

人間の脳機能計測・解析研究に関する世界的規模の拠点

■概要

平成28年4月から組織改編により、それまでの脳機能計測研究室は、脳機能解析研究室と名称を変更した。引き続き、脳機能計測基盤領域の研究開発を担当するとともに、先端計測手法の開発とその脳機能解析への応用研究を強化した。吹田（脳情報融合研究センター）では、平成27年度末に新規導入した最新鋭3T-MRIが平成28年7月から本格稼働し、ほぼフル稼働して研究に活用されている。本年度も、大型脳機能計測機器の運用チームを組織し、安全委員会との連携の下、1,000人以上の被験者から脳機能データを安全に得ることができた。

超高磁場MRI機器から得られるデータの質を向上させるため、高性能コイル開発や、撮像法の改善を進めている。また、ウェアラブル脳波計を用いた脳機能解析研究も進め、語学学習への応用技術開発が進んでいる。さらに、人間の脳における聴覚と触覚の関係で新しい知見が得られた。

■平成28年度の成果

脳局所領域を高い空間解像度で撮像するために、7T-MRI装置用のRFコイルの開発を進めている。既存のRFコイルでは実現できない信号感度の向上を目指すとともに、撮像対象やMR装置に対する安全性も考慮する必要がある。そのため、ネットワークアナライザによる共振特性の実測、有限差分時間領域法に基づいた電磁界シミュレーションによる磁場分布や比吸収率（単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量：SAR）などからコイルを評価した。視覚野領域用のサーフェスコイルを試作し、RFコイルの性能指標である励起磁場（ B_1^+ ）と安全性の指標であるSARの電磁界シミュレーションを行い、 B_1^+ はRFコイル近傍に偏った分布を有し、同じ横断面では左右対称の皮質領域に高いSARが分布することがわかった（図1）。今後は、RFコイルの形状・サイズ・配置などを検討し、撮像目的部位において極力均一な B_1^+ 分布を有し、低SARかつ高い信号雑音比をもつRFコイルの完成を目指す。

機能的MRI（fMRI）は、MRIを用いて脳のはたらきを画像化する方法であり、脳機能研究で広く使われている手法である。しかし、神経活動に伴うMRI画像上の信号変化は非常に小さく、信号ノイズ比（SNR）の面から高

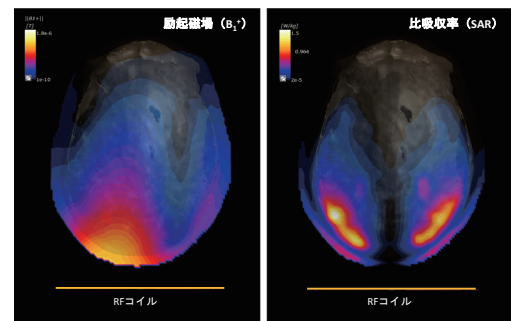


図1 コイルの性能と安全性指標

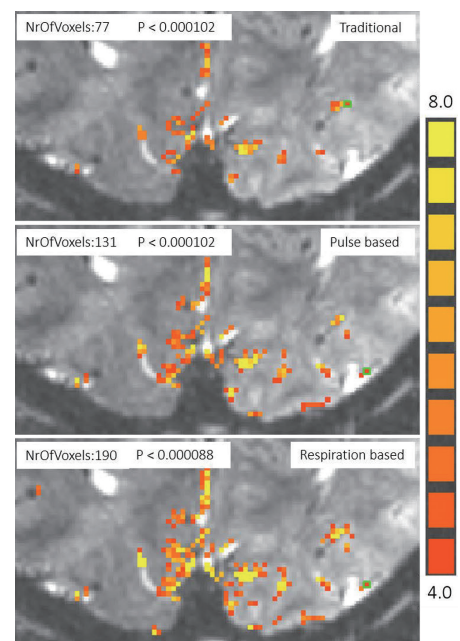


図2 視覚刺激下の視覚野脳活動

解像度なfMRIはこれまで困難であった。当研究室の超高磁場7T-MRIは、原理的には、従来の3T-MRIの2倍以上の計測感度を有し、これまでの空間分解能が大きく向上する可能性を有する。しかし、体動の影響や体内での磁場の不均一性、さらに生命活動に伴う生理的ノイズなどに対しても感度が高まるため、従来の一般的な計測法では、大幅な分解能向上は困難である。そこで、空間分解能を高めるための新しいMRI計測法を開発し、これにリアルタイム体動補正を組み込んだ。さらに、呼吸波形や脈波を同時計測し、呼吸や心拍の状態をも画像生成に組み込むことで生理的ノイズの抑制にも成功した。図2

の上段は視覚刺激下で視覚野の活動をとりえた高分解能fMRI画像、中段はそれに心拍の情報を加味したもの、下段は呼吸の情報を加味したものである。心拍や呼吸の影響を排除することで、脳活動を示唆する信号をより高感度に検出することが可能となった。

社会のグローバル化に伴い、グローバルなコミュニケーション力を向上させるためには、英語能力の向上が重要な課題となっている。英語のリスニングにおいて、日本人の困難の1つが日本語にない音の聞き分け（例えば、rightとlightの違い）である。これまでの英単語のリスニングの学習は、聞いた音（例えば、rightもしくはlight）に対してどちらの音であるかテストを行い、それが正解か不正解かを学習者に伝えて学習を促す場合が多いが、このような学習では、時間がかかるという問題があった。そこで、音の違いに対して反応する脳活動（Mismatch Negativity : MMN）を強化するニューロフィードバックトレーニング技術を開発し（図3）、5日間程度の学習で英単語のリスニング能力が向上することを明らかにした。

最近、個人の習熟度や能力に合わせて学習内容を最適化するアダプティブラーニングが注目されている。英語学習において効果的なアダプティブラーニングを実現するためには、個人の英語力を詳細に多面的に評価することが不可欠である。当研究室では脳波を指標として、個人の英語力を評価する技術の研究を進めている。本年度は、脳波を利用した英語の語彙力の評価法の確立に向け、様々な英語習熟度の被験者約90名を対象とした大規模な脳波実験を行った。絵と合致する英語音声に対する脳波と合致しない英語音声に対する脳波の差分（N400）を指標としたところ、N400の大きさは独自に開発したリスニングテストのスコアと有意な相関を示した（図4）。また、「知っている」と答えた英単語に対するN400は、英語の習熟度によってその大きさや出現時間が異なることから、N400は英単語の定着度を定量的に評価するための有効な指標になると考えられる。

視覚・聴覚・触覚・嗅覚・味覚といった多感覚の情報を自然かつリアルに伝達・再現する技術の実現が期待されている。多感覚情報の伝達が可能になれば、遠隔からの作業・対話・医療・教育等が促進され、その社会への波及効果は大きい。違和感のない多感覚情報の伝達を達成するには、脳の中樞神経系における感覚統合メカニズムに即した情報提示が重要となる。当研究室では、VR/AR技術を開発・活用し、ヒトのクロスモダリティ（感覚間相互作用）の仕組みを解明・応用する研究を進めている。平成28年度は、聴覚と触覚の相互作用に関する実験結果を取りまとめ、その成果がPLoS ONE (Liu and

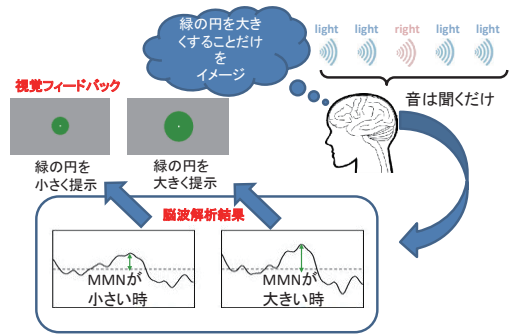


図3 ニューロフィードバックトレーニングの概略図
MMNの大きさを緑の丸の大きさに対応させ、実験参加者は緑の丸を大きくするようにイメージすることで、MMNを強化する。

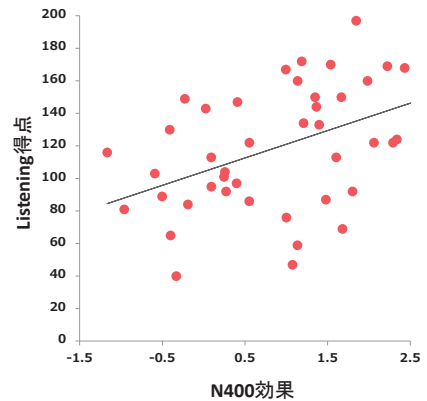


図4 脳波とリスニングスコアの有意な相関

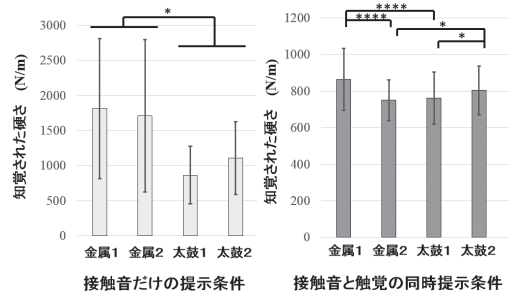


図5 聴覚と触覚のクロスモダリティ

Ando, 2016 ; 11 (11) : e0167023) に掲載された。この実験では、力覚提示装置を用いた硬さ知覚の心理物理解析を行い、接触音の違いにより手で感じる表面の硬さが変わることを実証した。さらに、接触音だけから感じる硬さが物のカテゴリ知覚に依存するに対し、手で感じる硬さは音の物理特性（周波数・減衰係数）に強く依存することが示された。図5は、音からのカテゴリ知覚（金属、太鼓）が一定に保たれるように音の周波数と減衰係数を変調させた（1：変調前、2：変調後）ところ、接触音だけからの硬さはカテゴリ知覚に影響されるが、手で感じる硬さは音の物理特性に影響されることを示している。よって、金属より太鼓の方が硬いと手に錯覚させることも可能となる。本成果は、将来、効果的なVR/ARの設計指針として活用されることが期待される。