



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

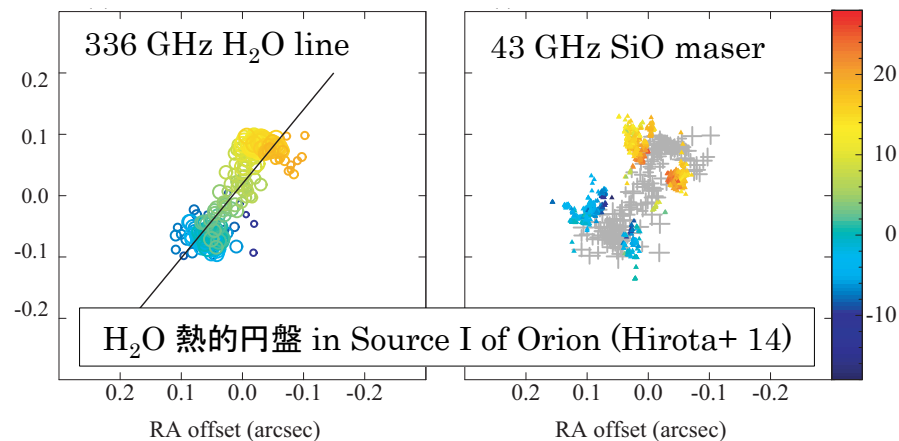
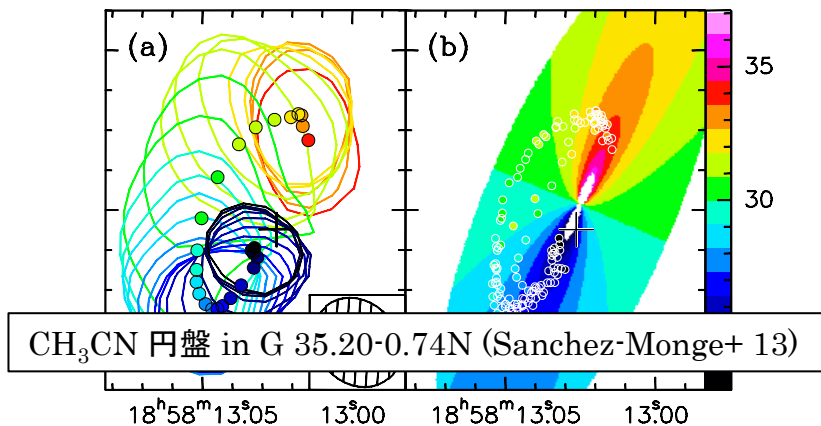
(茨城大学 宇宙科学教育研究センター)

**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

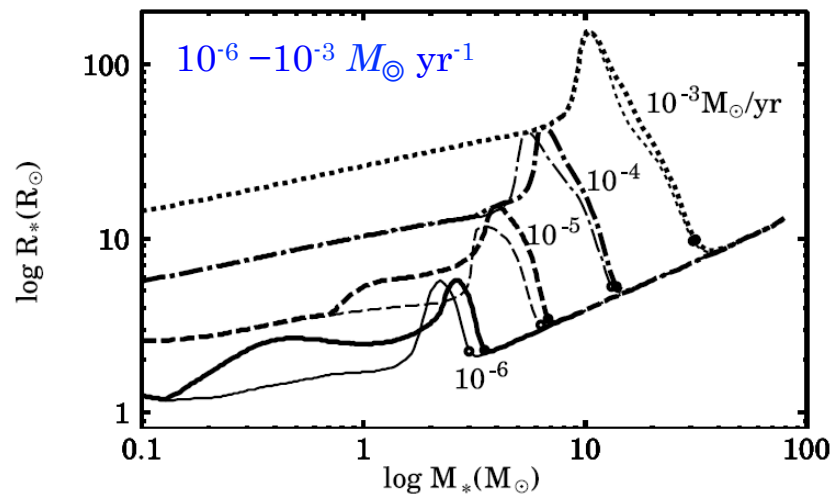


## □ 回転円盤からの質量降着で形成

- 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)

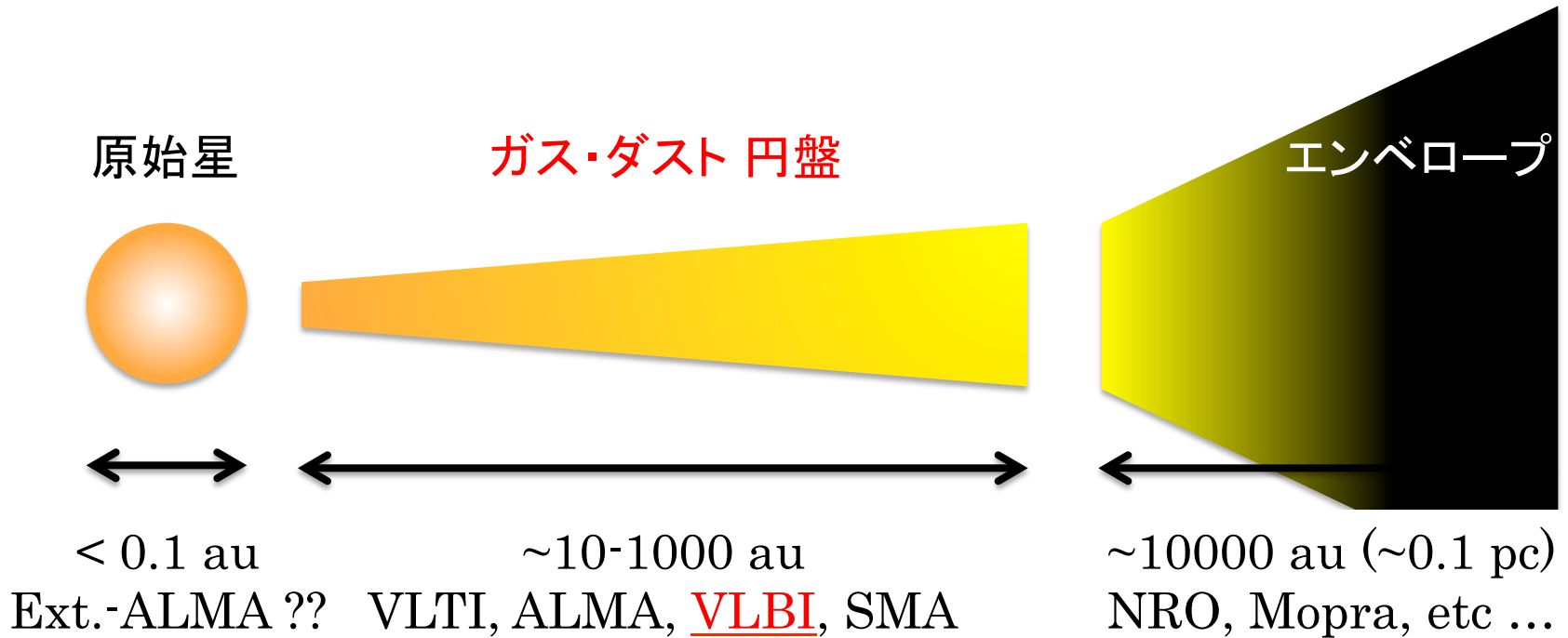
## □ これから: 降着現象を3次元速度から議論

- 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

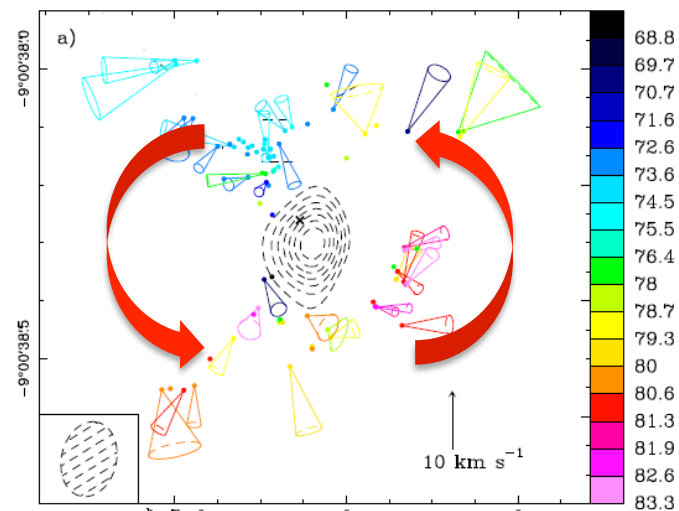
(e.g., Minier+00; Bartkiewicz+09)

## □ 内部(相対)固有運動

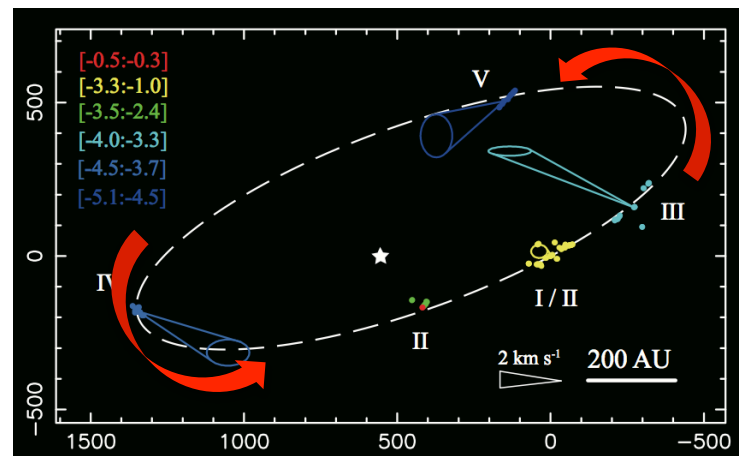
- 回転 (+ 膨張/降着)

(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！

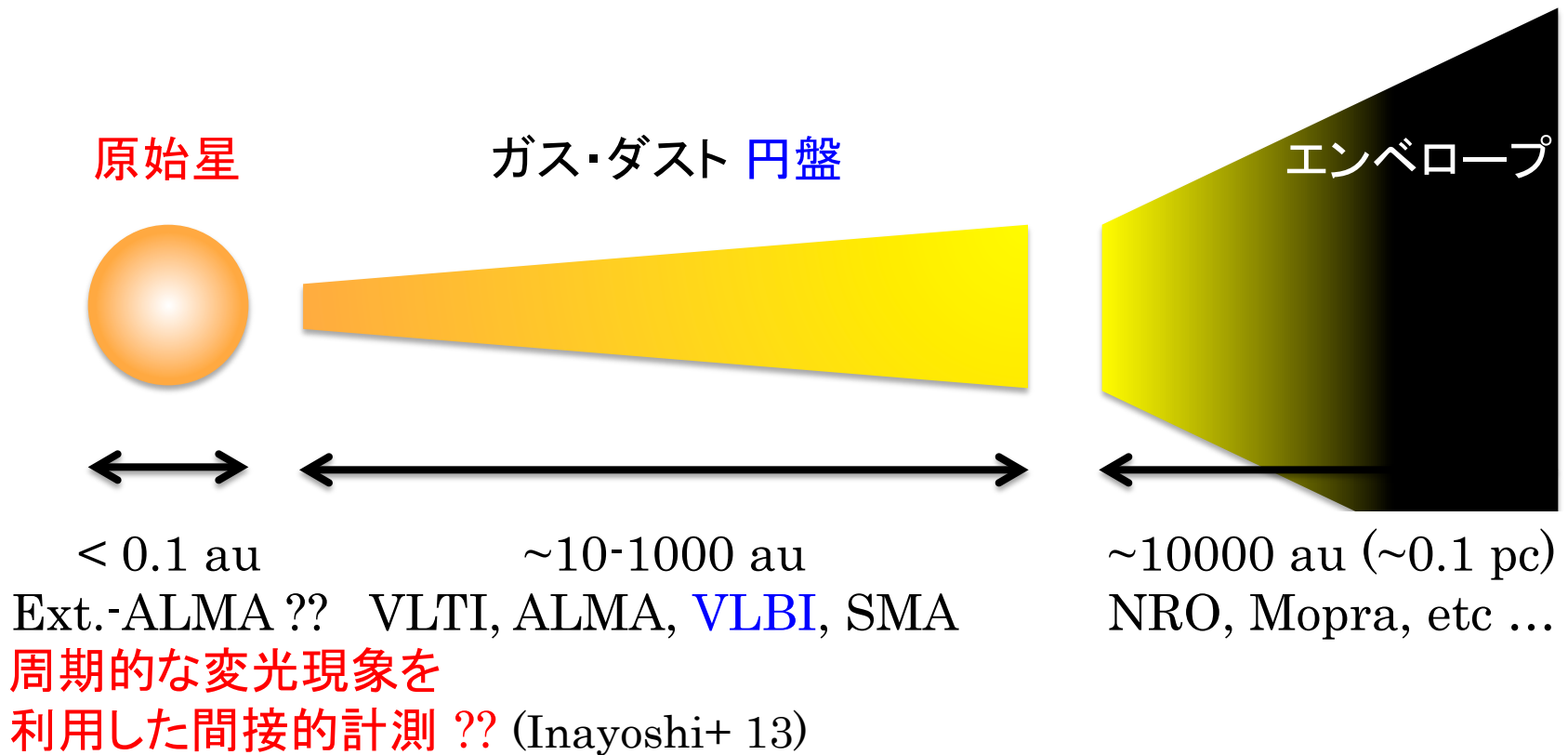


回転+膨張運動 in G23.01-0.41 (Sanna+ 10)



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)

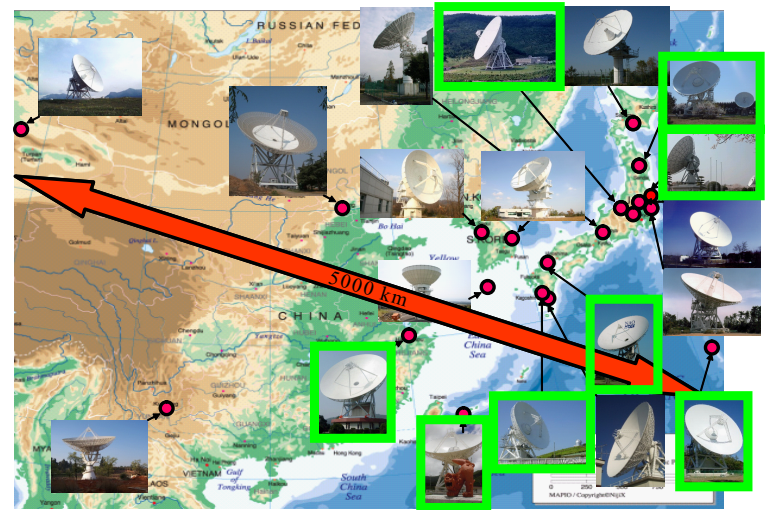
EAVNによる固有運動計測プロジェクト

## 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 <sup>†</sup>	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 <sup>†</sup>	18 13 54.75	-18 01 46.6
012.88+00.48	18 11 51.39	-17 31 30.1
014.10+00.08 <sup>†</sup>	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 <sup>†</sup>	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

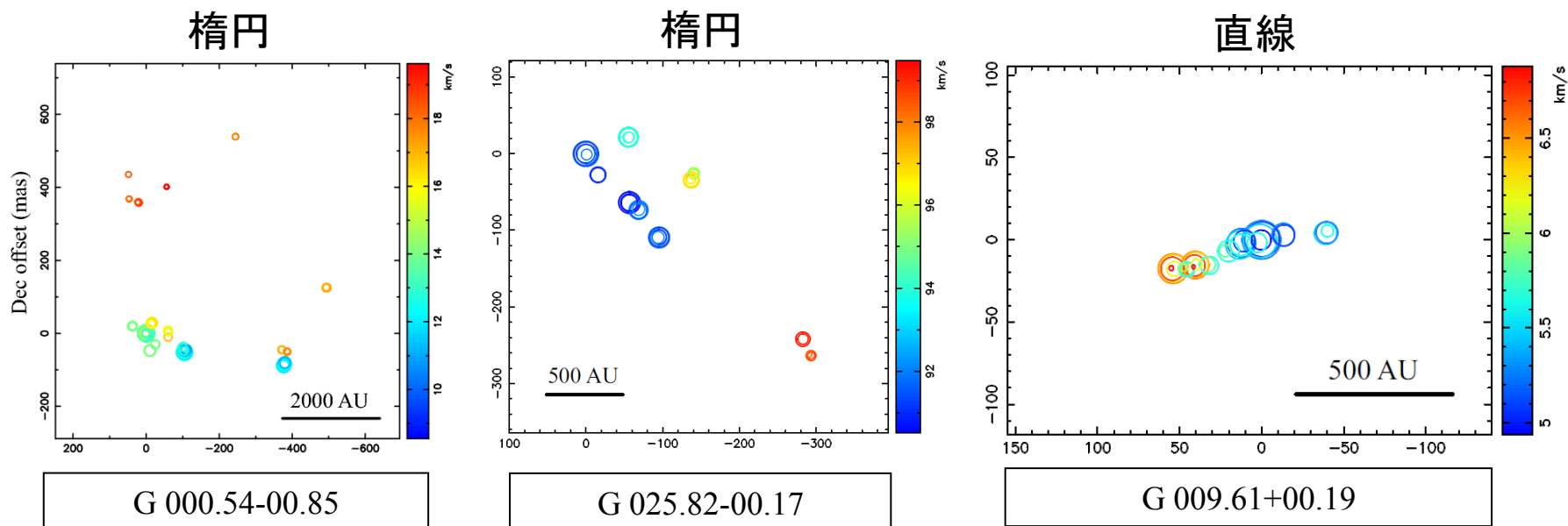
- VLBIイメージを元にした空間分布議論: Fujisawa+ (14)
- 固有運動計測結果は随時執筆中: Sugiyama+ submitted

# 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)

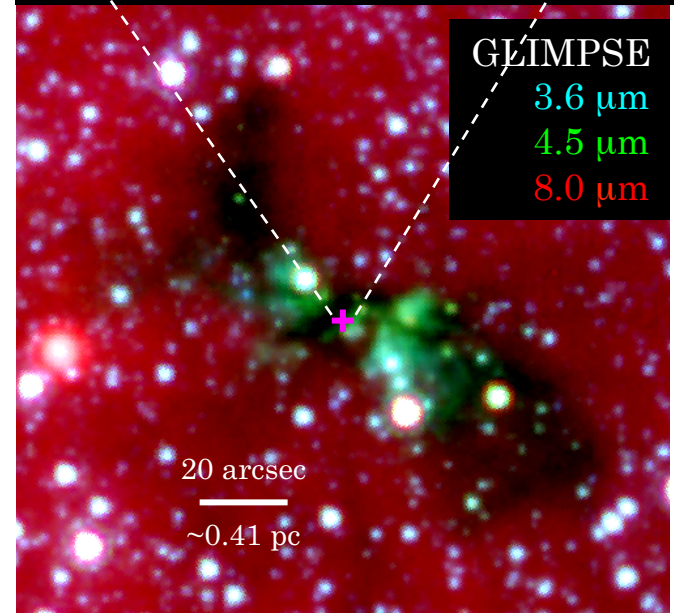
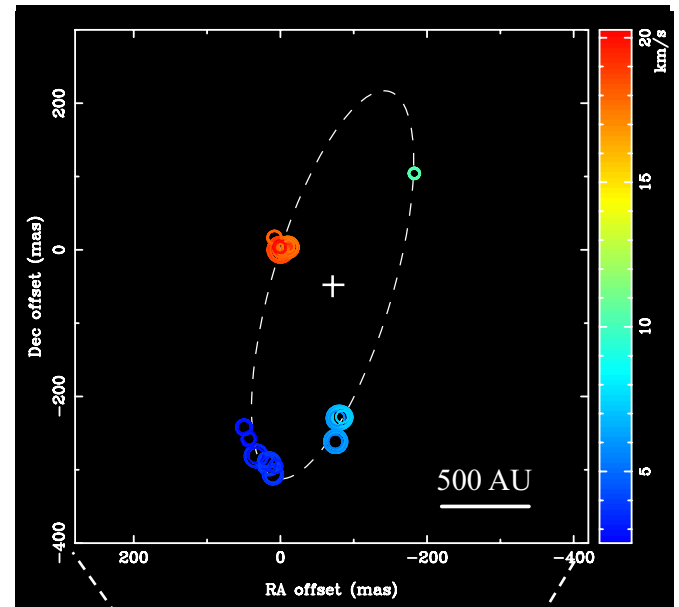
- Spitzer IRAC 4.5  $\mu\text{m}$  で  $\sim 10''$  に伸びた放射
- 若い大質量原始星からのアウトフローに起因するショック／反射光

## □ 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

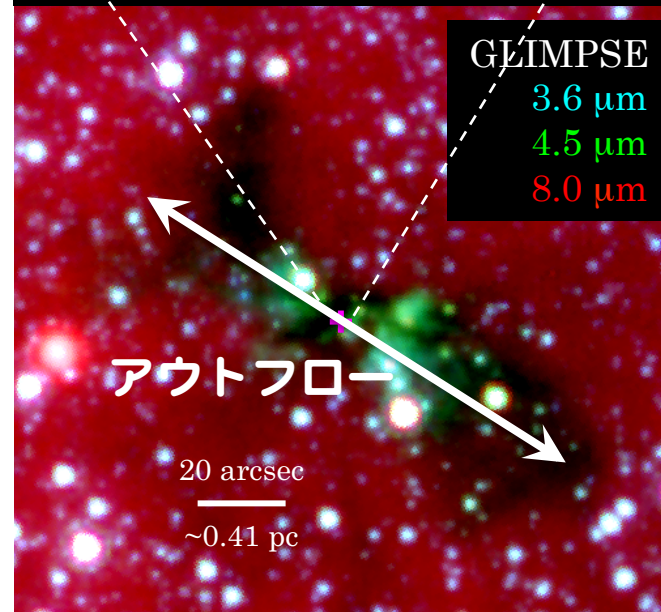
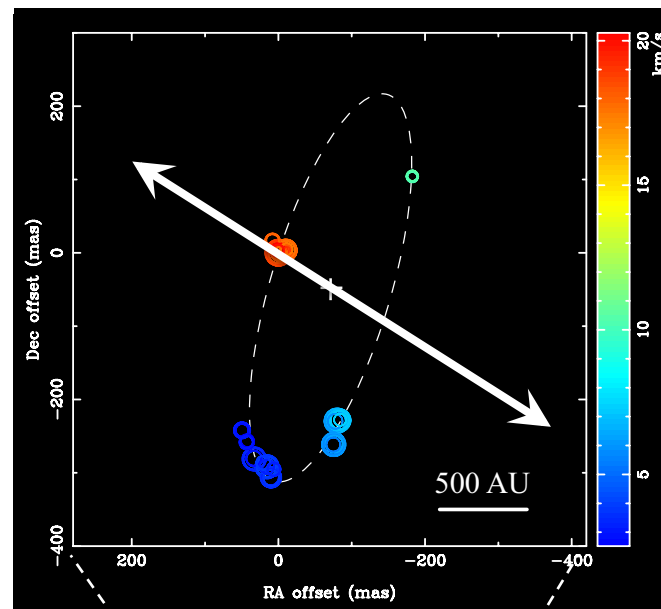
## □ Extended Green Object (Cyganowski+ 08)

- Spitzer IRAC 4.5  $\mu\text{m}$  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

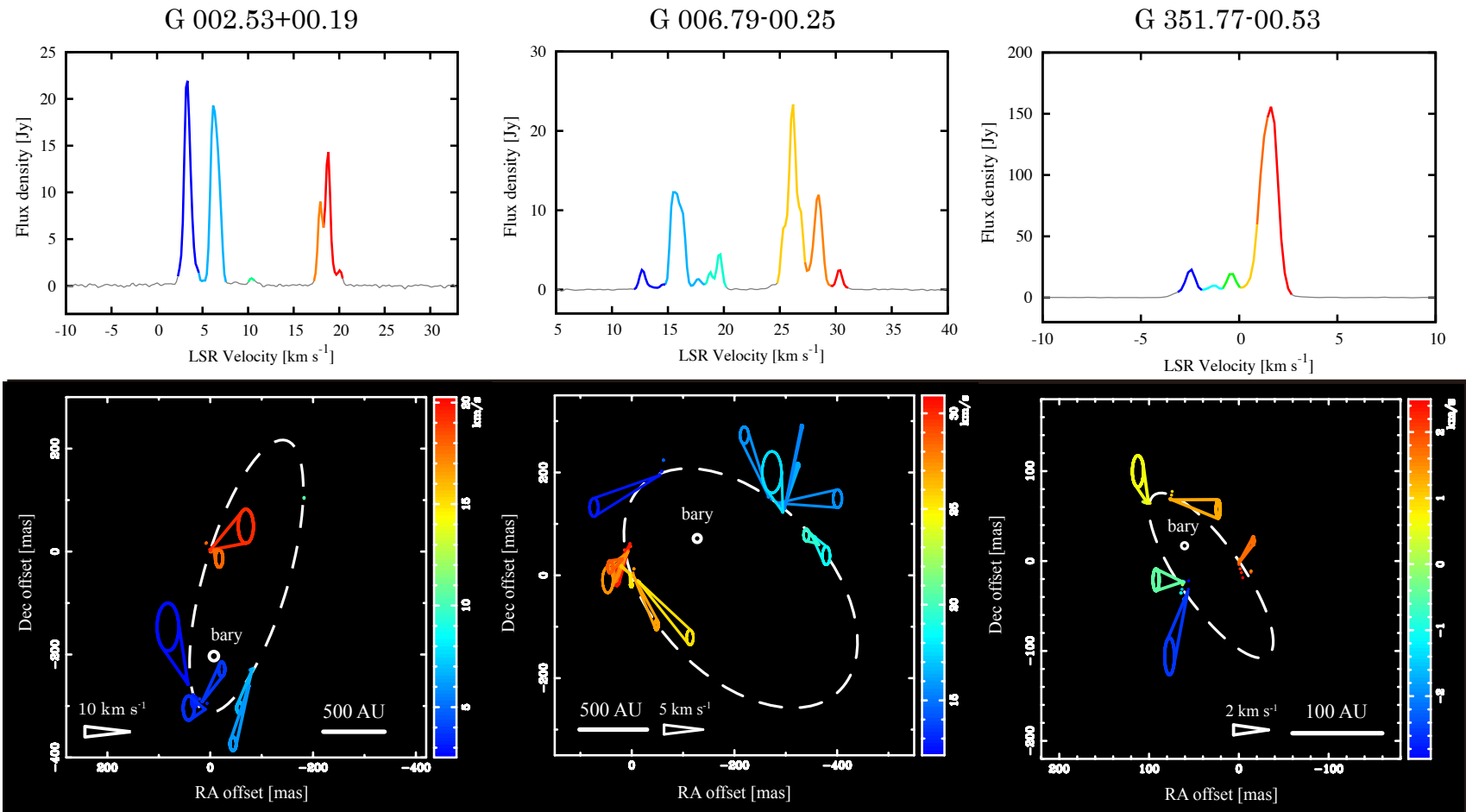
G 002.53+00.19



**回転 (+膨張／降着) 円盤  
付随の有力候補になり得る！**

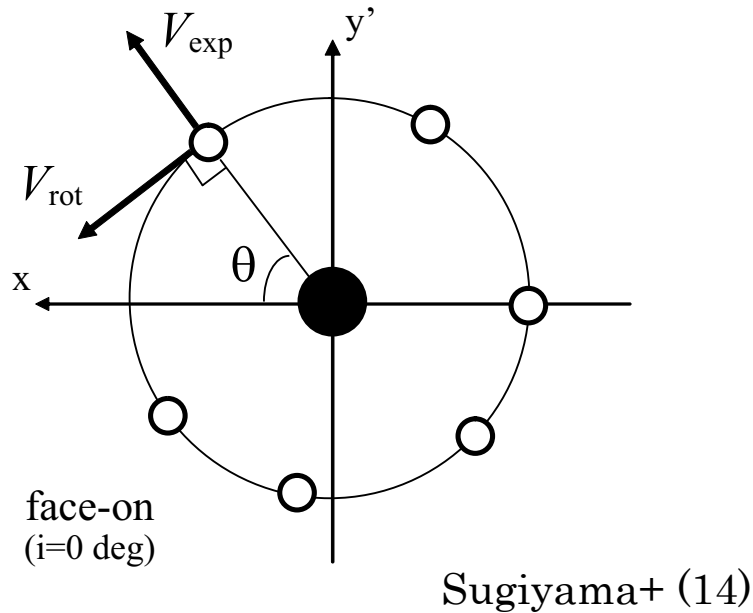
EGOs from NASA/IPAC IRSA web-site

# 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

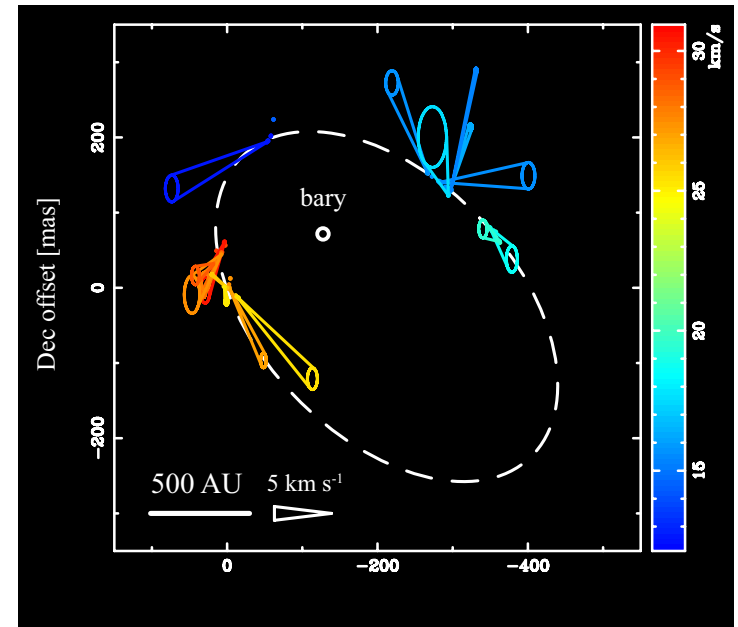


$$V_{x'}^{\text{calc}} = V_{\text{rot}} \sin \theta + V_{\text{exp}} \cos \theta$$

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

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

( $V_{\text{rot}}$ : 回転速度;  $V_{\text{exp}}$ : 膨張速度;  $V_{\text{sys}}$ : 系統速度)  
( $\theta$ : 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



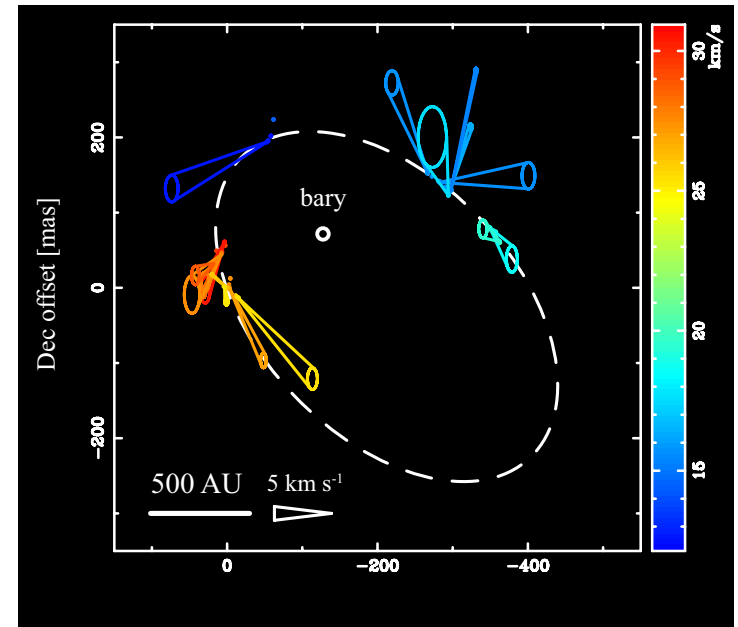
# 回転 + 膨張 / 降着 モデルフィット

- 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

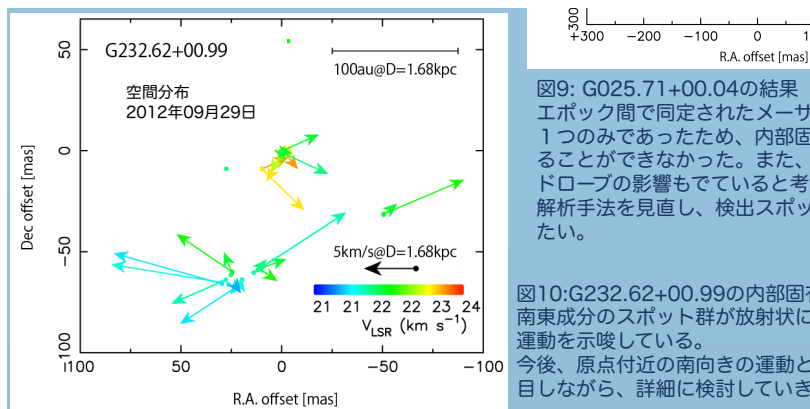
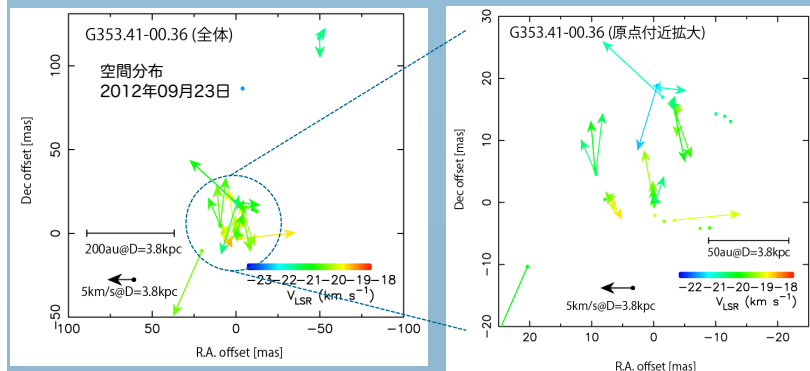
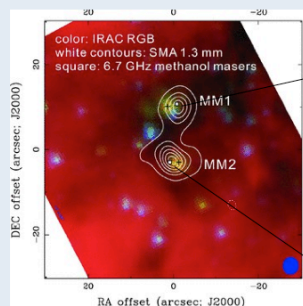


図10: G232.62+00.99の内部固有運動。南東成分のスポット群が放射状に運動を示唆している。今後、原点付近の南向きの運動と目しながら、詳細に検討していきたい。

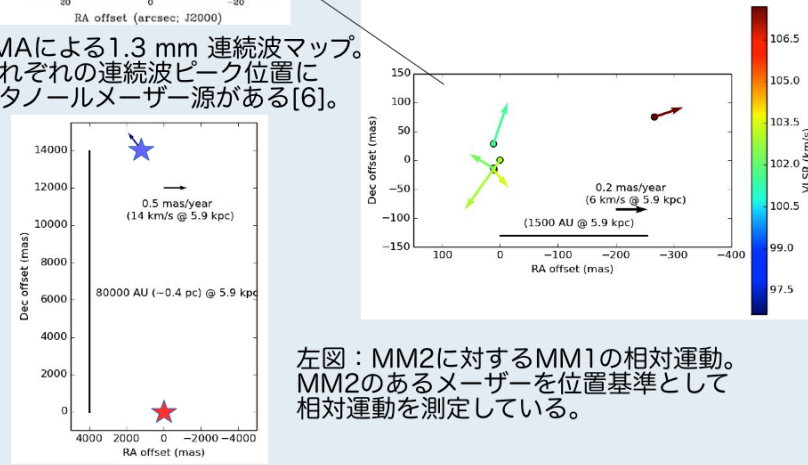
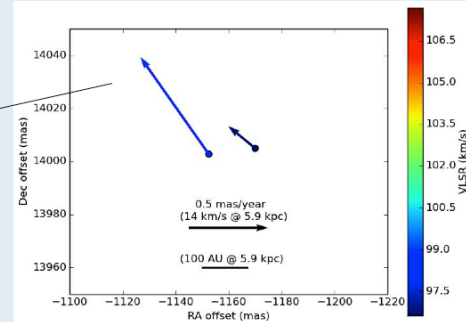


## B39c, 蜂須賀 他 ペア

### 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