

平成 25 年度
学士学位論文

fMRI による脳活動からの図形識別

A Study of Brain Decoding of Visual Shapes using
functional Magnetic Resonance Imaging

1140297 岩切 雄希

指導教員 吉田 真一

2014 年 2 月 28 日

高知工科大学 情報学群

要 旨

fMRI による脳活動からの図形識別

岩切 雄希

類似画像検索における問題点の 1 つとして、画像の類似度を人の感覚に合わせることに難しいことがあげられる。感性工学などの分野では、人の感覚を脳活動情報として計測し、直接コンピュータに送る Brain Computer Interface(BCI) が研究されており、人の感覚をより適切にコンピュータに入力する 1 つの方法として期待されている。一方、神経科学の分野ではブレインデコーディング (脳情報デコーディング) と呼ばれる手法が注目されている。ブレインデコーディングでは、知覚した内容を、functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI) などの脳活動データから再構成するものである。本研究では、ブレインデコーディングを用いて、人が知覚している図形の形状の推定を行う。具体的には図形を提示した際の脳活動と図形の形状を機械学習させ判別器を作成し、被験者が見ている図形を識別する。実験では fMRI 装置を利用して簡単な図形 3 種類、複雑な図形 10 種類を提示した際の脳活動情報を計測する。脳活動情報には図形識別に関連しない信号も含まれるため、Statistical Parametric Mapping(SPM) を用いて、後頭葉視覚野の脳活動情報を抽出する。そしてサポートベクタマシン (線形カーネル) を用いて図形の識別を行った結果が、図形 3 種類では平均識別率 71 %、図形 10 種類では平均識別率は 14 %であることを示す。本研究の結果は、ブレインデコーディングを用いた図形識別の可能性を示したものであり、将来の BCI を用いた画像検索などの、応用研究の基礎をなすものと考えている。

キーワード functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI), ブレインコンピュータインタフェース (BCI), ブレインデコーディング, サポートベクターマシーン (SVM)

Abstract

A Study of Brain Decoding of Visual Shapes using functional Magnetic Resonance Imaging

Yuki Iwakiri

One of the problems in content-based image retrieval is the difficulty of adjusting image features to human sense. A technology called brain-computer interface (BCI), which is considered as a solution of the problem, has been studied in the Kansei Engineering area. BCI retrieves human sense as brain activities. Brain activities are measured by functional magnetic resonance imaging (fMRI), electroencephalogram (EEG), and so on. BCI can retrieve human sense information more directly. Recently a method called brain decoding has been studied activity in neuroscience. Brain decoding reconstructs the human perceiving information using brain neural activities obtained by functional magnetic resonance imaging. In this study, reconstruction of visual shapes is performed using brain decoding. First, machine learning is performed to learn visual shapes and brain activity patterns. Brain activities are retrieved in the cases of viewing three simple shapes and ten complex shapes using fMRI. The brain activities in the occipital lobe visual cortex are extracted using statistical parametric mapping (SPM). Brain activities in this area include related signal to identify shapes. The accuracy using support vector machine (SVM) is 71 % for three shapes and 14 % for ten shapes. This paper demonstrates the potential of identification in brain decoding.

key words functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI), Brain Computer Interface(BCI), Brain Decoding, Support Vector Machine(SVM)

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	関連研究	3
2.1	視覚情報処理	3
2.2	ブレインデコーディングに関する研究	4
2.2.1	線位の方向のデコーディング	4
2.2.2	視覚像の再構成	5
2.2.3	動画像の推定	6
2.3	本研究の扱う視覚提示画像	7
第 3 章	実験内容	9
3.1	実験 1	9
3.1.1	被験者	9
3.1.2	実験装置	10
3.1.3	撮像パラメータ	10
3.1.4	提示図形	11
3.1.5	試行内容	11
3.2	実験 2	11
3.2.1	被験者	11
3.2.2	提示図形	12
3.2.3	試行内容	12
3.3	SPM 及び BDTB を用いたデータ解析の流れ	14
第 4 章	結果と考察	16

目次

第 5 章	結論	19
	謝辞	20
	参考文献	21
付録 A	予備実験における SPM 解析結果	23
付録 B	実験 1 の被験者 1 における SPM 解析結果	33
付録 C	実験 1 の被験者 2 における SPM 解析結果	44
付録 D	実験 2 における SPM 解析結果	50

目次

1.1	BCI を使用した画像検索モデル	2
2.1	視覚情報処理の順路	4
2.2	線分の方位の推定法	5
2.3	視覚像の再構成	6
2.4	動画像の推定	7
3.1	fMRI 装置内	10
3.2	実験 1：被験者に提示した図形	11
3.3	実験 2：被験者に提示した図形	13
3.4	有意な脳活動情報	14
4.1	実験別の識別率	17
4.2	実験 2：図形番号一覧	18
A.1	予備実験：脳活動全体	24
A.2	予備実験：脳活動全体断面図	25
A.3	予備実験：丸提示時の脳活動	26
A.4	予備実験：丸提示時の断面図	27
A.5	予備実験：丸提示時の脳活動詳細	27
A.6	予備実験：四角提示時の脳活動	28
A.7	予備実験：四角提示時の断面図	29
A.8	予備実験：四角提示時の脳活動詳細	29
A.9	予備実験：三角提示時の脳活動	30
A.10	予備実験：三角提示時の断面図	31

目次

A.11 予備実験：三角提示時の脳活動詳細：1 枚目	32
A.12 予備実験：三角提示時の脳活動詳細：2 枚目	32
B.1 実験 1：被験者 1：脳活動全体	33
B.2 実験 1：被験者 1：脳活動情報詳細	34
B.3 実験 1：被験者 1：丸提示時の脳活動	34
B.4 実験 1：被験者 1：丸提示時の脳活動情報詳細：1 枚目	35
B.5 実験 1：被験者 1：丸提示時の脳活動情報詳細：2 枚目	35
B.6 実験 1：被験者 1：丸提示時の脳活動情報詳細：3 枚目	36
B.7 実験 1：被験者 1：丸提示時の脳活動情報詳細：4 枚目	36
B.8 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動	37
B.9 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：1 枚目	38
B.10 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：2 枚目	38
B.11 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：3 枚目	39
B.12 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：4 枚目	39
B.13 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：5 枚目	40
B.14 実験 1：被験者 1：四角提示時の脳活動情報詳細：6 枚目	40
B.15 実験 1：被験者 1：三角提示時の脳活動	41
B.16 実験 1：被験者 1：三角提示時の脳活動情報詳細：1 枚目	42
B.17 実験 1：被験者 1：三角提示時の脳活動情報詳細：2 枚目	42
B.18 実験 1：被験者 1：三角提示時の脳活動情報詳細：3 枚目	43
C.1 実験 1：被験者 2：脳活動全体	44
C.2 実験 1：被験者 2：脳活動情報詳細	45
C.3 実験 1：被験者 2：丸提示時の脳活動	45
C.4 実験 1：被験者 2：丸提示時の脳活動情報詳細：1 枚目	46
C.5 実験 1：被験者 2：丸提示時の脳活動情報詳細：2 枚目	46

目次

C.6 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動	47
C.7 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目	47
C.8 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目	48
C.9 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動	48
C.10 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目	49
C.11 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目	49
D.1 実験 2 : 脳活動全体	50
D.2 実験 2 : 脳活動情報詳細	51
D.3 実験 2 : 図形 1 提示時の脳活動	51
D.4 実験 2 : 図形 1 提示時の脳活動情報詳細	52
D.5 実験 2 : 図形 2 提示時の脳活動	52
D.6 実験 2 : 図形 2 提示時の脳活動情報詳細	53
D.7 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動	53
D.8 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目	54
D.9 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目	54
D.10 実験 2 : 図形 4 提示時の脳活動	55
D.11 実験 2 : 図形 4 提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目	55
D.12 実験 2 : 図形 4 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目	56
D.13 実験 2 : 図形 5 提示時の脳活動	56
D.14 実験 2 : 図形 5 提示時の脳活動情報詳細	57
D.15 実験 2 : 図形 6 提示時の脳活動	57
D.16 実験 2 : 図形 6 提示時の脳活動情報詳細	58
D.17 実験 2 : 図形 7 提示時の脳活動	58
D.18 実験 2 : 図形 7 提示時の脳活動情報詳細	59
D.19 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動	60

図目次

D.20 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目	61
D.21 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目	61
D.22 実験 2 : 図形 9 提示時の脳活動	62
D.23 実験 2 : 図形 9 提示時の脳活動情報詳細	62
D.24 実験 2 : 図形 10 提示時の脳活動	63
D.25 実験 2 : 図形 10 提示時の脳活動情報詳細	63

表目次

3.1	実験 1：被験者に提示した図形の順番	12
3.2	実験 2：被験者に提示した図形の順番 (数字は提示図形の番号を参照)	13
4.1	実験別の識別率	16
4.2	実験 1(被験者 1)：識別率詳細	17
4.3	実験 1(被験者 2)：識別率詳細	17
4.4	実験 2：識別率詳細 (図形番号は下図を参照)	18

第 1 章

序論

現在の類似画像検索の問題点として、用いる特徴量が人の感覚に合わせる 것이 難しいことがあげられる。脳からコンピュータに直接情報を入力する Brain-computer Interface(BCI) 技術を使うことで、人の感性を直接数値化できる可能性がある。BCI 技術によって人の感性を直接数値化できれば、脊髄損傷患者や筋収縮性側索硬化症 (ALS) 患者とのコミュニケーションや脳波を使った製品の開発などが期待できる。

脳活動の計測に使われている機器は、脳表面の活動を計測する Functional Near Infrared Spectroscopy(fNIRS) や electroencephalogram(EEG) などがあるが、近年では磁気を用いて脳の深部まで高い解像度で脳活動を画像化することができる、核磁気共鳴画像法 (fMRI) がよく用いられる。脳活動から人の知見を推定する研究として、Kamitani らの研究 [1] では、脳活動情報から知覚内容を検出できるか行い、線分の方位のデコーディングを Support Vector Machine(SVM) やニューラルネットワークを使って行った。Miyawaki らの研究 [2] では、被験者の見ている白黒二次元画像を視覚野ニューロンから再構成した。Nishimoto らの研究 [3] では、被験者に動画を提示し、視覚野の脳活動情報から精度の高い動画として再構成した。これらの視覚のデコーディングの結果は、人の見ているもの、イメージしているものを fMRI を用いて推定できる可能性を示している。

本研究では画像を想像した際の脳活動情報をコンピュータに入力し、画像データベースと照らし合わせ、似ている画像を検索し、似ている画像を出力する BCI による画像検索 (図 1.1) の実現を目指すための基礎として、これまでの研究 [4] で適切とされている SVM(線形カーネル) 学習アルゴリズムを利用し、後頭葉視覚野における図形識別は、一度に提示する図形が少ないほど識別率が高く、多いときには長方形のような辺の構成が単純なものほど識

別率がよかった。第2章では、図形の識別における視覚情報処理及び、関連研究を説明し、本研究の意義について述べる。第3章では、後頭葉視覚野の脳活動情報を計測する実験について、被験者情報や実験環境、撮像パラメータ、提示図形、被験者に提示する図形の手順について述べる。第4章では、実際に提示した図形の識別精度を提示し、得られた結果に対する考察を行う。第5章で研究全体についてまとめる。

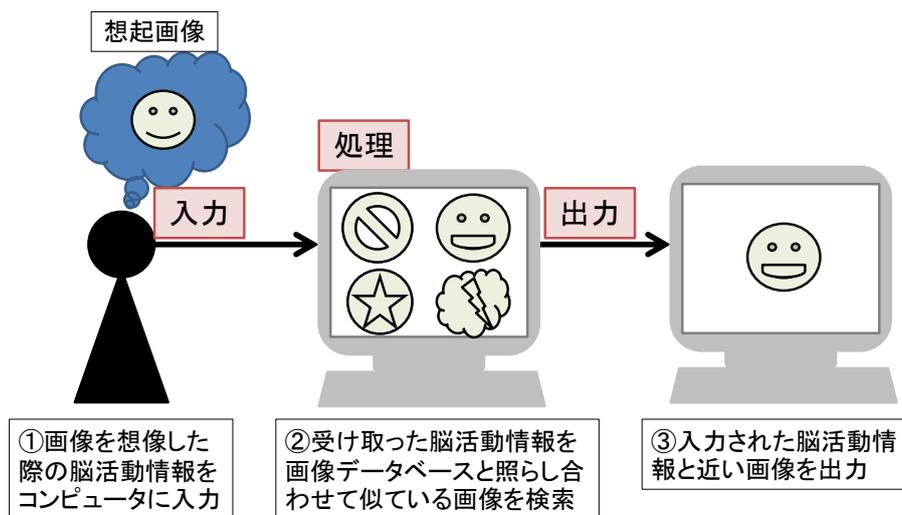


図 1.1 BCI を使用した画像検索モデル

第 2 章

関連研究

本章では関連研究内容について説明し，本研究の意義について述べる．

2.1 視覚情報処理

本研究で脳活動情報を抽出した後頭葉視覚野の働き及び，視覚処理に関係する部位について述べる．網膜から入った外の情報は脳の中央部にある外側漆状体 (Lateral geniculate nucleus:LGN) を通って後頭部にある第 1 次視覚野 (V1) に投射される．V1 では傾きや線分など単純な視覚特徴に対して働きを持つ．次に V1 と多くの共通の特性を持つ第 2 次視覚野 (V2) へと送られる．V2 では V1 への強いフィードバックと輪郭の認知の働きを持つ．V2 からは背側路 (dorsal stream) と腹側路 (ventral stream) で処理が 2 つに大きく分かれる．

背側路は対象の動きの分析と視覚による運動の制御に関与している．順路は第 3 次視覚野 (V3) から中側頭 (middle temporal area:MT) へと送られた信号が，次に上側頭溝内側部 (medial superior temporal area:MST) を通って，頭頂連合野へと投射される．V3 では形の認知，MT では形の認知とある方向への運動の認知，MST では特殊なタイプの運動の認知の働きを持つ．頭頂連合野では対象の位置や移動，速度，動態視の視覚情報を扱い，対象の動きと眼球運動を含む自分の動きとを統合し，平行運動，回転運動，拡大縮小の処理を行う．

腹側路は視界の知覚と物体の認知に関与している．順路は第 4 次視覚野 (V4) を通って側頭連合野へと投射される．V4 では色の認知と形の認知の働きを持つ．側頭連合野では対象の形状認知や形態視の視覚情報を扱い，奥行き情報や顔認知，記憶，音声言語，聴覚の処理

2.2 ブレインデコーディングに関する研究

を行う。

頭頂連合野と側頭連合野からは前頭前野へと投射される。前頭前野では記憶や判断の処理を行っている [5][6](図 2.1)。なお V1 はブロードマン領域で 17 野, V2 は 18 野, V3 は 19 野, V4 は 19 野に相当しする部分である。本研究では視覚野を中心に解析を進めるため、ブロードマンの 17, 18, 19 野を解析対象とする。

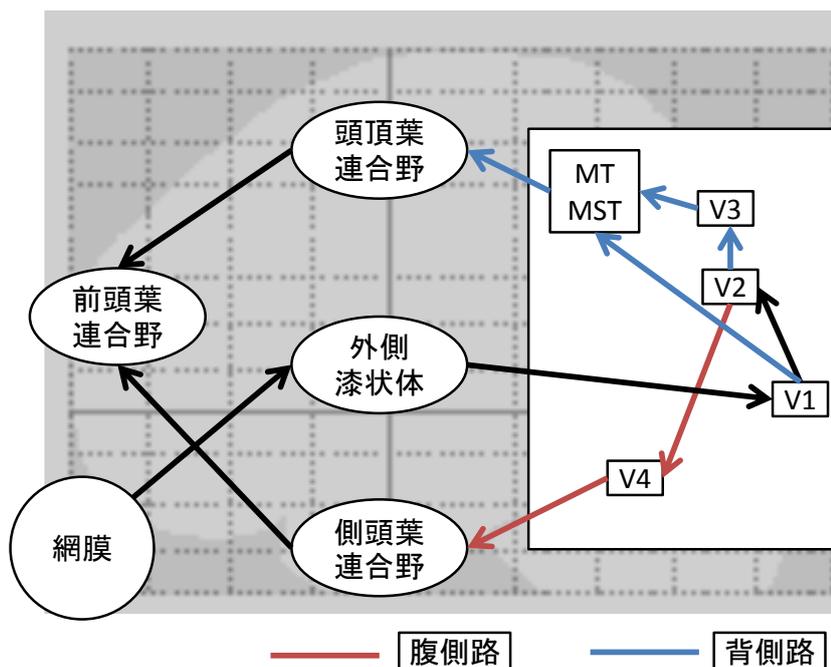


図 2.1 視覚情報処理の順路

2.2 ブレインデコーディングに関する研究

2.2.1 線位の方角のデコーディング

神谷らの研究では、パターン認識の手法を利用した分析法によって、線分の傾きについて推定を行った。

従来の手法ではボクセルごとの比較によって脳活動を表現していたため、異なった傾きの線分を見ても活動の度合いが同じであり、傾きを推定することは難しいと考えられていた。神谷らの研究では刺激条件ごとに脳活動を測定して、脳活動情報を SVM といったような機

2.2 ブレインデコーディングに関する研究

機械学習のアルゴリズムで学習し、判別器を作り、学習に使っていない脳活動情報から、それがどういう刺激を見たときの脳活動なのかを推定した。被験者に 135 度と 45 度の線分に注意をむかせて (図 2.2), どちらの向きに注意が向いているか識別を行い、視覚情報処理で説明を行った V1-V4 の脳部位では 90 % 近くの識別であることを示した。

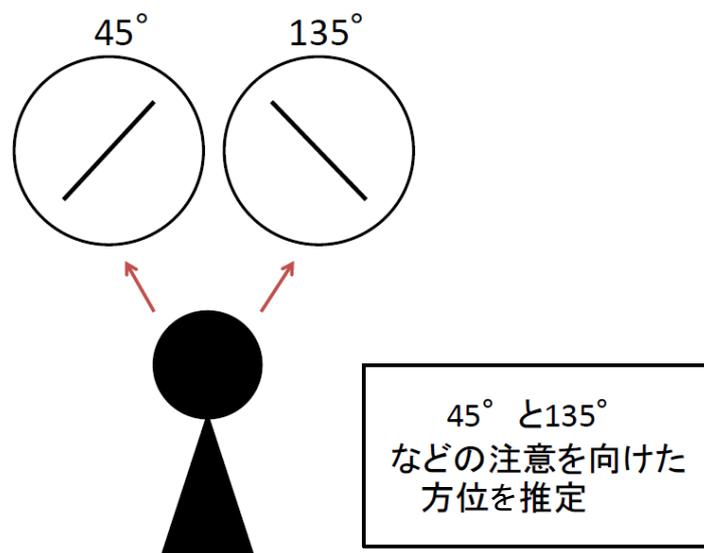


図 2.2 線分の方位の推定法

2.2.2 視覚像の再構成

宮脇らの研究では見ている画像の被験者の脳活動からの再構成を行った。

従来はパターン識別技術を用いて、判別器に提示刺激と脳活動情報の対応付け (学習) をさせる。この判別器に新しい脳活動情報を解析させ、どの提示刺激のときに計測されたものであったかを予測し、デコーディングを行った。しかし何か新しい刺激を見たときに、学習した提示刺激の中でしか答えを出せないという問題点があり、見ているものを出力することができなかった。

2.2 ブレインデコーディングに関する研究

宮脇らの研究では 440 枚のランダムなフリッカー刺激を提示した際の脳活動情報を計測し、画像要素と脳活動情報の対応付けをスパース・ロジスティック回帰アルゴリズムにより行った。10 × 10 の領域ごとに刺激の有無を判別できる判別器を使い、学習させてない知覚内容を、形や方向を同じに出力できることを示したものであった。この手法により、学習に用いてない 10 × 10 ピクセルからなる四角や neuron の各文字などの再構成に成功した(図 2.3)。また 1 億通り以上の候補の中から知覚内容の再構成が可能であることを明らかにした。V1 の脳活動情報を使った場合、再構成精度が高く、V2 や V3、高次視覚野を対象とした場合精度が低下した。

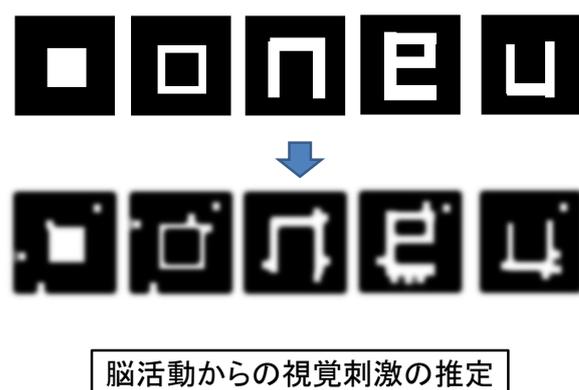


図 2.3 視覚像の再構成

2.2.3 動画像の推定

西本らは脳活動から提示されている動画像の推定を行った。

Youtube などから大量に用意した合計 1800 万秒の映像をデータベースとした。3 人の被

2.3 本研究の扱う視覚提示画像

験者にトレーニングデータとして 12 回の 10 分の映像を見せ、テストデータとして 9 回の 10 分の映像を見せた。テストデータ 1 回には 10 個の 1 分の動画がランダムに提示された。テストデータはデータベースの映像とは重複していない新しい映像であった。ベイズ推定を使ってテストデータとデータベースの近似度を 1 位から 100 位まで測定する。1 位から 100 位までの近似なデータを合成し、被験者が見ている動画像とした (図 2.4)。

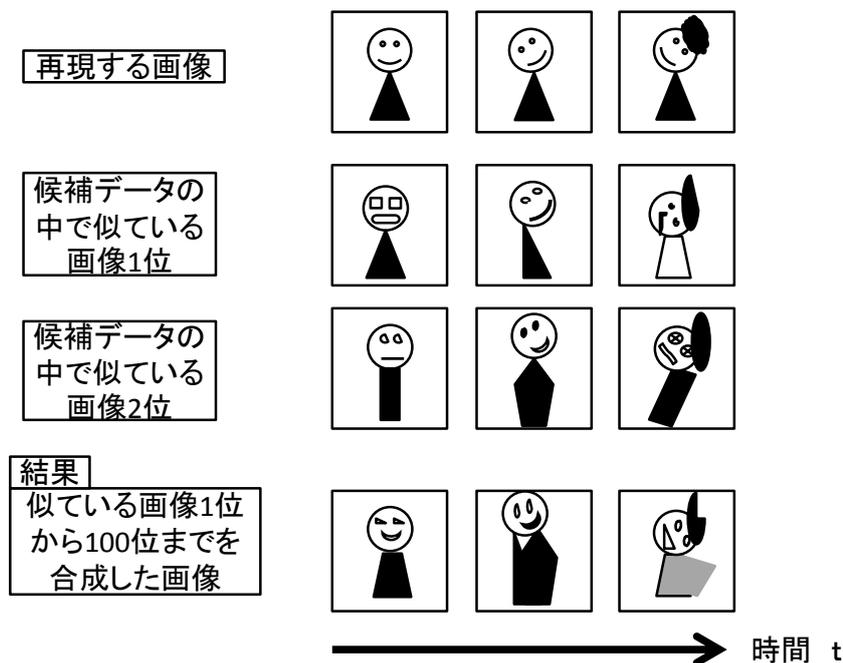


図 2.4 動画像の推定

2.3 本研究の扱う視覚提示画像

今研究では単純な視覚特徴や輪郭，形に対して動きを持つブロードマンの 17 野，18 野，19 野の脳活動情報を用いて，図形の形状を推定する．線分の方位のデコーディングでは線分の傾きについて識別が可能であったが，本研究では提示されている図形の形状の識別を行う．視覚像の再構成では図形の傾きや位置が違うものについては再構成が難しいが，本研究

2.3 本研究の扱う視覚提示画像

では丸であれば丸，三角であれば三角などと具体的な図形の識別を行う。

第 3 章

実験内容

本項では、fMRI を用いて脳活動情報を撮像する実験の手順と、解析の方法について説明する。被験者の情報と実験で使用した機器及び実験、fMRI 装置の計測パラメータ、被験者に提示した図形、試行の詳細な手順を示す。次に関連のある活動のみを取り出ために、SPM[7][8] を用いた統計的解析について説明する。次に脳活動パターンの違いを学習し、その結果を用いて脳活動を分類するデコーダの Brain Decoder Toolbox(BDTB)[10] を用いた識別率の検出について説明する。

3.1 実験 1

黒の背景に 3 種類 (丸と四角, 三角) の白図形を表示し、fMRI 内で被験者に図形を提示する。

3.1.1 被験者

成人男性 2 名 (右利き) で、fMRI 装置用のメガネにより視力を 0.7 以上の正常視力に矯正する。実験前に fMRI 装置についての説明、実験内容と要する時間、安全性、個人情報保護についての説明を高知工科大学倫理的審査承認済の内容に基づいて行い、文書にて同意を得る。

3.1 実験1

3.1.2 実験装置

本研究では、fMRI 装置として高知工科大学脳コミュニケーション研究センターに設置されている SIEMENS 社の MAGNETOM Verio 3T を使用する。fMRI 装置の特性である大きな機械音を考慮し、被験者は実験室内で耳栓をする。また実験室内は照明を点灯させず、暗室とする。提示する画像はプロジェクターによって fMRI 装置内のスクリーンに投射する(図 3.1),

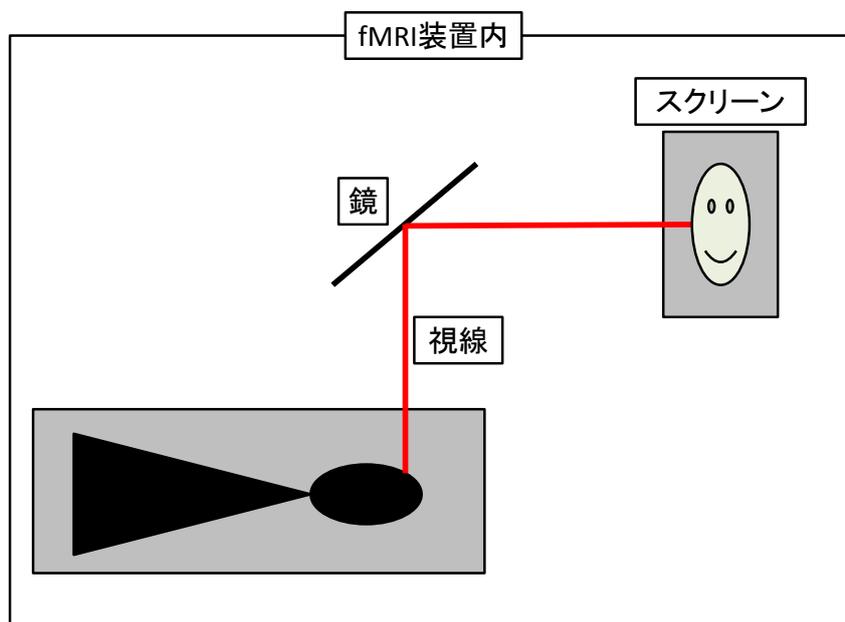


図 3.1 fMRI 装置内

3.1.3 撮像パラメータ

撮像パラメータは、FOV = 192 × 192mm, Flip Angle = 90, 画像サイズ = 64 × 64 ピクセル, 1 ボクセルあたりのサイズ = 3 × 3 × 4.5mm, スライス数 = 35slice, スライスの薄さ = 4.5mm, TE = 50ms, TR = 3000ms である。

3.2 実験 2

3.1.4 提示図形

黒の背景に 3 種類 (丸と四角, 三角) の白図形とする (図 3.2). 画像はプロジェクタの中心に配置する. 輝度による誤差がないように図形の面積は同じである (画像サイズ 1600 × 900 ピクセル, 図形サイズ 160,000 ピクセル).

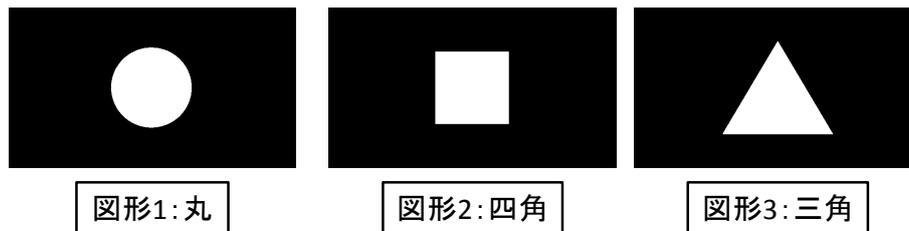


図 3.2 実験 1 : 被験者に提示した図形

3.1.5 試行内容

刺激提示には Presentation を用いる. 被験者にした提示した図形のリストを (表 3.1) に示す. 1 回の撮像において, 開始に 12 秒間のレストを設け, 12 秒毎に図形 (丸や四角, 三角) を 12 秒間ランダムに 1 枚, 各図形が 2 枚ずつ提示されるまで行う. 合計 10 回の撮像を行う.

3.2 実験 2

実験 1 において簡単な図形の識別率に高い傾向が見られたため, 実験 2 では複雑な図形 10 種類を提示する. 実験状況, 撮像パラメータは実験 1 と同じ条件である.

3.2.1 被験者

成人男性 1 名とする.

3.2 実験 2

表 3.1 実験 1：被験者に提示した図形の順番

開始秒数 (秒)	0	12	24	36	48	60	72
Run1	rest	丸	三角	丸	四角	三角	四角
Run2	rest	三角	丸	四角	三角	四角	丸
Run3	rest	四角	三角	四角	丸	三角	丸
Run4	rest	丸	四角	三角	丸	三角	四角
Run5	rest	四角	丸	四角	三角	丸	三角
Run6	rest	三角	四角	三角	丸	四角	丸
Run7	rest	丸	三角	四角	三角	丸	四角
Run8	rest	三角	丸	三角	四角	丸	四角
Run9	rest	四角	三角	丸	四角	三角	丸
Run10	rest	丸	四角	丸	三角	四角	三角

3.2.2 提示図形

黒の背景に 10 種類 (城と雲, バツ, ダイヤモンド, ハート, 長方形, 星, 手裏剣, 逆フラスコ, 矢印) 白図形とする (図 3.3).

3.2.3 試行内容

刺激提示には Presentation を用いる。被験者にした提示した図形のリストを (表 3.2) に示す。1 回の撮像において、開始と終了に 12 秒間のレストを設け、12 秒毎に図形 (城と雲, バツ, ダイヤモンド, ハート, 長方形, 星, 手裏剣, 逆フラスコ, 矢印) を 12 秒間ランダムに 1 枚、各図形が 1 枚ずつ提示されるまで行う。合計 10 回の撮像を行う。

3.2 実験 2

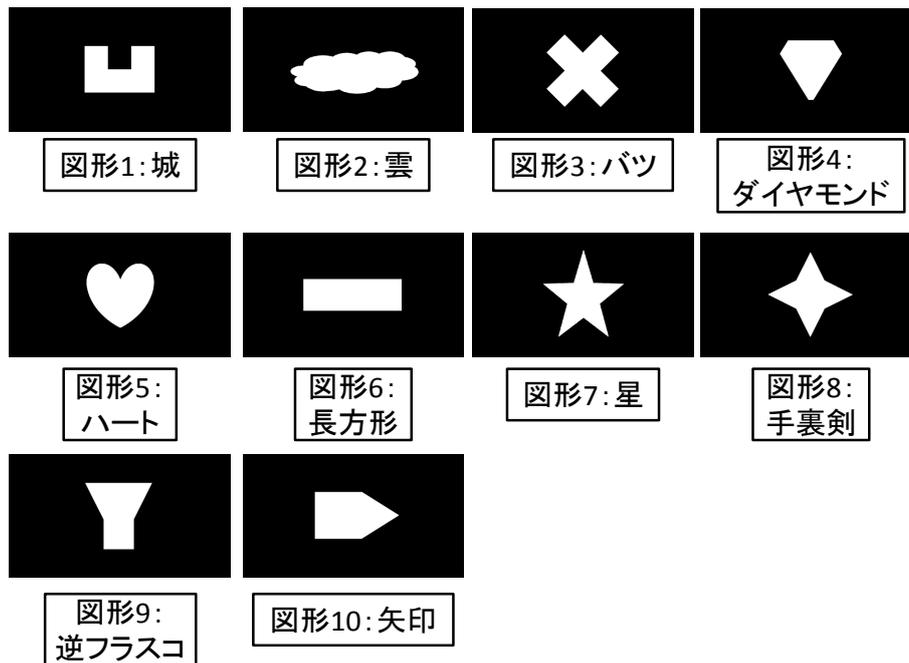


図 3.3 実験 2 : 被験者に提示した図形

表 3.2 実験 2 : 被験者に提示した図形の順番 (数字は提示図形の番号を参照)

開始秒数 (秒)	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132
Run1	rest	1	2	3	4	5	6	7	8	10	9	rest
Run2	rest	2	4	6	8	10	1	3	9	7	5	rest
Run3	rest	5	10	4	9	3	8	2	7	1	6	rest
Run4	rest	7	3	10	6	2	9	5	1	8	4	rest
Run5	rest	10	9	2	7	6	4	1	5	3	8	rest
Run6	rest	3	6	9	1	8	2	4	10	5	7	rest
Run7	rest	8	1	7	3	4	5	9	2	6	10	rest
Run8	rest	4	7	5	10	1	3	8	6	9	2	rest
Run9	rest	9	5	8	2	7	10	6	4	3	1	rest
Run10	rest	6	8	1	5	9	7	10	3	2	4	rest

3.3 SPM 及び BDTB を用いたデータ解析の流れ

fMRI で撮像した画像には図形識別に関係ない信号も含まれるため、解析で有意な活動のみを取り出す必要がある。解析には SPM 8 [7] 及び SPM5[8] を用いる。fMRI 装置が撮像した脳画像を DICOM 形式で保存し、SPM で処理するために Analyze 形式に dcm2niigui[9] を用いて変換する。解析の前処理は Realign, Nomalize, Smooth の順に行う。Realign では fMRI データの動きの補正と切り直しを行う。Nomalize では fMRI データの標準脳への変換を行う。その際 T1 構造画像ではなく、Realign の際に生成される全 EPI 画像の平均画像に合わせて正規化する。Smooth では fMRI データの空間的平滑化を行う。撮像データは先頭 1 スキャン分の画像はノイズを多く含んでいるため、前処理の段階で除去する。

次に視覚に関する脳活動情報をデコーディングの対象とするため、実験で使用する脳活動領域 (ROI) を設定する。ROI は、単純な視覚特徴や輪郭、形に対して働きを持つブロードマンの 17 野, 18 野, 19 野とする。Realign 時に生成される EPI の平均画像に合わせて、個人座標系に変換する (図 3.4)。

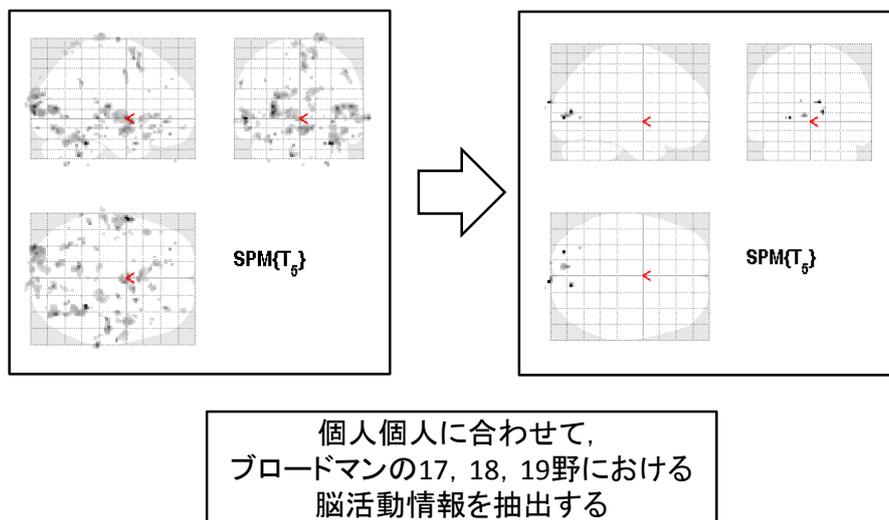


図 3.4 有意な脳活動情報

統計的解析には t 検定を用い、有意水準 p 値は 0.001 に設定する。SPM により検出され

3.3 SPM 及び BDTB を用いたデータ解析の流れ

た各ボクセルの座標と輝度を統計量ファイルに保存する。

デコーダは ATR の公開する BDTB1.2.2[10] を利用し、学習方法には libsvm-3.16[11] を用いる。検出されたボクセル全てをデータセットとし、全体に対して 1 秒間の時間方向シフト、外れ値の除去、時間方向でのトレンド除去、ブロック単位での平均化、時間方向のベースラインによる正規化を行う。正規化を行ったデータセットに分割交差検定 (クロスバリデーション) を行う。z スコアへの標準化、レスト条件のデータ除去を行い識別率を検出する。

第 4 章

結果と考察

各実験の識別精度を (表 4.1) と (図 4.1) に示す. 実験 1 は比較的高い識別精度が得られた, 図形の識別は容易である可能性がある. 実験 1 の識別結果の詳細 (表 4.2)(表 4.3)(表の見方は表 4.2 の 2 行 2 列目, 丸の図形を提示した際の脳活動情報は, 丸に識別できた数は 17 であると見る) では, 丸と四角はよく識別できているが, 三角になると識別率が他と比べ低い. 三角の図形の識別率が低い理由は様々な要因が考えられるが, 図形のエッジの線分方向が同条件で提示した他の 2 つの図形と比べて 3 方向であるため, 1 次視覚野の特徴である方位選択性より, 他の図形よりも脳活動が活発となったことが考えられる. 脳活動賦活の状況からでは眼球の動きが活発と読み取れたことから, fMRI 装置内に固定されている被験者の注意が散漫になったなどが考えられる. 実験 2 は識別精度が低く, 実験 2 の識別率詳細 (表 4.4) では, 長方形の識別率が高く, 簡単な図形ほど識別率が高い傾向があることを裏付けることができる. ハートの識別率も高くなっているが, 逆フラスコとの誤認識が多い.

今回の実験では後頭葉視覚野における画像の識別は, 簡単な図形の識別率ほど高い傾向を示すことが分かる.

表 4.1 実験別の識別率

実験	識別率 (%)
実験 1(被験者 1)	77
実験 1(被験者 2)	65
実験 2	14

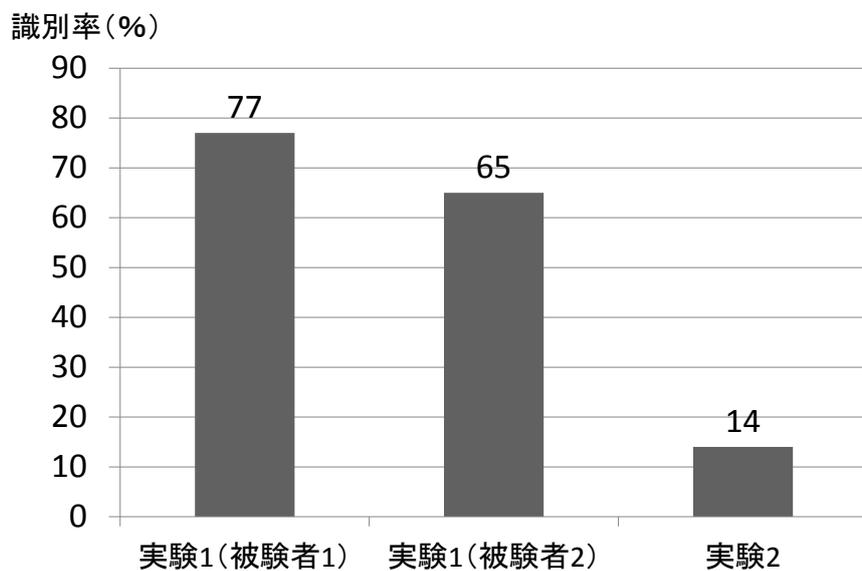


図 4.1 実験別の識別率

表 4.2 実験 1(被験者 1) : 識別率詳細

	丸に識別	四角に識別	三角に識別	図形の識別率 (%)
丸の図形を	17	0	3	85
四角の図形を	0	16	4	80
三角の図形を	4	3	13	65

表 4.3 実験 1(被験者 2) : 識別率詳細

	丸に識別	四角に識別	三角に識別	識別率 (%)
丸の図形を	14	1	5	70
四角の図形を	0	15	5	75
三角の図形を	8	2	10	50

表 4.4 実験 2：識別率詳細 (図形番号は下図を参照)

図形番号	1(に識別)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	識別率 (%)
1(を)	0	0	0	2	3	4	0	1	0	0	0
2	0	1	1	1	1	3	1	1	1	0	10
3	0	0	1	2	1	3	2	0	1	0	10
4	1	0	1	1	2	2	1	1	1	0	10
5	0	0	0	1	3	1	1	1	3	0	30
6	0	1	0	1	2	4	1	0	1	0	40
7	0	0	1	4	2	1	0	0	1	1	0
8	0	0	2	2	2	0	1	1	2	0	10
9	0	0	0	1	3	1	0	2	2	1	20
10	1	0	0	2	2	2	1	0	1	1	10

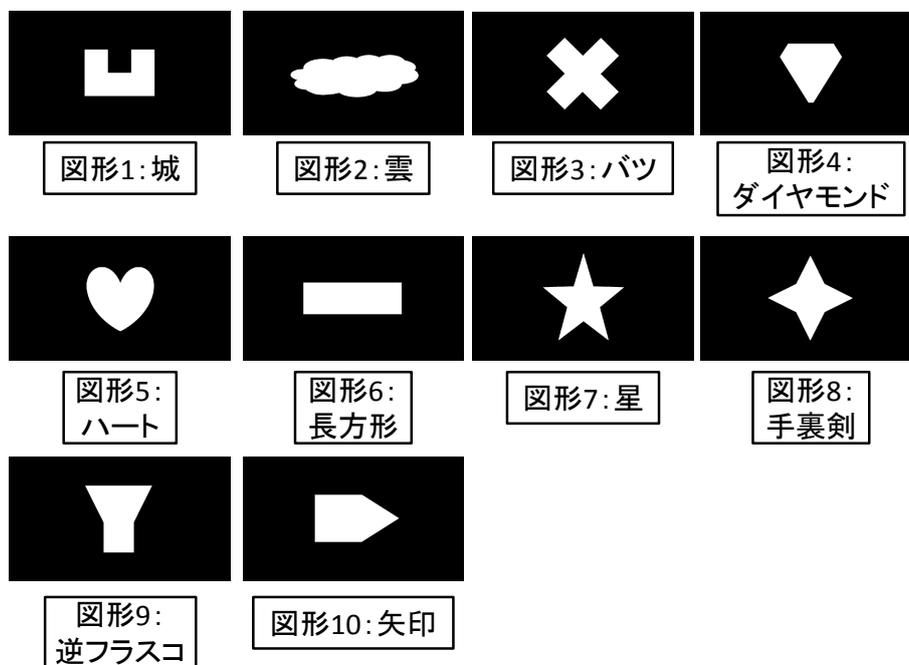


図 4.2 実験 2：図形番号一覧

第 5 章

結論

BCI による画像検索への実現に向け、本研究では基礎として後頭葉視覚野における図形の形状の識別について検討した。実験では、被験者に様々な図形を提示し、後頭葉視覚野における脳活動情報の測定を行い、学習データを作成した。SVM(線形カーネル)を用いてクロスバリデーションを行い、各図形の識別率を検出し、識別率について比較した。識別精度については、丸や四角、長方形の 3 種類の図形の識別は容易であるが、三角と城、雲、バツ、ダイヤモンド、ハート、星、手裏剣、逆フラスコ、矢印の 10 種類の図形識別が困難であることが分かった。これより、図形の種類が少ない場合は識別率が高い傾向を示すことが分かった。

本研究では後頭葉視覚野における図形識別率は提示した図形の種類の少ない場合高く、今後は後頭葉視覚野だけではなく高次視覚野などの他の部位を対象とした場合についても研究する必要がある。また学習データが十分でない可能性もあるが、被験者のストレスとの兼ね合いも考える必要があり、単純に実験時間を増やすことはできない。ROI 作成時に実験で扱う脳活動の座標が提示されるが、その座標における脳部位の機能を深く考察すれば、識別率の向上が見こめる可能性がある。3 種類及び 10 種類の図形を提示したが、6 種類 7 種類など図形の種類数によって識別率の低下が起こるのかを考察し、最も有意である図形の種類を調べることもできると考える。

本研究は、BCI を用いた画像推定の基礎的な知見になりうると考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたって、卒業論文指導教員の情報学群吉田真一講師からブレインデコーディングの研究分野に関してきっかけをいただいたり、fMRI装置の運用や講習、ポトラックに向けての指導、卒業研究発表指導、梗概や論文の添削を含め様々なご指導をいただきました。ここに深く感謝いたします。

また研究発表の場で審査及び梗概について意見をいただきました岩田誠教授に心より感謝いたします。

そして視覚情報処理について参考した“イラストレクチャー認知神経科学”，4章の執筆者である繁柁博昭准教授に心より感謝し、研究発表の場で審査及び有意義な質問アドバイスをいただきましたことに感謝いたします。

そして研究活動に様々な形で協力していただいた吉田研究室の小池規伎先輩，藤森夏輝先輩，研究に対してアドバイスをいただいた現4年生の方，発表練習をさせていただいた現3年生の方，負担の大きいfMRI実験に被験者となっていたいただいた方4名，協力していただいた数多くの方々へ感謝いたします。

また私生活においてモチベーションを保っていただいた濱岡南へ最大の感謝を。

最後になりますが，大学生活4年間を支えていただいた私の両親，岩切佳也，岩切美香，及び岩切りんに感謝を申しあげたく，謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

- [1] Yukiyasu Kamitani, Frank Tong, “Decoding the visual and subjective contents of the human brain,” *Nature Neuroscience*, 8(5), pp. 649-685, 2005.
- [2] Youichi Miyawaki, Hajime Uchida, Okito Yamashita, Masa-aki Sato, Yusuke Morito, Hiroki C. Tanabe, Norihiro Sadato, and Yukiyasu Kamitani, “Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders,” *Neuron* 60, pp. 915-929, 2008.
- [3] Shinji Nishimoto, An T. Vu, Thomas Naselaris, Yuval Benjamini, Bin YU, and Jack L. Gallant, “Reconstructing Visual Experience from Brain Activity Evoked by Natural Movies,” *Current Biology*, 21(19), pp. 1641-1646, 2011.
- [4] 小池 規伎, “fMRI を用いた脳情報デコーディングに適した機械学習,” 平成 24 年度学士学位論文, 2013.
- [5] 村上 郁也 (編), “イラストレクチャー認知神経科学 -心理学と脳科学が解く心の仕組み-,” 株式会社オーム社, pp. 53-71, 2010.
- [6] Mark F. Bear, Michael A. Paradiso, Barry W. Connors, 加藤 宏司, 後藤 薫 山崎 良彦, “神経科学 -脳の探求-,” 西村書店, pp. 215-264, 2012.
- [7] SPM8, Statistical Parametric Mapping,
<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/>, 2014.
- [8] SPM5, Statistical Parametric Mapping,
<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm5/>, 2014.
- [9] dcm2nii, DICOM to NIfTI conversion,
<http://www.mccauslandcenter.sc.edu/micro/mricron/dcm2nii.html>, 2014.
- [10] Brain Decoder Toolbox, ATR-DNi,
<http://www.cns.atr.jp/dni/download/brain-decoder-toolbox/>, 2014.

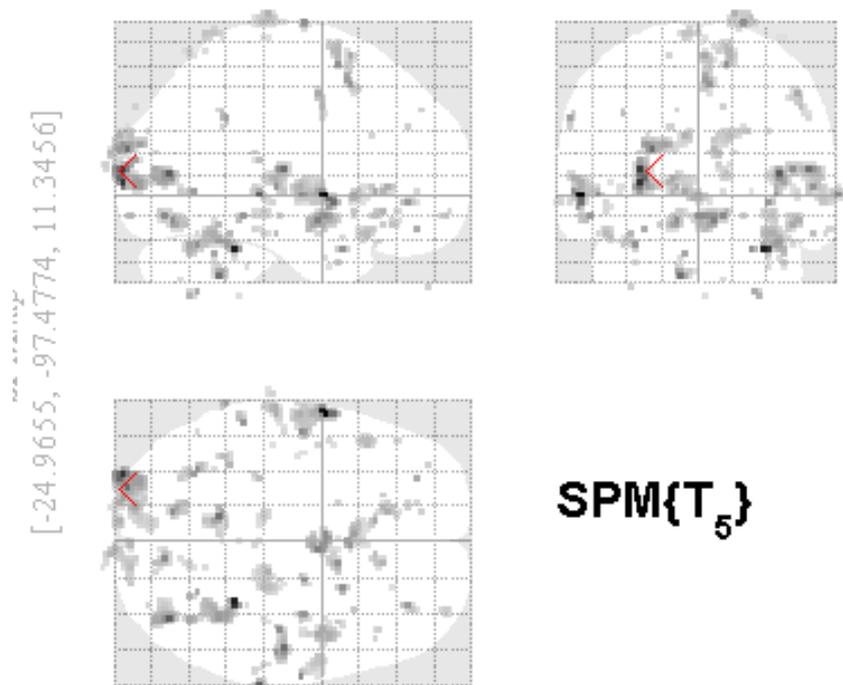
参考文献

- [11] Chih-Chung Chan, Chih-Jen Lin, LIBSVM : a library for support vector machines, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>, 2014.

付録 A

予備実験における SPM 解析結果

本項では、第 3 章の実験で撮像を行った脳画像について SPM で統計処理した結果を示す。SPM の解析結果は、fMRI で撮像した画像を 3 次元座標に変換した各ボクセルについて、被験者が安静にしている状態の脳活動に対して有意な差があるかどうかで示される。この予備実験はどのような場所のボクセルが活動、どのボクセルが図形の違いに関連するかを調べるために行った。安静にしている状態の脳活動は各実験における Rest 期間となっている。脳活動はグレースケールであらわされ、より活動が行われている場所は色が濃い。被験者が丸と四角、三角を見ている際に活動している脳活動部位と p 値、座標を示す。予備実験では黑白反転した図形を提示して実験を行った。実験パラメータは TR を 5000 と変えている。1 図形 2 枚ずつ 6 試行、全試行にて 1 図形 12 枚ずつ行う。三角を提示している時の脳活動が活発であり、眼球運動なども活発であったことが読み取れる。



SPMresults: #MATLAB#rest_vs_active
 Height threshold T = 5.893429 {p<0.001 (unc.)}
 Extent threshold k = 0 voxels

図 A.1 予備実験：脳活動全体

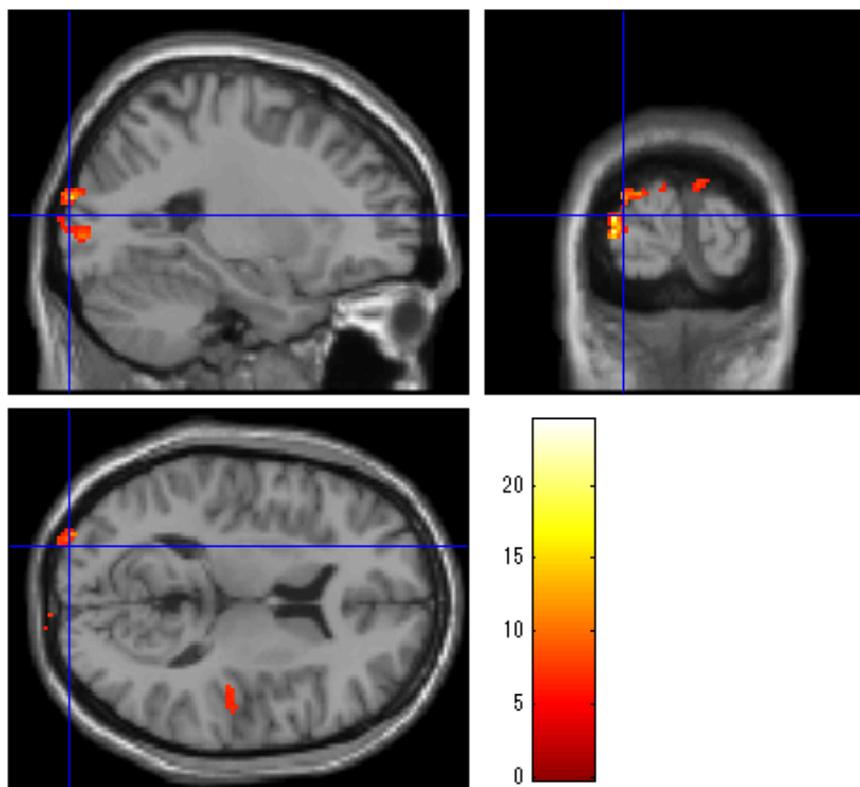
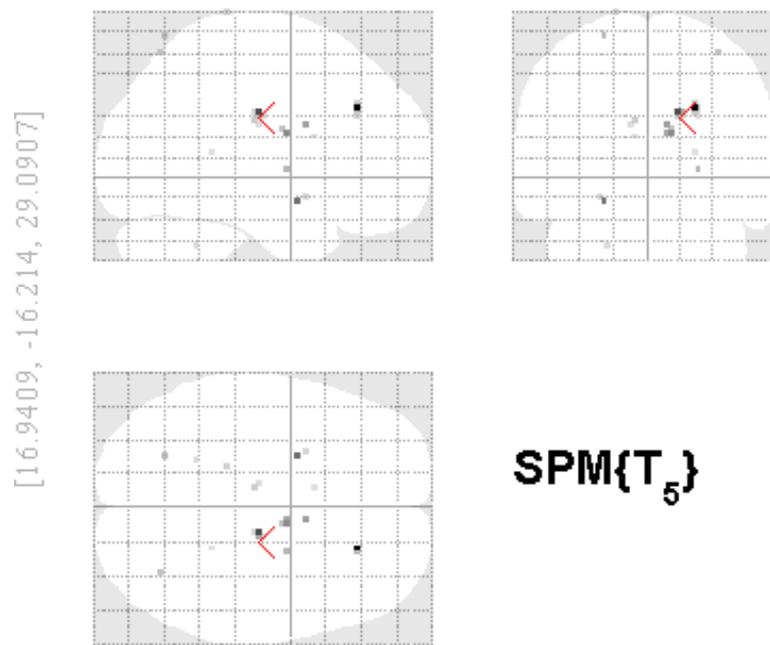


図 A.2 予備実験：脳活動全体断面図



SPMresults: %MATLAB%results%circle only
 Height threshold T = 5.893429 {p<0.001 (unc.)}
 Extent threshold k = 0 voxels

図 A.3 予備実験：丸提示時の脳活動

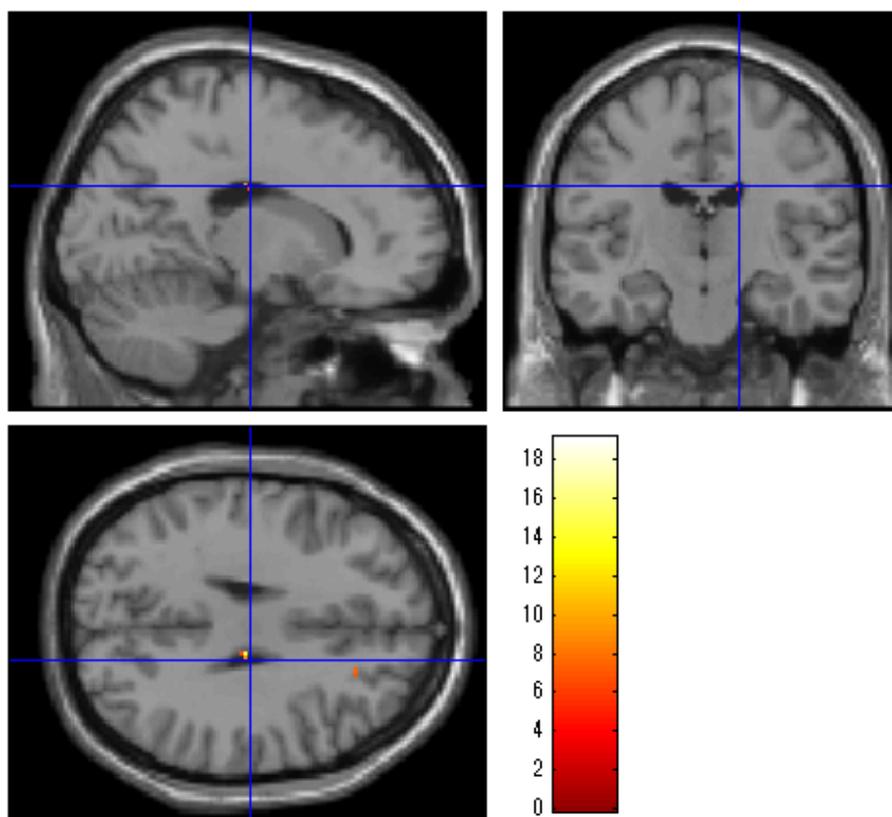
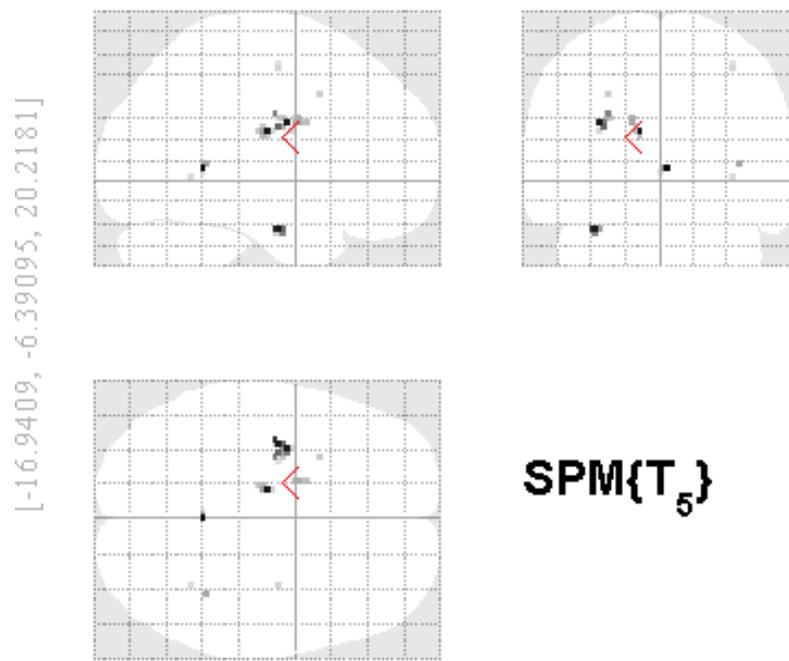


図 A.4 予備実験：丸提示時の断面図

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	p_{uncorr}			
1.000	15	1.000	0.642	6	0.232	0.774	0.980	19.15	4.49	0.000	22	32	32
		1.000	0.642	5	0.274	1.000	0.980	14.39	4.18	0.000	14	-18	30
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	12.61	4.03	0.000	-24	2	-14
		1.000	0.642	3	0.398	1.000	0.980	10.85	3.86	0.000	10	-4	20
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	9.83	3.74	0.000	8	6	24
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	8.34	3.54	0.000	24	-4	2
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	8.08	3.50	0.000	-24	-66	68
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	7.60	3.42	0.000	34	-68	60
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	7.18	3.35	0.000	-8	-20	26
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	7.05	3.32	0.000	-18	-34	80
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	6.48	3.22	0.001	-26	6	-12
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	6.37	3.19	0.001	-10	-18	24
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	6.24	3.17	0.001	-22	-50	-36
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	5.99	3.11	0.001	22	-42	10
		1.000	0.642	1	0.642	1.000	0.980	5.97	3.11	0.001	-8	10	18

図 A.5 予備実験：丸提示時の脳活動詳細



SPMresults: %MATLAB%results%square only
 Height threshold T = 5.893429 {p<0.001 (unc.)}
 Extent threshold k = 0 voxels

図 A.6 予備実験：四角提示時の脳活動

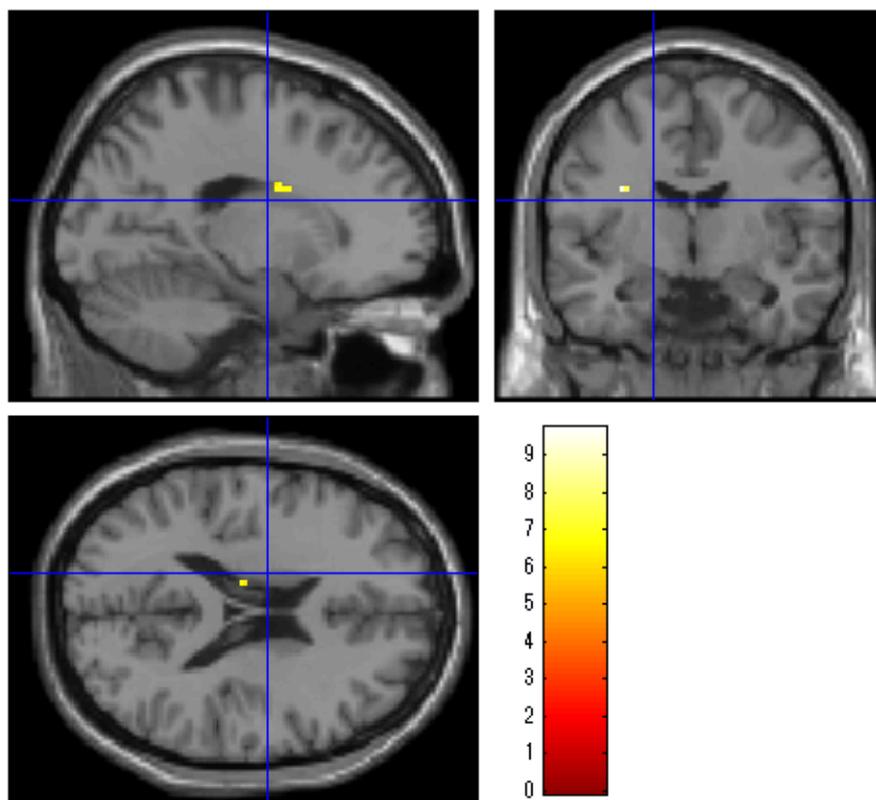


図 A.7 予備実験：四角提示時の断面図

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\underline{z}})$	p_{uncorr}			
1.000	12	1.000	0.734	3	0.526	1.000	0.961	9.72	3.72	0.000	2	-48	4
		1.000	0.734	8	0.291	1.000	0.961	9.28	3.67	0.000	-12	-16	22
		1.000	0.734	7	0.323	1.000	0.961	9.22	3.66	0.000	-34	-10	-26
		1.000	0.734	4	0.459	1.000	0.961	9.20	3.66	0.000	-32	-6	26
		1.000	0.734	1	0.734	1.000	0.961	7.51	3.40	0.000	-28	-12	30
		1.000	0.734	1	0.734	1.000	0.961	6.91	3.30	0.000	38	-46	6
		1.000	0.734	6	0.361	1.000	0.961	6.87	3.29	0.000	-16	0	26
		1.000	0.734	2	0.613	1.000	0.961	6.37	3.19	0.001	-28	-8	28
		1.000	0.734	1	0.734	1.000	0.961	6.28	3.17	0.001	-28	10	40
		1.000	0.734	2	0.613	1.000	0.961	6.18	3.15	0.001	34	-10	52
		1.000	0.734	1	0.734	1.000	0.961	6.07	3.13	0.001	-32	-4	22
		1.000	0.734	1	0.734	1.000	0.961	6.04	3.12	0.001	34	-54	0

図 A.8 予備実験：四角提示時の脳活動詳細

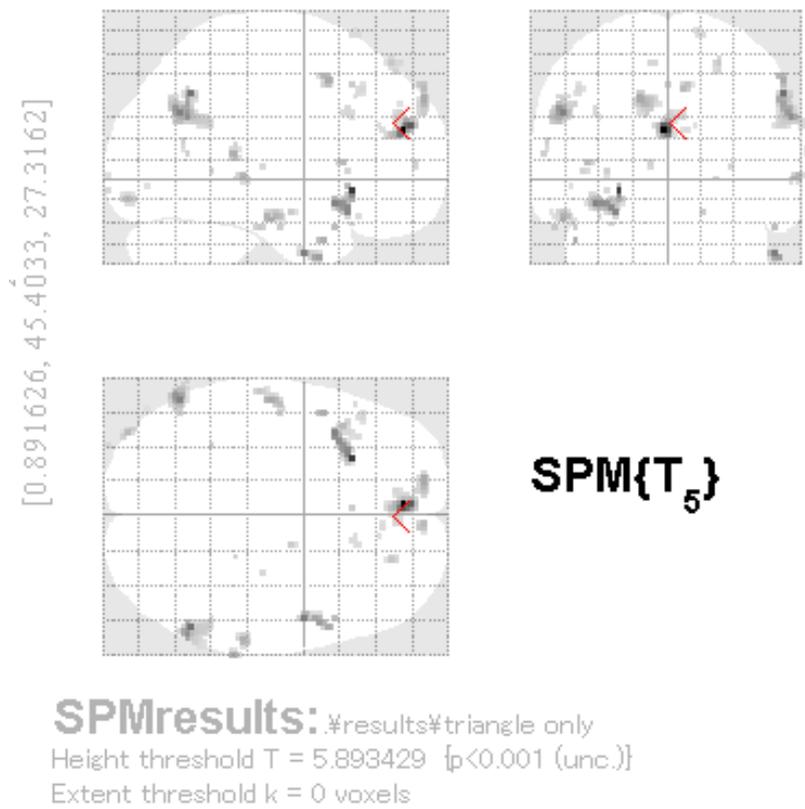


図 A.9 予備実験：三角提示時の脳活動

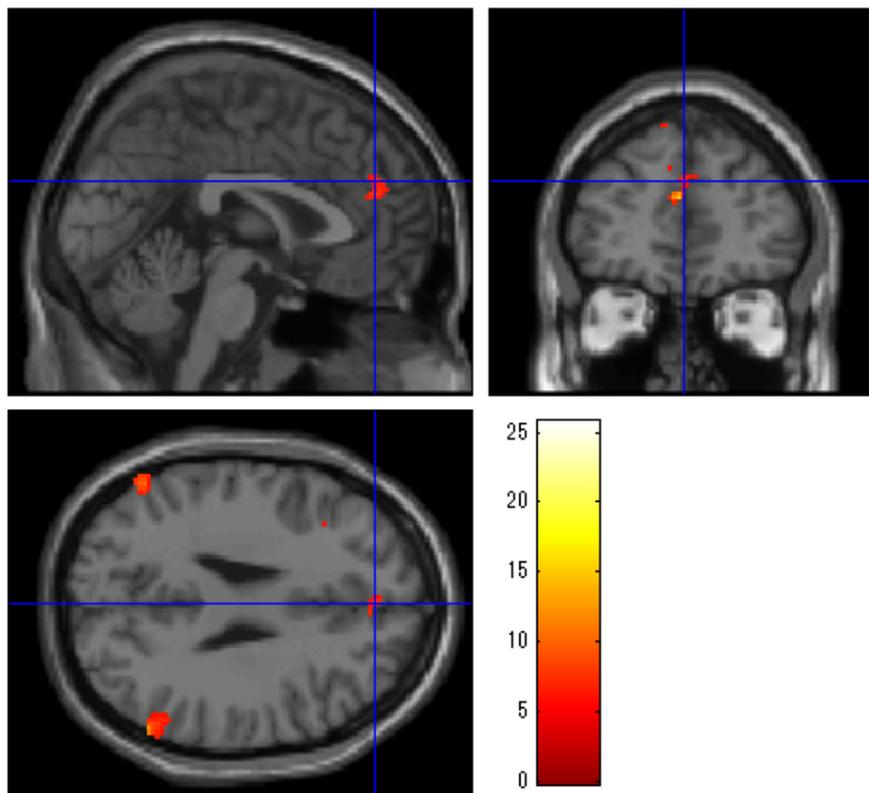


図 A.10 予備実験：三角提示時の断面図

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm				
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{Ξ})	p_{uncorr}					
0.404	40	0.037	0.020	84	0.001	0.178	0.985	25.75	4.79	0.000	-4	48	22		
						1.000	0.985	6.83	3.28	0.001	4	44	28		
				0.221	0.059	52	0.007	0.584	0.985	20.27	4.55	0.000	-26	22	-8
								1.000	0.985	14.05	4.15	0.000	-38	14	-14
								1.000	0.985	13.63	4.12	0.000	-28	20	-18
				0.005	0.006	122	0.000	0.999	0.985	15.36	4.25	0.000	56	-58	40
								1.000	0.985	13.06	4.07	0.000	60	-60	28
								1.000	0.985	7.74	3.44	0.000	56	-50	26
				0.959	0.478	18	0.084	0.999	0.985	14.50	4.19	0.000	52	-2	-38
								1.000	0.985	11.50	3.92	0.000	54	6	-40
				0.125	0.047	62	0.003	1.000	0.985	13.91	4.14	0.000	-54	-64	30
				0.247	0.059	50	0.007	1.000	0.985	10.54	3.82	0.000	-16	58	38
								1.000	0.985	7.64	3.43	0.000	-12	58	30
				1.000	0.697	9	0.210	1.000	0.985	10.47	3.81	0.000	56	10	46
				0.745	0.239	28	0.036	1.000	0.985	10.44	3.81	0.000	-54	-18	-22
				0.997	0.669	12	0.151	1.000	0.985	10.31	3.79	0.000	70	-36	10
				0.991	0.614	14	0.123	1.000	0.985	10.17	3.78	0.000	62	-32	-2
				1.000	0.697	2	0.564	1.000	0.985	10.10	3.77	0.000	-48	8	-32
				1.000	0.697	6	0.303	1.000	0.985	9.31	3.67	0.000	6	58	42
				1.000	0.697	2	0.564	1.000	0.985	9.24	3.66	0.000	-42	18	6
		0.998	0.670	11	0.168	1.000	0.985	9.08	3.64	0.000	-38	-90	-12		
		1.000	0.697	1	0.697	1.000	0.985	8.96	3.63	0.000	52	14	-26		
		0.999	0.680	10	0.187	1.000	0.985	8.25	3.52	0.000	24	42	54		

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 A.11 予備実験：三角提示時の脳活動詳細：1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{Ξ})	p_{uncorr}			
1.000		0.697		3	0.472	1.000	0.985	7.99	3.48	0.000	-58	-24	-26
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.84	3.46	0.000	-48	-14	-26
1.000		0.697		2	0.564	1.000	0.985	7.83	3.46	0.000	16	-8	-18
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.76	3.45	0.000	-2	22	44
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.52	3.41	0.000	22	-36	-2
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.50	3.40	0.000	-32	-48	2
1.000		0.697		3	0.472	1.000	0.985	7.31	3.37	0.000	-62	-62	16
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.30	3.37	0.000	-64	-60	10
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	7.25	3.36	0.000	-30	22	-24
1.000		0.697		2	0.564	1.000	0.985	7.18	3.35	0.000	-44	20	2
1.000		0.697		2	0.564	1.000	0.985	7.15	3.34	0.000	-10	54	6
1.000		0.697		4	0.403	1.000	0.985	6.88	3.29	0.000	-10	44	54
1.000		0.697		6	0.303	1.000	0.985	6.77	3.27	0.001	-46	28	42
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	6.73	3.26	0.001	30	-22	4
1.000		0.697		5	0.348	1.000	0.985	6.69	3.26	0.001	-38	20	32
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	6.63	3.24	0.001	-32	-100	-8
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	6.52	3.22	0.001	-52	24	38
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	6.31	3.18	0.001	-36	26	-20
1.000		0.697		2	0.564	1.000	0.985	6.30	3.18	0.001	8	38	22
1.000		0.697		5	0.348	1.000	0.985	6.26	3.17	0.001	14	22	68
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	6.09	3.13	0.001	-50	-80	-6
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	5.99	3.11	0.001	-32	-100	0
1.000		0.697		1	0.697	1.000	0.985	5.96	3.11	0.001	12	36	24

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 A.12 予備実験：三角提示時の脳活動詳細：2 枚目

付録 B

実験 1 の被験者 1 における SPM 解析結果

実験 1 における被験者 1 がそれぞれ丸と四角、三角を見ている際に活動している脳活動部位と p 値、座標を示す。三角を提示した際は視覚野にとどまらず、様々な脳活動が起きていることがうかがえる。

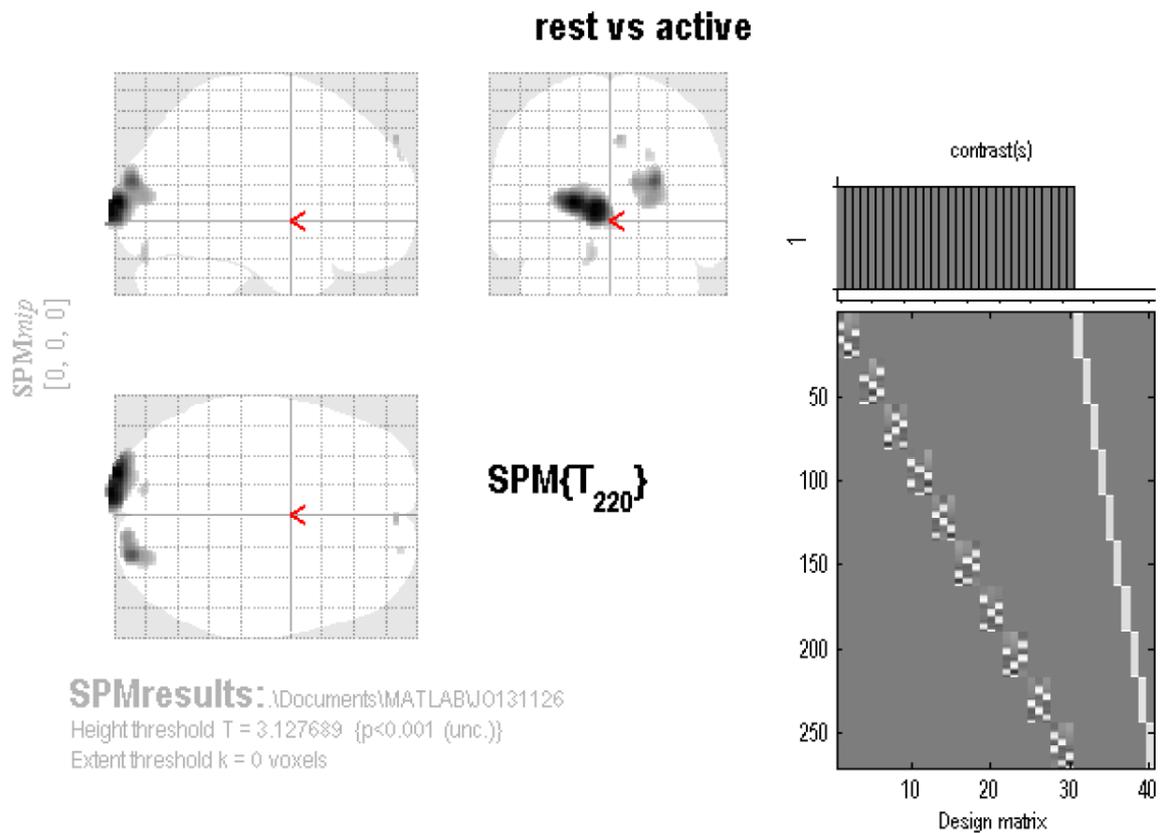


図 B.1 実験 1 : 被験者 1 : 脳活動全体

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm			
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _z)	<i>p</i> _{uncorr}			
1.000	5	0.000	0.000	620	0.000	0.000	0.000	7.38	6.97	0.000	-22	-102	8
		0.000	0.000			0.000	0.000	7.20	6.82	0.000	-10	-104	6
		0.000	0.000	430	0.000	0.002	0.000	5.66	5.46	0.000	24	-92	20
						0.313	0.037	4.43	4.33	0.000	22	-94	10
						0.370	0.038	4.37	4.27	0.000	24	-86	12
		1.000	0.509	7	0.429	0.844	0.130	3.95	3.88	0.000	4	58	44
		0.899	0.208	27	0.125	0.989	0.274	3.67	3.61	0.000	-12	-86	-20
1.000	0.509	5	0.509	0.999	0.405	3.48	3.43	0.000	20	60	34		

図 B.2 実験 1 : 被験者 1 : 脳活動情報詳細

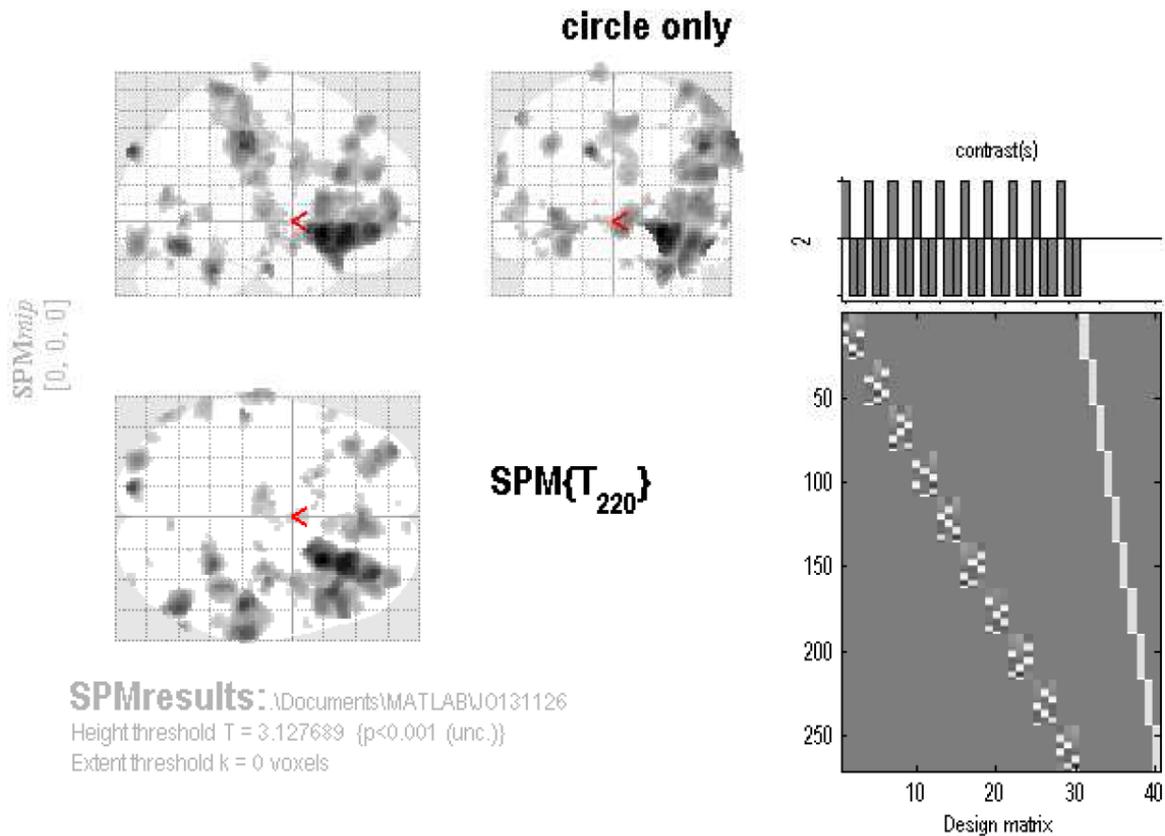


図 B.3 実験 1 : 被験者 1 : 丸提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\underline{=}})$	p_{uncorr}			
0.899		0.334		27	0.125	0.812	0.314	3.99	3.91	0.000	-54	-28	56
0.045		0.013		132	0.002	0.825	0.314	3.97	3.90	0.000	-66	-22	22
						0.938	0.424	3.83	3.76	0.000	-66	-16	32
						0.999	0.676	3.51	3.46	0.000	-68	-16	12
0.910		0.334		26	0.131	0.828	0.314	3.97	3.90	0.000	52	-74	10
0.021		0.006		158	0.001	0.830	0.314	3.97	3.90	0.000	38	0	30
						0.997	0.628	3.58	3.52	0.000	34	4	24
						1.000	0.762	3.35	3.30	0.000	40	0	20
0.910		0.334		26	0.131	0.830	0.314	3.97	3.90	0.000	62	-64	-2
0.860		0.327		30	0.107	0.862	0.345	3.93	3.86	0.000	-22	12	-6
0.579		0.160		48	0.047	0.948	0.437	3.81	3.74	0.000	-54	-72	10
						1.000	0.703	3.41	3.36	0.000	-58	-64	8
0.343		0.085		66	0.023	0.960	0.458	3.78	3.71	0.000	-10	-18	78
0.323		0.085		68	0.021	0.971	0.476	3.74	3.68	0.000	-60	-50	0
0.009		0.004		190	0.000	0.971	0.476	3.74	3.68	0.000	8	28	24
						0.999	0.662	3.52	3.47	0.000	8	36	34
						1.000	0.768	3.33	3.28	0.001	4	30	40
0.997		0.694		11	0.319	0.997	0.630	3.57	3.51	0.000	18	-20	8
1.000		0.794		1	0.794	0.997	0.630	3.57	3.51	0.000	-8	-20	-2
0.172		0.045		88	0.010	0.998	0.646	3.55	3.49	0.000	-6	-14	44
						0.999	0.662	3.52	3.47	0.000	-2	-20	52
0.996		0.694		12	0.298	0.998	0.660	3.53	3.48	0.000	6	-70	-26
0.874		0.328		29	0.113	0.999	0.676	3.49	3.44	0.000	6	18	24

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.4 実験 1 : 被験者 1 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\underline{=}})$	p_{uncorr}			
0.899		0.334		27	0.125	0.812	0.314	3.99	3.91	0.000	-54	-28	56
0.045		0.013		132	0.002	0.825	0.314	3.97	3.90	0.000	-66	-22	22
						0.938	0.424	3.83	3.76	0.000	-66	-16	32
						0.999	0.676	3.51	3.46	0.000	-68	-16	12
0.910		0.334		26	0.131	0.828	0.314	3.97	3.90	0.000	52	-74	10
0.021		0.006		158	0.001	0.830	0.314	3.97	3.90	0.000	38	0	30
						0.997	0.628	3.58	3.52	0.000	34	4	24
						1.000	0.762	3.35	3.30	0.000	40	0	20
0.910		0.334		26	0.131	0.830	0.314	3.97	3.90	0.000	62	-64	-2
0.860		0.327		30	0.107	0.862	0.345	3.93	3.86	0.000	-22	12	-6
0.579		0.160		48	0.047	0.948	0.437	3.81	3.74	0.000	-54	-72	10
						1.000	0.703	3.41	3.36	0.000	-58	-64	8
0.343		0.085		66	0.023	0.960	0.458	3.78	3.71	0.000	-10	-18	78
0.323		0.085		68	0.021	0.971	0.476	3.74	3.68	0.000	-60	-50	0
0.009		0.004		190	0.000	0.971	0.476	3.74	3.68	0.000	8	28	24
						0.999	0.662	3.52	3.47	0.000	8	36	34
						1.000	0.768	3.33	3.28	0.001	4	30	40
0.997		0.694		11	0.319	0.997	0.630	3.57	3.51	0.000	18	-20	8
1.000		0.794		1	0.794	0.997	0.630	3.57	3.51	0.000	-8	-20	-2
0.172		0.045		88	0.010	0.998	0.646	3.55	3.49	0.000	-6	-14	44
						0.999	0.662	3.52	3.47	0.000	-2	-20	52
0.996		0.694		12	0.298	0.998	0.660	3.53	3.48	0.000	6	-70	-26
0.874		0.328		29	0.113	0.999	0.676	3.49	3.44	0.000	6	18	24

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.5 実験 1 : 被験者 1 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
1.000		0.794	3	0.618	1.000	0.682	3.46	3.41	0.000	-10	14	0	
0.642		0.180	44	0.056	1.000	0.682	3.45	3.40	0.000	2	0	40	
1.000		0.794	3	0.618	1.000	0.696	3.43	3.38	0.000	-46	16	-14	
0.998		0.719	10	0.342	1.000	0.703	3.42	3.37	0.000	6	64	-2	
0.921		0.338	25	0.139	1.000	0.703	3.42	3.37	0.000	-56	20	-6	
					1.000	0.762	3.34	3.30	0.000	-54	20	2	
1.000		0.794	6	0.466	1.000	0.703	3.41	3.36	0.000	38	-92	-10	
0.997		0.694	11	0.319	1.000	0.741	3.38	3.33	0.000	-42	-82	-20	
1.000		0.794	7	0.429	1.000	0.742	3.37	3.33	0.000	-32	20	-12	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.762	3.34	3.30	0.000	-4	10	30	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.768	3.33	3.28	0.001	-12	10	0	
1.000		0.794	2	0.693	1.000	0.768	3.33	3.28	0.001	26	-84	50	
0.999		0.794	8	0.397	1.000	0.784	3.32	3.27	0.001	8	48	30	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.788	3.31	3.27	0.001	-6	12	28	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.827	3.27	3.23	0.001	-16	8	-2	
1.000		0.794	4	0.558	1.000	0.834	3.27	3.23	0.001	60	6	2	
1.000		0.794	2	0.693	1.000	0.834	3.26	3.22	0.001	-6	-22	0	
1.000		0.794	2	0.693	1.000	0.845	3.25	3.21	0.001	8	-10	4	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.845	3.25	3.21	0.001	62	-40	-14	
1.000		0.794	3	0.618	1.000	0.859	3.24	3.20	0.001	4	-12	40	
1.000		0.794	2	0.693	1.000	0.865	3.23	3.19	0.001	-42	52	8	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.868	3.23	3.19	0.001	50	0	16	
1.000		0.794	2	0.693	1.000	0.874	3.22	3.18	0.001	48	0	12	

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.6 実験 1 : 被験者 1 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 3 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.874	3.22	3.18	0.001	-12	-14	8	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.874	3.22	3.18	0.001	36	-2	0	
1.000		0.794	3	0.618	1.000	0.893	3.21	3.17	0.001	54	-20	-30	
1.000		0.794	5	0.509	1.000	0.936	3.18	3.14	0.001	44	-2	56	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.936	3.18	3.14	0.001	32	-24	-22	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.936	3.18	3.14	0.001	32	-22	12	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.949	3.16	3.13	0.001	6	-8	40	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.949	3.16	3.13	0.001	-6	58	-8	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.964	3.15	3.12	0.001	20	-60	-6	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.972	3.15	3.11	0.001	-2	6	30	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.972	3.14	3.11	0.001	-8	-24	46	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.977	3.14	3.10	0.001	42	8	-40	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	46	-36	16	

図 B.7 実験 1 : 被験者 1 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 4 枚目

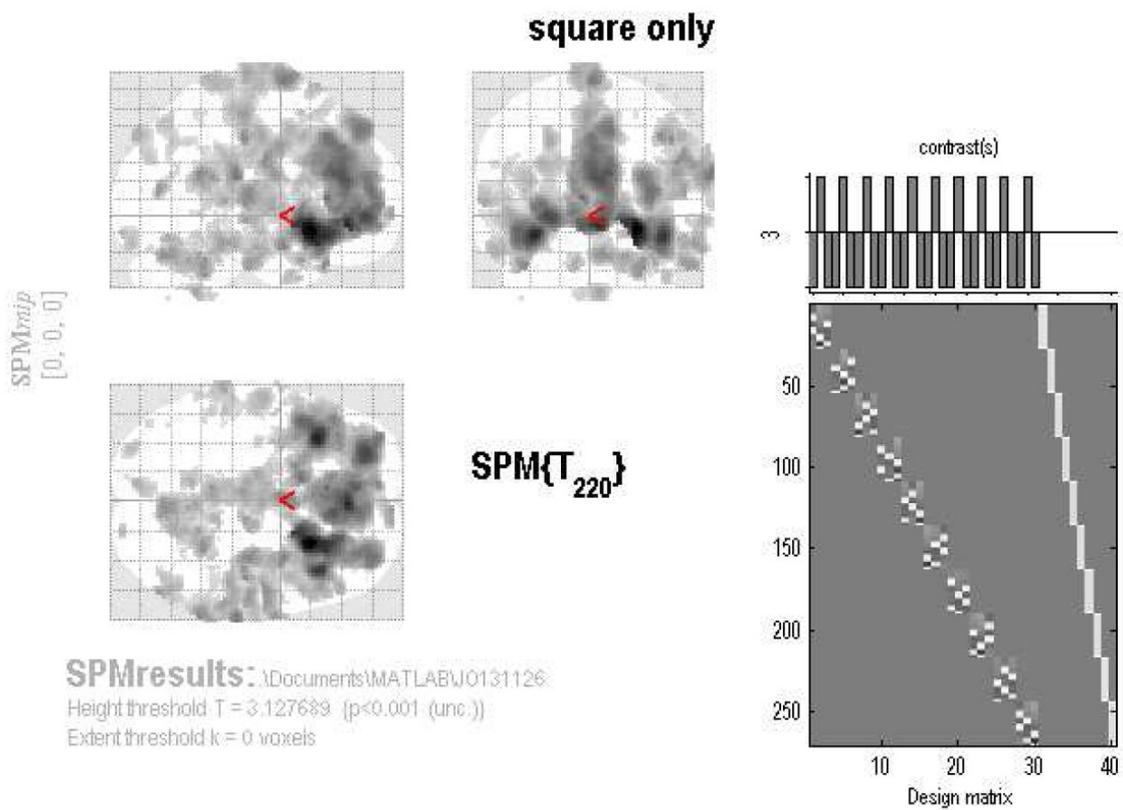


図 B.8 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動

Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
0.000	97	0.000	0.000	16187	0.000	0.000	0.001	6.59	6.29	0.000	26	16	-10
						0.001	0.007	5.93	5.70	0.000	-34	20	-14
						0.001	0.007	5.84	5.62	0.000	26	24	-14
		0.040	0.021	136	0.002	0.347	0.198	4.39	4.29	0.000	46	-22	42
						0.999	0.621	3.50	3.45	0.000	36	-22	42
		0.000	0.000	826	0.000	0.442	0.233	4.30	4.21	0.000	30	-48	-32
						0.487	0.244	4.26	4.17	0.000	4	-70	-24
						0.742	0.324	4.05	3.98	0.000	20	-50	-26
		0.000	0.000	332	0.000	0.630	0.275	4.15	4.06	0.000	54	-20	-30
						0.671	0.293	4.11	4.03	0.000	60	-36	-18
						0.798	0.351	4.00	3.93	0.000	62	-22	-30
		0.000	0.000	612	0.000	0.636	0.275	4.14	4.06	0.000	50	22	22
						0.909	0.399	3.87	3.80	0.000	52	12	44
						0.911	0.399	3.87	3.80	0.000	52	34	10
		0.579	0.269	48	0.047	0.661	0.288	4.12	4.04	0.000	54	-74	12
						1.000	0.708	3.40	3.35	0.000	60	-66	20
		0.001	0.001	292	0.000	0.695	0.309	4.09	4.01	0.000	12	-22	-6
						0.850	0.379	3.95	3.88	0.000	-12	-16	8
						0.930	0.400	3.84	3.77	0.000	-8	-8	4
		0.101	0.047	105	0.006	0.799	0.351	4.00	3.93	0.000	4	-52	-46
						1.000	0.684	3.45	3.40	0.000	-6	-44	-44
						1.000	0.717	3.39	3.34	0.000	-2	-58	-44
		0.005	0.004	212	0.000	0.807	0.351	3.99	3.92	0.000	-62	-34	6

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.9 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
						0.993	0.505	3.63	3.58	0.000	-50	-34	8
						1.000	0.889	3.24	3.20	0.001	-50	-26	12
		0.323	0.147	68	0.021	0.893	0.399	3.89	3.83	0.000	-10	-54	-30
						1.000	0.707	3.41	3.36	0.000	-12	-44	-32
		0.658	0.316	43	0.059	0.897	0.399	3.89	3.82	0.000	52	-66	-16
		0.010	0.006	187	0.001	0.910	0.399	3.87	3.80	0.000	-56	-10	-22
						0.999	0.654	3.48	3.43	0.000	-50	-20	-18
		0.024	0.014	153	0.001	0.929	0.400	3.84	3.77	0.000	-8	-88	44
						0.999	0.602	3.52	3.47	0.000	-6	-80	30
		0.564	0.269	49	0.045	0.941	0.410	3.82	3.75	0.000	2	20	72
		0.276	0.132	73	0.018	0.960	0.426	3.78	3.71	0.000	66	-18	-6
		0.007	0.005	200	0.000	0.961	0.427	3.77	3.71	0.000	-36	10	18
						0.999	0.602	3.53	3.48	0.000	-38	16	24
		0.997	0.794	11	0.319	0.969	0.435	3.75	3.69	0.000	20	-96	-12
		0.941	0.748	23	0.154	0.982	0.455	3.70	3.64	0.000	44	4	-36
		0.354	0.154	65	0.024	0.984	0.459	3.69	3.63	0.000	-28	-90	-18
		0.064	0.032	120	0.004	0.997	0.558	3.58	3.52	0.000	46	-70	52
						0.999	0.602	3.53	3.47	0.000	56	-66	40
						1.000	0.704	3.41	3.37	0.000	62	-56	40
		0.971	0.794	19	0.193	0.998	0.578	3.56	3.50	0.000	34	-42	-14
		0.998	0.794	10	0.342	0.999	0.602	3.53	3.48	0.000	-60	-50	-2
		0.996	0.794	12	0.298	0.999	0.602	3.53	3.48	0.000	-64	-2	8
		0.755	0.392	37	0.077	0.999	0.602	3.53	3.47	0.000	10	20	56

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.10 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\underline{z}})$	p_{uncorr}			
		0.981	0.794	17	0.217	1.000	0.684	3.44	3.39	0.000	-48	-16	22
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.684	3.44	3.39	0.000	20	-18	8
		0.996	0.794	12	0.298	1.000	0.685	3.44	3.39	0.000	-32	-14	-12
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.702	3.42	3.37	0.000	-50	-4	2
		0.999	0.794	8	0.397	1.000	0.704	3.41	3.37	0.000	-50	-42	24
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.712	3.40	3.35	0.000	34	-10	-22
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.712	3.40	3.35	0.000	56	-4	-6
		1.000	0.794	5	0.509	1.000	0.754	3.36	3.31	0.000	2	-34	-14
		0.996	0.794	12	0.298	1.000	0.787	3.33	3.29	0.001	-4	26	62
		1.000	0.794	5	0.509	1.000	0.787	3.33	3.29	0.001	-42	-80	-22
		0.997	0.794	11	0.319	1.000	0.787	3.33	3.28	0.001	-54	2	16
		1.000	0.794	5	0.509	1.000	0.788	3.33	3.28	0.001	-50	-44	-10
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.796	3.32	3.28	0.001	42	-22	-10
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.797	3.32	3.27	0.001	16	-18	8
		1.000	0.794	4	0.558	1.000	0.816	3.31	3.26	0.001	-10	-40	-28
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.817	3.31	3.26	0.001	-58	-36	-6
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.833	3.30	3.25	0.001	-64	-34	-4
		1.000	0.794	6	0.466	1.000	0.839	3.29	3.25	0.001	56	0	-4
		0.998	0.794	10	0.342	1.000	0.844	3.29	3.24	0.001	40	-40	72
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.855	3.28	3.23	0.001	40	-4	26
		1.000	0.794	3	0.618	1.000	0.855	3.27	3.23	0.001	32	-60	-34
		1.000	0.794	7	0.429	1.000	0.855	3.27	3.23	0.001	56	-52	56
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.855	3.27	3.23	0.001	-48	-6	0

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.11 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 3 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\underline{z}})$	p_{uncorr}			
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.858	3.26	3.22	0.001	16	-46	28
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.881	3.24	3.20	0.001	-28	-4	8
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.881	3.24	3.20	0.001	12	-44	24
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.885	3.24	3.20	0.001	50	-30	66
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.891	3.23	3.19	0.001	16	20	38
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.896	3.23	3.19	0.001	50	-24	52
		1.000	0.794	5	0.509	1.000	0.897	3.23	3.19	0.001	60	-46	56
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.908	3.22	3.18	0.001	10	-18	4
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.914	3.22	3.18	0.001	-12	-92	36
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.914	3.21	3.17	0.001	-50	-48	28
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.916	3.21	3.17	0.001	44	-42	30
		1.000	0.794	3	0.618	1.000	0.937	3.20	3.16	0.001	-62	-32	-6
		1.000	0.794	4	0.558	1.000	0.937	3.20	3.16	0.001	-56	-52	28
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.937	3.20	3.16	0.001	-40	-6	10
		1.000	0.794	3	0.618	1.000	0.937	3.20	3.16	0.001	-44	-46	32
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.950	3.19	3.15	0.001	-52	-12	-30
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.950	3.19	3.15	0.001	-8	-78	60
		1.000	0.794	2	0.693	1.000	0.950	3.19	3.15	0.001	-32	-8	-14
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.969	3.17	3.13	0.001	-50	-18	10
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.969	3.17	3.13	0.001	14	24	40
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.969	3.17	3.13	0.001	18	-44	30
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.981	3.17	3.13	0.001	-46	-30	10
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	-58	-32	-10

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.12 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 4 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{Ξ})	p_{uncorr}			
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	14	-24	46	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	-54	-2	14	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	-64	0	16	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	34	-58	-36	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	52	-42	32	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.985	3.16	3.12	0.001	-52	8	16	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.991	3.15	3.11	0.001	-64	-34	0	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.991	3.15	3.11	0.001	-56	-70	12	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.991	3.15	3.11	0.001	16	-14	8	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.15	3.11	0.001	-42	-36	4	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.15	3.11	0.001	-42	-68	-50	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.15	3.11	0.001	-62	-54	0	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.14	3.11	0.001	48	-34	-10	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.14	3.11	0.001	-66	-40	0	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.993	3.14	3.10	0.001	-62	-36	-2	
1.000		0.794	3	0.618	1.000	0.994	3.14	3.10	0.001	26	34	56	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.994	3.14	3.10	0.001	24	-38	-4	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.994	3.14	3.10	0.001	-52	-22	10	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.994	3.14	3.10	0.001	50	6	-26	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.10	0.001	48	-84	12	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.10	0.001	-32	-4	-10	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.10	0.001	-48	14	12	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	-48	-6	4	

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.13 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 5 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{Ξ})	p_{uncorr}			
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	-2	-54	-14	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	58	-66	28	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	-8	-2	2	
1.000		0.794	1	0.794	1.000	0.998	3.13	3.09	0.001	50	-28	56	

図 B.14 実験 1 : 被験者 1 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 6 枚目

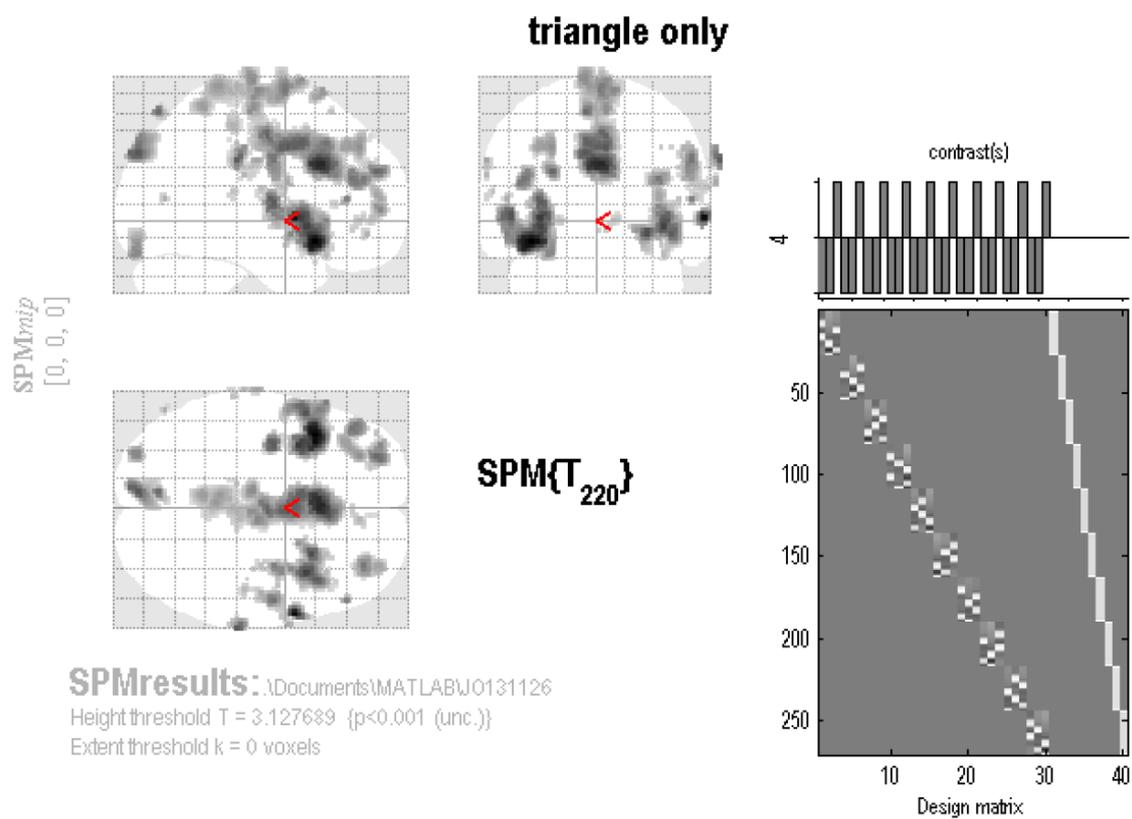


図 B.15 実験 1 : 被験者 1 : 三角提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE\text{-cor}}$	$q_{FDR\text{-cor}}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-cor}}$	$q_{FDR\text{-cor}}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
0.000	38	0.000	0.000	1218	0.000	0.025	0.109	5.12	4.97	0.000	-40	16	-14
						0.219	0.248	4.54	4.43	0.000	-34	6	0
						0.266	0.248	4.48	4.38	0.000	-34	12	-6
		0.215	0.042	81	0.013	0.046	0.109	4.97	4.83	0.000	62	4	0
		0.000	0.000	3038	0.000	0.114	0.210	4.73	4.61	0.000	2	18	30
						0.459	0.248	4.29	4.20	0.000	4	0	40
						0.523	0.248	4.23	4.15	0.000	-6	6	42
		0.000	0.000	806	0.000	0.263	0.248	4.48	4.38	0.000	38	10	-6
						0.355	0.248	4.38	4.29	0.000	28	14	-10
						0.491	0.248	4.26	4.17	0.000	42	16	-10
		0.001	0.000	301	0.000	0.455	0.248	4.29	4.20	0.000	-8	-88	36
		0.412	0.078	60	0.029	0.469	0.248	4.28	4.19	0.000	70	-30	32
						0.954	0.369	3.79	3.73	0.000	68	-26	40
		0.098	0.024	106	0.006	0.487	0.248	4.26	4.17	0.000	-34	-8	8
		0.002	0.001	249	0.000	0.620	0.256	4.15	4.07	0.000	-28	52	26
						0.948	0.366	3.80	3.74	0.000	-28	42	40
		0.658	0.145	43	0.059	0.661	0.268	4.12	4.04	0.000	-8	-76	60
		0.046	0.012	131	0.003	0.737	0.313	4.06	3.98	0.000	-44	38	22
		0.003	0.001	227	0.000	0.753	0.313	4.04	3.97	0.000	54	-8	32
						0.995	0.510	3.61	3.56	0.000	68	0	20
						0.997	0.542	3.58	3.52	0.000	52	-14	38
		0.012	0.004	177	0.001	0.767	0.315	4.03	3.95	0.000	34	44	22
						0.993	0.493	3.63	3.58	0.000	34	52	12

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.16 実験 1 : 被験者 1 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE\text{-cor}}$	$q_{FDR\text{-cor}}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-cor}}$	$q_{FDR\text{-cor}}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
		0.999	0.685	8	0.397	0.849	0.343	3.95	3.88	0.000	54	34	10
		0.122	0.027	99	0.007	0.901	0.354	3.89	3.82	0.000	-30	-90	-22
		0.172	0.036	88	0.010	0.905	0.354	3.88	3.81	0.000	-34	54	4
						1.000	0.698	3.42	3.38	0.000	-28	50	0
		0.675	0.145	42	0.061	0.972	0.415	3.74	3.68	0.000	2	20	72
		0.957	0.364	21	0.172	0.994	0.510	3.61	3.56	0.000	-66	-18	32
						1.000	0.795	3.28	3.24	0.001	-66	-22	24
		1.000	0.709	7	0.429	0.998	0.575	3.55	3.50	0.000	-54	-72	10
		0.268	0.050	74	0.017	0.998	0.581	3.54	3.49	0.000	2	-32	52
						1.000	0.917	3.17	3.13	0.001	-4	-32	60
		0.997	0.605	11	0.319	0.999	0.615	3.51	3.46	0.000	30	46	-10
		0.965	0.364	20	0.182	0.999	0.637	3.49	3.44	0.000	8	42	-2
						1.000	0.777	3.31	3.27	0.001	4	38	-8
		1.000	0.794	3	0.618	1.000	0.652	3.47	3.42	0.000	-66	-26	24
		0.965	0.364	20	0.182	1.000	0.660	3.46	3.41	0.000	48	-26	34
		0.999	0.685	8	0.397	1.000	0.712	3.40	3.35	0.000	-62	-32	14
		1.000	0.786	4	0.558	1.000	0.712	3.39	3.35	0.000	-6	26	60
		1.000	0.794	3	0.618	1.000	0.718	3.37	3.33	0.000	-40	52	8
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.718	3.37	3.33	0.000	-12	-30	42
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.725	3.36	3.31	0.000	36	-20	40
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.795	3.28	3.24	0.001	0	38	-8
		1.000	0.794	1	0.794	1.000	0.795	3.28	3.24	0.001	42	-24	40
		1.000	0.773	5	0.509	1.000	0.799	3.27	3.23	0.001	44	28	8

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 B.17 実験 1 : 被験者 1 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm	mm	mm
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncor}	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncor}			
1.000		0.773		5	0.509	1.000	0.848	3.24	3.20	0.001	48	24	24
1.000		0.786		4	0.558	1.000	0.858	3.22	3.18	0.001	6	48	46
1.000		0.794		1	0.794	1.000	0.858	3.22	3.18	0.001	48	16	-26
1.000		0.794		1	0.794	1.000	0.908	3.18	3.14	0.001	-54	0	10
1.000		0.794		1	0.794	1.000	0.917	3.17	3.13	0.001	-14	-32	40
1.000		0.794		1	0.794	1.000	0.917	3.17	3.13	0.001	6	52	32
1.000		0.794		1	0.794	1.000	0.918	3.16	3.13	0.001	-14	-34	44

図 B.18 実験 1 : 被験者 1 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 3 枚目

付録 C

実験 1 の被験者 2 における SPM 解析結果

実験 1 における被験者 2 がそれぞれ丸と四角，三角を見ている際に活動している脳活動部位と p 値，座標を示す。三角を提示した際は視覚野にとどまらず，様々な脳活動が起きていることがうかがえる。

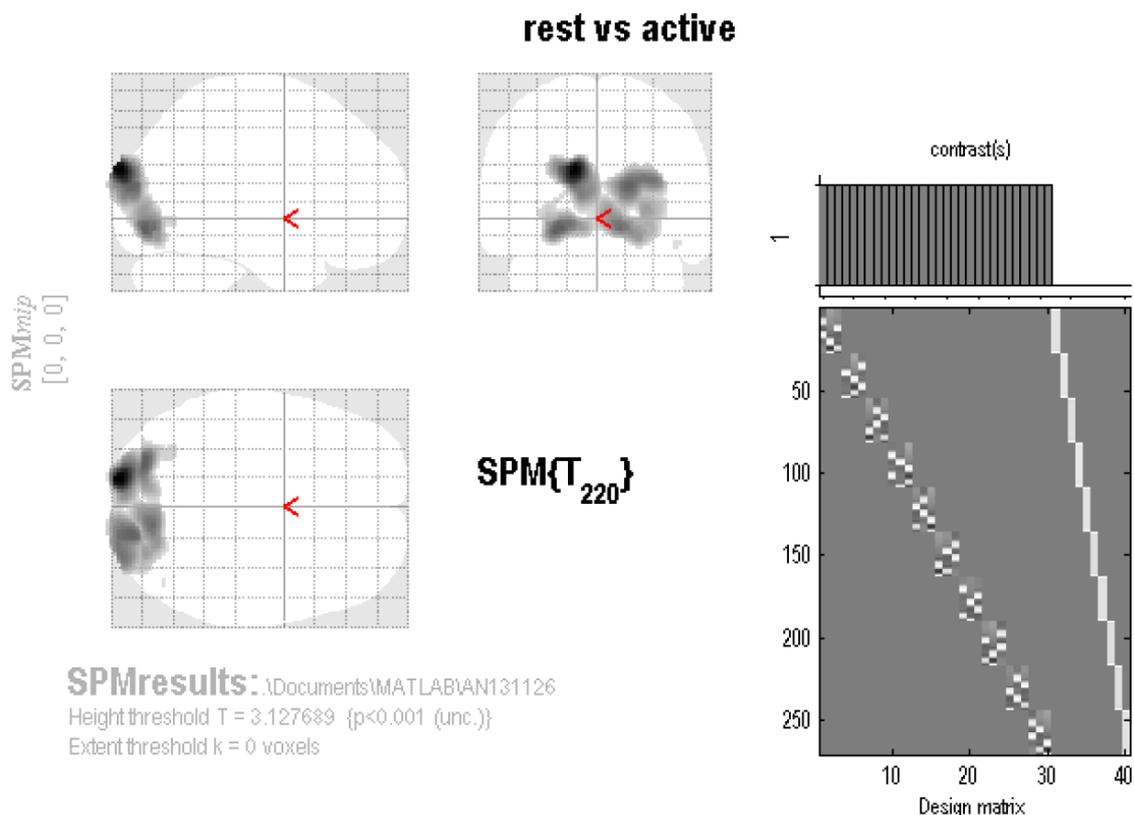


図 C.1 実験 1 : 被験者 2 : 脳活動全体

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
1.000	2	0.000	0.000	3565	0.000	0.000	0.000	11.51	Inf	0.000	-14	-98	26
						0.000	0.000	7.78	7.30	0.000	-24	-82	-8
						0.000	0.000	7.67	7.21	0.000	18	-90	16
		1.000	0.577	3	0.577	1.000	0.762	3.24	3.20	0.001	46	-72	-16

図 C.2 実験 1 : 被験者 2 : 脳活動情報詳細

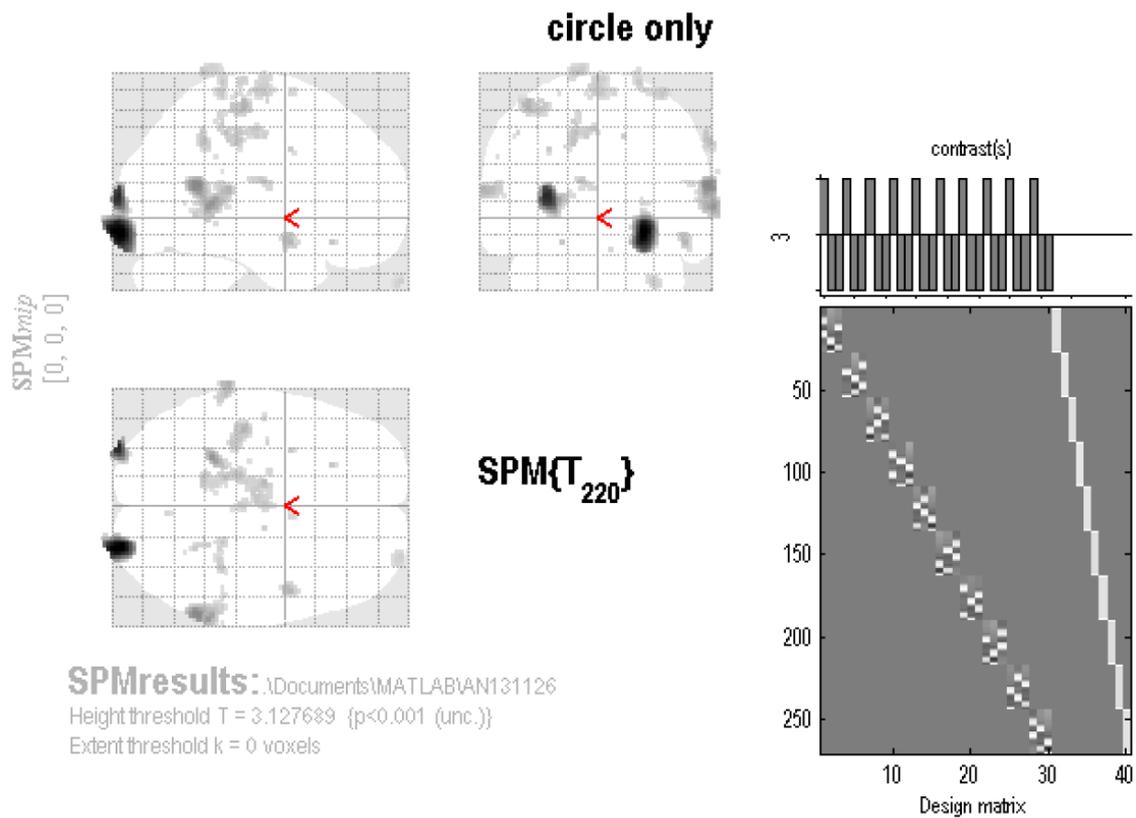


図 C.3 実験 1 : 被験者 2 : 丸提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
0.003	38	0.000	0.000	350	0.000	0.000	0.000	6.55	6.26	0.000	26	-100	-10
		0.037	0.020	120	0.002	0.001	0.001	5.85	5.63	0.000	-32	-98	10
		0.001	0.000	258	0.000	0.362	0.340	4.45	4.34	0.000	62	-54	16
						0.680	0.576	4.18	4.09	0.000	66	-46	4
						1.000	0.913	3.37	3.32	0.000	58	-38	8
		0.267	0.063	66	0.013	0.633	0.576	4.22	4.13	0.000	-26	-44	6
		0.248	0.063	68	0.012	0.977	0.913	3.81	3.74	0.000	-68	-34	14
		0.126	0.041	86	0.006	0.981	0.913	3.79	3.73	0.000	-42	-26	60
						1.000	0.913	3.49	3.44	0.000	-34	-32	60
		0.711	0.168	37	0.053	0.988	0.913	3.75	3.69	0.000	50	2	-16
		0.899	0.287	26	0.098	0.994	0.913	3.70	3.64	0.000	-12	-14	18
						1.000	0.917	3.29	3.25	0.001	-4	-10	14
		0.109	0.041	90	0.005	0.997	0.913	3.66	3.60	0.000	-14	-36	46
						0.999	0.913	3.59	3.53	0.000	-16	-28	42
						1.000	0.913	3.54	3.49	0.000	-4	-18	48
		0.711	0.168	37	0.053	0.998	0.913	3.63	3.57	0.000	64	-48	42
		0.141	0.041	83	0.007	1.000	0.913	3.53	3.48	0.000	0	-14	70
		0.359	0.080	58	0.019	1.000	0.913	3.53	3.48	0.000	22	-38	74
						1.000	0.913	3.49	3.44	0.000	36	-38	68
		0.414	0.087	54	0.023	1.000	0.913	3.52	3.47	0.000	-14	-50	80
				1.000	0.913	3.34	3.29	0.000	-12	-42	82		
1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.913	3.51	3.46	0.000	-22	26	-16		
1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.913	3.47	3.42	0.000	-30	2	36		

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 C.4 実験 1 : 被験者 2 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
		0.999	0.696	10	0.293	1.000	0.913	3.44	3.39	0.000	26	-54	0
						1.000	0.913	3.36	3.32	0.000	24	-46	-4
		0.996	0.587	13	0.232	1.000	0.913	3.40	3.35	0.000	2	-26	76
		0.956	0.362	21	0.134	1.000	0.913	3.39	3.34	0.000	30	66	-38
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.913	3.38	3.34	0.000	14	-14	44
		1.000	0.768	4	0.513	1.000	0.913	3.34	3.29	0.000	24	-52	6
		1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.913	3.33	3.29	0.001	-34	-12	64
		1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.917	3.31	3.27	0.001	-48	-14	46
		1.000	0.768	7	0.380	1.000	0.917	3.28	3.23	0.001	8	2	68
		1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.941	3.26	3.21	0.001	6	-70	-20
		1.000	0.768	4	0.513	1.000	0.941	3.25	3.21	0.001	-18	-10	78
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.941	3.24	3.20	0.001	0	-22	68
		1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.941	3.23	3.19	0.001	-10	-36	14
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.941	3.21	3.17	0.001	-2	-12	46
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.941	3.21	3.17	0.001	22	-42	-6
		1.000	0.768	2	0.657	1.000	0.941	3.21	3.17	0.001	2	-28	68
		1.000	0.768	6	0.417	1.000	0.941	3.20	3.16	0.001	52	-38	18
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.961	3.18	3.14	0.001	-24	-22	68
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.961	3.17	3.13	0.001	4	-32	66
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.961	3.17	3.13	0.001	28	-60	6
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.964	3.15	3.12	0.001	-60	-42	32
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.964	3.15	3.11	0.001	68	-38	24
		1.000	0.768	1	0.768	1.000	0.964	3.15	3.11	0.001	-14	-16	44

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 C.5 実験 1 : 被験者 2 : 丸提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

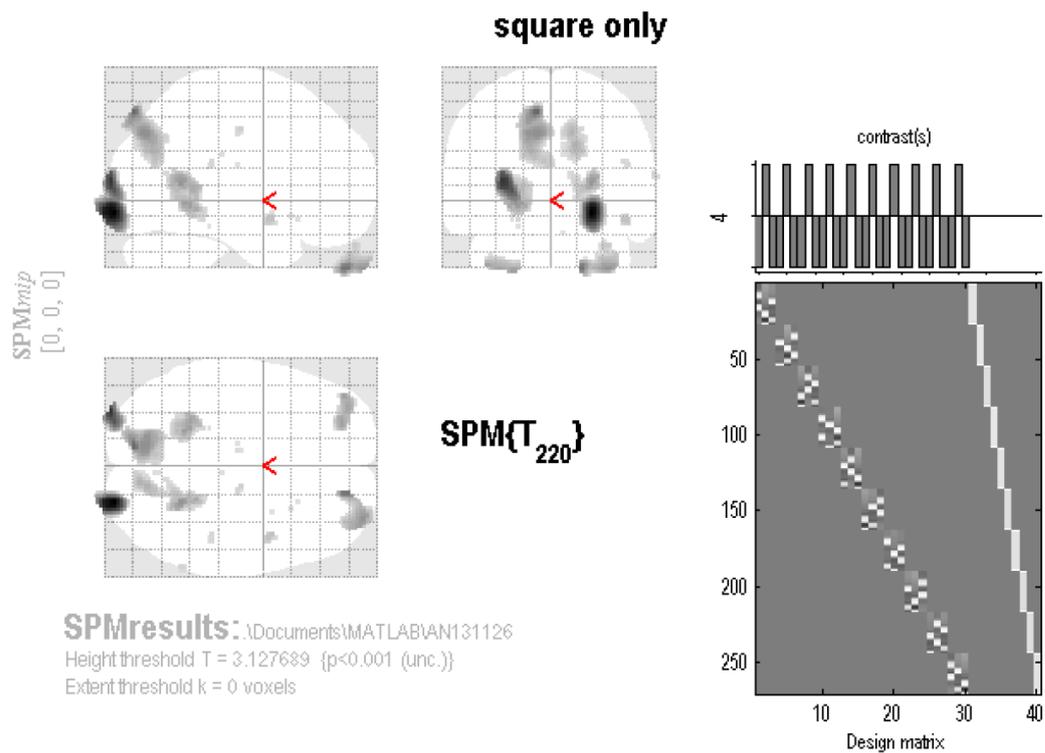


図 C.6 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動

Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm				
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>k_E</i>	<i>p</i> _{uncor}	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>T</i>	<i>(Z_≡)</i>	<i>p</i> _{uncor}					
0.561	23	0.000	0.000	413	0.000	0.000	0.000	7.05	6.69	0.000	24	-96	-10		
		0.001	0.000	234	0.000	0.001	0.001	5.98	5.75	0.000	-32	-98	10		
						0.006	0.004	5.51	5.33	0.000	-26	-96	4		
				0.000	0.000	759	0.000	0.026	0.014	5.17	5.02	0.000	-10	-84	52
						0.308	0.136	4.50	4.40	0.000	-10	-76	38		
						0.909	0.280	3.95	3.88	0.000	-14	-72	28		
				0.000	0.000	275	0.000	0.063	0.029	4.95	4.81	0.000	18	50	-44
						0.443	0.145	4.37	4.28	0.000	34	62	-44		
						1.000	0.668	3.49	3.44	0.000	32	56	-30		
				0.000	0.000	270	0.000	0.398	0.145	4.41	4.31	0.000	24	-54	8
						0.854	0.238	4.02	3.94	0.000	22	-44	-8		
						1.000	0.810	3.37	3.33	0.000	14	-60	10		
				0.000	0.000	354	0.000	0.580	0.187	4.26	4.17	0.000	-22	-48	-6
						0.842	0.238	4.03	3.96	0.000	-28	-46	6		
						0.983	0.412	3.78	3.72	0.000	-24	-54	8		
		0.025	0.003	131	0.001	0.667	0.187	4.19	4.10	0.000	-24	48	-46		
				0.692	0.187	4.17	4.09	0.000	-42	50	-42				
				0.783	0.227	4.09	4.01	0.000	-34	52	-44				
		0.001	0.000	244	0.000	0.922	0.283	3.93	3.86	0.000	14	-76	32		
				0.950	0.317	3.88	3.81	0.000	12	-80	40				
				1.000	0.810	3.36	3.32	0.000	18	-64	36				
		0.983	0.445	17	0.174	0.998	0.503	3.64	3.58	0.000	46	2	-14		
		1.000	0.768	6	0.417	1.000	0.790	3.41	3.36	0.000	14	-16	42		

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

図 C.7 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	<i>Z</i> _{max}	<i>p</i> _{uncorr}			
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.821	3.34	3.30	0.000	18	-54	-4
1.000		0.768	0.768	5	0.461	1.000	0.821	3.34	3.29	0.000	64	-54	14
1.000		0.768	0.768	6	0.417	1.000	0.846	3.29	3.24	0.001	44	-34	22
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.858	3.27	3.23	0.001	-22	-40	-14
1.000		0.768	0.768	2	0.657	1.000	0.919	3.23	3.19	0.001	-8	-18	38
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.919	3.22	3.18	0.001	28	16	-12
1.000		0.768	0.768	2	0.657	1.000	0.950	3.19	3.15	0.001	-26	-42	-12
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.950	3.19	3.15	0.001	-12	-18	20
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.950	3.18	3.14	0.001	30	4	-10
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.950	3.17	3.13	0.001	24	20	-14
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.950	3.17	3.13	0.001	-22	-36	-18
1.000		0.768	0.768	2	0.657	1.000	0.965	3.15	3.11	0.001	6	-70	-22
1.000		0.768	0.768	1	0.768	1.000	0.985	3.13	3.10	0.001	6	-28	26

図 C.8 実験 1 : 被験者 2 : 四角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

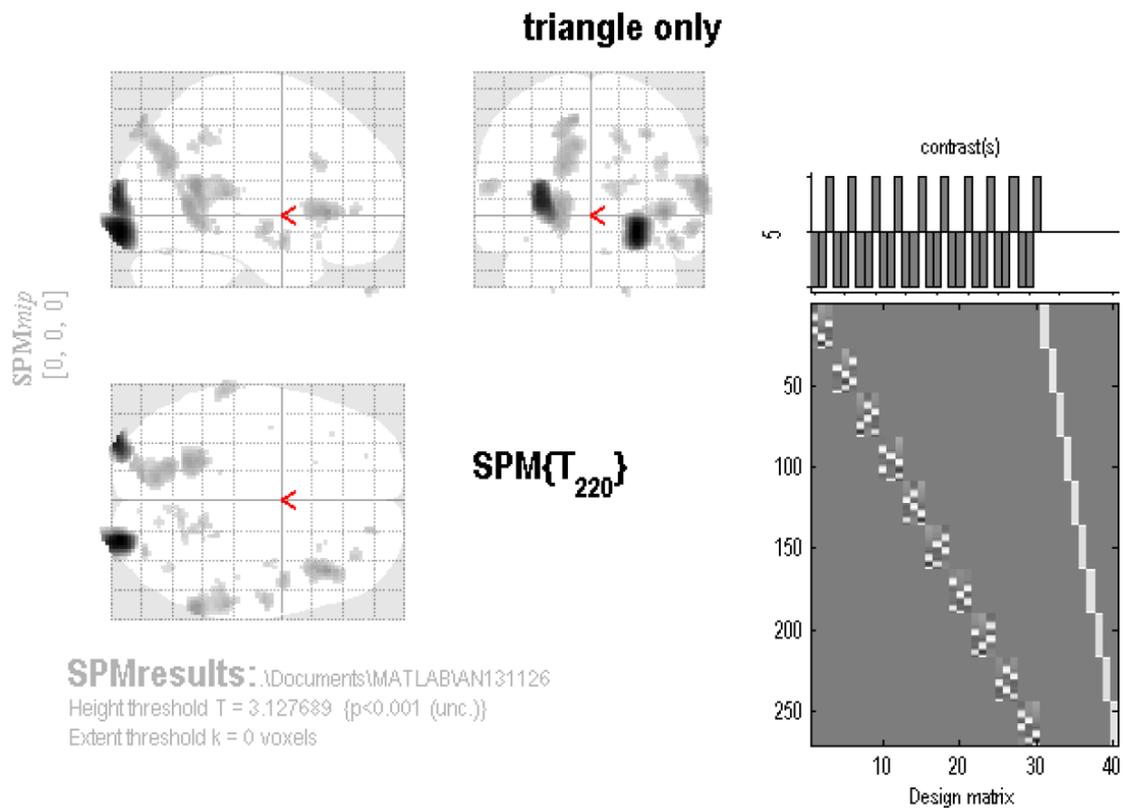


図 C.9 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm				
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}					
0.009	36	0.000	0.000	457	0.000	0.000	0.000	7.22	6.83	0.000	24	-96	-10		
		0.000	0.000	290	0.000	0.000	0.000	6.55	6.25	0.000	-32	-98	6		
		0.001	0.000	226	0.000	0.424	0.263	4.39	4.29	0.000	42	26	0		
		0.000	0.000	412	0.000	0.429	0.263	4.38	4.29	0.000	62	-52	16		
								0.769	0.278	4.10	4.02	0.000	66	-50	6
								0.867	0.330	4.01	3.93	0.000	62	-34	10
		0.000	0.000	310	0.000	0.571	0.278	4.27	4.18	0.000	-20	-56	4		
								0.747	0.278	4.12	4.04	0.000	-20	-52	-4
		0.000	0.000	448	0.000	0.744	0.278	4.13	4.04	0.000	-12	-84	52		
								0.750	0.278	4.12	4.04	0.000	-18	-68	26
								0.873	0.330	4.00	3.92	0.000	-10	-76	38
		0.654	0.163	40	0.045	0.949	0.396	3.88	3.82	0.000	46	0	-16		
		0.543	0.151	46	0.033	0.982	0.476	3.78	3.72	0.000	60	-12	-10		
		0.288	0.075	64	0.015	0.983	0.476	3.78	3.72	0.000	-62	-36	14		
		0.999	0.716	9	0.318	0.987	0.489	3.76	3.70	0.000	30	-82	44		
		0.803	0.227	32	0.070	0.995	0.574	3.69	3.63	0.000	16	-48	42		
						1.000	0.817	3.41	3.36	0.000	18	-54	36		
		1.000	0.735	8	0.347	0.999	0.687	3.59	3.54	0.000	18	50	-46		
		0.885	0.277	27	0.092	0.999	0.687	3.59	3.54	0.000	42	18	28		
		0.616	0.163	42	0.041	1.000	0.701	3.54	3.48	0.000	14	-60	10		
						1.000	0.817	3.41	3.36	0.000	22	-60	16		
		0.998	0.695	11	0.270	1.000	0.701	3.53	3.48	0.000	34	42	0		
		1.000	0.768	3	0.577	1.000	0.817	3.43	3.38	0.000	22	-42	-6		

table shows 3 local maxima more than 6.0mm apart

図 C.10 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
0.987		0.516		16	0.186	1.000	0.817	3.39	3.34	0.000	64	-42	42
1.000		0.768		2	0.657	1.000	0.817	3.37	3.32	0.000	22	-40	-10
1.000		0.768		4	0.513	1.000	0.817	3.37	3.32	0.000	38	-10	-16
1.000		0.768		2	0.657	1.000	0.964	3.29	3.24	0.001	28	20	-20
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.26	3.22	0.001	20	-50	-10
1.000		0.768		7	0.380	1.000	0.975	3.24	3.20	0.001	14	-74	28
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.23	3.19	0.001	24	-48	-8
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.22	3.18	0.001	-24	48	-46
0.999		0.703		10	0.293	1.000	0.975	3.22	3.18	0.001	40	-68	22
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.22	3.18	0.001	-14	-38	46
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.21	3.17	0.001	-40	-8	-16
1.000		0.768		3	0.577	1.000	0.975	3.21	3.17	0.001	8	-68	-24
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.18	3.14	0.001	8	-86	26
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.17	3.13	0.001	-20	18	-14
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.17	3.13	0.001	-64	-24	12
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.975	3.16	3.12	0.001	-36	28	-2
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.984	3.15	3.11	0.001	40	-6	-20
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.984	3.15	3.11	0.001	26	24	-10
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.988	3.14	3.10	0.001	46	-28	-2
1.000		0.768		1	0.768	1.000	0.988	3.13	3.10	0.001	28	20	-14

図 C.11 実験 1 : 被験者 2 : 三角提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

付録 D

実験 2 における SPM 解析結果

実験 2 における 10 種類の図形を見ている際に活動している脳活動部位と p 値，座標を示す。視覚野に強く活動している部位は少なかった。

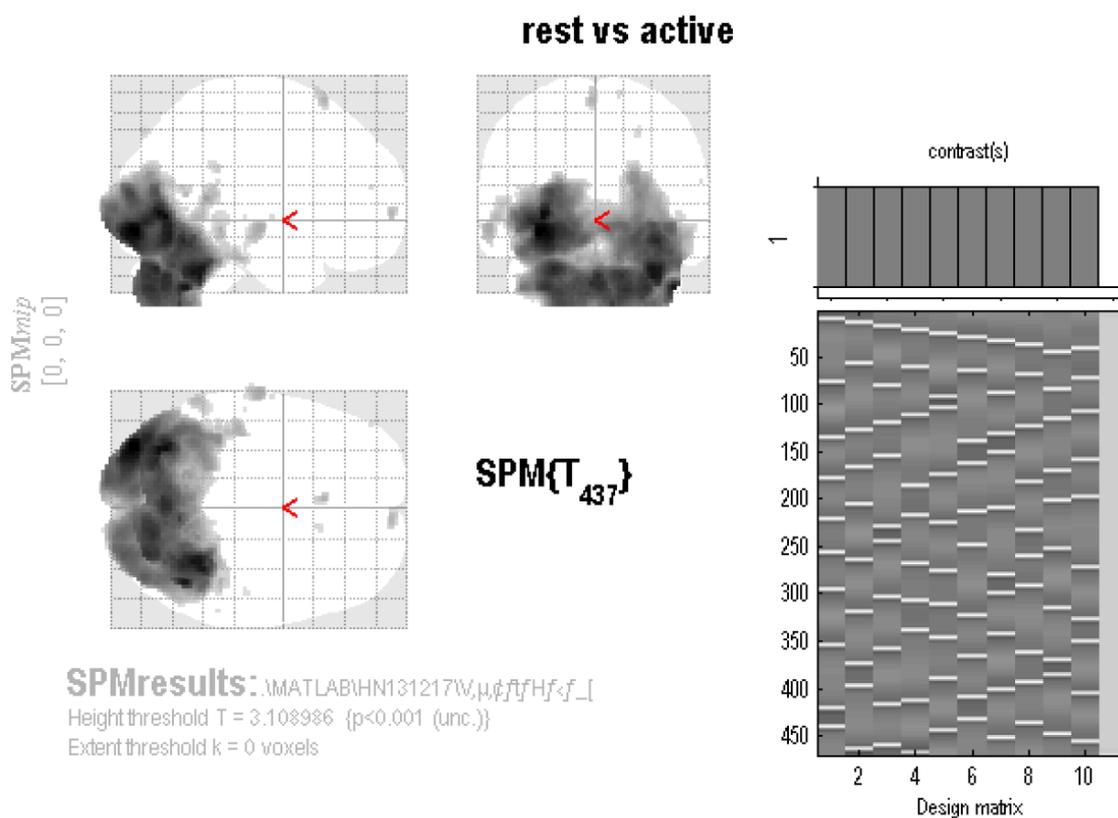


図 D.1 実験 2 : 脳活動全体

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
0.031	15	0.000	0.000	21284	0.000	0.000	0.000	6.55	6.40	0.000	-34	-88	-10
						0.000	0.000	6.31	6.17	0.000	-32	-70	0
						0.000	0.000	6.17	6.04	0.000	32	-50	-30
		0.563	0.416	76	0.096	0.417	0.094	4.06	4.02	0.000	-40	-46	10
		0.617	0.416	69	0.111	0.578	0.138	3.92	3.88	0.000	-64	-16	-6
						0.999	0.827	3.21	3.19	0.001	-62	-24	-16
		0.955	0.877	22	0.358	0.719	0.192	3.80	3.76	0.000	-4	22	66
		0.955	0.877	22	0.358	0.751	0.206	3.77	3.73	0.000	8	62	2
		0.398	0.416	101	0.059	0.781	0.220	3.74	3.71	0.000	-60	-52	0
						0.939	0.376	3.54	3.51	0.000	-56	-48	6
		0.993	0.877	9	0.568	0.983	0.531	3.40	3.38	0.000	20	-40	28
		0.994	0.877	8	0.593	0.990	0.594	3.35	3.33	0.000	24	-82	48
		0.998	0.877	4	0.719	0.998	0.760	3.24	3.22	0.001	12	18	70
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.844	3.19	3.17	0.001	-46	50	16
		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.863	3.18	3.16	0.001	50	-24	-18
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.878	3.17	3.15	0.001	-62	-8	0
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.885	3.17	3.15	0.001	60	-40	20
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.895	3.16	3.14	0.001	-54	-24	0
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.991	3.11	3.09	0.001	50	-22	-22

図 D.2 実験 2 : 脳活動情報詳細

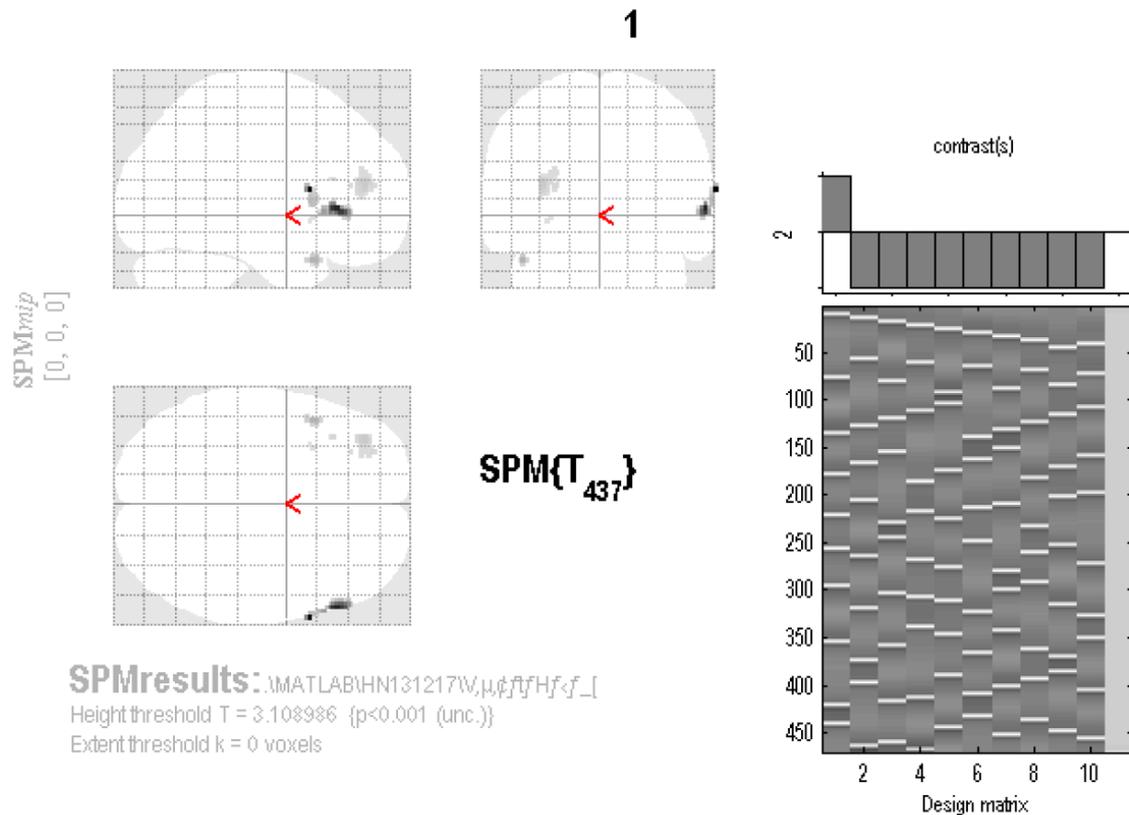


図 D.3 実験 2 : 図形 1 提示時の脳活動

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>C</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	<i>Z</i> _≡	<i>p</i> _{uncorr}			
0.496	9	0.982	0.877	14	0.468	0.022	0.036	4.89	4.82	0.000	66	12	12
		0.809	0.861	45	0.191	0.084	0.071	4.55	4.50	0.000	60	28	2
						0.887	0.992	3.62	3.59	0.000	62	20	0
		0.987	0.877	12	0.504	0.962	0.992	3.48	3.46	0.000	-46	14	-28
		0.672	0.861	62	0.129	0.997	0.992	3.27	3.25	0.001	-34	44	14
						1.000	0.992	3.15	3.13	0.001	-28	42	24
		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.992	3.20	3.18	0.001	-36	26	18
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.992	3.15	3.13	0.001	-28	36	14
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.992	3.13	3.11	0.001	-26	42	16
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.992	3.12	3.10	0.001	-30	14	-4
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.992	3.11	3.09	0.001	-32	12	-6

図 D.4 実験 2 : 図形 1 提示時の脳活動情報詳細

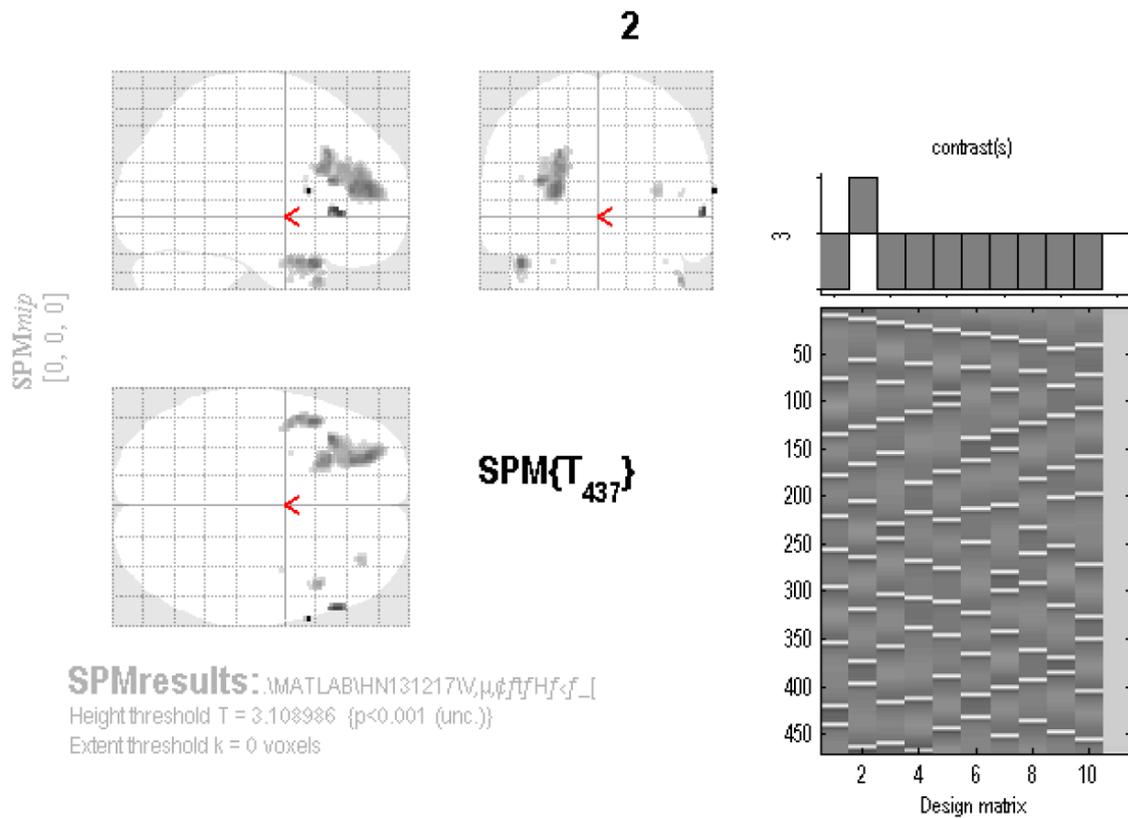


図 D.5 実験 2 : 図形 2 提示時の脳活動

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	<i>Z</i> _≡	<i>p</i> _{uncorr}	mm	mm	mm
0.252	11	0.999	0.877	3	0.762	0.141	0.493	4.41	4.36	0.000	66	12	12
		0.977	0.877	16	0.436	0.469	0.712	4.01	3.97	0.000	60	28	2
		0.001	0.001	586	0.000	0.753	0.712	3.77	3.73	0.000	-26	48	12
						0.794	0.712	3.73	3.70	0.000	-36	26	18
						0.835	0.712	3.68	3.65	0.000	-24	38	12
		0.446	0.376	93	0.068	0.779	0.712	3.74	3.71	0.000	-46	16	-30
						0.911	0.712	3.58	3.56	0.000	-48	6	-28
						0.999	0.997	3.18	3.16	0.001	-46	2	-38
		0.982	0.877	14	0.468	0.970	0.731	3.45	3.43	0.000	46	18	-38
		0.980	0.877	15	0.452	0.993	0.889	3.33	3.31	0.000	32	42	12
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.997	3.17	3.15	0.001	46	12	10
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.997	3.15	3.13	0.001	-28	2	-28
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.997	3.14	3.12	0.001	48	14	12
		0.999	0.877	2	0.813	1.000	0.997	3.11	3.09	0.001	-46	10	18
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.997	3.11	3.09	0.001	38	-4	-28

図 D.6 実験 2 : 図形 2 提示時の脳活動情報詳細

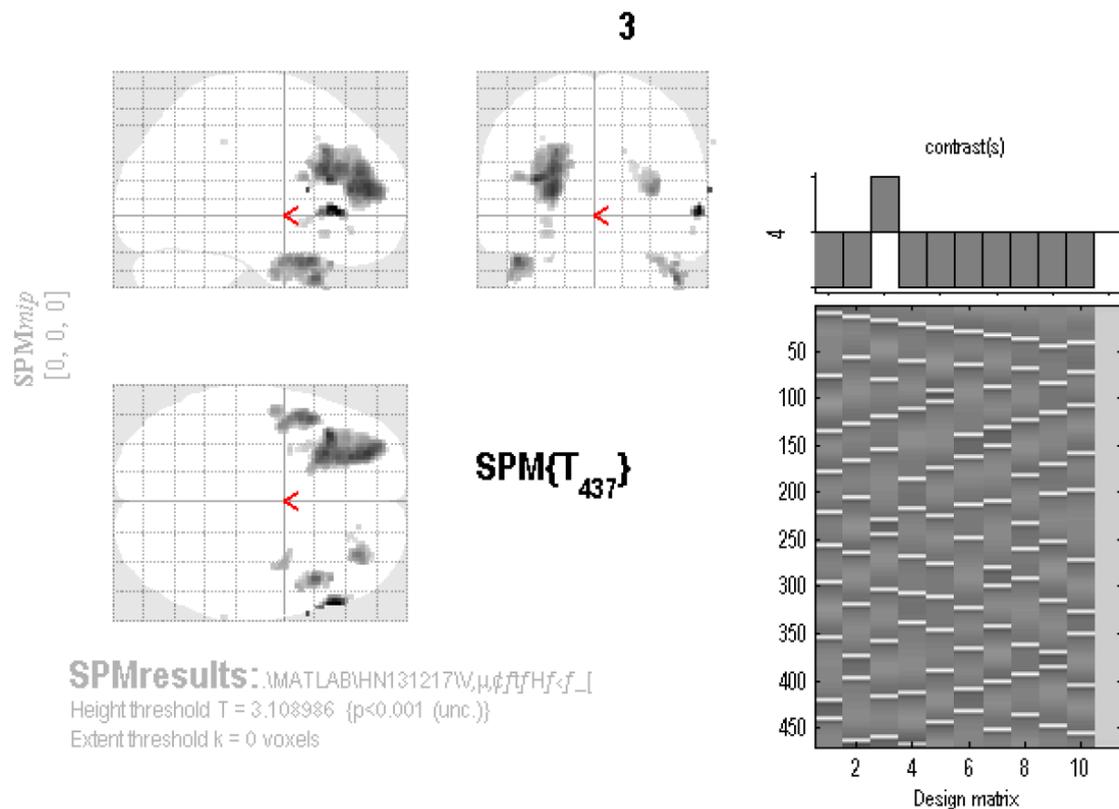


図 D.7 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm
p	c	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	p_{uncorr}	mm mm mm
0.004	18	0.801	0.560	46	0.187	0.074	0.341	4.59	4.53	0.000	60 30 0
						0.643	0.378	3.86	3.83	0.000	62 20 0
		0.000	0.000	1421	0.000	0.240	0.341	4.25	4.20	0.000	-36 24 18
						0.291	0.341	4.19	4.14	0.000	-26 48 12
						0.378	0.341	4.09	4.05	0.000	-26 22 24
		0.999	0.877	1	0.877	0.383	0.341	4.09	4.05	0.000	66 12 12
		0.071	0.077	220	0.009	0.481	0.341	4.00	3.96	0.000	-46 14 -28
						0.766	0.477	3.75	3.72	0.000	-46 2 -28
						0.928	0.633	3.56	3.53	0.000	-50 -8 -34
		0.446	0.308	93	0.068	0.559	0.341	3.93	3.90	0.000	46 16 -38
						0.928	0.633	3.56	3.53	0.000	46 26 -30
						0.973	0.778	3.44	3.42	0.000	50 6 -36
		0.298	0.245	121	0.041	0.761	0.477	3.76	3.73	0.000	32 42 12
						0.991	0.805	3.34	3.32	0.000	32 48 20
		0.913	0.728	30	0.283	0.945	0.670	3.52	3.50	0.000	-44 10 20
		0.793	0.560	47	0.182	0.965	0.748	3.47	3.45	0.000	36 -2 -28
						0.994	0.831	3.31	3.29	0.001	40 -4 -36
		0.982	0.877	14	0.468	0.995	0.833	3.30	3.28	0.001	-30 24 -12
		0.999	0.877	3	0.762	0.998	0.869	3.25	3.23	0.001	-28 2 -28
		0.977	0.877	16	0.436	0.998	0.869	3.25	3.23	0.001	-30 12 -6
0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.901	3.21	3.19	0.001	16 42 34		
0.994	0.877	8	0.593	0.999	0.901	3.21	3.19	0.001	48 10 -26		
0.999	0.877	3	0.762	0.999	0.915	3.19	3.17	0.001	56 38 -12		

table shows 3 local maxima more than 0.0mm apart

図 D.8 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm
p	c	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{\text{FWE-corr}}$	$q_{\text{FDR-corr}}$	T	(Z_{max})	p_{uncorr}	mm mm mm
		0.993	0.877	9	0.568	0.999	0.918	3.18	3.16	0.001	22 38 26
		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.927	3.17	3.15	0.001	68 -38 40
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.974	3.13	3.11	0.001	24 40 18
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.985	3.12	3.10	0.001	-32 18 42

図 D.9 実験 2 : 図形 3 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
0.999		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.856	3.19	3.17	0.001	68	-38	40
0.999		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.932	3.15	3.13	0.001	-24	26	-2
0.999		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.943	3.13	3.11	0.001	48	8	-26

図 D.12 実験 2 : 図形 4 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

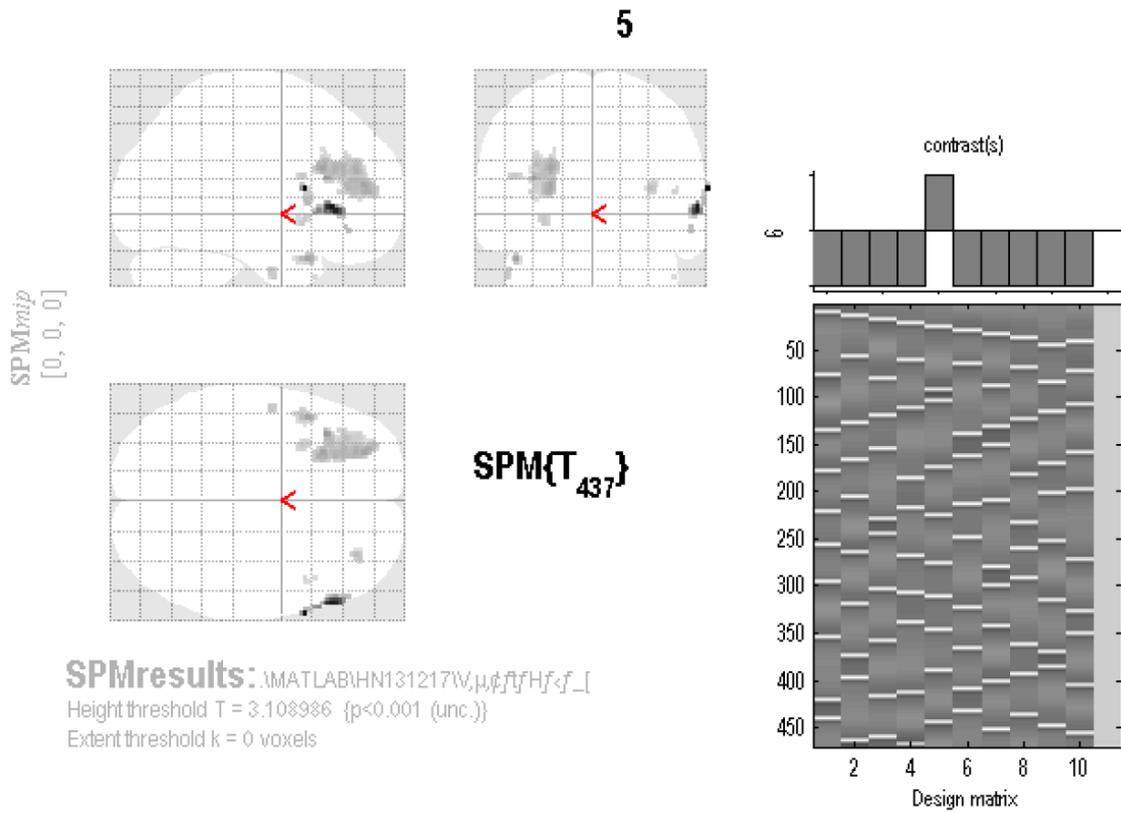


図 D.13 実験 2 : 図形 5 提示時の脳活動

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	<i>Z</i> _≡	<i>p</i> _{uncorr}			
0.057	14	0.999	0.877	3	0.762	0.034	0.122	4.78	4.72	0.000	66	12	12
		0.824	0.877	43	0.201	0.077	0.140	4.57	4.52	0.000	60	28	2
						0.792	0.792	3.73	3.70	0.000	62	20	0
		0.002	0.003	525	0.000	0.894	0.792	3.61	3.58	0.000	-36	24	18
						0.938	0.792	3.54	3.51	0.000	-26	22	24
						0.947	0.792	3.52	3.49	0.000	-26	46	14
		0.950	0.877	23	0.348	0.945	0.792	3.52	3.50	0.000	-46	14	-28
		0.993	0.877	9	0.568	0.985	0.792	3.39	3.37	0.000	64	12	6
		0.999	0.877	2	0.813	0.989	0.792	3.37	3.34	0.000	56	36	-10
		0.974	0.877	17	0.421	0.992	0.792	3.34	3.32	0.000	32	42	12
		0.991	0.877	10	0.545	0.995	0.824	3.31	3.29	0.001	-50	-8	-34
		0.974	0.877	17	0.421	0.997	0.826	3.28	3.26	0.001	-48	12	20
		0.974	0.877	17	0.421	0.997	0.826	3.27	3.25	0.001	-30	10	-8
		0.998	0.877	4	0.719	0.999	0.875	3.22	3.20	0.001	46	12	10
		0.998	0.877	4	0.719	0.999	0.875	3.21	3.19	0.001	-38	32	10
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.942	3.15	3.13	0.001	46	18	-38
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.987	3.11	3.10	0.001	-34	44	6

図 D.14 実験 2 : 図形 5 提示時の脳活動情報詳細

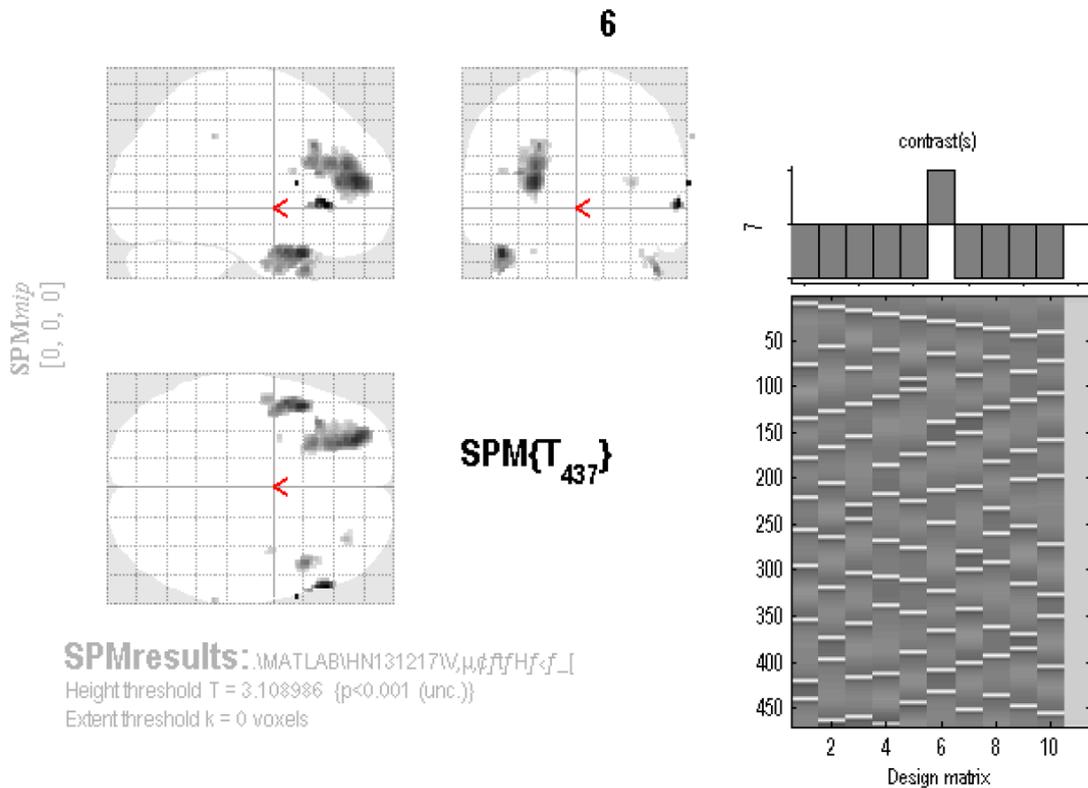


図 D.15 実験 2 : 図形 6 提示時の脳活動

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncor}	<i>p</i> _{FWE-cor}	<i>q</i> _{FDR-cor}	<i>T</i>	<i>Z</i> _≡	<i>p</i> _{uncor}			
0.252	11	0.919	0.801	29	0.291	0.213	0.593	4.29	4.24	0.000	60	30	0
						0.961	0.753	3.48	3.46	0.000	62	20	0
		0.999	0.877	1	0.877	0.291	0.593	4.18	4.14	0.000	66	12	12
		0.082	0.054	210	0.010	0.436	0.593	4.04	4.00	0.000	-46	16	-30
						0.654	0.617	3.85	3.82	0.000	-48	6	-28
						0.948	0.725	3.52	3.49	0.000	-46	2	-38
		0.000	0.000	809	0.000	0.453	0.593	4.02	3.98	0.000	-26	48	12
						0.678	0.617	3.83	3.80	0.000	-26	42	22
						0.715	0.617	3.80	3.77	0.000	-24	38	12
		0.868	0.801	37	0.234	0.856	0.617	3.66	3.63	0.000	46	18	-38
						0.997	0.836	3.26	3.24	0.001	44	24	-32
		0.985	0.877	13	0.486	0.993	0.836	3.33	3.31	0.000	32	42	12
		0.999	0.877	2	0.813	0.996	0.836	3.29	3.27	0.001	68	-38	40
		0.996	0.877	6	0.650	0.998	0.856	3.24	3.21	0.001	-46	10	20
		0.997	0.877	5	0.682	0.999	0.870	3.21	3.19	0.001	38	-4	-30
		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.870	3.20	3.18	0.001	-28	2	-28
0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.921	3.15	3.14	0.001	40	-4	-36		

図 D.16 実験 2 : 図形 6 提示時の脳活動情報詳細

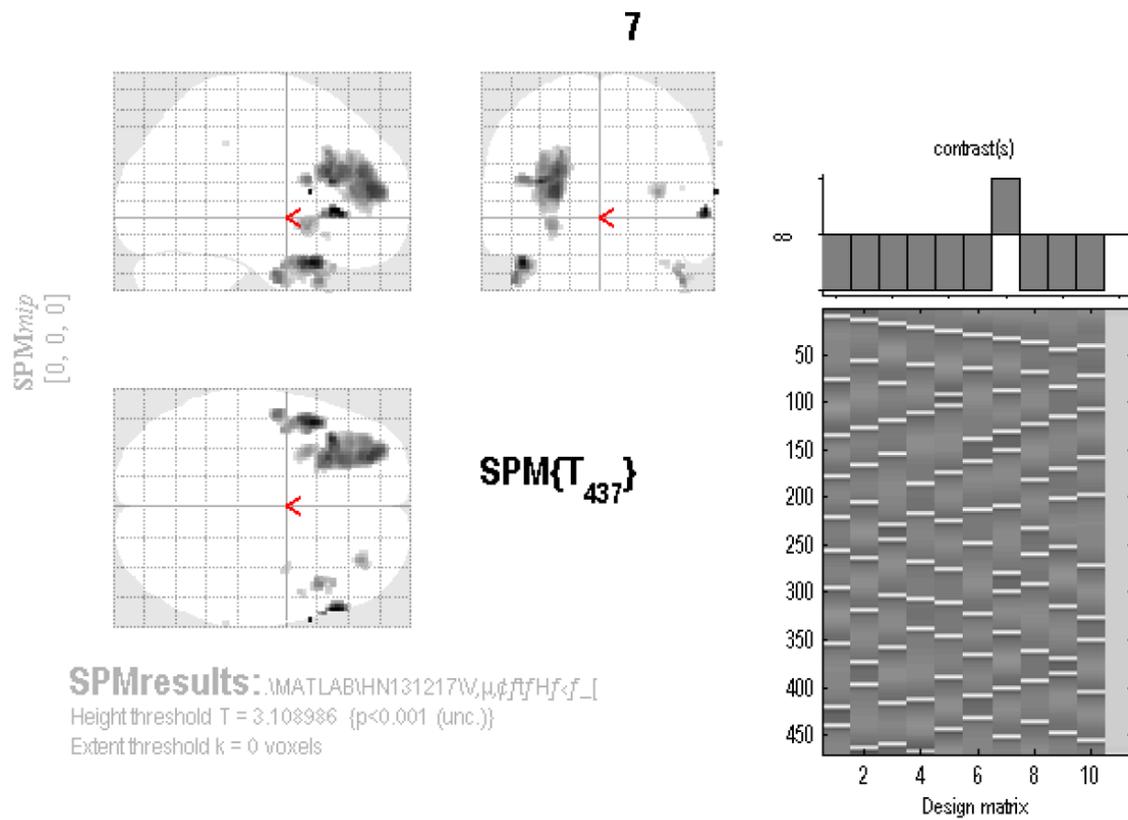


図 D.17 実験 2 : 図形 7 提示時の脳活動

Statistics: *p*-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm				
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}					
0.057	14	0.875	0.521	36	0.241	0.189	0.441	4.32	4.27	0.000	60	28	2		
						0.827	0.503	3.69	3.66	0.000	62	20	0		
				0.088	0.074	205	0.011	0.255	0.441	4.23	4.18	0.000	-46	14	-28
								0.807	0.503	3.71	3.68	0.000	-50	-8	-34
								0.922	0.546	3.57	3.54	0.000	-46	2	-28
				0.999	0.877	1	0.877	0.276	0.441	4.20	4.16	0.000	66	12	12
				0.000	0.000	1243	0.000	0.402	0.441	4.07	4.03	0.000	-36	24	18
								0.503	0.490	3.98	3.94	0.000	-26	46	14
								0.558	0.490	3.93	3.90	0.000	-26	22	24
				0.777	0.521	49	0.174	0.858	0.503	3.66	3.63	0.000	-46	10	20
				0.832	0.521	42	0.206	0.888	0.503	3.62	3.59	0.000	46	18	-38
								0.986	0.681	3.38	3.36	0.000	46	26	-30
				0.648	0.521	65	0.121	0.945	0.558	3.52	3.50	0.000	-30	10	-8
				0.895	0.521	33	0.261	0.955	0.558	3.50	3.47	0.000	32	42	12
				0.999	0.877	3	0.762	0.998	0.833	3.24	3.22	0.001	50	6	-36
				0.997	0.877	5	0.682	0.998	0.833	3.23	3.21	0.001	46	24	-44
				0.996	0.877	6	0.650	0.999	0.854	3.21	3.19	0.001	36	-2	-28
				0.998	0.877	4	0.719	0.999	0.854	3.20	3.18	0.001	-28	20	-12
				0.999	0.877	2	0.813	1.000	0.958	3.13	3.11	0.001	68	-36	40
				0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.958	3.13	3.11	0.001	46	14	14

図 D.18 実験 2 : 図形 7 提示時の脳活動情報詳細

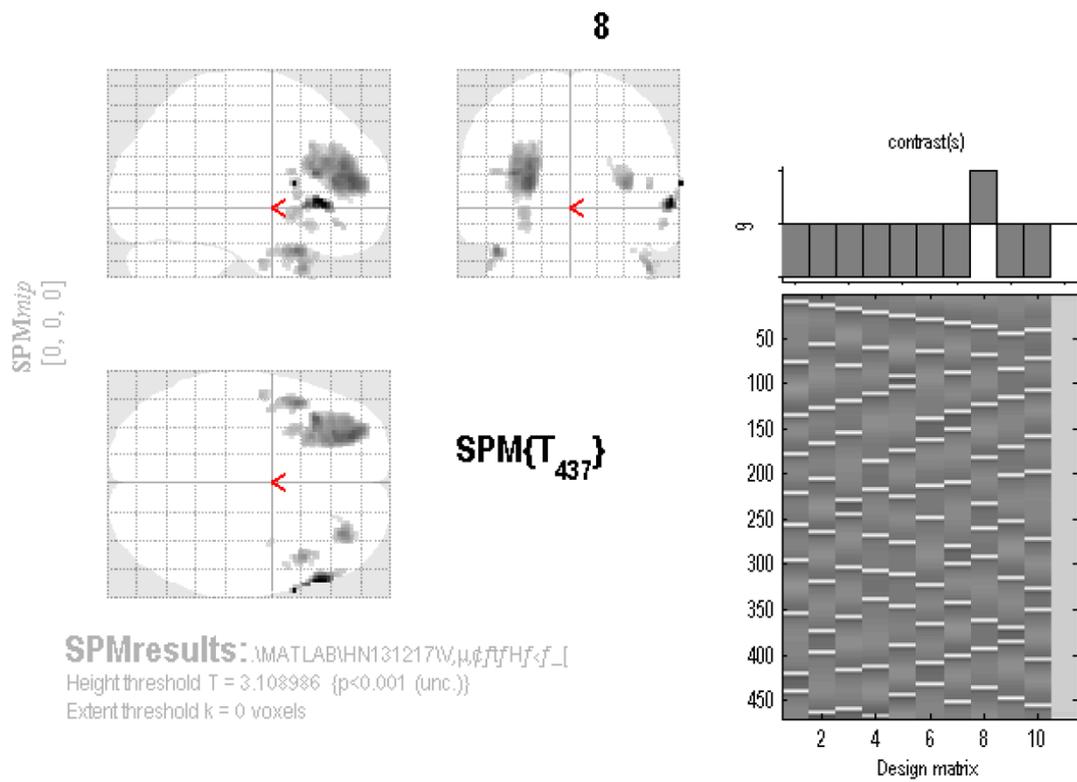


図 D.19 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
0.002	19	0.705	0.606	58	0.141	0.036	0.120	4.77	4.71	0.000	60	28	2
						0.420	0.487	4.05	4.01	0.000	62	20	0
		0.999	0.877	3	0.762	0.046	0.120	4.71	4.65	0.000	66	12	12
		0.000	0.000	1234	0.000	0.349	0.487	4.12	4.08	0.000	-26	46	14
						0.446	0.487	4.03	3.99	0.000	-36	24	18
						0.500	0.487	3.98	3.94	0.000	-26	42	22
		0.541	0.571	79	0.090	0.583	0.493	3.91	3.88	0.000	-46	14	-28
						0.993	0.783	3.33	3.31	0.000	-46	2	-28
		0.311	0.410	118	0.043	0.736	0.493	3.78	3.75	0.000	32	42	12
						0.995	0.783	3.30	3.28	0.001	28	44	20
		0.809	0.606	45	0.191	0.853	0.543	3.66	3.63	0.000	46	18	-38
						0.993	0.783	3.33	3.30	0.000	44	24	-32
						0.999	0.868	3.22	3.19	0.001	46	24	-44
		0.777	0.606	49	0.174	0.979	0.783	3.42	3.39	0.000	-30	14	-4
		0.991	0.877	10	0.545	0.981	0.783	3.41	3.39	0.000	46	12	10
		0.980	0.877	15	0.452	0.981	0.783	3.41	3.38	0.000	-50	-8	-34
		0.995	0.877	7	0.620	0.987	0.783	3.38	3.36	0.000	56	38	-12
		0.959	0.877	21	0.370	0.989	0.783	3.37	3.34	0.000	-46	10	20
		0.995	0.877	7	0.620	0.989	0.783	3.37	3.34	0.000	64	14	4
		0.941	0.877	25	0.327	0.994	0.783	3.31	3.29	0.001	-28	20	-12
0.999	0.877	3	0.762	0.999	0.868	3.22	3.20	0.001	50	6	-36		
0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.935	3.17	3.15	0.001	46	12	-24		
0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.935	3.16	3.14	0.001	36	-2	-28		

table shows 3 local maxima more than 6.0mm apart

図 D.20 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動情報詳細 : 1 枚目

Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.935	3.15	3.13	0.001	24	40	22
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.935	3.15	3.13	0.001	-20	22	36
		0.999	0.877	3	0.762	1.000	0.942	3.13	3.11	0.001	22	38	26

図 D.21 実験 2 : 図形 8 提示時の脳活動情報詳細 : 2 枚目

9

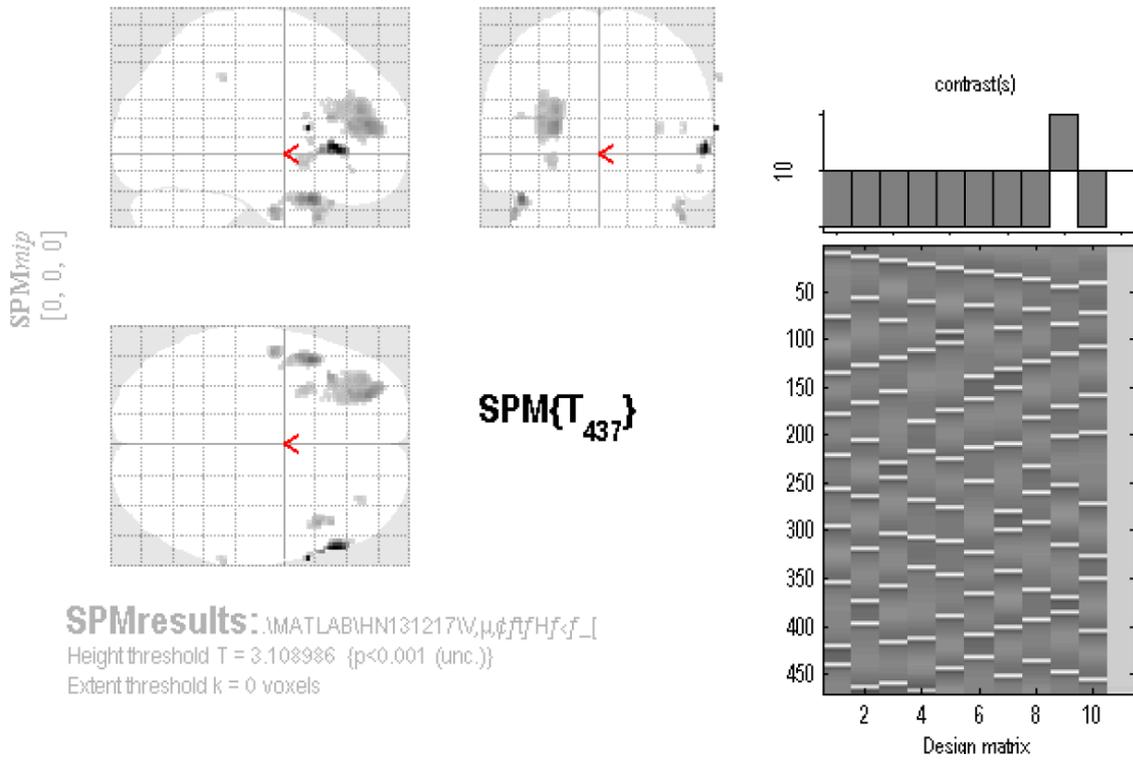


図 D.22 実験 2 : 図形 9 提示時の脳活動

Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
<i>p</i>	<i>c</i>	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>k</i> _E	<i>p</i> _{uncorr}	<i>p</i> _{FWE-corr}	<i>q</i> _{FDR-corr}	<i>T</i>	(<i>Z</i> _≡)	<i>p</i> _{uncorr}			
0.031	15	0.816	0.771	44	0.196	0.049	0.209	4.69	4.63	0.000	60	28	2
						0.775	0.847	3.74	3.71	0.000	62	20	0
		0.999	0.877	2	0.813	0.091	0.209	4.53	4.48	0.000	66	12	12
		0.563	0.719	76	0.096	0.560	0.847	3.93	3.90	0.000	-46	14	-28
						0.991	0.847	3.35	3.32	0.000	-46	2	-28
		0.000	0.001	648	0.000	0.795	0.847	3.73	3.69	0.000	-26	46	14
						0.914	0.847	3.58	3.55	0.000	-26	42	22
						0.937	0.847	3.54	3.51	0.000	-28	36	14
		0.930	0.771	27	0.308	0.919	0.847	3.57	3.54	0.000	-50	-8	-34
		0.901	0.771	32	0.268	0.948	0.847	3.52	3.49	0.000	46	18	-38
						0.984	0.847	3.40	3.37	0.000	46	26	-30
		0.888	0.771	34	0.254	0.991	0.847	3.35	3.33	0.000	-28	10	-8
		0.996	0.877	6	0.650	0.996	0.847	3.28	3.26	0.001	68	-36	40
		0.999	0.877	3	0.762	0.997	0.847	3.27	3.25	0.001	64	14	4
		0.989	0.877	11	0.524	0.997	0.847	3.27	3.24	0.001	32	42	12
		0.997	0.877	5	0.682	0.998	0.847	3.25	3.23	0.001	48	14	12
		0.993	0.877	9	0.568	0.998	0.847	3.25	3.23	0.001	-46	10	18
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.847	3.21	3.19	0.001	-42	-4	-30
		0.999	0.877	2	0.813	0.999	0.847	3.21	3.19	0.001	56	36	-10
		0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.955	3.13	3.11	0.001	-24	20	26

図 D.23 実験 2 : 図形 9 提示時の脳活動情報詳細

10

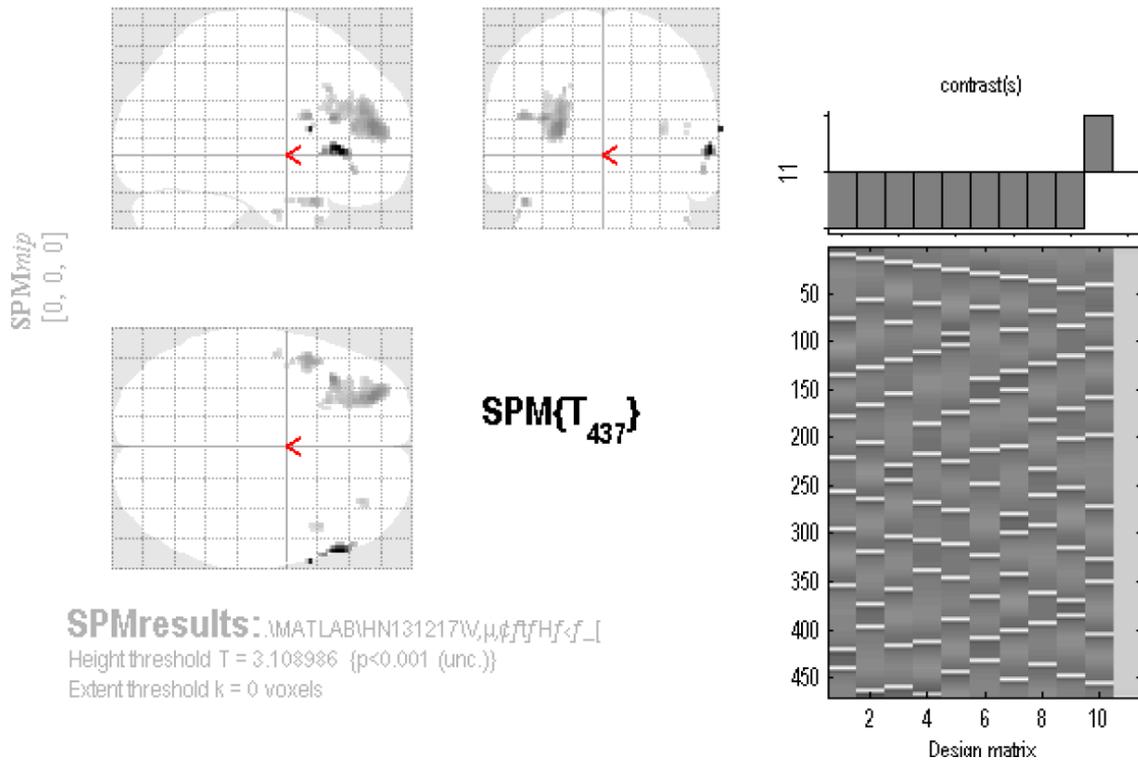


図 D.24 実験 2 : 図形 10 提示時の脳活動

Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm	mm	mm
p	c	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{\equiv})	p_{uncorr}			
0.057	14	0.888	0.877	34	0.254	0.062	0.214	4.63	4.57	0.000	60	30	0
						0.844	0.955	3.67	3.64	0.000	62	20	0
		0.999	0.877	2	0.813	0.152	0.277	4.39	4.34	0.000	66	12	12
		0.004	0.007	444	0.000	0.814	0.955	3.71	3.68	0.000	-26	48	14
						0.856	0.955	3.66	3.63	0.000	-36	26	18
						0.931	0.955	3.55	3.52	0.000	-26	42	22
		0.901	0.877	32	0.268	0.946	0.955	3.52	3.49	0.000	-48	10	20
		0.950	0.877	23	0.348	0.957	0.955	3.49	3.47	0.000	-46	14	-28
						0.996	0.955	3.29	3.27	0.001	-48	6	-28
		0.998	0.877	4	0.719	0.974	0.955	3.44	3.41	0.000	56	36	-10
		0.991	0.877	10	0.545	0.996	0.955	3.29	3.27	0.001	32	42	12
		0.998	0.877	4	0.719	0.998	0.955	3.24	3.22	0.001	46	18	-38
		0.998	0.877	4	0.719	0.999	0.955	3.22	3.20	0.001	-50	-8	-34
		0.999	0.877	1	0.877	0.999	0.955	3.21	3.19	0.001	-46	2	-28
0.999	0.877	2	0.813	1.000	0.955	3.15	3.13	0.001	46	14	14		
0.999	0.877	2	0.813	1.000	0.955	3.15	3.13	0.001	-20	20	36		
0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.955	3.13	3.11	0.001	-44	-2	-28		
0.999	0.877	1	0.877	1.000	0.955	3.13	3.11	0.001	46	12	10		

図 D.25 実験 2 : 図形 10 提示時の脳活動情報詳細