

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300086

研究課題名（和文） 共感覚のクロスモダル・メカニズム解明－色聴現象の脳機能計測とメディア表現－

研究課題名（英文） A mechanism on cross-modal interactions of synesthesia – Functional neuroimaging of colored-hearing synesthesia and digital media

研究代表者：

長田 典子（NAGATA NORIKO）

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号：50368453

研究成果の概要（和文）：共感覚(synesthesia)は、1つの感覚が本来独立であるはずの別の感覚を喚起する興味深い現象として知られている。本研究では共感覚の一種である色聴（音を聴くと色が見える、colored hearing）現象に着目し、脳機能イメージング技術により、メカニズム解明を行った。また共感覚現象をメディア表現に適用し、科学的根拠を持った音楽と色彩のインタラクティブアートを実現した。研究成果をテレビや新聞報道などで周知し、社会における共感覚に対する理解を深めた。

研究成果の概要（英文）：Synesthesia is an interesting phenomenon in which the stimulation of one sensory modality involuntarily elicits a perception in another modality. In this study, we focused on one typical synesthesia: seeing colors while listening to sounds, which is called "colored hearing." We examined the brain's mechanism with neuroimaging technology. Furthermore, we applied the synesthesia phenomenon to digital media creations, and we achieved scientific-based interactive arts between music and colors. The results of the research have been made public through mass media, including TV and press reports, and we succeeded in helping the public understand synesthesia better.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	8,200,000	2,460,000	10,660,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性情報処理・計測工学・脳・神経・マルチモーダルインタフェース・共感覚・色聴・fMRI

1. 研究開始当初の背景

「音を聴くと、色が見える」という現象が知られている。これは「色聴(colored hearing)」

と呼ばれ、共感覚(synesthesia)の1つ、すなわち1つの感覚が本来独立であるはずの別の感覚を喚起する非常に興味深い現象とし

て知られている。共感覚保持者は数万人に1人と言われていたが、最近になって、共感覚は実は万人に起こっているものの、限られた人にだけ意識にのぼっているとの説が浮上している。

こうした共感覚は感覚モダリティ間の関係を明らかにする上で重要な手がかりとなることが期待される。同時に共感覚の脳内メカニズムを映像・音楽・インタラクティブアート等各種メディアのデザインに応用することにより、より感覚・感性に則した豊かなメディア表現を創出する可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究では脳科学的・メディア工学的・社会文化的アプローチにより、共感覚に関する科学的知見を獲得するとともに、科学的根拠に基づいて共感覚現象をメディア表現手法へ導入し、コンテンツ制作に貢献することを最終的な目標として、具体的に下記の技術を開発する。

- (1)共感覚現象のクロスモーダル・メカニズムのモデル化
- (2)共感覚モデルに基づくメディア表現技術の開発
- (3)共感覚の社会文化的国際比較研究

3. 研究の方法

(1)「調性に対応して色が見える(ハ長調は白、イ長調は赤といったもの)」という色聴能力を持つ人10名(男性2名、女性8名:20~32歳)と色聴能力を持たない9名(男性3名、女性6名:20歳~59歳)について音楽聴取時の脳活動をfMRIを用いて計測を行い、比較解析を行った。実験はブロックデザインで構成され、課題条件では音楽、統制条件ではbeep音を実験刺激として用いた。課題条件の音楽刺激は、ジャズ、クラシック、ポップスの3ジャンルからなっており、それぞれについて調性が異なる8曲を使用した。音楽刺激の長さはすべて12secである。実験デザインは課題と統制の組み合わせを1ブロックとし、合計4ブロックから構成されている。各ブロックは統制条件として周波数の異なるbeep音を8音(合計16sec)提示し、続いて課題条件として調性の異なる音楽を2曲(合計24sec)提示した。fMRI計測データの画像処理および解析には、SPM8とANOVAを用い、集団解析を実施した。

(2)共感覚に基づくメディア表現として、共感覚者が感じる音楽と映像のインタラクション(音楽の調性と色の対応(ナンバーバルマップ))の関係について解析を行うとともに

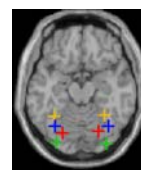
に、日本または海外の商用アニメ作品において使用されている音楽と色彩の対応関係について解析を行った。

さらに非共感覚者における音楽(和音)から色彩へのマッピング実験を行い、選択された色データをクラスタ分析した。成人健聴者41名(範囲:19~45歳)に対して和音を提示し、その和音に適した色を選択させた。和音はCを根音とした三和音5種類、四和音9種類の計14種類である。各音刺激に関して選択された色は色相(H)、彩度(S)、明度(L)に変換し、また各和音については和音性評価モデルに基づく不協和度(D)、緊張度(T)、モダリティ(M)の値を計算した。計算されたDTM各値に関して回帰分析を行なった。

(3)「文字や数字を見ると色を感じる」という色字共感覚(grapheme color synesthesia)における比較研究として、非共感覚者に対して、文字から連想する色と出現頻度の関連性について検討した。非共感覚者を対象に、ひらがな及び数字を見たときに連想する色とそれぞれの出現頻度の関連性について考察を行い、Beeliらの英数文字に関する先行研究と比較を行った。実験Ⅰ(ひらがな46文字および濁音・半濁音25文字の計71文字を用いた評価課題)、実験Ⅱ(0~9の数字を用いた評価課題)の2実験を実施した。

4. 研究成果

(1)色聴保持者の脳活動データはコントロールと比較して、V4連合領域において有意な賦活が確認された(図1)。共感覚の出現頻度は1000人に1人といわれており、これまで集団解析は難しいとされてきたが、本成果により色聴共感覚に関して統計的に有意な知見が示された。



The coordinates of color areas:
V4(L: -22, -72, -12, R: 20, -70, -10)
V8(L: -33, -65, -14, R: 33, -65, -14)
V4a(L: -34, -54, -14, R: 30, -50, -20)
V4v(L: -32, -87, -16, R: 32, -87, -16)

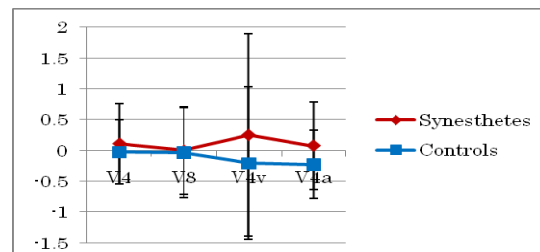


図1 共感覚者と非共感覚者の色知覚野における賦活(yayama et al., 2009)

(2) 共感覚現象における音と色のマッピング、及び商用アニメにおける音と色のマッピングを得て、これら2つのマッピングが極めて高い相関を持つことを確認した。

また和音から色へのマッピング実験を行い、major 群と minor 群に分類できる事を示した。これは和音性モデル (モダリティ) の分類に近く、この理論の妥当性を支持している。さらに回帰分析の結果有意な関係があり、聴覚と視覚が独立ではないこと、さらにカラーモデルの中では HSL の値がより色彩感覚の表現に近いことが示唆された(図 2)。

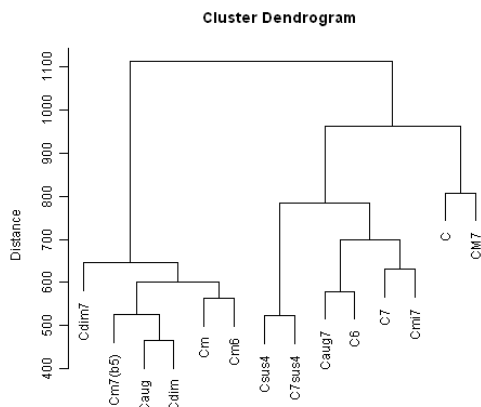


図 2 和音の色マッピングにおけるクラスタ分析 (下斗米他, 2012)

こうした音と色のマッピングに関する知見に基づき、色彩とピアノ音楽を組み合わせたインスタレーション作品を制作し、パフォーマンスを行った(図 3)。



図 3 インスタレーション作品 trace (cross-wiring)のパフォーマンス, 鈴木あずさ氏による鈴木輝昭ピアノ独奏曲初演の様子。

(3) ひらがな・アルファベットに関して連想色と出現頻度の関連性が確認された。先行研究を含めて国際比較をしたところ、母国語では相関があり、非母国語では相関がないことが明らかとなり、後天的な経験の影響が示唆された(表 1)。

表1 連想色と出現頻度の関連性 (西本他, 2009)

	Beeil et al. (2007)		This study					
	Synesthetes		Non-Synesthetes		Synesthetes		Non-Synesthetes	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Digits	Luminance	.506 < .001	.843 < .005	.819 < .005	.927 < .001			
	Saturation	-.386 < .001	-.544 = .10	-.311 n.s.	.600 < .10			
Digits (2-9)	Luminance	---	---	.635 < .10	.600 < .10	.750 < .05		
	Saturation	.210 = .01	.221 n.s.	.840 < .05	.503 n.s.			
Alphabets	Luminance	---	n.s.	.197 n.s.	.162 n.s.	.732 < .001		
	Saturation	.147 < .001	-.342 < .10	.152 n.s.	.647 < .001			
Hiraganas	Luminance	---	---	.338 < .01	.394 = .001	.481 < .001		
	Saturation	---	---	.179 n.s.	.279 < .05	.427 < .001		

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 9 件)

- ① 饗庭絵里子・田中里弥・藤澤隆史・赤塚諭・下斗米貴之・長田典子 (accepted). 和音進行による情動の知覚: fMRI および印象評価によるアプローチ. 音楽知覚認知研究. (2012) 査読有
- ② 長田典子、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)、348-353, 解説, (2010) 査読無
- ③ 長田典子・大城英裕・加藤邦人・興水大和・佐川立昌・藤原孝幸他. メディア分野における多次元センシング技術の現状と動向、電気学会論文誌 D、131(4)、433-440, (2010), 査読有
- ④ 長田典子・藤澤隆史、共感覚の脳機能イメージング、システム制御情報学会誌、53(4)、149-154, 解説, (2009), 査読無
- ⑤ Aida, K., & Nagata, N., Virtual Noctiluca: Interaction between Light and Water using Real-time Fluid Simulation and 3D Motion Measurement. ICEC2009, Lecture Notes in Computer Science, 5709, 157-166, (2009), 査読有
- ⑥ Nakahara, N., Miyazaki, K., Sakamoto, H., Fujisawa, T.X., Nagata, N., & Nakatsu, R. Dance Motion Control of a Humanoid Robot Based on Real-Time Tempo Tracking from Musical Audio Signals., ICEC2009, Lecture Notes in Computer Science, 5709, (2009), 36-47, 査読有

〔学会発表〕(計 22 件)

- ① 真崎大・矢山隆三・赤塚諭・下斗米貴之・饗庭絵里子・長田典子、色字共感覚の脳内メカニズム解明：日本語文字呈示時における fMRI 研究、日本認知心理学会第 10 回大会、(2012. 6. 2)、岡山大学
- ② 下斗米貴之・饗庭絵里子・三軒谷友美・長田典子・大森隆司、和音の色彩へのマッピングに関する分析、第 7 回日本感性工学会春季大会、(2012. 3. 2)、サンポート・ホール (香川)
- ③ 長田典子、色聴共感覚の脳機能イメージング、日本心理学会ワークショップ「共感覚と共感覚的認知」、(2011. 9. 16)、日本大学
- ④ Mazaki, H., Nishimoto, M., Akatsuka, S., Yayama, R., Shimotomai, T., Aiba, E., & Nagata, N. Brain activity in grapheme-color synesthetes: when seeing japanese letters: an fMRI study, 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM2011), (2011. 6. 27), Quebec City, Canada.
- ⑤ Yayama, R., Shimotomai, T., Takahashi, R., Akatsuka, S., Aiba, E., Fujisawa, T.X., & Nagata, N. (2011. 6. 27). Brain Activity in the Color Area When Listening to Music: An fMRI Study of Synesthesia., 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM2011), 4659, Quebec City, Canada.
- ⑥ Wang, J., Cai, D., Asai, N., Nagata, N., & Fukumoto, A. (2011. 6. 9). Synesthetic cross-modal sound-color mapping, The 15th annual meeting of the The Association for the Scientific Study of Consciousness, Kyoto, Japan.
- ⑦ Cai, D., Goto, S., Wang, J.P., Asai, N., Nagata, N., Fukumoto, A., & Kurumisawa, J. Synesthetic Sound-Color Cross-Modality in Animations, Eurographics 2011: posters, (2011. 4. 15), Llandudno, UK.
- ⑧ Cai, D.S., Goto, S., Shinohara, T., Nagata, N., Fukumoto, A., Kurumisawa, J., & Asai, N. Synesthetic Color Scheme in Fantasia, ACM SIGGRAPH 2010: Talks, Visualization for Art & Design, (2010. 7. 27), Los angeles. USA.
- ⑨ Akatsuka, S., Fujisawa, T.X., Aiba, E., & Nagata, N. Measurement of Brain Function When Listening to Chords: fMRI Study, 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, (2010. 6. 26), Barcelona. SPAIN.
- ⑩ 長田典子、共感覚の脳機能イメージング、音楽と科学研究会、(2010. 10. 30)、相愛大学(大阪)
- ⑪ 相田恭兵・長田典子、バーチャル夜光虫：水の流れを媒介とした光と音のインタラクション、インタラクション 2010 論文集、187-190、インタラクション 2010、(2010. 3. 1)、一橋記念講堂、東京。
- ⑫ 谷光彬・饗庭絵里子・下斗米貴之・長田典子・藤澤隆史、調和度に基づく和音性評価モデルと楽曲ムードの色彩表現インタフェース、日本音響学会 音楽音響研究会、(2010.3.11)、筑波大学
- ⑬ 長田典子、音と色のマルチモーダルインタラクション、精密工学会 画像応用技術専門委員会研究会、(2010.1.15)、東京電機大学 (特別講演)
- ⑭ 長田典子、コミュニケーションと感性、ヒューマンインタフェース学会コミュニケーション支援専門研究会、(2009.11.28)、関西学院大学大阪梅田キャンパス (特別講演)
- ⑮ 長田典子、人の感覚・感性を支援する技術、(社)日本鉄鋼協会 第 142 回制御技術部会、(2009.11.13)、神戸製鋼所加古川製鉄所 (特別講演)
- ⑯ 長田典子 ヒューマンメディアにおける脳機能イメージング、第 25 回近赤外フォーラム、(2009.5.15)、名古屋大学 (特別講演)

〔図書〕(計 1 件)

- ① 長田典子 (2012.2.10). 「なぜ音や文字に色が見えるのか」ケータイ版イミダス、集英社.

〔その他〕

- ① 長田典子 (2012.5.19). 音と色のハーモニー—科学・技術・アートを融合した感性価値の創出—、東京オトナ大学.
- ② 楽しい学問「感性情報学」、読売新聞、2012. 4. 22.
- ③ NHK 総合 爆問学問 (爆笑問題のニッポンの教養) 「世界はもっとカラフルだ〜共感覚のフシギ」、2011. 11. 3
- ④ 共感覚現象、読売新聞科学欄、2011. 9. 26
- ⑤ BS フジ ガリレオ X, 「ガリレオチャンネル 共感覚のミステリー」、再放送、2011. 4. 10
- ⑥ 四宮優・長田典子・鈴木輝昭・鈴木あずさ (2011. 1. 13, 銀座ブルガリタワー 8 階 プライベート・ラウンジ (東京)). trace (cross-wiring), The Lounge

(Dandans Exhibition No. 7), オープニングパフォーマンス, 鈴木あずさ氏による、鈴木輝昭ピアノ独奏曲初演。
<http://dandans.jp/archiveDetail.php?exhibitionId=7>.

- ⑦ NHK 教育テレビ (ETV), 「ガリレオチャンネル 共感覚のミステリー」 第 51 回科学技術映像祭 入選作品から, 2010. 05. 29.
- ⑧ 長田典子. フジテレビ「とくダネ!」で, 共感覚に関して取材協力. 2010. 04. 26.
- ⑨ 東京 MX テレビ「ガリレオチャンネル 共感覚のミステリー」が第 51 回科学技術映像祭 文部科学大臣賞受賞, 入選作品上映会が全国 13 都市で開催, 2010. 03. 11.
- ⑩ 長田典子. 共感覚のミステリー 音や文字に色が見える!?. 東京 MX テレビ「ガリレオチャンネル」に出演, 2009. 11. 21.
- ⑪ ホームページ等
<http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~nagata/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長田典子 (NAGATA NORIKO)

関西学院大学・理工学部・教授

研究者番号 : 50368453

(2) 研究分担者

藤澤 隆史 (FUJISAWA TAKASHI)

長崎大学・医歯薬学総合研究科・助教

研究者番号 : 90434894

井口 征士 (INOKUCHI SEIJI)

宝塚大学・造形芸術学部・講師

研究者番号 : 90029463

黒田 輝 (KURODA KAGAYAKI)

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号 : 70205243

饗庭 絵里子 (AIBA ERIKO)

関西学院大学・理工学部・理工学部研究員

研究者番号 : 40569761

下斗米 貴之 (SHIMOTOMAI TAKAYUKI)

玉川大学・脳科学研究所・特別研究員

研究者番号 : 50415361