

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 18日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300196

研究課題名（和文）ユニバーサル色覚バリアフリー促進のための新しい色視力検査装置の開発

研究課題名（英文）Development of a New Color Acuity Test to Accelerate Universal

Barrier-Free of Human Color Perception

研究代表者

田中 清（TANAKA KIYOSHI）

信州大学・工学部・教授

研究者番号：20273071

研究成果の概要（和文）：本研究では、高齢者や色覚異常者を含む幅広い人々を対象とする色知覚問題に焦点を当て、ユニバーサル色覚バリアフリーを促進するために、ICT（情報通信技術）を駆使した新しい色視力検査装置の開発を行ったものである。3年間にわたる研究開発の結果、本検査装置によって、人が様々な条件下でどのように色を知覚しているかを正確に測定できることが臨床的に検証された。また、プロトタイプの実成により、医療現場で求められる検査システムが実現出来たと言える。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focused on the problem of human color perception for wide area of population including elderly and color-blind people, and developed a new color visual acuity test utilizing ICT (information and communication technology) in order to accelerate universal barrier-free of human color perception. Due to the research and development in this 3 years, we have verified that we can precisely measure how human perceives colors under various conditions by using this test. Also, due to the development of prototype, we can conclude that the necessary test system required in medical front is finally realized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2012年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	6,000,000	1,800,000	7,800,000

研究分野：情報通信工学

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ユニバーサルデザイン・色覚バリアフリー・色視力検査装置・Color Visual Acuity

### 1. 研究開始当初の背景

人間の色覚には個人差があり、様々な色の見え方がある。たとえば、色覚異常と呼ばれる人たちは、色を認識する錐体細胞の変異により、色合わせや色の特定において多数の人たちと異なる応答を示す。また、人は加齢に伴って次第に水晶体が黄変し瞳孔も縮小するため、若年者に比べて色の識別能力が低下

する。さらに、照明光の明るさや色は、人間の色知覚に大きな影響を及ぼす。このように色の見え方は状況によって変化するため、多くの人が気づかずに様々な支障や不便を蒙っている恐れがある。しかし、現在の医療現場で利用されている視覚検査の方法は、視力検査表などの明度のコントラストに基づくものが大部分で、色コントラストの識別能力

(色視力)を定量的に測定できるものは意外に少ない。一部、色覚異常を判別するための色を用いた検査方法があるが、紙やパネルを媒体とするため柔軟性や拡張性に乏しい。色を介して膨大な情報を収集・利用する ICT 時代において、誰もが支障なくその恩恵を受けられるユニバーサル色覚バリアフリーを促進するためには、様々な環境下において人がどのように色を知覚しているか、その程度を定量的に測定できる検査装置実現の必要性が高まっている。

## 2. 研究の目的

このような立場から、本研究では高齢者や色覚異常者を含む幅広い人々を対象とする色の識別問題に焦点を当て、ユニバーサル色覚バリアフリーを促進するために、ICT (情報通信技術) を駆使した新しい色視力検査装置を開発することを目的とする。本研究により、人が様々な条件下でどのように色を知覚しているかを正確に測定できるようになり、医療現場でのデファクトスタンダードとしての普及とともに、ディスプレイ、コンテンツ産業から、人々の生活、労働、ビジネス環境デザインなど、幅広い産業応用への貢献を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究は工学と医学の学際研究であり、研究代表者と研究協力者が連携して行う。研究代表者は、工学的な見地から研究総括、検査システムおよび検査装置設計を行い、研究協力者 (博士課程学生) が検査システム構築・実装、検査装置・プロトタイプ作成を行う。一方、研究協力者 (眼科医師) は、検査システムの動作検証とともに、検査方法の考案、心理物理実験、データの収集と解析、理論的検証などを担当する。また、研究協力者 (関連企業) が検査システムの装置化およびプロトタイプ作成の支援を行う。

研究代表者と研究協力は定期的に打合せを行い、研究の進捗について確認するとともに研究の方向性について議論する。

研究内容は以下のとおりである。

- (1) 色視力検査に有効な検査色を作成し、そのリストをデータベース化する。
- (2) 検査色の提示方法や提示時間等の検査方法を確立し、検査に有効なパラメータを求める。
- (3) (1)～(2)で確立した色視力検査法の有効性を心理物理実験により検証する。

(4) 色視力検査法の装置化について検討し、プロトタイプを作成する。

(5) (1)～(2)で確立した色視力検査装置を、観測環境を変更可能な色視力検査法に発展する。

(6) 環境可変色視力検査法の有効性を心理物理実験により検証する。

(7) 環境可変色視力検査装置の装置化を検討し、プロトタイプを作成する。

## 4. 研究成果

ユニバーサル色覚バリアフリー促進を目的に、ICT (情報通信技術) を駆使した新しい色視力検査装置を実現するために必要な研究開発を行い、以下のような成果を得た。

色視力を検査するためには、検査画面上の背景と背景上に存在する指標との間の色の差異を正確に計測できなければならない。このため、平成 22 年度には、まず色視力の検査に有効な色および色の組み合わせを調査した。従来から医療現場で利用されてきた SPP 色覚検査表、パネル D-15 色覚検査、およびニューカラーテスト等に利用されている色をベースに検討し、検査に有効な色のリストを作成してデータベース化した。図 1 に開発したシステムにおける検査色の作成と管理の例を示す。

次に、検査画面の背景上の指標として、ランドルト環を利用する検査方法を検討した。検査画面を LCD に表示して検査を行うため、ディスプレイの解像度 (ドットピッチ) およびディスプレイと被験者間の距離を考慮した利用方法を検討した。背景色および指標色の組み合わせ、明度、指標の大きさ、指標の提示時間、指標の提示要領などを考慮した検査パラメータを総合的に検討した。また、これらの検討結果を踏まえ、色視力検査法として検査結果の判定フローを検討した。

さらに、開発した色視力検査法の妥当性、有効性を心理物理実験により検証した。信頼度の高い臨床データを得るために、検査色の専用 LCD 上での表示精度を高性能専用分光放射輝度計を利用して測定したところ、高精度に色を表示できていることを確認した。臨床検査は医師が被験者に対して行い、検査後収集した臨床データを分析し、期待した測定結果が得られているかを判断したところ、従来測定できなかった人の色視力を効果的に測定できることがわかった。

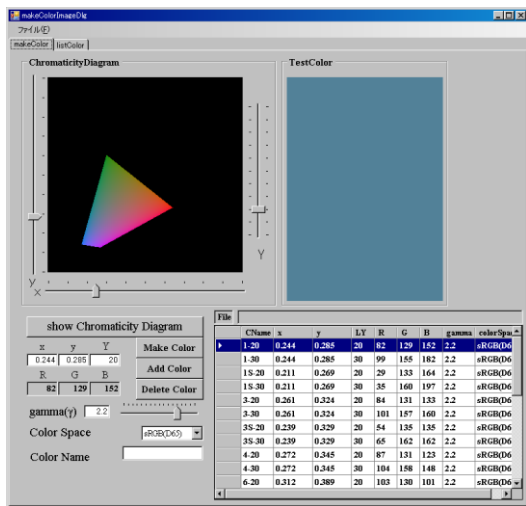


図1 作成したシステムによる検査色管理

平成 23 年度は、平成 22 年度に開発した色視力検査法の有効性を調べるため、若年者正常眼（矯正視力 1.0 以上）の色視力の基本的な特性と、その加齢変化について検証を行った。色視力（CVA : Color Vision Acuity）を測定するために、指標のランドルト環には有彩色の色として NEW COLOR TEST の彩度 6 の 15 色を、背景色には無彩色として標準の光 D65 の白色点（輝度はランドルト環と等輝度 = 30[cd/m<sup>2</sup>]）を用いた。背景色と視標の輝度を同じにすることで、有彩色と無彩色の厳密な色の判別能力を検査し、視標としてランドルト環を用いることで、色に対する形態覚を検査可能にした。臨床検査の結果、図 2 に示すように、背景輝度が 100[cd/m<sup>2</sup>]の場合 CVA はどの色でも同様な値を示すのに対し、背景輝度を 30[cd/m<sup>2</sup>]にすると CVA は色ごとに異なることがわかる。平均値で最も低い値（小数視力が高い）を示した色は GB の 0.1423 で、逆に最も高い値（小数視力が低い）値を示した色は BP の 0.788 で、両者の間には 0.6457 の差があり、色によって CVA に大きな差があることが明らかとなった。

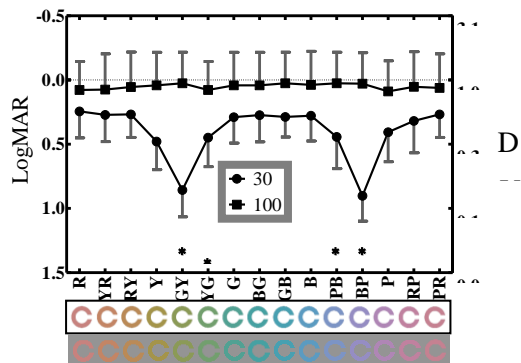


図2 背景輝度が 30[cd/m<sup>2</sup>]と 100[cd/m<sup>2</sup>]の場合の各色に対する色視力の変化

次に、加齢に伴う CVA の変化を調査したところ、すべての年代群で Average CVA（CVA のすべての検査色に対する平均値）に差が認められ、年齢の増加とともに次第に減少してゆく傾向が認められた。とくに、20 代とその他の年齢を比較すると、Average CVA は 60 代以降から有意に低下し、60 代以降急に日常生活の中で違和感を感じる現象と符合する根拠が明らかになった。

これらの結果から、開発した色視力検査システムは、色に対する視機能の加齢変化を明らかにするのに有効であり、さらに様々な症例に対して検査を行うことにより、従来見出すことができなかった知見を得られる可能性が示唆された。また、色視力検査法の装置化とプロトタイプ作成についても検討を行い、医療現場で利用しやすい機能性、操作性に優れたシステムを開発した。

平成 24 年度は、色視力検査装置を、観測者の環境を自在に変更可能な検査法に発展させるために、以下の検討を行った。まず、若年者正常眼を対象に、色刺激（ランドルト環）の輝度を 30[cd/m<sup>2</sup>]に保ちながら、背景輝度を 50→45→40→35→32→30[cd/m<sup>2</sup>]、15→20→25→28→30[cd/m<sup>2</sup>]の 2 パターンで段階的に変化させて色視力（CVA）を測定した。色刺激には、NEW COLOR TEST で用いられる 15 色から R, GY, GY, BP の 4 色を選び、背景色には標準光 D65 の白色点を用いた。その結果、すべての色で CVA が変化し統計的に有意な差が生じるが、R や G などの赤-緑軸の色に比べて、GY や BP などの青-黄軸の色の変化量が大きく、30[cd/m<sup>2</sup>]で最大変化量を示すことが確かめられた。

### LogMAR

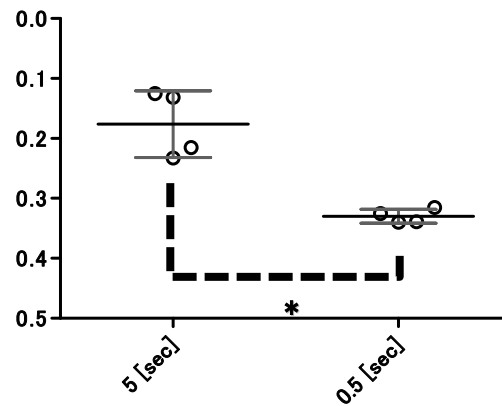


図3 指標提示時間による色視力変化の例

次に、上記 4 色を用いて、色刺激の提示時間を 5→3→1→0.5→0.1[s]に変化させて CVA を測定した。背景と色刺激の輝度は 30[cd/m<sup>2</sup>]に揃え、最も提示時間が長い 5[s]

の場合と他の提示時間の CVA の平均値の差を検定した。その結果、提示時間の短縮に伴いすべての色で CVA が低下し、統計的な有意さが現われるのは白黒: 0.1[s]、R: 0.5[s]、GY: 0.5[s]、G: 0.1[s]、BP: 1[s]となり、BP が最も大きく影響を受け、CY が最も影響が少ないことがわかった。図 3 に提示時間を 5[s] と 0.5[s] に設定したときの CVA の変化例を示す。

さらに、単焦点眼内レンズと多焦点眼内レンズを装着した場合の CVA を測定した。NEW COLOR TEST の 15 色を用いて実験を行い、色ごとに正常眼との比較を行った。その結果、完全矯正視力 1.5 以上の多焦点眼内レンズ眼の Y, GY, BG, P, PR で CVA の有意な上昇が認められたが、他の場合は有意な差は認められなかった。眼内レンズ装着時の色に対する視機能評価は従来ほとんど未検討であり、今後検証例を増加して精査する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) 田中 芳樹, 田中 清, 横山 翔, 中村英樹, 市川 一夫, 田邊 詔子, “新しい色視力検査システムの開発と色視力の検査例” 画像電子学会誌, Vol. 41. No. 5, pp. 487-495 (2012. 9) 査読有
- (2) Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Kazuo Ichikawa and Shoko Tanabe “An Improved Simulation Method of Color Perception by Elderly People Based on Measured Luminescence Spectrum and Color Constancy Relaxation”, Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol. 40, No. 1, pp. 86-95 (2011. 1) 査読有
- (3) 田中 芳樹, 田中 清, 横山 翔, 中村英樹, 市川 一夫, 田邊 詔子, “色を用いた新しい視機能検査装置による正常眼と多焦点眼内レンズ挿入眼の比較”, 日本眼科学会雑誌, Vol. 114, No. 12, pp. 1143-1044 (2010. 12) 査読有

[学会発表] (計 7 件)

- (1) Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Kazuo Ichikawa, Shoko Tanabe, “Characteristics of Color Visual Acuity for Normal Eyes of Young Subjects”, Proc. IEEEJ Image Electronics and Visual Computing

Workshop 2012 (IEVC2012), Kuching (2012. 11. 21-24)

- (2) Ryoji Suzuki, Yoshiki Tanaka, Hernan Aguirre, Kiyoshi Tanaka, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Kazuo Ichikawa and Shoko Tanabe, “Color Compensation Method to Display Images Looking Similar to Their Original Ones for Elderly People”, Proc. IEEEJ Image Electronics and Visual Computing Workshop 2012 (IEVC2012), Kuching (2012. 11. 21-24)
- (3) Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Rie Horai, Kazuo Ichikawa and Shoko Tanabe, “Development of New Testing System Measuring Human Color Visual Function”, Proc. Annual Meeting of the Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO2012), 6405-A, Fort Lauderdale, Florida (2012. 5. 6-9)
- (4) Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Kazuo Ichikawa, Shoko Tanabe, Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Rie Horai, Yukihiro Kato, “Temporal Characteristics of Color Visual Acuity in A Normally Eyes of Young Subjects”, The Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), 4820-D735, Florida (2012. 5. 6-9)
- (5) Kazuo Ichikawa, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Shoko Tanabe, Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Rie Horai, Yukihiro Kato, “A New Color Visual Function Test to Evaluate the Aging Changes in Normal Eyes”, The Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), 6404-A94, Florida (2012. 5. 6-9)
- (6) S. Yokoyama, H. Nakamura, K. Ichikawa, S. Tanabe, Y. Tanaka, K. Tanaka, R. Horai, Y. Kato, “Visual Performance Evaluation of Normal Eye and Multifocal Intraocular Lens with New Visual Function Testing Device Using Colors”, World Ophthalmology Congress (WOC), PO-REF-12, Arab (2012. 2. 16-20)
- (7) Yoshiki Tanaka, Kiyoshi Tanaka, Sho Yokoyama, Hideki Nakamura, Rie Horai, Kazuo Ichikawa and Shoko Tanabe, “A New Visual Functon Testing Device Using Colors for Visual Performance Evaluation of Normal Eyes, Monofocal IOLs and Multifocul IOLs”, XXIX ESCRS Annual Congress (ESCRS2011), Vienna (2011. 9. 17-21)

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：色出力装置、色補正装置、プログラム  
発明者：田中 清  
権利者：信州大学  
種類：特許  
番号：特願 2012-226603  
出願年月日：平成 24 年 10 月 12 日  
国内外の別：国内

名称：色視機能測定手段及び色視機能測定システム  
発明者：田中 清  
権利者：信州大学  
種類：特許  
番号：特願 2012-094639  
出願年月日：平成 24 年 4 月 18 日  
国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 清 (TANAKA KIYOSHI)  
信州大学・工学部・教授  
研究者番号：20273071

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

市川 一夫 (ICHIKAWA KAZUO)  
社会保険中京病院・眼科主任部長  
研究者番号：なし

中村 英樹 (NAKAMURA HIDEKI)  
社会保険中京病院・眼科医師  
研究者番号：なし

横山 翔 (YOKOYAMA SHO)  
社会保険中京病院・眼科医師  
研究者番号：なし

田中 芳樹 (TANAKA YOSHIKI)  
信州大学大学院総合工学系研究科・大学院生  
研究者番号：なし