

3 各研究部門の報告

I. 素粒子物理研究部門

1. メンバー

教授	藏増 嘉伸、金谷 和至（共同研究員、数理物質系特任教授）
准教授	石塚 成人、山崎 剛（共同研究員、数理物質系准教授）
助教	秋山 進一郎、大野 浩史
研究員	崔 在敦、蕭 禾、吉江 友照
学生	大学院生 6 名、学類生 9 名

2. 概要

当部門では、数理物質系との密接な連携のもと、筑波大学を中心とした PACS Collaboration を組織して格子 QCD の大規模シミュレーション研究を推進している。昨年度に引き続き、「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」（代表：山崎剛、2023 年度～2025 年度）を中心とした大型プロジェクト研究を遂行するとともに、「富岳」の一般利用と筑波大学計算科学研究センターの学際共同利用プログラムを利用したプロジェクト研究も継続している。また、JCAHPC（最先端共同 HPC 基盤施設：筑波大学と東京大学両機関の教職員が中心となり設計するスーパーコンピュータシステムを設置し、最先端の大規模高性能計算基盤を構築・運用するための組織）では、Oakforest-PACS の後継機となる Miyabi (約 80PFLOPS のピーク演算性能を持つ大規模 GPU クラスタ) が 2025 年 1 月に稼働を開始し、2025 年 4 月から学際共同利用プログラムに計算機資源を提供している。これと並行して、テンソルネットワーク(TN)形式に基づく格子ゲージ理論・スピンモデルの研究、機械学習の格子 QCD 計算への応用、有限温度・有限密度 QCD の研究など、活発な研究活動を行った。さらに、格子 QCD 配位やその他のデータを共有する為のデータグリッド ILDG/JLDG の運用・高度化を推進した。

3. 研究成果

[1] PACS Collaboration による「富岳」や Miyabi を用いた大規模シミュレーション (藏増、石塚、山崎、新谷)

PACS Collaboration に基づく共同研究体制のもとに推進してきた物理点における格子 QCD の大規模シミュレーションは、「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」（代表：山崎剛、2023 年度～2025 年度）を軸として継続的な進展を見せた。

過去 30 年以上にわたり、格子 QCD は主にハドロン単体の諸性質解明を目指して来た。現在の世界的な状況においては、2 つの大きな問題点が存在する。まず、物理点直上でのシミュレーションが可能になったことは事実だが、実際には物理点のみで物理量の評価を行えるほどの精度を得るレベルには至っていない。次に、現在の格子 QCD シミュレーションにおける物理量計算は”テーラーメイド”であると評されている。これ

は、目的とする物理量計算に応じて、適当と思われる物理パラメータ(クォーク質量や空間体積など)を選んでシミュレーションすることを意味している。この場合、例えば、同じゲージ配位を用いた計算であっても、ある物理量に対しては良く実験値と合うが、他の物理量に関しては実験値を再現しないということが起こりうる。「富岳」を用いたプロジェクトでは、複数の格子間隔において物理点直上で $(10\text{fm})^4$ 超の時空間体積を持つシミュレーションを行うことによって、上記2つの課題を克服した計算の実現を目指している。

既に、2+1 フレーバーQCD のゲージ配位生成が終了し、現在は 2+1+1 フレーバーQCD のゲージ配位生成に取り組んでいる。2+1+1 フレーバーの場合も、2+1 フレーバーと同様に異なる格子間隔3点($a \approx 0.08\text{fm}$, 0.06fm , 0.04fm)においてゲージ配位を生成し、系統誤差となる格子間隔依存性を取り除くために連続極限($a \rightarrow 0$)を取る計画である。2025年度は、昨年度に引き続き、最も格子間隔が細かい最大格子サイズ 256^4 ($a \approx 0.04\text{fm}$) のゲージ配位生成を継続した。また、並行して、これまで生成した 2+1、2+1+1 フレーバーQCD における格子サイズ 128^4 、 160^4 、 256^4 のゲージ配位を用いて、以下に説明するような物理量計算を行っている。

[2] 現実的クォーク質量を用いた K 中間子セミレプトニック崩壊形状因子計算

(蔵増、石塚、山崎)

山崎は PACS Collaboration において現実的クォーク質量での K 中間子セミレプトニック崩壊の動的 2+1 フレーバーおよび 2+1+1 フレーバー大規模格子 QCD シミュレーションを行うことで、CKM 行列要素の一つである V_{us} の決定を行った。この物理量はクォークの世代間混合を表す行列である CKM 行列の行列要素のうち、アップクォークとストレンジクォークの混合の度合いを表す量である。この行列は標準理論においてユニタリー性を持つので、ユニタリー性の確認を行うことで標準理論を超える物理の検証を行うことができる。2018 年頃に $|V_{ud}|$ の値が更新されたことにより、ユニタリー性から見積もられる $|V_{us}|$ の値も大きく動いた(図1の灰色帯)。

我々の 2022 年度に報告した 2+1 フレーバー大体積ゲージ配位を用いた格子間隔2点 (0.065fm , 0.085fm) を使った計算から得られた $|V_{us}|$ は連続極限外挿による大きな誤差が付いていた。その後、格子間隔 0.042fm の計算を含めて連続極限を取った結果、図1の青丸印にあるような高精度の $|V_{us}|$ を決定した(研究論文[B]-1)。さらなる高精度計算を目指し、チャームクォークの真空偏極効果を含めた 2+1+1 フレーバー大体積ゲージ配位を用いた計算を実施し、暫定結果ではあるが 2+1 フレーバーと同程度の精度で $|V_{us}|$ が得られた(図1の赤丸印)。これらの我々の結果は、我々の計算結果を用いた K 中間子レプトニック崩壊から決定される $|V_{us}|$ (紫丸)と一致したが、CKM 行列のユニタリー性から決められた値(灰色帯)とは有意な差が確認できる。

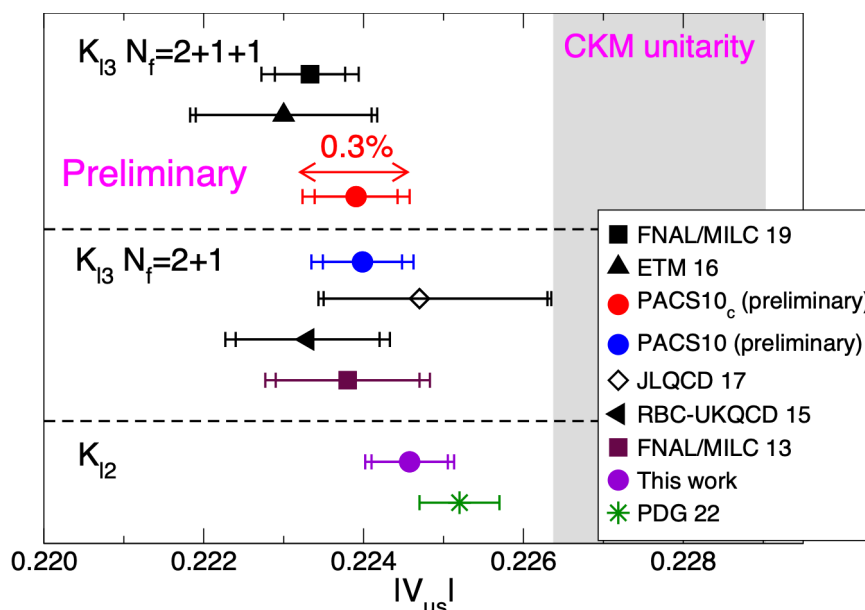


図 1: $|V_{us}|$ の比較。赤丸(青丸(研究論文[B]-1))印は我々の 2+1+1 (2+1) フレーバー計算の暫定結果。灰色帯は CKM 行列のユニタリー性から求まる標準理論の予測。

[3] 格子 QCD を用いた核子構造研究 (藏増、山崎、新谷)

陽子と中性子(核子)はクォークの束縛状態であり、その構造を詳細に調べるためには、強い相互作用の第一原理計算である格子 QCD を用いた計算が必要である。これまでに格子 QCD を用いて、核子構造に関係する核子形状因子研究が行われてきたが、非常に良い精度で測定されている実験値を再現できていなかった。

藏増、山崎は、広島大学石川健一准教授、東北大学佐々木勝一准教授、理研計算科学研究センター青木保道チームリーダー、東京大学新谷栄悟研究員、KEK 辻竜太郎研究員、東北大学大学院生長塚正人氏と共に、PACS Collaboration において、現実的クォーク質量直上で核子形状因子計算を行った。これまでの格子間隔 $a=0.085, 0.065\text{fm}$ での形状因子計算から明らかになった荷電半径計算に含まれる系統誤差の原因を探るため、格子間隔 $a=0.042\text{fm}$ での形状因子を継続計算した(研究論文[B]-2, 3, 4)。

また、他の形状因子には含まれない大きな πN 状態の寄与により、精密な計算が困難であった誘導擬スカラー形状因子を容易に計算可能な方法を提唱し、実際の現実的クォーク質量直上データを用いて誘導擬スカラー形状因子の精密決定を行った(研究論文[B]-5, 6)。

[4] 中間子電磁的形状因子の直接微分計算法の開発研究 (山崎)

山崎は成蹊大学佐藤航平客員講師と慶應大学渡辺展正研究員と共同で、PACS Collaboration として、電磁的形状因子の原点の傾きで定義される荷電半径を直接計算する研究を行った。一般的な荷電半径の計算では、電磁的形状因子を離散的な運動量移行で数点計算し、電磁的形状因子の運動量移行依存性に対し関数を仮定したフィットにより荷電半径を求めている。しかし、この計算方法ではフィット関数の選択による系統

誤差が含まれてしまう。荷電半径の精密決定のためには、このような系統誤差のない計算方法が望まれている。

2020 年に中国のグループにより提案された形状因子の微分を直接計算する方法を現実的クォーク質量かつ大体積の格子 QCD 計算に適用(研究論文[B]-6)し、図 2 に示したように荷電 π 中間子荷電半径($r_{\pi^+}^2$)、荷電 K 中間子荷電半径($r_{K^+}^2$)、中性 K 中間子荷電半径($r_{K^0}^2$)を精密決定した。荷電 π 中間子荷電半径は実験値(灰色帯)に比肩する誤差となっており、K 中間子荷電半径に対しては実験値よりも数倍小さな誤差の結果となった。今後は小さな格子間隔の計算を行い、連続極限の結果を求めていく。

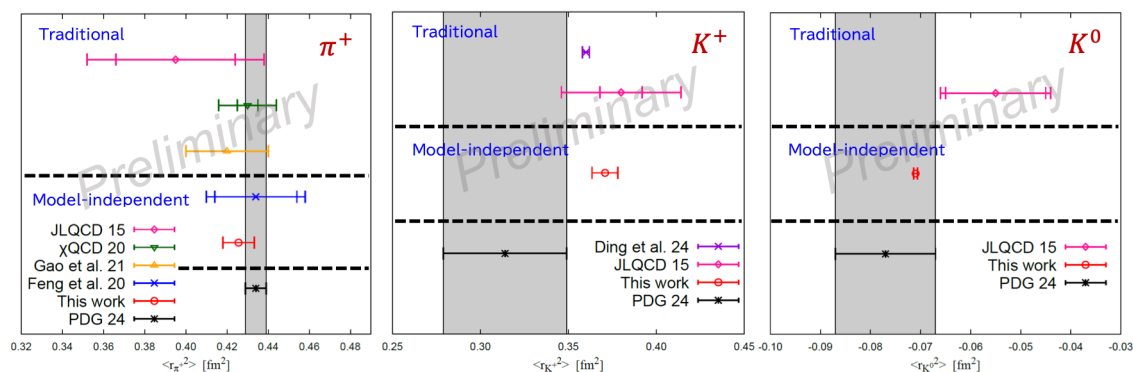


図 2: 荷電 π 中間子荷電半径($r_{\pi^+}^2$)、荷電 K 中間子荷電半径($r_{K^+}^2$)、中性 K 中間子荷電半径($r_{K^0}^2$)の実験値とこれまでの格子 QCD 計算結果との比較。赤丸が我々の結果。灰色帯と黒星印が実験値。それ以外がこれまでの格子 QCD 計算結果。

[5] クォークが重い QCD の臨界点 (金谷)

ビッグバン直後の宇宙は、高温高密度なクォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)状態から膨張して温度と密度が下がり、QCD 相転移を経て、核子などからなる現在の低温低密度状態へと物質進化した。その過程を解明することは、現在の宇宙の姿を理解するうえで重要である。クォーク質量を現実の値に調整した物理点 QCD の相転移はクロスオーバーだが、近傍の臨界点からのスケーリングの影響下にある。近年の格子研究により、クォークが軽い側の臨界点が従来想定されていたより遠方であると分かったので、クォークが重い側の臨界点を正確に特定する必要がある。

金谷は、京都大学北澤正清講師、九州大学鈴木博教授、新潟大学江尻信司准教授らと、QCD 相転移の性質を格子 QCD シミュレーションにより研究している。我々は、Binder キュムラント法を使って臨界点を研究した結果、従来採用されているより大きな空間サイズが必要であることを明らかにした。クォークが重い QCD では、ホッピングパラメータ展開に基づく方法により大格子で高統計シミュレーションが可能である。それを用いて、大きな空間サイズのシミュレーションを実行し、臨界点を高精度で決定する研究を進めている。

研究論文[B]-10 では、これまでに完成している $N_t=4$ 格子と $N_t=6$ 格子での臨界点の結果に、より連続極限に近い $N_t=8$ 格子での中間結果を合わせて、連続極限への試験的外挿を試みた。臨界点における擬スカラー粒子質量を臨界温度で割った無次元量で測ると、これらの格子で、格子間隔依存性が極めて弱そうであることが分かった。その傾向

が正しいなら、フレーバー数が2のQCDで、クォーク質量が重い側の臨界点が $m_{\text{PS}}^{(\text{CP})}/T_c \sim 17$ と示唆される(研究論文[B]-10)。また、後述のLee-Yang ゼロ比法の重クォーク QCD への応用(研究論文[B]-11, 12)も念頭に、虚数化学ポテンシャルにおける重クォーク QCD の相構造解明も進めており、Roberge-Wise 三重臨界点に関する中間結果を物理学会などで報告した。

[6] Lee-Yang ゼロの臨界スケーリングの研究 (金谷)

前節の研究で採用したように、臨界点探査にはBinder キュムラント法がよく使われているが、QCD 研究では格子サイズの制限が強く、別の方法による確認が望まれる。金谷は、京都大学北澤正清講師およびその修士課程大学院生の和田辰也と、Lee-Yang ゼロの臨界スケーリングを研究し、Lee-Yang ゼロの比がBinder キュムラントとよく似た性質を持っており、Binder キュムラント法とは独立で一般的な解析手法を与えうることを発見した。

系の結合パラメータを複素数に解析接続すると、クロスオーバー領域でも、分配関数のゼロ点が複素結合パラメータで現れ、Lee-Yang ゼロと呼ばれている。有限格子ではLee-Yang ゼロは離散的な点で与えられるが、臨界点近傍ではユニバーサリティー・クラスに応じた有限サイズ・スケーリング(FSS)に従うと期待される。図3左図に、3次元Ising 模型におけるn番目のLee-Yang ゼロを、格子サイズLと温度Tの関数として表す。このデータを、期待されるFSSに従って縦軸と横軸をリスケールした結果が図3右図で、nに応じたスケーリング関数で良く表されていることが確認される。

我々はLee-Yang ゼロのFSSを検証した結果、Lee-Yang ゼロの比がBinder キュムラントとよく似た性質を持っていることを発見した(研究論文[A]-3)。図4に、3次元Ising 模型におけるn番目とm番目のLee-Yang ゼロの比 R_{nm} とBinder キュムラント B_4 の結果を示す(研究論文[A]-4)。いずれも、Lを十分大きくすれば、Lに依らず1点で交差する様子が見て取れる。同様の結果は、3次元の3状態ポッツ模型でも得られた(研究論文[A]-3)。

様々な補正の効果を取り入れながらこの交点から熱力学極限 $L \rightarrow \infty$ における臨界点を評価する。図4では、そのFSSフィットの結果も示されている。 R_{nm} と B_4 の結果を比較することにより、Lee-Yang ゼロ比法がBinder キュムラント法と同等以上の精度で臨界点を導けること、また、Lee-Yang ゼロ比の方が有限サイズスケーリングへの非線形項や補正項の効果がより強く抑えられていることを発見した(研究論文[A]-4)。さらに、一般のユニバーサリティー・クラスへの応用ではLee-Yang ゼロ比法の方が混合による補正をより速く抑制することも示した(研究論文[A]-3)。

我々が開発したLee-Yang ゼロ比法は、臨界スケーリング研究においてこれまで最も強力な手法であったBinder キュムラント法と同等の有効性があることが確認された。Binder キュムラント法と独立で相補的な臨界点探索法として、Lee-Yang ゼロ比法は、素粒子研究だけでなく一般の物性系における臨界現象の研究に大きなインパクトを持つと思われる。

重クォーク QCD では、クォーク質量もしくは化学ポテンシャルを複素化するとLee-Yang ゼロが現れる。現在、前者の研究(研究論文[B]-11, 12)や虚数化学ポテンシャルに

おける重クォーク QCD の相構造全般の解明を進めており、物理学会などで中間結果を報告した。

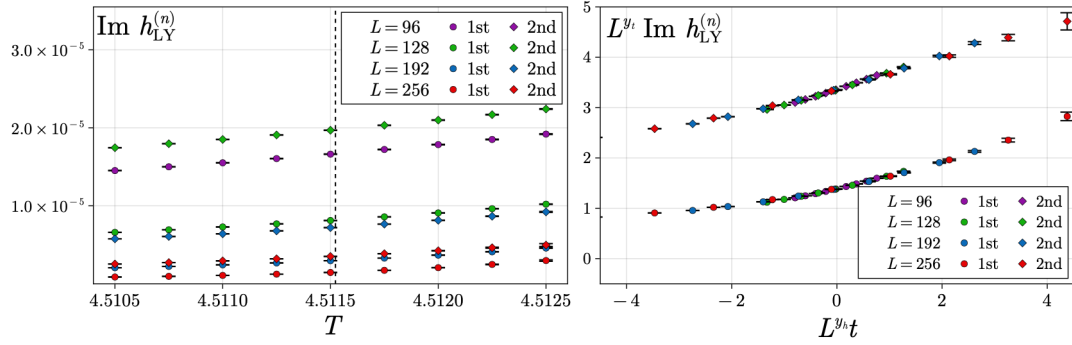


図 3: 左図：3 次元 Ising 模型における Lee-Yang ゼロの、温度 T と格子サイズ L 依存性。縦の破線は臨界温度 T_c 。右図：左図のデータを、Ising 系で期待されるスケーリングに従って表したもの。 $t = (T - T_c)/T_c$ は換算温度で、 y_t , y_h は臨界指数。詳細は研究論文[A]-4 を参照。

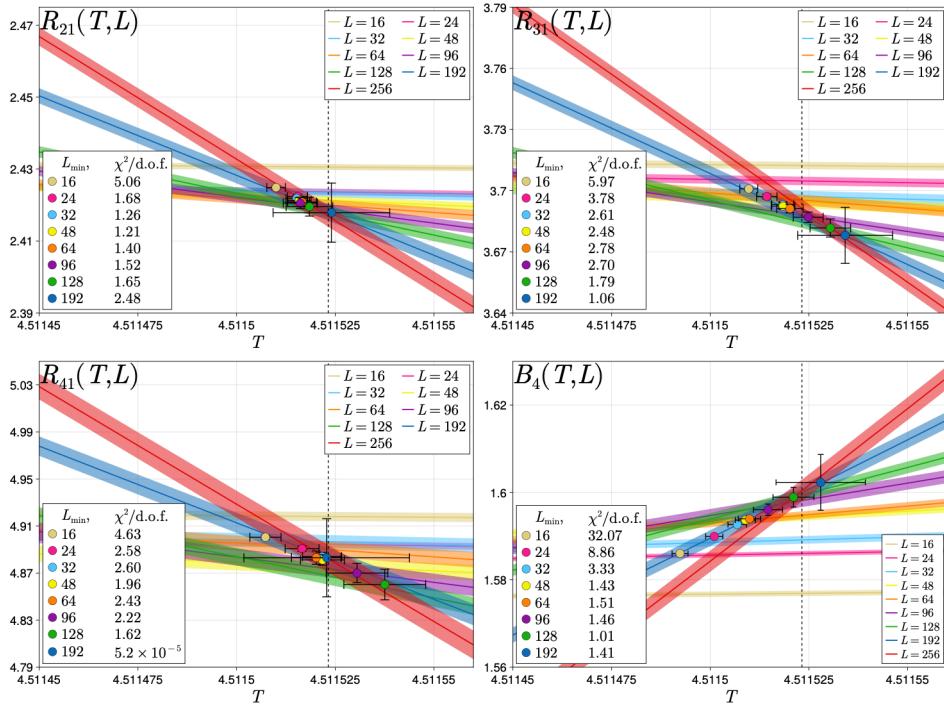


図 4: 3 次元 Ising 模型における n 番目と m 番目の Lee-Yang ゼロの比 R_{nm} と Binder キュムラント B_4 の、温度 T と格子サイズ L 依存性。多重データ点再重み付け法により、 T について連続的にデータが得られ、色付きのバンドはジャックナイフ誤差の範囲を示す。図中の誤差棒付きのデータ点は、 $L \in [L_{\min}, 256]$ のデータを使った FSS フィットによる交点の結果。 $(L_{\min}=192$ ではフィットの自由度が 1 しか残らないので、最終結果には採用しなかった。) 詳細は研究論文[A]-4 を参照。

[7] スパースモデリングを用いたクォーコニウムスペクトル関数の推定（大野）

クォーコニウムは、チャームやボトムといった重クォークとその反クォークから成る束縛状態である。RHIC や LHC で行われている重イオン衝突実験では、宇宙初期や中性子星内部のような超高温・高密度環境で実現すると考えられているクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の生成が試みられており、クォーコニウムはその性質を調べるための重要なプローブの一つとなっている。また、実験結果を理解し、QGP の性質を明らかにするためには、QGP 中におけるクォーコニウムや重クォークの振る舞いを理論的に解明することが不可欠である。その際、クォーコニウムのスペクトル関数が重要な役割を果たす。スペクトル関数には、高温媒質中でのクォーコニウムの状態変化や、重クォーク輸送に関する情報が含まれているためである。しかし、スペクトル関数の計算は一般に非常に困難であることが知られている。格子 QCD に基づく第一原理計算では、クォーコニウムの相関関数を直接計算することができる一方、スペクトル関数は相関関数から間接的に再構成する必要がある。この再構成問題は ill-posed problem として知られており、安定した解を得ることが難しい。そのため、より信頼性の高いスペクトル関数を求めるために、これまでさまざまな手法が提案されてきた。中でもスパースモデリング (SpM) は、少ない事前仮定の下でスペクトル関数を推定できる手法として、近年注目を集めている。大野は、東京女子大の富谷准教授と気象大学校の高橋講師とともに、スパースモデリングを用いたクォーコニウムスペクトル関数の推定に関する研究を推進した。2025 年度は、これまでの研究成果をまとめ、Physical Review D 誌に発表した (研究論文[A]-5)。本論文では、有限温度チャーモニウム相関関数に対して SpM を適用し、模擬データおよび格子 QCD データの解析を行うとともに、従来手法との比較を実施した。模擬データを用いた検証では、SpM が人工的なピーク生成を抑制できること、さらにデータ品質の向上に伴って再構成結果も改善することを確認した。一方で、非常に鋭いスペクトル構造に対する分解能には限界があることも明らかとなった。また、格子 QCD データへの適用では、臨界温度以下において幅を持った共鳴構造が観測され、臨界温度を超えると、それらが広がりながら高エネルギー側へ移動することが確認された (図 5)。MEM との間には定量的な差異が存在するものの、温度依存性に関する定性的な振る舞いは整合的であった。さらに、ベクトルチャネルでは輸送ピークは確認されず、その抽出には SpM のみでは不十分であり、追加の物理的仮定が必要であることが示唆された。

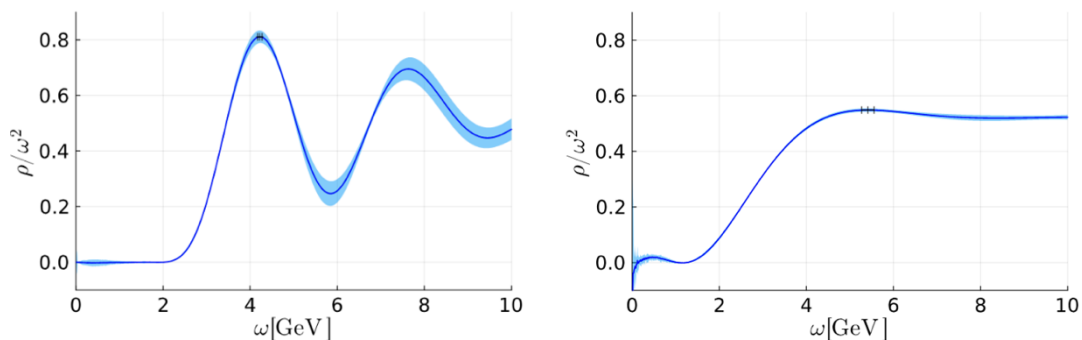


図 5: スパースモデリングにより得られたベクトルチャネルのチャーモニウムスペクトル関数。左図は臨界温度より下、右図は臨界温度より上の結果を表す。

[8] 勾配ブースティング決定木を用いた格子 QCD の物理量推定 (大野)

QCD 有限温度相転移における臨界終点の位置を決定するためには、秩序変数であるカイラル凝縮の高次キュムラントを計算する必要がある。格子 QCD では、これらのキュムラントはディラック演算子の逆行列の冪のトレース $\text{Tr}M^n$ ($n=1, 2, 3, 4$) によって表されるが、その評価には大規模な連立一次方程式を繰り返し解く必要があり、計算コストが非常に大きい。大野は、本学 Choi 研究員と東京女子大の富谷准教授とともに、比較的容易に計算可能な物理量から機械学習を用いて $\text{Tr}M^n$ を推定することで、計算コストを削減する研究を推進した。具体的には、勾配ブースティング決定木回帰とバイアス補正法を組み合わせた方法を、岩崎ゲージ作用および 4 フレーバーの 0(a) 改良された Wilson フェルミオンを用いて生成した格子 QCD データに適用した。データをラベル付きデータとラベルなしデータに分割し、一部のラベル付きデータで学習したモデルをラベルなしデータへ適用した後、バイアス補正を行った。2025 年度は、機械学習によって推定した $\text{Tr}M^n$ を用いて多アンサンブル再重み付けを行い、一次相転移点におけるキュムラントを評価した。また、ラベル付きデータの割合に対する推定精度の依存性を調べた。まず、 $\text{Tr}M^1$ は元のデータを用い、 $\text{Tr}M^n$ ($n=2, 3, 4$) は機械学習による推定を行った。その結果、ラベル付きデータが全体の 1% のみであっても、感受率・歪度・尖度はいずれも元の結果と良く一致し、計算コストを約 26% まで削減できる可能性を示した。さらに、ブラケットや長方形 Wilson ループなどのゲージ量のみを入力として、 $\text{Tr}M^n$ ($n=1, 2, 3, 4$) のすべてを推定した場合でも、元の結果を良好に再現できる場合があることを示した (図 6)。これらの結果は、さらなる大幅な計算コスト削減の可能性を示唆している。本研究成果は、Lattice 2025 といった国際会議等で発表した。また、研究成果をまとめた論文を執筆中である。

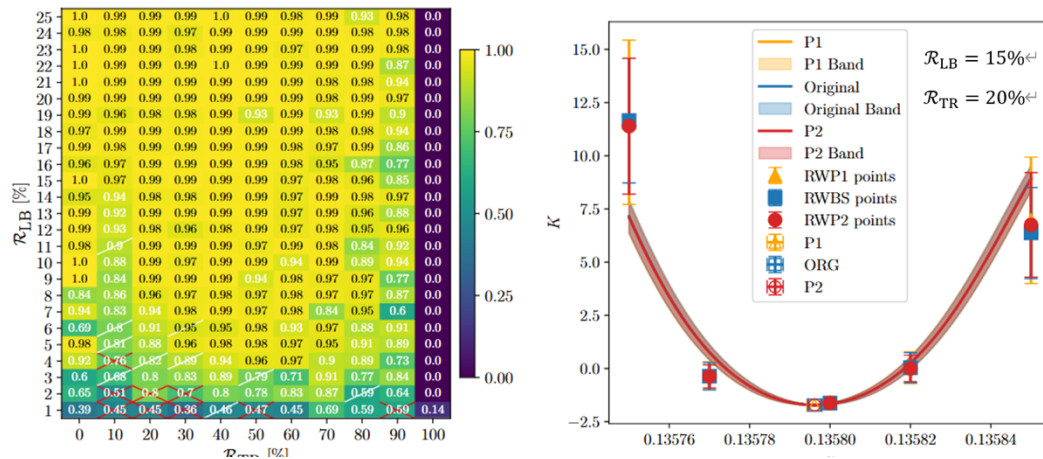


図 6: 左図: ラベル付きデータの割合 RLB およびその中の学習データの割合 RTR に対する Bhattacharyya 係数(元のデータ分布との一致度、1 に近いほどよく一致)。右図: 各ホッピングパラメータでの尖度とそれらを用いた再重み付けの結果。青が従来計算、橙および赤が機械学習推定の結果。

[9] 機械学習を用いたゲージ固定の高速化（大野）

格子 QCD におけるゲージ固定は、ゲージ依存な物理量を解析するために不可欠な処理であるが、大規模格子では臨界減速の影響により、従来の反復アルゴリズムの性能が著しく低下する。格子 QCD 自体はゲージ不変に定式化されているものの、クォーク・グルーオン伝播関数の解析、繰り込みスキームの定義、QCD グリーン関数の抽出などにはゲージ固定が必要となる。従来用いられてきた Los Alamos 法や Cornell 法では、格子体積の増大に伴い収束が遅くなり、計算効率が大きく悪化するという問題がある。大野は、本学 Hsiao 研究員、Choi 研究員および東京女子大の富谷准教授とともに開発した、SU(N) ゲージ理論に対する新しい機械学習ベースのゲージ固定手法に関する研究を推進した。この手法では、Wilson line を用いてゲージ変換行列を構成し、ニューラルネットワークを誤差逆伝播法によって学習させることで、効率的なゲージ固定変換を獲得する。2025 年度は、JLDG で公開されている複数の格子サイズのアンサンブルを用い、さまざまなネットワーク構造について性能の検証を行った。その結果、 $32^3 \times 48$ 格子において、提案手法が Coulomb ゲージ固定の収束性を改善することを確認した。さらに、 $32^3 \times 48$ 格子で学習したモデルを再学習なしに 48^4 格子へ適用しても良好に機能することを示し、格子体積に対する高い汎化性能を確認した(図 7)。本成果は、Lattice 2025 といった国際会議等で発表した。

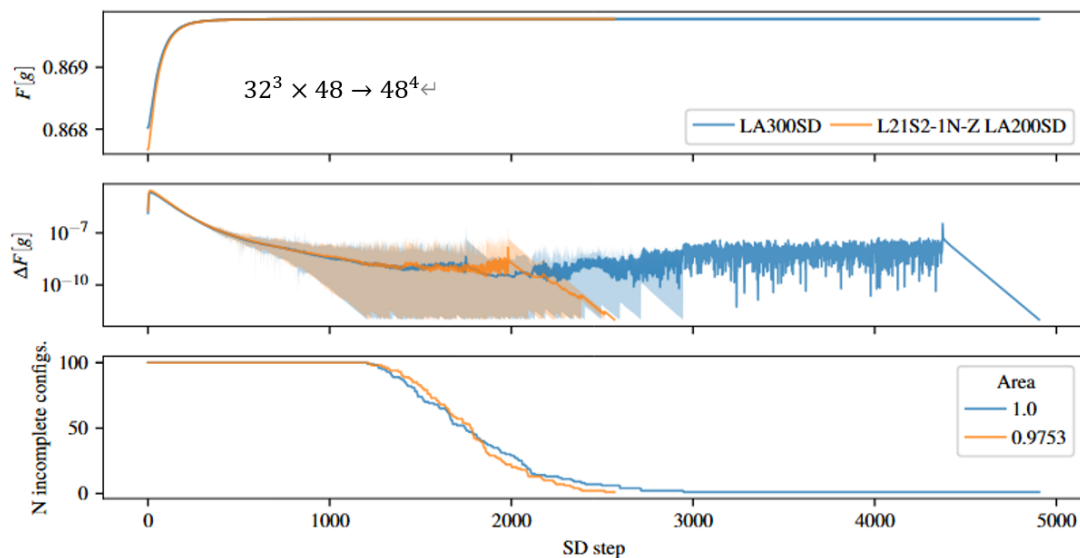


図 7: ゲージ固定における(上)目的関数(中)目的関数の変化(下)収束していないゲージ配位数の最急降下法の反復回数依存性。青が従来法、橙が機械学習模型を用いた場合の結果。

[10] テンソルネットワーク形式に基づく格子ゲージ理論の研究（藏増、秋山）

格子 QCD 計算では、継続的な計算機能力の向上や新規アルゴリズムの開発・改良の結果、自然界の u 、 d 、 s クォーク質量上でのシミュレーションにより、実験と比較しうる高精度な物理量計算が可能となってきた。その一方で、解決すべき長年の課題がそのまま残されていることも事実である。最も重要な課題は、負符号問題および複素作用を持つ系のシミュレーションである。これらは、軽いクォークのダイナミクス、Strong CP 問題、有限密度 QCD、格子 SUSY の研究において避けて通れない問題である。われわれは、2000 年代に入って物性物理分野で提案されたテンソルネットワーク形式に基づく分配関数の数値計算手法を格子ゲージ理論へ応用し、モンテカルロ法に起因する負符号問題および複素作用問題を解決し、これまでの格子 QCD 計算が成し得なかった新たな物理研究の開拓を目指している。

2014 年、藏増と理研計算科学研究機構（現理研計算科学研究センター）の清水裕也特別研究員は、テンソル繰り込み群をグラスマン数も扱えるように拡張し（グラスマンテンソル繰り込み群）、世界で初めてフェルミオン入りのゲージ理論への応用に成功した。具体的には、グラスマンテンソル繰り込み群を用いて、 θ 項が有る場合と無い場合の 1 フレーバーの 2 次元格子 Schwinger モデル（2 次元格子 QED）における相構造を調べた。この研究により、グラスマンテンソル繰り込み群が、現在の格子 QCD 計算が抱える負符号問題や複素作用問題を解決していることを示すことに成功した。現在、最終目標である (3+1) 次元 QCD への応用に向け、(i) 非可換ゲージ理論への拡張、(ii) 高次元モデルへの応用、(iii) 物理量計算のための手法開発、(iv) 興味深い低次元素粒子論モデルへの応用、(v) 物性物理学における強相関電子系への応用、という 5 つの課題に取り組んでいる。

2025 年度は、長期的目標である (3+1) 次元有限密度 QCD の相構造解析の実現に向けて重要な進展があった。われわれは、先ず (3+1) 次元有限密度 2 カラー QCD (QC_2D) の強結合極限の相構造解析に取り組んだ。このモデルは、有限密度 QCD と同様に豊かな相構造を持つと予想されているが、自由度が少ないために計算が比較的容易であり、有限密度 QCD に取り組む前の試験的研究の機会を与えてくれる。われわれは、カイラル凝縮 $\langle \bar{\chi}\chi \rangle$ 、ダイクォーク凝縮 $\langle \chi\chi \rangle$ 、クォーク数密度 $\langle n \rangle$ を化学ポテンシャル μ の関数として計算することにより、このモデルのゼロ温度における相構造を解明することに成功した（研究論文[A]-6）。図 8(左)は、 $\langle \bar{\chi}\chi \rangle$ 、 $\langle \chi\chi \rangle$ 、 $\langle n \rangle/2$ の μ 依存性を表しており、 $\langle \chi\chi \rangle \neq 0$ の領域は平均場近似の予想と一致していることがわかる。本研究は、TRG 法を (3+1) 次元の QCD-like な理論に応用した世界初の成功例であり、(3+1) 次元有限密度 QCD の相構造研究に向けて、多くの科学的・計算手法的知見を得ることができた。その後、われわれは研究を (3+1) 次元有限密度 QCD の強結合極限の相構造解析へと展開した。 $\langle \bar{\chi}\chi \rangle$ と $\langle n \rangle$ の一次相転移点 (μ_c) のクォーク質量依存性を調べることにより、有限温度におけるカイラル相転移・核物質相転移の臨界クォーク質量（一次相転移が消失する点）の決定に成功した。また、ゼロ温度では重いクォーク質量でのカイラル相転移・核物質相転移が一次相転移であることを示した（研究論文[B]-14）。図 8(右)は、 $\langle \bar{\chi}\chi \rangle$ と $\langle n \rangle/3$ の μ 依存性を表しているが、両者ともに $\mu \approx 1.59$ で明瞭な不連続変化を示しており、一次相転移であることがわかる。(3+1) 次元有限密度 QCD には符号問題が存在するため、これまでゼロ温

度での相構造解析は困難であったが、本研究により新たな科学的一歩を踏み出したと言える。今後は本研究を有限結合領域へと拡張していく計画である。

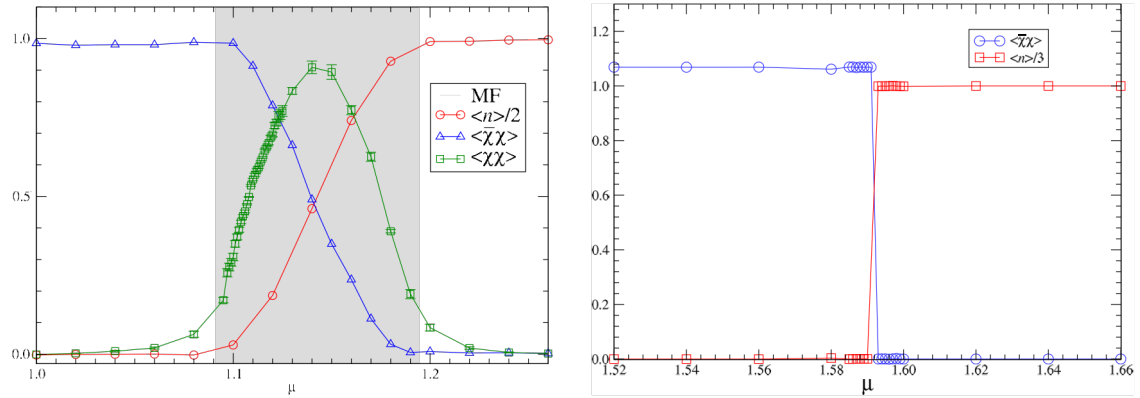


図 8: (3+1)次元強結合有限密度 QCD_2D (左)と QCD (右)のゼロ温度における相構造(研究論文[A]-6, [B-14])。グレーの帯領域は平均場近似(MF)で予想される $\langle\chi\chi\rangle \neq 0$ の領域を表す。

蔵増と羅博士(2025年3月に博士の学位を取得後民間企業に就職)は、テンソル繰り込み群を用いて3次元有限密度 $SU(3)$ スピンモデルにおける相構造を調べた。このモデルは4次元有限密度 QCD の有効理論であり、非ゼロ化学ポテンシャルに起因する符号問題と Z_3 対称性の自発的破れを伴うため、4次元有限密度 QCD の相構造解析の試金石として広く用いられてきた。これまで、複素ランジュバン法やフラックス表現法(変数変換法の一つ)を用いて一次相転移が消失する臨界終点の決定などが試みられてきたが、精度的には不満足なレベルであった。われわれは、これまで、非可換連続群をスピン自由度とするモデルに関して、2次元 $SU(2)$ プリンシパルカイラルモデルと2次元 $O(3)$ 非線形シグマモデルの解析に成功しており、それらの研究から得られた知見をもとに、3次元有限密度 $SU(3)$ スピンモデルにおける臨界終点の決定を行った(研究論文[A]-7)。表1は、化学ポテンシャルを固定した場合($\mu = 0$)とクォーク質量に相当するパラメータを固定した場合($\kappa = 0.005$)において、それぞれ臨界終点を決定した結果である。複素ランジュバン法やフラックス表現法の結果と比較して、格段の精度向上が達成できている。

表 1: $\mu = 0$ の場合と $\kappa = 0.005$ の場合における臨界終点。テンソル繰り込み群(研究論文[A]-7)、フラックス表現法(NPB862(2012)737)、複素ランジュバン法(JHP10(2020)051)の結果の比較。

	$\mu = 0$		$\kappa = 0.005$	
	β_c	κ_c	β_c	κ_c
テンソル繰り込み群	0.133183(44)	0.01552(16)	0.133393(45)	1.716(12)
フラックス表現法	0.1331(1)	0.016(2)	0.134(1)	1.53(10)
複素ランジュバン法	0.1340(11)	0.0150(28)	0.1346(19)	1.61(27)

秋山は、理化学研究所の菅野颯人氏、東京科学大学の村上耕太郎氏、金沢大学の武田真滋氏との共同研究において、 θ 項を含む2フレーバーSchwinger 模型の研究に取り組んだ。本研究では、連続極限において2フレーバーの理論を再現するよう、スタaggerドフェルミオンを用いてSchwinger 模型を格子上に定式化した。この模型に対しては、先行研究としてworld-line 表現を用いたMonte Carlo 法、TRG 法による数値計算が報告されているが、world-line 表現では有限質量領域の扱いが困難であるという制約があった。そこで本研究では、Grassmann テンソルネットワーク法を適用することで、フェルミオン自由度を直接扱える定式化を構築し、有限質量領域における自由エネルギー、トポロジカル荷密度、およびトポロジカル感受率の数値計算を実現した。さらに、近年の場の理論に基づく解析計算により予言されていた、フェルミオン質量が小さい領域での $\theta = \pi$ における指数関数的に小さな質量ギャップ(指数関数的に大きな相関長)の存在を数値的に実証することにも成功した(図9)。この成果は、経路積分形式に基づく数値計算として初めてのものであり、学術論文(研究論文[A]-8)として出版され、国際会議(国際発表[A]-1)における招待講演も行なった。

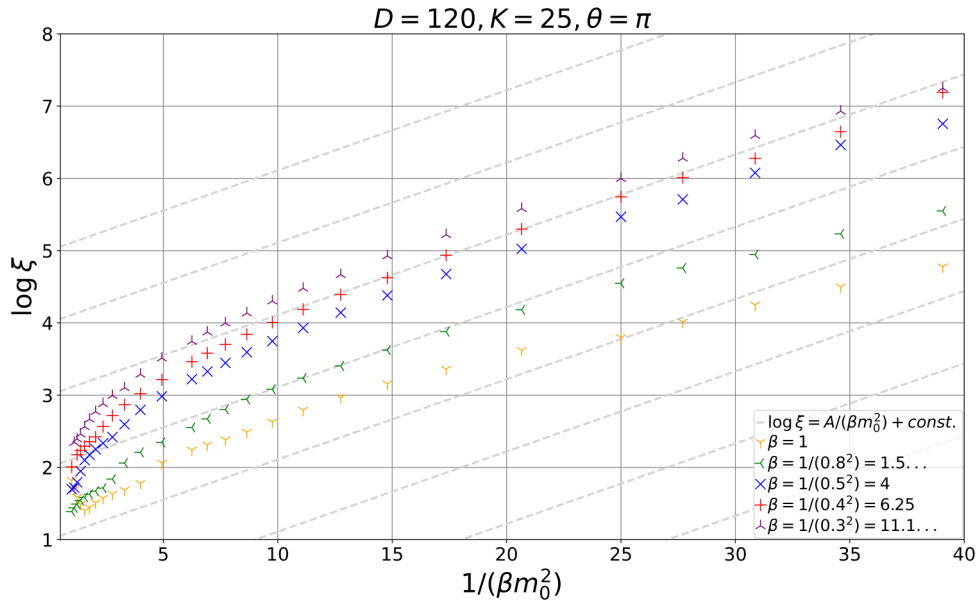


図9: $\theta = \pi$ での2フレーバーSchwinger 模型における相関長。背景の破線は場の理論による予言を示しており、逆ゲージ結合定数 β を大きくするにつれて、数値結果が場の理論の予言に漸近していく様子が確認できる。

また、秋山はノースカロライナ州立大学のRaghav G. Jha氏、京都大学の前田潤氏、谷崎佑弥氏、フェルミ国立研究所のJudah Unmuth-Yockey氏との共同研究として、格子理論の大域対称性によるツイストを課した分配関数(ツイスト分配関数)を用いて、相転移および臨界現象を解析する手法をテンソルネットワークの枠組みで構築した。本研究では、大域対称性を明示的に保持したテンソルネットワーク表現に基づくテンソル繰り込み群を用いることで、ツイスト分配関数を直接計算する手法を開発した。さらに、ツイスト分配関数のみから臨界点および普遍類を決定する有限サイズスケーリング解析手

法を構築した。開発した手法を2次元および3次元の $O(2)$ モデルに適用した結果、3次元のモデルでは $U(1)$ 対称性の自発的対称性の破れを伴う相転移点を決定できることを示した。また、2次元のモデルでは、ツイスト分配関数からヘリシティ・モジュラス(超流動密度)を直接計算できることを数値的に実証した(図10)。従来のモンテカルロ法では、ヘリシティ・モジュラスの評価に相関関数の計算が必要であった。一方、本研究で構築したテンソル繰り込み群に基づく手法では、ツイスト分配関数を直接計算することで、相関関数を用いることなくヘリシティ・モジュラスを求めることが可能となっている。これらの成果は、テンソル繰り込み群に基づく相転移・臨界現象解析の新たな方法論を与えるものである。本研究成果は、国内学会(国内発表[B]-18, 24, 37)および国際会議(国際発表[B]-20)において発表を行った。

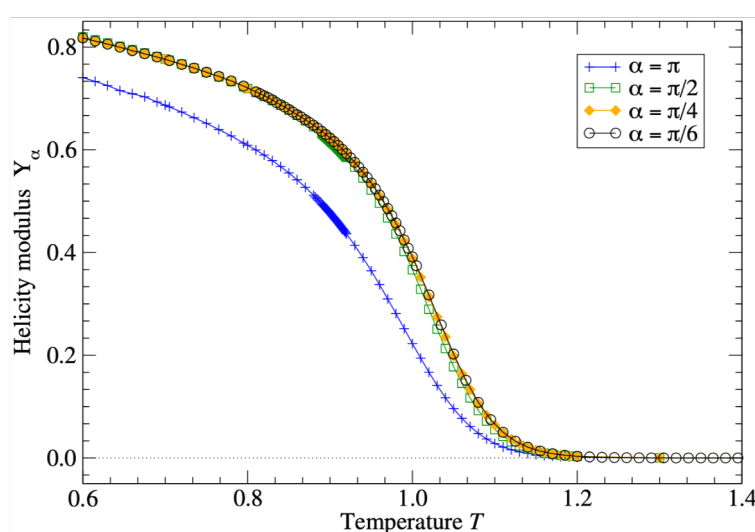


図10:2次元 $O(2)$ モデルにおけるヘリシティ・モジュラス。各曲線は、境界を横切る際にスピン自由度へ課したツイスト角 α の違いに対応している。

さらに秋山は、東京大学の Sayan Mukherjee 氏との共同研究として、応用数学分野におけるグラフ理論の知見を活用し、任意形状のテンソルネットワークに対してメモリ効率の良い縮約順序を決定するアルゴリズムの研究・開発を行った。本研究により、特にランダム性を有する構造を持つテンソルネットワークに対して、従来の縮約アルゴリズムよりも高いメモリ効率で縮約順序を決定できることを明らかにした。この成果については、国際会議(国際発表[B]-7)において Mukherjee 氏によるポスター発表が行われた。また、同氏との共同研究として、機械学習およびグラフ理論に基づく情報圧縮手法を格子ゲージ理論へ応用する研究も進めている。得られた成果の一部については、秋山が国内会議(国内発表[B]-22, 23)および国際会議(国際発表[B]-3)において発表を行った。

この他、秋山は、Tata Institute of Fundamental Research において開催された格子場の理論に関する国際会議にて、テンソル繰り込み群に関するレビューのプレナリー講演を行った(国際発表[A]-4)。本講演の内容は、会議録(研究論文[B]-15)として出版された。

[11] 格子 QCD 研究用データグリッド ILDG/JLDG の運用 (蔵増、大野、吉江)

JLDG (Japan Lattice Data Grid) は、国内の格子 QCD 及び関連分野の研究者・研究グループが、QCD 配位等の貴重なデータを大域的かつ効率的に共有し、研究の促進と計算資源の有効活用を図る事を目的に構築されたデータグリッドである。現在 JLDG には、国内の主要な 7 つの計算素粒子物理研究拠点が参加しており、各拠点に置かれたファイルサーバは NII SINET6 上の VPN 「HEPnet-J/sc」 で接続されている。さらに、これらのファイルサーバは、グリッドファイルシステムソフトウェア Gfarm により束ねられており、ユーザは単一のファイルシステムのように利用することが可能である。

JLDG の運用は、拠点の代表、研究グループ代表、及び本学の計算機工学者から構成される「JLDG 管理者グループ」により行われている。本学物理学域からは蔵増、吉江、大野が参加し、管理グループの代表は大野が務めている。また、本学計算科学研究センターの高性能計算システム研究部門からは建部修見教授、同計算情報学研究部門(データ基盤分野)からは天笠俊之教授が参加している。建部教授は Gfarm の開発者であり、主に Gfarm に関する技術的な助言や支援を提供している。天笠俊之教授は QCD 配位検索システム「QCDml Faceted Navigation」の開発や、公開 QCD 配位への Digital Object Identifier (DOI) の付与などを中心に連携している。

JLDG は、2008 年に実運用を開始して以来 18 年経過し、実用システムとして(一定の)完成の域に達しており、ここ数年の管理者グループの活動は、システムの改良や機能追加から、安定運用や利便性向上の為の作業に主軸を移している。2025 年度は、メンテナンス・ユーザ対応・システム障害対応等の日常業務以外に、主に以下の活動を行った。

- トークンを用いた新認証方式への移行のためのシステム開発
- JLQCD Collaboration が生成した 2+1 フレーバー Mbius domain-wall アンサンブルの新規公開
- 原子核理論分野に関する新規 2 グループの作成
- ILDG (International Lattice Data Grid) に関する活動: ILDG は世界の研究者が格子 QCD の基礎データを相互利用することを目的として運用されている国際的なデータグリッドで、JLDG を含む全世界の 5 つの地域グリッドによって構成されている。2025 年度の主な活動としては、オンラインハンズオンワークショップの開催、国際会議「Lattice 2025」における plenary talk、及び QCD 配位のメタデータ記法である QCDml の更新などが挙げられる。また、蔵増が board 議長を務めた。

4. 教育**[4 年卒業研究]**

1. 田邊 湊太, 「素粒子論とインフレーションについて」
2. 長野 航, 「場の理論におけるエンタングルメント・エントロピー」
3. 内出 丈, 「リー代数とクォーク模型」
4. 三國 瑤介, 「Composite Higgs Model の考察」
5. 田辺 大輝, 「モンテカルロ法による 1 次元および 2 次元イジング模型の数値解析」

6. 才川 汐莉, 「場の理論における境界」
7. 中村 太祐, 「Wheeler-DeWitt方程式」
8. 矢野 太一, 「Boundary vertex operator algebras and associated variety」
9. Xu Muran, 「ゲージ理論の量子化について」

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

受賞

1. 秋山進一郎(課題代表者), 蔵増嘉伸, 羅梟, HPCI 利用研究課題優秀成果賞, 「内部自由度に富んだ格子理論に対するテンソルネットワーク法の開発と応用」, 一般財団法人高度情報科学技術研究機構(RIST), 2025 年 10 月.

外部資金

1. 蔵増嘉伸(代表)、科学研究費補助金・基盤研究(A)「テンソルネットワーク法が拓く計算素粒子物理学の新たな展開」、令和 6 年度採択、9,300 千円
2. 蔵増嘉伸(代表)、科学研究費補助金・学術変革領域研究(A)領域「極限宇宙の物理法則を創るー量子情報で拓く時空と物質の新しいパラダイム」、公募研究「テンソル繰り込み群による場の理論におけるエンタングルメント・エントロピーの研究」、令和 6 年度採択、1,900 千円
3. 大野浩史(分担)、科学研究費補助金・学術変革領域研究(A)領域「「学習物理学」の創成ー機械学習と物理学の融合新領域による基礎物理学の変革」、計画研究「計算物理学と機械学習の融合」、令和 4 年度採択、10,580 千円
4. 秋山進一郎(代表)、科学研究費補助金・若手研究「内部自由度に富んだ格子理論に対するテンソル繰り込み群法の開発と応用」令和 5 年度採択、700 千円
5. 秋山進一郎(代表)、科学研究費補助金・学術変革領域研究(A)領域「「学習物理学」の創成ー機械学習と物理学の融合新領域による基礎物理学の変革」、公募研究「機械学習を活用したテンソル繰り込み群手法の開発と格子ゲージ理論への応用」、令和 7 年度採択、1,000 千円
6. 秋山進一郎(代表)、世界で活躍できる研究者戦略育成事業 大学×国研×企業連携によるトップランナー育成プログラム(TRiSTAR) 第 4 期プリフェロー(2024-2027)「テンソルネットワークと量子計算技術に基づく素粒子物理学の新しい計算手法の開発と応用」、150 千円
7. 山崎剛(代表)、「富岳」成果創出加速プログラム(標準課題)「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」、令和 5 年度採択、18,553 千円
8. 山崎剛(代表)、科学研究費補助金・基盤研究(B)「素粒子標準模型を超える物理探索に向けた格子 QCD 精密化」、令和 5 年度採択、5,900 千円
9. 金谷和至(代表)、科学研究費補助金・基盤研究(C)「グラジエントフローによる QCD 有限温度相転移の研究」、令和 4 年度採択、700 千円

知的財産権

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. Y. Aoki, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, S. Sasaki, K. Sato, E. Shintani, R. Tsuji, H. Watanabe, and T. Yamazaki for PACS Collaboration, “Method for high-precision determination of the nucleon axial structure using latticeQCD: Removing πN -state contamination”, Phys. Rev. D112, No. 7 (2025) ref. 074510, pp.1-24.
<https://doi.org/10.1103/2y8x-5lyc>
2. Y. Aoki, T. Aoyama, E. Bennett, T. Maskawa, K. Miura, H. Ohki, E. Rinaldi, A. Shibata, K. Yamawaki, and T. Yamazaki for LatKMI Collaboration, “Novel view of the flavor-singlet spectrum from multi-flavor QCD on the lattice”, Phys. Rev. D 112, No. 11 (2025) ref. 114503, pp.1-39.
<https://doi.org/10.1103/vnml-g6nx>
3. Tatsuya Wada, Masakiyo Kitazawa, and Kazuyuki Kanaya, “Lee-Yang-zero ratios for locating a critical point”, Phys. Rev. Lett. 134 (2025) ref. 162302, pp.1-6.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.162302>
4. Tatsuya Wada, Masakiyo Kitazawa, and Kazuyuki Kanaya, “Lee-Yang-zero ratio method in three-dimensional Ising model”, J. Phys. Soc. Jpn. 95 (2026) ref. 024002, pp.1-13.
<https://doi.org/10.7566/JPSJ.95.024002>
5. J. Takahashi, H. Ohno, and A. Tomiya, “Sparse modeling study of extracting charmonium spectral functions from lattice QCD at finite temperature”, Phys. Rev. D 113, No.3 (2026) ref. 034507, pp.1-18.
<https://doi.org/10.1103/cdjf-65yf>
6. Y. Sugimoto, S. Akiyama, and Y. Kuramashi, “Phase structure of (3+1)-dimensional dense two-color QCD at $T=0$ in the strong coupling limit with the tensor renormalization group”, Phys. Rev. D 113, No.3 (2026) ref. 034503, pp.1-10.
<https://doi.org/10.1103/jdlr-cqrc>
7. X. Luo and Y. Kuramashi, “Critical endpoints of three-dimensional finite density SU(3) spin model with tensor renormalization group”, JHEP 07 (2025) 036.
[https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2025\)036](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2025)036)
8. H. Kanno, S. Akiyama, K. Murakami, and S. Takeda, “Grassmann tensor renormalization group for the massive Schwinger model with a θ term using staggered fermions”, JHEP 11 (2025) 036.
[https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2025\)036](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2025)036)

B) 査読無し論文

1. T. Yamazaki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Kuramashi, Y. Namekawa, Y. Taniguchi, and N. Ukita for PACS Collaboration, “Update of kaon semileptonic form factor using $N_f=2+1$ PACS10 configurations”, PoS(LATTICE2024) (2025) 227, pp.1-10.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0227>

2. R. Tsuji, Y. Aoki, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, K. Sato, S. Sasaki, E. Shintani, H. Watanabe, and T. Yamazaki for PACS Collaboration, “Studies of nucleon isovector structures with the PACS10 superfine lattice”, PoS(LATTICE2024) (2025) 318, pp.1-10.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0318>
3. R. Tsuji, Y. Aoki, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, K. Sato, S. Sasaki, E. Shintani, H. Watanabe, and T. Yamazaki for PACS Collaboration, “Investigating the axial structure of the nucleon based on large-volume lattice QCD at the physical point”, arXiv:2505.10998, pp.1-63.
4. M. Nagatsuka, Y. Aoki, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, K. Sato, S. Sasaki, E. Shintani, R. Tsuji, H. Watanabe, and T. Yamazaki for PACS Collaboration, “Recent update of nucleon axial-vector charge with the PACS10 superfine lattice”, PoS(LATTICE2025), arXiv:2603.13101, pp.1-10.
5. S. Sasaki, R. Tsuji, Y. Aoki, K.-I. Ishikawa, Y. Kuramashi, K. Sato, E. Shintani, H. Watanabe, and T. Yamazaki for PACS Collaboration, “A proposal for removing πN -state contamination from the nucleon induced pseudoscalar form factor in lattice QCD”, PoS(LATTICE2024) (2025) 310, pp.1-10.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0310>
6. Kohei Sato, Hiromasa Watanabe, and Takeshi Yamazaki for PACS Collaboration, “Calculation of meson charge radii using model-independent method in the PACS10 configuration”, PoS(LATTICE2024) (2025) 324, pp.1-8.
7. Fathiyya Izzatun Az-zahra, Shinji Takeda, and Takeshi Yamazaki, “Study of multi-particle states with tensor renormalization group method”, PoS(LATTICE2025), arXiv:2602.12025, pp.1-10.
8. Fathiyya Izzatun Az-zahra, Shinji Takeda, and Takeshi Yamazaki, “Spectroscopy using tensor renormalization group method”, PoS(LATTICE2024) (2025) 356, pp.1-9.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0356>
9. Yasumichi Aoki, Ed Bennett, Ryan Bignell, Kadir Utku Can, Takumi Doi, Steven Gottlieb, Rajan Gupta, Georg von Hippel, Issaku Kanamori, Andrey Kotov, Giannis Koutsou, Agostino Patella, Giovanni Pederiva, Christian Schmidt, Takeshi Yamazaki, and Yi-Bo Yang, “Lattice gauge ensembles and data management”, PoS(LATTICE2024) (2025) 412, pp.1-20.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0412>
10. Kazuyuki Kanaya, Ryo Ashikawa, Shinji Ejiri, Masakiyo Kitazawa, and Hiroto Sugawara, “Finite-temperature critical point of heavy-quark QCD on large lattices”, PoS(LATTICE 2024) (2025) 439, pp.1-9.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0439>
11. Masakiyo Kitazawa, Tatsuya Wada, and Kazuyuki Kanaya, “Lee-Yang-zero ratios in heavy-quark QCD”, PoS(QCHSC 2024) (2025) 115, pp.1-8.
<https://doi.org/10.22323/1.483.0115>
12. Tatsuya Wada, Masakiyo Kitazawa, and Kazuyuki Kanaya, “Finite-size scaling of Lee-Yang zeros and its application to the 3-state Potts model and heavy-quark QCD”, PoS(LATTICE 2024) (2025) 167, pp.1-10.
<https://doi.org/10.22323/1.466.0167>
13. Issaku Kanamori, Hideo Matsufuru, Tatsumi Aoyama, Kazuyuki Kanaya, Yusuke Namekawa, Hidekatsu Nemura, Keigo Nitadori, “Mixed precision solvers with half-precision floating

point numbers for Lattice QCD on A64FX processor”, SCA/HPCAsiaWS '26: Proceedings of the Supercomputing Asia and International Conference on High Performance Computing in Asia Pacific Region Workshops (2026) pp.145-155.

<https://doi.org/10.1145/3784828.3785398>

14. Y. Sugimoto, S. Akiyama, and Y. Kuramashi, “Tensor renormalization group study of cold and dense QCD in the strong coupling limit”, arXiv:2601.20690, pp.1-17.
15. S. Akiyama, Renormalization group on tensor networks, PoS(LATTICE2025) (2025) 003, arXiv:2603.02741, pp.1-16.

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. S. Akiyama, 「Tensor renormalization group approach for lattice gauge theories」, Recent Developments and Challenges in Tensor Networks: Algorithms, Applications to science, and Rigorous theories (Kyoto University, Kyoto, Japan, Jul. 28–Aug. 8, 2025).
2. H. Ohno, 「Machine Learning Applications to Lattice QCD」, 10th International Symposium of Quantum Beam Science at Ibaraki University (Mito Campus, Ibaraki University, Mito, Ibaraki, Japan, Oct. 9–10, 2025).
3. Y. Kuramashi, 「Quantum field theories with tensor renormalization group」, Extreme Universe 2025 (YITP, Kyoto, Japan, Oct. 27–Nov. 1, 2025).
4. S. Akiyama, 「Renormalization group on tensor networks」 (plenary), The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
5. Takeshi Yamazaki for PACS Collaboration, 「Hadron form factor from lattice QCD on large volumes at the physical quark mass」, The 2025 Asian Nuclear Physics Association (ANPhA 2025) (Academia Sinica, Taiwan, Nov. 27–29, 2025).
6. S. Akiyama, 「Tensor renormalization group approach to the (1+1)-dimensional U(1) gauge theory with a topological θ term」, Tensor Network States: Algorithms and Applications (TNSAA) 2025 (National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, Dec. 15–18, 2025).
7. Y. Kuramashi, 「Tensor renormalization group study of (1+1)-dimensional U(1) gauge-Higgs model at $\theta = \pi$ with Lüscher’s admissibility condition」, Topology in Lattice Systems 2026 (The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Feb. 10–12, 2026).

B) 一般講演

1. A. Tomiya, Y. Nagai, H. Ohno, 「JuliaQCD: Portable lattice QCD package in Julia language」, Conference on the Julia programming language (JuliaCon) 2025 (David Lawrence Hall at the University of Pittsburgh, Pennsylvania, USA, July 22–26, 2025).
2. J. Takahashi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Sparse modeling study to extract charmonium spectral functions from lattice QCD data at finite temperature」, JuliaHEP 2025 Workshop (Jadwin Hall, Princeton University, Princeton, New Jersey, USA, July 28–31, 2025).

3. S. Akiyama, S. Mukherjee, 「Tensor network formulation of the lattice Yang-Mills theory with spectral clustering」 (ポスター発表), SQAI-NCTS Workshop on Quantum Technologies and Machine Learning (National Taiwan University, Taipei, Taiwan, Aug. 25–29, 2025).
4. Masakiyo Kitazawa, Tatsuya Wada, Kazuyuki Kanaya, 「Finite-size scaling of Lee-Yang zeros in heavy-quark QCD」, FBK-ECT* Workshop on "Analytic structure of QCD and Yang-Lee edge singularity" (Villazzano, Trento, Italy, Sep. 8–12, 2025).
5. Tatsuya Wada, Masakiyo Kitazawa, Kazuyuki Kanaya, 「Lee-Yang Zero Ratio Method and Its Application to the QCD Phase Diagram」, FBK-ECT* Workshop on "Analytic structure of QCD and Yang-Lee edge singularity" (Villazzano, Trento, Italy, Sep. 8–12, 2025).
6. Tatsuya Wada, Masakiyo Kitazawa, Kazuyuki Kanaya, 「Locating a Critical Point Using Lee-Yang Zeros: From Ising to QCD」, Fourth international Summer School on methods of Effective Field Theory and Lattice Field Theory (Benasque Science Center, Benasque, Spain, Sep. 14–17, 2025).
7. S. Mukherjee, S. Akiyama, 「Vertex congestion bounds via Laplacian eigenvalues and their application to tensor networks with arbitrary geometry」 (ポスター発表), The Theory of Quantum Computation, Communication and Cryptography 2025 (TQC2025) (Indian Institute of Science, Bengaluru, India, Sep. 15–19, 2025).
8. Naoya Ukita for PACS Collaboration, 「Search for physics beyond the standard model from 2+1+1 Flavor Lattice QCD with the Physical Quark Masses」 (ポスター発表), 17th Symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, Oct. 6–7, 2025).
9. K. Kanaya, R. Ashikawa, S. Ejiri, M. Kitazawa, H. Sugawara, T. Wada, 「Critical point of finite-temperature QCD with heavy quarks」 (ポスター発表), 17th Symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, Oct. 6–7, 2025).
10. H. Nemura, T. Aoyama W.-L. Chen, I. Kanamori, K. Kanaya H. Matsufuru, Y. Namekawa, K. Nitadori, 「Implementation of Lattice QCD common code to large scale parallel supercomputer with manycore and GPU architecture」 (ポスター発表), 17th Symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, Oct. 6–7, 2025).
11. S. Akiyama, H. Kanno, 「Grassmann tensor network approach to particle physics and its application to quantum computation」 (ポスター発表), 17th Symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, Oct. 6–7, 2025).
12. Masakiyo Kitazawa, Tatsuya Wada, Kazuyuki Kanaya, 「Lee-Yang zeros near critical points」, International Workshop on Advances in Lattice QCD (Institute of Modern Physics, Huizhou, China, Oct. 12–14, 2025).
13. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting」, 2025 KPS Fall Meeting, (Kimdaejung Convention Center, Gwangju, South Korea, Oct. 21–25, 2025).
14. Takeshi Yamazaki for PACS Collaboration, 「Kaon semileptonic form factors at the physical quark masses on large volumes in lattice QCD」, 16th European Research Conference on

Electromagnetic Interactions with Nucleons and Nuclei (EINN 2025) (Coral Beach Resort, Cyprus, Oct. 28–Nov. 1, 2025).

15. S. Akiyama, R. G. Jha, J. Unmuth-Yockey, 「SU(2) principal chiral model with tensor renormalization group on a cubic lattice」 (ポスター発表), Extreme Universe 2025 (YITP, Kyoto, Japan, Oct. 27–Nov. 1, 2025).
16. Fathiyya Izzatun Az-zahra, Shinji Takeda, Takeshi Yamazaki, 「The study of multi-particle states with the tensor renormalization group method」, The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
17. Masato Nagasuka, Yasumichi Aoki, Ken-Ichi Ishikawa, Yoshinobu Kuramashi, Shoichi Sasaki, Kohei Sato, Eigo Shintani, Ryutaro Tsuji, Hiromasa Watanabe, Takeshi Yamazaki for PACS Collaboration, 「Recent update of nucleon axial-vector charge with the PACS10 superfine lattice」, The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
18. H. Hsiao, B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「A Machine Learning Approach for Lattice Gauge Fixing」, The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
19. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting with Deborah.jl」, The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
20. S. Akiyama, R. G. Jha, J. Maeda, Y. Tanizaki, J. Unmuth-Yockey, 「Tensor renormalization group approach to critical phenomena via twisted partition functions」, The 42nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2025), (Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, Nov. 3–8, 2025).
21. Y. Kuramashi, 「Entanglement Entropy in Quantum Field Theories with Tensor Renormalization Group」, The 5th ExU Annual Meeting of the Extreme Universe Collaboration (Hotel Aisul Matsuyama, Matsuyama, Japan, Dec. 25–28, 2025).
22. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting with Deborah.jl」, The 2nd "AI+HEP in East Asia" workshop, (KEK, Tsukuba, Japan, Jan. 19–23, 2026).
23. Issaku Kanamori, Hideo Matsufuru, Tasumi Aoyama, Kazuyuki Kanaya, Yusuke Namekawa, Hidekatsu Nemura, Keigo Nitadori (Bridge++ Project), 「Mixed precision solvers with half-precision floating point numbers for Lattice QCD on A64FX processor」, SCA/HPCAsia 2026 (Osaka International Convention Center, Osaka, Japan, Jan. 26–29, 2026).

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 秋山進一郎, 「内部自由度に富んだ格子理論に対するテンソルネットワーク法の開発と応用(hp240012), 第12回「富岳」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会 (The Grand Hall, 品川, 2025 年 10 月 23 日–24 日).

2. 山崎剛, 「「富岳」と AI で挑む素粒子の謎」, 第 5 回シンポジウム「富岳百景」(オンライン, 2025 年 12 月 25 日).
3. 山崎剛, 「「富岳」の最前線と未来予想図 –研究者と語る 1 時間–」, 第 5 回シンポジウム「富岳百景」(オンライン, 2025 年 12 月 25 日).

B) その他の発表

1. 和田辰也, 北沢正清, 金谷和至, 「リーヤンゼロを用いた臨界現象の解明」, 熱場の量子論とその応用 2025 (TFQT2025) (東京大学物性研究所, 柏, 千葉, 2025 年 9 月 3 日–5 日).
2. 山崎剛, 「物理点超大規模格子 QCD による標準理論を超える新物理探索」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
3. 浮田尚哉, 「超大規模格子 QCD による PACS10 および PACS10c 配位について」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
4. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「多重アンサンブル再重み付けによるカイラル凝縮のキュムラントの機械学習ベース推定」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
5. 高橋純一, 大野浩史, 富谷昭夫, 「スパースモデリングを用いたチャーモニウムスペクトル関数の計算」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
6. 大野浩史, 富谷昭夫, 永井佑紀, 「JuliaQCD における GPU プログラミングとその性能評価」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
7. H. Hsiao, B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning Approaches for Lattice Gauge Fixing」, 「富岳」成果創出加速プログラム「超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発」総括研究会 (ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 東京, 2025 年 9 月 9 日–11 日).
8. 秋山進一郎, 「Computational particle physics through the integration of tensor network and quantum computing techniques」(ポスター発表), TRiSTAR トランスボーダーサイエンスキャンプ(株式会社トヤマ, 2025 年 9 月 10 日–11 日).
9. 山崎剛, 石川健一, 石塚成人, 藏増嘉伸, 滑川裕介, 浮田尚哉 for PACS Collaboration, 「K 中間子セミレプトニック崩壊形状因子計算」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日–19 日).

10. 浮田尚哉, 石川健一, 石塚成人, 藏増嘉伸, 中村宜文, 滑川裕介, 佐藤航平, 谷口裕介, 渡辺展正, 山崎剛 for PACS Collaboration, 「大規模格子 QCD 計算による PACS10, PACS10c 配位生成」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
11. 佐藤航平, 渡辺展正, 山崎剛 for PACS Collaboration, 「PACS10/L128・L160 配位を用いた中間子荷電半径の連続外挿」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
12. Fathiyya Izzatun Az-zahra, Shinji Takeda, Takeshi Yamazaki, 「Multi-particle state investigation using tensor renormalization group method」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
13. 金谷和至, 和田辰也, 北澤正清, 「Lee-Yang ゼロ比法によるスピン系と重クォーク QCD の臨界点探索」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
14. 青山龍美, 金森逸作, 金谷和至, 松古栄夫, 滑川裕介, 根村英克, 似鳥啓吾(Bridge++ Project), 「汎用格子 QCD コード Bridge++での半精度浮動小数点演算の利用について」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
15. 高橋純一, 大野浩史, 富谷昭夫, 「スパースな解を仮定した有限温度チャーモニウムスペクトル関数の算出」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
16. H. Hsiao, B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Lattice Gauge Fixing through a Machine Learning Approach」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
17. 崔在敦, 大野浩史, 富谷昭夫, 「多重アンサンブル再重み付けによるカイラル凝縮のキュムラントの機械学習ベース推定」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
18. 秋山進一郎, Raghav G. Jha, 前田潤, 谷崎佑弥, Judah Unmuth-Yockey, 「Tensor renormalization group approach to critical phenomena via twisted partition functions」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
19. Kwok Ho Pai, 秋山進一郎, 藤堂眞治, 「Lattice two-color QCD with Wilson fermion at finite density by Grassmann tensor renormalization group」, 日本物理学会第 80 回年次大会(広島大学, 東広島, 広島, 2025 年 9 月 16 日-19 日).
20. 秋山進一郎, 「テンソルネットワークによる場の理論の計算」, 「量子ソフトウェア」寄附講座第 3 回研究成果報告会(東京大学, 2025 年 9 月 24 日).
21. H. Hsiao, B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Lattice Gauge Fixing through a Machine Learning Approach」(ポスター), R7 年度学術変革 A「学習物理学」領域会議(東京大学本郷キャンパス山上会館, 東京, 2025 年 9 月 24 日-25 日).
22. 秋山進一郎, 「機械学習を活用したテンソル繰り込み群手法の開発と格子ゲージ理論への応用」, R7 年度「学習物理学」領域会議(東京大学本郷キャンパス山上会館, 東京, 2025 年 9 月 24 日-25 日).

23. 秋山進一郎, 「Development of tensor renormalization group utilizing machine learning and their applications to lattice gauge theory」(ポスター発表), R7 年度「学習物理学」領域会議(東京大学本郷キャンパス山上会館, 東京, 2025 年 9 月 24 日-25 日).
24. 秋山進一郎, 「Tensor renormalization group approach to critical phenomena via twisted partition functions」(ポスター発表), サステイナブル量子 AI 研究拠点第 6 回全体会議(理研 R-CCS, 神戸, 2025 年 9 月 29 日).
25. 秋山進一郎, 蔵増嘉伸, 羅梟, 「Tensor network approach to the lattice field theories with large internal degrees of freedom (hp240012)」(ポスター発表), 第 12 回「富岳」を中核とする HPCI システム利用研究課題成果報告会(The Grand Hall, 品川, 2025 年 10 月 23 日-24 日).
26. 秋山進一郎, 「Computational particle physics through the integration of tensor network and quantum computing techniques」, 博士後期課程学生支援プロジェクト (SPRING/BOOST) 研究発表会(つくば国際会議場, つくば, 2025 年 12 月 10 日-11 日).
27. 金谷和至, 和田辰也, 北澤正清, 「Lee-Yang ゼロ比法によるスピン系と重クォーク QCD の臨界点探査」, 宇宙史研究センター成果報告会(筑波大学, つくば, 茨城, 2025 年 12 月 16 日).
28. 山崎剛, 「Kaon semileptonic decay form factors at the physical quark mass on large volumes in 2+1+1 flavor lattice QCD」, 「富岳成果創出加速プログラム」基礎科学合同シンポジウム 2025 (御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター(ハイブリッド), 東京, 2026 年 1 月 13 日-15 日).
29. 浮田尚哉, 「大規模格子 QCD 計算による PACS10, PACS10c 配位生成」, 「富岳成果創出加速プログラム」基礎科学合同シンポジウム 2025 (御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター(ハイブリッド), 東京, 2026 年 1 月 13 日-15 日).
30. H. Hsiao, B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「A Machine Learning Approach for Lattice Gauge Fixing」, 「富岳成果創出加速プログラム」基礎科学合同シンポジウム 2025 (御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター(ハイブリッド), 東京, 2026 年 1 月 13 日-15 日).
31. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting with Deborah.jl」, 「富岳成果創出加速プログラム」基礎科学合同シンポジウム 2025 (御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター(ハイブリッド), 東京, 2026 年 1 月 13 日-15 日).
32. 西岡理花, 山崎剛, 「格子 QCD におけるフェルミオン伝搬関数の新しい計算方法の研究」(ポスター発表), 計算物理春の学校 2026 (沖縄県市町村自治会館, 那覇, 沖縄, 2026 年 3 月 9 日-13 日).
33. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting with Deborah.jl」(ポスター), 計算物理春の学校 2026 (沖縄県市町村自治会館, 那覇, 沖縄, 2026 年 3 月 9 日-13 日).
34. 佐藤航平, 渡辺展正, 山崎剛 for PACS Collaboration, 「PACS10/L128・L160 配位と複数のカレントを用いた中間子荷電半径の連続外挿」, 日本物理学会 2026 年春季大会(オンライン, 2026 年 3 月 23 日-26 日).

35. 和田辰也, 北澤正清, 金谷和至, 「重クォーク QCD における Roberge-Weiss 三重臨界点の解析」, 日本物理学会 2026 年春季大会(オンライン, 2026 年 3 月 23 日-26 日).
36. B. J. Choi, H. Ohno, A. Tomiya, 「Machine Learning-Based Estimation of Cumulants of Chiral Condensate via Multi-Ensemble Reweighting with Deborah.jl」, 日本物理学会 2026 年春季大会(オンライン, 2026 年 3 月 23 日-26 日).
37. 秋山進一郎, Raghav G. Jha, 前田潤, 谷崎佑弥, Judah Unmuth-Yockey, 「Tensor renormalization group approach to critical phenomena via symmetry-twisted partition functions」, 日本物理学会 2026 年春季大会(オンライン, 2026 年 3 月 23 日-26 日).

(4) 著書、解説記事等

1. 柏浩司, 大野浩史, 富谷昭夫, 「格子上の場の理論入門」森北出版, 2025 年 7 月.
2. 金谷和至, 受川史彦, 山崎剛, “~朝永振一郎のノーベル物理学賞~「くりこみ」の意味と今日的意義(特集昭和百年クロニクル: 昭和 40 年)”, CROSS T&T, No.80, pp.15-20 (2025).
3. 石川健一, 浮田尚哉, 藏増嘉伸, 山崎剛, “2+1 および 2+1+1 フレーバーQCD におけるマスターフィールドシミュレーションと新物理探索”, 日本物理学会誌 第 80 巻 第 10 号, 最近の研究から, pp.579-583 (2025).

7. 異分野間連携・産学官連携・国際連携・国際活動等

異分野間連携 (センター内外)

1. Japan Lattice Data Grid (JLDG)
<http://www.jldg.org/jldg/>,
3-[11]節参照
2. 計算基礎科学連携拠点
<http://www.jicfus.jp/jp/>

産学官連携

該当なし

国際連携・国際活動

1. International Lattice Data Grid (ILDG)
<http://ildg.sasr.edu.au/Plone>
3-[11]節参照

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

1. 大野浩史, 「物理屋のための機械学習講義」世話人
筑波大学東京キャンパス(ハイブリッド), 2025 年 4 月 21 日, 5 月 12 日, 5 月 19 日,
6 月 20 日, 10 月 31 日, 11 月 21 日, 2026 年 1 月 9 日(全 7 回)
参加登録者数: 720 人

世話人： 大野浩史(筑波大学), 柏浩司(福岡工業大学), 富谷昭夫(東京女子大学), 二村保徳(筑波大学)

ウェブページ: <https://akio-tomiya.github.io/lectures4mlphys/>

Youtube channel: <https://www.youtube.com/@lectures4mlphys>

2. 大野浩史, 「JuliaQCD ユーザーブリーフィング」世話人
筑波大学東京キャンパス(ハイブリッド), 2025 年 5 月 16 日
参加者数(内対面参加): 31(8)人
世話人: 大野浩史(筑波大学), 富谷昭夫(東京女子大学)
ウェブページ: <https://akio-tomiya.github.io/juliaqcdmeeting/>
3. 大野浩史, 「International Lattice Data Grid(ILDG) Hands-on Workshop」世話人
オンライン, 2025 年 7 月 8 日-11 日
4. 秋山進一郎, 藏増嘉伸, 「Tensor Network 2024」世話人
筑波大学東京キャンパス(ハイブリッド), 2025年7月16日-18日
参加登録者数: 76人
世話人: 秋山進一郎(筑波大学), 藏増嘉伸(筑波大学), 武田真滋(金沢大学)
ウェブページ: <https://akiyama-es.github.io/tn25.html>
5. 山崎剛, 「「富岳」成果創出加速プログラム超大規模格子 QCD による新物理探索と次世代計算に向けた AI 技術開発総括研究会」世話人
ビジョンセンター田町(ハイブリッド), 2025 年 9 月 9 日-11 日
参加登録者数: 35 人
主催: 筑波大学
世話人: 大野浩史(筑波大学), 藏増嘉伸(筑波大学), 富谷昭夫(東京女子大学), 山崎剛(筑波大学)
ウェブページ: <https://www-het.ph.tsukuba.ac.jp/~latticeqcdai/workshop2025/>
6. 大野浩史, 「JuliaLang Japan 2025」世話人
東京科学大学大岡山キャンパス, 東京(ハイブリッド), 2025 年 12 月 13 日
世話人: 大野周平(横浜市大), 村田賢太(株式会社サイカ), 寺崎敏志(Atelier-Arith), 山下真(東京科学大), 山口悠地(東京科学大), 富谷昭夫(東京女子大), 後藤俊介(有限会社来栖川電算), 永井佑紀(東大), 横山俊一(東京都立大), 堀川由人(阪大), 大野浩史(筑波大)
ウェブページ: <https://julialangja.github.io/julialangja2025/>
7. 山崎剛, 「富岳成果創出加速プログラム」基礎科学合同シンポジウム 2025」世話人
御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター(ハイブリッド), 2026 年 1 月 13 日-15 日

参加登録者数: 56 人

主催: 計算基礎科学連携拠点, 「富岳」成果創出加速プログラム基礎科学 5 課題

共催: 筑波大学・計算科学研究センター, 高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・理論センター

世話人: 橋本省二(KEK), 大須賀健(筑波大学), 山崎剛(筑波大学), 堀田英之(名古屋大学), 山地洋平(物質材料研究機構)

ウェブページ: <https://kds.kek.jp/event/57304/>

8. 大野浩史, 「計算物理春の学校 2026」世話人

沖縄県市町村自治会館, 那覇(ハイブリッド), 2026 年 3 月 9 日-13 日

参加者数(内対面参加): 370 人(186 人)

世話人: 大野満希(筑波大), 村上透(東大), 足羽美海(横浜市大), 小林玲奈(総研大), 世良隆明(東大), 三井悟士(富山大), 用松大希(九大), 矢口真那斗(東大), 藁谷広夢(金沢大), 北野鵬志(北大), 大野周平(横浜市大), 立田結希菜(お茶大), 川崎謙太(東北大), 礪谷駿一郎(京大), 水野航希(名大), 神原龍冬(北大), 有田亮太郎(東大), 大久保毅(東大), 大野浩史(筑波大), 金森逸作(理研), 品岡寛(埼玉大), 下川統久朗(OIST), 富谷昭夫(東京女子大), 永井佑紀(東大), 水上渉(阪大)

ウェブページ: <https://compphyschool.github.io/2026/>

Youtube channel: <https://www.youtube.com/channel/UC7zQqYdH0qH4FPrhiutRAvQ>

9. 管理・運営

1. 藏増嘉伸: 運営委員会委員、運営協議会委員、研究倫理委員会委員長、
2. 石塚成人: 共同研究運用委員会委員
3. 藏増嘉伸: 計算機システム運用委員会委員

10. 社会貢献・国際貢献

1. 藏増嘉伸: ILDG board chairperson
2. 藏増嘉伸: Selection committee member for “the Kenneth G. Wilson Award for Excellence in Lattice Field Theory”
3. 大野浩史: JLDG 管理グループ代表

11. その他

該当なし