

色聴共感覚を用いた映像分析

劉晶晶^{†1} 蔡東生^{†2}

概要: この論文は、共感覚の色聴という特殊な知覚現象を利用し、色聴共感覚者の一貫性テストからもらったデータを分析し、全体的に一貫性による音に対応する色データが基本色彩語との関係を解析する。次は音と基本色彩語色のクロスモーダルマッピングを明らかにする。

キーワード: 共感覚, 色聴, 基本色彩

Video analysis using Chromesthesia

JINGJING LIU^{†1} DONGSHENG CAI^{†2}

Abstract: This paper analyzes the data received from the consistency test using the special perceptual phenomenon called Chromesthesia. We analyze the relationship between color data and basic color system. And we will clarify the cross modal mapping of sound and basic color system.

Keywords: synesthesia, Chromesthesia, basic color system

1. はじめに

近年、クロスモーダルの概念を多様な技術に取り込む研究が注目されている。脳が感覚器官から複数の刺激を瞬時に処理する結果、視覚の情報が優先する。五感の一つが刺激されると、存在しない他の感覚を脳が補完される。人間の五感互いに交わり、影響を与え合った感覚を感じ取っている。このクロスモーダリティの例として共感覚がある。共感覚(synesthesia)は「一つの感覚の刺激によって別の知覚が無意識的に引き起こされる現象」である。共感覚は新生児が普遍的に持つと考えられている感覚であるが、脳の発達に伴う脳領野分化によって、大人になると失われてしまう。共感覚的なマッピングを一般の感覚保持者が持っている可能性は示唆されている。

共感覚には多種多様な種類があり、もっとも多いのが「文字や数字に色を感じる」色字共感覚であり、次いで多いのが「音を聴くと色が見える」色聴共感覚である[1]。本研究では色聴共感覚現象を利用する。色聴の中にも言葉に色を感じる人、音楽に色を感じる人などそれぞれ異なったタイプがあり、同じ音楽でも、音高・和音・調など、色を引き起こす要素は共感覚者毎に異なる[2]。

先行研究によって、色聴保持者が音楽聴取時に、実際に色知覚に関与している脳領野(V4/V8 近傍)で活動が生じていることが、fMRIによって計測されている[3]。このことから、色聴が聴覚系と視覚系の直接的な相互作用により生じていることが示唆されている。しかしながら、なぜ共感覚が存在するかについて詳しいことは分かっていない。

本研究では共感覚の色聴という特殊な知覚現象を利用し、色聴共感覚者の一貫性テストからもらった音高、和音、調性データを集め、まず高得点の色聴知覚を持つ被験者の色データを分析し、次は全体的に一貫性による音に対応する色データが基本色彩語との関係を解析してみる。次は音と基本色彩語色のクロスモーダルマッピングを明らかにする。†

2. 先行研究

文字—色、味—形というタイプの共感覚に関する刺激と反応の関係を調べて共感覚の特性を明らかにしたり、発生メカニズムを推定したりする研究が昔から行われている。近年ではWEBサイトを利用して、大規模のデータを集めることも可能になっているゆえ、確率的に有意なデータ解析が行える。

本研究室が日本人共感覚者に向けて色聴判定テストを開発した(図1)。テストはHSV表色系のカラーピッカーを使い、被験者が音を聞きながらカラーピッカーから一つの色を選択する。研究の結果として、色聴者個人において根音・主和音・調性にある程度の相関関係が見られ、色聴者間においても音と色の対応関係にもある程度の類似が見られた。



図1 一貫性テストのGUI

3. マンセルカラーシステム

3.1 マンセルシステム

マンセル・カラー・システムとは、色を定量的に表す体系である表色系の1つ。色彩を色の三属性(色相、明度、彩度)によって表現する。色相は赤、黄、緑、青、紫といった色の様相の相違である。特定の波長が際立っているこ

†1 筑波大学
University of tsukuba.
†2 筑波大学

とによる変化であり、際立った波長の範囲によって、定性的に記述できる。明度は色の明るさを意味する。色味の弱い黒、灰、白など色を基準に明度は決められ、白を明度の10、黒を明度0とし、その中間に1-9の数字を割り当てる。彩度は色の鮮やかさを意味する。色の無い無彩を0として色の鮮やかさの度合いにより数字を大きくしていく。

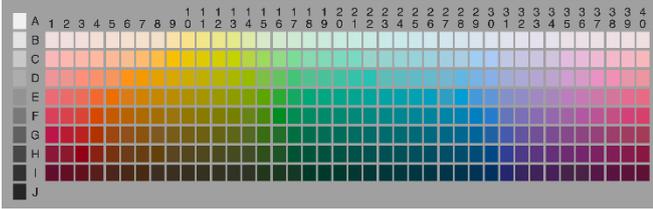


図 2 MUNSELL CHIP[4]

これをもとに推定した共感覚色をマンセルチップ上に落とし、色分布を見る。

3.2 基本色彩語

基本色彩語(BASIC COLOR TERMS)とは日常生活のコミュニケーションの手段として最も基本的な色単位に分類したものである。すなわち、ある限られた範囲の色に与えられた固有の名前ではなく、色空間全体をいくつかの色名で概念的に把握するための言葉であり、多くの者が幼少時に文化的背景に応じて最初に覚える色の名前である。1969年にアメリカの文化人類学者 Berlin と言語学者 Kay によって発表された報告によれば、さまざまな言語圏において共通する2個から11個の基本色彩語が存在する[5]。彼らは98種の言語を比較し、言語によって基本色彩語の数とその色の範囲が異なること、言語の進化によって基本色彩語が分化し増えてゆくことなどを見出した。そして各言語にある色名単語を調べた結果として色がそれぞれの民族の文化発展及び言語体系に応じて導入される順序は「黒、白、赤、緑、黄、青、茶、紫、橙、ピンク、灰」ということを明らかにした。日本語は11種類の基本色彩語を持っている。日本語の基本色彩語の種類は「黒」、「白」、「赤」、「緑」、「黄」、「青」、「茶」、「紫」、「橙」、「ピンク」、「灰」(「桃」は「ピンク」である)という11種類がある。

そして本研究は特に日本語の基本色彩の分布に注目し、色聴共感覚一貫性テストの色データが基本色彩語とはどんな関係で対応しているかもしくは近似な分布かを分析する。

日本基本色彩語色の範囲を決めるために今回基本色彩語に関するアンケートを行った。被験者が自分の経験により主観的に自分がその色だと思うブロックを「黒、白、赤、橙、茶、黄、緑、青、紫、ピンク、灰」という11種類の色をMUNSELL CHIPから選択する。

4. 色聴一貫性テスト

色聴一貫性テストには、音高(PITCH)、和音(CHORD)、調性(KEY)の三種を用意する。音は同研究室の先行研究から継承したMIDI(General Acoustic Grand Piano・普通のグランドピアノ)を使用するもの。

4.1 和音

和音とは、高さが異なる複数のピッチクラスの楽音が同時にひびく音のことである。三つのピッチクラスからなる和音を「三和音」、四つのピッチクラスからなる和音を「四和音」などと呼ぶ。和音のベースになる音を根音という。テストでは基本的に主和音(トニック)、属和音(ドミナ

ント)、下屬和音(サブドミナント)に構成される主要三和音を扱う。

4.2 調性

メロディーや和音が、中心音と関連付けられつつ構成されているとき、その音楽は調性があるという。伝統的な西洋音楽において、調性のある音組織を調(key)と呼ぶ。狭義には、伝統的な西洋音楽において、全音階の音から構成される長調(major key)と短調(minor key)の2つの調が知られ、総計24種類がある。

今回の色聴共感覚者のテストは以上の項目をもっておこなう。色聴共感覚者テストに、和音と調性の項目はそれぞれ三回まで繰り返し、順序がランダムで被験者に刺激する。

5. データ解析

5.1 色の一貫性

今回はRGB数値をもって一貫性を計算する。

テストからもらったデータについて説明する。二つの実験において和音は24種類、調性は24種類の項目がある。項目ごとに色を三回の選択がある。この三回選択した色の色差を計算する。

色データの色差を計算するため、CIEDE2000色差計算式を使う。CIEDE2000は以下の計算式に示す。

$$\text{distance} = \sqrt{(R_2 - R_1)^2 + (G_2 - G_1)^2 + (B_2 - B_1)^2}$$

各項目に対して、三つのデータが両々の色差を計算し、総和(以下の計算式に示す)を最後のDifference scoreにする。

$$v_j = D_{12} + D_{13} + D_{23}$$

最終的には、各種類テストの一貫性はすべての項目のDifference scoreの総和である。次の式で示す。

$$V = \frac{\sum_j v_j}{N}$$

Nは各テストの項目の数量である。Difference scoreの低い場合は被験者が近い色を選択したということを示され、一貫性が高い人と認める。低い場合は高得点被験者と呼び、逆に高い場合は低得点被験者と呼ぶ。

5.2 Earth Mover's Distance

EMDは二つの確率分布間の距離を計算する手法。画像の検索に関する分野では二つの画像間の距離を計算するためにEMDを用いることがある[6]。EMDの定義は、最適化問題の1つの輸送問題の考え方に基づいている。

EMDを求める際、二つの分布(PとQにする)はシグネチャとして表現される。分布PとQは：

$$P = \{(p_1, w_{p1}), (p_2, w_{p2}), \dots, (p_m, w_{pm})\}$$

$$Q = \{(q_1, w_{q1}), (q_2, w_{q2}), \dots, (q_m, w_{qm})\}$$

特徴量間では距離 d_{ij} が定義されている。輸送する荷重量(フロー)を f_{ij} と定義する。仕事量を $d_{ij} * f_{ij}$ と定義する。 d_{ij} は与えられる前提で、最適化する変数は輸送量 f_{ij} 。輸送量 f_{ij} には下の4つの制約が加える。

$$f_{ij} \geq 0, 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$$

$$\sum_{j=1}^n f_{ij} \leq w_{pi}, 1 \leq i \leq m$$

$$\sum_{i=1}^m f_{ij} \leq w_{qj}, 1 \leq j \leq n$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} = \min \left(\sum_{i=1}^m w_{pi}, \sum_{j=1}^n w_{qj} \right)$$

最終的に EMD(P, Q) は、輸送問題の最適値(総輸送コストの最小値) $\min(W(P, Q))$ を総フローで割って以下のよう
に求まる。

$$EMD(P, Q) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} d_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}}$$

5.3 色聴データの解析結果

今回の研究では、調性（長調）と対応する和音に注目して分析。

各種類と日本基本色彩語の EMD 値		
種類	共感覚	コントロール
和音	0.3949	0.4823
調性	0.3878	0.4957

結果より、同じ項目に関しては、共感覚者と日本基本色彩語の距離はコントロール被験者より小さい。各項目の差が若干違う程度がある。それがすべての人にとって調性の方が一番知られた存在ではないかと考えられる。その事実もある程度で共感覚の共通性を証明された。そして調性の分布が一番日本基本色彩語の分布に近いものと見られる。

次も特に長調に注目し、Difference Score による EMD 値の変化を行った。結果は以下の図に示す。

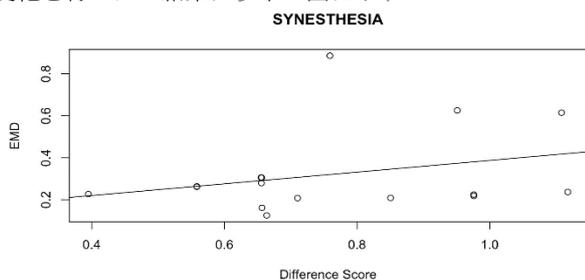


図3 長調（共感覚）DS と EMD の相関関係

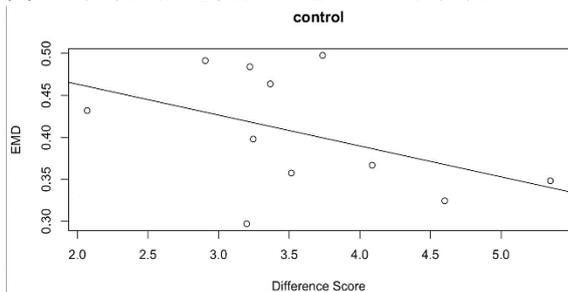


図4 コントロール者 DS と EMD の相関関係

比較するために、コントロール者の相関関係も計算された。結果から見ると、Difference Score が上がりながら、EMD もあがるという傾向が見られた。

5.4 Fantasia（ソナタ）の分析

共感覚者のデータを用いて第五楽章を解析した。動画のフレーム数分画像を出力し、画像に出力された色をカウントする。以下は解析で得られたグラフを示す。

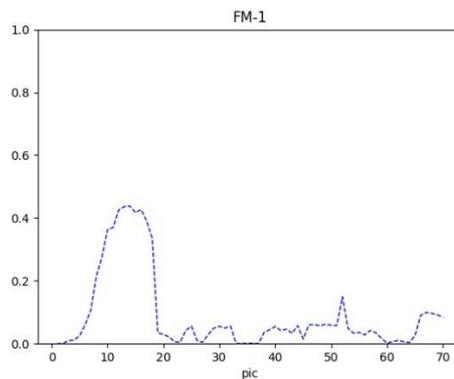


図5 共感覚色の変化 Fmajor

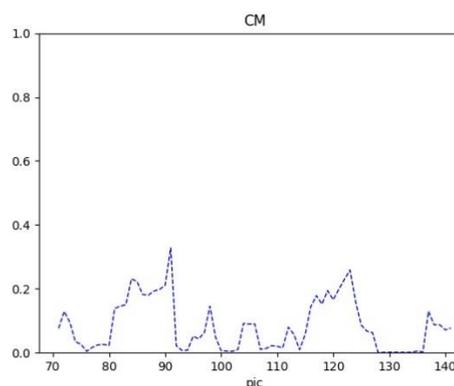


図6 共感覚色の変化 Cmajor

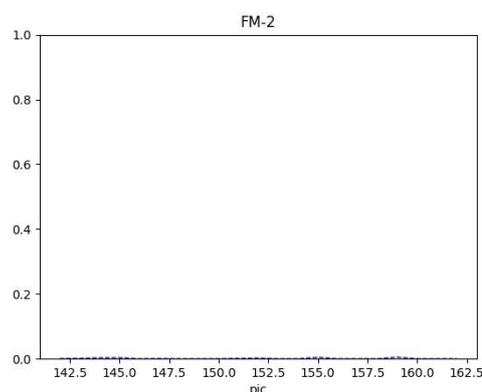


図7 共感覚色の変化 Fmajor

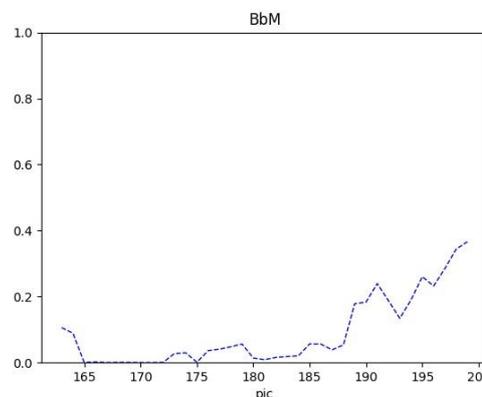


図8 共感覚色の変化 Bbmajor

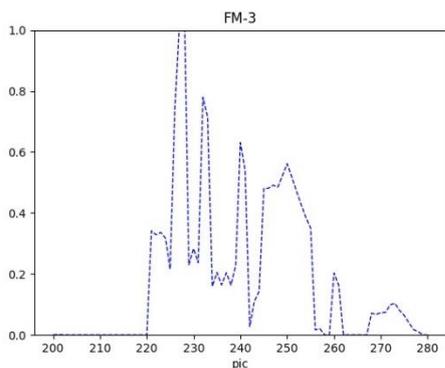


図9 共感覚色の変化 Fmajor

6. おわりに

本研究では共感覚の色聴という特殊な知覚現象を利用し、色聴共感覚者の一貫性テストから頂いた音高、和音、調性データを集めた。テストの結果から高得点の色聴知覚を持つ被験者の色データを特別に分析し、色聴共感覚というクロスモーダル感覚の対応関係の一貫性が見られた。そして、色聴共感覚高得点被験者の色データが一般人より基本色彩語の分布に近いということもわかった。次は基本色彩語に基づく音と色のクロスモーダルマッピングを明らかにする。最後に *fantasia* の共感覚色を解析を試みる。

謝辞 この論文の作成にご協力を頂いた人々に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1]長田典子(2010)音を聴くと色が見える:共感覚のクロスモダリティ 日本色彩学会誌 34(4)
- [2]ジョン・ハリソン(2006)共感覚—もつとも奇妙な知覚世界—新曜社
- [3]高橋理宇真 藤澤隆史 長田典子 杉尾武志 井口征士: fMRI による共感覚の計測-色聴者の音楽聴取時の脳活動 情報処理学会研究報告 2006-MUS-66 105-108(2006)
- [4] <http://www1.icsi.berkeley.edu/wcs/study.html>
- [5]Berlin, Brent; Kay, Paul (1969): **Basic Color Terms: Their Universality and Evolution**, University of California Press(1969)
- [6]柳本豪一 大松繁(2007)Earth Mover's Distance を用いたテキスト分類 The 21st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial

Intelligence