

キーワード

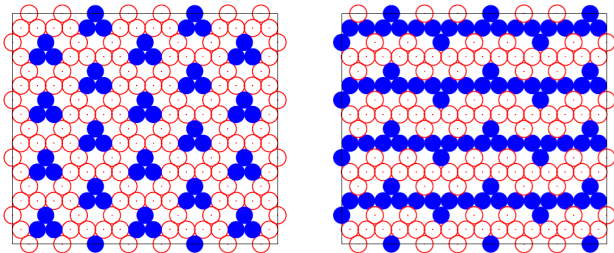
統計物理、非平衡系、非線形系、機械学習、強化学習

Statistical Physics, non-equilibrium systems, non-linear systems, machine learning, reinforcement learning

研究内容

[1] 磁性体の統計力学模型に関する理論的研究

- Ising 模型などの磁性体の統計力学模型は、多数の構成要素が相互作用し、相転移やパターン形成などの非自明な現象を起こす例であり、磁石そのものの物性に対する研究に限らず、様々な文脈で盛んに研究されている。
- 私はこれまでの研究において、「磁気双極子相互作用と近接相互作用が競合する薄膜上の磁気構造のパターン」、「Ising スピンを配置した格子同士の間で発生する摩擦力」、「長距離相互作用をする Ising 模型における平均場近似からのずれ」などを、理論と数値シミュレーションによって考察してきた[1-4]。



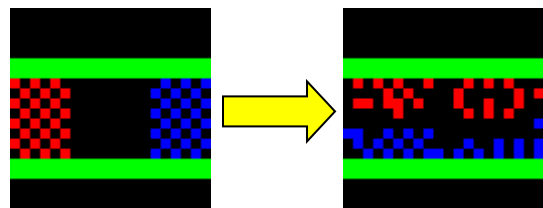
- 図は文献[2]から引用した、カゴメ格子上の Ising 模型のスナップショットの内の2例である。これらの図は、磁気双極子相互作用と近接相互作用の競合によって様々な空間パターンが出現することを示している。また、そうした空間パターンは相互作用の強さや磁場の大きさなどの条件によって複雑に変化する。
- Ising スピンを配置した格子同士を隣り合わせつつ、一方を接触面に平行に運動させた場合、各々の格子の磁化の強さが相対速度に依存して変化し、それに伴い格子間の摩擦力も変化する[3]。
- 相互作用の空間的な減衰が十分に遅い統計力学模型においては、熱力学極限($N \rightarrow \infty$)で平均場近似が正確になることが知られている。私は有限サイズ系における平均場近似からのずれを摂動論的に評価した[1,4]。

[2] 強化学習を用いた歩行者シミュレーションの実装

- 道路や建物内における歩行者の動きをシミュレーションすることは交通工学や都市工学などの観点で重要なテーマである。
- 従来はシミュレーション内の歩行者はあらかじめ

与えられた数学的な式に従って動くものとしてモデル化することが多かったが、近年ではより柔軟に動くことができる機械学習、特に強化学習による歩行者のモデル化も研究されている。

- 私はリザーブコンピューティングという計算コストの低い学習手法により強化学習を実装し、それを各歩行者に搭載することを試みた[5]。
- 具体的には、「右(左)に向かう歩行者」を実装するためには、各歩行者に搭載した AI に対して右(左)に動いた場合に+1、左(右)に動いた場合に-1 の報酬を与え、シミュレーション期間中に得られる報酬を最大化するように学習をさせた。
- 図はシミュレーションのスナップショットの一例で、赤(青)の点がそれぞれ右(左)に向かう歩行者を示している。この例では、同じ向きの歩行者同士でレーンを形成することで、逆向きの歩行者を回避することを学習した。



- この際、各歩行者には他の歩行者を避けるためのルールや、現実世界の歩行者の移動データなどを教えている訳ではない。このように、強化学習を用いたシミュレーションは、研究者側が明示的なルールや学習データなどを準備しなくとも、AI 自身が柔軟に適切な行動を学習してくれるというメリットがある。

最近の業績

- [1] “Analysis of finite-size effect of infinite-range Ising model un-der Glauber dynamics”, Komatsu, H. *J. Stat. Mech.* **2022**, 023202.
- [2] “Phase diagram of the dipolar Ising ferromagnet on a kagome lattice”, Komatsu, H.; Nonomura, Y.; and Nishino, M. *Phys. Rev. B* **2022**, *106*, 014402.
- [3] “Transition between the stick and slip states in a simplified model of magnetic friction”, Komatsu, H. *Phys. Rev. E* **2023**, *108*, 034803.
- [4] “Analysis of the finite-size effect of the long-range Ising model under Glauber dynamics”, Komatsu, H. *J. Stat. Mech.* **2023**, 033208.
- [5] “Multi-agent reinforcement learning using echo-state network and its application to pedestrian dynamics”, Hisato Komatsu *J. Stat. Mech.* **2025**, 043401.

■ 科学研究費助成事業 若手研究 (令和3-5年度 455万円) .