

平成28年度「脳活動推定技術高度化のための測定結果推定システムに向けたモデリング手法の研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

(株)国際電気通信基礎技術研究所、平成25年度から平成29年度(5年間)、総額799百万円(平成28年度150百万円)

2. 研究開発の目標

現在利用されている4種類の代表的な非侵襲脳活動計測法EEG・MEG・fMRI・NIRSの様々な実験条件における測定データを予測するための“ヒト脳機能データ推定システム”を開発する。実験結果予測や実験結果統合を行うためのプラットフォームとして活用することにより、ブレイン・マシン・インタフェース研究の飛躍的な進展に寄与することを目指す。

3. 研究開発の成果概要

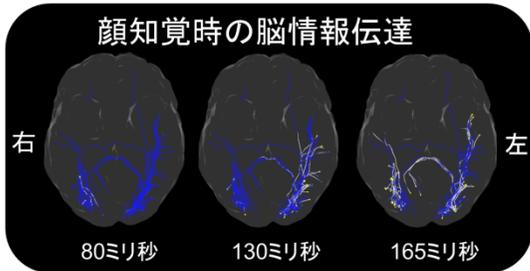
研究開発目標

平成27年度までに開発した技術を用いて、ヒト脳機能データ推定システムの実験データを用いた検証を行う。また、ヒト脳機能データ推定システムの要素技術となるネットワークダイナクスモデルや刺激モデルの改良・研究開発を継続する。

研究開発成果

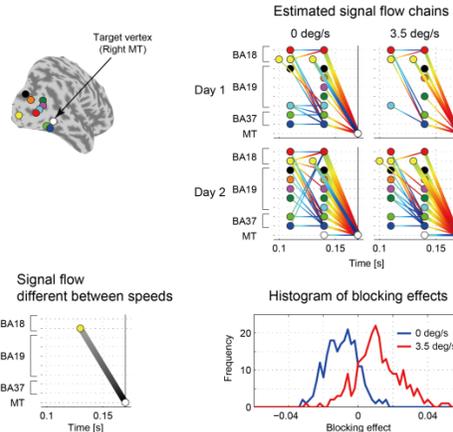
研究開発項目1ではモデル化のための情報抽出アルゴリズムの開発とネットワークダイナクスを理解する方法の提案、研究開発項目2では脳ダイナクスのユーザ間の違いを検討する方法を開発し、研究開発項目3では推定システムの一部(MEGデータ・EEGデータ)の実験データによる検証を行った。

研究開発項目1 入力モデルと脳モデルの高度化



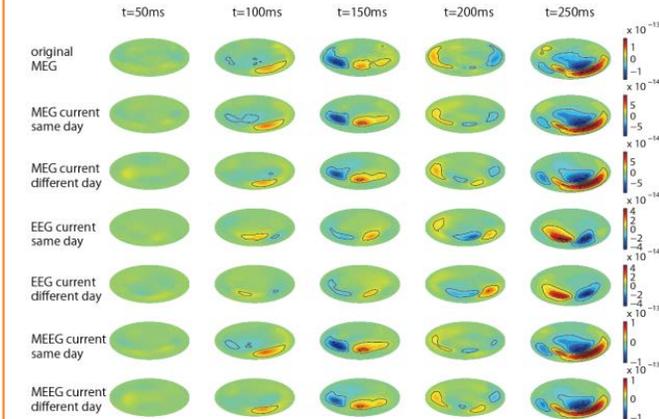
- 画像からの質感抽出および形状抽出との相互作用の調査
- 脳神経活動推定のための階層ベイズモデルの開発
- 脳ネットワークダイナクスを理解する方法の開発

研究開発項目2 環境・ユーザの影響を評価できるヒト脳機能データ推定システム



- 単純感覚刺激に対する脳ネットワークダイナクスモデルからの情報抽出
- 呈示モダリティが短期記憶ネットワークのダイナクスに与える影響の検討
- 被験者間共通のMEGデコーダーの作成
- 脳ネットワークダイナクスの粗視化による複数被験者解析手法の開発

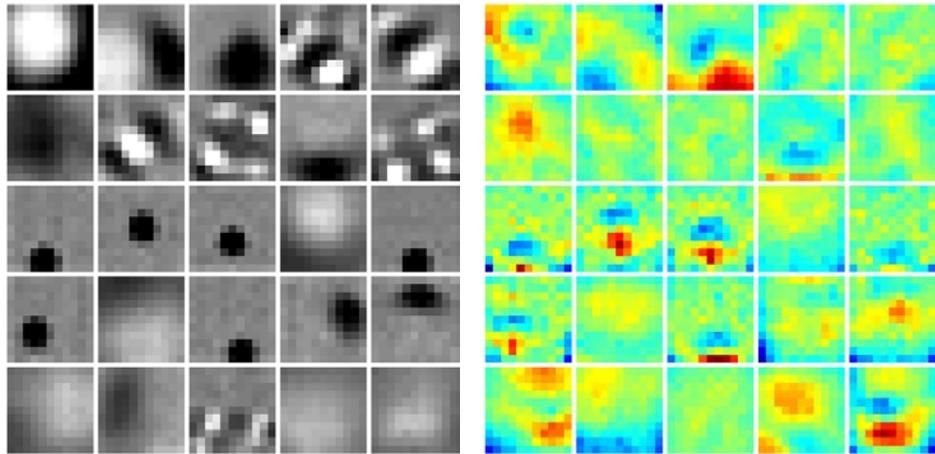
研究開発項目3 推定システムが出力する脳活動テストデータの妥当性の検証



- ヒト脳機能データ推定システムの実験データによる検証

研究開発項目1-1 画像からの質感抽出 および形状抽出との相互作用の調査

- 多層ニューラルネットワークに多数の画像を学習させ、情報抽出のためのフィルタ学習を自動的に行った。
- 画像からの質感情報抽出における形状情報との相互作用を調べるため、画像のみから学習させるだけでなく、画像に3次元形状情報(深さ情報)を付加したときの学習を行った。
- 3次元形状情報を加えることで質感情報抽出の正答率上昇が見られた。また、学習されたフィルタにおいて画像と形状の相互作用が見られることが分かった。



学習されたフィルタ。左が画像に対するフィルタ、右が3次元形状情報に対するフィルタ。

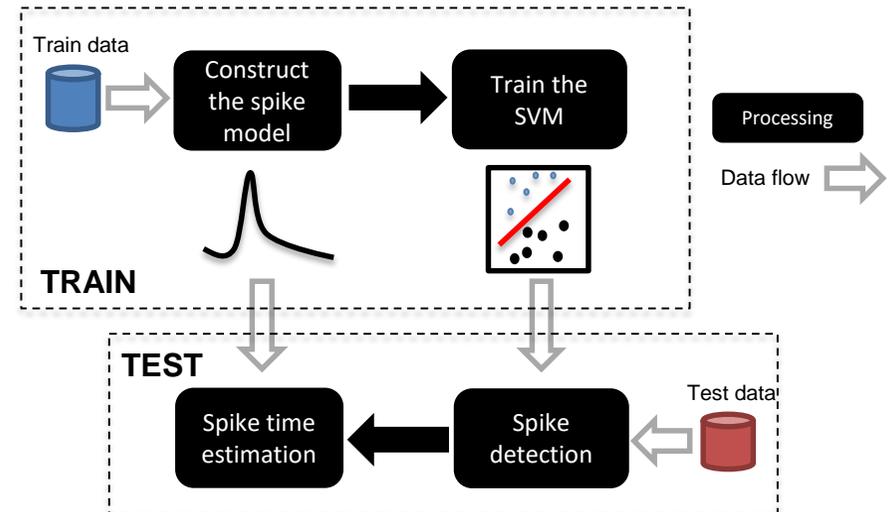
研究開発項目1-2 脳神経活動推定のための 階層ベイズモデルの開発

Training stage

- Construct the spike model with double exponential function by maximum likelihood estimation
- Train the SVM classifier with the features composed of the signal and the coincidence between the signal and the spike model

Test stage

The spikes are detected by the trained classifier and the spike times are estimated at higher temporal resolution by minimizing the residuals of the fit between the signal and the spike model.



研究開発項目1-2 脳ネットワークダイナミクスを理解する方法の開発

- 構造ネットワークを制約としてMEGデータから課題に関連した脳ネットワークダイナミクスを同定する方法を開発した。
- しかし、同定した脳ネットワークダイナミクスは複雑すぎるため解釈する方法が必要である。
- 同定したネットワークダイナミクスの特徴的な成分を信号伝達イベントとして可視化し、被験者間に共通なイベントを統計処理することによって、重要な信号伝達イベントを可視化する方法を開発した。
- 顔知覚時の情報伝達を抽出した結果、刺激提示後100~200ミリ秒の間に初期視覚野と高次視覚野の間のイベントが同定された。

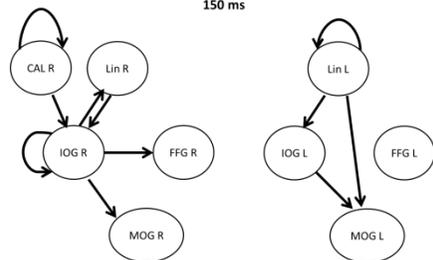
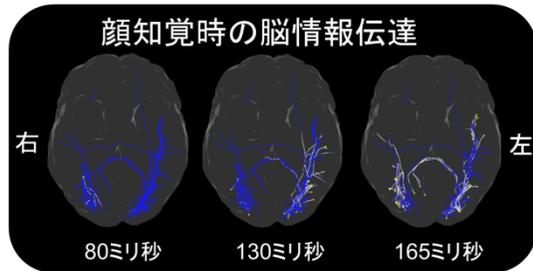
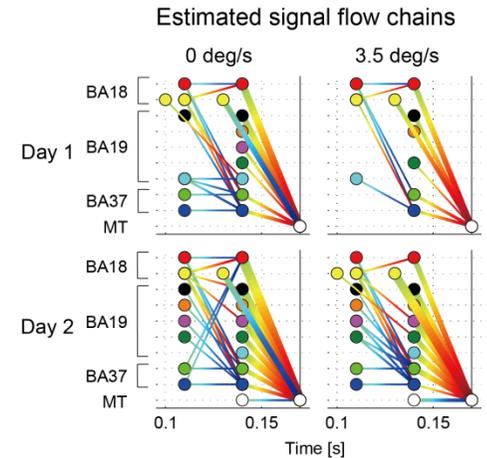
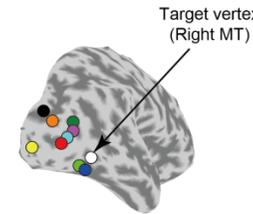


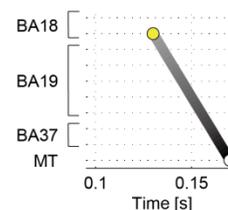
図:顔写真刺激に反応した信号伝達イベント。上:代表被験者の(80,130,165ミリ秒)下:被験者間共通(125~150ミリ秒)

研究開発項目2-1 単純感覚刺激に対する脳ネットワークダイナミクスモデルからの情報抽出

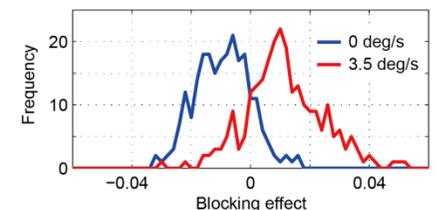
- 運動する視覚刺激を見ているときの脳ネットワークダイナミクスモデルを構築した。
- 構築した脳ネットワークダイナミクスモデルから、MTへの信号の流れを推定した。
- 信号の流れを条件間で比較することで、刺激のスピードに関連する信号の流れを特定した。
- 信号の流れを被験者間でまとめることで、被験者間で共通した信号の流れを特定した。



Signal flow different between speeds

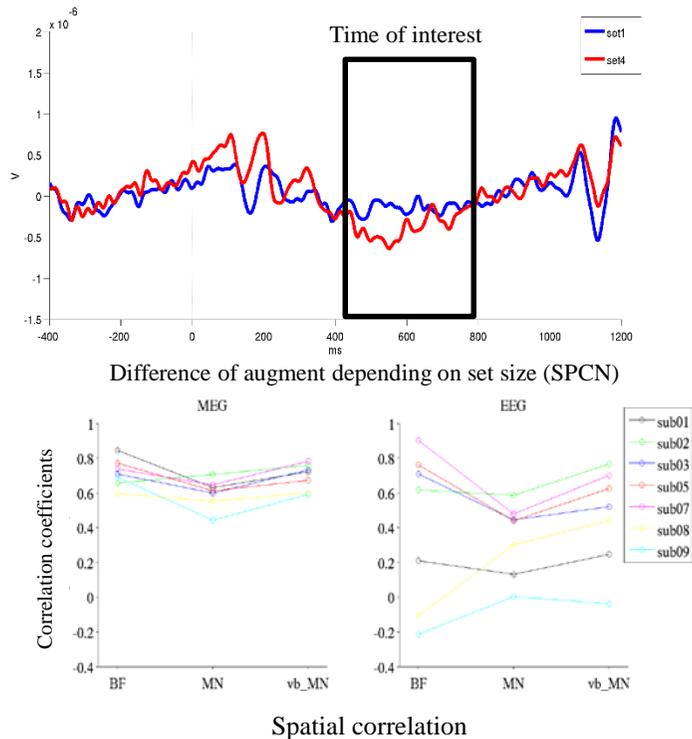


Histogram of blocking effects



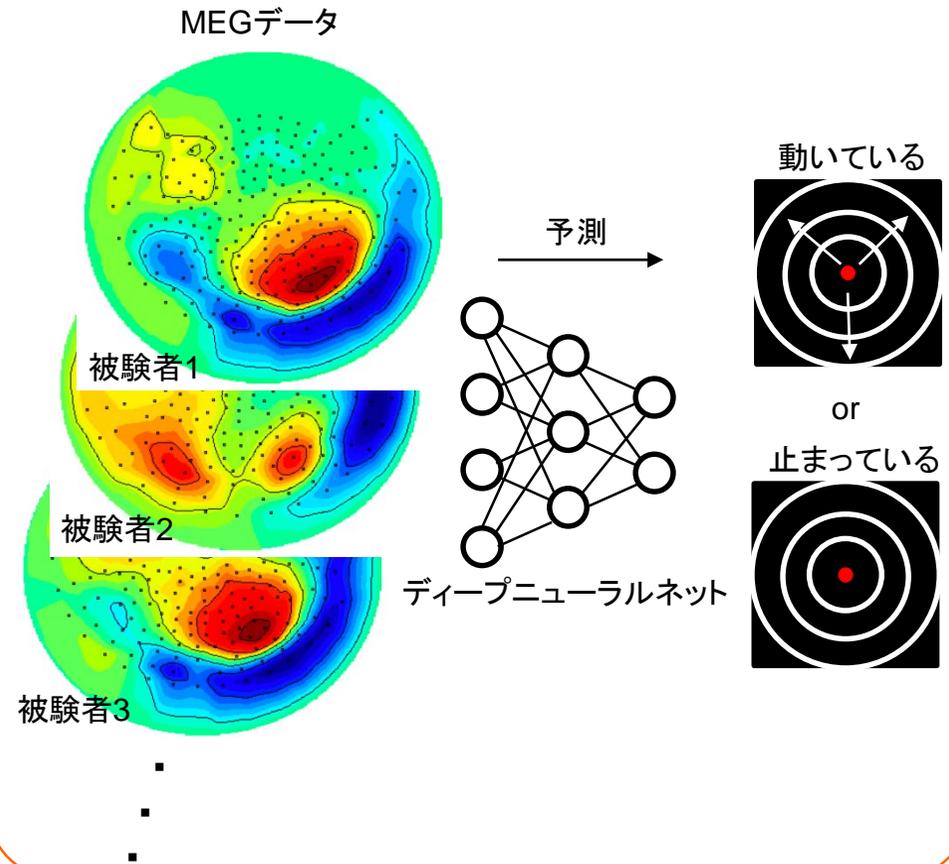
研究開発項目2-1 呈示モダリティが短期記憶ネットワークのダイナミクスに与える影響の検討

- 視覚刺激を保持する際に共通する脳ネットワークダイナミクスの個人解析を行い、視覚情報処理における背側ストリーム、腹側ストリームの存在を確認した。
- 記憶負荷量(セットサイズ)の差によって頭頂および後頭の賦活が亢進することを示した。
- Test-retest法を用いて上記の現象の再現性を確認し、EEGよりもMEGで推定された電流源の方が空間的相関が優れることを示した。



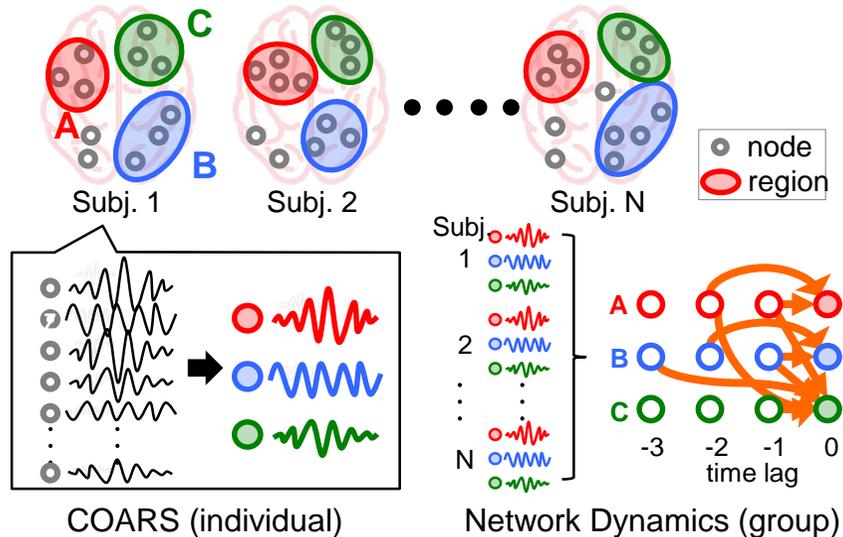
研究開発項目2-2 被験者間共通のMEGデコーダーの作成

- ディープニューラルネットを用いて被験者間共通のMEGデコーダーを作成した。
- デコーダーの作成に使用していない被験者のMEGデータから視覚刺激が動いているか止まっているかを予測した。



研究開発項目2-2 脳ネットワークダイナミクスの粗視化による複数被験者解析手法の開発

- 被験者間解析では脳頂点間に定義された脳ネットワークダイナミクスを共通の脳地図を用いて領野レベルに粗視化する必要がある。
- しかし、既存手法ではダイナミクス情報が十分に保持されない。
- 開発した「結合自己回帰部分空間(COARS)」法は標本自己共分散行列の低ランク近似同時因子化によって、領野間及び領野内のダイナミクス情報を最大限保持する領野毎の線形因子を求める
- グレンジャー因果分析に応用し、シミュレーションデータで既存手法と比較して高い因果検出精度を示した。
- 顔知覚課題MEGデータ解析に適用し、11被験者に共通の粗視的ネットワークダイナミクスモデルを同定した。



$$\max_{\mathbf{A}} \sum_{\tau=1}^p \|\mathbf{A}^T \mathbf{X}(\tau) \mathbf{A}\|^2 \begin{cases} \mathbf{X}(\tau) := \mathbb{E}[\mathbf{y}(t)\mathbf{y}(t-\tau)^T] \\ \mathbf{A} = \text{blkdiag}(\mathbf{A}^{[1]}, \mathbf{A}^{[2]}, \dots, \mathbf{A}^{[m]}) \end{cases}$$

研究開発項目3 ヒト脳機能データ推定システムの実験データによる検証

- 運動視課題時の脳波と脳磁図データを用いて脳活動源(電流源)を推定し、脳波から推定した電流源、脳磁図から推定した電流源から、脳波・脳磁図計測モデルを通して、脳波データまたは脳磁図データが再構成できるかを検証した。
- 再構成したデータと計測データの空間パターンの類似度を時々刻々計算しその時間平均を評価尺度として定量化したところ、脳波電流源から脳波データ、脳磁図電流源から脳磁図データの再構成は可能であるが、脳波電流源から脳磁図データ、脳磁図電流源から脳波データの再構成はほとんど出来ないという結果になった。
- この問題を解決するために、脳波と脳磁図両方を使った電流源から脳波データまたは脳磁図データの再構成を試みたところ、双方の再構成が可能であった。
- 脳波と脳磁図は類似する脳計測だと考えられてきたが、むしろ補完的な脳計測であり、双方を合わせて電流源推定することが重要であることを示唆している。

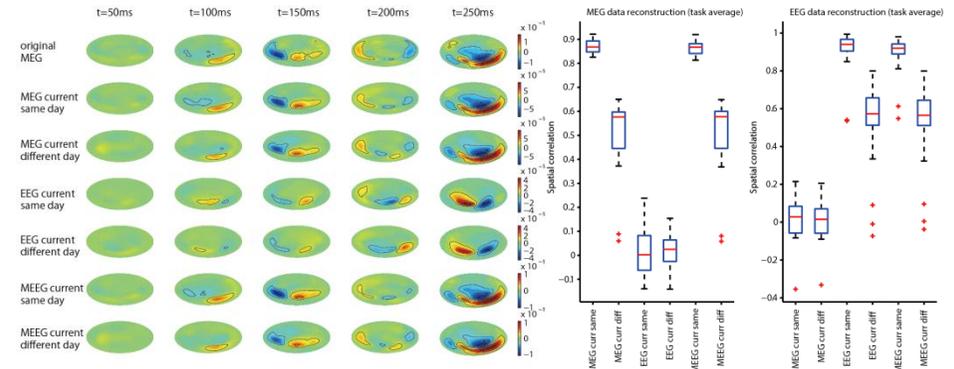


図: MEGデータおよびEEGデータの再構成精度

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース	展示会	標準化提案
脳活動推定技術高度化のための測定結果推定システムに向けたモデリング手法の研究開発	1 (0)	0 (0)	22 (13)	96 (27)	6 (6)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) 2016年6月28日CiNETにて「白黒の画像に色の見えを作り出す技術を開発」について報道発表

2016年6月28日CiNETにて「白黒の画像に色の見えを作り出す技術を開発～低次視覚皮質における方位と色の連合学習～」という見出しで報道発表を行った。朝日新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞など新聞メディア、Science dailyなどの海外ネットメディアおよびマイナビニュースなどの国内の多数のネットメディアで取り上げられ、研究成果を国内外に広くアピールした。

(2) 国際学会 “23rd International Conference on Neural Information Processing(ICONIP2016)” にて招待講演

国際学会ICONIP2016にて、ヒト脳イメージング研究のtutorial講演を行い、委託研究の成果である複数データ統合による高時間分解能イメージング手法および脳ネットワークダイナミクス推定技術について解説を行った。国内外のニューラルネットワーク分野の研究者に当研究委託の研究成果についてアピールした。

5. 今後の研究開発計画

2017年度は5年間プロジェクトの最終年度である。今までに開発した技術を用いて、fMRI,MEG,EEG,NIRSの4種類の計測データを生成するヒト脳機能データ推定システムを構築し、実験データを用いた検証を行う。また、ヒト脳機能データ推定システムの基盤技術である脳全体・空間解像度5~10ミリ程度、サブ秒の機能的インタラクションを可視化する“ネットワークダイナミクスモデル推定法”を実装したプログラム群を、オープンソースソフトウェアとして公開する。