

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23611029

研究課題名(和文)色彩と音楽のクロスモーダルな転調；脳科学とコンテンツデザインの融合

研究課題名(英文)Cross Modal Moduration of Color and Music; Fusion of Brain Science and Content Design

研究代表者

浅井 信吉 (ASAI, Nobuyoshi)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：80325969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：映像に音楽が加わることで、映像作品がより印象的になったり、音楽も映像が加わることでより感動的になる。その指標として共感覚を用いた研究がある。共感覚とは、『音を聴くと色が見える』や『味わうと形を感じる』、『文字に色が見える』など、一つの感覚刺激に複数の知覚が不随意に引き起こされる現象である。共感覚自体は古くから知られていたが、“思い込み”や“錯覚”、“あいまいな感覚”であるとされてきた。しかし、1990年後半以降、PETやfMRIを用いた実験により、共感覚のメカニズムが明らかにされてきた。本研究ではメディア、特にアニメで利用されるクロスモーダルマッピングをマルチメディアデザインとして研究した。

研究成果の概要(英文)：We performed a set of test based on a standard battery of tests [Eagleman et al. 2007] that include:(1) a pitch test, (2) a chord test, and (3) a musical key test. The test subjects select colors from a color map and emotions from a list of a emotive word list after hearing sounds or short music generated by various pitches, chords, and keys. We judge the level of the synesthesia based on the battery score formula. Hundreds of synesthetes took the tests and we select only those with the high scores based on Eagleman's criteria. The test subjects associate colors to the keys and choose colors from those in the basic color terms. In both the pitch and chords tests, they choose the same basic colors in the key test. The key has a tonic chord and the tonic chord has a root. All chosen color for its associated tonic chord and its root are the same as those chosen for the key. This strongly suggests that synesthetes perceive the sound as a structure characterized by the "key".

研究分野：時限

科研費の分科・細目：デザイン学

キーワード：感性デザイン クロスモダリティ 色聴 色字 MEG

1. 研究開始当初の背景

(1)映画やテレビ、コマーシャルなど、音楽と映像、音楽と色彩など、複数のメディアが合わせて使われることがよくある。それは複数のメディアを扱うことで互いの印象を強め合うことができるからである。音楽が加わることで映像の意味が明確に伝達され、映像作品がより印象的なものになったり、音楽の印象も映像が加わることでより感動的なものになる。そのような異種感覚間メディアの中でも、感性語を介さずに音楽と色彩を直接対応付ける手法をノンバーバルマッピングといい、その指標として共感覚が用いた研究がある。共感覚とは、『音を聴くと色が見える』や『味わうと形を感じる』、『文字に色が見える』など、一つの感覚刺激によって複数の知覚が不随意に引き起こされる現象のことである。共感覚の存在自体は古くから知られていたが、その存在は"思い込み"や"錯覚"、"あいまいな感覚"であるとされてきた。しかしながら、1990年後半以降、PET(Positron Emission Tomography)やfMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)を用いた実験により、共感覚のメカニズムが次第に明らかにされ、その存在は否定できないものになってきた。

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の分化によって、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が、正しいことは分かっていない。

共感覚の中でも『音を聴くと色が見える』ものを『色聴』といい、色聴者を対象とした研究も行われている。それら先行研究の結果によれば、色聴者の音と色のマッピングを、一般の感覚保持者も潜在的に有している可能性が示唆されている。また、緩やかな色聴感覚は、一般に誰もが感じる感覚(共通認識)の範囲に存在するという結果もある。しかしながら、色聴者を集めることの難しさから、被験者の絶対数が少なく統計的に有意であるとはいえない。また、音楽と一言でいっても、そこには調性、音高、音色、和音などのさまざまな要素が詰まっているため、被験者が音楽の何に注意して聴いているのか定かではないなどの問題点が残ったままである。

(2)共感覚

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喻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。

共感覚は『文字 色』、『音 色』などの多

くの種類があり、いずれの共感覚も個人によって誘因や症状の度合いが異なっているため、個人の持つ共感覚を定義するのは容易ではない。神経学者のRichard E. Cytowicは共感覚には次のような一般特徴があることを明らかにした。

- 1) 共感覚は不随意的だが、誘発されるのは間違いない。共感覚は刺激なしに意志の力で意図的に発生させることはできず、当該刺激によって誘発される。
- 2) 共感覚は投影される。誘発される感覚は心の中のイメージとして生じるのではなく、個人空間(体の周りの空間)で感じられる。
- 3) 共感覚の知覚は持続的、個別的、総称的である。共感覚者の感覚の結合は生涯続く。すなわち、Aの音に対しBの色を見えるという対応関係が経年によって変化することはない。また、それは複雑なものではなく、しみ・線・渦巻きといった形、つるつるした・ざらざらした手触り、塩気や甘みなどの単純なパターンからなり具体性はない。
- 4) 共感覚は記憶に残る。共感覚はしばしば引き金となった刺激よりも強く記憶に残り、記憶の強化につながる。
- 5) 共感覚は情動的、認知的(ノエティック)である。共感覚者は自分が知覚しているものが現実であるという確信を持っている。

また、共感覚の発生原因ははっきりと分かっているとはならず、いくつもの説が存在する。

- 1) 共感覚は、実際は私たちが誰でも持っている正常な脳機能なのだが、その働きが意識に上る人が一握りしかいない。共感覚者は共感覚のとき、通常は意識に上らないプロセスが意識に剥き出しになるので、自分に共感覚があることを知るのだが、通常の人にはそれを知らないだけである。
- 2) 新生児の脳は生後3ヶ月ほどまで皆、共感覚を有している。それは新生児の脳の五感未分化であるためと考えられる。しかし、経年と共に次第に分化が進み、各感覚野をつなぐ経路は遮断され、共感覚を失う。しかし、共感覚者においては分化され遮断されるはずの経路が保持されることによって、共感覚を知覚し続けることになる。
- 3) 幻肢の理論である交差配線(クロス配線)を共感覚に応用したものである。交差配線とは、脳の隣接する部位間において混線が生じて起こる現象である。つまり、色と数字を処理する部位が隣接しているとき、その二つの間で混線が起こることで共感覚が生じるとしたものであ

る。そして、それを発展させた交差活性化は、隣接していない離れた領域間でも起こりえるので、交差配線では起こりえない共感覚をも説明できるとしたものである。

共感覚の発生原因にはこれら以外にも説が存在するが、いまだ確実なことは分かっていない。だが、かつては個人によって異なるものとされてきた共感覚で感じる知覚が、最近の研究ではある程度の共通点が見られることが明らかになっている。例えば"文字色"の共感覚『色字』では、『A』は赤色、『O』は白色または黒色、『S』は黄色といった傾向があることが報告されている。しかしながら、現状このような二つの感覚の知覚の対応関係についてはまだ多くの調査がなされていないため、未知な部分が多い。

共感覚者の生起確率は2000人に1人、200人に1人などさまざまな論が存在する。しかし、共通して圧倒的に女性に多いということが報告されている。

(2.1) 色聴

多種多様に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』と呼ばれるタイプがある。

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。『色字』は"A"という文字や"てすと"という単語の発音に対して色を感じ取り、『色聴』は「八長調(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。例えば、ロシアの作曲家スクリャーピンは八長調(C)は赤、イ長調(A)は緑、同じくリムスキー・コルサコフは八長調(C)は白、二長調(D)は黄という具合に色を感じていたようである。

また、先行研究によって、色聴保持者が音楽聴取時に、実際に色知覚に關与している脳領域(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[8]。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。

そのため、色聴者であるかどうかを客観的に評価・測定する手法は確立されていない。しかし、Cytowicによる"共感覚の診断のための主要な5つの特徴"など過去の知見から、色聴者がある程度同定することが可能であると考えられる。

また、色聴における先行研究より以下のことが示唆されている。

1) 色聴者の音と色のマッピングを、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。

2) 音色について、高調波成分が増えると色の彩度が上がり明度が下がる傾向があり、また、音の優先順位は『調>音高>音色』である。

明度はテンポが下がると下がり、彩度はテンポが上がるにつれてあるピークまでは上がり、その後下がっていく傾向がある。

2. 研究の目的

本研究では、音楽のパラメータを楽典を用いて分別し、それぞれに対して色聴者の持つ音と色のマッピングを取得する。また、多くの色聴者からデータを取得するため、WEB上に色聴者を対象としたアンケートを構築し、以下の4項目から、被験者が色聴者であるかどうかを判定する。

- 1) 色に再現性が見られる。
- 2) 幼児期から色を感じた経験を持っている。
- 3) 色と音の対応関係が一定で変わらない
- 4) 感じる色が色音符などの学習結果によるものではない。

また色字に関して、MEG測定により共感覚の脳内活動をj確認する。

3. 研究の方法

(1) 色聴共感覚テスト

図1の色聴テストをweb上に構築し、色聴共感覚者を募った。さらに被験者のうち、Difference Scoreが高く、またアンケートにおいて色聴があると回答した被験者を高得点群と呼ぶ。

- ・音高(Pitch)の高得点者14名
- ・和音(Chord)の高得点者8名
- ・調性(Key)の高得点者10名

また、Difference Scoreの低かった被験者を低得点群と呼ぶ。

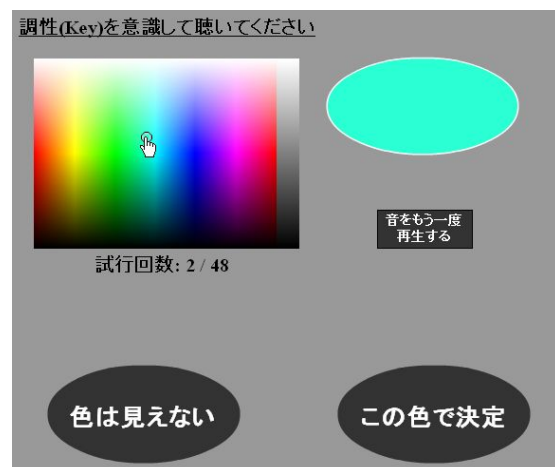


図1 色聴共感覚テストGUI

(2) 色字共感覚テスト

文字に色が見えるという22歳男性に対して、漢字に対応する共感覚色特定のための一貫性テストを行った。



図2 色字共感覚テスト GUI

4. 研究成果

(1) 被験者内における音高・和音・調性の関係

音高、和音、調性の全ての実験において高得点を出し、なおかつ、色聴の自覚があり、物心ついたときから色が見え、また、その色が今までに変わったことがないと答えた被験者について考察する。

得られたデータのうち、調性の必須条件14調に対して、その調性の主和音、その主和音の根音を、五度圏の形状に合わせて比較した様子を図10に示す。

音高・和音・調性の並び順は、外から内に向かって音高、和音、調性の順である。

図3において、円の外回りの長調においては、例えば八長調では、上から順に音高C / 和音CEG / 調性八長調の順で並んでいるが、それぞれの音に対して選択された色がほぼ『白』と強い相関があることが分かる。

しかしながら、円の内回りの短調においては、和音と調性にはどれも強い相関があるが、ほとんどの音高が和音・調性との間に色の近似が見られない。

また、例えばG(ト)の音について、音高では水色が選択されているが、Gを根音としたト短調主和音は薄紫であり、ト短調もまた薄紫色である。しかしながら、同じGを根音としたト長調とト長調の主和音は音高と同じく水色が選択されている。これらのことから、この被験者は一つの音を聞いたとき、その音は長調に帰属する音と認識して聞いていたと考えられる。

平行調には部分的には近い色が選ばれる傾向が見て取れるが、属音関係には何かしらの傾向は見られなかった。

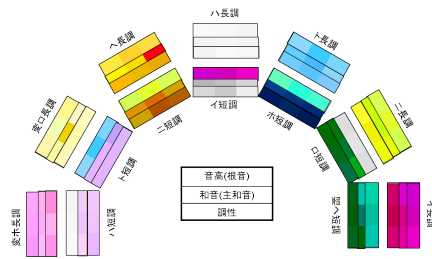


図3 音高・和音・調性の相関

また別の被験者では、調性とその主和音の間にはある程度の相関が見られるが、音高を含めて3パラメータにおける相関関係は、長調、短調の差によってではなく、右回りと左回り、つまり増える調号が か かによって、傾向が分かれていた。この被験者の場合

- 1) が増える側、つまり右回りでは、短調において、音高・和音・調性に相関が見られるが、長調についてはあまり見られない。
- 2) 逆に が増える側、つまり左回りでは、長調において、音高・和音・調性に相関が見られるが、短調についてはほとんど見られない。

これらのことから、この被験者は一つの音を聞いたとき、その音が長調に属する音か短調に属する音かを聞き分けて認識していたと考えられる。

こちらの被験者に関しては、平行調や属調双方に関して、何かしらの傾向は見られなかった。

この実験結果をディズニー・ファンタジア収録の交響曲第6番「田園」の第一楽章(へ長調)において調査した。

場面1では、図4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。

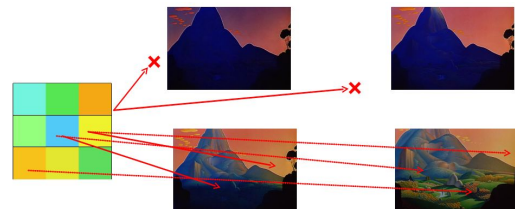


図4 場面1: 田園風景

場面2では、図5に示すように、全体的に実験結果の色が使われる量が少なかった。しかしながら場面2の主人公格であるユニコーンが水色であるなど、多少近い色が使われていたともいえる。

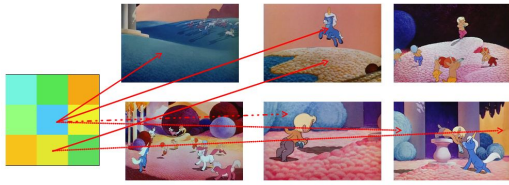


図5 場面2：ユニコーンとケンタウロス

場面3では、図6に示すように、主に空などの背景の色に、緑や水色、黄色など実験結果に近い色が使われていた。

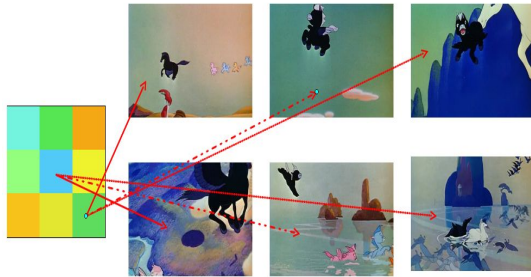


図6 場面3：ペガサス

場面4では、図7に示すように、後半になるにつれて赤紫や青など、へ長調とは違う色が選択されるようになってきた。しかしながら、田園の2章が変口長調であることから、図中の左下に示すように本実験で得られた変口長調と近い色が選択されていた。このことから、場面転換や転調に先立って、色彩を変化させていった可能性が考えられる。

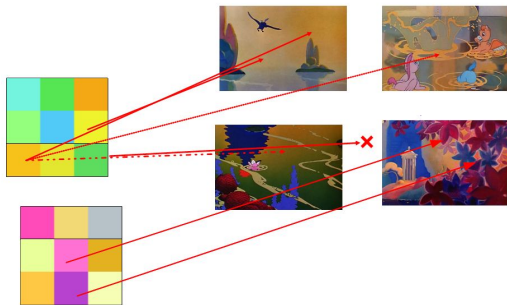


図7 2章へ

また、上位5色についても検討した。

(2) 色字共感覚者のMEG計測

色字共感覚一貫性テストのデータから漢字に対して、最も強く感じた色 (Congruent) と感じた色からもっとも遠い距離にある色 (Incongruent) で表示したときの血流を、MEGで計測した。全体の傾向を見るために、推定された電流密度の全脳での加算平均波形を示す (図8右)。

解析は被験者本人のMRI画像をTalairach座標系へ変換し、脳表3984点 (図8左) に対し Minimum-Norm estimation を行っ

た.)

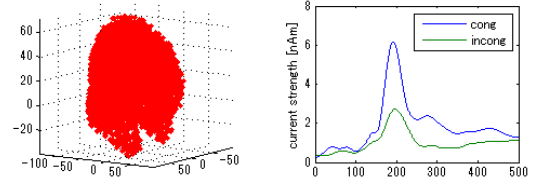


図8 総平均電流密度波形

図9のM300は両側の、眼窩前頭、前紡錘状回、後頭葉においてCongruentで電流密度の増加がみられた。このM300成分の増加は被験者が、漢字と色の一致・不一致を区別でき、かつ「色が一致していたらボタンを押してください」の指示に従って一致刺激に対し注意配分を行っていたことが確認された。

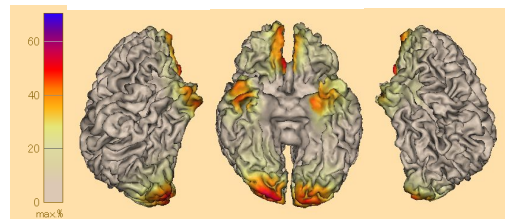


図9 M300成分 (272ms) Congruent - Incongruent 差分信号

この実験のM200成分に関して、図10に見られるように、言葉 - 色の処理や漢字の処理に係る右側紡錘状回において広く大きな活性が見られた。

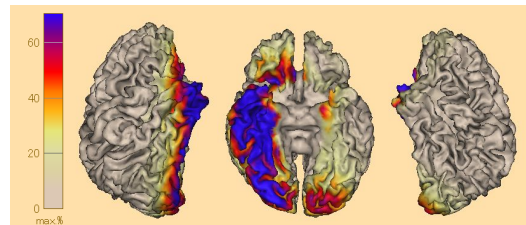


図10 M200成分 (190ms) Congruent - Incongruent の差分信号

(3) まとめ

本研究では音と色とを、感性語を介さずに直接対応付けることを目的とし、そのための指標として色聴を用いた。そして、色聴者の方々の音と色のマッピングデータをWEBアンケートを用いて収集した。実験の結果から、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た。複数の色聴者間においても、音と色の対応関係にある程度の類似が見られ、またそれは先行研究の共通性とも一致した。しかしながら、1対1対応ではなく複数個所に局在化するケースも多く見られた。さらに、調性はその主和音に、また主和音がその根音に影響を与えていると考えられることから、調性を中心とした認識プロセスを経て、音を聞いている可能性

があることが示唆された。

また、色字共感覚者に対して、共感覚のための一貫性テストと、そのデータを利用してMEG測定をし、共感覚色に対する脳内活動を、右側紡錘状回における広く大きな活性に確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4件)

H. T. Chaminda, V. Klyuev, K. Naruse, M. Osano, Recognition of ShortTime-Paired Activities - An Algorithm for a Smart Reminder System-, IEEJ Transaction of Electronics, Information and System, Vol. 132. No. 6, pp.1016-1027, 2012

K. Naruse, S. Fukui, J. Luo, Mutual Localization of Multiple Sensor Node Robots, J. of Advances Comp. Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15. No.9, pp.1269-1276, 2011

〔学会発表〕(計 17件)

D. Cai, N. Asai, N. Nagata, Emotion of Colors: Synesthetic Cross-Modal Key Modulation, SIGGRAPH 2014, Studio Talks Proceedings(DVD)

S. Wada, Y. Yaguchi, R. Ogata, Y. Watanobe, K. Naruse, R. Oka, Associated Keyword Analysis for Temporal Data with Spacial Visualization, Proc. of The 15th IEEE Int. Conf. on Awareness Sci. and Tech., USB 2013, 会津若松

渡辺彬, 植西紀文, 檀一平太, 蔡東生, 浅井信吉, 人名漢字に対する共感覚色テスト, 第4回情報処理学会東北支部研究会, 2013, 会津大学

櫻井詠輝, 浅井信吉, 蔡東生, 共感覚における色聴テスト方法の考案, 第4回情報処理学会東北支部研究会, 2013, 会津大学

J. Wang, D. Cai, N. Asai, N. Nagata, A. Fukumoto, Synesthetic Cross-Modal Sound-Color Mapping, The 15th annual meeting of the association for the Scientific Study of Consciousness, 2011, Kyoto

〔図書〕(計 1件)

K. Naruse, Advances in Intelligent System and Computing, Vol. 194, pp.843-851, 2013

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

浅井 信吉 (ASAI Nobuyoshi)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：80325969

(2)研究分担者

成瀬 継太郎 (NARUSE Keitaro)

会津大学・コンピュータ理工学部・准教授

研究者番号：10301938