

視覚研究のための多原色光源表示装置の開発

松元明子

鹿児島大学大学院理工学研究技術部

1. 背景

自然界における太陽光は、短波長から長波長まで連続的なスペクトルを持っている(図1参照)。この連続性のために、優れた色の再現性を持つ。これは自然光の大きな特色であるといえる。一方、人工光は使用されているLEDに応じて離散的に波長のピークを持つ。例えば赤緑青のLEDから生成された白色LEDでは赤緑青の3つの波長にピークを持ち、青色LEDに黄色を加えて生成した白色LEDでは青と黄に波長のピークを持つ(図2参照)。人工光の光源として使用するLEDの色数を増やすとスペクトルはより連続的になり、自然光のスペクトルに近づく。視覚研究で使用する実験装置には人工光が用いられているが、自然光のような連続的なスペクトルを実現することができれば、自然光を模した疑似自然光を用いた視覚研究を行うことができる。自然光と人工光のスペクトルの形の違いが重要であると考え、人工光の離散的なスペクトルを自然光のように連続的なものにすればよいと考えられる。しかしながら、スペクトルを全く一致させることはエネルギー効率の観点からも困難であり、どの程度まで連続的であればよいのか判断することは難しい。どのようなスペクトルを持つ光であっても、網膜の光受容器への刺激量が同じであれば人間に与える影響は同じであると考え、光受容器への刺激量が自然光と同じであるような疑似自然光を発生させる多原色光源表示装置を開発した。

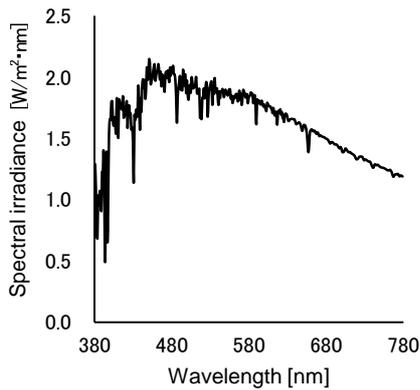


図1 太陽光のスペクトルイメージ
連続的なスペクトルを持つ。(The National Renewable Energy Laboratory http://redc.nrel.gov/solar/spectra/am0/E490_00a_AM0.xls より作成)

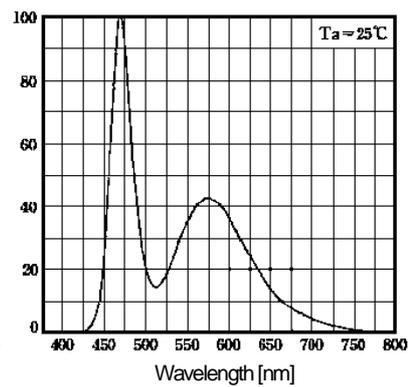
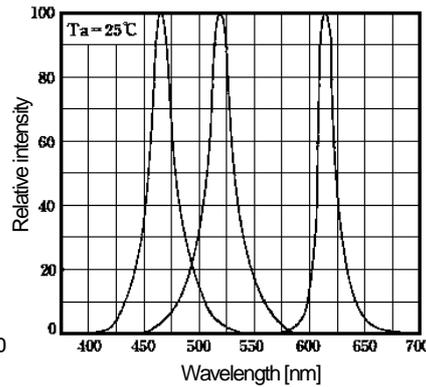


図2 白色LEDのスペクトルイメージ(左:赤・緑・青色LEDで生成されたもの、右:青色LED+黄色蛍光体で生成されたもの)
同じ白色でも、使用されているLEDの種類によりスペクトルが異なる。(特定非営利活動法人LED照明推進協議会「LED照明ハンドブック」<http://www.led.or.jp/publication/handbook.htm> より)

2. 多原色光源表示装置の仕組み

ヒトの網膜の光受容器は、3種類の錐体細胞、桿体細胞、メラノプシン神経節細胞の5種類から成る。錐体細胞はそれぞれ特定の範囲の波長に感度のピークを持ち、この刺激量によって人は色を認識している。桿体細胞は暗所で働く。メラノプシン神経節細胞は生体リズムの調節や瞳孔反応等に寄与していると言われる。また、明るさ知覚にも影響を及ぼすことが報告されている。多原色光源表示装置は十分に明るいため桿体細胞については

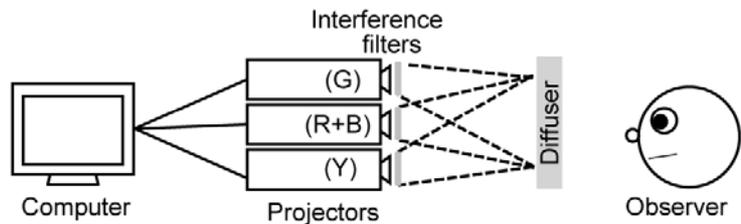


図3 多原色光源表示装置の概要図

3台のプロジェクターと干渉フィルターを組み合わせることにより、赤、緑、青、黄の4チャンネルとし、この出力を重ね合わせて投影して4原色を実現した。

考慮せず、3種類の錐体細胞とメラノプシン神経節細胞に着目する。これらの光受容器の分光感度を考慮すれば、4色の光源を用いてそれぞれの光受容器の刺激量を独立に制御することができる。

多原色光源表示装置の概要を図3に示す。3台の高輝度プロジェクターの光を、干渉フィルターを用いて特定の波長のみ透過することにより、4色の光源を実現した。フィルターは、赤と青のみを透過するもの、緑のみを透過するもの、黄のみを透過するものの3種類を用い、この4色の光を重ね合わせて1つの面に投影する。コンピュータでそれぞれのプロジェクターの輝度を制御することにより、光受容器の刺激量を制御したさまざまなスペクトルの光を作り出すことができる。

3. ガンマ補正

パソコンのディスプレイ等は赤緑青の3色の組み合わせで色を表現している。表示装置への入力信号の割合をデジット(0から1の値)で表す。最大出力の半分の輝度を表示したい場合、入力デジットを0.5とすればよさそうである。しかし表示装置への入力デジットを0.5としても、出力輝度は半分とはならない。これはディスプレイ等表示装置の特徴によるものである。多原色光源表示装置におけるプロジェクターの入力についても同様である。意図した刺激を出力するにはプロジェクターの入力デジットと出力輝度の割合は $y = x$ で表される関係となることが望ましい。そこで、分光放射輝度計(CS-1000A, Konica Minolta)を用い、プロジェクターの入力デジットに対する出力輝度の割合を測定し、これが線形となるよう補正を行った。赤について、補正前後の測定結果を図4に示す。全4色とも、 $y = x$ で表される直線と高い相関を示す結果となった。補正後のスペクトルを確認すると、予測値との二乗誤差が3.18%、輝度誤差が1.87%となり、予測値とほぼ一致した(図5参照)。

4. おわりに

3種類の錐体細胞とメラノプシン神経節細胞の分光感度を考慮して、多原色光源表示装置を開発した。この装置を用いれば、光受容器への刺激量が自然光と同じであるような疑似自然光を発生させることができる。疑似自然光と人工光との違いが解明されれば、眼精疲労を引き起こしにくい人に優しい人工照明や表示装置など、自然光のメリットを生かした装置の開発につながると期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたり、終始適切なご助言を賜り、また丁寧に指導いただいた辻村誠一准教授に深く感謝します。なお、本研究はJSPS 科研費 奨励研究(15H00384)(松元)および基盤B(26280103)、挑戦的萌芽(26540146)(辻村)の部分的な助成を受けたものです。

参考文献

- O. Packer et al., Characterization and use of a digital light projector for vision research, *Vision Research* 41 (2001) 427-439.
- S. Tsujimura et al., Contribution of human melanopsin retinal ganglion cells to steady-state pupil responses, *Proc. R. Soc. B* (2010) doi:10.1098/rspb. 2010.0330.
- T. M. Brown, S. Tsujimura et al., Melanopsin-Based Brightness Discrimination in Mice and Humans, *Current Biology* 22 (2012) 1134-1141.

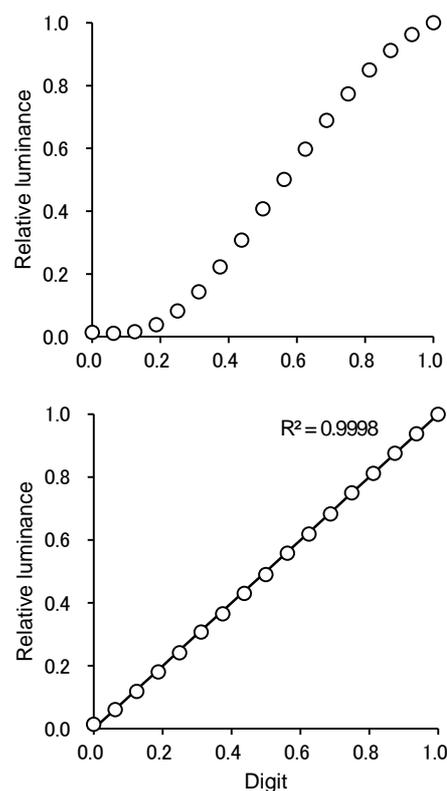


図4 プロジェクターの入力デジットに対する出力輝度の割合の例(赤)(上:補正前、下:補正後)

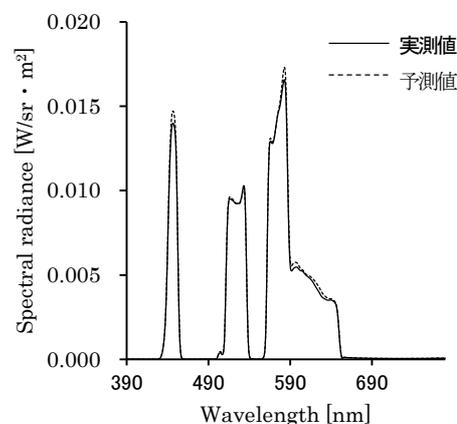


図5 補正後の背景のスペクトル