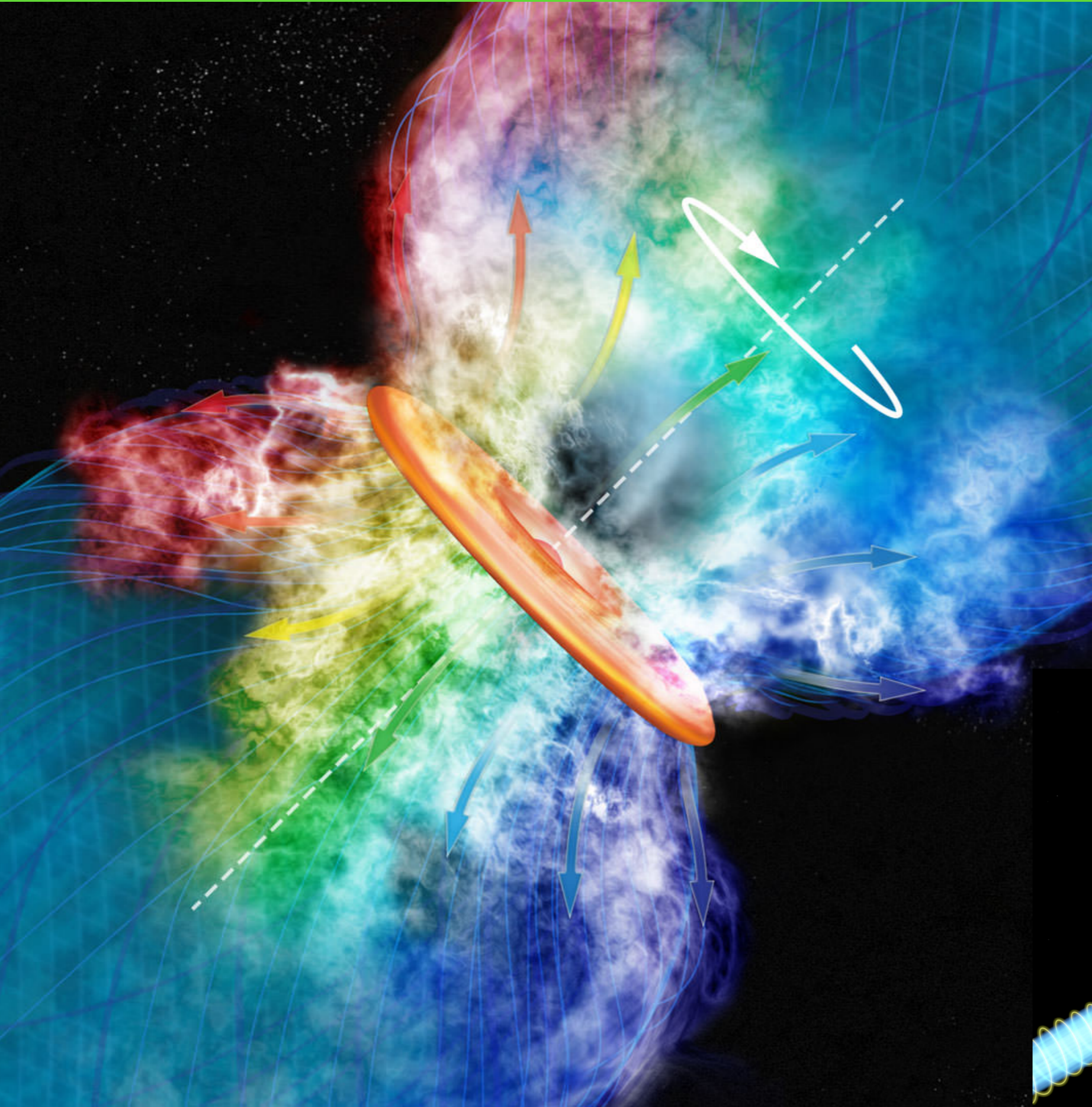


VERAを用いた大質量 星形成領域の研究

G35.03+0.35, Mol 160, W48N

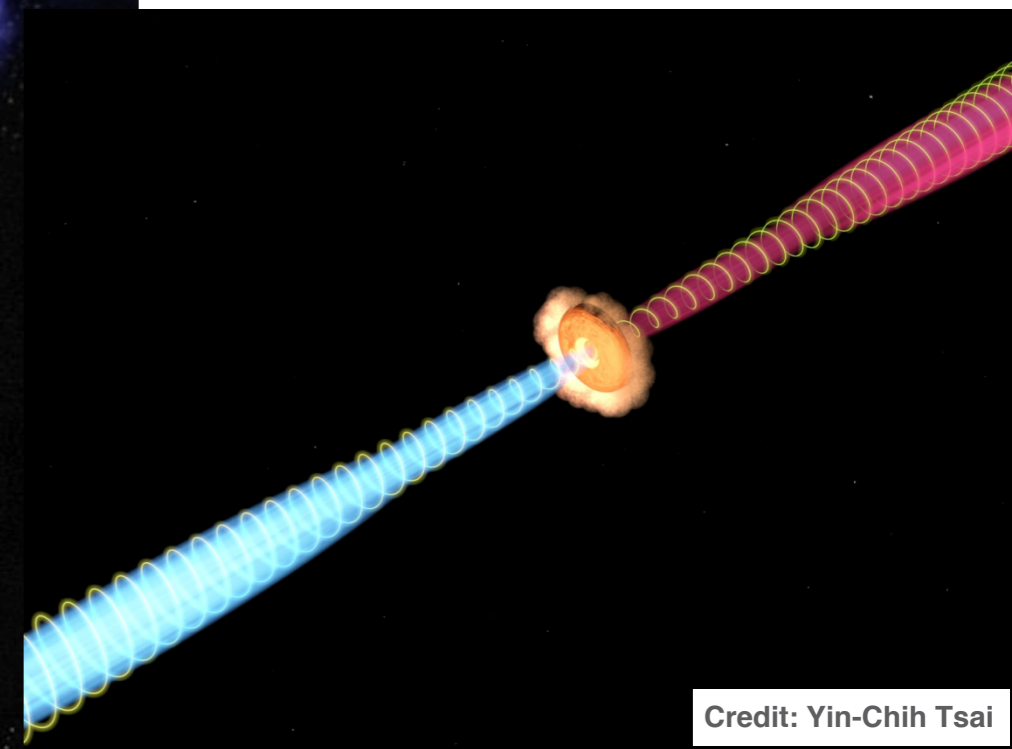
面高 俊宏

1.導入

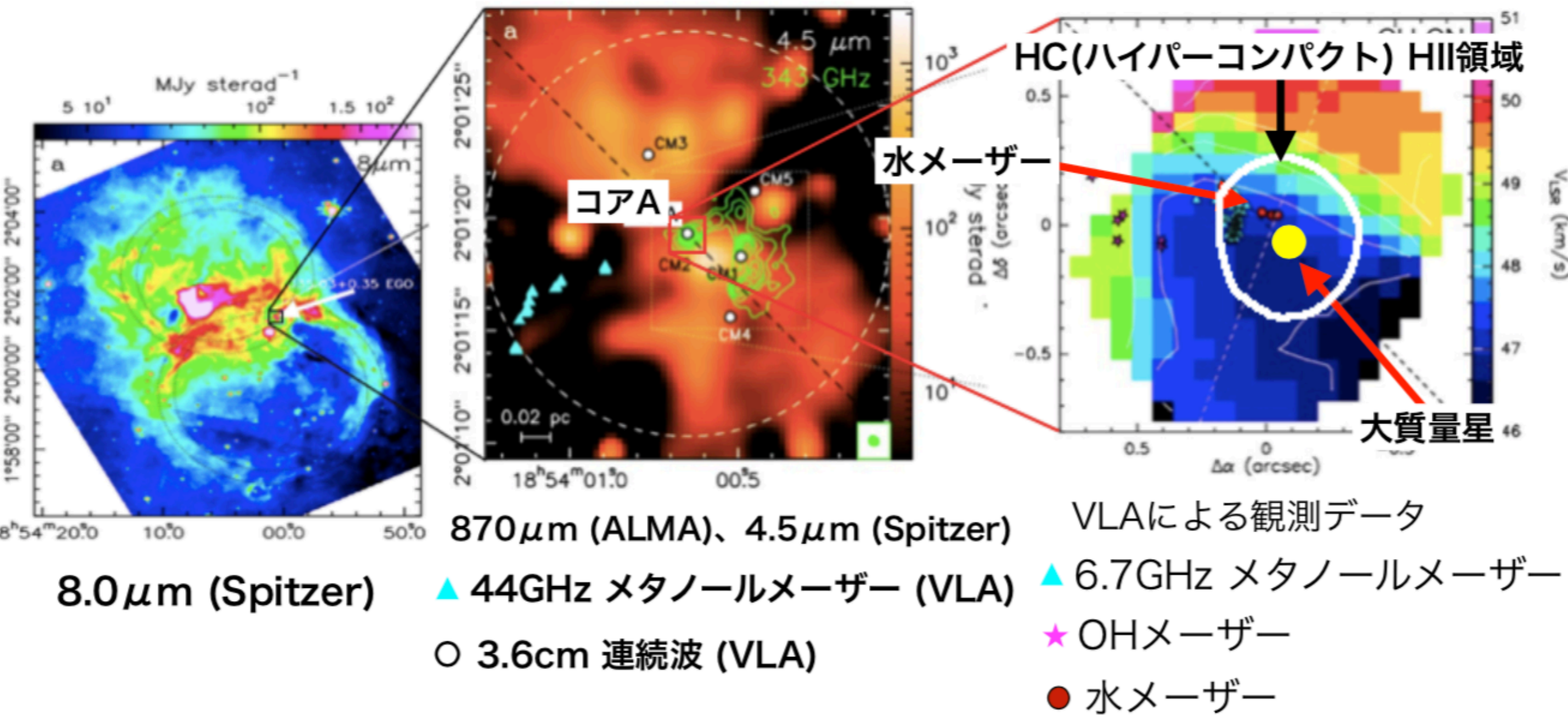


研究目的:
大質量星のディスクとアウトフローのシステムの解明

VERAを用いて水レーザー分布を観測
=>アウトフローをトレース
できるので、研究に最適



1.導入/G35.03+0.35

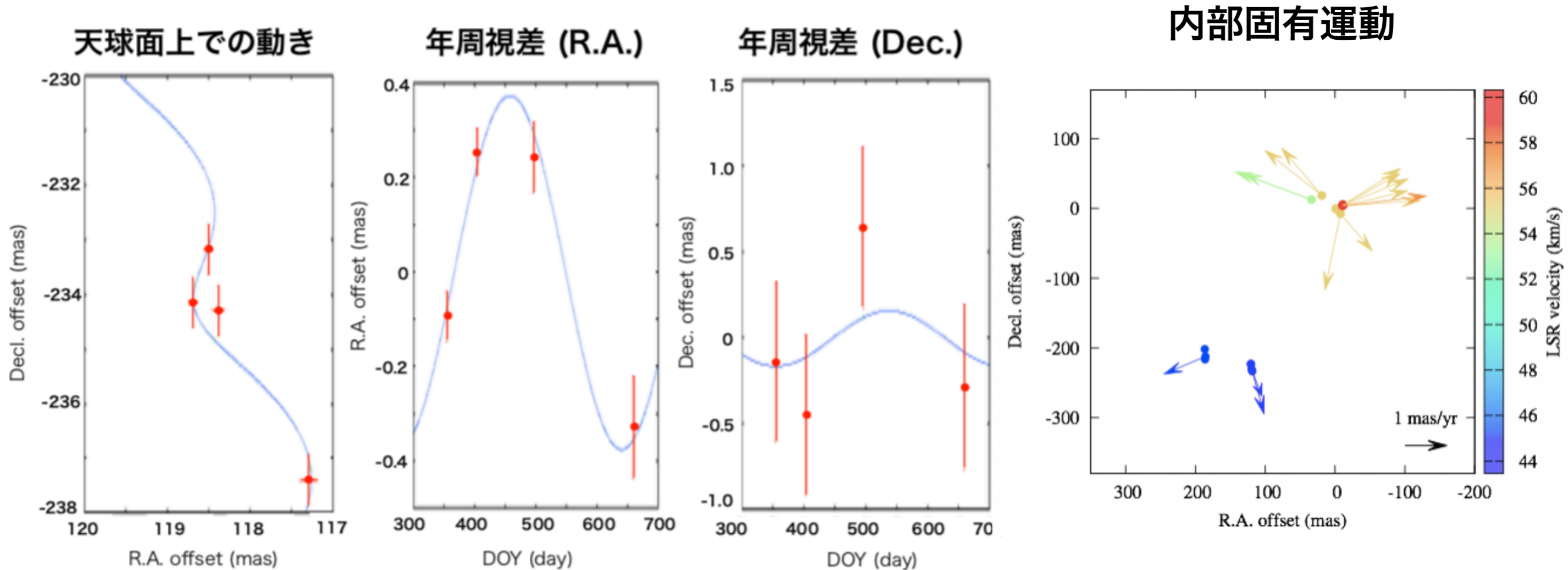


Beltran et al. 2014

- ケプラー回転するディスク(直径2000AU)の中心に大質量星が誕生
- 回転するディスクに直交した双極流(4.5 μm)

2.結果/G35.03+0.35

VERAによる年周視差と固有運動/G35.03+0.35



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

G35.03+0.35 $V_{\text{sys}} = 49.5$ km/s

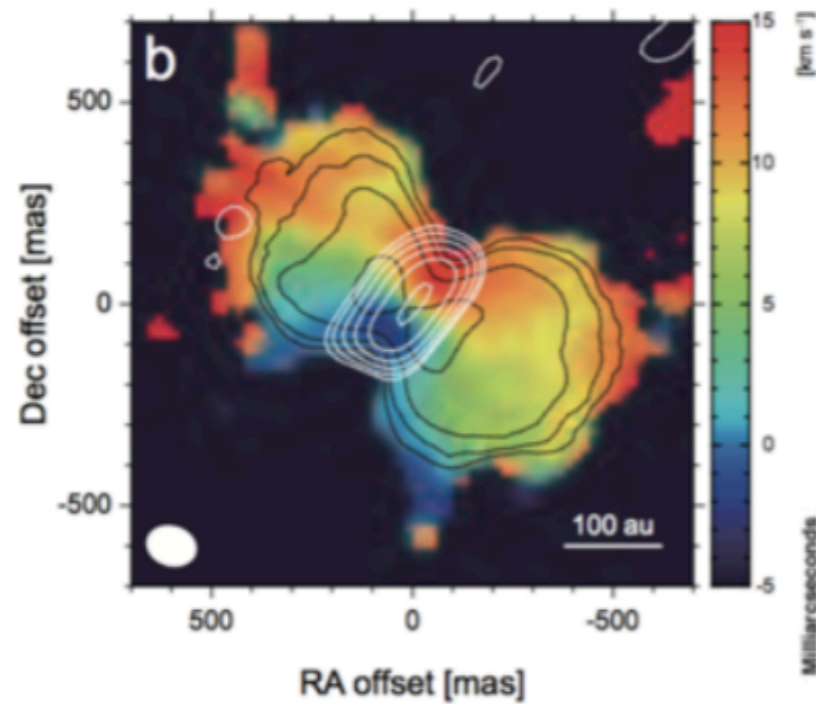
red成分 53~62 km/s

blue成分 44~48 km/s

双極流アウトフローを
示唆する結果

3. 議論/G35.03+0.35

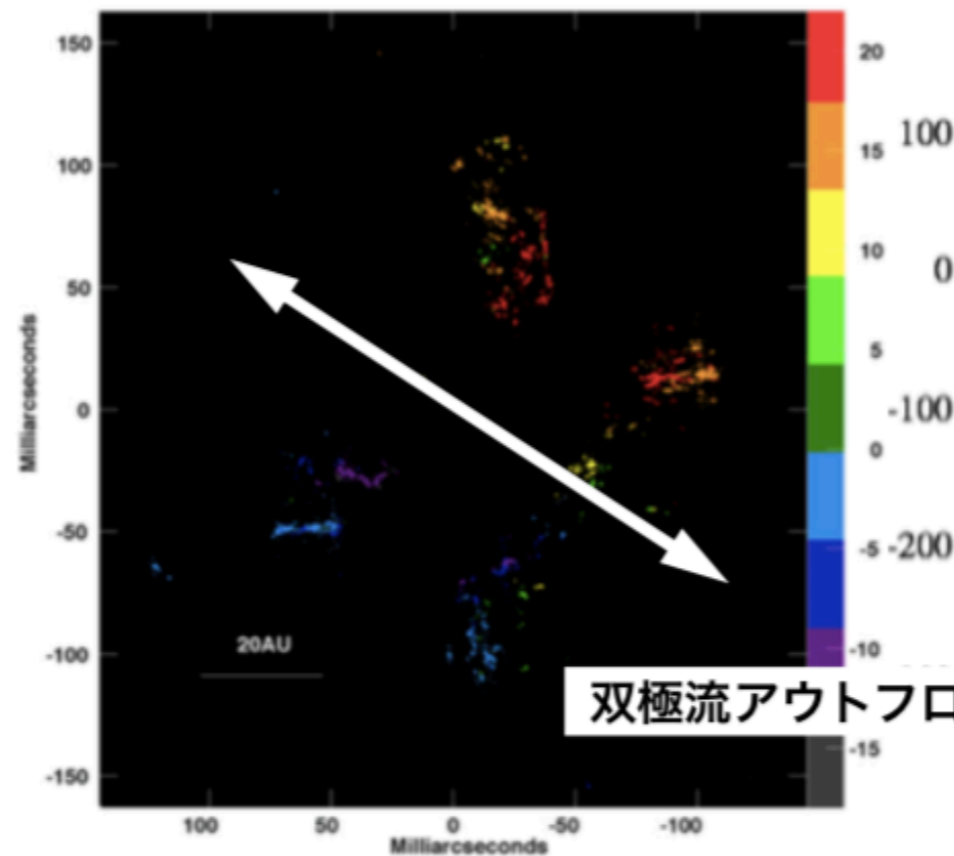
Orion KL Source Iの回転するディスクとアウトフローの例



490GHz 連続波 (ALMA)
484GHz SiO輝線 (ALMA)

Hirota et al. 2017

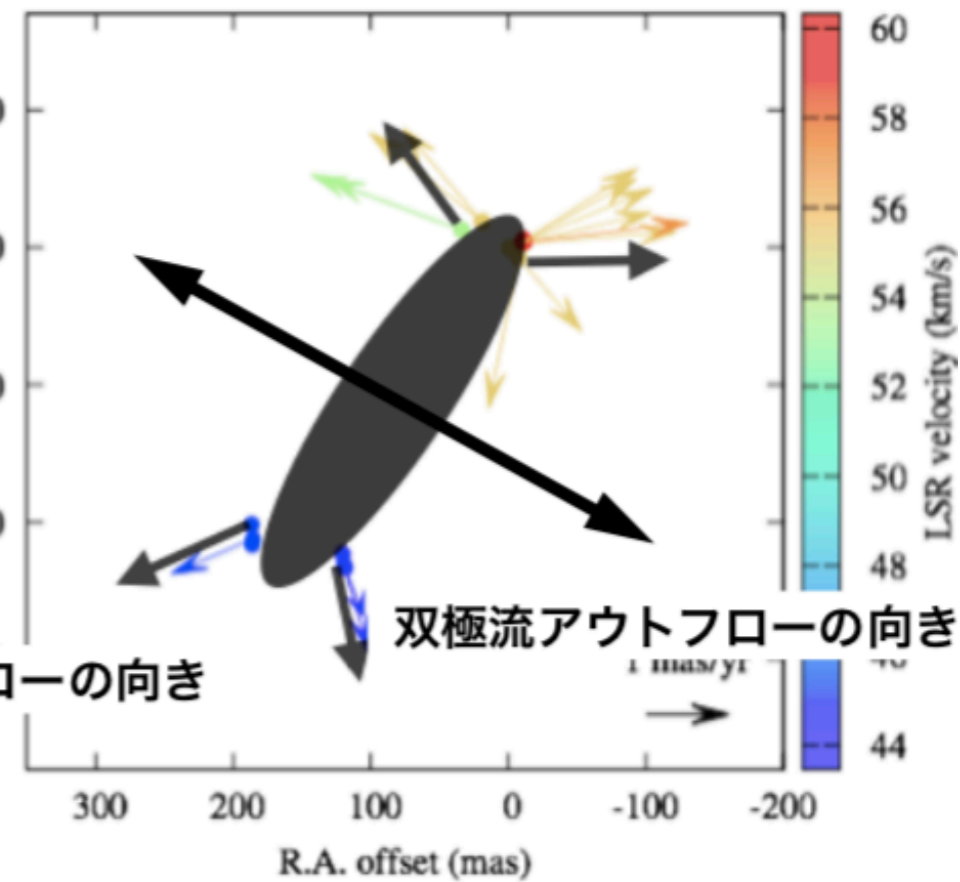
SiOメーザースポットの分布図(VLBA)



Orion KL

Matthews et al. 2010

水メーザースポットの内部運動



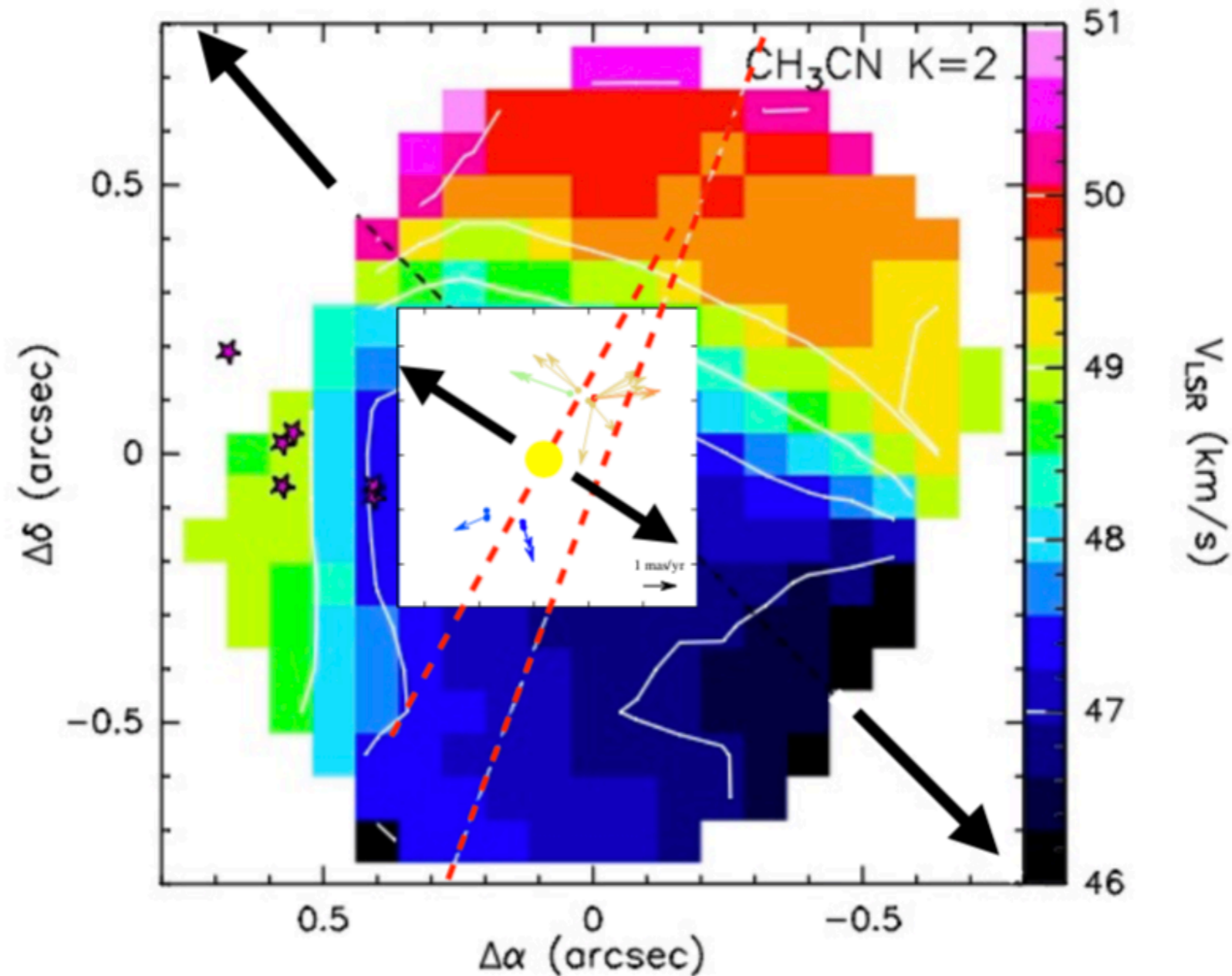
G35.03+0.35

双極流アウトフローの向き

双極流アウトフローの向き

3. 議論/G35.03+0.35

G35.03+0.35のアウトフロー

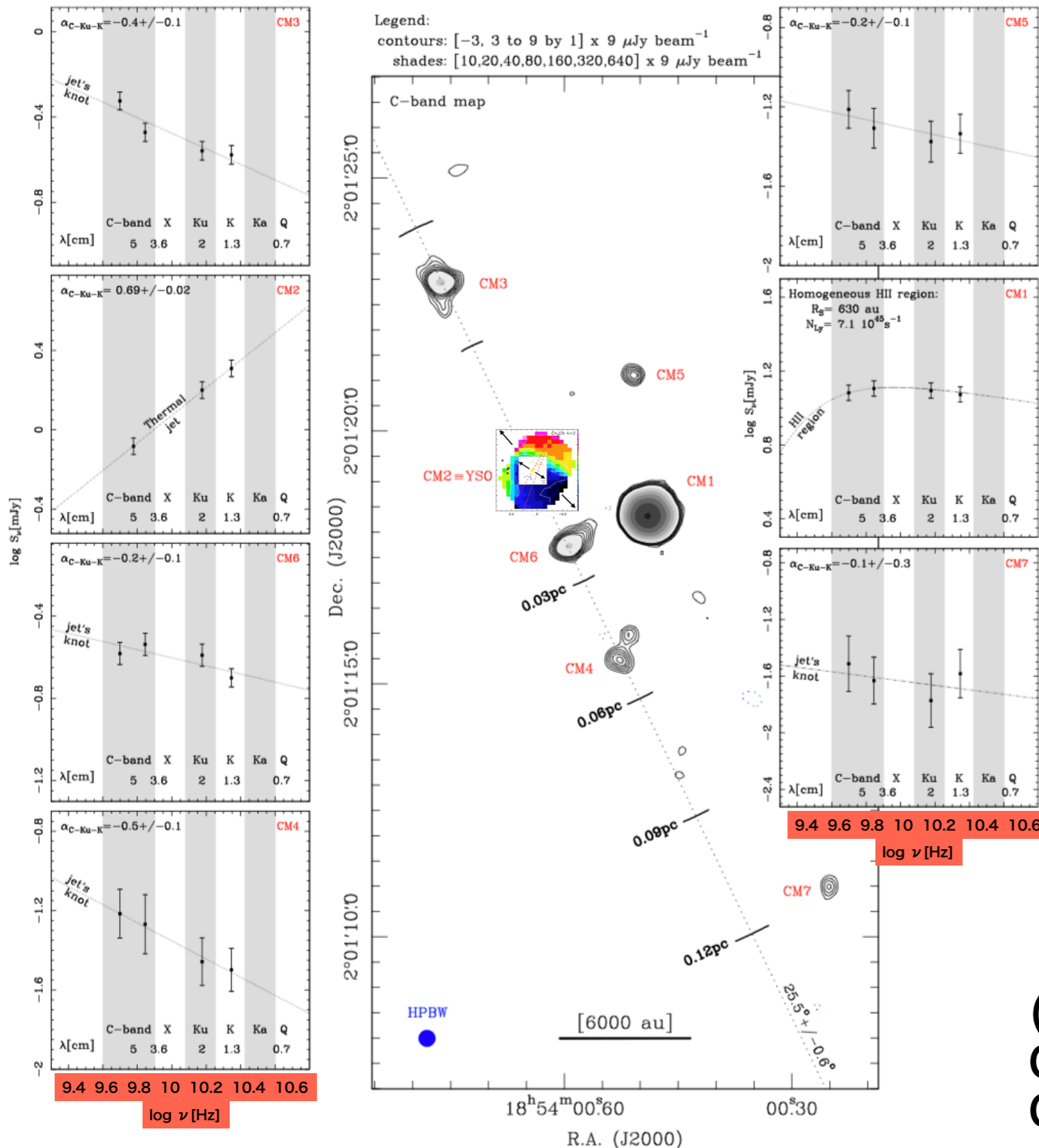


⇒2つの星のアウトフローは平行

⇒太陽系よりほぼ1桁大きなスケールのケプラー回転するディスク内で角運動量の向きが揃っている

3. 議論 / G35.03+0.35

G35.03+0.35におけるシンクロトロン放射(A.Sanna et al.2019)



CM2,CM3,CM4が直線上にのり
 CM2からjetが飛びだしている

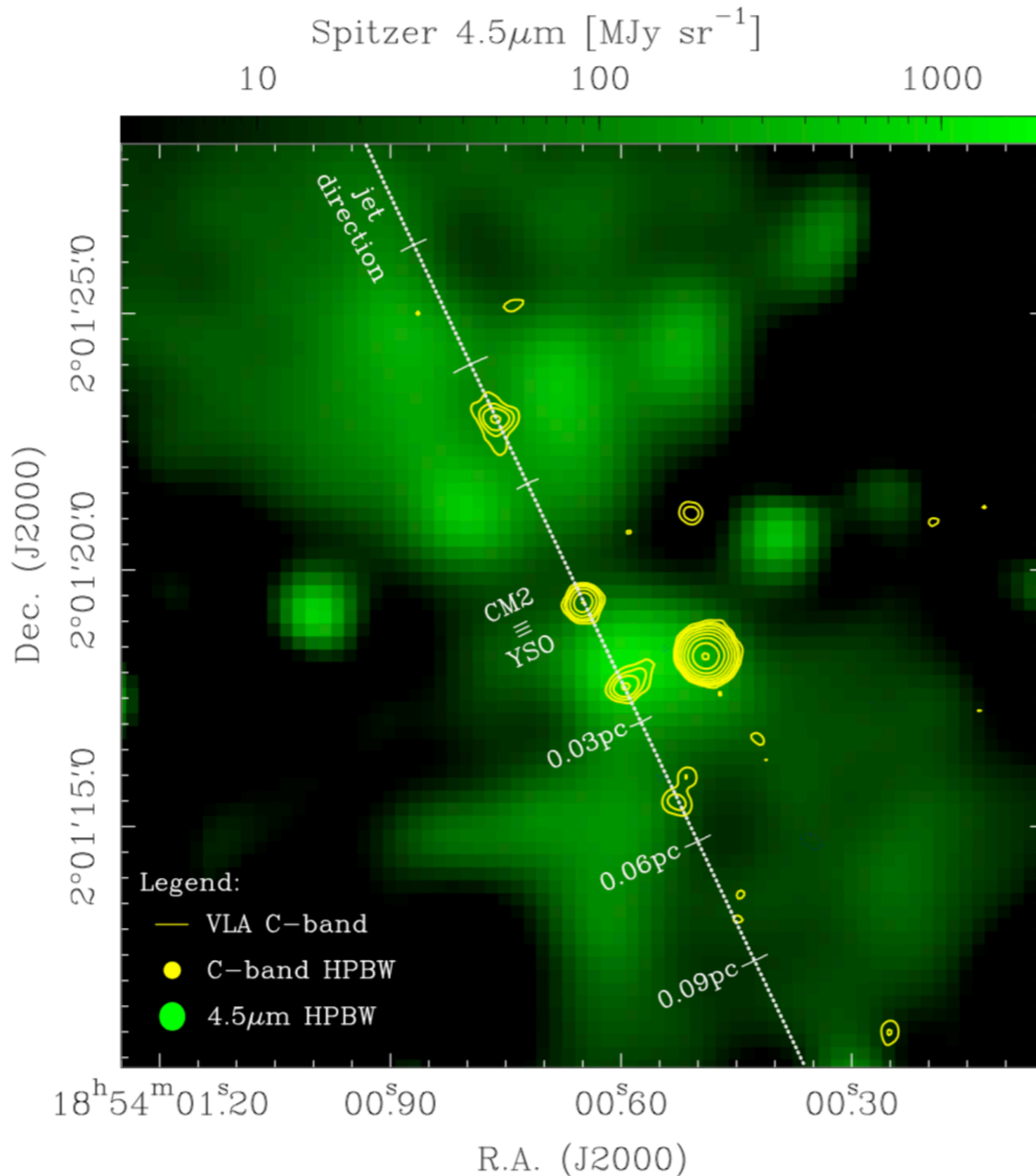
CM3,CM4がnon-thermal
 synchrotron放射の特徴を示している。

CM2の位置で検出された
 メタノールレーザーより
 linearly polarized emission
 を示している
 (Surcis et al.2015)

Hunter et al.2018において、NGC6334I-MM1Bに対してOHレーザーの観測で磁場強度0.5~3.7mGと計測=>上記の推定値と一致

(minimum-energyの)磁場強度は
 CM3で1.3mG
 CM4で0.7mG と推定。

3. 議論 / G35.03+0.35



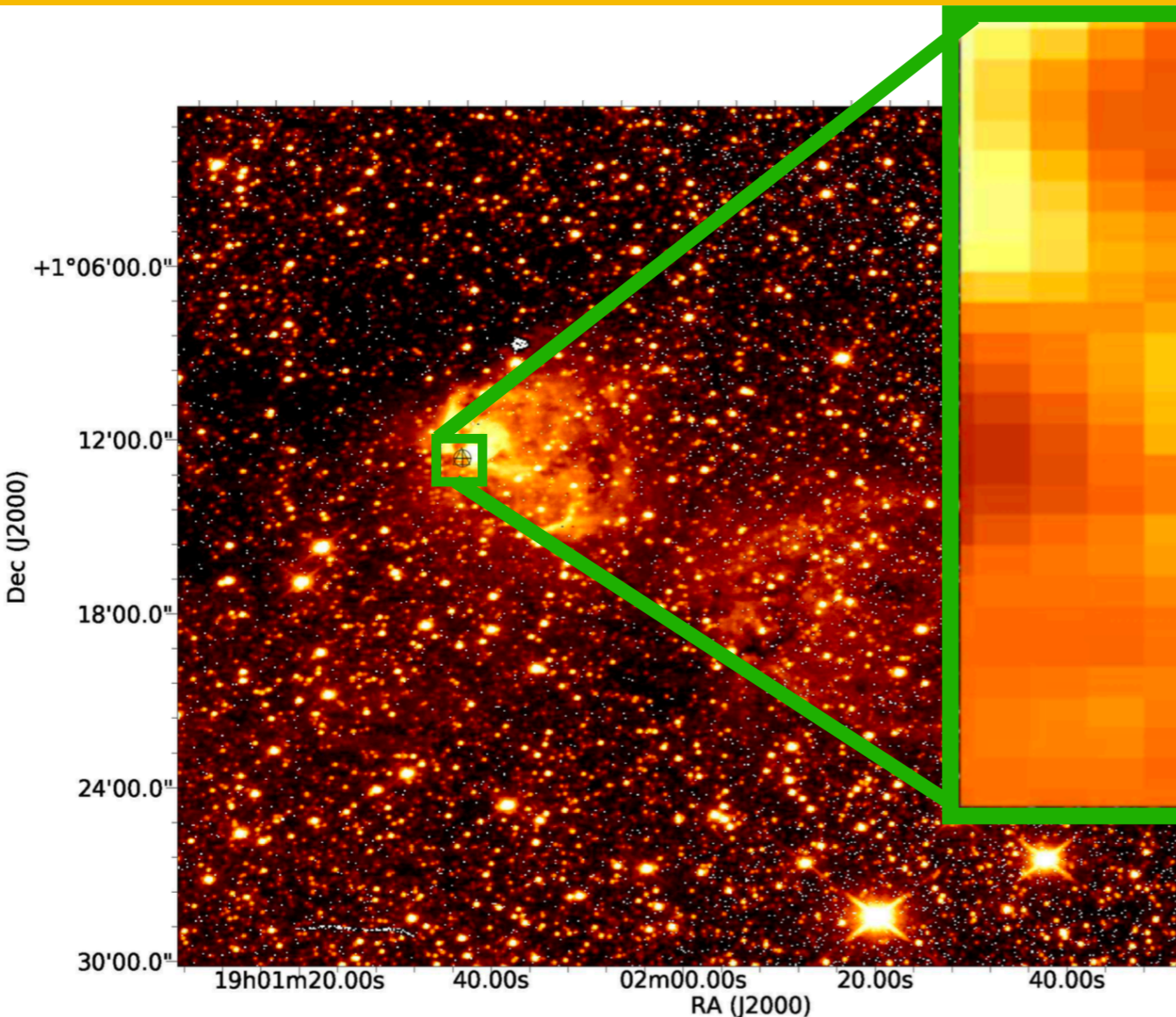
CM2の半径:2000AU
=> $\sim 3 \times 10^{11}$ [km]

H II領域が10[km/s]で膨張すると
考えると、 3×10^{10} [s]
今のH II領域に広がるまで
 ~ 1000 [yr]かかる計算になる。

jetの大きさ:0.1pc(~ 20000 AU)
と考えると、
jetの速度が200km/sの場合
 ~ 500 [yr]かかる計算になる。

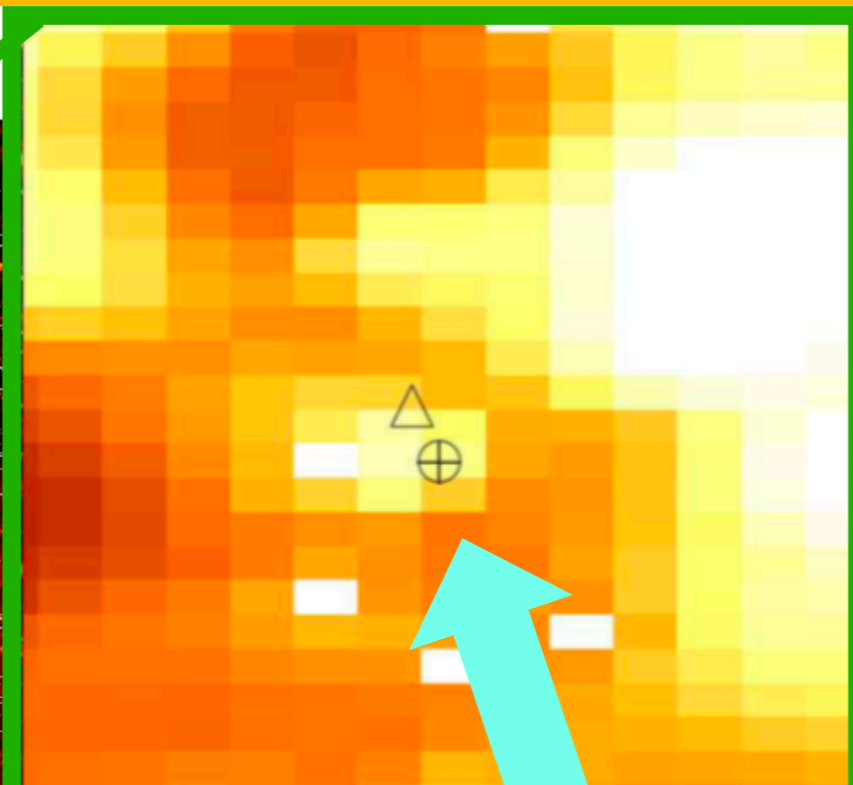
C-band: $[-3, 3, 7, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640] \times 9 \mu\text{Jy beam}^{-1}$

1.導入/W48A

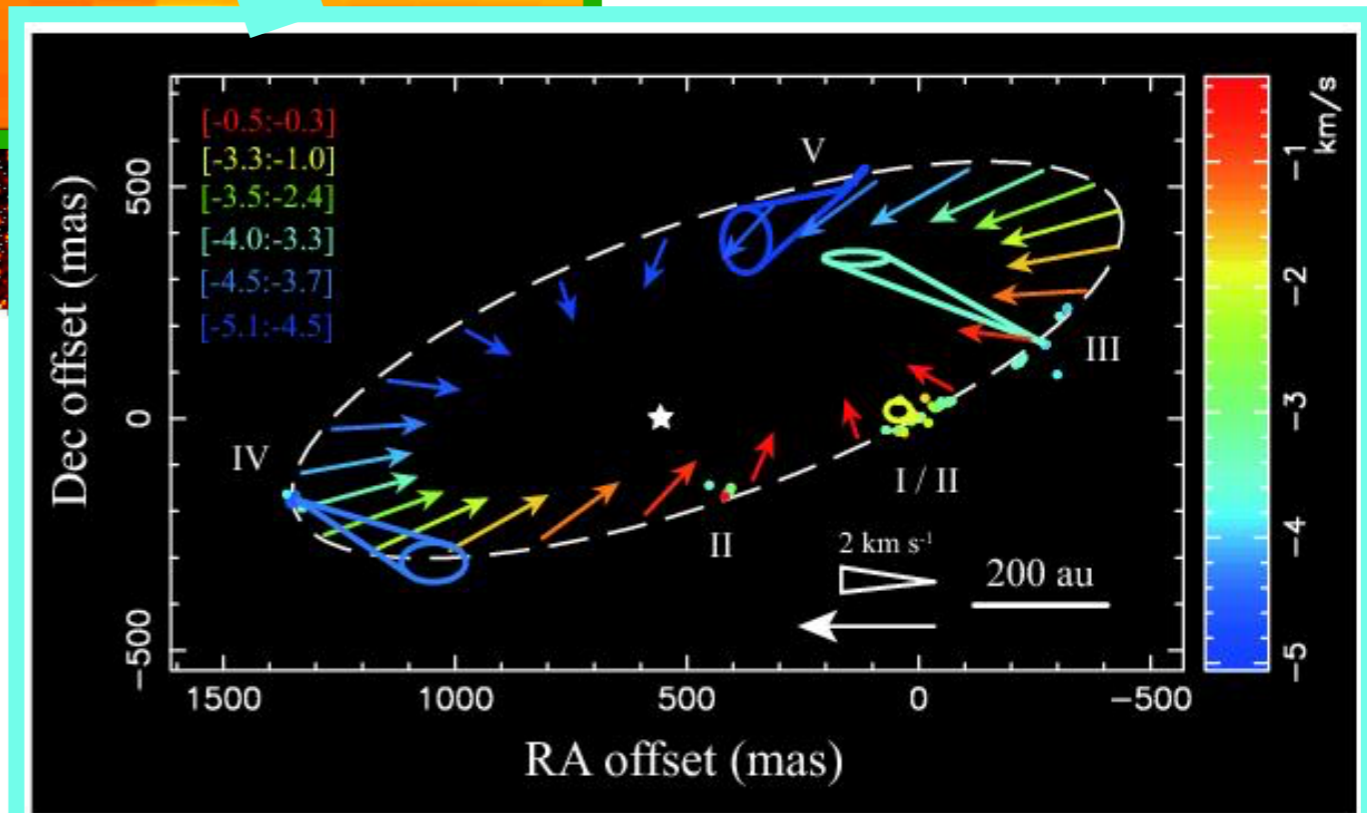


WISEのバンド1 (3.14 μm)の画像

メタノールメーザーの分布より
W48Aのディスクモデルを構築
(Sugiyama et al.2014)



Sugiyama et al.2014

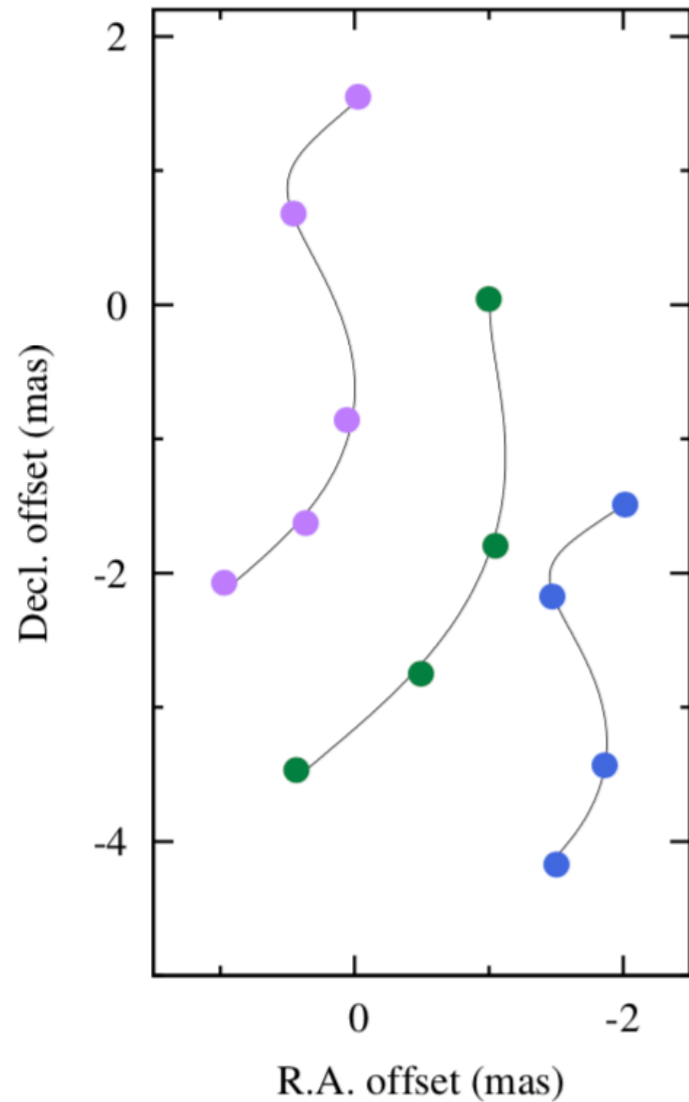


メタノールメーザーの観測によるW48Aのディスクモデル

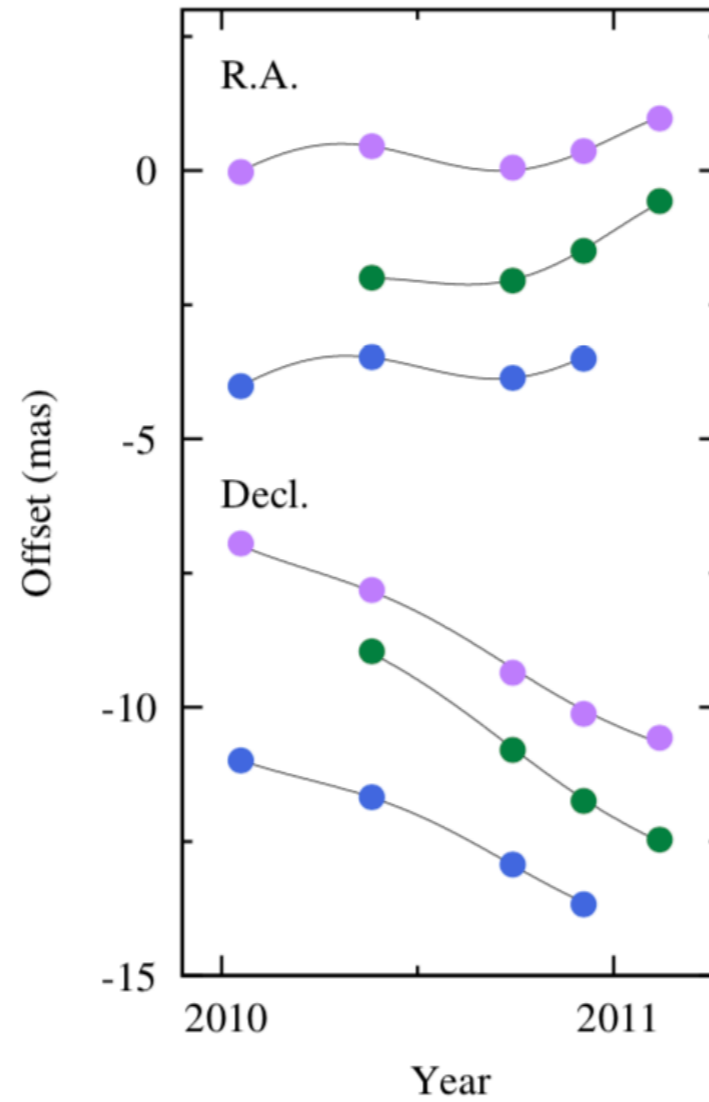
2.結果/W48A

VERAによる年周視差と固有運動/W48A

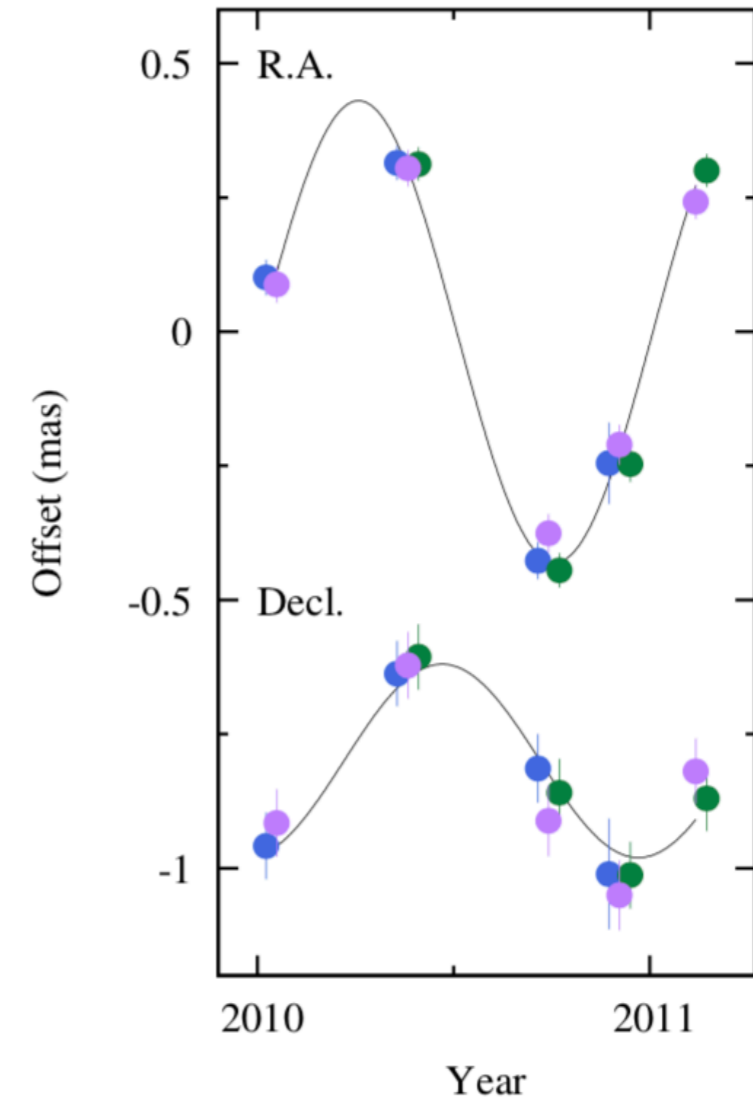
天球面上での動き



固有運動



年周視差

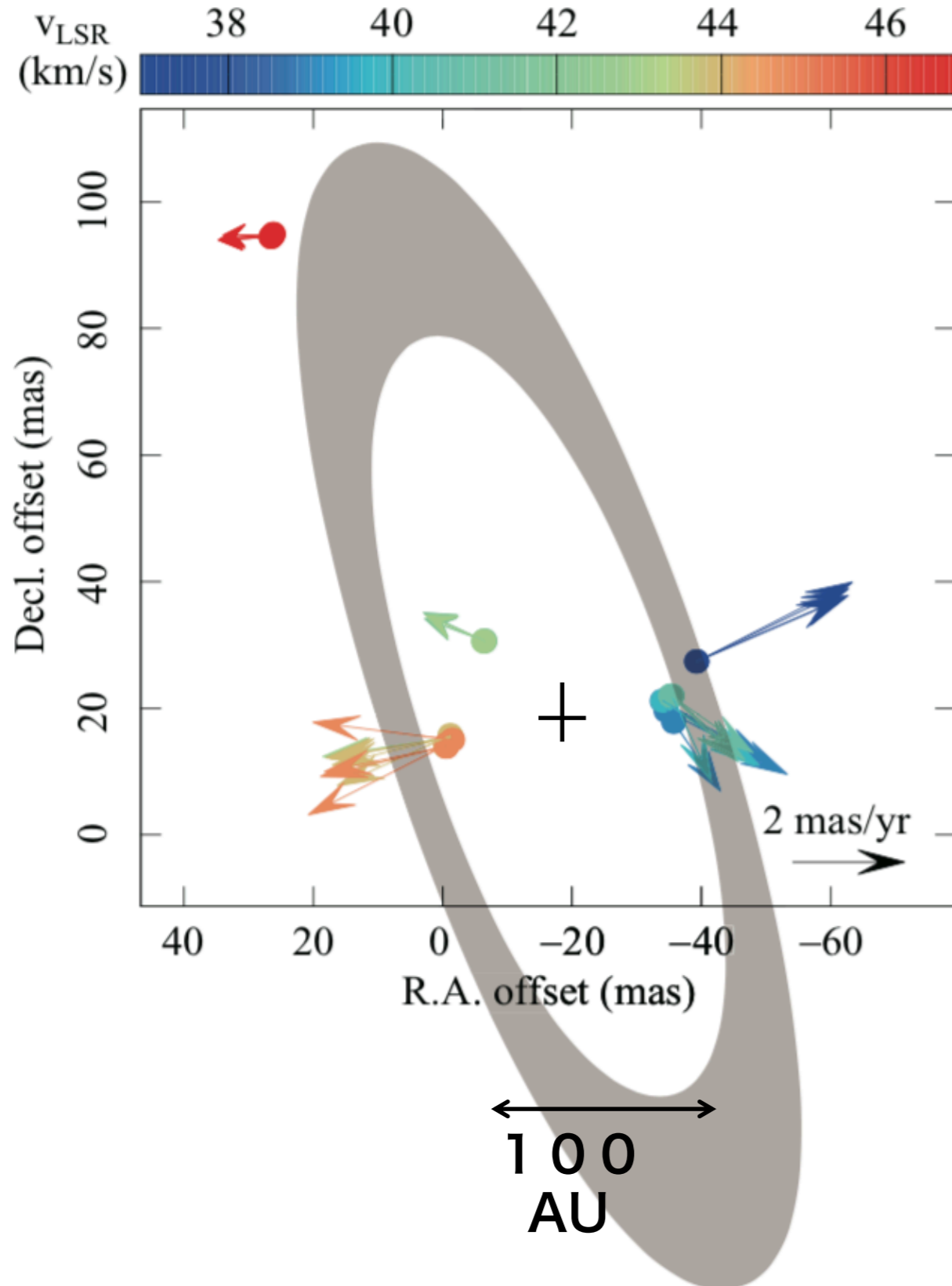


年周視差 0.433 ± 0.026 mas 距離 $2.31^{+0.15}_{-0.13}$ Kpc

固有運動 $(\mu_x, \mu_y) = (-0.05 \pm 0.81, -3.51 \pm 0.38)$ mas yr⁻¹

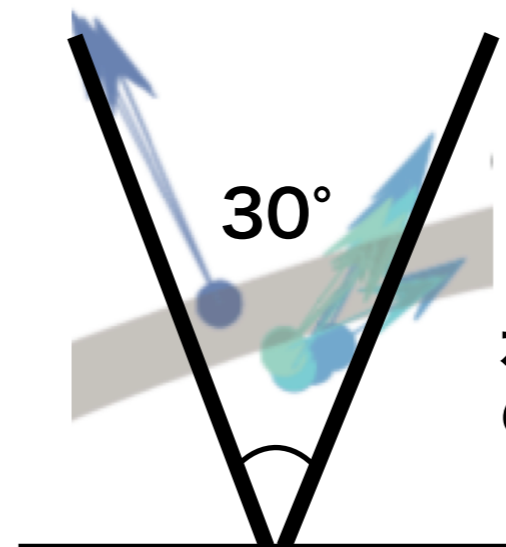
3.議論/W48A

ディスクと水メーザー分布との重ね合わせ



水メーザー分布は
(メタノールメーザー分布による)ディスク
に対して**中心**から**直交**して
アウトフローを出している。

アウトフローのposition angleと
inclination angleは、
それぞれ **$-80 \pm 3^\circ$** および **$82 \pm 2^\circ$** と推定
(ほぼ東西方向へエッジオンで流出)

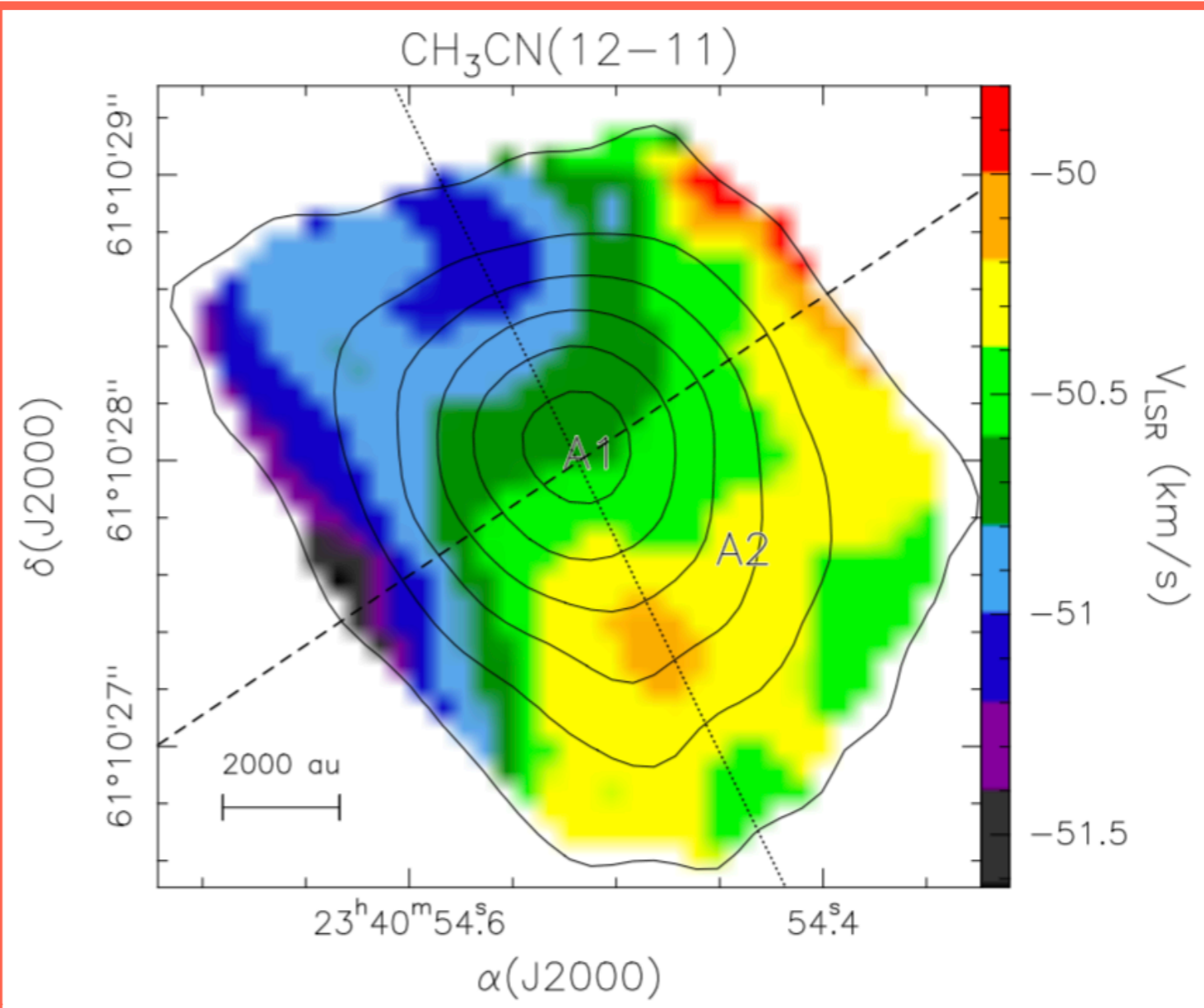
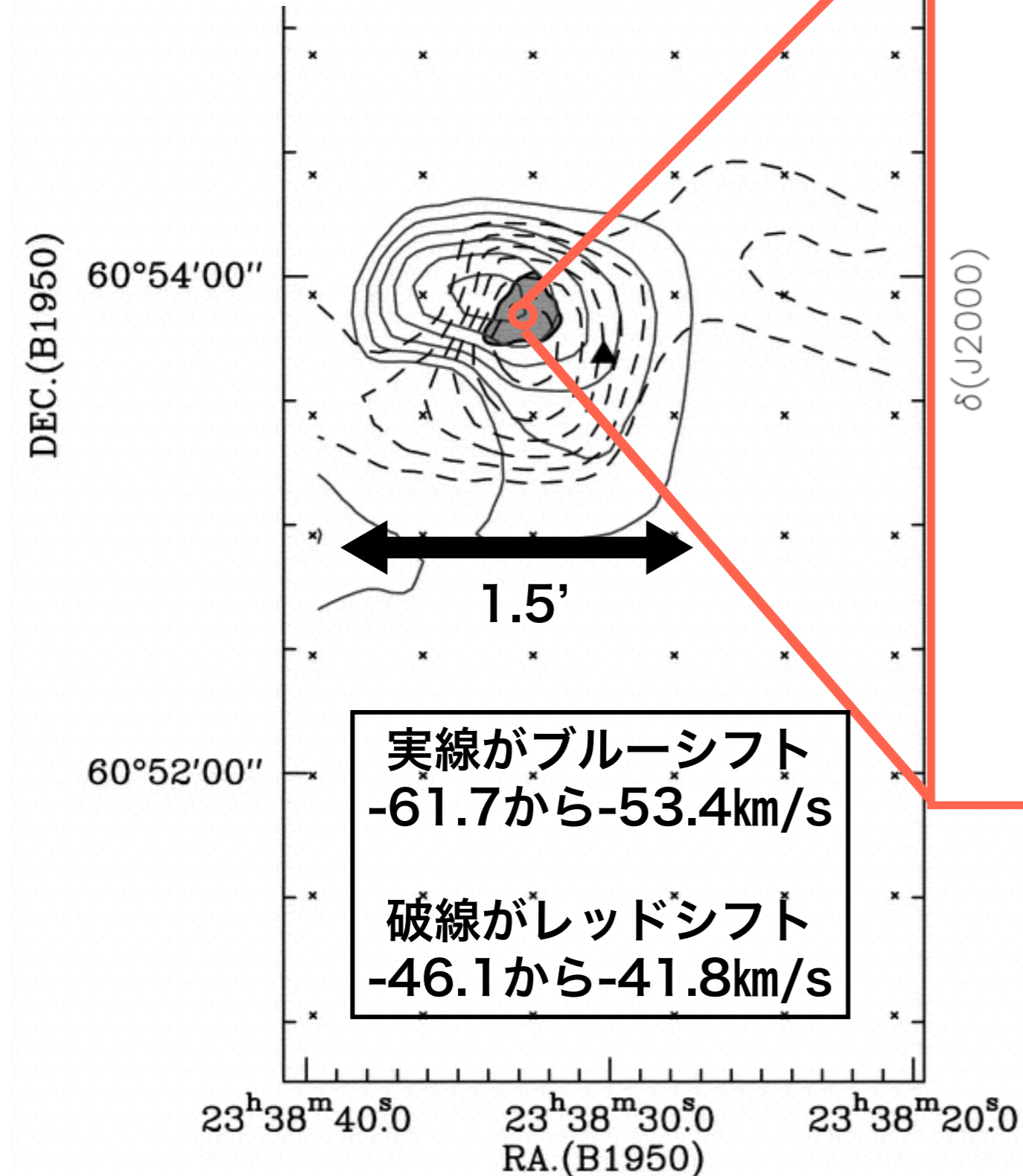


水メーザーのアウトフロー
の見込み角は、約 30° となる

1. 導入/MoI160

Cesaroni et al.2019

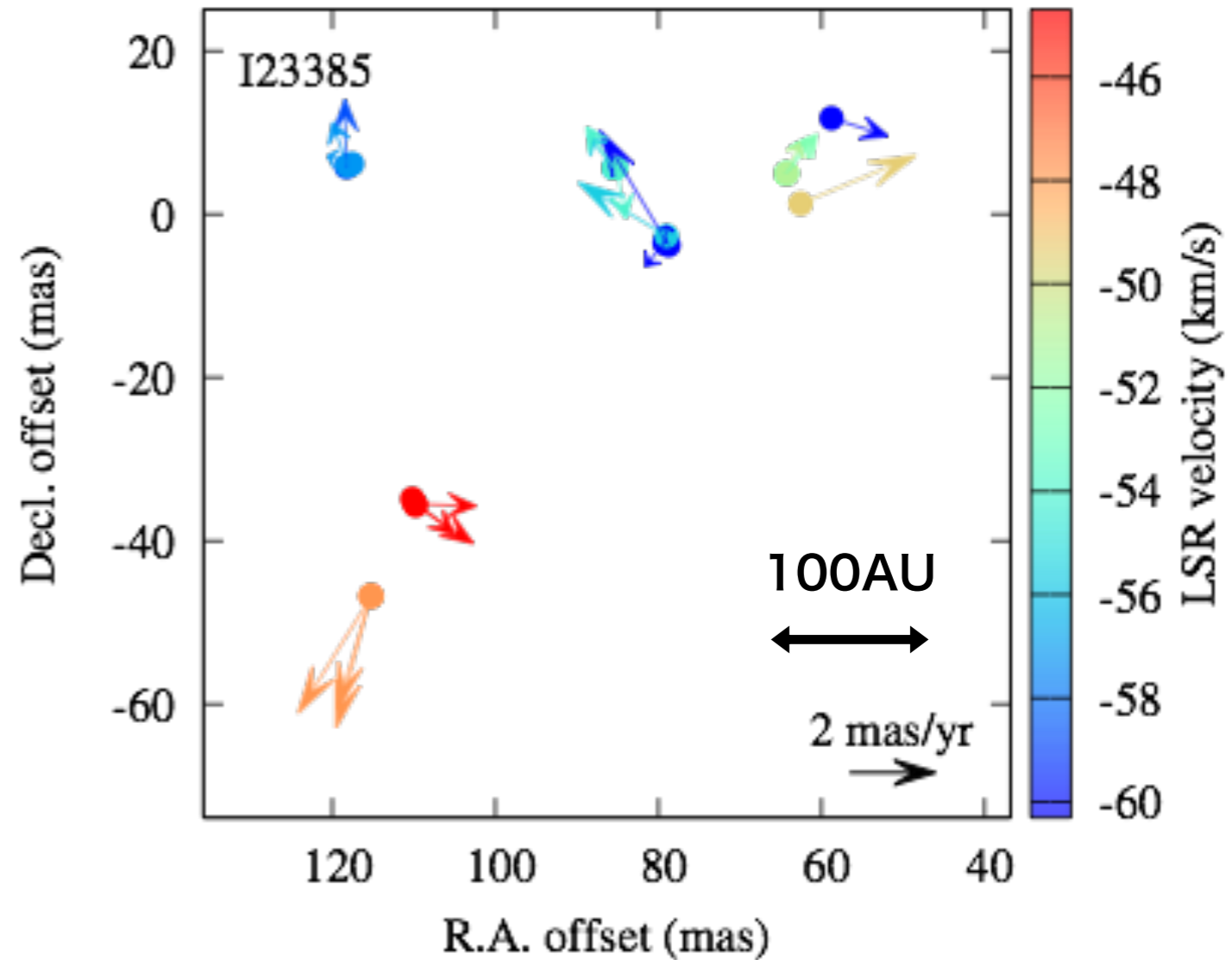
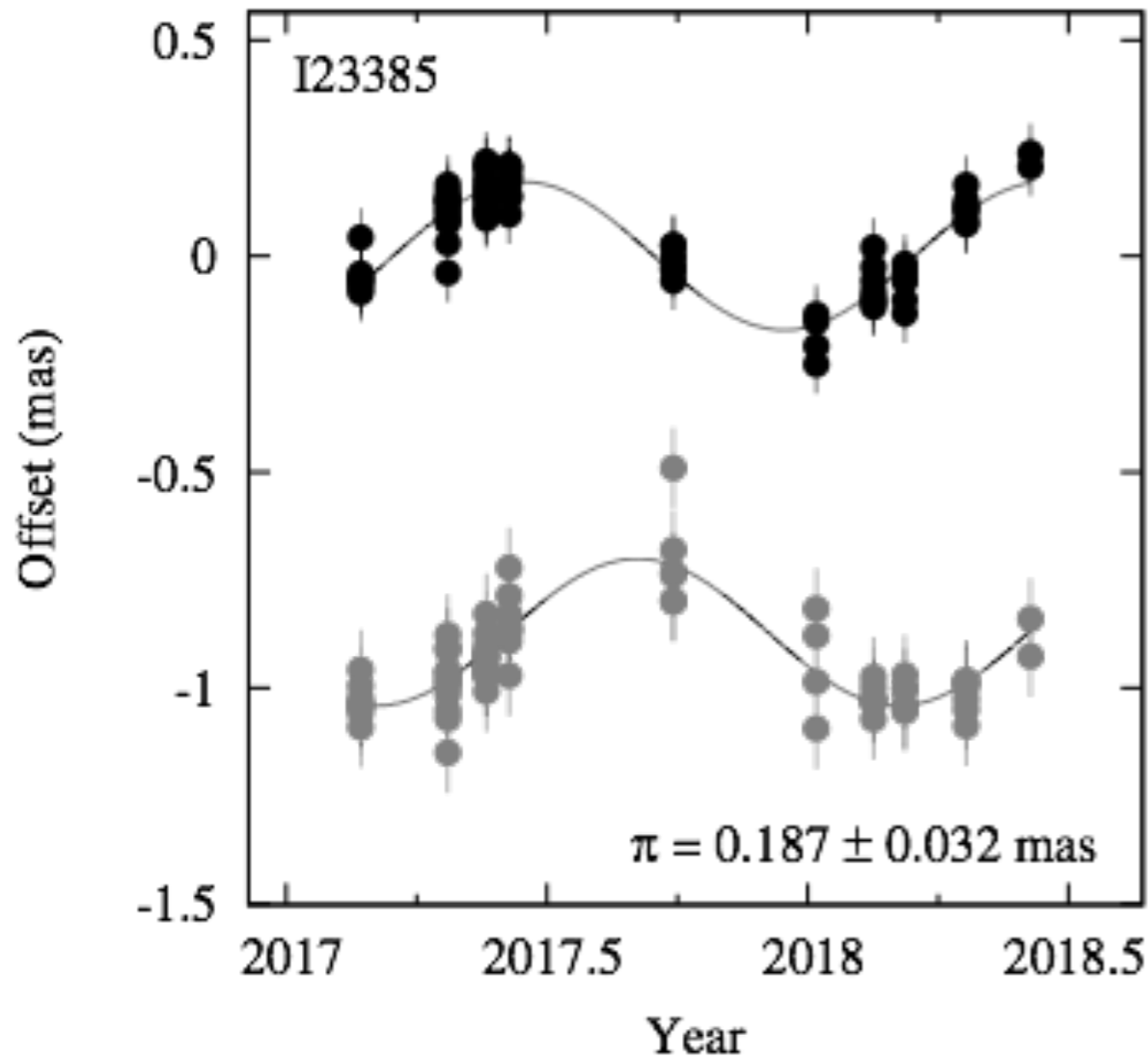
Wu et al.2005
CO(J=2-1)



Cesaroni et al.2019において、
ガス円盤が観測されている。

2.結果/MoI160

VERAによる年周視差と固有運動/MoI160

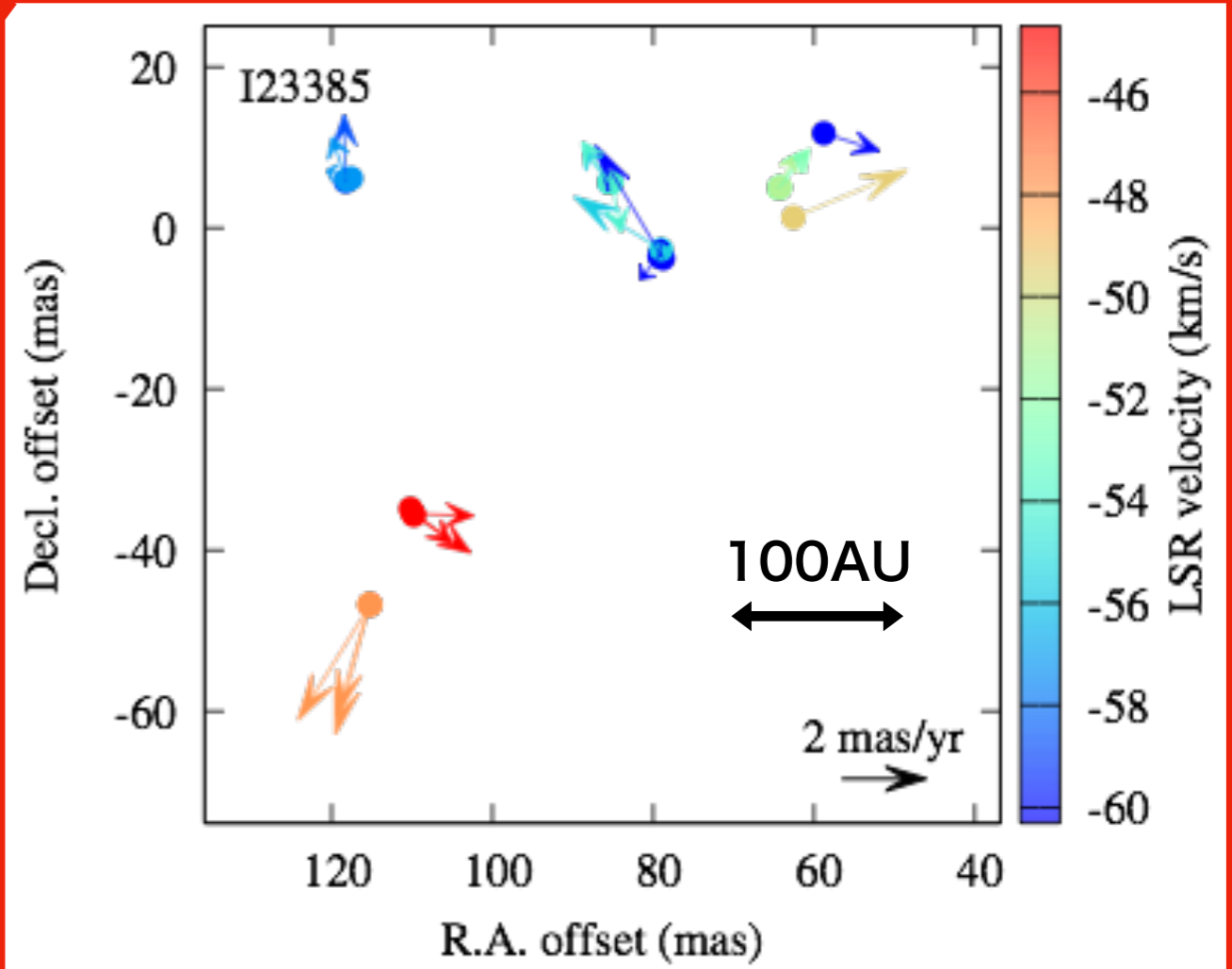
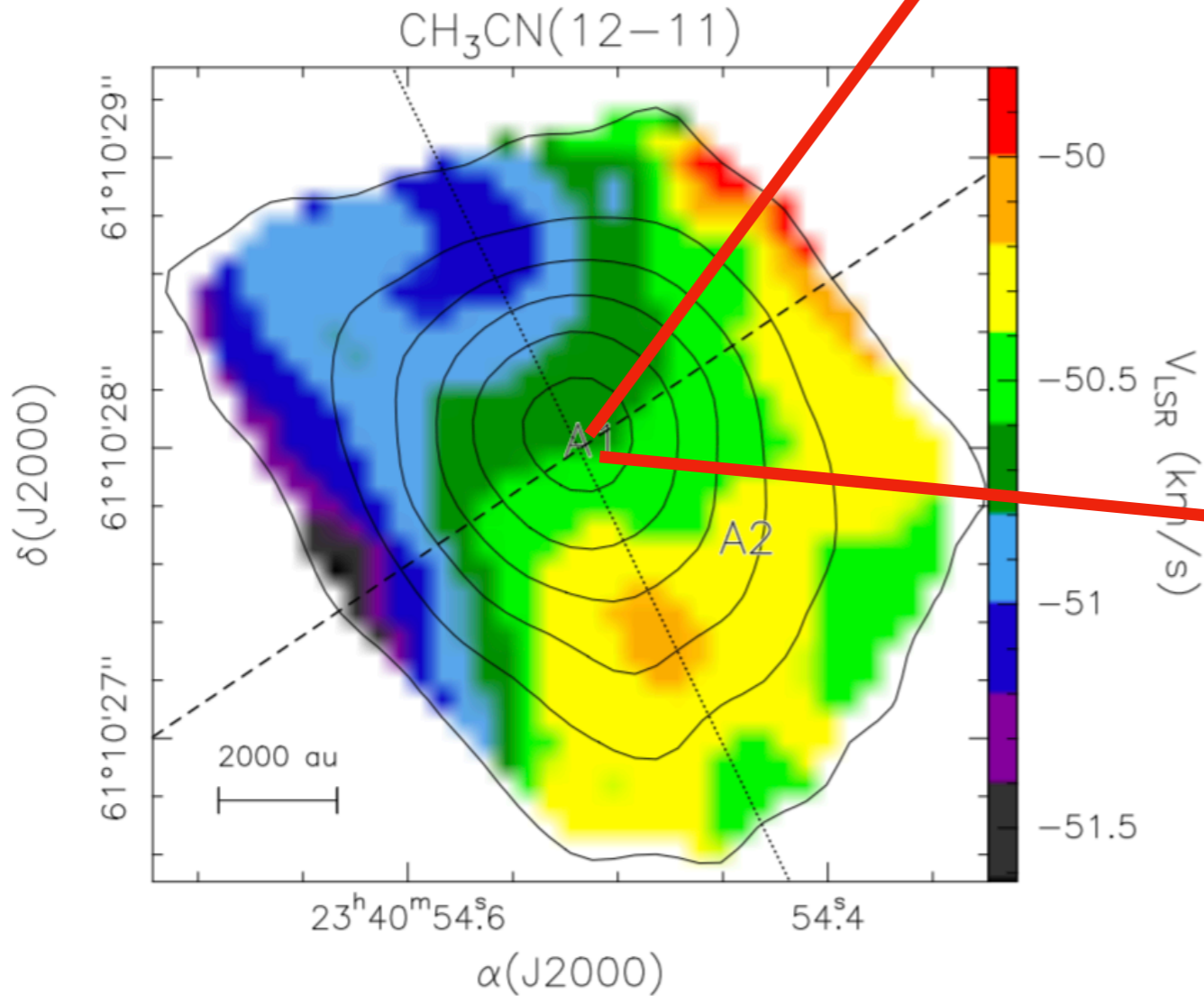


年周視差 $0.187 \pm 0.032 \text{ mas}$ 距離 $5.35^{+0.78}_{-1.10} \text{ Kpc}$

固有運動 $(\mu_x, \mu_y) = (-2.55 \pm 0.25, -0.78 \pm 0.32) \text{ mas yr}^{-1}$

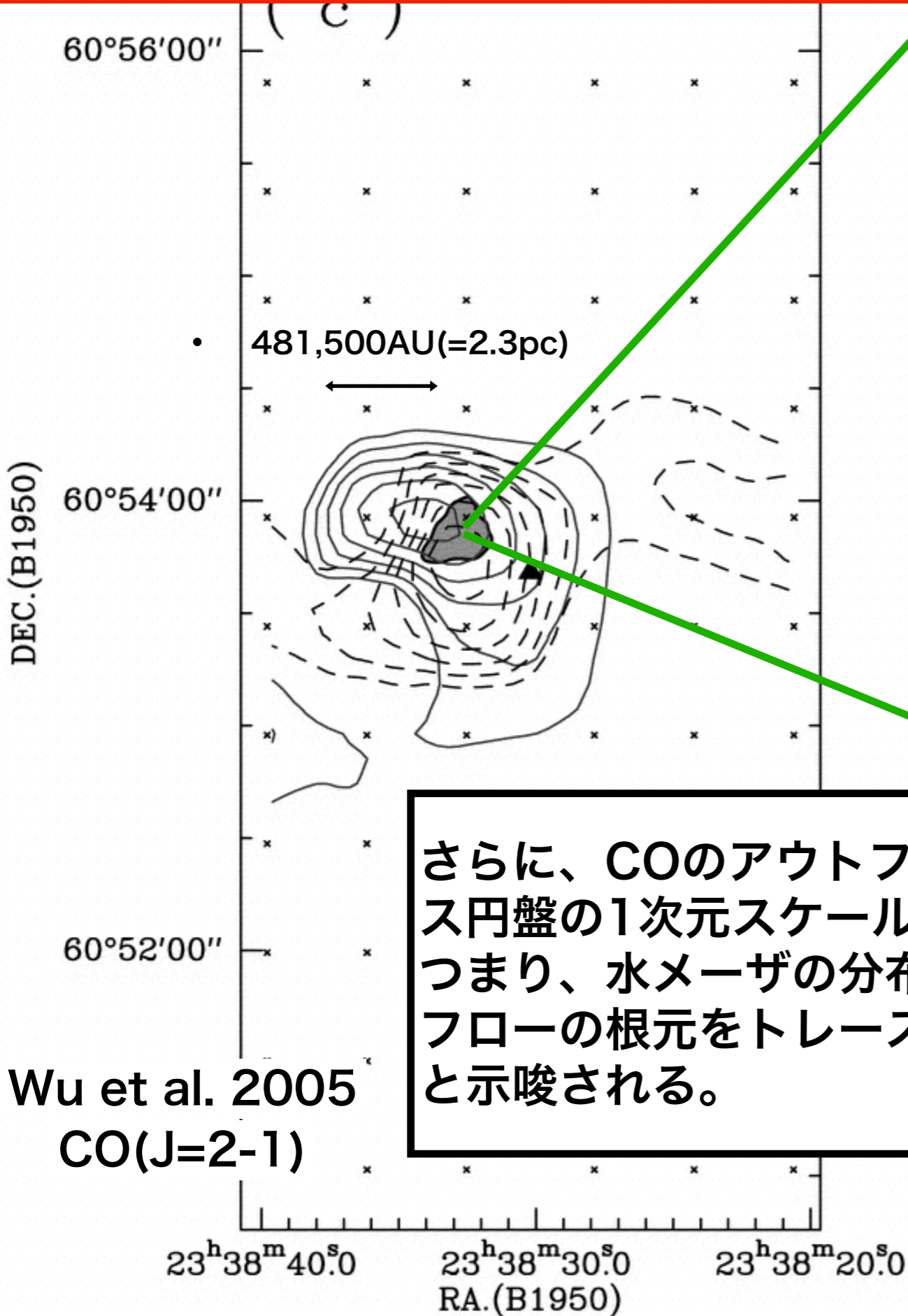
3. 議論/Mo160

ディスクとアウトフロー

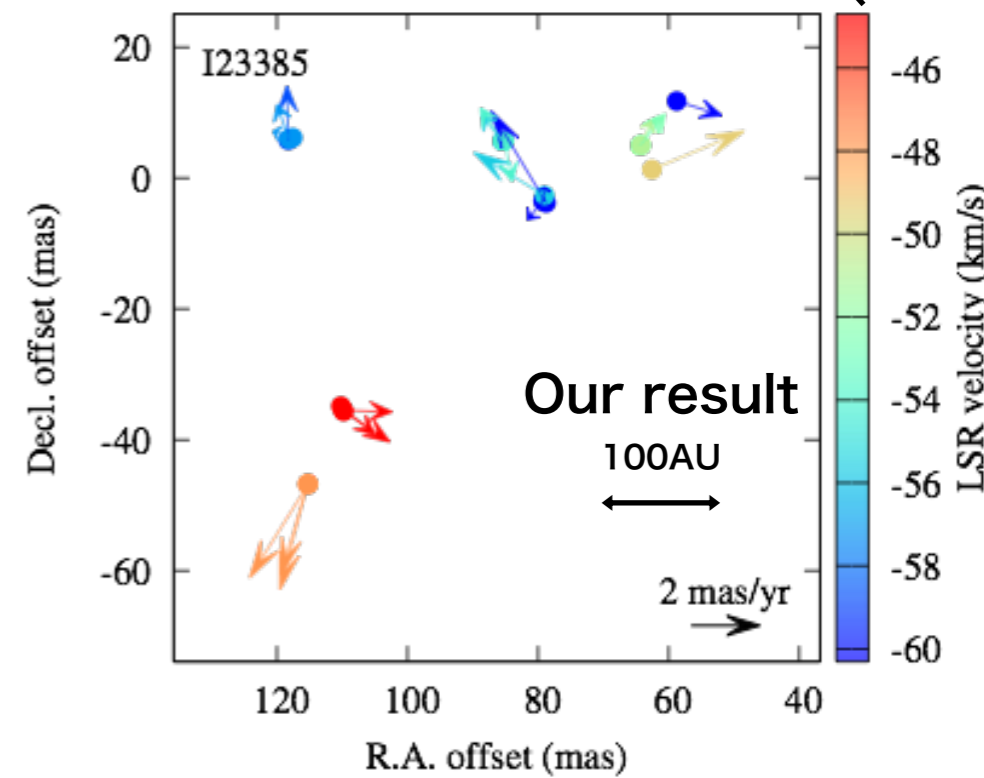
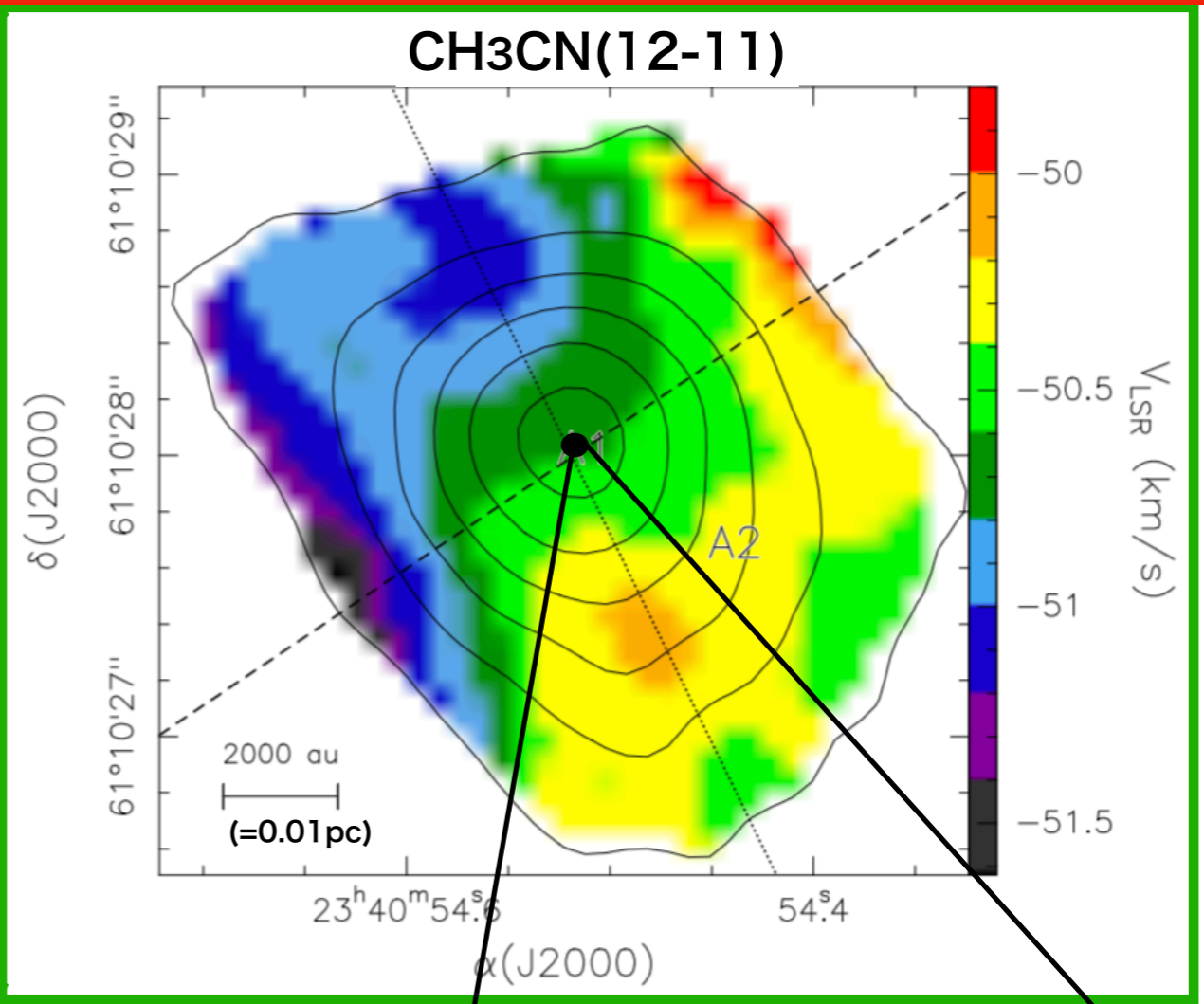


ガス円盤のスケールに対して、
1次元スケールで考えると
水メーザーのアウトフローは
1/7となっている

3. 議論/Mo160



さらに、COのアウトフローとガス円盤の1次元スケールは1/300つまり、水メーザの分布はアウトフローの根元をトレースしていると示唆される。

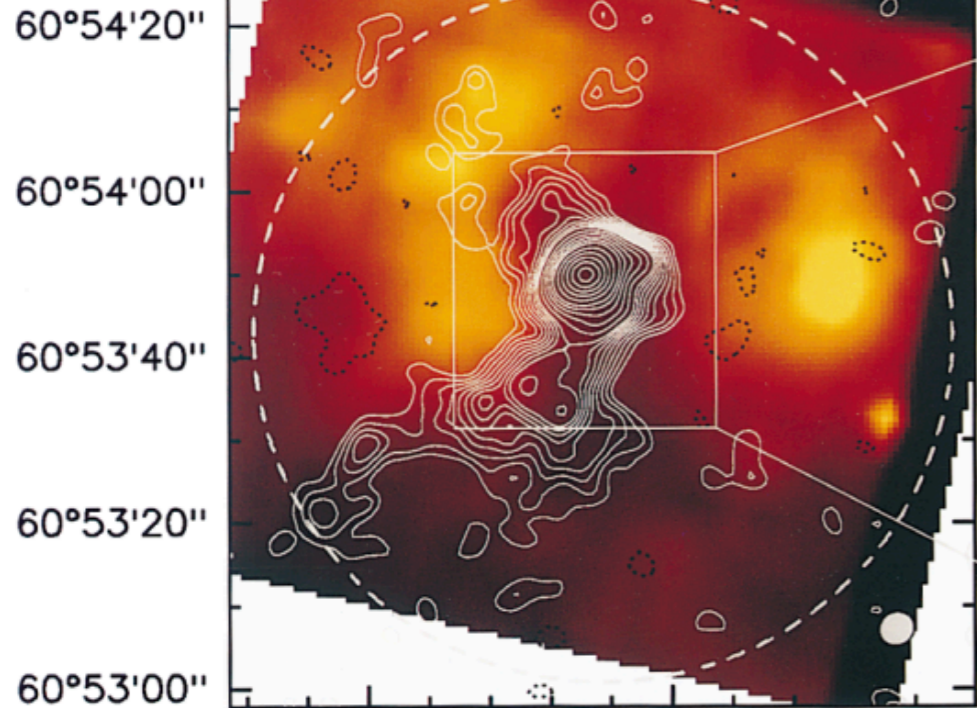


3. 議論 / Mol 160

CAM 15 μ m - OVRO HCO⁺(1-0)

mJy/arcsec²

1 2 3 4

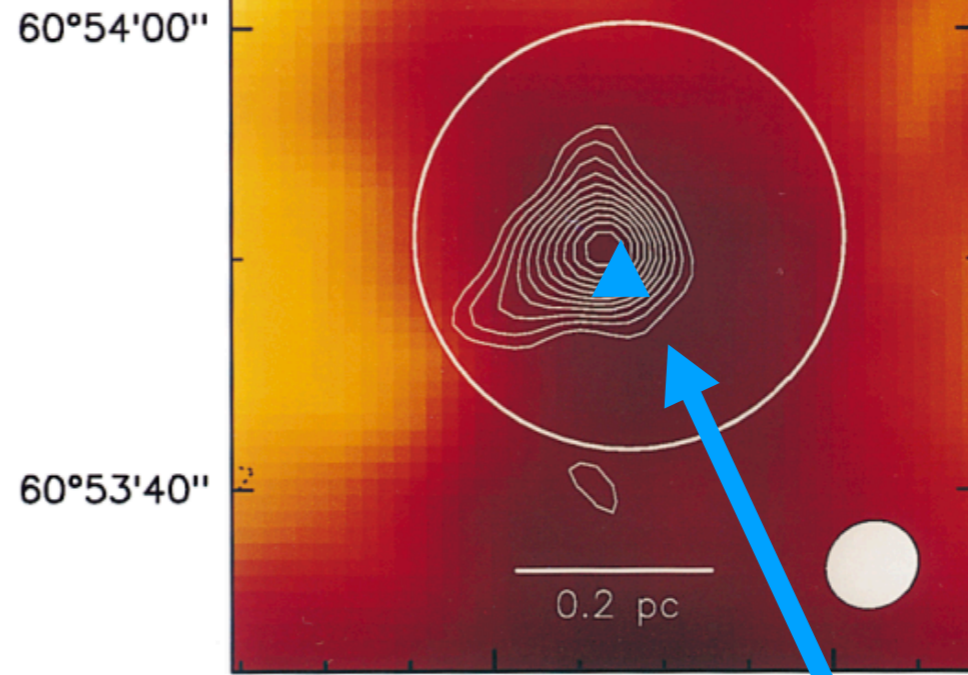


α(1950)

CAM 15 μ m - OVRO 3.4mm Cont.

mJy/arcsec²

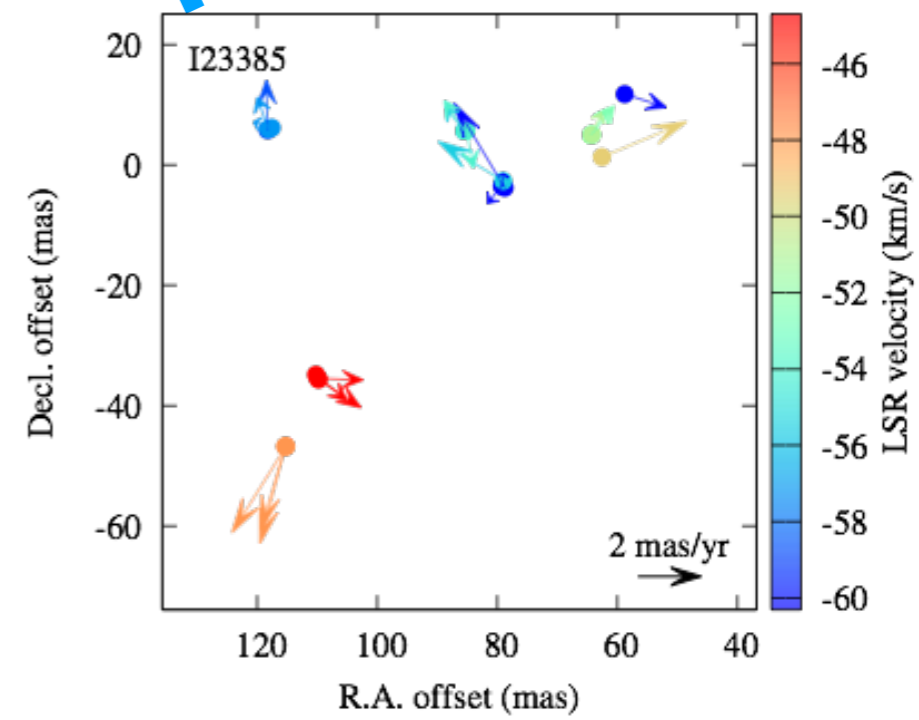
1 2 3 4

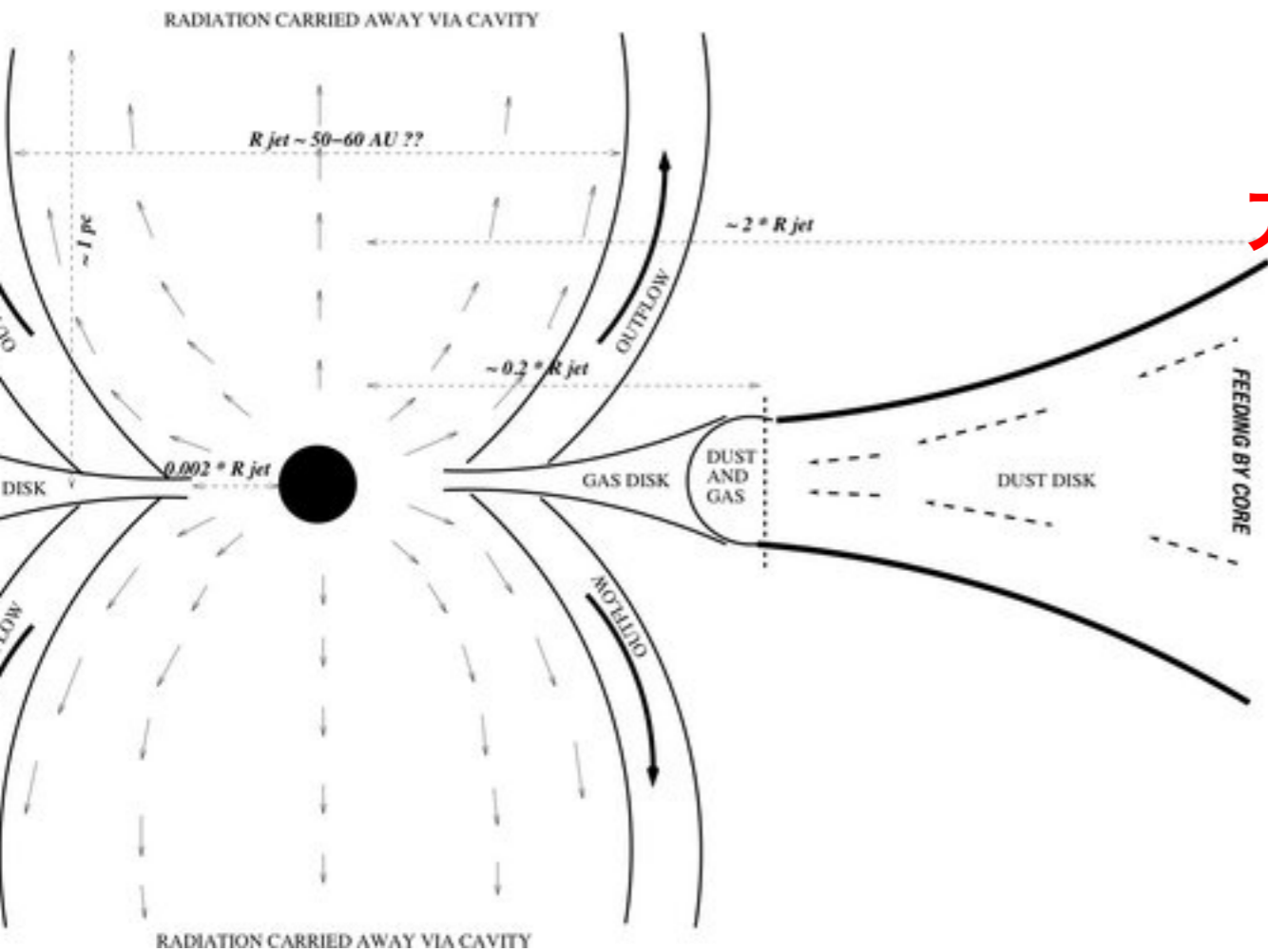
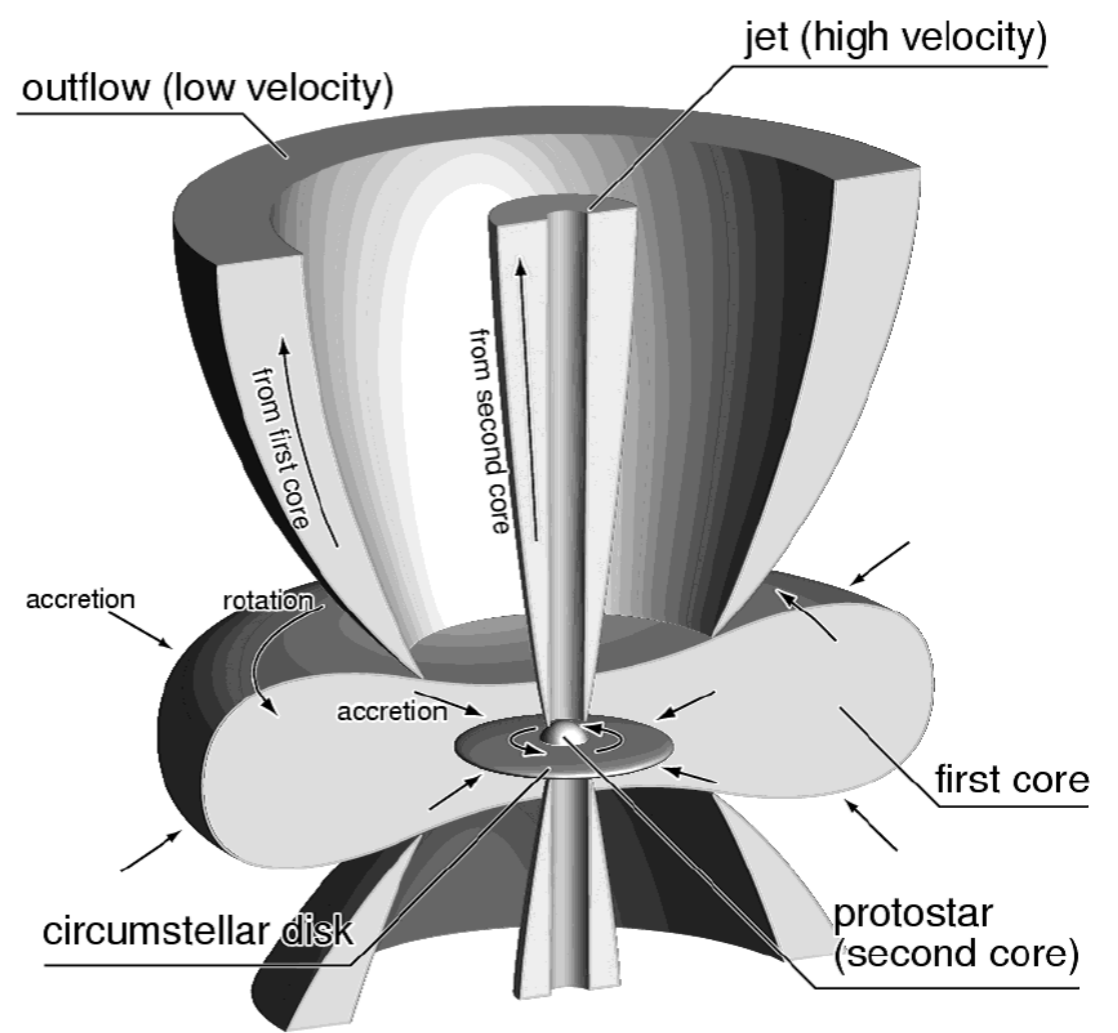
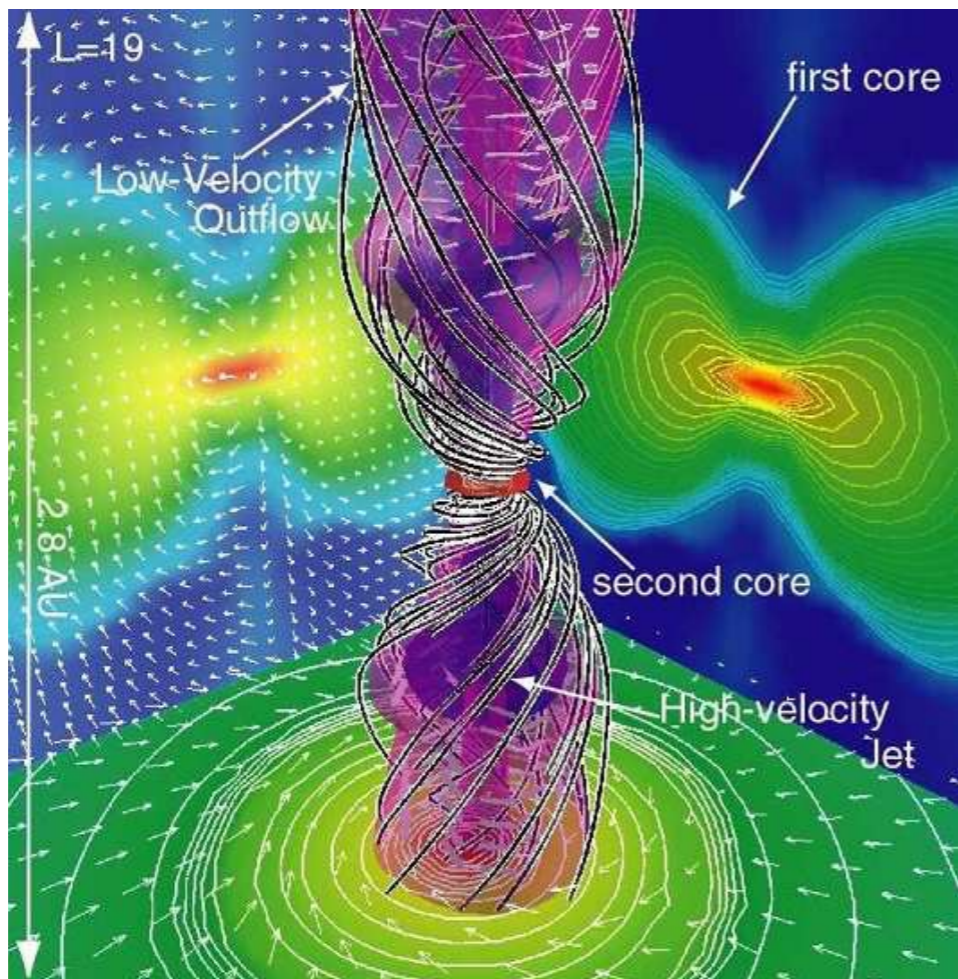


0.2 pc

α(1950)

Molinari et al. 1998





アウトフローが輻射起源か磁場起源か？

**水メーザー分布を求めることで、
磁場の加速やねじれをトレースできないか？**

**=>メーザーは誘導放射なので、
シミュレーション計算が必要になる**

まとめ

G35.03+0.35

年周視差
 0.376 ± 0.059 mas

距離 $2.66^{+0.49}_{-0.36}$ Kpc

固有運動
 $(\mu_x, \mu_y) =$
 $(-1.17 \pm 0.14, -4.87 \pm 0.74)$
mas \cdot yr $^{-1}$

W48A

年周視差
 0.433 ± 0.026 mas

距離 $2.39^{+0.15}_{-0.13}$ Kpc

固有運動
 $(\mu_x, \mu_y) =$
 $(-0.05 \pm 0.81, -3.51 \pm 0.38)$
mas \cdot yr $^{-1}$

Mol160

年周視差
 0.187 ± 0.032 mas

距離 $5.35^{+0.78}_{-1.10}$ Kpc

固有運動
 $(\mu_x, \mu_y) =$
 $(-2.55 \pm 0.25, -0.78 \pm 0.32)$
mas \cdot yr $^{-1}$

大質量星のアウトフローのシステムについて、
今後も議論を深めていく