第 70 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 研究会パラレル A
日時：8/23(金) 13:30-19:00 部屋：310

No.	発表時間	発表者	タイトル
A-1	13:30-13:50	伊藤 蓮	場の量子論における対称性の拡張可能性 〜graded supersymmetry〜
A-2	13:50-14:10	井上 真人	Brane expansions for anti-symmetric line operator index
A-3	14:10-14:30	吉中 譲次郎	The LSZ reduction formula from homotopy algebras
A-4	14:30-14:50	吉田 悠人	BPS 方程式による M5-ブレーンの回転と double Wick 回転
A-5	14:50-15:10	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
A-6	15:10-15:30	古川 裕貴	On something on the lattice to be announced on the day
	15:30-15:45		休憩 (15 分)
A-7	15:45-16:05	古田 悠馬	c=2 の compact boson CFT における T 双対性から定まる topological defect line について
A-8	16:05-16:25	高橋 駿太	Higher Form Symmetries in M-/F-Theory
A-9	16:25-16:45	福田 将来	ヘテロティック弦理論におけるブラックブレーン解
A-10	16:45-17:05	山田 真衣佳	D1-brane の超対称性と境界条件について
A-11	17:05-17:25	新名 宏太朗	超弦理論の低エネルギー有効理論としての de Sitter 時空
	17:25-17:40		休憩 (15 分)
A-12	17:40-18:00	川平 将志	場の量子論の非摂動効果の数学的定式化に向けて
A-13	18:00-18:20	早崎 貴大	エンタングルメント・エントロピーとテンソル繰り込み群
A-14	18:20-18:40	相澤 勇斗	θ項を含む CP（1）模型のセントラルチャージによる相構造解析
A-15	18:40-19:00	谷川 昇右	Non-Lagrangian 理論の BPS クイバー図を用いた Schur 指数の計算

研究会 1 研究会パラレル B
日時：8/23(金) 13:30-15:30 部屋：309

No.	発表時間	発表者	タイトル
B-1	13:30-13:50	安田 航一朗	β崩壊を用いて活動銀河核 NGC 1068 ジェットからのニュートリノとガンマ線の謎を解き明かす
B-2	13:50-14:10	吉本 吏貢	QH 系における analog de Sitter 時空での Gravitational anomaly と Gibbons-Hawking 温度の関係
B-3	14:10-14:30	名古 竜二朗	ゲージ・ヒッグス大統一理論モデルの網羅的構築
B-4	14:30-14:50	小森 柚歩	現実的な弱混合角を持つゲージ・ヒッグス大統一理論の構築に向けて
B-5	14:50-15:10	田原 智治	場の量子論におけるマヨラナニュートリノのカイラル振動確率
B-6	15:10-15:30	塚本 大智	酒井-杉本模型におけるバリオンのエネルギー運動量テンソルと D-term

研究会 2 日時：8/24(土) 15:15-16:35 部屋:xx

No.	発表時間	発表者	タイトル
1	15:15-15:35	竹内 康太	オービフォールド高次元ゲージ理論におけるトレース保存則を用いた境界条件の完全な分類
2	15:35-15:55	田嶋 大雅	確率的インフレーションとドジッター時空中のエントロピー制限
3	15:55-16:15	那須 亮太	くりこみ群によるスカラー場理論での量子誤り訂正の実現
4	16:15-16:35	比嘉 凱亜	磁場のあるオービフォールド上における局在磁束とフェルミオン零モード

研究会 3 日時：8/25(日) 8:45-10:45 部屋:xx

No.	発表時間	発表者	タイトル
1	8:45-9:05	今井 広紀	特異点まわりの巻き付きによるオービフォールド模型への制限
2	9:05-9:25	本田 大和	Action of the axial U(1) non-invertible symmetry on the 't Hooft line operator: A lattice gauge theory study
3	9:25-9:45	木戸 夏矢	圏論から見た場の理論の基本構造
4	9:45-10:05	濱近 諒	't Hooft アノマリーを用いた SO(4) ゲージ理論の相図
5	10:05-10:25	西村皐	機械学習を活用した Froggatt-Nielsen 模型の宇宙論的影響に関する統計的分析
6	10:05-10:25	髙橋 晴輝	NuSTAR as an Axion Helioscope
7	10:25-10:45	高橋 杜羽	Flavino dark matter in a non-Abelian discrete flavor model

第 65 回原子核三者若手夏の学校

口頭発表概要集

口頭発表 8 月 23 日 (金)13:30-19:00:A パート

A-1：伊藤 蓮 (大阪公立大学 数理物理 (表現論) 研究室)

【場の量子論における対称性の拡張可能性 〜graded supersymmetry〜】

場の理論では，Coleman-Mandula の定理という対称性に関する禁止定理が存在する．しかし，Lie 代数を反交換子を含むように拡張したことでこの定理を回避できることが知られており，これは超対称性とよばれる．近年，この反交換子を含む拡張には様々な拡張があることがわかり，勢力的に研究がなされている．本講演では，このような拡張された超対称性が場の理論に適用可能であるかについて研究した成果について報告する．

A-2：井上 真人 (東京工業大学 素粒子論研究室)

【Brane expansions for anti-symmetric line operator index】

本講演では，ゲージ群 U(N) の反対称表現に属する Wilson line 演算子を挿入した 4 次元 N=4 SYM の超共形指数についての Giant Graviton 展開を提案し、AdS/CFT 対応の重力側の計算により，有限の N に対する指数が正しく得られることを数値的に確認する。

A-3：吉中 譲次郎 (京都大学 素粒子論研究室)

【The LSZ reduction formula from homotopy algebras】

弦理論のループを含む散乱振幅は素朴には IR 発散を含む。この発散を処理するためには、弦の第二量子化である弦の場の理論を考え、質量繰り込みをする必要がある。弦の場の理論は無限種類の場を含む複雑な理論であるが、ホモトピー代数を用いて記述することができる。ホモトピー代数は場の理論や弦の場の理論の背後にある代数構造であり、これを利用することで様々な性質や物理量を理論の詳細に依らずに記述することができる。

A-4：吉田 悠人 (筑波大学 素粒子論研究室)

【BPS 方程式による M5-ブレーンの回転と double Wick 回転】

IIA 超弦理論の強結合極限である M 理論は、M2-ブレーンと呼ばれる 2 次元の膜と、M5-ブレーンと呼ばれる 5 次元の膜の 2 種類によって構成されていることが知られている。M2-ブレーンについては、ABJM 理論や行列模型をはじめとする様々な理論から明らかになりつつあるものの、M5-ブレーンについては、どのようなラグランジアンで記述されるかといった基本的なことすら理解されていない。本発表では、BPS 状態という超対称性を一部だけ保存する状況で見られる、M5-ブレーンの回転について説明する。また、超弦理論の

非摂動な定式化である行列模型との対応を調べるため、double Wick 回転についても言及する。

A-5：宮地 大河 (神戸大学 素粒子宇宙理論研究室)

【完全 WKB 解析を用いたブラックホール準固有振動の解析】

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。

A-6：古川 裕貴 (東京大学 駒場素粒子論研究室)

【On something on the lattice to be announced on the day】

which depends on my progress from the deadline for registration.

A-7：古田 悠馬 (京都大学 数理解析研究所 数理物理)

【c=2 の compact boson CFT における T 双対性から定まる topological defect line について】

ある理論からほかの理論を得る操作として orbifold というものがある。特に理論が orbifold をしても元の理論と等価なとき，元の理論の対称性は圏論的な対称性へと拡張することができる。今回は中心電荷が 2 のコンパクトボソンが成す CFT において，orbifold の操作をしても元と T 双対になる条件を調べることで新たな圏論的対称性を探索する。

A-8：高橋 駿太 (京都大学 数理解析研究所 場の量子論・数理物理)

【Higher Form Symmetries in M-/F-Theory】

TBA

A-9：福田 将来 (東北大学 素粒子・宇宙理論研究室)

【ヘテロティック弦理論におけるブラックブレーン解】

近年、コボルディズム予想をヘテロティック弦理論に適用することにより $\pi_n(G)$ で分類される charge を持つようなブレーンの存在が示唆された。ここで、G はヘテロティック弦理論のゲージ群 $Spin(32)/\mathbb{Z}_2$ または $(E_8 \times E_8) \rtimes \mathbb{Z}_2$ である。本研究では、このブレーンに対応するブラックブレーン解、つまり低エネルギー有効理論における運動方程式の解を数値計算によって具体的に構成し、ブレーンの存在に対する証拠を与えた。本発表では、このブラックブレーン解について紹介する。

A-10：山田 真衣佳 (大阪公立大学 素数理物理（場の理論・弦理論）研究室)

【D1-brane の超対称性と境界条件について】

本発表では、D1-brane について Type IIB 超弦理論と同様の超対称性が現れる場合を考える。

A-11：新名 宏太朗 (基礎物理学研究所 素粒子論グループ)

【超弦理論の低エネルギー有効理論としての de Sitter 時空】

有効場の理論において、一見無矛盾であるが弦理論の低エネルギー理論として実現しないものを swampland といい、実現可能な理論は landscape と呼ばれる。我々の宇宙は宇宙定数が正であり、標準的な宇宙論模型では de Sitter 時空に対応する。本発表では、de Sitter 時空が swampland であるのか、landscape であるのかについての最近の研究を review する。

A-12：川平 将志 (京都大学基礎物理学研究所 素粒子論グループ)

【場の量子論の非摂動効果の数学的定式化に向けて】

近年、Kevin Costello とその共同研究者たちによって、摂動論的場の量子論が数学的に定式化された。この定式化では因子化代数と呼ばれる、ある種の関手が中心的役割を果たす。本発表では、因子化代数を用いた非摂動効果（特にインスタントン効果）の定式化について議論する。

A-13：早崎 貴大 (金沢大学大学 素粒子・宇宙・理論物理研究室)

【エンタングルメント・エントロピーとテンソル繰り込み群】

エンタングルメント・エントロピー（EE）は量子臨界現象を特徴づける物理量であり、臨界点の位置の決定にも用いることができる。我々は EE の数値解析を通して場の量子論の臨界現象について研究する。特に高次元や符号問題を含む模型への適用を目指して、テンソル繰り込み群を用いた解析を行なっている。本発表では、その第一歩として主に、1+1 次元イジング模型における EE の数値解析結果について議論する。また、1+1 次元の実スカラー場の ϕ^4 理論における EE の解析についても少し触れる。

A-14：相澤 勇斗 (金沢大学 素粒子・宇宙・理論物理学研究室)

【θ 項を含む CP（1）模型のセントラルチャージによる相構造解析】

テンソル繰り込み群を用いて格子上の θ 項を含む CP（1）模型のセントラルチャージを計算した。セントラルチャージは 2 次相転移点で有限の値を持つ量であり、相構造解析に用いることができる。セントラルチャージによって得られた相構造解析は先行研究から予想される BKT 転移を示唆する結果となった。

A-15：谷川 昇右 (大阪公立大学 数理物理（場の理論・弦理論）研究室)

【Non-Lagrangian 理論の BPS クイバー図を用いた Schur 指数の計算】
4 次元 N=2 超共形場理論にはラグランジアンをどう記述するかわからない理論、Argyres-Douglas 理論（AD 理論）が存在する。ラグランジアンを知らない場合、分配関数や共形指数などの統計的な情報を得ることは困難である。しかし、理論のモジュライ空間の幾何的な情報から AD 理論の Schur 指数を得る方法が存在する。本発表ではこの方法を紹介する。

口頭発表 8 月 23 日 (金)13:30-15:30:B パート

B-1：安田 航一朗 (UCLA TEPAPP)
【β崩壊を用いて活動銀河核 NGC 1068 ジェットからのニュートリノとガンマ線の謎を解き明かす】
本研究では、IceCube 実験によって検出された近傍の活動銀河 NGC 1068 からの TeV ニュートリノが、ジェット中の紫外線光子に原子核が光崩壊する際に生成される中性子のベータ崩壊によって説明できることを示した。原子核の光解離は数 PeV 以上のエネルギーで発生し、観測された 1-100 TeV のニュートリノのエネルギーを説明できる。さらに、ベータ崩壊に伴うガンマ線のフラックスは、ニュートリノのフラックスよりも低いと予想され、これは p γ反応だけからの予想に比べて観測されたガンマ線が少ない NGC 1068 の観測と一致する。このシナリオは、NGC 4151 のような他のジェット構造をもつ Seyfert 銀河にも適用可能である。今後、詳細なニュートリノのフレーバー比の測定によって、観測されたニュートリノの起源がベータ崩壊であることを確認できると期待される。

B-2：吉本 吏貢 (名古屋大学 QG 研)
【QH 系における analog de Sitter 時空での Gravitational anomaly と Gibbons-Hawking 温度の関係】
Gravitational anomaly は特定の次元で理論に含まれる matter がカイラルな時に現れる一般座標変換不変性に関する anomaly でエネルギー運動量テンソル (EMT) の保存則の破れを表している。Wilczek と Robinson は BH の horizon 近傍で外部の力学に影響を与えない ingoing mode を無視することで発生する Gravitational anomaly の相殺を考え、その結果 Hawking 放射が出ることを示した。[1] ここではこの方法を QH system における analog de Sitter[2] に応用する。QH 系の edge mode がカイラルであることから [1] のように anomaly の存在が仮定ではなく厳密な計算になっている。また、[1] の方法は従来の de Sitter 時空に対しては anoamly が消えてしまい BH の例のように用いることができないが、QH 系では boundary の効果として計算することができ、正しい Gibbons-Hawking 温度を再現する

ことを示す。

[1]S. P. Robinson and F. Wilczek, Physical review letters 95, 011303

[2]M. Hotta, Y. Nambu, Y. Sugiyama, K. Yamamoto, and G. Yusa,Phys. Rev. D 105, 105009 (2022)

B-3：名古 竜二朗 (大阪公立大学 素粒子論研究室)

【ゲージ・ヒッグス大統一理論モデルの網羅的構築】

標準模型を超える理論が待ち望まれている。ゲージ・ヒッグス大統一理論はその候補の一つで，ゲージ・ヒッグス統合理論と大統一理論を組み合わせた理論である。この理論は非常にシンプルかつ強力であるが，観測と整合する具体的なモデルは未だに得られていないのが現状だ。したがって，モデルを広く探索するのが重要である。本発表ではそのモデル探索の方法についてお話したい。まずゲージ・ヒッグス統合理論と大統一理論を紹介し，その後 5 次元 SU(6) ゲージ・ヒッグス大統一理論のモデル探索について述べる。ここである一つの要請を導入するだけで可能なモデルが 3 種類に制限されることを示す。

B-4：小森 柚歩 (大阪公立大学 素粒子論研究室)

【現実的な弱混合角を持つゲージ・ヒッグス大統一理論の構築に向けて】

弱混合角 $\sin^2\theta_W = \frac{1}{4}$ を予言する 6 次元 SU(7) ゲージ・ヒッグス大統一理論について議論する。特に、ゲージセクターの構造について明らかにした。

B-5：田原 智治 (広島大学 素粒子ハドロン理論研究室)

【場の量子論におけるマヨラナニュートリノのカイラル振動確率】

本研究では、フレーバー固有状態をレプトン数で定義し、マヨラナニュートリノのカイラル振動確率を場の量子論に基づき定式化する。ニュートリノのフレーバー固有状態は、マヨラナ質量項の下でレプトン数が保存されず、時間変化する。我々は Bogoliubov 変換を用いて、フレーバー固有状態の時間発展を記述できた。これにより、ニュートリノ振動によるレプトン数の時間変化を遷移確率として理解できる。本発表では、新たに定式化した振動確率と、それに伴う物理描像について説明する。

B-6：塚本 大智 (京都大学 素粒子論)

【酒井-杉本模型におけるバリオンのエネルギー運動量テンソルと D-term】

エネルギー運動量テンソルの行列要素である重力形状因子と呼ばれる量がハドロンの構造を記述する重要な指標として近年実験、理論両分野で注目を集めている。その中でも D-term と呼ばれる物理量はハドロンの内部応力に関する情報を持ち、質量やスピンにならぶハドロンの基本的な量として重要な研究対象となっている。理論分野ではさまざま

な理論でハドロンの D-term が計算され、その値が予言されている。本研究ではホログラフィック QCD の一つである酒井-杉本模型でバリオン数 1 のバリオンを数値的に構成し、そのエネルギー運動量テンソルと D-term を求めた。求めた D-term の値はおよそ-2.05 であり、他のハドロン有効模型と同程度の値が得られた。

口頭発表 8 月 24 日 (土)15:15-16:35

1：竹内 康太 (広島大学 素粒子ハドロン理論研究室)

【オービフォールド高次元ゲージ理論におけるトレース保存則を用いた境界条件の完全な分類】

コンパクト空間をもつ高次元ゲージ理論では境界条件に無数の選択肢が存在し、境界条件の選択により実現される物理が異なる。これは高次元理論の豊かさを表す一方で境界条件に恣意性があることを意味する。境界条件の任意性問題は説得力のある統一理論を構成する上で重大な障害になっている。いくつかの境界条件はゲージ変換で結びつき、物理的に等価な同値類を構成する。我々は S^1/Z_2 及び $T^2/Z_m(m = 2,3,4,6)$ オービフォールド上の SU(N) 及び U(N) ゲージ理論において「トレース保存則」という強力な必要条件を用いることで同値類の分類を完成させ、同値類の個数の正確な導出に初めて成功した。本発表では同値類の新たな分類手法とその結果について報告する。

2：田嶋 大雅 (名古屋大学 重力・素粒子的宇宙論研究室)

【確率的インフレーションとドジッター時空中のエントロピー制限】

ドジッター時空中では空間膨張の効果によって、ハッブル地平面と呼ばれる事象の地平面が現れる。ホログラフィー原理からハッブル地平面の内部のエントロピーはその地平面の面積エントロピーで制限される。しかし、Arkani-Hamed らにより、長いインフレーション、特に永久インフレーションを考えると、このエントロピー制限が破れると予想された。このことを確率的インフレーションのモデルを用いて確認する。さらに、この問題はブラックホール情報喪失問題と並行した議論ができると予想する。この予想に基づき、エントロピー制限を破らないように地平面内部のエントロピーが振る舞う指標を、体積平均を取った状態を用いて得る。

3：那須 亮太 (静岡大学 土屋研究室)

【くりこみ群によるスカラー場理論での量子誤り訂正の実現】

本発表では、スカラー場理論に対するくりこみ群により量子誤り訂正符号が phi^4 相互作用理論の摂動の１次までで実現される具体例を示す。赤外領域のコヒーレント状態を用い q-

準位系を構成する。q-準位系に基底状態のくりこみ群の流れを表すユニタリ演算子 U の逆を作用させることで、紫外領域の状態に符号化する。誤りとしてコヒーレント状態を生成する演算子を考え、符号化された状態が誤り訂正可能である状況を Knill-Laflamme 条件を用いて分析する。

4：比嘉 凱亜 (広島大学 素粒子ハドロン理論研究室)

【磁場のあるオービフォールド上における局在磁束とフェルミオン零モード】

背景磁場がかかったオービフォールドは弦理論や高次元の場の理論を 4 次元にコンパクト化する上で重要な役割を果たす．特に，磁束はカイラルフェルミオンにつながり，超対称性の破れの起源になり得ると考えられている．一般に，オービフォールド上の特異点周りではウィルソン線積分が非自明となり，これが局在磁束として解釈される．本発表では，T^2/Z_2 オービフォールド上のベクトル束の遷移関数と，零モード波動関数の境界条件の関係について紹介する．なお本発表は，arXiv: 1810.06362v1[hep-th] に基づくレビューである．

口頭発表 8 月 25 日 (日)8:45-10:45

1：今井 広紀 (大阪公立大学 素粒子理論研究室)

【特異点まわりの巻き付きによるオービフォールド模型への制限】

磁束のかかった 2 次元オービフォールドにコンパクト化された 6 次元理論を考える。オービフォールドには特異点が存在し、ゼロモード関数は特異点まわりの巻き付きにより分類されることがわかっている。本講演では左手型・右手型フェルミオンを導入し、湯川結合と整合する特異点まわりの巻き付きパターンを図で説明する。本講演は丸信人氏との共同研究 arXiv:2311.10324 に基づく。

2：本田 大和 (九州大学 素粒子理論研究室)

【Action of the axial U(1) non-invertible symmetry on the ’t Hooft line operator: A lattice gauge theory study】

格子場の理論の一種である modified Villain 形式によって、アクシオン電磁気学における non-invertble symmetry を議論することを試みた。この定式化では、’t Hooft loop の内側に膜が張られることを明らかにした。さらに、’t Hooft loop は non-invertible symmetry opwerator の作用の下で何の変化も起きないことを示した。

3：木戸 夏矢 (茨城大学 素粒子論研究室)

【圏論から見た場の理論の基本構造】

様々な数学の理論は背後に圏論的構造を持っているが，これは数学を基本言語とする物理学も例外ではない．そこで，物理学，特に場の理論における圏論的構造を浮き彫りにし，場の理論への数学的理解を深め，また逆に圏論における概念を持ち込むことにより，場の理論の発展・拡張を議論する．その際，ファイバー束をはじめとした微分幾何的な概念を念頭において議論をおこなう．

4：濱近 諒 (大阪公立大学 数理物理（場の理論・弦理論）研究室)

【‘t Hooft アノマリーを用いた SO(4) ゲージ理論の相図】

近年 Gaiotto らにより、SU(N) ゲージ理論の中心対称性と時間反転対称性との間の混合 ‘t Hooft アノマリーの存在が発見された。また、このアノマリーの存在と矛盾なく、閉じ込めを再現する相図が作られた。今回この議論を応用して、SO(4) ゲージ理論の相図について議論する。

5：西村皐 (九州大学 素粒子理論研究室)

【機械学習を活用した Froggatt-Nielsen 模型の宇宙論的影響に関する統計的分析】

本研究では、機械学習の一種である強化学習を用いてクォーク・レプトンのフレーバー構造を分析する手法に基づき、宇宙論的影響を考慮したパラメータ探索を実施する。具体例として U(1) フレーバー対称性を持つ Froggatt-Nielsen 模型に着目し、繰り込みスケールに応じた現実的なパラメータ解の分布が明らかになった。また宇宙観測から厳しく制限されるドメインウォール問題を念頭に、着目したラグランジアンが導くドメインウォール数の分布を導いた。これらの分析により、広大なパラメータ空間を背景とした統計的性質を議論する。

6：髙橋 晴輝 (総合研究大学院大学・KEK 理論センター)

【現実的な弱混合角を持つゲージ・ヒッグス大統一理論の構築に向けて NuSTAR as an Axion Helioscope】

アクシオンはダークマターの候補であり、地上実験や宇宙観測などにより探査されてきた。アクシオンが存在する場合、恒星内部の強い電磁場で大量に生成されると予想されている。そのアクシオンが太陽大気の磁場で X 線に変換されると、その変換を利用して間接的にアクシオンを探査できる可能性がある。2020 年の太陽活動極小期に NuSTAR 衛星で取得された X 線データを用い、最新の太陽大気の磁場モデルに基づきアクシオンと光子の結合に対して、現在得られている地上実験の結果を上回る制限が与えられた。本発表では、この制限を与えた論文 arXiv:2407.03828 [astro-ph.CO] をレビューする。

7：高橋 杜羽 (新潟大学 素粒子理論研究室)

【Flavino dark matter in a non-Abelian discrete flavor model】

A_4 フレーバー対称性を持った模型における暗黒物質について発表する。フレーバー模型におけるスカラー場 (フラボン) のセクターでは超対称性の破れの効果が小さいと仮定する。本公演では、最も軽いフラボンの超対称パートナー (フラビーノ) を暗黒物質と仮定し、レプトンフレーバーの破れによる制限を考慮した残存量の計算を行った。時間が許せば、直接検出、間接検出、コライダー探索などについても簡単に述べる。