

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654049

研究課題名(和文) ミリ秒電波トランジェントの発見と起源解明に向けた観測システムの開発

研究課題名(英文) Development of Observation System for Discovering Millisecond Radio Transients and Unveiling the Origins

研究代表者

青木 貴弘 (Aoki, Takahiro)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・助手

研究者番号：30624845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電波トランジェントと呼ばれる電波帯域での突発現象を観測し、その起源解明を目的とした研究を行った。その方法として、まず那須電波観測所において観測システムを開発し、そのシステムを利用することで従来報告された電波トランジェントの性質を解き明かすことに成功し、起源について一定の制限と知見を得ることができた。本研究で得られた結果は、次世代電波観測施設 Square Kilometre Array などで行われるであろう電波トランジェント探査に有用な情報であり、将来の探査観測を効率的に行えると期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research aimed to unveil the origins of astronomical transient phenomena in radio frequency band. In order to realize that, we developed observation system in our Nasu Radio Observatory and succeeded at discovering the profile of previously reported radio transients using the system. Moreover, we were able to narrow down the candidates for the radio transients. These results will promote radio observation of transient phenomena by the Square Kilometre Array and other facilities.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：突発現象 電波天文学 分光器 Fast Radio Burst FRB GPU 電波トランジェント

1. 研究開始当初の背景

電波バースト、すなわち電波領域において急激な光度変動を起こす天体現象は広く知られており、その起源は超新星爆発や活動銀河核ジェットなど多種多様である。しかしそれらが起源とは考えにくい特徴を持ち、バーストの継続時間がナノ秒から数日程度という、短寿命な電波バーストが報告されている。そのような起源不明の現象は、電波トランジェント (Radio Transients) などと呼ばれる。

この電波トランジェントは、その現象の継続時間によっておよそ分類することができる。例えば Lorimer (2007) は、Parkes において起源不明の突発的なミリ秒パルスを検出した。この現象は 2014 年現在 Fast Radio Burst (FRB) と呼ばれるようになり、中性子星連星からの突発的電波放射であるというモデルも立てられ (Totani, 2013)、重力波源としても注目を集めている重要な現象である。また継続時間が数分の電波トランジェントは Hyman (2005) らが VLA のデータから発見したが、そのバーストの様相は従来の知見からはうまく説明できないものであり、さまざまなモデルが立てられているものの、起源や実体は明確でなかった。一方、継続時間が数時間から数日程度のは、我々の那須電波観測所によって発見され、Kuniyoshi (2007) らが報告している。同様の継続時間を持つものは Bower (2007) らによって VLA のアーカイブデータからも 10 個発見され、その起源についてプレーザーなどの活動銀河核から星間伝搬効果にいたるまで広く議論されたが、従来の知見からは実体は特定できていなかった。

電波トランジェントという突発現象は、発見され始めてまだ日が浅く研究体制も完全ではない。特に日本国内では電波トランジェントの観測的研究はほとんどなされていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、種々の電波トランジェントの実体解明にある。とりわけ、その現象の継続時間がミリ秒程度という電波トランジェント、すなわち FRB を観測し、そのような短寿命な電波バースト現象について新たな知見を得ることである。電波トランジェントという現象としては、その継続時間がナノ秒程度のものから数週間程度のもので多くの現象が報告されてきているが、その発見の難しさゆえ観測例が少なく、起源のわかっていないものが多い。この起源を解明し宇宙科学に新たな知見を加えるには、まずそれらの観測例自体を増やし、またバーストの継続時間内に詳細な観測を行うことが重要であった。

3. 研究の方法

以上の目的を達し種々の電波トランジェントの起源にせまるため、我々の那須電波観測所において二つのシステム、すなわち (1) デジタル分光器の開発と (2) 電波トランジェント発見速報システム開発を行った。また (2) の発見速報システムの一部をなしているデータノイズの統計解析手法を用いて、従来報告された電波トランジェントのデータを再解析することで、その現象の発生確率や性質を調査し、起源解明を目指した。

4. 研究成果

本研究では、前述の 2 つのシステム開発によって那須電波観測所の観測システムを高機能化することができた。またそれを利用したデータ再解析によって、従来発見された電波トランジェントの性質を解き明かすことに成功し、その起源について一歩進んだ知見を得ることができた。それらの詳細について以下に記す。

(1) デジタル分光器の開発

那須電波観測所では従来、スペクトル観測を行うための分光器が備わっていなかった。また、FRB のようなパルス様の現象を発見するには、分光を行った後にさらなるデータ処理を行う必要がある。そこで本研究では、観測所の持つ 30 m 電波望遠鏡によるスペクトル観測と FRB 発見を実現するため、民生用の Graphic Processing Unit (GPU) を用いたデジタル分光器の開発を行った。Field-Programmable Gate Array (FPGA) と GPU のどちらを採用するかについては調査を必要としたが、データ処理の簡便性、学習コスト、機材の価格など多角的に勘案した結果、開発言語として C/C++、CUDA を使用して容易に開発が可能な GPU を採用するに至った。

その後、開発した GPU 分光器の性能を確かめるために、我々の銀河に広がる中性水素輝線のスペクトル観測を実施した。その結果を図 1 に示す。その図は 21 cm 中性水素輝線が、銀河系の回転運動によってドップラー遷移していることを表しており、観測している銀経は 60 度である。同様のスペクトルを各銀経について取得し、図 2 のように銀河の回転の様子を明らかにすることができた。またその結果は、おおよそ従来の観測結果と同じであると評価でき、正常にスペクトル観測が行えることが確認できた。

この GPU デジタル分光器は、安価で小規模ながらも十分な性能をもち、またパーソナルコンピュータ上で動作できるためにスペクトル取得後の信号処理も容易であ

る。費用対効果に優れた GPU 分光器は、次世代電波観測施設である Square Kilometre Array (SKA) などにも有用であり、本研究はその実証を行えたものとする。またこれによって那須電波観測所において電波トランジェントのスペクトル観測が可能となり、さらに FRB 発見のための基礎機能が開発できたことになり、今後の観測によって発見が期待できる。

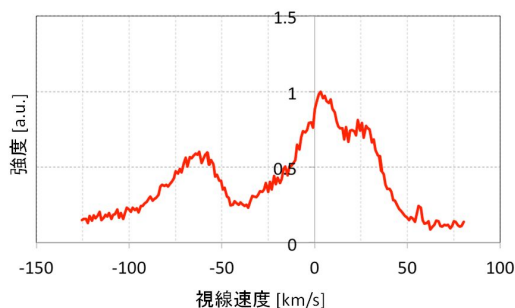


図 1 中性水素輝線のドップラー遷移

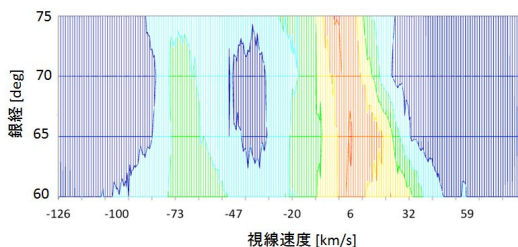


図 2 銀河回転

(2) 電波トランジェント発見速報システムの開発

この発見速報システムは、那須電波観測所で電波トランジェントが観測された際にそれを速報として他の観測所に提供し、詳細な追観測を促すことでその起源解明にせまるためのものである。本研究において、データを自動的に解析して通報するために、観測環境をモニタするためのシステムを追加し、例えば図 3 のように環境温度などを常時モニタすることが可能となった。しかしながら、電波望遠鏡自体の物理的な駆動誤差のため、既存カタログと照合して観測天体を同定する作業の自動化が難しく、実装に至っていない。

実際に他の観測所に速報を出すためには、その処理の自動化が必要であり、今後の課題として残ることとなった。

(3) 那須 30 m 電波望遠鏡受信機の改良

GPU デジタル分光器を用いた試験観測として Crab パルサーの観測を行った。というのも、パルサーからのパルスと FRB のパルスは本質的に同様であり、FRB 発見とパルサー

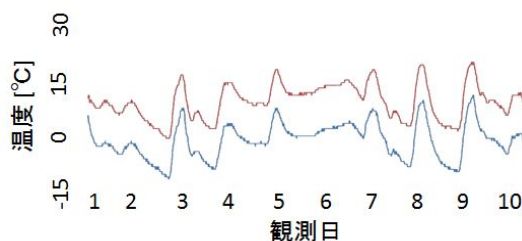


図 3 観測環境温度モニタ結果

観測は両立するためである。また通常のパルサーはその電波強度が小さいため検出は容易でないが、Crab パルサーはジャイアントパルスと呼ばれる大強度のパルスを散発的に放射するため、それならば安全に検出可能と考えられた。しかしながら、開発した GPU 分光器を用いても、また手作業によってデータ解析しても、ジャイアントパルスの検出は成功せず、結局 Crab パルサーは観測することができなかった。

この原因について調査を行ったところ、電波受信機を構成する増幅器のひとつが故障していることが判明した。そこでその故障を修理するとともに、その故障を防ぐための電源線の改善と、さらに感度向上を図るため高周波アイソレータを導入することとした。これによって、受信機に入力された電波の逆流を防ぎ、電圧定在波比を低下させることで受信感度の上昇を期待することができる。

前項 (1) で述べた中性水素輝線の観測は、この改良後の受信機を用いて観測された結果であり、GPU デジタル分光器の性能は確認された。今後、再度 Crab パルサーの観測を行い、また FRB の発見に注力する。

(4) 電波トランジェントの再解析と起源の研究

本研究で開発したシステムを利用して、さらに従来からの電波トランジェントを再解析し、その起源について一歩進んだ知見を得ることに成功した。前項 (2) で述べた発見速報システムでは、電波トランジェント観測の信頼性向上を図るデータ解析手法を新たに提案している (Aoki et al., 2012)。その解析手法を用いて、過去のデータの再解析を行った結果、Niinuma et al. (2007) の報告した電波トランジェント WJN J1443+3439 は、その誤検出率が 10 万分の 1 以下と低く信頼性が高いと考えられた。

その結果をもとにして電波トランジェントの発生確率を見積もったところ、周波数 1.4 GHz においてフラックス密度 3 Jy 以上の電波トランジェントが観測される割合は、50 万平方度につき 1 つ程度であるとわかった。図 4 に示すように、この結果は他の観測結果と必

ずしも齟齬はないと考えられる。また WJN J1443+3439 の起源天体については、その光度と継続時間の関係から、図5に示すように活動銀河核あるいは褐色矮星等のフレア現象に起因するということがわかった (Aoki et al., 2014)。

以上の結果を用いれば、今後活発に行われるであろうSKAによる電波トランジェント観測の際に、その現象の発見確率を前もって見積もることが可能となる。つまり本研究によって、将来の電波トランジェント観測を効率的に行うための土壌を作ることができたと言える。

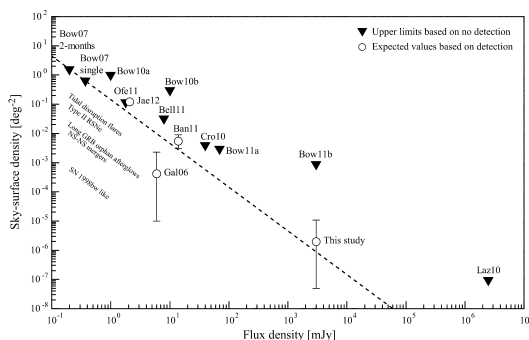


図4 電波トランジェントの発見確率

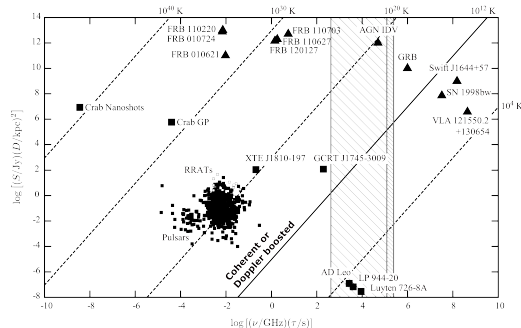


図5 電波トランジェントの起源推定

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

T. Aoki, T. Tanaka, K. Niinuma, 他6名, Reliability of Radio Transients Detected in the Nasu Sky Survey, The Astrophysical Journal, 査読有, Vol. 781, pp. 10-22, 2014
DOI: 10.1088/0004-637X/781/1/10

T. Tanaka, T. Nakamizo, T. Aoki, 他5名, Rapid Fringe Detection Technique for Discovering Radio Transients in Nasu Drift-scan Data,

Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 査読有, Vol. 125, pp. 557-564, 2013
DOI: 10.1086/670767

T. Tanaka, T. Nakamizo, T. Aoki, 他9名, Method for Finding Variable Radio Sources in Drift-Scan Interferometric Data from the Nasu Observatory, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 査読有, Vol. 124, pp. 616-623, 2012
DOI: 10.1086/666592

T. Aoki, T. Tanaka, K. Niinuma, 他12名, Calculation of False-Detection Rate for Nasu Interferometric Sky Survey, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 査読有, Vol. 124, pp.371-379, 2012
DOI: 10.1086/665596

[学会発表](計3件)

青木貴弘, 長寿命電波バーストの観測可能性と、那須観測所における短寿命電波バーストの観測計画, 宇宙線研究所共同利用研究会, 2014年3月11日, 東京大学

T. Aoki, K. Sugisawa, N. Nomura, 他4名, Dynamic Radio Sky Survey Using SKA, SKA Science Workshop in East Asia 2013, 2013年6月5日, 名古屋大学

青木貴弘, 古川匠哉, 貴田寿美子, 他7名, 那須観測所における電波トランジェント発見速報システムの開発状況, 日本天文学会, 2012年9月20日, 大分大学

5. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 貴弘 (AOKI, Takahiro)
早稲田大学・教育総合科学学術院・助手
研究者番号: 30624845

(2) 研究分担者

-

(3) 連携研究者

田中 泰 (TANAKA, Tai)

早稲田大学・先進理工学研究科・学生
研究者番号： -

津田 智史 (TSUDA, Tomofumi)
早稲田大学・先進理工学研究科・学生
研究者番号： -

中尾 亮太 (NAKAO, Ryota)
早稲田大学・教育学部・学生
研究者番号： -

鯨井 謙治 (KUJIRAI, Kenji)
早稲田大学・教育学部・学生
研究者番号： -

大師堂経明 (DAISHIDO, Tsuneaki)
早稲田大学・教育総合科学学術院・教授
研究者番号： 10112989