

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 27 年度

研究開発課題名：

高密度脳情報計測

—脳波ダイナミクスによる個人認証と個性の分類—

研究開発機関名：

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。

平成 27 年度においては、頭皮上で計測した脳波データに対して個別振動子に分離するとともに、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する。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。その一段階目の研究開発として、測定する脳波データを独立成分分析により分離する。脳波計測においては、被験者の頭部の動きや、筋電、眼電などの様々なノイズが重畳する。ここで真に脳内の神経活動に由来する脳波時系列かノイズかを区別するためには、経験的に、複数の被験者測定結果に基づき、その脳波の空間分布で判断する場合が多い。そこで独立成分分析により分離した脳波時系列の分離行列に基づき、その類似性を階層クラスタリング法により分類することで脳波成分の分類と個別振動子の同定を試みる。同定した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。振動子間の因果解析を結合振動子モデルにより実施する手法の構築は、全期間を通じた研究計画の基幹をなす研究課題である。

## 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

当該年度においては、位相振動子モデルによる脳ネットワークの因果解析手法を開発した。この手法では、脳波を生成する神経回路ネットワークは非線形力学系として記述可能であるとの考えに基づき、位相振動子モデルで脳波ネットワークを記述することを特徴とする(図 1)。このとき振動子間の結合関数を、その方向性も含めてベイズ推定を基礎に推定する。この手法の妥当性を検証することを目的として、ニューラル・マスモデルによるシミュレーション実験を行うことで、当初の計画通り、同一周波数の振動子間の因果推定手法を構築した。さらに、脳波を生成する神経回路ネットワークにおいては、単一周波数のネットワークのみならず、複数の異なる周波数が階層的にネットワークを形成することが注目され始めている。そこで、当初の計画からさらに進展させることで、異なる周波数の振動子間での結合関数を推定可能な手法を開発した。

また当該年度においては、頭皮上で計測した脳波に対して上記開発した脳波ネットワークの因果解析手法を適用する手法を開発する計画であった。この目的のために、当初の計画通り、頭皮脳波計測したデータを独立成分分析するとともに、この独立成分分析の脳波分離行列に基づき、その類似性を階層クラスタリング法により分類する手法を開発した。このことで脳波成分の分類と個別振動子の同定を実現するとともに、

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j \neq i} \Gamma_{i,j}(\phi_j - \phi_i) + D\eta_i$$

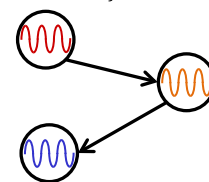


図 1 位相振動子モデル

同定した振動子間の因果関係について位相振動子モデルを用いた推定を実現している。  
 以上のことより、当初の計画以上の成果が得られているものと評価できる。

## 2-2 成果

脳波ダイナミクスによる個人認証と個性の分類を実現するための要素技術として、振動子間の因果解析を結合振動子モデルにより実施する手法を開発した。当該年度の目標通り、単一周波数の振動子間の因果関係を推定可能な手法構築の実現した。これに加えて、異なる周波数の振動子間で因果解析可能な手法に発展させることで、当該年度の目標を超える成果を得ている。開発した手法を実データに適用することを目的として、当該年度の目標通り、頭皮上で計測した脳波データの独立成分分析、および独立振動子を同定するために階層クラスタリングを用いて個人間で共通する要素を同定するための手法を開発した。開発した手法を頭皮上で計測した実データに適用することで、その実データへの適用可能性について検証した(図 2)。

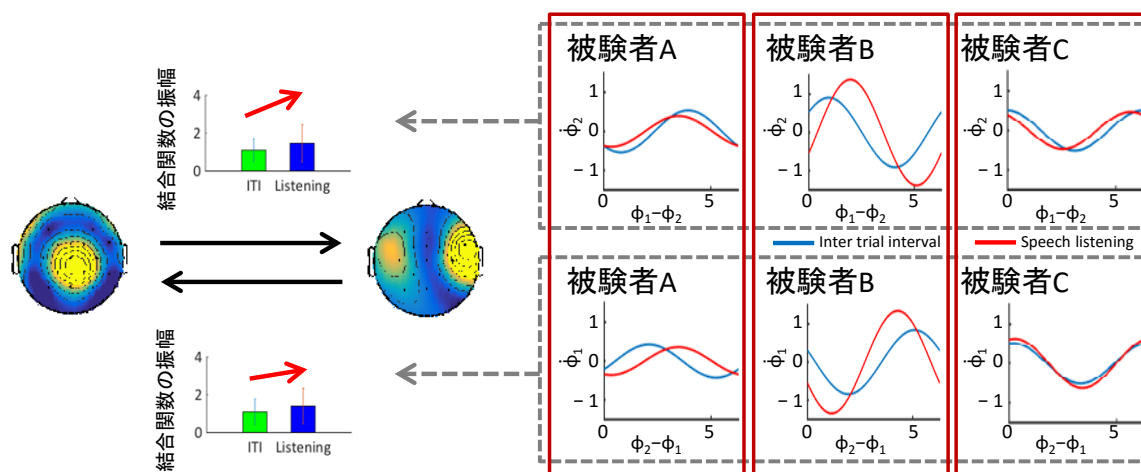


図 2 頭皮脳波の振動子間の結合関数推定結果

## 2-3 新たな課題など

当該年度において得られた成果では、脳波ダイナミクスによる個人認証と個性の分類を実現するための要素技術として、頭皮脳波で同定した振動子間の因果性について、位相振動子モデルに基づいて推定する手法を実現した。この手法の目的は、脳波ダイナミクスの個人差を生成する脳メカニズムを明らかにすることにあるが、頭皮上で計測した脳波活動ではその脳の空間部位の同定が困難であるため、脳波ダイナミクスの個人差を生成する機能ネットワークの議論が不十分である。この対応策として、脳波と機能的 MRI の同時計測に基づき、頭皮脳波で計測する振動子の詳細な脳空間部位を同定する手法を開発する計画である。このことにより、位相振動子モデルにより因果性及び結合関数を同定する際の単位振動子の機能部位を同定可能となり、脳波ダイナミクスの個人差を生成する脳メカニズムについての詳細を検討可能にする。

### 3. アウトリーチ活動報告

神経科学においてその脳機能を理解する上での脳波振動子ネットワークの重要性について、以下の一般市民向けのイベントにおいてアウトリーチを実施した。

- ・ 京都大学オープンキャンパス 2015  
模擬講義「複雑ネットワークの数理 ―生命や社会の「つながり」を科学する―」青柳富誌生（平成 27 年 8 月 8 日実施）
- ・ 京都大学アカデミックデイ 2015  
ちゃぶ台囲んで膝詰め対話企画「リズムでつながる脳」水原啓暁（平成 27 年 10 月 4 日実施）  
参考 URL: <http://research.kyoto-u.ac.jp/academic-day/2015/66/>
- ・ シンポジウム：複雑系科学の基盤― 数理科学の多様性：理論から応用まで ―  
「リズムの相互作用を見る」青柳富誌生（平成 27 年 12 月 23 日実施）  
参考 URL: <http://wwwfs.acs.i.kyoto-u.ac.jp/Sym2015/>