

## 質感の共感覚的クロスモダリティ (第 1.0 版)

王軍棚<sup>†</sup> 浅井信吉<sup>††</sup> 蔡東生<sup>†</sup>

共感覚の存在は古くから知られていたが、ただ単に芸術家に多い思い込みと思われていた。しかし、近年の脳計測により、その存在は否定しづらいものとなっている。脳科学の世界では、カオス的で定量的な扱いが困難な意識科学をその例外である共感覚を通して明らかにしようとする研究が盛んである。本報告では、質感の共感覚的クロスモダリティについて報告する。

## Synesthetic Cross-Modality With Texture (Version 1.0)

Junpeng Wang<sup>†</sup> Nobuyoshi Asai<sup>††</sup> and Dongsheng Cai<sup>†</sup>

Although existence of synesthesia was known for many years, merely many beliefs to an artist were seemed. However, by the recent measurements of the brain, its presence has become hard to deny. The world of brain science is prosperous in the research which is chaos-like and quantitative treatment tends to clarify through the synesthesia which is the exception about difficult consciousness science. In this paper, we report on synesthetic cross-modality with the texture

### 1. はじめに

共感覚とは1つの感覚刺激から、複数の知覚が不随意に引き起こされる知覚現象である。これは『黄色い声』や『甘い匂い』というような、複数種類の感覚を結びつける比喩表現や想像とは違う。一般的な感覚を持つ人には感じられない、共感覚者個人が主観的に知覚している現象である[1]。

様々な存在する共感覚の中でも比較的多いのが、音を聴くと色を感じる『色聴』と呼ばれるタイプである。例えば、「単語や文字の発音を聴くと色が見える」や、ドレミファソラシドなどの「音階や調性音を聴くと色が見える」など、様々なタイプの色聴が存在している。前者は"A"という文字や"テスト"という単語の発音に対して色を感じ取り、後者は「ハ長調(C)は赤、イ長調(A)は緑」といったように、音階や調性に対して色を感じ取る[2]。

共感覚はかつて芸術家に多い錯覚と言われたことがある。しかしながら、1991年以後 PET, fMRI を用いて脳活動の計測より、共感覚(色聴)が発生した時、脳の視覚聴覚エリアではなく、V4V5 というエリアに活動があることが分かり[3]、共感覚の存在は信じられるようになった。共感覚の発生原因ははっきり分かっていない。一説には新生児の感覚は未分化で、成長につれ脳の各部位の神経経路は遮断さるが、共感覚者は何らかの形で脳の各部位のつながりが残っていると考えられる(cross talk 説)[1]。そのため、共感覚者のクロスモダリティは一般的な感覚保持者が潜在的に有している可能性があると言われている。

近年、人間ロボットの設計製造及びメディア作品の音色デザインにはクロスモダリティという要素が注目されている[4][5]。クロスモダリティは人間の異なる感覚間のつながりを表しているし、人間の創造性と深く関係している[5]。

共感覚は人間のクロスモダリティと関係していると考えられている。共感覚者は知性が高く、抽象的で、創造的であり、また美的感受性が高いと言われている[5]。芸術家には共感覚者が7倍多く出現するとも言われている[5]。共感覚者は自分の共感覚を利用して芸術活動を行うことができ、さらに、共感覚の様々なクロスモダリティを利用して、芸術を創造したり理解したりすることができるのではないかと考えられている。

本研究では共感覚に基づく脳機能に関する神経科学の検証及びその理論における人間認識や感覚の研究を行う。そして、共感覚の色聴という特殊な知覚現象を利用して、色聴テストから得られた音高・和音・調性データをクラスタ解析する上で、音楽と色

---

<sup>†</sup> 筑波大学  
University of Tsukuba  
<sup>††</sup> 会津大学  
The University of Aizu

彩のクロスモダリティがどのようなパラメータで結びついているか解明してみる。

## 2. クラスタ解析について

クラスタ解析(clustering)とは、分類対象の集合を、内的結合と外的分離が達成されるような部分集合に分割することである(図1)。

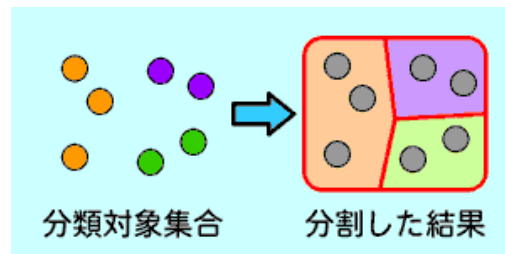


図1 クラスタリング

分割後の各部分集合はクラスタと呼ばれている。分割の方法にも幾つかの種類があり、全ての分類対象がちょうど一つのクラスタの要素となる場合(ハード、または、クリスピーなクラスタという)や、逆に一つのクラスタが複数のクラスタに同時に部分的に所属する場合(ソフト、または、ファジィなクラスタという)がある。本研究では前者のハードな場合のクラスタリングを用いる。

クリスピーとファジィの違いとは別に、クラスタリング技法を階層的と非階層的の2つに大別することができる。

### 2.1 階層的技法

階層的技法とは、与えられたデータセットの各データが1つのクラスタとなっている状態を初期状態として、クラスタ間の距離や類似度に基づいて、2つのクラスタを逐次的に併合してゆく手法である。一般的に、階層的技法ではウォード法が最も精度が良い。

### 2.2 ウォード法

ウォード(Ward)法では、クラスタAとBを併合したときに、クラスタ内の平方和の増加分が最小のものを併合する。式で書くと以下である。

$$D(A, B) = E(A \cup B) - E(A) - E(B) \quad (1)$$

平方和とはクラスタX内の各データxに対して、クラスタXの重心center(X)との距離 $d(x, cen(X))$ の自乗の和である。平方和を表すE(x)は以下の式で定義する。

$$E(X) = \sum_{x \in X} d(x, center(X))^2 \quad (2)$$

$d(a, b)$ はデータaとデータb間の距離として次式で与えられる。

$$d(a, b) = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2 + (a_z - b_z)^2} \quad (3)$$

### 2.3 クラスタ数の評価方法：シルエット

非階層的技法と階層的技法はクラスタ解析するとき、いくつのクラスタがあるのかが分からない。そのため、シルエットという評価方法が広く使われている。シルエット値が高いほうが良い。

シルエットはクラスタ内のシングルデータに対して計算する。まず、データとクラスタの距離は以下の式で定義する。

$$d_{i,c} = \frac{1}{N_c} \sum_{l \in C} d(x_i, x_l) \quad (4)$$

データとそのデータが属するクラスタの距離はaで、他のクラスタとの距離はbで定義する。

$$a_i = d_{i,C(i)} \quad b_i = \min_{C \neq C(i)} d_{i,C(i)} \quad (5)$$

a, b からシルエットを求める。

$$Sil_i = \frac{b_i - a_i}{\max\{a_i, b_i\}} \quad (6)$$

常に全体的な平均シルエットが使われている。

$$Sil_{average} = \frac{1}{N} \sum_{i=1..N} sil_i \quad (7)$$

## 3. 色聴者判定テスト

音→色共感覚者判定テストは本研究室のHPで公開されている(<http://www.cavelab.cs.tsukuba.ac.jp/~gotoh/syneth/index.html>)。テストは、実験者が音楽を聞きながら、色を選択するというものである。音楽は音高、和音、調性の三種用意した。音刺激はそれぞれ3回繰り返し、提示順序はランダムである。



図2 テストの GUI

### 3.1 テストの GUI と流れ

GUIの背景色は色知覚に影響が少なくなるようニュートラルグレーを用いる[6]。音高、和音、調性共にこのGUIを用いている。また、GUI左上では、現在何に注意して聴くのかを指示している(図2)。

テストが始まると、音が流れる。実験者には感じた色に対応する色をカラーピッカーから選択してもらう。右上の楕円が選択中の色を示す。

色を選んだら、『この色で決定』ボタンを押してもらう。色が見えなかったときは『色は見えない』ボタンを押してもらう。色を選択すると、その色に感じる質感などを選択するポップアップが表示されます。そこに該当の質感を選ぶことができる。

全試行が終わると、テストは終了となる。

### 3.2 Different Score を使った色聴者の判定

$I(i=1,2,3)$ 回目のテストで選択した色のRGB値を $x_i^c (c=\{R,G,B\})$ と表すと、各項目

$J$ のdifferent scoreは以下の式で定義する[7]。

$$v_j = \sum_{c=\{R,G,B\}} |x_1^c - x_2^c| + |x_2^c - x_3^c| + |x_3^c - x_1^c| \quad (8)$$

最後はこのテストの再現性を  $V = \frac{\sum v_j}{N}$  で表す。

本研究では  $V$  の値が2以下の場合には色聴者としている。

## 4. テストデータのクラスタ解析

本テストの紙面アンケートは東京芸術大学に実行され、数百人の中に共感覚が持っている可能性がある55名実験者はこのテストを受けてもらった。Different scoreの選択より色聴者である可能性が高い人16人がいた。この部分のデータをクラスタ解析の対象として使用した。

### 4.1 データの分布

(図3)は調性のト長調データの分布図である。番号は実験者の順番を表している。色はテストの回数を表す。赤い番号はテストの第一回のとき、青緑は第二、三回のときにそれぞれ選んだ色である。

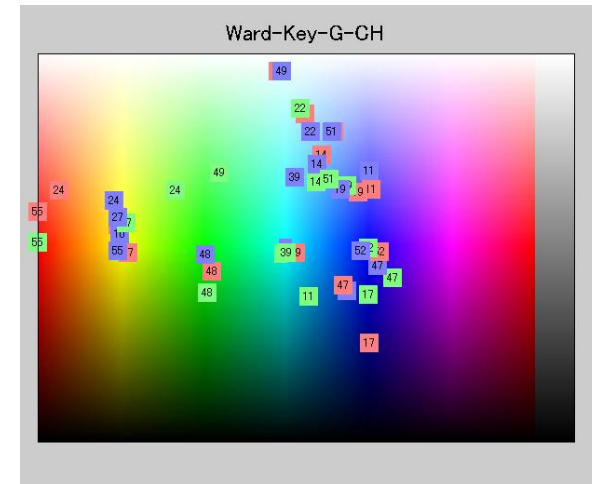


図3 調性のト長調データ

## 4.2 クラスタ解析の過程：デンドログラム

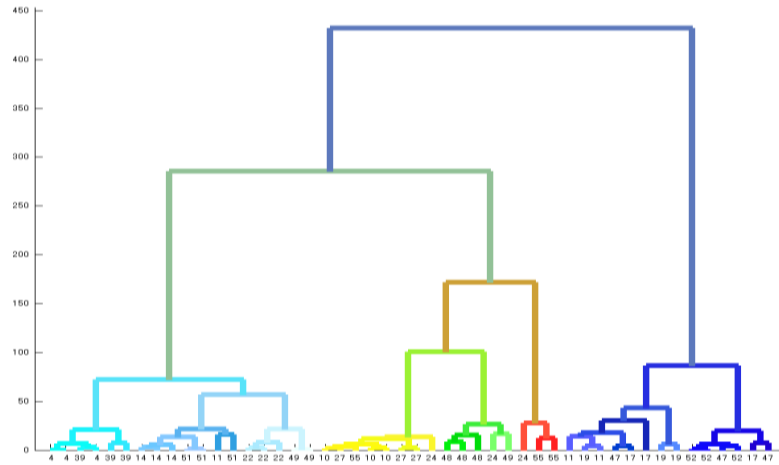


図 4 デンドログラム

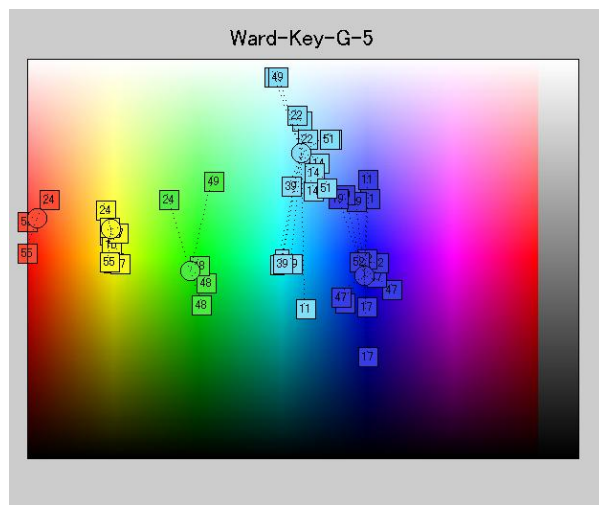


図 5 クラスタ 5 つ

階層的な手法で併合されている過程は、デンドログラムというグラフで表現することができる。X 軸がデータの順番、Y 軸がクラスタ間の距離を表し、最初二つデータの結合から最終二つクラスタの融合まで示している。(図 4) は色が付いているデンドログラムである。線の色は、両方のクラスタを融合した平均色となる。

## 4.3 クラスタリング結果

ウォード法で併合した後、シルエットを計算し、クラスタの数を定める。(図 5) はクラスタの数が 5 つになるとき、データが分割した様子を示している。同じ色のデータが同一クラスタに属する。

## 5. 音と色のマッピング

### 5.1 マッピング色

音高、和音、調性三つ部分の全部長調及び短調に対して上述のクラスタ解析した後、音と色のマッピング図(図 6) が得られた。この図は音のトニック(主音)により並び、同じトニックの音高和音調性音が一緒に揃っている。

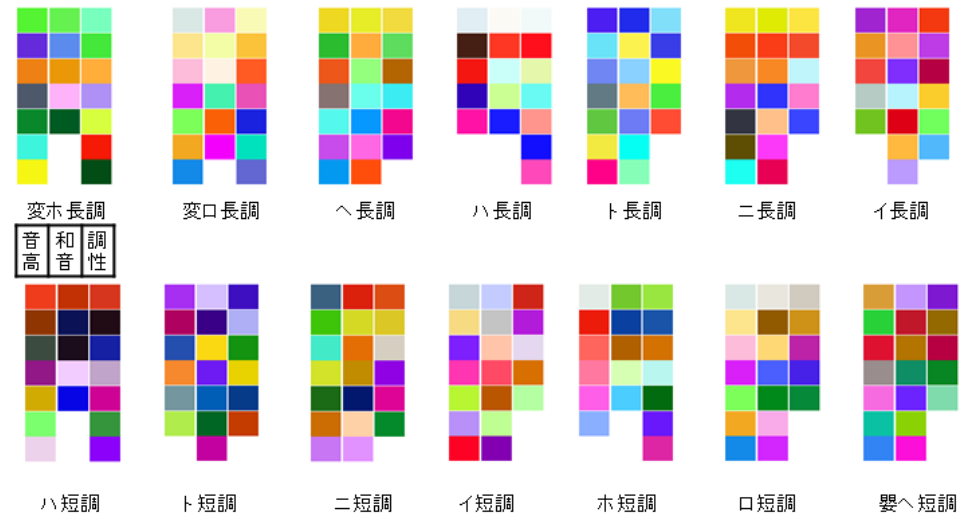


図 6 各長調と短調のマッピング色

マッピング図を見ると、同じトニックの音高、和音、調性音の共通色が直接に分かった。例えば、ハ長調の白、ト長調の青がそのトニックの共通色となっている。さらに、共通色以外トニックに合わせる他の色も見える。ト長調に合わせる色は順番に青、黄色、緑であることが分かった。

先行研究[8]により、共通色は調性について「ハ長調が白、ニ長調が橙、ト長調が水色、イ短調が赤、変ロ長調が黄、ヘ長調が黄から緑」であった。本研究のマッピング共通色はこの調性において先行研究ともほぼ一致する。

また、長調音より短調音の方が、比較的暗い色を共感覚者に選択されていた。これについてもテスト中の非共感覚者は色をバラバラで選んでしまったが、共感覚者と同じ傾向を示すことが分かった。こうした事実は、共感覚が少数の人だけが持つ特性ではなくて、すべての人に共通するクロスモダリティから派生していることを示唆している。すなわち、共感覚者のクロスモダリティは普通の人に有している可能性があると考えられている。

## 5.2 アニメにマッピング検証

本実験で得られた音と色の対応関係のデータを、音楽と色彩を見事に融合させた作品として有名なディズニーのファンタジア収録の交響曲第6番「田園」(ベートーベン作曲)の第1章(ヘ長調)と比較してみる。アニメの場面では、(図7)に示すように、田園の音楽が始まると共に、風景が溶明してくる。また、それに合わせるように、実験結果の色が多く使われてきている。

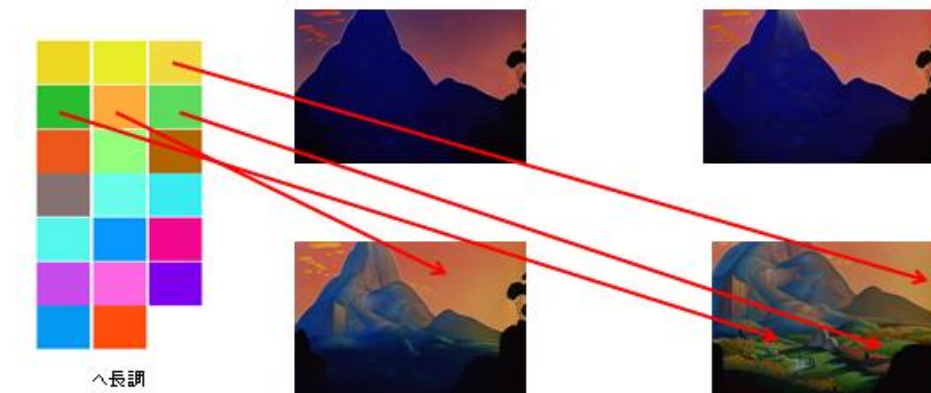


図7 場面1

(図8)の場面2でも、背景に実験結果に近い色が使われていたが、1章の最後に

近づくにつれ合致しない色が使われ始めた。2章の変ロ長調の色と比較すると、近い色が使われていた。

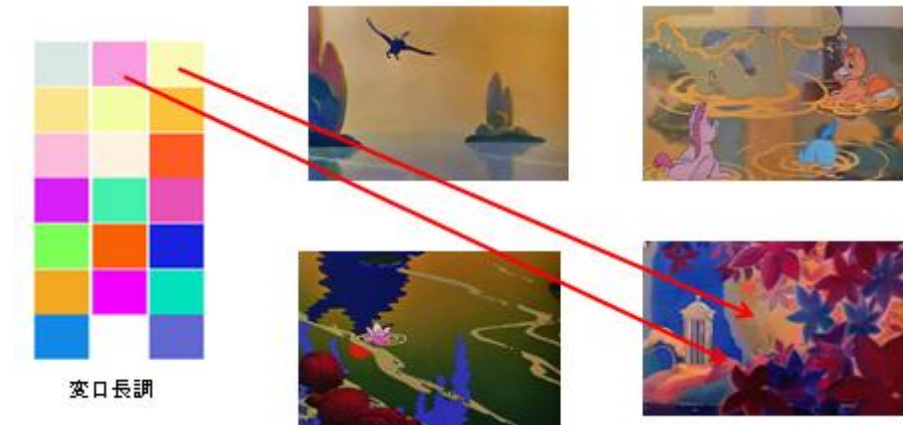


図8 場面2

以上より、本実験で得られた色と、ファンタジア田園第一章とを比較した結果、近い色で彩色されている傾向が見取れた。このことから、本実験で得られた音と色の対応関係は、ある程度ではあるがファンタジアの芸術性に通じていると考えられる。

## 6. おわりに

本研究ではウォード法を用いてクラスタ解析を行い、色聴共感覚者のクロスモダリティを探った。調性を中心としたマッピングにおいて色聴者は主に色を感じることが分かった。また、音高と音調性にある程度の相関関係が見られ、先行研究の共通性とも一致したことが分かった。なお、ファンタジアに使われる色とマッピング色が通じていることが見られた。

ウェブテスト調査は今も継続中で、常時、2,30名の色彩・質感・音楽のクロスモダリティを持つ協力被験者を募っており、より質の高い、感覚モダリティの研究を進められると考えられる。なお、共感覚保有者群と一般群のfMRI計測データを収集し、聴覚刺激、文字記号による視覚刺激が色知覚野と小脳の同期的活動を誘発するメカニズムのモデル化を機能的・解剖学的方法を用いて行う。

**謝辞** 共感覚アンケートとウェブテストにご協力頂いた皆様に、謹んで感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) リチャード.E.シトウィック(山下篤子訳): 共感覚者の驚くべき日常形を味わう人色を聴く人 草思社(2002)
- 2) ジョン・ハリソン(松尾香弥子訳): 共感覚—もつとも奇妙な知覚世界, 新曜社(2006)
- 3) Ramachandran V.S. and Hubbard E.M., Synaesthesia: A window into perception, thought and language, *Journal of Consciousness Studies*, Vol.8, No.12, pp.3-34 (2001)
- 4) 尾形哲也: 人工神経回路モデルによるインタラクション創発システム実現に向けて. *JNNS*, Vol.4, pp.282-292(2007)
- 5) Noriko Nagata: Hearing Sounds and Seeing Colors: Cross-Modal Synesthesia, *Color Science Association of Japan*, Vol.34, pp.348-353(2010).
- 6) 後藤祥一: 色聴感覚を用いた音と色のノンバーバルマッピング, 筑波大学修士論文(2009)
- 7) David M. Eagleman, Arielle D. Kagan: A standardized test battery for the study of Synesthesia, *Journal of Neuroscience Methods*, Vol.159, No.1, pp.139-145(2007).
- 8) 長田典子, 岩井大輔, 津田学, 和氣早苗, 井口征士: 音と色のノンバーバルマッピング-色聴保持者のマッピングルール抽出とその応用, *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol.86, No.11, pp.1219-1230(2003).