

特集 「色彩科学における実験環境の構築」

モニタを用いた色彩実験

Calibration of Color Monitor for Color Psychophysical Experiment

須長 正治 Shoji Sunaga

九州大学大学院芸術工学研究院
Faculty of Design, Kyushu University

1. はじめに

現在、色彩研究で用いられている実験装置は、
 (1) 光源、分光器、レンズ等の光学系
 (2) 照明器具と色票
 (3) コンピュータ制御によるCRT等の画像表示機器
 の3つに大別することができる。(1)と(2)の実験装置は、色彩研究当初から用いられている。一方、(3)のCRTモニタ等の画像表示機器を実験装置として用いることができるようになったのは、コンピュータなどの技術発展の恩恵による。また、これらの実験装置には、それぞれ、測定できる特性とできない特性があるため、どの装置を実験に用いるのが最善かは、実験目的に拠るところが大きい。表1に、簡単ではあるが、実験装置としてのCRTモニタの利点と欠点を挙げておく。

表1 実験装置としてのCRTモニタの利点と欠点

利点	・ 扱いが比較的容易 ・ 複雑な図形の刺激が提示可能 ・ 輝度変調が容易 ・ 動く刺激を作成することが容易
欠点	・ 単波長光の提示ができない ・ 色域が比較的狭い ・ ダイナミックレンジが狭い ・ 閾値測定に対しては階調が乏しい ・ 提示時間はフレーム単位となる

画像表示装機器としてCRTモニタが登場した1970年代後半の当初は、CRTモニタが緑やオレンジなどの単色CRTモニタであったため、色彩実験に用いられることはなかったが、1980年代になると、色彩実験に使用可能なRGBカラーCRTモニタが登場した。RGBカラーCRTモニタは、当時のビデオボードのメモリの制約によって画面に表示できる色数は最大256色と

限られていたが、それでも、光学系では困難だった複雑な形状を持つ刺激、様々な色の組み合わせ、そして、滑らかな色変化をもつ刺激などを提示することでき、CRTモニタは色彩研究の発展に大きく貢献した。さらに、1990年代に入ると、いわゆるフルカラーと呼ばれる約1677万色を扱えるようになり、自然画像を刺激として提示することも可能になった。

現在では、コンピュータの画像表示機器として、液晶ディスプレイ(LCD)がCRTモニタに取ってかわり、CRTモニタを手に入れるのは、ほぼ困難な状態である。また、LCD以外にもプラズマディスプレイパネル(PDP)やDLPプロジェクタなど、他の画像表示機器も盛んに開発されており、実験装置の選択肢は広がっているが、実験装置として使用可能かどうかはわかっていない。

そこで、本解説では、CRTモニタを実験装置に用いる際のキャリブレーション方法、および注意事項について述べ、実験装置として使用可能な画像表示機器の基本的な特性を解説する。そして、本解説が、新しい実験装置の選択の際の判断材料として参考となればよいと思う。

2. CRTモニタの特性

CRTモニタでの色再現は赤、緑、青の3つの蛍光体の加法混色に基づき、これらの蛍光体の発光強度比によって色が決まる。一般的なビデオボードを備えたコンピュータでは、CRTモニタ上に刺激を提示するに、各画素位置に対し、赤、緑、青、それぞれの蛍光体の発光強度は8ビット、つまり、0から255までの値(以下、レベル値と呼ぶ)によって指定される。例えば、赤、緑、青のレベル値を赤255、緑255、青255と指定すれば、そのCRTモニタで最も明るい白色が提示される。赤、緑、青の0から255までのレベル値と輝度との関係はガンマ特性と呼ばれ、図1に示すような

関係になる。この関係は定性的であるが、定量的な値ではない。図2に示すように、CRTモニタに備えられている明るさやコントラスト調整などによって、ガンマ特性は、いかようにも変化してしまう。そこで、実験装置として、赤、緑、青のレベル値を定量的に扱えるように、明るさやコントラスト調整を固定した上で、これらの輝度をあらかじめ測定し、赤、緑、青のレベル値と輝度との関係を記述する必要がある。さらに、CRTモニタの赤、緑、青の蛍光体がどのような色度であるかも測定しなければならない。つまり、CRTモニタ上に提示されている色が、(1) どのような色度の赤、緑、青で、(2) どのような輝度で加法混色されているか、を把握することが必要になる。

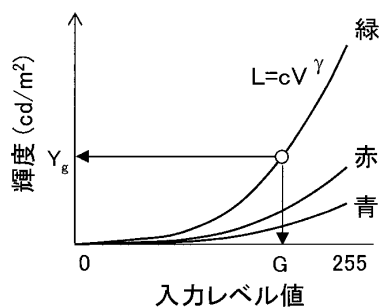


図1 一般的なCRTモニタのガンマ特性

$L = cV^\gamma$ という関係性がある。ここで、 L は輝度、 c は定数、 V は入力レベル値、 γ はガンマ値であり、およそ1.8から2.4の値をとる。ここで、各原色に対して輝度 L と入力レベル値 V との関係を精度良く記述する必要がある。

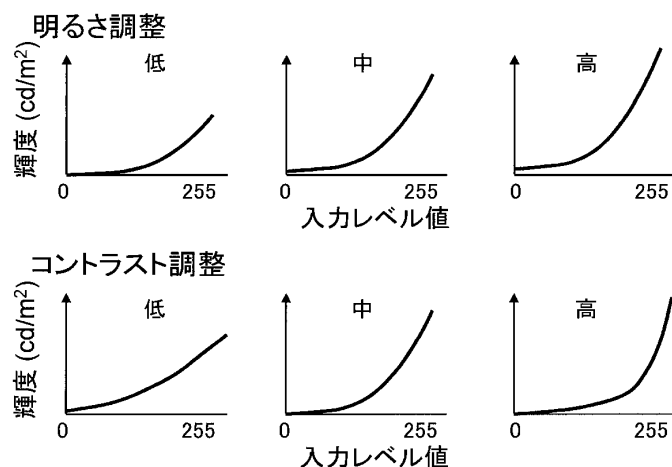


図2 CRTモニタの明るさ調整およびコントラスト調整によるガンマ特性の変化の一例

3. 実験装置としての画像表示機器に望まれる特性

CRTモニタ上に再現される色は、CRTモニタ原色の赤、緑、青の加法混色であるため、赤、緑、青の三刺激値をそれぞれ、 X_r 、 Y_r 、 Z_r 、 X_g 、 Y_g 、 Z_g 、 X_b 、 Y_b 、 Z_b とすると、その三刺激値XYZは

$$\begin{aligned} X &= X_r + X_g + X_b \\ Y &= Y_r + Y_g + Y_b \\ Z &= Z_r + Z_g + Z_b \end{aligned} \quad \dots \text{式1}$$

となる。ここで、CRTモニタ原色の赤、緑、青の色度座標をそれぞれ (x_r, y_r) 、 (x_g, y_g) 、 (x_b, y_b) とし、さらに、 $X = x/y \times Y$ 、 $Z = (1 - x - y)/y \times Y$ から、式1は

$$\begin{aligned} X &= \frac{x_r}{y_r} Y_r + \frac{x_g}{y_g} Y_g + \frac{x_b}{y_b} Y_b \\ Y &= Y_r + Y_g + Y_b \\ Z &= \frac{1 - x_r - y_r}{y_r} Y_r + \frac{1 - x_g - y_g}{y_g} Y_g + \frac{1 - x_b - y_b}{y_b} Y_b \end{aligned} \quad \dots \text{式2}$$

となる。式2は行列式で

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1 - x_r - y_r}{y_r} & \frac{1 - x_g - y_g}{y_g} & \frac{1 - x_b - y_b}{y_b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_r \\ Y_g \\ Y_b \end{bmatrix} \quad \text{式3}$$

と書き直すことができる。式3より、CRTモニタ原色の色度、赤 (x_r, y_r) 、緑 (x_g, y_g) 、青 (x_b, y_b) とそれぞれの輝度 Y_r 、 Y_g 、 Y_b から、加法混色によって作り出される色の三刺激値XYZは計算することができる。逆に、ここで、三刺激値XYZを CRTモニタ上に提示したい色の三刺激値とすると、式3の3×3のマトリックス部分の逆行列を求めればよい。よって、式3は式4となる。

$$\begin{bmatrix} Y_r \\ Y_g \\ Y_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_r}{y_r} & \frac{x_g}{y_g} & \frac{x_b}{y_b} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1 - x_r - y_r}{y_r} & \frac{1 - x_g - y_g}{y_g} & \frac{1 - x_b - y_b}{y_b} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{式4}$$

式4から、三刺激値XYZの色を提示するには、赤 (x_r, y_r) 、緑 (x_g, y_g) 、青 (x_b, y_b) の原色をどのような輝度 Y_r 、 Y_g 、 Y_b で加法混色すればよいかが算出でき

る。

実際のCRTモニタに、式3や式4が適用できるかどうかは、

- (1) CRTモニタの原色の色度、赤 (x_r, y_r)、緑 (x_g, y_g)、青 (x_b, y_b) が安定していること

- (2) 式1の加法混色が成立すること

が重要であり、この2つの条件を満たすことが実験装置に望まれる。

4. CRTモニタのキャリブレーション

CRTモニタを実験装置として使うための作業のことを、一般にモニタキャリブレーションと呼んでいる。この節では、CRTモニタの特性の測定手順および測定したデータの解析手順を述べ、モニタキャリブレーションについて解説する。

4.1. 測定装置および準備

今回、測定したCRTモニタは19インチの三菱電機製Diamondtron M² RDF193Hであった。CRTモニタの解像度は1024×768画素、リフレッシュレートは75Hzに設定されていた。コンピュータ(Dell Vostro200)によって、CRTモニタだけではなく、同時に分光放射輝度計(コニカミノルタ CS-1000)もRS-232Cにより制御し、CRTモニタの赤、緑、青原色を単独で発光させ、それぞれの色度およびガンマ特性の測定を行った。さらに、加法性を検討するために、赤、緑、青を同時に発光させた白のガンマ特性も測定した。測定は暗室中で行った。測定したレベル値は対数でほぼ等間隔であり、これらのレベル値で測定領域となる四角形(200×200画素)を画面中央に提示した。四角形の背景は、赤、緑、青のすべてのレベル値が0の黒であった。また、CRTモニタへの色提示には、Borland社のC++ Builder 6にてDirectX7のライブラリを使用した。

一般的なCRTモニタのガンマ特性は、前述したように、図1のような指数関数的な特性を示す。赤、緑、青のレベル値が低いところでは、輝度の上昇はごく僅かである。このような領域が広いと、256しかない輝度の階調を有効に使うことができなくなるため、予めCRTモニタの明るさおよびコントラスト調整を行い、低輝度の領域をある程度の範囲内に収めた。また、赤、緑、青のレベル値がすべて0のときに、輝度をほぼ0 cd/m²になるように設定することで、低い輝度領域における原色の色度を安定させた。

4.2. ガンマ特性の測定結果および色度の安定性

図3に各原色のガンマ特性を示す。横軸はレベル値、縦軸は、XYZの三刺激値である。ここで、XYZから色度座標(x,y)を算出し、0.1cd/m²以上の輝度を与えるレベル値のx、yの平均値、標準偏差を算出した。その結果を表2に示す。最も大きい標準偏差でも緑の x_g の0.0013であり、これらの値は測定誤差や実験の精度を考慮すると無視できるものと思われる。したがって、CRTモニタの原色の色度、赤 (x_r, y_r)、緑 (x_g, y_g)、青 (x_b, y_b) は安定しているといえる。図4にCIE1931xy色度図に、これらの色度座標を示す。

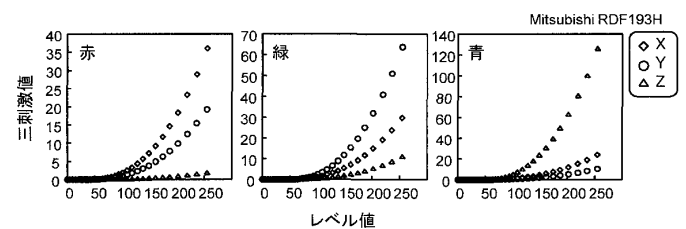


図3 CRTモニタ (Mitsubishi RDF193H) の各原色の三刺激値のガンマ特性

表2 CRTモニタ (Mitsubishi RDF193H) の各原色の安定性
平均値±標準偏差で示した。

Mitsubishi RDF193H	
原色	平均値 ± 標準偏差
赤	$x_r: 0.630 \pm 0.0004$
	$y_r: 0.338 \pm 0.0003$
緑	$x_g: 0.287 \pm 0.0013$
	$y_g: 0.611 \pm 0.0003$
青	$x_b: 0.148 \pm 0.0001$
	$y_b: 0.065 \pm 0.0001$

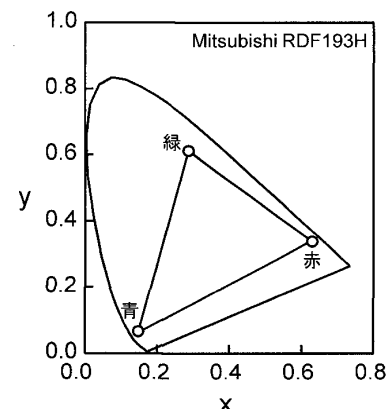


図4 CRTモニタ (Mitsubishi RDF193H) の各原色のxy色度座標と色域

各原色で囲まれた三角形の領域が色域となる。

4.3. 加法性の検討

ここでは、もうひとつの重要な特性である加法性を確認してみる。図5(a)に、赤、緑、青のそれぞれと、これらを同時に発光させた白のガンマ特性を示す。ここで、赤、緑、青を単独で発光させたときの輝度の和が、これらを同時に発光させた白の輝度と一致していれば、加法性が成立することになる。図5(b)に、横軸に単独で測定した各レベル値での赤、緑、青の輝度の和を、縦軸にそのレベル値で測定した白の輝度を取り、加法性を示した。図5(b)において、プロット点が45度の傾きを持つ直線上にあれば、加法性が成り立つことになる。図5(b)から、レベル値が高いとこ

ろで若干の不軌が認められるが、その差はおよそ3%程度であり(図5(c))、さほど問題にはならない程度であると思われる。したがって、測定したCRTモニタの赤、緑、青の加法性は良好であり、実験装置として使用可能である。あとは、赤、緑、青のレベル値と輝度との関係、すなわち、各原色のガンマ特性を精度良く記述すればよい。

4.4. ガンマ特性の記述

図5(a)に示した赤、緑、青のレベル値と輝度との関係を記述する方法はいくつかある。ここでは、測定点から指数関数や2次あるいは3次関数などの近似曲線で補間し、近似式によりレベル値と輝度との関係を記述した¹⁾。図5(a)のガンマ特性に対して、そのまま、2次あるいは3次関数を近似すると、レベル値が低いところでは、負の輝度を与える可能性がある。さらに、線形のまま、近似すると、例えば、 1cd/m^2 の輝度を与える低いレベル値付近での 1cd/m^2 という誤差は、 100cd/m^2 の輝度を与える高いレベル値付近での誤差 1cd/m^2 と同じ重みを持つことになる。しかし、誤差を比率で考えると、前者は100%の誤差となるが、後者は1%の誤差にしかない。人間の知覚特性を考慮すると、コントラストなどの比率の方がむしろ重要となることがある。そのため、絶対値での誤差よりも比率での誤差が最小となる近似の方が好ましい。そこで、図5(a)を両対数グラフとし、その結果に対して近似曲線を求めた。図6に赤原色の結果を示す。対数にすることで、比率での誤差が最小となるように近似される。さらに、輝度が負になることもない。両対数グラフで 0.01cd/m^2 以上の輝度を与えるレベル値に対して、3次関数の近似を行った(図6(a))。 0.01cd/m^2 以下の輝度に対しては外挿を行った。ここで、3次関数による近似を行った場合、低いレベル値で極小値が存在することもあるため、注意を払う必要がある。図6(b)に、赤原色での近似式による誤差の評価を示す。横軸はレベル値であり、縦軸は測定した輝度と近似式により計算した輝度との誤差である。赤原色の場合、およそ $\pm 4\%$ の範囲に収まっていた。

求めた近似式に対して、レベル値の対数を代入すれば、その輝度の対数を得ることができ、10のべき乗にすれば輝度が算出できる。また、逆に、CRTモニタ上に任意の色を提示する場合、式4によって、その色の提示に必要な各原色の輝度を算出し、そして、その輝度の対数を近似式に代入した後に3次関数を解けば、設

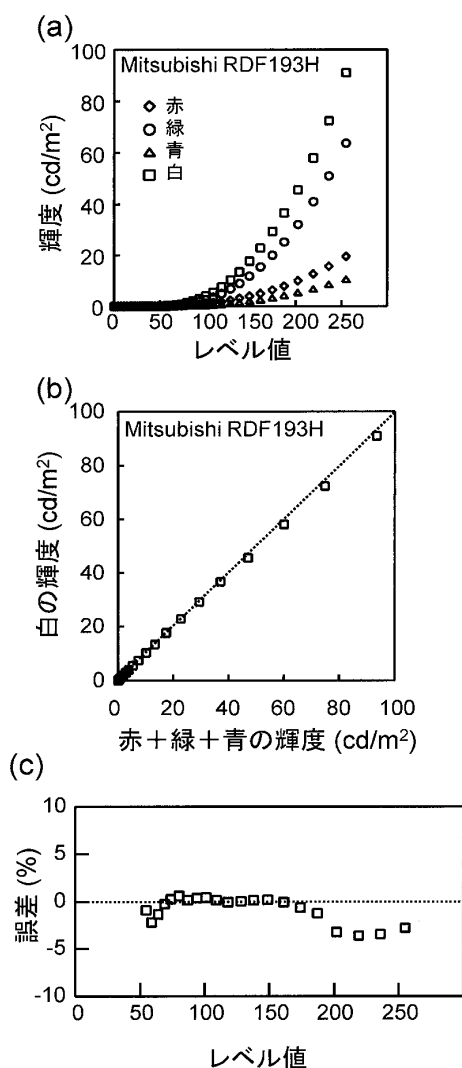


図5 CRTモニタ(Mitsubishi RDF193H)の(a)各原色と白色のガンマ特性、(b)加法性、(c)加法性の誤差
 誤差は、 $[(\text{白の測定輝度}) - (\text{赤緑青の測定輝度の和})] / [\text{白の測定輝度}] \times 100 (\%)$ である。測定輝度が 0.01cd/m^2 以下のレベル値については、プロットしていない。

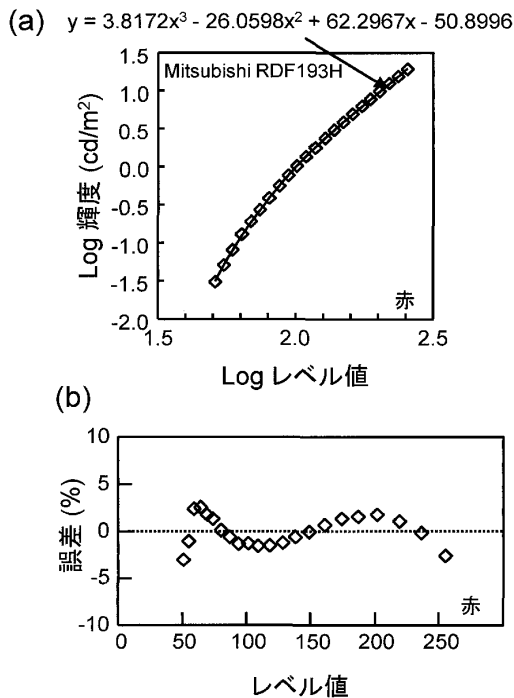


図6 (a) 赤原色のガンマ特性への3次関数の近似
両対数を取ったのちの3次関数の近似であるため、 $L=cV^\gamma$ の γ を3次関数によって近似することを意味する。
(b) 近似関数の誤差
誤差は、 $([\text{測定輝度}] - [\text{近似式から算出した輝度}]) / [\text{測定輝度}] \times 100 (\%)$ である。測定輝度が 0.01 cd/m^2 以下のレベル値については、プロットしていない。

定すべきレベル値の対数を求めることができる。緑原色、青原色のガンマ特性に対して、同様の近似を行った。

最後に、赤、緑、青の各原色の近似式によって白をどのくらい精度良く近似できているかの検討を行った。図7に、近似結果と誤差評価の結果を示す。図7の見方は、図5 (b) および (c) と同じである。ただし、図5 (b) の横軸は近似式より算出した赤、緑、青原色の輝度の和となっている。図7 (b) より、レベル値240以下では、およそ $\pm 4\%$ の範囲に収まっていた。しかし、図5 (c) と比較すると、図7 (b) の誤差は大きくなっている。このことから、スプライン補間などにより、各原色のガンマ特性の近似をより精度良く行えれば、図7 (b) の誤差は減少するものと思われる。

4.5. その他のキャリブレーション方法

実験装置としてCRTモニタを使用することは、CRTモニタ上に提示されている色の赤、緑、青のレベル値から、その色の三刺激値が分かる、そして、CRTモニタ上に提示したい色の三刺激値から、コンピュータにて設定すべき赤、緑、青のレベル値が分かっている、

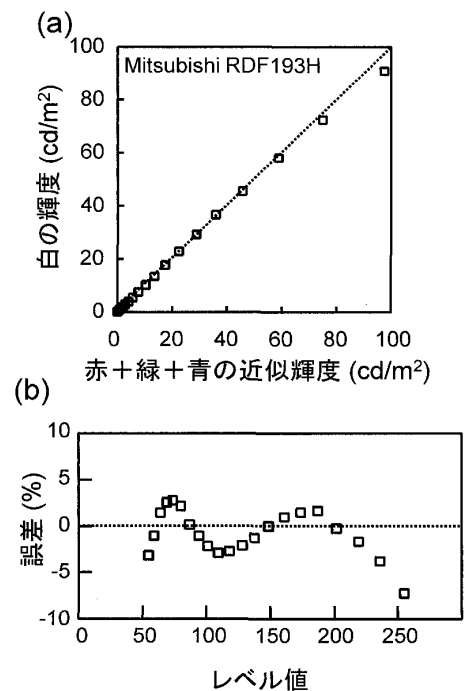


図7 (a) 赤、緑、青の近似式による加法性の評価、(b) 誤差評価
誤差は、 $([\text{白の測定輝度}] - [\text{近似式から算出した赤緑青の輝度の和}]) / [\text{白の測定輝度}] \times 100 (\%)$ である。測定輝度が 0.01 cd/m^2 以下のレベル値については、プロットしていない。

ということである。そうであるならば、これまで述べてきたキャリブレーションは必ずしも必要ではない。分光放射輝度計や色彩輝度計が常に手元にあれば、提示したい三刺激値の色の赤、緑、青のレベル値を探索的に決定することも可能であるし、近似式を求めずに対応表を作ることも可能である。また、被験者が色調整を行う実験であれば、その都度、被験者が設定した色を測色すればよい。3節で述べた実験装置に望まれる特性を満足しない(つまり、原色の色度が不安定である、かつ／あるいは、加法性が成立しない)場合は、このような方法を取るようになるかも知れない。しかし、これらの方法はとても手間と時間が掛かることが容易に想像できる。そのため、実験装置に望まれる特性を満足しないCRTモニタを使用することを諦め、色度が安定した原色を持ち、加法性が成立するCRTモニタを手に入れた方が賢明であると思われる。

5. CRTモニタのその他の特性

5.1. 時間的安定性

CRTモニタを実験装置として使用することは、CRTモニタが計測器となることを意味する。一般に計測電子機器は、電源を入れた後、内部回路が安定し計測で

きる状態になるまでの時間、すなわち、ウォーミングアップ時間を必要とする。CRTモニタも例外ではない。CRTモニタに表示した白色の輝度をCRTモニタの電源を入れてから時間の関数として測定した結果を図8に示す。

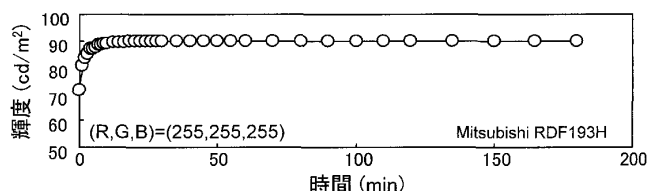


図8 CRTモニタ (Mitsubishi RDF193H) の輝度の時間的安定性

図8から、電源のオン直後に輝度は急激に増加し、その後、20分程度まで徐々にではあるが増加し続けた。そして、およそ30分後に安定した。さらに、3時間経過後も、輝度はほとんど変化せず、安定していた。

測定結果から、CRTモニタを実験に使用する場合、実験開始のおよそ1時間前(最低30分前)には、その電源を入れてウォーミングアップさせておく必要がある。もちろん、キャリブレーションのデータ測定も、CRTモニタが安定した後に行わなければならない。

5.2. 位置特性

刺激提示にCRTモニタ画面の中央領域のみを使用する場合、中央部分の測定だけですむが、画面の周辺部にわたるように刺激を提示する際は、周辺部の輝度や色度も測定し、中心部との違いを把握しておく必要がある。そこで、水平方向に測定位置をずらし、色度と輝度の測定を行った。測定の際は、分光放射輝度計の位置は動かさず、三脚上で測定向きを変えた。測定距離は80cmであった。図9が測定結果である。図9から、このCRTモニタでは、水平方向に位置がずれて

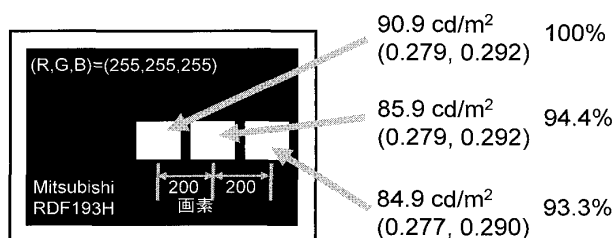


図9 CRTモニタ (Mitsubishi RDF193H) の輝度および色度の位置特性
比率は中心部を100%としたときの輝度比である。

も色度はほとんど変化せず、安定していた。しかし、輝度は低下する傾向にあった。この輝度低下は、色度を問題にするような実験であれば、さほど支障はないと思われるが、輝度が重要な実験では、重大なアーチファクトとなる可能性がある。もし、中心と周辺とで刺激の提示位置が決まっていれば、それぞれの位置にて、キャリブレーションを行う方がよいと思われる。

6. その他の画像表示機器

視覚研究者にとって残念なことに、今となつては、実験に使えるようなCRTモニタは生産されていない。現在、画像表示機器の主流はLCDである。そこで、一般的なLCDが実験に使用可能であるかどうかを調査するために、ガンマ特性を測定し、色度の安定性と輝度の加法性の検討を行った。今回、測定したLCDはDell 製 E198FPbであり、測定手順および解析手順は、CRTモニタの場合と同じであった。

表3に色度の安定性を示す。表2のCRTモニタの安定性と比較すると、標準偏差はおおよそ一桁違った。LCDで最も大きい標準偏差は緑の y_g の0.0455であり、CRTモニタで最大であった0.0013の30倍以上であった。すなわち、原色の色度は安定性に欠けるといえる。

表3 LCD (Dell E198FPb) の各原色の安定性
平均値±標準偏差で示した。

Dell E198FPb	
原色	平均値 ± 標準偏差
赤	$x_r: 0.596 \pm 0.0338$ $y_r: 0.328 \pm 0.0079$
緑	$x_g: 0.275 \pm 0.0046$ $y_g: 0.570 \pm 0.0455$
青	$x_b: 0.151 \pm 0.0022$ $y_b: 0.060 \pm 0.0028$

図10に加法性を示す。図10の見方は、図5 (b) および (c) と同じである。レベル値が100付近では、単独で測定した赤、緑、青の輝度を足した輝度よりも、赤、緑、青を同時に発色させた白の方が10%も高い輝度となっていた。さらに、どのレベルにおいても、同時に発色させた方が輝度は高かった。すなわち、赤、緑、青で近似式を求めても、赤、緑、青を同時に発色させた色に対しては、近似式による輝度の算出は実際に提示されている色の輝度を過小評価してしまうというアーチファクトを含んでしまう。

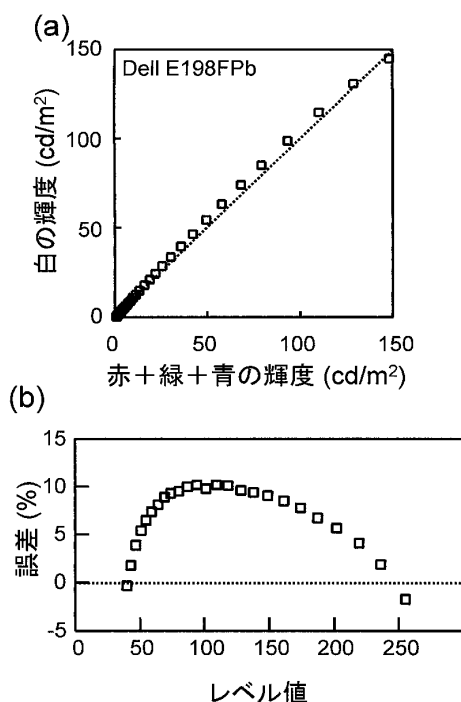


図10 LCD (Dell E198FPb) の(a) 加法性、(b) 加法性の誤差

誤差は、 $([\text{白の測定輝度}] - [\text{赤緑青の測定輝度の和}]) / [\text{白の測定輝度}] \times 100 (\%)$ である。測定輝度が 0.01 cd/m^2 以下のレベルについては、プロットしていない。

LCDの特性として、斜めの位置から観察すると見え方が全く異なってしまうことが以前から問題になっている。すなわち、画面の均一性の問題以外にも、観察者の眼の位置と刺激の表示位置との関係がCRTモニタの場合よりも大きく影響してくる。図11にLCDの位置特性を示した。測定条件は、図9のCRTモニタの時と同じであった。図11より、LCDでは、周辺方向の輝度低下は、CRTモニタよりも大きく、しかも、色度の変化を伴っていた。

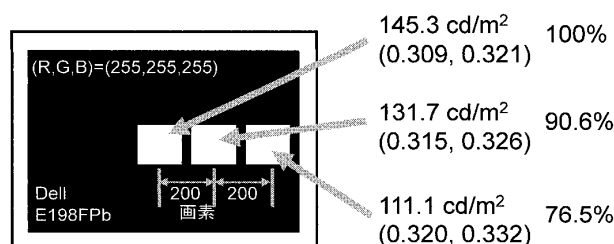


図11 LCD (Dell E198FPb) の輝度および色度の位置特性
比率は中心部を100%としたときの輝度比である。

以上のように、LCDの3つの特性、原色の色度の安定性、加法性、位置特性について測定を行ったが、どれをとっても色彩実験の実験装置としての適正はCRTモニタよりも劣る。ただし、今回、測定したLCDは比較的廉価なLCDであるため、このような特性であったことは否定できない。いずれにせよ、実験装置として、LCDの使用には、十分な注意を払う必要があるであろう。

LCD以外にも、PDP、DLPプロジェクタ、有機ELディスプレイなど新しい画像表示機器があるが、筆者は、これらの機器の実験装置としての適正を検討したことはまだない。DLPプロジェクタは、明るくするためや色域を広くするために、赤、緑、青の他に白、黄色やシアンなどを加えて4原色、5原色あるいは6原色とし、従来の三原色による加法混色とは異なる方式をとっている。そのため、キャリブレーションは複雑となり、困難になるかも知れない。

7. おわりに

本解説では、筆者が行っているキャリブレーション方法の一つを紹介した。赤、緑、青のレベル値から三刺激値への、また、三刺激値XYZから赤、緑、青のレベル値への変換の流れを図12に示した。この流れを関数として実験プログラム中に実装すればよい。

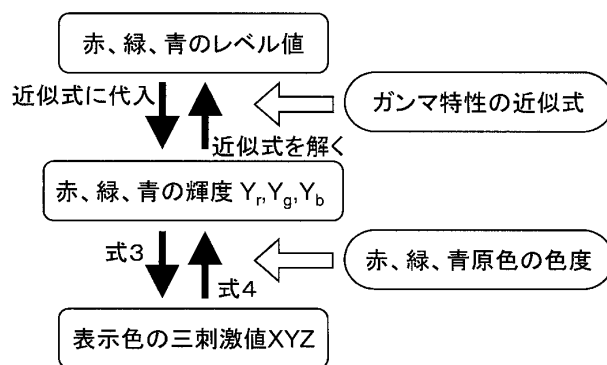


図12 提示したい色の三刺激値XYZからレベル値までの変換の流れ

先にも述べたが、実験装置としてCRTモニタを使用することは、CRTモニタ上に提示されている色の赤、緑、青のレベル値から、その色の三刺激値を算出できる、そして、CRTモニタ上に提示したい色の三刺激値から設定すべき赤、緑、青のレベル値を算出できる、ようにすることである。他にもCRTモニタのキャリブ

レーションについて述べた論文¹⁻³⁾があるので、これらの論文も参照していただきたい。また、Cambridge Research Systems 社のViSaGeのような視覚実験用ビデオ出力装置では、このようなキャリブレーションは、付属の計測器とソフトウェアで半自動的に行われるため、とても便利である。しかし、付属の計測器はさほど精度がよくないため、著者は確認のために、再度、分光放射輝度計を用いてキャリブレーションを行っている。

最後に、CRTモニタは経時変化があるため、筆者は実験毎および半年に1回を目処にキャリブレーションを行っていることを付け加えておく。

参考文献

- 1) W. B. Cowan : An inexpensive scheme for calibration of a colour monitor in terms of CIE standard coordinates, Comput. Graph. 17 (1983) 315-321.
- 2) D. H. Brainard : Calibration of a computer controlled color monitor, Color Res. Appl. 32 (1989) 23-34.
- 3) L. Del JiménezBarco, J. A. Díaz, J. R. Jiménez, and M. Rubiño : Considerations on the calibration of color displays assuming constant channel chromaticity, Color Res. Appl. 20 (1995) 377-387.