

人間の心的機能を表象する脳内神経基盤の解明

[1] 組織

代表者：池田 純起

(理化学研究所革新知能統合研究センター)

対応者：竹内 光

(東北大学加齢医学研究所)

研究費：物件費 15 万円

[2] 研究経過

(2-1) 研究の目的・概要

本研究の目的は、安静時脳活動データおよび心的機能データ（性格や知能など）から成るデータベースを用いて、以下の二項目を調査することであった：

(1) 人間の心的機能がどのように脳活動上に表現されているかを明らかにする

(2) 心的機能の脳活動上への表象が年齢によってどのように変化するかを明らかにする

結論から言うと、研究期間中に行うことができたのは (1) のみであった。したがって、これ以降は (1) の研究内容についてのみ説明する。

研究項目 (1) の内容としては、多次元時系列データの時空間特徴を抽出する手法である動的モード分解 (Dynamic Mode Decomposition, DMD) をヒトの安静時脳活動に適用し、抽出された時空間特徴から心的機能の個人差を予測するというものであった。当初の予定では、竹内准教授が提供する脳活動・心的機能データベースを用いる予定であったが、DMD が用いられた先行研究に倣い、まずは Human Connectome Project (HCP) が国際的に公開している脳活動・心的機能データベースを用いることとした。したがって、本稿では HCP データベースを用いた研究結果について報告する。

(2-2) 研究に用いられたデータ

本研究は HCP データベースから健常な若年成人 829 名（男：388、女：441、年齢：28.6±3.7）の安静時脳活動および 59 種類の心的機能データを用いた。59 種類の心的機能データを用いることで、人間の認知・心理機能を幅広く調査することが可能となる。

(2-3) 安静時脳活動の時空間特徴の抽出

個々の被験者の安静時脳活動に対して DMD を適用

することで、安静時脳活動の時空間特徴を取り出す。DMD で取り出される時空間特徴は、時間および空間で一貫した特徴量となる。具体的には、単一の周波数で振動する多次元の空間パターン（動的モード）を取り出すことが可能である。脳活動上に存在する動的モードについては 2016 年以降から着目されるようになり、徐々に研究も進んできている。一方で、安静時脳活動上の動的モードと心的機能の個人差の関係については未解明な部分が多く、本研究ではその点に着目して研究を進める。動的モードの有効性を検証するため、先行研究で頻繁に用いられている時空間特徴の抽出法である時間的独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA) も用いた。

(2-4) 心的機能の個人差の予測

予測解析を行うため、説明変数（動的モード）と目的変数（心的機能の個人差）の関係を学習する回帰アルゴリズムとして、ガウス過程回帰を用いた。説明変数としては、具体的には、被験者間の動的モードの類似度を表すグラム行列を用いた。ただし、動的モードは個々の被験者から計算されたものであり、被験者間での対応関係が動的モードには存在しない。そこで、動的モードから被験者間の類似度を計算するためにグラスマン多様体を用いた。グラスマン多様体上においては、高次元特徴である動的モードは一つの点として表現される。したがって、動的モード間の類似度はグラスマン多様体上での二つの点間の距離とみなすことが可能である。この方法を用いて被験者間の類似度を動的モードから計算した。予測精度を評価する指標として、予測結果と真の結果とのピアソンの線形相関係数および二乗平均平方根誤差を用いた。各予測精度の統計的有意性を確かめるため、 p 値を permutation test で求め、さらに、多重検定の補正を行うため、false discovery rate correction ($q \leq 0.05$) を行った。ピアソンの線形相関係数および二乗平均平方根誤差がともに有意である場合のみ、予測精度を統計的に有意であるとみなした。

(2-5) 研究打ち合わせの開催状況

竹内准教授のデータベースの利用方法については、研究代表者が加齢医学研究所在籍時に竹内准教授からすでに指導を受けており、本研究の実施において、あらためて打ち合わせ等を実施する必要はなかった。

