

# 培養神経細胞ネットワークの自発活動が情報処理容量に与える影響

川原佑太, 高橋宏知

Reservoir computing, Information Processing Capacity, dissociated neuronal culture, spontaneous activity, dynamical system

## 1. 序論

神経細胞の分散培養系の持つ潜在的な情報処理の能力の利用法としてリザーブ計算のフレームワークが用いられている。リザーブの能力の評価指標の一つに情報処理容量(IPC) [1]が用いられるが、分散培養系のIPCの値は理論的上限の100分の1程度である。本研究ではこの要因として考えられる分散培養系の各計測点(ノード)の応答の多様性が欠如していること、および自発活動に起因するノイズが

どの程度直交関数系のIPCの総和(以下 total IPC)に影響を及ぼしているかを明らかにする。

## 2. 手法

ESN(エコーステートネットワーク)を構築し, Polloreno らによる IPC 理論値[2]による評価の妥当性を検証した。また, 状態行列の低階近似, および特異値の分布から分散培養系の応答の多様性を, Polloreno らによる理論値およびS/N からノイズの影響を評価した。

## 3. 結果

ESN では応答の多様性が欠如すると Dambre らによる total IPC 理論値)に比べ total IPC が大きく下がる[Fig.1.1].

また, この応答の多様性の欠如の影響は, 特にノイズの影響の弱い系(ノイズ標準偏差  $\sigma=0.01$ [Fig.1.2]), では Polloreno らによる total IPC 理論値で評価できなかったが, 応答多様性を考慮した理論値により評価が可能であった。一方, ノイズの強度が一定以上強くなると(ノイズ標準偏差  $\sigma=0.1$ [Fig.1.3]), total IPC が急激に低下した。このときの total IPC の値は Polloreno らによる理論値と近い値となった。

以上 ESN を用いたシュミレーションから, fading memory 性を満たす系の total IPC の値は応答多様性も考慮した Polloreno らによる IPC 理論値から説明できることを確認した。

分散培養系では, 状態行列の特異値分解から若干のランク落ちが確認され, また特異値の値にはばらつきも見られた。

しかしながら, 低階近似した状態行列の total IPC では多様な応答が total IPC の値に寄与している(低階の行列では total IPC を再現できない場合[Fig.2]にあっても total IPC の値が状態の数(100)と比べ1から3程度と低くなっていた。

一方で, 入力に依存しない確率的変動を考慮する Polloreno らによる total IPC 理論値はサンプルや刺激間時間(isi)や刺激強度などの実験条件によらず Dambre らによるノイズを考慮しない total IPC 理論値から大きく低下した[Fig.1.4]. また, 式(1)で定義した SN 比による評価ではほぼすべてのサンプル, 実験条件でノイズによる状態の変動が入力による状態の変動よりも大きかった [Fig.3].

以上から, ノイズの存在が total IPC の値を制限する大きな要因であることがわかった。

## 4. 結論

以上の結果より自発活動による, 入力刺激を反映しないノイズ成分の存在は分散培養系の total IPC の値を大きく制限する要因にな

っていると考えられること, またこの影響が応答多様性の欠如, 及びノイズの影響をともに考慮した total IPC 理論値から評価可能であることを示した。

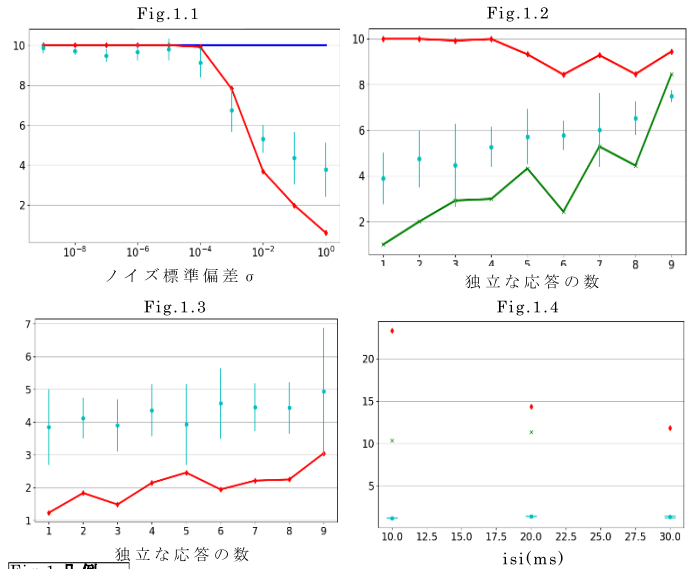


Fig.1 凡例  
水色: 実際の total IPC  
青: Dambre らによる理論値  
赤: Polloreno らによる理論値  
緑: ノイズ, 応答多様性を考慮した理論値  
Fig1. Total IPC and theoretical value on ESN (Fig1.1,1.2,1.3) and on dissociated neuronal culture (Fig1.4).

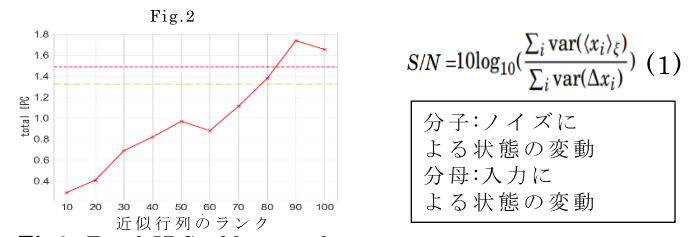


Fig.2. Total IPC of low rank approximation of state matrix.

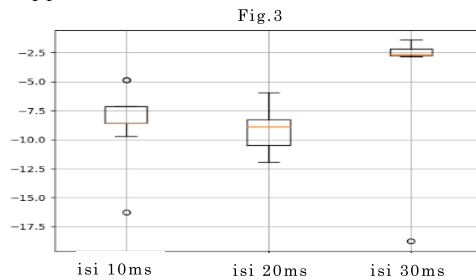


Fig.3. S/N for each isi (inter-stimulus interval)

## 参考文献

- [1] Dambre J, Verstraeten D, Schrauwen B, Massar S. Information processing capacity of dynamical systems. "Scientific Reports 2.1(2012):1-7.
- [2] Polloreno, Anthony M., Reuben RW Wang, and Nikolas A. Tezak. "A Note on Noisy Reservoir Computation." *arXiv preprint arXiv:2302.10862* (2023).