

視覚イメージの神経基盤

2020年6月23日

概要

ワーキングメモリとは短期的にものごとを保持する能力、ひいてはそれに対して処理を加える能力のことである。ワーキングメモリは、計画を立て実行するなど人間の目標志向的行動のために不可欠な認知機能であり、人間を人間たらしめる能力の一つと言える。そのため、ワーキングメモリの神経基盤を明らかにすることは神経科学や心理学の主要な目標の一つである。

その神経基盤の重要な要素の一つは視覚情報を生成するメカニズムである。例えば視覚ワーキングメモリにおいては「視覚入力がないにもかかわらず意図的に視覚情報を生成する能力」が重要な要素となるが、従来の研究ではこの点にフォーカスして検討したものが少なく十分に理解が進んでいないという問題点がある。そこで今回のレビューでは別の視点を取り入れた。つまり「視覚イメージの神経基盤」についての論文を調査することで、視覚入力がない状況下でいかにして私たちの脳が視覚情報を生成しているのかの理解を深めることを試みた。対象はこれまでと同様、ここ10年以内に発表された論文とした。

視覚イメージと視覚ワーキングメモリ

視覚ワーキングメモリと視覚イメージの間には共通点が多い。例えば、2011年にPLOS ONEに報告された論文は35名を対象とし、両眼視野闘争により計測した視覚イメージ能力と視覚パターン保持課題により計測した視覚ワーキングメモリ能力の間に有意な正の相関が見られることを報告した(Keogh & Pearson, 2011)。他にも興味深い研究があり、2018年のCortex誌に掲載された論文では、Aphantasiaという視覚イメージができない症状を持つ人は視覚ワーキングメモリ能力が通常よりも低いことが報告され(Jacobs et al., 2018)、逆に視覚イメージ能力に優れるとされる共感覚(Brang & Ahn, 2019)の人を対象としたメタ分析では、彼らはワーキングメモリ能力が通常よりも高い(Ward et al., 2019)ことが示されている。これらの報告をまとめると、視覚イメージ能力が高いほど視覚ワーキングメモリ能力が高い傾向にあり、これらの間の関係性の深さがうかがえる。

視覚イメージ情報は視覚野で表現される

それでは、視覚イメージはどのような神経基盤に基づくのだろうか。非常に多くの研究で視覚野が視覚イメージの情報を表現していることが示唆されている。一例として

2020年に *Cortex* 誌に掲載された論文では、機能的MRIを用いて視覚イメージが表現されている脳領域を検討した(Ragni et al., 2020)。結果、視覚情報は視覚野を中心とする領域で表現されていることが確認されている。他にも2013年に *Current Biology* に報告された論文でも同様に視覚野で視覚情報が表現されており、またこれは視覚ワーキングメモリでも同様であることを報告している(Albers et al., 2013)。さらに、2020年に *eLife* に報告された論文では、安静時の視覚野の活動性が低い人の方が視覚イメージが鮮明にできること、また電気刺激で視覚野の活動性を下げると視覚イメージが鮮明になることを報告している(Keogh et al., 2020)。これは、安静時に視覚野の活動が低い、つまりノイズが少ない人の方がメリハリのある視覚イメージができることを示唆しており、上記の他の研究と同様に視覚野が視覚イメージを表現していることを支持している。

視覚イメージ表象は前頭葉からのトップダウンシグナルにより実現される

視覚イメージが視覚野で表現されているとすれば、その視覚野の活動はどのように生み出されているのだろうか。これはまだ研究の数が少ないものの、前頭葉によるトップダウンのシグナルによって実現されていると考えられる。例えば2017年に *Scientific Reports* に掲載された論文では、視覚イメージ時の脳活動を機能的MRIにより検討した(Dijkstra et al., 2017)。結果、視覚時には視覚野から前頭葉に向けてのボトムアップのシグナルの流れが主であったのに対し、視覚イメージ時には前頭葉から視覚野に向けてのトップダウンシグナルが顕著に増大した。このことは、視覚野における視覚イメージ表現は前頭葉からのトップダウンシグナルによって実現していることを示唆している。また、これを支持する結果として、上記した2020年の *eLife* の論文では、安静時に前頭葉の活動が高い人の方が視覚イメージ能力が高いこと、また電気刺激により前頭葉の活動性を高めると視覚イメージが鮮明になることを示している(Keogh et al., 2020)。また、2014年の *NeuroImage* に掲載された論文では、前頭葉ではないものの頭頂葉から視覚野へのトップダウンシグナル視覚イメージ中に高まることを示し(Dentico et al., 2014)、同様にトップダウンのシグナルによって視覚野における視覚表現を実現していることを支持している。

結論と今後の展望

これらの研究から、視覚イメージは前頭葉をはじめとする高次の脳領域から視覚野へのトップダウン入力により視覚表現を想起することによって実現していると考えられる。しかし、前頭葉から視覚野へのトップダウン入力の詳細なメカニズムは不明点が多い。そのトップダウン入力は具体的にどのような神経繊維により入力されているのか、その間にどのような脳領域を経由しているのか、その前頭葉からの入力信号はそもそもどのように生まれるのか、またそのようなトップダウン入力経路は進化の過程でどのよ

うに獲得されたのかについての理解が不十分である。これらの点を明らかにすることは、視覚イメージ、ひいては視覚ワーキングメモリの理解において極めて重要だろう。

引用文献

- Albers, A. M., Kok, P., Toni, I., Dijkerman, H. C., & De Lange, F. P. (2013). Shared representations for working memory and mental imagery in early visual cortex. *Current Biology*, *23*(15), 1427–1431. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.065>
- Brang, D., & Ahn, E. S. (2019). Double-blind study of visual imagery in grapheme-color synesthesia. *Cortex*, *117*, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.02.025>
- Dentico, D., Cheung, B. L., Chang, J. Y., Guokas, J., Boly, M., Tononi, G., & Van Veen, B. (2014). Reversal of cortical information flow during visual imagery as compared to visual perception. *NeuroImage*, *100*, 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.05.081>
- Dijkstra, N., Zeidman, P., Ondobaka, S., Van Gerven, M. A. J., & Friston, K. (2017). Distinct Top-down and Bottom-up Brain Connectivity during Visual Perception and Imagery. *Scientific Reports*, *7*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05888-8>
- Jacobs, C., Schwarzkopf, D. S., & Silvanto, J. (2018). Visual working memory performance in aphantasia. *Cortex*, *105*, 61–73. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.10.014>
- Keogh, R., Bergmann, J., & Pearson, J. (2020). Cortical excitability controls the strength of mental imagery. *ELife*, *9*, 1–33. <https://doi.org/10.7554/eLife.50232>
- Keogh, R., & Pearson, J. (2011). Mental imagery and visual working memory. *PLoS ONE*, *6*(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029221>
- Ragni, F., Tucciarelli, R., Andersson, P., & Lingnau, A. (2020). Decoding stimulus identity in occipital, parietal and inferotemporal cortices during visual mental imagery. *Cortex*, *127*, 371–387. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.02.020>
- Ward, J., Field, A. P., & Chin, T. (2019). A meta-analysis of memory ability in synaesthesia. *Memory*, *27*(9), 1299–1312. <https://doi.org/10.1080/09658211.2019.1646771>