

授賞者の研究業績の紹介

2025年度 第18回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙理学分野

水本 岬希 (みずもと みさき)

福岡教育大学教育学部・講師

業績の題目：コンパクト天体からのアウトフローに関する研究および装置的貢献

水本氏は、2023年に打ち上げられた史上最高の分光性能を持つX線天文衛星XRISMの初期科学成果創出において大きな貢献をしてきている。特に、超巨大質量を持つブラックホール近傍から噴き出す超高速なアウトフロー（風）についての理解を大きく前進させる画期的な発見を行い、論文としてまとめることに中心的な役割を果たした。並行して、太陽程度の質量を持つ中性子星近傍からのアウトフローについても、観測論文を中心にとりまとめ、中心天体の質量が太陽程度の場合は、アウトフローの風速は小さく、超高速なものは見られないことを明確に示した。そして、中心天体質量の違いによりアウトフローの速度に差異が生じる理由の考察を行い、超巨大質量ブラックホールからの超高速アウトフローの物理的起源は、すでに水本氏自身が2021年に発表していた理論的予想に適合することを論じた。これらの研究業績は、XRISMに搭載されたマイクロカロリメーターのすぐれた分光性能を最大限に引き出した結果であるが、それらは、マイクロカロリメーターの軌道上性能が正しく精密に把握されてこそのものであった。これについても、水本氏自身が大きな貢献をしてきており、氏は、打ち上げ前の地上試験から打ち上げ後の軌道上実験まで一貫してマイクロカロリメーターで明るいX線源を観測した際に生じる非線形の性能変化を調べ、そのモデル化に成功した。以下、これらの業績を示す3つの論文を紹介する。

1. XRISMによる巨大質量ブラックホールからの超高速風の構造解明とエネルギー評価

水本氏らは、XRISMによって超巨大質量ブラックホールを中心に持つクエーサーPDS 456の高精度X線分光観測を行った。PDS 456は光速の10%程度という超高速な風を持つことで知られていたが、XRISM衛星のカロリメーターが持つ圧倒的なエネルギー分解能（従来のCCDの約30倍）によって、初めてその風の吸収線スペクトルを複数の速度成分に分離することに成功した。その結果、風は滑らかで一様な流れではなく、異なる速度を持つ複数のクランプから構成される、極めて不均一な構造を持つことが明らかになった。水本氏らは、さらに、クランプ構造を考慮した新たな解析モデルを構築して風で運ばれているガスの真の流量を推定し、それが従来の見積もりを10倍以上も上回り、中心の巨大質量ブラックホールへ落下している降着流量にも匹敵する莫大なものであることを示した。

2. エディントン限界光度で輝く中性子星からの風の軌道メカニズム解明

XRISMによってエディントン限界光度（ある天体からの放射の圧力がその星から

の重力を上回るようになる限界の光度。中心天体の質量に比例する。)で輝く中性子星連星 GX 13+1 の観測が行われた。この天体は数百 km/s 程度の比較的遅い風(降着円盤外側から吹く風と考えられ、円盤風と呼ばれている。)由来の吸収線で知られていたが、XRISM の高いエネルギー分解能により、その吸収線を複数の構造に分解することが可能になった。これにより、円盤風のほとんどは速度 200-300 km/s 程度だが、一部のガスは 700 km/s 程度の速度を持つことが明らかとなった。さらに、中性子星からの風では超巨大質量ブラックホール天体 PDS 456 からの風で見られたような超高速風が存在しないことが明らかとなった。上で述べた PDS 456 も、ここで述べる GX 13+1 と同様に、その質量に対応するエディントン限界光度で輝いている。しかし中心天体の質量が大きく違うため、中性子星では中心付近の降着円盤の温度が高く X 線が卓越して紫外光は弱い、巨大質量ブラックホールでは紫外光が卓越する。水本氏は、2021 年の論文で、紫外光が卓越した降着円盤では、放射の圧力をより強く受ける状況が生まれ超高速風が吹き得ることを理論的シミュレーションにより示していたが、この観測結果はその理論的予想を観測的に裏付けることとなった。

3. XRISM 搭載マイクロカロリメーターの軌道上での性能変化の定式化

XRISM 衛星のマイクロカロリメーターは、これまでにない高いエネルギー分解能を誇る一方、明るい天体を観測した際にクロストークイベントの漏れ込みや局所的な熱的効果によりエネルギー分解能の劣化やエネルギーのずれが生じるという課題があった。水本氏は、打ち上げ前の地上試験において様々な強度・エネルギーの X 線を実際に検出器に入射させることで、これらの非線形効果を系統的に調査した。そして、観測されるスペクトルの歪みや検出効率の低下を、物理モデルに基づいて定量的に記述した。さらに、打ち上げ後の軌道上においても同様の試験を行い、地上試験で得られたモデルが宇宙空間でも極めて高い精度で成立することを実証した。この研究成果は、XRISM が得る全ての科学データの信頼性を担保する、ミッションの根幹を支えるものである。本研究なくして、前述の論文に示されたような精密な観測結果に基づく科学成果は得られなかったであろう。

以上のように、水本氏は、必要な観測・実験の実施能力、それらのデータの適切な整約・解釈の能力、それらを理解する深い理論的考察の能力等を高いレベルで兼ね備え、XRISM 衛星の優れた観測性能を最大限に活用して、天文学の最前線を切り拓いている。また、上で紹介した論文作成や、検出器の較正実験等における共同作業において、チーム員と協力しつつ結果をしっかりと出していく中心的役割を果たしてきている。今後の宇宙科学の進展への貢献が大いに期待できる人材と言える。

関連する論文リスト

- (1) XRISM collaboration, 2025a, Nature, 641, 1132, “Structured ionized winds shooting out from a quasar at relativistic speeds”
- (2) XRISM collaboration, 2025b, Nature, 646, 57, “Stratified wind from a super-Eddington X-ray binary is slower than expected”
- (3) Mizumoto et al. 2025, PASJ, 77, S39, “High-count-rate effects in event processing for the XRISM/Resolve X-ray microcalorimeter. II. Energy scale and resolution in orbit”