

両眼視野闘争における知覚交代の脳メカニズム

1205084 松本剛 【 認知神経科学研究室 】

Investigation of brain mechanisms underlying binocular rivalry

1205084 MATSUMOTO Go 【 Laboratory of Cognitive Neuroscience 】

1 はじめに

意識的知覚における脳メカニズムは、現代の神経科学の中心的な問題の一つである。意識的な視覚認知を調べるにあたって、両眼視野闘争という現象に注目した。両眼視野闘争とは、左右の目に異なる刺激を呈示した時、知覚される刺激が交代する現象である。両眼視野闘争を用いた神経科学イメージング研究は数多く行われてきた。本研究では fMRI 実験を行い、両眼視野闘争中の脳活動の変化と活動パターンに注目し、意識的な視覚認知における神経メカニズムを明らかにする。

2 手法

2.1 装置およびソフトウェア

実験は MRI 装置で計測し、刺激提示及び課題の制御にはソフトウェア Presentation を用いた。解析には MTLAB, The Decoding Toolbox (TDT), SPM12 を用いた。MNI 空間座標から 3 次元モデルへの描画には MNI2FS を用いた。

2.2 被験者

健康な大学生 7 名 (男性 5 名, 女性 2 名) に対して実験を行った。実験を行う前にそれぞれの被験者に対して同等な実験の手順と内容の説明を行った。

2.3 実験 1: ローカライズスキャン

ローカライズスキャンは、被験者ごとの顔認知を処理する部位 (FFA: Fusiform Face Area) を同定するために行った。被験者には顔画像が 20 枚, 家画像が 20 枚, 物画像が 20 枚呈示される。その中で同じ画像が 2 枚連続して呈示された時、被験者はボタン押しにより応答させた。

2.4 実験 2: ライバリスキャン

ライバリスキャンは、被験者に両眼視野闘争が起こっている際の脳活動を計測するために行った。異なる角度の偏光フィルタを装着させた 2 つのプロジェクタを用いて、1 つのスクリーンに 2 つの異なる刺激を投射した。被験者は偏光フィルタをセットしたメガネを装着することで、左右の目に異なる刺激が呈示され、両眼視野闘争が起こる環境を整えた。呈示刺激は、ライバリ条件として顔と家画像、ノンライバリ条件として顔と家画像をフェードさせた動画を用意した。画像と動画の大き

さは $7.5^\circ \times 7.5^\circ$ とした。被験者には画像もしくは動画を呈示後、最後にどちら (顔もしくは家) がより強く見えたかを応答させた。

2.5 解析手法: デコーディング

デコーディングは、ある ROI の脳活動を一つのパターンとして扱い、パターンから呈示された刺激を推定する手法である。デコーディングには学習とテストがある。学習ではパターンとラベルのペアから学習器を作成する。テストでは学習器が入力パターンからラベルを推定し、実際のラベルと答え合わせする。学習とテストの組み合わせは、表 1 のように行った。例えば今回の場合、ライバリ条件のうち顔と家が応答された試行の学習器を RR、ノンライバリ条件のうち顔と家が応答された学習器を NN とした。一度に探索する ROI の大きさは半径 7.5mm (107 voxels) とし、searchlight analysis で全脳を探索した。デコーディング成績の良い ROI を調べることで、両眼視野闘争に関連すると考えられる脳領域を同定した。また、応答により学習とテストさせるデータ数が変わるため、不均衡なデータである。そこで、応答の数に対応したコストを計算しチューニングを行った。デコーディングには TDT を用いた。MNI2FS を用いて、累積密度分布における上位 20% の数値を持つ座標をプロットした。

表 1: 学習に用いた試行の種類と、その学習器名

応答: 顔	応答: 家	学習器
ライバリ	ライバリ	RR
ライバリ	ノンライバリ	RN
ノンライバリ	ノンライバリ	NN
ノンライバリ	ライバリ	NR

2.6 解析手法: 自発的脳活動 (LFF) の抽出

我々の脳は休憩時など外部情報がなくとも常に自発的に活動している。この中の脳活動の一つに自発的脳活動 (LFF: Low Frequency Fluctuation) がある。今回、両眼視野闘争時における顔もしくは家と判別する際に、LFF が影響していると仮定し解析を行った。LFF を抽出するにあたって、ローカライズスキャンから被験者ごとの FFA の VOI 座標を同定した。LFF は BOLD 信号

において 0.01~0.1Hz である。この帯域のバンドパスフィルタを作成し、タスクによる影響やノイズを取り除いた BOLD 信号から LFF を抽出した。

2.7 解析手法: PPI 解析

先行研究 [1] では FFA のみ両眼視野闘争時の画像呈示直前の脳活動の変化が被験者の判断に影響を及ぼしていた。ここでは PPI 解析によって両眼視野闘争時に顔が見えたと応答を示した試行中の FFA の活動と相関を示す脳領域、つまり FFA と Functional Connectivity をもつ領域を同定した。

3 結果

3.1 実験結果: デコーディング

ライバリスキャン時の fMRI の計測結果に対してデコーディングを行なった。共通してデコーディング成績がよかった領域として、学習器 RR から V1, V2, 縁上回, 背側後帯状皮質, 腹側後帯状皮質, 下前頭前野, 体性感覚連合野が同定された。学習器 NN からは、紡錘状回, 縁上回, 上側頭回, 下前頭回 三角部, 背側後帯状皮質, 下側頭回などが同定された。学習器 RR と学習器 NN の結果は図 1 と図 2 のようになった。

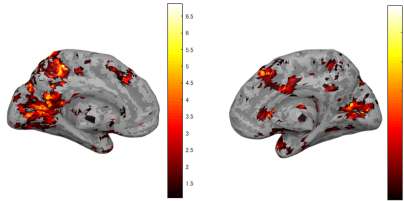


図 1: 学習器 RR のデコーディング結果 (内側)

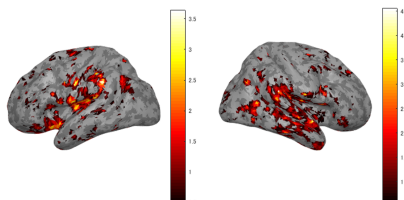


図 2: 学習器 NN のデコーディング結果 (外側)

3.2 実験結果: 自発的脳活動 (LFF) の抽出

各被験者の FFA の BOLD 信号より画像呈示前 3.2s から呈示後 6.4s の LFF を抽出し、被験者間で平均した (図 3)。さらに、画像呈示直後から 3.2s 間の顔が選択された試行の LFF は 0.0519 ± 0.0857 (mean±sd), 家が選択された試行の LFF は -0.0462 ± 0.0753 となった。顔が選択された試行と家が選択された試行について、対応のある t 検定を行った。その結果 LFF の強さに有意差は見られなかった ($p = 0.2480$, 図 4)。

3.3 実験結果: PPI 解析

ライバリスキャン時の FFA の VOI と全脳の脳活動について PPI 解析を行なった。2nd-level 解析の結果として、両側の紡錘状回, 前頭極, 海馬傍回, 縁上回, V3 に賦活が見られた ($p < 0.01$)。結果は図 5 のようになった。

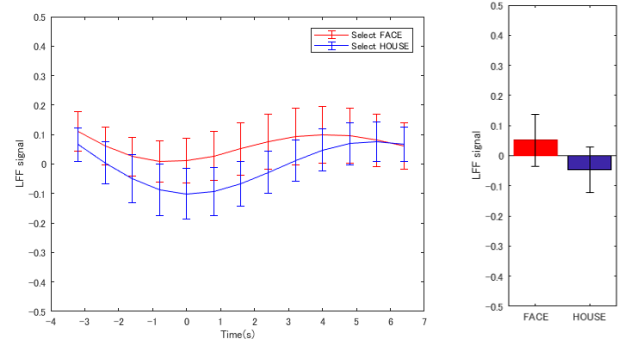


図 3: 画像呈示前後 (-3.2s ~ +6.4s) の LFF

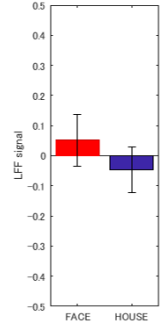


図 4: 画像呈示後 3 秒間の LFF

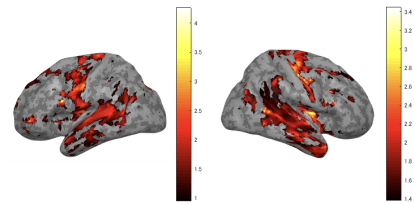


図 5: PPI 解析における 2st-level 解析結果 (外側)

4 考察

デコーディングの結果では成績の良い領域として初期視覚野が同定された。両眼視野闘争の実験環境として、被験者は顔と家のどちらを応答していてもライバリ条件では同一刺激を入力として受け取っている。これまでの先行研究 [1] では FFA や PPA など高次視覚領域の活動が見えの意識に影響していると考えられていたが、初期視覚野が両眼視野闘争において重要な働きを持つと報告した A Polonsky[2] らと F Tong[3] らの研究を支持する結果となった。次に、画像呈示後の FFA の LFF に有意な差が見られなかったことから、顔選択の意思決定に LFF の活動が影響しているとは言えないことがわかった。ただし、今回 FFA が同定できた VOI のみについて解析しており被験者数も少なかったことから、今後より被験者を増やした実験を行う必要がある。PPI 解析では、結果のような領域は今回の実験において FFA 領域と相関を示す領域であり、Functional Connectivity を示す領域であると示唆される。

参考文献

- [1] Hsieh, P., Colas, J., Kanwisher, N. "Pre-stimulus pattern of activity in the fusiform face area predicts face percepts during binocular rivalry". *Neuropsychologia*, 50, 522-529. 2012.
- [2] Polonsky A, Blake R, Braun J, Heeger DJ. "Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry". *Nat Neurosci* 3, 1153-1159. 2000.
- [3] Tong F, Engel SA. "Interocular rivalry revealed in the human cortical blind-spot representation". *Nature* 411, 195-199. 2001.