

# JVNによる 6.7 GHz メタノールメーザの 内部固有運動計測

山口大学大学院 博士後期課程 1年  
杉山 孝一郎

1. 6.7 GHz メタノールメーザ
2. Cepheus A
3. Onsala 1
4. まとめ・今後の展望

# 6.7 GHz メタノールメーザ

## ■ 大質量星形成領域の研究(特に大質量星形成過程)

- 大質量星形成領域のみから検出
- 非常に強度が強い(水メーザに次いで2番目)
- スポットサイズがコンパクト: 1-数10AU
- 非常に若い進化段階をトレース:  $\sim 10^4$  年

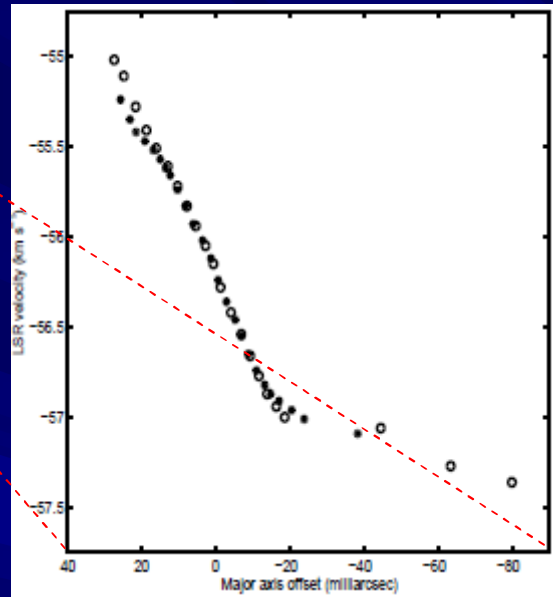
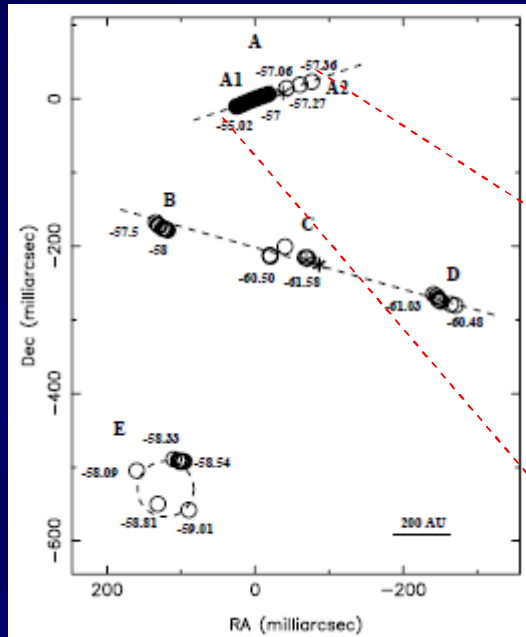
## ■ アstrometryの研究

- サンプル多数:  $\sim 800$ 天体 (Pestalozzi et al. 2005 & 無バイアス)
- スポットが安定: 少なくとも4年
- 水蒸気の影響を受けにくい  $\Rightarrow$  年中通して観測可能

## ■ 基本的描像がはっきりしていない

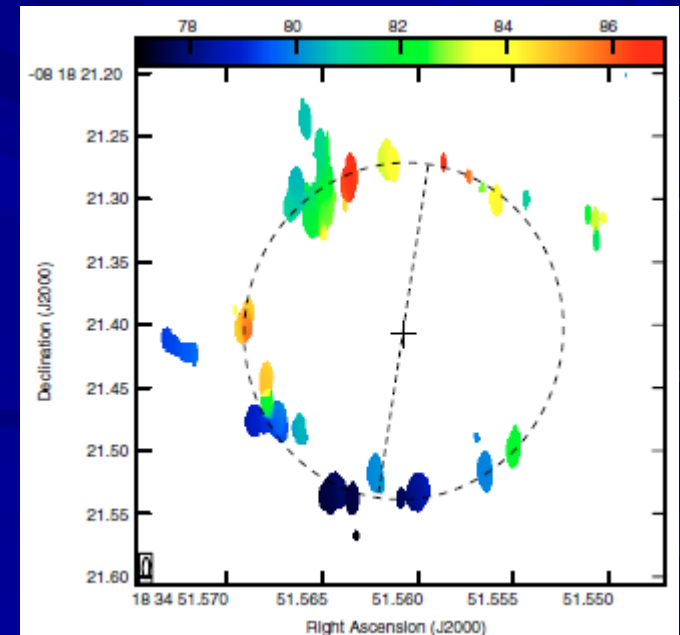
- 発生場所: 円盤 or アウトフロー(ショック領域)?
- 励起メカニズム: 赤外線 or 衝突?
- 強度変動メカニズム: 種光子変動 or 中心星変動?

# 発生場所1：円盤



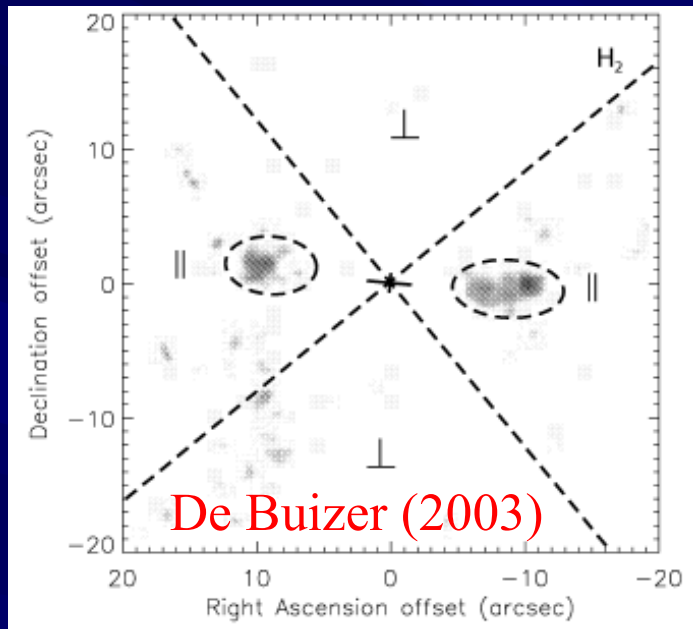
NGC 7538  
(Minier et al. 2000)

G 23.657-0.127  
Bartkiewicz et al. (2005)



- Edge-on 回轉円盤 (同心円)
  - 直線空間構造 & 直線速度勾配
- Face-on 円盤 (Bartkiewicz et al. 2005)
- インフォール? (Goddi et al. 2007)

# 発生場所2：アウトフロー or ショック



## ■ アウトフロー

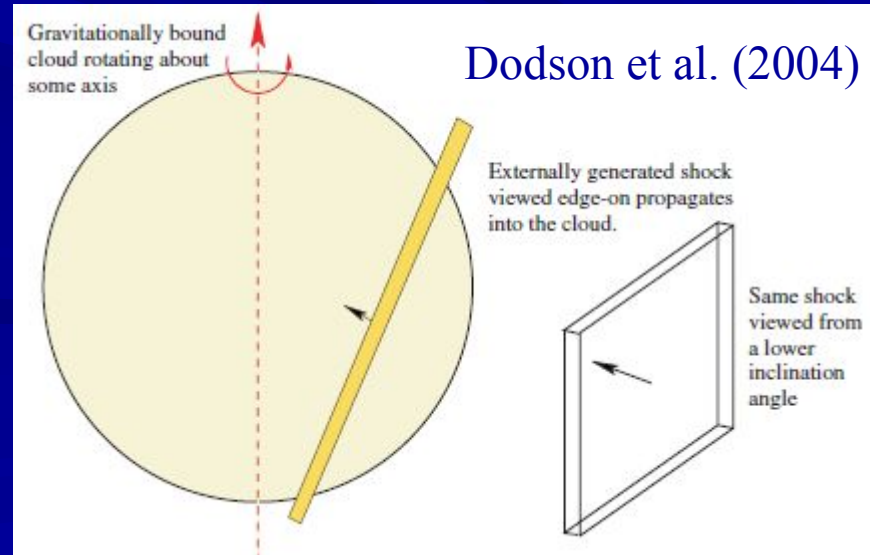
- 60% 程度が NOT 直線
- 低速度 ( $< 10 \text{ km s}^{-1}$ )
- $\text{H}_2$  emission に平行 (De Buizer 2003 ←)
- $\text{W3(OH)}$  @ 12.2 GHz にて膨張内部固有運動 (Moscadelli et al. 2002)

## ■ コニカルなアウトフロー

## ■ 回転分子雲 & 平面ショック

(Dodson et al. 2004 →)

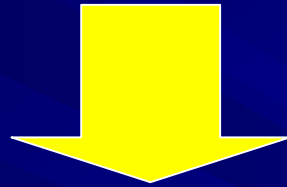
- 視線方向に垂直に伝播
- 分子雲の回転
- 回転軸とショック面間に傾斜



Dodson et al. (2004)

# 研究目的・アプローチ

## ■ メタノールメーザの発生場所の特定



### 1. 間接的: 他プローブとの絶対位置比較

- 水メーザ: 内部固有運動が計測可能
- 連続波: UC HII 領域、ダスト放射
- 分子輝線: 分子アウトフロー、回転円盤・トロイド

### 2. 直接的: 内部固有運動計測

- 2エポック間

# 観測テーブル with JVN at 6.7 GHz

- 速度分解能 :  $0.176 \text{ km s}^{-1}$
- 合成ビーム (平均) :  $\sim 7 \times 3 \text{ mas}^2$



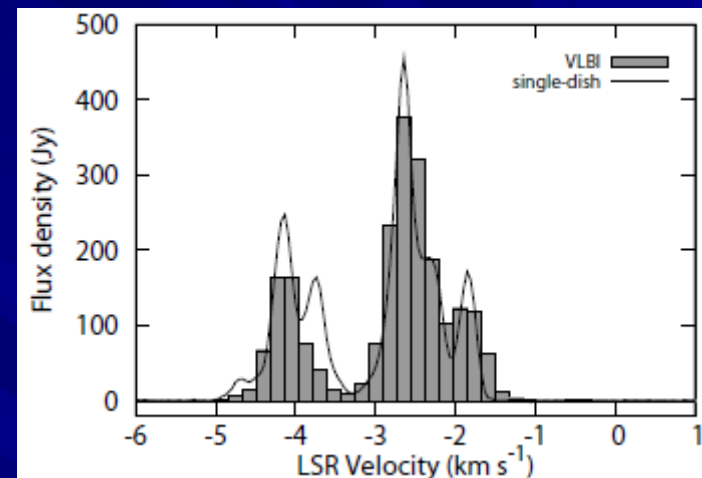
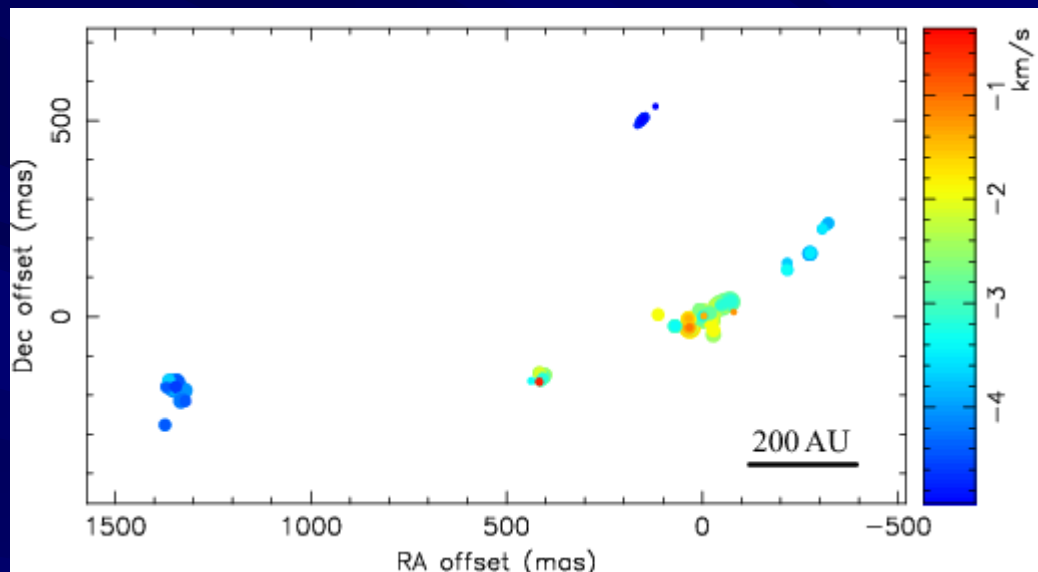
	Cep A		ON 1	
観測日	2006 / 09	2007 / 08	2006 / 09	2008 / 05
参加局	山, 臼, 水, 石	山, 臼, 水, 石, 入	山, 臼, 水, 石	山, 水, 石, 入, 笠
積分時間	2.8 hrs	2.1 hrs	3.4 hrs	1.5 hrs
イメージ感度*	160	150	150	80

\* : 単位は  $\text{mJy beam}^{-1}$

# Cepheus A



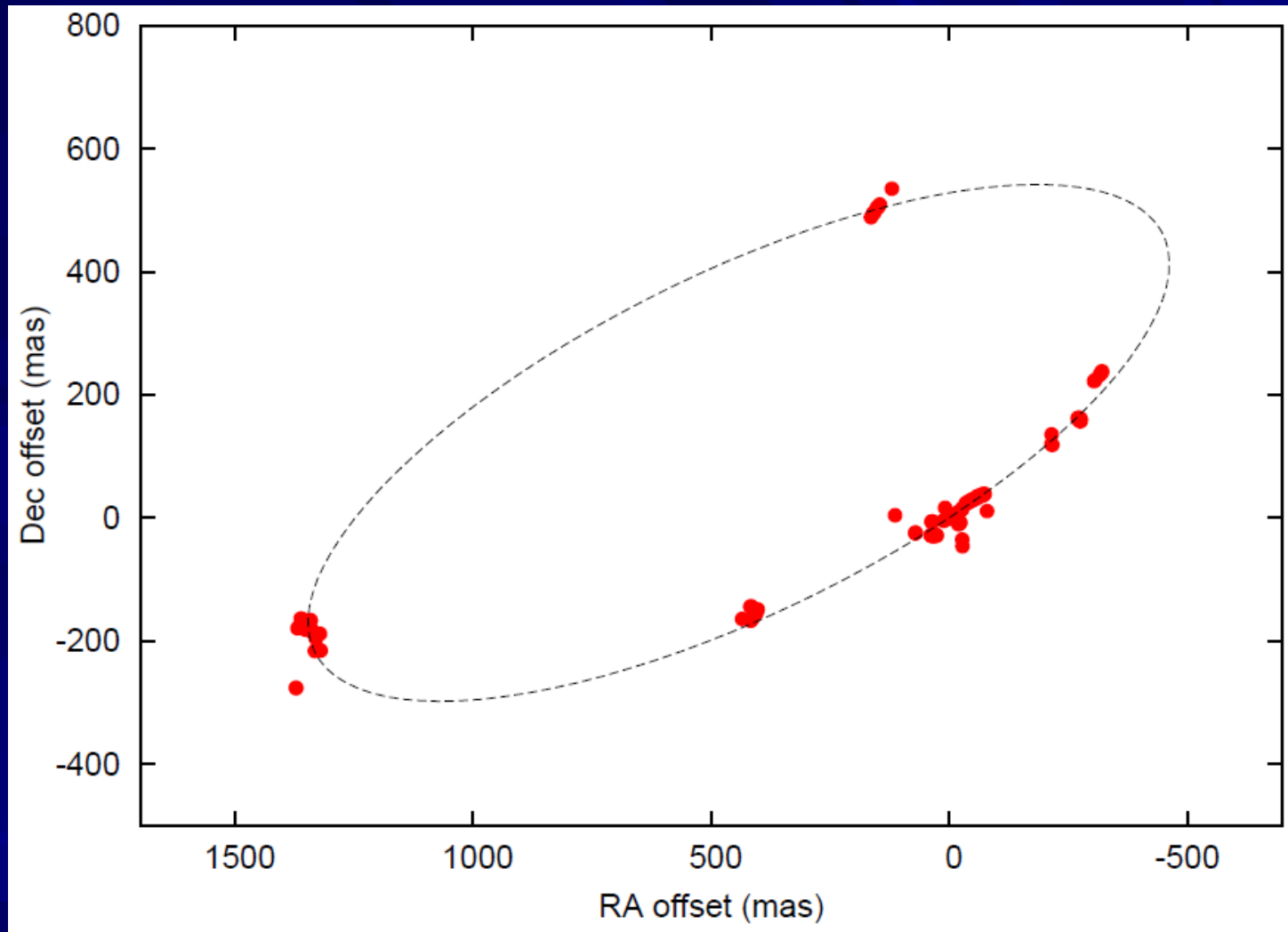
# Cep A --- I: 空間分布



- 1400 AU の拡がり
- 速度の大きい成分を小さい成分が包囲
  - 全て systemic velocity ( $-11 \text{ km s}^{-1}$ ) に対して赤方偏移
- 円弧状の空間分布 => 楕円でフィッティング
- 明確な速度勾配は見られない
  - 単純な回転運動ではない



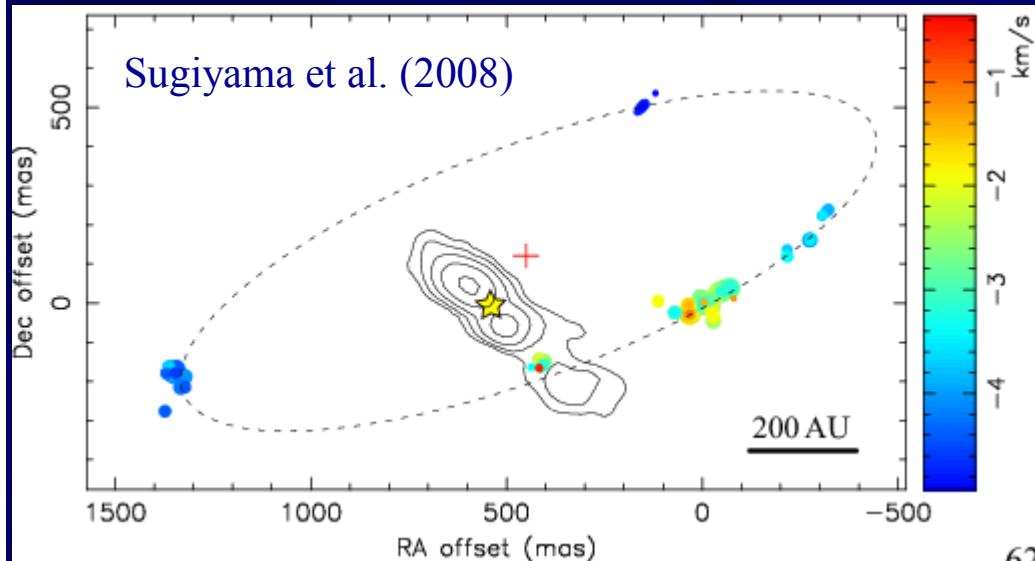
# 楕円フィッティング with メタノール分布



楕円でフィッティング

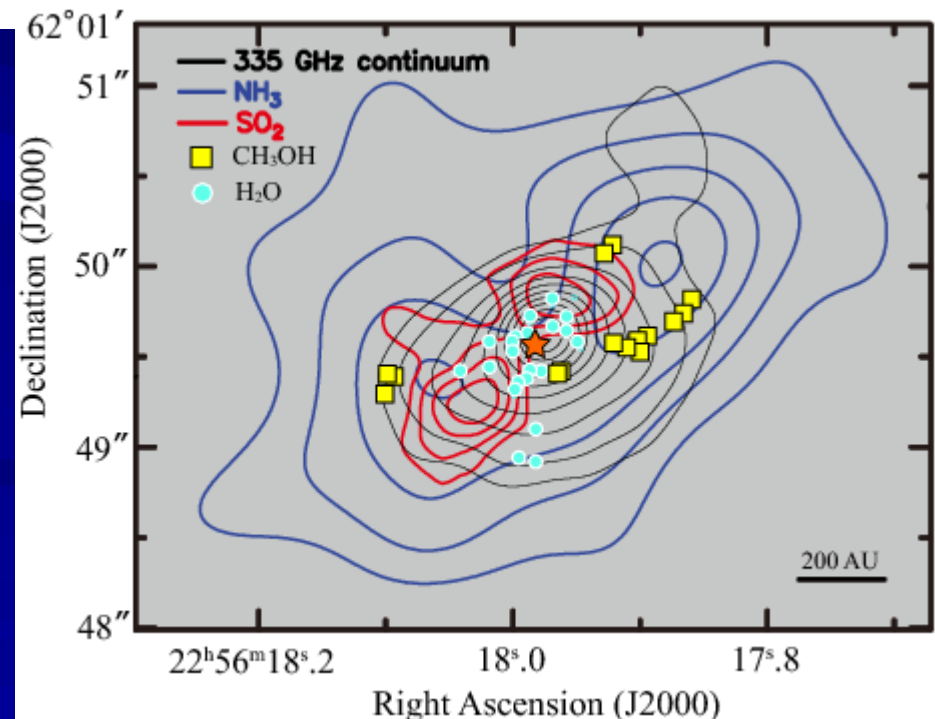
長径 : 690 AU, 位置角 :  $110^\circ$ , 傾斜角 :  $73^\circ$

# Cep A --- II : 重ね合わせ



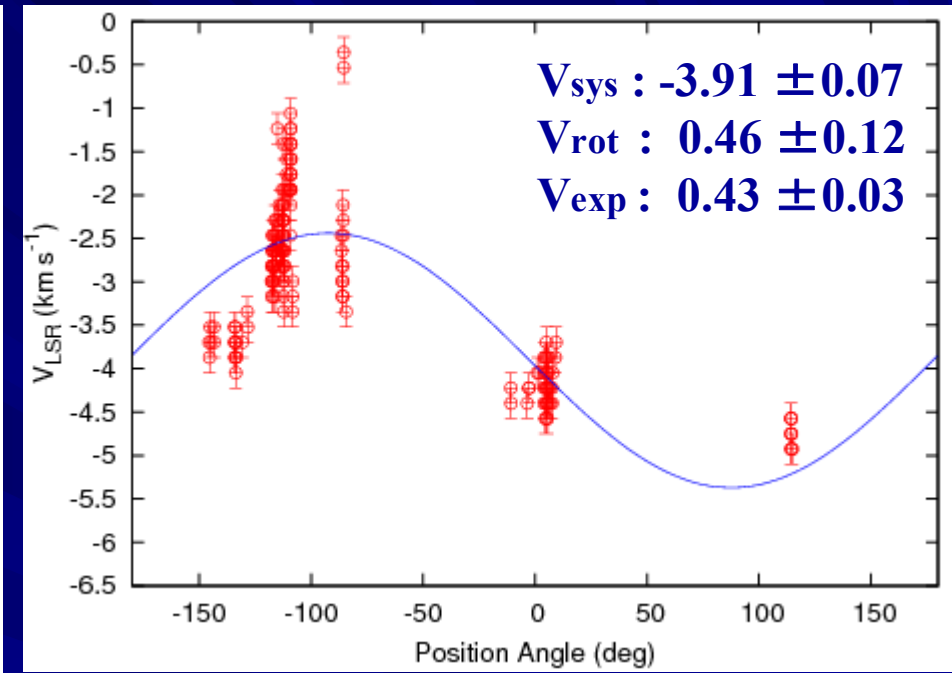
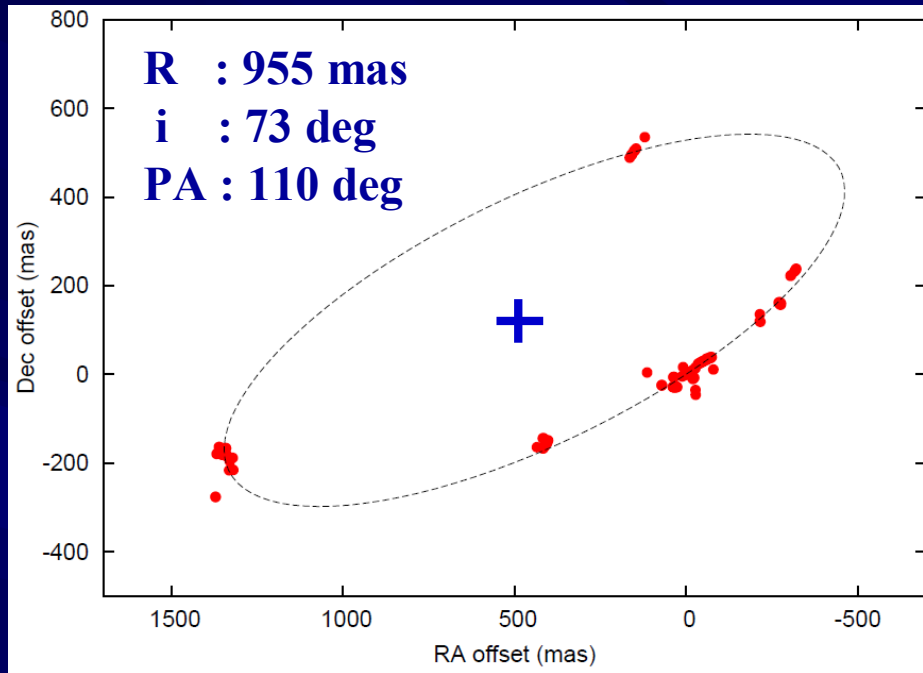
- 電波ジェットに垂直
  - PA差 : ~70 deg
- 中心に星の存在
  - 楕円のほぼ中心

- CH<sub>3</sub>CN, NH<sub>3</sub>回転円盤に一致
  - サイズ、速度範囲共に
- 水メーザ, SO<sub>2</sub>回転円盤とも一致
  - サイズは半分
  - 水メーザは高速回転



回転円盤に付随の可能性

# Cep A --- III : 回転 & 膨張モデル



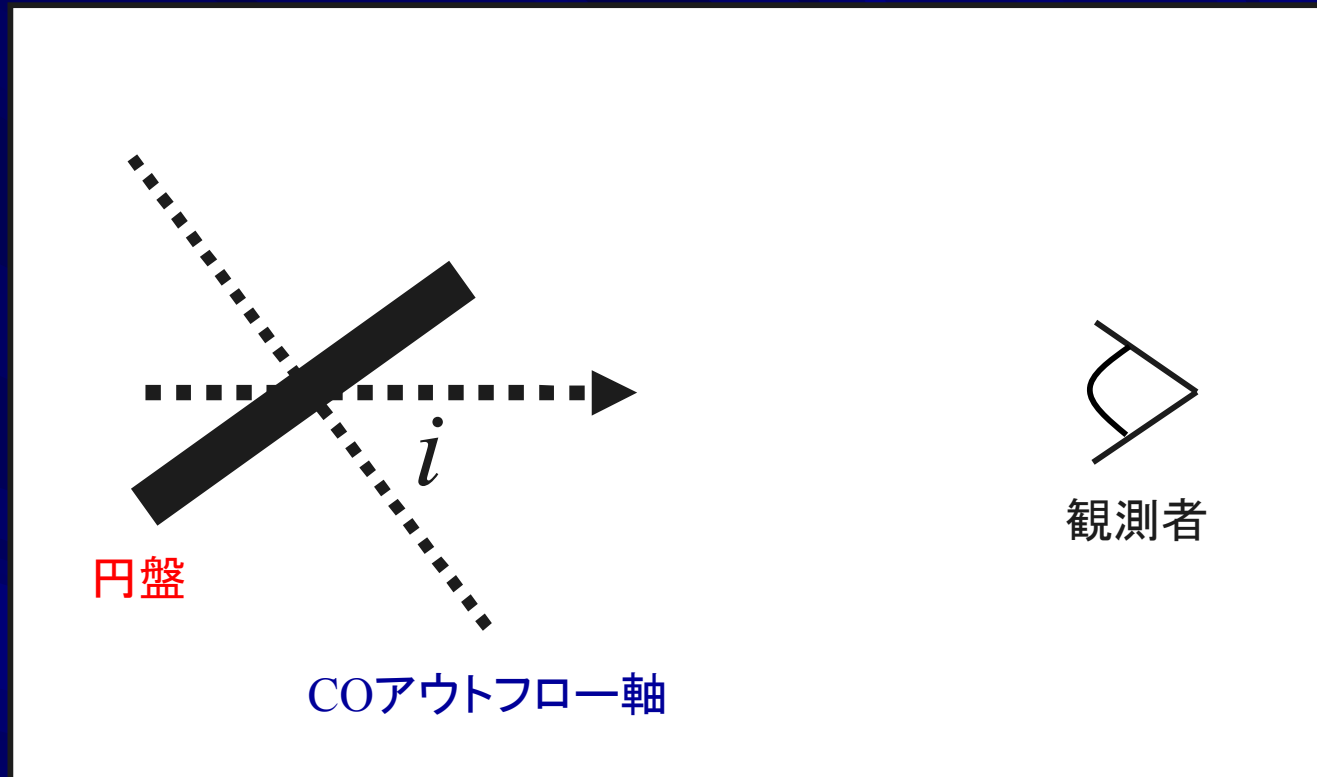
$$V_{\text{LSR}} = v_{\text{sys}} + v_{\text{rot}} \cdot \frac{x'}{R} \cdot \sin i + v_{\text{exp}} \cdot \frac{y'}{R} \cdot \tan i$$

$$\begin{cases} x' = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta \\ y' = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta \end{cases}$$

## ■ 円盤の回転 + 膨張モデル (Uscanga et al. 2008, Torstensson et al. soon.)

### ➡ 回転 + 膨張 !!

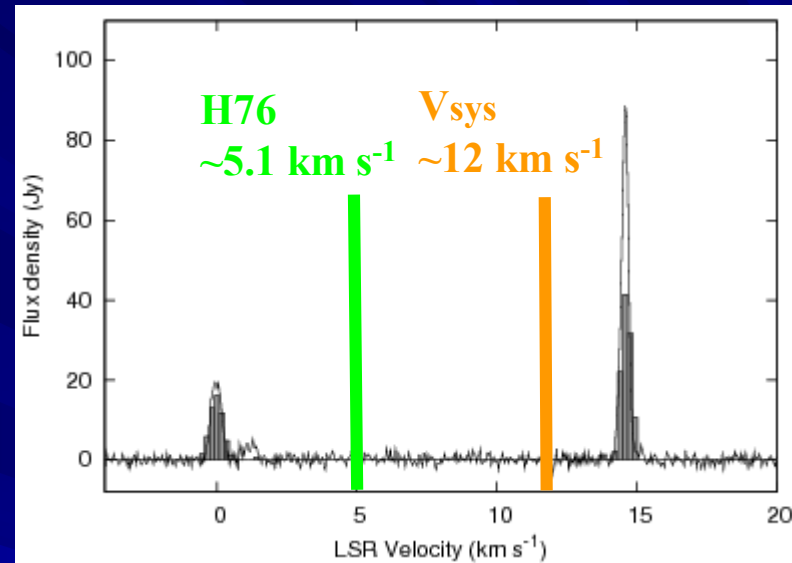
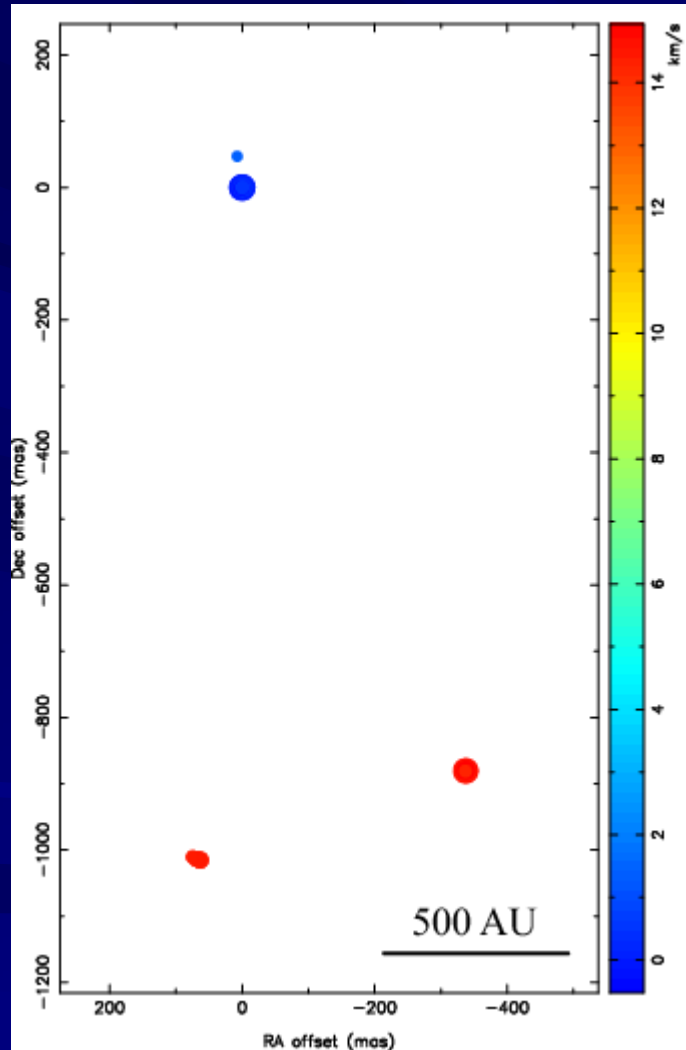
- 南西ジェットが青方偏移 (Rodriguez et al. 1980)  
& メーザスポット赤方偏移に矛盾しない
- 速度が小さい, 中心質量も大質量星に満たない...



内部固有運動の計測が必須 !!  
(現在3エポック目解析中)

# Onsala 1

# ON 1 --- I : 空間分布

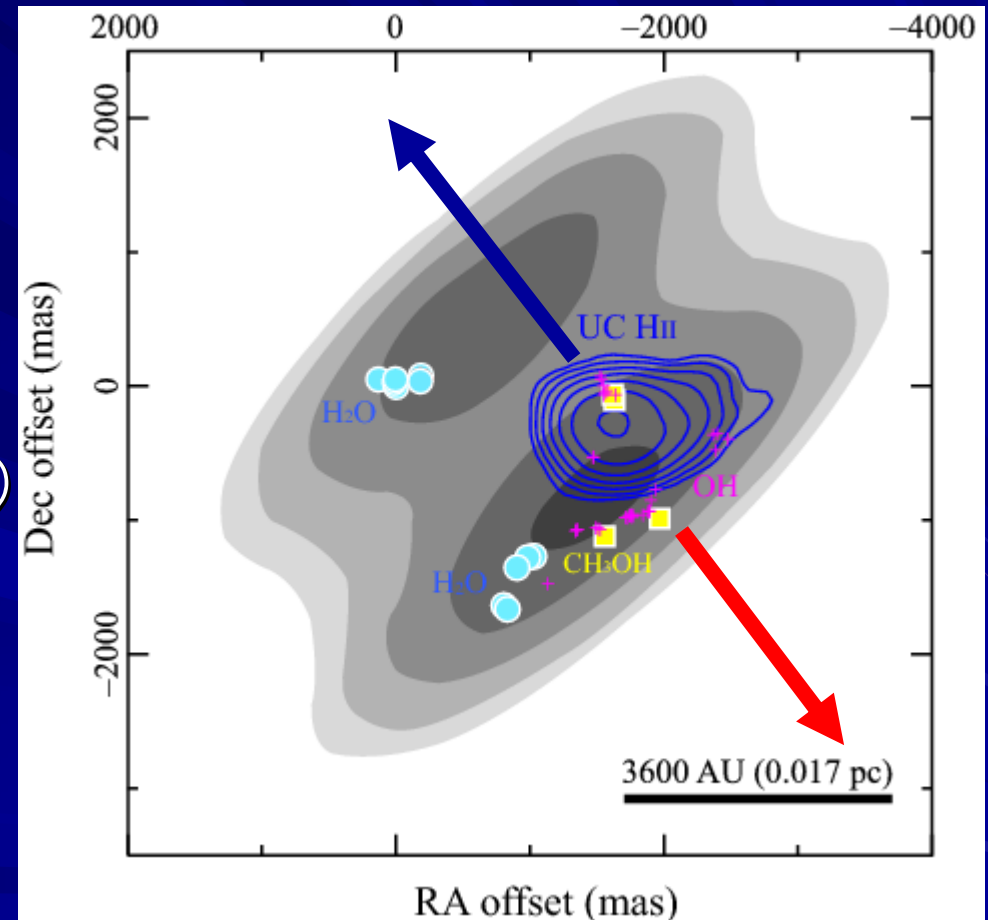


- 視線速度分離  $\sim 15 \text{ km s}^{-1}$
- $V_{\text{sys}} \sim 12 \text{ km s}^{-1}$  を境界
  - H76  $\alpha : 5.1 \pm 2.5 \text{ km s}^{-1}$
- 空間的分離  $\sim 1800 \text{ AU}$ 
  - 北東-南西方向



# ON 1 --- II : 重ね合わせ

- UC HII 領域に付随
  - OHメーザと一致
    - 膨張運動
  - 水メーザとは励起源が別
- $H^{13}CO^+$ , SiOフローと一致
  - 北東-南西方向 (PA  $\sim 44$  deg)
  - 低速 :  $4.5 \text{ km s}^{-1}$
  - 空間スケールは異なる
- 速度傾向は類似
  - 北東 : 青方, 南西 : 赤方
  - メーザの方が高速
  - $H^{13}CO^+$ が示すハッブルフローには矛盾



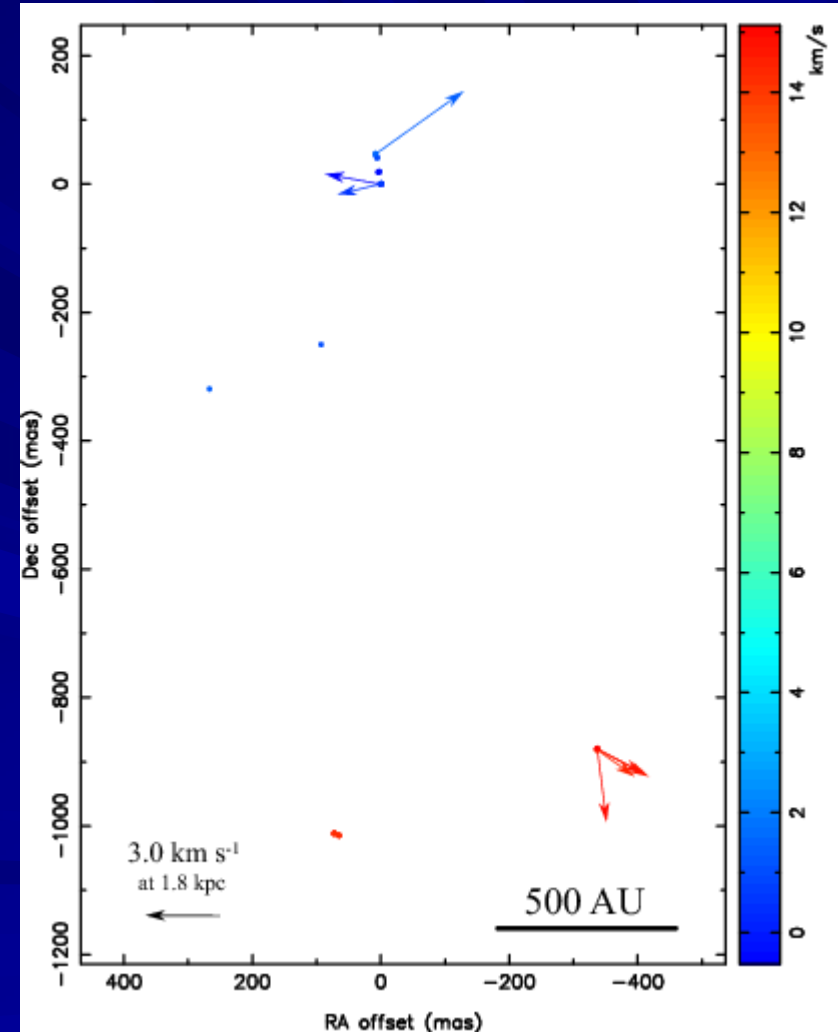
Nagayama et al. (2008) の図を改変

2エポック間での  
内部固有運動の計測

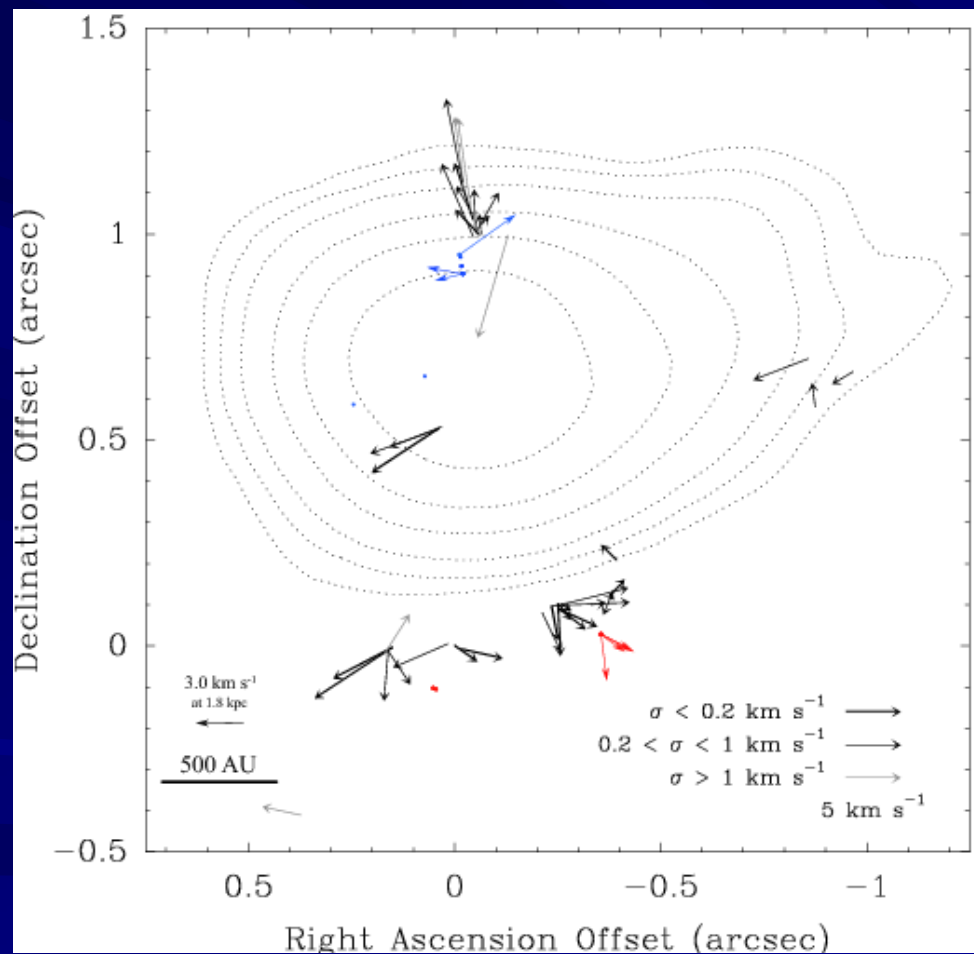
# ON 1 --- III : 内部固有運動

- 2エポック間
  - 2006/09 と 2008/05
- 低速運動
  - $1.8 \sim 4.4 \text{ km s}^{-1}$ 
    - $\text{H}^{13}\text{CO}^+$  に一致
  - 北東-南西方向？
  - 分子アウトフロー？

アウトフローに付随？



# ON1 --- IV : OHメーザとの比較



Fish & Reid (2007) の図を改変

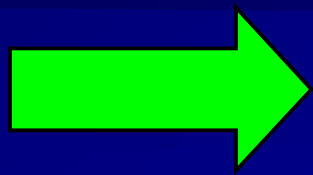
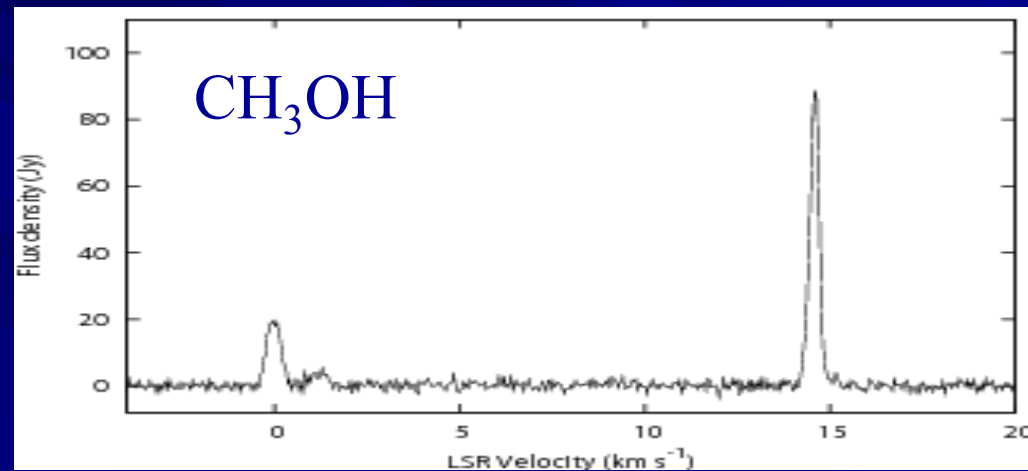
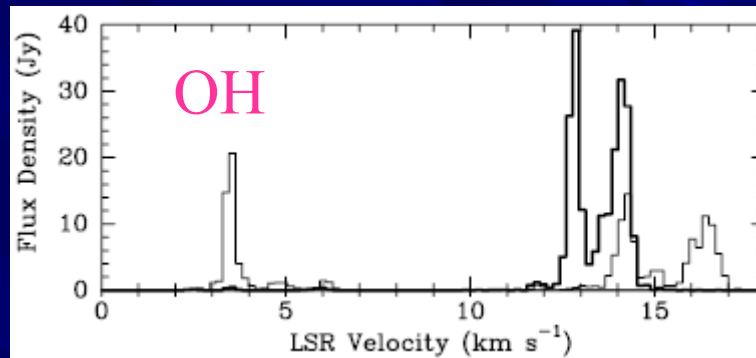
## ■ OHメーザ

- 膨張内部固有運動 (Fish & Reid 2007)
- UC HII 領域の膨張運動をトレース

## ■ CH<sub>3</sub>OHメーザ

- OHメーザと類似

- 運動方向
- 空間分布
- 視線速度



UC HII 膨張運動  
をトレース？

# まとめ

## ■ 6.7 GHz メタノールメーザの発生場所

### – Cepheus A

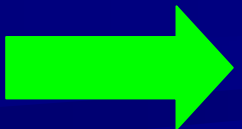
- 円弧状分布：楕円でフィッティング
- 電波ジェットにほぼ垂直
- 中心に星の存在
- CH<sub>3</sub>CN, NH<sub>3</sub> 回転円盤に一致：分布、速度幅共に
- 回転 & 膨張モデルの妥当性



回転 & 膨張円盤の可能性

### – Onsala 1

- 空間的、視線速度的に分離
- H<sup>13</sup>CO<sup>+</sup>, SiO 分子アウトフローと一致
- メタノールメーザの内部固有運動：双極フロー？
- OHメーザ膨張運動との関係
  - 分布 & 視線速度 & 方向の一致 => 膨張？



アウトフロー or UC HII 膨張運動？

# 今後の展望

## ■ 6.7 GHz メタノールメーザの発生場所解明へ向けて

### – 内部固有運動の統計的研究 (3エポック : 1年間隔)

- 北天-JVN : Cep A, ON 1, W75 N, Mon R2, G 9.62+0.20, G 24.78+0.08, W3(OH), etc...
- 南天-LBA : G 320.23-0.29, G 308.92+0.12, G 331.13-0.24, etc...

## ■ 年周視差・絶対固有運動計測へ向けて

### – 位相補償

- Cep A (杉山)、W3(OH) (磯野) の2天体で成功
  - VLBA@12.2GHz で計測済み (Reid et al., Xu et al. 2006)
- ON 1 (杉山)、S 269 (澤田-佐藤) はあと一歩
  - EVN@6.7GHz で既に計測済み or 計測中 (Rygl et al. 9th EVN Symp.)
- 本格的に天体選出を！