

平成 27 年 3 月 31 日

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 2 6 年 度

研究開発課題名：

機械学習脳情報推定

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

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

本研究開発は、PM が作成した研究開発プログラム全体計画において、「プロジェクト1：革新的脳情報活用技術の開発」の中で、携帯型ブレインマシンインターフェース (BMI) の実現に貢献するもので、具体的な社会応用を視野に入れた携帯型 BMI の開発と、その脳科学的な妥当性を検証するものである。また、プロジェクト間を横断的に結びつけるモデルケースとしては、脳情報を活用した健康サービスの公開を目指す。

高齢化する社会において、人々が活力溢れる生活を実現するためには、社会生活で必要とされる認知機能（適切に判断する能力、情報を記憶する能力、適切に身体を操作する能力など）を維持することが不可欠である。本研究開発では、機械学習推定技術とニューロフィードバック技術を組み合わせることで、認知能力の低下を防止し、低下した認知機能を回復する技術の開発を目指す。第1ステージ（平成27年度まで）の計画は、機械学習の手法を用いて、安静状態や作業記憶課題を行っているときの脳活動から、認知課題の成績を予測することを行い、低下が著しい人とあまり低下していない人で、脳活動パターンや脳領域間の結合の違いを検討することを計画していた。本年度は、第1ステージの目標を達成するために、安静脳活動と認知機能の関係、ニューロフィードバックの基礎技術の検討を計画していた。

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

本年度は、第1ステージの計画のうち、1) 安静時の機能的結合と認知課題の成績の間の相関関係を調べること、2) 第2ステージでのニューロフィードバックを効率的に行うための基礎技術開発を行った。1) については、認知課題の成績を予測することを行い、2つの脳内ネットワークの結合（活動の時間相関）と成績の間に有意な正の相関を見出すことに成功した。2) については、ニューロフィードバックにおける関心領域の決め方、オンラインでのノイズの除去方法、脳活動を誘導するためのフィードバックの与え方、ベースライン計測の施行数・スコア換算、など多岐にわたる項目について検討を行い、最適なニューロフィードバック方法を探索するとともに、問題点の抽出を行った。さらに、今後の開発を進めて行く上で問題となることが予想される、3) ニューロフィードバックにおける倫理的な問題の検討を行った。

2-2 成果

1) 安静時の機能的結合と認知課題の成績の間の相関関係

外界から刺激を受けていない安静状態における脳活動の揺らぎから推定される脳領域間の機能的な関係性を、安静時機能的結合と呼ぶ。本研究では、この安静時機能的結合とヒトの認知機能の関係を調査した。

従来のシステム神経科学は、実験参加者に画像提示や音を鳴らすなどの刺激を外部から与え、刺激によって誘発される脳活動を計測することで、神経機構のメカニズムを明らかにする方法が主流であった。functional MRI (fMRI) を用いた研究の多くでも、何かの課題を行っている状態の脳活動から、

外界から刺激を受けていない安静状態の脳活動を引き算することにより、課題に関連する脳活動を同定している。しかしながら、逆に安静状態の脳活動から何かの課題を行っている状態の脳活動を引き算しても脳活動が見られることがある。つまり、ヒトの脳は外界から刺激を受けていない安静状態においても自発的に活動しているということである。さらに、安静状態で計測した fMRI 脳活動の低い周波数成分の揺らぎは、機能的に関連のある領域間で時間相関が高いという性質を持つ。例えば、左運動野と時間相関の高い領域を脳全体から探すと、右運動野、左右運動前野、補足運動野、小脳、大脳基底核など、運動に関わる脳領域が現れてくる。安静状態で計測した fMRI 脳活動に対して空間的独立成分分析(以下 ICA: Independent Component Analysis)を行うと、上記に示した運動に関わる脳領域のまとまりをはじめとして、物思いにふけているときに活動する Default Mode Network(DMN)と呼ばれる脳領域など、機能的に関連を持った様々な脳内空間パターンを抽出することが出来る。つまり、安静状態において脳は同じ機能を持つ脳領域が同期して自発的に活動していると考えられる。この機能的に関連を持つ様々な脳内空間パターンはネットワークと呼ばれる。

脳内ネットワークの活動は、ヒトの認知機能と関わっていることがわかってきており、個人の脳内ネットワークを調査することで、個人の認知機能を予測できる。例えば、サリエンスネットワークと呼ばれるネットワーク内の安静時機能的結合が強い人ほど不安を感じやすく、エグゼキューティブネットワークと呼ばれるネットワーク内の安静時機能的結合が強い人ほど認知処理が速い。また、ネットワーク内の結合の強さだけでなく、ネットワーク間の結合も認知機能と関わることが知られている。

本研究では、認知課題と脳内ネットワーク間の結合の関係を調査した。対象とするネットワーク間の結合は、先行研究を参考に2つのネットワークの機能的結合とした。

50名の実験協力者に実験に参加していただき、fMRI を使用した5分~10分間の安静時脳活動の計測(以下 rsfMRI: resting state fMRI)を行った後、fMRI の外部でコンピュータを使用した認知課題を行っていただいた。さらに、データの信頼性を向上させるために、別の日にも安静時脳活動の計測と認知課題を行っていただいた。つまり、各実験協力者につき2ペアの安静時脳活動と認知課題の performance を計測した。

rsfMRI では、実験協力者は fMRI の中で、画面の中心に黒の十字が固視点として表示され、固視点を見て、身体を動かさず、リラックスして、寝ない、特定の物事について能動的に深く考え込まないように教示される。撮像時間は5分~10分である。rsfMRI 中の脳活動に対してノイズ除去のための前処理を行った後に、全実験協力者のデータを使用して ICA を行い、2つのネットワークを同定した。各実験協力者の2つのネットワークの時間相関を機能的結合とした。

その結果、ネットワークの機能的結合と認知課題の間に、有意な正の相関を確認することが出来た。今後は、この結果をもとに、機能的結合を変化させる結合ニューロフィードバックトレーニングを行い、トレーニング前後での認知課題の変化を調査していく。

2) ニューロフィードバックを効率的に行うための基礎技術開発

fMRI 実験は月曜日から金曜日の5日間にわたる。実験は大きく3パートに分かれており、月曜日に行う事前テスト、火曜日~金曜日に行うニューロフィードバックトレーニング、金曜日ニューロフィードバック後に行う事後テストから成る。事前テストと事後テストでは、ニューロフィードバック

トレーニングによる安静時機能的結合への影響を調査するために安静時脳活動の計測を行った。また、質問紙調査および PC を使った行動課題を行い、認知機能の評価を行った。

事前テストの日に、ニューロフィードバックで変更の対象とする結合の、インダクション中のベースラインを被験者ごとに計測した。その後、被験者は 4 日間にわたるニューロフィードバックトレーニングを行った。

ニューロフィードバックトレーニングは、休憩期間（14 秒）、インダクション期間（14 秒）、フィードバック期間（8 秒）の 3 つの期間から成り立つ。休憩期間は固視点の上に = が表示され、何も考えずにリラックスする。インダクション期間には固視点の上に + が表示され、被験者はこの期間に脳活動の操作を行う。フィードバック期間には、インダクション期間の脳活動をスコア化して表示する（インダクション期間の具体的な教示、フィードバック期間の表示形式については後述）。事前テストでのベースライン計測も同様の流れで行っている。3 つの期間を 1 試行とし、10 試行で 1 ブロックとした。一日のニューロフィードバックトレーニングは 6 ブロックから構成される。

以上のようなパラダイムで、ニューロフィードバックにおける関心領域の決め方、オンラインでのノイズの除去方法、脳活動を誘導するためのフィードバックの与え方、ベースライン計測の施行数・スコア換算、など多岐にわたる項目について検討を行いさまざまな手法を検討した。

3) ニューロフィードバックにおける倫理的な問題の検討

ニューロフィードバックを行うにあたり、認知機能を向上させることについての倫理面での検討を行った。本プロジェクトは、中高年から高齢者において、認知機能が著しく低下した人を対象として、携帯型 BMI を使って簡易にニューロフィードバックを行い、その機能を回復させることを予定している。しかし、同じ方法は、例えば受験生の認知能力を高めるようなニューロ・エハンスメントにも利用可能である。このような問題に対する検討を行うため、神経倫理の文献などを調査し、ニューロフィードバックに関する倫理面での検討を行った。

2-3 新たな課題など

安静状態の脳活動における機能的な結合と認知機能の相関を見いだすことに成功し、基礎的な解析方法は確立された。今後は、さまざまな年齢層の被験者を多数集めて、安静状態の脳活動から認知機能を予測することを行う必要がある。このため、多数の被験者を効率良くリクルートする体制を整えることを行う。これには、ホームページや、近隣の施設で簡単な認知課題を行い、実験協力者をリクルートするシステムを構築する。これには、同じ「脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現」に参加している京都大学依田高典教授ら構築している、けいはんな地区における数万人規模の健康者・実生活実証フィールドを有効に活用する方法を検討する必要がある。また、多数の被験者の認知機能を調べるため、比較的短時間で簡単に行うことができ、しかも認知機能を正確に評価できる課題の設計を行う必要がある。

第 3 ステージで予定している携帯型 BMI の開発を見据えて、安静状態の脳活動を fMRI と NIRS で同時計測を行う必要がある。これには以下のような技術的な問題が解決される必要がある。1) シールドルーム内の MRI 装置まで届く長距離光ファイバを用いる必要があり、距離を長くしても感度の落ちない方法の開発 2) MRI ヘッドコイルの中に NIRS のファイバーヘッドを入れるための工

夫。これらの問題を解決して行くためには、NIRS の計測に十分な経験を持った研究グループとの共同研究が必要になる。

3 . アウトリーチ活動報告 なし