

電子回路バーストニューロンモデルのカオスの振舞い

前田義信, 牧野秀夫 (新潟大学工学部)

Chaotic Behavior of Hardware Bursting Neuron Model

Yoshinobu Maeda and Hideo Makino (Faculty of Engineering, Niigata University)

1. はじめに

神経系を構成するニューロンは, 刺激応答特性が非線形であり多様な放電現象を示す[1]. 本研究では, 自律的にバースト放電する電子回路モデル[2]を用いて不規則な振動を発生させ, それがカオスであることを, アトラクタ, 1次元写像, リアプノフ指数により評価する.

2. 方法

図1に電子回路モデルを示す(各パラメータ値は文献[2]参照). E の値を変化させると, 単純な周期振動から不規則なバースト放電までの各種放電現象を示す. ここでは, 膜電位 V が不規則な振動を示すように E を調節する.

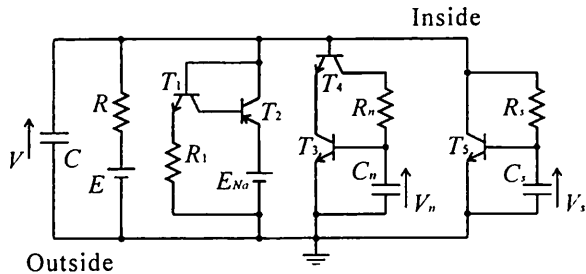


図1

A/D 変換器 (サンプリング周期は 0.05[ms]) を通して, 得られたデータをコンピュータに取り込む. Takens の方法を用いて, 3次元空間 ($V(t), V(t+\tau), V(t+2\tau)$) にアトラクタを再構成する. 同時に, アトラクタとポアンカレ断面の項点から1次元写像も構成する. また, 1次元写像モデルを用いてリアプノフ指数を求める[3].

3. 結果

図2に時間波形, 図3に再構成されたアトラクタを ($V(t), V(t+\tau)$) 平面に射影したものを示す ($\tau=0.5$ [ms]). 図4は $V(t)=1.5$ [V]における図3の破線をポアンカレ断面としたときの, アトラクタとの交点を表す. 交点の $V(t+2\tau)$ の値を用いてリターンマップを示した(図5のプロット). 図5の曲線は, 最小二乗法によって, 当てはめられた曲線 (5次多項式で記述された1次元写像モデル) である. 1次元写像を数値計算することにより, リアプノフ指数を求めた(図6).

4. 考察

図2に示す非周期的な振動は, 図3のストレンジアトラクタや, 図5の1次元写像モデルの形状, リアプノフ指数が正の値になることから, カオスであると予想される. ただし, 図5を細かく観察すると必ずしも一価関数になって

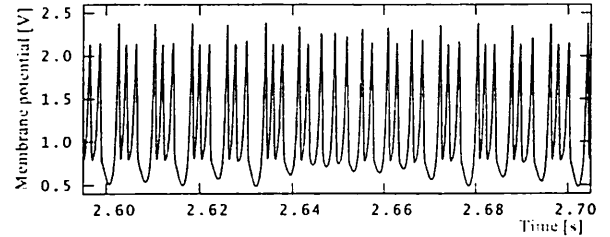


図2

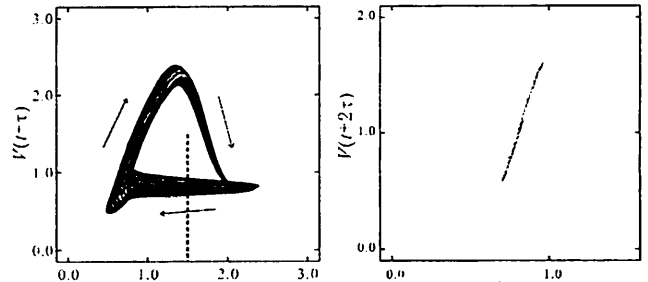


図3

図4

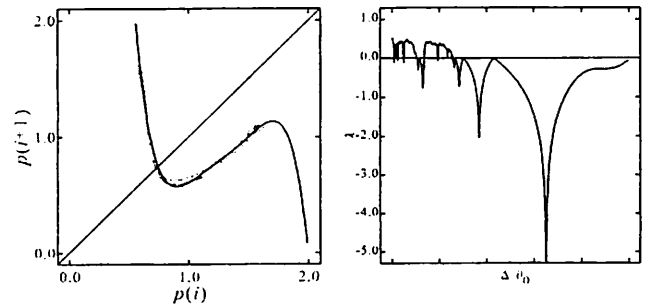


図5

図6

おらず, この原因がノイズによるものなのか, 高次元カオスゆえなのかはまだ定かではない. また, 本モデルでは, 鞍状点を持つ興奮性の系[4]に, 閾値近傍のゆっくりとした振動を起こす別の系が非線形に相互作用することによってバースト状の放電現象を呈している. それゆえ, ノイズに対して大きな影響を受け得る. 周期振動であっても, ノイズによって容易にリアプノフ指数が正になる可能性がある点に注意しなければならない.

謝辞 本学大学院の佐藤宏明君と新潟県産業労働部の五十嵐晃氏にお手伝い頂いた. 謝意を表す.

文献

- [1] 林初男, "脳とカオス," 裳華房 (2001)
- [2] Y. Maeda and H. Makino, BioSystems, Vol.58, pp.93-100 (2000)
- [3] 長島弘幸, 馬場良和, "カオス入門," 培風館 (1992)
- [4] 前田義信, 佐藤俊輔, 牧野秀夫, 電学論 Vol.121-C, No.7, pp.1153-1159 (2001)