

氏 名	山 崎 了
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2752 号
学位授与の日付	平 成 16 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	Toward the Unified Theory of Long and Short Gamma-Ray Bursts, X-Ray Rich Gamma-Ray Bursts, and X-Ray Flashes (継続時間の長いガンマ線バースト, 短いガンマ線バースト, X線豊富なガン マ線バースト, X線フラッシュの統一理論完成へ向けての研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 中 村 卓 史 教 授 小 山 勝 二 教 授 嶺 重 慎

論 文 内 容 の 要 旨

ガンマ線バースト (GRB) とは, 宇宙論的な距離から, 等方的に年間 1000 イベント程度, 継続時間が 10 秒間程度, 光子のエネルギー 200 keV 程度のガンマ線が地球に到来する現象である。ルミノシティは宇宙の全ての銀河のルミノシティに匹敵し宇宙で最も激しい爆発現象であるが, その正体は不明で現代宇宙物理学最大の謎の 1 つである。GRB は持続時間が 1 秒以下の短い short GRB と 10 秒-数百秒の long GRB に分かれる。多波長にわたる残光が観測されて研究が進んでいるのは, long GRB についてである。GRB はジェットであり, シンクロトロン放射モデルが良く合い, 特異な超新星と関係している。しかし, short GRB については, 全く理解が進んでいない。

また近年になって, GRB と性質の良く似た X 線フラッシュ (XRF) という現象が観測され, 注目を集めている。発生頻度・持続時間に関しては, XRF と GRB に差はほとんど見られないが, XRF では主に X 線が観測される。さらに, スペクトルの性質が GRB と XRF の中間程度の硬さのものを X-ray rich GRB と呼ぶ。また, HETE-2 衛星の活躍により, 典型的な光子エネルギーや等方放射エネルギー等は XRF, X-ray rich GRB, long GRB で分離することなく連続的に分布していることが分かった。

標準的な火の玉モデルではジェットは大きなローレンツ因子 $\gamma > 100$ を持った陽子流である。申請論文ではジェットの中心軸方向と視線方向のなす角度 θ_0 が GRB の様々な観測量の多様性を説明する要因になると主張している。主なパラメータは, ジェットの開き角 $2\Delta\theta$ と放射スペクトルである。 θ_0 以外の量は固定し, $\Delta\theta = 0.1$, $\gamma = 100$, 放射スペクトルのピークエネルギー $\nu_p = 3 \text{ keV}$ ととる。観測者から見たピークエネルギー $\nu_p^{(obs)}$ は, ν_p と相対的ドップラー因子との積で与えられる。ジェットを正面からみると, ドップラー因子はおおよそ γ に等しく, $\nu_p^{(obs)} \sim 300 \text{ keV}$ となり, 典型的な GRB の光子エネルギーとなる。これに対して, ジェットを off-axis 方向 ($\Delta\theta < \theta_0$) からみると, ドップラー因子は γ よりも 10-100 倍小さくなり, $\nu_p^{(obs)} \sim 3-30 \text{ keV}$ となり, 典型的な XRF の光子エネルギーとなる。 $\theta_0 = 0.1-0.2$ のときに, ハードネス, 持続時間, エネルギースペクトルが無矛盾に説明できることを示している。このモデルでモンテカルロシミュレーションを実行して, GRB, XRGRB と XRF の個数比較が HETE2 の観測と無矛盾であることを示している。

さらに申請論文では GRB のジェットがいくつかの sub-jet からなっているというモデルを提案し, short GRB まで含めた統一描像を得られると主張している。視線方向に sub-jet が複数 (10 個以上) あると long GRB として, 1 個のみのときは short GRB として, そして 1 個もないときは X-ray rich GRB や X-ray flash として観測される。つまり, すべての GRB は同一起源—質量の大きい星の爆発—であり, 将来の観測によって, short GRB, X-ray rich GRB や X-ray flash から特異な超新星爆発の徴候が現れることを予言している。

申請論文では XRF の off-axis ジェットモデルを検証するものとしての, XRF を引き起こすジェットとは反対側のジェットが XRF から約 1 日後に紫外線を放射することを予言している。

論文審査の結果の要旨

XRF と Long GRB が関連しているということがつい最近観測的に明らかになった、また HETE-2 衛星に続く巨大な Swift 衛星は格段に多くのデータを提供することが期待される。従って申請論文で提案された統一モデルは将来の観測によって検証可能でありその意味で時宜を得た研究と評価できる。

申請論文で用いられている XRF モデルでは、ジェットを中心軸と観測者の視線方向のなす角度が重要なパラメータとなる。X-ray rich GRB と X-ray flash は long GRB を off-axis 方向から見たとすると、種々の観測結果を無矛盾に説明できる。特に観測頻度を説明できるということは他の XRF のモデルに比べて大きな利点となっている。また、同じモデルを使って、エネルギーで 5 桁にわたって、観測量を説明しているのは評価できる。

さらに、申請論文では short GRB まで含めた GRB の統一モデルを議論している。long GRB, short GRB, X-ray rich GRB, X-ray flash は全て同一起源であることを結論している。このことと、long GRB が特異な超新星爆発であるという観測事実を組み合わせると、全ての GRB の種族は質量の大きい星の爆発起源であると提案している。したがって、short GRB や X-ray flash からも超新星爆発の兆候が現れることを予言しており、近い将来に申請論文の提案が Swift 衛星によって検証可能である。

GRB はジェットから生じているという議論は残光の時間変化中に現れる特徴的な折れ曲がりから結論されており、一見すると直接的な証拠とはなっていない。申請論文では、より直接的なジェット放射の証拠を得るために、視線方向と反対側のジェットの放射の観測可能性を議論している。XRF に付随した反対側のジェット放射は原理的に観測可能であることを示した点は評価できる。また、距離の近いイベントからそのような放射が見れることを指摘している。

参考論文は超新星残骸での粒子加速に関するもの、ガンマ線バーストを使って宇宙のイオン化史を調べる方法の提案、一般相対論に関するもので、主論文と関係のあるものである。

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

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。