

# 脳波電極の位置ずれがあっても使える ブレイン・マシン・インタフェースの開発

Development of Brain-Machine Interface without dependence on EEG sensor position errors

2151035



研究代表者

富山県立大学

講師

森 重 健 一

## [研究の目的]

本研究の目的は、脳波ヘッドキャップを毎日被り直しても、短時間で精度よく脳活動を解読できるブレイン・マシン・インタフェース(BMI)を開発することである。脳波を異なる日に計測する際、頭皮表面のまったく同じ位置に電極を取り付けることは困難であり、電極の位置ずれは避けられない。そのため、これまでのBMIでは、電極を頭に取り付けるたびに、脳活動の解読器を計算し直していた。この計算には長い時間を要するため、インタフェースとして毎日使い続けるには大きな障害であった。研究代表者らは、位置ずれがあっても、精度良く短時間で脳活動を解読する方法を開発することで、毎日使い続けられるBMIを実現することを目指す。

## [研究の内容, 成果]

研究代表者らは、これまで、電極の位置ずれが無い条件下で、被験者の脳内時系列情報を脳波とfMRIデータを用いて復元することを行ってきた。具体的には、被験者が実験課題を行っているときの脳波とfMRIデータを計測し、脳波逆問題を解くことによって、脳波の発生源である脳電流と複数のノイズ源の電流に変換する。得られた脳電流から、実験課題に関する電流源のみを選び、機械学習を用いて時系列信号を

再構成する。そのことによって、被験者が「何をやっているのか」という脳内時系列情報を再構成してきた。

しかし、脳波ヘッドキャップを毎日繰り返し装着する場合は、電極の位置ずれを避けることができない。そのような、電極の位置ずれがある条件下で、脳内時系列情報を短い計算時間で脳波とfMRIデータから復元する。異なる日に同一のタスクを行っているときの脳波を記録する際、電極を貼付ける位置はわずかに異なるが、脳活動そのものは同じであることが期待される。そのため、脳と複数のノイズ源と電極の位置関係(リードフィールド行列)のみを計算し直すことで、脳波データを脳電流と複数のノイズ源の電流に短時間で変換することが可能である。さらに、1のスパース推定によって選ばれた場所と同じ電流源の電流を用いることで「どの方向に注意を向けているか」という情報を再構成することを行った。

## 1. 方法

10人の被験者がEEGおよびfMRI実験の両方に参加した。実験に先立って、被験者には実験内容についての説明を行い、書面による同意を得た上で実験を行った。本実験は富山県立大学の研究倫理委員会、および株式会社国際電気通信基礎技術研究所の安全委員会の承認を得て行われた。

実験課題として、被験者には目の前に提示さ

れた白い点を眼でゆっくりと追いかけて視覚的注意を向け続ける課題を遂行してもらい、脳の中で起こる神経活動に伴って生じる血流変化、および実験課題遂行中に生じる頭皮表面の電気的な変化を記録した（図1）。

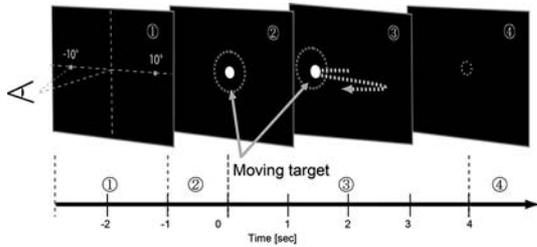


図1 実験課題の流れ

観測される電位は、左右の眼球に由来する複数のノイズ源に大きく歪められている。申請者らは、脳波・脳磁図データを脳電流と複数ノイズ源電流に一度に変換する方法を見だし、眼球運動や心拍ノイズに乱されたデータであっても、ノイズを分離し脳電流のみを抽出した（Morishige et al. *NeuroImage* 2014）。脳電流だけでなく歪みの原因である複数のノイズ源の電流も同時に計算することで、歪んだ脳波から歪みの無い脳活動を取り出した。

被験者の視覚的注意を反映した脳電流が得られることで、その脳電流から「どの方向に注意を向けているか」という情報を復元することが可能である。そこで抽出した脳電流から「どの方向に注意を向けているか」という情報を再構成する。

推定した皮質電流から視標速度の時系列データを再構成する際に、スパース推定方を用いた。具体的には以下の回帰式 (1) を用いた。

$$v(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{D_{au}} w_{ij} J_i(t - j * Tau) + w_0. \quad (1)$$

ここで、 $v$  は視標の速度、 $w$  は重み係数、 $j$  は推定された皮質電流、 $Tau$  は脳活動の視標運動の時間遅れ、 $D_{au}$  は次元の数、 $w_0$  は残差、 $N$  は皮質表面に配置したダイポールの数を表す。

解析に用いる全試行を 10 分割し、そのうち

の 9 つをトレーニングデータとし、残りをテストデータとするクロスバリデーションを行った。

1 日目に推定した皮質電流と 2 日目に推定した皮質電流の誤差を計算するため、次式を用いた。

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T (\bar{J}_{Day2,i}(t) - \bar{J}_{Day1,i}(t)). \quad (2)$$

ここで、 $\bar{J}_{Day1}$  と  $\bar{J}_{Day2}$  はそれぞれ 1 日目と 2 日目の皮質電流の試行平均値を表す。

## 2. 結果

### 2.1 電極の位置ずれの大きさ

最初に、EEG センサの位置ずれがどのくらい生じているか調べた。

3 日分のセンサ位置にはずれがあり、1 日目を基準として距離を計算したところ、2 日目は  $1.06 \pm 0.43$  [cm] であった（図2）。

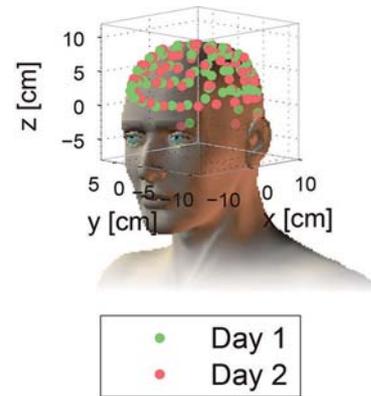


図2 1日目と2日目に計測した EEG センサの位置ずれの比較

### 2.2 皮質電流の誤差

計測した EEG データから皮質電流を計算し、式 (2) を用いて誤差の指標を計算した。位置ずれがない場合に比べて、位置ずれがある場合は推定電流の誤差が大きかった。また、その大きさは、センサ位置のずれの大きさと対応していた。

それに対して、提案手法 (generalized inverse filter) を用いた場合、誤差は位置ずれがない場合と同じレベルであり、日による違いは小さかった（図3）。

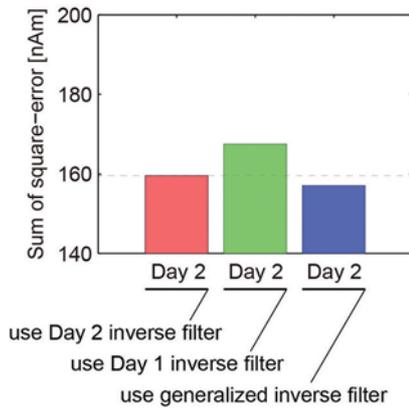


図3 推定電流の誤差（皮質電流）

### 2.3 眼電流の誤差

計測した EEG データから眼電流を計算し、式 (2) を用いて誤差の指標を計算した。

位置ずれがある場合は推定誤差が大きかった。それに対して、提案手法を用いた場合は、位置ずれが無い場合と同程度の誤差だった (図 4)。

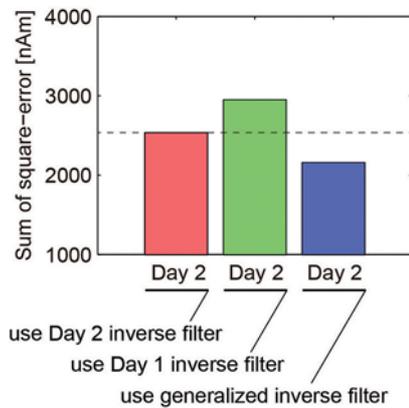


図4 推定電流の誤差（眼電流）

### 2.4 視標速度の再構成

得られた脳電流から、実験課題に関する電流源のみを選び、スパース推定を用いて時系列信号を再構成する。そのことによって、被験者が「何をやっているのか」という脳内時系列情報を再構成した。その結果、よく再構成することができた ([Day 1] 決定係数: 0.88, 相関係数: 0.94, [Day 2] 決定係数: 0.91, 相関係数: 0.96)。

提案手法を用いて再構成した場合も、その特徴をよく再構成できた。([Day 1] の電流分散を再利用して Day 2 の視標速度を再構成) 相関係数: 0.96)。しかし、振幅に関しては十分に再構成することができなかった (決定係数: 0.07)。この点に関しては、今後の課題として取り組んでいく必要がある。

### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では、電極の位置ずれがある脳波データから、短時間で精度良く脳活動のみを抽出する方法を提案し、実データを用いて検証した。研究代表者等が提案するノイズ除去手法と1日目の脳活動情報 (電流分散) を2日目に再利用する方法を組み合わせることで、実現可能であることを示した。今後は様々なデータで提案手法の検証を行い、振幅の大きさも再現できるように改良した上で、実用化を目指す。

### [成果の発表, 論文等]

1. Ken-ichi Morishige, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "Evaluation of artifact removal method using measured EEG data during overt/covert visual pursuit tasks," 第38回日本神経科学大会 (Neuroscience2015), 神戸国際会議場 (神戸市), 2015年7月.
2. Tomoki Ishikawa, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, Ken-ichi Morishige, "Reconstructing two-dimensional visual target trajectories from EEG cortical currents during smooth pursuit eye movements," 第38回日本神経科学大会 (Neuroscience2015), 神戸国際会議場 (神戸市), 2015年7月.
3. Ken-ichi Morishige, Takaki Kikuchi, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "Evaluation of EEG denoising method based on generalized invers filter for sensor position errors on different days," 第39回日本神経科学大会 (Neuroscience2016), パシフィコ横浜 (横浜市), 2016年7月.
4. Ken-ichi Morishige, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, "EEG denoising and decoding of smooth pursuit eye movements by using Extra-Dipole Method," 46th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN2016). (発表確定)