

<https://www2.kek.jp/theory-center/theory/>

理論センターでは、関係分野の研究会・ワークショップ等を幅広く開催している。分野を広くカバーするものや、実験との連携を意図したもの、若手向けのスクールなど、目的もさまざまである。2023年には、これまでに以下の研究会等を開催・共催した。

- LHC/Planck 後の超弦塾・ミニワークショップ、2023年6月6日
https://research.kek.jp/people/mizoguch/website/superstring_juku_mineworkshop_program.pdf
- 第27回Bファクトリー物理勉強会、2023年6月30日（場所は名古屋大学）
<https://kds.kek.jp/event/46658/>
- KEK 研究会「熱場の量子論とその応用」、2023年8月28日～30日
<https://www.riise.hiroshima-u.ac.jp/TQFT/html2023/tqft2023.html>
- Intensive lectures on BH and de Sitter、2023年8月31日～9月1日
- Bファクトリー物理勉強会 第28回ミーティング、2023年9月8日（場所は新潟大学）
<https://kds.kek.jp/event/48011/>
- International workshop on J-PARC hadron physics 2023 (J-PARC Hadron 2023), 2023年9月12日～15日（東海キャンパス）
<https://kds.kek.jp/event/46237/>
- 集中講義「(自然な SO(10), E6)大統一理論入門」、2023年9月26～28日
<https://conference-indico.kek.jp/event/242/>
- Belle II Physics Week, 2023年10月30日～11月3日
<https://indico.belle2.org/event/9402/>

また、素核研主催の下記のワークショップにも共催・協力した。

- Neutron Fundamental Physics Workshop, 2023年9月21～22日
<https://kds.kek.jp/event/47854/>
- Muon acceleration and future colliders with muon, 2023年11月2日
<https://kds.kek.jp/event/48168/>

これらのうちから、いくつかのワークショップについて報告する。

- KEK 研究会「熱場の量子論とその応用」
<https://www.riise.hiroshima-u.ac.jp/TQFT/html2023/tqft2023.html>
2023年8月28日から8月30日にかけて、KEK 研究本館・小林ホールにて KEK 研究会「熱場の量子論とその応用」がハイブリッド形式で開催されました。この研究会は、

コロナウイルス危機後、初めての完全な形での開催となり、約 100 名の現地参加者と約 60 名のオンライン参加者を迎え、大変な盛況となりました。「熱場の量子論とその応用」は、今年で 30 回目の開催を迎える歴史ある会です。この研究会では、「熱場の量子論」をキーワードとして、最新の研究進展や新たな課題に関する理論・実験・観測の議論が行われています。今回は、アクティブマター、量子多体傷跡状態、初期宇宙、中性子星クラスト物質、強い電磁場の物理、光渦といった多彩なテーマに関して、各分野から専門家 6 名を招待し講演をお願いしました。招待講演に加え、全体講演と平行セッションを設け活発な議論が行われました。3年ぶりの完全な形での現地開催で参加者同士の交流や議論が深まり、今後のさらなる研究の発展が期待されます。



- (自然な $SO(10)$ E6) 大統一理論入門

2023 年 9 月 26 日から 28 日にかけて、KEK 理論センターで入門連続講義「(自然な $SO(10)$, E6) 大統一理論入門」が行われました。講師は名古屋大学 KMI の前川 展祐さんです。全国から 30 名を超える参加者があり、収容人数の関係で早々に登録を締め切りました。特に今回は、学部生向けに特別な案内をしていないにもかかわらず、熱心で意欲ある学部生の方が何人も応募、参加してくれました。前川さんには、初歩的なレベルから「自然な」大統一理論に関する現状と展望に至るまで、大変わかりやすく丁寧に解説していただきました。



- 国際研究会「J-PARC で展開されるハドロン物理 2023 (J-PARC Hadron 2023)」

<https://kds.kek.jp/event/46237/>

2023 年 9 月 12 日～15 日にかけて AYA'S LABORATORY 量子ビーム研究センター (AQBRC, 茨城県東海村)にて、J-PARC で展開されるハドロン物理全般に関する国際研究会を行った。そこではストレンジ核物理・核媒質中のハドロン・ヘビークォークの物理 (エキゾチックハドロンを含む)・高エネルギー



重イオン衝突など、幅広いトピックに関して理論家・実験家が一緒になり議論を行った。

久々の現地参加を主とする研究会ということもあり、参加者はセッション中のみならず休憩時間やバンケットの最中にも熱心に議論を行っていた。また2日目午後にはJ-PARC ツアーを行い、ハドロンホール・MLF・ニュートリノ施設の見学を行った。実験装置を前にして、説明員に細かな質問する参加者もしばしば見られた。本研究会によって、参加者はJ-PARCにおけるハドロン物理について、これまで以上に深く理解ができたであろう。また様々な場面での議論を通じて、新しいアイデアや共同研究が生まれたと期待される。

本研究会には「COVID-19 騒動で分断された、アジア圏の研究者間のネットワークを回復したい」という狙いもあった。アジア圏(中国・韓国・台湾・フィリピン・ミャンマー・オーストラリア)のハドロン研究者が国籍を問わず議論や交流を楽しんでいたことから、かなりこの目的も達成できたのではないかと世話人は自負している。以前よりも絆は強くなったようにすら思われた。

・参加者情報:全参加者 134 人(現地:84 人, オンライン:50 人)、参加者国:中国・韓国・台湾・フィリピン・ミャンマー・オーストラリア、ハンガリー・ドイツ

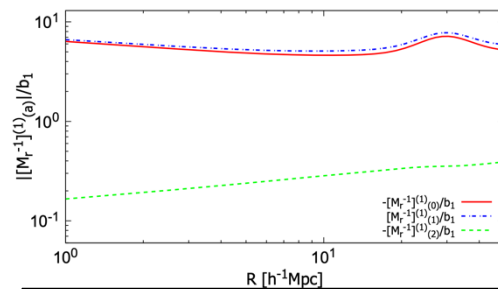
理論センターからの発表論文は、随時

<https://www2.kek.jp/theory-center/theory/preprint/>

でアップデートしている。これらのうち、2023 年 4 月以降の主な成果を紹介する。

- 宇宙の大規模構造における歪度パラメータの整合性関係と重力理論の検定 [Daisuke Yamauchi, Shoya Ishimaru, Takahiko Matsubara, Tomo Takahashi, Phys. Rev. D 107 (2023) 043526]

宇宙の大規模構造の統計量をもとに、重力理論を検証することができる。その新しい一つの方法として、銀河数密度のゆらぎ分布に対するいくつかの歪度パラメータを提案し、その性質を調べた。その結果、複数ある歪度パラメータの特定の線形結合が密度対比の 2 次カーネルの係数に対応することを発見した。これは整合性関係とみなされ、一般相対性理論や修正重力理論の検定に利用できることを明らかにし



重力理論に対して、新たに発見した整合性関係の係数をスケールの関数として表したものの、この係数を使って、重ね合わせた歪度パラメータの線形結合が1にならない場合、標準的な重力理論であるアインシュタイン重力理論が破れていることを示唆する。

た。また、歪度パラメータの解析を実空間から赤方偏移空間へと拡張し、赤方偏移空間歪度についてその整合性関係を拡張して導出した。

- マルチクォーク状態を通じてクォークの閉じ込めを調べる [Guang-Juan Wang, Makoto Oka, and Daisuke Jido, Phys. Rev. D 108, L071501.]
A new color basis system and confinement mechanism for multiquark systems are proposed according to the string-type picture of QCD. The color string configurations in the strong coupling QCD are implemented in the set of color basis states. The extended color Hilbert space for $QQ\bar{Q}\bar{Q}$ systems includes a "hidden color" state, which mixes with two-meson states $Q\bar{Q} + Q\bar{Q}$. This mixing effect leads to an attractive potential sufficient to form a bound state. We apply a realistic Hamiltonian model with the new scheme to fully charmed tetraquark states, $cc\bar{c}\bar{c}$, and find a bound and two resonant states, which could potentially correspond to the $cc\bar{c}\bar{c}$ tetraquark candidates recently observed in experiments.

- 宇宙初期のレプトンフレーバー非対称性に対する新たな制限 [Valerie Domcke, Kyohei Mukaida, Kai Schmitz, Masaki Yamada, "New Constraint on Primordial Lepton Flavor Asymmetries," Phys. Rev. Lett. 130 (2023) 26, 261803]

宇宙初期ではどのくらいの非対称性が許されているだろうか？標準模型に備わっている電弱スファレロンによってバリオン数とレプトン数は結びついている。したがって、電弱スファレロンが脱結合する前のレプトン非対称性は、観測されている現在の小さなバリオン非対称性によって制限される。一方、レプトンフレーバー非対称性は、電弱スファレロンによるバリオン非対称性への変換が荷電レプトン湯川相互作用によって抑制された形でしか起こらないため、レプトンフレーバー非対称性はかなり大きな値まで許されると考えられてきた。本研究では、バリオン・レプトンのアノマリー方程式が $SU(2)_W$ と $U(1)_Y$ 双方で破れることに着目し、 $SU(2)_W$ に起因する電弱スファレロンでなく $U(1)_Y$ によるバリオン非対称性への転換が卓越する可能性があることを指摘した。標準模型はカイラルな理論なため、非対称性とはカイラル非対称性のことである。宇宙にカイラル非対称性があると $U(1)_Y$ がそれを感じ、カイラルプラズマ不安定性を通じてヘリカルな $U(1)_Y$ 磁場が爆発的に生成される。このヘリカルな $U(1)_Y$ 磁場は、電弱相転移時の化学輸送過程に湧出項として作用するため、バリオン非対称性が生成されることになる。この非平衡過程によって、レプト

ンフレーバー非対称性と現在のバリオン非対称性が関連づき、宇宙初期に許されるレプトンフレーバー非対称性の大きさが制限されることになる。宇宙の温度が 100TeV 程度以上でレプトンフレーバー非対称性がある場合について、その許される大きさについて従来よりも厳しい制限を与えた。