

# SVM と CIELUV 色空間を用いた 1 型 2 色覚・2 型 2 色覚の色の見え方 の分類

坂井 法仁

令和 2 年 2 月

九州大学理学部物理学科  
情報理学コース

# 目次

第1章	序論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.1	色覚異常について・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.2	カラーユニバーサルデザイン・色覚シミュレーションについて・・・・・・	3
1.3	本稿の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
参考文献	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4

# 第 1 章 序論

## 1.1 色覚異常について

世の中には、X 染色体がトリガーとなる先天的な色盲者 [1]・色弱者 [2] や加齢によって色の見え方が後天的に変化する人 [3] がいる。

前者の場合、多くの人は視細胞に L 錐体 (L cone)・M 錐体 (M cone)・S 錐体 (S cone)・杆体 (rod) の 4 種類を持っているが、色盲者は 1 種類以上の錐体細胞 (cone cell) が先天的に欠損していて<sup>1)</sup>、色弱者は欠損は無いものの刺激の光の波長に対する錐体細胞の感度分布が異なっている。これらを合わせると、国内では男性の約 5%、女性の約 0.2% が色盲者・色弱者である [4, p. 4]。L 錐体が欠損している色盲を 1 型 2 色覚 (protanopia)、M 錐体が欠損している色盲を 2 型 2 色覚 (deutanopia)、S 錐体が欠損している色盲を 3 型 2 色覚 (tritanopia) という<sup>2)</sup>。先天色覚異常の大多数は 1 型 2 色覚と 2 型 2 色覚である [5, p. 9]。図 1.1.1–1.1.4 は可視光のスペクトル画像とそれに 1 型 2 色覚・2 型 2 色覚・3 型 2 色覚のシミュレーションを実行した結果である。1 型 2 色覚と 2 型 2 色覚の色の見え方は似ている。図 1.1.5 は国際照明委員会 (Commission Internationale de l'Éclairage ; CIE) が 2015 年に制定した 2° 視野の CIE2015XYZ 表色系から導出される正規化錐体分光感度 (normalized cone fundamental) である。L 錐体と M 錐体の錐体分光感度の分布は近くにあり、3 種類の錐体の応答値を 3 次元空間にプロットすることで構成される *LMS* 色空間は *L* 軸の基底ベクトルと *M* 軸の基底ベクトルが近い向きを向いている斜交座標系になっていて、1 型 2 色覚に対応する平面  $L = 0$  と 2 型 2 色覚に対応する平面  $M = 0$  も近い。1 型 2 色覚と 2 型 2 色覚の色の見え方の類似性はここからきていると考えられる。

加齢による色の見え方の変化は核白内障 (nuclear cataract) に伴う水晶体 (crystalline lens) の黄変によって光が錐体に届く前にスペクトルが歪められることによって起こる。

---

1) 錐体の数は少ないが完全に欠損している訳ではないという人もいて、こちらは軽度であれば色弱に含めることがある。

2) 色盲者を表すときは接尾辞が -ia から -e に変化する。E.g. protanope.

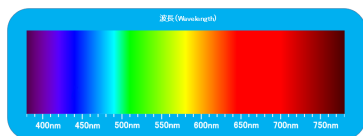


図 1.1.1 可視光のスペクトル画像（波長域：380 nm–780 nm，分析・計測・測位用 アート開発 Labs[6] より引用）

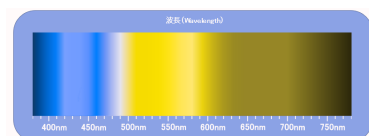


図 1.1.2 図 1.1.1 の 1 型 2 色覚の見え方のシミュレーション（Colorblind Pro を使用，以下同様）

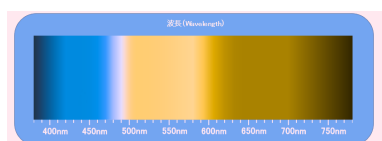


図 1.1.3 図 1.1.1 の 2 型 2 色覚の見え方のシミュレーション

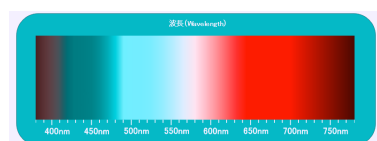


図 1.1.4 図 1.1.1 の 3 型 2 色覚の見え方のシミュレーション

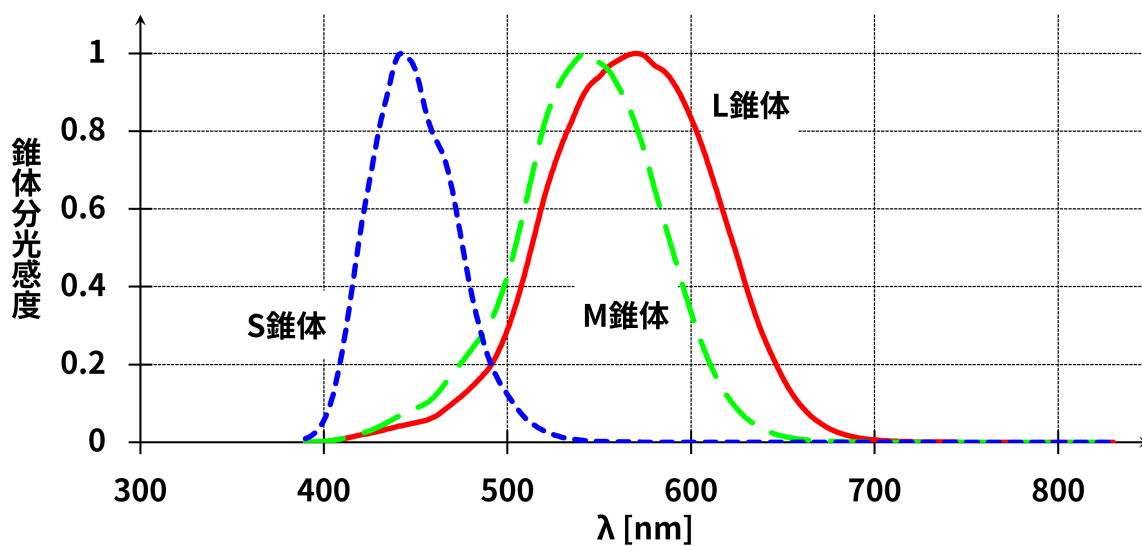


図 1.1.5 CIE2015XYZ 表色系（2° 視野）から導出される正規化錐体分光感度

短波長の光が吸収されやすい為、青紫や青緑等の青系統の色の識別が難しくなる他、液体、炎や電光掲示板が見え辛くなる [7].

## 1.2 カラーユニバーサルデザイン・色覚シミュレーションについて

色盲者や色弱者でも識別しやすい色の組み合わせを用いて情報伝達を行うカラーユニバーサルデザインが進められている。多くの色覚異常当事者の協力の下でカラーユニバーサルデザイン配色が考案される ([8, pp. 1091–1099], [9] 等), どんな人でも適切に識別できる組み合わせのチョークが開発される [10], JIS Z 9013 (図記号—安全色及び安全標識—安全色の色度座標の範囲及び測定方法) が改正される [11] 等である。また, Brattel ら (1997) が 1 型 2 色覚・2 型 2 色覚・3 型 2 色覚の色の見え方をシミュレートするアルゴリズムを発表 [12] してからは, 少しずつ改良を加える形で様々なシミュレータが作られ, 3 色覚者でも彼らの見え方を疑似体験できるようになった。

しかし, Brattel らのアルゴリズムを零から実装すると, 前処理として可視光波長域上での数値積分を 3 回, 3 次正方行列の逆行列の計算を 1 回, 3 次元ベクトルの外積を 2 回実行し, 更に各色毎に 3 次正方行列と 3 次元ベクトルの乗算を 3 回ずつ行わなければならない, 24 bit の RGB 色空間で  $2^{24}$  色<sup>3)</sup> 全てに亘って変換を掛けながら当事者と見え方を摺り合わせていくのは大変な時間を要する。その上, 実装や改良に際して色彩学や生理学に関する必要な知識が多く, 専門外の人が取り組みにくくなっていると言わざるを得ない。

## 1.3 本稿の目的

そこで本稿では, 人口が比較的多く, 色の見え方が類似している 1 型 2 色覚・2 型 2 色覚に着目する。本学芸術工学研究院デザイン人間科学部門の須長正治准教授が研究されている natural color system (NCS) に関する色のデータセット<sup>4)</sup>を用いて, NCS の AdobeRGB 座標, サポートベクトルマシン (support vector machine ; SVM), Gauß 過程 (Gaussian process) による Bayes 最適化 (Bayesian optimization) で NCS の色を 1 型 2 色覚・2 型 2 色覚それぞれの色の見え方に分類できることを示す。更に, それで得たパラメータと 1948

---

3)  $2^{24} = 16,777,216$ .

4) 本来は 1950 色であるが, 手元に届いた時点で S2075-Y60R と S3050-R20B が同梱されていなかったという。従って, 以下で「NCS」と言う時はこれらを除いた 1948 色を指す。

色の NCS 全体を用いて、各 2 色覚での AdobeRGB 色空間上の非負格子点 ( $2^{24}$  色) 全ての色の見え方を予測する。各非負格子点の正解ラベルが未知であることを踏まえ、色差 (color difference)<sup>5)</sup> が定義されている CIE1976( $L^*, u^*, v^*$ ) 色空間 (CIELUV 色空間) に座標変換して予測ラベルの代表色との色差による精度評価も行う。

## 参考文献

- [1] 岡部正隆, 伊藤啓「色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション (全 3 回) 第 1 回色覚の原理と色盲のメカニズム」, 『細胞工学』, 第 21 巻, 第 7 号, pp. 733–745, 2002.
- [2] 須長正治, 桂重仁, 光安祥代「S 錐体刺激値差を手掛かりとした 3 色覚と強度異常 3 色覚の視覚探索能の比較」, 『日本色彩学会誌』, 第 41 巻, 第 4 号, pp. 154–160, 2017, doi: [http://dx.doi.org/10.15048/jcsaj.41.4\\_154](http://dx.doi.org/10.15048/jcsaj.41.4_154).
- [3] 栗木一郎, 石井渉, 内川恵二「加齢による水晶体黄変が色覚におよぼす効果」, 『照明学会誌』, 第 84 巻, 第 2 号, pp. 107–116, 2000, doi: [http://dx.doi.org/jiej1980.84.2\\_107](http://dx.doi.org/jiej1980.84.2_107).
- [4] 神奈川県医師会「色覚異常について」, 2019. アクセス日: 2020 年 1 月 12 日. [オンライン]. 利用可能: <http://www.kanagawa.med.or.jp/ibukai/gakkou/shikikaku/ijounitsuite201901.pdf>.
- [5] 京都府眼科学校医会「先天色覚異常と色覚バリアフリー」, 2014. アクセス日: 2020 年 1 月 12 日. [オンライン]. 利用可能: <http://kyogan.org/sikikaku/colorl-h2606.pdf>.
- [6] 分析・計測・測位用 アート開発 Labs, 「波長と色の関係 | 分析・計測・測位用アート開発 Labs | RTK モジュール・FPGA 基板の通販サイト」, 2019. アクセス日: 2020 年 1 月 12 日. [オンライン]. 利用可能: <https://www.fiber-light-source-labs.com/tech/198/>.
- [7] 石原恵子, 長町三生, 大崎紘一, 石原茂和, 辻昭雄「加齢に伴う水晶体黄変化による日常生活への影響」, 『人間工学』, 第 34 巻, 第 1 号, pp. 9–16, 1998, doi: <http://dx.doi.org/10.5100/jje.34.9>.
- [8] 岡部正隆, 伊藤啓「色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション (全 3 回) 第 3 回すべての人に見やすくするためには、どのように配慮すればよいか」,

---

5) 2 つの色の区別しやすさに関する定量的指標。

- 『細胞工学』, 第 21 巻, 第 9 号, pp. 1080–1104, 2002.
- [9] カラーユニバーサルデザイン推奨配色セット制作委員会『カラーユニバーサルデザイン推奨配色セットガイドブック』, 第 2 版. 大平印刷: 東京, 2018, p. 14.
- [10] 日本理化学工業株式会社「ダストレス eye チョーク／日本理化学工業株式会社」, 2020. アクセス日: 2020 年 1 月 12 日. [オンライン]. 利用可能: <https://www.rikagaku.co.jp/items/eyechalk.php>.
- [11] 中野豊「JIS・ISO・IEC の動向——改正 JIS Z 9101・JIS Z 9103 の概要及び解説」, 『セイフティダイジェスト』, 第 64 巻, 第 6 号, pp. 14–20, 2018.
- [12] H. Brettel, F. Viénot, and J. D. Mollon, “Computerized simulation of color appearance for dichromats,” *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 14, no. 10, pp. 2647–2655, 1997, doi: <http://dx.doi.org/10.1364/josaa.14.002647>.