

はくちょう座X-1の吸収ディップ

水野 瑛己、北本 俊二、村上 弘志(立教大学)

概要

有力なブラックホール候補星の一つであるはくちょう座(Cygnus) X-1は、超巨星とブラックホールから構成される連星系である。多くの観測報告がある中で、「吸収ディップ(Dip)」と呼ばれる現象が起こることが分かっている。ここでは、Cyg X-1で見られるDipを実際に確認した上で、Dip領域とNon-Dip領域のスペクトル変化を中心に発表する。

1 はくちょう座X-1と吸収Dip

はくちょう座(Cygnus) X-1は、超巨星「HDE226868」とX線源であるブラックホールから構成される、5.6日の公転周期をもつ連星系である。大部分の期間は硬X線を多く出す状態(Low/Hard State)であるが、まれに軟X線を強く放射する状態(High/Soft State)となる。Low/Hard Stateでは、短時間にX線強度が数倍も変動しており、その変動は周期的ではない。そのX線の発生機構は降着円盤と考えられているが、詳しくは分かっていない。イメージ図を図1に示す^[1-4]。

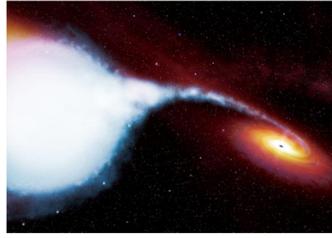


図1: ブラックホール連星系の想像図 (<http://www.isas.ac.jp/special/2008/suzaku/07.shtml>より転載)

X線源が外合の位相あたりで、特に低エネルギー側のX線強度が減少する「吸収ディップ(Dip)」と呼ばれる現象を起こす事が知られている。公転位相に対するDipの発生頻度は、ほぼ外合付近(詳しくは位相0.95あたり)をピークとする分布を示す。通常のDipは、ほぼ中性のガスによる吸収と考えて説明できる。吸収体の場所、温度、物理状態に加えて、元素組成等も興味があることである^[5-8]。

2 X線天文衛星「すざく」

「すざく(Astro-E2)」は、日本で5番目に打ち上げられたX線天文衛星である(2005年7月10日)。すざく衛星には、5つの軟X線望遠鏡と1つの硬X線検出器が搭載されている。図2にイメージ図を示す。

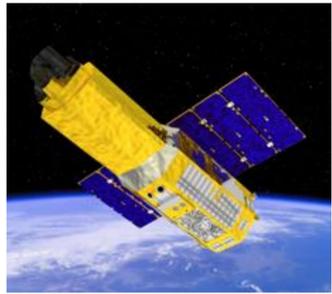


図2: 「すざく」のイメージ図 (<http://www.astro.isas.ac.jp/suzaku/>より転載)

軟X線望遠鏡は、5つのX線反射鏡(XRT; X-ray telescope)と5つの焦点面検出器(4つのXIS(X-ray Imaging Spectrometer)検出器、1つのXRS(X-ray Spectrometer)検出器)からなる。XISはX線CCDカメラで、0.2-12 keVのエネルギー帯域をカバーしている。XRSはマイクロカロリメータで、エネルギー帯域はXISと同程度である。

硬X線検出器(HXD; Hard X-ray Detector)は、高エネルギー(10-600 keV)のX線を観測するために開発された。2010年7月現在、XRSとXISの1台は使用不可能であるが、3台のXISとHXDは観測を続けている^[9, 10]。

すざく衛星は、XIS 3台とHXDで同じ天体を同時に観測することができ、広いエネルギー帯で高感度のX線分光が可能である。これにより、Dipが起きているときに、高エネルギー・低エネルギー領域の振る舞いの変化を同時に調べることが可能となる。

3 解析結果

3.1 観測

我々は、X線天文衛星「すざく」で観測したDipのデータを解析した。この観測は、2007年5月17日19:00頃から翌日の15:00頃にかけて行われたもので、Normalモード(1/4 window, 0.5秒バーストオプション)で観測されたものである。連星系の公転位相は0.85-1.00であった。

3.2 X線像

観測で得られたCyg X-1のX線像を図3に示す。中心部にCyg X-1があり、その周囲には目立った明るい天体がない。そこで、実線で囲まれた領域をソース(Source)領域(半径2')とし、破線で囲まれたドーナツ型の領域をバックグラウンド(Background)領域(半径3'-4')とした。

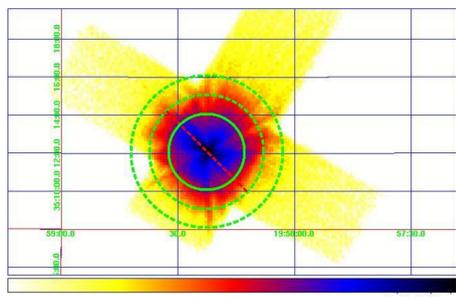


図3: Cyg X-1のイメージ (緑色の実線で囲まれた領域がSource領域、破線で囲まれた領域がBackground領域である)

参考文献

[1] 小山勝二「X線で探る宇宙」培風館、1992年、[2] 北本俊二「X線で探るブラックホール」養華房、1998年、[3] 小山勝二、嶺重慎「ブラックホールと高エネルギー現象」日本評論社、2007年、[4] Makishima et al. 2008, PASJ, 60, 585, [5] Pravdo et al. 1980, APJ, 237, L71, [6] Kitamoto et al. 1984, PASJ, 36, 731, [7] Batucinska-Church et al. 2000, MNRAS, 311, 861, [8] Feng & Cui, 2002, APJ, 564, L77, [9] 「すざく」ヘルプデスク「すざく」ファーストステップガイド第4.0.2版(Process Version 2.1-2.3)、[10] Dotani, 2007, Suzaku Memo, 2007-08

3.3 光度曲線と硬度曲線

XISの各検出器で得られたデータを足し合わせ、エネルギーバンド(0.5-1.5 keV, 1.5-3.0 keV, 3.0-9.0 keV)で区切った光度曲線を図4に示す。

エネルギーバンドで区切った光度曲線(図4)を見ると、低エネルギー側(0.5-1.5 keV)で後半の減光が顕著であることがわかる。この領域が吸収Dipである。

DipとNon-Dipの領域を分けるため、エネルギーバンド(0.5-1.5 keV, 3.0-9.0 keV)を使った硬度曲線を図5に示す。観測後半で、Dipがより目立っていることを確認できる。

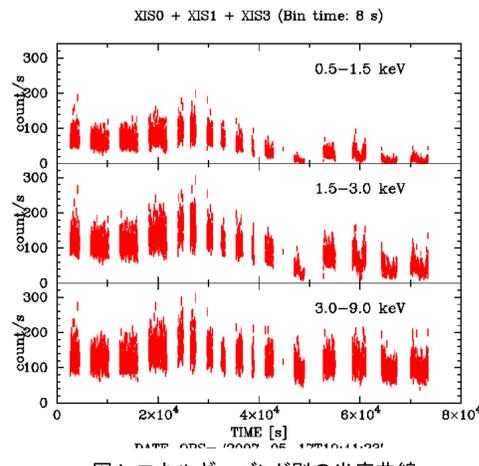


図4: エネルギーバンド別の光度曲線

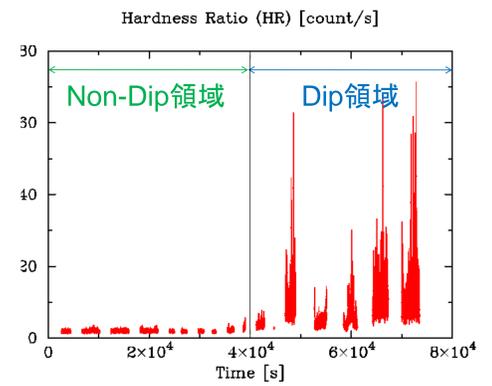


図5: 硬度曲線 (3.0-9.0 keV / 0.5-1.5 keV)

4 DipとNon-Dip領域のスペクトル

はじめに、全領域でのスペクトルを図6に示す。XIS, PIN, GSOでのSource-Background, PIN, GSOはバックグラウンドの大半を占めるNXBを示した。また、GSOのbackgroundを示してある。GSOのNXBの信頼度(2%)も示した。

続いて、Dip領域とNon-Dip領域の違いを見ることにする。ここでは、大雑把に両者の違いを見ることにする。図5から、観測の後半部分でDipが起きていることが確認できるため、前半(4x10⁴ s)をNon-Dip領域、後半(4x10⁴ s)をDip領域とした。XISと同じ時間帯におけるPIN, GSOのスペクトルを作成したものを図7に示す。XIS, PINともに上側に位置しているのがNon-Dip領域、下側に位置しているのがDip領域である(GSOは一部)。

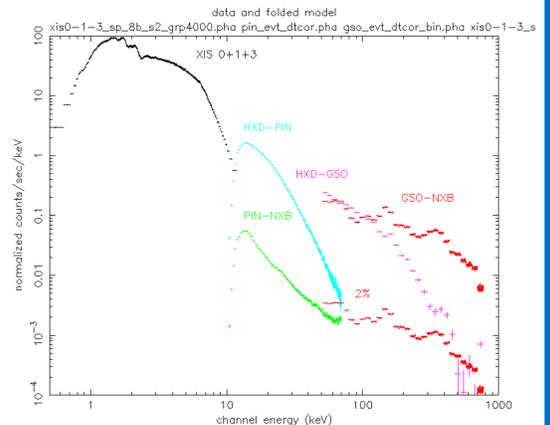


図6: 全領域でのスペクトル

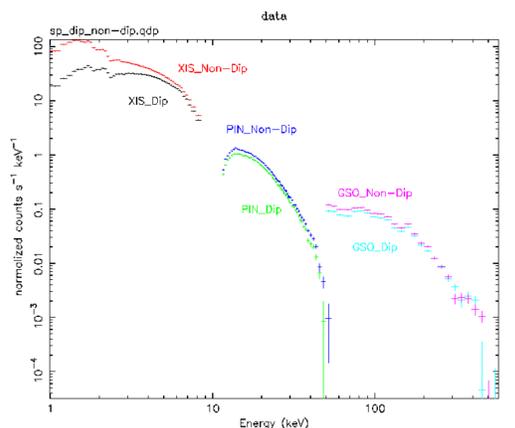


図7: Dip領域とNon-Dip領域のスペクトル

5 議論

両者の比(Dip領域 / Non-Dip領域)をとったところ、低エネルギー側(10 keV)の領域では0.2-0.8と急激に変化した。10 keV以上の領域でも強度の減少が見られ、減光が200 keV付近まで達していることが分かった。この部分で比の値が1になっていない理由として、Compton散乱が原因の一つだと考えられる。

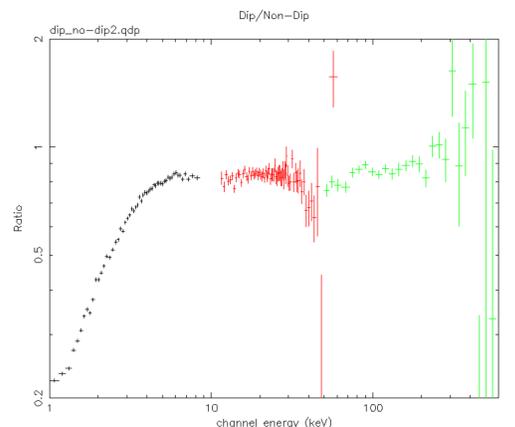


図8: スペクトルの比 (Dip / Non-Dip)