

色覚異常者を対象とした色彩空間の分析*

An analysis of color space for the daltonism person*

榎原 秀樹**・志摩 邦雄***・小柳 武和****

By Hideki Sakakibara, Kunio Shima and Takekazu Koyanagi

1. はじめに

都市景観における色彩の問題は、これまで様々な調査・研究がなされ、各地での景観事業等の構想や計画などに生かされてきたが、その対象者は晴眼者であることが前提であり、色覚異常者にまで対応したものはほとんどないに等しいといえる。一方、我が国には、先天性の色覚異常者が 300 万人程度存在するといわれている。また、今後の高齢化社会により、加齢による色覚の変化や眼疾患を伴った後天性の色覚異常者が、ますます増加すると推測される。このようなことから、今後の色彩空間の整備において色覚異常者の存在を視野に入れ、晴眼者と色覚異常者の両者にとって安全で快適な空間であることが重要となってくる。

そこで、本研究では、これまでの色覚異常に関する調査・研究^{1) 2) 3)}や色覚の生理学⁴⁾などから、色覚異常者が認識する色彩空間を色覚学説(3色説と段階説)を用いたシミュレーション画像により再現する。そして、それらを輝度と色差とに分けて分析することにより、今後の色彩計画における留意点を提案することを目的とする。

2. 色覚異常の把握

色覚(color vision)とは、色を感じ、色の差を識別する能力である。具体的には、波長と視機能および心的作用によって決まるもので、主として、網

膜内にある3種類の錐体細胞が関与する。

(1) 色覚機構に関する諸学説

色覚機構に関する学説は、これまで様々なものが発表された。それらを簡単に分類したものを図-1に示す。現在では、視細胞レベルでは3種類の錐体(赤錐体、緑錐体、青錐体)が存在するという3色説とそれ以上の色覚機構レベルでは赤-緑、青-黄の2つの色チャンネルが存在するという反対色説との2つの学説を組み合わせた段階説が最も容認されている。しかし、この段階説だけですべての色覚機構が完全に解明されたわけではなく、現在においても定説となるものはない。

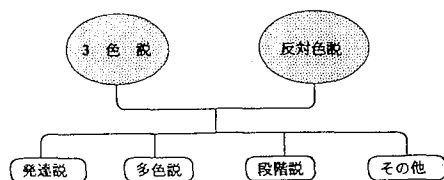


図-1 色覚機構に関する諸学説

(2) 色覚の仕組み

外界から入ってきた光は、角膜、瞳孔、水晶体、硝子体を通り、網膜の上に焦点を結ぶ。そして、網膜内にある視細胞で光を感じ、その信号が視神経を通して脳に送られる。視細胞には棒のような形の杆体細胞と細胞の先がピラミッドのような形をした錐体細胞とが存在する。杆体細胞は視紅(ロドプシン)という色素を含んでおり、非常に暗い光も感じるとる敏感な細胞であるが、細かいものを見分けたり、色を感じる機能を持たない。一方、錐体細胞は錐体色素という色素を含んでいる。この色素はある波長の

*Keywords: 交通弱者対策、色覚異常

**学生員 茨城大学大学院理工学研究科

***正会員 工修 茨城大学工学部都市システム工学科

****正会員 工博 茨城大学工学部都市システム工学科

(〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1

TEL0294-38-5157 FAX0294-35-8146)

光を特に敏感に感じる（その波長の光を吸収する）物質であり、それぞれ異なった波長の光を吸収する3種類が存在する。3種類の色素はそれぞれ赤・緑・青の光に対して特に敏感である。つまり、長波長・中波長・短波長の光を吸収して錐体細胞を興奮させ、その刺激を中枢に伝達する。このように錐体細胞はそれぞれどれか1種類の錐体色素を持っており、その持っている色素の種類によって赤錐体・緑錐体・青錐体と呼び、これらがある割合で混じり合って網膜内に分布している。そして、3種類の色素の刺激の組合せによって、すべての色の感覚が起こる。網膜における錐体の分布は中心部（中心窩）ほど良く、中心窩外においては悪い。3種類の色素が等しく刺激されると、白色又は灰色の感覚が起こり、反対に全く刺激されないと真っ暗となる。つまり、赤・緑・青の3色素が正確に機能してはじめて正常な色の感覚が得られる。

色覚の仕組み（信号伝達経路）を図-2に示す。眼球の網膜内にある杆体と3錐体（赤錐体・緑錐体・青錐体）からの信号が明るさチャンネル（輝度）と色チャンネル（色差）とに伝達され、最終的に大脳の視認中枢において知覚するとされている。色覚異常は、杆体または3錐体のどれかが異常を起こすことによって生じる。

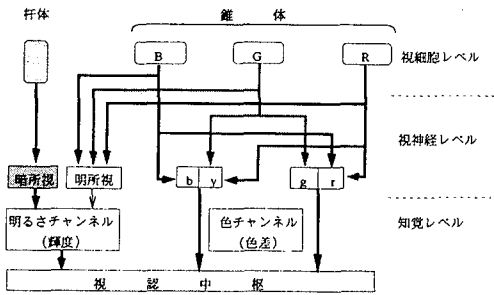


図-2 色覚の仕組み

（3）色覚異常の種類

色覚異常は、大きく先天性と後天性に分けることができ、先天性は主に遺伝的要素によって起こり、後天性は眼疾患やストレスなどによって二次的に起こる。両者の大きな違いは、先天性の色覚異常の程度は一生変化しないのに対して、後天性の色覚異常の程度は疾患や障害の程度と平行して変化する。また、先天性色覚異常が他の視機能障害（視野障害、

視力障害など）を伴うことがないのに対して、後天性色覚異常は他の視機能障害を伴うことなどである。先天性色覚異常を理論上で分類したものを図-3に示す。遺伝子レベルでの色覚機構の研究が進んでいる現段階においては、異常3色型色覚と2色型色覚との明確な線引きが出来ないため、第1色盲と第1色弱をあわせて第1色覚異常、以下同様に第2色覚異常、第3色覚異常とし、異常の程度を軽度・中等度・強度に分けている。

一方、後天性色覚異常は、赤緑色覚異常 type I・赤緑色覚異常 type II・青黄色覚異常に分けられ、異常の程度が重くなるに従って、図-3の下方へと移行する。

先天性色覚異常と後天性色覚異常において、第1色覚異常と赤緑色覚異常 type I、第2色覚異常と赤緑色覚異常 type II、第3色覚異常と青黄色覚異常はそれぞれ類似する傾向を示す。そこで、本研究では、それぞれ赤錐体異常、緑錐体異常、青錐体異常とする。

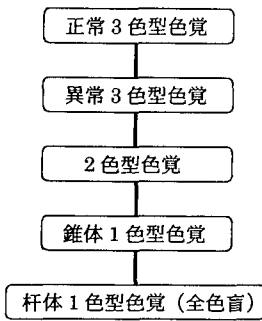


図-3 先天性色覚異常の分類

3. シミュレーション画像による分析

本研究では、視細胞レベルでの3色説と知覚レベルでの段階説の2つの説を用いてそれぞれシミュレーション画像を作成し、分析を行った。以下では、両説を用いたシミュレーション画像による分析について述べる。

（1）3色説を用いたシミュレーション画像による分析

コンピュータ画面出力上のRGBを、各色覚異常別に異常の程度としてそれぞれ10%刻みで低下させたシミュレーション画像を作成した。そして、以下の式⁵⁾を用いて輝度と色差に分けて分析を行った。また、

本分析では、茨城県那珂町国道 349 号線でドライバーの視点から撮影した写真画像を用いた（写真－1）。

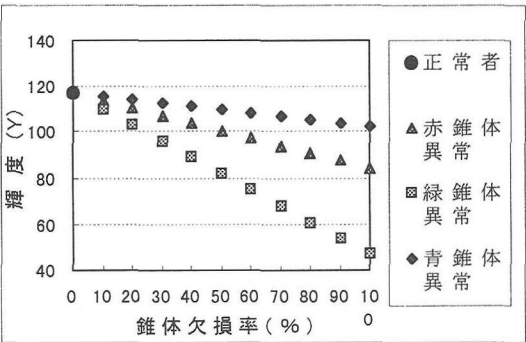
輝度 (Y) = 0.3R + 0.59G + 0.11B
 色差 (C₁) = R - Y = 0.7R - 0.59G - 0.11B
 色差 (C₂) = B - Y = -0.3R - 0.59G + 0.89B



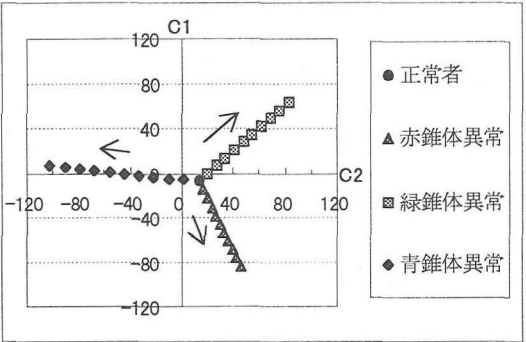
写真－1 分析に用いた写真画像（国道 349 号）
 各色覚異常の異常の程度による画面全体の輝度と色差の変化をまとめると図－4、図－5 になる。
 輝度 (Y) においては、各色覚異常ともに異常の程度が重くなるに従って低下することが分かる。また、色差 (C₁、C₂) においては、各色覚異常ともに異常の程度が重くなるに従って、欠損する錐体と反対方向（補色側）へと移行することが分かる。

（2）段階説を用いたシミュレーション画像による分析
 3色説が視細胞（錐体）レベルでの色覚学説であるのに対し、段階説は知覚（大腦）レベルでの色覚学説であり、（1）で用いたような画像処理によって色覚異常の程度に応じたシミュレーション画像を作成することは困難である。そこで、色覚異常に関する既存の調査・研究や色覚の生理学よりカラー・バーを作成した。また、色覚異常の程度が強度の色覚異常者を対象としてシミュレーション画像をそれぞれ作成し、それをもとに（1）と同様の式を用いて輝度 (Y) と色差 (C₁、C₂) の分析を行った。各色覚異常の異常の程度による輝度 (Y) および色差 (C₁、C₂) の変化をまとめると図－6、図－7 になる。

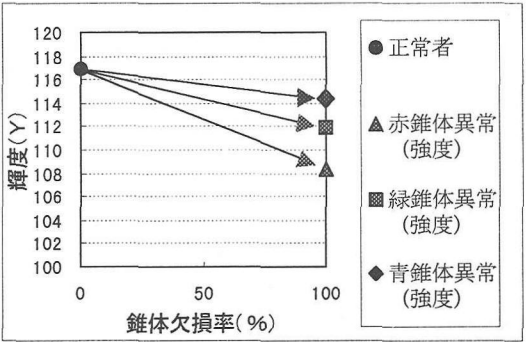
輝度 (Y) は、各色覚異常ともに異常の程度が重くなるに従って低下し、特に赤錐体異常（強度）の低下量が大いことが分かる。また、色差 (C₁、C₂) は、赤錐体異常（強度）と緑錐体異常（強度）で同様な色差の変化が見られる。これは、両者ともに色



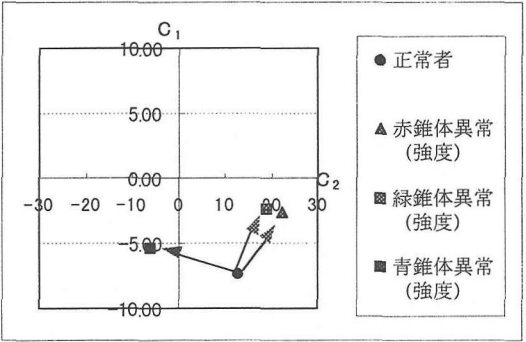
図－4 異常の程度による輝度 (Y) の変化



図－5 異常の程度による色差 (C₁、C₂) の変化



図－6 異常の程度による輝度 (Y) の変化



図－7 異常の程度による色差 (C₁、C₂) の変化

覚機構において赤-緑チャンネルが欠損するからであると考えられる。

(3) 3色説と段階説による分析における比較

3色説と段階説は、対象としている色覚機構レベルが異なるため色覚の異常レベルによる輝度 (Y) および色差 (C_1 , C_2) の変化において様々な相違点が現れる。それをまとめると図-8、図-9になる。

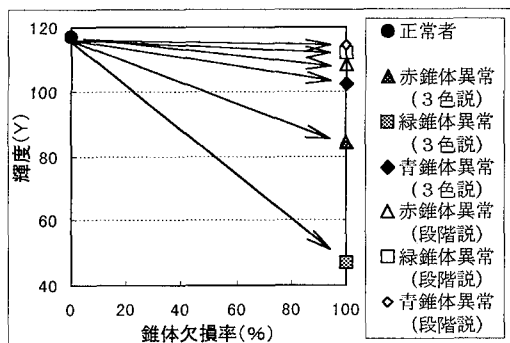


図-8 両説における輝度 (Y) の比較

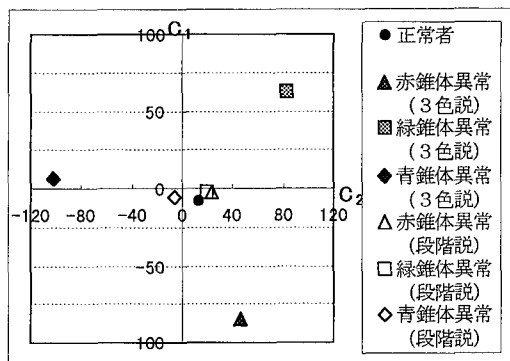


図-9 両説における色差 (C_1 , C_2) の比較

図-8より、色覚異常の程度による輝度 (Y) の変化量は各色覚異常 (強度) とともに3色説の方が高い値を示している。これは、知覚レベルにおいて、順応しようとする働きが生じるからであると考えられる。同様に、図-9より色差 (C_1 , C_2) の変化量を比較すると、緑錐体異常 (強度) と青錐体異常 (強度) においては変化量こそ異なるが、変化する方向は両説ともにほぼ一致しているが、赤錐体異常 (強度) では全く異なる結果が得られた。これも知覚レベルにおいて何らかの機能が働いたからであると考えられる。しかし、両説において共通していることは、各色覚異常ともに異常の程度が重くな

るに従って輝度 (Y) が低下し、それにより識別できる色の数が減少することである。

4. 色覚異常者を対象とした色彩計画の留意点

一般に、輝度 (Y) と色差 (C_1 , C_2) の関係は輝度 (Y) が低下するに従って色差による識別が困難となる。両説の分析結果より、各色覚異常ともに異常の程度が重くなるほど輝度 (Y) が低下する。よって、色覚異常者は、異常の程度が重くなるほど色差よりも輝度による識別のほうにより重要となってくる。色覚異常者を対象とした色彩計画においては、色差よりも材質や形状を変化させ、光の当たり方を考慮することにより相対的な輝度差をつけ、視認性を確保することが必要である。

5. おわりに

本研究の主たる結論は以下の通りである。

- ①色覚の生理学や色覚異常に関する既存の調査研究より、色覚異常の実態を把握した。
- ②①をもとに3色説と段階説を用いて色覚異常者が認識する色彩空間をシミュレーション画像として再現した。
- ③シミュレーション画像における輝度 (Y) と色差 (C_1 , C_2) より、両説の特徴を把握した。
- ④以上より、色覚異常者を対象とした色彩空間における留意点を提案した。

今後は、シミュレーション画像の再現性の検証や心理的作用をできる限り客観化する必要がある。そのために、色覚異常者や晴眼者に対する心理実験や、理論と心理的作用を媒介する生理的作用としての脳波を測定することが課題となる。

なお、本研究の遂行にあたり貴重なご意見をいただいた茨城大学教育学部の水野有武先生に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 竹田恵子他：視覚障害者誘導用ブロックと舗装面の色彩の適当な組合せに関する実験的研究、土木計画学研究・講演集、No. 18、pp. 831-834、1995
- 2) 松尾治互他：色覚異常と色光誤認、眼科、vol. 10、1968
- 3) 阿山みよし他：交通信号灯の色度範囲の色の見え方、照明学会誌、vol. 66、No. 10、1982
- 4) 太田安雄、沼水金郎：色覚と色覚異常、金原出版、1990
- 5) 八木伸行：C言語で学ぶ実践画像処理、オーム社、1994