

**Low-Mass X-ray Binary における静穏期とアウトバーストの関係**  
**The connection between a quiescent phase and an outburst in low-mass X-ray binaries**

○渋井 光琉<sup>1</sup>, 根来 均<sup>2</sup>

\*Shibui Hikaru<sup>1</sup>, Hitoshi Negoro<sup>2</sup>

Abstract: More than 300 low-mass X-ray binaries (LMXBs) have been discovered to date. Each LMXB alternates between two stable phases: a quiescent phase and an outburst phase. The connection between the duration in a quiescent phase after an outburst and the total bolometric luminosity of a following outburst is crucial to understand the cause of the outburst. To achieve this, it is necessary to systematically investigate previously detected outbursts of LMXBs and analyze their individual characteristics. As a first step, additional outburst data have been integrated into a published LMXB catalogue, enabling us to determine the quiescent and outburst periods for each LMXB.

1. 序

X 線連星 (X-ray binary, XRB) は主に主系列星の恒星 (ここでは伴星と呼ぶ) と高密度な天体 (主星, コンパクト星とも呼ばれる) がペアを形成する連星系の一種であり, これらのシステムでは主に X 線が放射される. 特に伴星が低質量のものは「低質量 X 線連星系 (Low-Mass X-ray Binary, LMXB)」と呼ばれる. LMXB は, 静穏期とアウトバーストを繰り返す. アウトバーストにおける X 線放射の詳細なメカニズムやその再帰性については, まだ多くの未解明な点が残されている. 本研究では, まず第一段階として, この再帰性に着目し, これまでに発見された LMXB のカタログ<sup>[1]</sup> に, The Astronomer's Telegram (ATel) 等に報告されたアウトバーストの記録を追加し, 静穏期とアウトバーストのデータを整理した. 今後, 再帰性が顕著な天体に対し, Rossi X-ray Timing Explorer / All Sky Monitor (RXTE/ASM) と全天 X 線監視装置 (Monitor of All-sky X-ray Image / Gas Slit Camera, MAXI/GSC) の計 27 年間に渡るデータを用いて, 光度曲線を作成する予定である.

2. 低質量連星系 LMXB

2.1. X 線連星における LMXB

X 線連星は, 連星系の中で高密度な主星 (白色矮星, 中性子星, またはブラックホール) に伴星から物質が降着する際に X 線を放射する天体システムである<sup>[2]</sup> (Fig. 1). これらのシステムは恒星および連星進化の過程において重要な役割を果たしている.

コンパクト星は恒星進化の最終点であり, 太陽と比較すると小さく, はるかに高密度な天体である. 元の恒星の質量によって分類されており, 元の恒星の質量

が太陽質量の 8 倍以下のものは白色矮星, 8 ~ 30 倍のものは中性子星, 30 倍以上のものはブラックホール (BH) となる<sup>[3]</sup>. 白色矮星は, 元の恒星の内部で起こっていた水素の核融合が終わり赤色巨星となった後, 外層を失うことで残ったコアの部分が天体となったものである.

中性子星と BH は, 元となる恒星内部で大質量による重力を支えられなくなることによって引き起こされる超新星爆発により発生する天体である<sup>[4]</sup>. BH には表面が存在せず, 事象の地平線が存在し, BH 自体を直接観測することはできない. しかし, 伴星からの質量降着によって発生する X 線放射を通じて, その存在を確認することが可能である.

また, 伴星の質量によって連星系は分類され, 伴星が太陽質量と同程度またはそれ以下のものを低質量 X 線連星 (LMXB), より質量が大きいものを高質量 X 線連星 (HMXB) と呼ぶ<sup>[2]</sup>. HMXB は伴星の寿命が短く, 質量が高質量であることから比較的若い連星であるのに対し, LMXB の寿命は長く, 低質量であることから比較的古い連星である.

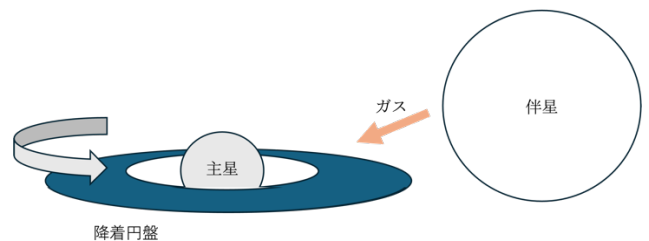


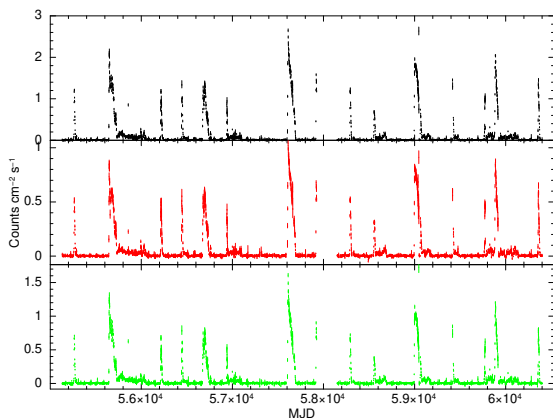
Figure 1. Image of an X-ray binary

2.2. 静穏期とアウトバースト

連星を成す両天体が連星の質量中心の周りを回っていることから, LMXB における伴星から流出するガス

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理

は、主星の周りを回り込んで降着する<sup>[3]</sup>。この角運動量によって形成される薄く広がったガスの円盤を降着円盤と呼ぶ。降着円盤は内側ほど大きな角運動量を持つ差動運動をしているが、ガス粒子間の粘性によって、摩擦が生じる。その結果、ガス粒子は角運動量を失い、主星に向かってゆっくりと落ちていく。この過程でガス粒子の重力エネルギーの一部が放射として解放され、特に X 線領域で明るく輝く。降着するガス粒子の量が増加すると、その結果として数日から数ヶ月にわたる急激なエネルギー放射の増加が起こる。これをアウトバーストと呼び、その際 LMXB が非常に明るく観測される。この放射が観測され、LMXB の発見や特性の調査が行われている。一方、降着量が減少し、X 線放射が低く抑えられる期間も存在する。この期間はアウトバーストに対して静穏期と呼ばれ、LMXB は比較的安定した状態にある。



**Figure 2.** Light curves of 4U 1608-52 obtained with the MAXI/GSC (black: 2-10 keV, red: 2-4 keV, green: 4-10 keV).

Fig.2 は、MAXI/GSC によって観測された LMXB 4U 1608-52 の光度曲線である。1995 年から稼働した RXTE 衛星の ASM と 2009 年から稼働した MAXI の GSC により、27 年以上に渡るこのような LMXB の活動が捉えられるようになった。

### 3. カタログの改良

多数の LMXB をまとめたカタログとして、“A catalogue of low-mass X-ray binaries in the Galaxy, LMC, and SMC”<sup>[5]</sup> と、“Catalogue of cataclysmic binaries, low-mass X-ray binaries and related objects”<sup>[6]</sup> がある。ま

たこれら 2 つを統合し、銀河系外を除くなど改良されたカタログが A. Avakyan らによって作成された<sup>[4]</sup>。同カタログ内に記載された 350 個の LMXB のうち、2024 年 9 月現在 103 個の天体が ATel に投稿されていることを今回確認した。そして、これらの天体の発見日時とアウトバースト期間をまとめたカタログを新たに作成した。その結果、中には発見されてからこれまでに 5 回以上アウトバーストを繰り返しているものなど、より具体的な静穏期とアウトバーストの期間を確認することができた。また、いくつかの天体は X 線以外の領域においても観測がされており、可視光、赤外線など他の領域で、いつ観測されたのかについてもまとめることで、天体の長期的観測について知ることができた。

### 4. 今後の課題

今回調査したアウトバーストのうち、ある一定のライン (5 回以上アウトバーストを起こしたのもの等) をもとに、RXTE/ASM と MAXI/GSC のデータを用いて天体の光度曲線を作成する。これを用いて発生頻度とアウトバーストの規模のより物理的な考察を進めていく。

### 5. 参考文献

- [1] Avakyan et al. : “XRBCats: Galactic low-mass X-ray binary catalogue”, *A&A*, 675, A119, 2023
- [2] Rosswog and Bruggen, ”Introduction to High-Energy Astrophysics”, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2007
- [3] 福江純, 他, 「輝くブラックホール降着円盤 降着円盤の観測と理論」, プレアデス出版, 2007
- [4] 福江純, 他, 「超・宇宙を解く 現代天文学演習」, 恒星社厚生閣出版, 2014
- [5] Liu et al. : “A catalogue of low-mass X-ray binaries in the Galaxy, LMC, and SMC”, *A&A*, 469, 2, 807-810, 2007
- [6] Ritter et al. : “Catalogue of cataclysmic binaries, low-mass X-ray binaries and related objects”, *A&A*, 404, 1, 301-303, 2003