

シミュレーション神経科学で迫る 海馬ニューラルネットワークの機能

九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授 立野 勝巳



当研究室の研究分野は、広くは計算論的神経科学で、なかでもシミュレーション神経科学にあたります。

この分野では、神経生理学的知見を取り込んだシミュレーションにより、ボトムアップ的に脳の情報処理機能を調べます。1952年のホジキン先生とハクスレイ先生によるヤリイカの神経軸索の数理モデルに始まり、現在では、理化学研究所の研究チームが、人間の脳と同じ程度(860億個)のニューラルネットワークを構築するところまでできています。

脳全体のニューラルネットワークには富岳のようなスーパーコンピュータが必要ですので、私たちは、

海馬や嗅内皮質といった特定の脳領域に絞ってニューラルネットワークを作成しています。海馬は長期記憶に寄与していることで知られ、海馬の損傷は重篤な記憶障害をもたらします。長期記憶は潜在記憶と顕在記憶に分けられます。顕在記憶とは、

意識的に思い出せる記憶のことで、意味記憶とエピソード記憶に分類されます。海馬は顕在記憶に関係しますが、私たちは特にエピソード記憶に関心を持っています。

エピソード記憶に不可欠と考えられる場所を表す場所細胞(図1)が海馬から発見されたのはじめ、頭の向きを符号化している頭方位細胞や、移動速度を符号化している速度細胞なども見つかっています。最近では、同じフィールドにいる他者の場所を符号化する社会性場所細胞が発見され、エピソード記憶への寄与が徐々に明らかになっています。

海馬の場所細胞に関連する現象で

興味深いのが海馬リプレイです。ラットやマウスは迷路を探索すると、その移動経路に応じて場所細胞が活動しますが、探索の後の休憩時や睡眠時に、自分のたどった経路を思い出すように神経活動が再活性化する現象が起こります。寝ているときに覚醒時の行動をたどるように活性化することの神経活動は記憶の固定化と関連すると考えられています。

ニューラルネットワークの構築

図2はニューラルネットワークを作成する流れです。イオンチャネルの特性や神経活動パターンについて文献を調査し、知見をニューロンモデルに取り込みます。ニューロン同士をつなぐシナプスモデルを作成し、海馬の結合パターンに従ってニューラルネットワークを形成します。ニューラルネットワークを形成したら、仮想マウスに迷路を探索させ、探索時の経路をニューラルネットワークに蓄積する機構などを調べます。

シミュレーションの並列計算

私たちのモデルは、ニューラルネットワークのなかでもスパイキン

グニューラルネットワーク(SNN)と呼ばれるものです。スパイクとは活動電位のことです。SNNのニューロンは、微分方程式で記述されます。つまり、SNNは連立微分方程式を解く問題となります。海馬に限ったとしても100万ニューロン以上ありますので、負荷の高い計算です。そこで、Graphics Processing Unit (GPU) を使った並列計算にも取り組んでいます。GPUを使ったプログラムを作成する場合は、通常CUDAというプラットフォームを使いますが、使いこなすのは結構難しいです。そこで、pythonでラッピングし、GPUを意識せずともSNNの並列計算ができるようにしました。結果として、SNNを高速に計算できるようになりました。



GPU 搭載計算機

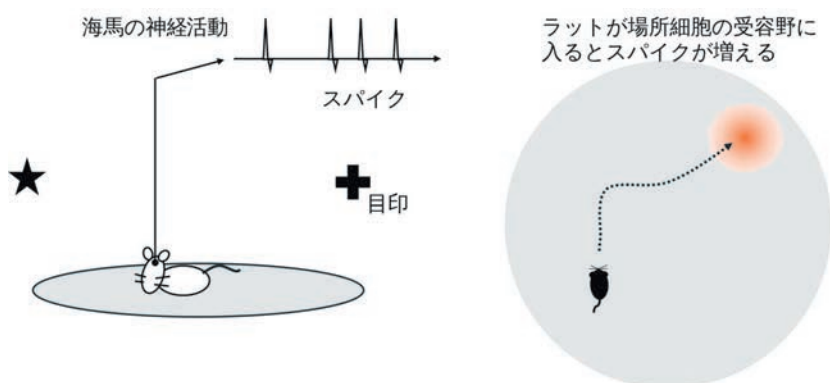


図1 場所細胞；場所細胞は実験場の特定の場所で活性化する。

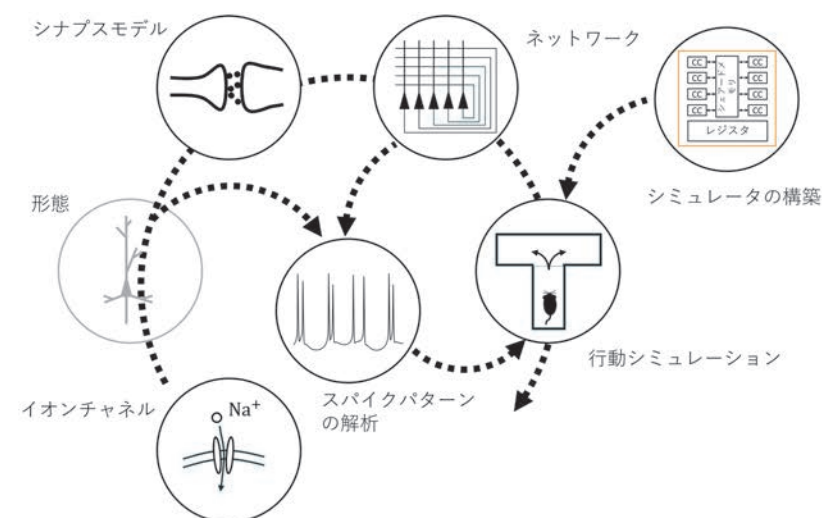


図2 ニューラルネットワーク作成の流れ。

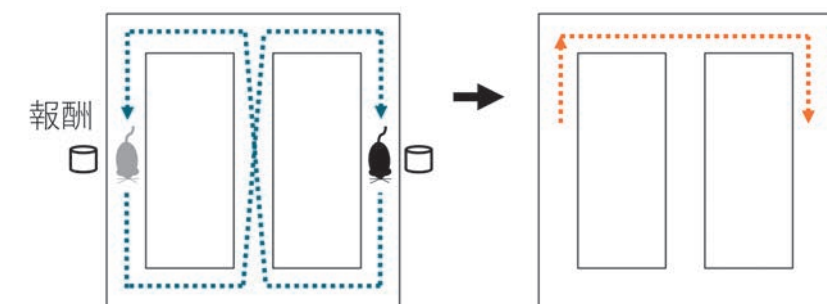
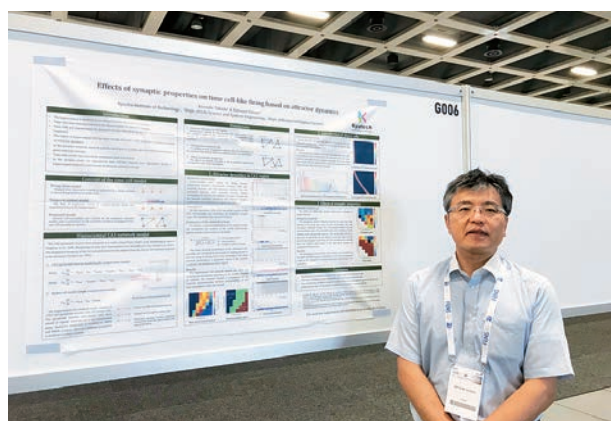


図3 海馬リプレイ；(左) 8字迷路を仮想ラットが交互に進むと、報酬を得ることができる。(右) 休憩中、仮想ラットの脳内では、実際には通ったことがない経路(→)も想起される。



年1、2回、国際会議で成果を発表しています。

海馬リプレイのシミュレーション

作成したシミュレータを用いて海馬SNNを作成し、仮想ラットが迷路を探索するシミュレーションを行いました(図3)。

行動に応じてニューロン間の信号伝達効率に変化し、それが記憶として残ります。仮想ラットが移動し、

報酬が得られたら伝達効率が增强され、そうでない場合には減弱する性質により、学習が進みます。図3では8字迷路の丁字路で左右交互に移動すると、報酬を得る行動シミュレーションです。迷路を探索して学習した後、休憩時には経路に沿った場所細胞の神経活動が自動的に再生される結果を得ました。これは海馬

リプレイですが、この現象のなかで、実際には経験していない経路も活性化します。これは報酬地点から別の報酬地点までの最短経路であり、脳の創造的活動と結びつきます。最後にありますが、アルツハイマー病患者の多くが空間記憶障害を発症することから、海馬や嗅内皮質との関連が疑われます。実際、アル

ツハイマー病モデルマウスを用いた実験で、海馬と嗅内皮質の機能低下が空間記憶障害の一因であることが示されてきています。アルツハイマー病で疑われる因子を取り込んだシミュレーションができれば、原因解明に貢献できると考えています。