

人間の記号処理能力の基盤を探る-言語の形式と意味をつなぐ認知神経システムの解明

|  |            |  |                     |
|--|------------|--|---------------------|
|  | 研究代表者      | 早稲田大学・理工学術院・教授<br>酒井 弘 (さかい ひろむ)               | 研究者番号:50274030      |
|  | 研究課題<br>情報 | 課題番号: 23H05493<br>キーワード: 言語、思考、脳情報解読、脳磁気、頭蓋内脳波 | 研究期間: 2023年度~2027年度 |

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●なぜ、「記号処理」を研究するのか

人間が今日のような社会・文化を築き上げることができた理由として、個人のものであった思考と経験を、言語として表現し記録することで社会のものとして共有し、蓄積してきたことが重要であったと考えられる。言語のように形式と意味を結びつけたシステムを言語学者・哲学者ソシュールは、「記号」と呼んだが、なぜ人間だけが記号を使いこなせるようになったのだろうか。その秘密を解き明かすためには、人間の脳がどのように記号を処理しているのかを知る必要がある。記号の代表とされる言語については、これまでの研究で脳の中に言語野と呼ばれる領域があることがわかってきた。しかし、コンピュータに例えると情報処理を行う部品のある場所がわかっただけであり、その部品を使って脳がどのように情報処理を行なっているのかは、まだほとんどわかっていなかった。

●いま、どこまでわかっているのか

この疑問に対して、21世紀に入って、二つの方向から急速に研究が進んできた。一つ目の方向からは、意味(概念とも言われる)が脳の中でどのように表現されているかを、脳活動の計測とAIを使ったデータ解析で包括的に探索し、「脳の中の辞書(Brain Dictionary)」を見つけようとするプロジェクトが進んできた。ChatGPTなどの生成系AIでも使用されている大規模言語モデル(LLM: Large Language Model)を使うことで、脳活動と意味との対応づけが進みつつある。二つ目の方向からは、脳情報を解読して形式(言語音声)を生成するシステムの開発が進んできた。言葉を話す際の脳活動を記録して解読し、機械的に音声合成するシステムによって、実際の発話に近い音声生成できるようになりつつある。

●まだ、なにがわかっていないのか

ところが研究が進んだことで、さらに深まった謎もある。意味は大脳皮質全体で分散的に表現されているのに対して、形式は言語野と呼ばれる一部で局所的に表現されていることがわかった。ではこのように**性格が異なる形式と意味は、脳の中でどのようにして結びつけられているのだろうか**？この問いに答えることが、この研究の目的である。答えを探るためのヒントとして、脳科学者ダマシオが、側頭葉と前頭葉に「形式と意味とを媒介するシステム」が存在すると述べたことに注目する。また、異なる脳領域が情報を伝え合っている際に、神経活動のリズムの一致(神経律動の同期)が起こることを利用する。このような背景と目的のもとで、本研究では、人間が記号の代表である言語を処理する際の脳活動を精密に測定し、大規模なデータをAIを駆使して効率的に解析することで、「形式と意味をつなぐ認知神経システム」の働きを解明することを目指している。

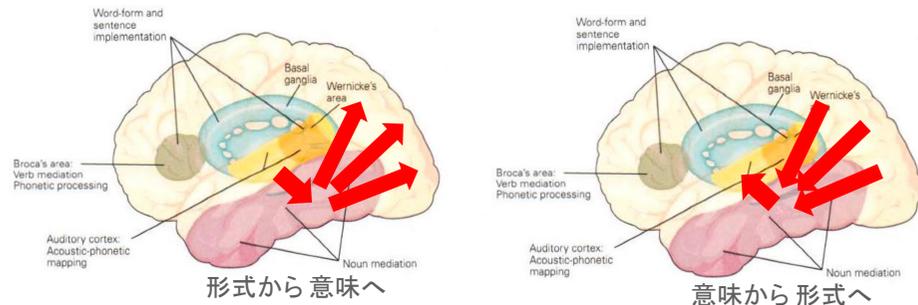


図1 ダマシオが考えた側頭葉(および前頭葉)の「形式と意味を媒介するシステム」のイメージ  
形式はBroca AreaやWernicke Areaなどの「言語野」で局所的に表現され、意味は大脳皮質全体で分散的に表現されるが、側頭葉が中継点(ハブ)として両者を結びつけている(Kuhl & Damasio, 2012の図を改変したもの)

●どうやって研究を進めるのか (脳磁図、頭蓋内脳波、A I)

神経活動を精密に記録する方法として、近年はfMRIが広く使用されているが、時間的に精密な情報が得られないという欠点がある。そこで本研究では、神経細胞の活動によって引き起こされる極小の磁気変化を捉えることができる脳磁計という装置を使用して「脳磁図」を計測する。研究代表者酒井を中心とするグループでは、世界でただ一つの「高温超伝導自己シールド脳磁計」などの最先端の計測機器を使用して、すでに研究を進めている。

ただし脳磁気を記録すると、時間的解像度と空間的解像度を兼ね備えたデータが得られるが、磁気信号は距離の自乗に比例して小さくなるので、脳の深部から得られる信号は正確に捉えられないという欠点がある。そこで、頭蓋内に留置された電極から計測する「頭蓋内脳波」の計測と組み合わせることで不足する情報を補う。

脳磁気データの解析には、膨大なデータから言語の形式や意味を表現するパターンを抽出することが必要になる。これに対処するために、AI(機械学習)を使った「時間分解多変量パターン解析」という方法を取り入れて研究を進める。



図2 脳磁計による神経活動の計測  
高温超伝導自己シールド脳磁計(住友重機械工業社製、東京電機大学に設置されている)を使用した計測の様子

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究期間中に明らかにすること

(1) 画像を見て言葉(形式)を産出する場合、言葉を見て意味を理解する場合の両方で、脳磁気から言葉や意味がどこまで解読できるか明確にする。さらに、AIに「意味(画像)から形式(言葉)」のルートで学習させたときと「形式から意味」のルートで学習させたときを比較して、両方のルートがどこで交差するかを探ること、脳の中の形式と意味を結び道筋を捉える。

(2) 解読の際に、脳のどこから計測した脳磁気を使うとどれくらい正確に解読できるかを、マップにして画像化する。これによって、形式と意味を結び道筋が脳のどこにあるかが明らかになる。

(3) 道筋に存在する脳の各領域について、どの領域とどの領域がどれくらいリズム(神経律動)を共有(同期)しているか計算する。これによって結びつきの強さや、結びつきのタイミングを明らかにする。

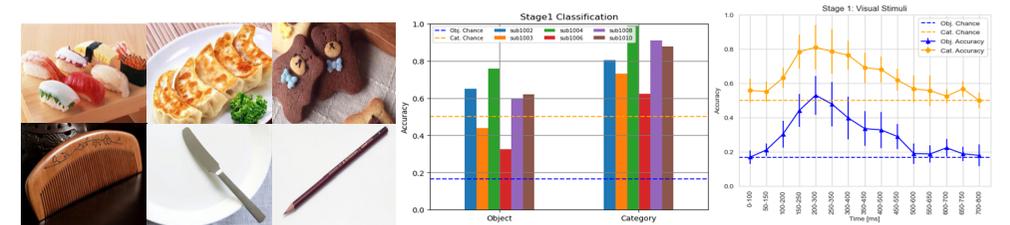


図3 6種類の写真(上の3つは食品、下の3つは道具)を呈示したときに記録した脳磁図から、どの画像を見ていたかをAIで予測させた結果。参加者によるバラツキが大きいですが、どの画像を見ていたか60%~80%で推定できる(中央のグラフ左、グラフ右は食品が道具かの推定結果で、80%を超えている)。的中率の時間的変化を探ることもできる(右のグラフ)。

●将来の可能性

脳情報(脳磁気などの神経活動)を解読する技術が進めば、言葉の産出が困難な病気や障害の克服を支援して、人々のコミュニケーションを豊かにするシステムができるかもしれない。言葉にできない思いや考えを脳情報のままで相手に伝えたり、記録して受け継いだりする可能性が拓かれるかもしれない。



図4 脳情報解読による会話システムのイメージ  
リアルタイムで脳情報を読み取ってAIに解読させ、テキストや音声合成することができれば、「脳情報によるコミュニケーションシステム」が可能になる。ただし、これを実現するためには、コンパクトで低価格な脳情報計測装置(現状は大きくて高価格)の開発など、さまざまな課題が残されている。

