

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：23201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700303

研究課題名（和文）脳磁図による平滑性追跡眼球運動に関する脳内メカニズムの研究

研究課題名（英文）A MEG study of brain mechanisms for smooth pursuit eye movements

研究代表者

森重 健一（Morishige, Ken-ichi）

富山県立大学・工学部・講師

研究者番号：30433197

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000 円、（間接経費） 750,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では，小さな対象物を眼で追いかけて続ける眼球運動（平滑性追跡眼球運動）に関する脳内メカニズムを，脳磁図データから明らかにする．今まで，平滑性追跡眼球運動を行っているときの脳活動を脳磁図から探ることは困難であったが，研究代表者らが見出した手法を活用することで，時々刻々と変わる脳内表現を調べることが可能になり，予測的な眼球運動を実現する脳内表現を明らかにすることができた．

研究成果の概要（英文）：The mechanism of prediction is necessary for realizing human smooth pursuit eye movements. Some cortical regions are well known for contributing to realize it, but it is not clear yet how the brain represents the spatial-temporal information for the eye movements. To answer such question, we measured MEG data during smooth pursuit tasks. The intensities of estimated cortical currents during all tasks were increased in the cortical regions of the lateral occipital temporal cortex, the intraparietal cortex, the precentral cortex, and the medial superior frontal cortex. These areas are related to the saccadic and smooth pursuit eye movements. We reconstructed the target velocities from the estimated cortical currents using a sparse regression method. Test datasets demonstrated a good performance. These results indicated that this cortical area plays a major role for realizing overt/covert pursuit tasks to represent the spatial-temporal information of the target velocities.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：脳磁図 ノイズ除去 平滑性追跡眼球運動

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 平滑性追跡眼球運動は、興味のある小さな対象物の動きに合わせて眼球がそれを追跡する運動である。中心窩で捉えた情報から眼球を駆動させるのだが、脳における情報の伝達及び処理に時間がかかるため、遅延が生じてしまう。それにもかかわらず、動いている対象物を遅れなく追跡できることから、ヒトでは時間遅れを補い予測的に運動制御するためのメカニズムが存在すると考えられている。
- (2) このような予測的な眼球運動を支えるメカニズムについて、fMRI を用いた非侵襲計測法で多くの研究が行われてきた。しかし、時間解像度の限界から、短時間で速度が変化する対象物に対する予測的な眼球運動を対象として、その視覚入力や速度変化の予測に関連した活動の変化を計測することができなかった。
- (3) この問題を解決するために、時間分解能の高い脳磁図を用いることが有効な手段である。しかし、眼球を動かすことで眼球運動に起因するノイズが発生し、脳活動を反映した脳磁図成分を大きく歪めてしまう。そのため、脳活動をうまく取り出せなかった。
- (4) 研究代表者らは、脳磁図・脳波データを皮質電流と複数のノイズ源の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脳磁図・脳波であっても、ノイズを分離し皮質電流のみを抽出する方法を確立した (Morishige et al. LNCS 2009, 森重ら 電子情報通信学会論文誌 2010, 特願 2008-157614, 2009-222198)。今まで、平滑性追跡眼球運動を行っているときの脳活動を脳磁図から探ることは困難であったが、申請者らが見出した手法を活用することで、時々刻々と変わる脳内表現を調べることが可能である。被験者から実際に計測した脳磁図データから皮質電流を抽出し、眼球運動中の脳内メカニズムを明らかにするため、本研究を進めるに至った。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、小さな対象物を眼で追いかけて続ける眼球運動 (平滑性追跡眼球運動) に関する脳内メカニズムを、脳磁図データから明らかにすることである。具体的には以下の3点について研究を行った。

眼球運動に関わる皮質領域 (MT/V5, 頭頂眼野, 前頭眼野など) で抽出された皮質電流が、動き続ける視標のどんな情報を表現しているか明らかにする。予測的な眼球運動を実現するためには、視標の動きに先行した脳活動が必要である。どのぐらいの先行時間があるか明

らかにする。

眼球運動を反映した皮質電流が得られているならば、その皮質電流から眼球運動を再構成することが可能なはずである。そこで、先行時間を考慮して、皮質電流から眼球運動の再構成を試みると同時に、脳活動情報出力精度の良し悪しを評価する。

## 3. 研究の方法

- (1) 被験者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る課題を遂行し、その際に生じる頭部周辺の磁場の変化が記録される。観測される磁場は、眼球や心拍といった複数のノイズ源に大きく歪められている。本研究では、皮質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推定することで、歪んだ脳磁図から歪みの無い脳活動を推定する。
- (2) 空間的表現の解析  
脳活動だけでなくノイズ源の振る舞いも同時に推定するため、皮質表面全体と左右の眼球中心、心臓位置にもダイポールを配置する。電流推定の際、事前知識として脳活動の空間情報 (fMRI の信号強度情報) と個々のノイズ源の信号強度情報を与え、逆問題を解くことで観測データを説明できる皮質電流と眼球・心臓の電流を推定する。電流推定には、申請者らが提案している脳活動情報出力方法 (階層ベイズ法) を用いる。
- (3) 時間的表現の解析  
MT/V5, 頭頂眼野, 前頭眼野といった眼球運動に関わる皮質領域で、どのような時系列情報が表現されているか明らかにする (動く対象物の位置や速度などの情報が考えられる)。特に、動く視標に先行して変化する予測的な活動が起こっているか調べる。
- (4) 推定した皮質電流から眼球運動の再構成  
眼球運動を反映した皮質電流が得られているならば、その皮質電流から眼球運動を再構成することが可能なはずである。そこで抽出した皮質電流から眼球運動の再構成を試みると同時に、脳活動情報出力精度の良し悪しを評価する。眼球運動再構成には、スパース線形回帰 (SLIR) を用いる。

## 4. 研究成果

- (1) 推定電流の空間的表現の解析  
実験に参加した3人の被験者に共通して電流強度が大きかった領域として、lateral occipital temporal cortex (LOTc), precentral cortex (PreCC), intra parietal cortex (IPC) が挙げられる。大きな電流が推定された皮質領

域は、視標追跡眼球運動時に関係のある領域とよく一致していた。

(2) 推定電流の時間的表現の解析

観測磁場の心拍成分は、R波とS波の区間でインパルス状の波形を示している。推定電流波形も、これらと同じ時間区間で同様の特徴を示した。また、Q波とT波の時間区間では、観測磁場は緩やかに変化し、推定電流も同様の変化を示した。このように観測磁場に見られる心拍成分の特徴は推定電流の時間波形でも確認された。

もし皮質電流を正しく推定できているならば、視標情報(位置,速度)に似た特徴を持つ時系列データが得られるはずである。そこで、各皮質領域にそのような皮質電流があるか調べた。その結果、LOTc, PreCC, IPCの皮質領域で推定された電流に、視標の位置,速度に似た特徴をもつ電流波形があることがわかった。推定電流が視標の位置,速度のどの情報にもっとも似ているか調べ、その割合を計算した。その結果、各皮質領域には視標の位置,速度に似た特徴をもつ電流波形が存在し、その割合は皮質領域ごとに異なっていた。

(3) 推定した皮質電流から眼球運動の再構成

もしも、平滑性追跡眼球運動を行っているときの皮質電流を正しく推定できているならば、得られた皮質電流から視標運動が再構成できるはずである。そこで、SLiRを用いて時系列データの再構成を試みた。計算で求めた重み係数はLOTcのような視標追跡運動に関連する皮質領域上で大きくなっていた。

再構成した速度の時系列データについて、真の値との相関係数を計算した。その結果、強い相関が見られた。また、あてはまりの良さを表す指標である Goodness-of-fit を計算したところ、高い値を示し、よく一致していることがわかった。

もしも、脳活動から視標速度の再構成がうまくできているならば、視標速度が異なる場合でも再構成できるはずである。その結果、強い相関があり、あてはまりのよさを表す指標も高い値を示した。

(4) 心的視標追跡課題遂行中の皮質電流から視標速度の再構成

目を動かして視標を追いかけている場合も、目を動かさずに心的に追いかけている場合も同じ皮質領域

が活動することが fMRI の研究で明らかになっている。SLiRを用いて、心的に視標を追いかけているときの皮質電流を求め、その値から時系列データの再構成を試みた。その結果、計算で求めた重みも視標追跡運動に関係のある皮質領域上で大きくなっていた。

再構成した速度の時系列データについて、真の値との相関係数を計算した結果、強い相関が見られた。

もしも、脳活動から再構成が正しくできているならば、学習によって求めた重み係数を用いて、異なる速度で動く視標のデータからも再構成できるはずである。その結果、やや相関があったが、Goodness-of-fitの値は小さかった。波形の特徴はある程度再現できたが、振幅の大きさを十分に再現することができなかった。

もし、目を動かして視標を追いかけている場合の脳活動が推定できているならば、そのデータで求めたSLiRの重みを使って、目を動かさずに追いかけているときの皮質電流からも時系列データが再構成できるはずである。そこで、目を動かして視標を追いかけている場合の全試行データを学習に使い、その重み係数を用いて目を動かさずに追いかけているときの全試行データをテストに用いて視標速度を再構成した。その結果、弱い相関がみられ、Goodness-of-fitの値は小さかった。波形の特徴はある程度再現できたが、振幅の大きさを十分に再現することができなかった。もしも、脳活動を反映した電流が推定できているならば、目を動かさずに追いかけているときのデータで求めたSLiRの重み係数を使って、目を動かして視標を追いかけている場合の皮質電流からも時系列データが再構成できるはずだ。そこで学習とテストを行ったところ、やや相関がみられ、Goodness-of-fitの値は小さかった。

(5) 順序からいって、脳活動が起こったあとに、視標追跡運動が起こる。これまで視標追跡運動において、脳活動が視標運動にどのぐらいの時間先行しているかを非侵襲的に調べることができなかった。実験課題遂行中の脳内の時間的な流れを調べるため、皮質領域ごとにダイポールを選択し、それらを使ってSLiRを行い、相関係数の大小関係を調べた。その結果、150ms 先行していると設定したときに、相関係数が最も大きかった。この

傾向は Goodness-of-fit でも同じだった。これらの結果については、今後詳しく検討していく必要がある。

(6) 総括

本研究では、次の成果が得られた。

目を動かして視標を追いかけて続ける課題と目を動かさずに心的に追いかけて続ける課題を行っているときの MEG データから推定された皮質電流は、空間的にも時間的にも妥当な値だった。また、アーチファクト源である眼電流と心臓位置での電流も妥当な値だった。

目を動かして視標を追いかけて続けるときの皮質電流を学習とテストに使うことで、視標運動の再構成をある程度行うことができた。また、心的に追いかけて続ける場合も、同様に再構成することができた。これまで調べるができなかった視標追跡運動中の脳内情報を、時系列データとして抽出できた。

また、SLiR で求めた同じ重み係数を使うことで、異なるタスクを行っているときの視標運動も再構成できる場合があった。目を動かす場合と心的に視標を追跡する課題を遂行する場合で、脳内に共通のメカニズムがあることが時系列データの解析結果から示唆される。

視標追跡眼球運動を行うためには、予測的な運動制御のメカニズムが必要である。その際に、どのくらい予測的な時間表現があるのか調べたかったが、約 150ms の先行時間がある可能性が考えられる。

眼球運動に関連する皮質領域は複数あるが、それらの領域間の時間的な遅れも考慮する必要がある。今後は視標追跡眼球運動に関係のある皮質領域を細かく分けて解析することで、異なる領域間の情報伝達の時間遅れや順序など、それらが先行研究と一致するのか、という議論も行う必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 4 件)

森重健一、山田健人、吉岡琢、石井信、川人光男、佐藤雅昭、“異なる日に計測した EEG データを用いた眼電流と皮質電流の同時推定法,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 5 月(つくば国際会議場)。

Ken-ichi Morishige, Taku Yoshioka, Shin Ishii, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Source separation of

cortical and extra-brain source activities in real MEG data during covert pursuit eye movements”, 第 36 回日本神経科学大会・第 56 回日本神経化学学会大会・第 23 回日本神経回路学会大会・合同大会 (Neuro2013), 京都国際会館 (京都市), 2013 年 6 月。

Ken-ichi Morishige, Tomohiro Inoue, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Spatial-temporal representations of cortical currents estimated from MEG data during Overt/Covert visual pursuit,” 第 37 回日本神経科学大会 (Neuroscience 2014), パシフィコ横浜 (横浜市), 2014 年 9 月。[発表確定]

Ken-ichi Morishige, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Estimation of cortical and extra-brain source currents from real MEG data using hierarchical Bayesian method,” Society for Neuroscience annual meeting, Washington DC, November 2014. [発表確定]

〔産業財産権〕

取得状況 (計 1 件)

名称: 脳活動情報出力装置, 脳活動情報出力方法, およびプログラム

発明者: 森重 健一, 川人 光男, 佐藤 雅昭, 吉岡琢

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 5343790 号

取得年月日: 2015 年 8 月 23 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://isd.pu-toyama.ac.jp/~kmorishi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森重 健一 (MORISHIGE, Ken-ichi)

富山県立大学・工学部・知能デザイン工学科・講師

研究者番号: 30433197