

「赤外線時間変動観測による銀河面リッジ X 線放射構成種族の解明」

兵庫県立大学自然・環境科学研究所天文科学センター西はりま天文台 森鼻 久美子

1 研究の背景と目的

天の川銀河には、銀河面に沿って放射される銀河面リッジ X 線放射 (以下、リッジ放射) がある。リッジ放射は、銀経 $\pm 45^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ に分布する見かけ上広がった放射で、その X 線スペクトルはハード (硬い) で高階・中性鉄輝線を持ち、どの方向でも一様である。その起源として、真に広がったプラズマであるとする拡散説 (Ebisawa et al., 2001, 2005) と暗い X 線点源の重ね合わせであるとする点源説 (e.g., Revnivtsev et al., 2006) の 2 説があり、発見以来約 30 年に渡り論争が続いていた。

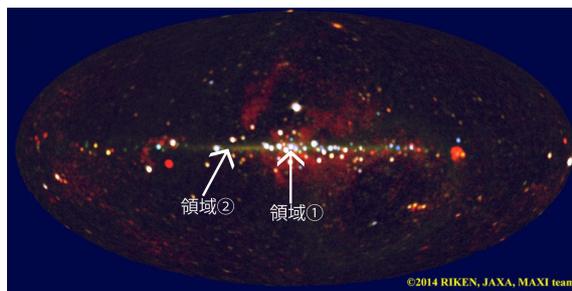


図 1: 国際宇宙ステーション搭載全天 X 線監視装置 MAXI による X 線全天マップ。図の中央、左右に広がる銀河面上の明るい点源の背景に薄く広がって見える放射が、銀河面リッジ X 線放射。領域①、②はこれまで研究を行ってきた領域。

しかし近年、高空間分解能を誇る米国チャンドラ X 線衛星により、銀河面バルジ方向で過去にない深さの観測が行われ、鉄輝線付近でリッジ放射の約 80 % が暗い X 線点源に分解された (Revnivtsev et al., 2009)。これにより、リッジ放射のバルジ方向の主成分は暗い X 線点源である可能性が高まった。しかし、これら暗い X 線点源の正体が何か、鉄輝線を出している種族が何かは解明されていない。暗い X 線点源として、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星とする説 (e.g., Revnivtsev et al., 2006) が提唱されてきた。リッジ放射スペクトル中の 6.7 keV 鉄輝線の等価幅を説明するには、銀河系内に $(2.6-21) \times 10^5/\text{pc}^3$ の激変星が必要であるが (Yamauchi et al., 2009)、太陽系近傍の激変星の個数密度 $10^6/\text{pc}^3$ (Patterson et al., 1998) よりも一桁以上大きく数が足りない。フレア星の場合も、太陽系近傍の 30 個の X 線フレア星から求めた X 線フラックスとリッジ放射の X 線フラックスの一致を元にしており (Sazonov et al., 2006)、不定性が大きい。このように、激変星やフレア星のスペクトルとリッジ放射スペクトルは合わないため、満足のいく説明は得られていない。

分解された暗い X 線点源は 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。そこで私は、星間吸収の小さい近赤外線に着目した。近赤外線 K バンドでの吸収は、可視 V バンドの 10 分の 1 であり、十分な光子統計を得やすい。これまで私はリッジ放射構成点源を近赤外線により個々に同定・分光し、種族を探ってきた。その結果、次の 3 種類が存在すると分かった。

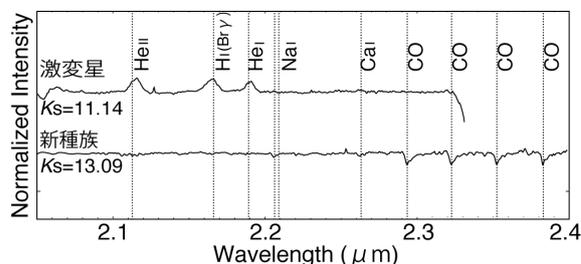


図 2: リッジ放射構成 X 線点源の近赤外線スペクトル例 (Morihana et al., 2016)。

- (a) X線でソフト、近赤外線でHI (Br γ)、NaI、CO等の吸収線を持つ晩期型星スペクトル (46天体)
- (b) X線でハード、近赤外線でHI (Br γ)、HeI、HeIIの輝線を持つスペクトル (2天体)
- (c) X線でハード、近赤外線でHI (Br γ)、NaI、CO等の吸収線を持つ晩期型星スペクトル (17天体)

その特徴から (a) はフレア星、(b) は激変星であることが分かった。この2つは、予測されていた種族である。一方、(c) は今回初めて認識された新種族で、その特徴から白色矮星連星系のような縮退星であるが、激変星とは別の白色矮星と晩期型星の非接触型連星系が考えられる。(a)~(c)の各グループのX線点源合成スペクトルのうち、(b)と(c)の合成スペクトルが鉄輝線を示し、リッジ放射の鉄輝線への寄与が示唆した。

ではこれら新種族は、銀河面の他の領域でも数多く存在するだろうか？そこで本研究では、天の川銀河に新種族が存在するという仮説を元に、リッジ放射を構成する点源の種族分類手法を確立し、種族探査を行うことを目的とする。

2 研究方法・研究内容

新種族が銀河面の他の領域にも存在するかどうかを知るにはこれまでのように近赤外線で行うには膨大な観測時間を要する。そこで、激変星は近赤外線域でPa β (1.28 μ m) とBr γ (2.17 μ m) 輝線を示し (e.g., Dhillon et al., 1995, 1997)、新種族はそれらを示さないことに着目した。Pa β とBr γ の波長域の光のみを透過する狭帯域フィルターで観測し、輝線成分の有無からリッジ放射に寄与するハードな天体を激変星と新種族に分類する。

観測は、2015年9月、2016年9月に南アフリカ天文台IRSF望遠鏡に搭載されている

近赤外線3色同時サーベイカメラ (SIRIUS) のPa β ・Br γ 狭帯域フィルターを用いて行った。狭帯域フィルターで得られるデータは、連続光成分の上に輝線成分がのった形で得られる。このため、輝線成分の有無で種族分類する際、輝線波長での観測に加えて、連続光成分をいかに正確に見積もり、差し引くかが鍵となる。本研究では、輝線波長のできるだけ近傍波長に透過幅を持つ狭帯域フィルター (中心波長 : 1.26 μ m, 2.12 μ m) を連続光成分取得用フィルターとして使い、輝線成分データから連続光成分を差し引くことで輝線成分の有無の判別を行った。

観測天体は、図1領域①の(銀経, 銀緯) = (0.0°, -1.4°) で検出されたリッジ放射の構成X線点源から選んだ近赤外線未分光天体、領域①以外のチャンドラ衛星銀河面バルジサーベイ領域 (Chandra Galactic Bulge Survey, e.g., Jonker et al., 2014) で見つかったX線でハードかつ近赤外線未分光の天体から次の条件を満たすものを観測対象天体を選んだ。

1. X線での総カウント光子数が20カウント以上
2. Ksバンドでの等級が14等以上

観測データの解析は、一次処理後に測光を視野内の天体について行った。天体スペクトルは傾きを持つため、連続光成分の見積もり時にその傾きを考慮する必要がある。そこで、連続光成分取得用フィルターでの測光値に対して、 $f(\lambda) = a * \lambda + b$ の一次関数でフィットし、Pa β 、Br γ 輝線波長での連続光成分を見積もった。

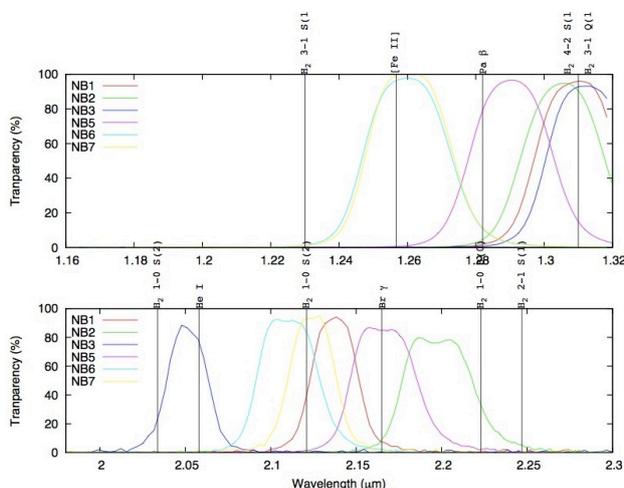


図3: SIRIUS 狭帯域フィルターの透過曲線。本研究では、NB5 をPa β 、Br γ フィルター、NB7 を連続光取得用フィルターとして用いた。

3 研究成果

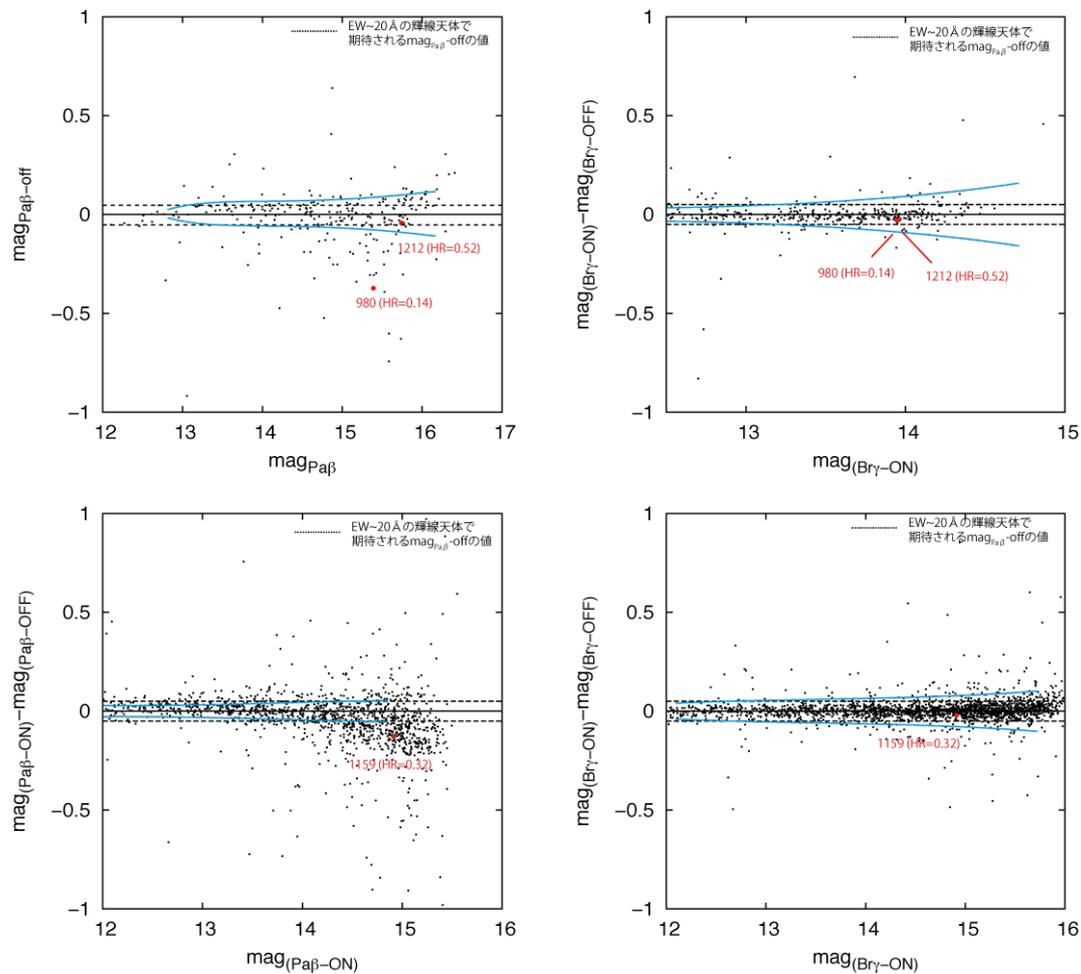


図 4：横軸に輝線フィルターでの等級、 $\text{mag}(\text{Pa}\beta_{\text{ON}})$ 、 $\text{mag}(\text{Br}\gamma_{\text{ON}})$ 、縦軸に輝線フィルターでの測光値-連続光フィルターでの測光値： $m(\text{Pa}\beta_{\text{ON}})$ 、 $m(\text{Br}\gamma_{\text{ON}})$ と $m(\text{Pa}\beta_{\text{OFF}})$ 、 $m(\text{Br}\gamma_{\text{OFF}})$ の差分をとった結果の例(領域①の天体)。図中の赤丸が視野中の観測対象天体(激変星、新種族候補)を表す。黒点線EW~20Åの輝線天体の検出期待値、黒線：分布の中心、水色線：測光誤差に基づく縦軸の誤差を表す。

横軸に輝線フィルターでの測光値 ($\text{mag}(\text{Pa}\beta_{\text{ON}})$ 、 $\text{mag}(\text{Br}\gamma_{\text{ON}})$)、縦軸に輝線フィルター測光値-連続光フィルター測光値 ($\text{mag}(\text{Pa}\beta_{\text{ON}}) - \text{mag}(\text{Pa}\beta_{\text{OFF}})$ 、 $\text{mag}(\text{Br}\gamma_{\text{ON}}) - \text{mag}(\text{Br}\gamma_{\text{OFF}})$) をとった(図4)。プロットした点のうち、次の条件を満たす時に輝線成分を検出とみなした。

$$\begin{aligned} & m(\text{Pa}\beta_{\text{ON}}) - m(\text{Pa}\beta_{\text{OFF}}) < \text{測光誤差の線 (図4水色線) かつ} \\ & m(\text{Pa}\beta_{\text{ON}}) - m(\text{Pa}\beta_{\text{OFF}}) < \text{Pa}\beta \text{ 輝線等価幅}\sim 20\text{\AA} \text{ での検出期待値 (図4黒点線)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & m(\text{Br}\gamma_{\text{ON}}) - m(\text{Br}\gamma_{\text{OFF}}) < \text{測光誤差の線 (図4水色線) かつ} \\ & m(\text{Br}\gamma_{\text{ON}}) - m(\text{Br}\gamma_{\text{OFF}}) < \text{Br}\gamma \text{ 輝線等価幅}\sim 20\text{\AA} \text{ での検出期待値 (図4黒点線)} \end{aligned}$$

領域①の天体の中で6天体について種族分類を行うことができた(表1)。また、チャンドラX線衛星バルジサーベイ領域においても4天体の種族分類を行うことができた(表2)。

表 1：領域①で種族分類できた天体

番号 [§]	座標 R.A., Decl. (J2000)	HR [*]	J/H/K (mag)	種族
874	(17:51:24.60, -29:29:31.6)	0.31	13.9/12.5/12.3	激変星
980	(17:51:27.67, -29:37:36.8)	0.14	12.9/12.1/11.9	激変星
1159	(17:51:31.87, -29:43:30.7)	0.32	13.4/12.2/11.8	新種族
1171	(17:51:32.11, -29:32:52.1)	0.17	14.4/13.5/13.2	新種族
1212	(17:51:33.24, -29:34:26.0)	0.52	13.5/12.4/11.8	新種族
1771	(17:51:48.82, -29:28:56.3)	0.93	13.1/11.9/11.5	新種族

[§]Morihana et al., (2016)の天体番号。図4の番号と対応。^{*}Hardness Ratio : $HR=(H-S)/(H+S)$ 。H : 2-8 keV のカウント数, S : 0.5-2 keV のカウント数。値が大きいほどX線でハードであることを表す。

表 2：チャンドラ衛星バルジサーベイ領域で種族分類できた天体

番号 [§]	座標 R.A., Decl. (J2000)	HR [*]	J/H/K (mag)	種族
0019	(+17:49:54.53, -29:43:35.8)	0.89	12.0/10.4/9.9	新種族
0023	(+17:42:31.56, -27:43:48.3)	0.39	11.0/9.5/8.9	新種族
0034	(17:47:18.19, -30:41:11.7)	0.66	14.7/13.0/12.3	新種族
0048	(+17:35:45.40, -30:10:22.5)	0.37	11.4/10.0/9.6	新種族

[§]Jonker et al., (2014)の天体番号。

以上から、非常に明るい天体は狭帯域フィルターで激変星と新種族が分離できた。一方、より暗い天体に対し本手法で種族分類できず、統計誤差を抑える必要があることが分かった。統計誤差が大きい原因として、本研究で使用した輝線用狭帯域フィルターの透過幅がやや広く ($\Delta\lambda \sim 0.035 \mu\text{m}$)、数十Å程度の輝線等価幅が小さい天体からの統計が足りなかったこと、連続光成分取得用の既存フィルターが Pa β , Br γ 輝線検出用に特化したフィルターではないため連続光の見積もり精度が不足したことが考えられる。今後は、輝線検出専用の透過幅の小さい狭帯域フィルターと、Pa β , Br γ 輝線の近傍波長に連続光検出用の狭帯域フィルターの制作を検討し、より暗い天体の分類を行いたい。

4 生活や産業への貢献および波及効果

本研究は申請当初、申請者が所属する兵庫県立大学なゆた望遠鏡と南アフリカ天文台 IRSF 望遠鏡の2台で行う予定であった。ところが、2015年度は悪天候のため、2016年度は近赤外線撮像装置のトラブル(ヘリウム配管漏れ、冷凍機圧縮ユニットの故障)のためなゆた望遠鏡での観測は困難となり、IRSF 望遠鏡でのみの観測となった。しかし、IRSF 望遠鏡での観測から狭帯域フィルター観測により輝線有無から種族分類する方法の有効性を確認し、分光せずに視野内の天体を分類可能な方法を構築した。これは、望遠鏡時間の獲得が難しい大型口径望遠鏡では実現しにくい、銀河面のように広い領域のマッピング観測に適する。本手法を望遠鏡時間が比較的豊富な中小口径望遠鏡で今後行うことで、銀河面全体の構成種族を明らかにできる。例えば、激変星、新種族と可視光で見える恒星の銀河面での分布、個数密度から、天の川銀河の天体の種族構成、個数密度を知ることができる。これまで天の川銀河の種族構成・進化モデルは主に可視光のデータに基づいており(e.g., Robin et al., 2004)、本手法で今後銀河面での星の進化の最終段階の激変星、新種族の個数密度を明らかにし、天の川銀河の種族構成モデルを更新できることなどが考えられる。