

## 先端脳機能計測技術を活用し、脳の詳細構造や情報処理システムを解析

## ■概要

当研究室では、大型の脳機能計測機器（fMRI: 機能的磁気共鳴イメージング装置、MEG: 脳磁計装置）の高度な計測技術を開発し、それをを用いた脳機能の計測と解析を行っている。平成30年度の代表的成果として、新しい計測法の基盤研究、神経線維束計測の新しい手法応用、視覚と触覚の多感覚情報処理を紹介する。当研究室では、センター全体の脳機能計測を支援するための運用業務も担当しており、多数の被験者計測に貢献している。

## ■平成30年度の成果

fMRIで用いられるEPIという撮像法は、時間分解能に優れる反面、空間分解能が低いうえに画像歪みや信号欠損を来しやすい。そこでマルチショットEPIという改良型の計測法を開発を進めている。本年度は、静磁場の不安定性がもたらす偽像の発生を抑制できる新しい方法を考案し、高い信号ノイズ比（SNR）と空間分解能に優れたfMRIを実現させた。超高空間分解能fMRIデータを皮質のカラム構造や層構造と対比して解析するには、fMRIデータと同じ幾何学的条件をもつ構造画像（画像の歪みなどがfMRIデータと等しい構造画像）が必要で

ある。このような構造画像の撮像法と解析法を提案し、実証した。局所超高空間分解能fMRIの実現に不可欠な多チャンネルRF送信（pTx）技術は、複雑なRF波照射条件下での体温上昇の管理が重要な安全上の課題である。そこでMRI画像から温度変化を推定する方法について研究開発を行い、ファントムを用いた実験では0.05度以下の温度変化をとらえることができた（図1）。脳内代謝物の定量を目的としたMRスペクトロスコピー（MRS）を7T（テスラ）にて精度よく、かつ効率的に実施するため、静磁場とRF磁場が共に不均一な条件下で計測法の最適化を実施し、短時間で精度の良いデータが安定的に得られるようになった。これらの成果は令和元年開催の3つの国際会議において報告する。

奥行きを見る視覚能力（立体視力）には個人差があるが、原因は不明であった。そこで、立体視力の個人差は、視覚処理に関わる神経線維束の構造に起因するとの仮説を立て、検証した。MRIには幾つか異なる撮像法があり、拡散強調MRI法は脳の2つの場所を結ぶ神経線維束の構造計測ができ、定量的MRI法は線維束の神経組織密度の計測が可能である。これらの計測法を利用して、視覚処理領域における神経線維束の組織密度と立体視力の関係を分析した。その結果、立体視力の高い参加者は、低い参加者と比べて、右半球（大脳右側）のVertical Occipital Fasciculus（VOF）と呼ばれる視覚処理に関わる線維束の神経組織密度が高いことが明らかとなった。さらに大脳皮質上の奥行情報に反応する領域間をVOFがつかないことを、fMRI実験によって明らかにした（図2）。これらの結果は、VOFを介した視覚野の領域同士の連絡の仕方の違いが、ヒトの立体視力の違いと関連している可能性を示唆している。この成果は、将来、弱視など立体視と関わる視覚障がいへの解明や立体視力の個人差を考慮した映像提示技術の開発などに貢献することが期待できる。本研究成果は、国際的科学誌「米国科学アカデミー紀要（PNAS）」に掲載された。

第4期中長期計画では、多感覚情報の脳内の統合様式を解析する技術の開発を目指している。平成30年度は、特に視覚と触覚に基づいて身体近傍空間に位置する物体形状を認知する仕組みを探る行動実験の解析技術を

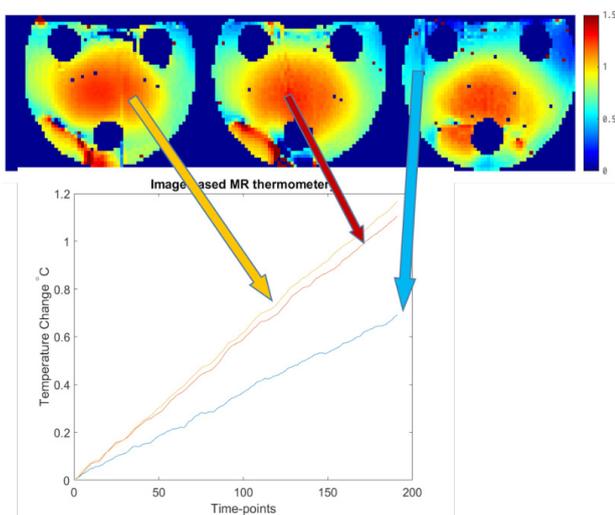


図1 ファントムを用いた温度変化の検証：MRI画像からの温度上昇推定結果



図2 視覚処理に関わる神経線維束の組織密度と立体視力

開発し、異なる感覚情報が脳内で照合される際の情報変換様式を明らかにした。なお、本実験結果は国際論文誌 Scientific Reportsに掲載された。

この実験では、2つの物体表面の傾きを視覚あるいは触覚の感覚情報を用いて比較し、3次元空間内でそれらが平行になるように調整する課題を実験参加者に行ってもらった。実験参加者は、参照物体に対してテスト物体が平行になるようその傾きを調整した(図3(a))。参照物体の傾きは4段階で変化させた(図3(b))。また、3次元空間内で参照物体は3つの位置、テスト物体は5つの位置に設定した(図3(c))。参照物体とテスト物体は視覚あるいは触覚で提示されるが、テスト物体が触覚の場合は物体を見ずに手でその傾きを調整し、テスト物体が視覚の場合は傾きを目で見ながらその増減を実験者に口頭で指示して調整させた。

実験の結果、参照物体とテスト物体の感覚モダリティが異なるクロスモーダル条件(触覚⇒視覚、視覚⇒触覚)における傾き照合の誤差と変動のパターンは、テスト物体の感覚モダリティが同じユニモーダル条件(視覚⇒視覚、触覚⇒触覚)の誤差・変動パターンとほぼ一致することが明らかとなった。これらの結果から、参照物体の感覚モダリティ(target modality)がまずテスト物体の感覚モダリティ(response modality)に変換されてから、両者の情報が照合されるという脳内の異種感覚情報の変換

モデルが支持された。この結果は、将来の多感覚情報に基づく遠隔操作システム等の設計において、ユーザにとって自然かつ効果的な異種感覚情報の提示方式の選択に多大な示唆を与えている。

一方、地域連携の取組として実施しているJSTリサーチコンプレックス事業のプログラムにおいては、複合現実(Mixed Reality)技術に基づくテレプレゼンスシステムを構築し、遠隔コミュニケーションにおける同システムの心理的効果を生体情報等に基づいて検証する実験を参画機関と共同で実施し、その結果をAI/VRに関する国際学会で発表するとともに、欧州で行われたエキスポ等において同システムの動態展示を行った。

平成30年度には当センターに4台目のfMRIが導入され、NICT自らの研究のみならず、大学や他の研究機関、さらには企業との共同研究をも強力に推進できる環境が整った。本年度のMRI・MEG実験の実験参加者数は2,000人以上であり、これは年々増加傾向にある。得られた大量の計測データは、脳の機能、構造、さらに代謝情報など多岐にわたり、その活用基盤を強固にするための検討も進めてきた。これは個人情報保護やセキュリティの面で細心の注意を要するため、研究室内外の研究員、研究技術員及び事務系職員がそれぞれの専門性を生かして議論を重ね、基幹情報システムの更新や脳情報データベース構築に向けての環境整備を行った。

このように多くの実験を安全に、かつ効率よく実施するため、外部有識者を含む安全委員会、安全小委員会を組織、運営し、実験状況の把握、研究計画の審議、運用ルール等の見直しを行った。また、実験参加者に対する講習会を実施し、fMRI・MEG計測に十分な経験を有する実験者に対しては所定の手続きを経て機器操作資格を与えた。脳計測に対するニーズ多様化に対応するため、研究員との対面コンサルティングを実施するとともに、実験設備・器材の拡充を図った。地震、台風等の天災に対しては実験中止を伝達するなどの対応を行い、実験参加者及び職員の安全には最大限の注意を払って研究開発を進めている。

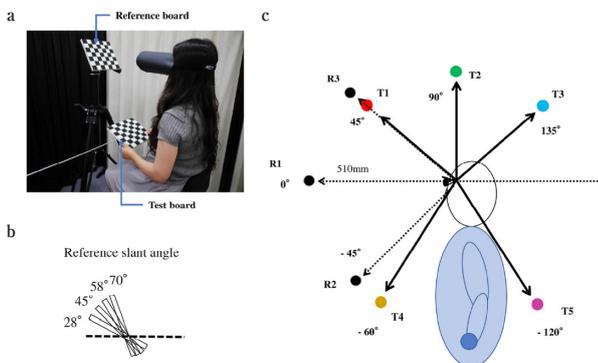


図3 2つの物体表面の傾きを視覚あるいは触覚の感覚情報を用いて比較