

# 神経細胞の分散培養系の情報処理容量

諏訪瑛介, 窪田智之, 高橋宏知

dissociated neuronal culture, information processing capacity, reservoir computing, dynamical system, microelectrode array

## 1. 序論

リザーバー計算[1]は、RNN の学習アルゴリズムの一つで、中間層を固定し、読み出し重みのみを最適化するという特徴をもつ。リザーバーのような力学系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 (IPC) がある[2]。IPC では、過去の入力を様々に組み合わせることで直交系にしたものを再現目標とする。本研究では、IPC を用いて神経細胞の分散培養系の情報処理の特性を調べた。また、過去の入力情報を必要とするタスクを培養神経回路に行わせ、その成績を評価するとともに、IPC との対応を考察した。

## 2. 手法

胎児ラットの脳皮質から取り出した神経細胞を、多点計測・多点刺激可能な高密度 CMOS 電極アレイ上で分散培養した。その培養に対し、一様分布またはベルヌーイ分布に従う振幅をもつ電圧パルスを一定時間間隔で加えて活動を記録した。神経細胞の分散培養系をリザーバーと見なし、刺激間隔 (ISI) ごとに加えられたパルスの振幅を入力、その時の各電極で計測された神経細胞の発火数を状態の時系列に変換した。入力と状態の時系列データを使用して、培養神経回路の情報処理容量 (IPC) を算出した。更に、同じデータに対してリザーバー計算のタスクを行わせ、その成績を評価した。

## 3. 結果

刺激・計測実験のデータから IPC を算出した結果、神経細胞の分散培養系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。

1 次 IPC では、直近の入力に対する容量が最も大きく、古い入力に対する容量が次第に小さくなっていくことが確認された。一様分布に従う刺激では、ISI を 30 ms にした場合で 13 ステップ前 (390 ms)、ISI を 100 ms にした場合で 8 ステップ前 (800 ms) の 1 次 IPC を確認した。また、ベルヌーイ分布に従う刺激では、ISI を 30 ms にした場合で 8 ステップ前 (240 ms)、ISI を 100 ms にした場合で 5 ステップ前 (500 ms) の 1 次 IPC を確認した。

リザーバー計算のタスクでは、直近の入力ほど高精度で再現できた。また、実時間で評価した場合、ISI を 100 ms とした条件では、30 ms の時よりも高い精度を得た。この結果は、各タスクでの演算性能が、1 次 IPC の内訳で説明できることを示唆する。

## 4. 考察

IPC は力学系の入力情報処理の定量的な指標であるが、DIV、培養密度、入力強度、入力に従う確率分布などの条件を変えた場合の神経細胞の分散培養系の情報処理の特性の変化を IPC で定量的に評価するためには、より多くの刺激・計測実験のデータが必要となる。また、時変に拡張された IPC を求めることで、培養神経回路の情報処理の特性をより詳しく調べることができると期待される。

## 5. 結論

以上の結果より、神経細胞の分散培養系をリザーバーとして利用できること、さらに、そのリザーバーの性能を IPC で定量評価できることを示した。

## 参考文献

- [1] Verstraeten, David, et al. "An experimental unification of reservoir computing methods." *Neural networks* 20.3 (2007): 391-403
- [2] Dambre, Joni, et al. "Information processing capacity of dynamical systems." *Scientific reports* 2.1 (2012): 1-7.

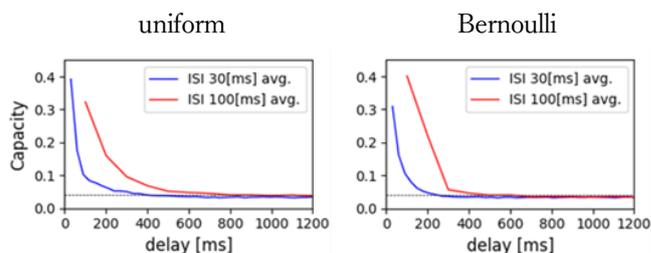


Fig. 1 IPC (1st degree)

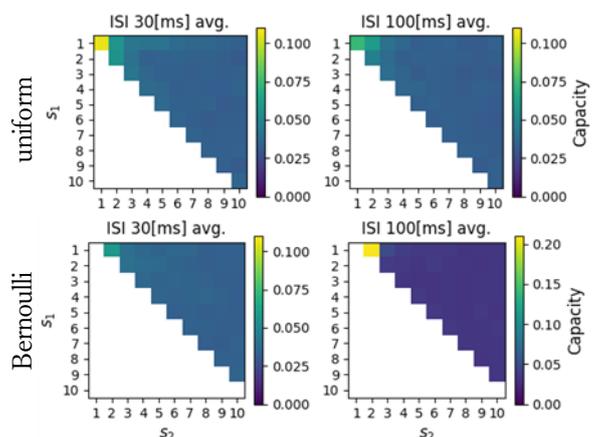


Fig. 2 IPC (2nd degree)