

## 第20回（2025年度）素粒子メダル奨励賞 選考結果報告書

第20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。

2025年度素粒子メダル奨励賞選考委員会：

遠藤基（委員長）、松本重貴（副委員長）、阿部智広、永田夏海、大野木哲也、北原鉄平

授賞論文："A strategy for proving the strong eigenstate thermalization hypothesis: chaotic systems and holography"  
Journal of High Energy Physics 01 (2025), 095  
著者：川本大志 (Taishi Kawamoto)

強い固有状態熱化仮説（ETH）は、ユニタリー発展する閉じた量子多体系において、任意の初期状態がマイクロカノニカル分布などの熱平衡状態に緩和することを保証する仮説であり、統計力学や量子重力理論などの幅広い物理で重要になる概念だと考えられている。この仮説は、数値計算や可積分系の特別な状況では確認することができるが、一般の非可積分系のハミルトニアンに対し解析的に証明する方法は知られていない。本論文では、強いETHを証明するための新たな数学的枠組みを提案し、カオス的量子系において証明を行い、強いETHが適用可能な十分条件：有限温度相関関数の無限時間平均のクラスター性と量子混合性を示した。さらに著者は、重力双対を持つトイモデルを用いて、Large  $N$  極限においてこの十分条件を自然に満たすこと示し、強いETHの証明条件を幾何学的・重力的に解釈できるという新たな示唆も与えている。これらの議論はブラックホールにおける情報喪失問題の解決においても重要であると考えられる。本研究は相関関数を出発点とし、統計基礎論、確率論、量子重力理論の幅広い分野の知識を横断的に用いて強いETHの妥当性を調べており、非常に斬新であり独創的でもある。これらは単独で行なわれた研究であり、本人の実力も十分に示していると判断された。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："Horizon causality from holographic scattering in asymptotically  $dS_3$ "  
Journal of High Energy Physics 12 (2024), 199  
著者：Victor Franken, 森崇人 (Takato Mori)

\*Victor Franken氏は素粒子論グループ会員でないため、授賞対象としない。

量子重力理論の定式化の試みとしてホログラフィー原理が提案されている。これは、ある領域における量子重力理論を、その境界上に存在する重力を含まない理論によって記述するという考え方であり、代表的なものに AdS/CFT対応が知られている。ホログラフィー原理には、重力を含まない境界理論の自由度から内側の時空の幾何学がどのようにして創発するのか、ホログラフィー原理がすべての時空に対して成り立つのか、という未解決の重要な問題が存在する。時空の創発という文脈において、近年目覚ましい進展を示した結果の1つに、AdS/CFT対応の枠組みで証明された「Connected Wedge Theorem (CWT)」がある。境界CFTにおいて、因果的に関連しない2点を考えたとき、対応するAdS時空においてはこの

2点が因果的に繋がっている状況が存在するが、CWTは、このような場合には境界CFT上で2点P1とP2の間に巨大な量子もつれが存在することを主張する。したがってCWTは、境界CFTにおける量子もつれが、バルク時空の連結性の実現に決定的な役割を果たしていることを示唆している。

本論文では、AdS/CFT対応において得られたCWTの知見を拡張し、ホログラフィー原理がド・ジッター空間に対して成り立つのかを明らかにすることを目指している。著者はまず、ド・ジッター時空の静的パッチに双対する自由度が宇宙論的ホライズン上に存在すると仮定し、従来の因果関係の定義ではCWTが成立しないことに由来するパズルを指摘した。そして、この問題を解決するために「誘導因果関係 (induced causality)」と呼ばれる新たな因果関係の概念を提案した。これはド・ジッター空間の漸近的過去境界を用いて因果関係を定義するものであり、双対理論の非局所性を自然に説明する。この新たな因果関係に基づき、著者らはド・ジッター空間におけるCWTの成立を証明した。

本研究の成果はド・ジッター空間におけるホログラフィー原理の確立に向けた大きな一歩であり、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: "Transmuted Gravity Wave Signals from Primordial Black Holes"  
Physics Letters B 782 (2018), 77  
著者: Volodymyr Takhistov

本論文は、暗黒物質の有力候補である原始ブラックホール (pBH) の検証に向けた新しい観測手法を提案したものであり、その着想と波及効果の観点から極めて高く評価される。著者は、pBHが中性子星 (NS) や白色矮星 (WD) に捕獲されることで“変異ブラックホール (transmuted BH)”が形成される可能性に着目し、これらが連星を組んで合体する際に放出される重力波をLIGOやVirgoといった地上望遠鏡で観測することで、pBHの存在を間接的に捉えるという独創的な方法を提案した。恒星起源のブラックホールは太陽質量の約2倍以下にはならないとされる一方、NSやWDを起源とする変異BHは亜太陽質量領域に至る可能性があり、質量の違いを通じて両者を区別できる余地がある。本論文は、pBHという検証が極めて困難な暗黒物質候補に対して、観測的に検証可能な新しい道筋を開いた先駆的研究であり、今後の重力波天文学との連携による進展が強く期待される。以上の理由から、本論文は素粒子メダル奨励賞に相応しい成果と評価された。

総評:

今回は10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。今回は昨年度よりも多くの応募がありました。一方で、審査員の専門分野が偏っていたため、選考が難航した場面もありました。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したので、来年度以降も引き続き、若手研究者の方には自信作を積極的に応募して頂ければと思います。