

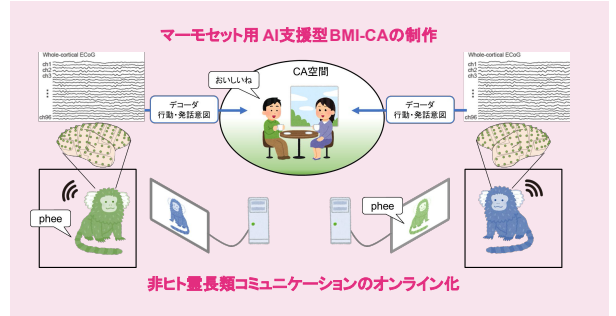


意図コミュニケーションのための 基盤技術開発

東京科学大学総合研究院 特任准教授 小松三佐子

基礎

小松グループでは、動物用意図コミュニケーション環境の開発を通して侵襲・非侵襲・非接触信号を網羅的に計測し、AIを用いて意図の読み取りに必要な信号をデータ駆動的に検討しています。デコーディング性能に優れた侵襲信号から非接触信号までを一貫して計測することで目的に応じた侵襲度の検討がはじめて可能になります。ブレインマシンインタフェース機能を持つサイバネティック・アバター (BMI-CA) を実現するためのIoBコア技術を提供します。



あたらしい霊長類研究のかたち

～自由行動下霊長類からの大規模神経活動計測～

小松グループでは、霊長類（マーモセット）を用いて侵襲的BMIの開発を行っています。特に、AIを使って想起や意図内容を推定し、思いを言葉にしたり、脳へ情報を入力する技術を開発しています。

一般的にサルを使った脳研究は動物を拘束して脳活動を計測しますが、それでは自然な行動が観察できないことや長時間の実験が難しいといった課題がありました。わたしたちは、自由に動き回っているマーモセットの大脳皮質全域から脳活動を計測することに世界で初めて成功しました（下図A）。それによってマーモセット同士の音声コミュニケーションや自然な運動中の高精度の脳活動を長時間にわたって計測することが可能になりました。高精度の脳活動を大規模に取得することは、すべてのBMI開発のコアとなる技術要素です。

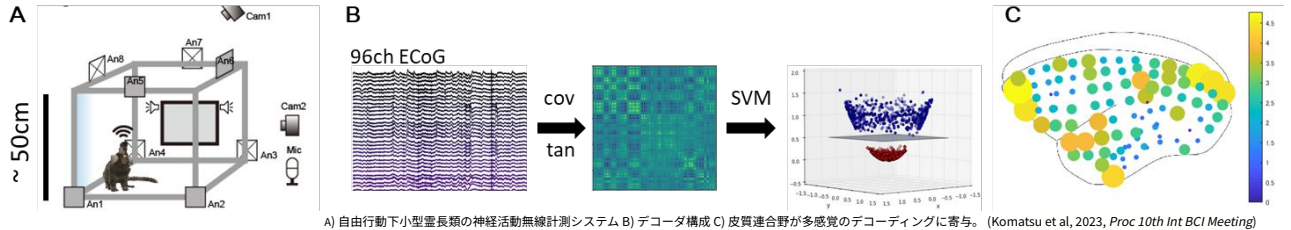
BMI開発以外の脳研究においても、ヒトの共感、意識、言語等の高度な脳の機能や精神疾患等の原因・メカニズムを解明するには、脳の発達した霊長類を用いた研究が欠かせません。近年、欧米では動物愛護などの観点から霊長類研究が少なくなっていますが、わたしたちの開発した自由行動下マーモセットからの大規模神経活動計測技術は計測に伴う動物の負担も少なく、これからの霊長類研究の主流になっていくでしょう。

脳活動からマルチモーダル意図の抽出に成功

BMIは、病気やけがで体を動かせない人が義手を動かしたり、言葉を話せない人が気持ちを伝えたりするために役立つと期待されています。ところが、今のBMIは特定の動作しかできないことが多く、もっと幅広く使うためには「体を動かす」と「声を出す」などのマルチモーダルな意図を正確に解釈できる必要があります。

わたしたちは、マーモセット大規模神経活動計測技術を用いて、音声コミュニケーションや自然な運動中の脳活動を大規模に取得しました。同時に、カメラで行動を、マイクで声を録音し、笹井グループと連携して脳活動から「動き」や「鳴声の種類」を予測できるかを検証しました。その結果、「連合野」と呼ばれる脳の高次領域が、未来の「動き」と「鳴声の種類」の両方を解読するのに重要であることが分かりました。つまり、体を動かすことと声を出すことは、脳の一部で共通して処理されている可能性が示唆され、その「意図」を脳活動から読み取ることが出来ることが示されました。

この研究は、より高度なBCIを実現するための大きな一歩だと考えています。もし脳活動から複数の意図を同時に読み取れるようになれば、体を自由に動かせない人がより自然に義手を使ったり、言葉を伝えたりできる未来が近づきます。



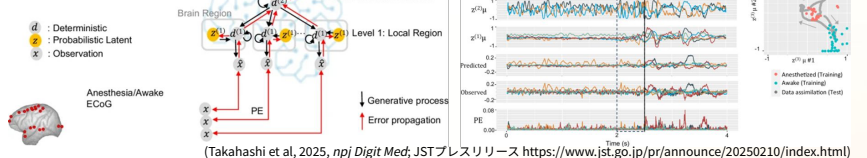
A) 自由行動下小型霊長類の神経活動無線計測システム B) デコーダ構成 C) 皮質連合野が多感覚のデコーディングに寄与。(Komatsu et al, 2023, Proc 10th Int BCI Meeting)

デジタルツイン脳シミュレータ

わたしたちは皮質脳波から脳ネットワーク構造を推定し脳信号をシミュレートする手法を開発しています。

右図では、Moonshot目標3山下祐一博士（国立精神神経医療研究センター）との共同研究で、サルの皮質脳波をリアルタイムでシミュレーションし、覚醒状態をモニタリングする新たな「デジタルツイン脳シミュレータ」を開発しました。

このシミュレータは、脳の異なる階層における潜在状態をモデル化し、仮想的な皮質脳波信号を高精度に予測生成します。さらに、予測と観測の誤差に基づいて、リアルタイムに潜在状態を推測し、予測を更新すること（データ同化技術）により、その時の脳の状態をリアルタイムに反映させたシミュレーションを実現しました。このモデルを活用することで、仮想的な投薬シミュレーションの実施や、ECoG信号の背景にある機能的ネットワークの推定も可能であることを示しました。



(Takahashi et al, 2025, npj Digit Med; JSTプレスリリース <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20250210/index.html>)

個体ごとの脳の情報処理機構をリアルタイムに明らかにしようとする本研究は、今後の個別化医療への応用が期待されます。

将来的に、脳活動に加えて外受容感覚（視覚・聴覚など）、内受容感覚（心拍・呼吸感覚など）、固有感覚（関節位置や筋肉の感覚）などの感覚信号を統合的にモデル化することで、精神・神経疾患における情報処理の変調を包括的に再現する研究を進めています。

今後の展望

金井プロジェクトの課題を進める中で、ひとつのデバイスを使って様々な意図を予測的に読み取ることができるよう手掛かりを得ることができました。この発見はこれまでのBMIとはまったく異なるコンセプトで動作する次世代BMIの開発につながると考えています。今後、さらにデータを蓄積して、脳の一部に電極を付けるだけで様々な意図を持った行動を実現するBMIを開発していきたいです。



小松三佐子

東京科学大学総合研究院 特任准教授

東京都立大学理学部物理学卒業後、東京工業大学大学院総合理工学研究科にて博士号（理学）を取得。理化学研究所リサーチアソシエイト、研究員として、ニューラルネットワーク、電気生理学を用いた研究に従事。現在、東京科学大学総合研究院特任准教授。霊長類（マーモセット）の広域皮質脳波（ECoG）計測技術を開発し、脳広域の情報処理機構の解明を目指している。