

立教大学学術推進特別重点資金（立教 S F R）
大学院生研究
2006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
指導教員	所属・職名		氏名		
	理学部・教授		北本 俊二 印		
自然・人文の別	自然・人文		個人・共同の別	個人・共同 3名	
研究課題名	ブラックホールの極近傍に迫る				
研究代表者	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・博士課程1年		須藤 敬輔 印		
研究組織	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科・物理学専攻・修士課程2年		大久保 洋輔		
	理学研究科・物理学専攻・修士課程2年		関口 晶子		
研究期間	2006年度				
研究経費	500千円				

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

ブラックホールは通常の恒星からの質量降着により明るく輝いている。特にブラックホールの重力ポテンシャルは深いため、放射エネルギーはX線領域で支配的である。したがって、ブラックホールの近傍の状態を調べるにはX線による観測が必要不可欠である。これまでX線によるブラックホールの観測が数多く行われてきた。しかし、ブラックホール近傍の状態がどのようなのか、どのようにX線を放出しているのか等、明確にわかっていることは少ない。そこで本研究では、より精度よくブラックホールの近傍を探るために、1) 次世代の観測装置の開発と2) 現在活動中のX線天文衛星のデータを用いた解析、という2つのアプローチで研究を行った。

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線天文学] [ブラックホール] [望遠鏡]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

1) 次世代の観測装置の開発

研究室では X - m a s (X - r a y m i l l i a r c s e c o n d) 計画と称したミリ秒角の角度分解能を目指した X 線望遠鏡の開発を行っている。X 線望遠鏡では鏡の表面を X 線の波長よりも小さな精度にする必要があり、従来の X 線望遠鏡ではこのような技術的な限界のために理想的な回折限界に達することができなかった。このような技術的な限界を回避するために、X - m a s 計画では可視光の波面を波面センサーで常時モニターし、それを基に可変形状鏡を動かして鮮明な X 線像を得ることを考えている。

X - m a s 計画で用いる X 線望遠鏡は主に、主鏡、可変形状鏡 (副鏡)、波面センサー、C C D から構成され、これらがすべて鏡筒の中に納まる。X 線発生装置からの X 線 (将来的には天体からの X 線) と波面測定用の可視光レーザーを入射させ、それらを主鏡で反射させ、さらに可変形状鏡で反射させる。X 線発生装置の前にある可視光遮断フィルターで観測対象からの X 線以外の光を遮断する。主鏡と可変形状鏡にはモリブデンとシリコンの多層膜が蒸着されており、波長 13.5 nm の X 線を分光している。可変形状鏡はバイモルフピエゾ素子を使っており、バイモルフピエゾ素子とはピエゾ素子と呼ばれる電圧を加えると伸縮する素子を 2 枚張り合わせたもので、異なる電圧をかけることで様々な局率を作成することができる。そして、C C D で X 線の像を、波面センサーで可視光の波面を測定する。この波面センサーで測定した波面をモニターし、可変形状鏡を変形させ、最良な X 線像を得る、ということを常に繰り返す (閉ループ)。各装置をそろえ、これらを組み立て、実験を行ってきた。

このような光学系で主に 2 つの実験を行った。1 つ目は、X 線での撮像実験である。これは X 線発生装置から発せられた X 線が C C D で撮像できるかを目的とする実験である。C C D で得られたイメージの位置等から X 線が受かったことを確認した。

2 つ目は、波面センサーと可変形状鏡を用いた可視光による閉ループ制御の動作確認の実験である。これは、閉ループ制御が正しくできているか、制御前と制御中で X 線発生装置から発せられる可視光によるメッシュのイメージに変化があるかを調べるために行った実験である。この実験では大気中で行い、閉ループ制御が正常に動作していることを確認した。そして、C C D で制御前と制御中での可視光による撮像を行った。制御前と制御中でイメージの変化が見られ、可視光ではほぼ回折限界に達していることがわかった。

2) 現在活動中の X 線天文衛星のデータを用いた解析

我々は「すざく」衛星のデータを用いて解析を行った。「すざく」衛星は 2005 年 7 月に打ち上げられた日本の X 線天文衛星である。3 つの X 線検出器 (X R S、X I S、H X D) を搭載しており、その特徴は、0.4 keV から数百 keV にわたる広いエネルギー領域と高エネルギー分解能、そして 12 - 70 keV の硬 X 線の S / N の良さである。X R S (X - R a y s p e c t r o m e t e r) はマイクロカロリメータである。X I S (X - r a y I m a g i n g S e n c e r) は 0.4 - 12 keV の軟 X 線を検出するためのもので、4 台の X 線 C C D で構成されており、そのうち 3 台は表面照射型 C C D と 1 台は裏面照射型 C C D である。H X D (H a r d X - r a y D e t e c t o r) は 10 - 数百 keV の硬 X 線を検出するためのもので、< 50 keV の X 線を検出する半導体検出器 (H X D - P I N と呼ぶ) と > 50 keV の X 線を検出するシンチレータ (H X D - G S O と呼ぶ) から構成されている。

研究成果の概要 つづき

試験期間に観測したブラックホール 6 天体 (C y g X - 1、L M C X - 3、G R S 1 9 1 5 + 1 0 5、G R O J 1 6 5 5 - 4 0、4 U 1 6 3 0 - 4 7、I G R J 1 7 4 9 7 - 2 8 2 1) に対して、H X D - P I N のデータを用いた時間変動探査を行った。H X D - P I N は他の衛星にはないほどの低バックグラウンドを実現しているため、短時間の観測で統計のよいデータを得ることができる。この時間変動探査ではパワースペクトルを導出し、その分布を調べた。

この中で、特に I G R J 1 7 4 9 7 - 2 8 2 1 について詳細に調べた。I G R J 1 7 4 9 7 - 2 8 2 1 は I N T E G R A L 衛星によって発見された新しい X 線新星である。「すぎく」衛星ではアウトバーストの減衰時をおよそ 5 0 k s e c の観測を行った。このとき 1 - 2 0 k e V における光度は 1.2×10^{37} e r g / s であった。X I S と H X D - P I N (1. 0 - 5 0 k e V) によって得られたエネルギースペクトルは、べき指数が ~ 1.6 、カットオフのエネルギーが ~ 100 k e V である c u t o f f p o w e r - l a w モデルで表された。一方、時間変動では、0. 0 0 4 - 3 2 H z の周波数帯のパワースペクトルは周波数 0 H z に中心がくるような 2 つのローレンツ関数で表され、その 2 つの折れ曲がりの振動数 (0. 0 6 H z、0. 7 H z) は C y g X - 1 よりも低周波数側にくる事がわかった。これは I G R J 1 7 4 9 7 - 2 8 2 1 の中心星の質量が C y g X - 1 の中心星の質量 (およそ太陽質量の 1 0 倍) よりも大きい可能性があり、中心星がブラックホールであることを示唆する。

スペクトル、時間変動はブラックホール候補星の l o w / h a r d 状態に典型的な特徴を示し、これもまた中心星がブラックホールであることの裏付けになる。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・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。)

- 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)

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)

- ・日本天文学会秋季年会、2006年9月19日－21日、北九州
- ・“The Extreme Universe in the Suzaku era”、2006年12月4日－8日、京都
- ・ブラックホール天文学研究会、2007年2月13日－15日、京都
- ・日本天文学会春季年会、2007年3月28日－30日、神奈川