

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

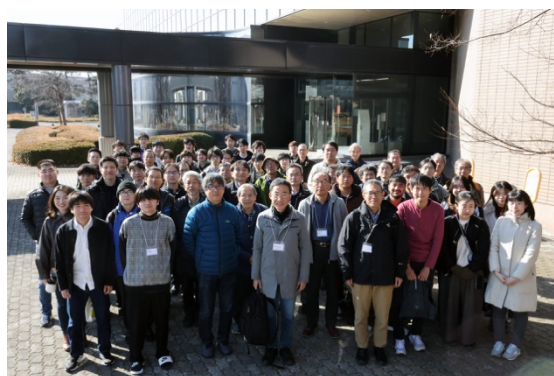
理論センターでは、関係分野の研究会・ワークショップ等を幅広く開催している。2025年度後半には以下の研究会等を開催・共催した。

- Belle II Physics Week 2025, Oct 6–10, 2025, <https://indico.belle2.org/event/14981/overview>
- Neutrino Interactions for Current and Future Experiments, Oct 27–29, 2025, <https://conference-indico.kek.jp/event/341/>
- J-PARC Hadron 2025: “femtосcopy and J-PARC” at RCNP, Dec 8–10, 2025 <https://kds.kek.jp/event/54304/>
- KEK Theory Workshop 2025, Dec 16–18, 2025, <https://conference-indico.kek.jp/event/339/overview>
- 2<sup>nd</sup> AI+HEP in East Asia Workshop, Jan 19–23, 2026, <https://conference-indico.kek.jp/event/355/>
- KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2026winter), Feb 16–19, 2026, <https://conference-indico.kek.jp/event/334/>
- IPNS One-day workshop: DESI and related physics, Feb 26, 2026, <https://sites.google.com/view/desi1daykek/home>
- KEK-Cosmo 2025, Mar 2–5, 2026, <https://www-conf.kek.jp/KEKCosmo-AY2025/>
- Concepts of Quantum and Space-time, Mar 9–12, 2026, <https://www-conf.kek.jp/CQS2026/>

これまでに開催したワークショップのいくつかについて報告する(素核研ホームページより)。

- KEK Theory Workshop 2025, Dec 16–18, 2025 <https://conference-indico.kek.jp/event/339/overview>

KEK Theory Workshop 2025 が 12 月 16 日(火)から 12 月 18 日(木)までの 3 日間にわたり、KEK3 号館セミナーホールにて行われました。この研究会では毎年、注目すべきテーマを決めて招待講演者を選んでいきます。今年は、近年話題になっている「場の理論におけるトポロジーの問題」を中心テーマとしました。

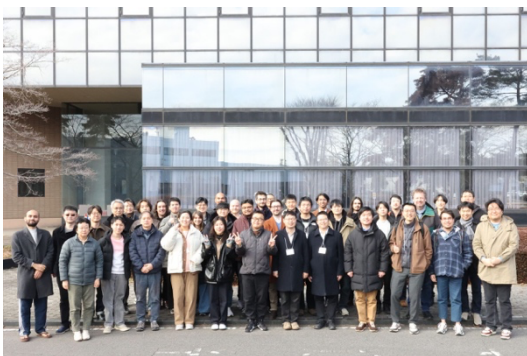


トポロジーとは、形の細部ではなく「つながり方」に注目する考え方で、場の理論において境界に現れる現象を理解する手がかりとなっています。本研究会では特に、空間に「境界」が存在する場合の場の理論にまつわる話題、膨張宇宙をその境界上に定義された場の理論で表そうとする試み、さらには量子開放系(外部環境と相互作用する量子系)のダイナミクスについて議論が行われました。とりわけ、開放系に特有の非線形性や、非エルミート性(通常の量子力学で仮定される性質が成り立たない状況)が引き起こすさまざまな現象について、活発な議論がなされました。

こうした多様な話題が、「トポロジー」や「境界」といったキーワードで互いに密接に結びつき、全体を通して統一感のある、ユニークな研究会となりました。また、招待講演者が物性理論、量子重力、場の理論といった異なる分野から集まっていたにもかかわらず、分野の垣根を感じることなく議論が進んだことは、理論物理の奥深さを改めて実感させるものでした。

(素核研ウェブページより <https://ipnsweb.kek.jp/wordpress/ja/news/7968/>)

- 2<sup>nd</sup> AI+HEP in East Asia Workshop, Jan 19–23, 2026, <https://conference-indico.kek.jp/event/355/>



1 月 19 日から 23 日にかけて「第 2 回 AI+HEP in East Asia」が開催されました。この研究会は、東アジアを中心とする研究者が KEK つくばキャンパスに集い、高エネルギー物理学(HEP)における人工知能(AI)の最新動向と将来展望を議論する国際的な取り組みです。

第2回はハイブリッド形式で開催され、60機関以上、10を超える国・地域から87名が参加しました。

高エネルギー物理学の分野では、AIを研究に活用する取り組みが近年急速に進展しており、関連する国際会議も数多く開催されています。一方で、アジア地域内における連携は、これまで必ずしも活発とは言えない状況でした。AI+HEP in East Asiaは、こうした状況を改善することを目的とした取り組みの一つとして企画されています。

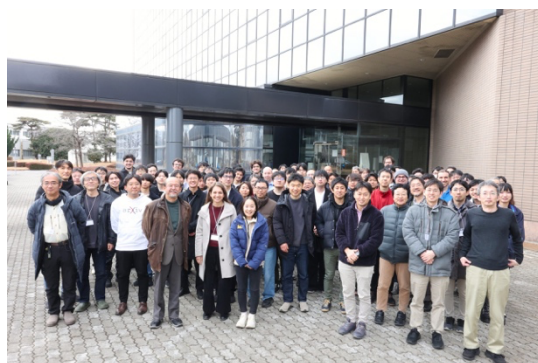
AIに関するHEP分野の論文数は、INSPIREなどのデータベースでは2018年には約50件でしたが、2025年には400件を超え、現在では研究に不可欠な要素となっています。実験分野において測定器上に残された粒子の痕跡から元の粒子を同定する技術、異常事象の検出、さらには素粒子相互作用の原理計算や時空構造に関する計算、重力波の解析など、マクロからマイクロに至る幅広いスケールでAIが活用されています。また、大規模言語モデルの発展を背景に、理論計算・数値計算・データ解析といった研究プロセス全体を、複数のAIが連携して実行する枠組みが注目されています。AIの推論能力が向上する中で、将来的には新たな理論の創出にAIが直接関与する可能性も期待されています。この研究会は、こうした分野のダイナミックな研究動向を俯瞰できる貴重な機会となりました。「AI+HEP in East Asia」は、今後も東アジアにおけるAIと高エネルギー物理学の連携強化を目的として継続的に開催される予定です。

(素核研ウェブページより <https://ipnsweb.kek.jp/wordpress/ja/news/8060/>)

- KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEK-PH2026winter), Feb 16-19, 2026

<https://conference-indico.kek.jp/event/334/>

2025年度のKEK素粒子現象論研究会(KEK Theory Meeting on Particle Phenomenology, KEK-PH)が、2月16日から19日までKEKつくばキャンパスで開催されました。本研究会は20年以上の歴史を有し、海外からも多くの研究者が参加しています。今



回は素核研ワークショップと合同で開催され、若手研究者を中心に約 100 名が参加し、多数の発表が行われました。

本研究会では、素粒子標準模型からその拡張理論、さらには宇宙論に至るまでの多様な話題について、最新の研究動向を踏まえつつ、素粒子物理学および宇宙物理学が今後進むべき方向性を探ることを目的として、活発な議論が交わされました。

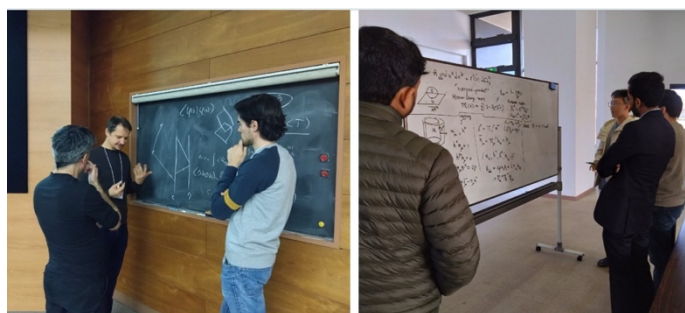
現在進行中の Belle II 実験、LHC 実験、FASER 実験の最新成果と将来展望、新物理探索に向けたさまざまな理論的・実験的アプローチに加え、素粒子・原子核・宇宙物理学を横断する最先端の話題として、Electron-Ion Collider (EIC) 計画、ガンマ線観測による暗黒物質探索、ACT 実験による宇宙背景放射観測など多くの講演が行われました。さらに、量子機械学習や AI の応用といった新しい研究に関する講演も行われ、多彩で魅力的なプログラムとなりました。

(素核研ホームページより <https://ipnsweb.kek.jp/wordpress/ja/news/8081/> )

- Concepts of Quantum and Space-time, Mar 9-12, 2026

<https://www-conf.kek.jp/CQS2026/>

KEK 理論センターと理化学研究所 iTHEMS が共催する国際会議“Concepts of Quantum and Spacetime”を、3月9日から12日にかけて KEK つくばキャンパスにて開催しました。



「量子とは何か？」と「時空とは何か？」という二つの根本的な問いは、深く絡み合っています。本会議では、「量子論と時空をいかに整合的に理解できるか」という問いについて、基礎

的かつ広範な視点で議論し、今後 100 年にわたる量子論の方向性を模索しました。オープンな姿勢のもとで多様なアイデアが共有され、量子論の基礎、量子重力、時空の創発、半古典的重力の定式化、自然界の基礎的性質の実験、量子多体系および熱力学の基礎など、多岐にわたるトピックが取り上げられました。

さまざまな国、世代、分野から約 90 名の研究者が参加し、そのうち約 40%が海外からの参加でした。14 名の基調講演者が量子論と時空に関する自らのビジョンを語りました(講演スライドはウェブサイト公開中)。また、選抜された 13 件のショートトークと 22 件のポスター発表はいずれもハイレベルでした。

専門分野や視点の違いに起因する意見の相違は活発な議論を生み、新たな研究の着想につながりました。これは、特定の手法や理論的枠組みに限定されないテーマ設定と、率直な対話が行われるオープンな雰囲気によるものと考えられます。

(素核研ホームページより <https://ipnsweb.kek.jp/wordpress/ja/news/8300/> )

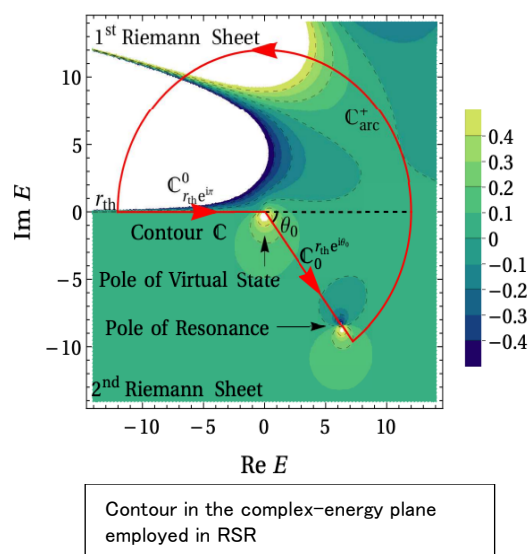
理論センターからの発表論文は、随時

<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、2025 年 10 月以降の主な成果を紹介する。

- 「共鳴和則」 [Zi-Xi Ou-Yang, Philipp Gubler, Makoto Oka, Guang-Juan Wang, Jia-Jun Wu, “Resonance sum rules: an application to the square well potential,” Phys. Rev. D 112 (2025) 11, 114034]

Resonant states play a central role in hadron spectroscopy. Unlike stable bound states, resonances are characterized as poles of the scattering amplitude in the complex energy plane, making their properties difficult to extract within conventional QCD sum rules. We propose a new framework, the Resonance Sum Rules (RSR), which extends QCD sum rules into the complex plane. By exploiting the analytic structure of the scattering amplitude, we construct a contour

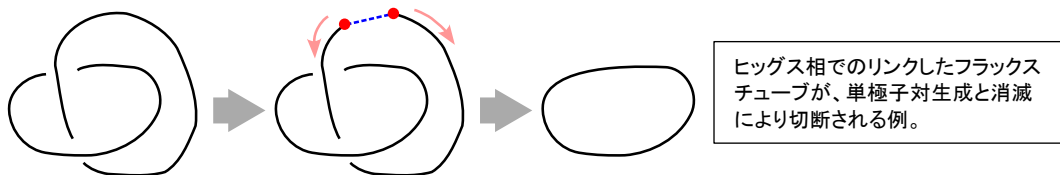


integral that provides direct access to resonance poles on the second Riemann sheet through conformal mapping. As a demonstration, we apply the method to the square-well potential, where the pole structure is known analytically. The approach successfully reproduces both S- and P-wave resonance poles with good accuracy. This approach provides a systematic and robust framework for studying hadronic resonances and opens a new direction for accessing their properties directly from QCD.

- **物性分野との交流により格子 QCD 計算の解析に新手法** [R. Tsuji, S. Hashimoto, R. Kellermann, Phys. Rev. D 113, 054514 (2026).]

格子量子色力学（格子 QCD）では、ハドロンの虚時間相関関数から物理量を読み取るが、一般にここには基底状態だけでなく無限個の励起状態が寄与するために、それらのなかから欲しい状態（例えば基底状態）を取り出す必要がある。数値データをある関数形でフィットして求めるのが標準的な手法だが、そこには不定性が避けられない。時間発展を記述する関数の完全形を用意して数学的に固有状態を求める手法を新たに開発した。関連する手法は物性分野で基底状態を求める文脈で使われており、「富岳」成果創出加速プログラムを通じた異分野交流のなかで新たなアイデアがえられた。

- **磁気ヘリシティ、磁気単極子、ヒッグス場の巻きつき** [H. Fukuda, Y. Hamada, K. Kamada, K. Mukaida, F. Uchida, JHEP 03 (2026) 127.]



磁気ヘリシティは、磁力線の絡み合いを測る量であり、乱流磁気流体や初期宇宙磁場の進化を制約する重要な保存量である。また、カイラル異常を通じてフェルミオンのカイラル電荷やバリオン数変化と結びつくため、宇宙初期のバリオン非対称生成にも関係する。本論文は、時空の途中で monopole やそれに類似する配位が存在した場合、従来の議論でしばしば用いられる等式は一般には成り立たないことを明確にした。この結果から、特に、磁場のヘリシティ decay をバリオン非対称の源とみなす宇宙論シナリオにおいて、相転移過程における磁場の時間変化を精密に追う必要があることが分かった。