講演概要集

2023年10月13日

11 月 14 日（火）

TBA ／大久保毅 [東京大学] (13:10–14:25)

TBA

$S = 1$ スピン鎖における対称性に守られたトポロジカル秩序と非局所ユニタリ変換／奥西巧一 [新潟大学] (14:25–15:10)

$S = 1$ ハイゼンベルク鎖や AKLT 鎖の基底状態は、ハルデン状態もしくは VBS 状態という典型的な対称性に守られたトポロジカル（SPT）秩序を示す 1 次元量子多体系である。その性質を理解するため、90 年代始め頃までに非局所ストリング秩序やその非局所秩序を局所的な古典秩序に変換する Kennedy-Tasaki（KT）変換が開発された。一方、計算物理の観点から興味深いことは、SPT 秩序を持つパラメーター領域は量子モンテカルロ法を用いると負符号問題が出現してしまうという点がある。これは、 SPT に起因してスピンの世界線の持つ非自明なエンタングルメントが負符号の一因となっていることを示唆しており、理論的にもたいへん興味深い。本講演では、KT 変換により負符号問題が解消される領域があること、および、KT 変換を双対変換として持つ模型を構成すると、SPT 秩序と古典秩序が入れ替わる特徴的な量子相転移が段階的・系統的に表れることを説明する。

ハミルトニアン形式を用いた格子ゲージ理論／日高義将 [KEK] (15:40–16:55)

ハミルトニアン形式を用いた格子ゲージ理論についてレビューする．近年のテンソルネットワークを用いた計算手法や量子計算手法の発展により，符号問題を生じないハミルトニアン形式を用いた格子ゲージ理論が有用な解析手法になりつつある．一方で，ゲージ理論は，ゲージ場がボソンであることに起因し，格子上でも Hilbert 空間の次元が無限大であること，及び，ゲージ対称性に伴う大きな自由度の冗長性を持つため，ゲージ対称性を尊重しながら有効的な自由度で計算を行うためには工夫が必要である．本講演では，量子群を用いた近似手法を紹介し，その有用性とテンソルネットワークを用いた今後の発展性について議論する．

DMRG を用いたゲージ理論の質量スペクトル計算と TRG で見るラージ N ゲージ理論／松本祥 [京都大学 YITP] (16:55–17:40)

本講演の前半では、ハミルトニアン形式のゲージ理論において、ハドロンの質量スペクトルを数値的に計算する手法を 3 つ紹介する [arXiv:2307.16655]。近年、テンソルネットワークや量子計算手法の発展により、ハミルトニアン形式での場の理論の数値計算が注目されている。ハミルトニアン形式では、基底状態における 2 点相関関数の振る舞い、あるいは境界付近での 1 点関数の減衰からハドロン質量を計算できる。また、励起状態を順次生成することで、分散関係を直接求めることも可能である。本研究では、QCD とよく似た性質を持つ 2-flavor Schwinger 模型において、密度行列繰り込み群 (DMRG) を用いてこれらの手法を検証した。3 つの手法で得られた質量スペクトルの結果は一致しており、解析的な計算とも無矛盾である。講演の後半では、ラグランジアン形式の U(N) ゲージ理論をテンソル繰り込み群 (TRG) を用いて解析する試みを紹介する [arXiv:2110.05800]。分配関数を character 展開することでテンソルネットワークを構成し、適切なカットオフの選び方を提案する。2 次元 U(N) ゲージ理論の場合はテンソルの構造が簡単化され、既知の厳密解を再現する。この模型に対して TRG の考え方を用いることで、特異値のスペクトルからラージ N 極限における系の体積非依存性 (Eguchi-Kawai reduction) を確認した。

11 月 15 日（水）

Sine square deformation and black hole in AdS/CFT ／玉岡幸太郎 [日本大学] (9:00–10:15)

アブストラクト：近年のホログラフィー原理やテンソルネットワークの関連する話をレビューした後、空間の非一様性がどのようにホログラフィー原理（AdS/CFT 対応）に変更を与えるかについて議論する。特に、Sine square deformation された Hamiltonian を用いると、ブラックホールに相当する場の理論の状態の性質が、従来のホログラフィー原理で期待されていたものからどのように変更を受けるかを議論する予定である。

量子計算の場の量子論への応用について／本多正純 [京都大学 YITP] (10:30–11:45)

最近、量子計算機を用いると従来の手法では数値解析が困難な場の量子論の問題が将来的に解けるようになる可能性が注目されている。本講演では、そのような方向性の研究をレビューすると共に、我々の最近の試みを紹介する。

量子計算に対するテンソルネットワーク法の応用／上田宏 [大阪大学 QIQB] (13:15–14:30)

近年、量子計算機の著しい発展に伴って、量子計算機の自由度を活用した数値計算アルゴリズム（量子アルゴリズム）の開発が急速に行われている。とりわけ、量子回路がテンソルネットワーク（TN）の一種であるために、従来の離散的な格子点上の多体模型の解析のために洗練化されてきた TN 法の知見が続々と量子アルゴリズムへ応用されている。本講演では、そのような応用の状況をレビューするとともに、我々が最近取り組んでいる TN 法の技術を活用した量子状態の量子回路表現についての研究事例を紹介する。

波動関数を Tree Tensor Network で表してみなさい／西野友年 [神戸大学] (14:30–15:15)

分子や原子核の基底波動関数など有限多体系を Tensor Network (TN) で扱う場合、Matrix Product State (MPS) を変分関数とする DMRG が定番の解析手段となる。計算の結果として得られた N-site 系の MPS には、系を M-site の部分系と、残りの N-M-site 部分系に分割した際の Entanglement Entropy (EE) が付随している。さて、MPS は Tree Tensor Network (TTN) の特殊な場合であって、MPS から任意の TTN へと、局所的な枝の組み替え（基本変形）を通じて変形できる。こうして得られる膨大な数の TTN のうち、自然なもの (?) はどんな形をしているだろうか? EE を指標として「自然な TTN」を構築するアルゴリズムについて、まず解説する。この考え方を有限系の DMRG に持ち込むと、自然な TTN を変分関数とする計算手法へと至る。MPS は Tensor Train の別名でデータサイエンスにも用いられて久しいが、こちらにも自然な TTN を持ち込むことが可能である。これらの応用で Tree 形状の最適化をどのように行うかは、まだまだ蓄積に乏しく、検討課題となっている。

繰り込み群と量子誤り訂正／桑原孝明 [静岡大学] (15:45–16:30)

AdS/CFT 対応において、境界からいかにバルクが構成されるかは未解明である。バルクの自明理論を避けるためには、量子誤り訂正と関係がつくべきであることが知られている。一方で、バルクの方向は繰り込み群のスケールと対応する。よって、バルク再構成のために、繰り込み群と量子誤り訂正との関係を明らかにすることが必要である。ここではスカラー場理論について、繰り込み群に基づいて量子誤り訂正をいかに構築するかを議論する。

Nuclear norm regularized loop optimization for tensor network ／本間健司 [東京大学 ISSP] (16:30–17:15)

We propose a loop optimization algorithm based on nuclear norm regularization for tensor network. The key ingredient of this scheme is to introduce a rank penalty term proposed in the context of data processing. Compared to standard variational periodic matrix product states method, this algorithm can circumvent the local minima related to short-ranged correlation in a simpler fashion. We demonstrate its performance when used as a part of the tensor network renormalization algorithms [S. Yang, Z.-C. Gu, and X.-G. Wen, Phys. Rev. Lett. 118, 110504 (2017)] for the critical 2D Ising model. The scale invariance of the renormalized tensors is attained with higher accuracy while the higher parts of the scaling dimension spectrum are obtained in a more stable fashion.

場の理論 ＋ テンソルネットワークによる精密計算／上田篤 [東京大学 ISSP] (17:15–18:00)

テンソル繰り込みと場の理論の組み合わせにより、二次元格子モデルからの結合定数の抽出や、RG フローの視覚化する数値的手法を紹介します [1-2]。また、テンソル繰り込みで起こる数値エラーと場の理論におけるレレバントな摂動の関係性についても考察します。一方で、数値エラーが存在しない場合、臨界格子モデルはスケールに依存しない固定点テンソルへと繰り込まれます。これらのテンソルは実は CFT の四点関数のシンプルな表現を持ちつことを示しました。それによって、CFT の情報をテンソル要素から直接読み取ることが可能になりました [3]。

[1] A. Ueda and M. Oshikawa, Phys. Rev. B 104, 165132 (2021)
[2] A. Ueda and M. Oshikawa, Phys. Rev. B 108, 024413 (2023)
[3] A. Ueda and M. Yamazaki, arXiv:2307.02523(2023)

11 月 16 日（木）

大自由度系へのテンソル繰り込み群の拡張／中山勝政 [R-CCS] (9:00–10:15)

本公演では、高次元やゲージ相互作用などを含む大自由度系におけるテンソル繰り込み群 (TRG) の近年の発展を概説します。TRG は近年、特に符号問題などが問題となる系の研究に有用なものとして研究されているものです。テンソルネットワークを利用する計算では特異値分解や変分法を利用して近似的に縮約を行いますが、精度の改善と計算量の削減のために様々な組み合わせや手法が開発されてきました。特異値の伝搬などその重要なアイデアに着目しつつ、まずは二次元において手法を紹介し、三次元へと拡張します。本公演では基本的な TRG, HOTRG だけでなく、TNR, SRG, ATRG, BTRG, TriadTRG, MDTRG, などについて、乱択特異値分解を含めて紹介します。特に講演者が近年開発した MDTRG に関しては、内線サンプリングや射影テンソルの近似範囲といった重要なアイデアなど、多少の詳細を含み解説する予定です。

All-mode Renormalization for Tensor Network with Stochastic Noise ／大木洋 [奈良女子大学] (10:30–11:15)

通常のテンソルネットワークにおける繰り込み群では、行列の分解における低ランク近似による系統誤差が存在している。我々はストカスティックノイズベクトルを併用することで全ての特異値モードを取り込んだ行列の分解を考え、2 次元イジング模型のテンソルネットワーク繰り込み群に応用することで、系統誤差が統計誤差に置き換えられ、精度が向上することを示した。また空間に一様なノイズベクトルの場合、ノイズの自己相関による新たな系統誤差が存在するが、その誤差はノイズベクトルの次元で制御された普遍的なスケーリングを示すことを明らかにした。またノイズベクトルを用いた他の改良されたテンソル繰り込み群や模型への応用について議論する。

TBA ／藤堂眞治 [東京大学] (11:15–12:00)

TBA

Spectroscopy by tensor renormalization group method ／武田真滋 [金沢大学] (13:30–14:15)

テンソルくりこみ群の粗視化アルゴリズムを使って場の理論のスペクトルスコピーを行う方法を紹介する。ある理論の転送行列が与えられれば、それを粗視化によって近似的に構成しその固有値を計算することは簡単であるが、得られた固有状態の量子数の決定は非自明であり、その判定方法について詳しく説明する。具体例として、２次元イジングモデルにおいて量子数決定を行った結果を紹介する。

Tensor network approach toward (3+1)-dimensional lattice field theories ／秋山進一郎 [筑波大学 CCS] (14:15–15:30)

(3+1) 次元の格子理論に対するテンソルネットワーク (TN) 法の応用状況についてレビューする。TN 表現を活用した格子理論の数値計算は、演算子形式と経路積分形式の双方に対応している。このトークでは、どのような TN アルゴリズムがどのような格子理論へ適用されているのか、どの程度の計算が可能でどのような困難が存在するのか、などを俯瞰した上で、今後の展望について議論していきたい。