

M-1

Gap junction 結合を用いたハードウェアスモールワールドカオスニューラルネットワークの構築 Construction of a Hardware Small World Chaotic Neural Network Using Gap Junction

○山口拓人¹, 佐伯勝敏², 佐々木芳樹²*Takuto Yamaguchi¹, Katsutoshi Saeki², Yoshiki Sasaki²

Abstract: The relationship between neuronal chaos activity and brain function has not yet been clarified. Analyzing the chaotic response of neuron models may be help to clarify the role of the brain function.

In this paper, we suggest a hardware small world chaotic neural network with gap junction and synaptic connections. As a result, it is clarified that the chaotic response can be obtained by circuit simulation.

1. まえがき

ニューロンの発火活動にカオス性が存在することは、イソアワモチの巨大ニューロンを用いて明らかにされた¹⁾が、脳機能との関わりはいまだに判明していない。カオス応答と脳機能を結びつけるためには、生存状態における信号を解析する必要があるが、未だそれを行うには技術的に困難である。そこで、電子回路により構築したニューロンモデルのカオス応答を解析することで、カオス応答が脳機能に対し、どのような役割を持つか推測することが可能であると考えられる。先に我々は、一般的なニューロンモデル同士の結合方法であるシナプス結合を用い、カオス伝搬の検討を行った。しかし、伝搬遅延・波形整形などの要因により、カオスニューラルネットワークにおいてカオス伝搬する結果を得られていない。そこで我々は、近年の実験的研究により、ニューロン内の空間に直接イオンを拡散させ情報を伝搬することが明らかになった gap junction 結合²⁾を用いたパルス形ハードウェアニューラルネットワークを提案した³⁾。

本論では、単一でカオス応答を示すパルス形ハードウェアカオスニューロンモデル(P-HCNM)25個を gap junction 結合モデル及びシナプス結合モデルを用いて、スモールワールドカオスニューラルネットワーク(SWCNN)を構築し、その回路のカオス応答についてシミュレーションを行ったので報告する。

2. 本論

図1に、今回提案する P-HCNM25個を gap junction 結合モデル及びシナプス結合モデルを用いたハードウェア SWCNN のブロック図を示す。同図において、白丸は P-HCNM を表しており 1~25 までの番号を割り振っている。P-HCNM 同士を繋ぐ実線は gap junction 結合モデル、P-HCNM 同士を繋ぐ破線は軸索モデル、破線

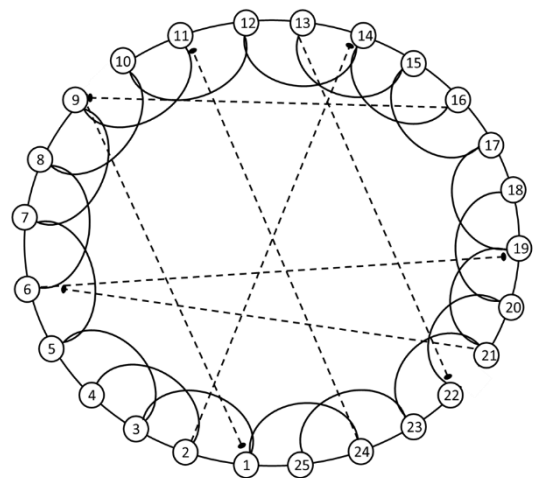
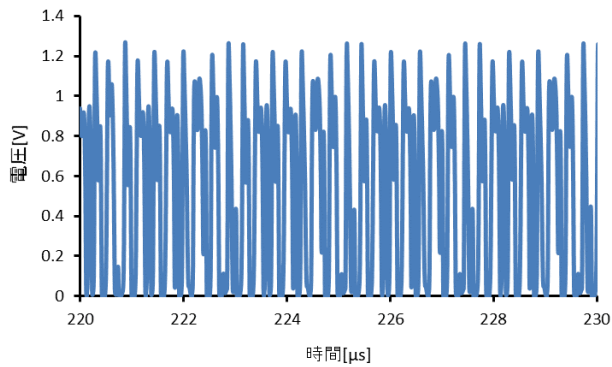


図1 P-HCNM25個のハードウェア SWCNN

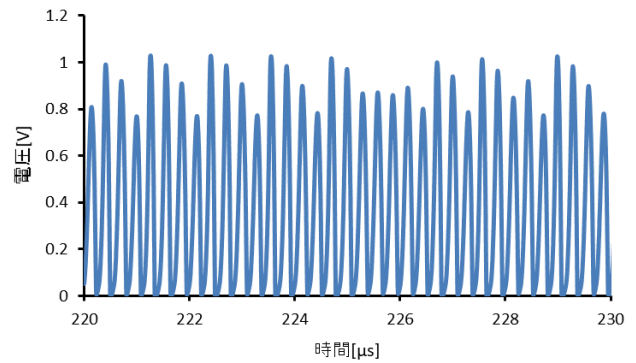
の先にある黒い丸は興奮性シナプスモデルを示している。SWCNN であるため、リング状の NN から gap junction 結合モデルをランダムで外し、ランダムに選択された P-HCNM とシナプス結合モデルを用いて結合を行っている。

図2に、図1のシミュレーション結果を示す。P-HCNM 25個すべてに正弦波の電流 $I=2.2\mu\text{A}$, 3.496MHz を入力している。図(a)は、gap junction 結合モデルが4つとシナプス結合モデルの受け手側である P-HCNM 1の応答であり、図(b)は、gap junction 結合モデル3つとシナプス結合モデルの送信側である P-HCNM 13の応答である。図(a)からピーク電圧・発火タイミングがともに周期性を持たない応答であることがわかる。図(c)に、入力電流の位相 $\phi=130^\circ$ のときの P-HCNM 1 の出力電圧から構築したリターンマップを示す。図中、横軸は任意の時間における出力電圧を、縦軸は任意の時間から入力電流の周波数において一周期後の出力電圧を示している。同図から、単一の軌道を有する法則に従ったものでないことがわかる。この

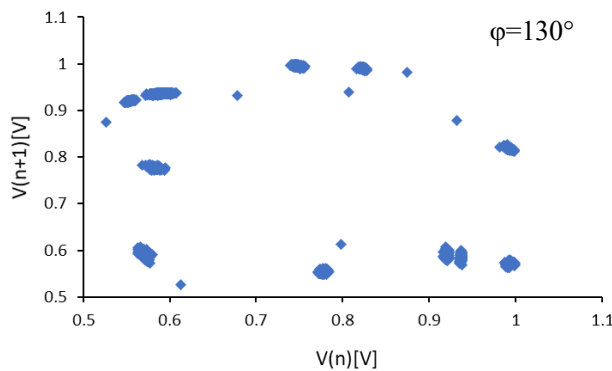
1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子



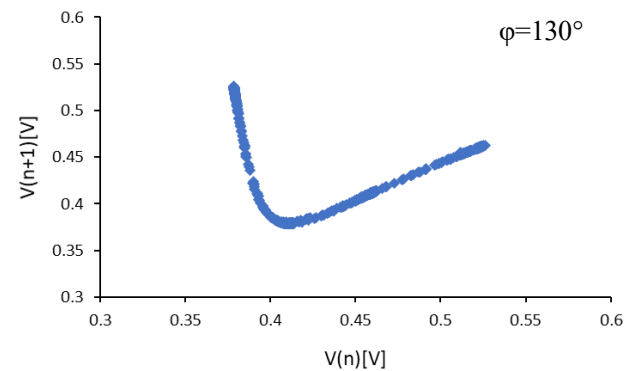
(a) SWCNN の P-HCNM 1 の応答



(b) SWCNN の P-HCNM 13 の応答



(c) P-HCNM1 のリターンマップ



(d) P-HCNM13 のリターンマップ

図2 SWCNN の応答

ことから、図(a)の応答がカオスによって引き起こされた非周期的な応答でないことを示している。図(d)に、入力電流の位相 $\varphi=130^\circ$ のときの P-HCNM13 の出力電圧から構築したリターンマップを示す。同図から、リターンマップは単一の軌道を有する法則に従った軌跡を描くことがわかる。この応答に対してリアプノフ指数を計算すると 0.295 と正の値を示し、カオス解析においてリアプノフ指数が正の値の場合、カオスと推測することができる。また、リターンマップで単一の軌道を示した P-HCNM は 2, 13, 16, 21, 24 であった。これらの P-HCNM はすべて同様の結合をしていた。

3. まとめ

今回、単一でカオス応答を示す P-HCNM を 25 個用いて SWCNN を構築し、その応答についてシミュレーションを行った。その結果、gap junction 結合モデル 3 つとシナプス結合モデルの送り手側である P-HCNM はカオス応答を示し、同様の結合を持っている P-HCNM においてもカオス応答を示した。このことから、本研究で構築したハードウェア SWCNN は、隣接する P-HCNM の状態に関わらずカオス応答を示す P-HCNM

と同様の結合方式をもつ P-HCNM すべてにおいてカオス応答を実現できることを明らかにした。

今後は、興奮性シナプスモデルによって結合されている場所を抑制性シナプスモデルに変更し、カオス応答が確認できるかシミュレーションを行っていく予定である。

4. 参考文献

- [1] H. Hayashi, S. Ishizuka, M. Ohta, and K. Hirakawa, "Chaotic behavior in the Onchidium giant neuron under sinusoidal stimulation", Phys. Lett. A, vol.88, No.8, pp.435-438, April 1982.
- [2] Vervaeke, K., Lörincz, A., Gleeson, P., Farinella, M., Nusser, Z., & Silver, R. A. "Rapid desynchronization of an electrically coupled interneuron network with sparse excitatory synaptic input" Neuron, 67(3), pp.435-451, 2010.
- [3] 山口拓人, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹: 「gap junction 結合を用いたハードウェアカオスニューラルネットワークに対する一検討」, 第 64 回日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-14, 2020.