

● 米田 浩基 特定助教

Hiroki YONEDA (Program-Specific Assistant Professor)

研究課題: 宇宙原子核反応を軸として探る、物質の起源、そして宇宙線生成

(Origin of matter and cosmic-ray production explored through astrophysical nuclear reactions)

専門分野: 宇宙物理学 (Astrophysics)

受入先部局: 理学研究科 (Graduate School of Science)

前職の機関名: ヴュルツブルク大学 天文学講座

(Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Lehrstuhl für Astronomie)



私たちの周りにある元素は、宇宙でどのように生まれたのでしょうか。そして、その生成現場は、どのように観測ができるのでしょうか。実は、宇宙の様々な高エネルギー現象で生成された原子核は、特定の高いエネルギーを持った光を放つことがあります。核ガンマ線と呼ばれる、これらの光を観測することで、宇宙のどこでどれだけ元素ができているのかを調べることができます。しかし、この核ガンマ線の観測は、観測技術が発展途上であり、私は、その手法の開発も含めて、この核ガンマ線の宇宙観測に興味を持ってきました。

この白眉プロジェクトでは、これまでよりも1桁高い感度を実現するガンマ線天文衛星「COSI」を駆使して、我々の銀河からくる核ガンマ線を捉え、アルミニウムや鉄などの重元素や、電子の反物質である陽電子の銀河内での分布を明らかにし、その起源に迫ります。また、より高い感度を目指して、ガンマ線観測の基礎技術開発にも取り組みます。

宇宙の元素生成の現場を観る

私たちが構成する元素は、宇宙の中でどのように作られたのでしょうか。これは「私たちはどこから来たのか」という根源的な問いにつながる現代天文学の大きな謎の一つです。私は、この謎に挑むため、「核ガンマ線」というエネルギーの高い光に注目して研究をしています。

原子核が合成されると、可視光のおよそ100万倍ものエネルギーを持つ光が放射されることがあります。例えば、星の内部で合成されたアルミニウムの一部はマグネシウムに崩壊し、その際に特定のエネルギーを持ったガンマ線を放出します (図1a)。また、物質と反

How are the elements surrounding us born in our Universe? How can we observe the sites where they are generated? Indeed, atomic nuclei produced in various astronomical phenomena sometimes emit light with specific high energies. The so-called nuclear gamma rays are powerful observational tools that can investigate where and how much of each element is produced in our Universe. The observation of nuclear gamma rays is still being developed technically, and the sensitivity for astronomical observations remains low. I have been interested in astronomical observations of these nuclear gamma rays, including the development of observational technologies. In my project, using the COSI satellite, planned for launch by NASA in 2027 with sensitivity ten times higher than previous missions, I will observe nuclear gamma rays from our Galaxy to reveal the distribution and origin of heavy elements (such as aluminum and iron) and positrons, which are the antimatter counterparts of electrons. Additionally, I will develop new technologies to achieve even higher sensitivity in future gamma-ray observations.

対の性質を持つ反物質の一種である陽電子は、このような元素合成を始め、宇宙線加速など様々な天体現象で生成されるのですが、陽電子は電子と出会うと消滅し、特定のエネルギーを持つガンマ線を放出します (図1b)。これらの「核ガンマ線」と呼ばれる、エネルギーの高い光を観測することで、元素合成の現場や、宇宙での反物質の分布を探ることができるのです。

核ガンマ線観測の新時代を切り開く

このような高エネルギーの光を観測するには、「コンプトン望遠鏡」という特殊なガンマ線カメラが使われます。核ガンマ線は通常のカメラのようにレンズを使っ

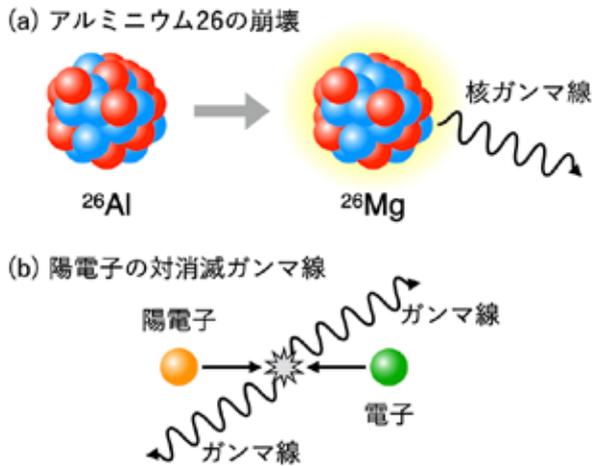


図1：アルミニウムや陽電子から放出されるガンマ線。

て集めることが難しいため、入射したガンマ線が検出器内で電子と衝突して散乱される「コンプトン散乱」という現象を利用します。ガンマ線が検出器内で散乱される様子を詳しく測定することで、そのガンマ線がどの方向からやってきたのかを特定することができます。2027年にNASAから打ち上げられる新しいガンマ線衛星「COSI」は、高性能なゲルマニウム半導体検出器を用いたコンプトン望遠鏡を搭載することで、これまでよりも感度を一桁向上させ、史上最高感度で宇宙全体から来る核ガンマ線を観測することができます。

宇宙全天での核ガンマ線の写真を撮る

このような高感度観測を実現するために、私はコンプトン望遠鏡の複雑なデータ解析に取り組んでいます[1]。通常のカメラと違い、得られるデータはガンマ線の散乱パターンであり、それだけでは私たちが欲しいガンマ線の画像にはなりません。ガンマ線画像を仮定したときにどのような散乱パターンが期待されるのかを計算し、得られたデータとマッチする最適な画像を見つけ出す必要があります(図2)。この計算には非常

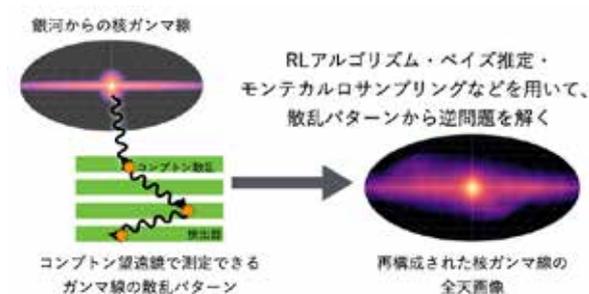


図2：コンプトン望遠鏡からガンマ線全天画像を再構成するデータ解析の概要。

に大きな行列計算が伴い、さらに宇宙線などによるバックグラウンドイベントも正しく考慮しなければなりません。私は、これらの課題に対して、最新の統計学を導入しながら画像解析手法の開発に取り組んでいます。データに含まれる様々な不定性も適切に考慮しながら、銀河系内での重元素や陽電子の空間分布を、これまでにない精度で解明することを目指しています。

さらなる高感度化を目指して

今、天文学は「マルチメッセンジャー天文学」という新しい時代に突入しています。これは、光だけでなく、重力波やニュートリノなど、複数の「使者(メッセンジャー)」を通じて宇宙を観測する方法です。たとえば、2017年に観測された中性子星の合体现象では、重力波と共に金やプラチナなどの非常に重い元素が合成されたと考えられています。今の感度では、そこからの核ガンマ線まで捉えることはまだまだ難しいのですが、私は新しい検出器の開発にも取り組むことで、将来的により高い感度を実現したいと考えています。コンプトン望遠鏡を改良し、ガンマ線が散乱されたときに同時に弾かれる電子もさらに追跡できるセンサーを開発することで、バックグラウンドを大幅に低減し、より微弱な信号も捉えようとしています[2]。このように、これから打ち上がる新しいガンマ線衛星と、その先を作る新しい観測装置の開発により、宇宙における物質の生成・起源に迫ることを目指します。

参考文献

- [1] H. Yoneda et al., "Reconstruction of multiple Compton scattering events in MeV gamma-ray Compton telescopes towards GRAMS: The physics-based probabilistic model", *Astroparticle Physics*, 144, 102765, 2023
- [2] H. Yoneda et al., "Development of Si-CMOS hybrid detectors towards electron tracking based Compton imaging in semiconductor detectors", *NIMA*, 912, 269-273, 2018