

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

P M 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 9 年 度

研究開発課題名：

脳状態推定と誘導

研究開発機関名：

国立大学法人 京都大学

研究開発責任者

水原啓暁

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

神経活動の振動の位相による情報処理に着目して、脳波ネットワークの因果関係および結合関数を同定する手法を開発することを目的とする。複数の振動子のネットワークは位相振動子モデル(蔵本モデル)で記述可能なことが示されている。そこで、位相振動子モデルにもとづき、脳波で計測する振動子間のネットワークの因果性および結合関数を同定する技術を開発する。さらに、頭皮上で観察する脳波の電流源推定を、脳波と機能的MRIの同時計測に基づいて実現することで、個人認証に利用するノイズ誘起脳波活動の起源について、その詳細を検討することを目的としている。

前年度までに、振動子間の因果関係について結合振動子モデルにより推定する手法を構築した。本研究開発では全研究期間を通じて、頭皮上で計測した脳波データを脳内の皮質部位での個別振動子に分離するとともに、その振動子間の因果性解析および結合の内部ダイナミクスを推定する手法を構築することを計画している。その一段階目の研究開発として、脳波データを独立振動子として取り扱うことで、振動子間の因果性およびその結合の内部ダイナミクスを結合振動子モデルにより推定する手法を開発し、シミュレーションデータおよび電子回路を用いた実測データを対象として開発した手法の妥当性を検証してきている。

平成29年度においては、実測した脳波データに対して開発した手法を適用することで、脳波データへの適用可能性について検証する。また、結合振動子モデルを用いて振動子間の因果性および結合の内部ダイナミクスを推定する手法の問題点を精査するとともに、脳波と機能的MRIの同時計測を用いることで結合振動子モデルに基づく結合推定における問題の解決方法について検討する。

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

前年度までに開発した結合振動子モデルを用いた結合推定手法について、頭皮脳波データに対して適用することで、その適用可能性について検証するとともに問題点を検討した。脳波データへの適用可能性を検証するために、因果関係が明らかな振動子データである必要がある。従来の研究において、音声に含まれるリズムと脳波が位相同期することが報告されていることから、音声から脳波リズムへの因果的な引き込みにより位相同期が発生する実データとして、音声聴取中に計測した頭皮脳波データを用いたときの因果性推定を行った。

さらに、脳内のネットワークにおける脳部位間の因果性を検証するための問題点を検証した。特に結合振動子モデルに基づく因果性推定については、各振動子が独立である必要がある。そこで、脳波と機能的MRIの同時計測により、頭皮上から測定した脳波データを独立振動子に分解する手法について検討し、その開発に着手した。

2-2 成果

結合振動子モデルによる脳波データの因果性推定に関する検証においては、音声聴取中に計測した頭皮脳波データを用いて、その因果推定結果の妥当性を検証した。音声聴取中においては、音声に含まれるリズムと脳波が位相同期することが従来研究において明らかになっている。そこで、録音した

音声を提示したときの脳波を計測することで、音声リズムが脳波位相を引き込む因果性を開発した結合振動子モデルに基づいて正しく推定可能か検証した（図 1）。その結果、開発した手法により脳波の実データに対して正しく因果性を推定可能であることを確認した。

ただし、開発した因果性の推定手法では、振動子が互いに独立である必要がある。この手法を用いて脳内のネットワークにおける部位間の因果性を検証するためには、測定する脳波データを独立な振動子に分解する必要がある。そこで、この問題を解決するために、脳波と同時計測する機能的 MRI に基づく活動部位の空間情報により、独立振動子に分解する手法を検討している。このとき、同時計測する脳波および機能的 MRI の時系列データに対して、parallel factor analysis (PARAFAC) と呼ばれるテンソル分解手法を導入することで、脳部位の空間情報をもとに脳波時系列データを独立振動子に分解する（図 2）。当該年度においては、この手法開発を実施したとともに、その妥当性を検証するためのシミュレーション実験に向けて準備を進めた。このシミュレーション実験に向けて、神経活動に伴い脳内で発生した脳波が頭皮上へ伝播することを想定したフォワードモデルを用いて、シミュレーションデータを生成するプログラムの構築を進めた。

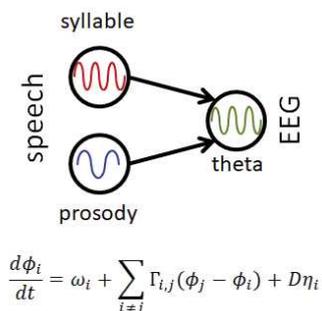


図 1 結合振動子モデルを用いた脳波データの結合推定

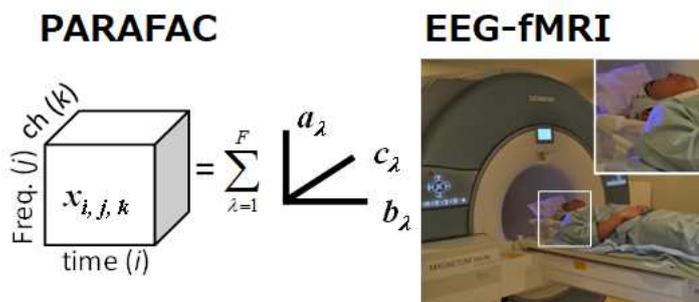


図 2 脳波と fMRI の同時計測データの PARAFAC による独立振動子分解

2-3 新たな課題など

結合振動子モデルを用いた因果解析手法を用いて脳内のネットワークの因果解析を実現するためには、頭皮上で計測する脳波データを脳内の発信源ごとの独立した振動子に分離する必要がある。そこで脳波と同時計測する機能的 MRI の空間情報を用いて、独立振動子に分離する手法を確立している。ただし、開発する手法の妥当性を担保するためには、詳細な脳のフォワードモデルに基づいて皮質内の活動が頭皮へ伝播するシミュレーションデータを生成する必要がある。そこで、現在、従来の生理学的な知見に基づいてシミュレーションデータを詳細に生成する方法を検討している。このシミュレーションデータを用いて開発手法の妥当性を検証したのちに、ノイズ誘起脳波と機能的 MRI を同時計測する予定となっている。このことにより、ノイズ誘起脳波を生成する脳内ネットワークの詳細を同定する予定である。

3. アウトリーチ活動報告

民間企業との共同研究を募ることを目的として、研究内容を広く周知するイベントとして以下のアウトリーチ活動を実施した。

- ・平成 29 年度京都大学大学院情報学研究科 知能情報学専攻オープンラボ，
水原啓暁他（平成 29 年 11 月 27 日実施）