

宇宙地球フロンティア実地研修 報告書

Report for Onsite Training in Earth-Space Frontier Science

氏名/Name	佐藤 璃輝 Sato Riki
所属部局/ Affiliation	理学系研究科 物理学 専攻 Department of Physics , Graduate School of Science
研究機関・企業名 /Hosting Institution	ダラム大学(英), INAF OAS Bologna(伊), トレント大学(伊) Durham University(UK), INAF-OAS Bologna(Italy), University of Trento(Italy)
期間/Period	2026 年 6 月 6 日 ~ 2026 年 7 月 14 日 * 西暦で記入 06/06/2026 14/07/2026 mm/dd/yyyy

【研究内容】

活動銀河核(AGN) では、超大質量ブラックホール(SMBH) 近傍から超高速アウトフロー(UFO) が放出されることが知られているが、その加速機構や幾何学的構造は十分には解明されていない。私は、X 線精密分光衛星 XRISM と NuSTAR による活動銀河核 PDS 456 の約 500 ks の同時観測データを用い、軟 X 線帯域に現れる低電離 UFO 吸収の時間変動を解析した。その結果、存在位置が大きく異なる複数の UFO 成分が同程度の速度で流出していることを明らかにし、UFO の加速機構に重要な制約を与えることを示した。一方で、同じ観測で検出された UFO に由来する輝線成分の物理的解釈については、UFO のジオメトリ依存性・降着円盤の反射成分の混入の影響などなお議論が続いている。Active galactic nuclei (AGNs) are known to launch ultra-fast outflows (UFOs) from the vicinity of supermassive black holes (SMBHs), but their acceleration mechanisms and geometric structures remain poorly understood. I analyzed the temporal variability of low-ionization UFO absorption in the soft X-ray band using 500 ks of simultaneous XRISM and NuSTAR observations of the AGN PDS 456. The analysis revealed that multiple UFO components located at different distances from the SMBH exhibit similar outflow velocities, providing an important constraint on the acceleration mechanism of UFOs. On the other hand, the physical interpretation of the UFO-associated emission component detected in the same observations remains under debate because of its dependence on the assumed UFO geometry and possible contamination from the accretion-disk reflection component.

【渡航の成果】

本渡航では、活動銀河核やブラックホール降着現象を専門とする Chris Done 氏 (ダラム大学)、Massimo Cappi 氏 (INAF OAS Bologna)、Valentina Braito 氏 (トレント大学) らをそれぞれ訪問した。Done 氏との議論では、UFO に伴う輝線成分を詳細に解析した結果、従来のモデルでは説明が困難な構造を新たに見いだした。その物理的解釈については今後の研究による解明が必要であるが、この構造は UFO や SMBH のごく近傍の幾何構造に制約を与える可能性があり、今後の研究につながる重要な知見を得ることができた。Cappi 氏とは、活動銀河核 PDS 456 および MR 2251-178 の解析結果をもとに、吸収・輝線構造の評価方法や、今後重点的に検証すべき解析項目について議論した。Braito 氏とは、活動銀河核 PDS 456 および PG 1211+143 に見られる UFO 由来の輝線成分について、異なる UFO ジオメトリに対応するスペクトルモデルを比較することで、輝線構造の UFO ジオメトリ依存性や今後検証すべき観測的特徴について議論した。本渡航を通じて、本研究の物理的解釈、特に UFO の構造に関する議論をさらに深めるとともに、今後の国際共同研究の方向性を具体化することができた。

During this research stay, I visited Prof. Chris Done (Durham University), Prof. Massimo Cappi (INAF OAS Bologna), and Prof. Valentina Braito (University of Trento), all experts in active galactic nuclei (AGNs) and black hole accretion. Through discussions with Prof. Done, I carried out a detailed investigation of the emission component associated with the UFO and identified a previously unrecognized spectral structure that cannot be explained by existing models. Although its physical origin remains to be clarified by future studies, this structure has the potential to place important constraints on the geometry of the UFO and the immediate vicinity of the SMBH, providing new insights that will guide future investigations. With Prof. Cappi, I discussed the analysis results for the AGNs PDS 456 and MR 2251-178, focusing on methods for evaluating their absorption and emission features and on the key issues that should be investigated in future analyses. With Prof. Braito, I compared spectral models corresponding to different UFO geometries for the UFO emission features observed in PDS 456 and PG 1211+143, and discussed how the emission-line profiles depend on the UFO geometry as well as the observational signatures that should be tested in future observations. Through this research stay, I further deepened the physical interpretation of my research, particularly regarding the structure of UFOs, and established concrete directions for future international collaborations.



Photo: Prof. Braito (center), Ms. Ganguly (left), and me (right) at the University of Trento.