

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4年度事後評価用〕

令和4年6月30日現在

機関番号：12601

領域設定期間：平成29年度～令和3年度

領域番号：4905

研究領域名（和文）脳情報動態を規定する多領域連関と並列処理

研究領域名（英文）Brain information dynamics underlying multi-area
interconnectivity and parallel processing

領域代表者

尾藤 晴彦 (BITO Haruhiko)

東京大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号：00291964

交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,235,600,000円

研究成果の概要

脳情報動態の生命情報工学的構造を解明する新しい学問的基盤「脳情報動態学」を確立するため、以下のような研究を実施した。

研究項目 A01 脳情報解読

報酬獲得行動、運動実行時における前頭皮質と、基底核/小脳から視床を介した活動を2光子イメージングを使って計測し情報量を定量することに成功した（松崎班）。また、視床から前頭皮質へのシナプス結合の選択性・改変ルールと前頭皮質標準回路の再帰・階層性を光顕・電顕相関法によって明らかにした。これらの情報計測と構造設計図をもとに、ベイズ画像処理手法・デコーダモデル等を開発して神経細胞レベルで計算機上に情報動態を実時間実現する多階層・多領域モデリングおよびシミュレーションを実施し、脳情報動態の解読と統合理論化を推進した。

研究項目 A02 脳情報計測

世界最高性能の新型神経活動分子センサーを作出し、RGB多重化計測法に成功し、興奮性・抑制性細胞の活動バランス、ならびに領域を超えたシナプス伝達の直接計測を多領域で並列的に実行するツールキットを開発した。さらに安定的な記憶を生み出す脳情報を担う細胞集団活動の可視化・操作によって、海馬と前頭前野が織りなす活動連関と並列処理の動態を明らかにした。2光子顕微鏡、光遺伝学などの最新テクノロジーを駆使・開発して、マウス大脳-小脳間の機能的結合を網羅的に計測した。認知・運動課題実行中の小脳における細胞集団の協調による情報の符号化を明らかにし、内部モデル獲得メカニズムと情報動態の細胞レベルでの理解に迫った。

研究項目 A03 脳情報ネットワーク構築

超高磁場fMRIとMEGを用いてヒト意思決定における脳情報動態をネットワーク機能および前頭葉の層別情報処理のレベルで明らかにすることに成功した。同時に、その脳情報動態の計算的意義を明らかにする為に前頭葉領域の層間および領域間の相互作用に関する計算モデルを構築し、構築した計算モデルを他者の推論内容や情動状態に基づく行動選択の解明に応用した。脳の多領域間ループ構造・連関機構に学んだ非同期並列情報処理アーキテクチャを考案し、計算機上に実装、実証する試みを開始した。またA01-A02班の解剖学的・生理学学的精密データ取得の成果を実際の多領域間投射結合・ループ構造モデルに適用出来るような脳参照アーキテクチャーを理論化・創出し、汎用人工知能を開発する方法論標準化を具現化した。

これらの成果により、我が国の脳科学の抜本的発展とライフサイエンス・情報科学全般との融合が推進され、脳神経医学の水準向上・強化にもおおいつながると考えられる。

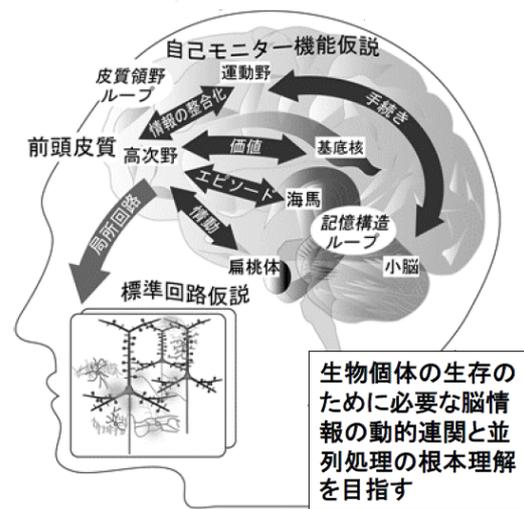
研究分野： 神経科学一般、基盤・社会脳科学

キーワード： 脳・神経、神経科学、情報工学

1. 研究開始当初の背景

脳は、外界の情報を感覚入力により取得し、4D マルチモーダルな膨大な情報を、各脳領域で処理しつつ、適切に層・領域間で転送・並列処理していくことにより、圧縮・貯蔵していく。例えば、知性のプロトタイプとも言える脳高次機能の一つである自己モニター機能（動物が目標を探索・選択して行動までに至る過程で、自己出力によって起こる結果を様々な記憶に基づき予測して、それを修正する操作）は、多様な前頭皮質内、および内外の多くの領野を巻き込む回路・ループ構造により成立すると考えられている（図1）。このような「脳情報動態」の実体を、先端的記録・操作技術により解明・再現し、記憶・予測・判断に基づく行動原理を情報フローの動態の観点から明らかにすることは、今日の神経生物学・光遺伝学の中心課題である。本研究では、徒にデータ駆動型のビッグサイエンスに陥ることなく、1) 脳内の情報フローを規定する局所細胞構築に関する適切なモデル設定、2) 脳領域間ネットワークダイナミクスの高分解能記録・操作、3) 各種回路ループ構造の再現をも視野に入れたモデル・情報処理理論の構築と検証、を包含する新たな分野横断型研究領域を創出し、脳情報動態の生命情報工学的構造を解明する新しい学問的基盤「脳情報動態学」を確立することを構想した。

図1 多領野の連関と並列処理の重要性



2. 研究の目的

本領域の目的は、神経生物学・光遺伝学・生体情報工学の融合に基づく分野横断型アプローチにより、脳情報動態の生命工学的構造を解明する新しい学問的基盤を確立することにある。

3. 研究の方法

脳情報動態学の創成を実現するための計画研究と公募研究を束ねるフレームワークを総括班の下、実現する。特に、計画研究においては、これから5年間で最も進展すると期待される感覚運動情報の統合や記憶学習に伴う情報の転送と創発、さらに情動・記憶・推論の統合などの「部分問題」を抽出し、高品質なデータ取得・緻密な解析・モデル化を実現する。これにより、未開拓の脳型情報処理機構解読へ将来たどり着く最短ルートを創造する。さらに総括班においては、これを支援するための枠組み形成を担当する。

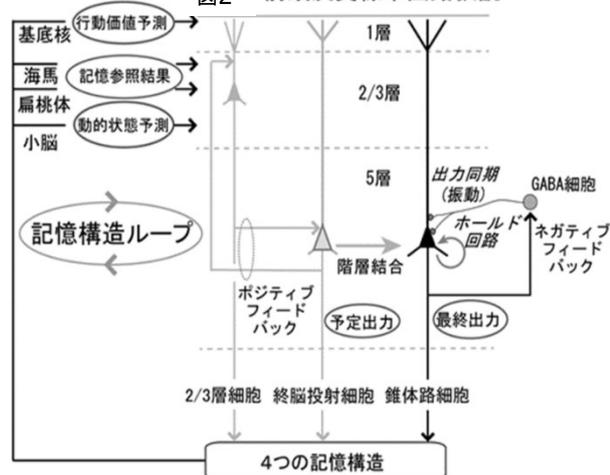
上記課題の解決のため、以下のような研究項目を設定し、それぞれ得意分野に即して明確なテーマで相互連携をとれる研究者群を配置し、mission critical な技術要素を開発・進化できる研究者同士の協働を推進する。

A01 脳情報動態の情報フローを制御する細胞機能構築原理の解読（脳情報解読）

情報の受け渡しとその計算という意味で、非常に重要な領域間結合は、前頭皮質と記憶に関係する4つの脳構造、扁桃体（情動記憶）、海馬（エピソード記憶）、小脳（手続き記憶）、基底核（価値記憶）である。高度な脳機能は、これら4つの前頭皮質・記憶構造ループの情報操作によって実現されると考え、各ループ・投射方向・局所領域内で別個の情報変容が起こることを川口らは提唱してきた（前頭皮質標準回路仮説、図2）。これを実証的に研究するためには、解剖学的・生理学的な裏付けが伴う、適切な神経回路網モデルを見いだす必要があることを喝破し、運動野の層特異的な入出力関係の回路構造の実体を細胞レベルで解読することを、松崎らは世界で初めて実現した。このような大量の実計測データから意味のある回路情報のフローを抽出・解読するためには、情報学的基盤が不可欠となる。石井らは多くの生理学者との共同研究を通じ、回路入出力の特異性に立脚した情報解読を次々とこれまで成功させてきている。

細胞機能構築計測ならびに情報変容にともなう活動情報マッピングを包括的に実施・解析する情報パイプラインと情報フローを制御する細胞機能構築原理の解読アルゴリズムを実現する

図2 前頭皮質標準回路仮説



ことを目指す。

A02 脳情報動態の多領域連関と並列処理の計測・操作（脳情報計測）

前頭皮質と各領域間での情報転送による多領域連関と並列処理によってもたらされる情報変容を読み解くためには、1個1個の細胞や1領域の平均活動を見るだけでは不十分であり、多細胞、多投射、多領域ネットワークを高い時空間分解能で計測・操作することが必要となる。そのためには、細胞活動センサーの分子設計改良や、これらセンサーを活用した全光学的検索を実現する光学的計測システムの設計が喫緊の課題である。このような問題意識に基き、尾藤らは、ニューロンの神経生化学に立脚した新たな原理をカルシウムセンサー設計・最適化に導入し革新をもたらしつつある。一方、喜多村はTIRF顕微鏡による一分子測定、2光子顕微鏡とshadow patchによる脳神経細胞計測技術樹立など、多くの革新を先導してきた。

マウス脳での多領域間の全光学的な神経活動計測操作システムを実現する次世代脳情報動態解読システムを実現するための協働を推進し、記憶・情動・認知・行動に付随する多様な神経活動とその情報動態を多領域に亘り計測操作していく新規多重化プロービング・光学顕微鏡システムの創出を試みる。

A03 脳情報処理の動態モデル構築と応用（脳情報ネットワーク構築）

異なった情報が同一の領域でどのように統合されるのか、また同一の領域から異なった領域へそれぞれの領域に見合った信号をどのように変容させて転送するのか、そのとき記憶されていた情報はどのように変容するのか。脳活動の情報取得・解析プラットフォームが実現した上で、このような意味のある多領域連関や並列処理機構を発見するためには、その特徴的な関係性・因果性を新たな脳動態モデル・情報工学などを用いて抽出していく必要がある。春野は、ヒト脳機能的イメージング技術の空間解像能を極限まで高めることにより、前頭皮質内や皮質下領域との新たな情報フローを見出し、神経回路による情報処理モデルを次々と提唱してきている。また、高橋は、1細胞内の全代謝経路をモデル化するというE-Cellプロジェクトプロデューサーの一人であり、その成果に立脚して、現在Brain-inspired Computer Architecture (BriCA)を実現する努力を続けている。

局所細胞構築に基づく脳領域間ネットワーク操作や、BriCAの神経回路型デバイスへの実装による検証をも視野に、ヒト脳を中心とした脳情報フローの数理モデリングと脳の多領域間連関機構に学んだ非同期並列情報処理アーキテクチャの実現を先導し、新たな計算論的脳情報工学基盤を創出する。

4. 研究の成果

本領域では、日本が従来より得意としていた前頭皮質学・カルシウム計測学・細胞機能モデリングの学術的伝統に強く根ざし、システム神経科学・分子細胞神経科学・情報科学の分野における格段の発展と飛躍的展開を目指すものであった。「脳情報動態学」の成果により、以下のような革新的・創造的な研究を世界に先駆けて発表し、精密計測に基づく脳情報動態解明に根ざした新たな脳科学を先導してきた。

研究項目 A01 脳情報解読

報酬獲得行動、運動実行時における前頭皮質と、基底核/小脳から視床を介した活動を2光子イメージングを使って計測し情報量を定量することに成功した (*Neuron* 2018, *Nature Commun* 2018, *Cell Rep.* 2021)。また、視床から前頭皮質へのシナプス結合の選択性・改変ルールと前頭皮質標準回路の再帰・階層性などを光顕・電顕相関法によって明らかにした (*Cerebral Cortex* 2017; *Nature Comm.* 2018; *Front Neur. Circ* 2019; *Commun Biol* 2021)。これらの情報計測と構造設計図をもとに、ベイズ画像処理手法・デコーダモデル等を開発して神経細胞レベルで計算機上に情報動態を実時間実現する多階層・多領域モデリングおよびシミュレーションを実施し、脳情報動態の解読と統合理論化を目指した (*Sci Rep* 2018; *PLOS Comp Biol* 2018; *Commun. Biol* 2022)。スパコン京を用いた全小脳細胞ネットワークシミュレーションに成功した (*Front Neuroinf.* 2020; *Neurosci* 2021; *Front Cell Neurosci.* 2021)。多領域連関を明らかにするために用いた全脳蛍光イメージング法を改良し (*Nat Protoc* 2019)。海馬情報処理を大規模記録法により効率よく解明する新規手法を開発し、海馬台における特異的な情報処理 (*Science Adv.* 2021) を明らかにした。前障特異的にCre組換え酵素を発現するトランスジェニックマウスを作製し、前障神経細胞興奮が大脳皮質の広汎な領域かつ全層において持続的活動制御を引き起こすことを発見した (*Nature Neurosci.* 2020)。引き続き前障がストレス応答の連携ハブとして機能していることを証明した (*Science Adv.* 2022)。

研究項目 A02 脳情報計測

世界最高性能の新型神経活動分子センサーXCaMP を作出し、RGB 多重蛍光計測法に成功し、興奮性・抑制性細胞の活動抑制バランス、ならびに領域を超えたシナプス伝達の直接計測を多領域で並列的に実行するツールキットを開発した (*Cell* 2019, *Cell Rep Met* 2022; *Star Prot* 2022)。さらに安定的な記憶を生み出す脳情報を担う細胞集団活動の可視化・操作 (*Science* 2018; *Science* 2019) によって、海馬と前頭前野が織りなす活動連関と並列処理の動態を明らかにした (*Cell Rep* 2018)。2光子顕微鏡、光遺伝学などの最新テクノロジーを駆使・開発して (*Sci Rep* 2020; *Nat Neurosci* 2020)、マウス大脳-小脳間の機能的結合を網羅的に計測し、認知・運動課題実行中の小脳における細胞集団の協調による情報の符号化を明らかにし、内部モデル獲得メカニズムと情報動態の細胞レベルでの理解に迫った (*eLife* 2019)。経時的

活動依存的遺伝子発現細胞動態の観察技術による、海馬、視覚野、扁桃体の可塑性メカニズム探索に貢献した (*Mol. Psych* 2022)。大脳皮質形成過程での神経細胞とアストロサイトの数が適切な量比になるための制御メカニズムを解明し (*J Neurosci* 2019; *Science Adv.*2022)、多領野連関に関わる脳機能を防御するグリア細胞メカニズムを同定した (*eLife* 2018; *PNAS* 2019; *Nat Commun* 2020)。オレキシン神経に含まれるオレキシンとオレキシン以外の神経伝達物質の睡眠覚醒調節における役割を解明し (*eLife* 2019; *eLife* 2020)。また視床下部 MCH 神経細胞の睡眠時活動により、海馬記憶の忘却が制御されることを発見した (*Science* 2019)。

研究項目 A03 脳情報ネットワーク構築

超高磁場 fMRI と MEG を用いてヒト意思決定における脳情報動態をネットワーク機能および前頭葉の層別情報処理のレベルで明らかにすることに成功した (*Nat Hum Behav* 2017)。その脳情報動態の計算的意義を明らかにする為、前頭葉領域の層間、及び領域間相互作用に関する計算モデルを構築し (*J. Neurosci* 2019; *J Exp Psych Gen* 2020; *Hum Brain Map* 2022)、構築した計算モデルを他者の推論内容や情動状態に基づく行動選択の解明に応用した (*Nat Comm* 2019)。対連合記憶課題遂行中のサルの前頭葉 36 野と TE 野の 2 領域から同時記録を行い、視覚情報知覚時と長期記憶想起時において領域間情報動態が皮質層レベルで異なることを明らかにした (*Nat Commun* 2018)。サル・マウスの線条体尾状核 β 振動やドーパミン信号による固執・不安・価値判断における作用を解明しモデル化に貢献した (*Neuron* 2018; *Biol. Psych* 2020; *Nat Comm* 2022)。川口らによる大脳皮質への線条体投射回路図に基づき皮質への線条体投射のモデル化を行い (*Front. Neural Circ.* 2019)、報酬システム、依存症、不確実性における価値判断・意思決定について考察をおこなった (*Front Beh. Neurosci.* 2019; *Eur J. Neurosci.*2020)。脳の多領野間ループ構造・連関機構に学んだ非同期並列情報処理アーキテクチャを考案し、計算機上に実装、実証する試みを先導した (*Biologically Inspired Cognitive Architectures 2018 - Proceedings of the Ninth Annual Meeting of the BICA Society 2018*)。また A01-A02 班の解剖学的・生理学的精密データ取得の成果を実際の多領野間投射結合・ループ構造モデルに適用出来るような脳参照アーキテクチャーを理論化・創出し、汎用人工知能を開発する方法論標準化を具現化した (*Front Comp Neurosci.* 2020; *Neural Netw* 2021; *Neural Netw* 2022)。

5. 主な発表論文等

研究項目 A01 脳情報解読

Kobayashi T, Kuriyama R, *Yamazaki T. Testing an explicit method for multi-compartment neuron model simulation on a GPU. *Cognitive Computation*, 2022, in press.

Niu M, *Kasai A, (18 名省略), Okuno H, Yamanaka A, *Hashimoto H. Claustrum mediates bidirectional and reversible control of stress-induced anxiety responses. *Science Adv.* 8: eabi6375, 2022.

Fang L, (11 名省略), Kubota Y, (5 名省略), *Manor U. Deep learning-based point-scanning super-resolution imaging. *Nature Methods* 18:406–416, 2021.

*Kimura R, Yoshimura Y. The contribution of low contrast–preferring neurons to information representation in the primary visual cortex after learning *Science Adv.* 7: 48, eabj9976, 2021.

*Yamazaki T, Igarashi J, Yamaura H. Human-scale brain simulation via supercomputer: A case study on the cerebellum. *Neuroscience* 462, 235-246, 2021.

Kondo M, *Matsuzaki M. Neuronal representations of reward-predicting cues and outcome history with movement in the frontal cortex. *Cell Rep* 34: 108704, 2021.

Kuriyama R, Casellato C, D'Angelo E, *Yamazaki T. Real-Time Simulation of a Cerebellar Scaffold Model on Graphics Processing Units. *Front Cell Neurosci.* 15: 623552, 2021.

*Otsuka T, Kawaguchi Y. Pyramidal cell subtype-dependent cortical oscillatory activity regulates motor learning. *Commun. Biol.* 4: 495, 2021.

Hiramoto A, (6 名省略), *Nose A. Regulation of coordinated muscular relaxation in *Drosophila* larvae by a pattern-regulating intersegmental circuit. *Nature Commun.* 12, 2943, 2021.

Kitanishi T, Umaba R, *Mizuseki K. Robust information routing by dorsal subiculum neurons *Science Adv.* 7,11, eabf1913, 2021.

Narikiyo K, (5 名省略), Mori K, *Yoshihara Y. The claustrum coordinates cortical slow-wave activity. *Nature Neurosci.* 23, 741-753, 2020

Yamaura H, Igarashi I, *Yamazaki T. Simulation of a human-scale cerebellar network model on the K computer *Front. Neuroinform.* 14: 16, 2020.

Seiriki K, *Kasai A, (8 名省略), *Hashimoto H. Whole-brain block-face serial microscopy tomography at subcellular resolution using FAST. *Nature Protoc* 14: 1509-1529, 2019.

*Kohsaka H, (5 名省略), *Nose A. Regulation of forward and backward locomotion through intersegmental feedback circuits in *Drosophila* larvae. *Nature Commun.* 10:2654, 2019.

Terada SI, (3 名省略), *Matsuzaki M. Super-widefield 2-photon imaging with a micro-optical device moving in post-objective space. *Nature Commun* 9: 3550, 2018.

Tanaka YH, (3 名省略), Kawaguchi Y, *Matsuzaki M. Thalamocortical Axonal Activity in Motor Cortex Exhibits Layer-Specific Dynamics during Motor Learning. *Neuron* 100: 244-258, 2018.

Ebina T, (13 名省略), *Matsuzaki M. Two-photon imaging of neuronal activity in motor cortex of marmosets during upper-limb movement tasks. *Nat Commun* 9: 1879, 2018.

*Kubota Y, (8 名省略), Kawaguchi Y. A carbon nanotube tape for serial-section electron microscopy of brain ultrastructure. *Nature Commun* 9: 437, 2018.

研究項目 A02 脳情報計測

- Shinmyo Y, (15 名省略), *Kawasaki H. Localized astrogenesis regulates gyrification of the cerebral cortex. *Sci. Adv.* 8, eabi5209, 2022.
- Goto F, *Kiyama Y, Ogawa I, Okuno H, (5 名省略), Bito H, *Manabe T. Gastrin-releasing peptide regulates fear learning under stressed conditions via activation of the amygdalostratial transition area. *Mol Psychiatry*. 27: 1694-1703, 2022
- Sakamoto M, (9 名省略), Kitamura K, Fujii H, *Bito H. A Flp-dependent G-CaMP9a transgenic mouse for neuronal imaging in vivo. *Cell Rep Met.* 2: 100168, 2022.
- *Rupprecht P, (6 名省略), Hofer SB, Kitamura K, *Helmchen F, *Friedrich RW. A database and deep learning toolbox for noise-optimized, generalized spike inference from calcium imaging. *Nature Neurosci.* 24:1324-1337, 2021.
- Takakura M, Nakagawa R, Ota T, Kimura Y, Ng MY, Alia AG, Okuno H, *Hirano Y. Rpd3/CoRest-mediated activity-dependent transcription regulates the flexibility in memory updating in *Drosophila*. *Nature Commun.* 12: 628, 2021.
- *Hoang H, Lang EJ, Hirata Y, Tokuda IT, Aihara K, Toyama K, Kawato M, Schweighofer N. Electrical coupling controls dimensionality and chaotic firing of inferior olive neurons. *PLOS Comp. Biol.* 16: e1008075, 2020.
- Kawamoto N, Ito H, Tokuda IT, *Iwasaki H. Damped circadian oscillation in the absence of KaiA in *Synechococcus*. *Nature Commun.* 11: 2242, 2020.
- Matsumoto N, (2 名省略), *Kawasaki H. A discrete subtype of neural progenitor crucial for cortical folding in the gyrencephalic mammalian brain. *eLife* 9:e54873, 2020.
- *Oe Y, (8 名省略), *Hirase H. Distinct temporal integration of noradrenaline signaling by astrocytic second messengers during vigilance *Nature Commun.* 11: 471, 2020.
- Inoue M, Takeuchi A, Manita S, (20 名省略), Kitamura K, *Bito H. Rational Engineering of XCaMPs, a Multicolor GECI Suite for In Vivo Imaging of Complex Brain Circuit Dynamics. *Cell* 177: 1-15, 2019.
- Moda-Sava RN, (14 名省略), Deisseroth K, Bito H, Kasai H, *Liston C. Sustained rescue of prefrontal circuit dysfunction by antidepressant-induced spine formation. *Science* 364: eaat8078, 2019.
- Izawa S, (11 名省略), *Yamanaka A. REM sleep active MCH neurons are involved in forgetting hippocampus-dependent memories. *Science* 365: 1308-1313, 2019.
- Chowdhury S, (9 名省略), *Yamanaka A. Dissociating orexin-dependent and -independent functions of orexin neurons using novel Orexin-Flp knock-in mice. *eLife* : 8:e4492, 2019
- Tsutsumi S, Hidaka N, Isomura Y, Matsuzaki M, Sakimura K, *Kano M, *Kitamura K. Modular organization of cerebellar climbing fiber inputs during goal-directed behavior *eLife* 8: e47021, 2019.
- El-Boustani S, (3 名省略), Okuno H, Bito H, *Sur M. Locally coordinated synaptic plasticity of visual cortex neurons in vivo. *Science* 360: 1349-1354, 2018.

研究項目 A03 脳情報ネットワーク構築

- Mori K, *Haruno M. Resting functional connectivity of the left inferior frontal gyrus with the dorsomedial prefrontal cortex and temporoparietal junction reflects the social network size for active interactions. *Human Brain Mapp.* 43:2869-2879, 2022
- Taniguchi, A. A whole brain probabilistic generative model: Toward realizing cognitive architectures for developmental robots. *Neural Netw.* 150: 293-312, 2022.
- Bloem B, Huda R, Amemori K, (6 名省略) *Graybiel AM. Multiplexed action-outcome representation by striatal striosome-matrix compartments detected with a mouse cost-benefit foraging task. *Nature Commun.* 13: 1541, 2022
- *Taniguchi T, Yamakawa H, Nagai T, Doya K, Sakagami M, Suzuki M, Nakamura T, & Taniguchi A, Fukawa A, Yamakawa H. Hippocampal formation-inspired probabilistic generative model. *Neural Netw* 151:317-335, 2022.
- *Yamakawa H. The whole brain architecture approach: Accelerating the development of artificial general intelligence by referring to the brain *Neural Netw*: 144:478-495, 2021.
- Shimomura K, Kato A, *Morita K. Rigid reduced successor representation as a potential mechanism for addiction *Eur. J. Neurosci.* 53: 3768, 2021.
4. Yamakawa H. Revealing the computational meaning of neocortical interarea signals. *Front. Comput. Neurosci.* 14: 74, 2020.
- Ganesh G, Minamoto T, *Haruno M. Activity in the dorsal ACC causes deterioration of sequential motor performance due to anxiety. *Nature Commun.* 10:4287, 2019
- Tanaka T, Yamamoto T, *Haruno M. Brain response patterns to economic inequity predict present and future depression indices. *Nature Hum Behav* 1: 748-756, 2017.
- Suetani H. Multiple pattern generations and itinerant dynamics in reservoir computing. Proc. 28th Intl. Conference on Artificial Neural Networks (ICANN2019) 2019.
- Nishiyama M, *Matsui T, (2 名省略), *Ohki K. Cell-Type-Specific Thalamocortical Inputs Constrain Direction Map Formation in Visual Cortex. *Cell Rep* 26: 1082-1088.e3, 2019.
- Amemori K, (2 名省略), *Graybiel AM. Striatal microstimulation induces persistent and repetitive negative decision-making predicted by striatal beta-band oscillation. *Neuron* 99: 829-841, 2018.
- *Takeda M, (2 名省略), Miyashita Y. Dynamic laminar rerouting of inter-areal mnemonic signal by cognitive operations in primate temporal cortex. *Nature Commun.* 9: 4629, 2018.