

脳波計測実験のための簡易で安価な環境構築

毛利 元昭（愛知大学経営学部）

要旨

脳波をはじめとする脳内情報の利活用の研究には、大きな期待が寄せられている。しかし、研究用途の脳波計は高額であり、実験と解析において一般的に用いられるソフトウェアも高額である。そこで本報告では、近年市販されるようになった簡易脳波計と、無償で利用可能なソフトウェアを利用して、脳波計測実験のための簡易で安価な環境構築を行った例を示す。実際に脳波計測を行った実験においては、被験者への指示や刺激の提示を簡便に行うことができ、 α 波の確認ができた。一方で、本格的な研究利用に関しては、脳波計あるいは実験内容に課題が残る結果となった。

キーワード：脳波，インターフェース，計測装置，提示装置，定常的聴覚刺激

1. はじめに

脳内情報処理は感覚・意思決定・運動命令など、人の様々な活動の根源である。近年は脳内情報を利用したインターフェース（Brain Computer Interface; BCI）が大いに注目されている^{1), 2)}。BCIが持つ最大の利点は、入力に実際の運動を必要としないこと、つまり、筋萎縮性側索硬化症（ALS）の患者のような運動を行えない重度肢体不自由者でも、脳内情報処理に問題がなければ使用できることである。また、脳波は非侵襲の（身体を傷つけない）装置で計測できる点も、その実現において大きな利点である。

脳波の利用には他にも様々な展開が期待されている³⁾。例えば、てんかんやア

ルツハイマー病をはじめとする脳機能障害の早期発見や、精神疲労や躁鬱状態の深广度や種類の推定など、医療分野での研究が進められている。また、リラクゼーションやコミュニケーション用のツール、車などを遠隔操作するためのインターフェースなどのように、娯楽産業や交通システムの分野においても研究が進められている。

このように様々な利用・応用が考えられる脳波の研究には、実験と計測と解析が付随する。実験と計測においては、被験者の頭部に脳波計の電極等を密着させた状態で、脳波計とPCを有線あるいは無線で接続し、計測を続ける中で様々な実験タスクを被験者にこなしてもらうこととなる。実験タスクとは、視覚や聴覚

など各種の感覚器官あるいは精神への刺激を被験者に受けてもらうこと、または、実験者が指示した特定の行為を被験者に行ってもらおうこと、あるいはその両方である。

ここで、脳波の計測に用いられる研究用の脳波計は、ほとんどの場合数百～数千万円と高額である。また、刺激や指示を提示するためのプログラムは、MathWorks社の数値解析ソフトウェアMATLAB⁴⁾上で動くものがほとんどであり、これも研究用は本体のみで1ライセンス7万5千円、保守更新が年間1万5千円と、手を出しにくい。

そこで今回は、脳波計測実験のための環境を安価に構築した例と、行った実験および結果について報告する。

2. 実験環境構築のための要素

2.1 簡易脳波計：Emotiv EPOC⁵⁾

コンピュータ技術、無線技術、バッテリー技術などの進歩により、数年前から脳波を計測できる装置が市販され始めた。今回、筆者が利用したのは、Emotiv EPOCである。Emotiv EPOCは、オーストラリアのEmotiv Systems社が開発した、図1に示すようなヘッドセット型の脳波計である。内臓の充電式バッテリーで駆動し、専用のUSB dongleでPCと無線接続する。電極は導電体としてコン



図1 Emotiv EPOC

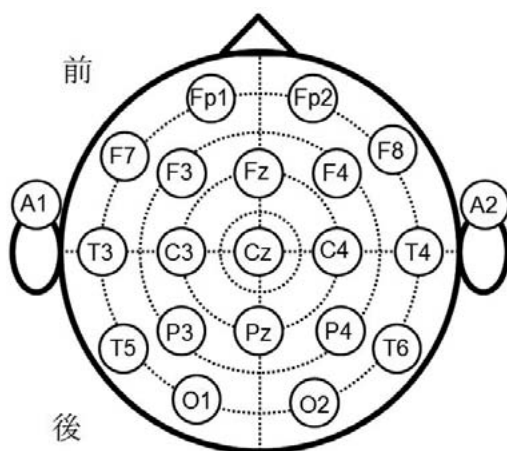


図2

タクトレンズの洗浄液を染み込ませたフェルトを通して頭皮と接触するタイプである。また、頭部への電極配置の規格である国際10-20法（図2）とは若干位置が異なるものの、数は14個と比較的多く頭部を広くカバーしている。計測速度は128Hz、実効の周波数帯域は0.2Hz～43Hzとされており、 θ 波と α 波、 β 波の一部（表1）をカバーしている。

Emotiv EPOCは無線のヘッドセット

表1 周波数による脳波の分類

脳波	周波数 [Hz]	現れやすい心理状態
θ 波	4~6	睡眠, 瞑想
α 波	8~13	安静, 集中
β 波	14~	緊張, 興奮, 複雑な思考

型であるため、装着が容易である。また、洗浄液を十分に染み込ませたフェルトであれば、導電状態が良好になるまでの時間が比較的短く、装着作業を含めて15分から20分程度で利用できるようになることが多い。もちろん、髪の毛の量が多い場合には、フェルトが頭皮に触れにくいことに加え、髪が液を吸ってしまうため、髪の毛の掻き分けや液の補充などで多少時間がかかる。しかし、それは他の脳波計でも同様であり、Emotiv EPOCが専用のペーストやジェルでなく、被験者の不快感が少ないコンタクトレンズの洗浄液を利用する点で、より装着の敷居が低いと言える。

研究用のヘッドセットには生データ取得のためのソフトウェアEmotiv TestBench (図3) も用意されている。このソフトウェアは、各電極の導電状態と計測した脳波のリアルタイム表示および保存ができるほか、PCのシリアルポートへ入力された値も同時に表示・保存できる。つまり、提示された刺激や指示の種類情報を、提示と同時にシリアルポートへ出力するように提示装置を設計

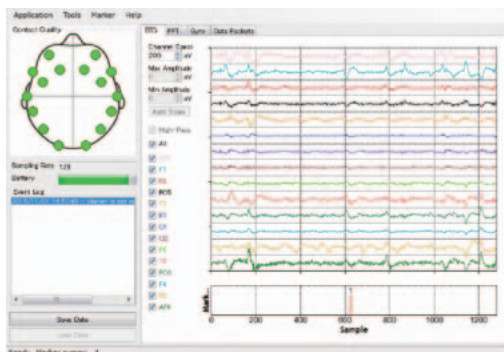


図3 Emotiv TestBench。

左上には電極配置図が描かれている

すれば、そのタイミングを脳波データと突き合わせることが容易となる。

なお、販売価格は研究用のものでも生データ取得ソフトウェアのライセンスや標準アクセサリを含めて699ドルと、比較的入手しやすい。現在は、計測速度を256Hzまで上昇させたEmotiv EPOC+も発売されているが、筆者は未入手である。

2.2 被験者への提示用プログラムの開発言語：Python

被験者に与える刺激や指示の提示においては、後述する数値解析ソフトウェアMATLABであれば、無償配布されている心理学・脳波計測の実験用のツール集Psychophysics Toolbox⁶⁾を利用できた。現在の筆者はMATLABのライセンスを購入・保持しているが、筆者が実験環境の大筋を構築したのは購入前

である。また、今回の報告は環境を安価に構築した例を示すものであるため、MATLABの利用を前提としない。

現在、プログラミング言語は数多く提案されている。今回、被験者に与える刺激や指示を提示するソフトウェアの開発には、Pythonを利用することとした。Pythonは実行環境を無償で利用できるが、多くのプログラム開発者の好意により、様々なライブラリが無償で提供されている。例えば、PCの画面上に図形やボタンなどを表示・配置するTkinter、画像入出力のPIL、音声入出力のpyaudio、シリアルポート入出力のpyserialなどがある。つまり、今回想定している視覚的・聴覚的な刺激や指示の提示、そしてシリアルポートを利用した提示情報の記録のための機能を作成しやすい。

ただし、Pythonの公式サイトから入手できるインストーラでは、ライブラリのほとんどがインストールされない。別途、「easy_install」や「pip」などのコマンドを利用してインストールする必要がある。初心者には敷居が高いのが事実である。そのような場合、Windows環境であれば統合パッケージPython (x, y)⁷⁾をフルインストールすることが最も簡単である。また、64ビット版の機能を利用したい場合やMacあるいはLinux環境の場合は、統合パッケージAnaconda⁸⁾を利用しつつ、必要に応じて「pip」等でライブラリをインストールするのが近道

である。

なお、Pythonには2系と3系の2つのバージョンが存在する。新しいバージョンの方が良いと思われがちであるが、3系の環境では2系の文法で書かれたプログラムがそのままでは動かない場合があり、未だに移行が敬遠されている。筆者がPythonの勉強を2系で行ったことに加え、初心者向けのPython (x, y) もバージョン2.7に基づいているため、本研究における提示用ソフトウェアはバージョン2.7の環境での動作を前提に開発を行った。本学の名古屋校舎で学生が利用できるPCにインストールされているPythonも2系である。

2.3 数値解析ソフトウェア： GNU Octave

Pythonのライブラリには数学の関数や行列演算なども用意されているため、Pythonは科学計算にも向いている。前述のPython (x, y) やAnacondaは、実は科学計算用のパッケージである。しかし、脳波データの解析においては多くの研究者がMATLABを利用してきた歴史があり、Pythonではこれまでに作成された数々のプログラムを活用することが難しい。そこで、今回の報告にあたっては、MATLABのクローンであるGNU Octave⁹⁾ (以下、Octave) を紹介する。

Octaveは無償で利用できる数値解析

用の言語および動作環境である。その最大の特徴は、MATLABとほぼ全く同じ記述で計算命令あるいはプログラムの作成ができる点である。MATLABは、プログラムが得意でない研究者でも高度で大規模な科学計算を簡便に行えるよう工夫がなされた言語であり、クローンであるOctaveもそれに準じている。筆者もMATLABを購入する前はOctaveを利用していた。もちろん、実装されていない機能が多々あり、計算速度が比較して遅く、インターフェースが貧弱であるなど、OctaveがMATLABに劣る点は幾つも存在する。従って、被験者へ与える刺激や指示の提示には向かず、前述のPsychophysics Toolboxも利用できない。ただ、今回行う解析はOctaveのみで可能なもの考える。

脳波データの解析に当たっては、データの形式に注意が必要である。Emotiv TestBenchによって保存される計測データのファイル形式はEuropean Data Format (EDF)¹⁰⁾と呼ばれる。これをMATLABあるいはOctaveで読み込むためには、Brett Shoelson氏が作成したedfread.m¹¹⁾というMATLAB/Octave用プログラムを、計測データとともに作業ディレクトリにコピーしておく必要がある。

本学においては、筆者が開講している音声信号処理や画像信号処理の演習を行う授業で利用するために、名古屋

校舎にあるPC教室とメディアゾーンのWindows PCにOctaveがインストールされている。バージョン4.0よりグラフィカルな実行環境が標準実装されたことで操作性が向上し、初心者でも比較的扱いやすくなっている。

3. 脳波計測実験 — α 波と β 波—

3.1 実験の目的

Emotiv EPOCによる脳波計測を行うに当たり、まずは簡単な実験タスクを試験的に組むことにした。 α 波と β 波はEmotiv EPOCでも見ることができるとされるため、 α 波と β 波がそれぞれ現れやすい実験タスクを考える必要がある。表1に挙げたように、 α 波はリラックス時、特に閉眼時に現れやすいとされており、 β 波は複雑な思考をしている時や緊張時に現れやすいとされる。また、頭皮に電極を密着させる型の脳波計は、脳波だけでなく身体の筋肉を動かす際に発生する電気（筋電）も同時に拾ってしまう。瞬きすら波形に影響が現れるため、身体を動かすようなタスクは避けるべきである。瞬きの回数を抑えるために、指示の合間に瞬きが可能な時間帯を作ることが良さそうである。そこで、閉眼かつ安静にすることを1つ目のタスク、休息を挟みながら計算問題を暗算で連続的に解くことを2つ目のタスクとし、それぞ

れの状態の脳波を計測した結果を比較する。これにより、 α 波と β 波の現れ方を見る。

3.2 実験タスク

まず、どちらのタスクでも、図4に示すように被験者が椅子に腰かけた状態で Emotiv EPOC を装着する。その後、 α 波の現れを見る実験タスクでは、閉眼かつ安静（ただし、睡眠状態ではなく覚醒

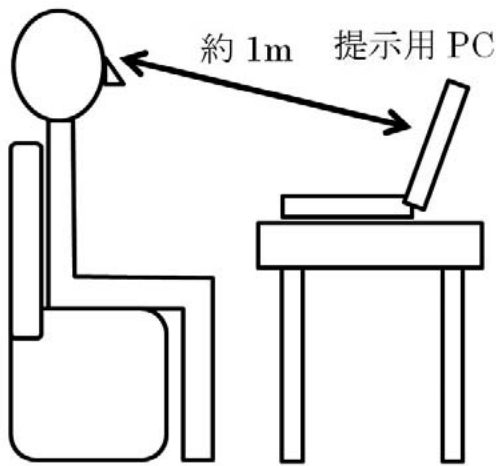


図4 実験環境のスケッチ

状態)にしてもらい、その状態で3分間の脳波計測を行う。 β 波の現れを見る実験タスクでは、1mほど離れた位置にある画面に表示されたランダムな3桁整数の加算あるいは減算の問題を、暗算で解くことを繰り返してもらい。計算問題は、5秒おきに1セット当たり5回切り替わり、20秒の休息時間を挟んで計10セット繰り返す（図5）。その状態で、脳波計測を行う。

β 波の現れを見る実験タスクにおいて表示される画面を図6に示す。図の上側が最初および休息時間の画面を、下側が計算問題を表示した例を表している。画面の左下には提示情報の記録に使用するシリアルポートの番号の入力欄および実験タスクのスタートボタンを、画面の右上には現在までの計算問題の累計数を表示する欄を、画面の右下にはストップボタンを配置した。余談ではあるが、この提示用プログラムはコメントや空行を入れても180行で収まっており、Pythonによるプログラムの作成しやすさを物語っ

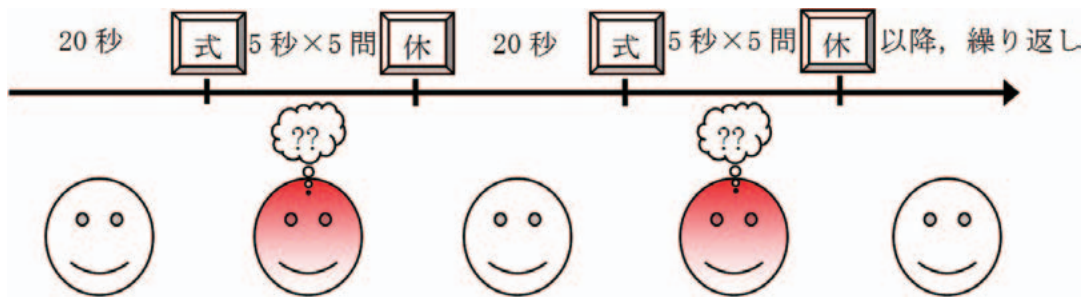


図5 実験の流れのイメージ。式はランダムな3桁の整数の加算あるいは減算。

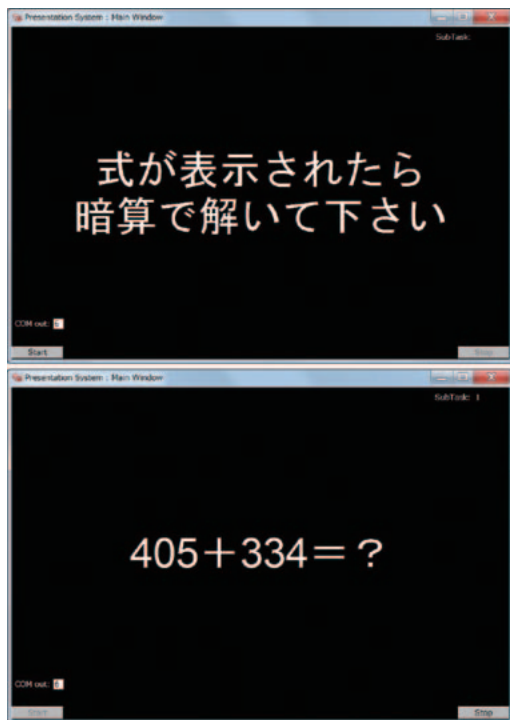


図6 指示の提示画面。
(上) 最初および休息, (下) 計算問題。

ている。

なお、この実験タスクはEmotiv EPOCおよびPythonプログラムの運用のための試験的なタスクであったため、被験者は筆者自身が担当した。もちろん装着および電極の抵抗値を下げるための調整には時間を要したが、このように単独での利用が可能である点も、Emotiv EPOCの利点と言える。

3.3 解析と結果

α 波の現れを見る実験の方では、計測時間の3分のうち中間の40秒間を抜き

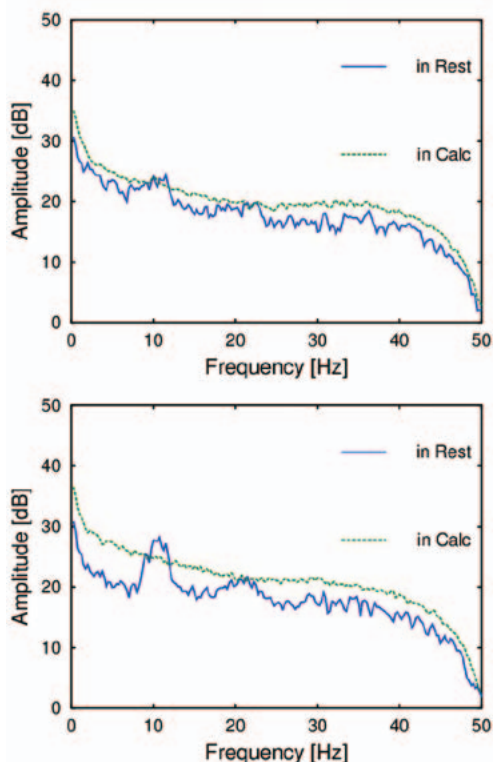


図7 脳波の周波数解析結果。
(上) 左後頭部O1, (下) 右後頭部O2
安静時(青線)は計算時(緑破線)と比較して10Hz前後の成分が多い。

出し、4秒ごとに切り分けて周波数解析を行った。 β 波の現れを見る実験の方では、計算式が表示されてから0.5秒経過した時点から4秒間をそれぞれ抜き出し、周波数解析を行った。周波数解析としては、単純に4秒間分=512サンプルに対しブラックマン窓をかけた後、FFTによって算出した振幅スペクトルを見る。

α 波が現れやすいとされる後頭部の電極(O1, O2)に着目する。O1とO2において振幅スペクトルを加算平均してか

らデシベル表示にしたグラフを図7に示す。横軸は周波数 [Hz] を、縦軸は成分の平均振幅 [dB] を表す。青実線が安静時、緑破線が暗算時の結果である。グラフより、安静時における10Hz前後の周波数成分が、周囲の成分と比較して顕著に上昇している。つまり、 α 波が現れている。暗算時はほぼ平坦な成分分布となっているが、これは一般的な脳波の状態と言え、今回の実験において

は緊張などの負荷がさほど大きくなかったと考えられる。瞬きや呼吸等を遠慮なく行うために設けた休息时间によって、ストレスが軽減されたことも原因の一つかもしれない。なお、40Hz以降の成分が減少傾向にあるのは、Emotiv EPOCの実行の周波数帯域から徐々に離れているためである。

4. 脳波計測実験 —聴覚刺激への反応—

4.1 実験の目的

本研究は、遠い目標としては新たなBCIの構築を目指したものである。BCIとして研究・開発が進められているのとしては、視覚への刺激に関連する脳波を利用するものや手足の運動を想起した際の脳波を利用するものがある。しかし、視線を適切に変更することが求められ、あるいは身体的動作に関連するため、肢体不自由者が利用のための訓練を行うこ

とは困難である。また、感情を想起した際の脳波を利用するものもあるが、人が自己の感情を自在に操ることは困難である。

そこで、聴覚に関する脳内情報処理と意志に着目したBCIを考える。聴覚刺激に対する脳波の反応の様子は脳死判定に用いられる場合もあることから、聴覚に関連する脳波を利用したBCIは、植物状態となった患者であっても訓練・使用できる可能性が大きい。聴覚関連の脳波を利用したBCIに関する主な研究としては、聴覚刺激の中にある特定の単発的な音声の数を数えているときの脳波の特徴を利用するもの¹²⁾と、定常的な聴覚刺激への注意の向け方による脳波の違いを利用するものがある^{13) ,14)}。

本実験は、重度肢体不自由者でも利用可能な、聴覚に関連する脳波を利用したBCIの構築に先立った調査を目的としている。よって、そのような実験タスクを組む必要がある。具体的には、左右で異なる定常的聴覚刺激が与えられている時に、どちらかの音声に意識の中で同調した際の脳波を計測し、注意の向け方による違いを見出すことを試みる。

4.2 実験タスク

まず、第3章の実験と同様に、図4に示すように被験者が椅子に腰かけた状態でEmotiv EPOCとイヤホンを装着する。

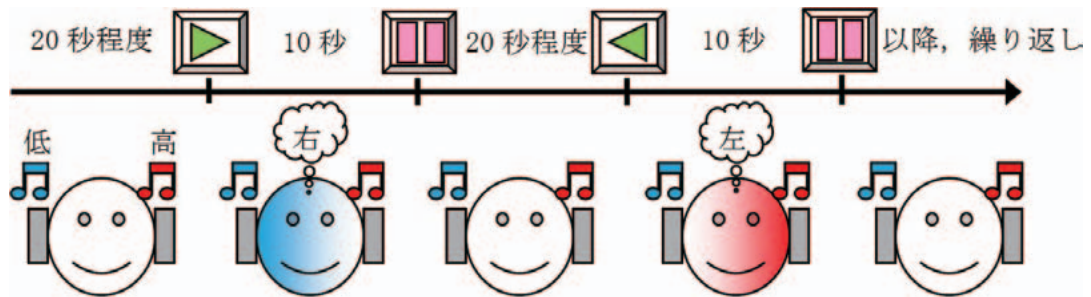


図8 実験の流れのイメージ。左右の指示は各20回をランダムに設定。

装着したイヤホンからは、左右で音程の異なる定常的聴覚刺激が提示されている。被験者に対する指示（左に同調、右に同調）は、20秒間程度のリセット期間を挟んで、それぞれ10秒間画面に提示される（図8）。方向は各20回をランダムに設定するため、指示が画面に表示されるまで、被験者がどちらの音に同調すべきかを知ることはない。その状態で、脳波計測を行う。

イヤホンより提示される聴覚刺激は、文献14)を参考に、左耳には2500Hzの搬送波を37HzでAM変調した音を、右耳には1000Hzの搬送波を43HzでAM変調した音を、それぞれ被験者の耳に同程度の大きさに聞こえるよう音量調整をした後に流す。ただし、短時間ではなく流し続ける点が文献14)と異なる。定常的聴覚刺激の波形は、図9に示すように「うなり」に似た形となっており、実際に聞いてみると高い音と低い音がそれぞれ唸っているように聞こえる。通常、37Hzや43Hzの音声は人の耳で聞き取りにくい

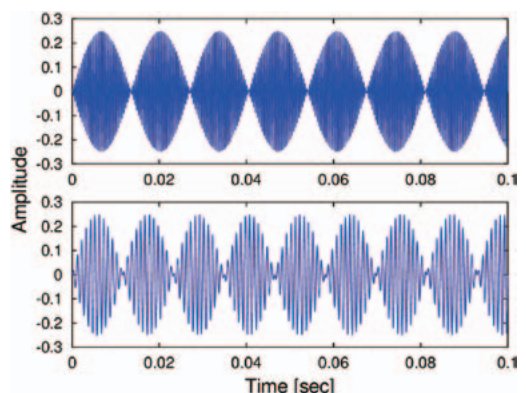


図9 イヤホンから提示される聴覚刺激の波形。
（上）左耳用、（下）右耳用。

ため、今回のような実験に向かない。また、2500Hzや1000Hzの音は特定の内耳を興奮させやすく人の耳で聞き取りやすいが、脳波計の実効周波数帯域を超えるため、仮に音声に同期した脳波が現れても捉えることができない。図9のようにAM変調することによって、人の耳で聞き取りやすく、音声に同期した脳波が現れた場合に捉えられるような音声を作成できる。

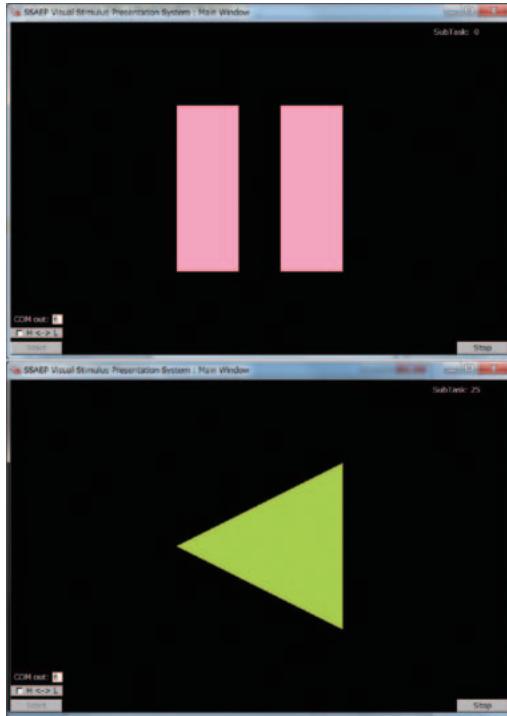


図10 指示の提示画面。
(上)リセット期間, (下)左の音声に同調。

実験タスクにおいて表示される画面を図10に示す。図の上側がリセット期間に表示される画面を、下側が左の音声への同調を指示する画面を表している。構成は第3章の実験とほぼ同様で、左下に音声の左右を入れ替えるためのチェックボックスを備えている。余談ではあるが、この提示用プログラムはコメントや空行を入れても290行で収まっている。

4.3 解析と結果

画面に指示が提示されてから1秒経過した時点から8秒間をそれぞれ抜き出

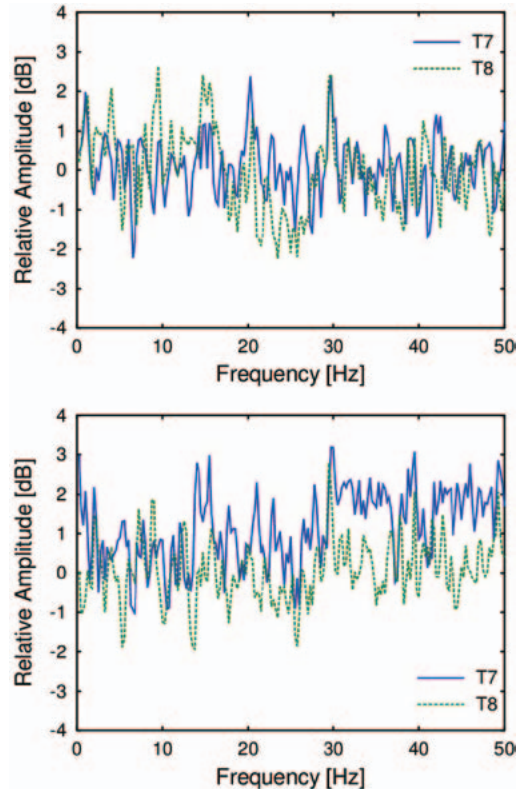


図11 被験者Aが音声に同調している時の脳波の、左右における振幅比。
(上)通常, (下)音声の左右入れ替え。

し、解析を行った。解析では、8秒間分 = 1024サンプルに対して振幅スペクトルを算出し、左右の指示ごとに加算平均を行った。ある2人の被験者AとBにおいて、左の音声に同調している時の平均振幅を右の音声に同調している時の平均振幅で除算し、デシベル表示したものを図11と図12に示す。横軸は周波数[Hz]を、縦軸は成分の振幅比[dB]を表しており、値が0より大きいほど左の音声に同調した際の脳波の振幅が大きく、0より

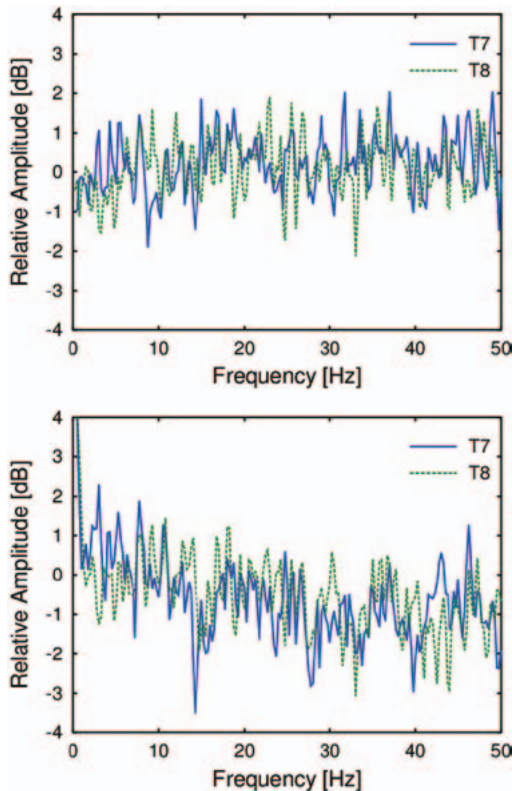


図12 被験者Bが音声に同調している時の脳波の、左右における振幅比。(上) 通常, (下) 音声の左右入れ替え。

小さいほど右の音声に同調した際の脳波の振幅が大きいことを意味する。青線は左脳の聴覚野 T7, 緑破線は右脳の聴覚野 T8, 上側が通常の実験による結果, 下側が音声の左右を入れ替えた実験による結果である。37Hz 付近あるいは 43Hz 付近に何らかの傾向や特徴が現れることを期待したが, グラフから分かる通り, 乱雑な様で明確な差異は見受けられなかった。同様の実験を計 8 名の被験者 (正常な聴覚を持つ成人男女) に対して実施し

たが, いずれも同様の結果となり, まことに残念ながら何らかの傾向を見出すことはできなかった。

5. 考察と課題

脳波計測実験のための環境を安価に構築することに関しては, 個人でも購入可能な簡易脳波計 Emotiv EPOC, 無償の開発言語 Python, 無償の数値解析言語 GNU Octave を利用することで達成できた。それぞれが導入・利用しやすいものであることを解説し, あるいは先行研究で培われたプログラム等が利用できることを説明し, それらを組み合わせた実例を示した。これにより, 脳波に興味がある者に対し, 研究を始めることが容易であることを示すことができた。特に α 波に関してははっきりと確認できており, そのような方面での研究・利用は, 初心者でもすぐさま始められると言える。

しかし, BCI の研究という一面に関しては, まことに残念ながら失敗したと言える。この失敗の要因としては, 一つ目には筆者の未熟さが挙げられる。例えば, 実験タスクが十全なものでなかった可能性がある。筆者は脳波の計測実験やデータの解析に従事した経験があるが, 実験タスクそのものを立案したのは, 本研究によるものが初めてである。生体生理学的な知識や経験が十分でない中, 先行研究を参考にしつつ研究と実験タスク

を立案したが、成し得るだけの実力に達していなかったかもしれない。

他の要因としては、Emotiv EPOCの性能不足が挙げられる。Emotiv EPOCを利用したことのある他の研究者にインタビューしたが、計測速度とノイズ耐性が十分でなく、 α 波など支配的な脳波はある程度確認できても、細かな何かを見出すのは困難であるとの意見を頂いた。現在は計測速度が倍となったEmotiv EPOC+も発売されているが、筆者と面識のある利用者がおらず、率直な意見交換ができていない。また、いずれも頭頂部に配置される電極が無いため、頭頂部の脳波に関する研究との突き合わせができない。これらの解決方法としては、カナダのAdvanced Brain Monitoring社が開発した簡易脳波計B-Alert¹⁵⁾を試すのも一つと考える。B-Alertは計測速度が256Hzであり、頭頂部にも電極が配置されている。ただし、こちらも筆者と面識のある利用者がいないため、筆者自らが試す必要がある。また、いずれにしてもここに挙げたものは簡易脳波計であり、性能は研究用途で一般的に用いられている脳波計に及ばない。例えば、計測速度は一般的な脳波計の1000Hzと比較して約4分の1である。今回の実験タスクを一般的な脳波計を利用して計測し、解析を試みる必要がある。

6. まとめ

本報告では、脳波計測実験のための環境を、簡易脳波計Emotiv EPOC、開発言語Python、数値解析言語GNU Octaveを利用することで安価に構築した例を示した。また、これらを用いて実際に脳波計測実験および解析を行った例を示した。

Emotiv EPOCは電極数が多い割に安価で入手しやすく、また、 α 波などの支配的で特徴的な脳波の計測については容易に利用できた。ただし、今回の調査および考察より、未知の脳機能の解明など本格的な研究利用は、計測速度や耐ノイズ性の観点、あるいは電極配置の観点から、難しい部分があると言える。前者については機能強化版のEmotiv EPOC+の利用を、後者についてはB-Alertの利用を試みるべきと考える。

被験者への指示および刺激の提示用プログラムはPythonを用いて作成した。グラフィカルな指示や視覚・聴覚への刺激を提示する機能に、シリアルポートへの情報出力機能をも加え、少ない行数で記述することができた。これらは、グラフィカルなインターフェースを作成する際にPythonが有力な選択肢になりうることを示している。また、今回は用いなかったが、心理実験においてはPsycoPy¹⁶⁾と呼ばれるPythonのプログラム集もあり、この分野の研究と親和性

が高いと言える。ただし、Pythonは開発言語JAVAなどと比較して一般の利用者が少なく、文法には癖が強い面がある。筆者にとっては習得が容易であったこともあり、JAVAよりもPythonの利用を勧めたいが、資格取得や就職のことを考慮すると、学生には勧め難い面もある。

データの解析にはMATLABのクローンであるGNU Octaveを利用した。今回の報告では周波数解析にとどまったが、多彩な解析ツールが利用でき、大量のデータに対してはExcelより軽快に動作するため、データ点数の多くなる脳波の解析等には有力なツールと言える。ただし、Pythonと同じく一般の利用者が少ないため、学生には勧め難い。一方で、研究者であれば利用する価値が高いと言える。

脳波計測実験に関しては、 α 波の確認には成功したものの、聴覚刺激への反応について、何らかの傾向や特徴を見出すことはできなかった。装置の問題であるのか、あるいは実験タスクの問題であるのか、切り分けるためには、より速度と精度の高い脳波計で再実験する必要がある。再実験により確認できた場合は、簡易脳波計の限界を示すことになる。確認できなかった場合は、実験タスクを再考する必要がある。

謝辞

本研究は、愛知大学研究助成C-172による助成により進められたものである。また、多数の被験者の協力により成立したものである。愛知大学ならびに被験者への感謝の意をここに表す。

参考文献

- 1) Neuper C, Muller-Putz GR, Scherer R, Pfurtscheller G: "Motor imagery and EEG-based control of spelling devices and neuroprostheses", Prog. Brain Res., Vol. 159, pp. 393-409, 2006.
- 2) Sellers EW, Kubler A, Donchin E: Brain-computer interface research at the university of south Florida cognitive psychophysiology laboratory: the P300 speller, IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., Vol. 14 (2), pp. 221-224, 2006.
- 3) 理化学研究所 脳科学総合研究センター
<http://www.brain.riken.jp/jp/>
- 4) MathWorks
<http://jp.mathworks.com/>
- 5) Emotiv EPOC
<https://emotiv.com/epoc.php>
- 6) Psychtoolbox-3
<http://psychtoolbox.org/>
- 7) Python (x,y) - the scientific Python distribution.
<http://python-xy.github.io/>
- 8) CONTINUUM ANALYTICS

<https://www.continuum.io/>

9) GNU Octave

<https://www.gnu.org/software/octave/>

10) European Data Format

<http://www.edfplus.info/specs/edf.html>

11) B. Shoelson: edfRead

<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31900-edfread>

12) 田村潤, 鷺沢嘉一, 東広志, 森川直樹, 田中聡久: 音声刺激による聴覚ブレイン・コンピュータ・インタフェースの可能性, 電子情報通信学会技術研究報告. SIP, 信号処理 Vol. 111 (466) , pp. 281-286, 2012.

13) D.-W. Kim, H.-J. Hwang, J.-H. Lim, Y.-H. Lee, K.-Y. Jung and C.-H. Im: Classification of selective attention to auditory stimuli: toward vision-free brain-computer interfacing, Journal of neuroscience methods, Vol 197, No. 1, pp. 180-5, 2011.

14) 南波寛直, 中村堯, 松本隆: アルファ波成分を用いた脳波 ASSR データの2クラス判別, 電子情報通信学会技術報告 MBE, ME とバイオサイバネティックス, Vol. 112 (479) , pp. 79-82, 2013.

15) B-Alert X Series MOBILE EEG

<http://www.advancedbrainmonitoring.com/xseries/>

16) PsychoPy Psychology software in Python

<http://www.psychopy.org/>

(URL 閲覧日は全て平成 27 年 11 月 9 日)