



大質量星形成領域G028.83-00.25に 付随する6.7GHzメタノールメーザーの 内部固有運動

山口大学 修士2年
林 京之介

共同研究者

藤澤 健太(山口大学), 杉山 孝一郎(茨城大学), 元木 業人(国立天文台)
蜂須賀 一也(山口大学), 米倉 覚則(茨城大学)
澤田-佐藤 聡子(茨城大学), 松本 尚子(国立天文台/山口大学)

YAMAGUCHI UNIVERSITY

大質量形成領域のアウトフロー・星周円盤



電波・赤外線観測でその存在が確認

❖ メーザー

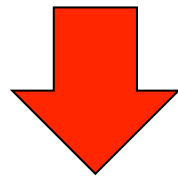
- H₂O (ジェット/アウトフロー)
- CH₃OH (円盤/アウトフロー) @6.7GHz

❖ 分子線

- CH₃CN (円盤/回転トロイド)
- CO (アウトフロー)

❖ 赤外線

- EGO: 4.5 μmの広がった放射 (アウトフロー)

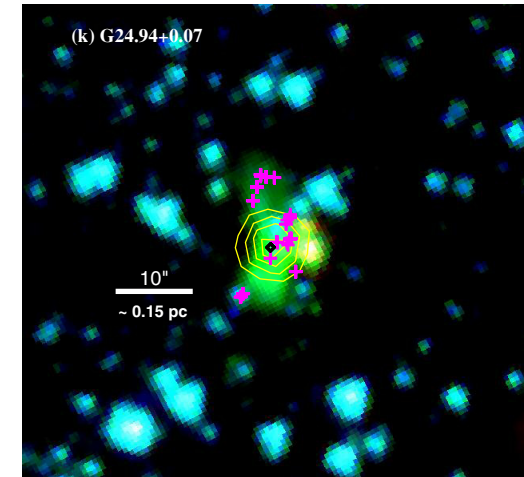


次なるステップは

アウトフロー・円盤のガスの運動を直接測定

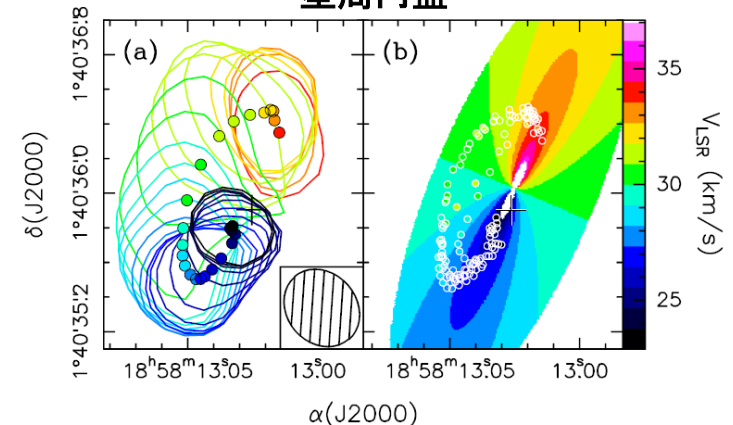
- ❖ 原始星周囲のガスの3次元運動
- ❖ 原始星の進化の過程の解明

アウトフロー



G24.94+0.07のCH₃OHメーザーと赤外線の分布 (Cyganowski+ 2011)

星周円盤



G35.20-0.7NのCH₃CNの分布 (Sanchez-Monge+ 2013)

EAVNを用いた6.7GHzメタノールレーザー モニター観測プロジェクト



◆ 目的

- 6.7GHzメタノールレーザー源の3次元運動の系統的調査・発生領域の特定

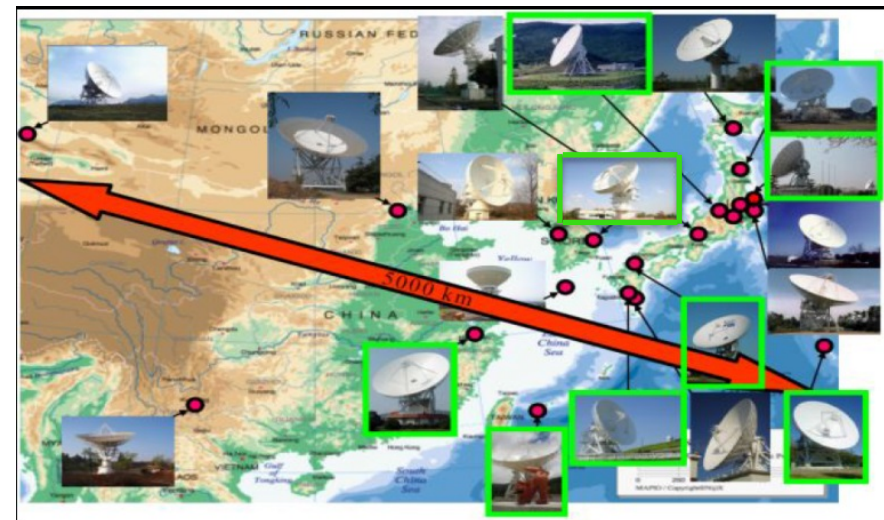
◆ 観測諸元

- 観測期間: 2010年8月～2013年10月
- 観測天体: 36天体
- 観測局: 水沢, 入来, 小笠原, 石垣, 日立, 山口, 臼田, 上海, 蔚山

◆ 成果

- 空間分布: 楕円/直線/アーチ/ペア/複雑形状に分類 Fujisawa+ (2014)
- 内部固有運動: G006.79-00.25 Sugiyama+ (2015)

詳細は杉山さん(茨城大学)
ポスター発表参照



EAVNの基地局(緑が本プロジェクトで使用)
Sugiyama+(29th NAO Users Meetingポスター)

現在は内部固有運動の
系統的な調査を実施

研究目的



■ 直線・アーチの内部固有運動

- ❖ 直線形状は2/13天体
- ❖ アーチ形状は検出例なし

■ 直線形状の内部固有運動

1. 星周円盤に付随？

- 視線速度に勾配
- 分布に沿って運動

NGC7538 (Moscadelli&Goddi 2014)

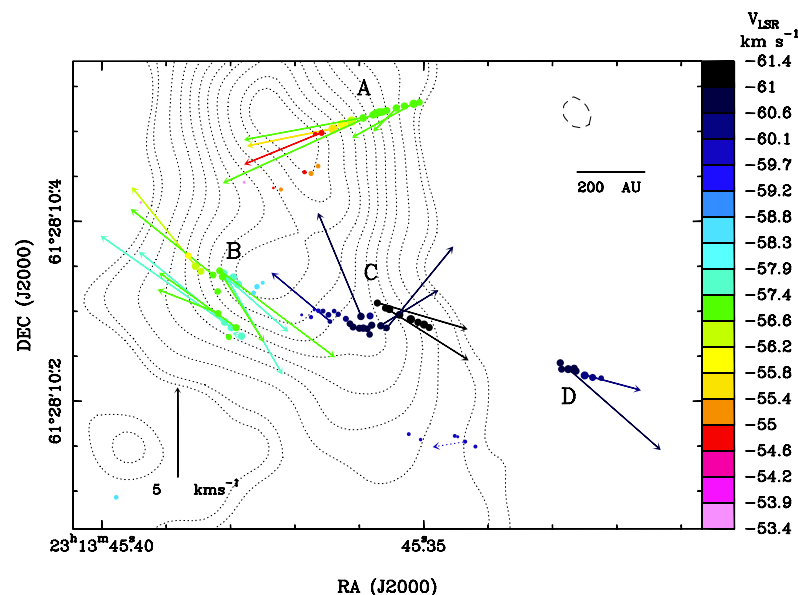
2. アウトフローに付随？

- アウトフローに沿った運動

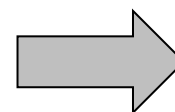
S269 (Sawada-Satoht+ 2013)

■ 研究目的

EAVNモニタープロジェクトで直線・アーチ形状に分類される天体の3次元運動を測定、発生領域と運動起源を調査



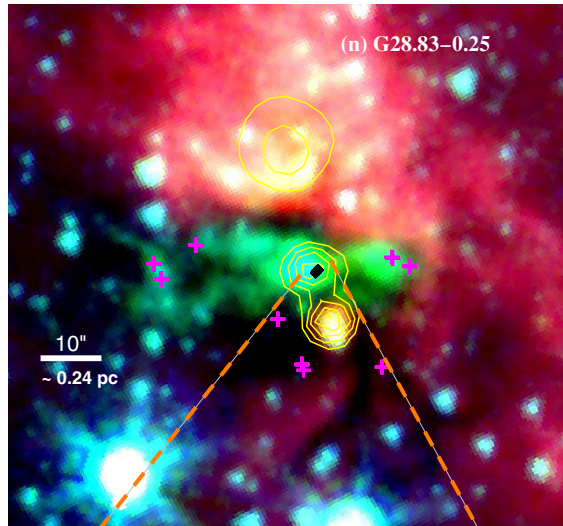
直線状に分布するNGC7538の6.7GHzメタノールメーザーの固有運動
Aの中心とB,Cの中心に中心星が存在 (Moscadelli&Goddi 2014)



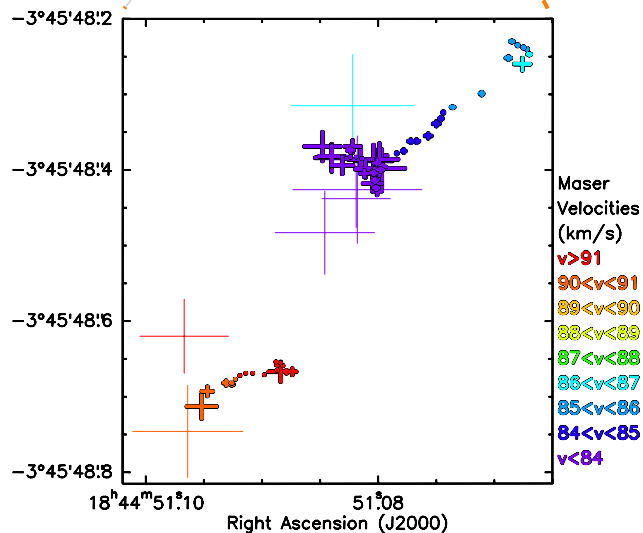
本講演

G028.83-00.25 (アーチ)

大質量星形成領域G028.83-00.25

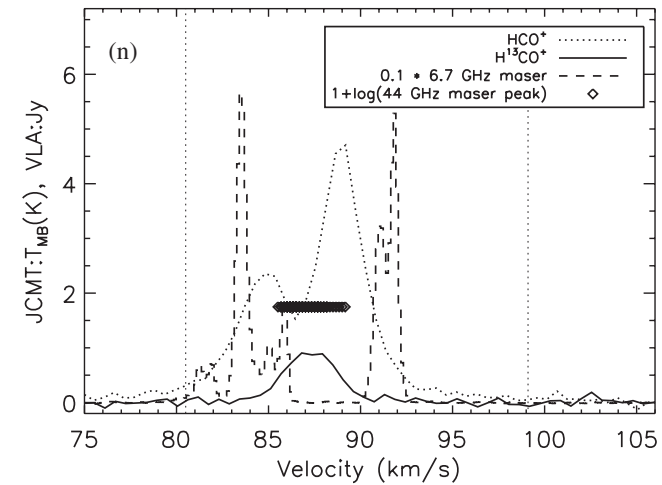


赤: 8 μm
 緑: 4.5 μm
 青: 3.6 μm
 黄: 24 μm



赤外線とメタノールメーザー (Cyganowski+ 2009)

G28.83-0.25



HCO⁺, H¹³CO⁺とメタノールメーザーのスペクトル (Cyganowski+ 2009)

- ❖ 距離: 4.6 kpc Green & McClure-Griffiths (2011)
- ❖ 系統速度: $V_{\text{sys}} = 87.1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
 @H¹³CO⁺ (Purcell+ 2006)
- ❖ 原始星から双極に広がるEGO
- ❖ 6.7GHzメタノールメーザー
 - 24 μmのピークに存在
 - スペクトル: アウトフロートレーサーの両脇
 - 直径 ≥ 3000AUの円盤を示唆?

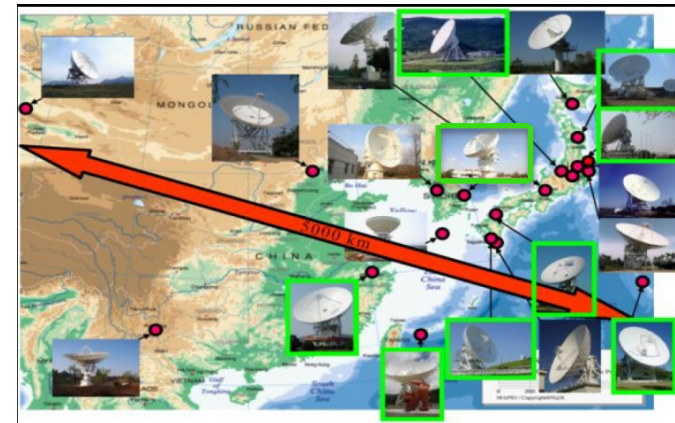


観測諸元



◆観測期間

- 2010年9月～2013年10月
- 約1年間隔で4回観測
- 第4エポックは蔚山局(KVN)が参加



◆観測パラメーター

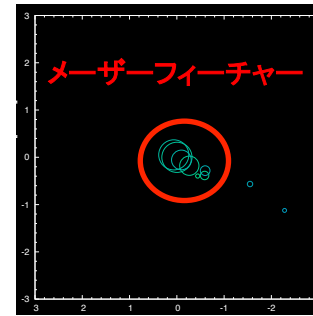
観測エポック	1	2	3	4
観測日	2010/8/29	2011/10/5	2012/9/23	2013/10/29
使用観測局	M, R, O, I, H, S	M, R, O, I, H, Y	M, R, O, I, H, S, Y	M, R, O, I, H, Y, U
速度分解能 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	0.176			
合成ビーム mas^2	5.55×3.49	6.29×3.75	6.06×3.99	6.13×5.21
イメージ感度(1σ) $\text{mJy} \cdot \text{beam}^{-1}$	65.4	46.8	56.6	79.4

※M:水沢, R:入来, O:小笠原, I:石垣, H:日立, S:上海, Y:山口, U:蔚山

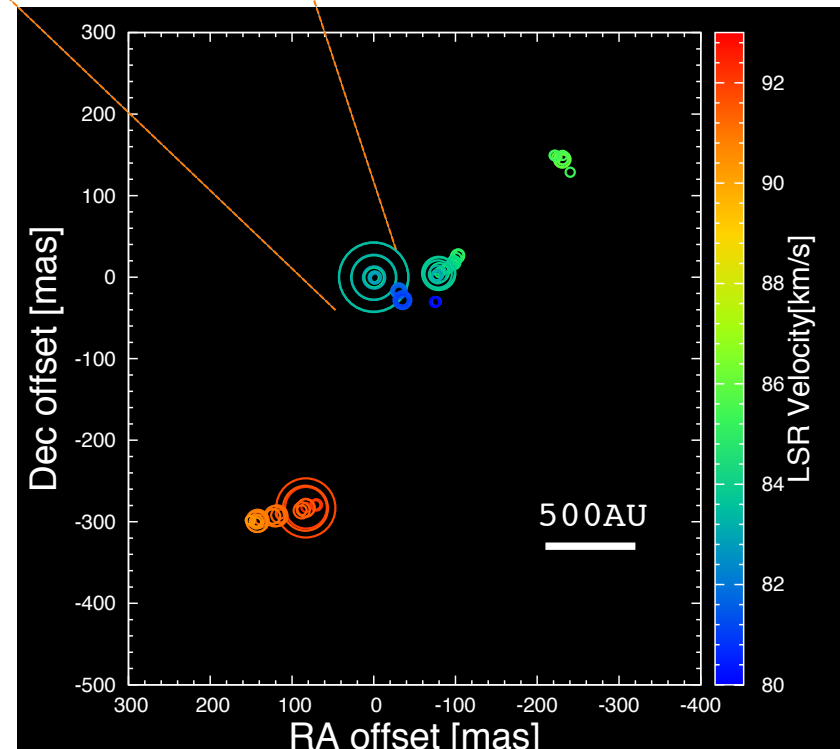
空間分布



- ❖ 形状: アーチ
- ❖ 分布スケール: 2700 AU
- ❖ メーザーフィーチャー(メーザー雲)
 - ◆ 位置と視線速度が連続して分布している
3個以上のスポットの集団
 - 第1~4エポックで8個(共通)
 - 第2~4エポックで9個(共通)



$$V_{\text{sys}} = 87.1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$



第3エポック(2012/9/23)の空間分布



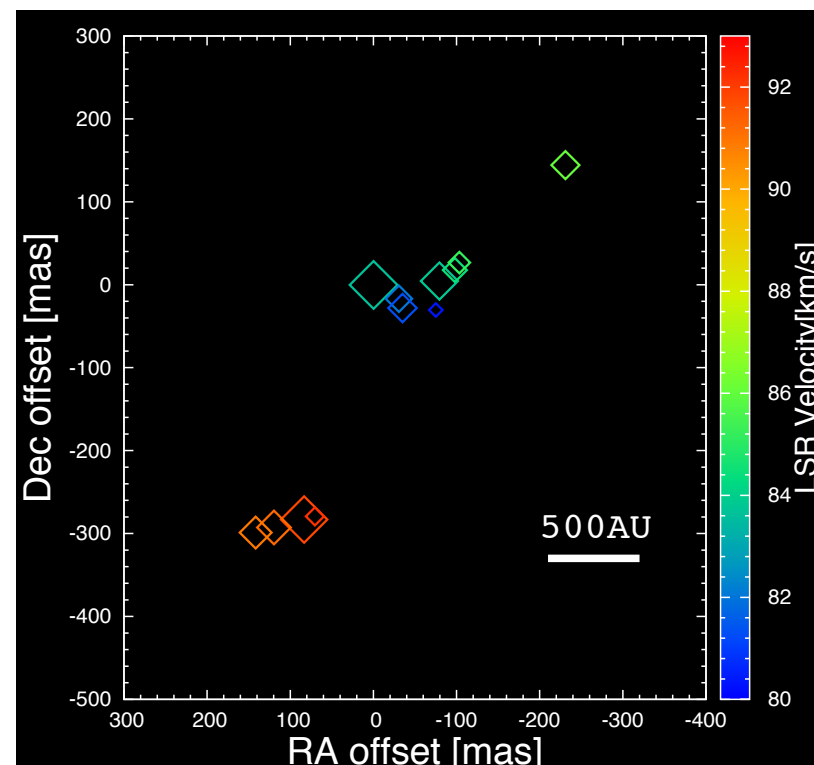
空間分布

- ❖ 形状: アーチ
- ❖ 分布スケール: 2700 AU
- ❖ メーザーフィーチャー(メーザー雲)
 - ◆ 位置と視線速度が連続して分布している3個以上のスポットの集団
 - 第1~4エポックで8個(共通)
 - 第2~4エポックで9個(共通)

メーザー雲単位で内部固有運動を計測

- クリスマスツリー効果を除去
- メーザー雲内の複雑な運動を除去

$$V_{\text{sys}} = 87.1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$



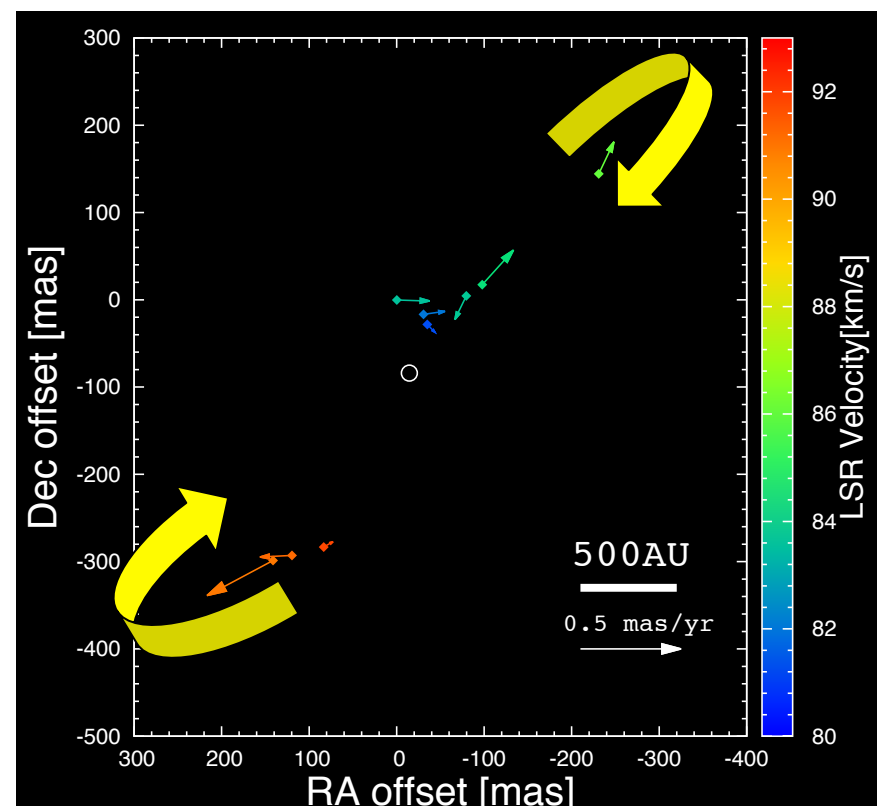
第3エポック(2012/9/23)のメーザー雲



内部固有運動

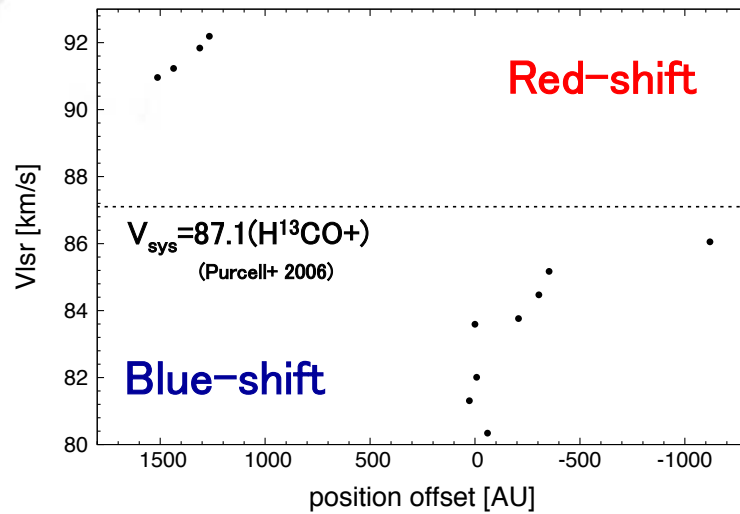


- ❖ 第2～4エポックで計測
- ❖ メーザー雲の重心(座標平均)
 - 各エポックの不動点と仮定
- ❖ 9個のメーザー雲で運動を検出
 - 速度: $1.17 \sim 8.11 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
- ❖ 重心まわりの回転運動を示唆

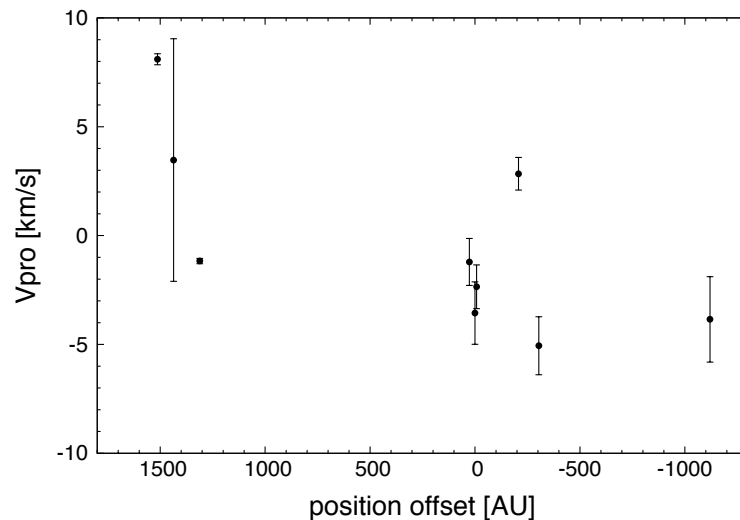


3エポック間(第2～4エポック)のメーザー雲の内部固有運動
白丸は重心(メーザー雲の位置の座標平均)

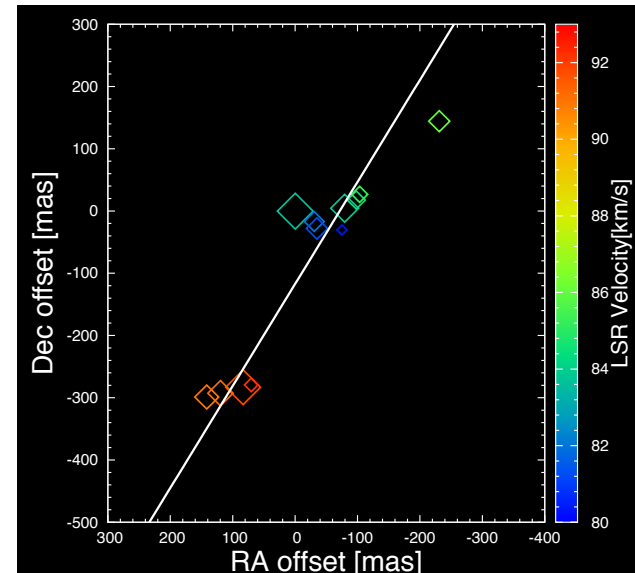
位置 - 速度 (P - V) 図



白線上の位置 vs 視線速度 (第3エポック)

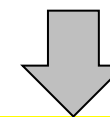


白線上の位置 vs 内部固有運動 (東方向が正)



第3エポックのメーザー雲の位置

- ❖ 白線: メーザー雲の位置の最小二乗法近似
 - 白線上での位置のズレ: P-V図の横軸
 - メーザー雲をほぼ真横から見た状態
- ❖ 視線速度: **双極的な分布**
- ❖ 固有運動: 外側ほど大きい?



ケプラー回転を仮定

同一円周上からの放射ではない

中心星の位置推定1



❖ 仮定

- 円盤: ケプラー回転
- 楕円の傾斜角: $i = 0^\circ$ (Edge-on円盤)

❖ 式のパラメータ

- 視線速度

$$v_{lsr} = \sqrt{\frac{GM}{|R' - a|}} \cos \theta$$

- 内部固有運動

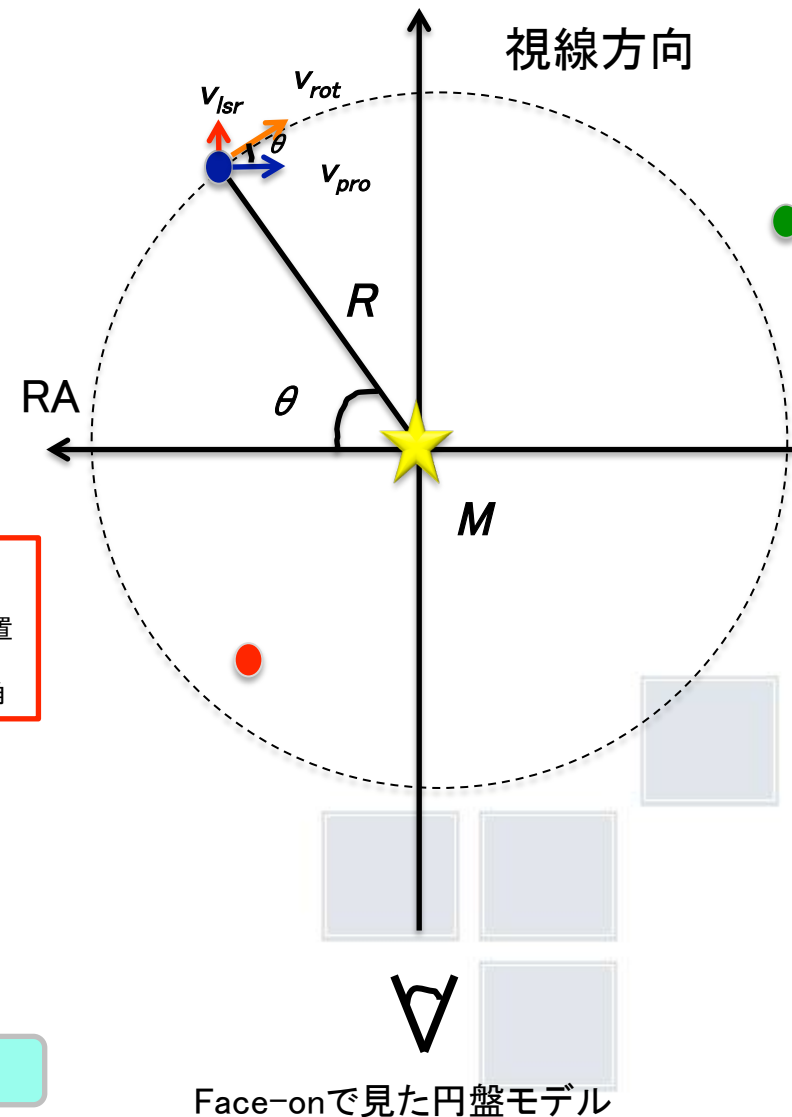
$$v_{pro} = \sqrt{\frac{GM}{|R' - a|}} \sin \theta$$

G : 万有引力定数
 M : 中心星の質量
 R' : 白線上でのメーザー雲の位置
 a : 白線上での中心星の位置
 θ : face-onでのスポットの位置角

θを削除

$$v_{lsr}^2 + v_{pro}^2 = \frac{GM}{|R' - a|}$$

$v_{lsr}^2 + v_{pro}^2$ が無限大に発散する R' を見つける



中心星の位置推定2



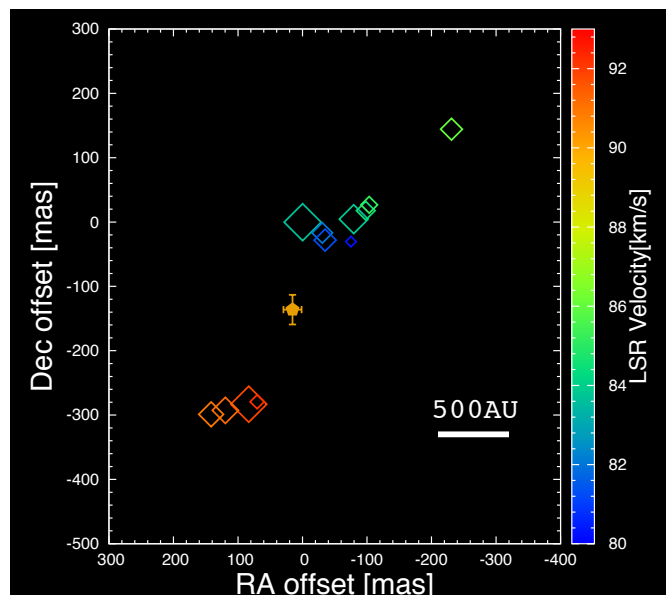
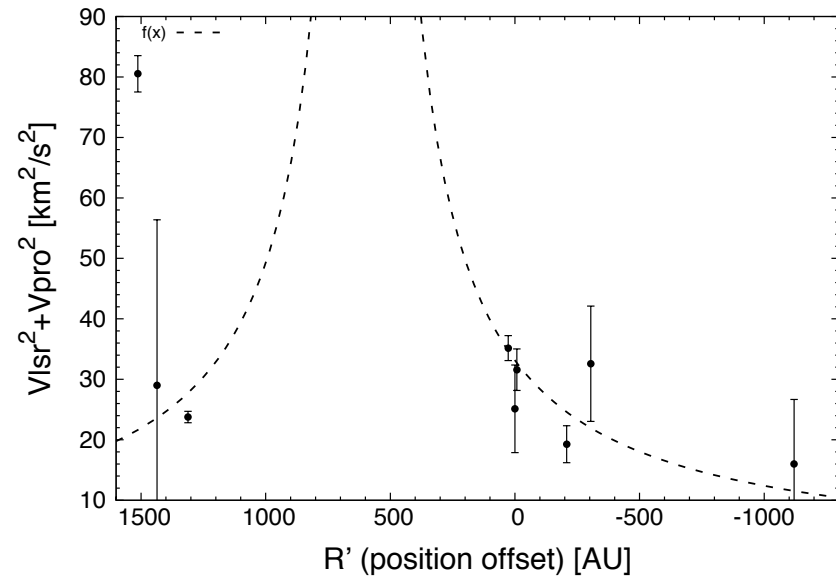
❖ 近似曲線

$$f(R') = \frac{b}{R' - a}$$

- a : 白線上での中心星の位置
- b : フリーパラメータ
- R' : 白線上でのメーザー雲の位置

❖ フィッティング結果

$$a = 600 \pm 124 \text{ AU}$$



❖ 中心星はblue-shiftの南東

❖ 円盤の半径: $\geq 1700 \text{ AU}$



中心星の質量推定



❖ 近似曲線

$$f(R') = \frac{M}{|R' - a|}$$

M : 質量
 R' : 白線上でのメーザー雲の位置
 a : 白線上での中心星の位置

❖ フィッティング結果

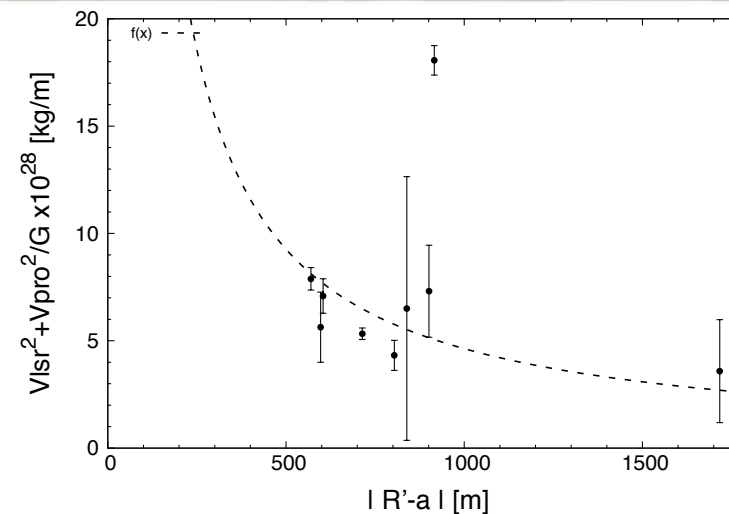
$$M = 23 \pm 5 M_{\odot}$$

❖ 赤外線光度からの推定値

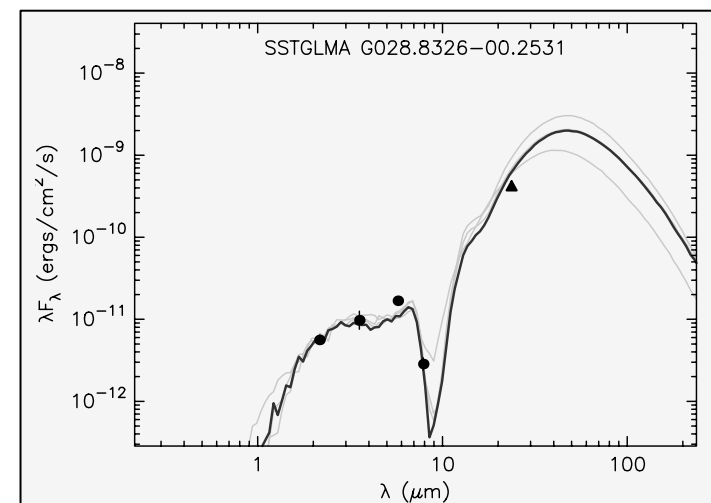
$$M_{\text{IR}} = 10.5 M_{\odot}$$

Watson+ (2008)

赤外線光度からの推定値より約2倍大きい



質量の近似曲線



近・中赤外線光度を用いたSED fitting (Watson+ 2008)



まとめ・今後の展望

■ まとめ

- EAVNモニタープロジェクトでアーチ形状に分類されていた天体 G028.83-00.25の内部固有運動を検出
- 内部固有運動の向き、位置 - 速度図から半径 ≥ 1700 AUの円盤の回転運動を検出
- 円盤の速度場から中心星の質量を $M = 23 \pm 5 M_{\odot}$ と推定

■ 今後の展望

- 楕円の傾斜角を含めた推定
- 遠赤外線を含めたSED fitting
- メーザーの3次元分布の作成

