

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23530956

研究課題名(和文) 2色覚者における黄青色知覚メカニズム特性に関する研究

研究課題名(英文) Examination on a Yellow-Blue Mechanism in Dichromacy

研究代表者

須長 正治 (SUNAGA, SHOJI)

九州大学・芸術工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60294998

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：2色覚者シミュレーションでは、2色覚者の黄青メカニズムを仮定している。しかし、その黄青が3色覚者のものと同じ特性であるかどうかはわからない。本研究課題では、視覚探索課題を用い、シミュレートされていないオリジナルの色刺激を2色覚者に、2色覚者の色の見えにシミュレートした刺激を色覚正常者に観察させ、特定の色の検出までの探索時間を比較した。その結果、色差が小さい場合、2色覚者の探索時間は、シミュレーション画像を観察した色覚正常者の探索時間よりも有意に長くなることを示した。このことは、2色覚者の黄青の弁別能は3色覚者とは異なることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：Dichromatic simulations are used widely in social and educational environments. We used a visual search task to investigate the validity of the dichromatic simulation proposed by Brettel et al. The stimuli consisted of 13 colored disks (one target and 12 distractors). Two colors were assigned to 6 disks as distractor colors. The reaction time required to find the target was measured. The reaction times for trichromatic observers in the dichromatic simulated color stimulus task were qualitatively similar to those obtained from extremely deuteranomalous observers in an original color stimulus task. However, the reaction time for the extremely deuteranomalous observers tended to be longer than that of the trichromatic observers. This suggests that the current dichromatic simulation should be modified for estimating color differences in the simulated images.

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：実験心理学

キーワード：色覚 色覚異常 カラーユニバーサルデザイン シミュレーション 視覚探索

1. 研究開始当初の背景

2 色覚者の色情報処理および色の見えを知ることには人間の色覚特性を知るうえで重要である。現在、2 色覚者の色の見えは Brettel ら(1997)によって提案されているものであり、色弁別能特性とユニラテラルな 2 色覚者の特性を基にシミュレートされている。さらに、色彩情報に伝達手段を含むデザインにおいて 2 色覚に情報が伝わるかどうかを検証する際に、そのシミュレーション結果は用いられ、カラーユニバーサルデザインに貢献している。しかし、2 色覚者の色覚特性には、未だに不明な点が多くある。

2. 研究の目的

2 色覚シミュレーションでは、2 色覚者の黄青色知覚メカニズムが 3 色覚者の黄青色知覚メカニズムと同じ特性を持つという暗黙の仮定がある。しかしながら、この仮定には根拠が乏しく、1 型および 2 型 2 色覚者での黄青方向の色の見えの違い、あるいは色弁別能が 2 色覚者と 3 色覚者で同等であるという証拠はこれまで報告されていない。そこで、本研究では、1 型および 2 型 2 色覚者の黄青色知覚メカニズムが 3 色覚者と同等であることを明らかにするために、1 型および 2 型 2 色覚者の色弁別特性や色の見えを検討し、明らかになった 1 型および 2 型 1 色覚者の黄青色知覚メカニズムの特性をシミュレーションに適用する。

3. 研究の方法

2 色覚者の黄青色知覚メカニズムが 3 色覚者の黄青色知覚メカニズムと同じ特性を持つのかどうかを明らかにするために、まずはその特性が同じであることを仮定した 2 色覚シミュレーションを検証した。

検証には、視覚探索課題を用いた。視覚探索課題において、刺激画像を 2 色覚者に見せ、2 色覚シミュレーションを施した刺激画像を 3 色覚者に観察させた。そして、目標刺激を見つけるまでの反応時間を測定し、2 色覚者と 3 色覚者の結果を比較した。ここで、これらの反応時間が等しければ、視覚探索においては、2 色覚者の黄青色知覚メカニズムが 3 色覚者の黄青色知覚メカニズムと同じ特性であるということが出来る。一方、異なれば、黄青色知覚メカニズムが異なる特性であると推測できる。本研究では、強度の 2 型異常 3 色覚者を被験者とした。

被験者には、図 1 に示す刺激を見せた。D65 色度(4cd/m<sup>2</sup>)背景上に、13 個のディスク刺激を円環状に並べた。このうち、1 つが目標刺激で、残りの 12 個(2 色×6 個)が妨害刺激であった。目標刺激の色は u'v'色度図上で D65 白色点を中心とした半径 0.06 の円上にある等輝度(8cd/m<sup>2</sup>)の 24 色選択した。u'が最大になる色を 0°とし、反時計回り目標刺激色相角と定義した。そして、目標刺激を 15°毎に選

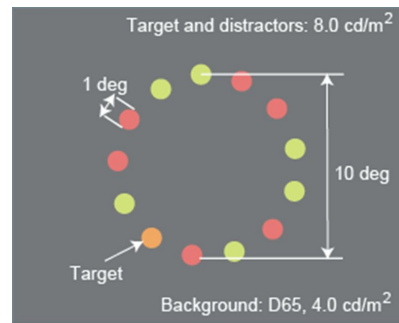


図 1 刺激画像

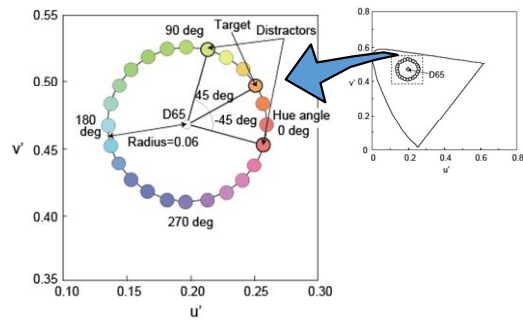


図 2 色の選択

んだ。また、妨害刺激の色は、目標刺激から同一円上で±45°離れた 2 色を選んだ(図 2)。このようにして選んだ色刺激をオリジナル条件、そして、オリジナル条件に各色覚タイプのシミュレーションを施した色刺激をシミュレーション条件とした。

2 分の暗順応、1 分の背景順応の後に刺激を提示した。被験者の課題は 13 個の刺激の中で、一つしか存在しない色(目標刺激)をできるだけ早く見つけることであった。被験者は目標刺激の発見をマウスのクリックによって応答し、その後、目標刺激が存在した象限を回答した。

3 色覚者(7 名)にはオリジナル条件と 2 型 2 色覚シミュレーション条件を、強度の 2 型異常 3 色覚者(2 名)にはオリジナル条件のみを提示した。

4. 研究成果

図 3 に結果を示す。図 3 の横軸は目標刺激の色相角であり、縦軸は対数尺度での反応時間である。そして、シンボルの違いは条件の違いであり、□ が 3 色覚者のオリジナル条件、○ が 2 型 2 色覚シミュレーション条件、● が

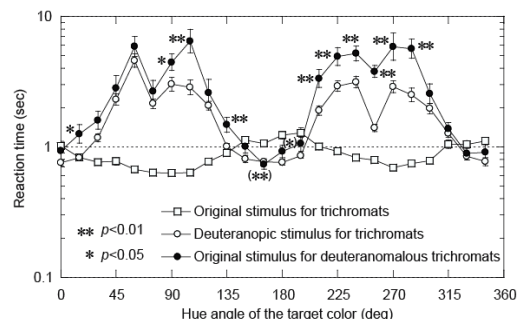


図 3 反応時間の比較

強度2型異常3色覚者のオリジナル条件である。図中のアスタリスクはz検定の有意差を示す。

図3にて、オリジナル条件での3色覚者と強度2型異常3色覚者の結果を比較すると、全体的に強度2型異常3色覚者にて反応時間が長くなった。特に、目標刺激が45度から120度、210度から300度の範囲では、反応時間は著しく長くなった。しかし、興味深いことに、165度から180度では、逆に、強度2型異常3色覚者の反応時間の方が短かった。このことは、色覚異常が必ずしも劣った色覚特性ではないことを示唆している。

3色覚者の2型2色覚シミュレーション条件と強度2型異常3色覚者のオリジナル条件の反応時間を比較すると、これらは定性的に類似していた。しかし、定量的には、一致せず、特に反応時間が長くなる目標刺激の色相角では、強度2型異常3色覚者のオリジナル条件の反応時間は、3色覚者の2型2色覚シミュレーション条件よりも有意に長くなるという結果であった。本実験に参加した色覚異常の被験者は強度であったけれども2色覚者ではない。それにも関わらず、反応時間が長くなった。これは、3色覚者がシミュレーションを見て、見分けられるような彩度差や明度差が2色覚者には見分けづらいことがあることを示している。したがって、現在の2色覚シミュレーションを2色覚者が色刺激のを見つけやすさを検証するための手段として用いることは不適切であり、2色覚シミュレーションから2色覚者の視覚パフォーマンスを予測することはできない場合もあることを示唆している。予測するには、シミュレーション画像中の彩度差や明度差の手がかりを少なくす、色検出の難易度を上げる必要がある。

次に、2色覚シミュレーションの修正を行うために、シミュレーション後の彩度を減少させることで、シミュレーション画像での色の手がかりを減少させ、視覚探索の難易度を上げた。このシミュレーション画像を修正シミュレーション画像と呼ぶ。その後、3色覚者に対して修正シミュレーション画像を用い、前述と同様の実験を行った。その結果を図4に示す。修正シミュレーション条件である。

図4の各パネルは、色検出の難易度を上げるための彩度低下の減少係数(図中のm)が異なる結果を示している。図4より、 $m=0.52$ のときは、3秒以下の反応時間のときは、強度2型異常3色覚者の結果とよく一致する。それ以上の反応時間のときは、 $m=0.36$ のときの方が近い。このことは、線形的な彩度低下では、2色覚シミュレーションを提案できないことを示唆している。そこで、目標刺激と妨害刺激との色差に反応時間が依存することから、先の反応時間を目標刺激と目標刺激に近い妨害刺激との色差の関数として図5に示した。

図5の横軸は色差であり、縦軸は反応時間である。目標刺激が黄、青にシミュレートされる場合を区別し、2つのパネルに分けた。

図5の点線で示されている強度2型異常3色覚者の結果と実線で示されている3色覚者のシミュレーション条件の色差と一致するように、シミュレーション画像の色差を減少させればよい。これらの特性を漸近線関数によって近似し、その対応関係を求めた。その関係を図6に示す。

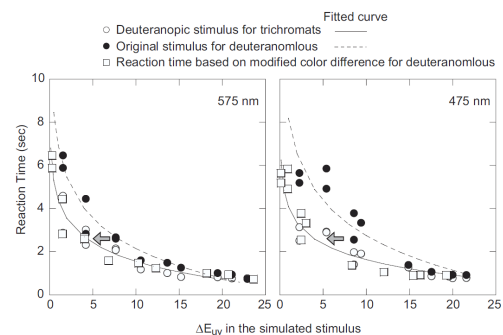
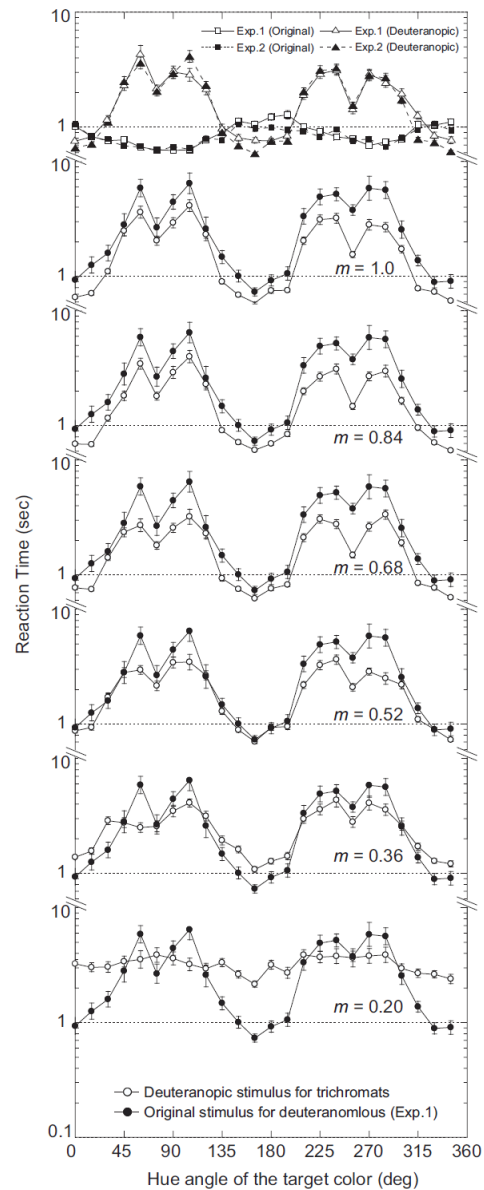


図5 色差による反応時間の変化

図6から、シミュレーションにおいて、色差の変換は、目標刺激と妨害刺激の間の色差に依存し、非線形な彩度低下となることが読み取れる。また、その非線形性は主波長575nmの黄色にシミュレートされるときと主波長475nmの青色にシミュレートされるときとは異なり、主波長475nmのシミュレーションの方が大きい非線形性を示している。

図6の関係から、本実験で用いた刺激に対して、これらの非線形に近いさまざまな彩度低下係数での反応時間を採用し、反応時間を予測すると、図7を得ることができた。

図7の が非線形の彩度低下係数による予測であり、 の強度2型異常3色覚者の反応時間とよく一致している。

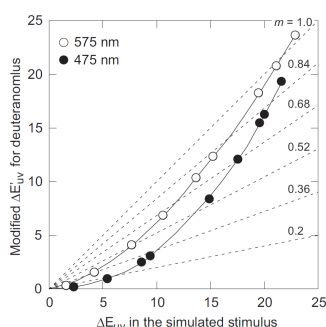


図6 色差の非線形変換

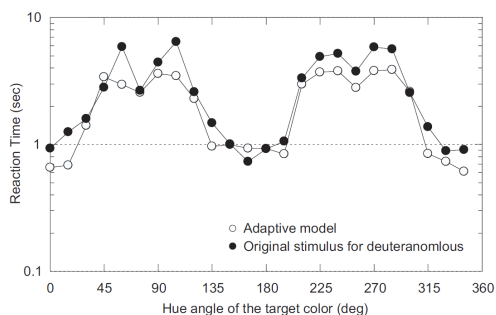


図7 非線形彩度低下による予測反応時間

以上のことを纏めると、

- ・ 現在、使われている Brettel ら(1997)の2色覚の色の見えシミュレーションは2色覚者の視覚パフォーマンスを定性的な予測をすることはできるが、定量的な予測はできない。
- ・ 実際の2色覚者の視覚パフォーマンスは2色覚シミュレーションから予測される視覚パフォーマンスよりも劣る場合がある。
- ・ 2色覚者の視覚パフォーマンスを予測するためのシミュレーションとして、非線形的な彩度低下が有効な手段のひとつである。

最後に、2色覚者の反応時間と2型2色覚シミュレーション条件での3色覚者の反応時間の差は、目標刺激の検出に寄与する色メカニズムに違いによるものであると考えることができる。主波長475nmおよび主波長575nmの軌跡は、LMチャンネルが色検出に寄与しない3型2色覚者の混同色線とは一致

しない。よって、3色覚者では、1型および2型2色覚者では色検出に寄与しないLMチャンネルを用いて色検出を行うことができることが原因であると推測される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Shoji Sunaga, Tomomi Ogura, Takeharu Seno, Evaluation of a dichromatic color-appearance simulation by a visual search task, Optical Review, 査読有, Vol.20, 2013, 83-93.  
DOI: 10.1007/s10043-013-0013-6

〔学会発表〕(計 10 件)

須長正治, 視覚探索課題を用いた2色覚者の色の見えシミュレーションの検証とその修正モデルの提案, 視覚科学技術コンソーシアム, 2013年11月22日, JR博多シティ

須長正治, 妹尾武治, 視覚探索特性に基づく修正2色覚シミュレーションの提案, 日本色彩学会色覚研究会, 2012年11月17日, 工学院大学

Shoji Sunaga, Tomomi Ogura, Takeharu Seno, Test of dichromatic simulation in visual search paradigm, European Conference on Visual Perception 2012, 2012年9月3日, Alghero, Italy

Tomomi Ogura, Shoji Sunaga, Takeharu Seno, The evaluation of dichromatic simulation by a visual search task, the International Colour Association AIC Color 2011 Zurich, 2011年6月9日, Zurich, Switzerland

Shoji Sunaga, Yellow-blue colour discrimination in red-green colour deficiency, the International Colour Association AIC Color 2011 Zurich, 2011年6月8日, Zurich, Switzerland

須長正治, 小倉智美, 妹尾武治, 佐藤雅之, 視覚探索実験を用いた2色覚者の色の見えシミュレーションの検証, 映像メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 2011年12月9日, 沖縄産業支援センター

小倉智美, 須長正治, 妹尾武治, 視覚探索実験を用いた2色覚シミュレーションの評価と検討, 日本視覚学会2011年夏季大会, 2011年8月4日, 九州大学西新プラザ

須長正治, 赤緑異常3色覚者と3色覚者における主波長475nmおよび575nm軌跡上での色弁別特性, 日本視覚学会2011年夏季大会, 2011年8月4日, 九州大学西新プラザ

三谷章太郎, 須長正治, 妹尾武治, カラーユニバーサルデザイン配色提案ツール

の開発、日本色彩学会第 42 回全国大会、  
2011 年 5 月 11 日、千葉大学  
小倉智美、須長正治、妹尾武治、視覚探  
索を用いた 2 色覚シミュレーションの有  
用性の評価、日本色彩学会第 42 回全国大  
会、2011 年 5 月 11 日、千葉大学

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

須長 正治 ( SUNAGA, Shoji )  
九州大学・大学院芸術工学研究院・准教授  
研究者番号：6 0 2 9 4 9 9 8