

平成 26 年度

学士学位論文

fMRI による脳情報デコーディングを用いた
顔画像の識別

Decoding of Face Image using fMRI Brain Signal

1150380 山本 朋依

指導教員 吉田 真一

高知工科大学 情報学群

要 旨

fMRI による脳情報デコーディングを用いた顔画像の識別

山本 朋依

人が頭の中で思い浮かべている姿や形を，言葉を使ってうまく表現できない場合がある．その中でも，顔の印象は言葉で表すことが難しいものであり，特に顔の好みというものはうまく伝えられないことが多い．顔の印象を言葉で表現するのは難しいが，我々は脳で顔の印象を判断していることから，脳活動を計測して得た信号には，顔の印象に関する情報も含まれている可能性がある．そこで，もし顔の印象に関する情報が脳活動の信号に含まれているならば，近年，神経科学分野で注目されている脳情報デコーディングを行うことにより，人が感じる顔の印象の定量化をすることができると考える．そこで，本研究では顔の印象を脳情報デコーディングにて定量化する前段階としてより単純な顔の種類を計測した脳情報から機械学習を用いて識別する．本研究では脳活動の計測装置に fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging) を用いる．fMRI は，非侵襲的な計測機器であり，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．分類に用いる機械学習アルゴリズムとして，SVM(Support Vector Machine) を用い，顔か建物，男性か女性，知っている人か知らない人の 3 つの条件に対して 5 人の被験者で識別を行う．脳画像の前処理および解析には SPM(Statistical Parametric Mapping) を用い，デコーディングには BDTB(Brain Decoder Toolbox) を用いる．結果は，平均して建物と顔が 83%，男性と女性が 77%，知っている顔と知らない顔が 76%であった．このことより，3 つの条件すべてにおいて脳情報デコーディングにより顔の種類が識別が可能であり，将来，脳計測技術が発展することにより顔の印象を取り出せる可能性があると考えられる．

キーワード 脳情報デコーディング, fMRI, 顔, SVM

Abstract

Decoding of Face Image using fMRI Brain Signal

When we have a communication with other people, sometimes it is difficult to represent the shape or appearance of faces by words or sentences. Particularly the people's preference of the face is difficult to express. In other word, the information stored in our brain is sometimes difficult to output using words or sentences. Recently, the concept of brain decoding has been proposed in the field of neuroscience. In brain decoding, the information is coded and stored in the brain and it can be retrieved using machine learning algorithm. Therefore, in this study, the brain decoding of the various faces are shown. FMRI(Functional Magnetic Resonance Imaging), which is a non-invasive device to measure brain activity, is used. The experiments are designed as a block design using several patterns of faces and building images. Man and woman, known and unknown face images are used. Unknown faces and building images are retrieved from ImageNet. The experiments are conducted with five subjects. SVM(Support Vector Machine) is used as a machine learning, and SPM(Statistical Parametric Mapping) is used for statistical analysis, BDTB(Brain Decoder Toolbox) is used for decoding. The analysis are performed in three conditions, Face or Building, Man or Woman, and Face of known or Face of unknown. The result shows that the accuracy of prediction is 83% for Face or Building, 77% for Man or Woman, 76% for Face of known or Face unknown. The result shows that the face image in the brain can be retrieved using brain decoding.

key words Brain Decoding, fMRI, Face, SVM

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	関連研究・技術	3
2.1	関連技術	3
2.1.1	Functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI)	3
2.1.2	Support Vector Machine(SVM)	6
2.2	関連研究	8
2.2.1	Fusiform Face Area(FFA)	8
2.2.2	顔の種類の種類	8
第 3 章	実験	10
3.1	実験内容	10
3.2	fMRI を用いた脳活動計測	11
3.2.1	被験者	11
3.2.2	計測機器	12
3.2.3	呈示刺激画像	12
3.2.4	試行内容	13
3.2.5	実験後アンケート	14
3.3	SPM を用いた解析	14
3.3.1	前処理	14
3.3.2	個人解析	15
3.4	BDTB を用いたデコーディング	16
3.4.1	Mat ファイルの作成	16
3.4.2	デコーディングおよび評価	17

目次

第 4 章	結果・考察	18
4.1	結果	18
4.2	考察	19
第 5 章	結論	29
	謝辞	30
	参考文献	32
付録 A	想起実験	33
A.1	実験	33
A.1.1	被験者	33
A.2	結果と考察	33
A.3	脳反応の比較	35
付録 B	視覚への刺激	42
B.1	実験	42
B.1.1	被験者	42
B.1.2	試行内容	42
B.2	結果と考察	44
付録 C	SPM の解析結果画像	46
C.1	被験者 1 人目	47
C.1.1	顔と建物	47
C.1.2	男性の顔と女性の顔	48
C.1.3	知っている顔と知らない顔	49
C.2	被験者 2 人目	50
C.2.1	顔と建物	50

目次

C.2.2	男性の顔と女性の顔	51
C.2.3	知っている顔と知らない顔	52
C.3	被験者 3 人目	53
C.3.1	顔と建物	53
C.3.2	男性の顔と女性の顔	54
C.3.3	知っている顔と知らない顔	55
C.4	被験者 4 人目	56
C.4.1	顔と建物	56
C.4.2	男性の顔と女性の顔	57
C.4.3	知っている顔と知らない顔	58
C.5	被験者 5 人目	59
C.5.1	顔と建物	59
C.5.2	男性の顔と女性の顔	60
C.5.3	知っている顔と知らない顔	61
付録 D	BDTB デコーディングの詳細結果	62
D.0.4	顔と建物	62
D.0.5	男性の顔と女性の顔	67
D.0.6	知っている顔と知らない顔	71

目次

2.1	BOLD 効果の仕組み	5
2.2	BOLD 効果の模式図	6
2.3	Support Vector Machine	7
2.4	非リアリティ検出の脳内処理機構モデル	9
3.1	実験のイメージ図	11
3.2	ブロックデザイン	14
4.1	顔と建物の識別精度の表	21
4.2	顔と建物の識別精度の図	21
4.3	男性の顔と女性の顔の識別精度の表	21
4.4	男性の顔と女性の顔の識別精度の図	21
4.5	知っている顔と知らない顔の識別精度の表	22
4.6	知っている顔と知らない顔の識別精度の図	22
4.7	被験者ごとの識別精度の図	23
4.8	4人目の被験者の顔と建物の個人解析結果	23
4.9	4人目の被験者の女性の顔と男性の顔の個人解析結果	24
4.10	3人目の被験者の知っている顔と知らない顔の個人解析結果	25
4.11	画像ごとの識別結果	28
A.1	1人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較	36
A.2	1人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較	37
A.3	2人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較	38
A.4	2人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較	39
A.5	3人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較	40

目次

A.6	3人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較	41
B.1	ブロックデザイン	43
B.2	条件ごとの識別精度の比較	44
C.1	1人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較	47
C.2	1人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較	48
C.3	1人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較	49
C.4	2人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較	50
C.5	2人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較	51
C.6	2人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較	52
C.7	3人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較	53
C.8	3人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較	54
C.9	3人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較	55
C.10	4人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較	56
C.11	4人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較	57
C.12	4人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較	58
C.13	5人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較	59
C.14	5人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較	60
C.15	5人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較	61

表目次

2.1	fMRI の特徴	4
3.1	刺激画像の呈示順番	13
4.1	被験者ごとの識別精度の表 F=顔, B=建物, M=男性, W=女性, k=知っ ている顔, N=知らない顔	22
4.2	被験者ごとの識別精度の表 F=顔, B=建物, M=男性, W=女性, k=知っ ている顔, N=知らない顔	26
4.3	ROI で選択した上位 2 ボクセルの T 値の値	26
4.4	試行ごとの識別結果	27
A.1	建物と顔の識別精度	34
A.2	男性の顔と女性の顔の識別精度	34
A.3	知っている顔と知らない顔の識別精度	35
B.1	刺激画像の呈示順番	43
B.2	建物と顔の識別精度	45
B.3	男性の顔と女性の顔の識別精度	45
B.4	知っている顔と知らない顔の識別精度	45
D.1	1 試行目の識別	62
D.2	2 試行目の識別	63
D.3	3 試行目の識別	63
D.4	4 試行目の識別	64
D.5	5 試行目の識別	64
D.6	6 試行目の識別	65

表目次

D.7 7 試行目の識別	65
D.8 8 試行目の識別	66
D.9 1 試行目の識別	67
D.10 2 試行目の識別	67
D.11 3 試行目の識別	68
D.12 4 試行目の識別	68
D.13 5 試行目の識別	69
D.14 6 試行目の識別	69
D.15 7 試行目の識別	70
D.16 8 試行目の識別	70
D.17 1 試行目の識別	71
D.18 2 試行目の識別	71
D.19 3 試行目の識別	72
D.20 4 試行目の識別	72
D.21 5 試行目の識別	73
D.22 6 試行目の識別	73
D.23 7 試行目の識別	74
D.24 8 試行目の識別	74

第 1 章

序論

人が頭の中で思い浮かべている姿や形を，言葉を使ってうまく表現できない場合がある．その中でも，顔の印象は言葉で表すことが難しいものであり，特に顔の好みというものはうまく伝えられないことが多い．顔の印象は言葉では表すのは難しいが，脳は顔の印象を判断していることから，脳活動を計測することで，顔の印象に関する情報もそこに含まれていると考える．そこで，その脳情報を用いて脳情報デコーディングを行うことにより，人が感じる顔の印象の定量化をすることができる．脳情報デコーディングとは，脳機能計測により計測される脳活動の信号は，外界から得られた情報や記憶されている情報，脳が指令をしようとしている情報が脳の中でエンコードされていると考え，エンコードされた情報から元の情報を復元する復号器（デコーダ）を構築することで，脳の中の情報を読み取るというものである．脳情報デコーディングは，各条件ごとに計測した賦活部位の信号をパターンデータとして識別器に学習させ，その結果を用いて脳活動を分類することで，計測した脳活動から脳の状態を解読することができる．脳情報デコーディングに用いる脳情報の計測には，非侵襲的な計測機器である，脳表面の活動を計測する fNIRS(functional Near Infrared Spectroscopy, 近赤外脳機能計測法) や EEG(Electroencephalogram, 脳波) も用いられているが，本研究では，それらに比べ，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 fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging, 核磁気共鳴画像法) を用いる．しかし，現在の fMRI の性能では単位時間あたりの撮像回数や 1 回の撮像で得ることのできる画像の解像度（識別する神経活動の細かさ）に限界がある．このことから，細かな顔の印象を脳情報デコーディングにて定量化するには計測装置の精度は十分ではないかと考え，よりシンプルな顔の種類を fMRI により識別することを目指す．分類に用いる機

機械学習アルゴリズムは、SVM(Support Vector Machine, サポートベクターマシン)を用いる。SVMは、過去の研究 [6] にて、脳情報デコーディングに用いたとき、ニューラルネットやランダムフォレストなどの他の機械学習アルゴリズムと比較して識別精度及び実行速度が優れていると報告されている。

本研究で取り扱う顔の研究は、これまで神経科学の分野でも多く取り上げられており、FFA(Fusiform Face Area, 紡錘状顔領域)と呼ばれる顔进行处理する部位が知られている。この部位は、人の顔と他の物体との認知時に、脳の賦活に差がある事がfMRIにより検出できることが明らかにされている [2]。しかし、現在、異なる顔の分類に関する研究はまだ少ないため、本研究では、シンプルに異なる顔の識別を行うために、異なる顔画像および建物の画像を使い、顔と建物、男性の顔と女性の顔、知っている顔と知らない顔の3つの条件に分け脳計測のみで分類を行う。被験者5人でこれらの実験を行った結果、クロスバリデーションを用いて評価した平均の識別率は、顔と建物が83%、男性の顔と女性の顔は77%、知っている顔と知らない顔が76%となることを示す。本研究の結果から、機械学習を用いた脳情報デコーディングでも顔の印象をコンピュータが推定して、情報として入力し、様々な情報処理に活かすことができると考えており、BCI(Brain-Computer Interface)として、人の顔の印象をノンバーバルに交換することができると思う。

本研究の構成を示す。まず、第2章では本研究で使用するfMRIやSVM等の技術及び顔に焦点を置いた脳情報デコーディングの関連研究について記す。第3章では、顔画像を注視した時の脳活動情報をfMRIで得る被験者実験について、実験目的や被験者、計測機器や呈示刺激画像、実験手続きについて記し、得た脳活動情報のSPM(Statistical Parametric Mapping)やBDTB(Brain Decoder Toolbox)での解析手法を記す。第4章では、第3章にて述べる実験の解析結果を示し、考察する。第5章で、研究全体についてまとめる。

第 2 章

関連研究・技術

本項では、本研究で用いる技術および研究を説明する。

2.1 関連技術

まず、関連技術として、脳活動情報計測技術の fMRI と、機械学習アルゴリズムの Support Vector Machine の説明をする。

2.1.1 Functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI)

本研究で用いる fMRI についての説明する。fMRI(functional magnetic resonance imaging, 機能的核磁気共鳴画像法) は、人の脳神経活動によって引き起こされる血流の変化を可視化する方法である。これにより、脳の浅いところから深いところまで高い解像度で脳活動を計測することができる。fMRI は、脳の賦活を直接見ているわけではなく、脳が賦活している可能性の高さを 1990 年に小川誠二により発見された BOLD(blood oxygenation level dependency, ボールド) 効果の原理に基いて推定している [3]。BOLD 効果のメカニズムを図 2.1 と図 2.2 に示した。人の脳では、定常状態において、酸素は血中のヘモグロビンと結びついて酸化ヘモグロビンとして組織に運ばれ、神経活動に伴い酸素が消費されると酸化ヘモグロビンが酸素を組織中に放出し還元ヘモグロビンとなり静脈へと送られる。賦活状態となり神経活動が活発になると、酸素の消費量が増大するが、消費量が増大したために起こる一時的な酸欠状態を回避するために血流量が増加する。したがって、酸素消費量の増大分よりはるかに多量の酸化ヘモグロビンの増加が生じるため、結果的に静脈側では還元ヘモグロ

2.1 関連技術

ビンの濃度が低下する。そして、酸化ヘモグロビンは反磁性体であり、還元ヘモグロビンは磁性体であるため還元ヘモグロビンの低下は信号強度を増加させる。

表 2.1 に fMRI の特徴をに示す [4]。MRI は、PET と比較して放射線被爆がなく、撮像条件によっては 1 画素あたり 1mm 以下の高空間分解能で計測が可能である上に脂肪と組織などのコントラストが明瞭で、コントラスト分解能に優れている。ただし、fMRI による機能画像では 3mm 程度が一般的である。また、造影剤などの注射が必要でないため、非侵襲的である。MR 装置は、大きな磁石で構成されており磁性体など金属物を持ち込めないため刺激呈示物に工夫が必要であり、体内に磁性体の体内金属を埋込している人は実験対象にできず、金歯や銀歯など磁場を乱す体内金属を撮像範囲内に埋め込んでいる場合は、アーチファクトと呼ばれる特有の偽像が画像内に生じるために実験後の解析ができなくなる可能性がある。MR 装置の特徴により、fMRI は任意の角度の断画像が得られる。全脳を撮像すると少なくとも 3 秒程度は必要であり時間分解能は EEG ほど高くないが fMRI の方が高空間分解能で撮像できるため本研究では fMRI を用いる。

表 2.1: fMRI の特徴

長所	短所
<ul style="list-style-type: none">・放射線被爆がない・空間分解能に優れる・非侵襲的である・あらゆる角度の断面が撮像できる	<ul style="list-style-type: none">・全脳撮像の場合には時間分解能はそれほど高くない・金属を持ち込めない・刺激に用いる道具に制限がある・心臓ペースメーカーなど磁性体が体内金属を埋め込まれている被験者は実験できない・金歯や銀歯など金属の周囲には特有の偽像 (アーチファクト) が現れる

2.1 関連技術

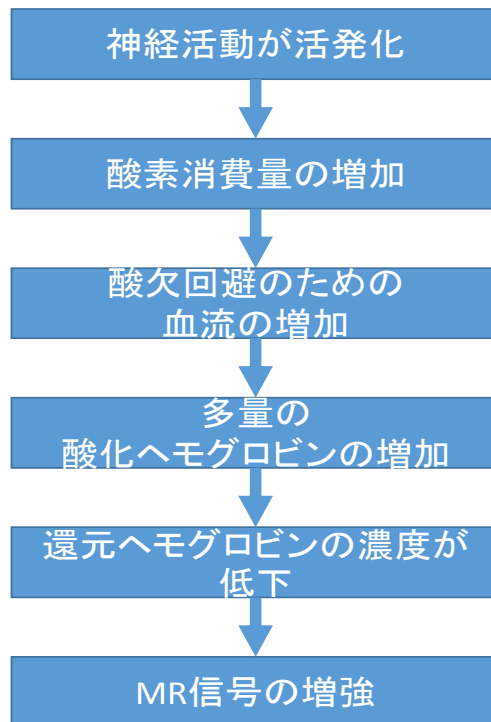


図 2.1: BOLD 効果の仕組み

2.1 関連技術

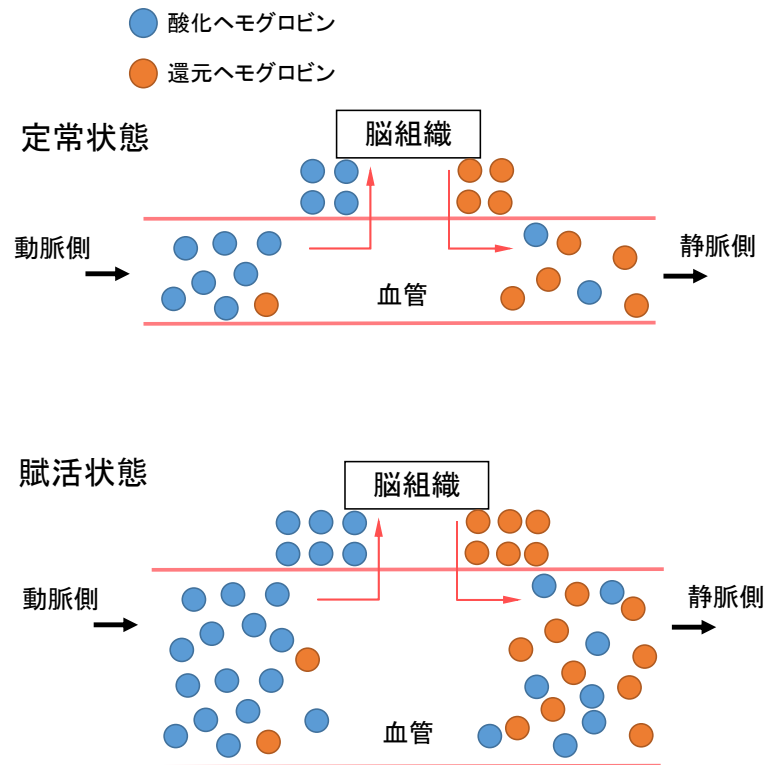


図 2.2: BOLD 効果の模式図

2.1.2 Support Vector Machine(SVM)

SVM は、教師あり学習を用いて学習器を構成するパターン認識モデルのひとつである。V.Vapnik らにより 1995 年に提案され、その汎化性能の高さから広く利用されている手法である [5]。SVM は最適化問題を解くことで、マージンが最大になるような分離超平面（最適超平面）を求める手法である。図 2.2 が、SVM の原理を簡潔に示した図である。図 2.3 のように 2 次元空間にいくつかのベクトルが存在しそのベクトルは青のクラスと赤のクラスのいずれかに属するとする。2 つのクラスを直線で分離する場合、直線 A、直線 B のようにいくつもの解を考えることができる。しかし、直線 A はクラスを正確に分離できているが、直線と境界付近のベクトルとの距離（マージン）が近く、未知のベクトル a が入力された場合のように未知のベクトルを正しく識別することができない可能性が考えられる。そこで、直線 B のようにマージンを最大化することで汎化性能を高めることができ、未知の入力ベクトルに対しても高い識別精度を維持することができる。また、ベクトル b や

2.1 関連技術

ベクトル c のように他のベクトルと違い取り除くと解に影響があるベクトルをサポートベクトルと言う。決定関数でクラス判別を行う際は、サポートベクトルのみが使われるため、実質的な次元削減が可能となっている。また、SVM はニューラルネットやランダムフォレストと比較して識別精度及び実行速度が優れていることが証明されている [6]。本研究では、SVM を用い脳情報デコーディングを行う。

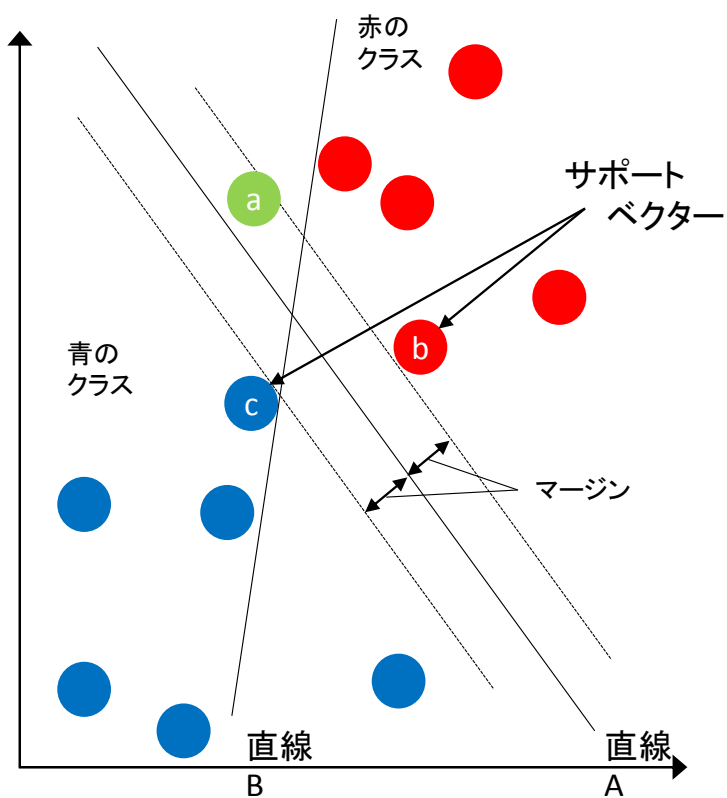


図 2.3: Support Vector Machine

2.2 関連研究

2.2.1 Fusiform Face Area(FFA)

fMRI で代表される脳の画像化技術により脳のある部野がどのように機能処理に係っているかが大まかにわかってきており、特に、側頭葉下部などの形を処理するといわれている視覚腹側経路上の機能野ではカテゴリによる選択性を示していることがわかっている。その中に顔の認識処理をされると言われている FFA(Fusiform Face Area) がある。この部位が損傷を受けると顔の認知に影響が出る。顔刺激とそれ以外の種類の刺激に対する FFA 応答の違いは、文献 [7] の研究によると、単純な刺激での顔と建物の比較では、顔の応答が建物より大きいものの応答差は小さかった。しかし、灰色だけの画像(ブランク)-顔のペアとブランク-建物の比較ではブランクによりその後の神経活動が抑制され応答の差が大きかった。さらに、顔の応答をブランクの応答で正規化し、ブランク-顔のペアの脳活動から引くことにより抑制された顔の応答を得ることができ、また、建物の応答も同じ処理をした場合、建物の応答は顔の半分以下であった。このことから、顔を処理する機能野である FFA は、顔に選択的に応答することが確認できているとしている。また、FFA は顔以外の種類に対しても応答を示すことが確認できた。しかし、FFA に属する神経集団 (Neuronal population) の中で顔以外の刺激に対して反応する神経集団は、チェッカーパターンなどのカテゴリの面では中性的な刺激に対して応答する FFA 以外の神経集団と相関が強いことが分かった。

2.2.2 顔の種類識別

FFA により、顔とそれ以外の識別が行えることは、前節にて示した。現在では、顔の種類による識別の研究が盛んに行われている。顔アイコンを見たときの脳活動を fMRI で計測し、顔の抽象度に関する研究を湯浅氏らが行っている [8]。表情を持った顔アイコンを見たときの脳活動は右紡錘状回、右下前頭回、右側頭回付近に賦活が見られた。紡錘状回は、情動や抽象化を司る部位であり、顔の処理を司る FFA がある部野である。下前頭回は思考や認知を司る部野であり、側頭回は形態視や聴覚、言語を司る部位である。このことから、顔

2.2 関連研究

アイコンは単純に抽象度が高いだけの顔でなく、人の音声や表情のように頻繁に用いられる非言語として処理されることがわかった。このことにより、抽象度の高い顔であっても、脳は顔と処理するということが明らかになった。また、顔写真を見たときの脳活動と顔の絵画を見たときの脳活動の比較を土師氏らが行っている [9]。写真よりも絵画の認知において、頭頂後頭溝や紡錘状回、中前頭回の反応が特に大きかった。このことから、顔刺激に含まれる、非リアリティ性の検出にこれらの領域が関与していると推測できる。これらの結果から、顔刺激における、非リアリティの検出に関する脳情報処理のモデル化を行ったのが図 2-4 である。このように画像検索をするにあたり、必要な顔の抽象度やリアリティ、非リアリティの研究は行われている。しかし、男性と女性の比較というような顔そのものの種類の分類に関する研究はまだ行われていない。そこで、本実験では、顔そのものの種類を脳活動情報による識別を行う。

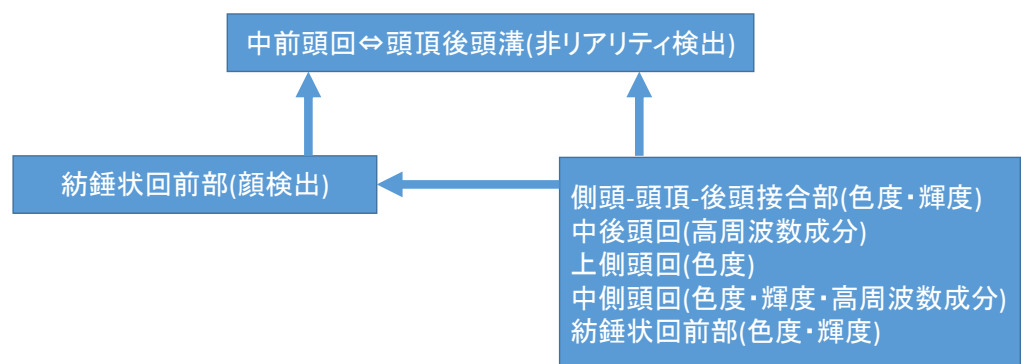


図 2.4: 非リアリティ検出の脳内処理機構モデル

第 3 章

実験

本項では，脳活動を計測するために行う実験とその脳活動情報の解析について記す．まず，実験の内容を示し，被験者の条件を呈示し計測機器及び計測パラメータについて記す．次に，実際に実験にて被験者に呈示した刺激画像及び実験の試行内容について記す．次に，SPM 及び BDTB を用いた解析手順を記す．

3.1 実験内容

顔を想起した際の脳活動情報のみで顔の分類を行う．その足がかりとして，図 3.1 のように被験者に顔画像及び建物画像を呈示し，fMRI でそのときの脳活動を撮像し，解析する．

3.2 fMRI を用いた脳活動計測

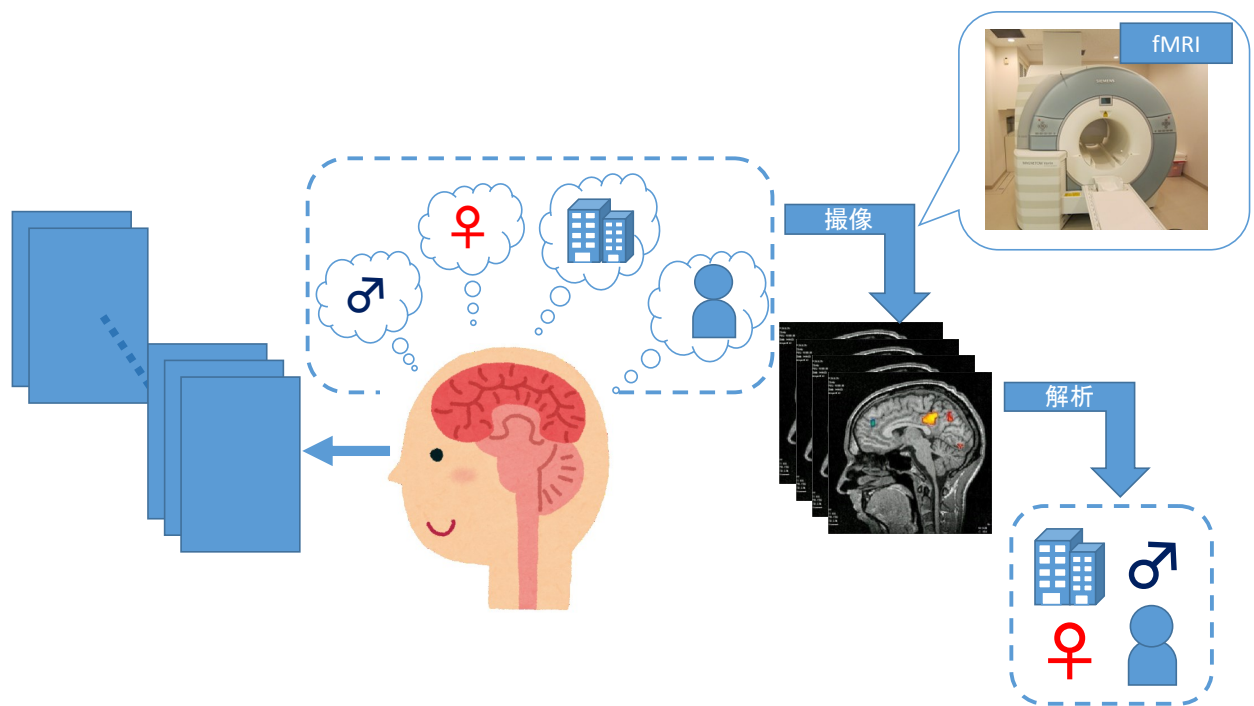


図 3.1: 実験のイメージ図

3.2 fMRI を用いた脳活動計測

3.2.1 被験者

被験者は、心身ともに健康な 20 歳から 24 歳の男子学生 2 名、女子学生 3 名の計 5 名である。被験者は fMRI 装置の原理についての説明や実験の内容、所要時間、安全性、個人情報保護についての説明を受け同意した上参加した。

3.2 fMRI を用いた脳活動計測

3.2.2 計測機器

本研究では、高知工科大学が保有する fMRI 装置として SIEMENS 社の MAGNETOM Verio (3T) を用いて脳活動の計測を行う。刺激画像呈示には、New behavioral systems 社の Presentation を用いた。

3.2.3 呈示刺激画像

以下の種類の画像を刺激画像として使用した。

- 建物
- 顔
 - － 男性
 - － 女性
 - － 高知工科大学学生
 - * 男性
 - * 女性

建物画像及び男女の顔画像は、ImageNet より選出している。ImageNet は、WordNet の階層にしたがって編集された画像データセットであり、世界中の研究者や教育関係者が容易にアクセスできるようになっている。2010 年 4 月 30 日現在、15,589 カテゴリ約 1,100 万枚の画像が収集されている。この中から、建物画像は人間の肌に近いベージュや肌色等の色合いのもの、顔は正面を向いているものを選んだ。高知工科大学学生の顔画像は、被験者が見たことのある顔であることが望ましいため、高知工科大学に通う学生で被験者の年齢に近い学生を選び、正面を向いた顔画像を使用する。また、背景や服装は黒に塗りつぶすように画像を加工した。このように配慮することで、どの画像も色合いや輝度を近くすることができた。BCI の画像検索で想定される画像は色合いや輝度は統一ではないと考えられるため、これ以上の配慮は BCI 画像検索としては不自然と考え、これ以上の条件統一は行わなかった。

3.2 fMRI を用いた脳活動計測

3.2.4 試行内容

呈示刺激画像で示した 4 種類の顔画像を 1 種類あたり 8 枚、建物画像を 16 枚の計 48 枚を用意する。表 3.1 に示すように、被験者に 1 試行あたり顔画像を 1 種類 1 枚ずつ、建物画像を 2 枚ずつランダムに呈示する。ランダムに呈示し、被験者 1 人に対し 8 試行を行った、被験者が刺激に対しての予想や慣れを防ぐことができる。

本研究では図 3.2 のようにブロックデザインを採用し、各刺激画像は 12 秒間 (4 スキャン分) を呈示し、注視点もない黒い画像の Rest を 12 秒間 (4 スキャン分) を挟む。これを 6 回繰り返し 1 試行とする。なお、各試行の開始時、終了時には 24 秒間の注視点のある黒い画像の Rest を入れる。これは実験を行う際、脳が安静な状態で実験に集中することができるように入れている。このようなブロックデザインにすることにより、刺激呈示後 4 秒から 6 秒ほどでピークを形成し、20 秒ほどでベースラインに戻る BOLD 効果の時間的変化の特徴を反映しやすくなる。

表 3.1: 刺激画像の呈示順番

呈示枚数 (枚目)	1	2	3	4	5	6
1 試行目	男	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物
2 試行目	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男
3 試行目	建物	女	男	学内 (男)	建物	学内 (女)
4 試行目	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男	女
5 試行目	学内 (男)	女	学内 (女)	男	建物	建物
6 試行目	学内 (女)	建物	建物	男	女	学内 (男)
7 試行目	学内 (女)	男	建物	女	建物	学内 (男)
8 試行目	建物	建物	男	女	学内 (男)	学内 (女)

3.3 SPM を用いた解析

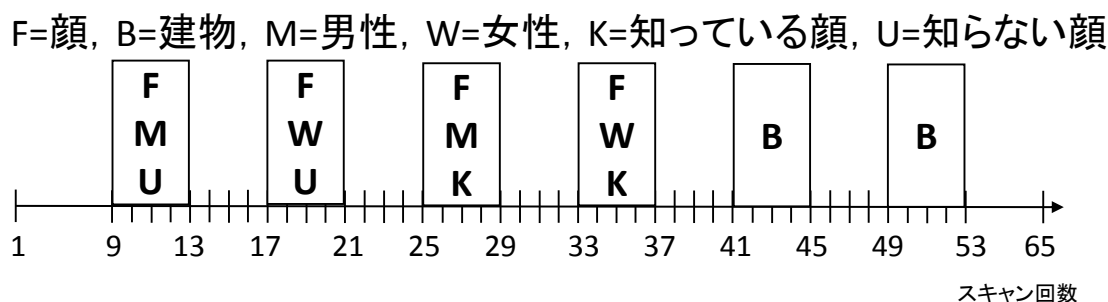


図 3.2: ブロックデザイン

3.2.5 実験後アンケート

実験後に被験者に対して fMRI に入っの体調不良等のアンケートとは別に顔画像に対してのアンケートを行った。顔画像に写っている人を顔も名前も知っている、顔は知っているが名前は知らない、顔も名前も知らないも 3 つのパターンに分ける作業を実験で使用した全ての顔画像に対して実施した。

3.3 SPM を用いた解析

3.3.1 前処理

前処理には SPM5 を用いる。fMRI にて撮像した脳画像は DICOM 形式で保存されている。SPM で処理するためには、NIFTI 形式に変換する必要がある。本研究では変換に MRIconvert を使用した。先頭のファイルはノイズを多く含むため先頭 2 スキャン分 (6 秒間) の脳画像はあらかじめ除去しておく。NIFTI 形式に変換した脳画像を、Realign, Slice timing, Normalise, Smooth の順で個人解析の前処理を行った。Realign は、機能画像を連続して撮像する際、頭の位置がずれてくることに対して、機能画像を回転および平行移動することにより、1 試行目の最初の画像に後続の画像の位置を合わせずれを補正するために行

3.3 SPM を用いた解析

う。Slice timing は、スライス間の撮像時刻のズレを補正するものである。機能画像を水平断で下から上に撮像したとすると 1 番上のスライスと 1 番下のスライスは最大で TR(Time of Repetition) 時間だけずれている。しかし、SPM のデフォルトの設定では、1 番上のスライスと 1 番下のスライスは同時に収集されたと仮定してモデルを構築するため、実際の脳活動とモデルの間に時間差が生じ、活動があるにもかかわらず統計的に有意な活動と判定しない場合がある。Normalise は、標準脳への変換を行う。個々人の脳の形状が異なるため、グループ解析を行う際にはそれぞれの脳を標準脳へと変換する必要がある。個人脳から標準脳への変換パラメータは機能画像から作る方法と 3D の解剖画像から作る方法があるが、本研究では後者の方法を用いた。Smooth は、統計検定の多重比較補正時に用いる Gaussian Random Field Theory の要件を満たす、ノイズを減少させ、解剖学的標準化により補正しきれない個人間の脳構造の違いを緩和するために行う。

3.3.2 個人解析

個人解析 (individual analysis, 1st level analysis) は、SPM8 を用いる。個人解析は、個人レベルでの解析であり、デザインマトリクス (Design Matrix) を作成し、前処理が完了したデータを GLM (generalized linear model, 一般線形モデル) に組み込む。SPM では、BOLD 信号の一連の時間変化は、複数の説明変数 ($x_i(t)$) に重み (偏回帰係数 β_i) を掛け算した項の総和と、この総和だけで説明できないノイズを表すの項 ($e(t)$) との和でモデル化される。下式 (3.1) は、特に変数が正規化されている場合の表現である。

$$y(t) = \beta_1 \cdot x_1(t) + \beta_2 \cdot x_2(t) + \dots + \beta_n \cdot x_n(t) + e(t) \quad (3.1)$$

そして、コントラスト (contrast) と呼ばれる条件間の比較について統計的検定を行う。統計的解析には t 検定を用い、 p 値の有意水準は 0.001 に設定する。条件 (l) に比べて条件 (k) で有意に高い活動を示す脳部位を見つけるためには、帰無仮説 $H_0 : \beta_k = \beta_l$, 対立仮説 $H_1 : \beta_k > \beta_l$ について検定する。また、脳活動が k という単一の条件で有意な活動を示す脳部位を見つけるためには、帰無仮説 $H_0 : \beta_k = 0$, 対立仮説 $H_1 : \beta_k > 0$ について検定する。

3.4 BDTB を用いたデコーディング

本研究では、以下の種類の条件間の比較について統計的検定を行う。以下の条件で条件同士を比較し有意に高い活動を示す脳部位、両条件で有意な活動を示す脳部位を見つける。

- 顔と建物
- 男性の顔と女性の顔
- 知っている顔と知らない顔

3.4 BDTB を用いたデコーディング

BDTB(Brain Decoder Toolbox) は、ATR(Advanced Telecommunications Research Institute International) で公開されている脳情報デコーディングを MATLAB 上で行うツールである。各条件における脳活動の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ことにより、脳活動のデコーディングを行うことができる [10]。BDTB を用いて脳活動をデコーディングする処理の流れは、以下の通りである。

1. Mat ファイルの作成
 - (a) 実験デザインの読み込み
 - (b) 脳情報の読み込み
 - (c) Mat ファイルへの書き出し
2. デコーディング
 - (a) データの前処理
 - (b) モデルの学習
 - (c) データの分類

3.4.1 Mat ファイルの作成

まず ROI(Region Of Interest) ファイルを作成する必要がある。SPM にて ROI セッションの解析を行い、そのセッションにおいて活動していた領域を ROI ファイルとして保存す

3.4 BDTB を用いたデコーディング

る. ROI ファイルを含む脳情報や実験デザインを Matlab に読み込み, BDTB で処理可能な構造体に格納したうえで, Mat ファイルに書き出す. Mat ファイルは, 条件である呈示刺激画像の種類を示したラベルや ROI ファイルが格納されている.

3.4.2 デコーディングおよび評価

デコーディングには SVM を用い, 評価にはクロスバリデーション (Cross-validation, 交差検証) を用いる. 作成した Mat ファイルから構造体を Matlab に読み込み, トレーニング用データとテストデータにわけ, SVM を用いてトレーニング用データで脳情報とラベルの対応関係を学習させ, テスト用データで学習モデルによるラベルの推定を行う.

第 4 章

結果・考察

本項では、第 3 章で記した実験の結果及び考察について記す。

4.1 結果

条件ごとの識別結果を図 4-1 から図 4-7 に示す。デコーディングに用いるボクセルの選択は、t 検定による統計処理で有意水準 $p < 0.001$ となるものを用いた。顔と建物は全ての被験者で 75%以上の識別精度であり、平均識別率は 82.5%であった。しかし、1 人目の被験者の建物の呈示画像に対する識別結果は正答率 50%とチャンスレベルと同等であり、4 人目の被験者の建物の呈示画像に対する識別結果も 31.25%とチャンスレベル以下の正答率であり低い。次に、男性の顔と女性の顔は識別精度 70%に満たない被験者もいたものの平均識別率は約 76.9%と 75%を超えている。呈示画像に対する識別結果はどの被験者もチャンスレベル以上の正答率である。知っている顔と知らない顔の識別精度は、被験者 3 人目を除くと全ての被験者が 70%以上の識別精度であった。また、3 人目の被験者が 60%を満たないものの 4 人目の被験者が 90%を超えており、被験者ごとにばらつきがある。また、呈示画像に対する識別結果も 3 人目の被験者を除く全ての被験者がチャンスレベル以上の識別精度であった。被験者別の識別結果を図 4-4 と表 4-1 に示す。被験者ごとの識別精度では、条件別に識別精度が良い順番はなく、被験者の中で群を抜いて識別精度が良い被験者もない。

条件ごとに一番識別結果が悪かった被験者の SPM での個人解析の結果を図 4-8 から図 4-10 に示す。表 4.2 に ROI の選択に視覚野を含んだときの識別結果、図 4-11 に ROI に視覚野を含まなかったときと含んだときの識別結果の差を示す。視覚野を含んでも識別結果

4.2 考察

が変わらない場合は、被験者 1 人目と 4 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の識別率の 2 つである。それ以外の場合は、低下の度合いは違うがどの識別結果も低下している。

表 4.1 の識別精度のときに選択した ROI の上位 2 ボクセルを表 4.3 に示す。表 4.4 には、各試行ごとの各条件の識別結果の平均を示している。

図 4.12 には、表 4.1 の識別精度のときに被験者が刺激画像を誤って識別してしまった回数を画像ごとの表を示す。表のセルには、被験者 5 人が識別を誤った回数の合計値を示している。右から顔と建物の識別時に識別を誤った回数の合計値、中央に男性の顔と女性の顔の識別時に誤った回数の合計値、左に知っている顔と知らない顔の識別時に誤った回数の合計値である。また、建物画像は、男性の顔と女性の顔の識別と知っている顔と知らない顔の識別では、用いなかったため中央及び左には-を記している。

4.2 考察

顔と建物の識別結果は、先行研究でも多くの識別例がある。今回の実験でも平均して 80%を超える識別結果となった。男性の顔と女性の顔の識別結果は、前節でも示した通り非常に安定しているが、実験後のヒアリングで中性的な顔画像があり、判別が難しかったとの意見が被験者からあった。そのため、刺激画像の見直しが必要であると考え。知っている顔と知らない顔の 3 人目の被験者の識別精度が 60%満たない。これは、3 人目の被験者が刺激画像の選別及び作成、加工やタスクデザインの作成に関わったため、刺激画像を見たことがあることが原因であると考え。また、知っている顔と知らない顔は画像特徴で判断している可能性が高いと考えられるため、同じ顔画像を利用し顔画像の人物を知っている被験者と知らない被験者の脳活動を比較することでより正確な結果を得ることができると考える。全体的にコントラストの違いによる識別精度の違いは見れなかった。

4 人目の被験者の顔と建物の個人解析は、顔-建物、建物-顔のコントラストでは、それぞれ運動野から視覚野までと 1 次視覚野が賦活しており、画像の意味に脳が反応しているわけではなく、レチノトピーなどの単純な知覚を反映しているだけであるとも考えられる。す

4.2 考察

なわち、この被験者に対して、印象などの意味情報をうまく抽出できなかったため精度が悪かったと考える。5人目の被験者の女性の顔と男性の顔の個人解析および3人目の知っている顔と知らない顔の個人解析結果は、条件の差分のコントラストにより、今回男性と女性の比較に優位な賦活が抽出できなかったため識別精度が悪かったと考える。これは、fMRIの性能上これ以上の詳しい脳反応を得ることができないことや、刺激画像とブロックデザインから受ける脳への刺激が小さかったためと考えられる。また、人の顔を覚えるのが苦手などと人間には得意不得意がある、これは脳の賦活にも言えることができると考える。以上のようなことから、精度が悪かったと考える。

BDTBを用いてデコーディングを行う際、ROIの選択は網羅的に行った。表4.1のROIの選択を網羅的に行い導きだした一番良い識別結果と表4.2の視覚野を含めてデコーディングを行った識別結果を比較すると多くの場合識別結果は低下している上、識別結果が上昇している場合はないため、今回の実験は画像を注視し行っているため常に視覚野は活動していると考えられる。このことから、今回の実験ではROIの選択に視覚野を含む必要はないと考えられる。また、識別結果が低下しなかった2つの場合は、ROIに設定した脳の活動していた領域のボクセル数が小さい、または他に設定していた視覚野以外の領域のボクセル数が大きく視覚野が識別結果に影響を与えることができなかったためであると考えられる。

表4.3よりROIに選択したボクセルのT値は、別結果の良い被験者のT値の値は5や6以上の大きい値をとり、識別結果の悪い被験者のT値は4や3といった低い値をとることが多い。このことから、よい識別結果を導くためにはボクセルのT値を大きい値をとるような実験方法を考える必要がある。また、表4.4より試行7試行目、8試行目の識別結果は他の試行に比べ識別率が低下しており実験後被験者に汗や疲れが確認できたことや、図4.12より特定の画像の識別結果が悪い。以上のことから、実験の短い試行回数を数日もしくは休憩を挟みつつ数回に分けて行う等の実験環境の改善を行い、識別結果の悪かった刺激画像を他の刺激画像に差し替えることでボクセルのT値向上を図ることで識別結果が向上すると考える。

4.2 考察

図 4.1: 顔と建物の識別精度の表

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
		顔	建物
1人目	79.17	30	2
		8	8
2人目	85.42	28	4
		3	13
3人目	81.25	29	3
		6	10
4人目	77.08	32	0
		11	5
5人目	89.58	30	2
		3	13

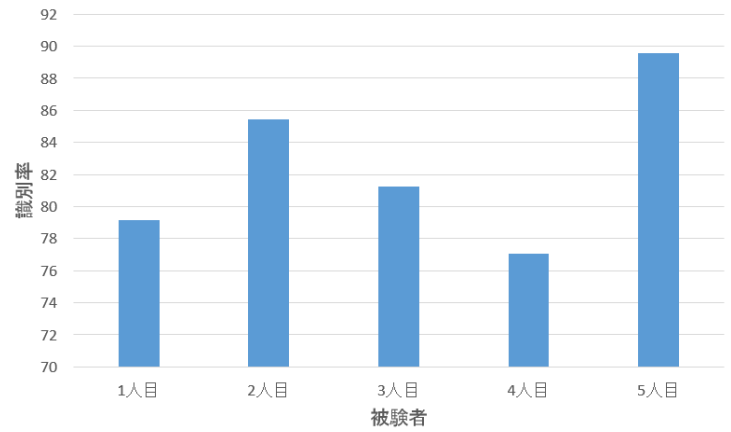


図 4.2: 顔と建物の識別精度の図

図 4.3: 男性の顔と女性の顔の識別

精度の表

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
		男性	女性
1人目	78.13	13	3
		4	12
2人目	81.25	13	3
		3	13
3人目	87.50	13	3
		1	15
4人目	68.75	12	4
		6	10
5人目	68.75	10	6
		4	12

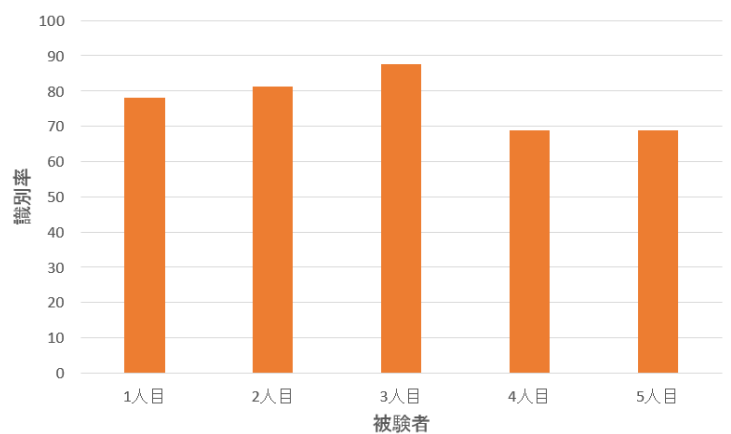


図 4.4: 男性の顔と女性の顔の識別精度の図

4.2 考察

図 4.5: 知っている顔と知らない顔

の識別精度の表

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
		知っている顔	知らない顔
1人目	84.38	6	4
		1	21
2人目	75.00	6	5
		3	18
3人目	59.38	7	9
		4	12
4人目	90.63	14	2
		1	15
5人目	71.88	9	5
		4	14

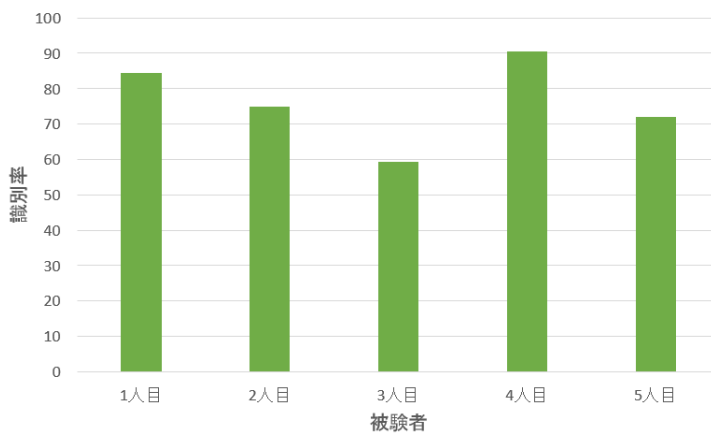


図 4.6: 知っている顔と知らない顔の識別精度の
図

表 4.1: 被験者ごとの識別精度の表

F=顔, B=建物, M=男性, W=女性, k=知っている顔, N=知らない顔

被験者	F vs. B	M vs. W	K vs. U
1人目	79.17%	78.13%	84.38%
2人目	85.42%	81.25%	75.00%
3人目	81.25%	87.50%	59.38%
4人目	77.08%	68.75%	90.63%
5人目	89.58%	68.75%	71.88%

4.2 考察

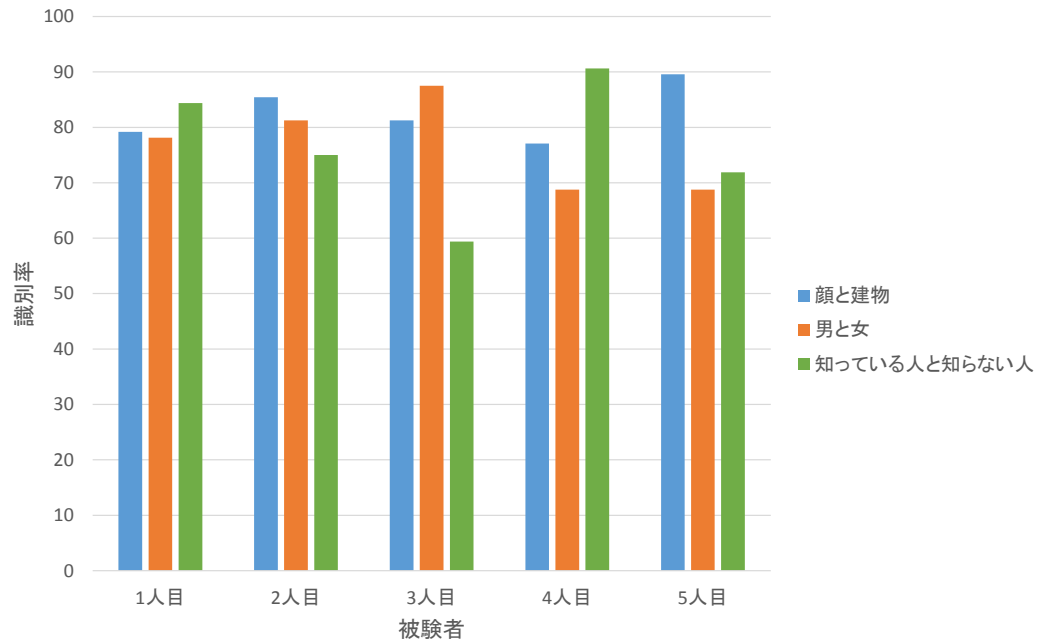


図 4.7: 被験者ごとの識別精度の図

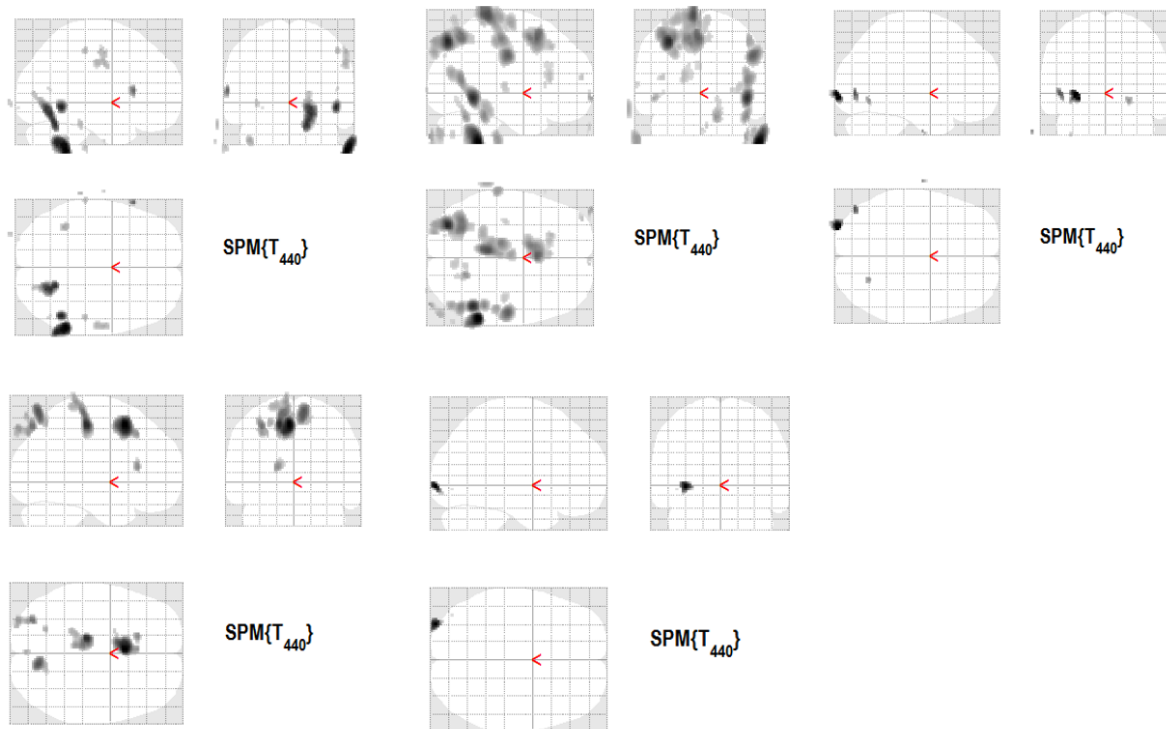


図 4.8: 4人目の被験者の顔と建物の個人解析結果

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 顔, 右上:レスト - 建物, 左下:顔 - 建物, 右下:
建物 - 顔

4.2 考察

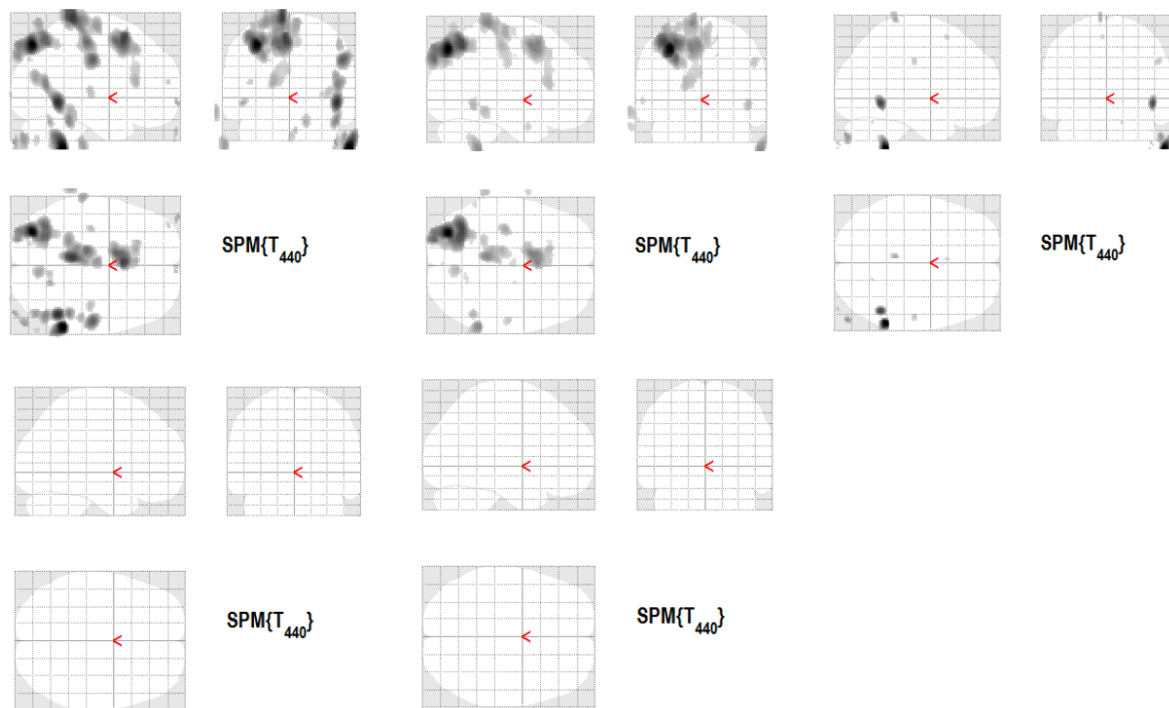


図 4.9: 4 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の個人解析結果

左上:レストー全刺激, 中央上:レストー男性の顔, 右上:レストー女性の顔, 左下:男性ー女性, 右下:女性ー男性

4.2 考察

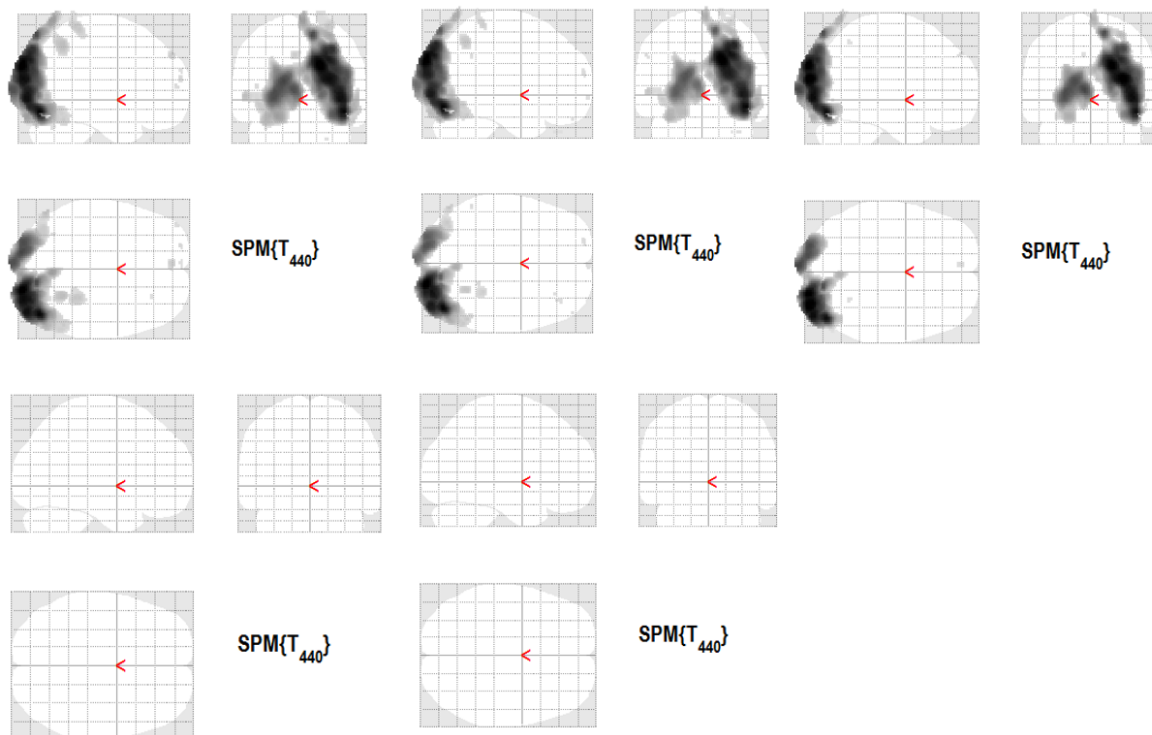


図 4.10: 3 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の個人解析結果

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 知っている顔, 右上:レスト - 知らない顔,
右下:知っている - 知らない, 左下:知らない - 知っている

4.2 考察

表 4.2: 被験者ごとの識別精度の表

F=顔, B=建物, M=男性, W=女性, k=知っている顔, N=知らない顔

被験者	F vs. B	M vs. W	K vs. N
1 人目	66.67%	65.63%	84.38%
2 人目	83.33%	34.38%	53.13%
3 人目	66.67%	87.50%	40.63%
4 人目	77.08%	34.38%	90.63%
5 人目	75.00%	53.13%	50.00%

表 4.3: ROI で選択した上位 2 ボクセルの T 値の値

被験者	F vs. B	M vs. W	K vs. U
1 人目	5.04	4.23	6.91
	4.38	3.54	6.90
2 人目	14.91	5.62	6.02
	3.66	5.31	5.20
3 人目	4.02	13.99	4.29
	3.63	4.82	3.92
4 人目	3.88	4.78	5.38
	3.71		5.10
5 人目	6.27	4.47	3.74
	5.94		3.69

4.2 考察

表 4.4: 試行ごとの識別結果

被験者	F vs. B	M vs. W	K vs. U
1 試行目	86.66%	85.00%	80.00%
2 試行目	86.66%	90.00%	80.00%
3 試行目	86.66%	70.00%	80.00%
4 試行目	86.66%	70.00%	75.00%
5 試行目	76.66%	70.00%	75.00%
6 試行目	86.66%	85.00%	75.00%
7 試行目	66.66%	70.00%	75.00%
8 試行目	66.66%	65.00%	70.00%

4.2 考察

呈示画像	1枚目	2枚目	3枚目	4枚目	5枚目	6枚目
1試行目	0,1,0	0,0,1	0,3,2	0,1,3	0,-,-	3,-,-
2試行目	0,0,0	0,1,0	0,1,2	3,-,-	1,-,-	0,1,1
3試行目	2,-,-	1,2,1	0,2,2	0,1,0	1,-,-	0,0,1
4試行目	0,0,3	0,2,3	2,-,-	2,-,-	0,2,1	0,3,2
5試行目	0,1,1	0,0,1	2,1,1	1,1,1	1,-,-	1,-,-
6試行目	0,0,2	0,-,-	3,-,-	0,1,1	1,1,0	0,0,2
7試行目	1,2,1	0,2,0	2,-,-	1,1,2	2,-,-	0,1,2
8試行目	4,-,-	3,-,-	2,2,2	0,2,2	0,0,2	1,1,2

男性顔画像
 女性顔画像
 男子学生顔画像
 女子学生顔画像
 建物画像

図 4.11: 画像ごとの識別結果

右:F vs. B, 中央:M vs. W, 左:K vs. U

第 5 章

結論

本研究では、顔の印象の定量化する前段階として、建物と顔、男性の顔と女性の顔、知っている顔と知らない顔の単純な 3 種類の条件で異なる顔画像及び建物画像の識別を行った。脳計測には、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ため fMRI を用い、機械学習アルゴリズムはニューラルネットやランダムフォレストなどの他の機械学習アルゴリズムと比較して識別精度及び実行速度が優れている SVM を用いた。実験は、5 人の被験者に 8 試行ずつ行った。識別精度は、顔と建物は平均で 83%、男性の顔と女性の顔は平均で 77%、知っている顔と知らない顔は 3 人目の被験者を除いて平均で 80% であった。どの条件も 8 割程度であったことから、脳活動から各条件の顔画像及び建物画像の識別が可能であるということが考える。

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。本研究では、ROI を人間が考えて選択をして識別制度を出した。しかし、この手法では ROI を選択する人間により識別精度が偏る可能性がある。以上の点から、人間ではなく、コンピュータが有意に活動しているであろう賦活部位の ROI を選択できるような手法を考えることにより、より識別精度が向上することが考えられる。また、被験者を増やし、集団解析を行うことで各種類の画像ごとの脳活動の一般化が期待できる。

顔の印象の定量化をすることは、工学分野にもたらす貢献は決して小さくはないだろうと考える。顔の印象の定量化により、犯罪の防止や新たなビジネスへと繋がると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、丁寧なご指導をくださった高知工科大学情報学群 吉田真一准教授に心より感謝いたします。吉田准教授には、研究の内容だけではなく、私の苦手とするプレゼンテーションの作成から発表までを丁寧にご指導していただき、研究室配属時からは考えられないような発表を行うことができました。また、研究の方も fMRI を利用した実験ができる日には休日問わず実験に付き添っていただき、夏休み前から熱心にご指導していただいたおかげで本研究も形となり、論文を執筆することができました。論文に関しても英語が苦手な私に優しい言葉やアドバイスを下さり、丁寧な添削をしてくださったおかげで無事書き終わることができました。

本研究の副査を引き受けて頂いた高知工科大学情報学群 岩田誠教授、繁柁博昭准教授に深く感謝いたします。岩田教授には、研究室の合同セミナーでも意見や助言を頂きました。また、研究室配属のときも相談に乗っていただいたりと本研究のみならず、研究室活動や学校生活の面でも大変お世話になりました。繁柁准教授には、本研究の実験の段階から相談に乗っていただきました。私が気がついていないことや私の知らない知識まで説明やアドバイスをして下さり、本研究をより深いものとすることができました。

吉田研究室の皆様にも大変お世話になりました。楽しく研究できたのも研究室の皆様のおかげです。皆様に様々な面で私の至らないところを助けて下さったおかげで私は無事研究室生活を終えることができたと思います。特に、4年生の皆様とは研究室配属が行われた時から想像もしなかった程親しくなったと思います。同じ fMRI を使用した研究を行っていた、中路氏と高橋氏とは一緒に輪講を行い勉強をしたり、わからないところを教えてもらったりと、一緒に研究を行い研究の大変さや楽しさを共有することができたからこそ最後まで研究をやり遂げられたと思います。また、共に研究室生活をすごしてきた江木氏、奥村氏、奥山氏、竹中氏、矢野氏はお互いの研究内容を話すことで知見を増やしたり、研究の合間に他愛無い話をする事で研究へのモチベーションの向上へ繋がったと思います。4年生の皆様と

謝辞

は、夏には高知の観光地を見行ったり花火大会を見に行ったりし、冬には鍋パーティをしたり、個人的に休日遊んだりと研究室外でも様々な思い出があります。4年生の皆様がいたおかげで私はとても楽しく充実した学生生活が送れました。修士の方にも大変お世話になりました。修士の皆様が夜遅くまで頑張っている姿を見て私も頑張ろうと励まされました。3年生の皆様も幹事の仕事や輪講といった研究室の仕事を一生懸命行っている姿をみて励まされたり、3年生の明るい雰囲気元気付けられたりしました。これからの研究や学生生活で大変なことがあると思いますが皆様ならきっと大丈夫だと思います、心より応援しています。

本研究を進めるにあたり、予備実験を含め多くの実験に協力して下さった被験者の方々、fMRI を利用させて下さった高知工科大学 脳コミュニケーションの方々、本研究に携わって下さった全ての方々へ感謝いたします。

最後に、この4年前に家を出て高知へ進学し学生生活を送ることを暖かく見守り支えて下さった家族に感謝します。また、協力していただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

- [1] 中沢仁, “ブレイン・デコーディングとブレイン・マシン・インターフェースを用いた心理学的研究についての論考,” 専修人間科学論集, 心理学篇 Vol. 2, No. 1, pp. 35–42, 2012.
- [2] 藤山 沙紀, 成 烈完, 小川 誠二, 伊良皆 啓治, “顔・建物画像揭示時の誘発脳波の違い,” 電気情報通信学会, 信学技報, MBE 107(460), PP.37–40, 2008.
- [3] Ogawa S, Lee TM et al, “Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation,” Proc Natl Acad Sci 87:9868-9872, 2012.
- [4] 菊池 吉晃, 妹尾 淳史, 安保 雅博, 渡邊 修, 米本 恭三, “SPM8 脳画像解析マニュアル,” 医歯薬出版株式会社, 2012.
- [5] Cortes, Corinna; and Vapnik, Vladimir N.; ” Support-Vector Networks, ” Machine Learning, 20, 1995.
- [6] 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.
- [7] 成 烈完, 神波 雅之, 小川 誠二, 伊良皆 啓治, “fMRI による顔処理関連脳機能部野 (FFA) の特性に関する研究,” 電気情報通信学会, 信学技報, MBE 107(460), PP.41-42, 2008.
- [8] 湯浅 将英, 斎藤 恵一, 武川 直樹, “創作した顔アイコンを見たときの fMRI 脳計測—コミュニケーションにおける抽象顔の効果—,” 電気情報通信学会, 電学論 C, 129 巻 2 号, 2009.
- [9] 土師 知己, 野瀬 出, 勝山 成美, 泰羅 雅登, “顔刺激を用いた写真と絵画の認知に関する研究 : fMRI 研究,” 電気情報通信学会, TVRSJ Vol.14 No1, pp.121–130, 2009.
- [10] Brainliner 開発チーム, “BDTB 解説資料 Ver.1.1,” (株) 国際電気通信基礎技術研究所 国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所, 2012.

付録 A

想起実験

注視している顔画像を推測するだけではなく、想起画像検索を行うために想起している顔を脳計測のみで推測する必要がある。そこで、3章で行った実験で刺激画像と刺激画像の間のレストが呈示されている時間に前の画像を想起するように被験者に指示し実験を行った。計測機器，呈示刺激画像，試行内容，実験後アンケート，SPM を用いた解析，BDTB を用いたデコーディングは3章で示した内容と同じであるため割愛し，本項では結果と考察，注視しているときの脳反応と想起している脳反応を建物と顔の2種類で比較する。

A.1 実験

A.1.1 被験者

被験者は，心身ともに健康な20歳から24歳の男子学生1名，女子学生2名の計3名である。被験者はfMRI装置の原理についての説明や実験の内容，所要時間，安全性，個人情報保護についての説明を受け同意した上参加した。

A.2 結果と考察

条件ごとの識別結果を表A.1からA.3に示す。デコーディングに用いるボクセルの選択は，t検定による統計処理で有意水準 $p < 0.001$ となるものを用いた。建物と顔の識別精度は2人目と3人目の試験者の呈示画像に対する識別結果に偏りが見られこれでは識別ができていないとは言えない。男性の顔と女性の顔の識別精度は，呈示画像に対する識別結果に偏りは

A.2 結果と考察

ないものの識別精度は低く識別ができているとは言えない。知っている顔と知らない顔の識別精度は、2人目の被験者に呈示画像に対する識別結果に偏りが見られ3人目の被験者の識別精度は50%と低いことから識別ができているとは言えない。全体を通して70%を超える識別精度のものはなかった。このことから、想起のみでの識別は難しく、試行内容、実験方法共に考え直す必要があると考える。

表 A.1: 建物と顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
1人目	68.75	30	2
		13	3
2人目	66.67	32	0
		16	0
3人目	66.67	32	0
		16	0

表 A.2: 男性の顔と女性の顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
1人目	53.13	10	6
		9	7
2人目	62.50	11	5
		7	9
3人目	46.88	8	8
		9	7

A.3 脳反応の比較

表 A.3: 知っている顔と知らない顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
1 人目	68.75	3	7
		3	19
2 人目	65.63	0	11
		0	21
3 人目	50.00	7	9
		7	9

A.3 脳反応の比較

図 A-1 から図 A-6 に建物または顔を注視したときと想起したときの比較を示す。結果は、t 検定による統計処理で有意水準 $p < 0.001$ となるものを用いた。図の右上の脳画像は想起した脳反応から注視した脳反応を引いた場合の脳反応を示し、左上の脳画像は注視した脳反応から想起した脳反応を引いた場合の脳反応を示し、右下の脳画像は想起したときの脳反応を示し、左下の脳画像は注視したときの脳反応を示す。注視の場合にはどの被験者も少なからず 1 次視覚野や 2 次視覚野、高次視覚野等の視覚野が動いており、頭頂連合野後部といった視運動や知覚を司る部位が賦活していることがわかることから、被験者が刺激画像を注視していることがわかる。しかし、顔画像を見たときに顔を処理するという FFA の賦活が確認できない。これは、今回有意水準 $p < 0.001$ で結果を出したためであると考えられる。また、どの被験者も想起の場合の脳反応が小さく有意水準 $p < 0.001$ では、注視の場合と異なりあまり賦活が確認できない。今後の想起の実験では、より脳に刺激を与えるような想起実験の手法を考えていかななくてはならないと考える。

A.3 脳反応の比較

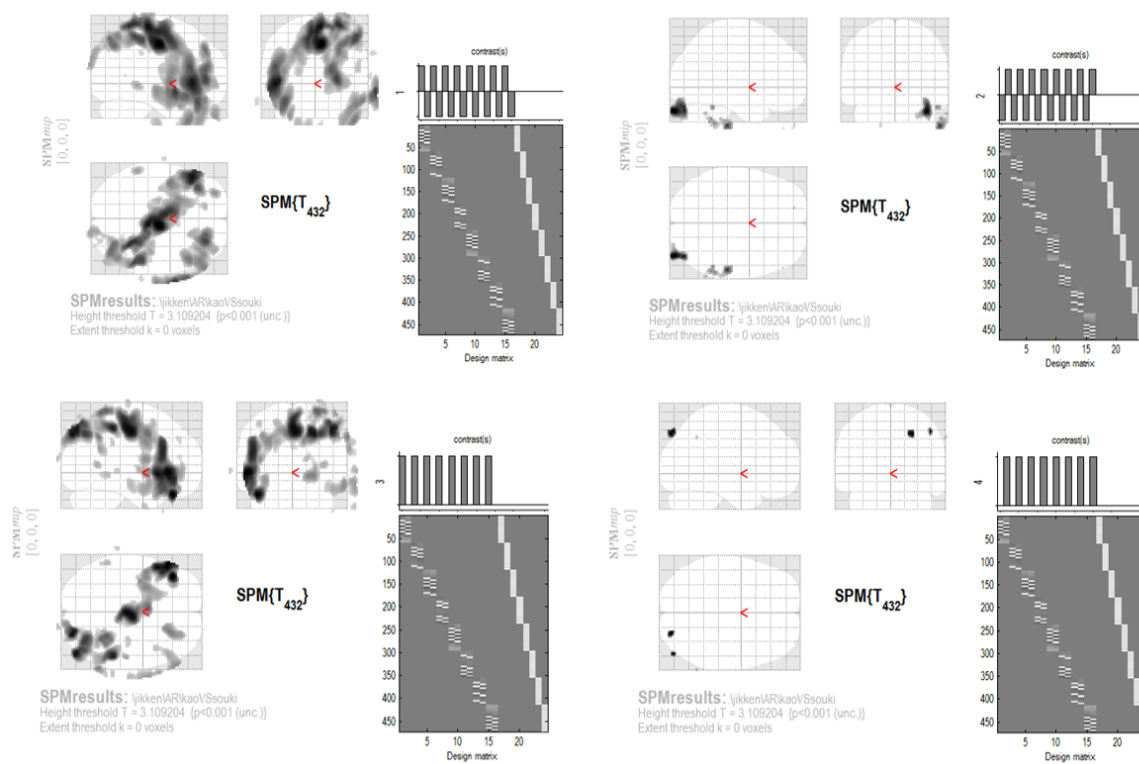


図 A.1: 1 人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較

右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

A.3 脳反応の比較

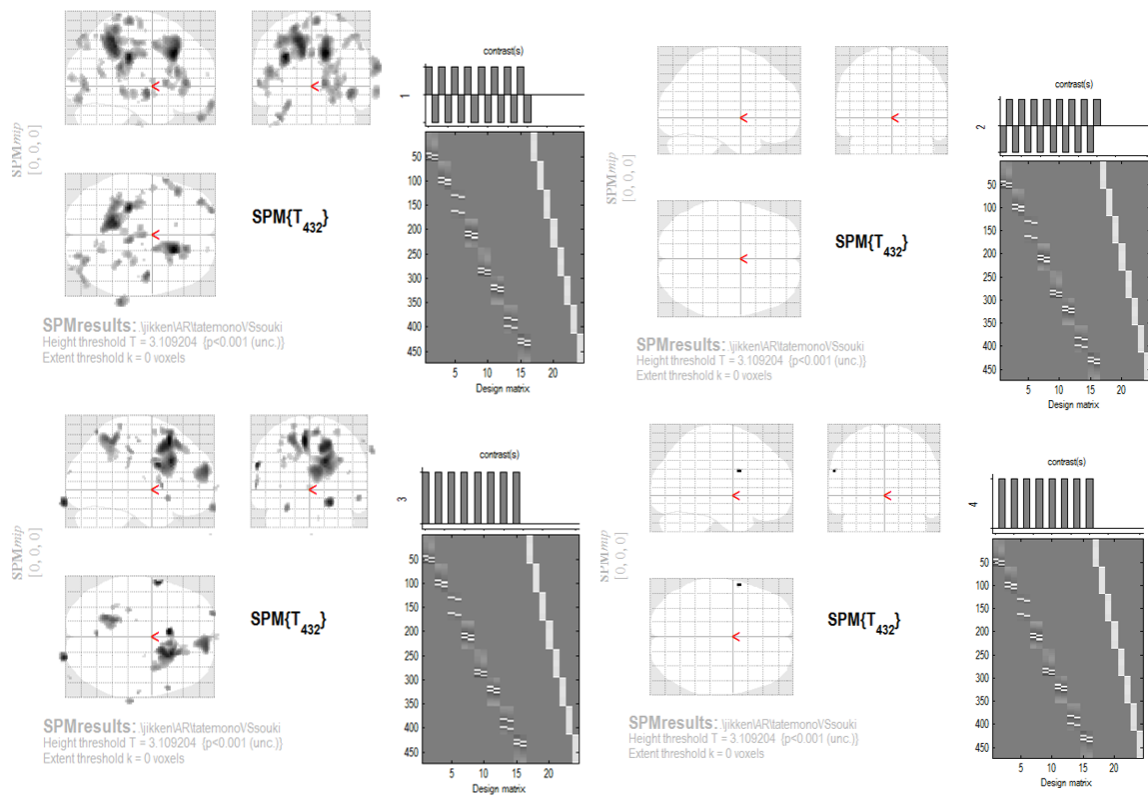


図 A.2: 1 人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較
 右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

A.3 脳反応の比較

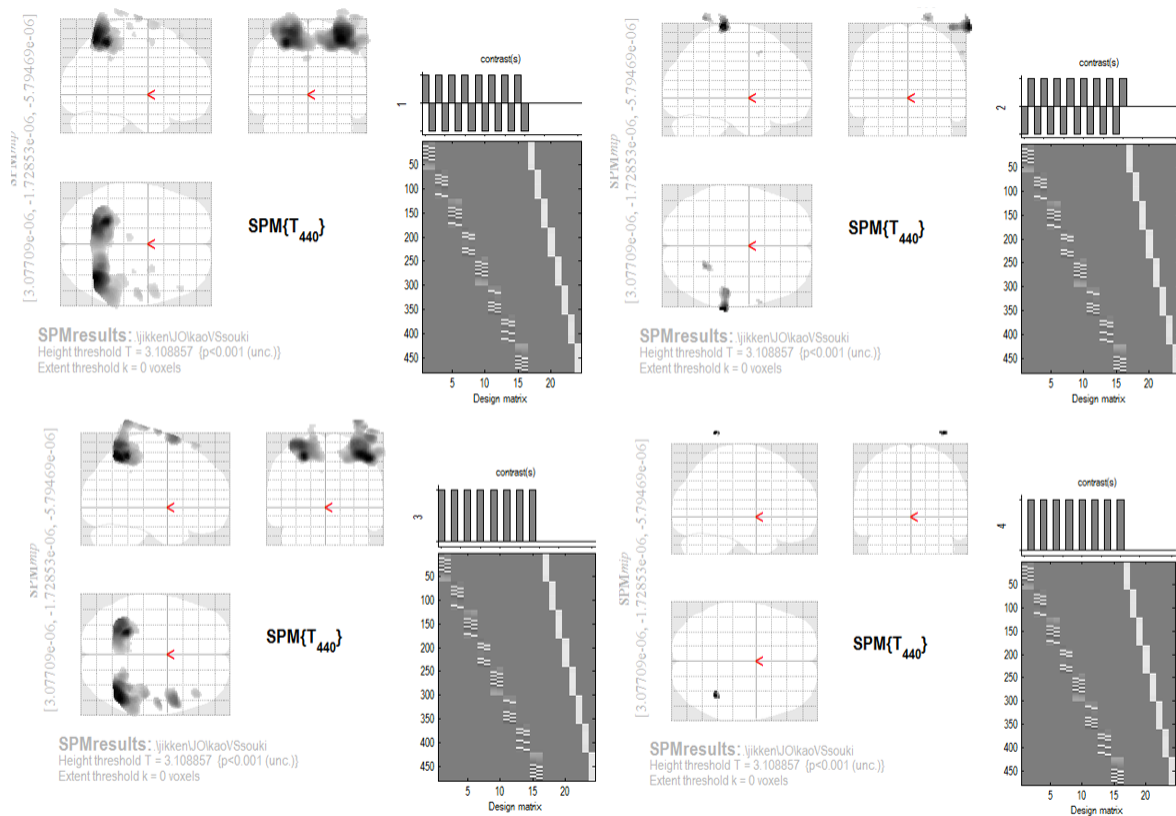


図 A.3: 2 人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較

右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

A.3 脳反応の比較

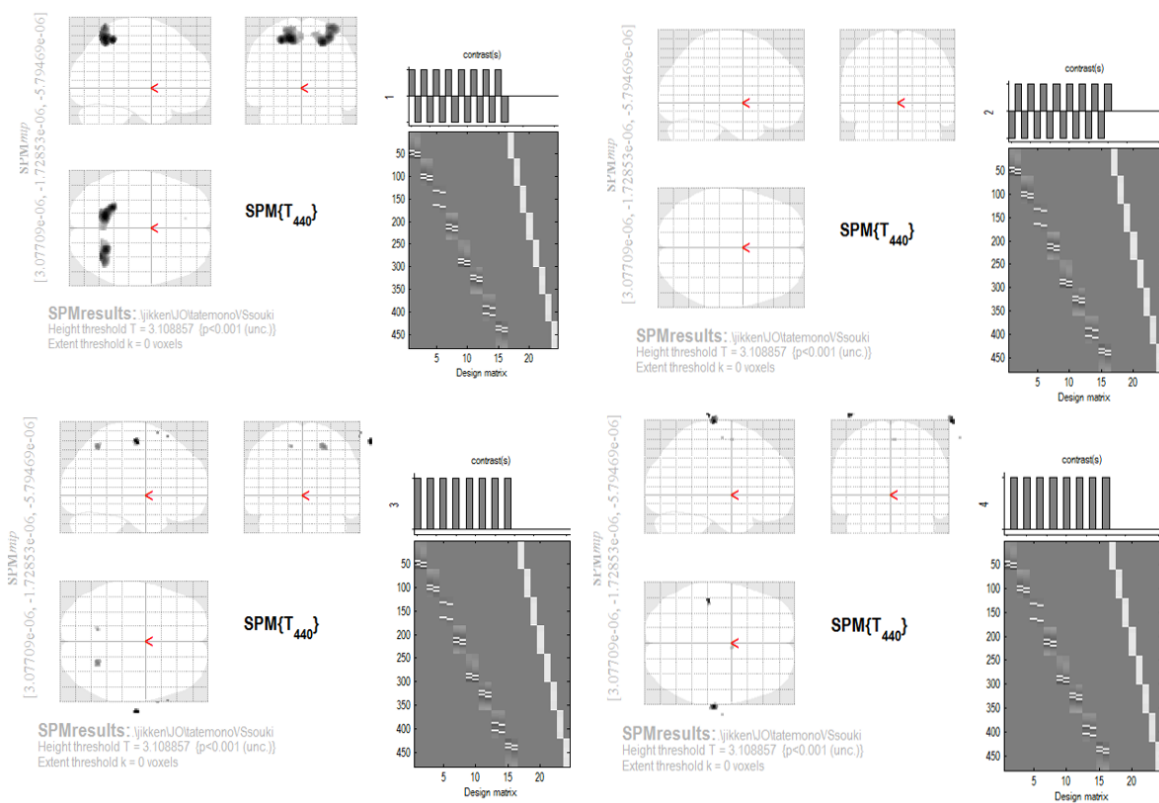


図 A.4: 2 人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較
 右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

A.3 脳反応の比較

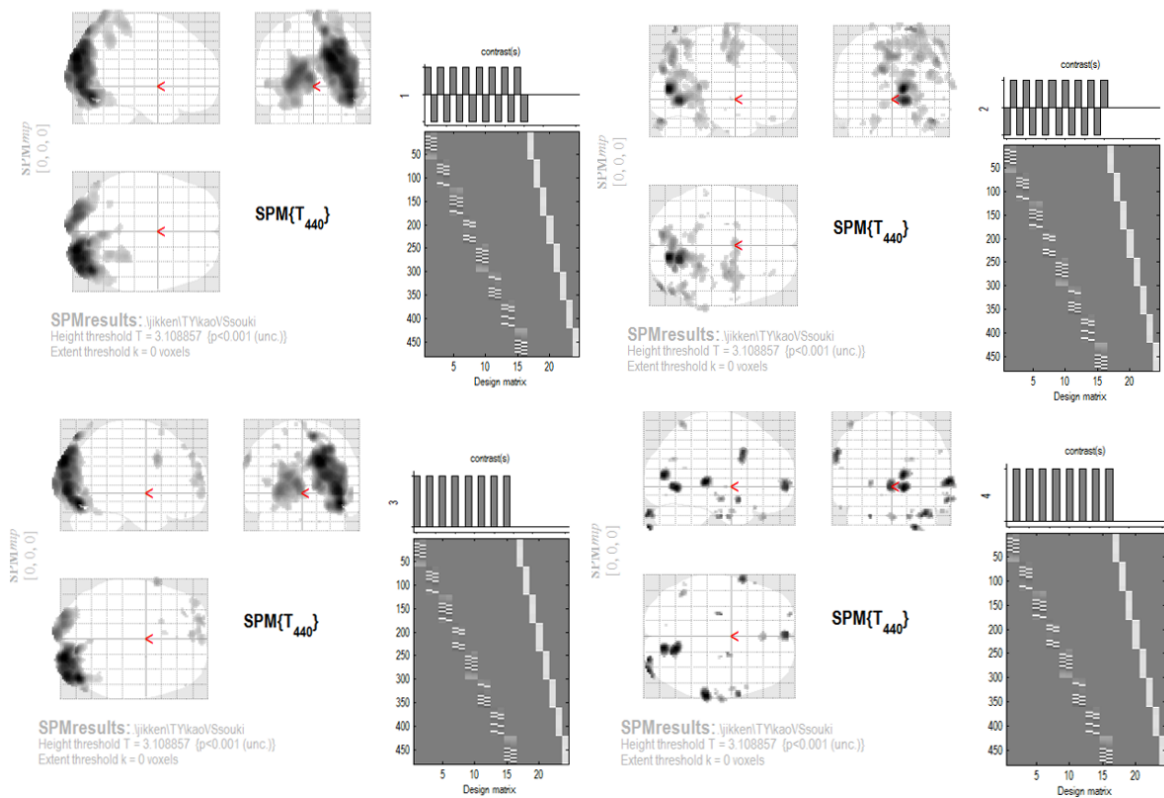


図 A.5: 3 人目の被験者の顔の注視と想起の脳反応の比較

右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

A.3 脳反応の比較

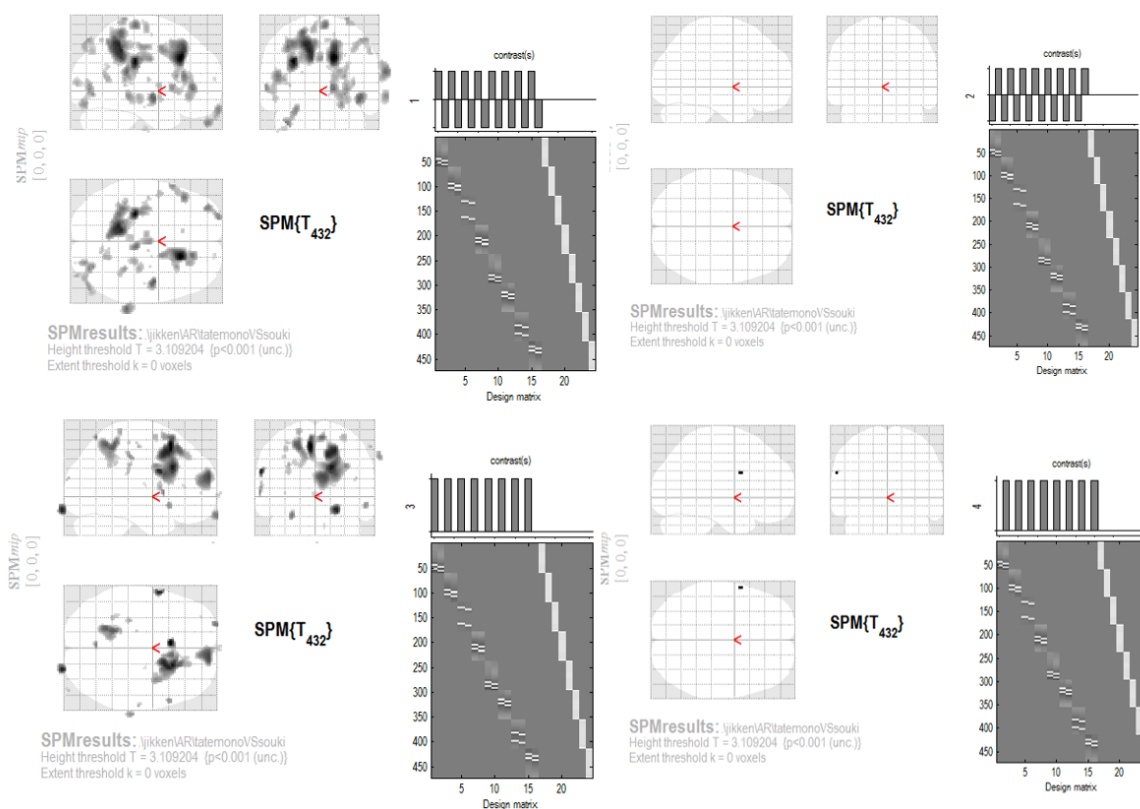


図 A.6: 3 人目の被験者の建物の注視と想起の脳反応の比較
 右上:想起 - 注視, 左上:注視 - 想起, 右下:想起, 左下:注視

付録 B

視覚への刺激

刺激画像を点滅させることで視覚への刺激を与えることができる。そこで、刺激画像と注視点のみの黒い画像の Rest を点滅させる試行内容の実験と点滅をさせず刺激画像のみの試行内容の実験の識別精度を比較した。計測機器，呈示刺激画像，実験後アンケート，SPM を用いた解析，BDTB を用いたデコーディングは 3 章で示した内容と同じであるため割愛し，本項では被験者と試行内容及び結果と考察を記す。

B.1 実験

B.1.1 被験者

被験者は，心身ともに健康な 20 歳から 24 歳の男子学生 1 名，女子学生 1 名の計 2 名である。被験者は fMRI 装置の原理についての説明や実験の内容，所要時間，安全性，個人情報保護についての説明を受け同意した上参加した。1 人目の被験者には，点滅をさせていない試行内容を 2 人目の被験者には，点滅をさせた試行内容で実験を行った。

B.1.2 試行内容

呈示刺激画像で示した男性の顔画像と女性の顔画像を各 2 枚ずつ高知工科大学学生の顔画像を男性，女性を各 1 枚ずつ，建物画像を 4 枚の計 10 枚を用意する。表 B.1 に示すように，被験者に 1 試行あたり顔画像を 1 種類 2 枚ずつ，建物画像を 4 枚ずつランダムに呈示し，被験者 1 人に対し 3 試行を行った，被験者が刺激に対しての予想や慣れを防ぐことができる。

B.1 実験

本実験では図 B.1 のようにブロックデザインを採用し、各刺激画像は 12 秒間 (4 スキャン分) を呈示し、後に呈示する刺激画像の位相をずらしたスクランブル画像を 12 秒間 (4 スキャン分) を挟む。これを 10 回繰り返し 1 試行とする。また、点滅をさせる試行内容のときは、刺激画像と Rest を 0.5 秒間隔で切り替えることで点滅をさせる。なお、各試行の開始時、終了時には 12 秒間の注視点のある黒い画像の Rest を入れる。

表 B.1: 刺激画像の呈示順番

呈示枚数 (枚目)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 試行目	男	女	学内 (女)	建物	建物	男	女	学内 (女)	建物	建物
2 試行目	男	建物	男	建物	女	建物	女	建物	学内 (女)	学内 (男)
3 試行目	建物	男	建物	男	建物	女	建物	女	学内 (男)	学内 (女)

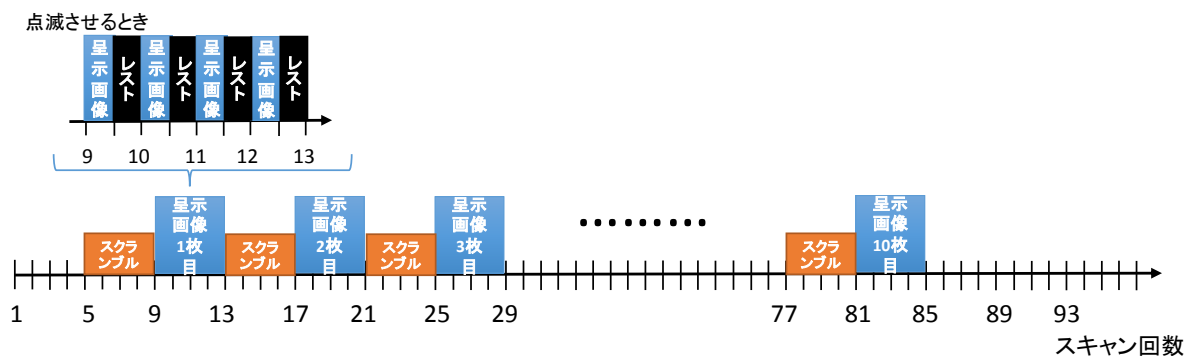


図 B.1: ブロックデザイン

B.2 結果と考察

条件ごとの識別結果を表 B.2 から B.4 に示す。デコーディングに用いるボクセルの選択は、t 検定による統計処理で有意水準 $p < 0.001$ となるものを用いた。表 B.2 の建物と顔の識別精度は点減がない場合の方が識別精度がよく約 23%も識別精度が上回る。表 B.3 の男性の顔と女性の顔の識別精度は点減なしの識別精度が点減ありの識別精度を上回っているが、どちらの識別精度もチャンスレベル程度である。表 B.4 の知っている顔と知らない顔の識別精度は点減なしの識別精度が点減ありの識別精度の方がよいが、点減なしの方は呈示画像に対する識別結果に偏りがみられる、これは 3 章で行った実験と違い全試行で同じ画像を使用していたためと考える。図 B.2 に示したとおり、全条件で点減ありよりも点減なしの方が識別精度が高い。このことから、点減させることで視覚に刺激を与えることができるがそれは神経のみに作用することであり、画像を見て想起された感情や記憶は関係ないと考えられる。顔は図形としての差はなく、見て感じた結果をデコーディングしていく必要があると考える。

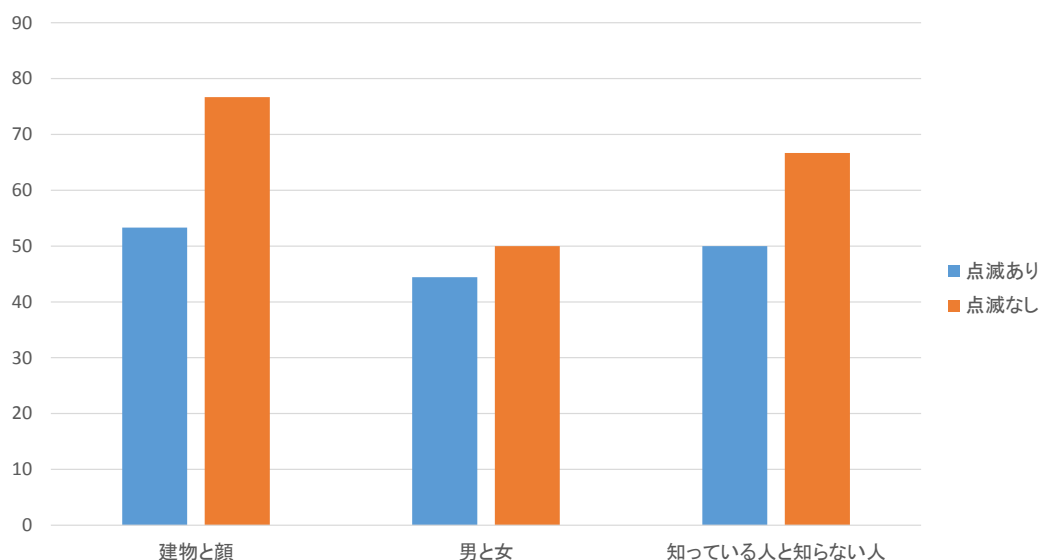


図 B.2: 条件ごとの識別精度の比較

B.2 結果と考察

表 B.2: 建物と顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
点減あり	53.33	14	4
		10	2
点減なし	76.67	16	2
		5	7

表 B.3: 男性の顔と女性の顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
点減あり	44.44	5	4
		6	3
点減なし	50.00	4	5
		5	4

表 B.4: 知っている顔と知らない顔の識別精度

被験者	識別精度 (%)	呈示画像/識別結果	
点減あり	50.00	9	3
		10	2
点減なし	66.67	0	6
		0	12

付録 C

SPM の解析結果画像

本項は、3 章に記した SPM での個人解析の結果の画像と BDTB でのデコーディングで使用した ROI の脳活動部位の図を記す。

C.1 被験者 1 人目

C.1.1 顔と建物

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は建物を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は顔の反応から建物の反応を引いた差，中央下は建物の反応から顔の反応を引いた差である。

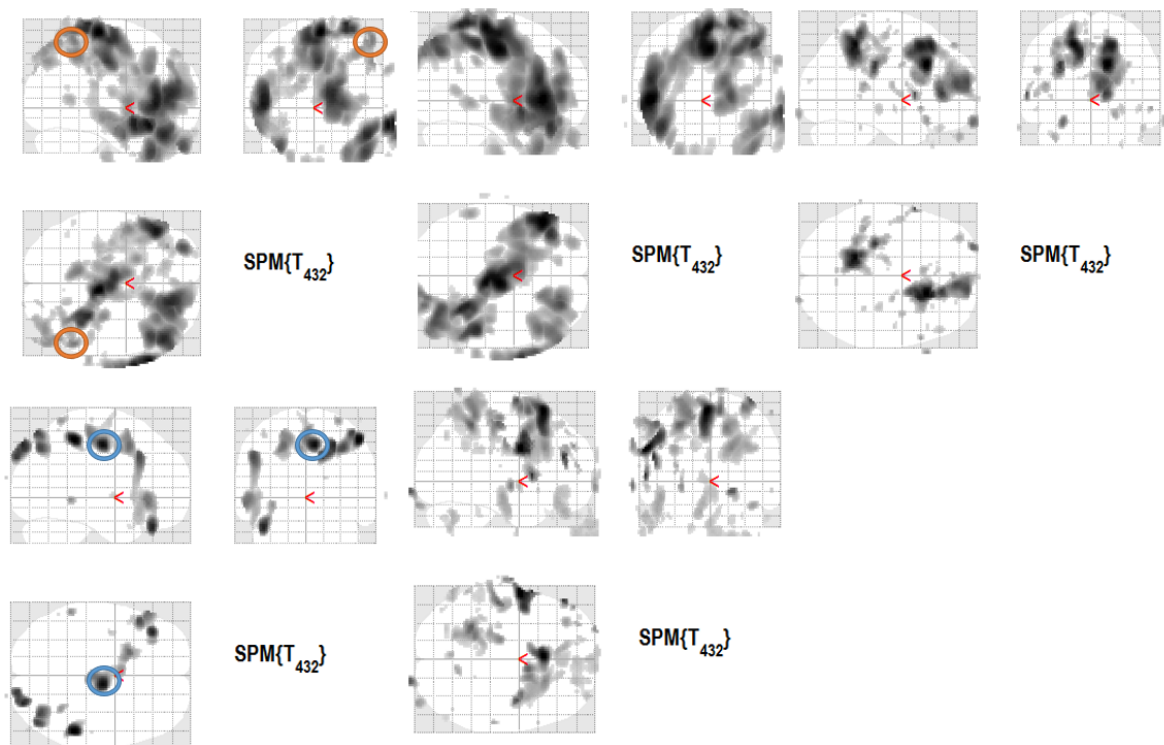


図 C.1: 1 人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 顔，右上:レスト - 建物，左下:顔 - 建物，右下:
建物 - 顔

C.1 被験者 1 人目

C.1.2 男性の顔と女性の顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は男性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は女性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は男性の顔の反応から女性の顔の反応を引いた差、中央下は女性の顔の反応から男性の顔の反応を引いた差である。

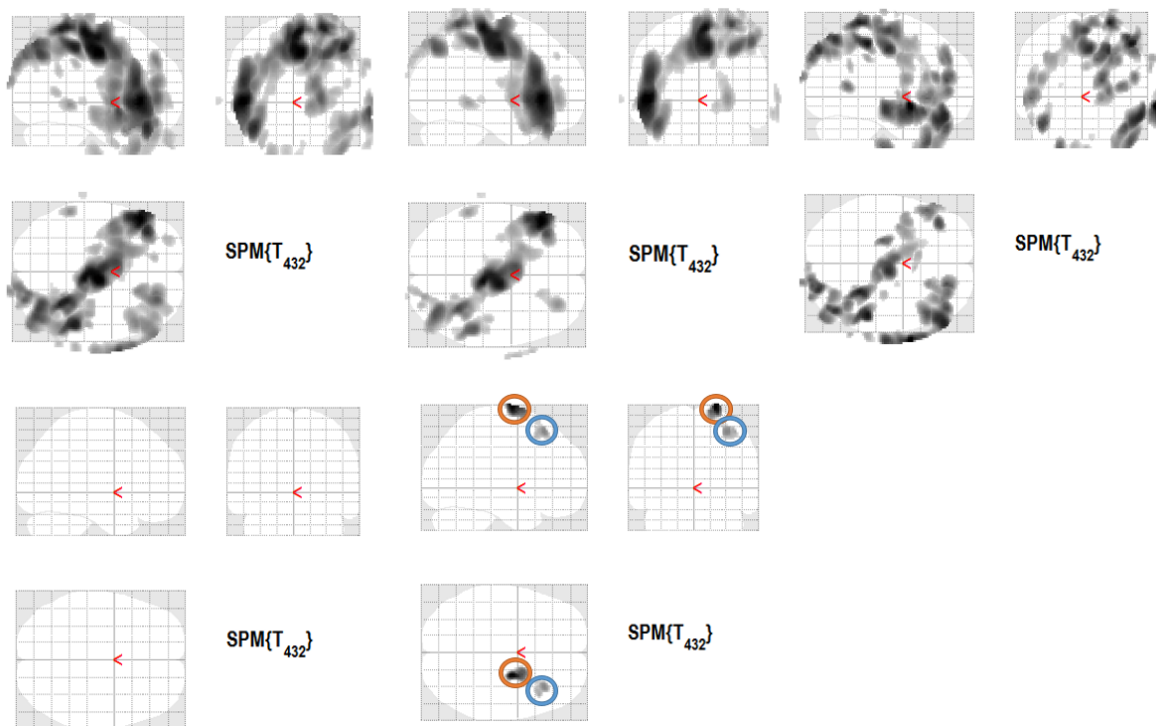


図 C.2: 1 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 男性の顔, 右上:レスト - 女性の顔, 左下:男性 - 女性, 右下:女性 - 男性

C.1 被験者 1 人目

C.1.3 知っている顔と知らない顔

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は知っている顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は知らない顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は知っている顔の反応から知らない顔の反応を引いた差，中央下は知らない顔の反応から知っている顔の反応を引いた差である。

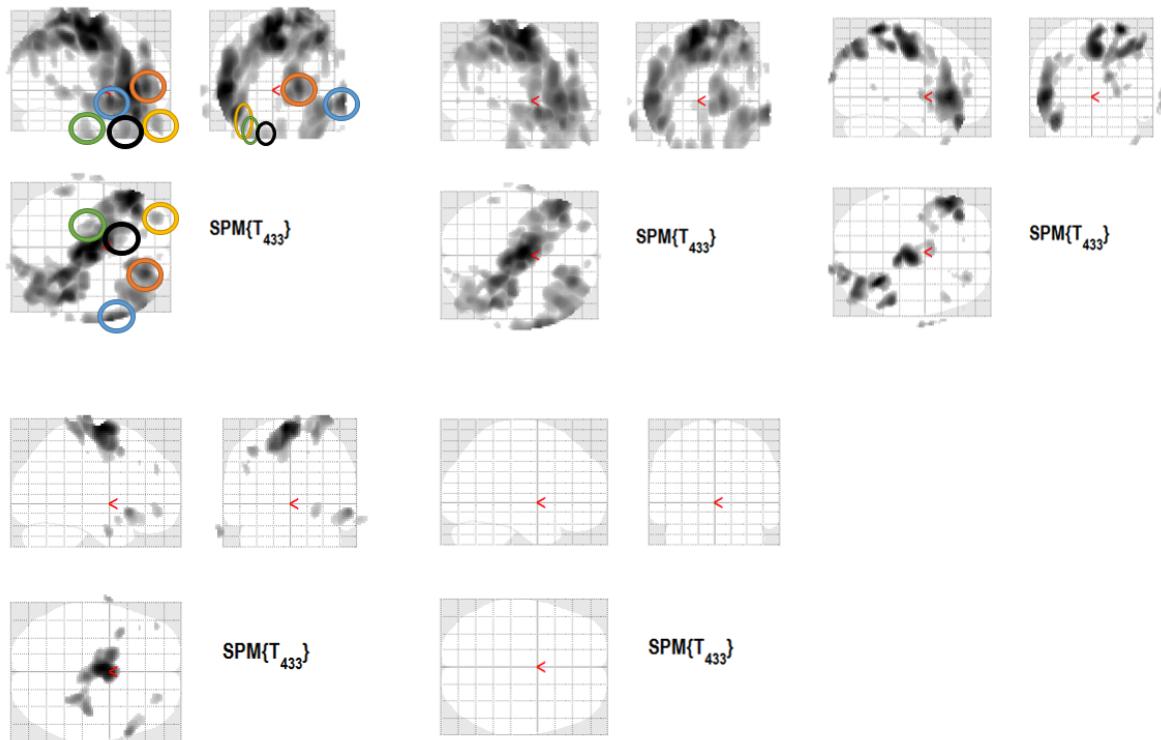


図 C.3: 1 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 知っている顔，右上:レスト - 知らない顔，
左下:知っている - 知らない，右下:知らない - 知っている

C.2 被験者 2 人目

C.2.1 顔と建物

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は建物を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は顔の反応から建物の反応を引いた差，中央下は建物の反応から顔の反応を引いた差である。

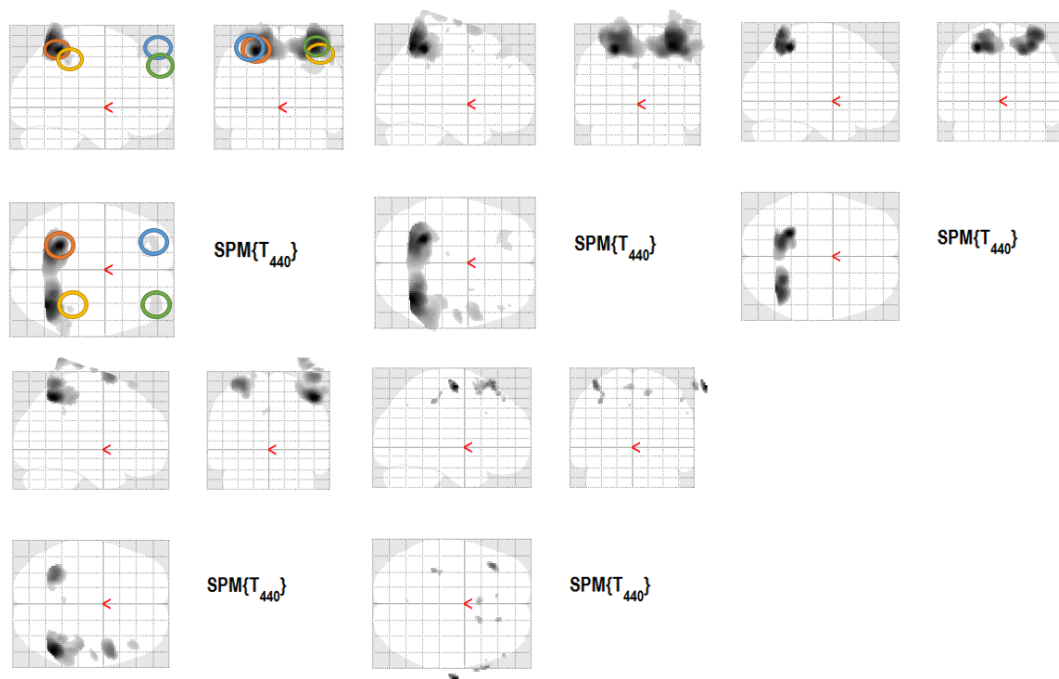


図 C.4: 2 人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 顔，右上:レスト - 建物，左下:顔 - 建物，右下:
建物 - 顔

C.2 被験者 2 人目

C.2.2 男性の顔と女性の顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は男性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は女性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は男性の顔の反応から女性の顔の反応を引いた差、中央下は女性の顔の反応から男性の顔の反応を引いた差である。

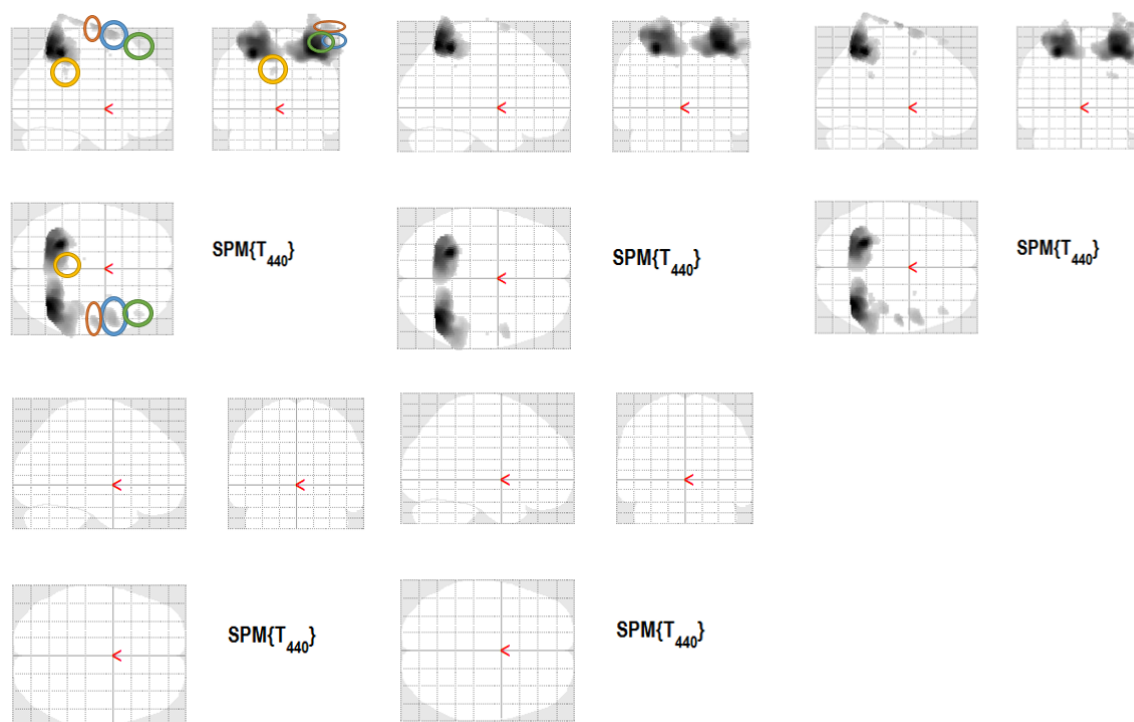


図 C.5: 2 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較

左上:レストー全刺激, 中央上:レストー男性の顔, 右上:レストー女性の顔, 左下:男性ー女性, 右下:女性ー男性

C.2 被験者 2 人目

C.2.3 知っている顔と知らない顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は知っている顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は知らない顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は知っている顔の反応から知らない顔の反応を引いた差、中央下は知らない顔の反応から知っている顔の反応を引いた差である。

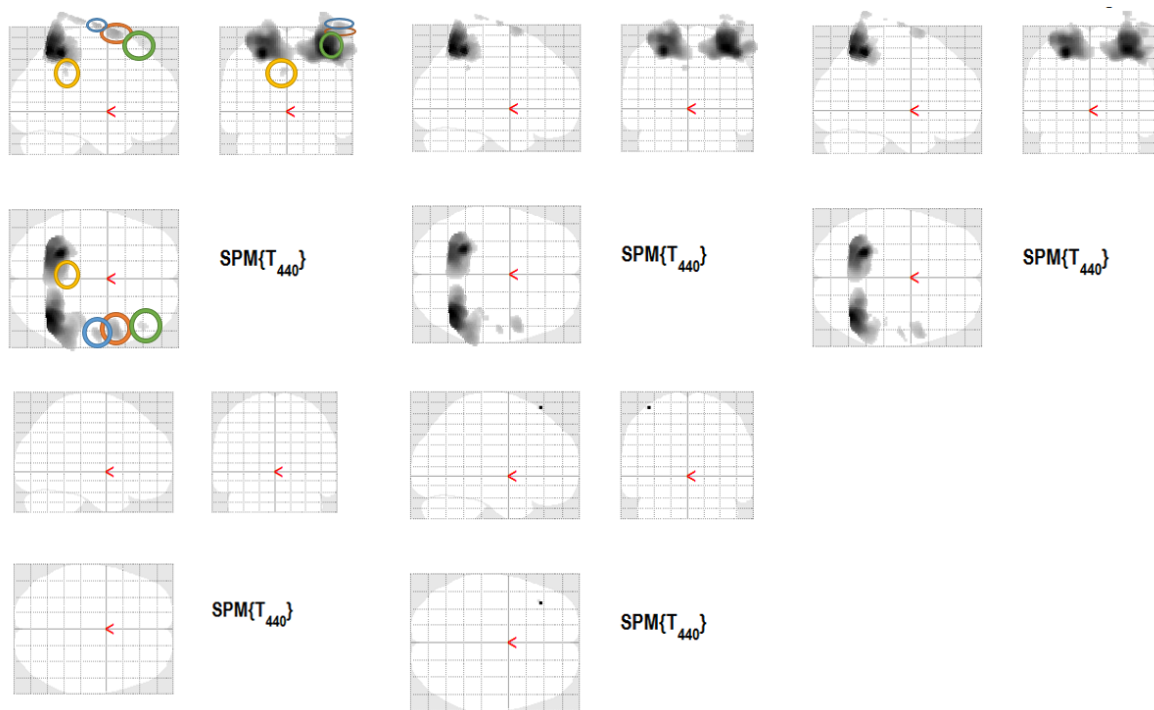


図 C.6: 2 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 知っている顔, 右上:レスト - 知らない顔,
左下:知っている - 知らない, 右下:知らない - 知っている

C.3 被験者 3 人目

C.3.1 顔と建物

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は建物を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は顔の反応から建物の反応を引いた差，中央下は建物の反応から顔の反応を引いた差である。

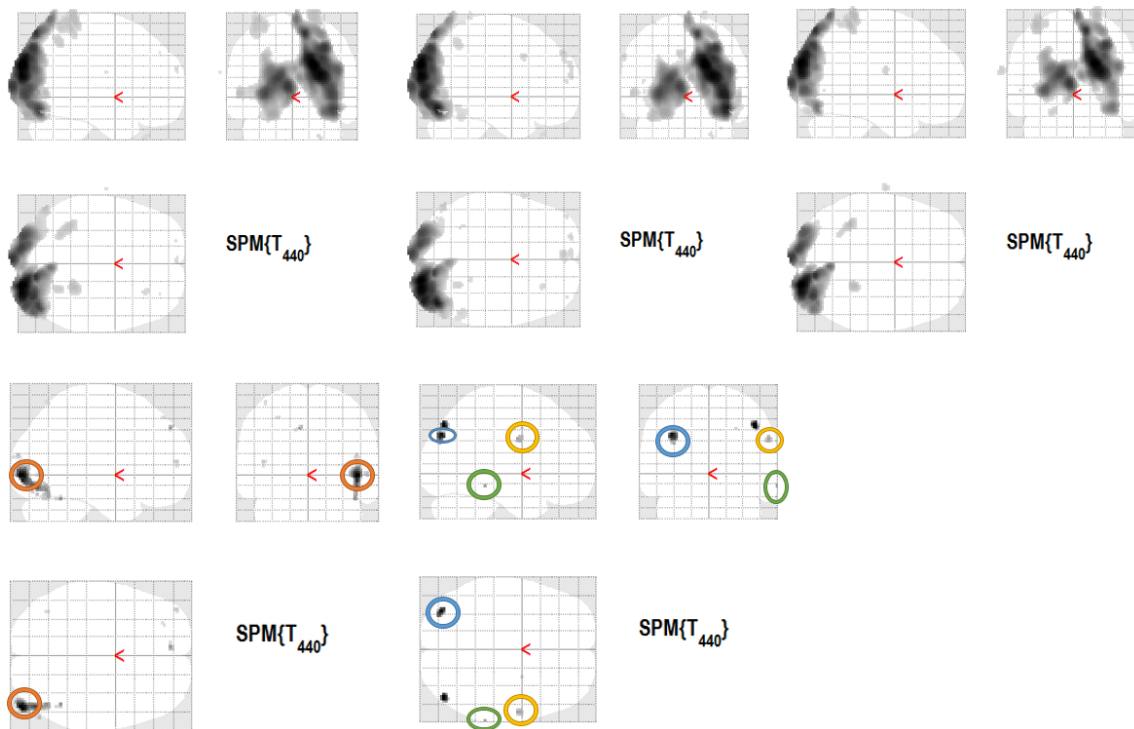


図 C.7: 3 人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 顔，右上:レスト - 建物，左下:顔 - 建物，右下:
建物 - 顔

C.3 被験者 3 人目

C.3.2 男性の顔と女性の顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は男性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は女性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は男性の顔の反応から女性の顔の反応を引いた差、中央下は女性の顔の反応から男性の顔の反応を引いた差である。

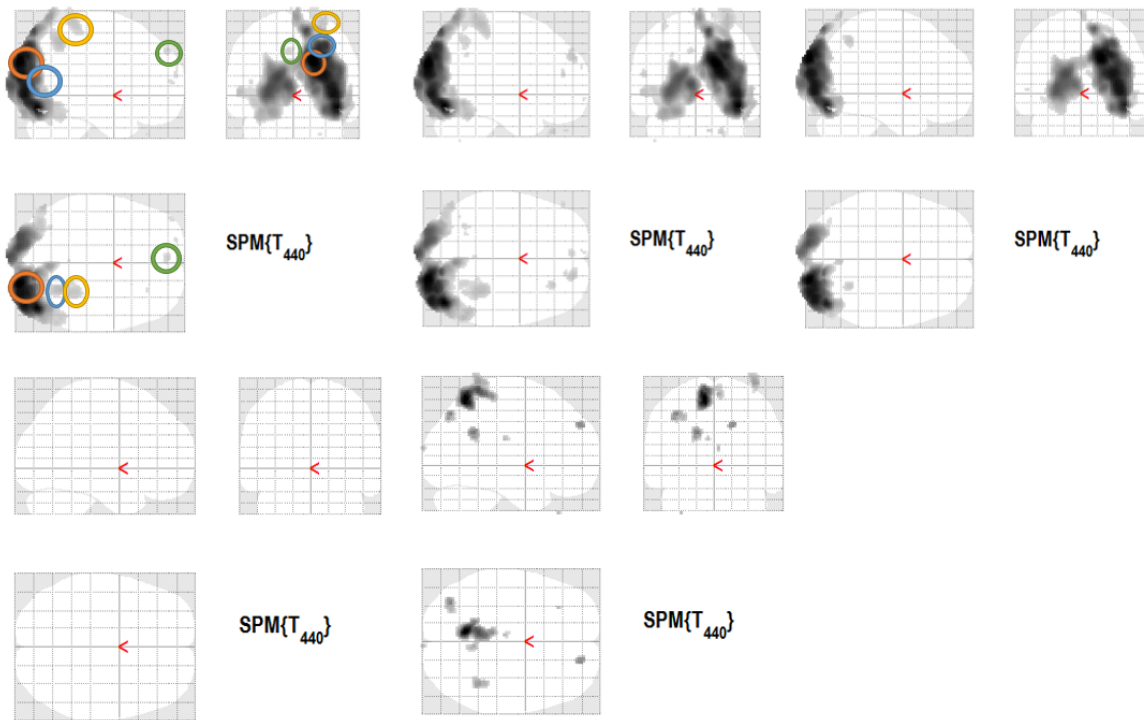


図 C.8: 3 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 男性の顔, 右上:レスト - 女性の顔, 左下:男性 - 女性, 右下:女性 - 男性

C.3 被験者 3 人目

C.3.3 知っている顔と知らない顔

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は知っている顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は知らない顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は知っている顔の反応から知らない顔の反応を引いた差，中央下は知らない顔の反応から知っている顔の反応を引いた差である。

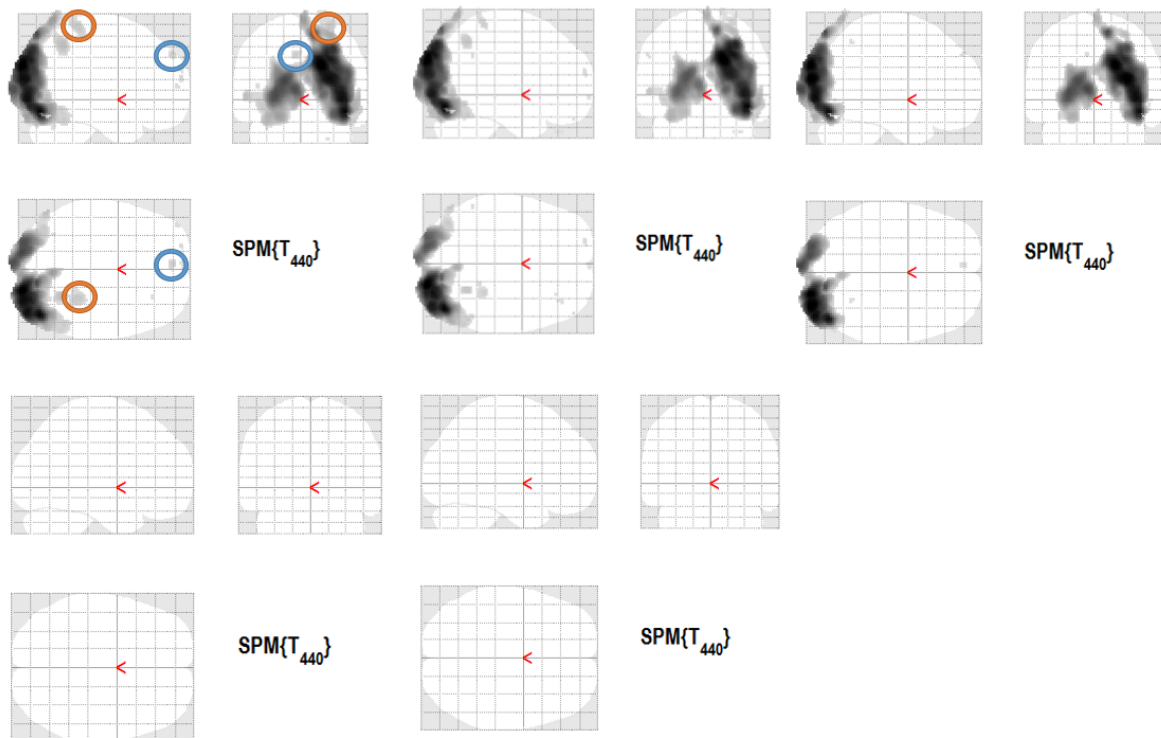


図 C.9: 3 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 知っている顔，右上:レスト - 知らない顔，

左下:知っている - 知らない，右下:知らない - 知っている

C.4 被験者 4 人目

C.4.1 顔と建物

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は建物を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は顔の反応から建物の反応を引いた差，中央下は建物の反応から顔の反応を引いた差である。

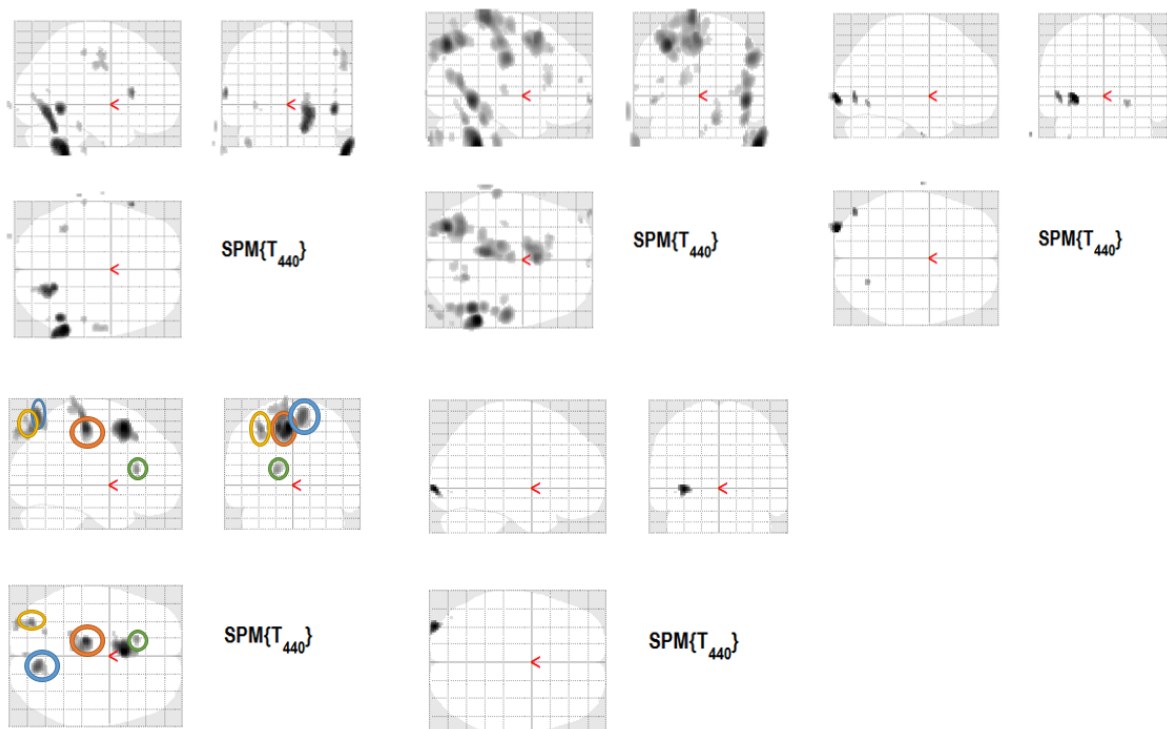


図 C.10: 4 人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 顔，右上:レスト - 建物，左下:顔 - 建物，右下:
建物 - 顔

C.4 被験者 4 人目

C.4.2 男性の顔と女性の顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は男性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は女性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は男性の顔の反応から女性の顔の反応を引いた差、中央下は女性の顔の反応から男性の顔の反応を引いた差である。

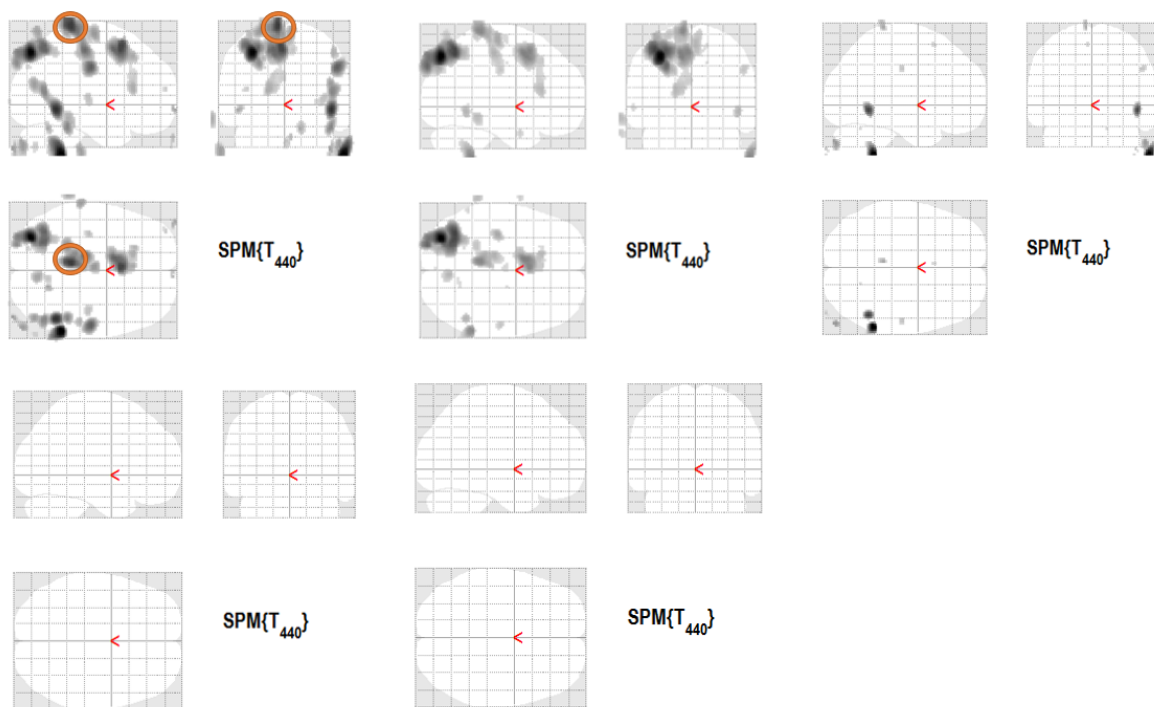


図 C.11: 4 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 男性の顔, 右上:レスト - 女性の顔, 左下:男性 - 女性, 右下:女性 - 男性

C.4 被験者 4 人目

C.4.3 知っている顔と知らない顔

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は知っている顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は知らない顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は知っている顔の反応から知らない顔の反応を引いた差，中央下は知らない顔の反応から知っている顔の反応を引いた差である。

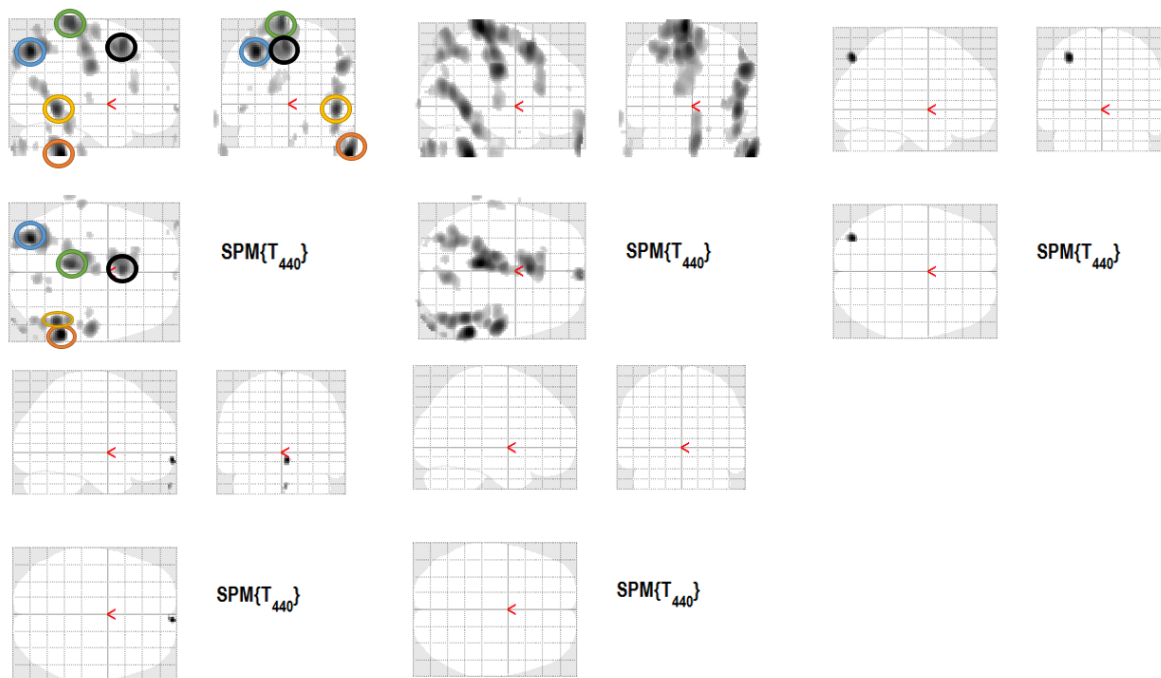


図 C.12: 4 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 知っている顔，右上:レスト - 知らない顔，
左下:知っている - 知らない，右下:知らない - 知っている

C.5 被験者 5 人目

C.5.1 顔と建物

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は建物を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は顔の反応から建物の反応を引いた差，中央下は建物の反応から顔の反応を引いた差である。

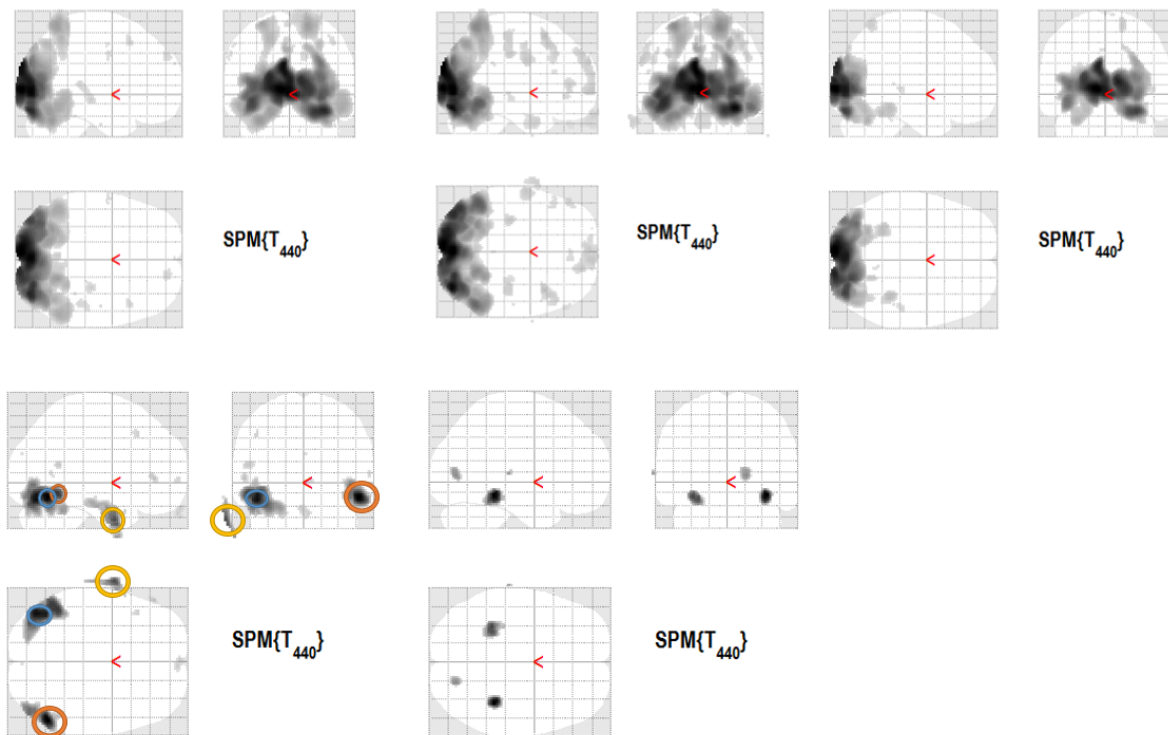


図 C.13: 5 人目の被験者の顔と建物の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 顔，右上:レスト - 建物，左下:顔 - 建物，右下:
建物 - 顔

C.5 被験者 5 人目

C.5.2 男性の顔と女性の顔

右上はコントラストを全て立てていた場合、中央上は男性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、左上は女性の顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合、右下は男性の顔の反応から女性の顔の反応を引いた差、中央下は女性の顔の反応から男性の顔の反応を引いた差である。

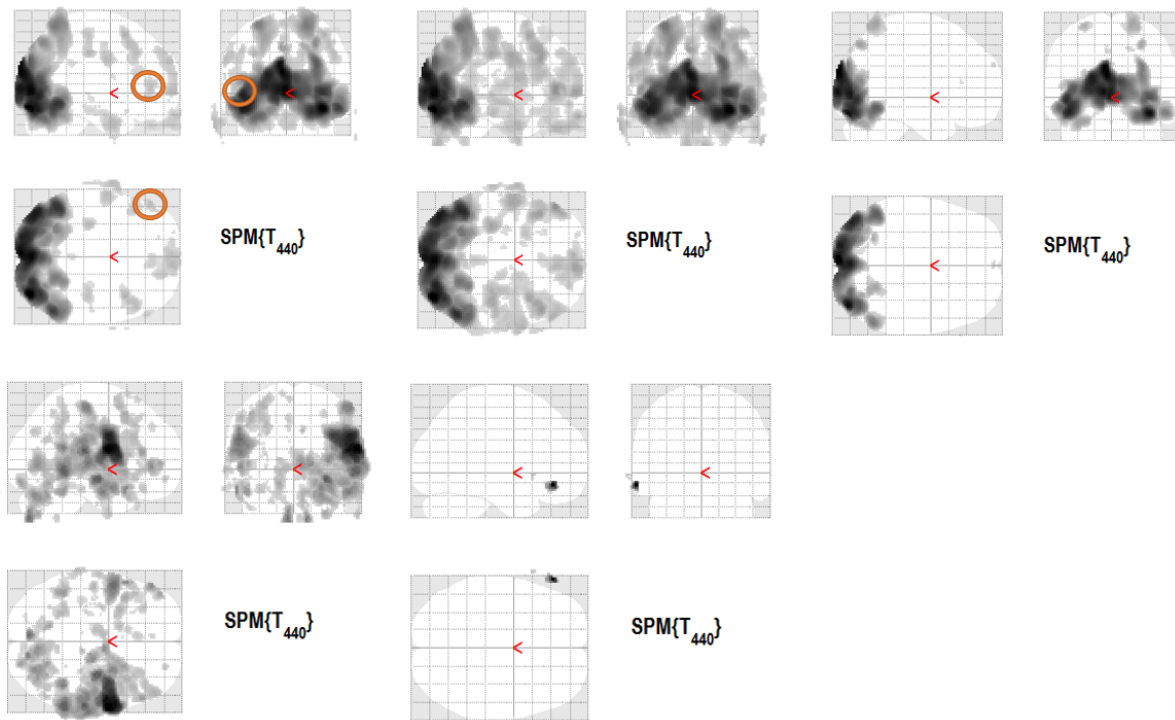


図 C.14: 5 人目の被験者の女性の顔と男性の顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激, 中央上:レスト - 男性の顔, 右上:レスト - 女性の顔, 左下:男性 - 女性, 右下:女性 - 男性

C.5 被験者 5 人目

C.5.3 知っている顔と知らない顔

右上はコントラストを全て立てていた場合，中央上は知っている顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，左上は知らない顔を見ていたときのコントラストのみを立てていた場合，右下は知っている顔の反応から知らない顔の反応を引いた差，中央下は知らない顔の反応から知っている顔の反応を引いた差である。

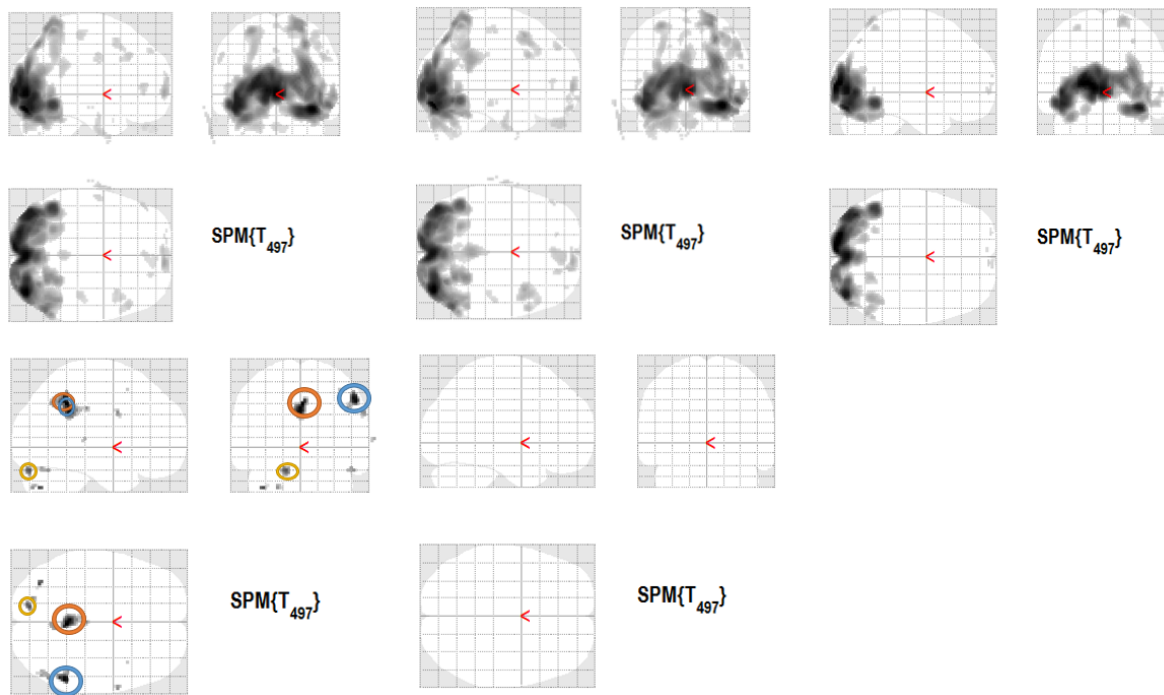


図 C.15: 5 人目の被験者の知っている顔と知らない顔の脳反応の比較

左上:レスト - 全刺激，中央上:レスト - 知っている顔，右上:レスト - 知らない顔，
左下:知っている - 知らない，右下:知らない - 知っている

付録 D

BDTB デコーディングの詳細結果

本項では、各刺激に対して被験者が正確に判断できていたかの表を記す。正しく識別できていた場合は○、誤って識別してた場合は×を記す。また、結果より刺激画像の見直しが必要であるとする。

D.0.4 顔と建物

表 D.1: 1 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	男	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 2 人目	○	○	○	○	○	×
被験者 3 人目	○	○	○	○	○	×
被験者 4 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	○	×

表 D.2: 2 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男
被験者 1 人目	○	○	○	×	○	○
被験者 2 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 3 人目	○	○	○	×	○	○
被験者 4 人目	○	○	○	×	×	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	○	○

表 D.3: 3 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	女	男	学内 (男)	建物	学内 (女)
被験者 1 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 2 人目	×	○	○	○	○	○
被験者 3 人目	○	×	○	○	○	○
被験者 4 人目	×	○	○	○	×	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	○	○

表 D.4: 4 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男	女
被験者 1 人目	○	○	○	×	○	○
被験者 2 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 3 人目	○	○	×	○	○	○
被験者 4 人目	○	○	○	×	○	○
被験者 5 人目	○	○	×	○	○	○

表 D.5: 5 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	女	学内 (女)	男	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	○	×	×
被験者 2 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 3 人目	○	○	×	○	○	○
被験者 4 人目	○	○	○	×	○	○
被験者 5 人目	○	○	×	○	○	○

表 D.6: 6 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	建物	建物	男	女	学内 (男)
被験者 1 人目	○	○	×	○	○	○
被験者 2 人目	○	○	×	○	○	○
被験者 3 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 4 人目	○	○	×	○	○	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	×	○

表 D.7: 7 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	男	建物	女	建物	学内 (男)
被験者 1 人目	○	○	○	×	×	○
被験者 2 人目	○	○	○	○	○	○
被験者 3 人目	×	○	×	○	○	○
被験者 4 人目	○	○	×	○	×	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	○	○

表 D.8: 8 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	建物	男	女	学内 (男)	学内 (女)
被験者 1 人目	×	×	×	○	○	○
被験者 2 人目	×	○	×	○	○	×
被験者 3 人目	×	×	○	○	○	○
被験者 4 人目	×	×	○	○	○	○
被験者 5 人目	○	○	○	○	○	○

D.0.5 男性の顔と女性の顔

表 D.9: 1 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	男	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 2 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 3 人目	○	○	×	○	-	-
被験者 4 人目	○	○	×	○	-	-
被験者 5 人目	×	○	×	×	-	-

表 D.10: 2 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男
被験者 1 人目	○	○	×	-	-	○
被験者 2 人目	○	○	○	-	-	○
被験者 3 人目	○	○	○	-	-	○
被験者 4 人目	○	×	○	-	-	○
被験者 5 人目	○	○	○	-	-	×

表 D.11: 3 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	女	男	学内 (男)	建物	学内 (女)
被験者 1 人目	-	○	×	○	-	○
被験者 2 人目	-	×	○	×	-	○
被験者 3 人目	-	○	×	○	-	○
被験者 4 人目	-	×	○	○	-	○
被験者 5 人目	-	○	○	○	-	○

表 D.12: 4 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男	女
被験者 1 人目	○	○	-	-	×	×
被験者 2 人目	○	○	-	-	○	×
被験者 3 人目	○	○	-	-	×	○
被験者 4 人目	○	×	-	-	○	×
被験者 5 人目	○	×	-	-	○	○

表 D.13: 5 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	女	学内 (女)	男	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 2 人目	×	○	○	○	-	-
被験者 3 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 4 人目	○	○	×	×	-	-
被験者 5 人目	○	○	○	○	-	-

表 D.14: 6 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	建物	建物	男	女	学内 (男)
被験者 1 人目	○	-	-	○	×	○
被験者 2 人目	○	-	-	○	○	○
被験者 3 人目	○	-	-	○	○	○
被験者 4 人目	○	-	-	○	○	○
被験者 5 人目	○	-	-	×	○	○

表 D.15: 7 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	男	建物	女	建物	学内 (男)
被験者 1 人目	○	×	-	○	-	○
被験者 2 人目	×	○	-	○	-	○
被験者 3 人目	○	○	-	×	-	○
被験者 4 人目	×	○	-	○	-	○
被験者 5 人目	○	×	-	○	-	×

表 D.16: 8 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	建物	男	女	学内 (男)	学内 (女)
被験者 1 人目	-	-	○	○	○	○
被験者 2 人目	-	-	×	○	○	○
被験者 3 人目	-	-	○	○	○	○
被験者 4 人目	-	-	×	×	○	○
被験者 5 人目	-	-	○	×	○	×

D.0.6 知っている顔と知らない顔

表 D.17: 1 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	男	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	×	-	-
被験者 2 人目	○	○	×	○	-	-
被験者 3 人目	○	×	×	×	-	-
被験者 4 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 5 人目	○	○	○	×	-	-

表 D.18: 2 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	女	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男
被験者 1 人目	○	○	×	-	-	×
被験者 2 人目	○	○	×	-	-	○
被験者 3 人目	○	○	○	-	-	○
被験者 4 人目	○	○	○	-	-	○
被験者 5 人目	○	○	○	-	-	○

表 D.19: 3 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	女	男	学内 (男)	建物	学内 (女)
被験者 1 人目	-	○	○	○	-	○
被験者 2 人目	-	○	○	○	-	○
被験者 3 人目	-	×	×	○	-	○
被験者 4 人目	-	○	○	○	-	○
被験者 5 人目	-	○	×	○	-	×

表 D.20: 4 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	学内 (女)	建物	建物	男	女
被験者 1 人目	○	○	-	-	○	○
被験者 2 人目	×	×	-	-	○	○
被験者 3 人目	×	×	-	-	×	×
被験者 4 人目	×	○	-	-	○	○
被験者 5 人目	○	×	-	-	○	×

表 D.21: 5 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (男)	女	学内 (女)	男	建物	建物
被験者 1 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 2 人目	×	○	○	×	-	-
被験者 3 人目	○	×	×	○	-	-
被験者 4 人目	○	○	○	○	-	-
被験者 5 人目	○	○	○	○	-	-

表 D.22: 6 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	建物	建物	男	女	学内 (男)
被験者 1 人目	○	-	-	○	○	○
被験者 2 人目	○	-	-	×	○	○
被験者 3 人目	×	-	-	○	○	×
被験者 4 人目	○	-	-	○	○	○
被験者 5 人目	×	-	-	○	○	×

表 D.23: 7 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	学内 (女)	男	建物	女	建物	学内 (男)
被験者 1 人目	○	○	-	○	-	×
被験者 2 人目	○	○	-	○	-	○
被験者 3 人目	×	○	-	×	-	×
被験者 4 人目	○	○	-	○	-	○
被験者 5 人目	○	○	-	×	-	○

表 D.24: 8 試行目の識別

呈示枚数	1 枚目	2 枚目	3 枚目	4 枚目	5 枚目	6 枚目
試行内容	建物	建物	男	女	学内 (男)	学内 (女)
被験者 1 人目	-	-	○	○	×	○
被験者 2 人目	-	-	×	○	○	○
被験者 3 人目	-	-	×	×	○	×
被験者 4 人目	-	-	○	×	○	×
被験者 5 人目	-	-	○	○	×	○