OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Observational Study of Stellar Wind Dynamics in the High-mass X-ray binary Cygnus X-3 through High-Resolution X-ray Spectroscopy with XRISM
Author(s)	袴田, 知宏
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/107008
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　袴田　知宏　）	
論文題名	Observational Study of Stellar Wind Dynamics in the High-mass X-ray binary Cygnus X-3 through High-Resolution X-ray Spectroscopy with XRISM （XRISMを用いた精密X線分光による大質量X線連星 Cygnus X-3 の星風ダイナミクスの観測的研究）

論文内容の要旨

高密度な星風をもつウォルフ・ライエ星（WR 星）を伴星として有し、その星風がコンパクト天体からの X 線による光電離によって多様なスペクトル線を生じる Cygnus X-3 は、星風のダイナミクスおよび密度分布を研究するための理想的な実験場である。

我々は、XRISM 衛星に搭載された X 線マイクロカロリメータ Resolve によって観測された Fe、Ca、Ar、S の Lyα 輝線および吸収線の双方を考慮しつつ、軌道変調を測定した。

Fe、Ca、Ar、S の Lyα 線におけるドップラーシフトの変調は、振幅がおよそ 500 $\mathrm{km\,s^{-1}}$ であり、コンパクト天体の軌道運動に対する位相差は、それぞれ 0.04、0.09、0.11、0.17（軌道周期 4.8 時間を 1 とした単位）であった。この結果は、H-like Fe が最も強くコンパクト天体の運動に追従していることを示している。線幅は 400～1000 $\mathrm{km\,s^{-1}}$ の範囲に分布していた。

輝線および吸収線の強度はいずれも、軌道位相 0.0 付近で最小値を示し、位相 0.5 付近で最大値に達した。ただし、吸収線のピークは厳密には位相 0.5 と一致せず、accretion wake や bow shock といった不均一構造の存在を示唆している。

我々は、WR 星からの紫外線によって加速される恒星風モデルに基づく計算と、観測された変調とを比較した。そのうちの一部の計算は、H-like Fe イオンがコンパクト天体近傍に集中し、一方で H-like S は連星系全体に広く分布し、H-like Ca および Ar はその中間的な空間分布を示すという観測された傾向を定性的に再現した。この比較から、恒星風の質量放出率はおよそ 5×10^{-6}-$1\times10^{-5}\,M_{\odot}\,\mathrm{yr^{-1}}$ であると見積もられた。

さらに、CAK モデルを仮定して得られたスペクトルを観測スペクトルと比較したところ、Fe Lyα 線は観測に比べて線幅が小さく、強度も弱いことが分かった。これに対し、Ca、Ar、S の Lyα 線は、Fe Lyα 線と比較して観測結果を比較的よく再現している。これらの結果は、Fe Lyα 線に関しては、ドップラーシフトのみならず、線幅および強度も、他の元素の線より強くコンパクト天体の影響を受けていることを示唆している。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　袴田知宏　）	
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主査　教授	松本浩典
	副査　教授	住貴宏
	副査　教授	松尾太郎
	副査　教授(芝浦工業大)	井上芳幸
	副査　准教授	小高裕和

論文審査の結果の要旨

白鳥座 X-3 は、コンパクト星(中性子星あるいはブラックホール)と、大質量星ウォルフライエ星(以下 WR 星)から構成される、公転周期 4.8 時間の X 線連星系である。WR 星からの恒星風がコンパクト星に降着することで大光度の X 線が発生する系である。恒星風がどのようにコンパクト星にとらえられるのかは、連星系における質量輸送に深く関わっており、連星系の進化を考える上で重要な機構であるが、その具体像はよくわかっていなかった。以前より白鳥座 X-3 の X 線スペクトルには、光電離プラズマからの多くの輝線・吸収線が存在することが知られていた。この輝線・吸収線には、WR 星からコンパクト星への恒星風輸送の情報が刻み込まれているはずだが、従来の観測装置では感度・エネルギー分解能が不足しており、その情報を明らかにすることはできなかった。このような状況のもと、袴田氏は、高感度・高エネルギー分解能を有する世界最新の X 線天文衛星 XRISM による白鳥座 X-3 の観測データの詳細な解析を行った。白鳥座 X-3 の X 線スペクトルには多種の元素・イオンからの輝線・吸収線が含まれるが、袴田氏は、比較的シンプルな構造をしている水素状イオンからの輝線・吸収線に着目した。そして、輝線と吸収線が近接する P-Cygni プロファイルを明確に検出し、これを考慮した上で、公転周期 4.8 時間の中で、輝線や吸収線が変調する様子を初めて明らかにすることに成功した。鉄原子イオンからの輝線の中心エネルギーは、コンパクト星の運動によるドップラー変調と似たような変動を示す一方、カルシウム・アルゴン・硫黄原子イオンからの輝線の変動は、コンパクト星の運動から遅延していることを明らかにした。その遅延時間は、軽い原子ほど大きいことも明らかにした。これは、大きな電離エネルギーを要する重い原子のイオンほど、コンパクト星付近に存在し、そのようなイオンを含むプラズマがコンパクト星の重力にとらえられていることを意味する。袴田氏は、鉄原子イオン輝線のドップラー幅を検出することにも成功し、恒星風がコンパクト星にとらえられる範囲(降着半径)を見積もることにも成功した。袴田氏は、鉄原子イオン以外の輝線のドップラー幅・その変調も測定し、そこからコンパクト星近傍の恒星風には後流(ウェーク)のような構造が発生していることも示唆した。袴田氏が得た以上の成果は、恒星風がコンパクト星にとらえられる様子を具体的に初めて観測的に明らかにしたという価値がある。3 次元放射輸送シミュレーションなどを通して、輝線や吸収線の変調の詳細な定量評価を行えば、恒星風降着の具体的様子はさらに明らかになっていくだろう。そのような研究の端緒を切り拓いたとも言える。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。