

JVN/EAVN を用いた 6.7GHz メタノールメーザの VLBI サーベイモニタープロジェクト ～G351.775-0.536 における内部固有運動の計測～

平野 大樹¹、藤沢 健太¹、杉山 孝一郎¹、元木 業人¹、蜂須賀 一也²、米倉 覚則³、斎藤 貴文³

所属機関：1. 山口大学、2. 上海天文台、3. 茨城大学

概要

我々は、2010 年 8 月から Japanese VLBI Network(JVN)、及び East Asian VLBI Network(EAVN) を用いた 6.7GHz メタノールメーザの VLBI モニタープロジェクトを 36 天体に対して開始した。プロジェクトの目的は大質量原始星周囲のガス・ダスト回転円盤の回転・降着運動の直接検出、および円盤の進化を調査・解明することである。本講演では 36 天体の内、最南端に位置する天体である G351.775-0.536 における内部固有運動の計測結果を報告する。また、この天体までの距離は $0.4_{-1.3}^{+17.7}$ kpc とエラーが大きく曖昧であるため、2010 年から 2012 年の間に 3 回の VLBI 観測により検出された内部固有運動を用いた統計視差によって天体までの距離を $0.75_{-0.23}^{+0.26}$ kpc と推定した。

1 研究背景と目的

大質量星形成は小質量星と同様に降着進化により質量を得ており、その降着物質は原始星周囲のガス・ダスト回転円盤を形成すると考えられている^{[1][2]}。しかし、大質量星はその進化過程、特に円盤の進化は未解明である。その解明に対して有力な方法は、放射サイズが数天文単位 (AU) とコンパクトで、原始星のごく近傍から放射されるメーザ源を VLBI 観測することで固有運動を検出し、ガスの運動を調べることである。そのためプローブとして、6.7GHz メタノールメーザが注目されている。このメーザの空間分布および視線速度に見られる速度勾配から、このメーザは大質量原始星周囲に存在する回転円盤に付随している可能性が示唆されており^{[3]-[5]}、実際に内部固有運動を検出し、その運動が励起星を中心とした回転運動を示していたという報告もある^{[6][7]}。しかし、6.7GHz メタノールメーザの内部固有運動の検出例は未だ少ない。

そこで我々は、JVN/EAVN を用いた 6.7GHz メタノールメーザを用いた系統的な VLBI サーベイモニタープロジェクトを 2010 年 8 月から実施している。このプロジェクトの観測対象は独自に選出した 36 天体であり、6.7GHz メタノールメーザの空間分布と固有運動の系統的調査によって大質量原始星周囲の回転円盤からの降着現象の直接検出と、大質量原始星の進化と回転円盤の進化の解明を目的としている。今回は最南端の天体である G351.775-0.536 の 3 エポックの VLBI 観測による内部固有運動の計測結果を報告する。また、この天体までの距離は Green et al. (2011) で $0.4_{-1.3}^{+17.7}$ kpc と推定されているが、エラーが大きく曖昧である。そこで本講演では計測した内部固有運動を元に統計視差を用いて天体までの距離を推定することも目的としている。

2 観測

3 エポックの VLBI 観測は、2010 年 8 月 28 日 (日立、上海、VERA4 局)、2011 年 10 月 4 日 (日立、山口、VERA4 局)、2012 年 9 月 21 日 (日立、山口、上海、VERA4 局) の 3 度に渡って JVN/EAVN を用いて行った。観測周波数帯は 6665 - 6669MHz であり、それを 1024 点分光しているため、速度分解能は 0.18 km s^{-1} に相当する。積分時間 1 時間でイメージ感度は典型的に $30 - 110 \text{ mJy beam}^{-1}$ であった。合成ビームサイズと位置角はそれぞれ $13.0 \times 2.5 \text{ mas}^2$ と -5.3° 、 $11.3 \times 3.3 \text{ mas}^2$ と -12.7° 、 $11.7 \times 2.8 \text{ mas}^2$ と -6.0° であった。データ解析は NRAO の AIPS を用いて行った。

3 結果

3.1 空間分布

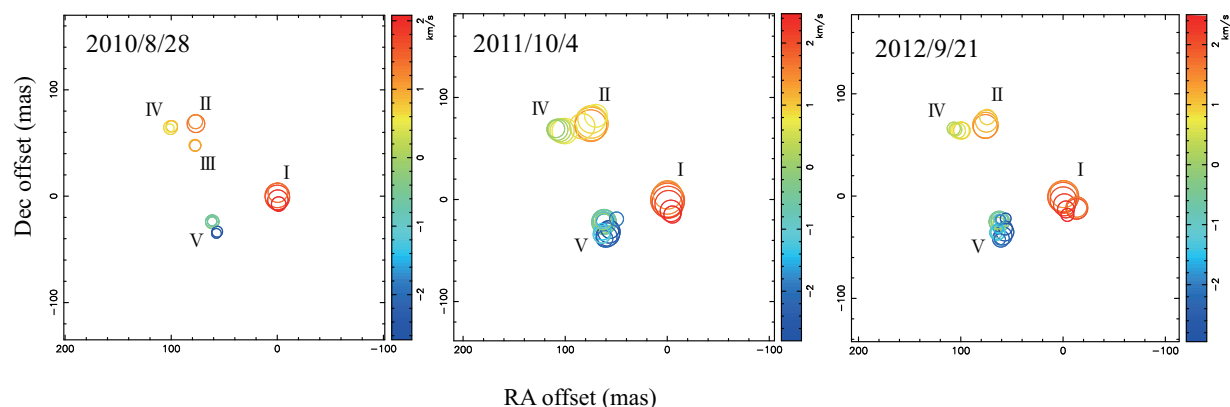


図1 VLBI 観測で得られた G351.775-0.536 のメタノールメーザスポットの空間分布。左の空間分布がエポック 1、中央の空間分布がエポック 2、右の空間分布がエポック 3 である。横軸、縦軸はそれぞれ赤経、赤緯の相対位置を表している。カラーリングはメーザスポットを表しており、色は右側の色指標に従う視線速度を、大きさはフラックス密度に対数比例している。英数字のラベルはスポット群を表しており、視線速度の早い群ほど英数字が若い。

スポット数はエポック 1 で 18 個、エポック 2 で 36 個、エポック 3 で 37 個が検出されており、エポック 1 からエポック 2 にかけて検出スポット数が 18 個増えている。各エポックの検出スポットの空間分布は図 1 に示している。スポットの位置はそれぞれの原点 (視線速度 1.73 、 1.77 、 1.80 km s^{-1} の速度チャンネルの成分。これらを同一の成分と考えている。) に対する相対位置である。全体的な空間分布は 3 エポック間で類似しているが、空間分布の広がりにはエポック 1 で $103 \text{ mas} \times 105 \text{ mas}$ 、エポック 2 で $114 \text{ mas} \times 120 \text{ mas}$ 、エポック 3 で $120 \text{ mas} \times 120 \text{ mas}$ であり、エポック 1 からエポック 2 にかけて空間的な広がりが大きくなっている。また 3 エポックともスポットが群を形成しており、エポック 1 は少なくとも 5 つ、エポック 2 とエポック 3 は少なくとも 4 つ形成している。視線速度の大きい群から順に英数字のラベルを昇順で付けている (図 1)。エポック 1, 2, 3 で各スポット群が含むスポット数は、群 I がそれぞれ 5 個、7 個、10 個であり、群 II が 2 個、6 個、4 個であり、群 III が 2 個、0 個、0 個であり、群 IV が 3 個、5 個、5 個であり、群 V が 6 個、18 個、18 個であった。

3.2 内部固有運動の検出

3 回の VLBI 観測全てで空間分布が得られているので、3 エポック全てで検出されたメーザスポットのみを内部固有運動検出の対象とした。速度分解能 0.18 km s^{-1} 以内で一致しており、2 年間で 10 mas 以内で一致していることを条件として、この条件を満たす 15 スポットに対して直線フィットを行い、その傾きから内部固有運動を導出した。この際、スポットが 2 年間で加速度運動しないことを仮定している。こうして検出された内部固有運動の大きさは R.A. で $-0.64 \sim 0.59 \text{ mas yr}^{-1}$ であり、Dec. で $-1.55 \sim 0.56 \text{ mas yr}^{-1}$ であった。内部固有運動を空間分布上でベクトル表示したものを図 2 に示している。

4 考察

4.1 統計視差

この天体までの距離は Green et al. (2011) で $0.4^{+17.7}_{-1.3} \text{ kpc}$ とされているが、誤差が大きく曖昧である。そこで内部固有運動を用いて天体までの距離を推定する手段の一つである統計視差を用いて天体までの距離を求めた。統計視差を行う前提として、スポットの運動が等方的であり、R.A. 方向と Dec. 方向と視線方向の運動速度の分散が等しいことを仮定する。R.A. と Dec. 方向の内部固有運動と視線速度のそれぞれのヒストグラムに対して最小二乗法でガウス関数をフィッティングし、その半値全幅が等しくなるように距離を定めて、それを天体までの距離とした。その結果 R.A.、Dec. でそれぞれ天体までの距離 D_{ra} 、 D_{dec} は

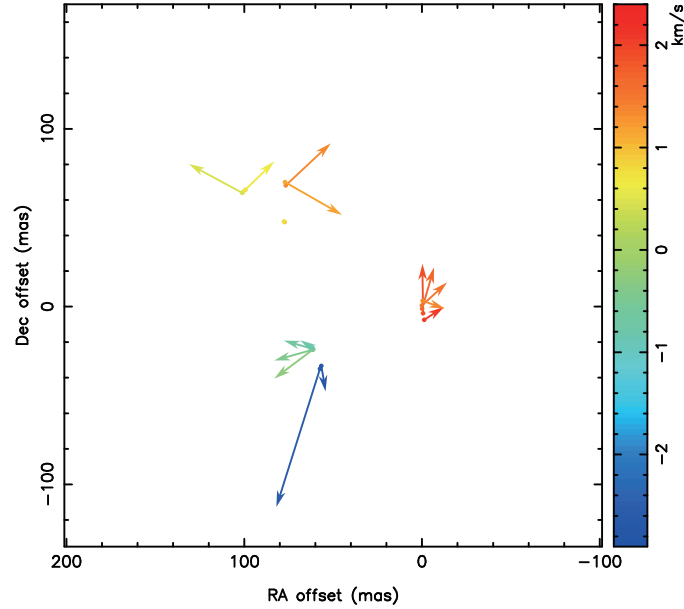


図2 3エポックで検出されたスポットの内部固有運動。色付きの点はスポットの相対位置を表し、色付きベクトルの向きは内部固有運動の向きを表している。また、その長さは内部固有運動の大きさに比例している。色は右側の色指標に従う視線速度を表している。

$$D_{\text{ra}} = 0.68^{+0.13}_{-0.13} \quad [\text{kpc}]$$

$$D_{\text{dec}} = 0.83^{+0.22}_{-0.19} \quad [\text{kpc}]$$

となった。これらの距離は誤差の範囲内で一致しているため、平均をとって天体までの距離 D とすると

$$D = 0.75^{+0.26}_{-0.23} \quad [\text{kpc}] \quad (1)$$

となった。これは Green et al. (2011) で導出された距離の近傍解と矛盾しない結果となった。

この距離を採用して内部固有運動を運動速度に直すと、R.A. 方向の運動速度の大きさは $-2.28 \sim 2.10 \text{ km s}^{-1}$ 、Dec. 方向の運動速度の大きさは $-5.53 \sim 2.00 \text{ km s}^{-1}$ となった。

5 まとめ

2010-2012年の3回のVLBI観測によってG351.775-0.536における6.7GHzメタノールメーザの空間分布を得られた。検出スポット数はそれぞれ16、36、37個であり、視線速度は $-2.95 \sim 2.50 \text{ km s}^{-1}$ に及んでいた。スポットは約 $120 \text{ mas} \times 120 \text{ mas}$ の空間スケールで分布しており、スポット群を4~5つ形成していた。内部固有運動の導出のために3エポックすべてで検出されたスポットを同定した結果15個のスポットが内部固有運動の対象となった。その結果、R.A. 方向に $-0.64 \sim 0.59 \text{ mas yr}^{-1}$ 、Dec. 方向に $-1.55 \sim 0.56 \text{ mas yr}^{-1}$ の内部固有運動が検出された。3エポックから得られた内部固有運動から統計視差を用いて得られた天体までの距離は $0.75^{+0.26}_{-0.23}$ であり、Green et al. (2011)で推定された距離と矛盾しないが、誤差をはるかに小さくすることができた。

参考文献

- | | |
|--|---|
| [1] Patel, N.A., Curiel, S., Sridharan, T.K., et al. 2005, Nature, 437, 109 | [5] Sanna, A., Moscadelli, L., Cesaroni, R., et al. 2010, A&A, 517, A78 |
| [2] Kraus, S., Hofmann, K. H., Menten, K. M., et al. 2010, Nature, 466, 339 | [6] Sanna, A., Moscadelli, L., Cesaroni, R., et al. 2010, A&A, 517, A71 |
| [3] Minier, V., Booth, R. S., & Conway, J.E. 2000, A&A, 362, 1093 | [7] Goddi, C., Moscadelli, L., & Sanna, A. 2011, A&A, 535, L8 |
| [4] Bartkiewicz, A., Szymczak, M., van Langevelde, H. J., Richards, A. M. S., & Pihlstrom, Y. M. 2009, A&A, 502, 155 | [8] Green, J. A., McClure-Griffiths, N. M. 2011, MNRAS, 417, 2500 |