

平成 25 年度
学士学位論文

fMRI による画像から誘起される 感情の推定

A study of estimation of human emotion
induced by images using fMRI

1140328 小林 礼佳

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 による画像から誘起される 感情の推定

小林 礼佳

人の感性をコンピュータで処理することを目指す感性工学や、人とコンピュータとのより良いコミュニケーションを研究するヒューマンコンピュータインタラクションの分野において、人の感情の種類や強度を読み取ることは重要な課題の一つである。また近年、活発に研究されているブレインデコーディングは、fMRI などで撮像した脳活動から知覚内容の判別を機械学習を用いて行うものである。そして、感性工学では、感情の強度表現やベクトル表現が可能なことから連続モデルで扱われることが多い。そこで本研究では、非侵襲的な計測機器であり、空間分解能が高い fMRI を用いて脳活動を計測し、画像が持つ Valence(快の誘発度) と Arousal(覚醒度) という指標から感情の推定を試みる。推定は、感情は度合いを持つものとし回帰モデルを用いる。結果として、計測したデータ全体では大きな相関は確認できなかったが、Z-score の大きい計測値について回帰を行った結果では、Valence に正、負の相関があるボクセルについて回帰の当てはまりの良さを示す R^2 の被験者間平均は、それぞれ 0.42, 0.54 となり、Arousal に正、負の相関があるボクセルについて回帰の当てはまりの良さを示す R^2 の被験者間平均は、それぞれ 0.50, 0.58 となった。このことより、大きく誘起された感情については、回帰式によって推定が可能だと考える。

キーワード fMRI, 感情, 画像の知覚, 線形回帰分析

Abstract

A study of estimation of human emotion induced by images using fMRI

Ayaka KOBAYASHI

In the field of Kansei engineering and human computer interaction, it is one of the important problems to distinct and estimate human emotion. For example, if a human has different emotion from another human, computer system has to process and interact in different manner. Recently, brain decoding has been actively studied to discriminate human's perception using machine learning algorithm from the brain neural activity obtained by functional magnetic resonance imaging(fMRI), and so on. Considering applications to Kansei engineering, the distinction and amount of emotion are better to be represented by vector space model to describe variety and strength of emotion. Functional magnetic resonance imaging is a device of measuring brain neural activity, which is noninvasive with high space resolution. The purpose of this study is estimate human emotion from a human brain neural activities obtained by fMRI using linear regression model. The variety and strength of human emotion is represented by two values, valence and arousal. The result shows that there is not strong correlation in the whole data, however, in the data limited to high value of Z -score, there are correlations. The average scores between subjects of R^2 indicating the fitness of regression are 0.42 and 0.54 about positive voxel and negative voxel correlation for valence, the average scores between subjects of R^2 are 0.50 and 0.58 about positive voxel and negative voxel correlation for arousal. These results show that the strong emotion can be estimated by

strong neural activity with the score $|Z| \geq 1$. If the accuracy of the devices measuring brain neural activity increases, the estimation of smaller emotion will be possible and it can be used for applications in Kansei engineering or human computer interaction.

key words fMRI, emotion, perception of the image, linear regression

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	感情について	3
2.1	心理学における感情	3
2.2	脳活動と感情	4
第 3 章	fMRI を用いた	
	感情誘起画像呈示時の脳活動測定	6
3.1	実験目的	6
3.2	被験者	7
3.3	計測機器	7
3.4	呈示刺激画像 IAPS[10]	7
3.5	実験手続き	8
3.6	SPM8 を用いた解析	9
3.6.1	前処理	9
3.6.2	個人解析	9
3.6.3	集団解析	10
3.7	GLM による回帰分析を用いた賦活ボクセルの特定	10
3.8	線形回帰分析による感情の推定	11
第 4 章	解析結果と考察	12
4.1	集団解析	12
4.1.1	Valence	12
4.1.2	Arousal	13
4.2	回帰分析	14

目次

第 5 章	結論	19
	謝辞	20
	参考文献	21
付録 A	呈示画像	23
付録 B	解析結果	26
	B.0.1 被験者 B	26
	B.0.2 被験者 C	29
	B.0.3 被験者 D	32

図目次

2.1	立体モデル [4]	4
3.1	呈示イメージ	6
3.2	実験デザイン	9
4.1	Positive	13
4.2	Negative	13
4.3	Arousal	14
4.4	Sleepy	14
4.5	被験者 A について Valence(+)	15
4.6	Valence(+)	15
4.7	被験者 A について Valence(−)	16
4.8	Valence(−)	16
4.9	被験者 A について Arousal(+)	17
4.10	Arousal(+)	17
4.11	被験者 A について Arousal(−)	17
4.12	Arousal(−)	17
A.1	画像の分布図	23
B.1	被験者 B について Valence(+)	27
B.2	Valence(+)	27
B.3	被験者 B について Valence(−)	27
B.4	Valence(−)	27
B.5	被験者 B について Arousal(+)	28

図目次

B.6 Arousal(+) について線形回帰	28
B.7 被験者 B について Arousal(−)	29
B.8 Arousal(−) について線形回帰	29
B.9 被験者 C について Valence(+)	30
B.10 Valence(+) について線形回帰	30
B.11 被験者 C について Valence(−)	31
B.12 Valence(−) について線形回帰	31
B.13 被験者 C について Arousal(+)	31
B.14 Arousal(+) について線形回帰	31
B.15 被験者 C について Arousal(−)	32
B.16 Arousal(−) について線形回帰	32
B.17 被験者 D について Valence(+)	33
B.18 Valence(+) について線形回帰	33
B.19 被験者 D について Valence(−)	34
B.20 Valence(−) について線形回帰	34
B.21 被験者 D について Arousal(+)	35
B.22 Arousal(+) について線形回帰	35
B.23 被験者 D について Arousal(−)	35
B.24 Arousal(−) について線形回帰	35

表目次

3.1	象限ごとの平均値	8
4.1	被験者別の相関	18
4.2	被験者別の決定係数 R^2	18
A.1	第 1 象限と第 2 象限の値	24
A.2	第 3 象限と第 4 象限の値	25

第 1 章

序論

人間は、外部からの刺激により様々な感情を誘起する。視覚においても同様であり、人間が目にする画像からも様々な感情が誘起される。様々な応用分野において、感情の影響を考慮すべき場面は多く、感情についての研究に対する期待が大きい。そのメカニズムは複雑であり、心理学や神経科学において感情の研究について様々な立場のものがあ、統一的な見解を得ることは難しい。一方、感性工学やヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)、ブレインコンピュータインタフェース (BCI) などにおいて、感情についての正確な仕組みは分からなくとも、判別や推定が精度良く行えれば良いという立場がある。そうした中で、ブレインデコーディングと呼ばれる、主に知覚の判別を機械学習を用いて行う研究がある。BCI においても感情が重要な要素として注目されている [1]。それは、感情が状況評価に基づく行動選択過程の基盤であり意思決定、学習への影響などの多様な働きがあると指摘されているためである。工学のさまざまな分野においても感情の持つ働きを導入しようという試みが増えてきている。心理学では、感情のモデルとして、基本感情や 2 次元構造が提唱されている。それらは、ベクトル空間のような多次元の連続空間で感情を表すものである。このような数値モデル化された感情と、人間の生体信号や物理的な動作を関連づける情動研究では、これまで、脈拍などの自律神経反応、顔の表情や態度の表出、そして情動の状況や体験を語るという 3 つ指標に基づいて行われてきた。それに加えて今日、第 4 の指標として脳情報の解析が注目されている。

本研究では、非侵襲的な計測機器であり、空間分解能が高い fMRI を用いる。そして、計測した脳活動と画像ごとに予め定められている Valence (快の誘発度) と Arousal (覚醒度) の値について回帰分析を行い感情の推定を行う。

第2章では、心理学における感情と、感情に焦点を当てた EEG や NIRS, または fMRI を用いた脳活動の関連研究について記す。第3章では、画像から誘起される時の感情についての脳活動データを得るための fMRI を用いた被験者実験について、実験目的や被験者、計測機器のパラメータ、呈示した刺激画像について、また、手続きや解析手法について書く。第4章では、第3章で行った実験の解析結果を4条件ごとに集団解析を行った結果と被験者ごとに回帰分析を行った結果を示し、考察する。第5章で、研究全体についてまとめる。

第 2 章

感情について

2.1 心理学における感情

プルチック（Plutchik, 1980）は、1962 年に、感情の両極性と強度、それとともに、類似した感情は隣接した位置にある、という考えから、色彩の立体モデルに似た、感情の立体モデル（図 2.1）を考案した [3]。プルチックのモデルでは、下記のように、8 種類の基本感情が定義されている。

- Ecstasy
- Acceptance
- Amazement
- Terror
- Grief
- Loathing
- Vigilance
- Rage

8 種類の基本感情を、1 次感情と呼び、隣接する感情からは、両者の中間的な感情が形成される。これはちょうど色彩では混合色を生じるようなものである。さらに、両極をなしている感情同士は、相対立した両極の感情が同時に共存することは難しいとしている。これは、色彩の補色関係のようなものである。また、立体図で上部の断面に表示されている感情が最も強度が強く、下へ行くほど強度は弱まる。

2.2 脳活動と感情

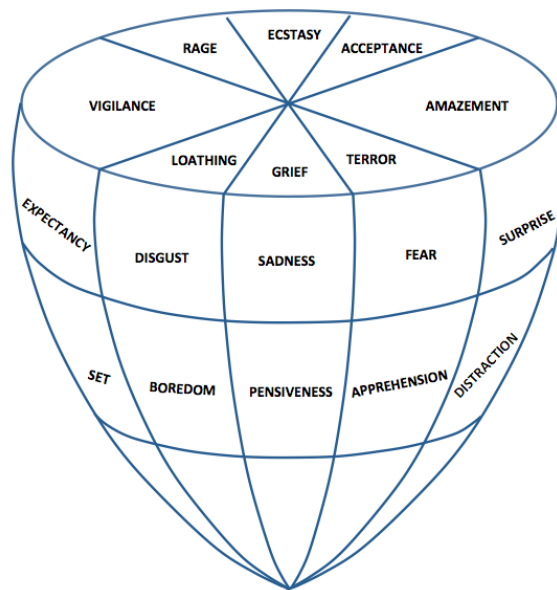


図 2.1 立体モデル [4]

ラッセル (Russell, 1980) は、次元説の立場から、「感情は離散的なものではなく、快－不快、覚醒－睡眠の二次元で構成される感情空間上に円環状に存在し、各感情の違いは感情空間上にベクトルの違いで表しうる連続的なものである」とする円環モデル (circumplex model) を提案した [2].

プルチックの立体モデルにおいて隣接する感情は混ざり合うように、あるいはラッセルの円環モデルにおいてベクトルで表現できるような連続的なものであるように、本研究では、判別モデルに当てはめた TRUE か FALSE かではなく、強度や程合いを示すことができるようなモデルを構築するため、回帰分析を用いて解析をする。

2.2 脳活動と感情

人間の感情など高次脳機能を調査するためには、非侵襲的脳機能測定法が不可欠である。佐瀬らは NIRS を用いた感情状態判別の研究 [5] で、感情を想起させるタスクによって感情状態を判別できる可能性を示唆したものの、感情を評価する場合、扁桃体や海馬なども重要な働きをしており、これらの部位についても測定すべきであるが、NIRS はその原理上、

2.2 脳活動と感情

大脳皮質（深度 2～3cm 程度）の情報のみ計測可能であるため、深部の情報を計測することは困難であり、fMRI が必要となる、としている。Nomura らの fMRI 研究 [6] においても、怒り表情の呈示による扁桃体の賦活を調べている。上記で感情を想起させるタスクや表情の呈示についての研究について述べたが、感情についての研究は、刺激に用いるものが様々であり、また独自のものを与えている場合も多く、一様に結果として比較が難しい。矢鳴らは感情表現の研究 [7] で、詩に含まれる単語から混合感情を被験者に選択させた結果、あたかも人間が言葉を連想する際にそのときの感情に左右されるのと同じような現象を見出すことができた、としている。このように感情語についても研究されているが、テキストだけでなく画像は広くデータとして取り扱われることから、本研究では、感情を誘起する画像を刺激として実験する。脳深部や脳底部には fMRI より PET が適しているが、放射線被曝を考えると、撮像回数が制限される [8]。このことより、辺縁系など感情に強く関わる部位を含め、脳活動と感情の関係を調査するためには、EEG や NIRS と比べ空間分解能が高い fMRI を用いて計測することが最良だと考える。

第 3 章

fMRI を用いた

感情誘起画像呈示時の脳活動測定

3.1 実験目的

画像から誘起される感情と、脳の活動との定量的な関係を明らかにする．そのために，被験者に感情を誘起させる画像を呈示し（図 3.1），fMRI でそのときの脳活動を撮像する．さらに，その脳活動を解析することで，有意な賦活部位と各画像から誘起される感情の関係を示す．

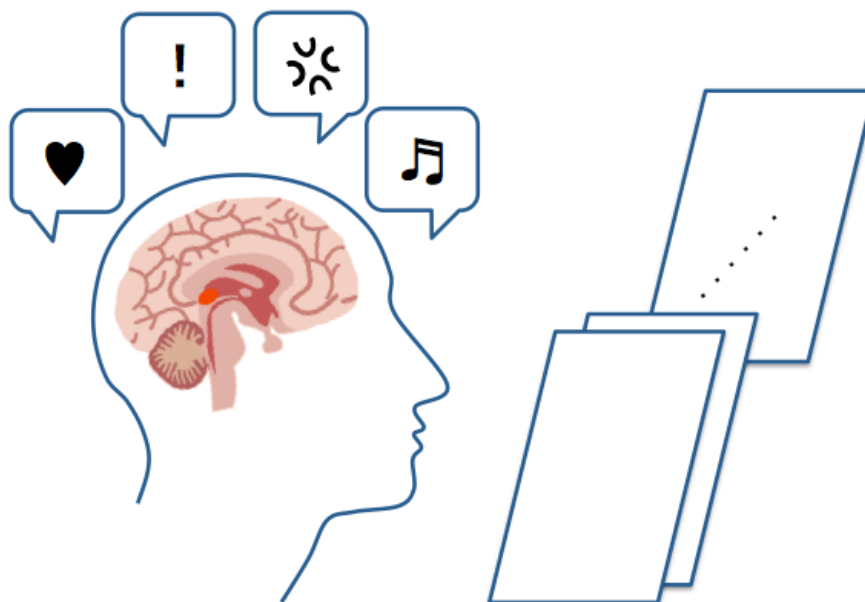


図 3.1 呈示イメージ

3.2 被験者

3.2 被験者

被験者は、心身ともに健康な 20 歳から 22 歳（平均 21 歳 ± 0.5 歳）の男子学生 4 名である。性別については、女性においても同様の手順によって調べることができるものとする。被験者は fMRI 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。また、本実験は高知工科大学倫理審査委員会 C3-2 にて承認されている。

3.3 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) を用いて実験を行った。撮像パラメータは、 64×64 matrix, 1 ボクセルあたりのサイズ $3 \times 3 \times 4.5$ mm, フリップアングル 90° , スライス枚数 35 slice, TE 50 ms, スライス厚 4.5 mm, TR 3000 ms とする。刺激呈示には Presentation[9] を使用した。

3.4 呈示刺激画像 IAPS[10]

国際感情画像システム (International Affective picture system: IAPS) は、感情を喚起するカラー写真のセットであり、感情の実験的研究において世界中で用いられている。すでに大規模な人数の人によって IAPS の各画像について、その画像から誘起される感情について評価がなされており、喚起された Valence と Arousal が 1 から 9 の 9 段階の指標で評価されている。IAPS は、欧米人を対象に評価されたものであるが、日本人に対しても同等の効果を認めるとの報告もされている [11]。そのため本研究では、この IAPS を呈示画像として採用する。各画像の Valence と Arousal の値を用いるにあたり、AllSubjects, MaleSubjects, FemaleSubjects と評価した集団によって評価値が示されている。本研究では被験者はすべて男子学生であるため、MaleSubjects の値を用いることとする。刺激画像の選択にあたり、ラッセルの円環モデルに従って、IAPS の画像セットから横軸に Valence, 縦軸に Arousal をとり、それぞれ 5 を原点とし象限ごとに 25 枚、合計 100 枚の画像を選ん

3.5 実験手続き

だ．象限ごとの画像の Valence と Arousal の平均値を表 3.1 に示す．

表 3.1 象限ごとの平均値

	Valence	Arousal
第 1 象限	7.41	6.81
第 2 象限	2.71	6.52
第 3 象限	3.51	3.42
第 4 象限	7.04	3.47

また，選択したすべての画像ナンバーとそれぞれの値，Valence と Arousal，それらの分布は付録 A に記す．第 1 象限の画像の例としては，裸の男女や，犬や猫などの動物，スキーやスカイダイビングなどのアクティビティの画像が含まれる．第 2 象限の画像の例としては，怪我をしている人間や，ヘビやクモなどの生物が多く含まれる．第 3 象限の画像の例としては，悲しい顔をした子供などが含まれる．第 4 象限の画像の例としては，スプーンなどの日用品や風景画が多く含まれる．

3.5 実験手続き

刺激内容で示した 100 枚のカラー画像を黒い背景の中心に配置し，1 ランごとに 10 枚ずつランダムに呈示し，合計 10 ラン行った（図 3.2）．ランダムに呈示したのは，被験者の刺激に対する予測や慣れを防ぐことが目的である．本研究ではブロックデザインを採用し，各画像は 15 秒間（5 スキャン分）呈示し，レスト（注視点のみの黒い背景）を 9 秒間（3 スキャン分）挟む．これを 10 回繰り返して 1 ランとする．なお，各ランの開始時は 15 秒間のレストを入れることとする．これは実験に備えるため安静にし，より実験に集中するように通常のレスト時間よりも 6 秒間（2 スキャン分）長く設定したためである．

BOLD 信号の時間的变化の特徴として，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といような変化を示す．そのような特徴もふまえ，上記

3.6 SPM8 を用いた解析

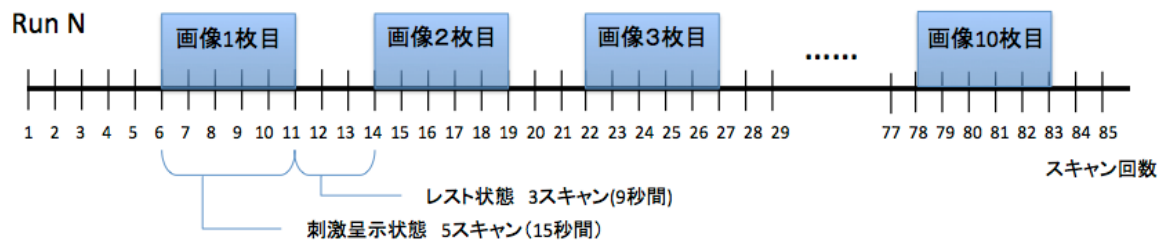


図 3.2 実験デザイン

のデザインとした。

3.6 SPM8 を用いた解析

3.6.1 前処理

解析には SPM8[12] を用いる。fMRI にて撮像した脳画像は DICOM 形式で保存されるため、SPM で処理するために NIfTI 形式に画像変換する必要がある。DICOM 形式から NIfTI 形式への変換にはフリーソフトウェア MRICron に付属している dcm2niigui[13] を利用する。解析の前処理は、Realignment（頭部の動き補正）、Normalisation（標準化）、Smoothing（フィルター処理）の順序で行う。Realignment では、すべての画像をスライスし直し、これらの画像の平均値を計算して平均画像を生成する方法を選択する。また、各ランについて、先頭 3 秒分の画像（1 ファイル）はノイズを多く含むため、この段階で除去する。Normalisation では、T1 構造画像ではなく、Realignment の際に生成される平均画像に合わせて正規化する。

3.6.2 個人解析

個人解析（individual analysis, 1st level analysis）は、個人レベルでの解析であり、前処理が完了したデータを一般線形モデル（GLM）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

3.7 GLM による回帰分析を用いた賦活ボクセルの特定

と、この総和だけでは説明できないノイズ項 ($e(t)$) との和でモデル化される。下式は、とくに変数が正規化されている場合の表現である。

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

そして、コントラスト (contrast) とよばれる条件間の比較について統計的検定を行う。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。本研究ではすべての場合において、uncorrected という脳の各ボクセルはそれぞれ独立であると仮定して行う検定法を用いる。ここでは条件を集団解析用に、第 1 象限と第 4 象限の組 (Valence の値が 5 以上) で Positive, 第 2 象限と第 3 象限の組 (Valence の値が 5 未満) で Negative, 第 1 象限と第 2 象限の組 (Arousal の値が 5 以上) で Arousal, 第 3 象限と第 4 象限の組 (Arousal の値が 5 未満) で Sleepy とし、コントラストを設定した。

3.6.3 集団解析

個人解析で作成したコントラストファイルを被験者 4 人分まとめることで、集団解析 (group analysis, 2nd level analysis) とする。集団解析を行うことで、得られた被験者の結果の一般化が期待できる。また、本研究では 1 標本の T 検定 (one sample T test) を採用する。結果を SPM で出力される賦活部位の MNI 座標から Talairach 座標に変換し、ソフトウェア Talairach Daemon[14] を用いて座標から賦活部位名を求める。

3.7 GLM による回帰分析を用いた賦活ボクセルの特定

回帰分析をするにあたり、各画像について Valence と Arousal の 2 種類の値を説明変数とする。そして、正の相関または負の相関が有意にある部位の活動を取り出す。なお、ここでは被験者ごとに回帰分析を行うこととする。各画像ごとに Valence と Arousal の値があ

3.8 線形回帰分析による感情の推定

るため、個人解析時にコントラストファイル进行分析する画像の枚数分、ここでは 100 ファイル作成する必要がある。そして、4 つの条件ごとに相関の有無について調べる。ここでいう 4 つの条件とは、

1. Valence の値と賦活レベルにおいて正の相関 (Positive に正の相関) がある
2. Valence の値と賦活レベルにおいて負の相関 (Negative に正の相関) がある
3. Arousal の値と賦活レベルにおいて正の相関 (Arousal に正の相関) がある
4. Arousal の値と賦活レベルにおいて負の相関 (Sleepy に正の相関) がある

である。有意水準は 0.001 を基準とし、見つからない場合は、0.005, 0.01 と緩めていき、有意に相関がある賦活ボクセルを特定する。

3.8 線形回帰分析による感情の推定

個人解析によって特定したボクセルに対して、すべてのデータを用いた相関を求めた結果、被験者間の各条件における平均として 0.09 から 0.28 となり、ほとんど相関を示さなかった。この要因として、Z-score が 0 に近いものは、ボクセルの信号値が平均付近のものであるが、3mm×3mm×4.5mm のボクセルには、灰白質においては数十万から数百万のニューロンが存在しており、感情や情動だけでなく様々な処理を行うニューロンも、そのボクセルには含まれており、fMRI の信号はそれらの総和を表している。また、fMRI 信号には雑音をはじめとする多くのノイズが含まれていると考えられる。つまり、顕著な活動が見られない平均的な活動を示すボクセルは、感情以外にも多くの要因によって、活動の大小が観測されており、感情のみの有意な相関を見出すことは難しい。そこで、Z-score が平均付近のものを除去し、ピアソンの相関係数を求める。そして、その相関が有意か否か p 値を求め、検定を行う。さらに回帰直線における切片と傾き、それぞれの p 値を求め、これらが推定に寄与するかを判定する。被験者 A について次章で述べ、その他の被験者 3 人の結果については付録 B に記す。

第 4 章

解析結果と考察

4.1 集団解析

BCI に向けて本実験を一般化する目的で被験者 4 人の集団解析を行った結果を, Positive, Negative, Arousal, Sleepy の 4 条件について記す.

4.1.1 Valence

Positive で最も有意 ($p < 0.001$) である賦活部位 (図 4.1) は, MNI 座標系 (40, -44, -8) で, 最も近い灰白質は, 右脳大脳辺縁系海馬傍回である. 海馬傍回 (parahippocampal gyrus) は, 帯状回 (cingulate gyrus) とともに, 脳梁, 間脳および中脳を部分的に取り囲む C 字形輪状の大脳皮質を形成している. 右側の海馬傍回の損傷と方向感覚の喪失の研究で, 方向感覚の喪失の要因の一つとして風景の失認によるものとの報告がある [15]. また, Epstein らの視覚刺激による fMRI 研究 [16] では, 室内の画像に対しても海馬傍回の明瞭な賦活が認められている. Positive 条件は, 第 1 象限と第 4 象限の組み合わせであり, 第 4 象限には自然の風景が多く含まれる. そのため, 海馬傍回の活動が有意に見受けられると考える. これらのことから, 本研究で得られている結果は先行研究に沿う結果であるといえる.

Negative で最も有意 ($p < 0.001$) である賦活部位 (図 4.2) は, MNI 座標系 (24, -24, 56) で, 最も近い灰白質は, 右脳前頭葉中心前回である. 中心前回, 四肢や眼球運動を司る部位である. Negative 条件は, 第 2 象限と第 3 象限の組み合わせであり, 第 2 象限には負傷した人間や爬虫類の画像が多く含まれ, 被験者にとって, 目を背けたいようなものだと考えられるため, 眼球運動を行う意思などが働き, 眼球運動や四肢の運動を司る脳の部

4.1 集団解析

位の賦活に表れたのだと考える。

Valence の値において，Positive（図 4.1）と，Negative（図 4.2），どちらにおいても右側に賦活部位が集中している．また，2 条件を比較すると Negative の方が賦活部位が多い．さらに，Positive の賦活部位は Negative の賦活部位に包括されるような結果となっている．

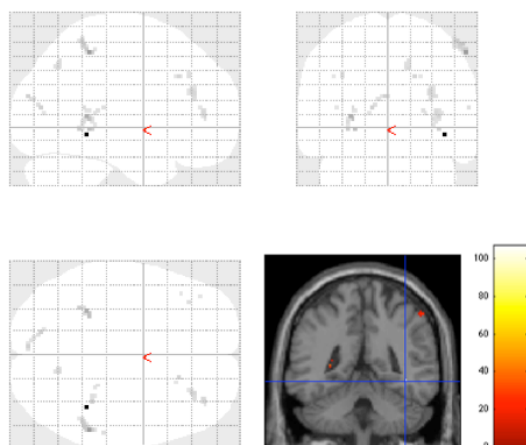


図 4.1 Positive

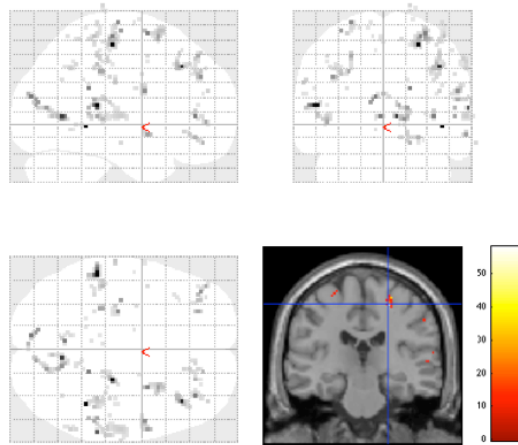


図 4.2 Negative

4.1.2 Arousal

Arousal で最も有意 ($p < 0.001$) である賦活部位（図 4.3）は，MNI 座標系（-6, -86, 16）で，最も近い灰白質は，左脳後頭葉楔部である．楔部は，視覚から受ける情報を処理するほか，最近の研究で，躁鬱病患者における抑制制御との関連を調べる研究において，注意を向ける課題の成績とこの部位との関連が報告されている [17]．本実験の結果においては，覚醒度の高い画像であるから被験者の注意を惹き，有意な賦活がみられたと考えられる．次いで，有意な賦活部位は，MNI 座標系（16, -66, 2）で，最も近い灰白質は，右脳大脳辺縁系後帯状皮質である．後帯状皮質は，辺縁皮質の重要な一部であり，情動と深く関係している部位であると言われている．Sleepy で有意 ($p < 0.001$) である賦活部位（図 4.4）は，MNI 座標系（64, -14, -20）で，最も近い灰白質は，右脳側頭葉下側頭回である．下側頭回は，

4.2 回帰分析

人の体や顔を含む物体の知覚に関わっている [18]. しかし, どの条件下においても, 人の体や顔を含む画像を呈示しており, 考えられることとしては, 覚醒度の高い画像に関しては, 人の体や顔というよりも状況やシチュエーションに意識がいくため, 覚醒度の低いこの条件では物体の形などの反応が特に観測されたと考える. Arousal の値において, Arousal (図 4.3) と, Sleepy (図 4.4) を比べると, Arousal 条件では脳の内側, Sleepy 条件では脳の外側により有意な賦活が確認できる.

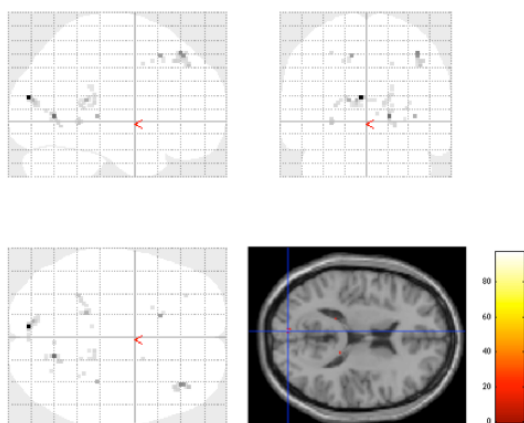


図 4.3 Arousal

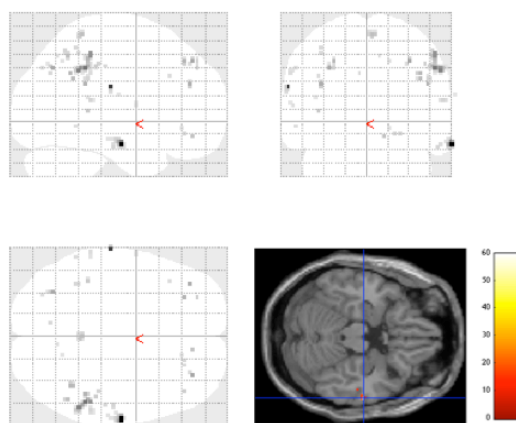


図 4.4 Sleepy

4.2 回帰分析

Valence と正の相関 (Positive に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活ボクセルは図 4.5 の通り MNI 座標系 (4, 10, 16) の 1 カ所である. $-1.3 \leq Z \leq 1.3$ の 0 付近のデータについては除き, 回帰式を求めると, 相関係数は 0.63 となった. p 値は 0.03759 となり, 有意水準 0.05 より小さいため, 有意な相関があるといえる. 図 4.6 は, 横軸に説明変数 Z -score, 縦軸に目的変数 Valence をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (4, 10, 16) の賦活レベル (Z -score) と Valence について, グレーで示した部分に含まれる実測値を除き, 線形回帰を試みた結果, 切片 5.4981 ($7.34e^{-06}$), 傾き 0.7980 (0.0376) が得られた. () 内は p 値である. 当ては

4.2 回帰分析

まりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.3974$ であり，検定統計量 $F = 5.936$ ，自由度 9 から， $F = 5.936 \geq F_{(1,9)}(0.05) = 5.117$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

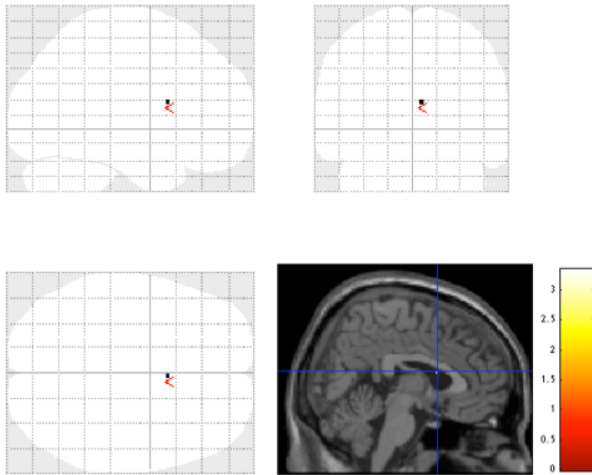


図 4.5 被験者 A について Valence(+)

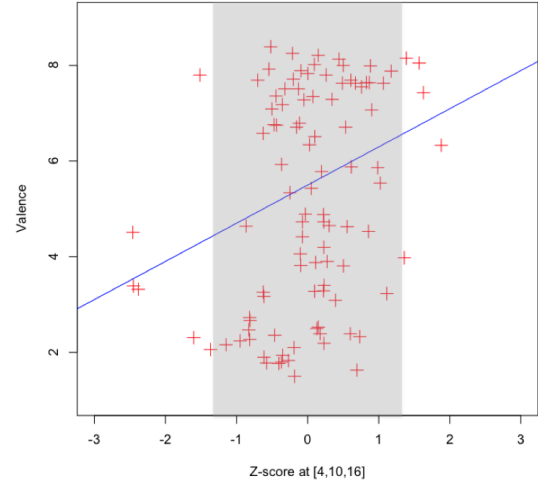


図 4.6 Valence(+) について線形回帰

Valence と負の相関（Negative に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活ボクセルは図 4.7 の通り MNI 座標系（24, 20, -22）をはじめとして，複数の箇所がある． $-1 \leq Z \leq 1$ の 0 付近のデータについては除き，回帰式を求めると，相関係数は-0.63 となった． p 値は 0.007131 となり，有意水準 0.05 より小さいため，有意な相関があるといえる．図 4.8 は，横軸に説明変数 Z-score，縦軸に目的変数 Valence の値をとったものであり，十字に示した赤い点は実測値，青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI 座標系（24, 20, -22）の賦活レベル（Z-score）と Valence について，グレーで示した部分に含まれる実測値を除き，線形回帰を試みた結果，切片 5.2144 ($8.06e^{-09}$)，傾き -0.9917 (0.00713) が得られた．（）内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.3924$ であり，検定統計量 $F = 9.688$ ，自由度 15 から， $F = 9.688 \geq F_{(1,15)}(0.01) = 8.683$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

Arousal と正の相関（Arousal に正の相関）が有意（ $p < 0.005$ ）にある賦活部位は図 4.9 の通り MNI 座標系（-12, 66, 24）一カ所である． $-2.5 \leq Z \leq 2.5$ の 0 付近のデータについては除き，回帰式を求めると，相関係数は 0.66 となった． p 値は 0.00803 となり，有意水

4.2 回帰分析

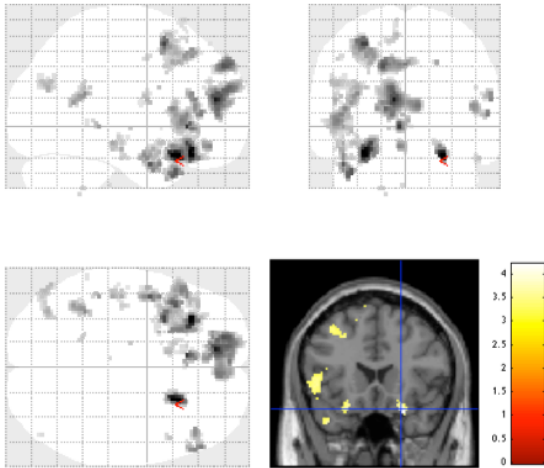


図 4.7 被験者 A について Valence(-)

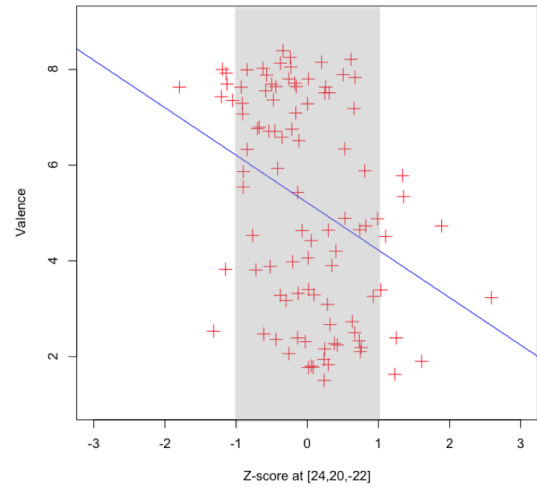


図 4.8 Valence(-) について線形回帰

準 0.05 より小さいため、有意な相関があるといえる。図 4.10 は、横軸に説明変数 Z -score, 縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり、十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である。MNI 座標系 (-12, 66, 24) の賦活レベル (Z -score) と Arousal について、グレーで示した部分に含まれる実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 4.79494 ($1.11e^{-08}$), 傾き 0.25 (0.00803) が得られた。() 内は p 値である。当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.4292$ であり、検定統計量 $F = 9.773$, 自由度 13 から、 $F = 9.773 \geq F_{(1,13)}(0.01) = 9.074$ となり、求めた回帰直線は予測に役に立つといえる。

Arousal と負の相関 (Sleepy に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活部位は図 4.11 の通り MNI 座標系 (-16, 22, 36) をはじめとして、複数の箇所がある。 $-0.5 \leq Z \leq 0.5$ の 0 付近のデータについては除き、相関関係を見たのち、回帰式を求めると、相関係数は -0.66 となった。 p 値は 0.01841 となり、有意水準 0.05 より小さいため、有意な相関があるといえる。図 4.12 は、横軸に説明変数 Z -score, 縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり、十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である。MNI 座標系 (-16, 22, 36) の賦活レベル (Z -score) と Arousal について、グレーで示した部分に含まれる実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 5.0874 ($6.38e^{-07}$), 傾き -2.0528 (0.0184) が得られた。() 内は p 値である。当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.4416$ で

4.2 回帰分析

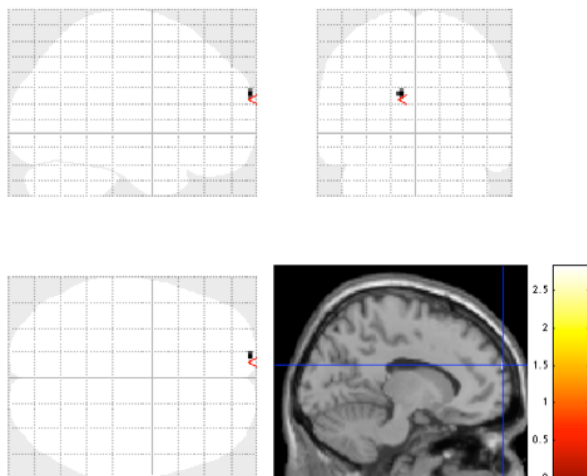


図 4.9 被験者 A について Arousal(+)

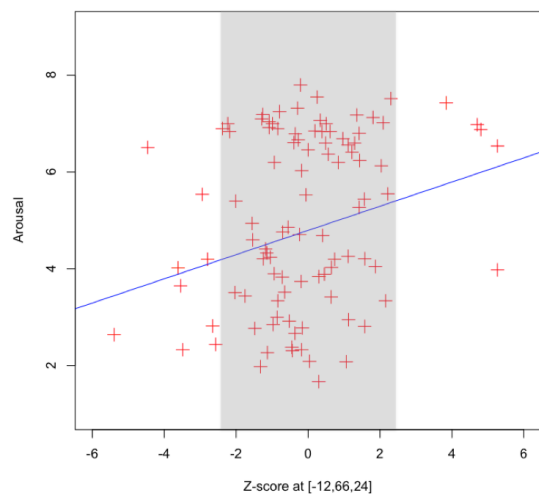


図 4.10 Arousal(+) について線形回帰

あり，検定統計量 $F = 7.907$ ，自由度 10 から， $F = 7.907 \geq F_{(1,10)}(0.025) = 6.937$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

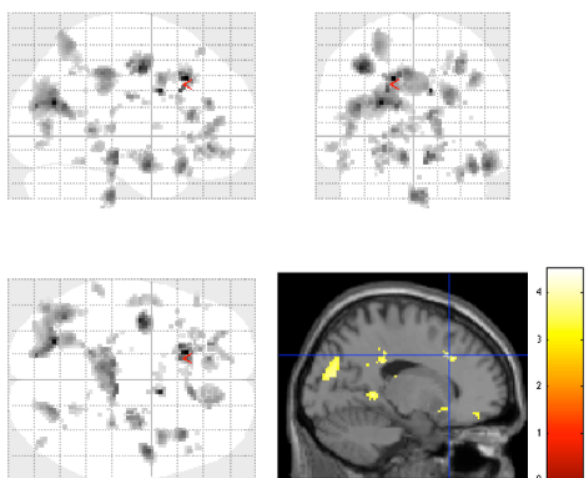


図 4.11 被験者 A について Arousal(-)

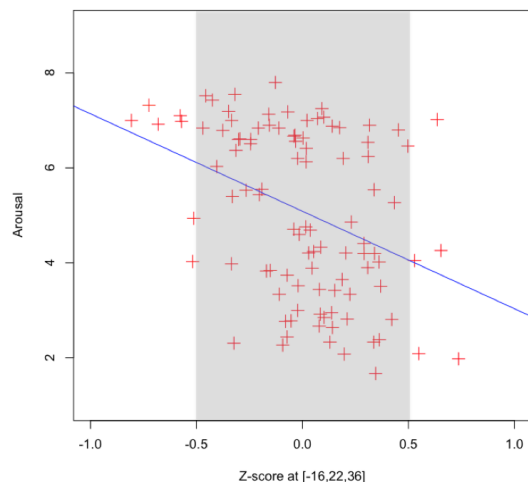


図 4.12 Arousal(-) について線形回帰

被験者別の相関は表 4.1 の通りである．被験者 B の Valence について正負の両方の条件において有意な相関があるとはいえなかった．その場合を除くと，どれも相関 r の絶対値が 0.6 以上となり，検定の結果からも相関があるといえる．

被験者別の決定係数 R^2 の値は表 4.2 の通りである．平均値として，Valence に正の相関

4.2 回帰分析

表 4.1 被験者別の相関

	Valence(+)	Valence(-)	Arousal(+)	Arousal(-)
被験者 A	0.63	-0.63	0.66	-0.66
被験者 B	0.36	-0.39	0.72	-0.64
被験者 C	0.6	-0.88	0.74	-0.76
被験者 D	0.7	-0.67	0.66	-0.75

がある条件について 0.4176, Valence に負の相関がある条件について 0.5406, Arousal に正の相関がある条件について 0.4956, Arousal に負の相関がある条件について 0.5768 との結果になった.

表 4.2 被験者別の決定係数 R^2

	Valence(+)	Valence(-)	Arousal(+)	Arousal(-)
被験者 A	0.3974	0.3924	0.4292	0.4416
被験者 B	N/A	N/A	0.5212	0.414
被験者 C	0.3628	0.7827	0.55	0.5765
被験者 D	0.4925	0.4468	0.4821	0.875

Z -score が大きいもののみで回帰式を求めることで、相関がより大きく、また回帰直線の当てはまりも良くなり、大きく誘起された感情については推定が可能だと考える。また、今回 Z -score が 0 付近のデータについては除いたが、計測ノイズや外部の影響から受ける脳活動の変化を小さくできれば、データ全体での推定も可能だと考える。

第 5 章

結論

本研究では、感情を誘起させる画像を呈示し、その脳活動を fMRI で撮像し、各画像が持つ値と回帰分析をした。回帰式を求めることで、賦活レベルから画像が持つ値を予測し、感情の推定を行った。Z-score の絶対値が 0 付近のものを除くことで、大きく誘起された感情のみを用いることができ、線形回帰モデルを構築した。結果から、大きく誘起された感情については推定の可能性を示せた考える。Z-score が 0 に近いデータに関しても、計測ノイズや外部の影響から受ける脳活動の変化を小さくできれば、より細かい感情の推定や精度を向上させることが可能と考える。感情を推定することは、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。例えば、画像検索に感性情報を付与することで精度の向上や検索の多様化が見込める。また、Web 上のテキストだけではなく、画像から感情を推定できる精度の高まれば、商品のパッケージからのマーケティングやコミュニケーションツールでの感情表現の自動化の可能性がひらける。

謝辞

本研究を進めるにあたり、丁寧なご指導下さった高知工科大学情報学群 吉田真一准教授に心から感謝いたします。吉田准教授には、研究の内容だけではなく、アサーションなど多くのことを学ばせて頂きました。また、本研究の副査をお受けいただいた高知工科大学情報学群 篠森敬三教授、繁桝博昭教授に的確なご指南を頂きましたことで、より研究を深いものとすることができました。深く感謝を申し上げます。さらに、高知工科大学 岡田守名誉教授には、研究室選択においてご相談に乗ってくださいました。深く感謝いたします。そして、同研究室の小池氏、藤森氏、岩切氏、上村氏、中井氏、中村氏、松尾氏とは、多くの時間を共にしたことで、研究内容だけでなく、たくさんのお話を学ばせていただきました。これから、それぞれの道で納得いく選択をされることを祈っています。また、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いただいた被験者の方々へ感謝いたします。最後となりますが、4年前の意思を尊重いただき、遠くはなれた高知の地で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、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] 森純一郎, 土肥浩, 石塚満, “ユーザ感情に基づくエージェントの感性的インタラクション,” 情報処理学会研究報告 ICS 知能と複雑系, 105, pp. 61-66, 2002.
- [2] 鈴木直人, 朝倉心理学講座 10 感情心理学, 朝倉書店, 2007.
- [3] 福井康之, 感情の心理学 自分とひととの関係性を知る手がかり, 川島書店, 1991.
- [4] Robert Plutchik, THE EMOTIONS, University Press of America.
- [5] 佐瀬巧, 近藤竹雄, 中川匡弘, “脳血流と脳波の局所的同時計測による感情状態判別の試み (BCI/BMI とその周辺, 一般),” 電子情報通信学会技術研究報告 MBE ,ME とバイオサイバネティックス, 110(294), pp. 57-62, 2010.
- [6] Michio Nomura, Hideki Ohira, Kaoruko Haneda, Tetsuya Iidaka, Norihiro Sadato, Tomohisa Okada, Yoshiharu Yonekura, “Functional association of the amygdala and ventral prefrontal cortex during cognitive evaluation of facial expressions primed by masked angry faces: an event-related fMRI study,” *Neuroimage*, 21(1), pp. 352-363, 2004.
- [7] 矢鳴虎夫, 白濱成希, “動的感情イメージコードと主観観測モデル理論に基づいた感情表現,” バイオメディカル・ファジィ・システム学会, 5, pp. 123-132, 1993.
- [8] 田代学, 鹿野理子, 福土審, 谷内一彦, “ヒトの情動メカニズムにせまる脳イメージング研究の進歩,” 日本薬理学雑誌, 125(2), pp. 88-96, 2005.
- [9] Presentation, neurobehavioralsystems, <http://www.neurobs.com/>
- [10] Lang, Peter J., Margaret M. Bradley, Bruce N. Cuthbert, “International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings,” 1999.
- [11] 本多麻子, “快・不快感情の精神生理学,” 早稲田大学, 博士 (人間科学) 学位論文, 2002.
- [12] Statistical Parametric Mapping, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>
- [13] dcm2nii DICOM to NIfTI conversion, <http://www.mccauslandcenter.sc.edu/micro/>

参考文献

mricron/dcm2nii.html

- [14] Talairach Daemon, Research Imaging Institute of the University of Texas Health Science Center San Antonio, <http://www.talairach.org/index.html>
- [15] Michel Habib, Angela Sirigu, “Pure topographical disorientation: a definition and anatomical basis,” *Cortex*, 23(1), pp. 73-85, 1987.
- [16] Russell Epstein, Nancy Kanwisher, “A cortical representation of the local visual environment,” *Nature*, 392(6676), pp. 598-601, 1998.
- [17] Morgan Haldane, Giles Cunningham, ChrisAndroutsos, SophiaFrangou, “Structural brain correlates of response inhibition in Bipolar Disorder I,” *Journal of Psychopharmacology*, 22(2), pp. 138-143, 2008.
- [18] Neil R. Carlson, 泰羅雅登訳, 中村克樹訳, 第4版カールソン神経科学テキスト脳と行動, 丸善出版株式会社, 2013.

付録 A

呈示画像



図 A.1 画像の分布図

表 A.1 第1象限と第2象限の値

第1象限			第2象限		
Slide No.	Valence	Arousal	Slide No.	Valence	Arousal
1710	8.02	5.53	1050	3.9	6.84
1726	5.34	6.13	1120	4.73	6.6
2030	7.51	6.24	1220	3.88	5.4
4085	8	7.55	1300	4.06	6.9
4090	7.64	7.18	1931	4.51	6.88
4180	8.21	7.43	2730	3.4	6.6
4210	8.25	7.8	3015	1.83	5.54
4232	7.88	7.52	3053	1.5	6.2
4250	8.39	7.02	3064	1.78	5.44
4607	7.99	7.19	3071	2.06	6.61
4608	7.55	6.84	3080	1.63	6.84
4652	7.92	7.25	3120	1.8	6.2
4660	7.63	6.92	3130	1.9	6.56
4681	7.09	7.13	3168	1.94	5.55
4698	6.71	7	3170	1.77	6.79
5825	8.05	5.27	3400	2.67	6.67
5833	8.15	6.37	3500	2.5	6.8
7650	5.86	6.03	3530	2.1	6.85
8030	7.29	7.32	6230	2.73	7.1
8160	5.54	6.9	6350	2.39	7.04
8190	8.13	6.41	6540	2.53	6.51
8192	5.88	6.46	6550	3.39	6.98
8400	7.43	7	6563	2.19	7
8492	7.36	7.07	8485	3.23	6.63
8499	7.51	6.69	9908	3.28	6.54

表 A.2 第3象限と第4象限の値

第3象限			第4象限		
Slide No.	Valence	Arousal	Slide No.	Valence	Arousal
2039	3.81	3.44	1441	7.71	3.84
2095	2.16	4.69	1460	7.8	4.2
2110	3.98	4.03	1610	7.28	2.82
2190	4.73	2.27	1670	6.51	2.95
2200	4.64	2.33	1750	7.89	4.21
2205	2.24	4.41	1920	7.83	4.21
2455	3.32	4.26	2000	5.93	2.92
2456	3.17	3.51	2035	7.07	3.34
2630	4.88	2.38	2036	5.78	2.81
2800	2.31	4.94	2040	7.63	4.33
3301	2.33	4.71	2050	7.8	4.05
4500	4.53	2.33	2070	7.69	4.02
4550	3.26	3.34	2170	7.35	3.9
4561	3.82	2.64	2274	6.79	3.65
7004	4.89	2.09	2260	7.63	3.74
7006	4.65	2.08	2332	7.18	4.2
7031	4.2	1.67	2370	6.71	2.85
7217	4.63	2.31	2501	6.33	2.67
9185	2.36	4.6	5000	6.58	2.44
9220	2.27	3.83	5010	6.75	2.78
9260	4.42	3	5210	7.64	4.24
9291	3.29	3.52	5760	7.69	2.77
9331	3.09	3.42	7080	5.43	1.98
9340	2.39	4.76	7489	6.34	3.98
9421	2.47	4.86	8497	6.76	3.89

付録 B

解析結果

B.0.1 被験者 B

Valence と正の相関 (Positive に正の相関) が有意 ($p < 0.005$) にある賦活ボクセルは図 B.1 の通り MNI 座標系 (-44, -4, 62) の 1 カ所である. $-1 \leq Z \leq 1.2$ の 0 付近のデータについては除き, 回帰式を求めると, 相関係数は 0.36 となった. p 値は 0.2108 となり, 有意水準 0.05 より大きいため, 有意な相関があるとはいえない. しかし, データ全体における p 値は, 0.0061 となり有意な相関があるといえる.

図 B.2 は, 横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Valence をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (-44, -4, 62) の賦活レベル (Z-score) と Valence について, 0 付近の実測値を除き, 線形回帰を試みた結果, 切片 5.351 ($1.3e^{-06}$), 傾き 0.5078 (0.211) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.1271$ であり, 検定統計量 $F = 1.748$, 自由度 12 から, $F = 1.748 \geq F_{(1,12)}(0.05) = 4.75$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つとはいえない.

Valence と負の相関 (Negative に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活ボクセルは図 B.3 の通り MNI 座標系 (20, 32, 66) の 1 カ所である. $-0.96 \leq Z \leq 0.97$ の 0 付近のデータについては除き, 回帰式を求めると, 相関係数は -0.39 となった. p 値は 0.2294 となり, 有意水準 0.05 より大きいため, 有意な相関があるとはいえない.

図 B.4 は, 横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Valence の値をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系

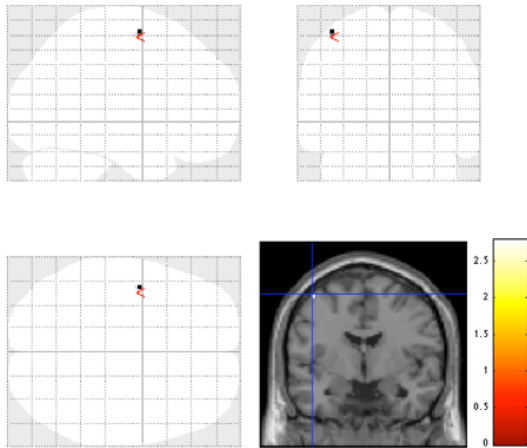


図 B.1 被験者 B について Valence(+)

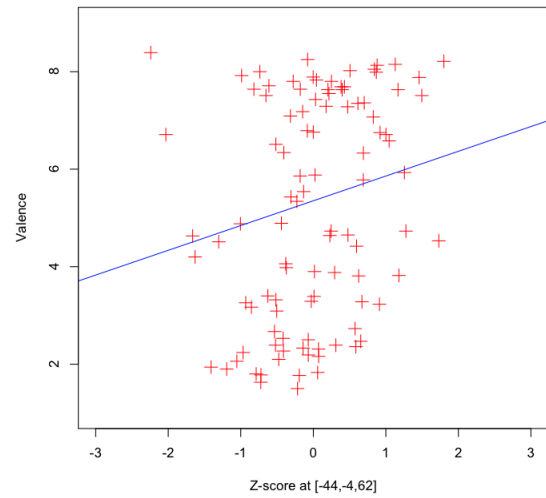


図 B.2 Valence(+) について線形回帰

(20, 32, 66) の賦活レベル (Z-score) と Valence について、0 付近の実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 5.25 ($6.32e^{-05}$), 傾き -0.8142 (0.229) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.1559$ であり, 検定統計量 $F = 1.663$, 自由度 9 から, $F = 1.663 \geq F_{(1,9)}(0.05) = 5.12$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つとはいえない.

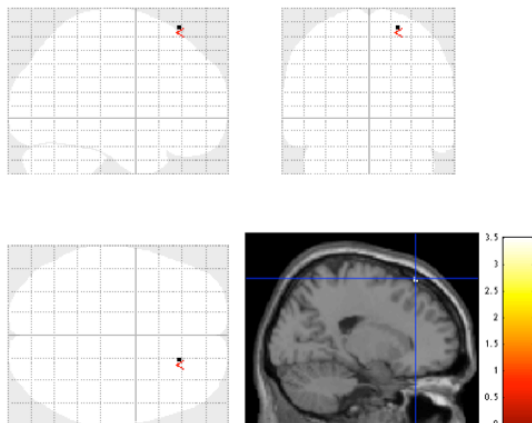


図 B.3 被験者 B について Valence(-)

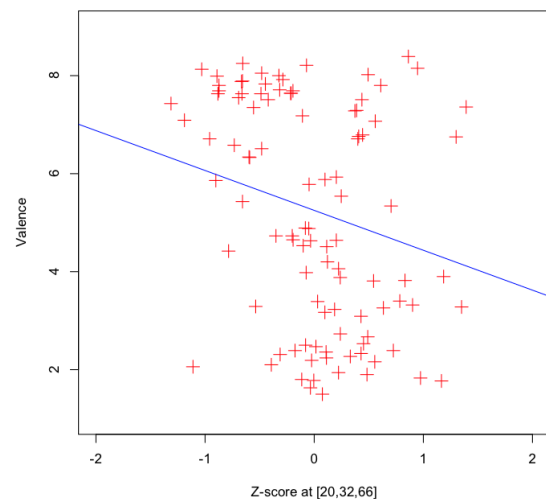


図 B.4 Valence(-) について線形回帰

Arousal と正の相関 (Arousal に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活部位は図 B.5

の通り MNI 座標系 (-20, 24, 66) をはじめとして複数箇所ある. $-1.2 \leq Z \leq 1$ の 0 付近のデータについては除き, 回帰式を求めると, 相関係数は 0.72 となった. p 値は 0.00802 となり, 有意水準 0.05 より小さいため, 有意な相関があるといえる. 図 B.6 は, 横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (-20, 24, 66) の賦活レベル (Z-score) と Arousal について, 0 付近の実測値を除き, 線形回帰を試みた結果, 切片 4.2984 ($6.6e^{-07}$), 傾き 0.9463 (0.00802) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.5212$ であり, 検定統計量 $F = 10.89$, 自由度 10 から, $F = 10.89 \geq F_{(1,10)}(0.05) = 4.97$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つといえる.

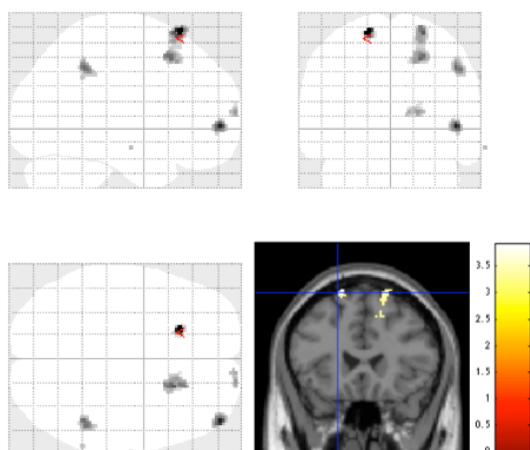


図 B.5 被験者 B について Arousal(+)

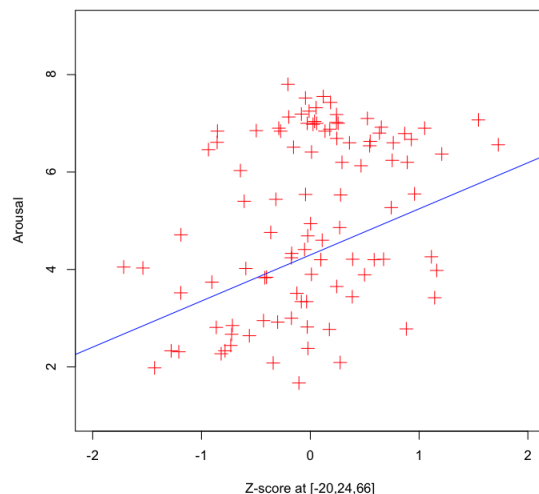


図 B.6 Arousal(+) について線形回帰

Arousal と負の相関 (Sleepy に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活部位は図 B.7 の通り MNI 座標系 (0, 12, 16) をはじめとして, 複数の箇所がある. $-1.1 \leq Z \leq 1.5$ の 0 付近のデータについては除き, 相関関係を見たのち, 回帰式を求めると, 相関係数は -0.64 となった. p 値は 0.01766 となり, 有意水準 0.05 より小さいため, 有意な相関があるといえる. 図 4.12 は, 横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (0, 12, 16) の賦活レベル (Z-score) と Arousal について, 0 付近の実測値を除き, 線

形回帰を試みた結果，切片 5.5565 ($5.95e^{-08}$)，傾き -0.6178 (0.0177) が得られた．() 内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.414$ であり，検定統計量 $F = 7.772$ ，自由度 11 から， $F = 7.772 \geq F_{(1,10)}(0.05) = 4.97$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

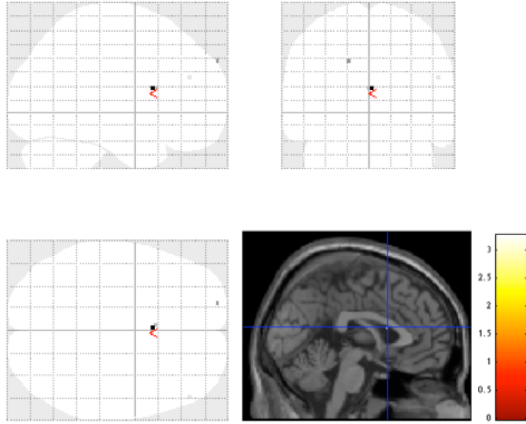


図 B.7 被験者 B について Arousal(-)

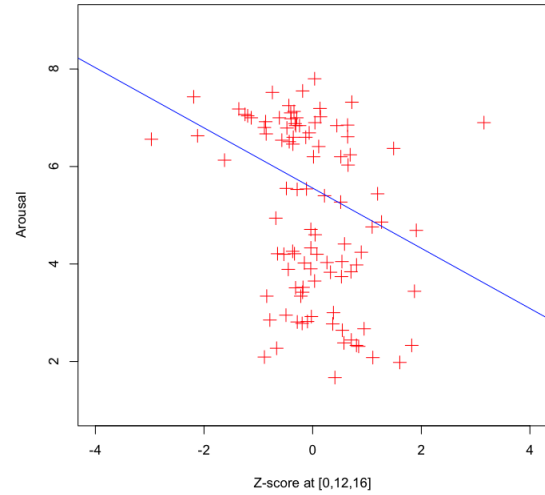


図 B.8 Arousal(-) について線形回帰

B.0.2 被験者 C

Valence と正の相関 (Positive に正の相関) が有意 ($p < 0.01$) にある賦活ボクセルは図 B.9 の通り MNI 座標系 (0, 10, 8) の 1 カ所である． $-3 \leq Z \leq 3$ の 0 付近のデータについては除き，回帰式を求めると，相関係数は 0.60 となった． p 値は 0.0382 となり，有意水準 0.05 より小さいため，有意な相関があるといえる．図 B.10 は，横軸に説明変数 Z-score，縦軸に目的変数 Valence をとったものであり，十字に示した赤い点は実測値，青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI 座標系 (0, 10, 8) の賦活レベル (Z-score) と Valence について，0 付近の実測値を除き，線形回帰を試みた結果，切片 5.1626 ($7.2e^{-06}$)，傾き 0.3036 (0.0382) が得られた．() 内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.3628$ であり，検定統計量 $F = 5.694$ ，自由度 10 から， $F = 5.694 \geq F_{(1,10)}(0.05) = 4.97$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

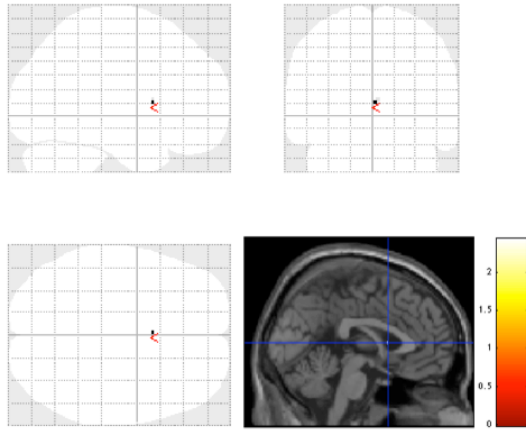


図 B.9 被験者 C について Valence(+)

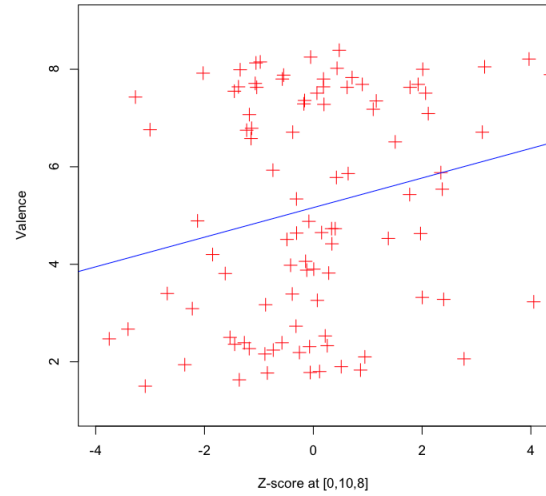


図 B.10 Valence(+) について線形回帰

Valence と負の相関（Negative に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活ボクセルは図 B.11 の通り MNI 座標系（-20, -92, -26）をはじめとして、複数の箇所がある． $-6 \leq Z \leq 5.8$ の 0 付近のデータについては除き、回帰式を求めると、相関係数は -0.88 となった． p 値は 0.0001318 となり、有意水準 0.05 より大きいため、有意な相関があるといえる．図 B.12 は、横軸に説明変数 Z-score、縦軸に目的変数 Valence の値をとったものであり、十字に示した赤い点は実測値、青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI 座標系（-20, -92, -26）の賦活レベル（Z-score）と Valence について、0 付近の実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 5.05918 ($3.61e^{-08}$)、傾き -0.27872 (0.000132) が得られた．() 内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.7827$ であり、検定統計量 $F = 36.2$ 、自由度 10 から、 $F = 36.2 \geq F_{(1,10)}(0.05) = 4.97$ となり、求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

Arousal と正の相関（Arousal に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活部位は図 B.13 の通り MNI 座標系（-26, 16, 26）一カ所である． $-0.7 \leq Z \leq 0.6$ の 0 付近のデータについては除き、回帰式を求めると、相関係数は 0.74 となった． p 値は 0.003742 となり、有意水準 0.05 より小さいため、有意な相関があるといえる．図 B.14 は、横軸に説明変数 Z-score、縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり、十字に示した赤い点は実

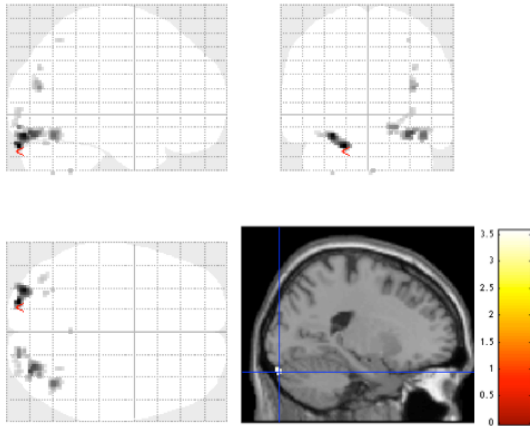


図 B.11 被験者 C について Valence(-)

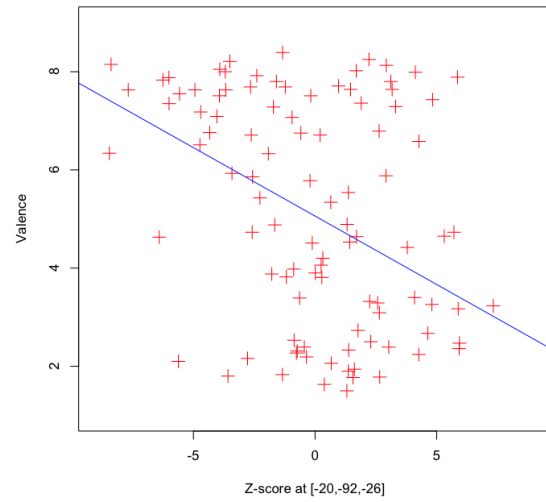


図 B.12 Valence(-) について線形回帰

測値，青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI 座標系（-26, 16, 26）の賦活レベル（Z-score）と Arousal について，0 付近の実測値を除き，線形回帰を試みた結果，切片 5.1193 ($5.67e^{-08}$)，傾き 1.2382 (0.00374) が得られた．（）内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.55$ であり，検定統計量 $F = 13.41$ ，自由度 11 から， $F = 13.41 \geq F_{(1,11)}(0.05) = 4.84$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

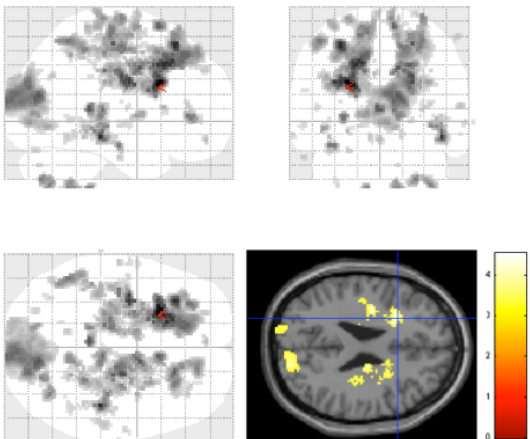


図 B.13 被験者 C について Arousal(+)

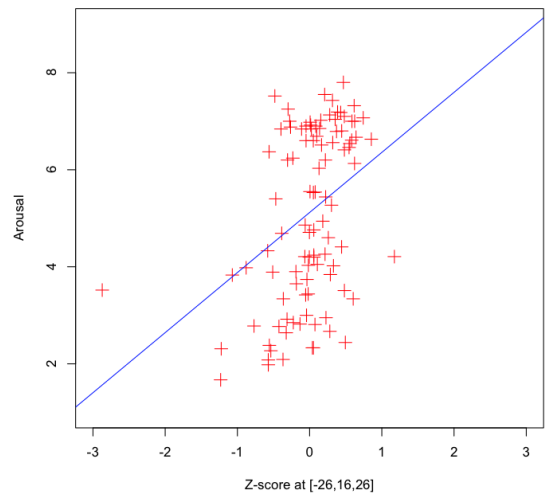


図 B.14 Arousal(+) について線形回帰

Arousal と負の相関（Sleepy に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活部位は図 B.15

の通り MNI 座標系 (-28, -22, -18) をはじめとして、複数の箇所がある。 $-2.4 \leq Z \leq 3.5$ の 0 付近のデータについては除き、相関関係を見たのち、回帰式を求めると、相関係数は -0.76 となった。 p 値は 0.01086 となり、有意水準 0.05 より小さいため、有意な相関があるといえる。 図 B.16 は、横軸に説明変数 Z-score、縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり、十字に示した赤い点は実測値、青い線で表した関数は求めた回帰直線である。 MNI 座標系 (-28, -22, -18) の賦活レベル (Z-score) と Arousal について、0 付近の実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 5.78052 ($1.17e^{-07}$)、傾き -0.17494 (0.0109) が得られた。 () 内は p 値である。 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.5765$ であり、検定統計量 $F = 10.89$ 、自由度 8 から、 $F = 10.89 \geq F_{(1,8)}(0.05) = 5.32$ となり、求めた回帰直線は予測に役に立つといえる。

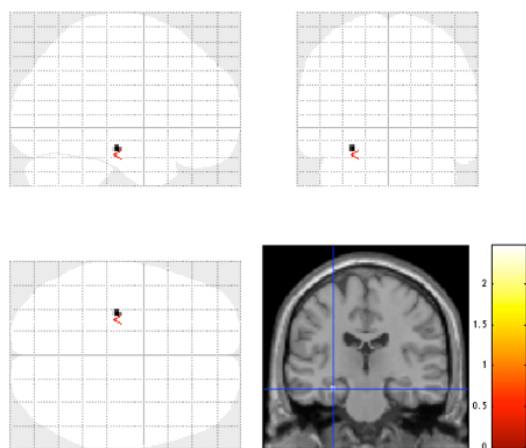


図 B.15 被験者 C について Arousal(-)

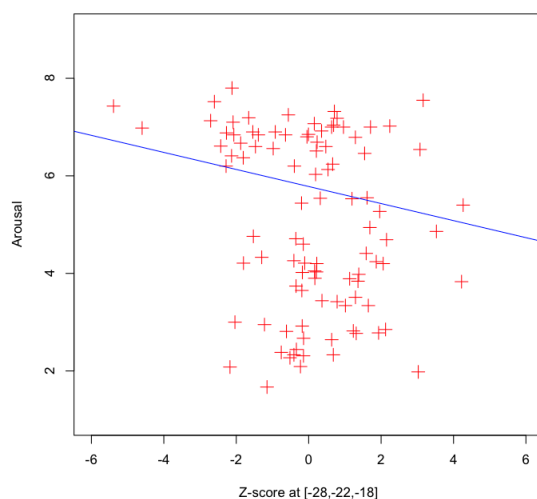


図 B.16 Arousal(-) について線形回帰

B.0.3 被験者 D

Valence と正の相関 (Positive に正の相関) が有意 ($p < 0.005$) にある賦活ボクセルは図 B.17 の通り MNI 座標系 (-14, 2, 80) をはじめとして、複数の箇所がある。 $-1.5 \leq Z \leq 1.7$ の 0 付近のデータについては除き、回帰式を求めると、相関係数は 0.70 となった。 p 値は 0.02369 となり、有意水準 0.05 より小さいため、有意な相関があるといえる。 図 B.18 は、

横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Valence をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (-14, 2, 80) の賦活レベル (Z-score) と Valence について, 0 付近の実測値を除き, 線形回帰を試みた結果, 切片 4.8853 ($2.4e^{-05}$), 傾き 0.7852 (0.0237) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.4925$ であり, 検定統計量 $F = 7.764$, 自由度 8 から, $F = 7.764 \geq F_{(1,8)}(0.05) = 5.32$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つといえる.

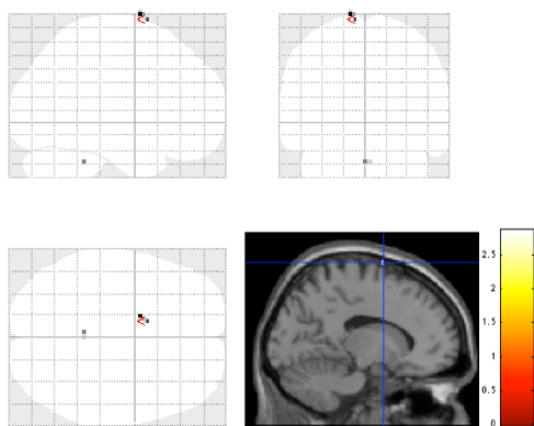


図 B.17 被験者 D について Valence(+)

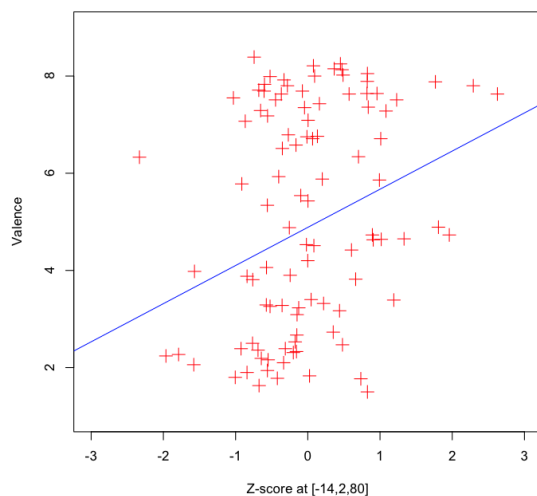


図 B.18 Valence(+) について線形回帰

Valence と負の相関 (Negative に正の相関) が有意 ($p < 0.001$) にある賦活ボクセルは図 B.19 の通り MNI 座標系 (14, 24, 46) をはじめとして, 複数の箇所がある. $-1.3 \leq Z \leq 1$ の 0 付近のデータについては除き, 回帰式を求めると, 相関係数は -0.67 となった. p 値は 0.04905 となり, 有意水準 0.05 より大きいため, 有意な相関があるといえる. 図 B.20 は, 横軸に説明変数 Z-score, 縦軸に目的変数 Valence の値をとったものであり, 十字に示した赤い点は実測値, 青い線で表した関数は求めた回帰直線である. MNI 座標系 (14, 24, 46) の賦活レベル (Z-score) と Valence について, 0 付近の実測値を除き, 線形回帰を試みた結果, 切片 5.1825 ($1.58e^{-05}$), 傾き -0.8784 (0.049) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.4468$ であり, 検定統計量 $F = 5.654$, 自由度 7 から, $F = 5.654 \geq F_{(1,7)}(0.05) = 5.60$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つといえる.

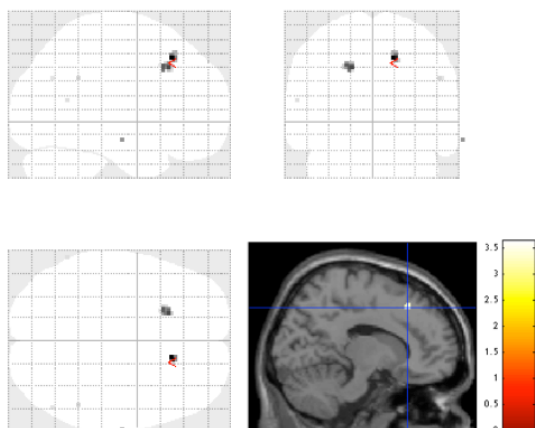


図 B.19 被験者 D について Valence(-)

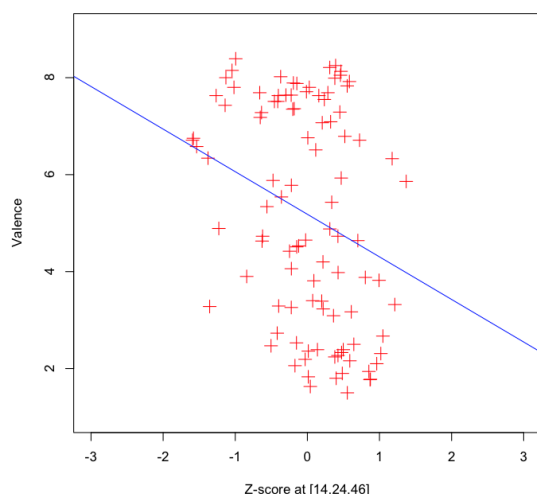


図 B.20 Valence(-) について線形回帰

Arousal と正の相関（Arousal に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活部位は図 B.21 の通り MNI 座標系（24, -16, 18）一カ所である． $-0.75 \leq Z \leq 0.5$ の 0 付近のデータについては除き，回帰式を求めると，相関係数は 0.66 となった． p 値は 0.00803 となり，有意水準 0.05 より小さいため，有意な相関があるといえる．図 B.22 は，横軸に説明変数 Z-score，縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり，十字に示した赤い点は実測値，青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI 座標系（24, -16, 18）の賦活レベル（Z-score）と Arousal について，0 付近の実測値を除き，線形回帰を試みた結果，切片 4.1707 ($2.12e^{-05}$)，傾き 1.7855 (0.0259) が得られた．() 内は p 値である．当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.4821$ であり，検定統計量 $F = 7.447$ ，自由度 8 から， $F = 7.447 \geq F_{(1,8)}(0.05) = 5.32$ となり，求めた回帰直線は予測に役に立つといえる．

Arousal と負の相関（Sleepy に正の相関）が有意（ $p < 0.001$ ）にある賦活部位は図 B.23 の通り MNI 座標系（44, -80, 28）をはじめとして，複数の箇所がある． $-1.7 \leq Z \leq 1.6$ の 0 付近のデータについては除き，相関関係を見たのち，回帰式を求めると，相関係数は -0.94 となった． p 値は $7.045e^{-05}$ となり，有意水準 0.05 より小さいため，有意な相関があるといえる．図 B.24 は，横軸に説明変数 Z-score，縦軸に目的変数 Arousal の値をとったものであり，十字に示した赤い点は実測値，青い線で表した関数は求めた回帰直線である．MNI

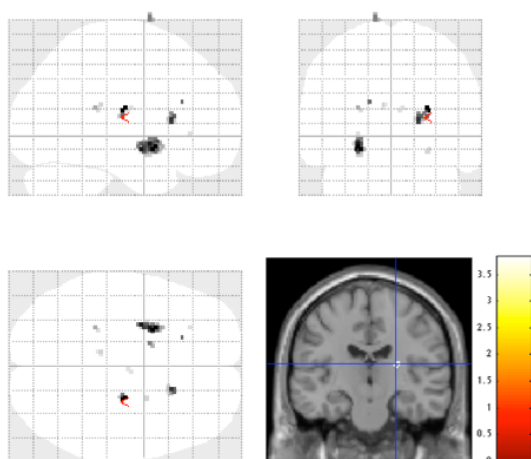


図 B.21 被験者 D について Arousal(+)

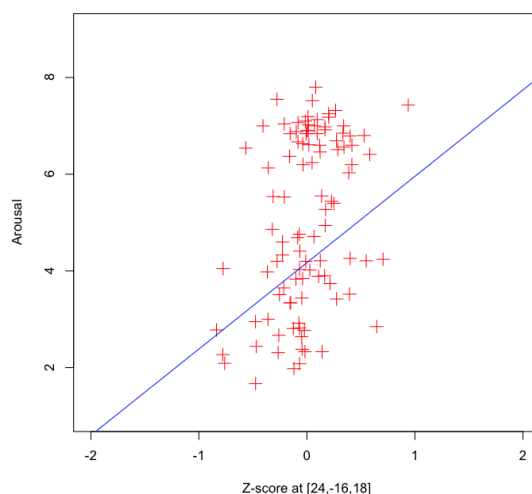


図 B.22 Arousal(+) について線形回帰

座標系 (44, -80, 28) の賦活レベル (Z-score) と Arousal について、0 付近の実測値を除き、線形回帰を試みた結果、切片 5.2146 ($1.84e^{-08}$), 傾き -0.8508 ($7.04e^{-05}$) が得られた. () 内は p 値である. 当てはまりの良さを示す決定係数 $R^2 = 0.875$ であり, 検定統計量 $F = 55.98$, 自由度 8 から, $F = 55.98 \geq F_{(1,8)}(0.05) = 5.32$ となり, 求めた回帰直線は予測に役に立つといえる.

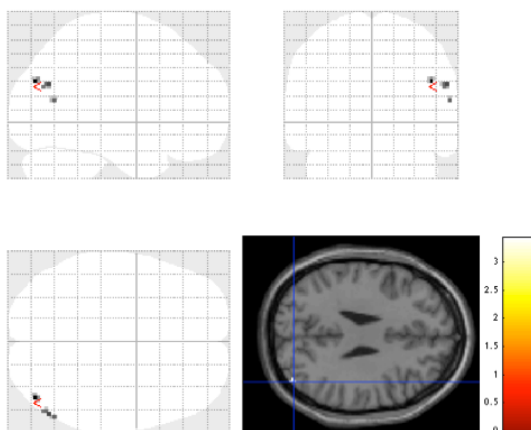


図 B.23 被験者 D について Arousal(-)

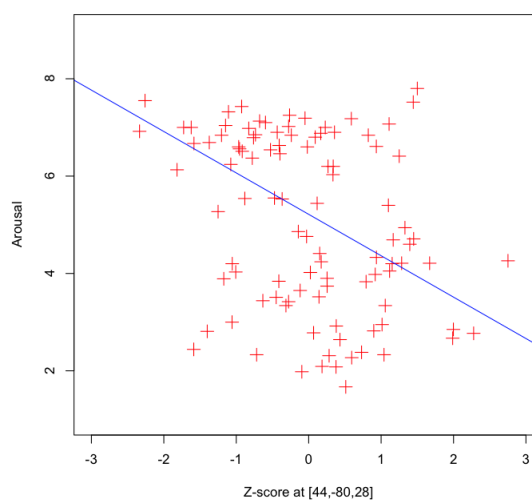


図 B.24 Arousal(-) について線形回帰