HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	心的負荷が脳波律動に及ぼす影響
著者	平田，恵啓; Hirata，Yoshihiro
引用	工学研究 ： 北海学園大学大学院工学研究科紀要(10): 33-37
発行日	2010-09-30

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

研究論文

心的負荷が脳波律動に及ぼす影響

平　田　恵　啓*

A study on amplitude fluctuation of oscillatory EEG components affected by mental conditions

Yoshihiro Hirata*

1．はじめに

人はその高度に発達した脳の機能により，外界からの情報を処理し適切な行動をとることによって今日の社会を形成してきた．脳の働きの内でも言語を用いたコミュニケーションは現代社会を形成する上で大きな役割を担ってきたと考えられる．また，言語は学習過程においても重要である．近年の脳研究の主要なツールであるf-MRI（機能的磁気共鳴画像）は外因的な刺激や心理課題遂行中の内的要因などによって生じる脳内の活動部位を構造画像上に直接表示することができることから音声言語に関わる部位の同定にも用いられているが[1]，本来医療機器として用いられる大型装置であるため，多くの研究者にとってこの装置を気軽に使用できる状況にはない．

一方，脳活動の計測法としてよく知られる脳波は神経細胞の活動によって生じる電位変化を頭部に貼り付けた電極で導出し１万倍程度に増幅して記録するもので，てんかんや睡眠障害の検査に用いられているほか，近年では廉価なA/D変換器の普及によって玩具として市販されているものもある[2]．この脳波は，外部からの刺激に対して一定遅れ時間で生じる誘発応答成分とアルファ波やベータ波などとして知られる周期性を有し外部からの刺激には直接関連せずに観測される律動脳波成分に分類される．誘発応答成分はS/N比が悪いため数十回以上の同期加算平均方法を用いる必要がある．一方，律動成分はより大きな振幅のため同期加算の必要がなく，実時間での観測が可能である．この律動脳波は，外部からの事象に同期して増強したり脱同期して減少したりする（event related synchronization/desynchronization）することが知られている[3]．またこれら律動脳波は心的状態によってその振幅が時間と共に変動する．脳波はこれまで医療現場において脳の異常診断や認知心理学における研究手法として用いられてきたが，比較的簡便に精神状態をモニタするツールとして，教育や学習の場への展開を望む声もある．

著者はその可能性を探るための先行研究を開始したが[4]，本報告ではさらに被験者を増やすことで，律動脳波が心的要因に対してどのように変動するのか，および脳波の個人性についての理解を深めて教育や学習への応用の可能性について考察する．

2．実験

2.1　被験者

本報告では健康な男子大学生９名（21－23歳）が休日などの空き時間に有給のボランティアとして参加した．全員これまでにコンピュータ画面上の文字を読む経験を有しており，眼鏡の使用などにより正常な視力を有していた．測定に先立ち，その目的，手順，予想される危険性等についての説明を行い，承諾を得た上で測定準備を開始した．

* 北海学園大学大学院工学研究科電子情報工学専攻
Graduate School of Engineering (Electronics and Information Eng.), Hokkai-Gakuen University

2.2　実験方法

心的負荷には学習や教育分野への応用を念頭に置き，言語に関連したものとして文章を読む行為を選んだ．また，被験者が課題を確実に実行していることを実験者が客観的に確認するためには，読んでいる文章を声に出す，つまり音読が適当であると考えた．音読に使用する文章は日本語の比較的容易なもので，かつ測定中に読み終えることの無いような分量が必要となる．また，後述するように異なるディスプレイ条件での提示を考えると電子化された文章が好ましい．

そこで実験に先立ちオープンコンテントの百科事典であるウィキペディア日本語版[5]から被験者にとって親近感の持てそうな「アニメ」,「トヨタ自動車」,「北海道」,「王貞治」,「東京ディズニーリゾート」の5つのトピックを選択した．これらの文章をウェブブラウザ上に表示し，カットアンドペースト作業によりMicrosoft Office Word 2007に移植した．体裁としてMSPゴシック，10.5ポイントを選択した(49行/ページ，56文字/行に相当).その結果移植した文章量は5ページ以上となり,全てを音読するには20分以上の時間を要するものとなった．

Mutterらによると，それ自体が発光するコンピュータディスプレイと反射光の違いによって文字が見える印刷物を比較すると長時間のディスプレイの使用はより多くの疲労をもたらすとされている[6]．そこで被験者への上述文章の提示方法は，心的な負荷が異なるように，印刷された紙面，または日常的によく使われる2種類の液晶ディスプレイ(ノートブックコンピュータの10.4インチ液晶モニタ：15.9 cm×19.9 cm，1024×768 dotsと17インチ液晶モニタ：27.0 cm×33.8 cm,1280×1024 dots)とした．文字はWordの印刷レイアウトモードを用いた．パソコンのマルチタスク化が当たり前の今日では，スクリーン上に1つのウィンドウを全画面表示させたり，複数のウィンドウを同時表示し個々のウィンドウは小さめに表示させたりすることもよく行われる．そこで，音読課題は，1)17インチ液晶モニタ上の全画面表示(17F)，2)17インチ液晶モニタ上の中心部付近のみの表示(17 S)，3)10.4インチノートブック液晶モニタ上の全画面表示（NtF)，4）ノートブック液晶モニタ上の中心部付近のみの表示(NtS)，5）紙の印刷物（Pa）の5つのセッションとし，これらの課題の順番は被験者間でランダムとした．1つのセッションは，約100秒の安静閉眼，12分以上の音読,約100秒の安静閉眼で構成し,セッションと次のセッションの間には約10分間の休息を設けた．

実験に先立ち，脳波記録中の手足の移動やマウスを用いたページのスクロールなどの体動により筋電位が発生すること及び体動による電極ケーブルの変位も電気的雑音として脳波に混入する可能性があることを被験者に説明し，セッション中は机に向かう格好で椅子に楽な姿勢で座り，大きな動きはしないように指示した．また，文字を読んでいる最中に読みの分からない漢字が出てきた場合にも適当な発音で読み進め中断することがないようにすること，音読中は文章の内容を理解しながら読み進めること，各セッションを始める前には目とスクリーンまたは印刷物との距離が最も見やすくなるように調整するように指示した．

各セッション終了時には，被験者の課題による心的負荷を推測するために，次に示す項目について10段階の評価を選択方式で回答してもらった．

1）体調　　疲れている　1-----10　元気
2）眠さ　　眠い　1-----10　眠くない
3）ストレス　　ある　1-----10　ない
4）音読　読めなかった　1-----10　よく読めた
5）内容理解　分からない　1-----10　全て分かった
6）目の疲れ　　疲れた　1-----10　問題ない
7）体の疲れ　　疲れた　1-----10　問題ない
8）文字　　見づらい　1-----10　見やすい

2.3　脳波計測とデータ処理方法

脳波は電磁シールドのない環境で国際式10－20法[7]（図1）に従って配置された脳波用電極キャップ（ECI™ electro-cap: Electro-Cap international inc., USA）を頭部に固定し，課題前後

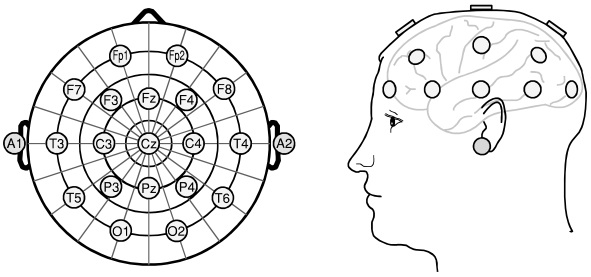

図1　(a)国際式10－20法での電極配置と(b)脳に対する電極の大まかな配置

と課題遂行中の脳波をポータブル型ディジタル脳波計（日本光電工業，EEG-9100）にサンプリング周波数 1,000 Hz で記録した．本脳波計は設計上 C 3 及び C 4 電極が基準電極となっているが，再生時には用いた 19 電極の平均電位を基準電位とするように設定した．また，頭部との電気的接触は導電性ジェルを電極中心部の穴から流し込む事で行うが，各セッション前にはインピーダンスチェックを行い 5 kΩ 以下になっていることを確認し，必要に応じてジェルを補充した．本研究では筆者らの過去の報告[4] で顕著な変化が見られたアルファ波帯域（8－13 Hz）の振幅に着目する．音読中および直前と直後の安静閉眼状態の脳波も併せて記録した．

データ解析は，EEG-9100 上で指定した区間の脳波データをアスキー出力で取り出し，Matlab ver.2007 b 上で作成した自作プログラムで行った．まず，記録データにチャネル単位で 8－13 Hz の Chebyshev II 型帯域通過型フィルタを適用し，次に解析時間内で 1 秒間毎に二乗平均平方根（RMS）を計算した．そして解析時間内の RMS 平均を求めて平均アルファ振幅（MAA）として，課題の前後での変化を評価した．

$$RMS=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(filteredEEG_i)^2}{n}} \tag{1}$$

$$MAA=\frac{\sum_{i=1}^{m}RMS_i}{m} \tag{2}$$

また，各被験者の律動性成分主な周波数を確認するために，解析時間内で高速フーリエ変換（1024 ポイント，24 点オーバーラップ）を瞬きが混入している部分を外しながら 1 秒間隔で行い，解析時間内での平均パワースペクトルを求めた．

3．結果

アンケート結果については，すべての被験者でセッション数が増えるに従って現在の体調の数字が変化なし又は減少したことから，身体的な疲労が徐々に蓄積していったことが推察される．被験者が感じていたストレスは，概ね体調の変化と同様に増加の傾向を示したが，Sub TG と MS は全セッションで同じ値をマークしており，ストレスと体調が必ずしも同一視されていない．

FFT 解析の結果から，9 名の被験者全員で安静

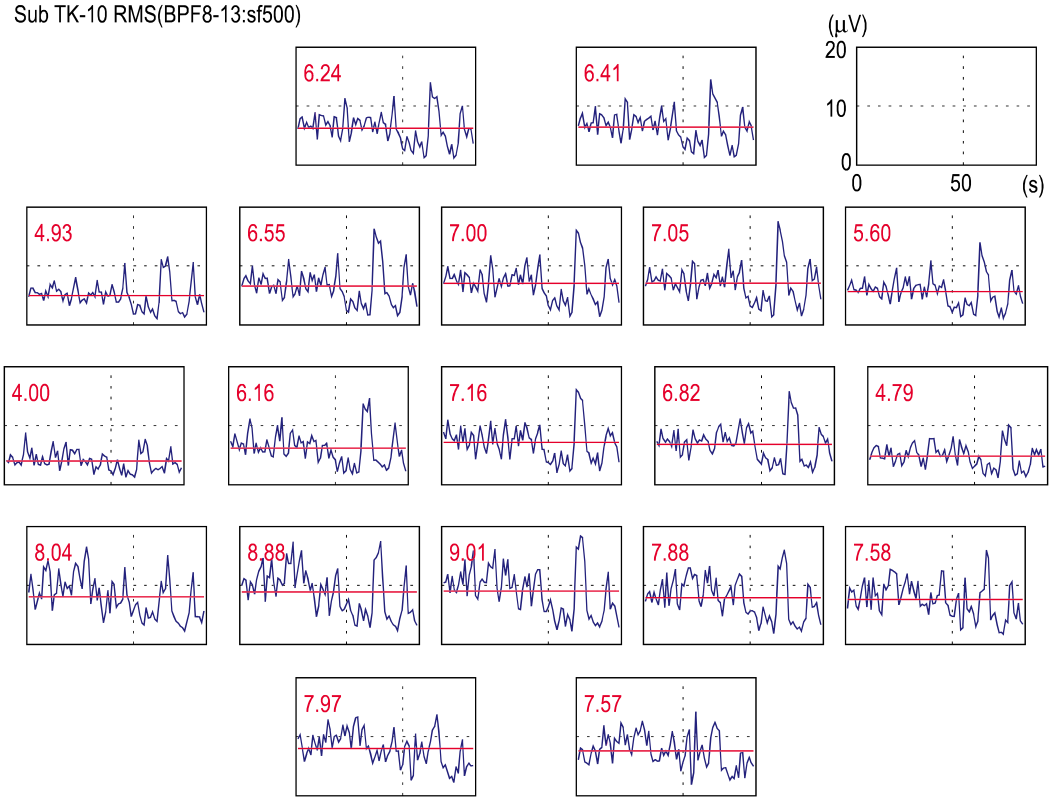

図 2　1 名の被験者（TK）が安静閉眼時に国際式 10－20 法の各電極位置で観測した脳波のアルファ成分（RMS 値）

閉眼時の脳波にはアルファ帯域に大きなピークが見られた．しかし，その周波数は 7.8－11.7 Hz（本論文中の FFT 解析条件での周波数分解能は 0.98 Hz）と個人差が見られた．音読課題の開始とともに約半分の 5 名の被験者においてアルファ波パワーの減少と 1 ヘルツ程度のピーク周波数の上昇が確認された．

図 2 に被験者 TK が音読前閉眼時に各電極位置で記録された脳波の 1 秒間毎のアルファ帯域の RMS 値を計算しプロットしたものを示す．青い連続線の変動からアルファ波振幅は時々刻々と変化していることと，後頭部を中心に大きな振幅を示していることが読み取れる．図中の赤い横線は解析時間帯の MAA であり，その値を左上の数字で示している．

MAA は左右の後頭部を中心に頭頂及び側頭部まで広く分布していた．そこで図 3 に被験者全員について，左後頭部（電極位置：O 1）における 5 つのセッションそれぞれでの，課題前後の安静閉眼時（白丸）と課題遂行中（緑丸，3 区間に分割）の MAA を示した．なお，下段中央の被験者 MS については，O 1，O 2 を中心に Pa セッションにおいて他の被験者と大きく異なる振幅変化を示していたため，O 1 の代わりに T 5 を示した．全員に共通しているのは，MAA は開眼音読時には小さくなり，課題終了後の安静閉眼では大小の程度はあるものの回復している点である．Sub MS を除く全ての被験者で第 1 セッションの課題の前後では課題後の MAA が増加している．これは，被験者が意識するかどうかは別として，初めての脳波測定を行うことに対する潜在的な意識が心的な負荷として存在している状態と最初の課題を終えた直後でその負荷が軽減されたと考えられる状態の差を反映していると推察される．以前の著者らの報告においては参加した 3 名の被験者全員で，馴染みのある表示形態では課題遂行中から課題後の MAA への回復量が少ないと結論づけた．今回の被験者でも同様の傾向を示す被験者がいた一方で，Sub MM のようにどちらかというと読みにくいと判断した NtS において，MAA の回復が少ない場合が見られた．

4．考察

本研究では，心的負荷として提示方法の異なる音読課題を準備し，課題遂行中と課題前後のアルファ波の大きさを検討した．音読中は開眼状態となりアルファ波ブロッキングと呼ばれる振幅の減

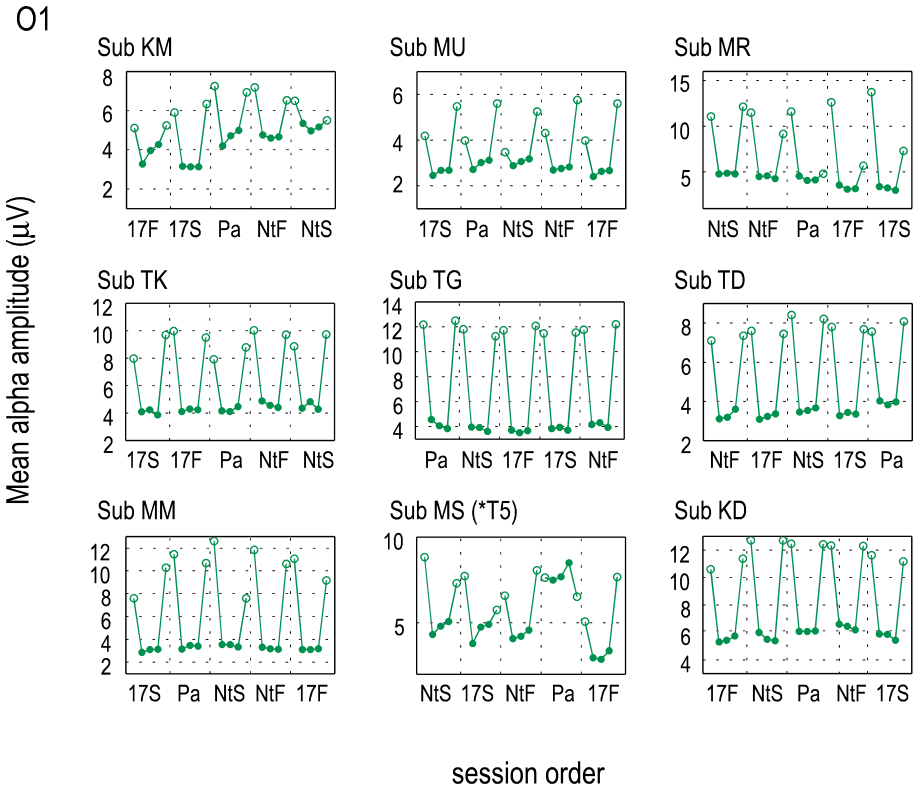

図 3　5 つのセッションを遂行中（緑丸）およびそれらの前後の安静閉眼時（白丸）の MAA

衰で，MAA の値は 3-6μV と評価が難しいため本研究では前後の MMA に注目した．今回は心的負荷を文章提示方法の違いとしたが，実験の継続時間および，使用した 5 つのトピックのテーマの難易度も心的負荷として寄与することが考えられる．科学的な手法では，個人的な要因を極力排除して共通性を明らかにすることが行われるが，教育への応用を念頭に置くと，個々人に適した判定基準を作成することが求められる．そのため，今後の展開としては被験者を少人数に限定し，幾つかの課題をある期間繰り返して行うことで中長期的な変化を観察することが必要であると考えている．

脳波を用いた診断法は，正確性を期すために頭部全体を覆うように配置された電極を用いて行われる[8]．このため数十分の電極取り付け時間や測定後にジェル・ペースト除去の洗髪が必要となる．しかし教育分野への応用には，取り付け作業は 5 分程度にとどめ使用する電極数も数個に押さえることが望まれる．そこで 19 個の電極中でどの位置が適切かの検討が必要である．

自発的な運動や動作のイメージに伴う律動脳波成分の変動は，脊椎損傷などの患者がコンピュータの力を借りて健常者に近い能力を手にする機会の実現に役立てられている[9]．これは脳波のパターンが律動成分の増強や減少によって特異的な分布を示すことを利用している．本研究では振幅変化に着目しているが，仮に，学習においても特有なパターン形成が確認されれば新たな展開が期待される．

5．まとめ

心的負荷に提示方法の異なる音読課題を用い，課題遂行中と課題前後のアルファ波の大きさを検討した結果，課題の前後でアルファ波の大きさに変化が生じることを確認した．学習のように個人への対応が求められる領域においては，本研究のように個人から得られたデータを個別に検討する手法は有用であると考える．

謝辞

本研究の一部は，北海学園大学学術研究助成金および北海学園大学ハイテク・リサーチセンター研究プロジェクト経費による援助を受けて行われた．

【参考文献】

1）Sakai KL, Tatsuno Y, Suzuki K, Kimura H and Ichida Y: Sign and speech: a modal commonality in left hemisphere dominance for comprehension of sentences. *Brain*. 128(6), pp.1407-1417, 2005.

2）http://mindflexgames.com/

3）Pfurtscheller G and Neuper C: Future prospects of ERD/ERS in the context of brain-computer interface (BCI) developments. *Prog Brain Res*. 159, pp.433-437, 2006.

4）Hirata Y and Hirata Y: Enhancing Learning through Technology: Research on Emerging Technologies and Pedagogies. pp.115-130, 2008.

5）URL: http://ja.wikipedia.org/wiki/

6）Muter P, Latremouille SA, Treurniet WC and Beam P: Extended reading of continuous text on television screens. *Human factors*, *24*(5), pp.501-508, 1982.

7）Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, and Elger C: The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 52, pp.3-14, 1999.

8）上床真美，俣江忠，塗木淳夫，湯ノ口万友，辻村誠一，黒野明日嗣：Sternberg　課題遂行中の脳波トポグラフィによる認知症早期診断法の予備的研究，*生体医工学*．47(1)，pp.64-69，2009．

9）Pfurtscheller G: Spatiotemporal ERD/ERS patterns during voluntary movement and motor imagery, *Suppl Clin Neurophysiol*. 53, pp.196-198, 2000.