

素粒子パート口頭発表プログラム

第 72 回 原子核三者若手夏の学校

研究会 1: 8/5(水) 9:15 – 12:30 会場: A1

番号	時間	名前	タイトル
1-1	09:15 – 09:30	行弘佳鈴	ホモトピー代数による 0 次元行列模型の平面的相関関数の構成
1-2	09:30 – 09:45	津波古秀敏	ユニタリ行列模型の可積分構造と相構造
1-3	09:45 – 10:00	宮崎成輝	高階 ODE に対する熱力学的 Bethe 仮設方程式の壁越え現象
1-4	10:00 – 10:15	立入蓮	画像生成 AI はトポロジカル凍結を融かせるか？
1-5	10:15 – 10:30	溝畑海地	確率過程に基づくくりこみ群の数値的研究
1-6	10:30 – 10:45	宮原怜音	Chaos-Integrability Transition in the BPS Subspace of the $N=2$ SYK Model
	10:45 – 11:00	休憩	
1-7	11:00 – 11:15	高原賢都	On-shell 散乱振幅による荷電ブラックホールの Hawking 放射について
1-8	11:15 – 11:30	井野巧大	Self-similar evaporation and collapse in the quantum portrait of black holes
1-9	11:30 – 11:45	李亮	Why entropy? & Why not entropy?
1-10	11:45 – 12:00	西田龍世	群作用によって記述されない選択則について
1-11	12:00 – 12:15	秋野僚介	八元数行列を用いた L_∞ 代数の構成と非可換ゲージ理論の非結合的拡張
1-12	12:15 – 12:30	荒木匠	Majorana ドメインウォールフェルミオンにおける対称性を保つ片側モードのみの質量生成

1-1: 行弘佳鈴 (東京大学 大川研究室)

09:15 – 09:30

ホモトピー代数による 0 次元行列模型の平面的相関関数の構成

弦の場の理論のように複雑なゲージ対称性をもつ理論では、経路積分を直接評価して相関関数を求めることは一般に困難である。そこで近年、場の量子論の相関関数をホモトピー代数を用いて代数的に構成する方法が提案されている。本研究では、弦の場の理論への応用を念頭に、この構成法を 0 次元エルミート行列模型に適用する。特に、行列模型のトレース相関関数が弦理論に現れるジーンズ展開と類似した構造をもつことに注目し、ジーンズゼロ、すなわち平面的なファインマンダイアグラムの寄与のみを代数的に構成する公式を提案する。

1-2: 津波古秀敏 (大阪公立大学 数理物理 (場の理論・弦理論) 研究室)

09:30 – 09:45

ユニタリ行列模型の可積分構造と相構造

ユニタリ行列模型の可積分構造周辺とその応用に関するレビュー発表です。【アブストラクト】行列模型とは場の代わりに $N \times N$ 行列そのものを積分変数とする 0 次元の統計模型であり、ゲージ理論や弦理論の有効記述として現れ、特にその積分範囲をユニタリ行列としたものをユニタリ行列模型と呼ぶ。ユニタリ行列模型では、固有値が単位円上に分布するため、Large- N 極限における相構造を固有値密度や gap の変化として捉えられる。一方、有限 N では広い Toeplitz 型クラスの分配関数が Toeplitz 行列式となり、可積分系との繋がりが知られている。本講演ではこれらの一般構造を説明し、Gross-Witten-Wadia 模型に代表される場の理論への応用例について紹介する。

1-3: 宮崎成輝 (東京科学大学 伊藤研究室)

09:45 – 10:00

高階 ODE に対する熱力学的 Bethe 仮設方程式の壁越え現象

4 次元 $\mathcal{N} = 2$ 理論、特に Argyres-Douglas(AD) 理論に現れる曲線を量子化すると、高階 ODE が得られる。その完全 WKB 解析から得られる WKB 周期は、4 次元理論に由来する構造を持っており、さらに ODE/IM 対応を通じて熱力学的 Bethe 仮設 (TBA) 方程式と関係することが知られている。一方、ODE パラメータが変化すると、対応する TBA 方程式の形が不連続に変わることがあり、これは壁越え現象と呼ばれている。本講演では、このような高階 ODE に対する TBA 方程式と壁越え現象を解説し、具体例を通じて量子化された AD 理論の双対性との関係を議論する。

1-4: 立入蓮 (筑波大学 素粒子理論研究室)

10:00 – 10:15

画像生成 AI はトポロジカル凍結を融かせるか？

トポロジカル凍結は、格子場の数値計算において連続極限に近づくにつれ、トポロジカルセクター間の遷移が著しく抑制される問題である。本研究では、この困難に対する新しいサンプリング手法として、score-based diffusion model によるゲージ配位生成を考える。特に Schwinger model を舞台に、動的フェルミオンを含む場合へ拡張し、フェルミオン行列式が誘導する非局所的な確率測度を生成モデルがどこまで学習できるかを検証する。さらに、フェルミオン導入に伴う学習の難しさと、トポロジカル量・Wilson loop などの観測量への影響を議論する。

1-5: 溝畑海地 (静岡大学 土屋素粒子論研究室)

10:15 – 10:30

確率過程に基づくくりこみ群の数値的研究

確率過程に基づいてくりこみ群を数値的に研究する。厳密くりこみ群方程式によれば、有効作用の Boltzmann 因子は Fokker-Planck 型の方程式にしたがう。一方、Langevin 方程式で記述される確率過程では、その確率分布の時間発展が Fokker-Planck 方程式で与えられる。したがって、厳密くりこみ群方程式に対応する Langevin 方程式を構成すれば、くりこみ群のフローを確率過程として数値的に実現できる。本研究では、格子上の 3 次元スカラー場理論について Langevin 方程式を数値的に解き、くりこまれた場の配位を生成する。さらに、得られた配位に機械学習の手法を適用することでくりこみ群のフローを推定し、その固定点を探査する方法について議論する。

1-6: 宮原怜音 (名古屋大学 E 研)

10:30 – 10:45

Chaos-Integrability Transition in the BPS Subspace of the $N=2$ SYK Model

本研究では、カオス的な $N=2$ SYK 模型と可積分な $N=2$ SYK 模型を補間する超対称模型において、BPS 部分空間内のカオス-可積分の転移を調べた。BPS 状態はハミルトニアンに関して完全に縮退しているため、通常的手法では BPS 部分空間内のカオス性を評価できない。そこで LMRS criterion に基づき、単純な演算子を BPS 部分空間へ射影して得られるスペクトルを解析した。その結果、SYK 領域ではランダム行列的な振る舞いをし、可積分領域に近づくにつれて Poisson 統計へ滑らかに移行することを数値的に示した。

1-7: 高原賢都 (千葉大学 素粒子論研究室)

11:00 – 11:15

On-shell 散乱振幅による荷電ブラックホールの Hawking 放射について

ブラックホールを膨大な内部微視状態を持つ重い粒子とみなし、ホーキング放射を on-shell 散乱振幅から導く近年の定式化を電荷を持つ Reissner – Nordström ブラックホールへ拡張します。電荷があると光子と重力子が伝播中に混合するため、放射はスカラーのグレイボディ因子ではなく行列で記述されます。ミクロカノニカルアンサンブルに基づき、吸収と放出を結ぶ詳細釣り合いを厳密な定理として証明し、さらに古典ブラックホール摂動論との対応から行列グレイボディ関係を導きます。帰結として Schwarzschild ブラックホールには現れない光子-重力子間の相関が電荷に比例した大きさで放射に刻まれることを示し、行列化に伴って新たに必要となる仮定は何かを明らかにします。

1-8: 井野巧大 (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室)

11:15 – 11:30

Self-similar evaporation and collapse in the quantum portrait of black holes

以下の論文のレビューをする。Self-similar evaporation and collapse in the quantum portrait of black holes by Valentino F. Foit and Nico Wintergerst 半古典論では、ブラックホールはエネルギーを放射しながら蒸発し、その寿命は $t_B H M_B H^3 / M_p l^4$ で与えられ、この過程は非ユニタリーである。近年、ブラックホールをグラビトンのボース・アインシュタイン凝縮体とみなす描像が提案されている。この描像では蒸発はグラビトン同士の相互作用によって凝縮体からグラビトンが放出されることで起こり、半古典論で見られる蒸発を再現する。この描像では、蒸発過程はユニタリーである。著者らはグラビトンが凝縮体から放出される散乱過程が、ホーキングによって得られた半古典論的な結果を再現される可能性を示唆している。

1-9: 李亮 (京都大学 基礎物理学研究所)

11:30 – 11:45

Why entropy? & Why not entropy?

近年、エンタングルメントエントロピーは場の量子論や量子重力の分野では重要な役割を果たしている。場の量子論におけるエントロピーは通常の間接関数よりも多くの二体量子相関を感知することができ、さらに多体相関を検出することができるため、対称性の破れやクォークの閉じ込めの研究に使われている。また、量子重力の分野では、笠・高柳公式の発見によって、エンタングルメントと時空の構造との関連性が示唆されている。この講演では、エンタングルメントエントロピーによる場の量子論と量子重力理論における進展についてレ

ビューする。(レビュー)

1-10: 西田龍世 (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室)

11:45 – 12:00

群作用によって記述されない選択則について

物理学における選択則は、しばしば群対称性とその表現論を用いて記述される。しかし近年、通常の群作用だけでは捉えられない選択則が、場の理論や弦理論のさまざまな文脈で見られることが明らかになっている。本発表では、そのような群作用によって記述されない選択則についてレビューし、通常の群対称性による選択則との相違点を整理する。特に、融合則によって許容される相互作用項がどのように制限されるかを説明する。さらに、融合則に含まれる対称性を用いた CP 変換の定式化と、群的なフレーバー対称性との組み合わせによる generalized CP 変換の構成について紹介する。

1-11: 秋野僚介 (筑波大学 素粒子理論研究室)

12:00 – 12:15

八元数行列を用いた L_∞ 代数の構成と非可換ゲージ理論の非結合的拡張

本研究では、八元数を成分に持つ反エルミート行列の代数構造を出発点として、cyclic 構造を備えた L_∞ 代数の構成を行う。この構成により、八元数に起因する非結合性を高次括弧構造として自然に取り込むことができる。さらに、得られた L_∞ 代数に基づいて Chern – Simons 型作用を構成し、ゲージ理論としての定式化を与える。本枠組みにより、非可換ゲージ理論は八元数の非結合性を反映したゲージ理論へと拡張される。

1-12: 荒木匠 (大阪大学 素粒子理論研究室)

12:15 – 12:30

Majorana ドメインウォールフェルミオンにおける対称性を保つ片側モードのみの質量生成

ドメインウォールフェルミオンは通常 2 つのドメインウォール上に異なるカイラリティをもったモードが局在するが、対称性を保ったまま片側だけに重い質量を与え一方を物理的自由度として残すアプローチが提案されている。本研究ではカイラル対称性の代わりに時間反転対称性をもつ 8 Majorana フェルミオンでこのアプローチが有効かを検証する。特に、Fidkowski-Kitaev による 4-fermi 相互作用をユークリッド経路積分形式で記述し HMC による数値計算を用いて各モードにおける質量の有無を検証する。

研究会 2A: 8/5(水) 14:00 – 19:00 会場: A1

番号	時間	名前	タイトル
2A-1	14:00 – 14:15	山岸純也	三体量子もつれとゲージ対称性を結ぶ新たな関係の発見
2A-2	14:15 – 14:30	川合玲央	SYK 模型における量子カオスとホログラフィー
2A-3	14:30 – 14:45	三木幸大	宇宙の生成確率再考：やっぱり宇宙は無から生まれる(かも)！？
2A-4	14:45 – 15:00	小暮大介	ローレンツ型経路積分を用いた量子宇宙論
2A-5	15:00 – 15:15	稲田知也	de Sitter 時空の歩き方：宇宙論的ブートストラップへの招待
2A-6	15:15 – 15:30	吉村 源樹	アキシオン電磁気学の非平衡有効場理論と一般化対称性
	15:30 – 15:45	休憩	
2A-7	15:45 – 16:00	松本大輝	$\text{AdS}_3/\text{CFT}_2$ 対応におけるグラビティ状態の構成
2A-8	16:00 – 16:15	堀越啓吾	対称オービフォルド CFT における閉じた宇宙の創発
2A-9	16:15 – 16:30	近澤聖賢	ブラックホールの量子状態は pure state か、mixed state か？
2A-10	16:30 – 16:45	井上真人	Line operator indices for orientifold theory
2A-11	16:45 – 17:00	青木翔	4 次元 RN ブラックホール時空の次元簡約
	17:00 – 17:15	休憩	
2A-12	17:15 – 17:30	石川翔太	超対称ゲージ理論/共形場理論とブラックホール摂動論
2A-13	17:30 – 17:45	杉山龍汰	強磁場中の有限密度超対称 QCD におけるカイラルソリトン格子相
2A-14	17:45 – 18:00	木戸夏矢	極大対称空間における線形重力が持つ 1 形式対称性
2A-15	18:00 – 18:15	村上和哉	非コンパクトゲージ群における中心対称性と量子重力
2A-16	18:15 – 18:30	宮本隼	非可逆的選択則とモデルビルディング：くりこみの観点から
2A-17	18:30 – 18:45	山田麻美子	BRST 形式における調和ゲージ条件下のグラビトン頂点演算子の整合性

2A-1: 山岸純也 (千葉大学 素粒子論研究室)

14:00 – 14:15

三体量子もつれとゲージ対称性を結ぶ新たな関係の発見

近年、量子情報の観点から場の量子論を捉え、終状態のエンタングルメントエントロピーの最大化・最小化から粒子の性質や対称性を導く研究が進展している。一方で、その物理的解釈は未だ不明瞭である。本発表では、ゲージ対称性が陽に破れた $SU(2)$ および $SU(3)$ ゲージボソンの 3 体量子もつれに対する $2 \rightarrow 2$ 散乱の影響を解析し、ゲージ対称性が破れた場合に全体のもつれの構造が非物理的な振る舞いを起こす事を示す。さらに、本研究の結果の自然な拡張として「エンタングルメント再分配抑制原理」がゲージ対称性に対応する自然原理となる可能性を議論する。

2A-2: 川合玲央 (京都大学 基礎物理学研究所)

14:15 – 14:30

SYK 模型における量子カオスとホログラフィー

本発表は J. Maldacena, D. Stanford の論文 (Phys. Rev. D 94, 106002) のレビューです。SYK 模型はランダムに相互作用する単純なフェルミオン系でありながら、ブラックホールと同様に量子カオス限界を実現し、低エネルギー有効理論が JT 重力と双対関係をなす可解な模型として脚光を浴びています。本発表では、赤外極限での共形対称性の創発、Schwarzian 作用、OTOC の振る舞いまでを説明します。あわせて厳密対角化や Schwinger–Dyson 方程式の数値解法に基づく検証結果も示す予定です。

2A-3: 三木幸大 (大阪大学 素粒子論研究室)

14:30 – 14:45

宇宙の生成確率再考：やっぱり宇宙は無から生まれる（かも）！？

Hartle と Hawking による宇宙の波動関数についての研究以来、無から宇宙が創発する確率について長年調べ続けられてきた。従来の解析ではある時刻でインフレーションが終わる現実的な宇宙に比べ永遠にインフレーションが続く宇宙が創発する確率の方がはるかに大きいことが知られており、この結果は現実的な宇宙の生成を自然に説明することができず問題視されていた。本発表では従来の解析で課されていた規格化定数に対する暗黙の仮定に着目しこの問題を再考する。なお本発表は arXiv:2602.02682 に基づくレビュー発表である。

2A-4: 小暮大介 (埼玉大学 素粒子論研究室)

14:45 – 15:00

ローレンツ型経路積分を用いた量子宇宙論

近年、宇宙創成のシナリオに対するローレンツ型経路積分の枠組みにおいて、Picard – Lefschetz 理論を適用した解析が注目を集めている。本講演では、まず Picard – Lefschetz 理論による解析手法を概説する。続いて、4 次元純粋重力へ適用した先行研究 (Phys. Rev. D 95, 103508 (2017)、Phys. Rev. D 110, 083508 (2024)) における主要な結果を取り上げる。また、関連して、本多正純氏 (理化学研究所 iTHEMS / 埼玉大学)、吉田健太郎氏 (埼玉大学) との進行中の共同研究についても触れる予定である。

2A-5: 稲田知也 (東京大学 野海研究室)

15:00 – 15:15

de Sitter 時空の歩き方：宇宙論的ブートストラップへの招待

本発表では、de Sitter 時空上の物理がなぜ魅力的なのかをさまざまな観点から紹介し、素粒子理論の研究者に de Sitter 時空を好きになってもらうことを目指す。特に、理論の原理や対称性を手掛かりに、物理量や理論の構造を直接制限する「ブートストラップ法」に焦点を当て、その de Sitter 時空への応用の現状と今後の展望についてレビューする。

2A-6: 吉村 源樹 (大阪大学 原子核理論研究室)

15:15 – 15:30

アクシオン電磁気学の非平衡有効場理論と一般化対称性

アクシオン電磁気学は、高次形式・高次群・非可逆対称性など、多様な一般化対称性が共存する理論である。しかし、これらの一般化対称性に関する理解は平衡系に限られており、非平衡ダイナミクスへの制約は明らかになっていなかった。本発表では、非平衡系の実時間発展を記述する Schwinger – Keldysh 形式を用いて、アクシオン電磁気学の低エネルギー有効場理論を構築し、アクシオンの散逸効果や揺動散逸関係を解明する。最後に、局所平衡系で創発する新奇な一般化対称性の可能性について議論する。本研究は、アクシオンと同様の電磁相互作用を示すギャップレス自由度に共通する非平衡現象を、一般化対称性の観点から理解するための新たな視点を与える。

2A-7: 松本大輝 (名古屋大学 素粒子論研究室)

15:45 – 16:00

AdS₃/CFT₂ 対応におけるグラビティ状態の構成

AdS/CFT 対応において、ブラックホールのエントロピーを再現する微視的自由度の理解には、CFT 側の BPS 状態を重力側の言葉で分類することが重要である。ホログラフィック CFT の BPS 状態は通常、空の AdS 中の摂動的な励起（スーパーグラビトン）とブラックホール・マイクロステートに分類される。しかし AdS₃/CFT₂ では、境界の微分同相写像に対応するシングルトンという自由度が存在し、この分類は不完全である。本発表では、スーパーグラビトンにシングルトンを組み合わせたグラビティ状態を構成する手法を提案する。また、手法を D1-D5 CFT へ適用し、CFT スペクトルとの比較を行う。

2A-8: 堀越啓吾 (立教大学 理論物理学研究室)

16:00 – 16:15

対称オービフォールド CFT における閉じた宇宙の創発

本研究では、Large N 対称オービフォールド CFT において支配的となるセクターが閉じた宇宙に対応することを提案する。このセクターでは純粋状態が単純な相関関数のレベルで混合状態と区別できなくなり、対応する演算子代数は hyperfinite type II₁ factor を形成する。これは閉じた宇宙の創発を示唆する。さらに S_N ゲージ化によって、同じ占有数分布を持つ状態は同一視され、各分布ごとに 1 つの独立状態のみが残る。また、この結果がワームホールを含む重力経路積分の予言とどのように対応するかを議論する。本発表は <https://arxiv.org/abs/2606.04575> にもとづく。

2A-9: 近澤聖賢 (京都大学 素粒子論研究室)

16:15 – 16:30

ブラックホールの量子状態は pure state か、mixed state か？

重力の量子論があるとすれば、重力崩壊でブラックホール (BH) ができる過程は pure state のユニタリな時間発展になっているはずであり、これは BH が pure state であることを意味する。一方、古典的には BH は熱的なオブジェクトとしてふるまうため、BH は熱的な mixed state になっているようにも思える。そこで本発表では、この奇妙なギャップを AdS/CFT の観点から説明する。具体的には、CFT 側で用意した BH に対応する pure state が large c limit (古典極限) で熱的なアンサンブルとしてふるまうことを示す。これは BH の熱性が古典的な記述による見かけの効果であり、量的には BH が pure state であることを意味する興味深い結果である。(本発表は arXiv:1603.08925 の review である。)

2A-10: 井上真人 (東京科学大学 素粒子論研究室)

16:30 – 16:45

Line operator indices for orientifold theory

AdS/CFT 対応が有限 N でも成り立つことを検証する方法として、重力側での Giant graviton 展開が知られている。本研究では、この手法が orientifold 理論の line operator index に対しても成り立つことを検証した。

2A-11: 青木翔 (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室)

16:45 – 17:00

4 次元 RN ブラックホール時空の次元簡約

この発表は [L.V.Iliesiu, et al: The statistical mechanics of near-extremal black holes] のレビューである。ブラックホールの放射などの現象を解析するにあたり、プランクスケール程の微細な効果を見捨てる半古典近似はホーキング温度が低温である領域においては破綻する。そのような領域などで見捨てできない量子重力的な効果を解析するために有効な手段として JT 重力という 2 次元の量子重力理論が存在する。この理論を適用するために、この発表では 4 次元の静的な電荷を持つブラックホールの時空について作用を有効的な 2 次元の理論に簡約化する手法を紹介する。

2A-12: 石川翔太 (立教大学 理論物理学研究室)

17:15 – 17:30

超対称ゲージ理論/共形場理論とブラックホール摂動論

近年、4 次元超対称ゲージ理論や 2 次元共形場理論の視点から 4 点以上の確定特異点を持つ Fuchs 型常微分方程式とその合流形に対する接続公式が提案された。この接続係数を用いて、ブラックホール (BH) 準固有振動や AdS/CFT 対応に基づく熱的相関関数を解析的に求めることが可能となる。中でも準固有振動モードの解析は、重力波の観測という点で非常に重要な対象となる。本研究では 5 次元で回転を持つ Myers-Perry AdS BH についてこれらの解析を試みる。この問題の解析により、回転や電荷を有する BH の解析手法のさらなる発展が期待される。本発表は進行中の研究に基づく。

2A-13: 杉山龍汰 (九州大学 粒子系理論物理学研究室) 17:30 – 17:45

強磁場中の有限密度超対称 QCD におけるカイラルソリトン格子相

近年、強磁場中の有限密度 QCD においてカイラルソリトン格子と呼ばれるドメインウォールの配列が基底状態となり得ることが理論的に示されており、強磁場中の QCD 相構造に対する研究が進んでいる。このような中、QCD に似ているが異なる理論である超対称 QCD においても、ある条件下でカイラルソリトン格子が基底状態となり得ることが分かっている。本発表では主に M. Nitta and S. Sasaki, “Solitonic ground state in supersymmetric theory in background”, JHEP 10 (2024) 178 についてレビューを行う。

2A-14: 木戸夏矢 (茨城大学 素粒子論研究室) 17:45 – 18:00

極大対称空間における線形重力が持つ 1 形式対称性

ここ十年でさまざまな広がりを見せる一般化対称性の例として、Maxwell 電磁気学における 1 形式対称性がある。その議論では帰結の一つとして光子が 1 形式の南部・Goldstone 粒子とみなせるという事実がある。Hull, Hutt, Lindström らは計量を基本変数とする線形重力について同種の研究を行い、重力子を 1 形式対称性における南部・Goldstone 粒子とみなした (JHEP04(2025)046)。本研究では線形化された多脚場とスピン接続を基本変数として扱い、その 1 形式対称性を de Sitter 時空などの一般的な極大対称空間 (定曲率空間) において考察する。

2A-15: 村上和哉 (慶應義塾大学 理論研究室) 18:00 – 18:15

非コンパクトゲージ群における中心対称性と量子重力

量子重力では、厳密な大域対称性は存在せず、ゲージ電荷は完全であり、ゲージ群はコンパクトであると期待されている。本発表では、これらの予想の関係を高次対称性の観点から考察する。コンパクトゲージ群では、十分な荷電粒子を導入すれば中心対称性は破れる。一方、一部の非コンパクトゲージ群では、有限次元表現をすべて考えても検出されない中心元が存在し、対応する高次対称性が残り得る。これを破る一つの方法は無限次元表現の導入だが、無限個の内部自由度は理論の予測可能性や species scale に関わる問題を生じ得る。以上から、ゲージ群の大域構造が、量子重力と整合的なゲージ理論に与える制約を議論する。

2A-16: 宮本隼 (東京大学 宇宙線研究所)

18:15 – 18:30

非可逆的選択則とモデルビルディング：くりこみの観点から

近年、非可逆的選択則を標準模型を超えるモデル構築へ応用する研究が進んでいる。しかし、古典レベルでは禁止されていた演算子も、QFT のループ補正により紫外発散を伴って生成されうる。これは、非可逆的選択則が特定のスケールでのみ有効であることを示唆する。また、弦理論に由来する非可逆的対称性も、高次 genus 補正によって破れることが指摘されている。本発表では、弦理論と QFT の高次補正が、同一の対称性の破れを UV (弦理論) と EFT 側 (QFT) から記述していることを確認し、適切な現象論への応用の可能性を検討する。

2A-17: 山田麻美子 (奈良女子大学 素粒子論研究室)

18:30 – 18:45

BRST 形式における調和ゲージ条件下のグラビトン頂点演算子の整合性

先行研究では、BRST 形式で構成されたゴースト数 3 の頂点演算子を用いることで、ディラトン、グラビトンともに一般の境界条件の下でもディスク上の閉弦 1 点関数が計算できることが示された。本研究では、調和ゲージ条件の下で、異なるゴースト数をもつグラビトン頂点演算子について、運動量が非零の場合にトレース成分が物理的寄与を持たないことを確認した。本結果は、構成されたグラビトン頂点演算子が BRST 形式と整合的であることを示すものである。

研究会 2B: 8/5(水) 14:00 – 17:00 会場: 401

番号	時間	名前	タイトル
2B-1	14:00 – 14:15	佐々木 鉦太	$b \rightarrow s\ell\bar{\nu}$ 遷移におけるバリオン・メソン和則
2B-2	14:15 – 14:30	西尾 勇哉	平面波を超えて：ガウス波束で捉える散乱確率
2B-3	14:30 – 14:45	藤井 壱	color Lie 代数の次数付き Casimir 演算子と中心拡大の構成
2B-4	14:45 – 15:00	Jeric Tim	Modular weights of wave functions on magnetized torus
2B-5	15:00 – 15:15	古川 楓	フッ素を用いた暗黒物質探索実験における太陽ニュートリノ由来のバックグラウンド事象の検討
2B-6	15:15 – 15:30	梅津 遼	暗黒物質の早期運動学的脱結合と擬南部ゴールドストン暗黒物質
	15:30 – 15:45	休憩	
2B-7	15:45 – 16:00	巾下 裕輝	擬-ゴールドスティーノダークマターの探索における 1 ループ補正を含む γ 線エネルギースペクトルの数値解析
2B-8	16:00 – 16:15	真武 正伍	Symmetry of soliton seeded bounce
2B-9	16:15 – 16:30	岩月 瞭	超重力インフレーション
2B-10	16:30 – 16:45	山崎 心鉄	Cosmological Collider の現在と未来
2B-11	16:45 – 17:00	槇木 直人	指数関数型クインテッセンスにおけるポテンシャルのパラメータと現在の状態方程式パラメータの解析的關係

2B-1: 佐々木 鉦太 (千葉大学 素粒子論研究室)

14:00 – 14:15

 $b \rightarrow s\nu\bar{\nu}$ 遷移におけるバリオン・メソン和則

Flavor-Changing Neutral Current は GIM 機構によって抑制されるため、新物理への感度が高いことが期待される。実際、 $b \rightarrow s$ 遷移ではいくつかの新物理の兆候が実験から報告されている。特に $B^+ \rightarrow K^+\nu\bar{\nu}$ には Belle II で標準模型と比べて 2.7σ の超過が報告されている。本講演では $b \rightarrow s\nu\bar{\nu}$ 過程に注目し、これらの過程を背後においた $B \rightarrow K^{(*)}\nu\bar{\nu}, \Lambda_b \rightarrow \Lambda\nu\bar{\nu}$ の実験値の間に存在する線形の関係である和則を、form factor の解析により導出する。この和則は右巻きニュートリノが decouple しているという仮定のみで、UV の新物理によらず、近似なしに求められる。この和則によって、独立した実験から未測定の実験値の上限が与えられ、また、将来的に実験の一貫性を検証可能であることを示す。

2B-2: 西尾 勇哉 (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室)

14:15 – 14:30

平面波を超えて：ガウス波束で捉える散乱確率

通常の散乱理論では、始状態・終状態を平面波として扱い、無限時間極限で断面積や遷移率を定義する。一方、規格化された波束から出発すると、有限時間における散乱確率そのものの値を計算できる。本発表では、ガウス波束を用いた場の理論を紹介し、標準的な断面積に対応する寄与に加えて、有限時間境界や長距離相関に由来する寄与がどのように現れるかを説明する。さらに、摂動展開で現れる異なる次数の振幅の干渉項も、波束形式では有限の確率寄与として扱えることを議論する。

2B-3: 藤井 壱 (大阪公立大学 数理物理 (表現論) 研究室)

14:30 – 14:45

color Lie 代数の次数付き Casimir 演算子と中心拡大の構成

発表者による [arXiv:2604.08900] の研究報告です。【アブストラクト】粒子はボソンとフェルミオンに大別されるが、1950 年代からそのどちらにも属さないパラ粒子の存在が議論されてきた。本講演では、パラ粒子の統計性を自然に記述する枠組みである「color Lie 代数」を紹介する。さらに講演者らの研究により、非自明な次数付き Casimir 演算子や、次数付きの中心電荷を持つ affine color Lie 代数の構成法の確立に成功したことを、具体例を用いて報告する。当該研究の結果は、パラ統計や一般化された超対称性の理論的記述に寄与するのみならず、新たな可積分系の構築など、数理物理学の広範な諸問題へ応用されることが期待される。

2B-4: Jeric Tim (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室) 14:45 – 15:00

Modular weights of wave functions on magnetized torus

We study the origin of modular weights of wave functions in magnetized T2 models. It is explicitly demonstrated that the modular weights of the wave functions on magnetized T2 are equivalent to their mass level. We further extend this result to magnetized T2g models. As a result, we construct the wave functions of excited states in magnetized T2g models and show that their modular weights are likewise equivalent to the corresponding mass levels.

2B-5: 古川楓 (富山大学 理論物理学研究室) 15:00 – 15:15

フッ素を用いた暗黒物質探索実験における太陽ニュートリノ由来のバックグラウンド事象の検討

現在、スピンに依存する暗黒物質と核子の散乱の探索手段として、フッ素を標的とした実験計画が検討されている。一方、フッ素は大きな電子ニュートリノ吸収反応率を持つため、その過程から暗黒物質散乱と類似した背景事象が予想される。本研究では、暗黒物質の相互作用数と太陽ニュートリノによる相互作用数を理論的に計算し、暗黒物質の信号と太陽ニュートリノの信号が重複する可能性を見積もった。

2B-6: 梅津遼 (東京理科大学 阿部研究室) 15:15 – 15:30

暗黒物質の早期運動学的脱結合と擬南部ゴールドストーン暗黒物質

暗黒物質の残存量 (エネルギー密度) が観測されているため、残存量を計算することを考える。ボルツマン方程式を解くことで残存量を計算するが、標準的な手法では暗黒物質の温度と宇宙の熱浴 (標準模型粒子) の温度が等しいと仮定することで計算を簡単にする。本発表ではその仮定を用いずに計算する手法について説明し、擬南部ゴールドストーン暗黒物質という具体的なモデルについて計算結果を述べる。

2B-7: 巾下裕輝 (金沢大学 素粒子・宇宙・理論物理学研究室) 15:45 – 16:00

擬-ゴールドスティーノダークマターの探索における 1 ループ補正を含む γ 線エネルギースペクトルの数値解析

本研究では、非最小な超対称模型 (SSM) を考え、2 つの超対称セクターが独立に破れることを仮定することで、質量を獲得できると考えられる擬-ゴールドスティーノがダークマターである可能性を探るために γ 線への崩壊を考え、その寿命の概算、および γ 線エネルギースペクトルを数値的に解析した。このモデルでは、擬-ゴールドスティーノの主要な崩壊モードはグラビティーノと標準模型粒子 2 つを含む 3 体崩壊であり、その崩壊幅を計算した。また、3 体崩壊によって現れた標準模型粒子が宇宙線との相互作用によって放出する γ 線エネルギースペクトルを 1 ループ補正を考慮し、数値計算を行った。

2B-8: 真武 正伍 (神戸大学 素粒子宇宙理論研究室) 16:00 – 16:15

Symmetry of soliton seeded bounce

一次相転移の相転移率は、bounce 解と呼ばれる古典解の作用によって支配される。近年、domain wall や cosmic string などの soliton が初期宇宙における相転移を促進し得ることが指摘され、soliton に誘起される一次相転移が重力波などの観測量に与える影響が注目されている。soliton がいない場合の bounce 解は $O(4)$ 対称性を持つことが知られているが、soliton 存在下で仮定される空間対称性には数学的正当化が十分でない。本発表では、その一部に対する解析と証明を説明する。なお、本研究は神戸大学の神野隆介氏との arxiv への投稿予定の共同研究である。

2B-9: 岩月瞭 (名古屋大学 E 研) 16:15 – 16:30

超重力インフレーション

本研究は、超重力理論（時空の各点で超対称性を課した理論）に基づくインフレーション模型に着目する。先行研究はインフラトン場に固有の二つの困難を、ある相互作用項の導入により同時に解決する一般的機構を提案したが、その項の微視的起源は未解明のままであった。本研究ではこの相互作用項を誘起する、より重い粒子（自由度）を系統的に解析し、超重力インフレーション模型をより高エネルギー側の物理から補完する。

2B-10: 山崎心鉄 (東京大学 野海研究室)

16:30 – 16:45

Cosmological Collider の現在と未来

Beyond standard model は検証不可能という批判はすでに過去のものとなりつつある。Cosmological Collider Physics とは、広義には高エネルギー初期宇宙を天然の加速器とみなし、宇宙観測量に残された痕跡から未知粒子の質量、スピン、相互作用などを探る研究分野である。例えば、インフレーション宇宙は、 10^{13} GeV もの超高エネルギー物理を内包する。まず本講演では、主要な先行研究を概観しながら、観測量を通じて高エネルギー物理を検証する基本的なアイデアとその理論的背景を解説する。さらに講演者自身の研究も交え、現在の課題と今後の研究の展望について議論する。

2B-11: 槇木直人 (総合研究大学院大学 科学研究部)

16:45 – 17:00

指数関数型クインテッセンスにおけるポテンシャルのパラメータと現在の状態方程式パラメータの解析的關係

DESI の観測により、クインテッセンスのような時間変動するダークエネルギーの存在が示唆されている。指数関数型ポテンシャルをもつクインテッセンスは、超弦理論において自然に現れるため、有力な候補の一つである。本発表では物質優勢期と輻射優勢期を実現するという要請を課し、状態方程式パラメータを密度パラメータで展開することによってポテンシャルのパラメータと現在の状態方程式パラメータの間に一对一の關係があることを解析的に示した成果 (arXiv:2605.05122) を報告する。さらに、この關係を用いて得られたポテンシャルのパラメータに対する解析的な上限値についても議論する。

研究会 3: 8/6(木) 9:15 – 11:45 会場: A1

番号	時間	名前	タイトル
3-1	09:15 – 09:30	田邊直純	$C(2)^{(2)}$ 型の線形問題と $2d \mathcal{N} = 1$ SCFT の間の ODE/IM 対応
3-2	09:30 – 09:45	董俊	非可逆選択則の起源から見る圏によるカラビ＝ヤウ多様体の分類
3-3	09:45 – 10:00	河野和	アファインリー代数 $E_6^{(1)}$ に付随する微分方程式の WKB 解析と ODE/IM 対応
3-4	10:00 – 10:15	遠藤達矢	Similarity transformation between light-cone gauge String and covariantized light-cone String
3-5	10:15 – 10:30	山本 侑生	5 次元 U(1) ゲージ理論に基づくヒルトップ・インフレーションモデル
	10:30 – 10:45	休憩	
3-6	10:45 – 11:00	手塚綾音	定数磁場背景における開弦の量子化と Bogoliubov 変換
3-7	11:00 – 11:15	足立凌	開放 JT 重力におけるブラックホールの形成
3-8	11:15 – 11:30	長谷川球真	零質量閉弦の場の樹木 3 点振幅から見る低エネルギー有効作用の構造
3-9	11:30 – 11:45	志賀智仁	AdS/CFT におけるブラックホール準固有振動と完全 WKB 解析

3-1: 田邊直純 (東京科学大学 伊藤研究室)

09:15 – 09:30

$C(2)^{(2)}$ 型の線形問題と 2d $\mathcal{N} = 1$ SCFT の間の ODE/IM 対応

ODE/IM 対応とは、常微分方程式 (ODE) のスペクトル問題と量子可積分模型 (IM) の間の対応である。ODE 側では WKB 解析を用いることで、可積分模型における保存量の情報を調べることができる。本講演では、twisted affine Lie 超代数 $C(2)^{(2)} = \mathfrak{osp}(2|2)^{(2)}$ に付随する超対称 affine 戸田場の理論の線形問題と、2d $\mathcal{N} = 1$ SCFT との ODE/IM 対応に関する研究 arXiv:2604.14899 について紹介する。本研究では、先行研究で無視されていた fermion の寄与を取り入れて Lax 作用素を対角化し、WKB 周期を計算した。更に、SCFT 側では保存量の最高 weight 状態における固有値を求め、NS sector において両者が一致することを示した。

3-2: 董俊 (北海道大学 素粒子・宇宙論研究室)

09:30 – 09:45

非可逆選択則の起源から見る圏によるカラビ＝ヤウ多様体の分類

近年研究され始めた軌道体コンパクト化などによる弦の非可逆選択則は融合代数に支配される新たな選択則である。その起源は対応する共形場理論に存在する融合則と考えられる。場の結合律と交差対称性を考慮すれば、この融合則は融合圏と呼ばれる圏的な代数構造に拡張される。有理共形場理論に限定した上で分配関数のモジュラー不変性を保つよう制限すれば、融合圏は有限の単純要素で構成されるモジュラー・テンソル圏となる。この圏の性質により、出発点となる共形場理論から有限個の共通する中心電荷を持つ理論が構築できる。各理論が特定のコンパクト化を行なった弦理論を記述することから、これはカラビ＝ヤウ多様体の同値類を与えていることに他ならない。以上の事柄を簡潔に説明する。

3-3: 河野和 (東京科学大学 伊藤研究室)

09:45 – 10:00

アファインリー代数 $E_6^{(1)}$ に付随する微分方程式の WKB 解析と ODE/IM 対応

ODE/IM 対応とは、常微分方程式 (ordinary differential equation) と量子可積分系 (integrable model) との間に成立する対応関係である。この対応は、Dorey-Tateo により 1999 年に、特定のポテンシャルを持つシュレーディンガー方程式のスペクトラル行列式と XXZ モデルの T-Q 関係式の間の一致として初めて見出された [1]。以来、多くの常微分方程式と量子可積分系の間に対応関係が発見されている。その一例として、アファインリー代数に付随する微分方程式と、その Langlands 双対な W 代数に付随する共形場理論の間の対応関係が挙げられる。これは、始めにベーテ方程式における対応の形で発見された [2]。その後、微分方程式の

WKB 解と共形場理論の保存量とが対応していることが、simply laced なアファインリー代数である $A^{(1)}$ 型及び $D^{(1)}$ 型で判明している [3]。今回は、simply laced なアファインリー代数 $E_6^{(1)}$ に対しても同様の対応が成立することを説明する。本発表は [4] に基づいている。[1] P. Dorey and R. Tateo, “On the relation between Stokes multipliers and the T-Q systems of conformal field theory,” Nucl. Phys. B563 (1999) 573 – 602, arXiv:hep-th/9906219 [hep-th]. [2] K. Ito and C. Locke, “ODE/IM correspondence and modified affine Toda field equations,” Nucl. Phys. B885 (2014) 600 – 619, arXiv:1312.6759 [hep-th]. [3] K. Ito and M. Zhu, “Integrals of motion in conformal field theory with W-symmetry and the ODE/IM correspondence,” Nucl. Phys. B 1010 (2025) 116756, arXiv:2408.12917 [hep-th]. [4] D. Ide, K. Ito and W. Kono, “Integrals of motion in W E6 CFT and the ODE/IM correspondence,” arXiv:2604.07829[hep-th].

3-4: 遠藤達矢 (筑波大学 素粒子理論研究室)

10:00 – 10:15

Similarity transformation between light-cone gauge String and covariantized light-cone String

弦の場の理論 (SFT) は弦理論の非摂動定式化を目的としており、様々な型の理論 (作用) が構成されている。作用の間の変換を解明することは、異なる定式化の統合、対応関係の解明、等価性の証明につながる。近年、Erler, Matsunaga によって Witten 型 SFT と light-cone SFT の間の変換が解明された一方、covariantized light-cone SFT との関係性は明らかになっていない。本講演では、covariantized light-cone SFT に関連する CFT における BRST 電荷の相似変換について議論する。本研究は安藤雄史氏との共同研究である。

3-5: 山本 侑生 (九州大学 粒子系理論物理学研究室)

10:15 – 10:30

5 次元 U(1) ゲージ理論に基づくヒルトップ・インフレーション模型

5 次元 U(1) ゲージ理論における Wilson line 位相をインフラトンとする hilltop 型インフレーション模型、Extrahilltop inflation を提案する。本模型では、余剰次元に由来する 1 ループ有効ポテンシャルが、特定の物質場構成の下で周期性を保ちつつ hilltop 型のポテンシャルとして現れる。本講演では、この模型の予言を観測制約と比較し、その制限を理論パラメータへの制限に結びつける。時間が許せば、2 ループ量子補正や高巻き付き数、質量の非縮退性といった要素に対する模型の頑健性と、インフレーション後の宇宙史との整合性を踏まえた模型修正が観測予言に与える影響も議論する。

3-6: 手塚綾音 (奈良女子大学 素粒子論研究室)

10:45 – 11:00

定数磁場背景における開弦の量子化と Bogoliubov 変換

弦理論において、背景場の選択は弦の境界条件やモード展開の構造に影響を与え、その結果、振動子および量子状態の定義が背景に依存して変化する。一方で、Kugo – Zwiebach によって閉弦の場合に提唱された、弦座標と共役運動量を背景場に依存しない universal object として記述する考え方を、定数磁場背景における開弦へ適用する。本研究では、背景場の変化に対する開弦の振動子および量子状態の対応を記述する Bogoliubov 変換を具体的に構成した。さらに、この変換を用いて真空の規格化因子を計算し、それが Born – Infeld 作用の構造を与えることを示した。

3-7: 足立凌 (京都大学 素粒子論研究室)

11:00 – 11:15

開放 JT 重力におけるブラックホールの形成

ホログラフィーの文脈では、境界理論の熱平衡状態は双対な重力理論におけるブラックホールに対応する。この対応関係は、境界状態の熱平衡化の過程が、ホログラフィーを通してブラックホールの形成過程と対応づくことを示唆する。特に、開放量子系では純粋状態から混合状態への時間発展が起こるため、開放量子系と双対な重力理論のダイナミクスでは普遍的に事象の地平が形成すると期待される。本発表ではまず、non-Markov な熱浴と結合した CFT に双対な AdS 時空の描像を与える処方を説明する。その後、この処方をスカラー場に結合した JT 重力理論に適用し、重力の半古典近似なダイナミクスを数値的に解析した結果に基づいて、ブラックホールの形成を実証する。

3-8: 長谷川球真 (茨城大学 素粒子論研究室)

11:15 – 11:30

零質量閉弦の場の樹木 3 点振幅から見る低エネルギー有効作用の構造

閉弦の場の理論では閉弦の縫い合わせ方の任意性に起因する自由度が存在する。低エネルギー極限ではそのような自由度がなくなり、閉弦の低エネルギー有効作用として B 場とディラトン場の補正を含むアインシュタイン – ヒルベルト作用が導出できると期待される。その検証のためにボソン弦と超弦の NS – NS セクターでの零質量閉弦の場を使って樹木 3 点関数を計算した。運動量の高次補正まで含んだ厳密な評価をすることによって、期待される低エネルギー有効作用だけでなく閉弦の縫い合わせの任意性に依存した別の有効作用も得られることが分かった。

3-9: 志賀智仁 (立教大学 理論物理学研究室)

11:30 – 11:45

AdS/CFT におけるブラックホール準固有振動と完全 WKB 解析

AdS/CFT において、AdS ブラックホールの準固有振動は強結合量子系の遅延グリーン関数の極に対応し、非平衡状態からの緩和過程を特徴づける。本発表では、まずブラックホール準固有振動の基本的な性質と AdS/CFT における実時間応答との関係を概観する。そのうえで、準固有振動のスペクトル問題を複素平面上の Stokes 現象および接続問題として捉える完全 WKB 解析の考え方を紹介する。特に、AdS 境界および事象の地平面における境界条件が量子化条件としてどのように表れるかを説明し、現在進めている AdS ブラックホール準固有振動への応用について報告する。