

Far Distance to G7.47+0.06 from Proper Motion Measurement of H₂O Masers

日本学術振興会特別研究員 / 国立天文台水沢 VLBI 観測所 山内 彩

2015年12月24日(木)-25日(金)

VLBI 懇談会シンポジウム 2015 於：東洋大学

概要

超コンパクト HII 領域 G7.47+0.06 に付随する 22 GHz 水メーザーを VERA 観測したデータを用いて、距離測定を行った結果を報告する。

G7.47+0.06 は、視線速度による運動学的距離が 10 kpc を越える遠方天体で、今回使用した観測データで年周視差を測定し距離を求めるのは難しい。一方、天体の絶対固有運動を検出した。固有運動は銀河面に平行で、銀河中心方向に $\mu = -5.03 \pm 0.07 \text{ mas yr}^{-1}$ で近づく。

太陽系と銀河系中心を結ぶ直線付近で、銀河系中心よりも遠い領域の天体は、視線速度よりも固有運動を用いたほうが精度よく距離を求めることができる。測定した固有運動を用い、銀河回転曲線と太陽の特異運動を考慮して、天体までの距離を求めた結果、 $D = 20 \pm 2 \text{ kpc}$ となった。

最後に、先行研究では距離 6.3 kpc を用いて推定されていた HII 領域の物理パラメータを、距離 20 kpc を用いて換算した。水メーザー成分は、スペクトル型 O5.5 に対応する大質量星形成領域に付随している。

1 背景

G7.47+0.06 は IRAS 17591-2228 に付随する超コンパクト HII 領域である。CS(2-1) 輝線の観測によるシステム速度は $v_{\text{sys}} = -13.9 \text{ km s}^{-1}$ で [1]、Arcetri atlas ではピーク速度 -16.6 km s^{-1} の水メーザーが報告されている [2]。

年周視差は未測定だが、水素再結合線や分子輝線の観測による視線速度と銀河回転曲線から、いくつかの運動学的距離が求められている。太陽円の内側の天体の運動学的距離は、near と far 二つの解を取り得るが、G7.47+0.06 は分子吸収線の観測により、複数の論文で far の解が支持されている ($27 \pm 5 \text{ kpc}$ [3]; $25.1^{+10.8}_{-4.2} \text{ kpc}$ [4] 他)。これらの距離から、G7.47+0.06 は太陽系から見て、銀河系中心 GC の向こう側に位置する。

視線速度だけでなく固有運動を使っても、運動学的に距離を得ることは可能である。Sofue (2011) は、視線速度および固有運動から距離を求める方法の精度を議論した。銀緯 $l = 0^\circ$ 付近の、GC より遠い領域では、視線速度よりも固有運動を用いて距離を決定したほうが有効である。従って、固有運動法を G7.47+0.06 に適用する。

2 観測・相関処理・解析

G7.47+0.06 水メーザーは VERA で 11 回観測された (2009/062, 136, 239, 2010/009, 068, 151,

297, 356, 2011/128, 255, 355)。2010/151 のみ水沢以外の 3 局、他は 4 局が使用されている。2 ビーム観測で、ターゲットと参照電波源 J1755-2232 との離角は 1.57° である。レコーダは DIR2000、デジタルフィルタは VERA7 (16MHz, 1+15IF) を使用し、A ビーム 1IF で G7.47+0.06、B ビーム 15IF で J1755-2232 を観測した。

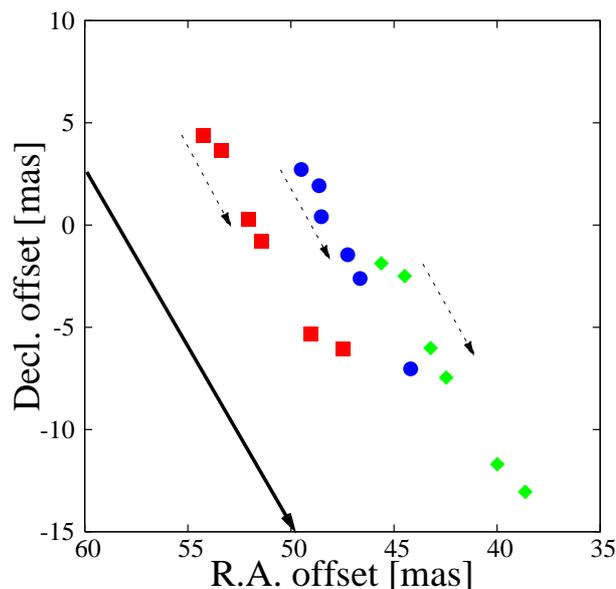


図 1: 成分 1-3 (●、◆、■) の全エポックの分布。順に約 -17.0 、 -16.0 、 -15.8 km s^{-1} 。破線矢印は各成分の固有運動。太矢印は銀河中心の方向。

関連処理は三鷹 FX 相関器で行われ、水メーザーの速度分解能は、2009/136, 239, 2010/009 のみ 0.21 km s^{-1} 、他のエポックは 0.42 km s^{-1} である。解析は VEDA を用いた。

3 結果

G7.47+0.06 水メーザーは、水沢局 2011/045 の単一鏡観測では、ピーク速度 -15.90 km s^{-1} の強い成分と -13.16 km s^{-1} の弱い成分が検出された。VLBI 観測時のスカラー平均相互相関スペクトルでは、 v_{sys} から $1\text{--}3 \text{ km s}^{-1}$ 青方偏移した成分はほぼ全エポックで検出されたが、 -13.16 km s^{-1} 付近の弱い成分は非検出である。

図 1 は、メーザー成分 1–3 の検出された全エポックの位置を示す。複数 ch 連続で検出された場合は、S/N で加重平均して位置を出した。

3.1 年周視差

3 成分に対し年周視差フィッティングを行った。R.A. と Decl. 両方の位置を用い、3 成分共通の年周視差、3 成分個々の固有運動でフィッティングし、ポストフィット残差は R.A. 方向 0.284 mas 、Decl. 方向 0.279 mas である。得られた年周視差は $0.170 \pm 0.135 \text{ mas}$ 、これは距離 $5.88 \pm 4.66 \text{ kpc}$ に相当するが、79.2% とエラーが大きい。このデータで年周視差から距離を求めるのは困難である。

3.2 内部固有運動

成分 3 に対する成分 1 の固有運動は、R.A. 方向 $-0.04 \pm 0.01 \text{ mas yr}^{-1}$ 、Decl. 方向 $-0.03 \pm 0.04 \text{ mas yr}^{-1}$ 。同様に、成分 3 に対する成分 2 の固有運動は、R.A. 方向 $-0.08 \pm 0.05 \text{ mas yr}^{-1}$ 、Decl. 方向 $-0.24 \pm 0.10 \text{ mas yr}^{-1}$ 。有意な内部固有運動は検出されていない。

3.3 絶対固有運動

年周視差の影響も内部固有運動の影響もないと判断し、直線フィッティングで絶対固有運動を求めた (図 2)。銀経 l 方向の絶対固有運動は、成分 1–3 それぞれ -5.04 ± 0.13 、 -5.18 ± 0.07 、 $-4.93 \pm 0.12 \text{ mas yr}^{-1}$ であり、平均 $-5.03 \pm 0.07 \text{ mas yr}^{-1}$ で GC に近づいている。一方、銀緯 b 方向の絶対固有運動は、それぞれ -0.15 ± 0.12 、 $+0.02 \pm 0.15$ 、 $+0.07 \pm 0.18 \text{ mas yr}^{-1}$ 。平均 $-0.01 \pm 0.09 \text{ mas yr}^{-1}$ であり、有意な運動は検出されていない。従って、メーザーは銀河面にほぼ平行に動いている。

4 考察

4.1 距離測定

全ての星が同じ面上にあり、GC の周囲を円運動すると仮定する。銀経 l のターゲット星の固有運動 μ と局所静止基準 LSR からの距離 D の関係は、次式で表される。

$$\mu = \frac{1}{D} \left(\frac{\Theta(R_0 \cos l - D)}{\sqrt{D^2 + R_0^2 - 2DR_0 \cos l}} - \Theta_0 \cos l \right)$$

ここで R_0 は LSR–GC の距離、 Θ_0 と Θ は LSR とターゲットの回転速度である。

Honma et al. (2012) より $R_0 = 8.05 \pm 0.45 \text{ kpc}$ 、 $\Theta_0 = 238 \pm 14 \text{ km s}^{-1}$ 、回転曲線を $\Theta(R) = \Theta_0 (R/R_0)^\alpha$ と仮定し、回転曲線指数の最大値を $\alpha = 0.05$ と見積もる [6]。図 3 に、距離 D の関数として固有運動 μ をグラフに描く。

(1) $\alpha = 0$ のとき回転はフラットで、 $\Theta_0 = \Theta = 238 \pm 14 \text{ km s}^{-1}$ である。 μ は図 3 の破線と 2 箇所て交点を持つが、 $D \approx 7.6$ の交点は視線速度が 200 km s^{-1} を超えるので除外。従って、 $D = 19.8 \pm 1.5 \text{ kpc}$ となる。

(2) $\alpha = 0.05$ のとき、 $D = 20.1 \pm 1.6 \text{ kpc}$ 。

(3) (2) に太陽特異運動 ($U_\odot, V_\odot, W_\odot$) = $(11.1, 12.2, 7.3) \text{ km s}^{-1}$ [7] を加えた場合 (図 3 の実線)、 $D = 19.3 \pm 1.6 \text{ kpc}$ 。

3 つの場合を考え合わせて、 $D = 20 \pm 2 \text{ kpc}$ (精度 10%) となる。G7.47+0.06 は、たて・ケンタウルス腕に位置する。

4.2 物理量

Garay et al. (1993) は VLA で G7.47+0.06 の連続波源 A, B, C1, C2, C3 を検出し、距離 $D = 6.3 \text{ kpc}$ を用いて各成分の物理量 (直径 $d = 0.08\text{--}0.3 \text{ pc}$ 、電子密度 $N_e = 1.5 \times 10^3\text{--}1.8 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 等) を見積もった [8]。それらの成分のスペクトル型は O8–O9.5 である。

距離 $D = 20 \text{ kpc}$ を適用すると、物理量は $d = 0.25\text{--}0.89 \text{ pc}$ 、 $N_e = 8.4 \times 10^2\text{--}1.0 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ に換算される。この電子密度は超コンパクト HII 領域の密度に対応している。スペクトル型は O5.5–O6.5 である。水メーザーは最も明るい C1 (O5.5) に付随している。

This work was supported by a Grant-in-Aid for JSPS Fellows (15J40195). Data analysis was in part carried out on common use data analysis computer system at the Astronomy Data Center, ADC, of the National Astronomical Observatory of Japan.

参考文献

- [1] Bronfman, L. et al. 1996, A&AS, 115, 81
- [2] Comoretto, G., et al. 1990, A&AS, 84, 179
- [3] Downes, D. et al. 1980, A&AS, 40, 379
- [4] Wink, J. E. et al. 1982, A&A, 108, 227
- [5] Sofue, Y. 2011, PASJ, 63, 813
- [6] Honma, M., et al. 2012, PASJ, 64, 136
- [7] Schönrich, R. et al. 2010, MNRAS, 403, 1829
- [8] Garay, G. et al. 1993, ApJ, 418, 368

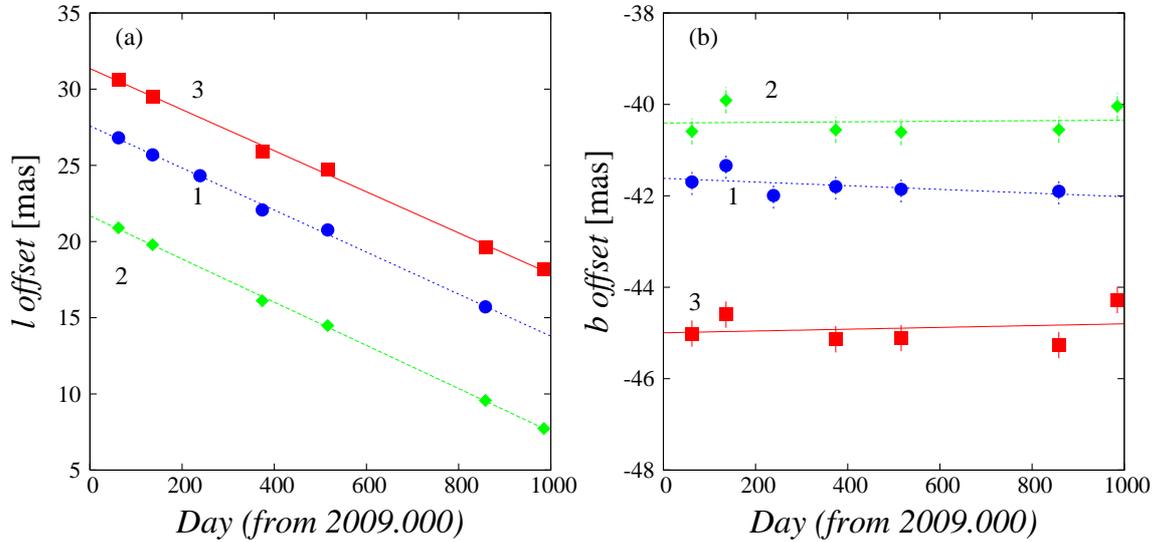


図 2: 成分 1-3 の (a) 銀経、(b) 銀緯方向の絶対固有運動。●、◆、■は図 1 と同じ。

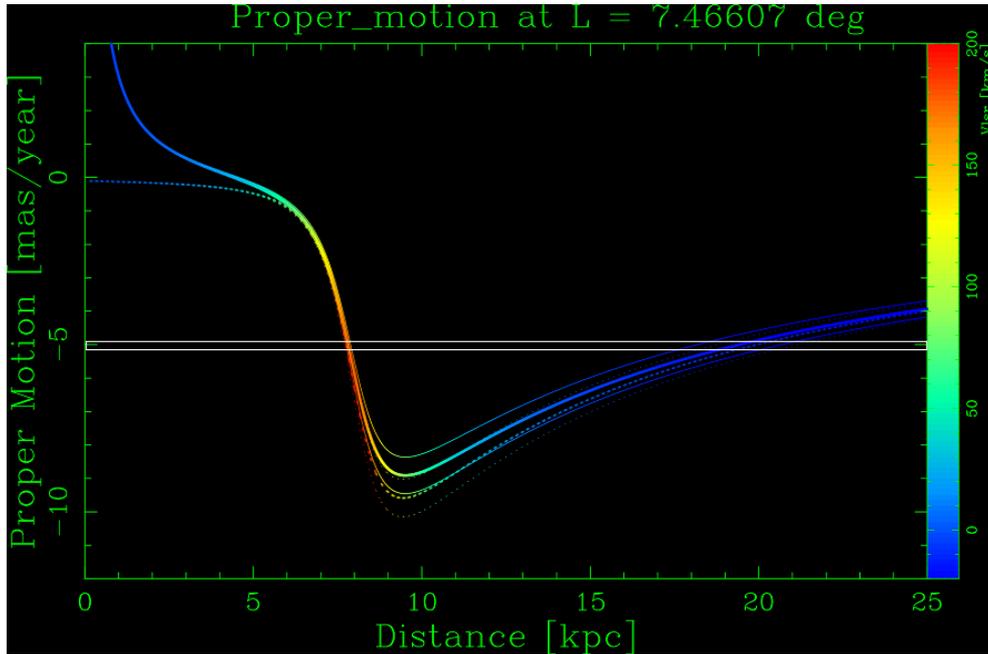


図 3: 距離 D と固有運動 μ の関係。曲線の色は視線速度を示す。実線・破線とも上から順に $\Theta_0 = 224, 238, 252$ km s $^{-1}$ に対応している。 $\Theta(R) = \Theta_0 (R/R_0)^\alpha$ で破線は $\alpha = 0$ の場合、実線は $\alpha = 0.05$ 且つ太陽特異運動を考慮した場合。白四角は $\mu = 5.03 \pm 0.07$ mas yr $^{-1}$ の範囲。