

論文内容の要旨

博士論文題目

Multimodal analysis of non-invasive brain imaging data: hierarchical Bayesian approach

(階層ベイズ法による非侵襲脳活動データの複合的解析)

氏 名 藤原 祐介

Non-invasive brain imaging is an essential tool for investigation of human brain function and neural representation. MEG and fMRI are major non-invasive brain imaging tools and both of them have been providing a good deal of high-dimensional multivariate data. We need a method to reveal what neural mechanism underlies the observed data because these data are not neural activities themselves but transformed data (magnetic fields for MEG and BOLD signals for fMRI). In the field of pattern recognition, a Bayesian approach has become a standard framework to analyze and visualize multivariate data. Especially, hierarchical Bayesian approach has been recognized as a good method for the estimation of the internal brain activity. In this thesis, first, I propose a hierarchical Bayesian approach for removal of eye artifacts from MEG signals. MEG is sensitive to extra magnetic fields generated by eye movements (eye artifacts), which limit its applications to experiments without eye movements. The proposed method assumes a single dipole at each of the left and right eyeballs as a source of eye artifacts and concurrently estimates eye and brain current sources from both MEG and EOG data. Second, I propose a hierarchical Bayesian canonical correlation analysis for extracting image bases from fMRI signals labeled by the stimulus images. This method connects fMRI data and the corresponding stimulus images through a modular representation in the assumed latent space. Using the latent modular representation, novel visual images can be reconstructed from fMRI data. Both of the proposed methods open the way for investigation into neural mechanisms by means of the non-invasive brain imaging technology.

(論文審査結果の要旨)

MEG や fMRI などの非侵襲脳活動計測器から得られる高次元多変量データから神経科学的に有意義な情報を引き出すためには、MEG や fMRI 単体のデータだけでなく、関連ある情報も合わせて複合的に解析する必要がある。タイプの異なる複数のデータを複合的に解析するためには、一方のデータのある特徴量がもう一方のデータのどの特徴量と対応するか適切に関連付ける必要がある。本論文では階層ベイズモデルを用いることにより、最も関連のある特徴量を自動的に選び出し、統合する解析手法を提案している。本論文の主な成果は以下のように要約される。

- I. MEG と EOG データの両方を用いて MEG データから眼球アーチファクトを精度よく取り除く階層ベイズ法を提案した。眼球アーチファクトは眼球運動によって生じる余分な磁場であり、眼球運動が MEG 計測中に起こると、脳活動由来の磁場と混合して観測されてしまう。様々な条件のシミュレーション実験を行うことにより、提案手法が眼球アーチファクトをロバストに除去できることを示した。提案手法を円滑性追跡眼球運動時の MEG データに適用し、適切に眼球アーチファクトが取り除けることを示した。
2. fMRI データと視覚画像から画像基底を自動的に抽出する階層ベイズ正準相関解析法を提案した。fMRI の各ボクセルが視野内でどのような刺激を表現しているのか（画像基底）が明らかになれば、fMRI ボクセルの表現が明らかになるだけでなく、fMRI データのみから被験者が見ているものを再構成することが可能になる。提案手法により視覚刺激とそれに対応する fMRI データから画像基底を抽出できることを示した。

提案手法 1 により眼球運動を伴う課題でも MEG により脳活動を調べることが可能となった。さらに提案手法 2 により fMRI 信号からの情報をより精緻に調べることができるようになった。MEG と fMRI 計測の利用範囲を広げることに繋がったこれらの研究は、情報科学のみならず神経科学への貢献は大きいものである。以上のように、手法開発のみならず周辺分野への波及効果もあり、博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。