

順天堂大学

# テンソルブレイン： 量子状態とHPCによるデジタル脳の構築」 —JHPC-quantum テストユーザプログラム—



順天堂大学大学院健康データサイエンス研究科・医学研究科

孫 哲、Chao Li、姫野 龍太郎

# 脳神経科学統合プログラム—デジタル脳開発



Brain/MINDS 2.0  
脳神経科学統合プログラム



## デジタル脳とは何か

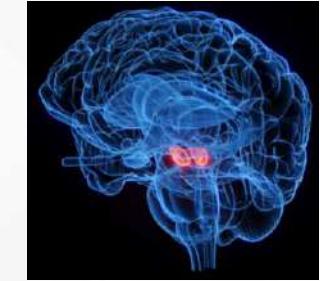
解剖学的／生理学的／行動学的数据を統合し、数学モデルに組み込むことで、大脑のダイナミクスと機能を再現する

➤ 知覚・運動・認知などの脳機能を再現する

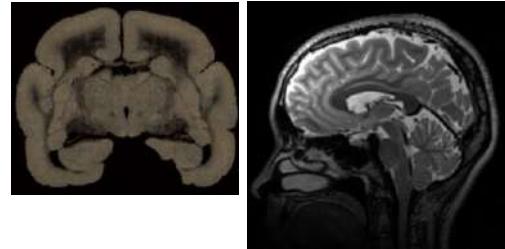
神経科学および脳型AI

➤ 脳領域・細胞・分子などの変化がもたらす影響を予測する

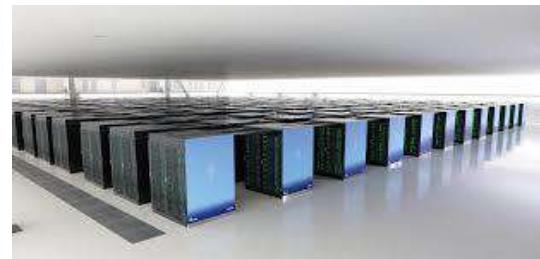
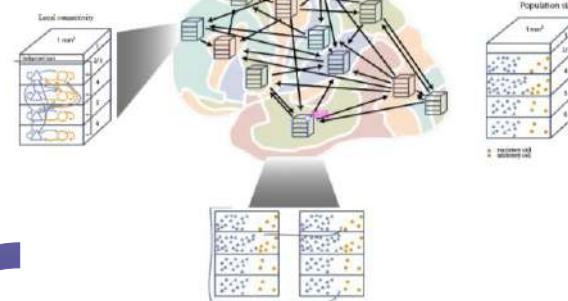
病理学、診断／治療／予防



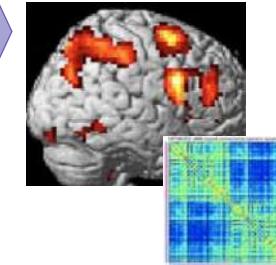
### 脳領域



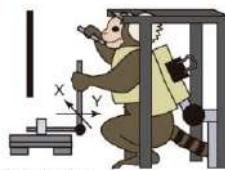
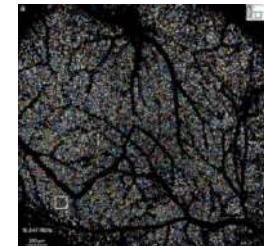
### スパコンに基づくデジタル脳



### fMRI・ECoG



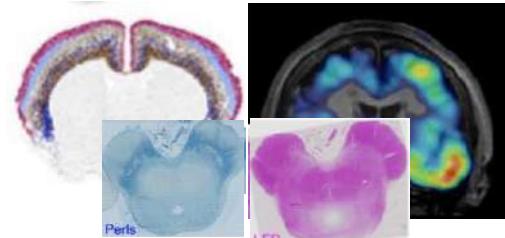
### イメージング



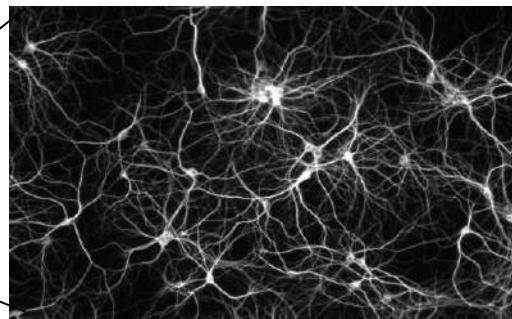
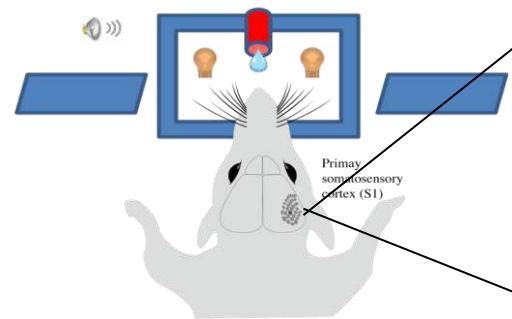
### 行動解析



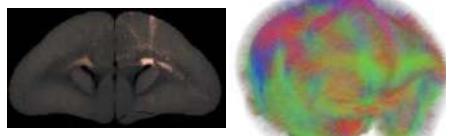
### 遺伝子・タンパク質



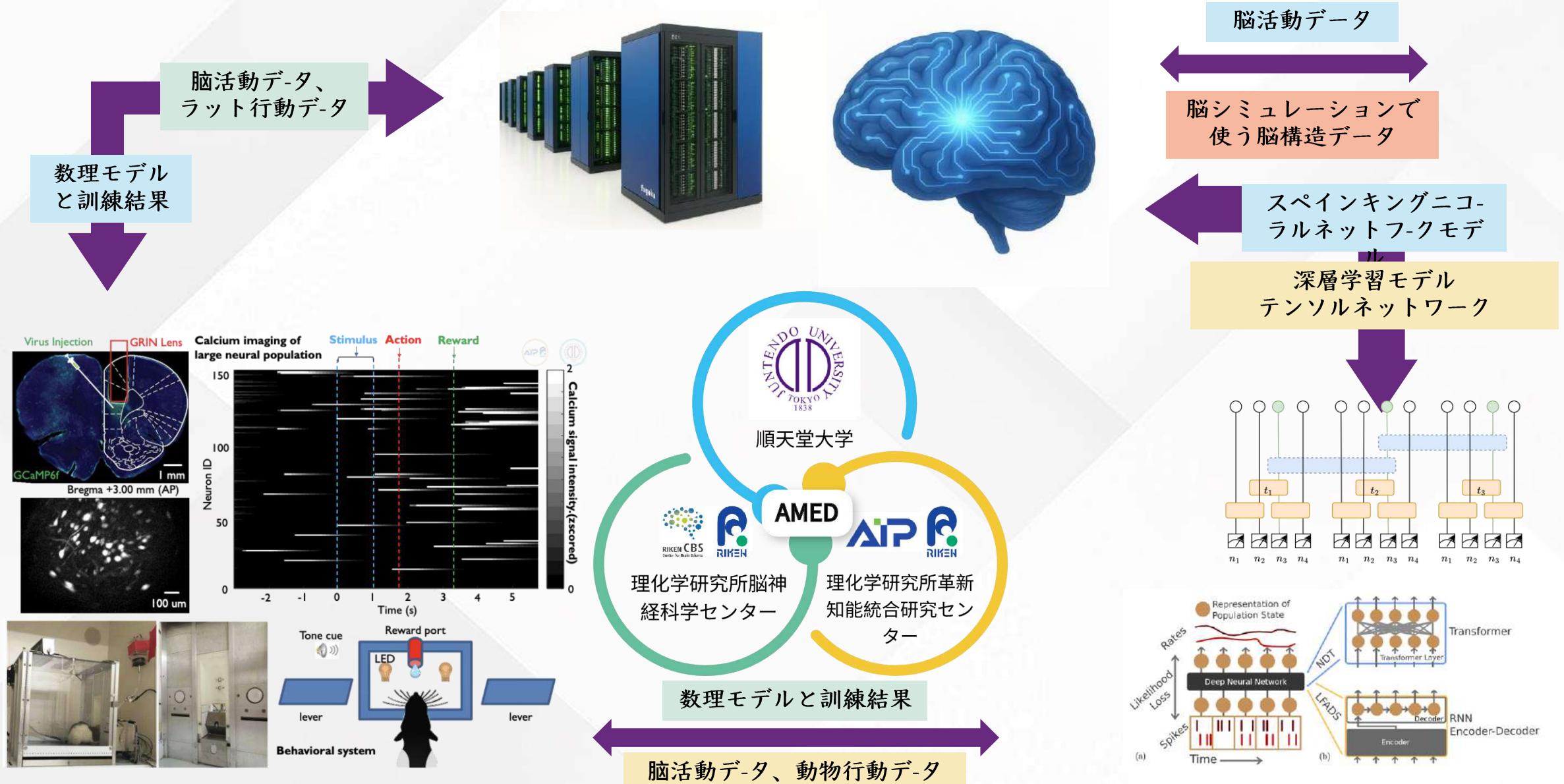
### 生物脳のデータ



### コネクトーム



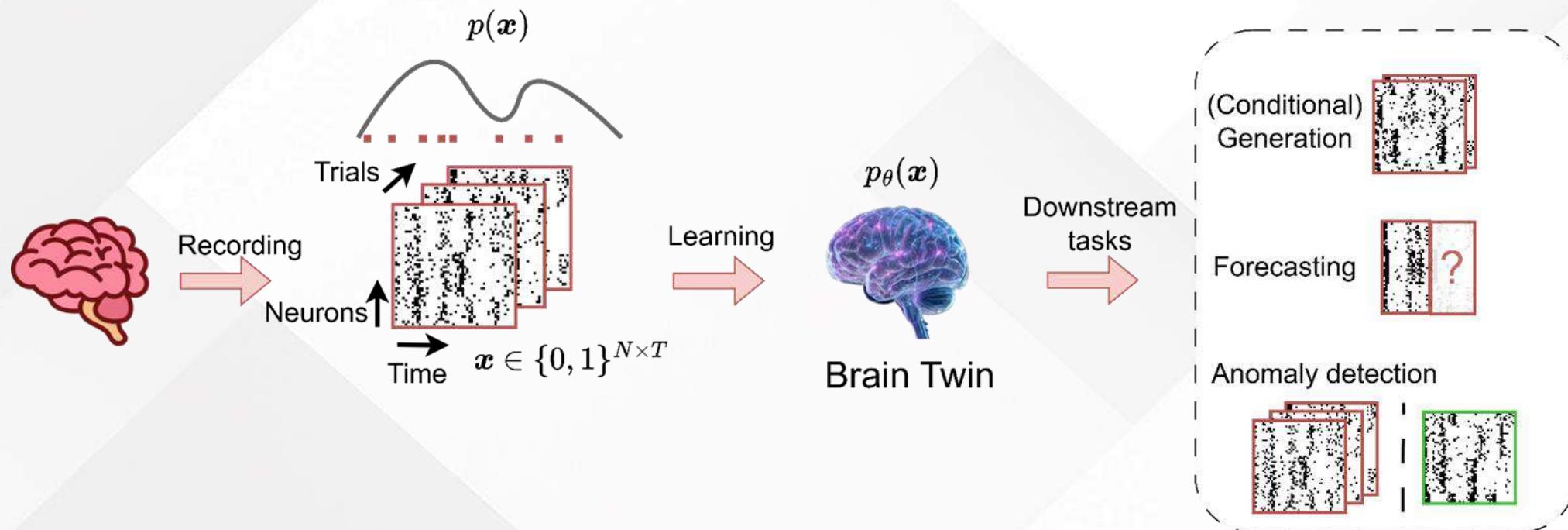
# 脳神経科学統合プログラム—デジタル脳開発



# 量子状態とテンソルネットに基づくデジタル脳構築

## 離散時間神経信号に対する量子インスペイア生成モデル

脳のデジタルツインを構築するには、まず脳に似た信号を生成できるデジタルモデルを設計する必要があります。これらの神経信号は離散時間系列と見なすことができます。



目的：脳のデジタルツイン → 確率モデルによるリアルな神経信号の生成

課題：高次元の時空間依存性、正規化不可能性

# 脳ネットワークに対するテンソルネットワーク生成モデル

- Data:  $S \in \mathbb{R}^{N \times T}$
- Distribution :  $p_\theta(S) = |\langle \phi(\theta) | S \rangle|^2$

- Training:  $\min_{\theta} - \sum_{S \in \mathcal{S}} \ln p_\theta(S)$

- Inference:

- Sampling:

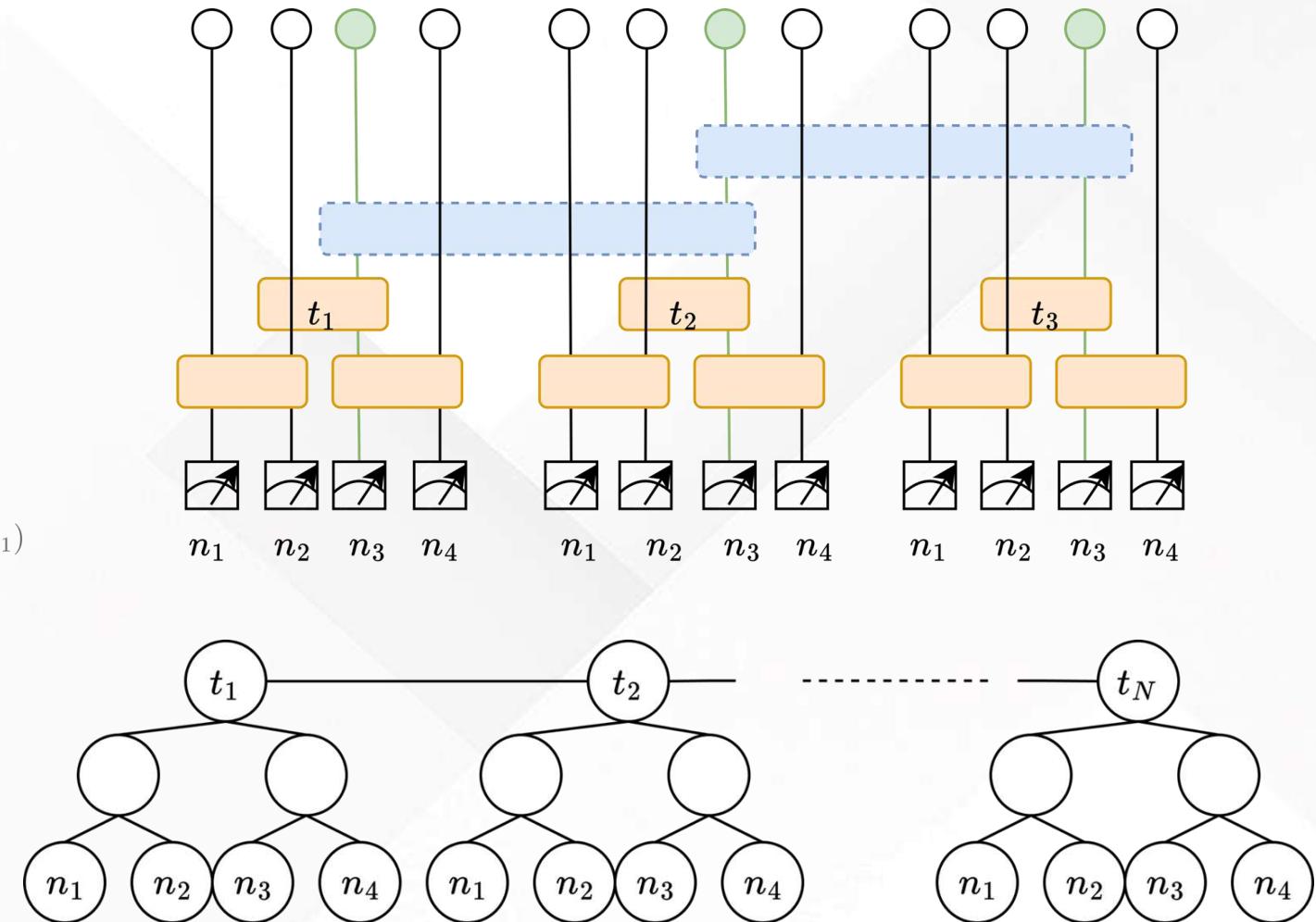
$$p_\theta(S_{:,t} | S_{:,1:t-1}) = \prod_{i=1}^N p_\theta(S_{i,t} | S_{1:i-1,t}, S_{:,1:t-1})$$

- Forecasting:

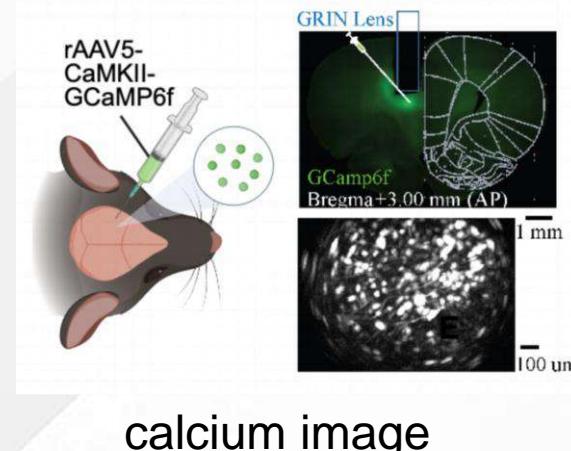
$$p_\theta(S_{i,t+1} = 1 | S_{:,1:t})$$

- Anomaly detection:

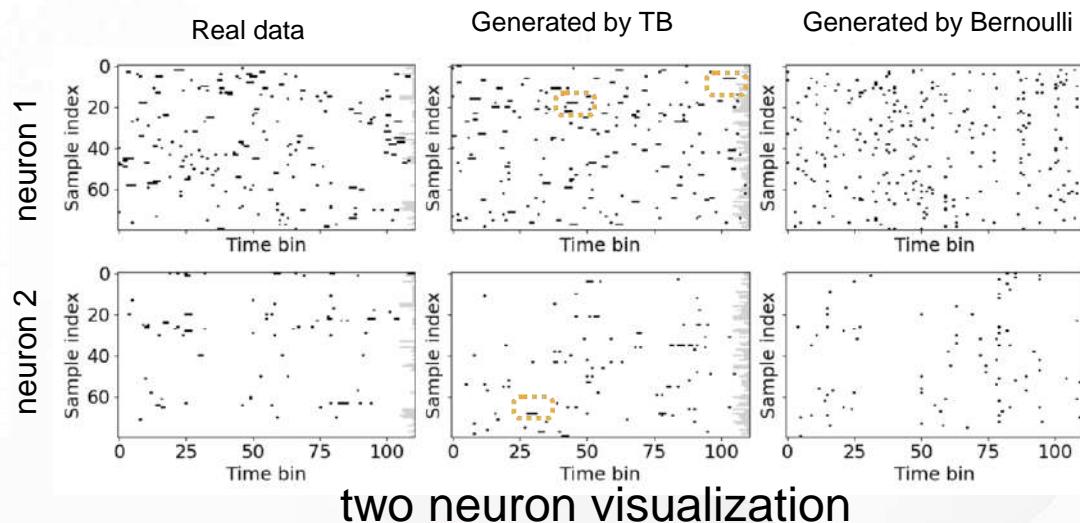
$$p_\theta(S) < \text{threshold}$$



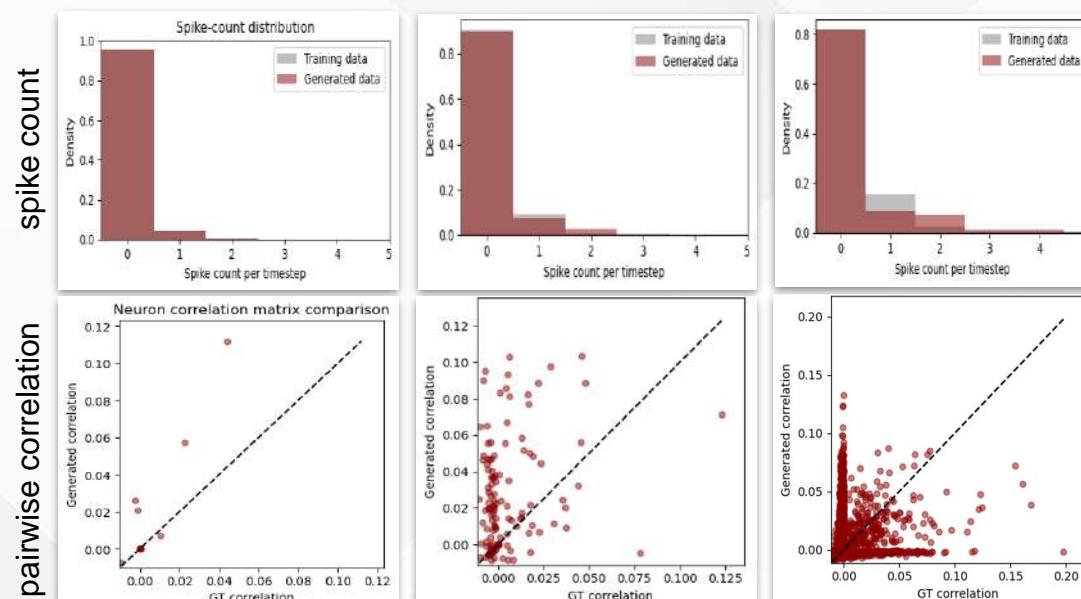
# 実験 – ラットのカルシウムイメージングデータ



calcium image



two neuron visualization



16 neurons

## Dataset

- Rat neural activity from **A1/V1 tasks** recorded by calcium imaging.
- Raw data were **binarized, aligned, segmented**, and saved in.
- **200 trials, 67–302 neurons**, 100 ms time bin.

# まとめと今後の展望



- 本研究では、量子状態とテンソルネットワークを融合した「テンソルブレイン」を構築します。
  - ▶ 高次元かつ確率的な神経活動を、量子回路とテンソル表現を用いて再現可能に。
- 今後の展望：
  - ▶ 実データ (Diffusion MRI、カルシウムイメージング等) との連携による実用性の検証。
  - ▶ 多領域神経回路モデルへの拡張と、知覚・意思決定などの高次認知機能のモデル化。

# 謝辞



国立研究開発法人 日本医療研究開発機構  
Japan Agency for Medical Research and Development



Brain/MINDS 2.0  
脳神経科学統合プログラム



スーパーコンピュータ「富岳」  
成果創出加速プログラム

