

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Investigating the Neural Representation of Finger-Movement Directions Based on Decoding Approach Using Electroencephalography
著者(和文)	TELLACHEMOHAMED MOUNIR
Author(English)	Mohamed Mounir Tellache
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12021号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉村 奈津江,小池 康晴,金子 寛彦,八木 透,小尾 高史
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12021号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Tellache Mohamed Mounir		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	吉村 奈津江	准教授	審査員	小尾 高史	准教授
	審査員	小池 康晴	教授			
		金子 寛彦	教授			
八木 透		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、指の運動に関する脳信号処理の理解を目的として、指の運動方向を識別する識別器(デコーダ)を脳波信号から機械学習により作成し、デコーダが情報抽出に利用した脳領域がどの程度複数の人間にも共通する特徴であるかを調べることでその目的を検証するものであり「Investigating the Neural Representation of Finger-Movement Directions Based on Decoding Approach Using Electroencephalography」と題し、英文5章からなる。

第1章「Introduction」では、人間の持つ運動機能に関する脳内信号処理の理解の必要性と利点について述べ、脳活動信号の記録方法、記録した信号を用いて外部機器を操作するブレイン・コンピュータ・インタフェース(BCI)、複数の情報が混在した脳波から情報を分離する手法である独立成分分析法(ICA)とその信号源特定手法、および脳活動信号を用いた識別手法について例を挙げてまとめている。最後に本研究の目的として、脳波を用いたデコーダにより、指の運動方向に関する脳内表象を調べることを掲げている。

第2章「Materials and Methods」では、指の運動方向を脳波から識別するデコーダを作成するための実験手法について説明している。人差し指を8方向に動かすタスクを実施している際の脳波を計測し、後の解析で信号源の場所を特定する際に必要となる頭部の核磁気共鳴画像(MRI)の撮像についても言及している。

第3章「Investigating the neural representation of finger movement」では、指の運動が脳のどの領域でどのタイミングで活動するのかを調べるために、本論文で用いたアプローチについて説明し、得られた結果を述べている。特に、ICAを用いて脳活動に起因する信号のみを抽出することで、脳波信号に眼球運動が混在しやすいという問題に対処している。更に本論文では、「運動の方向」という身体外部の座標系を基準とした脳内の情報処理を、関節や筋肉など身体内部の座標系を基準とした情報処理と区別するために、腕を伸ばした状態と曲げた状態で同じ運動タスクを行う実験系を通して記録したデータを混在させて8方向の運動方向を識別するデコーダを学習させるという手法を用いている。8方向の運動方向を識別するデコーダの精度は6名の参加者全員においてランダムに割り当てたラベルで計算させた識別精度(チャンスレベル)よりも統計的に有意に高いことを示したことから、このデコーダが抽出した脳領域が運動方向に関与するとしている。参加者全員の独立成分(IC)のクラスター解析から、右半球の舌状回など後頭部に位置するICが運動方向に関与する傾向が高く、その貢献は指を動かす筋肉が活動する直前の時間帯で最も高い結果となったと述べている。それに対して身体内部の座標系を抽出したデコーダでは、識別精度は運動方向のデコーダよりは低いものの、指を動かす筋肉が活動した後の時間帯でも貢献度が高い結果が得られたことから、デコーダを用いた本論文の生理学的な妥当性を示すものと説明している。

第4章「Comparison of the Neural Representation of Finger Movement Direction Between Group and Individual Level Sets」では、第3章で識別に貢献した脳領域が、別のデータセットあるいは他の参加者との共通性が見られるかについて、デコーダを用いて調べている。事前に作成したICへの変換行列を新たなデータに適用した場合でもチャンスレベルよりも高い精度が得られれば貢献度の高い領域を調べる価値があるとして、個人レベルで変換行列を作成した場合と、複数の参加者のデータ(グループレベル)から変換行列を作成した場合とで識別精度を比較している。その結果、個人レベル、グループレベル共にチャンスレベルよりも高い精度が得られ、作成されたデコーダが抽出した脳領域を調べた結果から、第3章で特定された結果と類似した領域が、同様に指の筋活動開始前に貢献する傾向が得られたと述べている。

第5章「Conclusion」では、第3章および4章で得られた知見をまとめ、参加者を増やす必要性と視覚情報による神経活動の影響を排除するための参照条件の必要性を本研究の不足点として述べている。

以上要するに本論文は、運動方向が脳のどの領域でどのタイミングで処理されている可能性があるのかを、独立成分分析法と機械学習によるデコーダで特定し、予め作成した独立成分分析の変換行列が別のデータセットにも適用できる可能性を示すことで特定した脳領域の信頼性を示唆したものであり、学術上の貢献が大きい。よって博士(学術)の学位論文として十分な価値を持つと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。