

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04219

研究課題名（和文）感覚連想を用いたブレイン・コンピュータ・インタフェース

研究課題名（英文）Brain-computer interface based on sensory associations

研究代表者

吉村 奈津江（Yoshimura, Natsue）

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：00581315

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、認知的な肯定・否定の返答を感覚機能に関する脳活動に連想付けさせることで、肯定・否定の意思を抽出しようとすることを目的としていた。どのような感覚が連想付けに適するかを検討した結果、平衡感覚を司る前庭器官を電気刺激する際に得られる感覚が有効であることが確認された。この結果は健常者だけでなく、ドイツの共同研究者の協力により計測した完全閉じ込め症候群患者にも見られることが確認された。日本においてALS患者を対象として実施するために、特定臨床研究申請を実施・承認され、新型コロナウイルスの影響で最終年度にALS患者の計測が実施できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自発運動制御に関する機能が消失していく筋萎縮性側索硬化症（ALS）患者のための意思伝達システム構築を目指す中で、本研究は全ての運動機能が消失した後の完全閉じ込め症候群においても利用できるシステム構築を目指すものである。シンプルなYes/Noの返答を別の感覚刺激と連想付けることで、その感覚刺激に起因する脳活動パターンを利用してYes/Noの判別精度が向上することが示唆されたことは、この手法の実現可能性を示唆するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to extract Yes/No intentions by creating associations between cognitive Yes/No responses and brain activity related to sensory functions. As a result of examining which sensations are suitable for the association, the sensations obtained during electrical stimulation of the vestibular organs, which control the sense of balance, were found to be effective. The effect was confirmed not only in normal participants, but also in patients with completely locked-in syndrome, who were measured with the help of German collaborators. An application for Clinical Trials Act was submitted and approved to conduct the study on ALS patients in Japan, and measurements on two ALS patients could be conducted in the final year of the study due to COVID-19.

研究分野：脳活動信号処理

キーワード：脳波 脳情報解読 ブレイン・マシン・インタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

脳波を用いて意思を抽出するブレイン・マシン・インタフェース (BMI) では、視覚刺激により誘発される反応波を用いるものと、身体部位（右手や左手）の運動想起による脳活動の違いを用いるものが最も開発が進行している。しかし、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) 患者の場合は、能動的な運動機能が消失する疾患のため運動想起の手法が利用できず、完全閉じ込め状態では眼球運動も消失するため視覚刺激を用いることも不可能となる。そのため、患者が想起した意思そのものを抽出できる手法の確立が求められている。脳活動信号の計測法では、外科的手術により脳に電極を設置する侵襲的手法の方が高い情報抽出精度を実現することができるが、ヒトが想起した意思そのものの抽出は侵襲的手法でも実現できていない。頭皮から非侵襲的に脳活動信号を計測する脳波では意思抽出は困難と考えられているが、侵襲的手法の利用については安全面、倫理面などの問題があるため、非侵襲的手法の可能性についても並行して検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

ヒトのコミュニケーションの基本である Yes/No の意思を非侵襲的に計測できる脳波から抽出できる手法を確立することを目的とした。Yes/No が判別できれば、(1) 様々な質問に対する答えを得られる可能性があるため、患者の痛みや要求を家族や介護者が認識できることになり、(2) 文字入力システムなどにおいて選択肢の正否を判断できることにつながる。

## 3. 研究の方法

上記目的を実現するために、ALS 患者にも残存していると言われている感覚機能の利用に着目した。感覚機能としては、視覚、聴覚、触覚、体性感覚などがある。それらの感覚刺激の中で、脳波で 2 条件の違いが明確に判別できる可能性が高いのは、脳の信号伝達の左右差を外部から制御できる可能性がある触覚または体性感覚であると考えた。つまり、身体の右側と左側に刺激を与えることで、脳の左と右の半球に活動が独立して得られることが利用できる。また、触覚と体性感覚のどの刺激を試みるかについては、別の目的で進めていた代表者らの研究で用いていた、前庭器官への電気刺激 (GVS : Galvanic vestibular stimulation) に着目することとした。GVS は両耳の後ろから電流を流すと右または左の平衡感覚の歪みを引き起こす刺激であるが、本人が自覚できない程の微弱な刺激でも脳内では左右差を認識していることがこれまでの研究から示唆されていた (Ganesh et al, Science Advances, 2018)。これを踏まえて本研究ではこの GVS を Yes/No の意思と古典的条件付けの手法を用いて連想付ける手法を検討した。

パブロフの犬でよく知られる古典的条件付けでは、犬に餌を与える時に毎回ベルの音を聞かせてから与えていると、そのうちベルの音を聞いただけで唾液が出るようになる、というもので、身近な例では我々がレモンを見ると自然に唾液が出る現象もその一種である。これを利用し、Yes と No の音声に従って Yes と No を想起してもらおうと同時に左右別の方向に身体が傾く GVS を与え続けると、いずれ GVS がなくても Yes と No の想起で身体が傾く感覚が生じるのではないかと予想し検証を実施した。健常者を対象に GVS による条件付けが生じるか、本人の主観的評価と機能的磁気共鳴画像 (fMRI)、および脳波を用いて確認し、完全閉じ込め症候群の患者 1 名でも脳波を用いて検証した。

## 4. 研究成果

GVS による条件付けが生じるか、予備検討において本人の主観的評価により検証した結果、数十分の刺激提示でも条件付けが行われることが確認された。そこで本実験として健常者 11 名を対象に、GVS 条件付けを行った後に、自明かつシンプルな質問に対する Yes と No の想起による脳活動を、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) を用いて確認した。その結果、中心後回や頭頂葉など、認知的な思考に起因するとは考えられない領域で、GVS による活動が過去に報告されている領域で Yes と No の活動に差が見られることが確認された。そのため、GVS による条件付けが脳活動の違いとしても検出できる可能性が示唆されたため、これを脳波から識別できるか検証を行った。

GVS による条件付けは、Yes/No それぞれ 20 回の想起を 2~3 セッション行い、時間にして 20~30 分程度であった。本人の主観評価で、GVS がなくても身体の歪みの左右差を感じることを確認した上で、自明かつシンプルな質問に対して Yes/No を想起するセッションを実施した。セッション中に記録した脳波を用いて、機械学習により Yes/No の判別を行った結果、参加者全員の判別率がチャンスレベルよりも有意に高くなった。また一部の fMRI 実験に参加しなかった参加者については、GVS による条件付けの前と後で判別率を比較してみたところ、条件付けの後の方が有意に高くなった。この実験系を完全閉じ込め症候群の患者 1 名に対しても実施したところ、85.3%の識別率が得られ、完全閉じ込め症候群患者への有効性も示唆された。

また、脳波から信号源推定を行い、Yes/No 想起の違いによる脳活動パターンの違いを調べたところ、健常者と ALS 患者共に、中心後回付近に大きな活動が認められた。この結果から、条

件付け後の Yes/No 想起には、GVS を受けた際に感じる身体の傾きのような感覚による脳活動が起きていることが fMRI と脳波の両方から確認できたことが示唆され、感覚連想付けによる意思抽出システムの実現可能性が示唆されたと言える。

完全閉じ込め症候群患者を対象としたデータ計測は日本では行えないため、上述の患者のデータはドイツ機関の共同研究者との取り組みにより計測したデータで示したものである。本研究課題では日本で ALS 患者を対象とした計測を実施すべく、閉じ込め症候群ではない ALS 患者を対象とした特定臨床研究申請を研究期間内に行い、承認された。新型コロナの影響で ALS 患者を対象とした計測の実施の実現は最終年度のみとなり、2名の計測を実施した。本人からの主観的評価から、GVS により身体が歪む感覚が誘発されていることが確認され、GVS を用いた条件付けを実施するための自作デバイスの有効性も確認できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 情報処理装置および情報処理方法	発明者 吉村奈津江、他4名	権利者 東京工業大学、 産業技術総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、2020-108549	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	島田 洋一  (Shimada Yoichi)  (90162685)	秋田大学・名誉教授・名誉教授   (11401)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	畠山 和利  (Hatakeyama Kazutoshi)  (50748291)		
研究 協力者	丸山 裕恒  (Maruyama Yasuhisa)		
研究 協力者	斉藤 公男  (Saito Kimio)  (20566153)		
研究 協力者	須田 智寛  (Suda Tomohiro)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	University of Tuebingen			
フランス	CNRS			