すざく衛星による中間質量ブラックホール候補 HolmbergIX X-1 の解析

The Xray study of Ultra Luminouscompact X-Ray source HolmbergIX X-1 with the suzaku

宇宙情報解析研究室 P08140 村田 竜太郎

指導教員: 久保田 あや 准教授

1 背景と目的

ブラックホール (以後 BH と表記) は $10M_{\odot}$ 程度 (M_{\odot} は太陽質量) の恒星 BH と $10^{6}M_{\odot}$ 以上の大質量 BH の 2 種類の存在が確立している。しかし、これらの BH 間には、関係があるかどうか未だ不明である。近年、2 種の BH の中間 ほどの質量を持つブラックホール候補 超光度 X 線天体 (ULX: Ultra Luminous compact X-Ray source) が発見されている。大質量星の重力崩壊の結果 として生じるブラックホール の質量の理論的上限であ る、 $20M_{\odot}$ のエディントン限界光度を超えて輝く超光度 天体コンパクト X 線源のことである。ここでエディン トン限界光度とは質量降着で輝く BH の最大光度であ り、BH 質量 M を用いて次式で表される。

$$L_{Edd} = 1.5 \times 10^{31} \frac{M}{M_{\odot}} [\text{J/s}]$$
 (1)

これは、ガスがBHに降着すると発生する光の放射圧がBHの重力とつり合い、それ以上ガスが降着しなくなる 光度である。本研究では、HolmbergIX X-1を解析し、そ の放射機構を決定し、天体の正体に迫る。HolmbergIX X-1が中間質量BHである場合、2種のBH間の関係を 解明する手がかりとなる。

すざく衛星による HolmbergIX X-1の観測

Holmberg IX は地球から 1200 万光年先にある銀河 で、数十億個以下の恒星からなり、星が不規則に散ら ばっていることから矮小縮小不規則銀河に分類される [1]。M81の外縁のすぐ外側に位置し、1993 年-1998 年 の観測では、光度 (*L*x) は~6 × 10³²[J/s] で輝いてい る [2]。この研究で扱う、すざく衛星 [3] は 2005 年 7 月 に打ち上げられた日本で 5 番目の X 線天文衛星であ り、0.3 – 10keV に感度をもつ 4 台の X 線 CCD カメ ラ XIS[4] と 10 – 600keV に感度をもつ 1 台の硬 X 線 検出器 HXD[5] によって広帯域の観測が可能である。

HolmbergIX X-1 は、すざく衛星で 2012 年 4 月 13 日 2012 年 10 月 24 日、2012 年 10 月 26 日に観測された。有 効積分時間はそれぞれ3.651 × 10⁵[s]、2.139 × 10⁵[s]、 2.201 × 10⁵[s] となっている。本研究では XIS のデータ を解析した。図 1 に XIS によって得られた HolmbergIX X-1 の X 線イメージ 画像を示す。図 1 の円はスペクト ル解析に 使う領域を示している。中心にある円で囲ま れた黒い部分が HolmbergIX X-1 であり、左にある円 で囲まれた背景の一部は背景放射や検出器から発する バックグラウンドノイズ (以後 BGD と表記) を得るた めの領域である。この2カ所のデータを用いて解析を 進めていく。

3 データリダクションと解析

Holmberg IX X-1 の 2012 年 4 月 13 日に観測された データに基づいてデータリダクションの手順を示す。 データからスペクトルを抽出するため heasoft¹という X 線データ解析ソフトを使用した。作成したスペクトル の channel 数を X 線のエネルギーに対応させるための rmf、およびエネルギーに対する X 線望遠鏡 (XRT) の 有効面積を記述する arf という 2 種類の応答関数を作成 した。図 2 に作成した arf による有効面積を示す。図 3 に、Holmberg IX X-1 のスペクトルから BGD のスペク トルを差し引いたエネルギースペクトルを示す。



図 1: XIS による Holmberg IX X-1のX 線画像



図 2: XIS013 によるの有図 3: XIS013 による 効面積の依存性を表すグ天体本来のスペクトル。 ラフ 黒:XIS03、赤:XIS1

4 スペクトル解析

4.1 wabs × power-law モデルによる評価 (モ デル 1)

2012 年 4 月 13 日の観測について、前項で抽出した スペクトルを再現する放射モデルを決定する。図 4 で 得られた XIS スペクトルを用いて、0.5 – 10.0keV での power – law に星間吸収を表す wabs モデルをかけたモデ

¹http://heasarc.gsfc.nasa.gov/lheasoft/

ル(モデル 1)を用いてデータを評価した結果を図5およ び表1に示す。power-law(ベキ乗則)モデルは、高温プ ラズマからの逆コンプトン散乱によるX線放射を表すも ので、エネルギーEに対し、 $A(E) = KE^{-\Gamma}$ で表される。 ここでKは1keVにおける単位時間・単位エネルギー・ 単位面積あたりの放射光子数、すなわち normalization を与える。ベキ Γ は photon index(光子指数)を指す。表 1 より χ^2 /dof の値は 1.28419(dof = 1942)となり、良く 再現出来ていることが分かった。power-lawのパラメー タより、flux(0.5 – 10.0keV)が 9.5054 × 10⁻¹⁹[J/s/m²] になり、 $L(x) = 4 \pi D^2 F_x$ に、天体までの距離が D=1200 万光年=1.135 × 10²⁵[m]を代入することで、X線光度 は $L_X = 1.538 \times 10^{33}$ [J/s]と計算できる。X線光度はエ ディントン限界光度 L_{Edd} を超えられないため、式(1) より、中心天体の質量は $M > 102.5M_{\odot}$ と推定出来る。



図 4: モデル 1 のベストフィット。黒:XIS03、赤:XIS1 4.2 wabs × diskbb モデルによる評価 (モデ ル 2)

次に、wabs × diskbb モデルを用いた。diskbb モデル は、BH に降着するガスでできた、光学的に厚い標準降 着円盤からの多温度黒体放射を表すモデルである [6]。 降着物質が運動エネルギーの半量を黒体放射として宇宙 空間に解放すると仮定した理論モデルで、BH から距離 r における円盤の局所温度 T(r) が T(r) = Tin(r/rin)^{-3/4} と与えられる。結果としてスペクトルは円盤の最内縁 の半径 r_{in} と最内縁の温度 T_{in} で記述される。表 1 より、 χ^2/dof の値は 3.78396(dof = 1942) となり、このモデ ルで再現出来ていないので破棄する結果になった。

| モデル | パラメータ | モデル1 | モデル2 |
|-----------|---------------------------|---|--|
| wabs | $N_H(imes 10^{22} cm^2)$ | 9.60257 × 10 ⁻² ± 3.04911 × 10 ⁻³ | $0.943583 \pm 4.50068 \times 10^{-3}$ |
| power-law | Г | 1.65322 ± 5.93044 × 10 ⁻³ | |
| power-law | norm | 1.55396 × 10 ⁻³ ± 1.14291 × 10 ⁻⁵ | |
| diskbb | T _{in} | | $1.70941 \pm 6.60339 \times 10^{-3}$ |
| diskbb | r _{in} Vcosi | | $1.1064 \times 10^{19} \pm 8.7 \times 10^{-3}$ |
| | x²/dof | 1.28419 (dof=1942) | 3.78396 (dof=1942) |

表 1: 4 月 13 日に観測されたデータの各モデルのベス トフィットパラメータを示した表

5 3回の観測の比較と考察

これまでと同様の手法で、全3回(§2参照)の観測 データを解析した。Lx、NH、Γ、normのパラメータ をまとめたのを図6に示す。この結果から、3回の観 測では後半の方が光度が高く、光子指数が大きい、す なわちスペクトルが軟らかくなった。明るくなること で放射冷却が効き、コロナの電子温度が下がったと考 えられる。





次に過去の観測の結果 [2][7][8][9] を図6に示す。過去 の観測データと本研究より、光度 1.6 × 10^{33} [J/s] までが Low state で 1.9 × 10^{33} [J/s] から High state で表されて いることが分かった。この図より、1.6–1.9 × 10^{33} [J/s] が Low state と High state のしきい値になっているこ とが言える。恒星質量ブラックホールでは Low state と High state のしきい値は *Lx*~0.05*L*_{edd} に現れるというこ とが分かっている。したがって、今回の観測でわかった 1.6–1.9 × 10^{33} [J/s] がしきい値とすると、以下の関係か ら、本当のエディントン限界光度は 3.2–3.8 × 10^{34} [J/s] と推定出来る。



7 まとめと今後の課題

Holmberg IX X-1 のすざく衛星による観測データを全 て解析し光度が、4 月 13 日:1.538 × 10³³[J/s]、10 月 24 日:1.608 × 10³³[J/s]、10 月 26 日:1.631 × 10³³[J/s] と求 まった。過去の観測と比較すると、3.2-3.8 × 10³⁴[J/s] が Low state と High state のしきい値になっている可 能性がある。 参考文献

- [1] NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
- [2] Ezoe, Y., Iyomoto, N., Makishima, K. 2001, PASJ, 2001, 53, 69
- [3] Mitsuda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [4] Koyama, K. et al. 2007, PASJ, 59, 23
- [5] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ , 59, 35
- [6] Mitsuda, K., et al. 1984, PASJ, 36, 741
- [7] La Parola, V., Peres, G., Fabbiano, G., Kim, D. W., Bocchino, F. 2001, ApJ, 556, 47
- [8] 東京理科大学 角田奈緒子 平成 17 年度修士論文
- [9] Gladstone et al.2009