

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13757

研究課題名（和文）方位選択・輪郭統合に着目した脳内色情報表現の解明

研究課題名（英文）Color Representation in the Brain: Focus on Orientation Selectivity and Contour Integration

研究代表者

佐藤 智治 (Sato, Tomoharu)

金沢大学・教職総合支援センター・講師

研究者番号：30783120

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：Collinear Facilitation は周辺刺激がターゲット刺激と方位や色など共通な成分を持ち、大局的に整列する場合に、輪郭統合によってターゲット刺激への検出感度が改善する現象である。本研究では周辺刺激として単一色相や色・輝度の組み合わせで構成された縞模様を使用し、ターゲット刺激の閾値変化を測定した。また、逆相関法で周辺刺激による知覚的テンプレートの変化を測定した。結果として、個人ごとに見れば周辺刺激による閾値変化が見られたが、個人差が大きく、被験者間で一貫した傾向は見られなかった。従って、周辺刺激による方位選択や輪郭統合は個人ごとに異なる判断基準がある可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

周辺刺激による感度変化は本研究で研究対象としたCollinear facilitationは、被験者が検出できるかどうかの閾値を測定する。本研究では主に有彩色に着目して研究を行った。本研究の成果では、周辺刺激による感度変化が見られるものの、個人差が大きかった。Collinear facilitation以外の周辺刺激による感度変化、例えばCrowdingや輪郭統合は、先行研究では大きな個人差は報告されていない。従って、色による方位選択や輪郭統合は、検出が難しいコントラストでは、個人によって判断基準が異なる可能性が考えられる。

研究成果の概要（英文）：Collinear facilitation is a phenomenon where the detection sensitivity to a target stimulus improves through contour integration when surrounding stimuli share common features with the target, such as orientation and color, and are globally aligned. In this study, I used surrounding stimuli “consisting of stripes formed from a single hue” or “a combination of color and luminance” to measure threshold changes in the target stimulus. Additionally, I measured changes in the perceptual templates in the area where the target stimulus was presented using the Classification Images method. The results showed that while threshold changes due to surrounding stimuli were observed on an individual basis, however there were large individual differences. Therefore, it is possible that individual differences in orientation selectivity and contour integration are based on unique criteria for each subject.

研究分野：心理物理学

キーワード：色覚 心理物理学 視覚情報処理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトの視覚系における色情報表現は処理段階によって変化する。その中でも脳での色情報処理；網膜上の感覚器（錐体細胞）の応答信号による表現が、どのように認知的な表現（「赤」や「緑」、「橙」、「紫」などの色名による表現）に変換されるのかは未解明なままである。脳における色情報表現は物体認識に必要な情報抽出過程と考えられ、ヒトの視知覚を理解し、工学的に応用するために重要な知見となることが期待される。

色情報表現の詳細が未解明なヒトの初期視覚野（V1）に存在する神経細胞の空間特性は「方位選択性」と「輪郭統合」である。V1の神経細胞は局所的な線分に応答し、その線分の傾き（方位）に選択的に応答する。そして、局所的な方位選択性細胞の応答の接続「輪郭統合」が行われ、形状を抽出できる。従って、「方位」と「輪郭」の情報に關係する錯視現象の色選択性を調査すれば、V1の色情報表現を明らかにできると考えられる。

2. 研究の目的

本課題では方位選択・輪郭統合がどのような色の組み合わせで生じるのかを明らかにする。無彩色で特定方向のエッジを構成するには「白・黒」のような正反対の色が効率的である。しかし、有彩色では「赤・緑」のような補色関係だけでなく、「赤・青」の組み合わせでもエッジが構成できる。このエッジを構成する色の組み合わせから脳内色情報表現を解明する。本課題では実験対象として「Collinear facilitation (CF)」という錯視現象を調査する。

CFは周辺刺激がターゲット刺激と方位や色など共通な成分を持ち、大局的に整列する場合に、輪郭統合によってターゲット刺激への検出感度が改善する現象である。CFの発生メカニズムは、視覚情報の重み付けに相当する「知覚的テンプレート」がボトムアップ的な主観的輪郭線の構築、あるいはトップダウン的な注意によって変化することで生じると考えられている。本研究ではCFがV1以降で生じるという特徴を利用し、CFの色選択性を調査することで脳における色情報表現の詳細を解明する。

3. 研究の方法

本研究では図1に示した通り、縞模様のターゲット刺激の上下に同じ周辺刺激が整列して配置されている刺激を使用した。この周辺刺激の縞模様の色を変更することで、CFの色選択性を調査する。被験者はLCDディスプレイに呈示された実験刺激に対して、「ターゲット刺激があったかどうか」という知覚判断をしてもらった。被験者の応答によってターゲット刺激のコントラストが変化し、正答率75%となるコントラスト；閾値に収束した。以下に、周辺刺激条件や適用する手法ごとに分けて記述する。



図 1. 呈示刺激例

(1) 単一色相を用いた Collinear facilitation の検証

CFの色選択性は非対称である可能性が報告[1]されており、ヒトの脳内色情報表現も複数の色選択性メカニズムが存在することが示唆されている[2]。そこで、ターゲット刺激と周辺刺激の縞模様の一部が一致した場合でもCFが生じるのか調査した。

図2に示した通り、周辺刺激として、ターゲット刺激と同じ縞模様、単一色相になるように処理した縞模様（2パターン）、ガウス分布の4パターンを使用した。単一色相の縞模様は、ターゲット刺激と同じ空間周波数成分に加えて直流成分をもっており、直流成分の影響と比較するためにガウス分布を使用した。実験には3名の被験者が参加した。

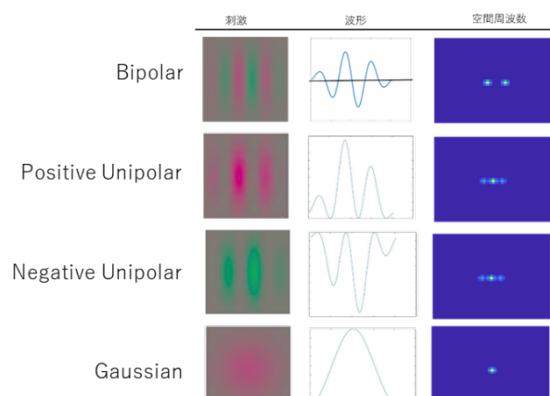


図 2. 単一色相で構成された周辺刺激

(2) CFにおける色・輝度相互作用の検証

CFは反対色表現の各色方向では生じないことが報告されている[3]が、ヒトの初期視覚野において、色と輝度の特定の組み合わせに反応する神経細胞が報告されている[4]。そこで、CFにおける色・輝度相互作用があるかどうか調査した。

図4に示した通り、有彩色（色相角：0, 90）と輝度を組み合わせた周辺刺激を呈示し、有彩色のターゲット刺激（色相角：0, 90, 180, 270°）の閾値変化を測定した。実験には4名の被験者が参加した。

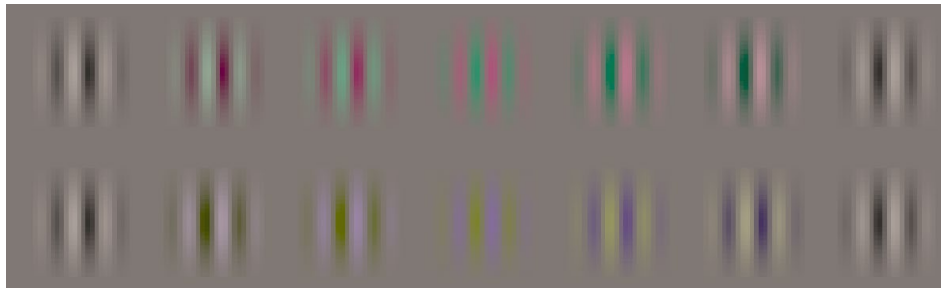


図 3. 輝度成分を含んだ縞模様

(3) Classification Images 法を用いた検証

CF による知覚的テンプレートを Classification Images (CI) 法を用いて調査した。CI 法はターゲット刺激にノイズを付加し、そのノイズを被験者判断によって「刺激が見えたかどうか」で分類する。分類されたノイズはそれぞれターゲット刺激の検出を促進・阻害する成分を含むと考えられる。

図 6 にターゲットにノイズを付加した実験刺激を示す。ターゲット刺激に付加されたノイズテクスチャは試行ごとに無作為に生成された。実験条件は反対色表現の 2 軸をそれぞれターゲット刺激、周辺刺激で使用した、合計 4 条件であった。実験には 3 名の被験者が参加し、被験者ごとに 1000 枚のノイズテクスチャを収集した。

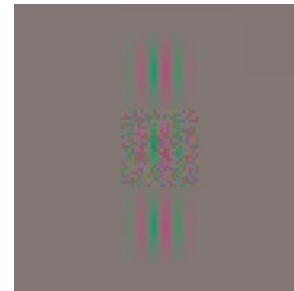


図 4. CI 法の実験刺激例

4. 研究成果

(1)

ターゲット刺激ごとに得られた結果を図 3 に示す。ターゲット刺激が 0° (赤・緑) の場合、Bipolar 条件において 0° で閾値改善し、 180° で閾値悪化が見られ、直交する色相では閾値変化が小さい傾向が見られた。ターゲット刺激が 90° (青・黄) の場合、どの周辺刺激においても、周辺刺激なしよりも閾値改善がみられた。ただし、エラーバーが大きいことからわかるように、個人差が大きく、被験者によって閾値改善・悪化の傾向は異なっていた。したがって、「周辺刺激なし」以外の条件を基準にして、周辺刺激の閾値変化を観察する必要があると考えられる。

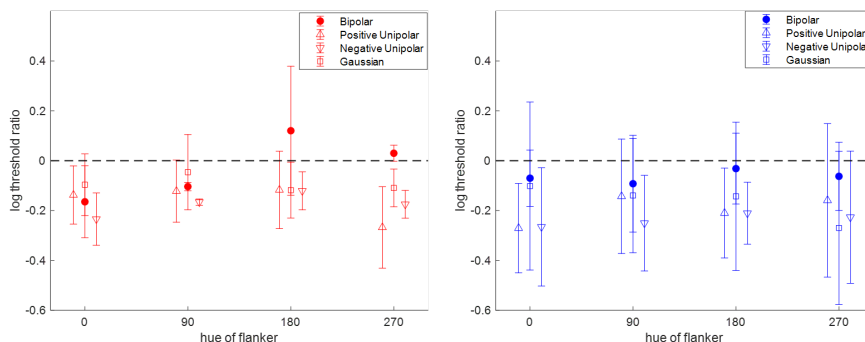


図 5. 単色相の周辺刺激によるターゲット刺激の閾値変化

(2)

ターゲット刺激の色相角ごとの結果を図 5 に示す。実線はターゲット刺激と周辺刺激の色方向が一致しており、破線は直交している条件をそれぞれ示す。 0° 条件では、周辺刺激が直交する色相 (90°) の場合、仰角 ϕ が輝度軸に近づくとも閾値改善の傾向が見られた。しかしながら、他の条件では個人差が大きく、被験者間平均した結果は条件間で統計的有意差が見られなかった。

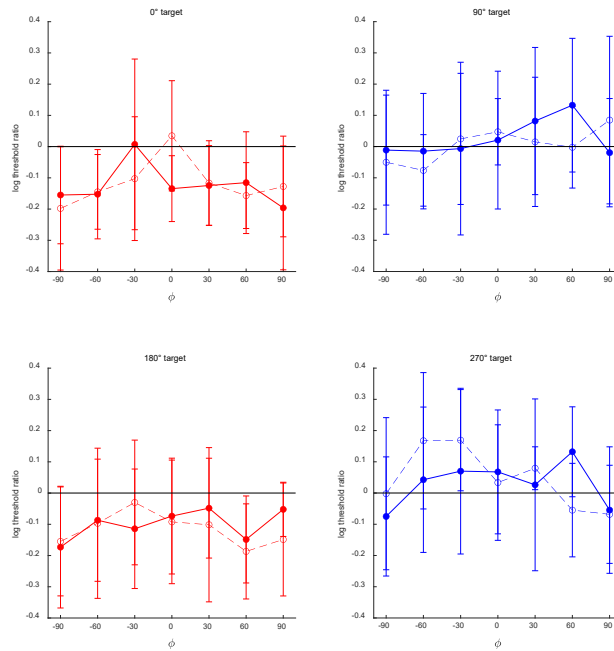


図 6. 輝度成分を含んだ周辺刺激によるターゲット刺激の閾値変化

(3)

得られた CI を図 7 に示す。ターゲット刺激が 0° の場合、周辺刺激によらず、CI の中央付近に縞模様がうっすらと確認できる。この色変調を色相角ごとの色コントラストに変換し、振幅とガウス窓をフリーパラメータとした Gabor 関数を当てはめて定量化した。結果として、CF 効果が生じる場合、L-M 軸では周辺刺激と同一線上に、S 軸では周辺刺激と直交する方向にガウス窓が伸びる傾向が見られた。ただし、並べ替え検定ではパラメータ間に有意差は見られなかった。一方、 t 検定によって、各検出対象の閾値は周辺刺激の無い場合と比較して有意差が見られた。これらの結果から、CF による感度変化は知覚的テンプレートの変調が原因ではない可能性がある。

(a)ターゲット 0° ,周辺刺激 0° (b)ターゲット 0° ,周辺刺激 90° (c)ターゲット 90° ,周辺刺激 0° (d)ターゲット 90° ,周辺刺激 90°



図 7. 得られた CI

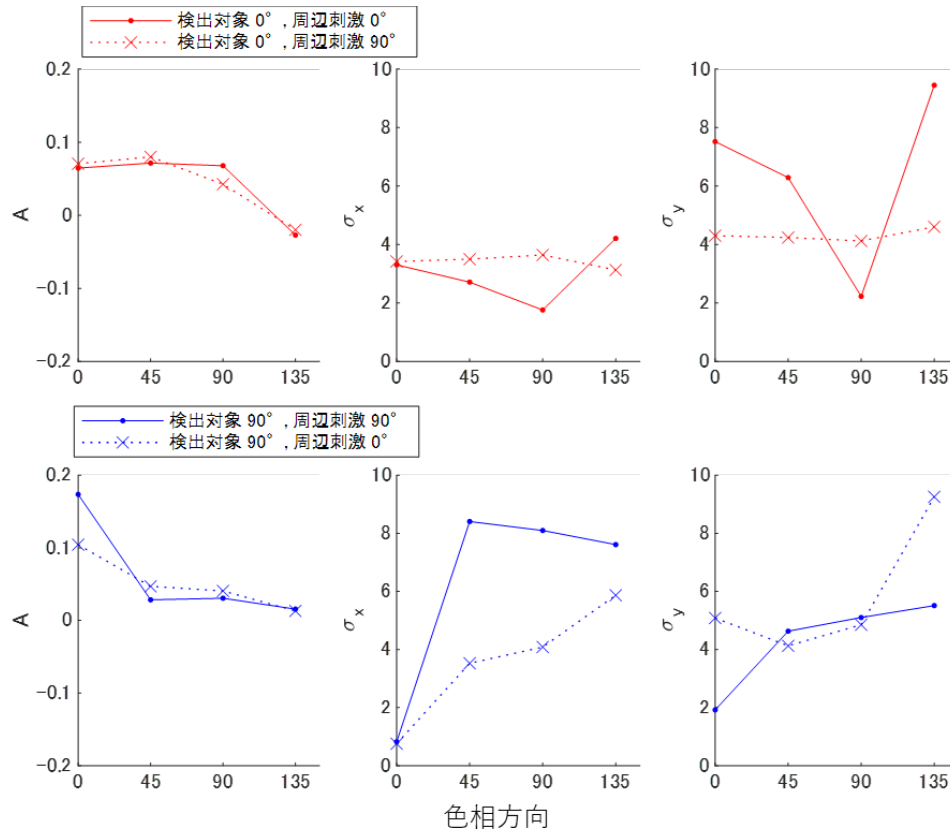


図 8. Gabor 関数の当てはめ結果

(まとめ)

周辺刺激によるターゲット刺激の閾値変化について、CF を対象に調査した。周辺刺激として「単一色相の縞模様」や「色と輝度の相互作用」を使用した。また、CI 法を用いて周辺刺激によって知覚的テンプレートの変調が見られるかを調査した。それぞれ、直交した色相の組み合わせでは周辺刺激の影響が弱い傾向が見られたが、被験者間で一致した傾向を得ることが難しかった。これらの結果から、周辺刺激による方位選択や輪郭統合は個人ごとに異なる判断基準がある可能性がある。被験者に実験中の様子を伺うと、「両方に刺激が見えたような気がした」など、周辺刺激の影響がターゲット検出の促進だけでなく、阻害する可能性がある感想が得られた。周辺刺激の影響を精度よく測定するには、被験者のタスクを工夫して、一貫した判断基準を使用するように改善する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] T. Sato, T. Nagai, and I. Kuriki, "Hue selectivity of collinear facilitation," *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 37, no. 4, p. A154, 2020
- [2] I. Kuriki, P. Sun, K. Ueno, K. Tanaka, and K. Cheng, "Hue Selectivity in Human Visual Cortex Revealed by Functional Magnetic Resonance Imaging," *Cerebral Cortex*, vol. 25, no. 12, pp. 4869–4884, 2015.
- [3] P. C. Huang, K. T. Mullen, and R. F. Hess, "Collinear facilitation in color vision," *J Vis*, vol. 7, no. 11, pp. 1–14, 2007
- [4] K. R. Gegenfurtner, "Cortical mechanisms of colour vision," *Nat Rev Neurosci*, vol. 4, no. 7, pp. 563–572, 2003

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤智治、永井岳大
2. 発表標題 Classification Images法によるCollinear Facilitationの知覚的テンプレートの解析
3. 学会等名 日本視覚学会2024年冬季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小野寺悠太、佐藤智治
2. 発表標題 単一色相の空間的配置による Collinear Facilitation 効果の検証
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 熊谷恭、佐藤智治
2. 発表標題 Classification Images法による Collinear Facilitation の色選択性の解析
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺悠太、佐藤智治
2. 発表標題 単一色相の縞模様を用いた Collinear Facilitation の解析
3. 学会等名 日本視覚学会2021年夏季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------