

色覚シミュレーションを用いた二色型色覚者における視覚探索

Performance on Visual Search Evaluated by Dichromats' Color Appearance Simulation

須長 正治

Shoji Sunaga

九州大学大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

山下由己男

Yukio Yamashita

九州大学大学院芸術工学研究院

Faculty of Design, Kyushu University

西村 泰治

Yasuharu Nishimura

九州大学大学院芸術工学府

Graduate School of Design, Kyushu University

キーワード：二色型色覚、視覚探索、シミュレーション、
色の見え

1. はじめに

我々は、L,M,S 錐体の3つの錐体応答に基づいて様々な色を知覚している。しかしながら、これらの錐体の異常や欠如によって、弁別能や色の見えが違って来る。いわゆる色覚障害である。色覚障害では、弁別能の低下が認められ¹⁾、さらには、色の次元の減少がある²⁾とも報告されている。これまで、色覚障害における色覚特性に関する研究は数多くある¹⁾が、未だに不明な点が多い。なかでも、もっとも大きい不明な点は、色覚障害者の色の見えである。色覚障害者の色弁別能とユニラテラルの色覚障害者の色の見え²⁾を参考にした二色型色覚者の色の見えをシミュレートするアルゴリズムがあり³⁾、その有効性も確認されている⁴⁾が、いくつかの問題点も含んでいる。このモデルにおいて、第一、第二色覚障害では、色度図で混同色中心と中性点を結ぶ混同色線より上領域は、主波長 575nm の黄色に、下領域は主波長 475nm の青色になるとしている。しかしながら、475nm よりも短波長の単波長光や、第一色覚異常での赤紫軌跡付近の色光に対しては、シミュレートした結果を再現する色が存在しない(Fig.1)⁵⁾。もし、モデルの通りであれば、正常者には知覚できない 475nm よりも彩度が高い青色を見ていることになる。また、カラースケールリングの結果⁶⁾もシミュレーション結果の色の見えと異なる。

本研究の最終目標は、色弁別閾値と色の見えが関与するといわれている視覚探索課題⁷⁾を用いて、色覚障害における色弁別能と色の見えとの関係を明らかにすることである。そこで、まず、本報では、色覚障害者の視覚探索効率を推測するために、Brettel ら(1997)の二色型色覚シミュレーション³⁾を施した刺激を用い、それらの刺激に対して、色覚正常者による視覚探索課題を行った。その結果を、シミュレーションを行っていないオリジナル条件の結果と比較検討した。

2. 実験

2.1 実験装置および被験者

コンピュータ制御による AdobeRGB 対応の CRT を用

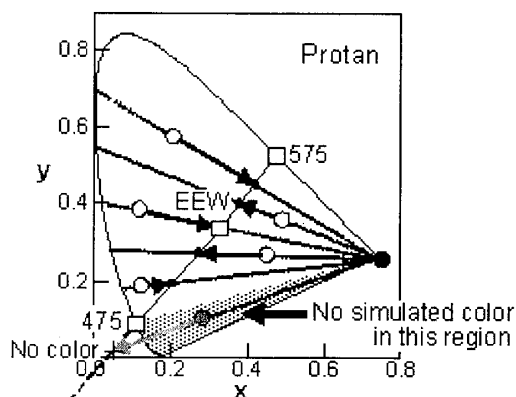


Fig.1 Simulation of the color appearance for the protanopia based on Brettel, et al.(1997) and a problem in their simulation

いた。CRT は、暗室中、被験者から 57cm の位置に置かれた。被験者は、視力(矯正視力も含む)、色覚とも正常な男性 3 名(SN, SS, YN)であった。

2.2 刺激

用いた刺激を Fig.2 に示す。刺激は、5cd/m² の等エネルギー白色の背景上に、偏心度 5deg の位置に提示された 11 個の直径 1deg の円形刺激であった。これらのうち 1 個が目標刺激、残りの 10 個が妨害刺激であり、妨害刺激には、5 個ずつ 2 色を用いた。オリジナル条件として、DKL 色空間の LM-S 等輝度平面(輝度は 10cd/m²、+L 方向が 0°、+S 方向が 90°)上の色を用いた。この平面では、LM 軸と S 軸のスケールの量の間に相対的な関係はない。そこで、Fig.2 と同じ形状の刺激を用い、10cd/m² の等エネルギー白色を妨害刺激としたときの視覚探索で最短反応時間となる最小色差を、LM 軸上、S 軸上でそれぞれ求め、それらの値を等価として扱うことによって、LM 軸方向と S 軸方向のスケールをそろえた。そして、LM-S 平面の原点を中心とした最小色差の 3 倍の半径の円周上に目標刺激と妨害刺激の色を設定した。目標刺激の色相角は 15° おきの 24 条件で、妨害刺激の色相方向は目標の各色相角から +45° 及び -45° に設定した。

二色型色覚シミュレーションを適用した刺激は Brettel ら(1997)のアルゴリズム³⁾に従って作成した。ただし、錐体の分光感度には、Smith and Pokorny(1975)⁸⁾のデ

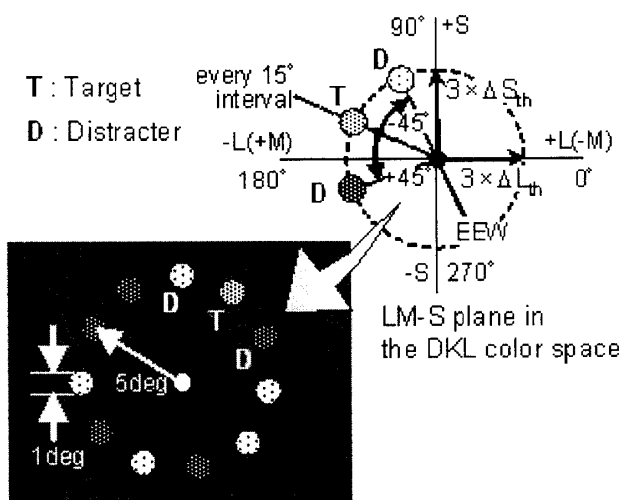


Fig.2 The stimuli and the color space used in this experiment

ータを用いた。ここで、二色型第一、第二、第三色覚者の色の見えをシミュレートした刺激を、それぞれ、Protan 条件、Deutan 条件、Tritan 条件と呼んだ。

2.3 手続き

被験者は、3 分間の暗順応と 1 分間の背景順応後に実験を開始した。Fig.2 の刺激に対して、ひとつだけ異なる刺激(目標刺激)を見つけることが被験者の課題であった。1 試行は、以下の流れで行われた。

- 1) 中心に固視点が提示され、被験者は固視点を見る。
- 2) 固視点が消えると同時に、刺激が提示される。
- 3) 目標刺激を検出したら、マウスをクリックする。
- 4) マウスクリックと同時に刺激が消え、固視点のみが提示される。
- 5) 被験者は、固視点を中心とした 4 つの象限のうちで、目標刺激があった象限をキーボードで応答する。

刺激が提示されてから目標刺激検出を示すマウスクリックまでの反応時間と、目標刺激の検出位置応答の正答率を測定した。オリジナル条件および Protan 条件、Deutan 条件、Tritan 条件は、ランダムな順番で提示され、各刺激に対して 8 回の測定を行った。

3. 結果および考察

Fig.3 に被験者 SS の結果を示す。横軸は目標刺激の色相角であり、縦軸は反応時間を対数尺度で表している。プロット点は、提示位置が正答した試行のデータのみを用いた幾何平均であり、シンボルの違いは、条件の違いである。Fig.3 から、Protan 条件および Deutan 条件では、90° および 180° 付近で反応時間が長く、また、Tritan 条件では、0° および 180° 付近で反応時間が長いことがわか

る。これらの色相角では目標刺激と妨害刺激が LM-S 等輝度平面で、各条件の同一混同色線上付近にあるため、シミュレートされた色の色差がオリジナル条件よりも小さいことが原因と考えられる。また、興味深いことに、Protan 条件と Deutan 条件では、15° から 45°、および 165° から 195° の色相角で、オリジナル条件よりも反応時間が短かった。Tritan 条件でも、105° と 255° の色相角で同様の結果が得られた。これらの色相角では、Protan 条件を例にとると、目標刺激と妨害刺激の色差は、オリジナル条件とほとんど変わらないまま、目標刺激は白色付近に、また、妨害刺激の一方が黄色、他方が青色にシミュレートされており、目標刺激と妨害刺激の色の見えの組み合わせが反応時間に影響していることがわかる。さらに、二色型においては、知覚される色数自体が少なくなっている³⁾と考えられ、目標刺激に対する妨害刺激効果が減少している可能性も考えられる。今後、実際に色覚障害者による実験を行い、色覚障害における色覚を検討するためのこのような手法の有効性について検討する。

参考文献

- 1) 例えば、新編 色彩科学ハンドブック[第2版] 第12章 色覚異常と色覚検査法、東京大学出版会、p.481-500, (1998) など
- 2) M. Alpern, et al., J. Physiol. (Lond.), 335, 683-697, (1983)
- 3) H. Brettel, et al., J. Opt. Soc. Am. A, 12, 2647-2655, (1997)
- 4) 例えば、下ら、日本色彩学会誌, 28, supplement, 122-123, (2004) など
- 5) P. Capilla, et al., J. Opt. Soc. Am. A, 21, 176-186, (2004)
- 6) T. Wachtler, et al., Vision Res. 44, 2843-2855, (2004)
- 7) K. Yokoi and K. Uchikawa, J. Opt. Soc. Am. A, 22, 2309-2317, (2005)
- 8) V. C. Smith and J. Pokorny, Vision Res. 15, 161-171, (1975)

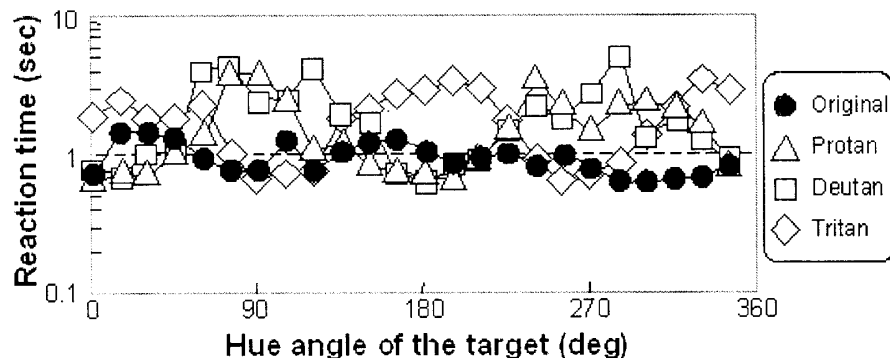


Fig.3 Reaction time as a function of the hue angle of the target