

カオス応答を呈する Izhikevich ニューロンに 正弦波入力を印加した場合の応答解析

Analysis of behavior of chaotic Izhikevich neurons in response to sinusoidal forcing

塚本陽太¹

對馬帆南¹

池口徹^{1,2}

東京理科大学 大学院工学研究科¹

東京理科大学 工学部²

1 はじめに

我々は既に、Izhikevich ニューロンモデル [1] が周期応答を示す場合とカオス応答を示す [2] 場合に正弦波入力を印加した際の応答を調査している [3–11]。しかし、文献 [2] で示されたパラメータは外部入力が必要な負の値となっており、生理学的に妥当とはいえない。一方、内木らは、外部入力が正の値となる場合にカオス応答を示すパラメータの存在を報告している [12]。本稿では、内木らによるカオスパラメータ [12] を Izhikevich ニューロンモデルに与えた際の正弦波入力に対する応答を調査したので報告する。

2 モデルと評価指標

Izhikevich ニューロン [1] への入力を正弦波 $I(t) = I_{DC} + A \sin \frac{2\pi}{T}t$ とする。内木らが報告した Izhikevich ニューロンがカオス応答を示す 4 種類のパラメータ [12] を用いて、周期 T 、振幅 A を変化させた場合の発火時間間隔 (ISI) の振舞いを調査した。ISI の評価指標として、多様性指数 D [12, 13] と変動係数 C_v を用いた。多様性指数は、周期応答では $D \approx 0$ 、非周期応答では $D \approx 1$ となるため、応答がカオスのかを簡易的に識別することができる。

3 結果と考察

内木らが示したパラメータの中で 2 種類のパラメータを用いた場合の D と C_v の結果を図 1 と図 2 に示す。

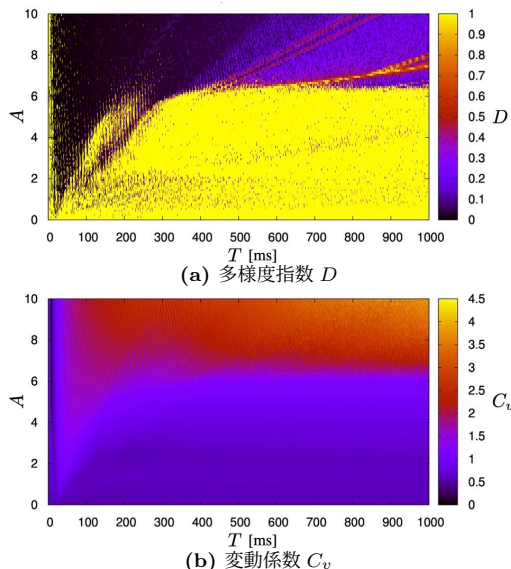
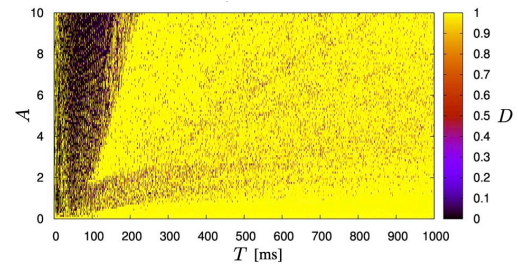
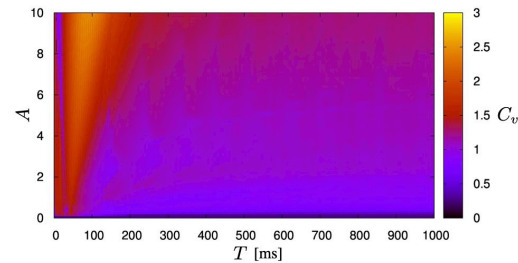


図 1: 内木らによるパラメータ 1 ($a = 0.0511, b = 0.2, c = -55, d = 2, I_{DC} = 10$)

図 1 では $A = 6$ 付近でカオス応答から周期応答に変化しているが、図 2 では同様の特徴は見られなかった。一方、いずれのパラメータでも、カオス応答のときは C_v が低く、周期応答のときは C_v が高い傾向にある点は共



(a) 多様性指数 D



(b) 変動係数 C_v

図 2: 内木らによるパラメータ 2 ($a = 0.02, b = 0.498, c = -47.6, d = 2, I_{DC} = 10$)

通していた。これは、カオス応答では、わずかに異なる値から ISI が構成されているのに対し、周期応答では、ISI の値が大きく異なるためである。

次に、Izhikevich ニューロンモデルのヌルクラインの位置関係を調査した。その結果、図 1 のパラメータでは、 A の値によっては入力の変動に伴い Hopf 分岐が発生するのに対し、図 2 のパラメータでは 2 つのヌルクラインが常に離れており、分岐が発生しないという違いが見られた。本稿で示していない 2 つのパラメータも図 1 と図 2 のいずれかと類似した結果となった。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP22J12396, JP22KJ2808, JP20H00596, JP21H03514, JP22K18419 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Izhikevich, *IEEE TNN*, 14(6), 1569–1572, 2003.
- [2] Izhikevich, *IEEE TNN*, 15(5), 1063–1070, 2004.
- [3] Tsukamoto et al., *NOLTA, IEICE*, 13(2), 367–372, 2022.
- [4] Tsukamoto et al., *Proc. of NLSW2021*, NLSW-54, 2021.
- [5] 塚本 他, 電子情報通信学会総合大会, N-1-16, 2022.
- [6] 塚本 他, 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, A-9, 2022.
- [7] Tsukamoto et al., *NOLTA, IEICE*, 14(2), 215–227, 2023.
- [8] Tsukamoto et al., *Proc. of NOLTA2022*, B2L-E-03, 2022.
- [9] Tsukamoto et al., *Proc. of NCSPP'23*, 3AM1-1-3, 2023.
- [10] 塚本 他, 電子情報通信学会総合大会, N-1-17, 2023.
- [11] Tsukamoto et al., submitted to *NOLTA, IEICE*, 2023.
- [12] 内木 他, 信学論 A, J100-A(5), 195–204, 2017.
- [13] 杉浦 他, 信学技報, 113(116), 43–48, 2013.