



カラー表示の測色法

淵田 隆 義

(株)東芝 総合研究所 〒210 川崎市幸区小向東芝町 1

1. はじめに

カラー CRT (CRT ディスプレイ) の性能, 安定性はきわめて向上しており, 他の電子回路技術を組み合わせた CRT ディスプレイ型視覚刺激発生装置が, 視覚・色覚・心理研究のために用いられることが多い。

制御が容易なこと, 光学的処理では光刺激の減算を行なうことは困難であるが, 電気信号系では加減算・乗算が簡単である, 即時性がある, などがその最大の長所であろう。しかし, CRT ディスプレイは赤, 緑, 青の三色蛍光体を長方形, または円形の点として配列した構造(ストライプ状, またはドット状)であるため, 解像度に限界がある, CRT ディスプレイの画像は毎秒数十回の発光の繰返しで表示しており, 画面輝度によっては明るさのちらつき(フリッカー)を伴う場合がある, などいくつかの短所もある。

したがって, CRT ディスプレイを視覚実験に用いる場合には, いくつかの技術的特徴を十分に理解しておくことが大切である。

2. CRT ディスプレイ型視覚刺激発生装置の測色校正

CRT ディスプレイ型視覚刺激発生装置では, 刺激の種類, 形, 色を自由に変えることが可能であり, 光学装置と比べてその実験範囲は拡大する。しかし表示した視覚刺激の物理的特性の正確な評価なくして, 実験結果の正しい解析は保証されない。ここでは CRT ディスプレイに表示した刺激の正確な色彩評価, すなわち測色方法を述べる。とくに表示刺激の直接測定ではない, 装置の測色校正について示す。

まず CRT ディスプレイの色彩表示に関して,

- (1) 表示できる色は, 三原色(赤, 緑, 青)の色度で制約され, スペクトル色のような高彩度の色を表示することはできない。
- (2) 視覚刺激として用いることができる安定した輝度の範囲は, 数 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ からたかだか $200 \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$

である。これは光学装置に比べてかなり狭い。

- (3) 入力電気信号の強さ (E) と発光色の輝度 (L) とは非直線の関係(一般的には $L = aE^{\gamma}$ で表わされることが多い)にあり, 線形な入出力関係を必要とする実験装置では, 電気信号系で補正しなければならない。

- (4) 画面には輝度や色の二次元的な不均一性が必然的に存在する。

など, 装置の限界を認識しておかなければならない。

CRT ディスプレイの入出力の非直線性(ガンマ特性)は, 等ステップの入力電圧を与えても, 正しい等ステップの明暗階調が得られない, 輝度変化に対して色が変わる, などの原因となる。したがって, 線形な入出力関係を得るためには逆特性の補正を必要とし, CRT ディスプレイ型視覚刺激発生装置の測色校正ではできるだけ正確に把握することが要求される。

ところで CRT ディスプレイのガンマ特性を実測すると, 一変数近似式では正確に近似できない場合がある(図1)¹⁾。この点に関して, 一変数近似式を改良した二変数近似式(式(1))によれば, 図1のような場合にもよく近似することが知られている²⁾。

$$L = \exp \{a_1(\ln E)^2 + a_2 \ln E\} \quad (1)$$

しかし最も直接的であり, また確実なガンマ特性補正方法は, 補正テーブルによる方法である。すなわち各原色ごとに, 入力電気信号レベル(一般的には, 制御装置から CRT ディスプレイにおくる離散的な入力数値データ, たとえば各色 8 bit であれば 0~255)に対する発光輝度を補正テーブル(入力が 0~255 であれば, 256×3 個のデータ)とする。

CRT ディスプレイの測色校正は, 三色式の視感色彩計や光電色彩計の測色校正と基本的には同じである。器械三刺激値 R, G, B から CIE の XYZ 系(など)へ変換することにはほかならない(式(2))。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M][K] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

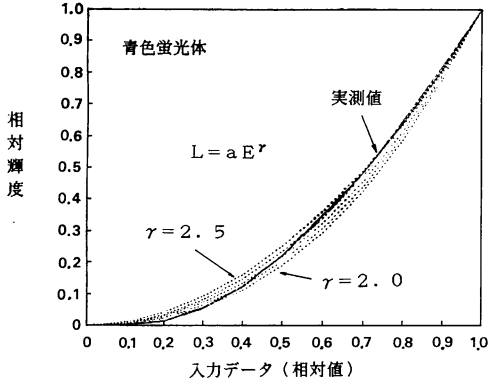


図1 一変数近似式によるガンマ特性の近似

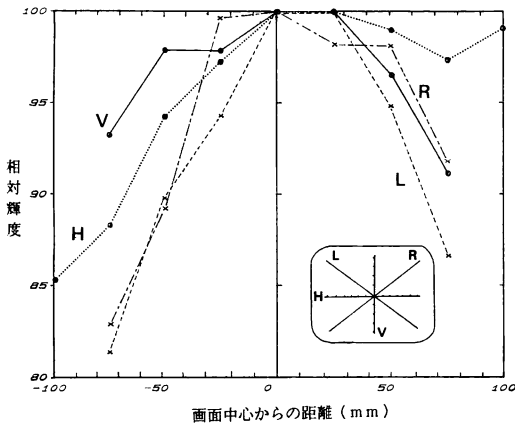


図2 CRT ディスプレイ画面における輝度分布の例 (14インチ管, 白色)

ここで $[M]$ は CRT ディスプレイ三原色の XYZ 系での色度座標の行列である。

$$[M] = \begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix} \quad (3)$$

また $[K]$ は CRT ディスプレイの $[R]$, $[G]$, $[B]$ 三原色の単位量を定める定数行列である。

$$[K] = \begin{bmatrix} 1/k_r & 0 & 0 \\ 0 & 1/k_g & 0 \\ 0 & 0 & 1/k_b \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(1)を具体的に求める一般的な手順は以下のとおりである。まず CRT ディスプレイのガンマ特性を $\bar{V}_r, \bar{V}_g, \bar{V}_b$ (ただし, 最大値1で基準化), また最大入力データ (とくに最大である必要はなく, 既知の三刺激値を与える他のデータから求めてもよい) のときの各原色の発光輝度 (比) を I_r, I_g, I_b とすると, 式(1)は

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} I_r & \bar{V}_r \\ I_g & \bar{V}_g \\ I_b & \bar{V}_b \end{bmatrix} \quad (5)$$

となる。

したがって, $\bar{V}_r, \bar{V}_g, \bar{V}_b, I_r, I_g, I_b$ が既知であれば, 式(5)により任意の入力データに対する発光色の三刺激値 X, Y, Z を求めることができる。逆に任意の三刺激値 X, Y, Z の表示色を得る入力データは次式から求められる。

$$\begin{bmatrix} I_r & \bar{V}_r \\ I_g & \bar{V}_g \\ I_b & \bar{V}_b \end{bmatrix} = [M]^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (6)$$

CRT ディスプレイの正確な原色色度, および各原色の相対輝度 (比) I_r, I_g, I_b は, CRT ディスプレイの分光放射測定によるのが望ましい。しかし, 適切に校正された光電色彩計などでも目的によっては十分であろう。

三原色が各8ビットの CRT ディスプレイでは, 色度 xy の理論上の最小分解能は約 0.001~0.004 である。上記した補正テーブルを用いた測色校正によれば, 表示したい色の予測色度とその実測値との誤差は, $|\Delta x, \Delta y| < 0.002$ であった¹⁾。これは装置の色分解能に匹敵する。

3. 測色校正に影響する他の要因

CRT ディスプレイの測色では, 輝度や色の二次元的不均一性, 時間変動, 輝度上昇に伴う純度の低下などの影響も無視することはできない。図2は CRT ディスプレイ画面の輝度分布の例であるが, 画面周辺部の輝度は画面中心部輝度の約 80% である。しかし別の CRT ディスプレイの実測では 50~60% になることもある³⁾。この輝度差は CRT ディスプレイの電子光学系の意図的な設計構造に原因しており, 避けることはできない。また輝度や色の時間変動では始動後, 輝度で約 10 min, 色で 40~60 min で安定した CRT ディスプレイの例もあるが¹⁾, 別の測定例では, 輝度で 2 h, 色で 30 min を必要とするものもあり³⁾, 個々に調べることが望ましい。

4. あとがき

CRT ディスプレイ型視覚刺激発生装置は, 光学装置にはない多くの長所をもっており, 今後ますます利用されると思われる。しかし, また短所も多いので, 視覚実験へ応用するには装置の特徴を十分理解しておくことが必要である。とくに表示刺激モード (表面色, 光源色) についてはまだ不明な点が多い。

文 献

- 1) 澗田隆義: 日本色彩学会誌, 9 (1985) 46.
- 2) W. B. Cowan: ACM SIGGRAPH Comp. Graph., 17 (1983) 315-321.
- 3) 木滑寛治: 照明学会誌, 67, No. 2 (1983) 74-79.

(1987年10月12日受理)