば、色相、彩度、明度等)を求めるまでの計算ステップが複雑であり、しかも、各ステップの計算式には数多くのFactorを導入している。これらのFactorは、どちらかといえば、実験結果と対応するように決められたもので、各Factorの意味づけは明確ではない。ただ、Huntらのモデルは、物体色の色の見えだけでなく、光源色の色の見えも予測できるように考えられているのが特徴である。Huntらの色知覚モデルについての具体的な内容については、文献<sup>9)</sup>を参照のこと。

以上、2種の色知覚モデルについて簡単に紹介した。いずれのモデルも、種々の照明光及び照度レベルでの物体色のメトリック量を予測・評価するものである。いずれのモデルがより有効であるかは、今後、種々の実験結果との対応を検討していく必要がある。

#### 参考文献

- (1) J.J. McCann et al.: Vision Res. 16(1976)445
- (2) L.E. Arend et al.: J. Opt. Soc. Am. 3 (1986)1743
- (3) L.E. Arend et al.: J. Opt. Soc. Am. 4-12(1987)2281
- (4) E.J. Breneman: J. Opt. Soc. Am. 4-6(1987)1115
- (5) Luo et al.: to appear in Color Res Appl. (1991)
- (6) Y. Nayatani et al.: Color Res. Appl. 11(1986)62
- (7) Y. Nayatani et al.: Color Res. Appl. 12(1987)231
- (8) R.W.G. Hunt: Color Res Appl. 7(1982)95
- (9) R.W.G. Hunt: Color Res Appl. 12-6(1987)297



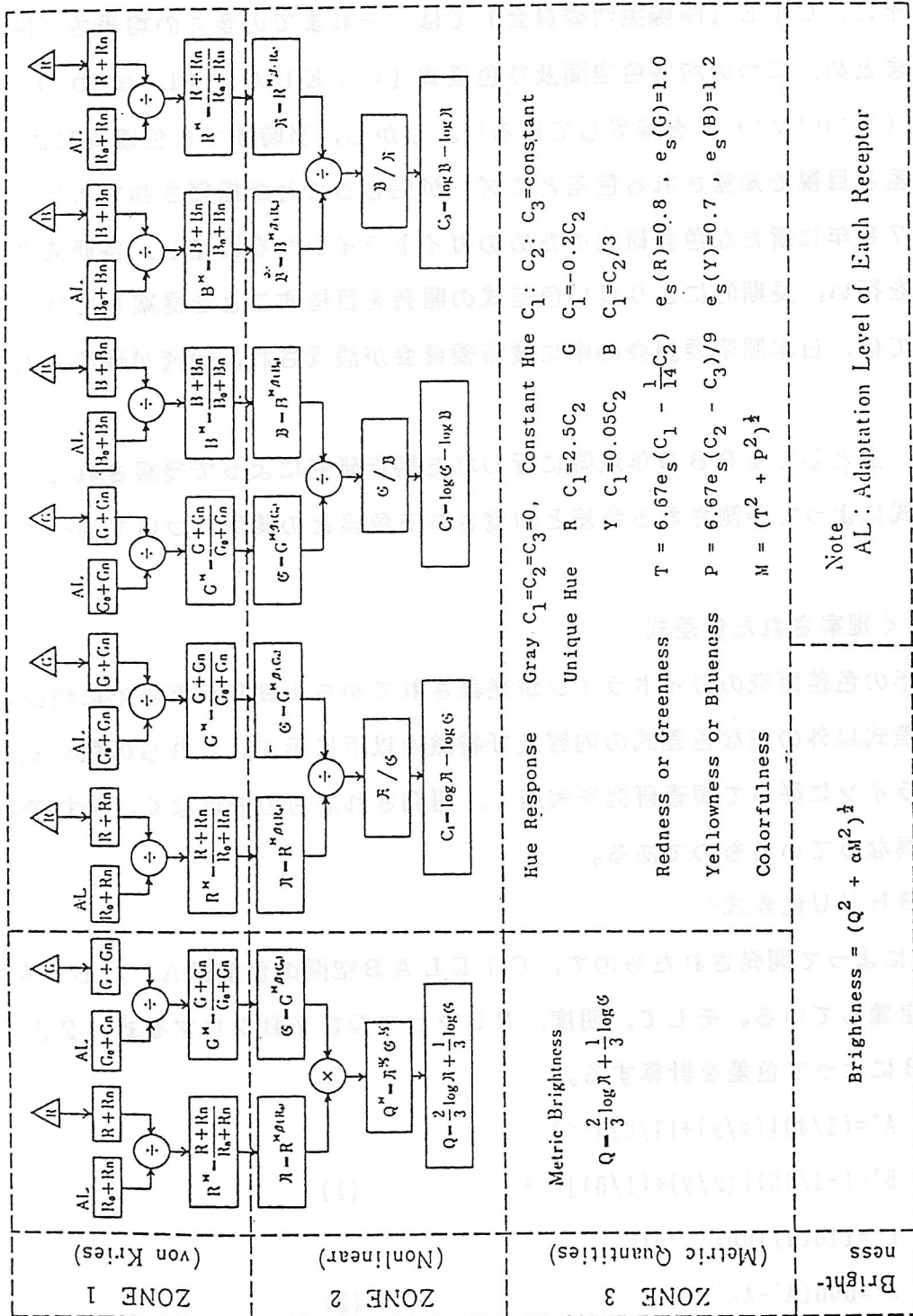


FIG. 2. Schematic diagram of the model. Zone 1 corresponds to a modified von Kries transformation, zone 2 to nonlinear transformation in the three-receptor stage and also in the post-receptor stage including the combinatorial process of  $Q$ ,  $\psi$ ,  $\theta$  responses, and zone 3 to an interpretative stage. The notation AL means the effective adapting level of receptor.

図 4.1 納谷らの色知覚モデルの基本体系

## 第5章 色差の問題点

### 5.1 色差研究の動向

1976年に、CIE（国際照明委員会）では、それまでの多くの均等色空間に関する研究をまとめ、二つの均等色空間及び色差式 [CIE LAB (L・a・b・) 及び CIE LUV (L・u・v・)] を推奨している<sup>1)</sup>。しかし、当時すでに色差式によって予測される色差と目視で知覚される色差とにズレが生じることが指摘されており、CIEでは1978年に新たな色差研究のためのガイドライン<sup>2)</sup>を設定し、各研究者が組織的に研究を行い、長期的により良い色差式の開発を目指すことを提案している。わが国においては、日本照明委員会の中に技術委員会が設置され、研究が進められている。

ここでは、主として1980年以降に行われた調査研究によって提案された色差式とその色差式によって予測される色差と知覚される色差との関係について述べる。

### 5.2 新しく提案された色差式

1978年の色差研究のガイドラインが発表されてから1990年までに発表されたCIE色差式以外の主な色差式の内容及び特徴を以下に示す。これらの色差式の多くはガイドラインに従って調査研究を実施し、開発されたものではなく、それぞれ実験の背景が異なっているものである。

#### (1) LABHNU色差式<sup>3)</sup>

K.Richterによって開発されたもので、CIELAB空間の色度 $A'$ 、 $B'$ を式-1によって定義している。そして、明度、RGクロマ及びYBクロマを式-2によって求め、式-3によって色差を計算する。

$$\begin{aligned} A' &= (1/4)[(x/y) + (1/6)]^{1/3} \\ B' &= (-1/12)[(z/y) + (1/6)]^{1/3} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/100)^{1/3} - 16 \\ A^* &= 500(A' - A_n') Y^{1/3} \end{aligned} \quad (2)$$

$$B^* = 500(B' - B_n') Y^{1/3}$$

ここで、 $A_n'$ 、 $B_n'$ は完全拡散反射面に対する値

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta A^*)^2 + (\Delta B^*)^2]^{1/2} \quad (3)$$

(2) CMC (1:1) 色差式<sup>4)</sup>

イギリスのSociety of Dyers and Colouristsの測色委員会が提案したもので、McDonaldが行った55色640対の染色試料を用いたpass/fail判断による許容色差実験に基づいて開発されたJPC79色差式を修正したものである。この式は式-4, 式-5, 式-6に示される明度, クロマ, 色相の許容色差楕円の半軸の長さに対応する係数で, CIELAB空間のメトリック量を重み付けして, 最適化したものである。この色差式は1988年にイギリス規格BS 6923に採用されている。この色差式による色差は, 式-7によって計算される。

$$S_L = 0.511 \quad (\text{ただし, } L_1^* < 16) \quad (4)$$

$$S_L = 0.040975L_1^* / (1 + 0.01765L_1^*) \quad (\text{ただし, } L_1^* \geq 16)$$

$$S_C = [0.0638C_1^* / (1 + 0.0131C_1^*) + 0.638] \quad (5)$$

$$S_H = S_C(T_f + 1 - f) \quad (6)$$

$$\text{ただし, } f = \{(C_1^*)^4 / [(C_1^*)^4 + 1900]\}^{1/2}$$

$$T = 0.56 + |0.2 \cos(h_1 + 168)| \quad (\text{ただし, } 164^\circ \leq h_1 < 345^\circ, h_1 = \tan^{-1}(b_1^* / a_1^*))$$

$$T = 0.36 + |0.4 \cos(h_1 + 35)| \quad (\text{ただし, } h_1 < 164^\circ \text{ 又は } h_1 \geq 345^\circ)$$

$L_1^*$ ,  $C_1^*$  及び  $h_1$  は CIELAB 空間における標準試料のメトリック量

$$\Delta E = [(\Delta L^* / S_L)^2 + (\Delta C^* / S_C)^2 + (\Delta H^* / S_H)^2]^{1/2} \quad (7)$$

ただし,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  及び  $\Delta H^*$  は CIELAB 空間におけるメトリック量の差。

(3) BFD (1:1) 色差式<sup>5)</sup>

M.R.LuoとB.Riggが開発したもので, 染色試料を用いた識別色差及び許容色差実験に基づいて開発された。CMC色差式と同様な構造を持つが, 青の高彩度領域の色について, 目視との対応がとれるように改良されている。この色差式による色差は式-8によって計算される。

$$\Delta E = [(\Delta L_{BFD} / 1)^2 + (\Delta C^* / D_C)^2 + (\Delta H^* / D_H)^2 + R_T (\Delta C^* / D_C) (\Delta H^* / D_H)]^{1/2} \quad (8)$$

$$\text{ただし, } L_{BFD} = 54.61 \log_{10}(Y + 1.5) - 9.6$$

$$D_C = [0.035C^* / (1 + 0.00365C^*)] + 0.521$$

$$D_H = D_C(GT' + 1 - G)$$

$$T' = 0.627 + 0.055 \cos(h - 254^\circ) - 0.040 \cos(2h - 136^\circ) + 0.070 \cos(3h - 32^\circ) \\ + 0.049 \cos(4h + 114^\circ) - 0.015 \cos(5h - 103^\circ)$$

$$G = [C^{*4} / (C^{*4} + 14000)]^{1/2}$$

$$R_T = R_H \cdot R_C$$

$$R_H = -0.260 \cos(h - 308) - 0.379 \cos(2h - 160) - 0.636 \cos(3h + 254) \\ + 0.226 \cos(4h + 140) - 0.194 \cos(5h + 280)$$

$$R_C = [C^{*6} / (C^{*6} + 70000000)]$$

ここに $C^*$ 及び $h$ は色差対それぞれの値の平均値,  $Y$ はXYZ表色系における三刺激値 $Y$ の値。

#### (4) SVF 色差式<sup>6)</sup>

T.SeimとA.Valbergが開発したもので, 生理学的な錐体原色の相対分光感度の非線形変換によってマンセル表色系に対して最適化したものである。OSAで検討された均等色空間を説明するのにも適しているとされている。この色差式による色差は式-9によって計算される。

$$\Delta E = [(\Delta F_1)^2 + (\Delta F_2)^2 + (2.3 \Delta V_v)^2]^{1/2} \quad (9)$$

$$\text{ただし, } F_1 = 700.0 p_1 - 54.0 p_2$$

$$F_2 = 96.5 p_2$$

$$V_v = 40 [(Y - 0.43)^{0.51} / (Y - 0.43)^{0.51} + 31.75]$$

$$p_1 = v_1(S_1) - v_1(Y)$$

$$p_2 = v_1(Y) - v_1(S_3) \quad (\text{ただし, } S_3 \leq Y)$$

$$p_2 = v_2(Y) - v_2(S_3) \quad (\text{ただし, } S_3 > Y)$$

$$v_1(Y) = (Y - 0.43)^{0.51} / [(Y - 0.43)^{0.51} + 31.75]$$

$$v_2(Y) = \{ [(Y/k(V_v)) - 0.1]^{0.86} / [(Y/k(V_v)) - 0.1]^{0.86} + 103.2 \}$$

$$v_2(Y) = 0 \quad (\text{ただし, } Y \leq 0.1k(V_v))$$

$$k(V_v) = 0.140 + 0.175 V_v$$

$$S_1' = 0.520X + 0.589Y - 0.102Z$$

$$S_2' = -0.194X + 0.562Y + 0.034Z$$

$$S_3' = 0.007X - 0.015Y + 0.907Z$$

$$S_1 = S_1' / S_{1w}'$$

$$S_2 = S_2' / S_{2w}'$$

$$S_3 = S_3' / S_{3W}'$$

ここに、 $X, Y, Z$ はXYZ表色系における三刺激値の値。 $S_{1W}', S_{2W}', S_{3W}'$ は照明光の三刺激値に対する値。

#### (5) Modified C I E L A B 色差式<sup>7)</sup>

小松原らが開発したもので、ガイドラインが設定した物体色4色の近傍に分布する112種類の色差対(塗装見本)の色差を比率評定法によって評価し、尺度化した評定尺度とC I E L A Bの色差とを比較して、色相、明度、クロマの重み付け係数を求め、C I E L A B色差式を修正したものである。この色差式による色差は式-10によって計算される。

$$\Delta E = [(h\Delta H^*)^2 + (l\Delta L^*)^2 + (c\Delta C^*)^2]^{1/2} \quad (10)$$

ただし、 $h=0.75, l=1.00, c=0.50$

ここに、 $\Delta H^*, \Delta L^*$ 及び $\Delta C^*$ はC I E L A B空間におけるメトリック量の差。

#### (6) R E G R 色差式<sup>8)</sup>

D. Alnanらが開発したもので、物体色9色317種類の色差対(塗装見本)を用いて許容色差の判定実験を行い、心理測定曲線から得られる50%許容差とC I E L A Bの色差とを比較して最適化したものである。4.5のModified C I E L A B色差式と同様の構造を持っている。この色差式による色差は式-11によって計算される。

$$\Delta E = [(\Delta H^*/1.13)^2 + (\Delta L^*/0.95)^2 + (\Delta C^*/1.89)^2]^{1/2} \quad (11)$$

ただし、 $\Delta H^*, \Delta L^*$ 及び $\Delta C^*$ はC I E L A B空間におけるメトリック量の差。

### 5. 3 色差式の性能試験

#### 5. 3. 1 性能比較に用いた色差式

性能比較に用いた色差式は、C I E色差式及び前節で記述した色差式(ただし、4.6は除く)並びに産業界において使用率の高いハンターL A Bの8種類である。

#### 5. 3. 2 性能比較の方法

性能比較は標準色差対と試験色差対との色差の比率を目視で判定した結果(P C D : perceived color difference)と測色値から求めた比率(C C D : colorimetric color difference)とに回帰分析を適用し、行ったものである。

用いた目視評価データ群は小松原らのガイドラインの基準色4色の近傍に分布する77種類の色差対を用いた実験(データ群A)<sup>7)</sup>及び色空間全体に分布する200種

類の色差対を用いた実験（データ群B）<sup>9)</sup>の結果からえられたPCDの値である。

### 5. 3. 3 比較結果

データ群A及びBについて、PCDと各色差式から計算されたCCDとの相関係数を表5. 1にまとめて示した。表5. 1からデータ群Aに対しては、CMC, Modified CIE LAB, BFDがPCDとの相関が高く、CIE式が低い結果になっている。一方、データ群Bに対しては、Modified CIE LAB, SVFがPCDとの相関が高く、BFD, CMCが低い結果になっている。比較に用いたデータ群によって相関係数の順位が大きく異なっているが、CMCとBFD, CIE LABとLABHNUの変化の傾向は近似している。これは前節に示したようにそれぞれの色差式の構造が近似しているためと考えられる。

CMCとBFD式がデータ群Aに対して高度な相関を示しているにも関わらず、データ群B（無彩色近傍の色差対を含む）に対して劣った結果になっている原因としては、CMCについて図5. 1に示したように彩度1以下の無彩色近傍の灰色群と彩度1以上の有彩色群とに対するPCDとCCDとの関係が異なることが考えられる。この理由として、CIE LABで同じ色差に計算される無彩色近傍の色差対とほぼ彩度10の色差対をCMCで計算すると無彩色近傍の色差対がほぼ2倍の値になるように補正されることによる補正のきき過ぎがあげられる。

Modified CIE LABは、両データ群に対して良好な相関を示した。重み係数が色によって変化せず一定であるため、彩度の高い色の色差は識別しにくいという経験的な知見が反映されていないことやCIE LAB空間の不均等性に対する考慮がなされていない等の問題があるが、CIE LAB空間のメトリック量を用いて、CIE勧告の備考9に示されているように明度差と色度差の重みを単純な形で補正してやることによってPCDとの相関を改善できることを示したものである。このことは、今回、比較の対象としなかったREGR式からもいえる。Modified CIE LABとREGRとの重み係数は、Modified CIE LABがPCDの判定精度や測色精度を考慮して数値を丸めてあるため若干異なるが、データ群Aに対して最適化するように品田が求めたModified CIE LABの係数は $h=0.875, l=1.0, c=0.50$ であり、REGRのそれと極めて近似しており、両者の重み係数は実験の背景が異なるものの、実質的には同じものと考えられる。

#### 5. 4 色差値と許容色差

目標とする色と再現された色との間に差が認められるか否かの判定は、色検査の中でも最も厳しい検査といえる。平井ら<sup>10)</sup>は、色票を用いた視感実験から、色の差が識別できるかどうかの色差値は $\Delta E_{ab}^*$  = 0.3前後であるとしている。一方、工業製品においては製品の用途、価格、製造工程の管理能力を勘案して目標色と試料色とが同等と認められる色の範囲内で製品を管理する。このような工業製品の色差の許容度の目安を許容色差という。微小色差対を用いた平井ら<sup>10)</sup>の実験では、色の差が許容できるか否かの許容率は色差対の色差が増すにつれて低下し、 $\Delta E_{ab}^*$  = 0.5前後で許容率50%に、 $\Delta E_{ab}^*$  = 1.2前後では許容率0%に低下する。その様子を図5.2に示した。

色差の知覚は色差対の大きさや配置によって大きく変化することが知られている。小松原ら<sup>11)</sup>は目標色と試料色を提示する場合の画線（分離距離）が視角0.4度程度になると画線が無い場合（隣接配置）と比較して色差の弁別力が半減することを報告している。このような色差判定に影響を与えるパラメータを考慮すると、 $\Delta E_{ab}^*$  = 0.6前後が色差を知覚できるかどうかの限界に対応し、 $\Delta E_{ab}^*$  = 1.0前後が許容率50%の許容色差に対応すると考えられる。

#### 5. 5 今後の動向

CIE色差式が勧告されてから15年が経過し、工業製品の色差管理に広く利用されるようになってきている。しかし、色差研究のためのガイドラインが提案されたように、より目視判定の結果と相関のとれる統一的な色差式の開発が望まれている。すでに、イギリス規格BS 6923に採用されたCMC色差式のように工業的な取り決めとして新しい色差式を採用する動きにある。この動きは、解散したCIE TC 1-08（色差の評価）に代わって設置されたCIE TC 1-29（産業上の色差評価）で統一的なものにまとめられることが望まれる。そのためには、識別色差（perceptibility）と許容色差（acceptability）との関係及び観察条件の色差判定への影響等目視判定の変動要因の検討を行うとともに、性能評価を行う場合にCCDの測色方法や再現精度についても検討が必要と思われる。

## 参考文献

- 1) Publication CIE No.15.2(1986) COLORIMETRY,2nd
- 2) CIE TC-1.3 COLORIMETRY : Guidelines for Coordinated Research on Colour Difference Evaluation(1978)
- 3) K.Richter : Color Res. Appl.,5[1],25(1980)
- 4) F.J.J.Clarke et al : J.Soc.Dyers Colourists,100,128(1984)
- 5) M.R.Ruo et al : J.Soc.Dyers Colourists,103,86(1987)
- 6) T.Seim et al : Color Res. Appl.,11[1],11(1986)
- 7) 小松原 仁 : 色彩研究,30[1],8(1983)
- 8) D.Alman et al : Color Res. Appl.,14[3],139(1989)
- 9) 小松原 仁 : 色学誌,10[1],89(1986)
- 10) 平井敏夫他 : 照明学会全国大会論文集(1978)
- 11) 小松原 仁他 : 照明学会全国大会論文集(1980)

表 5. 1 知覚色差と測色色差との相関関係

Formula	Set A (77pairs)	Set B (200 pairs)
CIELAB	0.840	0.754
CIELUV	0.813	-
Hunter LAB	0.865	-
CMC	0.919 *	0.682
LABHNU	0.868	0.728
BFD	0.904	0.652
SVF	0.877	0.796
Modified LAB	0.911	0.813 *

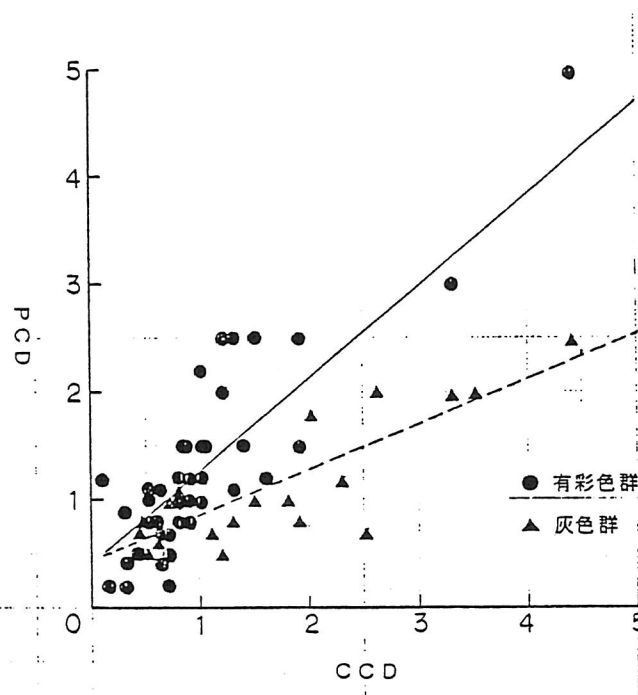


図 5. 1 知覚色差と CMC による測色色差との対応関係

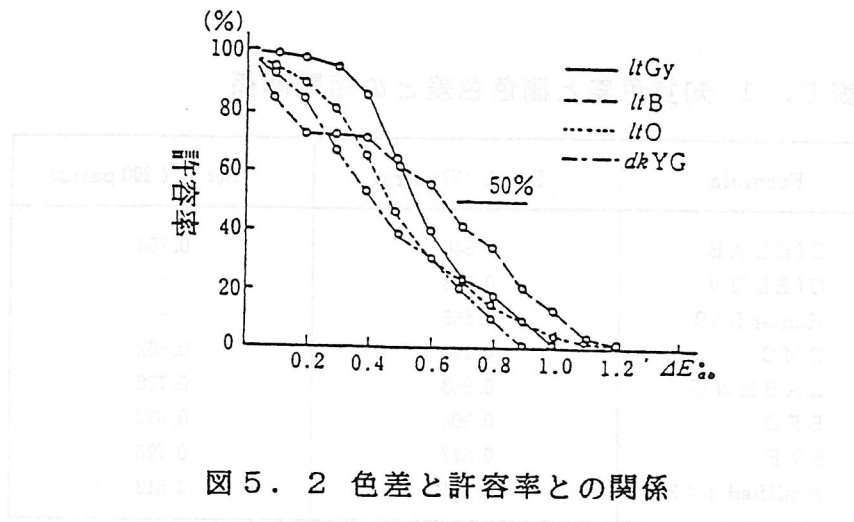


図 5. 3 実色域下の色差と許容率との関係

## 第6章 見えのモード

当研究委員会での活動の一部として、色彩像の「見え」のモードに関する討議が行われた。この課題はソフトとハードの対照という意味合いで特に論じられたものである。

従来の印刷と写真、それらと絵画との比較の上では、いずれもがハードであり、静止画であることから、「見え」というよりむしろ、タッチ、ボリューム感、写実性、解像特性、色再現などに重点がおかれ、像としての「見え」はそれら独自のメディアの特性として別々に扱われてきた。このことは映画やテレビという動きを伴った独特な再現方式によるソフト映像の出現や、この間の印刷、写真における再現技術の飛躍的向上による画質改善を経ても同様であった。

しかし、昨今、これらメディアの多様化、その普遍化あるいは記録の欲求の増大ならびに関連メディア間の互換性への技術的可能性の具体化などから、各メディアの呈示上のハード特性、観視条件に付随する見えの差異が大きな問題となってきた。しかし、この間ほぼ10年を経過したが、差異の実感は多く指摘されながら、それらの定量化や要因分析は単純な物理的特性では規定し得ないがために未解決のままになっている。

そこで、あらためて色の見えのモードについて考えていこう(出来れば問題点を整理しよう)として委員会の一つの課題としたわけである。

論議は先ず、「見え」の現象学的な基礎的知見、すなわちD. Katz<sup>1)</sup>によるいわゆる **mode of colour appearance** についての委員共通の理解を得ることから出発した。周知のように、Katzによる見えの分類は9種になり、その概要は多くの解説書に示されているが、Katzが記述する微細な現象の実態は省かれているので、これらに接することにより、分類の意味をより明確に理解することが目的であった。委員間ではほぼその目的は達したと思われるが、ここにそれを述べることは再び省略形となってしまうジレンマを覚えざるを得ない。限られた紙面の中で極力それを表現すれば表6.1のようになる。

工業の世界では、上記の命名の代わりに、開口色、光源色、物体色という語が多く用いられるが、それらはKatzによれば、面色、光輝、表面色に属するといえる。Katzは、二次元、三次元的な広がりや奥行感、表面の見えの構造(質感)、

周囲の条件、フレームの有無、透明感、照明の強弱、各モードの連関性その他の多くの観点から多彩に記述しているが、現実のソフト、ハード両画像でも同様の諸相が複雑にからんでいることが再確認された。例えばreduction screen(還元衝立)による表面色の面色化、面色にフレームや形態性を与えること(画像化)による表面色化、照明の強弱や周囲状況がみえるか否かによって、同じ色彩画像の印象が変わることなどは、発光体の色をそのものとみるか、表面色モード的にみるかの問題に関係し、テレビや印刷の色の見えの効果に直結していると考えてよさそうである。

これらに関係して、最近、標識その他を材料に周囲条件、フレーム効果、配色などをパラメータに面色、表面色の見えの交代についての地道な研究<sup>2)</sup>も進められており、その成果も改めて討議された。さらに、テレビ画像について、無映像で一面均質発光の状態と映像があるときとで、周囲条件(周辺が見えるか、フレームが意識されるか)にも依存して、面色、表面色の差異があるとみてよいのではないか、また光沢や表面質感の状況によつてはreduction screen的にフレームを用いるとハード色彩像からもソフト色彩像的印象を得るとの見解も示された。

各種の事例(個人的経験や職場での実例)を材料として、多くのディスカッションがなされたが、結局この課題は極めて複雑な様相を含んでおり、量的にも質的にも体系的なまとめを得るにはさらに研究を積み重ねることが必要であることを再認識した。今後の新たな委員会活動の中で、プロジェクト的な実行的研究を設定して、合理的な要因分析結果を得ることが強く希望される。

#### 参考文献:

- 1) Katz, D.: *The World of Colour*, Kegan Paul, 1935
- 2) 内川: 表面色と開口色モード認識と色の見え, *光学*, **18**, (10), 524, 1989

この他に、岡嶋 他: *光学*, **18**, (10), 558, 1989 あるいは *照明学会全大予*(1988~90), *Vision* (1988~91) などがある。

表6.1 mode of colour appearance

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 存在位置の定位が不可。	● ▲ 還元衝立 ●	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] (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ヤー のような固い面で、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] (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 でのポリウム感		びんの中の液体、 ゼリー(菓子)、 着色した寒天	—
透明面色 transparent f. c.	空を含む明確な対象をガラスやファイルタ 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 微妙な設定要件が ある。	ステンドガラス、 サンングラスを眼から 透して見た空や風景	—
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 とき色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 なくなったりより明るくなる。	面色、表面色の 特性を失なわない		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。	空間充溢性という 点で空間色に近い	発光色の性質に近い。	照明光を集光して乳白ガラス 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	—

## 第7章 色彩情報としてのカラーネーミング(発光色の「色名」に関する考察)

### 7.1 はじめに

色の見えには直接関係のない事柄ではあるが、発光色であるか非発光色であるかを問わず、色彩情報の一つの形として、色を概念的に言葉で言い表す方法に「色名」、すなわちカラーネーミングの問題がある。

ブラウン管(CRT)や液晶(LCD)などのディスプレイのように、赤(R)、緑(G)、青(B)の3色の加法混色による、いわゆるフルカラー表示を行う場合には、各3原色の色純度、換言すれば色度値が、性能上、色再現可能範囲を決めるという意味で重要であるが、混色によって得られる色の種類は一般に $2^n$ 色(例えば少ないもので16色、多いものでは256色、4096色など)となって到底カラーネーミングの対象とはなり得ず、「色名」としては3原色以外には無彩色の白(W)があれば事足りるというか、逆にとても一々「色名」をつけてはられないというのが本当のところである。

これに対して、通常前面に配置されるフィルターの分光透過率特性のことは一先ずおくとして、基本的には個別の蛍光体の発光色をそのまま観察する、いわゆるマルチカラー表示を行わせる蛍光表示管(VFD)などの場合には、使用可能な蛍光体、従って発光色の種類もせいぜい7~8種類程度であり、定量的には色度値を示す場合もあるが、仕様書に記載する場合など、補助的に発光スペクトルのピーク波長の値を添え書きすることも含めて、「色名」を使用するのが便利である。

1989年9月に日本語版が翻訳出版された国際照明用語集(第4版)によれば、具体的な色名は直接用語として掲載されてはいないが、用語番号(845-)02-18 知覚色の説明の中に、有彩色名として黄、橙、茶、赤、ピンク、緑、青、紫の8種類と、無彩色名として白、灰、黒の3種類を例にあげているほか、赤、緑、黄、青の4種類は用語番号(845-)02-36 ユニーク色として、また、橙および紫の2種類は用語番号(845-)02-37 バイナリー色の例としてあげている。1)

これらの例としてあげられた合計11種類の色名は、橙とオレンジ、ピンクと桃をそれぞれ同義語と見なせば、期せずしてBerlinらの提唱した基本色名と一致している。2)

さらに上述の用語集では、色名に組み合わせて特徴付けるための修飾語のような



表7.1 波長と色名との関係

波長範囲 (nm)	色	名	記号
380~430	青みの紫	bluish Purple	bP
430~467	紫みの青	purplish Blue	pB
467~483	青	Blue	B
483~488	緑みの青	greenish Blue	gB
488~493	青 緑	Blue Green	BG
493~498	青みの緑	bluish Green	bG
498~530	緑	Green	G
530~558	黄みの緑	yellowish Green	yG
558~569	黄 緑	Yellow Green	YG
569~573	緑みの黄	greenish Yellow	gY
573~578	黄	Yellow	Y
578~586	黄みの橙	yellowish Orange	yO
586~597	橙	Orange	O
597~640	赤みの橙	reddish Orange	rO
640~780	赤	Red	R

蛍光表示管の場合は、この表に従ったカラーネーミングが好都合であるが、上記のハンドブックの刊行よりも後から制定または改正された色名に関するJIS規格は、何かと不具合の点が少なくない。以下にそれらの問題について述べる。

## 7.2 JIS Z 8102とその問題点

JIS Z 8102は現在、1985年11月の改正によって表題が「物体色の色名」に変わっているが、制定当初の1957年10月当時のことは明らかではないものの、少なくとも1961年9月の小改正以後、1985年の改正までの表題は単に「色名」であった。以下1961年の小改正版を旧JIS Z 8102<sup>5)</sup>、1985年の改正版を新JIS Z 8102<sup>6)</sup>と呼び、また単にJIS Z 8102と呼ぶ場合は1985年の改正版を指すことにする。

旧JIS Z 8102は英文表題は“Colour Name”であるが、適用範囲を「鋳工業品の表面色の色名」とし、色名の区別は(1)一般色名、(2)慣用色名の二つに大別した上、一般色名を(a)有彩色の一般色名、(b)無彩色の一般色名の二つに区別している。

一般色名は基本色名およびそれに修飾語を付けたものとし、有彩色の一般色名については、色相との関係から赤、黄赤、黄、黄緑、緑、青緑、青、青紫、紫、赤紫の10種類をあげているが、特に黄赤については(ダイダイ色)を併記して基本色名として扱っている点が注目される。[当時は「橙」という漢字は使用できなかった。]また、慣用色名にも多くの呼び名があげられているが、“ピンク”、“茶色”および“オリーブ色”の三つについては一般色名に準じた扱いを認めている。因みにオレンジ色は単なる慣用色名である。

一方新JIS Z 8102は、末尾の解説にも種々記されているが、後述のJIS Z 8110-1984(光源色の色名)が本改正よりも先に制定されたために、英文表題は“Names of Non-Luminous Object Colours”と非発光であることを強調するとともに、従来の“一般色名”を“系統色名”と言い換えたのもJIS Z 8110との整合に気を使っている。旧JIS Z 8102で基本色名として(ダイダイ色)の併記を認めた黄赤については、参考として追加された略号はorangeの“O”を用いながら、基本色名としては黄赤のみで、慣用色名として「だいたい(又はオレンジ)」を一括して掲載し、系統色名の黄赤に代えて修飾語と共に用いることができるとしている。また“ピンク”と“茶色”については、修飾語を用いても差し支えない慣用色名の例にあげている。

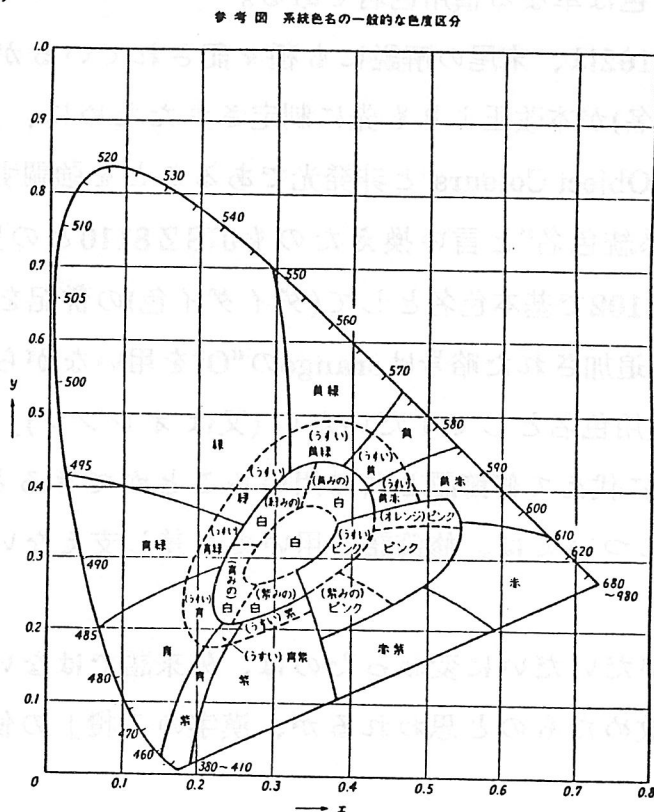
ダイダイ色がだいたいが変わったのは、外来語ではないものに片仮名を使用していたのを改めたものと思われるが、漢字の「橙」の使用制限は変わっていない。

もともと発光色を対象とはしていないものの、新JIS Z 8102に従った場合、カラーネーミング上不具合な点として、漢字の「橙」の使用制限とともに、橙を黄赤の代わりに赤や黄と同格に扱えないために、直訳すれば「黄みの橙」となる“yellowish Orange”は「赤みの黄」、また直訳すれば「赤みの橙」となる“reddish Orange”は「黄みの赤」にしなければならないことがあげられる。因みにブラウン管の場合には、JIS C 7003-1982(ブラウン管の形名)に見られるよう

に、一部の蛍光体の色調を表現するのに「黄みの黄赤」、「赤みの黄赤」が実際に使われている。7)

### 7.3 JIS Z 8110とその問題点

JIS Z 8110(光源色の色名)<sup>8)</sup>は、前述のようにJIS Z 8102の1985年の改正に先んずること1年8ヶ月の1984年3月に制定された。英文表題は“Name of Light-Source Colours”であり、適用範囲は「光源又は照明器具から発する光の色を表すのに用いる色名」としている。規格本文3頁、参考図1頁、解説なしの4頁立ての薄っぺらなものであるが、本来ならば末尾に添付されていた方が利用者にとっても便利であったと思われるこのJIS規格の解説は、後日、照明学会誌1986年9月号に掲載されている。9)



備考 x, yはJIS Z 8701(X1Z表色系及びX<sub>10</sub>Y<sub>10</sub>Z<sub>10</sub>表色系による色の表示方法)によるX1Z表色系の色度座標を示す。

図7.2 JIS Z 8110の参考図

このJIS規格は引用規格としてネオン管、自動車用ランプ類、鉄道信号保安用灯器のレンズ、フィルタ、反射鏡及びセミシールドユニット、蛍光ランプの光源色及び演色性による区分といったものがあげられていることから分かるよう

に、比較的限られた業界にのみ目を向けて、前述の“Kelly Chart”と比較すると、基本色名、又はその前に修飾語を付けたもので構成する系統色名については余り細かく区分することを避ける一方で、白の部分の色度区分上からも慣用色名の面からも細分化している。この結果、参考図として掲載されている系統色名の一般的な色度区分は、図7.2に示すように、基本色名の一つに加えられたピンクとその近傍を除いては、“Kelly Chart”とは全く似て非なる形になってしまっており、この参考図の馬蹄形の周辺の軌跡をなぞった単色光の色名の表を1987年発行のライティングハンドブック(p.55,表4・1)から転載すると表7.210)のとおりであり、基本色名である8種類だけしか認めないというそのバラエティの貧弱さから、蛍光表示管にとっては到底使用に耐えないものであり、日本だけのローカルスタンダードとして一部の業界に限定して使用することはできても、国際的に普遍的に通用するものではない。

表7.2 単色光の色名

波長範囲 (nm)	光源色の色名 JIS Z 8110
380~455	青 紫
455~485	青
485~495	青 緑
495~548	緑
548~573	黄 緑
573~584	黄
584~610	黄 赤
610~780	赤

これは色相に関する修飾語と、それらの修飾語を適用する基本色名を極端に制限したことが原因であり、その点をJIS Z 8102と比較対照すると表7.3のようになる。

あらゆる分野で国際化の必要性が論じられる今日、発光色や非発光色のカラーネーミングに関しても、国際標準化の動きが遅かれ早かれ出てくることが予想され、その際にはやはりCIE/IECの用語集との整合性が必要であり、少なくとも発光色については“Kelly Chart”が出発点になると思われるので、ここに現状の問題点を分析し、整理してみた次第である。

表7.3 色相に関する修飾語の適用対象となる基本色名の対比

修飾語	JIS Z 8102	JIS Z 8110(1)
赤みの	紫, 黄, 白, 灰色, 黒	(なし)
黄みの	赤, 緑, 白, 灰色, 黒	白
緑みの	黄, 青, 白, 灰色, 黒	白
青みの	緑, 紫, 白, 灰色, 黒	白
紫みの	青, 赤, 白, 灰色, 黒	白, ピンク(2)

注(1) JIS Z 8110では灰色, 黒は対象となり得ない。

(2) ピンクはJIS Z 8102では慣用色名であり、基本色名ではない。

参考文献:

- 1) JCIE翻訳出版 No. 8 国際照明用語集 第4版(日本語版)(1989)
- 2) 内川: 表面色のカテゴリカル知覚、「光学」Vol. 17, No.12, pp.661~669, (1988)(当委員会配布資料No. 9-9)
- 3) K. L. Kelly: Color Designations for Lights, Journal of the Optical Society of America, Vol. 33, No. 11, pp. 627~632, (1943)
- 4) 日本色彩学会編: 新編 色彩科学ハンドブック, (1980)
- 5) 日本工業規格 JIS Z 8102-1961 (1976確認) 色名
- 6) 日本工業規格 JIS Z 8102-1985 物体色の色名
- 7) 日本工業規格 JIS C 7003-1982 (1988確認) ブラウン管の形名
- 8) 日本工業規格 JIS Z 8110-1984 (1989確認) 光源色の色名
- 9) 川上: [解説] JIS Z 8110 光源色の色名, 照明学会誌, Vol. 70, No. 9, pp. 490~493, (1986)
- 10) 照明学会編: ライティングハンドブック, (1987)

## 第8章 色再現方式の測色学的比較

### 8.1 はじめに

テレビ、写真、印刷の三メディアの色再現方式を測色学的立場から比較し、更に現在正確な色再現を行う際問題とされている支持体での光散乱の影響を紹介する。

### 8.2 混色の分類

色再現を問題にする時には、初めに色を作り出す原理である混色について整理する必要がある。従来混色は減法混色、加法混色、中間混色の分類はされていたが、その混色を混色がどのレベルで起こるのかを考慮して分類

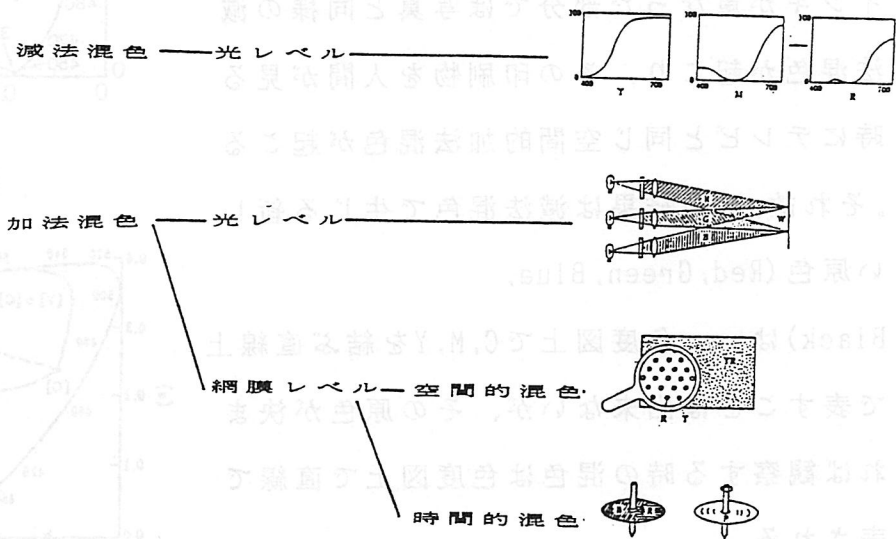
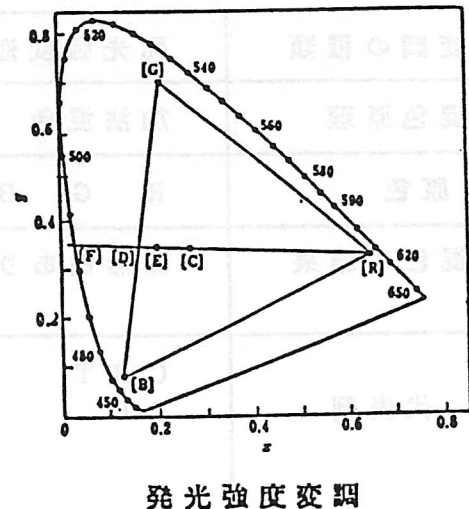


図1 混色の分類

すると図1となる。この図では混色が起こるレベルを物理的光のレベルで起こるのか、光が目到達して網膜以降のレベルで起こるのかを考慮してある。このことは網膜レベルでの混色は、その混色の結果がCIEのx-y色度図上で直線上にくる原因である。光のレベルでも加法混色または減法混色の特定の場合xy色度図上で直線上で混色結果を表せるが原因が異なり、この点を考慮するほうが系を理解する際便利である。

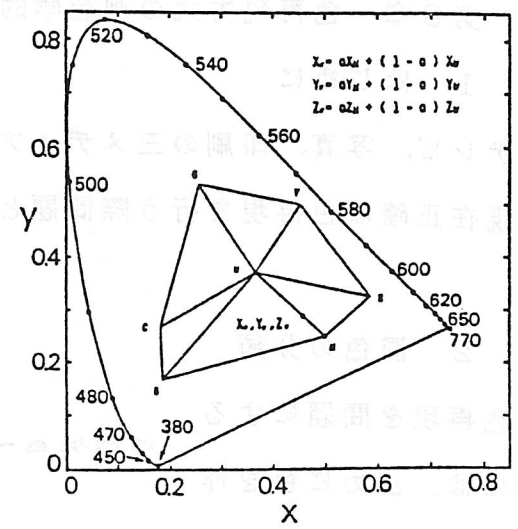
### 8.3 各色再現方式の混色に於ける特徴

テレビ、写真、印刷の色再現方式を混色で分類すると、写真では減法混色を使用し色素の分光分布が濃度に依存して変化するため(不安定原色)、混色結果をx-y色度図上で直線上に示すことが出来ない。テレビでは網膜レベルでの空間的加法混色を使用し、混色結果をx-y色度図上で直線上に示すことが出来る。この為に、テレビ関係では色

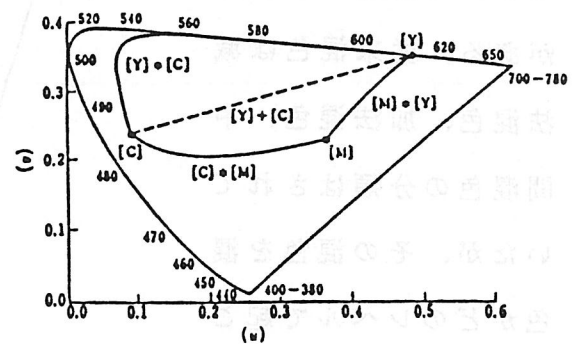


の表示にはXYZの線形変換したものを多く使用しているのは、この直線上に混色結果が表示することが便利であるからである。印刷（ここでは印刷をオフセット印刷に限定する）では、混色は二段階で起こっている。それは、原色であるCyan, Magenta, Yellowのインキが重なった部分では写真と同様の減法混色が起こり、その印刷物を人間が見る時にテレビと同じ空間的加法混色が起こる。それ故、混色結果は減法混色で生じる新しい原色 (Red, Green, Blue, Black) はx-y 色度図上でC, M, Yを結ぶ直線上で表すことは出来ないが、その原色が決まれば観察する時の混色は色度図上で直線で表される。

色再現方式をこの混色、及び色を変化させる時には何を変化させるのか、原色は何か、混色の結果は線形性は在るのかで表したのが表1である。図2、はそれぞれの系の混色の軌跡を表したものである。写真での減法混色の軌跡が直線から離れていることが分かる。この為に、写真では特定の色をだす為にはC, M, Yの色素をど



面積変調



濃度変調

図2 各系での混色の軌跡

表1 色再現系の特徴

変調の種類	発光強度変調	濃度変調	面積変調
混色原理	加法混色	減法混色	減法及び加法混色
原色	R G B	C M Y	C M Y
混色の結果	線形性あり	線形性なし	部分的に線形性あり
代表例	CRT EL	カラー写真 グラフィ印刷	オフセット印刷 カラーゼロ グラフィ 熱転写

の様に発色すれするかの予測は以下の式を基に行う。その式は、C, M, Yの分光濃度分布を  $D_c(\lambda)$ 、 $D_m(\lambda)$ 、 $D_y(\lambda)$  とすると、光学濃度の加成性に対する Beer 則が成立すると仮定し、混色結果の分光濃度分布を  $D(\lambda)$  とすると

$$D(\lambda) = c D_c(\lambda) + m D_m(\lambda) + y D_y(\lambda) \quad (1)$$

この式を基にして目標の色にするための  $c$ 、 $m$ 、 $y$  の量を求める。

### 8.3 支持体での光散乱の影響

次に現在色再現で問題となっている、支持体での光散乱のために上記扱いを如何に変更しなければならないかを述べる。写真での Beer 則に基づく色再現はリバーサルフィルムのような透過系では問題はないが、カラープリントのような反射系では Beer 則が成立しない<sup>1)</sup>。このことを示したのが図3である、この図では透過濃度と反射濃度の関係が非線形の関係になることを示している。この為、反射系では Beer 則が成立しない。この原因は支持体であるゼラチン及び

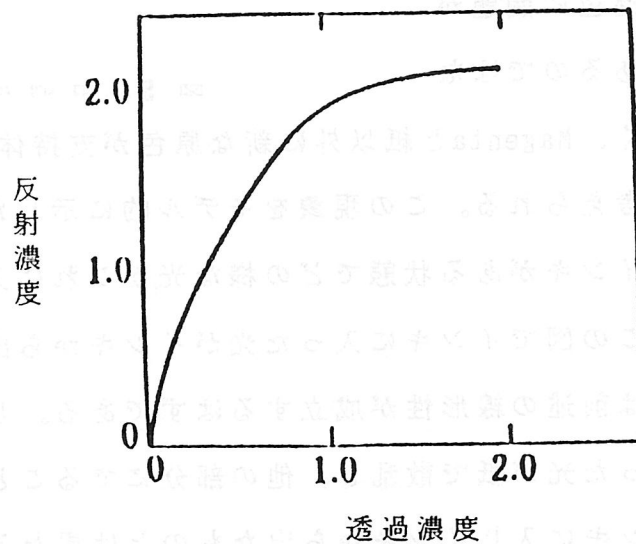


図3 反射濃度と透過濃度の対応

紙での光散乱があるために、光が色素のなかを何回か通過するためである。この為、光散乱を考慮した反射系での色再現の計算がより複雑なものとなっている。

印刷に於いてもこの光散乱の問題がおり、前述の線形性の取扱がより煩雑なものとなる。その例を示すと、印刷に於いて線形性が成立すれば単色の網点面積率を変化させれば、色の変化はその色と紙の色を結んだ直線上を変化するはずである。図4には Magentaの網点面積率を変化させた時の軌跡をx-y色度図上に拡大して示してある。本来は点線の上を網点面積率の変化

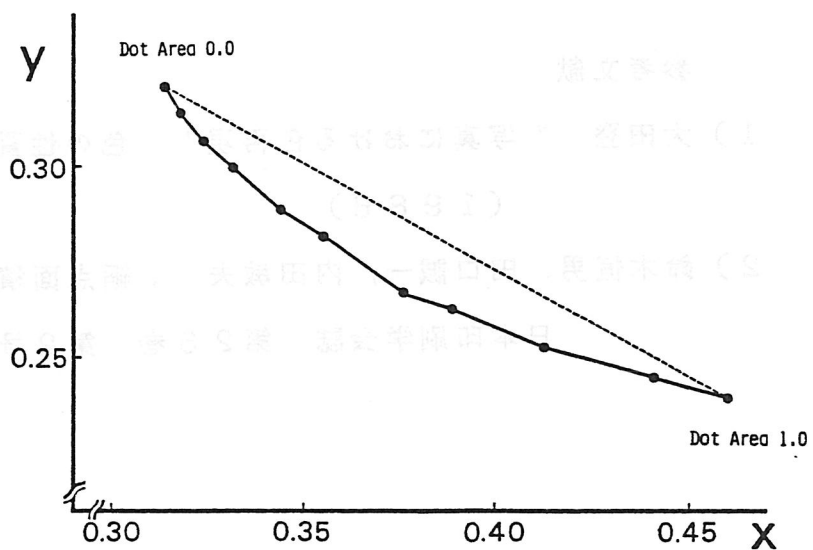
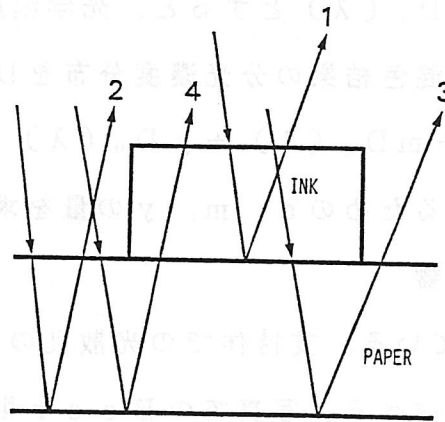


図4 網点面積率の変化と色度の変化

と共に変化す  
るはずである  
が、結果はこ  
の直線から外  
れている。こ  
の現象の解釈  
としては加法  
混色に問題が  
あるのではな



		EMERGENCE	
		INK	PAPER
ENTRANCE	INK	1 REFLECTANCE OF SOLID INK	3 TRANSMITTANCE OF SOLID INK
	PAPER	4 TRANSMITTANCE OF SOLID INK	2 REFLECTANCE OF PAPER

図 5 印刷に於ける光散乱のモデル

く、Magentaと紙以外に新たな原色が支持体である紙での光散乱により生じたものと考えられる。この現象をモデル的に示したのが図5である。この図では紙の上にインキがある状態でどの様な光がこれに入り、また出るとを示してある。もしこの図でインキに入った光がインキから出て、紙に入った光が紙から出ればこれは前述の線形性が成立するはずである。しかし、この光以外にインキ及び紙に入った光が紙で散乱し、他の部分にでることも起こり得る。この光の分光組成はインキに入りインキから出たものとは異なる。この色が新たな原色となり、前述の線形性を崩している<sup>2)</sup>。これは単色で説明したが、当然多色でも問題になり印刷での色の制御を更に難しいものとしている。今後精度良い色の制御にはこの紙での光散乱の扱いは印刷では不可欠なものである。

#### 参考文献

- 1) 大田登 "写真における色再現" 色の性質と技術 (朝倉書店) (1986)
- 2) 鈴木恒男, 田口誠一, 内田敏夫 : 網点面積率の新しい評価法  
日本印刷学会誌 第25巻 第2号 38-44 (1988)

## 第9章 印刷における色再現と評価

### 9.1 印刷方式の種類と特徴

印刷には凸版、平版、凹版（グラビア）の代表的な3つの方式があり、いずれもカラー画像を再現できる。中でも平版の一種であるオフセット印刷は、カラー印刷の最も一般的な方式として知られ、雑誌やポスター、カタログなどの商業印刷物に広く利用されている。これら3方式を階調（明暗）再現の原理で比較すると、図9.1に示すように、凸版と平版では網点と呼ばれる小さな点の面積を変化させて濃淡を表現するのに対し、凹版では点（セルと呼ぶ）の面積は一定で、インキ層の厚みを変えることによって濃淡を表現する。用いるインキも異なるが、この原理上の違いによって再現特性にも差が出てくる<sup>1)</sup>。最近では、インキ層の厚みだけでなく、オフセットと同様に網点の面積も変えるようにしてハイライトの均一性を改善した網グラビアと呼ばれる方式が広く用いられるようになった。

ところで、印刷では濃度によって分析や評価を行なうことが従来から一般的に行われてきたため、測色的な立場からの検討がまだ充分とは言えない。また、各印刷方式による色再現特性の違いについても、詳しくは論じられていない。凸版はコストや扱いにくさの点から、モノクロ印刷においてもオフセット方式にとって代わられつつあり、カラー印刷ではオフセット方式とグラビア方式がほとんどである。ここでは、カラーハードコピー技術との関連も深く、カラー印刷においても重要なオフセット方式を取り上げ、色再現性について述べる。

### 9.2 オフセット印刷における色再現

図9.2に示すようにオフセット印刷ではシアン(C)、マゼンタ(M)、イエロー(Y)の3つの原色インキの網点の重ね合わせによって多色再現を行っている。実際にはさらに印刷特有のブラック(K)も用いるが、これについては後で述べることとし、ここでは3原色で考える。この場合に再現される色の三刺激値X, Y, Zを予測する式として、以下のNeugebauerの式が知られている。<sup>2)</sup>

$$\begin{aligned} X &= a_w X_w + a_c X_c + a_m X_m + a_y X_y \\ &\quad + a_r X_r + a_g X_g + a_b X_b + a_k X_k \\ Y &= a_w Y_w + a_c Y_c + a_m Y_m + a_y Y_y \\ &\quad + a_r Y_r + a_g Y_g + a_b Y_b + a_k Y_k \end{aligned}$$

$$Z = a_w Z_w + a_c Z_c + a_m Z_m + a_y Z_y \\ + a_r Z_r + a_g Z_g + a_b Z_b + a_k Z_k$$

ここで各記号の意味は次のとおりである。

$X_w, Y_w, Z_w$  : 紙(W) の三刺激値

$X_c, Y_c, Z_c$  : シアン(C) の三刺激値

$X_m, Y_m, Z_m$  : マゼンタ(M) の三刺激値

$X_y, Y_y, Z_y$  : イエロー(Y) の三刺激値

$X_r, Y_r, Z_r$  : マゼンタとイエローの2次色レッド(R) の三刺激値

$X_g, Y_g, Z_g$  : シアンとイエローの2次色グリーン(G) の三刺激値

$X_b, Y_b, Z_b$  : シアンとマゼンタの2次色ブルー(B) の三刺激値

$X_k, Y_k, Z_k$  : 3次色ブラック(K) の三刺激値

但し、各三刺激値はインキのベタ濃度(網点面積率=100%)における値であり、印刷条件によっても影響を受ける。また、 $a_w \sim a_k$  は各色が占める面積率で、CMYの各網点の配列が独立であれば網点の重なり方は統計的にランダムであるとみなせるので、次のDemichelの関係式<sup>3)</sup>によって与えることができる。

$$a_w = (1-c)(1-m)(1-y)$$

$$a_c = c(1-m)(1-y)$$

$$a_m = m(1-c)(1-y)$$

$$a_y = y(1-c)(1-m)$$

$$a_r = my(1-c)$$

$$a_g = cy(1-m)$$

$$a_b = cm(1-y)$$

$$a_k = cmy$$

$c, m, y$  : シアン, マゼンタ, イエローインキの単色刷りでの網点面積率

Neugebauerの式は、CMY各インキの網点の重なりによって構成される8つの色(W, C, M, Y, R, G, B, K)を改めて原色と仮定した場合、その面積率で重みづけ平均した色が再現されることを示している。その意味では原色と再現色の間に線形な関係が成り立つことになるが、実際にはこれが成立せず、もっと複雑な挙動を示す。図9.3は5種類の網点面積率についてCMYのインキを単

色で刷った場合に再現される色をCIE1931 x y 色度図に表したものである。原色（紙とベタ濃度のインキの色）と再現色の関係は必ずしも線形ではないことがわかる。これについては第8章でもすでに述べられている。

また図9.4は、Neugebauerの式に基づいて1次色と2次色を予測し、この結果を実測値と、CIE1976 LAB 均等色空間において比較したものである。マル（○）印の記号は実測値を示し、バツ（×）印と逆三角（▽）印は予測値を示す。▽印の結果は、ドットゲイン<sup>4) 5)</sup>と呼ばれる網点の太り現象を考慮し、実効的な網点面積率に基づいて得たもので、ドットゲインを考慮しない×印の結果よりも実測値に近い値が得られている。

ドットゲインは2種類に大別され、メカニカルドットゲインとオプティカルドットゲインがある。メカニカルドットゲインは、版から紙へインキが転移する際に印圧などによって網点が機械的にふくらみ、元の網点面積よりも大きくなるものである。オプティカルドットゲインは、紙上に形成された網点において、紙とインキ内での光散乱現象によって、実測される光学濃度が幾何学的な面積相当以上の値となり、あたかも網点面積が増加したかのような効果を示すものである。図9.5に一例として両者を共に含む場合のドットゲインの効果を示す。

### 9.3 墨加刷による色再現性への影響

印刷における色再現の特徴は、CMYの3原色インキに加え、第4の原色を表すブラックインキを用いる点である。ブラックインキの役割は、3原色インキの刷り重ねによるグレイの再現を肩代わりすることで印刷適性を改善することや、ブラックを加えること（墨加刷と呼ぶ）で色再現域の拡大を図ることなどがあり、色再現性の点からは後者が重要である。図9.6は墨加刷を行った場合の色再現域の移動の様子を示しており、墨濃度が上がるに従って色再現域が暗い方向に移行してゆき、図9.7に示すように暗部に新たな色域が生まれることがわかる<sup>6)</sup>。

4つの原色を用いて色再現を行うことは1つの自由度が生まれることを意味するが、このことが逆に印刷における色再現を複雑にしているとも言える。基本原理から言えば3原色で充分であり、ブラックインキは3原色インキだけでカバーしきれない濃度域を補う働きをする。また、ブラックと他の2色の組合せによって色再現を行うアクロマチック製版<sup>7)</sup>の方法も欧米では盛んに利用されている。

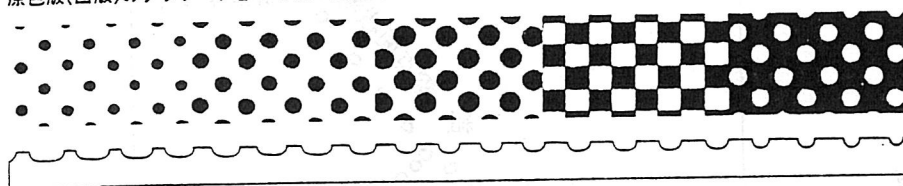
しかし、日本では従来製版に比べやや品質が劣る点が嫌われ、あまり積極的には用いられていない。

墨加刷の方法は濃度再現の立場から検討した例が多いが、Neugebauerの式に基づいてこれを測色的な立場から検討した報告例もあり<sup>8)</sup>、かなり良い精度で目標の色を再現できることが示唆されている。この方法ではドットゲインの効果を含めた網点面積率をいかに精度良く与えるかが鍵となっており、今後の研究成果が期待される。

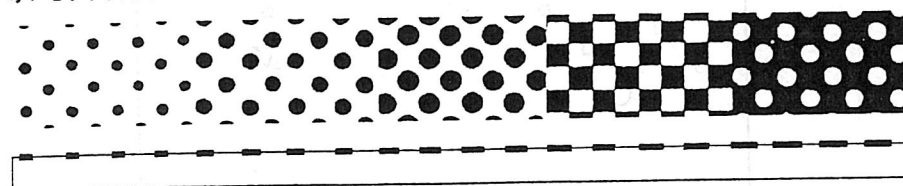
#### (参考文献)

- 1) 色彩科学ハンドブック：日本色彩学会編，東京大学出版会，991 (1980)。
- 2) H. E. Neugebauer : Z. wiss. Photogr., 36 (4), 73 (1937)。
- 3) M. E. Demichel : Le Procédé, 26 (3), 17 (1924)。
- 4) 本庄，田口：印刷学会誌，24 (3)，178-188 (1987)
- 5) 桜井，高橋，坂田：日本印刷学会第76回春期研究発表会講演予稿集，9-12 (1986)。
- 6) 国司：画像技術情報，(5)，50-51 (1986)
- 7) A. G. Saleh : TAGA Proc., 36, 151-163 (1984)
- 8) 中村，田宗：電子写真学会誌，29 (3)，315-323 (1990)

原色版(凸版)のグラデーションと版の断面図



オフセット(平版)のグラデーションと版の断面図



グラビア(凹版)のグラデーションと版の断面図

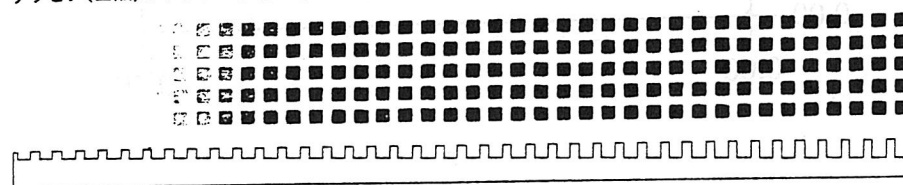


図 9.1 各版式における階調再現原理

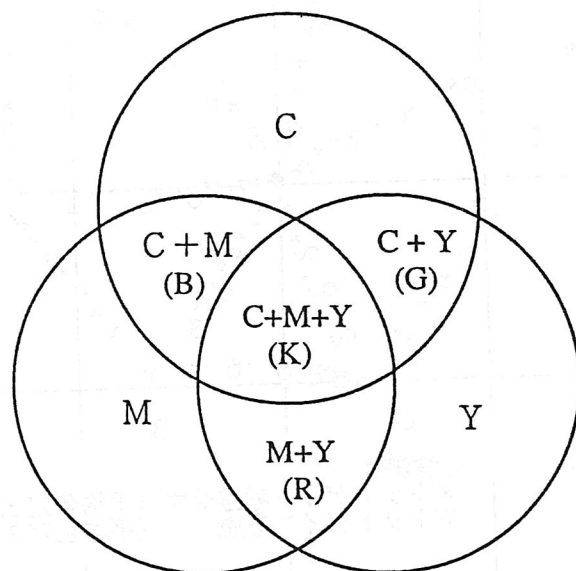


図 9.2 網点の重なった状態

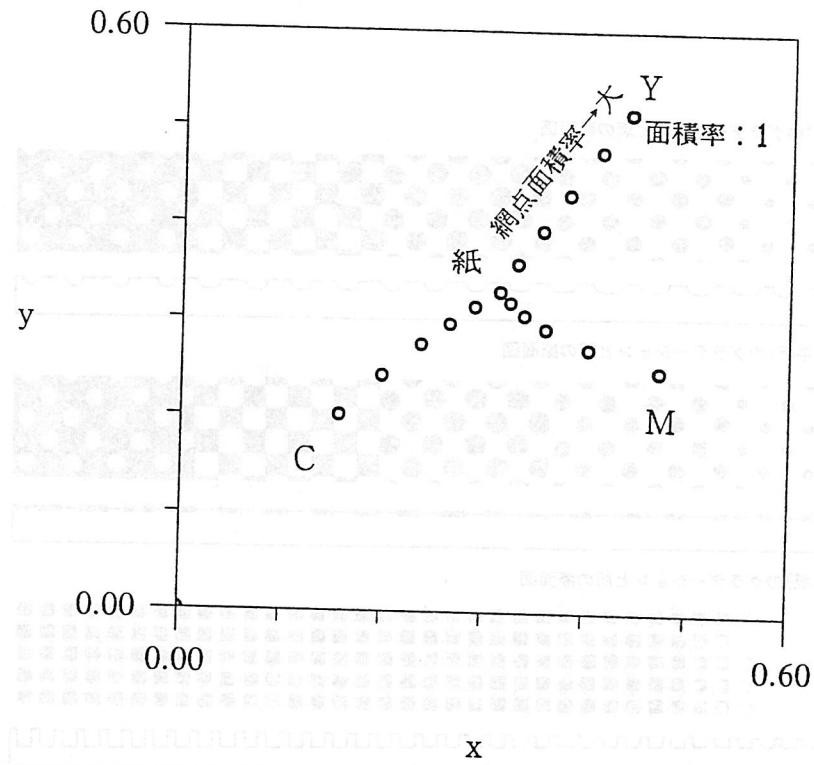


図 9.3 網点面積率の変化に伴う 1 次色の色度軌跡

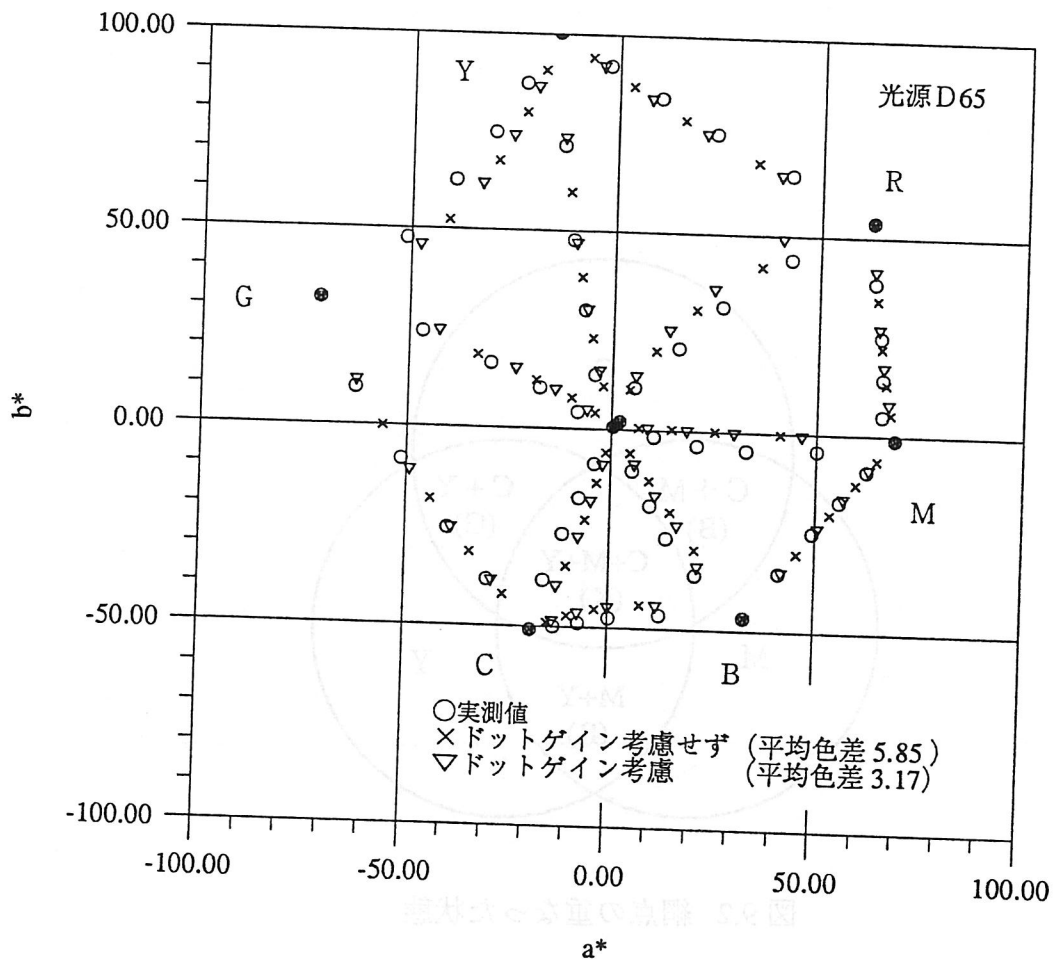


図 9.4 印刷色再現範囲のノイゲバウアー式による予測値と実測値の比較

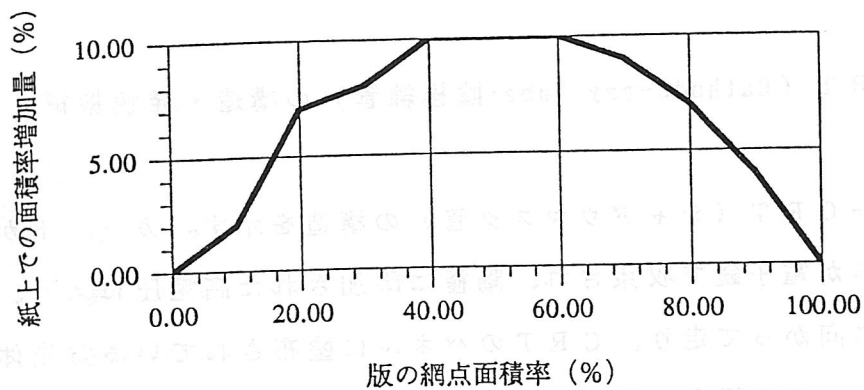


図 9.5 網点面積率とドットゲインによる変化量

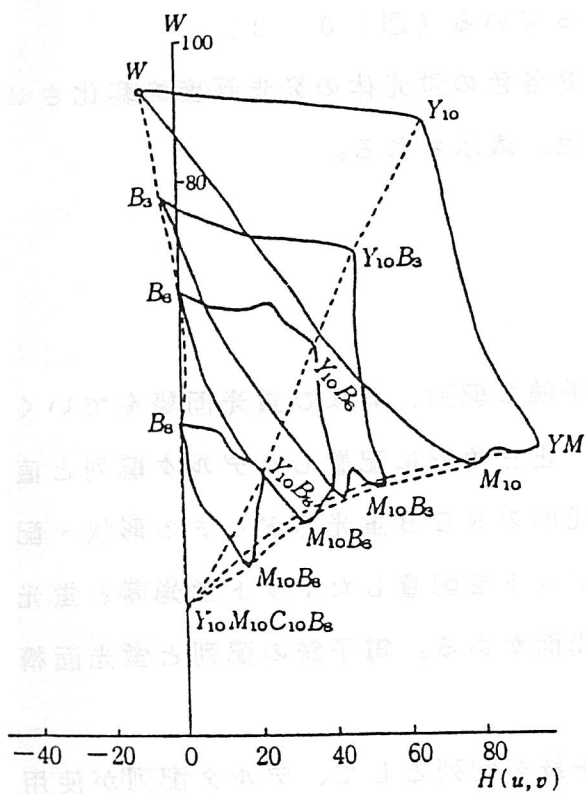


図 9.6 2色面の墨加刷による移動

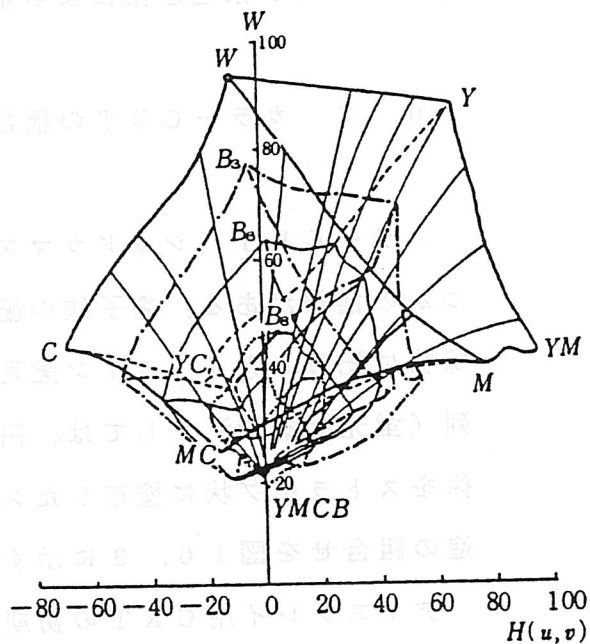


図 9.7 墨加刷による色立体の移動

## 第10章 CRTディスプレイによる色再現と評価

### 10.1 カラーCRT (Cathode-ray Tube:陰極線管)の構造・発色機構

図10.1にカラーCRT (シャドウマスク管)の構造を示す。カソードから放出された電子ビームが電子銃で収束され、陽極に印加された高電圧により、真空のCRT内を陽極に向かって走り、CRTのパネルに塗布されている蛍光体を励起し、発光させる。この場合、R、G、Bの3本の電子銃から放出された3本の電子ビームが組になって偏向され、シャドウマスク面に集まる。CRTのパネルの内側のRGBの各色の電子ビームの到達する位置には、対応した色の蛍光体が塗布されており、シャドウマスクの孔1個を通った3本の電子ビームは、それぞれの色の蛍光体のみ当たるようになっている(図10.2)。

カラーCRTにおける画像は、R、G、B各色の蛍光体の発光輝度を変化させ、併置された3原色画素による加法混色で発色、表示される。

### 10.2 カラーCRTの種類

カラーCRT (シャドウマスク管)は電子銃の配列、および蛍光面構造でいくつかの種類がある。電子銃の配列としては、正三角形に配置したデルタ配列と直線状に配置したインライン配列があり、蛍光面のRGB蛍光体ドットの形状・配列(蛍光面構造)としては、円形の蛍光体ドットを配置したドット蛍光面と蛍光体をストライプ状に塗布したストライプ蛍光面がある。電子銃の配列と蛍光面構造の組合せを図10.3に示す。

ディスプレイ用CRTの初期のころは電子銃の配列として、デルタ配列が使用された。デルタ配列は解像度は比較的良好であるが、電子ビームのコンバーゼンスを精度良く調整することが困難であり、その後、インライン配列のCRTの解像度、コンバーゼンス精度が大きく改善されたため、現在ではほとんどインライン配列となっている。

蛍光面構造としては、ストライプ蛍光面は主としてテレビ用、あるいは低解像度のディスプレイ用に、ドット蛍光面は主としてディスプレイ用に使用されてい

るが、最近ではストライプ蛍光面のファインピッチ化も進んでいる。

CRTの種類としては、上で述べたシャドウマスク管の他に、蛍光面はストライプで、シャドウマスクの代わりにアパーチャグリルを使用し、電子銃の構造に特徴のあるトリニトロン管がある。

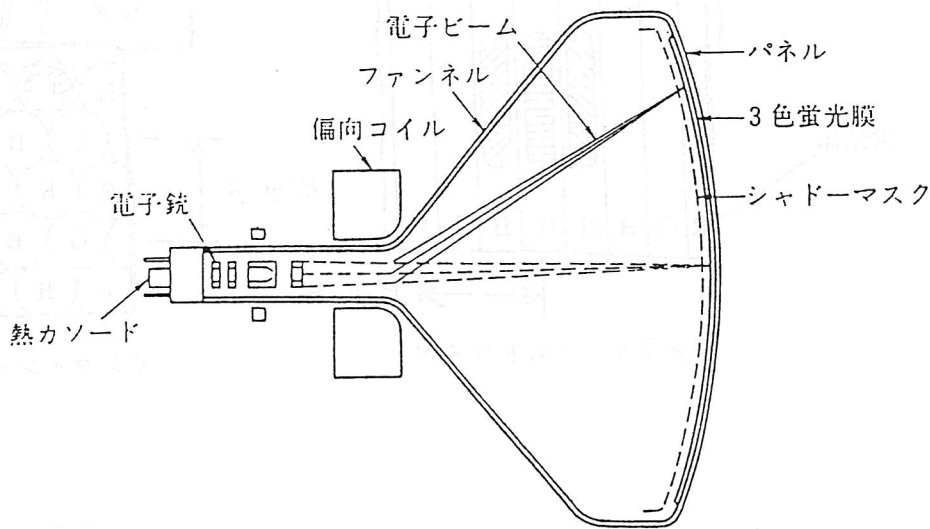


図10.1 カラーCRT（シャドウマスク管）の構造

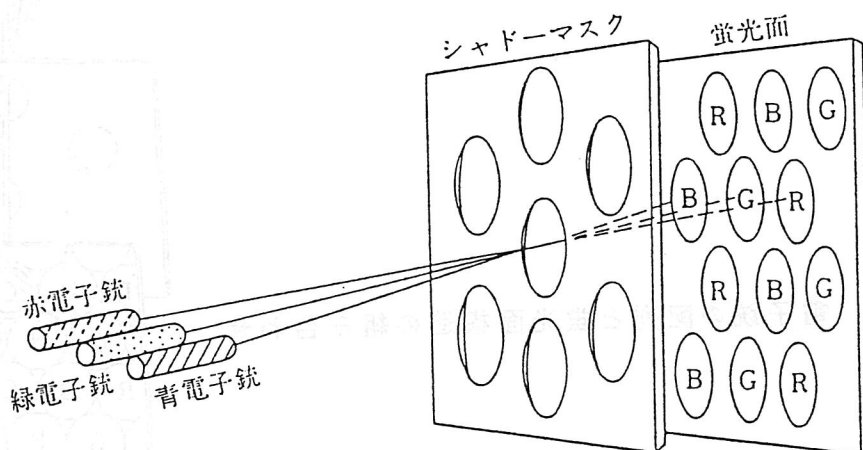


図10.2 カラーCRTの発色機構

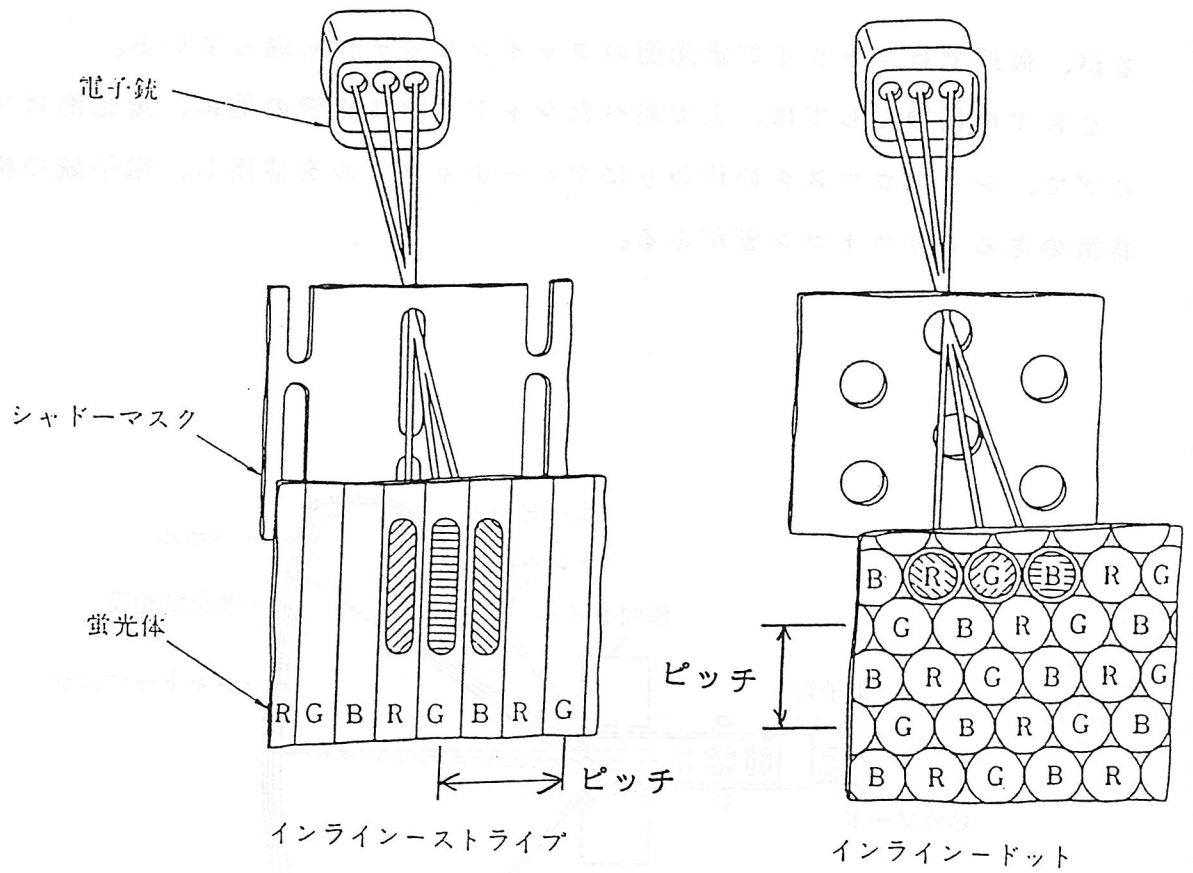
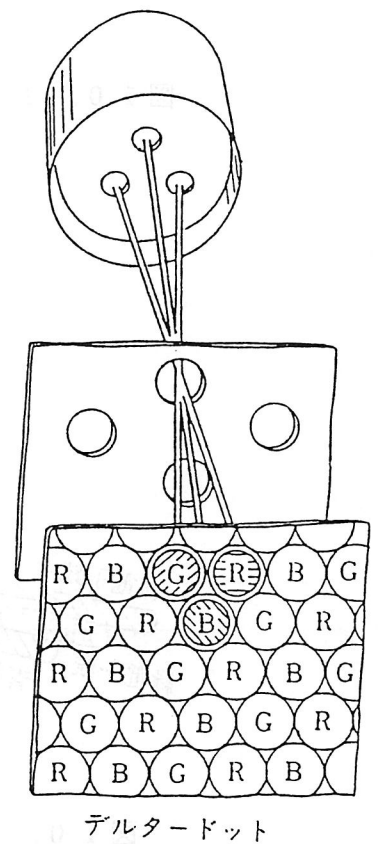


図 10. 3 電子銃の配列と蛍光面構造の組み合わせ



### 10.3 色再現に影響を及ぼす要因

カラーCRTに表示された画像の色再現、色の見えに影響を及ぼすCRTの表示特性として、色再現域、輝度、コントラスト、解像度、色ムラ、フリッカなどがあり、それぞれCRTのハード特性と密接に結び付いている。

以下、CRTのハード特性と表示特性との関係の概要を述べる。

#### 10.3.1 蛍光体

CRTの発色原理は加法混色のため、CRTで再現できる色はR、G、Bの蛍光体の発光色の色度座標を結んだ三角形の内部の点である。

現在ディスプレイ用CRTに最も広く使用されている蛍光体は、輝度が高いという優れた特長を持つが、残光時間が短く（10%までの残光時間が0.1[msec]程度）、緑の色度のy座標の値が小さい（Gのy座標0.60程度）。このため、フリッカが問題となる場合、あるいは、色再現領域を広くとりたい場合など、個々の要求により、適正な蛍光体を選択している。しかし、標準として市場に出ているCRTはほとんど単残光蛍光体を使用したものである。

画質向上には、蛍光体のファインピッチ化が重要であり、従来から高解像度タイプとして使用されている0.31mmから、0.28mm、0.26mmとファインピッチ化が進み、最近では0.21mmも出てきた。

#### 10.3.2 パネル

ディスプレイの前面パネルはディスプレイが使用されてる光環境と直接接しており、パネルの材質、表面処理などにいろいろな工夫が施され、使用環境の照明下での輝度、コントラスト、色再現の改善がなされている。

##### (1) パネル透過率を改善

###### ・ グレー・ティントパネル

パネル透過率を下げてコントラストを改善。

透過率 グレー70%、ティント50%、ダークティント40%。

- ・ 選択吸収性パネル（スーパーハイコントラストパネル）

パネル分光透過率を発光スペクトルに合わせて選択透過性をもたせ、コントラスト、色再現を改善する。コストの点で数は少ない。  
透過率 55%。

## （2）パネル表面反射を改善

- ・ A R（anti-reflection）パネル

パネル表面に反射防止の多層膜の光学処理。高級品用。  
鏡面反射率 0.4%、透過率 73%、外光の散乱無し。

- ・ シリカコートパネル

ディスプレイ用 C R T の主流になりつつある。  
さらに、導電処理により、帯電防止効果をもたせたものもある。  
鏡面反射率 1.4%、外光の散乱小。

- ・ ダイレクトエッチング

パネル表面をエッチングにより拡散処理。ノングレア。  
鏡面反射率 2.0%、外光の散乱大。

## 10. 3. 3 電子銃・カソード

画像の高解像度化、高輝度化を実現するためには、電子ビームの高電流密度化と、電子銃レンズの大口径化が必要である。

最近では、高電流密度化のために、酸化スカンジウムを使用したカソードにより、高解像度化、長寿命化を実現している製品も出てきている。

## 10. 3. 4 シャドウマスク

ディスプレイ用 C R T はテレビ用に比べ、静止画に使用されることが多く、シャドウマスクのドーミングにより色ムラが起りやすい。このため、低熱膨張の材料（インバー材）のシャドウマスクが、特に、大形管で使われている。

表 10. 1 ディスプレイ用 CRT に使用される蛍光体の特性例  
(フルカラー表示の場合)

		R	G	B	用途
単残光蛍光体 B 2 2 (標準)	色度 x	0.62	0.29	0.15	一般用 輝度重視
	y	0.35	0.60	0.065	
	相対輝度	100	100	100	
	残光時間	1	0.1	0.1	
中残光蛍光体 B M 4	色度 x	0.61	0.25	0.15	輝度・フリッカ両立
	y	0.33	0.69	0.06	
	相対輝度	60	65	100	
	残光時間	70	50	0.1	
長残光蛍光体 B L 9	色度 x	0.625	0.205	0.15	色再現重視 フリッカ防止
	y	0.34	0.70	0.06	
	相対輝度	50	50	45	
	残光時間	100	150	50	
NTSC受像3原色 (参考値)	色度 x	0.67	0.21	0.14	
	y	0.33	0.71	0.08	

相対輝度は短残光蛍光体を100としたときの相対値を示す。

残光時間は10%に減光するまでの時間を示す[msec]。

## 第11章 CRTにおける色の見えの問題点

### 11.1 はじめに

近年、視覚・色彩研究の視覚刺激表示装置として、光学系装置よりも安価でかつ扱いが比較的簡単であるということから、CRTディスプレイを用いることが多い。しかし、CRTディスプレイは光学系装置に比して輝度のダイナミックレンジが極端に狭いことなど、光学系装置と異なる点も多く、視覚・色彩研究にはその特徴を理解して用いる必要がある。

本章では、刺激表示装置として用いるカラーCRTディスプレイの基本的特徴と問題点を整理する。また、視感色彩計として用いるCRTディスプレイの測色校正方法について簡単に示す。

### 11.2 CRTディスプレイの色表示方法と色再現の特性

パソコンや画像処理等のCRTディスプレイにおける色彩表示方法には、フルカラー表示方法、カラーマッピング方法などがある(図1)。カラーマッピング方法(1)は、廉価なパソコン、ゲーム機などで用いられている表示方法であり、画像各画素に対応した8ビットデータを例えば赤3ビット、緑3ビット、青2ビットに分割使用することによって画面上に最大10数色(例えば18色)を同時表示する。またカラーマッピング方法(2)は、各画素Nビットデータ(8ビットでは0~255)をアドレス情報として、赤、緑、青各8ビットからなるカラーlookupテーブルの番地(0~ $2^N-1$ )に対応させることによって、 $2^{24}$ 色の中から最大 $2^N$ 色(8ビットでは256色)を同時表示できる。さらに、より高度な色彩処理を目的とする装置ではフルカラー表示方法が採用されている。この方法では各画素ごとに赤、緑、青各8ビットデータが独立に対応し、理論上 $2^{24}$ 色を同時表示できる。

前章で示したようにCRTディスプレイによる色再現範囲は、用いる蛍光体の発光色で決定される(図2はCRTディスプレイ用蛍光体発光色の代表的な分光分布である)。わが国で採用されているカラーテレビ標準方式(NTSC方式)では、受像三原色色度を

$$(R) : x=0.67, y=0.33$$

$$(G) : x=0.21, y=0.71$$

$$(B) : x=0.14, y=0.08$$

と規定しているが、現在実現されているカラーCRTディスプレイでは、NTSC方式の三原色よりも色再現範囲はかなり狭いのが実情である(図3)。しかし、現行テレビを見るかぎり実用的には様々な物体色が十分に再現されている。図4はCRTディスプレイの色再現範囲と多くの

物体色の色度範囲を比較したものであるが、CRTディスプレイが実在する物体色の色を十分に再現できることを示している。

カラーCRTディスプレイの色再現範囲は、用いる蛍光体の色度だけではなく輝度の特性にも影響される。図5は代表的なカラーCRTディスプレイの色再現範囲をCIE1976L\*u\*v\*色空間に三次元的に表示したものであり、図6は色再現範囲のu\*、v\*切断面である。図に示されるようにCRTディスプレイに表示できる刺激の色と輝度の組み合わせにはかなり制限があることが分かる。

刺激表示装置となるCRTディスプレイでは、表示刺激の時間応答性も重要である。現行NTSC標準方式では1/60秒ごとに画像の半分ずつを書き換え（飛越走査）、擬似的に1/30秒ごとに一画面表示を行なう方法をとっており、実用的な観察条件ではほとんどちらつきを感じない。しかし、高解像度表示を必要とする用途では装置上の制約から画像の書き換え時間を長くする方法がとられることが多く、その場合表示に伴うちらつきの問題が生ずる。このちらつきを減少させるために残光時間の長い蛍光体が用いられる。図7は短残光蛍光体と長残光蛍光体の残光特性（励起後発光強度が10%まで減少する時間）を示したものであり、残光時間は短残光蛍光体で約0.3ms(300ns)、長残光蛍光体で約35ms~100ms以上になっている。当然なことではあるが、長残光蛍光体を用いたCRTディスプレイは動画表示には利用できない。

### 11.3 CRTディスプレイの視覚刺激表示装置としての限界

#### 11.3.1 色度・輝度の不均一性

カラーCRTディスプレイを刺激表示装置として用いる場合、画面に表示した刺激の輝度、色度には二次元的なむらが存在することに注意しなければならない。即ち、CRTディスプレイ画面全体を一様な白色に発光させた場合でも、画面の輝度は位置によって均一にはならず、中心部で高く周辺部で低くなる。図8はCRTディスプレイの輝度の不均一性を示す測定例であるが、この場合画面周辺部の輝度は中心部に対して約80%である。画面輝度の不均一性の程度はCRTディスプレイごとに異なっており、他の測定例では中心部輝度に対する周辺部輝度が約60%に低下するものもある<sup>1)</sup>。

この画面輝度の不均一性はCRTディスプレイの構造に原因があり避けることはできない。図9はCRTディスプレイ画面サイズとシャドウマスク孔径の関係を示したものであるが、画面サイズ（19インチ、12インチ）によらず、画面周辺部のシャドウマスク孔径が中心部に比して小さくなっている。このような設計構造をとる理由は、画面周辺部ほどビームスポット径が大きくなり、マスク孔径を全画面で等しくすると画面

周辺部で画像が不鮮明になることによる（図10）。

図11はCRTディスプレイ画面上の色の不均一性の測定例であり、画面上の色度差はxで最大0.005、yで0.008を示している。前章のCRTディスプレイの発色機構で示したように、電子ビームを画面全面にわたって正確に位置制御することには限界があり、多くの場合この程度の色の不均一性の存在は避けることができない。

### 11.3.2 輝度・色の時間変動

CRTディスプレイ表示色の輝度、色は時間によっても変動する。図12は輝度の時間変動の測定例であるが、始動後輝度は大きく変動し、時間とともに輝度は上昇する傾向を示す。輝度の変動は時間が経過するとしだいに安定する（周囲温度や電源電圧などが一定の場合）。輝度が安定領域に至る時間は様々な条件（CRTディスプレイの電気回路性能、周囲温度、電源の安定性など）によって異なるが、図12の例では約1時間でほぼ安定する。しかし、別の例では約2時間を要するものもある。図13は色度の時間変動に関する測定例であるが、始動後色度も大きく変動し、約60分を経過して安定領域に至る。

このようなCRTディスプレイの輝度、色の時間変動は、シャドウマスクの熱変形に主に原因がある。図14に示すようにシャドウマスクは始動後電子ビームの照射によって熱膨張し、電子ビームの通過位置がそれに伴って変化する。CRTディスプレイの設計ではこのようなシャドウマスクの熱変形が考慮されている訳であるが、視覚刺激表示による用途ではCRTディスプレイが熱的に十分飽和してから使用しなければならない。

CRTディスプレイの輝度、色は、表示する刺激の大きさや表示刺激の周囲の輝度・色によっても変動する。図15、図16はCRTディスプレイの表示色データ（赤、緑、青データを一定）を変えずに、表示サイズだけを50ピクセル×50ピクセルから500ピクセル×500ピクセルまで変化させた場合の輝度および色度の変化を調べたものであるが、表示サイズによって両者とも大きく変化している。

図17、図18は、表示サイズ、表示色データを固定し、その周囲の輝度および色だけを変化させた場合の表示色の変化である。図17は画面中心部に提示した固定サイズ（100ピクセル×100ピクセル、赤、緑、青データは一定）の表示色に対する周囲輝度の影響を示している。図のように周囲輝度が上昇すると表示色の輝度は逆に低下する。図18は画面中心部に固定サイズ（100ピクセル×100ピクセル）の白色（赤、緑、青データは一定）を提示し、周囲色を赤、緑、または青とし、その輝度を変化させた場合の影響を表わしている。表示色データが一定である画面中心部の色度は周囲色によってほぼ補色方向に変化している（色度変化は±0.01にも及んで

いる)。

以上のような表示サイズ、周囲による輝度・色度変化は、CRTディスプレイに標準的に備わっている電気回路特性に主な原因があり、一部の特殊CRTディスプレイを除いて一般的には避けることはできない。

前述のようにCRTディスプレイによる表示色は様々な条件によって微視的なレベルの変化が生ずる。その中で光学系装置と比較した最大の難点は、CRTディスプレイでは厳密な加法混色が成り立たないことである。図19は表示色データを前述のカラーマッピング方式(2)に相当するCRTディスプレイ(各画素8ビット)において、各単色のデータ値を赤240、緑190、青165に設定し、計算によって求めた加法混色と実際の発光色の実測値を比較したものである。図19に示すように計算値と実測値が異なっている。これはCRTディスプレイにおいて厳密な意味で加法混色が成り立っていないことを意味している。

#### 11.4 CRTディスプレイの測色校正

視覚刺激提示装置として用いるCRTディスプレイは一種の視感色彩計であり測色的な校正を要する。CRTディスプレイの入力-出力特性は非線形な関係をもっている(一般的にガンマ特性とよばれる)が、系全体の測色校正を行うためにはこのガンマ特性を正確に補正することが重要である。図20はCRTディスプレイの赤、緑、青各色に対するガンマ特性の測定例であるが、このガンマ特性は1変数近似式、2変数近似式などによって近似することができる(式1, 式2)。

$$1 \text{ 変数近似式: } L = aV^{\gamma} \quad \dots \dots \text{ 式 1}$$

$$2 \text{ 変数近似式: } L = \exp(a_1 * (1nV)^2 + a_2 * 1nV) \quad \dots \dots \text{ 式 2}$$

$$\text{補正テーブル: } L = V_i \quad (i=0, 1, 2, \dots, 255) \quad \dots \dots \text{ 式 3}$$

実用的には1変数近似式で十分な場合が多いが、図21の青色蛍光体のような場合1変数近似式では十分な近似ができない。この場合、2変数近似式を用いることにより近似精度は格段に向上する<sup>2)</sup>。他のガンマ特性補正方法として、各色のガンマ特性実測値を参照テーブルとする方法がある(式3)。測定点が膨大になることを除いて測色校正として最も望ましいといえる<sup>3)</sup>。

視感色彩計であるCRTディスプレイの測色校正は、視感色彩計の一般的な測色校正方法に従えばよい。CRTディスプレイの器械三刺激値R, G, Bから例えばCIEのXYZ系への変換は、表色系変換の一般的手順に従う式3~式8を用いて行う<sup>4)</sup>。厳密に測色校正されたCRTディスプレイでは、マンセル表色系などのカラーオーダーシステムの画面表

示や、照明された物体色のシミュレーション表示などが可能になる。

### 11.5 おわりに

以上、視覚・色彩研究の視覚刺激表示装置というやや特殊な用途としてCRTディスプレイを用いる場合の特徴、問題点を整理し、使い方に対して注意すべき点を示した。しかし、CRTディスプレイには光学系システムにはない利点も多く、表示する刺激によってはCRTディスプレイの方が有利になる場合も多い。

#### 参考文献

- 1) 木滑: 照学誌, 67, 2(1983)
- 2) W. B. Cowan: ACM SIGGRAPH Comp. Grph., 17(1983)315-321
- 3) 湊田: 色学誌, 9(1985)46
- 4) 湊田: 光学, 17, 2(1988)

以下に、RGB系からXYZ系への原色変換、およびCRTモニタの測色校正に対する変換式のみを示す（詳細は文献(3)等を参照）。

器械三刺激値R, G, Bから

標準測色系（例えば、XYZ系）への変換

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] [K] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{式 3}$$

CRTディスプレイ三原色の色度座標行列

$$[M] = \begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{式 4}$$

三原色の単位量を定める定数行列

$$[K] = \begin{bmatrix} 1/k_r & 0 & 0 \\ 0 & 1/k_g & 0 \\ 0 & 0 & 1/k_b \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{式 5}$$

任意の入力データに対する表示色の三刺激値XYZは

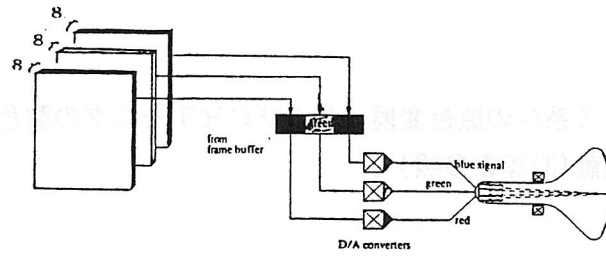
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} I_r \bar{L}_r \\ I_g \bar{L}_g \\ I_b \bar{L}_b \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{式 6}$$

任意の三刺激値をもつ表示色の入力データは

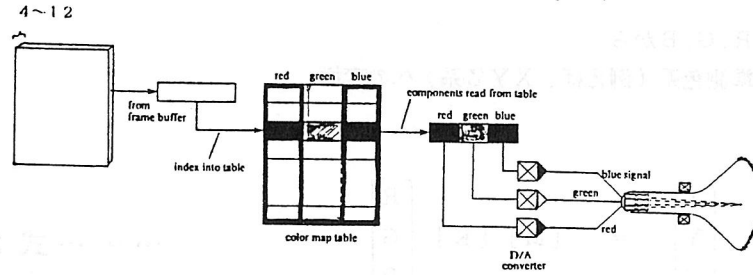
$$\begin{bmatrix} I_r \bar{L}_r \\ I_g \bar{L}_g \\ I_b \bar{L}_b \end{bmatrix} = [M]^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{式 7}$$

最大入力データ (rgb各255) のときの原色の発光輝度比

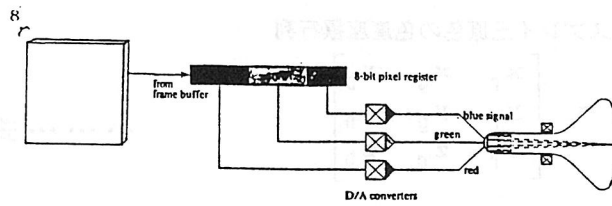
$$I_r : I_g : I_b \quad \dots\dots\dots \text{式 8}$$



フルカラーディスプレイ方式



カラーマッピング方式(2)



カラーマッピング方式(1)

図1 CRTディスプレイの色表示方法

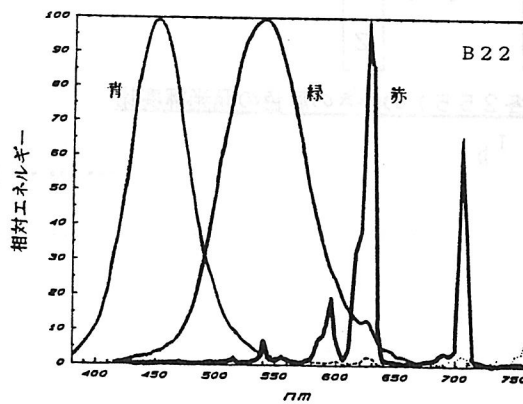
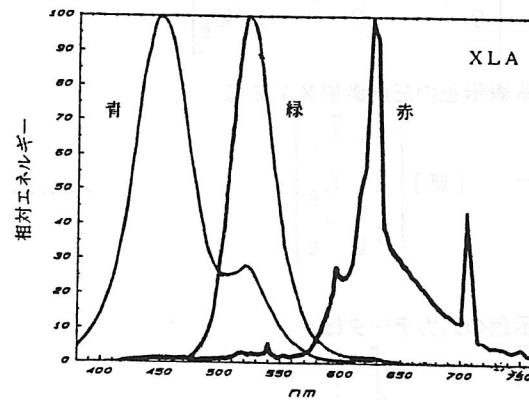


図2 CRTディスプレイ用蛍光体の分光分布

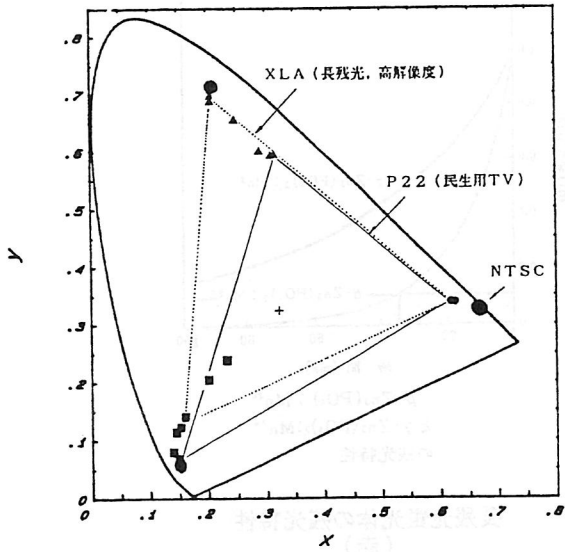


図3 CRTディスプレイ用蛍光体の色度

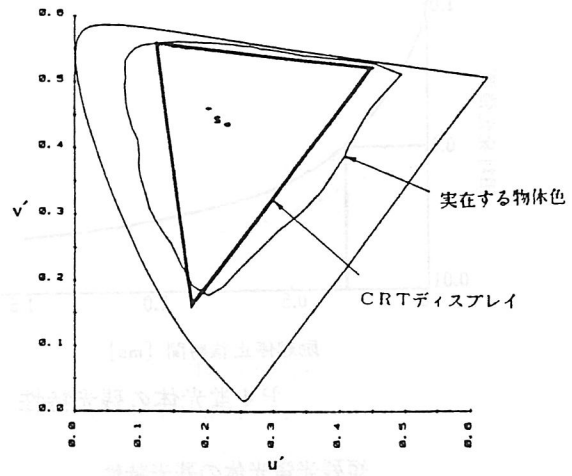
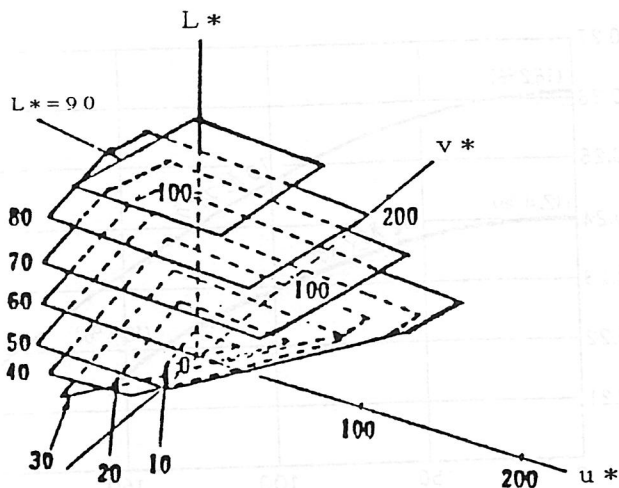


図4 CRTディスプレイの色再現範囲と物体色の色度範囲



15 CRTディスプレイの色再現範囲 (CIE1976L\*u\*v\*色空間における三次元表示)

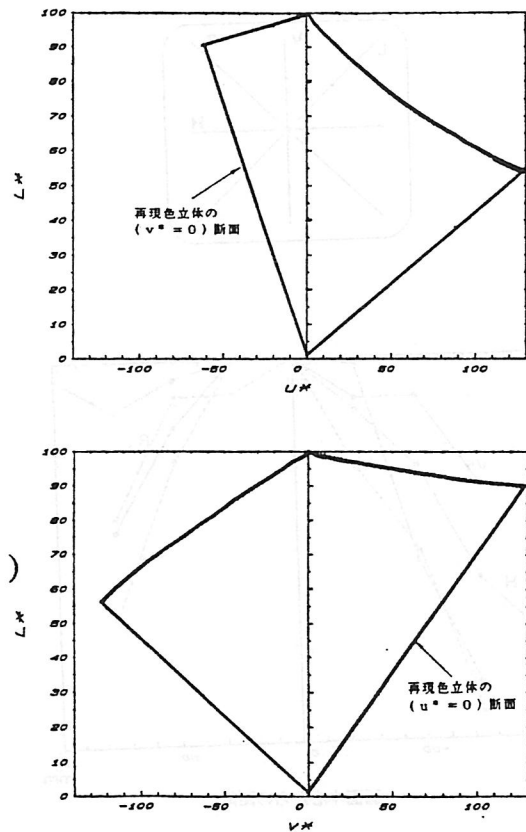
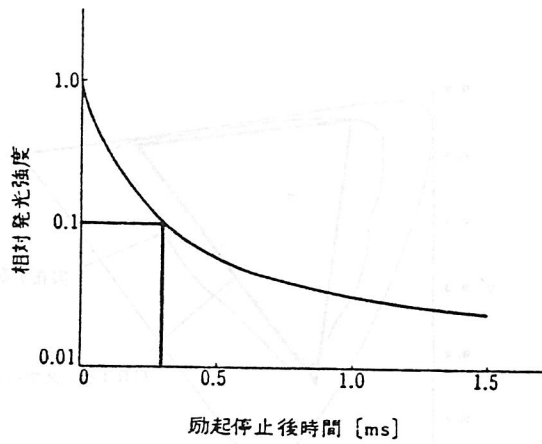
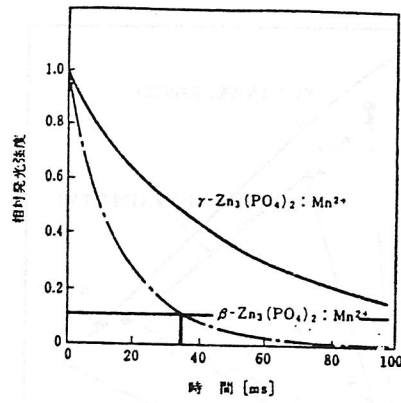


図6 CRTディスプレイの色再現範囲 (u\*面, v\*面による切断面)



P4 蛍光体の残光特性

短残光蛍光体の残光特性  
(モノクロ緑白色)



$\beta\text{-Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}^{2+}$   
と  $\gamma\text{-Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}^{2+}$   
の残光特性

長残光蛍光体の残光特性  
(赤)

図7 蛍光体の残光特性

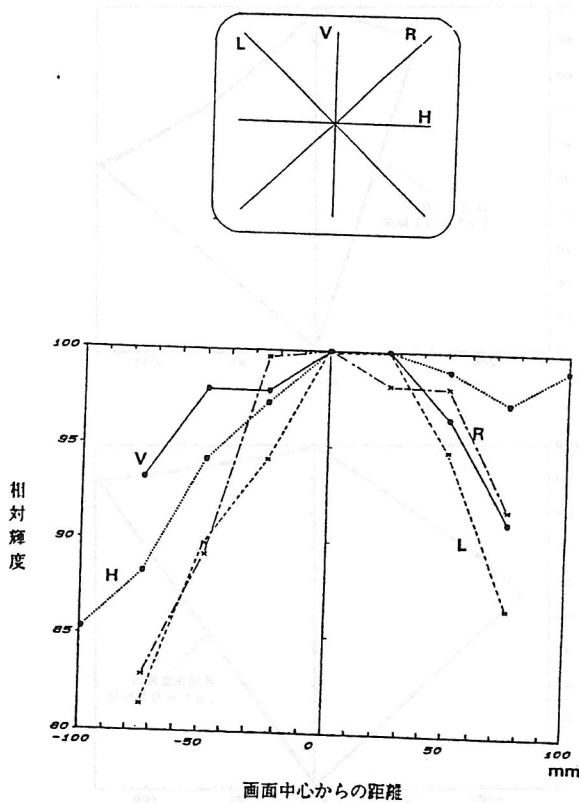


図8 CRTディスプレイの輝度分布

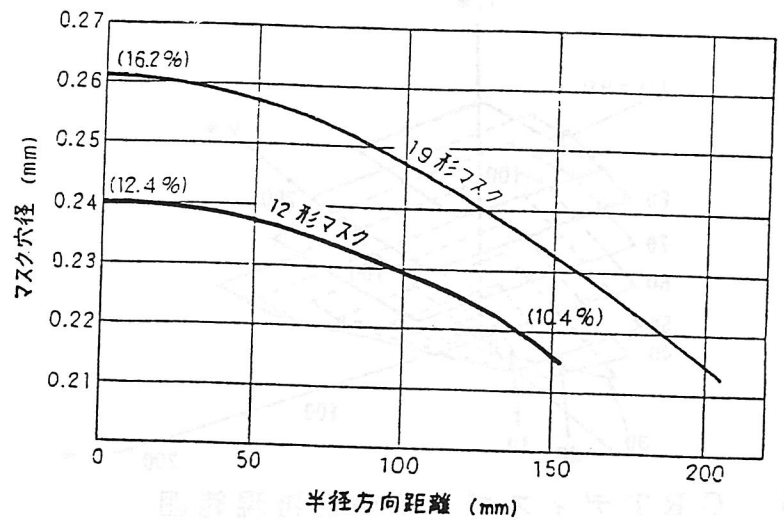


図9 CRTディスプレイ画面位置と  
シャドウマスク孔径

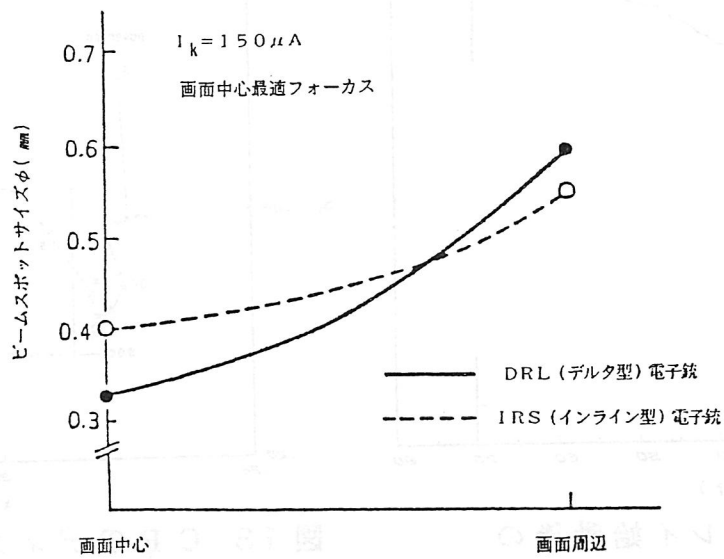


図 10 CRTディスプレイ画面位置とビームスポット径

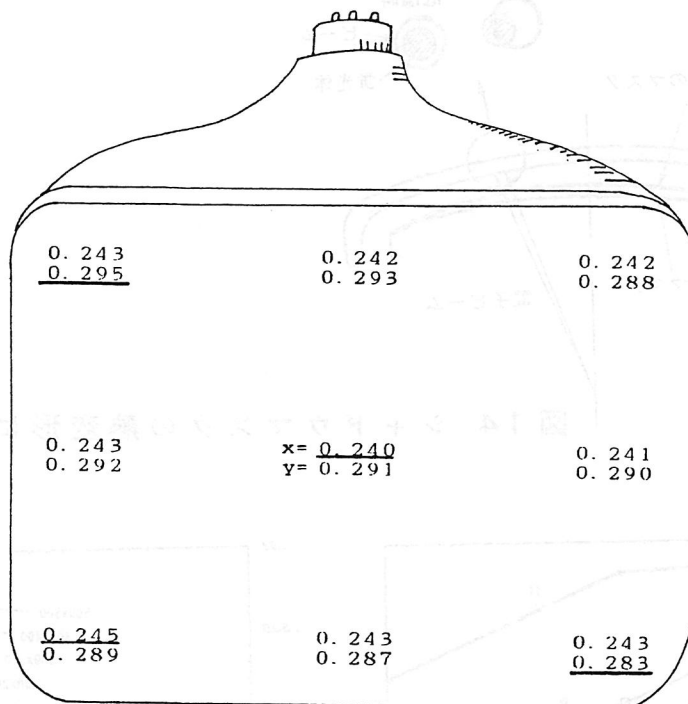


図 11 CRTディスプレイ画面の色の不均一性

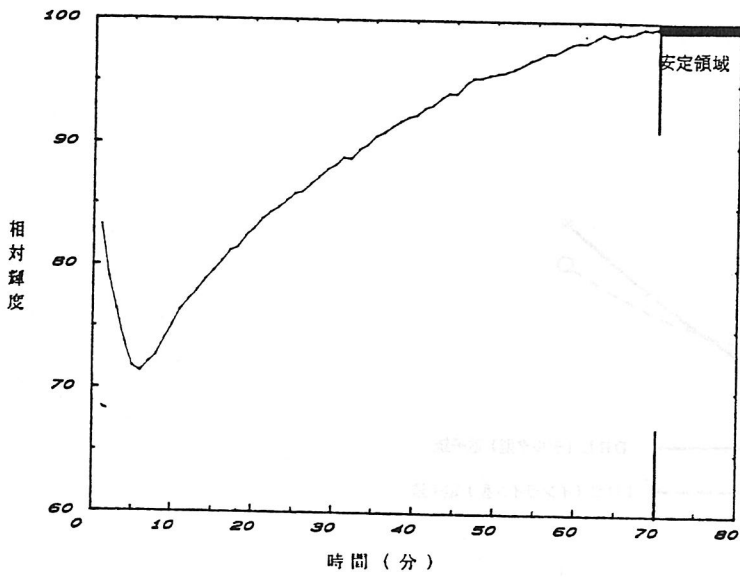


図 12 CRTディスプレイ始動後の輝度変化

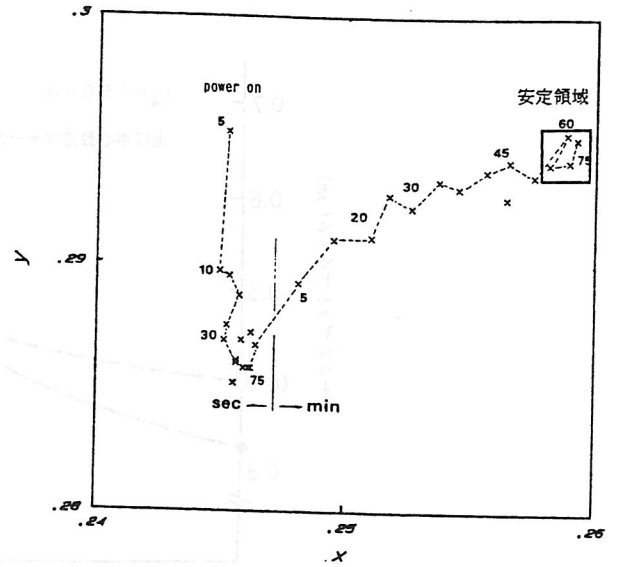


図 13 CRTディスプレイ始動後の色度変化

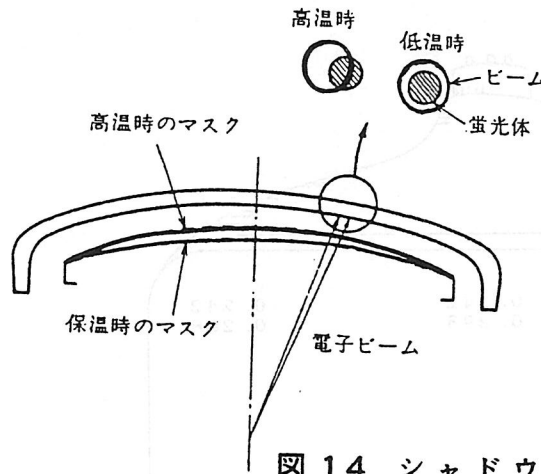


図 14 シャドウマスクの熱変形による色純度低下

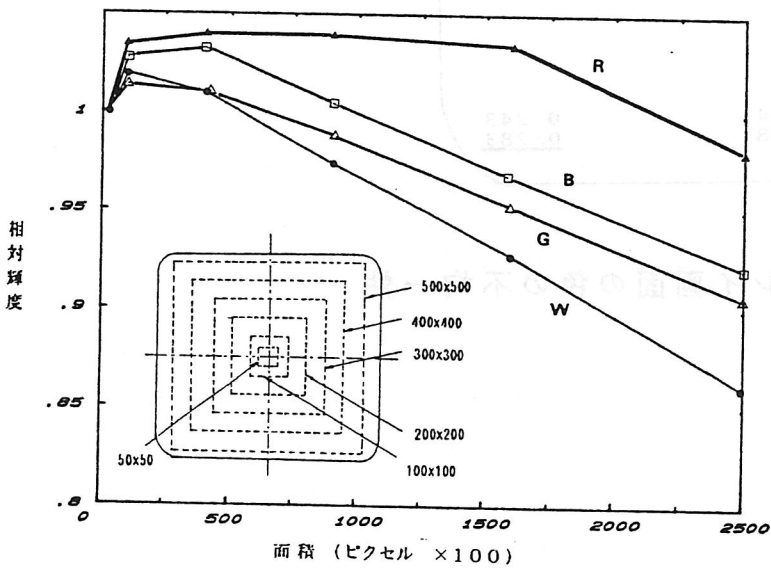


図 15 表示サイズによる輝度の変化

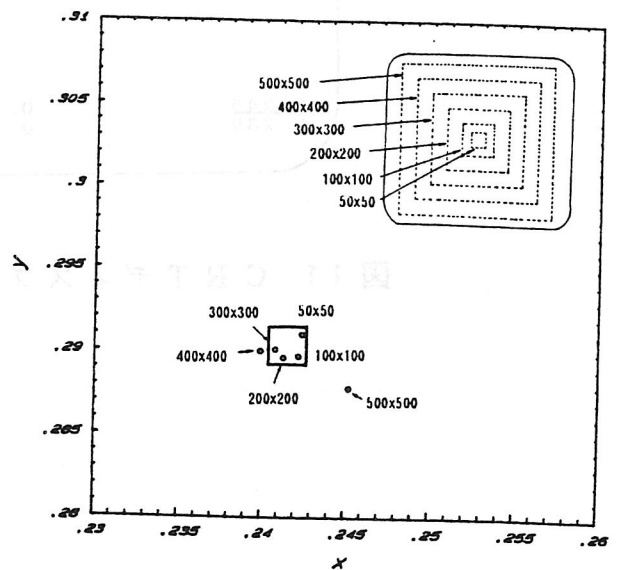


図 16 表示サイズによる色度の変化

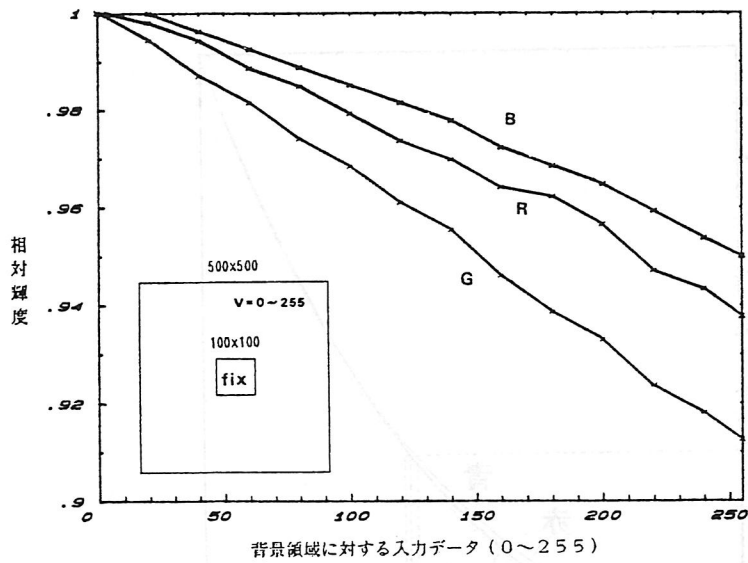


図 17 表示色輝度に対する周囲輝度の影響

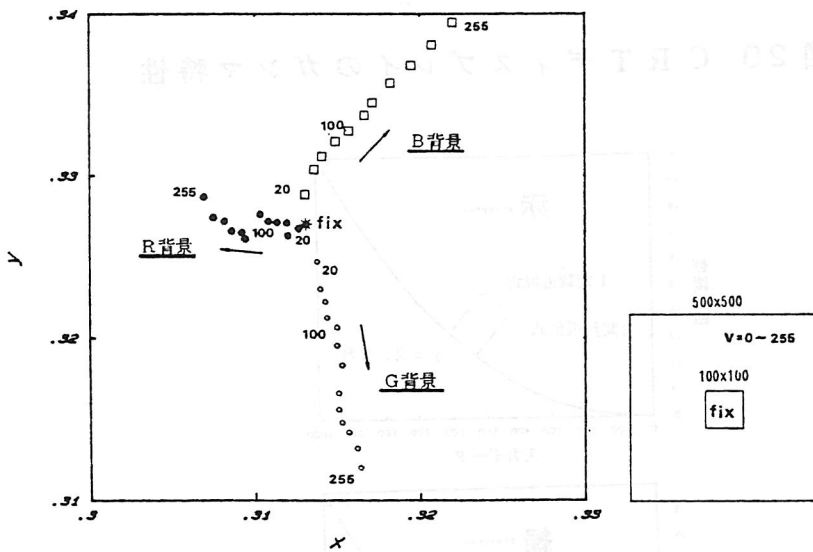


図 18 表示色色度に対する周囲輝度の影響

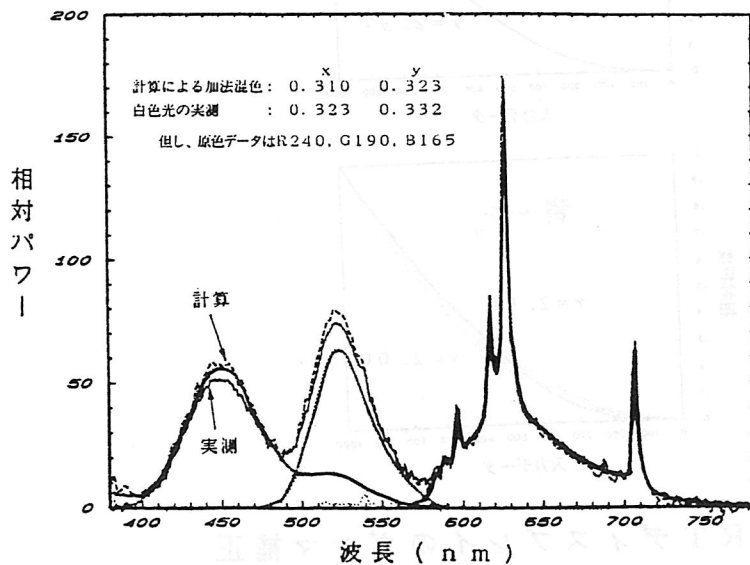


図 19 CRTディスプレイの加法混色の計算値と実測値の比較

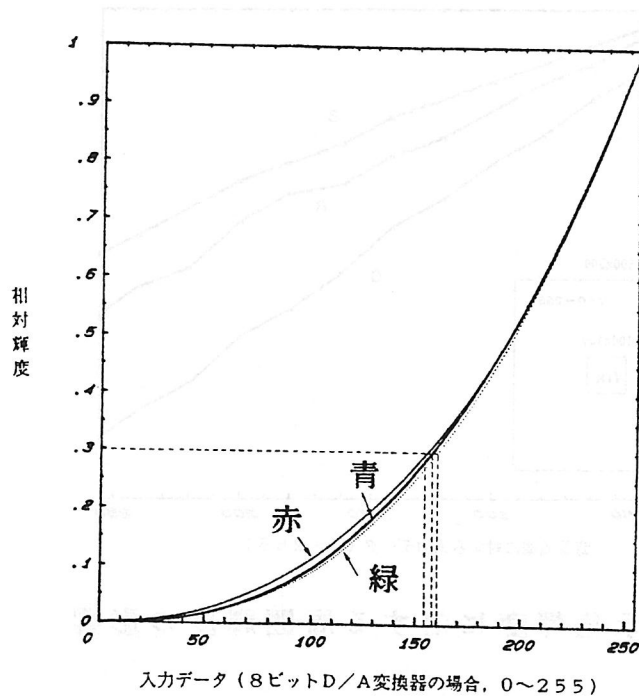


図 20 CRTディスプレイのガンマ特性

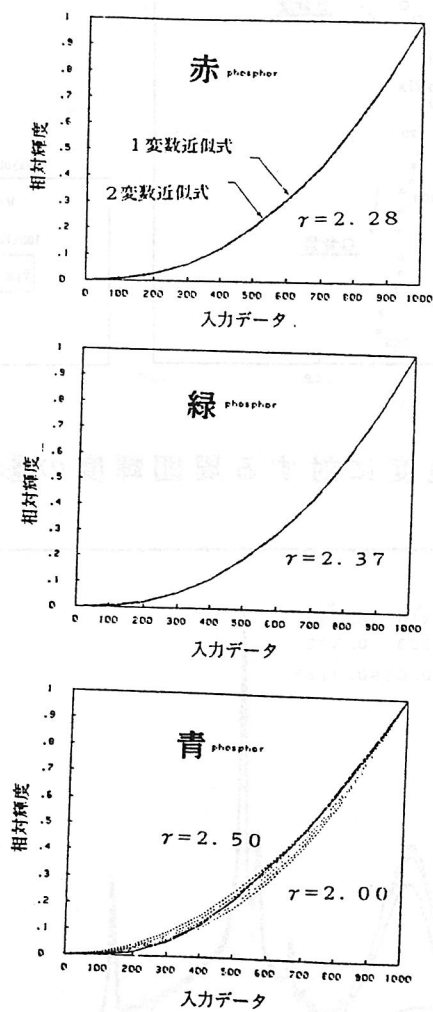


図 21 CRTディスプレイのガンマ補正

## 第12章. VDT 画面色の心理的評価

### 12.1 VDT 画面色に関するガイドライン

VDT 画面色に関連して、VDT のガイドラインが諸外国でもかなり出されている。以下にその例を示す。

- ・ NIOSH 勧告 ( National Institute for Occupational Safety and Health, America ),
- ・ オリベッティにおける人間工学 ( Olivetti Co.,Ltd., Italy),
- ・ VDU at Work ( Commonwealth Dept. of Science and Technology -Working Environment Series 13, Austlia ),
- ・ FIET-JCL (商業労働組合連合会、日本加盟組織連絡協議会、

表1. 蛍光体の発光色

Olivetti	好みの問題としているが統計上、
	1.黄色の蛍光物質に琥珀色のフィルター
	2.黄色か白の蛍光物質に黄のフィルター
	3.白の蛍光物質のみ
IBM	緑
CRC	黄
TUB	黄または緑
DIN	緑
VDT( A.Cakir )	個人の好み

ハンドブック：ホワイトカラー労働者の健康と安全)、

- ・ IBM ( International Business Machine Inc. 表示端末装置を使用するワークステーション、その人間工学的考察、America )、
- ・ CRC(Communication Research Center, Communication Dept. Review of Health and Safety of VDT, Canada ),
- ・ TCA ( Trade

表2. 表示文字色

FIET・JCL	黄、白、
IBM	
DIN	
VDT	個人の好
DCIEM	
VDT ( A.Cakir )	個人の好

Corporate Association NO ZH 1/618 : 西独労働組合連合・事故予防と産業医学中央事務局の規定 TCA 規定、West Germany),

- ・ TUB(Technical University, Berlin, West Germany), DIN(Deutsche Industrie Normen, ドイツ工業規格 66234、West Germany),
- ・ VDT (Technical University of Berlin, West Germany),
- ・ U of L ( University of London , Visual Aspects and Argonomics of VDT, England )
- ・ DCIEM ( Defence and Civil Institute of Environment Medicine, DCIEM 勧告、Canada ),

表3. 背景色

FIET・JCL	緑、グレー、
VDT ( A.Cakir )	個人の好

・ Visual Display Terminals ( Manual ) by A.Cakir et al., West Germany ) などがある。その内容を表1、表2、表3に示す<sup>1)</sup>。

また福田は、OA ディスプレイの視覚的要件のなかで、ディスプレイの色について蛍光体の色はほぼ緑が多いが、Reinig の研究によると陰画表示で、文字色を白、青、緑、

黄、赤とした場合、青を除くとほとんど色による読みやすさの違いのないこと、このほかの実験で視作業の能率やユーザーの好みの点でも文字色による差のないことを紹介している<sup>2)</sup>。

## 12.2 心理的評価法

### 12.2.1 尺度構成

心理的な評価を行なって測定を行なうためには尺度が必要である。一般に、物理的測定は既知の大きさを使って測るという直接測定であるのに対し、心理的測定は何らかのてがかりを求めて測定するという間接測定といえる。以下にその尺度を示す。

- (1) 比例尺度—ある等間隔性をもった尺度があるものとして、この尺度上で心理的判断を行なったデータの分布が近似的に正規分布していると仮定する。正規分布は平均値と標準偏差が求まればすべて決まるのでここでは平均を原点にし、標準偏差を単位に関連させることができる。これは  $y=ax$  で表現できる。
- (2) 距離尺度—ほぼ同上で正規分布を仮定し、 $y=ax+b$  の形で示され、等単位尺度とも言われる。
- (3) 序数尺度—等間隔性のない場合、順序だけが意味を持つ尺度で、評定尺度法(SD法はその1つの方法)、順位法、一対比較法などがある。
- (4) 名義尺度—群やカテゴリーなどに数をわりふって名義的に使う。ここでは分類が測定の尺度の一つとして取り上げられている<sup>3)</sup>。

系列範疇法は、序数尺度を使って評定するカテゴリー(例、非常に快い、快い、少し快い、どちらでもない、少し不快、不快、非常に不快など)の境界またはカテゴリーの幅が距離尺度の形で与えられると、その評定結果は等間隔性が問題とされる。これらの問題の処理をカテゴリーの境界が連続体上で一定であること、正規分布の仮定、弁別のちらばりがほぼ等しいことを仮定して取り扱うものである<sup>4)</sup>。

### 12.2.2 分析法

VDTの色見えなどの心理的評価の結果を分析するために、主成分分析法や因子分析法などが使われてるが、両方とも分析の目的は、もとの変数をより少い変数に置き換えることである。主成分分析法は、主成分と呼ばれるお互いに無相関な変数のグループをもとの変数から直交変換によって見いだす方法である。変動の大きさ、即ち重要度の順に主成分が導かれる。得られた主成分はもとの変数と線形の関係であるので、少数の成分によってもとのデータの変動の大部分の説明がつく。その結果データの次元を減らせるので分析を容易にさせることができる。因子分析法も似通った分析法であるが、因子と呼ばれる与えられた数の基礎変数を指定した統計モデルで、この分析では変数の分散の説明よりもそれらの共分散の構造の説明がより重視される。似通ったアプローチのために2つの方法が混同されるが、基本的な概念に大きな違いがある。

主成分分析法の利点は、問題の次元を落とすことによってその後続く分析を単純化できる点にある。即ち、有効な次元を手早く手にすることができる点であり、得られた少数の成分がもとのデータの変動の大半を説明している場合には、その成分スコアを利用してさらに分析を展開できる点にある<sup>5)</sup>。

### 12.3. 画面色の心理的評価

1.の項のVDTガイドラインで示したように画面色や文字色の推奨例は余り多くなく、また推奨される色もまちまちである。そこでここでは、序数尺度の一つである複数の形容詞対を用いたSD法を尺度としたVDTの心理的評価の後、主成分分析を行なった結果求められた評価軸を例として示す。

VDT画面で18の形容詞対、18の画面色、2つの輝度レベルを条件として、30名の被験者で測定を行なった結果、2つの主成分が求められている。第一主成分は明るさに対応する主成分で、第二主成分は見やすさ又は疲労感にかかわる主成分である。この2つでもとのデータの90%以上の変動を説明している。さらに成分スコアを求めて分析した結果、画面色として、見やすく、疲労感の少ない色は白や黄、空色などの無彩色や彩度の低い色であることが報告されている。その反対に見にくく、疲労感を感じる色は、赤や青、橙などの彩度の高い色である<sup>6)</sup>。また男性と女性を別々に主成分分析を行なった結果、男性は見やすさの観点から、女性は疲労感の観点からVDT画面色について傾向のあることが報告されている<sup>7)</sup>。

こうみると、VDTの画面色の心理的評価は主として見やすさ感、又は疲労感の立場から検討し、整理することが適切であると考えられる。

### 12.4. 快適さ、読みやすさとパフォーマンス

VDTの使用時における眼球運動、パフォーマンスと視覚的快適性についてM.A.M. Leemakersらの報告がある<sup>8)</sup>。これは画面の平均輝度とコントラストを変えて、検索作業をするものであるが、結果は、視覚的快適性と眼球運動、パフォーマンスの良い対応を示した。そして、視覚的な快適性についてのスケールリングがVDTの評価に経済的であるばかりでなく、有効であることを示した。

S.M.Luriaらは、VDTの様々な色の発光体について、パフォーマンスと好みの観点からの報告を行なっている<sup>9)</sup>。背景色を黒として緑、コハク色、黄、赤、青、白の文字やシンボルの検索作業をさせた。その結果、色の好みは、緑、黄、白、コハク、赤、青の順である。検索時間については色によって意味のある差はなかった。しかし、エラーの数には意味のある差があった。白が一番多く、赤、青、黄、緑、コハクの順に少ない。好みとの相関はなかった。

窪田らは、CRTディスプレイの文字色と視覚パフォーマンス、主観的評価について実験を行なっている<sup>10)</sup>。報告は、文字色(青、赤、マゼンタ、緑、シアン、黄、白の7色)の主観的評価とパフォーマンスの結果はほぼ一致していることを示した。最も見にくい色として評価された青は、パフォーマンスも最も低かった。また、被験者が調節した文字輝度は文字色によって異なっていたが、明るさ感ではほぼ等しいことが示した。

### 12.5. VDT作業と疲労

VDT作業と作業負担の表示極性と表示色の影響について、三澤らの報告がある。緑色陰画表示、白色陰画表示、緑色陽画表示、白色陽画表示で2時間の修正作業を行ない、フリッカー値、心拍数、近点距離、調節時間、筋電図、疲労自覚症状、作業成績を調べた<sup>11)</sup>。その結果、画面の表示極性については、自覚症状やフリッカー値から陰画表示の方が負担度が大きい。表示文字色については、近点距離や自覚症状から白表示よりも緑表示の方が負担度が高いことを示した。

VDT 作業による精神疲労を推定するために CFF(Critical Fusion Frequency) が使われるが、西村らはその測定方法と条件を検討した<sup>12)</sup>。測定方法では調整法、極限法、恒常法のうち極限法が一番精度の高いこと、検査光光源の輝度は 120 cd/m<sup>2</sup> より 500 cd/m<sup>2</sup>の方が変動率が大きいこと、光源の大きさは視角 1°の方が視角 2.5°よりも精度が高く、視角 0.5°より変動率が大きいこと、光源の色の違い(緑、赤、黄)や単眼や両眼の CFF については変動率の大きさや精度に顕著な差がないことを示した。

快適さとパフォーマンスでは、主観的評価がパフォーマンスの結果とよく一致をみたが、VDT 作業にからむ目の疲労などの自覚症状などの訴えは診断などの決定要因にはならない。佐藤は、主観の内容を客観的に行動のレベルで確認できる他覚症状をできるだけ多く集めることを勧めている<sup>13)</sup>。例えば、「頭がほんやりする」という主観的表現でなく、「ちょっとしたことが思いだせない」とか「することに間違いが多くなる」という表現にすれば、他人がその本人に関して客観的に確かめることが可能な兆候をとらえた記述になっている。

## 参考文献

- 1) VDT の安全性に関する調査報告、財団法人 日本電子工業振興協会 VDT の安全性に関する W.G. 昭和 59 年 3 月)
- 2) OA ディスプレイの視覚的要件、福田忠彦、照明学会誌、第 68 巻 第 3 号 昭和 59 年、113-117
- 3) 心理学研究法 16 尺度構成、田中良久著、東京大学出版会、1973
- 4) 心理学的測定法、田中良久著、東京大学出版会、1974
- 5) 多変量解析入門、C.チャットフィールド/A.J.コリンズ著、培風館 昭 61
- 6) Evaluation of CRT Color Using Semantic Differential Method , Keisiro Takeichi , SID 87 DIGEST 319-321
- 7) 色覚特性から見た VDT 画面色、武市啓司郎、昭和60年度製品科学研究所講演会資料、No.151, 19-25
- 8) Eye movements, performance and visual comfort using VDTs, M.A.M.Leemakers and M.C. Boschman, IPO annual progress report 19 1984 , 70-75
- 9) Performance and Preference with various VDT phosphors S.M. Luria, D.F. Neri and C. Schliching , Applied Ergonomics 1989, 20,1, 33-38
- 10) CRT ディスプレイの文字色と視覚パフォーマンス 窪田悟、大倉元宏、高橋誠、飯田祐康、西岡昭 、労働科学 60 巻 8 号 (1984) 357-363
- 11) VDT 作業における作業負担に関する実験的研究 (第 1 編) VDT 画面の表示極性と表示色の影響 三澤哲夫、重田定義、産業医学 第 28 巻 420-427
- 12) 精神疲労推定のための CFF の測定方法と条件の検討ー VDT 作業による疲労を対象としてー 西村武、森本一成 人間工学 Vol.22, No. 4, 1986 203-210
- 13) 目に関する自覚症状と他覚検査：ブラウン管ディスプレイの影響 (1)、佐藤愛子、照明学会誌 第 68 巻 第 7 号 昭和 59 年 305-310

### 第13章 好ましい色再現

#### 13.1 記憶色

特定の物の色として記憶されている色を記憶色 (memory color) という。色再現の好ましさをきめる大きな要因として、その色「らしく」再現されていることが考えられるから、この意味で記憶色を調べることは重要である。

記憶色については Bartleson の研究がよく知られている<sup>1)</sup>。この研究では、被験者に色票を選ばせる方法によって、赤煉瓦、草、枯草、青空、人の肌、日焼けした肌など、さまざまな色の記憶色を求め、結論として、記憶色が一般にもとの物の色とは異なること、飽和度はより大きい方向に移行し、色相も「それらしい」方向に動くことが示された。

図13.1は Bartleson の求めた各記憶色の分布と、そのちらばりを表わす90%確率楕円を示す。また図13.2はもとの色と記憶色の関係を示している。

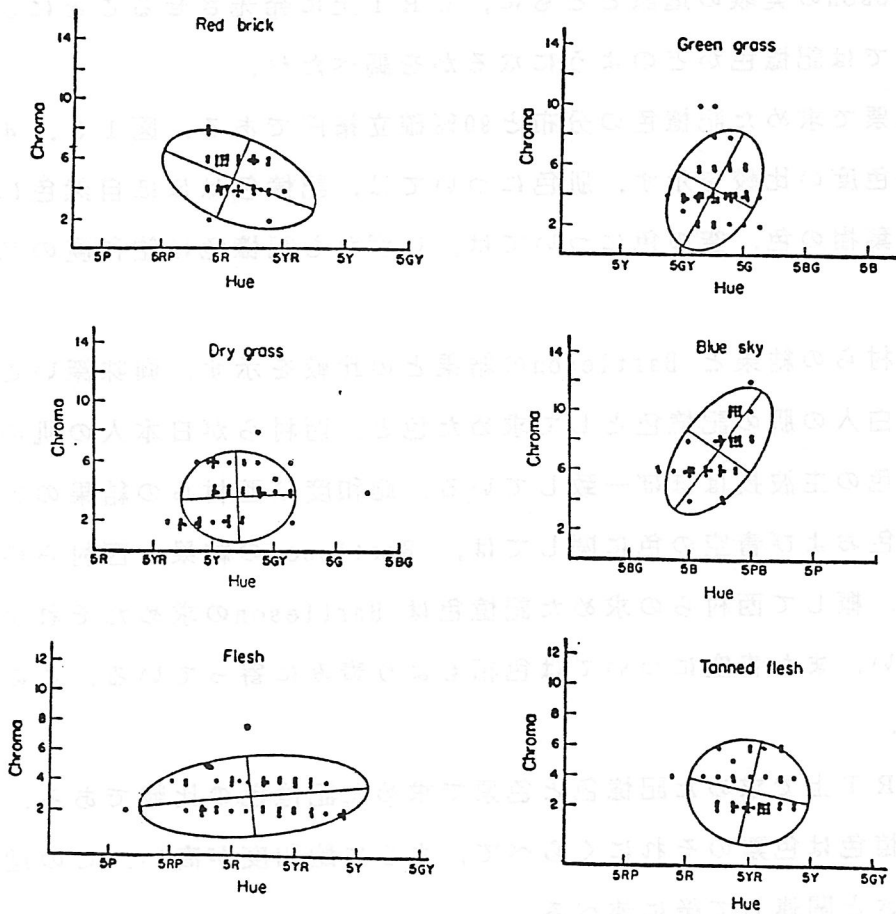


図13.1 色票で求めた記憶色の分布と90%確率楕円 (Bartleson, 1960)

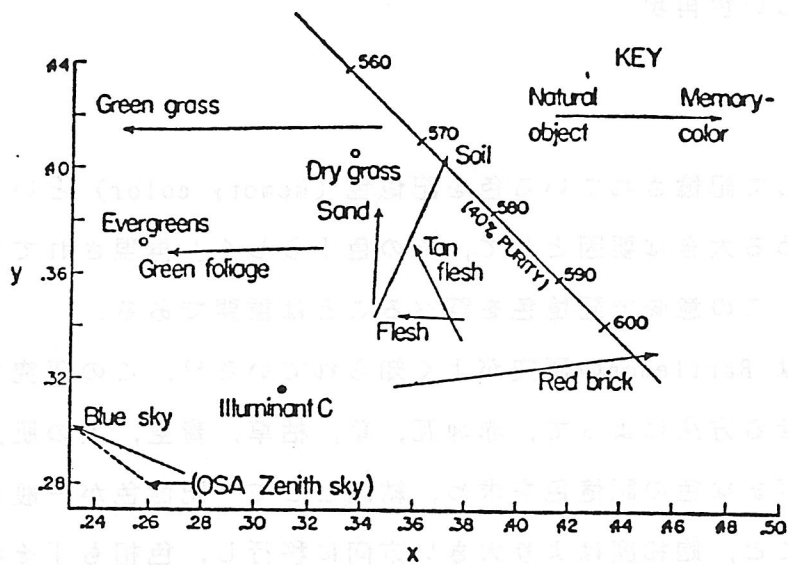


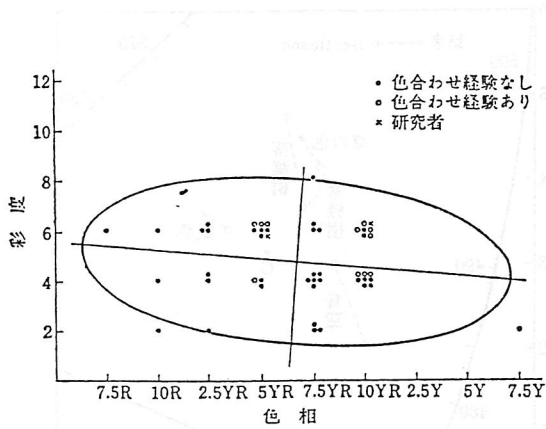
図 1 3 . 2 自然色と記憶色の関係 (Bartleson, 1960)

西村らは Bartlesonの実験の追試とともに、CRT上に発光させることによって、光源色モードでは記憶色がどのようなになるかを調べた<sup>2)</sup>。

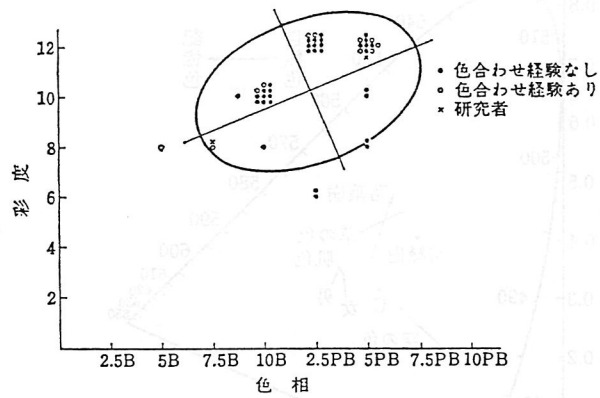
図 1 3 . 3 は色票で求めた記憶色の分布と 90% 確立楕円である。図 1 3 . 4 は記憶色と自然色の色度の比較を示す。肌色については、記憶色はほぼ自然色に近いが、草の色、落葉樹の色、空の色については、いずれも記憶色は飽和度の高い方へ移行する。

図 1 3 . 5 は西村らの結果と Bartlesonの結果との比較を示す。興味深いことに、Bartlesonが白人の肌の記憶色として求めた色と、西村らが日本人の肌の記憶色として求めた色の主波長はほぼ一致している。飽和度は西村らの結果の方が若干高い。草木の色および青空の色に関しては、Bartlesonの結果と西村らの結果はかなり異なる。概して西村らの求めた記憶色は Bartlesonの求めたそれにくらべて飽和度が高い。また青空については色相もより青みに寄っている。この理由は明らかでない。

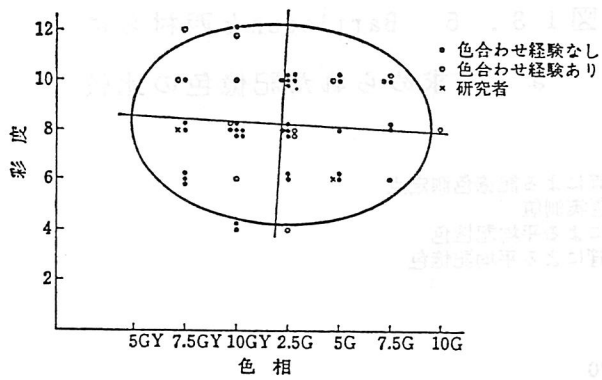
図 1 3 . 6 は CRT上で求めた記憶色と色票で求めた記憶色の比較である。CRT上で求めた記憶色は色票のそれにくらべて、さらに飽和度が高い。この理由は色再現の好ましさと関連して後に述べる。



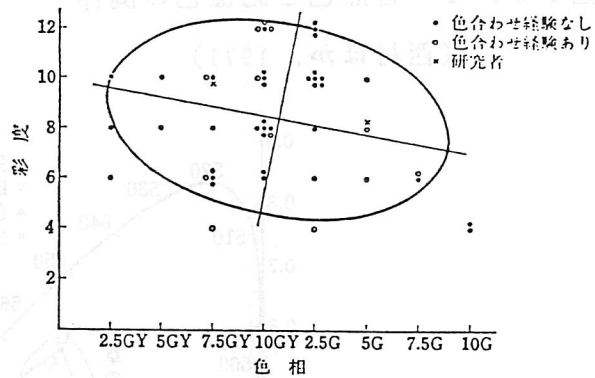
(a) 肌色



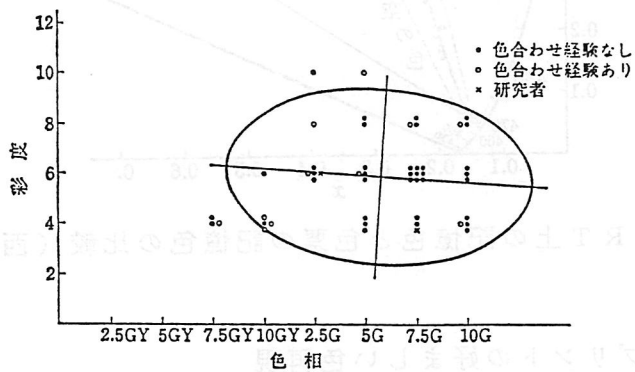
(b) 青空の色



(c) 草の色



(d) 落葉樹の色



(e) 常緑樹の色

図 1 3 . 3 色票で求めた記憶色と 90% 確率楕円 (西村ほか, 1971)

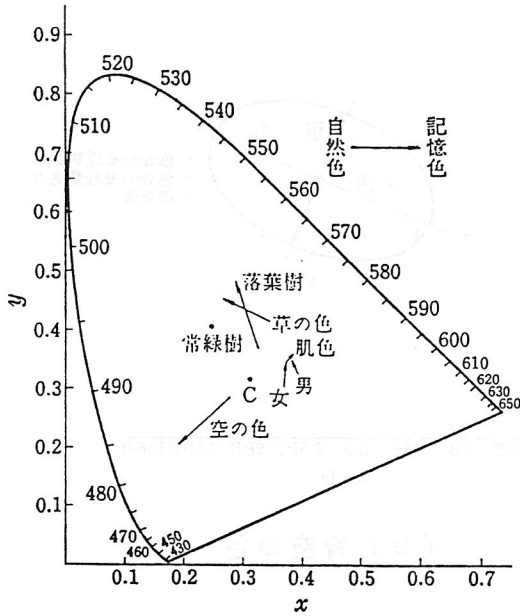


図 1 3 . 4 自然色と記憶色の関係  
(西村ほか, 1971)

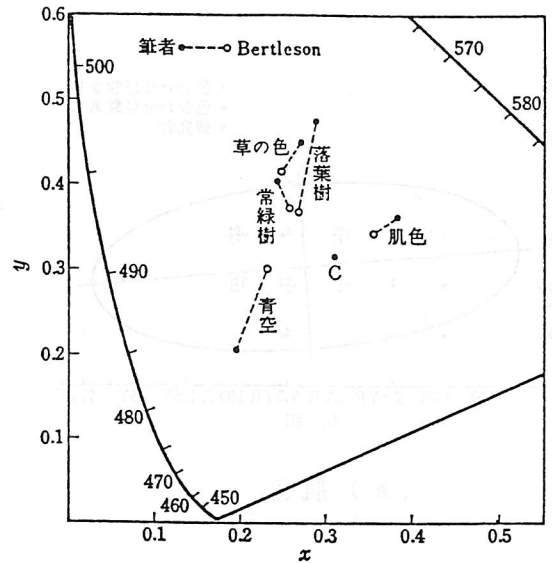


図 1 3 . 5 Bartlesonと西村らに  
よって求められた記憶色の比較

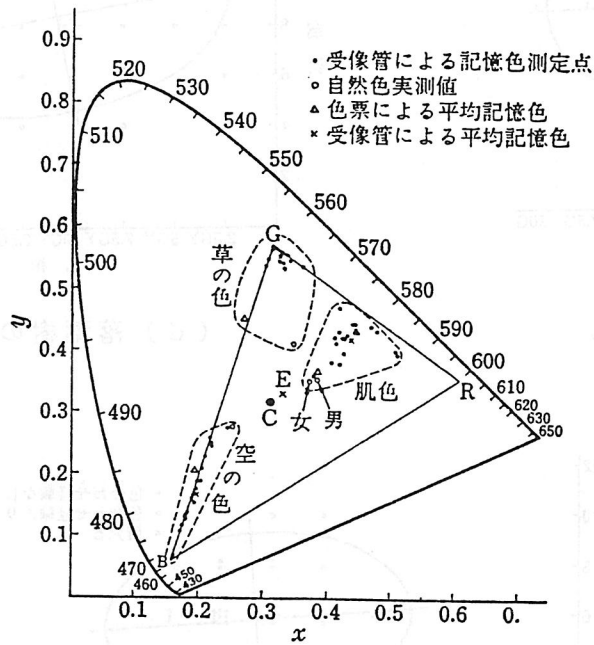


図 1 3 . 6 CRT上の記憶色と色票の記憶色の比較 (西村ほか, 1971)

### 1 3 . 2 カラープリントの好ましい色再現

BartlesonとBrayは、カラープリントにおける肌色、青空の色、草の色の好ましい再現色を求めている<sup>3)</sup>。図 1 3 . 7 はこれらの好ましい再現色の平均色度値、自然色、さきに Bartlesonが求めた記憶色の平均値の関係を示す。この結果は記憶色と好ましい再現色の色相がほぼ一致することを明確に示している。

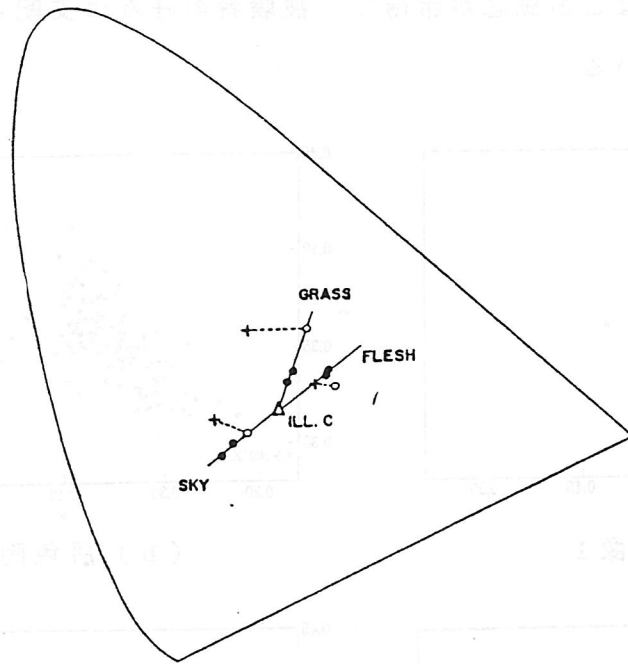


図 1 3 . 7 カラープリントの好ましい再現色，記憶色，自然色の関係  
 [(●) 好ましい再現色 (○) 自然色 (×) 記憶色]  
 (Bartleson & Bray, 1962)

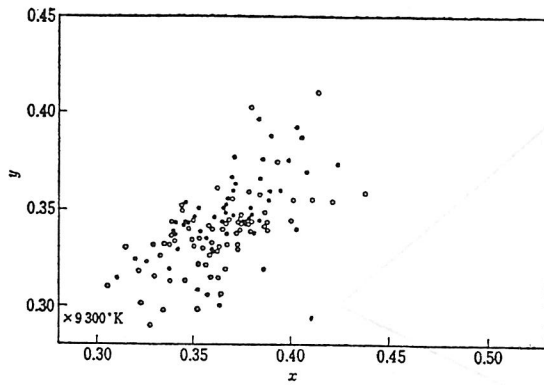
### 1 3 . 3 C R T 画像の好ましい色再現

西村らは C R T 上のテレビ画像について， Bartlesonらと同じ肌色，青空，草木の色  
 の好ましい再現色を，調整法により求めた<sup>4)</sup>。ここでは試験画像として肌  
 色画像 4 種類（うちマンガ画像 1 種類），青空画像 2 種類，草木画像 2 種類が用  
 いられている。

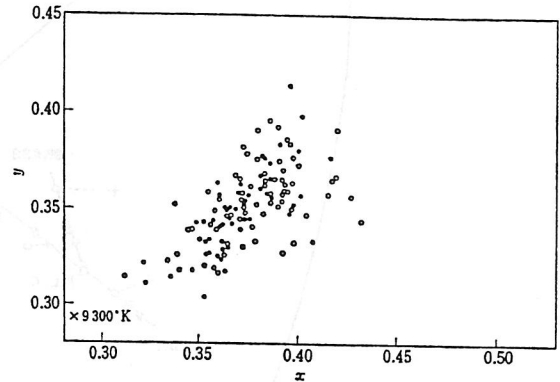
#### 1 3 . 3 . 1 肌色画像

図 1 3 . 8 は 4 種類の肌色画像について求められた好ましい再現色の分布であ  
 る。また図 1 3 . 9 はこれらの分布を表わす 90% 確立楕円を比較したものである。  
 肌色画像 1，2，3（いずれも若い女性の顔）については，分布の位置に若干の  
 差がみられるが分布の大きさと形状，方向はほとんど一致している。画像 4（マ  
 ンガ）だけは他の 3 画像と分布の位置も大きさも著しく異なる。これらの事実  
 は，肌色に関しては「これが肌色」という概念がかなり厳密に確立されていること，

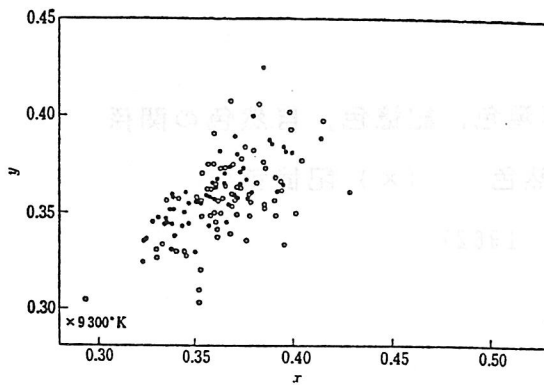
マンガのようなものではこの概念が希薄で、被験者の好みに支配される度合いが増大することを示している。



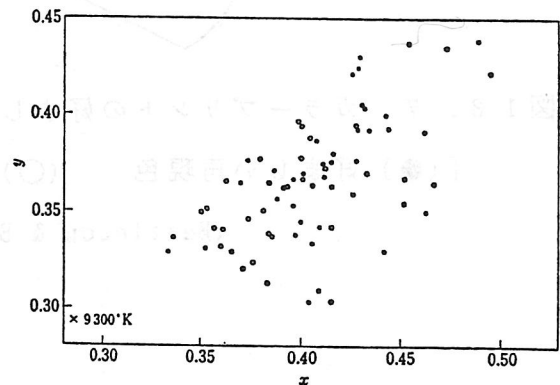
(a) 肌色画像 1



(b) 肌色画像 2



(c) 肌色画像 3



(d) 肌色画像 4

図 1 3 . 8 カラーテレビの肌色画像の好ましい再現色の分布

[(●) 男性被験者 (○) 女性被験者] (西村ほか, 1974)

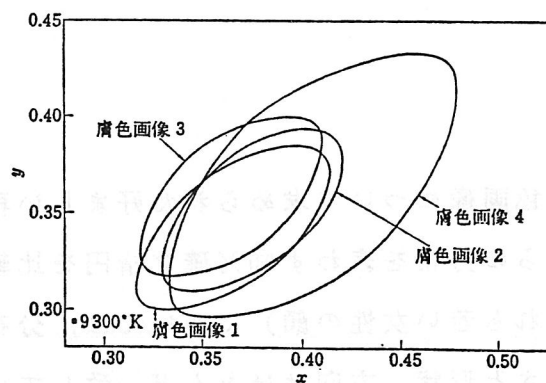


図 1 3 . 9 肌色画像の好ましい再現色の範囲を示す90%確率楕円

(西村ほか, 1974)

人物画像3種類の分布位置の差は平均値の差として示される。表13.1は肌色画像の好ましい再現色の平均色度について、主波長と刺激純度を示したものである。ただし、基準白色はP93としている。

各画像の好ましい再現色の平均色度値の差はx, y両方向に関して1%水準で有意であった。また被験者の性別による差も有意であり、とくに画像3では、主波長方向に1%水準の有意差がみられた。

表13.1 好ましい肌色再現色の主波長・刺激純度（西村ほか，1974）

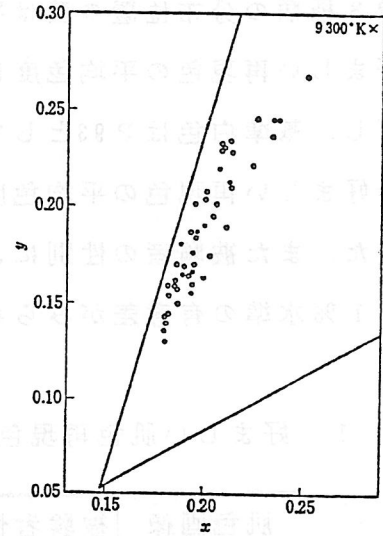
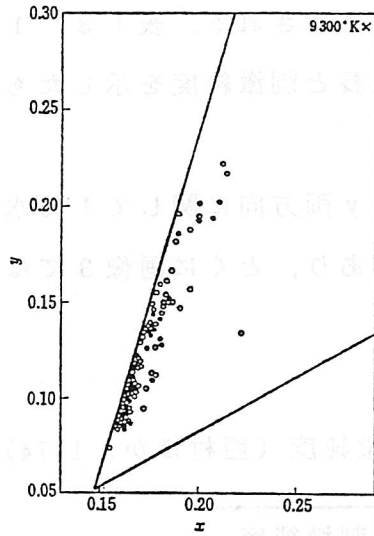
肌色画像	被験者性別	主波長	刺激純度
1	男	584.0	32.6
	女	586.7	28.7
	全体	585.4	30.0
2	男	584.5	32.9
	女	584.4	36.5
	全体	584.4	34.9
3	男	579.6	34.0
	女	581.5	34.4
	全体	580.7	34.2
4	男	585.4	47.3
	女	586.4	43.6
	全体	585.9	45.3

### 13.3.2 青空画像

図13.10は青空画像の好ましい再現色の分布である。いずれも飽和度は著しく高く、CRTによる白再現の限界付近に集中している。また天空については「空色」というよりはむしろ青紫寄りの「真っ青」が好まれる傾向がある。これらの傾向は、前述のCRT上で求めた記憶色の傾向（図13.6）とよく似ている。この傾向は次のように解釈できる。

われわれの青空に対するイメージの中には「明るい」という印象が含まれる。しかし、CRTの上では十分な輝度がとれない。そこで「明るさ」の持つ「色の強さ」を飽和度で代理させて、「青空らしい」色の再現が好まれるのであろう。

表13.2は青空画像の好ましい再現色の平均色度値を示す。肌色画像と違い、この場合、被験者の性別による差は全く認められなかった。



(a) 青空画像 1 (天頂付近)

(b) 青空画像 2 (地平付近)

図 1 3 . 1 0 カラーテレビの青空画像の好ましい再現色の分布

[(●) 男性被験者 (○) 女性被験者] (西村ほか, 1974)

表 1 3 . 2 好ましい青空再現色の主波長・刺激純度 (西村ほか, 1974)

青空画像	被験者性別	主波長	刺激純度
1	男	469.0	70.3
	女	469.2	69.9
	全体	469.2	70.2
2	男	473.2	48.1
	女	474.0	49.2
	全体	473.9	48.9

表 1 3 . 3 好ましい草木再現色の主波長・刺激純度 (西村ほか, 1974)

草木画像	被験者性別	主波長	刺激純度
1	男	555.1	61.4
	女	553.9	61.3
	全体	554.3	61.3
2	男	552.8	33.4
	女	552.4	35.0
	全体	552.5	34.7

### 1 3 . 3 . 3 草木画像

図 1 3 . 1 1 は草木画像の好ましい再現色の分布を示す。いずれも自然色より飽和度が高い。とくに芝生では、やはり CRT の色再現限界付近に達している。表 1 3 . 3 は好ましい草木画像再現色の平均色度値を示すが、この場合も被験者の性別による差は認められない。

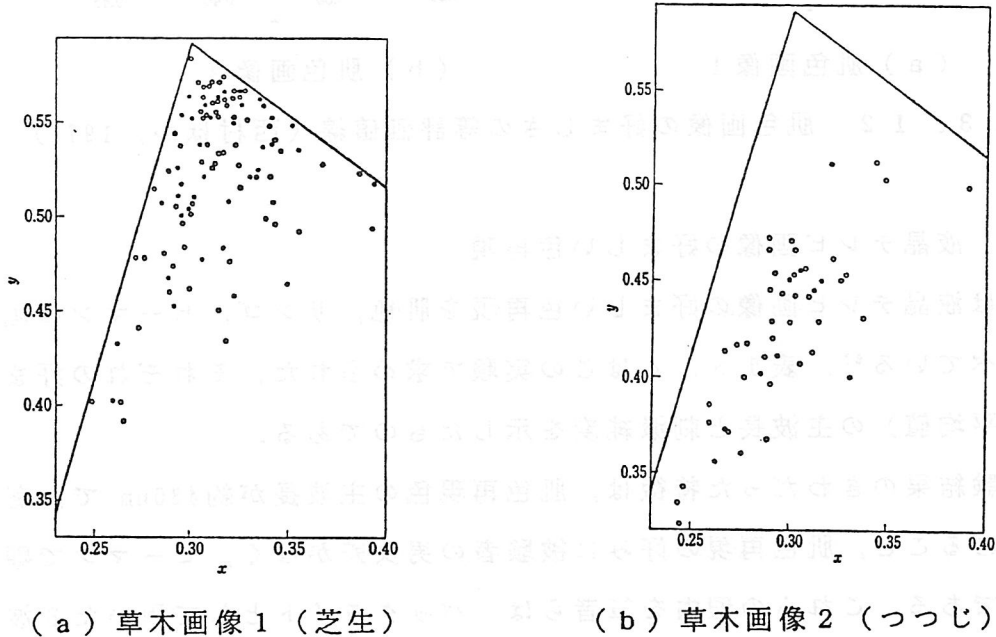
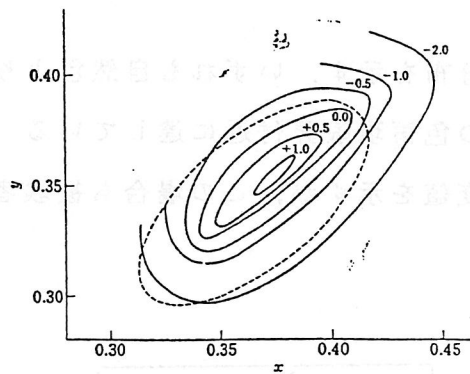


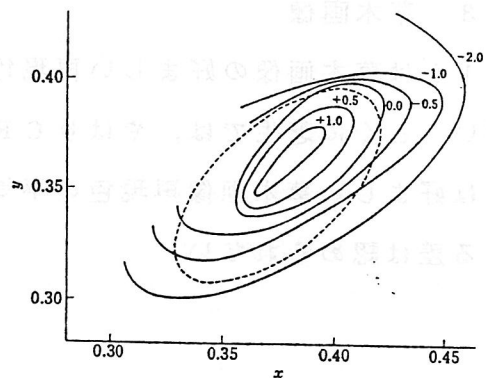
図 1 3 . 1 1 カラーテレビの草木画像の好ましい再現色の分布  
 [(●) 男性被験者 (○) 女性被験者] (西村ほか, 1974)

### 1 3 . 3 . 4 肌色再現の好ましさを定量化

西村らは、先の調整法による好ましい肌色再現の実験で使った肌色画像 1 および 2 について、実験者側からいろいろの色度値を持つ肌色を提示し、被験者に 7 段階のカテゴリーで好ましさを判断を求め、系列範疇法で尺度化した<sup>5)</sup>。これらの等評価尺度値線を図 1 3 . 1 2 に示してある。図で点線で示されているのは、調整法で求めた好ましい再現色の 90% 確率楕円である。等尺度値線は多少歪んでいるが、確率楕円とよく似た形状をしており、等高線の中心もほぼ好ましい再現色の平均色度座標付近にある。



(a) 肌色画像 1



(b) 肌色画像 2

図 13. 1 2 肌色画像の好ましさの等評価値線 (西村ほか, 1975)

### 13. 4 液晶テレビ画像の好ましい色再現

佐藤らは液晶テレビ画像の好ましい色再現を肌色, リンゴ, ピーマンの画像について調べている<sup>6)</sup>. 表 13. 4はこの実験で求められた, それぞれの好ましい再現色(平均値)の主波長と刺激純度を示したものである.

この実験結果のきわだった特徴は, 肌色再現色の主波長が約480nmで, 著しく短波長にあること, 肌色再現の好みに被験者の男女差がなく, ピーマンで顕著なことなどである. これらの理由を筆者らは, バックライトとして用いた3波長発光型蛍光ランプとフィルタの組合せの特性によるものと説明している.

表 13. 4 液晶テレビの好ましい再現色の主波長・刺激純度 (佐藤ほか1991)

画像	被験者性別	主波長	刺激純度
肌色	男	481.6	49.7
	女	481.6	49.4
リンゴ	男	602.6	28.5
	女	595.6	36.6
ピーマン	男	501.1	33.2
	女	495.3	42.7

- 1) Bartleson, C. J.: Memory Colors of Familiar Objects, JOSA, 50, 1, pp. 73-77 (1960)
- 2) 西村, 浅山: 色票とカラー受像管による記憶色の実験, テレビ誌, 25, 3, pp. 203-209 (1971)
- 3) Bartleson, C. J. and Bray, C. P.: On the Preferred Reproduction of Flesh, Blue-Sky and Green-Grass Colors, Photo. Sci. & Eng. 6, 1, pp. 19-25 (1962)
- 4) 西村, 太田: カラーテレビ画像の好ましい色再現, テレビ誌, 28, 8, pp. 623-632 (1974)
- 5) 西村, 河口: 膚色再現の好ましさの定量的評価: テレビ誌, 29, 1, pp. 38-43 (1975)
- 6) 佐藤, 佐々木, 下村: 液晶テレビ画面における好ましい色再現, テレビ学技報, 15, 3, VAI91-2, pp. 9-14 (1991)

## 第14章 メディア間の色再現に関連する国際規格の現状

### -ODAのカラーへの拡張を中心として-

#### 14.1 国際標準化の動き

現在、ISO (International Organization for Standardization : 国際標準化機構) のSC18 (Sub Committee 18 : テキストとオフィスシステム関係の標準化委員会) ではカラー文書に関して3つの規格を開発中である。ページレイアウトされた文書を記述するときに適用されるSPDL (Standard Page Description Language)、編集可能な文書構造の標準であるODA (Open Document Architecture)をカラー化するとき適用されるODAカラーアデンダム、そしてSPDLとODAを含んだオフィスシステム全体に適用すべく開発されているTOSCA (Text and Office System Color Architecture)である。このうち、SPDLは現在のドラフトでは色を扱う能力が限られており、TOSCAはまだ始まったばかりである。よって色の取扱いに関して最も内容が深く進んでいる状況にあるのはODA カラーアデンダムであり、後でその概要を述べる。

一方ISO とCCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone : 国際電信電話諮問委員会)はJPEG (Joint Photographic Expert Group)を設立し、カラーのラスター画像の符号化方式の標準化活動を行っている。そしてそこで画質評価に用いている画像はガンマ補正したYCrCbカラー空間(カラーテレビの伝送カラー空間)での値を用いている。

#### 14.2 ODAのカラーへの拡張

ODAはISO及びCCITTによって共同で開発され、同一の内容がそれぞれ国際標準ISO8613及び勧告T.410シリーズとして規定されている。ODAにより、今後電子的に編集可能な文書を交換することが可能になると期待されている。

1987年の後半、ODAをカラー文書も扱えるように拡張すべきだとの提案がなされ、ISO/SC18/WG5 (Working Group 5 : ODA文書の「内容」体系の標準化委員会)でODA カラーアデンダムとして規格制定する活動が始まった。日本では、情報処理学会内の情報規格調査会にそれに対応する委員会が設置されており、そこでカラー化についても検討している。筆者は現在その委員である。

なおカラー化する対象は、紙の色とか各「内容」の背景色などの「文書レベル」のもの、及び3種類の「内容」(文字情報、ラスター情報、図形情報)の4種である。

#### 14.3 ODA カラーアデンダム<sup>1)</sup>

##### 3.1 基準カラー空間

基準となるカラー空間としては、色を視覚的に正確に再現でき、デバイスインディペンデントであるCIEXYZ(2度視野)に定められている。

### 14.3.2 伝送カラー空間

伝送する時に使用可能なカラー空間としては、各内容ごとに要求が異なり既存の標準との互換性も考慮する必要があるということで、複数認められている。それがTable14.1に示す4種、つまりRGBカラー空間(カラーキャナー、カラーディスプレイなどで使用される、赤、緑、青の3色の加法混色に基づいたカラー空間)、CMY(K)カラー空間(カラープリンタなどで使用される、シアン、マゼンタ、黄の3色(墨版がある場合には黒も含む4色)の減法混色に基づいたカラー空間)、CIELAB、CIELUVである。

このうちRGBとCMY(K)が文書全体に使用できるメインのカラー空間であり、CIELAB/CIELUVはラスタ情報だけに使用可能なカラー空間である。しかし、実際はCIELABはRGBの1種として、文書全体に使用することが可能になっている。

	カラー空間			
	RGB*	CMY(K)	CIELAB**	CIELUV
文書レベル	○	○	(○)	
文字情報	○	○	(○)	
図形情報	○	○	(○)	
ラスタ情報	○	○	○	○

\* キャリブレーションデータ(3×3マトリクス2つとガンマ)を利用すれば他のカラー空間(XYZ YCrCb etc及びそれらのガンマ変換されたもの)も使える

\*\* 元々はラスタ情報だけにしか使えないが、RGBカラー空間のキャリブレーションデータを利用すれば文書全体に使える

Table14.1 伝送時に使用可能なカラー空間

そして、各々のカラー空間をデバイスインディペンデントにする為、Fig14.1に示すようにXYZとの関係をキャリブレーションデータとして付加して伝送することになっている。

このキャリブレーションデータを利用して、出力機器は伝送カラー空間からXYZに変換し、それから各機器の内部カラー空間に変換するわけである。(入力機器はこの逆を行う)。もちろん直接伝送カラー空間から内部カラー空間に変換してもよい。

前記内容に関しては筆者の意見が反映されている。筆者は次の意見((1)~(4))を'89年5月のハーロウ会議((1)~(3))及び'90年9月のジュネーブ会議((4))に提出した。そして会議の結果、Table 14.1に示すように下記案の(1)、(2)、(4)が認

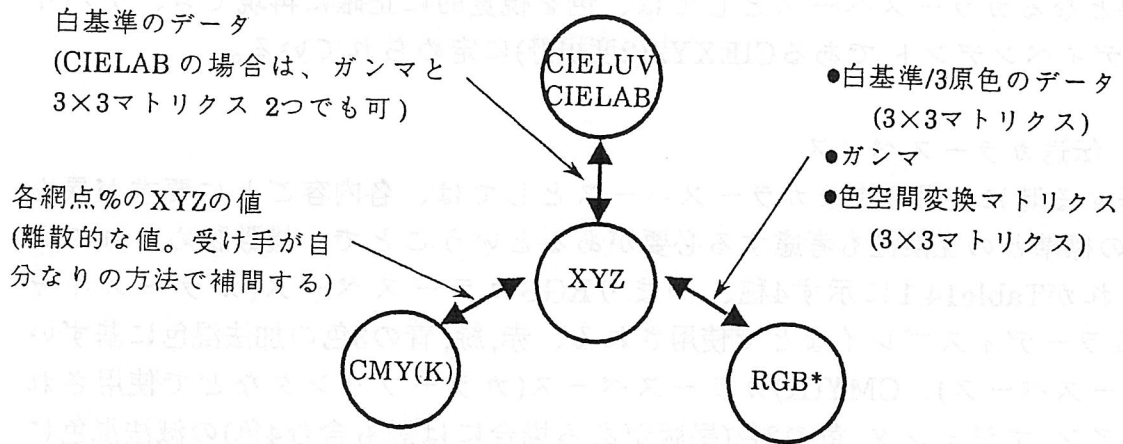


Fig14.1 キャリブレーション-データ (XYZとの関係)

められたのである。ただし(3)は主にアメリカの委員の意見により拒絶されたばかりか、CMY(K)はメインのカラースペースの一種になった。

(1) CIELUVはCIELABと共にラスタ情報のみに対するオプションとする。  
(以前のドラフトではCIELUVのみがメインのカラースペースとして許されていた。)

- ① 業界によってCIELUV/CIELABどちらを用いているか異り、いずれか選択すれば必ず反対意見が出る。
- ② 白基準の変化に対してCIELABの方がCIELUVより強く、色順応をよく反映している<sup>2)</sup>。これにより、異なる白基準(照明)におかれた機器の間の色再現に対して、CIELABで伝送すれば白基準の変化を考慮した補正をする必要がなく便利である。
- ③ JISでは最近ではCIELABをデフォルトとして用いている<sup>3)</sup>。
- ④ 均等知覚色空間は、階調数の圧縮による劣化が均等でありまたクロマティックネスは解像度間引きが可能である、という意味でデータ圧縮に便利である。又線形圧縮により簡単にガミュートを圧縮できる<sup>4)</sup>という意味で異なるガミュートをもつ機器の間の色再現に対して便利である。しかし、現在CIEでCIELUV/CIELABよりもっと均等な色空間を検討中であり、その結論が出た時に定めればよい。
- ⑤ そもそもデータ量の少ない文書レベル及び文字情報/図形情報(いずれもベクター情報である)のデータ交換に対して、XYZからの複雑な変換式を必要とするCIELUV/CIELABを用いる必要性はない。一方ラスタ情報はデータ量が多く、データ圧縮に有効なCIELUV/CIELABは便利である。

- (2) RGBおよびその線形変換をメインのカラースペースとする。(以前のドラフトでは文字情報/図形情報のみに使用が許されていた。)
- ① RGBに対してはCIELUVのような反対意見はない。
  - ② (③で示すように)種々の要求を満たす輝度/色度分離型カラースペース(例えばYCrCbカラースペース)へ $3\times 3$ マトリクスで簡単に変換可能。又XYZとも $3\times 3$ マトリクスで相互変換が可能である。
  - ③ 輝度/色度分離型カラースペースは均等知覚色空間ではないが、輝度信号のみを利用すだけでよく色度信号は捨てればよいという意味で白黒機器との互換性があり、色度の解像度間引きによるデータ圧縮が可能という意味でCIELUV/CIELABとよく似た特性をもつ。
- (3) CMY(K)を標準からはずす。(以前のドラフトではラスタ情報で使用が許されていた。)
- ① CMY(K)はそのXYZへの正確な変換式がなく、またXYZからCMY(K)への変換は一意に決まらず、デバイス依存である。
  - ② CIELUV/CIELABのようなデータ圧縮/ガムユート圧縮に便利という特性がない。
  - ③ CMY(K)は網点%の値なので負の値が定義できず、そもそも全可視色の表現が不可能である。
- (4) RGBのキャリブレーションデータを $3\times 3$ マトリクス、ガンマ及び $3\times 3$ マトリクスにする。(RGBのキャリブレーションデータは元々 $3\times 3$ マトリクスのみであったが、'90年1月のサンディエゴ会議でガンマ及び $3\times 3$ マトリクスに拡張された。これはJPEGで使用しているガンマ補正されたYCrCbも認めようという意図からなされたものである。)
- ① 実際に計算してみれば分かるように、ガンマ及び $3\times 3$ マトリクスではガンマ補正されたYCrCbをXYZに変換することはできない。 $3\times 3$ マトリクス、ガンマ、そして2つめの $3\times 3$ マトリクスが必要である。
  - ② (1)でCIELABからXYZへの変換は複雑な式が必要と述べているが、その後の考察で $3\times 3$ マトリクス及びガンマですみ、2つめのマトリクスとして単位マトリクスを考えれば、ガンマ補正されたYCrCbからXYZへの変換と同一であることがわかった<sup>5)</sup>。これによりCIELABをラスタ情報のみにとどめておく理由はなくなり、RGBの一種としてメインのカラースペースにするべきである。

### 14.3.3 その他の主な項目

カラースペースに関してはほぼ決まったと考えられる。その他の主な項目について以下に示す。

- (1) カラートレランス：CIELAB又はCIELUVの色差によってオリジナルの作り手が、色の忠実再現度に関して指定できるようになっている。

- (2) 色指定方法：色の指定方法には”ダイレクト”と”インデクスト”の2通りしか認められていない。ダイレクトモードではカラースペースを用いた色座標値を用いる。インデクストモードでは色座標値のテーブルの番号を用いる。なおインデクストモードでは、テーブルのデフォルト値として、赤,緑,青,シアン,マゼンタ,黄,黒,白の8色がさだめられている。これは色は文書において単なる強調として使われることも多く、そのようなオリジナルの作り手の「あいまいな色指定」の意図を実現するために設けられている。また、色を名前で表現することは、その便利さにも拘わらず名前の登録と改廃が大変であるとの理由で認められていない。
- (3) 符号化方法：JPEGの方式は’91年まで待たないと標準にならないと言われている。よってそれまでのつなぎとしてランレングス法(同一画素のランの長さを符号化する方法：ファクスで用いられている方法)がラスタ情報

#### 参考文献

- 1) ISO/IEC JTC1/SC18/WG5 N903(1990)
- 2) Koichi Ikeda, Masaharu Nakayama & Kiyoshige Obara, Comparison of perceived color-differences of color chip with their colorimetric ones in the CIE 1976  $L^*u^*v^*$  and the CIE 1976  $L^*a^*b^*$  uniform color spaces, CIE Proceedings 19th Session P-79-10(1979)
- 3) JIS Z8719(1984)
- 4) 筑木, 山崎, 池上, 均等色空間における線形圧縮法を用いた色再現, 第5回色彩工学コンファレンス論文集, 3-3, 55/58(1988)
- 5) T.Yamasaki, Optimum Color Space for Color Data Exchange And Its Mutual Transformation to Other Color Spaces, SPSE Proceedings 6th Non Impact Printing Simposium, (To Be Published : 1991)

## 第15章 メディア間の色再現についての提言

### 15.1 はじめに

デジタル画像処理技術と通信技術の急速な展開につれ、種々の画像技術分野は徐々にその境界が失われつつある。写真・印刷・TV・ファクシミリ・プリンターなどの間で相互に情報を交換し、入力・処理・出力と流れる画像情報は従来の個別分野の枠を越えて利用されるようになってきている。このような動向は、最初はメディアミックスとかハイブリッドイメージングと呼ばれてきたが、単に混在する形から発展して、融合してゆく方向に進むべきであろう。

以下では、特に色彩再現技術における問題を中心に、その推進すべき姿を考えてみることにする。

### 15.2 色再現システム

メディア間の色再現を各技術の融合という観点から眺めると、個別技術として従来小さくまとまっていた単位は、もっと大きなトータルシステムの中の一要素に過ぎないことになる。すなわち、印刷のみにおける入力から出力までが良くまとまっているというのではなく、いろいろな色再現技術が大きく包含された色再現システムの中で、その間の情報のやり取りが適切に実行されなければならない。

個別画像技術は物によっては長い歴史の中で発展をしてきている。従ってそれぞれはその閉じた体系としては完成をしているのだが、個別の技術環境という意味での独自性故に用語や概念が必ずしも同一ではない。そのため、色彩情報の交換に当たっては混乱を生じている。またそれぞれの技術の使われ方に差異があるために、それまで良しとされてきた規準が必ずしも他の分野まで及ばないきらいもある。

大きな色再現システムを構成するために、個別技術を見直すことになる。上記現実の問題から、色彩情報交換および色彩画像に関する規準が先ず問題となる。

### 15.3 現状と問題点

#### (1) 印刷

色彩印刷のための版下作成装置（カラスキャナー）は、多くの場合、網点印刷のための四色網フィルムを出力し、そこに表現されるものは、減法混色三原色 YMC および墨（K）の網点面積であるのが普通であった。これを YMC K 信号と呼ぶが、これは印刷に使われているインキの色、版下から紙に印刷をするところで起きてくるドットゲインの問題などを含んだ形で決まってくる。インキおよびドットゲインは個々の印刷環境によって異なるため、これはデバイスディペンデントな信号となる。

#### (2) ディスプレイ

ディスプレイにおいては、普通は RGB 信号を用いているが、これも再現に使われる三原色蛍光体の情報を原則としては要求されるわけである。印刷の場合とは違い、ディスプレイでは NTSC の規準が存在しているからあまり混乱はないが、色彩論的にメディアインディペンデントな色彩信号の使用が望ましい。

#### (3) ソフトディスプレイと印刷の結合

印刷物を CRT に表示する時には、YMC K 信号を RGB 信号に変換する必要が生じる。しかし、YMC K 信号を RGB 信号に変換するための基準は明確になっていない。YMC K 信号で得たものをなんらかの信号変換をしてディスプレイに出す場合、その色が印刷しようとしている色なのか、版下のフィルムがもっている色なのか、原稿がもっている色なのか明確でない場合もある。

逆に、RGB 信号を YMC K 信号に変換して印刷する場合も同様に、変換に対する基準は明確になっていない。

ここで示した CRT ディスプレイと印刷における色情報を比べてみてもわかるように、個別技術の中では完結していても、異なるメディアどうしで色情報をやり取りすることを考えた場合、未だにわからないことが残されている。したがって、これらの色信号は「メディアディペンデント」といってよいだろう。

## 15.4 メディアインディペンデントカラーのために

### 15.4.1 メディアインディペンデントな色彩信号の利用

異なった色彩信号を用いるメディア間に、何らかの共通の情報を適用するとすると、それは先ずメディアインディペンデントなものであり、かつ色彩そのものを選ぶべきであろう。その候補としては、極く当たり前のことではあるが、三刺激値 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ または等色差色度系の例えばCIE L A Bということになる。

その意味で、印刷における情報交換の規格の議論ではその導入が論じられているが、業界が長い間Y M C K信号になれていたための抵抗があり、まだ落ち着くというところまで来ていない。一方、TVの伝送系ではY I Q信号が用いられていたから、ディスプレイ信号の場合にはあまり問題は無いものと思われるが、まだそのような討議にまではなっていない。

メディア間の情報授受に際しては、情報の帯域圧縮の問題がからみ、そのためには三刺激値よりは等色差空間の座標での量子化の方が有利であろう。

#### (1) 印刷

1937年にノイゲバウアーは、網点面積と三刺激値を結び付ける方程式（ノイゲバウアー方程式）を表わしている。この方程式を用いることで、Y M C KとX Y Zの変換が可能になるわけであるが、このとき注意しなければならないのが、この方程式で用いる網点面積は、実効網点面積（紙の上に実際に印刷される面積）であるということである。印刷をする人達は網点面積を版下の網点面積で定義しているのに対して、ノイゲバウアー方程式を使う時の網点面積は実効網点面積でなければならない。

#### (2) ソフトディスプレイと印刷の結合

ソフトディスプレイ上に再現したいX Y Zが決まっていれば、使われる蛍光体および室内迷光の割合を考慮に入れると、R G B信号が決まってくる。したがって、X Y ZとR G B信号、X Y ZとY M C K信号を結び付ける変換式の存在により、メディアインディペンデントな色彩信号X Y Zを介して、メディアインディペンデントな信号どうし（R G BとY M C K）が結び付けられるわけである。

## 15.5 再現目標色の明確化

色再現を行なう時には、再現目標色を明確にしなければならない。再現目標色とは、各種色再現系で再現すべき色または再現したい色を表わし、表記法としてCIE1931XYZまたはCIE1976LAB（あるいはそれに準ずる色記号）が挙げられる。すなわち印刷やハードコピーにおいては、紙の上で再現すべき色（ドットゲインなどを含んでいる）が目標色となる。従って、入力信号そのものを示すのではなく、例えば明度域圧縮や彩度圧縮処理を行なった後での再現すべき色が目標色となる。

## 15.6 まとめ

周辺技術の急速な発展の結果、異なったメディア間での色再現について十分な検討が進まないままに、実用化が先行している。

多くのメディアの結合をトータルシステムとして捉えた上で、メディアに共通な色再現技術の枠作りが強く望まれている。そのためには、メディアインディペンデントという語でも明らかなように、個別技術分野にとらわれずそれぞれの技術および技術者の枠を越えた協力を推進しなければならない。

いずれにしても、個別技術を集めて、それぞれでの色再現・色処理を色彩論的に統一した形での見直しが中心になってくる。その意味で、色彩論研究者の色再現機器開発・研究者への協力が切望されている。最後にメディアインディペンデントカラー確立のために重要な項目を、以下にまとめておく。

- I. 各メディアにおける、インディペンデントな色彩信号（例えばXYZ）とのデータ変換方法の統一。
- II. 色彩論にのっとった、各色再現系の見直し。
- III. 技術領域に捕われぬ、色彩研究者の協力。（個別技術分野で独立して考えるのではなく、例えば色彩学会・照明学会・個別技術の専門家でワーキンググループを作って取り組む）