

反学習項を入れた Hopfield model の統計力学的研究

大谷 遥, 吉田 緑, 上江洲 達也

奈良女子大学大学院 人間文化研究科 物理科学専攻

夢の役割の1つは、記憶を整理することであるという説がある。つまり、夢を見ることによって不必要な記憶を削除するという説である [1][2]。これに関して、我々は重要な記憶を強化し、不必要な記憶を弱める方法を調べたい。そこで、我々は Hopfield モデル [3] の相互作用に、1つの混合状態からなる反学習項を付け加えたモデルを研究してきた。平衡状態の静的安定性と動的安定性の関係について報告し、反学習項を2つ入れた場合の研究についても報告する。

ハミルトニアンは以下の式で表される。

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i \neq j} J_{ij} s_i s_j$$

ここで、反学習させた結合荷重 J_{ij} を $J_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^p \xi_i^\mu \xi_j^\mu - \frac{\eta}{N} \xi_i^{\text{mix}} \xi_j^{\text{mix}}$ 、混合状態 ξ_i^{mix} を $\xi_i^{\text{mix}} = \text{sgn}(\sum_{\mu=1}^3 \xi_i^\mu)$ とおいた。 η は反学習係数である。

平衡状態の静的安定性と動的安定性が一致することを数値計算で確認した。さらに $|\eta|$ を大きくしていくときの最初の不安定化が、静的及び動的に同時に起こることを理論的に示す。

さらに、反学習項を2つ入れた場合を調べた。2つ目の混合状態 $\xi_i^{\text{mix}2}$ を $\xi_i^{\text{mix}2} = \text{sgn}(\xi_i^1 + \xi_i^2 - \xi_i^3)$ とし、結合荷重 J'_{ij} を $J'_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{\mu=1}^p \xi_i^\mu \xi_j^\mu - \frac{\eta}{N} \xi_i^{\text{mix}} \xi_j^{\text{mix}} - \frac{\zeta}{N} \xi_i^{\text{mix}2} \xi_j^{\text{mix}2}$ とおいた。ここで、 ζ は2つ目の反学習係数である。 $|\eta| = 0.5$ で、 ζ が小さい場合には反学習項が1つの場合と定性的には同じであることを確認した。以下にモンテカルロシミュレーションによる数値計算の結果を示す。ニューロン数を $N = 100,000$ とし、初期値を Mixed state としてシミュレーションを行った。縦軸はオーバーラップ $m^1, m^2, m^3, m^{\text{mix}}, m^{\text{mix}2}$ を表し、横軸はモンテカルロステップ数を表す。ここで、 $\zeta = 0.1$ のときの m^μ のシミュレーションの値を実線で、又、 $\zeta = 0$ のときの値を \times で表す。 $\zeta = 0$ と $\zeta = 0.1$ の結果はほとんど一致している。

また、一般化についても調べた。結合荷重 J''_{ij} を $J''_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{\mu} \zeta_\mu \xi_i^\mu \xi_j^\mu$ とおいた。全ての可能な混合状態は $\xi_i^4 = \text{sgn}(\xi_i^1 + \xi_i^2 + \xi_i^3)$ 、 $\xi_i^5 = \text{sgn}(\xi_i^1 + \xi_i^2 - \xi_i^3)$ 、 $\xi_i^6 = \text{sgn}(\xi_i^1 - \xi_i^2 + \xi_i^3)$ 、 $\xi_i^7 = \text{sgn}(\xi_i^1 - \xi_i^2 - \xi_i^3)$ の4つである。この全ての可能な混合状態を反学習する場合も、系の平衡状態は $m^1, m^2, m^3, m^{\text{mix}}$ の4変数で記述できる。

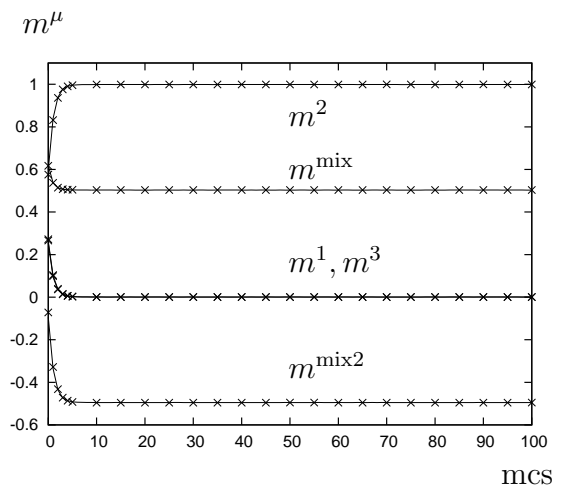


図 1: $T = 0.2, \eta = 0.5, \zeta = 0.1$, 初期値: Mixed state

- [1] F. C. Crick, G. Mitchison, "The function of dream sleep," Nature, vol.304, pp.111-114, 1983.
- [2] J. J. Hopfield, D. I. Feinstein, R. G. Palmer, "Unlearning' has a stabilizing effect in collective memories," Nature, vol.304, pp.158-159, 1983.
- [3] J. J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," Proceedings of the National Academy of Sciences of USA, vol.79, pp.2554-2558, 1982.