

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 7 年 度

研究開発課題名：

高密度脳情報計測

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

山下 宙人

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

レストイングステート拡散光トモグラフィ法 (rsDOT 法) の計測技術の確立、アルゴリズムの改良を行う。また、fMRI を参照した脳状態推定法の開発を行う。

課題 1) rsDOT 法の計測技術の確立 計測部位、計測ハードウェアの設定、計測ホルダのデザインの決定を行い、レストイング状態向けのロバストなアルゴリズムを提案・実装を行う。

課題 2) 脳状態推定法の開発 レストイング状態の 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

課題 1) 2) ともに順調に進捗し、ステージ 2 に向けての研究基盤を整えることができた。課題 1 では計測部位の確定、コンピュータシミュレーションによる評価、脳状態推定法の開発では、ひらめき脳状態をターゲットにレストイングステート fMRI の 100 人規模のデータベースから、ひらめき個人特性と関連する脳ネットワークの同定を行った。

2-2 成果

課題 1) 高密度脳計測のための計測部位の選定と、計算機シミュレーションによる rsDOT 法の評価の 2 点を行った。

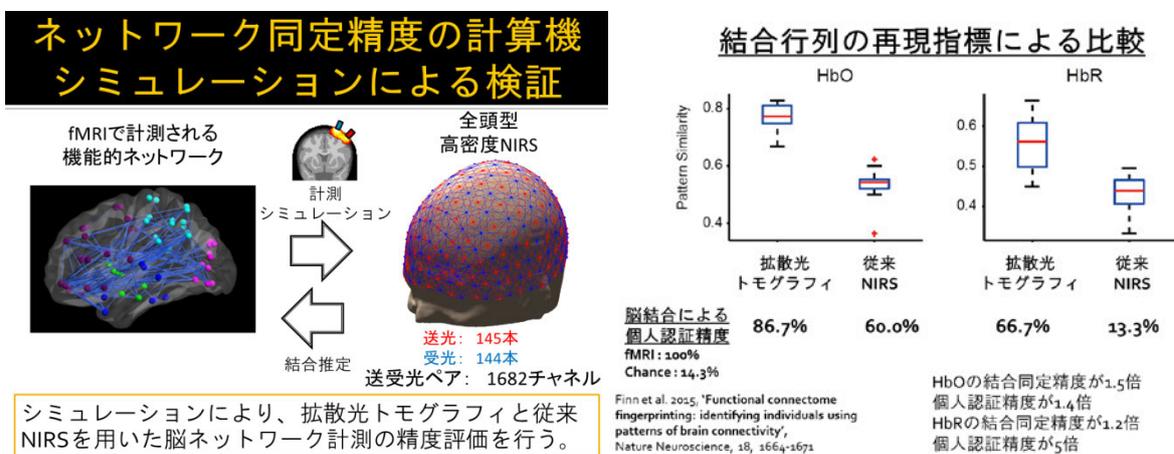
高密度光計測を実機で行う時にはプローブ数の限界のために、頭全体を計測することは難しく計測部位を選定する必要がある。まず、レストイング fMRI の文献調査をもとにレストイング機能結合の中でも高次認知機能など個人特性が大きく反映されるネットワークである前頭部、頭頂部を優先的に計測することを決定した。次に、光脳計測シミュレーションによって、計測プローブを配置する頭の座標情報を計算した。これらの情報をもとに実験用の高密度用のホルダを作成した。

計算機シミュレーションによる rsDOT 法の評価では、高密度 NIRS を用いた脳ネットワーク同定精度と従来 NIRS を用いた時の脳ネットワーク同定精度を、レストイング fMRI 機能結合の 15 セッション(5 人 x3 回)の実験データと全頭光脳計測シミュレーション、さらに拡散光トモグラフィアルゴリズムを使って比較した。評価手法の概要は以下の通りである。

1. レストイング fMRI データから光脳計測シミュレーションによって高密度 NIRS データと従来 NIRS データをシミュレートする(ここでは頭皮血流は 0 と仮定)。
2. 高密度 NIRS データから拡散光トモグラフィ法によって皮質の活動を推定し、領野分割情報をもとに機能的結合行列を計算する。
3. 従来 NIRS データからバックプロジェクション法によって皮質の活動を推定し、領野分割情報をもとに機能的結合行列を計算する。

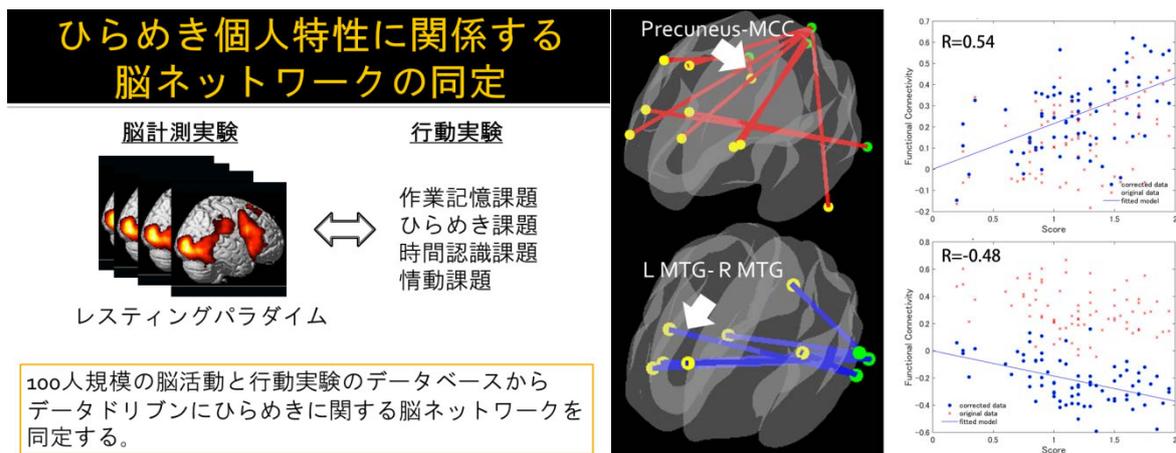
- 2,3 で計算した機能的結合行列と、レストイング fMRI データから計算した機能的結合行列を比較する（上対角成分の類似度をピアソン相関で定量化）ことによって、脳ネットワーク同定精度をそれぞれ定量する。
- ベンチマークとして機能結合行列による個人認証精度の比較を行う。

結果、従来 NIRS に比べて、高密度 NIRS を用いた時の方が、ネットワーク同定精度として 1.2 倍程度、個人認証精度として 5 倍(HbR 利用時)程度に向上することを確認した。この結果は頭皮血流の影響を無視したシミュレーション結果である。頭皮血流の影響は従来 NIRS 法により強く影響することが予想されるため、頭皮血流を考慮したシミュレーションでは差が広がる可能性がある。またこのシミュレーションの課程において、複数の画像再構成アルゴリズムで拡散光トモグラフィを試みており、深さ補正最小二乗ノルム画像再構成アルゴリズムにより頑健な機能的結合の推定が可能であることがわかった（上記結果は深さ補正最小二乗ノルムアルゴリズムを使った時のものである）。



図：課題 1 の実施内容と結果概要

課題 2) ひらめき脳状態を脳活動から可視化するために、レストイング状態 fMRI の 100 人規模のデータベースから、ひらめき個人特性と関連する脳ネットワークの同定を行った。20 代～60 代の男女（ほぼ半数）100 人に対して、脳データとして構造 T1-MRI とレストイング fMRI を計測し、ひらめき度の定量指標としてマッチ棒テスト・遠隔連想言語テスト・洞察課題の 3 つのペーパーテストのスコアを測定した。解析では、T1-MRI 画像から抽出した灰白質容量とレストイング fMRI から計算した機能結合強度を用いて 2 段階相関分析によって、ひらめきスコアと（被験者間で）相関する脳ネットワークを抽出した。この際に年齢や性別の影響は線形回帰分析によって取り除いて解析を行った。まず、T1-MRI 画像から抽出した灰白質容量とひらめきスコアが相関する領域を同定した。結果、右 precuneous や左 Middle temporal gyrus (MTG) が同定された。次にレストイング fMRI データを用いて、同定された領域をシード領域として、それ以外のボクセルとの機能的結合を相関値によって定量した。定量した機能結合の強さとひらめきスコアが相関する結合を同定することによって、ひらめきスコアに相関する脳ネットワークを同定した。結果、precuneous と MCC や MFG などの結合が強いほどひらめきスコアが高く、左右の MTG の結合や左 MTG と L/R precuneous が低いほどひらめきスコアが高い傾向になることがわかった。



図：課題 2 の実施内容と結果概要

2-3 新たな課題など

課題 2 で同定したネットワークは、個人のテスト結果と脳ネットワーク活動の相関解析の結果のため、本当にひらめき特有のものなのか不明である。経頭蓋電流刺激などひらめきを作り出す方法や fMRI などと併用しながら、ひらめきに関する脳ネットワークの同定を継続する。

3. アウトリーチ活動報告

山川 PM がアレンジした研究会および ATR オープンハウスにて企業研究者向けのアウトリーチを行った。