

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：63905

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K07810

研究課題名(和文) 個人間リズム同期を指標とした社会性形成の神経基盤解明

研究課題名(英文) Neural substrates for interpersonal rhythm entrainment as a social relationship

研究代表者

戸松 彩花(戸松彩花)(Tomatsu, Saeka)

生理学研究所・システム脳科学研究領域・特任准教授

研究者番号：00415530

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：自分のリズム運動が、知らないうちに他のリズムにつられていることに気づいた経験はないだろうか。私たちには、意図せず場のリズムに引き込まれてしまう性質があり、この性質は集団や社会を形作る土台の一つになっていると考えられる。この神経機構についてはまだ不明点が多いが、その一因に、良い動物モデルがないことが挙げられる。そこで研究代表者は人と近縁な神経回路を持つニホンザルが、ヒトと類似した「引き込み」性質を示す場面を探った。その結果、ニホンザルは特に他サルとともにリズム運動を行うときに相手の運動に引き込まれ、この性質の神経メカニズムを検証する上で適切なモデルであることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ヒトに頻繁にみられる「場のリズムに意図せずつられてしまう(自発的同期)」という現象の神経機構を探るために、ニホンザルをモデルとした研究が可能であることを示した点で意義が大きい。これまでも同様の試みは存在したものの、論文化に至ったものは少なく、いずれも神経活動の計測には至っていない。これは、「つられる」場面を生む条件として、動物の注意を対象刺激に長時間向け、同時に刺激と関係なく運動を行わせるという、動物にとって負荷の高い状況が必要であったためと考える。本研究においてニホンザルにおける研究方法が確立したことで、今後現象の神経機構に関する解明が進むことが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Have you ever noticed that your rhythmic movement is unintentionally being entrained to other's rhythms? We have a propensity to be unintentionally entrained into external rhythms, and it is thought to be one of the foundations on which groups and societies are formed. There is still much unknown about the neural mechanism, and I believed that it is due to the lack of good animal models. Therefore, I investigated whether Japanese macaques, which have neural circuits quite similar with those of humans, have a "entrainment" property observed in humans, and if so, what kind of neural activity occurs during the entrainment. We found that Japanese macaques are entrained into the external rhythms, especially when they perform rhythmic movements with other monkeys, and that Japanese macaque is an appropriate model to examine the neural mechanism of unintentional entrainment phenomenon.

研究分野：システム神経科学

キーワード：社会性 運動同期 引き込み現象

1. 研究開始当初の背景

リズム的な運動を行うときに、知らず知らずのうちに他者や環境のリズム成分につられてしまうという現象(自発的リズム同期現象)は多くの人が経験するものだ。

自発的リズム同期現象に関して、これまでにヒトを対象とした研究は非常に数多くあるものの、ヒトを対象にした神経活動計測手法には限界があるため、その神経メカニズムを詳細に論ずるものは少ない。それは、自発的リズム同期現象を侵襲的に検証できる動物モデルが存在しなかったためである。いくつかの論文は非ヒト霊長類における運動リズムの他への同調の出現を示唆するものの、多くはチンパンジーなど侵襲的計測の対象でない種で観察したもので(Large & Gray 2015、Dufour et al. 2015、Fuhrmann et al. 2014、Hattori et al. (2013, 2015, 2020)、Yu & Tomonaga 2015、例外的に一例のみマカクザル(Nagasaka ら 2013)いずれも神経活動は記録されていない。一方で、意図的なリズム一致にかかわる神経活動の計測については、マカクザルを使った研究が多数ある(Yaneri et al. 2017、Takeya et al. 2017、Large et al. 2015、Selezneva et al. 2013、Honing et al. 2018)などが、それらから明らかになった「意図的リズム一致に重要な神経活動」と、本研究で対象とする「自発的に生じるリズム同期現象」の連続性は自明ではない。

このため研究代表者は、まずマカクザルで自発的リズム同期現象が生じる実験条件を探り、そのうえで様々な脳領域の神経活動を記録する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、ニホンザルを対象に、自発的リズム同期現象が生じることを確認する。そのうえで、複数の運動関連脳領域より神経活動を記録して、現象が生じるための神経メカニズムを明らかにすることを目的とした。

自発的リズム同期現象は、その現象の普遍性(ほとんどの人が生活の中で自然に経験したことがある)から研究対象として興味深いだけでなく、動物の集団形成に基礎的な役割を果たすことが類推されることから、社会性形成の研究としても意義があるものとする。

3. 研究の方法

まず、ニホンザル4頭にリズム動作を訓練した。サルはレバーを左右に動かすことで報酬を得る。このとき、レバーの傍にあるLEDが赤なら「ゆっくり(<1.25Hz)」、緑なら「はやく(>1Hz)」動くことを要求した。ただし、「ゆっくり」や「はやく」に関して、実験者から具体的なリズムの提示は一切せず、サルは試行錯誤をしながら、LEDの色に応じて報酬をもらえる適切なリズムを自分で探し当てた。すなわち、外的なリズムに対して意図的に運動を一致させることで報酬を得る経験を、本研究対象のサル達は一切していない。結果的に、個体差および経時的変動があるものの、赤の時は0.5 - 0.8Hz、緑の時は1.7 - 2.2Hzでリズム運動が行われるようになった。この訓練(赤緑トレーニング)には1頭当たり6か月から1年の期間を要した。

その後、様々なリズムの音や光刺激、動画再生(他者(サル)が動作している or 他者はおらずレバーのみが動いている、音はなし)、動作するリアルな他者が正面にいる、などの状況で上述の課題運動を行わせ、行われた運動に生じた影響を調べた。サルはこれらの刺激とともに課題運動を行うが、課題運動に対する報酬は訓練時と同様に一定ペースで与えられ、刺激と運動との時空間的關係性に伴う報酬は全く与えなかった。すなわち、サルにとっては、刺激と一致した運動をすることに伴う利益は一切ない。また、この刺激提示においては、に関して視線の限定エリアを定め、エリア内に視線がある状態で運動を行うと報酬が与えられるように追加の訓練(2-5か月)を要した。

また、2頭のサルの補足運動野、1頭の一次運動野から運動中の神経活動を記録した。

4. 研究成果

与えた刺激の効果に関しては、音や光の場合、リズムへの同期は観察されなかったが、提示中は提示がないときに比べて運動が遅くなることが観察された。これより刺激は受容された(聞こえた・見えた)が、つられてしまう、というヒトで頻繁に観測される現象は再現されなかったといえる。

一方、動画再生に関しては、動画内の運動速度につられることが観察された。すなわち、動画の中の運動が速いときは、サルの運動も速まり、動画の中の運動が遅いときは、サルの運動も遅くなること示された。興味深いことにこの効果は、サルの視線を動画内のレバー部分に限定させたことで強くなった。他者の動きを注視することで自発的同期現象が生じやすいことは、ヒトの研究でも示されており(Schmidt et al. 1990 など多数) ヒトに準ずる現象を見出したと言える。一方、動画内にサルが映っているものと映っていないものに効果の差はほとんどなかった。この結果に関しては、2021年度に2回の学会発表を行った。

さらに 動作するリアルな他者が眼前にある場合は、劇的に同期現象が生じることが観察された。方法で述べたとおり赤緑トレーニングを完了した後のサルは運動リズムには個体差があり、リアルなサル同士を向かい合わせると、最初はそれぞれの至適リズムで運動が始まるのだが、回数を重ねると徐々に2頭のリズムが近づき、ほぼ同じ速さで動いたり、また少しリズムがずれたり、を繰り返すようになった。また、運動中に両者の間に遮蔽板を置くと、明らかに両者のリズムが乖離し、ヒトで観察された自発的同期現象が明確に再現されたといえる。

神経活動に関しては、動画条件において補足運動野と一次運動野のユニット活動に関して、自己の運動、動画内の運動、動画と自己の運動の差分との関連性を比較した。その結果、いずれの領域に関しても自己の運動と強い関連性を示すニューロンが多いことがわかった。神経活動については同時に計測されたLFPの解析を進めるとともに、の実験状況において運動前野や前補足運動野、島皮質などの他部位のデータ取得を進め、自発的リズム同期現象の神経メカニズムに迫りたいと考えている。

引用文献

1. Valérie Dufour, Nicolas Poulin, Charlotte Curé & Elisabeth H M Sterck. Chimpanzee drumming: a spontaneous performance with characteristics of human musical drumming. *Sci. Rep.* 5: 11320, 2015.
2. Delia Fuhrmann, Andrea Ravignani, Sarah Marshall-Pescini & Andrew Whiten. Synchrony and motor mimicking in chimpanzee observational learning. *Sci. Rep.* 4:5283 2014
3. Yuko Hattori, Masaki Tomonaga & Tetsuro Matsuzawa. Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee. *Sci. Rep.* 3:1566, 2013.
4. Yuko Hattori, Masaki Tomonaga, Tetsuro Matsuzawa. Distractor Effect of Auditory Rhythms on Self-Paced Tapping in Chimpanzees and Humans. *PLoS One.* E 10(7): e0130682, 2015.
5. Yuko Hattori, & Masaki Tomonaga. Rhythmic swaying induced by sound in chimpanzees (Pan troglodytes). *PNAS.* 117:936-942, 2020.
6. Honing, Bouwer, Prado & Merchant. Rhesus Monkeys (Macaca mulatta) Sense Isochrony in Rhythm, but Not the Beat: Additional Support for the Gradual Audiomotor Evolution. *Front. Neurosci.* 12; 475, 2018.
7. Edward W Large & Patricia M Gray. Spontaneous Tempo and Rhythmic Entrainment in a Bonobo (Pan paniscus). *Journal of Comparative Psychology.* 129; 317-328, 2015.
8. Edward W. Large, Jorge A. Herrera & Marc J. Velasco. Neural Networks for Beat Perception in Musical Rhythm. *Frontiers in System Neuroscience.* 9; 159, 2015.
9. Yasuo Nagasaka, Zenas C Chao, Naomi Hasegawa, Tomonori Notoya, & Naotaka Fujii. Spontaneous synchronization of arm motion between Japanese macaques *Sci. Rep.* 3:1151. 2013.
10. Schmidt RC, Carello C, Turvey MT. Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 16(2):227-47. 1990
11. Selezneva, Deike, Knyazeva, Scheich, Brechmann & Brosch. Rhythm sensitivity in macaque monkeys. *Front. Neurosci.* 7:49. 2013、
12. Ryuji Takeya, Masashi Kameda, Aniruddh D. Patel & Masaki Tanaka. Predictive and tempo-flexible synchronization to a visual metronome in monkeys. *Sci. Rep.* 7(1):6127, 2017.
13. Yaneri A. Ayala¹, Alexandre Lehmann^{2,3,4} & Hugo Merchant. Monkeys share the neurophysiological basis for encoding sound periodicities captured by the frequency following response with humans. *Sci. Rep.* 7(1):16687. 2017.
14. Lira Yu, Masaki Tomonaga. Interactional synchrony in chimpanzees: Examination through a finger-tapping experiment *Sci Rep* 5:10218, 2015.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Saeka Tomatsu and Masaki Isoda
2. 発表標題 Inter-individual motion entrainment in non-human primates
3. 学会等名 Neuroscience2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 戸松彩花、磯田昌岐
2. 発表標題 社会的コンテキストにおけるマカクザルの運動リズム同調
3. 学会等名 Motor Control研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

生理研磯田研究室HP https://www.nips.ac.jp/dbd/NewSite/index-research.html#tomatsu

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------