

## 第 18 回 (2023年度) 素粒子メダル奨励賞 選考結果報告書

第18回素粒子メダル奨励賞の授賞論文として、以下の3編を選出したことを報告いたします。

2023年度素粒子メダル奨励賞選考委員会：

中山和則 (委員長)、高橋史宜 (副委員長)、佐藤亮介、西村淳、波場直之、丸信人

授賞論文：“Kramers–Wannier–like Duality Defects in (3+1)D Gauge Theories”,  
Phys.Rev.Lett. 128 (2022) 11, 111601  
著者：Justin Kaidi、大森寛太郎、Yunqin Zheng

近年、一般化された対称性 (generalized symmetry)、中でも「非可逆対称性」(non-invertible symmetry)に関する研究が盛んに行われ、大きく進展している。大森氏らの論文が発表される以前は、非可逆対称性は専ら2次元の場の理論で研究が行われ、その有用性が示されてきたが、4次元の場の理論においても非可逆対称性が存在し、かつそれが有用なのか、ということは全く分かっていなかった。そのような状況において、他の論文では4次元の非可逆対称性の例が作られたが、使われた理論は非可逆対称性の存在を示すだけのためのトイモデルであり、素粒子論で使えるようなものではなかった。大森氏らの論文は、同日に出た他の論文とともに、同じタイプの非可逆対称性が、素粒子論で扱うような標準的な4次元のゲージ理論にある例を系統的に見つけ出すことに成功した。これを契機として、多くの研究者がこのテーマの研究に参入し、4次元の非可逆対称性の他の例の発見や、真空構造の解析など、興味深い成果が次々と発表されている。また今後は標準模型を超える物理への応用も期待されており、こうした方向の研究を大森氏自身も行っている。以上のことから、本論文は、「対称性」という基本的概念を拡張して素粒子論を発展させる契機を与えた重要な研究成果と考えられ、素粒子メダル奨励賞にふさわしいものと判断された。

授賞論文：“Fixed Point Structure of Gradient Flow Exact Renormalization Group for Scalar Field Theories,” PTEP 2022 033B03.  
著者：阿部慶彦、濱田佑、春名純一

グラディエントフローと呼ばれる手法が格子ゲージ理論における研究で注目されている。グラディエントフローは、フロー時間と呼ばれる仮想的な時間を導入し、場に対する時間発展を拡散方程式により与えるものである。時間発展した場は、粗視化の性質を持ち紫外発散を緩和する。園田・鈴木により、グラディエントフローによる粗視化をウィルソン流くりこみ群に適用し、グラディエントフロー厳密くりこみ群が提唱された。カットオフがあるにも関わらずゲージ対称性を明白に保つなど大変注目されているが、既知の厳密くりこみ群との整合性は明らかになっていない。

本論文では、グラディエントフローに基づく厳密くりこみ群方程式(GFERG)を一般的なスカラー場理論に適用し、以下のことを示している。

フロー時間が無限大の極限において、Wilson–Polchinski(WP)方程式の固定点と一致すること。固定点周りの振る舞いがWP方程式とほぼ同じであること。Relevant(irrelevant)演算子のスケール次元がWP方程式のスケール次元と一致する(しない)こと。

ここで得られた結果について、より具体的な4- $\epsilon$ 次元 $O(N)$ 非線形シグマ模型のWilson–

Fisher固定点に適用し、その妥当性がチェックされている。スカラー場理論に限るとはいえ、少ない仮定のもとでGFERGの妥当性を見出したことは評価に値する。この論文で得られた結果は、今後QCDに代表されるゲージ理論や重力理論などへ応用され、非摂動ダイナミクスの理解を深めることにつながると期待される。

以上のことから、本論文は素粒子メダル奨励賞にふさわしいと判断された。

授賞論文：Soft-Photon Corrections to  $\bar{B} \rightarrow D \tau^- \bar{\nu}_\tau$   
Relative to  $\bar{B} \rightarrow D \mu^- \bar{\nu}_\mu$   
Phys.Rev.Lett. 120 (2018) 26, 261804  
著者：Stefan de Boer、北原鉄平、Ivan Nisandzic

Lepton flavor universalityは標準模型の重要な性質であり、その破れは標準模型を超える物理を探るツールとして重要である。特に、 $R(D) = \text{Br}(B \rightarrow D \tau \nu) / \text{Br}(B \rightarrow D e / \mu \nu)$ および $R(D^*) = \text{Br}(B \rightarrow D^* \tau \nu) / \text{Br}(B \rightarrow D^* e / \mu \nu)$ は、複数の実験による測定値と標準模型による理論値の間にかねてから不一致が指摘されており、注目を集めている観測量である。本論文では、B中間子のsemileptonic崩壊である $B \rightarrow D e \ell \nu$ についてQEDの量子補正の大きさを計算している。ゲージ相互作用はflavor universalな構造をしているために、素朴には、ゲージ相互作用による量子補正は $R(D)$ および $R(D^*)$ のような観測量への影響がないように思われる。しかし、本論文はレプトンの質量の差に起源を持つQEDの量子補正が現行の実験で測定できる程度に大きなことを示した。QED補正の計算にはPHOTOSと呼ばれるパブリックコードが広く使用されているが、本論文で指摘された効果はPHOTOSに取り込まれていなかった効果である。 $R(D)$ はLepton flavor universalityをテストする重要な物理量であるため、標準模型による $R(D) = \text{Br}(B \rightarrow D \tau \nu) / \text{Br}(B \rightarrow D \mu \nu)$ の理論値を正しく見積もることは重要であり、本論文はその点において本質的な寄与をしている。また、本論文が指摘したQED補正の計算が幅広く波及しつつある点も評価できる。以上より、本論文は素粒子メダル奨励賞にふさわしいと判断された。

総評：

今回は8件（すべて自薦）の応募がありました。各応募論文に対して複数の選考委員が査読を行い、適宜外部の専門家にも意見を伺いました。それらの報告にもとづいてオンラインの委員会を開催しました。そこで候補として上がった論文を選考委員会で再度査読し、全員一致で今回の3件の論文に対する授賞を決定しました。今回の応募は8件と例年に比べ少なめでした。質の高い論文であっても惜しくも授賞に至らなかった場合もありますので、積極的に応募して頂ければと思います。