

## 第 69 回原子核三者若手夏の学校 素粒子パート研究会プログラム

研究会 1 日時：8/18(Fri) 15:15~19:05 部屋：501

No.	時間	発表者	タイトル
1-1	15:15~15:35	川平 将志	有限温度随伴 Higgs 系と一般化対称性~大統一理論とカラー閉じ込め~
1-2	15:35~15:55	福島 理	高次対称性と固有状態熱化仮説
1-3	15:55~16:15	阿部 元一	SU(N) ゲージ理論での $\mathbb{Z}_N$ 1-from ゲージ対称性と時間反転対称性の間の混合 't Hooft アノマリーの格子定式化
1-4	16:15~16:35	小野田 壮真	格子上の 2 次元コンパクトスカラー理論における磁氣的演算子の構成
1-5	16:35~16:55	村山 修一	$\mathcal{N} = 2$ 超共形場理論の巨大重力子展開
1-6	16:55~17:15	滝井 悠平	Symmetry-resolved entropy in AdS3/(B)CFT2
	17:15~17:25	~ 休憩 ~	
1-7	17:25~17:45	杉浦 駿	AdS/CFT 対応による純粋 AdS <sub>d+1</sub> 時空のバルク再構築
1-8	17:45~18:05	岡林 史憲	Phase transition of moving defects in AdS/CFT correspondence
1-9	18:05~18:25	金久 発	ピュアスピナー超弦を用いて導かれた DBI 方程式の検証
1-10	18:25~18:45	藤井 僚太	light-cone BRST charge から RNS BRST charge への相似変換の導出
1-11	18:45~19:05	山森 直幸	ローレンツ型 IKKT 行列模型の解析

研究会 2 日時：8/19(Sat) 13:30~19:10 部屋：501

No.	時間	発表者	タイトル
2-1	13:30~13:50	高田 翔平	超弦理論に基づく標準模型の再現
2-2	13:50~14:10	横倉 孝洋	結合定数空間におけるアノマリーを用いた QCD 相図の解析
2-3	14:10~14:30	赤松 拳斗	フラックスコンパクト化された理論におけるスカラー場の質量補正
2-4	14:30~14:50	西尾 勇哉	波束を用いた $\phi^4$ 理論での散乱確率 - 散乱時間の boundary -
2-5	14:50~15:10	桑原 孝明	波動関数に対する厳密繰り込み群
2-6	15:10~15:30	田耕 健也	最適輸送としてのくりこみ群フロー
	15:30~15:40	~ 休憩 ~	
2-8	15:40~16:00	高橋 大介	Minimal SUSY $U(1)X$ model with an R-parity conservation
2-7	16:00~16:20	高井 峻聖	$\mu + \mu$ コライダーで探るレプトンフレーバーの物理
2-9	16:20~16:40	倉知 祐也	GL 法によるアノマリーがない場合の QCD 相図
2-10	16:40~17:00	塚原 壮平	Nonlinearly charged brane shell as over-extremal object
2-11	17:00~17:20	根本 峻	ブラックホールの微視的量子状態と Non Abelian Supertubes
	17:20~17:30	~ 休憩 ~	
2-12	17:30~17:50	徳竹 温也	Fundamental Strings as Black Bodies
2-13	17:50~18:10	矢野 一義	Fluctuations in the Entropy of Hawking Radiation in Canonical Ensemble
2-14	18:10~18:30	繁村 知宏	JT 重力とアイランド
2-15	18:30~18:50	相子 悠人	量子トンネル効果による Hawking 輻射
2-16	18:50~19:10	吉村 果保	非線形電磁気学における極限ブラックホールと弱い重力予想

研究会3 パラレル A/B 日時：8/20(Sun) 17:00~19:00 部屋：501(A)/416(B)

No.	時間	発表者	タイトル
3A-1	17:00~17:20	井澤 幸邑	非可換離散対称性を用いたフレーバーモデル構築
3A-2	17:20~17:40	宮尾 光	許されるニュートリノ質量行列構造を実現するフレーバーモデル
3A-3	17:40~18:00	竹下 昌之介	Type-II seesaw-like 機構を用いた大統一モデルにおける W ボゾンの質量とゲージ結合定数の統一
3A-4	18:00~18:20	甲斐 貴文	タイプ IIB 弦理論の真空におけるエクレクティックフレーバー対称性
3A-5	18:20~18:40	折見 智治	場の量子論に基づくニュートリノの振動確率とレプトン数の時間変化の関係
3A-6	18:40~19:00	長村 尚弘	LR 模型における theta 項への輻射補正のダイアグラムを用いた評価

3B-1	17:00~17:20	渡辺 涼太	量子力学における Krylov 複雑性とカオス
3B-2	17:20~17:40	久代 翔大	スピンドルとそれを含んだ空間上の弦の古典カオス
3B-3	17:40~18:00	伊藤 蓮	Integration on minimal $Z_2^2$ -superspace and 2D relativistic Lagrangian
3B-4	18:00~18:20	須田 亮介	商空間による次元還元法の探索範囲の拡張に向けて
3B-5	18:20~18:40	中西 泰一	ダイポールを保存する場の理論におけるフラクトンの記述とその有効理論について
3B-6	18:40~19:00	古田 悠馬	Narain CFT の有理性と誤り訂正符号による構成について

研究会4 日時：8/21(Mon) 8:50~12:00 部屋：501

No.	時間	発表者	タイトル
4-3	8:50~9:10	柴田 海輝	磁性トポロジカル絶縁体によるアクシオンの質量の推定
4-1	9:10~9:30	チェミンジェ	Gauge-equivariant pooling layers for preconditioners in lattice QCD
4-2	9:30~9:50	西村 阜	機械学習で探るクォーク・レプトンのフレーバー構造
4-4	9:50~10:10	石田 恵海	電弱スキルミオンダークマターの可能性について
4-5	10:10~10:30	山中 拓夢	SU(N) ゲージ対称性に基づく複合粒子暗黒物質モデル
	10:30~10:40	～ 休憩 ～	
4-6	10:40~11:00	中嶋 陽平	中間子崩壊による暗黒光子生成へのオフシェル暗黒ヒッグス粒子の寄与と FASER での検出可能性
4-7	11:00~11:20	村岡 剛生	domain wall における宇宙論的發展
4-8	11:20~11:40	宮地 大河	Stochastic tunneling in de Sitter spacetime
4-9	11:40~12:00	森 聡一郎	Target space entanglement in quantum mechanics of fermions at finite temperature

第 69 回原子核三者若手夏の学校  
素粒子パート研究会概要集

研究会 1 : 8/18(Fri) 15:15~19:05

1-1 : 川平 将志 (京都大学基礎物理学研究所 素粒子論グループ) 15:15~15:35

【有限温度随伴 Higgs 系と一般化対称性～大統一理論とカラー閉じ込め～】

Higgs 機構は「ゲージ対称性の自発的破れ」と言われる。しかし、ゲージ不変な記述をしたとき、ゲージ対称性は決して自発的に破れないことが知られている。(Elitzur の定理)

本発表では、現代的な対称性 (一般化対称性) の観点から Higgs 機構を見直す。特に SU(5) ゲージ理論から  $U(1) \times SU(2) \times SU(3)$  ゲージ理論への相転移を例に議論したい。

1-2 : 福島 理 (京都大学 素粒子論研究室) 15:35~15:55

【高次対称性と固有状態熱化仮説】

固有状態熱化仮説 (ETH) は、孤立量子系における熱化の条件を与える枠組みである。本講演では、高次対称性の存在が ETH にどのような影響を与えるかを議論する。特に  $p$  次対称性をもつ  $(d+1)$  次元の場の理論において、ある自然な仮定が満たされる時に  $(d-p)$  次元の ETH を破る演算子があることを示す。この議論を  $Z_2$  格子ゲージ理論を例に取り数値的に立証し、さらにこの系が  $Z_2$  1 次対称性を考慮した一般化 Gibbs アンサンブルに緩和することを述べる。

1-3 : 阿部 元一 (九州大学 素粒子理論研究室) 15:55~16:15

【SU(N) ゲージ理論での  $\mathbb{Z}_N$  1-form ゲージ対称性と時間反転対称性の間の混合 't Hooft アノマリーの格子定式化】

近年、Gaiotto らにより、離散的対称性と高次対称性の間の混合 't Hooft アノマリーに基づいてゲージ理論の低エネルギー物理が議論されて以来、この方面の研究が盛んに進められている。本研究では、こうした議論を完全に正則化された枠組みで理解することを狙い、SU(N) 格子ゲージ理論において定式化する。この格子上で定義される分数トポロジカル電荷は、 $\mathbb{Z}_N$  1-form ゲージ変換のもとで不変であり、時間反転変換で符号を変える。これにより、格子理論のレベルで、 $\mathbb{Z}_N$  1-form ゲージ対称性と時間反転対称性の間に、混合 't Hooft アノマリーがあることが示される。これは、 $\theta$  項を含む SU(N) ゲージ理論における、 $\theta = \pi$  での  $\mathbb{Z}_N$  1-form ゲージ対称性と時間反転対称性の間の混合 't Hooft アノマリーのアナロジーとなっている。

1-4 : 小野田 壮真 (九州大学 素粒子理論研究室) 16:15~16:35

【格子上の 2 次元コンパクトスカラー理論における磁氣的演算子の構成】

格子上で well-defined なトポロジカル電荷を得るには場の配位が admissibility 条件を満たしていることが不可欠である。しかし、この条件は自動的に Bianchi 恒等式を保証するため、素朴には磁氣的演算子の存在を禁止してしまうかのように思われる。この講演では格子上の 2 次元コンパクトスカラー理論においてこの困難がどのように解決されるか説明する。また、その構成の応用として、電気的対称性と磁氣的対称性に付随する 't Hooft anomaly や Witten 効果が格子上でどのように定式化されるかについて説明する。

1-5 : 村山 修一 (東京工業大学 素粒子理論研究室) 16:35~16:55

【 $\mathcal{N} = 2$  超共形場理論の巨大重力子展開】

AdS/CFT 対応を用いて、超共形場理論の超共形指数の計算を行う。理論のランクが有限の場合は、コンパクト空間に巻きついたブレーンである「Giant graviton」の寄与を巻きつき数についての級数展開として与えることで指数が得られることが知られており、これは「Giant graviton expansion」と呼ばれる。一般的にはさまざまなサイクルに巻きついた giant graviton を全て考慮する必要があるが、一部の理論では、特定の 1 方向に巻きついた giant graviton のみの寄与から giant graviton expansion を行うことができる。この場合は「Simple-sum expansion」と呼ばれ、より高いスケール次

元まで簡単に超共形指数が計算できる。本発表では、特定の  $\mathcal{N} = 2$  超共形場理論に焦点を当て、simple-sum expansion が行えることを確認し、実際に giant graviton expansion を用いて超共形指数を計算する。

本研究は今村氏、藤原氏、森氏、横山氏との共同研究に基づく。

1-6：滝井 悠平（神戸大学 宇宙論研究室）16:55~17:15

**【Symmetry-resolved entropy in AdS3/(B)CFT2(Review)】**

symmetry-resolved エントロピーとは、保存電荷が存在する系に対してある電荷セクターに注目した際のエンタングルメントの度合いを測る量である。今回の発表では、まず U(1) Chern-Simons 理論と結合した AdS3/CFT2 における symmetry-resolved エントロピーについての議論 [1] を簡単にレビューし、symmetry-resolved エントロピーは時空の部分系の長さで Chern-Simons レベルにより決まることを示す。その後、ブラックホールの蒸発過程への応用を念頭に現在自身が進めている AdS3/BCFT2 への拡張についても可能であれば紹介する。

[1] S. Zhao, C. Northe and R. Meyer, Symmetry-resolved entanglement in AdS3/CFT2 coupled to U(1) Chern-Simons theory, JHEP 07 (2021) 030 [2012.11274].

1-7：杉浦 駿（京都大学 素粒子論研究室）17:25~17:45

**【AdS/CFT 対応による純粋 AdS<sub>d+1</sub> 時空のバルク再構築】**

AdS/CFT 対応において境界 CFT のデータからバルク時空の計量を再構築することは重要な問題であるが、いまだ一般的な再構築手法は知られていない。とくに Engelhardt, Horowitz の光円錐切断法では、時空の因果構造までは決定できるが、不定の共形因子が残ることが課題であった。本講演では、この共形因子の特定を通して、任意次元において適用可能な再構築手法を提案する。さらに、光円錐切断の表式から出発して、実際に d+1 次元の純粋 AdS 時空の再構築を行う。また、より一般的なバルク時空の再構築に向けて、バルクの極小曲面の空間である "kinematic space" を導入し、その性質を調べる。なお、本講演は竹田大地氏との共同研究 (arXiv:2212.10065) に基づく。

1-8：岡林 史憲（中央大学 素粒子理論研究室）17:45~18:05

**【Phase transition of moving defects in AdS/CFT correspondence】**

我々は非平衡定常状態の相転移における秩序変数の振る舞いをゲージ・重力対応を用いて調べた。従来、外力によって牽引されて摩擦を受けながら一定速度で粒子が運動するような非平衡定常状態は Gubser によってゲージ・重力対応を用いて解析されていたが、外部磁場が印加された defect が磁場方向に一定速度で運動するような非平衡定常状態をゲージ・重力対応で扱った例は知られていない。我々はそう言った非平衡定常状態を D3-D5 系を用いて数値的に解析した。その結果、defect 速度が大きいかほどカイラル凝縮が小さくなり、対称性が回復することが確認された。また、本系の有効温度を導出の上、有効温度とカイラル凝縮の関係を数値的に調べたところ、有効温度が低下するほどカイラル凝縮の絶対値が小さくなり、カイラル対称性が回復することがわかった。これは平衡系では起きない非自明な結果である。

1-9：金久 発（茨城大学 茨大素研）18:05~18:25

**【ピュアスピナー超弦を用いて導かれた DBI 方程式の検証】**

先行研究において、ピュアスピナー形式の超開弦を用いて導かれた超対称非可換 BDI 方程式について、そこから SYM 方程式が導かれている。今発表ではその導かれた SYM 方程式から  $\alpha'$  の 2 次まででしかもボソンの場合に、知られている BI 方程式を出ることを見る。また、 $\alpha'$  の 4 次についても、どの様に補正が入ってくるのかを報告する。

1-10：藤井 僚太（茨城大学 素粒子論研究室）18:25~18:45

**【light-cone BRST charge から RNS BRST charge への相似変換の導出】**

ボソンの弦理論では共変な弦の場の理論の縦方向の自由度を integrate out することで light-cone ゲージ固定された共変な弦の場の理論を得る。これは HIKKO 型弦の場の理論から Kaku-Kikkawa light-cone 弦の場の理論へのマップに対応する。さらに、Witten 型弦の場の理論と HIKKO 型弦の場の理論は Kaku 頂点を用いて関連付けられる。今回は、この内容を NSR 超弦に拡張するため、light-cone BRST charge を元の BRST charge にマップする相似変換を構成する。

この相似変換は、light-cone ベクトル空間の縦と横の状態をそれぞれ対応する共変なベクトル空間の状態にマップする。

**1-11：山森 直幸（総研大 KEK 理論センター） 18:45~19:05**

**【ローレンツ型 IKKT 行列模型の解析】**

量子重力を含めた統一理論の候補である超弦理論は、現在のところ摂動論でしか定式化されていない。それに起因した問題として、理論として許される真空が無数に存在して一つに決まらない点、宇宙の始まりの特異点において摂動論が破綻する点が挙げられる。これらの問題の解決には、超弦理論の非摂動論的定式化が必要であり、最有力候補が IKKT 行列模型である。近年の研究によって、赤外正則化としてローレンツ不変な質量項を模型に加えることが提案された。本研究ではこの質量項を加えたボゾニックな模型の解析を行なった。特に行列サイズ  $N=2$  場合においては全ての解を見出し、これらの解の周りでの計算を行うことにより解の物理的意味と理論の相図を明らかにした。

## **研究会 2：8/19(Sat) 13:30~19:10**

**2-1：高田 翔平（北海道大学 素粒子・宇宙論研究室） 13:30~13:50**

**【超弦理論に基づく標準模型の再現】**

標準模型は素粒子物理学史上最も成功した理論であると言われている。ただし、3 世代構造とその質量階層性の起源は不明であり、このような未解決課題を多く抱えているのが現状である。その解決のため、我々は標準模型を超えた物理、特に超弦理論に着目する。超弦理論は 10 次元背景時空の下で整合性のとれた理論となるため、我々が観測する 4 次元時空を考慮すると、余剰な 6 次元空間はコンパクト化される必要がある。我々は標準模型では現れなかったこのような 6 次元コンパクト空間の概念を用いて、標準模型の未解決課題の解決に挑戦する。本発表では、具体的な 6 次元コンパクト空間を仮定し、そこから導出される物理的性質が標準模型の再現可能性とどのように関係するかについてを紹介する予定である。

**2-2：横倉 孝洋（東北大学 素粒子・宇宙理論研究室） 13:50~14:10**

**【結合定数空間におけるアノマリーを用いた QCD 相図の解析】**

近年のアノマリーの発展により、結合定数空間におけるアノマリーと呼ばれる新たなアノマリーが指摘された。このアノマリーの応用上重要な点として、そのアノマリーの存在が相図を直接制限することである。本発表では、純虚数化学ポテンシャル入りの QCD に結合定数空間におけるアノマリーがあることを示し、その相図への制限について議論する。

**2-3：赤松 拳斗（大阪公立大学 素粒子論研究室） 14:10~14:30**

**【フラックスコンパクト化された理論におけるスカラー場の質量補正】**

我々は、フラックスコンパクト化された理論におけるスカラー場のゼロモードの質量補正を議論する。トーラス余剰空間を用いた理論において、スカラー場のゼロモードは、トーラス空間の並進対称性に対する南部-Goldstone ボソンとなり、質量補正は厳密に相殺される。そこで我々は、オービフォールドを施し、並進対称性が陽に破れた理論には、有限の質量補正が生成されるのではないかと考えた。

**2-4：西尾 勇哉（北海道大学 素粒子・宇宙論研究室） 14:30~14:50**

**【波束を用いた  $\phi^4$  理論での散乱確率 - 散乱時間の boundary -】**

オーソドックスな場の理論の教科書では場の演算子を生成・消滅演算子と平面波で展開し、散乱確率の計算を行う。平面波の代わりに二乗可積分関数であるガウス波束を用いて場を展開すると、平面波のときとは異なり、boundary を持った有限の散乱時間で散乱確率を計算できる。さらに面白いことに、波束を用いて有限時間で計算した散乱確率には、従来の平面波での計算で得られるものと同様の確率項に加え、全く異なる性質を持つ確率項が摂動の 1 次からでも出現することが分かっている。(参考文献：PTEP 2020 103B04, PTEP 2018 123B01)

本発表では波束を用いた  $\phi^4$  理論において、様々な始・終状態での散乱確率について考察し、どのような散乱現象が起こり得るのかを見ていく。

**2-5：桑原 孝明（静岡大学 素粒子論研究室） 14:50~15:10**

**【波動関数に対する厳密繰り込み群】**

AdS/CFTにおいて、バルクの境界からの構成方法は依然として未解明である。近年ではAdSとMERAの対応やHaPPY codeを始めとし、テンソルネットワークによるバルク再構成へのアプローチが注目されている。本発表ではその一環として、スカラー場における連続繰り込み群に基づく非摂動的な連続テンソルネットワーク構成の研究 (arXiv:2211.05534) を紹介する。

**2-6：田耕 健也（京都大学基礎物理学研究所 素粒子論グループ） 15:10~15:30**

**【最適輸送としてのくりこみ群フロー (Review)】**

arXiv:2202.11737 [hep-th] に基づいた review を行う：近年、画像処理や言語処理への応用の立場から最適輸送理論が注目されており、さまざまな計算手法が開発されている。本発表では、まず厳密くりこみ群と最適輸送理論のそれぞれについて概観する。次に、厳密くりこみ群におけるPolchinski方程式が、relative entropy についてのWasserstein勾配流と等価であることをみる。また、Wasserstein勾配の定義からは非自明であるものの、relative entropyのフローに沿った単調性が非摂動的に成り立つことを確認する。最後に、厳密くりこみ群を最適輸送問題として定式化することによる、新たな数値計算手法を紹介する。

**2-7：高井 峻聖（総研大 素粒子原子核専攻） 15:40~16:00 → 16:00~16:20**

**【 $\mu + \mu +$  コライダーで探るレプトンフレーバーの物理】**

荷電レプトンのフレーバーを破る相互作用は直接的に新物理の証拠を与える重要な対象である。本講演では、同符号のミュオンを用いたコライダーによってこのテーマを探る方法について説明する。TeVスケールのミュオンコライダーはミュオンやタウの稀崩壊過程の観測実験と同等以上の能力を持ち、その感度はフレーバー混合パターンに依存する。例としてタイプIIシーソー模型の場合を示し、過程 $\mu + \mu + \rightarrow l + \tau + (l = e, \mu, \tau)$ に着目しながら、ニュートリノの質量スケールやCP位相が結果に与える影響について述べる。

**2-8：高橋 大介（OIST 数理理論物理学ユニット） 16:00~16:20 → 15:40~16:00**

**【Minimal SUSY U(1)<sub>X</sub> model with an R-parity conservation】**

We propose a simple gauged U(1)<sub>X</sub> extension of the minimal supersymmetric Standard Model (MSSM), where R-parity is conserved as usual in the MSSM and three MSSM singlet right-handed neutrino (RHN) chiral superfields are introduced. Since R-parity is conserved, the lightest neutralino is a prime candidate of the dark matter (DM) as usual. In our model, the lightest eigenstate of the mixture of the U(1)<sub>X</sub> gaugino and the fermionic component of one of the RHN chiral superfields appears as a new DM candidate. We investigate phenomenology of this DM particle and collider phenomenology of our model.

**2-9：倉知 祐也（名古屋大学 E研） 16:20~16:40**

**【GL法によるアノマリーがない場合のQCD相図】**

近年、重力波観測によって中性子星の性質が明らかになり、QCD相図に対して新たな制限を与えることとなった。本発表ではU(1)<sub>A</sub>がアノマリーによって破れない場合に、中性子星の存在を前提としたQCD相図を、GL法を用いて調べた結果を発表する。

**2-10：塚原 壮平（九州大学 粒子系理論物理学研究室） 16:40~17:00**

**【Nonlinearly charged brane shell as over-extremal object】**

弱重力予想によると、重力と結合した低エネルギー有効理論が量子重力理論と無矛盾であることの帰結として、少なくとも1つ over-extremal な物体が宇宙に存在しなければならない。これについて、Freed-Witten効果によって帯電したbrane shellのセットアップが、近年Danielssonらによって提案された。本講演では、非線形に帯電したbrane shellのセットアップを新たに提示する。加えて、重力の寄与によってshellの半径が安定化されるメカニズムについても議論

する。

**2-11：根本 峻（名古屋大学 素粒子論研究室）17:00~17:20**

**【ブラックホールの微視的量子状態と Non Abelian Supertubes】**

ブラックホールを量子的に考察する際、大きく2つの問題が生じると言われている。量子力学のユニタリ性との整合性が失われるという情報損失問題と、ブラックホールエントロピーの微視的起源が不明というエントロピー問題である。これらに対するアプローチとして、量子重力を自然な形で含む超弦理論を用いて、ブラックホールを「特異点や事象の地平面が存在しない描像」に置き換えることで問題を解決するというシナリオが考えられている。これは Fuzzball 予想と呼ばれており、これまでの研究で、特別な系においては実際に超弦理論から Fuzzball 解を構築できることが確認されている。本発表では、Fuzzball の例である Microstate geometry と、その解の一つである Multi-center 解を解説し、これを発展させた Non Abelian Supertubes に関する最近の進展を報告する。なお、本研究は現在進行中の重森正樹氏との共同研究に基づく。

**2-12：徳竹 温也（京都大学 素粒子論研究室）17:30~17:50**

**【Fundamental Strings as Black Bodies (review)】**

弦理論において、弦のエネルギー状態密度は、弦の性質によりエネルギーに対し指数関数的に増大する。これによりある温度（ハゲドロン温度）で弦の分配関数が発散し、カノニカル集団の描像が破綻する。この発表では、十分高い励起状態の弦からの光子の放射が、縮退した始状態について平均をとるとハゲドロン温度で特徴づけられる熱的なものとなることを示し、上記温度の上限の物理的な解釈を与える。この発表は arxiv:hep-th/9901092v2 の review である。

**2-13：矢野 一義（名古屋大学 素粒子論研究室）17:50~18:10**

**【Fluctuations in the Entropy of Hawking Radiation in Canonical Ensemble】**

ブラックホールには情報喪失問題と呼ばれる問題が存在する。これは半古典的に計算した Hawking 輻射のエンタングルメントエントロピーが時間とともに増加し続け、量子論の要請であるユニタリ性に矛盾するという問題である。Hawking 輻射のエントロピーを正しく計算する方法として Island 公式が提唱されており、いくつかの模型で検証されている。一方で、重力の経路積分は理論のアンサンブル平均であると考えられているため、揺らぎを計算することでその物理量が典型的な量であるかを評価する必要がある。本研究では PSSY 模型と呼ばれる重力模型を用い、Hawking 輻射のエントロピーの揺らぎを評価し、Island 公式が物理的な式であるかを検証する。この発表は名古屋大学の宮地正路特任助教と現在行っている共同研究に基づく。

**2-14：繁村 知宏（京都大学 素粒子論研究室）18:10~18:30**

**【JT 重力とアイランド (Review)】**

ブラックホールが量子力学系としてユニタリ時間発展すると仮定すれば、ブラックホールのエントロピーの時間発展はページ曲線に従う。ページ曲線を再現するようなブラックホールのエントロピーの具体的な計算方法としては AdS/CFT 対応から導かれる generalized エントロピーを用いたものがある。それによれば、ブラックホールの形成から十分に時間が経過した後は、ブラックホールの内部にアイランドと呼ばれる領域が生じ、Hawking 放射とエンタングルしていると考えられる。本発表ではページ曲線とアイランドについて解説した後、例として JT 重力での計算例を紹介する。

**2-15：相子 悠人（神戸大学 宇宙論研究室）18:30~18:50**

**【量子トンネル効果による Hawking 輻射 (Review)】**

古典的にはブラックホールの内部から粒子が出てくるような運動は因果律から起こりえない。しかし、ブラックホール時空中で量子論を考えるとこのような過程も許され、Hawking 輻射として知られている。この Hawking 輻射には多くの定式化が存在するが、本発表では Wilczek らによる量子トンネル効果を用いた定式化を紹介する。この定式化では、量子力学において古典的にはありえない透過が許されたように、因果律を破るような輻射が起こることを理解することができる。また、Hawking 輻射の導出ではブラックホールを背景時空として固定するものがよく用いられるが、紹介する

定式化では粒子の輻射によって生じるブラックホールの質量変化も考慮されているのが大きな特徴である。

**2-16：吉村 果保（神戸大学 宇宙論研究室） 18:50~19:10**

**【非線形電磁気学における極限ブラックホールと弱い重力予想】**

弱い重力予想は、量子重力と整合的な理論の判別条件の一つと期待されており、極限ブラックホールの質量電荷比が電荷とともに単調増加することを予言する。実際、Einstein-Maxwell 理論への高階微分補正の解析によってその証拠が集められてきたが、これまでは4階微分補正項の解析が主であった。本研究では Euler-Heisenberg 模型や DBI 模型を用いて、この解析を一般の非線形電磁気学に拡張した。さらに本講演では、極限ブラックホールの解析結果と散乱振幅の正定値性条件との類似性についても言及したい。

## **研究会 3（パラレル A）：8/20(Sun) 17:00~19:00**

**3A-1：井澤 幸邑（広島大学 素粒子ハドロン理論研究室） 17:00~17:20**

**【非可換離散対称性を用いたフレーバー模型構築】**

標準模型のフェルミオンであるクォークとレプトンには質量階層性やフレーバー混合といった世代構造が存在する。この世代について標準模型ではパラメーターが充てられているだけで、理論的な説明が成されていない。そこで本研究では、世代混合の大きいレプトンセクターに着目し、非可換離散群の持つ対称性を世代間のもつ対称性と仮定した新しいフレーバー模型を構築する。

**3A-2：宮尾 光（九州大学 素粒子理論研究室） 17:20~17:40**

**【許されるニュートリノ質量行列構造を実現するフレーバー模型】**

近年のニュートリノに関する実験からの制限の更新により、標準模型の単純な拡張ではニュートリノ質量和などの説明が難しくなってきた。そこで本研究では、ニュートリノ質量行列やその逆行列に2つの0成分を持つ予言能力の高い行列構造に注目して解析し、実験結果と整合するものを調べ上げた。さらに、標準模型に3世代右巻きニュートリノとスカラー場を2つ加えレプトンフレーバー対称性を課した模型のうち可能な行列構造を実現できるものを調べ上げ、CP位相やニュートリノの質量和に対する予言値を得た。

**3A-3：竹下 昌之介（広島大学 素粒子ハドロン理論研究室） 17:40~18:00**

**【Type-II seesaw-like 機構を用いた大統一模型における W ボゾンの質量とゲージ結合定数の統一】**

昨年、CDF 実験により標準模型の予言値と大きく異なる W ボゾンの質量の値が報告された。そこで本研究では、Vector-like 粒子を加えた新たな大統一模型を構築し、W ボゾンの質量の異常の説明を試みた。

本発表では、我々の模型を用いて CDF 実験により報告された W ボゾンの質量の値が説明できることを示す。また Type-II seesaw-like 機構により生成された Vector-like 粒子の質量は、強く制限されることに言及し、その制限の下でゲージ結合定数の統一が実現可能であるか議論する。なお本発表は、arXiv:2303.11070 [hep-ph] に基づく。

**3A-4：甲斐 貴文（九州大学 素粒子理論研究室） 18:00~18:20**

**【タイプ IIB 弦理論の真空におけるエクレクティックフレーバー対称性】**

Type IIB 弦理論におけるカイラルな4次元真空の持つ対称性を紹介する。複素構造モジュライとディラトンの質量スケール以下における有効作用において、MSSM-like もしくは Pati-Salam ゲージ理論を導く真空は拡張された離散対称性を持ち、Tadpole cancellation condition によりクォーク、レプトンの世代数は制限される。さらに、フレーバー、CP、メタプレクティックモジュラーといった対称性はエクレクティックフレーバー対称性の枠組みで統一的に記述されることを明らかにした。本講演は arXiv:2305.19155 に基づく。

**3A-5：折見 智治（広島大学 素粒子ハドロン研究室） 18:20~18:40**

**【場の量子論に基づくニュートリノの振動確率とレプトン数の時間変化の関係】**

本研究では、ニュートリノ振動現象をニュートリノが担うレプトンファミリー数の時間変化ととらえる。マヨラナニュートリノにおいて、質量ゼロのワイルニュートリノでレプトン数1、反ニュートリノでレプトン数-1となるようにレプトン数  $L(t)$  を定義する。このときマヨラナ質量項によりレプトン数は保存されないため、期待値は  $\Delta L = \pm 1$  の範囲で振動する。量子力学に基づくと、レプトン数の期待値はニュートリノ $\leftrightarrow$ ニュートリノの振動確率とニュートリノ $\leftrightarrow$ 反ニュートリノの振動確率の差で書けることが予想される。場の量子論に基づくと、レプトン数1を持った始状態をつくるための真空がマヨラナ質量項の下でのハミルトニアンで時間変化するため状態の時間変化は複雑になる。そのため、場の量子論に基づきニュートリノ振動確率を導出し、量子力学的な考えに基づいた場合と一致するのかが議論する。また、特に一致しない場合でもその理由について明らかにしたい。

**3A-6：長村 尚弘（名古屋大学 E研）18:40~19:00**

**【LR 模型における theta 項への輻射補正のダイアグラムを用いた評価】**

強い CP 問題の解決策として、標準模型をパリティ対称なものへ拡張した左右対称性模型がある。本模型は標準模型を再現する上でパリティ対称性を自発的に破るため、量子補正として theta パラメータが誘起される。しかし、その寄与が 1 ループレベルでは生じないことが知られており、強い CP 問題の解決候補として有力視されてきた。本研究では、theta パラメータを計算する従来の方法を改良しダイアグラム計算にて行う系統的な方法を与え、本模型にて誘起される theta パラメータを評価する。

## **研究会 3（パラレル B）：8/20(Sun) 17:00~19:00**

**3B-1：渡辺 涼太（京都大学 素粒子論研究室）17:00~17:20**

**【量子力学における Krylov 複雑性とカオス】**

近年、Krylov 複雑性が量子力学系の複雑性とカオス性の指標として提案され注目を集めている。我々は古典カオス系を量子化した系の典型例としてスタジアムビリヤード系を考察し、量子状態と演算子に対する Krylov 複雑性を数値的に評価した。その結果、古典 Lyapunov 指数と Lanczos 係数のある種の分散の間に有意な相関が確認され、さらに同様の相関が Lanczos 係数の分散と隣接量子準位間隔の統計分布の間にも確認された。このことは Lanczos 係数の分散が量子カオスの指標となり得ることを示している。同様の結果は Sinai ビリヤード系においても確認することができ、我々の結果がより一般の量子力学系において普遍的に成立することを示唆している。我々の結果は Krylov 複雑性と古典および量子カオスの間の橋渡しをし、量子カオスの定量的な特徴づけに新たな視点を与えるものである。本発表は、橋本幸士氏、村田佳樹氏、棚橋典大氏との共同研究 arXiv:2305.16669[hep-th] に基づく。

**3B-2：久代 翔大（京都大学 素粒子論研究室）17:20~17:40**

**【スピンドルとそれを含んだ空間上の弦の古典カオス】**

近年、スピンドルと呼ばれる 2 次元の orbifold を含んだ超重力理論の解が発見された。スピンドル自体はコニカル特異点を持っているが、全体の 10 次元空間で見るとその特異点が消えることがある。そのため、スピンドル背景上の重力理論やそのホログラフィー CFT における研究が行われている。

本発表では上記に関してレビューを行い、時間が許せば発表者の研究であるスピンドル空間上での弦の古典カオスについて説明する。

**3B-3：伊藤 蓮（大阪公立大学 数理物理研究室）17:40~18:00**

**【Integration on minimal  $Z_2$ -superspace and 2D relativistic Lagrangian】**

超対称性は Lie 超代数により生成される対称性であり、Lie 超代数は通常の Lie 代数に可換群  $Z_2$  による次数付けをしたものである。  $Z_2$  を  $Z_2 \times Z_2$  などに置き換えることにより、Lie 超代数を拡張できることが古くから知られている。本公演では、この拡張された  $Z_2 \times Z_2$  超代数により生成される  $Z_2 \times Z_2$  超対称性をもつ古典力学の構築に関する発表である。

**3B-4：須田 亮介（埼玉大学 素粒子論研究室）18:00~18:20**

### 【商空間による次元還元法の探索範囲の拡張に向けて】

商空間による次元還元法 (Coset space dimensional reduction, CSDR) は、リー群どうしの商空間を余剰次元に持つ模型から出発して、高次元の場に余剰空間の対称性と関連する条件を課すことで4次元の模型を得る方法である。この方法では商空間・高次元ゲージ群・高次元フェルミオンのが属するゲージ群の表現が主たる入力であるが、これまでの研究では手で解析を行うためにこれらの入力に対して作業仮設的な制約が設けられていた。本研究はその制約を緩和するために解析手法を改善することを試みるものである。

### 3B-5：中西 泰一（京都大学基礎物理学研究所 素粒子論グループ）18:20~18:40

#### 【ダイポールを保存する場の理論におけるフラク톤の記述とその有効理論について】

近年、フラク톤と呼ばれる準粒子が量子情報、物性物理、素粒子などの幅広い分野において注目を集めている。この準粒子はもともと誤り訂正を持つ量子メモリーを記述する格子模型において現れたもので、単独では空間中を移動できないという奇妙な性質を持っている。本研究では、フラク톤をダイポールモーメントを保存する場の理論を用いて記述し、その有効理論が部分系対称性と呼ばれる対称性と関係を持つことを議論する。本研究は本多正純氏、戎弘実氏との共同研究に基づく。

### 3B-6：古田 悠馬（京都大学数理解析研究所 数理物理）18:40~19:00

#### 【Narain CFT の有理性と誤り訂正符号による構成について】

近年、ある種の誤り訂正符号から Narain CFT を構成することで Holographic CFT の解析が成されている。この構成により誤り訂正符号で定義される量を用いて CFT を記述でき、様々な計算を簡単に実行できる等のメリットがある。そこで今回は逆に「有理性的な Narain CFT がいつ誤り訂正符号的な構造を持つか」について議論する。そして最終的には従来 CFT を作るために考えられていた誤り訂正符号を包摂するような広いクラスの「符号」を定義し、その構造を持つ十分条件を特定する。

## 研究会 4：8/21(Mon) 8:50~12:00

### 4-1：チェミンジェ（筑波大学 素粒子理論研究室）8:50~9:10 → 9:10~9:30

#### 【Gauge-equivariant pooling layers for preconditioners in lattice QCD(Review)】

格子 QCD 上でフェルミオン伝搬関数の計算を深層学習を用いて高速化させる。

### 4-2：西村 阜（九州大学 素粒子理論研究室）9:10~9:30 → 9:30~9:50

#### 【機械学習で探るクォーク・レプトンのフレーバー構造】

本研究ではクォーク・レプトンのフレーバー構造を探索する手法として、機械学習の応用を提案する。具体的な事例として U(1) フレーバー対称性を持つ Froggatt-Nielsen 模型に着目し、U(1) 電荷の組み合わせを探索する強化学習アルゴリズムを構築した。学習を経て得られた模型は、質量・混合角の実験値を再現しつつ、ニュートリノの質量構造として順階層のほう統計的に好まれることを予言した。またニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊における有効質量や、マヨラナ CP 位相についての予言も得られることを明らかにした。[arXiv:2304.14176]

### 4-3：柴田 海輝（金沢大学 計算物性研究室）9:30~9:50 → 8:50~9:10

#### 【磁性トポロジカル絶縁体によるアクシオンの質量の推定】

アクシオンは、強い CP 問題を解決する素粒子および暗黒物質の候補とされている。一方、トポロジカル絶縁体という物質に関する理論でも、アクシオンに対応する粒子が現れると期待される。本研究では、磁性トポロジカル絶縁体である Mn<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>、MnBi<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> に関して第一原理計算を行い、アクシオンの質量を推定した。

### 4-4：石田 恵海（奈良女子大学 素粒子論研究室）9:50~10:10

#### 【電弱スキルミオンダークマターの可能性について】

電弱スキルミオン粒子がダークマターとなりえる可能性を、先行研究 arxiv.1608.03691 ではできていなかった標準理論のゲージ場や隠れた  $\rho$  メソンを考慮して、直接探査実験や残存量の実験結果と比較する。

**4-5：山中拓夢（大阪大学 素粒子論研究室） 10:10~10:30**

**【SU(N) ゲージ対称性に基づく複合粒子暗黒物質模型 (Review)】**

現在の宇宙には、標準模型で記述される粒子の他に暗黒物質 (DM) と呼ばれる正体不明の粒子が存在することが知られている。DM は電氣的に中性かつ安定である必要があり、DM の残存量を記述する理論はこの条件を満たさなければならない。本発表ではこのような模型の一つとして、SU(N) composite DM model を紹介する。この模型では、紫外領域に SU(N) ゲージ対称性に従うフェルミオンを導入する。このフェルミオンは低エネルギーで複合粒子への閉じ込めを起こす。このシナリオにおける DM の安定性は、くりこみ可能な理論を構築することで生じる accidental symmetry によって保証される。本発表では composite DM model におけるダイナミクス及び今後の展望を紹介する。

**4-6：中嶋 陽平（九州大学 素粒子理論研究室） 10:40~11:00**

**【中間子崩壊による暗黒光子生成へのオフシェル暗黒ヒッグス粒子の寄与と FASER での検出可能性】**

FASER は長寿命の粒子を探索することができ、先行研究では中間子崩壊による暗黒光子生成に対してオンシェル暗黒ヒッグスの寄与のみを考えて FASER での検出可能性を調べていた。そこで、暗黒ヒッグスがオフシェルの場合も考えてより広い質量範囲での検出可能性を調べた。本講演ではこの研究成果を報告する。

**4-7：村岡 剛生（金沢大学 素粒子・宇宙・理論物理研究室） 11:00~11:20**

**【domain wall における宇宙論的發展 (Review)】**

宇宙空間上で自発的対称性の破れが起きたときに、モノポールやストリングと言った位相欠陥が発生すると考えられている。Domain wall はこの位相欠陥の一つである。この Domain wall のサイズは宇宙で Hubble scale 程になることがシミュレーションから明らかになっており、このメカニズムに関して One-scale model によって一定の理解が得られた。今回の発表では One-scale model で使われた係数に速度の依存性を持たせ、更に Domain wall のエネルギー消失の機構において明確に scalar 輻射の影響を加えることで、これまでよりもより精度の高い結果を得ることに成功した。なお本発表は、"Phys. Rev. D 93, 043534(2016)" 等に基づくレビュー発表である。

**4-8：宮地 大河（神戸大学 宇宙論研究室） 11:20~11:40**

**【Stochastic tunneling in de Sitter spacetime】**

ドジッター時空中のトンネリングについて論じる。ドジッター時空では時空の加速膨張によって短波長モードが長波長モードに転じていく。本研究ではこの短波長モードを量子的なノイズとして取り入れ、長波長モードのダイナミクスを記述する Stochastic Approach を用いる。さらに、Keldysh 形式を用いることで、上記のドジッター時空の寄与に、有限温度効果も加えたトンネリングを論じる。

**4-9：森 聡一郎（名古屋大学 素粒子論研究室） 11:40~12:00**

**【Target space entanglement in quantum mechanics of fermions at finite temperature(Review)】**

系を2つの領域に分けた時、系が純粋状態の場合はその2つの領域間のエンタングルメントの強さをエンタングルメントエントロピー (EE) を用いて表すことができます。EE は通常 Base space において定義されます。しかし、Base space の空間が0次元であるような行列模型では系の領域を2つに分けることができず、EE が定義できません。その場合は場の住む空間である Target space を2つの領域に分け、その間の EE を考えます。この論文では有限温度 (混合状態) における One matrix model における Target space 上の EE を評価しています。