

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：82611

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26430031

研究課題名(和文) マーモセットの社会学習におけるミラーニューロンシステムの役割

研究課題名(英文) Role of mirror neuron system for social learning in common marmosets

研究代表者

鈴木 航 (Suzuki, Wataru)

国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・神経研究所 微細構造研究部・室長

研究者番号：80332336

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：内因性光計測法をマーモセット大脳皮質に適用し、上側頭溝において他者行動を表現する領域を可視化した。これは行動の目的をコーディングしている可能性があることがわかった。行動目的の情報を入力源を調べるため、イボテン酸を眼窩前頭皮質を含む領域に注入し、注入前後の上側頭溝皮質の細胞活動を記録した。その結果、一部の細胞はイボテン酸注入後に細胞活動が減少することが分かった。また動物の行動量を定量的に調べるため、動画から運動情報だけを取り出すアルゴリズムの開発に成功した。これらにより、マーモセットにおけるミラーニューロンシステムのメカニズムを様々な手法により調べることができるようになった。

研究成果の概要(英文)：Using intrinsic optical signal imaging, the area representing the others' action, food grasping behavior, are visualized in the superior temporal sulcus of common marmoset. The responses in this area decrease when grasping behavior without the food is presented, indicating that the area also codes for the aim of the other. To investigate the input source of the aim of the other, ibotenic acid are injected in the frontal lobe including the orbitofrontal cortex and the unit recording in the superior temporal sulcus are conducted. After the injection, the response of some units to the others' action significantly decrease. To quantitatively examine the marmoset behavior, I develop an algorithm to extract motion information from animal movie to quantitatively. Using these various experimental methods, the mechanism of the mirror neuron system will be elucidated.

研究分野：システム神経科学

キーワード：バイオリジカルモーション 上側頭溝

1. 研究開始当初の背景

自分が行動をする時にも、他者が同じ行動をするのを見ている時にも反応する細胞をミラーニューロンと呼ぶ。ミラーニューロンは「他者行動の理解」、「他者の意図の理解」、「模倣行動」、「共感」、「言語発達」などに対して重要な機能的役割を果たしていると言われている。しかし、これらミラーニューロンの役割を実験的に証明した研究は少なく、社会行動上の機能的役割に対する直接的な関係は不明な点が多い。

応募者は細胞外電位記録法と生体内神経結合イメージング法を組み合わせることで、小型新世界サル・コモンマーマモセットの腹側運動前野 (PMv) と上側頭溝尾部 (STSp) の解剖学的に結合している領域が他者行動を表現し、PMv にミラーニューロンが存在することを示した。これによりヒトやマカクサル同様、コモンマーマモセットにもミラーニューロンシステムがあることを証明した。

2. 研究の目的

コモンマーマモセットは、音声コミュニケーションの多様さ、父親・兄弟姉妹の育児への参加、模倣学習、利他行動の存在など、大変豊富な社会的行動を持っている。また、大脳皮質に脳溝がほとんどないため神経科学的手法を適用しやすく、マカクサルとほぼ同程度の皮質領野が存在すること、など実験動物として多くの利点を有している。したがってコモンマーマモセットはミラーニューロンの役割を様々な側面からアプローチできる優れた霊長類モデル動物である。本研究ではコモンマーマモセットを用いて社会的知性に重要な模倣学習・利他行動に対するミラーニューロンの機能的役割を調べることを目的とする。

3. 研究の方法

- ・機能イメージング法の一つである内因性光計測法により上側頭溝皮質の高次視覚領野を視覚化する。
- ・電気生理学的手法により上側頭溝皮質の細胞の反応特性を調べる。
- ・神経細胞を不可逆的に破壊するイボテン酸を、前頭葉に注入し、注入前後の上側頭溝皮質の細胞活動を記録する。
- ・ECoG 電極を大脳皮質の前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉に留置し、他者行動を見ている時の脳波活動を記録する。
- ・マーマモセットの行動ビデオから運動情報だけを抜き出すアルゴリズムを開発し、複雑な運動情報を反映する視覚刺激を作成した。これに対する上側頭溝高次視覚皮質の細胞反応を調べる。

4. 研究成果

マーマモセット大脳皮質に対し内因性光計測法を適用することに成功した。上側頭溝皮

質高次視覚領野、聴覚野、体性感覚野においてそれぞれの感覚地図を視覚化することができた。これを用い、上側頭溝における視覚地図と運動視覚連関領野、他者行動を表現する領野を可視化した。また、他者行動を表現する領野では行動の目的 (摂餌運動における餌のあるなし) をコーディングしていることがわかった。これはこの領野がミラーニューロンシステムへの入力領域、あるいはその一部であることを示している。これらの結果は電気生理学的手法によっても確認した。

行動の目的 (摂餌運動における餌のあるなし) の情報が眼窩前頭皮質から入力されている可能性を調べるため、イボテン酸を眼窩前頭皮質を含む大きな領域に注入し、注入前後の上側頭溝皮質の細胞活動を記録した。その結果、上側頭溝皮質の一部の細胞はイボテン酸注入後に細胞活動が減少したことが分かった。イボテン酸がターゲット領域に注入されていることは組織学的に確認した。しかし、その減少が報酬に関する情報を反映しているものかどうかをより詳細に検討するにはムシモル等を用いた実験が必要である。

行動の目的の情報のミラーニューロンシステムへの入力源をより大域的に調べるため、ECoG 電極を大脳皮質の前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉に留置し、摂餌行動を見ている時の脳波活動を記録した。広い範囲で視覚応答が見られたが、餌のありなしで異なる反応を示す領野を現在解析中である。

マーマモセットの行動をより定量的に調べるため、動画から運動情報だけを取り出すアルゴリズムの開発に成功した。これによりマーマモセットの行動に見られる複雑な運動だけがあるランダムドットモーション刺激を作成した。これに対する上側頭溝皮質の細胞活動を調べるとより低次視覚野では運動そのものに反応し、高次視覚野ではより大域的な個体の運動に反応することが分かった。

研究期間内では社会行動課題を行わせるまでには至らなかったが、マーマモセットにおけるミラーニューロンシステムのメカニズムを様々な手法により調べることができるようになった。今後その機能的役割を検討する研究するうえで、重要な貢献ができたものと考えられる。

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 6 件)

1. Sound Frequency Representation in the Auditory Cortex of the Common Marmoset Visualized Using Optical Intrinsic Signal Imaging.

Tani T, Abe H, Hayami T, Banno T, Miyakawa N, Kitamura N, Mashiko H, Ichinohe N, Suzuki W

2. Novel method of extracting motion from natural movies.

Suzuki W, Ichinohe N, Tani T, Hayami T, Miyakawa N, Watanabe S, Takeichi H
Journal of neuroscience methods 291
51-60 2017年8月 [査読有り]

3. 3D reconstruction of brain section images for creating axonal projection maps in marmosets.

Abe H, Tani T, Mashiko H, Kitamura N, Miyakawa N, Mimura K, Sakai K, Suzuki W, Kurotani T, Mizukami H, Watakabe A, Yamamori T, Ichinohe N
Journal of neuroscience methods 286
102-113 2017年7月 [査読有り]

4. Representation of Glossy Material Surface in Ventral Superior Temporal Sulcal Area of Common Marmosets.

Miyakawa N, Banno T, Abe H, Tani T, Suzuki W, Ichinohe N
Frontiers in neural circuits 11 17
2017年 [査読有り]

5. Functional columns in superior temporal sulcus areas of the common marmoset.

Suzuki W, Tani T, Banno T, Miyakawa N, Abe H, Ichinohe N
Neuroreport 26(18) 1133-1139 2015年
12月 [査読有り]

6. Mirror Neurons in a New World Monkey, Common Marmoset.

Suzuki W, Banno T, Miyakawa N, Abe H, Goda N, Ichinohe N
Frontiers in neuroscience 9(DEC)
2015年 [査読有り]

[学会発表](計 23件)

1. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, T. Tani, N. Ichinohe: Marmoset as a model for human speech perception and its disorder . 第7回日本マーモセット研究会大会, (2018).

2. 松本淳平, 西丸広史, 高村雄策, 三村喬生, 浅場明莉, 鈴木航, 一戸紀孝, 南本敬史, 小野武年, 西条寿夫: げっ歯類とサルのためのオープンソース3次元ビデオ行動解析システムの開発と神経科学への応用 . 2017年度生命科学系学会合同年次大会

3. J. Matsumoto, H. Nishimaru, Y. Takamura, K. Mimura, A. Asaba, W. Suzuki, N. Ichinohe, T. Minamoto, T. Ono, H. Nishijo: 3D-Tracker, an open-source 3D video based behavioral analysis system for laboratory

animals for neuroscience. Society for Neuroscience (2017), 162.30.

4. H. Abe, T. Tani, H. Mashiko, N. Kitamura, K. Sakai, T. Hayami, N. Miyakawa, W. Suzuki, H. Mizukami, A. Watakabe, T. Yamamori, N. Ichinohe: Axonal projection map of auditory areas in the common marmoset. Society for Neuroscience Abstracts, (2017), 311.12.

5. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, T. Tani, N. Ichinohe: Temporal and rate coding of sound envelope and temporal fine structures of vocalizations in the primary auditory cortex of marmoset monkeys. Society for Neuroscience Abstracts, (2017), 586.18.

6. T. Hayami, W. Suzuki, T. Banno, N. Miyakawa, T. Tani, S. Watanabe, N. Ichinohe: Function of amplitude and frequency modulations underlying vocal processing in the primary auditory cortex of common marmosets. 第40回日本神経科学大会, (2017).

7. H. Abe, T. Tani, H. Mashiko, N. Kitamura, K. Sakai, T. Hayami, N. Miyakawa, W. Suzuki, H. Mizukami, A. Watakabe, T. Yamamori, N. Ichinohe: Axonal projection map of auditory areas in the common marmoset. 第40回日本神経科学大会, (2017).

8. T. Tani, W. Suzuki, T. Hayami, T. Banno, N. Miyakawa, S. Watanabe, H. Abe, N. Ichinohe: Functional organization of the auditory parabelt in the common marmoset in respect to representation of the sound frequencies. 第40回日本神経科学大会, (2017).

9. 鈴木航, 谷利樹, 宮川尚久, 速水琢, 渡邊恵, 阿部央, 一戸紀孝: コモンマーモセット上側頭溝における機能イメージング . 第6回日本マーモセット研究会大会, (2016).

10. W. Suzuki, T. Tani, T. Banno, N. Miyakawa, H. Abe, T. Hayami, N. Ichinohe: In vivo visualization of multiple areas around the superior temporal sulcus of the common marmoset. Society for Neuroscience Abstracts, (2016), 800.01.

11. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, T. Tani, N. Ichinohe: Slow rhythms in conspecific vocalisations are over-represented in the primary auditory cortex of common marmosets. Society for Neuroscience Abstracts, (2016), 153.03.

12. N. Miyakawa, T. Banno, H. Abe, T. Tani, W. Suzuki, N. Ichinohe: Representation of glossy material surfaces in common marmoset temporal visual cortex. Society for Neuroscience Abstracts, (2016), 667.01.

13. H. Abe, T. Tani, H. Mashiko, N. Miyawaka, K. Mimura, K. Sakai, W. Suzuki, T. Kurotani, N. Ichinohe. Methods for reconstructing 3D brain data from histological sections for making axonal projection maps in the marmoset. Society for Neuroscience Abstracts, (2015), 735.13.

14. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, T. Tani, N. Ichinohe: Slow periodic modulations in conspecific vocalizations are over-represented in the primary auditory cortex of common marmosets. 第39回日本神経科学大会, (2016).

15. W. Suzuki, T. Tani, N. Miyakawa, T. Banno, H. Abe, N. Ichinohe: Visualization of functional areas in superior temporal sulcus of common marmoset revealed by optical intrinsic signal imaging. 第38回日本神経科学大会, (2015).

16. N. Miyakawa, T. Banno, H. Abe, T. Tani, W. Suzuki, N. Ichinohe: Gloss representation in multiple areas of common marmoset temporal visual cortex. 第38回日本神経科学大会, (2015).

17. T. Tani, W. Suzuki, T. Banno, N. Miyakawa, H. Abe, N. Ichinohe: Tonotopic organizations in the auditory cortex in the common marmoset. 第38回日本神経科学大会, (2015).

18. H. Abe, T. Tani, H. Mashiko, N. Miyakawa, K. Mimura, K. Sakai, W. Suzuki, T. Kurotani, N. Ichinohe: Methods for reconstructing 3D brain data from histological sections for making axonal projection maps in the marmoset. 第38回日本神経科学大会, (2015).

19. T. Banno, N. Miyakawa, W. Suzuki, N. Ichinohe: Nonlinear computation of conspecific vocalization signals in the primary auditory area of common marmosets. 第4回日本マーモセット研究会大会, (2015).

20. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, H. Abe, N. Ichinohe. Neural mechanisms of vocal communication signal processing in

the auditory cortex of common marmosets. Ultrasonic Communication in Rodents, (2014), 8.4

21. T. Banno, W. Suzuki, N. Miyakawa, H. Abe, N. Ichinohe. Neuronal mechanisms of vocalization sound processing in the primary auditory area of common marmosets. Society for Neuroscience Abstracts, (2014), 235.08.

22. W. Suzuki, N. Miyakawa, T. Banno, H. Abe, N. Ichinohe: Tonotopical map in the auditory cortex of marmoset monkeys revealed by optical intrinsic signal imaging. 第37回日本神経科学大会, (2014).

23. N. Miyakawa, T. Banno, H. Abe, W. Suzuki, N. Ichinohe: Shitsukan coding in marmoset visual neural network including posterior superior temporal area. 第37回日本神経科学大会, (2014).

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 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〕
プレスリリース
https://www.ncnp.go.jp/press/press_release151210.html

6. 研究組織
(1) 研究代表者
鈴木 航 (Suzuki Wataru)
神経研究所 微細構造研究部・室長
研究者番号：8332336

(2) 連携研究者

一戸 紀孝 (Ichinohe Noritaka)
神経研究所 微細構造研究部・部長
研究者番号：00250598

(3) 連携研究者
宮川 尚久 (Miyakawa Naohisa)
神経研究所 微細構造研究部・研究員
研究者番号：60415312

(4) 連携研究者
坂野 拓 (Banno Taku)
神経研究所 微細構造研究部・研究員
研究者番号：70598440

(5) 連携研究者
阿部 央 (Abe Hiroshi)
神経研究所 微細構造研究部・研究員
研究者番号：10711161