

令和元年6月19日現在

機関番号：15501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13788

研究課題名（和文）短寿命な突発天体の起源解明に向けた相乗り探査体制の構築

研究課題名（英文）Constructing Commensal Observation System to Reveal The Origins of Short Duration Radio Transients

研究代表者

青木 貴弘（Aoki, Takahiro）

山口大学・時間学研究所・助教（特命）

研究者番号：30624845

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：Fast radio burst (FRB) を観測するためのパルス観測システムを開発し、国内電波望遠鏡への実装に成功した。実装した望遠鏡は、VLBI観測を定常に行っている山口32m鏡と日立・高萩32m鏡であり、これらを用いることでFRBのVLBI探査を効率的に進めることができる。そこでシステム実証とFRB探査の準備として、パルサー観測を行った。その結果システムは正常に機能することを確認し、日本国内で初めてパルサーの定常観測体制を確立するとともに、既知のFRBを観測する環境を整えた。一方で未知のFRBを探査するには、さらなるシステム開発が必要とわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内電波望遠鏡を用いたfast radio burst (FRB) の観測体制を構築した。FRBは継続時間が数ミリ秒程度という短時間の電波バーストであり、その起源や放射機構は未知である。それを解明するためにはバーストの起こった位置を正確に知ることが重要であり、その位置決定には、地理的に離れた複数の望遠鏡が同時にそのバーストを観測することが重要となる。本研究は日本国内に散らばる複数の電波望遠鏡を用いてそれを実現しようというものであり、その観測システムを開発した。これを用いて実際にFRBの探査を開始しており、今後探査を重ねることによって新たなFRBの発見と位置決定により、FRBの起源解明が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We developed an observation system of single radio pulses from astronomical objects and implemented it into domestic radio telescopes. The telescopes are the Yamaguchi 32 m antenna and the Hitachi/Takahagi 32 m antenna which are conducting coordinated VLBI observations with high sensitivity. For the system verification and preparation for FRB surveys, we observed some pulsars to reveal emission mechanism of giant radio pulses. The result shows that we can fairly detect astronomical pulses and established an environment to observe known pulsars and FRBs for the first time in Japan. However, we recognized that we have to update the system including data recorder and analysis software and accelerate the analysis speed for effective surveys of unknown and new FRBs.

研究分野：電波天文学

キーワード：突発天体 高速電波バースト fast radio burst パルサー

1. 研究開始当初の背景

宇宙はさまざまな突発天体であふれているが、従来見つかった電波帯域での突発天体は、そのタイムスケールは数時間以上のものがほとんどだった。しかし 2007 年に初めて、タイムスケールが 5 ミリ秒という極めて短寿命な電波バーストが報告された (Lorimer et al. 2007)。このバーストは、星間プラズマによる分散効果の様子から銀河系外天体を起源に持つバーストだと考えられ、その起源天体や放射機構は未知であり Lorimer バーストと呼ばれた。その後 2013 年に、同様のミリ秒電波バーストが新たに 4 例発見できたことが報告され、fast radio burst (FRB) と命名された (Thornton et al. 2013)。FRB の起源モデルは数多く考えられたが、当時そして 2019 年現在も、いまだ起源は解明されておらずさらなる発見と観測情報の蓄積が望まれている。

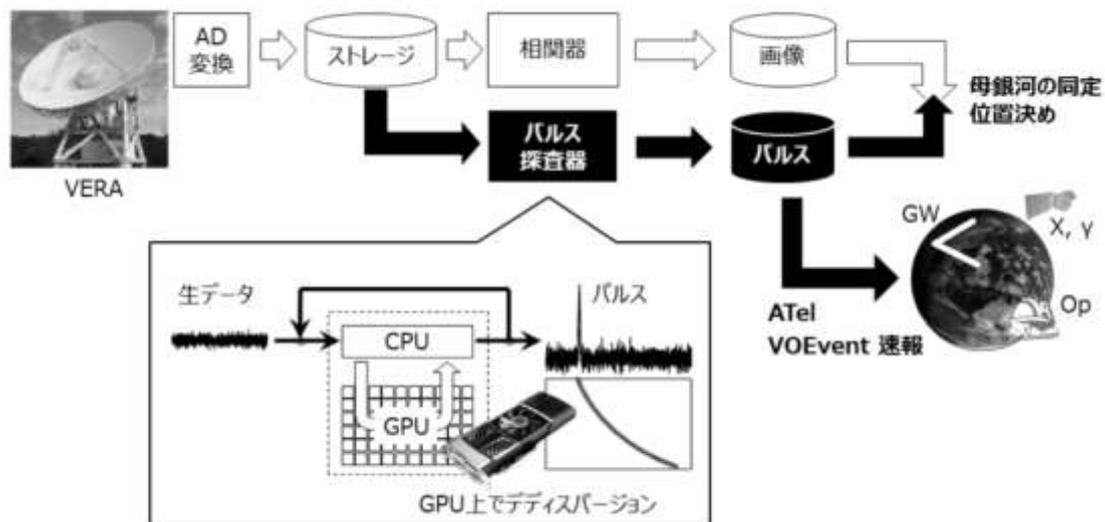
2. 研究の目的

本研究は FRB の起源解明を目的とし、望遠鏡の本来の観測に影響を与えず FRB 探査を行う“相乗り”探査体制を構築するものである。光度変動のタイムスケールが短い突発天体は追観測が難しいため、発見と同時に可能な限りの観測情報を蓄積することが重要となる。そこで本研究で、国内の電波望遠鏡を活用してその探査体制を構築しつつ、その構築にあたっては、本来の観測に影響を与えない“相乗り”という形で探査システムを設置する。これによって観測資源を有効に活用するとともに、FRB の発見と同時に、広い周波数帯に渡る特性と VLBI による位置決定を目指し、FRB の起源に迫る。

3. 研究の方法

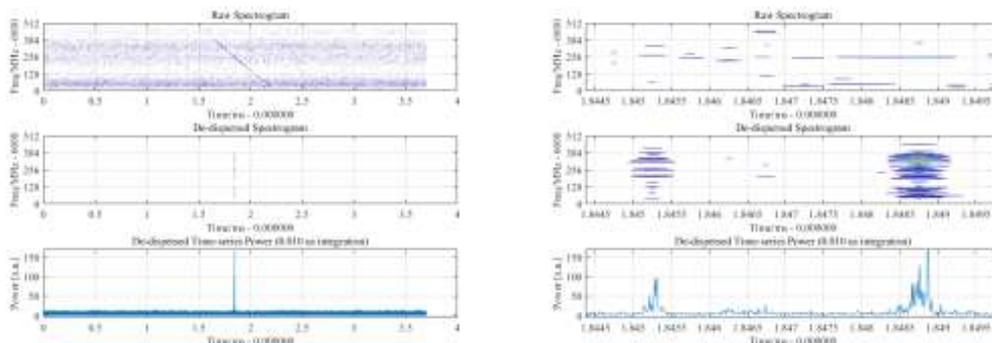
FRB の起源解明にはいくつかの課題があったが、本研究では、局所的な人工電波との区別と天体の位置決定という点に着目し、日本国内の複数の電波望遠鏡を用いて FRB の探査体制を構築することとした。国内の電波望遠鏡は超長基線干渉計 (VLBI) の 1 局として運用されることも多く、VLBI 観測に FRB 探査を相乗りさせれば、FRB の発見と同時に VLBI による位置決定が可能となる。FRB の位置を決定することは母銀河を同定することとほぼ同義であり、その起源解明の大きな手がかりとなる。また地理的に離れた電波望遠鏡を使うことで、FRB 現象と人工電波との区別が可能となり、一切の懸念を払拭することができる。

そこで本研究では、まず申請者の異動先である山口大学が運用する山口 32m 電波望遠鏡を用いた FRB 観測システムを開発した。山口 32m 電波望遠鏡は Japanese VLBI Network (JVN) の主要局であり、随時 VLBI 観測を実施しており本研究に最適な電波望遠鏡である。VLBI の相手局の多くは茨城大学の日立/高萩 32m 電波望遠鏡であり、それらは山口 32m 電波望遠鏡の姉妹アンテナであるため、アンテナそのものから観測システムまでほとんど同一であり、山口 32m 鏡用に開発したシステムをそのまま設置することができる。計画立案時のシステム概要を下図に示す。立案時は国立天文台の VERA 望遠鏡の使用を考えていたが、その観測システムも山口局とおおよそ同様であるため、まずはじめに山口局で開発し、それを徐々に転用するという方針とした。

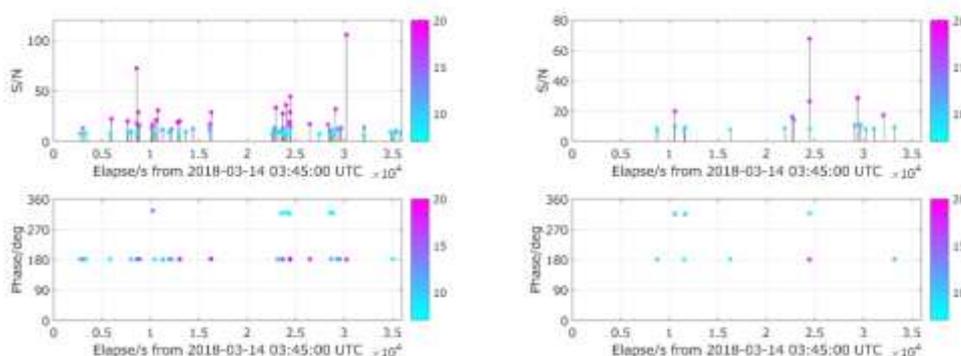


4. 研究成果

FRB 観測は本質的にパルサー観測と同じであり、異なるのは解析パラメータの値の 차이だけである。そこで本研究ではまず、FRB 解析の基礎となるパルス探索ソフトウェアを作成した。これは先の図に示した通りであり、このソフトウェアによって、FRB とパルサーのジャイアントパルス探索が可能となった。このパルス探索ソフトウェアは図中のパルス探索器に相当し、当初計画案の通り **Graphic Processing Unit (GPU)** を用いた計算機によって開発し、山口 32m 鏡と日立/高萩 32m 鏡に実装して、実際に Crab パルサーのジャイアントパルス観測に成功した。その例を下図に示す。横に並んだ 2 つの図のうち、右図は左図のパルス部分を拡大したものである。ひとつのジャイアントパルスにも複数の微細構造があることがわかる。開発したパルス探索器によって、このようなパルサー観測を実現し、日本国内で初めて定期的なパルサー観測体制を敷くことに成功した。



観測対象としたパルサーは、ジャイアントパルスを放つと報告されており、かつ日本から観測可能な 10 天体のうち、B0031-07, J0218+4232, B0531+21 (Crab), B0656+14, B1112+50, J1752+2359, B1820-30A の 7 天体であり、さらにこのうち山口 32m 鏡でジャイアントパルスが検出できたのは Crab パルサーのみである。ジャイアントパルスは確率現象なので、観測時間が長ければ長いほど観測数は増すため、引き続き観測を続ける。Crab パルサーは頻繁にジャイアントパルスを放つため観測が容易であり、山口局および茨城局による 6 GHz と 8 GHz 帯の二帯域観測で多くの検出実績を得た。その結果を下図に示す。左図は約 10 時間の観測で 6 GHz 帯において検出されたジャイアントパルス、右図は 8 GHz 帯において検出されたものである。これらのうち同時に発生したジャイアントパルスについて、そのスペクトル指数を求めるとおよそ -3 という結果が得られ、先行研究と一致していた。現在これらの結果について詳細にまとめており、論文として報告する予定である。



こうしてパルサージャイアントパルスの観測に成功し、開発した探索器の有効性を実証した。そこでこれを用いて FRB の観測を実施した。FRB には二つの種族があり、バーストが **repeating** する種族と単発で終わる種族があるということが研究期間中に明らかになった。そこで、既に明らかとなった **repeating FRB** である FRB 121102 と FRB180814 について計 10 時間程度の観測を実施し、FRB と思われる電波パルスは現在までのところ非検出という結果を得ている。この結果から FRB 180814 のイベントレートとして、6 GHz 帯における 7σ 感度 2.3 Jy という観測で 0.3 event/hour 未満という値を得たが、FRB 180814 は位置がわかっていないためこの値は必ずしも有意とはいえない。今後観測を継続する必要がある。

一方で課題も明らかとなり、廉価なパソコンと GPU で構成した探索器では解析に要する時間が大きく、山口 32m 鏡で得られるデータを解析するには、観測時間の 10 倍程度の時間がかかることがわかった。これは既知のパルサーや repeating FRB を観測するには十分なものの、

未知の FRB を探査するには効率が悪く、このままでは探査は困難だということがわかった。この事態は計画立案時に想定はしており、その対処方針として (1) GPU クラスタコンピューティングを行う、または (2) Field Programable Gate Array (FPGA) を用いたパルス探査器の再開発を提示していた。ただし予算の制限からそれらを導入することはかなわなかったため、新たな開発方針として、データ記録系の変更と既存探査器の改良に着手した。

データ記録系の変更とは、使用している A/D 変換器 ADS3000+ の記録モードを変更しデジタルベースバンド変換によって、取得データそのものを複数の周波数帯に分割して出力するというものである。ただしこれを実行すると、データフォーマットが変更されることになるため、当初想定していた「相乗り」観測体制は必ずしも完全とはいえなくなってしまう。そこでこの開発方針は試験的なものとして実施することとした。これによって取得されたデータは incoherent de-dispersion という解析手法によって、先に開発したパルス探査ソフトウェアよりも高速に処理が可能となり、現在その開発に着手している。

本研究によって、国内で初めてパルサーおよび既知の repeating FRB を定常的に観測できる体制の構築に成功し、現在観測を重ねている最中である。また未知の FRB 探査に必要な解析体制を明らかにし、解決すべき課題を明らかにすることができた。今後その課題を解決すべく、その準備を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- 1) Takuya Akahori, Shinsuke Ideguchi, Takahiro Aoki, Kazuhiro Takefuji, Hideki Ujihara, Keitaro Takahashi, Optimum frequency of Faraday tomography to explore the intergalactic magnetic field in filaments of galaxies, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue 6, id.115, 2018, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psy124
- 2) Hitomi Collaboration, Felix Aharonian, ..., Takahiro Aoki (203 番目), Hitomi X-ray studies of Giant Radio Pulses from the Crab pulsar, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 70, Issue 2, id.15, 2018, 査読あり
DOI: 10.1093/pasj/psx083

〔学会発表〕 (計 23 件)

- 1) 青木貴弘, JVN アンテナを用いたパルサー観測と山口干渉計, 2018 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2018
- 2) 青木貴弘, SKA-JP Engineering Working Group 活動報告, 2018 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2018
- 3) 青木貴弘, 水沢 VLBI 観測所の UHF 帯電波環境, 2018 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2018
- 4) 青木貴弘, 水沢観測所の UHF 帯電波環境, 第 16 回 水沢 VLBI 観測所ユーザズミーティング, 2018
- 5) 青木貴弘, 山口干渉計の構築状況とパルサー観測体制, 第 16 回 水沢 VLBI 観測所ユーザズミーティング, 2018
- 6) 青木貴弘, 山口 32 m 電波望遠鏡を用いたパルサー観測の定常化, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018
- 7) 青木貴弘, 大学 VLBI 連携観測網による突発天体の追観測体制, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018
- 8) 青木貴弘, VLBI による突発天体研究と SKA のインパクト, 「SKA 時代の VLBI サイエンス」検討会, 2018
- 9) 青木貴弘, 山口干渉計の構築状況 II, 日本天文学会 2018 年春季年会, 2018
- 10) 青木貴弘, SKA における技術課題と日本の貢献, 2017 年度 宇宙電波懇談会シンポジウム, 2018
- 11) 青木貴弘, 山口干渉計の構築状況, 茨城大学重点研究研究会: 「高萩・日立 32m 電波望遠鏡によるサイエンス」, 2018
- 12) 青木貴弘, 鹿島局周辺の UHF 帯電波環境, 茨城大学重点研究研究会: 「高萩・日立 32m 電波望遠鏡によるサイエンス」, 2018
- 13) T. Aoki, Yamaguchi Interferometer, 2017 Asia-Pacific Regional IAU Meeting, 2017
- 14) 青木貴弘, SKA-JP エンジニアリングワーキンググループの活動と日本の技術寄与方針, 第 2 回 SKA 技術開発ワークショップ, 2017
- 15) 青木貴弘, 山口干渉計とそれを用いた fast radio burst 相乗り探査体制の構築状況, ”日本天文学会 2017 年秋季年会, 2017
- 16) 青木貴弘, 電波帯域における突発天体探査の現状と重力波マルチメッセンジャー観測に必要な体制, ”ミニワークショップ「重力波天文学時代における広視野電磁波観測と

- 多様な時間スケールを持つ突発天体现象」, 2017
- 17) 青木貴弘, 藤澤健太, 新沼浩太郎, 金澤翔, 山口干渉計の構築状況, 日本天文学会 2017 年春季年会, 2017
 - 18) 青木貴弘, 突発天体探査の現状と今後必要な観測, 茨城大学重点研究 研究会:「突発・変動天体の多波長連携観測」, 2017
 - 19) T. Aoki, Yamaguchi Interferometer, 2017 Asia-Pacific Regional IAU Meeting, 2017
 - 20) 青木貴弘, 山口干渉計の構築状況, 2016 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2016
 - 21) 青木貴弘, SKA-JP Engineering Working Group 活動報告, 2016 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2016
 - 22) 青木貴弘, SKA 計画の設計, 日本 SKA コンソーシアム「技術開発」地域会議 in 鹿児島, 2016
 - 23) 青木貴弘, 各種突発天体の探査の現状と、今後必要な観測, 日本 SKA 合同サイエンス会議「宇宙磁場: 銀河系内現象から大規模構造へ」, 2016

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/t-aoki/tools/pulse_searcher/pulse_searcher.html

http://astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/t-aoki/tools/power_spectrum/index.html

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 小山 友明

ローマ字氏名: OYAMA Tomoaki

所属研究機関名: 国立天文台

部局名: 水沢 VLBI 観測所

職名: 特任専門員

研究者番号 (8 桁): 70425403

※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。