

単極脳波計を用いた学習時の脳活動に関する考察 Consideration on brain activity during learning using a single-channel EEG device

守 春道[†] 加藤 和夫[†] 金 惠鎮[‡] 金 義鎮[‡]
Harumichi Mori Kazuo Kato Hyejin Kim Euijin Kim

1. はじめに

近年、従来の大型脳波計よりも実環境活用に適した単極脳波計が開発されていて、脳波は医療分野に限らず、様々な産業分野における応用も多く試みられている。単極脳波計は廉価で装着が容易なため実環境への利点は多い。例えば、実際の教育現場に単極脳波計を用いて、学習者の理解度を定量的に評価する多人数同時脳波計測システムの構築も考えられる。

しかし、単極脳波計には、従来の大型脳波計に対して、測定箇所の前頭部は瞬きなどのアーチファクトが混入しやすいことや、測定箇所によって反応が異なり、個人差が大きいという課題も残されている。そのため、汎用性の高い脳波分析を行うためには、使用する単極脳波計の特性を正確に把握することが望ましい。

そこで、本研究では単極脳波計を用いて異なるタスクの脳波を計測・分析し、教育現場での活用可能性について考察する。

2. 学習時の脳活動

2.1 心理状態と脳活動

脳活動は人間の心理状態と深い関わりがあり、学習時の学生の心理状態を分析することが可能である。本研究では、心理状態として考えられるリラックス、集中、ストレスを単極脳波計で調べることで、教育現場での活用可能性について考察する。例えば、リラックス状態は学習者が落ち着いて学習を行っている安定度を表すが、過度なリラックス状態では学ぼうとする学習態度が低い可能性も考えられる。集中状態は学習への没入度を表し、学生は学習に対して意欲的で熱心に取り組んでいる良好な学習態度と考えられる。ストレス状態は学習に対する難しさ、学習が捗らないことへの不安を表し、良好な学習態度を妨げると考えられる。これらの心理状態を脳活動から計測するため、本研究では脳波に着目する。脳波は脳活動に伴って変化するため、心理状態を分析することが可能である。

本実験では、以下に示すタスクを心理状態の指標として想定し、タスク毎の脳波を測定・分析する。

- (1) タスク 1 は閉眼安静状態であり、リラックスによる傾向が強まる。また、脳活動が小さいので学習が捗らない状態とも考えられる。予想される脳波は α 波である。
- (2) タスク 2 は針に糸を通し続ける状態であり、一点に集中する傾向が強まる。また、被験者によってはストレスも感じる可能性がある。予想される脳波は β 波である。
- (3) タスク 3 は箸で豆を掴んで小皿から小皿へ移し続ける

状態であり、単調な作業であるため、被験者によってはストレスを感じる可能性がある。予想される脳波は β 波である。

- (4) タスク 4 は 100 マス計算を解き続ける状態で、単純計算によりストレスが発生することも考えられるが、学習の集中による傾向が強まる。この集中作業が他タスクよりも学習に関連している、計算などの集中には前頭部 θ 波が確認されている[1]。予想される脳波は θ 波と β 波である。

2.2 実験

実験は被験者毎に異なる日で 2 回測定し、被験者は成人男女 (23~24 歳) の 5 名 (以下、Sub1~Sub5 と呼ぶ) を対象とする。まず、被験者の脳波が安定するまで安静にしてもらい、安定性の確認後に 4 つのタスクを 100 秒間ずつ測定する。脳波測定には NeuroSky 社の単極脳波計 Mindwave mobile 2 (MWM2) を用いる。MWM2 は、測定箇所が左前頭部 (Fp1) のみに限られて、眼球の動きや瞬きなどのアーチファクトによる影響を受けやすいが、装着性や携帯性が優れていて、スマートフォンで脳波測定もできる。したがって、実際の教育現場での活用可能性が高いと考えられる。

3. 分析及び結果

分析には、タスク毎の脳波信号測定の安定性を考慮し、前後 5 秒間を除いた 90 秒間の脳波を用いる。その際、測定した脳波から $70 \mu V$ 以上のアーチファクトを含む区間を 1 秒毎に除外する。アーチファクト除去後の脳波に対して、高速フーリエ変換で 1 秒間毎に求めた周波数スペクトルを同一周波数毎に加算平均し、各被験者のタスク毎に平均スペクトルを求める。ただし、MWM2 の出力脳波は、既に 4~30Hz のバンドパスフィルタが施されているので、本研究でも θ 、 α 、 β の 3 種類の周波数帯域を用いて、学習に関連する脳活動の変化を調べる。具体的な周波数スペクトル帯域は、 θ 波 (4~7Hz)、 α 波 (8~12Hz)、 β 波 (13~17Hz) に分類する。

リラックス状態のタスク 1 に対して、タスク 2~4 の脳活動変化を調べるため、帯域毎のタスクの全被験者平均パワー値を図 1 に示す。タスク 1 に対して他のタスク値が高

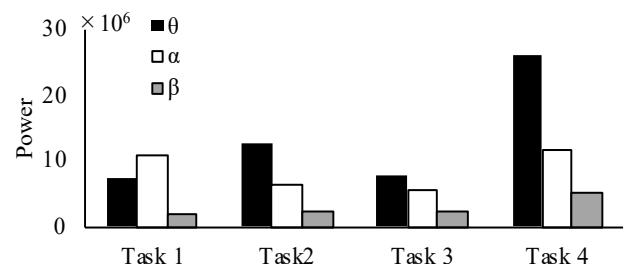


図 1 全被験者の帯域パワーの平均値

[†] 東北学院大学 Tohoku Gakuin University

[‡] 日本大学 Nihon University

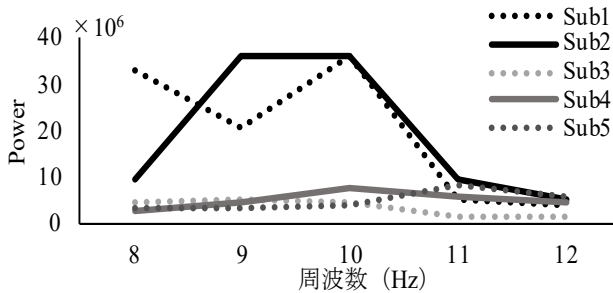


図2 Task1の周波数スペクトル(α波帯域)

表1 帯域パワーの有意水準 (* : p<0.05, ** : p<0.01)

タスク対	θ	α	β
1対2	1.00×10^0	4.16×10^{-1}	1.00×10^0
1対3	1.00×10^0	1.93×10^{-1}	1.00×10^0
1対4	$1.24 \times 10^{-3**}$	1.00×10^0	$1.97 \times 10^{-4**}$
2対3	1.00×10^0	1.00×10^0	1.00×10^0
2対4	$1.26 \times 10^{-2*}$	1.77×10^{-1}	$6.07 \times 10^{-4**}$
3対4	$1.11 \times 10^{-3**}$	8.01×10^{-2}	$7.23 \times 10^{-4**}$

くなる傾向が見られた。しかし、α波では、タスク1に対して、タスク4の値も高くなる傾向が見られた。α波はタスク1で高く、タスク2~4で低くなる傾向が一般的な脳活動であるが、予想とは異なる結果であった。この結果を詳しく調べるために、被験者毎のタスク1の周波数スペクトル(α波帯域)を示す(図2)。被験者毎に比較すると、Sub1とSub2はSub3, Sub4, Sub5に比べて高いα波の突出が顕著であった。さらに、Sub3, Sub4, Sub5の内、Sub4は10Hz, Sub5は11Hzにパワーの低い小さな突出が確認でき、Sub3では突出が見られなかった。この結果から、α波はθ波及びβ波と比べて、個人差が大きくみられた。

次に、より正確にタスク間の帯域パワーの差を比較するため、Bonferroni法による多重比較検定を行う。多重比較検定では、タスク毎に全被験者平均パワー値を算出してタスク間に有意な差があるか比較する。また、タスク間の多重比較検定は各帯域(θ, α, β)で行う。各帯域パワーのタスク間の有意水準を表1に示す。この結果により、θ波とβ波の両方では、タスク4に対して他タスクで有意差が示され、その他のタスク間では有意差が示されなかった。また、α波ではタスク1~4の全ての比較で有意差が示されなかった。

4. 考察

4.1 学習時の脳活動

本研究では、学習時の心理状態を脳波の帯域平均パワー値から分析した。学習状態に想定したタスク間で比較したところ、リラックス状態に対する脳活動時の変化はθ波とβ波で予想の傾向を示し、α波で予想とは異なる結果を示した。つまり、左前頭局所の脳波において、脳活動変化の有無がθ波とβ波で検出できるが、α波では検出が困難であることが考えられる。この原因がα波に個人差があるためと予想し、被験者毎のタスク1のα波帯域周波数スペクトルを示したところ、パワーの大きさと突出する周波数の違いを確認した。この結果から、左前頭局所でリラックス指標にα波を用いることが適しているとは言い難い。なお、

MWM2は装着を工夫することで後頭部の測定が可能であることがわかった。α波は後頭部で強い特徴を示すことが知られているため、MWM2の後頭部測定によるリラックス検出の可能性が示唆された。

次に、タスク間で有意差があるか調べたところ、θ波とβ波の計算に対して他タスク全てに有意差が示され、学習に関連したタスクが最も脳活動変化を表していることがわかった。前頭部θ波は学習と関連した精神作業で増幅するため、先行研究[1]と同様の結果を確認できた。また、β波の反応として、被験者にストレス課題を与える実験にはクレペリン検査などの単純計算を数分間行うため、計算によるストレス傾向もMWM2の左前頭局所から確認できたと考えられる[2]。

一方、β波において計算以外のタスクでは有意差が示されなかった。この原因として、針糸と豆とりで想定した心理状態(集中, ストレス)を被験者から誘発するには至らなかったと考えられる。計算以外の心理状態を計測するためには、実験回数や計測時間を増やすことで集中やストレスを誘発できると考えられる。

教育現場の活用可能性として、計算課題を解いている学生の脳波を計測し、集中度を定量的に評価することが可能である。さらに、学生の集中度評価を教授者へリアルタイムに送ることで、教授者は学生の集中度を把握し、適切な指導を行える可能性を見出した。

4.2 課題

単極脳波計を用いて脳波の測定・分析を行なったところ、θ波とβ波に予想通りの傾向が示され、教育現場への活用可能性を示すことができた。しかし、単極脳波計を用いた脳波の計測・分析は以下のような課題も残されている。

- [課題1] 脳波は測定箇所によって反応が異なるため、同一のタスクでも被験者によって変化する可能性がある。
- [課題2] アーチファクトを除去することで、分析するデータ数が減少してしまう。
- [課題3] 脳波は個人差があり、パワーの大きさや周波数が変動するため、個人差を考慮した補正值(キャリブレーション)が必要である。

これらの課題を解決するため、多極脳波計を用いて想定した学習時の脳波を測定し、測定箇所による変化の分析を今後の課題とする。

5. まとめ

本研究では、単極脳波計を用いて学習時の脳活動を計測・分析し、教育現場での活用可能性について考察した。実験では異なるタスクを心理状態の指標と想定し、脳波の計測を行なった。実験の結果、単極脳波計の特性によって得られる脳活動の変化を捉えることができ、個人差によっては学習時に適切ではない指標も確認することができた。今後は、多極脳波計を用いて単極脳波計との比較を行い、汎用性のある脳波分析システムの構築を予定している。

参考文献

- [1] 稲田 宏之, 田中 久弥, 池田 憲昭, “計数課題による注意集中とFmθ波の計測”, 電気学会研究会資料IM, Vol.10, No. 47, pp.35-39 (2010).
- [2] 島田 尊正, 今野 紀子, 宮保 憲治, 深見 忠典, 斎藤 陽一, “脳波を用いた計算タスク時のストレス計測”, 電気学会論文誌C, Vol.134, No.10, pp.1498-1505 (2014).