

那須観測所における電波トランジェントの観測と解析

早稲田大学 修士2年 今井章人

1 概要

栃木県那須塩原市にある早稲田大学那須パルサー観測所は、4組の2素子干渉計を赤緯を固定した24時間の掃天観測を行っている。主な観測目的は「電波トランジェントの検出」及び「変動電波源の観測」である。観測周波数は $1420 \pm 10 \text{ MHz}$ で、2010年4月から、観測システムの一部をデジタル化し、6thサーベイを始めた。観測範囲は $32^\circ \leq \delta \leq 42^\circ$ (0.5° 毎)である。

2004年から現在まで、10個の電波トランジェント(突発的に電波で増光する新星)を検出してきた。2008年5月に検出した電波トランジェント WJN J2246+4153 は、1日だけ増光を確認することができ、Flux 密度は 2500 mJy 以上であった。

2 早稲田大学那須パルサー観測所

早稲田大学は栃木県那須塩原市の自由学園那須農場内にある 20 m ϕ 鏡 8 基を 4 組の 2 素子相関型干渉計として、24 時間モニター観測を行なっている [2]。図 1 の望遠鏡の番号色が同じもの(例: a0 と a4) がペアとなっている。電波望遠鏡の方向を固定し、赤緯固定の掃天観測(天体が動くことを使用し赤経を変化させる観測手法)を行なう。視野 (HPBW) は約 0.3° のため、同時に 1.2° の広範囲の赤緯を観測することができる。



図 1 早稲田大学那須パルサー観測所の鳥瞰図 (by Google Earth)

3 電波トランジェント (Radio Transients)

3.1 電波トランジェントとは

電波トランジェントとは、突発的に増光する電波新星である。数日から数ヶ月のゆるやかな変動を見せる flare や burst と異なり、増光時間は "Hour" - "Day" scale と非常に短い。増光時間が短いため、検出後の追観測が難しく、起源は解明されていない。早稲田大学那須パルサー観測所で検出された Flux 密度が 1 Jy 以上の電波トランジェントは WJN (Waseda

Jiyu-gakuen Nasu) Transients と呼ばれている。

10 個の WJN Transients の銀河座標系分布を図 2 に示す [1, 4, 5, 6, 7, 9, 10]。赤メッシュ領域が 20 m ϕ 鏡で観測可能な範囲(全天の約 7%)、青メッシュ領域が 30 m ϕ 鏡で観測可能な範囲(全天の約 25%)である。

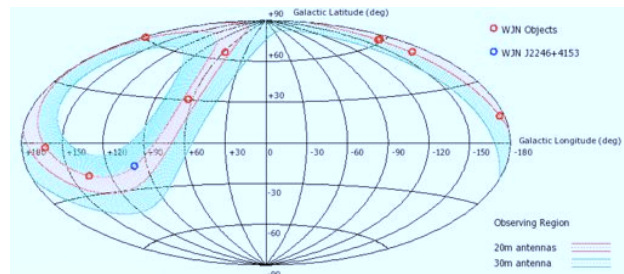


図 2 WJN Transients の分布

10 個の WJN Transients は低銀緯から高銀緯まで存在していることがわかる。電波のバースト現象は銀河中心の天体由来のものは観測されていたが、高銀緯のものも存在することから、起源の候補としては、AGN や Blazar など遠方の高エネルギー天体 [7] や、近傍の中性子星 [11] などが考えられている。

3.2 WJN Transients の検出率

2004 年から観測を始め、2008 年 5 月(最後の電波トランジェントが検出された時期)までに、観測を行なった期間は、約 36 ヶ月である。観測範囲は、 $32^\circ \leq \delta \leq 42^\circ$ であるが、一度に $0.3^\circ \times 4$ 組の赤緯のみ観測が可能である。電波トランジェントの増光時間 (t_{dur}) を 1 日と仮定すると、赤緯は 24h 観測する掃天観測であることから、1 日に観測する範囲は約 920 deg^2 ($\delta = 41.875^\circ$) となる。

よって、那須観測所における電波トランジェント検出率は、

$$\mathcal{R}_{1.4\text{GHz}, >1\text{Jy}} = 3.6_{-1.9}^{+3.1} \times 10^{-3} \left(\frac{t_{dur}}{1\text{day}} \right)^{-1} \text{deg}^{-2}\text{yr}^{-1} \quad (1)$$

となる。検出率の誤差は、検出数を Poisson 分布と仮定し、 2σ confidence limit とした [3]。仮に全天を同時に観測できれば、 1 Jy 以上の電波トランジェントが 1 年に約 150 個検出されることになる。

4 解析

那須 20 m ϕ 鏡 2 素子相関型干渉計は、アンテナの観測位置を固定した 24 時間の掃天観測を採用していることから、天体の信号は赤緯によって、干渉縞 (Fringe) の周期が決まっている。例えば赤緯 41.875° では約 46 秒周期である。Fringe 周期を判断するには、自己相関関数を用いている。自己相関

関数 $r(\tau)$ は、

$$r(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} f(j) \cdot f(j + \tau) \quad (2)$$

で定義される。これにより、定常天体及び電波トランジェントの信号かどうかを判断する。

5 WJN J2246+4153

2008年5月26日(UT)に検出された電波トランジェント WJN J2246+4153 は、図3に示すように、26日のみ天体信号が検出され、他10日間の積分データには信号が検出できていない[1]。

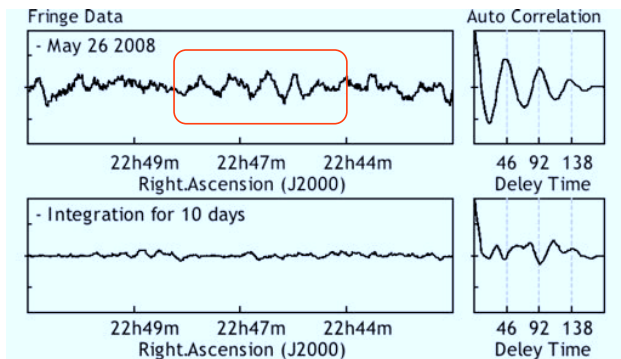


図3 WJN 2246+4153 の 1.42GHz の Fringe と自己相関関数

Fringe data を視覚化した Color map [13] を図4に示す。赤や緑が天体由来の信号を意味する。定常天体 3C 299 と比較すると、WJN 天体は 26 日のみ色がついていることがわかる。WJN J2246+4153 は、 $\alpha = 22^h 46^m 30^s \pm 20^s$, $\delta = 41^\circ 53' \pm 18'$ で

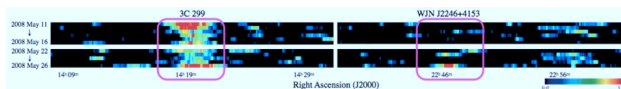


図4 WJN 2246+4153 と 3C 299 の Color map

ある。WJN J2246+4153 の領域の Counterparts を図5に示す。電波トランジェントが検出された領域は、赤で囲まれた部分である。1.42GHz において 100mJy を超える天体はない。エラーボックス内の最大 Flux 密度の天体は、14.4mJy の NVSS J224634+415803 で、最低でも 173 倍の増光であることがわかった。今まで検出された WJN Transients の中で最大の増光率である。

また、Counterpart として、ROSAT で検出された弱い X 線源 1RXS J224642.5+420218 があることから、これが WJN J2246+4153 の起源である可能性もある。ジェットが噴出し、相対論的ビーミング効果の影響を受ける事によって短時間で増光するモデルを検討することができる[12]。しかし、天体の距離がわからないため、現時点で Lorentz factor などの数値を求めることはできない。

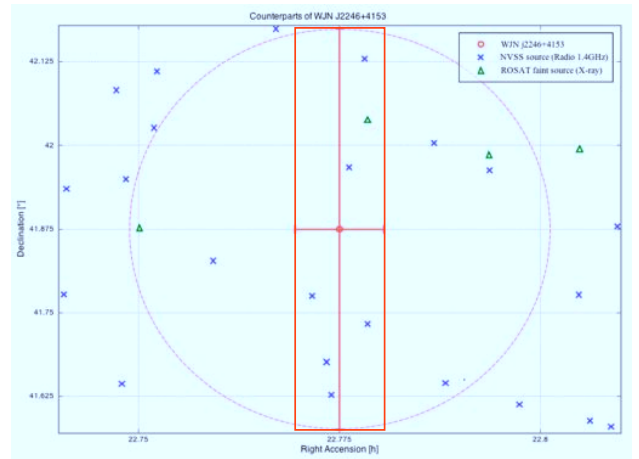


図5 WJN 2246+4153 と Counterparts

6 まとめ

電波トランジェントの観測は、早稲田を発端として様々な観測機関で行なわれ始めている。早稲田大学那須パルサー観測所では、システムの一部をデジタル化し、感度が向上したため、現在行なっている観測で 1Jy 以下の電波トランジェントが検出されることが期待されている。今までは、検出が目的であったが、観測方法を検討し、電波トランジェントの解明に向けて観測を行なっていく。今冬には新たなサーベイが開始される予定である。

参考文献

- [1] 今井章人, 2010, 2010 年天文学会春季年会
- [2] Daishido, T., et al. 2000, Proc. SPIE, 4015, 73
- [3] Gehrels, N. 1986, ApJ, 303, 336
- [4] Kida, S., et al. 2008, New Astronomy, 13, 519
- [5] Kuniyoshi, M., et al. 2007, PASP, 119, 122
- [6] Matsumura, N., et al. 2007, AJ, 133, 1441
- [7] Matsumura, N., et al. 2009, AJ, 138, 787
- [8] Nakajima, J., et al. 1993, PASJ, 45, 477
- [9] Niinuma, K., et al. 2007, ApJL, 657, L37
- [10] Niinuma, K., et al. 2009, ApJ, 704, 652
- [11] Ofek, E. O., Breslauer, B., Gal-Yam, A., Frail, D., Kasliwal, M. M., Kulkarni, S. R., & Waxman, E. 2010, ApJ, 711, 517
- [12] Rees, M. J. 1967, MNRAS, 135, 345
- [13] Takefuji, K., et al. 2007, PASP, 119, 1145
- [14] White, R. L., & Becker, R. H. 1992, ApJS, 79, 331