

事業報告

サイエンスショー「いろのマジック ひかりのふしぎ」実施報告

久松 洋 二*

A working report of "color mixing system of light"

Yoji Hisamatsu

It is reported that the substance of the demonstration of three primaries and color mixing system of light in Ehime pref. science museum. An optical side helps us to classify various information of sensuous color effect. We comment on additive mixture of color stimuli from a optical model. This report describes construction of this demonstration, an outline of experimental equipments.

はじめに

身の回りには、さまざまな色があふれている。色の組み合わせは、楽しみのひとつであり、時に感情まで支配することもよく知られている。多くの人は色に関して敏感である。また、色を混ぜることは、小さいころから誰もが慣れ親しんでいる。多くの場合、混色は不可逆的な作業であった。最近ではパーソナルコンピュータの普及により、色は数値で表され、可逆的に混色することが可能である。色の数値化は、混色が科学で扱える分野であることを示している。色の美しさを扱うことはできないが、色が見えること、色を混ぜることはどういうことかは、科学として取り扱う分野なのである。それは、光と視覚系の性質による。

このサイエンスショーでは、色が見えること、色を混ぜることについて、光の性質から解説を行った。われわれは光を見ているので、色の情報も光の情報の一部として、視覚系に入力される。光に含まれる色情報とは何かを明らかにし、光による混色のルール、反射光と直接光の違いなどを整理することで、色を見ることについて、統一的に理解する見方があることを紹介することが目的である。

一方で、色を見ることは、直感的な美しさなど、印象の判断材料でもある。そのため、色の実験は見た目の美しさ、一目で理解できる簡明さが重要になる。今回の実験では、本質的な現象だけを直接見せる実験より、解説すべき内容を含んだ見栄えのよい実験を選んでいる。また、色は感覚であるために、個人が感じたままに任せる

側面を強調し、個人が感じたことの中から一般的に共通する内容を抜き出すように心がけた。

本稿は愛媛県総合科学博物館において、平成15年9月から12月の間に行われたサイエンスショー「いろのマジック ひかりのふしぎ」の実施報告である。実験は1回20分程度行われた。来館者一般が対象で、3ヶ月の間に約200回実演された。

実験項目

- ・色ついたの影
- ・光の三原色
- ・スペクトルの観察
- ・光の補色
- ・選択吸収
- ・色の三原色

実験の構成と内容

このサイエンスショーは、混色の原理を光の実験で解説するものである。光の混色とインクなどの混色の違いと、光による統一的な理解を目的として構成されている。実験の流れは、光の三原色であらゆる色を作れること、基礎事実の確認として、可視光線の波長と色の関係、光源のスペクトルについても触れた。

視覚系と色の認識について解説することは、色の実験にとって本来必要と考えられるが、今回は内容に入っていない。ショーとしての時間制限と話題の多さに対する観客への配慮である。光の三原色による色の再現性を話題の中心に据えることで、色の認識の議論に替えている。

* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

色のついた影

赤，緑，青の光源を利用した，導入実験である．3色の光源とスクリーンの間に立つことで，色のついた影を見せる．実験が始まるまでスクリーンの前に立たないようにし，実験が始まって初めて色の影を見せる演出とした．導入の驚き効果と，実験テーマを明確にする目的を持たせている．

光の三原色

導入の実験装置を引き続き使用して，光の三原色を解説する実験である．調光した光をスクリーン上で混色して色を見せた．この実験は，光の三原色を解説する意味とともに，視覚系をとりあげないことを補っている．即ち，光の三原色が目に入ることが，あらゆる色を知覚できることと等価であるという印象を与える役割を持っている．以下の実験で，あらゆる色が表現できることを，光の三原色を見ることとして解説するための準備である．

スペクトルの観察

観客全員に渡した小型分光器で，光源を観察した．光の混色を説明した直後に，混色した光源を分光することで，通常見ることのできる光の色は，混色されていることを解説するために行った実験である．混色する成分の違い，色味の違いなどを観察しながら解説した．主に観察した光源は，蛍光灯（白色，色つき），カラー白熱電球，ハロゲンランプ，水銀ランプである．

また，この実験では，スライドを用いて波長の説明と波長による電磁波の分類，色の分類について解説した．

光の補色

混色すると白色になるように調節した6色の光を使用して，補色を見せる実験を行った．6色を分離させて見せ，混色により白色をつくる．その後，1色を消すと，補色が出現する．補色になる2色が，白色をつくる関係であることを示し，絵の具などで混ぜる場合との違いを意識させ，次の実験の準備とした．

選択吸収

色紙に色の光をあてたときに，色味が変わることを実験することで選択吸収を説明する実験である．身の回りの色のほとんどは，選択吸収による色味であるため，そのことを意識させること，および色の三原色の仕組みを理解するために行った．

色の三原色

光の三原色と色の三原色の関係を知り，実際に色の三原色でフルカラー写真をつくる実験である．三原色の関

係はアニメーションで行い，着色した透明フィルムを4版用意して重ねることで三原色からフルカラーをつくられることを実演した．また，印刷物を CCD カメラで拡大し，4色の網点を見せることで身近に利用されていることを見せた．ルーペなどを使って自宅で実験できることも知らせた．

実験機材と解説

色と光をテーマにした実験なので，実験機材製作の目標は，観客にあたえる印象を大切にすることとした．テーマの中心となる光の三原色は，大型の光源を使用し，ステージ全体で混色できる装置を製作し，色の面積を大きくすることで，美しさを感じやすくした．このことにより，他の実験を行っていても，話題を光の三原色に戻すことができた．各アイテムも，形や配色などにも留意した設計を行った．また，装置による表色は単純であっても，混色することにより多彩な印象を与える実験構成を行った．

実験に使用する色は標準色や単色光を使用することが望ましいが，機材の価格や入手が困難であることから，今回は断念した．その結果，通常的光源にカラーフィルタをつけることで，使用する色をつくる方針をとった．使用したカラーフィルタは表1にまとめている．色味は著者の主観である．

光の三原色光源（写真1・2）

水銀ランプにカラーフィルタを取り付けて，光源とした．3灯を並列に天井から吊した．調光装置は電球の能力から製作できなかったため，ランプを目隠しすることで調光した．目隠しのアイデアは川口市立科学館サイエンスワールドの常設展示（かげをつくる）を参考にした．ほうきの柄に発泡スチレンボードを取り付けて製作した．装置の設計は図2・3，カラーフィルタの色番号は表1のとおり．

混色はスクリーンで行った．直接光の混色を観客全員に見せることはできないこと，反射特性が一樣であれば，スクリーン上の混色でも問題ないと判断されること，実験の演出が行いやすいことから，反射光で混色を確認する方法をとった．ステージ壁面前面に白布を貼りつけ，色の面積や色の影を大きく見せた．

水銀ランプを使用した理由は，線スペクトルであるために必要な色を取り出しやすかったこと，大型でも白色電球ほど熱くないことの2点である．最もシンプルな水銀ランプを使用したことは，機器の構成上，付属品が豊富であることと，安定器，球ともに安価であることが主な理由である．問題点は，再点灯が難しいこと，安定器が重いため観客の安全確保のために別設置を強い

れ、その結果コード類が煩雑になったことが挙げられる。

ランプの固定は、主にアルミフレームで製作した。フレームは既製品の組み合わせである。吊り下げて設置するために、重量を軽くしたいためと、放熱を考慮して選択した。点灯面にフィルタホルダを取り付けている。

分光実験用光源（写真3）

数種類の光源について、簡易分光器によるスペクトル観察を目的とした装置である。光源については、白熱電球と蛍光灯を用い、ともにカラー電球とした。光源の選択は、取扱の簡便さから選んだものである。水銀ランプやナトリウムランプ、発光ダイオードも候補にあったが、装置の構造から安定器を必要とする光源は取り扱いが難しいこと、発光ダイオードは観客との距離が長く、見栄えがしないことから採用しなかった。水銀ランプについては、光の三原色の光源から漏れる光を使用することで、紹介することができた。

光源は円形に配して、装置の大型化を防ぐ工夫をしている。各電球の周りに遮光板を取り付けることで、他の光源の邪魔を受けずに観客席から観察できるようにした。（図4・5）

ショーの運用上、複数の電球を同時に点灯するより、1つずつスイッチを設けた方が、各回のショーに対応しやすいことが判明した。

簡易分光器（写真4・5）

いろいろな光源のスペクトルを観察するために、観客全員に配った実験器具である。フィルムケースに回折格子レプリカを貼りつけて製作した。フィルムケースの内側を黒く塗って本体とし、蓋を加工して回折格子レプリカを貼りつけた。初期は、穴をあけた蓋の裏面に回折格子レプリカを貼りつけたただけであった。この方法では実験終了後に器具を回収したとき、壊されていることが多かった。壊される一番の原因は、のぞき穴が指を入れるのにちょうどいい穴であるということであった。フィルムは、穴に指を入れることで突きはがされるように壊されていた。そのため何度も改良を余儀なくされた。最終的に、蓋に合うキャップを別途製作し、蓋とキャップで回折格子レプリカを挟み込むように貼りつける方法をとった。運用された製作方法を図1に記載する。

補色装置（写真6）

補色を解説する装置である。光源は円形の蛍光灯を使用し、カラーフィルターをとおして6色の光源とした。6色は3対の補色ペアを選び、お互いの干渉を考慮して対角線上に配している。（図6）選択した色とカラーフィルターは表1に記載している。

混色には乳白の亚克力板を使用した。6色の内1色を遮光することで、乳白亚克力板が遮光した色の補色に染まる。遮光にはフライ返しを利用した。

光源を一つにしたことで調色が難しくなったが、製作の簡便さからこの方法を選んだ。調色は補色関係以外の色成分が干渉すること、輝度の調整がフィルタを重ねる方法以外ないことに起因している。乳白亚克力板に色が浮かび上がるという演出効果を重視した装置である。

選択吸収

インクに色光をあてることで選択吸収を実演する実験。対象物に表面反射があると、きれいに演示できないので、マット系の印刷が望ましい。実験では、造花、色紙、新聞紙などを用意したが、演示の見栄えから新聞のカラーページを利用することが多かった。

当館の実験コーナーはオープンスペースで、他の常設展示からの間接光が邪魔をする環境だったので、うまく演示できる色の組み合わせを選ぶ必要があった。今回は、青いインクに、青い光と赤い光を交互にあてることで実験をした。色光源のスペクトルにも依存するが、照らす対象物を選ぶことで、十分現象を見せることが予備実験で確認できていた。しかし、間接光の影響により、輝度の高い光源での選択吸収は演示効果が乏しいことが判明したため、輝度の低い光源で実演を行った。

色の三原色（写真7・8）

シアン、マゼンタ、黄色、黒の混色でフルカラーになることを演示する実験装置。4色分解した写真を透明フィルムにプリントアウトさせたものを、ライトボックス上で重ねていく手法を使った。印刷物などに利用されているカラーの原理なので、本来は反射光で実験すべきであるが、明るさが足りないためにバックライトにした。

バックライトの良さは、色表現の良さであり、演示する上で説得力があった。出力に使用した透明フィルムは透明度の高いものを選択したが、4枚重ねると反射光ではきれいな混色はできなかった。特に、実験コーナーの会場面積が大きいこと、正面から十分な照明をあてられないことにより、反射光で見ると耐えるものをつくることはできなかった。また、使用した出力方法がべた塗りであったことも起因している。これは、出力フィルムが高価であるので、網点で角度を調整しながらテストをすることが困難であったためにとった処置である。バックライトにすることにより、十分な明るさが得られ、フィルムを重ねる順序を問わなくなった。演示する上でこの特性は、実験の説得力につながった。

実際の利用の説明として、網点を紹介した。方法はPCから網点の画像を大型ディスプレイに出力することと、実際にCCDカメラで印刷物の網点をとらえてディ

スプレイに出力する2つを行った。

ま と め

色を混ぜること、色を見ることを光の現象として理解することを目指して実験を行った。演出として、光によるきれいな色使いを取り入れた。目の前で意外な色が出現すると、歓声が上がることが多かった。ステージのスクリーン上で見せた色の影や、分光器によるスペクトル、CMYK 混色でフルカラーを再現するといった実験に人気が集中した。選択吸収と物体の色の話は大人の観客にとって興味深い話題だったようで、深くうなずく姿がよく見られた。一方、若年層には、この解説先行の実験が冗長に感じるようで、落ち着きを無くす姿が対照的だった。光の性質の解説と、RGB 混色と CMYK 混色の関係の説明は、観客の離席が目立ち、簡単に済ますなどの工夫が必要となった。実験内容が色の出現という一目で理解できるだけに、光の性質による一元的な理解は、より複雑な印象を与えたかも知れない。

今回、観客全員に実験器具を渡して、スペクトルの観察を行った。実験自身は簡単で、見栄えもよいため、毎回歓声上がるほど好評の実験であった。観客の集中度も高く、学芸員の質問や誘導に対し即座に反応した。当館では、学芸員と司会以外に実験補助の人員が配置されているので、実験補助の職員が遠巻きに見ている来館者に対して、積極的に参加を勧めるためのアイテムとしても利用できた。最終的に200個ほど製作することになり、負担も大きかったが、これからも機会を見て取り入れたい方法である。このような実験器具の条件としては、小型、安価、操作が簡単、結果が分かりやすいなどがあげられる。小型、安価は、製作上の理由といえ、残りは実験への集中度といえる。当初から予想されたことに、故障と紛失があった。運用していく中で器具の改良を加えることで、故障は途中からなくなった。紛失については、器具は貸出であることの周知を徹底できないことも一因であるが、悪質なものも多く、結局、半数以上が行方不明となった。今後、同様の演出を行う上での課題である。

参考文献

- 1) 川口市立科学館サイエンスワールドパンフレット
<http://www.kawaguchi.science.museum>
- 2) 日本色彩学会編(1998): 新編色彩科学ハンドブック第2版。東京大学出版会。pp1538



写真1 光の三原色光源。

100Wの水銀ランプにカラーフィルタで着色。ハウジングはアルミフレームを利用して館内で製作した。水銀ランプの安定器は別途置き台を製作し、設置した。

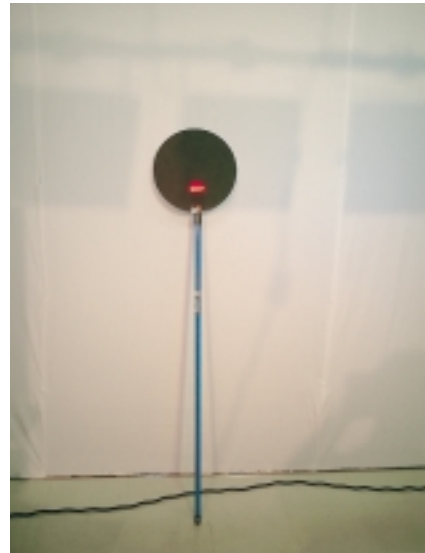


写真2 光の三原色光源用遮光板。

ほうきの柄に発泡スチレンボードを取り付けて製作した。パネルの両面は黒面と白面とし、遮光用には黒面、光源の色を確認するときは白面を使用した。



写真3 分光実験用光源。

遮光と器具の巨大化を防ぐために、回転式を採用した。天板円周にカラー蛍光灯4灯とカラー白熱電球2灯を並べている。事故防止のため、回転部はアクリル円筒をかぶせている。

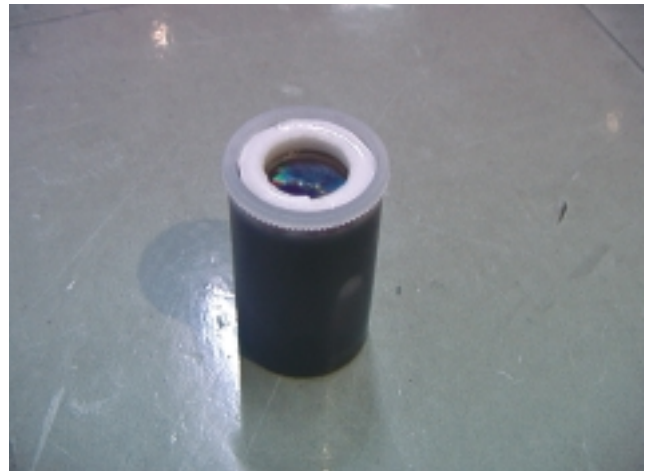


写真4 簡易分光器。

フィルムケースの内側を黒く塗り、キャップに回折格子レプリカを貼りつけたもの。観客全員に配り、全員参加の実験を行った。のぞき穴の径は15ミリ程度。



写真5 簡易分光器を分解したところ。

採光穴は円形である。成型用ポリウレタン樹脂で成形した円環を回折格子レプリカの上から貼りつけた。これにより、回折格子レプリカのはがれもフィルムだけ紛失することもなくなくなった。



写真6 補色装置。

サークルライトにハウジングを施し、6つの円形を抜いた天板にカラーフィルタを挟んで製作。乳白のアクリル板で6色を混色した後、1色を遮光すると、アクリル板に遮光した色の補色が出現する。



写真7 色の三原色。

乳白アクリルと蛍光灯でライトボックスを製作。透明フィルムに4色分解して出力した版を重ねていくことで、色の三原色を解説する。写真はK版のみの状態。



写真8 色の三原色完成。

4枚のフィルムを重ねてフルカラーをつくりだした状態。

表1 カラーフィルム一覧

装置名	色名	色番号	フィルタ枚数
光の三原色装置	赤	#22	1
	青	#76	2
	緑	#55	2
補色装置	赤	#22	1
	橙	#35	4
	黄	#40	4
	緑	#52	1
	青	#77	1
	紫	#83	1

実験に使用したカラーフィルムの色番号を記す

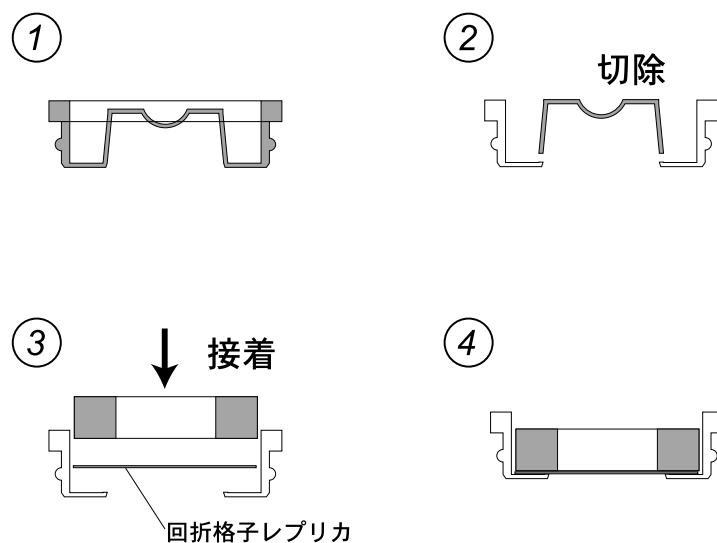


図1 簡易分光器の製作概念図。

1 フィルムケースの蓋の断面図。2 中央部の突起部分を切除する。3 蓋の内径に合わせた円環キャップを成型用のポリウレタン樹脂で製作し、回折格子レプリカを挟むように化学反応型接着剤で接着。4 完成。円環は原型を製作したのち、シリコンゴムで型取り、ポリウレタン樹脂で大量製作を行った。内側を黒く着色し5ミリφ程度の穴をあけたフィルムケースの筒に完成した蓋を取り付けた。