

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)
個人研究費
2007年度研究成果報告書

研究代表者	所属・職名	氏名
	理学部・教授	柴崎 徳明 印
研究課題	マグネターの熱・磁場進化の研究	
研究期間	2007年度	
研究経費	500,000 円	

研究の概要(200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)

最近、爆発を頻繁に繰り返す天体が観測されている。その正体は磁場が地球表面磁場の1000兆倍にも達する超強磁場中性子星である。この超強磁場中性子星はマグネターという名で呼ばれている。激しい活動のエネルギー源は磁場そのもののようなものである。本研究では、マグネターの磁場、温度が年齢とともにいかに変わるかを研究した。その結果、磁場の散逸は中性子星の表面温度をかなり高くすることが明らかになった。そして磁場の散逸には両極性拡散とオーム損失が効いているという結論を導いた。また観測データの解析から、X線の放射メカニズムについても有用な知見を得た。

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。)

[マグネター] [熱進化] [磁場進化]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

X 線、ガンマ線を繰り返し爆発的に放射 (バースト) する天体が今までに 4 例見つかっており、Soft Gamma Repeaters (SGR) とよばれている。一方、X 線パルサーのなかでスペクトル、X 線光度、パルス周期 (6-12 s) などの類似性から、新たに Anomalous X-Ray Pulsars (AXP) として分類されている一群の X 線パルサーがある。AXP からバーストが観測され、AXP と SGR は同じ範疇のパルサーと考えられる。パルス周期とその伸び率およびプラズマ閉じ込めの必要性などから、SGR や AXP の中心天体は $10^{14} - 10^{15}$ G という驚異的な強さの磁場をもつ中性子星と考えられている。そしてこれらの超強磁場中性子星はマグネターというニックネームでよばれている。自転のエネルギーがその活動源である普通の電波パルサー (典型的な磁場は $\sim 10^{12}$ G) とは異なり、これらの超強磁場中性子星では X 線・ガンマ線放射のエネルギー源は磁場そのものようである。超強磁場中性子星の磁場進化、熱進化そしてエネルギー解放メカニズムの解明を目的として本研究をスタートさせ、以下のような成果をあげることができた。

2004 年 12 月 27 日、マグネターの 1 つ SGR1806-20 で巨大フレアが発生し、太陽フレアからよりも強い、史上最大強度のガンマ線が観測された。放射源が約 10kpc の距離にあることを考えると、ガンマ線放射は瞬間的にキューサー光度並みの 10^{47} erg/s に達したと推定される。このガンマ線強度は中性子星に対するエディントン限界光度の $\sim 10^9$ 倍という莫大な値である。また X 線、ガンマ線で放射されたエネルギーの総量は 10^{46} erg を超えていた。マグネターの爆発現象のエネルギー源は超強磁場そのものと考えられている。SGR1806-20 における 2004 年巨大フレアはマグネター磁気圏にある磁場エネルギーの大半が消費される大きさであった。フレアにおける磁場エネルギーの解放は、太陽フレアと同様に磁力線の再結合によると考えられる。

マグネターでフレアがくり返し起こることは、中性子星内部から外部の磁気圏に磁力線が運ばれていることを示唆する。この磁力線を移動させる原因としては両極性拡散、オーム損失とホール効果が挙げられる。両極性拡散のタイムスケールは中性子星内部のコアの部分で磁場の強さを 10^{15} G とすると $10^3 - 10^4$ year となる。これに対し、オーム損失による拡散時間は非常に長く 10^{10} year を超える。コアの部分での拡散は両極性拡散によって起こると結論できる。一方、クラストでは、オーム損失による拡散時間は 5×10^4 year そしてホール効果による拡散時間はクラストでは 5×10^5 year となり、オーム損失とホール効果がクラスト (殻) の部分で重要になる。

ホール効果では磁場エネルギーの散逸はないが、両極性拡散とオーム損失では磁場エネルギーの一部が散逸され、熱に転換される。磁場が極端に強いマグネターでは生じる熱も莫大な量になる。その結果、ふつうのパルサーに比べ表面温度が高くなり、中性子星の熱進化を大きく変えることが分かった。

本研究では、理論的側面からのアプローチに重点をおいて研究を開始した。しかし、途中からマグネター研究グループが結成され、観測的な議論が活発にされるようになり、多くの成果が出てきた。以下では、マグネターのデータ解析から得られた成果を述べる。

私たちは、X 線天文衛星「すざく」を用いて、AXP1E1841-045 からの定常 X 線を観測した。この観測により初めて、 ~ 0.4 keV から約 100 keV にわたる広帯域のエネルギースペクトルの解析が可能になった。その結果、10 keV 以下を説明するモデル (黒体放射 + 冪関数) に硬 X 線成分を表す冪関数を加えたモデルが最もよくスペクトルを表現することが分かった。そして硬 X 線の起源が熱制動輻射である可能性を指摘した (森井幹雄他 日本天文学会 2008 年春季年会)。

※ この (様式 2) に記入の、成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書 (A4 縦型横書き 1 枚・自由様式) を添付すること。

研究成果の概要 (つづき)

私たちは、XMM-Newton 衛星、Chandra 衛星、Swift 衛星の観測データに基づき、X 線で明るい 14 天体のスペクトルを系統的に調査した。その結果、ほとんどの天体のスペクトルは、バーストで提案されている「二温度黒体放射」で再現できることを見いだした(低温度 $\sim 0.8\text{keV}$ 、高温度 $\sim 2.8\text{keV}$)。さらに低温度/高温度の比は、バーストと定常放射によらず 0.3 程度で一定であった。これらの結果は、バーストと定常放射に共通の放射メカニズムが存在していることを示唆する(中川友進他 日本天文学会 2007 年秋季年会)。

※ この(様式 2)に記入の、成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4 縦型横書き 1 枚・自由様式)を添付すること。

※

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)

○ 図書

「ブラックホールと高エネルギー現象」 共著 日本評論者 2007
「天文学大事典」 共著 地人書館 2007

○ 学会発表

「マグネター候補天体の定常X線スペクトルの系統的な研究」

中川友進、吉田篤正、山岡和貴、柴崎徳明

日本天文学会2007年秋季年会 岐阜大学

「「すざく」による Anomalous X-ray Pulsar 1E1841-045 の観測 (II)」

森井幹雄、北本俊二、柴崎徳明、その他

日本天文学会2008年春季年会 国立オリンピック記念青少年総合センター