

M-13

## ハードウェアランダム結合ニューラルネットワークのE/I比増減による 神経活動の複雑性に対する一検討

A Study on Complexity of Neural Activity by Increasing or Decreasing E/I Ratio of a Hardware Random Neural Network

○浅井颯音<sup>1</sup>, 飯村太輝斗<sup>2</sup>, 山口拓人<sup>3</sup>, 佐伯勝敏<sup>4</sup>

\*Hayato Asai<sup>1</sup>, Takito Iimura<sup>2</sup>, Takuto Yamaguchi<sup>3</sup>, Katsutoshi Saeki<sup>4</sup>

Although the relationship between the complexity of neural activity and neurological disorders has been studied, it is not yet clearly understood. We are investigating the use of electronic circuits as one method to solve this problem.

In this paper, we used a hardware random coupled neural network to investigate the complexity depending on the ratio of excitatory and inhibitory synaptic models in the random coupled network (E/I ratio). As a result, it is clarified that increasing excitability in the E/I ratio decreased complexity, while increasing inhibibility increased complexity.

### 1. まえがき

神経活動の複雑性と神経障害の関連性が研究されている。S. B. Nelson<sup>(1)</sup>らは自閉症スペクトラム(autism spectrum disorder: ASD)および関連する神経障害における興奮性シナプス伝達と抑制性シナプス伝達の比率の一次増加と減少について、脳の回路の恒常性の観点から生理学的研究を行っている。また、朴<sup>(2)</sup>らはニューラルネットワークにおける抑制と神経活動の複雑性について数値シミュレーションを用いて研究を行っている。先行研究<sup>(3)</sup>では、電子回路を用いて抑制性シナプスモデルのみで構成したハードウェアランダム結合ニューラルネットワークを構築し、抑制性シナプスモデルの数と発火波形の複雑性について検討を行った。その結果、発火波形からマルチスケールエントロピー(MSE)<sup>(4)</sup>を計算することで、抑制性シナプスモデル数を増加すると発火波形の複雑性が増すことを明らかにした。

今回、ハードウェアランダム結合ニューラルネットワーク内の抑制性シナプスモデルをランダムに興奮性シナプスモデルに変更し、興奮性シナプスモデルと抑制性シナプスモデルの比率(E/I比)と複雑性について検討を行った。

### 2. 本論

Fig. 1に先行研究で用いたハードウェアランダム結合ニューラルネットワークから抑制性シナプスモデルをランダムに興奮性シナプスモデルに変更し、ネットワーク内のE/I比が1:1となるようにしたハードウェアランダム結合ニューラルネットワークのブロック図を示す。図中の数字はP-HCNMの番号を示している。また、黒の実線はGap Junctionモデル、赤の実線とその終端の丸は軸索モデルと抑制性シナプスモデル、緑

の実線とその終端の丸は軸索モデルと興奮性シナプスモデルをそれぞれ示している。E/I比を1:1, 1:2, …1:5, 2:1, …5:1にした場合も同様に行いネットワークを構築した。

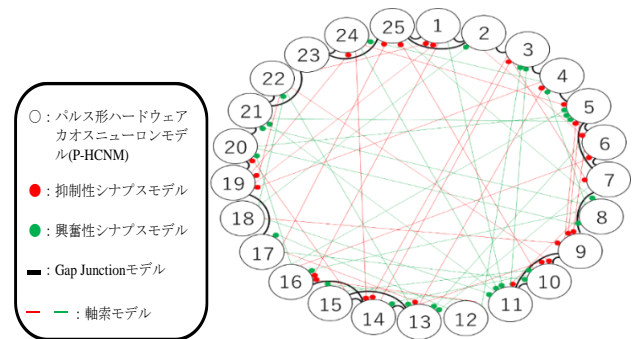


Figure 1. A hardware random neural network with E/I 1:1

Fig. 2にFig. 1で構成したネットワーク内の抑制性シナプスモデル数と興奮性シナプスモデル数を変化させた時のMSEの結果を示す。同図は、横軸に抑制性シナプスモデル数、縦軸にMSEを示している。この縦軸のMSEは初めに、各E/I比中のネットワーク内のすべてのP-HCNMについて発火波形を用いて、E/I比1:1の発火波形を基準にMSEを算出する。次に、25個のP-HCNMのMSEの値を加重平均を用いて一つの値にしている。ネットワーク内のシナプスモデル数は52個で、興奮性シナプスモデルを1つ増加すると、抑制性シナプスモデルは1つ減少する関係とした。同図は、抑制性シナプスモデル数が増加するとMSEの値が減少し、抑制性シナプスモデル数が減少するとMSEの値が増加することを示している。このMSEは複雑性を表しており、値が0に近いほど複雑性が増す。したがって、抑制性シナプスモデル数を増加させると複雑性が増加することを示している。

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・院(前)・電子, 3: 日大理工・院(後)・電子, 4: 日大理工・教員・電子

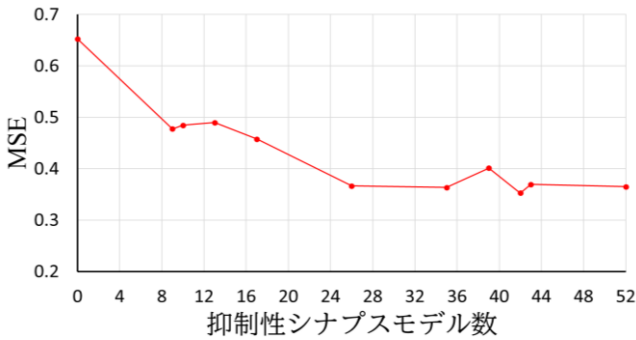


Figure 2. Characteristic of number of inhibitory synaptic model vs. MSE

Fig. 3 に E/I 比を 0:1, 1:1, 2:1…5:1 に変化させた時の MSE を示す. 図中, 横軸に E/I 比, 縦軸に MSE を示している. 同図は Fig. 2 と同様に MSE の算出を行っており, E/I 比の興奮性シナプスモデルが増加すると MSE の値が増加し, 抑制性シナプスモデルの影響が少なくなることを示している. したがって, E/I 比の興奮性シナプスモデルが増加すると複雑性が減少することを示している.

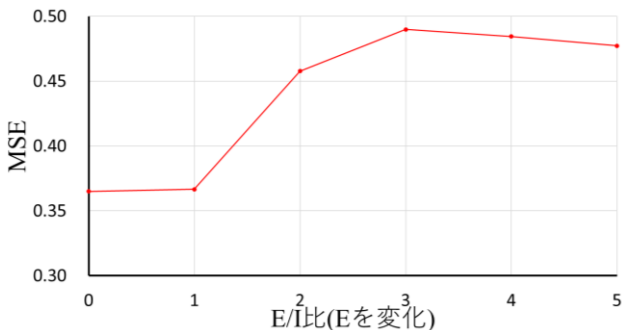


Figure 3. Characteristic of excitately synaptic model changes vs. MSE

Fig. 4 に E/I 比を 1:0, 1:1, 1:2…1:5 に変化させた時の MSE を示す. 同図は Fig. 3 と同様に MSE の算出を行っている. 同図は, E/I 比の抑制性シナプスモデルが増加すると MSE の値がある値に収束する傾向があることを示している. さらに, 先行研究と比較すると興奮性シナプスモデルの影響を受けて指数関数的に MSE の値が減少していることを示している. したがって, E/I 比の抑制性シナプスモデルが増加すると複雑性が指数関数的に増加することを示している.

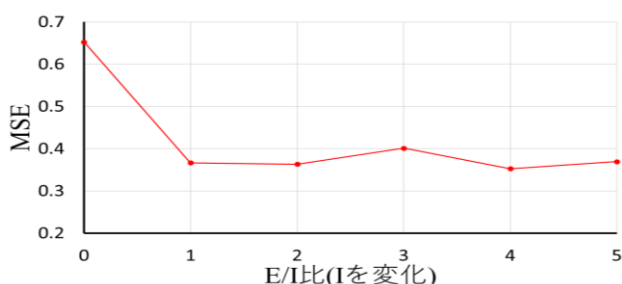


Figure 4. Characteristic of inhibitory synaptic model changes vs. MSE

### 3. まとめ

今回, ハードウェアランダム結合ニューラルネットワーク内の抑制性シナプスモデルをランダムに興奮性シナプスモデルに変更し, 興奮性シナプスモデルと抑制性シナプスモデルの比率 (E/I 比) と複雑性について検討を行った. その結果, 抑制性シナプスモデル数を増加させると複雑性が増加することを明らかにした. また, E/I 比における興奮性シナプスモデルを増加させると複雑性は減少し, 抑制性シナプスモデルを増加させると複雑性は指数関数的に増加することを明らかにした.

今後は, 本ネットワークを用いて, 複雑性の変化を時間的・空間的に観察するため, 比が異なる条件下でシナプスの活動パターンやネットワークの動作がどのように変化するか検討を行う. また, 実際の神経回路の動作とどのように関連しているか検討すると共に, 複雑性が増すことが情報処理などのタスクにどのような影響を及ぼすのか検討を行う予定である.

### 4. 参考文献

- (1) S. B. Nelson and V. Valakh : “Excitatory/inhibitory balance and circuit homeostasis in autism spectrum disorders”, *Neuron*, 87(4), pp.684-698 (2015)
- (2) 朴 志勲・河合 祐司・浅田 稔:「スパイクニューラルネットワークにおける抑制の減弱をもたらす神経活動の複雑性の低下」, 電子情報通信学会, 信学技報, NLP2022-96, NC2022-80, pp.81-86 (2023)
- (3) 浅井 颯音・飯村 太輝斗・山口 拓人・佐伯 勝敏:「抑制性シナプスモデルを有するランダムニューラルネットワークの神経活動の複雑性に対する一検討」, 電気学会, 電子回路研究会, 電気学会研究会資料, ECT-024-003, pp.13-16 (2024)
- (4) M. Costa, A. L. Goldberger, and C.-K. Peng : “Multiscale entropy analysis of complex physiologic time series” , *Phys. Rev. Lett.*, 89(6),068102 (2002)
- (5) T. Yamaguchi, K. Sacki, and Y. Sasaki : “A Pulse-Type Hardware Chaotic Neural Network with Gap Junctions for IC Implementation” , *International Conference on Analog VLSI Circuits(AVIC2021)*, pp.138-141 (2021)
- (6) Duncan J. Watts & Steven H. Strogatz : “Collective dynamics of ‘small-world’ networks” , *NATURE*, Vol.393, pp.440-442 (1998)