

「脳神経マルチセルラバイオコンピューティング」

(領域番号 21B401)

令和3年度～令和5年度

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）

学術変革領域研究(B)

研究成果報告書

令和6年6月

領域代表者 山本 英明（東北大学・電気通信研究所・准教授）

## 1. 研究組織

領域代表者 山本 英明（東北大学・電気通信研究所・准教授）

（総括班）

研究代表者 山本 英明（東北大学・電気通信研究所・准教授）

研究分担者 香取 勇一（公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・教授 ※1）

研究分担者 松井 鉄平（同志社大学・大学院脳科学研究科・教授 ※2）

研究分担者 正水 芳人（同志社大学・大学院脳科学研究科・教授 ※3）

（A01 香取班）

研究代表者 香取 勇一（公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・教授 ※1）

研究分担者 徳田 慶太（順天堂大学・健康データサイエンス学部・講師 ※4）

研究分担者 保坂 亮介（芝浦工業大学・システム理工学部・准教授 ※5）

研究分担者 加藤 秀行（大分大学・理工学部・准教授 ※6）

研究協力者 藤原 直哉（東北大学・大学院情報科学研究科・准教授）

（A02 山本班）

研究代表者 山本 英明（東北大学・電気通信研究所・准教授）

研究分担者 谷井 孝至（早稲田大学・理工学術院・教授）

研究分担者 平野 愛弓（東北大学・電気通信研究所・教授）

研究協力者 佐藤 茂雄（東北大学・電気通信研究所・教授）

（A03 松井班）

研究代表者 松井 鉄平（同志社大学・大学院脳科学研究科・教授 ※2）

研究分担者 根東 覚（東京大学・ニューロインテリジェンス国際研究機構・特任准教授）

研究分担者 桂林 秀太郎（福岡大学・薬学部・教授）

研究協力者 林 健二（同志社大学・大学院脳科学研究科・准教授）

（A04 正水班）

研究代表者 正水 芳人（同志社大学・大学院脳科学研究科・教授 ※3）

研究分担者 神谷 温之（北海道大学・医学研究院・教授）

研究協力者 西村 周泰（同志社大学・大学院脳科学研究科・准教授）

研究協力者 尾崎 弘展（同志社大学・大学院脳科学研究科・准教授）

※1 申請時：公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

※2 申請時：東京大学・大学院医学系研究科・講師

※3 申請時：理化学研究所・脳神経科学研究センター・副チームリーダー

※4 申請時：筑波大学・システム情報系・助教

※5 申請時：福岡大学・理学部・助教

※6 申請時：大分大学・理工学部・講師

## 2. 交付決定額

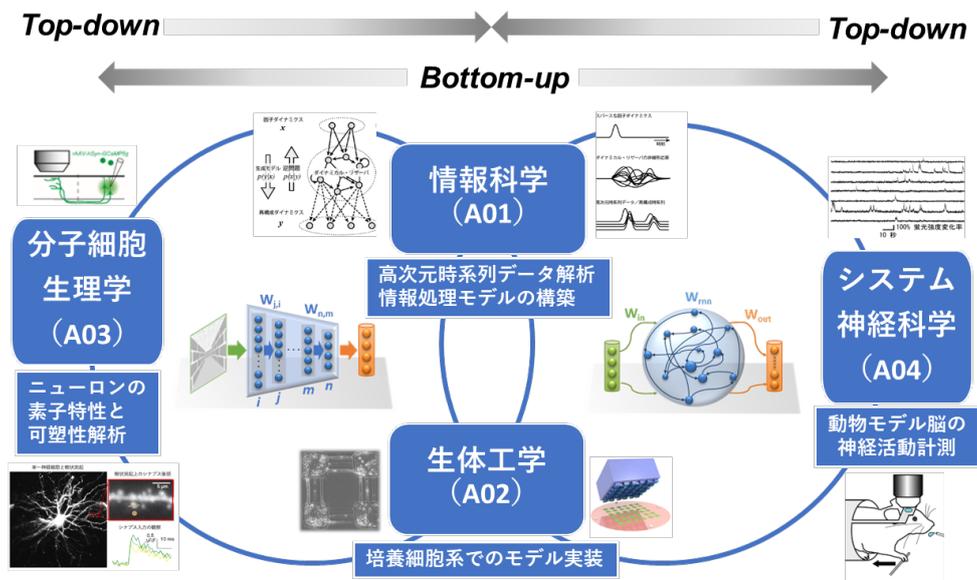
	合計	直接経費	間接経費
令和3年度	45,500 千円	35,000 千円	10,500 千円
令和4年度	45,500 千円	35,000 千円	10,500 千円
令和5年度	45,500 千円	35,000 千円	10,500 千円
総計	136,500 千円	105,000 千円	31,500 千円

### 3. 研究領域の目的

#### ○領域研究の目的

制御部・演算部・記憶部を分けたノイマン型アーキテクチャに基づいて構成された電子計算機と異なり、脳では神経回路とその時空間発火パターンが演算・記憶・統御の機能を一手に担う。従って脳情報処理の本質は、「どの細胞同士が、どのような強度で接続されているか」「その接続はどのような発火パターンを内発的及び外因的に生成するか」という回路網の接続構造と機能との間の創発的關係に埋め込まれていると考えられるが、依然としてその実態は理解が不十分である。脳におけるこのような創発的性質を必要十分に明らかにするためには、完成されたシステムを調べ上げるトップダウン的解析と、ボトムアップ的な操作型研究との融合が必要となる。

そこで本研究領域では、多数の神経細胞が相互結合して形成された脳神経系マルチセルラネットワーク上での情報処理をモデル動物脳の直接計測（トップダウン）と培養神経回路の操作的解析（ボトムアップ）の双方向から解析し、さらに数理モデルとして記述することを目指す新たな学問領域を立ち上げる。



## マルチセルラバイオコンピューティング

多細胞系における情報処理のシステム科学  
感覚運動制御を記述する生物規範的統合情報処理モデル

本領域の概要

## 4. 研究成果

### ○主な成果

人工神経細胞回路を用いて神経細胞ネットワークの情報処理特性をボトムアップ的に解析した **A02 山本**と **A01 香取**の共同研究の成果が国際誌 PNAS に掲載された(Sumi et al., PNAS 2023). またマウスの視覚情報処理系のトップダウン的解析による自己組織化原理の解明に関する **A03 松井**の成果が国際誌 Nature に掲載された(Murakami et al., Nature 2022). またこの間に **A04 正水**は、モデル動物脳で局所損傷後の自己修復過程を多細胞神経活動と行動解析の両面から解析できる独自の実験手法を構築した(未発表).

### ○各研究項目の成果

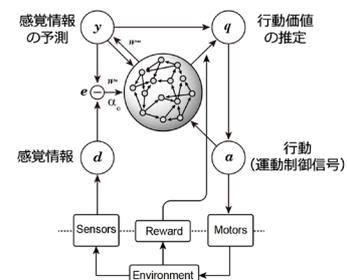
#### 研究項目 A01「マルチセルラ神経ダイナミクスのデータ解析基盤と情報処理モデル」(香取班)

**達成目標** : 活動電位の発生や発火率などの電氣的に生じるダイナミクスに加えて、樹状突起・シナプス終末などを含む細胞内空間での荷電粒子のダイナミクスを情報表現パラダイムとして用いるマルチセルラバイオコンピューティングモデルを定式化する.

**具体的な成果** : 研究項目 A01 では、他グループとの連携のもとでバイオ計算モデルの構築と解析、リザーバ計算モデルの開発などの成果を上げた. 以下にこれらについて紹介する.

**[スパイクニューラルネットワークによるバイオ計算モデルの構築と評価]** スパイクニューラルネットワークの数理モデルを構築し、バイオ計算の実現に向け多面的に解析を実施した. 数値シミュレーションにより、ネットワークのモジュール構造や抑制性細胞の重要性を明らかにした. また時間的に変動する感覚信号を処理する動的予測符号化を生物の神経ネットワークで実現する可能性を示した(Ishikawa et al., NOLTA 2024). さらに、シナプススケールなどの詳細なシナプス生理学パラメータを導入したフレームワークを構築し、多チャンネルの神経活動データと神経ダイナミクスの数理モデルを基に神経回路の機能的結合を推定する新たなデータ解析手法を整備した. これらの数理モデル研究を基に、**A02 山本**との連携により、培養神経回路上に時系列信号のパターン分類を実装できることを示した(Sumi et al., PNAS 2023).

**[リザーバ計算による感覚情報処理と運動制御の統合ネットワークモデルの開発]** 生物の脳が持つ予測符号化や報酬情報に基づく学習機構と、多数の非線形素子の振動現象に基づく計算機構であるリザーバ計算を組み合わせたネットワークモデルを開発した. 報酬に基づいて学習するレザバ強化学習モデルを構築し、連続状態空間上の部分観測マルコフ決定過程タスクで適切な行動を学習することを確認した. さらに感覚情報処理と運動制御を統合する強化学習と予測符号化を組み合わせた統合リザーバ情報処理モデルを構築した. この研究により、予測符号化によって環境変化を予測することで、実環境における行動の最適化および学習の効率化が実現できる可能性を示した(Yonemura et al., 2023).



予測符号化と強化学習による  
感覚と運動の統合情報処理モデル

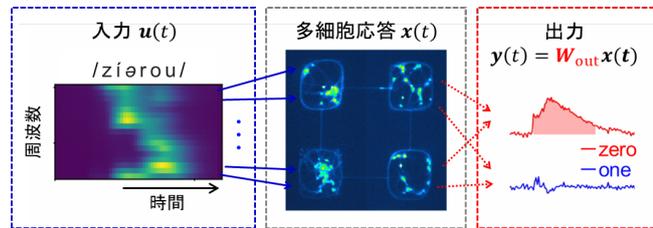
## 研究項目 A02「バイオコンピューティングシステムの実細胞再構成」(山本班)

**達成目標**：微細加工基板表面に形成した人工神経細胞回路とその摂動解析系を基盤として、実神経細胞が構成するマルチセルラネットワークの大自由度システムとしての動的特性をボトムアップに解析する。

**具体的な成果**：研究項目 A02 では、他グループとの連携のもとで人工神経細胞回路の構築と応用に関する成果を上げた。以下にこれらについて紹介する。

**[人工神経細胞回路の摂動解析] A03 松井・A04 正水**との共通技術である蛍光カルシウムイメージング法と、光遺伝学技術を用いて、人工神経細胞回路の摂動応答をリアルタイムで計測する実験系を構築した。そして、哺乳類の大脳皮質で見られる「モジュール性」という特徴を強く持った培養神経回路ほど外部入力に対する感受性が強くなり、培養神経回路特有の過剰な同期が崩されやすくなることなどを明らかにした (Yamamoto et al., Sci. Adv. 2023)。

**[実細胞リザーコンピューティングの概念実証] A01 香取**が得意とするリザーコンピューティング(※大自由度力学系の過渡応答を情報処理に結びつける機械学習の枠組み)を用いて人工神経細胞回路の刺激応答パターンをデコードすることで、培養細胞系に時系列信号のパターン分類が実装できることを証明した。同時に、培養神経回路が入力信号に対するある種の汎化フィルターとして機能することを明らかにした(Sumi et al., PNAS 2023)。



人工神経細胞回路を用いた物理リザーコンピューティング

**[高密度多点電極アレイを用いた人工神経細胞回路の活動計測]** シリコン樹脂性のマイクロ流体デバイスを用いてラット大脳皮質神経細胞を高密度多点電極アレイ上にパターンニングして人工神経細胞回路の形成する技術を開発した。さらに **A01 分担者・加藤**と共同で神経データを解析し、モジュール構造型に神経細胞をパターンニングすることにより過剰な同期が抑制され、自発活動が臨界状態に近づくことを示した(Sato et al., Front. Neurosci. 2023)。

## 研究項目 A03「マルチセルラネットワーク上の自発的局所学習則」(松井班)

**達成目標**：無入力時(自発活動)ならびに感覚運動学習時のマウス大脳皮質視覚野において、マルチセルラネットワークを構成する個々の神経細胞への入出力をシナプス単位で可視化し、感覚情報処理に伴う神経細胞間の局所相互作用の実態を明らかにする。

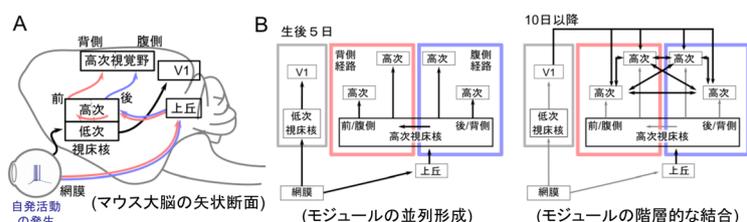
**具体的な成果**：研究項目 A03 では、他グループとの連携のもとでシナプスレベルでの機能解析手法の開発と、自発活動の詳細な性質や機能の解明などの成果を上げた。以下にこれらについて紹介する。

**[シナプスレベルでの機能解析手法の開発] A02 山本・A04 正水**との共通技術である蛍光カルシウムイメージング法をもとに、大脳皮質において高次視床を通して送られる視覚情報の解析を行うため軸索末端での *in vivo* カルシウムイメージングによる方法を開発した(Kondo et al., Front. Neural Circ. 2021)。並行して、オータプス培養系を用いた新規のシナプス解析法を開発した(Kitaoka et al., Front. Neural Circ. 2024)。

**【自発活動ダイナミクスの統計的性質の解明】** A02 山本との共通の研究テーマである自発活動について、ヒト fMRI の大規模データを用いて、ヒト大脳での自発活動の統計的な分析を行った。この結果、安静時脳活動が必ずしも非定常ではない可能性が示唆された(Matsui et al., Neuroimage, 2022)。これらの成果や精神神経疾患の診断技術開発との関わりについての総説も執筆した(松井ら, 統計数理 2023)。

**【自発活動の持つ機能とその破綻の解析】** A02 山本・A04 正水との共通技術である蛍光カルシウムイメージング法をもとにマウス大脳皮質での自発活動の解析を行い、特に発達期における回路形成に機能的役割を果たしている可能性を見出した(Murakami et al., Nature 2022)。

また、向精神薬ケタミンを使用した際の自発的神経活動の破綻の解析を行い、報告した(Li et al., BBRC 2023)。



**哺乳類視覚系の発達戦略 A: 自発活動の伝達経路. B: 階層的ネットワークの発達過程**

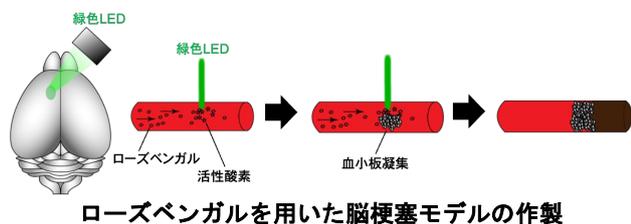
**研究項目 A04 「モデル動物脳におけるマルチセルラ情報表現」(正水班)**

**達成目標:** モデル動物(げっ歯類のマウス)を対象とし、運動課題実行時の大脳皮質での多細胞(マルチセルラ)神経活動、大脳皮質・運動野損傷後の自己修復、さらには損傷部位への神経細胞移植による自己組織的機能補填の脳内基盤を解明するための実験手法構築を目指す。

**具体的な成果:** 研究項目 A04 では、他グループとの連携のもとで *in vivo* カルシウムイメージングを行う系の確立と、脳損傷部位に神経細胞塊を移植する系の確立などの成果を上げた。以下にこれらについて紹介する。

**【*in vivo* カルシウムイメージングを行う系の確立】** マクロズーム・多点走査型共焦点顕微鏡を用いて、大脳皮質上の頭蓋骨を取り除きガラス窓を設置し、大脳皮質を広範囲に *in vivo* カルシウムイメージングで観察する系を確立した。並行して、2光子顕微鏡を用いて、脳(赤色のカルシウムセンサー)と移植した神経細胞塊(緑色のカルシウムセンサー)の活動を2色同時 *in vivo* カルシウムイメージングで観察する系を確立した。

**【ローズベンガル色素を用いて大脳皮質・一次運動野を損傷させる系の確立】** ローズベンガル色素を用いて大脳皮質・一次運動野を損傷させる系を確立した。次に、ローズベンガル色素による損傷前後で、大脳皮質の活動が計測可能かどうかを検討した。損傷前後の *in vivo* カルシウムイメージングの実験は、A03 松井の協力を得ながら立ち上げた。



**【脳損傷部位に神経細胞塊を移植する系の確立】** 損傷部位へ神経細胞塊を移植し、移植した神経細胞塊と脳との間で双方向に軸索伸長があるかどうかを *in vivo* イメージングで明らかにした。さらに移植した神経細胞塊と脳との間で機能的な結合があることを、光遺伝学の技術と

*in vivo* カルシウムイメージングの技術を組み合わせることによって明らかにした。神経細胞塊の作製は、A02 山本とディスカッションを行いながら進めた。

**[生物規範的な軸索伝導の数理モデルの記述]** 脳スライス標本を用いた神経軸索のパッチクランプ法による解析と、シミュレーションを用いた数理モデル解析を併用して、神経軸索の脳内信号伝搬の調節における役割を追求した。軸索の閾値下応答の解析と、軸索 K チャンネルによる可塑性制御に関する成果を得た(Kamiya, *Front. Cell. Neurosci.* 2022)。また、脳の軸索に特徴的な不活性化型カリウムチャンネルにより活動電位の持続時間や短期可塑性に活動依存的な影響を与えることを海馬苔状線維の定量的な数理モデルでのシミュレーションで明らかにした(Zheng & Kamiya, *Front. Cell. Neurosci.* 2023)。

### 研究項目 X00「脳神経マルチセルラバイオコンピューティングに関する総括」(総括班)

**達成目標：**「多細胞バイオ計算」を共通手段・共通言語として生命科学—工学—情報科学の連携研究を推進し、本領域が拠点となって世界をリードする体制を構築する。

**具体的な成果：**研究項目 X00 では、日常的な情報共有に加え、領域メンバー全員が集う領域会議や成果を発信するシンポジウムなどを企画しながら、成果発信・アウトリーチ・国際連携、若手育成について成果を上げた。以下にこれらについて紹介する。

**[領域外研究者からの助言体制]** 各分野における第一人者 7 名（うち 4 名は海外アドバイザー）に領域アドバイザーを依頼し、領域会議や領域シンポジウムの機会に、研究計画や今後の方針に関する助言を受けた。

#### ○国内アドバイザー

- A01 項目関連 堀尾喜彦教授（東北大学電気通信研究所）非線形ダイナミクス
- A02 項目関連 河野 崇教授（東京大学生産技術研究所）生体模倣工学
- A03,04 項目関連 根本知己教授（自然科学研究機構生理学研究所）バイオフォニクス

#### ○海外アドバイザー

- A01 項目関連 Prof. Wilten Nicola（University of Calgary, Canada）計算論的神経科学
- A02 項目関連 Prof. Jordi Soriano（University of Barcelona, Spain）培養神経回路
- A03 項目関連 Prof. Timothée Levi（University of Bordeaux, France）脳型計算
- A04 項目関連 Prof. Theoden Netoff（University of Minnesota, U.S.A）神経工学

**[成果発信・アウトリーチ]** 神経科学学会(2021年7月)、日本生理学会(2022年3月)、応用物理学会(2022年9月)にてシンポジウムを企画し、国内の関連学会の活性化に貢献した。さらに、国際シンポジウム RIEC International Symposium on Brain Function and Brain Computers において毎年、領域特別セッションを企画し、日本、米国、欧州から集まった毎回 100 人以上の研究者に向けて領域活動を発信した。領域の活動状況については、領域ホームページに詳細を掲載し、広く情報発信を行った。

**[国際連携]** 領域シンポジウムを国際会議として企画し、海外アドバイザーや海外の関連分野の研究者を招聘することで国際会議 NOLTA2023 (2023年9月)において、欧州の大型プロジェクト Horizon 2020 との合同セッションを企画し、海外機関との組織レベルでの連携を強化した。

**【若手育成】** A02 山本が研究指導を行う博士後期課程の大学院生 3 名が、A01 香取、A01 加藤(分担)、A04 正水・西村の研究室で 2 週間～4.5 ヶ月間の学外インターンシップを実施した。これを通じて、大学院生が自身の研究を推進しながら、異分野の専門家と直接議論し、研究スタイルを肌身で学ぶ機会を領域として整備した。



**学生インターンシップの実施**

## 5. 研究発表の状況

○雑誌論文（研究代表者：二重下線，研究分担者：一重下線，責任著者：\*）

1. Theta dynamics contribute to retrieving motor plans after interruptions in the primate premotor area.  
Ryosuke Hosaka, Hidenori Watanabe, Toshi Nakajima, \*Hajime Mushiake  
Cerebral Cortex Communications 2, tgab059 (2021).
2. Counterfactual explanation of brain activity classifiers using image-to-image transfer by generative adversarial network.  
\*Tepei Matsui, Masato Taki, Trung Quang Pham, Junichi Chikazoe, Koji Jimura  
Frontiers in Neuroinformatics 15, 802938 (2022).
3. Executive control by fronto-parietal activity explains counterintuitive decision behavior in complex value-based decision-making.  
Tepei Matsui, Yoshiki Hattori, Kaho Tsumura, Ryuta Aoki, Masaki Takeda, Kiyoshi Nakahara, \*Koji Jimura  
NeuroImage 249, 118892 (2022).
4. On co-activation pattern analysis and non-stationarity of resting brain activity.  
\*Tepei Matsui, Trung Quang Pham, Junichi Chikazoe, Koji Jimura  
NeuroImage 249, 118904 (2022).
5. Response selectivity of the lateral posterior nucleus axons projecting to the mouse primary visual cortex.  
\*Satoru Kondo, Yuku Kiyohara, \*Kenichi Ohki  
Front. Neural Circuits 16, 825735 (2022).
6. Short-term memory ability of reservoir-based temporal difference learning model.  
Yu Yoshino, \*Yuichi Katori  
NOLTA, IEICE 13, 203–208 (2022).
7. An investigation of the relationship between numerical precision and performance of Q-learning for hardware implementation.  
\*Daisuke Oguchi, Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Shigeo Sato  
NOLTA, IEICE 13, 427–433 (2022).
8. Functional connectivity analysis on hierarchical reservoir computing model.  
Yoshihiro Yonemura, \*Yuichi Katori  
NOLTA, IEICE 13, 446–451 (2022).
9. Establishment of autaptic culture with human-induced pluripotent stem cell-derived astrocytes.  
Kouya Uchino, Yasuyoshi Tanaka, Sayaka Kawaguchi, Kaori Kubota, Takuya Watanabe, \*Shutaro Katsurabayashi, Shinichi Hirose, Katsunori Iwasaki  
iScience 25, 104762 (2022).
10. Modular strategy for development of the hierarchical visual network in mice.  
\*Tomonari Murakami, \*Tepei Matsui, Masato Uemura, \*Kenichi Ohki  
Nature 608, 578–585 (2022).
11. Monkey prefrontal single-unit activity reflecting category-based logical thinking process and its

neural network model.

Takayuki Hosokawa, Muyuan Xu, Yuichi Katori, Munekazu Yamada, \*Kazuyuki Aihara, \*Ken-ichiro Tsutsui

Journal of Neuroscience 42, 6380–6391 (2022).

12. Modeling analysis of subthreshold voltage signaling along hippocampal mossy fiber axons.

\*Haruyuki Kamiya

Frontiers in Cellular Neuroscience 16, 966636 (2022).

13. Static and dynamic functional connectivity alterations in Alzheimer's disease and neuropsychiatric diseases.

\*Teppei Matsui, Ken-ichiro Yamashita

Brain Connectivity 13, 307–314 (2023).

14. A fully analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation.

\*Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Shigeo Sato, Yasushi Yuminaka, Yoshihiko Horio, Jordi Madrenas

2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp. 1–7 (2022).

15. Astrocyte  $Ca^{2+}$  signaling is facilitated in *Scn1a*<sup>+/-</sup> mouse model of Dravet syndrome.

Kouya Uchino, Yasuyoshi Tanaka, Wakana Ikezawa, Masanobu Deshimaru, Kaori Kubota, Takuya Watanabe, \*Shutaro Katsurabayashi, Katsunori Iwasaki, \*Shinichi Hirose

Biochemical and Biophysical Research Communications 643, 169–174 (2023).

16. Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks.

Yuya Sato, \*Hideaki Yamamoto, Hideyuki Kato, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata

Frontiers in Neuroscience 16, 943310 (2023).

17. A method for reconstruction of interpretable brain networks from transient synchronization in resting-state BOLD fluctuations.

Yusuke Noro, Ruixiang Li, \*Teppei Matsui, \*Koji Jimura

Frontiers in Neuroinformatics 16, 960607 (2023).

18. Simulation test for impairment of use-dependent plasticity by inactivation of axonal potassium channels on hippocampal mossy fibers.

Fumeng Zheng, \*Haruyuki Kamiya

Frontiers in Cellular Neuroscience 17, 1154910 (2023).

19. マイクロ流体デバイスを用いた神経回路機能の実細胞再構成.

\*山本 英明, 平野 愛弓, 佐藤 茂雄

応用物理 92, 278–282 (2023). (総説)

20. 公開データベースを利用したヒト安静時脳活動研究.

\*松井 鉄平, 地村 弘二, 李 鋭祥

統計数理 71, 81–95 (2023). (総説)

21. Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing.

Takuma Sumi, \*Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori, Koki Ito, Satoshi Moriya, Tomohiro Konno,

- Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata  
Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A. 120, e2217008120 (2023).
22. Ketamine-induced 1-Hz oscillation of spontaneous neural activity is not directly visible in the hemodynamics.  
Ruixiang Li, Kenichi Ohki, \*Teppej Matsui  
Biochemical and Biophysical Research Communications 678, 102–108 (2023).
23. Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks.  
\*Hideaki Yamamoto, F. Paul Spitzner, Taiki Takemuro, Victor Buendía, Carla Morante, Tomohiro Konno, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata, Viola Priesemann, Miguel A. Muñoz, Johannes Zierenberg, \*Jordi Soriano  
Science Advances 9, eade1755 (2023).
24. Model-free idealization: Adaptive integrated approach for idealization of ion channel currents (AI2).  
Madoka Sato, Masanori Hariyama, Maki Komiya, Kae Suzuki, Yuzuru Tozawa, Hideaki Yamamoto, \*Ayumi Hirano-Iwata  
Biophysical Journal 122 3959–3975 (2023).
25. Evaluation of the hierarchical correspondence between the human brain and artificial neural networks: A review.  
Trung Quang Pham, Teppej Matsui, \*Junichi Chikazoe  
Biology 12, 1330 (2023). (総説)
26. Computation harvesting from nature dynamics for predicting wind speed and direction.  
Takumi Aita, \*Hiroyasu Ando, Yuichi Katori  
PLoS ONE 18 e0295649 (2023).
27. Enhanced responses to inflammatory cytokine interleukin-6 in micropatterned networks of cultured cortical neurons.  
Mamoru Sakaibara, \*Hideaki Yamamoto, Hakuba Murota, Nobuaki Monma, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata  
Biochemical and Biophysical Research Communications 695 149379 (2024).
28. Numerical study on physical reservoir computing with Josephson junctions.  
\*Koki Watanabe, Yoshinao Mizugaki, Satoshi Moriya, Hideaki Yamamoto, Taro Yamashita, Shigeo Sato  
IEEE Transactions on Applied Superconductivity 34, 1700204 (2024).
29. Integrating predictive coding with reservoir computing in spiking neural network model of cultured neurons.  
Yoshitaka Ishikawa, Takumi Shinkawa, Takuma Sumi, Hideyuki Kato, Hideaki Yamamoto, \*Yuichi Katori  
NOLTA, IEICE (accepted).

## ○主たる学会発表（招待講演）

1. バイオ界面制御による神経回路機能の人工再構成.

山本 英明, 平野 愛弓, 佐藤 茂雄

薄膜材料デバイス研究会第18回研究集会 2021年11月12日

2. Polydimethylsiloxane microfluidic films for in vitro engineering of mesoscale neuronal networks.  
Hideaki Yamamoto, Taiki Takemuro, Nobuaki Monma, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata  
14th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2021) 2021年11月18日
3. Artificial reconstitution of neuronal network functions with living cells  
Hideaki Yamamoto, Takuma Sumi, Taiki Takemuro, Satoshi Moriya, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata  
The 3rd International Symposium on Neuromorphic AI Hardware 2022年3月19日
4. ボトムアップアプローチによる神経回路機能の探求と応用  
山本 英明  
第21回 ExCELLS セミナー 2022年8月1日
5. 大脳自発活動の時空間構造を説明する統計モデル  
松井 鉄平  
令和4年度統計数理研究所共同研究集会「諸科学における統計思考」
6. 神経回路を創出するための基盤技術開発  
正水 芳人, 蝦名 鉄平, 田中 康裕, 根岸 みどり, 尾上 弘晃, 竹内 昌治, 松崎 政紀  
第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月20日
7. 大脳ネットワークの自発的活動とその時空間構造  
松井 鉄平  
第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月20日
8. 大脳皮質に倣った動的予測符号化ネットワークモデル  
香取 勇一  
第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月20日
9. マイクロパターン基板を用いた神経回路機能の実細胞再構成  
山本 英明  
第83回応用物理学会秋季学術講演会 2022年9月22日
10. ナノ・マイクロ加工技術に基づく細胞膜機能の再構成とその応用  
平野 愛弓  
第35回バイオメディカル分析科学シンポジウム 2023年7月29日
11. In vitro neuroengineering technologies for reconstituting and decoding neuronal network dynamics  
Hideaki Yamamoto, Ayumi Hirano-Iwata, Shigeo Sato  
Tohoku NeuroTech Symposium 2023 2023年7月31日
12. Elucidation of pathological features of Parkinson's disease using human induced pluripotent stem cell-driven region-specific neurons  
Kaneyasu Nishimura  
2023年日本表面真空学会学術講演会 2023年11月2日
13. Environmental arrangements for the synaptic transmission from a glial perspective  
Shutaro Katsurabayashi

2023 年日本表面真空学会学術講演会 2023 年 11 月 2 日

14. 人工神経細胞回路を用いた物理リザバーコンピューティング

山本 英明

化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 48 回研究会 2023 年 11 月 7 日

15. 生体工学と機械学習による神経回路機能の探求

山本 英明

計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2023 2023 年 11 月 11 日

16. New tools for the functional analysis of membrane proteins based on lipid bilayer systems

Ayumi Hirano-Iwata

36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023) 2023 年 11 月 16 日

17. Analog CMOS implementation of neuromorphic hardware

Shigeo Sato, Satoshi Moriya, Satoshi Ono, Hideaki Yamamoto

The 2023 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK 2023) 2023 年 11 月 17 日

18. Optogenetic perturbation of engineered neuronal networks grown in vitro

Hideaki Yamamoto, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata

16th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2023) 2023 年 11 月 21 日

19. 神経細胞ネットワークの機能を理解し応用するための神経工学技術

山本 英明

Beyond AI ワークショップ「培養ニューロンの機能と未来」 2024 年 3 月 2 日

## ○図書

1. Brain-inspired reservoir computing models

Yuichi Katori

In: H. Suzuki, J. Tanida, M. Hashimoto (eds) Photonic Neural Networks with Spatiotemporal Dynamics. Springer, Singapore, pp. 259-278 (2023)

## 6. 受賞・産学連携・アウトリーチ活動など

### ○受賞

#### 1. Neuro2022 国内 Travel Award

「安静時脳活動からの個体情報の解読とそのげっ歯類への応用」

稗田 健美, 地村 弘二, 石田 綾, 松井 鉄平

#### 2. Neuro2022 Junior Investigator Poster Award

「部分観測マルコフ決定過程におけるリザーバーコンピューティングを基にした TD 学習モデルの短期記憶性能」

吉野 遊, 香取 勇一

#### 3. 日本神経回路学会 2022 年度論文賞

“Chaos may enhance expressivity in cerebellar granular layer” (Neural Netw. 136, 72-86 (2021))

Keita Tokuda, Naoya Fujiwara, Yuichi Katori

#### 4. 応用物理学会 第 19 回(2022 年春季) Poster Award

「細胞への直接物質輸送のためのナノストロースタンピング法の画像認識を用いた自動化」

池田 翔, 小熊 奏一郎, 藤原 彩, 鞍掛 碧流, 小山 和洋, 三宅 丈雄, 谷井 孝至

#### 5. 応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会論文賞

“Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks” (Sci. Adv. 4, eaau4914 (2018))

山本 英明

#### 6. 応用物理学会 第 20 回(2022 年秋季) Poster Award

「水素終端ナノダイヤモンド中の NV センターの荷電状態変化を介した水溶液中電位計測」

朴 相みん, 山口陽大, 大島 武, 小野田 忍, 谷井 孝至

#### 7. ACS Fall 2023 Oral Presentation Prize

“Construction of a novel evaluation system for specific capacitance of artificial bilayer lipid membranes”

Hironori Kageyama, Madoka Sato, Maki Komiya, Teng Ma, Ayumi Hirano-Iwata

#### 8. NOLTA2023 Best Student Paper Award

“Evaluation of Reservoir-Based Predictive Coding in Cultured Neurons with Spiking Neural Network Model”

Yoshitaka Ishikawa, Takumi Shinkawa, Takuma Sumi, Hideyuki Kato, Hideaki Yamamoto, Yuichi Katori

#### 9. 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第 48 回研究会 Lab on a Chip outstanding research award

「脂質二分子膜の新規電気化学発光イメージング」

平本 薫, 伊野 浩介, 平野 愛弓, 珠玖 仁

#### 10. 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences Best Student Paper Award

“Enhancing Reinforcement Learning in POMDPs with the Reservoir Soft Actor-Critic Model

Incorporating Multi-layer Structures”

Tatsuro Nagai, Yuichi Katori

11. 10th Anniversary Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences Best Student Paper Award

“Reservoir Reinforcement Learning Model for Generating and Switching Motor Primitives”

Yu Yoshino, Yuichi Katori

12. 令和5年度（第13回）RIEC Award 本賞

「マイクロ加工基板を用いた大脳皮質神経回路の培養系モデルの開発と応用」

山本 英明

### ○産業財産権の出願・取得状況

該当なし

### ○アウトリーチ活動

1. 神経回路による情報処理を始めとした生物の計算原理について（ラジオ出演）  
松井 鉄平  
RSK 山陽放送・朝耳らじお GoGo 「技術の森」, 2022年6月15日, 22日
2. 岩間 智紀氏によるアート作品（インスタレーション）: 「海をほどく」（神経データ提供）  
山本 英明, 佐藤 有弥, 平野 愛弓  
NeuroTech Art Exhibition, 2023年7月31日～8月4日
3. マイクロ流体デバイスで培養されたラット大脳皮質の神経細胞（試料提供）  
山本 英明, 室田 白馬, 平野 愛弓  
浜松ホトニクス「Photon Fair 2023」, 2023年11月16日～18日
4. 脳をつくる～人工培養された脳が拓く新たな科学～（テレビ出演）  
山本 英明, 香取 勇一  
BS フジ・科学番組「ガリレオ X」, 2023年12月10日, 17日
5. 培養脳でコンピューター～米大、神経細胞使い音声認識 省エネで電力問題に対応～（研究紹介）  
山本 英明, 香取 勇一  
日本経済新聞・朝刊, 2024年2月9日
6. 物理×バイオ×数学で拓く未来社会と SDGs（市民講座）  
山本 英明  
札幌市立札幌清田高等学校「SDGs×探求人インタビュー」, 2024年1月17日

### ○領域主催イベント

1. 第1回領域国際シンポジウム 2022年2月18日

2. 第2回領域国際シンポジウム 2023年2月17日～18日
3. 第3回領域国際シンポジウム 2024年2月27日～28日

## ○情報発信

1. 領域ホームページ

[https://www.mnbc.riec.tohoku.ac.jp/Areas\\_B/index.html](https://www.mnbc.riec.tohoku.ac.jp/Areas_B/index.html)