

恒星質量ブラックホールのハードな状態に向けた円盤コロナスペクトルモデルの改良とQPOの起源としてのLense-Thirringモデルの追検証

○久保田 あや¹ Done Chris² Ma Ruican³ (1.芝浦工業大学 2.Durham university 3.University of Southampton)

SSsedモデル(Kubota et al. 2024, MNRAS 528, 1668)は、降着流のエネルギー収支を考慮し、恒星質量ブラックホール(BH)のhard intermediate state (HIMS)の高エネルギーコロナのサイズ推定を可能にした。恒星質量BHでは、10Hz以下の低周波の準周期振動(LF-QPO)がしばしば観測されるが、Kubota et al. 2024ではRXTE衛星によるXTE J1550-564のスペクトルおよび時間変動解析を行い、SSsedで決定したコロナサイズとQPO周波数の逆相関関係を得た。これにより、LF-QPOが、BH周りの傾いた降着流によるLense-Thirring(LT) 歳差を起源とするシナリオ (Ingram, Motta 2019 New Astron. Rev. 85, 101524) に非常に良く一致することを示した。また、Ma et al. 2025 (MNRAS 543,1748)は、Swift J1727.8-1613のHXMTのデータについて、同様に、QPOとコロナサイズに同様の逆相関を示した。

これらの結果は、QPOの起源としてのLT歳差シナリオを強化するものであったが、課題も残った。SSsedは hard state のスペクトルに適用しようとすると、QPO周波数はより低周波に移行するにも関わらず、コロナサイズが30-40R_g程度で飽和してしまうという問題である。

この原因は、光子指数 Γ が2以下のハードなスペクトルでは、種光子の温度が低くなると、逆コンプトン散乱スペクトルに、低エネルギー側に凹みが見れることが第一にある。また、SSsedではコロナ成分はパッシブな円盤に付随するサンドイッチコロナの構造を考えているが、円盤自体のパワーは微小であっても、コロナからの照り返しによって、 $\Gamma < 1.9$ のハードなスペクトルは実現しない (Kubota & Done 2018, 480,1247) という問題もある。

そこで、SSsedをhardなスペクトルにも適用可能なSSsed2モデルに改良した。SSsed2では、サンドイッチコロナが途中で切断し、そこから高温成分が放射され、 $\Gamma \sim 2$ の非熱的な成分はサンドイッチコロナからの放射として据え置く。これによって、SSsedで現れた硬いコンプトン成分の低エネルギー側の凹みは補填される。

改良したモデルでXTE J1550-564およびSwift J1727.8-1613のbright hard 状態を再解析したところ、コロナサイズの飽和は消え、LT歳差から予測される逆相関関係がより低周波側に延長することを確認した。この結果はhard stateにおいてもLT歳差によるQPOの理解が適切であるとともに、円盤が切断することが基本的に重要であることを示す。