色彩学とデザインの体験的学習に関する研究第6報：加法混色体験プログラムに用いるLEDライトの評価

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 大阪樟蔭女子大学 公開日: 2023-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小林, 政司, 伊豆田, 友美, 森, 優子 メールアドレス: 所属:
URL	https://osaka-shoin.repo.nii.ac.jp/records/4890

色彩学とデザインの体験的学習に関する研究　第6報
―加法混色体験プログラムに用いるLEDライトの評価―

学芸学部　化粧ファッション学科　小林　政司
学芸学部　化粧ファッション学科　伊豆田　友美
学芸学部　化粧ファッション学科　森　優子

要旨：色彩学の学習において、混色の原理は身近なものに応用されている極めて重要な事項であるが、減法混色と加法混色で三原色が全く異なるなど、学習者にとってはその原理が極めて理解し難いものとなっている。

一方、LED（Light Emitting Diode）照明の普及が目覚ましい。写真・動画撮影用照明の分野では、特に動画撮影の需要が膨らんだこともあって LED 化が進み、ここに来て小型軽量で輝度や色温度、カラー調整が可能な高機能製品が安価に入手できる状況となっている。

今回の研究では、この LED 照明装置を活用した加法混色の理解を促進するアクティブ・ラーニング（実習）のプログラムを考案し、色彩学等の授業での活用の指針を示すために、これらの評価を詳細に行い、最終的にはその実現の可能性と今後の方針を明確にした。

キーワード：色彩教育、加法混色、LED ライト、分光放射照度

1. はじめに

色彩学の学習において、混色の原理はプロセス印刷やカラーディスプレイでの表示など身近なものに応用されている極めて重要な事項であるが、減法混色と加法混色で三原色が全く異なるなど、学習者にとってはその原理が極めて理解し難いものとなっている。特に、加法混色に関しては、絵の具による減法混色のように身近に混色操作を体験する機会が乏しいこともあり、例えば「赤」と「緑」の混色で「黄」が得られるといったことが容易には理解しづらい模様である。

著者らは、これまで色彩学とデザインの体験的学習に関する一連の研究を行っているが[1-5]、その中で加法混色についてはパーソナルコンピュータを用いたカラーシミュレーションによる混色の体験学習（CAE）について取り扱った研究例にとどまる。しかし、実際に照明光源を操作するなど体験の度合いを増やすことにより、一層理解を深めることが可能であると予想される。

一方、地球温暖化対策計画（平成 28 年 5 月 13 日閣議決定）において[6]、「LED 等の高効率照明が、2020 年までにフローで 100 %、2030 年までにストックで 100 %普及することを目指す」とされているなど、近年、省資源、省エネルギーの観点から LED（Light Emitting Diode）照明の普及が目覚ましい。技術面での進歩もあって低価格で高機能、高性能な商品が上市されるに至っている。写真・動画撮影用照明の分野では、特に動画撮影の需要が膨らんだこともあって LED 化が進み、ここに来て小型軽量で輝度や色温度、カラー調整が可能な高機能製品が安価に入手できる状況となっている。

今回の研究では、この写真・動画撮影用の LED 照明装置を活用した加法混色の理解を促進するアクティブ・ラーニング（実習）のプログラムを考案し、色彩学の授業での活用の指針を示すために、これらの評価を詳細に行う。

2. 使用機器・材料

2.1. LED ライト

研究に用いる LED ライトとしては、動画撮影用として市販され、比較的安価で容易に入手できる次の 2 機種を選定した。なおこの際、実習での利用を想定したデスクワークでの取り回しに配慮し、サイズや電源の供給（充電式が望ましい）などについても検討を行った。

① LED Video Light Kit（SmallRig，RM01）W; 38 mm，H; 36 mm，D; 38 mm，63 g
② Rechargeable Mini RGB Light（Ulanzi VL49 RGB）W; 66 mm，H; 80 mm，D; 30 mm，101 g

これらのうち RM01 は、本体内に単発の白色 LED が

椀形のマルチリフレクターとともに組み込まれており、色彩の調整は、付属の樹脂製カラーフィルターなどを用いて行うこととなる。なお用いられている白色 LED は、青色 GaN チップと黄色蛍光体を組み合わせた最も一般的な構造[7] のものであることが観察できる。

一方 VL49 は、60 個の LED を内蔵し、そのうち 5 × 4 列に配列された 20 個がカラー LED（RGB beads）、他は白色（高色温度）LED（White beads）が 20 個、電球色（低色温度）LED（Yellow beads）が 20 個となっている。それらの輝度を調整して色彩（RGB モード）ないしは色温度（CCT モード）がコントロールされる。しかしながら発光面では、フロスト加工された白色樹脂によりはほぼ均一な面光源となっており、実習用のカラー光源として利用可能であると判断した。

2.2. フィルター

RM01 には、吸収タイプの樹脂製カラーフィルターが 8 種付属しており、フレームにこれらをセットすることでカラー調整が可能である。これらのフィルターの評価については 3.1. で述べる。

一方、透過光の厳密な波長操作には、ダイクロイックタイプのカラーフィルター Additive Dichroic Color Filter（Edmond Optics, ϕ 50 mm, T ; 2.0 mm）を用いた（Fig. 3）。ダイクロイックフィルターは、Fig. 4 に示すように、屈折率の異なる複数の薄膜材料を交互に蒸着して積層し、光の干渉効果を利用することで、一部の波長の光を反射させて特定波長領域のみを透過させる[8]。メーカー公表値による各色フィルターの分光透過曲線は Fig. 5 に示すように良好な分光性能を有する。

ただしダイクロイックタイプのフィルターは、吸収タイプのフィルターとは異なり、入射角度依存性があり、設計された入射角度条件で用いなければ規定された透過率や波長のスペックを満たすことができない欠点があるとされる。

Fig. 1 LED Video Light Kit（SmallRig, RM01）.

Fig. 2 Rechargeable Mini RGB Light（Ulanzi VL49）.

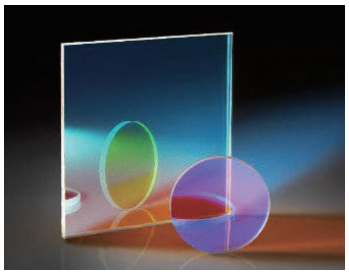

Fig. 3 Dichroic Color Filters.

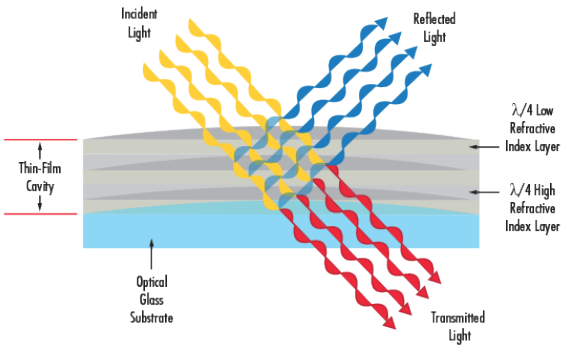

Fig. 4 Structure of Dichroic Color Filter.[8]

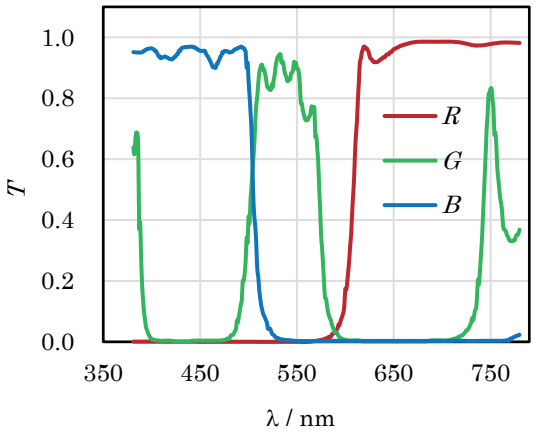

Fig. 5 Transmission T of additive color filter.

2.3. 分光放射照度計

LED ライトの基本的な性能の評価には、分光放射照度計（Konica Minolta, CL-500）を用いた。同装置は、光の演色評価数、相関色温度、色度、照度（JIS 一般形 AA 級）、暗所視照度、三刺激値、主波長刺激純度、ピーク波長、分光放射照度値（360 nm ～ 780 nm, 1 nm ピッチ）の測定が可能である。

3. LED ライトの評価

分光放射照度計による測定結果をもとに実習に用いる LED ライトの基本性能を評価するとともに、使用上の注意点なども含めて検討した。

なお、分光放射照度の測定は、ブラックボックス内で LED ライトをカメラスタンド（LPL, CS-501）に固定し、分光放射照度計の受光窓がその直下 30 cm に位置する状態で行った。なおこの距離は、今後デスクトップで実習作業を行うことを考慮して決定した。

3.1. RM01 の評価

RM01 は、本体内に単発の白色 LED が組み込まれており、その分光輝度曲線（$N_{(RM)}$）は、Fig. 6 の示すとおりである。452 nm 付近に極大を有し、可視域全体にわたる台形状の曲線となった。なお本図では標準光源との比較のため CIE D65 光源の相対分光分布を測定値と 550 nm で交差する形で同時に示した。

また、これに付属する色フィルターの中から加法混色の三原色 *RGB* に近似した色フィルター（*R*af, *G*af, *B*af）を選択し、これらを光源にセットした状態で得られた分光放射照度曲線は、Fig. 7 のようになった。色特性による波形変化に加え、いずれも 452 nm 付近に極大を有する曲線となった。また、吸収タイプのフィルターであるため、全波長域にわたる輝度の減少が認められた。

同時に得られた CIE1931 表色系における色度値を Table 1 に示した。これらを色度図上にプロットすると、Fig. 8 のようになり、これらを三原色とする色域はかなり小さいことがうかがえる。

Table 1 Illuminance Ev and chromaticity.

	*R*af	*G*af	*B*af
Ev / lx	365.3	782.8	472.8
x	0.480	0.263	0.210
y	0.254	0.402	0.224

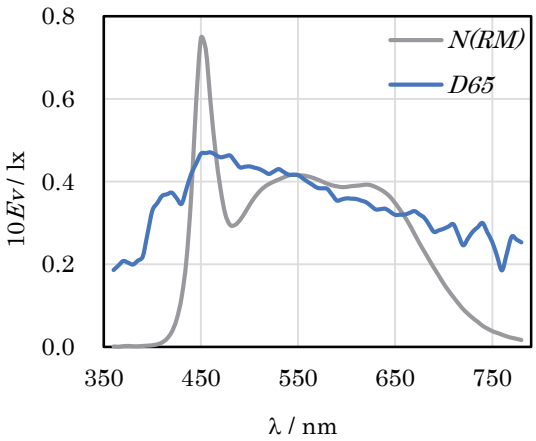

Fig. 6 Illuminance *Ev* of LED light (RM01).

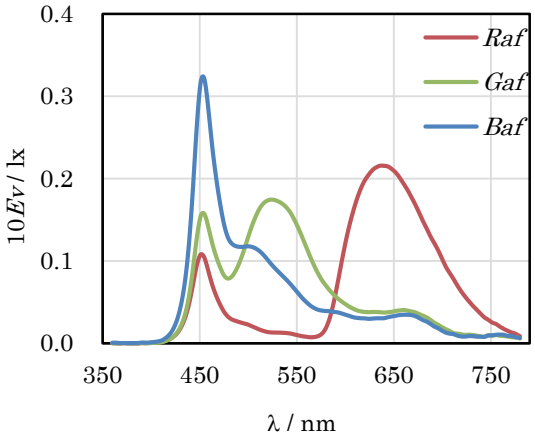

Fig. 7 Illuminance *Ev* with additive color filters.

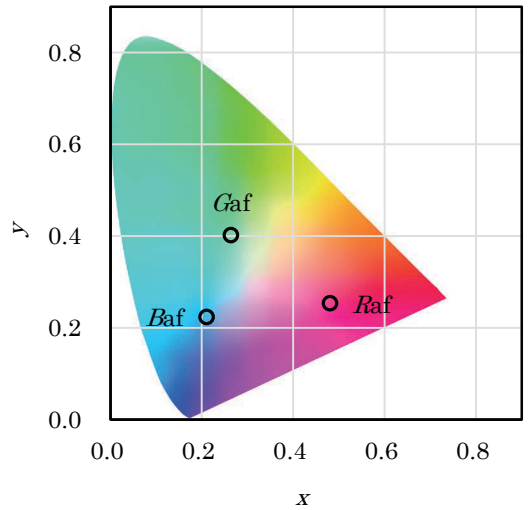

Fig. 8 Cromaticity diagram of absorbing filters.

ついで、RM01 にダイクロイックフィルター（*R*df, *G*df, *B*df）を組み合わせた状態での分光放射照度を測定した。結果を Fig. 9 に示したが、*R*df, *G*df のフィルターでは、452 nm 付近のピークが消失し、元の光源からの照度損失もほとんどなく、吸収タイプのフィルターより三原色光源として相応しいものと判断できる。

先と同様に、CIE1931 表色系における色度値を Table 2 に示し、これらを色度図上にプロットすると Fig. 10 に示すように色域が大きく広がった。

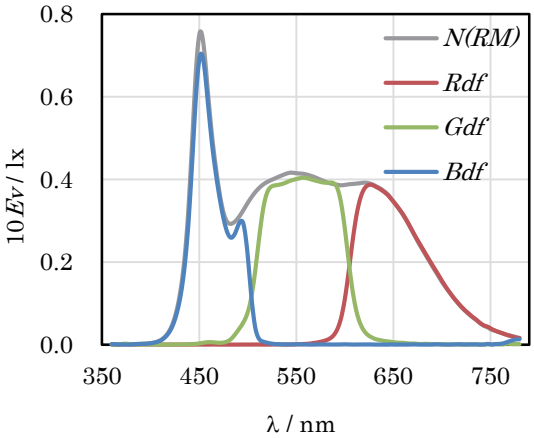

Fig. 9 Illuminance *Ev* with dichroic color filters.

Table 2 Illuminance *Ev* and chromaticity.

	*R*df	*G*df	*B*df
Ev / lx	430.0	2168.9	196.7
x	0.684	0.390	0.138
y	0.315	0.581	0.061

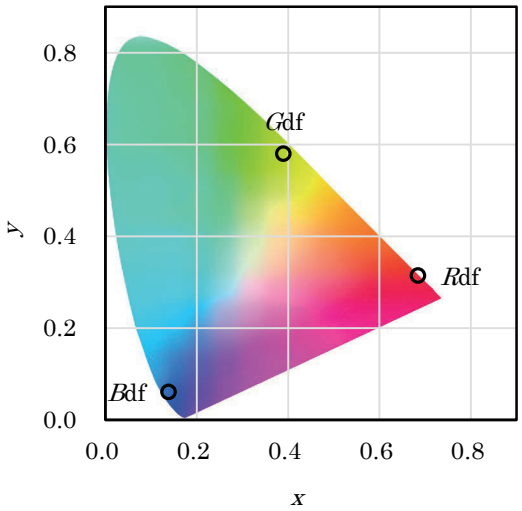

Fig. 10 Cromaticity diagram of dichroic filters.

3.2. VL49 の評価

VL49 は、カラー LED と白色 LED、電球色 LED の 3 種の LED を擁するが、まずは、白色 LED（Tc = 9000 K）と電球色 LED（Tc = 2500 K）について分光輝度を測定した。いずれも 452 nm と 637 nm に極大を有する曲線となった。また、同機の CCT モードでは、これらの輝度を調整することで、10 K 単位で色温度の調整を可能としている。ここでは、5750 K、6500 K での測定を行った。これらの結果を示した Fig. 11 において各色温度で得られた分光照度曲線は 580 nm 付近に等照度点を有することから、色温度による全体の照度の変化を抑える制御がなされていることがうかがえる。ただし、これら LED を混色実習で活用する場合には、RM01 と同様、各種カラーフィルターとの併用が必要となる。また、同機の RGB モードでは、これら LED は消灯状態となる。

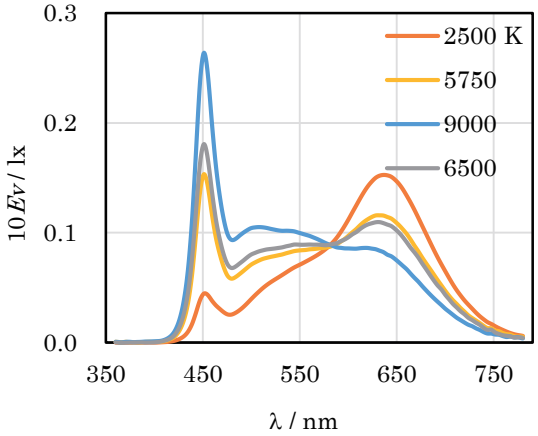

Fig. 11 Illuminance *Ev* of LED light (VL49).

次いで VL49 のカラー LED についての評価を行った。LED の発色は、3 原色（*RGB*）のチップが内蔵されており、これらの輝度を調整することで色相の調整が行われているものと推察される。表示部には色相 H が 0°～359° で示され、0° が赤 *R*、120° が緑 *G*、240° が青 *B* に相当する。ここでは、RGB それぞれの分光輝度（$R_{(VL)}$, $G_{(VL)}$, $B_{(VL)}$）を測定した。結果は、Fig. 12 の通りで、いずれも Table 3 に示す通り、ガウス関数（1）での近似が可能な曲線となった。また、標準偏差（*S.D.*）が小さく、純度（彩度）が高い色光であることがわかる。なお、以下も含め、ガウス関数ならびにその重ね合わせでの近似には、Google Colaboratory 実行環境下で、Python / SciPy. Otptimize の curve_fit 関数を使用した [9]。

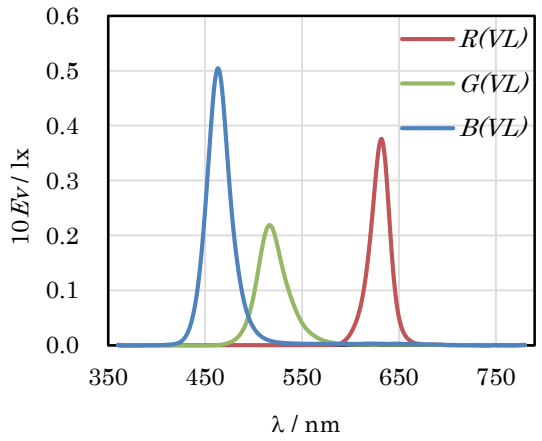

Fig. 12 Illuminance *Ev* of *RGB* light (VL49).

$$f(\lambda) = \exp\left\{-\frac{(\lambda - \lambda_{\max})^2}{2\sigma^2}\right\} + c \qquad (1)$$

Table 3 Coefficients of Gaussian function.

	$\lambda_{\max}$	$10f(\lambda_{\max})$	$S.D.(\sigma)$	$10B.L.(c)$	R^2
$R_{(VL)}$	631.3	0.3532	14.24	0.00122	0.9922
$G_{(VL)}$	518.5	0.2057	21.38	0.00181	0.9889
$B_{(VL)}$	463.8	0.4795	17.43	0.00348	0.9948

また、これらの中間色である黄 *Y*、青緑 *C*、赤紫 *M*（$H = 60°$，$180°$，$300°$）についても分光輝度（$Y_{(VL)}$，$C_{(VL)}$，$M_{(VL)}$）を測定した。結果は、Fig. 12 の通りで、いずれも Table 4 に示す通り、ガウス関数の重ね合わせによる近似が可能であった。なお、λ_{max} における輝度値（$f(\lambda_{max})$）は、Table 3 の値の約 1/2 になるよう制御されていることが分かる。

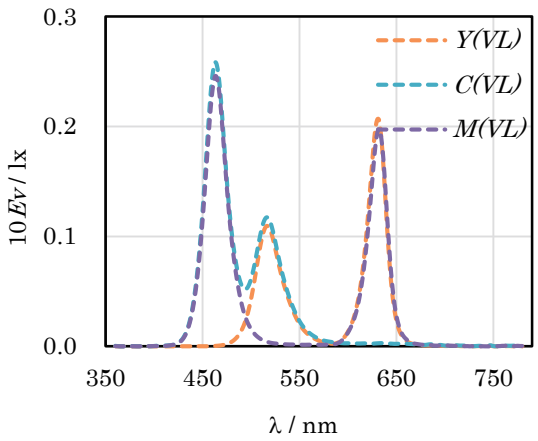

Fig. 13 Illuminance *Ev* of *YCM* light (VL49).

Table 4 Coefficients of Gaussian function.

	$\lambda_{\max}$	$10f(\lambda_{\max})$	$S.D.(\sigma)$	$10B.L.(c)$	R^2
$Y_{(VL)}$	630.3	0.1955	13.96	0.00161	0.9902
	518.7	0.1032	20.84		
$C_{(VL)}$	516.9	0.1067	24.22	0.00191	0.9969
	463.5	0.2483	16.39		
$M_{(VL)}$	464.1	0.2334	17.11	0.00236	0.9932
	630.9	0.1877	14.09		

ここまで得られた色度値を Table 5 に示し、さらにこれらを色度図上にプロットすると、Fig. 14 に示すように RM01 で得られたものに比し、色域がかなり大きく広がったものとなった。

Table 5 Illuminance *Ev* and chromaticity.

	$R_{(VL)}$	$Y_{(VL)}$	$G_{(VL)}$	$C_{(VL)}$	$B_{(VL)}$	$M_{(VL)}$
Ev / lx	183.0	290.7	383.9	257.2	118.0	151.6
x	0.696	0.455	0.152	0.145	0.143	0.287
y	0.304	0.487	0.714	0.213	0.064	0.127

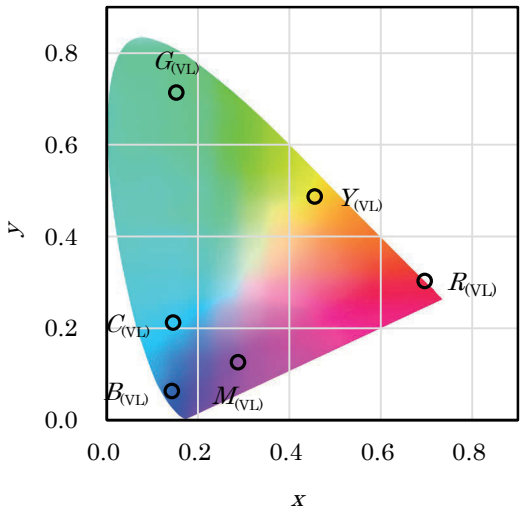

Fig. 14 Cromaticity diagram of LED light (VL49).

4. 総合評価と注意点

4.1. 色域について

今回用いた LED ライトの評価結果を色域についてまとめると Fig. 15 のようになる。なお本図には、ICC（International Color Consortium）の Version 2 および Version 4 に取り上げられているカラープロファイルの色域も示した[10,11]。

RM01 の白色 LED に吸収タイプのフィルターを組み合わせた場合（RMaf）では色域は極めて小さくなるが、

同じ光源でもダイクロイックタイプのフィルターを組み合わせた場合（RMdf）には大きく改善され、色域の面積では一般的なディスプレイに見られる sRGB とほぼ同程度の色域を確保することができる。さらに VL49 に採用されているカラー（RGB）LED の場合（VL）では、近年ようやく普及を見る有機 EL（Organic Light Emitting Diode, OLED）ディスプレイ向けの色空間とされる Display P3 や Adobe RGB に匹敵する色域面積が確保される。

4.2. 継時変化について

今回の測定操作中に照度の変化が認められる場合があったため、それぞれの LED ライトの照度について、継時変化を確認し、得られた全照度 *Ev* を 0～60 min の時間に対して Fig. 16 に示した。

RM01 では、初期には 2400 lx を超える高照度が得られるが、連続点灯 15 min を超えると急激に照度が低下し、25 min 時点では一旦消灯状態になった。消灯時には手動で点灯させ、測定を継続したが 2 min 程度の点灯持続時間であった。VL49 については、全照度が小さいものの 60 min（測定上は同機マニュアルの使用時間 120 min）まで 1901 ± 1 lx（変動率 0.5 %）と極めて安定した照度が得られた。

照度変化の原因としては温度上昇に伴う安全装置の作動やバッテリーの消耗による電圧減衰が考えられるが、VL49 のような機種では照度の安定化を図る回路が組み込まれているようである。一方、照度の継時変化がある場合、それを抑えるためには、内臓バッテリーの利用は避け USB ポートを介した外部電源からの安定した給電状態で運用する必要があると考えられる。

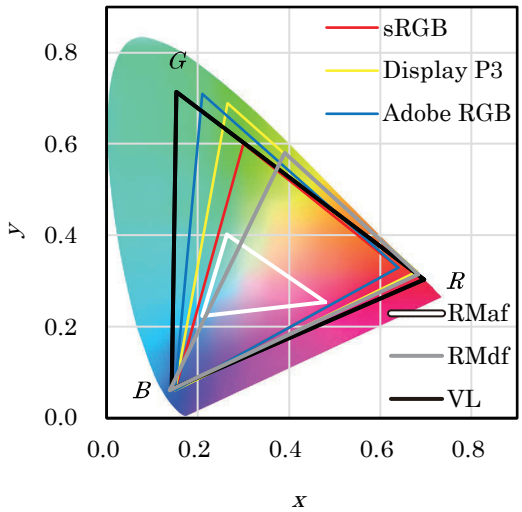

Fig. 15 Color gamut of LED lights and standards.

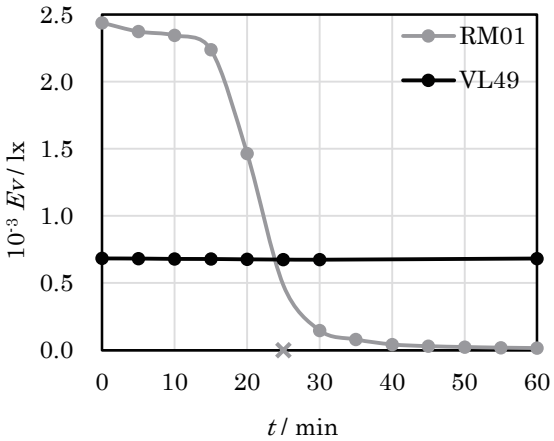

Fig. 16 Illuminance *Ev* variation with time *t*.

5. 実習プログラムの策定に向けて

5.1. 加法混色の実習例

今後一連の研究を通じて、LED ライトを活用した加法混色の理解を促進するアクティブ・ラーニング（実習）のプログラムを考案し、色彩学等の授業での活用の指針を示す予定であるが、ここではその一端を示し、その可能性を探る。

著者らが担当する色彩学の授業では、Fig. 17 および Fig. 18 に示すようなイラストや写真を用いて加法混色に関する解説を行っている。極めて基本的な教授内容としては、①加法混色の三原色、②そのうち 2 色の混色、③三原色全ての混色の理解を挙げることができる。

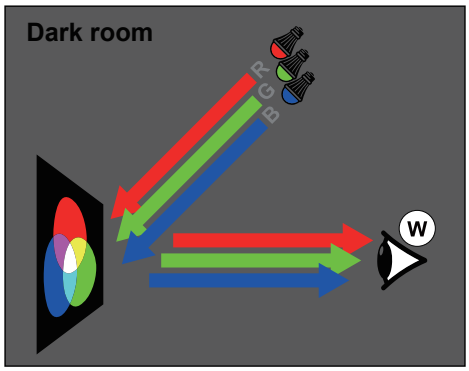

Fig. 17 Illustration of additive color mixture.

今回評価を行った VL49 の RGB ライトを複数用いて②三原色のうち 2 色の混色、③三原色全ての混色を実施し、分光照度を測定した。

それぞれの結果を Fig. 19 および Fig. 20 に示した。いずれも Table 3 に示した三原色のガウス関数の重ね合わせとほぼ一致する数値が得られ、良好な光源の混色が得られたものと判断できる。この際、2 基あるいは 3

基のライトそれぞれの中心間距離は約 75 mm となったが、マニュアル値で光照角度 120° とされている照度角は十分に広く、今回の測定距離 30 cm において、この光源間距離は大きな影響を与えず、また分光照度計への入射角の変動（6.183°）も十分に小さいため、ほぼ予想通りの混色が可能であった。

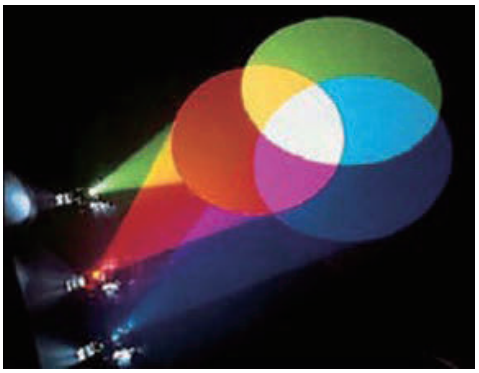

Fig. 18 Photograph of additive color mixture.[12)]

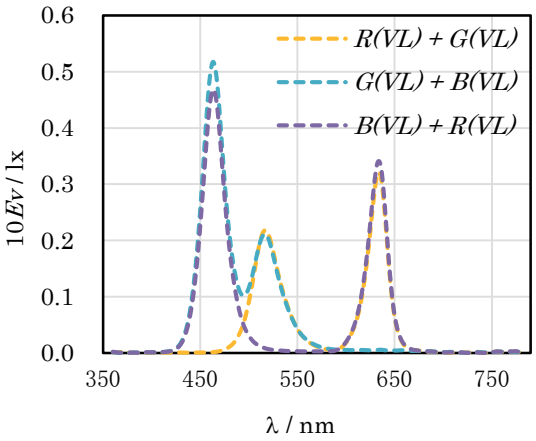

Fig. 19 Illuminance *Ev* obtained by additive mixture of RGB LED light.

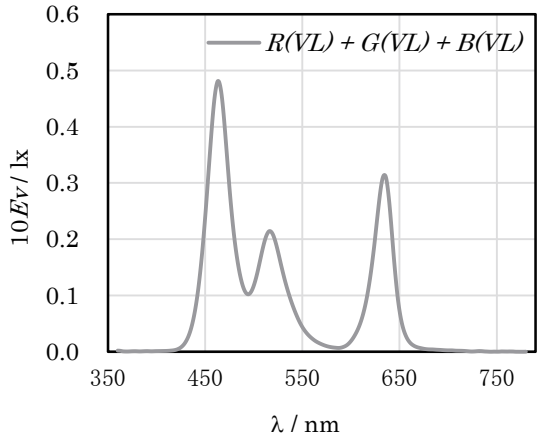

Fig. 20 Illuminance *Ev* obtained by additive mixture of RGB LED light.

Table 6 Coefficients of Gaussian function.

	λ_{max}	$10f(\lambda_{max})$	$S.D.$ (σ)	$10B.L.$ (c)	R^2
$R_{(VL)}$ +	632.6	0.3048	14.47	0.00361	0.9899
$G_{(VL)}$	518.7	0.2038	21.41		
$G_{(VL)}$ +	516.7	0.1923	24.75	0.00402	0.9974
$B_{(VL)}$	463.4	0.4969	16.69		
$B_{(VL)}$ +	464.0	0.4447	17.33	0.00502	0.9935
$R_{(VL)}$	632.5	0.3234	14.42		
$R_{(VL)}$ +	633.2	0.2970	14.74		
$G_{(VL)}$ +	517.0	0.1954	24.53	0.00478	0.9954
$B_{(VL)}$	463.5	0.4618	16.84		

5.2. 総括と今後の課題

今回は、照明装置すなわち光源のみの評価を行ったが、Fig. 17 に示すように、物体色（表面色）の観察には、物体そのものの表面反射特性も重要な要素となる。今後はその選定に加え、実際の実習環境では不可避な環境光の存在などにも配慮しながら加法混色に関するアクティブ・ラーニング（実習）のプログラムを考案していく必要がある。また今回はカラーLED の優位性が際立つ結果となったが、場合によっては、白色光源と各種フィルターの組み合わせでも十分な教育効果が得られる場合も想定される。

なお、RM01 では 4 段階、VL49 では 1 %～100 % の 100 段階で照度（輝度）調節が可能であり、これらの機能を活用すれば、中間色相、中間明度、中間彩度の色彩再現も可能である。また、条件等色（メタメリズム，metamerism）の理解など照明条件による物体色の変化へも学習内容を発展させることが期待できる。

謝辞

本研究の結果の一部は、大阪樟蔭女子大学学芸学部化粧ファッション学科、芝結美乃氏の協力を得て取得したものである。ここに記して、感謝の意を表す。

参考文献

1）森優子，小林政司，「色彩学とデザインの体験的学習に関する研究 —教材開発：混色理論の CAE について—」，大阪樟蔭女子大学研究紀要，7，199-206（2017）

2）森優子，小林政司，「色彩学とデザインの体験的学習に関する研究 第 2 報 —教材開発：混色演習による色彩感覚向上について—」，大阪樟蔭女子大学研究紀要，8，199-207（2018）

3）森優子，小林政司，「色彩学とデザインの体験的学習に関する研究 第3報 ―教材開発：食用色素を用いた混色演習について―」，大阪樟蔭女子大学研究紀要，9，277-284（2019）
4）森優子，小林政司，「色彩学とデザインの体験的学習に関する研究 第4報 ―三原色染料絵具の開発と混色演習について―」，大阪樟蔭女子大学研究紀要，10，207-216（2020）
5）森優子，小林政司，畠野由佳理，「色彩学とデザインの体験的学習に関する研究 第5報 ―三原色顔料絵具の開発について―」，大阪樟蔭女子大学研究紀要，11，139-146（2021）
6）閣議決定，「地球温暖化対策計画」，2016/5/13
7）坂本孝史，「白色 LED 開発の現状と実用例について」，電気設備学会誌，29（11），894-897（2019）
8）Edmund optics，'Optical Filters'，https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/optical-filters/
9）The SciPy community，'Optimization（scipy.optimize）'，https://docs.scipy.org/doc/scipy/tutorial/optimize.html
10）International Color Consortium，'ICC Specifications'，https://color.org/icc_specs2.xalter
11）EIZO，「ICC プロファイルのカラーマネージメント」，https://www.eizo.co.jp/eizolibrary/color_management/webcm02/
12）BrainKart，'The Neural Basis of Color Vision'，https://www.brainkart.com/article/The-Neural-Basis-of-Color-Vision_29260/

Study on Active Learning of Color and Design Sciences （Part 6）: Development of Primary Color Mixing Exercises Using LED lights

Faculty of Liberal Arts, Department of Beauty and Fashion studies
Masashi KOBAYASHI

Faculty of Liberal Arts, Department of Beauty and Fashion studies
Yumi IZUTA

Faculty of Liberal Arts, Department of Beauty and Fashion studies
Yuko MORI

Abstract

In the study of color science, the principle of color mixing is an extremely important matter that is applied to familiar phenomenon, but the principle is extremely difficult for learners to understand, such as the three primary colors being completely different between subtractive and additive color mixing.

The authors have been conducting a series of research on experiential learning of color science and design. Though, for additive color mixing, there is only research that deals with experiential learning（CAE）of color mixing by simulation using a personal computer. On the other hand, the spread of LED (Light Emitting Diode) lighting is remarkable. In the field of lighting for photography and videography, the shift to LEDs has progressed, partly due to the growing demand for videography.

In this research, we devised an active learning（training）program that promotes understanding of additive color mixture using LED lighting devices, and evaluated these in order to provide guidelines for use in color science classes. The authors did it in detail and finally clarified the possibility of its realization and their future policy.

Keywords: color education, additive color mixing, LED light, spectral irradiance