

物理リザーバーとしての脳組織の情報処理能力

Information Processing Capacity of the Brain as a Physical Reservoir

高橋宏知¹

The Univ. of Tokyo¹, ^oHirokazu Takahashi¹

E-mail: takahashi@i.u-tokyo.ac.jp

リザーバー計算は、大規模なリカレント・ニューラルネットワークの学習手法として、また脳のモデルとして注目されている。リザーバー計算では、ネットワークの最適化ではなく、ネットワークの非線形なダイナミクスを計算資源として利用することを考える。また、ニューラルネットワークの代わりに、任意の物理現象や力学系を計算資源として利用できるが、このような計算資源を物理リザーバーと呼ぶ。本研究では、脳そのものを物理リザーバーとみなし、計算資源として定量化することを考えた。力学系（リザーバー）が過去の入力をどのように加工・保持しているかを示し、その情報処理を定量的に評価する指標として、情報処理容量（Information processing capacity; IPC）が用いられる [1]。神経細胞の分散培養系 (in vitro) [2] やげっ歯類の感覚野 (in vivo) [3] をリザーバーとみなし、外部刺激に対する応答の再現性に基いて、IPC を推定した。

ベルヌーイ分布や一様分布に従う刺激に対する神経応答から IPC を推定した。その結果、in vitro 系でも in vivo 系でも、実験試料に記憶されている情報は、主に過去の入力値（1 次 IPC）と入力値同士の積（2 次 IPC）から構成されることがわかった。刺激に関する過去の記憶は、in vitro 系では 200 ms – 400 ms、in vivo 系では数秒程度、それぞれ維持されていることがわかった。さらに実験試料を用いて、シフトレジスタやブール計算を試みたところ、各タスクでの演算性能は IPC で網羅的に評価できた。

ただし生理実験のデータに基づく IPC の推定値は、理論研究の予測値より小さかった。その原因として、従来の IPC 推定手法は、エコステート性 (echo-state property; ESP) と呼ばれる力学系の準静的な安定状態を前提としていることが挙げられる。ESP を示さない力学系でも適用できるように、状態空間別 IPC や時変系 IPC といった指標を検討した。これらの指標により、従来は見落とされていた計算資源を発見し、利用できるようになれば、リザーバー計算の可能性の拡張を期待できると考える。

- [1] J. Dambre, D. Verstraeten, B. Schrauwen and S. Massar (2012). "Information Processing Capacity of Dynamical Systems." *Sci Rep* **2**: Art #514.
- [2] D. J. Bakum, U. Frey, M. Radivojevic, T. L. Russell, J. Müller, M. Fiscella, H. Takahashi and A. Hierlemann (2013). "Tracking axonal action potential propagation on a high-density microelectrode array across hundreds of sites." *Nature Commun* **4**: Art #2181.
- [3] T. Noda and H. Takahashi (2015). "Anesthetic effects of isoflurane on the tonotopic map and neuronal population activity in the rat auditory cortex." *Eur J Neurosci* **42**: 2298-2311.