

2022 年度日本天文学会研究奨励賞

氏名：木村 成生（きむら しげお）

現職：東北大学学際科学フロンティア研究所 助教

授賞対象となる研究：ブラックホール天体での宇宙線加速と高エネルギー放射の理論的研究

Theoretical Study of Cosmic-ray Acceleration and High-energy Emission around Black Holes

ブラックホールや中性子星などの高密度天体とその周囲にしばしば形成される降着流からは、電磁波だけでなく、宇宙線、ニュートリノ、重力波という様々な形態のエネルギーが放出されており、高エネルギー天文学の実験場として大きな注目を浴びている。ニュートリノの放射や高エネルギー宇宙線の加速という重要未解明問題に対して、木村氏は理論的研究と非熱的粒子加速の直接数値シミュレーションという全く異なる手法を駆使し、数々の重要な研究成果を挙げてきている。

2013年にIceCube実験が 10^{15} eVに達するエネルギーを持つ地球外ニュートリノを発見したことが報告され、高エネルギーニュートリノ宇宙物理学が幕を開けた。木村氏の受賞対象となった研究は、高エネルギーニュートリノの起源天体として、高温の降着流をまとう低高度活動銀河核が有力であることをいち早く見出したことを端緒としている（Kimura et al. 2015, ApJ, 806, 159）。この結果を踏まえて木村氏は、粒子エネルギー分布と電磁波放射の準解析的な計算を行い、高温の降着流が流れ込む低高度活動銀河核がガンマ線とニュートリノの観測結果を同時に矛盾なく説明できることを示した（Kimura et al. 2021, Nature Comm., 12, 5615）。木村氏は、この理論モデルに活動銀河核コロナからのX線放射と10 TeVエネルギーのニュートリノ放射の寄与も加え、X線から軟ガンマ線にわたる宇宙高エネルギー光子背景放射と、IceCubeで観測されている全エネルギー帯域（ 10^{13} eVから 10^{16} eV）の宇宙ニュートリノ背景放射を統一的に説明できることを初めて示した。これまで宇宙軟ガンマ線背景放射の起源としては、放射性核種からの輝線放射や宇宙線電子による放射など、非熱的な過程が幅広く議論されてきたが、この結果は熱的電子が軟ガンマ線放射を担っていることを示す画期的なものであり、Nature CommunicationsのEditors' Highlightsにも選ばれている。

また木村氏は、突発天体に関する研究でも重要な成果を挙げている。短いガンマ線バーストは、連星中性子星合体の際に起こると考えられており、重力波対応天体としても重要なものである。ガンマ線放射の継続時間は2秒以下であるものの、X線残光の観測から中心エンジンは100秒から104秒程度の長い間活動していることが示唆されている。木村氏は、中心エンジンの長期活動に着目したニュートリノ放射の理論計算により、重力波天体に付随する高エネルギーニュートリノが検出可能であること、そしてニュートリノを用いることで長期活動の放射を担うジェットの状態に制限を与えられることを初めて示した（Kimura et al. 2017, ApJ, 848, L4）。この論文が発表されたのとほぼ同時期に、LIGOグループが連星中性子星合体からの重力波GW170817を検出し、電磁波対応天体も観測されたが、木村氏の結果は、その際の重力波対応ニュートリノ探索のモデルテンプレートとして利用されている。その後も、他の実験グループや他の重力波イベントに対しての解析、マルチメッセンジャー観測に関する将来計画のWhite paperでもこのモデルが使われ続けていることは、この研究成果の重要性を客観的に示している。この研究は初めて重力波対応ニュートリノの検出率を定量的に示したもので、米国天文学会の「AAS Nova」でハイライトにも選ばれている。

木村氏はここまで述べてきたような理論的手法だけではなく、直接的な数値実験を用いて、非熱的粒子

である宇宙線の加速の研究でも重要な成果を得てきている。宇宙線の加速過程は粒子と波動の相互作用といった非線形現象が本質的なため、数値シミュレーションを用いた研究が必須である。これまでの研究では、プラズマ粒子シミュレーションが主に用いられてきたが、この手法では熱的粒子の旋回半径を解く必要があり、旋回半径の1億倍程度大きな現実の天体スケールでの磁気乱流場を取り扱うことは不可能であった。そこで木村氏は、磁気流体シミュレーションにより高温降着流内部の天体スケールの乱流場を用意し、その中で荷電粒子の軌道運動を解くことで粒子加速過程を調べるという独自の手法を開発し、現実的な降着流の磁気乱流中でも粒子加速が起こることを初めて示した (Kimura et al. 2019, MNRAS, 485, 163)。天体スケールでの現実的な乱流場中で粒子加速シミュレーションを行うこの研究は先駆的なもので、今後のさらなる大規模計算による宇宙線加速の解明のための数値的手法の基盤となるものである。

以上のように、木村氏は様々な天体现象からの高エネルギー放射に関する画期的な研究成果を発表してきており、日本の天文学・高エネルギー天体物理学の将来を担う有望な若手研究者である。木村氏の構築した理論モデルと今後の観測データを組み合わせることで、さらに高エネルギー天体ニュートリノやガンマ線の起源への理解を今後大きく前進させることができる。また木村氏の開発した粒子加速のための数値的手法は、発見以来100年の間謎のままとなっている宇宙線加速の解明に、大きな寄与をすることが期待できる。

以上の理由により、木村成生氏に2022年度日本天文学会研究奨励賞を授与する。