

日露パルサー VLBI による PSR0329+54 の観測結果

関戸 衛^{*}、今江理人^{**}、花土ゆう子^{**}、浜 真一^{**}、小山泰弘^{*}、
 近藤哲朗^{*}、中島潤一^{*}、川合栄治^{*}、栗原則幸^{*}、
 Yu. P. Ilyasov[†], V. V. Oreshko[†], A. E. Rodin[†], B. A. Poperechenko[‡]

^{*} 通信総研鹿島、314-0012 茨城県鹿島市平井 893-1

^{**} 通信総研小金井、184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

[†] Lebedev Physical Institute Astro Space Center, PRAO, Russia

[‡] Special Research Bureau of the Moscow Power Engineering Institute, Russia

概要

パルサー PSR0329+54 の国際天球座標系 (ICRF) における座標を 1995 年 3 月、1996 年 5 月、1998 年 5 月の 3 つのエポックで測定した。これらのデータから PSR0329+54 の固有運動を検出できた。その固有運動を使って 1981.21 年に外挿した点は Bartel et al. (1985) の測定結果とよい一致を示した。そこで我々の測定結果と Bartel らの結果を合わせて、改めて PSR0329+54 の位置と固有運動を計算した結果、固有運動の値として $\mu_\alpha = 17.4 \pm 0.3$ mas/yr, $\mu_\delta = -11.0 \pm 0.3$ mas/yr が得られ、この値は Harrison et al. (1993) らが MERLIN の干渉計で測定した結果と誤差の範囲で一致した。また、1995.0 年エポックの ICRF 上の PSR0329+54 の座標値として $\alpha = 03^h 32^m 59^s.3761 \pm 0.0002$, $\delta = 54^\circ 34' 43''.512 \pm 0.001$. が得られた。これは PSR0329+54 の座標として最も高精度の値である。

1 はじめに

パルサーは天文学的に多くの観点から興味深い天体である (例えば、高エネルギー物理、超新星残骸と関係、高安定な時系、相対論の検証、星間物質のプロブとして)。例えばミリ秒パルサーは非常に安定な宇宙の時計として興味深く、パルスの地球への到達時刻の正確な観測から重力波の存在が間接的に確認され (1993 年ノーベル物理学賞)、また力学座標系における位置が高精度に求められている。力学座標系におけるパルサーの座標と、VLBI によって定義される遠方の電波銀河やクェーサーを基準とした座標系 (Ma et al., 1998) におけるパルサーの座標を比較することによって、力学座標系と VLBI 座標系の結合が可能になる。また、パルサーは銀河系の中でもっとも高速に運動している天体のひとつとして知られており、パルサーの固有運動の測定は、パルサーとその起源である超新星残骸 (SNR) の関係や、どのようにしてパルサーが誕生時に大きな運動エネルギーを得たのか、といった研究の材料を提供する。パルサーの固有運動の値がパルサーの固有年齢の推定値に影響することから (Nice & Taylor, 1995)、独立な固有運動の測定はパルサーの進化過程を議論するためにも重要である。VLBI は位置天文のための最も高精度な観測手段であり、固有運動の測定に最適である。パルサーが我々観測者に比較的近い場合には、年周視差を使って直接パルサーまでの距離を得ることもできる (Gwinn et al., 1986)。

2 観測

通信総合研究所鹿島宇宙通信センター (CRL) とロシアのレベデフ物理学研究所プーシノ電波観測所 (LPI) は 1995 年からは鹿島の 34m アンテナとロシアカリヤージン局の 64m アンテナを使用し、共同でパルサーの位置天文観測を目的とした VLBI 観測を開始した。基線は約 7000km の北半球の東西基線である。PSR0329+54 は北天で最も明るい電波パル

サーであり、我々の測定性能を確認するのに適していることから実験の最初のターゲットとして選ばれた。1995年、1996年は観測周波数としてLバンド(1400-1450MHz)を使用し、1998年にはSバンド(2120-2320MHz)帯で観測を行った。データ取得には従来型のK-4バックエンドシステム(Kiuchi et al, 1997)を両局に設置し、帯域幅2MHzの15チャンネルのデータを取得した。また、装置の擬似群遅延を補正するために位相校正信号を注入して観測をおこなった。取得したデータはCRLのK3相間器を使用して相関処理し、パルサーゲートは適用しなかった。相関処理後バンド幅合成し群遅延と遅延変化率を求めた後、測地・位置天文解析用のMark-IIIデータベースに保存して、米国NASA/GSFCで開発されたモデル計算ソフトCALC Ver.8、及び最小自乗法解析ソフトウェアSOLVE Ver.5.25を使用してパルサーの位置を解析した。この観測の主な誤差要因は電離層遅延の不確定性である。我々の単周波観測では測地観測で行われるような2周波観測での電離層補正ができないからである。電離層遅延の影響を除くためにPSR0329+54とその近傍の基準電波源を交互に観測した。基準電波源は国際天球座標系(ICRF)のカタログ(Ma et al., 1998)から選んだ。それらの基準電波源の座標は非常に高い精度で測定されているので、解析の際にクロックパラメータや大気遅延などのパラメータを推定するのに有効である。パルサーと交互に観測した基準電波源との角距離は8-22度の範囲であった。天球上の一部を観測した場合、解析の際に電離層遅延は容易に大気遅延とカップリングし、SOLVEでは電離層遅延を個別に推定する機能が無いため、基準電波源を使った解析では電離層遅延の大部分は大気遅延に含まれて推定される。このようにして近傍の基準電波源を使った解析では、視線方向の伝搬媒質による遅延の主な部分を補正できると考えられる。

3 結果

行った3度の実験からPSR0329+54のICRF上の座標がそれぞれのエポックで得られた。この3つの測定点からこのパルサーの固有運動が明らかに見て取れる(図1)。図の中でそれぞれのエポックに複数ある点は、解析においてそれぞれ異なる推定条件で得られた解である。変化させた推定条件はKalyazinの局位置及び使用した観測量である。Kalyazinの局位置は未だ測地VLBIによってITRF上の位置が測定されておらず、不確定性が残っているからである。また電離層遅延は群遅延と位相遅延への影響のしかたが異なるため、電離層の補正が不十分な場合には群遅延量と遅延変化率に矛盾が生じることが考えられる。観測量を変えて解析を行った理由は、このような場合、群遅延量のみを使って推定したほうがバイアスの少ない解が得られる可能性があるからである。解の誤差としてはそれぞれの解析解の正規誤差でなく、解の分布を我々の測定の真の誤差と解釈した。なぜなら、正規誤差は必ずしも誤った推定パラメータによる系統的な誤差を含まないが、上記のような解の分布は、Kalyazin局位置の不確定性の影響や電離層遅延の影響による誤差を含めたより大きな誤差を与えるため、より安全な答えとなることが期待されるからである。

4 議論

我々の結果から固有運動を計算し、1981.21年時点へ外挿するとBartelらがVLBIで求めたそのエポックにおける位置とよい一致を示した(図1)。これはBartelらも我々も系外電波源を基準としたVLBIの座標系上のパルサーの位置を求めていることによると思われる。Bartelらは0355+508の位置を基準にパルサーの座標を求めている。彼の使った0355+508の座標は現在のICRFの値と赤経で2mas、赤緯で0.5mas異なっているため、我々は彼らの得たパルサーの座標をその分シフトさせて、以下の比較、及び解析に使用し

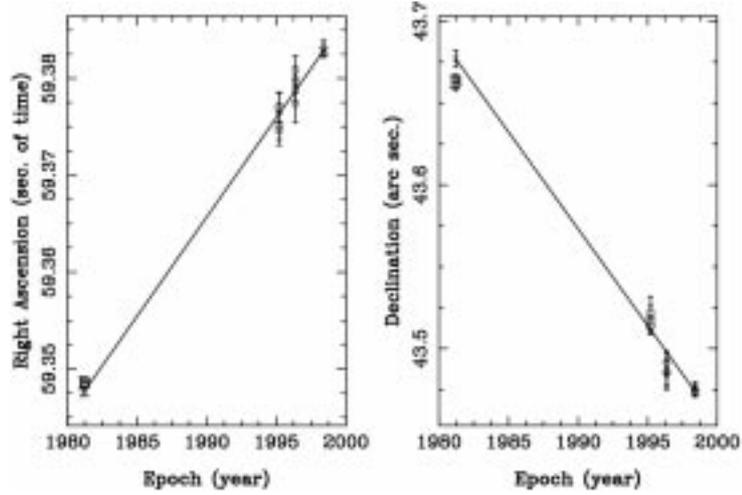


図 1. 我々の実験による PSR0329+54 の位置 (○, ◇, and △) と Bartel らの測定点 'B'. 実線は我々の結果から最小自乗法で計算した固有運動である。1981.21 年に外挿した点は Bartel らの測定点とよく一致している。

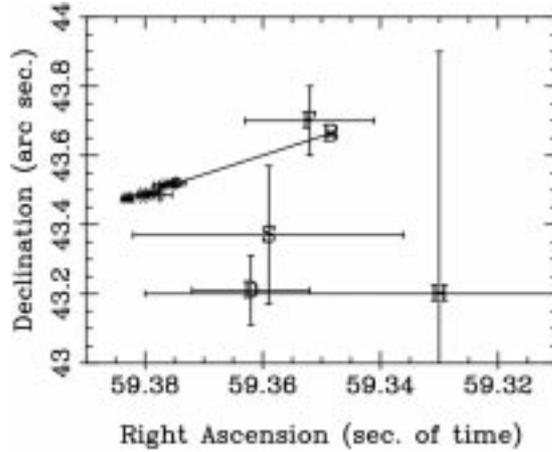


図 2. PSR0329+54 の座標値の比較。我々の結果 (○, ◇, and △) を除いて他の座標値は Bartel の論文から引用した 1981.21 年エポックの点である。'F': Fomalont et al. by VLA, 'S': Backer & Sramek by NRAO 35km interferometer, 'H': Helfsmd by timing, 'D': Downs & Reichley by timing.

た。我々の結果と Bartel らの結果をあわせて 1995 年エポックにおける位置と固有運動を最小自乗法により求めると

$$\begin{cases} \alpha = 03^h 32^m 59^s .3761 \pm 0.0002 \\ \delta = 54^\circ 34' 43'' .5119 \pm 0.001 \end{cases} \begin{cases} \mu_\alpha = 17.4 \pm 0.3 \text{ mas/yr}, \\ \mu_\delta = -11.0 \pm 0.3 \text{ mas/yr} \end{cases}$$

が得られる。この固有運動の値は Harrison et al. (1993) の結果と 3σ の範囲内で一致しており、座標値とともにこれまでに得られた最も高精度の値である。VLBI、他の干渉計、およびパルサータイミングによって得られている PSR0329+54 の位置の比較を図 2 に示している。VLBI、および Fomalont の VLA を使った結果は調和的である。一方、パルサータイミングによって得られた値とは必ずしもそうではない。LPI で開発されたパルサータイミング解析ソフト TIMAPR (Doroshenko & Kopeikin, 1990) と JPL で観測された PSR0329+54 のデータ (Downs & Reichley, 1983) を使ってタイミング解析を行い、パ

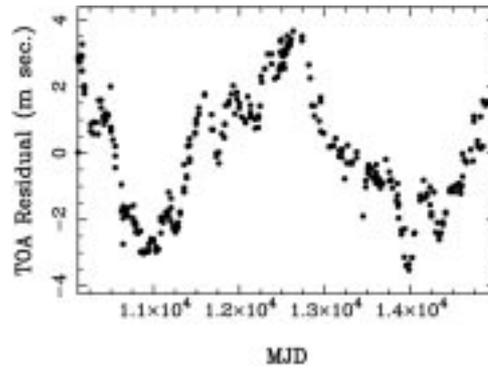


図 3. PSR0329+54 のパルサータイミング解析の残差。パルサーの位置と固有運動を推定した後も大きな残差が残る。

ルサーの位置・固有運動などを推定してみると、図3に示すようにパラメータフィットした後も非常に大きな系統的残差が残っていることがわかった。このようなモデル化されていないタイミングノイズはこのパルサーに惑星が存在するのではないかと疑われた (Shabanova, 1995) 原因でもある。我々も1つ又は2つの惑星を仮定するなどフィットするパラメータを追加してみたが、残差に大きな違いは見られなかった。現在、このような大きな残差は PSR0329+54 固有のタイミングノイズと考えられている。このようにタイミングノイズの大きなパルサーについてはタイミング解析からパルサーの位置や固有運動を推定するには限界があり、図2に見られる干渉計による観測結果との差異はパルサー固有のタイミングノイズによるものと考えられる。

5 結論

我々は ICRF 上における PSR0329+54 の位置を3つのエポックにおいて VLBI で測定した。その結果はパルサーの固有運動を明瞭に示すものであり、過去に Bartel らが VLBI で測定したエポックに外挿すると彼らの測定結果と誤差の範囲で一致した。我々の結果と Bartel らの結果をあわせて改めて固有運動を位置を計算した結果、これまでで最も高精度の ICRF 上の PSR0329+54 の位置と固有運動を得ることができた。PSR0329+54 のタイミング解析を行い、タイミングノイズの大きなパルサーについてはタイミング解析から位置を推定することに限界があることを確認した。

References

- Bartel, N., Ratner, M.I., Shapiro, I.I., Cappallo, R.J., Rogers, A.E.E., & Whitney, A.R., 1985, *AJ*, 90, 318.
- Doroshenko, O.V., Kopeikin, S.M., 1990, *Sov. Astron.-AJ.*, 67, 986.
- Downs, G.S., & Reichley, P.E., 1983, *ApJS*, 53, 169.
- Gwinn, C.R., Taylor, J.H., Weisberg, J.M., & Rawley, L.A., 1986, *AJ*, 91, 338.
- Harrison, P.A., Lyne, A.G., & Anderson, B., 1993, *MNRAS*, 261, 113.
- Kiuchi, H., Amagai, J., Hama, S., & Imae, M., 1997, *PASJ*, 49, 699.
- Ma, C., Arias, E.F., Eubanks, T.M., Fey, A.L., Gontier, A.-M., Jacobs, C.S., Sovers, O.J., Archinal, B.A., & Charlot, P., 1998, *AJ*, 116, 516.
- Nice, D.J., & Taylor, J.H., 1995, *ApJ*, 441, 429.
- Rodin, A.E., & Sekido, M., 1998, *CRL Journal*, submitted.
- Shabanova, T.V., 1995, *ApJ*, 453, 779.