

## 論文審査の結果の要旨

氏名 笹野 理

本論文は7章からなり、1章では $10^{13}\text{G}$ の磁場をもつ中性子星特にX線連星パルサーの発見例がないことが示され、2章では中性子星の磁場と放射についてのレビューがなされる。3章では広帯域のX線ガンマ線観測に適したすざく衛星による観測を行うことが紹介され、4章では観測天体の選定、特に長周期パルサーに着目することが示され、時系列、スペクトルデータの解析が行われ、6章では観測結果からの磁場の推定と中性子星の進化についての考察、そして7章では結論が述べられる。

中性子星の内部状態、特に磁場の起源は宇宙物理と原子核物理の双方にとって興味深い。電波パルサーでは測定された磁場強度は $10^8\text{G}$ から $10^{14}\text{G}$ の広がりを持つが、 $10^{12}\text{G}$ に大きなピークをもつ。一方X線連星パルサーでは、サイクロトロン共鳴吸収という確度の高い手法により $10^{12}\text{G}$ の磁場を持つ天体が多数あり、マグネターといわれる孤立パルサーは、 $10^{14}\sim 10^{15}\text{G}$ という強磁場の磁気双極子放射と考えられているが、 $10^{12}\sim 10^{14}\text{G}$ の中性子星はX線観測においては検出例が無く分布の隙間になっていた。本論文では、X線光度が低く、パルス周期が $\sim 1000$ 秒以上であるような長周期X線連星パルサー(LPP)に、この隙間を埋める候補として着目し、他のサイクロトロン共鳴吸収を示す連星パルサーと統一的に解析を行うことでその特徴を調べている。観測装置としては $1\sim 600\text{keV}$ という広帯域に感度をもつ「すざく」衛星を用い、25の観測データを解析した。すべての天体で $60\text{keV}$ まで、うち13天体では $100\text{keV}$ までの検出が成された。このうちLPPは5天体であり、2天体で $100\text{keV}$ までの検出がされた。LPPについてはサイクロトロン共鳴吸収は見られなかった。

これらの天体について、X線パルス波形、エネルギースペクトルの連続成分の特徴、蛍光鉄輝線強度と視線上の吸収物質質量という観点で比較した。結果としてLPPではパルス比率が広いエネルギー範囲で高く、エネルギースペクトルがより高エネルギー側で強く、周辺物質は等方的であるという結果が得られた。エネルギースペクトルを半経験的な2成分モデルを用いて詳細に調べたところ、光度が同等の他のX線連星パルサーとは異なるパラメータ分布を持つことが定量的に示された。

この2成分モデルのパラメータを、サイクロトロン共鳴吸収によって表面磁場強度が測られている天体と比較した。複数の相関関係から、LPPは $10^{13}\text{G}$ 程度の磁場を持つことが示唆された。

これらの観測結果から、星風捕獲型の中性子星パルサーを特徴づけるAlfvén半径 $r_A$ 、共回転半径 $r_{co}$ 、Bondi半径 $r_B$ について考察した。その結果Alfvén半径は共回転半径よ

り数倍小さいと推定した。LPPにおいては、大きな磁場を持つと仮定すると、 $r_A' = 5r_A$ として  $r_A' \sim r_{co} \sim r_B$  がほぼ成立していると推定される。すると  $r_A'$  が大きく、星風を捕獲できる半径  $r_B$  に近づくために、質量降着量が増えずに光度が低い。パルス周期は長く、サイクロトロン共鳴エネルギーは観測範囲外にあり、エネルギースペクトルが高エネルギーまで伸びる。降着物質は狭い領域に存在するので等方的になりやすい、など観測的特徴をよく再現できる。これらにより本論文では、LPP が X線観測において隙間になっていた  $10^{13}\text{G}$  程度の磁場を持つ中性子星パルサーであることを、観測から強く示唆すると結論づけている。またこのような天体の起源について、マグネターのような  $10^{15}\text{G}$  の中性子星が連星系に存在しても、観測が困難なほど光度が低くなり、磁場が時間的に減衰して  $10^{13}\text{G}$  程度となっはじめて検出される、という進化の可能性を示した。

本論文により、長周期 X線連星パルサー (LPP) の放射の特徴が、時間軸、エネルギー軸の双方で定量的に調べられ、 $10^{12} \sim 10^{14}\text{G}$  という磁場を持つ可能性が観測的に新たに示唆された。これは新たな結果であり意義は大きい。

なお、本論文は共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算・解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。