

テストスコアの定量化に基づく色覚特性の判定

日大生産工(院)
日大生産工

小川剛史
目黒光彦

1 はじめに

色覚は、網膜上に存在する光の波長に応じて反応の異なる L,M,S の各錐体の、光に対する反応値の比により生じる。この L,M,S 錐体のいずれかが欠落している、あるいは波長に対する特性のずれにより、色の弁別が困難である色覚特性を生じる¹⁾。この3つの錐体のうち、どの錐体が欠落、あるいは、ずれを生じているかによって色覚特性を分類することができる。本研究では、コンピュータによる検査を通じて被験者がどの色覚特性に該当するかを判定する手法を提案する。

既に臨床検査で用いられている検査法は幾つかあり、よく利用されているのは石原式色盲表やアノマロスコープ検査である。石原式色盲表は一般色覚であるかないかを調べる検査法であり、色覚の型や度合いまでは判定できない²⁾。アノマロスコープ検査は事前検査で一般色覚ではないと判定された人、あるいは疑いのある人を検査し、色覚の型と度合いを判定する検査法である。現在、色覚の型と度合いを確定診断することができるのはアノマロスコープ検査だけである²⁾。これらの検査を含め、既存検査法の多くは専用の冊子や機器が必要であり、眼科医による検査が原則である。そこで、専用の冊子や器具などを用いず、手軽に色覚検査が行えるようコンピュータを利用した色覚検査の実現も有用と考える。コンピュータを利用した検査法も既に提案されている。Seohan らの 100 hue test は、コンピュータ上に仮性同色表を表示し、検査することで色覚特性を判定するものである。しかしながら、照明やディスプレイなどの環境を厳しく設定した検査が前提である³⁾。

本研究では、検査環境を厳しく設定せず、誰でも

も手軽に検査ができるよう、Java アプレットで実現される色覚検査法を提案する。また、色覚特性を数値で表せることにより色覚特性の比較が容易になるため、検査結果を数値化して定量的に評価する。本研究の検査手法としては、既存の色覚検査法の一つである Farnsworth D15 test をコンピュータ上で実施し、検査結果を Vingrys らの定量的評価法により評価することで色覚の型と度合いを判定する。

2 色覚の種類と既存の色覚検査法

2.1 色覚のバリエーション

色は網膜上の3つの錐体細胞(L,M,S 錐体)の光に対する反応値の相対比によって知覚される。図1は一番割合が多いとされる一般色覚の錐体細胞の反応値の相対比を表す。また、3つの錐体細胞の状態が一般色覚とどのように異なっているかにより色覚特性は表1のように分類される⁴⁾。P,D,T 型においては、錐体が欠落しているかどうかにより更に強度と弱度に分類することができる。

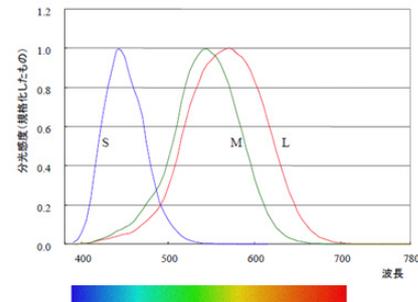


図1: LMS 錐体の一般的な感度特性

表1: 色覚のバリエーション

L,M,S 錐体の状態	色覚特性の名称
一般的な感度特性をもつ	C 型色覚 (または一般色覚)
L 錐体が欠落 or 感度がずれている	P 型色覚 (Protan)(強/弱)
M 錐体が欠落 or 感度がずれている	D 型色覚 (Deuter)(強/弱)
S 錐体が欠落 or 感度がずれている	T 型色覚 (Tritan)(強/弱)
L,M,S 錐体の内, 2or3 錐体が欠落	A 型色覚 (Achromat)

Judgment of characteristics of color vision by quantification of test score

Tsuyoshi OGAWA and Mitsuhiko MEGURO

2.2 Farnsworth D15 test

本研究で用いる検査手法であり、既存の色覚検査法の一つである Farnsworth D15 test について説明する。Farnsworth D15 test とは、図 2 のような 16 色のキャップを被験者に呈示し、キャップを色相順に並び替えさせる検査法である⁵⁾。それぞれの型の色覚特性は、キャップをある特定の順序に並び替える傾向があり、被験者が並び替えたキャップの順序と比較して色覚の型と度合いを判定する。具体的には以下のように検査を行う。



図 2: Farnsworth's D15 test で用いられる器具

1. 左端のキャップ (パイロット (P) キャップ) 以外を取り出してばらばらにする。
2. P キャップの隣に、ばらばらにしたキャップの中から最も近い色のキャップを置く。
3. 次にこのキャップに最も色が近いキャップを探し、隣に置く。(すべて埋まるまで繰り返す)
4. ケースを閉めて裏返し、開けるとキャップの裏の数字が見えるのでスコアシートに記入する (図 3)。
5. P,D,T 型色覚において各々の混乱する軸を表している比較用スコアシート (図 4) と見比べ、色覚特性を分類する。

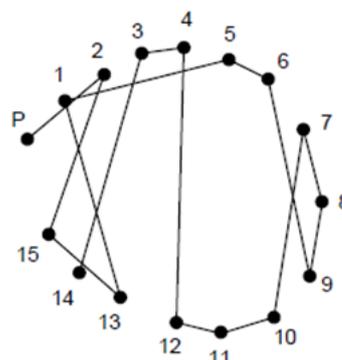


図 3: スコアシート記入例 (D 型色覚)

本研究では、コンピュータ上で Farnsworth D15 test を施行する。しかしながら、Farnsworth D15 test の評価法は、そもそも実際に得られたスコアシートと、比較用スコアシートとを、眼科医が見比べることで判定するものである。コンピュータ上では同様な評価が行えないため、別の評価法を考慮する必要がある。そこで、Vingrys と King-Smith によって提案された評価法を用いて Farnsworth D15 test で得られた結果を定量的に評価する。

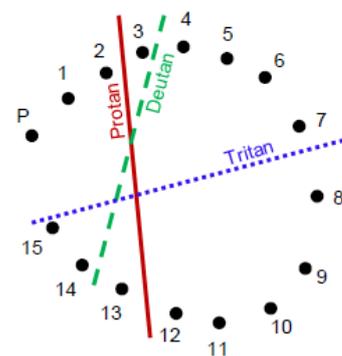


図 4: 比較用スコアシート

2.3 定量的評価法

Vingrys と King-Smith が提案した定量的評価法とは、Farnsworth D15 test のような並び替え検査の評価用に考案され、隣り合うキャップ間の色差などを元にしてキャップの並び方を 4 つの指標で表す手法である⁶⁾。4 つの指標とは、キャップ間の平均色差である合計エラースコア (TES)、異常の型を特定する confusion angle、色損失の程度を数値で表す confusion index (C-index)、キャップ配置の特異性を数値で表す selective index (S-index) である。それぞれの色覚は confusion angle においてある特定の範囲の値をとる傾向があり、結果の値から型をおおよそ判定することができる。また、度合いについても C-index の値からおおよそ判定することができる。

3 テストスコアの定量化に基づく色覚特性検査法

本稿では、被験者にコンピュータ上で Farnsworth D15 test を行い、検査結果を定量的に評価することで色覚特性の型と度合いを判定する手法を提案する。Java アプレットによる本色覚検査法の実現の様子を図 5 に示す。

本検査法では以下のように検査を行う。色覚の判定で用いる閾値の設定は、Vingrys らの論文や実際のテスト結果より行った^{6,7)}。表 2 に、本研究で設定した閾値の範囲を示す。

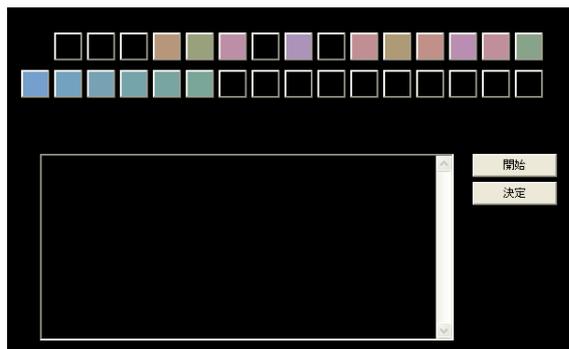


図 5: コンピュータ上での検査の様子

表 2: 閾値による色覚特性の分類

Angle	C-index		
	~ 1.79	1.8 ~ 2.99	3.00 ~
0 ~ 30	C 型	P 弱	P 強
-30 ~ 0	C 型	D 弱	D 強
-90 ~ -60	C 型	T 弱	T 強
その他	C 型	再検査	再検査

1. 被験者にコンピュータ上にて Farnsworth D15 test を行う。
2. 並び替えられたキャップ順から Angle, C-index を算出する。
3. あらかじめ定めた閾値により色覚特性の型と度合いを判定する。
4. 閾値による色覚特性の分類結果が再検査となった場合、もう一度検査を行う。

4 検証

本稿では、提案手法による色覚判定の信頼性とデバイスの機種や設定に対する結果の差異について検証する。

本検証での被験者は C 型色覚者のみであるが、特殊なモニタを利用することで C 型色覚以外の被験者による検査をシミュレーションすることができる。P 型強度色覚、および D 型強度色覚者の見え方をリアルタイムに表示可能な色覚シミュレーションソフトウェア「UniColor Pro」を搭載するナナオ製の色覚シミュレーションモニタ「ColorEdge CG241W」において、P 型強度色覚、および D 型強度色覚者の見え方を模擬したうえで本検査法による色覚判定の信頼性を検証する。「ColorEdge CG241W」は色覚バリアフリーを目指している団体、CUDO によるカラーユニバーサルデザイン認証を取得しており、色覚シミュレーション表示の信頼性が高いとされている⁸⁾。また、「ColorEdge CG241W」は

表 3: 提案手法による信頼性の検証結果

被験者	結果		
	C 型色覚	P 型強度	D 型強度
C 型色覚	32	0	0
P 型強度	0	30	0
D 型強度	0	0	30

モニタの輝度、色温度、ガンマ値を正確にキャリブレーションできる。よって、さまざまなデバイスの機種や設定を想定したうえで本検査法による結果の差異を検証する。

4.1 本検査法による結果の信頼性を検証

色覚シミュレーションモニタ「ColorEdge CG241W」により色覚シミュレーションを行い、C 型色覚、P 型強度色覚、D 型強度色覚の見え方によるそれぞれの検査結果を表 3 に示す。検証時のモニタは、標準設定であるとされる輝度 120cd/m²、色温度 6500K、ガンマ値 2.2 に設定した。

表 3 から、被験者が C 型色覚、P 型強度色覚、D 型強度色覚のいずれの場合でも色覚特性の型と度合いをおおむね正しく判定していることがわかる。この結果から、提案手法による検査での色覚判定結果は妥当であるといえる。

4.2 デバイスの機種や設定に対する結果の差異を検証

「ColorEdge CG241W」のキャリブレーション機能を用いて輝度、色温度、ガンマ値を変化させ、提案手法による検査結果にどのような影響を及ぼすかを検証する。

図 6 は、色温度を 6500K、ガンマ値を 2.2 に固定し、輝度を 80 ~ 150cd/m² に変化させた場合の検証結果の正答率を示している。色覚特性を正しく特定できた正答率は全体的に高いが、輝度が 90cd/m² 以下あるいは 140cd/m² 以上のときに若干低くなっている。

図 7 は、輝度を 120cd/m²、ガンマ値を 2.2 に固定し、色温度を 4000 ~ 9000K に変化させた場合の検証結果の正答率を示している。輝度を変化させた場合の結果と同様に、色温度が標準設定とされる値より極端に低いあるいは高いときに結果に影響が出てくるのがわかる。

図 8 は、輝度を 120cd/m²、色温度を 6500K に固定し、ガンマ値を 1.8 ~ 2.2 に変化させた場合の検証結果の正答率を示している。ガンマ値の幅が狭いためか、ガンマ値を変化させても結果への影響はほとんど見られない。

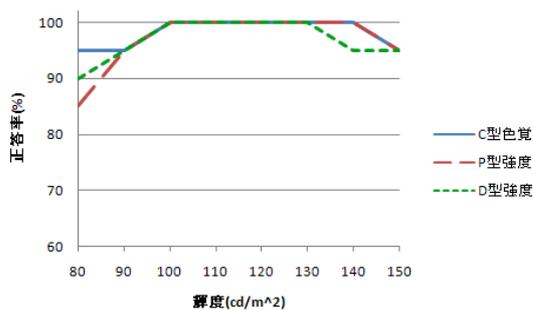


図 6: 輝度の変化による結果の差異

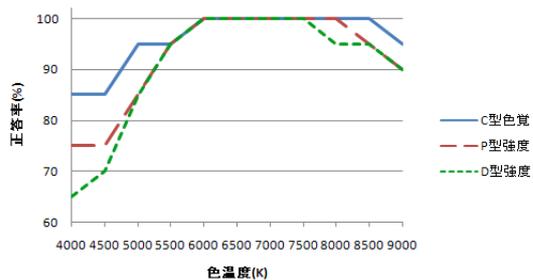


図 7: 色温度の変化による結果の差異

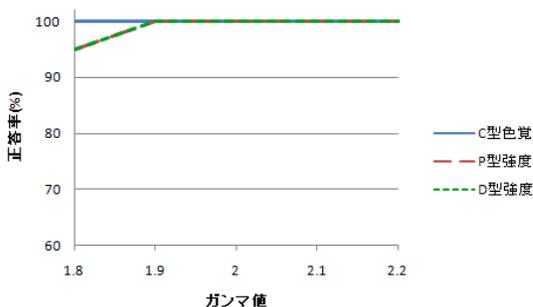


図 8: ガンマ値の変化による結果の差異

これらの検証結果より、輝度、色温度、ガンマ値を標準設定とされる値より極端に低いあるいは高く設定した場合に、検査結果に影響が出てくることがわかる。しかしながら、各値が極端な値でないときの検査結果は良好であり、さまざまなデバイスの機種やモニタ設定による検査でもある程度の信頼性は確保できるものと考えられる。

5 おわりに

本稿では、被験者にコンピュータ上で Farnsworth D15 test を行い、検査結果を定量的に評価することで色覚特性の型と度合いを判定する手法を提案した。また、検証では提案手法による検査結果の信頼性と、デバイスの機種や設定による結果の差異を調べた。

表 3 の検証結果より、被験者の色覚に関わらず良好な結果を得ることができ、提案手法による検

査での色覚判定結果は信頼性がある結果だといえる。また、図 6～8 の検証結果より、各値を変化させることで検査結果に影響が出てくることがわかる。しかしながら、各値が標準設定とされる値から極端に低いあるいは高い値でなければあまり影響は出ていない。このことより、さまざまなデバイスの機種やモニタ設定による検査でもある程度の信頼性は確保できるものと考えられる。

今後の課題としては、被験者を弱度色覚と仮定して検証する方法、モニタ設定で二つ以上の値を変化させた場合の結果の差異を検証、標準的に用いられる液晶ディスプレイにおける本実験の精度の検証等が挙げられる。

参考文献

1. 高橋知紘, “色覚バリアフリーのためのカラー画像の色変換”, 山形大学工学部情報科学科卒業論文, 2004.
2. 太田安雄, 清水金朗, “色覚と色覚異常”, 金原出版社, 1999, pp134-186.
3. Y.J.Shin and K.H.Park, “A New Color Vision Test to Differentiate Congenital and Acquired Color Vision Defects”, Ophthalmology, 114, 2007, pp1341-1347.
4. Color Universal Design Organization <http://www.cudo.jp/sikumi/index.html>
5. The Farnsworth D-15 Test Manual <http://www.inx-eng.co.jp/product/pdf/D15Manual.pdf>
6. Algis J. Vingrys and P. Ewen King-Smith, “A Quantitative Scoring Technique For Panel Tests of Color Vision”, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol.29, No.1, January, 1988, pp50-63.
7. Kenneth J. Bowman and Algis J. Vingrys, “Quantitative Scoring Methods for D15 Panel Tests in the Diagnosis of Congenital color Vision Deficiencies”, optometry and vision science, Vol.68, No.1, January 19, 1990, pp41-48.
8. EIZO 株式会社ナナオ <http://www.eizo.co.jp/products/ce/index.html>