

色の視覚性短期記憶に関する研究の動向

川島淨子^{*1}, 高雄元晴^{*2}

Studies on visual short-term memory of color: a review

by

Seiko Kawashima, Motoharu Takao

(received 5 Sept. 2021 & accepted 14 Sept. 2021)

Abstract

The capacity for color vision in primates, such as humans and monkeys among mammals, is essential for discriminating between edible fruits and toxic plants, and is an important function that has characterized the evolution of primates. Although primates are equipped with the ability to perceive many colors instantly and process them in the brain, the mechanism of color memory has not yet been elucidated. The purpose of this paper is to summarize the past research on visual short-term memory for color, to identify the areas of research that have not yet been studied extensively, and to extend the results to provide suggestions for future research. In particular, focusing on the accuracy and the time required for recognizing color stimuli on visual short-term memory by using visual delayed match to sample (vDMTS), we report the research trends on the effects of match and mismatch conditions in which only two color stimuli were changed, the effect of the positions of stimulus presentation on the recognition of color placement mismatches, and the effect of a Stroop task involving letter information in addition to color.

Keywords: 1. visual short-term memory 2. color 3. recognition 4. match/mismatch 5. spatial representation 6. visual field 7. stroop effect

1. 諸言

哺乳動物の中でもヒトやサルといった霊長類の色覚の能力は、食用の果物と毒性の植物を判別するのに不可欠なものであり、霊長類の進化を特徴づける重要な機能といえる(Gray, 2002)。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は具えられているものの、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。本論文は、認知科学分野において重要なテーマである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ることで、明らかになっていない研究領域を明確化し、今後の研究へ展開することを目的とする。

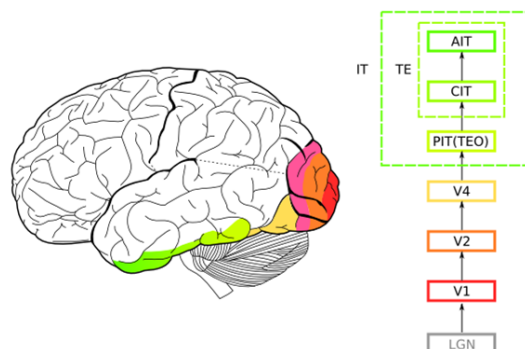
本論文の構成を次に示す。まず第2章では、知覚、認知、及び記憶のメカニズムについて概説する。続く第3章では本研究の根幹となる色の視覚性短期記憶の認知過程に係る研究の現状と課題について述べる。最後に、第4章では、今後の研究として研究領域、研究内容へ展開する。

2. 視覚性刺激の知覚、認知、短期記憶の概観

2.1 視覚性刺激の知覚

はじめに、視覚性刺激の知覚について述べる。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。色の視覚性短期記憶は、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、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。図1に脳内伝達経路を示す。網膜から伸びる視神経を通して脳に送られた情報は、第一次視覚野(V1)へ投影される途中で、視交叉によって左視野に入力された情報は右半球の脳へ、右視野に入力された情報は左半球の脳へ送られる。このように、視野に対応した明確な左右半球差が生じることは、ラテラルリティ(laterality)として知られている。色、及び形の情報は、主に第一次視覚野(V1)、第二次視覚野(V2)、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、頭頂連合体へつながる背側経路で処理される。このように、2つの経路を経て、物体と位置の関係性は把握され、情報として保持されている。



出典

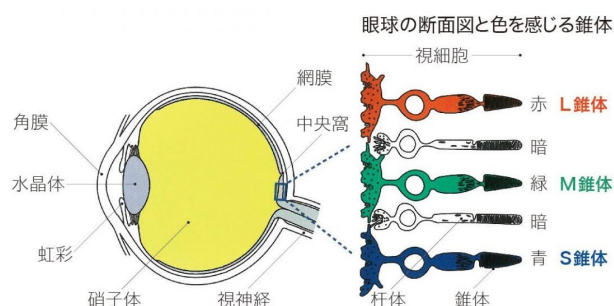
<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/feature/15/032300023/00021/?ST=tomorrow&P=2>

図1 脳内伝達経路

*1 客員研究員、東海大学情報理工学部情報科学科

*2 教授、東海大学情報理工学部情報科学科

次に視覚性色刺激について述べる。図 2 に、眼球の断面図と色を感じる機能について示す。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って 3 種類 (S,M,L 錐体) に分類され、それぞれの錐体の分光吸収特性は異なっており、その違いは発現している視物質 (visual pigment) の性質に依存する。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) を発現しており、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、各視物質を介して各錐体が作用する。各錐体の活動度の相対的な違いは脳に伝えられて処理され、色として知覚される。赤と緑の混合光と、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ってすべての色を知覚している。



出典: <https://cud.nagoya/basic>

図 2 眼球の断面図と色を感じる機能

2.2 知覚の情報処理過程

次に、視覚性刺激の短期記憶について述べる。記憶には、ごく短時間だけ視覚性感覚記憶 (visual sensory memory: VSM) ,数十秒の視覚性短期記憶 (visual short-term memory: VSTM) ,それ以上の視覚性長期記憶 (visual long-term memory: VLTM) がある。前述のとおり、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 (visual sensory memory: VSM) として保持され、その後、網膜内のニューロンにより情報処理されるが、その中でも、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) を経て脳の表層にある下側頭葉にある第四次視覚野 (V4) に伝えられ、視覚性短期記憶 (visual short-term memory: VSTM) として登録される (Sligte, Scholte, & Lamme, 2009)。なお、VSM は 100 ~ 300ms の間保持されることが明らかとなっている (Neisser, 1967)。その後の記憶は、VSTM として数十秒間の間は保持されることが知られている。それ以降の視覚性長期記憶 (visual long-term memory: VLTM) は、数十秒以上の長期にわたる半永久的な記憶である。VSM から VSTM への移行には選択的注意 (Selective Attention) が、また VSTM から VLTM への移行にはリハーサルなどの操作が関与している。Atkinson & Shiffrin (1968) が報告したモダルモデル (図 3) と呼ばれる初期のモデルや Goodale & Milner (1992) の研究により、情報処理の過程で一時的に必要な情報を覚えておく短期記憶の機能的側面に注目したワーキングメモリー (working memory) という概念が提唱され、多くの研究がこのモデルに基づいてなされている。

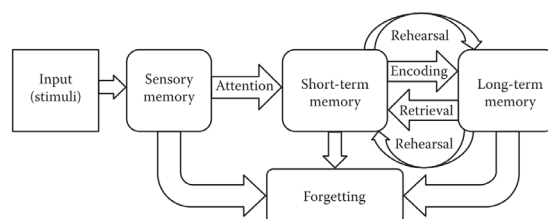


FIGURE 10.2 Atkinson and Shiffrin memory model. (From Atkinson, R. C. and Shiffrin, R. M. *The Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89-195, 1968.)

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の中核には中央実行系 (central executive) があり、そこで情報を処理しつつ保持するのに必要な”注意”の制御機能を備えている。加えて、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) などの注意の制御機構としての役割も担っていることも特徴である。このように、選択的注意という能動的な機能が、感覚記憶から短期記憶へ移行するのに重要な役割を担うとされている。

2.3 記憶の過程

次に、記憶の過程について述べる。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)) ,そして取り出し思い出すはたらき (想起 (retrieval) , または検索 (recollection)) の三つの過程がある (宮田・賀集, 2004)。3 つめの想起は、さらにその方式から、保持された記憶を自らそのまま呼び起こす再生 (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) ,持っている記憶のいくつかを組み合わせる再現される再構成 (reconstruction) に大別される。

3. 色の視覚性短期記憶の過程に係る研究と課題

本章では、研究の根幹となる色の視覚性短期記憶の認知過程に係る研究について述べる。短期記憶における色の再認の研究は、視覚刺激の要素、情報処理のメカニズム、脳の関連部位に関するものが多く研究され、現在に至っている。視覚刺激の要素の研究は、色と形に注目したことが多い。

3.1 色の視覚性刺激の要素の研究

ヒトは、視覚性刺激を記憶するとき、色と形の 2 つの刺激の要素を統合して記憶するのか、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。また Luck & Vogel (1997) は色のみと色と形を組み合わせた記憶の研究において、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。しかし一方で、その後、Schneegans & Bays (2017) は、色、形 (向き) ,位置を変えた刺激を呈示した実験において、色と形は分けて記憶されることを報告、Brady, Konkle, Alvarez, & Oliva (2013) はソファ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、色の記憶が形の記憶よりも時間経過の中で早く忘却することから別々に記憶し

ていることを明らかにし、現在の主流となっている。色と形の関係性に関しては、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色の配色の記憶ではレイアウトが影響することから、ヒトは配色を記憶する場合はレイアウト、向きなどの空間的特徴に関することを参考に行っていることを示唆している。また、その後、Woodman & Vogel (2008)は記憶の保持に必要な注意の集中度をみた時、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。これまでのところ一致した結果は得られていない。

3.2 視覚遅延見本合わせにおける色と形の研究

次に、VSTM に関する最初の色刺激と後で提示する色刺激が一致する場合（以後、マッチ条件と称する）と不一致の場合（以後、ミスマッチ条件と称する）の再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関する研究について述べる。記憶の測定法としては、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、自由再生学習法がある。一方、再認によるものとして再認法がある（今井・宮田・賀集, 2004）。再認法とは、VSTM に関し、マッチ条件とミスマッチ条件の再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関して測定する方法である。視覚遅延見本合わせ(visual delayed match to sample: vDMTS)は、その一つである。Liang & Liu (2017)は5つの図形に5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、ミスマッチ条件では再認の正確さ、反応時間が有意に低下すると報告している。これに反して、Downing (2000)は、形(顔、物体)、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は長くなるが、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おり、これまでのところ、再認の正確さ、再認にかかる時間に与える影響に関して一致した結果は得られていない。

3.3 刺激の提示視野の研究

刺激の提示視野(上,下,右,左)が視覚的短期記憶に与える影響であるラテラルリティーに関し、Feng & Spence (2014)と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)とFeng & Spence (2014)は、視覚探索、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, Nocera, & Ferlazzo (2001)と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、上視野は劣ると報告している。右視野、左視野について、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、色の視覚的短期記憶において、色のみを変化させたマッチ条件、ミスマッチ条件における刺激の提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。

3.4 色の記憶方法に関する研究

視覚性刺激の色情報の短期記憶は、言語に依存するか、視覚に依存するかは多くの研究がされてきた（荳坂・池田, 2006）。色

は、言語、すなわち色名で記憶され、色のついた文字においては、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、色の記憶と文字の記憶が互いに競合し迅速かつ正確に認知出来なくなる。この現象はストル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）の一つとされている。また、荳坂・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）に依存するののか、視覚（視覚的ワーキングメモリ）に依存するののかを、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、基本色で定義される色カテゴリーをクロスする場合は、左半球の下前頭回や下頭頂小葉が強く活動することから言語的ワーキングメモリが働き、一方で同じ色カテゴリー内の場合は、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が働くことを、日本人被験者の実験で明らかにした。しかし、被験者の出身国などの属性による効果に着目した研究は、これまで行われてこなかった。

4. 今後の研究について

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、状況判断の時間の短縮に関与する視覚性刺激の色の情報の認知、記憶は重要であるが、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。本論文は、色の視覚性短期記憶に関し、これまでの研究の動向をまとめることで、明らかになっていない研究領域を明確化し、今後の研究へ展開することを目的とした。

これまで見てきたように、色の視覚的短期記憶の中で、視覚遅延見本合わせを用いた色のみを変化させたマッチ条件、ミスマッチ条件、色の刺激の提示視野が再認に与える影響、また色に加えて文字情報が関与するストループの色の視覚性短期記憶における影響、さらに刺激を提示する視野が再認の正確さ、再認にかかる時間に及ぼす影響について研究する必要がある。

引用文献

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Memory Retention and Recall Process. *Psychol Learn Moti*, 2, 219–224.
- 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, 055-070.
- 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.
- Downing, P. E. (2002). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychol Sci*, 11, 467-473.
- Feng, J., & Spence, I. (2014). Upper Visual Field Advantage in Localizing a Target among Distractors. *I-Perception*, 5, 97-100.
- 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, 153-159. NY, USA: Worth Publishers.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 15-1, 20-25.
- Liang, T., Hu, Z., & Liu, Q. (2017). Frontal theta activity supports detecting mismatched information in visual working memory. *Front Psychol*, 8, 1-8.
- Levine, M.W., & McAnany, J. J. (2005). The relative capabilities of the upper and lower visual hemifields. *Vision Res*, 45, 2820-2830.
- 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.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Previc, F. H. (1996). Attentional and Oculomotor Influences on Visual Field Anisotropies in Visual Search Performance. *Vis Cogn*, 3, 277-302.
- Rezec, A., & Dobkins, K. (2004). Attentional weighting: A possible account of visual field asymmetries in visual search?. *Spat Vis*, 17, 269-293.
- 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. *Neurosci*, 29, 7432-7438.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *J. Exp. Psychol*, 18, 643-662.
- 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.
- 今井寛・宮田洋・賀集寛 (2004). 心理学の基礎, 164-165.
- 苧坂直行・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.