

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

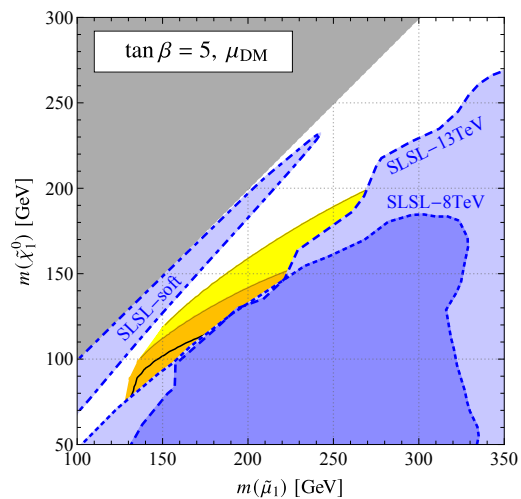
2021年に理論センターから発表した研究論文は、計95件であった。（会議録等を含む。プレプリント番号を付して発表され、INSPIRE HEP データベース <https://inspirehep.net/> に登録されているもの。）

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、主な成果を紹介する。

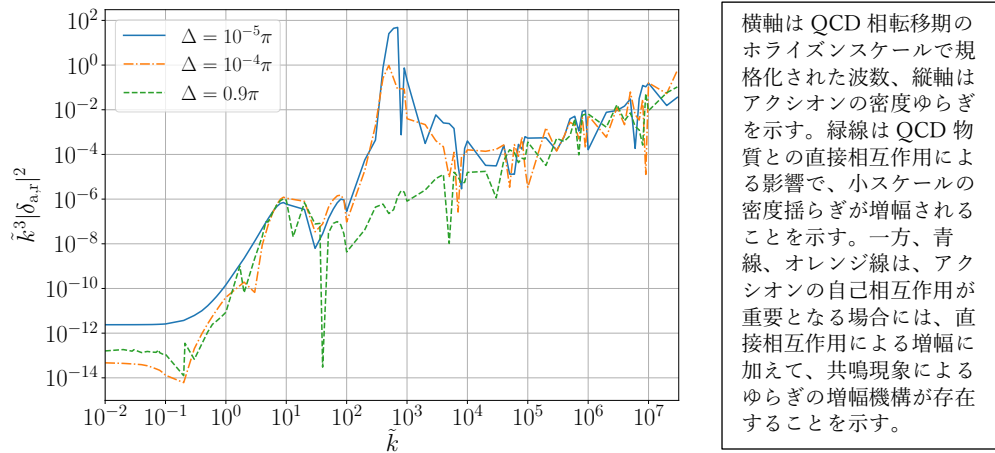
- **ミューオン $g-2$ のずれを説明する理論を提案** [M. Endo, K. Hamaguchi, S. Iwamoto, T. Kitahara, “Supersymmetric interpretation of the muon $g-2$ anomaly,” JHEP 07 (2021) 075; arXiv:2104.03217]

フェルミ国立加速器研究所で行われているミューオン異常磁気モーメント測定実験の結果がついに発表された。これは20年前にブルックヘブン国立研究所で行われた測定以来の新しい結果である。今回報告された結果によってブルックヘブンの結果が再確認され、さらにそこで指摘されていた素粒子物理学の標準理論による予測との食い違いがより確かなものになった。これは、なにか未知の粒子や力が自然界に存在している可能性を示唆している。この論文では、素粒子の新しい物理模型として有望視されている超対称性模型によってミューオン異常磁気モーメントの実験結果を説明することができることを示した。このとき、超対称性粒子は $O(100)\text{GeV}$ の質量をもつことが予想される。論文では、模型が LHC 実験などすべての実験からの制限を満たすだけでなく、さらに宇宙暗黒物質の残存量を同時に説明することができる可能性を指摘している。



超対称性粒子によってミューオン異常磁気モーメントの実験結果を説明することができる領域をオレンジ色と黄色の領域で示した（オレンジ：1シグマ、黄：2シグマ）。さらにこの領域では宇宙暗黒物質の残存量をニュートラリーノ（超対称性粒子の一種）によって説明することができる。縦

- **アクシオン暗黒物質の新たなクラスタリング機構** [K. Kogai, N. Kitajima, Y. Urakawa, “New scenario of QCD axion clump formation I: Linear analysis,” Journal of Cosmology



暗黒物質の有力な候補である QCD アクシオンは、QCD 相転移期にグルーオンとの直接相互作用を通じてポテンシャルを獲得する。この直接相互作用が、宇宙におけるアクシオンの空間分布に与える影響は、これまでほとんど考えられていなかった。本論文では、直接相互作用の影響により、アクシオンが非常に非一様な空間分布を形成することを示した。この結果は、アクシオン模型の重要なパラメータである Peccei-Quinn スケールを宇宙の観測から探る際に、従来課されていた基本的な仮定を再考する必要があることを示唆する。

- **テンソルくりこみ群による非可換ゲージ理論の研究** [M. Hirasawa, A. Matsumoto, J. Nishimura, A. Yosprakob, “Tensor renormalization group and the volume independence in 2D U(N) and SU(N) gauge theories,” JHEP 12 (2021) 011; arXiv:2110.05800 [hep-lat]]

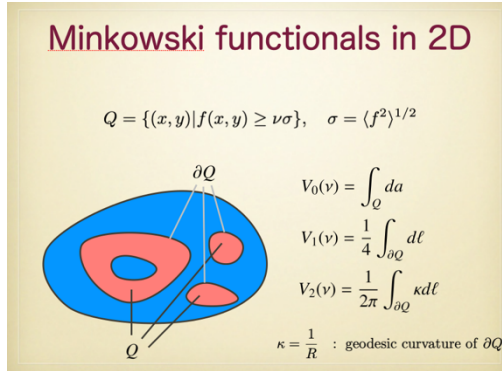
テンソルくりこみ群法を用いて非可換ゲージ理論の非摂動計算を実行するため、その基本となるテンソルの構成法を考案し、新しい応用に向けた礎を築いた。特に 2 次元の SU(N), U(N) ゲージ理論の場合に具体的な計算を行い、江口・川合等価性を超えた large N 極限における体積非依存性を発見した。

- **ダークマターの対消滅断面積に上限** [N. Hiroshima, T. Sekiguchi, K. Kohri, R. Takahashi, Phys. Rev. D104 (2021) 8, 083547; arXiv:2103.14810 [astro-ph.CO]]

WIMP モデルと呼ばれる有力なダークマターの枠組みでは、宇宙の歴史を通してダークマターの対消滅が起こってきたことが予想されている。その場合、宇宙年齢が約 2 億年程度の初期宇宙で起こる中性水素の 21cm 線の吸収線に、ダークマター対消滅により放射された光子が影響する。この論文では極めて小さいスケールのダークマターの集まり具合(ハロー形成)を世界で初めて数値シミュレーションで計算し、EDGES

実験が報告した、その時期の宇宙論的な 21cm 線の吸収線の情報を使って、ダークマターの対消滅断面積に上限を与えた。ダークマターがクォーク対に消滅する場合はダークマターの質量 15GeV 以下を棄却した。

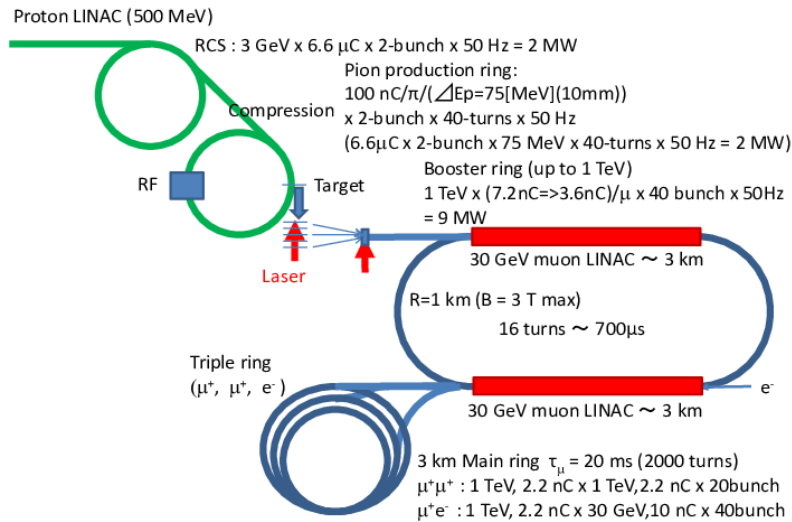
- ランダム場の統計的性質 [T. Matsubara, S. Kuriki, “Weakly non-Gaussian formula for the Minkowski functionals in general dimensions,” Phys. Rev. D104 (2021) 103422]



2次元の場合のミンコフスキー汎関数の定義。d次元のミンコフスキー汎関数とは、場の値がある一定値をとる d-1次元の部分空間を考え、それが取り囲む体積や境界上の体積や曲率などから計算される幾何学的な量である。並進回転不定性と加法性および連続性を満たす幾何学的統計量は d+1 個のミンコフスキー汎関数に限られる。オイラー標数はその一つである。

宇宙における密度や温度のゆらぎなどから計算される相関関数やスペクトルなどの統計量は、現代的な宇宙論において本質的な役割を果たしている。一般的な問題としてランダム場の統計量に対する数学的性質を明らかにすることは、将来的に宇宙論のみならず物理学一般や医学工学への応用の可能性を含んでいる。本研究はそうした新しい研究分野の開拓を見据えて始めた、数理統計学を専門とする数学者との共同研究の第1弾である。具体的には宇宙論の構造解析に用いられているミンコフスキー汎関数を考察した。この統計量には、宇宙論で使われる基本的な統計量であるパワースペクトルには含まれていない、非ガウス性に関する情報が含まれていることが知られている。この統計量に対する期待値を解析的に与える数学的公式を、弱い非ガウス性を持つなめらかな場について、一般化した任意次元の空間において初めて導いた。

- 新コライダー実験「 μ トリスタン」 [Y. Hamada, R. Kitano, R. Matsudo, H. Takaura, M. Yoshida, arXiv:2201.06664 [hep-ph]]



Muonium atom のレーザーイオン化によって運動量分布が狭い超冷ミュオンが生成できる。J-PARC muon g-2 実験のために開発が続けられているこのテクノロジーの巨大化により、大電流正電荷ミュオンビームを生成し、次世代高エネルギー加速器実験に利用する「 μ TRISTAN」実験を提案した。1TeV までミュオンを加速し、30GeV の電子と周長 3km のリングで衝突させるデザインでは、10 年間で ヒッグス粒子が 1 衝突点につき 10 万個できるという試算を得て、ヒッグスファクトリーとしての物理成果が期待できる。また、同じトンネルで運用可能な、1TeV 正電荷ミュオン同士を衝突させる実験では、多彩な新物理探索が可能である。他にも、ミュオン生成の上流では、ハドロン、ミュオン、ニュートリノの新実験が併設可能である。荒削りな提案ではあるが、今後の各パートのより詳細な研究により、既存の将来計画とコスト・性能面の比較が可能となる。