EEGのウェーブレット解析によるメンタルワークロードの評価

○三好哲也、村田厚生、杉足昌樹（広島市立大学）

Evaluation of Mental Workload Using Wavelet Analysis of EEG

Tetsuya Miyoshi, Atsuo Murata and Masaki Sugiashi (Hiroshima City University)

1. 序論

工場やオフィスなどでの作業が肉体的作業から精神的作業に移りつつある。精神的作業による生体への負担は、メンタルワークロード (mental workload) と呼ばれており、その定量的な評価法が求められている。メンタルワークロードの評価法は大別して(1)主観的評価(2)パフォーマンスもしくは作業分析(3)生理的測定に分けられる¹⁾。自発脳波や心拍数変動(HRV)などの生理信号の周波数分析の結果がメンタルワークロードの生理的指標として用いられている²⁾。

本研究では、自発脳波に着目し、異なるレベルの精神作業(空間的、言語的適合性の判断)を課したときの自発脳波をウェーブレット解析により分析し、 α 波、 β 波、 θ 波の時間に沿った周波数変化に基づいてメンタルワークロードと作業負荷レベルとの関連について検証した。

2. 実験方法

2-1 被験者

被験者は、視覚に異常のない21歳から24歳の健康な男子大学生および大学院生8名とした。

2-2 実験装置

測定部位は国際10-20法に従い、Fz、Cz、Pzの3箇所とした。脳波の測定には小型多用途脳波計(NEC社製SYNAFIT2200)を用いた。サンプリング周波数は1kHzとし、A/D変換器(A/Dインスツルメンタル社製MacLab/8)を通しパーソナルコンピュータにデータを取り込んだ。刺激の提示にはAVタキストスコープ(岩通製IS-701D)、CRT(三菱電機製FHL61155-SATKJ)を用いた。

2-3 実験手順

実験は静粛な簡易シールドルームで行った。実験では被験者に、AからLまでのアルファベット12文字を提示し、刺激の提示位置および文

字種類の2項目が、1つ、2つもしくは3つ前に提示した刺激と適合しているかを被験者に判断させた。CRTからの視距離は70cm、刺激の提示時間は200ミリ秒、提示間隔は4.5秒とした。刺激は連続的に提示し、提示位置は8箇所とした。負荷する作業の難易度を3段階とし、最も容易な作業を低レベル負荷、中程度の作業を中レベル負荷、最も難しい作業を高レベル負荷と定義した。低レベル負荷では、現在提示している刺激と1つ前に提示された刺激を比較させ、適合性を判断させた。中レベル負荷では2つ前に提示した刺激と、高レベル負荷では3つ前に提示した刺激と現在の刺激を比較させ、適合性を判断させた。適合、不適合の刺激提示の割合は50%とし、1回の試行では、被験者に判断させる回数を50回とし、各作業負荷レベルについて2回ずつ測定を行った。また、作業負荷のレベルに対する反応時間、正答率およびNASA-TLXによる心理評価を求めた。

3. 実験結果

3-1 パフォーマンスおよび心理評価

作業負荷レベルが上昇するにしたがって刺激の提示に対する反応時間は遅くなり、刺激の適合性に対する正答率は減少した。作業負荷を要因とし、反応時間と正答率を従属変数として1元配置の分散分析を行ったところ、反応時間($F(2, 45) = 5.776, p < .01$)、正答率($F(2, 45) = 8.303, p < .01$)ともに有意差が認められた。

NASA-TLXによる心理評価は全ての項目において作業負荷レベルの上昇に伴い心理的な負担が増加した。作業負荷レベルを要因とし、各項目の評価値を従属変数として1元配置の分散分析を行ったところ、全ての項目において有意差が認められた。これらのことから設定した作業負荷レベルは適切であり、異なる作業負担をもたらしたと考えられる。

3.2 自発脳波のウェーブレット解析

各被験者にそれぞれの作業負荷レベルにおける100試行を行わせた。そのうち、ノイズが少ない20試行のデータを抽出してウェーブレット解析を行った。

各被験者の α 波、 β 波、 θ 波成分のパワーの最大成分に対する割合を用いた。各周波数帯域別に作業負荷レベルごとの比較を行った結果、作業負荷レベルが上昇するにしたがって α 波、 β 波、 θ 波のパワー値が大きくなった(図1参照)。作業負荷レベルおよび α 波、 β 波、 θ 波成分を要因とし、パワー値を従属変数として2元配置の分散分析を行ったところ、作業負荷レベル($F(2, 63)=15.93, p<.01$)、周波数帯域($F(2, 63)=322.62, p<.01$)ともに有意差が認められた。

パワー値の出現時間に注目して分析を行った。各4.5秒の試行において α 波、 β 波、 θ 波成分のパワー値の最大値を100%として80%を越えたパワー値が出現する時間を指標として各成分の出現時間を検証した。作業負荷レベルごとに α 波、 β 波、 θ 波に関して8人の被験者の20回の試行の出現時間の平均をとったところ、 α 波では、低レベル負荷、中レベル負荷、高レベル負荷の順に0.76秒、0.96秒、1.24秒となり、出現までの時間は長くなった。 β 波、 θ 波についても同様の結果となった(図2参照)。作業負荷レベルおよび周波数帯域(α 波、 β 波、 θ 波帯域の3水準)を要因とし、各周波数帯域のパワー値を従属変数として2元配置の分散分析を行ったところ、作業負荷レベル($F(2, 63)=13.51, p<.01$)に有意差が認められた。

4. 考察

作業負荷レベルが上昇するにしたがって、 α 波、 β 波、 θ 波のパワー値の増加が見られたが、この原因として、作業負荷レベルの上昇に伴う、脳波活動の活発化が考えられる。作業負荷の増加すなわち記憶作業の増加に伴い、被験者が保持しなければならない情報量が増加し、適合不適合の判断を行うための短期記憶の検索、照合処理など、脳内の情報処理が活発に行われた結果、自発脳波のパワー値が増加したと推察される。

図1 作業負荷レベルとパワーの比率の関係

図2 作業負荷レベルとパワー値の出現時間の関係

作業負荷レベルが上昇するにしたがって、適合不適合を回答するまでの反応時間は遅くなり、自発脳波の α 波、 β 波、 θ 波の各成分のパワー値が最大値の80%になる時間も遅くなった。短期記憶からの情報検索は悉皆的検索であると言われており、検索個数が増加すると検索時間は長くなり、パワー値の出現時間も遅くなったと考えられる。

5. 結論

本研究では、精神的作業中の自発脳波をウェーブレット解析することにより、メンタルワークロードの定量的評価を試みた。ウェーブレット解析を用いることにより周波数領域と時間領域での作業中の脳波の分析が可能となり、作業負荷レベルの上昇にともなう各周波数帯域のパワー値の増加という周波数領域での特徴とパワー値の出現時間が遅くなるという時間領域での特徴を得た。

参考文献

- 1) 平柳要, 岩崎賢一, 神田省吾, 谷島一嘉: メンタルワークロードの測定・評価法に関する実験的検討, 人間工学, 32, pp. 251-259 1996
- 2) 吉田倫幸: 脳波によるメンタルストレスの計測と評価, 人間工学, 33, pp. 72-73 1997