6.7 GHz メタノールメーザ は大質量原始星からのアウトフローに付随するか？

〜 G59.783+0.065 のJVN観測 〜

山口大学　電磁宇宙物理学研究室　B4　中村 桃太朗　　　共同研究者：元木 業人、藤澤 健太

1　研究背景＆目的　>>>>> Background & Purpose >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>

6.7 GHz メタノールメーザは大質量星形成領域の原始星の根元(100ー1000 AU)に付随することが知られている。より具体的には中心星の周りに形成される **降着円盤** に付随することが複数の天体の**内部固有運動**から示唆されているが、その一方で **ジェット/アウトフロー** へ付随する場合も一部 (Sanna et al. 2010, Sugiyama et al. 2011, Moscadelli et al. 2012)で示唆されており、**必ずしも円盤に付随するわけではない**と考えられている。

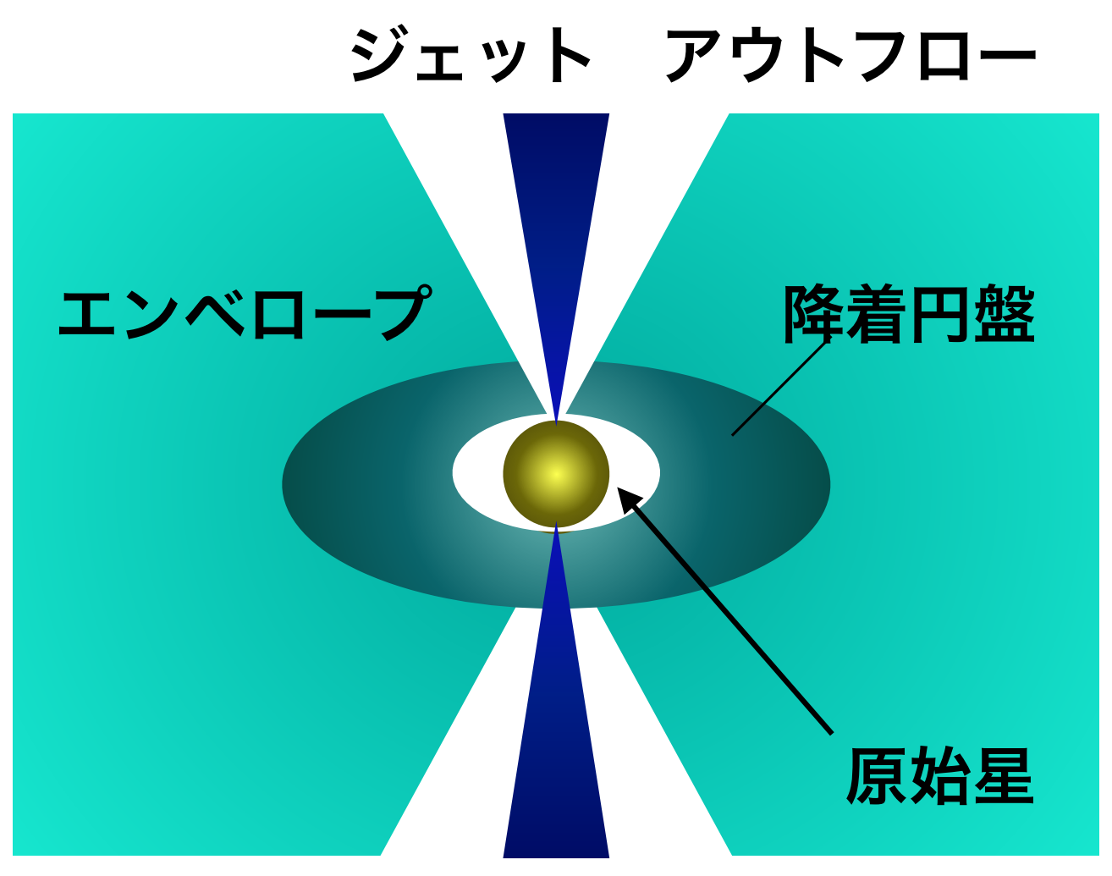
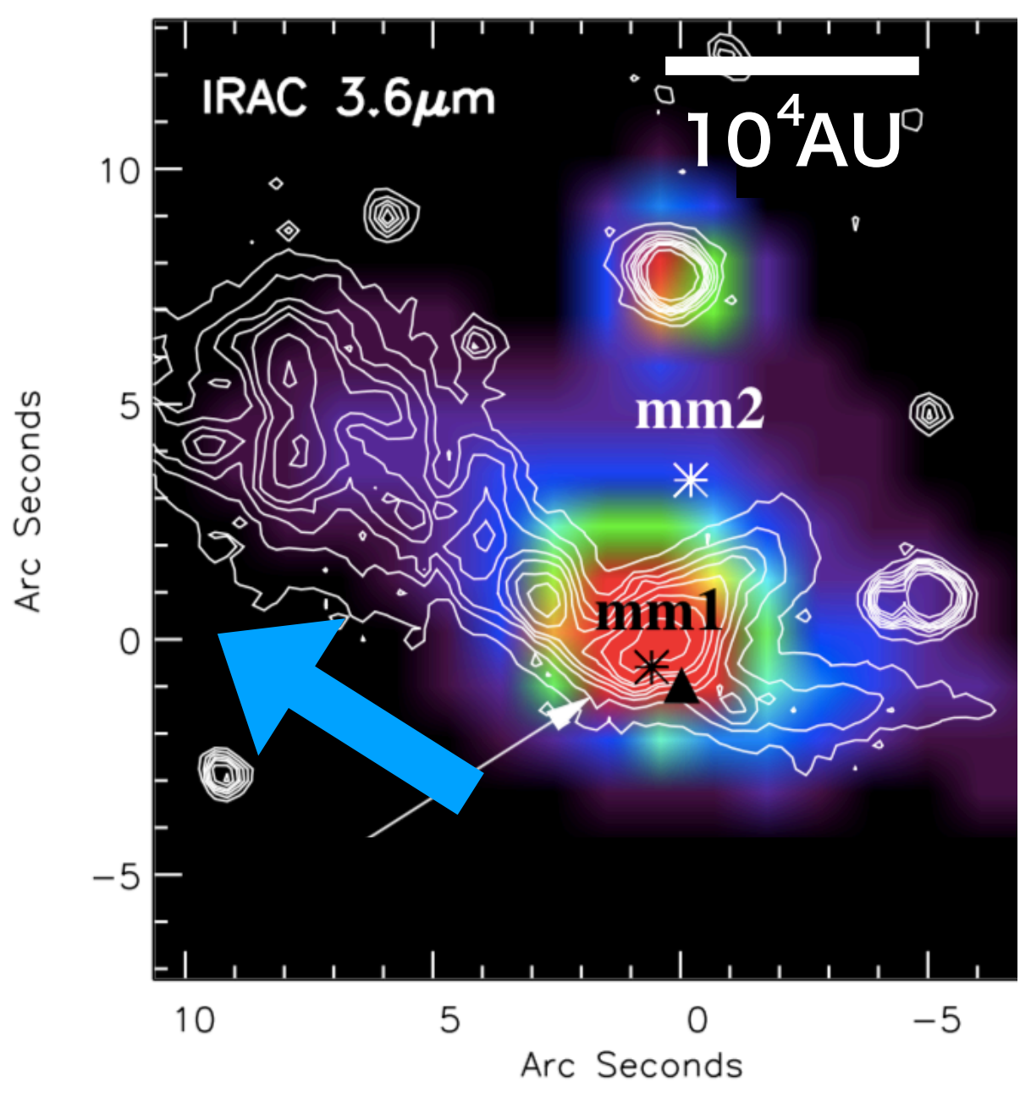


Fig 1.　メーザ発生時期（≒質量降着期）における原始星周囲の構造の模式図

G59.783+0.065 (IRAS 19410+2336) は、太陽系から 2.16 kpc (Reid et al. , 2009) 離れたところにある大質量星形成領域であり、南北に２つの赤外線源を有する(左図)。特に南側の赤外線源はその中心部に1.2mm連続波源(**分子雲コア**)があり、そこから左上に伸びる**アウトフロー**のような構造が確認されている。さらに、この領域からの6.7 GHz メタノールメーザのスペクトルは単なる**強度変動だけでなく視線速度方向にも変動を示す**ことが先行研究によって示されている (右下図)。

これらのことから、同天体の6.7 GHz メタノールメーザは **ジェット / アウトフロー** のような変動性の高い構造に付随している可能性が非常に高いと考えられる。

本研究では、高分解能なVLBIによるマルチエポック観測で内部固有運動を求めることによって、同天体の 6.7GHz メタノールメーザが **アウトフロー** に付随しているどうかを直接検証することを目的とする。



カラー　：IRAC 3.6μm 画像
コントア：Ks-band のemission 画像
＊：mm 連続波源　▲：cm 連続波源

↖ **Fig 2.** G59 の赤外線画像 (Mart’ın-Herna’ndez et al. 2008)
(0″, 0″) : R.A.=19h43m11.18s , Decl. = 23°44’04.2”

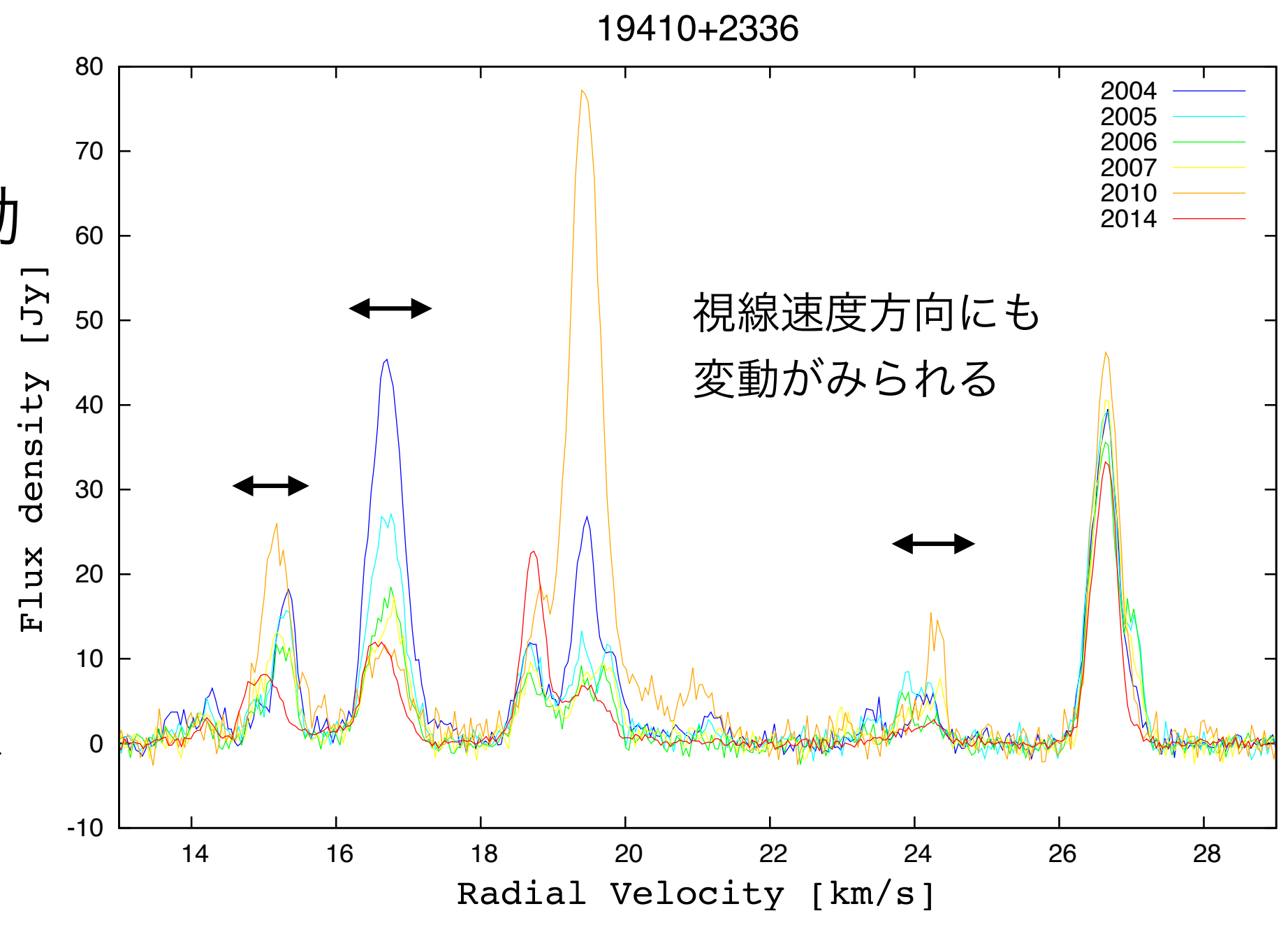


Fig 3. 6.7 GHz メタノールメーザ のスペクトル (2004ー2014) ➡
(中村 拡 2015山口大卒論)

2　観測＆解析　>>>>>>> Observation & Analysis >>

6.7 GHzメタノールメーザによる内部固有運動を求めるために、JVN (**J**apanese **VLBI** **N**etwork) を用いてこれまでに４回の観測が行われた。うち最初の２回分のデータが先行研究（中村 拡, 2017 山口大学修士論文）によって既に解析されている。

本発表では未解析のままであった３回目の観測データの解析結果を示す。解析ソフトはAIPSを用いている。

メーザスポットのイメージング後、パラメータの抽出を AIPS の Task **JMFIT** にて行い、空間分布と内部固有運動を求めた。

内部固有運動は、視線速度が 1 km/s 以内 & 位置 1 mas 以内で一致するメーザスポットを同一のフィーチャーとみなし、全フィーチャーの重心座標（平均）を不動点とした相対座標での位置変化を計算し、天体距離 2.16 kpc での運動速度に換算した。

Table 1. 観測概要

Epoch / Date	1 2016/08/25	2 2016/10/31	3 2017/01/22	4 2018/11/22
観測時間 (UT)	09:00 - 18:00	04:00 - 13:00	22:30 - 7:30	01:15 - 11:15
観測局	水沢 , 入来 , 小笠原 , 石垣 , 日立 , 山口第１（※）			
ターゲット	G59.783+0.065　(R. A. = 19h43m11.25s , Decl. = 23°44’03.3”)			
位相補償キャリブレータ	J1931+2243（離角 2.89°)			
中心周波数 [MHz]	6668.519　(帯域幅：512)			
速度分解能 [km/s]	0.18	0.09	0.09	0.04
合成ビームサイズ [mas × mas]	4.75 × 3.04	3.99 × 2.04	4.96 × 3.24	未解析

※ 山口局に関しては、装置不具合により３エポック目のみ 山口第2電波望遠鏡 を用いている

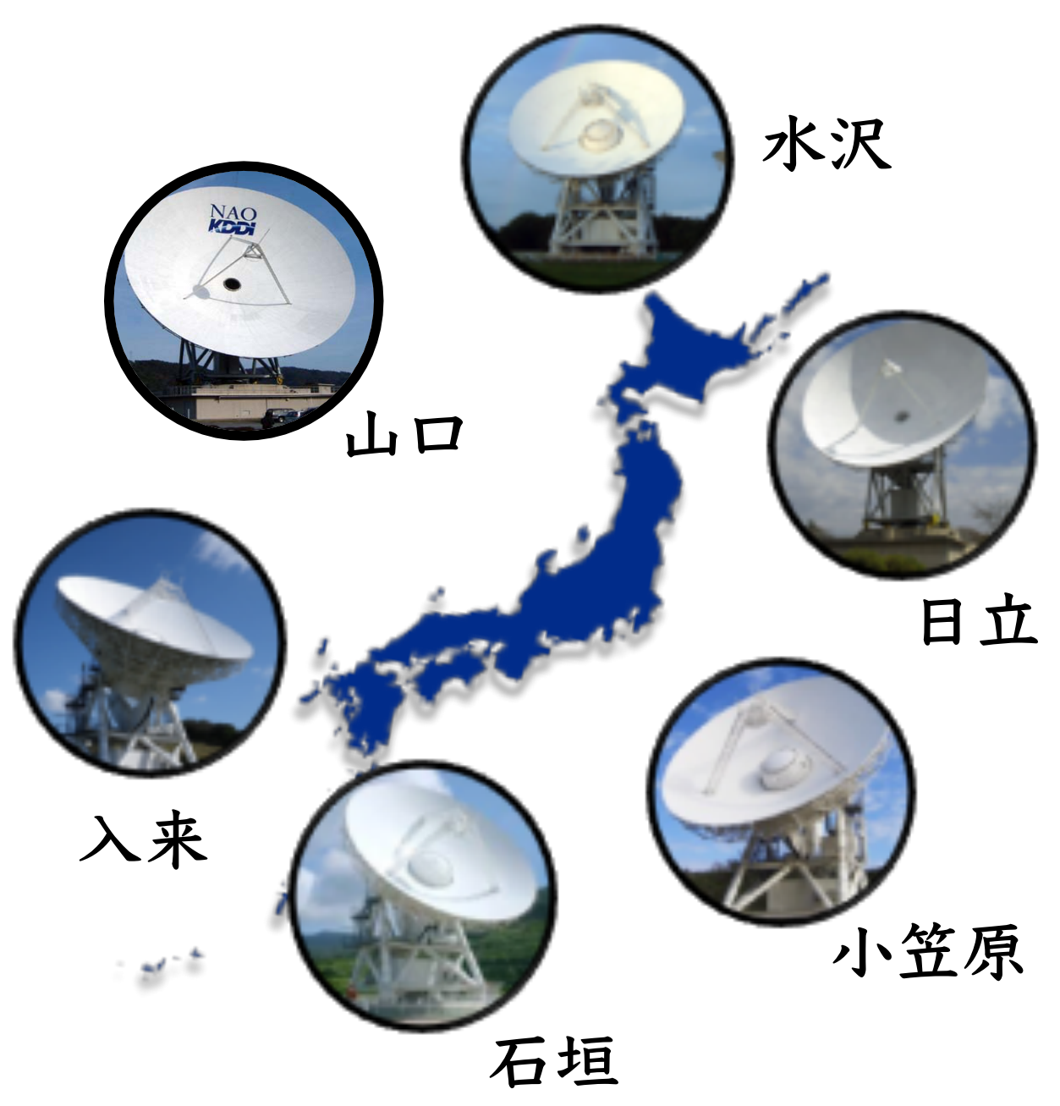


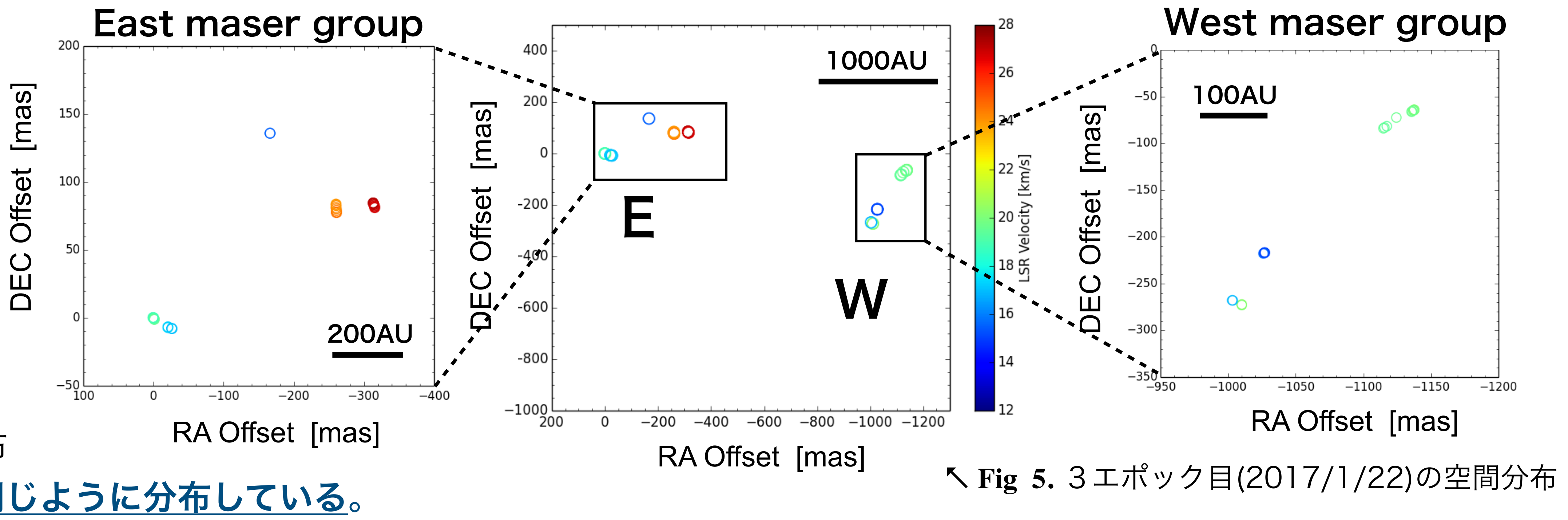
Fig 4. 観測で用いた JVN 参加局
(C-band)

3　解析結果＆考察　>>>>>>> Results & Discussion >>

【空間分布】図５に３エポック目のデータ解析で得られた計62個のメーザスポットの空間分布を示す。メーザの位置は視線速度が19.19 km/s の最も明るい成分を基準とした相対位置でプロットしている。

空間分布は東西に２つのグループに分かれており、グループ間の離角は 約800 mas (〜1700 AU)である。東側のグループは視線速度が15.51〜 27.45 km/s とグループ内で約 12 km/s 差があるのに対し、西側のグループでは15.07 〜 20.34 km/s と グループ内での視線速度の差は 5 km/s ほどであり、東側と比べて半分以下である。

全体的な分布の傾向としては右下から左上に向かって左斜め上に分布しており、図２の白いコントアで示された**アウトフローの放出方向と同じように分布している**。



↖ **Fig 5.** ３エポック目(2017/1/22)の空間分布

【内部固有運動】先行研究によって解析済みの１・２エポックのデータと今回解析した３エポック目のデータから、共通してみられるフィーチャーを９つ同定した。この９点に対する重心座標を不動点と仮定した相対的な位置変化から、内部固有運動を求めた。その結果を図６に示す。

内部固有運動をみると、重心に向かうようなフィーチャーは４つあった。また、速度ベクトルの大きさは 5 km/s 未満の成分が１つ、5〜10 km/s が４つ、10 km/s 以上が４つあり、平均固有運動速度は 11.00 km/s であった。

RA方向で -350 mas や -1100 mas にある近接した２つのフィーチャーのベクトル（図中の□）の向きが大きく異なっていることや 右の【考察】で算出したケプラー回転速度(4km/s)の２倍以上の速度成分をもつことから**円盤への付随の可能性は低い**。また、アウトフローに付随しているとしても、軸に沿った単純な膨張ではなく、周囲の濃い分子ガスとの相互作用によって生じる**衝撃波内の複雑なガス運動が見えている可能性**がある。

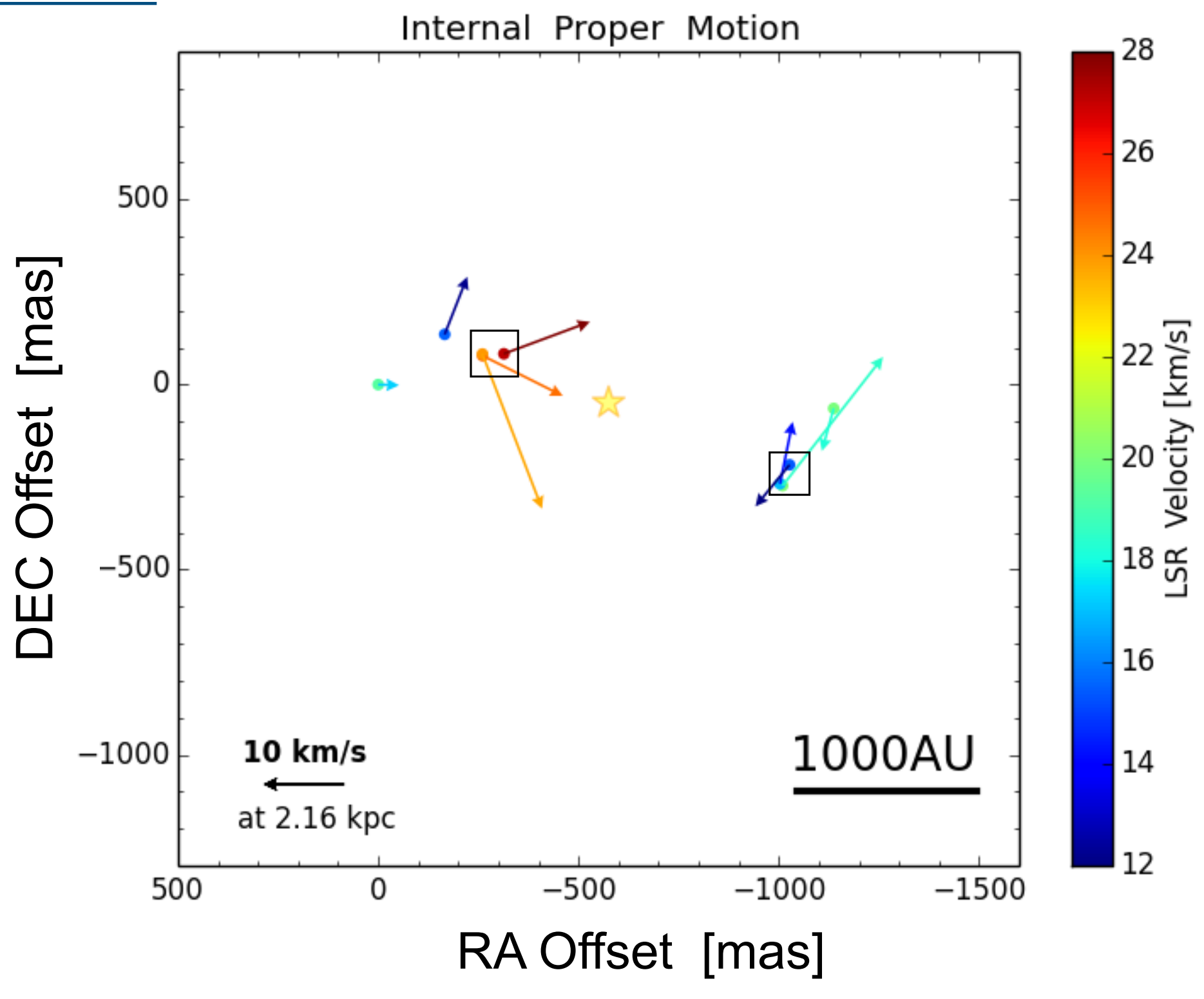
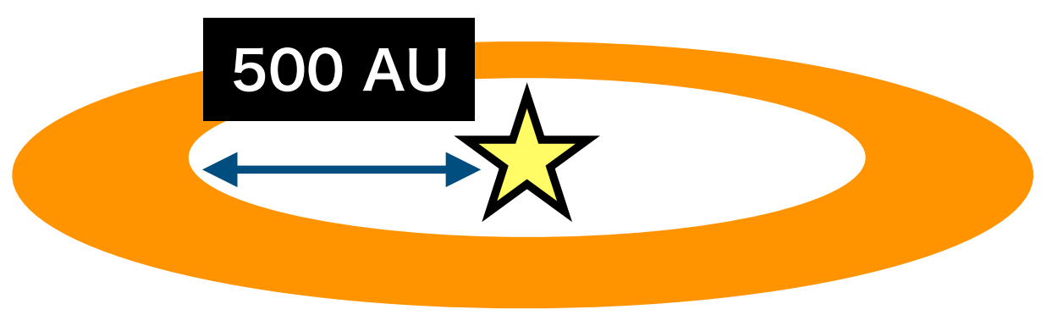


Fig 6. G59.783+0.065における
6.7GHz メタノールメーザの内部固有運動
図中の ☆ は**重心座標** (-575.2 , -49.2) を表している

【考察】 メーザが円盤に付随する場合のケプラー回転速度



G59の赤外線光度：$10^4\ L_\odot$
(Mart’ın-Herna’ndez et al. 2008)
より、星の質量が $10\ M_\odot$ 程度と推定できるので、重心からメーザのスポットまでの距離 〜 500 AU とすると、

$$v_{\rm kepler} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \sim 4 \ {\rm km/s}$$

となり、今回求めた固有運動の平均速度の 11 km/s の半分未満であるので、**円盤への付随の可能性は低い**と考えられる

現時点では向きに一貫性が見受けられないため、**6.7 GHz メタノールメーザがアウトフローに付随することを決定づける結果は得られていない。**第４エポック以降の観測により、より詳しい固有運動が得られると考える。

4　まとめ＆今後　>>>>>>> Summary & Future work >>

３エポック目の解析結果として、空間分布に関しては全体的な分布としてアウトフローの放出方向に分布しているものの、内部固有運動ではケプラー回転する円盤やアウトフローの単純な膨張を示すような傾向は確認できなかった。本研究発表では、固有運動を求めるために基準として重心座標（フィーチャーの平均値）を用いているが、この重心座標を用いる際には、対象とする現象が重心に対して対称的である場合に有効である一方で、非対称な現象に対しては不適切な場合がある。今後はこれらのことも考慮しつつ、固有運動の基準とする座標を変えてみたり、フィーチャーの同定条件の見直しをした上で、先日（2018/11/22）に行われた４エポック目のデータも含めた通算データによる空間分布と内部固有運動を用いて、考察を進めたいと考えている。