

立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）
大学院学生研究
2022年度研究成果報告書

研究科名	立教大学大学院		理学研究科	物理学専攻
研究代表者 (2023年3月現在のものを記入)	在籍課程・学年		氏名	
	<input checked="" type="checkbox"/> 博士前期課程 2年	<input type="checkbox"/> 博士後期課程 年	小湊 菜央	
指導教員	所属部局・職名		氏名	
	理学部 准教授		山田 真也	
自然・人文・社会の別	<input checked="" type="radio"/> 自然	<input type="radio"/> 人文	<input type="radio"/> 社会	個人・共同の別 <input checked="" type="radio"/> 個人 <input type="radio"/> 共同 名
研究課題	精密 X 線分光で迫る重力崩壊型超新星残骸 (CasA) の運動学的進化の解明			
研究組織 (研究代表者・共同研究者) ※2023年3月現在のものを記入	在籍研究科・専攻・課程・学年		氏名	
	理学研究科物理学専攻博士課程前期課程 2年		小湊 菜央	
研究期間	2022 年度			
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 400,000円 / (採択金額) 400,000円			

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

宇宙には、宇宙線と呼ばれる、高速で飛び回る荷電粒子が存在している。しかし、その起源はまだ解明されておらず、銀河系内の加速源の候補としては超新星残骸 (SNR)、が考えられている。しかし、実際に SNR でどの程度荷電粒子が加速されているのかは未解明のままであるため、銀河系内にある若く明るい SNR、カシオペア座 A (CasA) の X 線解析から粒子の加速環境に迫った。さらに、2023 年度に打ち上げが迫っている X 線天文衛星 XRISM の開発にも参加した。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

{ X 線 } { 宇宙線 } { 粒子加速 }

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)**〈超新星残骸カシオペア座 A の X 線の時間変動解析〉**

2022 年度は、2021 年度の研究に引き続き、超新星残骸カシオペア座 A (CasA) の解析を行った。宇宙を飛び回っている高エネルギーの荷電粒子である宇宙線は、発見から 100 年が経過した今も起源は解明されていないが、その候補の一つとして、超新星残骸が考えられている。超新星残骸は、超新星爆発によって生じた衝撃波が、長い時間をかけて宇宙空間に広がる。荷電粒子が衝撃波面を往復するとき、衝撃波との衝突によって荷電粒子がエネルギーを獲得し、加速することがある。それが宇宙線の加速機構の 1 つであると考えられているが、実際にどのくらいのエネルギーまで加速されているかは分かっておらず、実際の観測結果の解析から研究が進められている。しかし、宇宙線は荷電粒子であるため、観測することができても到来方向に加速源がなく、加速源を直接観測することが難しい。そこで、荷電粒子が加速されるときに出る電磁場を観測することで、間接的に宇宙線加速の観測をすることができる。本研究で解析を行っているカシオペア座 A は、超新星爆発から日が浅く、太陽系からの距離も近いため、超新星残骸の外縁部での宇宙線加速を調査するのに適した天体である。カシオペア座 A は先行研究で北東領域のフィラメントからの X 線放射の時間変動が見つかった。また、この領域は粒子の加速効率が最も良い Bohm limit という状態に近いことが分かっており、宇宙線の加速源の有力な候補として注目されている。しかし、先行研究は 2007 年頃までのデータによる解析であり、その後の長い期間のデータの解析が行われていない。そこで、本研究では 2019 年までのデータを用いて、北東領域の X 線放射の解析を行った。

2021 年度の研究では、先行研究で X 線放射の時間変動が見つかった北東のフィラメントについて、2000 年から 2019 年までの 20 年分のデータを用いて時間変動解析を行った。このフィラメントは、カシオペア座 A の衝撃波面上にあると考えられている。フィラメントからの X 線放射は、高温プラズマなどによる熱的な放射と、粒子加速による非熱的な放射の両方が含まれる。このうち、非熱的な X 線の時間変動を調べるため、(i) 熱的成分を差し引くことによる非熱的な成分の抽出、(ii) 差し引きを行わない広帯域でのモデルフィット、(iii) 熱的成分の寄与の少ない帯域でのモデルフィット、の 3 通りの解析を行った。このうち、(iii) 熱的成分の寄与の少ない帯域でのモデルフィットによって不定性の小さい解析結果を得ることができ、約 20% の増光と、約 10% の急激な減光を発見した。ここから、磁場などの加速環境を計算することに成功した。

2022 年度の研究では、2021 年度の解析結果を元に、更に詳細に解析を行った。北東フィラメントは、2000 年頃は 1 つのフィラメントの構造に見えていたが、時間が経過するにつれて 4 つに分裂してきている。これまで 1 つのフィラメントとして解析していたこれらの 4 つの部分が、同じ 1 つのフィラメントでない可能性が考えられるようになってきたので、それぞれの部分に分けて解析を行った。2022 年度に行った解析は、主に ①スペクトル解析、②イメージ解析、の 2 つである。

スペクトル解析では、4 つの部分のうち、フィラメント状の構造を持っている 2 つの部分について、X 線の時間変動を求めた。その結果、左半分は約 80% 増光し、右半分は増光が見られなかった。また、どちらの領域でも減光は見られなかった。このことから、フィラメントの中でも場所によって X 線の時間変動が大きく異なり、4 つの部分を 1 つのフィラメントとして解析を行っていたときに見えた増光は、最も増光の大きい部分の結果が薄まって見えていたことが分かった。また、減光はスペクトル解析を行わなかった 2 つの部分で起こっており、フィラメント状の部分では起こっていないことが分かった。この結果は、2023 年度中に論文にする予定である。

イメージ解析では、取得された画像から、4 つの部分それぞれの構造の幅の時間変化を求めた。特に、スペクトル解析を行ったフィラメント状の 2 つの部分の幅の変化を重点的に解析した。衝撃波面での加速粒子は、磁場が大きいと冷却がはやく効き、X 線で見えるフィラメントの幅が小さくなる。そこで、幅を求めることで磁場の変動を見積もった。フィラメント状の部分に長方形の解析領域を作成し、それぞれを同径方向に 25 等分した短冊状の領域を作成した。それぞれの短冊の領域の X 線強度を求め、横軸を一番内側の短冊からの距離、縦軸を X 線強度でプロットした Radial profile を作成した。観測年ごとに Radial profile を作成し、その半値幅を求めることで幅の時間変動を求めた。しかし、使用しているデータを取得している Chandra 衛星は、望遠鏡の光軸から離れた部分では取得画像の像がぼやける性質がある。そのため、フィラメントが光軸から離れている画像では、光軸の近くの画像に比べて幅が大きくなってしまっており、単純に比較することができない。そこで、使用した観測画像のうち、光軸が遠いものをすべて除き、光軸が近いものだけで比較を行った。その結果、2 つの領域のどちらも 20 年間で 20~30% 幅が減少していることが分かった。

これまで 1 つの構造だと思われていた北東フィラメントを 4 つの部分に分けてスペクトル解析とイメージ解析を行ったことで、フィラメントの中でも場所によって環境や特徴が異なることが分かった。スペクトル解析ではフィラメントの左右で光度変動の傾向が大きく異なったのに対し、イメージ解析では同じように幅が減少し、どちらも磁場が増幅していると考えられることから、フィラメント内でも場所によって物理的な性質が異なると考えられる。

研究成果の概要 (つづき)

これより、1つのフィラメントに見えていたものは複数の構造が重なって見えていた可能性があることが分かった。

〈X 線天文衛星 XRISM の開発〉

2022 年度は、XRISM 衛星の熱真空試験に参加させていただくことができた。私の参加した期間は熱真空試験のための準備を行っており、実験の記録や、メーカーの方とのやりとりなどを担当した。試験を通じて、衛星試験や打ち上げに必要な機構の理解を深めることができ、今後の研究への糧になった。

研究発表 (研究によって得られた研究成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。なお、成果発表を確認できる資料を合わせて研究成果報告書提出フォームより提出してください(紙媒体等、研究成果報告書提出フォームから提出できない場合は、別途リサーチ・イニシアティブセンターへ提出してください)。

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

※修士論文・博士論文は含みません。

④-1

XRISM Core-to-core Science Workshop

口頭・ポスター発表

「Brightness Variations of Nonthermal X-ray Filaments in the Cassiopeia A Supernova Remnant」

④-2

日本天文学会 2023 年春季年会 口頭発表

Q01a「Chandra 衛星による超新星残骸カシオペア座 A の北東領域の X 線時間変動解析(2)」