



山口大学

第9回 水沢VLBI観測所-UM @ NAOJ 三鷹  
2011, 09, 28-29

# EAVNを用いた6.7GHzメタノールメーザー VLBI長期モニターの現状と今後

杉山 孝一郎

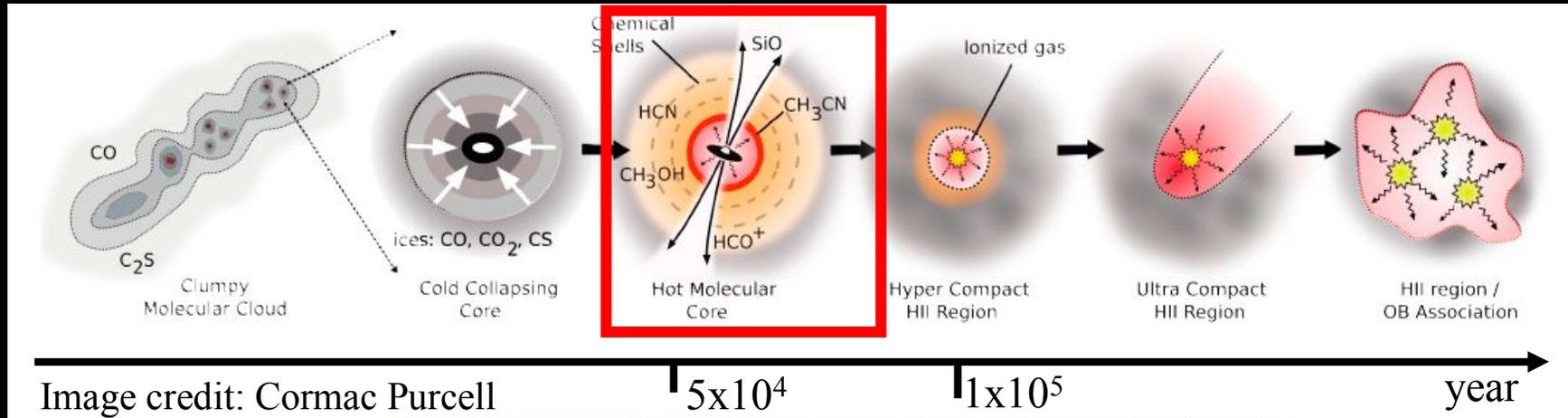
(山口大学)

藤沢 健太(山口大)、蜂須 賀一也、Shen, Z.-Q. (SHAO)、米倉 覚則(茨城大)、  
本間 希樹、廣田 朋也、澤田-佐藤 聡子(NAOJ)、村田 泰宏、土居 明広(ISAS/JAXA)、  
元木 業人(北海道大)、小川 英夫(大阪府立大)、Kim, K.-T. (KASI)

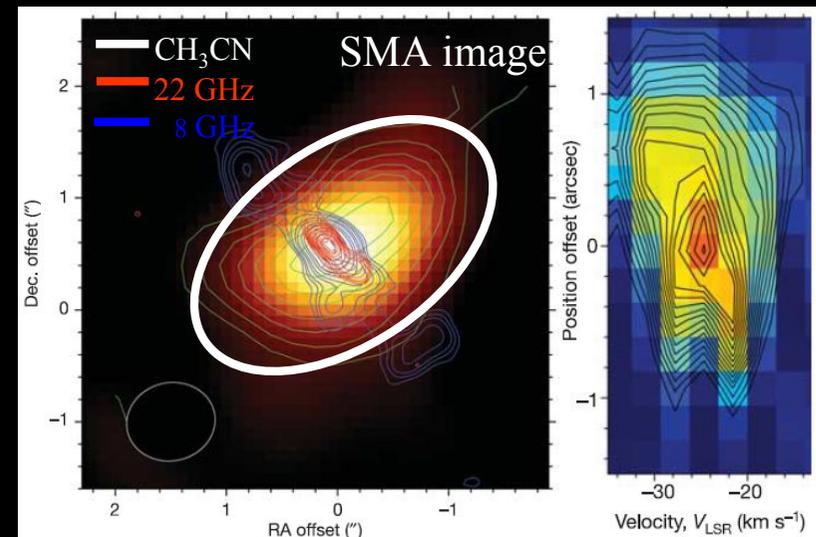
# 目次

1. プロジェクト背景
2. EAVNによるメタノールメーカーVLBIモニター
  - 1 epoch目: イメージングスナップショット
3. 観測結果: 空間形状
4. 赤外線データとの比較: 進化段階
5. まとめ・今後の展望

# 大質量星の進化過程・回転円盤



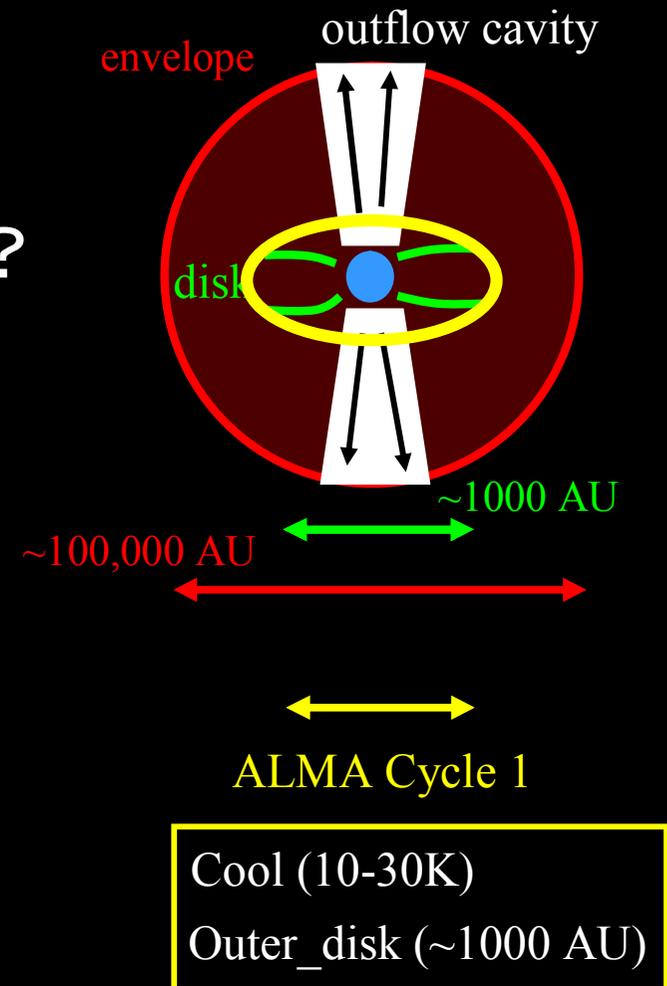
- HMC段階での大質量星形成過程、角運動量放出機構が重要
- 回転円盤の観測的検出
  - 分子輝線・赤外線干涉計
  - ジェット・フローに垂直・速度勾配
  - 中心星から 20-1000AUスケール



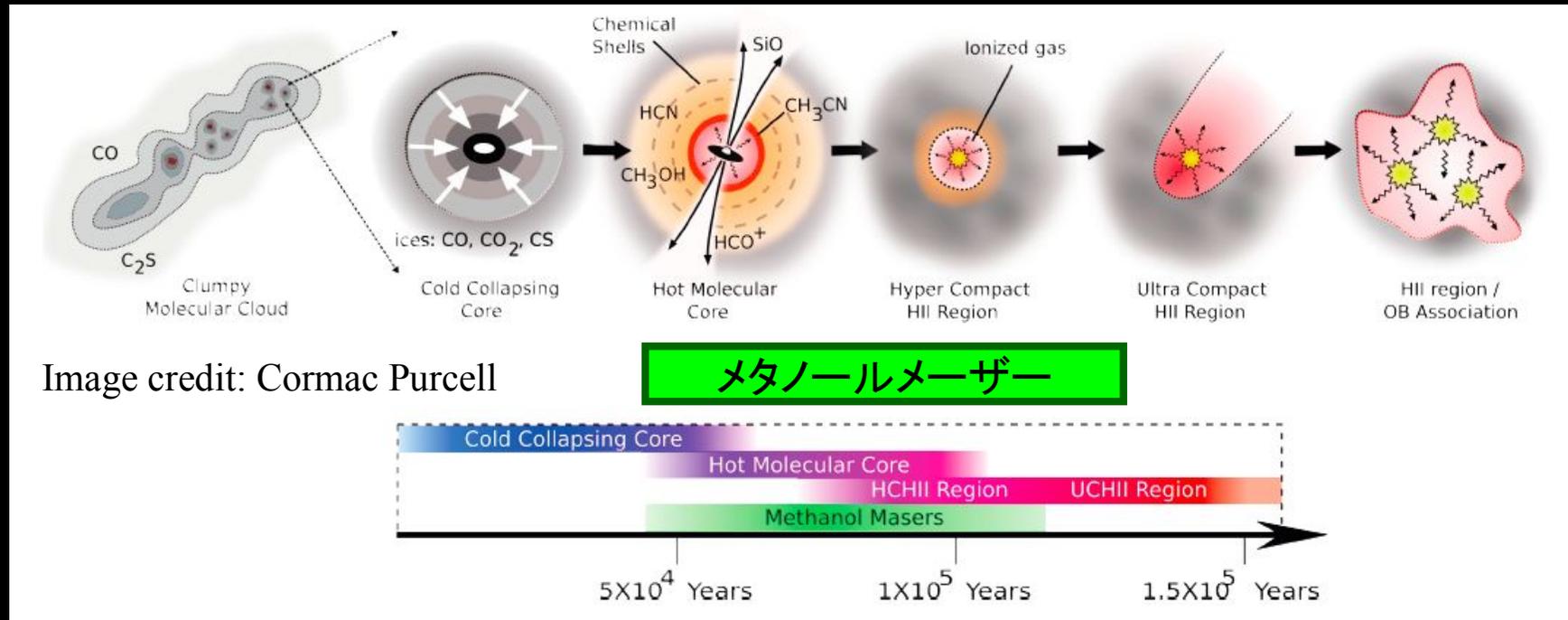
Cepheus A (Patel+ 05)

# 本プロジェクトの最終ゴール

- 円盤の進化過程解明
  - 降着現場を直接とらえる
  - いつ降着が止まる？ & 蒸発？
- VLBI & ALMA コラボ
  - VLBI
    - **メーザーの固有運動**  
(rotation or infall)
  - ALMA
    - **ダスト連続波：円盤分布**
    - **高密度分子ライン：速度場**



# 6.7 GHz メタノールメーザー

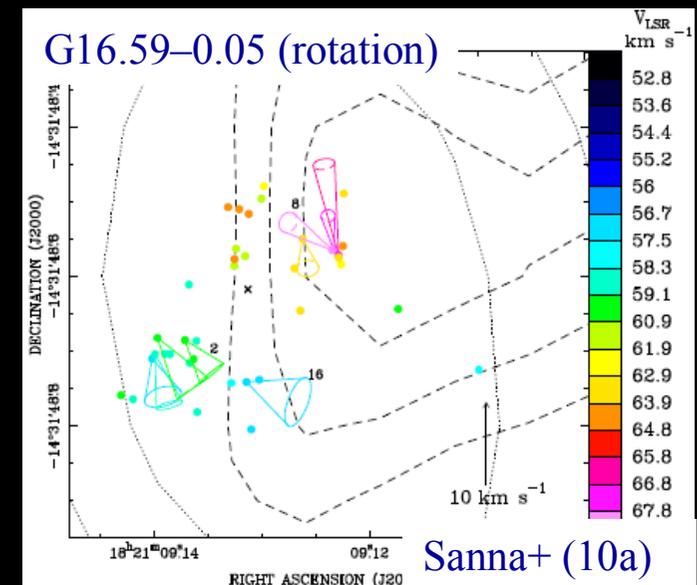
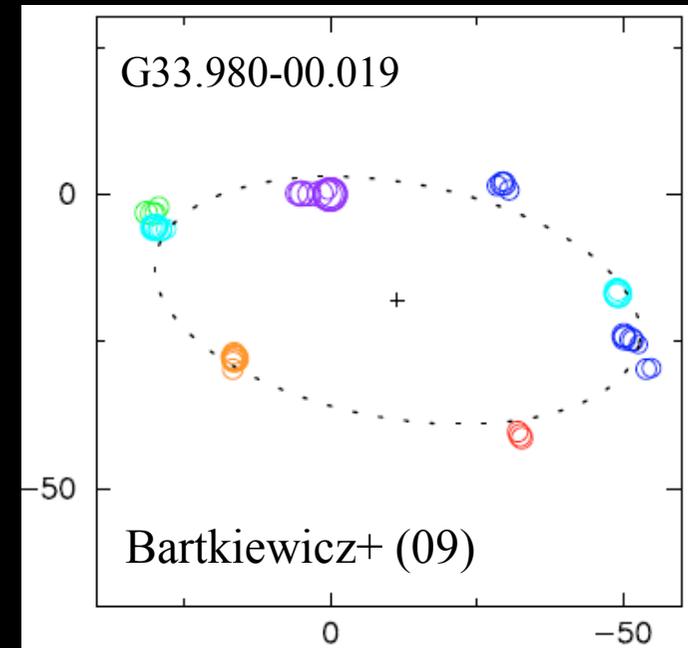


- サンプル多数：~900個
- 大質量星の進化初期で出現
- 100-200K程度の赤外線放射で励起

# 空間分布 & 運動

- VLBIは ~50天体
- 特徴的な空間分布
  - 直線形状
    - 速度勾配と共に
  - 楕円 / 円弧形状
    - IRAC 4.5  $\mu\text{m}$  に垂直
- いくつかで回転固有運動検出

大質量原始星周囲の回転  
円盤の良いトレーサーに



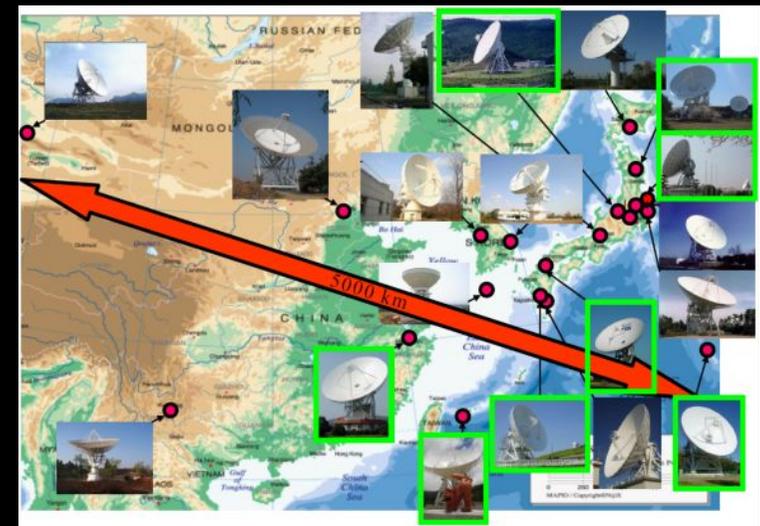
# 1 epoch目の観測目的

- 2010/08/28-30 からプロジェクト開始
- 1epoch目の観測目的
  - メタノールメーザーの楕円形状はユニバーサルなのか？
  - 形状の違いは何に起因？
  - 2 epoch目以降との比較で内部固有運動検出を目指す

EAVNを用いたメタノールメーザーの  
イメージングサーベイ

# 観測緒言

- 観測日 : 2010/08/28-30 @6.7G
- 参加局 : 日立, VERA, 上海
- 合成ビーム :  $\sim 15 \times 5 \text{ mas}^2$
- イメージrms :  $\sim 60 \text{ mJy beam}^{-1}$
- 観測天体
  1. 母体 : Pestalozzi+ (05), MMB2010
  2.  $\text{Dec} > -40 \text{ deg}$  ( 主に  $\text{Dec} < 0 \text{ deg}$  )
  3.  $F_{\text{total}} > 65 \text{ Jy}$



東アジアVLBI観測網 (EAVN)



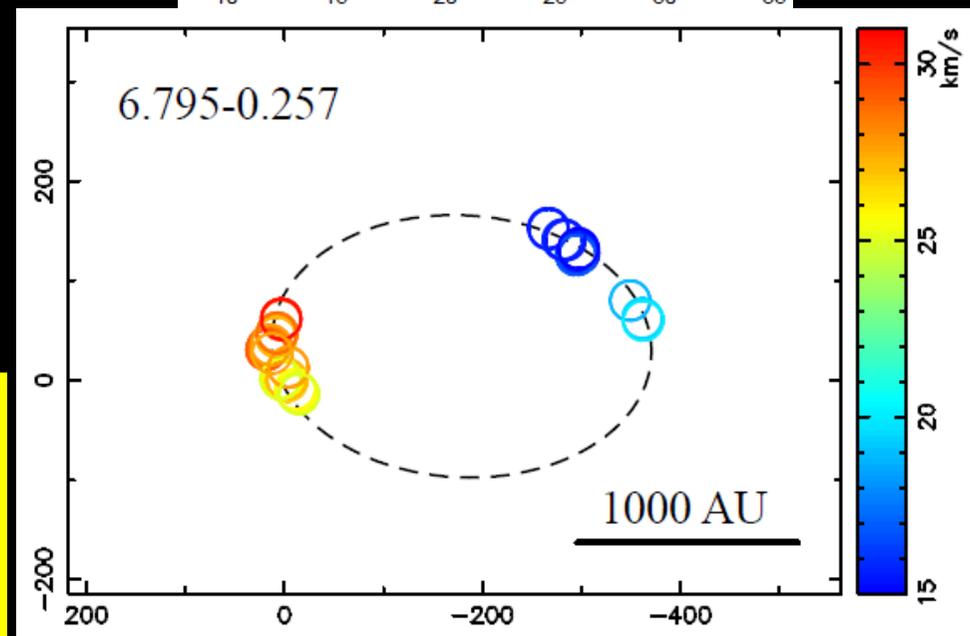
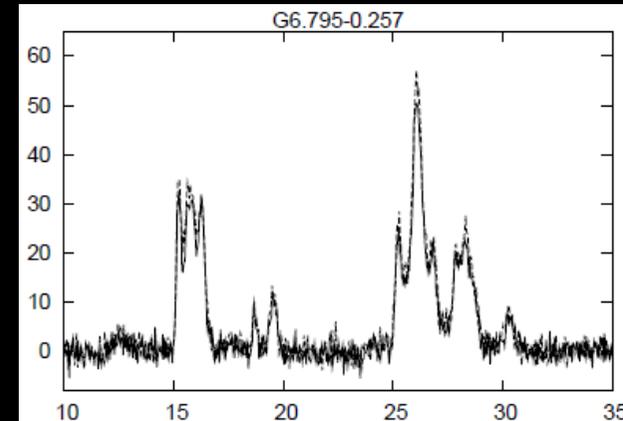
39 天体選出 (EGOs天体含む)

1epoch目では 22 天体観測

# 觀測結果

# 楕円 : 3 / 22 (14%)

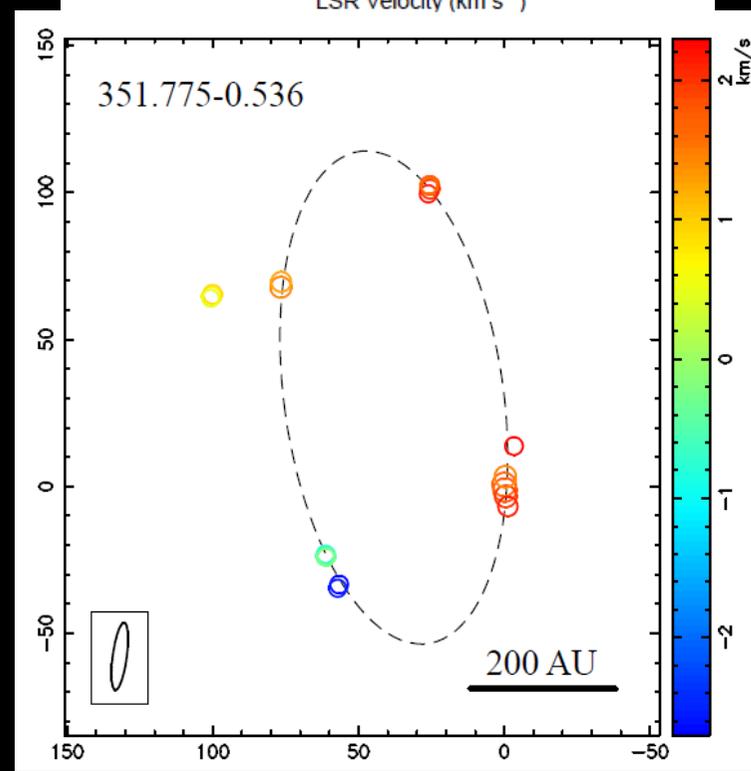
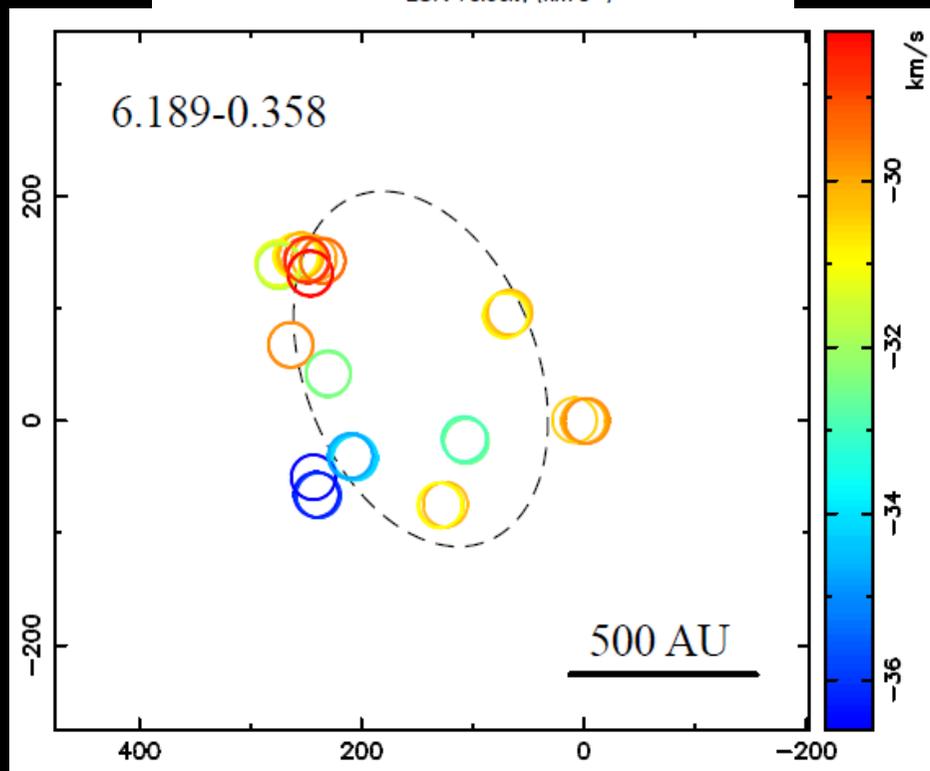
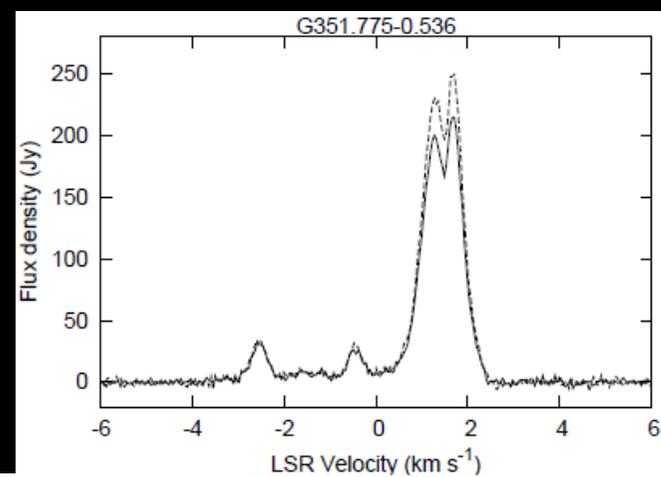
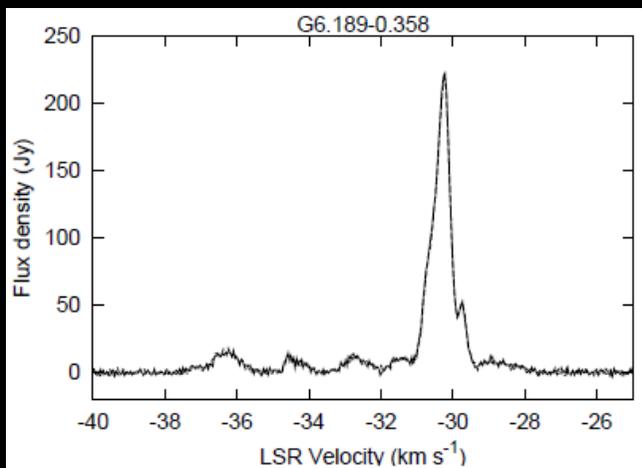
- 楕円形状を示す天体は3天体
- 速度勾配を示した天体は G6.795-0.257のみ
- 降着成分を伴う
- 2epoch目以降の回転・降着固有運動検出の最有力候補



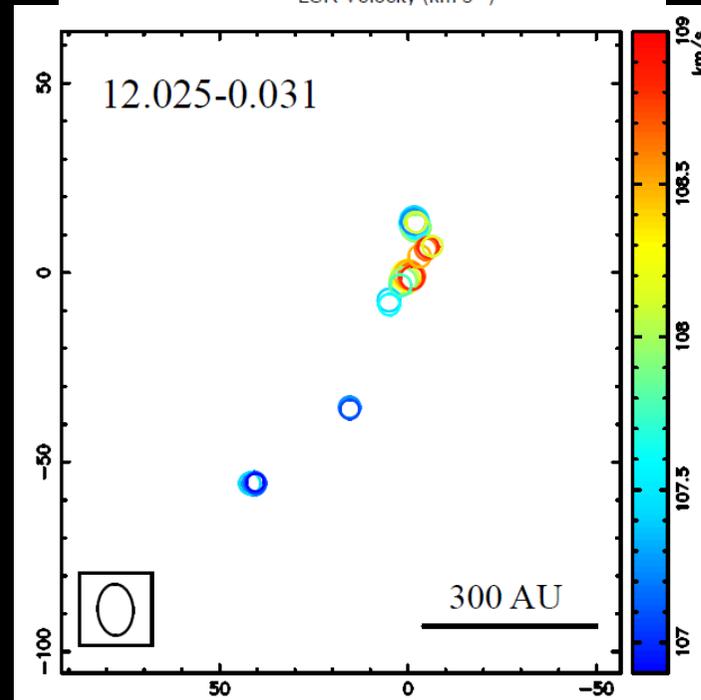
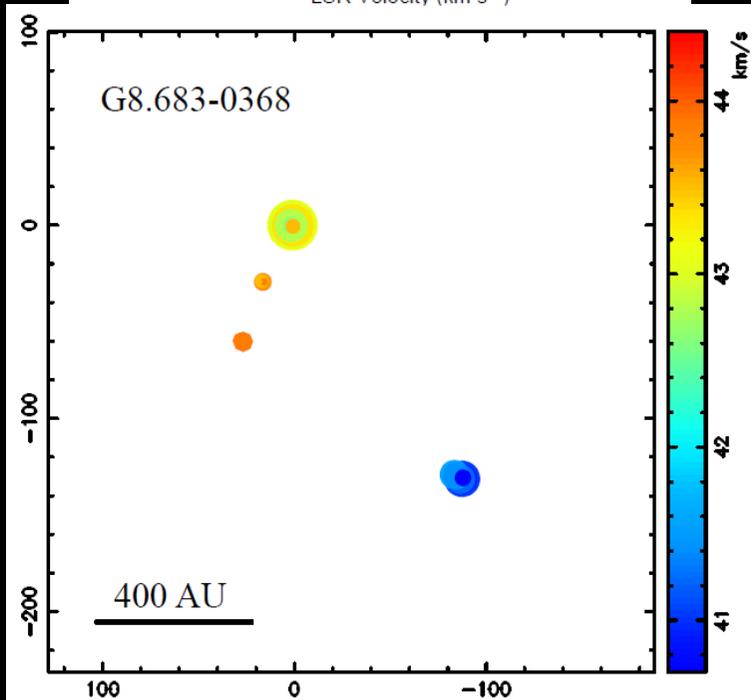
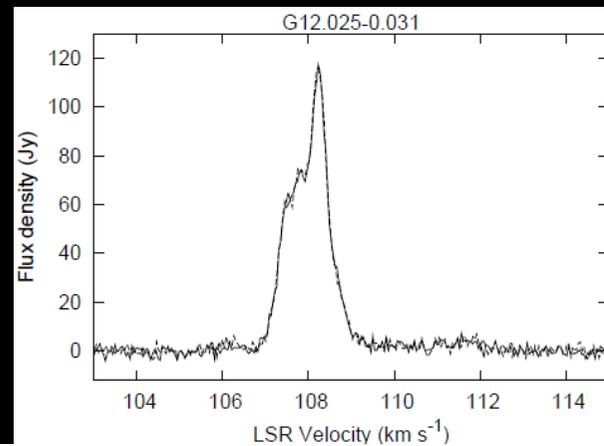
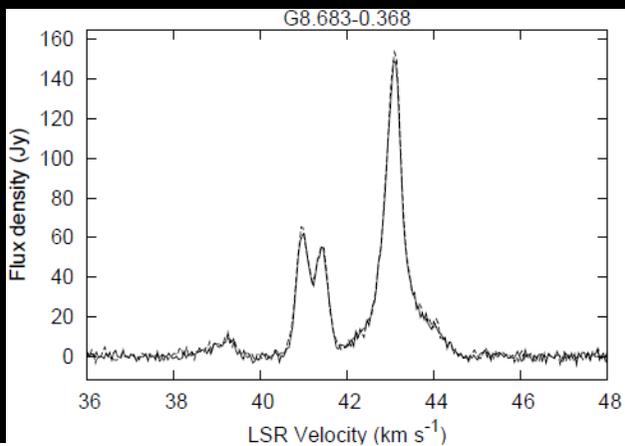
$$V_{\text{inf}} : 2.1 \text{ km/s}$$

$$V_{\text{rot}} : 7.8 \text{ km/s}$$

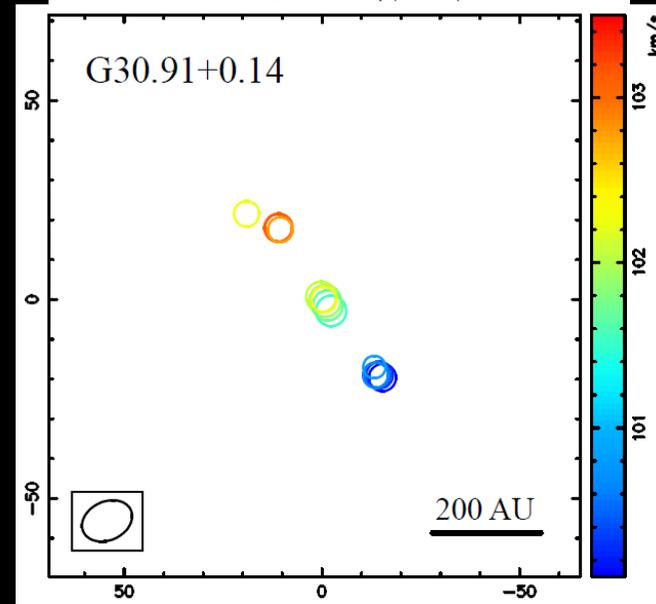
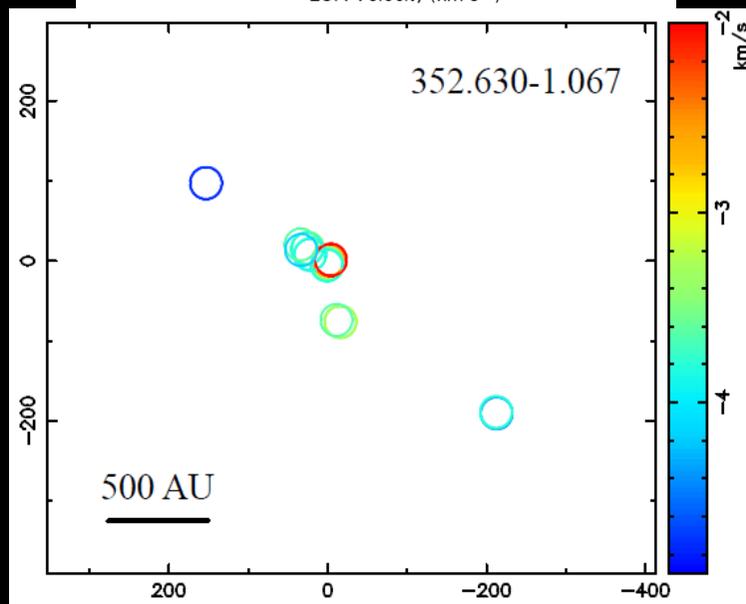
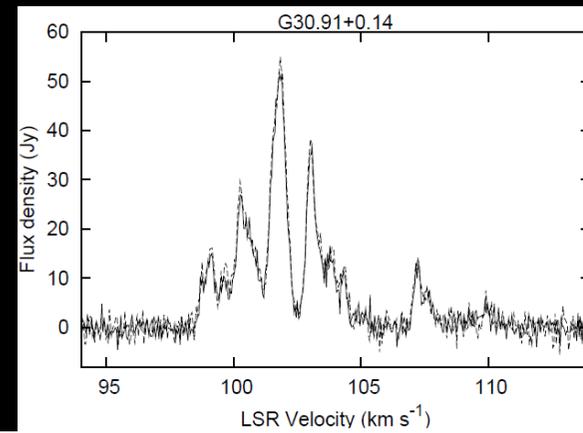
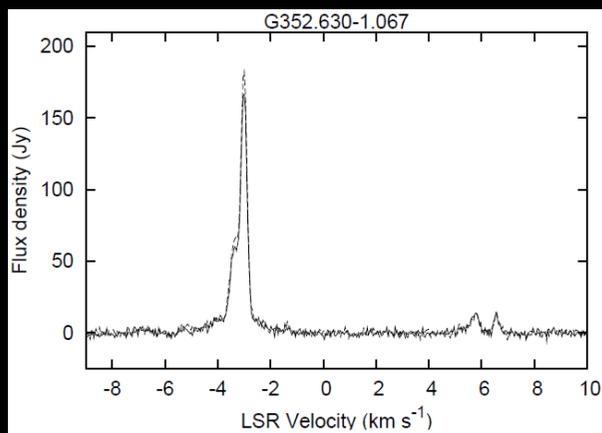
$$V_{\text{sys}} : 27.7 \text{ km/s}$$



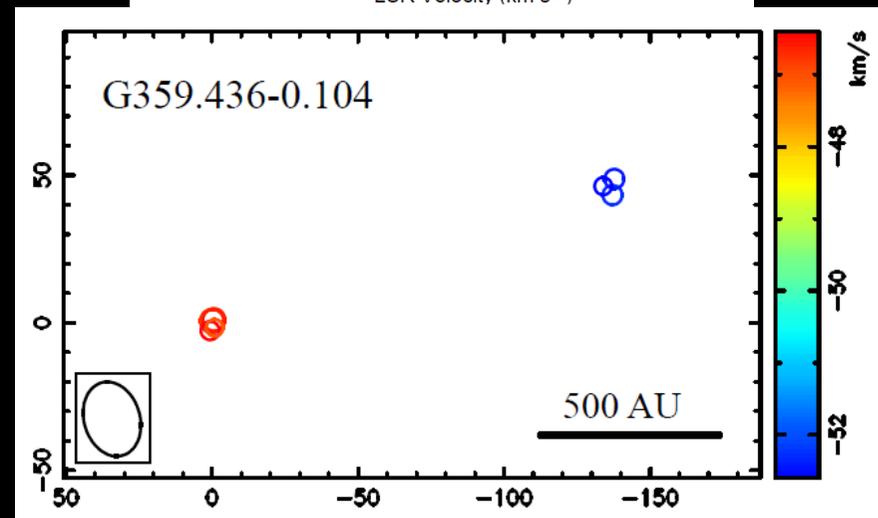
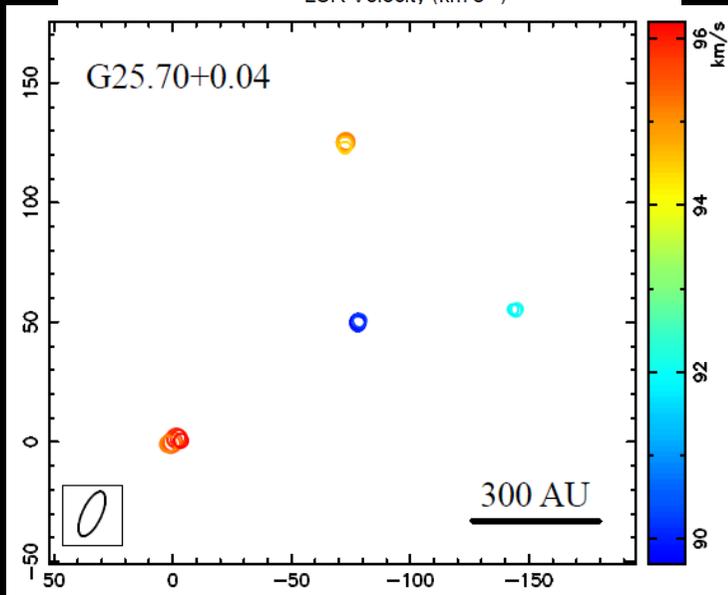
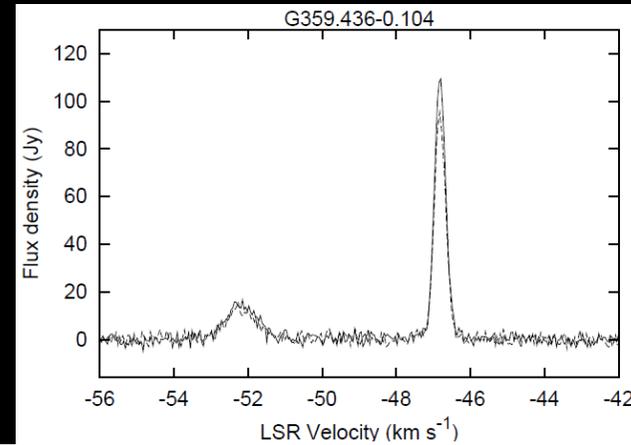
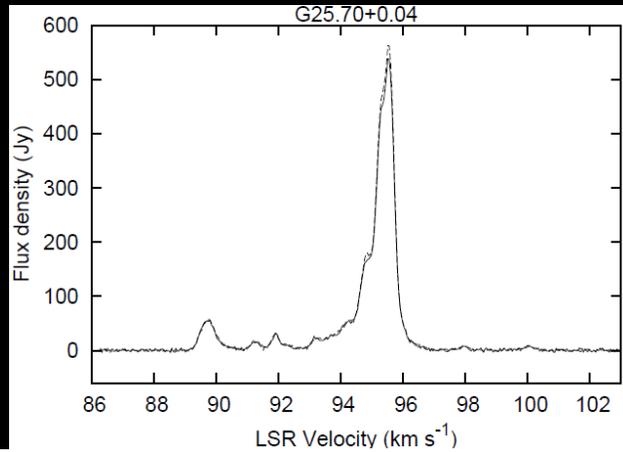
# 円弧 : 2 / 22 (9%)



# 直線 : 6 / 22 (27%)



complex : 5 / 22 (23%), ペア : 6 / 22 (27%)



# 空間形状のまとめ

- EAVNを用いて 22天体観測
- 5種類の形状に分類
  - 楕円 3 (14%), 円弧 2 (9%)
  - 直線 6 (27%)
  - complex 5 (23%), ペア 6 (27%)

**楕円形状はユニバーサルではない**

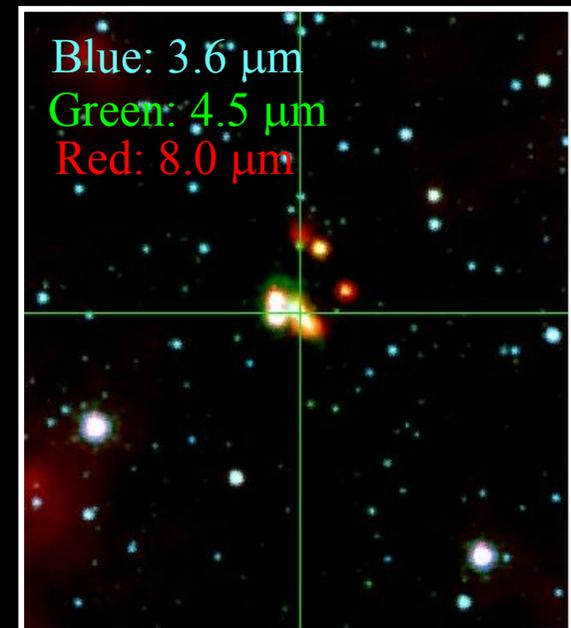
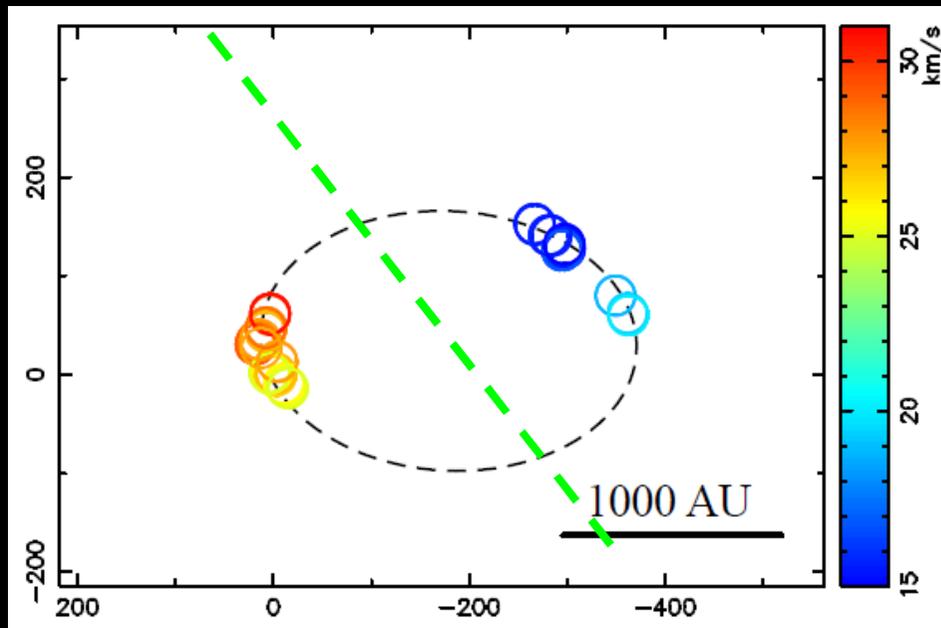
形状の違いは何に起因？

# 赤外線データとの比較

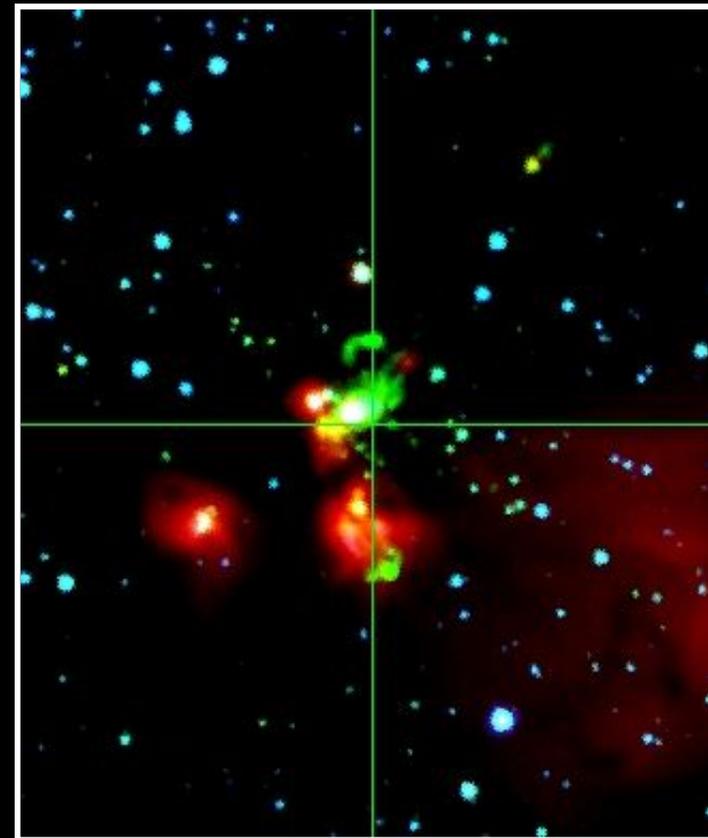
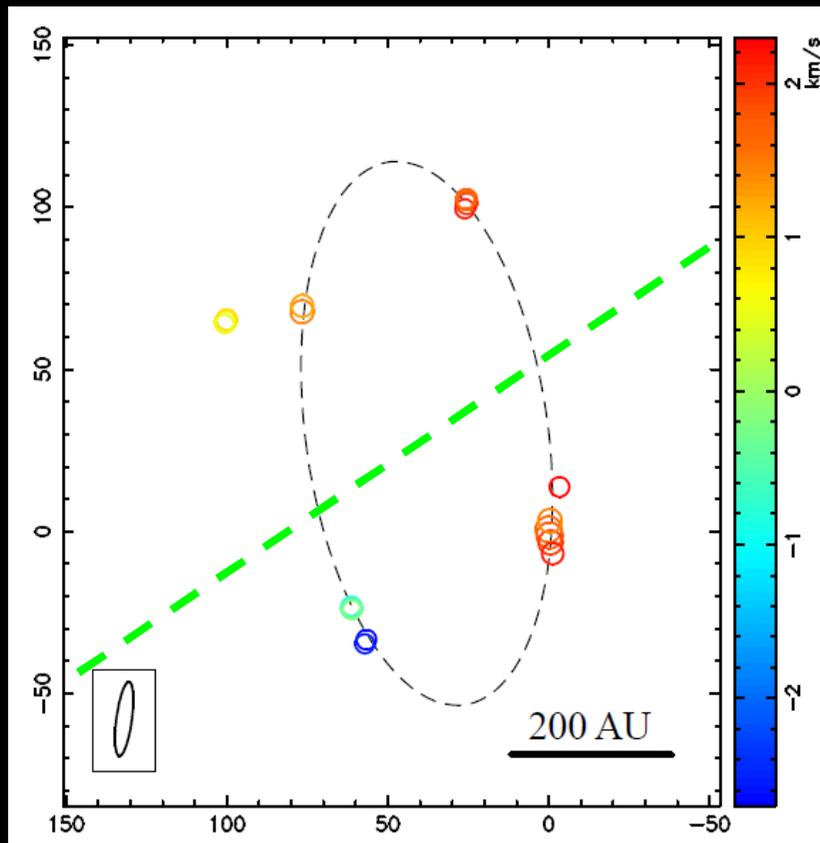
# 考察 1 : EGOs との空間関係

- EGOs : IRAC 4.5  $\mu\text{m}$  で  $\sim 30''$  に伸びた放射 : ショック
- 楕円 : 2/3, 円弧 : 0/2, 直線 : 1/6
- 楕円の長軸が EGOs に垂直に分布

→ 円盤 ?



# 楕円 vs EGO

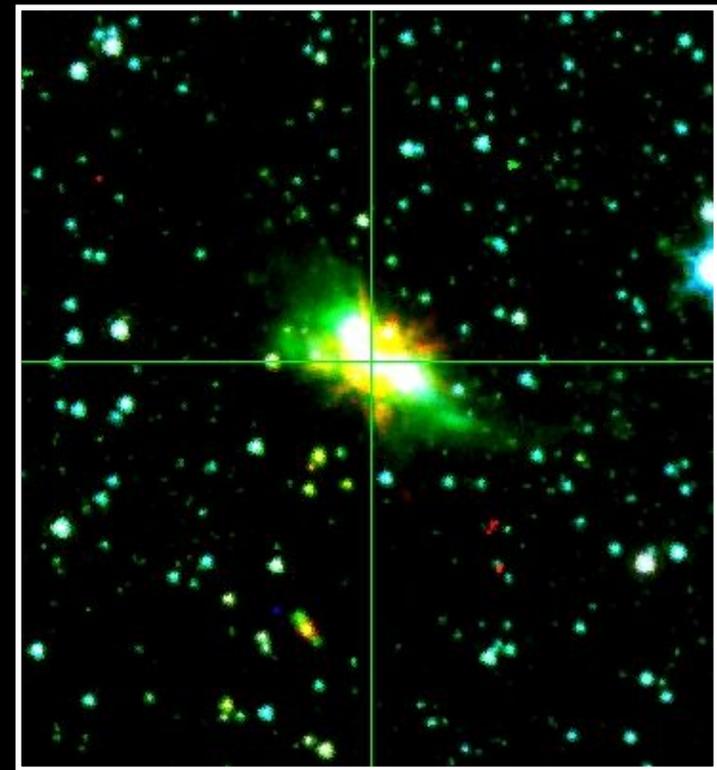
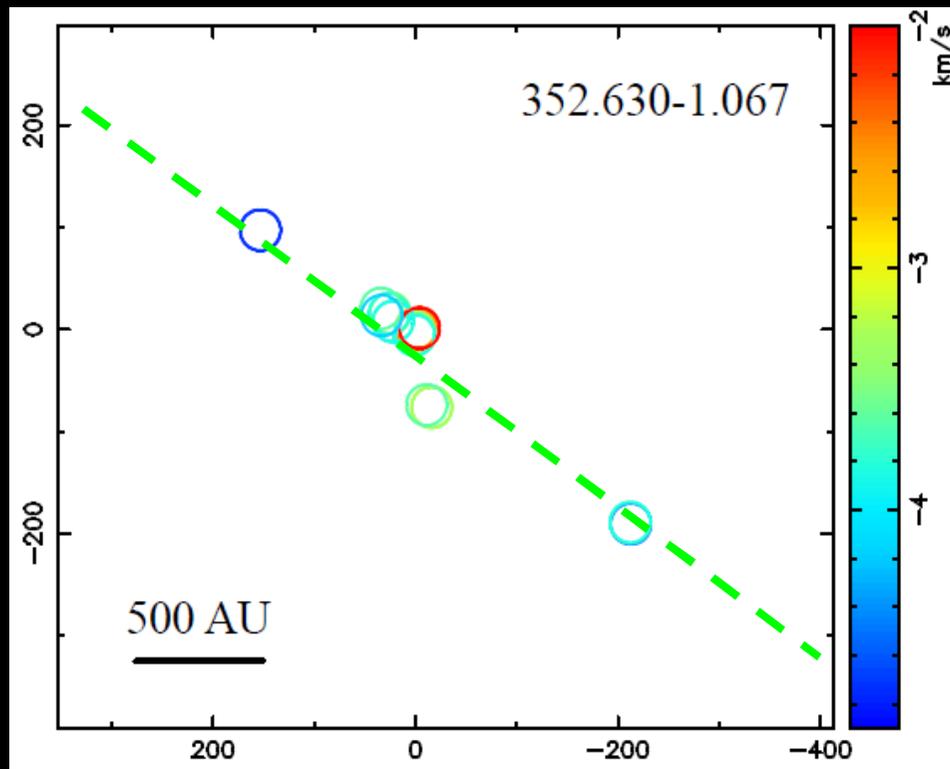


<http://irsa.ipac.caltech.edu/data/SPITZER/GLIMPSE/> (made by Hachisuka)

# 直線 vs EGO

➤ EGOに平行に伸びて分布

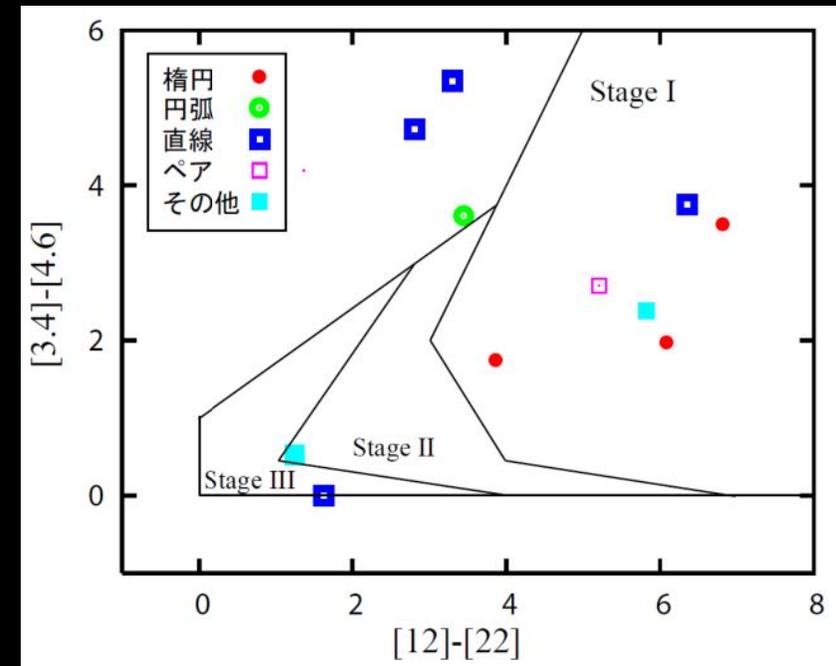
→ アウトフロー ?



# 考察 2：付随原始星の進化段階

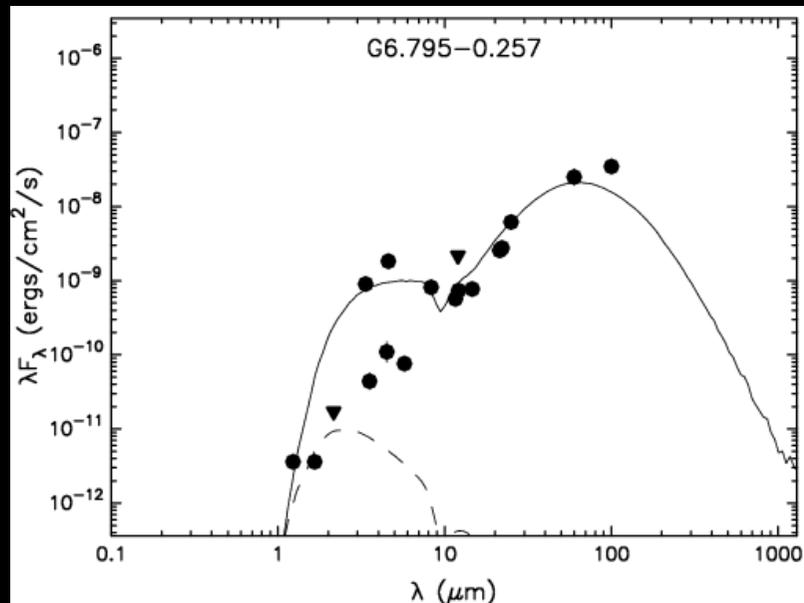
- WISEデータを用いたcolor-colorプロット
  - 4波長: 3.4, 4.6, 12, 22  $\mu\text{m}$
  - [3.4]-[4.6] vs [12]-[22]
  - 11/22 天体で議論
- 進化段階分類 (Robitaille+ 06)
  - $\dot{M}_{\text{env}} > 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
  - $\dot{M}_{\text{env}} < 10^{-6}, \dot{M}_{\text{disk}} > 10^{-6}$
  - $\dot{M}_{\text{env}} < 10^{-6}, \dot{M}_{\text{disk}} < 10^{-6}$
- 楕円天体は全てStage Iに分類

## 大質量原始星進化の初期

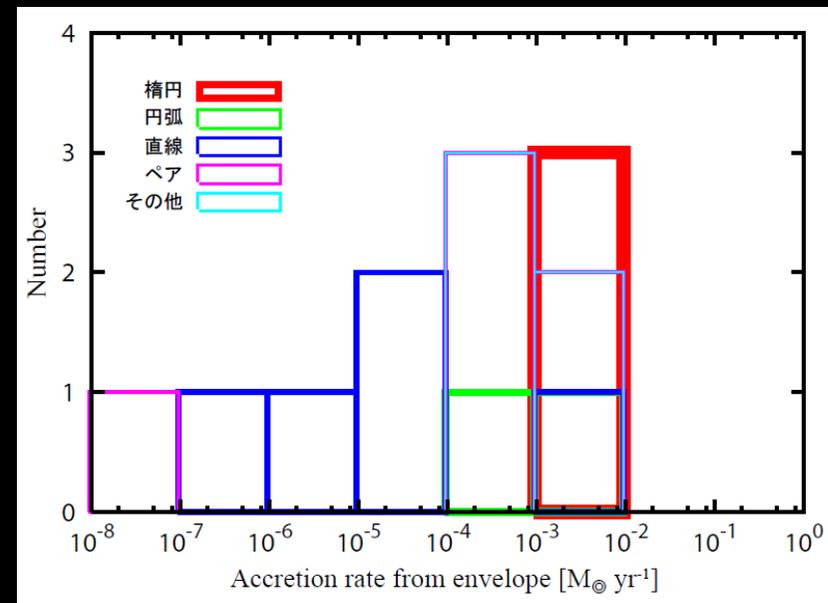


3.4 $\mu\text{m}$ と4.6 $\mu\text{m}$ 強度比と12 $\mu\text{m}$ と22 $\mu\text{m}$ 強度比を用いた2色図

# 考察 3 : gray body SED フィット



楕円天体G6.795-0.257のgray body SED



エンベロープからの質量降着率ヒストグラム

- 近～遠赤外データを用いたSEDフィット : 19/22 天体で議論
- $\dot{M}_{\text{env}}$  : 球状自由落下を仮定した密度プロファイルから導出
- 楕円形状を示す天体が  $\dot{M}_{\text{env}} \sim 10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$  に集中

エンベロープからの質量供給が盛んな進化初期で出現

# まとめ

## 目的

- 大質量原始星周囲の回転円盤進化の解明
- VLBIとALMAのコラボ
  - VLBI : 6.7GHzメタノールレーザーの内部固有運動
  - ALMA : ダスト連続波の物理パラメータ,  
分子輝線の視線速度構造

## 観測

- EAVNを用いたVLBIイメージングサーベイ
  - 22天体のVLBIマップ取得に成功
  - 楕円形状はわずか3天体のみ ⇒ ユニバーサルではない
- 形状の違いを赤外線データと比較することで議論
  - 楕円天体はEGOに垂直
  - 質量降着が盛んな時期に出現

楕円形状は進化初期の  
回転円盤をトレース？

# 今後の展望

- 2011/10/26-29 に EAVN 2epoch目実施予定
  - 内部固有運動の計測を試みる
- ATCAを用いた偏波観測
  - プロポーザルアクセプト済み
  - 2012/02/11-19 実施予定
- ターゲット天体に付随する水メーザーを用いた年周視差距離計測の観測提案
  - 空間的拡がりや光度などの物理パラメータ決定