

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：23201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16011

研究課題名（和文）MEGを用いた視覚的注意に関する脳内時系列信号の解読

研究課題名（英文）Decoding time-series information from MEG data during visual attention tasks

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） 3,100,000 円

研究成果の概要（和文）：我々は視線を移動させて注意を向けることもできるし、視線を移動させずに注意を向けることもできるが、この二つが脳内でどのようにして実現されているか、いまだ明らかではない。本研究課題では、視覚的注意や眼球運動を行っているときのMEGデータから、全脳の皮質電流とアーチファクト源の電流を同時に推定し、両者を分離することでアーチファクトの影響の少ない皮質電流を得た。さらに、推定した皮質電流からタスクに関係のある時系列情報を再構成した。それらの結果から、視覚的注意と眼球運動の間で共通のメカニズムが存在し、複数の皮質領域で注意や視線の位置や速度に関する時系列情報が準備されている可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Although humans can pursue a moving visual target overtly and covertly, it is not clear yet whether the eye movements and attention share the common brain mechanisms or not. To answer such question, we measured MEG data during overt/covert pursuit tasks. We reconstructed the target trajectories from the estimated cortical currents using a sparse regression method. Test datasets demonstrated a good performance, and weight values were mainly distributed on precentral cortex, intraparietal cortex, and precuneus. These results indicated that these cortical areas play a common role for realizing overt/covert pursuit tasks to represent the spatial-temporal information of the target trajectories.

研究分野：認知神経科学

キーワード：視覚的注意 眼球運動 MEG

1. 研究開始当初の背景

- (1) 我々は興味のある対象を目を動かして追いかけたり、目を動かさずに注意を向けて追いかけることができる。眼球運動や視覚的注意は複数の脳領域が密接に関連し、その実現に寄与していることが空間解像度の高い機能的磁気共鳴画像 (fMRI) の研究で判明している。しかし、それらの脳領域が時間的にどのような情報を表現しているのかは未だに明らかになっていない。
- (2) このような眼球運動や注意の方向の時間変化に関連した脳活動を調べるためには時間分解能の高い計測方法が必要であり、MEG は最も有力な手段である。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、脳活動を反映した磁場が大きく歪められてしまう。そのため、今まで目を動かしているときの脳活動を MEG から探ることは困難だった。
- (3) このような背景のもと、研究代表者らは、MEG/EEG データを皮質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、ノイズを分離し皮質電流のみを抽出する方法を確立した (Morishige et al. NeuroImage 2014, 特許第 5343790 号)。
- (4) さらに、抽出した様々な脳領域での脳電流の中から、眼球運動にとって真に重要な脳電流だけに絞り込み、未知の計測データに対しても高い推定精度で時系列信号を解釈することができた (Morishige et al. Neuroscience2014)。視覚的注意に関する脳活動も眼球運動と共通する点が多いことから考えて、研究代表者らが見いだした 2 つの手法を組み合わせることで、時々刻々と変わる視覚的注意の方向を MEG データから解読することも可能である。被験者から実際に計測した MEG データから様々な脳領域での脳電流を求め、視覚的注意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

本研究は、興味のある対象に注意を向けているときの脳磁図 (MEG) データから、注意の方向の時系列情報を解読し、その脳内メカニズムを明らかにすることが目的である。具体的には以下の 2 点について研究を行った。

円滑性追跡眼球運動 (眼球運動) と視覚的注意を実現する脳活動について、両者にどのような共通 / 異なるメカニズムがあるのか明らかにする。
視覚的注意を反映した皮質電流が得られているならば、その皮質電流から被験者が注意を向けている方向を再構成することが可能なはずである。そこで、脳

磁図データから推定した皮質電流を用いて注意の方向の再構成を行う。また、眼球運動についても推定した皮質電流を用いて眼球運動の再構成を行うとともに、視覚的注意の結果と比較することで、共通点・相違点を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 正常な視覚を有する健常男性 8 名が fMRI と MEG 実験の両方に参加した。
- (2) fMRI 計測には島津 Marconi 社製 1.5T の MRI スキャナ (MAGNEX ECLIPSE 1.5T PowerDrive 250) を用いた。MEG データは全頭型の 208 チャンネルセンサ (横河電機株式会社製、脳磁計測装置 PQ1400RM) を用いて記録された。
- (3) 興味のある対象を目を動かして追いかける場合と、目を動かさずに注意を向けて追いかける場合で、両者の脳活動の時空間的特徴を比較するために、fMRI 実験と MEG 計測実験を行った。被験者は目の前に提示されたゆっくり動き続ける視標を目を動かして追いかける課題 (Overt pursuit) 固視点を見つめて目を動かさず視標に注意を向けて追いかける課題 (Covert pursuit) 固視点を見つめ続け視標には注意を向けない課題 (Control) の 3 つを行った。
- (4) 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した。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・心臓の電流を推定した。電流推定には、研究代表者らが提案している脳活動情報出力方法 (拡張ダイポール法、Morishige et al. NeuroImage 2014) を用いた。
- (5) もしも眼球運動と視覚的注意を反映した皮質電流が得られているならば、その皮質電流から視覚的注意を向けている方向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と視覚的注意の方向の再構成を試みる。眼球運動と注意の方向の時系列データの再構成には、スパース線形回帰 (Sato, Neuroal Computation 2001) を用いた。

4. 研究成果

- (1) 推定電流の時空間的特徴
拡張ダイポール法を用いて、被験者ごと、およびタスクごとに皮質電流を推定した。Precentral cortex、Medial superior frontal cortex、Lateral Occipito cortex、Intraparietal cortex、Precuneus で大きな変化がみられた。

これらの皮質領域は、円滑性追跡眼球運動や視覚的注意に関係のある皮質領域として知られており、大きな電流が推定された皮質領域は妥当であった。

ピークボクセルでの電流密度の被験者平均値を計算したところ、電気生理学的な計測に基づいて推定された値の範囲内だった。

Precentral cortex と Intraparietal cortex では、smooth pursuit task を行っているときの皮質電流は covert pursuit task のときと比べて大きかった。

Precentral cortex、Medial superior frontal cortex、Lateral Occipito cortex、Intraparietal cortex、Precuneus で推定された皮質電流の時間波形を調べたところ、視標が動き始めて約 0.1 秒後に visual evoked response が観測されるが、その後は視標の位置、速度に似た特徴を持つ電流波形が得られた。

(2) 推定された皮質電流を用いた視標位置・速度の再構成

推定した皮質電流が眼球運動や視覚的注意に関する情報を反映しているならば、推定した皮質電流から視標位置や速度の時系列波形を再構成できるはずである。そこで、単一試行ごとに推定電流を用いて、視標位置・速度の時系列波形を再構成できるか試みた。

同じタスクのデータを training と test に分けて学習と推定を行ったところ、再構成した視標速度と真の値の間に強い相関が見られ、両者の特徴はよく一致した。

また、training と test で異なるタスクのデータを用いた場合も、相関係数は大きく、両者の特徴はよく似ていた（相関係数： $r=0.56\sim 0.95$ ）。

しかし、決定係数の大きさはタスクによって異なっており、特に training と test で異なるタスクのデータを用いた場合に値が小さかった。つまり、時間波形の特徴はよく再構成できるが、振幅の大きさは再現することが難しかった（決定係数： $R^2=0.06\sim 0.78$ ）。

スパース線形回帰の学習によって得られた学習器には同一タスクのデータだけではなく、異なるタスクに対しても波形の特徴を表現することができ、ある程度の汎化能力をもっていることがわかった。

(3) 総括

本研究では、次の成果が得られた。

眼球運動と視覚的注意の関係を MEG データから明らかにしてきた。両者は何らかの重要な関係があると考えられるが、これまでは、眼球アーチファクトのせいで眼球運動を行っている時の MEG データから調べることができなかった。しかし、拡張ダイポール法を用いることで、そのアーチファクトの影響を分離し、タスクに関連した脳活動を推定することができるようになった。

スパース線形回帰を用いて、視標の呈示時刻よりも前の皮質電流から視標位置・速度の情報を再構成した。再構成した値と真の値の間には強い相関があったことから、脳内には視標位置や速度に関する情報が準備されている可能性を示唆している。

また、training と test で異なるタスクのデータを用いた場合でも、学習器に汎化能力があり、しかも共通のダイポールが再構成に寄与していたことから考えて、眼球運動と視覚的注意を実現するための共通のメカニズムが存在すると思われる。

視覚的注意に関わるニューロンは眼球運動遂行時に活動するニューロン集団に含まれるものが多く、そういう意味で 2 条件に共通しているが、眼球運動のみに関わるニューロンも多数存在していると考えられる。両者のタイプのニューロンの発火パターンが似ていることは、相関係数が全体に高いことから示唆される。

眼球運動の振幅は視覚的注意よりも大きかった。しかし波形は似ていたから、相関係数と決定係数の差が生じたと考えられる。視覚的注意に関わるニューロンと眼球運動のみに関わるニューロンは同じ周波数の視標運動では波形も似ているが、前者は両条件に寄与し、後者は眼球運動のみに寄与していると考えられる。

電流振幅の統計検定、相関係数、決定係数をまとめて、眼球運動で賦活されるニューロンは、視覚的注意で賦活されるニューロンをかなり含むという意味で共通性があるが、両集団は決して同一では無いという結論が示唆される。

眼球運動と視覚的注意の皮質電流からスパース線形回帰を用いて視標位置・速度を再構成する際に、共通に寄与しているダイポールが存在することから考えて、両者に共通のメカニズムがあると考えられる結果であった。しかし、ヒトはある瞬間にはひとつの場所にしか眼を向けられないことを

考えると、共通するメカニズムだけでは必ずしも説明できない。ヒトは、複数の物体に同時に注意を向けることができるとの報告もあり、このような時に眼球運動系がどのようにして注意を制御しているのか未だ明らかになっていない。複数の視標を呈示して、そのときの脳活動を計測し、今回と同様の解読方法を利用すれば、この問題についても解き明かせるかもしれない。

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 9 件)

Ken-ichi Morishige, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Common cortical areas have different representations of current amplitudes for eye movements and visual attention,” 第40回日本神経科学大会(Neuroscience2017), 幕張メッセ(千葉市), 2017年7月. [発表確定]

石川知己, 森重健一, “脳波を用いた2次元平面上の視標運動の再構成,” 2017年電子情報通信学会総合大会(名古屋市), 2017年3月.

森重健一, 廣江総雄, 佐藤雅昭, 川人光男, “視標運動追跡課題遂行中の皮質電流を用いた時系列信号の再構成,” ニューロコンピューティング研究会(北九州学術研究都市 産学連携センター), 2017年1月.

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, San Diego (USA), November 12-16, 2016.

Ken-ichi Morishige, Takaki Kikuchi, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Evaluation of EEG denoising method based on generalized inverse 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.

Ken-ichi Morishige, Nobuo Hiroe, Masa-aki Sato, Mitsuo Kawato, “Reconstruction of target velocity for overt/covert visual pursuit by using cortical currents estimated from MEG data,” 45th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Chicago (USA), October 17-21, 2015. 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. 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. Ken-ichi Morishige, Simultaneous estimation of cortical and extra-brain source currents from artifact contaminated MEG data. BIT's 6th Annual World Congress of NeuroTalk-2015 (BIT's 6th Annual World Congress of NeuroTalk-2015), Hangzhou (China), May 2015.

〔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

(2) 研究協力者

川人 光男 (KAWATO, Mitsuo)
佐藤 雅昭 (SATO, Masa-aki)
廣江 総雄 (HIROE, Nobuo)