

脳機能画像の解析用フレームワークの作成

寺井 はるな (指導教員：瀬々 潤)

1 はじめに

脳の高次機能を知るために、fMRI を始めとする脳機能画像の採取が進められている。この脳機能画像を解析するプログラム群として MATLAB 上に作成された SPM [1, 2] が有名であるが、GUI が貧弱な上に操作が複雑で使いやすいものとは言えない。また、近年のデータの肥大化に対し、SPM では厳密な統計手法をベースとしているため解析時間の増加が問題となっている。本研究では、これらの問題を解決し、脳の高次機能理解に向けたデータ解析が可能となるような脳機能画像解析用フレームワークの作成を行った。

2 脳機能画像

本論文では脳機能画像として fMRI を利用する。fMRI とは functional Magnetic Resonance Imaging (機能的磁気共鳴画像) の事であり、脳の活動状態の測定に利用される。同様のものに PET 等があるが本研究の成果は容易に転用が可能である。MRI 装置による観測では被験者が所定のタスクを行い、脳の高速度撮影を用い計測する事によりそのタスクと関連した脳の部位を推定する。撮影の際に用いられるのが BOLD 法で、血液の酸素飽和度と緩和時間の関係を利用して脳のどの部位が盛んに活動しているかを測定している。

この方法で撮影された fMRI 画像を用いてタスク実行時と安静時の画像を比較し、磁気共鳴信号の変化を統計的に分析する事により脳活動部位を推定する事ができる。なお fMRI 画像は 3次元 × 時間 t の合計 4次元データであり、最小単位はボクセルである。これは 2次元でいうピクセルにあたる。各ボクセルには撮影時に計測された値が格納される。その値をボクセル値と呼ぶ事にする。

3 研究内容

fMRI 画像を解析する手順としては大きく分けて「画像の前処理」「脳活動部位の特定」「可視化」の3つがある。その解析手順を図 1 に示す。本研究ではこの中でも最も重要な脳活動部位の特定に着目した。

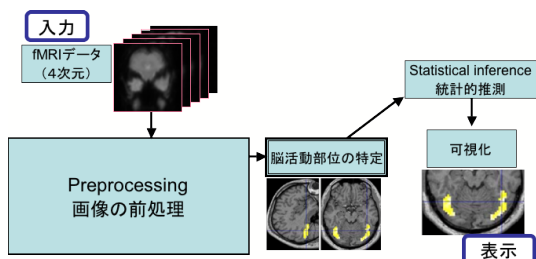


図 1: 解析の流れ

3.1 利用したデータについて

以後の説明において、本論文では [3] の観測画像を用いている。この画像では一人の被験者を 2 秒毎、計 700 秒間観測している。活動の観測は X-Y 方向 (脳の前後および左右) に 3mm 毎、Z 方向 (上下方向) に 4.5mm 毎に行われ、計 $64 \times 64 \times 24$ のボクセル値を観測してい

る。脳活動の観測中、市松模様の画像か顔画像を交互に提示している。提示時間は、市松模様は 4 秒以上、顔画像は 0.5 秒である。顔画像は知っている人の顔画像 26 種類と知らない人の顔画像 26 種類の合計 52 種類をそれぞれ 2 回ずつ提示している。もし提示された顔を知っている、もしくは 1 回目に見た場合に被験者はボタンを押すように指示されている。

本実験では、顔画像を見せる事によって脳のどの部位が活動するかや、1 回目に見せた時と 2 回目に見せた時の脳活動の差を調査する実験である。このように刺激を与える (顔画像を見せる) 場合と、与えない (顔画像を見せない) 場合の 2 状態を対比して脳機能活動部位を特定する実験は脳機能画像解析において最も単純かつ頻繁に行われるタスクであり、本研究において開発するフレームワークが最初にサポートすべき実験と考えたため、このデータを利用してフレームワークの作成を行った。

3.2 脳活動部位の特定

ここでは顔を見せている場合と市松模様を見せている場合の 2 状態間でボクセル毎に独立して値に差があるかどうかを調べよう。2 状態の観測値に差があるかどうかの判定として値の平均間に差があるかどうかを調べる t 検定 [4] を用いる。 t 検定を行った結果を図 2 に示す。赤 (もしくはオレンジや黄色) で塗られている部分が有意水準 0.01 で帰無仮説が棄却されたボクセルである。また、黄色の方がより脳の活動が大きいと言える場所である。

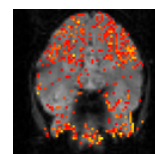


図 2: t 検定適用結果 (有意水準 : 0.01)

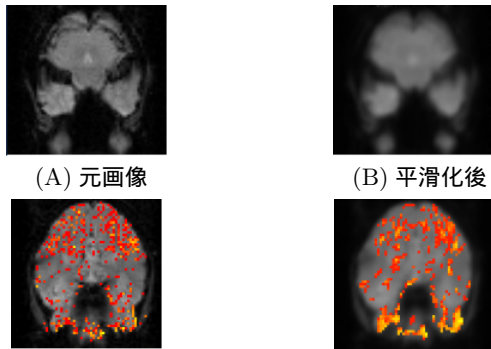
t 検定を用いる事で脳の活動部位を特定する事はできたが、本来脳の内部は連続しているので活動部位が離散的になるのはおかしい。これは脳の活動が微弱のため、磁性体の影響からノイズが入り、本来有意で無いボクセルが有意と判定されている可能性が高い。そこで、このノイズを除去するため、前処理として t 検定前に画像の平滑化を行う。

3.3 画像の平滑化

fMRI 画像は撮影時に頭部の動きや強磁性体の影響などに起因するノイズが入ってしまう事がある。そこで隣り合っているボクセルを比べて明らかに大きすぎる値や小さすぎる値を補正する必要がある。本研究ではガウシアンフィルタを使って平滑化 (smoothing) を行った。ガウシアンフィルタとは対象とするボクセルから距離 j 離れた点の値に以下ガウス分布の値に相当する重みをつけた加重平均である。

$$e^{-j^2/2\sigma^2} / \sqrt{2\pi\sigma^2}$$

はガウス分布の分散の値であり、この値を変化させることで平滑化の際に利用するボクセルの範囲を規定することができる。分布の最大値の半分の高さを取る所が 8mm の幅となるようなガウシアンフィルタを適用した例が図 3.(B) である。平滑化処理を行う事で脳活動部位が固まるようになった。(図 3.(C)(D))



(C) 元画像に検定を適用 (D) 平滑化後に検定を適用
図 3: 平滑化前と平滑化後の活動部位の差

3.4 フレームワークの作成

以上の検定による活動部位の特定が容易に行えるよう、解析フレームワークを構築している。今まで紹介した画像も、このフレームワークからキャプチャした物である。本節では、作成しているフレームワークの GUI を紹介する。図 4、5 に作成中のプログラムのキャプチャ画像を示す。

- I. 始めに脳機能画像の標準形式である NIFTI 形式 [5] の画像を選択する。白黒画像が表示できる。(図 3.(A))
- II. 時刻 t あるいは脳断面番号 z のつまみを動かすか値を入力により表示する画像の変更が可能である。
- III. 脳画像のある一点をクリックするとその点が示すボクセルの時系列に沿った値をグラフにしたものが表示出来る。(図 4. 右)

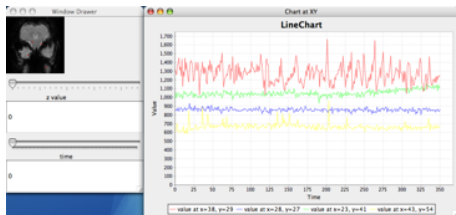


図 4: 読み込んだ脳画像と選択したボクセル値の表示

- IV. t 検定のボタンを押すとすべての z 軸方向の断面において、活動部位を示した脳断面画像を表示できる。(図 5)

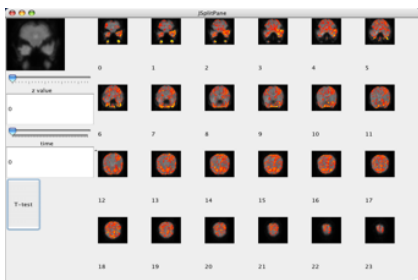


図 5: 活動部位を示した脳機能断面画像表示

4 解析の一例

本実験データでは知っている人の顔写真、知らない人の顔写真それぞれについて 2 回ずつ提示しているが、1 回目に見せた時と 2 回目に見せた時の脳活動の違いについての解析も行った。図 6、7 では 2 回目に顔写真を見せたときの方が脳が活動している場所を赤色～黄色で表し、2 回目に顔写真を見せた時の方が脳の活動が弱まった所を青色～水色で表した。

それぞれの図を比べると、見せている写真が元々知っているか知らないかに関わらず、2 回目に見せた事で活動する部位、活動が弱まる部位が似ている事が分かる。このように本研究は 2 つのタスク間の差を検定する事で脳のどの部位がどのような時に使われているかを特定するのに有効である。

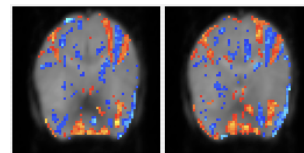


図 6: 知らない人の顔画像を 1 回目と 2 回目に見せた時の差

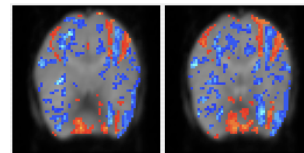


図 7: 知っている人の顔画像を 1 回目と 2 回目に見せた時の差

5 まとめと今後の課題

脳機能画像を解析する上で必要な前処理の平滑化、脳活動部位の特定に使う t 検定、解析結果の表示方法について研究を行った。今後の課題としては、より複雑なタスクについて解析が出来るよう拡張をすすめたい。また GUI の改良にも力を入れたい。

参考文献

- [1] J. Ashburner, K. Friston, and W. Penny. *HUMAN BRAIN FUNCTION 2nd EDITION*. SPM-Statistical Parametric Mapping, 2003
- [2] J. Ashburner, G. Flandin, R. Henson, S.Kiebel, J. Kilner, J. Mattout, W. Penny and K.Stephan. *SPM5 Manual*. SPM-Statistical Parametric Mapping, 2005.
- [3] R.N.A. Henson, T. Shallice, M.L. Gorno-Tempini, and R.J. Dolan. *Face repetition effects in implicit and explicit memory tests as measured by fMRI*. *Cerebral Cortex*. Cerebral Cortex, 12, 178-186, 2002.
- [4] 市原清志. *Statistics for Bioscience バイオサイエンスの統計学*. 南江堂, 1990.
- [5] Neuroimaging Informatics Technology Initiative. <http://nifti.nimh.nih.gov/>