

**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**  
**2004年度研究成果報告書**

<b>研究科名</b>	立教大学大学院			理学研究科	物理学専攻
<b>指導教員</b>	所属・職名		氏名		
	理学部・教授		北本 俊二 印		
<b>自然・人文の別</b>	自然	<b>個人・共同の別</b>	共同	3名	
<b>研究課題</b>	ブラックホールの謎に迫る ～解析と実験からのアプローチ～				
<b>研究代表者</b>	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科物理学専攻博士 前期課程2年		大川 洋平 印		
<b>研究組織</b>	在籍研究科・専攻・学年		氏名		
	理学研究科物理学専攻博士 前期課程2年		大川 洋平		
	理学研究科物理学専攻博士 前期課程2年		金井 淳一		
	理学研究科物理学専攻博士 前期課程2年		千葉 茂人		
<b>研究期間</b>	2004 年度				
<b>研究経費</b>	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。)

我々の研究分野は、X線天文学である。宇宙には、ブラックホールを始めとした非常に強いX線源が多数存在している。しかしながら、それらのX線放射機構に関しては、現段階では分かっていない。ブラックホールは、未知の天体なのである。我々は、未知の天体ブラックホールに挑む研究を進めている。本研究では、2つのアプローチ方法を用いている。1つ目は、実際に宇宙空間でブラックホール観測を行っている衛星のデータ解析を行うことである。我々は、NASAのRXTE衛星のデータ解析を進めている。2つ目は、次世代のX線望遠鏡の開発を行うことである。我々は、Xmas計画と称して、超高解像度X線望遠鏡の開発を進めている。

**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。)

[ ブラックホール ] [ X線天文衛星のデータ解析 ] [ X線望遠鏡の開発 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

我々は、未知の天体であるブラックホールの謎に迫る研究を進めている。ブラックホールの周辺で起こっているであろう諸現象の研究は、世界各国で進められている。しかし、現象のメカニズムには曖昧な点も多い。我々は、ブラックホールに少しでも迫るべく研究を行なっている。本研究では、2つのアプローチ方法を用いている。1つ目は、実際に宇宙空間でブラックホール観測を行っている衛星のデータ解析を行うことである。我々は、NASAのRXTE衛星のデータ解析を進めている。2つ目は、次世代のX線望遠鏡の開発を行うことである。我々は、Xmas(X-ray milli arc second)計画と称して、超高解像度X線望遠鏡の開発を進めている。

1つ目のRXTE衛星のデータ解析の研究成果は、以下の通りである。

我々は、ブラックホール候補星GRS 1915+105という天体に着目して研究を進めた。GRS 1915+105は、1992年にGRANAT衛星によって発見されたX線源である。この天体は、多くの特異な性質を示している。数多くの状態と状態遷移を示すこと、光速に近い速度(0.9光速)のジェットを噴き出していること、準周期的振動(QPO)や鉄輝線が存在することなどである。さらに、赤外分光観測により質量の推定も行われ、我々の銀河で最大質量(14太陽質量)を持つ恒星ブラックホールであると考えられている。また、ブラックホール候補星の中でも特異なX線時間変動を示すことが知られている。従って、この天体の特異な性質を解明することはブラックホール全体の性質を研究する上で、非常に重要であると考えられる。ブラックホール候補星GRS 1915+105は、上記のように観測時期によって数多くの状態と状態遷移を示すことが分かっている。この天体のハード状態におけるスペクトルは、多温度黒体輻射(MCD: Mitsuda et al. 1984)とべき関数というブラックホール候補星における標準的なモデルでは説明できないことが分かっている。しかし、これらの2成分に高温プラズマによるコンプトン成分を考慮すると矛盾のない結果が得られる。従って、我々は、高温プラズマによるコンプトン成分が存在すると仮定すると、時間の遅れはコンプトン雲から低エネルギーX線に比べて高エネルギーX線が遅く出てくるハードラグが期待されると考え、時間変動の解析を行なった。しかしながら、我々の解析結果はコンプトン雲から高エネルギーX線に比べて低エネルギーX線が遅く出てくるソフトラグを示した。そこで、我々はスペクトルと時間変動の両方の振舞いを説明することが可能なコンプトン散乱のモデルとして、Comptonized Powerlaw(CompPL)モデルを導入した(Ohkawa, Kitamoto, & Kohmura 2005)。そして、このモデルを実データに実際に合わせた結果、電子雲の温度を変化させることによって、スペクトルと時間変動の両方を説明することが可能であることが分かった。また、本天体では観測時期によってソフトラグとハードラグを示すデータが存在する。それらのデータに対してCompPLモデルを適用することによって、その違いを考察した。その結果、ブラックホール周辺における電子雲の温度が低温から高温に変化するにしたがって、時間変動もソフトラグからハードラグに遷移する傾向を発見した。

2つ目の次世代X線望遠鏡の開発に関する研究成果は、以下の通りである。

X線による天体観測は、撮像、分光、時間変動の観測が主たるものであるが、最近、もう一つの情報であるX線の偏光観測の重要性が指摘されている。X線の偏光検出ができれば、X線の放射機構について大きな情報を含み、天体で生じている物理現象の理解に大いに貢献すると考えられる。X線偏光の検出には、ブラッグ反射を利用した反射型偏光計、コンプトン散乱やトムソン散乱を利用した散乱型偏光計、光電効果の電子の放射異方性を利用した偏光計など、いろいろな方法があるが、実用に足る性能を出すには技術的にまだまだ未熟な段階である。我々の研究では、これまでにない新しい偏光検出方法として、透過型多層膜を使用した方法を提案した。この方法を使えば、例えば通常使用するX線望遠鏡の焦点面検出器をそのままにして、その前方に透過型多層膜を置くだけで偏光観測、特に撮像偏光観測が可能である。また、透過型であるため、エネルギーの高いX線はそのまま透

**研究成果の概要 つづき**

過し、通常の撮像分光観測も可能である等、さまざまな利点がある。我々が行った研究は、始めに多層膜の作成をし、そして高エネルギー加速器研究機構(KEK)で性能実験をした。実際に作る前に、多層膜に X 線が入射した場合どのような反射、透過が起こるのかわかるためにシミュレーションを行った。透過型多層膜であるので、厚すぎたら、透過する X 線が少なくなり統計的に不利になってしまう。しかしながら、薄すぎてしまうと S 偏光と P 偏光の違いがはっきり現れず、偏光を観測できない。よって、この両方のバランスの取れた多層膜の膜厚をシミュレーションによって設計した。シミュレーションの設計を元に、JAXA 宇宙科学研究本部に行き研究所の方々の協力のもと実際に作成した。次に、高エネルギー加速器研究機構(KEK)のフォトンファクトリーで多層膜に偏光 X 線を照射し、多層膜の性能評価実験を行った。その結果、偏光計測ができている事を実験的に確認することができた。今後、この新しい透過型偏光計を実用に向けて開発製作する第一歩を実証した。

また、次世代 X 線望遠鏡の焦点面検出器の開発として、カーボンナノチューブを用いた X 線検出器の開発を、動作実験を中心に研究を進めた。カーボンナノチューブを用いたフィールドエミッター型サンプル及び、独自にマスクをデザインし、作製したサンプル 2 種の計 3 種類のサンプルに関して動作実験を行った。サンプル用の実験装置の作製も行い、サンプルを用いた X 線検出に成功した。しかしながら、今回作製したサンプルでは、カーボンナノチューブを用いることの有効性を示すことはできなかった。そこで、3 次元電場計算を行い、新たなサンプルデザインに関して検討した。