

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16015

研究課題名(和文) 顕在的注意を喚起する視覚情報とサッカードの大きさに依存した機能分化の解明

研究課題名(英文) Functional division of neural system based on saccade eccentricity and visual features driving visual overt attention

研究代表者

兼子 峰明 (Kaneko, Takaaki)

国立研究開発法人理化学研究所・脳神経科学研究センター・研究員

研究者番号：50744372

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではマーモセットにおける皮質眼領野を決定するためfMRI実験を実施した。マーモセットは9.4T MRIの中で反復眼球運動課題を実施した。前頭前野では、A8aVにてサッカード関連活動が確認された。また、頭頂葉、後頭葉にもサッカード関連活動が観察された。本研究により、眼球運動制御に関わるマーモセットの皮質領野を特定することができた。マーモセットにおける眼球運動はマカクやヒトなどと異なり、可動範囲がかなり狭い範囲に限定されることが行動学的に知られているが、眼球運動制御に関わる皮質領野の局在について基本的な特性が真猿類間で保存されていることが示された。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to map the cortical eye-fields of the common marmoset (*Callithrix jacchus*), a small New World primate by means of the whole brain fMRI recording. The marmoset performed either visually guided saccades or fixation inside a 9.4T MRI scanner. In frontal cortex, BOLD activation was observed in area 8aV, which is a putative marmoset's FEF. BOLD activation was also observed in parietal/occipital region. The present study showed that marmosets saccadic eye-movements is rather limited in amplitude comparing to macaque or human, however the cortical eye-fields exist at multiple distinctive regions in frontal and parietal and occipital cortex of the marmoset brain as similarly to other primates. The present study suggests that core functional architecture of the cortical network for the active visual exploration were shared among anthropoid primate species.

研究分野：神経科学

キーワード：サッカード fMRI マーモセット 眼球運動 Active vision

### 1. 研究開始当初の背景

眼球運動の移動先は、刺激の顕在性に基づくボトムアップメカニズムと行動目標に基づくトップダウンメカニズムによって決定されるという考えが主流である。一方、脳の解剖学的な知見と自然画像の特性を考慮した場合、サッカードの大きさに応じた制御メカニズムの違いが重要と考えられる。

### 2. 研究の目的

霊長類は視覚的な情報を選択的に取得・処理する。高速な眼球運動(サッカード)を用いて特定の興味の対象を効率よく注視する一方で、周辺視野では次のサッカード先を決定する。これを顕在的注意の制御と呼ぶ。日常生活では、同種個体の顔など重要な情報には小さなサッカードを用いて精査して、突発的な外界の変化には大きなサッカードを用いて対応するということが考えうる。このような顕在的注意の制御にはどのようなメカニズムが機能しているのだろうか。本研究では、サッカードの大きさに応じた神経メカニズムの機能分化の様相を明らかにすることを旨とする。

### 3. 研究の方法

本研究ではマーモセットにおける皮質眼領野を決定するため fMRI 実験を実施した。マーモセットは 9.4T MRI の中で反復眼球運動課題を実施した。賦活領域の領野推定においては、Hashikawa-atlas への非剛体変換にて推定した。実験では周辺視野間へ大きくサッカードする Large Saccade 条件、中心窩近傍でサッカードをする Small Saccade 条件、一点で固視する Fixation 条件を行った。

### 4. 研究成果

高磁場環境下におけるマーモセットの反復眼球運動課題のパフォーマンスを図 1 に示す。いずれの条件においても条件間の有意な差はなく、マーモセットは正答率 9 割以上で課題を遂行することができた。

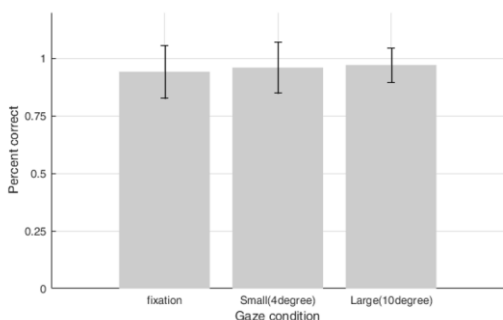


図 1 Behavioral performance of saccade task in the scanner

取得した機能画像から Small-saccade と Fixation でのコントラストを計算したところ、条件間で顕著な賦活コントラストは得られなかった。一方で Large Saccade と Fixation 条件において複数の皮質領野でサッカード関連活動が確認された(図 1)。

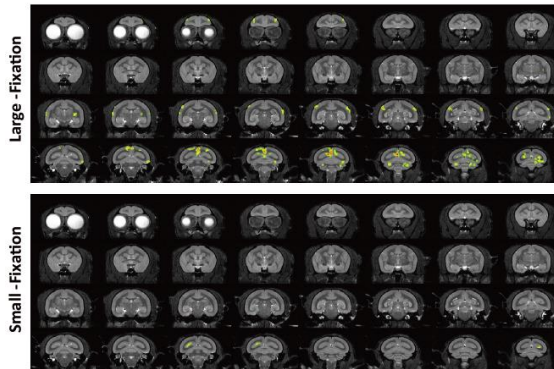


図 2. Cortical eye fields in the marmoset brain.

前頭前野では、A8aV にてサッカード関連活動が確認された。この賦活の場所は、前頭前野の中でも特に視覚応答が強い領野と対応していた(図 2)。さらにこの賦活領域は、ミエリンの程度を強調する T1/T2 画像において前頭前野で局所的にミエリンの強い部位であった。これは Histology など解剖学的な知見からマーモセットにおける前頭眼野と推定されている部位と対応すると考えられ、本研究における機能解析とも一致する。また本プロジェクトの主題とは外れるが、これらの成果から、今後マーモセットで実験を行う場合は MRI 撮像のみで前頭眼野の位置を正確に予測することも可能となる。

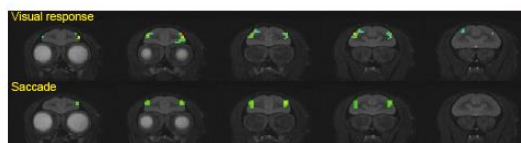


図 2 . Saccade activity and visual response in the frontal cortex.

また、頭頂葉、後頭葉にもサッカードにより賦活する領野が認められた。視覚運動刺激を用いた異なる実験から MT Complex の位置を推定したところ、Temporo-Parietal のサッカード関連活動は、MT 野のちょうど背側後端と、腹側前端分に位置することが明らかとなった(図 3)。

またマカクザルの研究では頭頂葉では LIP という領野がサッカードの制御に重要と考えられている。マーモセットにおいて解剖学的

に LIP とされている領野において、本研究でも顕著な活動が認められた。ただその BOLD 応答パターンは他の皮質眼野とは著しく異なるものであった(図 4)。

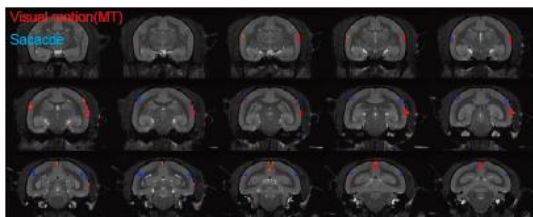


図 3. Temporo-Parietal eye fields and visual motion responsive area.

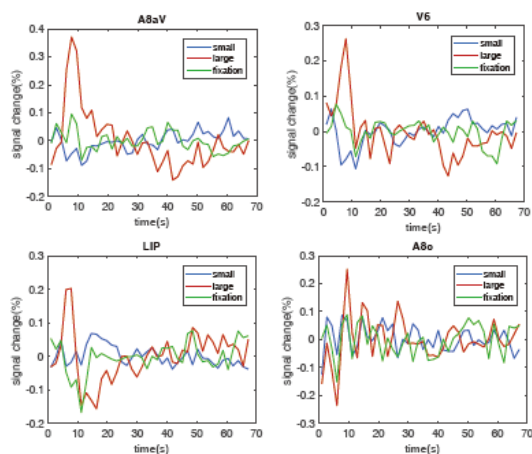


図 4. Signal time course in anatomical ROIs

さらに背側後頭葉に位置する V6, V6a, V3a においてもサッカド関連の活動を確認した。本研究により、眼球運動制御に関わるマーマセットの皮質領野を特定することができた。マーマセットにおける眼球運動はマカクやヒトなどと異なり、可動範囲がかなり狭い範囲に限定されることが行動学的に知られているが(Mitchell et. al. 2014)、眼球運動制御に関わる皮質領野の局在について基本的な特性が真猿類間で保存されていることが示された。一方で、本研究では周辺視野への比較的大きなサッカドに対応する神経ネットワークは確認できたものの、中心窩内の小さなサッカドに関連する神経ネットワークは十分に同定できなかつた。また、異なる振幅のサッカドが、それぞれどのような視覚特徴量によってトリガーされるのか、またそのような視覚情報の解析に関連する神経システムを含め、そられが入力から出力へと伝達される様とサッカド振幅に応じた機能分化についてを描き出すところまでは至っていない。これらについては今後の研究の発展が望まれる。

#### 参考文献

Mitchell, J.F., Reynolds, J.H., and Miller, C.T. (2014). Active Vision in Marmosets: A Model System for Visual Neuroscience. *The Journal of Neuroscience* 34, 1183-1194.

#### 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)

[雑誌論文] (計 1 件)

[査読あり]

1. Woodward, A., Hashikawa, T., Maeda, M., Kaneko, T., Hikishima, K., Iriki, A., Okano, H., and Yamaguchi, Y. (2018). The Brain/MINDS 3D digital marmoset brain atlas. *Scientific data* 5, 180009.

[学会発表] (計 5 件)

1. Kaneko, T., Hata, J., Kishi, N., and Okano, H. (2018). Functional mapping for the cortical network of active visual exploration in the marmoset In Annual Meeting of Japan Society for Marmoset Research. (Kyoto, Japan).

2. Kaneko, T., and Okano, H. (2017). Functional mapping for the cortical network of active visual exploration in the marmoset. In Society for Neuroscience. (Washington, DC, USA).

3. Kaneko, T., Hata, J., Kishi, N., and Okano, H. (2017). Functional mapping of visual motion response in the awake marmoset. In Annual Meeting of Japan Society for Marmoset Research. (Tokyo, Japan).

4. Kaneko, T., Hata, J., Kishi, N., and Okano, H. (2016). Functional analysis of visual responses with an ultra high field MRI in awake marmosets. In Society for Neuroscience. (San Diego, USA).

5. Kaneko, T. (2015). Structural and functional mapping of the marmoset brain using MRI. In *Advances in Neuroinformatics* (Tokyo, Japan).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 視線検出校正方法、システム及びコンピュータプログラム

発明者: 松田圭司、河野憲二、兼子峰明、岡

野栄之  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願 2017-144487  
出願年月日：2017 年  
国内外の別： 国内

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者  
兼子峰明 (KANEKO, Takaaki)  
国立研究開発法人理化学研究所  
脳神経科学研究センター  
研究員  
研究者番号：50744372

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者 ( )