

論文審査の結果の要旨

氏名 榎戸輝揚

活動期には1秒以下の時間尺度のスパイク状のフレアを繰り返す軟ガンマ線リピーター (Soft Gamma-ray Repeaters, SGR) と呼ばれる一群の天体が、異常X線パルサー (Anomalous X-ray pulsars, AXP) と呼ばれる別の一群の天体と同じクラスに属することが認識され始めたのは、1990年代前半である。SGRも静穏期には、X線パルサーとして観測され、かつ、AXPと同様に2-10秒程度の中程度の速さの周期と、 -10^{-11} 秒/秒程度の異常に大きなパルス周期変化率を持つ事がわかったのである。このパルス周期とパルス変化率を標準的な電波パルサーモデルに適用すると、X線パルサーは 10^{15} Gの異常に強い磁場を持ち、かつ、生まれてから数10k年の若い中性子星であることが示唆される。このことから、SGRとAXPは、マグネター (Magnetar) と呼ばれるようになった。定常的に輝いているX線光度は $\sim 10^{35}$ erg s^{-1} であるのに対して、中性子星の回転エネルギーの減少率は $\sim 10^{33}$ erg s^{-1} であるので、通常の電波パルサーのように、回転エネルギーがX線放射のエネルギー源ではありえない。一方、X線パルスには、中性子星の運動によるドップラー偏移はみられず、また、可視光で中性子星と連星系を作っている星も観測されない。このことから、質量降着がエネルギー源である可能性もほぼ否定される。マグネターが強磁場を持っているとすると、数10k年にわたって、磁場のエネルギーを放射エネルギーに転換している可能性が示唆される。マグネターが 10^{15} G もの強磁場をもてば、電子対生成、光子の分裂、電子のエネルギー準位の離散化などの強磁場中の極限的な物理現象が生じているはずである。したがって、宇宙物理のみならず、地上で成し得ない基礎物理の視点からも興味深い観測対象である。巨大フレアや、散発的に生じるバースト現象など、強磁場を間接的に支持する観測もあるが、この不思議な天体が「異常に強い磁場をもつのか」「磁場エネルギーをどのように解放してX線を放射するのか」などはよくわかっておらず、またそれらの性質や進化を系統的に記述する試みも、まだきわめて不十分である。ヨーロッパのINTEGRAL衛星の最近 (2006年) の観測によって、マグネターがさらに特殊な性質を持っていることが示唆された。すなわち、すべてのマグネターの静穏期のX線放射はkT \sim 0.5keVの黒体放射で近似できることが知られていたが、その中の一つから、100keVまで延びる硬X線放射を発見したのである。

本研究で論文提出者は、マグネターの硬X線放射の性質を明らかにし、マグネターのX線・硬X線放射機構に迫るために、日本の5番目の宇宙X線観測衛星「すざく」のX線 CCD カメラ (XIS; 0.2–12 keV) と硬X線検出器 (HXD; 10–60 keV) を駆使した0.2–600 keV にわたる広帯域での網羅的なマグネター観測を行った。その結果、観測した9天体中、視野内の他のX線源のために検討を行えなかった1天体を除くすべての天体から、硬X線放射を検出した。その1-60keVの光度は、黒体放射で近似される軟X

線放射光度の1/10から10倍であった。この光度の比とパルス周期とパルス周期の時間変化率との相関を調べたところ、光度の比は、パルサーの特性年齢（パルス周期とパルス周期の時間変化率の比の2分の1）とよく相関している事がわかった。さらに、パルス周期でX線強度の時間変化を重ね合わせた平均パルス波形から、硬X線もパルスの時間変動を示しているが、パルス波形がX線エネルギーに依存しないこと、パルスの相対振幅がX線エネルギーとともに小さくなる事がわかった。これらの解析において、硬X線検出器の荷電粒子に由来するバックグランドカウントの不確定性が大きなシステムティック誤差となるが、論文提出者はこれを含むシステムティック誤差の影響を十分に検討し、上記の結果に影響を与えない事を示した。

以上から、硬X線成分はほとんどのマグネターに普遍的に見られ、マグネターのエネルギー放出のかなりの割合を占めることを明らかにした。さらに、観測された硬X線放射の性質から、強磁場中性星の磁気圏に電子・陽電子プラズマが存在し、これが磁力線に沿って中性子星の磁極に突入し、陽電子の対消滅線が生じ、その511 keV 光子が強磁場中での光子分裂を受けてハード成分を形成する、というモデルを考え、これにより、観測事実の全体を大きな矛盾なしに説明できることを示した。

本論文は7章からなる。第1章ではイントロダクションとして論文全体の流れを記述し、2章でこれまでの電波パルサーとマグネターの観測、さらに電波パルサーとしての中性子の理解についてのレビューしている。3章では、本論文で用いた観測装置であるすざく衛星について、特にHXDの性能較正に重点をおいて記述している。第4章ではすざく衛星による9つのマグネターの観測について記述し、第5章に、データ解析とその結果が記述されている。第6章では、観測結果に基づいて、硬X線放射の性質とその他のマグネターパラメータの相関を議論し、マグネター仮説に立脚して観測結果を矛盾なしに説明する放射機構のモデルを議論した。最後の第7章では、論文の結果をまとめている。

以上、本論文はマグネターの硬X線放射放射を系統的に研究し、それが普遍的に存在すること、その強度がマグネターの基本的な性質と強く相関している事を明らかにした。本研究は、マグネターのこれまでに知られていなかった新しい性質を明らかにし、その本質に迫る手掛かりを与えた。したがって、本論文は今後のマグネター研究に大きく貢献する、新規かつ意義の大きな研究であり、博士（理学）の学位に相応しいものである。

また、本論文の研究は、牧島教授をはじめとする「すざく」マグネター研究チームとの共同研究であるが、観測計画の立案、すざく衛星のデータ処理、得られた結果の解釈にいたるまで、論文提出者が主体となって行ったことを確認している。このため、論文提出者の主体性と寄与は博士論文として認めるのに十分であると判断する。

したがって、本論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。