

星形成領域 IRAS01123+6430 の年周視差測定および付随する分子雲の観測的研究

小出 凖人 (鹿児島大学大学院 理工学研究科)

Abstract

本研究では、VERA による IRAS01123+6430 の VLBI 位置天文観測データについて解析を行い、年周視差・距離・固有運動を測定し、年周視差は $\varpi = 0.131 \pm 0.015$ [mas]、固有運動は $(\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta) = (-1.167 \pm 0.091, -0.166 \pm 0.123)$ [mas yr⁻¹]、距離は $D = 7.64^{+1.02}_{-0.80}$ [kpc] と求められた。銀河中心距離は $R = 13.95 \pm 0.41$ [kpc]、回転速度は $\Theta = 235.08 \pm 15.84$ [km s⁻¹] と算出された。また、FCRAO14m ミリ波望遠鏡による銀河系外縁部 ¹²CO($J = 1 - 0$) 輝線サーベイデータから、IRAS01123+6430 に付随する分子雲 HC5506 が速度 $V_{\text{LSR}} = -56.9 \sim -50.4$ [km s⁻¹] の範囲で存在していることが分かった。その分子雲の形状が円弧状であり、過去の研究の分子雲衝突のシミュレーションと似たような形状であり、IRAS01123+6430 は、分子雲の衝突によって星形成が起こった可能性がある。

1 Introduction

IRAS01123+6430 は、銀河系外縁部に属する H_{II} 大質量星形成領域 (Comoretto et al. (1990); Palagi et al. (1993)) で、赤道座標 $(\alpha, \delta) = (1^{\text{h}}15^{\text{m}}40.8^{\text{s}}, +64^{\circ}46'40.8'')$ (J2000) (銀河座標 $(l, b) = (125.51^{\circ}, +2.03^{\circ})$) の位置に、視線速度 $V_{\text{LSR}} = -55.0$ [km s⁻¹] で観測された (Wouterloot & Brand 1989)。この天体は、VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) による、ORC (Outer Rotation Curve) プロジェクトの天体の一つで、先行研究では、サブミリ波望遠鏡 "KOSMA 3m telescope" で CO 分子雲の輝線 (¹²CO($J = 2 - 1$) と ¹²CO($J = 3 - 2$)) が観測され、運動学的距離は 5.4 [kpc] と算出されている (Wouterloot et al. 1993)。

分子雲衝突は星形成の引き金となる現象の一つとして考えられ、電波観測から、分子雲衝突で大質量星形成が起こることが分かっている (Kimura & Tosa 1996)。具体的には、衝突が起こった後、重力不安定性から密度にムラが生じることで生まれる幾つかの clump から星が形成される (Habe & Ohta (1992); Takahira et al. (2014))。分子雲衝突に関する研究では、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) による数値シミュレーションが行われ、時間経過による分子雲の形状、密度の変化等を調査している (Anath-

pindika (2010); Habe & Ohta (1992); Kimura & Tosa (1996); Takahira et al. (2014))。

本研究では、VERA による VLBI 位置天文観測データの解析から、IRAS01123+6430 の年周視差・固有運動・距離を計測し、特異運動 (U, V, W) から回転速度を求めることを目的としている。また、過去に CO 輝線が観測されていることから、IRAS01123+6430 に付随する分子雲が存在していることが分かっているため、銀河系外縁部分子雲に関連する研究論文等から、その物理的性質を考察する。

2 Observations & Reduction

IRAS01123+6430 の観測は、水沢局・小笠原局・入来局・石垣局に配置されている各単一鏡 (VERA 電波望遠鏡) によって行われた。受信波は H₂O メーザーで、2beam 受信機により目的天体と参照電波源が同時観測された。なお、参照電波源は J0128+63 とした。

データ解析については、天文学用解析ソフト AIPS (Astronomical Image Processing System) で、各タスクの実行によりリダクションを行った。リダクションの方法は Kurayama et al. (2011) と同様である。

表 1: 観測リスト

観測期間	2012.1.20 - 2014.11.10
epoch	11/13
目的天体	IRAS01123+6430
参照電波源	J0128+63
観測周波数	22[GHz](K-band)

クロスパワースペクトル (図 1) においては、DOY:87-390 に 241($V_{\text{LSR}} = -48.7[\text{km s}^{-1}]$)-243ch($V_{\text{LSR}} = -49.5[\text{km s}^{-1}]$)、DOY:87-592 に 270($V_{\text{LSR}} = -60.9[\text{km s}^{-1}]$)-273ch($V_{\text{LSR}} = -62.2[\text{km s}^{-1}]$)、DOY:657-1044 に 267($V_{\text{LSR}} = -59.6[\text{km s}^{-1}]$)-270ch($V_{\text{LSR}} = -60.9[\text{km s}^{-1}]$) にピークが検出された。

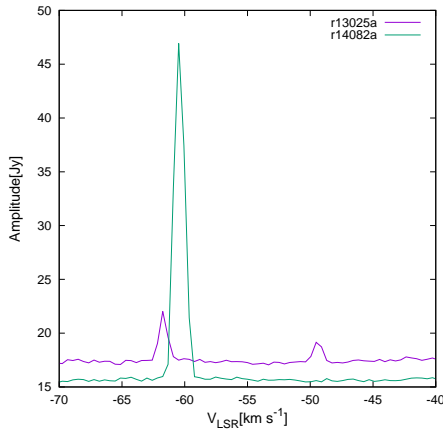


図 1: r13025a で 2 peaks($V_{\text{LSR}} : -49, -61[\text{km s}^{-1}]$)、r14082a で 1 peak($V_{\text{LSR}} : -60[\text{km s}^{-1}]$) を検出。

各 feature については、epoch が 1 年分を満たしているものの、feature2, 5 については、少ない ID(ある channel におけるスポットの番号) と epoch 数のため、年周視差フィッティング (後述) に含まないとした。後に行う年周視差フィッティングには、3 つ以上の ID および 6epoch 以上のプロットが高い精度で求

めるのに必要となる。

3 Results

年周視差フィッティングを行った結果、年周視差は $\varpi = 0.131 \pm 0.015[\text{mas}]$ 、固有運動は $(\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}) = (-1.167 \pm 0.091, -0.166 \pm 0.123)[\text{mas yr}^{-1}]$ となった。年周視差から距離を求めたところ、 $D = 7.64_{-0.80}^{+1.02}[\text{kpc}]$ と算出された。

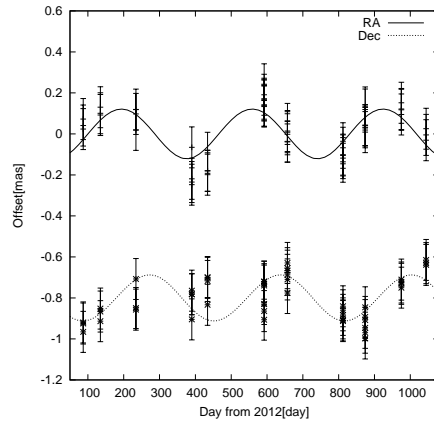


図 2: 年周視差

年周視差から求められた距離、太陽の銀河中心距離 $R_0 = 8.05[\text{kpc}]$ (銀河定数 (Honma et al. 2012) より)、銀河座標 $(l, b) = (125.51^\circ, +2.03^\circ)$ から、余弦定理により IRAS01123+6430 の銀河中心距離は $R = 13.95 \pm 0.41[\text{kpc}]$ と求められる。視線速度の平均値 $V_{\text{LSR}} = -57.08 \pm 8.78[\text{km s}^{-1}]$ と銀経 $l = 125.51^\circ$ から、この天体は Outer Arm に位置していると考えられる (Dame et al. 2001)。

銀河系上における IRAS01123+6430 の 3 次元運動について求める。定数については、銀河定数 $(R_0, \Theta_0) = (8.05[\text{kpc}], 238[\text{km s}^{-1}]$) (Honma et al. 2012) を使用し、 $(U, V, W) = (80.62 \pm 7.19, 222.47 \pm 8.01, -5.01 \pm 4.93)[\text{km s}^{-1}]$ と求められた。円柱

座標に変換すると、 $(V_r, V_\theta, V_z) = (-26.98 \pm 16.09, 235.08 \pm 15.84, -5.01 \pm 4.93)[\text{km s}^{-1}]$ となり、これより、回転速度は $\Theta = 235.08 \pm 15.84[\text{km s}^{-1}]$ となった。

4 Discussion

IRAS01123+6430 の具体的な内部運動の振る舞いとしては、offset 値 $(\Delta\alpha, \Delta\delta) = (0, 5)[\text{mas}]$ あたりを中心に各スポットが四方八方に移動している (図 3)。系の視線速度 $V_{\text{LSR}} = -57.08[\text{km s}^{-1}]$ と、各スポットの視線速度とを比較した結果、系の視線速度に対して、feature1 は $-3.82 \sim -2.52[\text{km s}^{-1}]$ で blue shift、feature3 は $-5.12 \sim -3.82[\text{km s}^{-1}]$ で blue shift、feature4 は $+7.58 \sim +8.38[\text{km s}^{-1}]$ で red shift していた。このことから、この星形成領域は膨張していると考えられる。また、feature1 と feature3,4 の間を境界として、bipolar outflow が起こっているとも考えられる。

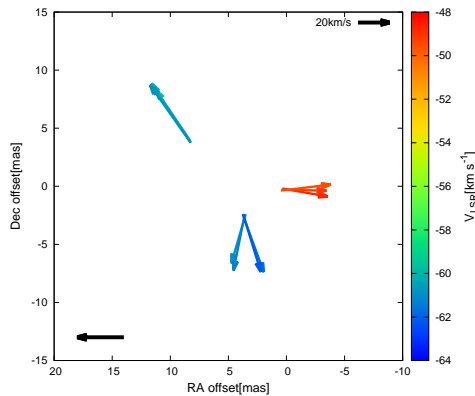


図 3: 内部運動図。feature1 は図の北西方向、feature3 は図の南方向、feature4 は図の東方向にそれぞれ運動している。

先行研究で分子雲の輝線が観測されていることから、FCRAO(Five College Radio Astronomical Observatory) の銀河系外縁部 $^{12}\text{CO}(J = 1 - 0)$ 輝線サーベイアーカイブデータをの解析の結果、視線速度 $V_{\text{LSR}} = -56.9 \sim -50.4[\text{km s}^{-1}]$ で、IRAS01123+6430 の座標に分子雲が確認された。その分子雲は、円弧状の構造と速度勾配を持つ直線状

の構造をしていた。観測結果から算出された光度は $L_{\text{CO}} = 4.9 \times 10^3[\text{K km s}^{-1} \text{ pc}^2]$ で、質量に換算した結果、 $M_{\text{CO}} = 2.0 \times 10^4 M_\odot$ となった (Heyer et al. 2001)。以降、Heyer et al. (1998) のカタログ番号 5506 に因み、この分子雲を”HC5506”と呼ぶことにする。この分子雲の視直径は、 $\Delta l \times \Delta b = 0.3^\circ \times 0.4^\circ$ で、年周視差から求めた距離を使うと、サイズは $\Delta l \times \Delta b = 40.01 \times 53.35[\text{pc}]$ と推測される。

HC5506 を視線速度 V_{LSR} ごとに形状を見ていった結果、 $V_{\text{LSR}} = -56.9 \sim -56.1[\text{km s}^{-1}]$ で直線上の分子雲、 $V_{\text{LSR}} = -52.8 \sim -50.4[\text{km s}^{-1}]$ で円弧状の分子雲、そして両者の中間の $V_{\text{LSR}} = -55.3 \sim -53.7[\text{km s}^{-1}]$ で円弧状の構造と直線上の構造を併せ持った中間構造の分子雲が見られた。分子雲が見られた各 V_{LSR} の値の平均である系の視線速度は $V_{\text{LSR}} = -53.7[\text{km s}^{-1}]$ で、IRAS01123+6430 の VLBI データの解析結果で得られた系の固有運動から、 $(v_l, v_b) = (-41.49 \pm 6.22, -9.96 \pm 4.94)[\text{km s}^{-1}]$ で銀河系上を回転していると考えられる (図 4)。

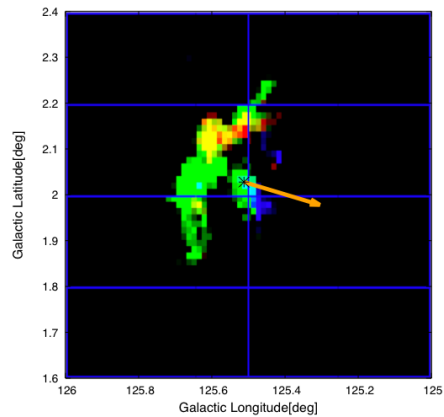


図 4: 円弧状 (赤)、直線状 (青)、その中間 (緑) の構造の分子雲の図。矢印は IRAS01123+6430 の平均の固有運動の方向、黒星印は IRAS01123+6430 の位置座標を示す。

円弧状の形状および分子雲衝突のモデル (Habe & Ohta 1992) との比較から、HC5506 において、分子雲衝突が起こったのではないかと考えられる。現在の進捗において、観測の結果から分かることとしては、系の視線速度 $V_{\text{LSR}} = -53.7[\text{km s}^{-1}]$ から分かる運動学的距離の位置で分子雲衝突が起こった後、視

線速度方向および銀経・銀緯方向に広がったということである。また、銀河系外縁部では差動回転が小さく、衝突速度が小さい場合、星形成に有利であるとされる。

5 Conclusion & Future works

今回の研究から、銀河系外縁部の星形成領域 IRAS01123+6430 は、分子雲の衝突で星形成が起こったと考えられる。この結論に至った主な理由としては、IRAS01123+6430 が星形成領域であることと、付随する分子雲の形状が衝突のモデルに近い形状であったためである。

今後の課題として、IRAS01123+6430 の近くのメーザー源との、視線速度・距離の比較をして、IRAS01123+6430 の銀河面上の具体的な位置について考察する必要がある。

また、分子雲の衝突については、その根拠となる要素がまだ不十分であるため、衝突のモデルとの比較や衝突速度等（今回算出した 3 次元速度と絡めて考察）について議論を進めていく。

Acknowledgement

本研究において、データ解析の結果について議論の場を作っていただいた中西准教授、ORC プロジェクトのメンバーの方々、分子雲衝突のシミュレーションを制作していただき、議論の幅を広げてくださった羽部教授に深く感謝いたします。

Reference

Anathpindika,S.V. 2010, MNRAS, 405, 1431
Comoretto,G., et al. 1990, A&AS, 84, 179
Dame,T.M., Hartmann,D., & Thaddeus,P. 2001, ApJ, 547, 792
Habe,A. & Ohta,K. 1992, PASJ, 44, 203
Heyer,M.H., Brunt,C., Snell,R.L., Howe,J.E., Schloerb,F.P., & Carpenter,J.M. 1998, ApJS, 115, 241
Heyer,M.H., Carpenter,J.M., & Snell,R.L. 2001, ApJ, 551, 852

Honma,M., et al. 2012, PASJ, 64, 136
Kimura,T., & Tosa,M. 1996, A&A, 308, 979
Kobayashi,H., et al. 2008, IAUS, 248, 148
Kurayama,T., Nakagawa,A., Sawada-Satoh,S., Sato,K., Honma,M., Sunada,K., Hirota,T., & Imai,H. 2011, PASJ, 63, 513
Palagi,F., Cesaroni,R., Comoretto,G., Felli,M., & Nattale,V. 1993, A&AS, 101, 153
Panagia,N. 1973, AJ, 78, 929
Reid,M.J., et al. 2009, ApJ, 700, 137
Reid,M.J., et al. 2014, ApJ, 783, 130
Sakai,N., Honma,M., Nakanishi,H., Sakanoue,H., Kurayama,T., Shibata,K., & Shizugami,M. 2012, PASJ, 64, 108
Takahira,K., Elizabeth,J., & Habe,A. ApJ, 792, 63
Wang,K., Wu,Y.F., Ran,L., Yu,W.T., & Miller,M. 2009, A&A, 507, 369
Wouterloot,J,G,A. & Brand,J. 1989, A&AS, 80, 149
Wouterloot,J.G.A., Brand,J., & Fiegle,K. 1993, A&AS, 98, 589