



2014/09/11-13, 秋季年会 @山形大学
B32a



EAVNによる 6.7GHzメタノール・メーザーの 固有運動計測プロジェクト

杉山 孝一郎

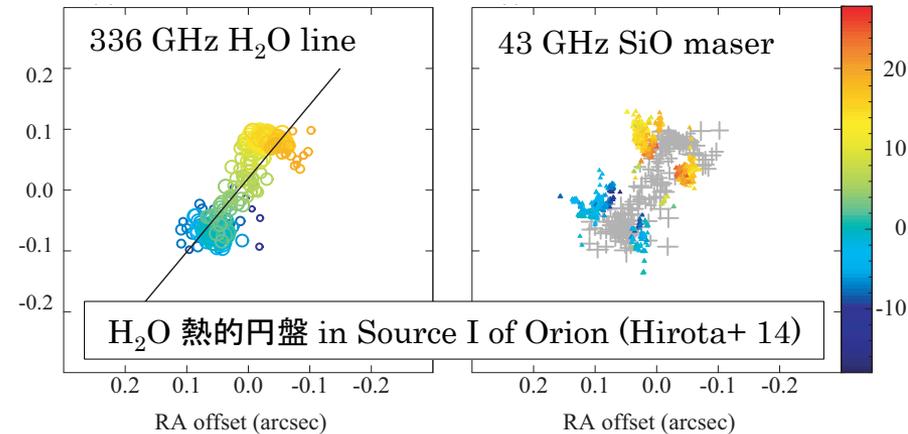
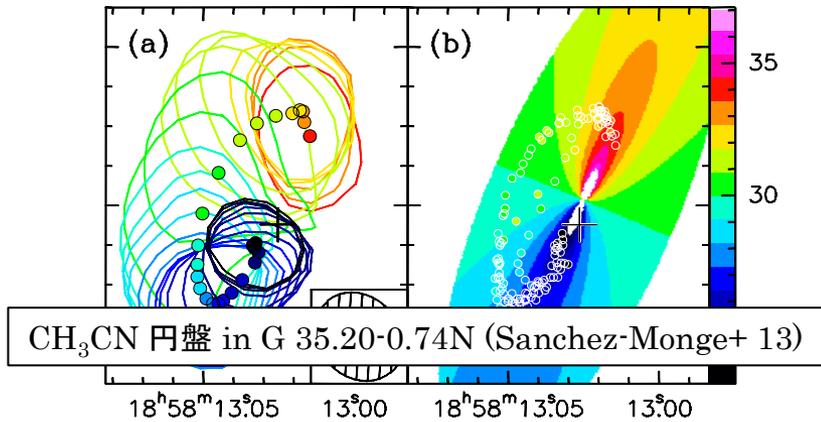
(茨城大学 宇宙科学教育研究センター)

共同研究者: 藤沢健太, 蜂須賀一也, 元木業人, 平野大樹, 林京之介, 新沼浩太郎 (山口大), 米倉覚則, 百瀬宗武, 齋藤悠 (茨城大), 本間希樹, 廣田朋也, 澤田-佐藤聡子, 松本尚子 (国立天文台), 村田泰宏, 土居明広 (宇宙研), Zhiqiang Shen (上海天文台), 小川英夫 (大阪府立大)

EAVNによる固有運動計測プロジェクト

1. 研究背景

大質量星の形成・進化過程

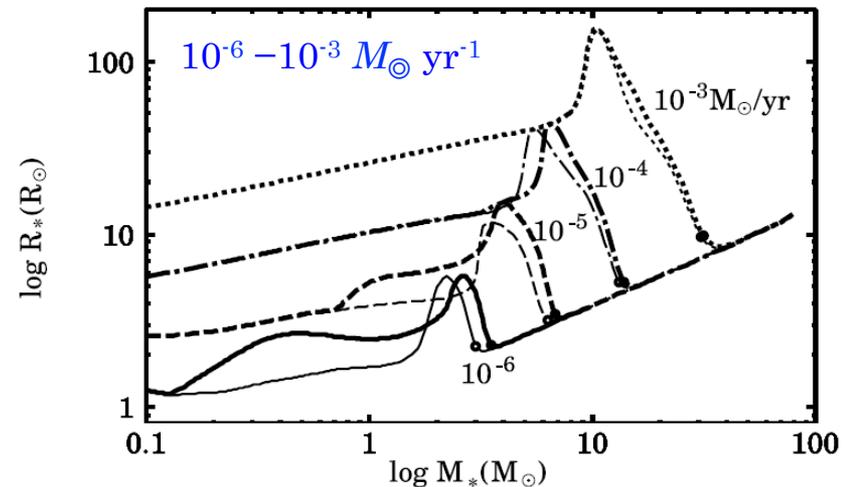


□ 回転円盤からの質量降着で形成

- 理論: 非球対称, 大降着率
(e.g., Krumholz+ 09, Nakano+ 00)
- 観測: 回転円盤構造の検出
(e.g., Cesaroni+ 99; Hirota+14)

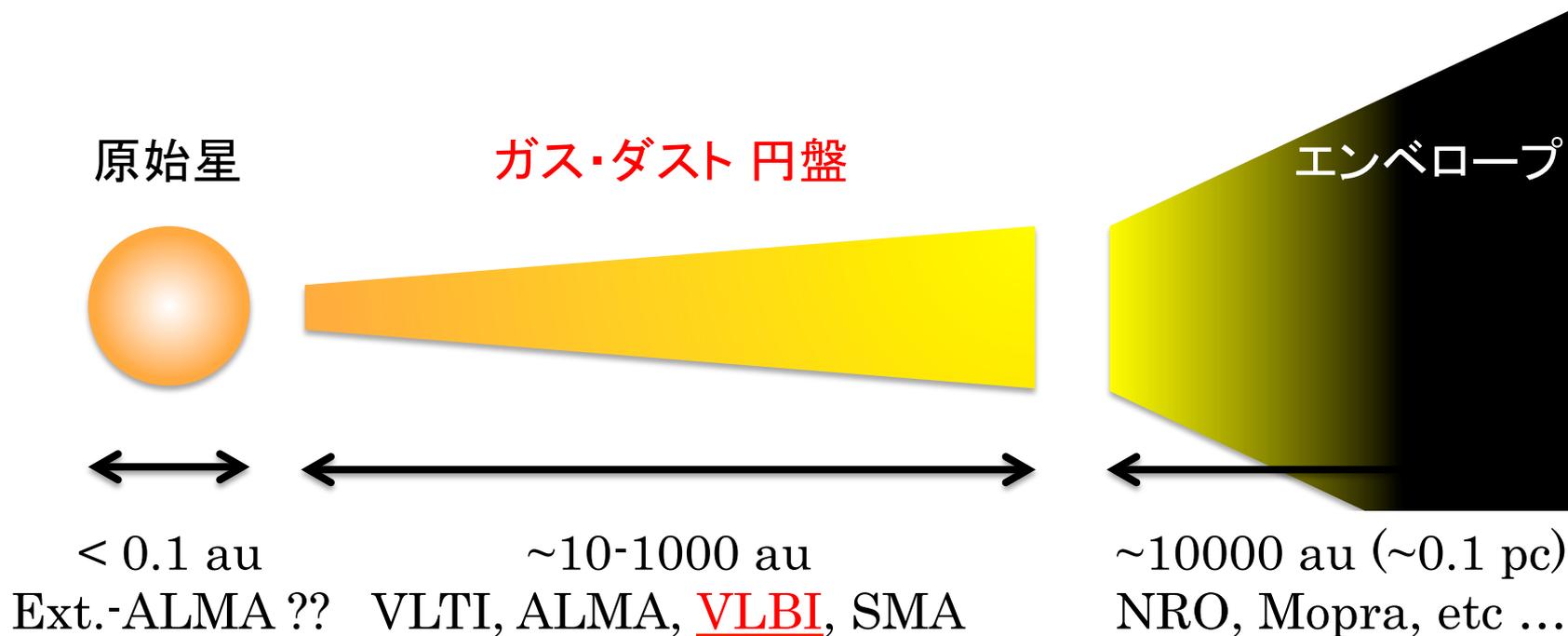
□ これから: 降着現象を3次元速度から議論

- 直接的に降着現象の有無を検証可能
- 直接的にガス降着率の計測も可能
 - 原始星の進化過程に重大な役割・影響
(Hosokawa & Omukai 09)



原始星進化の進化トラックの違い (Hosokawa & Omukai 09)

円盤からの降着現象の検証



大質量原始星周囲における円盤上でのガスの運動
 $\leq 10 \text{ km/s}$ を3次元運動として検出可能なのは、現
時点ではコンパクトな高輝度源を対象としたVLBI観測のみ！

6.7 GHz 帯 メタノール・メーザー

□ 発生場所

- 大質量(原始)星周辺

□ 放射サイズ

- 1-10 auスケール  VLBI可能

□ 空間分布

- 直線/楕円/真円形状 & 速度勾配

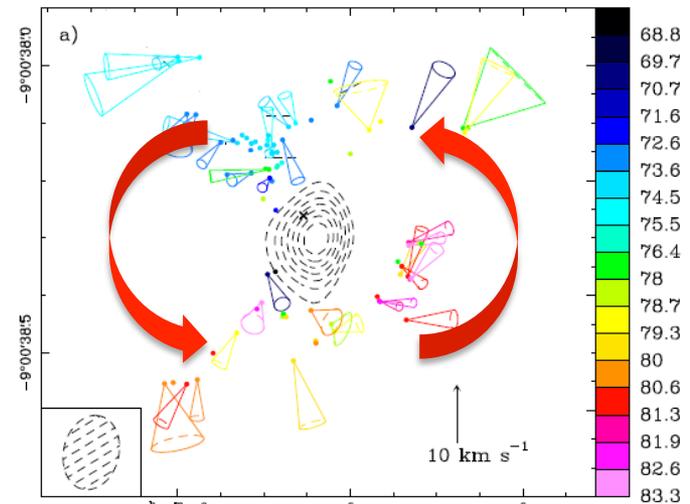
(e.g., Minier+00; Bartkiewicz+09)

□ 内部(相対)固有運動

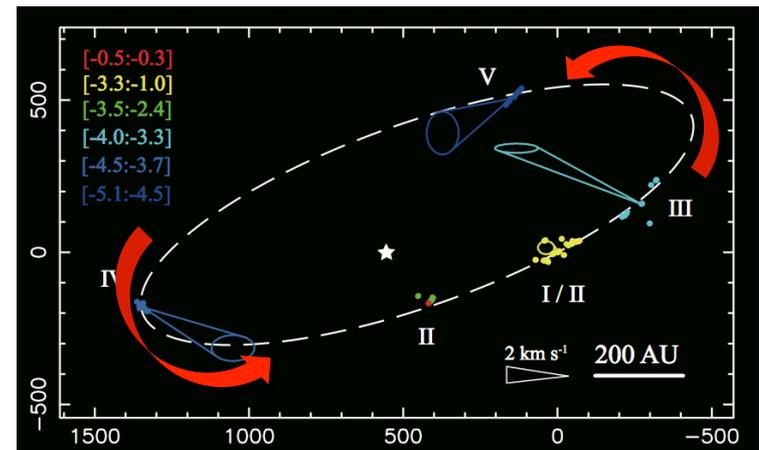
- 回転 (+ 膨張/降着)

(e.g., Sanna+10; Goddi+11; Sugiyama+14))

大質量原始星周囲のガス円盤を3次元速度構造から理解する良いトレーサー！

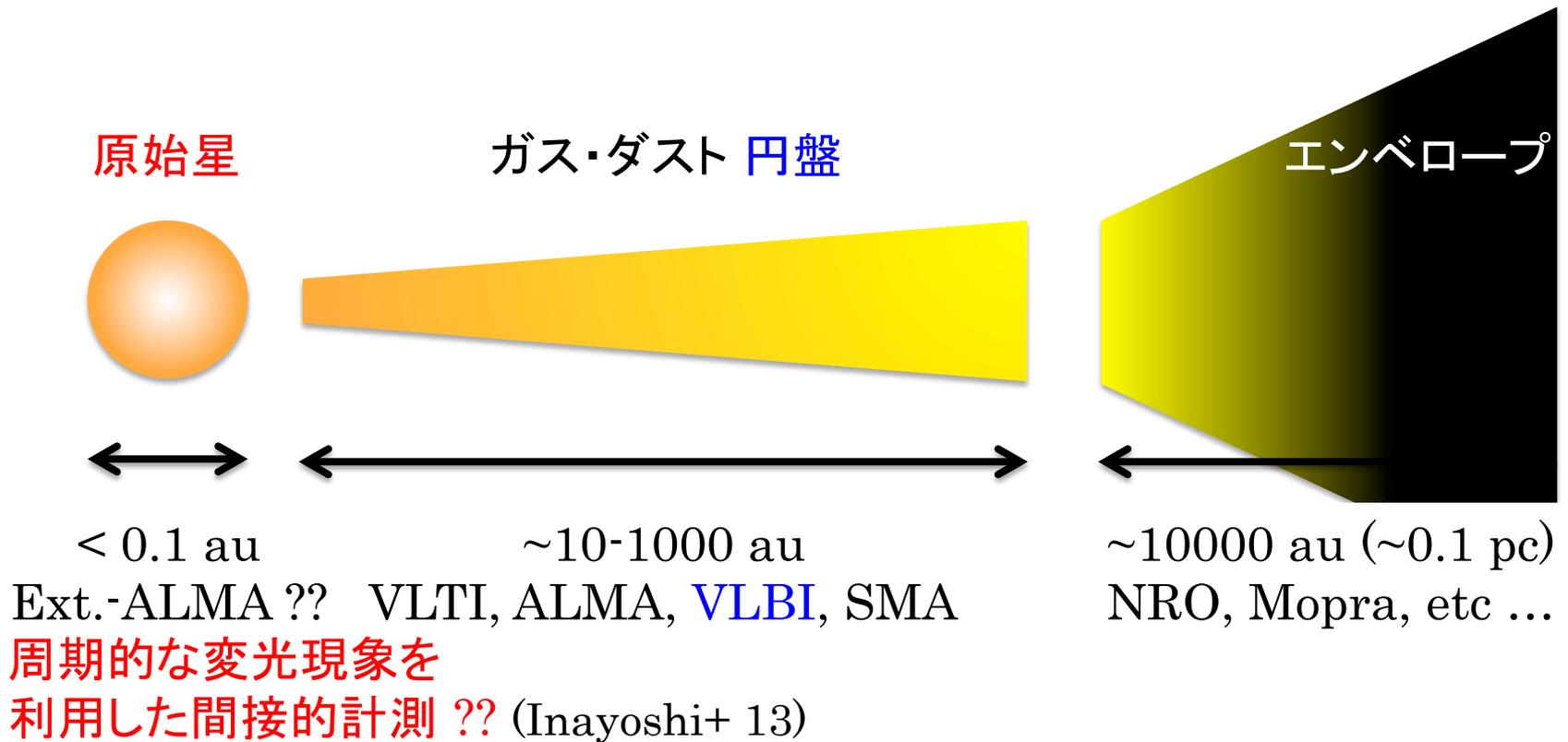


回転+膨張運動 in G23.01-0.41 (Sanna+ 10)



回転+降着運動 in Cep A (Sugiyama+ 14)

動径方向の降着率分布を明らかに !?



- メタノール・メーザーと脈動不安定との関係調査
(**B33a**, 米倉 他; **P136a**, 内山 他)

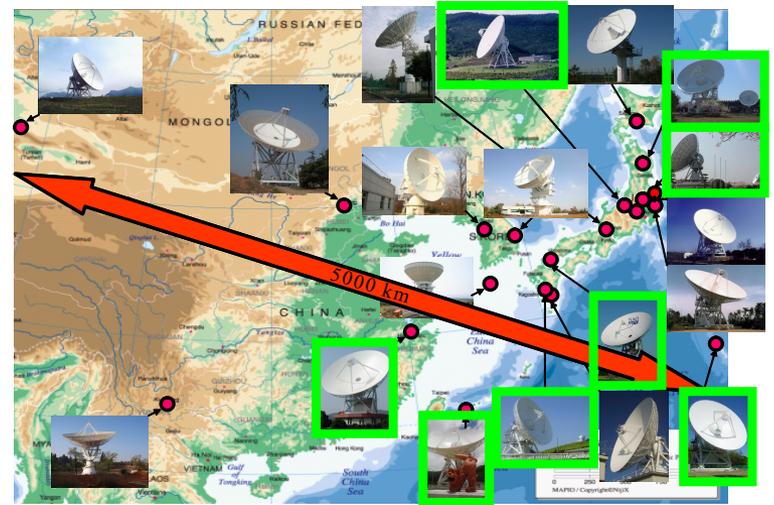
EAVNによる固有運動計測プロジェクト

2. プロジェクト概要

プロジェクト概要

□ VLBIモニター for 6Gメーザー

- 観測網:
東アジアVLBI観測網 EAVN
(JVNの発展型)
- ターゲット: 36 天体
内34天体は過去にVLBI無し
- 期間: 2010-2013 年, ~1 年間隔



東アジアVLBI観測網: EAVN.
緑の枠で囲った電波望遠鏡に6.7 GHz帯の受信機を搭載.

□ 明らかにしたいこと

- 6.7 GHz メタノール・メーザーの発生場所を、多数天体に対する 3次元速度計測から系統的に解明
 - 新たなVLBIイメージの取得 & 3次元速度情報カタログの作成
- 大質量原始星周囲の回転(・降着)円盤の進化を 3次元速度から理解
 - 直接的なガス降着現象の有無 & 降着率の直接計測

ターゲット: 36天体

Source	Coordinates (J2000.0)	
	RA (h m s)	Dec (° ' ")
000.54-00.85	17 50 14.56	-28 54 31.4
000.64-00.04	17 47 18.69	-28 24 25.3
002.53+00.19 [†]	17 50 46.47	-26 39 45.3
006.18-00.35	18 01 02.17	-23 47 10.8
006.79-00.25	18 01 57.76	-23 12 34.2
008.68-00.36	18 06 23.48	-21 37 10.4
008.83-00.02	18 05 25.66	-21 19 25.4
009.61+00.19	18 06 14.91	-20 31 43.4
009.98-00.02	18 07 50.12	-20 18 56.5
010.32-00.16	18 09 01.47	-20 05 07.8
011.49-01.48	18 16 22.13	-19 41 27.2
011.90-00.14	18 12 11.45	-18 41 28.8
012.02-00.03	18 12 01.86	-18 31 55.9
012.68-00.18 [†]	18 13 54.75	-18 01 46.6
012.88+00.48	18 11 51.39	-17 31 30.1
014.10+00.08 [†]	18 15 45.81	-16 39 09.4
020.23+00.06	18 27 44.56	-11 14 54.1
023.43-00.18 MM1	18 34 39.19	-08 31 25.3

Source	Coordinates (J2000.0)	
	RA (h m s)	Dec (° ' ")
025.65+01.05*	18 34 20.91	-05 59 40.5
025.71+00.04	18 38 03.15	-06 24 15.0
025.82-00.17	18 39 03.63	-06 24 09.9
028.83-00.25*	18 44 51.08	-03 45 48.5
029.86-00.04*	18 45 59.57	-02 45 04.4
030.70-00.06*	18 47 36.9	-02 01 05.
030.76-00.05*	18 47 39.73	-01 57 22.0
030.91+00.14*	18 47 15.0	-01 44 07.
031.28+00.06	18 48 12.39	-01 26 22.6
032.03+00.06*	18 49 37.3	-00 45 47.
037.40+01.52*	18 54 10.5	+04 40 49.
049.49-00.38	19 23 43.93	+14 30 35.1
232.62+00.99	07 32 09.78	-16 58 12.4
351.77-00.53	17 26 42.54	-36 09 17.6
352.63-01.06	17 31 13.93	-35 44 08.5
353.41-00.36	17 30 26.18	-34 41 45.6
354.61+00.47	17 30 17.09	-33 13 55.0
359.43-00.10 [†]	17 44 40.60	-29 28 16.0

大部分は南半球に位置  ALMAとのコラボを念頭に

EAVNによる固有運動計測プロジェクト

3. 研究成果

進捗状況

□観測

- 2013年9月で36天体の3 epochモニター完了

□解析

- epoch 1 は完了
- epoch 2・3 は進行中
- ☞ 14天体で固有運動解析完了

年	観測	相関	解析
2010	22	22/22	22/22
2011	36	36/36	29/36
2012	36	36/36	18/36
2013	36	36/36	0/36

□論文

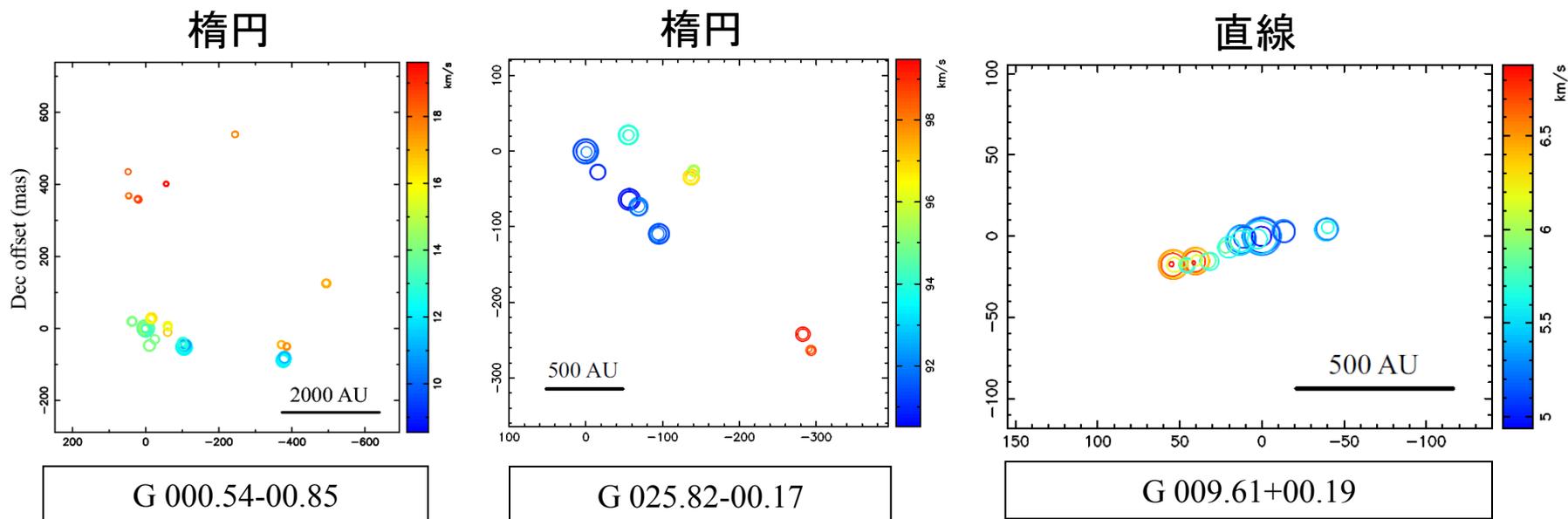
- VLBIイメージを元にした空間分布議論: Fujisawa+ (14)
- 固有運動計測結果は随時執筆中: Sugiyama+ submitted

VLBIイメージ & 空間分布の分類

(Fujisawa et al. 2014, PASJ, 66 (2), 31 (1-29))

- 35天体で VLBIイメージの取得に成功 (1天体はresolved out)
 - 内、33天体は新しいVLBIイメージに相当
- 5種類の空間形状に分類 (Bartkiewicz+ 09 の分類を参考に)
 - カテゴリ: **楕円**, 円弧, 直線, ペア, コンプレックス

回転 (+膨張/降着) 円盤付随の有力候補!



楕円形状天体: EGOs との空間比較

□ Extended Green Object (Cyganowski+ 08)

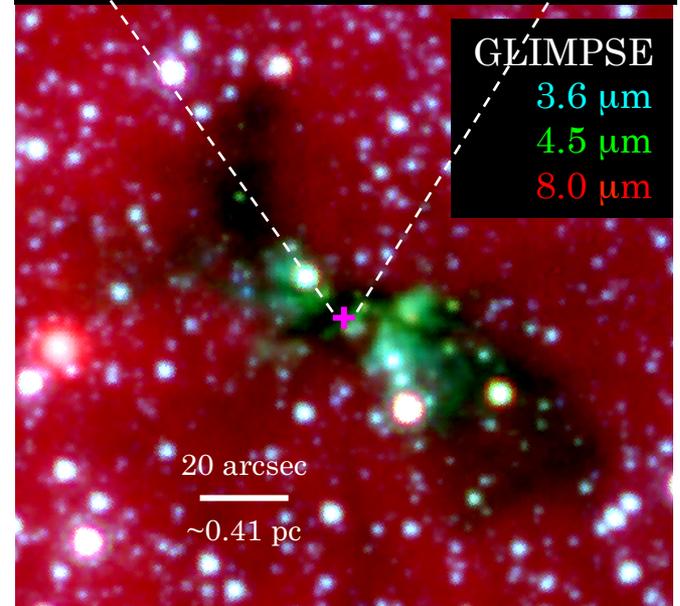
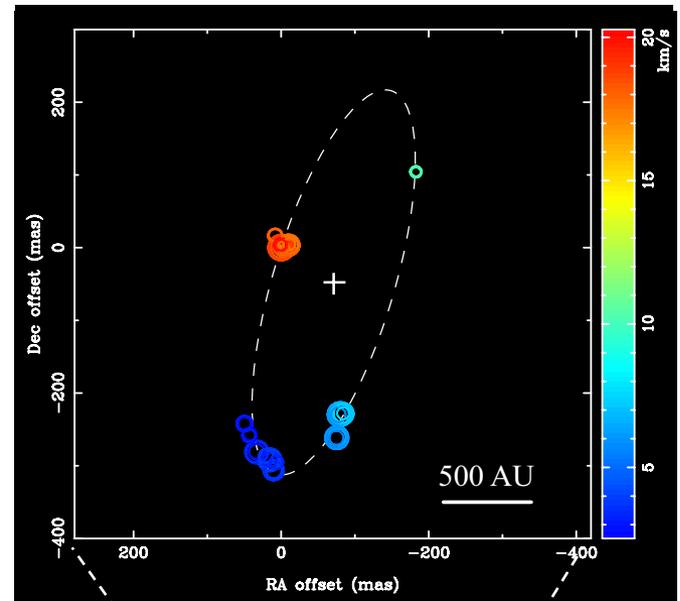
- Spitzer IRAC 4.5 μm で $\sim 10''$ に伸びた放射
- 若い大質量原始星からのアウトフローに起因するショック／反射光

□ 楕円形状天体

- 楕円形状に沿った視線速度勾配
- 楕円の長軸とEGOの伸びている方向とが垂直関係

(日本天文学会 2014年春季年会,
杉山他, P114b)

G 002.53+00.19



EGOs from NASA/IPAC IRSA web-site

楕円形状天体: EGOs との空間比較

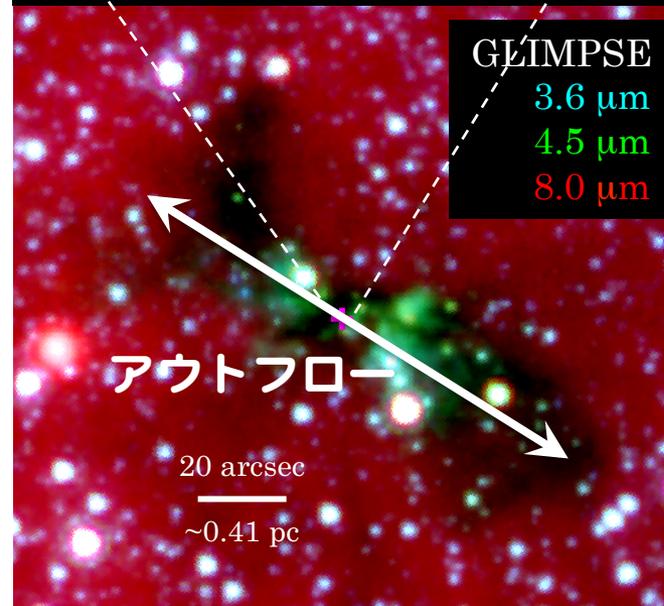
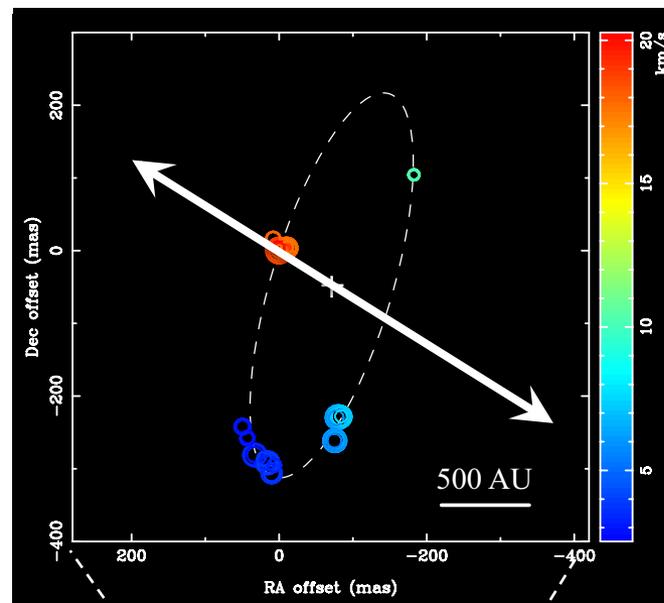
□ Extended Green Object (Cyganowski+ 08)

- Spitzer IRAC 4.5 μm で $\sim 10''$ に伸びた放射
- 若い大質量原始星からのアウトフローに起因するショック／反射光

□ 楕円形状天体

- 楕円形状に沿った視線速度勾配
- 楕円の長軸とEGOの伸びている方向とが垂直関係

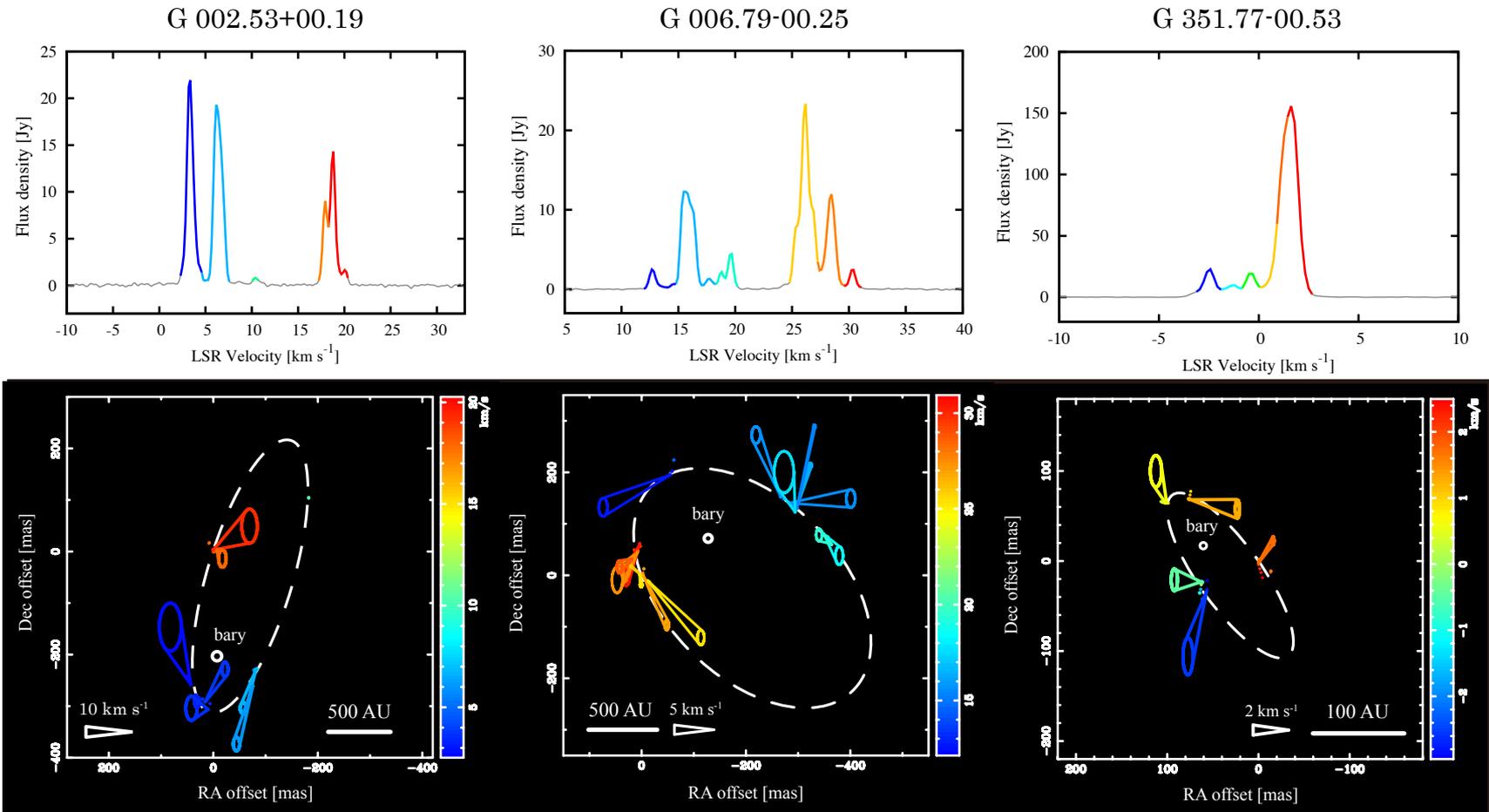
G 002.53+00.19



**回転 (+膨張／降着) 円盤
付随の有力候補になり得る！**

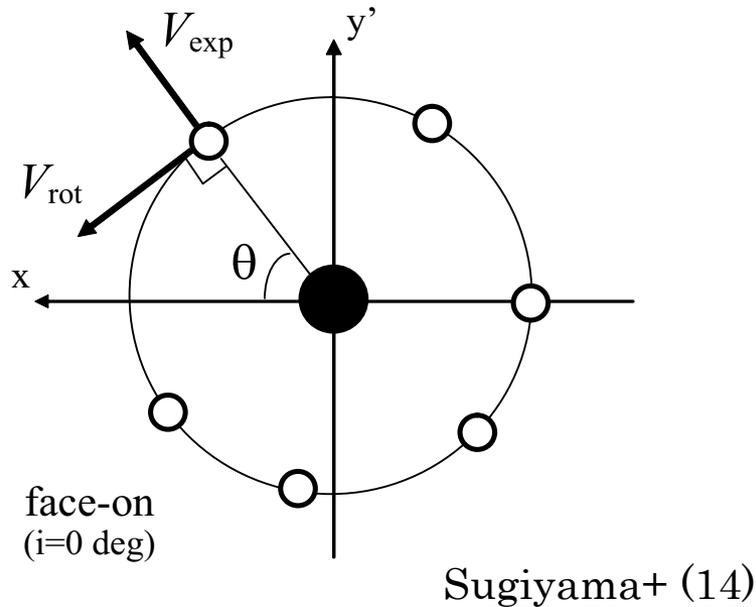
EGOs from NASA/IPAC IRSA web-site

内部(相対)固有運動 in 楕円天体



楕円形状に沿った視線速度の勾配 & EAVNモニタープロジェクトで楕円形状の天体に対して検出された内部(相対)固有運動 (Sugiyama+ submitted; Hirano+ in prep.)

回転 + 膨張 / 降着 モデルフィット

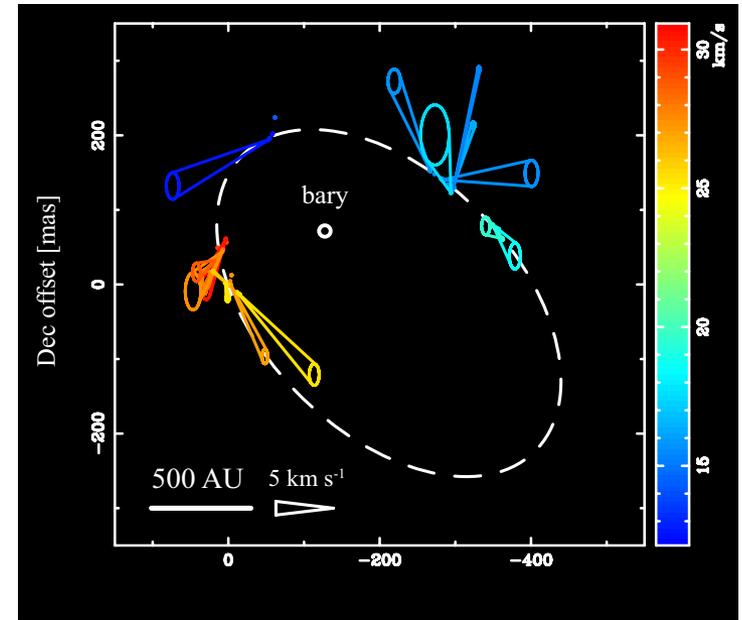


$$V_{x'}^{\text{calc}} = V_{\text{rot}} \sin \theta + V_{\text{exp}} \cos \theta$$

$$V_{y'}^{\text{calc}} = -(V_{\text{rot}} \cos \theta - V_{\text{exp}} \sin \theta) \cos i$$

$$V_z^{\text{calc}} = -(V_{\text{rot}} \cos \theta - V_{\text{exp}} \sin \theta) \sin i + V_{\text{sys}}$$

(V_{rot} : 回転速度; V_{exp} : 膨張速度; V_{sys} : 系統速度)
(θ : 方位角; i : 傾斜角)



- 反時計回りの回転
- 回転+膨張 / 降着モデル

- 3次元速度+相対位置
- 仮定: 同心円, 平面

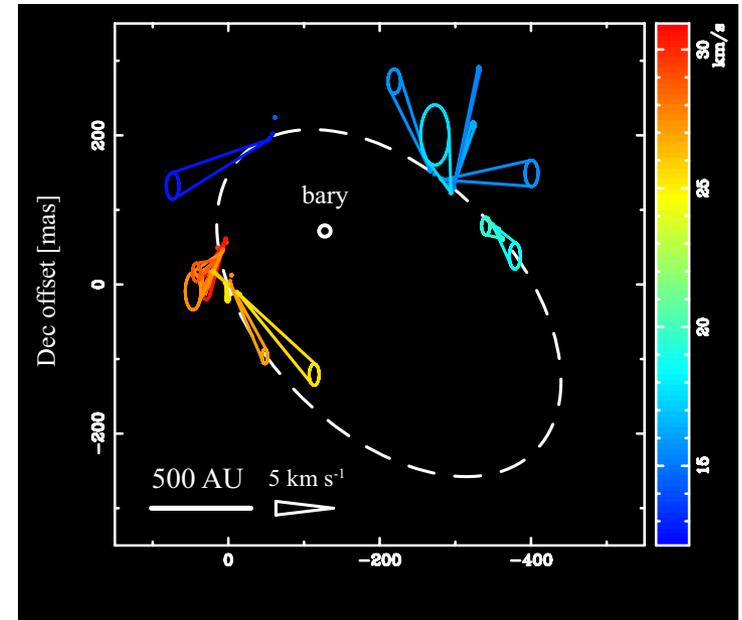
回転 + 膨張／降着 モデルフィット

- 反時計回りの回転
- 回転+膨張／降着モデル
 - 3次元速度+相対位置
 - 仮定: 同心円, 平面

👉 回転+膨張運動！

- 回転速度: $+ 2.3 (+2.1_{-1.4})$ km/s
- 膨張速度: $+ 3.4 (+1.8_{-1.0})$ km/s
- 系統速度: $+21.3 (+1.9_{-1.9})$ km/s

- 膨張運動は“磁気遠心力による円盤風”に起因？



Sugiyama+ submitted

プラズマベータ

$$\beta_p \sim P_{\text{gas}} / P_{\text{mag}} \\ \sim 0.1-10$$

直線, ペア, コンプレックス形状天体の内部(相対)固有運動:

B34b, 松本 他 直線/コンプレックス

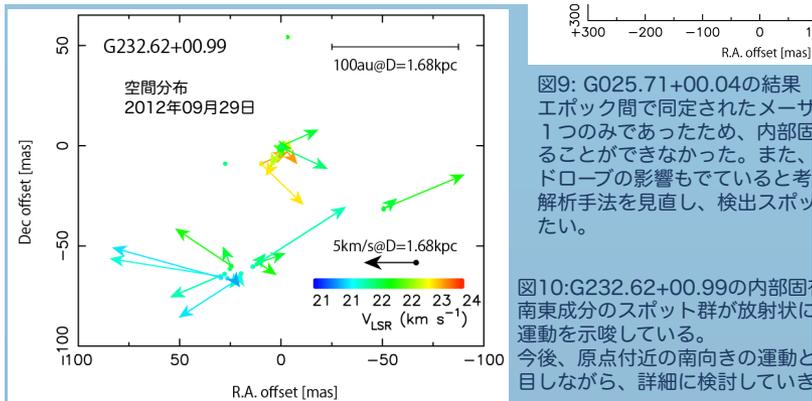
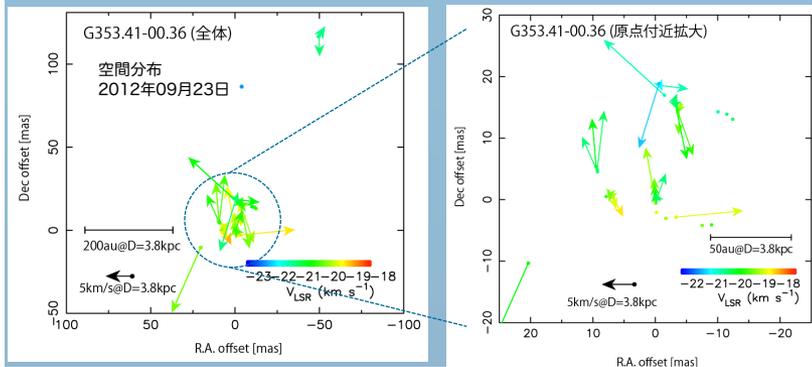
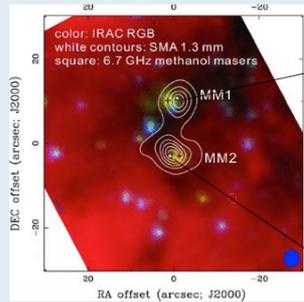


図10: G232.62+00.99の内部固有運動の南東成分のスポット群が放射状に運動を示唆している。今後、原点付近の南向きの運動と目しながら、詳細に検討していきたい。

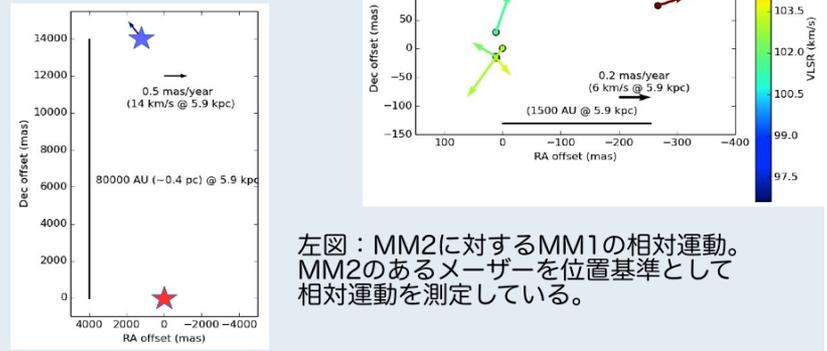
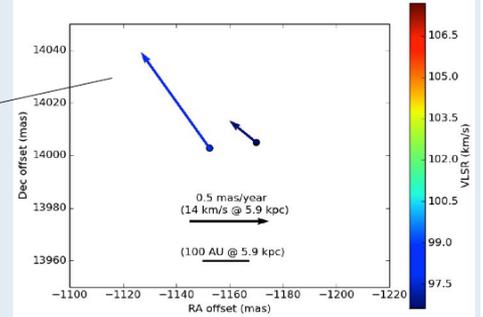


B39c, 蜂須賀 他 ペア

G023.43-00.18



SMAによる1.3 mm 連続波マップ。それぞれの連続波ピーク位置にメタノールメーザー源がある[6]。



左図: MM2に対するMM1の相対運動。MM2のあるメーザーを位置基準として相対運動を測定している。

EAVNによる固有運動計測プロジェクト

4. 今後の展望

まとめ・展望

まとめ

- 6.7GHzメタノール・メーザーを対象とした、EAVNによるVLBIモニタープロジェクト
 - 目的:
 - 6Gメーザーの発生場所を3次元速度計測から系統的に解明
 - 大質量原始星周囲の円盤からのガス降着を3次元速度から検証
 - ターゲット: 36天体 (大部分が南半球)
 - 進捗: 新VLBIイメージの取得完了 & 固有運動計測は進行中
 - いくつかの楕円形状天体で、回転(+膨張)運動の検出に成功

展望

- ALMA cycle 2 (filler):
 - 回転円盤の空間構造 & 進化の指標となる物理量の推定
- JVNで進行中の位相補償観測
 - ALMAとの空間位置合わせのための高精度な絶対位置計測