

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350989

研究課題名(和文) 運動中の体性感覚フィードバック処理のメカニズム

研究課題名(英文) Mechanisms of somatosensory feedback processing during voluntary action

研究代表者

村田 哲 (MURATA, Akira)

近畿大学・医学部・准教授

研究者番号：60246890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自己の運動の結果が自己に帰属する運動主体感の神経基盤を明らかにすることを目的とし、運動中の体性感覚フィードバックに外乱を与えて神経活動がどのように変化するかを調べた。サルが右手でレバーを動かすと左の手掌を筆で体性感覚刺激をする実験装置を使って、筆の動きがレバー動きより遅れる場合とそうで無いときでサルの一次体性感覚野の神経活動を記録した。この結果、遅延がある場合に、遅延がない場合よりも神経活動が増加するものと、弱くなるものが見つかった。こうした反応は、一次体性感覚野が運動の信号によって影響を受け、運動主体感のもととなるネットワークの一部であることを示している。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was to reveal how the brain process sensory feedback during self-generated hand action, which is functionally correlated with sense of agency. We examined activity of single neurons from primary somatosensory cortex of macaque monkeys during moving a lever that introduce brush movement. We introduced different time delays to the brush movement relative to the lever. This made error between the predicted and actual tactile sensory feedback. We found that certain number of neurons showed higher response with the degree of temporal delay in brush movement, while some other neurons showed less activation when the temporal delay was introduced. The results suggested that the primary somatosensory cortex modulated by corollary discharge and a part of network for sense of agency.

研究分野：神経生理学

キーワード：身体性 身体図式 運動主体感 体性感覚 一次体性感覚野 予測誤差 遠心性コピー 随伴発射

1. 研究開始当初の背景

社会的適応行動において、身体性がきわめて重要な役割を担っており、たとえば、コミュニケーションや模倣、心の理論といった社会性に関わる認知機能も、身体を基盤とした自己と他者の表現が脳内にあってこそ実現される。イタリアの Rizzolatti らによるミラーニューロンの発見は、自己と他者の身体表現が脳内に存在し、自己動作と他者動作が共有表現されることを神経科学的に示した。また、筆者らは自己身体表現に関わる頭頂葉の VIP 野の視覚と体性感覚の多種感覚ニューロンの一部が、他者の身体上にも視覚受容野を持つことを明らかにした。この結果から、自己の身体マップを参照して、他者身体を知覚していると考えられる。しかし、一方で他者認知においては、自己の身体を他者の身体と区別する必要がある。自己の身体が自己に帰属するという身体保持感や自己の身体を自ら操作して動かしているという運動主体感、脳が自己身体を他者と区別している現れである。特に運動主体感、視覚や体性感覚の多種感覚統合と運動指令のコピーである遠心性コピーをもとに、順モデルによる感覚フィードバックの予測との整合性によるものであると考えられる。例えば、自分で自分の体をくすぐるときは、主観的にくすぐったさの程度が下がることが知られている。これは、遠心性コピーにより予測された体性感覚フィードバックが実際のフィードバックを抑制すると推測され、感覚抑制と呼ばれており、運動主体感をひきおこすメカニズムともなっているといわれている(図1)。ヒトのイメージングの研究では、感覚抑制に伴い、一次体性感覚野(SI)や二次体性感覚野(SII)の活動の抑制が認められている。

2. 研究の目的

本研究では、運動主体感をひきおこす脳内メカニズムを解明するために、特に体性感覚における感覚抑制と呼ばれる現象の神経基盤を動物実験によって明らかにする。体性感覚情報と遠心性コピーの比較や干渉に関連する神経活

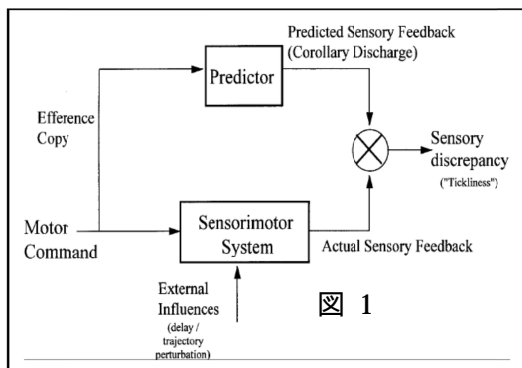
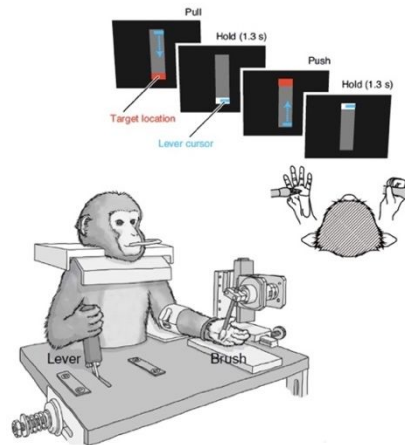


図 1

動を記録することが目的である。

3. 研究の方法



(1) 実験装置・課題: Blakemore らが自己くすぐりの実験を行なったのと同様の装置をサル用に設計した(上図)。この装置は、右手でレバーを動かすと、それと連動して左手掌を体性感覚刺激する筆が動くようになっている。レバーを動かすと目の前のモニターのカーソルが動くようになっており、レバーを前後に動かして、カーソルをターゲットに合わせる。

(2) 課題条件:

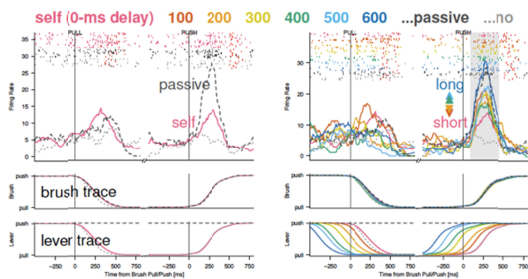
- 筆がレバーと同時に動く
- 筆がレバーよりも 100 / 200 / 300 / 400 / 500 / 600ms 遅れて動く
- 筆が自動的に動く受動的刺激 (passive)
- サルがレバーを動かすだけで、筆の刺激がない条件(no stimulus)

(3) 記録: サル 1 頭 1 半球の右中心後回、一次体性感覚野を中心に、頭頂間溝内側壁からも、神経活動を記録した。まず単一ニューロンを分離し、体性感覚受容野を確認した。受容野内に筆の刺激が当たるようにして筆を設置し、サルにブロックデザインで各条件の課題を遂行させて、神経活動の記録を行なった。

4. 研究成果

体性感覚刺激に対する反応が、運動によって変化するものが多数見つかった。例えば、下図に示すニューロンは、受動的刺激 (passive) のときは反応が強く認められるが、自らの運動による刺激の場合 (self) は、反応が抑制された。筆の動きが遅延する場合には、この抑制は段々と弱くなり (long)、遅延が

600ms になると反応が最も強く受動刺激と同じ強さになった。この反応は、感覚抑制に相当する反応だと考えられ、予測誤差を表現しているとも言える。



一方で、自らの運動による刺激の場合に反応が強く、遅延により反応が弱くなるニューロンも見ついている。この場合には、受動的刺激に対しては、弱い反応しか示さなかった。これは、実際感覚フィードバックと予測された感覚フィードバックの一致性を表現していると言える。

また、以上の2つのタイプのニューロンの数の分布を見ると、前者のタイプのほうが後者のタイプの数を上回る結果であった。

更に、一部のニューロンは、レバーの動きに関して同期して活動するニューロンも見ついている。この反応は、レバーを動かすための運動の信号のコピーがあるいは動かしている手からの固有感覚情報を表現していると考えられる。

以上のことから、一次体性感覚野のレベルでも、図1のように予測される運動のフィードバックと実際感覚フィードバックの比較が行われていることが、単一神経細胞レベルでの神経活動の振る舞いで明らかになった。イメージングの研究においては、個々のニューロンの振る舞いが明らかではなく、領域全体としての活動を反映しているにとどまるが、実際には抑制のかかるものとそうではないニューロンが混在している。感覚抑制が起こるメカニズムとして、運動中に抑制のかかるニューロンが多いことが反映されていると思われる。これはまた、ヒトのイメージングの研究で、頭頂葉が予測誤差に比例して神経活動が大きくなるのと一致する結果である。これは、世界的にも初めて得られた結果である。一次体性感覚野において予測と感覚フィードバックの比較がおこなわれ、体性感覚の感覚抑制の神経基盤となっており、それが運動主体感の神経メカニズムの一部として考えられる。

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)

[雑誌論文](計7件)

村田 哲 動作の自他共有表現を越える
ミラーニューロン 心理学ワールド

2016 75 : 13-16 査読無

http://www.psych.or.jp/publication/world_pdf/75/75-13-16.pdf

Murata, A., W. Wen, and H. Asama The body and objects represented in the ventral stream of the parieto-premotor network. Neurosci Res., 2016. **104:4-15**. 査読有
(doi):p.10.1016/j.neures.2015.10.010.

村田 哲 ミラーニューロンシステムの中の身体性 認知リハビリテーション

2015 20(1) : 3-16 査読無

http://reha.cognition.jp/pdf/2015/riha_2015_p003.pdf

Maeda, K., H. Ishida, K. Nakajima, M. Inase, and A. Murata, Functional Properties of Parietal Hand Manipulation-related Neurons and Mirror Neurons Responding to Vision of Own Hand Action. J Cogn Neurosci., 2015. **27(3): 560-72**. 査読有
doi:10.1162/jocn_a_00742.

村田哲 感覚の基礎知識 触覚 Clinical Neuroscience 2015 33(5):523-526 査読無

http://jglobal.jst.go.jp/detail/?from=API&JGLOBAL_ID=201502246862994602

村田哲 前田和孝 社会的行動発現のための感覚運動制御システム Clinical Neuroscience 2015 33(2):151-154 査読無

http://jglobal.jst.go.jp/detail/?from=API&JGLOBAL_ID=201502292823899955

村田哲 前田和孝, 【ミラーニューロン】ミラーニューロンの明らかにしたもの再考. BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩, 2014. 66(6) : 635-646. 査読無

http://jglobal.jst.go.jp/detail/?from=API&JGLOBAL_ID=201402271475588903

[学会発表](計15件)

望月 圭, 中隋 克己, 稲瀬 正彦, 村田 哲 手指自己刺激課題中のサル体性感覚野ニューロンの活動 第93回日本生理学会大会 2017年3月28日 アクトシテ

イ浜松（静岡県浜松市）

村田 哲 ミラーニューロンシステムにおける運動制御と身体表現 電気通信大学 技能情報学ステーション第13回セミナー 2016年12月19日 電気通信大学（東京都調布市）

望月圭 村田 哲 皮膚自己刺激に対するサル体性感覚野ニューロンの応答 H28年度 身体性システム脳班 (A1, A2, A3)+B2+C2合同班会議 2016年11月24日東京都医学総合研究所（東京都世田谷区）

村田 哲 脳内の物体・動作・身体の実現 日本スポーツ心理学会第43回大会 2016年11月4日北星学園大学（北海道札幌市）

村田 哲 ミラーニューロンシステムにおける自他の共有と区別 第46回日本臨床神経生理学会 2016年10月28日ホテルハマツ（福島県郡山市）

村田 哲 ミラーニューロンシステムにおける身体表現と運動制御：効果的なリハビリテーションを行うために 第9回南河内リハビリテーション研究会 2016年7月28日 近畿大学医学部附属病院（大阪府大阪狭山市）

Murata A, Maeda K, Ishida H, Nakajima K, Inase M. Distinctive representation of self and other's body in the parietal mirror neuron system The 1st international symposium on Embodied-Brain system science May 8-9 Tokyo Japan 2016 Ito international research center University of Tokyo. (Tokyo, Japan)

村田 哲 ミラーニューロンシステムにおける自己身体の共有と区別 シンポジウム「中枢神経系における身体表現と認知・運動連関の機能構築・再構築」第93回日本生理学会大会 2016年3月23日 札幌コンベンションセンター（北海道札幌市）

村田 哲 前田和孝 石田裕昭 中隴克己 稲瀬正彦 頭頂葉における自己の身体の実現 第3回身体性システム全体会議 2016年3月7 - 9日 千秋閣（岩手県花巻市）

Murara A. Own and other's body: shared or differentiated representation in mirror neuron

system. The 2nd International Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics Before and Beyond Mirror neurons Feb 23 2016 大阪グランフロント（大阪府大阪市）

村田 哲 身体神経科学 頭頂葉-運動前野ネットワークと身体性 大山リハビリテーション病院 2015 脳生理講演会 2016年2月21日 大山リハビリテーション病院（鳥取県西伯郡伯耆町）

前田和孝 石田裕昭 中隴克己 稲瀬正彦 村田 哲 自己の動作を視覚的に表現する頭頂葉の手操作運動関連ニューロンとミラーニューロン 第一回新学術領域「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」領域全体会議 2015年3月9日～11日 千秋閣（岩手県花巻市）

Murata A. The body represented in the parieto-premotor network. Tohoku forum for creativity thematic program 2015, Frontier of brain science, Symposium on Memory and Mind September 28-29 2015, 東北大学(宮城県仙台市)

Murata A. Self and other's body in the parietal mirror neuron system. Japan-China Joint Symposium for Understanding Cortical Cognitive Functions Satellite Symposium of the 38th annual meeting of the Japan Neuroscience Society, August 1 2015 京都大学(京都府京都市)

村田 哲 ミラーニューロンと身体性 第24回認知リハビリテーション研究会 2014年11月1日 研究社英語センター（東京都新宿区）

〔その他〕

ホームページ等

https://www.researchgate.net/profile/Akira_Murata2

http://researchmap.jp/viola_body

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 哲 (MURATA, Akira)

近畿大学・医学部・准教授

研究者番号：60246890

(2) 研究協力者

前田和孝 (MAEDA, Kazutaka)

近畿大学大学院医学研究科