

プログラム名：脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現

PM名：山川 義徳

プロジェクト名：携帯型 BMI

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 28 年度

研究開発課題名：

携帯型 BMI 脳状態推定と誘導と個人特性予測

研究開発機関名：

株式会社国際電気通信基礎技術研究所

研究開発責任者

今水 寛

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

機械学習推定チーム

様々な年齢層の安静状態の脳活動から、作業記憶成績を予測し、予測に重要な役割をした結合やパターンを特定する。平成 28 年度末をめどに、作業記憶などの認知機能を安静時の脳活動から統計的に有意なレベルで予測できることを目標とし、予測に貢献した結合やパターンを特定することを目指す。

時空間脳情報解析チーム

EEG-fMRI 同時計測実験を約 20 名に対して行い、解析することにより情動性脳活動の推定モデルの開発及び EEG Fingerprint の解析を行う。

個人特性予測チーム

脳状態推定法の開発では、100 人規模のレストイング fMRI 機能結合データから、ひらめき状態を予測するモデルを作成する。高密度 NIRS による脳結合計測法の開発では、レストイング時の高密度 NIRS の実験法・解析法を確立する。

NIRS ニューロフィードバックによる認知機能の低下の防止と回復チーム

NIRS 単独の全脳計測を 40 例程度実施する。fMRI と NIRS の同時計測を 40 例程度実施する。NIRS 結合ネットワーク変動要因の調査を 100 例に実施する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

チーム間で連携しながら、昨年度から引き続き、様々な年齢層の被験者を集め、最終的に 240 名の大規模な脳情報のデータベース（以下「大規模データベース」）を構築した。大規模データを各チームが独自に解析、解析結果に基づく脳情報の誘導方法を検討・開発した。

機械学習推定チーム

大規模データベースのうち 228 人の安静時の脳活動から、個人の認知機能（作業記憶）を予測する解析を行った。携帯型 BMI での実装を念頭におき、脳波や NIRS で活動を計測しやすく、これまでの研究成果から、作業記憶に強い影響を与えることが解っている左の前頭頭頂ネットワーク（図 2-1-1 A）を対象を絞って解析を行った。

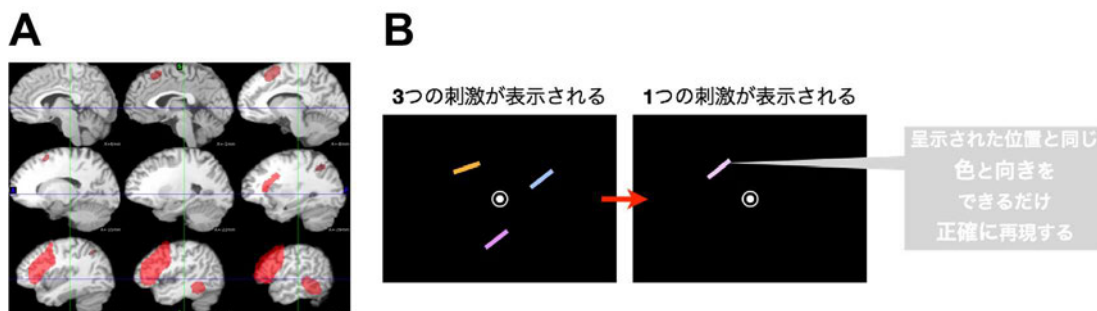


図 2-1-1 (A) 様々な矢状断面での左前頭頭頂ネットワーク. (B) 作業記憶による Feature binding 課題.

時空間脳情報解析チーム

EEG-fMRI 同時計測実験を 20 名に対して行った。まず視覚刺激中の視覚皮質活動の推定を行うため、0.5 秒毎に色が反転するチェック柄を見ている時の EEG と fMRI のデータを取得し、EEG Fingerprint の解析を行うことにより、EEG から視覚皮質の BOLD 信号の推定を行った。また脳深部の推定を行うため、顔画像刺激時の EEG-fMRI 同時計測を行った。また EEG ニューロフィードバックの手法の開発のため、大規模データベースの 134 名について解析を行った。

個人特性予測チーム

基盤後術として高密度 NIRS 計測の実験プロトコル、拡散光トモグラフィ法 (DOT) のデータ解析法を確立と整備を行った。経頭蓋直流電気刺激により「ひらめき脳状態」を誘導する実験を行い、結果を論文にまとめ投稿した。大規模データベースうち 162 名の被験者から「ひらめき」に関連する脳形態・機能結合を特定することに成功した。

NIRS ニューロフィードバックによる認知機能の低下の防止と回復チーム

fMRI で得られている知見を NIRS に適用するために、引き続き安静状態での脳活動計測を、fMRI と NIRS の同時計測により 40 例実施した。また、安静時脳活動の NIRS の特性を詳しく調べるために、NIRS 信号の再現性の確保のため、3 名の被験者に関して、異なる日に 4 回来てもらい、1 日のうちで時間を空けて 4 回の計測を実施した。

2-2 成果

機械学習推定チーム

作業記憶課題としては、色のついたさまざまな方向の線分を提示し、暫く時間が経過したのち、そのうちのひとつの線分方向と色を再生する Feature Binding 課題を用いた (図 2-1-1 B)。左の前頭頭頂ネットワーク内の機能結合と個人ごとの反応のばらつきに相関があることが確認できた (図 2-2-1A)。先行研究では、ばらつきが大きいほど反応は一定しておらず、認知機能の低下と関連すると考えられている。また、左の前頭頭頂ネットワーク内に含まれる領域内の結合と反応のばらつきについても、同様の解析を行ったところ、有意な相関が見られた (図 2-2-1 B)。

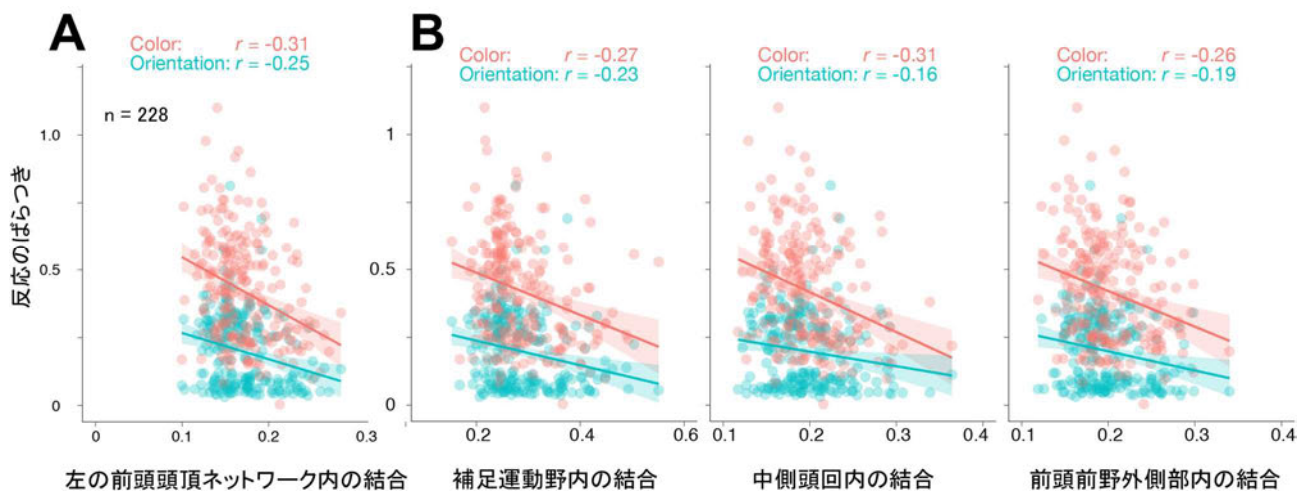


図 2-2-1 (A) 左の前頭頭頂ネットワーク内の機能的結合の強さと作業記憶課題における反応のばらつきの相関関係. (B) 左の前頭頭頂ネットワークに存在する領域内の機能的結合と反応のばらつきの相関関係.

時空間脳情報解析チーム

視覚刺激中の EEG-fMRI 同時計測により取得された EEG の時間・空間・周波数データと fMRI のデータを用いてスパース線形回帰を行い、EEG から fMRI の活動を推定する EEG Fingerprint の解析した結果、低次視覚野の活動については相関 0.5-0.6 で推定することができた。また情動に関係が深いと考えられる脳深部の扁桃体の活動の推定のためのデータを取得し、解析を継続中である。

個人特性予測チーム

1. レスティング時の高密度 NIRS 計測 (図 2-2-2A) の実験プロトコルを確立し、被験者 20 名の計測を実施した。また、拡散光トモグラフィ法 (DOT) のためのデータ解析パイプラインおよびチュートリアルを作成した。
2. 右前側頭葉の経頭蓋直流電気刺激により「ひらめき脳状態の誘導」を試みる実験プロトコルを確立し、被験者 25 名の実験を実施した。その結果、マッチ棒課題に関しては小さい効果量(effect size = 0.2)ながらもひらめきを引き起こす傾向が見られたが、有意水準 5%には達しなかった。また、言語ひらめき課題や単純計算課題に関しては有意な効果は認められなかった(図 2-2-2B)。
3. レスティング状態の fMRI 計測データからの脳状態推定アルゴリズムを提案した。ステージ 1 に続き、新たに 130 名程度のレスティング脳活動計測・脳形態計測と認知機能課題 (ひらめき、作業記憶など)を行い、約 240 名の大規模データベースを構築し、データベースから、162 名のひらめきに関する脳形態・機能結合の個人特性を抽出した (図 2-2-2C に「ひらめき」に影響を与える機能結合)。

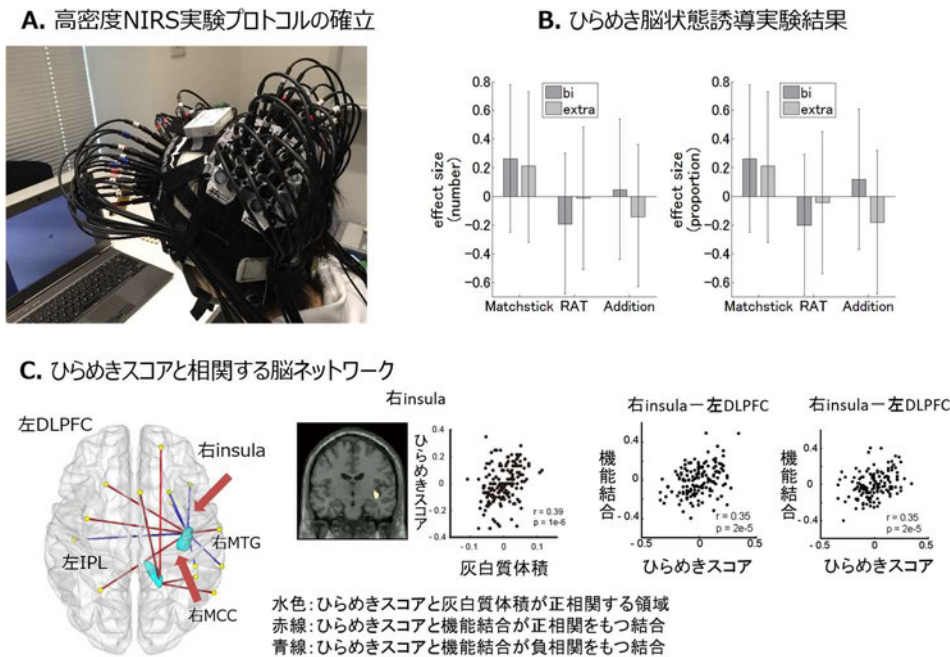


図 2-2-2 (A) レスティング高密度 NIS 実験風景. (B) 経頭蓋電流刺激によるひらめき脳状態誘導実験の結果. (C) 大規模レスティング fMRI データと T1-MRI データから同定したひらめきスコアと相関する脳ネットワーク.

NIRS ニューロフィードバックによる認知機能の低下の防止と回復チーム

fMRI と NIRS の同時計測により 40 例実施した。また NIRS 単独の全脳計測を 3 名の被験者に関して、異なる日に 4 回来てもらい、1 日のうちで時間を空けて 4 回の計測を実施した。

以上の成果に加え、ストレスを緩和するニューロフィードバックの基礎技術として、つらい経験を思いだすことなく、無意識のうちに恐怖記憶を消去できるニューロフィードバック技術を開発、論文発表・報道発表を行った。また、高齢化に伴う視覚機能の低下を回復させる基礎として、視覚感度と視覚課題への習熟度を独立に操作できるニューロフィードバック技術を開発し、論文発表・報道発表を行った。

2-3 新たな課題など

機械学習推定チーム

今年度の成果から、左の前頭頭頂ネットワーク内の機能的結合を高めることで、作業記憶能力を回復させる可能性があることが示唆された。次の課題として、左の前頭頭頂ネットワークをターゲットとして、ニューロフィードバックの具体的な実験パラダイムを決め、大型装置でのニューロフィードバックを行うとともに、光トポなどの携帯型 BMI での実装を行う。

時空間脳情報解析チーム

扁桃体のように脳深部にある部位の活動を EEG の信号から推定することは困難であるため、多対多の帰帰モデルや脳表付近の活動推定と機能的結合を組み合わせた方法による推定を検討している。また EEG ニューロフィードバックを開発する上で、フィードバックに用いるための効果的な脳領域もしくは機能結合を選別する必要がある。そのためには作業記憶課題など認知課題を行った際に得られる機能的関心領域を元に脳活動を絞る方法、またはデータ駆動的に探索する方法を用いて解析を進める予定である。

個人特性予測チーム

当初計画ではひらめき特性に関わるネットワークを DOT 法によって計測する予定であったが、fMRI から同定したひらめきネットワークが NIRS では計測が難しい深い領域にあることが判明した。対策として、NIRS 計測による先行研究が存在する作業記憶をターゲットに DOT 実験に変更することにした。また、将来的に NIRS による深部計測の問題を解決するために深い部分の活動を予測するモデルの研究も開始した。

NIRS ニューロフィードバックによる認知機能の低下の防止と回復チーム

当初計画では、機械学習推定チームが開発した実験パラダイムを、NIRS-fMRI 同時計測で fMRI と NIRS の関係を明らかにして、NIRS でのニューロフィードバックの実装という流れを予定していたが、NIRS-fMRI の安静時脳活動の同時計測で NIRS 側のデータが先行研究の知見と一致しないことが判明した。対策として、NIRS のみでの安静時データの収集を同一被験者に同一実験日内および複数日の検証実験を実施し、NIRS での知見を確かなものにしたうえで、機械学習推定チームとの連携で fMRI での知見に基づくニューロフィードバックのパラダイムの開発を進める。

3. アウトリーチ活動報告

機械学習推定チーム

国際電気通信基礎技術研究所のオープンハウス（平成 28 年 11 月 10・11 日）では、短時間でできる作業記憶課題のデモを行い、年齢と作業記憶能力の関係や ImPACT での取り組みについて、企業・大学からの参加者、高校生、近隣住民に解りやすく解説した。リハビリテーション関係者向けの講演を複数回行い（身体運動制御学とニューロリハビリテーション研究会・特別招待講演、日本臨床神経生理学会・教育講演、長野赤十字病院での講演）研究内容を概説した。

時空間脳情報解析チーム

電子情報通信学会の知的環境とセンサネットワーク研究会にて発表を行い、研究成果のアピールを行った。また他企業との連携を主体としたコンソーシアム(B3C)にて発表を行い、研究開発の成果展開に向けた活動を行った。

個人特性予測チーム

1. 第 94 回日本生理学会大会のシンポジウム「非侵襲ヒト生体光イメージング：解剖・生理学研究の革新的ツール」にて講演し、ImPACT で行っている、高密度 NIRS による脳結合計測・脳状態推定の取り組みを紹介した。
2. 「7 月 9 日にれいめい中学校の生徒約 120 名を対象として、体験型実習として、夢発見プロジェクト「一日脳科学者になろう」の講師を行った。「記憶力を測る方法」を考えるとというテーマで、生徒たちにブレインストーミングさせながら実験グループと被験者グループを作り、簡単な行動実験を実施した。「果物と野菜のどちらの名前の方が多く覚えられるのか」、「学年ごとに 1 分以内にいろは歌を何文字覚えることができるのか」などのテーマに沿って実験結果をまとめて成果発表を行った。参加中学生にとっては、グループのメンバーと話し合いながら問題解決を行う力を養うだけでなく、実験前に行うインフォームドコンセントについても実習にて体験することで、生命倫理の大切さについて学ぶ機会を作ることができた。

このアウトリーチ活動は、2016 年 7 月 16 日付の南日本新聞にも掲載された。

NIRS ニューロフィードバックによる認知機能の低下の防止と回復チーム

韓国で行われた国際学会 The international college of Neuropsychopharmacology (CINP) 2016 において、” Neurocomputational model for reward prediction and decision making in psychiatric disorders” というシンポジウムに登壇し、研究成果について発表を行った。