

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006年～2008年

課題番号：18740110

研究課題名 (和文)

強磁場中性子星からのX線放射メカニズムの観測的研究

研究課題名 (英文)

The observational study of X-ray emission mechanism from X-ray binary pulsars

研究代表者

幸村 孝由 (コウムラ タカヨシ)

工学院大学 工学部 准教授

研究者番号：203665505

研究成果の概要：

本研究は、強磁場中性子星と星からなるX線連星パルサーからの鉄輝線の放射領域の決定、ならびに連続X線の放射メカニズムの解明を主目的とするものである。米国のX線天文衛星「*RXTE*」で観測した観測データをもとに、X線連星パルサーから放射する連続X線と鉄輝線の時間変動に着目し、クロススペクトルを用いた時間変動の解析を行った。鉄輝線放射領域については、Cen X-3、GX 1+4、Sco X-1の3天体に関して中性子星から $\sim 10^9$ cm程度離れた領域から放射していることが分かった。連続X線に関しては、5つのX線連星パルサーにおいて、高いエネルギーの連続X線ほど、低いエネルギーの連続X線に比べ先に変動していることを突き止め、この傾向は暗いX線連星パルサーほど顕著であると分かった。この連続X線の時間変動は、従来の連続X線放射モデルでは説明ができない。本研究では、中性子星に降着する物質が、中性子星表面近くで作る高温のプラズマが、連続X線を放射しながら徐々に冷却する過程で、高いエネルギーのX線が先に放射するというモデルを提案した。ただし、まだ定量的なモデルの構築には至らっておらず、今後も引き続き研究を進めたい。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	900,000円	0円	900,000円
2007年度	800,000円	0円	800,000円
2008年度	800,000円	240,000円	1,040,000円
年度			
年度			
総計	2,500,000円	240,000円	2,740,000円

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：X線 γ 線天文学，X線連星パルサー，降着円盤

1. 研究開始当初の背景

X線連星パルサーは、X線天文学の黎明期にR. Giacconiらによって発見されて以来、多くのX線天文衛星によって観測されてきた。つまり、X線天文学の中で最も古い天体である。これまでのX線の観測により得られたエネルギースペクトルには、冪関数で近似できる連続X線と呼ばれるX線に加え、6.4keV付

近にほぼ中性あるいは低電離の鉄からのX線が観測されている。この連続X線がどのような物理プロセスで放射されているのかという放射メカニズムだけでなく、鉄輝線がX線連星系のどこから放射しているのかという放射領域について決定的な観測結果は、X線連星パルサーの発見以来30年以上経ても得られていなかった。

これまでも連続X線の放射メカニズムについては多くのモデルが提案されている (Meszaros & Nagel 1985 ; Meszaros et al. 1992 ; Coburn et al. 2002 ; Becker et al. 2005)。 その一つは、中性子星の磁極付近の降着柱から連続X線が放射されているというモデルである (Meszaros & Nagel 1985 ; Meszaros et al. 1992)。 具体的には、中性子星の表面付近にできると考えられる光学的に厚い降着柱内から黒体放射された低エネルギー光子が、降着柱に沿って降着してくる高エネルギープラズマにより逆コンプトン散乱され、連続X線として観測されるというモデルである。 しかし、降着柱からの黒体放射される低エネルギー光子だけでは、観測されるエネルギースペクトルのFluxを再現するには足りないなどの問題があり、連続X線放射メカニズムを解明するためには、エネルギースペクトル以外に、さらなる観測情報が長年求められてきた。

また、鉄輝線の放射領域については、X線連星パルサー・ケンタウルス座X-3 (Cen X-3) からの6.4keV鉄輝線の強度が星食中 (伴星によって中性子星が隠される) は暗く、星食中から星食外にかけて10分間で20倍に増光することが分かり、その放射領域は伴星のサイズよりも小さく、中性子星から 3×10^{11} cm 以内にあるという制限がついた (Nagase et al. 1992)。 さらに、X線のエネルギースペクトルから、7.2keV付近に鉄のK吸収端が観測され、吸収端の深さから鉄輝線が $\sim 10^{23}$ cm² の密度の高い領域から放射していることが分かった (Ebisawa et al. 1996)。 これらの結果から、中性子星から 3×10^{11} cm 以内の密度が 10^{23} cm² の条件を満たす鉄輝線の放射領域の候補として、降着円盤の内縁などが考えられていたが、未だ決定的観測結果がないのが現状であった。 しかも、優れたエネルギー分解能を持つ米国のChandra衛星の近年の観測でも、電離パラメータ ξ をある程度決めることで、鉄輝線の放射領域は降着円盤などではないかという議論がされているが、 ξ を決める際に不定性が大きく、鉄輝線の放射領域のサイズについては未だに確定していなかった。

2. 研究の目的

本研究では、X線連星パルサーのX線観測から、この鉄輝線の放射領域の決定、ならびに連続X線の放射メカニズムの解明を主目的とする。 本研究の特徴は、X線連星パルサーから観測される鉄輝線が、仮に中性子星からの連続X線が降着円盤の内縁を照らすことによって放射する蛍光X線だとすれば、連続X線の強度の時間変動に対し、鉄輝線の時間変動は光路差に相当する時間だけ遅れて変動するのではないかというように、エネルギー

ペクトルではなく時間変動に着目している点である。

3. 研究の方法

X線の時間変動に着目した本研究を遂行するためには、統計の良いデータが必要になる。 2-50keVの範囲で最大の有効面積とすぐれた時間分解能を持つ米国のX線天文衛星「RXTE」の観測データが、本研究を遂行する上で最も適したデータである。 この「RXTE」で取得した観測データに、クロススペクトルを適用し、エネルギー毎の時間変動の差を算出した。

4. 研究成果

研究成果を(1)鉄輝線の放射領域について、(2)連続X線の放射メカニズムについて、(3)その他、に分けて以下にまとめる。

(1)鉄輝線の放射領域について

①Vela X-1

本研究代表者が観測提案者となりRXTE衛星による400ksもの長時間の観測を行った。 連続X線の時間変動に比べ、鉄輝線の時間変動が上限値であるが5.6ms遅れていることが分かった。

②SMC X-1

鉄輝線の時間変動が、連続X線の時間変動に比べ遅れているということは統計的に有意であると決定できず、中性子星の周りの降着円盤起源であるかどうかという結論には至らなかった。

③Her X-1

鉄輝線の時間変動が、連続X線の時間変動に比べ遅れているということは 1σ の有意性で示すことができ、鉄輝線の放射領域が、中性子星から $(1.4 \pm 1.3) \times 10^9$ cm 離れていることが分かった。 この結果は、エネルギースペクトルから決定されている中性子星の磁場 10^{12} Gという結果から予想される降着円盤の内縁のサイズと矛盾しない結果である。 連続X線に関しては、

④Sco X-1

弱磁場中性子星と考えられているScoX-1についても、連続X線に比べ鉄輝線が 1.4 ± 0.4 ms遅れて変動していることがわかった。 この結果から、鉄輝線を放射している領域は、中性子星から $(4.2 \pm 1.2) \times 10^7$ cm 離れた領域であることが分かった。

(2)連続X線の放射メカニズム

Cen X-3に加え、上記4天体ともエネルギーの高いX線ほど遅れて放射しているということがわかった。

これは、低エネルギー側の光子が降着柱で逆コンプトン散乱を受けて連続X線が発生するという、これまでの連続X線放射メカニズムの考え方では説明がつかない。我々は、降着柱と降着物質の間で発生する衝撃波によって生成する高温プラズマが、X線を放射しつつ冷えて降着柱を落下するモデルで説明がつくのではないかと考えている。さらに、下図に示すように、暗いX線連星パルサーほど、この傾向が顕著である傾向が分かり、これまでの連続X線放射メカニズムの考え方では説明がつかない。今後さらにRXTE衛星のアーカイブデータ、さらにSuzaku衛星の観測データも用いて、本研究を進め、X線連星パルサーからの連続X線放射メカニズムを構築したいと考えている。

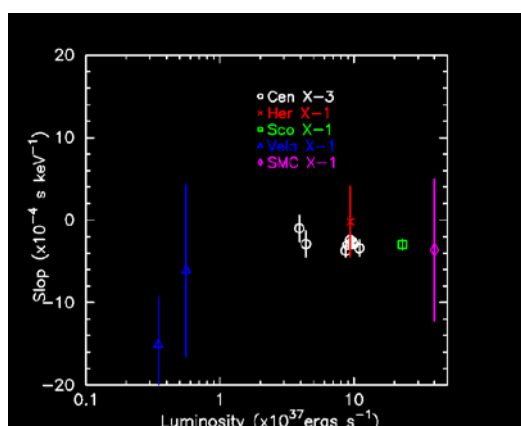


図1. 横軸:X線の明るさ(Luminosity), 縦軸:連続X線の時間変動のエネルギー依存性を示す。負の値であれば高いエネルギーのX線ほど低いものよりも先に変動することを示す。

以上の研究成果は、2007年度に2つの国際学会(YITP workshop "QPO and Time variabilities of Accretion Flow", The Suzaku X-ray Universe)、と1つの国内学会(日本天文学会2008年春季年会で発表を行った。2008年度には、2つの国際学会(37th COSPAR Scientific Assembly, The X-ray Universe 2008)、と1つの国内学会(日本天文学会2008年秋季年会)で発表を行った。

(3) その他

Suzaku衛星で観測したX線連星パルサーA0535+262の観測結果から、30mCrabという暗い状態にもかかわらず、Suzaku衛星搭載の硬X線検出器(HXD)の優れた検出感度によって45keVにサイクロトロン吸収線を検出することに成功した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計15 件)

著者: Paizis, A et al (5 番目)
論文名: Broad-Band Spectrum of the Black Hole Candidate IGRJ17497-2821 Studied with Suzaku
雑誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan
巻・頁: 61・107-113
発表年: 2009
査読の有無: 有

著者: Uchiyama, H. et al (19 番目)
論文名: New CTI Correction Method for Spaced-Row Charge Injection of the Suzaku X-ray Imaging Spectrometer
雑誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan
巻・頁: 61・9-15
発表年: 2009・9-15
査読の有無: 有

著者: Ozawa, M. et al (15 番目)
論文名: Energy-Scale Calibration of the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer Using the Checker Flag Charge-Injection Technique in Orbit
雑誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan
巻・頁: 61・1-7
発表年: 2009
査読の有無: 有

著者: Ozaki, M. et al (18 番目)
論文名: NeXT SXI data processing system
雑誌名: Proceedings of the SPIE
巻・頁: 7011・70112-70121
発表年: 2008
査読の有無: 無

著者: Yonetoku, D. et al (26 番目)
論文名: Suzaku and Swift observations for X-ray afterglows; Investigation into the electron acceleration in the internal /external shocks
雑誌名: Proceedings of the Santa Fe Conference. American Institute of Physics
巻・頁: 1000・603-606
発表年: 2008
査読の有無: 無

著者: Sudoh, K. et al (2 番目)
論文名: Spectral characteristics during dip in CygX-1
雑誌名: Proceedings of Science
巻・頁: 1-5

発表年：2008
査読の有無：無

著者：Yonetoku, D et al (26 番目)
論文名：Spectral Evolution of GRB060904A
Observed with Swift and Suzaku --
Possibility of Inefficient Electron
Acceleration
雑誌名：Publications of the Astronomical
Society of Japan
巻・頁：160・352-360
発表年：2008
査読の有無：有

著者：Takahashi, H. et al (25 番目)
論文名：Low/Hard State Spectra of GRO
J1655-40 Observed with Suzaku
雑誌名：Publications of the Astronomical
Society of Japan
巻・頁：160・69-84
発表年：2008
査読の有無：有

著者：Morii, M. et al (9 番目)
論文名：Suzaku Observation of AXP 1E
1841-045 in SNR Kes 73
雑誌名：American Institute of Physics
巻・頁：983・268-270
発表年：2008
査読の有無：無

著者：Kataoka, J. et al (16 番目)
論文名：Probing the Disk-Jet Connection of
the Radio Galaxy 3C 120 Observed with
Suzaku
雑誌名：Publications of the Astronomical
Society of Japan
巻・頁：159・279-297
発表年：2007
査読の有無：有

著者：Kubota, A. et al (14 番目)
論文名：Suzaku observation of the black
hole transient 4U1630-472: discovery of
absorption lines
雑誌名：Proceedings of IAU Symposium 238
巻・頁：238・23-28
発表年：2007
査読の有無：有

著者：Terada, Y. et al (21 番目)
論文名：Cyclotron Resonance Energies at
a Low X-ray Luminosity: A0535+262 Observed
with Suzaku
雑誌名：The Astrophysical Journal
巻・頁：648.2 L139-142
発表年：2006

査読の有無：有

著者：Watanabe, S. et al (6 番目)
論文名：X-ray Spectral Study of the
Photoionized Stellar Wind in Vela X-1
雑誌名：The Astrophysical Journal
巻・頁：651.1・421-437
発表年：2006
査読の有無：有

著者：Kitamoto, S. et al (10 番目)
論文名：X-ray polarimeter with a
multilayer-coated CCD
雑誌名：Proceedings of the SPIE
巻・頁：6266・62662
発表年：2006
査読の有無：無

著者：Tsuru, G. T. et al (16 番目)
論文名：Soft x-ray Imager (SXI) onboard the
NeXT satellite
雑誌名：Proceedings of the SPIE
巻・頁：6266
発表年：2006
査読の有無：6266I

[学会発表] (計 24 件)
発表者：Kohmura, T
表題：Study of Aperiodic Time variation of
X-ray binary Pulsars with RXTE
学会名：37th COSPAR Scientific Assembly
発表年月日：2008 年 7 月 13-20 日

発表者：Kohmura, T
表題：Study of Aperiodic Time variation of
X-ray binary Pulsars with RXTE
学会名：The X-ray Universe 2008
発表年月日：2008 年 5 月 27-28 日

発表者：Kohmura, T
表題：Suzaku Observation of IGRJ17497-2821
学会名：Japan-Swiss Workshop of High
Energy Astrophysics Using Suzaku and
Integral
発表年月日：2008 年 4 月 15 日

発表者：Morii, M. et al
表題：Suzaku broadband spectroscopy of the
AXP 1E1841-045
学会名：Japan-Swiss Workshop of High
Energy Astrophysics Using Suzaku and
Integral
発表年月日：2008 年 4 月 15 日

発表者：幸村孝由
表題：X線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X線 CCD カ
メラ (SXI) の紫外線対策

学会名：日本天文学会 2009 年春季年会
発表年月日：2009 年 3 月 26 日
発表者：藤永貴久
表題：Space Wire を使った ASTRO-H SXI データ取得システムの構築
学会名：日本天文学会 2009 年春季年会
発表年月日：2009 年 3 月 26 日

発表者：鶴剛
表題：ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の開発 (I)：カメラシステムの基本デザイン
学会名：日本天文学会 2009 年春季年会
発表年月日：2009 年 3 月 26 日

発表者：林田清
表題：ASTRO-H 搭載軟 X 線撮像検出器 SXI の開発 (I)：エレクトロニクスシステムの基本デザイン
学会名：日本天文学会 2009 年春季年会
発表年月日：2009 年 3 月 26 日

発表者：松本浩典
表題：X 線天文衛星「すざく」搭載 X 線 CCD (XIS) の現状報告
学会名：日本物理学会 2008 年秋季年会
発表年月日：2008 年 9 月 20 日

発表者：Sudoh, K
表題：Spectral characteristics during dip in Cyg X-1
学会名：VII Microquasar Workshop: Microquasar and Beyond
発表年月日：2008 年 9 月 1 日～5 日

発表者：幸村孝由
表題：RXTE 衛星を用いた X 線連星パルサーの準周期的時間変動の研究
学会名：日本天文学会 2008 年秋季年会
発表年月日：2008 年 9 月 12 日

発表者：林田清
表題：すざく衛星搭載 XIS の低エネルギー側検出効率の向上
学会名：日本天文学会 2008 年秋季年会
発表年月日：2008 年 9 月 11 日

発表者：松田桂子
表題：「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ (XIS) の時刻付けの校正
学会名：日本天文学会 2008 年秋季年会
発表年月日：2008 年 9 月 11 日

発表者：穴吹直久
表題：NeXT SXI BBM の製作とその動作試験
学会名：日本天文学会 2008 年秋季年会
発表年月日：2008 年 9 月 12 日

発表者：幸村孝由
表題：「すざく」衛星による PKS2155-304 の観測
学会名：日本天文学会 2007 年秋季年会
発表年月日：2007 年 9 月 26 日

発表者：Kohmura, T
表題：Aperiodic Time Variation of X-ray binary pulsars
学会名：The X-ray Universe
発表年月日：2007 年 12 月 11 日

発表者：Kohmura, T
表題：Aperiodic Time Variation of X-ray binary pulsars
学会名：YITP workshop ” QPO and Time variabilities of Accretion Flow”
発表年月日：2007 年 11 月 20 日

発表者：幸村孝由
表題：RXTE 衛星を用いた X 線連星パルサー Vela X-1 の観測
学会名：日本天文学会 2008 年春季年会
発表年月日：2008 年 3 月 25 日

発表者：内山秀樹
表題：X線天文衛星「すざく」搭載X線CCD (XIS) の現状報告：Spaced-row Charge Injection の校正状況
学会名：日本物理学会 2007 年第 62 回年次大会
発表年月日：2007 年 9 月 22 日

発表者：榎本輝揚
表題：すざく衛星で探る中性子サイクロトロン共鳴
学会名：第 8 回宇宙科学シンポジウム
発表年月日：2008 年 1 月 8 日

発表者：Morii, M
表題：Suzaku Wide Band Spectroscopy of AXP 1E1841-045
学会名：The Suzaku X-ray Universe
発表年月日：2007 年 12 月 11 日

発表者：森井幹雄
表題：「すざく」による AXP1E1841-045 の広帯域スペクトル観測
学会名：高エネルギー天体現象と重力波
発表年月日：2007 年 11 月 26 日

発表者：Morii, M
表題：Suzaku observation of AXP1E1841-045 in SNR Kes73
学会名：40 years of Pulsars: Millisecond Pulsars, Magnetars and More
発表年月日：2007 年 8 月 12 日

[図書] (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

幸村 孝由 (こうむら たかよし)

工学院大学 工学部 准教授

研究者番号 : 20365505

(2) 研究分担者

研究者番号 :

(3) 連携研究者

研究者番号 :