

卒業論文

東アジア VLBI 観測網を用いた
大質量星形成領域に付随する
6.7 GHz メタノールメーザー源の固有運動探査

2020 年度
(令和 2 年度)

茨城大学理学部理学科

学際理学コース
17S6019F
小室恵未奈

概要

本研究では、大質量星形成領域 G000.54−00.85、G002.53+00.19、G006.79−00.25、G008.83−00.02、G025.82−00.17、G351.77−00.53 の 6.7 GHz メタノールメーザーを VLBI でマルチエポック観測（年一回の観測を複数年にわたって行う観測）し、その観測データからメーザースポットの空間分布を得た。また、複数のメーザースポットがクラスタリングしたメーザーフィーチャーを定義して固有運動を導出した。

本研究で解析した 6 天体について 3-sigma の有意度で運動しているといえるものはなかった。

目次

1	研究背景	1
1.1	大質量星.....	1
1.2	メタノールメーザー.....	3
1.3	VLBI (Very Long Baseline Interferometry)	5
1.4	固有運動	5
1.5	研究目的	5
2	対象天体	6
2.1	天体選出条件	6
2.2	先行研究.....	6
3	観測概要	11
4	解析	13
5	結果	14
5.1	空間分布.....	14
5.2	メーザーフィーチャー.....	29
5.3	固有運動.....	37
6	考察	56
6.1	固有運動.....	56
6.2	円に射影する方法について.....	60
7	まとめ	62

謝辞

参考文献

付録 A 各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

付録 B 各天体の各エポックで同定されたフィーチャー

1 研究背景

1.1 大質量星

本節では、「シリーズ現代の天文学 6 星間物質と星形成」(福井康雄、他 2008)を参考に記述する。

大質量星とは太陽の 8 倍以上の質量をもつ恒星であり、星間物質、さらに銀河とその進化に物理的にも化学的にも大きな影響を与える。大質量星がいかに周囲に影響を与えるかは以下の特徴から整理できる。まず、表面温度が高いために紫外線量が大きく、周囲のガスを電離・加熱する。また、星風と呼ばれるガス流を発生して周囲の物質を圧縮する。さらに、進化の終末で超新星爆発を起こし、星間空間に膨大なエネルギーを与え、同時に爆発時に重元素を生成・供給する。超新星残骸と、爆発時に形成される中性子星・ブラックホールは、宇宙線加速の現場と考えられる。これらの影響により、大質量星の形成頻度は少ないにもかかわらず、星間空間は大質量星の解放するエネルギーによって強く影響される。したがって、大質量星の形成を解明することは、銀河規模での現象の理解に不可欠な重要な課題である。

1.1.1 大質量星形成過程

中小質量星の形成過程は、その形成領域が大質量星に比べて相対的に太陽近傍にあり、豊富な観測的証拠があることから、深い理解が得られている。標準的な中小質量星形成過程のシナリオは以下の通りである。

- (1) 分子雲の中でもガスの密度が高く、星が形成される可能性が高い領域である分子雲コアの中心で重力収縮し、その中心密度が $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ になると、ほぼ力学的に平衡状態のガス球 (the first core と呼ばれる原始星コア) ができる。
- (2) the first core の主成分は水素分子であり、このコアに周囲からさらに星間ガスが降着し、コアの質量が増加する。それとともにコアの温度も上昇し、およそ 2000 K になると水素分子が解離を始める。
- (3) (2) は吸熱過程であるために水素分子ガスの圧力は下がり、平衡状態が破れて再び動的な収縮が始まる。この収縮を the second collapse と呼ぶ。
- (4) 2 度目の崩壊を経て、解離した水素は完全電離状態になり、再度平衡状態の原始星コアを形成する。これが the second core である。
- (5) the second core に引き続き星間ガスが降着し、原始星の質量が増加する。その後、何らかの仕組みによって質量降着が停止する。これが主質量降着期である。
- (6) ケルビン-ヘルムホルツ収縮によってコアの中心温度が $1.5 \times 10^7 \text{ K}$ に達すると、水素核融合が始まり、主系列星となる。

一方で、大質量星には以下の観測的難点が存在する。

- (1) 絶対数が少ない
- (2) 進化のタイムスケールが短いため、統計的な進化過程を追うことが困難である
- (3) 巨大分子雲が、太陽系近傍ではなく少なくとも約 400pc 以上遠方に存在しているため空間分解能が悪い
- (4) コアの周りを高密度のガスやダストが覆っているため、可視光での観測が困難である

以上のことから、その形成過程の理解はあまり進んでいない。

このような観測的難点以外の本質的な問題も存在する。

中小質量星と同様の降着進化が単に長期間続いた結果として、数十 $M_{\odot}$ 以上の大質量星が形成されたと考えると、以下のような困難が生じる。

- (1) 小質量星の際の典型的な質量降着率 $10^{-5}M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ で、大質量星の寿命である 2–3 百万年の間ずっと降着を続けたとしても、せいぜい 30–40 $M_{\odot}$ 程度までしか質量を増やすことができない。そのため、それ以上の質量を持つ大質量星が観測されていることについて説明ができない。
- (2) 典型的な降着率の際には、質量が約 8 $M_{\odot}$ に達すると中心星は主系列星になり、以後中心星からの膨大な輻射圧によって降着が妨げられる。そのため、典型的な降着率のもとでは、10–20 $M_{\odot}$ よりも大きい星を球対称的な降着により形成することが困難である。

よって、中小質量星の形成過程を単純に拡張するだけでは、大質量星の形成過程は説明できない。

現在は主として2つのシナリオが提案されている。まず、第一のシナリオは「降着説」である。この降着説では、大質量星も小質量星と同様に降着進化によって質量を獲得するものの、その際の降着率が極めて大きいとする。この場合は放射圧による制限が緩くなり、数10 $M_{\odot}$ 程度以上の大質量星の形成も可能となる。また、実際には降着物質は角運動量を持っているために原始星周りに降着円盤を形成するため、原始星から見て、赤道面方向（円盤方向）は非常に光学的に厚く、それと垂直な極方向は比較的光学的に薄くなる。これにより、放射は極方向に強く、円盤方向に弱くなるので、円盤を通じての降着は妨げられずに継続できる。

第二のシナリオは「合体説」である。この説は星団中央部の星密度が高い環境で、星同士の衝突・合体が起こった結果、大質量星が形成されるというものである。この過程が実際に起こるためには星密度が 10^8 個 pc^{-3} 以上であることが必要である。しかし、このような高密度環境はこれまでに発見されておらず、実際に星同士の合体が効率よく起こるかは確認されていない。星間ガスに埋もれている若い星団の一時期にこのような高密度期が存在し、その時期に合体により大質量星が形成されているのかもしれない。

1.2 メタノールレーザー

本節は「シリーズ現代の天文学 6 星間物質と星形成」(福井康雄、他 2008) 及び「シリーズ現代の天文学 16 宇宙の観測 II - 電波天文学」(中井直正、他 2009) を参考に記述する。

1.2.1 メーザー現象

メーザーとは、誘導放射によるマイクロ波増幅 (MASER : Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) のことである。

地球の大気のようにガス密度の高いところでは粒子同士の衝突が支配的あり (熱平衡状態)、二つの準位間の粒子数 (n_1, n_2) の比は以下のボルツマン分布

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$$

で与えられる。

$$\frac{n_2/g_2}{n_1/g_1} = \exp\left(-\frac{h\nu}{kT_{\text{ex}}}\right) \quad (1)$$

は必ず 1 より小さくなり、統計的重みあたりの粒子数 $\frac{n_i}{g_i} (i = 1, 2)$ は下のエネルギー準位の方が多くなる (図 1.1 (a))。ところが、粒子数密度の低い希薄な宇宙空間では粒子同士の衝突よりも自発放射 (A 係数) や誘導放射や吸収 (B 係数) の方が卓越する場合があります、したがって、必ずしも $\frac{n_2 g_1}{n_1 g_2} < 1$ とはならず、上のエネルギー準位の方により多く分布する場合があります (図 1.1 (b))。このような状態を反転分布といい、式 (1) を適用すると励起温度 T_{ex} が負になることから負温度分布とも呼ばれる。

吸収係数はアインシュタイン係数間の関係を用いて次式のように表せる。

$$\kappa_\nu = \frac{h\nu}{4\pi} n_1 B_{12} \left(1 - \frac{n_2 g_1}{n_1 g_2}\right) \varphi(\nu) \quad (2)$$

ただし、 $\varphi(\nu)$ は遷移の起こりやすさを相対的に表すプロファイル関数で、全ての周波数で積分したとき 1 になるよう規格化されている。

反転分布では、上の準位の滞在密度 n_2 が大きくなり $\frac{n_2 g_1}{n_1 g_2} > 1$ が成り立つので、式 (2) の $(1 -$

$n_2 g_1 / n_1 g_2)$ が負となり、吸収係数 κ_ν も負となる。この時、

$$dI_\nu = -\kappa_\nu I_\nu ds = -\frac{h\nu}{4\pi} (n_1 B_{12} - n_2 B_{21}) I_\nu \varphi(\nu) ds$$

の電波強度 I_ν の変化量 dI_ν は正となり、入射した放射強度が増幅されることを意味する。こ

れがレーザーと呼ばれる現象であり、原理的には光のレーザーと同じである。

二つの準位間で上の準位の方により多くの粒子が存在する状態は非常に不安定であり、外からこの 2 準位間のエネルギー差に相当する周波数 ν_{21} の電波が入射してくると上の準位にある粒子がすぐ下の準位に落ちて ν_{21} の電波を誘導放射する。それがまた別の分子に入射して同様の放射を起こす。これが連続的に起きて非常に強い放射を出す。

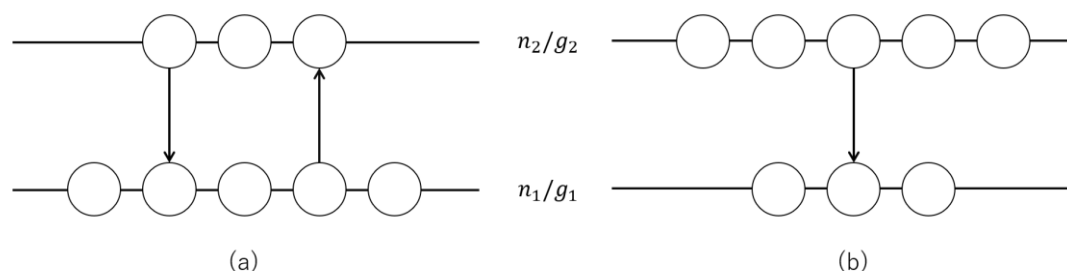


図 1.1 二つのエネルギー準位の粒子の数。(a) が熱平衡状態（ボルツマン分布）、(b) がレーザーの場合（反転分布）

1.2.2 6.7 GHz メタノールレーザー

大質量星形成領域では、レーザー現象を起こす分子として水酸基 (OH)、水 (H_2O)、メタノール (CH_3OH) などが知られている。この中のメタノールレーザー源の分布は輝線によって大きく異なるため、クラス I (25 GHz など) とクラス II (6.7 GHz, 12 GHz など) の 2 種類に分類されている。

レーザー源は非常に輝度が高い（輝度温度が水レーザーでは 10^{12} K、メタノールレーザーでは 10^{10} K に達する）ため、超長基線干渉計法 (VLBI) などの感度はそれほど良くはないが超高空間分解能 ($\leq$ ミリ秒角) が得られる観測においても検出可能である。そのため、詳細な空間分布が得られるだけでなく、時期をずらして複数回観測を行うこと（マルチエポック観測）により、運動の解明ができる点に特徴がある。

メタノールレーザーの中でも、本研究の対象となる 6.7 GHz メタノールレーザーは、1991 年に初めて観測された (Menten 1991)。6.7 GHz メタノールレーザーを起こしている分子ガス領域のサイズは数 au 程度と非常にコンパクトであり、観測される輝度温度は $\sim 10^{12}$ K まで到達するという特徴がある (Menten 1992)。また、6.7 GHz メタノールレーザーは大質量星形成領域以外での検出例がほとんどないため、大質量星形成の指標として精力的な観測が行われている。

1.3 VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

極めて高い角度分解能が必要な観測には VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線干渉計) という技術を使う。

§ 1.2.2 で述べたようにメーザー源は輝度が非常に高く、放射サイズは数 au 程度とコンパクトであるため、ミリ秒角 (milli-arcsecond ; mas) スケールの高い空間分解能を持っている VLBI での観測が可能である。この VLBI 観測により、詳細な空間分布などの解明が可能である。

1.4 固有運動

6.7 GHz メタノールメーザーは比較的長寿命であるため、複数年にわたって VLBI 観測を行うマルチエポック観測により、メーザースポットの内部固有運動を mas yr^{-1} スケールで計測することが可能である。メーザーは、大質量原始星周囲のガス雲から放射されると考えられることから、内部固有運動の計測によって得られた情報と視線速度の情報を組み合わせた 3 次元速度構造を明らかにすることができる。また、大質量原始星周囲の円盤の回転やインフォール、もしくは膨張などの力学的運動の情報を直接得ることができると期待されている。これまでに、回転運動 (Sanna et al. 2010)、膨張を伴う回転運動 (Sugiyama et al. 2016)、インフォールを伴う回転運動 (Sugiyama et al. 2014) など様々な内部固有運動が推定されている。

1.5 研究目的

以上のことから、メーザースポットの空間分布および内部固有運動の情報と視線速度の情報とを組み合わせることができれば、大質量原始星周辺の 3 次元速度構造を明らかにすることができる。

本研究ではタイ国立天文研究所の杉山孝一郎氏に頂いた観測結果をもとに、Fujisawa et al. 2014 で「楕円形状」に分類された 6 天体についてさらに複数回の観測結果を用いた固有運動探索を目的とする。

2 対象天体

本研究で対象とした天体は、周期的強度変動を示す 6.7 GHz メタノールメーザー源 G000.54−00.85、G002.53+00.19、G006.79−00.25、G008.83−00.02、G025.82−00.17、G351.77−00.53 (以下 G0.54、G2.53、G6.79、G8.83、G25.82、G351.77 と呼称) である。以下に天体選出条件および対象天体の詳細について記す。

2.1 天体選出条件

本研究の対称天体である 6 天体の天体選出条件は「Fujisawa et al. 2014 で東アジア VLBI 観測網 (East Asian VLBI Network ; 以下、EAVN) によるマルチエポックの VLBI 観測が実施されている天体のうち、『楕円形状』に分類されたもの」である。

形状の分類プロセスとして、まず、ほとんどすべてのスポットが小さなクラスターを形成していることを認識した。ここで、クラスターを 1 つ以上のスポットを含むスポットグループ (サイズは全体の範囲の 10 分の 1 程度) として定義した。「楕円形状」とは、4 つ以上のクラスターが存在し、すべてが楕円に適用できる場合の形状のことであり、その他の形状の分類として「直線形状」「円弧状形状」「ペア形状」「複雑形状」がある。Fujisawa et al. 2014 で解析された 38 天体はすべてこの 5 つに分類された。

2.2 先行研究

Fujisawa et al. 2014 では 35 領域 38 天体に対して年 1 回、計 3−4 回の VLBI 観測を 2010 年から EAVN を用いて行っていた。このデータを解析し、メーザースポットの分布を解析している。観測日、観測局は表 2.1 に記した。

表 2.1 EAVN 1 エポック目の観測概要

セッション	観測日 (yyyy/mm/dd)	観測時間 (UT)	参加局*
1	2010/08/28	07:00 − 16:00	M,R,O,I,H,S
2	2010/08/29	07:00 − 28:00	M,R,O,I,H,S
3	2010/08/30	08:00 − 17:00	M,R,O,I,H,
4	2011/10/27	03:00 − 10:00	M,R,O,I,Y,H
5	2011/10/28	03:00 − 10:00	M,R,O,I,Y,H,S
6	2011/11/26	01:30 − 09:00	M,R,O,I,Y,U,H,S

* M:水沢、R:入来、O:小笠原、I:石垣、Y:山口、U:白田、H:日立、S:上海

対象天体の 6 天体のセッション、フリンジレートマッピングで得られた絶対座標、天体までの距離等を表 2.2 に示す。また、EAVN によって同定されたメーザースポットのマップを図 2.1 – 図 2.6 に示す。図 2.1 – 図 2.6 の原点はフリンジレートマッピングで $0''.2$ の精度で決定された絶対座標であり、横軸と縦軸はそれぞれ、原点に対する相対座標軸である。円の大きさは $\log$ スケールで表した強度に比例しており、色は視線速度に対応している。

表 2.3 各天体の諸情報

天体名	IRAS 名	session	座標(J2000.0)		距離 (kpc)	主成分		Ref.
			RA (^h ^m ^s)	Dec ([°] ['] ^{''})		視線速度 (km s ⁻¹)	強度 (Jy)	
G0.54	17441–2822	4	17 50 14.56	–28 54 31.4	7.2	11.8	68	Caswell et al. (2010)
G2.53*	17476–2638	3			4.2	3.1	88	Caswell et al. (2010)
G6.79	17589–2312	2	18 01 57.76	–23 12 34.2	3.8	16.3	91	Green et al. (2010)
G8.83	18024–2119	1	18 05 25.66	–21 19 25.4	5.2	–3.8	159	Green et al. (2010)
G25.82	18361–0627	6	18 39 03.63	–06 24 09.9	5.0	91.2	70	Xu et al. (2009)
G351.77	17233–3606	1	17 26 42.54	–36 09 17.6	0.4	1.3	231	Caswell et al. (2010)

* フラックスが弱い、分解されているため、フリンジレートマッピングに適していない。

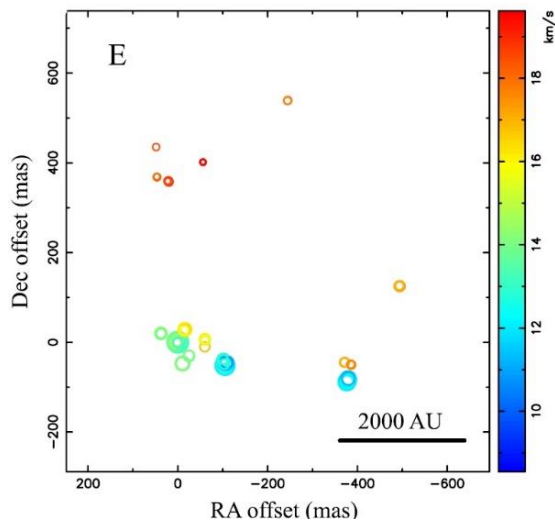


図 2.1 G0.54 の空間分布[1]

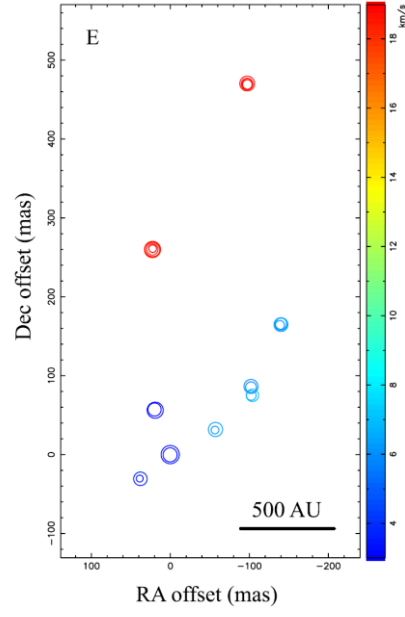


図 2.2 G2.53 の空間分布[1]

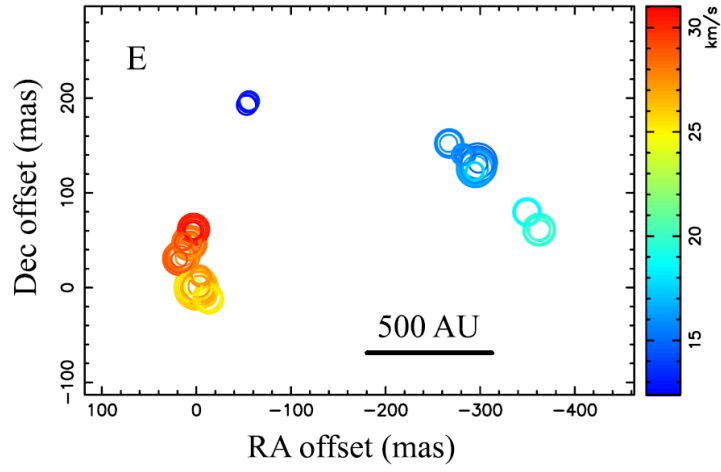


図 2.3 G6.79 の空間分布[1]

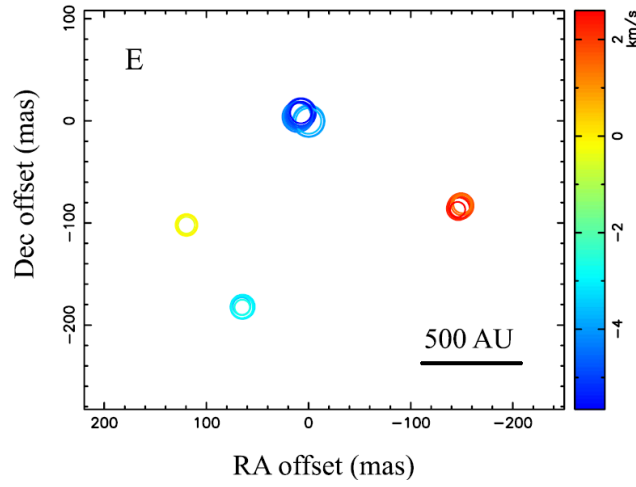


図 2.4 G8.83 の空間分布[1]

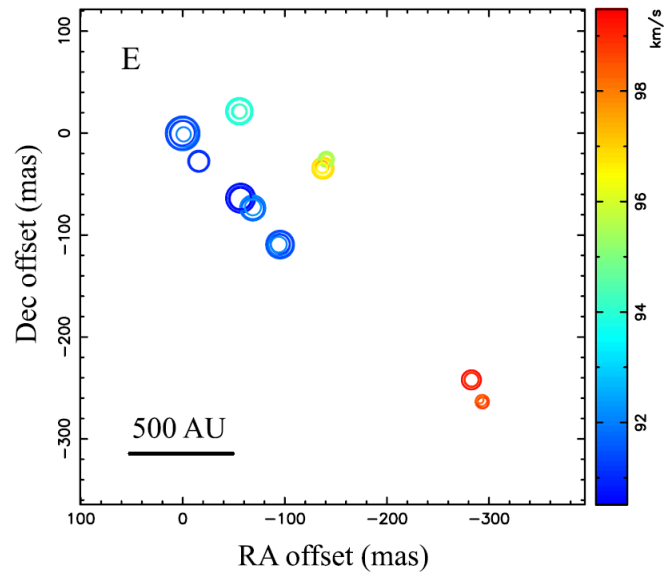


図 2.5 G25.82 の空間分布[1]

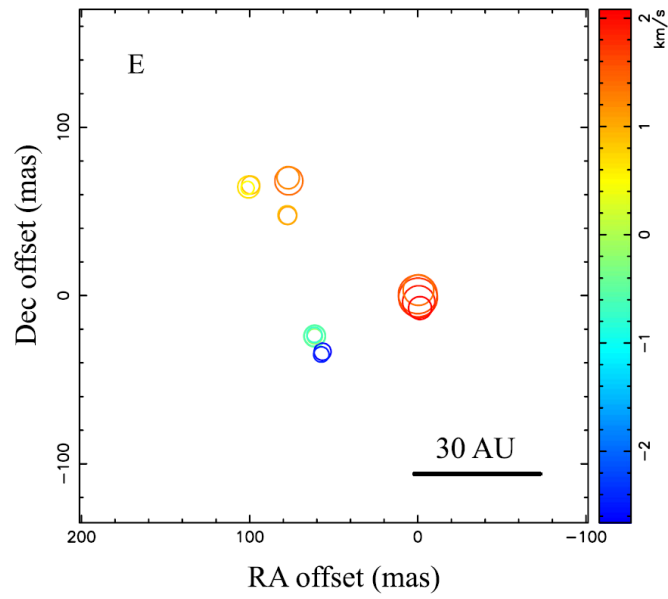


図 2.6 G351.77 の空間分布[1]

Sugiyama et al. 2016 において得られた G6.79 に付随する 6.7 GHz メタノールメーザーの内部固有運動計測の結果を図 2.7 に示す。この論文では、楕円状に分布したメーザースポットが膨張を伴う回転運動をしていると推測された。

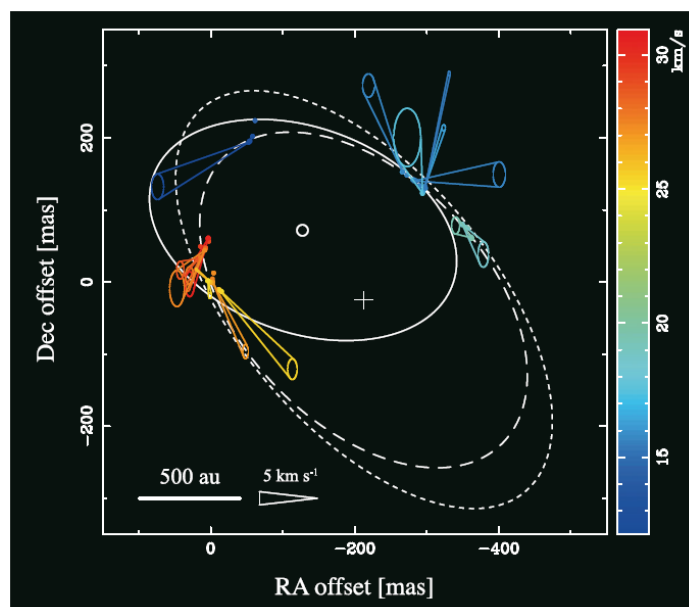


図 2.7 G6.79 で検出された 6.7 GHz メタノールメーザーの重心に対する内部固有運動 (Sugiyama et al. 2016)。重心とは全スポットの平均相対座標である。コーンが各スポットの固有運動を表し、その開口は向きの不定性を表す。丸がリファレンスメーザースポットに対する各スポットの相対位置座標であり、その色は視線速度に対応している。白抜きの丸が重心を表しており、破線楕円及び十字は固有運動を考慮せずにスポットの空間分布についてフィットした楕円及びその中心を表す。点線楕円は固有運動を考慮し、上述の楕円中心を円盤中心としてフィットした円盤モデルであり、実線楕円は固有運動を考慮し、重心を円盤の中心としてフィットした円盤モデルである。[2]

3 観測概要

本研究で解析に用いたデータは、EAVN を用いて 3 エポックに分けて観測されたデータである。参加局は、水沢、入江、小笠原、石垣、山口、日立、上海の計 7 局がある。各天体の各エポックの観測参加局やビームサイズなどの情報を表 3.1 に示す。

表 3.1 各天体、各エポックの観測

天体名	epoch	観測日 観測時間(UT)	観測局*	観測 周波数帯 (GHz)	分光 点数	速度分解能 (km s ⁻¹)
G0.54	1	2011/10/27 3:00:04 – 9:59:59	M,R,O,I,Y,H	6.665 6.669	1024	0.176
	2	2012/09/25 5:00:04 – 12:29:59	M,R,O,I,Y,H			
	3	2013/09/18 5:30:05 – 12:59:59	M,R,O,I,Y,H,S			
G2.53	1	2010/8/30 8:00:04 – 16:59:58	M,R,O,I,H	6.667 	1024	0.176
	2	2011/10/06 5:00:04 – 14:19:59	M,R,O,I,Y,H	6.671		
	3	2012/09/24 5:30:05 – 14:59:59	M,R,O,I,H,Y,S	6.666 6.670		
G6.79	1	2010/08/29 7:00:05 – 16:23:59	M,R,O,I,H,S	6.665 6.669	1024	0.176
	2	2011/10/05 4:30:04 – 13:59:59	M,R,O,I,Y,H	6.666 		
	3	2012/09/23 5:15:04 – 14:44:59	M,R,O,I,Y,H,S	6.670		
G8.83	1	2010/08/28 7:00:05 – 15:54:58	M,R,O,I,H,S	6.665 6.669	1024	0.176
	2	2011/10/04 4:30:04 – 13:29:59	M,R,O,I,Y,H			
	3	2012/09/21 5:15:04 – 14:44:58	M,R,O,I,Y,H,S			

G25.82	1	2011/11/26 1:30:04 – 8:59:58	M,R,O,I,Y,U,H,S	6.664 6.668	1024	0.176
	2	2012/09/13 6:30:04 – 13:59:59	M,R,O,I,Y,H	6.665 		
	3	2013/09/20 6:00:05 – 13:54:59	M,R,O,I,Y,H,S	6.669		
G351.77	1	2010/08/28 7:00:05 – 15:54:58	M,R,O,I,H,S	6.665 6.669	1024	0.176
	2	2011/10/04 4:30:04 – 13:29:59	M,R,O,I,Y,H			
	3	2012/09/21 5:15:04 – 14:44:58	M,R,O,I,Y,H,S			

* M:水沢、R:入来、O:小笠原、I:石垣、Y:山口、H:日立、S:上海

4 解析

本研究ではタイ国立天文研究所の杉山孝一郎氏から頂いたデータをもとに解析をした。
そのデータは簡単に以下の手順で解析されたものである。

1. データインポート・チェック
2. UV 再計算解読み込み
3. 振幅ゲイン較正 (1 回目)
4. Delay & Rate 較正
5. バンドパス位相特性較正
6. ドップラー較正
7. 振幅ゲイン較正 (2 回目)
8. メーザーピークによるフリンジフィッティング
9. ダーティイメージ作成
10. クリーンイメージ作成 (1 回目)
11. セルフキャリブレーション
12. クリーンイメージ作成 (2 回目)
13. メーザースポットの確認・パラメータの取得

5 結果

5.1 空間分布

解析の結果、各天体の epoch1, 2, 3 で検出されたパラメータを表 5.1 に示す。得られた空間分布を図 5.1 – 5.6 に示す。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標である。円は log スケールで表した強度を表しており、色は視線速度に対応している。ここで、リファレンスメーザースポットは各エポックで最も強度が強いスポットかつ(RA,Dec)=(0,0)付近のスポットを(Δ RA, Δ Dec) = (0,0)とした。

リファレンスメーザースポットの位置を原点とするために各スポットの座標からリファレンスメーザースポットの座標を差し引いた。その際のエラーは、RA、Dec についてそれぞれ以下のようにした。

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\left(\frac{\text{major axis (mas)}}{S/N} \times \cos(\text{PA})\right)^2 + \left(\text{各スポットの RA のエラー (mas)}\right)^2}$$

+リファレンスメーザースポットの RA のエラー (mas)

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{\text{major axis (mas)}}{S/N} \times \sin(\text{PA})\right)^2 + \left(\text{各スポットの Dec のエラー (mas)}\right)^2}$$

+リファレンスメーザースポットの Dec のエラー (mas)

ここで、 $\frac{\text{major axis (mas)}}{S/N}$ はスポットの位置決定精度を表しており、S/N は検出されたメーザースポットの信号雑音比である。

表 5.1 解析の結果得られたパラメータ

天体名	epoch	合成ビームサイズ		検出スポット数
		$\theta_{\text{maj}} \times \theta_{\text{min}}$ (mas $\times$ mas)	PA ($^{\circ}$)	
G0.54	1	9.29 $\times$ 3.33	−23	72
	2	8.33 $\times$ 2.97	−21	92
	3	9.09 $\times$ 3.18	−21	100
G2.53	1	7.81 $\times$ 2.86	−7	43
	2	8.33 $\times$ 3.25	−15	70
	3	8.18 $\times$ 2.87	−19	55
G6.79	1	7.43 $\times$ 2.91	+3	92
	2	7.16 $\times$ 4.01	−9	106
	3	7.69 $\times$ 3.37	−4	118
G8.83	1	6.93 $\times$ 2.96	−6	64
	2	7.16 $\times$ 4.07	−9	87
	3	8.08 $\times$ 3.28	−11	86
G25.82	1	6.83 $\times$ 3.25	−25	45
	2	5.84 $\times$ 3.29	−36	42
	3	6.18 $\times$ 3.16	−23	33
G351.77	1	12.97 $\times$ 2.52	−5	18
	2	11.3 $\times$ 3.3	−13	35
	3	11.73 $\times$ 2.83	−6	37

5.1.1 G0.54 (IRAS 17441–2822)

検出された空間分布を図 5.1 に示す。各エポックで検出されたパラメータを表 5.2 – 5.4 に示す。

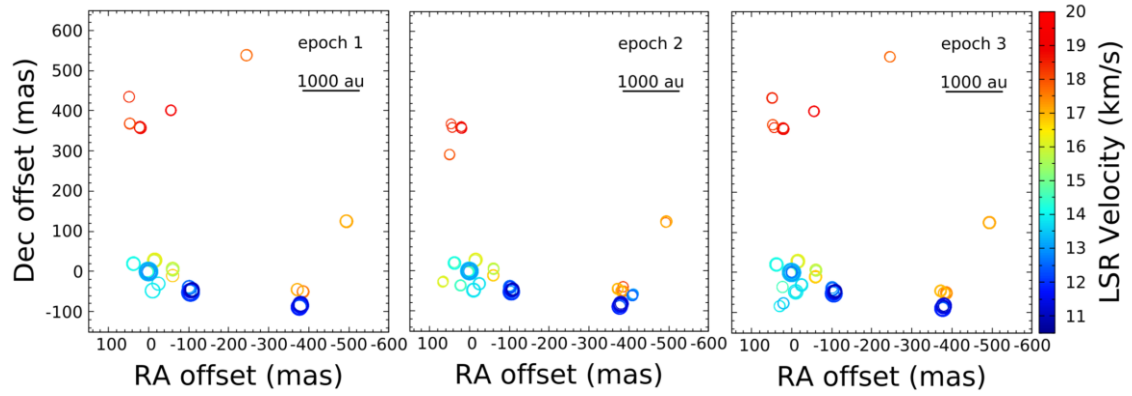


図 5.1 検出された G0.54 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスマーザースポットに対する相対座標である。

表 5.2 epoch 1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-56.42	1.07	401.31	1.86	19.62	0.271
2	-56.06	0.58	401.30	1.39	19.45	0.396
3	-55.63	0.62	401.44	2.02	19.27	0.276
4	19.92	0.34	357.71	0.75	18.92	0.732
5	21.16	0.49	359.21	0.62	18.74	0.769
6	22.45	1.22	359.06	1.08	18.57	0.348
7	48.26	0.58	434.98	1.05	18.39	0.476
8	46.39	0.89	368.00	0.67	18.22	0.532
9	46.85	1.45	369.00	0.77	18.04	0.360
10	-244.96	0.85	538.82	0.33	17.86	0.619
11	-385.65	0.35	-49.72	1.06	17.69	0.508
12	-244.28	0.54	538.28	0.93	17.69	0.543
13	-386.02	0.16	-50.42	0.61	17.51	0.912
14	-494.34	0.22	124.76	0.38	17.34	1.309
15	-372.02	0.61	-44.74	0.29	17.34	0.859
16	-494.19	0.20	125.10	0.34	17.16	1.424
17	-371.49	0.45	-45.08	0.26	17.16	1.096
18	-493.78	0.79	125.64	0.33	16.99	0.665
19	-371.19	0.15	-45.40	0.66	16.99	0.849
20	-60.18	0.46	-10.31	0.21	16.81	1.142
21	-16.26	0.48	28.01	0.22	16.63	1.057
22	-16.02	0.06	28.31	0.19	16.46	2.818
23	-15.65	0.11	28.19	0.12	16.28	3.599
24	-60.08	0.42	7.82	0.35	16.11	0.995
25	-15.17	0.22	27.60	0.10	16.11	2.323
26	-60.39	0.21	6.82	0.28	15.93	1.662
27	-14.30	0.38	26.56	0.53	15.93	0.884
28	-60.66	0.35	5.30	0.18	15.75	1.415

29	-60.78	0.62	3.22	0.47	15.58	0.770
30	3.77	0.28	-2.15	0.38	14.70	1.165
31	3.61	0.15	-1.77	0.21	14.52	2.203
32	-10.19	0.18	-47.66	0.09	14.17	2.854
33	2.75	0.13	3.14	0.25	14.17	1.993
34	37.51	0.18	19.52	0.13	14.17	2.413
35	-24.64	0.08	-30.03	0.38	14.00	1.434
36	-10.39	0.04	-47.55	0.11	14.00	4.952
37	2.40	0.07	3.05	0.04	14.00	7.116
38	37.24	0.12	19.29	0.54	14.00	1.002
39	-24.96	0.09	-30.65	0.33	13.82	1.714
40	-10.57	0.07	-47.39	0.17	13.82	3.355
41	1.42	0.02	1.69	0.03	13.82	17.672
42	0.53	0.02	0.63	0.02	13.65	33.283
43*	0.00	0.01	0.00	0.01	13.47	45.011
44	-0.28	0.01	-0.33	0.02	13.29	38.787
45	-0.45	0.01	-0.48	0.03	13.12	19.383
46	-100.78	0.20	-38.03	0.51	12.94	1.014
47	-0.56	0.03	-0.63	0.10	12.94	5.425
48	-103.50	0.27	-48.98	0.39	12.77	1.153
49	-101.44	0.15	-39.18	0.17	12.77	2.425
50	-0.36	0.09	-0.67	0.47	12.77	1.150
51	-104.27	0.02	-50.77	0.09	12.59	6.556
52	-101.82	0.13	-40.01	0.12	12.59	3.352
53	-104.79	0.01	-51.57	0.03	12.42	19.287
54	-102.40	0.05	-40.52	0.25	12.42	2.276
55	-376.74	0.12	-88.93	0.16	12.24	2.988
56	-105.05	0.02	-51.90	0.02	12.24	27.630
57	-381.82	0.05	-84.85	0.12	12.06	4.335
58	-376.61	0.06	-88.90	0.03	12.06	8.790
59	-105.27	0.03	-51.93	0.02	12.06	18.666
60	-380.16	0.08	-84.83	0.05	11.89	6.693

61	-376.58	0.04	-88.72	0.03	11.89	12.531
62	-105.59	0.07	-51.06	0.05	11.89	6.709
63	-377.59	0.05	-86.92	0.04	11.71	10.376
64	-105.67	0.08	-47.82	0.12	11.71	4.182
65	-379.04	0.03	-83.36	0.07	11.54	8.539
66	-106.19	0.09	-47.95	0.13	11.54	3.696
67	-379.73	0.03	-81.37	0.08	11.36	7.117
68	-107.35	0.19	-48.03	0.12	11.36	2.671
69	-379.87	0.13	-80.97	0.15	11.19	2.954
70	-108.56	0.13	-46.08	0.09	11.19	3.620
71	-108.81	0.04	-45.28	0.14	11.01	3.819
72	-108.84	0.28	-45.04	0.17	10.83	1.726

(1)スポットの ID 番号。(2) – (5)リファレンスマーザースポットに対するスポットの RA、Dec 相対位置オフセット及びその位置誤差。(6)スポットの視線速度。(7)スポットの強度。

*リファレンスマーザースポット

表 5.3 epoch2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	19.35	0.69	357.38	0.96	18.97	0.364
2	20.52	0.37	359.10	0.89	18.79	0.476
3	20.18	1.29	361.42	0.75	18.62	0.278
4	42.82	0.35	359.42	1.47	18.44	0.253
5	-385.68	0.63	-39.66	0.89	18.27	0.376
6	45.99	1.27	368.36	1.04	18.27	0.267
7	-385.49	0.48	-39.52	1.09	18.09	0.344
8	49.66	0.87	291.29	0.68	18.09	0.364
9	49.70	1.22	291.86	0.66	17.91	0.298
10	-386.28	1.61	-49.93	0.72	17.74	0.228
11	-492.45	0.96	121.54	1.35	17.56	0.242
12	-386.57	0.67	-50.63	0.47	17.56	0.484
13	-493.66	0.79	123.60	0.40	17.39	0.471
14	-386.43	0.28	-51.30	0.93	17.39	0.418
15	-382.28	1.34	-49.61	0.78	17.39	0.275
16	-372.45	0.97	-43.96	0.83	17.39	0.317
17	-493.87	0.35	123.86	0.49	17.21	0.688
18	-380.90	0.49	-50.35	0.71	17.21	0.493
19	-372.15	0.22	-44.27	0.77	17.21	0.518
20	-493.75	0.68	123.53	0.47	17.04	0.479
21	-380.48	0.50	-50.73	0.93	17.04	0.383
22	-371.90	0.69	-44.87	0.33	17.04	0.525
23	-59.89	0.63	-10.80	0.44	17.04	0.517
24	-371.70	1.08	-45.25	0.52	16.86	0.332
25	-59.89	0.49	-10.82	0.34	16.86	0.671
26	-59.98	0.79	-10.79	0.56	16.68	0.405
27	-15.86	0.33	28.23	0.16	16.51	1.136
28	-15.70	0.19	28.13	0.10	16.33	1.906

29	67.01	0.46	-28.13	1.19	16.33	0.314
30	-15.32	0.15	27.66	0.21	16.16	1.536
31	66.47	0.52	-27.03	0.94	16.16	0.378
32	-60.31	0.78	6.78	0.36	15.98	0.449
33	-14.66	0.35	26.75	0.48	15.98	0.654
34	65.57	0.57	-25.57	1.03	15.98	0.342
35	-60.84	0.66	5.32	0.31	15.80	0.542
36	-60.85	0.53	4.04	0.93	15.63	0.390
37	3.74	0.26	-2.93	0.86	14.75	0.455
38	21.98	0.82	-35.99	1.17	14.75	0.296
39	3.59	0.36	-2.37	0.16	14.57	1.071
40	22.16	0.40	-36.16	0.57	14.57	0.601
41	37.87	0.70	20.84	1.00	14.57	0.345
42	3.17	0.19	-2.08	0.33	14.40	1.024
43	21.61	0.88	-35.99	0.41	14.40	0.407
44	37.84	0.29	20.19	0.18	14.40	1.158
45	-10.27	0.17	-47.95	0.25	14.22	1.384
46	2.38	0.27	2.02	0.49	14.22	0.765
47	37.47	0.22	19.96	0.16	14.22	1.468
48	-24.35	0.52	-31.82	0.28	14.05	0.718
49	-10.40	0.05	-48.08	0.13	14.05	3.108
50	2.28	0.06	3.21	0.13	14.05	3.022
51	37.17	0.15	20.02	0.48	14.05	0.827
52	-24.75	0.23	-31.73	0.26	13.87	1.196
53	-10.50	0.13	-48.01	0.07	13.87	2.829
54	1.46	0.03	1.93	0.05	13.87	8.562
55	-25.09	0.26	-31.97	0.65	13.70	0.624
56	-10.89	0.13	-47.37	0.33	13.70	1.204
57	0.60	0.02	0.76	0.02	13.70	17.629
58*	0.00	0.02	0.00	0.02	13.52	25.997
59	-0.34	0.02	-0.43	0.01	13.34	25.780
60	-0.55	0.01	-0.66	0.03	13.17	15.045

61	-411.19	1.07	-57.73	0.64	12.99	0.324
62	-100.85	0.38	-37.30	1.00	12.99	0.375
63	-0.68	0.03	-0.85	0.08	12.99	4.866
64	-409.72	1.12	-59.78	0.63	12.82	0.332
65	-103.82	1.05	-50.78	0.80	12.82	0.303
66	-101.48	0.07	-38.82	0.34	12.82	1.149
67	-0.74	0.37	-0.84	0.21	12.82	0.945
68	-408.88	0.40	-61.30	0.74	12.64	0.502
69	-104.32	0.17	-51.05	0.11	12.64	1.995
70	-101.86	0.17	-39.96	0.16	12.64	1.770
71	-408.39	0.72	-61.56	1.37	12.47	0.279
72	-104.93	0.01	-51.88	0.06	12.47	7.958
73	-102.22	0.21	-40.33	0.19	12.47	1.488
74	-376.57	0.21	-89.71	0.38	12.29	1.001
75	-105.18	0.03	-52.22	0.02	12.29	14.292
76	-102.58	0.12	-39.57	0.65	12.29	0.647
77	-376.79	0.07	-89.74	0.08	12.11	4.071
78	-105.36	0.01	-52.31	0.04	12.11	11.697
79	-102.96	0.79	-39.57	0.93	12.11	0.344
80	-377.01	0.05	-89.32	0.04	11.94	7.124
81	-105.63	0.08	-51.91	0.06	11.94	4.456
82	-377.48	0.06	-88.26	0.04	11.76	6.855
83	-105.82	0.18	-48.46	0.14	11.76	2.027
84	-378.97	0.04	-84.91	0.08	11.59	5.343
85	-106.30	0.13	-48.40	0.18	11.59	1.991
86	-379.97	0.03	-82.31	0.08	11.41	5.021
87	-107.21	0.11	-49.26	0.26	11.41	1.513
88	-380.13	0.15	-81.75	0.08	11.24	2.494
89	-108.34	0.19	-47.60	0.23	11.24	1.388
90	-380.31	0.25	-81.58	0.65	11.06	0.587
91	-108.78	0.22	-46.03	0.14	11.06	1.580
92	-108.82	0.19	-45.52	0.48	10.88	0.797

表 5.4 epoch 3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-56.16	1.36	401.12	1.21	19.63	0.277
2	-56.17	1.09	401.42	0.54	19.46	0.439
3	-55.38	1.12	401.43	1.21	19.28	0.309
4	19.82	0.53	357.76	1.69	19.10	0.296
5	20.44	0.54	357.39	0.66	18.93	0.630
6	21.29	0.65	358.27	0.47	18.75	0.688
7	20.98	0.83	360.34	1.53	18.58	0.329
8	48.35	0.67	434.66	1.75	18.58	0.279
9	43.38	0.84	360.67	1.54	18.40	0.301
10	48.40	1.05	434.58	0.62	18.40	0.434
11	46.73	1.13	367.90	0.83	18.23	0.384
12	47.24	1.22	367.86	0.83	18.05	0.350
13	-245.02	0.78	537.46	1.03	17.87	0.386
14	-385.95	0.20	-49.07	0.97	17.70	0.526
15	-245.91	0.91	536.77	1.13	17.70	0.354
16	-493.63	0.70	124.13	0.83	17.52	0.505
17	-386.32	0.44	-50.50	0.62	17.52	0.696
18	-493.73	0.18	124.10	0.43	17.35	1.115
19	-387.10	0.75	-52.27	0.53	17.35	0.564
20	-381.31	0.56	-50.75	0.61	17.35	0.631
21	-372.23	0.44	-46.27	1.12	17.35	0.454
22	-493.76	0.18	124.39	0.42	17.17	1.147
23	-387.16	0.36	-53.31	1.65	17.17	0.311
24	-380.71	0.34	-50.89	0.62	17.17	0.738
25	-372.18	0.64	-45.82	0.28	17.17	0.750
26	-59.67	0.83	-11.15	0.47	17.17	0.550
27	-493.74	0.71	124.67	0.33	17.00	0.637
28	-380.67	0.48	-50.94	0.86	17.00	0.511

29	-372.05	0.47	-45.61	0.64	17.00	0.638
30	-59.73	0.13	-10.93	0.47	17.00	1.041
31	-371.74	0.89	-45.19	1.20	16.82	0.337
32	-59.88	0.12	-10.52	0.45	16.82	1.100
33	-60.05	0.19	-10.32	0.96	16.64	0.516
34	-15.88	0.17	28.02	0.57	16.64	0.839
35	-15.81	0.15	28.20	0.17	16.47	2.301
36	-15.48	0.16	27.99	0.08	16.29	2.864
37	-59.51	0.36	7.35	1.17	16.12	0.409
38	-14.92	0.23	27.62	0.11	16.12	1.992
39	-60.76	0.21	6.59	0.67	15.94	0.729
40	-14.41	0.16	27.00	0.57	15.94	0.885
41	-61.18	0.58	5.23	0.35	15.76	0.731
42	-61.22	0.83	3.78	0.99	15.59	0.395
43	3.97	0.34	-2.01	0.60	14.71	0.734
44	22.60	0.54	-35.95	0.82	14.71	0.559
45	3.45	0.16	-1.67	0.35	14.53	1.394
46	22.40	0.33	-36.22	0.86	14.53	0.603
47	38.11	0.37	20.14	0.40	14.53	0.975
48	-10.00	1.09	-47.99	0.47	14.36	0.431
49	2.59	0.37	-0.56	0.17	14.36	1.264
50	37.92	0.07	20.08	0.23	14.36	2.129
51	-24.56	0.52	-29.92	0.99	14.18	0.468
52	-10.28	0.19	-48.08	0.09	14.18	2.499
53	2.49	0.10	3.29	0.19	14.18	2.374
54	37.57	0.22	19.93	0.13	14.18	2.030
55	-24.52	0.32	-31.01	0.31	14.01	1.192
56	-10.33	0.08	-48.14	0.10	14.01	4.264
57	2.12	0.03	2.81	0.06	14.01	8.251
58	30.13	1.07	-83.59	0.44	14.01	0.441
59	37.44	0.52	19.99	0.37	14.01	0.794
60	-24.92	0.28	-31.19	0.26	13.83	1.409

61	-10.26	0.13	-48.43	0.15	13.83	2.798
62	1.31	0.03	1.66	0.02	13.83	19.204
63	29.33	0.67	-83.83	0.64	13.83	0.565
64	-25.34	0.20	-30.79	0.72	13.66	0.701
65	-10.16	0.78	-48.69	0.44	13.66	0.597
66	0.54	0.02	0.69	0.01	13.66	32.027
67	20.45	0.25	-76.48	1.15	13.66	0.439
68*	0.00	0.02	0.00	0.01	13.48	38.838
69	20.33	0.87	-76.64	0.48	13.48	0.604
70	-0.29	0.02	-0.36	0.02	13.30	31.016
71	19.93	0.20	-77.05	1.08	13.30	0.503
72	-0.46	0.03	-0.51	0.03	13.13	14.552
73	-101.19	0.47	-37.02	0.55	12.95	0.690
74	-0.59	0.10	-0.59	0.09	12.95	3.770
75	-103.97	0.50	-50.92	0.26	12.78	0.887
76	-101.53	0.19	-39.37	0.22	12.78	1.779
77	-0.49	0.51	-0.25	0.44	12.78	0.743
78	-104.57	0.08	-51.61	0.07	12.60	4.826
79	-101.99	0.20	-40.86	0.11	12.60	2.183
80	-0.15	1.37	0.54	0.94	12.60	0.293
81	-377.77	0.51	-88.04	1.14	12.43	0.435
82	-105.00	0.01	-52.14	0.04	12.43	14.025
83	-102.57	0.20	-41.98	0.29	12.43	1.475
84	-377.12	0.07	-89.84	0.19	12.25	2.695
85	-105.22	0.02	-52.42	0.02	12.25	18.732
86	-377.07	0.03	-89.91	0.07	12.07	7.344
87	-105.40	0.04	-52.48	0.04	12.07	11.482
88	-377.25	0.04	-89.46	0.05	11.90	9.972
89	-105.74	0.07	-51.21	0.14	11.90	3.394
90	-378.05	0.04	-87.68	0.06	11.72	8.147
91	-106.17	0.07	-48.90	0.21	11.72	2.562
92	-379.64	0.04	-83.89	0.07	11.55	7.358

93	-106.81	0.12	-49.40	0.17	11.55	2.698
94	-380.09	0.08	-82.41	0.05	11.37	5.745
95	-107.67	0.11	-49.34	0.22	11.37	2.151
96	-380.16	0.09	-82.18	0.22	11.20	2.226
97	-108.70	0.07	-47.05	0.23	11.20	2.116
98	-379.70	0.72	-83.48	1.40	11.02	0.354
99	-109.00	0.08	-45.99	0.26	11.02	1.859
100	-109.03	0.51	-45.83	0.58	10.84	0.672

5.1.2 G2.53 (IRAS 17476–2638)

検出された空間分布を図 5.2 に示す。各エポックで検出されたパラメータは本論文の付録 A.1 に示す。

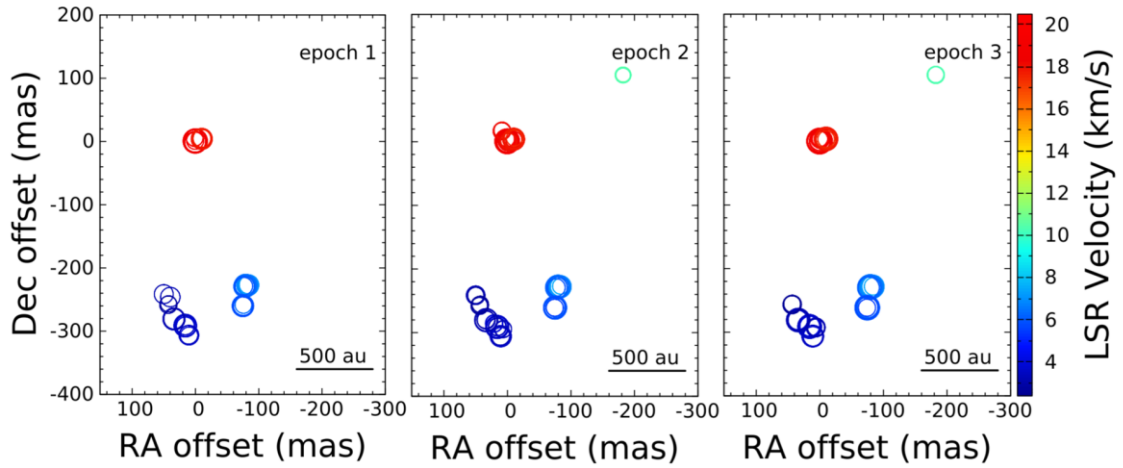


図 5.2 検出された G2.53 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスマーザースポットに対する相対座標である。

5.1.3 G6.79 (IRAS 17589–2312)

検出された空間分布を図 5.3 に示す。各エポックで検出されたパラメータは本論文の付録 A.2 に示す。

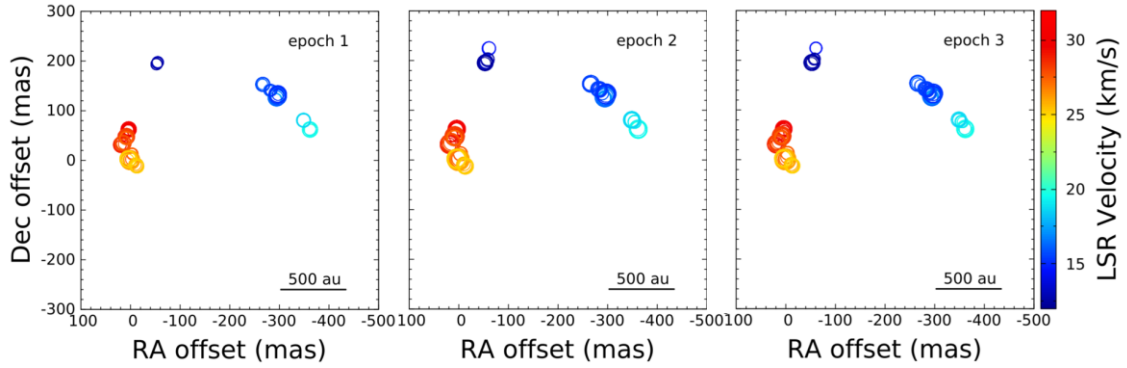


図 5.3 検出された G6.79 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスメーザースポットに対する相対座標である。

5.1.4 G8.83 (IRAS 18024–2119)

検出された空間分布を図 5.4 に示す。各エポックで検出されたパラメータは本論文の付録 A.3 に示す。

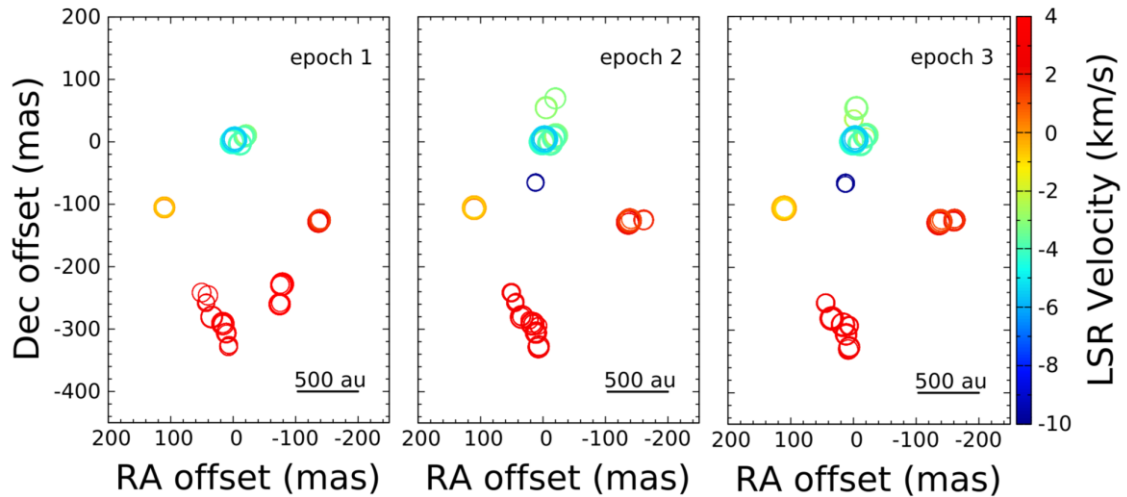


図 5.4 検出された G8.83 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスメーザースポットに対する相対座標である。

5.1.5 G25.82 (IRAS 18361−0627)

検出された空間分布を図 5.5 に示す。各エポックで検出されたパラメータは本論文の付録 A.4 に示す。

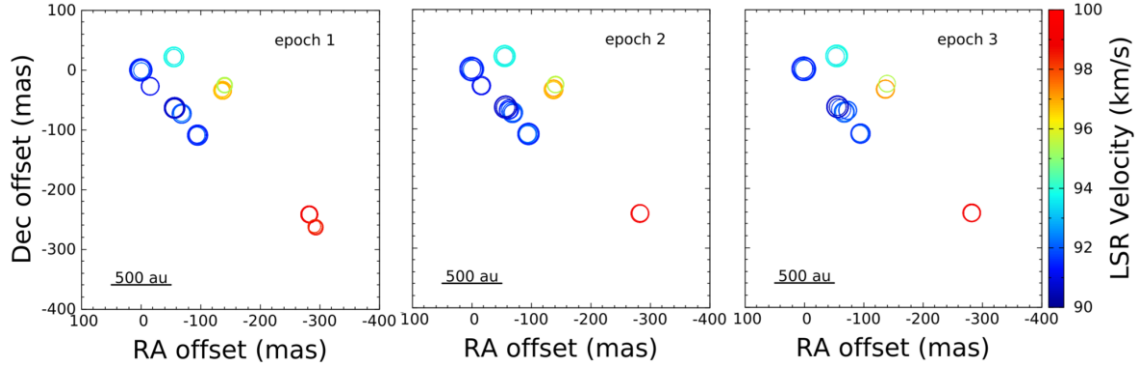


図 5.5 検出された G25.82 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスメーザースポットに対する相対座標である。

5.1.6 G351.77 (IRAS 17233−3606)

検出された空間分布を図 5.6 に示す。各エポックで検出されたパラメータは本論文の付録 A.5 に示す。

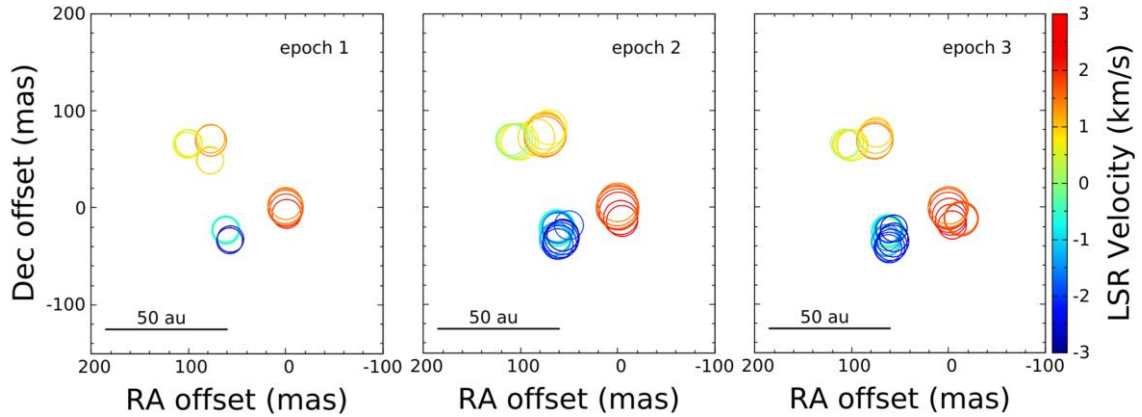


図 5.6 検出された G351.77 の空間分布。左から epoch1, 2, 3 の分布を表す。色は視線速度に対応しており、円のサイズは log スケールで表した強度を表している。横軸と縦軸はそれぞれリファレンスメーザースポットに対する相対座標である。

5.2 メーザーフィーチャー

本研究では、複数のメーザースポットがクラスタリングした「メーザーフィーチャー」を定義し、「メーザーフィーチャー」を用いて内部固有運動を導出する。メーザーフィーチャーとは、メーザーを起こしている母体ガスの塊に対応させるために、複数のメーザースポットを一定の条件下でグループとしてまとめたものである。

メーザーフィーチャーの定義は以下の通りである。

- (1) 合成ビームサイズ内に少なくとも 3 つ以上のメーザースポットが含まれること
- (2) スポットの視線速度の範囲が、自己相関スペクトルの強度ピークにおける半値幅以上離れている場合は、視線速度の違いによってメーザーフィーチャーを区別する

具体例として、Sugiyama et al. (2016) において同定されたフィーチャーの例を挙げる (図 5.7 参照)。

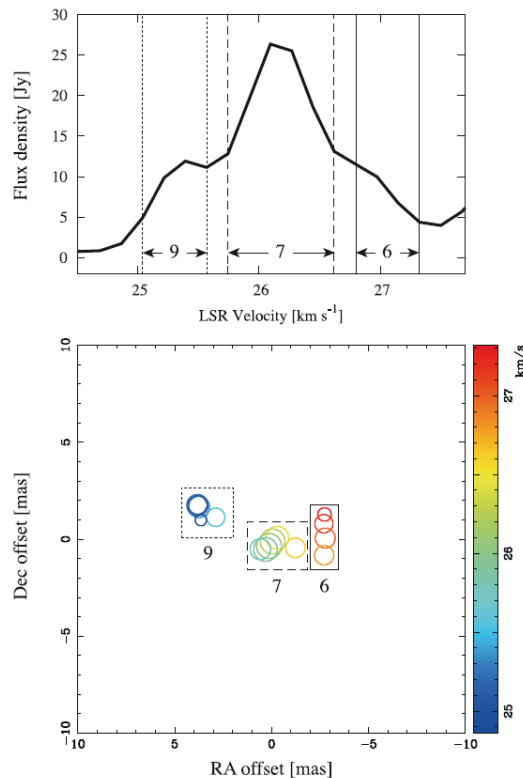


図 5.7 メーザースポットの区別の一例 (Sugiyama et al. 2016)。上図: epoch 1 で日立 32 m で得られた自己相関スペクトル (太い実線)。フィーチャーID6、7、8 の LSR 速度範囲は、細い実線、破線、点線で示されている。下図: 原点周りの $20 \times 20 \text{ mas}^2$ の範囲内のメーザースポットの分布。円のサイズは log スケールで表した強度に比例し、色は視線速度に対応している。異なる速度成分があるが自己相関スペクトルをもとに区別している。

各天体の epoch1, 2, 3 で同定したメーザーフィーチャーを図 5.8–5.13 に示し、G0.54 のパラメータを表 5.5–5.7 に示す。その他の天体のパラメータは本論文の付録 B に示す。座標と視線速度の値はメーザーフィーチャーに含まれる全スポットの値を単純に平均した値である。座標のエラーは各メーザーフィーチャー内のスポットのエラーの 2 乗和平方根である。積分強度はメーザーフィーチャーに含まれる全スポットの値の和である。

5.2.1 G0.54

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 15, 21, 21 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.8、表 5.5–5.7 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 14 成分 (ID 2, 6, 7, 9, 11, 13, 16, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26) であった。

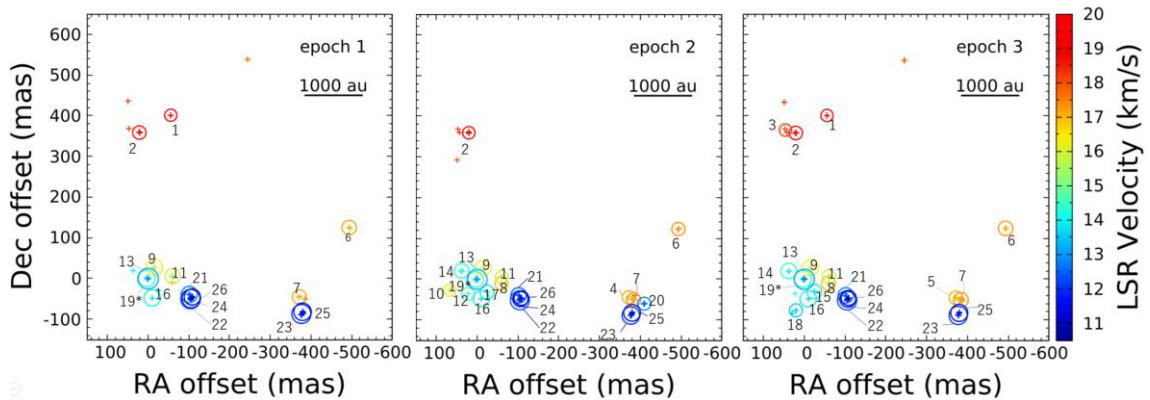


図 5.8 G0.54 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

表 5.5 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-56.04	1.37	401.35	3.08	19.45	0.942
2	3	4-6	21.18	1.36	358.66	1.46	18.74	1.850
6	3	14,16,18	-494.10	0.85	125.17	0.61	17.16	3.398
7	3	15,17,19	-371.57	0.77	-45.07	0.76	17.16	2.804
9	5	21-23,25,27	-15.48	0.66	27.73	0.62	16.28	10.681
11	4	24,26,28,29	-60.48	0.85	5.79	0.67	15.84	4.842
13	4	30,31,33,37	3.13	0.35	0.57	0.51	14.35	12.477
16	3	32,36,40	-10.38	0.20	-47.54	0.22	14.00	11.161
19*	5	43-45,47,50	-0.33	0.10	-0.42	0.48	13.12	109.756
21	4	46,49,52,54	-101.61	0.29	-39.44	0.61	12.68	9.067
22	4	48,51,53,56	-104.40	0.27	-50.80	0.40	12.50	54.626
23	4	55,58,61,63	-376.88	0.17	-87.19	0.22	11.98	45.713
24	5	59,62,64,66,68	-106.01	0.24	-49.36	0.22	11.71	35.924
25	3	65,67,69	-379.55	0.14	-81.90	0.18	11.36	18.610
26	3	70-72	-108.74	0.32	-45.47	0.24	11.01	9.165

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 5.6 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
2	3	1-3	20.02	1.51	359.30	1.51	18.79	1.118
4	6	10,12,14,15,18,21	-383.82	2.32	-50.43	1.89	17.39	2.281
6	4	11,13,17,20	-493.43	1.46	123.13	1.56	17.30	1.880
7	4	16,19,22,24	-372.05	1.62	-44.59	1.29	17.12	1.693
8	3	23,25,26	-59.92	1.13	-10.81	0.79	16.86	1.593
9	4	27,28,30,33	-15.38	0.54	27.69	0.56	16.24	5.232
10	3	29,31,34	66.35	0.90	-26.91	1.83	16.16	1.033
11	3	32,35,36	-60.67	1.15	5.38	1.05	15.80	1.380
12	3	38,40,43	21.92	1.27	-36.05	1.36	14.57	1.304
13	5	37,39,42,46,50	3.03	0.55	-0.43	1.06	14.40	6.337
14	4	41,44,47,51	37.59	0.80	20.25	1.14	14.31	3.798
16	4	45,49,53,56	-10.52	0.26	-47.85	0.44	13.96	8.525
17	3	48,52,55	-24.73	0.62	-31.84	0.75	13.87	2.538
19*	5	58-60,63,67	-0.46	0.37	-0.56	0.23	13.17	72.633
20	4	61,64,68,71	-409.54	1.75	-60.09	1.79	12.73	1.437
21	5	66,70,73,76,79	-102.22	0.85	-39.65	1.21	12.47	5.398
22	5	69,72,75,78,81	-105.08	0.19	-51.88	0.14	12.29	40.398
23	4	74,77,80,82	-376.96	0.24	-89.26	0.39	12.03	19.051
24	3	83,85,87	-106.44	0.25	-48.71	0.34	11.59	5.531
25	3	89,91,92	-108.65	0.34	-46.38	0.55	11.06	3.765
26	4	84,86,88,90	-379.85	0.30	-82.64	0.66	11.32	13.445

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 5.7 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
2	3	1-3	20.02	1.51	359.30	1.51	18.79	1.118
4	6	10,12,14,15,18,21	-383.82	2.32	-50.43	1.89	17.39	2.281
6	4	11,13,17,20	-493.43	1.46	123.13	1.56	17.30	1.880
7	4	16,19,22,24	-372.05	1.62	-44.59	1.29	17.12	1.693
8	3	23,25,26	-59.92	1.13	-10.81	0.79	16.86	1.593
9	4	27,28,30,33	-15.38	0.54	27.69	0.56	16.24	5.232
10	3	29,31,34	66.35	0.90	-26.91	1.83	16.16	1.033
11	3	32,35,36	-60.67	1.15	5.38	1.05	15.80	1.380
12	3	38,40,43	21.92	1.27	-36.05	1.36	14.57	1.304
13	5	37,39,42,46,50	3.03	0.55	-0.43	1.06	14.40	6.337
14	4	41,44,47,51	37.59	0.80	20.25	1.14	14.31	3.798
16	4	45,49,53,56	-10.52	0.26	-47.85	0.44	13.96	8.525
17	3	48,52,55	-24.73	0.62	-31.84	0.75	13.87	2.538
19*	5	58-60,63,67	-0.46	0.37	-0.56	0.23	13.17	72.633
20	4	61,64,68,71	-409.54	1.75	-60.09	1.79	12.73	1.437
21	5	66,70,73,76,79	-102.22	0.85	-39.65	1.21	12.47	5.398
22	5	69,72,75,78,81	-105.08	0.19	-51.88	0.14	12.29	40.398
23	4	74,77,80,82	-376.96	0.24	-89.26	0.39	12.03	19.051
24	3	83,85,87	-106.44	0.25	-48.71	0.34	11.59	5.531
25	3	89,91,92	-108.65	0.34	-46.38	0.55	11.06	3.765
26	4	84,86,88,90	-379.85	0.30	-82.64	0.66	11.32	13.445

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

5.2.2 G2.53

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 9, 16, 12 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.9 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 8 成分 (ID3, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14) であった。

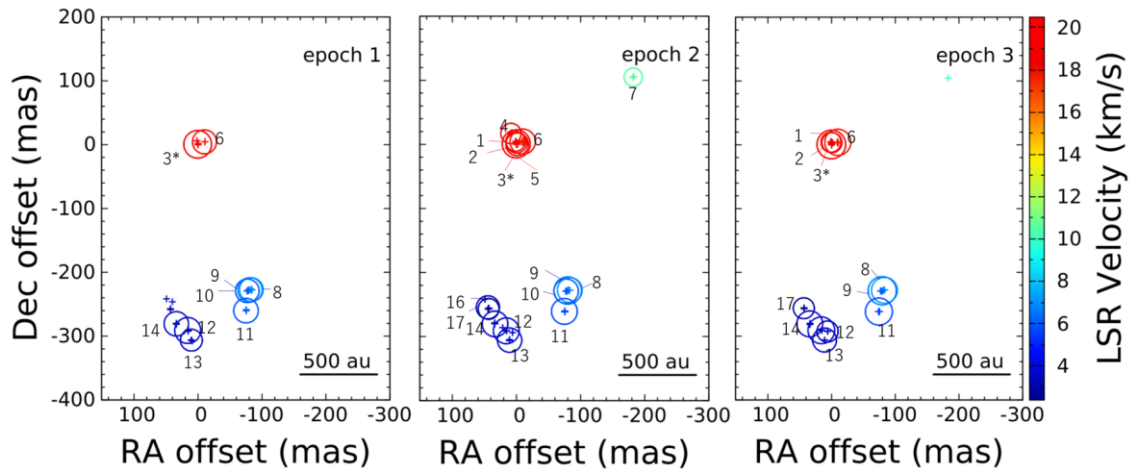


図 5.9 G2.53 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

5.2.3 G6.79

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 25, 27, 31 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.10 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 23 成分 (ID 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 30) であった。

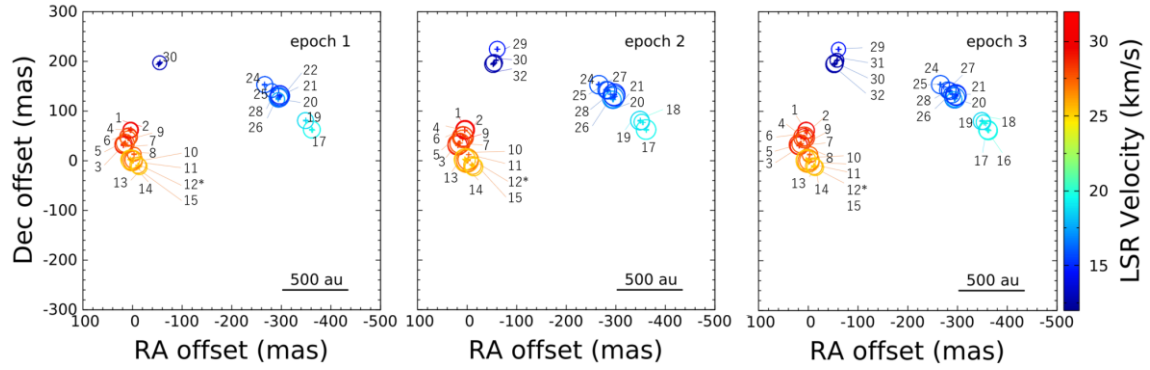


図 5.10 G6.79 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

5.2.4 G8.83

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 16, 22, 23 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.11 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 14 成分 (ID 3, 4, 7, 9, 11, 14, 16, 17, 19, 22, 23, 25, 26, 27) であった。

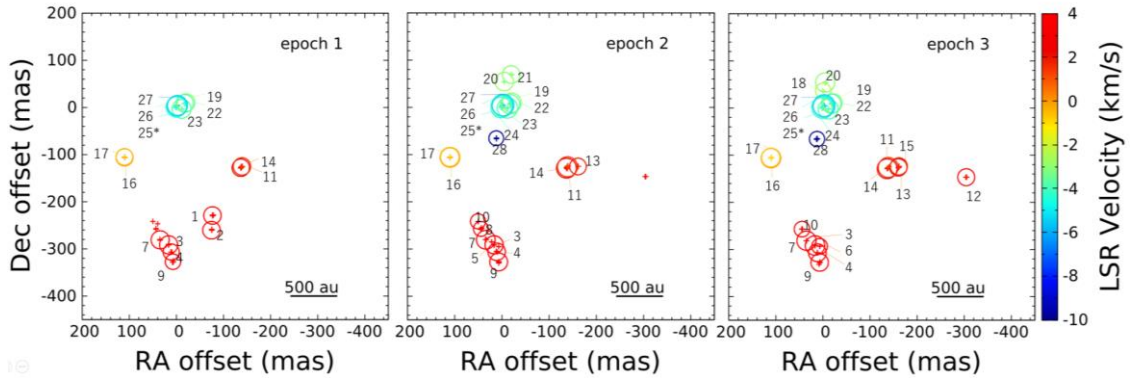


図 5.11 G8.83 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

5.2.5 G25.82

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 12, 11, 8 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.12 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 8 成分 (ID1, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 13) であった。

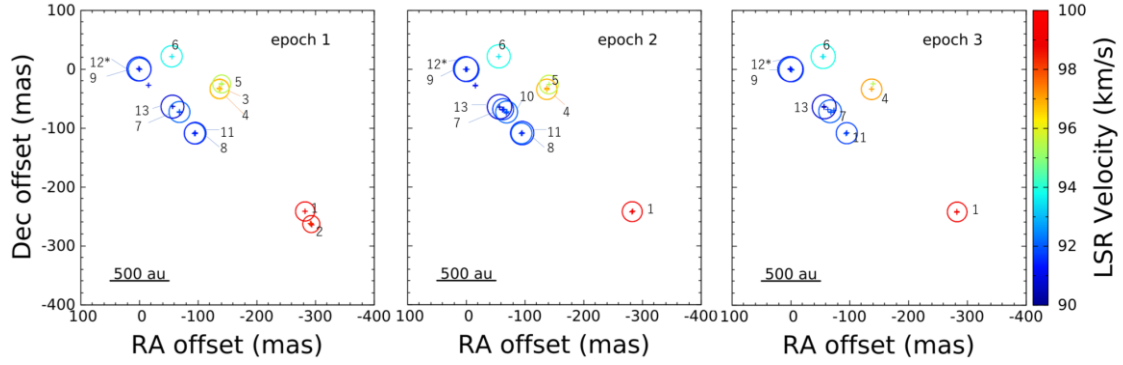


図 5.12 G25.82 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

5.2.6 G351.77

解析の結果、epoch1, 2, 3 でそれぞれ 3, 8, 11 成分のメーザーフィーチャーを同定した。同定したメーザーフィーチャーを図 5.13 に示す。図内の十字が検出されたスポット、円がフィーチャーに対応しており、数字はフィーチャーID を表す。3 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 2 成分 (ID 3, 7) であった。2 エポックにわたって同定されたフィーチャーは 6 成分 (ID 1, 4, 6, 8, 9, 12 for epoch2, epoch3) であった。

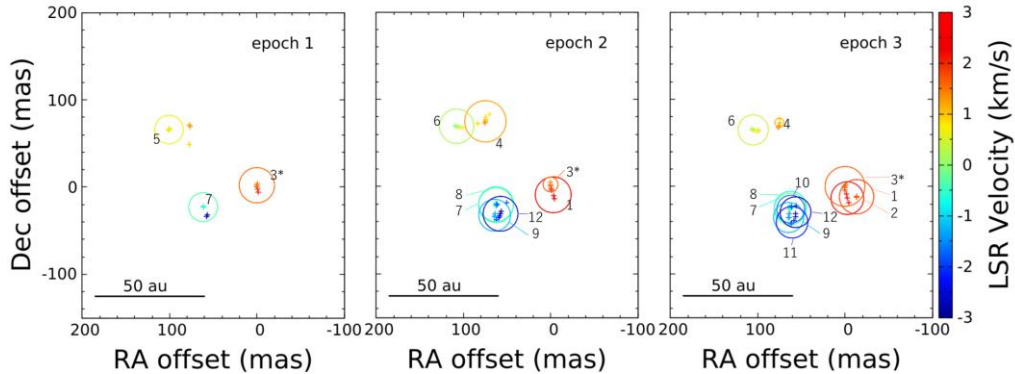


図 5.13 G0351.77 の各 epoch で同定されたメーザーフィーチャー。縦横軸はそれぞれリファレンスメーザースポットを原点とした相対座標であり、色は視線速度に対応している。十字は検出されたスポット、円はメーザーフィーチャーに対応している。数字はフィーチャーID を表す。

5.3 固有運動

本研究では、3 エポックにわたって同定されたメーザーフィーチャーおよび G351.77 のみ 2 エポックにわたって同定されたメーザーフィーチャーについて、リファレンスメーザースポットに対する相対的な固有運動の導出を行った。固有運動の導出は、全エポックにわたって同定されているフィーチャーを対象とし、かつ導出された速度の値がそのエラーよりも大きい場合に有意な検出であるとするのが理想である。しかし、G351.77 では全エポックで同定されたフィーチャーが 2 つと少なかったため、真の運動を捉えていない可能性もあるが、この天体でのみ 2 エポック間で同定されたフィーチャーの固有運動についても議論の対象とする。

固有運動の導出方法は、以下の通りである。

- (1) 各フィーチャーの位置と速度の時間変化率を求める
- (2) 求めた楕円の固有運動から平均運動を差し引く
- (3) 各フィーチャーの位置を極座標変換する
- (4) (2) で求めた固有運動ベクトルを円に射影し、円の接線速度と円面内の垂直速度を求める

- (1) 各フィーチャーの位置変化率 (mas yr^{-1}) 及び速度の時間変化率 ($\text{km s}^{-1} \text{yr}^{-1}$) を最小二乗法によって求め (例として G0.54 のフィーチャー ID2,6 の時間変化を図 5.14 - 図 5.16 に示す)、位置変化率について速度 (km s^{-1}) に変換する。

G0.54 のフィーチャー ID2,6 の位置変化率を図 5.14、図 5.15 に示し、速度の時間変化を図 5.16 に示す。

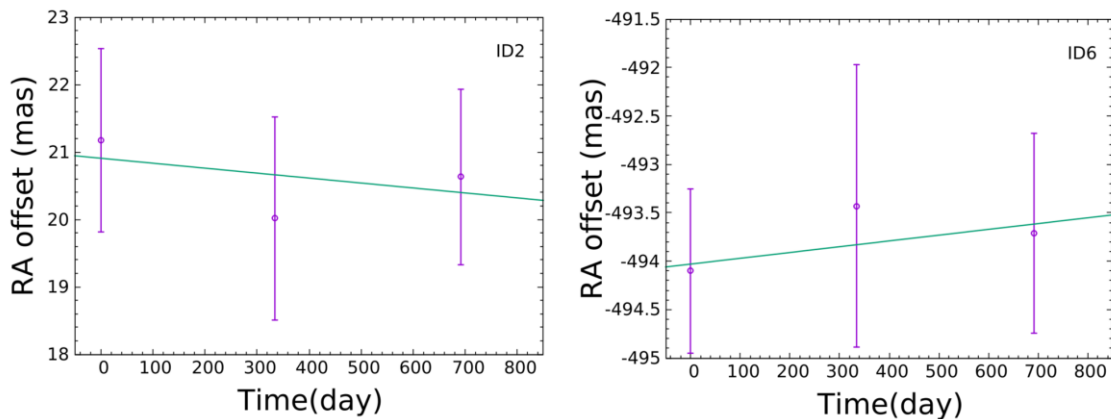


図 5.14 G0.54 のフィーチャー ID2,6 の時間 (日数) に対するリファレンスメーザースポットからの RA 相対位置オフセットの変化と、それに対するエラーを考慮した直線フィットの結果。

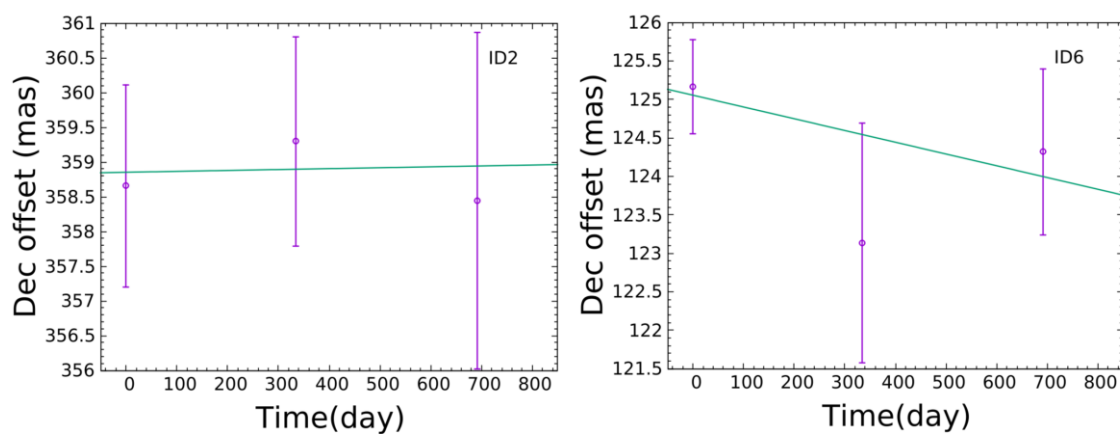


図 5.15 G0.54 のフィーチャーID2,6 の時間（日数）に対するリファレンスマーザー スポットからの Dec 相対位置オフセットの変化と、それに対するエラーを考慮した直 線フィットの結果。

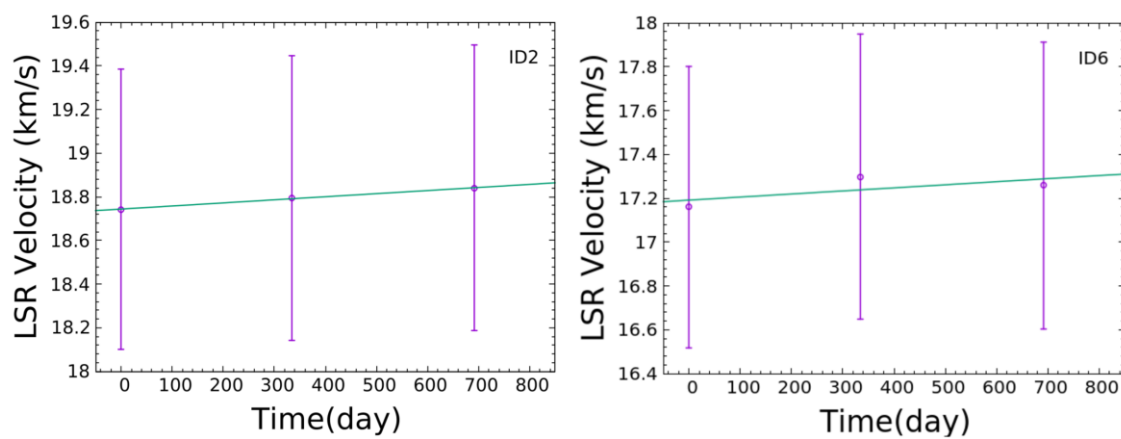


図 5.16 G0.54 のフィーチャーID2,6 の時間（日数）に対するリファレンスマーザー スポットからの視線速度の変化と、それに対するエラーを考慮した直線フィットの結 果。

(2) 導出された見かけの相対固有運動から全フィーチャーの平均運動を差し引くことで楕円の真の固有運動を導出する。平均運動を差し引いた固有運動の図を図 5.17 – 図 5.23 に示す。図内の縦横軸はリファレンスメーズスポットを原点とした相対座標、カラーバーは視線速度である。点は 3 エポックにわたって同定されたフィーチャーの平均相対位置、矢印の向きは固有運動の向き、長さは接線速度の大きさ、色は 1 エポック目の視線速度に対応している。G351.77 の 2 エポック間で求めたもののみ 2 エポック目の視線速度に対応している。

また、導出された固有運動のパラメータを表 5.8 – 表 5.14 に示す。表中の視線速度はエポック 1 のものである。G351.77 の 2 エポック間で求めたもののみ 2 エポック目の視線速度を使用している。

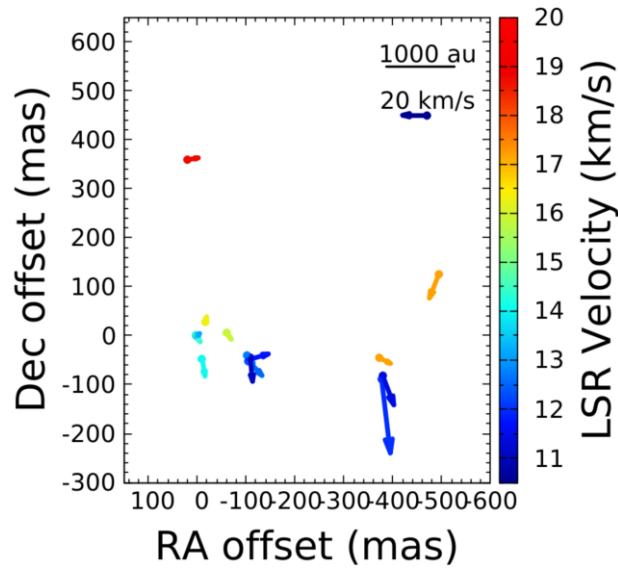


図 5.17 G0.54 で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.8 G0.54 で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
2	18.74	-0.27	0.50	0.05	0.52	1.42E-04	4.65E-06	-9.17	17.09	1.62	17.64	0.05	0.00
6	17.16	0.22	0.21	-0.56	0.63	1.40E-04	1.51E-04	7.45	7.25	-19.07	21.34	0.05	0.06
7	17.16	-0.28	0.11	-0.14	0.47	-1.12E-04	4.49E-07	-9.41	3.71	-4.68	16.04	-0.04	0.00
9	16.28	-0.05	0.07	0.12	0.10	1.43E-04	1.42E-04	-1.57	2.24	4.14	3.30	0.05	0.05
11	15.84	-0.11	0.05	-0.15	0.24	1.51E-05	7.10E-05	-3.67	1.79	-5.28	8.27	0.01	0.03
13	14.35	-0.11	0.00	-0.15	0.37	1.38E-05	7.51E-05	-3.75	0.01	-5.20	12.57	0.01	0.03
16	14.00	-0.07	0.12	-0.41	0.04	-1.13E-04	4.75E-07	-2.29	4.04	-13.99	1.25	-0.04	0.00
19*	13.12	-0.06	0.06	0.05	0.15	1.38E-05	7.51E-05	-1.97	2.06	1.85	5.08	0.01	0.03
21	12.68	-0.15	0.19	-0.20	0.01	1.77E-05	3.63E-04	-5.19	6.45	-6.72	0.40	0.01	0.13
22	12.50	-0.33	0.17	-0.35	0.35	-3.65E-04	1.52E-04	-11.13	5.86	-12.07	11.95	-0.13	0.06
23	11.98	-0.21	0.13	-1.77	0.70	1.41E-04	4.59E-06	-7.15	4.33	-60.50	23.76	0.05	0.00
24	11.71	-0.46	0.00	0.13	0.31	-2.39E-04	7.61E-05	-15.66	0.14	4.59	10.53	-0.09	0.03
25	11.36	-0.26	0.08	-0.69	0.12	-1.13E-04	4.83E-07	-8.98	2.61	-23.64	4.10	-0.04	0.00
26	11.01	-0.05	0.12	-0.56	0.28	1.38E-05	7.51E-05	-1.86	4.01	-19.07	9.40	0.01	0.03

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
-5.31	4.40	-11.29	10.40	-0.01	0.03

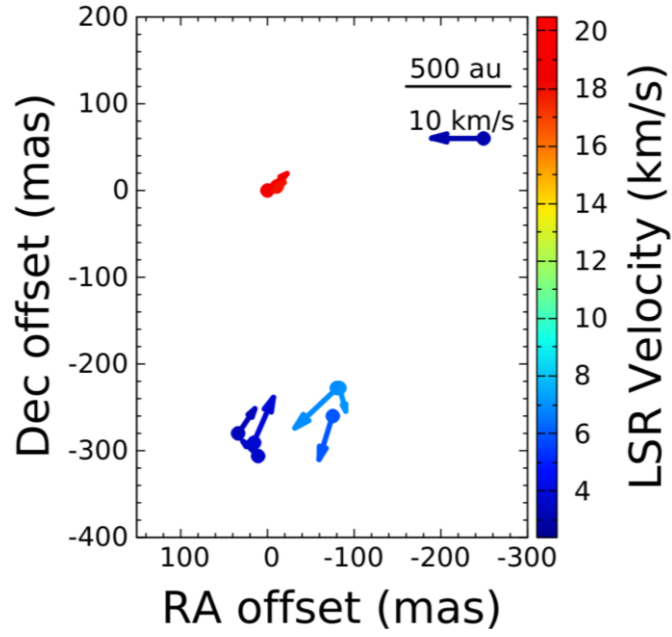


図 5.18 G2.53 で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.9 G2.53 で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
3*	18.75	0.02	0.10	-0.11	0.15	-2.46E-05	4.67E-05	0.39	1.95	-2.20	3.08	-0.01	0.02
6	17.88	0.13	0.05	-0.22	0.01	-2.46E-05	4.67E-05	2.66	1.04	-4.47	0.13	-0.01	0.02
8	6.98	0.15	0.06	-0.49	0.08	2.12E-04	1.72E-04	3.03	1.23	-9.84	1.63	0.08	0.06
9	6.85	0.62	0.18	-0.65	0.00	-2.97E-04	9.75E-05	12.31	3.59	-12.98	0.01	-0.11	0.04
11	5.92	0.34	0.05	-0.68	0.03	-2.62E-04	7.87E-05	6.75	1.06	-13.58	0.57	-0.10	0.03
12	3.73	0.02	0.06	0.17	0.01	9.39E-05	1.09E-04	0.42	1.13	3.41	0.25	0.03	0.04
13	3.55	0.36	0.09	-0.13	0.46	-2.97E-05	8.72E-05	7.20	1.70	-2.51	9.08	-0.01	0.03
14	3.20	0.05	0.53	-0.03	0.25	9.39E-05	1.09E-04	0.98	10.60	-0.52	4.91	0.03	0.04

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
4.22	2.79	-5.34	2.46	-0.01	0.03

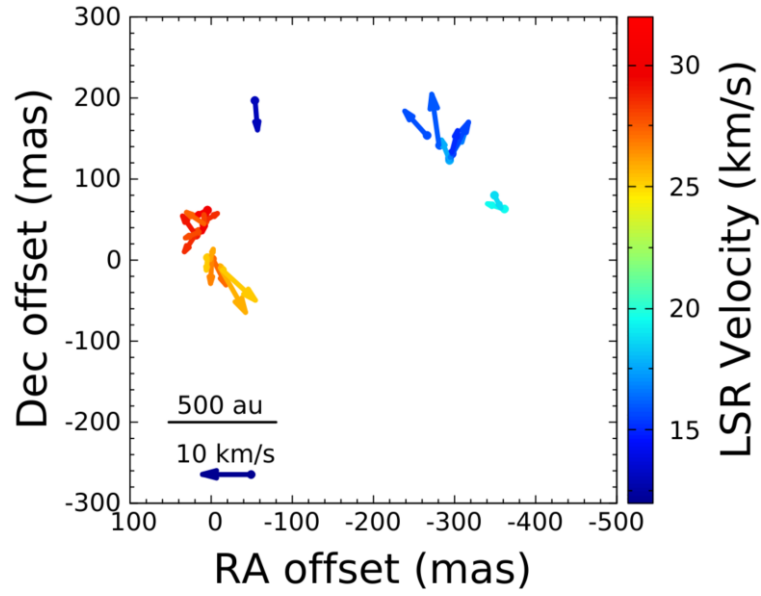


図 5.19 G6.79 で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.10 G6.79 で導出された固有運動のパラメータ

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
1	30.84	0.22	0.04	-0.08	0.25	-1.06E-04	3.95E-06	3.90	0.68	-1.51	4.54	-0.04	0.00
2	29.96	0.14	0.12	-0.27	0.37	-9.59E-05	2.72E-04	2.51	2.14	-4.79	6.72	-0.04	0.10
3	29.08	0.23	0.23	0.20	0.21	1.22E-04	1.39E-04	4.06	4.09	3.59	3.79	0.04	0.05
4	28.55	-0.07	0.04	0.07	0.15	3.59E-04	1.32E-05	-1.23	0.76	1.24	2.74	0.13	0.00
5	28.55	0.21	0.18	-0.23	0.30	-1.06E-04	3.88E-06	3.86	3.20	-4.12	5.37	-0.04	0.00
6	28.03	0.08	0.11	0.06	0.11	3.59E-04	1.32E-05	1.43	1.96	1.10	2.03	0.13	0.00
7	27.85	0.23	0.11	-0.09	0.12	-1.06E-04	3.88E-06	4.18	1.91	-1.57	2.17	-0.04	0.00
9	27.32	0.27	0.14	0.12	0.39	1.22E-04	1.39E-04	4.94	2.56	2.08	7.00	0.04	0.05
10	27.15	-0.07	0.13	-0.32	0.17	-1.06E-04	3.88E-06	-1.35	2.40	-5.68	3.00	-0.04	0.00
11	26.62	0.09	0.05	-0.29	0.00	-1.06E-04	3.88E-06	1.56	0.92	-5.16	0.06	-0.04	0.00
12*	25.92	0.04	0.02	0.10	0.06	1.31E-04	1.30E-04	0.75	0.35	1.81	1.03	0.05	0.05
13	25.74	-0.21	0.10	-0.52	0.08	-1.06E-04	3.88E-06	-3.87	1.89	-9.45	1.47	-0.04	0.00
14	25.22	-0.30	0.08	-0.36	0.12	-1.06E-04	3.88E-06	-5.45	1.52	-6.54	2.14	-0.04	0.00
15	25.22	0.09	0.05	-0.16	0.08	-1.06E-04	3.88E-06	1.58	0.89	-2.82	1.38	-0.04	0.00
17	19.42	0.26	0.04	0.05	0.06	-1.06E-04	3.88E-06	4.77	0.71	0.82	1.17	-0.04	0.00
19	18.71	0.00	0.05	-0.17	0.07	-1.06E-04	3.81E-06	-0.05	0.98	-3.05	1.34	-0.04	0.00
20	17.66	0.17	0.13	0.21	0.42	1.21E-04	1.39E-04	2.98	2.31	3.78	7.50	0.04	0.05
21	16.60	-0.09	0.01	0.24	0.12	-1.06E-04	3.81E-06	-1.58	0.14	4.36	2.09	-0.04	0.00
24	15.90	0.16	0.01	0.56	0.36	1.31E-04	1.30E-04	2.81	0.17	10.11	6.53	0.05	0.05
25	15.72	0.33	0.04	0.27	0.20	1.31E-04	1.30E-04	5.94	0.69	4.79	3.55	0.05	0.05
26	15.55	-0.11	0.05	0.35	0.32	1.31E-04	1.30E-04	-1.99	0.97	6.25	5.73	0.05	0.05
28	15.02	0.01	0.11	0.23	0.04	1.31E-04	1.30E-04	0.18	2.01	4.14	0.69	0.05	0.05
30	12.91	0.05	0.05	-0.35	0.09	1.31E-04	1.30E-04	0.86	0.85	-6.35	1.56	0.05	0.05

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
1.34	1.48	-0.30	3.20	0.01	0.02

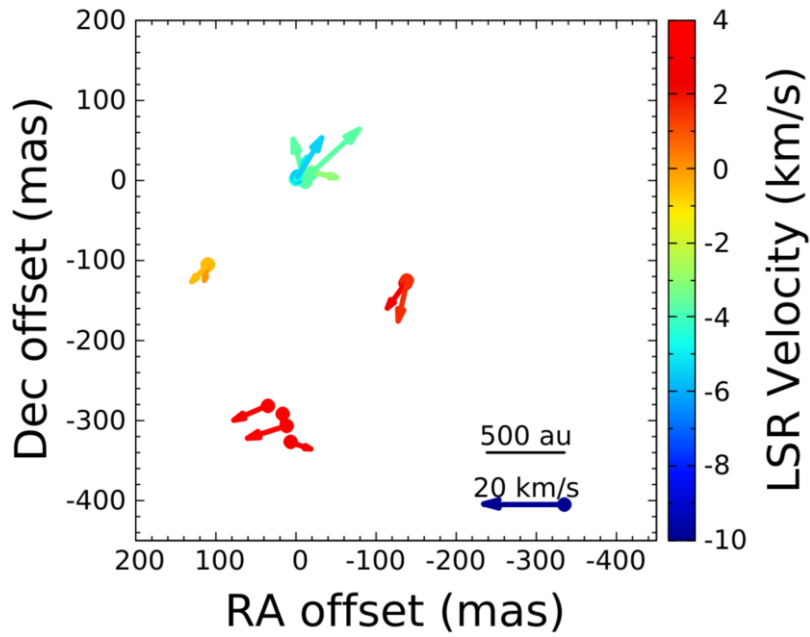


図 5.20 G8.83 で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.11 G8.83 で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
3	3.90	0.16	0.06	-0.18	0.33	-2.53E-04	1.90E-04	3.92	1.47	-4.38	8.22	-0.09	0.07
4	3.55	0.56	0.17	-0.17	0.69	-2.49E-05	4.68E-05	13.91	4.08	-4.30	16.94	-0.01	0.02
7	3.20	0.51	0.32	-0.20	0.57	-2.49E-05	4.68E-05	12.67	7.92	-4.92	14.14	-0.01	0.02
9	2.79	-0.04	-0.04	-0.11	0.01	1.09E-04	8.76E-05	-1.07	-1.07	-2.77	0.23	0.04	0.03
11	2.44	0.35	0.10	-0.30	0.34	-1.28E-04	3.77E-05	8.56	2.51	-7.40	8.39	-0.05	0.01
14	1.56	0.26	0.03	-0.45	0.23	-9.53E-06	2.50E-05	6.31	0.69	-11.15	5.75	0.00	0.01
16	-0.02	0.20	0.10	-0.20	0.18	1.00E-04	1.81E-04	4.89	2.38	-4.98	4.39	0.04	0.07
17	-0.55	0.32	0.09	-0.22	0.23	-1.28E-04	3.77E-05	8.00	2.30	-5.44	5.57	-0.05	0.01
19	-3.01	-0.08	0.01	-0.10	0.43	1.09E-04	8.76E-05	-2.00	0.15	-2.48	10.67	0.04	0.03
22	-3.71	-0.33	0.13	0.41	1.83	1.09E-04	8.76E-05	-8.17	3.14	10.02	45.07	0.04	0.03
23	-3.71	0.29	0.35	0.39	1.02	-1.28E-04	3.78E-05	7.03	8.58	9.57	25.25	-0.05	0.01
25*	-4.42	0.11	0.08	-0.02	0.18	-1.28E-04	3.78E-05	2.80	1.88	-0.52	4.37	-0.05	0.01
26	-4.94	0.06	0.00	0.16	0.24	1.09E-04	8.76E-05	1.57	0.03	3.99	5.98	0.04	0.03
27	-5.47	-0.08	0.01	0.35	0.07	1.09E-04	8.76E-05	-1.91	0.33	8.57	1.77	0.04	0.03

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
4.04	2.46	-1.16	11.20	0.00	0.03

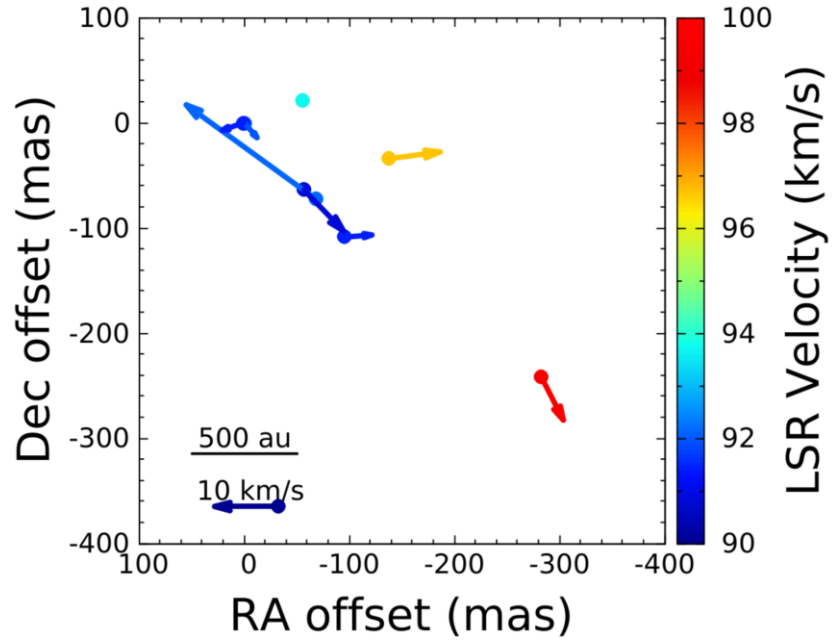


図 5.21 G25.82 で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.12 G25.82 で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
1	99.30	-0.18	0.08	-0.29	0.19	-5.78E-05	3.89E-05	-4.19	1.94	-6.89	4.59	-0.02	0.01
4	96.67	-0.38	0.14	0.04	0.18	5.60E-04	4.63E-05	-8.92	3.29	0.98	4.23	0.20	0.02
6	93.68	-0.02	0.16	0.01	0.09	1.97E-04	1.32E-04	-0.48	3.83	0.22	2.08	0.07	0.05
7	92.10	0.84	0.45	0.62	0.44	-1.95E-04	2.83E-05	19.80	10.73	14.79	10.37	-0.07	0.01
9	91.92	-0.11	0.17	-0.10	0.01	-5.78E-05	3.89E-05	-2.62	4.13	-2.36	0.25	-0.02	0.01
11	91.39	-0.21	0.15	0.01	0.11	4.70E-04	2.09E-06	-5.08	3.55	0.23	2.70	0.17	0.00
12*	91.39	0.11	0.00	-0.06	0.05	-5.78E-05	3.89E-05	2.64	0.03	-1.31	1.12	-0.02	0.01
13	90.78	-0.29	0.17	-0.28	0.24	-5.78E-05	3.89E-05	-6.98	4.08	-6.57	5.72	-0.02	0.01

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
-0.73	3.95	-0.11	3.88	0.04	0.02

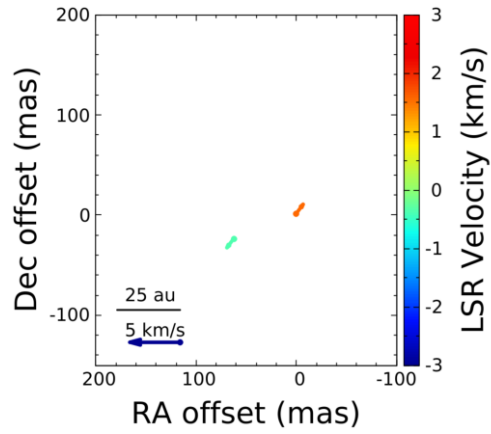


図 5.22 G351.77 (3 エポック間) で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.13 G351.77 (3 エポック間) で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
3*	1.55	0.00	0.01	-0.97	0.24	8.82E-05	8.59E-06	0.00	0.03	-1.83	0.46	0.03	0.00
7	-0.38	0.72	0.19	-1.93	1.84	3.15E-04	1.36E-04	1.37	0.35	-3.66	3.50	0.11	0.05

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
0.68	0.19	-2.75	1.98	0.07	0.03

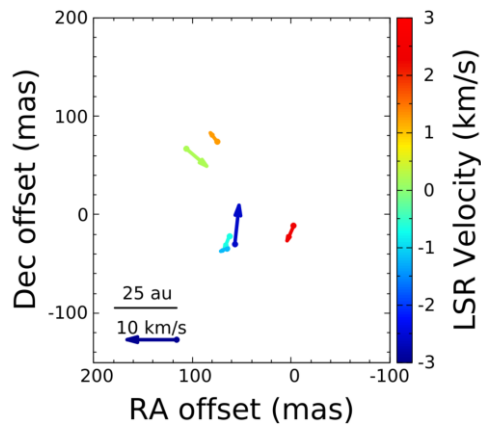


図 5.23 G351.77 (2 エポック間) で導出された平均運動を差し引いた固有運動

表 5.14 G351.77 (2 エポック間) で導出された固有運動のパラメータと平均運動

ID	視線速度 (km s ⁻¹)	固有運動											
		$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error	$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
		(mas yr ⁻¹)				(km s ⁻¹ day ⁻¹)		(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
1	2.30	0.36	0.00	-3.98	0.00	7.31E-05	0.00	0.68	0.00	-7.55	0.00	0.03	0.00
4	1.24	0.36	0.00	-1.45	0.00	-4.25E-04	0.00	0.68	0.00	-2.75	0.00	-0.16	0.00
6	0.19	-2.56	0.00	-4.27	0.00	5.71E-04	0.00	-4.86	0.00	-8.10	0.00	0.21	0.00
8	-0.69	0.16	0.00	-3.68	0.00	5.71E-04	0.00	0.30	0.00	-6.97	0.00	0.21	0.00
9	-1.22	0.37	0.00	-2.71	0.00	7.28E-05	0.00	0.70	0.00	-5.14	0.00	0.03	0.00
12	-2.62	-0.81	0.00	1.80	0.00	7.28E-05	0.00	-1.54	0.00	3.41	0.00	0.03	0.00

平均運動					
$\frac{d(RA)}{dt}$	error	$\frac{d(Dec)}{dt}$	error	$\frac{d(Vlsr)}{dt}$	error
(km s ⁻¹)				(km s ⁻¹ yr ⁻¹)	
-0.67	0.00	-4.52	0.00	0.06	0.00

- (3) 各フィーチャーの位置を極座標に変換するために、まず各フィーチャーの平均位置を楕円でフィットする。その方法は以下の通りである。

楕円フィットは最小二乗法を用いて近似する。文献[15]を参考に直接解法（一通り計算して解を求める方法）で求める。楕円の中心を (X_0, Y_0) X軸方向の長さを a 、Y軸方向の長さを b 、楕円の傾きを θ としたときの楕円の一般式は、

$$\left(\frac{(X_i - X_0)\cos\theta + (Y_i - Y_0)\sin\theta}{a} \right)^2 + \left(\frac{(-(X_i - X_0)\sin\theta + (Y_i - Y_0)\cos\theta)}{b} \right)^2 = 1$$

である。この一般式の左辺を展開し、 X_i 、 Y_i について整理すると、

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\cos^2\theta}{a^2} + \frac{\sin^2\theta}{b^2} \right) X_i^2 + 2 \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} \right) \sin\theta\cos\theta X_i Y_i + \left(\frac{\sin^2\theta}{a^2} + \frac{\cos^2\theta}{b^2} \right) Y_i^2 \\ & - 2 \left(\frac{X_0 \cos^2\theta + Y_0 \sin\theta\cos\theta}{a^2} + \frac{X_0 \sin^2\theta - Y_0 \sin\theta\cos\theta}{b^2} \right) X_i \\ & - 2 \left(\frac{X_0 \sin\theta\cos\theta + Y_0 \sin^2\theta}{a^2} + \frac{Y_0 \cos^2\theta - X_0 \sin\theta\cos\theta}{b^2} \right) Y_i \\ & + \frac{X_0^2 \cos^2\theta + 2X_0 Y_0 \sin\theta\cos\theta + Y_0^2 \sin^2\theta}{a^2} \\ & + \frac{X_0^2 \sin^2\theta - 2X_0 Y_0 \sin\theta\cos\theta + Y_0^2 \cos^2\theta}{b^2} \end{aligned}$$

となる。右辺の 1 を左辺に移項して未知数部分を変数で置き換え、整理する。

$$X_i^2 + AX_i Y_i + BY_i^2 + CX_i + DY_i + E = 0$$

この式の 2 乗和が最小になるように A - E の値を決めればよいので、

$$\sum (X_i^2 + AX_i Y_i + BY_i^2 + CX_i + DY_i + E)^2 = 0$$

の式を A - E で偏微分し、行列で表すと

$$\begin{pmatrix} \sum X_i^2 Y_i^2 & \sum X_i Y_i^3 & \sum X_i^2 Y_i & \sum X_i Y_i^2 & \sum X_i Y_i \\ \sum X_i Y_i^3 & \sum Y_i^4 & \sum X_i Y_i^2 & \sum Y_i^3 & \sum Y_i^2 \\ \sum X_i^2 Y_i & \sum X_i Y_i^2 & \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i \\ \sum X_i Y_i^2 & \sum Y_i^3 & \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_i \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum X_i & \sum Y_i & \sum 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum X_i^3 Y_i \\ -\sum X_i^2 Y_i^2 \\ -\sum X_i^3 \\ -\sum X_i^2 Y_i \\ -\sum X_i^2 \end{pmatrix}$$

となり、A - E を求めるために両辺に逆行列を掛け合わせると、

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum X_i^2 Y_i^2 & \sum X_i Y_i^3 & \sum X_i^2 Y_i & \sum X_i Y_i^2 & \sum X_i Y_i \\ \sum X_i Y_i^3 & \sum Y_i^4 & \sum X_i Y_i^2 & \sum Y_i^3 & \sum Y_i^2 \\ \sum X_i^2 Y_i & \sum X_i Y_i^2 & \sum X_i^2 & \sum X_i Y_i & \sum X_i \\ \sum X_i Y_i^2 & \sum Y_i^3 & \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum Y_i \\ \sum X_i Y_i & \sum Y_i^2 & \sum X_i & \sum Y_i & \sum 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum X_i^3 Y_i \\ -\sum X_i^2 Y_i^2 \\ -\sum X_i^3 \\ -\sum X_i^2 Y_i \\ -\sum X_i^2 \end{pmatrix}$$

となり、未知数 A – E を求めることができる。この A – E を求めたら、楕円の中心、傾き、長軸、短軸の長さは以下のように表せる。

$$X_0 = \frac{AD - 2BC}{4B - A^2} \quad Y_0 = \frac{AC - 2D}{4B - A^2}$$

$$\theta = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{A}{1-B}\right)}{2}$$

$$a = \sqrt{(X_0 \cos \theta + Y_0 \sin \theta)^2 - E \cos^2 \theta - \{(X_0 \sin \theta - Y_0 \cos \theta)^2 - E \sin^2 \theta\} \frac{\sin^2 \theta - B \cos^2 \theta}{\cos^2 \theta - B \sin^2 \theta}}$$

$$b = \sqrt{(X_0 \sin \theta - Y_0 \cos \theta)^2 - E \sin^2 \theta - \{(X_0 \cos \theta + Y_0 \sin \theta)^2 - E \cos^2 \theta\} \frac{\cos^2 \theta - B \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta - B \cos^2 \theta}}$$

以上の方法で楕円近似して得られた結果を表 5.15、図 5.24 – 図 5.28 に示す。また、PA の定義は「北を 0° 反時計回りに正の値として増える」とし、inc は $\cos(\text{inc}) = \frac{\text{楕円の短軸の長さ}}{\text{楕円の長軸の長さ}}$ であり、円を斜め上から見ているため楕円と見えていると考えたときどのくらい傾いているかを表す。

G351.77 について、3 エポックにわたって同定されたフィーチャー、2 エポック間で同定されたフィーチャーについては、楕円に収束せず近似することができなかった。そのため、今後は G351.77 を除いた 5 天体について議論をする。

表 5.15 楕円フィットの結果

天体名	中心		PA	inc
	RA offset	Dec offset	($^{\circ}$)	($^{\circ}$)
G0.54	-234.42	249.49	2.09	43.46
G2.53	-12.97	-157.39	-2.64	62.07
G6.79	-205.99	-14.59	-44.45	50.19
G8.83	-39.95	-185.90	-29.55	59.58
G25.82	-150.89	-100.11	41.54	79.29
G351.77	-80.38	8.70	-9.95	nan
G351.77*	68.61	38.76	-29.98	nan

*は 2 エポック間で同定されたフィーチャー

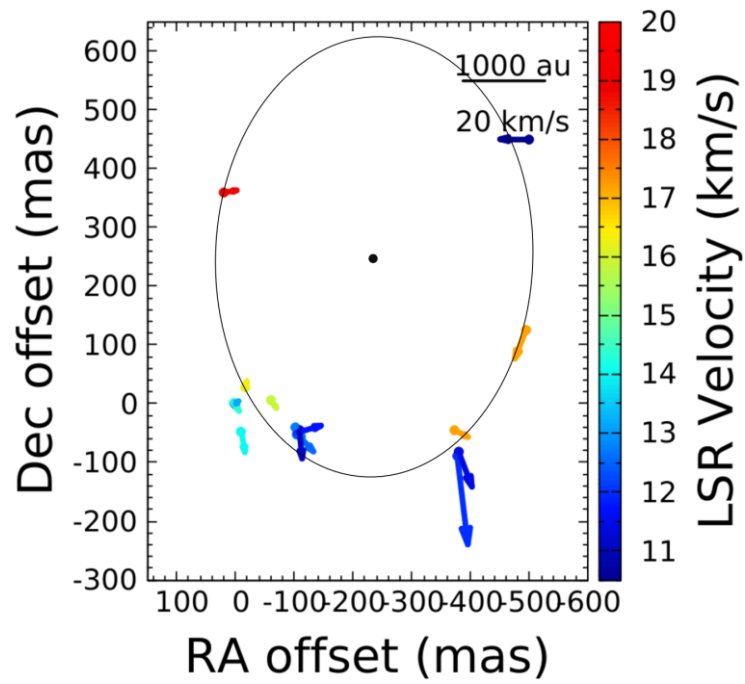


図 5.24 G0.54 の楕円フィットして得られた結果。黒点は楕円の中心を表し、黒い実線はフィットした楕円を表す。

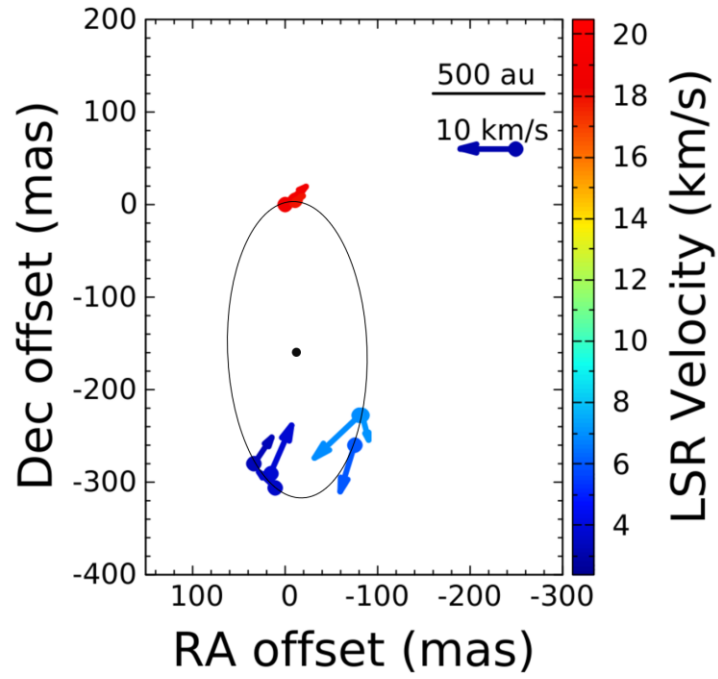


図 5.25 G2.53 の楕円フィットして得られた結果。黒点は楕円の中心を表し、黒い実線はフィットした楕円を表す。

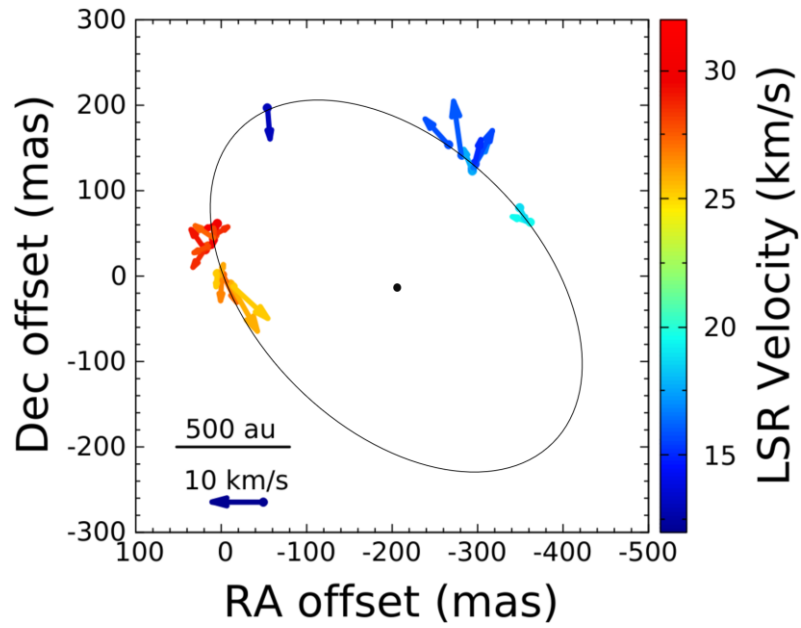


図 5.26 G6.79 の楕円フィットして得られた結果。黒点は楕円の中心を表し、黒い実線はフィットした楕円を表す。

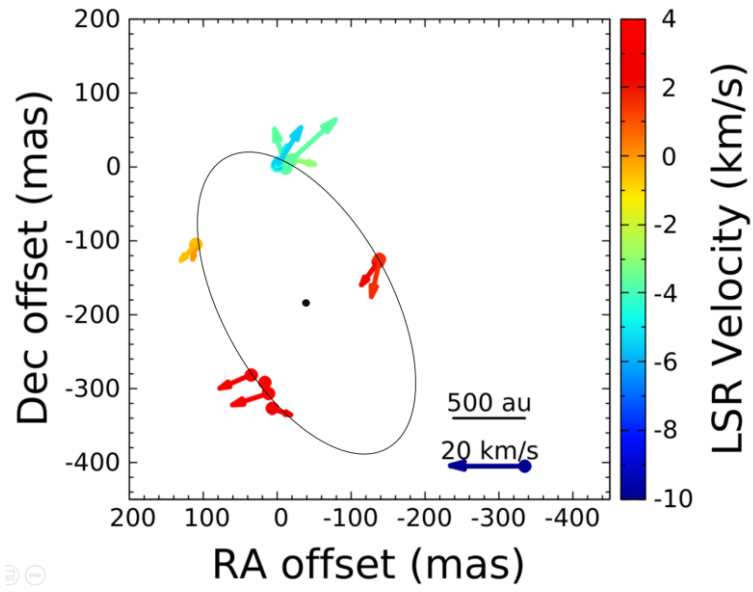


図 5.27 G8.83 の楕円フィットして得られた結果。黒点は楕円の中心を表し、黒い実線はフィットした楕円を表す。

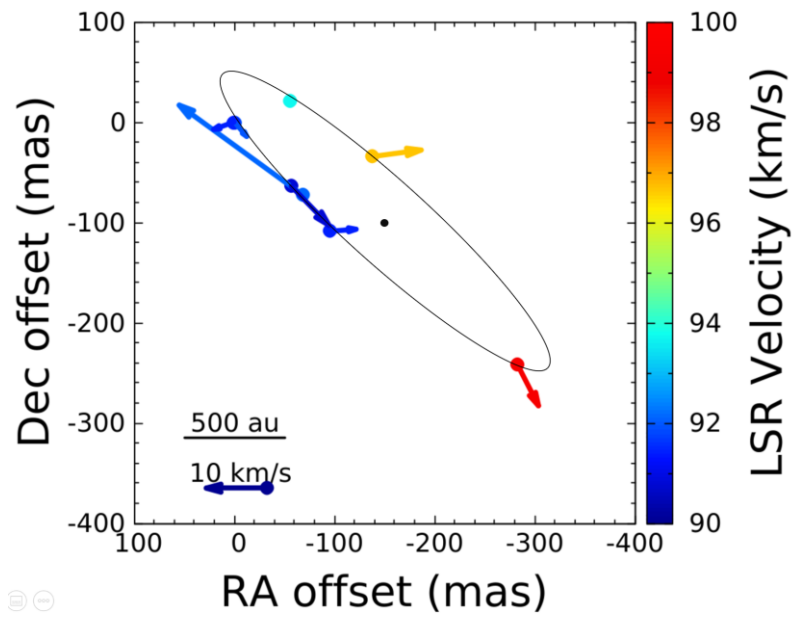


図 5.28 G25.82 の楕円フィットして得られた結果。黒点は楕円の中心を表し、黒い実線はフィットした楕円を表す。

次に、楕円フィットした結果を用いて楕円を円に射影し、各メーザーフィーチャーの平均相対位置を極座標で表す。以下のような手順でメーザーフィーチャーを極座標で表した。

- ① 中心位置を原点とする円を求めるために、まず、各フィーチャーから中心位置の座標を差し引いた。
- ② 図 5.29 (a) のように原点を中心として x 軸の方向と、 y 軸の方向を角度 θ だけ回転させる。ここで、 θ は先ほど求めた PA である。回転させたあとの座標を (x', y') とすると、回転前の座標 (x, y) を用いて次のように表せる。

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$$

- ③ 図 5.29 (b) の楕円を長軸が半径になるように短軸方向 (y' 方向) の座標を $\frac{1}{\cos \varphi}$

倍する。ここで φ は inclination を表す。

- ④ ①で回転させたため、再びもとに戻す。これは以下の式で表せる。

$$x = x' \cos (-\theta) + y' \sin (-\theta)$$

$$y = -x' \sin (-\theta) + y' \cos (-\theta)$$

- ⑤ ③で求めた座標を極座標に変換する。変換は、以下のよう表せる。

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \text{Arctan} \left(\frac{y}{x} \right)$$

求めた極座標の θ を位相（北を 0° として東を 90° 、南を 180° 、西を 270° となる）に変換する。

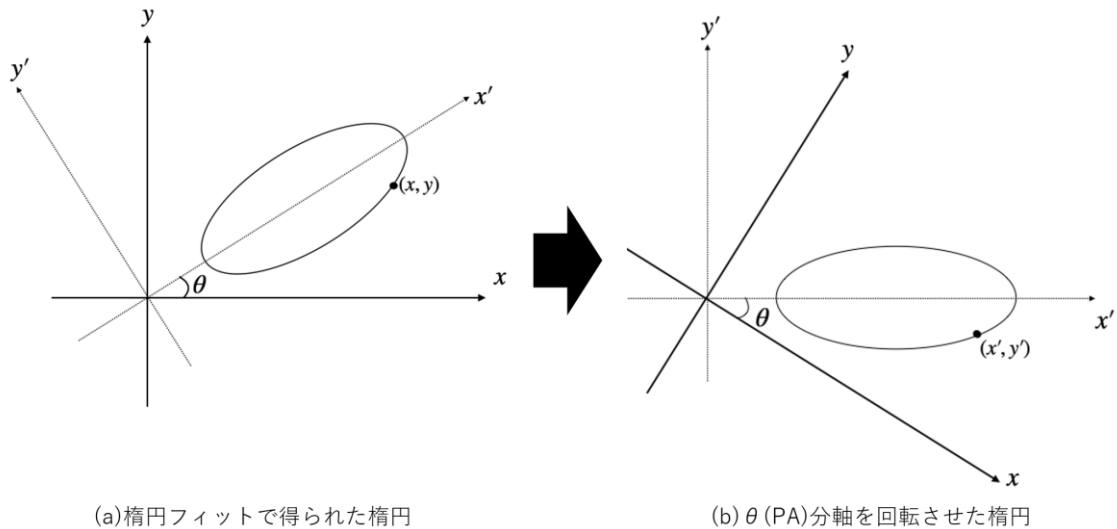


図 5.29

求めたフィーチャーの極座標と位相を表 5.16 – 表 5.20 に示す。

(4) 以下のような手順で (2) で求めた固有運動ベクトルを円に射影し、円の接線速度と円面内の垂直速度を求める。

- ① 図 5.30 のように固有運動ベクトルの x 成分と y 成分をそれぞれ長軸に直交する方向と長軸に水平な方向に分解する。分解したものを長軸に直交する方向、長軸に水平な方向それぞれで足し合わせ、長軸に直交する成分 ($V_{\perp} = V_{x\perp} + V_{y\perp}$) と水平な成分 ($V_{\parallel} = V_{x\parallel} + V_{y\parallel}$) を求める。

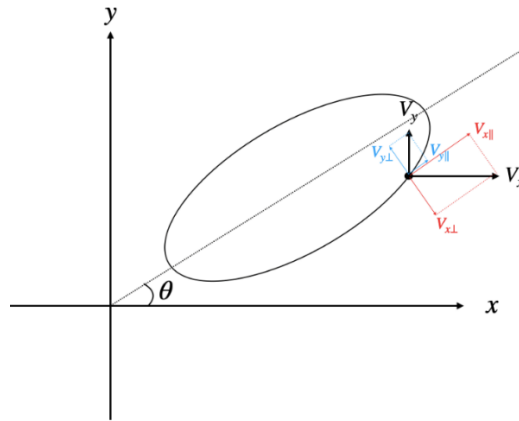


図 5.30

- ② (3)と同様に、短軸方向 $V_{\perp}$ を $\frac{1}{\cos\varphi}$ 倍して長軸が半径になる円に射影する。ここで、

楕円平面に垂直な成分 (図 5.31 内の z' 成分) についても円に射影するために $\frac{1}{\sin\varphi}$

倍する。ここで φ は inclination を表す。 $\frac{1}{\sin\varphi}$ 倍したものが円の平面に垂直な垂直速度である。

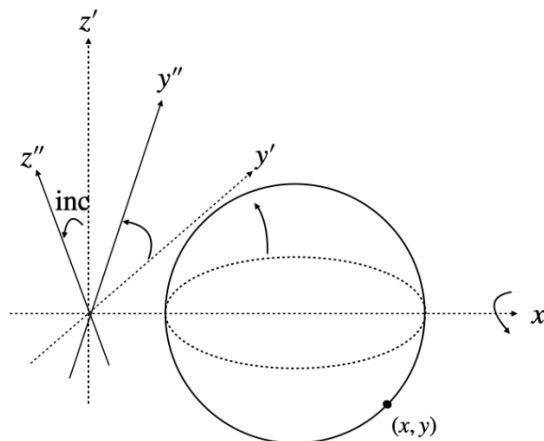


図 5.31

- ③ さらに、これまでで求めた $V_{\perp}$ 、 $V_{\parallel}$ を①と同様にそれぞれ円の接線成分と垂直成分に分解し、最後に円の接線成分と円平面内での垂直成分で足し合わせることで円と同じ平面上の垂直速度と円の接線速度を求めることができる。

上記の手順で求めた円と同じ平面上の垂直速度と円の接線速度、円の平面に垂直な垂直速度を表 5.16 – 表 5.20 に表す。

表 5.16 G0.54 のフィーチャーの極座標表示、位相、固有運動ベクトル

FeatureID	r	θ (rad)	位相(°)	円と同じ平面上の 垂直速度 (km/s)	円の接線速度 (km/s)	円に垂直な 垂直速度 (km/s/yr)
2	293.18	0.53	300.10	4.76	8.22	0.09
6	308.18	-2.56	123.25	-2.87	-4.38	0.09
7	425.34	-1.89	161.71	-2.50	-0.83	-0.05
9	380.01	-0.95	215.77	-16.33	11.76	0.09
11	381.87	-1.09	207.66	-7.12	3.73	0.02
13	422.18	-0.96	214.81	-6.59	4.58	0.02
16	471.58	-1.07	208.95	-0.30	0.16	-0.05
19*	420.90	-0.97	214.37	-14.27	9.76	0.02
21	422.68	-1.24	198.85	-4.65	1.59	0.02
22	437.33	-1.26	197.81	6.60	-2.12	-0.18
23	483.61	-1.86	163.41	51.36	15.30	0.09
24	433.60	-1.26	197.75	-5.52	1.77	-0.12
25	476.51	-1.87	162.81	16.07	4.97	-0.05
26	428.86	-1.26	197.62	4.34	-1.38	0.02

表 5.17 G2.53 のフィーチャーの極座標表示、位相、固有運動ベクトル

FeatureID	r	θ (rad)	位相(°)	円と同じ平面上の 垂直速度 (km/s)	円の接線速度 (km/s)	円に垂直な 垂直速度 (km/s/yr)
3*	337.01	1.51	356.39	-0.62	-0.04	0.00
6	343.55	1.54	358.15	-0.63	-0.02	0.00
8	171.72	-2.02	154.29	4.62	2.22	0.10
9	171.36	-2.00	155.32	-0.37	-0.17	-0.11
11	235.05	-1.86	163.25	4.93	1.48	-0.10
12	285.59	-1.50	184.34	-4.44	0.34	0.05
13	317.59	-1.52	182.80	-5.22	0.26	0.00
14	264.65	-1.42	188.71	-1.41	0.22	0.05

表 5.18 G6.79 のフィーチャーの極座標表示、位相、固有運動ベクトル

FeatureID	r	θ (rad)	位相($^{\circ}$)	円と同じ平面上の 垂直速度 (km/s)	円の接線速度 (km/s)	円に垂直な 垂直速度 (km/s/yr)
1	328.09	0.50	298.43	-0.24	-0.45	-0.06
2	327.68	0.50	298.46	0.60	1.11	-0.06
3	322.18	0.38	292.03	-0.94	-2.33	0.05
4	321.23	0.45	295.82	0.17	0.35	0.16
5	322.48	0.39	292.49	0.19	0.46	-0.06
6	321.35	0.45	295.66	-0.25	-0.51	0.16
7	319.66	0.40	292.96	-0.23	-0.55	-0.06
9	319.57	0.44	295.06	-0.96	-2.06	0.05
10	274.57	0.28	286.30	0.86	2.94	-0.06
11	275.60	0.28	285.96	0.48	1.69	-0.06
12*	277.93	0.28	286.01	-0.16	-0.56	0.05
13	256.09	0.24	283.57	1.28	5.30	-0.06
14	251.21	0.23	282.91	1.11	4.83	-0.06
15	283.78	0.29	286.40	0.24	0.83	-0.06
17	185.70	2.84	72.82	-0.51	1.65	-0.06
19	176.46	2.66	62.53	0.72	-1.39	-0.06
20	169.41	2.02	25.95	-1.95	0.95	0.05
21	172.71	2.02	25.46	-0.60	0.29	-0.06
24	187.10	1.86	16.28	-4.34	1.27	0.05
25	200.30	1.73	8.85	-3.64	0.57	0.05
26	177.91	2.02	25.53	-1.11	0.53	0.05
28	179.95	2.00	24.81	-1.13	0.52	0.05
30	402.26	0.89	321.24	1.93	1.55	0.05

表 5.19 G8.83 のフィーチャーの極座標表示、位相、固有運動ベクトル

FeatureID	r	θ (rad)	位相($^{\circ}$)	円と同じ平面上の 垂直速度 (km/s)	円の接線速度 (km/s)	円に垂直な 垂直速度 (km/s/yr)
3	163.10	-1.42	188.62	-0.34	0.05	-0.10
4	189.97	-1.51	183.48	0.70	-0.04	-0.01
7	144.74	-1.21	200.62	0.47	-0.18	-0.01
9	227.96	-1.58	179.38	-0.70	-0.01	0.05
11	112.92	2.60	59.15	0.09	-0.15	-0.05
14	116.31	2.58	57.91	0.43	-0.68	0.00
16	296.02	0.74	312.61	0.21	0.23	0.05
17	297.33	0.75	312.71	0.02	0.02	-0.05
19	362.96	1.28	343.23	0.73	0.22	0.05
22	361.36	1.27	342.72	0.10	0.03	0.05
23	348.06	1.25	341.39	-1.35	-0.45	-0.05
25*	363.69	1.21	339.57	0.06	0.02	-0.05
26	365.73	1.22	339.92	-0.26	-0.10	0.05
27	367.20	1.22	340.11	-0.37	-0.13	0.05

表 5.20 G25.82 のフィーチャーの極座標表示、位相、固有運動ベクトル

FeatureID	r	θ (rad)	位相($^{\circ}$)	円と同じ平面上の 垂直速度 (km/s)	円の接線速度 (km/s)	円に垂直な 垂直速度 (km/s/yr)
1	217.63	-1.94	158.99	41.26	15.84	-0.06
4	224.17	2.05	27.68	-27.12	14.23	0.17
6	213.55	1.50	356.15	2.52	0.17	0.04
7	199.81	-0.43	245.17	-64.23	138.80	-0.11
9	222.88	0.08	274.57	-1.42	-17.79	-0.06
11	234.92	-0.69	230.25	11.07	-13.31	0.14
12*	225.11	0.08	274.47	0.73	9.35	-0.06
13	211.32	-0.38	248.02	20.53	-50.87	-0.06

6 考察

6.1 固有運動

各天体のスポットの空間分布から先行研究通りスポットは楕円形状に分布しているように見える。このことから、円盤状の星周構造からレーザーが出ている可能性があると考えられる。

§ 5.3 で求めた固有運動が円運動ならば、接線速度は位相によらない。膨張／収縮ならば、垂直速度は位相によらないと考えられることから各天体の固有運動について議論していく。また、「平均値 $> 3\text{-sigma}$ 」であれば、 3-sigma の有意度で、その平均値の速度で運動しているといえる。

6.1.1 G0.54

固有運動が円運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか調べるために、横軸を位相、縦軸を円平面内の垂直速度または接線速度として 0 次式 ($y = c$ [傾き = 0]) でフィットした。その結果が図 6.1 である。

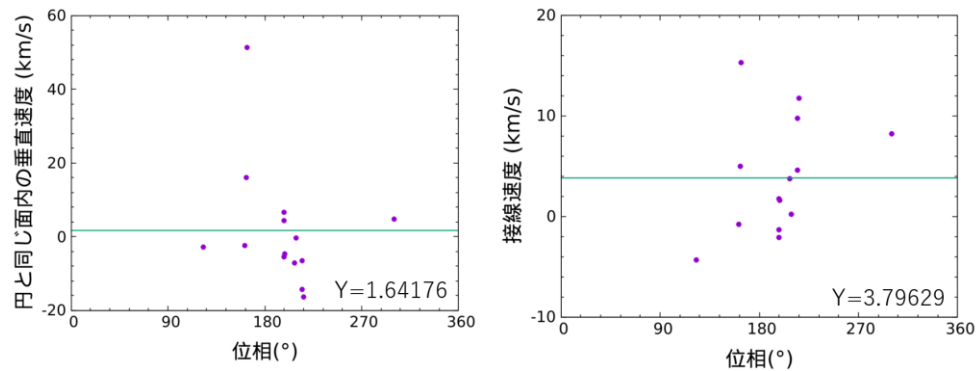


図 6.1 G0.54 の円平面内の垂直速度と接線速度の位相変化

また、平均値と標準偏差を求めると表 6.1 のようになった。

表 6.1 G0.54 の円平面内の垂直速度と接線速度の平均・標準偏差

円と同じ平面上の垂直速度			円の接線速度		
平均	標準偏差	3-sigma	平均	標準偏差	3-sigma
1.64	15.98	47.94	3.80	5.51	16.53

この値から、平均が 3-sigma よりも小さいため、この平均値で運動しているとは言えない。

6.1.2 G2.53

固有運動が円運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか調べるために、横軸を位相、縦軸を円平面内の垂直速度または接線速度として0次式 ($y = c$ [傾き = 0]) でフィットした。その結果が図 6.2 である。

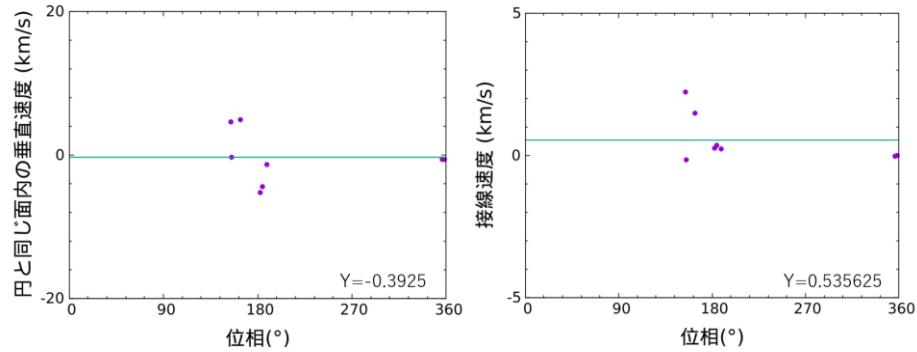


図 6.2 G2.53 の円平面内の垂直速度と接線速度の位相変化

また、平均値と標準偏差を求めると表 6.2 のようになった。

表 6.2 G2.53 の円平面内の垂直速度と接線速度の平均・標準偏差

円と同じ平面上の垂直速度			円の接線速度		
平均	標準偏差	3-sigma	平均	標準偏差	3-sigma
-0.39	3.43	10.30	0.54	0.80	2.39

この値から、平均が 3-sigma よりも小さいため、この平均値で運動しているとは言えない。

6.1.3 G6.79

固有運動が円運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか調べるために、横軸を位相、縦軸を円平面内の垂直速度または接線速度として0次式 ($y = c$ [傾き = 0]) でフィットした。その結果が図 6.3 である。

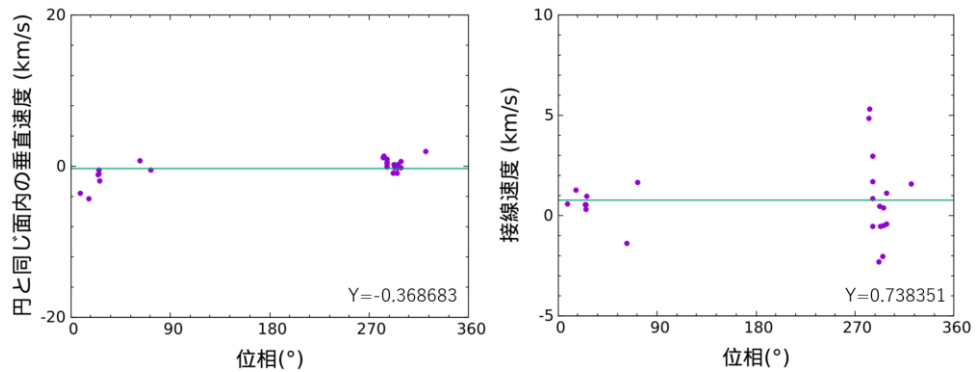


図 6.3 G6.79 の円平面内の垂直速度と接線速度の位相変化

また、平均値と標準偏差を求めると表 6.4 のようになった。

表 6.3 G6.79 の円平面内の垂直速度と接線速度の平均・標準偏差

円と同じ平面上の垂直速度			円の接線速度		
平均	標準偏差	3-sigma	平均	標準偏差	3-sigma
-0.37	1.42	4.26	0.74	1.79	5.38

この値から、平均が 3-sigma よりも小さいため、この平均値で運動しているとは言えない。

先行研究 (Sugiyama et al. 2016) で求められている膨張を伴う回転運動は確認できなかった。これは、先行研究では楕円フィットの際に、固有運動を考慮した重心を円盤の中心としてフィットをしているが、本研究では、固有運動を考慮せずにレーザーフィーチャーの平均相対位置でフィットしているため、得られた結果に違いが生じたのであると考えられる。

6.1.4 G8.83

固有運動が円運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか調べるために、横軸を位相、縦軸を円平面内の垂直速度または接線速度として 0 次式 ($y = c$ [傾き = 0]) でフィットした。その結果が図 6.4 である。

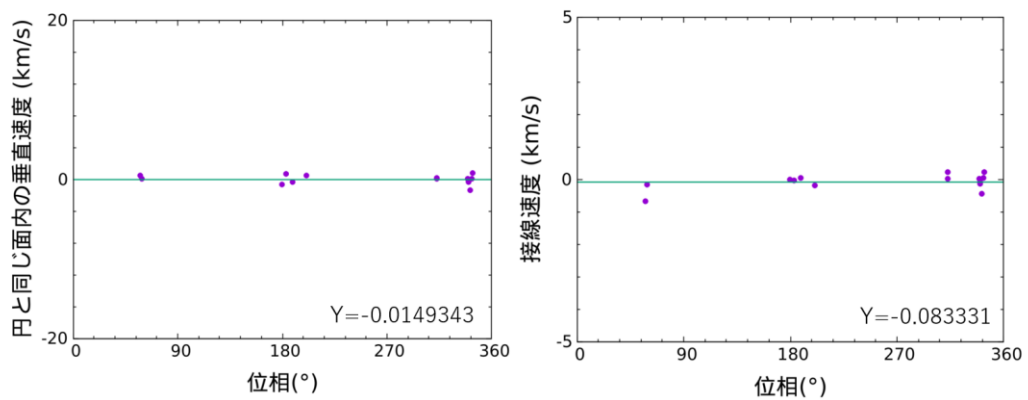


図 6.4 G8.83 の円平面内の垂直速度と接線速度の位相変化

また、平均値と標準偏差を求めると表 6.4 のようになった。

表 6.4 G8.83 の円平面内の垂直速度と接線速度の平均・標準偏差

円と同じ平面上の垂直速度			円の接線速度		
平均	標準偏差	3-sigma	平均	標準偏差	3-sigma
-0.01	0.54	1.63	-0.08	0.23	0.70

この値から、平均が 3-sigma よりも小さいため、この平均値で運動しているとは言えない。

6.1.5 G25.82

固有運動が円運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか調べるために、横軸を位相、縦軸を円平面内の垂直速度または接線速度として0次式 ($y = c$ [傾き = 0]) でフィットした。その結果が図 6.5 である。

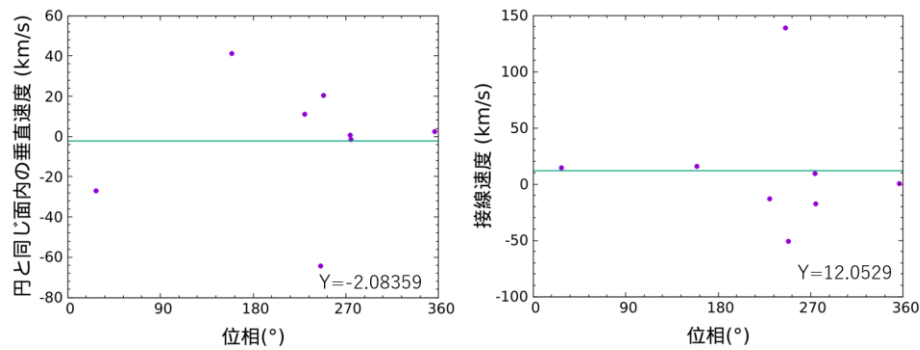


図 6.5 G25.82 の円平面内の垂直速度と接線速度の位相変化

また、平均値と標準偏差を求めると表 6.4 のようになった。

表 6.5 G25.82 の円平面内の垂直速度と接線速度の平均・標準偏差

円と同じ平面上の垂直速度			円の接線速度		
平均	標準偏差	3-sigma	平均	標準偏差	3-sigma
-2.08	29.75	89.25	12.05	52.11	156.34

この値から、平均が 3-sigma よりも小さいため、この平均値で運動しているとは言えない。

6.1.6 5 天体 (G351.77 を除く) について

§ 6.1.1 – § 6.1.5 で固有運動について考えたが、すべての天体で平均値が 3-sigma を超える、つまり、平均値で運動しているといえる天体はなかった。これは本研究では、固有運動を考慮せずにメーザーフィーチャーの平均相対位置でフィットしているため、得られた結果に違いが生じたのであると考えられる。また、フィーチャーや固有運動ベクトルを円に射影する過程に誤りがある可能性もある。

6.2 円に射影する方法について

§ 5.3 (4) の本研究で用いた方法では、図 6.6 のように楕円平面内の垂直速度と楕円に対する垂直速度（視線速度）をそれぞれ円平面内の垂直速度と円に対する垂直速度に分解し、足し合わせる必要があったが、その計算が抜けていた。しかし、この計算をした場合でも、楕円の短軸の位置（図 6.7 の赤点）についての計算しかできないと考えられる。

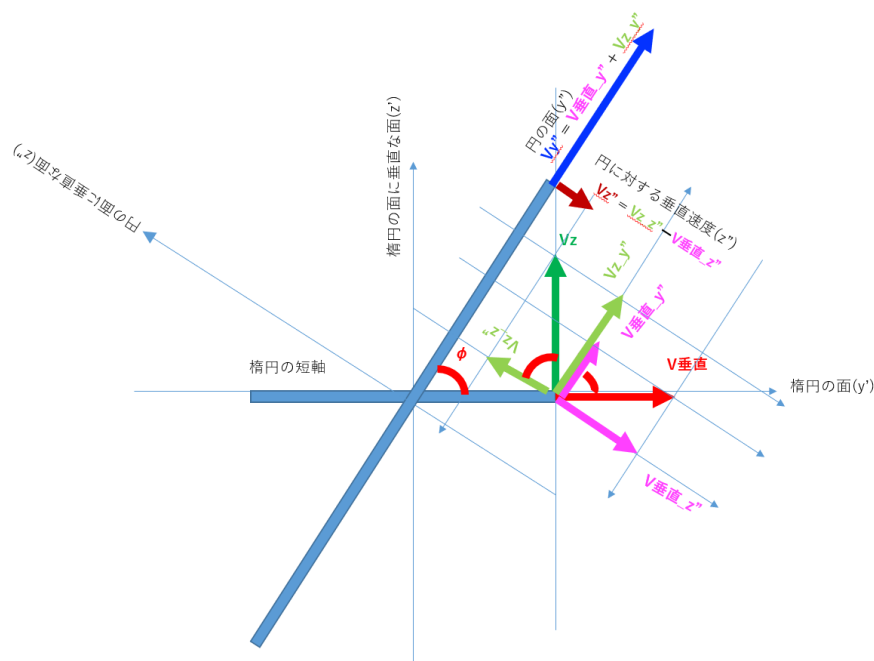


図 6.6 楕円の長軸方向から見た図

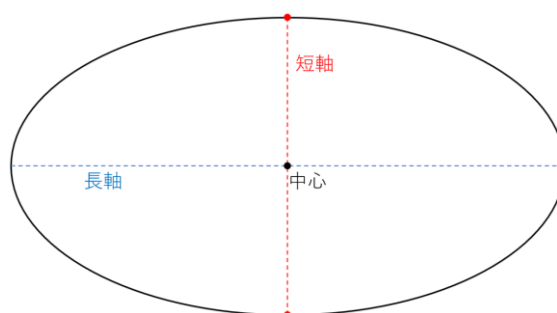


図 6.7 楕円を真上から見た図

そこで、円に射影する方法として次の方法を試みる必要があると考える。まず、 z 軸まわりに θ (PA) 回転させる (図 6.8(a))。その際の z 軸まわりの回転座標変換行列は以下のように表せる。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

その後、 y' 軸まわりに φ (inclination) 回転させる (図 6.8(b))。その際の y' 軸まわりの回転座標変換行列は以下の通りである。

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

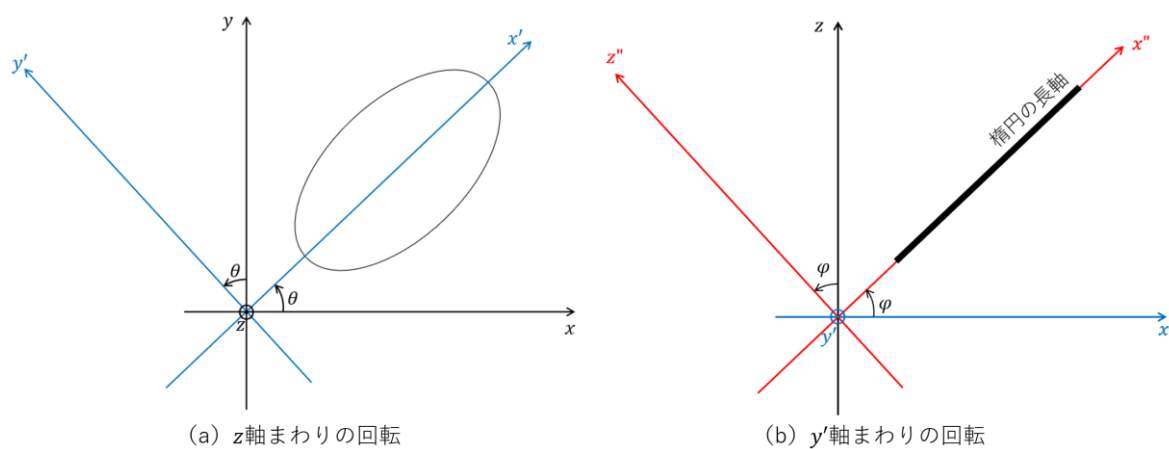


図 6.8

7 まとめ

本研究では、EAVN を用いて 3 エポックにわたって観測が実施された VLBI 観測のデータを解析することで、6.7 GHz メタノールメーザー源 G000.54−00.85、G002.53+00.19、G006.79−00.25、G008.83−00.02、G025.82−00.17、G351.77−00.53 に付随する周期的強度変動を示す 6.7 GHz メタノールメーザーの空間分布及び固有運動を導出した。

メーザーフィーチャーの定義は、合成ビームサイズ内に少なくとも 3 つ以上のスポットが含まれること、スポットの視線速度の範囲が、自己相関スペクトルの強度ピークにおける半値幅以上離れている場合は、視線速度の違いによってフィーチャーを区別することとした。

フィーチャーのリファレンススポットに対する相対的な固有運動の計測には、時間に対するフィーチャーの座標変化と速度変化を直線でフィットさせ、その傾きから運動の速度を導出する手法を採用し、メーザーフィーチャーと固有運動ベクトルを円に射影することで、天体が回転運動をしているのか、膨張／収縮運動をしているのか解析した。

全天体で、有意な運動をしている結果は得られなかった。今後、解析の計算方法が間違っていないか、得られた結果をケプラー回転の速度と比較等して正確な固有運動について議論していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々に多大な助言を賜りました。

米倉覚則教授には研究の進め方についてや方法など全面的にご指導して頂きました。また、百瀬宗武教授にもゼミでの電波天文学の基礎や干渉計の原理についてご指導して頂きました。お二方に厚く感謝申し上げます。

また、研究員の田辺義浩様には楕円から円に射影する方法についてたくさんの助言を頂きました。研究室の先輩である平原慶裕様、折原龍太様には基礎知識やフィッティングの方法など教えて頂きました。心より感謝申し上げます。

研究室の先輩方、また同期の方々にも大変お世話になりました。この場をかりて御礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] Fujisawa, K., et al. 2014, Publ. Astron. Soc. Japan, 66(2), 31
- [2] Sugiyama, K., Fujisawa, K., Hachisuka, K., et al. 2016, PASJ, 68, 72
- [3] Green, J.A., et al. 2010, MNRAS, 409, 913
- [4] Caswell, J. L., et al. 2010, MNRAS, 404, 1029
- [5] Xu, Y., et al. 2009, A&A, 507, 1117
- [6] Sanna, A., Moscadelli, L., Cesaroni, R., et al. 2010, A&A, 517, A71
- [7] Sugiyama, K., Fujisawa, K., Doi, A., et al. 2014, A&A, 562, A82
- [8] Menten, K.M. 1991, ApJ, 380, L75
- [9] Menten, K.M., Reid, M.J., Prato, P., et al. 1992, ApJL, 401, L39
- [10] 福井康雄、犬塚修一郎、大西利和、他 シリーズ現代の天文学 6 星間物質と星形成
日本評論社
- [11] 中井直正、坪井昌人、福井康雄 シリーズ現代の天文学 16 宇宙の観測 II – 電波天文
学 日本評論社
- [12] 會川航平 2019, 茨城大学大学院理工学研究科修士論文
- [13] 山口貴大 2018, 茨城大学大学院理工学研究科修士論文
- [14] 佐藤公紀 2020, 茨城大学大学院理工学研究科修士論文
- [15] [最小二乗法による楕円近似 画像処理ソリューション \(fc2.com\)](https://imaging-solution.blog.fc2.com/blog-entry-20.html)
(<https://imaging-solution.blog.fc2.com/blog-entry-20.html>)

付録 A

A.1 G2.53 の各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

表 A.1 epoch 1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.91	0.97	5.40	1.01	20.25	0.498
2	1.02	0.92	5.11	0.97	20.07	0.513
3	0.10	0.94	0.68	0.95	19.19	0.501
4	0.07	0.15	0.32	0.17	19.02	3.249
5	-0.01	0.09	0.21	0.11	18.84	6.483
6*	0.00	0.08	0.00	0.11	18.67	6.686
7	0.08	0.12	-0.43	0.14	18.49	4.340
8	0.06	0.25	-1.23	0.27	18.31	1.981
9	-10.54	0.49	3.92	0.53	18.14	1.025
10	-10.40	0.23	3.43	0.26	17.96	2.066
11	-10.50	0.28	3.63	0.30	17.79	1.729
12	-10.72	0.76	4.28	0.78	17.61	0.626
13	-84.10	0.61	-227.26	0.63	7.24	0.761
14	-84.16	0.26	-227.70	0.28	7.07	1.821
15	-83.99	0.27	-227.91	0.29	6.89	1.748
16	-80.11	0.57	-228.15	0.59	6.89	0.813
17	-82.65	0.39	-228.15	0.40	6.71	1.187
18	-79.72	0.19	-228.29	0.21	6.71	2.549
19	-79.84	0.14	-228.52	0.16	6.54	3.584
20	-79.40	0.14	-229.02	0.16	6.36	3.496
21	-76.22	0.99	-259.16	1.02	6.36	0.460
22	-78.22	0.18	-229.70	0.20	6.19	2.700
23	-75.90	0.34	-259.93	0.36	6.19	1.368
24	-77.22	0.27	-229.98	0.29	6.01	1.699
25	-75.47	0.20	-260.64	0.22	6.01	2.396

26	-76.82	0.80	-229.46	0.82	5.84	0.577
27	-75.31	0.24	-260.99	0.26	5.84	2.045
28	-75.33	0.48	-261.28	0.50	5.66	0.960
29	15.51	0.69	-292.41	0.72	4.08	0.673
30	15.51	0.23	-291.94	0.26	3.90	2.322
31	9.62	0.86	-307.91	0.89	3.73	0.567
32	15.61	0.14	-291.91	0.17	3.73	3.775
33	10.00	0.36	-306.97	0.39	3.55	1.272
34	15.74	0.15	-291.67	0.17	3.55	3.326
35	10.38	0.53	-306.44	0.56	3.38	0.838
36	15.83	0.44	-291.14	0.45	3.38	1.027
37	33.49	0.25	-281.53	0.27	3.38	1.865
38	33.45	0.16	-281.40	0.18	3.20	2.979
39	39.35	0.39	-246.70	0.41	3.20	1.167
40	33.57	0.26	-280.98	0.29	3.02	1.706
41	49.61	0.46	-242.18	0.48	3.02	0.955
42	42.48	0.81	-258.80	0.82	2.85	0.550
43	42.15	1.22	-257.34	1.26	2.67	0.369

*リファレンスのメーザースポット

表 A.2 epoch 2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1.02	0.68	4.06	0.66	20.27	0.385
2	0.83	0.16	3.97	0.58	20.09	0.424
3	0.67	0.35	3.74	0.93	19.92	0.259
4	-0.37	0.29	3.00	0.91	19.57	0.275
5	-0.51	0.20	2.11	0.62	19.39	0.462
6	-0.65	0.09	1.53	0.25	19.21	1.108
7	-0.31	0.02	0.74	0.09	19.04	3.605
8	-0.11	0.01	0.30	0.05	18.86	7.243
9*	0.00	0.01	0.00	0.05	18.69	7.735
10	0.02	0.01	-0.30	0.07	18.51	4.807
11	-10.44	0.17	2.57	0.74	18.33	0.360
12	-0.21	0.04	-0.61	0.15	18.33	1.923
13	8.38	0.13	15.73	0.52	18.33	0.492
14	-10.24	0.04	3.17	0.17	18.16	1.615
15	-1.12	0.09	-0.63	0.35	18.16	0.729
16	8.10	0.10	16.47	0.43	18.16	0.587
17	-10.16	0.02	3.40	0.10	17.98	2.913
18	-2.04	0.13	-0.39	0.52	17.98	0.477
19	7.83	0.17	17.11	0.63	17.98	0.392
20	-10.22	0.03	3.66	0.12	17.81	2.562
21	-2.24	0.23	0.40	0.89	17.81	0.280
22	-10.46	0.06	4.11	0.23	17.63	1.144
23	-11.22	0.21	5.08	0.82	17.46	0.315
24	-182.74	0.45	105.07	1.21	10.60	0.214
25	-182.57	0.24	104.32	0.85	10.43	0.314
26	-182.52	0.40	103.54	1.27	10.25	0.206
27	-84.14	0.20	-227.70	0.77	7.44	0.330
28	-83.78	0.05	-228.12	0.20	7.26	1.356

29	-83.49	0.03	-228.34	0.11	7.09	2.760
30	-83.09	0.02	-228.45	0.09	6.91	3.340
31	-80.65	0.05	-228.60	0.14	6.91	1.946
32	-82.04	0.03	-228.51	0.09	6.73	3.269
33	-79.89	0.02	-228.70	0.08	6.73	3.894
34	-79.95	0.02	-228.85	0.06	6.56	5.257
35	-79.43	0.02	-229.28	0.06	6.38	5.162
36	-75.97	0.06	-260.67	0.26	6.38	0.987
37	-78.54	0.02	-229.75	0.08	6.21	3.912
38	-75.68	0.02	-261.11	0.10	6.21	2.812
39	-77.75	0.04	-229.92	0.13	6.03	2.166
40	-75.43	0.02	-261.32	0.08	6.03	4.277
41	-77.39	0.12	-229.86	0.42	5.86	0.596
42	-75.24	0.02	-261.44	0.08	5.86	3.738
43	-75.08	0.03	-261.50	0.15	5.68	1.858
44	-74.94	0.12	-261.44	0.52	5.50	0.496
45	15.46	0.09	-291.49	0.37	4.10	0.707
46	15.51	0.03	-291.61	0.14	3.92	2.093
47	20.50	0.13	-286.29	0.49	3.92	0.515
48	9.76	0.10	-306.88	0.35	3.75	0.740
49	15.56	0.02	-291.72	0.08	3.75	3.750
50	20.75	0.15	-286.31	0.55	3.75	0.457
51	10.02	0.04	-306.42	0.14	3.57	2.075
52	15.63	0.02	-291.78	0.08	3.57	4.132
53	33.10	0.10	-280.87	0.36	3.57	0.706
54	6.60	0.14	-295.14	0.54	3.40	0.484
55	10.32	0.03	-306.07	0.13	3.40	2.194
56	15.61	0.03	-291.68	0.12	3.40	2.383
57	33.06	0.03	-280.89	0.11	3.40	2.740
58	6.08	0.16	-295.24	0.65	3.22	0.392
59	10.76	0.07	-305.72	0.30	3.22	0.893
60	15.54	0.11	-291.62	0.48	3.22	0.535

61	33.05	0.02	-281.05	0.08	3.22	4.209
62	49.60	0.14	-241.94	0.57	3.22	0.448
63	33.13	0.03	-280.96	0.11	3.04	2.777
64	43.59	0.15	-258.15	0.70	3.04	0.355
65	49.63	0.07	-242.02	0.31	3.04	0.842
66	33.68	0.15	-279.84	0.45	2.87	0.677
67	43.41	0.10	-258.29	0.45	2.87	0.555
68	49.56	0.14	-242.07	0.64	2.87	0.377
69	43.00	0.12	-257.40	0.48	2.69	0.548
70	42.44	0.20	-256.21	0.66	2.52	0.379

*リファレンスのメーザースポット

表 A.3 epoch 3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.69	0.88	4.37	0.90	20.23	0.508
2	0.58	0.81	3.28	0.80	20.05	0.530
3	0.06	1.12	2.72	1.09	19.88	0.385
4	-0.60	1.04	3.31	1.06	19.70	0.420
5	-1.08	1.12	3.12	1.25	19.53	0.379
6	-1.47	0.74	2.30	0.81	19.35	0.577
7	-0.79	0.23	1.55	0.24	19.17	1.930
8	-0.17	0.08	0.44	0.09	19.00	6.110
9*	0.00	0.05	0.00	0.06	18.82	10.643
10	0.08	0.05	-0.27	0.06	18.65	9.952
11	0.05	0.09	-0.53	0.10	18.47	5.356
12	-10.27	0.38	2.87	0.39	18.29	1.137
13	-0.21	0.24	-0.74	0.24	18.29	1.866
14	-10.20	0.14	3.12	0.15	18.12	3.316
15	-10.12	0.10	3.26	0.11	17.94	4.630
16	-10.12	0.14	3.43	0.15	17.77	3.236
17	-10.21	0.32	3.64	0.33	17.59	1.347
18	-10.40	1.09	3.03	1.07	17.42	0.402
19	-182.95	0.88	104.04	0.87	10.39	0.495
20	-182.81	1.28	104.25	1.30	10.21	0.331
21	-84.04	0.76	-228.56	0.75	7.40	0.568
22	-83.52	0.20	-228.69	0.20	7.22	2.284
23	-83.29	0.11	-228.90	0.11	7.05	4.312
24	-82.78	0.10	-228.96	0.11	6.87	4.405
25	-79.90	0.14	-229.28	0.15	6.87	3.125
26	-81.29	0.10	-228.91	0.11	6.69	4.538
27	-79.44	0.08	-229.28	0.08	6.69	6.348
28	-79.61	0.07	-229.54	0.07	6.52	7.615

29	-79.04	0.08	-230.08	0.08	6.34	6.241
30	-75.41	0.23	-261.55	0.23	6.34	1.879
31	-77.98	0.11	-230.46	0.12	6.17	4.062
32	-75.20	0.09	-261.91	0.10	6.17	5.327
33	-77.30	0.22	-230.42	0.22	5.99	2.066
34	-75.00	0.07	-262.03	0.07	5.99	7.763
35	-74.83	0.08	-262.16	0.09	5.82	6.001
36	-74.71	0.18	-262.19	0.18	5.64	2.530
37	-74.52	0.84	-262.15	0.80	5.46	0.520
38	15.44	0.34	-291.13	0.34	4.06	1.251
39	15.64	0.14	-291.57	0.14	3.88	3.337
40	10.44	0.39	-307.27	0.38	3.71	1.153
41	15.70	0.09	-291.75	0.10	3.71	5.290
42	10.65	0.18	-306.79	0.18	3.53	2.489
43	15.58	0.09	-291.45	0.10	3.53	5.074
44	34.22	0.40	-281.38	0.39	3.53	1.100
45	6.34	0.59	-293.70	0.58	3.36	0.732
46	10.75	0.23	-306.39	0.23	3.36	1.964
47	15.43	0.18	-290.93	0.18	3.36	2.557
48	33.81	0.12	-281.52	0.12	3.36	4.020
49	5.91	0.47	-293.08	0.46	3.18	0.885
50	33.66	0.09	-281.45	0.10	3.18	5.025
51	5.57	0.87	-293.15	0.84	3.00	0.466
52	33.74	0.21	-281.26	0.21	3.00	1.997
53	43.42	0.63	-257.44	0.61	2.83	0.684
54	43.07	0.52	-256.91	0.51	2.65	0.822
55	43.26	0.95	-256.28	0.90	2.48	0.443

*リファレンスのメーザースポット

A.2 G6.79 の各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

表 A.4 epoch1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	3.54	0.63	60.38	0.88	31.02	0.126
2	3.22	0.20	61.18	0.37	30.84	0.211
3	3.00	0.16	61.74	0.21	30.66	0.502
4	2.92	0.07	61.81	0.10	30.49	1.018
5	2.88	0.06	61.84	0.09	30.31	1.210
6	2.81	0.12	61.74	0.15	30.14	0.807
7	2.85	0.47	61.42	0.51	29.96	0.366
8	3.14	0.67	60.93	0.80	29.79	0.136
9	13.59	0.57	48.76	0.73	29.43	0.143
10	13.54	0.75	48.86	1.01	29.26	0.119
11	17.97	0.94	30.21	1.14	29.26	0.114
12	18.02	0.12	30.30	0.16	29.08	0.588
13	18.01	0.07	30.52	0.09	28.91	1.308
14	6.92	0.22	47.72	0.29	28.73	0.308
15	17.82	0.11	31.14	0.12	28.73	1.438
16	7.06	0.15	47.68	0.16	28.55	1.068
17	17.17	0.04	32.64	0.08	28.55	1.065
18	7.20	0.05	47.48	0.06	28.38	1.954
19	16.39	0.16	33.69	0.18	28.38	0.681
20	7.21	0.04	47.24	0.06	28.20	1.744
21	14.49	0.18	34.65	0.20	28.20	0.854
22	7.23	0.11	47.16	0.14	28.03	0.841
23	14.07	0.03	34.38	0.06	28.03	1.638
24	7.49	0.22	46.74	0.29	27.85	0.356
25	13.82	0.10	34.46	0.11	27.85	1.536
26	-4.51	0.42	12.31	0.53	27.68	0.209
27	7.85	0.50	45.13	0.55	27.68	0.312

28	13.48	0.18	34.56	0.22	27.68	0.638
29	-4.30	0.31	12.68	0.44	27.50	0.225
30	7.82	0.24	44.04	0.29	27.50	0.409
31	12.99	0.66	32.30	0.90	27.50	0.129
32	-4.01	0.57	12.76	1.02	27.32	0.121
33	-2.87	0.39	1.63	0.49	27.32	0.255
34	7.75	0.21	43.93	0.27	27.32	0.429
35	-2.83	0.07	1.15	0.11	27.15	1.010
36	7.75	0.48	43.76	0.53	27.15	0.331
37	-2.90	0.09	0.41	0.11	26.97	1.670
38	-2.84	0.11	-0.47	0.12	26.80	1.422
39	-1.36	0.04	-0.09	0.06	26.62	1.534
40	-0.43	0.03	0.43	0.04	26.45	3.967
41	-0.18	0.01	0.24	0.02	26.27	6.851
42*	0.00	0.01	0.00	0.02	26.09	7.411
43	-11.07	0.54	-9.32	0.65	25.92	0.185
44	0.18	0.01	-0.17	0.02	25.92	5.014
45	-11.46	0.19	-9.44	0.22	25.74	0.660
46	0.44	0.02	-0.16	0.04	25.74	2.081
47	-12.39	0.07	-10.61	0.11	25.57	0.871
48	2.75	0.06	1.48	0.08	25.57	1.057
49	-13.51	0.20	-11.97	0.22	25.39	0.755
50	3.62	0.05	2.01	0.06	25.39	2.455
51	-14.27	0.21	-12.46	0.25	25.22	0.510
52	3.69	0.07	2.11	0.08	25.22	2.503
53	-14.68	0.15	-12.66	0.27	25.04	0.266
54	3.69	0.15	2.11	0.16	25.04	1.108
55	3.52	0.86	1.34	0.98	24.86	0.137
56	-363.01	0.34	60.46	0.43	19.94	0.243
57	-362.83	0.10	61.01	0.13	19.77	0.890
58	-362.54	0.13	61.52	0.14	19.59	1.305
59	-362.21	0.12	62.05	0.14	19.42	0.947

60	-361.95	0.16	62.77	0.24	19.24	0.326
61	-349.55	0.36	80.37	0.39	18.89	0.445
62	-349.61	0.15	80.22	0.18	18.71	0.684
63	-349.65	0.28	80.04	0.33	18.54	0.376
64	-295.05	0.55	123.05	0.72	17.83	0.134
65	-294.58	0.25	123.26	0.48	17.66	0.158
66	-293.86	0.96	123.28	1.08	17.48	0.126
67	-295.04	0.34	125.91	0.37	16.78	0.460
68	-295.12	0.06	125.91	0.07	16.60	1.583
69	-295.17	0.05	126.12	0.06	16.43	3.001
70	-295.39	0.03	126.49	0.04	16.25	2.930
71	-296.65	0.08	127.32	0.09	16.08	1.869
72	-281.03	0.71	139.87	0.88	16.08	0.147
73	-266.74	0.28	152.58	0.58	16.08	0.136
74	-298.05	0.03	127.92	0.05	15.90	2.349
75	-281.56	0.32	140.57	0.40	15.90	0.264
76	-267.26	0.21	152.28	0.25	15.90	0.475
77	-298.21	0.03	128.24	0.05	15.72	2.289
78	-282.36	0.41	141.46	0.50	15.72	0.204
79	-267.40	0.16	152.43	0.18	15.72	0.771
80	-297.89	0.07	130.32	0.08	15.55	2.055
81	-284.34	0.71	140.76	0.76	15.55	0.201
82	-267.33	0.31	152.79	0.34	15.55	0.453
83	-297.56	0.05	132.07	0.06	15.37	3.459
84	-284.98	0.89	140.53	0.94	15.37	0.178
85	-297.53	0.02	132.38	0.04	15.20	3.366
86	-297.56	0.05	132.44	0.07	15.02	1.341
87	-298.02	0.31	131.51	0.47	14.85	0.171
88	-55.78	0.56	197.18	0.68	13.09	0.175
89	-55.67	0.16	196.91	0.32	12.91	0.220
90	-54.94	0.25	195.59	0.44	12.74	0.202
91	-53.50	0.78	193.28	0.84	12.56	0.209

表 A.5 epoch2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	3.76	0.99	61.08	0.61	30.98	0.381
2	3.59	0.47	61.30	0.28	30.80	0.801
3	3.48	0.06	61.63	0.24	30.62	1.839
4	3.36	0.10	61.63	0.09	30.45	3.255
5	3.29	0.10	61.52	0.09	30.27	3.379
6	3.23	0.07	61.45	0.21	30.10	1.985
7	3.33	0.34	61.36	0.48	29.92	0.733
8	13.59	1.13	49.16	1.00	29.57	0.274
9	13.64	0.72	48.47	0.80	29.39	0.398
10	18.47	0.22	29.60	0.70	29.22	0.586
11	18.51	0.05	30.21	0.20	29.04	2.278
12	6.34	0.84	48.54	0.50	28.87	0.434
13	18.30	0.07	30.68	0.07	28.87	4.802
14	7.05	0.06	47.71	0.22	28.69	1.932
15	17.91	0.05	31.51	0.06	28.69	5.705
16	7.38	0.07	47.31	0.05	28.51	5.493
17	17.20	0.06	32.93	0.09	28.51	4.490
18	7.53	0.05	47.06	0.04	28.34	8.007
19	16.05	0.07	34.27	0.14	28.34	3.119
20	7.66	0.02	46.85	0.08	28.16	5.955
21	14.72	0.06	34.58	0.11	28.16	3.818
22	7.85	0.16	46.56	0.12	27.99	2.311
23	14.31	0.04	34.22	0.08	27.99	5.333
24	8.22	0.11	45.18	0.43	27.81	0.979
25	14.02	0.04	34.26	0.10	27.81	4.203
26	-4.00	0.71	11.75	0.46	27.64	0.521
27	8.19	0.30	44.25	0.23	27.64	1.175
28	13.32	0.18	34.87	0.22	27.64	1.618

29	-4.22	0.37	11.78	0.47	27.46	0.762
30	8.37	0.08	43.57	0.31	27.46	1.384
31	-2.47	0.24	2.14	0.24	27.28	1.297
32	8.37	0.09	43.27	0.36	27.28	1.159
33	-2.71	0.05	1.15	0.12	27.11	3.670
34	7.98	0.61	43.57	0.37	27.11	0.635
35	-2.84	0.04	0.13	0.08	26.93	5.413
36	-2.67	0.08	-0.89	0.05	26.76	5.004
37	-1.09	0.06	-0.30	0.05	26.58	6.638
38	-0.24	0.02	0.13	0.03	26.41	15.692
39*	0.00	0.02	0.00	0.01	26.23	25.189
40	0.20	0.01	-0.15	0.02	26.05	24.967
41	-10.60	0.49	-8.61	0.64	25.88	0.541
42	0.46	0.02	-0.20	0.03	25.88	15.354
43	-11.69	0.24	-10.37	0.22	25.70	1.373
44	1.05	0.06	0.13	0.03	25.70	6.628
45	-12.68	0.09	-11.62	0.25	25.53	1.688
46	2.93	0.08	1.33	0.04	25.53	5.157
47	-13.90	0.18	-12.79	0.16	25.35	1.898
48	3.75	0.02	1.73	0.06	25.35	8.055
49	-14.45	0.26	-12.93	0.15	25.18	1.448
50	3.93	0.02	1.82	0.07	25.18	6.958
51	-14.67	0.27	-13.19	0.65	25.00	0.623
52	3.90	0.14	1.90	0.09	25.00	2.749
53	-362.69	0.08	60.45	0.29	19.90	1.474
54	-362.52	0.10	60.74	0.07	19.73	3.801
55	-362.26	0.07	61.28	0.08	19.55	4.507
56	-361.91	0.09	62.03	0.13	19.38	2.858
57	-361.54	0.30	62.79	0.33	19.20	0.943
58	-355.40	0.51	75.70	0.99	19.20	0.375
59	-354.72	0.38	76.44	1.00	19.02	0.395
60	-349.50	0.58	80.24	0.52	19.02	0.546

61	-349.49	0.15	80.13	0.17	18.85	1.949
62	-349.51	0.16	80.09	0.09	18.67	2.427
63	-349.52	0.36	80.06	0.18	18.50	1.084
64	-295.56	0.49	121.95	0.54	17.97	0.590
65	-295.11	0.23	122.55	0.41	17.79	0.890
66	-294.48	0.23	122.84	0.41	17.62	0.927
67	-294.19	0.72	122.94	0.28	17.44	0.544
68	-293.83	0.66	124.04	1.14	17.09	0.321
69	-294.79	0.35	125.35	0.79	16.92	0.516
70	-295.14	0.06	125.80	0.21	16.74	2.037
71	-295.17	0.06	125.97	0.05	16.56	6.239
72	-295.23	0.04	126.19	0.03	16.39	10.313
73	-295.45	0.04	126.55	0.03	16.21	9.184
74	-281.13	0.71	141.87	0.45	16.21	0.527
75	-296.32	0.09	127.37	0.05	16.04	4.622
76	-289.45	1.01	133.10	0.48	16.04	0.395
77	-281.37	0.12	141.89	0.48	16.04	0.908
78	-266.80	0.27	151.78	0.49	16.04	0.796
79	-298.14	0.11	128.36	0.10	15.86	3.219
80	-289.58	0.72	133.89	0.51	15.86	0.498
81	-282.01	0.10	142.02	0.37	15.86	1.165
82	-266.94	0.12	152.44	0.19	15.86	1.980
83	-298.41	0.06	129.37	0.11	15.68	3.574
84	-283.15	0.18	141.78	0.25	15.68	1.410
85	-266.95	0.13	152.58	0.13	15.68	2.515
86	-297.73	0.06	131.71	0.04	15.51	6.532
87	-284.34	0.18	141.16	0.22	15.51	1.546
88	-266.48	0.22	152.93	0.14	15.51	1.698
89	-297.50	0.04	132.34	0.02	15.33	10.755
90	-284.98	0.22	140.68	0.39	15.33	0.977
91	-265.92	0.28	153.05	0.80	15.33	0.515
92	-297.43	0.04	132.43	0.05	15.16	8.060

93	-285.00	0.81	140.77	0.71	15.16	0.397
94	-297.39	0.15	132.51	0.09	14.98	2.443
95	-61.93	0.36	224.34	1.24	14.81	0.341
96	-61.54	0.27	223.81	0.93	14.63	0.455
97	-61.34	0.66	223.66	0.37	14.45	0.565
98	-55.64	0.37	196.51	1.28	13.22	0.330
99	-55.36	0.32	196.60	0.58	13.05	0.674
100	-54.94	0.16	196.11	0.34	12.87	1.206
101	-58.56	0.53	200.66	0.74	12.70	0.502
102	-54.20	0.12	195.27	0.27	12.70	1.567
103	-59.04	0.59	201.96	1.03	12.52	0.378
104	-53.66	0.10	194.57	0.31	12.52	1.385
105	-53.27	0.31	193.97	0.43	12.35	0.832
106	-53.12	0.73	193.32	1.30	12.17	0.289

*リファレンスのメーザースポット

表 A.6 epoch3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	3.96	0.39	60.21	1.02	30.94	0.227
2	3.69	0.16	61.00	0.41	30.76	0.560
3	3.48	0.09	61.35	0.16	30.58	1.394
4	3.38	0.05	61.33	0.10	30.41	2.221
5	3.32	0.06	61.17	0.11	30.23	2.122
6	3.26	0.18	61.01	0.08	30.06	1.266
7	3.26	0.42	60.69	0.20	29.88	0.531
8	3.37	0.29	60.06	1.27	29.71	0.190
9	14.02	1.01	49.38	0.78	29.53	0.185
10	13.95	1.03	48.95	0.79	29.35	0.187
11	17.89	1.25	30.85	0.59	29.35	0.172
12	2.46	0.74	56.61	0.86	29.18	0.213
13	18.51	0.23	30.53	0.34	29.18	0.586
14	2.69	0.98	56.34	0.53	29.00	0.232
15	6.75	1.23	47.62	1.09	29.00	0.154
16	18.51	0.07	30.50	0.11	29.00	2.118
17	6.92	0.33	47.58	0.20	28.83	0.637
18	18.33	0.06	30.72	0.03	28.83	4.107
19	7.27	0.10	47.33	0.05	28.65	2.169
20	18.06	0.05	31.33	0.03	28.65	4.537
21	7.51	0.03	47.14	0.05	28.47	4.901
22	17.66	0.06	32.18	0.05	28.47	3.299
23	7.63	0.03	46.98	0.04	28.30	5.929
24	16.68	0.10	33.22	0.09	28.30	1.995
25	7.69	0.04	46.85	0.06	28.12	3.620
26	15.27	0.10	33.58	0.08	28.12	2.126
27	7.81	0.18	46.53	0.09	27.95	1.237
28	14.77	0.09	33.70	0.07	27.95	2.166

29	8.02	0.28	45.28	0.32	27.77	0.576
30	14.33	0.05	34.15	0.21	27.77	1.157
31	-4.17	0.48	12.65	0.26	27.60	0.448
32	8.15	0.27	44.59	0.38	27.60	0.516
33	13.79	0.21	34.14	0.85	27.60	0.295
34	-4.22	0.30	12.71	0.37	27.42	0.519
35	-2.85	0.64	4.48	0.63	27.42	0.321
36	8.29	0.27	44.04	0.52	27.42	0.415
37	-3.93	0.38	12.27	0.62	27.24	0.359
38	-2.75	0.18	1.78	0.11	27.24	1.215
39	8.20	0.96	44.20	0.46	27.24	0.233
40	-2.92	0.07	0.66	0.05	27.07	3.066
41	-3.07	0.03	-0.49	0.06	26.89	4.124
42	-2.78	0.06	-1.49	0.05	26.72	3.614
43	-0.96	0.01	-0.45	0.05	26.54	5.387
44	-0.25	0.01	0.03	0.03	26.37	11.981
45*	0.00	0.01	0.00	0.02	26.19	17.358
46	0.26	0.01	0.00	0.02	26.01	15.771
47	-11.30	0.40	-9.68	0.42	25.84	0.437
48	0.64	0.03	0.21	0.02	25.84	9.289
49	-11.92	0.07	-10.88	0.30	25.66	0.823
50	1.43	0.04	0.84	0.05	25.66	4.384
51	-12.94	0.07	-12.03	0.25	25.49	0.967
52	3.05	0.06	1.64	0.03	25.49	3.602
53	-14.07	0.14	-12.74	0.20	25.31	1.043
54	3.76	0.03	1.87	0.06	25.31	4.568
55	-14.82	0.31	-13.07	0.14	25.14	0.706
56	3.90	0.04	1.84	0.07	25.14	3.282
57	-15.56	0.27	-13.30	0.69	24.96	0.322
58	3.93	0.11	1.64	0.20	24.96	1.068
59	-363.03	0.57	60.30	0.53	20.04	0.313
60	-362.73	0.15	60.51	0.08	19.86	1.497

61	-362.48	0.04	61.05	0.08	19.69	2.964
62	-362.15	0.05	61.67	0.08	19.51	2.852
63	-361.78	0.15	62.24	0.07	19.34	1.461
64	-357.25	1.11	74.65	0.97	19.34	0.164
65	-361.32	0.63	62.71	0.27	19.16	0.360
66	-355.06	0.84	75.59	0.41	19.16	0.262
67	-354.20	0.22	76.30	0.84	18.98	0.282
68	-349.48	0.60	80.43	0.27	18.98	0.374
69	-349.56	0.12	80.17	0.18	18.81	1.144
70	-349.60	0.22	80.00	0.11	18.63	1.039
71	-349.64	0.31	79.28	0.68	18.46	0.340
72	-294.29	0.23	123.46	0.80	17.93	0.295
73	-294.31	0.44	123.32	0.25	17.75	0.483
74	-294.15	0.23	123.53	0.49	17.58	0.456
75	-294.07	0.82	123.51	0.44	17.40	0.257
76	-295.39	0.51	126.03	0.26	16.88	0.431
77	-295.32	0.05	126.09	0.13	16.70	1.726
78	-295.26	0.04	126.34	0.05	16.52	4.183
79	-295.22	0.03	126.64	0.04	16.35	5.510
80	-295.24	0.03	127.11	0.07	16.17	3.881
81	-289.74	0.15	132.54	0.60	16.17	0.414
82	-280.86	0.19	141.80	0.65	16.17	0.378
83	-266.02	0.90	152.72	1.04	16.17	0.192
84	-296.18	0.10	128.33	0.14	16.00	1.485
85	-289.72	0.11	133.19	0.24	16.00	0.978
86	-281.10	0.29	141.99	0.14	16.00	0.779
87	-266.60	0.23	152.70	0.19	16.00	0.829
88	-298.37	0.14	129.48	0.07	15.82	1.684
89	-289.80	0.27	133.61	0.12	15.82	0.854
90	-282.04	0.15	142.12	0.24	15.82	0.896
91	-272.42	0.31	148.07	0.86	15.82	0.274
92	-266.73	0.05	152.92	0.14	15.82	1.712

93	-298.17	0.09	130.92	0.05	15.64	2.511
94	-289.67	0.59	134.16	0.62	15.64	0.299
95	-283.85	0.18	141.30	0.15	15.64	1.077
96	-272.59	0.90	148.54	0.59	15.64	0.241
97	-266.58	0.13	153.28	0.07	15.64	1.784
98	-297.69	0.03	132.31	0.04	15.47	5.337
99	-284.96	0.14	140.60	0.15	15.47	1.252
100	-266.36	0.13	153.49	0.26	15.47	0.880
101	-297.56	0.02	132.58	0.04	15.29	6.907
102	-285.63	0.14	140.17	0.30	15.29	0.757
103	-297.54	0.03	132.62	0.07	15.12	3.820
104	-286.14	1.04	139.73	0.50	15.12	0.221
105	-297.55	0.12	132.65	0.29	14.94	0.782
106	-61.41	0.29	224.08	1.07	14.77	0.214
107	-61.54	0.49	223.76	0.72	14.59	0.282
108	-61.52	1.10	223.75	0.43	14.41	0.205
109	-54.51	0.44	196.14	0.79	13.18	0.267
110	-54.16	0.31	195.92	0.15	13.01	0.727
111	-57.92	0.37	201.22	1.25	12.83	0.192
112	-53.80	0.11	195.43	0.13	12.83	1.456
113	-58.56	0.84	202.09	0.68	12.66	0.227
114	-53.51	0.09	194.95	0.10	12.66	1.826
115	-58.56	1.14	202.38	1.07	12.48	0.160
116	-53.24	0.16	194.41	0.08	12.48	1.410
117	-52.94	0.33	193.87	0.16	12.31	0.688
118	-52.79	0.91	193.52	0.80	12.13	0.200

*リファレンスのメーザースポット

A.3 G8.83 の各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

表 A.7 epoch1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-79.75	0.16	-228.64	0.10	6.54	3.584
2	-79.31	0.16	-229.14	0.10	6.36	3.496
3	-76.12	1.11	-259.28	0.62	6.36	0.460
4	-78.13	0.20	-229.83	0.12	6.19	2.700
5	-75.81	0.38	-260.05	0.22	6.19	1.368
6	-77.12	0.30	-230.10	0.17	6.01	1.699
7	-75.37	0.22	-260.76	0.13	6.01	2.396
8	-76.72	0.90	-229.58	0.49	5.84	0.577
9	-75.22	0.27	-261.11	0.16	5.84	2.045
10	-75.23	0.54	-261.41	0.31	5.66	0.960
11	15.61	0.78	-292.53	0.44	4.08	0.673
12	15.61	0.26	-292.06	0.16	3.90	2.322
13	9.71	0.97	-308.03	0.55	3.73	0.567
14	15.70	0.16	-292.03	0.10	3.73	3.775
15	10.10	0.40	-307.09	0.25	3.55	1.272
16	15.83	0.16	-291.80	0.10	3.55	3.326
17	10.48	0.60	-306.56	0.35	3.38	0.838
18	15.93	0.49	-291.26	0.27	3.38	1.027
19	33.59	0.28	-281.65	0.17	3.38	1.865
20	33.55	0.18	-281.52	0.11	3.20	2.979
21	39.44	0.44	-246.82	0.25	3.20	1.167
22	33.66	0.29	-281.10	0.18	3.02	1.706
23	49.71	0.52	-242.30	0.30	3.02	0.955
24	5.90	0.71	-326.37	0.41	2.96	0.568
25	42.58	0.91	-258.93	0.49	2.85	0.550
26	6.58	0.55	-328.26	0.36	2.79	0.735
27	42.24	1.37	-257.46	0.79	2.67	0.369

28	-137.84	0.57	-128.17	0.33	2.61	0.687
29	6.86	0.73	-329.51	0.52	2.61	0.529
30	-137.53	0.23	-128.48	0.14	2.44	1.815
31	-137.48	0.17	-128.55	0.10	2.26	2.605
32	-137.93	0.18	-128.03	0.11	2.09	2.408
33	-138.89	0.19	-126.87	0.12	1.91	2.235
34	-139.58	0.18	-126.08	0.11	1.73	2.416
35	-139.98	0.23	-125.73	0.14	1.56	1.904
36	-140.36	0.49	-125.39	0.30	1.38	0.819
37	109.55	0.60	-107.14	0.35	0.15	0.666
38	109.17	0.26	-106.15	0.17	-0.02	1.576
39	109.30	0.20	-105.80	0.13	-0.20	2.125
40	109.48	0.23	-105.64	0.14	-0.38	1.848
41	109.69	0.38	-105.72	0.24	-0.55	1.077
42	109.20	0.78	-105.11	0.51	-0.73	0.540
43	-21.35	0.36	10.12	0.22	-2.84	1.147
44	-21.43	0.20	9.97	0.13	-3.01	2.166
45	-21.05	0.20	9.47	0.13	-3.19	2.146
46	-19.91	0.19	8.39	0.12	-3.36	2.216
47	-19.17	0.19	7.90	0.12	-3.54	2.315
48	-11.97	0.24	-3.40	0.14	-3.54	1.876
49	-18.43	0.22	7.87	0.13	-3.71	1.984
50	-11.73	0.11	-3.44	0.07	-3.71	4.251
51	-17.84	0.39	8.07	0.23	-3.89	1.030
52	-11.66	0.11	-3.60	0.07	-3.89	4.306
53	1.01	0.14	-0.45	0.09	-3.89	3.015
54	-11.93	0.22	-3.34	0.13	-4.07	1.889
55	0.46	0.07	-0.41	0.05	-4.07	6.809
56*	0.00	0.06	0.00	0.05	-4.24	8.506
57	-0.42	0.07	0.62	0.05	-4.42	6.874
58	-0.88	0.10	1.30	0.07	-4.59	4.626
59	-1.51	0.13	1.72	0.08	-4.77	3.540

60	-2.41	0.10	2.44	0.07	-4.94	4.767
61	-2.82	0.07	3.09	0.05	-5.12	7.831
62	-2.97	0.06	3.42	0.05	-5.30	8.742
63	-3.09	0.08	3.68	0.06	-5.47	5.859
64	-3.14	0.21	3.66	0.13	-5.65	1.987

*リファレンスのメーザースポット

表 A.8 epoch2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	15.58	0.38	-291.62	0.27	4.10	0.707
2	15.64	0.14	-291.74	0.10	3.92	2.093
3	20.63	0.53	-286.42	0.33	3.92	0.515
4	9.89	0.36	-307.00	0.24	3.75	0.740
5	15.69	0.08	-291.85	0.06	3.75	3.750
6	20.88	0.58	-286.43	0.38	3.75	0.457
7	10.15	0.13	-306.55	0.10	3.57	2.075
8	15.76	0.07	-291.91	0.05	3.57	4.132
9	33.22	0.38	-281.00	0.25	3.57	0.706
10	6.73	0.55	-295.26	0.39	3.40	0.484
11	10.45	0.13	-306.20	0.09	3.40	2.194
12	15.74	0.12	-291.81	0.08	3.40	2.383
13	33.19	0.10	-281.02	0.08	3.40	2.740
14	6.20	0.68	-295.37	0.46	3.22	0.392
15	10.88	0.30	-305.84	0.21	3.22	0.893
16	15.67	0.50	-291.75	0.33	3.22	0.535
17	33.18	0.07	-281.18	0.05	3.22	4.209
18	49.72	0.60	-242.07	0.39	3.22	0.448
19	5.92	0.26	-327.32	0.20	3.06	1.215
20	33.25	0.10	-281.08	0.08	3.04	2.777
21	43.72	0.74	-258.28	0.47	3.04	0.355
22	49.76	0.32	-242.15	0.21	3.04	0.842
23	5.78	0.15	-327.89	0.12	2.89	2.100
24	33.81	0.38	-279.96	0.37	2.87	0.677
25	43.53	0.47	-258.42	0.32	2.87	0.555
26	49.69	0.68	-242.20	0.43	2.87	0.377
27	-138.45	0.29	-130.18	0.20	2.71	1.132
28	6.18	0.14	-329.25	0.10	2.71	2.370

29	43.12	0.49	-257.53	0.33	2.69	0.548
30	-137.85	0.11	-129.58	0.08	2.54	3.151
31	6.73	0.20	-330.69	0.15	2.54	1.548
32	42.57	0.69	-256.34	0.46	2.52	0.379
33	-137.51	0.07	-129.51	0.05	2.36	5.720
34	-304.68	0.23	-147.18	0.15	2.19	1.422
35	-137.63	0.06	-129.16	0.04	2.19	6.571
36	-305.34	0.24	-147.47	0.15	2.01	1.416
37	-161.73	0.34	-125.85	0.23	2.01	0.965
38	-138.51	0.07	-128.15	0.05	2.01	5.60
39	-162.14	0.23	-125.60	0.16	1.83	1.38
40	-139.37	0.07	-127.04	0.05	1.83	5.39
41	-162.34	0.36	-126.13	0.25	1.66	0.86
42	-139.66	0.07	-126.57	0.05	1.66	5.59
43	-139.78	0.09	-126.47	0.06	1.48	4.32
44	-140.25	0.18	-126.07	0.12	1.31	2.18
45	-141.58	0.39	-124.83	0.26	1.13	0.86
46	109.26	0.27	-107.54	0.19	0.25	1.16
47	109.04	0.11	-106.64	0.08	0.08	3.14
48	109.21	0.06	-106.34	0.05	-0.10	5.55
49	109.36	0.06	-106.13	0.05	-0.28	5.95
50	109.47	0.08	-105.99	0.06	-0.45	4.33
51	109.52	0.13	-105.94	0.09	-0.63	2.58
52	109.50	0.21	-106.15	0.14	-0.80	1.48
53	-21.36	0.16	8.87	0.12	-2.74	2.01
54	-5.88	0.21	53.45	0.15	-2.74	1.50
55	-21.43	0.07	9.38	0.06	-2.91	4.60
56	-20.33	0.20	68.53	0.15	-2.91	1.50
57	-5.99	0.10	54.00	0.07	-2.91	3.14
58	-21.36	0.06	9.50	0.05	-3.09	5.86
59	-20.46	0.16	68.75	0.12	-3.09	2.10
60	-6.19	0.11	54.26	0.08	-3.09	3.00

61	-20.85	0.07	9.15	0.05	-3.26	5.44
62	-20.79	0.17	69.33	0.12	-3.26	1.95
63	-19.70	0.07	7.66	0.05	-3.44	5.55
64	-12.73	0.15	-1.26	0.11	-3.44	2.28
65	-1.31	0.20	-0.08	0.13	-3.44	1.72
66	-18.72	0.06	5.79	0.05	-3.61	5.70
67	-12.61	0.06	-1.69	0.04	-3.61	6.63
68	0.46	0.11	-1.18	0.07	-3.61	3.35
69	-18.36	0.08	5.35	0.06	-3.79	4.28
70	-12.41	0.04	-2.05	0.03	-3.79	8.89
71	1.02	0.05	-1.26	0.04	-3.79	7.13
72	-18.24	0.14	6.92	0.11	-3.97	2.23
73	-12.46	0.07	-2.07	0.05	-3.97	4.79
74	0.64	0.03	-0.69	0.03	-3.97	12.01
75*	0.00	0.03	0.00	0.02	-4.14	15.14
76	-0.54	0.03	0.83	0.03	-4.32	13.05
77	-0.98	0.04	1.77	0.03	-4.49	8.98
78	-1.42	0.06	2.49	0.04	-4.67	6.37
79	-2.19	0.06	2.82	0.04	-4.84	6.62
80	-2.90	0.04	3.37	0.03	-5.02	11.01
81	-3.15	0.03	3.74	0.02	-5.20	15.78
82	-3.22	0.03	4.00	0.03	-5.37	14.45
83	-3.21	0.05	4.21	0.04	-5.55	8.00
84	-3.15	0.13	4.21	0.09	-5.72	2.44
85	11.21	1.05	-65.68	0.83	-10.64	0.39
86	11.08	0.77	-65.77	0.59	-10.82	0.56
87	11.37	1.05	-66.61	0.87	-11.00	0.41

*リファレンスのメーザースポット

表 A.9 epoch3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	15.85	0.04	-292.30	0.18	3.88	3.337
2	10.65	0.11	-308.00	0.51	3.71	1.153
3	15.91	0.03	-292.48	0.12	3.71	5.290
4	10.86	0.06	-307.52	0.23	3.53	2.489
5	15.79	0.03	-292.18	0.12	3.53	5.074
6	34.43	0.11	-282.11	0.53	3.53	1.100
7	6.55	0.13	-294.43	0.79	3.36	0.732
8	10.96	0.07	-307.12	0.30	3.36	1.964
9	15.64	0.05	-291.66	0.24	3.36	2.557
10	34.02	0.04	-282.25	0.15	3.36	4.020
11	6.12	0.11	-293.81	0.62	3.18	0.885
12	33.87	0.03	-282.18	0.12	3.18	5.025
13	5.71	0.12	-327.14	0.38	3.04	1.238
14	5.78	0.19	-293.88	1.16	3.00	0.466
15	33.95	0.07	-281.99	0.28	3.00	1.997
16	5.72	0.08	-327.95	0.24	2.87	1.981
17	43.64	0.17	-258.17	0.83	2.83	0.684
18	-137.86	0.11	-129.50	0.29	2.69	1.615
19	6.54	0.09	-329.73	0.26	2.69	1.883
20	43.29	0.14	-257.64	0.69	2.65	0.822
21	-137.44	0.05	-129.51	0.13	2.52	3.945
22	7.46	0.14	-331.87	0.42	2.52	1.114
23	43.47	0.25	-257.01	1.24	2.48	0.443
24	-304.41	0.22	-147.42	0.63	2.34	0.749
25	-160.20	0.16	-127.26	0.53	2.34	0.900
26	-137.10	0.04	-129.61	0.09	2.34	6.256
27	-305.17	0.09	-147.29	0.27	2.17	1.792
28	-161.04	0.09	-126.55	0.33	2.17	1.503

29	-137.30	0.04	-129.29	0.08	2.17	6.520
30	-305.77	0.10	-147.47	0.28	1.99	1.665
31	-161.76	0.06	-125.72	0.22	1.99	2.261
32	-138.49	0.05	-128.04	0.09	1.99	5.587
33	-306.58	0.26	-148.11	0.74	1.81	0.642
34	-162.03	0.06	-124.98	0.21	1.81	2.376
35	-139.12	0.05	-127.24	0.09	1.81	5.667
36	-162.06	0.09	-124.35	0.34	1.64	1.457
37	-139.13	0.05	-127.00	0.09	1.64	5.668
38	-161.95	0.25	-123.68	0.84	1.46	0.58
39	-139.38	0.07	-126.65	0.13	1.46	4.07
40	-140.35	0.13	-125.93	0.23	1.29	2.04
41	-141.15	0.26	-125.28	0.64	1.11	0.70
42	109.48	0.12	-107.13	0.32	0.23	1.46
43	109.28	0.05	-106.65	0.12	0.06	4.20
44	109.55	0.03	-106.47	0.08	-0.12	7.09
45	109.79	0.03	-106.27	0.07	-0.30	7.33
46	109.92	0.04	-105.94	0.10	-0.47	4.93
47	109.99	0.06	-105.83	0.19	-0.65	2.47
48	109.67	0.13	-106.27	0.40	-0.82	1.14
49	109.13	0.21	-106.93	0.69	-1.00	0.67
50	-1.45	0.24	36.04	0.92	-2.23	0.50
51	-1.34	0.16	35.77	0.58	-2.40	0.80
52	-20.38	0.23	7.29	0.78	-2.58	0.60
53	-1.52	0.20	35.96	0.83	-2.58	0.56
54	-21.30	0.07	9.09	0.26	-2.76	1.87
55	-5.42	0.07	53.36	0.21	-2.76	2.25
56	-21.56	0.04	9.89	0.13	-2.93	3.91
57	-5.47	0.04	53.37	0.11	-2.93	4.80
58	-21.52	0.03	10.23	0.10	-3.11	5.23
59	-5.46	0.04	53.32	0.12	-3.11	4.45
60	-21.13	0.03	10.19	0.09	-3.28	5.85

61	-6.10	0.09	54.57	0.31	-3.28	1.59
62	-20.33	0.03	9.44	0.09	-3.46	5.79
63	-12.52	0.06	-2.35	0.18	-3.46	2.67
64	-19.40	0.04	8.41	0.10	-3.63	5.20
65	-11.98	0.03	-2.78	0.08	-3.63	6.45
66	1.22	0.08	0.04	0.20	-3.63	2.38
67	-18.87	0.04	8.52	0.13	-3.81	4.04
68	-11.83	0.03	-2.98	0.07	-3.81	7.72
69	0.91	0.03	-0.43	0.08	-3.81	6.62
70	-18.31	0.05	8.91	0.20	-3.99	2.53
71	-12.06	0.04	-3.06	0.15	-3.99	3.48
72	0.39	0.02	-0.33	0.05	-3.99	13.41
73*	0.00	0.02	0.00	0.04	-4.16	17.07
74	-0.32	0.02	0.54	0.04	-4.34	14.53
75	-0.66	0.02	1.36	0.06	-4.51	9.68
76	-1.21	0.03	2.05	0.08	-4.69	6.36
77	-2.21	0.03	2.69	0.08	-4.86	6.95
78	-2.92	0.02	3.40	0.05	-5.04	12.31
79	-3.18	0.02	3.84	0.04	-5.22	17.35
80	-3.27	0.02	4.16	0.04	-5.39	15.24
81	-3.27	0.03	4.38	0.07	-5.57	7.68
82	-3.25	0.07	4.57	0.24	-5.74	2.00
83	11.76	0.29	-66.33	0.98	-10.66	0.47
84	11.81	0.18	-66.37	0.61	-10.84	0.73
85	11.57	0.25	-66.48	0.81	-11.02	0.56
86	12.17	0.41	-67.87	1.69	-11.19	0.28

*リファレンスのメーザースポット

A.4 G25.82 の各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

表 A.10 epoch1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-282.88	0.11	-241.77	0.16	99.48	0.364
2	-282.80	0.05	-241.75	0.08	99.30	0.725
3	-282.87	0.05	-241.78	0.08	99.13	0.736
4	-283.25	0.12	-241.60	0.17	98.95	0.358
5	-293.99	0.19	-264.27	0.30	98.78	0.232
6	-293.50	0.12	-263.21	0.20	98.60	0.333
7	-292.90	0.19	-262.16	0.30	98.43	0.239
8	-291.45	0.33	-261.51	0.42	98.25	0.132
9	-136.75	0.14	-33.06	0.22	97.37	0.277
10	-137.30	0.06	-33.85	0.10	97.20	0.647
11	-137.45	0.04	-34.11	0.06	97.02	1.005
12	-137.35	0.04	-34.08	0.06	96.84	0.981
13	-137.11	0.06	-33.95	0.09	96.67	0.641
14	-136.81	0.17	-34.32	0.29	96.49	0.221
15	-140.88	0.18	-25.85	0.33	95.79	0.222
16	-140.85	0.09	-25.43	0.15	95.61	0.407
17	-140.63	0.09	-25.41	0.14	95.44	0.425
18	-140.60	0.13	-25.21	0.20	95.26	0.293
19	-56.20	0.14	21.62	0.19	94.21	0.355
20	-55.75	0.03	21.60	0.05	94.03	1.393
21	-55.53	0.02	21.71	0.03	93.86	2.154
22	-55.39	0.03	21.73	0.04	93.68	1.454
23	-55.27	0.11	21.47	0.16	93.50	0.389
24	-68.77	0.11	-72.52	0.13	92.27	0.486
25	-94.17	0.09	-109.03	0.13	92.10	0.466
26	-68.77	0.04	-72.80	0.05	92.10	1.274
27	-0.95	0.11	-0.89	0.15	92.10	0.379

28	-94.65	0.04	-109.26	0.06	91.92	1.056
29	-68.69	0.03	-73.17	0.03	91.92	1.772
30	-1.00	0.02	-0.53	0.03	91.92	1.977
31	-95.12	0.02	-109.18	0.03	91.75	1.995
32	-68.64	0.04	-74.01	0.05	91.75	1.098
33	-0.52	0.01	-0.32	0.01	91.75	4.616
34	-95.41	0.01	-109.12	0.02	91.57	2.558
35*	0.00	0.01	0.00	0.01	91.57	5.952
36	-95.50	0.02	-108.87	0.03	91.39	1.898
37	0.26	0.01	0.22	0.01	91.39	4.544
38	-95.48	0.05	-108.64	0.08	91.22	0.718
39	-15.81	0.04	-27.32	0.06	91.22	0.999
40	0.34	0.02	0.30	0.04	91.22	1.632
41	-56.89	0.03	-63.70	0.04	91.04	1.522
42	-15.84	0.05	-27.50	0.08	91.04	0.742
43	-56.77	0.01	-63.52	0.02	90.87	3.055
44	-56.69	0.02	-63.65	0.02	90.69	2.638
45	-56.64	0.04	-63.93	0.06	90.52	1.021

*リファレンスのメーザースポット

表 A.11 epoch2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-283.60	0.34	-242.08	0.32	99.44	0.544
2	-283.04	0.16	-242.45	0.16	99.27	1.037
3	-282.99	0.17	-242.62	0.19	99.09	0.869
4	-138.01	0.40	-32.44	0.30	97.33	0.458
5	-138.00	0.13	-33.57	0.15	97.16	1.054
6	-137.86	0.10	-34.36	0.13	96.98	1.373
7	-137.73	0.14	-34.51	0.18	96.80	0.966
8	-137.64	0.29	-34.68	0.42	96.63	0.438
9	-141.26	0.26	-26.71	0.42	95.75	0.422
10	-141.19	0.18	-26.14	0.30	95.57	0.630
11	-141.24	0.23	-25.92	0.35	95.40	0.519
12	-56.22	0.15	20.95	0.16	94.17	1.073
13	-55.99	0.05	21.40	0.06	93.99	2.967
14	-55.66	0.04	21.48	0.04	93.82	3.832
15	-55.61	0.05	21.54	0.06	93.64	2.355
16	-55.75	0.23	21.09	0.34	93.46	0.573
17	-94.42	0.25	-109.11	0.28	92.23	0.599
18	-69.61	0.26	-72.88	0.19	92.23	0.797
19	-94.47	0.17	-109.44	0.18	92.06	0.961
20	-69.09	0.09	-72.96	0.08	92.06	2.240
21	-1.88	0.10	-0.99	0.12	92.06	1.499
22	-95.04	0.07	-109.39	0.08	91.88	1.838
23	-68.90	0.07	-73.27	0.07	91.88	2.297
24	-64.11	0.20	-68.71	0.24	91.88	0.629
25	-1.26	0.03	-0.70	0.03	91.88	4.796
26	-95.57	0.04	-109.20	0.05	91.71	3.291
27	-68.81	0.17	-74.37	0.18	91.71	0.874
28	-63.21	0.08	-67.94	0.09	91.71	1.724

29	-0.59	0.02	-0.34	0.02	91.71	8.932
30	-95.68	0.03	-109.04	0.04	91.53	3.941
31	-62.59	0.09	-68.27	0.12	91.53	1.386
32*	0.00	0.02	0.00	0.02	91.53	9.419
33	-95.95	0.05	-108.55	0.06	91.35	2.335
34	-62.12	0.12	-69.67	0.17	91.35	0.905
35	0.32	0.02	0.11	0.03	91.35	5.827
36	-16.49	0.10	-27.93	0.12	91.18	1.301
37	0.55	0.09	0.03	0.11	91.18	1.454
38	-57.32	0.04	-64.07	0.05	91.00	3.39
39	-16.53	0.20	-28.22	0.29	91.00	0.59
40	-57.15	0.02	-64.01	0.03	90.83	5.53
41	-57.09	0.03	-64.17	0.04	90.65	4.02
42	-57.28	0.11	-64.49	0.14	90.48	1.19

*リファレンスのメーザースポット

表 A.12 epoch3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-283.26	0.19	-242.32	0.24	99.44	0.576
2	-283.20	0.10	-242.15	0.14	99.27	0.994
3	-282.99	0.13	-242.25	0.19	99.09	0.693
4	-137.89	0.14	-33.84	0.19	97.16	0.827
5	-137.73	0.09	-34.20	0.13	96.98	1.188
6	-137.73	0.09	-34.20	0.13	96.98	1.188
7	-140.55	0.17	-25.19	0.24	95.57	0.595
8	-140.62	0.19	-24.78	0.24	95.40	0.601
9	-56.26	0.11	21.26	0.16	94.17	1.267
10	-55.79	0.03	21.46	0.05	93.99	4.023
11	-55.61	0.03	21.63	0.04	93.82	5.033
12	-55.32	0.04	21.62	0.06	93.64	2.917
13	-54.50	0.21	21.05	0.31	93.46	0.626
14	-68.83	0.11	-72.58	0.14	92.23	1.061
15	-94.50	0.18	-109.11	0.25	92.06	0.657
16	-74.14	0.15	-69.97	0.21	92.06	0.794
17	-68.31	0.06	-72.79	0.06	92.06	2.623
18	-1.39	0.08	-1.14	0.11	92.06	1.467
19	-95.40	0.16	-108.40	0.26	91.88	0.727
20	-74.06	0.12	-69.80	0.17	91.88	1.111
21	-68.37	0.10	-72.99	0.10	91.88	1.935
22	-1.27	0.03	-0.82	0.04	91.88	4.697
23	-95.64	0.12	-108.69	0.19	91.71	1.368
24	-63.03	0.10	-67.85	0.14	91.71	1.728
25	-0.63	0.03	-0.35	0.03	91.71	8.612
26	-95.78	0.08	-108.82	0.12	91.53	1.934
27*	0.00	0.02	0.00	0.03	91.53	9.934
28	0.41	0.02	0.13	0.03	91.35	6.292

29	0.80	0.07	0.17	0.11	91.18	1.528
30	-57.14	0.04	-63.90	0.06	91.00	2.993
31	-57.03	0.03	-63.78	0.04	90.83	4.678
32	-57.05	0.04	-63.91	0.05	90.65	2.914
33	-57.34	0.15	-64.28	0.24	90.48	0.662

*リファレンスのメーザースポット

A.5 G351.77 の各エポックで検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

表 A.13 epoch1 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-1.18	0.08	-6.28	0.41	2.08	0.940
2	-0.44	0.03	-2.59	0.17	1.91	2.340
3*	0.00	0.02	0.00	0.09	1.73	4.420
4	0.13	0.02	1.83	0.09	1.55	4.400
5	-0.26	0.04	4.41	0.19	1.38	2.000
6	76.80	0.05	69.28	0.25	1.38	1.540
7	77.16	0.09	71.17	0.44	1.20	0.880
8	77.46	0.14	48.66	0.69	1.03	0.560
9	77.70	0.12	48.97	0.63	0.85	0.620
10	99.50	0.13	66.82	0.67	0.85	0.580
11	100.70	0.09	65.67	0.46	0.68	0.850
12	101.33	0.21	65.10	1.08	0.50	0.360
13	61.49	0.17	-23.09	0.88	-0.20	0.440
14	61.47	0.09	-23.03	0.49	-0.38	0.800
15	61.44	0.10	-22.79	0.49	-0.55	0.790
16	61.60	0.17	-22.23	0.88	-0.73	0.440
17	57.50	0.17	-33.89	0.86	-2.48	0.450
18	56.77	0.14	-32.24	0.73	-2.66	0.530

*リファレンスのメーザースポット

表 A.14 epoch2 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-4.69	0.32	-14.03	0.58	2.47	1.554
2	-3.27	0.21	-10.46	0.51	2.30	3.184
3	-0.97	0.14	-3.86	0.28	2.12	8.134
4	-0.56	0.08	-2.01	0.16	1.95	17.200
5*	0.00	0.07	0.00	0.15	1.77	23.570
6	0.29	0.10	2.13	0.26	1.59	18.248
7	-0.06	0.16	5.24	0.57	1.42	9.670
8	75.29	0.18	73.00	0.29	1.42	16.418
9	74.57	0.14	74.75	0.21	1.24	21.768
10	74.59	0.14	76.54	0.20	1.07	17.907
11	74.36	0.24	79.21	0.27	0.89	8.635
12	83.69	0.45	72.45	0.42	0.89	5.915
13	70.20	0.25	82.64	0.34	0.72	3.890
14	100.67	0.16	67.75	0.21	0.72	6.030
15	103.32	0.18	67.78	0.24	0.54	4.827
16	105.74	0.18	68.50	0.24	0.36	3.893
17	107.91	0.20	69.05	0.30	0.19	2.939
18	63.08	0.49	-21.06	0.67	0.01	1.376
19	109.44	0.26	69.93	0.44	0.01	1.685
20	62.82	0.19	-21.76	0.32	-0.16	3.189
21	62.41	0.14	-21.60	0.25	-0.34	5.257
22	62.22	0.13	-20.92	0.25	-0.51	5.040
23	62.45	0.17	-19.92	0.32	-0.69	3.002
24	62.68	0.33	-19.54	0.67	-0.87	1.414
25	64.72	0.39	-34.22	0.84	-1.04	1.319
26	64.27	0.30	-33.43	0.62	-1.22	1.742
27	63.83	0.36	-30.94	0.96	-1.39	1.415
28	61.89	0.32	-21.52	0.86	-1.57	1.444

29	61.34	0.25	-20.53	0.59	-1.74	1.531
30	50.06	0.56	-18.42	1.01	-1.92	0.951
31	61.74	0.48	-37.79	0.76	-2.10	1.413
32	59.83	0.25	-35.70	0.44	-2.27	2.928
33	58.55	0.19	-33.61	0.36	-2.45	4.204
34	57.38	0.20	-31.08	0.40	-2.62	3.680
35	56.35	0.30	-28.65	0.66	-2.80	1.831

*リファレンスのメーザースポット

表 A.15 epoch3 で検出されたメタノールメーザースポットのパラメータ

ID	相対位置オフセット (mas)				視線速度 (km s ⁻¹)	ピーク強度 (Jy beam ⁻¹)
spot ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	-4.08	0.22	-18.37	0.71	2.50	0.797
2	-2.65	0.09	-13.02	0.24	2.32	1.502
3	-1.17	0.03	-8.50	0.09	2.15	3.377
4	-13.17	0.03	-12.50	0.11	1.97	2.757
5	0.02	0.02	-3.83	0.05	1.97	6.886
6	-13.28	0.03	-11.55	0.10	1.80	3.437
7	0.18	0.01	-1.41	0.03	1.80	13.172
8	-13.32	0.03	-10.84	0.12	1.62	2.473
9*	0.00	0.01	0.00	0.02	1.62	14.315
10	-0.32	0.01	1.89	0.04	1.44	7.538
11	76.19	0.02	68.10	0.06	1.44	4.658
12	76.04	0.02	69.40	0.05	1.27	6.223
13	75.15	0.04	73.34	0.11	1.09	3.466
14	74.30	0.11	77.36	0.26	0.92	1.173
15	99.13	0.08	64.14	0.19	0.92	1.433
16	100.42	0.11	64.15	0.15	0.74	1.659
17	103.17	0.11	64.08	0.21	0.57	1.186
18	105.41	0.16	65.05	0.34	0.39	0.788
19	107.08	0.26	65.98	0.49	0.21	0.828
20	62.95	0.34	-26.37	0.61	0.04	0.649
21	62.86	0.10	-25.86	0.22	-0.14	1.210
22	62.85	0.05	-25.40	0.11	-0.31	2.436
23	62.59	0.05	-24.70	0.10	-0.49	2.652
24	62.42	0.07	-23.89	0.17	-0.66	1.540
25	62.79	0.18	-22.45	0.61	-0.84	0.520
26	64.94	0.13	-35.19	0.48	-1.02	0.661
27	64.65	0.08	-35.70	0.28	-1.19	1.101
28	64.31	0.09	-35.57	0.31	-1.37	1.078

29	63.56	0.20	-31.41	0.98	-1.54	0.494
30	61.63	0.16	-23.25	0.58	-1.72	0.570
31	61.21	0.16	-22.89	0.64	-1.89	0.448
32	61.95	0.20	-42.27	0.47	-2.07	0.598
33	60.97	0.09	-41.64	0.19	-2.25	1.478
34	59.00	0.08	-38.93	0.17	-2.42	1.829
35	57.15	0.07	-34.99	0.19	-2.60	1.808
36	56.50	0.12	-31.25	0.48	-2.77	0.908
37	56.28	0.27	-21.89	0.75	-2.95	0.565

*リファレンスのメーザースポット

付録 B

B.1 G2.53 の各エポックで同定されたメーザーフィーチャー

表 B.1 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
3*	4	4-7	0.03	0.23	0.02	0.27	18.75	20.758
6	4	9-12	-10.54	0.98	3.82	1.02	17.88	5.446
8	4	13-15,17	-83.73	0.81	-227.75	0.85	6.98	5.517
9	4	16,18-20	-81.66	0.76	-228.07	0.79	6.85	6.370
10	3	22,24,26	-77.42	0.86	-229.71	0.89	6.01	4.976
11	4	23,25,27,28	-75.50	0.66	-260.71	0.71	5.92	6.769
12	5	29,30,32,34	15.64	0.88	-291.81	0.92	3.73	11.123
13	3	31,33,35	10.00	1.07	-307.11	1.12	3.55	2.677
14	3	37,38,40	33.51	0.40	-281.30	0.44	3.20	6.550

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.2 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	0.84	0.78	3.92	1.28	20.09	1.069
2	3	4-6	-0.51	0.36	2.21	1.13	19.39	1.845
3*	4	7-10	-0.10	0.03	0.18	0.13	18.77	23.390
4	3	13,16,19	8.10	0.24	16.44	0.93	18.16	1.471
5	4	12,15,18,21	-1.40	0.28	-0.31	1.10	18.07	3.409
6	4	14,17,20,22	-10.27	0.07	3.58	0.33	17.90	8.234
7	3	24-26	-182.61	0.64	104.31	1.95	10.43	0.735
8	4	27-30	-83.62	0.21	-228.15	0.80	7.17	7.786
9	5	31-35	-80.39	0.06	-228.79	0.21	6.66	19.528
10	3	37,39,41	-77.89	0.13	-229.84	0.45	6.03	6.674
11	4	40,42-44	-75.17	0.13	-261.42	0.55	5.77	10.369
12	4	45,46,49,52	15.54	0.10	-291.65	0.42	3.84	10.682
13	4	48,51,55,59	10.22	0.13	-306.27	0.49	3.48	5.902
14	4	53,57,61,63	33.09	0.11	-280.94	0.40	3.31	10.432
16	3	62,65,68	44.11	0.16	-255.02	0.72	2.99	3.997
17	4	64,67,69,70	43.11	0.29	-257.51	1.16	2.78	1.837

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.3 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	0.44	1.64	3.46	1.62	20.05	1.423
2	3	4-6	-1.05	1.70	2.91	1.83	19.53	1.376
3*	4	8-11	-0.01	0.14	-0.09	0.16	18.73	32.061
6	4	14-17	-10.16	0.39	3.36	0.40	17.86	12.529
8	4	21-24	-83.41	0.80	-228.78	0.79	7.13	11.569
9	5	25-29	-79.86	0.22	-229.42	0.23	6.62	27.867
11	4	34-37	-74.76	0.86	-262.13	0.83	5.73	16.814
12	4	38,39,41,43	15.59	0.39	-291.47	0.40	3.80	14.952
13	3	40,42,46	10.61	0.48	-306.82	0.48	3.53	5.606
14	4	44,48,50,52	33.86	0.47	-281.40	0.47	3.27	12.142
15	3	45,49,51	5.94	1.15	-293.31	1.12	3.18	2.083
17	3	53-55	43.25	1.25	-256.87	1.20	2.65	1.949

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

B.2 G6.79 の各エポックで同定されたメーザーフィーチャー

表 B.4 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
			RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	3.25	0.68	61.10	0.97	30.84	0.839
2	3	6-8	2.93	0.83	61.36	0.96	29.96	1.309
3	3	11-13	18.00	0.95	30.34	1.15	29.08	2.010
4	3	14,16,18	7.06	0.27	47.62	0.34	28.55	3.330
5	3	15,17,19	17.13	0.20	32.49	0.23	28.55	3.184
6	3	20,22,24	7.31	0.25	47.05	0.32	28.03	2.942
7	3	23,25,28	13.79	0.20	34.47	0.25	27.85	3.812
8	3	26,29,32	-4.27	0.77	12.58	1.23	27.50	0.555
9	3	30,34,36	7.77	0.58	43.91	0.66	27.32	1.169
10	3	33,35,37	-2.87	0.40	1.06	0.51	27.15	2.935
11	3	38-40	-1.54	0.12	-0.05	0.14	26.62	6.923
12*	3	42,44,46	0.21	0.03	-0.11	0.05	25.92	14.506
13	3	43,45,47	-11.64	0.58	-9.79	0.69	25.74	1.715
14	3	49,51,53	-14.15	0.33	-12.36	0.43	25.22	1.532
15	3	50,52,54	3.67	0.17	2.08	0.19	25.22	6.066
17	3	58-60	-362.24	0.24	62.11	0.32	19.42	2.578
19	3	61-63	-349.60	0.48	80.21	0.55	18.71	1.504
20	3	64-66	-294.50	1.13	123.20	1.38	17.66	0.418
21	3	67-69	-295.11	0.35	125.98	0.38	16.60	5.044
22	3	70,71,74	-296.70	0.09	127.24	0.11	16.08	7.148
24	3	76,79,82	-267.33	0.41	152.50	0.46	15.72	1.698
25	3	77,80,83	-297.89	0.09	130.21	0.11	15.55	7.803
26	3	72,75,78	-281.65	0.88	140.63	1.09	15.90	0.615
28	3	85-87	-297.70	0.31	132.11	0.48	15.02	4.878
30	3	88-90	-55.46	0.64	196.56	0.87	12.91	0.597

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.5 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
			RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	3.61	1.10	61.34	0.71	30.80	3.021
2	3	5-7	3.28	0.36	61.44	0.54	30.10	6.097
3	3	10,11,13	18.42	0.24	30.16	0.73	29.04	7.666
4	3	12,14,16	6.92	0.84	47.85	0.55	28.69	7.859
5	3	15,17,19	17.05	0.11	32.90	0.17	28.51	13.314
6	3	18,20,22	7.68	0.17	46.83	0.15	28.16	16.273
7	3	23,25,28	13.88	0.19	34.45	0.26	27.81	11.154
9	3	30,32,34	8.24	0.62	43.47	0.61	27.28	3.178
10	3	31,33,35	-2.67	0.25	1.14	0.28	27.11	10.380
11	3	36-38	-1.34	0.10	-0.35	0.07	26.58	27.334
12*	3	39,40,42	0.22	0.03	-0.12	0.04	26.05	65.510
13	3	41,43,45	-11.66	0.56	-10.20	0.72	25.70	3.602
14	3	47,49,51	-14.34	0.42	-12.97	0.69	25.18	3.969
15	3	48,50,52	3.86	0.15	1.81	0.12	25.18	17.762
17	3	55-57	-361.91	0.32	62.03	0.36	19.38	8.308
18	3	58-60	-353.21	0.86	77.46	1.50	19.08	1.315
19	3	61-63	-349.51	0.42	80.09	0.26	18.67	5.460
20	3	65-67	-294.59	0.79	122.78	0.64	17.62	2.361
21	3	70-72	-295.18	0.09	125.98	0.22	16.56	18.589
24	3	74,77,81	-281.50	0.73	141.93	0.75	16.04	2.600
25	3	79,83,86	-298.09	0.14	129.81	0.15	15.68	13.325
26	3	78,82,85	-266.90	0.32	152.27	0.54	15.86	5.291
27	3	87,90,93	-284.77	0.86	140.87	0.84	15.33	2.919
28	3	89,92,94	-297.44	0.16	132.43	0.11	15.16	21.258
29	3	95-97	-61.60	0.80	223.94	1.60	14.63	1.360
30	3	98-100	-55.31	0.52	196.41	1.45	13.05	2.210
32	3	104-106	-53.35	0.80	193.95	1.40	12.35	2.506

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.6 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
			RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	3.71	0.43	60.85	1.11	30.76	2.181
2	3	6-8	3.29	0.54	60.58	1.28	29.88	1.987
3	3	11,13,16	18.30	1.27	30.63	0.69	29.18	2.877
4	3	15,17,19	6.98	1.27	47.51	1.11	28.83	2.960
5	3	20,22,24	17.47	0.12	32.24	0.11	28.47	9.831
6	3	21,23,25	7.61	0.06	46.99	0.09	28.30	14.450
7	3	28,30,33	14.30	0.24	34.00	0.88	27.77	3.618
8	3	31,34,37	-4.11	0.68	12.54	0.77	27.42	1.325
9	3	32,36,39	8.21	1.03	44.28	0.79	27.42	1.164
10	3	38,40,41	-2.91	0.20	0.65	0.14	27.07	8.405
11	3	42-44	-1.33	0.06	-0.64	0.07	26.54	20.982
12*	3	45,46,48	0.30	0.03	0.07	0.03	26.01	42.418
13	3	47,49,51	-12.05	0.41	-10.86	0.57	25.66	2.227
14	3	53,55,57	-14.81	0.44	-13.04	0.73	25.14	2.071
15	3	54,56,58	3.86	0.12	1.78	0.22	25.14	8.918
16	3	59-61	-362.75	0.59	60.62	0.54	19.86	4.774
17	3	62,63,65	-361.75	0.65	62.21	0.29	19.34	4.673
18	3	66-68	-352.91	1.05	77.44	0.98	19.04	0.918
19	3	69-71	-349.60	0.40	79.82	0.71	18.63	2.523
20	3	72-74	-294.25	0.55	123.44	0.97	17.75	1.233
21	3	77-79	-295.27	0.07	126.36	0.15	16.52	11.419
23	3	88,93,98	-298.07	0.17	130.90	0.09	15.64	9.532
24	3	81,85,89	-289.75	0.33	133.11	0.65	16.00	2.246
25	3	82,86,90	-281.34	0.38	141.97	0.71	16.00	2.053
26	3	87,92,97	-266.63	0.27	152.97	0.25	15.82	4.325
27	3	99,102,104	-285.58	1.06	140.16	0.60	15.29	2.230
28	3	101,103,105	-297.55	0.12	132.62	0.30	15.12	11.509
29	3	106-108	-61.49	1.24	223.86	1.36	14.59	0.701

30	3	109,110,112	-54.16	0.55	195.83	0.82	13.01	2.451
31	3	111,113,115	-58.35	1.47	201.90	1.78	12.66	0.579
32	3	116-118	-52.99	0.98	193.93	0.82	12.31	2.297

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

B.3 G8.83 の各エポックで同定されたメーザーフィーチャー

表 B.7 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
			RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	4,6,8	-77.32	0.97	-229.84	0.54	6.01	4.976
2	3	7,9,10	-75.27	0.64	-261.10	0.37	5.84	5.401
3	3	11,12,14	15.64	0.84	-292.21	0.48	3.90	6.770
4	3	13,15,17	10.09	1.20	-307.23	0.70	3.55	2.677
7	3	19,20,22	33.60	0.44	-281.43	0.27	3.20	6.550
9	3	24,26,29	6.45	1.16	-328.05	0.75	2.79	1.831
11	3	28,30,31	-137.62	0.64	-128.40	0.37	2.44	5.107
14	3	34-36	-139.97	0.57	-125.73	0.35	1.56	5.139
16	3	37-39	109.34	0.68	-106.37	0.41	-0.02	4.367
17	3	40-42	109.46	0.90	-105.49	0.58	-0.55	3.465
19	3	43-45	-21.28	0.45	9.85	0.29	-3.01	5.459
22	3	47,49,51	-18.48	0.49	7.95	0.29	-3.71	5.329
23	3	48,50,52	-11.79	0.28	-3.48	0.17	-3.71	10.433
25*	3	56-58	-0.43	0.14	0.64	0.10	-4.42	20.006
26	3	59-61	-2.24	0.18	2.42	0.12	-4.94	16.138
27	3	62-64	-3.07	0.24	3.59	0.15	-5.47	16.588

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.8 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
3	3	1,2,5	15.64	0.41	-291.74	0.29	3.92	6.550
4	3	4,7,11	10.16	0.41	-306.58	0.27	3.57	5.009
5	3	8,12,16	15.72	0.52	-291.82	0.35	3.40	7.050
7	3	13,17,20	33.21	0.16	-281.10	0.12	3.22	9.726
8	3	18,22,26	49.72	0.96	-242.14	0.62	3.04	1.667
9	3	19,23,28	5.96	0.33	-328.16	0.25	2.89	5.685
10	3	21,25,29	43.46	1.00	-258.07	0.66	2.87	1.458
11	3	30,33,35	-137.66	0.14	-129.42	0.10	2.36	15.442
13	3	37,39,41	-162.07	0.55	-125.86	0.38	1.83	3.206
14	4	40,42-44	-139.77	0.22	-126.54	0.15	1.57	17.476
16	3	47-49	109.20	0.14	-106.37	0.10	-0.10	14.646
17	3	50-52	109.49	0.26	-106.03	0.18	-0.63	8.391
19	3	53,55,58	-21.39	0.18	9.25	0.14	-2.91	12.478
20	3	54,57,60	-6.02	0.26	53.90	0.18	-2.91	7.634
21	3	56,59,62	-20.53	0.31	68.87	0.23	-3.09	5.539
22	3	66,69,72	-18.44	0.18	6.02	0.13	-3.79	12.211
23	3	67,70,73	-12.49	0.10	-1.94	0.08	-3.79	20.312
24	3	68,71,74	0.71	0.12	-1.04	0.08	-3.79	22.481
25*	3	75-77	-0.51	0.06	0.87	0.05	-4.32	37.161
26	3	78-80	-2.17	0.09	2.89	0.07	-4.84	23.992
27	4	81-84	-3.18	0.14	4.04	0.10	-5.46	40.666
28	3	85-87	11.22	1.67	-66.02	1.34	-10.82	1.368

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.9 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
3	3	1,3,5	15.85	0.06	-292.32	0.25	3.71	13.701
4	3	2,4,8	10.82	0.14	-307.55	0.64	3.53	5.606
6	3	7,11,14	6.15	0.26	-294.04	1.53	3.18	2.083
7	3	10,12,15	33.95	0.08	-282.14	0.34	3.18	11.042
9	3	13,16,19	5.99	0.17	-328.27	0.52	2.87	5.102
10	3	17,20,23	43.46	0.33	-257.60	1.64	2.65	1.949
11	3	21,26,29	-137.28	0.08	-129.47	0.17	2.34	16.721
12	3	24,27,30	-305.12	0.26	-147.39	0.74	2.17	4.206
13	3	25,28,31	-161.00	0.19	-126.51	0.66	2.17	4.664
14	4	35,37,39,40	-139.50	0.16	-126.70	0.30	1.55	17.449
15	3	34,36,38	-162.01	0.27	-124.33	0.93	1.64	4.409
16	3	42-44	109.44	0.14	-106.75	0.35	0.06	12.749
17	3	46-48	109.86	0.15	-106.01	0.46	-0.65	8.532
18	3	50,51,53	-1.44	0.35	35.92	1.37	-2.40	1.858
19	3	54,56,58	-21.46	0.09	9.74	0.30	-2.93	11.005
20	4	55,57,59,61	-5.61	0.13	53.66	0.41	-3.02	13.086
22	3	64,67,70	-18.86	0.07	8.61	0.26	-3.81	11.775
23	3	65,68,71	-11.96	0.06	-2.94	0.18	-3.81	17.644
24	3	66,69,72	0.84	0.09	-0.24	0.22	-3.81	22.407
25*	3	73-75	-0.33	0.03	0.63	0.08	-4.34	41.280
26	3	76-78	-2.11	0.05	2.71	0.12	-4.86	25.623
27	4	79-82	-3.24	0.08	4.24	0.25	-5.48	42.271
28	3	83-85	11.71	0.42	-66.39	1.41	-10.84	1.760

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

B.4 G25.82 の各エポックで同定されたメーザーフィーチャー

表 B.10 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-282.85	0.13	-241.77	0.20	99.30	1.826
2	3	5-7	-293.46	0.29	-263.21	0.47	98.60	0.804
3	3	9-11	-137.16	0.16	-33.67	0.25	97.20	1.929
4	3	12-14	-137.09	0.19	-34.12	0.31	96.67	1.843
5	3	16-18	-140.69	0.18	-25.35	0.29	95.44	1.125
6	3	21-23	-55.40	0.11	21.64	0.16	93.68	3.997
7	3	24,26,29	-68.74	0.12	-72.83	0.14	92.10	3.532
8	3	25,28,31	-94.64	0.09	-109.16	0.14	91.92	3.517
9	3	27,30,33	-0.82	0.12	-0.58	0.16	91.92	6.972
11	3	34,36,38	-95.46	0.06	-108.88	0.09	91.39	5.174
12*	3	35,37,40	0.20	0.03	0.17	0.04	91.39	12.128
13	4	41,43-45	-56.75	0.05	-63.70	0.08	90.78	8.236

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.11 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-283.21	0.41	-242.38	0.40	99.27	2.450
4	3	6-8	-137.75	0.34	-34.52	0.47	96.80	2.777
5	3	9-11	-141.23	0.39	-26.25	0.62	95.57	1.571
6	3	13-15	-55.75	0.08	21.47	0.10	93.82	9.154
8	3	17,19,22	-94.64	0.31	-109.31	0.35	92.06	3.397
7	3	18,20,23	-69.20	0.29	-73.04	0.22	92.06	5.334
9	3	21,25,29	-1.24	0.11	-0.68	0.12	91.88	15.227
10	3	24,28,31	-63.30	0.23	-68.31	0.28	91.71	3.739
11	3	26,30,33	-95.73	0.07	-108.93	0.09	91.53	9.567
12*	3	32,35,37	0.29	0.09	0.05	0.11	91.35	16.700
13	4	38,40-42	-57.21	0.12	-64.19	0.15	90.74	14.126

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.12 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-283.15	0.25	-242.24	0.33	99.27	2.263
4	3	4-6	-137.78	0.19	-34.08	0.26	97.04	3.203
6	3	10-12	-55.57	0.06	21.57	0.08	93.82	11.973
7	4	14,17,21	-67.13	0.18	-71.55	0.23	91.97	7.347
9	3	18,22,25	-1.10	0.08	-0.77	0.13	91.88	14.776
11	3	19,23,26	-95.61	0.22	-108.63	0.35	91.71	4.029
12*	3	27-29	0.40	0.08	0.10	0.11	91.35	17.754
13	4	30-33	-57.14	0.16	-63.97	0.25	90.74	11.247

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

B.5 G351.77 の各エポックで同定されたメーザーフィーチャー

表 B.13 epoch 1 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
3*	3	3-5	-0.04	0.04	2.08	0.23	1.55	10.820
5	3	10-12	100.51	0.26	65.86	1.35	0.68	1.790
7	3	13-15	61.47	0.22	-22.97	1.12	-0.38	2.030

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.14 epoch 2 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-2.98	0.40	-9.45	0.82	2.30	12.872
3*	3	5-8	0.08	0.20	2.46	0.64	1.59	0.051
4	3	8-10	74.82	0.27	74.76	0.41	1.24	56.093
6	3	16,17,19	107.70	0.37	69.16	0.59	0.19	8.517
7	3	18,20,21	62.77	0.55	-21.47	0.78	-0.16	9.822
8	3	22-24	62.45	0.39	-20.13	0.78	-0.69	9.456
9	3	25-27	64.27	0.60	-32.87	1.42	-1.22	4.476
12	3	33-35	57.43	0.41	-31.11	0.85	-2.62	9.715

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー

表 B.15 epoch 3 で同定されたメーザーフィーチャーのパラメータ

ID	スポット		相対位置オフセット (mas)				視線 速度 (km s ⁻¹)	積分強度 (Jy beam ⁻¹ km s ⁻¹)
	数	ID	RA	σ_α	Dec	σ_δ		
1	3	1-3	-2.63	0.24	-13.30	0.75	2.32	5.676
2	3	4,6,8	-13.26	0.05	-11.63	0.19	1.80	8.667
3*	3	7,9,10	-0.04	0.02	0.16	0.05	1.62	35.025
4	3	12-14	75.16	0.12	73.36	0.28	1.09	0.011
6	3	17-19	105.22	0.32	65.03	0.64	0.39	2.802
7	3	20-22	62.88	0.36	-25.88	0.66	-0.14	4.295
8	3	23-25	62.60	0.20	-23.68	0.64	-0.66	4.712
9	3	26-28	64.63	0.17	-35.49	0.63	-1.19	2.840
10	3	29-31	62.13	0.30	-25.85	1.30	-1.72	1.512
11	3	32-34	60.64	0.23	-40.95	0.53	-2.25	3.905
12	3	35-37	56.64	0.30	-29.37	0.91	-2.77	3.281

*はリファレンスメーザースポットを含むフィーチャー