

サイエンスショー「光の三原色 RGB のヒミツをさぐれ！」実施報告

長谷川 能三^{*1}，上羽 貴大^{*2}

概要

2021年3月3日～4月24日(5月30日まで実施予定であったが、4月25日から臨時休館のため)のサイエンスショーでは、光の三原色等をテーマにした「光の三原色RGBのヒミツをさぐれ！」を実施した。これまでも光の三原色等をテーマにしたサイエンスショーを行なっているが、その中から実験を精査し、更に新たな実験を加えたものとした。そこで、このサイエンスショーの内容等について報告する。

1. はじめに

これまでのサイエンスショーで「光の三原色」をテーマにしたものは、

- ①「光のヒ・ミ・ツ」(2012年9月4日～12月2日)^[1]
- ②「色のいろいろ」(2013年9月3日～12月1日)^[2]
- ③「赤青緑の光サイエンス」

(2015年6月5日～8月30日)

がある。①③については小野学芸員が、②については長谷川が企画した。それぞれ、光源が①スライドプロジェクター、②LED照明、③液晶プロジェクター^[3]と異なっていたり、「色のいろいろ」では「光の三原色」だけでなく「色の三原色」についても取り扱うなど、内容が異なる部分も多い。

そこで今回、これらのサイエンスショーの各実験を吟味し、更に新たな実験も加えて構成し直した。

なお、新型コロナウイルス感染拡大のため、サイエンスショーの定員は1回あたり54人まで、平日は1回のみ実施(予約団体専用回は中止)、土・日・祝日・春休み期間中の平日は1日3回実施した。また4月25日より緊急事態宣言発出により臨時休館となったため、実施回数は67回、観覧者数はのべ1,379人であった。

2. 実験内容

今回のサイエンスショーで行なった実験は以下のとおりである。ただし、演示担当者や観覧者層等によって、一部の実験の割愛したり、実験の順序は異なる。

2-1. タブレット画面の拡大

以前のサイエンスショーでは、演示者によってはブラウン管テレビの画面を拡大する動画を見ていただくこともあったが、なぜ赤色・緑色・青色の3色を使うのが天下り式であることが多かった。そこで今回、タブレットの画面をその場で顕微鏡を使って拡大し、モニターに表示して見ていただくこととした。タブレットの画面に表示された画像が赤色・緑色・青色の画素からできていることから、2-2の「赤色・緑色・青色の光の合成」の実験へ繋いだ。また逆に、「赤色・緑色・青色の光の合成」の実験で赤色・緑色・青色の3色の光でさまざまな色に見えることを踏まえた上で、タブレットの画面が同じ赤色・緑色・青色の3色でできていることを確認するという使うこともできるようになった。

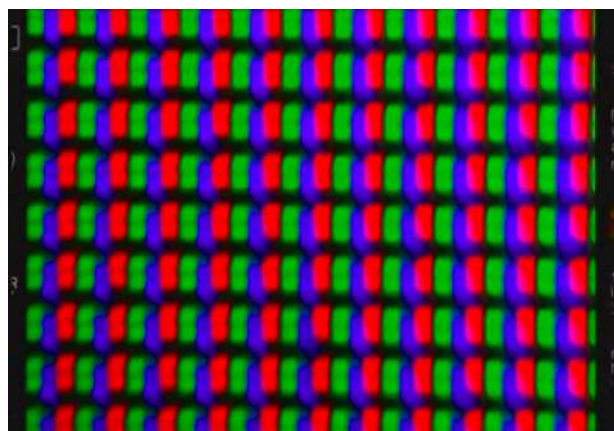


写真1. タブレットの画面の拡大

2-2. 赤色・緑色・青色の光の合成(1)

今回、光源として3台の液晶プロジェクターを用い、赤色用、緑色用、青色用とした。液晶プロジェクターを

^{*1}大阪市立科学館 学芸員
hasegawa@sci-museum.jp

^{*2}大阪市立科学館 学芸員
ueba@sci-museum.jp

用いたことで、いろいろな画像ファイルを用意しておき、画像を切り替えることで、さまざまなパターンの実験を行なうことができた。

まず、赤色・緑色・青色の3色の内2色の光や3色の光全てを合わせるとどのような色に見えるかを予想していただいた。ここでは、通常光の三原色の説明で使われる図と同じように、中心をずらした3色の円となるように、赤色・緑色・青色用の画像を使用した。2色の光を合わせた色については、「赤色の光」と「青色の光」を合わせる場合には「紫」という声は多く上がる(実際には赤紫色ないしピンク色に近い紫色)が、「緑色の光」と「青色の光」の場合の色(水色)や、さらに「赤色の光」と「緑色の光」を合わせた場合の色(黄色)を想像するのは難しく、なかなか声が上がらなかつたり、「茶色」などの色の名前が上がることもあった。3色の光を全て合わせた色については「白」という声が多かった。

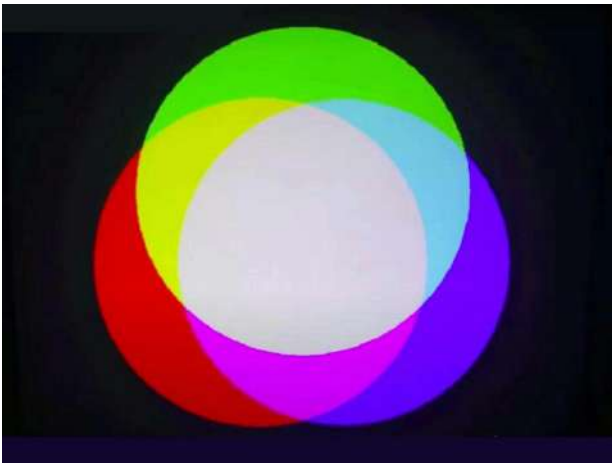


写真2. 赤色・緑色・青色の光を合わせて見える色

次に、3色それぞれの光の強さを変えるとどうなるか、その例として緑色の光を減光し、赤色の光と合わせることで、オレンジ色になることを示した。なおこの組み合わせを例として用いるのは、使用している「赤色」「緑色」とも、それらを均等に合わせた「黄色」とも明らかに異なる独立した色の名前があり、新しい色ができたと観覧者が納得しやすいからである。また緑色の光の減光には、液晶プロジェクターの光は偏光していることから、偏光フィルターの偏光軸を適度な角度に傾けて用いた。

次に、赤色・緑色・青色の光をさまざまな明るさに調整したパターンを用い、この3色の光を合わせることでさまざまな色に見えることを示した。なお、この3色のパターンを合わせるにあたっては、白い板をプロジェクターのレンズに近い位置からだんだんスクリーンとしている壁に近づけた。こうすることにより、別々のプロジェクターから出ている3色の光を合わせることで、さまざまな色に見えることを実感しやすくなった。

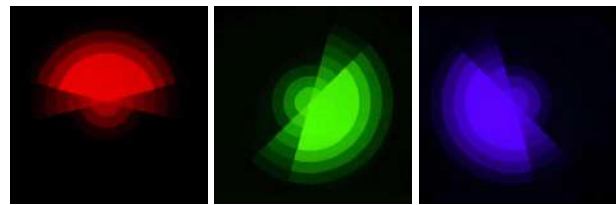


写真3. 赤色・緑色・青色の明暗のパターン

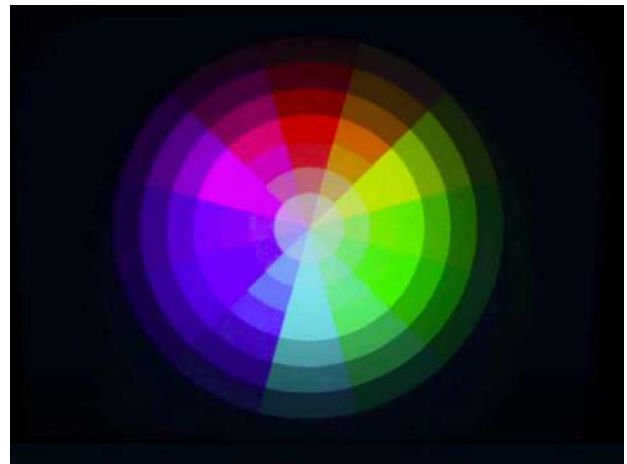


写真4. 赤色・緑色・青色の明暗パターンの合成
(上は、白い板を使った合成途中の様子)

2-3. 赤色・緑色・青色の光の合成(2)

さらに赤色・緑色・青色の光だけでほとんど全ての色に見えることを明らかにするために、カラー写真の合成を行なった。

画像としてはフリー素材の写真から、キリンや電車などの写真を用いた。画像編集ソフトを用いて、これらの画像の緑色と青色成分をゼロにしたものが、赤色成分のみの画像となる。同様に、緑色成分のみ、青色成分のみの画像を作成し、3台のプロジェクターで投影した。3色の画像は、それぞれ明るい赤から暗い赤まで、明るい緑から暗い緑まで、明るい青から暗い青まで、さまざまな明るさになっていることを確認した上で、3つのプロジェクターで投影している画像を合わせると普通のキリンのカラー画像になるときは、驚きの声が上がった。



写真5. 赤色・緑色・青色成分に分けたキリンの写真



写真6. プロジェクター3台を使ったカラー画像の合成

このように3色の光でさまざまな色を表わすことができることを示した上で、2-1のタブレットの画面を拡大し、赤色・緑色・青色の画素でできていることを示すことも効果が高い。

2-4. 光の三原色と人間の視細胞

このように、赤色・緑色・青色の3色の光でほとんど全ての色を表現できるのは、人間の目の視細胞の内、色を感じる錐体細胞が3種類あり、それぞれ他の錐体細胞と比べて赤色の光、緑色の光、青色の光の感度が高いからである。人間はこの3種類の錐体細胞が光を受けた刺激の比を色として感じている。

サイエンスショーでは、白い風船で作った眼球モデルを用いて、観覧者層に合わせた説明を行なった。

2-5. 補色残像（赤、画像、写真）

人間の目の色を感じる視細胞を使った実験として、補色残像を体験していただいた。

わかりやすい例として、プロジェクターで投影した全面赤色の画像を10秒程度見ていただいた後、部屋を明るくしてプロジェクターの投影を消すと、ぼんやりとした青緑色系の四角が見えるというものである。これは、各色を感じる錐体細胞が、光を受け続けていると反応が鈍くなり、光を受けていない状態から光を受けると反応が大きくなるからである。最初に見ていた色とはほぼ補色の関係にある色に見えることから、補色残像と呼ばれる。

さらに、ある画像（写真7上）の色を反転した画像（同中）を見続けた後、白黒にした画像（同下）を見ると、一瞬カラー画像に見えるという実験も行なった。こ

れについては、部屋を暗くしてプロジェクターで投影して行なうと、補色残像が鮮やかに見えるが、本当に白黒画像を投影しているかどうかはわかりにくい。そのため、色を反転した画像と白黒画像を印刷した2枚のパネルを使用することもあった。

なお、色を反転した画像では画像の彩度を強調し、白黒画像では全体的に明るくすると、補色残像が起こりやすいようである。



写真7. 補色残像の例

上：元画像

中：元画像の色を反転した画像

下：白黒にした画像

また、補色残像を見るにはなるべく視線を固定する必要がある。特に小さな子どもはあちこちキョロキョロとしやすいため、画像の中央にカウントダウンの数字を出したり、スクリーンにマークを貼り付けるなどした。

2-6. 影の色

3色のプロジェクターを使用した実験として、影の色がどうなるかも行なった。

通常、影は黒色というイメージであるが、「赤色の光でできる影は何色？」と質問すると、とっさには答えにくいようである。もちろん、赤色の光でも緑色の光でも青色の光でも影は黒色である。

ここでは、さらに赤紫色や水色、黄色、白色の部分にできる影の色も考えていただいた。このサイエンスショーで使っている機器の場合、プロジェクターから出た赤色・緑色・青色の光を合わせることでできた赤紫色や水色、黄色、白色であるため、影が複数できる。影の部分には他のプロジェクターの光があたるため、赤紫色の部分にできる影は赤色と青色、水色の部分にできる影は緑色と青色、黄色の部分にできる影は赤色と緑色となる。白色の部分については、プロジェクター3台の光があたっているため、影は3つでき、その色は赤色・緑色・青色という予想が多いが、実際には黄色・赤紫色・水色の影となる。これは、影の部分には残り2台のプロジェクターの光があたるからである。

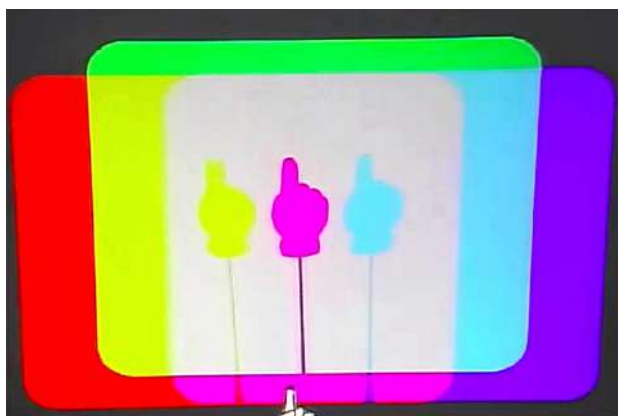


写真8. 3色のプロジェクターでできた影

2-7. 色の三原色（透過、合成）

サイエンスショーのテーマは光の三原色であるが、関連して色の三原色の実験も用意した。色の三原色は、イエロー・マゼンタ・シアンの3色である。この3色は、これまでの実験で光の三原色の内の2色を合わせてできた黄色・赤紫色・水色に対応する。また、イエロー・マゼンタ・シアンという名

称は、カラープリンターのインクの名前で知られている。

色の三原色に関するひとつの実験は、インクジェットプリンター用のOHPシートの全面を、イエロー・マゼンタ・シアンで印刷したものを用意し、この色のついた透明シートを通すと、各プロジェクターから出る光がどうなるかという実験である。

イエローのインクは赤色・緑色の光を透過し青色の光を吸収、マゼンタは赤色・青色の光を透過し緑色の光を吸収、シアンは緑色と青色の光を透過し赤色の光を吸収する。このため、イエローのシートは、赤色や緑色のプロジェクターの前にかざしてもほぼそのままの色の光が透過し、青色のプロジェクターではシートの影ができる。なお、シアンのシートについては、インクが透過・吸収する光の波長帯やプロジェクターから出る光の波長帯の関係か、あまりクリアに赤色の光のだけ影ができるわけではなかった。



写真9. イエローのシートを通った赤色・緑色・青色の光

色の三原色に関するもうひとつの実験は、カラー画像をイエロー・マゼンタ・シアンの3色に分解してそれぞれインクジェット用OHPシートに印刷したものを用意し、この3枚重ねるとカラーの画像になるというものである。

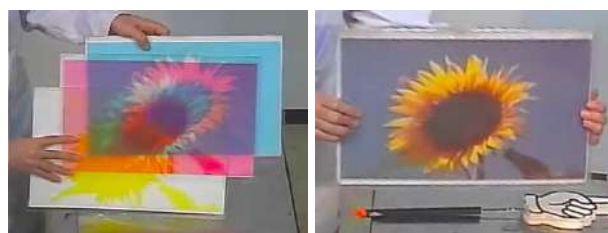


写真10. イエロー・マゼンタ・シアンに分解して印刷したシートの重ね合わせ

3. 実験道具の工夫

3-1. タブレット画面の拡大

以前のサイエンスショーでは、演示者によってはブラウン管テレビの画面を拡大する動画を見ていただく場合もあった。今回、タブレットの画面を顕微鏡を通してその場で拡大して見せることをした。

システムとしては、被写体のタブレットの画面をズーム式顕微鏡を通してカメラで撮影し、会場のモニターに表示するのであるが、使用した顕微鏡のオプション



写真11. タブレット画面を拡大表示する顕微鏡システム

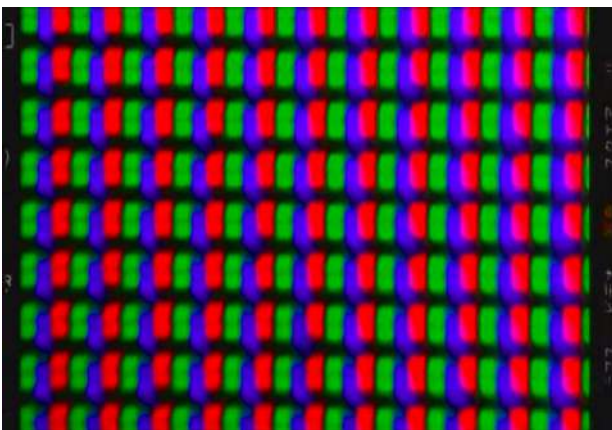
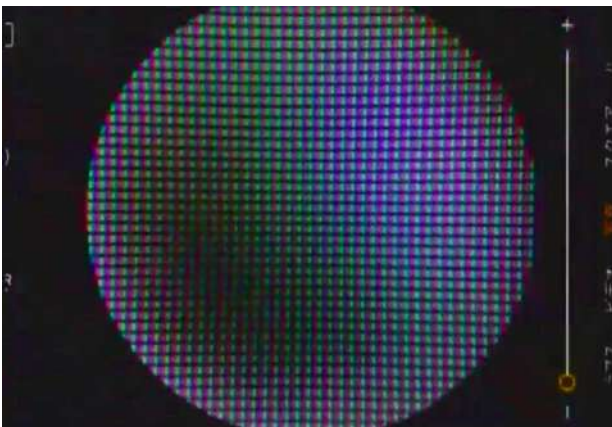
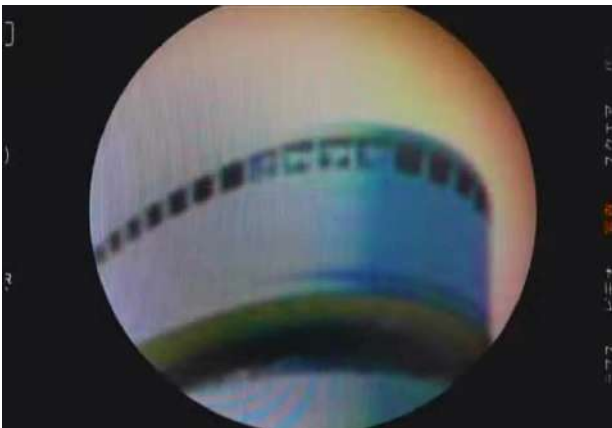


写真12. 顕微鏡で拡大したタブレット画面
(上～中:顕微鏡ズーム、中～下:iPod Touch画面拡大)

の小型カメラは断線しやすく、現在からすると色もあまり鮮やかではない。そこで今回は、iPod Touch のカメラを用い、顕微鏡の接眼レンズを肉眼の代わりにカメラで覗くコリメート法で撮影した。コリメート法では、カメラの位置(前後・左右、接眼レンズからの距離)と光軸の方向を合わせなければならないため、撮影が難しい。そこで木片を組み合わせて顕微鏡の接眼レンズの上に iPod Touch の大きさにちょうど合わせた置き台を製作した。これにより、簡単な操作で撮影ができるようになった。

このシステムでは、顕微鏡のズームと iPod Touch の画面拡大(ピンチアウト)により、対象物のタブレットの画面の一部であることがわかるサイズから、画素が見分けられる状態まで、シームレスで見ることができるようになった。

2-2. 赤・緑・青の光の合成

今回、光源としては2015年のサイエンスショー「赤青緑の光サイエンス」で導入した液晶プロジェクターを使用した。

各プロジェクターで表示する画像は、それぞれ赤色のみ、緑色のみ、青色のみの画像ファイルとしているが、更に色を鮮明にするため、投影レンズの前に写真撮影用のRGBのフィルターを取り付けている(補色残像の実験には赤色用のプロジェクターを使用し、その時だけフィルターを外した)。また、画像の3色合成をするため、プロジェクターの台形補正機能で画像の位置合わせをした。

サイエンスショーでは、3台のプロジェクターをそれぞれ表示したり非表示にしたりする必要があるため、各プロジェクターのレンズの前には、シャッターとなる衝立を立てた。これを竹ひごを利用して左右にスライドできるようにし、1ヶ所で操作できるようにした。

使用する画像については、演示者それぞれで使う画像や順序が異なるため、各自のフォルダを作り、ファ



写真13. プロジェクターのレンズ前に立てた衝立

イル名を表示順となるようにして保存するようにした。画像の送りについては、1台のリモコンで3台のプロジェクターが動作するため、例えば赤色用のプロジェクターのみ使用する補色残像用の画像に合わせて、他の2台のプロジェクターにも画像を入れておいた。

4. メインビジュアル

制作した広報用メインビジュアルを図1に示す。非日本語話者にも最低限の内容が伝わるよう、英語題「RGB makes you colorful! (直訳:RGBでカラフルになる!)」を加えた。ショーの主題を示すだけでなく、Makes You Colorfulの頭文字が色の三原色MYC(マゼンタ・イエロー・シアン)になっている。



図1.「光の三原色 RGB のヒミツをさぐれ！」
メインビジュアル

【参考】

- [1]小野昌弘 「サイエンスショー「光のヒ・ミ・ツ」実施報告」 大阪市立科学館研究報告第23号, p65(2013)
- [2]長谷川能三 「サイエンスショー「色のいろいろ」実施報告」 大阪市立科学館研究報告第24号, p85(2014)
- [3]小野昌弘 「「赤・青・緑の光サイエンス」光源の変更について」 大阪市立科学館研究報告第26号, p109(2016)

4. 最後に

これまで行なったサイエンスショーを見直すことにより、内容が整理され、個々の実験についてもこれまでより洗練されたものが多い。ただ、新たな実験も加えており、かなり盛りだくさんとなった。このため、色の三原色の実験などを割愛することも多かった。

一方、1日1回サイエンスショーを YouTube でライブ配信しており、配信に関わるカメラ等の操作に加え、顕微鏡や3台のプロジェクターの操作や切り替えなど、演示者の負担が大きくなってしまった。

なお、本報告ではカラー画像を多用しているが、研究報告誌本誌が白黒印刷のため、わかりにくい部分も多いかと思われる。大阪市立科学館ホームページにはPDFでカラー版を掲載する予定であるので、そちらも参照していただきたい。