

# 神経細胞の分散培養系の相互接続のための高速フィードバックシステム

大沼陽介、高橋宏知

dissociated neuronal culture, reservoir computing, information processing capacity, feedback system

## 1. 背景・目的

神経ネットワークの情報処理能力の工学的応用として、神経細胞の分散培養系による物理リザバ計算がある[1]。リザバの一般的な表現・記憶能力を評価する情報処理容量 (IPC) [2] はリザバの計測点数に制約されるが、分散培養系リザバの規模には物理的な制約がある。

そこで本研究では、細胞の発火がシナプスを介して伝播するように、培養内の特定の神経細胞の発火が別の培養の神経細胞の発火を誘発するようなフィードバックシステムを構築する。このシステムにより二つの培養を接続し、分散培養系リザバを物理的な制約を超えて拡張することを目的とする。拡張により加わった計測点が入力を反映している場合、接続した培養全体をリザバとみなした時の IPC が向上すると考え、IPC によりリザバの拡張を評価する。

## 2. 手法

### 2.1 高速フィードバックシステムの構築

胎児ラットの脳新皮質から取り出した神経細胞を多点電極上に播種し培養した。次に培養の接続のために、培養内の特定の神経細胞の発火をトリガーに別の培養の神経細胞を電気刺激し発火を誘発するシステムを C++ 及び Python を用いて構築した。発火検出は波形のフィルタリングと閾値計算で別スレッドを設けることにより高速化を図った。

### 2.2 接続効果の評価

まず 2 つの培養を双方向に各方向 3 本ずつ接続し、培養を超えた発火活動の相関を相互相関関数により確認した。次に接続によるリザバの拡張を検証するために、入力を加える培養から別の培養への片方向接続を 3 本実装した bridge 系と、接続をしない isolate 系を用意した (Fig.1)。リザバの入力は細胞への電気刺激の有無、状態は各培養 50 点ずつの計測点における入力時刻間の発火数とした。これにより二つの培養を合わせてリザバとみなし、計測結果からその IPC を算出した[3]。

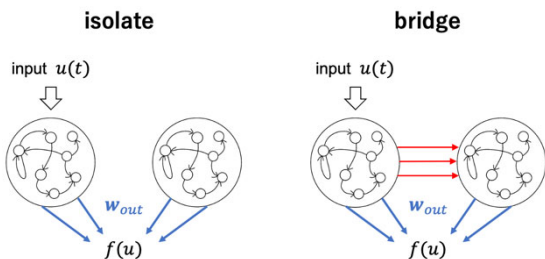


Fig.1 Experimental setup for examining IPC increase

## 3. 結果

### 3.1 フィードバックシステムの性能

計測装置付随のシステムとの比較で本システムの発火検出性能を調べたところ、F1-score は約 0.934 となった。システムの最大同時参照電極数はおよそ 600 点、同時刺激電極数は 32 点となった。発火からフィードバック刺激までのレイテンシの中央値は 14.00 ms、標準偏差は 8.28 ms となった。

### 3.2 接続の効果

培養を跨いだ電極ペアにおける発火の相関係数の上位 100 ペア分を、2 培養の時刻をずらしながら算出した

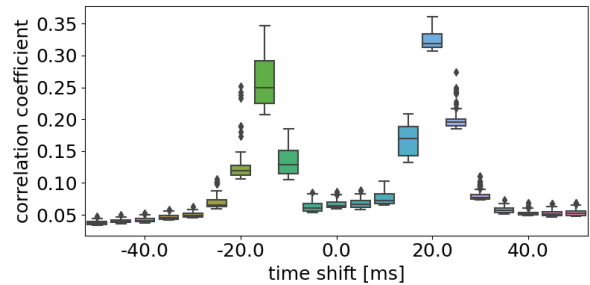


Fig.2 Cross-correlation of electrodes paired over culture  
Top 100 values from each time shifts

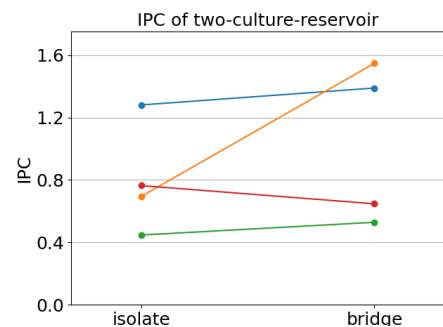


Fig.3 Change in IPC by connecting cultures

(Fig.2). 15 ms から 20 ms 程度の時間ずらしで相関係数にして 0.3 を超える活動相関が見られた。次に isolate 系と bridge 系の IPC を算出した (Fig.3)。4 度の計測のうち 3 度の上昇、うち 1 度は大きな上昇が見られた。

## 4. 考察

双方向接続により、およそレイテンシ分時間のずれた発火活動の相関が培養を超えて生じた。これは独立した二つの神経ネットワークに接続が生まれたとみなせる。また単方向接続により、無接続時に比べて 2 培養全体の IPC が上昇傾向にあった。IPC が上昇した時、接続先の培養の活動が接続元の培養への入力を反映していたと考えられる。つまり、システムが入力情報を伝播させることで、培養リザバを拡張できていると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、培養内の神経細胞の発火が別の培養の神経細胞の発火を誘発する高速フィードバックシステムを構築した。本システムによる 2 培養の相互接続の結果、発火活動に培養を超えた相関が生じた。そして本システムによる培養の単方向接続は、リザバとしての神経細胞の分散培養系を拡張できる傾向が見られた。接続箇所や本数の工夫により更なる接続効果の向上が期待できる。

## 参考文献

- [1] Yada, Y., Yasuda, S., & Takahashi, H., "Physical reservoir computing with FORCE learning in a living neuronal culture", Applied Physics Letters, Vol.119, No.17, (2021).
- [2] Dambre, J., et al., "Information processing capacity of dynamical systems", Scientific reports Vol.2, No.1, (2012), p.514.
- [3] 諏訪瑛介, ほか 3 名, "神経細胞の分散培養系の情報処理容量", 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌) Vol.142, No.5, (2022), pp.578-585.