

多物体恒常性追跡に関わる脳部位間の関係

伊丸岡 俊秀

科学技術振興機構 PRESTO

齋木 潤

科学技術振興機構 PRESTO

宮内 哲

京都大学大学院情報学研究科

通信総合研究所脳情報グループ

Recently, we showed the MOPT (multiple object permanence tracking) task-related brain activities in the bilateral parietal, the bilateral FEF, the bilateral inferior frontal, and the right anterior prefrontal cortices. Since these brain areas are known to be related to large amount of cognitive activities such as object tracking, feature binding, and change detection, it should be clarified that the correspondence between each brain activity and the cognitive function involved in the MOPT task. In the present study, we calculated connectivity between the activated brain areas by using a structural equation model. The connectivity analyses showed that there were loose relationship across activated areas. Furthermore, the relationship was stronger both between the parietal area and the FEF and between the anterior PFC and the IFC. These results suggest that two distinct systems underlie the object representation in visual working memory..

Keywords: visual working memory, object representation, feature binding, object tracking, fMRI.

問題・目的

視覚入力がかたがた遮られるにも関わらず、視覚系は外界に関する安定した知覚を保つことができる。このことは視覚系に、視覚表象を利用可能な状態のまま保持する機能が存在することを示しており、視覚的作業記憶と呼ばれるその機能やその神経基盤に関して、これまで多くの研究が行われてきた。視覚的作業記憶がどのような表象を保持しているのかという問題に関してはまだ議論が残っているが、少なくともいくつかの研究は、視覚的作業が完全に統合されたオブジェクトを安定して保持しているのではなく、特徴ベースの表象を必要に応じて統合しているという可能性を示している (Wheeler & Treisman, 2002; Saiki, 2003)。本研究では視覚的作業記憶内においてどのようにオブジェクトが表象されているかを明らかにするために、特徴ベースの表象ではなくオブジェクトベースの表象が必要とされると考えられる“多物体恒常性追跡課題 (multiple object permanence tracking: MOPT)” 遂行中の脳活動をfunctional MRIを用いて計測した。

方法

16名の被験者が3セッションからなるMRI実験に参加した。実験においては2 x 2の要因計画によるブロックデザインを用いた [ディスク運動 (disk-moving, disk-stationary) x MOPT課題 (テスト, コントロール)]。刺激画面は色のついた4つのディスクと灰色の4つの遮蔽物からなっていた。試行は固視点の呈示で始まり、それに続いてディスク (disk moving条件) または遮蔽物 (disk stationary条件) が一定の角速度 (126°/sec) で運動した。一試行は約5秒から7秒間続いた。テスト条件では4つのディスクはそれぞれ別の色で彩色され、試行の最後の2可視ピリオド (ディスクが遮蔽物に隠れていない期間) において4つのうち2つのディスク間で色の入れ替わりが起こった (図1)。コントロー

ル条件では4つのディスクは全て同じ色に彩色され、色の入れ替わりは起こらなかった。被験者は色の入れ替わりが生じたかどうかを判断し、試行終了後にボタン押しによって反応することを求められた。

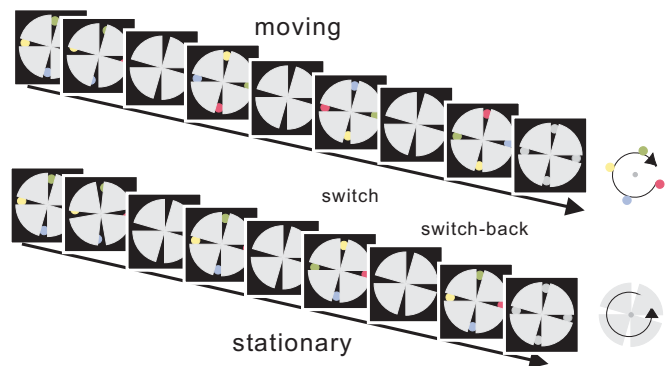


図1：刺激例

MRIの撮像は1.5テスラのMRスキャナ (Siemens magnetom VISION) を用い、1セッションあたり143スキャンを行った。MRIの解析において、活動部位の同定にはSPM99 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) を用いた。構造方程式モデル (図3参照) によるfunctional connectivityの解析ではAMOS 5.0を用いた。

結果

まずMOPT課題遂行中に活動する脳部位を同定するためにテスト条件とコントロール条件の差を各ディスク運動条件ごとに計算した (図2a, b)。ディスク条件間に活動部位の大きな差はなく両条件で頭頂から前頭にかけて広い活動が見られた。この結果は両側頭頂葉、両側前頭眼野、補足運動野、両側下前頭葉、両側島、右前部前頭前野がMOPT課題におけるオブジェクト処理に関わっている可能性を示す。

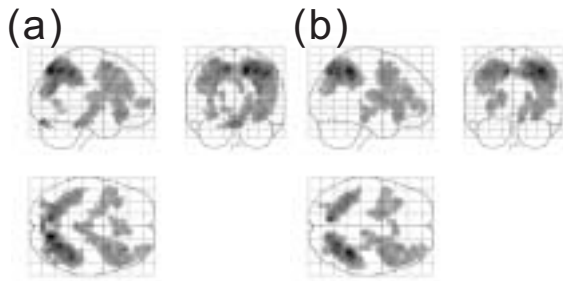


図2：(a) disk moving 条件，(b) disk stationary 条件におけるテスト - コントロールの結果．左上，右上，左下の順に頭部を右，後，上から見た透過図．

続いて活動が示された部位における MR 信号を用いて，図3に示した構造方程式モデルによって領域間の相関を算出した．解析は条件ごとに別々に行い，活動が強かった右半球の活動部位のみを用いた．代表的な被験者の disk moving・テスト条件の結果を図3に，各条件ごとに計算した領域間の係数を被験者間で平均した値を図4a-cに示す．図が示すように，頭頂 - 前頭眼野間と下前頭 - 前部前頭前野間の係数は他の領域間の係数よりも高くなる傾向が見られた．

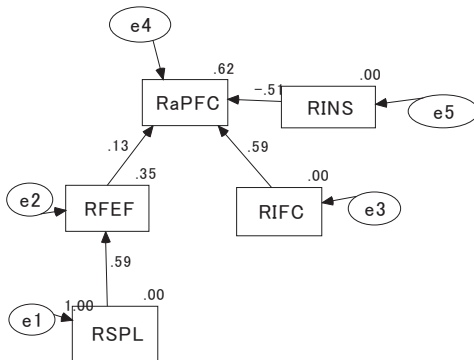


図3：構造方程式モデルの結果の代表例．Disk moving，テスト条件における右半球の活動部位から得られた MR 信号を用いた結果．

考察

活動部位の結果は本研究で用いた MOPT 課題に多くの脳領域が関与することを示した(図3)．この中にはは先行研究において注意によるトラッキングなどの空間的処理に関与することが示されている前頭 - 頭頂ネットワーク (Culham et al., 1998) およびオブジェクトが持つ属性間の結合を行うとされている右前部前頭前野 (Prabhakaran et al., 2000) が含まれ，MOPT 課題がオブジェクト位置

のトラッキングとオブジェクトの位置情報と色情報の結合という二つの異なる認知機能を必要としていることを示している．また，活動間の connectivity の解析の結果は，これらの認知機能が異なる二つの神経システムによって行われていることを示唆する．

これらの結果は，少なくともこの課題で必要とされるオブジェクト表象は，単一の神経システムではなく，二つのシステム間の協調によって表現されていることを示す．

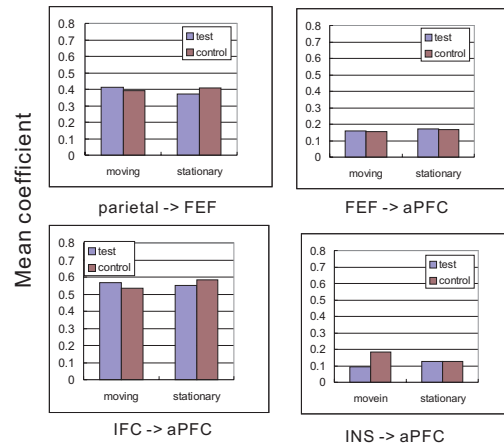


図4：構造方程式モデルによって求めた各領域間の functional connectivity

結論

本研究ではMOPT課題を用いて視覚的作業記憶におけるオブジェクト表象の神経基盤を調べた．活動部位，および活動部位間のconnectivityを解析した結果，オブジェクトは前頭 - 頭頂の空間処理システムと前部前頭前野の特徴統合システムが協調することによって表現されていることが示された．

参考文献

- Culham, J. C., Brandt, S. A., Cavanagh, P., Kanwisher, N. G., Dale, A. M., & Tootell, R. B. 1998 Cortical fMRI activation produced by attentive tracking of moving targets. *Journal of Neurophysiology*, 80, 2657-2670.
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli J.D. 2000 Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *nature neuroscience*, 3, 85-90
- Saiki, J. 2003 Spatiotemporal characteristics of dynamic feature binding in visual working memory. *Vision Research*, 43, 2107-2123
- Wheeler, M. E., & Treisman, A. M. 2002 Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 48-64.