

光発振器を用いたスパイクングニューラルネットワークにおけるキメラ状態の観測

Observation of chimera states in a photonic spiking neural network

NTT 物性研¹, デルフト工科大², 東京大学³, NTT 先端集積デバイス研究所⁴

アルコ ツミ^{1*,2}, 稲垣卓弘^{1*}, 稲葉謙介^{1*}, 山田康博¹, Timothée Leleu³, 本庄利守¹,
生田拓也¹, 圓佛晃次⁴, 梅木毅伺⁴, 笠原亮一⁴, 合原一幸³, 武居弘樹¹

NTT BRL¹, TU Delft², The University of Tokyo³, NTT Device Technology Laboratories⁴

Tumi Aluko^{1*,2}, Takahiro Inagaki^{1*}, Kensuke Inaba^{1*}, Yasuhiro Yamada¹, Timothée Leleu³,
Toshimori Honjo¹, Takuya Ikuta¹, Koji Enbutsu⁴, Takeshi Umeki⁴, Ryoichi Kasahara⁴,
Kazuyuki Aihara³ and Hiroki Takesue¹

*These authors contributed equally to this work. (E-mail: takahiro.inagaki.vn@hco.ntt.co.jp)

複雑に結合した発振器ネットワークに生じる非線形ダイナミクスの一つとして、キメラ状態[1]と呼ばれる同期集団と非同期集団の混在した状態が近年注目を集めている。このキメラ状態は、電力網における送電損失[2]や心臓の不整脈の一種である心室細動[3]など、様々な物理系のネットワーク構造に生じる現象の一因として考えられている。また、近年になって FitzHugh-Nagumo モデルのようなスパイクングニューラルネットワーク(spiking neural network: SNN)に発生するキメラ状態が報告され[4]、キメラ状態が脳型情報処理に与える影響について関心が高まっている。我々はこれまで、縮退光パラメトリック発振器(degenerate optical parametric oscillator: DOPO)のネットワークを用いた SNN の実装に取り組んでおり、人工ニューロンのネットワークに生じる同期現象の実証実験を行ってきた[5, 6]。本研究ではこの DOPO-SNN を用いてネットワークに生じるキメラ状態の観測を行った。

本研究の DOPO を用いた SNN では、図 1(a)のように、2 個の DOPO で 1 個のニューロンが構成される。また、ニューロン間に図 1(a)の赤線のように結合が実装され、ニューロン内部およびニューロン間の光結合は 8 bit の分解能で任意に個別設定が可能である。ここで 100 個のニューロン間に図 1(b)のように距離に応じて結合強度が減衰する並進対称な 1 次元リング状のネットワーク構造を実装し、各ニューロンの位相 θ_i の時間発展を測定した結果が図 1(c)である。図 1(d)はこの実験結果から得られた隣接するニューロン間の位相差 $\theta_i - \theta_{i+1}$ を表している。この実験結果は単純な同期状態ではなく、同期した部分と非同期な部分の混在した状態となった時間発展を示しており、これは DOPO-SNN に発生したキメラ状態であると考えられる。また、DOPO ニューロンはポンプ光の強度や同期強度の変化によってその発火モードや発火周波数が変化する性質を持っており、異なる発火モードの混在した特殊な状態も観測されている。本発表ではポンプ光の強度やニューロン間の結合強度を変化させた際に生じるダイナミクスについて報告する。

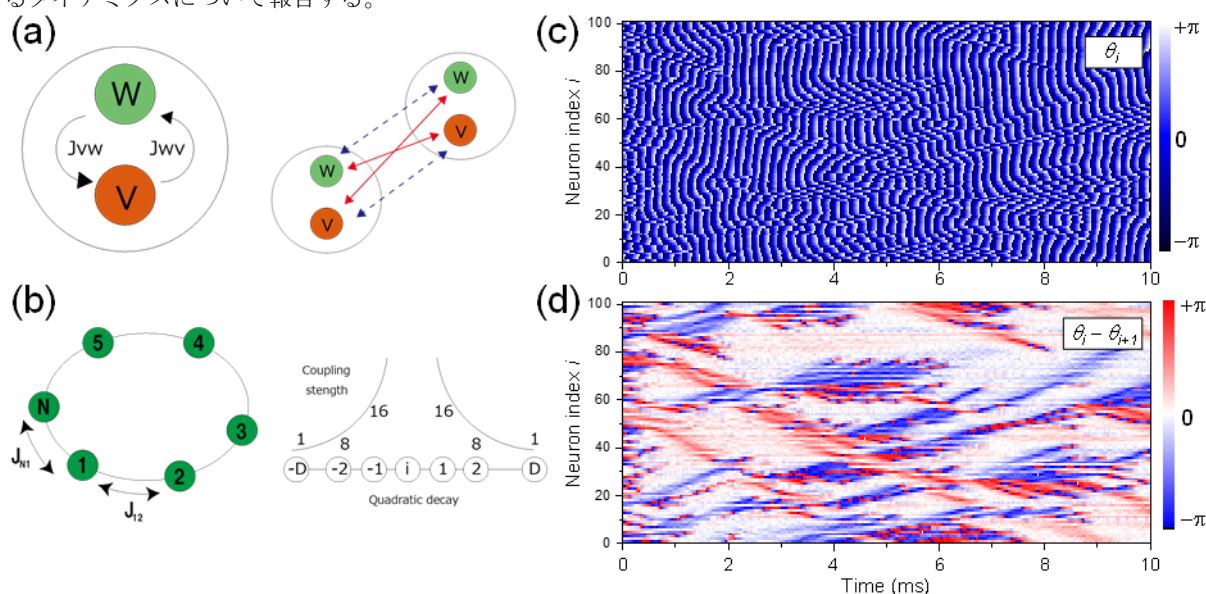


図 1 (a) DOPO を用いた SNN の模式図 (b) リング状のネットワーク構造
(c) 各ニューロンの位相 θ_i の時間変化 (d) 隣接したニューロン間の位相差 $\theta_i - \theta_{i+1}$

- [1] Y. Kuramoto and D. Battogtokh, *Complex Syst.* **5** 380 (2002).
[3] E. M. Cherry and F. H. Fenton, *New J. Phys.* **10** 125016 (2008).
[5] T. Inagaki, K. Inaba et al, *Nat. Commun.* **12**, 2325 (2021).

- [2] A. Motter et al., *Nature Phys* **9**, 191–197 (2013).
[4] I. Omelchenko et al, *Phys. Rev. E* **91**, 022917 (2015).
[6] 稲垣他, 2021 年応物春季学術講演会 17a-Z07-1&2.