

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24330208

研究課題名(和文) 誘導色残像現象の総合的な検討 残像に皮質は関与するかー

研究課題名(英文) Experimental Analysis of Color Aftereffect: An examination of cortical contributions

研究代表者

佐藤 隆夫 (SATO, TAKAO)

立命館大学・総合心理学部・教授

研究者番号：60272449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、輪郭による強調、反対眼効果、残像選択、写真色残効という4つの現象から色残効の分析を行い、色残効の生起に皮質が関与することを明らかにした。色残効は、順応後のテスト段階で、順応部位に枠を提示すると強調される。また、その枠を、反対眼に提示すると、短時間の陽性残効が生じる。この反対眼効果は、両眼情報の統合によって生じるものであり、皮質の関与が必要である。本研究では、この二つの現象が2次輪郭でも生じること、また、網膜座標に決定されるのみならず、世界座標、身体座標系からの修飾が生じることも見いだし、皮質の関与の重要性を明確に示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study examined color aftereffect through four sub-phenomena, i.e. enhancement by surrounding contours, dichoptic positive color aftereffect, selection of aftereffect, aftereffect with photographic inducers, and obtained results that indicate clear involvement of cortical processes to color aftereffect. The dichoptic positive color aftereffect is a new phenomenon in which positive color aftereffect is observed when surrounding contours around adapted area are presented to the eye opposite to the adapted eye. This phenomenon requires binocular integration and thus indicates cortical involvements in color aftereffect. We also found that second order as well as first order contours are effective in both enhancement by contours and dichoptic positive aftereffect. In addition, we found that word- and egocentric-ordinate as well as retinal-coordinate systems affect the strength of aftereffect. These results also support cortical involvements to color aftereffect.

研究分野：知覚心理学

キーワード：視覚 色覚 視知覚 色残効 残像

1. 研究開始当初の背景

色刺激に順応した後に、白紙を見ると順応色の補色に色づいた残像が知覚される(陰性色残像)。この現象は、基本的には網膜レベル、錐体の順応による現象として理解されてきた。申請者は、陰性色残効に関して、最近、「輪郭効果」、「反対眼効果」と名付ける新しい現象を見いだした。前者はテスト時に順応領域を囲む輪郭を提示すると残像が強調される現象、後者は、単眼順応の後、反対眼に同様の輪郭を提示すると陽性残像が知覚される現象である。通常の色残像はこうした誘導刺激を必要としないが、この二つの現象は、誘導刺激(枠)の存在が必須であり、皮質レベルの貢献が想定される。

色残像については、陰性、陽性 10 以上の成分が特定されてきてはいるが、ほとんど全てが網膜レベルの成分として考えられ、皮質の貢献に取り組んだ研究は稀である。本研究が進展し、残像に対する皮質の貢献が明らかになれば色残像研究に新しい視点をもたらすことができる。また、このことは、色知覚の意識化のプロセスとも関連し、その面における議論の発展にも貢献できる。また、上記の、輪郭効果、反対眼効果の二つの現象はどちらも、申請者が一昨年、van Lier らの残像の選択・充填に関する学会発表に接し、試行錯誤的な観察を行っているうちに見いだした現象であり、その点でもきわめて独創性の高い研究だと言えよう。輪郭効果は「知る人ぞ知る」現象ではあるが、本格的な研究は全く存在せず、また、反対眼効果は、全く新しい現象と言える。また、残像選択に関しては、van Lier ら、およびその後の追従する諸研究は中央部への色の充填という点にのみ着目し、もう一つの、輪郭による残像の選択という興味深い側面にはまったく注目していない。写真色残効は、デモとしては多くの「作品」が発表されているが、学術的な検討は全く行われていない。こうした、まったく新しい現象を含む四現象を比較検討し、網膜レベルの順応だけでは説明できない色残像に関して、総合的な検討を加えようという本研究の立場は、色知覚研究として極めて斬新なものである。

2. 研究の目的

本研究は、以下に述べる網膜レベルの順応に端を発する信号が、大脳レベルで他の情報

と統合され、その結果生起すると思われる四つの色残像現象を取り上げ、それぞれの基本特性を記述し、その結果を基に現象相互間の関係を明らかにし、総合的な検討を加えることを主目的とする。

(1) **輪郭による強調効果** 色残像はテスト時に、順応領域を囲む黒い輪郭(誘導輪郭)を提示すると、単なる白背景を提示した場合に比べ、色の見え、彩度が強まる(以下、輪郭効果)。この強調現象の時定数は数秒程度であり、マッカロー効果のような、記憶的な要素を伴う物ではない。

(2) **反対眼効果** 単眼の順応の後、誘導輪郭を反対眼に提示すると、持続時間も短く、彩度も低い、陽性の残像が観察される(反対眼効果)。この現象は、試した観察者全員が知覚している。マッカロー効果についても、反対眼に誘導図形を提示すると陽性の残効が認められたという報告例はあるが、参加者の半数程度にしか認められず、また時定数も異なることから別個の現象と考えられる。また、この二つの現象は、網膜レベルでは説明することが難しく、皮質レベルの貢献があることは確かであろう。上記 2 現象の予備的検討結果を発表し、かなり注目された。

(3) **残像選択** 二つの赤と緑の四稜星(四つの頂点を持つ星、次頁図参照)を重ね合わせ、重なり部分は灰色としたものに順応した後、どちらかの四稜星の輪郭(黒線)を提示すると、提示された輪郭の内部は順応色の補色で一樣に色づいて見えるが、その外側にはまったく色味が存在しない。つまり、事後に提示する輪郭により、一方の残効が選択されて意識に上り、他方の残効は抑制される。さらに、中央の灰色部分にも選択された残像の色が充填される(van Lier ら、2010)。彼らを始め、その後、追従した諸研究も充填効果のみに着目し残像選択現象は全く注目していない。しかし、本研究では、残効の誘導に直接関連のある残像の選択現象に着目した分析を試みる。

(4) **写真色残効** カラー写真の輝度成分を取り除き、色相を反転したものに順応した後に、同じ写真の輝度のみを取りだしたもので、つまり白黒写真を見ると、写真は数秒間、色づいて見える。この現象は、グラフィックデザイナーの John Sadowski がインターネット上で公開した作品で注目され有名になったが、実

験的な研究例は無い。この現象も一種の誘導残像と見ることができ、誘導刺激が濃淡画像である点で上記の輪郭効果とは異なる。一方、誘導現象とは関係無く、一般的な陰性残像が写真と重畳され、白黒写真が色づいて見えるだけだという見方も出来る。

(5)網膜座標系以外の座標系の効果 申請当初の目的には含まれていなかったが、研究開始後、陰性残像、反対眼効果による陽性残像、それぞれに対して、網膜座標系以外の座標系（世界、自己中心座標系）で定義された順応位置、誘導枠の提示位置が色残像の強度に影響することを見だし、この点も本研究の重要目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、四種の誘導色残像現象（輪郭効果、反対眼効果、残像選択、写真色残像）の特性を心理実験によって明かにすると共に、その脳内機序を脳機能計測(fMRI)、脳波、経頭蓋磁気刺激(TMS)等の生理的な手法を駆使して解明することを目的とし、具体的には以下の4項に関する実験的な検討をを実施した。

(1) 心理実験から上記の誘導色残像の輪郭属性、コントラスト・空間周波数などの刺激属性、時間側面などに関する基本特性を明らかにする。

(2)上記のデータに基づき、通常の色残像、異なる誘導色残像における網膜、皮質への依存性を同定し、現象相互間の関係、メカニズムの異同を明らかにする。

(3)心理実験の結果を基に、生理実験(脳波、fMRI、TMS)を実施し、色残像に対する皮質の関与を明らかにする。

(4) 以上の結果に基づき、通常色残像、誘導色残像を包括するモデルを構築する。

【実験の手法】心理実験 1: 輪郭属性依存性・時間特性（色残像の強度・持続時間による分析） 輪郭効果 画面中央に色刺激を提示し、十分な順応を得た後、輪郭刺激を提示する。このような提示に対して色残像の彩度（飽和度、参照刺激とのマッチング）、残像の持続時間を別セッションで計測する。輪郭として、1次輪郭（輝度定義輪郭）、に加えて2次輪郭（テクスチャー、視差、運動定義輪郭）も用いる。さらに、順応刺激の消失後、輪郭低次までの時間差を操作し、輪郭効果の時間的な側面を明らかにする。また、輝度輪郭に関しては、線分輪郭に加え、順応領域全体の

輝度を変化させた面誘導図形の効果も検討する。線分、面の両者について、コントラスト、空間周波数成分を操作した実験（ぼかし、輪郭強調）、順応、誘導刺激の大きさ、方位に差を導入した実験も実施する。コントロールとして、誘導輪郭を提示しない条件の測定も同様に行う。

反対眼効果 単眼で順応し、誘導刺激を反対眼に提示する以外、前項と同様である。この現象と、次項の残像選択は、明らかに皮質の関与が想定される現象であり、この二つの現象と通常の色残像、また、輪郭効果、写真色残像の類似性が、全ての結果を整理する際のアンカーポイントとなる。

残像選択 van Lierらの刺激に準拠したものをを用い、上記と同様の検討を行う。その上で、順応、誘導刺激の大きさ、方位に差を導入した実験を実施し、残像選択の方位、大きさなどへの選択性を検討し、既知の初期視覚系の方位、大きさの選択性の結果と比較する。

写真色残像 はじめに、人物、風景、建物など様々な被写体のカラー写真について、写真色残像の生じやすい刺激を選択する。そうしたカラー写真を等輝度化し、色相を反転したものを順応刺激、色差を除いた白黒写真を誘導刺激とする。こうした刺激を用いて、上記と同様の検討を行う。ここでの分析の主眼は、写真色残像が、単なる色残像に白黒写真が重畳された結果、写真が色づくのか、白黒写真が輪郭効果等の同様の強調効果を持つのか、また、被写体の親近性による、より高次の効果が存在するのかを明らかにする点にある。そのため、写真の、コントラスト、コントラスト極性、空間周波数成分の操作を行い、他の誘導残像と比較検討を行う。

心理実験 2: 座標系依存性（色残像の強度・持続時間による分析）

残像は、網膜から比較的低次の皮質に至る段階の順応がその主要因になると思われる。したがって、強い網膜部位(座標)依存性を持つと考えられる。しかし、申請者等は、最近、これも比較的低次の現象と考えられて来た両眼視野闘争が、網膜座標系のみならず、世界座標系、物体中心座標系、どちらも高次の処理を要求する座標系により強く依存することを見いだしている。そこで、誘導色残像についても、同様の分析を行う。例えば、順応終了後に、直ちに注視点を移動させ、注視

点に対して相対的に同じ位置に誘導刺激を提示すれば、順応・誘導刺激の位置関係は、網膜座標系では同一であるが、世界座標系では異なる。注視点を連続的に動かす分析も行える。こうした事態での結果と、完全な静止刺激に対する結果に差が生じれば、脳内の比較的高次の段階の影響をはっきりと示すことができるだろう。

4. 研究成果

本研究では、輪郭による強調効果、反対眼効果、残像選択、写真色残効というこれまであまり扱われてこなかった、また、新しく発見された現象を切り口として色残効の生成様態に心理実験を通じた分析を加え、これまで主として網膜レベルの現象と考えられていた色残効に対する皮質レベルの関与を明らかにすることに成功した

(1)輪郭による強調効果および、反対眼効果については、この二つの現象のあり様を数量的に詳細に記述するのみではなく、1次(輝度)輪郭のみではなく、テクスチャ、運動適宜などの2次輪郭によっても色残効の強調、反対眼効果が生起することを明らかにすることができた。

(2)また、この二つの現象の強度が単に網膜座標のみならず、世界座標、身体座標からも影響を受けることを明らかに出来た。このことは、色残効の生起に皮質が関与すること、また関与する皮質が初期レベルを超え、網膜座標系と世界座標系、身体座標系の統合を実現するレベルにまで及ぶことを示すものと解釈できる。(3)残像選択に関しても、詳細な枠の形態、方位などのチューニングのあり様を数量的に記述することはできたが、具体的な選択過程のメカニズムを論ずるに足る知見を得るまでには、及ばなかった。

(4)写真色残効に関しては、種々の実験を通して、通常の色残効と共通のメカニズムに依存する、つまり通常の色残効と同一の現象が、白黒写真という「枠組み」によって修飾された現象であることを示すデータを多く得ることができた。また、写真枠を用いても、反対眼効果、異なる座標系からの修飾効果を得ることに成功している。異なる座標系からの修飾効果は、当初の計画では想定していなかったものであるが、本研究によって得られた知見のうちの最も注目すべき知見であると考えられる。そのため、研究の後半では、こ

の現象の解明に注力した結果、生理的指標を用いた実験については、予備的なデータを得たのみで終わってしまった。生理的な指標による現象の解析、特に皮質レベルの関与の解明が今後の最重要な課題である。

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)

[雑誌論文](計24件)

Kawashima, T., & Sato, T., Perceptual limits in a simulated "Cocktail party"., 査読有, *Attention, Perception, & Psychophysics*, Vol. 77, 2015, pp. 2108-2120.
DOI: 10.3758/s13414-015-0910-9

Hashimoto, Y., & Yotsumoto, Y., Effect of Temporal Frequency Spectra of Flicker on Time Perception: Behavioral Testing and Simulations Using a Striatal Beat-Frequency Model, *Timing & Time Perception*, 査読有, Vol. 3, No. 3-4, 2015, pp. 201-202.
DOI: 10.1163/22134468-03002049

Chang, L.H., Yotsumoto Y., Salat D.H., Andersen G.J., Watanabe T., & Sasaki, Y., Reduction in the retinotopic early visual cortex with normal aging and magnitude of perceptual learning, *Neurobiology of Aging*, 査読有, Vol.36, No. 1, 2015, pp. 315-322.
DOI:
10.1016/j.neurobiolaging.2014.08.025

Wen, W., Ishikawa, T., & Sato, T., Instruction of verbal and spatial strategies for the learning about large-scale spaces., 査読有, *Cognitive Science*, Vol. 35, 2014, pp. 15-21.
DOI: 10.1016/j.lindif.2014.06.005

Hosokawa, K., Maruya, K., & Sato, T., Temporal characteristics of depth perception from motion parallax., *Journal of Vision*, Vol. 13, 2013, 査読有, pp. 1-8.
DOI: 10.1167/13.1.16

[学会発表](計72件)

Nakayama, R., Motiyoshi, I., & Sato, T., Neural correlates of illusory discrete perception: an EEG study., *Vision Sciences Society 16th Annual*

Meeting, May 15, 2016, Florida, USA.

Sato, T. & Nakayama, R.,
Extraretinal factors modulate color
after effect., European Conference on
Visual Perception, Aug 25, 2015,
Liverpool, UK.

Tanaka, R., & Yotsumoto, Y.
Contribution of the ventral visual
pathway to Perception of the
Wriggling Motion Trajectory Illusion:
an fMRI study, Vision Sciences
Society 15th Annual Meeting, May 18,
2015, Florida, USA .

Chen, C. C., Chen, H. T., & Sato, T.,
Interocular lateral interaction
subserves dichoptic positive color
aftereffects. Vision Sciences Society
14th Annual Meeting, May 19, 2014,
Florida, USA .

Yotsumoto, Y., The role of awareness
on visual perceptual learning of
inhibition: a fMRI study., Vision
Sciences Society 13th Annual Meeting,
May 12, 2013, Florida, USA.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 隆夫 (SATO, Takao)

立命館大学・総合心理学部・教授
研究者番号：60272449

(2) 研究分担者

四本 裕子 (YOTSUMOTO, Yuko)
東京大学・総合文化研究科・准教授
研究者番号：80580927

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()