

論文審査の結果の要旨

氏名 田中 康之

軟ガンマ線リピーター (SGR) は、中性子星の一種で、他よりも 100 倍から 1000 倍もの強力な磁場をもつ天体であると考えられている。この天体はときに、巨大なフレア現象 (増光現象) を起こし、その総放射エネルギーは 10^{46} erg にのぼる。フレアの物理機構にせまる上で、最大光度時付近の放射の、変動履歴やエネルギースペクトルは、欠くことができない重要な情報である。しかし、放射されるガンマ線があまりにも強いため、X 線/ガンマ線天文衛星搭載機器の観測能力限界を超えてしまい、これらの情報を取得するのが困難であった。本論文では、地球磁気圏観測衛星の粒子計測器と、地球電離圏とをそれぞれ天体ガンマ線計測器として用いるという新しい手法を開発し、この課題に取り組んだ。その結果、SGR 巨大フレアの、放射フラックスの最大値と変動時間スケールとを可能な限り正確に評価し、エネルギースペクトルに制限を課すことに成功した。SGR 巨大フレアのエネルギー解放物理機構の理解を大きく前進させた、高く評価できる論文である。

第 1 章は先行研究のレビュー、第 2 章は観測装置の説明、最後の第 6 章で結論が与えられている。論文の主要な結果は第 3 章から第 5 章までに記述されている。

第 3 章では、地球磁気圏観測衛星 GEOTAIL 搭載の粒子計測器を、天体ガンマ線の計測器として用いるための手法の開発と、実際の SGR 巨大フレア 2 件についての観測結果とが述べられている。この観測では、磁気圏周辺のイオン・電子を直接取得計測する粒子機器を、開発意図以上の用途に用いた。そのため改めてキャリブレーションが、具体的には、天体ガンマ線に対する感度とくに光子エネルギー依存性の理解が必要であった。そこで太陽フレア由来のガンマ線を較正光源とする手法を用いた。太陽フレア放射強度は、太陽観測衛星「ようこう」硬 X 線望遠鏡取得データから見積もった。また、粒子計測器が光源に対して開口していないため、到来ガンマ線は衛星本体を透過・散乱しながら進行し計測器に到達する。これを明らかにするため Monte Carlo シミュレーションを援用した。考えうるあらゆる較正をほどこした結果、GEOTAIL 粒子計測器の取得

データから、SGR 巨大フレア 2 件の 50keV 以上のガンマ線放射光度を見積もり、SGR 1806-20 (2004 年 12 月 27 日発生) 4.9×10^{47} erg/sec、SGR 1900+14 (1998 年 8 月 27 日発生) は 2.3×10^{46} erg/sec という値を得た。また、放射時間変動から、時間スケールが 1.6 msec 以下の急激な増光に続いて、3-9 msec のややゆるやかな増光という 2 段階の増光現象とその特徴的時間スケールを見出した。これらの値は、いずれもこの観測以外の手段では取得することが不可能であり、まさに新しい到達点であると審査委員会は評価した。手法そのものも独創的なものであり、また較正についても徹底的に追及されていて、与えられた系統誤差の見積もりも妥当であり信頼できる。

第 4 章では、第 3 章の結果をふまえて SGR 巨大フレアの物理機構について議論している。2 段階の増光時間スケールが存在することから、2 段階のエネルギー解放機構が関与していると考えた。フレアの第 1 段階で SGR 磁気圏の不安定性がおこり、第 2 段階では、先の磁気圏不安定によりトリガされた中性子星クラスト (表面地殻) の大規模な変動がおこり、中性子星内部に閉じ込められていた強力な磁場のエネルギーが解放される。この章で述べられている物理機構についての議論は、現在えられている限られた情報から引き出せるものとしては妥当なものであると審査委員会は評価した。

第 5 章では、地球電離圏を天体ガンマ線計測器としてもちいる方法を追求した。これにより SGR 巨大フレアのガンマ線光子エネルギースペクトルに制限をつけるのが目的である。地球電離圏低層の電子密度が到来ガンマ線により変動し、超低周波 (VLF) 電波の伝播が影響をうけることを利用した。その結果、到来ガンマ線スペクトルが、光学的に薄い単一温度 ($kT = 240\text{keV}$ 、 k は Boltzmann 定数) プラズマからの熱制動放射として矛盾しないことを見出した。このことから SGR 巨大フレアの物理機構に制限がつけられた。

論文は共同研究の部分もあるが、論文提出者が主体となって研究を行っており、論文提出者の鋭い洞察力がなくては完成しなかったのは言うまでもない。本人の寄与が十分にあると考えられる。

以上の理由により、博士 (理学) の学位に十分に値すると認める。