

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K21686

研究課題名(和文) 二重課題遂行サルを用いた、認知資源の神経基盤と配分機構の解明

研究課題名(英文) Toward understanding of neural mechanisms underlying cognitive capacity limitation.

研究代表者

渡邊 慶 (Watanabe, Kei)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・研究員

研究者番号：00772740

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、認知資源の神経基盤と配分機構の解明を試みた。本研究では、前頭連合野外側部の尾側(46野、9/46野)と吻側(10野)から記録した、二重課題中の神経活動を解析した。その結果、46野、9/46野のニューロン活動は、課題遂行に必要な情報を強く表象していた。一方、10野では、殆どのニューロンが、課題の遂行に重要な情報を表象するのではなく、試行終了直後に自分が行った行動とその結果の関係性を表象していた。これらの結果から、一部の解剖学的先行研究で示唆されていたように、サルの10野は、複雑な認知情報処理を担う最高次の脳領域とされるヒト10野とは相同の領域ではないことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The lateral prefrontal cortex (LPFC) plays a critical role in cognition. Recent popular hypotheses in humans argue that the more anterior LPFC process more abstract and complex information, while more posterior regions process more concrete action information. This study aimed to test these hypotheses by analyzing neural activity in primate areas 10, 46 and 9/46, while monkeys performed 7 kinds of cognitive tasks. The result showed that strong encoding of task information was observed almost exclusively in posterior LPFC (9/46), while anterior LPFC (10) showed much weaker responses to task-related information. Area 10 showed notable selectivity only in feedback period. Area 10 cells encoded the conjunction of what the subject did and whether that behavior was preferable or not in the current situation. These results suggest that there is distinct functional subdivision within LPFC in monkeys, but in a different way from that proposed by the functional gradient hypotheses in humans.

研究分野：認知神経科学

キーワード：神経生理学 前頭極 前頭連合野 マルチニューロン活動 テストバッテリー

1. 研究開始当初の背景

本研究は、二重課題遂行サルを用いて、認知資源の神経基盤と配分機構の解明を試みる。認知資源(処理資源)とは、一定の容量限界を持つ心的エネルギーであり、様々な認知活動の遂行に不可欠であるとされる。認知資源が脳内に存在する証拠として、2つのことを同時に行おうとするとどちらも上手くできない「二重課題干渉」という現象がある。二重課題干渉は、同時に行う複数の処理のそれぞれに認知資源が分配されるものの、全体の資源量が仕事量に対して不足することから起こるとされるが、その脳内メカニズムは殆ど未解明であった。

2. 研究の目的

本研究は、近年、研究代表者が確立した動物行動科学的手法を用いて、二重課題干渉を呈するサル行動モデルを作出し、サル前頭連合野内の複数領域におけるニューロン活動記録実験と局所機能脱落実験により、二重課題干渉の神経機構を神経ネットワークレベルで特定することを試みた。これにより、認知資源の脳内メカニズムの解明という、認知科学における未解決問題に知見を与えると同時に、人間の処理能力の限界に基づく情報通信機器設計や制度設計など、現実社会の重要課題に手掛りを与える。

3. 研究の方法

二重課題における資源の配分とは、各課題の難易度に応じて2つの課題処理のバランスをとることに他ならない。ヒト被験者を用いた脳機能イメージング研究によれば、二重課題における課題処理の調整は、各課題を担う神経活動を相互に抑制することで達成されること、この役割を担うモジュール(中央実行系に相当)が前頭連合野の吻側部(ブロードマン10野及び46野前方)に存在することが示唆されていた(図1)。

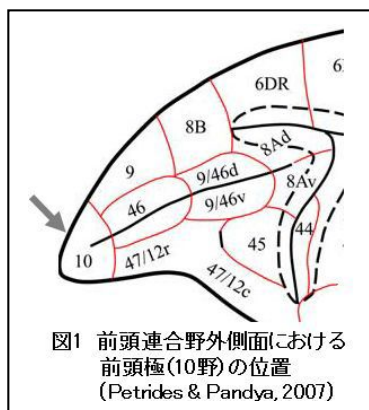


図1 前頭連合野外側面における前頭極(10野)の位置 (Petrides & Pandya, 2007)

本研究では、(1)前頭連合野外側部の尾側(46野、9/46野)と吻側(10野)から、32本の移動式の神経活動記録用電極を慢性留置、あるいは、32ch 多点深部電極(Plexon U-probe)によって記録された、二重課題中の神経活動を解析した。(2)約800個(46野、

9/46野)と約400(10野)のニューロン活動を分析した。マカクザルの前頭極は、前頭洞(粘膜性の空洞)を内包する非常に分厚い前頭骨に覆われており(図2A左下)、安全かつ長期的に神経活動記録用チャンバーを取り付けることが難しい。このため、サル前頭極のニューロン活動を調べた研究は1例のみであった(Tsujimotoら2010)。研究代表者は、前頭極へ安全に記録チャンバーを設置する新たな手法を確立し(図2A、左上と右)。さらに特殊なMRI撮影法を用いて、前頭極の狙った場所にピンポイントに電極を挿入して安定的なニューロン活動記録実験を行う方法を確立した(図2B)。

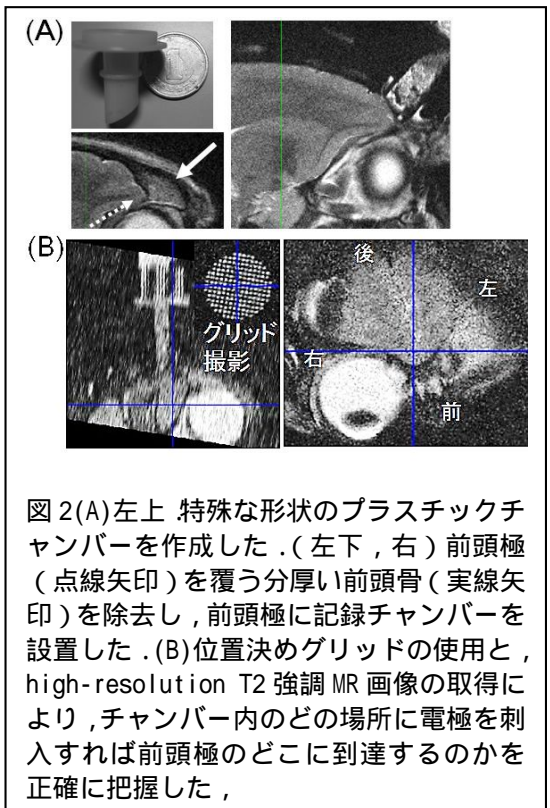


図2(A)左上 特殊な形状のプラスチックチャンバーを作成した。(左下、右)前頭極(点線矢印)を覆う分厚い前頭骨(実線矢印)を除去し、前頭極に記録チャンバーを設置した。(B)位置決めグリッドの使用と、high-resolution T2強調MR画像の取得により、チャンバー内のどの場所に電極を刺入すれば前頭極のどこに到達するのかを正確に把握した。

4. 研究成果

前頭連合野外側部尾側(46野、9/46野)のニューロン活動は、課題遂行に必要な情報を強く表象すると同時に、個体が行動レベルで二重課題干渉を示すのに応じて二重課題干渉効果を呈することが示された。一方、前頭連合野外側部吻側(10野)のニューロンは、尾側部とは異なり、課題遂行に必要な情報を殆ど表象していなかった。応答を示した10野のニューロンの殆どが、課題の各試行中に外界の情報を表象するのではなく、試行終了直後に、自分が行った行動とその結果の conjunction を表象していた(図3下段)。これらの結果から、一部の解剖学的先行研究で示唆されていたように、NHPの10野は、複雑な認知情報処理を担う最高次の脳領域とされるヒト10野とは相同の領域ではないことが示唆された。

本研究は、研究協力者である大阪大学国際医工情報センター平田雅之寄附研究部門教

授の協力のもとで実施された。すべての実験は、実施機関の動物実験倫理委員会の規定に基づいて行った。

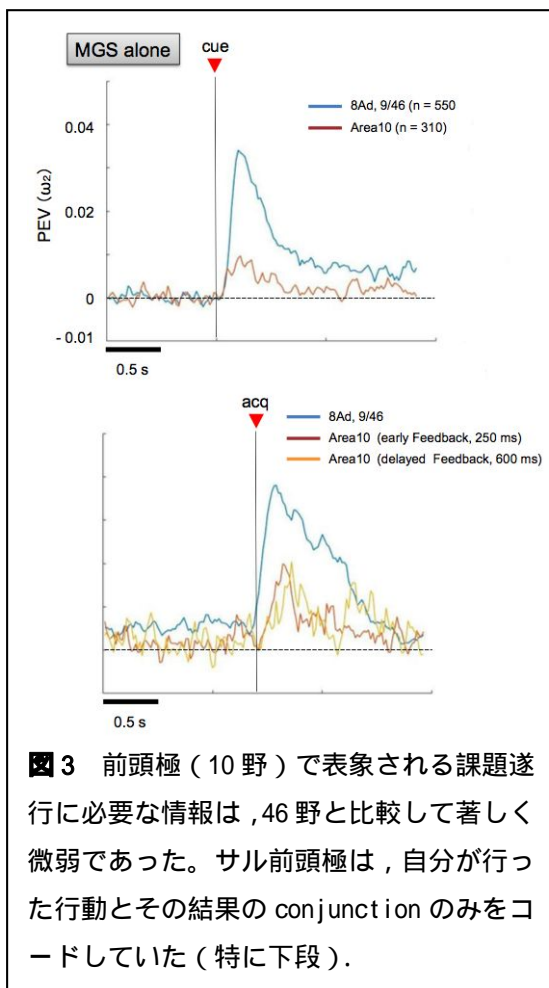


図3 前頭極（10野）で表象される課題遂行に必要な情報は、46野と比較して著しく微弱であった。サル前頭極は、自分が行った行動とその結果の conjunction のみをコードしていた（特に下段）。

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 5 件)

Kei Watanabe & Shintaro Funahashi (2018) Toward an understanding of the neural mechanisms underlying dual-task performance: Contribution of comparative approaches using animal models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 84 巻 12-28 頁. 査読有
Doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.08.008.

Eelke Spaak, Kei Watanabe, Shintaro Funahashi & Mark Stokes (2017) Stable and dynamic coding for working memory in primate prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 37 巻, 6503 - 6516 頁 査読有
Doi: 10.1523/JNEUROSCI.3364-16.2017

Kohei Matsuo, Taro Kaiju, Tomoaki Nakazono, Kei Watanabe & Takafumi Suzuki (2017) A behavioral paradigm to study rats' dual-task performance under head-direction and body-location tracking. *Electronics and Communications in Japan*, 100 巻 3 - 14 頁. 査読なし
Doi: 10.1002/ecj.11985

Kaiju, T., Doi, K., Yokota, M., Watanabe, K., Inoue, M., Ando, H., Takahashi, K., Fumiaki Yoshida, Masayuki Hirata, Suzuki, T. (2017) High spatiotemporal resolution ECoG recording of somatosensory evoked potentials with flexible micro-electrode arrays. *Frontiers in Neural Circuits* 11 巻(20). 査読有
Doi:10.3389/fncir.2017.00020

松尾康平・海住 太郎・中園智晶・渡邊慶・鈴木隆文 (2016) モーショントラッキング機能を備えたラット二重課題実験系の構築. *電気学会論文誌 C* 136 巻 1324 - 1334 頁. 査読有
Doi:10.1541/ieejieiss.136.1324

〔学会発表〕(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等による情報公開

最新の研究成果 1 :

https://cinet.jp/english/news/20170828_2167/

最新の研究成果 2 : ワーキングメモリを支える 2 種類の前頭連合野神経活動

https://cinet.jp/english/news/20170828_2166/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 慶 (Kei Watanabe)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・研究員

研究者番号 : 00772740

(4) 研究協力者

平田雅之 (Masayuki Hirata)

大阪大学・国際医工情報センター 寄付研究

部門教授

研究者番号: 30372626