

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 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：2015～2017

課題番号：15K05029

研究課題名(和文)空間FFT電波干渉計における電波バースト解析法の開発

研究課題名(英文)Radio burst analysis for the spatial FFT interferometers

研究代表者

坪野 公夫 (Tsubono, Kimio)

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：10125271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：早稲田大学那須電波干渉計は、直接撮像型とよばれ、リアルタイムに電波源の姿を捉えることができる。また那須電波干渉計の角度分解能は8素子全長の160mで決まり、視野は1素子のサイズ20mで決まるという特徴をもつ。これにより、 0.1° の空間分解能と 0.8° の視野をもちあわせている。本研究で開発された相関解析法をデータ解析に用いることで、 $1 \sim 20\text{mJy}$ という高感度な電波観測が実現された。この研究成果により、2017年のCyg X-3や2015年のV404 Cygの電波フレアの詳細な観測が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Nasu telescope array is a direct imaging device in which the image of the radio source can be obtained in real-time. Angular resolution of the telescope is given by the total length of the array while the field of view is determined by the scale of the single dish. Our telescope has an angular resolution of 0.1 degrees and a field view of 0.8 degrees. By applying the new analysis method developed in this study, we can obtain high sensitive image of the radio sources. Thus, we could observe radio outbursts from V404 Cyg in 2015 and radio flares from Cyg X-3 in 2017. Both were very important events in the recent radio astronomy.

研究分野：電波天文学

キーワード：電波望遠鏡 FRB ブラックホール 重力波 マイクロクェーサー ジェット 降着円盤

1. 研究開始当初の背景

早稲田大学那須電波干渉計は、空間 FFT 型という一般に使われている 2 素子型とは異なる原理に基づいて機能する観測装置である。この干渉計は直接撮像型とよばれ、リアルタイムに電波源の姿を捉えることができる。また那須電波干渉計の場合は、角度分解能は 8 素子全長の 160m で決まり、視野は 1 素子のサイズ 20m で決まるという特徴をもつ。これにより、 0.1° の空間分解能と 0.8° の視野をもちあわせていて、バースト電波源の広視野パトロールに適している。

研究代表者の坪野公夫のもともとの研究分野は重力波であったが、2013 年より早稲田大学那須電波干渉計のグループに参加し、それ以来電波天文学の研究を進めている。これまでに、重力波分野で使われてきたデータ解析技術を電波天文に導入することによりいくつかのデータ解析システムを作ってきた。電波バーストの探査も重力波のバースト探査と共通する部分があり、特にテンプレートマッチングの手法は電波においても有効であると考えられるので、本研究でそれを実証することも重要な課題の一つである。

2. 研究の目的

本研究の核をなすのは電波バースト探査のための新たなデータ解析法の確立である。特に最終的な信号抽出の段階では、最適フィルターを用いたテンプレートマッチング法を使用する。これは重力波データの解析に用いられている手法であり、解析の効率化や有効性に関して研究が進んでいる。実際のデータ解析は当初はオフラインで、最終的にはリアルタイム処理で行う。

他チャンネル (X、 γ 、ニュートリノ、重力波等) との連携に努め、電波バーストをめぐるウォーニング、フォローアップの体制を構築する。特に、重力波が実際に検出されるようになり重力波天文学が幕を開けた現在は、重力波イベントと電波バーストとの関連を研究することは重要なテーマとなる。

3. 研究の方法



図 1. 那須の 20m×8 基からなる電波干渉計

那須の電波干渉計は毎日 24 時間体制でデー

タを取得しており、年間の稼働率は 85%を越えている。取得データはネットワークを通じて東京に送られており、基本的に毎日データ解析が行われている。この解析においては、GRB (γ 線バースト) や GWB (重力波バースト) と相関をもつ電波信号の探索や、その他のトランジェント信号の探査研究が続けられている。

また同時に、一つの電波天体の光度の長時間変化を調べるため、同じ天体を 1 ヶ月程度連続的に観測して変光を示す天体を探し出す研究も行っている。これらの研究はまだ解析が進行中であり、解析に必要なプログラムの開発も精力的に進められた。

4. 研究成果

空間 FFT 型電波干渉計は早稲田大学大師堂経明の考案になる装置であるが、最近改訂された総ページ 500 ページを越える電波天文学の基礎教科書といえる、interferometry and synthesis in radio astronomy 3rd edition, A. Richard Thompson, James M. Moran, George W. Swenson Jr.,

Springer International Publishing の 200 ページ目に 1 ページを用いて装置の原理やその後の展開が紹介されている。これは最近那須の研究成果が国際的に認識されるようになり、その動作原理についても注目が集まっていることを意味していて、本研究などの活動の成果であると思われる。

2015 年 6 月、地球に最も近いブラックホールを含むと思われる X 線連星 V404 Cyg が 26 年ぶりにアウトバーストを起こした。早稲田大学那須電波干渉計では、このアウトバースト発生の前を含めて V404 Cyg からの電波観測に成功した。

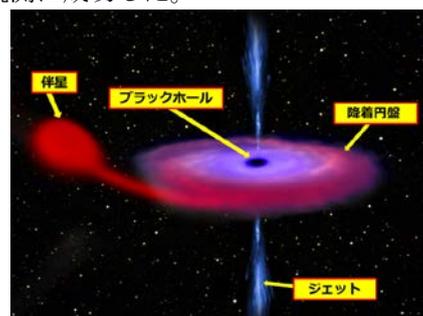


図 2. V404 Cyg の想像図

V404 Cyg light curve at 1.4GHz (preliminary)

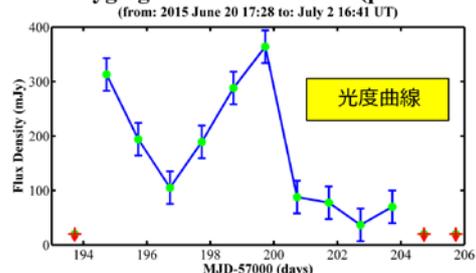


図 3. 観測された V404 Cyg の光度曲線

観測された光度曲線により電波源の激しい変動が明らかになった。これらの観測結果は2度のAtelへの投稿および天文学会での講演によって発表された(論文執筆中)。

また、2015年7月にはSwift衛星が検出したshort GRB (GRB150728A)の残光と思われる電波トランジェントの観測に成功した。short GRB発生の75分後に那須電波干渉計で電波変動が検出され、2日後にはノイズレベルまで減衰した。これがGRBの残光なら、かつてない強度の残光を捉えたことになる。さらに、GRBより早 precursor と呼ばれる先駆け信号を検出した可能性もある(論文執筆中)。

ブラックホール連星合体に伴う重力波をLIGOが検出したことにより、新しい天文学の幕が切って落とされた。LIGOにおける重力波イベント発生のアラートは現在まだ完全なリアルタイムではないが、今後は即時アラート体制が確立される見込みである。そのときには、 γ 線、X線を始め光学、電波のあらゆる電磁波領域で総動員の観測が実施されるであろう。そうなれば重力波- γ 、X線-光学-電波の同時観測により重力波イベントの全体像に迫ることが可能になり、ブラックホールや中性子星の物理の解明が大きく前進すると予想される。那須電波干渉計はこのような変動電波検出に適した国内ではほぼ唯一の観測装置である。

マイクロエーサーCyg X-3からの電波フレアを期待して準備を進めた。Cyg X-3はX線連星であり、主星はブラックホールもしくは中性子星でありその周りを伴星が回っている。1973年にもアウトバーストを起こしており、その電波フレアを大師堂等が鹿島の望遠鏡を用いて観測した実績がある。この現象は、まずX線がソフトモードからハードモードに変わり、その1ヶ月くらいから電波活動が活発になり電波フレアが出現すると予想されていた。今回は、既にSWIFT衛星などでX線のモード遷移が観測されていたが、その後実際に那須の電波干渉計が電波フレアの検出に成功した。これにより今後、降着円盤やジェットと中心核との相互作用の様子などが明らかになると期待されている。

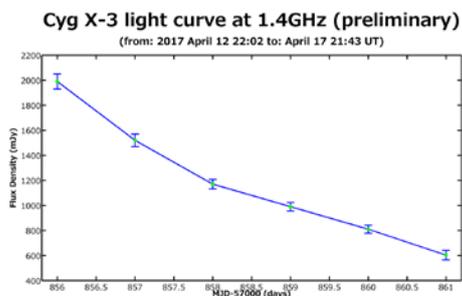


図4. 観測されたCyg X-3の光度曲線

アインシュタインの予言から100年を経て重力波が巨大干渉計LIGOによって検出された

ことなどから、宇宙・天文学の最近のトピックスについて学内外の著名な研究者によるシンポジウムを早稲田大学理工において2016年11月21日に開催した。3セッションと展示コーナーからなり、歴史的経緯と最新の成果が発表された。資料および展示ポスターの中には内外の高名な研究者からのメッセージも紹介されていた。

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 6件)

- (1) B. P. Abbott, R. Abbott, T. D. Abbott, M. R. Abernathy, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams, T. Adams, P. Addesso, R. X. Adhikari, V. B. Adya, C. Affeldt, M. Agathos, K. Agatsuma, K. Tsubono: Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRA, Living Reviews in Relativity (2018) (査読有).
- (2) Akutsu, T.; Ando, M.; Araki, S.; Araya, A.; Arima, T.; Aritomi, N.; Asada, H.; Aso, Y.; Atsuta, S.; Awai, Tsubono, K.: Construction of KAGRA: an underground gravitational-wave observatory, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2018, Issue 1 (2018) 013F01 (査読有).
- (3) Tsubono, K.; Asuma, K.; Kida, S.; Nakajima, H.; Daishido, T.; Niinuma, K.; Aoki, T.; Takefuji, K.: Observations of recent Cyg X-3 activities with Nasu telescope array at 1.4GHz, The Astronomer's Telegram, No. 10274 (2017) (査読無).
- (4) Tsubono, K.; Aoki, T.; Asuma, K.; Daishido, T.; Kida, S.; Nakajima, H.; Niinuma, K.; Takefuji, K.: Radio observations of outburst from V404 Cyg at 1.4GHz: a fast decay appeared in the nine days light curve, The Astronomer's Telegram, No. 7733 (2015) (査読無).
- (5) Tsubono, K.; Aoki, T.; Asuma, K.; Daishido, T.; Kida, S.; Nakajima, H.; Niinuma, K.; Takefuji, K.: Radio observations of outburst from V404 Cyg at 1.4GHz, The Astronomer's Telegram, No. 7701 (2015) (査読無).
- (6) 遊馬邦之, 貴田寿美子, 岳藤一宏, 新沼浩太郎, 青木貴弘, 坪野公夫, 中島啓幾, 大師堂経明: 空間FFT電波干渉計による電波天体の高速撮像、電子情報通信学会論文誌A J98-A5-3 (2015) 296-308(査読有).

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 近接連星からの電磁波バースト、そして重力波バースト(日本天文学会 2018 春) 遊馬邦之、青木貴弘、貴田寿美子、坪野公夫、中島啓幾、大師堂経明、新沼浩太郎、岳藤一宏
- (2) 那須観測所における、V404 や Cyg X-3 の電波バースト観測(日本天文学会 2017 秋) 遊馬邦之、青木貴弘、貴田寿美子、坪野公夫、中島啓幾、大師堂経明、新沼浩太郎、岳藤一宏
- (3) 日本天文学会那須の空間・時間的な干渉計と V404 Cyg (日本天文学会 2016 春) 大師堂経明、遊馬邦之、坪野公夫、中島啓幾、青木貴弘、貴田寿美子、岳藤一宏、新沼浩太郎
- (4) 那須の空間・時間的な干渉計と V404 Cyg (日本天文学会 2016 春) 大師堂経明、遊馬邦之、坪野公夫、中島啓幾、青木貴弘、貴田寿美子、岳藤一宏、新沼浩太郎
- (5) 那須電波干渉計によるブラックホール連星 V404 Cyg からの 26 年ぶりのアウトバースト検出 (PDL01) (日本天文学会 2015 秋) 遊馬邦之、青木貴弘、貴田寿美子、坪野公夫、中島啓幾、大師堂経明、新沼浩太郎、岳藤一宏
- (6) 那須 30 m アンテナを用いた Fast Radio Bursts の探査計画(日本天文学会 2015 春) 青木貴弘、中尾亮太、小原正大、坪野公夫、中島啓幾、大師堂経明

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坪野 公夫 (TSUBONO, Kimio)
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：10125271

(2) 研究分担者

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

青木 貴弘 (AOKI Takahiro)
山口大学・時間学研究所・助教
研究者番号：30624845