

# 脳磁図からニューラルデコーディングによるオブジェクトのカテゴリーと名称の識別

## Object category and name classification using neural decoding from MEG

早稲田大学 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 村田研究室

修士1年 5321EG02 劉栗 Li Liu

### 要約

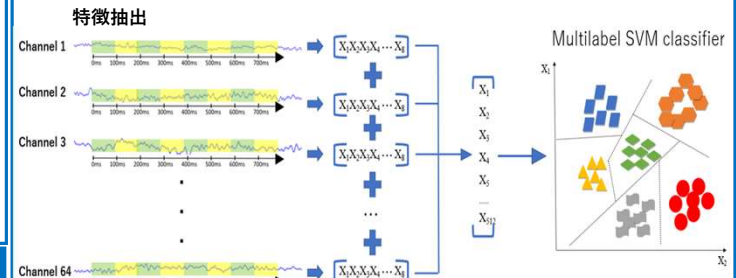
視覚、聴覚等の感覚の受容、言語の理解と産出、身体の運動など、様々な活動に伴って、人間の脳内ではそれぞれの活動を担う領域に存在するニューロンが活性化し、電気信号を送受信して活動を伝える。神経活動を反映する電気信号ないし磁気信号は、脳波 (Electroencephalogram: EEG) または脳磁図 (Magnetoencephalography: MEG) として記録することができる。本研究の目的は、人間がオブジェクトを知覚し、イメージし、発話する際の脳波及び脳磁図を収集して解析する「ニューラル・デコーディング」によって、オブジェクトのカテゴリーと名称の分類を行うことである。将来的には研究を進展させることで、ブレイン・マシン・インターフェースの構築と利用に役立てることを目指したい。

With various activities such as reception of sensations like sight and hearing, understanding and production of language, and physical movement, neurons in those areas responsible for each activity are activated in the human brain to send and receive electrical signals. Electrical or magnetic signals that reflect neural activity can be recorded by electroencephalograms (EEG) or magnetoencephalography (MEG). The purpose of this study is to classify objects by their category and name through "neural decoding", which collects and analyzes EEG and MEG data when human subjects perceive an object, image, and speak during the experiment. In the future, I would like to expand my research and use it to build and utilize the brain-machine interface.

### 背景・目的

- ・ 研究目的: 本研究では、ニューラルデコーディングによってオブジェクトを知覚し、イメージし、発話する際の神経活動から知覚したオブジェクトのカテゴリー及び発話される言語を解釈することを目的とする。
- ・ 先行研究: [1]Chan et al. (2011)は、機械学習アルゴリズムを利用して、言語に関するタスクを実行している被験者のEEG及びMEGのデータから、単語とセマンティックカテゴリーをデコーディングできることを実証した。
- ・ 先行研究との相違: オブジェクトの名称を言語として提示するのではなく、イメージを提示することで言語化やオブジェクトの使用イメージの段階も研究対象に含める。先行研究はMEGを使っていたが、本研究のように想像と発話の段階を設定してはいなかった。
- ◆ Research Questions:
  - ◆ MEGのデータで、4段階の活動に対するニューラルデコーディングが可能か?
  - ◆ MEGのデータを使うことで、従来の研究より高い正答率が得られるか?

### 分析



データに含まれるノイズの影響を軽減するために、0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700ミリ秒の8個のタイムポイントを選定した。それぞれのタイムポイントごとに、100ミリ秒のタイムウィンドウを設けた。タイムウィンドウ内の脳磁気フィールドの平均を計算して、64チャンネルからの合計512個の値をベクトルに入れて、機械学習の入力データとして使用した。

### 実験

2021年の8月に東京電機大学において脳磁図計測実験を行い、5人分のデータを収集した。実験課題は下記の4つのステップから構成され、各ステップの所要時間は2秒であった。6枚の写真 (sushi, gyoza, cookie, kushi, knife, pencil) を用意し、それぞれの写真について50回ずつランダムに提示した。参加者が以下のように実験を行った。

- 1) オブジェクトの提示 (2秒)
- 2) オブジェクトを使って・食べているところをイメージする (2秒)
- 3) オブジェクトの名前を口に出さないでイメージする (2秒)
- 4) オブジェクトの名前を口に出して言う (2秒)

\* 本研究は、早稲田大学村田研究室、大須研究室、酒井研究室、東京電機大学田中研究室、住友重機械工業の共同研究として実施された。

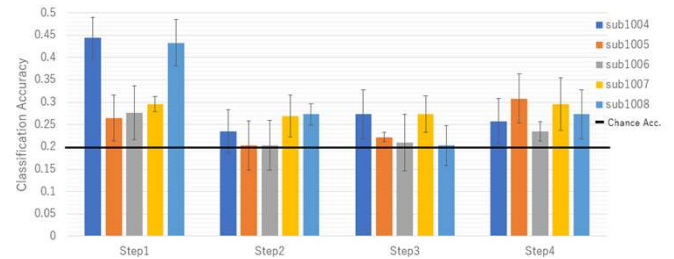


表示するオブジェクトの例1

物の認識 > 場面をイメージ > 言葉をイメージ > 発話

### 結果

実験装置のイメージ1 (sushi) のチャンネルにVoice Keyからの信号を混入し、イメージ1のデータを使用できなくなったため、イメージ1を除いて、五つのイメージのデータを機械学習の入力として使用した。



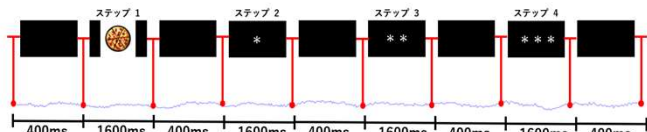
	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4
p-value	0.022	0.072	0.078	0.013
Random or Significant?	Significant	Random	Random	Significant

Permutation Test,  $p < 0.05$

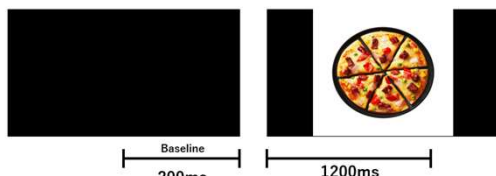
正答率は被験者ごとに大きく異なったため、有意差検定を行った。ステップ1と4のp値は0.05より小さく、有意差ありと判断された。しかし、ステップ2と3は有意差なしという結論を得られた。物の認識と発話の段階と違い、場面のイメージや言葉のイメージなどの脳内だけで行った作業は信号の強度と比較してノイズの割合が高いため、ニューラルデコーディングが難しいことが分かった。

### 前処理

#### エポックの切り出し

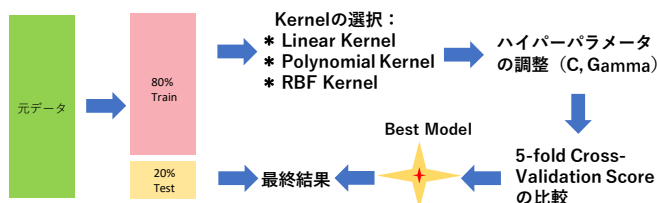


トライアルの流れは上図の通りである。それぞれのステップの前に、意識をリフレッシュするために400ミリ秒のブランクの時間が設けられている。実際に各ステップが遂行された時間は1600ミリ秒であった。



エポックを切り出す時、各ステップが開始される前のブランクの半分 (200ミリ秒) を「Baseline」として選定し、各ステップが開始された後の4分の3 (1200ミリ秒) をエポックのタイムウィンドウとして選定した。

#### データの分け方とモデルの選択



### ディスカッション

#### 機械学習の課題:

機械学習のモデルをトレーニングする際に、どの参加者のデータでも、どの段階でも、ある程度のオーバーフィッティングが発生した。そして、モデルを調整しても、なかなか良い結果まで収束しなかった。

#### The Answers to the Research Questions:

◆ MEGのデータで、4段階の活動に対するニューラルデコーディングが可能か? この疑問に対して、ステップ1とステップ4はチャンスレベルより有意に高い正答率が得られたと判断されたので、答えはYES、ステップ2と3については現段階ではNOとなる。

◆ MEGのデータを使うことで、従来の研究より高い正答率が得られるか? これは、[1]Chan et al. (2011)で平均60%の正答率が得られていたので、現時点ではNOだということになるが、今後の実験方法の改善や、解析方法を試してみること、可能性があると言える。

#### 今後の対策:

- (1) 分析方法を改善する (特徴量抽出や、モデルを工夫する)。
- (2) 計測方法を工夫する (トライアル数を増やしてデータを増やす、ノイズの少ない計測を工夫する)。

### 参考文献

[1] Chan, Alexander M. et al. "Decoding Word And Category-Specific Spatiotemporal Representations From MEG And EEG". *Neuroimage*, vol 54, no. 4, 2011, pp. 3028-3039. Elsevier BV, doi:10.1016/j.neuroimage.2010.10.073.