

令和元年9月12日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05069

研究課題名(和文)かにパルサーの電波パルス精密観測によるプラズマ乱流構造解明

研究課題名(英文) Study of turbulent plasma structure of the Crab pulsar by detailed radio pulse observations

研究代表者

寺澤 敏夫 (Toshio, Terasawa)

早稲田大学・理工学術院・客員上級研究員(研究院客員教授)

研究者番号：30134662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：中性子星の物理状態の解明に向け、複数国内電波望遠鏡でのパルサー電波観測を行い、300MHzから8GHzに広がる広い周波数スペクトルを持つかにパルサーの巨大電波パルスの発見と、巨大電波パルスと相関する数%のX線パルスの増光の検出に成功した。また、研究期間中に発生した、かにパルサー大グリッチ(自転周波数の突発的上昇)、マグネター(超強磁場中性子星)XTEJ1810-197のアウトバーストについても即応し国際水準の成果を上げることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中性子星は高密度・強磁場など、極限環境における物理学の実験室として重要な意味を持っている。本研究計画は、かにパルサーなどの精密電波観測により、中性子星周辺現象、特に磁気圏の理解を深めようとするものである。

近年、宇宙論的距離に源を持つとみられる正体不明の高速電波バースト(FRB)が注目されているが、その有力なモデルの一つとして超新星爆発での誕生後数十年の若いマグネターからのGRP説がある。GRP観測とマグネター電波観測の結果を有機的に組み合わせることにより、FRB研究への新たな観点を得ることができよう。また、観測研究と相補的なパルサーの理論研究面でも一定の成果を挙げることができた。

研究成果の概要(英文)：Toward the understanding of physical status of neutron stars, we conducted pulsar observations with multiple radio telescopes available in Japan, and succeeded in discovery of giant radio pulses (GRP) of the Crab pulsar which had wide frequency coverages from 300MHz to 8GHz, as well as detection of a few % X-ray pulse intensity increases concurrent with GRP. In addition, we succeeded follow-up observations of the Crab pulsar's largest-ever glitch (a rapid jump in rotation frequency) and an outburst of XTEJ1810-197, a neutron star having ultra-strong magnetic field, both of which occurred during the term of this research budget.

研究分野：物理学(素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理)

キーワード：pulsars giant radio pulse glitch magnetar

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1967年に発見された電波パルサーは、理論上の想定に過ぎなかった中性子星の存在を実証し、その後の現代天文学・天体物理学の発展に大きなインパクトを与えた。しかし、日本では電波によるパルサー観測研究は、ごく一部の先駆的な研究者によるもののみであり、国際的な認知を受けていなかった。そのような状況下において、本研究参加者は2009年から2011年までの2年間、かにパルサーの試験観測を実施し、日本の複数の電波観測施設の有機的な運用により、国際的競争力のある研究が可能であるとの感触を得、2012年～2014年に基盤(C)「相対論的パルサー風内の電波伝搬・回折現象の研究」に出願・採択され、日本におけるパルサー電波観測の研究基盤を確立することができた。本研究計画は、その状況を受け、研究をさらに発展させるべく2015年からの研究計画として出願・採択されたものである。

2. 研究の目的

中性子星は高密度・強磁場など、極限環境における物理学の実験室として重要な意味を持っている。特に、最近発展しつつある重力波天文学にとっても中性子星はブラックホールと並ぶ重力波源天体であり、その物理的特徴を詳細に理解することが不可欠である。本研究計画は、かにパルサーなどの精密電波観測により、中性子星周辺現象、特に磁気圏の理解を深めようとするものである。

この研究で注目する巨大電波パルス(Giant radio pulse=GRP)は、発生領域が光円柱付近と想定され、極冠付近とされる通常のパルスとは異なっている。光円柱付近はパルサー磁気圏構造解明の決め手となる領域と考えられ、GRP観測はそれを探るのに最適な手段であるといえる。また、近年、宇宙論的距離に源を持つとみられる高速電波バースト(FRB)が注目されているが、その有力なモデルの1つとして若いマグネター(超新星爆発で誕生後数十年以下の超強磁場中性子星)からのGRP説がある。GRP観測とマグネター電波観測の結果を有機的に組み合わせることにより、FRB研究への新たな観点を得ることができるだろう。

3. 研究の方法

(1) 2015年の本研究開始時点では、パルサー磁気圏の研究として、最も有効な観測はかにパルサーのGRPの多波長同時観測データの蓄積による統計解析であった。

(2) 電波波長域データの解析だけでなく、電波とX線データの比較によるかにパルサーGRP発生機構の解明は国際的に追及されているテーマである。我々は2016年打ち上げの「ひとみ」X線衛星との共同観測を企画していたが、同衛星の悲劇的事故のため、試験観測期間に1回の同時観測が実現したにとどまった。その後、2017年に至って、ISS搭載のX線観測装置NICERによる従来にない高統計のかにパルサーのX線パルスデータの供給が実現し、電波データとの詳細な比較が可能となった。

(3) 2017年11月7日に、かにパルサー観測史上最大のグリッチ(自転周波数の突発的増大)が発生した。本研究計画で整備してきた国内電波観測網を生かし、我々もこのグリッチ独自のデータを得た。

(4) 強度が強く観測の比較的容易なかにパルサーを除くと、日本から十分な精度で観測可能なパルサーは数個に限られており、観測面で新しい展望を開くことは難しかった。しかるに、2018年12月、マグネター(超強磁場中性子星)XTEJ1810-197が電波とX線でアウトバーストを起こし、6GHz以上では北天で最も強い電波パルサーとなった。本研究による、かにパルサーをターゲットに整備してきた、国内電波観測網は、このマグネターに対しても有効に機能し、このマグネターの独自データを得た。

4. 研究成果

(1) 2014年に実施されていたかにパルサーGRPの多波長同時観測データの解析により、300MHzから8GHzに渡る広い周波数スペクトルも持つGRPがあることを明らかにした。この結果は2016年に国際誌に発表(Mikami et al., ApJ)されたが、その時点での新発見であった。

(2) 2016年3月に1回だけ実現した「ひとみ」衛星とのX線電波同時観測は、もともと、衛星機上時計の較正観測として企画されたものであったが、GRPとの相関解析にも役立ち、相関上限として従来より強い制限(～10%)を付けることができた(Aharonian et al., 2018)。

その後、2017年8月～2019年2月の間、15回に渡ってNICERのX線と日本の地上電波同時観測を実施した。その結果、GRPと同期したX線の増光について、数%の相関があることを5に迫る統計精度で初めて確認することができた(論文発表準備中)。これにより、GRP発生機構の解明、特にX線光子のもととなる電子・陽電子との関連の解明にとって、重要な手がかりが得られると期待され、現在、理論家との共同研究が進行中である(2019年9月現在)。

(3) 2017年11月7日の大グリッチデータの解明は世界中で進行中であるが、グリッチ発生の瞬間のデータ(かにパルサーはハワイ付近で南中)は得られておらず、グリッチの同定は±数時間以上離れた観測データの解析によるものである。ここで、日本の観測データはグリッチの約4時間後と、世界で最も早いタイミングのものであることが明らかとなった。この独自点を活かし、グリッチ研究に新しい進展をもたらすべく、熊本大学グループとの共同研究が進行中である。それにより、中性子星内部と磁気圏の結合に関する手掛かりが得られると期待されている。

(4) XTEJ1810-197 電波アウトバーストの独自のデータを得るため、2018年12月以後、数回の多波長観測を実施した。その結果、1月中旬以降、パルス強度が低下し、周波数スペクトルが変化していることを見出し、現在、解析中である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

木坂将太、浅野勝晃、寺澤敏夫、Electric Field Screening with Backflow at Pulsar Polar Cap, *Astrophys. J.*, 査読有、vol. 829, 2016 12.1-12.2,

DOI: [10.3847/0004-637X/829/1/12](https://doi.org/10.3847/0004-637X/829/1/12)

三上諒、寺澤敏夫他、Wide-band Spectra of Giant Radio Pulses from the Crab Pulsar, *Astrophys. J.*, 査読有、vol. 832, 2016 212.1-212.25,

DOI: [10.3847/0004-637X/832/2/212](https://doi.org/10.3847/0004-637X/832/2/212)

岳藤一宏他、Very Long Baseline Interferometry Experiment on Giant Radio Pulses of Crab Pulsar toward Fast Radio Burst Detection, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 査読有、vol. 128, 2016, 084502.1-6.

DOI: [10.1088/1538-3873/128/966/084502](https://doi.org/10.1088/1538-3873/128/966/084502)

石崎涉、田中周太、浅野勝晃、寺澤敏夫、Broadband Photon Spectrum and its Radial Profile of Pulsar Wind Nebulae, *Astrophys. J.*, 査読有、vol. 838, 2017, 142.1-14,

DOI: [10.3847/1538-4357/aa679b](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa679b)

田中周太、浅野勝晃、On the Radio-emitting Particles of the Crab Nebula: Stochastic Acceleration Model, *Astrophys. J.*, 査読有、vol. 841, 2017, 78.1-11,

DOI: [10.3847/1538-4357/aa6f13](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa6f13)

Aharonian, F., 寺澤敏夫他、Hitomi X-ray studies of giant radio pulses from the Crab pulsar, *Pub. Astron. Soc. Jpn.*, 査読有、vol. 70, 2018 15.1-15.18,

DOI: [10.1093/pasj/psx083](https://doi.org/10.1093/pasj/psx083)

石崎涉、浅野勝晃、川口恭平、Outflow and Emission Model of Pulsar Wind Nebulae with the Back Reaction of Particle Diffusion, *Astrophys. J.*, 査読有、vol. 867, 2018, 141.1-12,

DOI: [10.3847/1538-4357/aae389](https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae389)

山崎翔太郎、寺澤敏夫他、Relativistic fireball reprise: radio suppression at the onset of short magnetar bursts, *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 査読有、vol. 483, 2018, 4175-4186,

DOI: [10.1093/mnras/sty3388](https://doi.org/10.1093/mnras/sty3388)

[学会発表](計16件)

廣島渚、寺澤敏夫他、3 2 5 MHz 帯におけるかにパルサーGRPの dispersion measure と decay time の時間変動、天文学会秋季年会、2015年9月10日、甲南大学(兵庫県神戸市)

寺澤敏夫他、Crab パルサーGRP間の相関：太陽風シンチレーション効果の可能性、天文学会秋季年会、2015年9月10日、甲南大学(兵庫県神戸市)

寺澤敏夫、中性子星磁気圏のリモートセンシング、天文学会春季年会(招待講演)、2016年3月15日、首都大学東京(東京都八王子市)

小山志勇、寺澤敏夫、ひとみ(ASTRO-D)搭載精密軟X線分光装置(SXS)の軌道上におけるCrab Pulsarを用いた時刻較正、天文学会秋季年会、2016年9月15日、愛媛大学(愛媛県松山市)

寺澤敏夫、FRBの放射機構について、重力波電磁対応研究会(招待講演)、2017年3月5日、京都大学(京都府京都市)

寺田幸功、寺澤敏夫他、X線天文衛星「ひとみ」と電波の同時観測による「かに星雲」パルサーからのGiant Radio PulseのX線特性、天文学会春季年会、2017年3月15日、九州大学(福岡県福岡市)

小林瑛史、寺澤敏夫他、太陽風シンチレーションによるCrabパルサー巨大電波パルス間の非ポアソン性の評価、天文学会春季年会、2017年3月17日、九州大学(福岡県福岡市)

寺澤敏夫他、Fast Radio Burst(FRB)探索ソフトウェアの準備状況、天文学会春季年会、2017年3月15日~18日、九州大学(福岡県福岡市)

寺澤敏夫、電波観測によるCrabパルサー磁気圏研究・FRBへの応用、物理学会秋季大会シンポジウム「低周波電波観測が切り開く宇宙物理学」(招待講演)、2017年9月14日、宇都宮大学(栃木県宇都宮市)

寺澤敏夫、日本におけるパルサー・FRBの電波観測研究、日本SKAパルサー・突発天体研究会(招待講演)、2018年1月5日、ホテルがんげ(茨城県鹿嶋市)

寺澤敏夫、木坂将太他、2017.11.7 Crab pulsar glitch 観測速報(1): 概要、天文学会春季年会、2016年3月14日~17日、千葉大学(千葉県千葉市)

木坂将太、寺澤敏夫他、2017.11.7 Crab pulsar glitch 観測速報(2): 波形変化の有無検証、天文学会春季年会、2016年3月14日~17日、千葉大学(千葉県千葉市)

青木貴弘、寺澤敏夫他、山口32m電波望遠鏡を用いたパルサー観測の定常化、天文学会秋季年会、2018年9月19日~21日、兵庫県立大学(兵庫県姫路市)

石崎涉、浅野勝晃、川口恭平、パルサー星雲 G21.5-0.9 と 3C58 での粒子の空間拡散と流体運動への反作用、天文学会秋季年会、2018 年 9 月 21 日、兵庫県立大学（兵庫県姫路市）
寺澤敏夫、Crab パルサー電波パルスの統計的性質、中性子星の観測と理論」研究活性化ワークショップ、2019 年 2 月 20 日、京都大学（京都府京都市）
スジンリー、寺澤敏夫他、Multi-frequency radio observations of a new outburst from the recently reactivated transient magnetar XTEJ 1810-197, 天文学会春季年会、2019 年 3 月 14 日～17 日、法政大学（東京都小金井市）

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：浅野 勝晃
ローマ字氏名：ASANO KATSUAKI
所属研究機関名：東京大学
部局名：宇宙線研究所
職名：准教授
研究者番号（8桁）：80399279

研究分担者氏名：三澤 浩昭
ローマ字氏名：MISAWA HIROAKI
所属研究機関名：東北大学理学研究科・准教授
部局名：東北大学理学研究科・准教授
職名：東北大学理学研究科・准教授
研究者番号（8桁）：90219618

(2)研究協力者

研究協力者氏名：土屋 史紀
ローマ字氏名：TSUCHIYA FUMINORI

研究協力者氏名：関戸 衛
ローマ字氏名：SEKIDO MAMORU

研究協力者氏名：岳藤 一宏
ローマ字氏名：TAKEFUJI KAZUHIRO

研究協力者氏名：竹内 央
ローマ字氏名：TAKEUCHI HIROSHI

研究協力者氏名：亀谷 収
ローマ字氏名：KAMEYA OSAMU

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。