

1 研究の背景と目的

インターネットの普及などで大量の情報が氾濫する中で、情報の受け手側であるヒトに優しい通信技術の開発が望まれている。そのような技術の開発のためには、ヒトが、どのように情報を理解しているかの脳システムの理解と共に、ヒトの理解度や意識した内容を、脳活動から抽出する技術の開発が不可欠となってきた。

これまでの研究では、知覚闘争において、主観的意識の切り替わりに関する脳活動を調べてきた。知覚闘争とは、たとえば、左下のような図を見ると、「壺」と「人の横顔」のどちらかに見えるように、同じ入力に対して、脳は異なる「見え」、主観的体験をし、かつそれら複数の解釈は競合し、さらに、その見えは固定化されることなく、時間的に遷移する現象のことであり、人の意識を調べる現象として近年、非常に注目されている現象である。

最近、非侵襲の脳計測手法を用いて、主観的情報を読み取る技術開発

(BCI=Brain-Computer Interface 技術)に関する研究が進められている中で (Kamitani and Tong., 2005、2006、Haynes and Rees., 2005、2006)、現在行っている研究が、このような BCI 技術に貢献できるのではないかと考えた。主観的意識の切り替わりを脳活動から読み取る、つまり、被験者の見えがいつ切り替わったかを脳活動だけから抽出する技術の開発である (図 1 参照)。

そこで、本研究では、多義的な情報を理解するときのヒトの脳活動を測定し、その活動の時空間周波数パターンに着目して、ヒトが意識している内容を復元・抽出する技術の開発を目指す。前述の研究も含めて、BCI 研究は、単一の非侵襲脳計測法に頼ってきた。しかしながら、核磁気共鳴機能画像法 (fMRI) は、空間分解能は非常に高いが、時間分解能は悪い。一方では、脳磁場計測 (MEG)、脳波 (EEG) は、時間分解能は非常に高いが、空間分解能は悪いというように、脳活動計測法は、それぞれの特長を持つ。そこで、複数の脳機能計測手法を組み合わせることにより、より時間精度の高い BCI 技術の開発を目指した。

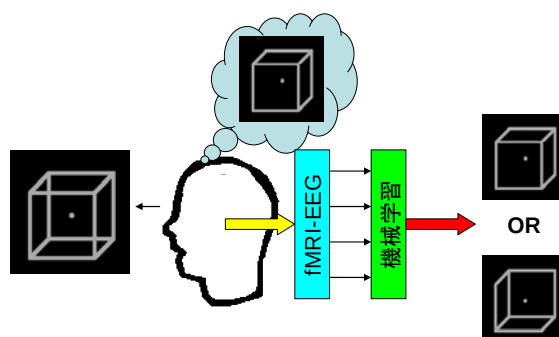


図 1

2 研究方法・研究内容

本研究では、空間分解能の高い核磁気共鳴機能画像法 (fMRI) と時間分解能の高い脳波 (EEG) を組み合わせることにより、両方の特長を生かした精度の高い脳活動を計測して、その情報から、主観的知覚の切り替わりの時間変化の情報を抽出する。

<実験 1>

まずは、脳波だけで高次の知覚情報が引き出すことが可能かどうかを検討するため、オドボール課題における P300 成分の判別を行った。オドボール課題にお

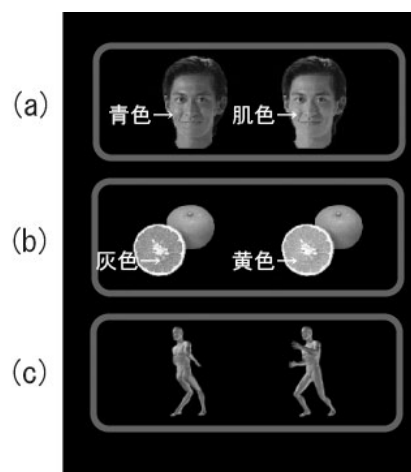


図 2

ける P300 成分が、呈示刺激画像に対する「自然」、「不自然」という感性に強く影響を与えていることが報告されている。実験刺激として、顔画像、オレンジ画像、ポーズ画像の不自然画像と自然画像(図 2)を使用した。顔の不自然画像は青い色をした顔であり、オレンジの不自然画像は、果実の色が灰色になっており、実生活において一般に見ることのない色で表される。ポーズの不自然画像は人間が行うことが出来ない、関節が折れ曲がった形となっている。

生体アンプ (Polymate、TEAC 製) を用いて、課題遂行中の被験者の脳波を計測した。エレクトロキャップ (日本光電製) を用いて被験者に装着し、国際 10-20 法に基づく、19 チャンネルの電極から計測した。測定された脳波データから、不自然画像を標的刺激、自然画像を標準刺激としたオドボール課題の標的刺激と、自然画像を標的刺激、不自然画像を標準刺激としたオドボール課題の標的刺激を判別する。このタスクでは人が「自然」、「不自然」と感じている認知状態がオドボール課題の標的刺激の P300 から推定できるか検証する。それぞれの標的刺激の試行回数はほぼ同等のため、可能な限り学習データとして使用した。

オドボール課題における P300 は頭頂の電極 Fz、Cz、Pz で強く観測され、潜時 300-500[ms] で出現することが一般的に知られている。そこで、P300 が強く観測されていると思われる電極 Fz、Cz、Pz の 3 電極と刺激呈示後 250~500[ms] をセグメンテーションした。また、P300 以外の成分が判別において強く関係している可能性を考慮し、国際 10-20 法の 19 チャンネルの電極と刺激呈示後 0~600[ms] でのセグメンテーションを行った。また、本研究では空間的主成分分析として、チャンネルの次元を減少させた。チャンネル方向に主成分分析を適用し、各チャンネル間で ERP の特徴を抽出し、次元を減少させることで SVM における、計算量の減少が目的である。本研究では、主成分分析によって得られた成分から、第一成分のみをと第三成分までの成分を使用した。それぞれ、累積寄与率がおおよそ 60% と 90% となっている。

近年、サポートベクタマシンと呼ばれる分類手法が注目を浴びている。データを 2 つに分類するための、マージン最大化という考え方により従来の線形判別システムより、未学習のデータ郡をより高精度で判別することを可能にしている。このマージン最大化とは、超平面とトレーニングデータの間隙を出来る限り大きく取ろうと試みることである。このマージン最大化により、データの特徴量の次元が大きくなっても分類精度を高く保てるという利点を有する。主成分分析から得られた時間成分データを正規化したデータに SVM を使用して、オドボール課題で得られた単一試行脳波データから人の認知状態判別を行った。

SVM は Suykens ら [6] により提案された最小自乗サポートベクタマシン Least Squares Support Vector Machines (LS-SVM) を使用した。カーネルは線形カーネルを使用した。SVM のトレーニングは交差確認法により、すべての単一試行で行った。

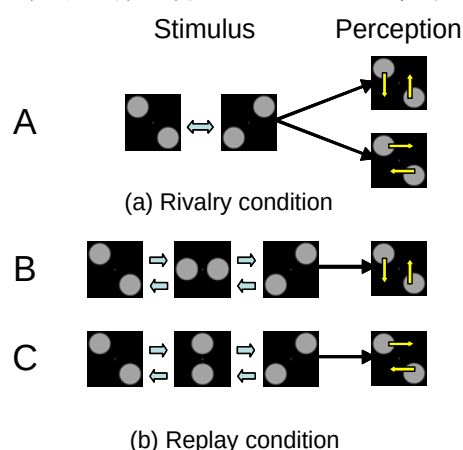


図 3

<実験 2>

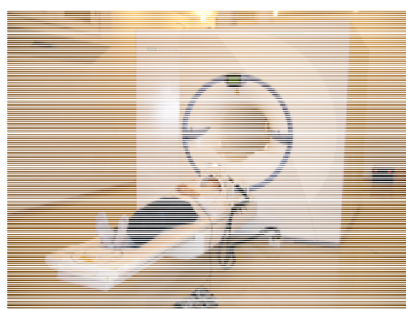
次に、研究では、空間分解能の高い核磁気共鳴機能画像法(fMRI)と時間分解能の高い脳波(EEG)を組み合わせることにより、両方の特長を生かした精度の高い脳活動を計測して、その情報から、主観的知覚の切り替わりの時間変化の情報を抽出を目指した。

被験者には、EEG キャップをかぶった状態で、fMRI スキャナの中に入ってもらい、その中で、多義図形（双安定性仮現運動）（図 3）を観察し、主観的な見えの切り替わりをボタン報告するというタスクを行う。そのときの脳活動について、fMRI-EEG 同時測定（10 試行）した。

fMRI 計測は、NiCT にある Siemens 製 3.0T MRI 装置(Siemens MAGNETOM Trio)を用いた。EEG 計測には、同じく NiCT にある Brainamp、Braincap MR64 (Brain Products 社)を用いた(図 4)。



EEG(脳波)計測



fMRI-EEG同時計測

図 4

fMRI 信号は SPM5(<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm5/>)によって解析を行った。脳波信号は、Brainalyzer2 を用いて、MRI のスキャンによるスキャンアーチファクトと心拍によるパルスアーチファクトを除去し、EOG 信号を利用して、眼球運動によるアーチファクトも除去した。それらの信号を、被験者のボタン押しに関連してセグメンテーションした後に、複素モレットウェーブレット変換を用いて、4Hz~51Hz の周波数パワー信号に変換した（ベースラインはボタン押し後 50~450ms とした）。

これらのパワーデータを用いて、被験者が、双安定性仮現運動の縦・横どちらの方向を知覚しているかを判別した。判別には、libsvm パッケージを使用した。カーネルは線形カーネルを使用した。SVM のトレーニングは交差確認法により、すべての単一試行で行った。

3 研究成果

<実験 1>

それぞれのオドボール課題の標的刺激を呈示したときに誘発された脳波から認知状態推定を行った。図 5 の結果から、19 チャンネル、Epoch0~600ms の解析条件において最も精度よく状態判別できた。3 チャンネル、

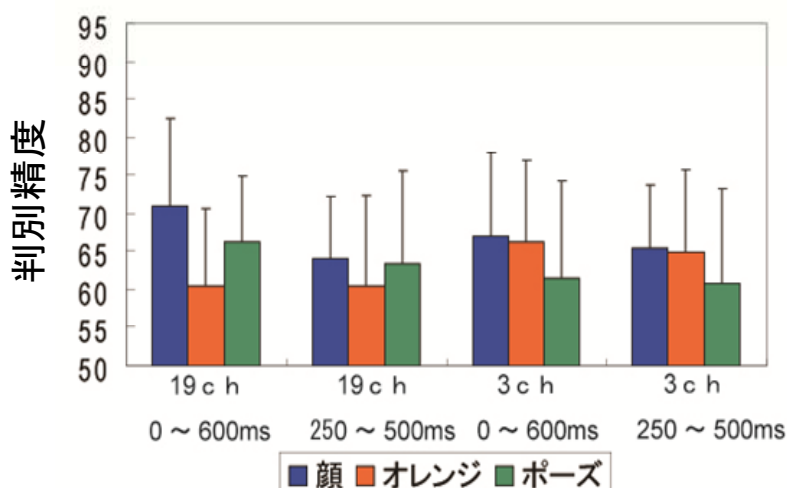


図 5

Epoch250~500ms の条件結果と比較すると、ポーズ画像の判別はほぼ同じとなっているが、顔画像とオレンジ画像において大きく精度が異なっている。本タスクでは、どちらの状態もオドボール課題の標的刺激で得られたデータであるため、P300 成分は似たような波形となっている。標的刺激同士の判別において P300 成分だけを比較して判別することは困難であるといえる。そのため、頭頂以外のチャンネル、幅広い時間幅も含めたトレーニングデータが状態判別において大きく関わっていると考えられる。

被験者全体の平均では、状態推定率 64%と十分に判別できていたとはいえない。しかし、個々の被験者の結果では最も高い確率で 91%の精度で判別できた。本タスクでは、ERP における微細な変化から認知状態推定を行っているため、測定時における被験者の体調や、個人差により推定結果の分散が大きくなったと思われる。

<実験 2>

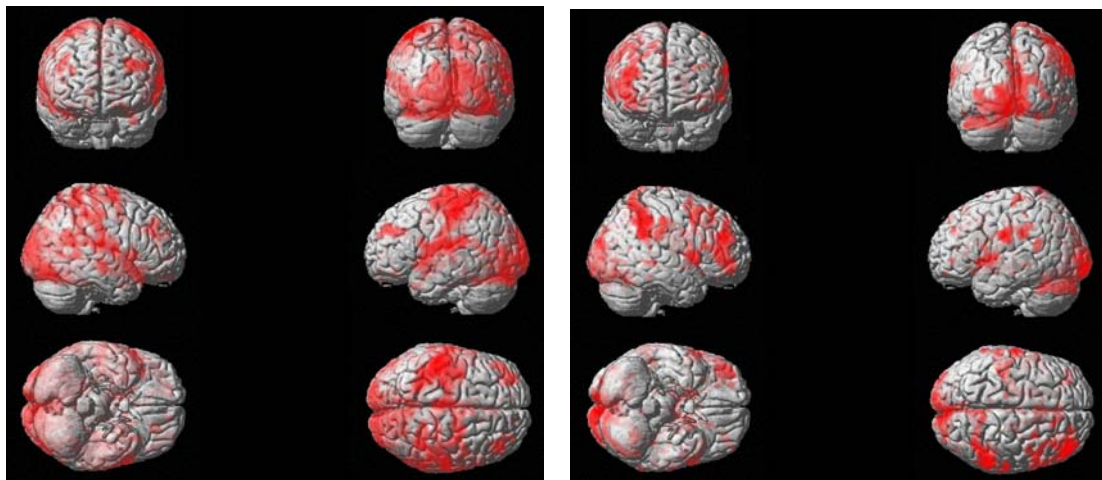


図 6

次に、知覚闘争中の fMRI による脳活動結果を図 6 に示す。同時計測した脳波データに関して、知覚方向の判別を行うと、被験者平均で、54%の判別精度しか得られなかった。原因としては、実験 1 の課題と異なり、刺激事態の変化はないという判別タスク自体の難易度や、MRI 関連のアーチファクトがうまく取り除けていない可能性がある。今後は、fMRI シグナルも特徴量に加えるとともに、事前処理や判別手法などを検討することにより、判別精度を上げていきたい。

4 今後の研究の方向、課題

日常身体活動におけるヒトの意図抽出という観点からは、fMRI という巨大な装置に頼っている限りは、実用化は困難であると考えられる。しかしながら、本研究によって、fMRI-EEG 同時測定による BCI 技術の有効性が示されれば、fMRI と同様、脳活動に伴う血流量変化をとらえるが、可搬性の高い近赤外分光法 (NIRS) と EEG を組み合わせた小型の計測装置の開発につながると考えられる。

本研究における基礎技術の開発は、コミュニケーションが不自由になってしまった患者に対する補助器具の開発や、車などのドライバーの注意力の低下を検出する運転補助装置の開発、消費者の心理を分析するようなマーケティング分野での応用など幅広い分野への波及効果が考えられる。