



神経信号のカオス特性を評価する人工ニューラルネットワークの開発

徳島大学大学院 社会産業理工学研究部
電気電子システムコース 准教授 上手 洋子

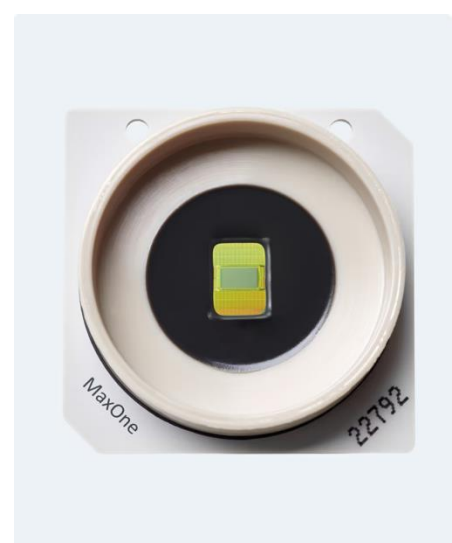
1. 研究背景・目的

脳とカオス

脳の神経活動はカオスの性質を持ち、情報処理や適応に重要

カオス特性の応用：
EEG信号において、認知機能と神経疾患の予測

HD-MEA: High Density Micro-Electrode Array



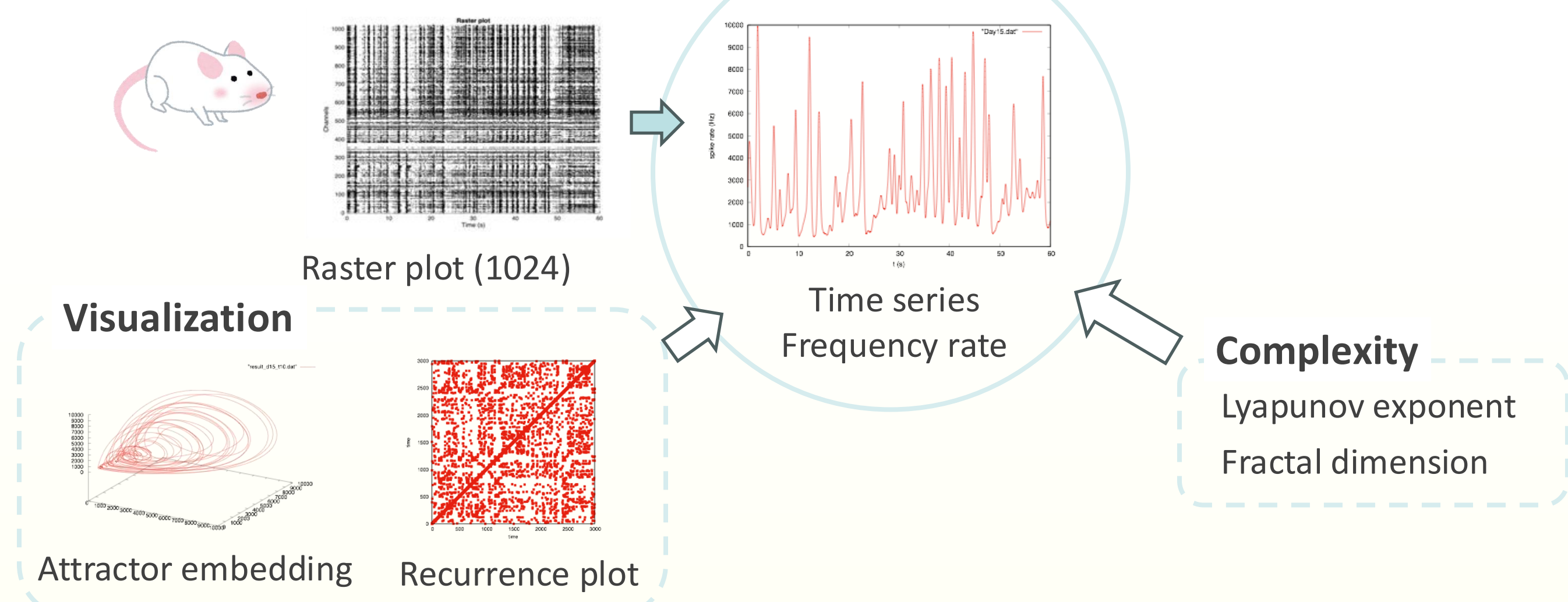
一度に1,020の電極でニューロン信号を測定可能

ニューロンの発火パターンの調査：
フーリエ変換
Inter spike interval (ISI) } 線形手法

ニューロン信号は非常に複雑：
新しい評価方法として**非線形解析（カオス理論）**が有効

これまでの研究アプローチ

Neuronal signals (Real rat brain)



ラットの成長に伴い、**ニューロン信号のカオス性が弱くなる**ことを確認した。

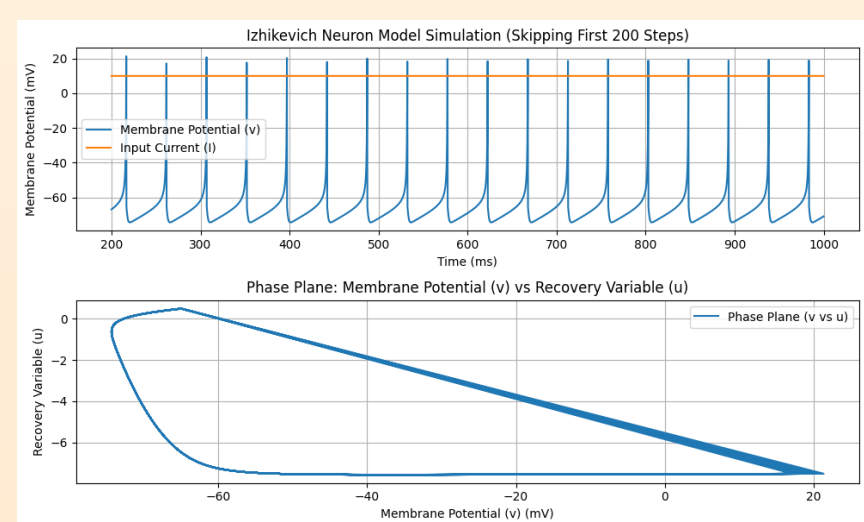
本研究の目的

神経信号のダイナミクスをカオス特性によって
評価するシステム（人工ニューラルネットワーク）を提案

2. Workflow

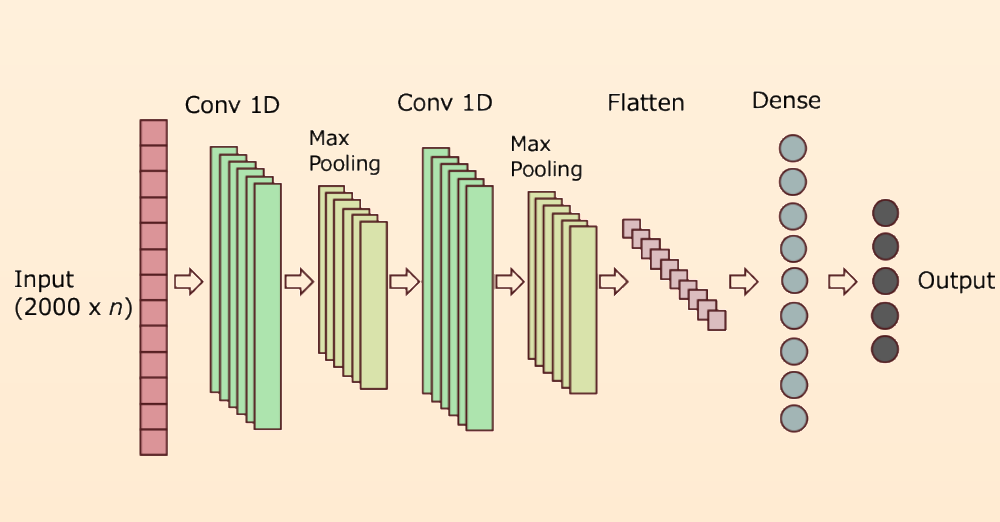
STEP 1

トレーニングデータの作成
数学モデル：
Izhikevich neuron model



STEP 2

1D-CNN
5種類の時系列
データ分類



STEP 3

トレーニング済み
1D-CNNに実際のネズミ
の脳から得られた神経
信号を入れて調査

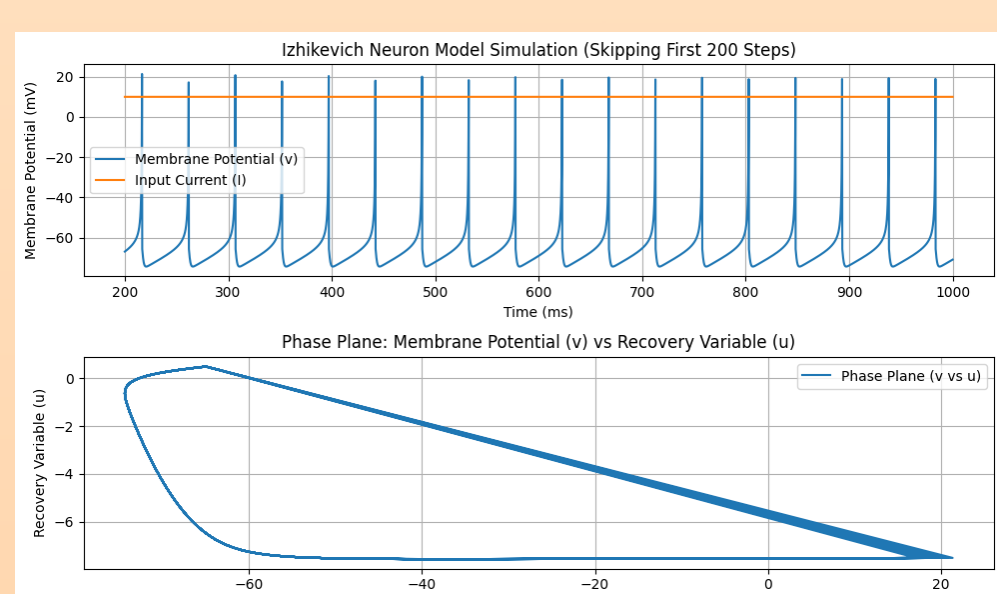
？
カオス特性が
どのように判定されるか？

3. Izhikevich neuron model

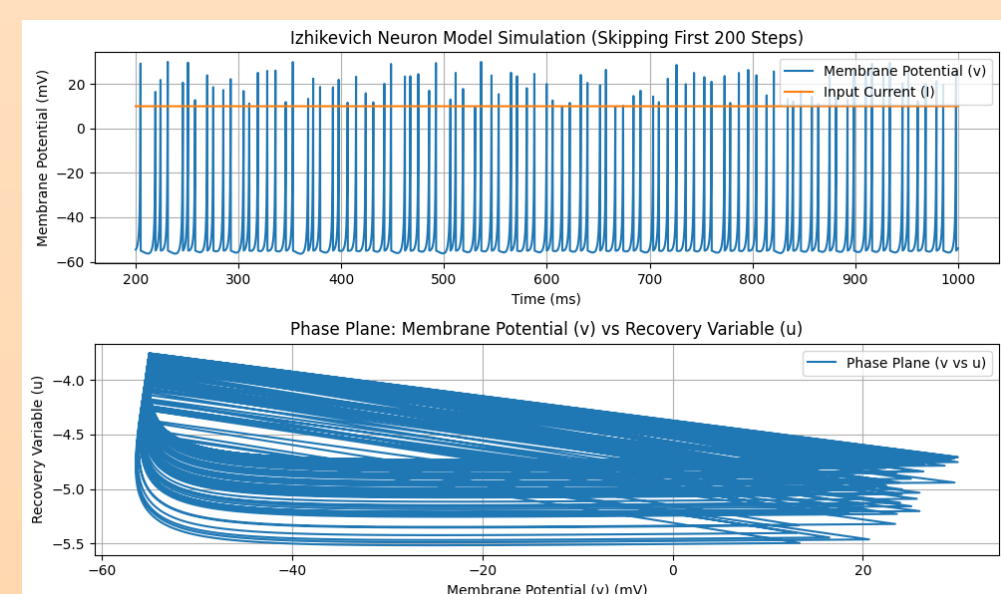
$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = 0.04v^2 + 5v + 140 - u + I_{ex} \\ \frac{du}{dt} = a(bv - u) \end{cases}$$

if $v > 30$ mV, then $v \leftarrow c$ and $u \leftarrow u + d$.

「生物らしいスパイク挙動」を
「高速にシミュレーション」でき
るため、ネットワーク研究やカオ
ス研究によく使われる。



Regular/Periodic spiking
a=0.02, b=0.2, c=-65, d=8



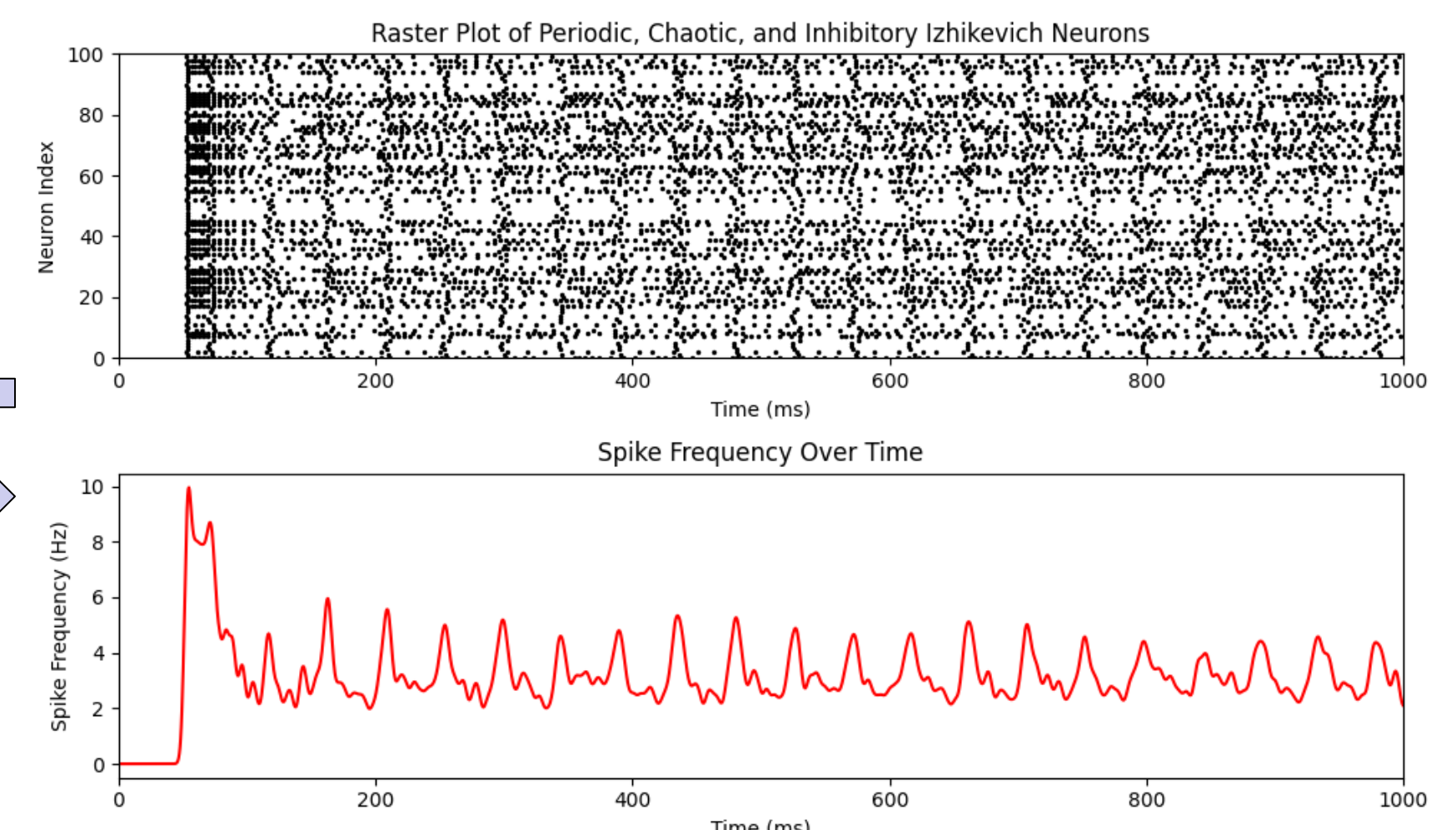
Chaotic spiking
a=0.02, b=0.2, c=-55, d=0.93

4. データ収集方法

トレーニングデータ (Izhikevich neuron model)

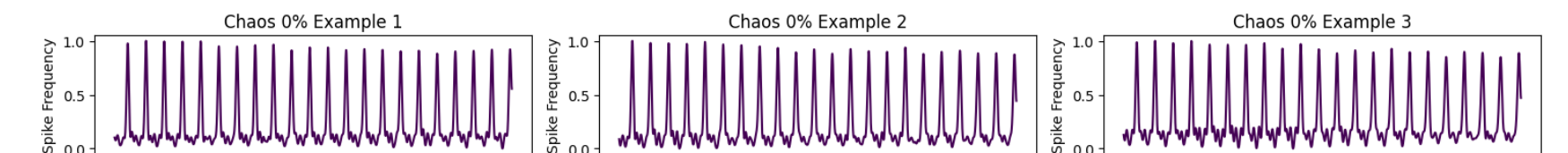
Chaotic neurons: 40
Periodic neurons: 40
Inhibitory neurons: 20

ラスタープロットから
1次元時系列に変換
(スパイク頻度)

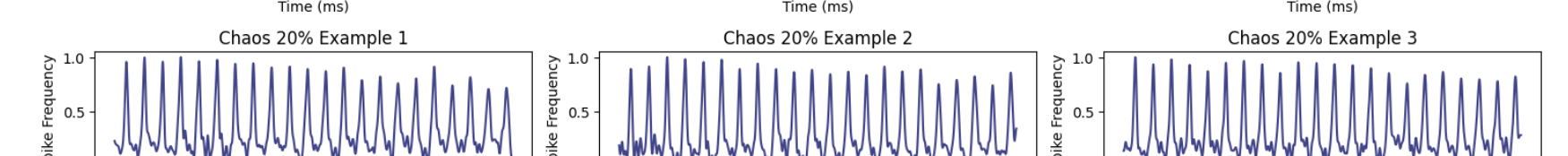


トレーニングデータの例（5種類）

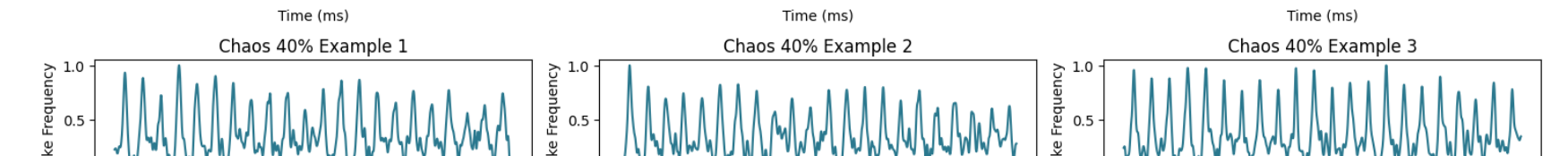
Chaotic neurons: 0
(0 chaos neuron)



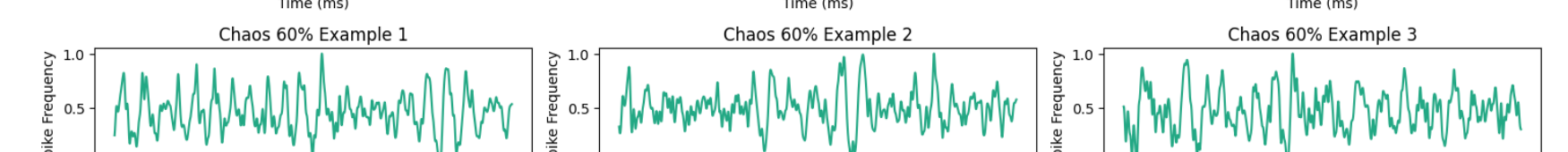
Chaotic neurons: 20
(Few chaos neuron)



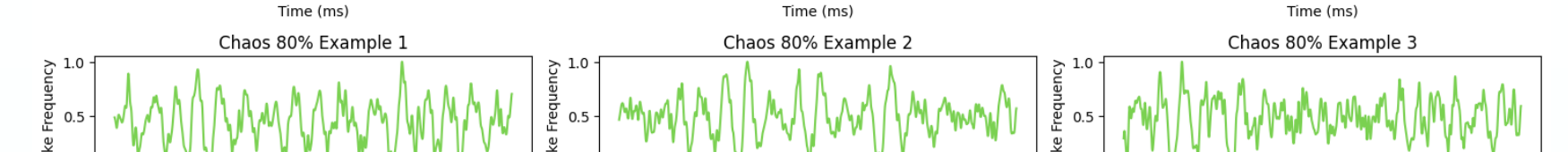
Chaotic neurons: 40
(Average chaos neuron)



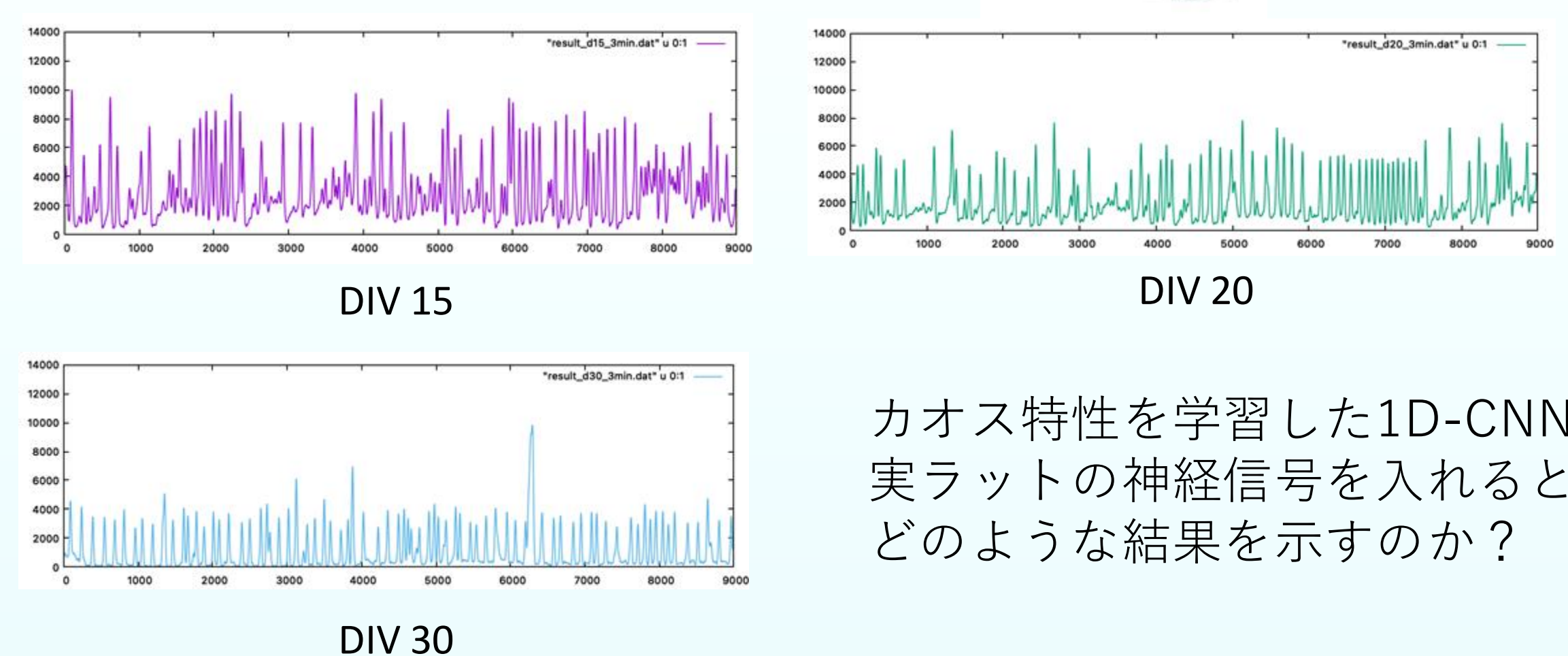
Chaotic neurons: 60
(Many chaos neuron)



Chaotic neurons: 80
(Full chaos neuron)



テストデータ（実ラットの神経信号）



カオス特性を学習した1D-CNNに
実ラットの神経信号を入れたと
どのような結果を示すのか？

5. シミュレーション結果

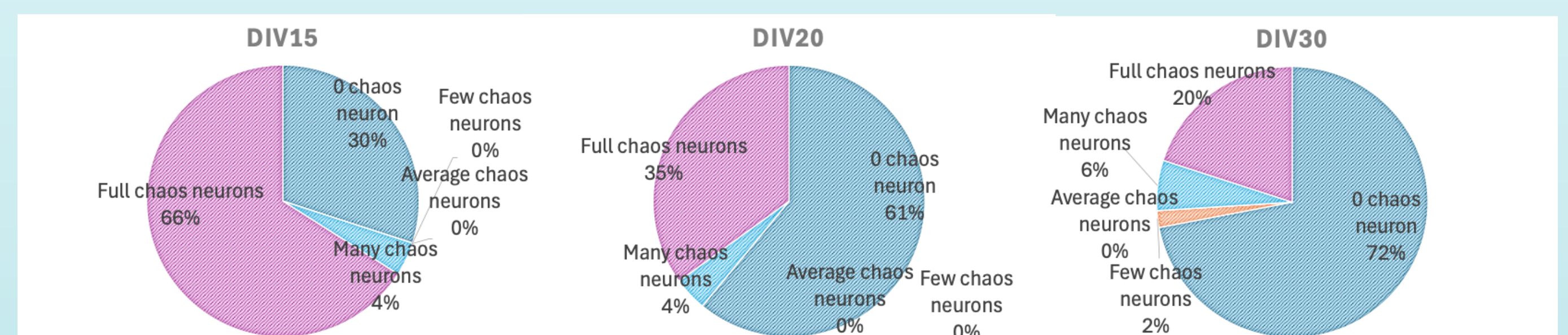
Izhikevichニューロンモデル

5種類の時系列（カオスニューロン割合 0, 20, 40, 60, 80%）を1D-CNN
で高精度に分類できた。

実ラットの神経信号（DIV15, DIV20, DIV30）

•DIV15では「0カオスニューロン」が約30%、「完全カオス」が約66%と、カオス
が優勢。
•DIV20では「0カオス」が約61%、「完全カオス」は約35%に減少。
•DIV30では「0カオス」が約72%まで増加し、「完全カオス」は20%まで低下。

成長に伴い **完全カオスの割合は減少、周期的（非カオスの）活動が増加**す
る傾向が見られた。



実ラットの神経信号を入力した際の1D-CNNの判定結果

6. まとめと今後の課題

（まとめ）

- ラット神経信号において、成長とともに **カオスの振る舞いが減少し、周期的な安定した活動が増加** することを確認。
- 神経活動は初期段階では強いカオス性を示すが、時間が経つにつれてより安定的な挙動へとシフトする。
- この結果は、脳の発達過程におけるカオスの役割を理解する上で重要な知見となる。

（今後の課題）

- RNNやReservoir Computingなど他の分類手法の適用、および他の神経データ（iPS細胞、脳オルガノイド）での検証などがある。