

【研究成果のポイント】

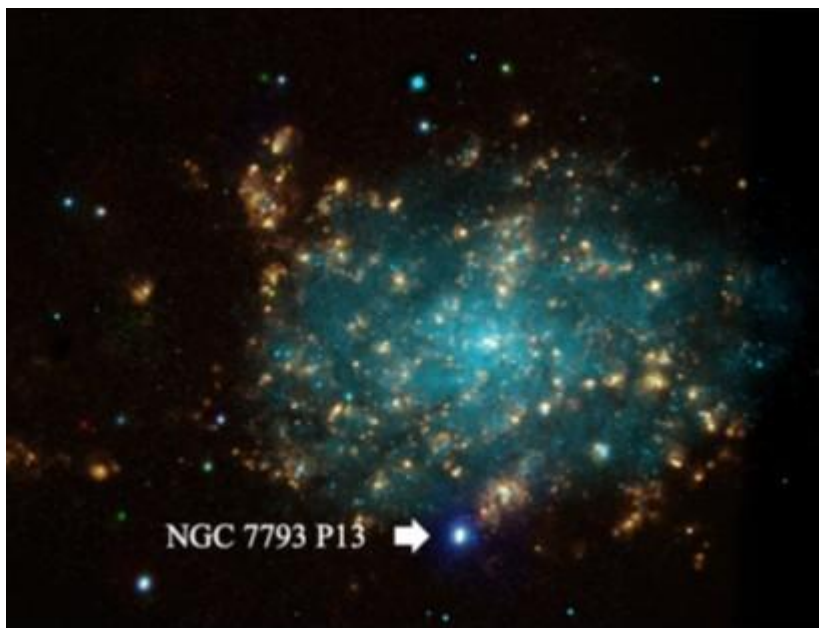
- ・地球から約 1000 万光年離れた NGC7793 銀河に存在する“異常なほど多量のガスをのみこむ”中性子星について、13 年にわたる観測データをもとに天体の性質を調査。
- ・のみこまれるガスの放つ「X 線の明るさ」と中性子星の「回転スピード」の未知なる関係性を発見。
- ・中性子星が異常な量のガスをのみこむメカニズムと中性子星自体が受ける影響の理解が進展。

【研究の詳細】

<背景>

中性子星やブラックホールの近傍では、強い重力によって周囲のガスが引き寄せられ天体へと落ちていきます。この現象を「降着」と呼び、その過程で光が放射されます。天体に落ちる単位時間あたりのガスの量（降着量）と、放射された光の明るさには比例関係があり、ある“限界^{※3}”を超えると多量のガスが落ちる（＝明るく光る）ことはできないと、考えられていました。しかし、観測技術の発展により、その“限界”を超えた明るさで輝く天体が、多数見つかるようになりました。これらの極端な明るさを実現する一つの方法としては、異常なほど多量のガスが、一気に天体へと降着する「超臨界降着」が起きていることが挙げられます。しかし、どのようにして“限界”を超えた超臨界降着が実現されるのか、そのメカニズムについてはよくわかっていません。

この謎に迫るために我々が着目したのは、地球から約 1000 万光年離れた NGC 7793 銀河（図 1）に存在する、NGC 7793 P13（以降 P13）という中性子星です。中性子星は、ブラックホールに匹敵する極めて強い重力を持つ天体で、さらに並外れた強力な磁場も持ち、その典型的な磁場の強さは、地球上で最も強い永久磁石（ネオジム磁石）の約 1 億倍（＝1 兆ガウス）にもなることから“宇宙最強の磁石”と呼ばれています。先行研究によると、P13 という天体は、0.4 秒という非常に短い周期で高速回転（自転）していて、しかもその自転速度は年々加速していることがわかっています。加えて、P13 は極端に明るいことから超臨界降着が起きていると考えられ、過去約 10



年でその明るさが 100 倍以上も変化していました。このような“超

【図 1. NGC 7793 銀河と NGC 7793 P13（X 線、可視光、H α 線のデータを重ね合わせた画像；

Credit : X-ray (NASA/CXC/Univ of Strasbourg/M.Pakull et al) ; Optical (ESO/VLT/Univ of Strasbourg/M.Pakull et al) ; H-alpha (NOAO/AURA/NSF/CTIO 1.5m)】

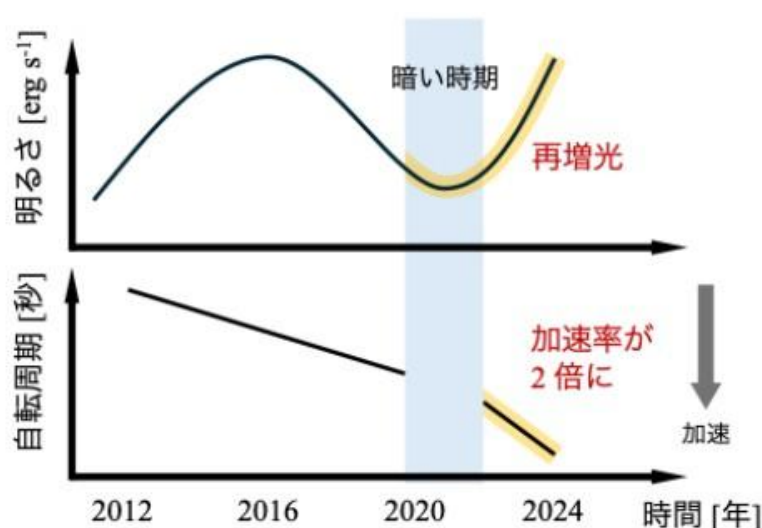
「臨界降着する中性子星」は、「強重力・強磁場・高速回転・高光度」の極限状態にある究極の天体で、これまでに約 10 天体ほどしか見つかっていません。

一般的に、中性子星へと降着するガスは、天体の強力な磁場によって進路を制限され、やがて中性子星の磁極付近に集中的に落ちていきます。このとき磁極付近に溜まったガスのつくる“柱”のような構造を降着柱と呼び、これが X 線で明るく光ると考えられています。明るい降着柱を地球から見る角度は、中性子星の自転に伴い変化します。そして、この効果により、灯台のような周期的な明滅（パルス）が観測されます。

降着するガスの放つ「明るさ」と中性子星の「自転スピードの変化の割合」は、単位時間あたりに降着するガスの量に依存すると考えられています。多くのガスが回転しながら中性子星へと落ちると、回転の勢いをもらうことで中性子星がさらに高速で自転します。そして、ガスの落ちる勢いが強いほど、自転の速まり方（加速率）が大きくなります。実際に我々の天の川銀河のなかには、この「明るさ」と「自転スピードの加速率」が相関する中性子星がいくつか見つかっています。一方で、“超臨界降着”するという特殊な中性子星については、この関係性は不明瞭です。特に P13 は、過去に 100 倍以上の「明るさ」の変化があったにもかかわらず「自転スピードの加速率」は一定のままで、相関の見られない天体として知られていました。

<観測とその成果>

我々は、複数の X 線天文観測装置（XMM-Newton、Chandra、NuSTAR、NICER）の観測データを用いて、かつてない長期間（2011 年から 2024 年まで）にわたって P13 の「X 線の明るさ」と「自転スピード」の変動を調べました。その結果、P13 は 2021 年まで暗い時期にあったものの、2022 年以降再び明るくなり始め、2024 年までにその「明るさ」が 100 倍以上に大きくなっていたことがわかりました（図 2 上）。これは過去に最も明るかった時期と同程度の明るさです。

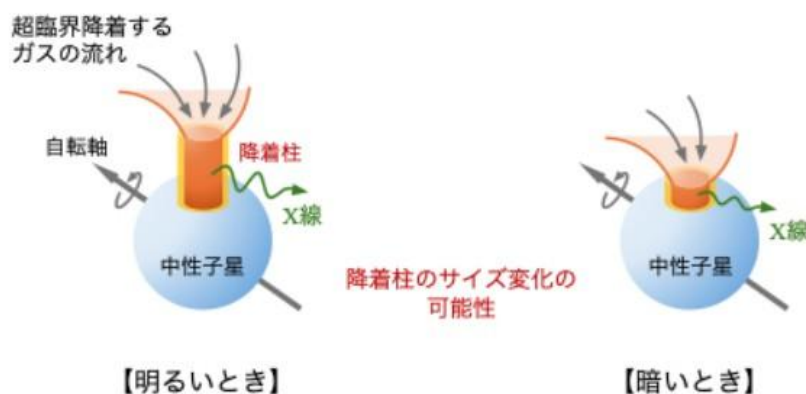


さらに、2022 年以降の増光時の「自転スピードの加速率」は、2020 年以前に比べて 2 倍に変化していました（図 2 下）。この結果は、P13 でこれまでわからなかった「明るさ」と「自転スピードの加速率」の関係性を示すもので、我々は超臨界降着の知られざる性質を明らかにしました。

【図 2. 中性子星（NGC 7793 P13）の明るさと自転周期の時間変化】

※自転スピードと自転周期には反比例の関係があり、周期が短くなる＝自転が速くなる。自転スピードの加速率は傾きで表される。

この「自転スピードの加速率」の変化は、2020 年の暗い時期の前後で、P13 の降着の仕方が変わったことを強く示唆しています。そこで我々は P13 のパルスに着目し、詳しい解析を行ないました。その結果、約 10 年の明るさの変動に合わせて、中性子星の降着柱の高さが刻々と変化していたことがわかりました（図 3）。この明るさに伴う降着状態の変化は、超臨界降着のメカニズムに迫る重要な観測結果といえます。



【図 3. 明るさの変化に伴う降着柱の形の変化】

今回の研究成果では、超臨界降着に関わる「X線の明るさ」と「自転スピードの加速率」の新しい関係性と、ガスの降着によって光る「降着柱の形の時間変化」を明らかにしました。これらの新しい結果により、超臨界降着のメカニズムの理解につながると期待されます。

<今後の展望>

P13 は、約 10 年間で暗い時期と明るい時期を経験し、2024 年には過去最も明るかった時期と同程度の明るさになりました。今後この明るさが、維持されるのか、それともさらに明るくなるのか、もしくは暗くなるのか、全く予想がつきません。そのため、これからもモニタリングを続け、より長期的な傾向を明らかにしていきます。また、今回観測された、降着するガスの「明るさ」と中性子星「自転スピードの加速率」の相関が、どのような理論に基づいて降着柱の構造と直接的に関係しているのかわかっていません。コンピュータシミュレーションによって、この新しい理論モデルを構築したいと考えています。

【用語解説】

※1 NGC 7793 銀河

南天の「ちょうこくしつ座」の方向にある渦巻き銀河。

※2 中性子星

典型的なもので、半径約 10 km の大きさに太陽の約 1 個分の質量をもつ高密度天体。

※3 限界

天体の重力と放射による圧力のつり合いによって決まる降着の限界。この指標をエディントン限界という。

【論文情報】

掲載誌: The Astrophysical Journal Letters (IOP Publishing, 英国物理学会出版)

題名: Monitoring of the Spectral and Timing Properties of the Ultraluminous X-ray Pulsar NGC 7793 P13

著者: Marina Yoshimoto, Tomokage Yoneyama, Shogo B. Kobayashi, Hirokazu Odaka, Taiki Kawamuro, Hironori Matsumoto

DOI: 10.3847/2041-8213/ae018f

【研究助成】

科学技術振興機構 次世代研究者挑戦的研究プログラム/大阪大学 学際融合を推進し社会実装を担う次世代挑戦的研究者育成プロジェクト

課題番号: JPMJSP2138

日本学術振興会科学研究費補助金 (科研費)

課題番号:

20H00178、22H00128、22K18277、23H00128、23K13153、24K00673、25KJ0250

【お問い合わせ先】

(研究に関するお問い合わせ先)

愛媛大学大学院理工学研究科

特定研究員 善本 真梨那

TEL: 089-927-9551

Mail: yoshimoto.marina.gr@ehime-u.ac.jp

大阪大学大学院理学研究科

准教授 小高 裕和

TEL: 06-6850-5478

Mail: odaka@ess.sci.osaka-u.ac.jp

(報道に関するお問い合わせ先)

愛媛大学 総務部広報課

TEL: 089-927-9022

Mail: koho@stu.ehime-u.ac.jp

大阪大学 理学研究科庶務係

TEL: 06-6850-5280

Mail: ri-syomu@office.osaka-u.ac.jp