

Title	連想記憶モデルの平衡状態に関する研究
Author(s)	三村, 和史
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41492
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	三村和史
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第14760号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	連想記憶モデルの平衡状態に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 福島 邦彦 (副査) 教授 中野 馨 教授 佐藤 俊輔 教授 倉田 耕治

論文内容の要旨

Nakano, Kohonen, Andersonらによって独立に提案された連想記憶モデルは、記憶のメカニズムとしてパターンの記憶と読出を扱う神経回路モデルであり、すべての素子が互いに結合した構造を持つ。連想記憶モデルが工学的モデルとしてだけでなく、心理学的、生理学的モデルとしての妥当性を得るには、頑健さや忘却の影響についても明らかにすべきであると考えられる。

連想記憶モデルはその構造上、ネットワークの規模によって決まる記憶容量以上のパターンを記憶した場合、これまでのすべての記憶を失う。学習に忘却の効果を取り入れるのは、このカタストロフィックな状況を避けるためのひとつの方法である。これまでに非単調素子で連想記憶モデルを構成することにより、記憶容量の増加や偽記憶の不安定化など、連想記憶モデルの性質を大きく改善することが知られている。これまでの研究では忘却を持つモデルで扱われていない非単調特性の及ぼす影響について議論する。記憶容量を最大にする最適な忘却率は非単調さの増加に伴って減少することを示した。

外乱や故障に対する耐性についても議論する。非単調モデルにおいて、シナプス結合にノイズが加わる場合及び、しきい値にノイズが加わる場合を取り上げ、非単調特性の大きさによって記憶容量がどのように変化するかを求めた。シナプスに加わるノイズと比較してしきい値に加わるノイズに、より影響を受けやすいことがわかった。

一方、シナプス荷重の非線形変換はシナプスに加わるノイズと等価であることが示されている。これにより、シナプス切断を現実的な問題である脳の発達に関して顕著なシナプスの過剰な生成とそれに続く刈り込みについて、連想記憶モデルの枠組の中で議論することができる。この過剰な生成と刈り込みは視覚野、運動野、連合野などの脳のほとんど全ての領域で見られる普遍的な現象である。相関学習した結合荷重の小さいシナプスを切断するという系統的な刈り込みにより、シナプス1本あたりの記憶容量であるシナプス効率が大きくなることが指摘されている。しかし、このような系統的な刈り込みがシナプス効率を上昇させることは定性的には明らかであり、系統的な切断が無作為な切断に対してどの程度の効率的かを定量的に議論することが必要である。自己相関型連想記憶モデルに関して、シナプスの結合率 c が十分小さい極限で系統的切断とランダム切断のシナプス効率比が $-21 \log c$ であることを解析的に求めた。

また、有限ステップ数 s のリミットサイクルを無限個記憶した離散時間同期型ダイナミクスを持つ相関型連想記憶モデルについて議論する。このモデルの想起状態は一般には平衡状態ではないので、想起状態を標準的な平衡統計力

学の枠組で取扱うことは出来ない。しかしながらリミットサイクルの周期が既知である場合、Poincare マップを導入することにより、定常な想起状態を Poincare マップの平衡状態に変換することができる。記憶されたリミットサイクルが s 個の記憶パターンから構成されている場合、想起されたリミットサイクルの周期も s ステップである。ステップ数 s とリミットサイクル数の積の素子数に対する比を記憶容量とした場合、 s が増加するにつれて、記憶容量は $s = 1$ に対する Hopfield モデルの 0.138 から単調に増加し、 s が十分大きい時、無限個の系列を記憶した系列想起モデルの記憶容量 0.269 に収束することを示した。

論文審査の結果の要旨

記憶の機能解明は脳の情報処理様式の重要な研究課題のひとつである。記憶の理論的研究は、神経回路モデルの解析によって議論する方法がある。本論文では、最も基本的な記憶のモデルであると考えられる連想記憶モデルの解析を行い、記憶に関する性質について研究を行ったものである。

連想記憶モデルが心理学的、生理学的モデルとしての妥当性を得るには、頑健さや忘却の影響について明らかにすべきである。連想記憶モデルは、ネットワークの規模によって決まる容量以上のパターンを記憶した場合はそれまでのすべての記憶を失う。学習に忘却の効果を取り入れるのは、このカタストロフィックな状況を避けるためである。これまでに非単調素子で連想記憶モデルを構成することによって記憶容量の増加や偽記憶の不安定化など、連想記憶モデルの性質を大きく改善することが知られている。これまでの研究では忘却を持つモデルで扱われていない非単調特性の及ぼす影響について議論し、忘却率と非単調特性との関係を示した。また、外乱や故障に対する耐性についても議論し、非単調モデルにおいてシナプス結合にノイズが加わる場合及び、しきい値にノイズが加わる場合を取り上げて非単調特性と記憶容量の関係を議論した。しきい値に対するノイズはシナプスノイズと比較してより敏感に影響を受けること等を示した。

一方、シナプス荷重の非線形変換はシナプスに加わるノイズと等価であることが示されている。このシナプスの非線形変換により種々の刈り込みを導入できる。これを連想記憶モデルの枠組の中で議論した。この過剰生成と刈り込みは視覚野、運動野、連合野などの脳のほとんど全ての領野で見られる普遍的な現象である。相関学習した結合荷重の小さいシナプスを切断するという系統的な刈り込みにより、シナプス 1 本あたりの記憶容量であるシナプス効率は大きくなることが指摘されているが、これは定性的には明らかである。系統的な切断が無作為な切断に対してどの程度の効率的かを定量的に議論し、シナプスの結合率が十分小さい極限において系統的切断と無作為切断のシナプス効率を解析的に求めた。

論文の後半では、有限ステップ数のリミットサイクルを無限個記憶した離散時間同期型ダイナミクスを持つ相関型連想記憶モデルについて議論した。これは複数のセルが一定間隔で周期的に発火するという syn-fire chain 現象のモデルである。このモデルの想起状態は一般には平衡状態ではないため、想起状態を標準的な平衡統計力学の枠組で取扱うことはできない。そこで、Poincare マップを導入して周期的な想起状態を Poincare マップの平衡状態に変換することによって解析することに成功した。Hopfield モデルに対応するリミットサイクルの周期が 1 の場合は、これまでの研究で求められている記憶容量に一致した。リミットサイクルの周期が約 10 以上の場合には無限系列想起の記憶容量に収束し、有限系列である性質は周期の短い領域だけで観測されること等を示した。

以上のように、本論文の内容は連想記憶モデルの理論的な研究により、生理学的現象の近似モデルとして脳科学への応用に寄与するものであり、博士（理学）の学位論文としての価値のあるものと認める。