

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01849

研究課題名(和文) 想起した文字(母音・子音)の脳波による判別法の発展と確立

研究課題名(英文) Development of a decoding method for imagined characters (vowels and consonants) using EEG.

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：脳波は頭皮に貼付した電極から記録するために詳細な脳活動の違いは判別困難であり、想起した文字の判別は困難であると考えられている。この問題に対して、本研究では脳波の皮質信号源を計算的に推定することで解決することを試みている。本研究期間において、推定した信号源を使うことで脳波を使う場合よりも母音判別率が大幅に向上することを示し、国際学術論文にて発表した(Yoshimura et al., *Frontiers in Neuroscience*, 2016)。さらに、子音についても効果が示される結果が得られている(発表準備中)。

研究成果の概要(英文)：Electroencephalography (EEG) has low spatial resolution because it is recorded from sensors placed on the scalp. For this reason, it is considered to be hard to decode imagined characters in the brain from EEG. To solve the problem, EEG cortical current source is calculated using machine learning methods in this research project. During the research period, decoding performance of vowel classification has enhanced using the EEG current source signals compared to that using EEG sensor signals. This achievement was published in an international journal (Yoshimura et al., *Frontiers in Neuroscience*, 2016). The method has showed efficiency also for consonants classification (Under preparation for publish).

研究分野：脳活動信号処理、ブレイン・マシン・インタフェース

キーワード：脳波 デコーディング 機械学習 逆問題 ブレイン・コンピュータ・インタフェース

1. 研究開始当初の背景

発話や手や足の動作が不自由な状況やユーザを対象とした文字入力インターフェースの構築は、様々な研究グループで取り組まれている。現在最も実用化に近い手法は、パソコン画面に表示された文字盤の文字が点滅していて、点滅した光を見た時に記録される特徴的な脳波パターンを利用し、入力したい文字を見続けることで文字が入力できる、という手法である。

この手法は精度が高い一方で、点滅する文字を見ることに不快感を訴えるユーザがいること、文字盤が常に必要となることで場所の制約があること、という問題もある。そこで頭に思い浮かべた文字そのものを脳波から推定する試みもなされているが、非常に細かい脳活動の違いを判別する必要があり、頭皮に貼付した電極から記録する脳波では、そのように細かい違いの判別は困難と考えられる。

2. 研究の目的

本研究の研究代表者は、脳波では区別できないと考えられていた詳細な脳活動の区別に成功した実績がある (Yoshimura et al., *Neuroimage*, 2012)。そこでこのノウハウを用いて、頭に文字を思い浮かべるだけで相手に文字を伝えられる、今まで実現し得なかった脳波によるインターフェースの構築を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、脳皮質上に仮定した脳波の信号源を推定することで詳細な脳活動の区別を目指す。信号源推定には、ATR 脳情報解析研究所で開発された階層的変分ベイズ法 (VBMEG, <http://vbmeg.atr.jp>) を利用する。VBMEG で信号源推定を行うためには、脳波データに加えて脳の解剖学的な核磁気共鳴画像 (MRI 構造画像) と、オプションで機能的 MRI (fMRI 画像) が必要となる。MRI 構造画像からコンピュータ処理で作成した脳モデルと 3 層モデル、fMRI 画像を解析した脳活動領域情報、脳波の電極位置情報、および脳波データを用いて、脳波信号から信号源電流を推定するための逆フィルタを計算する。脳波を逆フィルタに通すことで皮質信号が得られるため、この逆フィルタの質が皮質信号の質、つまり文字判別性能を決めると言える。

本研究では、母音や子音を想起している時の脳波と fMRI 画像を取得する実験を行なった。実験参加者には、日本語の 50 音の発話音声聞かせ、聞こえた音声の想起を依頼した。脳波実験と fMRI 実験は別の日に、脳波は東京工業大学で、fMRI 実験は東京工業大学あるいは国立精神・神経センターの MRI スキャナで撮像した。

fMRI 画像は汎用的な fMRI 画像解析ツールの SPM (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) を用いて解析し、文字想起中に統計的に有意に活動する脳領域を特定した。MRI 構造画像は VBMEG の標準プロトコルに則り、freesurfer (<https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>) を用いて

頭部画像から脳皮質の抽出を行なった後に、VBMEG にて脳モデルと 3 層モデルを作成した。脳波電極の 3 次元位置データは、MRI 構造画像上の位置に変換し、脳モデルと合わせてリードフィールド行列 (信号源電流から伝搬した脳波電極信号を計算する順モデル行列) を計算した。

脳波データは、文字の想起開始前 1 秒から開始後 3 秒までの信号を切り出し、想起した文字別に分けて、信号源推定と判別解析を行なった。脳波信号から信号源電流を推定する逆フィルタの計算は、fMRI 画像の SPM 統計解析条件、文字判別に用いる信号源の数、逆フィルタの時間窓長さなどのパラメータを調整し、高精度で判別できる条件を見極めた。判別解析に用いる機械学習手法については、スパース判定法 (Yamashita et al., *Neuroimage*, 2008) を主に用いた。

4. 研究成果

【母音の識別 (発表論文 No.1)】

日本語母音「あ」、「い」、「想起なし」の判別を行うことを目的として、32 チャンルの脳波および fMRI データを取得した。fMRI 画像解析から得られた脳活動領域の情報をベイズ推定の事前確率として脳波の信号源電流を推定した。

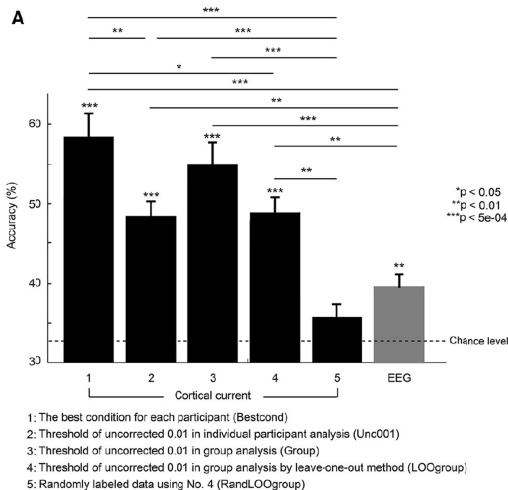
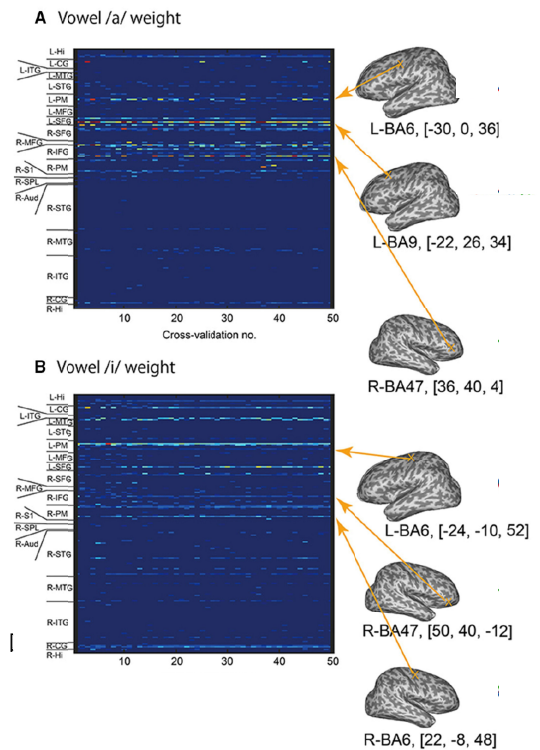


図 1. タスク 3 種の判別精度 [黒: 信号源電流 (1~4: fMRI 賦活領域の検定域値を変えたもの、5: コントロール条件 = 条件 4 のラベルをランダム化したもの)、灰: 脳波], Yoshimura et al., *Frontiers in Neuroscience*, 2016.

図 1 は信号源推定 (黒色) と脳波 (灰色) それぞれを用いた場合の判別精度の違いを示している。脳波を用いた場合 (灰色) でも 3 択チャンスレベルの 33.3% を有意に上回る平均 39.5% という判別精度が得られたが、信号源の場合には実験参加者ごとに推定条件を最適化することで平均 58.5% (黒色 1) の精度が得られることが確認された。さらに興味深い結果としては、自分以外の参加者のデータを用いて特定した fMRI の賦活領域情報を用いて信号源推定しても (黒色

4) 48.8%の精度が得られた。この結果は、fMRI実験を行えないユーザに対してもこの手法が適用できる可能性を示しており、将来的な実用化の実現可能性を示すものと考えられる。

この手法を用いてより多くの文字を判別できる可能性を判断するために、どの信号源が判別に寄与していたかを調べた。図2に示すように、言語関連領域や、発話に関連する運動言語関連領域に位置する信号源が判別に寄与していることが確認された。このことから、信号源推定を行うことにより脳波の空間分解能では分離できなかった情報の抽出ができており、それにより判別精度が向上したものと考えられる。



2.

母音「あ」と「い」の判別器で多く利用された信号源の局在領域。言語や発話に関する領域の信号源が利用された。

【子音の識別（発表準備中）】

母音の識別と同じ信号源推定法を用いて、子音の判別についても脳波よりも有意に高い判別精度が得られることが確認されている。日本語の50音は母音と子音で構成されており、子音はミリ秒オーダーの時間で発話されるため、子音判別には脳波の高い時間分解能が効果的と考えている。

【精度向上を目指す手法（発表論文 No.3）】

信号源推定を用いてさらに判別精度を向上させるための手法を開発した。

脳波から推定した信号源電流に主成分分析と独立成分分析を適用することで、時系列的に同期して活動する信号源をグループ化し、その活動パターンを用いて判別を行な

った。8方向の指運動判別を目的とした実験で効果を検証した結果、図3に示すように信号源電流を用いるよりも更に判別精度が向上することが確認された。この手法を文字判別に適用することで、さらなる精度向上が期待される。

また、判別にどの信号源グループの貢献度が高かったかを調べたところ、サルに埋め込んだ針電極を用いて調べた過去の生理学的知見に一致する領域の寄与が見られた（図4）。この一致傾向はそれぞれの信号源電流を判別に用いた場合よりも、同期活動グループ化した場合に一致する傾向が認められたことから、このグループ化により思考活動による脳内信号の流れが抽出されやすくなったと考えられる。

従って、この手法により抽出された情報は目的とする脳活動を反映した情報と考えられることから、この手法を文字判別に利用することで更に判別率が向上できると期待できる。

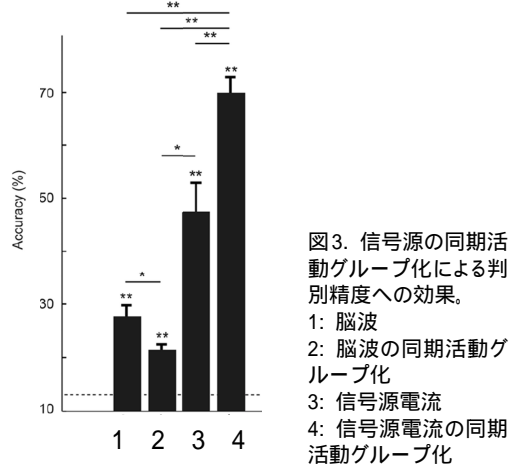


図3. 信号源の同期活動グループ化による判別精度への効果。
1: 脳波
2: 脳波の同期活動グループ化
3: 信号源電流
4: 信号源電流の同期活動グループ化

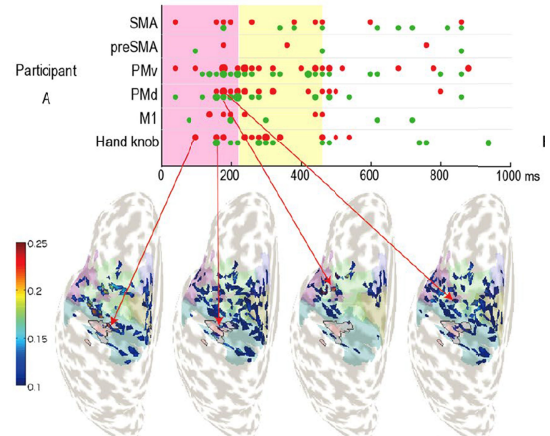


図4. 信号源の同期活動グループ化の空間的パターンと、運動タスクの判別に貢献した脳領域の時系列的推移。信号源の同期活動グループ化の活動パターンを用いて判別を行うと、既知の生理学的知見に一致する脳領域が適切なタイミングで判別に利用されていることが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. Natsue Yoshimura, Atsushi Nishimoto, Abdelkader Nasreddine Belkacem, Duk Shin, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, and Yasuharu Koike, Decoding of covert vowel articulation using electroencephalography cortical currents, *Frontiers in Neuroscience*, 10(175), pp. 1-15 (2016), 査読有, DOI: 10.3389/fnins.2016.00175
2. Toshihiro Kawase, Natsue Yoshimura, Hiroyuki Kambara, and Yasuharu Koike, Controlling an electromyography-based power-assist device for the wrist using electroencephalography cortical currents, *Advanced robotics*, Vol. 31(1-2), pp. 88-96 (2016), 査読有, DOI: 10.1080/01691864.2016.1215935
3. Natsue Yoshimura, Hayato Tsuda, Toshihiro Kawase, Hiroyuki Kambara, and Yasuharu Koike, Decoding of finger movement in humans using synergy of EEG cortical current signals, *Scientific Reports*, 7(11382), pp. 1-11, (2017), 査読有, DOI: 10.1038/s41598-017-09770-5,
4. Alejandra Mejia Tobar, Rikiya Hyoudou, Kahori Kita, Tatsuhiko Nakamura, Hiroyuki Kambara, Yousuke Ogata, Takashi Hanakawa, Yasuharu Koike, and Natsue Yoshimura, Decoding of ankle flexion and extension from cortical current sources estimated from non-invasive brain activity recording methods, *Frontiers in Neuroscience*, 11(733), pp. 1-12, (2018), 査読有, DOI: 10.3389/fnins.2017.00733, (2018).
5. Alejandra Mejia Tobar, Yousuke Ogata, Kahori Kita, Tatsuhiko Nakamura, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, Yasuharu Koike, and Natsue Yoshimura, Effect of the EEG sensor number on the current-source decoder performance based on a variational Bayesian method (VBMEG), *International Journal of Engineering Research and Allied Sciences (IJERAS)*, 3(5), pp. 25-29, May (2018), 査読有, <http://www.ijeras.com/issue/Volume-03-Issue-05-May-2018/32>

〔学会発表〕(計 5 件)

1. Natsue Yoshimura, Rikiya Hyoudou, Kahori Kita, Alejandra Mejia Tobar, Tatsuhiko Nakamura, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, and Yasuharu Koike, Classification of ankle flexion and extension using functional magnetic resonance images, The 9th ICME International Conference on

Complex Medical Engineering (CME 2015), Kyoto-Okayama, Japan, June 18-21, (2015)

2. Alejandra Mejia Tobar, Rikiya Hyoudou, Kahori Kita, Tatsuhiko Nakamura, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, Yasuharu Koike, and Natsue Yoshimura, Electromyographic activity reconstruction of ankle flexors and extensors from estimated cortical currents, The 1st International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS 2016), Tokyo, May 8-9, (2016)
3. Natsue Yoshimura, Ryutaro Okushita, Hayato Aikawa, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, and Yasuharu Koike, Classifying force level of hand grasping and opening using electroencephalography cortical currents, International Brain-Computer Interface Meeting 2016, California, USA, May 30 - June 3, (2016)
4. Alejandra Mejia Tobar, Rikiya Hyoudou, Kahori Kita, Tatsuhiko Nakamura, Hiroyuki Kambara, Takashi Hanakawa, Yasuharu Koike, and Natsue Yoshimura, Muscle activity reconstruction of ankle flexors and extensors using non-invasive brain activity recording methods, Neuroscience 2016, San Diego, USA, November 12-17, (2016)
5. Natsue Yoshimura, Toshihiro Kawase, and Yasuharu Koike, Synergy analysis for motor decoding, 第 40 回日本神経科学大会, シンポジウム(協調運動の神経表現:基礎から臨床まで), 千葉, 7月20日 (2017).

〔図書〕(計 0 件)

〔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://www.cns.pi.titech.ac.jp/kylab/>

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

緒方 洋輔 (OGATA, Yousuke)

東京工業大学・科学技術創成研究院・特任助教

研究者番号: 60641355

(3)連携研究者

(4)研究協力者