

## 論文の内容の要旨

論文題目 Simultaneous multi-wavelength  
observation of giant radio pulses from the Crab  
pulsar

(多波長同時観測による  
カニパルサー巨大電波パルスの研究)

氏名 三上 諒

パルサーは、高速で自転する磁化した中性子星で、パルサーからは非常に規則的なパルスが観測される。現在までに 2500 個以上のパルサーが発見されているが、その中でも最も有名なパルサーの一つがカニ星雲の中心に位置するカニパルサーである。カニ星雲は X 線帯域から TeV $\gamma$  線帯域まで標準光源として使用される天体でもあり、頻繁に観測研究が行われる天体である。これに伴い、同時にカニパルサーの観測も行われ、観測データは豊富に存在する。またこれらの豊富な観測データを用いた理論的な研究も盛んに行われている。

2500 個程度のパルサーの中でも、カニパルサーを含む 10 個程度のパルサーからは、電波帯域において、通常パルスの強度をはるかに超える巨大電波パルス (Giant Radio Pulse, GRP) が観測される。GRP の放射機構は発見以来様々な研究がなされてきたが、未だ解明には至っていない。多くの場合、通常のパルスは背景のノイズに対して弱く、パルス波形の情報を得るにはデータをパルス周期に合わせて足し合わせる (畳み込む) が必要になる。この畳み込みの操作の結果得られたパルスからは、一つ一つのパルスの個性は失われ、平均としての情報しか得られない。対して、GRP は畳み込みの操作を行わなくてもノイズレベルをはるかに超えるパルスが検出できるため、GRP の解析によって、そのパルスの発生源・発生過程に対してより直接的な情報を得ることが期待できる。

GRP は一つ一つのパルス毎に、その波形や強度に対し観測する周波数に応じた個性が

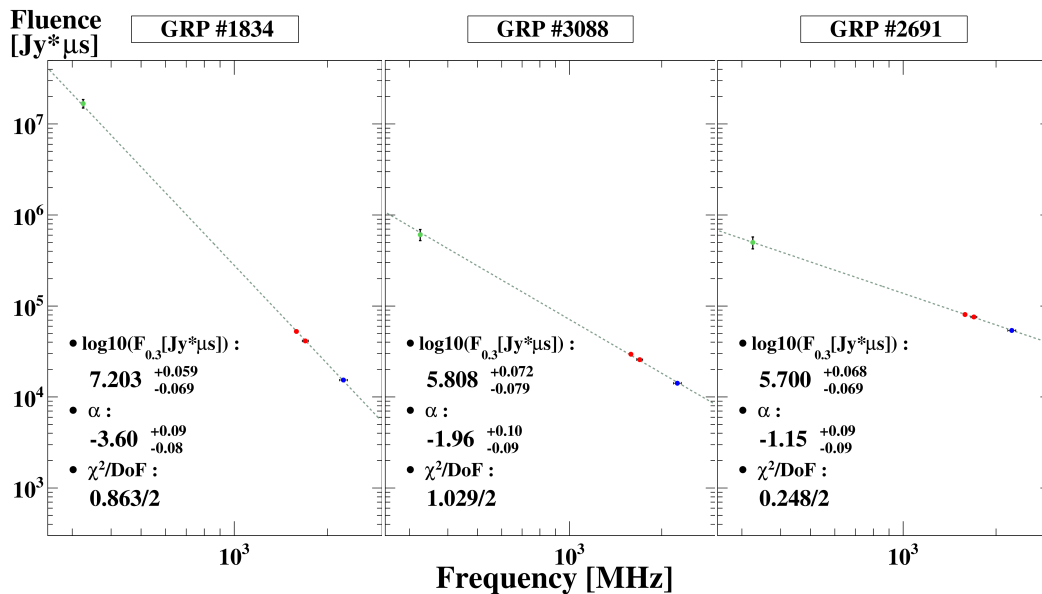


図1 0.3–2.2 GHz での GRP のスペクトルの例。

現れる。そのため、GRP を多周波で同時観測することの意義は大きい。GRP が異なる周波数・波長帯の放射とどのような関連を持つかを調査すべく、本論文において我々は GRP を「多波長同時観測」という観点から研究した。

本論文における第一の課題は、GRP の多周波同時観測による広帯域スペクトルの調査である。我々は、国内4地点の電波望遠鏡 (NICT 鹿島, JAXA 白田、東北大飯館観測所、NAOJ 高萩) を用いて 0.3, 1.6, 2.2, 6.7, 8.4 GHz 帯でのカニパルサー GRP の同時観測を行った。我々は過去の多周波同時観測研究と比べても比較的多い約 3000 個の GRP を取得し、それらのスペクトルを調査した。星間プラズマによるシンチレーションの効果を受けにくく、比較的多数の GRP サンプルが得られた 0.3 GHz から 2.2 GHz 帯について、我々は大多数の GRP のスペクトルは single power-law と無矛盾であることを新たに示した。べき指数は概ね  $-4$  から  $-1$  程度の範囲に分布していた (図1)。我々はさらに、single power-law と無矛盾なスペクトルを持つ GRP の中でも、1.6 GHz, 2.2 GHz 帯ではともに検出できたが、0.3 GHz 帯では検出限界以下となった GRP (論文中では group II GRP と呼ぶ) が全 GRP サンプルの半数以上を占めることに注目した。group II GRP は 0.3 GHz 帯で検出できている GRP に比べても、また通常パルスのスペクトル (べき指数  $\sim -3$ ) に比べてもハードなスペクトルを示唆する。我々は、group II GRP が発生した周期の 0.3 GHz 帯のデータを足し合わせることでノイズレベルを下げ、検出限界以

下の GRP の存在を検証した (Stacking)。この結果我々は、単発では検出できないが平均としては非 GRP 時より数倍程度明るいパルスの存在を確認することが出来た (図 2)。

Stacking の結果得られた group II GRP 発生時の 0.3 GHz 帯における平均の fluence からは、多数の group II GRP のスペクトルが 0.3 GHz まで伸びていることが示唆された。group II GRP が全 GRP サンプルの多数を占めていたことと合わせて考えると、GRP は本質的に通常パルスに比べてハードなスペクトルを持つ可能性があることが示唆される。我々はまた、0.3–2.2 GHz 帯において、GRP の積分エネルギーが小さいほどハードなスペクトルを持つ傾向にある可能性を見出した。

6.7 GHz, 8.4 GHz 帯でもいくつかの GRP を検出した。0.3 GHz から 8.4 GHz までの約 1.5 桁にわたる広帯域 GRP スペクトルを示した例は本研究が初めてであった。これらの中には、single power-law に無矛盾なものもあれば、矛盾するものもあった。

本論文における第二の課題は、カニパルサーの GRP と硬 X 線パルスとの間の相関の検証である。カニパルサーは可視光・X 線・ $\gamma$  線などの高エネルギー帯域においても明るく輝く天体である。これらの帯域と電波帯域とはスペクトルの特徴が異なるため、電波帯と可視光・X 線・ $\gamma$  線帯の放射機構は異なると考えられており、両者には相関がないと考えられていた。それにもかかわらず、最近の観測においては、GRP と同期した可視光パルスについて、非 GRP 時に対し平均数 % の増光がパルスのピーク部分において見られることが報告された。このことから GRP と高エネルギー帯の放射に何らかのつながりがあることが示唆される。GRP と他の波長帯の放射の相関を検証することはパルサー磁気圏における GRP の放射機構の理解に対し重要な役割を果たすことが期待さ

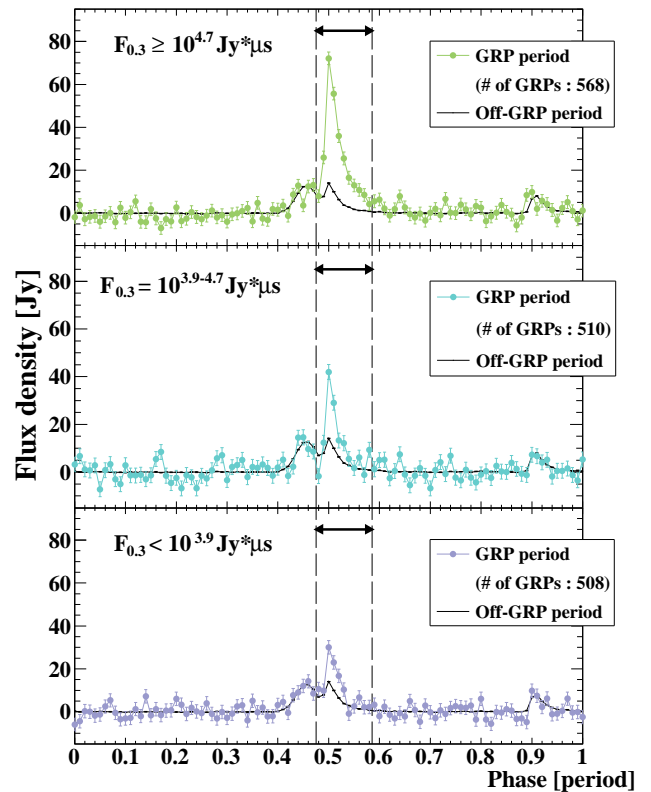


図 2 Stacking 解析によって得られた 0.3 GHz 帯のパルス (色付きのデータ点) と、非 GRP 時の平均波形の比較。Single power-law の fitting による 0.3 GHz 帯の推定 fluence ( $F_{0.3}$ ) により 3 つのグループに分け、それぞれの波形を示している。

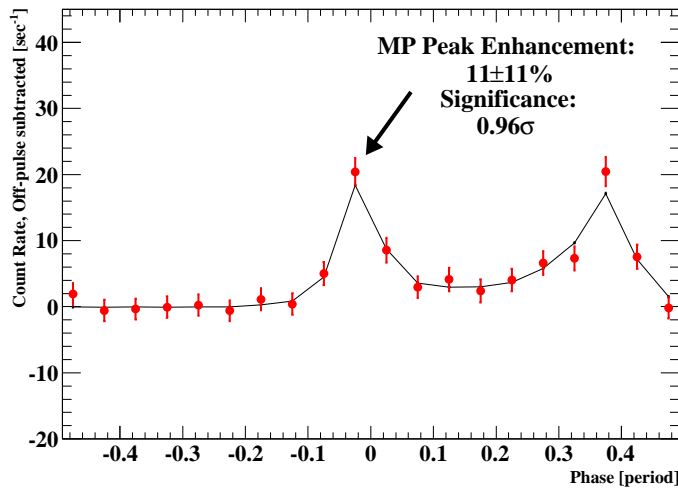


図3 すざく衛星搭載の硬 X 線検出器 (HXD) により取得された、カニパルサー 15–75 keV 帯 X 線のパルス。Main pulse 位相で GRP が検出されたパルス周期に同時検出された X 線光子により得られた平均波形を赤のデータ点、GRP 非発生周期の X 線平均波形を黒線により表している。

れる。

我々はカニパルサーの電波と硬 X 線での同時観測を行い、GRP と硬 X 線パルスとの相関を検証した。NICT 鹿島・JAXA 白田のアンテナを用いた電波、すざく HXD を用いた硬 X 線の同時観測を合計 12 時間以上実施し、その間に約 7000 個の GRP を得た。我々は GRP と同時検出された X 線パルスのフラックスの、非 GRP 時に対する変動を評価することで、相関を検証した (図 3)。GRP 時における硬 X 線パルスの有意な増光を得ることは出来なかったが、パルスピーク部分における増光の 95% 信頼度での上限について、PIN (15–75 keV) 帯域では Main pulse 位相で検出された GRP (以下 MPGRP)、Interpulse 位相で検出された GRP (以下 IPGRP) に対してそれぞれ 33%、88% と定めることが出来、GSO (40–600 keV) 帯域においては、MPGRP, IPGRP に対しそれぞれ 63%、193% と定めることが出来た。GRP 発生時の硬 X 線帯域における増光の上限は、本研究によって初めて得られた。硬 X 線帯域の放射は、電波帯域ほど激しいフラックス変動を示さないことが確かめられた。この結果は、可視光で検出された GRP 時の増光が数%であったこととも矛盾しない。我々の結果は、ASTRO-H のような次世代の X 線天文衛星によって精度の改善が期待できる。