

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

理論センターでは、2021年4月に迎えた新年度、例年通り多くの研究員が異動し、また新しい研究員2名（濱田佑、嶋田健悟）を迎えた。総研大にも11名の新入生が入学するなど、メンバーが大幅に入れ替わった。また、2021年6月に宇宙物理学分野の浦川優子准教授を迎え、研究活動のさらなる活性化が期待される。

コロナ禍での研究活動では、オンラインによるセミナーや研究会が定着した感がある。セミナーはオンライン化により外部からの参加者が定常化し、研究会では従来よりも参加者が増加した。移動の必要がないことの利点が広く認識されたことで、オンラインによるセミナー・研究会はコロナ禍が収束したあとも続くものと予想される。理論センターでは、こうした時代の変化に対応すべく、ハイブリッド化への準備を進めている。

2020年度のセミナー・研究会について、個々の情報は上記ホームページから得られるが、以下に統計情報をまとめておく。なお、すべてのセミナー・研究会はオンラインで行われた。

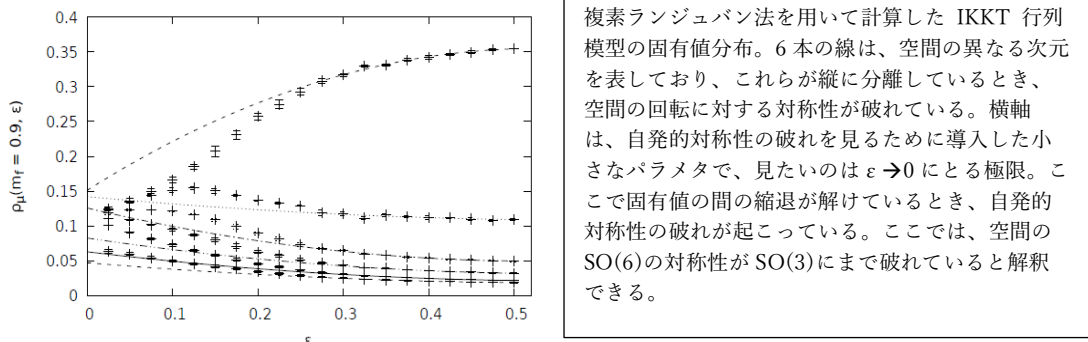
- KEK理論セミナー：89件開催、参加人数のべ3825人
- 研究会等：各種研究会を23件開催、参加者数のべ7240人

2020年に理論センターから発表した研究論文（査読付き学術雑誌に掲載されたもの）は、計110件（うち、スタッフを著者として含むもの50件、その他研究員等によるもの60件）であった。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、主な成果を以下に紹介する。

- **素粒子論研究の進展を阻む「符号問題」に新たな解決の道** [K.N. Anagnostopoulos, T. Azuma, Y. Ito, J. Nishimura, T. Okubo, “Complex Langevin analysis of the spontaneous breaking of 10D rotational symmetry in the Euclidean IKKT matrix model,” JHEP 06 (2020) 069; M. Hirasawa, A. Matsumoto, J. Nishimura, A. Yosprakob, “Complex Langevin analysis of 2D U(1) gauge theory on a torus with a theta term,” JHEP 09 (2020) 023; Y. Ito, H. Matsufuru, Y. Namekawa, J. Nishimura, S. Shimasaki, A. Tsuchiya, S. Tsutsui, “Complex Langevin calculations in QCD at finite density,” JHEP 10 (2020) 144.]

格子ゲージ理論のモンテカルロ法にもとづく数値計算は、場の量子論を定義するフェインマンの経路積分を計算するための強力な手法として用いられてきたが、積分の重



みが複素数となるような計算では「符号問題」に阻まれて計算が困難である。もともとあった場の自由度を実数から複素数に拡張することでこの問題を回避する手法として複素ランジュバン法が知られているが、この方法をいくつかの問題に適用し、手法の有効性を確認した。具体的には、(1) 超弦理論における時空の生成の研究、(2) アクシオンの物理と関連したゲージ理論のトポロジカルな性質の研究、(3) 強い相互作用をする物質の高密度領域の研究を進めた。今後より現実的なセットアップで計算を行うための基礎を確立した。

- **NANOGrav による背景重力波検出の可能性と原始重力波** [K. Kohri and T. Terada, “Solar-Mass Primordial Black Holes Explain NANOGrav Hint of Gravitational Waves,” Physics Letters B 813, 136040 (2021)]

パルサータイミング実験 NANOGrav12.5yr が報告した、人類初の背景重力波のシグナルの検出の可能性は、初期宇宙に起こったとされるインフレーションの理論モデルの検証につながる可能性がある。これは同時に宇宙初期にミニブラックホールが生成された可能性を示唆している。2020年9月、NANOGrav 共同研究グループによる12年半に及ぶ観測により蓄積されたデータの解析の結果が発表された(NANOgrav12.5yr)。その結果は、電波干渉計によるパルサータイミングの方法による背景重力波のシグナルの検出可能性を示しており、ナノヘルツ帯の周波数での背景重力波の存在を示唆している。その存在量は宇宙のエネルギー密度に占める割合として10億分の1程度であったが、初期宇宙に起こったとされるインフレーションの標準的なモデルからの最大予想される量より6桁以上多い。この情報を用いて、宇宙初期の新しいインフレーションモデルと、そのモデルを内包する標準理論を越える素粒子モデルへのヒントが得



数  $k$  とエネルギー  $\omega$  の間の関係が  $\omega \propto k^{2/3}$  のような分数べきになっている点が特徴的で、しかもこのモードが無限個縮退している。非平衡定常状態にある系の自発的破れに関して新しい可能性を示した。

- 広がりを持った物体に対する連続的対称性の破れにともなうギャップレスモードに関して、対称性の破れのパターンとギャップレスモードの数の間の関係を明らかに [Y. Hidaka, Y. Hirono, R. Yokokura, “Counting Nambu-Goldstone Modes of Higher-Form Global Symmetries,” *Physical Review Letters*, 126 (2021) 7, 071601]

広がった物体に関する対称性とその役割が近年議論されている。通常対称性と同様に、連続対称性が自発的に破れるとギャップレスモードが現れる。光子はその一例である。本研究では、通常対称性で知られている自発的破れとギャップレスモードの数の関係に関する関係式を広がった物体に関する対称性の問題に拡張し、対称性の自発的破れに関して新しい理解を与えた。