

Cygnus X-3 における核破碎生成元素の観測的検証

○大村 大和¹ 北本 俊二¹ 澤田 真理¹ (1.立教大学)

宇宙線の元素組成比は、太陽組成と比較して Sc、Ti、V、Cr、Mn といった微量元素が過剰であることが知られている。これらは宇宙線中の Fe などの重元素の原子核が星間物質と衝突し、核破碎を起こすことで生成されたと考えられている。同様の核破碎過程は、相対論的ジェットを持つ天体においても生じることが指摘されており、観測的検証が求められている。特に Cygnus X-3 (Cyg X-3) は大質量の Wolf-Rayet 星 (WR 星) を含むマイクロクエーサーであり、相対論的ジェット、星風、コンパクト星からの強い X 線放射が近接した領域に存在するため、核破碎現象を検証する上で適した場である。しかし、従来の X 線 CCD による分光では鉄などの豊富な元素の輝線に埋もれて微量元素の検出は不可能であった。2023年9月に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM の精密分光器 Resolve は、6 keV で半値全幅 5 eV という高いエネルギー分解能を実現し、これまで分離困難だった微弱な輝線に対して格段に高い検出感度を持つ。

そこで、本研究では 2024年3月に XRISM/Resolve で観測した Cyg X-3 の X 線スペクトルを解析し、核破碎で生成される元素からの輝線を探索した。特に周辺に強い既知の輝線が少ない水素様イオンの Lyman α 線に着目した。その上で、放射源の運動を考慮し、静止系での輝線の遷移エネルギーから星風速度相当のエネルギー範囲を探索した。その結果、いくつかの元素ではスペクトルに輝線状の兆候は見られたものの、いずれも 3σ 水準で有意ではなかった。そこで各元素の水素様 Lyman α 線の等価幅の上限値を求め、シンプルな光電離プラズマモデルを仮定し、元素組成比の上限を求めた。得られた Ti, V の 3σ 上限は AGN における核破碎シミュレーション (Gallo et al. 2019) の値と同程度になった。さらに、Cyg X-3 の X 線エネルギースペクトルには、コンパクト星からの強い X 線放射により光電離された WR 星風に由来する輝線や吸収構造が観測されている。探索している微量元素も WR 星風に混ざって同様に放射・吸収を示すと推測した。そこで光電離プラズマのシミュレーションプログラム XSTAR に基づく放射・吸収モデルを用いてスペクトルフィットを行った。この解析では、水素様イオンの Lyman α 線と RRC に着目した。得られた微量元素の組成比に対する制限を、等価幅評価から得た組成比の上限値と比較した。講演ではこれらの詳細を報告する。