

東海大学大学院令和5年度博士論文

色の知覚および認知メカニズムに関する研究

指導 高雄 元晴 教授

東海大学大学院総合理工学研究科
総合理工学専攻
川島 浄子

色の知覚および認知メカニズムに関する研究

要旨

ヒトや動物は、環境に対して適応的に行動し、周りのものごとを認識する必要がある。そのために欠かせない機能が知覚および認知である。知覚は感覚器官を通して外界の状況を知る働きである。身体内外で刺激を受け取ると感覚器官内の感覚細胞に興奮を起こし、その後、知覚神経および中枢神経に伝達される。モノの形、色、動きなどの視覚情報は、知覚にもとづいて意識に現れる表象（認知において記憶される刺激物）として網膜に映し出される。その後、網膜細胞から大脳皮質の後頭葉を経て、側頭葉および頭頂葉に至る経路で処理される。

哺乳動物の中でもヒトやサルといった霊長類には多くの色を瞬時に認知し脳内で処理をする色覚の能力が具えられており、食用の果物と毒性の植物を判別するのに不可欠な霊長類の進化を特徴づける重要な機能とされている (Gray, 2002)。色の知覚・認知の研究は認知科学分野における重要なテーマの 1 つである。これまでは、視覚刺激の要素および情報処理のメカニズムとその過程において活性化される脳の部位に関する研究が中心に行われてきたが、まだ明らかになっていない部分も多い。色情報は低次視覚情報として、明るさ、運動、奥行きおよび方向などと同様に独立した特徴の 1 つとして抽出される。特徴が複数存在する場合は、情報の特徴は統合されて高次視覚情報として処理される。これまでは記憶された情報は色のついていない無彩色で処理されることが強調されてきた。それに対し、川端他 (2011) は、色情報は高次視覚情報として処理される事例を示し、色は初期の低次から高次視覚に渡る全ての課程で根幹的な役割を担っている可能性がある」と報告した。また、視覚の知覚・認知モデルとしては、Treisman & Gelade (1980) が報告した特徴統合理論やその後 Wolfe (2021) が報告した誘導探索モデルが広く知られている。しかし、これらはいずれも視覚探索およびオブジェクト認知での報告であり、そのほかの課題では報告がなく、明らかになっていない。

本研究は色の特徴と視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知メカニズムの検証を行った。本論文は8章で構成されている。第1章序論では研究背景とこれまでの研究の動向と今後の研究領域、研究内容について述べる。第2章 (第 I 実験) ~ 第4章 (第 III 実験) の前半3つの章は認知・記憶しやすい色および視野の特徴に関する研究である。続く第5章 (第 IV 実験) ~ 第6章 (第 V 実験) では前半で明らかとなった色情報の情報処理が高次視覚処理である点について、追実験を行い検証した。

第2章 (第 I 実験) は色の視覚刺激の特徴に関する研究として、視覚遅延見本合わせ課題 (vDMTS) を用い、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響について検証した。先に呈示した色刺激の5色の配置と後に呈示した色の配置が一致している条件と不一致の

条件（以後、それぞれマッチ条件とミスマッチ条件と称する）における再認の反応時間と正答率を比較した。その結果、ミスマッチ条件の再認の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。これまで他のグループによる研究においてはマッチ条件の方が再認の反応時間が速まるという報告されていた。しかし本研究においては、ミスマッチ条件の方が再認の反応時間が速まった。要因としては色刺激がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたことが影響した可能性があると推測した。第3章（第Ⅱ実験）は色刺激の呈示視野に関する研究として、視覚刺激を4つの視野（上、下、左、および右）に呈示し、視覚遅延見本合わせ課題を用いてマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響を比較した。その結果、ミスマッチ条件では下視野および上視野と比べて右視野の再認の正確さが有意に高まり、視野の影響があることがわかった。要因としては大脳の左半球の機能特性（ラテラリティ）と視覚的注意が影響した可能性がある。色刺激の4色（赤、緑、シアン、および紫）は色カテゴリーが異なる。ヒトの脳の機能的左右非対称性において、色情報は言語的刺激として処理され、脳の左半球の機能特性により右視野が有意となったと推測される。続く第4章（第Ⅲ実験）は第3章（第Ⅱ実験）の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究である。色刺激の形状を細長い長方形（以後、ライン状の刺激と称する）とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度（方位）を変えて先の実験と同様に右視野の優位性の有無を検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、第2章（第Ⅰ実験）と同様に、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。有意に速まった要因としては、ライン状の色刺激の角度（方位）が妨害因子となり、視覚情報は高次視覚情報として処理されたと考えられる。このことにより、本来低次情報処理でみられていた呈示視野の影響がなくなった可能性があると考えられる。

ここで中間のまとめを行う。第Ⅰ～第Ⅲ実験の3つの実験の結果、色の配置のミスマッチ条件において再認の反応時間が有意に速まることがわかった。色がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられ、色の情報が高次視覚情報として処理されたことが示唆された。

後半は、前半の実験で明らかとなった色の情報が高次視覚として処理される点について、さらに2つの追実験で検証した。後半1つめ第5章（第Ⅳ実験）は、第4章（第Ⅲ実験）で用いた妨害因子の中の代表的な課題の1つであるストループ課題を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。日本語の色の3原色（赤、青、および緑）および黄を示す4つの色名文字を、4つの視野（右上、右下、左上、および左下）に1つずつ呈示した。そのうち1つの視野には色名文字の色情報と色名の文字そのものの意味から認識される色情報が一致するものを、残りの3つの視野には両者が一致しないものを呈示した。課題は、両者が一致している色名文字が呈示されていた視野を出来るだけ速く回答するものであった。その結果、呈示視野間の有意な差はなかった。一方、色名文

字の中で赤は、青、緑、および黄より再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。要因としては、赤は他の文字より画数が少なくシンプルな文字であったことからポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となった可能性がある。また赤色という色は他の色より顕著性の高い刺激であることから、視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理された可能性があると推測した。第6章（実験V）は、イラスト状の顔パーツ刺激を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。イラスト状の顔パーツ（目、耳、口、および鼻）を、4つの視野（右上、右下、左上、および左下）に1つずつ呈示した。その後、そのうち1つの顔パーツを呈示し、先の刺激の中のどの視野に呈示されていたかを回答させた。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、目は鼻、口、および耳より再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。目は他の顔パーツよりも顕著性の高い刺激として視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理された可能性があると推測した。最後の実験は色以外の刺激を用い顕著性の高い刺激の再認に関する効果を検証した。その結果、顕著性の高い刺激に視覚的注意が向けられることで、視覚情報は高次視覚情報として処理されることが検証された。

第7章総合考察の前半は、実験I～Vの5つの実験から得られた知見および要因として特筆すべき4つの因子（ポップアウト、視覚的注意、顕著性、および高次視覚情報処理）の関連性をまとめた。4つの要因から総合的な考察を行い、色の知覚および記憶メカニズムの詳細を明らかにした。第7章の後半は、知覚・認知モデルのうち特徴統合理論の展開として視覚的注意、トップダウン、およびボトムアップ型注意の関連性を明確化した誘導探索モデルを用いて今回の第III実験の結果を解説した。最後に第8章で研究の総括を行った。

以上、本研究では色の知覚および認知メカニズムについて色の特徴、視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知に関するメカニズムを検証した。その結果、色の知覚・認知において認知されやすい色はポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激であり、それにより認知の反応時間が有意に速まったことがわかった。さらに、色は高次視覚情報として処理されることも明らかとなった。これらはいずれも視覚的注意が深く関与している可能性がある。

本研究で得られた知見は視覚デザイン分野への展開が考えられる。たとえば、注目を集め印象に残りやすいような広告看板の色彩や物体の配置の最適化は購買者の購買意欲の向上に繋がる。また医療機器におけるわかりやすいボタンの色や配置の最適化はヒューマンエラーを防止できる可能性がある。本研究結果は今後、産業・医療をはじめとした幅広い分野への応用が期待される。

目次

第1章 序論	…8
1.1 研究の背景	
1.2 知覚、認知、および記憶のメカニズムの概観	
1.3 これまでの研究の動向と今後の研究領域および研究内容	
1.3.1 色の視覚性短期記憶の認知過程に係る研究の現状と課題	
1.3.2 視覚的刺激の視覚性短期記憶の視野に関する研究の現状と課題	
1.3.3 視覚性短期記憶の視野分離に関する研究の現状と課題	
1.3.4 今後の研究領域と研究内容	
1.4 本論文の目的	
1.5 本論文の構成	
第2章 視覚刺激の要素のうち色のみを変化させた視覚遅延見本合わせ (vDMTS) における 色配置のマッチ条件とミスマッチ条件の影響 (第 I 実験)	…28
2.1 研究の背景、目的	
2.2 実験方法	
2.2.1 被験者	
2.2.2 実験環境	
2.2.3 視覚刺激と課題	
2.2.4 データ解析	
2.3 実験結果	
2.4 考察	
2.4.1 色刺激の呈示時間 1500ms の間の視覚的注意について	
2.4.2 色刺激がポップアウトのような顕著性の高い刺激であった可能性	
2.4.3 他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件との比較	
2.5 まとめ	…
第3章 色の短期記憶における呈示視野の影響 (第 II 実験)	…38
3.1 研究の背景、目的	

- 3. 2 実験方法
 - 3. 2. 1 被験者
 - 3. 2. 2 実験環境
 - 3. 2. 3 視覚刺激と課題
 - 3. 2. 4 データ解析
- 3. 3 実験結果
- 3. 4 考察
 - 3. 4. 1 他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件との比較
 - 3. 4. 2 右視野が優位となった点について
- 3. 5 まとめ

第4章 色の妨害因子として方位因子を加えたライン状色刺激の短期記憶に及ぼす呈示視野の

影響（第Ⅲ実験）

…48

- 4. 1 研究の背景、目的
- 4. 2 実験方法
 - 4. 2. 1 被験者
 - 4. 2. 2 実験環境
 - 4. 2. 3 視覚刺激と課題
 - 4. 2. 4 データ解析
- 4. 3 実験結果
- 4. 4 考察
 - 4. 4. 1 視野の優位性が確認されなかった点について
 - 4. 4. 2 他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件との比較
 - 4. 4. 3 高次視覚情報処理について
- 4. 5 まとめ

第5章 スループ効果を指標にした色名文字の認知に対する視野の影響に関する研究

（第Ⅳ実験）

…58

- 5. 1 研究の背景、目的
- 5. 2 実験方法

- 5. 2. 1 被験者
- 5. 2. 2 実験環境
- 5. 2. 3 視覚刺激と課題
- 5. 2. 4 データ解析
- 5. 3 実験結果
- 5. 4 考察
 - 5. 4. 1 視野の影響を受けない点について
 - 5. 4. 2 赤色で書かれた赤という色名文字が再認において反応時間が速まり、回答の正確さが高まった点について
- 5. 5 まとめ

第6章 顔パーツの認知における視野の影響 (第V実験) … 74

- 6. 1 研究の背景、目的
- 6. 2 実験方法
 - 6. 2. 1 被験者
 - 6. 2. 2 実験環境
 - 6. 2. 3 顔パーツ課題
 - 6. 2. 4 データ解析
- 6. 3 実験結果
- 6. 4 考察
 - 6. 4. 1 視野の影響を受けない点について
 - 6. 4. 2 目という顕著性の高いパーツが再認において反応時間が速まった点について
- 6. 5 まとめ

第7章 総合考察 …89

- 7. 1 総合考察の概観
- 7. 2 第I実験～第V実験のまとめ
 - 7. 2. 1 第I実験～第V実験の関連性、相違点
 - 7. 2. 2 ポップアウトについて
 - 7. 2. 3 顕著性について

7. 2. 4 視覚的注意について	
7. 2. 5 高次視覚情報処理について	
7. 3 色の知覚・認知モデルについて	
7. 4 今後の色の知覚および認知メカニズムに関する研究の課題	
第8章 総括	…108
謝辞	…112
引用文献	…114

第1章 序論

1.1 研究の背景

ヒトや動物は環境に対して適応的に行動するために周りのものごとを認識する必要がある。そのために欠かせない機能が知覚および認知である。知覚とは視覚器官・聴覚器官・嗅覚（きゅうかく）器官・味覚器官・皮膚などの感覚器官を通して外界の状況を知る働きである。身体内外で刺激を受け取ると感覚器官内の感覚細胞に興奮を起こす。感覚器官の信号は知覚神経および中枢神経に伝達される。モノの形、色、および動きなどの視覚情報は知覚にもとづき意識に現れて表象（認知において記憶される刺激物）として網膜に映し出される。次に網膜細胞から大脳皮質の後頭葉を経て側頭葉および頭頂葉に至る経路で処理される。

認知科学は心理学、生理学、神経科学、および言語学などの伝統的な分野に 1930 年代から 40 年代に確立された情報という概念と情報科学の方法論が合流し新しい分野として誕生した（安西, 2011）。ヒトの脳と心の働きの解明を通し自然科学の発展と人間の生活を調和させるという点で大変重要である。認知科学はその後も諸分野の総合的領域として発展を遂げた。しかし前述の伝統的な分野に比べると歴史が浅い。

哺乳動物の中でもヒトやサルといった霊長類には多くの色を瞬時に認知し脳内で処理をする色覚の能力が具えられており、食用の果物と毒性の植物を判別するのに不可欠な霊長類の進化を特徴づける重要な機能とされている（Gray, 2002）。色の知覚・認知の研究は認知科学分野における重要なテーマの 1 つである。これまでは視覚刺激の要素、情報処理のメカニズム、および処理の過程において活性化される脳の部位に関する研究が中心に行われてきた。しかしまだ明らかになっていない部分も多い。色情報は低次視覚情報として明るさ、運動、奥行き、および方向など同様の独立した特徴の 1 つとして抽出される。特徴が複数存在する場合は、特徴は統合化されて高次視覚情報として処理される。これまでは記憶された情報は色のついていない無彩色で処理されることが強調されてきた。それに対し川端他（2011）は色の情報は高次視覚情報として処理される事例を示し、色は初期の低次から高次視覚に渡る全ての課程で根幹的な役割を担っている可能性があるとして報告した。視覚の知覚・認知モデルとしては、Treisman & Gelade（1980）が報告した特徴統合理論やその後 Wolfe（2021）が報告した誘導探索モデルが広く知られている。しかしこれらはいずれも視覚探索およびオブジェクト認知での報告であり、そのほかの課題では報告がなく色の知覚・認知モデルは明らかになっていない。

1.2 知覚、認知、および記憶のメカニズムの概観

はじめに、本研究の対象である知覚、認知、および記憶のメカニズムについて概説する。

視覚刺激の知覚

ヒトは新しい状況に対応する際、認知機能が重要な役割を担う。眼球内に入射した光は網膜の最外層にある錐体細胞および桿体細胞でとらえられその後網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) として保持される。視覚情報は網膜から伸びる視神経を通して脳に送られ第一次視覚野 (primary visual cortex: V1) へ投影される。その途中で視交叉により左視野の視覚情報は脳の右半球へ、一方の右視野の視覚情報は脳の左半球へ送られる。ヒトの脳の機能的左右非対称性 (laterality、以後、ラテラルリティと称する) は最初に分離脳患者で明らかになりその後健常者の研究においても報告されている。右視野の視覚情報を処理する脳の左半球は言語的および分析的処理能力において優位性がある。一方の左視野の視覚情報を処理する脳の右半球は視空間および全体的な処理能力において優位性がある (Sperry et al., 1969)。機能的左右非対称性の研究は反応時間を指標とした認知実験心理学的手法を用いて行われている。それらに加えて最近では脳の活性部位の特定に f-MRI および PET などの手法を用いた研究が報告されている (西川・新名, 1981)。本研究は前者の認知心理学的アプローチで定量的に立証した。色や形などの視覚情報は第一次視覚野 (V1)、第二次視覚野 (V2)、および第四次視覚野 (V4) を経て側頭連合体につながる腹側経路で処理される。一方、空間の位置や運動に関する情報は第一次視覚野 (V1)、第二次視覚野 (V2)、および第三次視覚野 (V3) を経て頭頂連合体へつながる背側経路で処理される。腹側皮質視覚路は What 経路と称され目で何をみたかという情報が、また背側皮質視覚路は Where 経路と称されどこにあるかどう動いているかという情報が処理されると考えられている。このように視覚情報は 2 つの経路を経て物体と位置の関係性が把握されて保たれる。

次に色の知覚について述べる。網膜の中心窩付近には色彩を構成する要素である波長選択性に関する錐体細胞が多く分布している。錐体はその形態により3種類 (S、M、L 錐体) に分類されている。それぞれの錐体の分光吸収特性は異なる。S (Short) 錐体 (青錐体) は青視物質 (吸収極大波長 419nm)、M (Middle) 錐体 (緑錐体) は緑視物質 (吸収極大波長 531nm)、L (Long) 錐体 (赤錐体) は赤視物質 (吸収極大波長 558nm) を発現する。眼に入った光がどのような波長成分を有するかに応じて各錐体が作用する。この各錐体の活動度の相対的な違いが脳に伝えられて処理され色として知覚される。赤および緑の混合光と黄色の単色光が区別できないのはこれらの機構による。このようにヒトは3種類の錐体の相対比によりすべての色を知覚する。

知覚の情報処理過程

記憶にはごく短時間だけの視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) と数十秒の視覚性

短期記憶 (visual short-term memory: VSTM)、さらにそれ以上の視覚性長期記憶 (visual long-term memory: VLTM) がある。眼球内に入射した光が網膜の最外層にある錐体でとらえられた後、網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶として保持されその後網膜内のニューロンにより情報が処理される。網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた色情報は第一次視覚野 (V1) および第二次視覚野 (V2) を経て脳の下側頭葉にある第四次視覚野 (V4) に伝えられて視覚性短期記憶として登録される (Sligte et al., 2009)。感覚記憶は 100~300ms 間保持されることが明らかとなっている (Neisser, 1967)。短期記憶は数十秒間保持されることが知られている。数十秒以上の記憶は長期記憶として半永久的に記憶される。感覚記憶から短期記憶への移行には選択的注意 (selective attention) が、また短期記憶から長期記憶への移行にはリハーサルが関与している。Amir & Malik (2014) は記憶の多重貯蔵モデルと呼ばれる初期のモデルでの情報処理の過程図を示した (図 1-1)。さらに Goodale & Milner (1992) は一時的に必要な情報を覚える短期記憶の機能的モデル・概念としてワーキングメモリー (working memory) を提唱した。ワーキングメモリーと短期記憶は構造的にはほぼ同じ概念だが、ワーキングメモリーには中枢の中央実行系 (central executive) で情報を保持しながら情報処理として必要な注意を制御する機能が備えられている。サブシステムの調整や課題遂行に必要な処理資源の配分 (allocation of resources) は注意の制御機構の1つとしてその役割を担っている。このように選択的注意という能動的な機能には重要な役割がある。

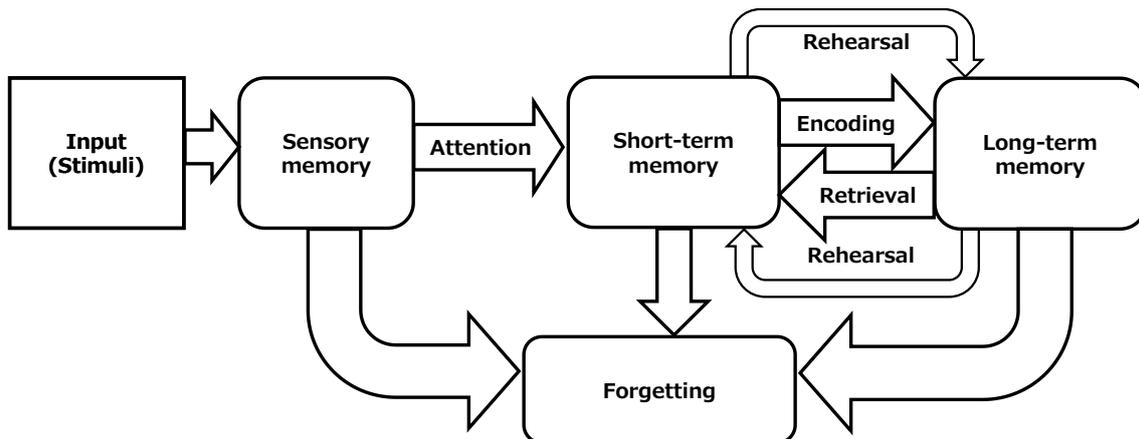


図 1-1 Atkinson, Shiffrin が 1968 年に提唱した記憶の多重貯蔵モデル

(Amir & Malik , 2014, p.221, Figure.10.2)

(転載許可を Routledge より取得)

記憶の過程

記憶には覚えるはたらき（符号化 (encoding) または記銘 (memorization)）、それを蓄えるはたらき（貯蔵 (storage) または保持 (retention)）、さらに記憶を取り出し思い出すはたらき（想起 (retrieval) または検索 (recollection)）の3つの過程がある（今田他, 2004）。3つめの想起はさらにその方式により保持された記憶を自らそのまま呼びおこす再生 (recall)、保持された記憶を以前経験したものであると同定する再認 (recognition)、および記憶のいくつかを組み合わせる再構成 (reconstruction) に大別される。

視覚的注意

ヒトは視覚で入力された大量の情報をその時点での行動を加味しながら目的に合わせて処理し適応的に行動する。そのためのバイアスが視覚的注意である。視覚的注意は多くの視覚探索 (visual research) の実験的研究で詳細が明らかになってきた。視覚探索とは類似した多くの刺激の中から特定の特徴をもつターゲット刺激をすばやく検出する課題である。視覚刺激情報の処理の過程には自動的かつ無意識な前注意的過程 (pre-attentive process) と呼ばれている過程がある。前注意的過程とは形、方位、色、および曲率などの個々の特徴が同時かつ並行して処理される。一方で焦点化された視覚的注意を伴う過程の場合は複数の刺激の特徴は結合して処理される。その過程においては空間の位置毎に特徴が結合されて位置に視覚的注意のスポットが向けられる。視覚的注意には受動的注意と能動的注意がある。受動的注意は自動的かつ無意識な注意であるのに対し、能動的注意は意図的かつ意識的に生ずるものである。

視覚的注意には2種類のメカニズムが存在すると考えられている（河原・横澤, 2015）。1つはボトムアップ型注意 (bottom-up attention) と称されている。複数の刺激の中で1つの刺激が周囲の刺激と顕著に異なる場合や視覚刺激が突然出現した場合にその刺激に対して注意が受動的に惹きつけられるものである。もう一つはトップダウン型注意 (top-down attention) と称されている。事前の知識により能動的にバイアスをかけることにより目的とする刺激を選択することができることである。呈示された刺激の数と目標を見出す視覚探索課題を用いた研究において2種類の注意の性質の差が明らかとなった。目標刺激が目立たない条件においては視野内に存在する刺激総数が増加すると探索時間は増大する。一方で目標刺激が目立つ条件においては目標刺激を見出すまでに要する探索時間は視野内の刺激の総数に依らずほぼ一定になる。この結果よりボトムアップ型注意による選択はすべての視覚刺激に対して並列的に働くが、トップダウン型注意による選択は個々の刺激に対して逐次的に働くことが明らかとなった。また視覚的注意には注意の選択のみ

ならず、注意の制御などの様々な機能が備えられている。

顕著性

顕著性 (saliency) とは、今見ている光景における見やすさ、目立ちやすさを示す (Fecteau & Munoz, 2006)。Itti & Koch (2000) はヒトは色、形、および運動などの複数の特徴マップの出力を合成した顕著性マップ (saliency map) を作り、視覚的注意がどの位置に向けられているかの優先順位を決めるというメカニズムを提案した。視覚情報における顕著性とは、周りと異なる際には顕著性が高い、逆に周りと似ていることを顕著性が低いと称する物理的な目立ちやすさである。顕著性マップにおいては初期の視覚刺激の特徴がどこにあるかという情報は失われ、最も顕著性の高い視覚刺激の特徴が示される。このメカニズムは後述の視覚認知モデルとして、Itti & Koch (2000) が報告したシミュレーションモデルで再度説明する。

低次視覚情報処理および高次視覚情報処理

ヒトは、外界からの視覚情報の処理の過程において様々な特徴を階層的に処理し各々の詳細の情報として得る。Ullman (1995) および横澤 (1997) は色情報は低次視覚情報として明るさ、運動、奥行き、および方向などの独立した特徴の 1 つとして抽出されることを示した。特徴が複数存在する場合は情報の特徴は統合されて高次視覚情報として処理されると報告している。高次視覚情報の処理に関しては視覚的注意による視覚情報の選択と認知について多くの研究が行われている。ここでは低次視覚情報と高次視覚情報の違いは情報処理過程で完全に切り分けることはできないとされている。オブジェクト認知 (object recognition) を例として説明する。オブジェクト認知とは目の前の物体を日常で以前に経験したものと同じものだと再認識することであり、日常の社会生活の視覚刺激の中で重要なものとされている。オブジェクト認知は高次視覚情報の処理の 1 つである。最初の段階である低次視覚情報は輪郭線を認知するところから始まる。情報の処理の過程においては、意識、気づき、注意、および覚醒と関連した心の志向的な働きである視覚性アウェアネス (visual awareness) と称される環境へ順応も不可欠なものである。色の情報の処理は、これまでは記憶された情報は色のついていない無彩色で処理されることが強調されてきた。川端他 (2011) はそれに対して色情報は高次視覚情報として処理される事例を示し、色は初期の低次から高次視覚に渡る全ての課程で根幹的な役割を担っている可能性があると報告した。しかし、その報告は少なく、詳細は明らかになっていない。

視覚認知モデル

視覚の知覚・認知モデルとしては、Treisman & Gelade (1980) が報告した特徴統合理論とその後 Wolfe (2021) が報告した誘導探索モデルが広く知られている。以下、順に述べる。

特徴統合理論とその後視覚認知モデル

Treisman & Gormican (1988) が視覚探索を含めた知覚・認知現象を説明するために提案した特徴統合理論 (feature integration theory) を図 1-2 に示す。特徴統合理論は認知心理学の研究の中で極めて影響の大きいモデルである。まず 1 段階目のプロセスとして、形や色、方位、および大きさなどの低次視覚情報について特徴マップと称するモジュール (specialized module) が符号化される。この過程では各々の情報は自動的に並列で処理され、特徴毎に独立した個々の特徴マップが作られて特徴を表象する。この段階は視覚的注意が関わらない前注意段階である。次の 2 段階目のプロセスでは別々に抽出された特徴を 1 つに統合するために視覚的注意が働く。焦点化された視覚的注意はスポットライトとして種々の特徴マップにあたり、一時的にオブジェクトファイルが作られて認知ネットワークとして照合される。1 段階目のプロセスの前注意過程は特徴探索と称され、並行的に広い空間領域に対して自動的かつ無意識に視覚情報は知覚する。次の 2 段階目のプロセスで焦点化された過程は統合探索と称される。継続的かつ意識的に認知する点が 1 段階目のプロセスとは異なる。

特徴統合理論はその後多くの研究者によって検証された。その中で横澤 (1992) は並列的な分析とそれに続く逐次的な視覚的注意による統合プロセスが一致しない事例も見出した。さらにポップアウトは特徴統合理論では当初は特徴探索の段階のみで確認されていたが、その後の研究では総合探索の段階でも起こり得るという研究結果が報告された。ポップアウトとは対象が他の対象から非常に目立ちポップアウトして(「飛び出して」)知覚される現象であり、ポップアウトを引き起こす刺激をポップアウト刺激と称する。これらの研究の結果をもとに、Wolfe (1980) は誘導探索モデルを、また Itti & Koch (2000) はシミュレーションモデルを報告した。

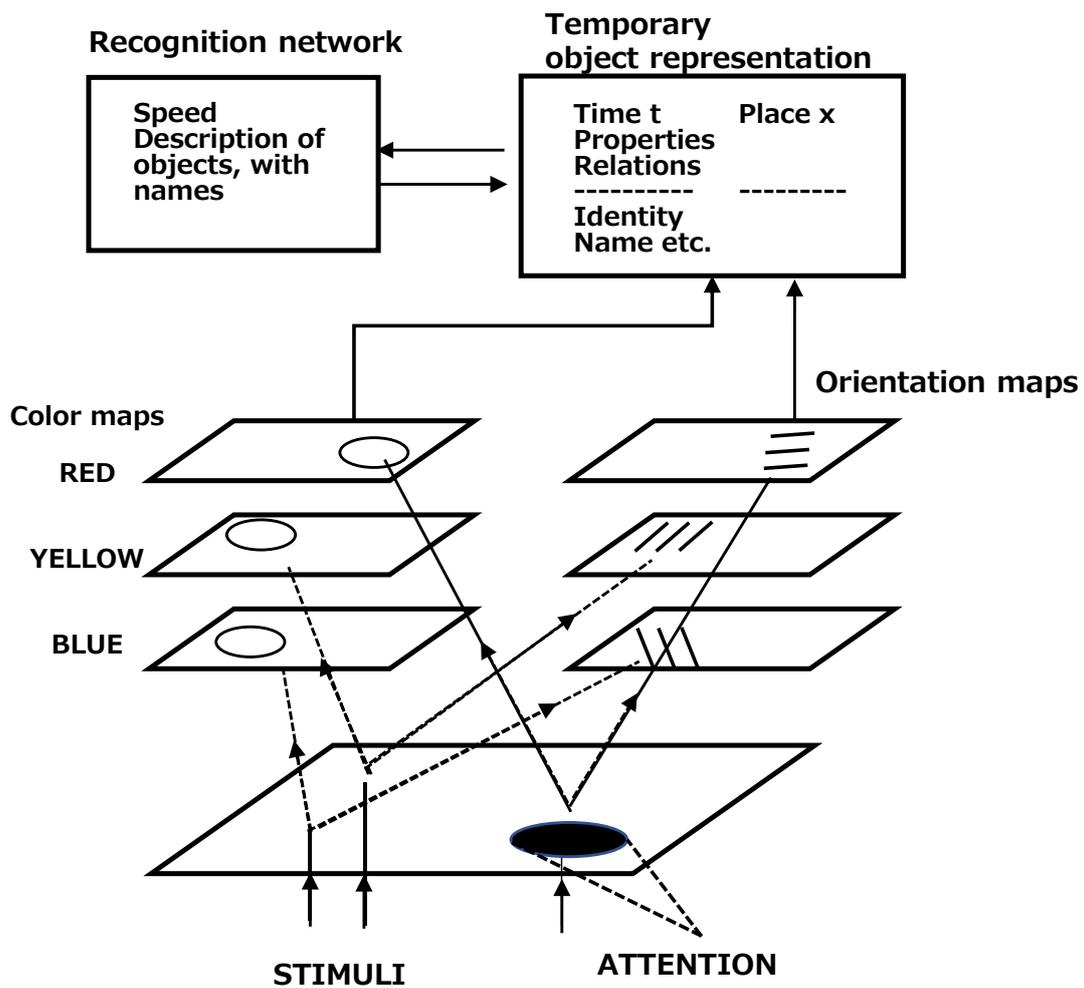


図 1-2 特徴統合理論 オブジェクト知覚における処理

(Treisman, 1988, p.17, Figure 1)

(転載許可を American Psychological Association より取得)

誘導探索モデル

視覚探索で標的を探索する際には注意のスポットライトは1つ1つの属性に無作為に向けられるとされていた。しかし特徴統合理論で探索の逐次性を説明するのは難しかった。これに対して Wolfe (Cave&Wolfe,1990; Wolfe,1994,2007,2021) は、Kaptein et al. (1995) が報告したトップダウンとしての事前の知識を利用した選択的探索における注意を反映して誘導探索モデル (Guided Search model) を提唱した。Wolfe (1994) が提唱した誘導探索モデル Guided Search (以降、GS と称す) 2.0 を図 1-3 に示す。2 段階目のプロセスを仮定しているという点は特徴統合理論と一致する。1 段階目での注意はボトムアップ型である。2 段階目での注意は無作為に向けられるのではなく、トップダウン型の知識を利用して情報の重みづけを行い選択的に活性度マップ (Priority map) を作成する点が特徴統合理論とは異なる。その後、誘導探索モデルは本人らを中心にワーキングメモリープロセス、視覚性アウェアネス、オブジェクト認知、および長期記憶などを加えて改訂された (Wolfe, 2021)。Wolfe (2021) が報告した GS 2.0 および最新の誘導探索モデルである GS 6.0 を図 1-4 および 図 1-5 に示す。また図 1-5 に示す GS 6.0 についてはプロセスごとに次頁で概説した。誘導探索モデルは視覚探索行動を量的に予測するものとして、Itti & Koch (2000) が報告したシミュレーションモデルと並び視覚探索モデルの代表的なものとされている。

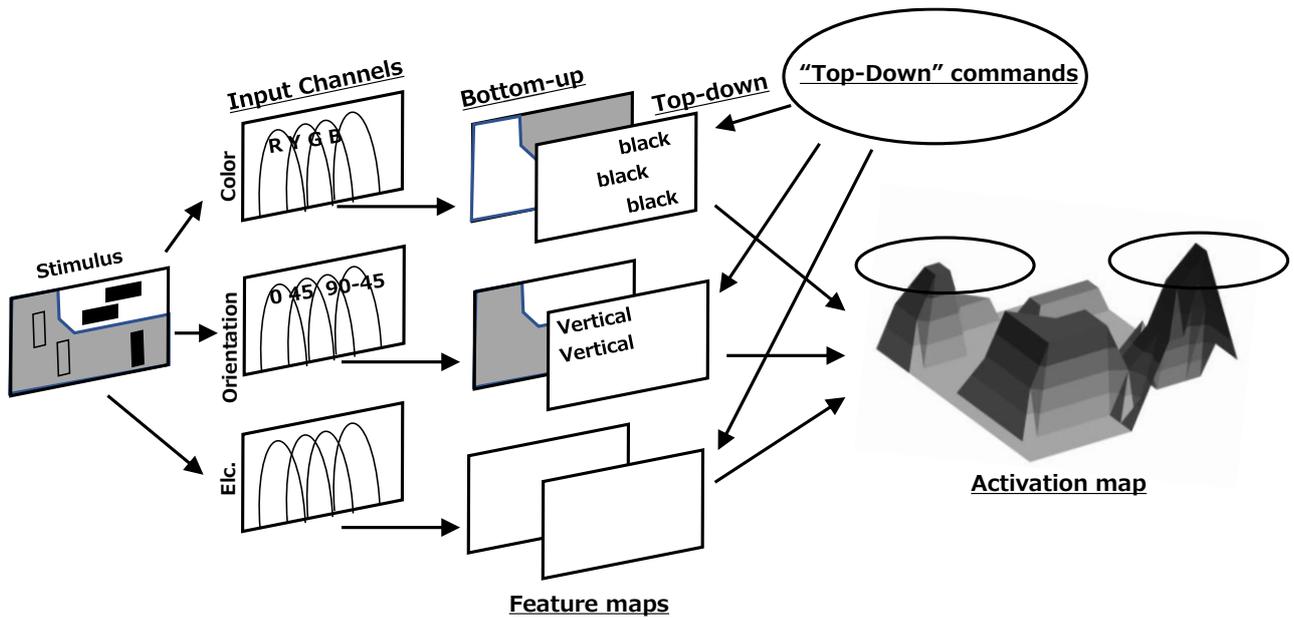


図 1-3 誘導探索モデル Guided Search 2.0

(Wolfe, 1994, p.205, Figure 2)

(転載許可を Springer より取得)

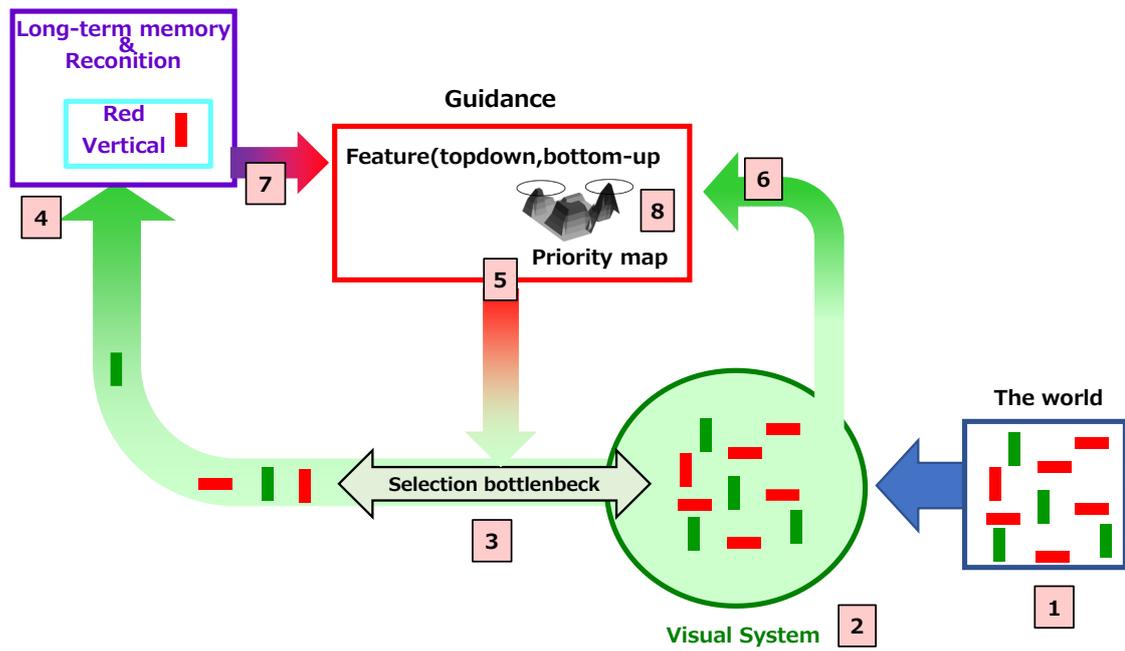


図 1-4 誘導探索モデル Guided Search 2.0

(Wolfe, 2021, p.1063, Fig. 2)

(転載許可を Springer より取得)

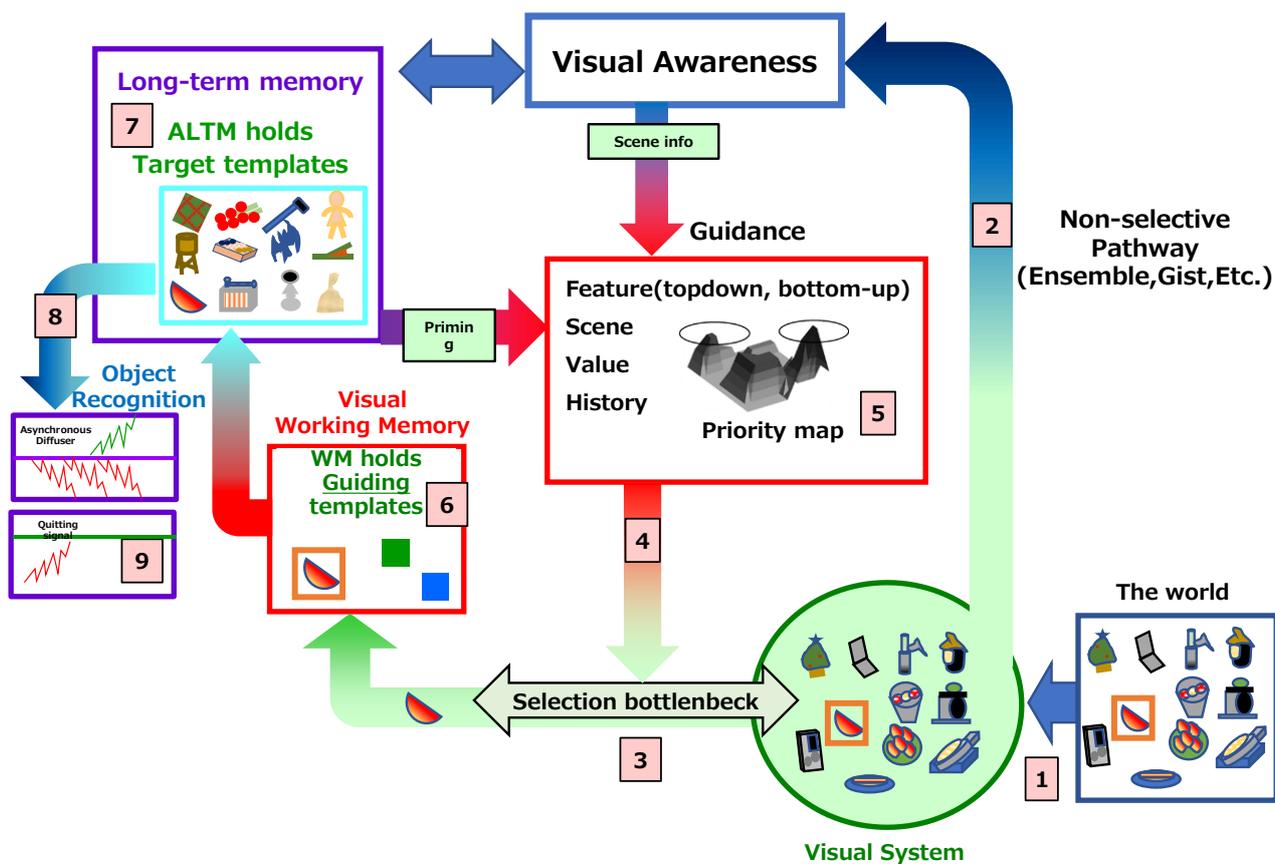


図 1-5 誘導探索モデル Guided Search 6.0

(Wolfe, 2021, p.1064, Fig. 3)

(転載許可を Springer より取得)

図 1-5 に示す誘導探索モデル Guided Search 6.0 をプロセスごとに概説する。

1. 視覚情報が知覚される。
2. 入力した視覚情報は視野内で GS2.0 では考慮されていなかった非選択的経路を経由して視覚認識として何かが見えているという視覚性アウェアネスに移行する (Wolfe et al., 2011)。
3. オブジェクト認知の中の選択的なボトムアップでアイテムや空間の領域を決定し、その情報はワーキングメモリーテンプレートに描き込まれる (Wolfe, 1998)。
4. ボトムアップ型注意 (注意の選択) へ誘導される。
5. 5種類のガイダンスが組み合わさり活性度マップが作られる。このプロセスにおけるボトムアップ (salience: 顕著性) とトップダウン (ユーザー/テンプレート駆動型) は全ての GS に共通するものである。
6. 選択された注意の対象はワーキングメモリに表現される。
7. 第二のテンプレートが活性化長期記憶 (ALTM) の中に生成させ保持される。
8. 注意により選択されワーキングメモリに表現されたアイテムがターゲットであるかどうかを決定する。決定は ALTM に保持されるターゲットテンプレート毎に 1 つのディフューザーを持つ拡散プロセスとしてモデル化する。ターゲットがあればそのターゲットに働きかける。
9. 各々のディフューザーは認知の終了の閾値に向かって蓄積される。ターゲットが見つからなければ、終了の閾値に達するまで続けられ最終的に探索を終了する。

Itti & Koch (2000) が報告したシミュレーションモデル

形、色、方位、および大きさなど視覚刺激の特徴は網膜に入力した情報にもとづき、前注意過程で特徴マップを作成して並列的に処理される。前述の2つのモデルはその後すべての特徴マップは各位置で結合されて顕著性マップ (Saliency map) を生成する点が特徴であった。しかし Itti & Koch (2000) が報告したシミュレーションモデルは各特徴マップ内の顕著性は競争が発生して競争後に特徴マップは統合されて1つの顕著性マップとなる点が異なる。小池、齋木 (2003) は並列情報処理はボトムアップ情報のみで行われていたという Wolfe ら誘導の探索モデルに対し、顕著性の高い刺激から順に注意の焦点が移動する点で Itti et al. (2000) の報告を支持している。ここでは WTA (Winner-Take-All) ネットワークを利用している。WTA は顕著性情報を入力すると最も顕著性が高い対象に対してニューロンの活動が活性化し他の情報を抑制するとしている。これをニューロン群の勝者という (図 1-6)。

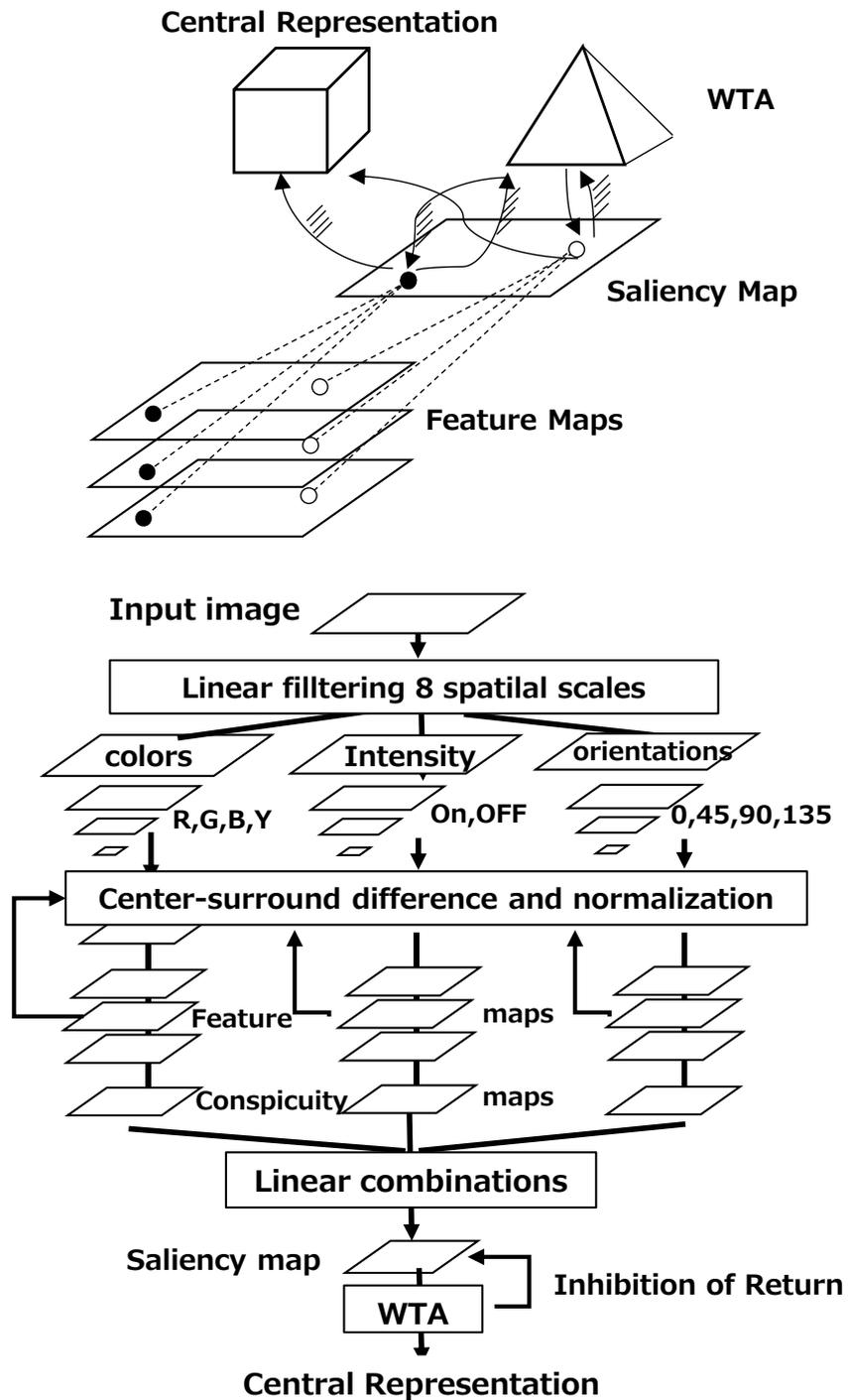


図 1-6 KochとUllman(1985)から引用した顕著性に基づく視覚的注意の原型モデル

(Itti & Koch, 2000, p.1491. Fig. 1)

(転載許可を Elsevier、Springer より取得)

1.3 これまでの研究の動向と今後の研究領域および研究内容

1.3.1 色の視覚性短期記憶の過程に係る研究と課題

色の視覚刺激の特徴の研究、視覚遅延見本合わせ (vDMTS) における色と形の研究および色の記憶方法に関する研究について述べる。

色の視覚刺激の特徴の研究

ヒトは視覚刺激を記憶するとき色と形の 2 つの刺激を統合して記憶するのかまたは別々に記憶するのかで議論が分かれている。Luria & Vogel (2011) は、ヒトは視覚的ワーキングメモリーの限られた容量を最大限にいかすために各要素を統合して記憶すると報告している。Luck & Vogel (1997) は色および色と形を組み合わせた記憶の研究を行った。その結果、記憶できる刺激の数に差がなくかつ刺激の要素にも依存しなかったことから色と形は一緒に記憶されると報告した。一方、Schneegans & Bays (2017) は色、形 (向き)、および位置を変えた刺激を用いた実験で色と形は分けて記憶されることを報告した。さらに Brady et al. (2013) はソファーなどの実在する物体の画像を刺激に用いた研究において色の記憶は形の記憶よりも時間経過の中で早く忘却することを報告した。色と形の関係性については Delvenne & Dent (2008) は 2 色に配色された 3 つのひし形の記憶の研究において、色のみを記憶する際はレイアウトに依存しないがそれぞれ 2 色に配色された形の記憶ではレイアウトが影響したことから、ヒトは配色を記憶する際はレイアウト、向きなどの空間的特徴を参考にしていることを示唆した。さらに Woodman & Vogel (2008) は記憶の保持に必要な注意の集中度について研究した結果、色のみよりも形のみを記憶したほうが集中度は高まることを示した。このように色と形の記憶の関連性については別々に記憶している可能性が高いという考えが現在の主流となっているものの、まだ一致した結果は報告されていない。

視覚遅延見本合わせ(vDMTS)における色と形の研究

短期記憶の測定法は再生によるものと再認によるものに大別される。再生によるものには節約法、系統予言法、対連学習法、および自由再生学習法がある。一方、再認によるものは再認法がある (今田他, 2004)。再認法とは再認にかかる時間および再認の正確さに与える影響に関して測定する方法である。本研究で用いた視覚遅延見本合わせ (vDMTS) はその一つである。視覚遅延見本合わせ (vDMTS) とは最初に呈示した刺激と後で呈示する刺激が一致する場合と不一致の場合 (マッチ条件とミスマッチ条件) における再認の反応時間と正答率を比較する課題である。Liang et al. (2017) は 5 つの図形に 5 つの色を組み合わせた刺激を用いた研究で、マッチ条件はミスマッチ

条件と比較し再認の反応時間が速まり、回答の正確さも高まったと報告している。これに反し Downing (2000) は形 (顔、物体) およびサイズを変えた視覚刺激を用いた研究で、マッチ条件はミスマッチ条件より再認の反応時間は遅まり、再認の正確さについては有意な差が得られなかったと報告している。このように、これまでのところ再認にかかる時間および再認の正確さに関しては一致した結果は報告されていない。

色の記憶方法に関する研究

視覚刺激の色情報の短期記憶は言語に依存するかまたは視覚に依存するかに関して多くの研究がなされてきた (苧坂・池田, 2006)。苧坂・池田 (2006) は記憶の過程で機能する脳の関連部位に関する研究で、言語 (言語的ワーキングメモリ) に依存するかまたは視覚 (視覚的ワーキングメモリ) に依存するかを色カテゴリーに着目して機能的磁気共鳴脳画像法 (f-MRI) を用いて研究した。その結果、基本色で定義され色カテゴリーが異なる色の場合は左半球の下前頭回や下頭頂小葉が強く活動することから言語的ワーキングメモリーが働く。一方、色カテゴリーが同じ色の場合は右半球の下前頭回が強く活動し視覚的ワーキングメモリーが働くことを報告した。色のカテゴリーとは安定して用いられる共通した 11 の基本色名 (白、黒、赤、緑、黄、青、茶、オレンジ、紫、ピンク、および灰) によってグルーピングされた色空間の範囲である。様々な言語に存在する。この 11 色の基本色名と形容詞を組み合わせると日常的に用いられる色のほとんどが網羅されるとされている。

また色を示す文字 (以後、色名文字と称する) において、文字の色情報と文字そのものの意味から認識される色情報が一致する場合は両者が一致しない場合と比較して反応時間が速くなり、回答の正答率が高まることが知られている。両者が一致しない場合は両者の記憶が互いに干渉しあい妨害することで迅速かつ正確に認知出来なくなる。この現象はストロープ効果として知られており (Stroop, 1935)、ヒトの認知活動の様々な妨害刺激 (distracter) の代表的なものの 1 つとされている。

1. 3. 2 視覚性短期記憶の視野に関する研究

視覚的刺激の呈示視野 (上、下、右、および左) が視覚性短期記憶に与える影響についてはこれまで Feng & Spence (2014) および Levine & McAnany (2005) は異方性があり方向に依存することを明らかにしている。Previc (1996) および Feng & Spence (2014) は視覚探索およびカテゴリー判断の研究において下視野に比べて上視野は優れることを報告している。カテゴリー判断とは刺激

のカテゴリーを判定する課題である。それに反し Genzano et al. (2001) および Rezac & Dobkins (2004) は 8 つのブロック図形の再認、形状識別の研究で下視野に比べて上視野は劣ると事を明らかにした。右視野および左視野については Berry (2002) は写真画像の認知の研究でリアルな色 (realistic color) は右視野に比べて左視野は優位である。逆に写真反転プロセスによるリアルでない色刺激の場合は左視野に比べて右視野が優位であると報告している。しかし色の視覚性短期記憶においては色のみを変化されたマッチ条件とミスマッチ条件の視覚刺激の呈示視野が再認に与える影響に関する研究はこれまで行われてこなかった。

1. 3. 3 視覚性短期記憶の視野、視野分離に関する研究の現状と課題

Sperry (1985) は分離脳患者を対象とした研究でヒトの脳の機能的左右非対称性 (ラテラリティ) を明らかにした。その後の健常者を対象とした認知機能の研究においても右視野の情報を処理する大脳の左半球は言語的および分析的処理能力において優位性がある。一方の左視野の情報を処理する大脳の右半球は視空間的および全体的な処理能力において優位性があることが報告されている (永江, 2012)。Rizzolatti (1971) は顔認知の視野に関する研究において顔は非言語性刺激として左視野優位で大脳の右半球で情報が処理されることを報告した。その後の研究およびそれらをまとめ、Rohdes (1985) は顔情報の処理の階層ステージモデルを用い網膜像では左右の視野差はないことを報告した。一方、顔の輪郭、目、および鼻やその位置の認識、および表象の生成の段階においては左視野優位となる事を報告している。さらに彼は刺激の特徴 (目、鼻、および口) の符号化処理は大脳の左半球で右視野優位の情報が優位に処理されるなど、顔の認知における優位視野は特徴や処理過程により変化するという事を明らかにした。このように顔認知の視野への影響に関する研究は多く行われてきた。しかしこれまでは単体の顔のパーツ (目、鼻、および口) の視覚刺激の視野の影響に関する研究はなされていない。

1. 3. 4 今後の研究領域と研究内容

ヒトは新しい状況に対応する際、認知機能が重要な役割を担う。周りのものの認知し、状況を判断する時間の短縮には視覚刺激の色の情報の認知、記憶が重要であるが、色の記憶のメカニズムはまだ解明されていない部分がある。本項目は色の視覚性短期記憶に関してこれまでの研究の動向をまとめ、まだ明らかになっていない研究領域を明確化にし今後の研究へ展開することを目的としてきた。上記のとおり、色の視覚性短期記憶の中でも視覚遅延見本合わせ (vDMTS) を用い色のみを変化されたマッチ条件とミスマッチ条件の比較、色の刺激の呈示視野が再認に与える影響、ま

た妨害因子として方位(角度)やストローク課題を加えた場合の影響については研究されていないことが明らかとなった。

1.4 本論文の目的

色の知覚・認知の研究は認知科学分野における重要なテーマの 1 つである。これまでは、視覚刺激の要素および情報処理のメカニズムとその過程において活性化される脳の部位に関する研究が中心に行われてきたが、まだ明らかになっていない部分も多い。色情報は低次視覚情報として、明るさ、運動、奥行き、および方向などと同様に独立した特徴の 1 つとして抽出される。特徴が複数存在する場合は情報の特徴は統合されて高次視覚情報として処理される。これまでは記憶された情報は色のついていない無彩色で処理されることが強調されてきた。それに対し、川端他 (2011) は色情報は高次視覚情報として処理される事例を示し、色は初期の低次から高次視覚に渡る全ての課程で根幹的な役割を担っている可能性があると報告した。また、視覚の知覚・認知モデルとしては、Treisman & Gelade (1980) が報告した特徴統合理論やその後 Wolfe (2021) が報告した誘導探索モデルが広く知られている。しかし、これらはいずれも視覚探索およびオブジェクト認知での報告であり、そのほかの課題では報告がなく、明らかになっていない。

本研究は色の特徴と視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知メカニズムの検証を行った。本論文は8章で構成されている。第1章序論では研究背景とこれまでの研究の動向と今後の研究領域、研究内容について述べる。第2章(第I実験)～第4章(第III実験)の前半3つの章は認知・記憶しやすい色および視野の特徴に関する研究である。続く第5章(第IV実験)～第6章(第V実験)では前半で明らかとなった色情報の情報処理が高次視覚処理である点について追実験を行い検証した。本研究で得られた知見は視覚デザイン分野への展開が考えられる。本研究結果は今後、産業・医療をはじめとした幅広い分野への応用が期待される。

第2章

視覚刺激の要素のうち色のみを変化させた、
視覚遅延見本合わせ (vDMTS) における
色配置のマッチ条件とミスマッチ条件の影響
(第 I 実験)

2.1 研究の背景、目的

眼球内に入射した光は網膜の最外層にある錐体でとらえられ、その分光分布から青、緑、および赤の色として抽出される。その後、網膜内のニューロンにより情報処理される。色に関する視覚情報は網膜においてごく短時間だけ視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) として保持される。網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた色の情報は、第一次視覚野を経て脳の表層にある下側頭葉にある第四次視覚野に伝えられ、視覚性短期記憶 (visual short-term memory: VSTM) として一時的に登録される。なお、感覚記憶は 100-300ms の間保持され、短期記憶はその後数十秒間の間保持されることが知られている。

短期記憶に関する最初の色刺激と後で呈示する色刺激が一致の場合と不一致の場合(マッチ条件とミスマッチ条件)の再認にかかる時間に与える影響はこれまでのところ一致した結果は得られていない (Liang et al. (2017)。例えば形(顔、物体)やサイズを変えた刺激を用いた研究では、マッチ条件と比べて、ミスマッチ条件の再認するときの反応時間が遅まると報告されている (Downing, 2000)。また5つの図形に5つの色を組み合わせた刺激を用いた研究でも同様の結果が報告されている(Kardos Z et al., 2002)。一方で課題とは無関係な無意味図形を呈示しながら複数の文字の中から特定の文字を探し出す視覚探索課題においては、ミスマッチ条件はマッチ条件に比べて再認の反応時間が速まることが報告されている (Tan et al., 2014)。さらに視覚刺激の中の要素である色に関する色刺激はミスマッチ条件とマッチ条件の再認にかかる時間に関する研究はこれまで行われてこなかった。そこで本研究では視覚刺激の要素のうち色のみを変化させた視覚遅延見本合わせ (vDMTS) における色配置のマッチ条件とミスマッチ条件の影響について検証する。

2.2 実験方法

2.2.1 被験者

本実験には心身ともに健康で課題の遂行に支障のない視力(矯正視力を含む)と判定が可能な色覚を有する 15 名の日本国籍の男女大学生が被験者として参加した。視力と色覚の確認は個人情報観点から検査は行わずに口頭で確認した。15 名のうち反応時間および平均正答率が標本平均±標本標準偏差の 3 倍値を超えていた各1名のデータを省いた 13 名(男性 12 名および女性 1 名、年齢±標準偏差: 22.6±2.0 才)の結果を解析の対象とした。また別日に行った実験においては 2 名が参加できなかったため 11 名(男性 10 名および女性 1 名、年齢±標準偏差: 22.7±2.1 才)の結果を解析の対象とした。研究はヘルシンキ宣言に則り、実験開始前に被験者からイン

フォームドコンセントを取得するとともに個人情報保護をはかった。なお研究の実施にあたり東海大学の研究倫理委員会の承認を得て行った。

2.2.2 実験環境

視覚刺激は縦横比 5:4 で解像度 1280×1024 ピクセルの 17 インチ CRT モニター(NEC CRT ディスプレイ DV17D2)で呈示した。刺激と課題は図形・画像ソフトウェア Canvas14 (ACD Systems、東京) と心理学用実験制御プログラムソフトウェア SuperLab5 (Cedrus Corporation、CA、USA) を用いて作成した。実験はシールドルーム内で行い、被験者はモニターとの距離 56cm の位置に座りあご台であごと額を固定した。測定環境は温度 21.8 °C (21.0~23.0°C) とし机上面での平均照度は 227 lx (226~228 lx) であった。

2.2.3 視覚刺激と課題

色刺激と課題を図 2-1 に示す。本実験の色刺激と課題は色刺激を用いて再認成績を確認した研究 (Kardos Z et al., 2002) の実験方法を参考にした。色刺激は彩度の高い5色 (赤 (22.57 cd/m²、R : G : B = 255 : 0 : 0)、黄 (89.73 cd/m²、R : G : B = 255 : 255 : 0)、緑 (69.69 cd/m²、R : G : B = 0 : 255 : 0)、シアン (79.15 cd/m²、R : G : B = 0 : 255 : 255)、および紫 (18.88 cd/m²、R : G : B = 160 : 32 : 240)) で着色された 5 つの正方形とした。大きさは視角 6.5° × 6.5° であった。色刺激は黒 (1.30 cd/m²、R : G : B = 0 : 0 : 0) の画面上に5つ呈示し画面中央部から各色刺激の中心部までの距離は視角 7.4° ~16.0° であった。色刺激の配置は事前実験の内観で画面の真上の位置は記憶しやすいという意見が多かったことから、時計回りに 14° の位置および反時計回りに 14° の位置を始点として 5 つの色刺激を 72° 毎の位置に等間隔で配置した。両者は 1 実験あたり同数発生された。色刺激の配色は時計回りに赤、黄、緑、シアン、および紫とした。色の配置のミスマッチ条件は 5 色のうちの 2 色のみを入れ替えて変化させた。マッチ条件とミスマッチ条件は1実験あたり同数発生させた。

次に課題について述べる。色刺激は視覚遅延見本合わせ (vDMTS) で呈示した。被験者には 300ms の間画面中央の白十字 (86.31cd/m²、R : G : B = 255 : 255 : 255) を注視させた。その後も被験者は実験の最後まで中央の白十字を見続けた。次に符号化する最初の色刺激を 1500ms 間呈示した。次に 4100ms 間色刺激の 5 か所をグレー (28.05cd/m²、R : G : B = 140 : 140 : 140) に変化させた色刺激を呈示し記憶を保持させた。その後再びテスト画面である 5 色の

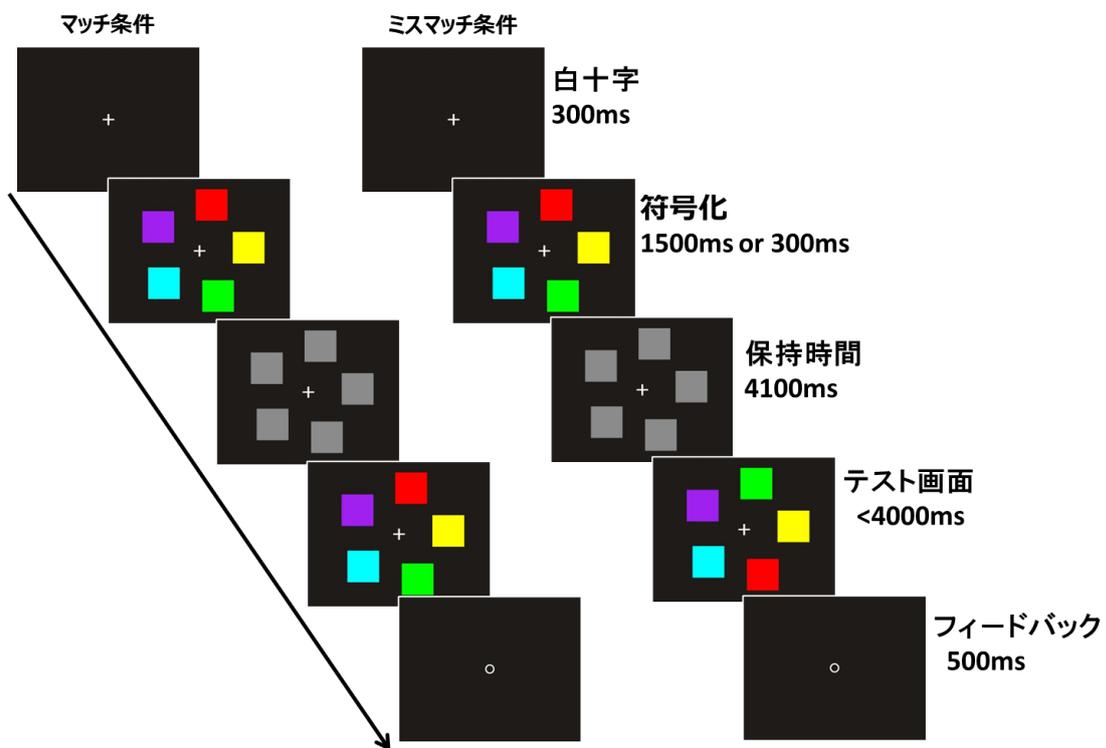


図 2-1 実験フロー(vDMTS)

(川島他, 2021a, p.16, 図 1)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

色刺激が呈示され、ここで被験者には最初の色刺激と後で呈示した色刺激が一致(マッチ)が不一致(ミスマッチ)かを判定させ、判断ができ次第出来るだけ早く手元の応答パット RB-844 (Cedrus Corporation、CA、USA) のボタン (左:一致、右:不一致) を押させた。応答パットはパット 16.1×24.1cm、ボタン 2.8×3.8cm、ボタン間隔 7.6cm の大きいものを用いることで操作性を向上させた。応答の反応には両手を使用した。応答パットのボタン (左:一致(マッチ)、右:不一致(ミスマッチ)) 上に指をおき判断でき次第出来るだけ早く手元の応答パットを押させた。被験者は 92% (12 人) が右利き、8% (1 人) が両利きであった。回答の制限時間は 4,000ms とした。回答時または未回答で制限時間になった後、最後に被験者の回答が正解か不正解かを画面中央に○、×の記号で表示しフィードバックを行った。これら一連の課題が 1 試行である。実験は1ブロック24試行を6ブロック合計144試行で構成した。

被験者には1ブロック(24試行)が終了すると、実験を続けて行うか否かを自身で選択させた。休息を設けることで疲労対策とした。被験者は色刺激を 1500ms 間呈示した条件の予備試行72試行を行い、後日本実験として144試行を行った。被験者には予備試行の実験前に5つの正方形のうちの2つ(2色)が入れ替わる旨を説明した。300ms 間呈示した条件での実験は疲労を考慮し別日に行った。別日は練習はすでに行っているため不要とし本実験のみを行った。1500ms は本実験の色刺激と課題の参考にした実験方法 (Kardos Z et al. ,2002) の呈示時間とした。一方の 300ms は事前実験で符号化過程において戦略をたてた取り組むことが難しい時間として、800ms、500ms、および 300ms 刺激を呈示した再認実験から決定した。また実験後に被験者に目の疲れはあるか、またどのように覚えたかの内観をとった。

2.2.4 データ解析

反応時間は後で色刺激を呈示してから被験者が応答するまでの時間、また正答率は被験者の回答が正答であった比率とした。1 試行に対し被験者が2回以上ボタンを押したとしても反応時間と回答には反映しないようにした。統計解析は SPSS 19 (IBM、東京) を用いた。色刺激の呈示時間が 1500ms の実験は解析対象とした被験者数は 13 名、また 300 ms の実験では 11 名であった。呈示時間を解析時の条件として組み込むと、呈示時間 1500ms の被験者のうち 300ms の実験に参加できなかった 2 名の被験者を欠損値として計算せざるをえなくなることから、呈示時間が 1500ms の時と 300ms の時に分けて、マッチ/ミスマッチのそれぞれ対応のある t 検定を行った。有意差水準は 5%未満とし、データはすべて平均±SE で示した。

2.3 結果

色刺激の呈示時間が 1500ms および 300ms の時のマッチ条件とミスマッチ条件の再認にかかる反応時間を図 2-2 に示した。再認の回答の正答率を図 2-3 に示した。その結果、呈示時間が 1500ms の時のミスマッチ条件で有意に反応時間が速まった ($t=4.420$, $df=12$, $p<0.001$)。一方、呈示時間が 300ms の時には有意な差はみられなかった ($t=1.453$, $df=10$, ns)。またマッチ条件とミスマッチ条件の正答率はともに有意な差はみられなかった (それぞれ $t=2.027$, $df=12$, ns; $t=1.692$, $df=10$, ns)。実験後の被験者への内観では、統計解析に用いた被験者全員が呈示時間の間は記憶の定着化を図るために色の配置を覚える順や色の言語化など戦略をたてて実験に臨んだと述べた。呈示時間 300ms の条件においても同様に臨んだものの、時間が短く記憶の定着化は完全ではなかったと報告した。

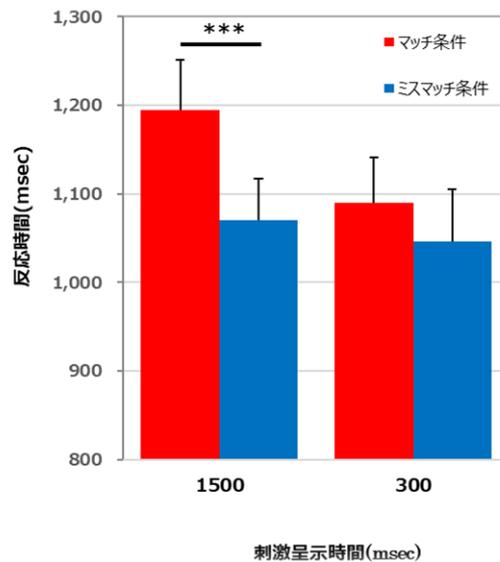


図 2-2 再認にかかる反応時間

色刺激の呈示時間が 1500ms (n=13)、300ms (n=11)の時のマッチ条件とミスマッチ条件の再認にかかる反応時間を示す。***、 $p < 0.001$

(川島他, 2021a, p.17, 図 2)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

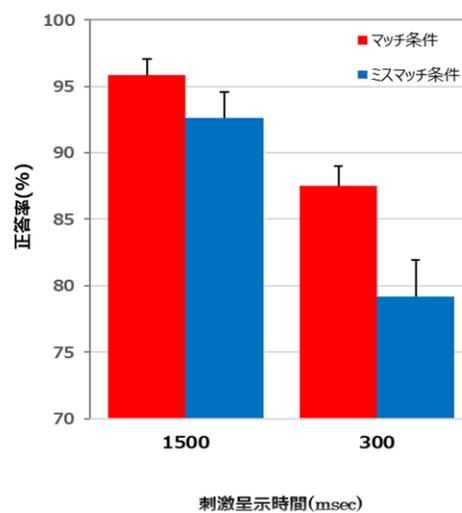


図 2-3 再認の回答の正答率

色刺激の呈示時間が 1500ms (n=13)、300ms (n=11)の時のマッチ条件とミスマッチ条件の再認の回答の正答率を示す。

(川島他, 2021a, p.17, 図 3)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

2.4 考察

本研究は色の視覚刺激の特徴に関する研究として、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響について検証した。その結果、刺激の呈示時間が 1500ms のミスマッチ条件において有意に反応時間が速まった。一方で呈示時間が 300ms の時には反応時間に差がみられなかった。

2.4.1 色刺激の呈示時間 1500ms の間の視覚的注意について

はじめに視覚的注意について述べる。ブロックパターンを用い色刺激の呈示時間の記憶の保持率に及ぼす効果に関する研究 (Avons SE & Philips WA, 1980)では、呈示時間 60ms から 200ms までは呈示時間の増加に伴い記憶の保持率も上昇し 200ms を超えると保持率は上限に達することを報告している。本研究の刺激の呈示時間の 300ms および 1500ms はいずれも 200ms 以上であることから、呈示時間の 300ms および 1500ms は色情報を記憶するのに十分であったと推測される。記憶の定着に関しては実験後の被験者への内観で全員が記憶の定着化を図るために色の配置を覚える順番や色を言語化するなど戦略をたてて実験に臨んだと述べた。しかしながら呈示時間 300ms は 1500ms と比べて時間が短すぎて記憶の定着化には至らなかったとも回答している。この呈示時間 300ms と 1500ms の差が今回の結果に関連した可能性がある。Rensink (2000)や Becker et al. (2000)は視覚情報は感覚記憶が減衰する前に注意を向けることによって短期記憶への処理過程で表象となると報告している。表象 (representation) とは知覚にもとづいて意識に現れる外界対象の像であり、認知においては記憶される刺激物である。特に Becker et.al. (2000)はあとで呈示する色刺激による記憶の上書きに着目してアイコニックメモリは減衰する前に注意が向けることで視覚性短期記憶になることを明らかにした。尾関・横澤 (2003)は Becker et.al. (2000)の研究をもとに最初の刺激からあとに呈示する刺激が呈示されるまでの時間 (ISI)の記憶の保持時間を変化させて、短期記憶のメカニズムに与える影響の研究を行った。その結果、短期記憶は単純な時間的な減衰ではなく記憶の保持過程での注意が表象に関連していることを明らかにした。本研究では色刺激の呈示時間 1500ms の間に視覚的注意により記憶は幾度も上書きを繰り返して短期記憶として消失しにくい頑健な表象が形成された可能性がある。呈示時間 300ms という時間は記憶の定着には不十分であったと推測される。

2.4.2 色刺激がポップアウトのような顕著性の高い刺激であった可能性

次に色刺激はポップアウトのような顕著性 (visual saliency) の高い刺激であった可能性が考えられる。ポップアウトとは対象が他の対象から非常に目立ちポップアウトして(「飛び出して」)知覚される現象である (Maljkovic & Nakayama (1994))。ポップアウトを引き起こす刺激をポップアウト刺激と称する。Lee et al. (2002) のポップアウト現象を報告した実験では、刺激は陰影により立体に見えるシンプルな刺激かつ妨害刺激の数も少ないことがポップアウトを誘発することが明らかにされている。本研究の色刺激は5色のうちの2色のみを変化させたシンプルな課題内容である点で Lee et al. (2002) の研究の刺激の特徴と類似している。このことから再認を速める結果はマッチ条件かミスマッチ条件かによらず、本研究の刺激がポップアウト刺激であったためと推測される。また Lee et al. (2002) はポップアウトは第二次視覚野で発生すると報告している。通常の色知覚が生じる視覚情報処理過程は第四次視覚野である。そのため本研究では色情報の伝達において、第四次視覚野よりも前の第二次視覚野で再認されるこのポップアウト現象が関与して色の記憶の再認が速まったと推測された。

2. 4. 3 他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件の研究と比較

最後に、他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ条件とミスマッチ条件の研究と比較する。色および形を変化され視覚的に色に顕著な差がある刺激を用いた連続フラッシュ抑制(CFS)の研究 (Ding et al., 2019)では、色に顕著な差のある刺激は反応時間は優位に速まることが報告されている。しかし反応時間は刺激がマッチ条件の方が速まったという本研究とは異なる結果を報告している。連続フラッシュ抑制(CFS)とは短時間で激しく変化する図形を片目に提示した際、もう片方の目に呈示された視覚図形が長時間の知覚が抑制される現象である。一方アウェアネス (荳阪, 2012) は、注意や覚醒と関連した心の志向的な働きによる意識や気づきである。いずれも本研究とは異なる。また前述の実験(荳阪 (2012))ではポップアウトは起こらなかったと報告しているのに対して本研究で再認を速めたことはポップアウトが関与している。

以上の通り、色刺激の再認のメカニズムに関する研究を通し視覚性短期記憶において色のミスマッチは再認を速めるという新たな知見が確認された。要因として色刺激の呈示時間の間の視覚的注意とポップアウト刺激が関連した結果であると推測する。一方、Treisman & Gelade (1980)が提唱した特徴統合理論では注意を向けた過程においては空間、色および形の複数の特徴は結びけられ空間の記憶と色の記憶は大きく関連していることを示している。本研究のミスマッチ条件は符号化時と再認時で色を2か所だけ変更させて、変化をさせないマッチ条件との間の再認にかかる

時間を比較した。色は5色のみを使用したため色図形の配置も変化することとなった。すなわち特徴統合理論の立場で考えると、本研究結果は色や形といった情報は空間の情報を介して結びついている可能性も示唆された。

前述の通り応答の反応に両手を使用した。応答パットのボタン(左:一致、右:不一致)上に指をおき、一致、不一致が判断でき次第出来るだけ早く手元の応答パットを押させた。被験者は92%が右利き、8%が両利きであったため、利き手である右の応答パット(不一致)の反応時間が短くする可能性があることは否めない。しかし本研究は呈示時間1500msと300msを比較した実験であることから、刺激の呈示時間1500msのみが有意に反応時間が速まった本研究結果には聞き手は影響しなかったと推測した。本研究は色のみを変化させた視覚刺激を用いた単一実験のミスマッチ条件に限定した結果であることから限界があるのも確かである。今後は、他の色刺激での研究、形などの他の視覚刺激の要素を加えた色の配置のミスマッチ条件における行動指標の成績向上または成績低下を明らかにする研究が望まれる。

2.5 まとめ

本研究では色の視覚刺激の特徴に関する研究として、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響について検証した。先に呈示した色刺激の5色の配置と後に呈示した色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件における再認の反応時間と正答率を比較した。その結果、ミスマッチ条件の再認の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。これまで他のグループによる研究においてはマッチ条件の方が再認の反応時間が速まると報告されていた。しかし本研究においては、ミスマッチ条件の方が再認の反応時間が速まった。要因としては色刺激がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたことが影響した可能性があると推測した。

第3章
色の短期記憶に及ぼす視覚刺激の呈示視野の影響
(第Ⅱ実験)

3.1 研究の背景、目的

第2章（第Ⅰ実験）で色の視覚刺激の特徴の研究として、視覚遅延見本合わせ（vDMTS）において色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認の反応時間と回答の正確さに及ぼす影響について検証した。その結果、ミスマッチ条件において再認の反応時間がマッチ条件に対し有意に速まることを初めて見出した。要因としては色刺激がポップアウトのような顕著性の高い刺激であった可能性と視覚的注意が関連していることを示唆した。本第3章（第Ⅱ実験）では視覚刺激の呈示視野の研究を行った。第2章と同様の視覚遅延見本合わせ（vDMTS）を用いて刺激を呈示する視野が色の配置のマッチ条件およびミスマッチの再認に及ぼす影響について検証した。

短期記憶に関する最初の色刺激と後で呈示する色刺激が一致する場合（マッチ条件）と不一致の場合（ミスマッチ条件）の再認の反応時間、再認の回答の正確さに与える影響についてはこれまでのところ一致した結果は得られていなかった。Liang et al. (2017) は、5つの図形に5つの色を組み合わせた刺激を用いた研究でマッチ条件と比べてミスマッチ条件は再認の正確さが高まり、反応時間が速まったと報告している。これに反して Downing (2002) は、形（顔、物体）およびサイズを変えた刺激を用いた研究で、マッチ条件と比べてミスマッチ条件では再認の反応時間が速まるが、再認の正確さは有意な差は得られなかったと報告している。川島他 (2021a) は色刺激の配置の短期記憶に関する研究で、マッチ条件に比べミスマッチ条件は再認の反応時間が速まることを報告している。

一方、刺激の呈示視野（上、下、右、および左）が視覚性短期記憶に与える影響に関して、Feng & Spence (2014)、Levine & McAnany (2005) は異方性があり方向に依存することを明らかにしている。Previc (1996)、Feng & Spence (2014) は視覚探索およびカテゴリーカル判断の研究において、下視野に比べて上視野は優れることを報告している。それに反して Genzano et al. (2001)、Rezec & Dobkins (2004) は8つのブロック図形の再認および形状識別の研究においては、下視野に比べて上視野は劣ると報告している。右視野および左視野については Berry (2002) は写真画像の認知の研究でリアルな色 (realistic color) は右視野に比べて左視野は優位であるが、逆に写真反転プロセスによるリアルでない色は左視野に比べて右視野が優位であると報告している。しかしながら、色の視覚性短期記憶においては色のみを変化されたマッチ条件とミスマッチ条件における刺激の呈示視野が再認に与える影響に関する研究はこれまで行われてこなかった。そこで本研究は、色の視覚性短期記憶において刺激を呈示する視野が再認の反応時間および再認の回答の正確さに及ぼす影響について研究した。

3.2 実験方法

3.2.1 被験者

本実験には、心身ともに健康で課題の遂行に支障のない視力（矯正視力を含む）と判定が可能な色覚を有する15名の日本国籍の男女大学生が被験者として参加した。視力と色覚の確認は個人情報観点から検査は行わず口頭で確認した（男性11名、女性4名、年齢:平均 22.3 才（年齢幅 20～26 才））。被験者は全て右利きであった。研究はヘルシンキ宣言に則り、実験開始前に被験者からインフォームドコンセントを取得するとともに個人情報保護をはかった。なお研究の実施にあたり東海大学の研究倫理委員会の承認を得た。

3.2.2 実験環境

視覚刺激は、縦横比 5:4 で解像度 1280×1024 ピクセルの 17 インチ CRT モニター(NEC CRT ディスプレイDV17D2)で呈示した。刺激は図形・画像ソフトウェア Canvas14 (ACD Systems、東京)、課題は心理学用実験制御プログラムソフトウェア SuperLab5 (Cedrus Corporation、CA、USA) を用いて作成した。実験はシールドルーム内にて行い、被験者はモニターとの距離 56cm の位置に座りあご台であごと額を固定した。測定環境は温度 21.0 °C (20.0～23.0°C)、机上面での平均照度は 286 lx (198～380 lx) であった。色刺激の輝度および色度測定は分光放射計 SR-3A (TOPCON、東京)を用いて行った。色度は CIE1931 色度座標 x 、 y で示した。

3.2.3 視覚刺激と課題

色刺激と課題を図 3-1 に示す。色刺激は彩度の高い4色（赤 (22.57 cd/m^2 、 $x=0.6314$ 、 $y=0.3379$ 、 $R : G : B = 255 : 0 : 0$)、緑 (69.69 cd/m^2 、 $x=0.2898$ 、 $y=0.6051$ 、 $R : G : B = 0 : 255 : 0$)、シアン (79.15 cd/m^2 、 $x=0.2083$ 、 $y=0.2984$ 、 $R : G : B = 0 : 255 : 255$)、紫 (18.88 cd/m^2 、 $x=0.2216$ 、 $y=0.1154$ 、 $R : G : B = 160 : 32 : 240$)）でそれぞれ着色された4つの正方形を各々2個ずつ、縦2個×横4個または縦4個×横2個を密接して形成した図形を用いた。大きさはそれぞれ視角 $5.3^\circ \times 5.3^\circ$ 、 $11.2^\circ \times 23.0^\circ$ および $23.0^\circ \times 11.2^\circ$ であった。色刺激は黒 (1.30 cd/m^2 、 $x=0.4047$ 、 $y=0.3709$ 、 $R : G : B = 0 : 0 : 0$) の面上に呈示させ、画面中央部から各色刺激の中心部までの距離は視角 $5.5^\circ \sim 16.6^\circ$ とし、呈示視野は図 3-1 に示すように画面の上視野、下視野、右視野、および左視野の4つの視野に配置した。中心からの位置を合わせるために上視野および下視野は縦2個×横4個、右視野および左視野は縦4個×横2個を配置した。我々が行った先行研究(川島他(2021a))において色刺激の数が5個だとその色の位置は覚えやすいという

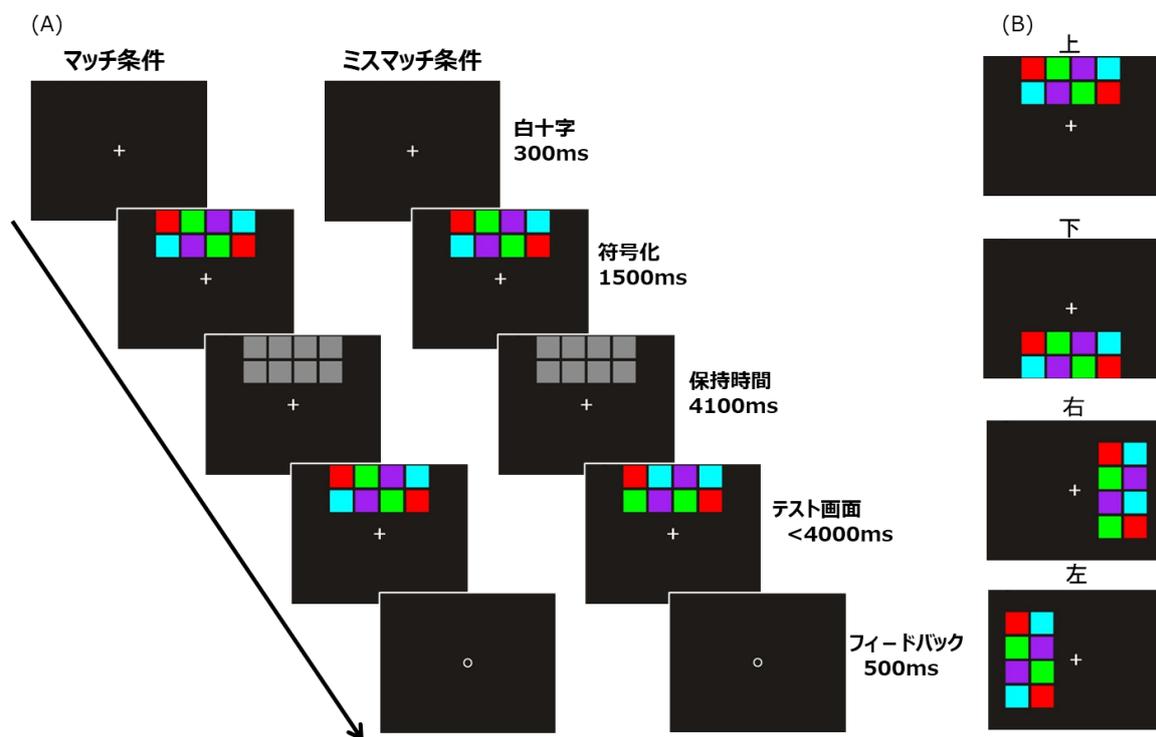


図 3-1 実験フロー(vDMTS)と色刺激呈示視野

(A)実験フロー 300ms 間、+を見続ける。次に、最初の色刺激を 1500ms 間呈示し、符号化を行った。続いて画面は自動で色刺激はグレー色に変化し、4100ms の間、記憶を保持した。次に自動で再び色刺激が呈示され、最初の色刺激と一致しているか不一致かを判断し、判断でき次第、手元のボタンを押した。最後に、被験者の回答が正解か否かをモニターに表示(正解:○不正解:×)しフィードバックを行った。(B)色刺激の呈示視野 上下右左はそれぞれ視野を示している。

(川島他, 2021b, p.49, 図 1)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

内観が得られていたことから色刺激の数を増やすことを検討した。色刺激が6個でも未だ覚えやすいという声を参考に今回の色刺激の数は8個とした。しかし色を8色にすると課題の難易度は一気に上がることを危惧し4色×2の8個で構成した。色刺激の配色は赤、緑、シアン、および紫の4色×2の配置を6パターン準備した。6パターンは縦2個×横4個の場合は上側の横4個に4色を配置して下側には同じ色が隣同士にならないように、また縦4個×横4個の場合は右側の縦4個に4色を配置して左側は同じ色が隣同士にならないように色を配置した。色の配置のミスマッチ条件は8つの正方形のうちの2か所(2色)のみを入れ替わるパターンとした。縦2個×横4個の場合は左側半分の中の2色が入れ替わるものと右半分の中の2色が入れ替わるものを同数発生させた。縦4個×横2個の場合は、上側半分が入れ替わるものと下側半分が入れ替わるものを同数発生させなかったため、上側半分の中の2色が入れ替わるもの、下側半分の2色が入れ替わるもの、または上側下側にまたがる2色が入れ替わるものを発生させた。発生比率は3:1:2であった。マッチ条件とミスマッチ条件は1実験あたり同数発生させた。

次に課題について述べる。色刺激は先行研究(川島他(2021a))と同様に視覚遅延見本合わせ(vDMTS)で呈示した。被験者には300ms間画面中央の白十字(86.31cd/m²、x=0.2911、y=0.3051、R:G:B=255:255:255)を注視させた。その後も被験者は最後まで中央の白十字を見続けた。次に符号化画面として最初の色刺激を1500ms間呈示した。次に4100ms間グレー(28.05cd/m²、x=0.2923、y=0.3051、R:G:B=140:140:140)の色刺激を同じ8箇所呈示させて記憶を保持させた。その後再びテスト画面として色刺激を呈示しここで被験者には最初の色刺激と後で呈示する色刺激が一致か不一致かを判定させた。一致ないし不一致の判断ができ次第、出来るだけ速く手元の応答パッドRB-844(Cedrus Corporation、CA、USA)のボタン(左:一致、右:不一致)を押させた。応答は最大4000msとした。応答パッドはパッド16.1×24.1cm、ボタン2.8×3.8cm、ボタン間隔7.6cmの大きいものを用いることで操作性を向上させた。応答の反応には両手を使用した。応答パッドのボタン(左:一致(マッチ)、右:不一致(ミスマッチ))上に指をおき判断でき次第出来るだけ早く手元の応答パッドを押させた。被験者は92%(12人)が右利き、8%(1人)が両利きであった。回答の制限時間は最大4,000msとした。回答時または未回答で制限時間になった後、最後に被験者の回答が正解か不正解かを画面中央に○、×の記号で表示しフィードバックを行った。これら一連の課題が1試行である。実験は1ブロック48試行を2ブロック合計96試行で構成した。被験者には、1ブロック(48試行)が終了すると、実験を続けて行うか否かを自身で選択させた。休息を設けることで疲労対策とした。実験後、被験者に目の疲れはあるか、どのように覚えたかといった内観をとった。被験者は、まず予備試行として48試行を行い、後日、本実験として96試

行を行った。被験者には予備試行の実験前に、8つの正方形のうちの2か所(2色)が入れ替わる旨を説明した。

3.2.4 データ解析

反応時間は後の色刺激を呈示してから被験者が応答するまでの時間、また正答率は被験者の回答が正答であった比率とした。1試行に対し被験者が2回以上ボタンを押したとしても回答と反応時間には反映しないようにした。正答率、反応時間は被験者毎にデータをまとめた。15名のうち平均正答率および平均反応時間が標本平均±標本標準偏差の3倍値を超えた被験者がいなかったことから全てのデータを用いた。統計解析はSPSS 19 (IBM、東京)を用いてマッチ/ミスマッチ、視野の2因子の繰り返しのある場合の二元配置分散分析を行い、下位検定はTukey法により行った。有意差水準は5%未満としデータはすべて平均±SEで示した。

3.3 実験結果

正答率に対し二元配置分散分析を行ったところ、マッチ/ミスマッチの主効果が有意であり($F_{(1, 14)}=16.469, p=0.001$)、マッチ条件の正答率と比較してミスマッチ条件の正答率は有意に低かった。視野の主効果も有意であり($F_{(3, 42)}=7.012, p=0.006$)、上視野および下視野と比較して、右視野は正答率が高まった(右視野と上視野との比較: $p=0.006$, 右視野と下視野との比較: $p=0.010$)。

視野およびマッチング条件別の再認の回答の正答率を図3-2に示す。下位検定の結果ではマッチ条件では有意な差はないが、ミスマッチ条件においては上記と同様に上視野、下視野に対して右視野は有意に正答率が高まることが確認された(右視野と上視野との比較: $p=0.015$, 右視野と下視野との比較: $p=0.006$)。マッチ条件の再認にかかる反応時間はミスマッチ条件と比較した有意な差がみられなかった($F_{(1, 14)}=0.202, ns$)。視野別の再認にかかる反応時間を図3-3に示す。図3-3に示す通り有意な差はみられなかった($F_{(3, 42)}=1.412, ns$)。マッチ/ミスマッチ、視野の2因子の反応時間の交互作用は有意ではなかった($F_{(3, 42)}=1.340, ns$)。下位検定の結果では視野およびマッチ条件別の再認の反応時間には有意な差がみられなかった(いずれも ns)。

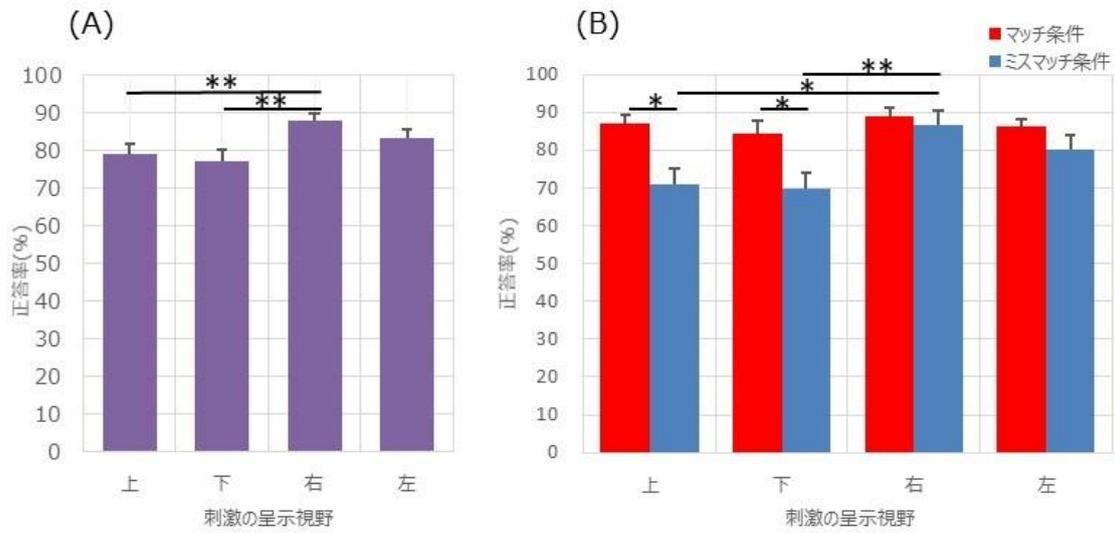


図 3-2 再認の回答の正答率

(A)色刺激の呈示視野を上、下、右、および左にした際の再認の回答の正答率を示す。**, $p < 0.01$

(B)色刺激の呈示視野を上、下、右、および左とした際のマッチ条件およびミスマッチング条件の再認の回答の正答率を示す。**, $p < 0.01$ 、*, $p < 0.05$

(川島他, 2021b, p.49, 図 2)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

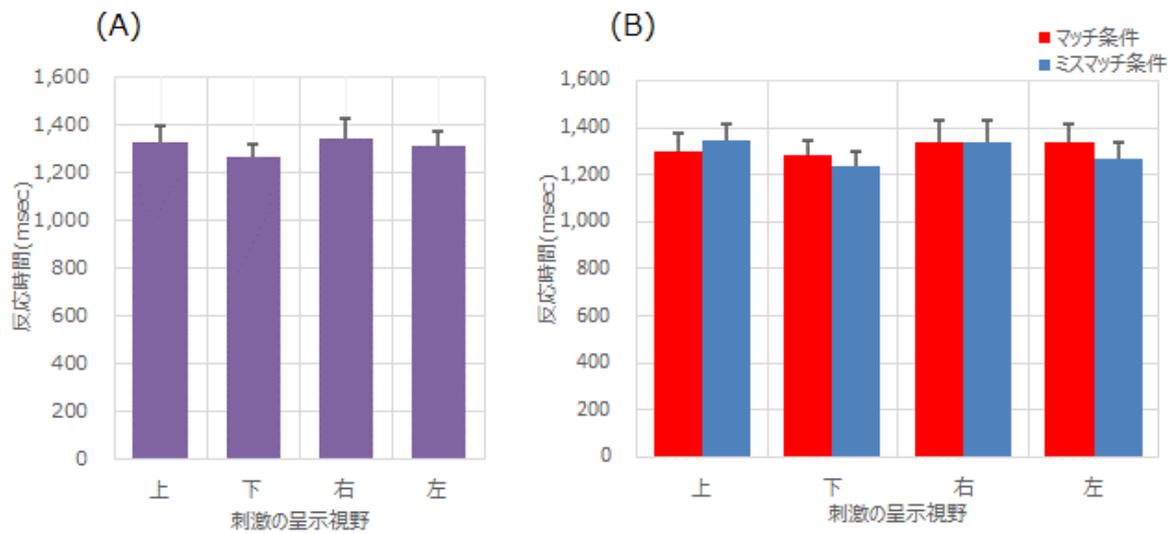


図 3-3 再認にかかる反応時間

(A) 色刺激の呈示視野を上、下、右、および左にした際の再認にかかる反応時間を示す。(B) 色刺激の呈示視野を上、下、右、および左とした際のマッチ条件およびミスマッチング条件の再認にかかる反応時間を示す。

(川島他, 2021b, p.49, 図 3)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

3.4 考察

本研究は視覚性短期記憶における刺激を呈示する視野が色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件の再認に及ぼす影響について検証した。その結果、色の配置の再認の回答の正答率はミスマッチ条件はマッチ条件に比べて有意に高まり、上視野および下視野に対して右視野は有意に高まった。マッチ/ミスマッチおよび視野の2因子の交互作用は有意であった。下位検定の結果、ミスマッチ条件において上視野および下視野に対し右視野は有意に正答率が高まることが確認された。なおマッチ条件においては有意な差はみられなかった。以上のとおり、右視野は連続して提示された刺激において異なる色の組み合わせを検出するのに有利であることを示唆している。

3.4.1 他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件との比較

はじめに他の視覚的刺激の vDMTS を用いたマッチ/ミスマッチ条件の研究と比較する。Liang et al. (2017) は5つの図形に5つの色を組み合わせた刺激を用いた研究で、マッチ条件はミスマッチ条件と比較し再認の反応時間が速まり、回答の正確さが高まったと報告しており、本研究の再認の反応時間とは異なる結果となった。正確さはと一致した。反応時間で異なる結果となった要因としては課題の困難さが関連した可能性があるかと推測している。Liang et al. (2017) の研究の図形のマッチ条件とミスマッチ条件の反応時間はそれぞれ 480 ms および 590 ms である。また Downing (2000) は形(顔、物体) およびサイズを変えた視覚刺激を用いた研究で、マッチ条件はミスマッチ条件より再認の反応時間は遅まり、再認の正確さについては有意な結果が得られなかったと報告している。Downing (2000)の研究のマッチ条件、ミスマッチ条件の反応時間はそれぞれ 520 ms、640 ms である。それらに対し、本研究の反応時間は 1316 ms、1299 ms と2倍以上長い。このことから、本研究の課題が困難であり再認の際に判断に時間を要した結果、予想された反応時間の速まりが確認されなかったものと推測する。Schneegans & Bays (2017)は色、形(向き)、および位置を変えた刺激を用いた実験において、色、向き、および位置などの2つ又はそれ以上の異なる視覚刺激の特徴の結合は、再認のノイズとなりその精度に影響することを報告している。本研究の課題の困難さも同様に再認のノイズとなり反応時間に影響を及ぼした可能性と考える。

3.4.2 右視野が優位となった点について

次に上視野および下視野と比べて右視野の再認の回答の正確さは高まった点について述べる。古くからヒトの脳の機能的左右非対称性(laterality)が関与した様々な研究がされてきた。ヒトの脳の機能的左右非対称性において異方性があり方向に依存することを明らかにしている。健常者を

対象とした認知機能の研究において、右視野の視覚情報が処理される大脳の左半球は言語的および分析的処理能力において優位性がある。また一方で左視野の視覚情報が処理される大脳の右半球は視空間的および全体的な処理能力において優位性がある。色は色カテゴリーが異なる言語的刺激は脳の左半球の機能特性により情報が処理され右視野が優位である(苧坂・池田, 2006)。本研究の色刺激の4色(赤、緑、シアン、紫)は色カテゴリーが異なる。

加えて注意との関連について述べる。課題がマッチング/ミスマッチングかの判断は刺激の特徴に注意を向けるものである。和田他(1999)は、円形の図形の選択的注意課題における刺激呈示視野の影響に関する研究において課題の種類にかかわらず、左視野と比べ右視野が優位であると報告しており、本研究の結果と同じであった。本研究の色刺激の呈示時間は第2章(第I実験)と同様に1500msである。視覚情報は感覚記憶が減衰する前に注意を向けることにより短期記憶は処理過程で表象となるのに十分な時間であると推測され、視覚的注意も関連したと推測する。

前述の通り応答の反応に両手を使用した。応答パットのボタン(左:一致、右:不一致)上に指をおき、一致、不一致が判断でき次第出来るだけ早く手元の応答パットを押させた。被験者は全て右利きであったため、利き手である右の応答パット(不一致)の反応時間が短くする可能性があることは否めない。しかしマッチ条件とミスマッチ条件の再認の反応時間に有意な差がなかったことから利き手の影響は小さかったと推測した。本研究は色のみを変化させた視覚刺激を用いた単一実験のミスマッチ条件に限定した結果であることから限界があるのも確かである。今後は、他の色刺激での研究、形などの他の視覚刺激の要素を加えた色の配置のミスマッチ条件における行動指標の成績向上または成績低下を明らかにする研究が望まれる。

3.5 まとめ

本研究は色の視覚性短期記憶において色刺激の呈示視野に関する研究として、視覚刺激を4つの視野(上、下、左、および右)に呈示し、視覚遅延見本合わせ課題を用いてマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響を比較した。その結果、ミスマッチ条件において上視野および下視野に対し右視野は有意に正答率が高まることが確認された。要因としては大脳の左半球の機能特性(ラテラルリティ)と視覚的注意が影響した可能性がある。色情報は言語的刺激として処理され、脳の左半球の機能特性により右視野が有意となったと推測される。

第4章
色の妨害因子として
方位因子を加えたライン状色刺激の
短期記憶に及ぼす呈示視野の影響
(第Ⅲ実験)

4.1 研究の背景、目的

第2章(第I実験)は色の視覚刺激の特徴に関する研究として、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響について検証し、ミスマッチ条件の再認の反応時間はマッチ条件より有意に速まった。要因としては色刺激がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたことを示唆した(川島他, 2021a)。第3章(第II実験)では色刺激の呈示視野に関する研究として視覚刺激を4つの視野に呈示し、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件の再認に及ぼす影響について検証した。その結果、ミスマッチ条件では下視野および上視野と比べて右視野の再認の正確さが有意に高まり、視野の影響があることがわかった。要因としては大脳の左半球の機能特性(ラテラリティ)として高次視覚情報処理が影響した可能性があると推測した(川島他, 2021b)。

ここで再度、色の認知・記憶に関する研究について述べる。色の記憶は言語、視覚のいずれに依存するのかについて、これまで多くの研究が行われ現在は言語即ち色の名前での認知・記憶するという考えが主流となっている。荻坂・池田(2006)は色カテゴリーに着目し機能的磁気共鳴脳画像法(f-MRI)を用いた記憶の過程で機能する脳の部位の研究を行い、色カテゴリーが異なる複数の色を認識する場合は左半球の下前頭回や下頭頂小葉が強く活動する言語的ワーキングメモリーが働き、一方、同じ色カテゴリー内の複数色を認識する場合は右半球の下前頭回が強く活動する視覚的ワーキングメモリーが働くことを明らかにした。色のカテゴリーとは、安定して用いられる共通した11の基本色名(白、黒、赤、緑、黄、青、茶、オレンジ、紫、ピンク、灰)によってグルーピングされる色空間の範囲であり様々な言語に存在する。これら11色の基本色名と形容詞を組み合わせると日常的に用いられる色のほとんどが網羅される。

次に、視覚性短期記憶における視覚刺激の呈示視野(上、下、右、および左)の影響に関する研究について述べる。Feng & Spence (2014)、Levine & McAnany (2005)は、呈示視野が短期記憶に与える影響には異方性があることを明らかにしている。Previc (1996)、Feng & Spence (2014)は視覚探索、カテゴリーカル判断の研究において、下視野に比べて上視野は優れることを報告しているが、それに反し、Genzano et al. (2001)、Rezec & Dobkins (2004)は8つのブロック図形の再認、形状識別の研究において、下視野に比べて上視野が劣るという逆の報告をしており一貫していない。また右視野と左視野に関しては、Berry (2002)は写真画像の認識に関する研究において、ヒトの大脳半球の機能的左右非対称性(ラテラリティ)により、リアルな色(realistic color)は右視野に比べて左視野が優位であるが、写真反転プロセスによるリアルでない色では、左視野に比べて右視野が優位であると報告している。川島他(2021b)は、色の再認の研究において、呈示視野は下

視野および上視野と比べて右視野は再認の回答の正答率が有意に高まることを見出し、これは前述の色カテゴリーが異なる色の認識におけるラテラルティ(脳の左半球による右視野の優位性)および視覚刺激の特徴に向けられた注意による表象の生成によると報告している。

次に妨害刺激について述べる。ヒトは日常のさまざまな場面で外界の多くの情報を統合して認識する。情報は視覚情報処理の過程において、様々な特徴が段階的に処理されることが知られている。まず初期視覚と称される低次視覚情報として明るさ、色、運動、奥行き、および方向などの独立した特徴が抽出される。特徴が複数存在する場合には、情報は特徴統合され、トップダウン的に高次視覚情報として処理される(横澤, 1999)。外部からの入力された情報が矛盾なく一致すれば、認識はスムーズに進行する。しかし矛盾が生じると認知は妨害されて認識の遅延や誤認識が生じることがある。認知活動の中で妨害刺激として明るさ、色、運動、奥行き、および方向などの独立した特徴が報告されている。本第4章(第Ⅲ実験)は第3章(第Ⅱ実験)の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究である。色刺激の形状を細長い長方形(以後、ライン状の刺激と称する)とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度(方位)を変えて先の実験と同様に右視野の優位性の有無を検証した。

4.2 実験方法

4.2.1 被験者

本実験には、心身ともに健康であり、課題の遂行に支障のない視力(矯正視力を含む)と判定が可能な色覚を有する15名の日本国籍の男女大学生が被験者として参加した。視力と色覚の確認は個人情報の観点から検査は行わず口頭で確認した(男性12名、女性3名、年齢:平均 21.4 才(年齢幅 21~24 才))。被験者は全て右利きであった。研究はヘルシンキ宣言に則り、実験開始前に被験者からインフォームドコンセントを取得するとともに個人情報保護をはかった。なお研究の実施にあたり東海大学の研究倫理委員会の承認を得た。

4.2.2 実験環境

視覚刺激は、縦横比 5:4 で解像度 1280×1024 ピクセルの 17 インチ CRT モニター(NEC CRT ディスプレイ DV17D2)で呈示した。刺激は図形・画像ソフトウェア Canvas14(ACD Systems、東京)、課題は心理学用実験制御プログラムソフトウェア SuperLab5(Cedrus Corporation、CA、USA)を用いて作成した。実験はシールドルーム内にて行い、被験者は、モニターとの距離 56cm の位置に座りあご台であごと額を固定した。測定環境は温度 21.2 °C(18.0~25.5°C)、机上面での

平均照度は 204 lx (204~205 lx) であった。色刺激の輝度、色度測定は、分光放射計 SR-3A(TOPCON、東京) を用いて行った。色度は CIE1931 色度座標 x, y で示した。

4. 2. 3 視覚刺激と課題

色刺激と課題を図 4-1 に示す。本実験の色刺激と課題は色刺激を用いて再認成績を確かめた研究 (Kardos et al., 2002, 川島他, 2021a、川島他, 2021b) の実験方法を参考にした。視野を示す円の半径は視角 4.0° とし、右上、右下、左上、および左下の 4 つの視野に画面中央部から円の中心部までの距離が視角 7.0° の位置に 4 つの円を配置した。4 つのうち 3 つの色は黒色 (1.30 cd/m^2 , $R : G : B = 0 : 0 : 0$) とし、1 つの円を白色 (86.31 cd/m^2 , $x=0.2911$, $y=0.3051$, $R : G : B = 255 : 255 : 255$) としてその部分の視野の色配置を記憶させた。ライン状の刺激の大きさは円の中に納まりかつ回転しても各々が干渉しないため、視角縦 $2.4^\circ \times$ 横 0.4° とした。色は先行研究 (Kardos et al.(2002), 川島他 (2021a)) の彩度の高い 5 色、赤 (22.57 cd/m^2 , $R : G : B = 255 : 0 : 0$)、黄 (89.73 cd/m^2 , $R : G : B = 255 : 255 : 0$)、緑 (69.69 cd/m^2 , $R : G : B = 0 : 255 : 0$)、シアン (79.15 cd/m^2 , $R : G : B = 0 : 255 : 255$)、紫 (18.88 cd/m^2 , $R : G : B = 160 : 32 : 240$) とした。ライン状の刺激の妨害因子としてラインの方位を回転させた。ライン状の色刺激は刺激のパターンを 3 つ作成して 4 つの視野に 3 つのパターンを 1 回または 2 回配置した。各刺激の発生頻度は同数発生された。後で呈示するライン状の刺激は中心から右回転で $45^\circ \sim 180^\circ$ の間で回転させ、妨害因子とした。

次に課題について述べる。色刺激は視覚遅延見本合わせ (vDMTS) で呈示した。被験者には 300ms 間画面中央の白十字 (86.31 cd/m^2 , $x=0.2911$, $y=0.3051$, $R : G : B = 255 : 255 : 255$) を注視させた。その後も被験者は最後まで中央の白十字を見続けた。画面は自動で 4 つの視野のうち 1 つの視野に白色の円で示した画面に変わる。次に最初の色刺激を 1500ms 間呈示した。次に 4100ms 間グレー (28.05 cd/m^2 , $x=0.2923$, $y=0.3051$, $R : G : B = 140 : 140 : 140$) と黒 (1.30 cd/m^2 , $R : G : B = 0 : 0 : 0$) が一辺 4 つずつ配置されたチェッカーパターンが呈示されてこの間に記憶を保持させた。その後再びテスト画面として色刺激が呈示され、ここで被験者は最初の色刺激と後で呈示する色刺激の色の配置が一致か不一致かを判定させた。一致ないし不一致の判断ができ次第、出来るだけ速く手元の応答パッド RB-844 (Cedrus Corporation, CA, USA) のボタン (左:一致、右:不一致) を押させた。応答は最大 4000ms とした。応答パッドは、パッド $16.1 \times 24.1 \text{ cm}$ 、

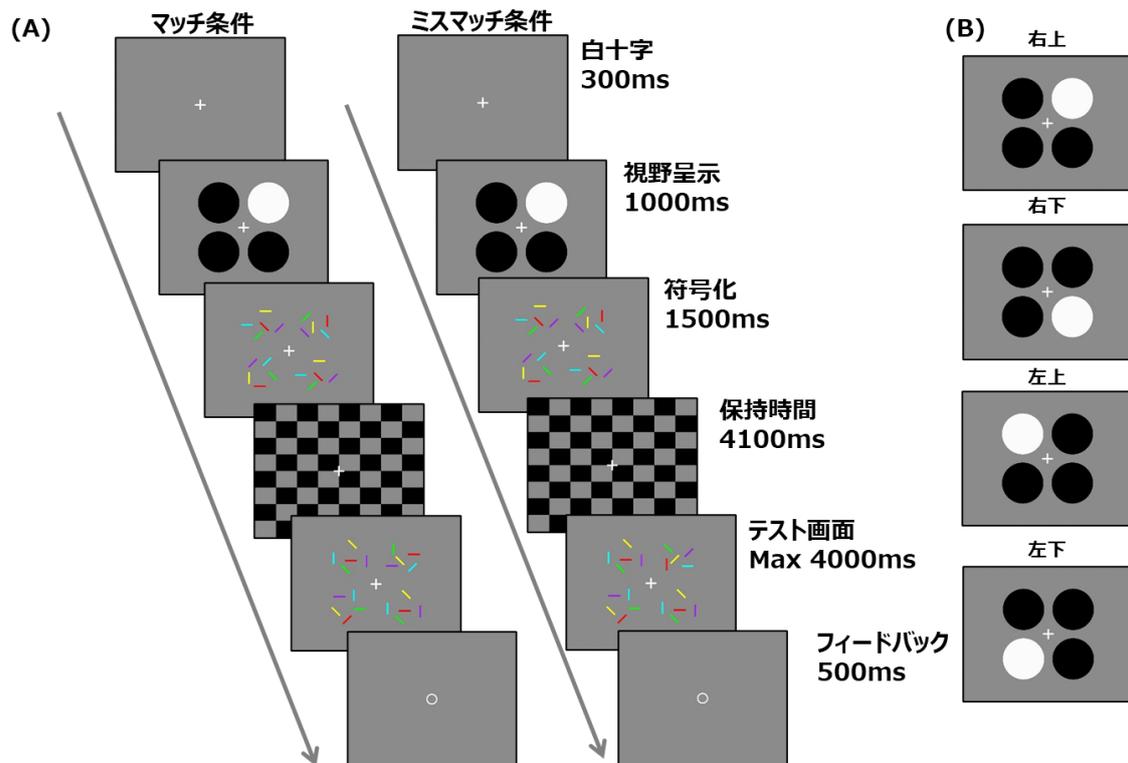


図 4-1 実験フロー (vDMTS) と色刺激呈示視野

(A) 実験フロー 300ms 間+を見続ける。画面は自動で色配置を記憶する視野を白色の円で表示した画面が 1000ms に移る。次に最初の色刺激を 1500ms 間呈示して符号化を行った。続いて画面は自動で CheckerPattern に変化し 4100ms 間記憶を保持した。次に自動で再び色刺激が呈示され、最初の色刺激と一致しているか不一致かを判断する。判断でき次第手元のボタンを押した。最後に被験者の回答が正解か否かをモニターに表示 (正解 : ○ 不正解 : ×) しフィードバックを行った。

(B) 色刺激の視野呈示 右上、右下、左上、左下の視野を示している。

(本図はこの論文のために作成)

ボタン 2.8×3.8cm、ボタン間隔 7.6cm と大きいものを用い操作性を向上させた。応答の反応に使用した手は両手であり、応答パッドのボタン(左:一致、右:不一致)上に指をおき、一致、不一致が判断でき次第、出来るだけ速く手元の応答パッドを押させた。最後に被験者の回答が正解か否かをモニターに表示(正解:○不正解:×)しフィードバックを行った。これら一連の課題が 1 試行であり実験は 1 ブロック24試行を5ブロック合計120試行で構成した。被験者には 1 ブロック(24試行)が終了すると実験を続けて行うか否かを自身で選択させた。休息を設けることで疲労対策とした。実験後被験者に目の疲れはあるか、どのように覚えたかといった内観をとった。被験者はまず予備試行として 60試行を行い、後日、本実験として120試行を行った。被験者には予備試行の実験前に、5つのライン状の刺激のうちの2か所(2色)が入れ替わる旨を説明した。

4.2.4 データ解析

反応時間は後の色刺激を呈示してから被験者が応答するまでの時間、また正答率は被験者の回答が正答であった比率とした。1 試行に対し、2回以上ボタンを押したとしても、回答、反応時間には反映しないようにした。正答率、反応時間は被験者毎にデータとしてまとめたが、15名の内、反応時間および平均正答率が標本平均±標本標準偏差の3倍値を超えていた各1名のデータを省いた14名(男性12名、女性2名、年齢:平均 21.4 才(年齢幅 21~24 才))の結果を解析対象とした。統計解析では、SPSS 19 (IBM、東京)を用いて、マッチ/ミスマッチ、視野の2因子の繰り返しのある場合の二元配置分散分析を行い、下位検定を行った。有意差水準は 5%未満とし、データはすべて平均±SE で示した。

4.3 実験結果

反応時間について視野およびマッチ/ミスマッチの2要因で二元配置分散分析を行い、図 4-2 (図 4-2-A 呈示視野別の反応時間、図 4-2-B マッチ/ミスマッチの反応時間)に示す。図 4-2-A に示す通り、反応時間は呈示視野に有意な差はみられなかった ($F(3,39)=1.584$, ns)。マッチ/ミスマッチの主効果は有意であり ($F(1,13)=59.276$, $p<0.000$)、ミスマッチの反応時間はマッチの反応時間より有意に短かった。視野とマッチ/ミスマッチの2因子の反応時間の交互作用は有意な差はみられなかった ($F(3,39)=0.932$, $p<0.427$)。反応時間の下位検定として視野(右上、右下、左上、および左下)毎のマッチ/ミスマッチの結果を図 4 に示す。いずれの視野(右上、右下、左上、および左下)もミスマッチの反応時間はマッチの反応時間より有意に短かった ($p=0.000$, $p=0.001$, $p=0.000$, $p=0.039$)。視野およびマッチ/ミスマッチの2因子で二元配置分散分析を行った。視野お

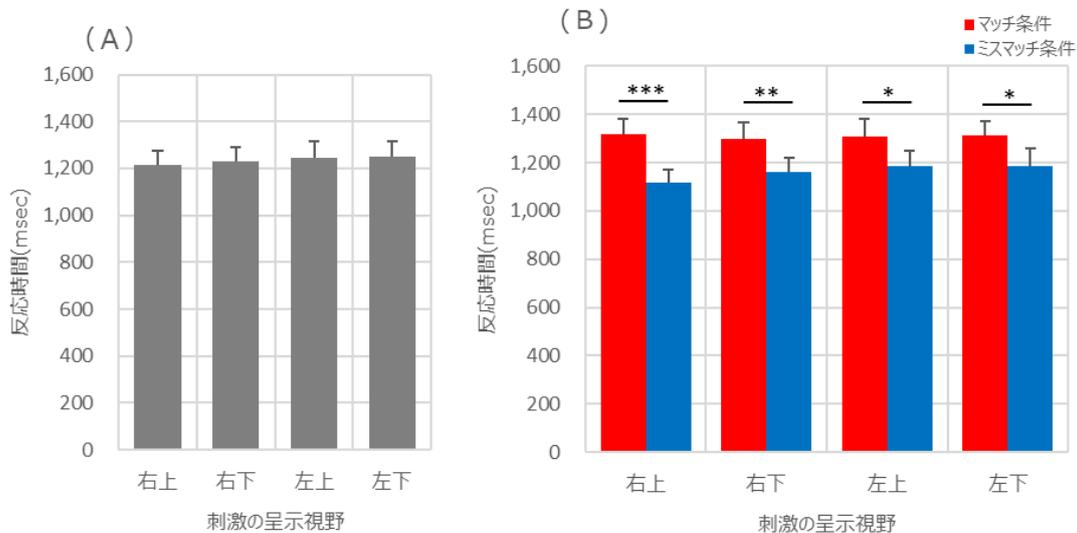


図 4-2 再認にかかる反応時間

(A) 色刺激の呈示視野を右上、右下、左上、左下にした際の再認にかかる反応時間を示す。(B) 色刺激の呈示視野を右上、右下、左上、左下とした際のマッチ条件およびミスマッチング条件の再認にかかる反応時間をしめす。***、 $p < 0.001$, *, $p < 0.05$

(本図はこの論文のために作成)

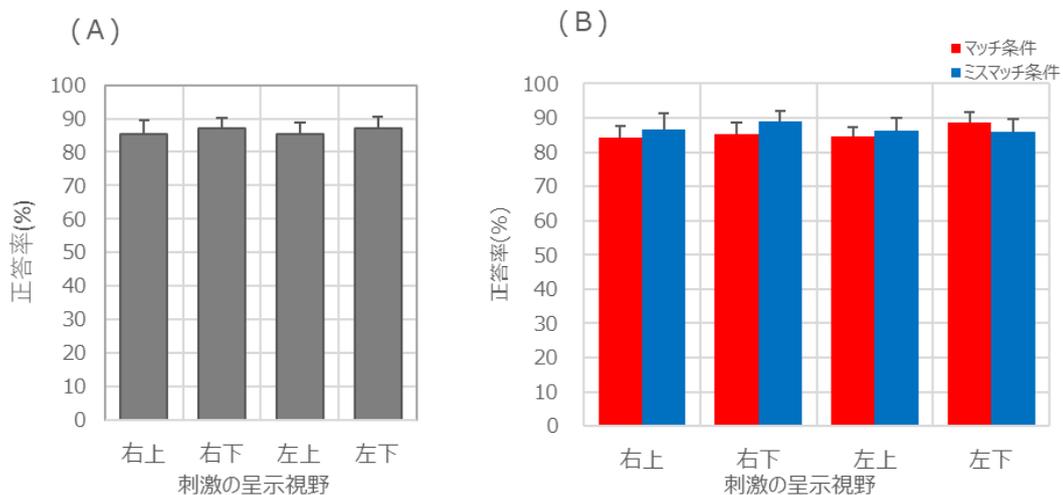


図 4-3 再認の回答の正答率

(A) 色刺激の呈示視野を右上、右下、左上、および左下にした際の再認の回答の正答率を示す。(B) 色刺激の呈示視野を上、下、右、および左とした際のマッチ条件およびミスマッチング条件の再認の回答の正答率を示す。

(本図はこの論文のために作成)

よびマッチ/ミスマッチの主効果、視野とマッチ/ミスマッチの2因子の回答の正答率および反応時間は有意な差はみられなかった($F(3, 39)=0.182, ns$, $F(1, 13)=1.083, ns$, $F(3, 39)=1.386, ns$)。

4.4 考察

本第4章(第Ⅲ実験)は第3章(第Ⅱ実験)の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究として、色刺激の形状を細長い長方形(以後、ライン状の刺激と称する)とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度(方位)を変えて先の実験と同様の右視野の優位性の有無を検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、第2章(第Ⅰ実験)と同様に、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。

4.4.1 視野の優位性が確認されなかった点について

はじめに予想していた右視野の優位性が確認されなかった点について述べる。視覚情報処理過程における高次視覚情報処理が関与した可能性があると考え。外界からの豊富な視覚情報は情報の処理の過程において様々な特徴に対して段階的に処理される。低次視覚は明るさ、色、運動、および奥行きなどの独立した特徴が抽出される。特徴が複数存在する場合には情報は特徴統合されトップダウン的に高次視覚情報として処理される(横澤, 1999)。今回の課題の情報処理は、色という特徴に加えて妨害因子としてライン状色刺激の方位という2つの特徴であり、特徴統合を経て情報が処理される高次視覚情報となった可能性があると考えられる。これまでに刺激の呈示視野の影響があることが知られている課題は独立した1つの特徴である低次視覚であった。そのため今回は予想していた右視野の優位性が確認されなかったと考えられる。

4.4.2 他の視覚的刺激のvDMTSを用いたマッチ/ミスマッチ条件の研究と比較

次に他の視覚的刺激のvDMTSを用いたマッチ/ミスマッチ条件の研究と比較する。色および形を変え視覚的に色に顕著な差異のある刺激を用いて連続フラッシュ抑制(CFS)実験をした研究(Ding et al., 2019)では、色に顕著な差異があると反応時間が速まる。視覚的入力に対するアウェアネス(visual awareness)に有意であると報告している。第2章(川島他, 2021a)は視覚刺激の色の配置が記憶に及ぼす影響に関する研究において、色刺激の配置の再認におけるミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件より速まることを報告した。ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件より速まる点は本研究結果と一致している。要因としては色刺激の呈示時間1500msが色の情報が記憶され表象として保持するのに十分であり、かつ刺激がポップアウトを引き起こす顕著性の高い刺

激であった可能性が推測される。Lee et al. (2002) は陰影により立体に見える視覚刺激を用いた実験で、シンプルかつ妨害刺激の数も少ない刺激はポップアウト現象を誘発することを明らかにしている。Lee et al. (2002) はこの実験でポップアウトは第二次視覚野で発生することも報告している。通常の色知覚が生じる視覚情報処理過程は第四次視覚野であるため、本研究の色の記憶の再認を速めた要因は、色の情報の伝達経路において第四次視覚野よりも前の第二次視覚野で再認されるこのポップアウト現象が関与したと考えられる。反応時間の下位検定ではいずれの呈示視野(右上、右下、左上、および左下)も、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件より有意に速まった。ポップアウトは前述の通り、第二次視覚野で発生するため視野に依存せず全ての呈示視野で優位性が確認されるはずである。しかし今回の結果は Hagenbeek & Strien (2002) の報告と同様に、視覚的注意が右上に向けられたことが関連した可能性がある。

4. 4. 3 高次視覚情報処理について

本論文第3章の色の短期記憶に及ぼす視覚刺激の呈示視野の影響に関する研究(川島他, 2021b)では再認の反応時間には有意な差が得られなかった。一方、正答率はマッチ/ミスマッチの主効果が有意であった。ミスマッチ条件の正答率はマッチ条件の正答率より有意に低い点は今回の結果と異なる結果であった。川島他(2021b)の研究は色刺激である赤、シアン、緑、および紫という色カテゴリーが異なる条件であり、かつ色命名の容易さが短期記憶時に言葉による符号化を生じた可能性があったことから、ヒトの脳のラテラルティ(脳の左半球による右視野の優位性)により、ミスマッチ条件において右視野の正答率が有意に高まったと推測した。本研究では色は同じであるが、妨害因子として方位が加わった。この妨害情報を制御するために高次視覚情報処理となり、色の認知の右視野優位が消失したと推測される。

以上の通り、色刺激をライン形状の視覚刺激とし、妨害因子としてライン状の色刺激の角度(方位)を変えた視覚刺激を用いた際、前述と同様の右視野優位であるかどうかについて検証した。その結果、反応時間は呈示視野に有意な差はみられなかった。一方、マッチ/ミスマッチの主効果は有意であり、ミスマッチの反応時間はマッチの反応時間より有意に遅まった。要因としては、ライン状の色刺激の角度(方位)が加わったことで視覚情報処理は高次視覚情報処理となり、低次視覚情報にみられる右視野優位がみられなかったと考える。改めて、色の視覚性短期記憶は高次視覚であり、言語的かつ分析的処理された可能性がある。本研究は色のみを変化させた視覚刺激を用いた単一実験のミスマッチ条件に限定した結果であることから、結論を断定するには限界があるも

のと考えている。今後は、他の色刺激や形などの本研究とは異なる視覚要素を加えた刺激を用いた研究が望まれる。

4.5 まとめ

色刺激の形状をライン状の刺激とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度（方位）を変えて先の実験と同様に右視野の優位性の有無を検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、第2章(第 I 実験)と同様に、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まることが確認された。要因としてはライン状の色刺激の角度(方位)が加わったことで、視覚情報処理は高次視覚情報処理となり、低次視覚情報にみられる右視野優位が得られなかったと考える。

第5章
ストループ効果を指標にした色名文字の認知に対する
視野の影響に関する研究
(第IV実験)

5. 1 研究の背景、目的

第2章(第I実験)で視覚刺激の要素の中の色の配置が記憶に及ぼす影響について検証した結果、色刺激の配置のミスマッチにより再認にかかる時間が短縮することを確認した。第3章(第II実験)ではミスマッチ条件の再認において下視野および上視野と比べて右視野は有意に回答の正確さが高まることを見出し、要因としては大脳の左半球の機能特性(ラテラリティ)と注意が影響した可能性があると推測した。色の視覚性短期記憶は、視覚刺激の情報処理の中でも言語的かつ分析的能力が伴う高次視覚情報処理が行われている可能性がある。続く第4章(第III実験)は第3章(第II実験)の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究である。色刺激の形状をライン状として、妨害因子としてライン状の色刺激の角度(方位)を変えた視覚刺激を用い、第2章(第I実験)および第3章(第II実験)と同様の視覚遅延見本合わせ(vDMTS)を用いて呈示視野として右視野優位が確認されるかどうかを検証した。その結果、呈示視野の影響はなく第2章(第I実験)と同様にミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件より有意に速まることを確認した。要因としてはライン状の色刺激の角度(方位)が妨害因子となり、視覚情報が高次視覚として処理されて、本来低次視覚で確認される呈示視野の影響かみられなかった可能性があると推測した。

以上、色の知覚および認知メカニズムに関する第I～第III実験の3つの実験の結果、色の配置のミスマッチ条件において再認の反応時間が有意に速まることがわかった。色がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となって視覚的注意が向けられ、色の情報が高次視覚情報として処理されたことが示唆された。後半は前半の実験で明らかとなった色の情報が高次視覚として処理される点について、さらに2つの追実験で検証した。後半1つめ第5章(第IV実験)は、第4章(第III実験)で用いた妨害因子の中の代表的な課題の1つであるストループ課題を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。

認知活動における妨害因子の代表的な課題にストループ課題がある(Stroop, 1935)。ストループ課題とは色名文字において、文字の色から認識される色情報と文字の意味から認識される色情報が一致しない場合にヒトはその情報を直感的に理解できず正しく理解するのに時間がかかる課題である。例えば青色で書かれた赤という色名文字は、赤色で書かれた赤という文字より理解するのに時間がかかる。これらの課題をストループ課題、また現象をストループ効果という。妨害因子の干渉には非対称性が存在することが知られている。文字を例に挙げて説明する。文字の色から認識される色情報と文字の意味から認識される色情報が一致しない条件において、文字の色情報を答える課題ではお互いが干渉し合って正しく理解できず答えるのに時間がかかる。しかし一方で文字の意味から認識される色情報を答える課題では干渉を受けない。例えば青色で書かれた赤と

いう色名文字で色の青を答えるには時間がかかるが、文字の赤と答えるのはスムーズに行える。これはヒトはまず色よりも文字を認識しようとする事に因るとされている(大道 & 松永, 2007)。これまでのストループの研究は主に刺激の属性(言語および表音文字・表意文字)を変化された研究が中心であり(MecLead, 1967, Kawashima et al., 2022)、ラテラルリティに及ぼす影響に関する研究は行われてこなかった。そこで本研究は、色刺激に妨害因子として色名文字を対象としたストループ課題を加えた場合でも第4章(第Ⅲ実験)と同様に右視野優位がみられなくなるかどうかについて検証した。

5.2 実験方法

5.2.1 被験者

本実験には、心身ともに健康であり課題の遂行に支障のない視力(矯正視力を含む)と判定が可能な色覚を有する15名の日本国籍の男女大学生が被験者として参加した。視力と色覚の確認は個人情報観点から検査は行わずに口頭で確認した(男性13名、女性2名、年齢:平均 20.9 才(年齢幅 20~22 才))。被験者は右利き14名および左利き1名であった。研究はヘルシンキ宣言に則り、実験開始前に被験者からインフォームドコンセントを取得するとともに個人情報保護をはかった。なお研究の実施にあたり東海大学の研究倫理委員会の承認を得た。

5.2.2 実験環境

色刺激(色名文字)は、縦横比 16:9 で解像度 1920×1080 ピクセルの 27 インチ液晶ディスプレイ(LG 27MP38VQ, CHINA)で呈示した。色名文字は図形・画像ソフトウェア Canvas14 (ACD Systems, 東京)で作成した。課題は心理学用実験制御プログラムソフトウェア SuperLab6 (Cedrus Corporation, CA, USA)を用いて制御した。実験はシールドルーム内で行い、被験者はモニターとの距離 57cm の位置に座りあご台であごと額を固定した。測定環境は温度 25.2 °C (22.0~26.5°C)とし机上面での平均照度は 254 lx (210~283 lx)であった。色刺激の輝度、色度測定は、分光放射計 SR-3A (TOPCON, 東京)を用いて行った。色度は CIE1931 色度座標 x 、 y で示した。輝度のコントラスト比は、色名を表す漢字の輝度/背景の輝度で求めた。

5.2.3 視覚刺激と課題

色刺激(色名文字)を図 5-1 に示す。色名文字は日本語の色の3原色(赤、青、および緑)および黄の漢字4文字としフォントは MS 明朝で各視野の中央に配置した。各色名文字の色は赤色

(35.6 cd/m²、x=0.6388、y=0.3343、R : G : B= 255: 0: 0)、青色 (16.8 cd/m²、x=0.1627、y=0.0909、R : G : B= 0 : 0 : 255)、緑色 (102 cd/m²、x=0.3219、y=0.6161、R : G : B= 0 : 255 : 0)、および黄色 (165 cd/m²、x= 0.4357、y=0.5165、R : G : B= 255 : 255 : 0)とした。色名文字の大きさは視角 10.1° ×10.1° とした。刺激は灰色(37.7 cd/m²、x= 0.3184、y=0.3315、R : G : B= 139 : 139 :139)の画面上に呈示され、画面中央部から各色名文字の中心部までの距離は視角 9.1° ~19.2° とし左右両端には刺激を配置しなかった。色名文字は図 5-1 に示すように画面の4つの視野 (右上、右下、左上、および左下) に配置した。色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字を4つの視野のうち1つに配置し、残りの視野には色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が異なる色名文字を呈示した。色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字は、赤色で書かれた赤は「赤」、青色で書かれた青は「青」、緑色で書かれた緑は「緑」、黄色で書かれた黄は「黄」と称した。1 実験あたり同数発生させた。各色の背景色灰色とのコントラスト比は、赤色 (0.94:1)、青色 (0.45:1)、緑色 (2.7:1)、黄色 (4.4:1)であった。

	右上	右下	左上	左下
赤一致	緑 赤 黄 青	黄 緑 青 赤	赤 青 緑 黄	青 黄 赤 緑
青一致	赤 青 緑 黄	緑 赤 黄 青	青 黄 赤 緑	黄 緑 青 赤
緑一致	黄 緑 青 赤	青 黄 赤 緑	緑 赤 黄 青	赤 青 緑 黄
黄一致	青 黄 赤 緑	赤 青 緑 黄	黄 緑 青 赤	緑 赤 黄 青

図 5-1 色名を表す漢字によるストループ課題

色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字を 4 つの視野のうちの 1 つに配置した。残りの視野には色名文字の色情報と色名文字の漢字そのものの意味から認識される色情報が異なる色名文字を呈示した。

(川島他, 2022, p.2, 図 1)

(転載許可を東海大学より取得)

本実験の実験フローを図 5-2 に示す。被験者には 500ms 間画面中央の白十字 (162cd/m^2 、 $x=0.3172$ 、 $y=0.3300$ 、 $R : G : B = 255 : 255 : 255$) を注視させた。その後被験者は最後まで中央の白十字を見続けた。次に符号化画面として最初の色刺激を 400ms 間呈示した。その後再び白十字の画面が呈示され、ここで被験者には色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示されていた視野を判断し、判断でき次第出来るだけ速く手元の応答パッド RB-844 (Cedrus Corporation、CA、USA) の 4 つのボタン(右上、右下、左上、および左下)を押すよう教示した。応答は最大 1500ms とした。応答パッドはパッド $16.1 \times 24.1\text{cm}$ 、ボタン $2.8 \times 3.8\text{cm}$ 、ボタン間隔 7.6cm と大きいものを用い操作性を向上させた。応答に使用した手は両手であり応答パッドの 4 つのボタンの上に指をおき、判断でき次第出来るだけ速く手元の 4 つのボタン (右上、右下、左上、および左下)を押させた。最後に被験者の回答が正解か否かをモニターに表示 (正解:○、不正解:×) しフィードバックを行った。これら一連の課題が 1 試行であり、実験は 1 ブロック 16 試行を 8 ブロック合計 128 試行で構成した。被験者には 1 ブロック (16 試行) が終了すると、実験を続けて行うか否かを自身で選択させ、休息を設けることで疲労対策とした。実験後に被験者には目の疲れはあるかと認識しやすい色名文字、色、および視野はあったかなどの内観をとった。被験者はまず予備試行として 64 試行を行い、後日本実験として 128 試行を行った。

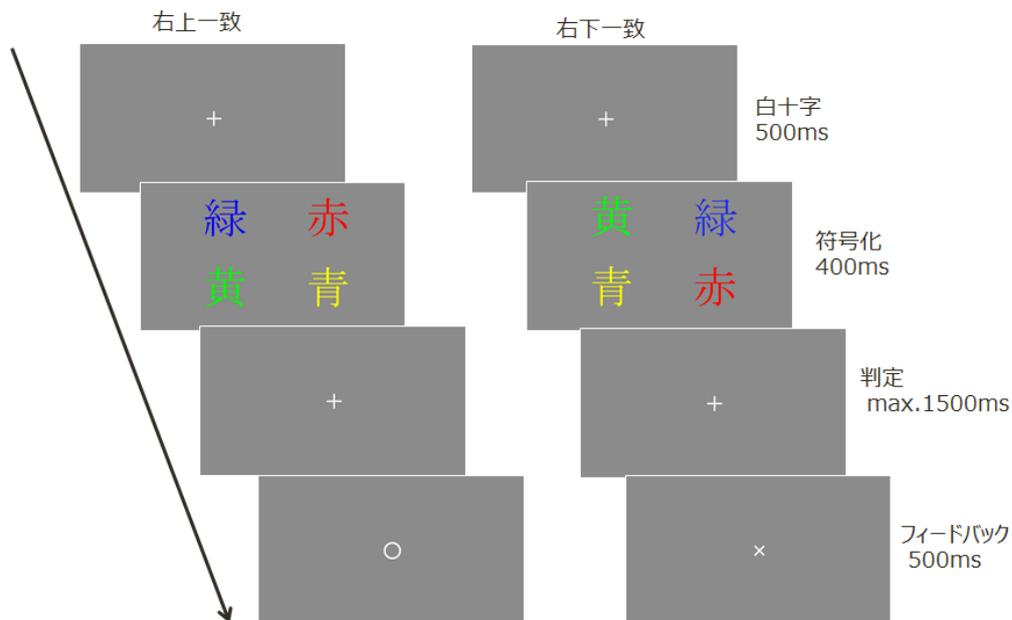


図 5-2 実験フロー

500ms 間、白十字+を見続ける。次に刺激を 400ms 間呈示し符号化を行った。続いて画面は自動で最初の白十字の画面に変化する。色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示されている視野を判断する。判断でき次第手元の 4 つのボタン(右上、右下、左上、および左下)を押した。応答は最大 1500ms とした。最後に被験者の回答が正解か否かをモニターに表示 (正解 : ○、不正解 : ×) しフィードバックを行った。

(川島他, 2022, p.2, 図 2)

(転載許可を東海大学より取得)

5. 2. 4 データ解析

反応時間は被験者が応答するまでの時間、また正答率は被験者の回答が正答であった比率とした。1試行に対し2回以上ボタンを押したとしても2回目は反応時間、回答には反映しないようにした。反応時間および正答率は被験者毎にデータとしてまとめた。15名のうち平均反応時間および平均正答率が標本平均±標本標準偏差の3倍値を超えた被験者がいなかったため全てのデータを用いた。統計解析は SPSS 19 (IBM、東京)を用い視野 (右上、右下、左上、および左下)、色 (赤、青、緑、および黄) の2因子の繰り返しのある場合の二元配置分散分析を行い、下位検定は Bonferroni 法により行った。有意差水準は 5%未満としデータはすべて平均±SE で示した。

5. 3 実験結果

反応時間について視野および色の二元配置分散分析を行い、図 5-3 (図 5-3-A 視野別色別の反応時間および図 5-3-B 色別の反応時間)に示す。反応時間は色の主効果が有意であり ($F(3,42)=18.097, p<0.001$)、「赤」の反応時間は「青」、「緑」、および「黄」より有意に短かった。視野は有意な差はみられなかった ($F(3,42)=0.548, ns$)。視野と色の 2 因子の反応時間の交互作用は有意ではなかった ($F(3,42)=1.146, ns$)。下位検定の結果を図 5-4 に示す。図 5-4 (図 5-4-右上、図 5-4-右下、図 5-4-左上、図 5-4-左下)は、実際の視野と合わせ右上、右下、左上、および左下の位置に示す。いずれの視野も「赤」の反応時間が「青」、「緑」、および「黄」より有意に短い事が確認された (右上の「赤」と「黄」の比較: $p=0.025$ 、右下の「赤」と「青」の比較: $p=0.016$ 、「赤」と「緑」の比較: $p=0.007$ 、「赤」と「黄」の比較: $p=0.006$ 、左上の「赤」と「緑」の比較: $p=0.007$ 、「赤」と「黄」の比較: $p=0.038$ 、左下の「赤」と「緑」の比較: $p=0.008$)。その他、反応時間は有意な差がみられなかった(いずれも ns)。

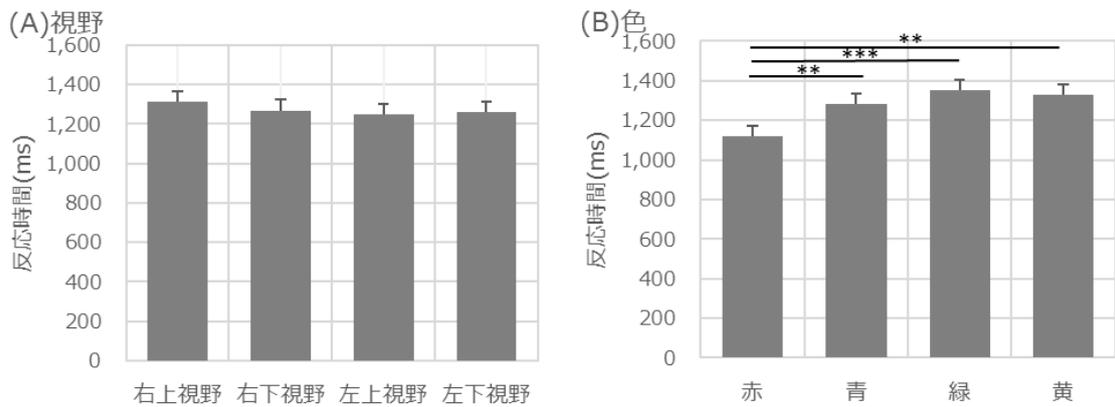


図 5-3 再認にかかる反応時間

(A) 視野別の反応時間 色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示された視野が右上、右下、左上、および左下の条件の時の再認にかかる反応時間を示す。(B) 色別の反応時間 色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字の色が赤、青、緑、および黄の条件の時の再認にかかる反応時間を示す。

***、 $p < 0.001$ 、**、 $p < 0.01$

(川島他, 2022, p.4, 図 3)

(転載許可を東海大学より取得)

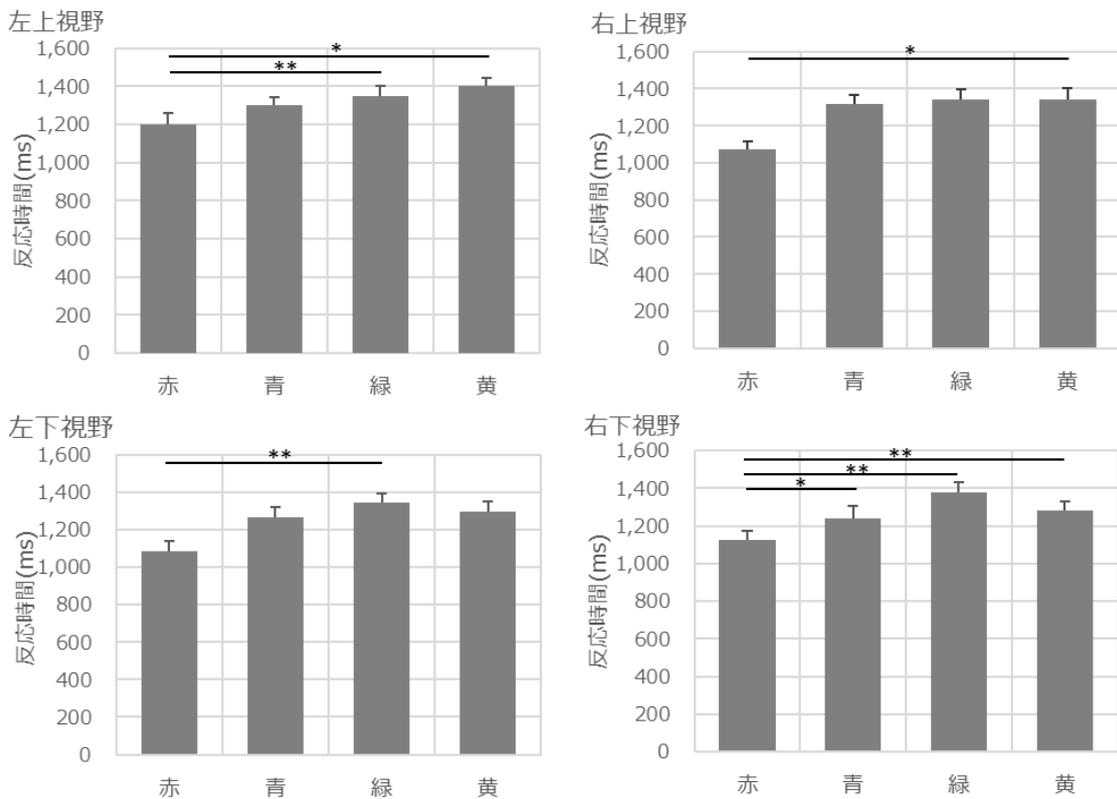


図 5-4 再認にかかる反応時間

反応時間の下位検定の際の色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示された視野が右上、右下、左上、左下の条件の時の赤、青、緑、および黄の反応時間を示す。実際の視野と合わせ右上、右下、左上、左下の位置に示した。**, $p < 0.01$ 、*, $p < 0.05$

(川島他, 2022, p.4, 図 4)

(転載許可を東海大学より取得)

次に、正答率について視野および色の二元配置分散分析を行い、図 5-5 (図 5-5-A 視野別の正答率および図 5-5-B 色別の正答率) に示す。色の主効果において正答率は有意に高まった ($F(3,42)=10.957, p<0.001$)、「赤」の正答率は「緑」および「黄」の正答率より、また「青」の正答率は「緑」および「黄」より有意に高まった。視野および色の2因子の反応時間の交互作用は有意ではなかった ($F(3,42)= 1.680, ns$)。下位検定の結果を図 5-6 に示す。図 5-6 (図 5-6-右上、図 5-6-右下、図 5-6-左上、および図 5-6-左下) は実際の視野と合わせて右上、右下、左上、および左下の位置に示した。下位検定の結果では左上では「赤」の正答率が「緑」および「黄」の正答率より有意に高まった(「赤」と「緑」: $p=0.027$ 、「赤」と「黄」: $p=0.027$)。左下では、「赤」および「青」の正答率は「黄」の正答率より有意に高まった(「赤」と「黄」: $p=0.004$ 、「青」と「黄」: $p=0.006$)。その他の正答率に有意な差はみられなかった(いずれも ns)。

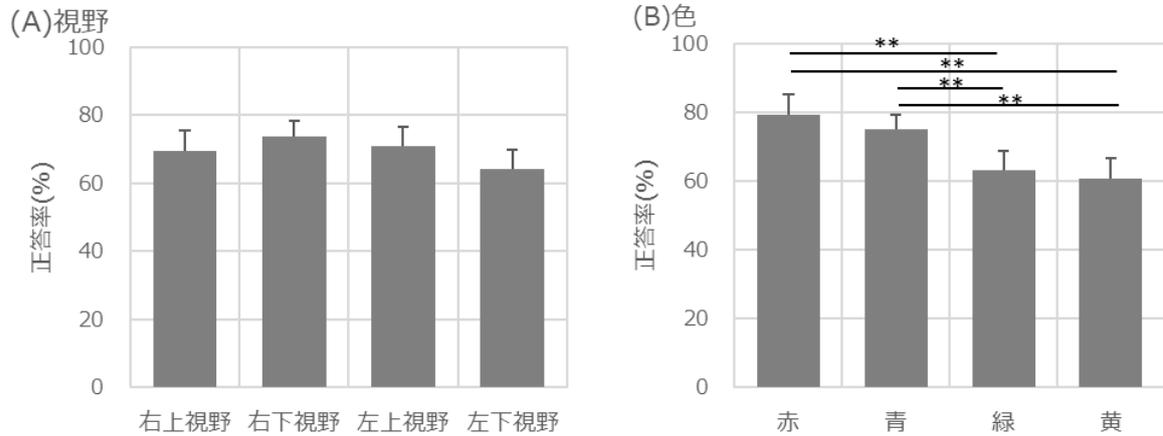


図 5-5 再認の回答の正答率

(A) 視野別の再認の回答の正答率 色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示された視野が右上、右下、左上、および左下の条件の時の正答率を示す。(B) 色別の再認の回答の正答率 色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字の色が赤、青、緑、および黄の条件の時の正答率を示す。**, $p < 0.01$

(川島他, 2022, p.4, 図 5)

(転載許可を東海大学より取得)

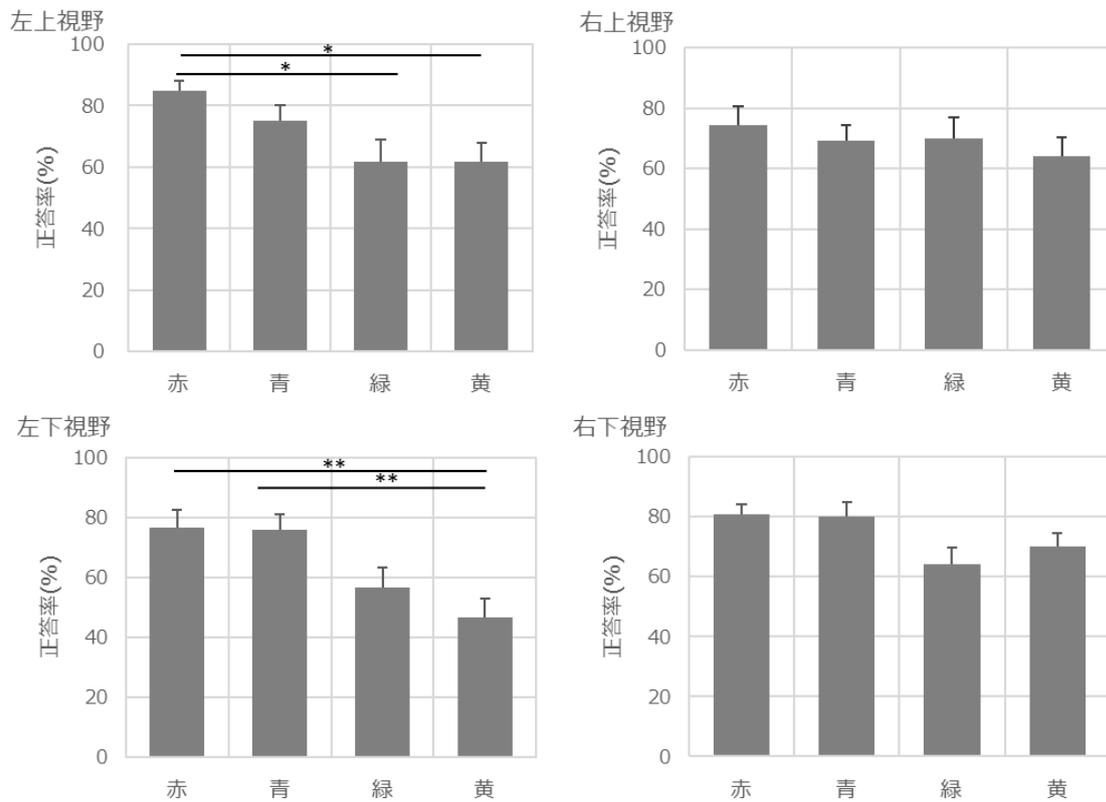


図 5-6 再認の回答の正答率

正答率の下位検定の際の色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示された視野が右上、右下、左上、および左下の条件の時の赤、青、緑、および黄の反応時間を示す。実際の視野と合わせ右上、右下、左上、および左下の位置に示した。

**、 $p < 0.01$ 、*、 $p < 0.05$

(川島他, 2022, p.4, 図 6)

(転載許可を東海大学より取得)

5.4 考察

本研究は色刺激に妨害因子として色名文字を対象としたストループ課題が加えた場合でも、第4章(第Ⅲ実験)と同様に右視野優位がみられなくなるかどうかについて検証した。その結果、再認にかかる反応時間は呈示視野による有意な差はなく色としては「赤」という特定の色の反応時間に有意な差がみられた。「赤」は「青」、「緑」、および「黄」より有意に反応時間が速まった。下位検定の結果では「赤」は全てではないもののどの視野においても反応時間は有意に速まることがわかった。再認の回答の正確さは呈示視野による有意な差はなかったが、色による有意な差はみとめられた。下位検定の結果では「赤」および「青」は「緑」および「黄」より回答の正確さは有意に高まることが確認された。

5.4.1 視野の影響を受けない点について

はじめに予想していた右視野の優位性がみられなかった点について述べる。視覚情報の処理の過程における高次視覚情報処理が関与した可能性があると考え。外界からの豊富な情報の処理においては、まず低次視覚として明るさ、色、運動、および奥行きなどの独立した特徴が抽出される。特徴が複数存在する場合には情報は特徴統合されてトップダウン的に高次視覚情報として処理される(横澤, 1999)。今回のストループ課題の情報処理は色名文字の色情報と漢字そのものの意味から認識される色情報の2つの特徴の特徴統合を経て処理される高次視覚情報であったと推測される。これまでに刺激の呈示視野の影響があることが知られている課題は独立した1つの特徴の低次視覚で処理であった。そのため今回は予想していた右視野優位はみられなかったと考える。

5.4.2 赤色で書かれた赤という色名文字が再認において反応時間が速まり、回答の正確さが高まった点について

次に、色として「赤」という特定の色名文字の再認の反応時間が速まり、回答の正確さが高まった点について述べる。本研究の刺激は4つの視野(右上、右下、左上、および左下)に呈示された4つの色名文字の中から色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が一致する色名文字が呈示されている視野を選択する課題であった。これが視覚探索課題(visual search task)となった可能性があると考え。視覚探索とは類似した刺激の中から特定の属性をもつ目標刺激をすばやく検出するものである(横澤 & 熊田, 1996)。本研究の実験後に被験者に認識しやすい色名文字、色、および視野はあったかについて内観をとった。その結果、認識しやすい

色名文字は 15 人中 11 人 (73%) が「赤」、また色は 13 人 (87%) が赤色が最も認識しやすかったと述べた。以上より、今回の刺激の特徴の中では赤という色名文字と赤色という色の両方または片方が Maljkovic & Nakayama (1994) が報告しているポップアウトのような顕著性の高い刺激となり、反応時間が有意に速まり、回答の正確さが有意に高まった可能性があると考えた。

はじめに赤という漢字について述べる。漢字の特徴の1つに字画がある。今回用いた4つの漢字の字画は「赤」は7画、「青」は8画、「緑」は14画、また「黄」は11画であった。「赤」と「青」の字画は他の文字より少ない。また他の特徴として陰影があるが「青」の陰影は「黄」と類似している。前述の内観の結果とこれらの漢字の特徴から鑑みると、「赤」は字画が少なくかつ他の漢字に比べて陰影がシンプルであることからポップアウト刺激となった可能性が高いと考えられる。Lee et al. (2002) および川島他 (2021a) の研究ではシンプルなポップアウト刺激により反応時間が速まることが報告されているが、本研究はシンプルという点で一致している。ポップアウトは第四次視覚野より前の第二次視覚野で起こることが報告されている (Lee et al., 2002)。以上より、本研究における「赤」という漢字はポップアウト刺激となり反応時間を短縮させた可能性が示唆される。色はポップアウトする属性の1つであることが報告されている (横澤 & 熊田, 1996)。しかし赤色が他の色と比較してポップアウト刺激となりうるという報告はこれまでない。そのため、ポップアウト刺激となったとは考えられない。

次に赤色という色の特徴について述べる。赤色は危険箇所や避難経路などの安全性を誰もが遠くからひと目でわかるように示す色として定義されている JIS 安全色 (赤・黄赤・黄・緑・青・赤紫の6色)の1つである (JIS Z 9101:2018(2018)、JIS Z 9103:2018(2018))。これまでに種々の実証的検討が行われてきた (大島, 1954、神作 & 福本, 1972)。本研究に用いた赤色の色味は JIS 安全色とはやや異なるものの、色カテゴリーとしては4色のいずれも安全色である。また落合 & 齋藤 (2005) は日本人学生の安全色のリスク認知に関する研究で赤色は高度の危険を意味する色として認識されやすいことが報告されている。以上のことから、赤色は顕著性の高い刺激として視覚的注意を惹起したと推測される。

最後に刺激の特徴のうちの「赤」という漢字と赤色という色の相互の情報処理過程について考察する。Treisman & Gelade (1980) は視覚探索課題の代表的なモデルとして、特徴統合理論を提唱した。特徴統合理論では視覚探索課題は妨害刺激に対し1つの特徴を有する目標刺激を探索する特徴刺激 (feature search) 条件と複数の特徴が結合する目標刺激を探索する結合刺激 (conjunction search) 条件があるとしている (Treisman & Sato, 1990)。ストループ課題の特徴は色名文字の色情報から認識される色情報と、色名文字そのものの意味から認識される色情報という2

つの特徴を有することから後者の結合刺激条件といえる。Wolfe JM. (1994)により提唱された誘導探索モデル (Guided Search model)では、複数の刺激(属性)である結合刺激において、ポップアウトは逐次行われるとされている。この点でも今回の研究においてはポップアウトが行われた可能性が高いと考える。

本研究では応答パッドを両手で押すよう被験者に求めたため、利き手によって反応時間に差が生じることが懸念された。実際に被験者は15名中右利きが14名および左利きが1名であったため、利き手である右の応答パッド(右上、右下)の反応時間が速まり回答の正確さが高まる可能性があった。しかし今回の結果では、視野による反応時間と回答の正確さに統計的に有意な差がみられなかったことから利き手の影響は小さかったと考えた。本研究は色、文字のみを変化させた視覚刺激を用いた単一実験の条件に限定した結果であることから、結論を断定するには限界があるものと考えている。今後は、他の色刺激や形、妨害因子などの本研究とは異なる刺激要素を加えた刺激を用いた研究が望まれる。

5.5 まとめ

本研究は色刺激に妨害因子として色名文字を対象としたストループ課題が加えた場合でも、第4章(第Ⅲ実験)と同様に右視野優位がみられなくなるかどうかについて検証した。その結果、再認にかかる反応時間は呈示視野による有意な差はなく色としては「赤」という特定の色の反応時間に有意な差がみられた。「赤」は「青」、「緑」、および「黄」より有意に反応時間が高まった。下位検定の結果では「赤」は全てではないもののどの視野においても反応時間は有意に速まることがわかった。再認の回答の正確さは呈示視野による有意な差はなかったが、色による有意な差はみとめられた。下位検定の結果では「赤」および「青」は「緑」および「黄」より回答の正確さは有意に高まることが確認された。要因としては、赤と文字がポップアウト刺激となり、かつ顕著性の高い赤色に視覚的注意が向けられて高次視覚情報として処理されたことが関連した可能性があると推測される。

第6章

顔パーツの短期記憶に関する視野の影響に関する研究 (第V実験)

6.1 研究の背景、目的

色の知覚および認知メカニズムに関する第Ⅰ～第Ⅲ実験の3つの実験の結果、色の配置のミスマッチ条件において再認の反応時間が有意に速まることがわかった。色がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となって視覚的注意が向けられ、色の情報が高次視覚情報として処理されたことが示唆された。後半は、前半の実験で明らかとなった色の情報が高次視覚として処理される点について、さらに2つの追実験で検証した。後半1つめ第5章(第Ⅳ実験)は、第4章(第Ⅲ実験)で用いた妨害因子の中の代表的な課題の1つであるスループ課題を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなかった。一方、色名文字の中で赤は青、緑、および黄より再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。要因としては、赤は他の文字より画数が少なくシンプルな文字であったことからポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となった可能性がある。また赤色という色は他の色より顕著性が高く、視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理された可能性があると推測した。第6章(実験Ⅴ)はイラスト状の顔パーツ刺激を用いて同様に呈示視野の影響の有無について検証した。イラスト状の顔パーツ(目、耳、口、および鼻)を4つの視野(右上、右下、左上、および左下)に1つずつ呈示した。その後1つの顔パーツを呈示して先の刺激の中のどの視野に呈示されていたかを回答させた。顔パーツの刺激には顕著性の高い顔パーツである目を含み、顕著性の高い刺激による効果を確認することを目的とした。

顔認知について述べる。顔認知は前述の色とは異なる認知過程を経る。ヒトは環境に順応して他者と良好な関係を維持するうえで対面した他者を素早く判別して状態を認識することが大切である。顔の認知は日常の社会生活の視覚刺激のオブジェクト認知(object recognition)の中でも重要なものの1つとされている。オブジェクト認知とは目の前の物体を日常で以前に経験したものと同じものだと再認識することをいい、顔認知はオブジェクト認知の1つといえる(Ullman (1995); 新美・上田・横澤(2016))。

顔の認知に関する研究はこれまで、顔全体や表情の認知プロセスおよび認知の情報処理の過程で活性化する脳の部位に関する研究が盛んに行われてきた。顔認知に関する研究としてはRizzolatti et al. (1971)は顔認知の視野に関する研究において顔は非言語性刺激として大脳の右半球で左視野優位で情報処理が行われることを報告した。その後の研究とそれらをまとめたRohdes (1985)の顔処理の階層ステージモデルにおいては網膜像では左右の視野差はない。しかし輪郭や目および鼻などの位置の認識と表象の生成の段階においては左視野が優位となる事が報告されている。さらに彼らは特徴(目、鼻、および口)などを符号化する場合は大脳の左半球により右視野優位で情報が処理されるなど、顔の認知における優位視野は特徴や処理過程により変

化するということを明らかにしている。一方、Lindsay et al. (2012) は目、鼻、および口の顔パーツに注目した。顔写真のパーツの視覚刺激を用いて顔パーツを単独で呈示した場合と各顔パーツを組み合わせて呈示した場合に情報処理の過程で活性化する部位を f-MRI を用いて検討した。その結果、呈示視野の有意な差はないことを報告した。一方、イラスト状の顔パーツを視覚刺激とした視野の影響に関する研究報告はこれまでなされていない。本研究ではイラスト状の顔パーツを用いても写真と同様な結果が得られるかどうかを検証した。

6.2 実験方法

6.2.1 被験者

本実験には、心身ともに健康であり課題の遂行に支障のない視力（矯正視力を含む）と判定が可能な視覚を有する15名の日本国籍の男女大学生が被験者として参加した。視力と視覚の確認は個人情報の観点から検査は行わず口頭で確認した（男性13名、女性2名、年齢幅[年齢±標準偏差: 22.6 ± 2.0 才]）。被験者は全て右利きであった。研究はヘルシンキ宣言に則り、実験開始前に被験者からインフォームドコンセントを取得するとともに個人情報保護をはかった。なお、研究の実施にあたり東海大学の研究倫理委員会の承認を得た（承認番号:21065）。

6.2.2 実験環境

視覚刺激は、縦横比 5:4 の解像度 1280×1024 ピクセルの 17 インチ CRT モニター（NEC CRT ディスプレイDV17D2）で呈示した。刺激は図形・画像ソフトウェア Canvas14（ACD Systems, 東京）、課題は心理学用実験制御プログラムソフトウェア SuperLab5（Cedrus Corporation, CA, USA）を用いて作成した。実験はシールドルーム内で行い被験者はモニターとの距離 56cm の位置に座り、あご台であごと額を固定した。測定環境は温度 24.8°C ($24.1 \sim 25.9^{\circ}\text{C}$)、机上面での平均照度は 292 lx ($238 \sim 320$ lx)であった。色刺激の輝度、色度測定は、分光放射計 SR-3A（TOPCON, 東京）を用いて行った。色度は CIE1931 色度座標 x, y で示した。

6.2.3 視覚刺激と課題

刺激（顔パーツ課題）と課題を図 6-1 に示す。刺激は 4 つの顔のパーツ（目、耳、口、および鼻）の視覚刺激を白色 ($86.31\text{cd}/\text{m}^2$, $x=0.2911$, $y=0.3051$, $R : G : B = 255 : 255 : 255$) の背景の上に、黒色 ($1.30\text{cd}/\text{m}^2$, $x=0.4047$, $y=0.3709$, $R : G : B = 0 : 0 : 0$) で、視角 $12.5^{\circ} \times 12.5^{\circ}$ の大きさで示した。視覚刺激は画面中央から視角 $5.7^{\circ} \sim 16.3^{\circ}$ の画面の右上、右下、左上、および左

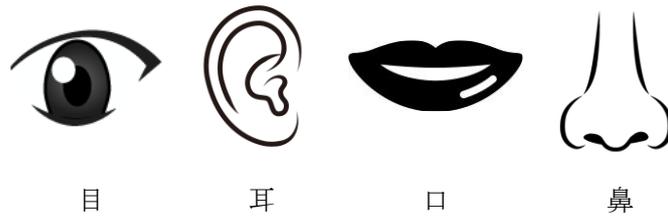


図 6-1 刺激

(川島他, 2023, p.28, 図 1)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

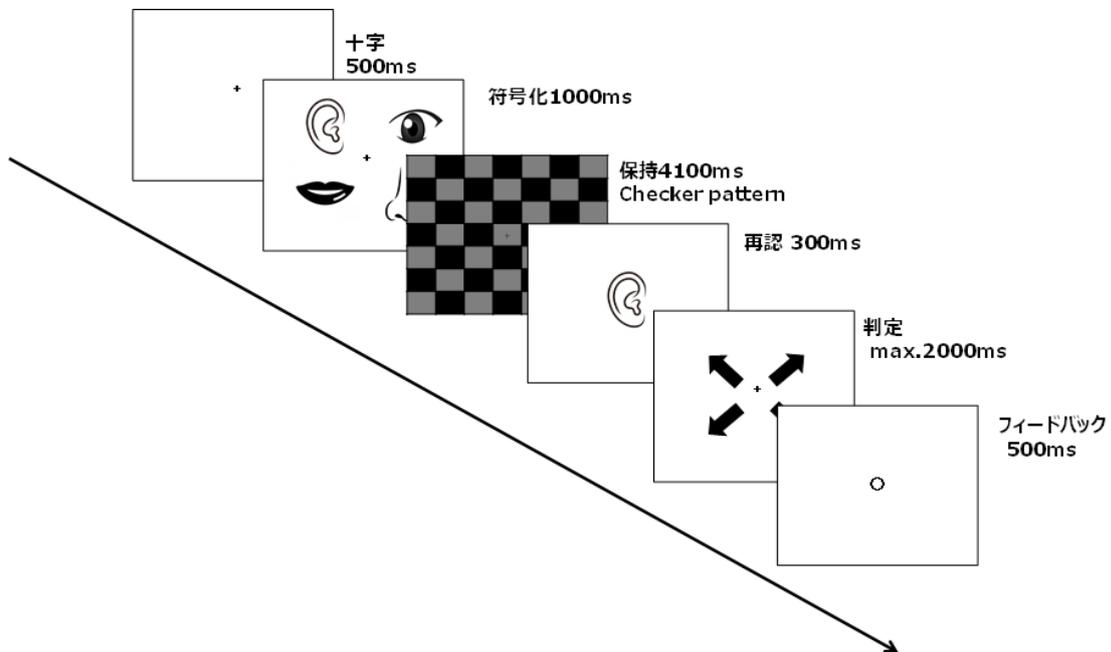


図 6-2 実験フロー

最初に、500ms 間十字を見続ける。次に 4 つの顔のパーツが呈示された刺激を 1000ms 間呈示し、符号化を行った。次に画面は自動で Checker pattern に変化し 4100ms 間記憶を保持する。続いて再び先ほどの 4 つのうち顔パーツの内の 1 つが中央部に 300ms 間呈示される。次の判定の画面で先ほどと同じパーツが呈示された視野を判定する。判定でき次第、手元の 4 つのボタン(右上、右下、左上、左下)を出来るだけ早く押す。最後にフィードバックとして、被験者の回答が正答だった場合は○を、間違っていた場合は×を表示させた。

(川島他, 2023, p.28, 図 2)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

下視野に配置した。顔のパーツは4つの視野に配置する関係上、顔に存在する目、口、および鼻に顔の側面に存在する耳を加えた。顔パーツは白黒のイラスト画像を用いた(図6-1)(出典元: 目、鼻、耳 <https://illustimage.com/>、口 <https://www.silhouette-illust.com/illust/30430>)。なおこれらのイラスト画像は著作権フリーであることを確認している。顔パーツは1実験あたり同数発生させた。

次に課題について述べる。課題を図6-2に示す。被験者には500ms間、画面中央の十字(1.30 cd/m^2 , $x=0.4047$, $y=0.3709$, $R:G:B=0:0:0$)を注視させた。その後被験者は最後まで中央の十字の位置を見続けた。次に4つの顔のパーツ(目、耳、口、および鼻)の視覚刺激を4つの視野(右上、右下、左上、および左下)に呈示した画面を1000ms間呈示した。次に画面は自動で4100ms間Checker pattern(視角 $2.5^\circ \times 3.1^\circ$ の黒色(1.30 cd/m^2 , $x=0.4047$, $y=0.3709$, $R:G:B=0:0:0$)とグレー色(28.05 cd/m^2 , $x=0.2923$, $y=0.3051$, $R:G:B=140:140:140$)の一辺7つずつの格子パターン)に移り、記憶を保持した。その後画面は中央に先ほどの4つの顔パーツのうちの1つのパーツを示した画面に移り300ms間呈示した。次に画面は自動で判定の画面に移る。ここで先の画面で同じ顔パーツが呈示されていた位置を判定し、手元の応答パッドRB-844(Cedrus Corporation, CA, USA)の4つのボタン(右上、右下、左上、および左下)を出来るだけ早く押させた。応答は最大2000msとした。応答パッドはパッドサイズ $16.1 \times 24.1 \text{ cm}$ 、ボタン $2.8 \times 3.8 \text{ cm}$ 、ボタンの中心間隔は 7.6 cm と大きいものを用いて操作性を向上させた。応答に使用した手は両手であり、応答パッドの4つのボタンに右上は右上のボタンに右手人差し指を、右下は右下のボタンに右手親指を、左上は左上のボタンに左手人差し指を、さらに左下は左下のボタンに左手親指をそれぞれ置いた。最後に被験者の回答が正解であったか不正解だったかを画面中央に○、×の記号で表示し、フィードバックを行った。これら一連の課題が1試行であり、実験は1ブロック48試行で、2ブロック合計96試行で構成した。被験者は1ブロック(48試行)が終了すると実験を続けて行うか否かを自身で選択させて休息を設けることで疲労対策とした。実験後、被験者に目の疲れはあるか、どのように覚えたか、覚えやすいパーツはあったかといった内観をとった。被験者はまず予備試行として48試行を行い、後日本実験として96試行を行った。

6.2.4 データ解析

反応時間は後で色刺激を呈示してから被験者が応答するまでの時間、また正答率は被験者の回答が正答であった比率とした。1試行に対して2回以上ボタンを押したとしても回答および反応時間には反映しないようにした。反応時間および正答率は被験者毎にデータとしてまとめた。15名の

うち平均正答率および平均反応時間が標本平均±標本標準偏差の 3 倍値を超えた被験者がいなかったことから全てのデータを用いた。統計解析は SPSS 19 (IBM、東京)を用い呈示視野、顔パーツの 2 因子の繰り返しのある場合の二元配置分散分析を行い、下位検定は Tukey 法により行った。有意差水準は 5%未満とし、データはすべて平均±SE で示した。

6.3 結果

反応時間について呈示視野および顔パーツの二元配置分散分析を行い、図 6-3 (図 6-3-A 呈示視野別の反応時間、図 6-3-B 顔パーツ別の反応時間)に示す。図 6-3-A に示す通り、反応時間は呈示視野に有意な差はみられなかった ($F(3,42)=1.468$, ns)。顔パーツの主効果は有意であり ($F(3,42)=7.724$, $p<0.000$)、目の反応時間は耳、口、および鼻の反応時間より有意に短かった。呈示視野と顔パーツの 2 因子の反応時間の交互作用は有意ではあった ($F(3,42)=2.066$, $p<0.047$)。反応時間の下位検定として呈示視野(右上、右下、左上、および左下)毎の顔パーツの結果を図 6-4 (図 6-4-右上、図 6-4-右下、図 6-4-左上、図 6-4-左下) に示す。図 6-4 は実際の視野と合わせて図中の右上、右下、左上、および左下の位置に示した。呈示視野(右上、右下、左上、および左下)では有意な差はみられなかった。視野(右、左、上、および下) 毎の顔パーツの結果を図 6-5 (図 6-5-右、図 6-5-左、図 6-5-上、図 6-5-下)で示す。右において目の反応時間は耳より有意に短かった(目と耳の比較: $p=0.024$)。

次に、正答率について呈示視野および顔パーツの二元配置分散分析を行い、図 6-6 (図 6-6-A 呈示視野別の正答率、図 6-6-B 顔パーツ別の正答率)に示す。図 6-6-A に示す通り、4つの呈示視野では有意な差はみられなかった ($F(3,42)=1.931$, ns)。顔パーツの主効果は有意であり ($F(3,42)=3.069$, $p<0.038$)、呈示視野と顔パーツの 2 因子の正答率の交互作用は有意な差はみられなかった ($F(3,42)=1.707$, ns)。正答率の下位検定として、呈示視野(右上、右下、左上、および左下)毎の顔パーツの結果を図 6-7 (図 6-7-右上、図 6-7-右下、図 6-7-左上、図 6-7-左下) に示す。図 6-7 は実際の視野と合わせて、図中の右上、右下、左上、および左下の位置に示す。視野(右、左、上、下)毎の顔パーツの結果を図 6-8(図 6-8-右、図 6-8-左、図 6-8 上、図 6-8-下) に示す。右において目の正答率は耳より有意に高まった(目と耳の比較: $p=0.029$)。右と左において、右の耳の正答率は左の耳より有意に高まった(右と左の比較: $p=0.016$)。

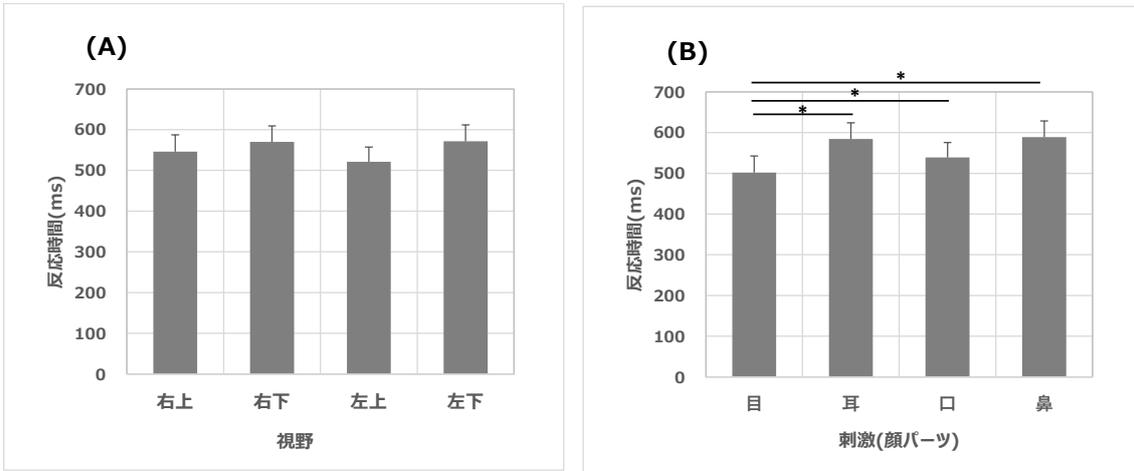


図 6-3 再認にかかる反応時間

(A) 顔パーツ刺激の再認にかかる反応時間を示す。*, $p < 0.05$ (B) 顔パーツ刺激の呈示視野を右上、右下、左上、および左下とした際の再認にかかる反応時間を示す。

(川島他, 2023, p.29, 図 3)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

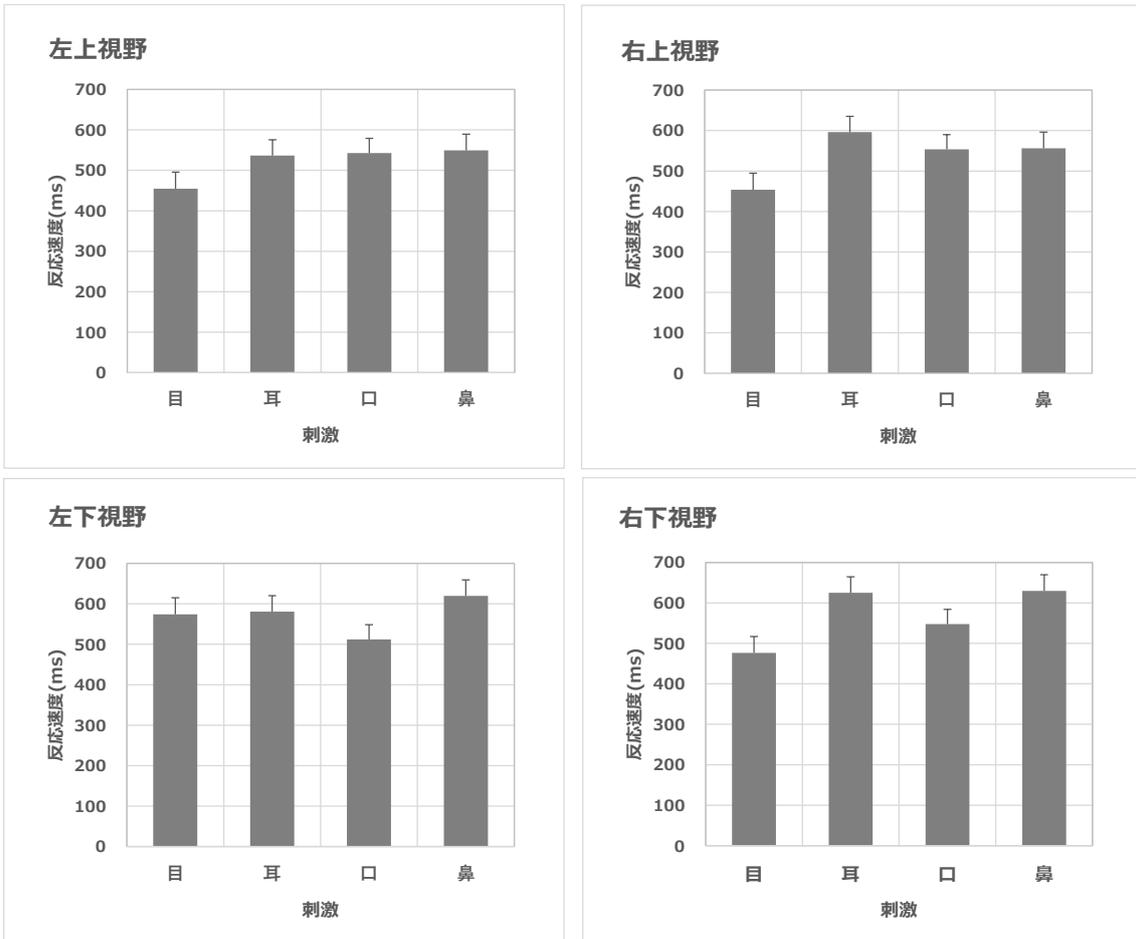


図 6-4 再認にかかる反応時間

反応時間の下位検定の際の視野が右上、右下、左上、および左下の条件の時の顔パーツの再認にかかる反応時間を示す。実際の視野と合わせて右上、右下、左上、および左下の位置で示す。

(川島他, 2023, p.30, 図 4)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

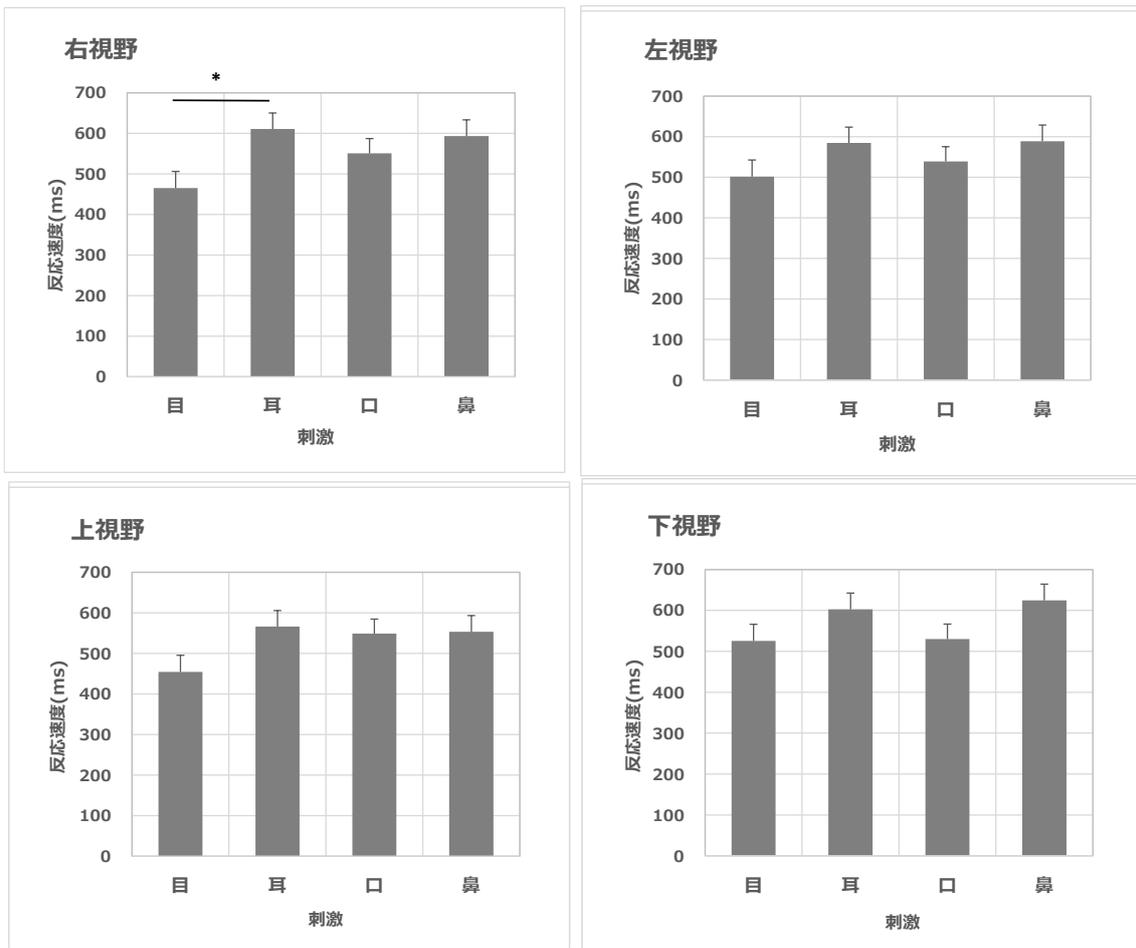


図 6-5 再認にかかる反応時間

反応時間の下位検定の際の視野が右、左、上、および下の条件の時の顔パーツの再認にかかる反応時間を示す。*: $p < 0.05$

(川島他, 2023, p.30, 図 5)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

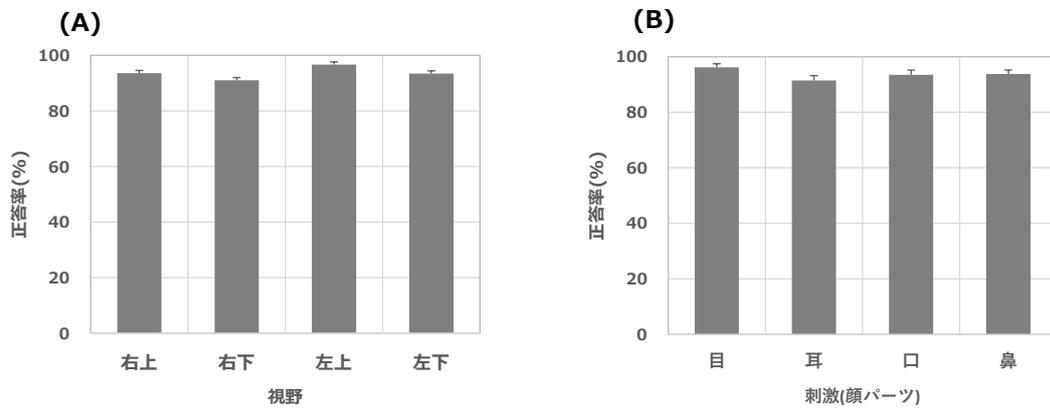


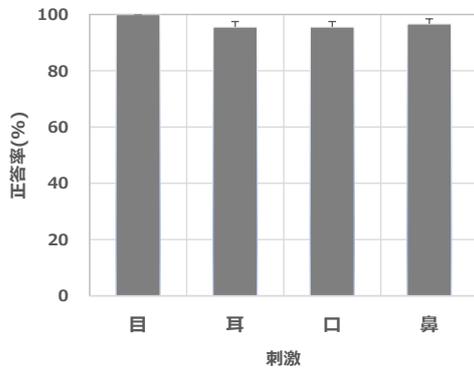
図 6-6 再認の回答の正答率

(A) 顔パーツ刺激の再認の回答の正答率を示す。(B) 顔パーツ刺激の呈示視野を右上、右下、左上、左下とした際の再認の回答の正答率を示す。*: $p < 0.05$

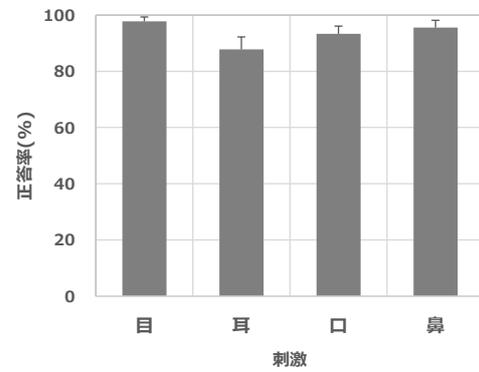
(川島他, 2023, p.31, 図 6)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

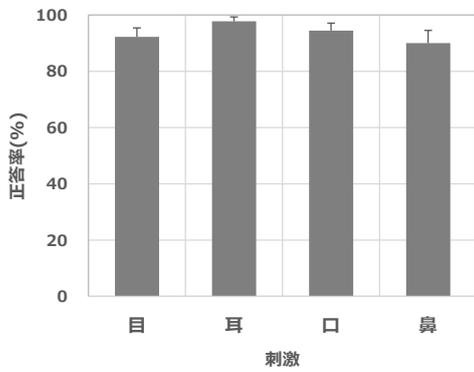
左上視野



右上視野



左下視野



右下視野

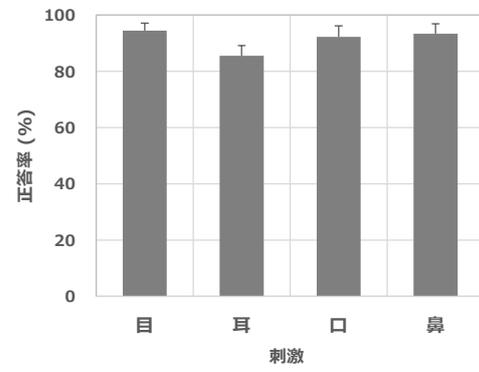


図 6-7 再認の回答の正答率

正答率の下位検定の際の視野が右上、右下、左上、左下の条件の時の顔パーツの再認の回答の正答率を示す。

(川島他, 2023, p.32, 図 7)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

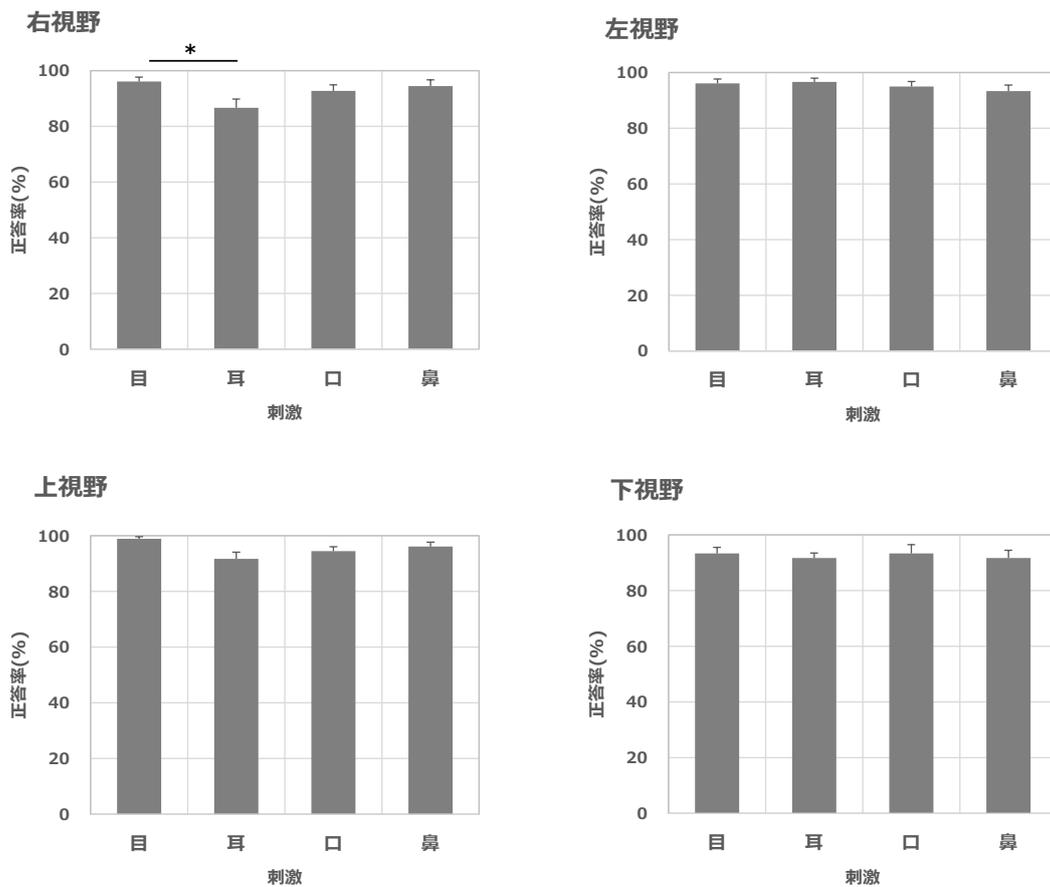


図 6-8 再認の回答の正答率

正答率の下位検定の際の視野が右、左、上、および下の条件の時の顔パーツの再認の回答の正答率を示す。*: $p < 0.05$

(川島他, 2023, p.32, 図 8)

(転載許可を一般社団法人 日本生理人類学会より取得)

6.4 考察

本研究においてイラスト状の顔パーツの短期記憶に対する呈示視野の影響を検証した。顔パーツ(目、耳、口、および鼻)を4つの視野に配置した視覚刺激を記憶させた後、そのうち1つの顔パーツを呈示して先の刺激のなかのどの視野に呈示されていたかを回答させた。その結果、呈示視野の影響はなく、目の反応時間が耳、口、および鼻より有意に速まった。

6.4.1 視野の影響を受けない点について

はじめに顔パーツの短期記憶において呈示視野の影響を受けない点について述べる。この結果は先行研究である Lindsay et al. (2012)の視覚刺激に写真の顔パーツを用いた研究結果と一致する。Lindsay et al. (2012)はそれまで主流であった顔パーツが顔全体の認知に影響を与える影響に関する研究に対して顔パーツそのものの認知についての研究を行った。顔パーツを単独で呈示した場合と各顔パーツを組み合わせて呈示した場合の f-MRI を用いて情報の処理過程で脳の活性化する部位を比較した。その結果、最初に知覚的表象を形成し顔の要素を知覚する下後頭回の OFA (occipital face area)では顔パーツを単独で呈示した場合は組み合わせて呈示した場合よりも活性化する。次の顔検出と人物同定過程では紡錘状回中央外側部の FFA (fusi-form face area)では顔パーツを単独で呈示した場合と組み合わせて呈示した場合は同様に活性化するものの OFA、FFA はいずれも視野(右と左)の影響はないと報告している。Lindsay et al. (2012)の研究の刺激では画像の右視野に呈示した目(画像の人物の左目)と画像の左視野に呈示した目(実際の人物の右目)の認知において脳の活性化する部位を比較した。本研究の刺激の目は左目の画像を用いたが、呈示視野の影響を受けない点で一致する。

一方、Mocovitch et al. (2012)は顔全体について写真と絵で描かれた刺激を用いた視野の影響の研究で絵の顔刺激は写真の顔刺激に対しはっきりした左視野優位を示さない傾向にあることを報告している。本研究のイラスト状の顔パーツを用いた実験の結果と一致する。Mocovitch et al. (2012)は、視覚刺激としてビートルズのメンバーを模った戯画 (caricatures)を用いた。戯画とは、人物の性格や特徴を際立たせるために誇張や歪曲を施した人物画で滑稽や風刺の効果を狙うものである。特徴を際立たせているという点では本研究でイラスト状の顔パーツを用いた目的と一致する。Mocovitch et al. (2012) は、顔全体の絵の視覚刺激は視野の影響を受けない点に関しては、絵に描かれた顔刺激は本来の顔認知とは異なり顔を描いた絵刺激として情報が処理される可能性を示唆した(新美他, 2016)。本研究のイラスト状の顔パーツも同様に、本来の顔認知とは異なり顔パーツを描いた絵刺激として処理された可能性があると考えられる。また彼らが刺激に用いたビート

ルズのメンバーを模った戯画は誰でも知っている既知の顔刺激であったのに対し、本研究の刺激は未知でかつかなり抽象化されたイラスト状の顔のパーツであった。顔認知とは対面したヒトが既知か未知か、および既知の場合は対面したヒトが誰であるかを見極めて環境へ順応して他者と良好な関係を維持するために不可欠なオブジェクト認知である。本研究の結果だけで結論づけることはできないものの、既知の顔のみならず未知でかつ抽象的な顔パーツにおいても同様な結果が得られたということは、Freiwald et al. (2009)の研究におけるサルの下側頭葉の顔認知に関わるニューロンが写真撮影された顔画像のみならず抽象化された顔画像に対しても同様に応答したとする神経生理学の研究結果からも支持されよう。

6.4.2 目という顕著性の高いパーツが再認において反応時間が速まった点について

次に顔パーツの中で目の再認の反応時間が速まった点について述べる。実験後の内観で回答の得られた10人中、認識しやすい顔パーツ(複数回答可)は目であったと回答したのが8名(80%)、続いて口が3名(30%)、鼻、耳は1人もいなかった。自由回答の中では耳と鼻が似ていて覚えにくかったと回答した被験者が5名(50%)と多かった。次に覚え方は各々の視野にある顔パーツをそのままのイメージで覚えたのが6名(60%)、特定の顔パーツが呈示されている視野を覚えたのが4名(40%)であった。以上のことから、目は顕著性が高いことから視覚的注意が向けられた可能性があると考えられる。先行研究のLindsay et al. (2012)の写真の顔パーツを視覚刺激として用いた研究においても、目・眉、続いて口の特徴は顕著であったと報告されており、本研究と一致する。その他の顔認知のプロセスにおける研究では、顔の構成要素に関する情報処理様式にはパーツ間で違いがあり特に目は顔全体の情報処理に関する一連の注意過程において鼻と同じなどの重みづけで処理されないことが報告されている(新美他, 2016)。Goffaux & Rossion (2007)は顔の中の一つのパーツの特徴だけを変化させる研究において、目は鼻や口と比較して顔の倒立効果(Inversion effect)が起きにくいことを報告している。顔の倒立効果とは顔を上下反転させると顔のパーツが正しく認識できなくなる現象をいう。この現象からも目は注目しやすい特別なパーツであることがわかっている。さらにYarbus (1967)は、顔を一定時間自由に観察される視線移動の古典的な研究において視点移動は顔の中でも特に目に集中しやすいと報告している。以上より本研究では顔パーツの中でも特に顕著性が高い目に視覚的注意が向けられた可能性が示唆される。

最後に要因としてポップアウト刺激となった可能性がなかったかどうかについて述べる。河原・横澤(2015)はポップアウトする属性について報告しているが、顔パーツはポップアウト刺激となるとい

う報告はない。また今回用いた顔パーツのイラストは Lee et al. (2002)がポップアウト刺激の特徴として報告しているシンプルな陰影ではない。これらより本研究の刺激はポップアウト刺激となり反応時間が向上した可能性は低いと推測する。以上の通り、顔のパーツの視覚刺激の認知における視野の影響を検証した結果、予想していた通り、右視野優位は確認されず、顔パーツの中でも、特定のパーツ(目)の再認の反応時間が鼻に対し有意に短くなった。要因としては、視覚刺激の認知過程において、視覚的注意が顕著性の高い刺激として視覚的注意が向けられたことにより、特定の顔パーツの認知が向上した可能性があげられる。

本研究では応答パッドを両手で押すよう被験者に求めたため、利き手によって反応時間に差が生じることが懸念された。実際に被験者は15名全員が右利きであり利き手である右の応答パッド(右上および右下)の反応時間が速まり回答の正確さが高まる可能性があった。しかし今回の結果では、視野による反応時間と回答の正確さに統計的に有意な差がみられなかったことから利き手の影響は小さかったと考えた。視野の優位性は刺激の特徴、分類(言語的刺激か非言語的刺激か)、および符号化処理などの情報処理過程の違いが複雑に関連する。今回用いた顔パーツは白黒のイラスト画像である単一実験条件での限定した結果であることから、結論を断定するには限界があるものと考えている。今後は、異なる視覚刺激を用いた研究が望まれる。

6.5 まとめ

本研究はイラスト状の顔のパーツの短期記憶に対する呈示視野の影響を検証した。その結果、先行研究の Lindsay et al. (2012)の写真の顔パーツの結果と同様に呈示視野の優位性は確認させず、顔パーツの中でも目の再認の反応時間が耳、鼻より有意に速まった。要因としては顔パーツの中でも特に顕著性の高い目に視覚的注意が向けられて高次視覚として情報が処理されたことが影響した可能性があるかと推測した。

第7章 総合考察

7.1 総合考察の概観

総合考察の前半は、実験Ⅰ～実験Ⅴの5つの実験から得られた知見および要因として特筆すべき4つの因子（ポップアウト、視覚的注意、顕著性、および高次視覚情報処理）の関連性をまとめた。4つの要因から総合的な考察を行い、色の知覚および記憶メカニズムの詳細を明らかにした。後半は、知覚・認知モデルのうち特徴統合理論の展開として視覚的注意およびトップダウンとボトムアップの関連性を明確化した誘導探索モデルを用いて今回の第Ⅲ実験の結果を解説した。

7.2 第Ⅰ実験～第Ⅴ実験のまとめ

7.2.1 第Ⅰ実験～第Ⅴ実験の関連性と相違点

はじめに第Ⅰ～第Ⅴ実験の各実験結果をレビューする。第Ⅰ実験は色の視覚刺激の特徴に関する研究として、視覚遅延見本合わせ課題(vDMTS)を用いて色の配置のマッチ条件と mismatch 条件が再認に及ぼす影響について検証した。先に呈示した色刺激の5色の配置と後に呈示した色の配置が一致している条件と不一致の条件（マッチ条件と mismatch 条件）における再認の反応時間と正答率を比較した。その結果、 mismatch 条件の再認の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。これまで他のグループによる研究においてはマッチ条件の方が再認の反応時間が速まるという報告されていた。しかし本研究においては mismatch 条件の方が再認の反応時間が速まった。要因としては色刺激がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたことが影響した可能性があるかと推測した（川島他,2021a）。

第Ⅱ実験では色刺激の呈示視野に関する研究として、視覚刺激を4つの視野（上、下、右、および左）に呈示し、視覚遅延見本合わせ課題を用いてマッチ条件と mismatch 条件が再認に及ぼす影響を比較した。その結果、 mismatch 条件では下視野および上視野と比べて右視野の再認の正確さが有意に高まり、視野の影響があることがわかった。要因としては大脳の左半球の機能特性（ラテラリティ）と視覚的注意が影響した可能性がある。色刺激の4色（赤、緑、シアン、および紫）は色カテゴリーが異なる。ヒトの脳の機能的左右非対称性において、色情報は言語的刺激として処理され、脳の左半球の機能特性により右視野が有意となったと推測される（川島他,2021b）。

さらに第Ⅲ実験は、第Ⅱ実験の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究である。色刺激の形状を細長い長方形（ライン状の刺激）とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度（方位）を変えて先の実験と同様に右視野の優位性の有無を検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、第Ⅰ実験と同様に mismatch 条件の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。有意に速まった要因としては、ライン状の色刺激の角度（方位）が妨害因子となり、視覚情報は高

次視覚情報として処理されたと考えられる。このことにより、本来低次情報処理でみられていた呈示視野の影響がなくなった可能性があると考えられる (Kawashima et al., 2023)。

後半は前半の実験で明らかとなった色の情報が高次視覚として処理される点について、さらに2つの追実験で検証した。後半1つめの第IV実験は、第III実験で用いた妨害因子の中の代表的な課題の1つであるストループ課題を用いて同様に呈示視野の影響の有無について検証した。日本語の色の3原色 (赤、青、および緑) および黄を示す4つの色名文字を4つの視野 (右上、右下、左上、および左下) に1つずつ呈示した。そのうち1つの視野には色名文字の色情報と色名の文字そのものの意味から認識される色情報が一致するものを、残りの3つの視野には両者が一致しないものを呈示した。課題は、両者が一致している色名文字が呈示されていた視野を出来るだけ速く回答するものであった。その結果、呈示視野間の有意な差はなかった。一方、色名文字の中で赤は青、緑、および黄より再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。要因としては、赤は他の文字より画数が少なくシンプルな文字であったことからポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となった可能性がある。また赤色という色は他の色より顕著性の高い刺激であることから視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理されたと推測した (川島他, 2022)。

後半2つめの実験Vはイラスト状の顔パーツ刺激を用いて同様に呈示視野の影響の有無について検証した。イラスト状の顔パーツ (目、耳、口、および鼻) を、4つの視野 (右上、右下、左上、および左下) に1つずつ呈示した。その後そのうち1つの顔パーツを呈示し、先の刺激の中のどの視野に呈示されていたかを回答させた。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、目の再認の反応時間が鼻、口、および耳よりも有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。目は他の顔パーツより顕著性の高い刺激として視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理されたと推測した。最後の実験では、色以外の刺激を用い顕著性の高い刺激の再認に関する効果を検証した。その結果、顕著性の高い刺激に視覚的注意が向けられることで、視覚情報は高次視覚情報として処理されることが検証された (川島他, 2023)。

次に、第I実験～第V実験の結果、および4つの因子 (ポップアウト、視覚的注意、顕著性、および高次視覚情報処理) との関連性を表 7-1 にまとめた。関連性のある因子に○を、関連性のない因子は空欄のままとした。

表 7-1 第 I 実験～第 V 実験のまとめ

(本表はこの論文のために作成)

実験	上段:結果 下段:考察	因子			
		①	②	③	④
		ポップアウト	顕著性	視覚的注意	高次視覚情報処理
第 I 実験 視覚刺激の要素のうち色のみを変化させた、視覚遅延見本合わせ (vDMTS) における色配置のマッチ条件とミスマッチ条件の影響	色配置の短期記憶における再認は、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件より有意に速まる ・色刺激の呈示時間 1500ms は視覚的注意により幾度も記憶の上書きが繰り返し VSTM に消失しにくい頑健な表象が形成 ・ミスマッチ条件の色刺激はポップアウトする顕著性の高い刺激となった可能性がある	○		○	○
第 II 実験 色の短期記憶における呈示視野の影響	色配置の短期記憶は呈示視野の影響を受ける(右視野優位) ・色認知は高次視覚情報処理である ・マッチング/ミスマッチングの判断は、刺激の特徴に視覚的注意が向けられた			○	○
第 III 実験 色の妨害因子として、方位因子を加えたライン状色刺激の短期記憶に及ぼす呈示視野の影響	妨害として方位が加わると呈示視野の有意な差はなく、色配置の短期記憶における再認はミスマッチ条件の反応時間は、マッチ条件より有意に速まる ・色、妨害因子の情報処理は高次視覚情報処理である	○		○	○
第 IV 実験 ストロープ効果を指標にした色名文字の認知の視野の影響	妨害因子として色名文字として形が加わると呈示視野の有意な差はなくなった。顕著性が高い赤色で書いた赤という色名文字他の文字より反応時間より有意に速まった ・赤という文字がポップアウト刺激になり、また顕著性の高い赤色に視覚的注意が向けられ、高次視覚情報処理された	○	○	○	○
第 V 実験 顔パーツの認知における視野の影響	妨害因子として顔パーツを加えて検証した結果、呈示視野の有意な差はなく、顕著性が高い目の反応時間が有意に速まった ・顕著性の高い目に視覚的注意が向けられ、高次視覚情報処理された		○	○	○

次に表 7-1 にまとめた今回の研究結果で得られた知見を関連する4つの因子(ポップアウト、顕著性、視覚的注意、および高次視覚情報処理)の視点から総合的に考察し、色の知覚・短期記憶のメカニズムを明らかにしていく。

7.2.2 因子① ポップアウトについて

本研究の視覚刺激の中では、第Ⅰ実験の5色の5つの正方形の色刺激、第Ⅲ実験の第Ⅰ実験と同じ5色を用い5つのライン状の色刺激、および第Ⅳ実験の赤という画数の少ない漢字の色名文字はそれぞれがポップアウト刺激という顕著性の高い刺激となり、再認の反応時間を有意に速めた可能性を示唆した。河原・横澤(2015)は、色は確実にポップアウトする特徴の1つであると報告している。さらに彼らは特徴統合理論において、当初ポップアウトは初期の低次視覚に係る特徴探索のみで観察されていたが、ポップアウトは情報処理過程の中の探索でも起こりうることを報告した。今回の一連の研究において、色刺激はポップアウトが関与し、かつ色刺激においても高次視覚情報処理過程においてもポップアウトが確認されて色の再認の反応時間を速めた可能性を推測した。本研究の応用としては視覚デザインの分野において、注意を向けられやすいデザインとしてポップアウト刺激を考慮したデザインが有効であると考ええる。

7.2.3 因子② 顕著性について

次に顕著性について述べる。本研究の色の視覚刺激では、第Ⅳ実験の赤色という色、および第Ⅴ実験の顔パーツの中の目が顕著性の高い刺激となった。その結果、再認の反応時間を有意に速め、正答率を有意に高めたと推測した。顕著性の高い刺激に視覚的注意が向けられて視覚情報は高次視覚情報として処理された可能性が示唆される。一連の研究は色の知覚・認知に関する研究であるが、第Ⅴ実験では視覚刺激としてイラスト状の顔パーツ刺激を用いた。その結果、顔パーツの中の目が顕著性の高い刺激となり視覚的注意が向けられて高次情報として処理されたことが確認された。本研究の応用としては視覚デザインの分野において、注意を向けられやすいデザインとして顕著性を考慮したデザインが有効であると考ええる。

7.2.4 因子③ 視覚的注意について

本研究では全ての実験で、視覚刺激の呈示の間で視覚刺激に視覚的注意が向けられ、短期記憶として符合化されたと考える。これらに加え第Ⅲ実験では、妨害因子としてライン状色刺激の角度(方位)が加えた刺激を用いたため、特徴は色および配置に方位を加えた3つとなった。その結果、

情報処理は高次視覚情報で処理されたと考える。さらに第IV実験の赤色という色および第V実験の顔パーツの中の目が顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたと推測される。その結果、再認の反応時間が有意は速まり、回答の正答率が有意に高まったと推測する。視覚的注意には2種類のメカニズムが存在すると考えられている。1つはボトムアップ型注意 (bottom-up attention) と呼ばれ、複数刺激の中で1つの刺激が周囲の刺激と顕著に異なる場合や視覚刺激が突然出現した場合にその刺激に対して注意が受動的に惹きつけられるものである。もう一つはトップダウン型注意 (top-down attention) と呼ばれ、事前知識が与えられている場合に能動的にバイアスをかけることによって目的とする刺激を選択することができることである。本研究においては、第IV実験の赤色および第V実験の目の2つの顕著性の高い刺激に対しては前者のボトムアップ型注意が、また全ての実験で関与した視覚的注意は後者トップダウン型注意であると推測される。本研究の視覚的注意としては、ボトムアップおよびトップダウンの両者が作用した可能性があると考える。

7.2.5 因子④ 高次視覚情報処理について

本研究の第I実験は5色(赤、シアン、緑、紫、および黄)の5つの正方形、第II実験は第I実験の5色うちの4色(赤、シアン、緑、および紫)を各2つずつ配置した8つの正方形、また第III実験は第I実験と同じ5色を用い形状をライン状とした色刺激を用いた。これらのいずれの色も色カテゴリーは異なる言語的刺激である。そのため情報処理は高次視覚として処理されたと推測される。表7-3に今回用いた色刺激の色名、RGB値(n,n,n)、HSV値(色相、彩度、明度)、カラーコードを示す。HSV値は色相は0~360、彩度と明度は0~100で示す。赤、黄、緑、シアン、および青の彩度および明度はいずれも最大の100、紫は86および94であり、今回は彩度および明度は同じ、又は最大でも14%の差異であった。明度が異なる刺激の場合は今回とは異なる結果となった可能性もある。この点については今後の研究テーマとしての検討が必要である。

第III実験および第IV実験では、妨害因子としてライン状の色刺激の角度(方位)および色名文字の色情報と色名文字そのものの意味から認識される色情報が異なるストループ課題を加えた。いずれの場合も、視覚的注意の選択(又は制御)が向けられ、情報処理は高次視覚情報として処理されたと推測される。第IV実験では赤という色が顕著性の高い刺激を用いた。顕著性の高い刺激に対しても視覚的注意が向けられて同様に情報処理は高次視覚情報として処理された可能性があると考え。前述の通り、川端他(2011)は色情報が高次視覚情報のモデルであるという事例を示し、色は初期の低次視覚情報から高次視覚情報に渡る全ての課程で根幹的な役割を担ってい

る可能性がある」と報告している。しかしその報告例は少なかった。本研究の結果、色カテゴリーが異なる視覚刺激のミスマッチ条件でかつ妨害因子が加わった場合における色刺激は顕著性の高い視覚刺激となる事例となった。改めて色は初期の低次視覚から高次視覚に渡る全課程で根幹的な役割に担っている可能性が示唆された。

以上、表 1 の今回の研究結果で得られた知見に対し、4 つの因子（ポップアウト、顕著性、視覚的注意、および高次視覚情報処理）の視点から、色の知覚・認知メカニズムを考察した。本研究の被験者は大学生としたが、Ueda et al. (2018) は欧米人と東アジア人（日本、中国など）とでは知覚・認知における視覚的注意には文化的差異があり、それらは思考や推論といった高次のプロセスにおける差異と類似していると報告している。欧米人は分析的（あるいは集中的）な処理を行う傾向があり顕著な対象の属性をその文脈から独立して分析してカテゴリーに関する一般規則を用いてその行動を説明して予測する。一方の東アジア人は知覚野全体を分析して対象物と対象物が位置する文脈野との関係を重視しその関係に基づいて事象を説明する全体的（拡散的）な処理を行う傾向があるとされている。この視覚認知の文化的差異に関する報告は完全に一致しているものではないものの、本研究の被験者は東アジア人であることから、本結果は限定した結果となっている可能性はある。

表 7-3 色刺激の色名、RGB 値、HSV 値(色相、彩度、明度)、カラーコード

本表はこの論文のために作成

色名	RGB			HSV (H:0~360, S,V:0-100)			カラー コード	実験				
	R	G	B	H 色相	S 彩度	V 明度		第 I 実験	第 II 実験	第 III 実験	第 IV 実験	第 V 実験
赤	255	0	0	0	100	100	#FF0000	○	○	○	○	
黄	255	255	0	60	100	100	#FFFF00	○		○	○	
緑	0	255	0	120	100	100	#00FF00	○	○	○	○	
シアン	0	255	255	180	100	100	#00FFFF	○	○	○		
紫	160	32	240	276	86	94	#A020F0	○	○	○		
青	0	0	255	240	100	100	#0000FF				○	
白	255	255	255	0	0	100	#FFFFFF	○	○	○	○	○
黒	0	0	0	0	0	0	#000000	○	○	○		○
グレー	140	140	140	0	0	54	#8C8C8C	○	○	○	○	○

7.3 色の知覚・認知モデルについて

総合考察の後半は知覚・認知モデルの誘導探索モデルを用いて今回の研究結果を考察する。考察は代表して第Ⅲ実験を用いて解説し色の知覚・認知モデルをまとめる。はじめにモデルの選択理由を述べる。今回用いる誘導探索モデルは Wolfe (Cave& Wolfe,1990; Wolfe, 1994,2007,2021)が提唱した誘導探索モデルである。Treisman & Gelade (1980)で提唱した特徴統合理論では説明するのは難しいトップダウンである事前の知識を利用して選択的に探索できる注意の選択が反映されている。モデルは1段階めの特徴探索の段階で視覚の特徴(形、色、方位、および大きさなど方向)を抽出して特徴毎の特徴マップを生成して符号化する。この段階はボトムアップ型である。2段階めではトップダウンの知識を利用して視覚的注意により情報の重みづけが行わない選択的に活性度マップを作成する。誘導探索モデル Wolfe (1994)のGS 2.0はその後の本人らを中心とした改訂が行われ、長期記憶、ワーキングメモリープロセス、視覚性アウェアネス、オブジェクト認知などを加え Wolfe (2021)で報告された最新の誘導探索モデルでGS 6.0を用いる。

また、今回の研究結果のうち代表して第Ⅲ実験「色の妨害因子として方位因子を加えたライン状色刺激の短期記憶に及ぼす呈示視野の影響」を選択した。選択の理由は色の知覚および認知メカニズムに関する3つの実験の最後として、色のマッチ条件とミスマッチ条件、刺激の呈示視野、および妨害因子としてのライン状の色刺激の角度(方位)の多くの特徴を含めた最も複雑な実験であるためである。

次に第Ⅲ実験についてレビューする。第Ⅲ実験は第Ⅰ実験、第Ⅱ実験を展開する研究として行った。認知活動の妨害因子としてライン状の色刺激の角度(方位)を変えた視覚刺激を用いた場合でも第Ⅱ実験と同様の右視野優位が確認されるかどうかについて検証した。その結果反応時間は呈示視野の有意な差はみられず、一方でマッチ/ミスマッチの主効果は有意でありミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件の反応時間は有意に速まった。下位検定の結果ミスマッチ条件の反応時間はいずれもの呈示視野もマッチ条件より有意に速まった。正答率は視野およびマッチ/ミスマッチの主効果ともに有意な差はみられなかった。要因としては、ライン状の色刺激の角度(方位)が妨害因子となり視覚情報が高次視覚情報として処理されたことから色の低次視覚で確認される右視野優位が得られなかったと考える。さらに第Ⅲ実験について詳細の考察を行う。実験フローを図7-1(A)にその拡大と解説を図7-1(B)に示す。図7-1(B)は過程毎の事象を説明した。過程は「色配置を記憶する視野を呈示する過程」、「最初の色刺激を符号化する過程」、「Checker Patternで、記憶を保持する過程」、および「2つめの色刺激が呈示され、最初の色刺激と一致しているか不一致かを判断する再認の過程」の4つの過程に分けた。各々の実験結果をモデルに適合させて解説

する。

はじめの「色配置を記憶する視野を白色の円で表示する過程」では、トップダウン指令①として白色の円で示した視野（この場合は右上視野）に被験者の視覚的注意を向けさせた。次の「最初の色刺激を符号化する過程」は4つの視野全てにライン状色刺激を呈示した。そのうち先のトップダウン指令①で示された右上視野のみが視覚的注意により鮮明に最初の色刺激として符号化される。この過程ではボトムアップとしての色、位置、および方位の特徴が確認される。さらにトップダウン②として色および位置は符号化するが方位は妨害因子として抑制するという指示が働く。次の「Checker Pattern で記憶を保持する過程」では表層として記憶される。表象された特徴はトップダウン②により色と位置のみとなる。ライン状色刺激の角度(方位)は抑制された図 7-1-2 に示したような各々のエリアの色の表層となっている可能性があると推測する。記憶 4100ms 後に「2つめの色刺激が呈示され最初の色刺激と一致しているか不一致かを判断する再認の過程」に移る。この過程では最初の過程でのトップダウン指令①である視覚的注意を向ける視野の情報が保持されていると考える。ここで最初の色刺激と一致しているか不一致かを判断して判断でき次第手元のボタンを押す。この2つめの色刺激が呈示された段階で視覚的注意を向ける視野の情報が保持されていることから、視覚的注意を向ける視野の情報は 1 つめの色刺激が呈示される 1.5 秒に記憶の保持の 4.1 秒を加えた 5.6 秒間以上保持されていることになる。

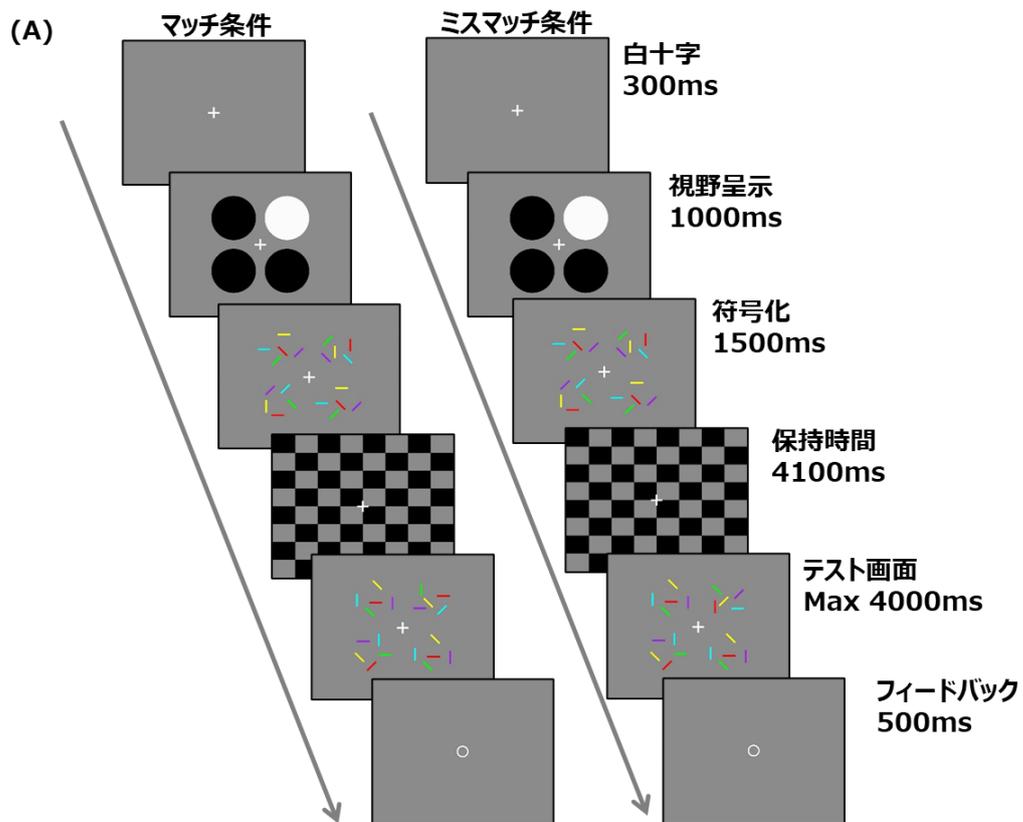


図 7-1(A) 第Ⅲ実験の実験フロー
(本図はこの論文のために作成)

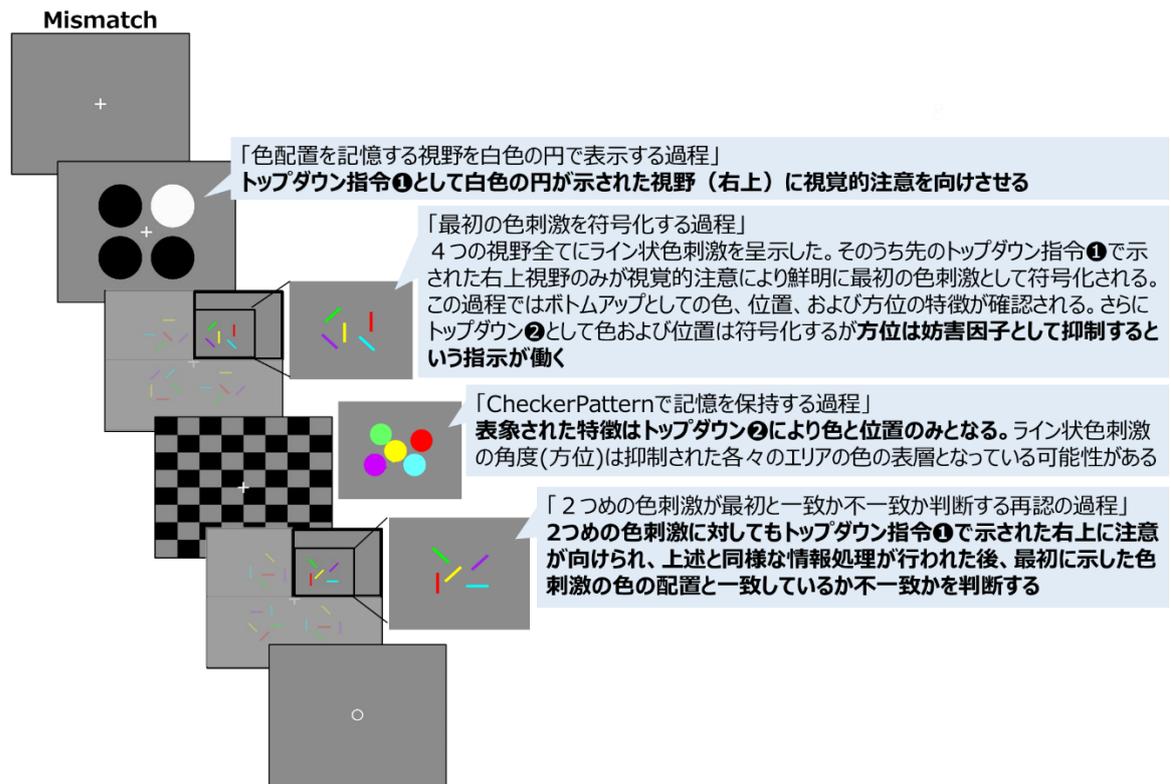


図 7-1(B) 第Ⅲ実験の実験フローの拡大と解説 過程毎の事象を説明する
 (本図はこの論文のために作成)

ここからは誘導探索モデルに当てはめて解説する。用いた誘導探索モデル GS 6.0 (Wolfe, 2021) を図 7-2(A)に示し、記憶保持までの過程を図 7-2(B)、その後の 2 つめの色刺激の呈示の過程を図 7-2(C)で解説する。

記憶保持までの過程(図 7-2(B))は「最初の色刺激を符号化する過程」のはじめに右下のインプットで4つの視野全てに最初のライン状色刺激が知覚される。次の「色配置を記憶する視野を白色の円で表示する過程」ではトップダウン指令①により事前に示された視野の情報に視覚的注意が向けられる。①を経て Visual System で右上視野のみが鮮明になり、最初の色刺激がボトムアップ情報として符号化される。次に③でボトムアップ情報のうち選択された右上視野の色、位置、および方位の特徴が送られる。先のトップダウン②の指示により色および位置の特徴が符号化され方位は妨害因子として抑制が働く。「Checker Pattern で記憶を保持する過程」でのワーキングメモリの表象は色および位置のみとなる。ライン状色刺激の方位の記憶は抑制されてエリアの色の表層となっている可能性があるかと推測する。

次の 4100ms 間記憶を保持した後、画面は「2つめの色刺激が、最初と一致か不一致か判断する再認の過程」として2つめのライン状色刺激が再び呈示される(図 7-2(C))。新たな色刺激は右下のインプットで4つの視野全てに2つめのライン状色刺激が知覚される。ここでも最初のライン状色刺激の呈示前に示したトップダウン指令①により視覚的注意を向けられる。①を経て Visual System で右上視野のみが鮮明になり、2つめの色刺激が符号化される。次に③で同様に選択された右上視野の色、位置、および方位の特徴が送られる。ここではワーキングメモリに保持しておいた表層の色および位置を比較して、最初の色刺激と後で呈示した色刺激の色が一致しているか不一致かをわかり次第なるべく早く判定した。今回はミスマッチ条件の反応時間がマッチ条件より有意に速まったことから、顕著性の高いポップアウト刺激となった可能性を示唆された点が特筆される。このモデルにあてはめると、本研究は河原ら (2015)の報告と同様にポップアウトは低次情報処理に加え高次視覚情報の処理でも起こることが示唆された。

最後に誘導探索モデル GS 6.0 とラテラルティ(大脳の左右機能特性差)の関わりについて考察する。本第Ⅲ実験は、色刺激としてライン状の色刺激を用いて妨害因子としてライン状の色刺激の角度(方位)を変えた結果、第Ⅱ実験で確認されていた色の言語的処理による右視野優位が観察されなかった。その要因としては、トップダウン指令①により4つのうちの1つの視野に、視覚的注意が向けられ、高次視覚情報処理となったことが関係すると可能性があると考えられる。前述の通り、誘導探索モデルはトップダウン指示、探索の逐次性など、特徴統合理論で説明できない事例のために特徴統合理論を改良する形で展開された。そのため、第Ⅱ実験のような、低次の色情報

処理による右視野優位のモデルは、誘導探索モデル GS 6.0 ではなく、特徴統合理論で説明することが望ましいと推測される。

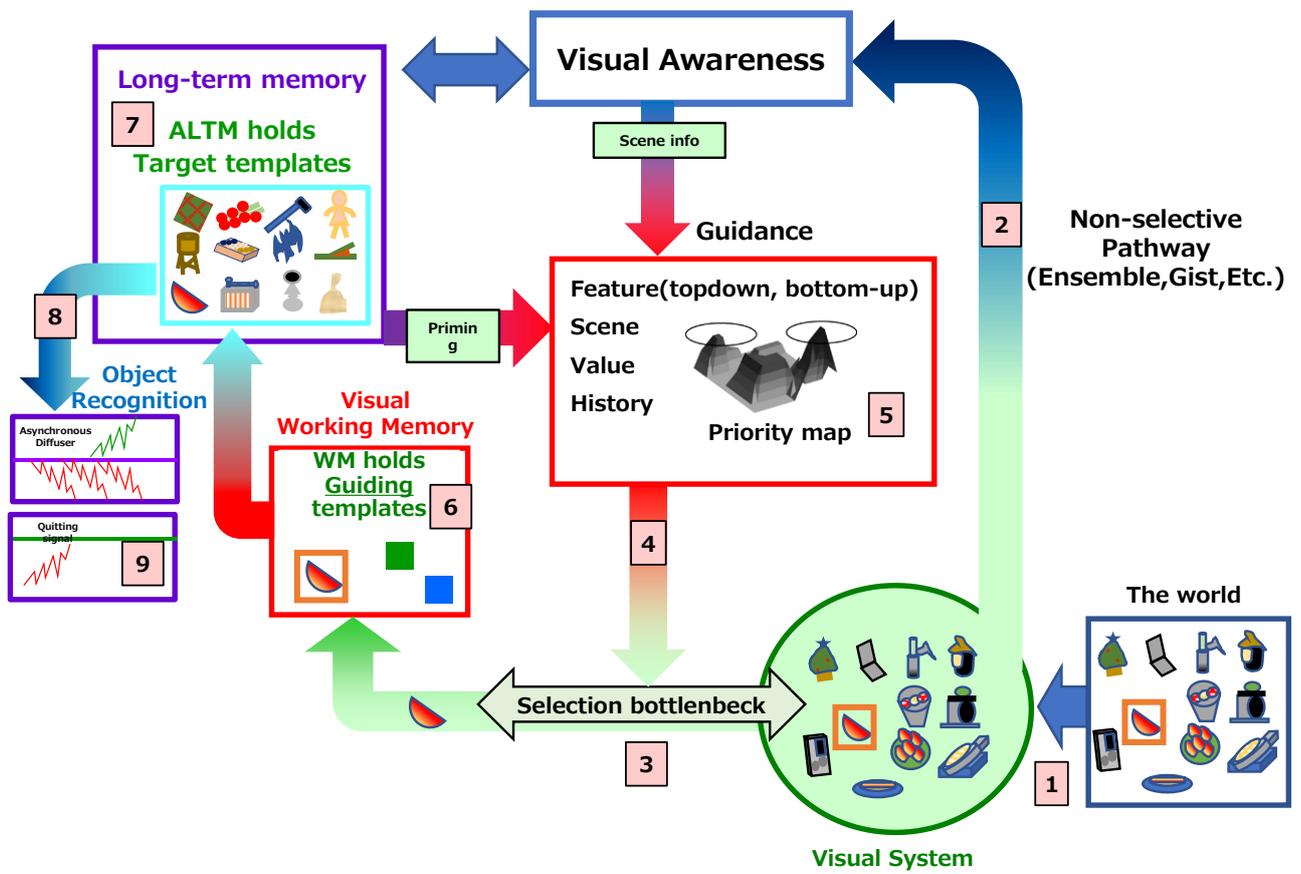


図 7-2(A) 誘導探索モデル GS6.0

(Wolfe, 2021, p.1064, Fig. 3)

(転載許可を Springer より取得)

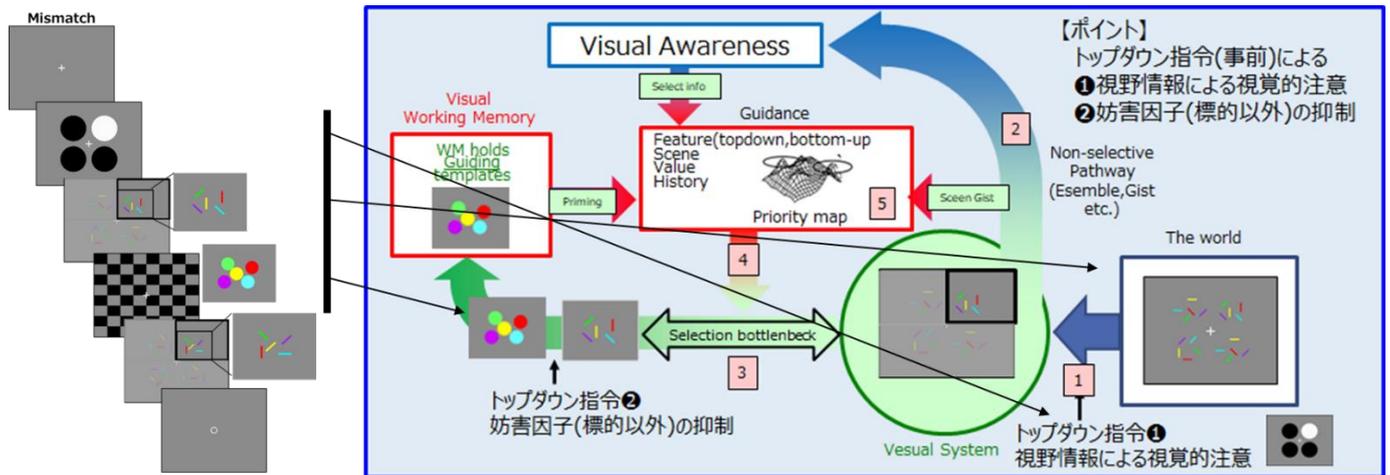


図 7-2(B) 記憶保持までの過程

「最初の色刺激を符号化する過程」のはじめに右下のインプットで4つの視野全てに最初のライン状色刺激が知覚される。次の「色配置を記憶する視野を白色の円で表示する過程」ではトップダウン指令①により事前に示された視野の情報に視覚的注意が向けられる。①を経て Visual System で右上視野のみが鮮明になり、最初の色刺激がボトムアップ情報として符号化される。次に③でボトムアップ情報のうち選択された右上視野の色、位置、および方位の特徴が送られる。先のトップダウン②の指示により色および位置の特徴が符号化され方位は妨害因子として抑制が働く。「Checker Patternで記憶を保持する過程」でのワーキングメモリの表象は色および位置のみとなる。ライン状色刺激の方位は抑制されてエリアの色の表層となっている可能性があると推測する。

(本図はこの論文のために作成)

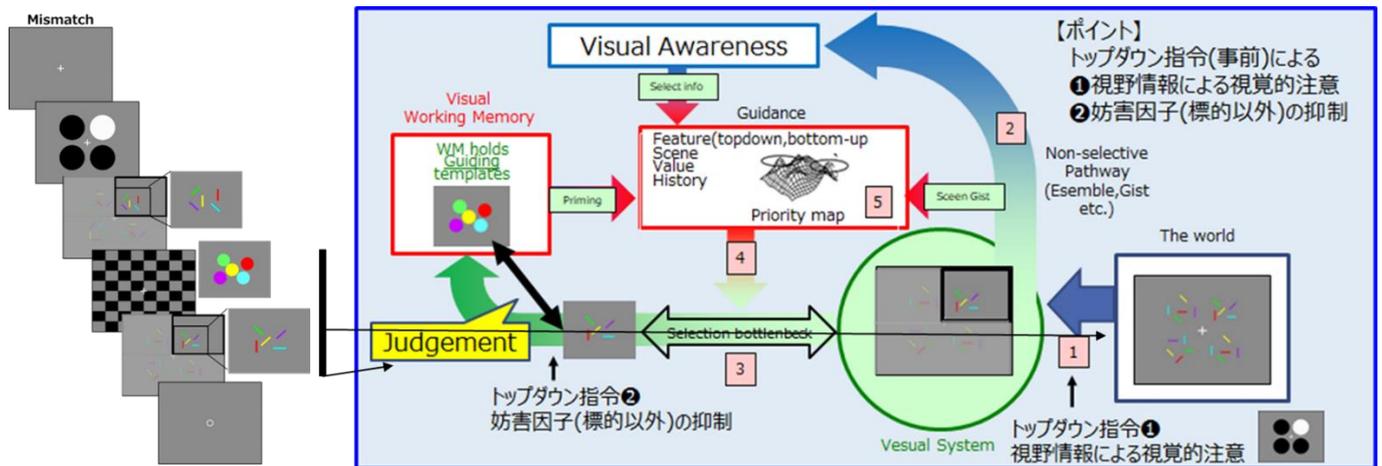


図 7-2(C) その後の2つめの色刺激の呈示の過程

2つめのライン状色刺激が再び呈示される(図 7-2(C))。新たな色刺激は右下のインプットで4つの視野全てに2つめのライン状色刺激が知覚される。ここでも最初のライン状色刺激の呈示前に示したトップダウン指令①により視覚的注意を向けられる。[1]を経て Visual System で右上視野のみが鮮明になり、2つめの色刺激が符号化される。次に[3]で同様に選択された右上視野の色、位置、および方位の特徴が送られる。ここではワーキングメモリに保持しておいた表層の色および位置を比較して、最初の色刺激と後で呈示した色刺激の色が一致しているか不一致かをわかり次第なるべく早く判定した。

(本図はこの論文のために作成)

以上、色の知覚および認知メカニズムについて、本研究の第Ⅲ実験を誘導探索モデル GS6.0を用いて解説した。得られた知見を以下に列挙する。

- ・色の知覚・認知は誘導探索モデル GS 6.0 で説明できる
- ・短期視覚遅延見本合わせ (vDMTS) の2つの段階は誘導探索モデル GS 6.0 で説明できる
- ・色はトップダウン指令による視覚的注意によりボトムアップ情報が選択され、情報がワーキングメモリに伝達される
- ・妨害因子により視覚的注意の制御が行われている
- ・ワーキングメモリの表層は妨害因子を制御した後の情報で保持される
- ・誘導探索マップが生成される
- ・色刺激でのポップアウトは低次視覚情報処理のみならず、高次視覚情報処理でも行われる
- ・色の知覚・認知メカニズムは高次視覚情報処理である

視覚探索、オブジェクト認知課題で報告されている誘導探索モデル GS 6.0 を用い、本研究の色刺激の短期記憶に係る視覚遅延見本合わせ (vDMTS) の課題の解説を行った。その結果、色の視覚刺激を短期視覚遅延見本合わせ (vDMTS) で呈示した課題における高次視覚情報の処理は誘導探索モデル GS 6.0 で十分解説が可能であることがわかった。

7. 4 今後の色の知覚および認知メカニズムに関する研究の課題

本研究では色の知覚および認知メカニズムについて色カテゴリーが異なる5色又はそのうち1色を削除した4色×2の8色で構成した色刺激を用いて、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知に関するメカニズムを検証した。まず刺激は今回の色は全て色カテゴリーの異なりポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激であった。そのため今後は今回対象ではなかった色カテゴリーが同じ刺激での効果や彩度および明度が異なる場合の影響、さらに他の課題での効果に関する詳細の研究が望まれる。呈示刺激の中の色の割合、各色の距離が短期記憶に与える影響および色配置でなく色そのものを変化させる実験も未検討である。今後の研究の中で対応していきたい。課題としては前述の通り今回の視覚的注意を向ける視野の情報のトップダウン指令が 5.6 秒以上記憶として保持し続けた点が特筆される。トップダウン指令自体の記憶の保持および記憶の過程に関する研究も必要であると考え。さらに本研究対象である被験者は大学生とした。第Ⅰ実験の先行研究の色刺激を用いた再認成績とその際の脳の活性部位を f-MRI での研究 (Kardos et al., 2002)では、加齢による再認の反応時間および正確さの低下が報告されている。このことから本知

見は若年層に限定した結果である可能性もある。今後は高齢化社会を対象とした場合の加齢による影響の実験も必要であると考ええる。

7.5 まとめ

以上、本研究では色の知覚および認知メカニズムについて色の特徴、視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知に関するメカニズムを検証した。その結果、色の知覚・認知において認知されやすい色はポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激であり、それにより認知の反応時間が有意に速まった。さらに、色は高次視覚情報として処理されることも明らかとなった。これらはいずれも視覚的注意が深く関与している可能性がある。

第 8 章
総括

ヒトや動物は、環境に対して適応的に行動し、周りのものごとを認識する必要がある。そのために欠かせない機能が知覚および認知である。知覚は感覚器官を通して外界の状況を知る働きである。身体内外で刺激を受け取ると感覚器官内の感覚細胞に興奮を起し、その後、知覚神経および中枢神経に伝達される。モノの形、色、および動きなどの視覚情報は知覚にもとづいて意識に現れる表象（認知において記憶される刺激物）として網膜に映し出される。その後、網膜細胞から大脳皮質の後頭葉を経て、側頭葉および頭頂葉に至る経路で処理される。

哺乳動物の中でもヒトやサルといった霊長類には多くの色を瞬時に認知し脳内で処理をする色覚の能力が具えられており、食用の果物と毒性の植物を判別するのに不可欠な霊長類の進化を特徴づける重要な機能とされている (Gray, 2002)。色の知覚・認知の研究は認知科学分野における重要なテーマの 1 つである。これまでは、視覚刺激の要素および情報処理のメカニズムとその過程において活性化される脳の部位に関する研究が中心に行われてきたが、まだ明らかになっていない部分も多い。色情報は低次視覚情報として、明るさ、運動、奥行きおよび方向などと同様に独立した特徴の 1 つとして抽出される。特徴が複数存在する場合は、情報の特徴は統合されて高次視覚情報として処理される。これまでは記憶された情報は色のついていない無彩色で処理されることが強調されてきた。それに対し、川端他 (2011) は、色情報は高次視覚情報として処理される事例を示し、色は初期の低次から高次視覚に渡る全ての課程で根幹的な役割を担っている可能性があることを報告した。また、視覚の知覚・認知モデルとしては、Treisman & Gelade (1980) が報告した特徴統合理論やその後 Wolfe (2021) が報告した誘導探索モデルが広く知られている。しかし、これらはいずれも視覚探索およびオブジェクト認知での報告であり、そのほかの課題では報告がなく、明らかになっていない。

本研究は色の特徴と視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知メカニズムの検証を行った。本論文は8章で構成されている。第1章序論では研究背景とこれまでの研究の動向と今後の研究領域、研究内容について述べる。第2章 (第 I 実験)～第4章 (第 III 実験)の前半3つの章は認知・記憶しやすい色および視野の特徴に関する研究である。続く第5章 (第IV実験)～第6章 (第V実験)では前半で明らかとなった色情報の情報処理が高次視覚処理である点について、追実験を行い検証した。

第2章 (第 I 実験)は色の視覚刺激の特徴に関する研究として、視覚遅延見本合わせ課題 (vDMTS) を用い、色の配置のマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響について検証した。先に呈示した色刺激の5色の配置と後に呈示した色の配置が一致している条件と不一致の条件 (以後、それぞれマッチ条件とミスマッチ条件と称する)における再認の反応時間と正答率を比較した。その結果、ミスマッチ条件の再認の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。これまで他のグループによる研究においてはマッチ条件の方が再認の反応時間が速まるという報告されてい

た。しかし本研究においては、ミスマッチ条件の方が再認の反応時間が速まった。要因としては色刺激がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられたことが影響した可能性があると推測した。第3章(第II実験)は色刺激の呈示視野に関する研究として、視覚刺激を4つの視野(上、下、左、右)に呈示し、視覚遅延見本合わせ課題を用いてマッチ条件とミスマッチ条件が再認に及ぼす影響を比較した。その結果、ミスマッチ条件では下視野および上視野と比べて右視野の再認の正確さが有意に高まり、視野の影響があることがわかった。要因としては大脳の左半球の機能特性(ラテラリティ)と視覚的注意が影響した可能性がある。色刺激の4色(赤、緑、シアン、紫)は色カテゴリーが異なる。ヒトの脳の機能的左右非対称性において、色情報は言語的刺激として処理され、脳の左半球の機能特性により右視野が有意となったと推測される。続く第4章(第III実験)は第3章(第II実験)の色刺激が呈示視野に及ぼす影響に関するもうひとつの研究である。色刺激の形状を細長い長方形(以後、ライン状の刺激と称する)とし、妨害因子としてライン状の刺激の角度(方位)を変えて先の実験と同様に右視野の優位性の有無を検証した。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、第2章(第I実験)と同様に、ミスマッチ条件の反応時間はマッチ条件よりも有意に速まった。有意に速まった要因としては、ライン状の色刺激の角度(方位)が妨害因子となり、視覚情報は高次視覚情報として処理されたと考えられる。このことにより、本来低次情報処理でみられていた呈示視野の影響がなくなった可能性があると考えられる。

ここで中間のまとめを行う。第I～第III実験の3つの実験の結果、色の配置のミスマッチ条件において再認の反応時間が有意に速まることがわかった。色がポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となり、視覚的注意が向けられ、色の情報が高次視覚情報として処理されたことが示唆された。

後半は、前半の実験で明らかとなった色の情報が高次視覚として処理される点について、さらに2つの追実験で検証した。後半1つめ第5章(第IV実験)は、第4章(第III実験)で用いた妨害因子の中の代表的な課題の1つであるスループ課題を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。日本語の色の3原色(赤、青、および緑)および黄を示す4つの色名文字を、4つの視野(右上、右下、左上、および左下)に1つずつ呈示した。そのうち1つの視野には色名文字の色情報と色名の文字そのものの意味から認識される色情報が一致するものを、残りの3つの視野には両者が一致しないものを呈示した。課題は、両者が一致している色名文字が呈示されていた視野を出来るだけ速く回答するものであった。その結果、呈示視野間の有意な差はなかった。一方、色名文字の中で赤は、青、緑、および黄より再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。要因としては、赤は他の文字より画数が少なくシンプルな文字であったことからポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激となった可能性がある。また赤色という色は他の色より顕著性の高い刺激であることから、視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理された可能性があると推測

した。第6章(実験V)は、イラスト状の顔パーツ刺激を用い、同様に呈示視野の影響の有無について検証した。イラスト状の顔パーツ(目、耳、口、および鼻)を、4つの視野(右上、右下、左上、および左下)に1つずつ呈示した。その後、そのうち1つの顔パーツを呈示し、先の刺激の中のどの視野に呈示されていたかを回答させた。その結果、呈示視野間の有意な差はなく、目が、鼻、口、および耳よりも再認の反応時間が有意に速まり、再認の正確さが有意に高まった。目は他の顔パーツよりも顕著性の高い刺激として視覚的注意が向けられ高次視覚情報として処理された可能性があると推測した。最後の実験では、色以外の刺激を用い顕著性の高い刺激の再認に関する効果を検証した。その結果、顕著性の高い刺激に視覚的注意が向けられることで、視覚情報は高次視覚情報として処理されることが検証された。

第7章総合考察の前半は、実験I～Vの5つの実験から得られた知見および要因として特筆すべき4つの因子(ポップアウト、視覚的注意、顕著性、高次視覚情報処理)の関連性をまとめた。4つの要因から総合的な考察を行い、色の知覚および記憶メカニズムの詳細を明らかにした。第7章の後半は、知覚・認知モデルのうち特徴統合理論の展開として視覚的注意、トップダウンおよびボトムアップの関連性を明確化した誘導探索モデルを用いて今回の第III実験の結果を解説した。最後に第8章で研究の総括を行った。

以上、本研究では色の知覚および認知メカニズムについて色の特徴、視野を変化させた刺激を用い、認識・記憶されやすい色とその知覚および認知に関するメカニズムを検証した。その結果、色の知覚・認知において認知されやすい色はポップアウト刺激のような顕著性の高い刺激であり、それにより認知の反応時間が有意に速まったことがわかった。さらに、色は高次視覚情報として処理されることも明らかとなった。これらはいずれも視覚的注意が深く関与している可能性がある。

本研究で得られた知見は視覚デザイン分野への展開が考えられる。たとえば、注目を集め印象に残りやすいような広告看板の色彩や物体の配置の最適化は購買者の購買意欲の向上に繋がる。また医療機器におけるわかりやすいボタンの色や配置の最適化はヒューマンエラーを防止できる可能性がある。本研究結果は今後、産業・医療をはじめとした幅広い分野への応用が期待される。

謝 辭

本研究に際し、高雄元晴教授から多大なるご指導およびご支援をいただきました。心より感謝申し上げます。厚く御礼申し上げます。

研究の計画・準備・実行を共に行いました大学院生の杉野貴哉様、島田真聖様、于時瀟様、馮瓊心様、林良輔様、陳麗様、肖子喩様、学部生の黄善浩様、遠藤希望様、水口美初様、小宮千里様、服部真菜様に深く感謝いたします。

引用文献

- Amir, H. U., & Malik, A. S. (2014). Memory retention and recall process. EEG/ERP Analysis. CRC. Avons. S. E., & Philips, W.A. (1980). Visualization and memorization as a function of display time and post stimulus processing time. *J Exp Psychol Hum Learn*, 6: 407-420.
- 安西祐一郎 (2011). 心と脳. 岩波新書, 93-94.
- Berry, L. H. (2002). Cerebral laterality in color information. Proceedings of Selected Research Presentations at the Annual Convention of the Association for Educational Communications and Technology, IR 014 539, 55-70.
- Becker, M. W., Pashler, H., & Anstis, S. M. (2000). The role of iconic memory in change-detection tasks. *Perception*, 29, 273-286.
- Brady, T. F., Konkle, T., Alvarez, G. A., & Oliva, A. (2013). Real world objects are not represented as bound units: independent forgetting of different object details from visual memory. *J Exp Psychol Gen*, 142, 791-808.
- Delvenne, J. F., & Dent, K. (2008). Distinctive shapes benefit short-term memory for color associations, but not for color. *Percept Psychophys*, 70, 1024-1031.
- Ding, Y., Paffen, C. L. E., Naber, M., & Stigchel, S. V. D. (2019). Visual working memory and saliency independently influence the priority for access to visual awareness, *J Vis*, 19(1), 1-9.
- Downing, P. E. (2002). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychol Sci*, 11, 467-473.
- Fecteau, J. H., & Munoz, D. P. (2006). Saliency, relevance, and firing: a priority map for target selection. *Trends Cogn Sci*, 10(8), 382-400.
- Freiwald, W.A., & Tsao, D. Y, Livingstone, M. S. (2009). A face feature space in the macaque temporal lobe. *Nat Neurosci*, 12(9), 1187-1196.
- Feng, J., Spence, I. (2014). Upper visual field advantage in localizing a target among distractors. *I-Perception*, 5, 97-100.
- Gath-Morad, M., Thrash, T., Schicker, J., Hölscher, C., Helbing, D., & Melgar, L. E. A. (2021). Visibility matters during wayfinding in the vertical. *Sci Rep*, 11, 1-15.
- Genzano, V. R., Nocera, F.D., & Ferlazzo, F. (2001). Upper/lower visual field asymmetry on spatial relocation memory task. *Neuroreport*, 12, 1227-1230.
- Gray, P. (2002). *Psychology* (4th ed.), NY, USA: Worth Publishers.

- Goffaux, V., & Rossion, B. (2007). Face inversion disproportionately impairs the perception of vertical but not horizontal relations between features. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 33, 995-1001.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 15(1), 20-25.
- Hagenbeek, R. E., & Strien, J. W. V. (2002). Left-right and upper-lower visual field asymmetries. *Brain Cognition*, 49, 34-44.
- 堀忠雄・尾崎久記・室橋春光・苧阪満里子 (2018). 生理心理学と精神心理学 第Ⅲ巻 展開, 北大路書房.
- 兵藤宗吉 (1994). 認知心理学と表象—「表象」概念の多義性と曖昧さ—. *心理科学*, 16, 45-60.
- Kardos Kardos, Z., Toth, B., Boha, R., File, B., & Molnar, M. (2014). Age-related changes of frontal-midline theta is predictive of efficient memory maintenance, *Neuroscience*, 273, 152-162.
- Kaptein, N. A., Theeuwes, J., & Van der Heijden, A. H. C. (1995). Search for a conjunctively defined target can be selectively limited to a color-defined subset of elements. *J Exp Psychol Human*, 21(5), 1053-1069.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention, *Vision Res*, 40, 1489-1506.
- Ikeda, T., & Osaka, N. (2007). How are colors memorized in working memory? A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroReport*, 18, 111-114.
- Ikeda, T., Matsuyoshi, D., Sawamoto, N., Fukuyama, H., & Osaka, N. (2015). Color harmony represented by activity in the medial orbitofrontal cortex and amygdala. *Front Hum Neurosci*, 9, 1-8.
- JIS Z 9101:2018. (2018). 図記号—安全色および安全標識—安全標識および安全マーキングのデザイン通則. 日本産業規格.
- JIS Z 9103:2018. (2018). 図記号—安全色および安全標識—安全色の色度座標の範囲および測定方法. 日本産業規格.
- 神作博・福本純一 (1972). 安全色彩の誘目性について. *日本色彩学会誌*, 1, 4-14.
- Kawashima, S., Yu S., Feng, Q., & Takao, M. (2022). The Color recognition bias in stroop interference in kanji letter matching task, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer

Electronics (GCCE). <https://ieeexplore.ieee.org/document/10014130>

Kawashima, S., Komiya, S., Hattori, M., & Takao, M. (2023). Right visual field is advantageous in detecting different colors: an implication for appropriate digital graphics arrangement, *Neuroergonomics and Cognitive Engineering*, 224-231. <https://doi.org/10.54941/ahfe1003022>

川島浄子・島田真聖・林良輔・高雄元晴 (2021a). 視覚性短期記憶において、色図形の配置のミスマッチは再認を速める. *日本生理人類学会誌*, 26(1), 15-20.

川島浄子・島田真聖・林良輔・高雄元晴 (2021b). 色の短期記憶に及ぼす視覚刺激呈示視野の影響. *日本生理人類学会誌*, 26(3), 47-53.

川島浄子・馮瓊心・水口美初・高雄元晴 (2022). ストループ課題を指標とした色の認知・短期記憶の呈示視野の影響. *東海大学情報理工学部紀要*, 22, 1-6.

川島浄子・陳麗・肖子喩・高雄元晴 (2023). 顔パーツの短期記憶に対する視野の影響. *日本生理人類学会誌*, 28(2), 45-53.

川端康弘・川端美穂・笠井 有利子 (2011). 色と認知科学 —高次視覚認知における色彩の効果— *日本画像学会誌*, 50 (6), 522-528.

河原純一郎・横澤一彦 (2015). 注意 選択と統合(シリーズ統合的認知). 勁草書房.

小池耕彦・齋木潤 (2003). 顕著マップモデルによる注意の移動メカニズム. *認知科学*, 10(3), 401-417.

Lee, T.S., Yang, C.F, Romero, R. D., & Mumford D. (2002). Neural activity in early visual cortex reflects behavioral experience and higher-order perceptual saliency, *Nat Neurosci*, 5, 589-597.

Levine, M.W., & McAnany, J. J. (2005). The relative capabilities of the upper and lower visual hemifields. *Vision Res*, 45, 2820-2830.

Liang, T., Hu, Z., & Liu, Q. (2017). Frontal theta activity supports detecting mismatched information in visual working memory. *Front Psychol*, 8, 1-8.

Lindsay, R. D, Jason MG, & Thomas, W. J. (2012). The response of face-selective cortex with single face parts and part combinations, *Neuropsychologia*, 50(10), 2454-2459.

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.

Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound

- objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, 49, 1632-1639.
- Malone, D. R., & Hannay, H. J. (1978). Hemispheric dominance and normal color memory. *Neuropsychologia*, 16, 51-9.
- Maljkovic, V., & Nakayama K. (1994). Priming of pop-out: I. role of features. *Mem Cog*, 22, 657-672.
- MecLead, C. M. (1967). Half a century of research on the stroop effect - an integrative review. *Pol Psychol Bull*, 109, 163-203.
- 今田寛・宮田洋・賀集寛 (2004). *心理学の基礎*(三訂版). 培風館.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- 新美亮輔・上田彩子・横澤一彦 (2016). *オブジェクト認知 統合された表層と理解 選択と統合(シリーズ統合的認知)*. 勁草書房.
- 西川泰夫, 新名新(1981). 情報処理様式からみた大脳両半球の機能的差異. *心理学研究*, 51, 335-342.
- Mocovitch M, Scullin D, & Chreite D. (2012). Early versus late stages of processing and their relation to functional hemispheric asymmetries in face recognition. *J Exp Psychol Human*, 2(3), 401-416, 1976
- 永江誠司. (2012). *認知と脳*. おうふう.
- 落合信寿・齋藤美穂. (2005). 日本人学生における安全色のリスク認知. *日本色彩学会誌*, 29, 303-311.
- 荳阪直行 (2012). 高次脳機能とアウェアネス, *日本高次脳機能障害学会誌*, 32: 427-432.
- 荳坂直行・池田尊司 (2006). 色のワーキングメモリの脳内表現. *日本色彩学会誌*, 30, 197-203.
- 大島正光 (1954). *安全と色彩*. 日本規格協会.
- 尾関誠・横澤一彦 (2003). 変化検出課題における視覚性短期記憶の性質, *心理学研究*, 73, 464-471.
- 大道通孝・松永真也 (1996). 継時的 Stroop マッチング課題における刺激属性の一致性効果. *金沢大学教育学部紀要 人文科学・社会科学編*, 56, 55-65, 2007
- Previc, F. H. (1996). Attentional and oculomotor Influences on visual field anisotropies in visual search performance. *Vis Cogn*, 3, 277-302.
- Rensink, R. A. (2000). The dynamic representation of scenes, *Vis Cog*, 7, 17-42.
- Rezec, A., & Dobkins, K. (2004). Attentional weighting: A possible account of visual field

- asymmetries in visual search?. *Spat Vis*, 17, 269-293.
- Rizzolatti, G., Umiltà, C., & Berlucchi, G. (1971). Opposite superiorities of the Light and left cerebral hemispheres in discriminative reaction time to physiognomical and alphabetical material. *Brain*, 94, 431-442.
- Rohdes, G. (1985). Lateralized processes in face recognition. *Br J Psychol*, 76(2), 249-271.
- Schneegans, S., & Bays, P. M. (2017). Neural architecture for feature binding in visual working memory. *J Neurosci*, 37, 3913-3925.
- Sligte, I. G., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. F. (2009). V4 activity predicts the strength of visual short-term memory representations. *J Neurosci*, 29, 7432-7438.
- Sperry, R. W., Gazzaniga, M.S., & Bogen, J.E. (1969). Interhemispheric relationships: the neocortical commissures; syndromes of hemisphere disconnection. *Disorders of Speech, Perception and Symbolic Behavior*, Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 273-290.
- Sperry, M. (1985). Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. *Science*, 217, 1223-1226.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *J. Exp. Psychol*, 18, 643-662.
- Tan, J., Zhao, Y., Wu, S., Wang, L., Hitchman, G., Tian, X., Li, M., Hu, Li., & Chen, A. (2014). The temporal dynamics of visual working memory guidance of selective attention, *Front Behav Neurosci*, 8, 476-473.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychol*, 12, 97-136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature Analysis in Early: Evidence from Search Asymmetries. *Psychol Rev*, 95, 15-48.
- Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 16, 459-471.
- Ueda, Y., Chen, L., Kopecky, J., Cramer, E.S., Ronald, A. Rensink R.A., Meyer, D. E., Kitayama, S., & Saiki, J. (2018). Cultural differences in visual search for geometric figures. *Cognitive Sci*, 42, 286-310.
- Ullman, S. (1996). *High-level vision: Object Recognition and Visual Cognition*. The MIT Press.
- 和田裕一・西條将樹・加藤考義 (1999). 選択的注意課題における視野の非対称特性, *人間工学*,

35, 271-276.

Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A revised model of visual search. *Psychono Bull Rev*, 1, 202-238.

Wolfe, J. M. (2021). Guided Search 6.0: An updated model of visual search. *Psychono Bull Rev*, 4, 1060-1092.

Woodman, G. F., & Vogel, E. K. (2008). Selective storage and maintenance of an object's features in visual working memory. *Psychono B Rev*, 15, 223-229.

Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. Plenum Press, New York.

横澤一彦. (1992). 視覚情報処理の基本過程. *生産研究*, 44(12), 606-610.

横澤一彦. (1999). 高次視覚の認知心理学と脳機能計測. *認知神経科学*, 1(2), 152-156.

横澤一彦・熊田孝恒. (1996). 視覚探索 現象とプロセス. *認知科学*, 3, 119-138.