

思い通りに操作できる ブレイン・マシン・インターフェイスに 大きく前進

—脳活動から早い運動をなめらかに再現—

「脳の外に置いた磁場センサーで脳活動を計測、手の動きに関する重要な情報を効率的に選び出して、早い運動をそのまま滑らかに再現することに成功しました。」

今水 寛 (いまみず ひろし)

未来 ICT 研究所
脳情報通信研究室 副室長

専門は実験心理学。不可思議なヒトの行動に、合理的な理由を見いだすとき、心の底から面白いと思います。趣味という程ではありませんが、料理を楽しんでいます。毎年クリスマスにはローストチキンを焼きます。段取りと思い切りが重要なのは料理も実験も同じです。鍋の蓋を開けると、解析結果を見るときの高揚感も似ています。料理は9割成功するが、実験は9割失敗します・・・



● 背景

人間の脳活動から運動を再構成する技術は、ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)の基礎技術として注目されています。特に、脳を傷つせずに計測(非侵襲計測)した脳活動信号を利用して再構成することは、BMIが、広く一般に使われるための重要な鍵とされています。私たちと(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)脳情報解析研究所の佐藤雅昭所長らは、手の速い運動(運動時間約0.4秒)を、非侵襲で計測した脳活動から滑らかに(0.02秒おきに)再構成することに成功しました。本研究は、ユーザーをトレーニングすることなしに、普段、運動を行っているときの自然な脳活動から、手の運動に関係する脳情報を効率的に抽出し、自然で滑らかな運動を高い精度で再構成できることを世界で初めて示しました。この成果は、BMIが医療応用だけでなく、情報通信のための自然で使いやすいインターフェイスとして、広く一般に使われる道を切りひらくと考えられます。

脳活動から運動を再構成する技術は、脳に電極を挿すなどの侵襲的な方法で、主に米国の研究者が成功をおさめましたが、手術やウィルス感染の危険性などから、近年では、非侵襲で計測した脳活動を利用する研究が盛んになってきています。従来の非侵襲的な手法では、脳波でコンピュータカーソルを操作する研究がよく知られていますが、これはコンピュータに読み取りやすい脳波パターンを生じさせるように、ユーザーを長期間訓練する必要がありました。訓練を必要とせずに速い運動を再構成した例はこれま

でありましたが、頭の外に設置したセンサーで計測した信号をそのまま使っていたため、脳のどの部分から発生した信号であるかを正確に特定できず、手の運動に関連する脳活動を効率的に抽出することは難しい状況でした。

● 実験と解析

本研究では、人間が指先をさまざまな方向に素早く動かしているときの脳活動から、指先がどこにあるかを、0.02秒の時間間隔で予測(再構成)しました。私たちは、速い運動に関連する脳活動を計測するために、高い時間解像度で計測可能な脳磁計(MEG: Magnetoencephalography)を利用しました(図1)。MEGは、神経細胞が活動することで生じる微細な磁場の変化を検出する装置です。しかし、MEGは、頭の外に置いたセンサーで磁場を計測するため、受信した信号が脳のどの場所から発生したものであるか、正確に知ることはできません。また、センサーの信号は、さまざま

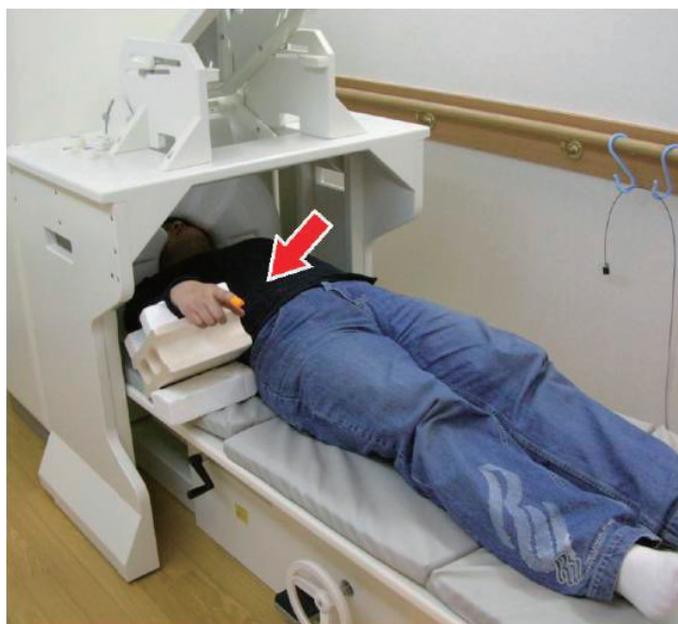


図1 MEG装置の外観と、これを使った実験風景。矢印は人差し指の先端を示す

な脳の部位から発生した信号が入り混じっている(図 2A)ので、手の運動に関連する脳活動を効率的に選び出すことは難しいのです。そこで、まず、センサー信号を脳表面上の電流信号(皮質電流)に変換する関数(逆フィルター)を推定しました(図 2B)。逆フィルターの計算には、佐藤所長らが開発した「階層変分ベイズ法」を用いました。この方法は、脳の血流の変化を、優れた空間解像度で計測できる機能的磁気共鳴画像(fMRI)のデータも補助的に用い、数ミリメートルの精度で、センサー信号から信号源である皮質電流を計算できます(図 3 オレンジの矢印)。この方法で変換した皮質電流を利用すれば、手の運動に関連する信号を選択的に抽出して、高い精度で運動を再構成することが期待できます。実際、佐藤所長らが開発した「スパース推定法」を用いて、皮質電流の中から重要度の高いものを選び出し、選び出された皮質電流の重み付き総和(図 3 緑の矢印の線形予測モデル)で手先の位置を予測したところ、センサー信号をそのまま使う場合よりも、高い精度で予測することができました。

● 研究の意義

これまでの非侵襲 BMI は、脳活動のパターンから運動の種類を識別したり、数力所の標的の中から、どの標的に手を伸ばすかを当てることなどが主流で、人間の速い動きをそのまま再構成しようとする試みは少ない状況でした。速い動きを滑らかに再構成することで、ユーザーが「自分自身が操作している」という主体感・操作感を増すことができます。遠隔地からロボットアームを制御する場合など、そのような感覚は不可欠です。

● 今後の展望

本研究では、脳活動をオフラインで解析・再構成しましたが、今後はリアルタイムで運動を再構成することに取り組んで行きたいと思います。同様の手法は、イメージしたときや動かす前の脳活動から再構成することにも利用できる可能性があり、意図しただけで自在に操作できるインターフェイスの開発に繋がると期待されます。現代の情報端末は次第に操作が複雑になり、操作方法をマスターできないひとはますます情報が

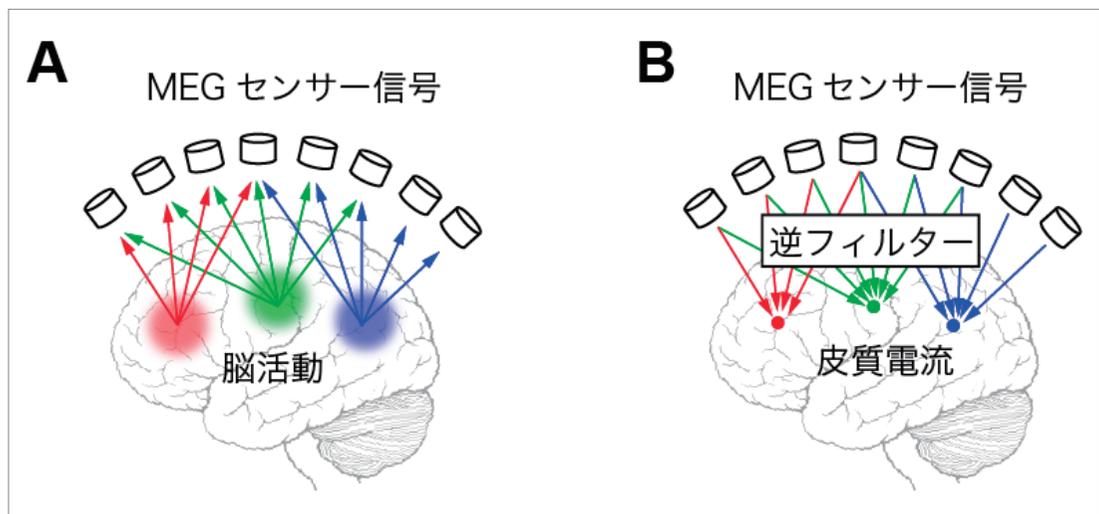


図2 MEGのセンサー信号にはいろいろな部位の脳活動信号が混在 (A)。センサー信号から脳活動を推定する逆フィルター (B)

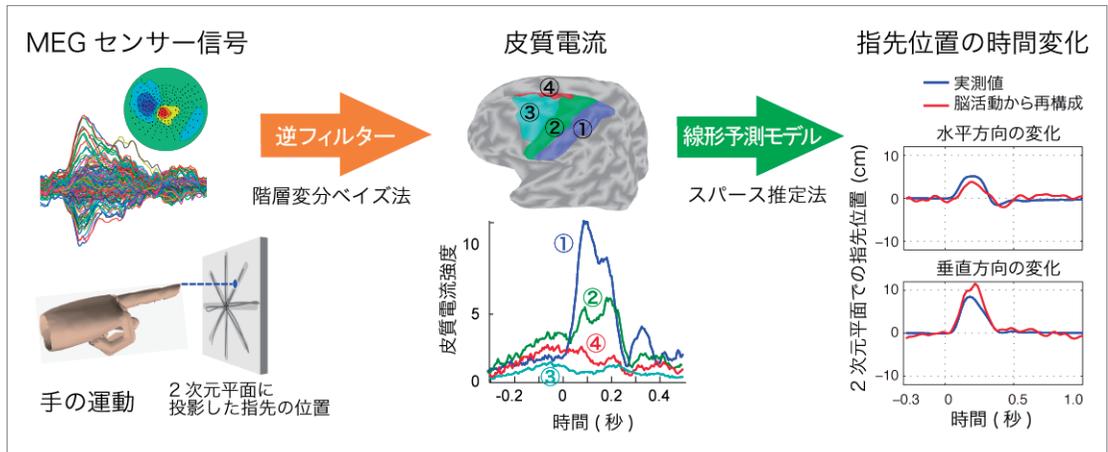


図3 手先の運動を脳活動から再構成する手法の概要

ら遠ざかってしまうという情報格差が問題になっています。意図しただけで自在に操作できるインターフェイスは、そのような問題の解決に役立つと考えられます。