

身体と対象中心位置判断における前頭-頭頂ネットワークの役割

松本 絵理子

独立行政法人通信総合研究所関西先端研究センター脳情報
グループ

要約 身体中心の空間表現と対象中心の表現に関わる神経基盤について検討した。画面上に提示された視覚対象の位置判断を身体中心座標系に基づいて行った場合でも、対象の位置関係に基づいて行った場合でもほぼ共通した活動が前頭 - 頭頂領域に認められた。また、どちらの基準で判断を行った場合でも左右半球差は明らかであり、右半球の優位性が見られた。これらの結果から、2つの空間表象システムは互いに共通した神経基盤を持ち、課題要求によって空間表現を切り替えている可能性が示唆された。

Keywords: object-centered, body-centered, spatial representation, fMRI

背景・目的

行動実験 (Posner 1980; Duncan 1984) 及び半側空間無視例など脳損傷例の知見より、注意機能は物体中心 (object-center) に働くシステムと自己中心あるいは自己身体中心 (ego- or body-centered) に働くシステムが独立に存在する可能性が示唆されてきている。これまでのイメージング研究の結果は、物体中心座標系と自己中心座標系の脳内神経基盤は殆ど前頭-頭頂領域に共通しており、座標系による差異は視覚領域の局所領域における活動の程度の違いにとどまるものが多い (Fink et al, 1997; Galati et al, 2000)。このことから、物体中心座標系と自己身体中心座標系の脳内表現は前頭-頭頂領域の共通した神経基盤の中で表現されている可能性が高いが、どのように異なる座標系を表現しているのかについては不明な点が多い。また、殆どのイメージング研究や脳損傷例において、空間表現における左右半球機能差について報告されているが、座標系による左右差の違いについては殆ど検討がなされていない。本研究では2つの空間座標系と前頭-頭頂領域の脳内活動についてMRIを用いて詳細な検討をおこなうことを目的とした。

方法

被験者 被験者は6名 (うち女性1名)、全員右利きで、正常な視力ないし矯正視力を有していた。
課題 刺激の作成・制御にはコンピュータ (NEC PC98) を使用した。刺激は液晶プロジェクターを通じてMRIスキャナ内のスクリーンに投影され被験者はヘッドコイル上に設置された鏡を通じて刺激を見た。刺激は1個の灰色光点と2組の色ドット刺激 (赤色、緑色)。色ドット刺激は左右 $\pm 4.8 - 7.2$ deg の位置に呈示される。2個の光点間の距離は一定 (12 deg) に保たれた状態で、右より、中央、左よりのいずれかの位置にランダムに呈示される。灰色光点は中央から左右 ± 2.0 deg の位置にランダムに呈示した (Figure 1)。
手続き 被験者は両端の色ドット刺激が赤色の場合には身体中心からみて灰色刺激が右側か左側かを2肢強制選択で答える (身体中心課題)。色ドット刺激が

緑色の場合には身体中心からの位置に関係なくドット刺激間の中心からみて灰色光点が右側か左側かを同様に答えるよう教示された (対象中心判断)。判断は両手に持ったボタン押しにより行い判断の左右とボタンの左右の対応は被験者間でカウンターバランスをとった。被験者の反応があるまで刺激は最大1000ms呈示された。被験者の眼球運動はMRI内に取り付けられたアイカメラ (NAC) によりモニターされた。被験者は眼球運動を制限されていないが、いずれの課題条件であってもできるだけ両端のドット刺激にサッカードを行わないように教示された。

MRI撮像以前に、別室で自己中心判断課題、対象中心判断課題の両方、それぞれ60試行、合計120試行の練習をおこなった。MRIセッションは全ての被験者について2回ずつ行った。1回のMRIセッション内には自己中心判断課題、対象中心判断課題の両方が含まれている。セッション内では30秒間ごとにブロックを分け、自己中心判断課題、対象中心判断課題、対照条件 (安静開眼条件) を交互に各4回ずつ繰り返した。1セッションの試行数は、対象中心判断課題84試行、自己中心判断課題84試行、計168試行であった。

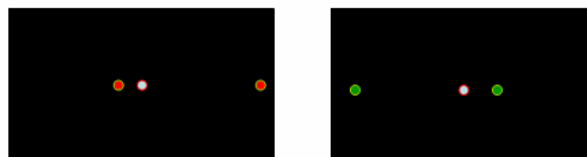


Figure 1. Example of stimuli used in the experiment. Left: Body-centered task. Right: Object-centered task. In this set, both the egocentric (body-centered) position of the center dot was fixed, but its object-relative position was varied.

結果

行動データの結果 各位置毎に右側反応の出現確率をプロットし、シグモイド曲線フィッティング

(Boltzmann)を行い、反応確率が50%になる×座標を主観的中心点の指標とした。MRIスキャン中の行動データの結果、身体中心課題では被験者の主観的中心点は平均0.21 deg (SD=0.97)であり、対象中心課題の主観的中心点は平均0.13deg (SD=0.33)であり、優れた差は認められなかった。どちらの判断課題でもほぼ正確に中央が判断されていた。顕著な判断バイアスは無かった。また判断の正確さの指標として曲線の傾きを算出したが、身体中心課題では0.78 (SE=0.32)、対象中心課題では0.67 (SD=0.22)と差はなかった。

MRIデータの結果 身体中心課題と対象中心課題中の脳活動を対照条件と比較した($p < .001$, uncorrected)。有意に活動がみられた領域をFigure 2に示す。身体中心課題と対照条件の比較では右半球の頭頂間溝近傍から上下頭頂小葉および右半球運動前野に活動がみられた。左半球は下頭頂小葉に活動がみられた。対照中心課題では同様の身体中心課題と領域に加えて、右下前頭回での活動も認められた。身体中心課題と対象中心課題の比較では、対象中心課題の方が両側半球の下頭頂小葉でより強い活動がみられた($p < 0.001$, uncorrected)。両課題条件に共通して右側上下頭頂小葉と運動前野で有意な活動が認められた。

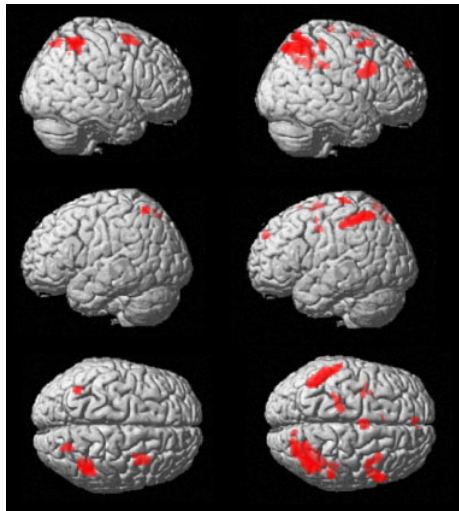


Figure 2. Statistical parametric maps show areas of activation ($P < 0.001$ uncorrected) in either the body-centered task (left part) and the object-based task (right part) compared with rest. Group analysis (conjunction analysis) of six subjects are superimposed on a T1-weighted template.

考察

自己中心課題、対象中心課題に共通して、前頭 - 頭頂領域に活動がみられた。この前頭頭頂ネットワークが両方の座標に共通した空間表現を行っていると考えられる。これまで、脳損傷例の研究においても、半側空間無視では身体中心座標系を基準とした無視と対象を中心とした無視が独立して生じるケースが報告されているが、損傷部位は両者とも広範であり、部位によって差異を説明することは困難であると考えられてい

る。近年、Deneveらは物体中心の空間表現は網膜中心表現から独立ではなく、網膜中心表現と物体中心表現を組み合わせたマップを持っているというモデルを提唱している (Deneve & Pouget 2003)。このモデルではマップを持ち、トップダウン信号の入力を受けて適切なマップを選択するという処理を担う領域に前頭頭頂のネットワークを想定している。本実験でも身体中心・対象中心の両課題においてほぼ共通の神経活動が観察されたが、Deneveらのモデルと矛盾しない結果であり、共通したマップ表現が存在する可能性が高い。

また、脳活動には明らかな左右半球差が認められた。先行研究 (Galati et al, 2000)でも類似の結果が報告されており、空間表現の右半球優位性は繰り返し指摘されている。しかしこれまで物体中心・身体中心の空間表現と左右差、関係する領域の違いについては一致した知見は得られていない。本研究で用いた主観的中心判断課題では左バイアスが報告されているが (Jewell & McCourt 2000)、この認識上の左右差は脳機能の左右差と関係していると考えられてきた。今回、MRIスキャン中の行動データではバイアスが見られなかったため対心関係については論じられないが、両側半球間の機能的結合関係について、さらに検討を加える必要があると考えられる。

引用文献

- Duncan J. 1984 Selective attention and the organization of visual information. *J Exp Psychol Gen* 113: 501-517.
- Deneve S, Pouget A. 2003 Basis functions for object-centered representations. *Neuron* 37: 347-359.
- Fink GR, Dolan RJ, Halligan PW, Marshall JC, Frith CD. 1997 Space-based and object-based visual attention: shared and specific neural domains. *Brain* 120: 2013-2028.
- Galati G, Lobel E, Vallar G, Berthoz A, Pizzamiglio L, Le Bihan D. 2000 The neural basis of egocentric and allocentric coding of space in humans: a functional magnetic resonance study. *Exp Brain Res* 133: 156-164.
- Jewell G, McCourt ME. 2000 Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia* 38: 93-110.
- Posner MI. 1980 Orienting of attention. *Q J Exp Psychol* 32: 3-25.