

XRISM ニュース (8)

観測速報その4

都丸 亮太¹, XRISM チーム

¹ 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻 〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-11)



都丸

前回の観測速報（天文月報2025年9月号XRISMニュース3）では、科学誌Natureに掲載されたケンタウルス座銀河団と活動銀河核PDS 456の観測成果をご紹介します。実はその同じ2025年9月に、XRISMはさらにもう一つの大きな成果を生み出していました。中性子星X線連星GX 13+1の観測結果をまとめた論文が、Nature誌から出版されたのです[1]。XRISMは、中性子星の周囲に形成された高温のガス円盤（降着円盤）から噴き出す「風」（円盤風）による、予想を上回る非常に複雑な吸収線を鮮明に捉えることに成功しました。今回のXRISMニュースでは、その驚くべき観測結果について解説します。

GX 13+1

—精密分光が捉えた超臨界降着流アウトフローの異なる姿—

XRISM衛星が明らかにすると期待されていた大きな課題の一つが、X線連星中の中性子星・恒星質量ブラックホールや、活動銀河核の中心にある超巨大ブラックホールの円盤風の物理的起源の解明である。これらの円盤風は電離イオン（特にH、He likeな鉄）の青方偏移した吸収線によりその存在が示されており、周辺環境に多量の質量や運動量、エネルギーを輸送しうるため銀河進化等にとって重要な現象であるとされる。

中性子星低質量X線連星GX 13+1はこの円盤風の物理を調べるために最も適した天体の一つである。この天体はZ sourceと呼ばれる光度が大きい天体であり、さらに円盤風由来の吸収線（青方偏移100-1000 km/s）が常に観測されるからである。そのため、XRISM衛星のPerformance Verification (PV) フェイズのターゲットとして選定され、2024年の2月に観測が実施された。

今回の観測でまず目についたのは、同時観測のNuSTAR (3-30 keV) スペクトルで観測フラックスが明らかに低下し、9 keV付近に吸収エッジのような構造まで見えていた点である。普段のGX 13+1とあまりに違うため、当初は解析手順の誤りすら疑った。しかしその後に届いたXRISM搭載軟X線分光装置Resolveの高分解能スペクトルは、NuSTARが示した変化が実在することを裏づけると同時に、決定的な新情報を示した。Resolveには従来よりも遙かに多くの吸収線構造が現れており（図1）、円盤風が濃い状態（視線上の密度が高い状態）が出現していることを示唆したのである。その後にRXTE衛星の過去の観測データをすべて確認したところ、レアではあるが同様の状態が過去にもとっていたことが明らかになった。

Resolveのデータ解析の結果、詳細な円盤風の状態が明らかになり、興味深い描像が明らかになった。吸収線の多くは高電離のHe、H likeイオンに由来し、特に鉄では柱密度が非常に大きく $n=1 \rightarrow 9$ (n は主量子数、 $n=1$ が原子の基底状態)にもなる弱い遷移まで検出されていた。元素量を太陽組成と仮定すると、トムソン散乱の光学的厚さは1-2にもなり、中心からのX線が電子散乱で強く減光されていることを示唆する。この減光を補正すると、中心光度はエディントン光度*1 (L_{Edd}) の1-2倍となる領域に入る（通常の状態での光度は約0.5 L_{Edd} ）。つまり、見かけは暗いのに、実は中心はむしろ明るく、その強い

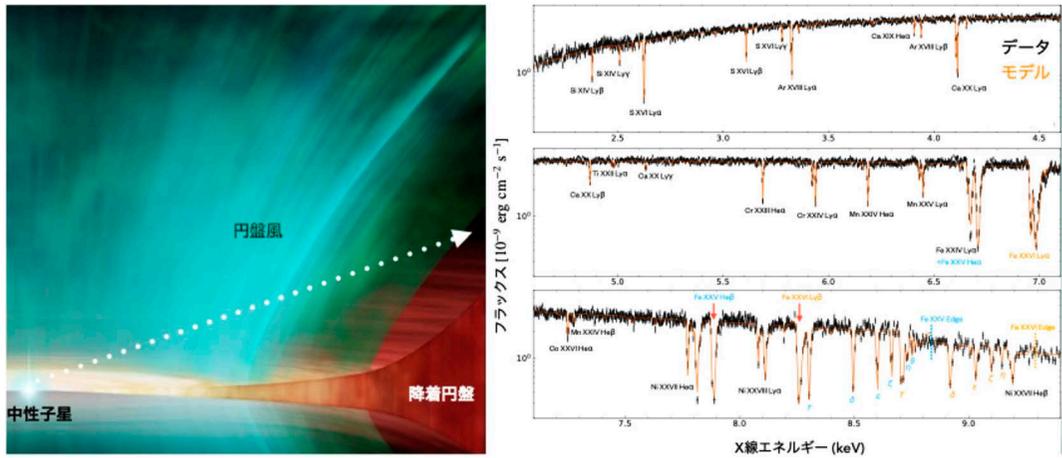


図1 XRISM搭載軟X線分光装置ResolveによるGX 13+1の観測スペクトル(右). 多数のイオンからの吸収線構造がこの円盤風の視線上の密度が大きいことを示している. X線は左図で示した中性子星近傍で発生しており, 円盤風を通して観測することで吸収線構造が観測されていると考えられる.

放射が厚い円盤風に覆い隠されている, という構図が見えてきた.

さらにResolveは吸収線プロファイルの細部も明らかにし, 単一速度の吸収体では再現できないことがわかった. 2つの速度構造をもつ光電離プラズマとして扱えば, 600 km/sと300 km/sの2成分でスペクトルを説明でき, 風が厚いだけでなく構造的であることも示された.

ただし, この結果は新たな疑問も投げかける. それは, エディントン光度を超えるような状態にも関わらず, 光速の10-30%という準相対論的な速度の吸収線が見られていないということである. 例えば, 同じようなエディントン光度比を持つ超巨大ブラックホールPDS 456では, 準相対論的なアウトフローがクランプ状に存在することが示されつつある[2, 3]. それに比べるとGX 13+1では, そのような高速な成分が明瞭には見えていない. 準相対論的な円盤風がそもそも存在しないのか, それとも存在していても強いX線照射で完全電離してしまい, 吸収線として観測されていないのか. この点は, さらなる観測とモデリングによって詰めるべき重要な課題である.

私はXRISMのGuest Observerプログラムにてこの天体を再観測した結果を解析中である. 新たな観測データは, エディントン光度よりも小さい光度を持つ, 通常のスpektral状態を捉えており, 明らかにPVフェイズとは異なる吸収線のプロファイルを示している. この2つのデータを比較することで, 円盤風の駆動メカニズムに迫れると考えている. 新たな結果に興味がある方はぜひ期待してお待ちいただきたい.

上でご紹介したPVフェイズの観測については, 以下の出版済論文[1]にまとめられています.

[1] XRISM collaboration, 2025, Nature, 646, 57

より詳細な観測結果については, こちらの論文をご覧ください.

[2] XRISM collaboration, 2025, Nature, 641, 1132

[3] 藤田 裕他, 天文月報, 2025, 534

*1 放射による外向きの力と内側への重力が釣り合う最大光度.