

研究ノート

霜田式“光の3原色混合実験器”の作成

室谷 心

2009年8月物理教育学会年会で霜田光一氏の演示実験を拝見した。発光ダイオードを使った美しい演示に感心し、早速自分でも作りって2009年9月の「2009まつもと広域工業ものづくりフェア」の科学教室で使ってみた。霜田氏の実験器は木の板を使って作られたものであったが、工作室を持たない者にとって木工は容易ではない。ここでは、100円ショップで買えるものを利用して改良版を作ってみた。

色彩の問題は従来「美術」の授業で扱われることが普通であったが、パソコンの普及によって、画面上の色の指定やカラープリンターを使った印刷が身近なものとなった現在では、「情報」の授業の中で取り扱われることの多い題材である。そこでは光の3原色が重要な“基礎理論”であり、ホームページの色の指定やプログラム中で設定される画面表示の色は、赤（R）緑（G）青（B）の3色の光の強さを指定することによって決まる3次元空間内の点である[1]。

3原色の現象は等色実験によって確立した現象であり、赤（R）緑（G）青（B）の3色の光による等色関数が国際照明学会によって確定されている。RGBの3色光に対する等色曲線には、重みを表す関数の値が負になる部分があるため、グラスマンの加法則を使って基底を変換したxyz座標系が良く使われる。色だけを表すために明るさの自由度を括りだし、xyzを $x+y+z=1$ で規格化してx-yの2次元平面上で色を表した図を色度図という。

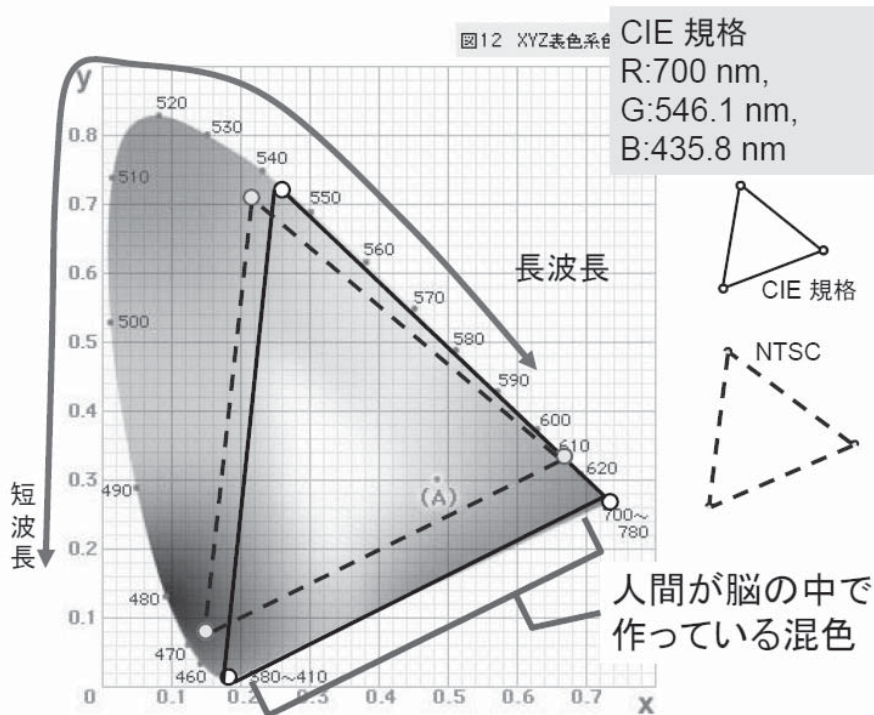


図1 色度図 [1] 大山より転載加筆

図1が色度図であり、色度図上の3角形はそれぞれ国際照明学会（CIE）の規定する3原色（実線）と北米と日本のテレビの規格であるNTSCが規定する3原色（破線）を表す。3原色光の合成で表現できる色は図1中の三角形内側の領域のみである。実際の単色光は図1の色度図の上辺の緑線で与えられ、図中上辺の緑に沿って書き込まれている3桁の数値は光の波長（nm）である。

色度図中、緑からシアンにかけての領域は三角形の領域からは外れており、ディスプレイ上では再現できない色である。また、色度図中下辺のえんじ色の部分は長波長の赤と短波長の青を混ぜた色であって、混色としては存在するが、対応する光の波長は存在しない領域である。つまり、人間は光の波長の違いを色として認知するが、色に対応した光が必ずしも存在するわけではない。これらの問題は色度図を使った教育の上級コースのテーマである[2]。

絵の具やクレヨンを使った、小さなころからの経験のある顔料系の混色と比べて、光の混色については実生活で体験する場は少なく、経験的には判りにくいものである。この点を改善すべく、2009年物理教育学会において霜田光一氏が「光の3原色混合実験器」を作成演示していた[3]。霜田氏の実験器は2枚の木の板に丸く穴をあけ、一枚の板の穴の中に3色の発光ダイオードを置き、もう一方の板の穴の上にピンポン球を置いて光を拡散混合させるものであった。二枚の板を動かすことによって丸い穴の位置がずれ、3色の光の混色の程度が変わり、ピンポン玉の明かりの色が変化する。板の動きと色度図上の指標を連動させ、ピンポン玉の色が色度図上で指標が示す色とほとんど同じになっている巧妙なものであった。

表1 使用した発光ダイオード

部品	規格
発光ダイオード（青）	OSUB3131P
発光ダイオード（赤）	OSUR3131P
発光ダイオード（緑）	OSUG3131P

霜田氏の講演のとおり、3原色の発光ダイオードは現在非常に廉価になり、通販で容易に買える。ここで利用したのは秋月通商の通販で、10個入りで数百円であった。霜田氏にしたがって直径3mmの超高輝度発光ダイオードを利用した（表1）。いずれも最大電流は100mAであり、20オームから40オーム程度の抵抗を直列に入れて乾電池とつなぐことにした。発光ダイオード以外の部品は松本市内のラジオ部品店を利用し、配線用基盤、抵抗、リード線、電池ボックスなどを購入した。

霜田氏のように木材を丸く切り取る工作は大変なので、100円ショップの木工用のアーチ型木片“クラフトパーツ・アーチブロック”を利用し、足の部分を接着して円形の穴のあいた木片を作った。可動部は透明カードケースのプラスチック板を利用し、アーチブロック木片を透明プラスチック版にねじ止めした。アーチブロックはピンポン球との組み合わせにちょうどよい大きさであった（図2）。木片の周囲から光が漏れないように、同じく100円ショップで購入したアルミテープをプラスチック版に張り、遮光面積を広くした。ピンポン球台と同様に、足どうしを接着したアーチブロックをこんどは2段にして発光ダイオードを囲むように回路基板に固定し、その上から

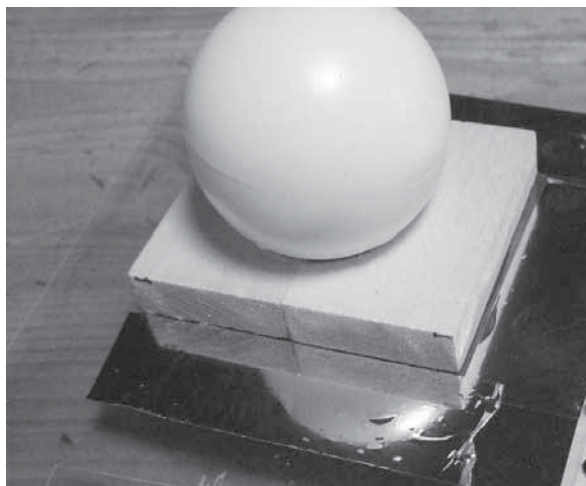


図2 ピンポン球をアーチブロックに固定

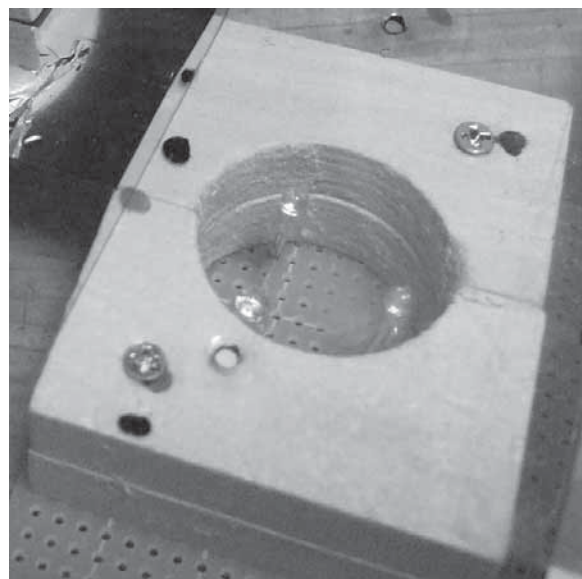


図3 発光ダイオードを囲むアーチブロック

もう一枚の透明プラスチックボードをネジ止めした(図3)。プラスチック板どうしは一方の板に溝をあげ、四角いプラスチック版で挟んでねじ止めしてスライドできるようにした(図4)。透明なプラスチック版なので、発光ダイオードの光はそのまま通過する(図5)。

色度図は色彩工学の教科書[1]の挿絵部分をスキャナーで読み込み、適当な大きさに印刷して基盤側のプラスチックボードに貼り付けた。予備的な位置合わせの後、パソコンで縦横のスケールを調整して印刷すれば、指標の位置に合わせた大きさの色度図を印刷することができる。今回の機器作成では、色度図は特に細工せず、プラスチックボードの溝(図4)の位置と大きさを調整することのみで満足できる位置合わせができた(図6)。

霜田氏の実験器同様に、ピンポン球は光をうまい具合に拡散混合して、色度図とよく似た色に点灯する。実際に「2009まつもと広域工業ものづくりフェア」の理科教室で演示にも使って見たが、3原色発光ダイオードから、3原色にない黄色などが出てくる様子が特に印象深かったようで、好評であった。霜田氏の木板と違い。カードケースのプラスチック板は強度不足で不安定でありアクリル板を使うことも考えたが、これは工作の容易さとのトレードオフである。

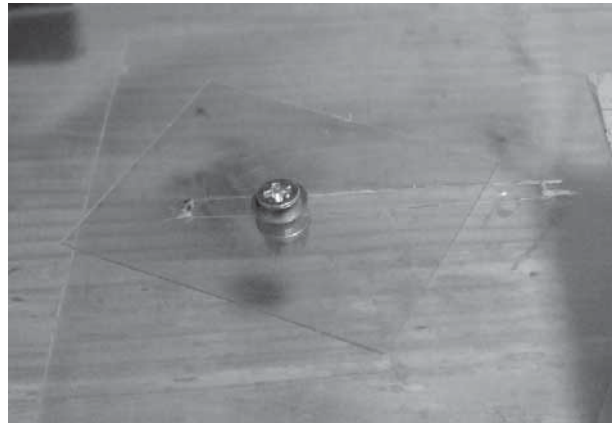


図4 可動部のねじ止め

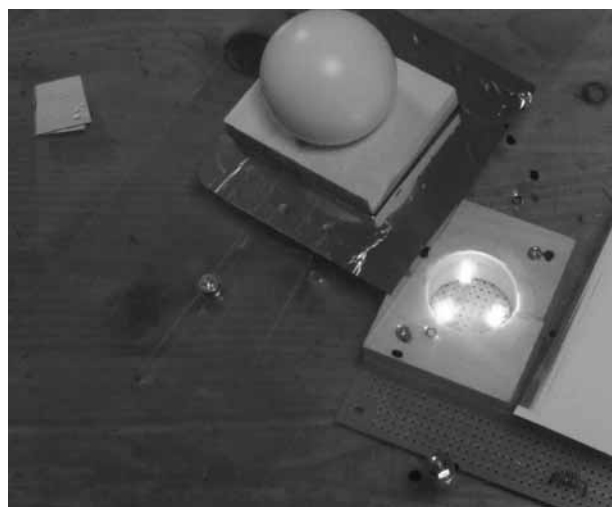


図5 ダイオードの発光

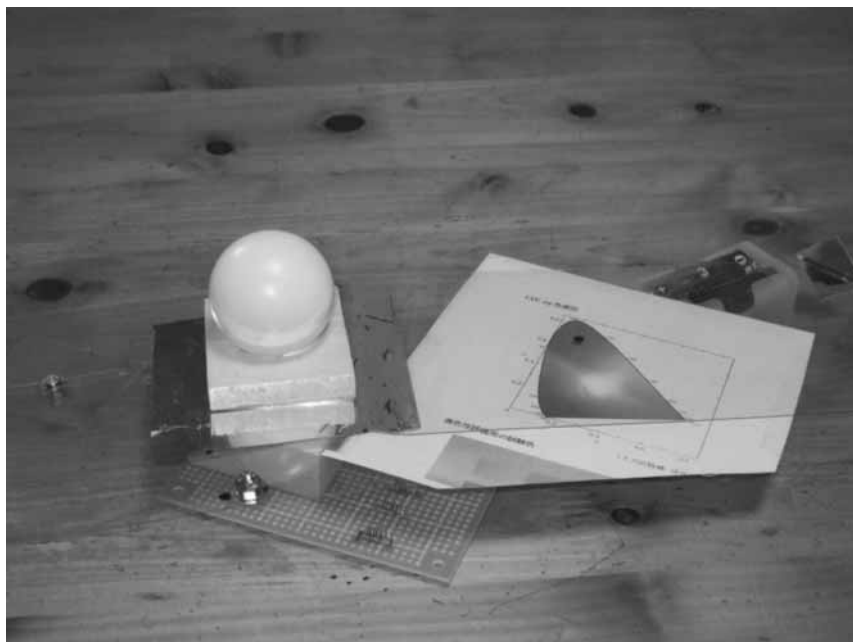


図6 霜田式3色混合器

簡単な実験器具ではあるが、本器具を使った実験で実際に光の混色を自分で操作することによって色度図に対する理解を深めることができれば、その発展として、図2の色度図中に記入された3角形の位置からわかるように、3原色の単純な混合ですべての色が再現できる訳ではないことや、3原色に対応するセンサーの不具合として色覚障害者の色空間の話題、さらに進めてユニバーサルなプレゼンテーションについてと話題を拡張していくことも可能である[5]。このような視点でのマルチメディア教育のスタートポイントとしても、かつてのような3眼のプロジェクターをみなくなった昨今、光の3原色をあからさまに混ぜてみせる教材はとても興味深いものである。

- [1] 大山 正 :「色彩心理学入門」中公新書(1994); 大田 登 :「色彩工学」東京電機大学出版局(2008)。
- [2] 室谷心、2009年度日本物理教育学会予稿集、pp.82-83 (2009) ; 日本物理学会2010年度年会予稿集、20pRC-13 (2010)。
- [3] 霜田光一、2009年度日本物理教育学会予稿集、pp30-31 (2009)。
- [4] 「2009まつもと広域工業ものづくりフェア」(2009年9月26日、9月27日)。
- [5] 室谷心、水谷雅志、情報科教育学会第3回全国大会講演論文集、pp52-53 (2010)。