

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740155

研究課題名(和文) ナイキストレート広域電波観測及び突発的電波現象のアラートシステム開発

研究課題名(英文) Wide-field Surveys with the Nyquist Rate and Development of Alert System for Radio Transient

研究代表者

貴田 寿美子(Kida, Sumiko)

早稲田大学・理工学術院・講師

研究者番号：20549175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では広域掃天観測を繰り返し行い、電波強度のモニターと電波アトラスの作成を行った。観測により、強度変動を示す電波源を複数個検出した。データ解析過程の構築を行い、突発信号の信頼性を明確化する方法や強度変動の評価法が確立された。観測により取得される時系列の干渉縞データは独自の形態をしており、解析方法の確立が課題であった。解析過程の構築により、解析結果の信頼度と即応性について向上を遂げた。アトラスは、強度変動を評価するためのテンプレートデータとして用いられる。アトラスには約680個の強い干渉縞が含まれており、先行研究において導入されたFFTプロセッサの性能を十分に示す結果である。

研究成果の概要(英文)：In this study, wide-field drift scanning surveys were conducted repeatedly. The radio flux density was monitored and the radio atlas was made. By observation, I detected the variable radio sources. In addition, data analysis process was established. Evaluation methods were made clear about the reliability of the transient signal and the flux variability. The establishment of the data analytical technique was a problem, because the time series interference fringe data is a unique format. I accomplished improvement about reliability and the quick response for the analysis result. The radio atlas is used as template data to evaluate flux variability. Approximately 680 strong interference fringes are included in a radio atlas and this result shows enough the performance of the FFT processor introduced in previous studies.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：電波干渉計 掃天観測 データ解析 FFT

1. 研究開始当初の背景

栃木県那須塩原市にある那須パルサー観測所には直径20mの固定球面鏡8機、直径30mの固定球面鏡1機がある。本研究では20m鏡8機を使用した。世界でも特徴的な固定球面鏡で、地球の自転を利用し赤経方向に電波源をスキャンするように観測を行っている。那須観測所の観測では空間・時間高速フーリエ変換をナイキストレートで実現し、ナイキストレートにより像をつくる。これにより、世界に類のない無制限に時間情報を得ることができ、観測中に電波強度が変化してもその情報を全て捕らえることが可能である。2010年1月にField-Programmable Gate Array (FPGA)によるRadix-4で2段の空間First Fourier Transform (FFT)プロセッサを導入し、ナイキストレート20MHzサンプルでの複素A/D変換が可能になった。帯域内を有効に積分できるようになり、これまでに高銀緯で検出されてきた未知の突発現象を高感度でモニターすることが可能となった。

2. 研究の目的

光やX線、ガンマ線などでは空の広い範囲を常時モニターする観測が世界各地で行われ、突発的な現象が数多く発見されてきた。電波の領域では、突発現象の検出を目的として広域電波観測を定期的に繰り返している観測機関は非常に少ない。那須観測所の望遠鏡は突発的な短時間変動現象を発見することに適した構造をしており、過去に高銀緯での突発現象の検出もされてきた。

本研究では観測とほぼ同時に、データ取得から解析までを自動で行うシステムを開発し、即時性の突発現象の発見とアラート発信をすることを目的とした。即時性を持って外部へ情報公開することにより追観測が適い、那須観測所では捉えることのできない他周波数や高分解能による情報を得ることが可能となる。

さらに、繰り返し広域観測を行うことで定期的に輝く電波源の強度変動をモニターする。定期的に輝く電波源の情報から、今後の解析に使用するデータベースを作成する。2000年代に入り1.4GHz帯での観測は世界的に減少傾向にあり、広域観測により2010年代の情報構築を行う。

3. 研究の方法

(1) 広域掃天観測

観測可能範囲である、赤緯32-42度を0.5度毎に掃天観測を行った。観測モードは20m鏡を4組の2素子干渉計とした。観測周波数は当初1420±10MHzであったが、2012年冬から1415±10MHzに変更した。変更理由は(3)に示す。各赤緯は約2週間連続で観測し、何も検出されていない領域からの突発現象をモニターした。昼間は太陽の影響を受けるため、全赤経データを取得するために時期をずらして、同じ赤緯を複数回観測した。時期

をずらした観測からは突発現象のみならず、長期的な強度変動もモニターした。

(2) データ解析システム開発

2素子干渉計モードで取得される観測データは時系列の干渉縞データである。時系列は赤経に対応しており、24時間で天球を一周する。干渉縞は正弦波とアンテナビームパターンを掛け合わせた形になり、その周期が天体の移動速度に依存した値となる。干渉縞の周期が重要な情報を持っている。本研究では、その時系列の干渉縞を周波数変換しデータ解析を行うソフトウェアを開発した。突発的な信号は、その領域の過去のデータとの比較によって解析を行う。過去のデータを基にテンプレートデータを作成し、解析に用いた。過去のデータの候補には、他機関で観測されたデータ、那須観測所で過去に観測したデータ、観測期間中の初日のデータを候補として挙げ、最適なものを検証した。は那須観測所の望遠鏡と分解能や感度が異なることが問題点であるが、1000mJy以上の強度の強い干渉縞については、高精度で比較ができることが示された。は観測時期の違いによる受信機利得の変化によって、検出感度に変化が現れることが問題点であるが、校正天体を適切に選ぶことで解決できる。校正天体の選択は、のどのパターンでも重要である。同じ望遠鏡で観測したデータであるため、比較の際の効率が良い。長期変動に対しては、非常に有用である。もとほぼ同様であるが、観測期間初日のデータの取得が終わるまでは比較ができない。本研究では突発現象については、を主として用い、詳細な解析時にとを用いた。長期変動については、とを併用して解析を行った。

これらと共に、共同研究者らによって開発された、検出された干渉縞の信頼度を判定するアルゴリズムも加え、解析過程を一元化した。閾値を設け、誰が解析をしても同一の結果が得られる解析過程を構築した。解析過程は1) Radio Frequency Interference (RFI)の除去 2)干渉縞のパワーデータを信号対雑音比へ変換 3)テンプレートデータとの比較解析、フリッジの形状解析 4)フリッジの信頼度解析 (Aoki et al. 2012) である。

(3) 人工電波の混信対応

2011年秋頃から、観測データに非常に強度の強い電波の混信が見られるようになった。特に、平日の昼間帯に多くみられ夜間でも断続的に発生していた。電波環境調査の結果、外部由来の人工電波源であり、その周波数は1429MHz及び1435MHzであった。原因は2011年10月頃から携帯電話会社が展開しているサービス事業によるものだと考えられた。

対応策の一つとして周波数保護指定の申請を行った。また現場では、受信機の周波数フィルターを2段に増設することや、中心周

波数の変更に取り組んだ。中心周波数を 1420MHz から 1415MHz に変更したことにより、改善がみられ 2012 年冬頃から安定したデータの取得が可能となった。

4. 研究成果

観測結果を統合することにより、解析で用いるテンプレートデータ (赤緯毎に 8-12 日積分した) の準備が整った。観測範囲内には、ごく微弱な電波源も含めると約 6000 個が位置している。その内、テンプレートデータには信号対雑音比が 9 以上の高感度で検出された電波源由来の干渉縞が約 680 個含まれていた (銀河面は除く)。NVSS (NRAO VLA Sky Survey) カタログにおいて 500mJy 以上の電波源が位置する領域では、90%からフリンジが検出された。この結果は、2010 年に 20m 境観測システムに導入された FFT プロセッサの性能を生かした観測結果から示した。先の検出率は、FFT プロセッサ導入前の 1000mJy 以上の検出率と同等である。広域観測の結果作成された電波アトラスの一部を図 1 に示す。先に記した通り、1.4GHz 帯で定常的に観測を行っている観測装置は世界的にも少なく、一つ一つの干渉縞が重要な観測例となった。

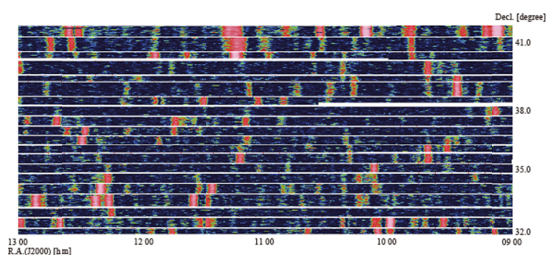


図 1 1.4GHz 帯電波アトラス

横軸：赤経 9h-13h、縦軸：赤緯 32.0 度-41.5 度
図に示した領域は全アトラス中の約 17%である。色は電波源の強度を示しており、緑<橙<赤<白である。1つの赤緯は1日毎のデータを縦に並べて形成されている。赤経の途中で白く見える部分は、同一赤緯を複数回観測したことによる観測日数の違いである。テンプレートデータではアトラスにおける1日毎のデータを積分し1つのデータとしている。

観測領域内に位置する電波源、即ちテンプレートデータに含まれていると予測される電波源約 6000 個についてタイプ (QSO、Galaxy、Radio source、Infrared Source 等)、redshift、SED の形状をデータベース化した。それらを解析ソフトウェアに取り込み、赤緯毎のデータ解析を行う際に予め強度変動を起こす可能性の高い電波源をピックアップすることが可能となった。那須観測所では $1 < z$ に位置する遠方の銀河や QSO が検出対象の多くを占めていることが明らかとなった。テンプレートデータでは、定常的には何も観測されない領域と電波源由来の干渉縞が検出される領域の切り分けを行った。突発電波源を対象に解析を行う場合には、何も観測され

ない領域を、可変性の電波源を対象に解析を行う場合には、定常出来に干渉縞が検出される領域を解析することにより、解析の効率化を達成した。

本研究期間内には閾値を超えるような強い突発的な信号検出には至らなかった。しかしながら、本研究により整った解析過程は継続使用ができる。いつどこで起こるか分からない現象に対し万全の準備を整えることで今後の成果が期待できる。

一方で、長期的な変動を複数個捉えることに成功した。検出例を図 2 に示す。フリンジ内に位置する電波源は弱いものまで含めると複数個あるが、変動強度が大きいため B2 0218+35 由来の可能性が高い。B2 0218+35 は 1.4GHz 帯において 70 年代から 90 年代にかけてゆるやかな増光が確認されている。しかし最も新しい観測でも 1990 年代半ばである。1.4GHz 帯における 2000 年代、2010 年代における観測例は挙がっていない。本研究では、90 年代半ばの観測から少なくとも 300mJy の増光が検出された。これらの結果は、1.4GHz 帯において世界的な観測空白期間の穴埋めをすることを果たした。

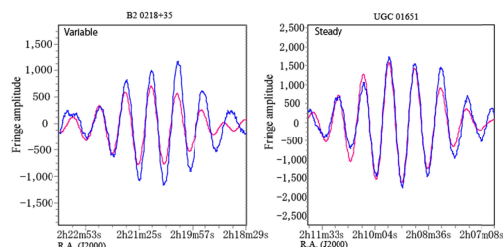


図 2 強度変動が検出された観測データ

赤：NVSS カタログに基づくシミュレーションデータ (Tanaka et al. 2012) 青：観測データ
左 (増光)：主として B2 0218+35 を含む干渉縞。赤と青の差は χ^2 乗検定により天体由来による変動現象であると結論づけられた。
右 (定常)：主として UGC 01651 を含む干渉縞。赤と青の差は χ^2 乗検定により 99.9% の有意水準で雑音由来である。

これまで、可変性を評価する場合には、ターゲットとなる干渉縞と基準となる定常的な干渉縞を複数個選択し、S/N を算出することにより判断をしていた。基準となる干渉縞の選択や同じ座標の過去のデータ検索など解析には多くの時間を費やしていた。これまでの方法では、解析終了までに 1 日を要していたが、本研究によりデータ取得から 1 時間程度でテンプレートデータとの比較や信頼確立等を示すことが可能となった。研究期間中、当初は予測していなかった外部からの混信が発生したが、3. 研究の方法 (3) に示した通りの対応策を講じたことでデータ取得の再開を果たした。

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 4 件)

Aoki, Takahiro; Tanaka, Tai; Niinuma, Kotaro; Takefuji, Kazuhiro; Kida, Sumiko;他 4 名

「Reliability of Radio Transients Detected in the Nasu Sky Survey」The Astrophysical Journal、査読有、Volume 781、issue 1、2014、id10、pp.12

DOI: 10.1088/0004-637X/781/1/10

T. Tanaka, T. Nakamizo, T. Aoki, S. Kida;他 4 名

「Rapid Fringe Detection Technique for Discovering Radio Transients in Nasu Drift-scan Data」

The Publications of the Astronomical Society of the Pacific、査読有、Volume 125、issue 927、2013、pp.557-564

Tanaka, T.; Nakamizo, T.; Aoki, T.; Kida, S.;他 8 名

「Method for Finding Variable Radio Sources in Drift-Scan Interferometric Data from the Nasu Observatory」

The Publications of the Astronomical Society of the Pacific、査読有、Volume 124、issue 916、2012、pp.616-623

Aoki, T.; Tanaka, T.; Niinuma, K.; Asuma, K.; Kida, S.;他 10 名

「Calculation of False-Detection Rate for Nasu Interferometric Sky Survey」

The Publications of the Astronomical Society of the Pacific、査読有、Volume 124、issue 914、2012、pp.371-379

〔学会発表〕(計 6 件)

貴田寿美子、「Spectrum Energy Density から探る銀河形成と進化」、日本天文学会 2013 年秋季年会、2013/9/10-2013/9/12、東北大学

貴田寿美子、「早稲田大学那須観測所における周波数保護指定の申請状況」、日本天文学会 2012 年秋季年会、2012/9/24-2012/9/27、大分大学

S.Kida、「Drift scanning surveys at 1.42 GHz by using the fast Fourier transform processor」、28th IAU General Assembly、

2012/8/20-2012/8/31、Beijing

貴田寿美子、「那須観測所 2 素子干渉計 6th 及び 7th survey 結果」、日本天文学会 2012 年春季年会、

2012/3/19-2012/3/22、龍谷大学

S.Kida、「Development of analysis software for two-element interferometer fringe data」、Astronomical Data Analysis Software and Systems XXI、

2011/11/6-2011/11/10、Paris

貴田寿美子、「那須観測所 2 素子干渉計

6th survey 結果」、日本天文学会 2011 年秋季年会、

2011/9/19-2011/9/22、鹿児島大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

6. 研究組織

(1)研究代表者

貴田 寿美子 (KIDA, Sumiko)

早稲田大学・理工学術院・講師

研究者番号: 20549175