

注意が周辺色錯視に与える影響の信号検出理論に基づく検討

大久保 らな
三好 清文
横澤 一彦
西田 眞也

京都大学大学院情報学研究科, 日本学術振興会
京都大学大学院情報学研究科
日本国際学園大学経営情報学部
京都大学大学院情報学研究科

錐体入力を中心視野より乏しい周辺視野でも、人は色鮮やかな世界を知覚する。関連して、周辺部を無彩色化した情景画像を、フルカラー画像と錯覚する現象がある(周辺色錯視)。この錯視は、周辺視野における注意の希薄さによって説明される可能性がある。Rahnev et al. (2011)は、信号検出理論に基づいた内部モデルを用い、非注意下ではグレーディング検出や弁別における主観的な見えが増強されることを示した。本研究では、同様の内部モデルを、周辺色錯視に関するデータ(Okubo & Yokosawa, 2023, JoV)にあてはめ、非注意が色信号の強度や分散に及ぼす影響を検討した。フィッティングの結果、非注意が内部信号の分散を増大させることで、検出基準をより上回りやすくなり、周辺色錯視が強まったことが示された。これは、周辺視野特有の非注意によるノイズが、視野全体での主観的な色の豊かさに貢献することを示唆する。

Keywords: illusion, attention, peripheral vision, signal detection theory, color perception

問題・目的

周辺視における色の感度は中心視と比べて著しく低いにもかかわらず、我々は視野全体を一貫した鮮やかな色で知覚する。しかし、この色の均一性の感覚がどのように実現されているのかは未解明である。本研究では、この現象について、周辺部に色を持たない画像があたかもフルカラーの画像であるかのように見えてしまう「周辺色錯視 (pan-field color illusion)」を通して探求する。

先行研究では、(周辺視野における)注意の欠如がこの錯視を促進すると示唆されていたが、その具体的なメカニズムは不明だった (Okubo & Yokosawa, 2023)。本研究では、信号検出理論を用いた計算モデルを構築し、非注意が内部色信号の強度やばらつきに及ぼす影響を定量化することで、周辺色錯視に注意が与える影響を、内部メカニズムの推定を通じて解明することを目的とする。

実験方法

本研究では、先行研究 (Okubo & Yokosawa, 2023) のデータを用いてモデル解析を行った。この実験には44名の参加者が含まれ、中心視に注意負荷をかける課題と、周辺視において情景の色の判断課題とを、参加者に同時に行わせる、二重課題パラダイムを採用した (図1)。中心課題では、画面中央に経時的に複数個提示されるアルファベット (1度×1度) の中からターゲットの文字を選択する必要があった。この課題の負荷を調整するため、文字の提示時間を83ms、117ms、150msの3条件に設定し、提示時間が短いほど中心視課題の負荷が高くなるように設計した (Lavie, 1995)。周辺課題では、自然情景の画像 (48度×32度) を用い、フルカラー、グレースケール画像、中央部のみ彩色されたキメラ画像 (着色範囲は直径9度から25度の範囲で5種類) を提示した。参加者は、画像を「フルカラ

ー」「キメラ」「グレー」のいずれかに分類するように求められた。

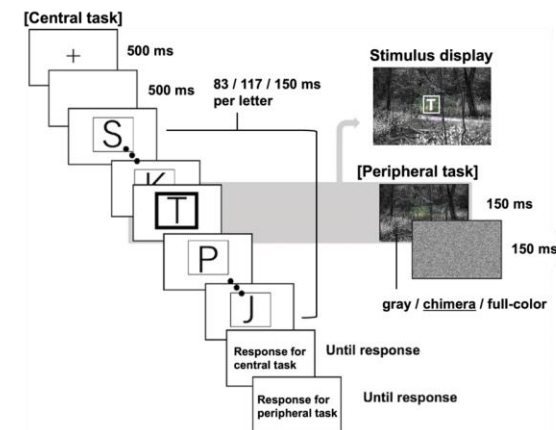


図1. 1試行の流れ (Okubo & Yokosawa, 2023)

実験の結果

周辺課題におけるフルカラー反応率に対し、中心課題の提示時間 (すなわち周辺視野における注意の量)、ならびに周辺課題の画像種類を要因とした、繰り返しのある二要因分散分析を行った (図2, 棒グラフ)。交互作用がみられたため、単純主効果検定ならびにその下位検定を行った。その結果、着色範囲13度および17度のキメラ画像において、注意が減少するとフルカラー反応率が増加するという傾向がみられた。一方で、フルカラー画像に対しては、注意が減少するとフルカラー反応率が減少した。このように、注意が周辺色錯視に与える影響は非単調であったが、なぜこのような非単調性が生じるかは先行研究 (Okubo & Yokosawa, 2023) では明らかになっていなかった。

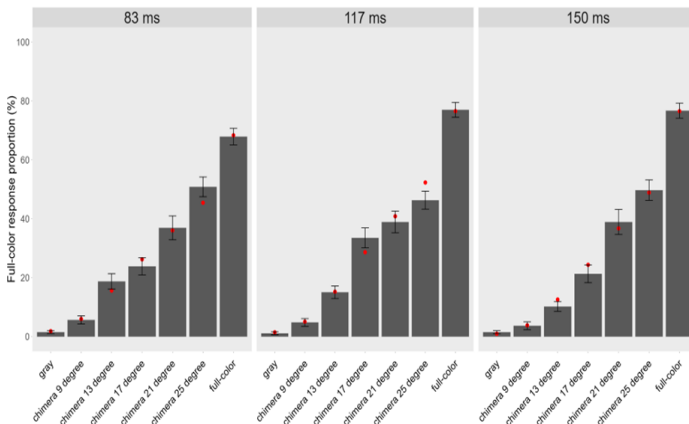


図2. 条件ごとのフルカラー反応率（黒い棒グラフ）とモデル予測（赤い点）

計算モデルとその結果

本研究では、信号検出理論に基づく内部モデルを構築し、行動データ（図2）の説明を試みた。信号検出理論では、感覚信号の分布とそれに対する判断基準を用いて、観察者の反応傾向を説明する。本研究では、各各画像種類・注意条件ごとの信号分布を定義するパラメータとして、信号強度の平均値（ μ , 各画像タイプにおける内部色信号の平均）、信号の標準偏差（ σ , 内部ノイズの大きさ）をおいた。また、全条件共通の判断基準（ θ , どの強さの色信号を「フルカラー」と判断するか）の基準）も同様にフリーパラメータの一つとした。最尤推定法を用いたモデルフィッティングを個人ごとに行った。推定された信号分布の平均を図3に示す。このようにして推定されたモデルは観察された実験結果によくあてはまっていた（図2, 赤い点）。

フィッティングの結果、以下のことが示された。まず、非注意は内部ノイズを増加させた可能性が示唆された。具体的には、83ms（最も注意が低い条件）では、他の条件よりも、 σ が大きくなったことが、個人ごとに推定されたパラメータの値に対するグループレベルでの検定により明らかになった。重要なことに、キメラ画像に対するフルカラー反応率の増加は、内部ノイズの増大に起因していた。判断基準より少し弱い強度を持つ一部のキメラ画像の信号分布では、 σ が大きくなると、判断基準を超えやすくなり、錯視が強まる（「フルカラー」と答えやすくなる）。一方で判断基準より少し強い強度のフルカラー画像では、ノイズ増加はむしろ基準値以下の信号の発生頻度を増やし、フルカラーの知覚を減少させる。このようにして、非注意による内部信号のノイズの増大が、注意が周辺色錯視に与える影響を統一的に説明できることが示された。

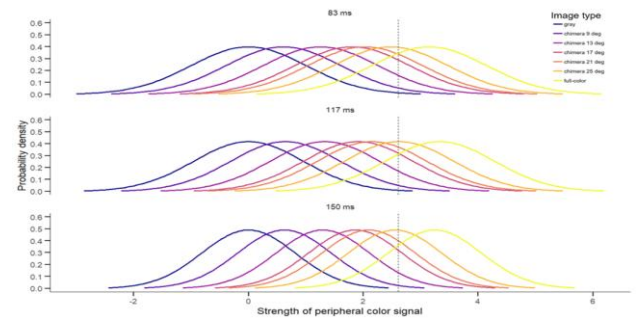


図3. 推定された信号検出理論に基づくモデル

考察

本研究の結果は、周辺視野における豊かな視覚的意識経験に対する、非注意の重要性を示すものである。伝統的に、注意は意識経験を強化する働きと結び付けられてきたが、本研究はむしろ、非注意によるフルカラー知覚の増強を強調するものであり、意識の形成における注意の役割について、一律に強める・弱めるといった単純な関係では説明できないことを内部モデリングを通して明らかにしたと言える。今後は、中心視野から周辺視野への情報の外挿や、視覚的充填現象との関連性を調査し、周辺視野における豊かな意識経験が形成されるメカニズムの解明を目指す。

結論

本研究は、非注意が内部ノイズを増加させることで主観的な色の均一性を生み出す可能性を示唆するものである。このような注意の制約による知覚の変容は、中心視野よりも少ない注意が割り当てられている周辺視野において、より顕著にみられる可能性があるため、非注意によるノイズ増大は、周辺視野における主観的視覚経験を解明するうえで重要な要因であると考えられる。

参考文献

- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 451–468. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.3.451>.
- Okubo, L., & Yokosawa, K. (2023). Attentional allocation and the pan-field color illusion. *Journal of Vision*, 23(3):13, 1–13. <https://doi.org/10.1167/jov.23.3.13>.
- Rahnev, D.A., Maniscalco, B., Graves, T., Huang, E., de Lange, F. P., & Lau, H. (2011). Attention induces conservative subjective biases in visual perception. *Nature Neuroscience*, 14(12), 1513–1515. <https://doi.org/10.1038/nn.2948>