

XRISM ニュース (3)

観測速報その2

山口 弘悦¹, 野田 博文²

XRISM チーム

〈¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 宇宙物理学研究系 〒252-5210 神奈川県相模原市中央区由野台 3-1-1〉

〈² 東北大学大学院理学研究科天文学専攻 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3〉



山口



野田

XRISM ニュース (1) ではファーストライト観測 (銀河団と超新星残骸) の成果, (2) では他の X 線衛星との相互較正作業とその国際会議の様様をお伝えしました (天文月報 2024 年 9 月号・10 月号参照)。今回は, 観測成果の紹介の第 2 弾として, X 線連星や活動銀河核の精密分光観測の成果をご紹介します。

大質量 X 線連星 Cyg X-3

— 光電離プラズマが魅せた驚異のスペクトル —

地球から約 3 万光年の距離にある「はくちょう座 (Cyg) X-3」は, ウォルフ・ライエ星とコンパクト星 (ブラックホールまたは中性子星) から成る大質量 X 線連星です。2 つの星は非常に近接しており, わずか 4.8 時間の周期でお互いの周りを公転します。ウォルフ・ライエ星から放出される星風の一部はコンパクト天体に降着し, X 線を放ちます。この X 線が星風内の物質を激しく照らし, 「光電離プラズマ」を形成します。Cyg X-3 は, 光電離プラズマを伴う X 線天体の代表格です。

2024 年の 3 月に, Cyg X-3 は X 線で特に大光度となる “Ultrasoft state” に入りました。そこで XRISM は, プロジェクトの判断により, この天体の優先観測を行いました。得られたスペクトルを見た瞬間, 「自然は人間の想像を遥かに超える」というブルーノ・ロッシの言葉が脳裏をよぎりました。観測計画時に行ったシミュレーションとは比較にならないほど, 複雑な様相を見せていたからです。鉄 K 殻の帯域 (6–8 keV) だけをとっても, 様々な価数のイオンによる吸収線や輝線が入り組み, それらが軌道位相に応じて変化する様子も捉えられました。「このデータは解釈が大変になるぞ」という嬉しい悲鳴が, チーム内であがりました。

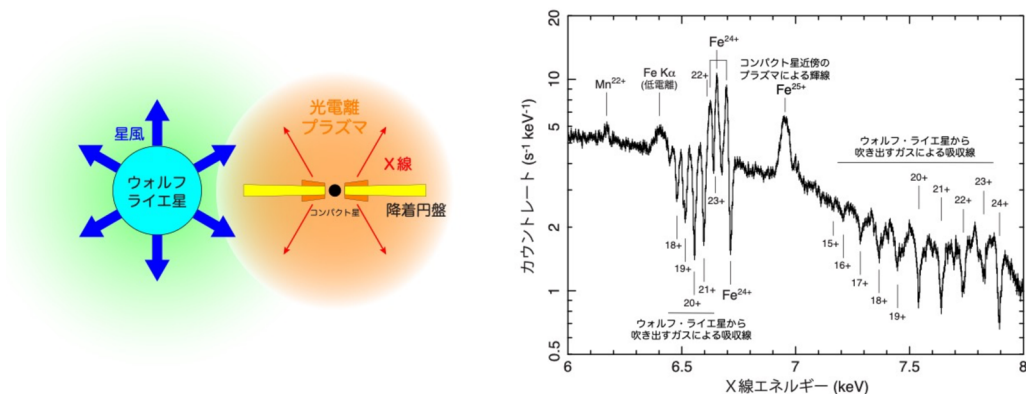


図1 Cyg X-3の概略図 (左) と軟 X 線分光装置 Resolve による 6–8 keV スペクトル (右)。

これまでの解析で、星風物質の速度分布や密度分布、コンパクト天体の公転運動の様子などが、大まかにはわかりつつあります。しかし本格的な解析はこれからです。Cyg X-3は、やがてウォルフ・ライエ星側も超新星爆発を起こし、重力波源としてお馴染みのコンパクト星連星となることが予想されます。今後XRISMのデータをより詳しく調べることで、この奇妙な天体がどのような過程で作られ、この先どのような進化を辿るのかが明らかになると期待されます。

活動銀河核NGC 4151

—精密X線分光で超巨大ブラックホール近傍の物質分布や物理状態を捉える—

銀河とその中心の超巨大ブラックホール（SMBH）の共進化、さらには宇宙の進化を解明する上で、SMBHへの質量降着によって多波長で明るく輝く活動銀河核（AGN）の理解は不可欠です。AGNでは、中心付近に存在するコロナや降着円盤をはじめ、数千km/sの速度幅を持つ可視光広輝線を放射する広輝線領域（BLR）、さらにそれらを取り囲むドーナツ状のダストトラスなど、複雑な構造が存在します（図2左）。しかし、各領域の詳細な構造や、どのようなメカニズムで形成・維持されるのかについては未解決の課題が多く残されています。

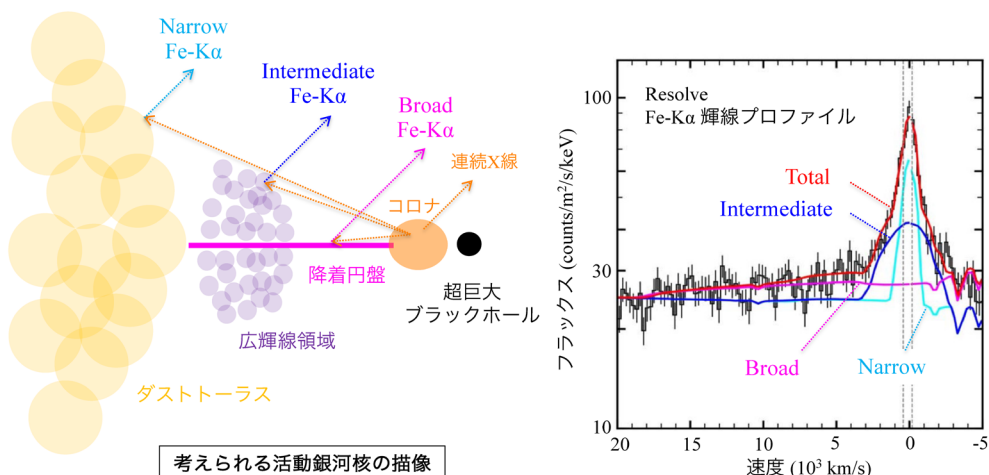


図2 超巨大ブラックホール周囲の構造（左）と軟X線分光装置ResolveによるNGC 4151の鉄K α （Fe-K α ）輝線スペクトル（右；XRISM collaboration 2024 [2] の図を改変）。Broad, Intermediate, Narrow Fe-K α は左図のように異なる領域から放射され则认为られる。

AGN内部を探る鍵の一つが、コロナから放射された連続X線が周囲の物質によって光電吸収を受けた結果、X線スペクトルの約6.4 keVに現れる鉄K α 輝線です。しかし、従来のX線観測装置では分光性能が足りず、異なる領域からの鉄K α 輝線を分離することは困難でした。そこで登場したのがX線分光撮像衛星XRISMです。我々は、XRISMで観測する最初のAGNとして、約16 Mpcの距離に位置し、太陽質量の約3000万倍のSMBHを持つX線で明るいNGC 4151を選定し、2023年12月から2024年6月の間に計5回の観測を実施しました。元々は4回の予定でしたが、NGC 4151は軟X線撮像装置XtendのX線CCDカメラの観測モードの検証に最適明るさだったので、最初の1回はXtendのコミッショニングの一環として検出器チームに提案し、実施されることになりました。コミッショニングを最優先に考

えたターゲット選定でしたが、科学的にも素晴らしいデータが得られるだろうという期待がなかったかと言えば嘘になります。このような流れを経て、NGC 4151の最初の観測は、実はファーストライト天体であるN132Dよりも先に行われたのでした。

我々は、XRISMの精密X線分光によって、異なる領域からの鉄K α 成分を分離することに成功しました（図2右）。さらに、XRISMと同時に可視光広輝線の分光観測も実施でき、鉄K α 輝線と可視光広輝線のプロファイルを同等の波長分解能で直接比較できるのを目の当たりにした時には、X線観測の新たな時代の到来を強く実感しました。現在、鉄K α 輝線の詳細なプロファイルや、可視光広輝線との類似点や相違点を調べ、BLRやダストトーラスの構造や形成過程の議論が進んでいます。XRISMによる精密X線分光は、AGN、特にSMBH近傍領域の解明に向けた新たな道を切り拓きつつあります。

上の内容は、以下の出版済論文[1, 2]で詳しく紹介されています。

[1] XRISM collaboration, 2024, ApJL, 977, 34

[2] XRISM collaboration, 2024, ApJ, 973, 25

今後もXRISMの観測成果を随時ご紹介していきたいと思います。また、XRISMの搭載装置や運用の現場についての話題も取り上げる予定です。ご期待ください！