

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H03337

研究課題名（和文）マルチタスクを支える前頭葉と皮質下の連携機構の解明

研究課題名（英文）frontal and subcortical coordination underlying multitasking behavior

研究代表者

虫明 元（Mushiake, Hajime）

東北大学・医学系研究科・教授

研究者番号：80219849

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000 円

研究成果の概要（和文）：脳がマルチタスクをに対処できるための前頭葉と関連分野の働きを解明する。課題を数種類サルーに学習させて、その後、それぞれの条件で課題を行わせた。実行中に細胞活動、局所電場電位を記録した。マルチタスクに対して、2つの方略で符号化する細胞が見出された。一つは、一つの細胞が表現する情報を、課題進行とともに変化させ、一人何役もこなす、動的な情報表現をする符号化であった。もう一つは、課題条件が異なると、文脈ごとに選択的に参加する細胞群が異なる反応を示した。マルチタスクでは、複数の振動間の位相同期が重要で振動レベルで広域的に領域間を結びつけ、位相同期で参加する細胞を選択することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マルチタスクは、細胞が一人多役を時間的に情報変化しながら対応している場合と、それぞれのタスクに特異的に活動する細胞を準備して行う場合がわかった。また振動により、多数の領域が位相同期することで、参加細胞を選択する機構も判明してきた。マルチタスクには、2つの方法はトレードオフがあると考えられる。日常生活にもしばしば起こる。このマルチタスクを支えるの神経機構を理解することはマルチタスクができない認知的な障害がある人の理解やリハビリに示唆を与えると考えられる。

研究成果の概要（英文）：To understand how the frontal lobe and related areas of the brain work to enable the brain to cope with multitasking. Several types of tasks were learned by monkeys, and then they were made to perform the tasks under different conditions. Cell activity and local electric field potentials were recorded during execution. Cells were found to encode two strategies for multitasking. One was a dynamic encoding in which the information represented by a single cell changed as the task progressed, with each cell playing multiple roles. The other was a group of cells that responded differently to different task conditions, with different groups of cells selectively participating in each context. The results suggest that phase synchronization between multiple oscillations is important in multitasking, linking regions broadly at the oscillation level and selecting cells that participate in phase synchronization.

研究分野：神経生理学

キーワード：マルチタスク

1. 研究開始当初の背景

マルチタスクとは複数の課題を同時に課され、適宜柔軟性を持って異なる課題状況に対処することである。これまで申請者は前頭前野、高次運動野の多数の領野の働きを細胞レベルで明らかにしてきた。これまでの研究から認知行動制御に関わる前頭葉ネットワークシステムには前後に階層性、内側外側、そしてさらに背側腹側に機能的に別れた階層的かつ機能分散的なシステムである。申請者は迷路課題を用いた研究から、前頭前野外側が目標設定から与えられたルールに従ったプランをたてモニタリングまでの複数のステップに関わることを見出した(Mushiake et al Neuron 2006)。

一方で前頭前野内側では、外から与えられたルールではなく自分が生成した独自の内的行動戦略でプランを符号化している事を発見した (Matsuzaka et al2012,2016)。このときには符号化、維持、想起に関わる細胞は別々で次々バケツリレーのように連鎖する活動であった。このように符号化様式が前頭内で異なっていたことは驚きであった。

海外での研究動向では、マルチタスクでは展望的記憶 (Prospective memory) という未来に行う行為の意図の記憶であり、他の行動を行った後でも、時間やイベントから自発的に想起するという特徴がある (McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. 2007)。Einstein & McDaniel (1990)は科学的に展望的記憶

を研究するためにマルチタスク課題を考案した。すなわち比較的単純な背景課題(我々は色指示課題)の中で、ある特定事象(我々の場合は色指示なし)が現れたら、ある行為を行う展望記憶課題(我々の場合は記憶課題)を組み合わせたマルチタスクである。Burgess のグループは前頭前野前部領域 10 が展望記憶に関わり、ヒトでこの部位の障害で展望記憶が傷害されることを見出している (Burgess et al TINS 2007)。準備状況として予備的なマルチタスク課題でサルからの電場電位を記録すると、波とよばれる海馬で認められる波と基底核との連携に関わるベータ波とガンマが課題の切り替え、更新に関わることを見出した。実際 Ferbintenu & Shapiro はラット海馬が展望記憶に関わることを見出している (Neuron 2003)。また Graibiel は基底核がスイッチングに関わる可能性を示唆している (Cell 2015)。

複数課題を同時に課するマルチタスク課題では前頭前野がどのように情報を符号化し、どのように調整されるを解明することが目的である。

2. 研究の目的

マルチタスク実行に関わるネットワークのダイナミクスを細胞レベルで明らかにすることである。一度将来に行う課題を展望記憶として記憶して、その後別な課題を背景課題として行い、途中で必要に応じて展望記憶の課題を想起しておこなうということはマルチタスクの一つの典型例 (Einstein 型)で行う。これらを調べるためにマルチタスクでは以下認知機能が必要になる。

任意に選ばれた行動課題を展望記憶として符号化して記憶する。別な課題を背景課題として行うが、先の行動課題は展望記憶は維持する。背景課題中に展望課題の条件が出現したら展望課題に切り替え、想起する行動の記憶としての展望記憶の符号化、維持、切り替え、想起の4つを検討する。

3. 研究の方法

行動課題としては、本研究で、要素課題としては2つの課題：A色指示課題とB記憶課題を組み合わせマルチタスク課題とする。事前課題とマルチタスク課題とで一つのセッションを構成する。また複数の刺激セットと複数の行動セットを用意することで比較的多数のマルチタスクを準備することができる。例えば、数刺激をドット数として与えて、最初に目標数を提示、次いで初期数そして操作により初期数を目標数にする演算課題を行い、さらに演算を直接指示する別な課題を行わせた。

遂行中のサルより前頭前野領域を内外側から多点計測を行い、活動電位と局所電場電位を記録する。多点計測(細胞活動と局所電場電位)とネットワーク解析で細胞レベルでは情報表現、脳波レベルでは、帯域ごとにその意義を解明する。

4. 研究成果

当研究課題では脳が柔軟に複数の課題に対処できるための前頭葉と関連分野の働きを解明す

ることである。複数の視覚刺激と運動を結びつけて学習し、行動中のサルの前頭眼野をふくむ前頭前野、内側、外側、運動野内側と外側から多点計測を行い比較検討した。前頭前野の脳波の解析から、運動前野と前頭眼野で課題中の振動波を解析した。その結果、比較的低周波の振動デルタ波 シータ波(デルタ波として用語は統一する)と比較的高周波の振動ガンマ波の間にいわゆる位相 振幅のカップリングが認められた。またデルタ波では試行間での振動の位相同期も認められた。これらの位相同期と位相 振幅カップリングは、指示信号の視覚刺激によって誘発され、さらに運動開始の前後にも見られた。位相同期と位相振幅カップリングの時空間パターンを解析すると課題条件によって異なり、課題条件を弁別することができることが判明した。さらに特定の時間条件では視覚刺激時の各信号の空間パターンに対し運動直前の各信号の空間パターンが類似性を示し、課題条件の情報がこれらの振動現象に保持されていることが示唆された。これらの結果から、デルタ波の周波数帯域位相とガンマ波の周波数帯域振幅の空間表現が前頭葉外側の前頭眼野、運動前野において、視覚 運動情報の処理に関与し、しかも情報が共有されていることが示唆された。

背側運動前野では頭頂葉と連携して、加算、減算の演算を右手ないし左手でおこなう課題で課題関連細胞が見つかったが、今回特に背側運動前野のニューロンの活動が加算 減算の情報を担うことがわかった。しかもその細胞は遅延期間後手の運動を実行して、演算をするときには左右の手の動作に関連した細胞へと表現する情報を変えていた。さらに、実行中手の運動を表現する細胞はどれだけの量を加算、または減算するかという数の稜の情報に変化していた。すなわち背側運動前野では、演算 手の運動 演算量というように符号内容が動的に移行することが示された。

後部内側前頭前野と前補足運動野との比較においては、後部内側前頭前野は戦術、視空間情報、行動、またはそれらの組み合わせに対して選択的な活動を示した。マルチタスクの間に同じニューロンでもタスクによって役割が異なるかどうかを解析した。複数の行動戦術の選択(すなわち行動選択の内部プロトコル)を必要とする2つのバージョンの腕を伸ばす課題を行っている間のニューロン活動を調べた。これらの課題遂行中、後部内側前頭前野のニューロンは、戦術、視空間情報、行動、あるいはそれらの組み合わせに対して選択的な活動を示した。驚くべきことに、戦術選択的ニューロンの82%において、選択的活動は特定の課題において現れた。さらに、視空間情報を表現するニューロンの95%は、このような活動を一方の課題でのみ示し、両方では示さなかった。この結果は、タスクが共通の情報を必要とするにもかかわらず、同じニューロンが異なるタスクで異なる役割を果たす可能性があることを示していた。

これらの結果から、マルチタスクに関して、細胞レベルでは2つ符号化戦略を用いていることが判明した。一つは、一つの細胞が時間ごとに役割を変える戦略で、これにより効率的に複数の条件の課題を少ない細胞数で実行できる。もう一つは、マルチタスクの課題ごとに異なる細胞が関わる方法である。2つの戦略が同時に存在していることから、課題のデザインによって、両方の戦略のバランスが異なる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Sakamoto Kazuhiro, Kawaguchi Norihiko, Mushiake Hajime	4. 巻 16
2. 論文標題 Shape and Rule Information Is Reflected in Different Local Field Potential Frequencies and Different Areas of the Primate Lateral Prefrontal Cortex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Behavioral Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbeh.2022.750832	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sakamoto Kazuhiro, Yamada Hinata, Kawaguchi Norihiko, Furusawa Yoshito, Saito Naohiro, Mushiake Hajime	4. 巻 16
2. 論文標題 Reinforcement Learning Model With Dynamic State Space Tested on Target Search Tasks for Monkeys: Extension to Learning Task Events	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncom.2022.784604	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakajima Toshi, Hosaka Ryosuke, Mushiake Hajime	4. 巻 42
2. 論文標題 Complementary Roles of Primate Dorsal Premotor and Pre-Supplementary Motor Areas to the Control of Motor Sequences	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 6946 ~ 6965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.2356-21.2022	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mushiake Hajime, Department of System Neuroscience, Graduate School of Medicine, Tohoku University 2-1 Seiryomachi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8575, Japan	4. 巻 34
2. 論文標題 Neurophysiological Perspective on Allostasis and Homeostasis: Dynamic Adaptation in Viable Systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 710 ~ 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p0710	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Muhammad Ali Haider Awan, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka	4. 巻 2
2. 論文標題 Non-overlapping sets of neurons encode behavioral response determinants across different tasks in the posterior medial prefrontal cortex	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kajita Yuki, Mushiake Hajime	4. 巻 15
2. 論文標題 Heterogeneous GAD65 Expression in Subtypes of GABAergic Neurons Across Layers of the Cerebral Cortex and Hippocampus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Behavioral Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbeh.2021.750869	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Braun Wilhelm, Matsuzaka Yoshiya, Mushiake Hajime, Northhoff Georg, Longtin Andre	4. 巻 16
2. 論文標題 Non-additive activity modulation during a decision making task involving tactic selection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cognitive Neurodynamics	6. 最初と最後の頁 117 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11571-021-09702-0	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abe Yoshifumi, Kwon Soojin, Oishi Mitsuhiro, Uekawa Miyuki, Takata Norio, Seki Fumiko, Koyama Ryuta, Abe Manabu, Sakimura Kenji, Masamoto Kazuto, Tomita Yutaka, Okano Hideyuki, Mushiake Hajime, Tanaka Kenji F.	4. 巻 36
2. 論文標題 Optical manipulation of local cerebral blood flow in the deep brain of freely moving mice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cell Reports	6. 最初と最後の頁 109427 ~ 109427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.celrep.2021.109427	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mushiake Hajime, Ohshiro Tomokazu, Osawa Shin-ichiro, Hosaka Ryosuke, Katayama Norihiro, Tanaka Tetsu, Yawo Hiromu, Osanai Makoto	4. 巻 1293
2. 論文標題 Multimodal Functional Analysis Platform: 4. Optogenetics-Induced Oscillatory Activation to Explore Neural Circuits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Experimental Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 501 ~ 509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-8763-4_34	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Awan Muhammad Ali Haider, Mushiake Hajime, Matsuzaka Yoshiya	4. 巻 14
2. 論文標題 Neuronal Representations of Tactic-Based Sensorimotor Transformations in the Primate Medial Prefrontal, Presupplementary, and Supplementary Motor Areas: A Comparative Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2020.536246	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanabe Hidenori, Sano Hiromi, Chiken Satomi, Kobayashi Kenta, Fukata Yuko, Fukata Masaki, Mushiake Hajime, Nambu Atsushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Forelimb movements evoked by optogenetic stimulation of the macaque motor cortex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-16883-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Northoff Georg, Mushiake Hajime	4. 巻 156
2. 論文標題 Why context matters? Divisive normalization and canonical microcircuits in psychiatric disorders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience Research	6. 最初と最後の頁 130 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.10.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mushiake Hajime, Ohshiro Tomokazu, Osawa Shin-ichiro, Hosaka Ryosuke, Katayama Norihiro, Tanaka Tetsu, Yawo Hiromu, Osanai Makoto	4. 巻 1293
2. 論文標題 Multimodal Functional Analysis Platform: 4. Optogenetics-Induced Oscillatory Activation to Explore Neural Circuits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adv Exp Med Biol .	6. 最初と最後の頁 501 ~ 509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-8763-4_34	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakamoto K, Saito N, Yoshida S, Mushiake H	4. 巻 40(1)
2. 論文標題 Dynamic axis-tuned cells in the monkey lateral prefrontal cortex during a path-planning task. 	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of neuroscience	6. 最初と最後の頁 203-219.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1523/JNEUROSCI.2526-18.2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakamoto K, Kawaguchi N, Mushiake H.	4. 巻 168
2. 論文標題 Differences in task-phase-dependent time-frequency patterns of local field potentials in the dorsal and ventral regions of the monkey lateral prefrontal cortex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neurosci Res.	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.12.016.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Y, Ohshiro T, Sakuragi S, Koizumi K, Mushiake H, Ishizuka T, Yawo H	4. 巻 9(1)
2. 論文標題 Optogenetic study of the response interaction among multi-afferent inputs in the barrel cortex of rats.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-40688-2.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Northoff G, Mushiake H	4. 巻 168
2. 論文標題 Why context matters? Divisive normalization and canonical microcircuits in psychiatric disorders.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Neuroscience research	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neures.2019.10.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 大城 朝一, 虫明元
2. 発表標題 波状に伝播する脳血管運動を生み出す神経メカニズム
3. 学会等名 第100回日本生理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小山内 実, 虫明 元
2. 発表標題 メレオロジカル神経生理学
3. 学会等名 第100回日本生理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 奥山 澄人, 虫明 元
2. 発表標題 サルの腹側運動前野における演算細胞
3. 学会等名 第100回日本生理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuhiro Sakamoto, Tokio Katakura, Hajime Mushiake
2. 発表標題 Decision uniqueness and experience saturation define the appropriateness of state expansion: comparison between dynamic state space reinforcement learning model and Dirichlet models
3. 学会等名 第45回日本神経科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Muhammad Ali Haider Awan, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka
2. 発表標題 Change in behavioral context alters the population of neurons representing the behavioral information in primate medial prefrontal cortex
3. 学会等名 第45回日本神経科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sosuke Harigae, Hidenori Watanabe, Hajime Mushiake, Masashi Aoki
2. 発表標題 Event related phase-amplitude coupling and inter-trial phase coherence in ECoG at the frontal eye field and premotor cortex
3. 学会等名 第45回日本神経科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Masamune Tamura, Hajime Mushiake, Kazuhiro Sakamoto
2. 発表標題 A Reinforcement Learning Model with Dynamic State Space Reproduces Functional Differentiation of the Higher Motor Cortices
3. 学会等名 第45回日本神経科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hidenori Watanabe, Kazutaka Takahashi, Kobayashi Kobayashi, Nicholas G, Hatsopoulos, Hajime Mushiake
2. 発表標題 Phase modulations of the oscillation by optogenetic activations in the monkey primary motor cortex coupled with visual stimulus
3. 学会等名 第45回日本神経科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Awan Muhammad Ali Haider, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka
2. 発表標題 Role of Medial Areas in Tactics-selectivity.
3. 学会等名 ENCODS 2021,UK (Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Awan Muhammad Ali Haider, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka
2. 発表標題 Role of medial prefrontal areas in sensorimotor transformation
3. 学会等名 日本神経科学会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Awan Muhammad Ali Haider, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka
2. 発表標題 Comparison of prefrontal and premotor areas for behavioral factors in two-choice arm reaching task
3. 学会等名 Society for Neuroscience 2021,Chicago (Online) 8-11 Nov 2021 2021年11月11日 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Awan Muhammad Ali Haider, Hajime Mushiake, Yoshiya Matsuzaka
2. 発表標題 Task-dependent neural representation of behavioral factors in primate medial prefrontal cortex.
3. 学会等名 日本生理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hidenori Watanabe, Kazutaka Takahashi, Kenta Kobayashi, Nicholas G. Hatsopoulos, Hajime Mushiake
2. 発表標題 3D microelectrode array with optical stimulation for modulating neural network dynamics in the monkey motor cortex during a reaching task
3. 学会等名 第99回日本生理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Kajita, Yuki Fukuda, Riho Kawamatsu, Takanori Oyanagi, Hajime Mushiake
2. 発表標題 The increase of GAD65 expression by PTZ stimulations occurs specifically in SOM-positive interneurons
3. 学会等名 第99回日本生理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 虫明 元
2. 発表標題 前頭葉における行動制御
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会 2020年12月2日(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小山内実, 虫明元
2. 発表標題 部分と全体学で中枢神経系の構造-機能関連の解明に挑む
3. 学会等名 第98回日本生理学会 2021年3月28日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本一寛, 齊藤尚弘, 吉田隼, 虫明元
2. 発表標題 前頭前野の軸符号化細胞の活動はシーケンスカテゴリーによっても変調される
3. 学会等名 東北生理談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 冬雨, 大城朝一, 虫明元
2. 発表標題 グルタミン酸デカルボキシラーゼGAD67遺伝子を欠損したラットの神経学的解析
3. 学会等名 東北生理談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田湧希, 大柳貴紀, 川村里穂, 阿部聡太, 梶田裕貴, 虫明元
2. 発表標題 てんかんモデルラットにおけるGABA合成酵素の発現量の変化
3. 学会等名 東北生理談話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. TAKAHASHI, H. WATANABE, M. MAKITANI, H. MUSHIAKE
2. 発表標題 Sensorimotor integration for cued reaching movements through multiple bands of cortical oscillations from the motor and somatosensory cortices
3. 学会等名 SFN2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. WATANABE, K. TAKAHASHI, H. MUSHIAKE
2. 発表標題 Three dimensional dynamics of oscillation phase in the monkey motor cortex during a reaching task
3. 学会等名 SFN2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. H. AWAN, H. MUSHIAKE, Y. MATSUZAKA
2. 発表標題 Neural substrate underlying the selection of behavioral tactics to transform sensory information into action: A comparative study of primate medial frontal areas
3. 学会等名 SFN2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大城 朝一, 虫明
2. 発表標題 ヒスタミンとCGRPによる脳血流循環の制御とinfra-slow oscillation リズムとの関係
3. 学会等名 第42回日本神経科学会 新潟
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梶田 裕貴, 福田, 湧希, 大柳, 貴紀, 虫明 元
2. 発表標題 正常及び癲癇原性獲得後の海馬介在神経細胞サブタイプ間におけるGAD65の発現
3. 学会等名 第42回日本神経科学会 新潟
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 一寛, 斎藤, 尚宏, 吉田, 隼 虫明 元
2. 発表標題 経路探索課題遂行中のサル前頭前野の軸符号化細胞の発見
3. 学会等名 第42回日本神経科学会 新潟
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 権 秀珍, 阿部, 欣史, 虫明, 元, 田中 謙二
2. 発表標題 オプトジェネティクスによる脳血管壁細胞の操作は、局所脳血流変動を引き起こす
3. 学会等名 第42回日本神経科学会 新潟
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 虫明 元
2. 発表標題 多様なコミュニケーションを支える 脳のネットワークと人のネットワーク
3. 学会等名 認知症三昧! 山口塾2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 カンデル 翻訳 (第34章 随意運動: 運動野 虫明元)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 メディカル・サイエンス・インターナショナル	5. 総ページ数 1704
3. 書名 カンデル神経科学	

1. 著者名 先端モデル動物支援プラットフォーム (AdAMS)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 320
3. 書名 マウス・ラットモデル作製・解析プロフェッショナル	

1. 著者名 虫明 元、市川 眞澄	4. 発行年 2019年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 274
3. 書名 前頭葉のしくみ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東北大学大学院医学系研究科 生体システム生理学 http://www.neurophysiology.med.tohoku.ac.jp/ 東北大学 生体システム生理学 http://www.neurophysiology.med.tohoku.ac.jp/ 東北大学大学院医学系研究科 生体システム生理学 http://www.neurophysiology.med.tohoku.ac.jp/ 東北大学 生体システム生理学分野 http://www.neurophysiology.med.tohoku.ac.jp/</p>

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
---------	---------