

すざく衛星による NGC2403 銀河の超光度天体の X 線スペクトル解析

P03046 小堀博史、指導教官：久保田あや

2008 年 1 月 25 日

1 はじめに

ブラックホール (以降、BH と表記) には 3 種類に分類されており、 $30M_{\odot}$ (太陽質量) 以上の恒星が進化の最終段階で重力崩壊を起こして生まれる恒星質量 BH、ほぼ全ての銀河の中心に存在している大質量 BH、そして本研究の対象として中質量 BH 候補となる超光度天体 (ULX) と分けられる。この ULX は恒星質量 BH 及び大質量 BH に比べて発見が遅れていたが、この ULX の研究が進むことでこの 2 つの BH の間に立って BH 成長のシナリオを描く可能性を持っている。

2 すざく衛星

すざく衛星 [1] は 2005 年 7 月 10 日に打ち上げられた、国内では 5 番目の X 線観測衛星である。すざくには 0.2–12keV のエネルギー領域に感度を持つ軟 X 線 CCD カメラ (XIS) 4 台と、10–600keV の領域に感度を持つ硬 X 線検出器 (HXD) 1 台が搭載され、これまでにはない広いエネルギー領域において高いエネルギー分解能かつ高感度な X 線観測が可能になっている。ただし本研究では天体が混みあった領域の観測であるため、撮像能力のある XIS 検出器によって観測されたデータの解析を行うものとする。

3 超光度天体

エディントン限界光度とは BH に落ち込むガスに働く重力と、BH から輻射される光子の輻射圧が釣り合っ、これ以上の BH への落ち込むことができなくなった時に輝く光度を示し、これが天体が輝ける限界の光度である。この光度 L_E は以下の (1) 式で示すことができる。

$$L_E = 1.25 \times 10^{38} \frac{M}{M_{\odot}} \text{ erg s}^{-1} \quad (1)$$

この (1) 式において恒星質量 BH の理論的上限である $20M_{\odot}$ の L_E よりも明るい光度で輝く超光度コンパクト X 線源を超光度天体 (Ultra Luminouscompact X-ray source; ULX) と呼ぶ [2]。この ULX は BH 特

有のスペクトルを放射するなど、銀河系内で観測されている BH と非常に似た性質を持つために中質量ブラックホールの候補として考えられている。

4 NGC2403 銀河

NGC2403 銀河は 970 万光年離れた渦巻銀河で、その中に source3 という超光度天体が存在することが知られている。1997 年には日本の ASCA 衛星が、2003–04 年にかけて ESA の XMM-Newton が観測していたが、すざく衛星もまた 2006 年 3 月 16 日よりほぼ 24h かけて観測を行っていた。

図 1 の左の画像はすざく衛星の XIS によって得られた NGC2403 銀河の画像である。この画像のソースの部分が本研究の対象天体となる超光度天体 source3 の領域を示してあり、この領域を後にスペクトル解析で用いるために HEASARC が提供している X 線データ解析ソフト heasoft¹ のパッケージ XSELECT を用いて切り取っていく。これと同じように背景放射や検出器の雑音 (以降 BGD) を考慮するために下図の BGD 領域も切り取って、スペクトル解析の準備とする。

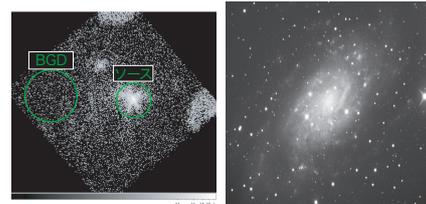


図 1: NGC2403 銀河の X 線画像 (左, すざく衛星) と可視光画像 (右, 国立天文台提供)

5 スペクトル解析

5.1 スペクトルの抽出

図 1 のソースと BGD の領域から抽出したスペクトルを比較し、BGD がソースに与える影響度を理解しておく必要がある。それを示したのが図 2 である。図中の黒グラフがソースのスペクトルで、赤グラフが

¹<http://heasarc.nasa.gov/lheasoft/>

BGD スペクトルを示し、横軸・縦軸共に log スケールで取っている。

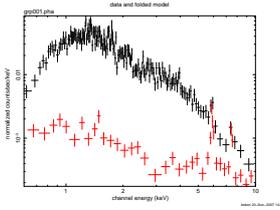


図 2: ソースとBGD スペクトルの比較

その後、このソースのスペクトルに、検出器や望遠鏡の変化を示した応答関数、BGD を差し引きすることでより放射されたスペクトルに近い形となる。

5.2 モデルフィット

モデルフィットとは、前節の段階までで作成したスペクトルに X 線の放射モデルを当てはめることで、実際にソースから放射されているであろうスペクトルを再現することである。ここでは X 線が星間物質によって受ける光電吸収のモデルを示す星間吸収モデルに、物体自らが温度に応じた強さや波長で放射する光を示した多温度黒体放射モデルと power-law モデルをそれぞれ掛けたもので、X 線スペクトル解析ツールである XSPEC を用いてモデルフィットを行い、その結果が下の図 3 となる。

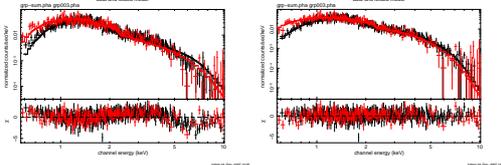


図 3: 観測データとフィットモデル (実線)、2 段目はデータとモデルのズレを示す。左が power-law モデル、右が diskbb モデルでのフィット

5.3 解析結果

§5.2 より、図 3 に示すデータのズレを比べ、またモデルの再現度を示す χ^2 検定の信頼度が diskbb モデルで 23.2% となるので、この適用が妥当となる。同モデルでフィットして得られたパラメータから、BH の重力によって落ち込んだガスが回転してできる降着円盤から観測された最も高い温度 $T_{in}=1.11[\text{keV}]$ 、そして円盤の内縁半径 $R_{in}=88.5/\sqrt{\cos(i)}[\text{km}]$ と導かれた (i は円盤の傾斜角)。

6 考察

6.1 モデルフィットから得られる物理量

§5.3 より求めた diskbb モデルのパラメータから円盤の傾斜角 $i=60^\circ$ を仮定し、BH の物理量

に迫ることができる。まず円盤からの全光度は $L_{disk}=4\pi r_{in}^2 \cdot \sigma T_{in}^4$ という式で与えられ、§5.3 より $L_{disk}=1.09/\cos(i)=2.17[\times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}]$ と得られる。一方、円盤の内縁半径が相対性理論から導かれる BH 周りの最終安定軌道 R_{ms} である $3R_s$ ($R_s=2GM/c^2$: シュヴァルツシルト半径) であるとすると、この天体について $R_s = 30.0/\sqrt{\cos(i)} = 41.7[\text{km}]$ と求められるので、BH 質量は $10.1/\sqrt{\cos(i)} = 14.1M_\odot$ と推定できる。またこの質量 $14.1M_\odot$ のエディントン限界光度は $1.31/\sqrt{\cos(i)} = 1.83[\times 10^{39} \text{ erg s}^{-1}]$ である。ここで円盤の傾斜を考えると傾斜角 $i < 69^\circ$ の場合は $L_{disk} > L_{Edd}$ となりエディントン限界を満たさず棄却される。一方、 $i > 69^\circ$ の場合はエディントン限界は満たされ、BH 質量は $16.7M_\odot$ 以上と見積ることができる。

ここまでは非回転の BH と仮定してきたが、仮に BH が円盤の回転と同じ向きで回転していたとすると、その回転速度が最も早い BH の場合、一般相対性理論より R_{ms} は $0.5R_s$ まで入り込む。つまり $R_s=178.7/\sqrt{\cos(i)}[\text{km}]$ 、BH 質量は $20.0/\sqrt{\cos(i)}M_\odot$ と推定できる。したがってカー BH の場合、BH 質量はより重くなり、たとえば $i=30^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ の場合を考えると $M=21.5M_\odot, 28.2M_\odot, 48.0M_\odot$ と推定できる。また円盤とは逆方向に回転していた場合の R_{ms} は縮小し、無回転状態よりも低い質量が見積もられるが、降着物質の角運動量が BH に持ち込まれることから、逆回転の BH は考えにくい。したがって、NGC2403 source3 の質量は最低でも $16.7M_\odot$ であり、このとき BH は $16.7M_\odot \leq M \leq 28.2M_\odot$ の Eddington 限界で輝いていることになる。この質量は恒星質量 BH の質量上限ぎりぎりであるが、BH は非回転よりも回転している方が自然であり、したがってより重い BH である可能性が高い。

6.2 結論

今回の解析において NGC2403 銀河の source3 は回転を考慮しない状態では、エディントン限界の条件下において $16.7M_\odot$ 以上と見積もられ、質量が恒星質量 BH の範囲に留まっているので中質量ブラックホール候補としては確実に言うことはできないものの、BH 自体が回転しているならば $28.2M_\odot$ より重い BH である可能性が高い。

参考文献

- [1] Mitsuda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [2] Makishima, K. et al. 2000, APJ, 535, 632