

研究背景

6.7 GHzメタノールメーザは大質量星形成領域に付随し、原始星周囲のガスを調べることのできる大質量形成過程を理解するうえで有力なツールである。これまでに、VLBI観測手法を用いた6.7 GHzメタノールメーザの空間分布の研究が盛んに行われている。さらに近年、リング状分布を示す天体を中心に内部固有運動の導出件数が増えてきており、回転降着運動を示すメーザ源(図1, Sugiyama et al. 2014)や円盤のような膨張運動を示すメーザ源(図2)などの報告がなされている。一方、複雑な分布を示すメーザ源の内部固有運動の導出例は少なく、また導出された運動に関して付随する具体的な物理構造の判別、同定は難しい結果となっている。

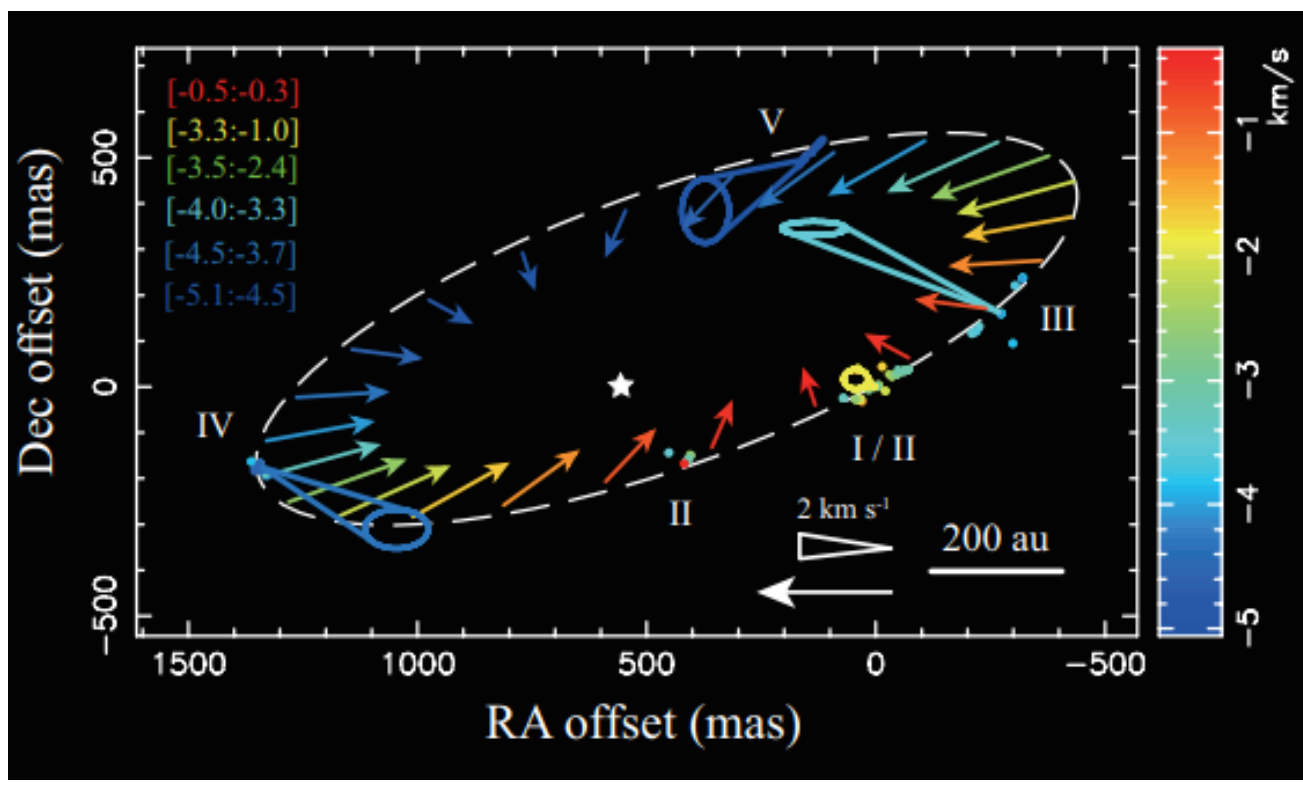


図1 Sugiyama et al. (2014)で報告されたCep-AW2の内部固有運動の様子。回転しながら降着していく様子が報告された。

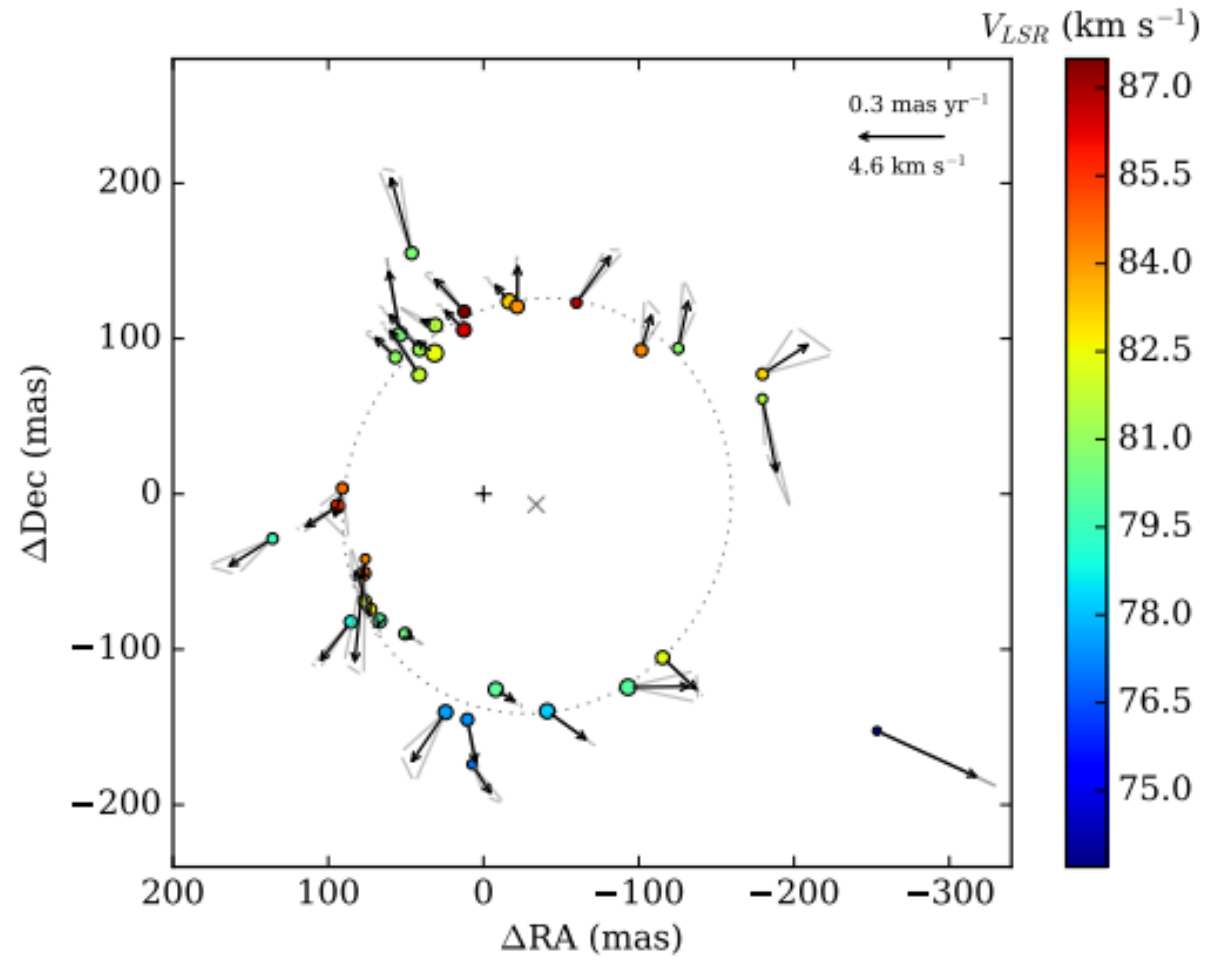


図2 Bartkiewicz et al. (2020)で報告されたG23.657-0.127の内部固有運動の様子。図1とは対照的に膨張する様子が報告された。

先行研究と研究目的

先行研究(中村 桃太郎 2018年度 卒業論文)において高変動(強度変動と速度変動)で複雑な形状を示した6.7 GHzメタノールメーザ源 G59.783+00.065 (G59.7) に対して、空間分布および内部固有運動を導出した。その結果を水メーザ(22 GHz)と比較したところ、両メーザが双極状の分布を示し、また位置も非常に近接していた(図3)。よって、G59.7の6.7 GHzメタノールメーザはアウトフローに付随している可能性が高いと示唆される。6.7 GHzメタノールメーザのアウトフローへの付随についてはMoscadelli et al. (2011) などでも示唆されている(図4)が、このような特徴が一般的であるのかは不明である。そこで、先行研究でみられた傾向が一般的なのか観測天体を増やし統計的に議論することを目的とし、本観測では第一歩として同様にアウトフローに付随すると考えられる天体に対しJVNを用いたイメージング観測を行った。

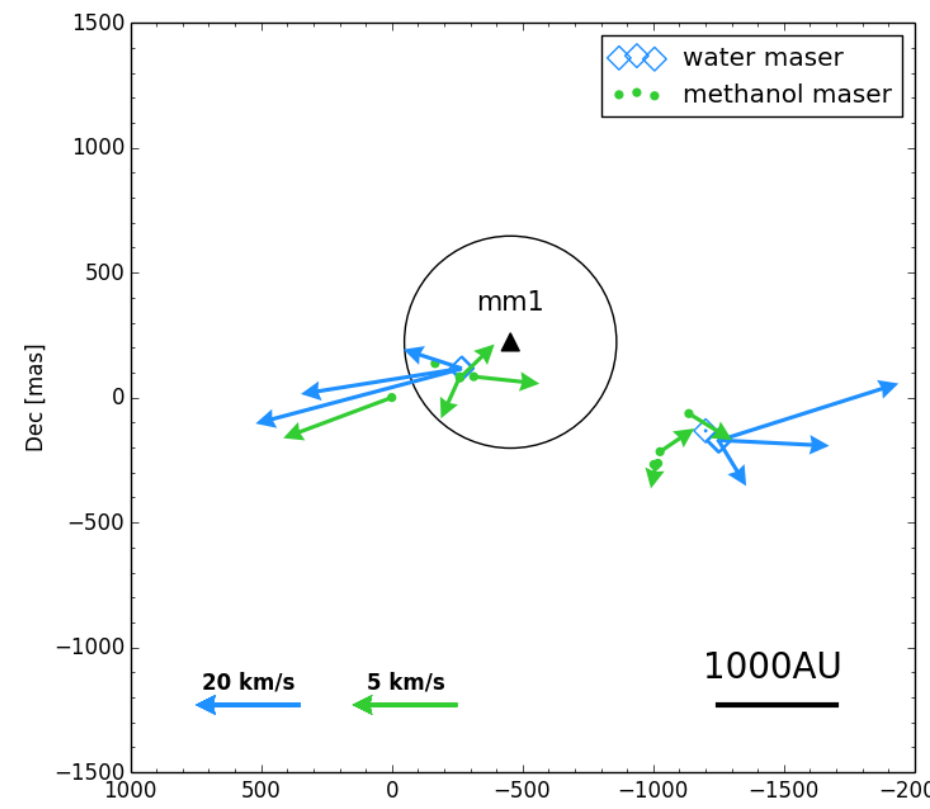


図3 中村 桃太郎 2018年度 卒業論文で報告されたG59.7のメタノールメーザと水メーザの比較図。

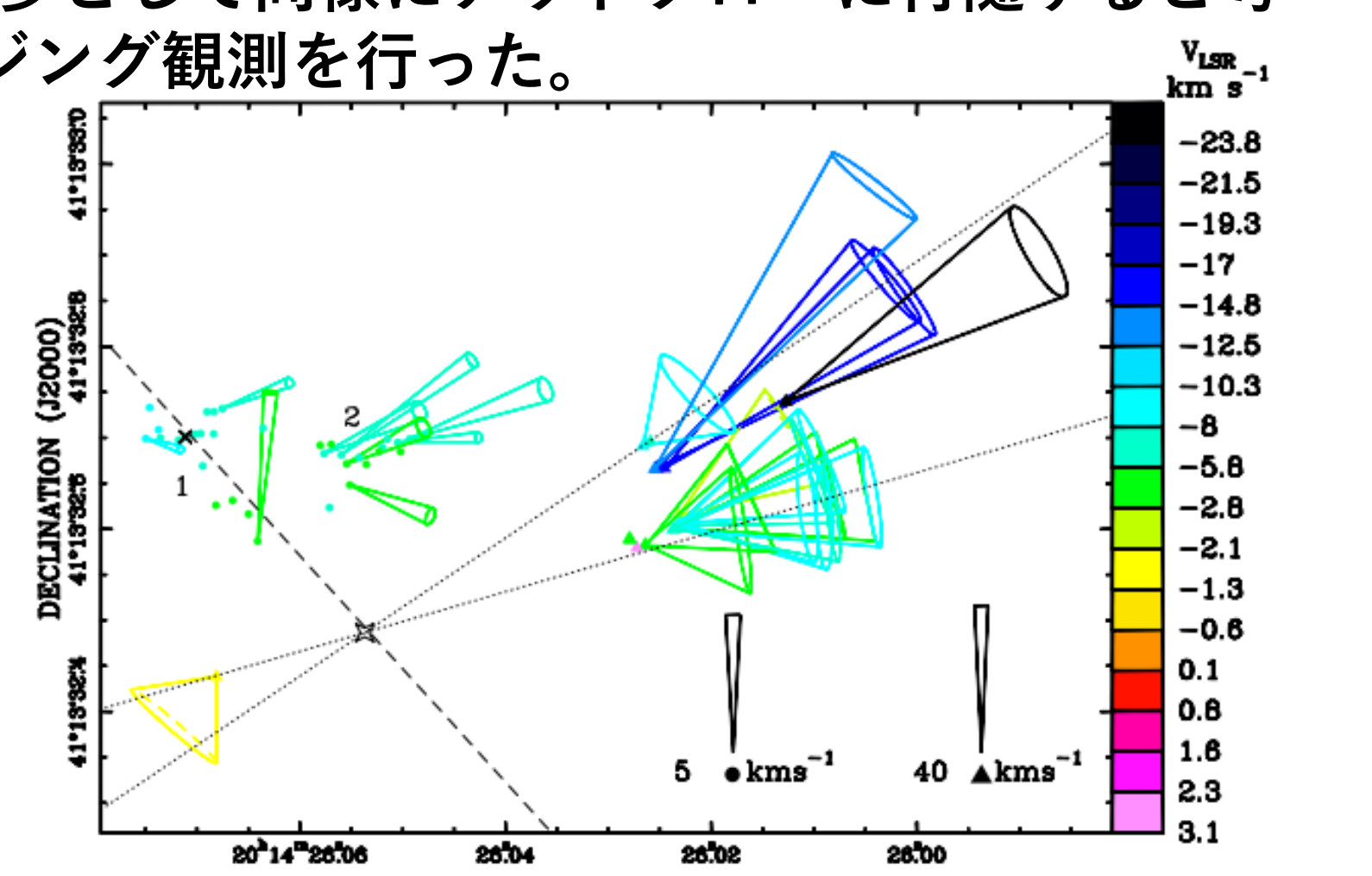


図4 Moscadelli et al. (2011)で報告されたIRAS 20126+4104のメタノールメーザと水メーザ比較図。丸と三角はそれぞれメタノールメーザと水メーザを示している。

観測天体と観測概要

アウトフロー候補天体として以下の条件でParks MMB survey (Caswell et al. 2010; Green et al. 2010; Caswell et al. 2011; Green et al. 2012; Breen et al. 2015)カタログ972天体から

- 速度幅が 10 km/s 以上(アウトフローの活動を考慮)
- 過去に 22 GHz 水メーザが検出されている
- 直近の単一鏡フラックス密度が 60 Jy 以上
- 過去に内部固有運動が導出されていない

の条件を満たす4天体を選出した(表1)。観測概要を右の表2に示す。(バンドパス較正兼フラックスキャリブレーション天体としてNRAO530を用いた。)

表1 観測天体とその情報

Source	赤道座標 [J2000.0]		速度幅 [km/s]	山口32m Peak flux (2020) [Jy]	D [kpc]
	赤経 [h m s]	赤緯 [° ' '']			
G00.546-0.852	17 50 14.41	-28 54 30.1	16	141.7	7.2
G08.832-0.028	18 05 25.65	-21 19 24.8	12	69.9	5.2
G12.681-0.182	18 13 54.75	-18 01 46.5	12	519.8	2.40
G35.197-0.744	18 58 13.10	+01 40 35.0	10	177.7	2.0

*Dは天体までの距離

表2 観測概要

観測日	2020.6.6
観測時間(UT)	13:25:00 - 19:51:50
観測局	山口第一、日立、入来、石垣、小笠原
中心周波数(MHz)	6668.519 (帯幅幅: 512)
チャンネル周波数(kHz)	1
速度分解能	0.044 km/s
ビームサイズ(mas ²)	5.37 × 3.18
Image rms(Jy/beam)	0.1 (1 σ)

解析はAIPSを用いた。ピークチャンネルでフリンジフィット及びセルフキャリブレーションを行い、信号雑音比7σ以上を検出とした。結果49のメーザスポットが検出された。

結果と考察

①空間分布

検出されたスポットから7つのフィーチャーが同定された。(表3)同定の条件は3チャンネル以上数mas以内に存在しているものとした。図5に同定されたフィーチャーの空間分布を示す。

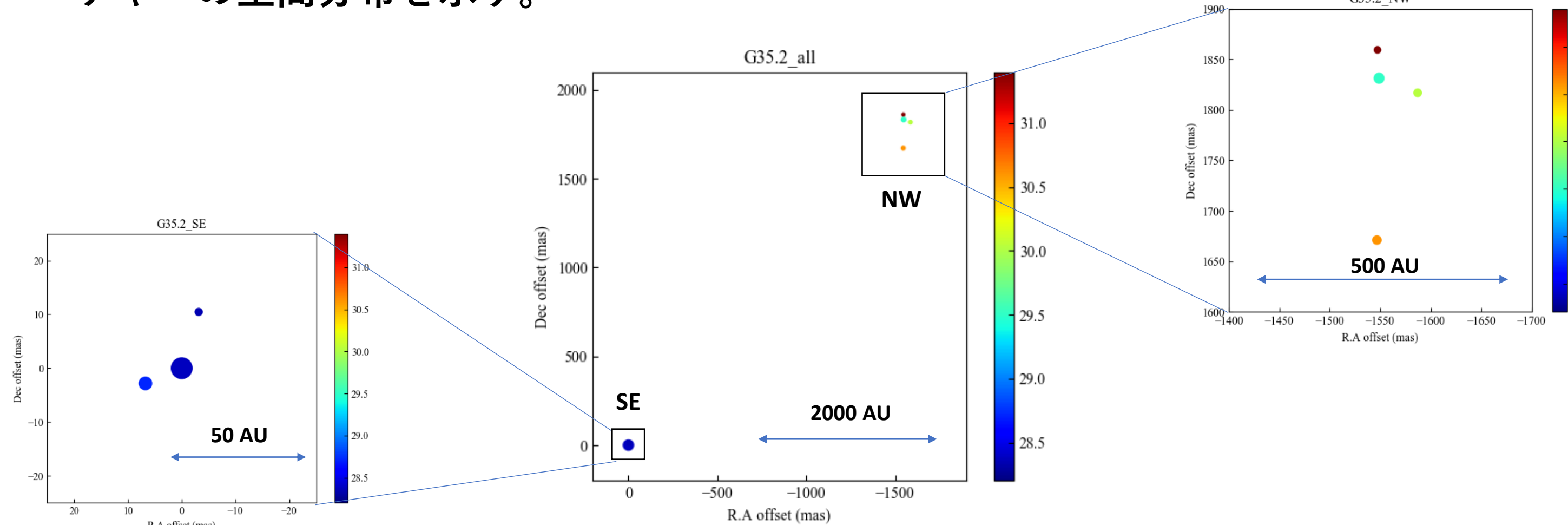


図5 G35.2の6.7 GHzメタノールメーザフィーチャーの空間分布の様子

この結果から、空間的に離れた位置(~5000 AU)に2つのメーザ源の塊(SE,NW)が存在することがわかった。これはSugiyama et al.(2008)のJVNの結果、Surcis et al. (2012)で報告されたEVNで観測された結果と一致している。

②固有運動

Surcis et al. (2012)のデータを用いて、一番明るいメーザフィーチャー(図5,SW成分)を重ねて内部固有運動を導出した。(図6)

3つのフィーチャーについて南北方向に沿った運動が確認された。さらに、フィーチャー同士が互いに近づくような傾向も見られた。

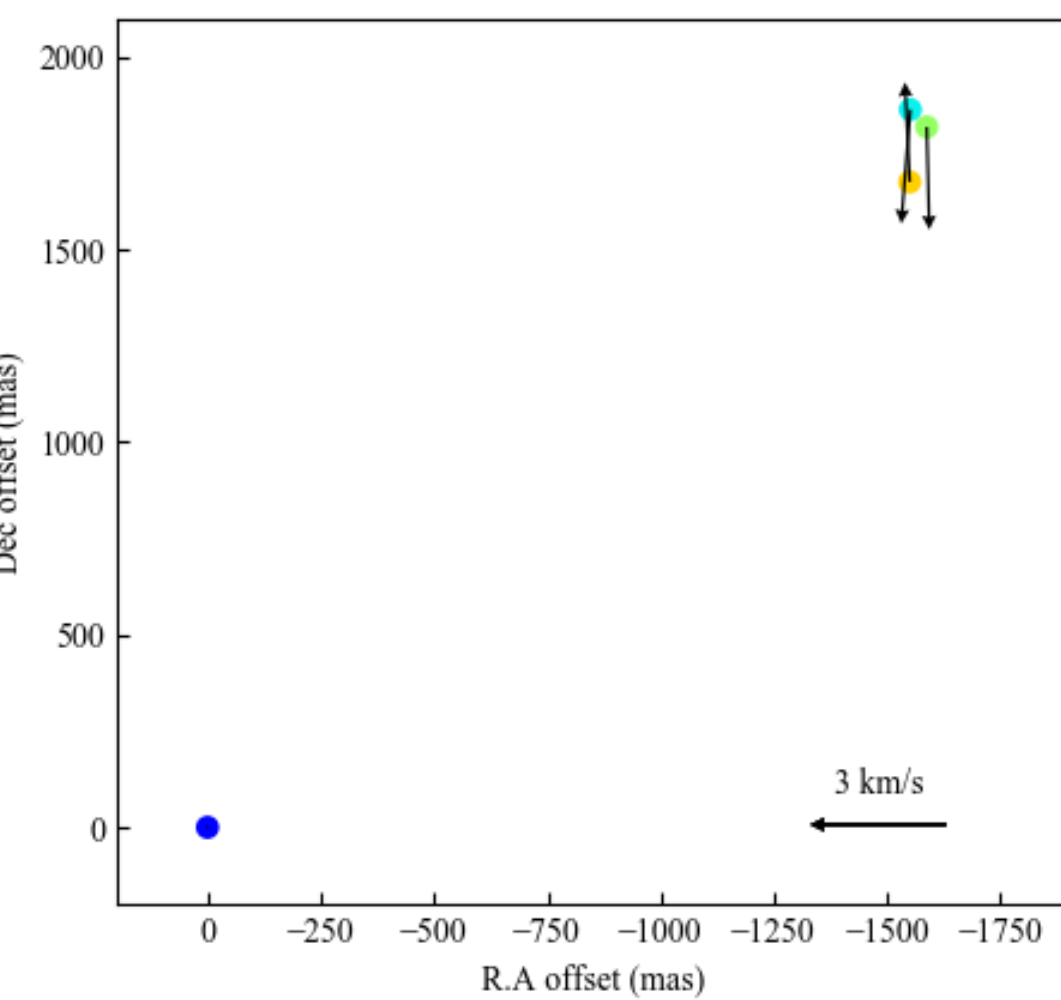


図6 EVN観測と本観測の11年で導出した固有運動

表3 本観測におけるフィーチャー情報一覧

number	RA(mas)	DEC(mas)	LSR(km/s)	SNR
1(SE)	6.7	-2.8	28.716	158.5
2(SE)	0	0	28.386	425.5
3(SE)	-3.1	10.4	28.343	52.1
4(NW)	-1547.2	1859.2	33.325	33.3
5(NW)	-1548.8	1831.3	29.506	76.8
6(NW)	-1546.7	1671.0	30.604	55.5
7(NW)	-1587.0	1816.8	30.036	45.3

まとめ

- アウトフロー候補天体に対し、JVN 5局を用いたVLBI観測を行った。
- 観測天体4天体の内、G35.2について空間分布、及び固有運動を取得した。
- 空間分布においては、空間的に離れた位置に2つのメーザ源の塊(SE,NW)を検出した。EVNとの比較でもフィーチャーの位置が一致していることがわかった。
- 固有運動では、EVNの結果と比較し、3つのメーザ源に対して内部固有運動を導出した。南北方向の運動を検出し、さらにフィーチャー同士が互いに近づくような傾向が見られた。
- 固有運動と空間分布からSE成分とNW成分において考察を行った。SE成分においてはCH₃CNの観測との比較から、星周円盤に付随することが示唆された。NW成分においては同様にCH₃OHの速度場とメーザのPV図、固有運動の比較からedge-onの回転円盤に付随する可能性が考えられる。

③他観測との比較

G35.2に関して、Á. Sánchez et al. (2014)のALMAで観測された335.133 GHzの分子輝線及び連続波での報告によって2つのコアの存在が明らかになった。(図7) コアとメタノールメーザの位置の比較をするために、今回のJVN、EVNの分布の比較をしたものを以下の図8(SE)、図9(NW)に示す。

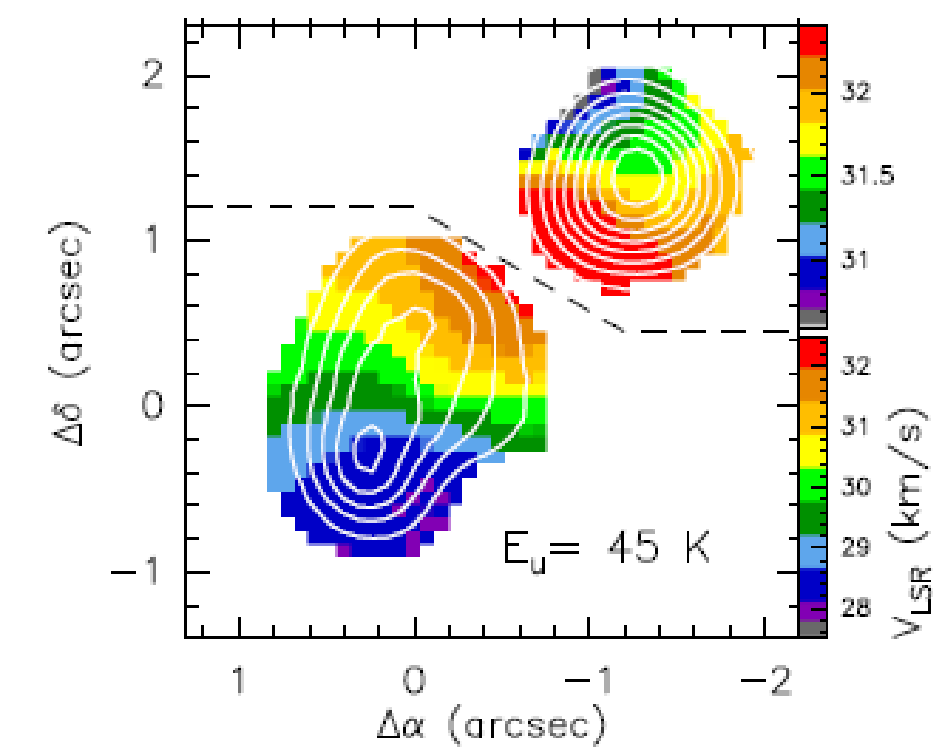


図7 ALMA 335.133 GHzで観測された熱的CH₃OH輝線の分布と速度場。右上がコアA、左下がコアB

SE成分について

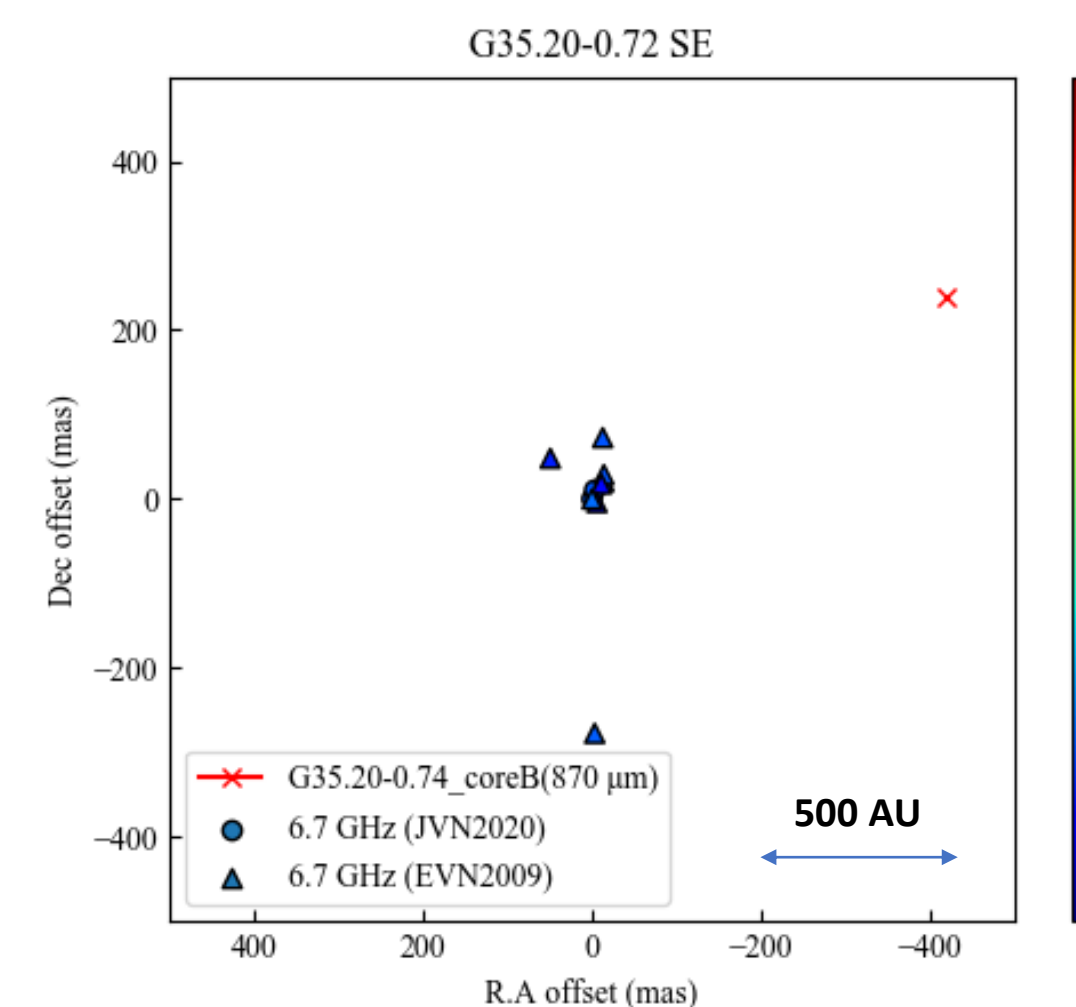


図8 G35.2(SE)の空間分布

この成分では、コアBの南東にメーザ源が集中している。

Á. Sánchez et al. (2013)の報告から、CH₃CNの観測から連続波源を中心(18 M_☉の連星)としたケプラー円盤の存在が明らかになった。メーザ源の視線速度と位置の関係(図10:星印)からSE成分に関してはコアBの星周円盤の南東付近に付随していると示唆される。(図10)

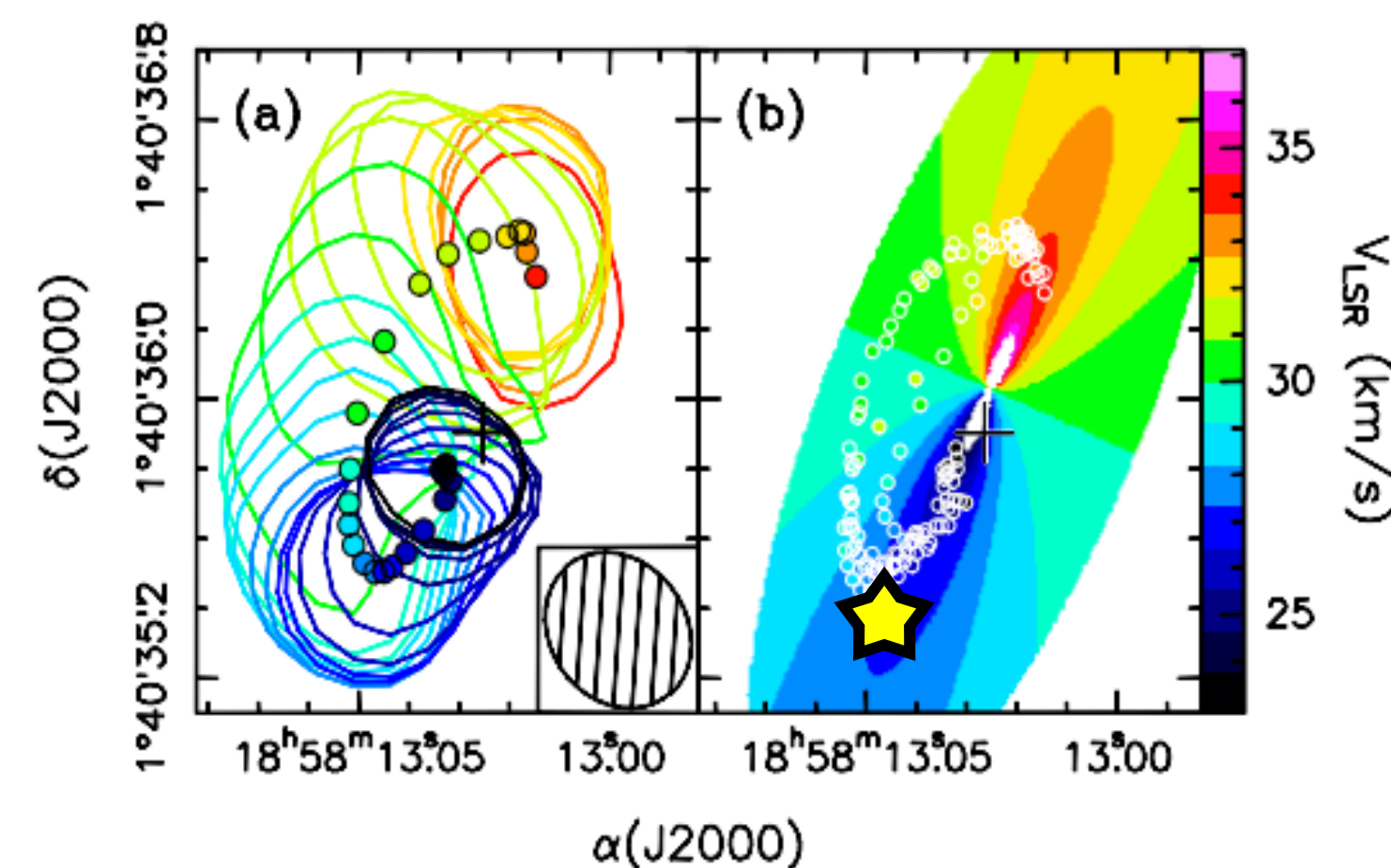


図10 (右)CH₃CN(J19-18,K=2)の輝線のピーク図、(左)ケプラー円盤を仮定して描画したvelocity centroid map

NW成分について

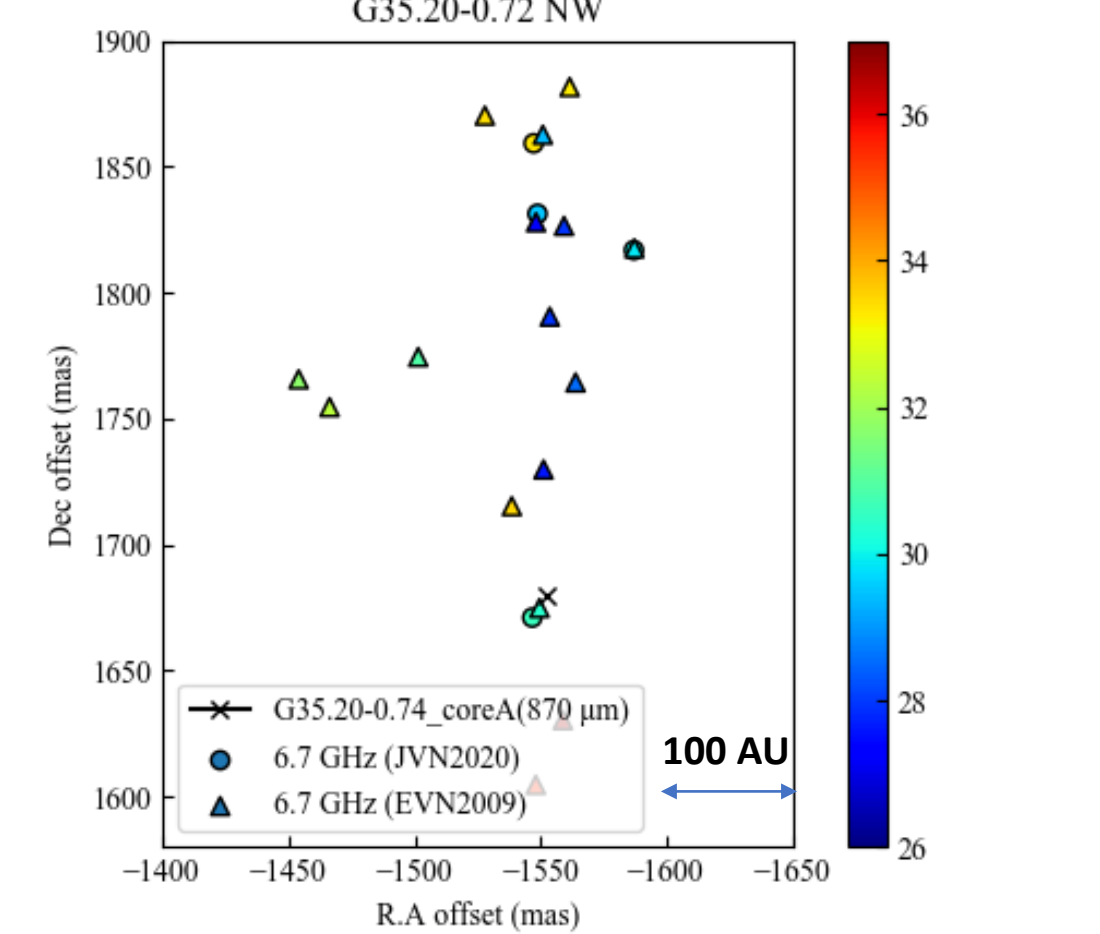


図9 G35.2(NW)の空間分布

この成分では、コアA付近に主に南北方向に沿ってメーザ源が広がっている。コアAが南北方向に速度勾配を持っていることから(図7)、NW成分においてDEC方向に沿ったPV図を作成した。(図11)

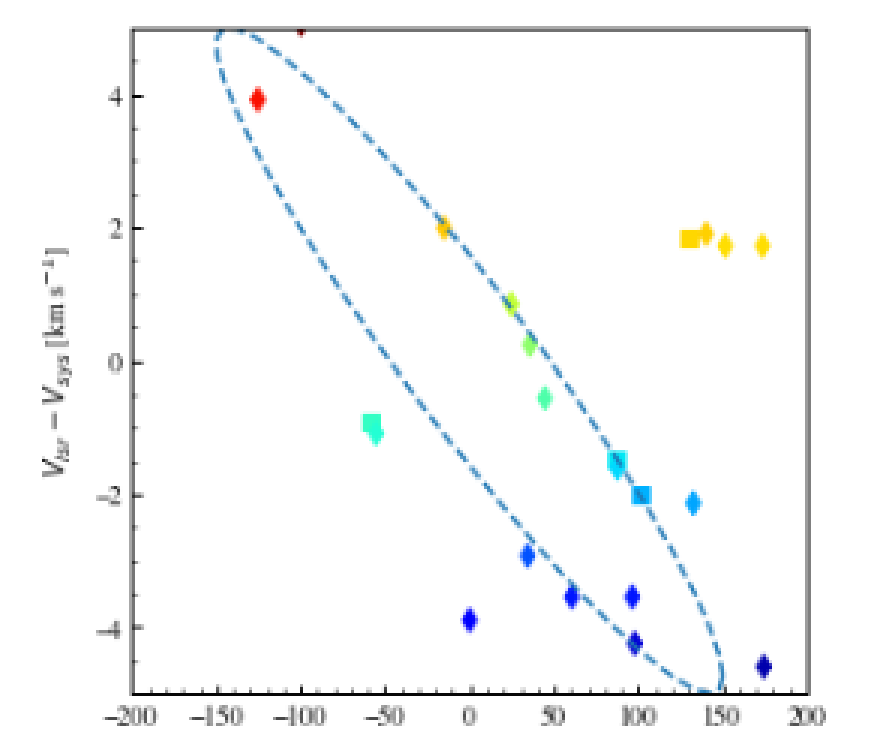


図11 G35.2(NW)のPV図

ここで系統速度(V_{sys})として、コアAの速度=31.5 km/sを採用した。図中の点線は半径150 AU、回転速度8 km/sのedge-on円盤を仮定した場合の速度場を表す。このような円盤を仮定すればフィーチャーが互いに近づく固有運動も同時に説明できる可能性がある。

今後の展望

本ポスターでは1天体のみの紹介だったが、今後は残り3天体についても解析を行い、先行研究との比較考察を進める予定である。