

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700314

研究課題名(和文)色彩調和の神経科学的モデルの構築

研究課題名(英文)A neural model of color harmony

研究代表者

池田 尊司 (Ikeda, Takashi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・特任助教

研究者番号：80552687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず単純な二色配色刺激に対する色彩調和感を色の三属性(明度・彩度・色相)から説明するための実験を行った。その結果、不調和刺激では刺激の属性から予測される式の説明力が高いものの、調和刺激では説明力が低下することがわかった。次に機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて、調和刺激と不調和刺激を観察しているときに特異的に活動する脳領域を探索した。調和刺激では内側前頭前野が、不調和刺激では扁桃体が主に活動することが明らかになった。最後に色彩調和を判定している段階のfMRI実験を行い、判断そのものには紡錘状回と下前頭回が関与していることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The association between color harmony and three perceptual properties that include d lightness, chroma, and hue by using a simple paired color combination stimulus was observed. I found that color disharmony depended on perceptual properties of the actual stimulus. Then a functional magnetic resonance imaging (fMRI) to determine the brain regions activated by harmonious and disharmonious color combinations in comparison to neutral stimuli was conducted. From this experiment, the left medial orbitofrontal cortex and bilateral amygdala were activated when participants observed harmonious and disharmonious stimuli, respectively. Finally, I conducted an fMRI study investigating the rating process of color harmony score. This experiment suggests that aesthetic judgment of color harmony to rely on fusiform gyrus and inferior frontal gyrus.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：認知科学

キーワード：色彩調和 神経美学 fMRI

## 1. 研究開始当初の背景

色の組み合わせによる美しさである色彩調和について、神経科学的に妥当なモデルを構築することが本研究の目的である。神経基盤の解明には空間分解能に優れた機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) を使用する。これらのデータに脳領域間のネットワークモデルを作成し、解析する。本研究は色彩調和を基軸として、神経美学・感性研究へのアプローチを可能にするものである。

## 2. 研究の目的

### (1)

どのような色の組み合わせが色彩調和をもたらすのかを色の特徴から予測する試みは数多く行われてきた。これらの研究は調和-不調和を一つの連続的な軸として扱ってきた。本項目では調和-不調和全体を連続的に扱うと共に、情動の非対称性に着目し調和配色と不調和配色に分割してそれぞれの予測式を比較した。

### (2)

「美しさ」とは何かというテーマに対し、神経科学的手法を用いて解明を目指す学問は神経美学と呼ばれている。本項目ではデザイン上で比較的単純な構造を持ちながらも美的な印象をもたらす色彩調和に着目し、調和している配色を観察しているときと不調和な配色を観察しているときの違いを行動指標と、非侵襲的に脳活動を計測できる fMRI の両面から検討した。本項目では色彩調和を規定する要因を絞り込むため、観察される配色刺激には同一面積を持つ抽象的な二色配色を用いた。また、各個人の美しさの感覚・判断に即した脳活動を計測するため、調和・ニュートラル・不調和配色の決定に関しては実験者が事前に定めるのではなく、各実験参加者の主観的な評価に基づいて行った。

### (3)

色の組み合わせが調和しているか否かという判断を下す際には、どのような心理的プロセスと、それを生み出す脳領域が関わっているのだろうか。心理物理的特性を統制した配色刺激を用意し、調和・不調和の判断を行わせる課題 (Harmony 条件) を遂行しているときの脳活動を fMRI を用いて計測した。そして同様の配色刺激に対して異なる判断を行わせるために、色差の大小を答えさせる課題 (Difference 条件) を導入した。この課題を統制条件として、色彩調和判断の遂行にとって重要な脳領域を特定し、調和判断に関わる心理的プロセスを探ることが本項目の目的である

## 3. 研究の方法

### (1)

実験には大学生および大学院生 20 名 (男性 11 名・女性 9 名、平均 22.8 歳) が参加した。色覚は石原式学校用色覚異常検査表を用いて検査し、全員が正常であることを確認した。

実験プログラム作成には Presentation (Neurobehavioral Systems) を使用した。視覚刺激は液晶ディスプレイ (NEC 製 Multisync LCD2690WUXi) に提示され、参加者は約 80cm の距離から観察した。刺激の輝度および色度の計測には色彩輝度計 (コニカミノルタ製 CS-100A) を使用した。反応取得にはキーボードを用いた。実験は暗室内で行われたが、色覚検査時には色評価用 D65 蛍光灯 (東芝ライテック製 FL20S.D-EDL-D65) を使用した。

刺激に用いた色は財団法人日本色彩研究所による PCCS (日本色研配色体系: Practical Color Co-ordinate System) を基準とし、6 色相 (赤・オレンジ・黄・緑・青・紫) 4 トーン (vivid・pale・light grayish・dark) に 3 つの無彩色 (白・灰・黒) を加えた全 27 色を選出した。刺激の色度はディスプレイに表示できる色度を考慮し調整を行った。

刺激は視角 8° の正方形で、中に 4 つの正方形 (1 辺が 4°) が含まれていて対角線上に同じ色を配置した二色配色パターンを用いた。刺激は中央に提示され、背景はニュートラルな灰色 (120.7 cd/m<sup>2</sup>) であった。また、刺激の下には評価値を示すスケールを提示した。

評価にはキーボード上部の 1 から 9 のキーが用いられ、5 のときを 0 点 (ニュートラル) とした。数字が大きくなるほど調和 (最大 4 点) し、逆に数字が小さくなるほど不調和 (最小 -4 点) とした。刺激が提示された後に、参加者にはキー押しを行うよう求めた。評価が終わると反応待ち画面に移行し、いずれかのキーを押すことによって次の刺激が提示されるように設定した。全ての配色について 2 回ずつ評価を行わせ、その平均値を個人ごとの調和得点とした。

### (2)

実験参加者は右利き、視力・色覚正常な 19~30 歳の健常成人 18 名 (男性 12 名・女性 6 名) であった。データの取得には 3 テスラの MRI スキャナ (Siemens 製 Trio) を使用した。視覚刺激は液晶プロジェクタを用いて、ヘッドコイル上に固定されたスクリーンに提示された。反応取得には MRI 用の 4 ボタン反応ボックスを用いて右手で操作させた。刺激の輝度および色度の計測には色彩輝度計 (トプコン製 BM-5A) を使用した。実験は試行ごとの脳活動の変化をとらえる事象関連 (event-related) デザインを採用した。実験開始後、黒色の注視

点が提示され、次に配色刺激または白色注視点が 2500ms 提示された。配色刺激が提示された場合、実験参加者には 3 段階（不調和・ニュートラル・調和）で評定を求めた。不調和だと感じたら人差し指、ニュートラルでは中指、調和では薬指に対応するボタンを、できるだけ速く押すように指示を行った。また、白色注視点が提示された場合にはキャッチ試行となり、これはいずれかのボタンを押すだけの課題であった。平均試行間隔は 2500 ms であった。同様の判断が長期間連続することを防ぐため、各カテゴリーに対応する試行の出現順序はランダムとした。ただしこの行動実験の結果によるカテゴリー分類は各条件でほぼ同数の反応が得られることを期待するものであり、データ解析においては、調和・ニュートラル・不調和の区分はスキャナ内での実験参加者のボタン押しによる反応に従った。

### (3)

実験参加者は右利き、20~33 歳の健常成人 14 名（男性 8 名・女性 6 名）であった。色覚は The Farnsworth-Munsell D-15 Test を用いて検査し、全員が正常であることを確認した。fMRI 装置に設置されているプロジェクタ（Victor 製 DLA-G150CL）上で、予備調査で用いた色と同等の見えを実現するために色彩輝度計（コニカミノルタ製 CS-200）による計測と調整を行った。配色刺激に用いた 2 色の色差は、CIELAB 色空間における色差（ $\Delta E_{ab}^*$ ）として算出した。

実験参加者は、fMRI スキャナ中で調和・不調和を判定する Harmony 条件と、色差の大小を判定する Difference 条件およびボタン押しだけの Button 条件を行った。1 試行は 30 秒で構成され、その間に 10 回の刺激呈示と、それに対する判断がなされた。各条件とも 10 試行ずつ行われた。Harmony 条件で用いられた 100 種類の調和・不調和配色刺激は両群で色差がほぼ等しくなるように抽出し、Difference 条件で用いられた色差が大・小となる 50 種類の配色刺激は、予備調査での調和スコアが両群でほぼ等しくなるように抽出した。Difference 条件では 1 回の実験中に同じ配色刺激が 2 回呈示された。

脳機能画像の取得は 3 テスラの MRI スキャナ（Siemens 製 Verio）で行われた。機能画像は 2 秒ごとに 577 回撮像され、1 つの機能画像は 30 枚の 2D 画像から構成されていた。また、詳細な脳の構造画像を取得するため、T1 強調画像を得た。

## 4. 研究成果

### (1)

無彩色を除いた 276 の 2 色配色パターン

を CIELAB 色空間の色度座標に基づいて 2 色の関係性（平均明度・明度差・平均彩度・彩度差・色相差）を数値化した。CIELAB 色空間においては各尺度が心理物理量に対応する。その後 2 色の関係性を表す 5 つの説明変数から調和得点を予測する重回帰モデルを作成した。調和得点の上位 25 パーセントを調和配色（69 パターン：平均調和得点 0.88）、下位 25 パーセントを不調和配色（71 パターン：平均調和得点 -1.7）とし、それぞれの重回帰モデルを作成した。その結果、調和配色に関しては明度差のみが有意な説明変数となり、不調和配色に関しては平均明度・明度差・彩度差・色相差が有意な説明変数となった。

調和配色に対する予測式からは 2 色間の明度が離れているほど調和得点が高くなるが示された。これに対し、不調和配色に対する予測式からは 2 色間の明度が共に低く、彩度差が大きく、色相差が大きいほど調和得点が低くなるが示された。つまり、色彩調和の程度の判定に用いられる色彩特徴は調和と不調和で大きく異なっており、個別の処理過程の存在を示唆している。そして全体の予測式は調和より不調和の予測式に近いことが明らかになった。そのため、色彩調和の予測式は不調和を避けるための予測式という性質を持っていたといえるだろう。

この成果は、現在国内誌に投稿準備を進めている。

### (2)

行動実験からは、それぞれの配色刺激に対する判断の個人差を示す指標となる評定値の標準偏差を縦軸とし、回帰分析を行った。その結果、調和得点が高くなるに従って標準偏差が高くなるが示された。

脳機能画像解析には SPM8（Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London, UK）を用い、MNI テンプレートへの標準化と空間的平滑化（半値幅 6 mm）を行った。以上の解析前処理を行った後、スキャナ内での実験参加者の反応に従って事後的に分類された調和・ニュートラル・調和条件に対して特異的に信号値が上昇する領域を求める解析を実施し、有意な活動を示した領域を同定した。活動領域の解剖学的同定は MNI からの座標変換を行った後に Talairach アトラスを用いた。

脳活動解析の結果、ニュートラル条件と比較して調和条件では、左内側前頭前野で有意な活動増加がみられた。対して、不調和条件では両側の扁桃核で有意な活動増加がみられた。fMRI 実験に採用された配色の 2 色間の心理物理的特性を CIELAB 色空間上で比較すると、ニュートラル条件と調和条件では差がなく、不調和条件とその他の条件間で有意であった。

内側前頭前野は報酬関連、特に二次報酬

のような高次な機能に関する報告が多くなされている領域である。扁桃体は「美しさ-醜さ」という次元のみならず嫌悪や回避といった生存に関わる刺激にも反応し、かつ不調和配色の判断には個人差が少ないことから、不調和配色の観察とそれに続く判断は刺激の性質に強く依存するが、調和配色では個人の認知様式や経験に依存して判断が下されていると考えられる。

この成果は、現在国際誌に原著論文として投稿中である。

### (3)

脳機能画像解析には SPM8 を用い、MNI テンプレートへの標準化と空間的平滑化 (半値幅 8 mm) を行った。以上の解析前処理を行った後、試行開始時に上昇して一定の値を保ち、試行終了後に基線へと戻る 1 試行中の血流動態反応をモデル化した関数を、Harmony 条件と Difference 条件、Button 条件のそれぞれ 10 試行に対して作成した。個人解析の結果のうち Harmony 条件から Difference 条件および Difference 条件から Harmony 条件を差分したそれぞれ 14 名分の画像に対して 1 サンプルの  $t$  検定を行った。その際の有意水準は 5% とし、クラスターレベルで多重比較補正を行った。

Difference 条件と比較して Harmony 条件で有意な賦活が見られた領域は、両側の紡錘状回 (FG: fusiform gyrus, BA37)、後頭葉 (occipital cortex, BA18/19)、左頭頂間溝 (IPS: intraparietal sulcus, BA7)、下前頭回 (IFG: inferior frontal gyrus, BA47)、左上前頭回 (SFG: superior frontal gyrus, BA6/8)、前部帯状回 (ACC: anterior cingulate cortex, BA32) であった。対して、Difference 条件で有意な賦活が見られた領域は縁上回 (supramarginal gyrus, BA40) であった。

色彩調和判断課題は後頭葉から側頭葉にかけての視覚野を強く活動させた。特に紡錘状回における賦活部位は、色知覚の成立に重要な役割を果たしている第 4 次視覚野 (V4; Bartels and Zeki, 2000) を含んでいる。また、Jacobsen ら (2006) は、幾何学図形の美しさを評定させる実験において、IFG の積極的な関与を示している。IFG の中でも前部に位置する BA47 はモラル判断でも美的判断同様に活動が報告されている領域である (Avram et al., 2013)。色差を判断するとき比べて、色彩調和の判断には社会的側面があることが示唆される。

これらを総合すると、色彩調和判断は色の知覚と評定者の価値に関わる判断が共起することでなされていると考えられる。

この成果は、現在国際誌に投稿準備を進めている。

## 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)

[学会発表](計 6 件)

Takashi Ikeda, Psychophysical and affective structures of color harmony, The 4th Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics, May 13 2011, Osaka

池田 尊司・苧阪 満里子・松吉 大輔・肥後 克己・片平 建史・遠藤 香織、リーディングスパンテスト課題遂行時の事象関連電位変化、第 30 回日本生理心理学会大会、2012 年 5 月 2 日、札幌

池田 尊司・松吉 大輔・澤本 信克・福山 秀直・苧阪 直行、調和配色・不調和配色における脳活動の差異、日本色彩学会第 43 回全国大会、2012 年 5 月 27 日、京都

池田 尊司・苧阪 満里子・苧阪 直行、調和・不調和個別の色彩調和予測式の検討、日本心理学会第 76 回大会、2012 年 9 月 13 日、川崎

池田 尊司・松吉 大輔・苧阪 直行、二色配色を用いた調和感・不調和感の神経基盤、日本心理学会第 77 回大会、2013 年 9 月 21 日、札幌

池田 尊司・苧阪 直行、色差判断課題と比較した色彩調和判断の神経基盤、日本色彩学会第 45 回大会、2014 年 5 月、福岡

[図書](計 1 件)

池田 尊司 他、新曜社、美しさと共感を生む脳—神経美学からみた芸術(第 3 章 神経美学と色彩調和)、2013、49-73

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

池田 尊司 (IKEDA, Takashi)  
大阪大学・大学院工学研究科・特任助教  
研究者番号: 80552687