

# 原子核と他分野研究の交差点

## Meeting for Intersections of Nuclear and Other Researches

理化学研究所 和光キャンパス

2025年3月10日(月) – 11日(火)

### 3月10日(月) 教室：研究本館435-437

時間	発表者	タイトル
9:50 – 10:00	運営委員	開会の挨拶
10:00 – 11:00	村上 耕太郎	Lattice QCD studies of pentaquarks from meson-baryon interactions
11:00 – 11:10		コーヒープレイク
11:10 – 11:30	三宅 浩太郎	$\chi_{cJ}(2P)$ とハドロン分子によるエキゾチックハドロンの解析
11:30 – 11:50	板谷 さくら	Finite volume effects on two-pion states in the hadronic vacuum polarization contribution to the muon $g-2$
11:50 – 12:10	岩中 章紘	紐から袋を編む方法
12:10 – 13:10		休憩
13:10 – 14:10	森脇 湧登	関手的場の量子論とブートストラップ方程式
14:10 – 14:20		コーヒープレイク
14:20 – 14:40	菅野 聡	Berezin-Toeplitz 量子化を用いた量子化の一般化
14:40 – 15:00	川平 将志	F 理論と $SL(2, \mathbb{Z})$ ゲージ対称性
15:00 – 15:20	吉中 譲次郎	BSFT のホモトピー代数的な理解に向けて
15:20 – 15:30		コーヒープレイク
15:30 – 15:50	木戸 夏矢	共変解析力学の幾何学的描像および Lie 垂代数を用いた量子化の試み
15:50 – 16:10	古田 悠馬	On the quadratic equations for detecting duality symmetries of $c = 2$ compact boson CFTs
16:10 – 16:20		コーヒープレイク
16:20 – 16:40	繁村 知宏	Factorization Algebra における状態と IR 発散
16:40 – 17:00	高間 俊至	Levin-Wen 模型とゲージ理論

## 3月11日(火) 教室：研究本館435-437

時間	発表者	タイトル
10:00 – 11:00	林 優衣	(コンパクト化して)QCDを半古典的に”解く”
11:00 – 11:10		コーヒーブレイク
11:10 – 11:30	田中 満	The role of scale anomaly in nucleon stability
11:30 – 11:50	Bikai Gao	Quarkyonic matter with chiral symmetry restoration
11:50 – 12:10	塚本 大智	トポロジカル項を持つ理論におけるソリトンの集団座標量子化
12:10 – 13:10		休憩
13:10 – 14:10	郭 優佳	Einstein ring 像から見える重力を介した量子もつれの生成
14:10 – 14:20		コーヒーブレイク
14:20 – 14:40	宮地 大河	完全WKB解析を用いたブラックホール準固有振動の解析
14:40 – 15:00	片山友貴	スカラーテンソル理論のさらなる理解に向けた試み
15:00 – 15:10		コーヒーブレイク
15:10 – 15:30	神田 行宏	余剰次元模型における宇宙ひもの相互作用
15:30 – 15:50	長野 佳輔	Proton Decay and Gauge Coupling Unification in an Extended SU(5) GUT with 45-Dimensional Higgs
15:50 – 16:00	運営委員	閉会の挨拶

## アブストラクト

3月10日(月)

10:00 – 11:00 村上 耕太郎 (東京科学大、招待講演)

タイトル：Lattice QCD studies of pentaquarks from meson-baryon interactions

アブストラクト：Elucidation of the nature of the exotic hadrons is one of the essential issues in hadron physics. Numerical simulation of lattice QCD has recently been shown to play a vital role in understanding such hadrons for recent years. The HAL QCD method, which extracts scattering amplitudes through interaction potentials between hadrons, is one of the methods to investigate exotic hadrons in lattice QCD. In this talk, I present our recent studies on the  $\Theta^+$  pentaquark from kaon-nucleon interactions in lattice QCD with the physical quark masses.

11:10 – 11:30 三宅 浩太郎 (名古屋大学)

タイトル： $\chi_{cJ}(2P)$  とハドロン分子によるエキゾチックハドロンの解析

アブストラクト：クォークと反クォークのペアまたはクォーク3つからなるとして説明することが困難なハドロンをエキゾチックハドロンと呼ぶ。エキゾチックハドロンは4つ以上のクォークからなる考えられているが、その構造は解明されていない。過去20年間で、多くのチャームクォークを含むエキゾチックハドロンが報告されている。それらの多くは、 $\chi_{cJ}(2P)$  のようなチャーモニウムと同じ量子数を持っている。本講演では、 $\chi_{cJ}(2P)$  と同じ量子数を持つエキゾチックハドロンを、裸の  $\chi_{cJ}(2P)$  と複数のハドロンの束縛状態（ハドロン分子状態）の重ね合わせとして解析した結果を紹介する。

11:30 – 11:50 板谷 さくら (総合研究大学院大学)

タイトル：Finite volume effects on two-pion states in the hadronic vacuum polarization contribution to the muon  $g-2$

アブストラクト：The muon problem has been discussed for a long time due to the possible advent of a new physics scenario beyond the Standard Model (SM). It is a puzzle of discrepancies between theoretical predictions by the SM and experimental observations of the quantity where is the muon's Landé  $-$ factor. The non-zero originates from the four loop corrections of QED, electroweak, hadronic vacuum polarization (HVP), and hadronic light-by-light (HLbL). Although the main contribution is QED, accounting for 99.9% of the total, the largest uncertainties are from HVP (67.7%) and HLbL (30.5%), both of which are associated with QCD. Lattice QCD is in charge of those QCD contributions, and it is important to improve the precision for a better comparison of the theory and the experiment. In my talk I will give a new method to evaluate the finite volume effects (FVEs) on the leading order HVP contribution. This framework has been established by the author and collaborators, H. Fukaya and S. Hashimoto. Our results show a larger FVEs and a different scaling on the volume.

11:50 – 12:10 岩中 章紘 (大阪大学 核物理研究センター)

タイトル：紐から袋を編む方法

アブストラクト：量子色力学 (QCD) の低エネルギーでの振る舞いを解析的に計算することは難しく、今もなお挑戦的な課題として残されています。そのため QCD の低エネルギーでの性質を色々な異なる角度から切り取った、色々な有効模型がハドロンの研究に用いられてきました。これらの有効模型は一見すると全く異なっており、互いに関係をつけることは困難に思えます。本発表では、高分子物理学の知見を応用することで様々なハドロン有効模型を統一的に記述する、というアイデアを提案し、この困難の克服を目指します。

13:10 – 14:10 森脇 湧登 (理化学研究所)

タイトル：関手的場の量子論とブートストラップ方程式

アブストラクト：関手的場の量子論 (functorial QFT) は、ラグランジアンによらない非摂動的

な場の量子論の定式化である。本講演では2次元共形場理論を中心に、functorial QFTの基本的な考え方を紹介し、そこからブートストラップ方程式を導く。

#### 14:20 – 14:40 菅野 聡 (筑波大学)

タイトル：Berezin-Toeplitz 量子化を用いた量子化の一般化

アブストラクト：量子化の数学的な定義の一つとして strict deformation quantization がある。strict deformation quantization の一つの具体的構成法として Berezin-Toeplitz 量子化 (BT 量子化) が知られている。一方で、BT 量子化はシステマティックな手法であり、BT 量子化の一般化は議論が容易であるという側面を持つ。そのため、この BT 量子化の一般化を用いて量子化を一般化することができると考えられる。本発表では、BT 量子化の一般化を用いた量子化の一般化としてベクトル束の量子化について話す。

#### 14:40 – 15:00 川平 将志 (京都大学 基礎物理学研究所)

タイトル：F 理論と  $SL(2, \mathbb{Z})$  ゲージ対称性

アブストラクト：本発表では、F 理論の  $SL(2, \mathbb{Z})$  ゲージ対称性を現代的観点から再訪する。F 理論とは、Type IIB 超弦理論の7ブレーンを扱うための枠組みであり、次のような利点をもつ。(1) Hetero 超弦理論との双対性をもつ。(2) D ブレーン上のゲージ群は  $SU(N)$  である一方、7ブレーンは  $SU(N)$  だけでなく  $E_8$  など様々なゲージ群が出現する。以上のような性質は、現象論模型を超弦理論から導出する上で優れた点であると考えられており、様々な研究がなされている。

本発表では、F 理論で中心的役割を果たす  $SL(2, \mathbb{Z})$  ゲージ対称性のはたらきを現代的な対称性の観点から再考する。古くからこの  $SL(2, \mathbb{Z})$  対称性は S 双対性として知られているが、実際のところは離散ゲージ対称性を成しており、コンパクトスカラー理論の  $\mathbb{Z}$  ゲージ対称性の一般化としてみなせることを議論する。

#### 15:00 – 15:20 吉中 譲次郎 (京都大学)

タイトル：BSFT のホモトピー代数的な理解に向けて

アブストラクト：弦の場の理論の定式化の1つである Boundary String Field Theory (BSFT) は2次元の場の理論の分配関数を弦の場の理論の作用とする定式化であり、いくつかの古典解を計算することができる等、定量的な計算に向けた定式化である。一方で、近年の弦の場の理論はホモトピー代数に基づいた定式化が盛んに研究されており、こちらは定性的な議論に適した定式化である。本講演ではこの2つの相補的な定式化が場の再定義によって結びつくことを示し、具体的な場の再定義の構成のために解決すべき課題について紹介する。

#### 15:30 – 15:50 木戸 夏矢 (茨城大学)

タイトル：共変解析力学の幾何学的描像および Lie 垂代数を用いた量子化の試み

アブストラクト：共変解析力学と呼ばれる古典場の理論がある。これは相対論的共変性が明白な正準理論であり、ゲージ理論が拘束系でないなどの通常の場合の理論とは異なる様相を示す。本研究では、この理論に次数付き幾何学としての描像を与え、現状古典論しかないこの理論の量子化を、Lie 代数を用いることで試みる。

**15:50 – 16:10 古田 悠馬 (京都大学 数理解析研究所)**

タイトル：On the quadratic equations for detecting duality symmetries of  $c = 2$  compact boson CFTs

アブストラクト：Recently, a lot of researchers have explored generalized symmetries of many kinds of quantum field theories. Among them, we will talk about how to construct some families of duality symmetries of some conformal field theories (CFT), known as the categorical symmetries built by using the T-duality and half-space gauging. The kind of CFTs we will focus on is compact boson CFT with the central charge 2, considering taking orbifold (gauging) of diagonal subgroups of  $U(1)^4$ . In this set up, we find quadratic equations whose solutions correspond to duality defects, which implies that we can explore the duality symmetries of such CFTs finding solutions of the equations. We will also talk about some brief example of defects that can be found by the equations. This is based on arXiv: 2412.01319.

**16:20 – 16:40 繁村 知宏 (京都大学)**

タイトル：Factorization Algebra における状態と IR 発散

アブストラクト：Factorization algebra は、近年 Kevin Costello と Owen Gwilliam によって発展した場の量子論の新しい定式化の一つであり、摂動論的場の量子論に適用可能である。その利点は、経路積分や演算子積といった場の量子論の基本概念を数学的に明確に記述できる点にある。本発表では、factorization algebra における状態の構成と、質量のない自由スカラー場理論における赤外発散の取扱いについて議論する。

**16:40 – 17:00 高間 俊至 (京都大学 基礎物理学研究所)**

タイトル：Levin-Wen 模型とゲージ理論

アブストラクト：現在知られている SPT 相の分類は、模型の大域的対称性をゲージ場と結合させることで得られるゲージ理論のアノマリーの分類に対応している。この対応を逆手にとり、tube algebra の表現論を利用することで、Levin-Wen 模型をゲージ理論として理解することができる。本講演では、まず unitary fusion category を素材として Levin-Wen 模型の基底状態の Hilbert 空間を構成し、それが持つ局所的な tube algebra の作用を ungauged することで新奇な SPT 相を得る方法を紹介する。さらに、fusion 2-category への一般化を議論する。

3月11日(火)

10:00 – 11:00 林 優衣 (京都大学 基礎物理学研究所、招待講演)

タイトル：(コンパクト化して)QCD を半古典的に”解く”

アブストラクト：「うまいコンパクト化により，強結合ゲージ理論を閉じ込めを維持したまま弱結合の理論に変形し，半古典的な計算で真空の性質を調べる」という一連の試みについて解説する．この半古典的な方法には，古くからある閉じ込めのシナリオに対応して，monopoleが重要となる方法と，center vortexが重要となる方法の2つが知られている．本講演では，これらの手法を説明したのち，その間の関係を明らかにする．QCDへの応用などについても触れる．

11:10 – 11:30 田中 満 (名古屋大学)

タイトル：The role of scale anomaly in nucleon stability

アブストラクト：The D-term represents the value of the gravitational form factors in the forward limit and has gained significant attention since it became experimentally measurable. In this talk, I will discuss the D-term and the stress distributions of nucleons within the extended Skyrme model, which faithfully incorporates not only the properties of chiral symmetry but also those of scale symmetry in QCD. In particular, I will demonstrate how the breaking of scale symmetry affects the stability of the nucleon.

11:30 – 11:50 Bikai Gao (名古屋大学)

タイトル：Quarkyonic matter with chiral symmetry restoration

アブストラクト：We present a novel unified approach to describe the dense symmetric nuclear matter by combining the quarkyonic matter framework with the parity doublet model. This integration allows for a consistent treatment of the transition from hadronic to quark degrees of freedom while incorporating chiral symmetry restoration effects. Our model introduces a chiral invariant mass for both baryons and constituent quarks, enabling a smooth crossover between hadronic and quark matter in symmetric nuclear matter. We derive the equation of state (EOS) for this hybrid system and investigate its thermodynamic properties. The model predicts a gradual onset of quark degrees of freedom at high densities while maintaining aspects of confinement.

11:50 – 12:10 塚本 大智 (京都大学)

タイトル：トポロジカル項を持つ理論におけるソリトンの集団座標量子化

アブストラクト：集団座標量子化法はソリトンの低エネルギーでの振る舞いを記述する代表的な手法である。しかし元となる理論がトポロジカル項を持つ場合、素朴な集団座標量子化法で得られる低エネルギー理論は元の理論と consistent では無い。本講演ではトポロジカル項が存

在する場合について、従来の手法の問題点を指摘し、それを回避するように改良する。そして具体例としてSU(3) Skyrmon に適用し、許されるバリオン多重項が8重項と10重項の片方の2つのみになることをみる。

#### 13:10 – 14:10 郭 優佳 (名古屋大学、招待講演)

タイトル：Einstein ring 像から見える重力を介した量子もつれの生成

アブストラクト：量子スケールにおける重力理論は未解明であり、特に実験的な証拠がないことが大きな課題である。量子重力実験への第一歩として、Boseらは「ニュートン重力が量子もつれを生成できるか？」を検証する低エネルギー実験を提案した。近年、このアイデアは相対論的領域にも拡張され、「ニュートン重力を超えた曲がった時空でも量子もつれは生成されるのか？」という問いが注目を集めている。本講演では、量子的な重ね合わせ状態の重力源が作るノンダイナミカルな時空を考え、その時空における重力レンズ効果を議論する。特に、重力理論として量子もつれを生成するモデルと生成しないモデルの2種類を扱う。適切な量子測定を行うことで、背景時空に応じた Einstein ring 像が観測できるだけでなく、その像の明暗を通して重力を介した量子もつれの生成の有無が検証できることを明らかにする。

#### 14:20 – 14:40 宮地 大河 (神戸大学)

タイトル：完全WKB解析を用いたブラックホール準固有振動の解析

アブストラクト：完全WKB解析を用いたブラックホール準固有振動の解析について論じる。完全WKB解析は2階常微分方程式の解の大域的挙動を近似無しで与える手法であり、特に固有値の満たすべき条件式を出す際に有用である。本講演ではこの手法を球対称なブラックホールの摂動方程式に適用する。特に一般相対論を超えた重力理論による補正の効果を取り入れた場合に、高減衰率をもつブラックホール準固有振動数の評価について論じる。

#### 14:40 – 15:00 片山 友貴 (総合研究大学院大学)

タイトル：スカラーテンソル理論のさらなる理解に向けた試み

アブストラクト：Horndeski理論は一般的なスカラーテンソル理論として非常によく知られているが、この理論を超える理論も存在している。そこで本講演では近年のhorndeski理論を超える理論の構成に向けた試みについて紹介する。

#### 15:10 – 15:30 神田 行宏 (名古屋大学)

タイトル：余剰次元模型における宇宙ひもの相互作用

アブストラクト：近年の重力波観測実験の結果を受け、宇宙ひもの多様性に着目した研究の動機が増している。我々はコンパクト化された余剰次元をもつゲージ理論において、細谷機構により対称性が破れた場合に形成される宇宙ひもとその相互作用について調べた。我々は、スカ

ラーポテンシャルがメキシカンハット型から変化することにより、宇宙ひもが特定の距離だけ離れた状態が最安定になるという、典型的な宇宙ひもには無い特性を示すことを明らかにした。一方で、この性質は余剰次元ゲージ理論から予言されるパラメータ領域では顕著にならないことも明らかにした。また、この結果を Coleman-Weinberg ポテンシャルでの宇宙ひもに関する先行研究の結果と比較することで、スカラーポテンシャルの変化による宇宙ひも間の相互作用の変化への理解が深められた。

### 15:30 – 15:50 長野 佳輔 (島根大学、大阪公立大学)

タイトル：Proton Decay and Gauge Coupling Unification in an Extended SU(5) GUT with 45-Dimensional Higgs

アブストラクト：本発表は、最小SU(5)大統一理論 (Minimal SU(5) GUT) を拡張したモデルである 45 表現ヒッグス場を含むSU(5) GUTにおけるゲージ結合定数の統一 (GCU) と陽子崩壊に関する研究をまとめたものであり、GCUに必要な条件と 45 表現ヒッグス場の寄与する陽子崩壊について新しい知見を与えるものである。研究の方針である GCU を実現し、かつ陽子寿命の制限を満たすために、「45 表現ヒッグス場の成分に階層的な質量スペクトルがある」と仮定し、様々な階層的な質量スペクトルでくりこみ群方程式を用いた解析を行った。また、45 表現ヒッグス場が陽子崩壊に寄与する場合についてくりこみ群方程式での結果を基に、どのような質量を持つべきなのかについてもまとめる。