

科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」 研究概要

〔令和5年度事後評価用〕

令和5年6月30日現在

機関番号：14401

領域設定期間：平成30年～令和4年

領域番号：8002

研究領域名（和文） 時間生成学—時を生み出すところの仕組み

研究領域名（英文） Chronogenesis: How the Mind Generates Time

領域代表者

北澤 茂 (KITAZAWA Shigeru)

大阪大学・生命機能研究科・教授

研究者番号：00251231

交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,160,500,000円

研究成果の概要

我々は過去と現在と未来を区別しながら生きている。ヒトで特に発達したこの時間の意識—ところの時間—はどこからどのように生まれるのか。本領域は、「ところの時間学」領域を継承して発展させ、以下の5つの成果を挙げた。

1. 「ところの時間」の機能を発揮する人工神経回路を構築した。Chat-GPTにも使われているTransformerの構造を使い、時間関係や時間まつわる常識を判断する人工神経回路を構築し、Transformerと脳活動の関係を調査し、時間情報が脳のどこで表現されているかを確認する方法を確立した。
2. 様々な「時間地図」の機能と成因を明らかにした。具体的な成果としては、(1)楔前部に現在が表現されていること、(2)楔前部と海馬の結合による過去の生成、(3)時間が一方向に流れる信念の神経基盤（右大脳-左小脳）、(4)リズム知覚とリズム運動における小脳の役割、(4)時間長の知覚地図の存在（右頭頂葉）、(5)齧歯類が数分レベルの認知課題を解く能力とその神経基盤、(6)海馬神経細胞における時間情報の表現などがある。
3. 「退屈な時間はなぜ苦痛なのか」などの日常の内観と神経活動の関係を明らかにして報告した。これには、(1)退屈な時間帯の嫌悪感とそれを回避する行動の神経基盤（島皮質）、(2)コロナ禍による時間知覚の影響、(3)時間の内観に関連した啓蒙書の出版などが含まれる。
4. 新たな「ところの時間」の操作法を開発した。これには、(1)脳内ヒスタミンを増加させる薬物による記憶想起の回復の機序の解明、(2)新しい頭蓋磁気刺激法の開発、(3)楔前部の静磁気刺激による記憶障害誘発、(4)パーキンソン病患者の時間認知障害の改善につながる計時トレーニング法の開発などがある。
5. ヒトとヒト以外の動物、成人と子供、の共通点と相違点を解明した。これには、(1)ヒトとチンパンジーの行動を同じ時間的特徴を組み込んだ強化学習モデルで説明した研究、(2)聴覚誘発電位の潜時が種によって違うことを明らかにした研究、(3)年代や性による作文データの時間的特徴の違いを明らかにした研究などが含まれる。

研究分野：哲学・言語学・情報学・工学・神経科学・脳神経外科学・心理学・神経学・比較行動学

キーワード：ところの時間

1. 研究開始当初の背景

我々は過去と現在と未来を区別しながら生きている。ヒトで特に発達したこの時間の意識—ところの時間—はどこからどのように生まれるのか。先行領域「ところの時間学」領域における5年間の学際研究は多数の優れた論文を生み出し、当初掲げた3大目標を達成する成果を挙げた。

- (1) 大脳皮質内側面に「未来—現在—一過去」の時間地図を描き出すことに成功した。
- (2) 実験動物研究で開発された「ところの時間」の操作法を臨床応用につなげた。
- (3) エピソード様記憶の系統発生と個体発生を明らかにした。

2. 研究の目的

しかし、地図は場所を示すだけで、背景にある情報処理の本質までは教えてくれない。そこで、我々は、ヒトとヒト以外の動物の脳を対象として神経活動の計測を行い、「未来—現在—過去」の区別と推移を知覚・識別する神経活動の実体を脳内で探索して明らかにすること、を本領域の目標として掲げた。先行領域の成果をふまえて、さらに一層の飛躍を図るために、新たに時間情報を生成する「人工神経回路」を構築して対照として用いる。比較を通じて(1)「時の流れ」の意識が生れる過程、(2)脳内の周期的な「時を刻む」活動が時間の意識や運動のリズムを生み出す過程、(3)発達や進化とともに「時を獲得する」過程、(4)病気に伴って「時を失う」過程、の4過程を神経回路のレベルまで掘り下げて明らかにする。以上を目的とした。

3. 研究の方法

目的を達成するために、本領域には5つの計画研究班を設けた。中心のA01「作る」班は、自然言語を入力として、記述されたイベントの時間順序を出力する人工神経回路を構築する。さらに、4つの学際的な計画研究班が(1)「時の流れ」の意識が生れる過程(B01)、(2)脳内の周期的な「時を刻む」活動が時間の意識や運動のリズムを生み出す過程(C01)、(3)発達や進化とともに「時を獲得する」過程(D01)、(4)病気に伴って「時を失う」過程(E01)、の4過程を神経回路のレベルまで掘り下げて明らかにする。



図1 研究5項目

4. 研究の成果

英語論文298報を始めとする成果を発信した。うち38報は、*Science* (2), *Nat Commun* (10), *Sci Adv* (5), *Nat Neurosci* (1), *Neuron* (1), *Nat Hum Behav* (1), *Curr Biol* (3), *eLife* (5), *PNAS* (6), *Cell Rep* (3), *Neurology* (1)等の「ハイインパクトジャーナル」に掲載された。以下、「領域終了時に期待される成果」(図2)として掲げた5項目に分けて、具体的に記載する。(1)「こころの時間」の機能を発揮する人工神経回路がTransformerの上に構築された。



図2 終了時に期待される5つの成果(目標)

A01「作る」班は、「こころの時間の機能」を發揮する人工神経回路を構築するという難題に取り組んで成功した。(1)日本語BERTをいち早く構築して公開した(浅原・加藤2020、言語処理学会賞)。Chat-GPTにも用いられているTransformerにいち早く着目して日本語化を行い、公開したことは自然言語処理の分野にも大きなインパクトを与えた。(2)BERTを使って、2つの文の間の時間関係や時間にまつわる常識を判断する人工神経回路の構築に成功した(Chengら2020, Kanashiroら2022)。Kanashiroらは国際コンペで1位を獲得した。(3)さらに、Transformerの「活動」と脳活動の関係を調べて、時間の情報が脳のどこで表現されているかを調べる手法を確立した(小林2023)。高次機能の神経モデルを人工的に作り出して脳機能研究に応用したという点で、ヒト高次脳機能研究全般に波及する成果となった。

(2) 様々な「時間地図」の機能と成因を明らかにした。

①楔前部に現在の座があることを日本語話者だけでなく中国語、英語話者でも示した(Tang et al., 2021, A01+B01)。②楔前部の現在の情報が海馬との強力な結合(Jitsuishi & Yamaguchi, 2023, B01)を通じて過去(記憶)生成に用いられるという仮説を静磁場刺激法で検証した(Yamazaki & Kitazawa, 2020, B01)。③時間が「一方向に流れる」、という信念に関しては、右大脳皮質と左小脳の予測ネットワークが関与していることを示唆した(Hanyu, 2022, B01)。④リズム知覚とリズム運動において小脳が周期的な事象の予測と運動タイミングの誤差検出に係ることを示した(Kameda et al., *PNAS* 2023; Okada et al., *Nat Commun* 2022, C01)。⑤時間長の知覚地図が右頭頂葉にあることを示した(Hayashi & Ivry, 2020, C01)。Nature誌を初め広く報道された。⑥齧歯目が数分レベルの認知課題を解くことができることを証明し、神経基盤の一端を海馬で明らかにした(Shikano et al, *Curr Biol* 2021, E01)。⑦海馬の神経細胞において、時間情報は空間情報と近いメカニズムを用いて表現されていることを解明した(Shimbo et al., *Sci Adv* 2021, E01)。

(3) 「退屈な時間はなぜ苦痛なのか」などの日常の内観と神経活動の関係を明らかにした。

①退屈な時間帯は嫌悪的であり、これを回避しようと積極的な行動をとることを齧歯目で確認した。こうした行動には島皮質が関与することが明らかとなった (Yawata et al., *Nat Commun* 2023, E01) ② コロナ禍による生活の変化が時間知覚に及ぼす影響を大規模な国際共同研究で調べた (Chaumon et al., *Nat Hum Behav*, 2022, C01)。③ 時間の内観に関連した啓蒙書を出版し (青山『心にとって時間とは何か』2019, A01; 平田と嶋田『時間はなぜあるのか? チンパンジー学者と言語学者の探検』2022, A01+D01; 村上訳『脳と時間: 神経科学と物理学で解き明かす〈時間〉の謎』2018; C01)、またテレビ番組 (NHK ヒューマニエンス、コズミックフロント等) を通じて解説した (北澤 2022, 2023, B01; 平田・伊藤 2023, D01)。

(4) 新たなこころの時間の操作法を開発した。

① 脳内ヒスタミンを増加させる薬物によって過去の記憶想起を回復させることをこれまでに明らかにしてきたが、同種の薬物が大脳皮質の神経活動をどのように調節するかを解明した (Hirano et al., 2022, E01)。② 頭蓋磁気刺激の新しい手法を開発して、行動課題への影響を検討した (Kimura et al., *Brain Stimul*, 2022, C01)。③ 楔前部の静磁気刺激で5秒前の風景の記憶が著しく障害されることを示した (Yamazaki, Kitazawa, 2020, B01)。④ パーキンソン病患者では時間計測のトレーニングが時間認知障害の改善につながる可能性を示した (Honma et al. 2021, E01)。

(5) ヒトとヒト以外の動物、成人と子供、の共通点と相違点を解明した。

① ヒトを対象に設計された時間的特徴を組み込んだ強化学習モデルを用いてチンパンジーの認知課題の振る舞いを説明できる (Sato et al., 2021; 2023) 一方で、ヒト、チンパンジー、各種サル類、ウマにおいて聴覚誘発電位の潜時に顕著な違いが見られることも明らかとなった (Itoh et al., 2022, E01)。② 年代を越えて収集した作文データを心理学的、あるいは計量言語学的な視点から分析することにより、年代や性による時間的な特徴の違いを明らかにした (上原 2020, 浅原ら 2023, D01+A01)。

5. 主な発表論文等 (受賞等を含む)

【A01】「作る」班

*浅原 正幸・川崎 采香・上原 泉・酒井 裕・谷口 巴・小林 一郎・越智 綾子・鈴木 彩香, 「過去」「未来」を主題とする作文の分析, 計量国語学, 34巻1号, (印刷中) (A01+D01)

*小林一郎. ヒト脳における時間認識時の脳内状態推定. *Clin Neurosci*, 41(8), 4p. (印刷中).

*Shimada, T. Contact-induced grammar formation: A model from a study on Hiberno-English. *Front Commun*, DOI 10.3389/fcomm.2022.832128 (2022).

Kaji, H., Sasaki, F. & *Shimada, T. A contrastive study of basic terms of temporality and semantic change: Towards a lexical typology of time. *LACUS forum* 46: 3, 41-56 (2022).

平田聡・嶋田珠巳『時間はなぜあるのか? チンパンジー学者と言語学者の探検』ミネルヴァ書房, 2022.(A01, D01 の共同研究)

嶋田珠巳・鍛冶広真 編著『時間と言語』三省堂, 2021.

青山拓央『心にとって時間とは何か』, 講談社, 2019.

Yoshimoto, K., Tabolt, J., Zhou, Z. Kaji, H. & Shimada, T. The Discourse Function of Aspect in Japanese. *Proc 19th Internat Workshop of Logic and Eng Nat Lang Semantics* 19, 98-102. (2022).

* Kanashiro Pereira, L., Duh, K., Cheng, F., Asahara, M. & Kobayashi, I. Attention-Focused Adversarial Training for Robust Temporal Reasoning. The Eur Lang Res Association 2022, Marseille, France, Jun.20-25, (2022).

*Cheng, F., Asahara, M., Kobayashi, I., Kurohashi, S. Dynamically updating event representations for temporal relation classification with multi-category learning. *EMNLP (Findings)* 1352-1357, (2020).

浅原正幸, 加藤 祥. BERTed-BCCWJ: 多層文脈化単語埋め込み情報を付与した『現代日本語書き言葉均衡コーパス』データ. 言語処理学会第26回年次大会, (2020).

【B01】「流れる」班

Hanyu, N., Watanabe, K. & *Kitazawa, S. Ready to detect a reversal of time's arrow: a psychophysical study using short video clips in daily scenes. *R Soc Open Sci* **10**, 230036 (2023).

Moharramipour, A., Takahashi, T. & *Kitazawa, S. Distinctive modes of cortical communications in tactile temporal order judgment. *Cereb Cortex* **33**, 2982-2996 (2023).

Tang, L., Takahashi, T., Shimada, T., Komachi, M., Imanishi, N., Nishiyama, Y., . . . Kitazawa, S. Neural correlates of temporal presentness in the precuneus: A cross-linguistic fMRI study based on speech stimuli. *Cereb Cortex* **31**, 1538-1552 (2021). (A01, B01 の共同研究)

Nakai, T., *Nishimoto, S. Quantitative models reveal the organization of diverse cognitive functions in the brain. *Nat Commun* **11**, 1142, (2020).

Yamazaki, Y. & *Kitazawa, S. Transcranial static magnetic stimulation of the precuneus erases short-term scene memories. *SSRN Electronic Journal* doi:10.2139/ssrn.3741228, (2020).

*Yanagisawa, T., Fukuma, R., (他4名), Kishima, H., Kamitani, Y., Saitoh, Y. BCI training to move a virtual hand reduces phantom limb pain: A randomized crossover trial. *Neurology* **95**, e417-e426 (2020).

Aoe, J., Fukuma, T., *Yanagisawa, T., (他5名), Onishi, Y., Kishima, H., Automatic diagnosis of neurological diseases using MEG signals with a deep neural network. *Sci Rep* **9**(1):5057, (2019).

- Jitsuishi, T. & *Yamaguchi, A. Characteristic cortico-cortical connection profile of human precuneus revealed by probabilistic tractography. *Sci Rep* 13, 1936 (2023).
- Kojima, H. & Ikegami, T. Organization of a Latent Space structure in VAE/GAN trained by navigation data. *Neural Netw* 152, 234-243 (2022).
- 【C01】「刻む」班**
- *Nakada, H., Murakami, I. Local motion signals silence the perceptual solution of global apparent motion. *J Vision*, (in press).
- *Kameda, M., Niikawa, K., Uematsu, A., *Tanaka, M. Sensory and motor representations of internalized rhythms in the cerebellum and basal ganglia. *PNAS*, 120, e2221641120, (2023).
- *Fiscaro F, (4 名), Ferri R, Terao Y, Ugawa Y, Pennisi M. The supporting (sometimes decisive!) role of transcranial magnetic stimulation in forensic medicine. *Brain Stimul*, S1935-861X(23)01679-0, (2023).
- Honma M, Sasaki F, (5 名), Iwamuro H, Shimo Y, Oyama G, Hattori N, *Terao Y. Role of the subthalamic nucleus in perceiving and estimating the passage of time. *Frontier Aging Neurosci*, 15:1090052, (2023).
- Okada, K-I., Takeya, R., *Tanaka, M. Neural signals regulating motor synchronization in the primate deep cerebellar nuclei. *Nat Commun*, 13, 2504, (2022).
- Kimura, I., Ugawa, Y., Hayashi, M., *Amano, K. Quadripulse Stimulation: A Replication Study with A Newly Developed Stimulator, *Brain Stimulat*, 15(3), 579-581, (2022).
- *Terao, Y., Honma, M., Asahara, Y., Tokushige, S.I., Furubayashi, T., (他 4 名), Ichikawa, Y., Chiba, A., Ugawa, Y., Suzuki, M. Time distortion in parkinsonism. *Front Neurosci*, 15, 64881. (2021).
- *Kunimatsu, J., Suzuki, T.W., Ohmae, S., *Tanaka, M. Different contributions of preparatory activity in the basal ganglia and cerebellum for self-timing. *eLife*, 7, e35676, (2018).
- Masuda, K., Kon, N., Iizuka, K., Fukada, Y., *Sakurai, T., *Hirano, A. Singularity response reveals entrainment properties in mammalian circadian clock. *Nat Commun*, (in press).
- *Cazettes, F., Mazzucato, L., Murakami, M., Morais, J. P., Augusto, E., *Renart, A., *Mainen, Z. F. A repertoire of foraging decision variables in the mouse brain. *Nat Neurosci*, (accepted) (2023).
- *Ono, D., (4 名), Yamanaka, A., Li, Y., and Sugiyama, T. Network-driven intracellular cAMP coordinates circadian rhythm in the suprachiasmatic nucleus. *Sci Adv*, 9(1), DOI: 10.1126/sciadv.abq7032 (2023).
- Chaumon M, Rioux PA, Herbst SK, (25 名), Yotsumoto Y, Vatakis A, Balci F, *van Wassenhove V. The Blursday database as a resource to study subjective temporalities during COVID-19. *Nat Hum Behav*, 6, 1587-1599, (2022).
- Recanatesi, S., Pereira-Obilinovic, U., Murakami, M., *Mainen, Z., *Mazzucato, L. Metastable attractors explain the variable timing of stable behavioral action sequences. *Neuron*, 110(1), 139-153, (2022).
- *Takei T, Lomber SG, Cook DJ, Scott SH. Transient deactivation of dorsal premotor cortex or parietal area 5 impairs feedback control of the limb in macaques. *Curr Biol*, 31, 1476-1487, (2021).
- Kolarski, D., Miró-Vinyals, C., Sugiyama, A., (1 名), Ono, D., (5 名), Hirota, H., and Feringa, L. B. Reversible modulation of circadian time with chronopharmacology. *Nat Commun* 12, 3164, (2021).
- Okamoto, K., Ebina, T., Fuji, N., Konishi, K., Sato, Y., Kashima, T., Nakano, R., Hioki, H., Takeuchi, H., Yumoto, J., Matsuzaki, M., and *Ikegaya, Y. TB³⁺-doped fluorescent glass for biology. *Sci Adv*, 7, eabd2529, (2021).
- *Hayashi, M.J., Ivry, R.B. Duration selectivity in right parietal cortex reflects the subjective experience of time. *J Neurosci*, 40(40), 7749-7758, (2020).
- Ebina, T., Obara, K., (8 名), Yamamori, T., and *Matsuzaki, M. Arm movements induced by non-invasive optogenetic stimulation of the motor cortex in the common marmoset. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116, 22844-50, (2019).
- Buonomano, D. 著 村上郁也 訳. 脳と時間: 神経科学と物理学で解き明かす〈時間〉の謎. 336p, 東京: 森北出版 (2018)
- 【D01】「獲得する」班**
- * Sato, Y., Sakai, Y., Hirata, S. State-transition-free reinforcement learning in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Learn Behav* (2023).
- Sakai, Y., Sakai, Y., (2 名), & *Tanaka, S.C. Memory trace imbalance in reinforcement and punishment systems can reinforce implicit choices leading to obsessive-compulsive behavior. *Cell reports* 40(9) 111275 (2022).
- *Uehara, I. Changes in children's episodic narratives through long-term repeated recall: Longitudinal case studies. *Jap. Psychol. Res.*, 63, 250-264, (2021).
- *Hanazuka, Y., Futamura, A., Hirata, S., Midorikawa, A., Ono, K., Kawamura, M. The eyes are more eloquent than words: anticipatory looking as an index of event memory in Alzheimer's disease. *Front. Neurol.*, 12, 642464, (2021).
- *Sato, Y., Kitazaki, M., Itakura, S., (2 名), Tomonaga, M., Hirata, S. Great apes' understanding of biomechanics: eye-tracking experiments using three-dimensional computer-generated animations. *Primates*, 62, 735-747, (2021).
- *Sato, Y., Sakai, Y., Hirata, S. Computerized intertemporal choice task in chimpanzees (*Pan troglodytes*) with/without postreward delay. *J. Com. Psychol.*, 135, 185-195, (2021).
- *Hirata, S., Betsuyaku, T., Fujita, K., Nakano, T., Ikegaya, Y. Phylogeny and ontogeny of mental time. *Neurosci. Res.*, 170: 13-17, (2021). (B01, D01, E01 班の共同研究)
- *上原泉. 幼児期のエピソード記憶調査内の発話における過去形や時に関する言葉の使用. *お茶の水女子大学人文科学研究*, 16, 251-263, (2020).
- *Kawasaki, A., Uehara, I. Cultural life scripts of Japanese adolescents. *Appl. Cogn. Psychol.*, 34, 357-371, (2020).

- *Kano, F., Krupenye, C., Hirata, S., Tomonaga, M., Call, J. Great apes use self-experience to anticipate an agent's action in a false belief test. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116, 20904–20909, (2019).
- *Hashimoto T., Yokota S., Umeda S., Kawashima R. Dynamic functional connectivity associated with prospective memory success in children. *Neuroimage Rep* 2, 144, (2022).
- *Itoh, K., Konoike, N., Nejime, M., Iwaoki, H., Igarashi., H, Hirata, S., Nakamura, K. Cerebral cortical processing time is elongated in human brain evolution. *Sci. Rep.*, 12, 1103, (2022).
- *Doi, H., Iijima, N., (6名), Tsuji, T. Prediction of autistic tendencies at 18 months of age via markerless video analysis of spontaneous body movements in 4-month-old infants *Sci. Rep.*, 12, 18045, (2022).
- 【E01】「失う」班**
- Yawata, Y., Shikano, Y., Ogasawara, J., Makino, K., Kashima, T., Ihara, K., (3名), S., Tanaka, K.F., *Ikegaya, Y. Mesolimbic dopamine release precedes actively sought aversive stimuli. *Nat. Commun.*, 14:2433, 2023.
- Kuga, N., Nakayama, R., Morikawa, S., Yagishita, H., Konno, D., Shiozaki, H., Honjyo N., Ikegaya, Y., *Sasaki, T., Hippocampal sharp wave ripples underlie stress susceptibility in male mice. *Nat. Commun.*, in press.
- Kuga, N., Abe, R., Takano, K., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prefrontal-amygdalar oscillations related to social behavior in mice. *eLife*, 11:e78428, 2022.
- Noguchi, A., Huszár, R., Morikawa, S., Buzsáki, G., *Ikegaya, Y. Inhibition allocates spikes during hippocampal ripples. *Nat. Commun.*, 13:1280, 2022.
- Nishimura, Y., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prefrontal synaptic activation during hippocampal memory reactivation. *Cell Rep.*, 34:108885, 2021.
- Shikano, Y., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Minute-encoding neurons in hippocampal-striatal circuits. *Curr. Biol.*, 31:1–12, 2021.
- Okamoto, K., Ebina, T., Fujii, N., Konishi, K., (3名), Hioki, H., Takeuchi, H., Yumoto, J., Matsuzaki, M., *Ikegaya, Y. Tb³⁺-doped fluorescent glass for biology. *Sci. Adv.*, 7:eabd2529, 2021.
- Igata, H., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Prioritized experience replays on a hippocampal predictive map for learning. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 118:e2011266118, 2021.
- Miyawaki, T., Morikawa, S., (4名), Ueda, H. R., *Ikegaya, Y. Visualization and molecular characterization of whole-brain vascular networks with capillary resolution. *Nat. Commun.*, 11:1104, 2020.
- Ishikawa, T., *Ikegaya, Y. Locally sequential synaptic reactivation during hippocampal ripples. *Sci. Adv.*, 6:eaay1492, 2020.
- *Ikegaya, Y., Matsumoto, N. Spikes in the sleeping brain. *Science*, 366:306-307, 2019.
- Nakashima, A., Ihara, N., Shigeta, M., Kiyonari, H., Ikegaya, Y., *Takeuchi, H. Structured spike series specify gene expression patterns for olfactory circuit formation. *Science*, 365:eaaw5030, 2019. recommended in F1000 prime.
- *Nomura, H., Mizuta, H., Norimoto, H., (16名), Takahashi, H., Ikegaya, Y. Central histamine boosts perirhinal cortex activity and restores forgotten object memories. *Biol. Psychiat.*, 86: 230-239, 2019.
- Aoki, Y., Igata, H., Ikegaya, Y., *Sasaki, T. Integration of goal-directed signals onto spatial maps of hippocampal place cells. *Cell Rep.*, 27:1516-1527, 2019.
- Sakaguchi, T., Iwasaki, S., Okada, M., Okamoto, K., *Ikegaya, Y. Ethanol facilitates socially-evoked memory recall in mice by recruiting pain-sensitive anterior cingulate cortical neurons. *Nat. Commun.*, 9:3526, 2018.
- Shimbo, A., Izawa, E.I., & *Fujisawa, S. Scalable representation of time in the hippocampus. *Sci. Adv.* 7:eabd7013, 2021.
- Masuda, A.*, Sano, C., Zhang, Q., Goto, H., McHugh, T.J., Fujisawa, S., *Itoharu, S. The hippocampus encodes delay and value information during delay-discounting decision making. *eLife*, 9:e52466, 2020.
- *Shinagawa, K., Itagaki, Y., Umeda, S. Coexistence of thought types as an attentional state during a sustained attention task. *Sci Rep*, 13:1581, 2023.
- Honma, M., Murakami, H., Yabe, Y., Kuroda, T., Futamura, A., Sugimoto, A., Terao, Y., Masaoka, Y., Izumizaki, M., Kawamura, M., Ono, K. Stopwatch training improves cognitive functions in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neuroscience Research*, 99, 1325-36, 2021.
- Honma, M., Itoi, C., Midorikawa, M., Terao, Y., Masaoka, Y., Kuroda, T., Futamura, A., Shiromaru, A., Ohta, H., Kato, N., Kawamura, M., & Ono, K. Contraction of distance and duration production in autism spectrum disorder. *Scientific Reports*, 9 (1), 8806, 2019.
- Watanabe, K., Masaoka, Y., Kawamura, M., Yoshida, M., Koiwa, N., Yoshikawa, A., Kubota, S., Ida, M., Ono, K., Izumizaki, M. Left posterior orbitofrontal cortex is associated with odor-induced autobiographical memory: an fMRI study. *Frontiers in psychology*, 9, 687, 2018.
- Takahashi M T, *Hirano A., (6名), Yanagisawa M, Tokuda T, *Sakurai T. Optogenetic Induction of Hibernation-like state with modified Human Opsin4 in Mice. *Cell Reports Methods*, 2, 100336, (2022).
- Hirano K, Morishita Y, Minami M, *Nomura H. The impact of pitolisant, an H3 receptor antagonist/inverse agonist, on perirhinal cortex activity in individual neuron and neuronal population levels. *Sci Rep*.12:70152022
- *Yamada, K. & *Toda, K. (2022). Pupillary dynamics of mice performing a Pavlovian delay conditioning task reflect reward predictive signals. *Front Sys Neurosci*, 16:1045764.
- Kaneko, S. †, Niki, Y., Yamada, K., Nasukawa, D., Ujihara, Y. & *Toda, K. (2022). Systemic injection of nicotinic acetylcholine receptor antagonist mecamylamine affects licking, eyelid size, locomotor and autonomic activities but not temporal prediction in mice. *Mol Brain*, 15, 77.
- ホームページ等 <https://www.chronogenesis.org/>