



原著

マンガの文脈に基づいて色を想起する際の
脳活動

室谷悠斗, 酒井邦嘉*

左右の紡錘状回に色覚中枢があるが、色の想起過程は不明である。ストーリーを伴うマンガと共感課題を用いてこの領域の活動を fMRI で調べたところ、馴化効果は不自然な反転色を含む条件に限られ、モノクロでもカラーバーの反応レベルを維持した。また、1 ページで十分な文脈を伴うマンガをモノクロで先に提示すると、カラー提示と同等の反応が見られ、共感度と合致した。以上の結果は、文脈に基づいて色が想起されたことを示唆する。

KEY WORDS 文脈, 共感, 高次視覚情報処理, 色彩認知, 視覚的イメージ

はじめに

人間の視覚において、物体の形や空間位置などに加えて「色」の情報が大きな役割を占めており、特にアートやデザインの分野において色の効果的な使用が重視されてきた。色の知覚に関する脳研究では、左右の紡錘状回の一部に位置する 4 次視覚野 (V4 野) が「色覚中枢」と同定され、ポジトロン断層撮影法 (positron emission tomography : PET) や機能的磁気共鳴画像法 (functional MRI : fMRI) を用いた脳機能イメージング研究の初期より、色の認知に選択的に反応する領域として確認されている^{1,2)}。また、日常的に見慣れた物体をモノクロ (monochrome) 画像で見たときに、その物体に固有な色 (例えばバナナの黄色) が記憶情報からトップダウンで処理されることで、V4 野と関連した活動パターンが 1 次視覚野 (V1 野) にまで及び、V1 野で色情報のデコーディングが可能であるとの報告がある³⁾。このよ

うに、色を想像で補う余地があるモノクロ画像に対してカラー画像を比較した研究は、脳で内的に生じる想像力を客観的に示す証拠として興味深い。視覚野の活動を引き起こす要因としては、外的な視覚刺激だけでなく内的な視覚的イメージ (visual imagery) や選択的注意 (selective attention) の関与も考えられ^{4,5)}、想像力によって惹起されるトップダウン処理が、視覚野の活動をさらに増大させる可能性がある。すなわち、ストーリーのある文脈に基づいて色が適切に想起されるならば、内的な色の情報処理が更新され続けるため、物体認知における馴化 (habituation) の効果に左右されることなく、視覚野の活動が持続することが予想される。

そこで本研究では、想像力を十分に生み出すような視覚刺激として、ストーリーを伴う質の高いマンガを採用し、色の有無や刺激の提示順によって V4 野の活動がどのように変化するかを検証した。なお、運動視は V5 野 (MT 野) などにも影響を与え得るので、視覚

東京大学大学院総合文化研究科相関基礎科学系 (〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1)

*[連絡先] sakai@sakai-lab.jp

[利益相反] なし

受付日 : 2022 年 9 月 5 日, 受理日 : 2022 年 11 月 7 日

1881-6096/23/紙 : ¥800/電子 : ¥1,200/論文/JCOPY

刺激としてはアニメーションよりも静止画のほうが望ましい。静止画のマンガはモノクロで描かれるのが主流であるが、印刷の費用が発生しない電子書籍ではモノクロ原稿にデジタル着色を施したカラー化も定着している。カラー化によって見落とししていた細部に気づいたり、内容がわかりやすくなったりするという効果があるが、知る限り脳科学的な検証はこれまで試されていない。なお、マンガを視覚刺激として用いたわれわれの先行研究⁶⁾では、ほとんど文字を用いない「サイレントマンガ」を見開きの状態で文脈を保ちながら読む際に、両側の視覚野と小脳などに限局した活動が見られた。また、文脈を損なうような単一ページごとの提示を対照条件とした直接比較では、右の下頭頂葉から角回・縁上回にかけて活動が局在し、文脈の効果が高次視覚野に現れることが明らかになっている。そこで本研究では、前回と同様の「共感課題」を用いることにした。

心理学研究では、「共感 (empathy) とは、対象 (主に人間) の心的状態を推定し、適切な感情でこれを感知することにより、対象の行動を予測してその行動に反応する能力である」と定義され、女性のほうが男性より共感化に優れると分析されている⁷⁾。実際、前回の研究⁶⁾では共感度と脳活動の両方において女性に有意な上昇が観察されており、本研究でも性差の分析を加えた。

今回はマンガをすべて見開きでストーリーどおりに提示して、登場人物に共感した度合いを各見開きごとに4段階で回答させた。この課題を遂行中の脳活動を fMRI を用いて測定し、参加者全員の脳活動を平均して分析した。また、4コマのマンガが起承転結といった短いストーリーを持ち得ることに着目して、短い1ページのマンガであっても、そこに十分なドラマがあれば共感を引き起こすことができると予想し、同様の共感課題を課した。このようなマンガの豊富な文脈に基づく色の想起は、物体認知による想起を上回る可能性があり、本研究ではこの仮説を脳活動から定量的に検証した。

1. 研究方法

1. 実験参加者

実験の参加者は日本語を母語とする大学生・大学院生であり、18歳から29歳までの健常な41人 [うち女性19人、21.9±2.6歳 (平均±標準偏差)] である。参加者はすべて右利きであり (利き手指数 80.2±15.4)、神経学的

な疾患や視覚障害がないことを書面で確認した。色覚検査は実施しなかったため本人が自覚していない色弱の有無は不明だが、本研究が重視する内的な視覚認知にはほとんど影響を与えない。また、すべての参加者から書面により実験参加への同意を得た。本研究は東京大学教養学部の一ヒトを対象とした実験研究に関する倫理審査委員会で承認された (622-5)。

2. 刺激

ストーリーのある視覚刺激として用いたマンガは、大久保圭著『アルテ』の第1巻 (ZENON COMICS, 株式会社コアミックス) である (Fig. 1)。この作品は参加者にとって馴染みの薄い16世紀初頭のフィレンツェを舞台としており、その風景や衣裳などが細部まで丹念に描き込まれているので、実際の色を想像力で補う余地が特に大きい刺激である。スマートフォン用の電子版では全ページがカラー化されているが、縦にスクロールする形式でコマ割りの細部がオリジナルとは異なるため、カラーへの置き換えが可能な部分は見開き1枚あたり1~2コマ分に限られていた。一般のマンガでは一部のみに着色するというわけではないが、少なくともこの作品では、部分的な色を手がかりとして他の色を想起する効果があるため、十分な色彩認知が可能だと判断した。なお、ページ全体をカラー化した効果は、以下に述べる別の実験条件で確かめている。

脳活動の測定時に、見開きの1画像あたり20秒という一定のペースで提示したが、これは冗長にならずに細部まで読み込める時間である。また、すべての参加者で次の3条件を比較した。Colored条件では各刺激の1~2コマにカラーのものを差し替えて提示し (Fig. 1A)、Uncolored条件ではすべてのコマをオリジナル通りのモノクロで提示し (Fig. 1B)、Inverted条件では、各刺激の1~2コマに反転色 (補色) のものを差し替えて提示した (Fig. 1C)。明らかに不自然な Inverted条件を加えることで、単なる色彩認知だけではなく、想像に近い着色か否かの違いを調べることが可能となる。これら3条件の提示順を参加者間で循環させることで、すべての見開きページが3条件で均等に提示されるようにカウンターバランスをとった。

なお、一般にマンガが雑誌に連載される際に、冒頭の数ページがカラー印刷されることがあり、この作品『アルテ』も雑誌初出時に冒頭4ページがカラーで掲載され、後の単行本ではそのオリジナルからモノクロ化された (電子版でのカラー化の逆)。この初期条件の違いを考慮して、冒頭4ページの先頭に単行本の表紙絵

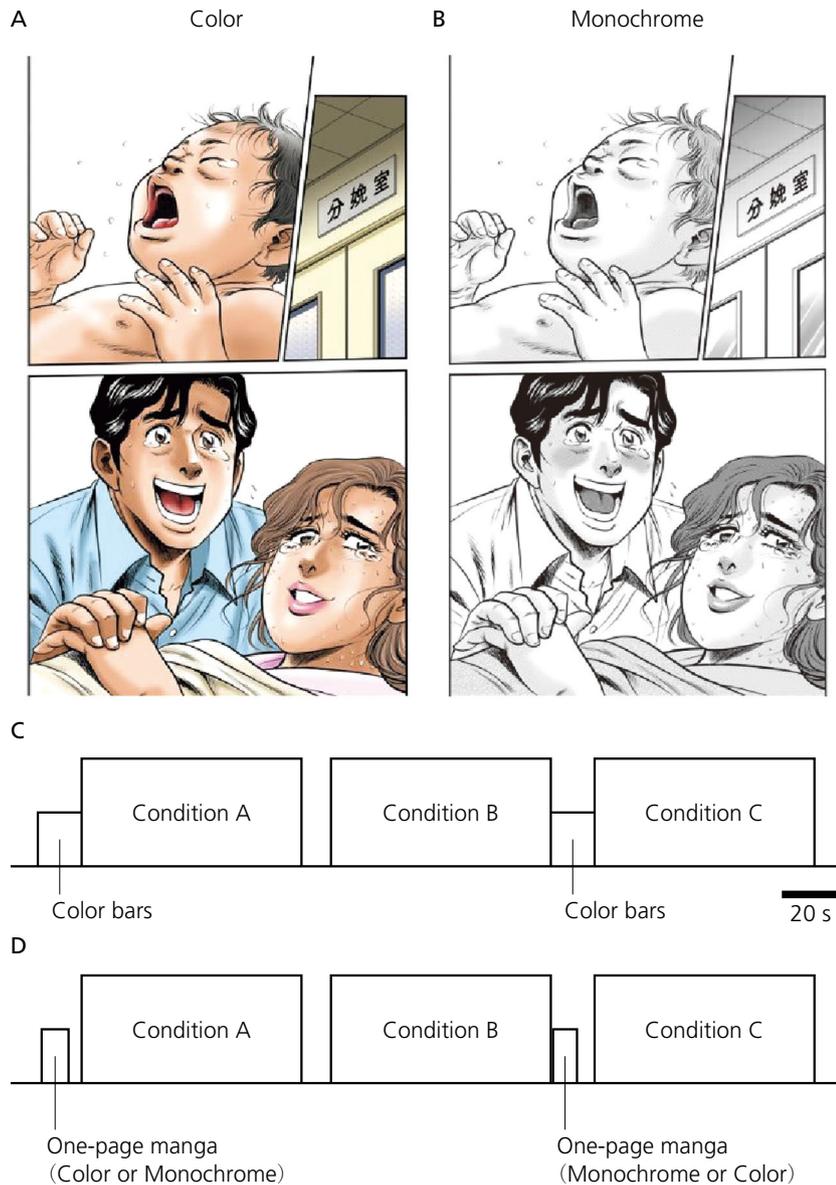


Fig. 2 Example of a one-page manga, and stimulus presentation
A: Color version. **B:** Monochrome version. This original manga was drawn by Ryuji Tsugihara (©Coamix Co., Ltd). **C:** Scanning run with color bars. The diagram shows a temporal sequence of stimuli. Under the conditions A, B, and C, the manga story was presented with colored, uncolored, and inverted stimuli (see Fig. 1), respectively; this order was fully permuted among the participants. **D:** Scanning run with one-page manga. The same one-page manga was presented in either the Color-Monochrome or Monochrome-Color order (see Fig. 2A,B).

を加え、さらに第5ページを追加した全6ページ（見開き3枚）について、カラーとモノクロで紙に印刷して準備した。参加者は、その一方を実験の開始直前に自分のペースで読んで、冒頭のストーリー設定を理解した。このカラーとモノクロ2条件で行動データおよび脳活動を比較したところ、両者の間に有意差が見られなかったため、以下では両方の結果を合算する。

色覚中枢の位置を正確に同定する目的で、参加者を2群に分け、一方の群の対照条件として、カラーバー [テレビのテストパターンである The Society of Motion Picture and

Television Engineers (SMPTE) color bars] を1秒ごとにバーの位置をずらしながら15秒間提示した。もう一方の群ではこの対照条件と入れ替えて、1ページで完結するマンガを10秒間（その前に1秒、後に4秒のブランクを入れて15秒間）提示した。この「1ページマンガ」は台詞をまったく含まず、大きな喜怒哀楽を伴うシーンを描いたものであり（次原隆二氏に委嘱）、8枚それぞれについてページ全体がカラー（Color, Fig. 2A）とモノクロ（Mono, Fig. 2B）の画像を準備した。

これらの視覚刺激はすべて800×600画素のサイズ

に収まるように調整して、MRI用のゴーグル (VisuaStim Digital, Resonance Technology 社, 米国) で提示した。刺激の自動提示には、ソフトウェア Presentation (Neurobehavioral Systems 社, 米国) を用いた。

3. 課題

参加者はMRI装置の中で、マンガの1画像ごとに共感課題を行った。共感課題では、登場人物への共感の度合いを4段階で判断して、対応する4つのボタンのいずれかを押し、回答させた。その4段階とは、「(1)ほとんど共感しなかった、(2)あまり共感しなかった、(3)ある程度共感した、(4)かなり共感した」である。また、実験全体を通じて、選ばれる共感の度合いが1つや2つの段階に偏らないように指示した。この共感度 (degree of empathy) は、『アルテ』に対する課題 (以下では「共感課題I」と呼ぶ) と、1ページマンガに対する課題 (共感課題IIと呼ぶ) の両方で回答させた。課題の最初と最後と同様に、1ページマンガの前にも視覚刺激を提示しないBaselineを入れることで、両課題が連続しても切替は明確だった。

fMRIの1ラン (一続きの撮影) の構成は、カラーバーを用いた場合 (Fig. 2C) と1ページマンガを提示した場合 (Fig. 2D) で同等である。どちらも1ランの中でColored条件・Uncolored条件・Inverted条件 (Fig. 1) を1回ずつ含み、その各ブロック (80秒) では、見開きの1画像を4枚連続して提示した。ブロックを通しでたどると、過不足なく『アルテ』のストーリーに沿うようになっている。参加者1人あたりでは8ランを前半と後半に分けて行い、途中で10分程度の休憩を挟んだ。

1ページマンガは、同じ絵柄のカラーとモノクロについて、同一ランでそれぞれ1度だけ提示した (Fig. 2D)。カラーとモノクロの提示順はランごとに入れ替え、1ページマンガと提示順の対応も参加者間で統制した。これにより、8組の1ページマンガに対し、カラーとモノクロの主効果に加えて、提示順による交互作用が検証できる。

最後に、参加者がマンガ作品の文脈を理解できていたかを把握するため、実験終了後に記述式で2つの設問に解答させた。第1問は主人公アルテから師匠レオに対する最初の印象と、その印象の変化を問うもので、第2問は逆にレオからアルテに対する最初の印象と、その印象の変化を問うものである。それぞれの解答について、ストーリーを全体的に、そして深く理解しているかという観点から、両問をあわせて10点満

点で評価した。

4. MRIの撮影と解析

撮影には3.0TのMRI装置 (Signa HDxt, GE Healthcare 社, 米国) を用いた。エコープラナー法 (echo planar imaging: EPI) の撮影条件は30 axial slices, slice gap = 0.5 mm, TR (repetition time) = 2s, TE (echo time) = 30 ms, FA (flip angle) = 78°, FOV (field of view) = 192 × 192 mm², resolution = 3 × 3 mm² であり、各参加者の脳を標準脳に正規化するために撮影した3D構造画像の撮影条件は、136 axial slices, TR = 8.5 ms, TE = 2.6 ms, FA = 25°, FOV = 256 × 256 mm², resolution = 1 × 1 × 1 mm³ であった。撮影データの解析にはソフトウェア MATLAB (MathWorks 社, 米国) 上で動作するソフトウェア SPM12 (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Centre for Human Neuroimaging; <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>) を用いた。

各スキャンのEPI画像について、中間位置の画像に合わせてスライスタイミングの補正を行い、The Montreal Neurological Institute (MNI) で定義された標準脳へ正規化した。さらに、9 mm FWHM (full-width at half-maximum) のisotropic Gaussian kernelによって平滑化し、低周波ノイズを1/128 Hzのハイパスフィルタを用いて除いた。正準的な血流動態反応関数により脳活動をモデル化して、参加者ごとに1st-level analysis (fixed-effects analysis) を行った。共感課題Iについて、マンガの各見開きを読んでいる20秒間をターゲットイベントとし、3条件 (Colored, Uncolored, Inverted) を設定した。共感課題IIについては、1ページマンガを読んでいる10秒間をターゲットイベントとし、2条件 (Color, Mono) を設定した。カラーバーについては、表示期間全体の15秒間をイベントとした。

集団解析である2nd-level analysis (random-effects analysis) では、one-way ANOVA (analysis of variance) またはflexible factorialを用い、除去すべき攪乱変数 (nuisance variable) として、参加者の年齢、利き手指数、性別を含めた。脳全体に対しボクセルレベルでuncorrected $p < 0.0001$ の閾値で t 検定を行った上で、3次元の連続領域としてクラスターレベルで偽発見率 (false discovery rate: FDR) の補正を行って、閾値をcorrected $p < 0.05$ に定めた。さらに紡錘状回の活動を定量化するため、Automated Anatomical Labeling (AAL; <http://www.gin.cnrs.fr/AAL2/>) によって標準脳上で解剖学的に定められる左右の紡錘状回の範囲から、「Color bars - Baseline」という差分のコントラストによる活動領域 (カラーバー群17人分のデータによる) を絞り込んだ。この領域を紡錘状回の関心領域

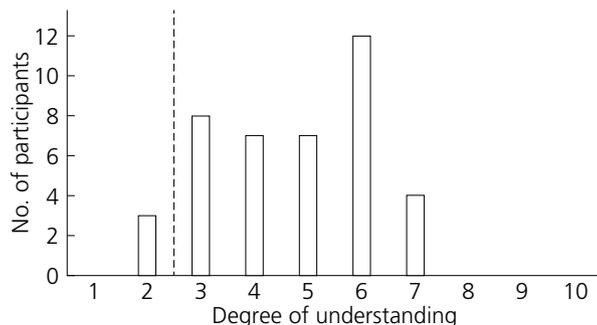


Fig. 3 Degree of understanding of the story "Arte"

The contextual understanding of the story was examined for each participant after the experiment, which was rated on a 10-point scale. The histogram shows the frequency distribution of the rated scores for the participants. The dashed line indicates the threshold of reliable understanding.

(region of interest : ROI) に定め, MarsBaR (<http://marsbar.sourceforge.net/>) を用いて, Baseline を基準とする信号変化量を参加者全員のデータから抽出した。

II . 結果

1. 文脈の理解度

文脈の理解度について, 参加者全員 (41 人) の評価を集計したところ, 2 点から 7 点にわたって分布し, 個人差が見られた (Fig. 3)。そこで, 文脈の理解度が最低の 2 点だった 3 人を解析から除外した。また, 1 ラン中に頭部が 2 mm 以上の移動, あるいは 1.4° 以上の回転が見られたデータは, ラン単位で解析から除外した。その結果, 全 8 ラン中で使えるデータが 5 ランに満たなかった 5 人の参加者も, 解析から除外した。結果として以下の解析に使用したのは, 33 人 (うち女性 16 人) のデータである。

共感課題 I における信号変化量について, 前半 4 ランと後半 4 ランに分けた解析に限り, 前半と後半ともに 2 ラン以上のデータを使用できる参加者 32 人のデータを対象とした。その場合は, この参加者中のカラーバー群 16 人分のデータを用いて, 紡錘状回の ROI を設定し直した。

2. 紡錘状回の活動が示す色の選択性と時間変化

カラーバー群の参加者 17 人について解析した結果, カラーバー条件に対する脳活動は視覚野である両側の後頭葉のみに見られ, その一部が腹側の紡錘状回に局在した (Fig. 4A)。左右の紡錘状回に対する ROI において, 信号変化量を Colored, Uncolored, Inverted の 3 条件で比較した結果 (N=33), Colored は Uncolored

より (paired *t*-test, $t=2.6$, $p=0.012$), Inverted は Uncolored より ($t=3.1$, $p=0.0027$), 有意に上昇した (Fig. 4B)。色に対するこの選択性は, 左右の紡錘状回がともに色覚中枢として機能することを裏付けている。

次に, 紡錘状回の ROI で信号変化量の時間変化を調べた。まず, 同一ラン内でのカラーバーの 2 回の提示について比較したところ, 両側ともに 1 度目より 2 度目の反応が顕著に減弱した ($t=2.6$, $p=0.018$) (Fig. 5A)。これは, 同一の色刺激に対する馴化の効果であると考えられる。左右の紡錘状回が同等の反応変化を示したので, 以下では両方の ROI で信号変化量を平均化して解析した。

共感課題 I における信号変化量について, 前半 4 ランと後半 4 ランについて比較したところ (N=32), 前半では Inverted 条件で Uncolored より有意に上昇し ($t=3.0$, $p=0.0054$), 後半では Colored 条件で Uncolored より有意に上昇した ($t=2.2$, $p=0.034$) (Fig. 5B)。つまり Inverted 条件で用いた不自然な反転色は, 最初だけ強い注意を引いたことになるが, 前半の共感度は Inverted 条件 (2.6 ± 0.05 , mean \pm SEM) のほうが Uncolored (2.8 ± 0.06) よりも有意に低かった ($t=-2.8$, $p=0.0098$) ので, 反転色に対する違和感が理解を阻害したと考えられる。

Inverted 条件では前半から後半で有意に減少して ($t=2.2$, $p=0.032$), 無意味なカラーバーと同様に顕著な馴化効果を示したのに対して, Colored 条件と Uncolored 条件では前半と後半の間に有意差は見られなかった (Colored : $t=0.52$, $p=0.60$; Uncolored : $t=0.92$, $p=0.37$)。Fig. 5A と Fig. 5B に示された信号変化量の比較から明らかのように, Colored 条件よりは弱いものの, Uncolored 条件であっても, カラーバーと同等レベルの活動が色覚中枢において観察された。以上の結果より, マンガの文脈が新たな情報を持ち得る Colored 条件や Uncolored 条件において紡錘状回の活動は馴化を示さず, 色に対する選択的な反応を維持することが明らかとなった。

3. カラーとモノクロでの提示順の効果

次に, 共感課題 II で使用した 1 ページマンガに対して, 同一ランのカラーとモノクロによる提示 (同じ絵柄どうし) を比較した。まず共感度について比較したところ, 特にマンガを先にモノクロで提示した場合に, カラー条件と近い値が得られた (Fig. 6A)。順序条件 (カラー・モノクロの順, またはモノクロ・カラーの順) と提示順 (先の提示, または後の提示) の反復測定二元配置分散

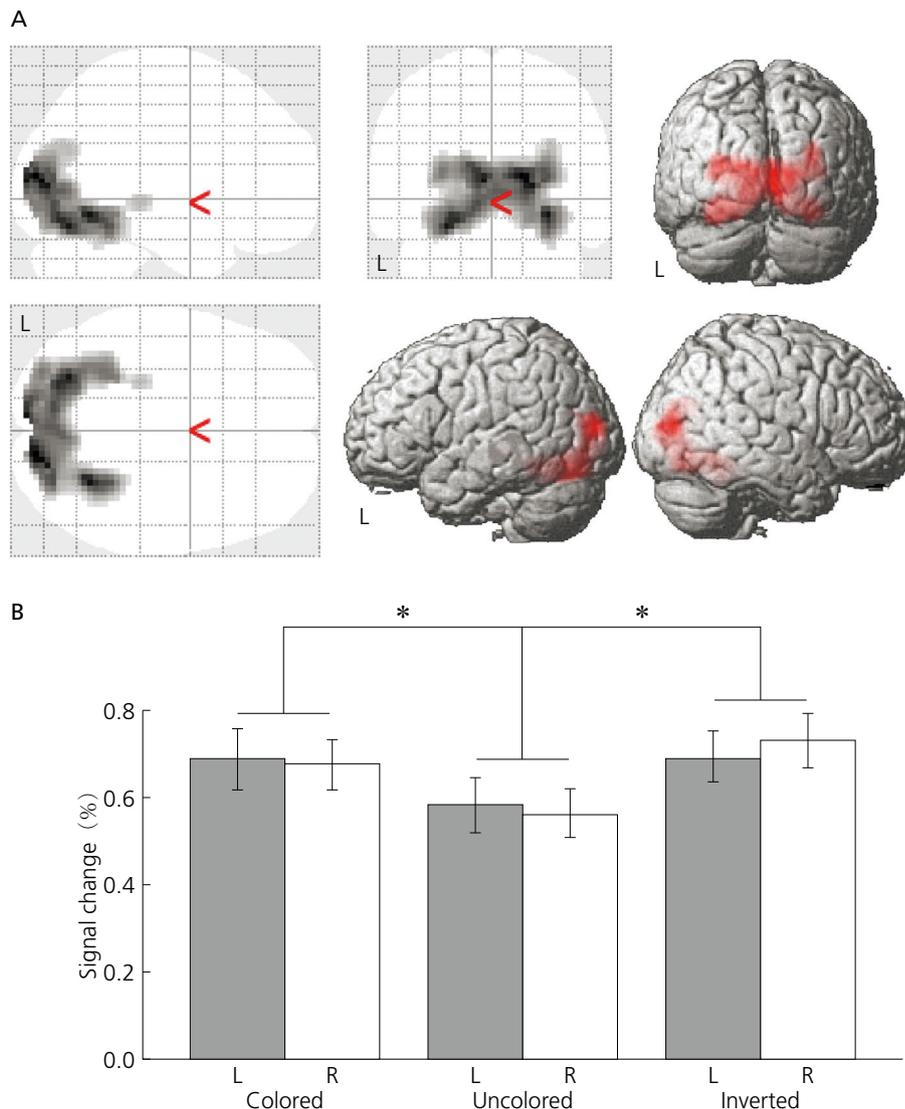


Fig. 4 Localized and color-selective activations in the fusiform gyrus

A: Results of the comparison between color bars and baseline conditions. Significantly activated regions are projected in three orthogonal planes (sagittal, coronal, and horizontal from the top left panel), as well as onto the back, right, and left (L) views of the surface-rendered standard brain. The most ventral portion of the activated cluster is the fusiform gyrus, one in each hemisphere. **B:** Signal changes under the Colored, Uncolored, and Inverted conditions (see **Fig. 1**) are shown for the left (L, filled bars) and right (R, open bars) fusiform gyri. Error bars are the standard error of the mean (SEM). * $p < 0.05$.

分析 (two-way repeated measures ANOVA) を行ったところ、順序条件の主効果 ($F = 5.0, p = 0.041$) および交互作用 ($F = 5.3, p = 0.036$) は有意だったが、提示順の主効果は見出されず ($F = 0.0009, p = 0.98$)、共感度で馴化効果は生じなかった。モノクロ提示時における共感度の比較では、モノクロ・カラーの順のほうがカラー・モノクロの順より有意に高かった (paired t -test, $t = 2.1, p = 0.049$)。なお、提示順が後の提示どうしで比較すると、カラー提示のほうがモノクロ提示よりも共感度が有意に高く ($t = 3.4, p = 0.0038$)、色が付加されることによって印象が強くなったと考えられる。

共感課題Ⅱにおいて紡錘状回の信号変化量を比較したところ、共感度をほぼ正確に反映することが明らかとなった (**Fig. 6B**)。共感度と同様に、順序条件の主効果 ($F = 4.7, p = 0.046$) および交互作用 ($F = 5.5, p = 0.034$) は有意だったが、提示順の主効果は見られなかった ($F = 0.6, p = 0.44$)。また、提示順が後の提示どうしで比較すると、カラー提示時のほうがモノクロ提示時よりも信号変化量が有意に高かった ($t = 2.9, p = 0.011$)。さらに、モノクロ・カラーの順でのモノクロ提示に対する反応は、カラー提示と有意差がなく ($t = 0.34, p = 0.74$)、紡錘状回が十分に賦活していたことがわかる。

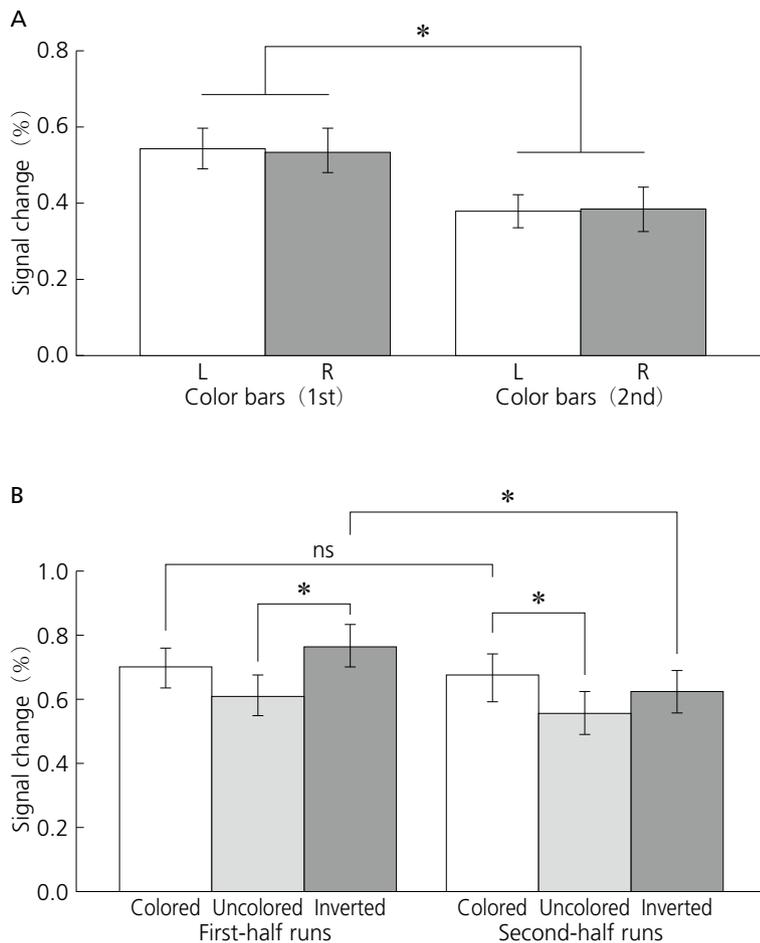


Fig. 5 Temporal changes in activations of the fusiform gyrus

A: Responses to color bars during the first and second presentations within the same scanning runs are shown for the left (L, open bars) and right (R, filled bars) fusiform gyri. **B:** Responses to the manga story ("Arte"; see Fig. 1) under the Colored (white bars), Uncolored (gray bars), and Inverted (black bars) conditions are shown for the bilateral fusiform gyri, separately during the first-half and second-half runs. Note the habituation effect occurs only under the Inverted condition, which was unnatural and caught attention initially. Error bars are SEM.

* $p < 0.05$, ns: not significant.

なお性差については、共感課題Ⅱにおいて女性の共感度が男性より有意に高かった ($t = 2.6, p = 0.022$)。これに加えて、カラー・モノクロの順でのモノクロ提示に対する共感度は、やはり女性のほうが男性より有意に高かった ($t = 3.2, p = 0.0071$)。ただし紡錘状回の活動に対しては、性差が認められなかった ($p > 0.05$)。

Ⅲ．考察

色覚中枢である紡錘状回は、本研究の共感課題Ⅰと共感課題Ⅱの両方において、確かに色に対して選択的に反応した (Fig. 4, 5)。また、カラーバーに対する反応変化 (Fig. 5A) や、Inverted 条件で見られた反応の減弱 (Fig. 5B) は、既に述べたように馴化効果と考えられる。脳活動の馴化は視覚野をはじめとして広く報告さ

れている⁸⁾。

例えば顔と認識した時点で肌色を想起できるように、色の想起が単純に物体認知によるだけなら、マンガに対してもカラーバーと同様の馴化を示すはずである。しかし、共感課題Ⅰで用いたモノクロ (Uncolored) のマンガに対する紡錘状回の活動は、カラーのコマが含まれた条件 (Colored や Inverted) よりは弱かったものの、後半でも対照条件のカラーバーと同等レベルの反応を維持した (Fig. 5B)。さらに共感課題Ⅱで用いた1ページマンガでは、モノクロ・カラーの順でのモノクロ提示に対してカラー提示と同等の反応が観察され (Fig. 6B, 右のヒストグラム)、共感度と同様の有意な交互作用を示した。以上の結果は物体認知による色の想起だけでは説明できず、文脈に基づく色の想起が脳活動に反映されたと考えられる。マンガのようなストー

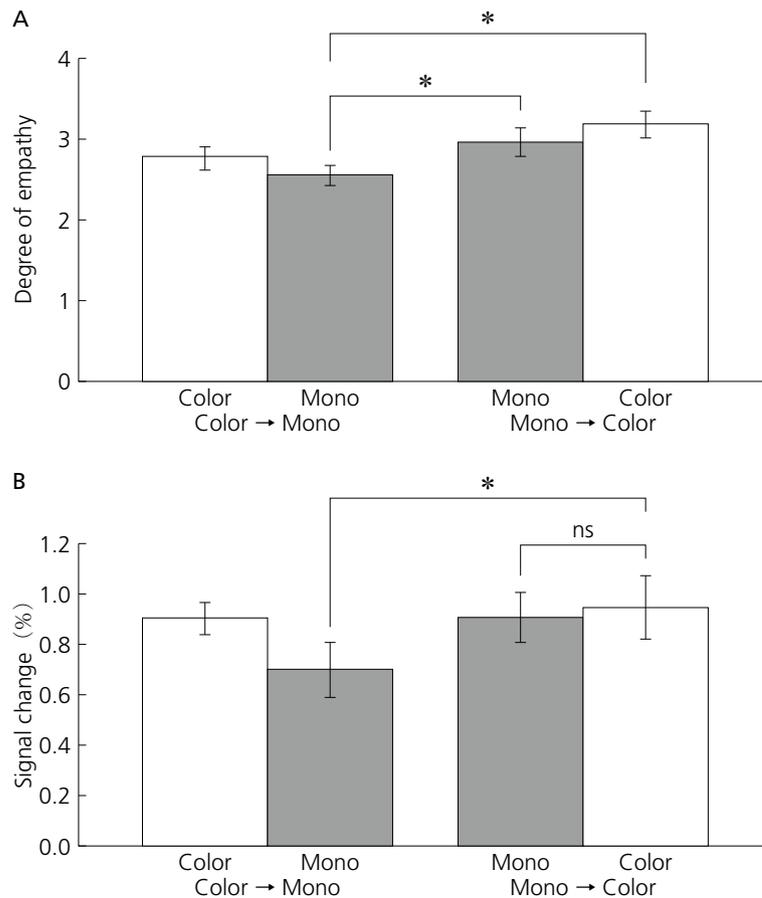


Fig. 6 Effects of the presentation order of color and monochrome manga
A: The degree of empathy is shown in the order from color (open bars) to monochrome (mono, filled bars), or from monochrome to color during the presentation of one-page manga (see Fig. 2). **B:** Responses to the one-page manga are shown for the bilateral fusiform gyri, separately in the order from color to monochrome, or from monochrome to color. Note the enhanced empathy and responses to the monochrome manga, which was presented first. Error bars are SEM.
 * $p < 0.05$, ns: not significant.

リーを伴って色を想起するような高次機能について、知る限りこれまで報告がなく、本研究は想像力に関わる内的な視覚的イメージの解明に資すると言えよう。

1 ページマンガを用いた共感課題Ⅱでは、女性の共感度が男性に比べて有意に高かった。この視覚刺激のように台詞を含まないサイレントマンガを用いた先行研究では、ストーリーの終結部において共感度が女性のほうが男性より有意に高かったことが報告されており⁶⁾、一貫した傾向である。なお、この先行研究で用いたサイレントマンガ(12作品)は、1作品あたり11~27ページあり、平均16ページであった。今回の研究によって、わずか1ページのマンガであっても共感度の性差が示され、色覚中枢に対して検出可能な効果を及ぼすことが明らかとなった。

ストーリー展開とそれに基づく文脈を含むマンガでは、一般に言葉による情報も豊富であり、今回用いた

『アルテ』では、登場人物同士の会話が特に重要な意味を持っていた。本研究では色覚中枢に対する文脈の効果について調べる目的で、解析の対象を紡錘状回に限定したが、言語的な情報による誘導と意味理解については、新たな実験デザインで検証していく必要がある。今後、海馬を含む記憶システムや言語野に対する影響などが明らかになれば、トップダウンの情報処理についてさらに解明が進むと期待される。

謝辞

本研究にあたって、株式会社コアミックスより共同研究費の助成とマンガの画像データを提供いただいた。同社の中島太郎氏、花田健氏、堀江信彦氏、および株式会社キャンパスクリエイトの高橋めぐみ氏の協力を深謝したい。また、研究室の梅島奎立^{ひいらぎ}氏、松田広美氏、小師尚子氏の協力を感謝する。

- 1) Lueck CJ, Zeki S, Friston KJ, Deiber M-P, Cope P, et al: The colour centre in the cerebral cortex of man. *Nature* **340**: 386–389, 1989
- 2) Sakai K, Watanabe E, Onodera Y, Uchida I, Kato H, et al: Functional mapping of the human colour centre with echo-planar magnetic resonance imaging. *Proc Biol Sci* **261**: 89–98, 1995
- 3) Bannert MM, Bartels A: Decoding the yellow of a gray banana. *Curr Biol* **23**: 2268–2272, 2013
- 4) Posner MI, Dehaene S: Attentional networks. *Trends Neurosci* **17**: 75–79, 1994
- 5) Sakai K, Miyashita Y: Visual imagery: an interaction between memory retrieval and focal attention. *Trends Neurosci* **17**: 287–289, 1994
- 6) 八木橋正泰, 酒井邦嘉: マンガの文脈による心的状態を反映した脳活動. *Brain Nerve* **73**: 79–87, 2021
- 7) Baron-Cohen S, Knickmeyer RC, Belmonte MK: Sex differences in the brain: implications for explaining autism. *Science* **310**: 819–823, 2005
- 8) Obrig H, Israel H, Kohl-Bareis M, Uludag K, Wenzel R, et al: Habituation of the visually evoked potential and its vascular response: implications for neurovascular coupling in the healthy adult. *Neuroimage* **17**: 1–18, 2002

BRAIN and NERVE 75 (2): 173–182, 2023 Original Article**Title**

Brain Activations during Retrieval of Colors Based on the Context of Cartoons

Authors

Yuto Murotani and Kuniyoshi L. Sakai

Department of Basic Science, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 3–8–1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153–8902, Japan

Abstract

The color center exists in the bilateral fusiform gyrus, but it is unknown whether this region also functions when one retrieves color information through the context of a story. To compare the effects of presentation condition/order between color and monochrome on activations in the color center, we used high-quality cartoons with a full story. We hypothesize that retrieval of colors based on the context can be much more than color retrieval through object vision. The participants performed two sets of an empathy task while their brain activations were quantified by functional magnetic resonance imaging. While color-selective activations were observed in the bilateral fusiform gyrus, habituation effects were observed only under the condition in which unnatural inverted colors were used. We confirmed that the responses of these regions to cartoons in monochrome were at the control level of color-bars even for second-half scanning runs. Moreover, when a full story cartoon on one page was presented first in monochrome, strong activations were elicited in the bilateral fusiform gyrus, which demonstrated an interaction effect similar to that of the degree of empathy. These results indicate that colors were retrieved in the brain based on the context of a cartoon.

Key words: context; empathy; higher-order visual information processing; color vision; visual imagery

(Received 5 September, 2022; Accepted 7 November, 2022; Published 1 February, 2023)