

マルチスペクトルプロジェクタを用いた色覚検査手法の提案

Color Vision Test using Multi-spectral Projector

平井経太 Keita Hirai 千葉大学大学院
 武樋真也 Shinya Takehi 千葉大学大学院
 堀内隆彦 Takahiko Horiuchi 千葉大学大学院

Chiba University
 Chiba University
 Chiba University

Keywords: 色覚検査, 色覚障がい, 色弱模擬フィルタ, アノマロスコープ, マルチスペクトルプロジェクタ.

1. はじめに

ヒトは、視細胞に存在する LMS 錐体により色を知覚する。この錐体の欠損等により、特定の色の判別が困難になることを「色覚障がい」という。

色覚障がいかな否かを調べる方法として、色覚検査が挙げられる。色覚検査の代表的な手法としてとして、石原式検査表とアノマロスコープがあげられる。石原式検査表は、簡易な検査手法であるが、正常色覚者にも関わらず障がいの疑いがあると診断される可能性がある。アノマロスコープを用いた検査は正確であるとされているが、検査を受けられる機関が限られていることに加えて、検査に時間を要することが知られている。

本稿は、マルチスペクトルプロジェクタを用いることによって、アノマロスコープのような正確な診断を可能にするとともに、検査の手間が軽減される色覚検査手法を検討する。

2. 従来手法：アノマロスコープによる色覚検査

従来 of 代表的な検査手法として、石原式検査表、パネル D-15 テスト、アノマロスコープなどが挙げられる。特に、アノマロスコープは、現存しているいくつかの色覚検査の方法の中で唯一正確な診断を下すことができる検査機器とされている[1][2]。アノマロスコープの検査原理は、等色法検査である。赤色と緑色を混色させると黄色の刺激として知覚するが、この二つの光を混色させたものと黄色の単色光を等色させた際の混色の程度によって診断を下す検査方法である。診断対象は、1型2色覚、2型2色覚、1型3色覚、2型3色覚である。

本研究では、アノマロスコープに基づいた検査手法を提案する。ここでは、アノマロスコープの

検査原理について述べる。アノマロスコープで使用されている光は、波長が 546nm の緑色光、589nm の黄色光、671nm の赤色光の3種類である。このうち、緑色光と赤色光を混色することで黄色の刺激が生成され、混色刺激と黄色光の単色刺激を一致させることを目的としている。実際に検査を行う際は、図1に示すような円をおよそ 2° 視野で見せている。円の上半分が緑色光と赤色光を混ぜ合わせた混色領域であり、円の下半分が黄色の光のみの単色領域である。この2つの領域のうち、上半分に割り当てられている二種類の光源の混色割合を決めるメモリを「混色メモリ」と呼び、下半分の黄色の明るさを変化させるメモリを「単色メモリ」という。

混色メモリは 0~73 の範囲で表現される。このメモリ=0 は緑色光のみ、メモリ=73 は赤色光のみが出力されていることを示す。単色メモリは、黄色光の明るさを定めるものであり、メモリは 0~87 の範囲で表される。単色メモリが 0 の時に円の下半分は真っ暗となり、メモリが 87 の時に明るさが最大になる。検査の際は、検者が混色メモリを少しずつ変更させ、その度、被験者が単色メモリを動かすことで、等色と判断した単色メモリを決定する。その際、等色する点がなければそのまま混色メモリを変化させて、同様の過程を行う。このような手順を踏まえて、等色する点を探していき、図2のような検査用紙のグラフに、等色した際のメモリをプロットしていく。

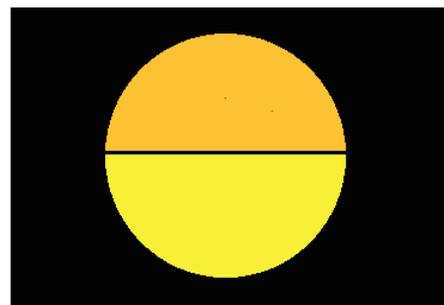


図1 アノマロスコープの検査刺激

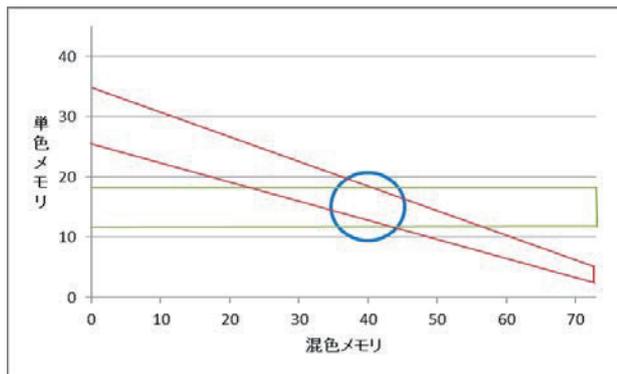


図2 アノマロスコープの検査グラフ

正常色覚者がこの検査を行うと、混色メモリが40付近の時に単色光の黄色に似た色相となり、単色メモリ15付近でその時の混色領域の明るさと似た明るさに知覚される。よって、図2の青円の領域に等色点が集まる場合は正常色覚と診断される。一方、赤いラインに沿って点がプロットされる場合は1型2色覚、緑のラインに添って点がプロットされる場合は2型3色覚と診断される。

3. 色覚検査システム

3. 1. 色覚検査の概要

従来のアノマロスコープによる検査手法では、1つの円刺激のみの提示であった。一方、提案する検査手法では、複数の円刺激を同時に投影する(図3)。これにより、複数刺激を同時に評価することが可能になり、検査を効率よく行うことが可能となる。混色メモリや単色メモリの変化は、円を構成する画像の画素値を変更することで可能となる。G光源とR光源に対応する画素値(輝度値)を増減することで、混色メモリの制御を可能にする。同様に、Y光源に対する画素値(輝度値)の増減により、単色メモリを制御する。

3. 2. 投影システム

本稿では、本研究室で開発したマルチスペク

トルプロジェクタ[3]を用いることで、アノマロスコープ検査の効率化を目指す。本プロジェクタは、プログラマブル分光光源(Optomatic Laboratories OL490)とDLP式プロジェクタ(DLP Lightcrafter)により構成されている。

OL490はピーク波長、波長幅、強度等を設定可能であり、またそれらを組み合わせた光源を設定できるプログラマブル光源である。波長分解能は380nm~780nmであり、出力光の強度は0%~100%の範囲で設定可能である。また、複数のスペクトル光を合成した波形を作成することや、複数の波形データを設定し、それらを最速80μ秒毎に切り替えることも可能である。DLP LightcrafterはDMD搭載型のプロジェクタである。DMDのサイズは608×684ピクセルであり、このミラーのON-OFFによってスクリーンへ投影するか否かを制御している。またこのON-OFFの切り替え頻度により出力する光の強度を調整することも可能である。

この2つの機器を利用することによって、マルチスペクトルプロジェクタは構築されている。DLP Lightcrafterは、本来、RGBのLED光源が搭載されているが、それらを除き、代わりにOL490を光源とした。DLP LightcrafterのDMDにてグレースケール画像を構成し、そこにOL490の光源を照射することによって、特定光源の単色画像を生成することが可能になる。また、DLP LightcrafterとOL490を同期させ、グレースケールと光源を対応させて高速に切り替えることによって、投影画像を多原色の画像として知覚することが可能となる。なお、プロジェクタ投影によるグレースケール画像は8bit深度、608×684ピクセルの画像を秒間に120枚切り替えることが可能である。また、投影バンド数は1,2,3,4,6を可能としているが、本研究では3バンド投影(R光, Y光, G光)を使用している。

上記のマルチスペクトルプロジェクタは、投影画像の各画素を分光的に制御することが可能で

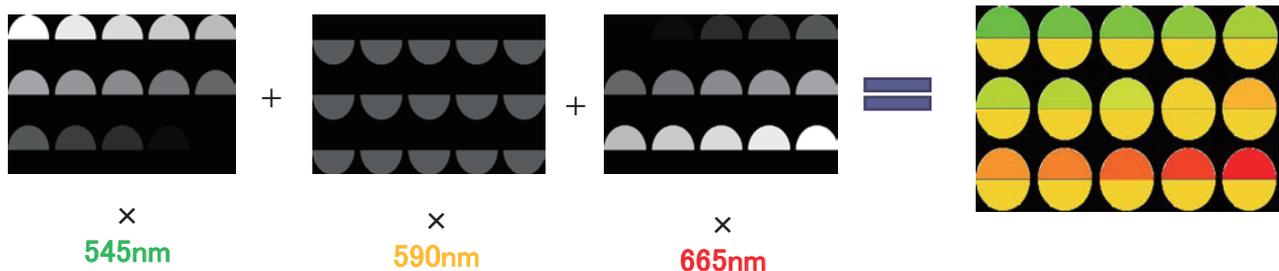


図3 提案色覚検査手法における刺激投影

ある。投影光は入力画像の画素値と光源の分光分布により決定する。入力光源は、アノマロスコープに基づいて、545nmのG光、590nmのY光、665nmのR光を設定しており、いずれも波長幅は5nmとした。プロジェクタへの入力画像は、図1と同様に、円上部と下部の画像である。G光とR光では円の上部のみ、Y光では円の下部のみを高速投影することによって、上部はGとRの混色、下部はYの単色として知覚される。図3に示さる通り、画素値をそれぞれ変更した円を複数同時に投影することにより、被験者は複数刺激を同時に評価することができる。

4. 視覚実験

4. 1. 実験方法

提案手法の有効性を評価するため、視覚実験を行った。投影環境は暗室で、スクリーンは白紙を使用した。プロジェクタからスクリーンの距離は15cm、投影画像のサイズは縦5.5cm、横9.5cmである(図4)。観察条件は、暗室、円一つの視野角がおおよそ2°となるように設定した。被験者は、21~22歳の男女6名で、全員正常色覚者である。検査する刺激は、混色メモリが0, 3, 6, ..., 42と31, 34, 37, ..., 73, 単色メモリが4, 8, 12, 14, 16, 20, 24, 28とした計240刺激である(図5, 図6)。被験者は、等色していると知覚した円を、全て回答した。なお、本実験は、検査の有意性を図るために行っており、検査時間の短縮とは直接的には結びついていないものである。

また、色弱模擬フィルタを用いた場合の実験も行った。色弱模擬フィルタは、(株)伊藤光学工業社のバリエーションパルンケーキP型(1型色覚)・D型(2型色覚)を用いた。

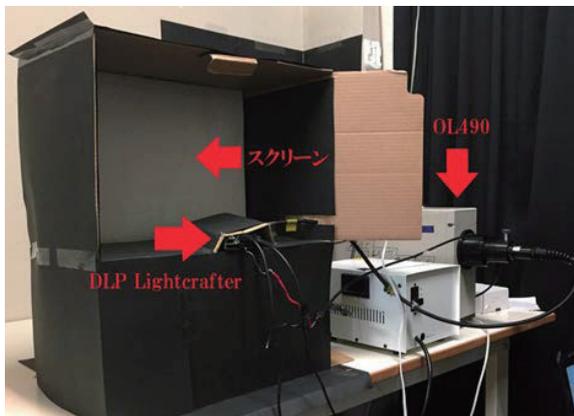


図4 投影実験の環境

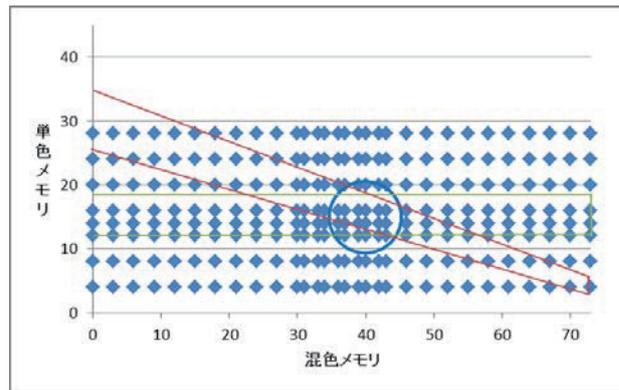
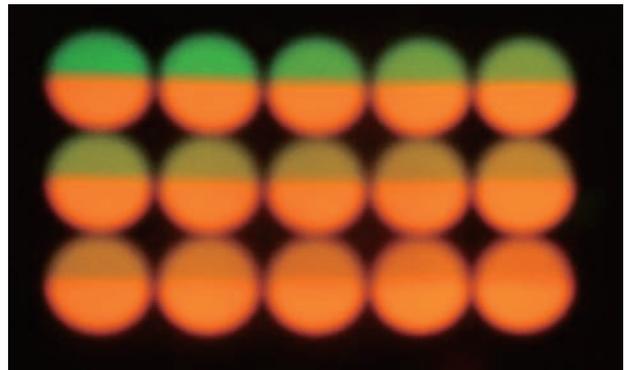
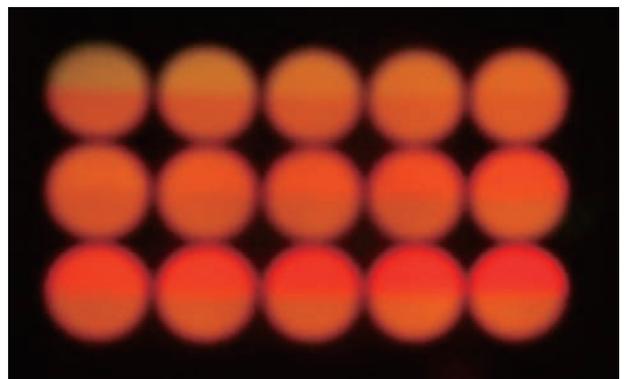


図5 投影刺激(計240刺激)の分布図



(a) 混色メモリ0~42, 単色メモリ30の投影



(b) 混色メモリ31~73, 単色メモリ16の投影

図6 実際の投影刺激画像の例。正常色覚者は(b)の上段右側から中段左側(混色メモリが40付近で、単色メモリが16)あたりで等色したと判断する。

4. 2. 実験結果と考察

実験の結果、被験者6名全員が混色メモリ40付近、単色メモリ15付近の円が同一色に見えると判断した。参考として、正常色覚者1名に対する実験の結果を図7に示す。これは、従来のアノマロスコープにおける正常色覚者の等色領域と一致しており、提案手法は正常色覚者の診断に利用できる可能性が示唆された。

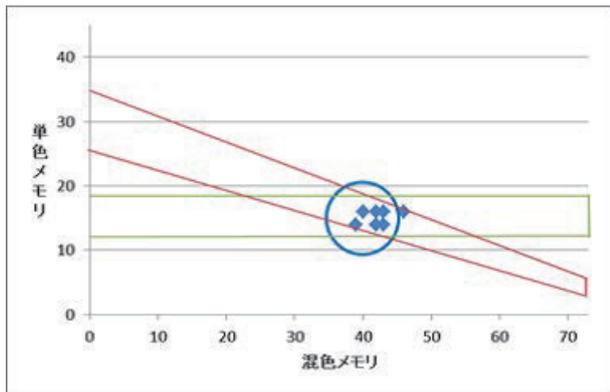


図7 被験者Aの実験結果

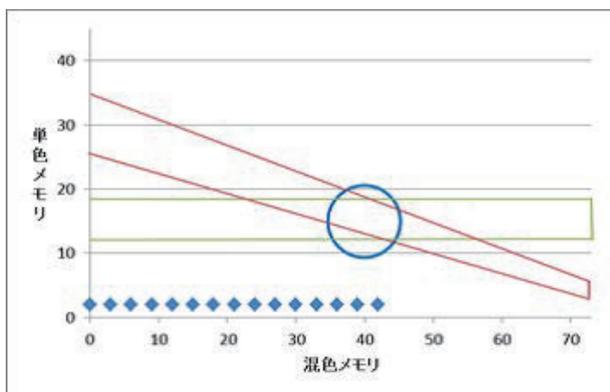


図8 被験者A(2型色弱模擬フィルタ着用時)の実験結果

また、色弱模擬フィルタを用いて同様の検査を行った結果を図8に示す。2型色覚模擬フィルタを用いた場合、本来ならば、図8の緑ライン内で等色したとの結果が望まれるが、全体的に単色メモリの値が低い刺激で等色したと回答された。また、1型色覚模擬フィルタを用いた結果は、ほぼ全ての被験者が等色する刺激がないと回答した。

この結果を考察するため、P型(1型)フィルタとD型(2型)フィルタの分光透過率を計測した。その結果、P型フィルタはR光が全てカットされるため、混色刺激の色度点はG光源のものと常に一致する。単色領域では正常時のY光源と同様の色度点となるため、色度が一致する刺激が存在しないために、回答がなかったと考えられる。

D型フィルタの場合、R光は全てカットされ、G光の輝度値は大きく低下した。そのため、ほとんど色としては知覚できず、単純にY単色との明るさ比較になったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、マルチスペクトルプロジェクタを用いた色覚検査手法を検討した。実験結果より、構築したシステムによって、正常色覚者の診断が可能であることが示唆された。また、色弱模擬フィルタを用いた結果、期待された結果は得られなかった。しかしながら、色弱模擬フィルタの分光透過特性を考慮した場合、色覚障がい診断にも利用できる可能性を得た。

今後の課題としては、効率的な検査方法の考案が挙げられる。現段階では、検査の簡略化は示唆できたが、時間短縮のための画像提示順は考慮していない。今後は、時間短縮につながる画像提示順のアルゴリズムを考え、検査時間の短縮をはかりたい。

参考文献

- 1) I. Schmidt: Some Problems Related to Testing Color Vision with the Nagel Anomaloscope, *J. Opt. Soc. Am.*, 45, 7 (1955) 514-522.
- 2) M. Neitz et al.: Variety of genotypes in males diagnosed as dichromatic on a conventional clinical anomaloscope, *Visual Neuroscience*. 21, 3 (2004) 205-216.
- 3) K. Hirai, D. Irie and T. Horiuchi: Photometric and Geometric Measurements based on Multi-primary Image Projector, *Proc. CVCS* (2015).