

モジュール構造型培養神経回路を用いたリザーバーコンピューティング

Physical Reservoir Computing with cultured modular neuronal network

東北大 AIMR¹, 東北大通研², はこだて未来大³, 東北大薬⁴

○住拓磨¹, 山本英明^{1,2}, 香取勇一³, 伊藤亘輝², 守谷哲², 金野智浩⁴, 佐藤茂雄², 平野愛弓^{1,2}

AIMR Tohoku Univ.¹, RIEC Tohoku Univ.², Future Univ. Hakodate³, GSPS Tohoku Univ.⁴

○Takuma Sumi¹, Hideaki Yamamoto², Yuichi Katori³, Koki Ito², Satoshi Moriya²,

Tomohiro Konno⁴, Shigeo Sato², Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}

E-mail: takuma.sumi.c8@tohoku.ac.jp

神経細胞ネットワークが生み出す複雑なダイナミクスは、脳における情報処理の資源である^[1-3]。機械学習の分野では、複雑なダイナミクスを情報処理に結び付ける手法として、リザーバーコンピューティングが発展してきた^[4-6]。本研究では、ラット大脳皮質培養神経回路のダイナミクスをリザーバーとして利用し、計算モデルの構築と実験的評価を行った^[7]。特に、脳の配線構造を模倣したモジュール構造を培養神経回路に導入することで、入力情報の分類にモジュール性が寄与することを示した。さらに、音声信号を用いた課題では、女性話者のみを学習データに使用したにもかかわらず、男性話者の音声を識別できる汎化性能が明らかとなった。この汎化性能は、培養神経回路を介さず直接出力層を学習させた際には観察されなかったことから、生物の神経回路が情報の汎化に寄与する可能性が示唆される。発表では、これらの成果を基に著者らが現在取り組んでいる最新研究についても併せて報告する^[8]。

[1] D. V. Buonomano, W. Maass, State-dependent computations: Spatiotemporal processing in cortical networks. *Nat. Rev. Neurosci.* **10**, 113–125 (2009).

[2] S. Vyas, M. D. Golub, D. Sussillo, K. V. Shenoy, Computation through neural population dynamics. *Annu. Rev. Neurosci.* **43**, 249–275 (2020).

[3] M. M. Churchland et al., Neural population dynamics during reaching. *Nature* **487**, 51–56 (2012).

[4] H. Jaeger, The “Echo State” Approach to Analysing and Training Recurrent Neural Networks (German National Research Center for Information Technology, 2001).

[5] W. Maass, T. Natschläger, H. Markram, Real-time computing without stable states: A new framework for neural computation based on perturbations. *Neural Comput.* **14**, 2531–2560 (2002).

[6] Y. Sato, H. Yamamoto, Y. Ishikawa, T. Sumi, Y. Sono, S. Sato, Y. Katori, A. Hirano-Iwata, In silico modeling of reservoir-based predictive coding in biological neuronal networks on microelectrode arrays. *Jpn. J. Appl. Phys.* **63**, 108001 (2024).

[7] T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **120**, e2217008120 (2023).

[8] T. Sumi, A. M. Houben, H. Yamamoto, H. Kato, Y. Katori, J. Soriano, A. Hirano-Iwata, Modular architecture confers robustness to damage and facilitates recovery in spiking neural networks modeling in vitro neurons. *Front. Neurosci.* **19**, 1570783 (2025).

【謝辞】本研究は、科研費・学術変革領域研究(B)「脳神経マルチセルラバイオコンピューティング（略称：多細胞バイオ計算）」(JP21H05163, JP21H05164), 科研費 (JP18H03325, JP19H00846, JP20H02194, JP20K20550, JP21J21766, JP22H03657, JP22K19821, JP22KK0177), JST さきがけ (JPMJPR18MB), JSTCREST (JPMJCR19K3), 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の助成の下で行われた。