

氏名	井 岡 邦 仁
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2282号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Relativistic jets from magnetars towards understanding Gamma-Ray Bursts (ガンマ線バースト解明に向けての超強磁場中性子星からの相対論的ジェットの研究)
論文調査委員	(主査) 教授 佐藤文隆 教授 九後太一 教授 中村卓史

論 文 内 容 の 要 旨

ガンマ線バーストは約30年前に発見されており、年間1000イベント程度、約10秒間ガンマ線がやってくる宇宙で最も明るい現象である。発見以来現代宇宙物理学最大の謎の1つであるガンマ線バーストの正体解明は、基礎物理や宇宙論に対しても重要な影響を持つと期待される。こうした中で、1997年のBeppoSAX衛星によるエックス線残光の発見以降、距離の決定が出来るようになり、長足の進歩があった。そして残光の分析から火の玉モデルの成功が明らかになった。

しかし火の玉の膨張が球状かジェット状か、中心のエネルギー源の問題などの難問が残されている。ガンマ線バーストの正体解明はそれ自体の興味に留まらず、高エネルギー現象、例えば最高エネルギー宇宙線、高エネルギーニュートリノや重力波の起源と関係し、さらには深宇宙を探る道具となる可能性もあり、広範な宇宙物理に発展する非常に興味深いものである。

現在考えられているガンマ線バーストの描像は、相対論的な物質の流れがセントラルエンジンから放出され、その運動エネルギーが流れ内でのショックにより解放されることによりガンマ線バーストを、周りにある物質との衝撃波により残光を放射するというものである。しかし、相対論的な運動で放射が前方にしばられることによって、物質の流れがどの程度ジェット状になっているのかははっきりとは分かっていない。このジェットの開口角の大きさによって全エネルギーの推定がかわってくる。これは即ちガンマ線バーストのセントラルエンジンの解明にも重要である。また、超強磁場を伴った太陽質量程度のコンパクトな天体がセントラルエンジンと関係していると考えられているが、具体的にそれがどのようにして相対論的な物質の流れをつくるかは未知である。

申請論文は、ガンマ線バーストのモデルでの相対論的ジェットの開口角と残光の時間変動の関係を分析し説明するモデルを提案している。さらに、セントラルエンジンのエネルギー発生に関連して、マグネターと呼ばれている超強磁場を持つ中性子星の平衡形状について解析した。

申請論文で求められた結果は次のようである。まず、相対論的流れがジェット状であることの残光への影響、特に表面輝度分布への影響を論じ、ジェットのローレンツ因子がジェットの広角の逆数よりも小さくなると、残光の像が輪状から円盤状になることを明らかにした。この影響が残光のマイクロレンズ現象によって測定できる可能性を指摘し、相対論的流れがジェット状であることの一つの検証方法を示した。この結果は残光のマイクロレンズ現象を用いて途中のコンパクト天体の宇宙密度を制限する際にも重要である。

次に、ガンマ線バーストの多様性が相対論的ジェットの方向の違いに起因する可能性を探るため、無限に薄いという仮定で、相対論的ジェットからの放射がつくるパルスのジェットの方向への依存性を論じた。特に、観測されているエネルギー間のパルスの遅れと最大光度との関係をジェットの方向の違いによって説明できる可能性を示した。これはまた、ガンマ線バーストを標準光源として使うための第一歩と成り得る結果である。

最後に、ガンマ線バーストに酷似したバーストを繰り返すソフトガンマ線リピーターと呼ばれる天体が 10^{14} ガウス以上

もの超強磁場をもつ中性子星（マグネター）である事に着目し、その研究を通じてセントラルエンジンに対する洞察を得ようと試みている。特に、ソフトガンマ線リピーターからの巨大フレアが内部磁場の構造の変化によって起こるとする一つの機構を提唱した。磁場を持つポリトロープの解析により、この機構が巨大フレアのエネルギーだけでなく、中性子星の回転の減少も同時に説明が出来ることを示した。磁場による重力場の変形により強力な重力波が生成されるとする結果は、ガンマ線バーストにおいても期待できる結論である。

これらの結果は、ガンマ線バーストにおけるジェットと超強磁場の役割の理解を深めており、ガンマ線バーストの正体解明を目指すこの分野に大きな知見をもたらしている。

論文審査の結果の要旨

今後、ガンマ線バースターの観測はBATSE衛星やBeppoSAX衛星に続くHETEII衛星やSwift衛星によってより詳細になることが期待されている。したがって観測を意識した理論的研究を行うのは時宜になつたものであり評価できる。

申請論文では次の二点に注目して考察を行っている。一つはジェット状の相対論的流れのモデルと全エネルギー推定、出現頻度や光度曲線、などの関係、二つ目は、強磁場、強重力の、超強磁場中性子星（マグネター）の構造変化である。

まず、相対論的流れがジェット状であることを検証する方法として残光のマイクロレンズ現象を考察した。ジェット状をした残光の像は、ジェットのローレンツ因子がジェットの開口角の逆数よりも小さくなると、輪状ではなく円盤状になることを示した。その結果、残光の光度曲線の増光ピークは低くなり、シンクロトロン振動数よりも高い周波数（可視やX線）ではピークは無くなるが、低い周波数（電波）ではピークは残る事を明らかにした。またマイクロレンズ現象によって像の固有運動や偏光の変化が期待できることを示した。

したがって、電波での増光ピークや固有運動や偏光の変化が観測されたにもかかわらず、可視での増光ピークが観測されなければ、残光がジェット状であることを検証することが出来る、としている。これは相対論的流れがジェット状であることを検証する数少ない提案の一つであり、高く評価できる。また、レンズ物体の密度を残光のマイクロレンズ現象によって制限する上でも多波長観測が重要であるという興味ある指摘している。

次に、相対論的流れが残光のそれより細いジェットである可能性を検証するため、無限に薄い相対論的ジェットからの放射がつくるパルスを計算した。ガンマ線バーストの多様性がジェットの方向に起因するという仮定のもとで、観測データとの詳細な比較を行い、定性的には矛盾しないことを示した。特にエネルギー間のパルスの遅れと最大光度との関係をジェットの方向の違いによって6桁に渡って説明しているのは評価できる。

申請論文ではまた、磁場を持つポリトロープの重力平衡形状を解析し、内部磁場の構造の変化によるエネルギー放出量と慣性率を計算し、中性子星の回転の減少を同時に説明した。エネルギー源は磁場ではなく重力によるものであることを指摘したのは評価できる。また、磁場による変形で励起される振動が観測可能な重力波を放射することを指摘している。

参考文献はいずれもダークマターの候補であるMACHO (MAssive Compact Halo Object) に関するもので、残光のマイクロレンズ現象と密接に関連している。

よって本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認められるものである。

平成13年1月17日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。