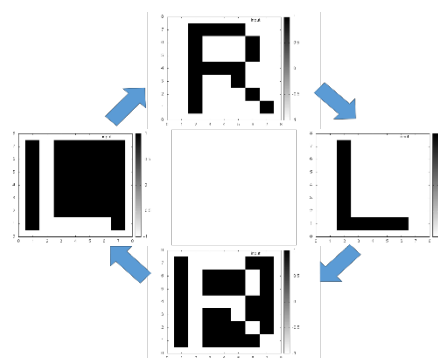


物性理論教室

1 非対称なシナプス結合をもつ相互結合型ネットワークにおける想起

小野 正太郎

近年、人工知能が工学的分野にて応用されている。本研究では、非対称なシナプス結合をもつ相互結合型ネットワークにおける想起のプログラムの構築を目指した。また、非対称性パラメータ、ニューロンの総数、ネットワークのランダム性を変化させネットワークの性質にどのような影響があるかを調べた。一般的なヘップ則を非対称なシナプスに対応させて、遷移確率によって状態を更新していく。その結果、ランダム性を導入することでネットワークの不確実性が確認できた。

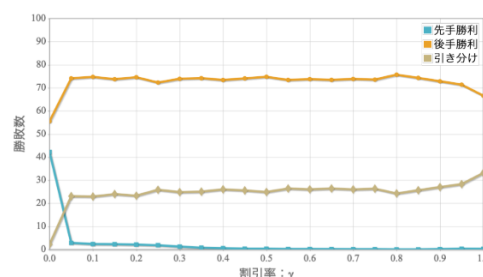


想起のサイクル過程

2 三目並べを用いた強化学習に対する研究

松山 昂

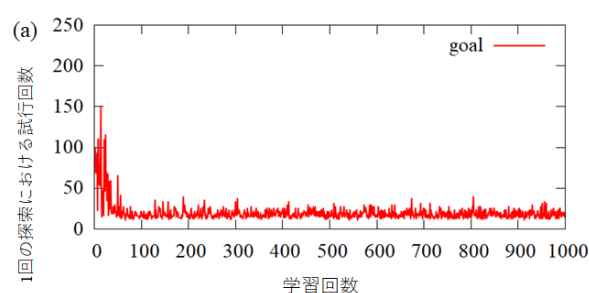
本研究では機械学習の一種である強化学習について、三目並べを題材に研究を行った。学習法、行動選択、割引率、報酬といったパラメータの最適パラメータを探すことを目的とした。先手/後手ともに同じニューラルネットワークを用い、勝敗数を通して最適なネットワークを探した。学習を何度も行い学習ごとに行動選択のパラメータを変化させることによって、先手/後手の勝率を改善することができた。

割引率 γ と勝敗数の関係
(ボルツマン法)

3 強化学習を用いた経路探索に対する数値的研究

石渡 皓介

近年、機械学習の中でも強化学習が特に注目されており、すでに多くの分野で利用されている。本研究では、 8×8 マスの格子上に置かれたスタートからゴールへの経路探索を機械学習により行った。その結果、ニューロンの数を最大にした状態での学習は適切に行うことができたが、畳み込みとプーリング操作を利用してニューロンの数を減らした場合では適切な学習を行うことができなかった。原因としてはニューラルの重みを適切に更新できなかったことや、経路を保存するようなアルゴリズムが必要なのではないかと推測する。

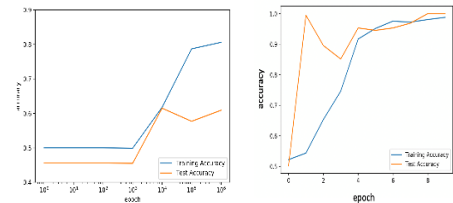


学習を重ねるごとに試行回数が少なくなっていることがわかる

4 Material Classification by Machine Learning

東田 真一

近年、物理を含む様々な分野で機械学習を利用するようになってきている。本研究では三元化合物の結晶性(キラリティー)、及び磁気超格子中のスピン波モードの分類を機械学習を用いて行った。その結果、キラリティーの有無を学習データは 81%、未知のデータは 64%の精度で判別できるようになった。一方で、スピン波のモードはバルクモードとエッジモードについて 98%の精度で判別することができた。また、精度は中間層の数の増加にあまり依存しなく、重複データを減らすことにより大幅に向上することがわかった。

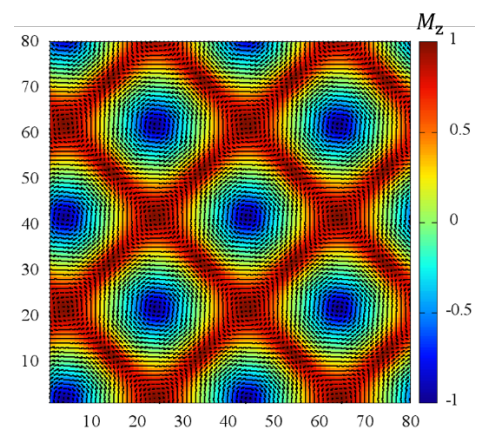


Chirality 判別の正答率（左）とスピン波のモードの分類の正答率（右）

5 非対称磁気スカーミオン状態に対する数値的研究

中野 大悟郎

磁性体が形成する磁化構造の 1 つであるスカーミオンはトポロジ的に安定した構造であり、壊れにくく、小さな電流で駆動することが出来るため、近年新たな情報担体として応用されることが期待されている。磁気異方性と呼ばれる効果をスカーミオンに導入した場合に新たな磁化構造が現れることが分かった。本研究では、その中でも 2018 年にローレンツ電子顕微鏡により観測された Meron, Antimeron と呼ばれる磁化構造を数値計算により再現した。

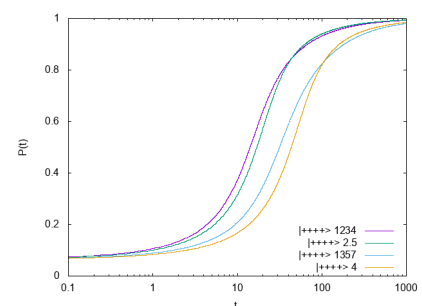


Meron, Antimeron の磁化構造

6 非一様磁場を用いた量子アニーリングの数値的研究

小林 美輝

近年、コンピュータでの計算を高速かつ高性能にする技術として量子アニーリングが注目されている。本研究では、イジング模型に横磁場を導入することで量子アニーリングを実行し、その有効性を調べた。スピン 4 つの強磁性体において、非一様な横磁場を用いることで収束の効率などを検証した。ハミルトニアン の時間発展を厳密対角化法を用いて計算し、横磁場を非常に大きな値から徐々に小さくすることで基底状態にいきつくようにした。横磁場を大きくすると基底状態とのオーバーラップは 1 に近づいたが、ある一定の値からは遠ざかると予想される。

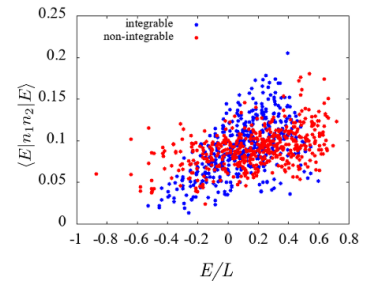


非一様磁場における基底状態とのオーバーラップ

7 固有状態熱化仮説の数値的研究

松島 主水

近年、量子力学的観点から熱平衡化を説明する動きが活発になっておりその中でも固有状態熱化仮説 (ETH) は理論研究において熱平衡化の機構を解明する仮説として期待が寄せられている。本研究では ETH の数値的な検証を目的に研究を行った。具体的には **hard-core bosons** 模型のハミルトニアンを厳密対角化法で対角化することで、その固有値の分布を調べた。また、期待値の時間発展をミクロカノニカル平均の値と比較した。その結果、ETH は非可積分系のみで成り立つことが分かった。さらに粒子数とサイト数を変化させることで、熱力学的極限に近づく程、期待値が一つの値に収束することを示唆する結果を得た。

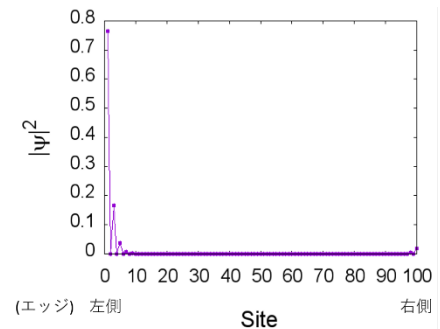


可積分系、非可積分系の固有状態における期待値の分布

8 1次元系におけるトポロジカルなエッジ状態の数値的研究

井上 晴音

本研究では、ポリアセチレンの理論模型として知られている Su-Schrieffer-Heeger (SSH) 模型を用いた数値的計算により、1次元系におけるトポロジカルな端状態の振る舞いについて解析した。また、サイト間の重なり積分の大きさを変化させたときの振る舞いも数値的に調べた。SSH 模型では、端のホッピングが内側のホッピングより小さいときにのみエネルギーがゼロのエッジモードが現れた。このとき、エッジモードの波動関数が系の端に局在し、また、そのエネルギーはホッピングに乱数を加えても変わらないことがわかった。さらに、このモデルに3つ先のサイトにホッピングを加えた系についても、エッジ状態とバルクのトポロジカル量との関係について調べた。

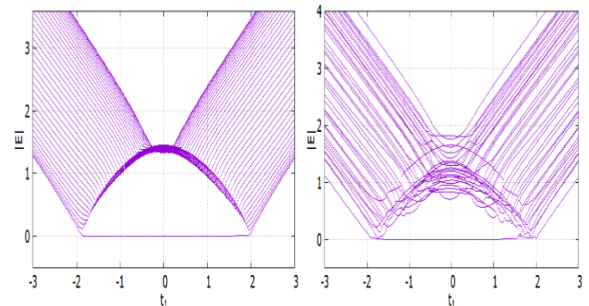


SSH 模型におけるエッジモードでの波動関数が左端に局在する様子

9 非エルミートな1次元トポロジカル系のエッジ状態の安定性

保 亮一朗

本研究では非エルミートな SSH 模型に対して、ランダムな摂動を加えた際にトポロジカルに保護されたエッジ状態がどのように振る舞うかを調べ、非エルミート系におけるバルクエッジ対応が成立していることの確認を目的として、計算を行った。その結果、エッジ状態は各サイト間のホッピング項にランダムな摂動を加えた場合には強く保護されていたが、各サイト上のポテンシャルにランダムな摂動を加えた場合にはあまり強く保護されないことがわかった。バルクエッジ対応については、バルク系の winding number がエネルギースペクトル内のゼロエネルギーエッジ状態の有無に対応していることを確認することができ、様々なパラメータについての相図を得ることができた。

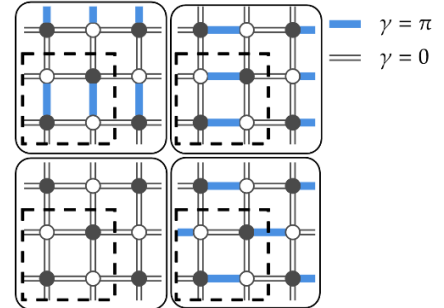


非エルミートな SSH 模型のエネルギースペクトル(左)と摂動を加えた場合のエネルギースペクトル(右)

10 2次元ディラック電子系における Z_2 Berry 位相による量子相の分類

青柳 克

Berry 位相によって 2 次元ディラック電子系の量子相を分類する。使用するトポロジカル秩序変数は、すべてのボンドに対し、複素平面上の単位円上のパラメータによる 0 または π の Berry 位相 (Z_2 Berry 位相) を割り当てたものである。2 次元ディラック電子系である π フラックスを持つ正方格子模型をもとにした、エネルギーギャップのある模型を用意し、数値計算を行った。結果、各模型の量子相を分類でき、トポロジーの視点で見られる関係を表すことができた。また、Berry 位相がどのように変化するかを調べることで、Berry 位相のパラメータによってどのように準位が交差しているかを調べることができた。

Berry 位相 γ で表される量子相