

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20540237

研究課題名(和文) 硬 X 線撮像分光による星生成過程の研究

研究課題名(英文) An Hard X-ray Study of Star Formation Process

研究代表者

坪井 陽子 (TSUBOI YOHKO)

中央大学 理工学部 准教授

研究者番号：70349223

研究成果の概要(和文)：

星誕生の動乱期である原始星本体を透過力の強い硬 X 線帯域を利用して初検出し、諸物理量(明るさ、時間変動、プラズマの温度など)を明らかにした。またそれらの天体の若さを赤外線観測により確認した。これらと比較すべき他の段階の星からの X 線を観測し、X 線の放射機構や星風の加速についてスタディした。さらに全天 X 線監視装置 MAXI を用いて星における最も大きなフレアのサンプルを得、フレア頻度や発生するプラズマの諸物理量を明らかにした。X 線偏光に感度を持つ光学系を開発した。

研究成果の概要(英文)：

We detected hard X-ray emissions from protostars which are embedded in deep inside of molecular cores, and obtained physical properties (X-ray luminosities, time variabilities, plasma temperatures, etc.). We confirmed youth of the sources using infrared band data obtained with Spitzer satellite. In order to compare with X-ray properties, we also observed stellar sources with different phases and masses, and studied X-ray emitting mechanisms and acceleration of stellar winds. We further studied flare activities (flare frequencies, plasma temperatures, etc.) with extremely large X-ray luminosities, using the all-sky monitor "MAXI". We developed optics which has sensitivity for X-ray polarization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：X線天文

科研費の分科・細目：06・4201

キーワード：(1) 原始星 (2) X線天文 (3) フレア (4) ジェット (5) 偏光

1. 研究開始当初の背景

原始星とは星間ガスの動的降着期にある中心天体で、星の芯が急激に成長しつつある星誕生の動乱期である。原始星は赤外・電波で

観測されるが、あくまでもその帯域で見えるのは周辺物質(分子雲コアと降着ガス)であり、原始星そのものではない。これら星周物質は原始星そのものを厚く包み、可視光では

もちろん近赤外でも本体を直接透かしてみることができない。しかし私は日本の天文衛星「あすか」の硬 X 線バンド (> 2keV) を生かして、暗黒星雲深くに埋もれ全波長を通じて検出できなかった Class I 原始星本体を初めて検出し、原始星本体に対する硬 X 線帯域の有用性を確認した。

2. 研究の目的

他のどんな波長でも検出困難な原始星本体を透過力の強い硬 X 線で検出し、その物理状態を明らかにする。また惑星を含む、さまざまな質量を持つ若い星からの X 線を捉え、違いと共通性を明らかにする。これらの結果により、原始星/惑星の研究分野が将来の衛星でどのように発展可能かも検討する。

3. 研究の方法

現在稼働中の観測飛行体によってさまざまな質量を持つ若い星状天体 (原始星や T タウリ型星、褐色矮星、惑星) の X 線探査を行なう。検出された天体データの X 線強度変動とスペクトルを調べ、フレアの諸物理パラメータ (強度、頻度、時間スケールなど) を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 我々は GGD27 領域をチャンドラ X 線天文衛星で観測し、中心部に X 線源の集団を検出した。Spitzer 赤外線天文衛星のアーカイブデータを解析し、X 線天体と対応をつけた結果、X 線源は若い星状天体の星団であることが判明した。特にそのうち 4 つは我々が新たに認識した Class I 原始星であった。その Class I 原始星の 1 つは、広大な分子流やジェットを駆動していることで有名な GGD27-ILL であった。4 年前に我々が同じ領域を Chandra 衛星で観測したときに比べ、GGD27-ILL は 10 倍程度暗くなっていた。GGD27-ILL は B0 型のスペクトルを持つとされ、大質量の原始星である。このような進化段階と質量を兼ね備えた天体の本体を、周りに存在する大質量の塵を透過して見ることができた例はいままでほとんどなく、原始星の進化状態を知るうえで貴重なサンプルとなった。(Pravdo, Tsuboi, et al. 2009 ApJ 690, 850)

(2) 上のような大質量星原始星からの X 線と比較できるサンプルとして、大質量星ではあるが、進化の進んだ星 (Wolf-Rayet 星) の観測を XMM-Newton 衛星で行った。観測を行った θ Mus という連星系からは、3000 万度に及ぶ高温成分の存在、RRC (Radiative Recombination Continuum) 構造から約 5 万

度の低温成分の存在を明らかにした。また、さまざまな輝線から約 600km/s の赤方偏移を検出し、 θ Mus が三重連星であり、X 線は 100AU 離れた O 型超巨星との星風衝突領域から放射されているという解釈が妥当であることを明らかにした。(Sugawara, Tsuboi, Maeda 2008 A&A 490, 259)

(3) 大質量星生成領域 Cep A 駆動領域からの硬 X 線を、Chandra 衛星によって 3 つの点源に分離した。うち 1 つは大質量星原始星 HW3c であった。吸収の柱密度 (N_H) は 10^{23} cm^{-2} 程度であり、Class 0 天体候補から得られたものと同程度であった。また、この領域の Spitzer/IRAC による中間赤外線での観測データも解析し、周辺の YSO も含めて Class 分けをし、Class ごとの X 線特性や、ジェット Herbig Haro 168 からの X 線についてもスタディした。(Pravdo, S. H., Tsuboi, Y., Uzawa, A., Ezoe, Y. 2009, ApJ 740, 1495)

(4) 星生成領域に大きく広がった X 線 (石田、他、天文学会 2009 年秋季年会)、原始星から吹き出すジェットからの X 線 (鶴沢、他、天文学会 2009 年秋季年会) のプロパティを明らかにした。

(5) さまざまな進化段階の大質量星 (O 型星、LBV 型星) からの X 線、また大質量星が最終的に爆発した超新星残骸からの X 線などについてもスタディを行った (Sekiguchi, A et al. 2009, PASJ 61, 629; Maeda, Y. et al. PASJ 61, 1217; 菅原、他、天文学会 2009 秋季および 2010 春季年会; 山崎、他、天文学会 2010 春季年会)。

(6) 将来の衛星で原始星の降着円盤の形状を測るために有効な、偏光に感度を持つ光学系を開発した。エネルギー帯域に幅を持ち、小さい検出器に集光させ S/N 比を上げることが可能な、曲率をつけたブラッグ反射鏡を考案し、薄さ 50 μm のシリコン結晶上にダイヤモンドに準じる硬度を持つ DLC (ダイヤモンドライクカーボン) をプラズマ CVD 法で成膜することにより、内部応力の差で曲率を作り、かつ安定して形状が保てる反射鏡を製作することに成功した (楠、他、天文学会 2010 年春季年会)。曲率と反射率の関係、DLC の膜厚と曲率の関係についてもスタディした (Iizuka et al. 2010 Proc. of the SPIE)。

(7) Chandra 衛星、および XMM-Newton 衛星によって大質量原始星の探査を行い、X

線を検出した。得られたプラズマの温度の高さから考えて、X線放射は星風起源より磁場起源である可能性が高いことを結論づけた (Tsuboi, Y. 2010, “Magnetic Fields: Core collapse to YSOs” 口頭発表)

(8) WR 連星 WR 140 (WC7+O5I) の近星点付近でのX線モニター観測をX線天文衛星すざくで行った。その結果、10 keV 以上の帯域で高エネルギー成分をWR連星としては初めて検出した。また連星軌道上の動きにかかわらず存在する低エネルギー成分を発見した (Sugawara et al. 2010 AIP conf. proc.)。変動していく成分のエミッションメジャー、および吸収の変動を追うことにより、大質量星における星風加速、星風放出量、放射領域の場所に制限を与えた (Sugawara et al. 2010 Proc. of the 39th Liège Astrophysical Colloquium, Maeda et al. 2010 AIP conf. proc.)。

(9) 全天X線監視装置MAXIが2009年秋から稼働し始め、硬X線帯域における感度の高いモニターが可能になった。これを利用して、我々は星からのX線の変動を探索した。その結果、RS CVn型星から10フレア以上、前主系列星から1つのフレアを検出し、星としての最大フレアの重要サンプルを得た (Matsuoka et al. 2010 Proc. of the SPIE, Tsuboi et al. 2010 4th International MAXI Workshop 口頭発表)。

(10) Astro-H ミッションは、2013年度に打ち上げ予定のX線天文衛星である。硬X線帯域に広くのびて感度を持ち、鉄の K-alpha line 付近のスペクトル分解能は従来に比べ桁違いに良くなる。これを用いてどのようなサイエンスが可能になるかスタディした (Takahashi et al. 2010 Proc. of the SPIE)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. Sugawara et al. (員数 10、3 番目)
The variable X-ray spectrum of the Wolf-Rayet binary WR140 with Suzaku
Proc. of the 39th Liège Astrophysical Colloquium, 査読有 80 2010 724-728

2. Sugawara, Maeda, Tsuboi, Hamaguchi
Suzaku monitoring of the Wolf-Rayet binary WR140, AIP Conference Proceedings, 査読無 1248 2010 9-12

3. Matsuoka et al. (員数 39、39 番目)
Early results of MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) on ISS, Proceedings of the SPIE, 査読無 7732 2010 77320Y-77320Y-9

4. Takahashi et al. (員数 177、157 番目)
The ASTRO-H Mission, Proceedings of the SPIE, 査読無 7732 2010 77320Z-77320Z-18

5. Iizuka et al. (員数 10、4 番目)
Reflectivity and polarization sensitivity of a bent crystal with DLC deposition
Proceedings of the SPIE, 査読無 7732 2010 77324R-77324R-11

6. Maeda, Sugawara, Tsuboi, Hamaguchi
An X-ray Study of a Massive Star and its Wind, AIP Conference Proceedings, 査読無 1279 2010 363-365

7. Sekiguchi, A et al. (員数 7、7 番目)
Super-Hard X-Ray Emission from η Carinae Observed with Suzaku, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有 61 2009 629--637

8. Pravdo, S. H., Tsuboi, Y., Uzawa, A., Ezo, Y., X-rays from the Power Sources of the Cepheus A Star-Forming Region
Astronomy and Astrophysics, 査読有 740 2009 1495--1505

9. Maeda, Y. et al. (員数 29、23 番目)
Suzaku X-Ray Imaging and Spectroscopy of Cassiopeia A, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有 61 2009 1217--1228

10. Pravdo, S.H., Tsuboi, Y., Suzuki, Y., Thompson, T. J., Rebull, L.
GGD 27: X-rays from a Massive Protostar with an Outflow, The Astrophysical Journal 査読有 690・1 2009 850-861

11. Sugawara, Y., Tsuboi, Y., Maeda, Y.
Redshifted emission lines and radiative recombination continuum from the Wolf-Rayet binary θ Muscae: evidence for

a triplet system?,
Astronomy and Astrophysics, 査読有 490・
1 2008 259-264

[学会発表] (計 18 件)

1. Yohko Tsuboi, Kyohei Yamazaki, Akiko Uzawa, Takanori Matsumura, Satoshi Nakahira, Motoki Nakajima, and the MAXI team
New Results on Stellar Flares Monitored with MAXI/GSC, “The first year of MAXI: Monitoring variable X-ray sources” 4th International MAXI Workshop, 2010. 12. 1
青山学院大学
2. 坪井陽子, 山崎恭平、鶴澤明子、松村和典、他 MAXI team
全天 X 線監視装置 MAXI/GSC で観測された RS CVn 型星のフレア, 天文学会秋季年会
2010. 9. 22, 金沢大学
3. 得能敦、坪井陽子、飯塚亮、楠進吾,
曲げられたシリコン結晶の X 線反射率とその有効性, 天文学会秋季年会, 2010. 9. 23
金沢大学
4. 鶴澤明子、坪井陽子、松村和典、山崎恭平
全天 X 線監視装置 MAXI/GSC による星生成領域からの X 線観測, 天文学会秋季年会
2010. 9. 22, 金沢大学
5. Yohko Tsuboi,
X-rays from massive protostars
International meeting “Magnetic Fields: Core collapse to YSOs”, 2010. 5. 18
The University of Western Ontario
6. 坪井陽子、鶴澤明子、Steve, H. Pravdo、江副祐一郎, Cep A 駆動領域からの X 線
天文学会春季年会, 2010. 3. 25, 広島大学
7. 山崎恭平、坪井陽子、MAXI チーム
天文学会春季年会, 全天 X 線監視装置
MAXI/GSC による星の観測, 2010. 3. 25,
広島大学
8. 楠進吾、武田誠也、得能敦、山室智史、飯塚亮、坪井陽子、赤坂大樹、大竹尚登、齋藤雅典, DLC 成膜によって曲げられた Si 結晶の曲率と X 線反射率, 2010. 3. 25, 広島大学
9. 菅原泰晴、坪井陽子、前田良知
Wolf-Rayet 連星系_ Muscae の X 線放射領域

- II, 天文学会春季年会, 2010. 3. 24, 広島大学
10. 菅原泰晴、坪井陽子、前田良知、濱口健二、他 Suzaku WR140 team, Suzaku 衛星を用いた Wolf-Rayet 連星系 WR140 の Mass-loss rate の推定, 天文学会秋季年会
2009. 9. 15, 山口大学
11. 石田光宏、辻本匡弘、坪井陽子、菅原泰晴、三浦洵一郎, X 線天文衛星すざくを用いた散光星雲 M17 付近における拡散放射の観測
天文学会秋季年会, 2009. 9. 15, 山口大学
12. 鶴澤明子、坪井陽子、菅原泰晴、飯塚亮
星生成領域 GGD27 における XMM-Newton 衛星による X 線観測, 天文学会秋季年会,
2009. 9. 15, 山口大学
13. 坪井陽子、三角和由、戸塚晃太、赤坂大樹、大竹尚登、齋藤雅典, DLC 成膜によって曲げられたシリコン結晶の偏光 X 線特性評価
日本天文学会 2008 年秋季年会, 2008. 9. 12
岡山理科大学
14. 戸塚晃太、坪井陽子、菅原泰晴、三浦洵一郎、前田良知, すざく衛星による Cygnus superbubble の軟 X 線観測, 日本天文学会
2008 年秋季年会, 2008. 9. 11, 岡山理科大学
15. 菅原泰晴、坪井陽子、前田良知
Wolf-Rayet 連星系 theta Muscae の X 線放射領域, 日本天文学会 2008 年秋季年会,
2008. 9. 11, 岡山理科大学
16. 戸塚 晃太、坪井 陽子、菅原 泰晴、三浦洵一郎、前田 良知, XMM-Newton 衛星による
Cygnus superbubble の軟 X 線観測
日本天文学会 2009 年春季年会, 2009. 3. 26
大阪府立大学
17. 前田良知、他 the Suzaku SWG Cas A team
カシオペア A 超新星残骸から観測された keV と TeV の相関, 日本天文学会 2009 年春季年会
2009. 3. 26, 大阪府立大学
18. 菅原泰晴、坪井陽子、前田良知、濱口健二, Michael F. C. 他 Suzaku WR140 team
近星点を迎える長周期 Wolf-Rayet 連星系 WR140 の Suzaku 衛星による X 線観測
日本天文学会 2009 年春季年会, 2009. 3. 25
大阪府立大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪井 陽子 (TSUBOI YOHKO)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：70349223