

VERA による銀河系外縁部 HII 領域 IRAS21306+5540 の年周視差計測

手塚 大介 (鹿児島大学大学院 理工学研究科)

Abstract

本発表では、VERA の ORC (Outer Rotation Curve) project のうちの 1 天体である IRAS 21306+5540 の年周視差計測結果について報告する。IRAS 21306+5540 は銀河系外縁部に位置する大質量 HII 領域であり、その内部から水メーザーの放射が検出されている。これを VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) を用いてモニター観測し、AIPS によるデータリダクションによって年周視差が $\pi = 0.127 \pm 0.044$ [mas] という結果を得た。またこの天体までの距離は $D = 7.89^{+4.17}_{-2.03}$ [kpc]、固有運動は $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta) = (-1.39 \pm 0.03, -2.61 \pm 0.09)$ [mas yr⁻¹] と求めた。さらにこの天体の銀河中心からの距離は $R_{GC} = 11.98 \pm 0.46$ [kpc] と導出され、これらの結果は VERA によって観測された天体の中でも特に遠方な距離であることがわかった。さらに天体の銀河系内 3 次元速度を導出したところ、銀河回転速度は $V_\theta = 217.4 \pm 39.7$ [km s⁻¹] であることがわかった。得られた距離から、天体の内部に位置するであろう YSO の全輻射光度を求めたところ、 $L_{\text{bol}} = (113.8 \pm 55.7) \times 10^3 L_\odot$ という値が得られ、これは YSO のスペクトル型 O6.5-O7 に相当する。

1 Introduction

IRAS 21306+5540 (Sh 2-128) は、 $(\alpha, \delta) = (21^h 32^m 12.44^s, +55^\circ 53' 49'')$ (J2000.0)、 $(l, b) = (+97.53^\circ, 3.18^\circ)$ に位置する大質量星形成領域 (high-mass star-forming region; HMSFR) である。また S128 北部の S128N 領域から水メーザーを初めて観測したのは Ho & Haschick & Israel (1981) で、VLA を用いて 6cm, 20cm 線を用いて行った。また彼らは、その観測で IRAS 21306+5540 (S128(H₂O)) には B0.5 型星よりも若い ZAMS (Zero Age Main-sequence Star) 星が存在すると結論づけた。IRAS 21306+5540 はこの研究から始まり、過去 30 年ほどに渡って研究が進められているが、正確な距離・年周視差測定に基づく天体構造の議論は未だなされていない。

VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) は、国立天文台と鹿児島大学が運用する VLBI (Very Long Baseline Interferometry) システムである。電波帯による位置天文観測に特化した電波干渉計であり、相対 VLBI によって天体の位置を数ミリ秒角のスケールで測定し、銀河系の 3 次元立体地図作りを目指している。日本国内 4 局 (岩手県水沢局、東京都小笠原局、鹿児島県入来局、沖縄県石垣島局) に設置された口径 20m のパラボラアンテナを導入し、最大

基線長は約 2300km を誇る。また受信機を 2 つ搭載した 2 ビーム位相補償観測を採用し、これにより対象天体と参照電波源に共通な大気ゆらぎ成分を取り除くことができ、高精度な年周視差測定が行える仕様になっている。

現在、VERA では、サイエンスプロジェクトの 1 つとして、Outer Rotation Curve (ORC) プロジェクトを進めている。このプロジェクトは、銀河系外縁部に位置する水メーザー天体の年周視差を測定し、導出した回転速度から銀河系外縁部の詳細な回転曲線を求め、銀河系の質量分布を議論することを目標としている。本 ORC プロジェクトの先行研究としては Sakai et al. (2012), Nakanishi et al. (2014), Sakai et al. (2015) が既に同様の研究内容として出版されている。本研究では ORC 候補天体の 1 つである、星形成領域 IRAS 21306+5540 の年周視差計測について報告する。

2 Observations & data reduction

IRAS 21306+5540 は、2012/1/18 から 2014/11/7 までの 3 年間に渡り、VERA によって 13 回モニター観測された。1 観測では平均約 8 時間ほど

を要した。VERA の特徴でもある 2 ビーム機構により、A ビーム、B ビームが同時刻に異なる天体を観測した。観測天体 IRAS 21306+5540 は A ビームによって観測された (観測座標: $(\alpha, \delta) = (21^h 32^m 12.4400^s, +55^\circ 53' 49.600'')$)。観測の同時刻に B ビームでは離角が 1.61° である参照電波源 J2123+55 を観測している (観測座標: $(\alpha, \delta) = (21^h 23^m 05.3135^s, +55^\circ 00' 27.325'')$)。観測する対象は、IRAS21306+5540 から発せられる水蒸気分子の $6_{16} \rightarrow 5_{23}$ の遷移によるメーザーであり、静止周波数 22.235080GHz で観測が行われた。速度分解能は 0.21km/s(周波数分解能は 31.25kHz)であった。

データリダクションには、NRAO (National Radio Astronomy Observatory) が開発した、イメージングソフト AIPS (Astronomical Image Processing System) を利用した。今回のデータリダクションは、概略すると (1) 振幅の較正、(2) 遅延追尾再計算データによる較正、(3) 周波数方向の積分、(4) キャリブレーションによるフリンジサーチ (クロックパラメータの較正)、(5) 参照電波源によるフリンジサーチ、(6) セルフキャリブレーションによる参照電波源のイメージング、(7) 2beam 位相差較正データによる較正、(8) ドップラー効果の補正、(9) CLEAN によるメーザースポットのイメージング、リスト化、(10) 二次元ガウシアンによるメーザースポット位置、強度の測定、という 10 ステップに基づき行った。なお、詳細は Kurayama et al. (2011) と同様である。

3 Results

データリダクションの結果、各観測によって検出されたスポット数には大きく差があることがわかった。最も少ないものは r14247b の 15 個で、最も多いのは r12080c の 56 個である。これにより、常に一定の強度を持ったメーザー放射が行われているわけではなく、強度変動が激しいということがわかる。またメーザーの強度変動がおよそ $80[\text{Jy beam}^{-1}]$ ほど見られ、ピーク強度の速度が常に一定でないことから、短時間で周囲のクラウドが変化していることが推測できる。

次に年周視差測定のために、これらのメーザースポットが全観測を通して同一のものなのか判定する

必要がある。今回は近傍のスポットが構成している集団の単位でフィッティングを行った。この集団はその R.A. オフセットと Decl. オフセットの位置と視線速度によって分別、同定することができ、その集団をフィーチャーと呼ぶことにする。フィーチャーの定義として、ほぼ同じオフセット位置で同じ視線速度を持つものを同一フィーチャーとしている。得られたスポットリストおよびフィーチャーリストから、年周視差フィッティングを行った。その結果が次図のようになり、 $\pi = 0.127 \pm 0.044 [\text{mas}]$ という値が得られた。

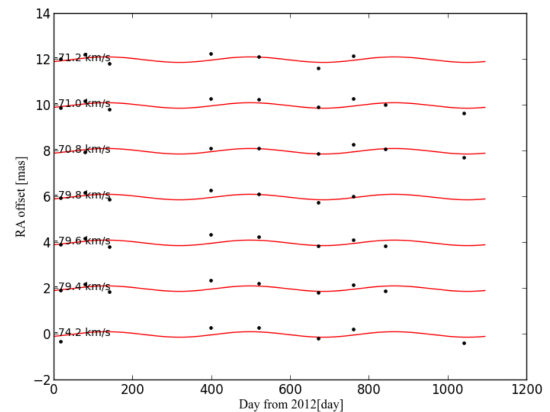


図 1: 赤経方向の年周視差 (オフセット値)。黒丸が観測点、赤線がフィッティング結果であり、固有運動成分は引いてある。

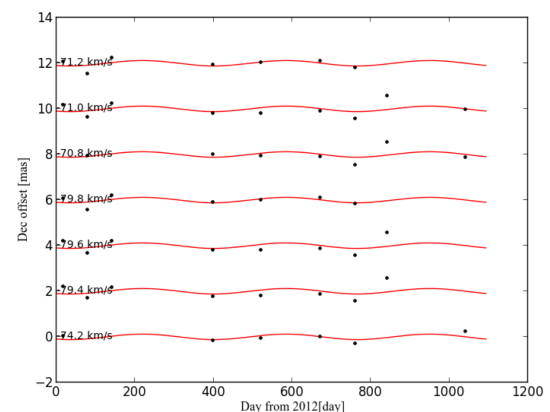


図 2: 赤緯方向の年周視差。説明は上図と同様である。

続いて固有運動について考える。まず観測で得られるメーザースポットの運動は、様々な運動が組み合わさっており、その内訳として、系内でのメーザの内部運動、銀河回転、天体の特異運動、太陽運動がある。これらのベクトル和として天球面上の一年間の動きが観測される。またこれらの運動のうち、メーザの内部運動のみが独立で、その他の運動は全スポットについて共通であると考えられる。すなわちスポット全体の平均の運動が求められると、その運動と個々のスポットの運動とのずれが各メーザースポットの内部運動となり、逆に言えば内部運動の平均が小さいほど系の全体の運動が確からしくなる。今回の場合、系全体の運動を表す固有運動は $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta) = (-1.39 \pm 0.03, -2.61 \pm 0.09) \text{ [mas yr}^{-1}\text{]}$ と求まった。

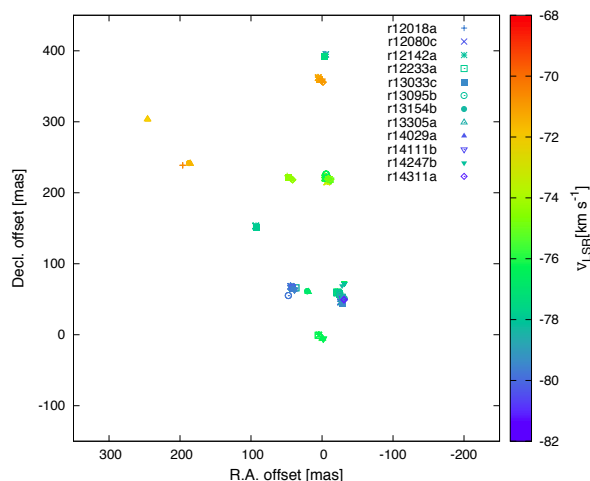


図 3: ビーム内のメーザーフィーチャーの分布図。およそ $500 \times 500 [\text{mas}]$ の範囲内にメーザーフィーチャーが分布している。

4 Discussion

まず、IRAS 21306+5540 の位置情報について考察する。年周視差計測により、我々 (LSR) から天体までの距離が $7.89_{-2.03}^{+4.17}$ [kpc] と求まった。続いて IRAS 21306+5540 の銀河中心からの距離 R_{GC} は、銀河座標 (l, b) と得られた距離 D 、太陽と銀河中心との距

離 $R_0 = 8.05 \pm 0.45$ [kpc] を用いると、余弦定理から $R_{GC} = 11.98 \pm 0.46$ [kpc] という値が導出できる。ここでは R_0 は Honma et al. (2011) の値を導入し、この値は最新の VLBI 観測に基づいて導出された値である。続いて IRAS 21306+5540 の銀河面からの高さ z は、 $z = 665.4 \pm 25.8$ [pc] という値が導出できた。以上より IRAS 21306+5540 の銀河系内での 3 次元位置を求めることができた。

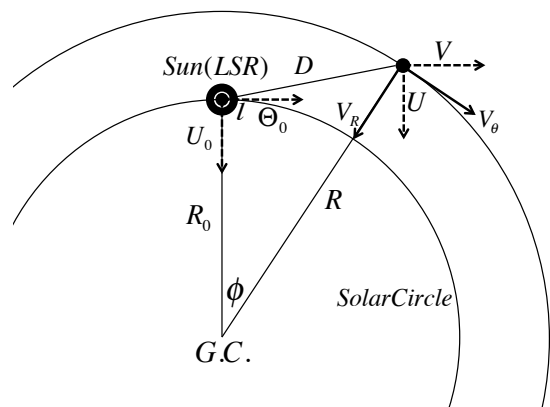


図 4: 速度ベクトル (U, V) と (V_R, V_θ) の定義。ここで IRAS21306+5540 の場合、 $l=97^\circ$ である。 (U, V, W) は LSR の持つ (U_0, Θ_0, W_0) の平行移動系であり、 (V_R, V_θ, V_Z) はそれを角度 ϕ だけ回転させた速度系である。また $W = V_Z$ で、紙面垂直に手前に向かう方向を正にとっている。 (R_0, Θ_0) は銀河定数と呼ばれる。

次に、ORC プロジェクトの目標でもある、銀河系外縁部回転速度を導出する。まずはじめに、3 次元速度の座標系 (U, V, W) と (V_R, V_θ, V_Z) を上図のように定義する。ここで $W = V_Z$ であり、紙面上方向すなわち北銀極方向を正にとる。銀河定数 (R_0, Θ_0) の他に、LSR の特異運動 (U_0, Θ_0, W_0) を天体の位置に平行移動した系が (U, V, W) であり、求めたい銀河回転速度が V_θ である。ここではそれぞれ矢印の向きを正にとっている。視線速度は Lekht et al. (2002) の CO コンタアの値を採用し、 $V_{LSR} = -72.5$ [km s⁻¹] とすると、 $V_{\text{Helio}} = -86.72$ [km s⁻¹] と求められる。これから、得られた固有運動を [km s⁻¹] に変

換すると、 $(V_l, V_b) = (-104.2 \pm 36.2, -36.0 \pm 12.6)$ $[\text{km s}^{-1}]$ となる。また (U, V, W) は、これらを用いて $(U, V, W) = (124.4 \pm 35.9, 179.8 \pm 14.8, -33.6 \pm 12.6)$ $[\text{km s}^{-1}]$ と導出できる。以上全てを考慮にいと、 $(V_R, V_\theta, V_z) = (-22.9 \pm 50.5, 217.4 \pm 39.7, -33.6 \pm 12.6)$ $[\text{km s}^{-1}]$ が得られ、回転速度は $V_\theta = 217.4 \pm 39.7$ $[\text{km s}^{-1}]$ と導出された。この回転速度が回転曲線上でどの位置にあるのかプロットしたものが次図である。これを見ると、近年の VLBI 観測によって求められた回転速度とコンシステントな結果になっていることが確認できる。

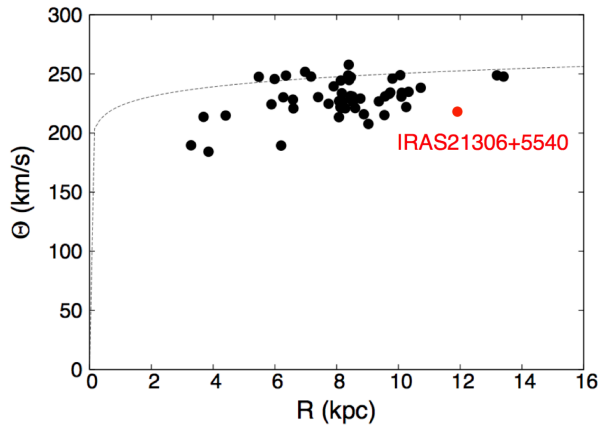


図 5: 今回得られた結果を回転曲線上プロットしたもの。元の図は Honma et al. (2011) で、近年の VLBI 観測による結果がプロットされている。

今回得られた距離 D の値から、IRAS 21306+5540 の全輻射光度；bolometric luminosity L_{bol} を見積もることができる。この導出については、Wang et al. (2009) の導出方法を用いる。これにより、 $L_{\text{bol}} = (113.8 \pm 55.7) \times 10^3 L_\odot$ と求められた。さらに、この天体は Ho & Haschick & Israel (1981) によって、内部の中心星が ZAMS (Zero Age Main-sequence Star) であるとされている。Panagia (1973) によれば、この光度を持つ ZAMS は中心星のスペクトル型は O6.5-O7 であると分類することができる。この結果は、Ho & Haschick & Israel (1981) で出された結果とコンシステントな結果である。

5 Summary

我々は、ORC プロジェクトとして、銀河系外縁部 HII 領域 IRAS 21306+5540 を VERA を用いて観測した。AIPS によるデータリダクションの結果、年周視差が $\pi = 0.127 \pm 0.044$ [mas]、距離が $D = 7.89^{+4.17}_{-2.03}$ [kpc] と導出された。固有運動は $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta) = (-1.39 \pm 0.03, -2.61 \pm 0.09)$ $[\text{mas yr}^{-1}]$ であり、銀河系内での 3 次元速度は $(V_R, V_\theta, V_z) = (-22.9 \pm 50.5, 217.4 \pm 39.7, -33.6 \pm 12.6)$ $[\text{km s}^{-1}]$ という値が得られた。さらに得られた距離 D から、IRAS 21306+5540 の全輻射光度 $L_{\text{bol}} = (113.8 \pm 55.7) \times 10^3 L_\odot$ と求まり、これによって天体中心部に位置するであろう YSO のスペクトル型が O6.5-O7 であるとわかった。

Reference

- Ho, P. T. P., Haschick, A. D., Israel, F. P., 1981, ApJ, 243, 526
- Honma, M., Hirota, T., Kan-ya, Y., Kawaguchi, N., Kobayashi, H., Kurayama, T., Sato, K., 2011, PASJ, 63, 17
- Kurayama, T., Nakagawa, A., Sawada-Satoh, S., Sato, K., Honma, M., Sunada, K., Hirota, T., Imai, H., 2011, PASJ, 63, 513
- Lekht, E. E., Mendoza-Torres, J. E., Berulis, I. I., 2002, ARep, 46, 57
- Nakanishi, H., Sakai, N., Kurayama, T., Matsuo, M., Imai, H., Burns, R. A., Ozawa, T., Honma, M., Shibata, K., Kawaguchi, N., 2015, PASJ, tmp, 176
- Panagia, N., 1973, AJ, 78, 929
- Sakai, N., Honma, M., Nakanishi, H., Sakanoue, H., Kurayama, T., Shibata, K. M., Shizugami, M., 2012, PASJ, 64, 108
- Sakai, N., Nakanishi, H., Matsuo, M., Koide, N., Tezuka, D., Kurayama, T., Shibata, K. M., Ueno, Y., Honma, M., 2015, PASJ, tmp, 205
- Wang, K., Wu, Y. F., Ran, L., Yu, W. T., Miller, M., 2009, A&A, 507, 369