

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650040

研究課題名(和文)音と色彩の対称的かつ構造的感覚クロスモダリティのメディアデザインへの応用

研究課題名(英文) Symmetric and Structural Cross-Modal Mapping between Musics and Colors and its Application to Media Designs

研究代表者

蔡 東生 (Cai, DongSheng)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：70202075

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：複合された知覚様態のことをクロスモダリティーと呼び、芸術や創作への応用が期待されてきている。共感覚者のもつクロスモダリティーは人間が本来もっているものとされ、非共感覚者にも潜在的にそのクロスモダリティーがあると示唆されている。本研究では共感覚者のクロスモダリティーを応用することで、複数の知覚や情動における相関を明らかにしようと試みるものである。共感覚は複数の知覚を不随意かつ同時に知覚することで、一般には芸術に素養のある人に多く見られる。具体的には音に色が見える、すなわち色聴の共感覚者に対し音と色の対応関係を実験により比較検討した。また、その結果を実際の映像メディアに適用することで検証を行った。

研究成果の概要(英文)：Synesthesia is a neurological condition in which stimulation of one sensory or cognitive pathway includes automatic and involuntary responses in a second sensory or cognitive pathway. People who report such experiences are known as "synesthetes". A subset of synesthetes, sound-color synesthetes "see" colors and simple animated shapes in association with music and other sounds. We can find a color-sound synesthetes out of two to three thousands. It has been suggested that "...every infant is synesthetic, although most gradually grow out of it" p 12 (Stein and Meredith 1993) and the synesthetes possess these cross-modal connections even they grown up. We show scientifically how these synesthetic cross-modal mapping are used in animations and movies.

研究分野：コンピュータグラフィックス、メディア情報

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：共感覚 感覚統合現象 脳内クロスモダリティ MRI計測 MEG 応用認知科学 カラーグレーディング

1. 研究開始当初背景

「文字や数字に色が見える」「味に形を感じる」といった共感覚は現在「一つの感覚刺激によって別の知覚が不随意に引き起こされる知覚現象」と定義されている。共感覚という現象自体は古くから知られていたが、幻覚と区別がつかないことに加え実証主義的な測定方法がなかったため、非科学的なものとされていた。ここ近年で fMRI や PET 等の技術発展により脳活動の計測という手法が確立された。共感覚者にこの脳計測実験を行った結果、今では共感覚の存在は否定できないものとなっている。

2. 研究の目的

共感覚の研究が進む中でノンバーバルマッピングの可能性が示唆されている。ノンバーバルマッピングとは感性語を介さずに音楽や色彩を直接対応付ける手法であり、その指標として共感覚が用いられている。例えば文字に色を感じる、色字の共感覚者は「Oは白」「Aは赤」というような色を感じる傾向が強いことが分かっている。また、音に色が見える、色聴の共感覚者は「ハ長調は白」「ト長調は青」と感じる共通性が見られる。さらにこれらは共感覚を持っていない人にも同じ印象を与えられることがわかっている。

本研究では音、色、情動に焦点をあて共感覚のクロスモダリティについて多角なアプローチを試みる。

3. 研究の方法

(1) 共感覚とは

共感覚とは「黒く印字された文字に色が見える」、「味によって手などに触感や形を感じる」など、一つの感覚刺激が別の感覚刺激を不随意に引き起こす知覚現象のことを言う。いわゆるメタファーと呼ばれる、「黄色い声」や「甘い香り」などの比喻表現とは異なる。また、ここでいう共感覚は幻覚や神経異常ではなく、共感覚の保持者は共感覚があっても日常生活において全く支障がない。共感覚を持たない人は知覚されない感覚であり、連想や想像とも異なる。共感覚者は主観的な知覚として共感覚を認識している。

(2) 心理学者の Simon Baron-Cohen と John Harrison は共感覚を①発達性(先天性)共感覚②共感覚的比喻③後天的共感覚④薬物性共感覚の4つに分類定義した。この分類は、従来は同じものとして扱われてきた、共感覚的比

喩、薬物による共感覚を、先天性の共感覚とは別のものとして分類している点で高く評価されている。なお、本研究における「共感覚」とは「発達性共感覚」のみを指すものとする。



図1：音に色や形を感じる共感覚のイメージ

(3) 発達性共感覚

発達性共感覚のほとんどには、次のような特徴が見られる。

- ① 幼児期、それも四歳以前に、はじめてその徴候が見られる。
- ② 幻覚、妄想、もしくは精神病に伴ういかなる現象とも異なる。
- ③ 想像力により生み出された空想とも異なると言われている。
- ④ 薬物使用により誘発されたものではない。
- ⑤ 鮮明である。
- ⑥ 自動的、不随意的に現われる。
- ⑦ 習得されたものではない。

(4) 共感覚の特徴

共感覚を持っていると自称する人が果たして本当に共感覚者なのかどうかを判定することは非常に難しい。なぜなら共感覚は本人の主観に基づく現象であるためである。ただ共感覚者にはある程度特徴が共通して見られることが経験的にわかっている。以下に述べるのは神経学者 Richard E. Cytowic による共感覚診断のための5つの特徴である。

- ① 自動的かつ不随意的
- ② 共感覚は投影される
- ③ 共感覚の知覚は一貫性があり、単純で具体的
- ④ 共感覚は記憶に残る
- ⑤ 共感覚は情動的、認知的である

(5) 色聴

本研究では、共感覚のうち音→色の共感覚である色聴を対象とした研究を扱う。色聴は共感覚者の中でも比較的多く見られる共感覚

で、単語の発音や音楽、楽器の音色などを聞くと色が見えるという種類の共感覚である。先行研究の fMRI による脳計測では、色聴保持者は音楽を聞いているときに聴覚野の活動だけでなく、本来活動はするはずのない紡錘状回の色知覚野 (V4) でも活動したことが確認されている。

本研究では「音→色の共感覚テスト」によって被験者の解析を行う。このテストは WEB 上に公開されている。「音→色の共感覚テスト」は Cytowic の共感覚診断における特徴から色聴保持者に以下の仮定をもとに作成されている。

- ①色に再現性がある。
- ②幼児期から音に色を感じていた経験がある。
- ③色と音の対応関係が一定で変わらない。
- ④感じる音が色音符などによる学習による連合ではない。

4. 研究成果

(1) 音→色の共感覚テスト

開発された WEB サイトで「音→色の共感覚テスト」を実施している。アンケート調査にご協力いただいた学生にもこのテストを受けてもらうよう案内している。テストは WEB 上でいつでも受けられるもので 10~15 分ほどで完了する。音を聴いてその色を答えるもので本節ではそのテストの概要を説明する。

音楽には、複数のパラメータ (調性・音高・音色・和音・テンポなど) が存在するが、このテストでは、特に音高 (Pitch) ・和音 (Chord) ・調性 (Key) のパラメータに注目し、色との相関性をパラメータごとに見ることを目的とする。

以下には WEB テストの GUI とその流れを説明する。

- ①最初の画面で「テストスタート」ボタンを押すと、[図 2] のようなテスト画面になる。
- ②初めに音が流れる (音が鳴っている間はボタンが押せない)。
- ③見えた色に対応する色をカラーピッカーから選択する。右上の円が選択中の色を示す。色は 3 色まで選択できる。1 色だけ見えた方は 1 色を選択し、複数の色が見えた方は、見えた色を強い順に選択してもらう。
- ④全項目の 3 回が終わった後、判定結果が出てくる。



図 2 音→色の共感覚テスト GUI

(2) Fantasia による検証

Fantasia は 1940 年に公開されたディズニー映画で、「最も共感的な映画」と言われ、その芸術性は今日でもなお評価され現在のほとんどのアニメに影響を与えている。本節では Fantasia にヒストグラム解析を施すことで、共感覚の色が本当に使われているのかどうかを検証する。Fantasia はクラシック音楽に合わせ情景やキャラクターが躍動する台詞のない映画である。背景音楽はこの映画の為にオーケストラ演奏したものが使用され、曲によっては原曲 (作曲者の楽譜) とは大きく異なるものもある。

検証対象に用いるのはその 5 曲目にあたる「田園交響曲 (原題: Symphony No. 6, Op. 68 “Pastoral” by Beethoven 以下『田園』と称す)」の第一楽章 (Erwachen heiterer Empfindungen bei der Ankunft auf dem Lande.) である。編曲の少ない、できるだけ楽譜に忠実な原曲に近く転調のあるものを選んだ。「田園」では 151 小節目から 422 小節目までが省かれている。これは「田園」のソナタ形式における展開部にあたる。原曲からの主な変更点は省略のみであり、動画演出のための細かな緩急やアクセントを除けば原曲とさほど変わらない。

解析手順を説明する。まず映像編集ソフト Adobe Premiere Pro CS4 で Fantasia の「田園」のみを抽出する。次に同ソフトで共感覚色と非共感覚色に分けて二値化を行う。共感覚色には同研究室において WEB テストからクラスタリング分析された上位 3 色を用いた。以下にはそのクラスタリング結果のうち、「田園」で用いられる調の色のみを掲載する。以後これらの色を「共感覚色」とよぶ。

それぞれの色は色差 8% をとって色を変えている。Adobe は LAB 空間で色差効果を実現

している。LAB とは人間の色知覚に近い色差を実現するために提唱された色空間で、色差8%とは LAB 空間においてこの半径をもつ距離内にある色を変換する機能を持つ。該当する色すなわち動画で用いられている共感覚色は白色に、それ以外は黒へ変換する。ピボット部分は徐々に色を変化させる。

動画を共感覚色と非共感覚色を二値化したのち、動画キャプチャソフトで1秒ごとに処理後の映像を撮影して画像化する。この画像は画面キャプチャに加え PNG 形式で保存されるため、エンコーディングの関係でモノクロからグレースケールへ変わること留意し、ヒストグラム化を行った。

ヒストグラムは全画像に行い、閾値は有効輝度の中央値をとる。すなわち動画全体で最大輝度を調べた後にその 1/2 の値を閾値とし、その閾値より高いピクセルを画像ごとに算出する。ピクセル数は画像ごとすなわち時間ごとに算出する。これにより場面や曲の流れと、使用された共感覚色の変化が調べられる。

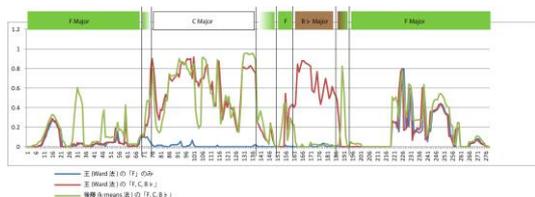


図 3 ヒストグラム値グラフ

[図 3-5]のグラフの説明をする。グラフでは Ward 法によるクラスタリング色と k-means 法によるクラスタリング色をそれぞれ用いた。なお比較のため全過程で Ward 法における F Major (「田園」における主調)を加えた。青線が F Major のみの Ward 法の共感覚色。赤線が同手法を転調を考慮し色を変化させた共感覚色。緑線が後藤の手法による転調を考慮した共感覚色である。横軸は経過時間であり単位は秒である。縦軸は画像の全ピクセル中、共感覚色のピクセル数が占める割合を示している。また、上部には曲の転調の様子を示し、縦線は調の境界を示した。さらに、ピボット部分はグラデーションにより示している。

次から場面ごとの解説を行う。なお参考画像は二値化処理を行う前の映画から取得したものであり、左下には経過時間を示している。

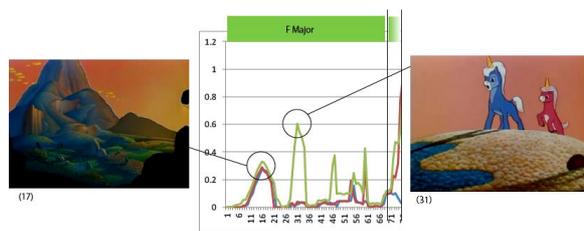


図 4 提示部第一主題のグラフと場面

冒頭、山が陽明していく[図 3-22]場面(17)で色のピークを迎える。F Major は橙色が中心となっているためと考えられる。一方ユニコーンの子どもがラッパ吹きの子どもを見つけて驚く[図 3-22]場面(31)は k-means の結果のみ色のピークがある。K-means の共感覚色には青色が入っているが、ここでは場面の背景色が第 2 位のピンクと一致しているからである。

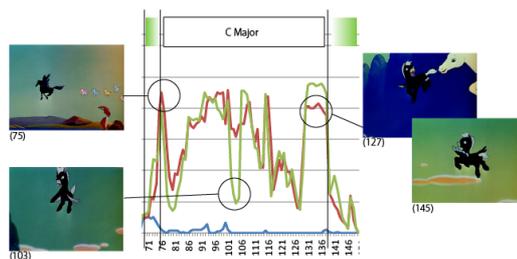


図 5 提示部第二主題のグラフと場面

[図 3-23]転調(75)を機に映画でも場面が変わる。ピボット部分から徐々に C Major の明るい色が導入され、転調の瞬間と共感覚色の割合が完全に一致している。一方で青線に見る Ward 法の F Major はピボット中徐々に色数が落ち、以後 C Major においてはほとんど合致した色が見られなかった。C Major 区間は降下する特徴的な音形である第二主題が流れており、映画の場面でも飛翔と降下を繰り返すユニコーンが音の高低に一致しながら描かれている。例えば[図 3-23]場面(103)では黒いユニコーンが上手く翼を扱えずに墜落するシーンが描かれている。この時ちょうど後藤の共感覚色も合わせて色を減らしていることがわかる。

C Major の区間は後藤と王の手法いずれも転調を考慮したヒストグラムでは総じてピクセル数が多い。これは映像の中へ共感覚色を意図的に導入している証拠と言える。場面

(103)の黒いユニコーンはもう一度音に合わせて118秒付近の場面で落下するのだが、この時も合わせて色のピークも落ち、次に母親の白いユニコーンに助けられて空へ舞い上がって行って提示部が終わり展開部へ切り替わる。[図3-23]場面(127)で母親に救い出されると同時に色は増え、[図3-23]場面(145)で独り立ちしていくとともに背景にはF Majorの色が出始める。また、ここではピボットの最初の部分で大きな色の変化が見られる。

F Majorに入ると同時に展開部が訪れ、ピボットなしでB♭ Majorへ移行する。ここでは王の共感覚色が強く出ていることがわかる。[図3-24]場面(163)では共感覚色が使われる雲からユニコーンが飛び出る印象的な場面で色のピークは重なっている。しかし、B♭ Majorにおいては色順位こそ違えど、Wardとk-means法の共感覚色にはほとんど違いが見られないにも関わらずWard法の共感覚色のみ高くなるのは色差境界にかなり近い色が映画の配色に使われているためと考えられる。

主調へ戻る部分では王と後藤の結果は反比例するように交差するがいずれもピボット部分で色の変化が[図3-24]場面(175)のように使われていることは間違いない。[図3-24]場面(175)から始まる再現部では提示部に出てきたラッパ吹きの子どもなどのキャラクターが出てきており、楽曲構成と一致した演出もなされている。キャラクターが多くなることで色も多彩に用いられている。

再現部においては各々のヒストグラム値は同じような変化が見られる。前半はほぼ色はなく、[図3-25]場面(225)や[図4-25]場面(250)のように、背景に橙色が使われると共感覚色もそれにつれて多くなっている。冒頭とは逆に終わりに向けて徐々に共感覚色が減っていく様子が見て取れる。冒頭が夜の色である黒から始まったのに合わせて終わりの[図4-23]場面(274)も暗い色が多く使われてフェードインするように終わる。

(3) 結論

本研究では音と色の対応関係を明らかにすることを目的とした。芸術に素養のある人を対象としたアンケートでは曜日→色の共感覚が最も多く、次いで音→色の共感覚が多いという諸外国における共感覚調査が日本でも同様に見られることを確認した。

音→色の共感覚テストを受けた被験者のデータを分析考察し、高得点者は音高の12音周

期に対応するように色相が変化することが確認できた。また、色と音の配列は調性の近親関係を表す五度圏よりも音高の近親関係を表す一度圏の方が適していたことから主音の音高に強く影響されることがわかった。

実験データの検証としてFantasiaの「田園交響曲」を用いて検証をおこなった。転調や印象的な場面において共感覚色の著しい変化が見られたことから、製作者は意図的に共感覚を演出に用いている可能性が示唆された。

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6件)

①KazemArdane, DongShengCai, Ken-Ichi Nishikawa, Amplification of Weibel instability in the relativistic beam-plasma interactions due to ion streaming, Vol.33, pp.1-6, NewAstronomy, <http://dx.doi.org/10.1016/j.newast.2014.04.004> (査読有)

②Atsushi Kimura, Yuji Wada, Tomohiro Masuda, Sho-ichi Goto, Daisuke Tsuzuki, Haruo Hibino, Dongsheng Cai, Ippeita Dan, Memory color effect induced by familiarity of brand logos, PLoS ONE, DOI: 10.1371/journal.pone.0068474, 2013. (査読有)

③蔡東生、丁策立、色聴共感覚者の一貫性実験によるクロスモーダルマッピング、情報処理学会研究報告、グラフィクスとCAD研究会報告 2013-CG-150(4), 1-8 (査読有)

④Masud Rana and DongSheng Cai, Model of Aggregation - A Topological Approach, GRAPP/IVAPP, 2012, 355-360 (査読有)

⑤Okada, Naoki, Zhu, Dong, Cai, Dongsheng, Cole, James B., Kambe, Makoto, Kinoshita, Shuichi, Rendering Morphobutterflies based on high accuracy nano optical simulation, Journal of Optics, 1, 42, 10.1007/s12596-012-0092-y, pp.25-36, 2012. (査読有)

⑥Daisuke Tsuzuki, DongShengCai, Haruka Dan, Yasushi Kyutoku, Akifumi Fujita, Eiju Watanabe, Ippeita Dan, Stable and convenient spatial registration of stand-alone NIRS data through anchor-based probabilistic registration, Neuroscience Research, 72, 2, 2012, pp.163-2013171 (査読有)

[学会発表] (計10件)

①Cai, D., N. Asai, and N. Nagata, "Emotion of Colors: Synesthetic CrossModal Key Modulation, International Conference on Computer Graphics and

Interactive Techniques, (SIGGRAPH 2014, Vancouver, Canada, Studio Talks Proceedings (DVD), 2014.8.10-14(発表確定).

② Cai, D., B. Lembege, K.-I. Nishikawa, A. Esmaili, Dynamics of the cusp within a selfconsistent global 3D PIC simulation approach, Union Rado Scientifique Internationale, (URSI), Beijing, China, DVD, 2014. (Solicited and Invited)2014.8.16-8.23 発表確定)

③ Cai, D., B. Lembege, K.-I. Nishikawa, A. Esmaili, 3D Global Simulation of Magnetosphere, International Conference on Storms, Substorms, and Space Weather (ICSSSW), ShenZheng, China, DVD, 2013. (Solicited and Invited).2013.11.4-11.7)

④ Cai, D., B. Lembege, K.-I. Nishikawa, A. Esmaili, Large Scale 3D Full particle simulations of the solarwind-terrestrial magnetosphere interaction: impact of the IMF rotation on the magnetospheric dynamics, The 23rd International Conference on Numerical Simulation of Plasmas (23rd ICNSP), Beijin China, USB, 2013.9.14-9.16)

⑤ Cai, D., B. Lembege, K.-I. Nishikawa, A. Esmaili, 3D Global Simulation of Magnetosphere, The 11th International School for Space Simulations (ISSS-11), Taipei, Taiwan, DVD, 2013. (Solicited and Invited) 2013.7.21-7.28)

⑥ B. Lembege, D.S. Cai, K. Nishikawa and A. Esmaili, Dynamics of the cusp boundaries and particles entry: 3-DPIC large scale simulation, the 11th Annual International Astrophysics Conference, Palm Springs, USA, DVD, 2012. (Solicited and Invited) 2012.3.19-23)

⑦ M. Rana, D. Cai, Model of Aggregation - A Topological Approach, GRAPP2012: International Conference on Computer Graphics Theory and Application, Rome, Italy, DVD, 2012.2.24-26)

⑧ Cai, D., B. Lembege, and K.-I. Nishikawa, Lorenz bifurcation and its visualization in magnetospheric dynamics, The 10th International School for Space Simulations (ISSS-10), Banff Canada, DVD, 2011. (Solicited and Invited 2011.7.24-29)

⑨ J. Wang, D. Cai, Nobuyoshi Asai, Noriko Nagata, and Asako Fukumoto, Synesthetic Cross-Modal Sound-Color Mapping, The 15th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness:

poster(DVD), (2011.6.9-6.12 京都)
⑩ Cai, D., Goto, S., Wang, J.P., Asai, N., Nagata, N., Fukumoto, A., Kurumizawa, J. Synesthetic Sound-Color Cross-Modality in Animations, Proc. Eurographics 2011: posters (DVD) (2011.4.22-25 Llandudno UK)

[その他]

ホームページ

<http://www.cavelab.cs.tsukuba.ac.jp/~gotoh/syneth/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蔡 東生 (CAI, DongSheng)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：70202075