

培養神経細胞回路・生体分子の再構成に基づくバイオコンピューティング

(東北大通研¹・東北大 AIMR²) 山本 英明¹・○平野 愛弓^{1,2}

Biocomputing based on the reconstruction of cultured neuronal networks and biomolecules (¹*Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University*, ²*Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University*) Hideaki Yamamoto,¹ ○Ayumi Hirano-Iwata^{1,2}

Neuronal cultures have long been used as a model system to study fundamental properties of brain function and to elucidate the mechanisms of neurodegenerative disorders. However, as the cultures mature, the network develops to generate synchronized activity across the entire network, which is not observed in animal brains. This oversynchronisation has precluded the widespread use of cultured neurons, particularly for the study of network phenomena. Here, we present our microfabrication approach to suppress the oversynchronisation by reconstituting the neuronal networks that more closely resemble the structures observed in vivo. We apply optogenetics techniques to deliver input stimuli to the neurons, whose responses are read out by calcium imaging. By decoding the neuronal responses under the reservoir computing framework, the setup allows us to investigate how input signals are transformed within biological neuronal networks, providing mechanistic insights into their computational capabilities. Our work advances the field of neuroengineering and brain-on-a-chip technology in reconstituting in vitro systems that more closely resemble the structure and function of the brain networks.

Keywords : Neuronal network; Reservoir computing; Microfluidics; Cell engineering; Calcium imaging

培養神経細胞系は、脳機能の基本的特性の理解や、神経疾患のメカニズム解明のためのモデル系として長い間用いられてきた。培養系では、細胞の成熟に伴ってネットワーク全体が過剰に同期した活動が生じるようになる。しかし、動物の脳ではこのような過剰同期は観察されないため、過剰同期現象は、培養神経細胞特有のアーティファクトと見なされ、培養神経系の発展の障害となってきた。本講演では、微細加工技術との融合により、生体脳の構造に近い神経細胞ネットワークを再構成することで過剰同期の抑制を目指す我々のアプローチについて紹介する。さらに、形成したネットワークに光遺伝学技術を導入して神経細胞に刺激を入力し、その応答をCaイメージングで検出することにより、神経細胞ネットワークをリザーバー層とするリザーバーコンピューティング系を構築した例についても紹介したい。この枠組みを用いて、培養神経細胞ネットワークの入出力応答を調べることで、その計算能力の特徴抽出が可能となる。脳内ネットワークにより近い in vitro 培養神経系を再構成することで、ニューロエンジニアリングの進展のみならず、バイオに倣った新しいコンピューティング技術の創出につながると期待される。

- 1) Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing. T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, K. Ito, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, *PNAS*, **2023**, 120, e2217008120.