

平成25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

脳内活動をシミュレートするための脳ダイナミクスプラットフォームおよびEEG/MEG/fMRI/NIRSの代表的な4つの脳機能計測データを生成するヒト脳機能データ推定システムとともに要素技術の開発を行う。

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、課題2ではヒトの脳機能データ推定システム開発・検証のための実験課題の選定、基礎データの収集、課題3では推定システムの基礎部分の設計・実装を行った。

課題1 入力パラメータの圧縮と脳モデルの高度化

ネットワークダイナミクスモデル B_t J_t

$$\begin{cases} B_t = G J_t + \varepsilon_t \\ J_t = A J_{past} + \omega_t \end{cases}$$

結合行列

拡散MRI

t値を用いて
重み付け
fMRI

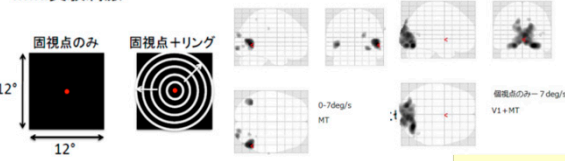
- ・ 視覚刺激圧縮のための特徴抽出アルゴリズムの設計
- ・ 全脳ネットワークダイナミクスのパラメータ推定アルゴリズムの導出とシミュレーションによる検証
- ・ 自発脳活動から時空間パターンを推定するアルゴリズムの開発

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

脳ダイナミクスプラットフォーム作成・検証データベース



fMRI実験刺激

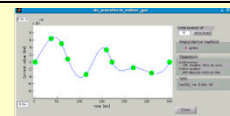


- ・ 脳ダイナミクスプラットフォーム作成・検証のための単純刺激課題の実験設計と基礎データの収集
- ・ 同一被験者・別セッション時のデータ生成システムの構築

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

入力電流生成部

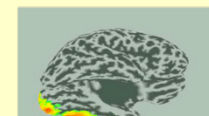
入力電流



入力電流

脳活動データ生成部

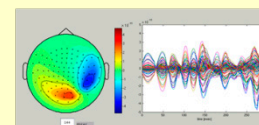
脳活動データ



脳活動データ

計測データ生成部

MEGデータ



MEGデータ

- ・ 脳機能データ推定システムの基本設計とEEG/MEGデータを生成するモジュールの実装
- ・ 神経血流応答モデルのための血流動態パラメータ推定法のシミュレーション検証

研究開発成果概要

課題1 入力パラメータの圧縮と脳モデルの高度化

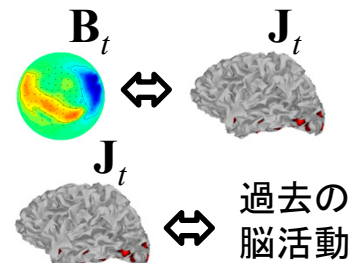
全脳ネットワークダイナミクスパラメータ推定 アルゴリズムの導出とシミュレーションによる検証

- 構造的結合の情報をもつ拡散MRIと、機能的活動の情報をもつfMRIを取り込んだ“ネットワークダイナミクスモデル”を構築し、変分ベイズ法を用いたネットワークパラメータ推定アルゴリズムの導出とプログラムへの実装を行った。
- コンピュータシミュレーションにより推定誤差を検証した結果、活動源の数が10個までは活動源とネットワークパラメータをほぼ間違えることなく検出することが可能であり、活動源の数を30個まで増やした場合においても80%程度の活動源とそのネットワークパラメータを検出できることを示した。

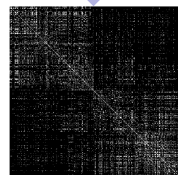
ネットワークダイナミクスモデル

$$\mathbf{B}_t = \mathbf{G} \mathbf{J}_t + \varepsilon_t$$

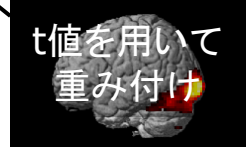
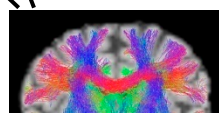
$$\mathbf{J}_t = \mathbf{A} \mathbf{J}_{\text{past}} + \omega_t$$



結合行列



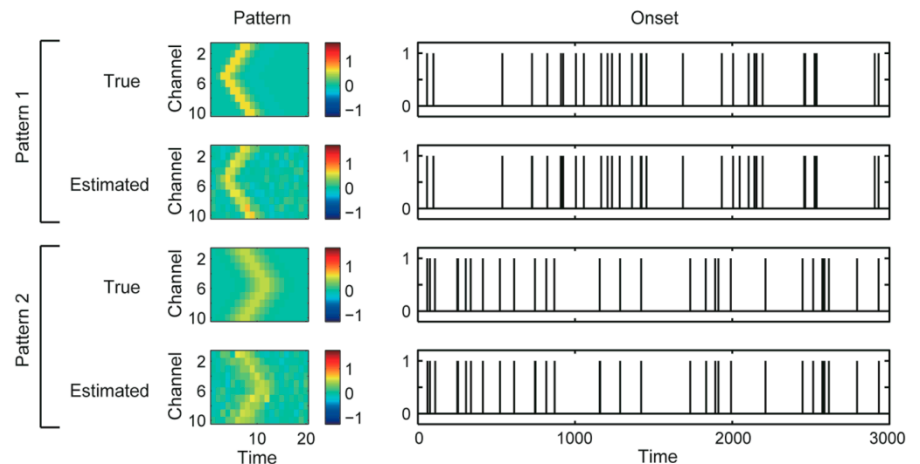
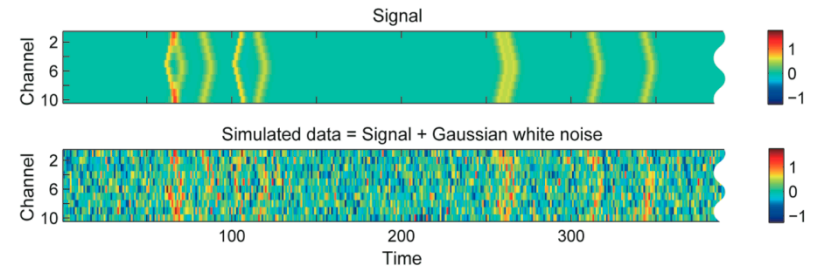
拡散MRI



fMRI

自発脳活動データから時空間パターンを 推定するアルゴリズムの開発

- 自発脳活動に現れる時空間パターンは、脳のネットワークに埋め込まれた過去の経験を反映していると動物研究で報告されている。
- MEGやEEGなどのヒトの自発脳活動データから、繰り返し現れる時空間パターンを推定するアルゴリズムを開発した。
- 開発手法の有効性を検証するためシミュレーション実験を行った。結果、MEGやEEGのように信号ノイズ比が低い場合にも、時空間パターンとその出現時刻を正確に推定できることがわかった。



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

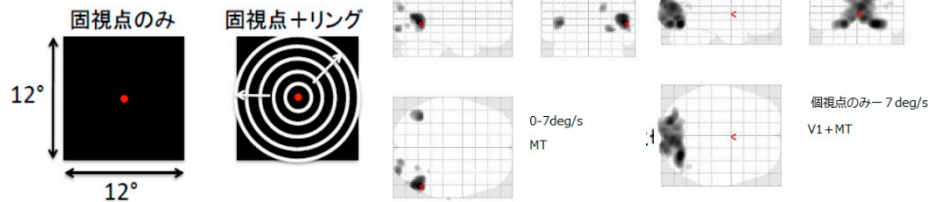
脳ダイナミクスプラットフォーム作成・検証のための単純刺激課題の実験設計と基礎データの収集

- 脳ダイナミクスプラットフォームの作成と検証のための脳構造情報として30人分のT1-MRI・d-MRIを測定しデータベースを作成した。
- 検証用の単純刺激課題として運動視知覚を選定し刺激の調整を行った。コントラストの高いリング状の模様で放射方向に拡大縮小する動画刺激でf-MRI実験を17人に行った。さらにV1とMT野の活動が顕著に表れる被験者5人についてMEG-EEG予備実験を行った。

脳ダイナミクスプラットフォーム作成・検証データベース

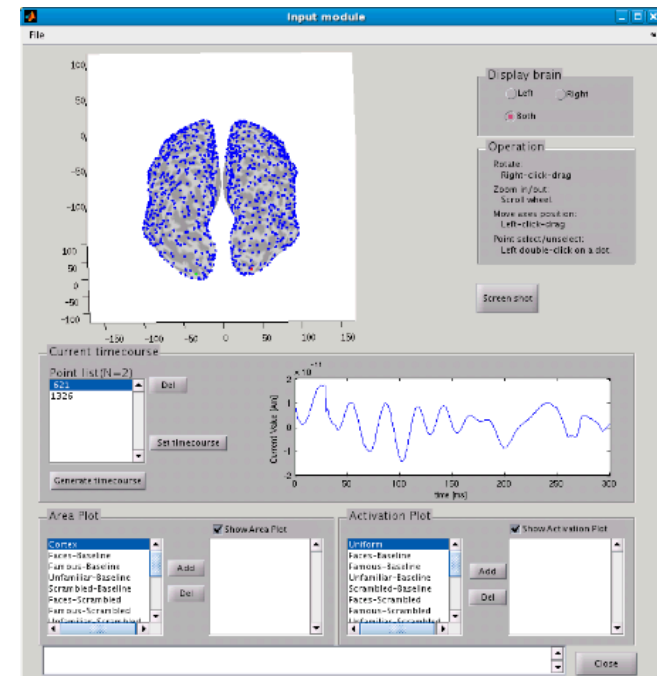


fMRI実験刺激



同一被験者・別セッション時のデータ推定システムの実装

- 同一被験者の同一の脳活動であっても、脳と計測センサの位置関係が異なるセッション間では、相対的な位置関係の違いのため観測される計測データも異なる。そこで、データ生成システムでは、異なるセッションの計測データを生成するために、被験者の脳とセンサ位置から、リードフィールド行列を計算するプログラムを実装した。
- 被験者の脳活動とリードフィールド行列から、異なるセッションの計測データ(MEG)を生成するプログラムの実装を行った。

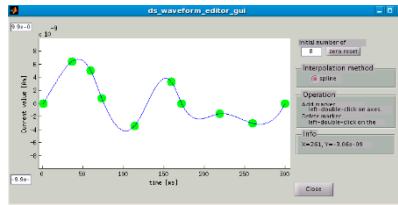


課題3 推定システムが出力する脳活動テストデータの妥当性の検証

脳機能データ推定システムの基本設計と EEG/MEGデータを生成するモジュールの実装

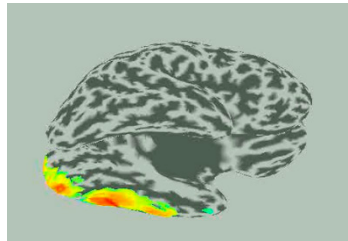
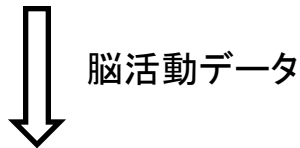
●脳機能データ生成システムの基本設計を行い、「入力電流生成部」、「脳活動データ生成部」、「計測データ生成部」のモジュール構成として、計測データ(MEG)の生成・可視化をするプログラム開発を行った。

入力電流生成部



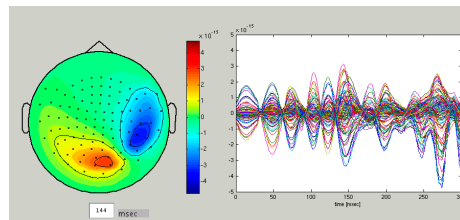
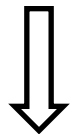
入力電流

脳活動データ生成部



脳活動データ

計測データ生成部

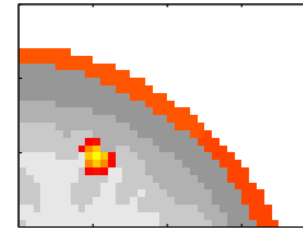


MEGデータ

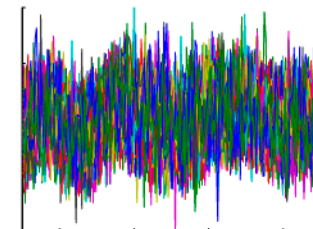
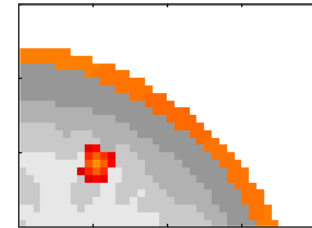
神経血流応答モデルのための血流動態パラメータ推定法のシミュレーション検証

- NIRS計測から脳皮質上の血流動態を表す酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度変化を推定する方法をヒト頭部シミュレーションにより検証した。
- MRI画像を用いて頭皮・頭蓋骨・脳脊髄液・灰白質・白質からなるヒト頭部5層モデルを作成した。その頭部モデルにおいて、灰白質だけでなく頭皮にもヘモグロビン濃度変化を仮定し、光伝播シミュレーションによりNIRSデータを生成した。
- 階層ベイズ推定法を用いることで、NIRSデータから頭皮と灰白質におけるヘモグロビン濃度変化を高い精度で推定することができた。

仮定した
ヘモグロビン濃度変化



推定された
ヘモグロビン濃度変化



NIRSデータを生成

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等) ※成果数は累計件数と()内の当該年度件数です。

	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	0 (0)	0 (0)	2 (2)	14 (14)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

5. 研究成果発表等について

(1) 統計数理研究所主催の公開講演会にて講演

「統計学が切り拓く脳科学、脳工学の未来」をテーマにした統計数理研究所主催の講演会において一般の人に向けて当委託研究の紹介を行い、脳研究の専門以外の方々に研究内容を広く周知した。

6. 今後の研究開発計画

脳内活動をシミュレートする脳ダイナミクスプラットフォームおよびEEG/MEG/fMRI/NIRSを生成するヒト脳機能データ推定システムを構築・改良するために必要な要素技術の開発を継続する。
前年度開発した要素技術については、シミュレーションデータの検証から実験データによる検証に検証段階を深化させる。ヒト脳機能データ推定システムは、fMRIデータ生成モジュール・NIRSデータ生成モジュールを作成し、ダイナミクスプラットフォームでは標準脳モジュールの開発を行う。