

平成27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

株式会社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25年度176百万円)

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

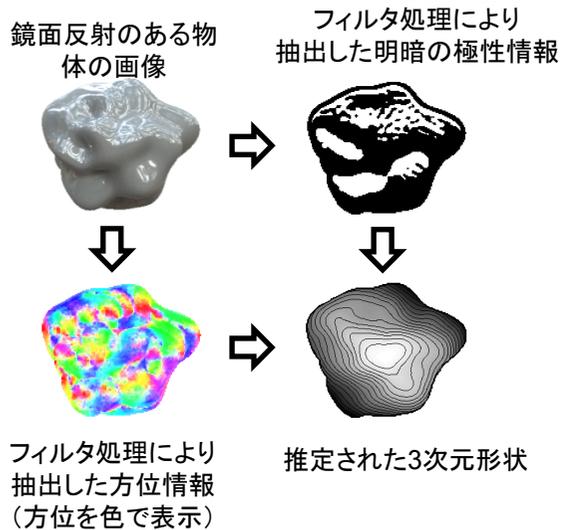
研究開発目標

平成25年度・26年度開発した技術を統合することによって、ヒト脳機能データ推定システムのプロトタイプを完成させる。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ミ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

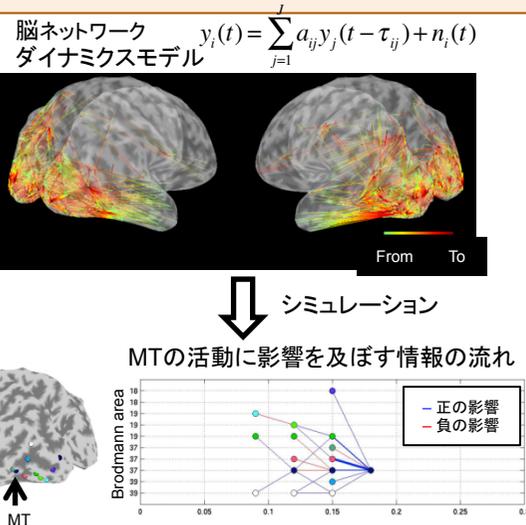
課題1ではモデル化のための情報抽出アルゴリズムの開発とダイナミクス推定の妥当性検証方法の提案、課題2では単純視覚刺激に対する脳ネットワークダイナミクスモデルの構築、課題3では推定システムのプロトタイプによるユーザ間の違いを定量化する方法の開発を行った。

課題1 入力モデルと脳モデルの高度化



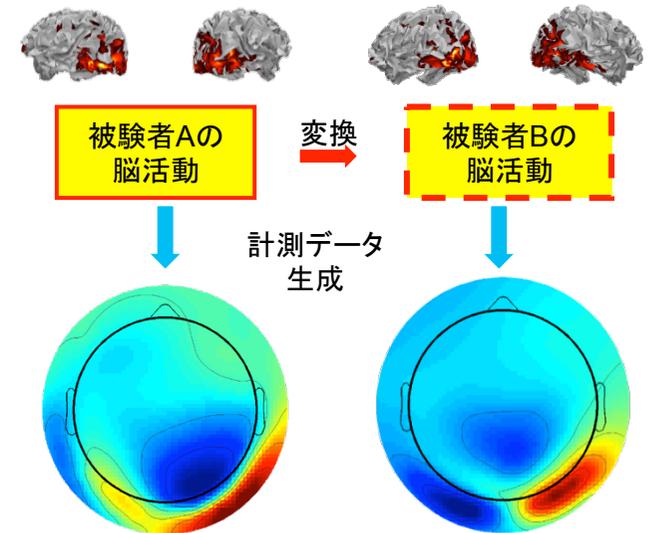
- 多重解像度の方位・極性情報からの3次元形状情報の抽出
- 運動に関する脳活動ポピュレーションダイナミクスの推定
- ネットワークダイナミクスモデル検証のためのアルゴリズム提案

課題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ミクスモデルの構築
- 脳刺激を用いた安静状態ネットワークダイナミクスの調節
- 脳の結合関係やダイナミクスにおける共通特性の抽出

課題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

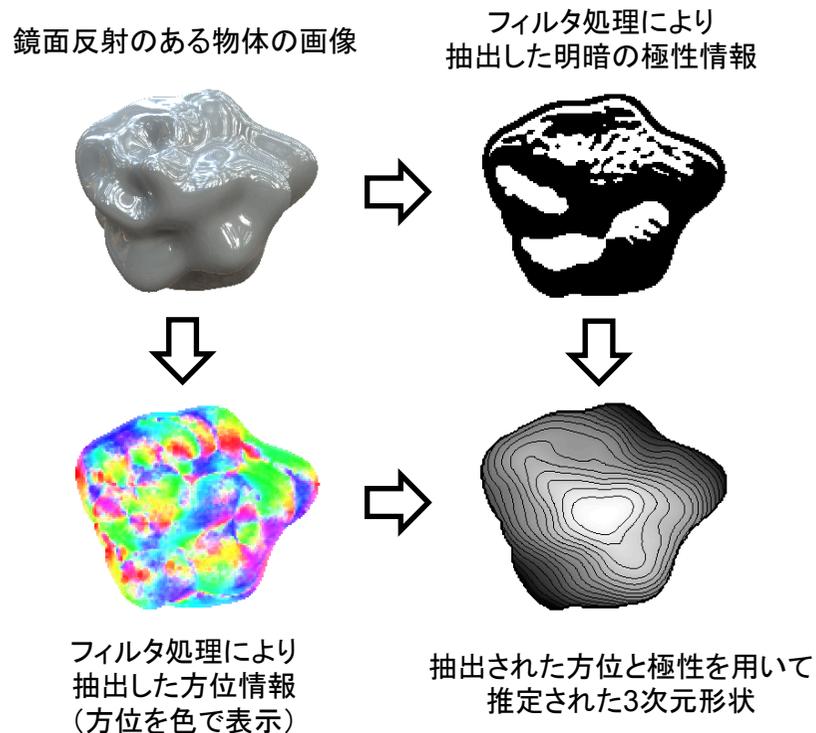


- 脳計測データのユーザ間の違いを定量化するヒト脳機能データ推定システムの開発

平成27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

課題1-1 多重解像度の方位・極性情報からの3次元形状情報の抽出

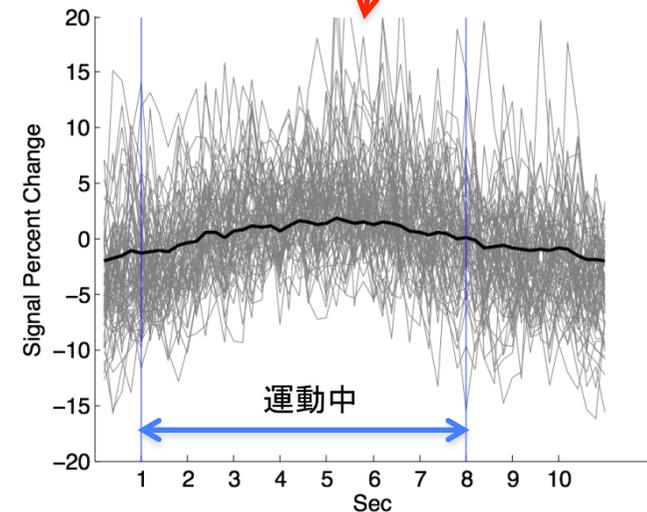
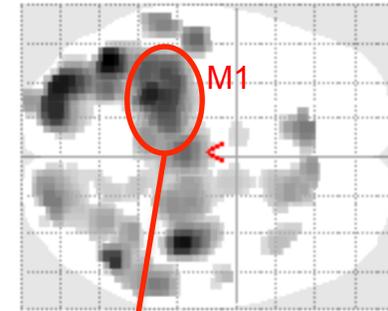
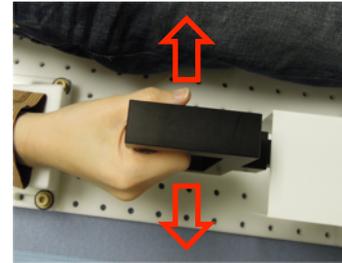
- 画像入力刺激の次元圧縮を行うため、ヒトの視覚と似た処理を行い、情報抽出を行った。
- ヒト一次視覚野で行われているような多重解像度における方位・極性の抽出をフィルタ処理により行った。
- それらの内、高周波成分における方位と低周波成分における極性とを組み合わせ、アルゴリズムにより加工することで、複雑な画像からであっても、3次元形状情報を取り出すことができることを示した。



課題1-2 運動に関する脳活動ポピュレーションダイナミクスの推定

- Multiband sequenceを用いることにより、手首運動中のfMRI活動を一般的なfMRI撮像より高い時間分解($TR = 0.2$ 秒)ので計測した。
- 一次運動野(M1)のボクセルを主成分分析にかけて運動関連の信号成分を調べた。

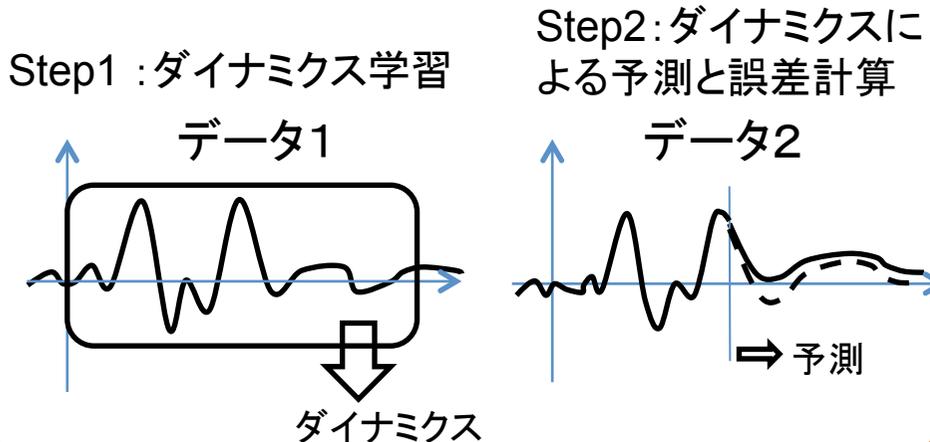
fMRI計測中の手首運動



平成27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

課題1-2 ネットワークダイナミクスモデル検証のためのアルゴリズム提案

- 昨年度までに脳磁図、fMRI、拡散MRI、T1-MRIデータをもとに脳ネットワークダイナミクスを可視化する手法を開発したが、可視化した脳ネットワークダイナミクスの精度・妥当性が不明であった。
- 可視化したダイナミクスの良さを評価するために、ダイナミクスの予測性能に基づく予測誤差解析を提案した。
- 予測誤差解析では、ダイナミクス可視化用とダイナミクス検証用の2つのデータを必要とする。1つ目のデータでダイナミクスを推定し、2つ目のデータのある時点までデータが与えられているとしてその後のデータをダイナミクスによる予測をし、予測精度によって評価を行う。
- この方法のポイントは、ダイナミクスを可視化するためにデータから学習するパラメータ数が数十万と大多数のため、検証用に別データセットを用意する点である。
- 神経集団モデルを用いたシミュレーションデータを生成し、シミュレーションデータから可視化したダイナミクスに対して、提案手法を適用し、その有用性を確認した。

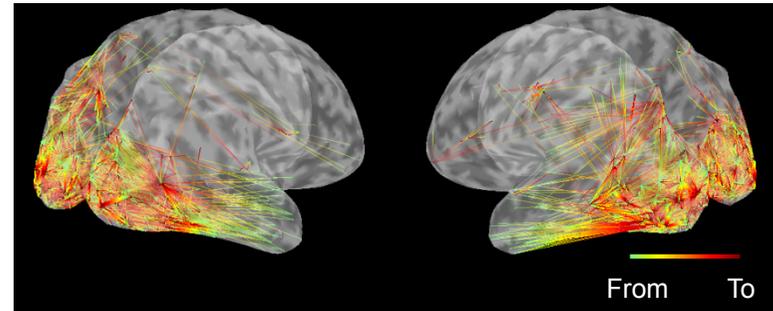


課題2-1 単純感覚刺激に対する脳ネットワークダイナミクスモデルの構築

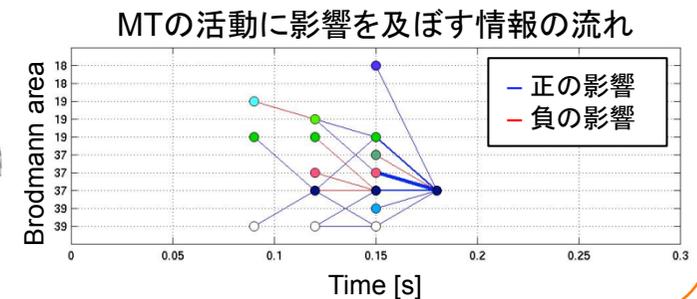
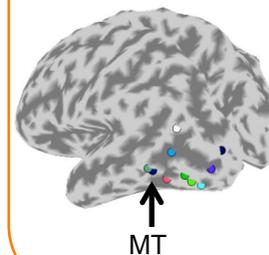
- 運動する視覚刺激を見ているときの脳磁図から、structural/functional/diffusion MRIの情報を組み合わせることで、脳ネットワークダイナミクスモデルを構築した。
- 構築した脳ネットワークダイナミクスモデルから、シミュレーションによって、運動視に関わる重要な情報の流れを特定した。

脳ネットワークダイナミクスモデル

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^J a_{ij} y_j(t - \tau_{ij}) + n_i(t)$$



シミュレーション

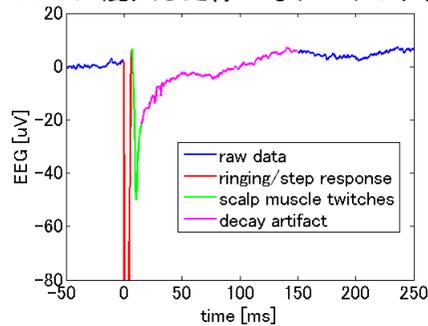


平成27年度「脳活動推定技術高度化のための測定結果推定システムに向けたモデリング手法の研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

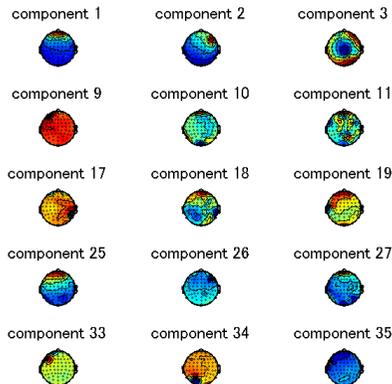
課題2-1 脳刺激を用いた安静状態ネットワークダイナミクスの調節

- TMS-EEG実験から得たEEGにはTMSに起因するアーチファクトが混入するため、独立成分分析(ICA)を用いた除去方法を開発
 - (1) 刺激直後のスパイク状アーチファクトを削除した後、ICAを行う
 - (2) 脳波を再構成したときに分散が大きくなる複数のICをアーチファクトと見なして除去し、脳波を再構成する
 - (3) 再構成した脳波の最初の15ミリ秒間を削除し、キュービック補間する
- アーチファクトと見なして除去するICの数を検討した

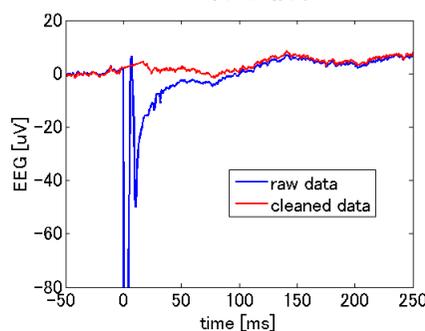
EEGに混入した様々なアーチファクト



ICA



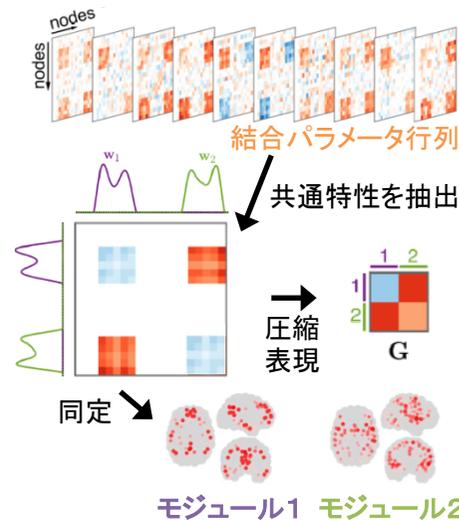
アーチファクト除去前後のEEG



課題2-2 脳の結合関係やダイナミクスにおける共通特性の抽出

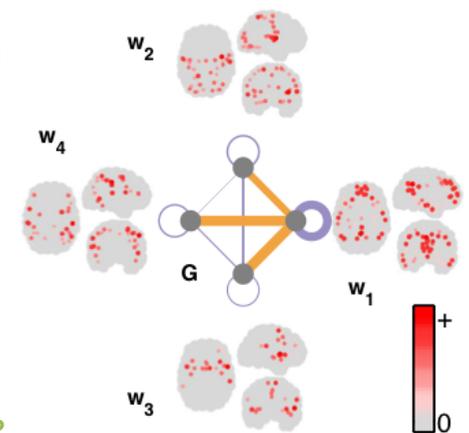
- 被験者毎に得られたネットワーク結合行列から集団に共通する特性を抽出・可視化する統計的データ解析法の開発を行った
- 開発した「モジュール結合因子化(MCF)」アルゴリズムは、被験者に共通の脳活動モジュールと、被験者特性の共通軸となるモジュール間結合パターンの両者をデータから同時に推定する
- 従来の行列値主成分分析法と比べて、1)結果の直感的な解釈が可能、2)少ない被験者数でも推定可能、という2つの利点がある
- 安静時機能結合MRIデータへの応用では、いくつかの重要な脳ネットワーク間の結合関係が抽出され、手法の有効性を示した
- 今後、MEGネットワークダイナミクス行列への適用を行う

モジュール結合因子化(MCF)



機能結合MRI結果の例

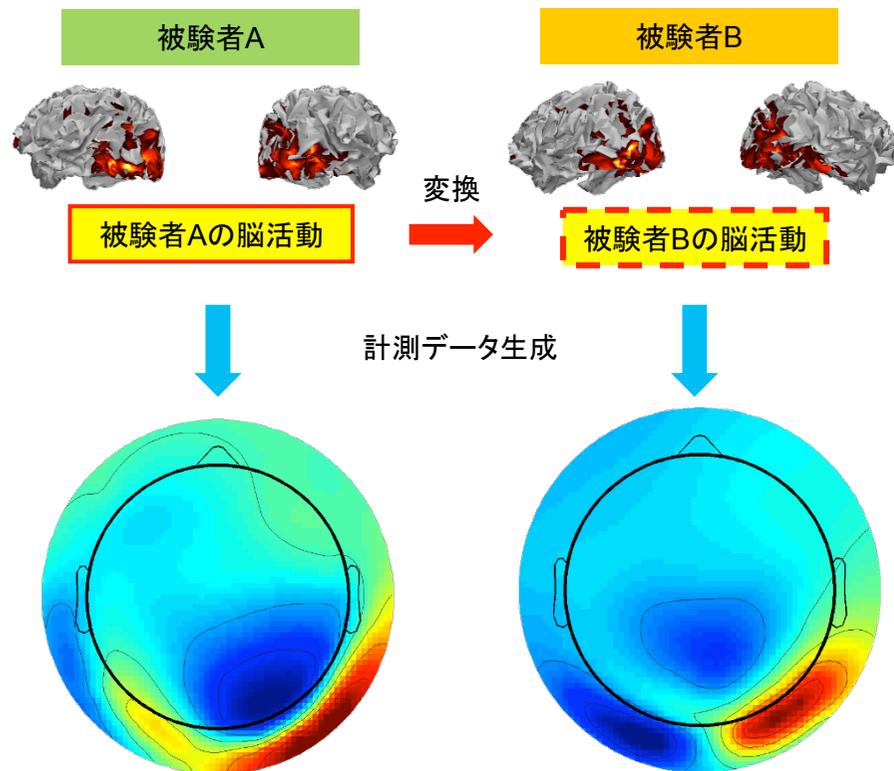
(モジュール数4の場合)



平成27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

課題3 脳計測データのユーザ間の違いを定量化するヒト脳機能データ推定システムの開発

●ある被験者の脳活動を他の被験者の脳活動に変換し、他の被験者の計測データを生成することが出来るシステムを開発した。



同じ脳活動が存在する時に、被験者の脳や頭の形状の違いにより、観測データにどのような違いが表れるかを検証することが出来る。

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)	9 (3)	68 (28)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1)

日本光脳機能イメージング学会第18回学術集会において、拡散光トモグラフィ法について招待講演を行い、当プロジェクトにて開発した研究成果を大学および企業の研究者に広く周知した。

(2)

電気情報通信学会バイオメトリクス・ニューロコンピューティング・MEとバイオサイバネティクス三研究会合同研究集会において、“ヒト脳ダイナミクスに迫る方法”というタイトルで招待講演を行った。当プロジェクトで開発しているヒト脳計測データから脳の情報伝達をリバースエンジニアリングする方法について、広く周知した。

5. 今後の研究開発計画

当プロジェクトでメインに開発しているヒト脳計測データから脳の情報伝達をリバースエンジニアリングする方法の有用性および妥当性検証を進めるとともに、多くの研究者に利用してもらうためにツールボックス開発を進める。