

論文の内容の要旨

論文題目 Roles of Fluctuations in Pulsed Neural Networks
(パルスニューラルネットワークにおける揺らぎの役割)

氏名 金丸 隆志

生体の感覚系や中枢神経系においてしばしば観察される揺らぎに関連し、パルスニューラルネットワークにおける揺らぎの役割について調べた。単一ニューロンモデルとしては FitzHugh-Nagumo モデルを用い、ニューロン間の結合としては電気的シナプスと化学的シナプスの 2 種を考慮した。電気的シナプスとは感覚系においてしばしば見られるシナプスの形態であり、また、化学的シナプスとは皮質などの中枢神経系で広く見られるものである。

電気的シナプスにより結合しているネットワークに周期的な刺激と揺らぎを加えると、ある揺らぎ強度において入力刺激とネットワークの出力との間の相関が最大化することが観測された。これは確率共振現象と呼ばれ、系の揺らぎが入力信号を増幅する効果を持つということを意味している。近年、生体は危機回避のためにこの現象を利用しているのではないかと提案されている。この現象に関連し、我々のモデルにおいては次の 2 つの特徴が見出された。

- 入出力の相関を最大化する「最適な揺らぎ強度」はネットワークの結合係数とともに単調増大し、ある一定値に収束する。さらにその収束値はネットワークに含まれるニューロン数に比例する。
- 入出力の相関の最大値は、最適なネットワークの結合強度に対しても最大化される。

我々はこの2つの特徴の理論解析を行い、その発生メカニズムを明らかにした。また、「ネットワークの結合強度の調節」が「揺らぎ強度の実効的な調節」をもたらすことを指摘し、それを用いた情報処理モデルを提案した。

また、化学的シナプスによるネットワークにおける連想記憶モデルの動作を解析し、記憶パターンの想起がネットワークに揺らぎを加えることで実現されることを見出した。パルスニューラルネットワークによる連想記憶は、従来のモデルとは異なり時間軸方向に自由度を持つことを指摘し、複数のパターンを同時に想起できることを示した。さらに、このネットワークに階層構造を持ったパターンを記憶させた場合、揺らぎの調節により、想起されるパターンが選択されることを見出した。これらの現象は連続時間ダイナミクスで記述されるものであるが、それに対して離散時間写像を定義して解析することで、揺らぎによる記憶想起過程の分岐構造を明らかにした。

電氣的シナプス、あるいは化学的シナプスにより結合したパルスニューラルネットワークの振舞を解析した以上の結果より、系に内在する揺らぎがニューラルネットワークや脳の情報処理において有用に働き得ることが示された。