

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K18019

研究課題名（和文）近赤外線を用いた銀河面リッジX線放射を構成する天体種族の解明

研究課題名（英文）Revealing the nature of the population constituting the Galactic Ridge X-ray Emission using Near-Infrared

研究代表者

森鼻 久美子 (MORIHANA, Kumiko)

国立天文台・ハワイ観測所・RCUH職員

研究者番号：50640843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：天の川銀河の銀河面に沿って見かけ上広がったX線放射（銀河面リッジX線放射）を構成する天体種族と考えられている激変星を銀河面で探査した。個々のX線点源の光子統計が乏しいため、星間吸収の小さい近赤外線激変星スペクトルがPa輝線を持つことに着目した。輝線波長域のみ透過する狭帯域オンフィルターと輝線波長の両側に透過幅を持つことで連続光を精度よく差し引き、輝線天体の検出を向上させるオフフィルターを開発し、銀河面の観測により輝線天体を検出した。

また、銀河バルジ領域の近赤外深撮像観測を行い、バルジ領域のリッジ放射には磁場の弱い激変星や非接触型連星系の白色矮性連星系が寄与していることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広大な銀河面において輝線天体を全て分光観測により行うのは現実的ではない。輝線波長に透過幅を持つ狭帯域フィルターを用いれば、広い銀河面でも輝線天体を効率よく検出可能である。しかし、輝線成分は天体スペクトルの連続光成分の上のっているため連続光成分を精度よく差し引くことが難しく、既存の狭帯域フィルターでは等価幅の大きい輝線天体の検出に限られてきた。本研究で開発した特殊狭帯域フィルターは輝線の両側で連続光成分を取得することで、傾きを持つスペクトルでも連続光成分を精度よく差し引くことができるため、弱い輝線天体まで検出を可能にした。

研究成果の概要（英文）： We have studied the population constituting the Galactic Ridge X-ray Emission (GRXE), which is the apparently extended X-ray emission along the Galactic plane. One of the major population constituting the GRXE has been considered to be cataclysmic variables (CVs). However, it is difficult to search CVs only using X-ray due to poor statistics of photons. Then, we focused on that NIR spectra of CVs have Pa-beta emission lines, where interstellar absorption is small. We constructed a narrow-band on-filter that transmits only in the Pa-beta wavelength and a special off-filter that has transmission bands on both sides of Pa-beta to accurately subtract continuous emission. The filter set improved the detection and we detected emission-line sources through observations of the Galactic plane.

We further carried out deep NIR imaging observation at the Galactic bulge. We revealed that the GRXE at the bulge is contributed by non-magnetic CVs and white dwarf binaries in detached binary systems.

研究分野：光赤外天文学

キーワード：赤外線天文学 X線天文学 白色矮星連星系 狭帯域フィルター

1. 研究開始当初の背景

我々が住む天の川銀河は可視光・赤外線で多くの星が観察される。一方X線では、星の残骸であるブラックホール、中性子星など明るい点源の背景に、銀河面に沿って放射される見かけ上広がったX線放射がある。この放射は、銀経 $\pm 45^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ の範囲に尾根状に分布し、「銀河面リッジX線放射 (以下、リッジ放射)」と呼ばれ、天空中の大きな立体角を占める。リッジ放射は約 10^8 Kにも及ぶ熱的放射で、X線スペクトル中に電離度の異なる3本の鉄輝線 (6.4 keV:中性鉄、6.7, 7.0 keV:高階電離鉄) を持ち (e.g., Koyama et al., 1996, Ebisawa et al., 2008)、その放射起源は長年謎であった。研究開始時の2017年の時点では、2009年に高空間分解能 (0.5秒角) を誇る米国チャンドラX線衛星により、銀河バルジ領域で過去にない深さの観測が行われ、リッジ放射の約80%が暗いX線点源に分解された (Revnivtsev et al., 2009)。分解された暗いX線点源の候補種族として、定性的には強磁場激変星 (10^7 - 10^9 ガウスの磁場を持つ白色矮星連星系と主系列星がなす連星系) とする説 (e.g., Yuasa et al., 2012, Hong et al., 2012) と、活発な恒星同士の連星系であるフレア連星とする説 (e.g., Revnivtsev et al., 2006) が提唱されていたが、X線観測だけでは個々の点源に対してわずかな光子数 (~ 10 個) しか得られず、個々の種族の探査は難しい状況であった。そこで、星間吸収の小さい近赤外線を用いて暗いX線点源を同定し、その近赤外線スペクトルから天体種族を個々に探ることが本研究の申請者らにより主に行われてきた (Morihana et al., 2016)。

2. 研究の目的

リッジ放射を構成する種族を個々に調べるためには、これまでのように近赤外線でのX線点源を同定して個々に分光すれば良いが、広い銀河面全体で行うには膨大な観測時間を要し、現実的ではない。そこで、本研究ではリッジ放射を構成していると考えられる**激変星を検出するための近赤外線特殊狭帯域フィルターを開発し、それを用いた撮像観測により種族分類を行う方法を構築することを目的とした。**

また、暗いX線点源に分解された銀河バルジ領域をこれまでより大口径の望遠鏡で深い観測を行い、より暗いX線点源まで近赤外線での同定し、その種族を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

激変星は近赤外線域でそのスペクトルに水素の再結合輝線 ($\text{Pa}\beta 1.28\mu\text{m}$, $\text{Br}\gamma 2.16\mu\text{m}$ 等) を示すことが知られている (e.g., Dhillon et al., 1997)。この波長域にのみ透過幅を持つ狭帯域フィルターを用いて撮像観測を行って輝線の特徴を捉え、X線でのハードさと合わせることで激変星を広い銀河面でも効率よく抽出できる。輝線成分は連続光成分の上に乗っているため、一般的には輝線が検出される波長と、その近傍の連続光成分をそれぞれ狭帯域フィルターで測定し、輝線成分データから連続光成分を差し引くことで輝線天体を検出する。しかし、過去の狭帯域フィルターでの観測では、輝線の等価幅の大きい天体のも抽出された。これは、傾きを持ったスペクトルの連続光成分の上に輝線成分がのっているため、輝線波長の近くの波長で連続光成分を取ったとしても、星像サイズの違いや読み出しノイズの増加、激変星が時間変動することなどから多くの天体では、連続光を正しく見積ることが難しいためである。

そこで、輝線成分検出用フィルター (ON フィルター) に加えて、輝線波長の両側のごく近傍の波長域に透過幅を持つ連続光成分取得用の特殊な狭帯域フィルター (OFF フィルター) を作成した。輝線波長の両側の波長で連続光を同時に取得することで、星像サイズの違い、時間変動の影響を受けずに、精度よく連続光を見積ることができる。フィルターの透過幅は、激変星の $\text{Pa}\beta$ 、 $\text{Br}\gamma$ 輝線の等価幅 ($\sim 10\sim 100\text{\AA}$ 、半値幅 $\sim 1500\text{km/s}$) から考え、 $\sim 10\text{\AA}$ 程度の等価幅の輝線でも検出できるようにフィルターデザインした。開発したフィルターを南アフリカ天文台 IRSF 1.4m 望遠鏡の近赤外線カメラ SIRIUS に搭載し、(1) 試験観測によるフィルター性能評価と(2) 実際の銀河面での観測の順で研究を行った。

また、銀河バルジ領域の近赤外線撮像観測については、(3) すばる望遠鏡近赤外線カメラ MOIRCS を用いてこれまでにない深い近赤外線撮像データを取得し、X線点源との対応をとり、構成種族を議論した。

4. 研究成果

(1) 試験観測によるフィルター性能評価

Pa β 輝線、Br γ 輝線の等価幅が既知の激変星を用いて試験観測を行った。その結果、 -10\AA 程度の等価幅の輝線まで検出可能であることが分かり、本フィルターセットの有用性が確認できた。また、IRSF望遠鏡に本フィルターセットを取り付けた際の限界等級は、Pa β 用フィルター、Br γ 用フィルターセットでそれぞれ15.8等級 (Vega等級、S/N=10、Pa β ONフィルター)、13.9等級 (Vega等級、S/N=10、Br γ ONフィルター)、16.8等級 (Vega等級、S/N=10、Pa β offフィルター)、14.3等級 (Vega等級、S/N=10、Br γ offフィルター)であった。これらの結果を、2020年SPIEで発表した (図1、Morihana et al., 2020)。

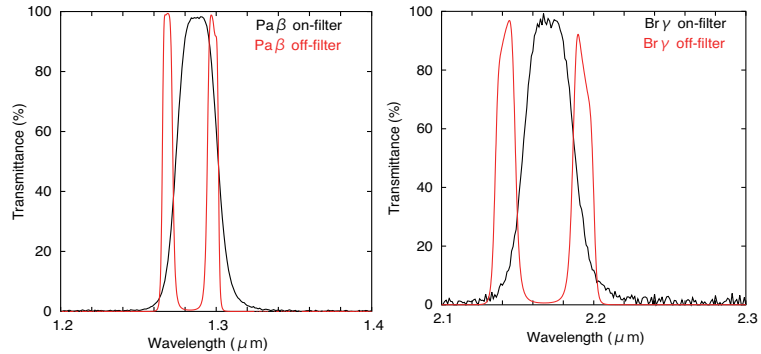


図1: 製作したPa β 用フィルターセット (左) とBr γ 輝線用フィルターセット (右) の透過率曲線。黒線がONフィルター、赤線がOFFフィルターを表す。

(2) 狭帯域フィルターを用いた銀河面の観測

開発したフィルターセットを用いて、チャンドラ衛星で既にX線観測があり、暗いX線点源1415個検出されているNorma arm region ($336.5^\circ < \text{銀経} < 338.5^\circ$ 、 $-0.4^\circ < \text{銀緯} < 0.4^\circ$ 、約 $2^\circ \times \text{約} 8^\circ$)で観測を行った。チャンドラ衛星で検出されたX線点源1415個の約52%が近赤外線対応天体を持つため、これらの天体が入るように観測視野を配置し、全61視野でマッピング観測を行った (図2)。

全観測視野で検出天体のONフィルターでの測光値に対するOFFフィルターの測光値の差 (Δmag) をプロットし、 Δmag が分布から σ 以上離れた天体を輝線天体候補とみなした。輝線天体候補のX線での性質 (ハードさ) と合わせて、これら輝線天体候補が激変星かどうかを判別した。その結果、8天体の激変星と考えられる天体を検出した (図3)。

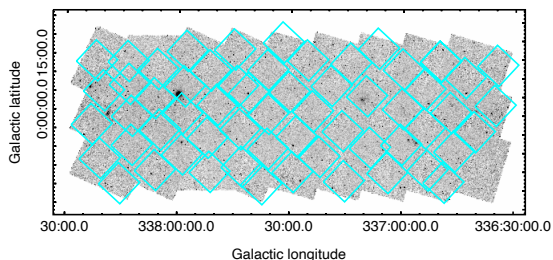


図2: SIRIUSでの狭帯域フィルター観測の視野の配置 (全61視野、1視野約7.8分角)。背景は、チャンドラ衛星による0.5-10 keVでのNorma arm regionのイメージ (Fornasini et al., 2014)。

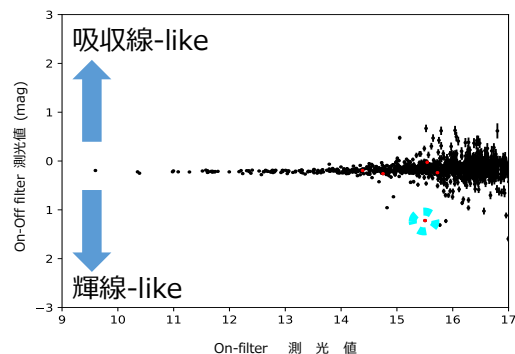


図3 測光値の差分プロットの例 (1視野分)。黒丸は視野内でON, OFF両フィルターで検出した天体、赤丸はそのうちX線でIDがある天体を表す。シアンで囲った天体が輝線天体と考えられる天体 (Morihana et al., in prep.)。

(3) 銀河バルジ領域の近赤外線深撮像観測

2009年にチャンドラ衛星で深いX線観測が行われた銀河バルジ領域 (銀経 $\sim 0.08^\circ$ 、銀緯 $\sim -1.42^\circ$) をすばる望遠鏡に搭載されている近赤外線カメラMOIRCSでこれまでにない深さのKsバンド18等級までの深さで観測した。検出した天体とX線点源の対応をとり、X線点源の約50%を近赤外線と同定した。X線色一等級図に基づき、X線天体を3グループに分類し、X線と近赤外線の性質に基づいて、各グループを構成する種族を求めた。その結果、銀河バルジ領域のリッジ放射に寄与する天体種族は、磁場の強い激変星よりも磁場の弱い激変星や非接触型連星系の白色矮星連星系が寄与していることを明らかにした (Morihana et al., 2022)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Morihana Kumiko, Tsujimoto Masahiro, Ebisawa Ken, Gandhi Poshak	4. 巻 74
2. 論文標題 Deep near-infrared imaging observation of the faint X-ray point sources constituting the Galactic bulge X-ray emission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 283 ~ 297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Morihana Kumiko, Nagayama Takahiro, Tsujimoto Masahiro, Yamagishi Mitsuyoshi, Ebisawa Ken	4. 巻 11447
2. 論文標題 New narrow-band filter system for the IRSF 1.4m telescope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 11447A1-A7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2576307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Katayama Risako, Kaneda Hidehiro, Kokusho Takuma, Morihana Kumiko, Suzuki Toyoaki, Oyabu Shinki, Yamagishi Mitsuyoshi, Tsuchikawa Takuro	4. 巻 72
2. 論文標題 Hydrogen recombination near-infrared line mapping of Centaurus A with IRSF/SIRIUS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 88-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa081	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tsujimoto, Masahiro; Morihana, Kumiko; Hayashi, Takayuki; Kitaguchi, Takao	4. 巻 70
2. 論文標題 Suzaku and NuSTAR X-ray spectroscopy of Cassiopeiae and HD 110432	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 109, 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morihana, Kumiko; Ebisawa, Ken	4. 巻 29
2. 論文標題 Near-Infrared Study of the Galactic Bulge X-ray Emission	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Galactic Bulge at the Crossroads (GBX2018), held 10-14 December, 2018 in Pucon, Chile.	6. 最初と最後の頁 1, 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5281/zenodo.2595374	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Morihana Kumiko, Nagayama Takahiro, Tsujimoto Masahiro, Yamagishi Mitsuyoshi, Ebisawa Ken
2. 発表標題 New narrow-band filter system for the IRSF 1.4m Telescope
3. 学会等名 SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kumiko Morihana, Masahiro Tsujimoto, Poshak Gandhi, and Ken Ebisawa
2. 発表標題 Identification of faint X-ray sources composing Galactic Ridge X-ray Emission by Subaru/MOIRCS
3. 学会等名 Subaru Telescope 20th Anniversary (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森鼻久美子、辻本匡弘、Poshak Gandhi、海老沢研
2. 発表標題 すばる望遠鏡MOIRCSとGaia衛星による銀河面拡散X線放射の起源探査
3. 学会等名 2020年 日本天文学会年会 春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Morihana, Kumiko; Ebisawa, Ken
2. 発表標題 Near-Infrared Study of the Galactic Bulge X-ray Emission
3. 学会等名 The Galactic Bulge at the Crossroads (GBX2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森鼻久美子、海老沢研
2. 発表標題 すばる望遠鏡MOIRCSによる銀河面拡散X線放射構成種族の深撮像観測
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hamaguchi, K.; Oskinova, L.; Russell, C. M. P.; Petre, R.; Enoto, T.; Morihana, K.; Ishida, M.
2. 発表標題 The Origin of X-ray Emission from the Enigmatic Be Star Cassiopeiae
3. 学会等名 The Lives and Death-Throes of Massive Stars (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hamaguchi, Kenji; Oskinova, Lidia; Post Russell, Christopher Michael; Petre, Robert; Enoto, Teruaki; Morihana, Kumiko; Ishida, Manabu; Tax, Lucas; Kim, Austin
2. 発表標題 Discovery of Rapid X-ray Color Variations from the Enigmatic Be Star, gamma Cassiopeiae
3. 学会等名 American Astronomical Society, HEAD meeting
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森鼻久美子, 辻本匡弘, 海老沢研, 永山貴宏
2. 発表標題 Pa 特殊狭帯域フィルターによる Norma Arm Region の白色矮星連星系探査
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 森鼻久美子, 辻本匡弘
2. 発表標題 JASMINEで切り開く天の川銀河面拡散X線放射構成種族の解明
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	永山 貴宏 (Nagayama Takahiro) (00533275)	鹿児島大学・理工学域理学系・准教授 (17701)	
研究協力者	辻本 匡弘 (Tsujiimoto Masahiro) (10528178)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授 (82645)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------