

# VERAを用いた1000AUスケールの原始星ディスクにおける星形成過程の研究

椎原駿介、面高俊宏 (鹿児島大学)、永山匠(国立天文台)

## 概要 ~Abstract~

100AUほどの太陽系では、惑星はほぼ同一平面上にあり、太陽と惑星の自転軸はほぼ揃っている。そこで、私たちは一段階大きなスケールの1000AUほどの原始星ディスク内でも星の自転軸の向きが揃っているかを調べるために、大質量星形成領域G35.03+0.35に注目した。大質量星形成領域G35.03+0.35 コアAには、ALMAによる観測から直径2000AUほどのケプラー回転をするディスクが存在することが分かっている。そして、BeltranらによるとSpitzerによる4.5 $\mu$ mの観測からディスクに対して垂直方向の双極流アウトフローが存在することも明らかになっている。さらに、このコアには水メーザーが付随している。そこで、私たちは水メーザー源が付随する原始星のディスクの向きを決めるために、VERAによる観測で水メーザー源の内部運動を調べた。すると、双極流アウトフローを示唆する結果が得られた。しかし、このアウトフローの向きはSpitzerによる観測から得られたアウトフローの向きとは異なっており、ディスク方向に沿っていた。つまり、原始星のディスクの向きは2000AUほどのケプラー回転をするディスクに対してほぼ直交していることが分かった。これは、1000AUスケールのディスク内では星の自転軸の向きが揃っていない例となる。

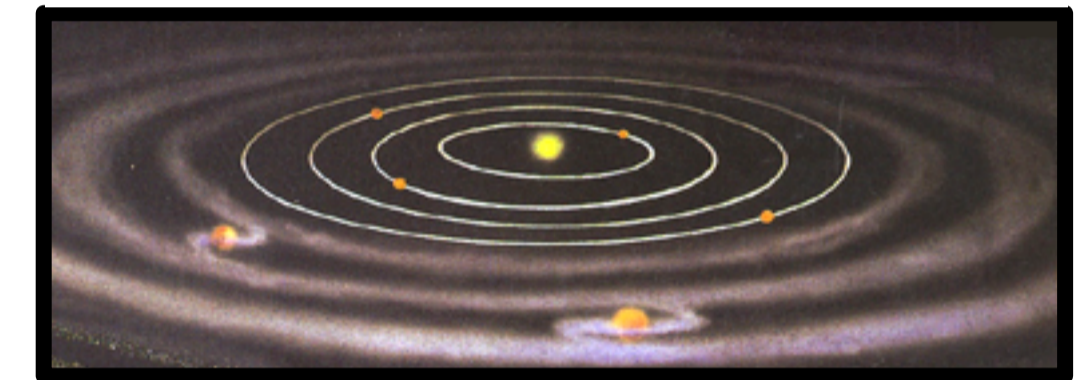
## 導入 ~Introduction~

### 1.目的 1000AUスケール(距離に基づく)のディスク内でも星の自転軸の向きが揃っているか

- 太陽系
- ・京都モデルで形成の理解
  - ・サイズ ~60AU以上



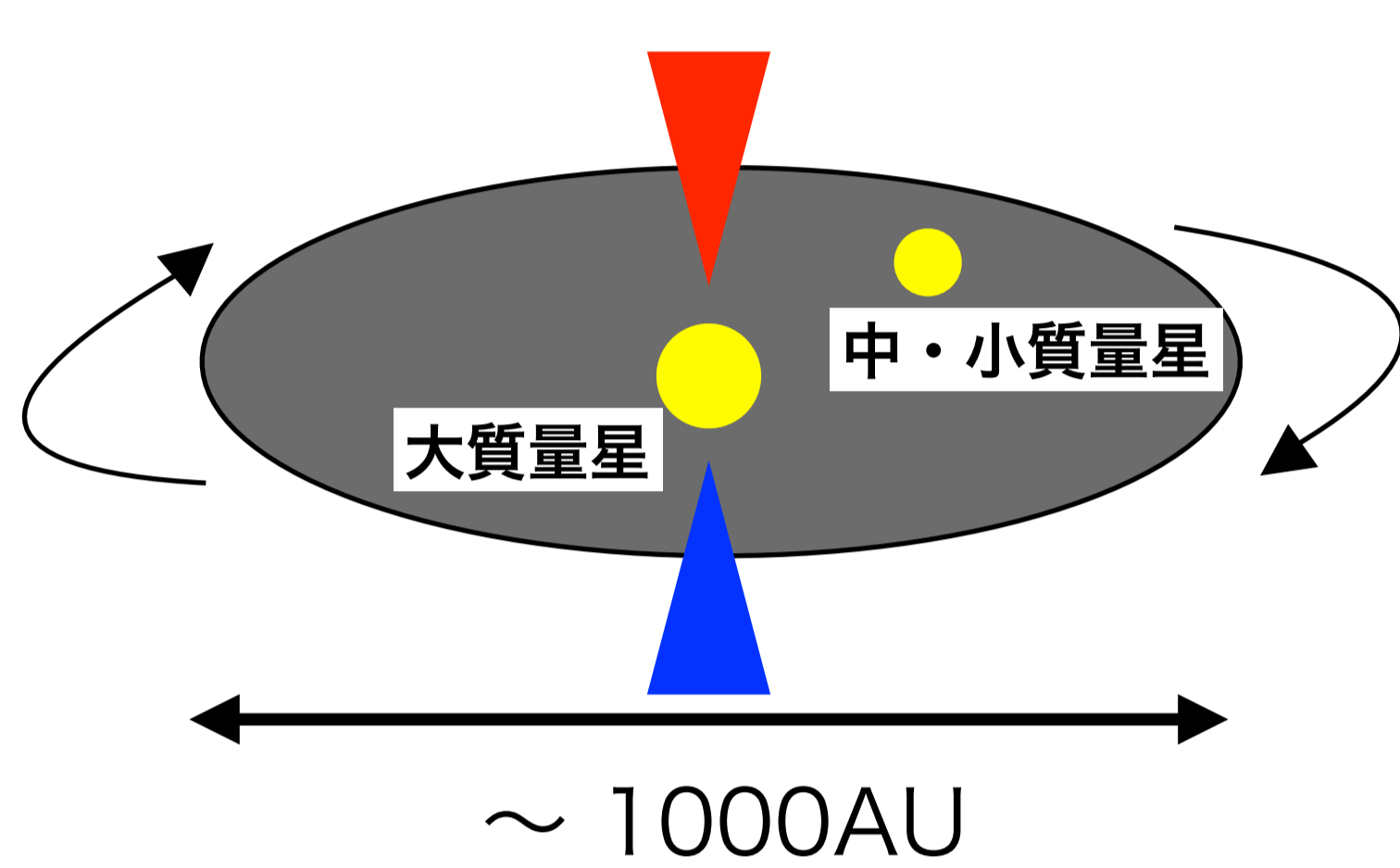
太陽はケプラー回転するガス円盤内の中心で誕生



回転するガス円盤内の赤道面にチリが沈殿して惑星を形成

→太陽の自転軸と惑星の自転軸はほぼ平行で、ほぼ公転面に垂直

- ・大質量原始星のケプラー回転するディスクがALMAの観測で存在することが報告
- ・サイズ ~1000AU



→角運動量保存則から、ディスク内の中・小質量星の自転軸が大質量星の自転軸と平行であることが期待される?

### 2.大質量星形成領域 G35.03+0.35について

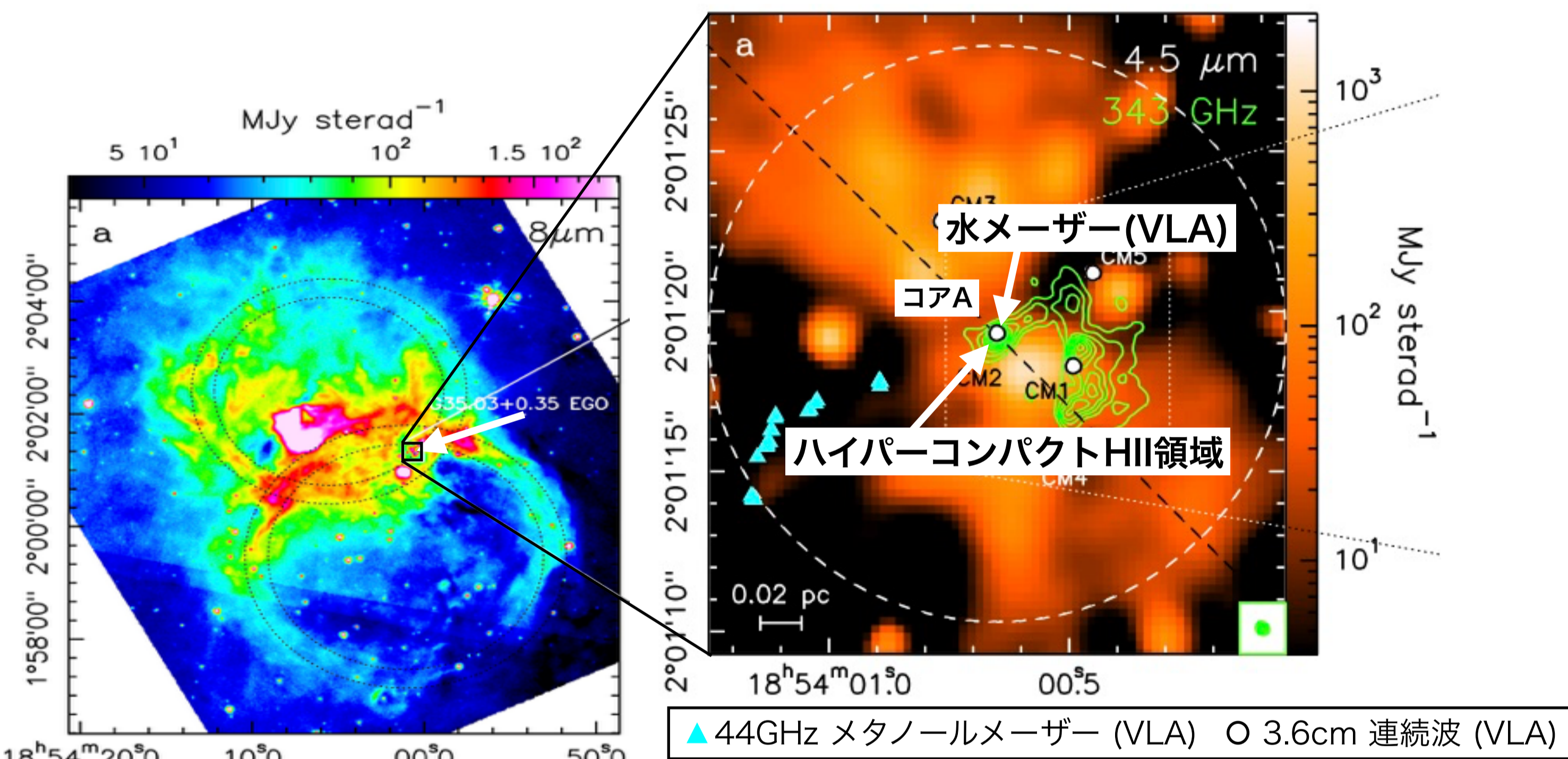


図1. Spitzerの8 $\mu$ mでの観測により得られたマップ (Beltran et al. 2014). G35.03+0.35は黒い四角に位置する。

図2. ALMAによる343GHzでの観測(緑の等高線)とSpitzerによる4.5 $\mu$ mでの観測結果を重ねた図 (Beltran et al. 2014)。Beltranは4.5 $\mu$ mの放射はコアAに位置するハイパーコンパクトHII領域を形成する大質量星が形成時に出したアウトフローによってできたキャビティのシェルからのものとしている。

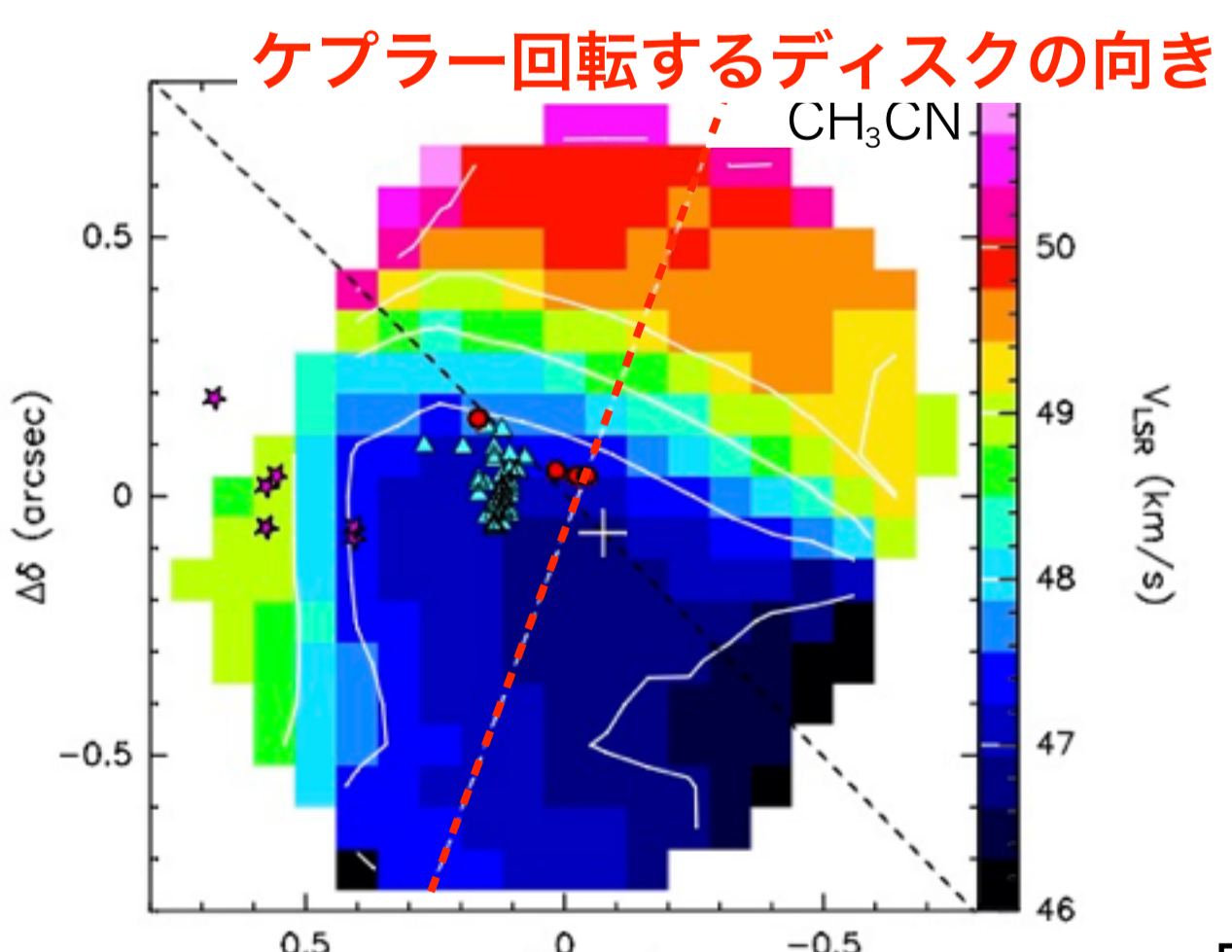


図3. ALMAによるコアAに対するCH<sub>3</sub>CNの観測結果 (Beltran et al. 2014)。速度勾配が赤い点線に沿って存在している。Beltranは速度勾配はケプラー回転するディスクによるものだとしており、ディスクの直径はおおよそ2000AUとしている。

図2, 3より大質量星の双極流はケプラー回転するディスクに垂直であることが分かる。

私たちはコアAに2つの星が存在すると考えた。

理由① HC HII領域の広がりからHII領域の年齢を概算

- ・HII領域のサイズ: ~2000AU
- ・HII領域の広がる速度: ~6km/s
- 大質量星は~2000年前に主系列星に
- 大質量星とは異なる、水メーザー源が付随する原始星が存在すると考えられる

理由② 水メーザーとケプラー回転するディスクの視線速度を比較

- ・G35.03+0.35 V<sub>sys</sub> = 51.5km/s
- ・水メーザー源の視線速度 44 ~ 62km/s
- 同じ回転ディスク内に存在すると考えられる

①、②からコアAにHII領域を形成する大質量星と水メーザー源が付随する原始星が存在すると考えた。

→水メーザー源の内部運動を調べることで、目的である1000AUスケールのディスク内でも星の自転軸の向きが揃っているか確かめられる!

## 観測 ~Observations~

観測: VERA 20m望遠鏡 4局 (VERA - VLBI Exploration of Radio Astrometry)  
 期間、回数: 2015年5月 ~ 2016年10月の間に5回  
 周波数: 22.235GHz(水メーザー)  
 観測天体 G35.03+0.35 R.A. 18h 54m 0.6456s, Dec. 02° 01' 19.393"  
 参照電波源 J1851+0035 R.A. 18h 51m 46.7230s, Dec. 00° 35' 32.364"

## 結果 ~Results~

年周視差  $\pi = 0.376 \pm 0.059$  mas

距離  $D = 2.66^{+0.49}_{-0.36}$  kpc

固有運動 ( $\mu_x, \mu_y$ ) = (-1.17 $\pm$ 0.14, -4.87 $\pm$ 0.74) mas/yr

標準偏差 ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) = (0.049, 0.46) mas

### 1.VLBAの結果との比較

年周視差  $\pi = 0.430 \pm 0.040$  mas

距離  $D = 2.32^{+0.23}_{-0.20}$  kpc

→年周視差は誤差の範囲で一致

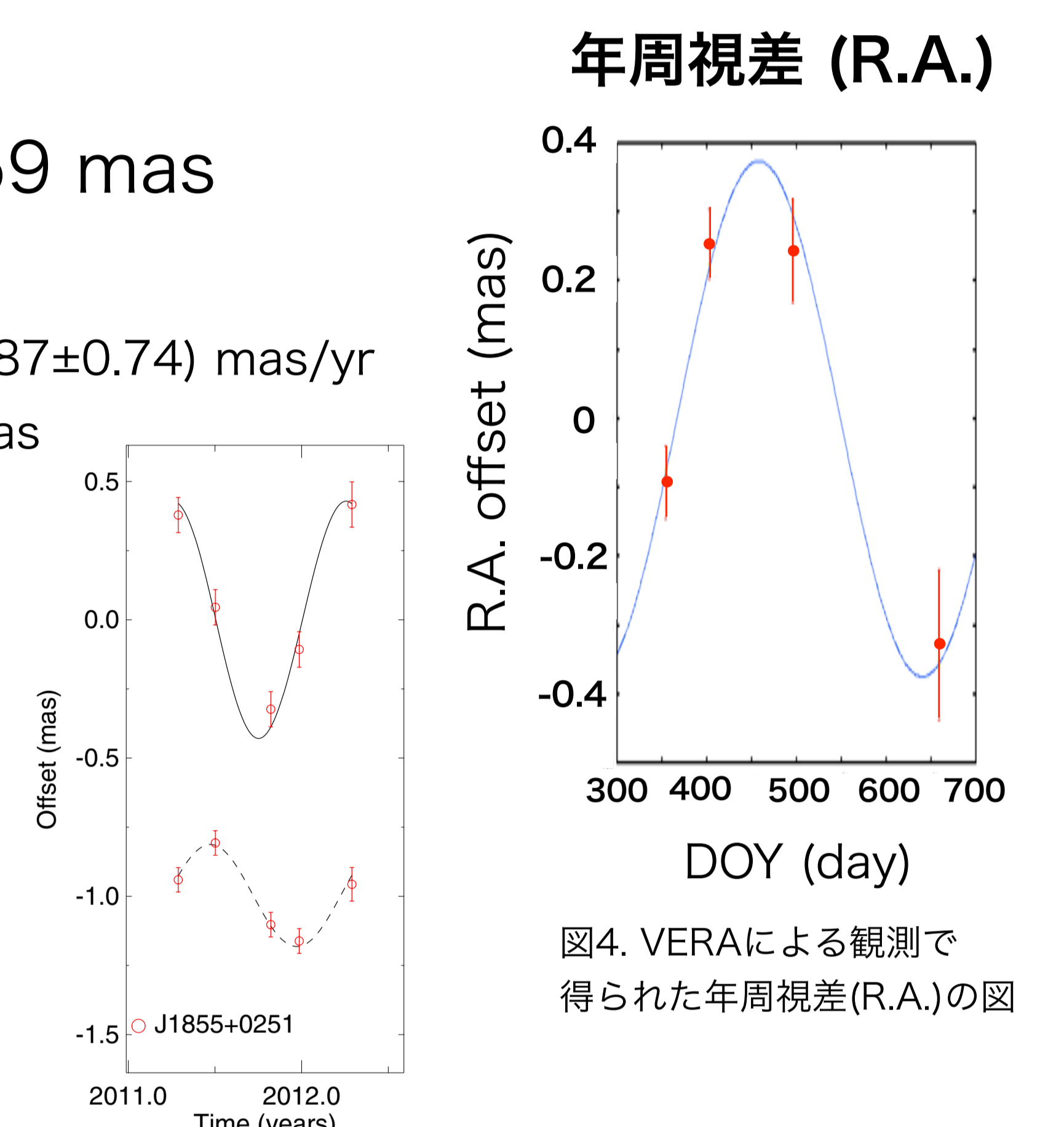


図4. VERAによる観測で得られた年周視差(R.A.)の図  
 図5. VLBAによる水メーザーの観測で得られた年周視差(R.A.)の図(Wu et al. 2014)

### 2.内部運動を求める

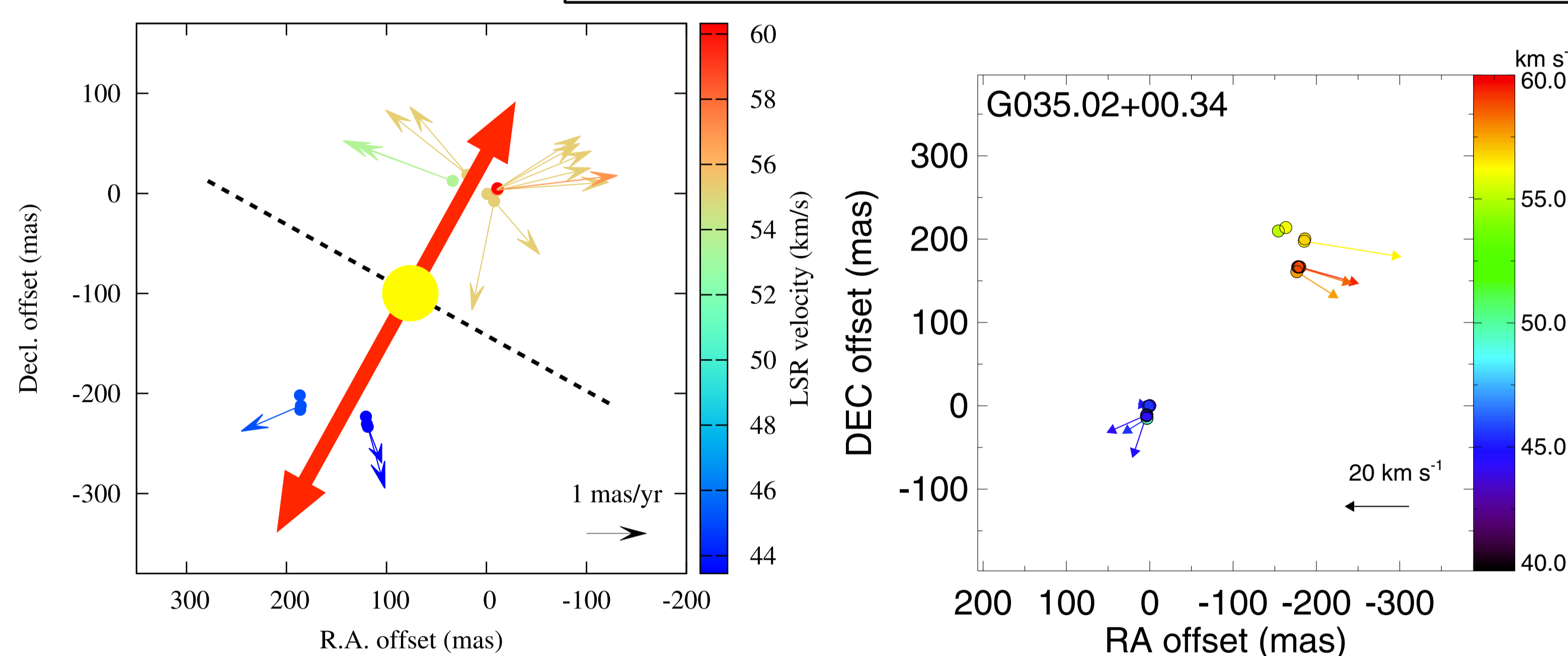


図6. 国立天文台永山氏の解析による内部運動の図。双極流アウトフローを示唆する結果から、黄色の丸の付近に水メーザー源が付随する原始星が存在し、ディスクの向きは黒い点線に沿うと考えられる。

図7. VLBAによる水メーザーの観測で得られた内部運動の図(Wu et al. 2014)。私たちの結果とおおよそ一致している。

## 考察 ~Discussion~

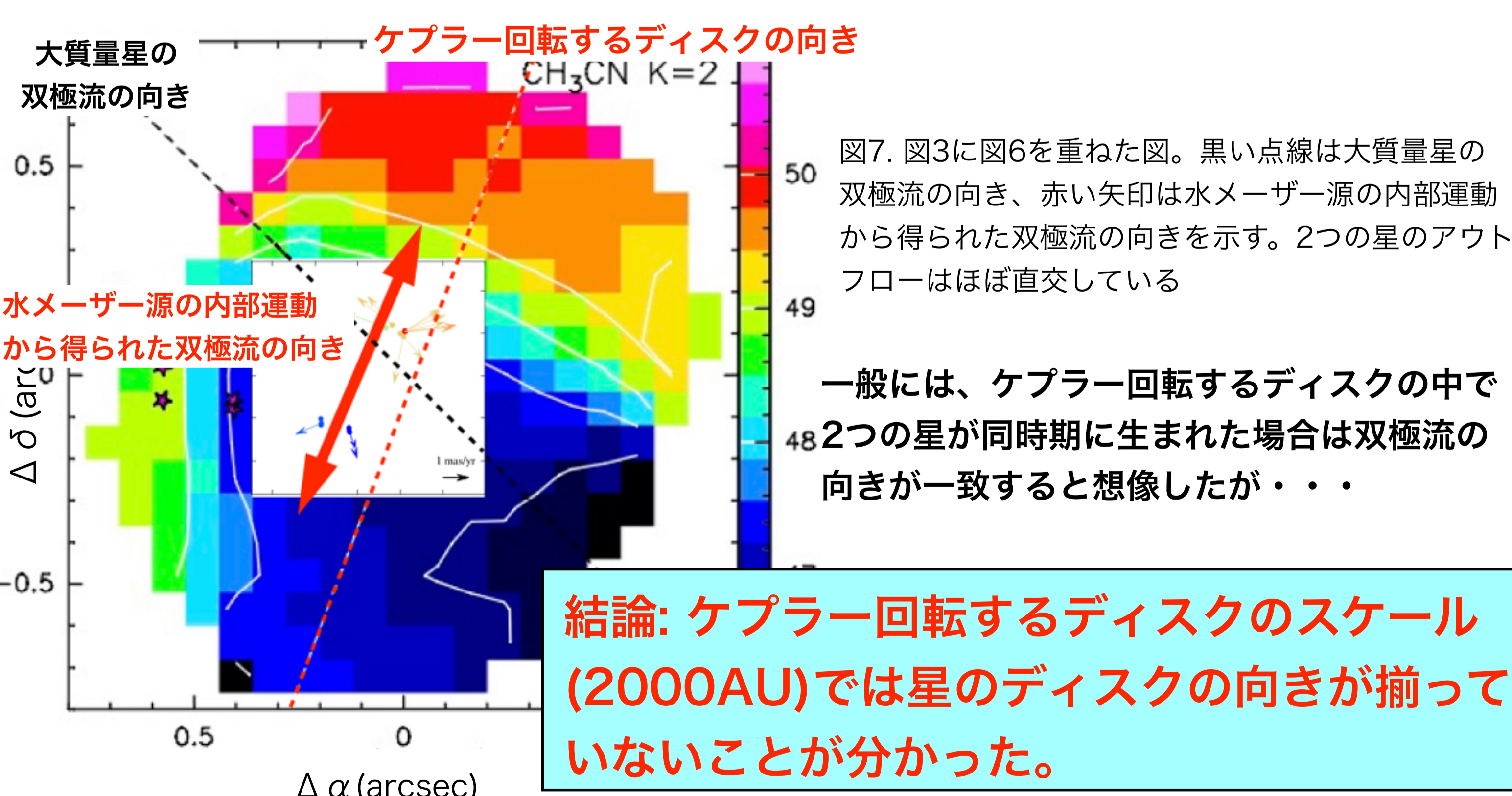


図7. 図3に図6を重ねた図。黒い点線は大質量星の双極流の向き、赤い矢印は水メーザー源の内部運動から得られた双極流の向きを示す。2つの星のアウトフローはほぼ直交している

一般には、ケプラー回転するディスクの中で2つの星が同時期に生まれた場合は双極流の向きが一致すると想像したが・・・

結論: ケプラー回転するディスクのスケール(2000AU)では星のディスクの向きが揃っていないことが分かった。

## 参考文献~References~

M.T. Beltran, A. Sanchez-Monge, R. Cesaroni, M.S.N. Kumar, D. Galli, C.M. Walmsley, S.Etoka, R.S. Furuya, L. Moscadelli, T. Stanke, F.F.S. van der Tak, S. Vig, K.-S. Wang, H. Zinnecker, D. Elia, and E. Schisand. 2014, A&A,571,A52  
 Y. W. Wu, M. Sato, M. J. Reid, L. Moscadelli, B. Zhang, Y. Xu, A. Brunthaler, K. M. Menten, T. M. Dame, and X. W. Zheng 2014, A&A,566,A17