

令和元年6月24日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21688

研究課題名(和文)ウェアラブル脳波計を用いた実環境下におけるワークロードの推定

研究課題名(英文) Estimation of human workload in real world using the wearable EEG device

研究代表者

横田 悠右 (Yokota, Yusuke)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報工学研究室・研究員

研究者番号：10710593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ヒトがどの程度、脳を使用しているかを表す指標であるワークロードを客観的かつ定量的に評価する方法を確立した。実験では、歩行という日常的に行われる環境下において、ウェアラブル脳波計を使い、ヒトの脳波を計測した。その結果、聴覚定常状態応答という脳波成分は、ヒトが精神的に余裕のある状態において強く反応したが、逆に複雑な課題を行っている状態、すなわちワークロードが高い状態においては、抑制されることが示された。この成果は、聴覚定常状態応答がヒトのワークロードを客観的かつ定量的に評価する指標として有用であることを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ワークロードをヒトの一般的なコミュニケーションである言葉や身振りで表現することは困難である。しかしながら、ヒトの脳情報からワークロードを直接表現できたことで、ワークロードを客観的かつ定量的に表現することが可能になった。本研究の成果は、例えば、どのような環境がヒトに対してストレスをかけない優しい状態であるか、どのようなインターフェースがより使いやすいかといったこれまで比較、検討することが困難であった問題を解決する指標の1つになり得る。

研究成果の概要(英文)：Workload in the human brain can be a useful index of internal brain state. However, due to technical limitations, previous workload studies have been unable to record brain activity via conventional electroencephalography (EEG). In this study, we used a wearable EEG system to estimate workload in a real world.

We used the auditory steady-state response (ASSR) which is an oscillatory brain activity evoked by repetitive auditory stimuli, as an estimation index of workload. We found that the phase-locking-index (PLI) of ASSR activity was significantly correlated with the degree of task difficulty. Thus, ASSR appears to be an effective index of workload in real world recording.

研究分野：脳機能計測

キーワード：脳波 聴覚定常状態応答 ワークロード

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトの脳活動を解読し、コンピュータに情報を伝達するブレインマシンインタフェース (BMI) の研究が世界中で盛んに行われている。しかし、既存の BMI 技術の研究開発は、主に身体麻痺患者等の身体や発話機能をサポートするために、脳活動計測から患者の意思を読み取り運動機能を代替するものであった。そのため、脳から情報を解読して運動機能を代替する研究は多い一方で、海外さらには国内においても実環境下において手軽に脳情報が計測できるインタフェースおよび健常者も脳情報を活用できる技術への発展を考慮した研究は少ない。これまで一般向けに製品化された脳活動計測装置は、額に配置した電極から脳波を読み取るといった玩具があるが、実際のところ、計測されるデータは眼球運動や筋肉運動による電気ノイズを多く含んだ信号であり、脳情報を産業界で活用できる技術レベルに到達しているとはいえない。

こうした現状を打破すべく、手軽に脳情報を計測するインタフェースの開発および健常者も利用できる応用技術の研究も手がけてきた。その成果として、導電性ジェルペーストなしで脳波が計測できるウェアラブル脳波計と誰でも簡単に脳波が計れるヘッドギアを開発した。そして健常者も脳情報を活用するメリットのある技術、すなわちこれまでのコミュニケーション手段では伝達が困難であった情報を解読する研究として、脳がどの程度使われているかという情報であるワークロードを脳活動から定量的に推定する手法を基礎研究において明らかにした。本研究は、これら2つの研究成果をもとに、神経科学的に確立した知見と手軽に脳波が計測できるウェアラブル脳波計を組み合わせることで、実環境下で脳波からワークロードを推定するという世界の先端を行く位置づけとなる研究である。

2. 研究の目的

本研究は、脳がどの程度使われているかを示す指標であるワークロードを脳活動計測から評価する基礎研究を進展させ、実環境下において記憶負荷等によって生じるワークロードをウェアラブル脳波計により脳波から推定することを目的とする。具体的には、歩行中のユーザに、記憶負荷などの課題を行わせ、ワークロードが高い状態を作り出し、ウェアラブル脳波計から統一的にワークロードを推定する。本研究は実環境および運動中という現実生活に近い環境下における脳波計測を狙いとしており、脳波の実環境応用としても大きなインパクトを与えるものである。

3. 研究の方法

脳活動計測からワークロードを評価する方法として、聴覚定常状態応答 (Auditory Steady-State Response) を用いた。聴覚定常状態応答とは、特定の周波数情報をもつ聴覚刺激を呈示したときに、脳内で発生する刺激周波数と同じ周波数帯の振動活動である。一般的に、聴覚定常状態応答は 40Hz の周波数刺激においてもっとも強く誘発することが知られている。さらに、40Hz の ASSR は対応する課題の難易度に応じて変化することが報告されている。日常生活下において簡便に脳活動計測を行い、ワークロードを推定するためには、装着が容易でありセッティングに時間がかからないインタフェースとしてウェアラブル脳波計を使用して、より少ない脳波チャンネル数のデータからワークロードを推定することが求められる。また、歩行といった我々が普段日常生活を送るうえで行っている行動中においても、脳活動計測からワークロードを推定する方法の確立が重要である。こうした背景のもと、本研究は実環境における歩行中の脳活動計測からワークロードの推定に焦点を当て、実験参加者のワークロードを N バック課題という記憶課題で変化させたときの脳活動を、ウェアラブル脳波計を用いて計測した。

ヒトに関する実験遂行において

脳波計測実験は、ヘルシンキ宣言に則り、所属する機関の倫理委員会の承諾を得て行った。また実験参加者には事前にインフォームドコンセントを得た上で、いつでも実験を中止できることを保証して実験を行った。研究の成果発表は、他者に個人を特定できないようデータを匿名化して行った。

聴覚定常状態応答を誘発させるための聴覚刺激

実験では ASSR を誘発させるための聴覚刺激が用いられた。聴覚刺激は搬送波が 500Hz の正弦波を 40Hz で AM 変調した刺激であり、参加者には両耳のイヤホンを通じて呈示した。聴覚刺激は後述する記憶課題、運動課題を実行している間、常に呈示されるが、参加者には聴覚刺激に注意を払わないように教示した。

ワークロードを変化させるための記憶課題

記憶課題実験では、N バック課題を行うための視覚刺激が呈示された。視覚刺激は、Visage によって制御され、液晶プロジェクタを通してスクリーンに呈示された。参加者は、時速 2km/h で動作しているトレッドミルの上を歩きながらスクリーンを観測した(図 1)。実験の流れを図 2 に示す。すべての実験において、数字の "1" および "2" のいずれかがそれぞれ等しい確率で 500 ミリ秒呈示された。それぞれの課題では、70 試行分の刺激が呈示され、試行間には固視点入り

のブランク画像が2000ミリ秒挿入された。1 ブロックは、No-Load 課題(NL 課題) に加え、2 種類の N バック課題 (1バックおよび2 バック) の合計 3 つの課題で構成された。NL 課題では、参加者は現在呈示されている刺激を判別して、2 つのボタンを用いて回答した。1 バックおよび2 バック課題では、参加者は現在呈示されている刺激が、N 個前の刺激と同じか否かを回答した。ボタン押しは、右手の人差し指と中指が使用された。1 ブロック目はNL, 1 バック, 2 バックの順番で行い、2 ブロック目は、2 バック, 1 バック, NL 課題の順番で行った。すべての参加者は、実験開始前におよそ 10 分間の練習を行った。

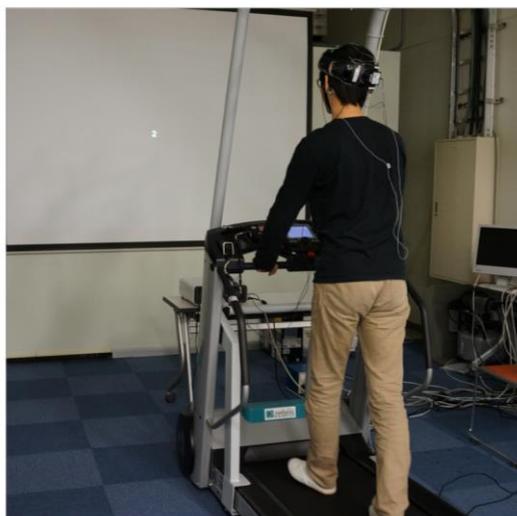


図 1 : 実験風景

視覚 N バック課題

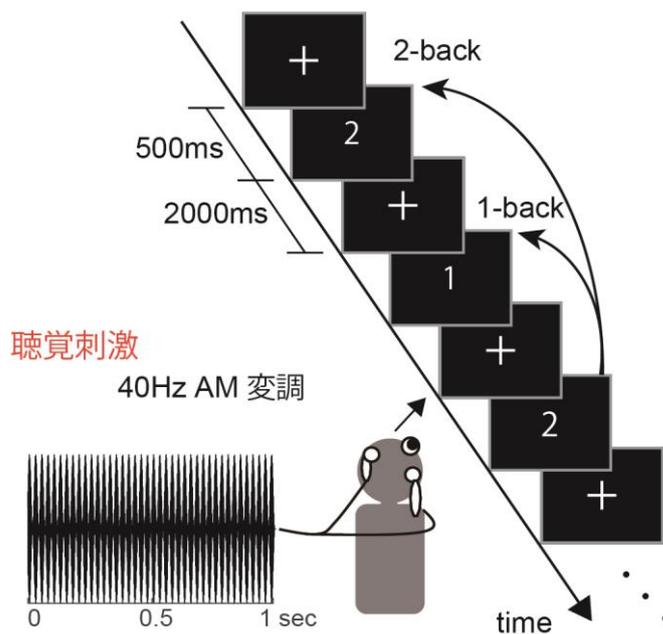


図 2 : N バック課題の流れ

ウェアラブル脳波計測システム

小型かつ無線通信機能を搭載した脳波計と導電性のジェルが不要なドライ電極をオリジナルの脳波ヘッドギアに装着したウェアラブル脳波計システムを使い、歩行中の参加者の脳波を計測した。ウェアラブル脳波計測システムを図3に示す。脳波計は、8チャンネル無線 EEG システム Polymate MiniAP108 (ミュキ技研製)、電極としてユニークメディカル製のドライ電極を使用した。電極は、Fpz, FC3, FCz, FC4, O1, Oz, O2 に設置した。参加者は、脳波計と電極を一体化したオリジナルの脳波計測ヘッドギア (澤村義肢製作所製) を装着して、脳波計測を行った。すべての信号は、左乳様突起を基準とし、サンプリング周波数 500Hz で計測された。



図3：ウェアラブル脳波計測システム

4. 研究成果

参加者のNバック課題の精度と応答時間を図4に示す。課題難易度を要因とした分散分析を行ったところ、応答精度で主効果が認められた($F(1.5,14) = 53.7, p < 0.0001, \eta^2_p = 0.793$)。同様に、課題難易度を要因としたフリードマン検定を行ったところ、精度で主効果が認められた($\chi^2 = 25.2, p < 0.0001, \eta^2 = 0.84$)。これらの結果は、課題難易度の増加にしたがって有意に応答時間が遅くなり、精度が低下していることを表している。それ故、実験参加者はNバック課題の遂行によって脳内のワークロードが変化していたと考えられる。

Nバック課題中の実験参加者の聴覚定常状態応答のチャンネル内位相同期(Phase locking index: PLI)を図5に示す。本研究では、Fpをanterior, FC3,FCz,FC4の平均値をfronto-central, O1,O2の平均をoccipital領域として定義した。課題難易度を主効果とした分散分析を行ったところ、統計的な主効果が認められた($F(1.67,14) = 9.49, p < 0.01; \eta^2_p = 0.404$)。また、PLIは、fronto-centralでもっとも顕著に変化した。これは、聴覚定常状態応答の信号源が一次聴覚野であることに起因していると考えられる。多重比較検定により、fronto-central領域では、NL課題、1バック課題、2バック課題のすべての組み合わせにおいて統計的な有意な差が認められた。それ故、聴覚定常状態応答はNバック課題における実験参加者のワークロード変化を敏感に反映していると考えられる。ここで、注意すべき点として、聴覚定常状態応答は、脳内におけるワークロードに関する脳内活動を直接反映していない。本研究における聴覚定常状態応答の変化の解釈は以下の通りである。ヒトが十分な脳内リソースをもっており、行うべき課題が簡単である場合、課題遂行のために消費する脳内リソースは小さい。そのとき、脳内には十分な余剰リソースがある。この状態で課題遂行に直接関係のない音を聞いたとき、その音に対して脳が自動的に反応する。本研究における聴覚定常状態応答はまさにこの活動を表しており、ヒトが十分な脳内リソースを持っているときは、自然と音に対する反応が聴覚定常状態応答として観測される。しかしながら、参加者が難易度の高い実験課題を行っている場合、実験課題の遂行には直接関係のない音刺激に対して、脳がリソースを提供できる余裕がない。この場合、音に対する処理を行うことができないため、聴覚定常状態応答の反応が弱まると考えられる。こうした解釈のため、聴覚定常状態応答がワークロードに関する脳内反応を直接反映してはいない。しかしながら、聴覚定常状態応答を利用するメリットは、音に対して自動的に誘発される点である。それ故、様々な課題を実行中、あるいはなにか他の作業を行っているときの聴覚定常状態応答が応答度合いを観測・比較することでヒトのワークロードを評価できる。本研究では、歩行という本来であれば、計測された脳波信号に多くのノイズが混入する実験条件で脳波を計測したものの、上述した結果のように課題難易度の変化に応じた聴覚定常状態応答の変化を抽出した。これは聴覚定常状態応答がノイズに対して頑健であることを示しており、今後、様々な日常生活下においても聴覚定常状態応答を用いたワークロード評価が可能であることを示している。また本研究では、聴覚定常状態応答をウェアラブル脳波計というワイヤレスかつドライ電極で簡単に脳波が計測できるデバイスで計測することができた。以上、本研究はウェアラブル脳波計を用いて脳内のワークロードを日常生活に近い実環境下において評価するという研究目的を達成した。

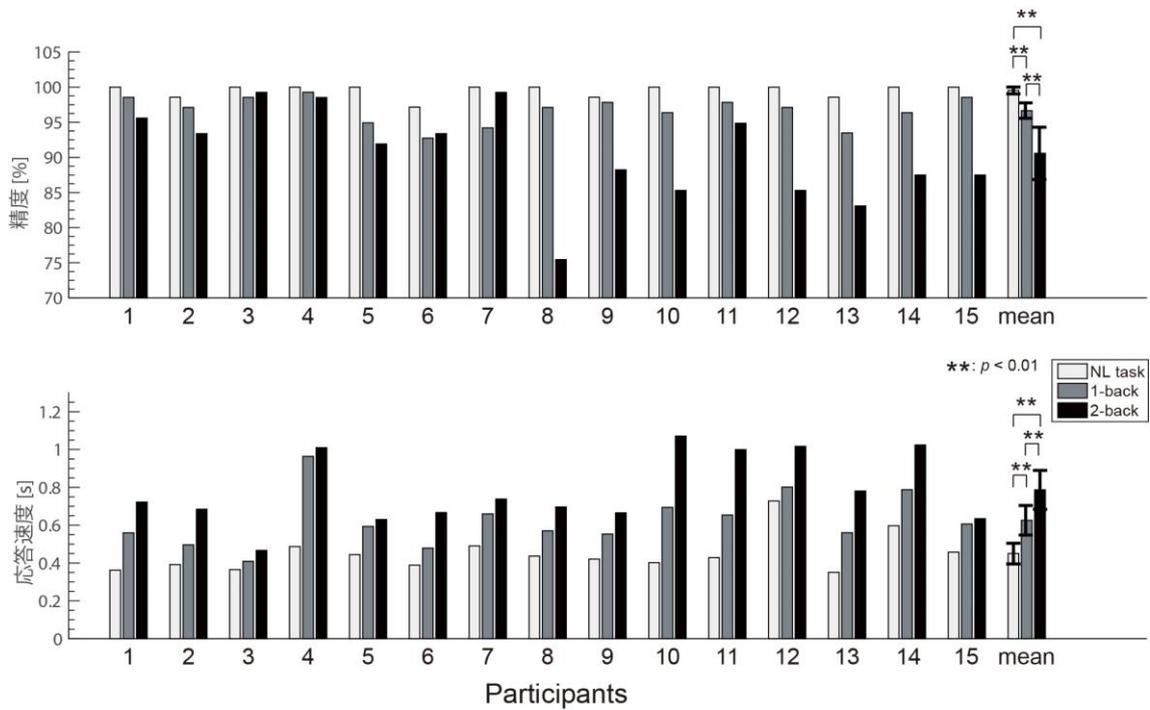


図 4 : Nバック課題における精度と応答速度

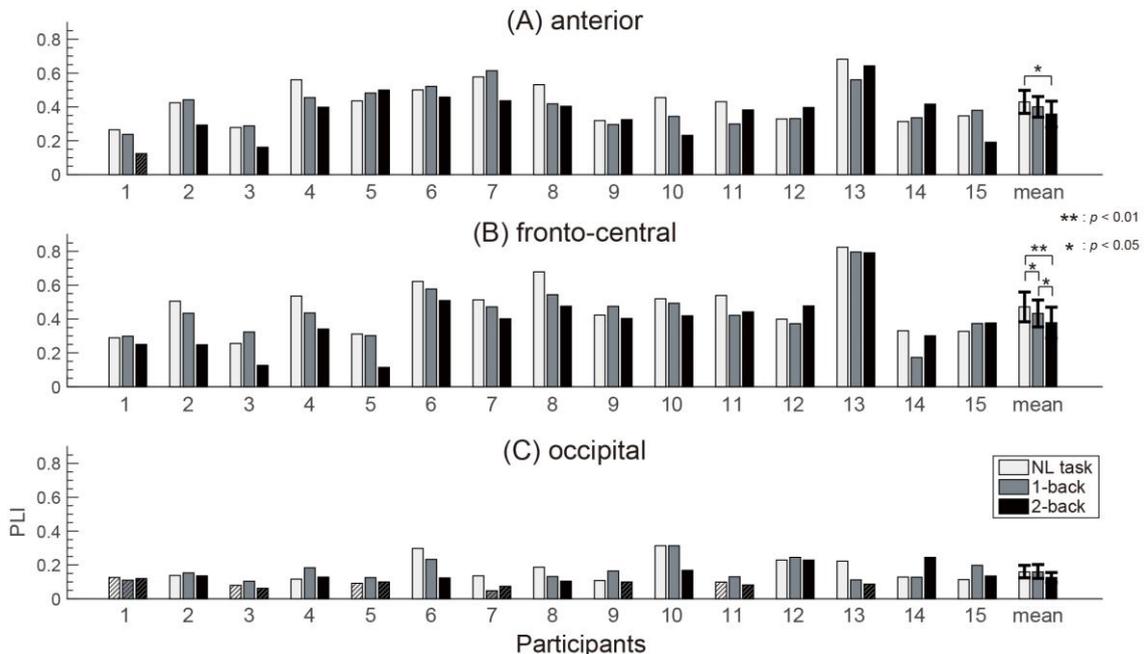


図 5 : Nバック課題における聴覚定常状態応答

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- ① 岩瀬悠哉、成瀬康、横田悠右、梅原広明、梅野健、歩行中の脳波に含まれるワークロード信号のブラインド信号源分離を用いた抽出、ヒューマンインタフェース学会論文誌、査読有、20 卷、2018、pp. 353-360
https://doi.org/10.11184/his.20.3_353
- ② Yusuke Yokota, Shingo Tanaka, Akihiro Miyamoto, Yasushi Naruse. Estimation of Human Workload from the Auditory Steady-State Response Recorded via a Wearable Electroencephalography System during Walking. Frontiers in Human Neuroscience、査読有、Vol.11、pp.1-10
 DOI: 10.3389/fnhum.2017.00314

〔学会発表〕（計 5 件）

- ① 東佑一朗、小竹康代、中嶋宏、横田悠右、成瀬康、実作業に対する習熟過程をワークロードの変化から推定する、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017、2017
- ② 横田悠右、五十嵐康彦、岡田真人、成瀬康、N バック課題における聴覚定常状態応答からリアクションタイムの推定、第 31 回日本生体磁気学会大会、2016
- ③ Yusuke Yokota, Shingo Tanaka, Akihiro Miyamoto, Yasushi Naruse. Estimation of human workload during walking from brain activity, 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2016
- ④ 横田悠右、成瀬康、ウェアラブル脳波計を用いた 運動および記憶課題中のワークロード推定、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016、2016
- ⑤ 横田悠右、成瀬康、実環境脳波計測において聴覚定常状態応答からワークロードを推定する、ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2016、2016

〔図書〕（計 1 件）

成瀬康、横田悠右、東佑一朗、シーエムシー出版、ウェアラブル脳波計の開発，ヘルスケアを支えるバイオ計測、2016、pp. 201-208

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://brain.nict.go.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者：なし

(2) 研究協力者：なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。