

ミリ波干渉計を用いたオリオンKL領域 のSiO ($v=0, J=3-2/2-1$) 観測

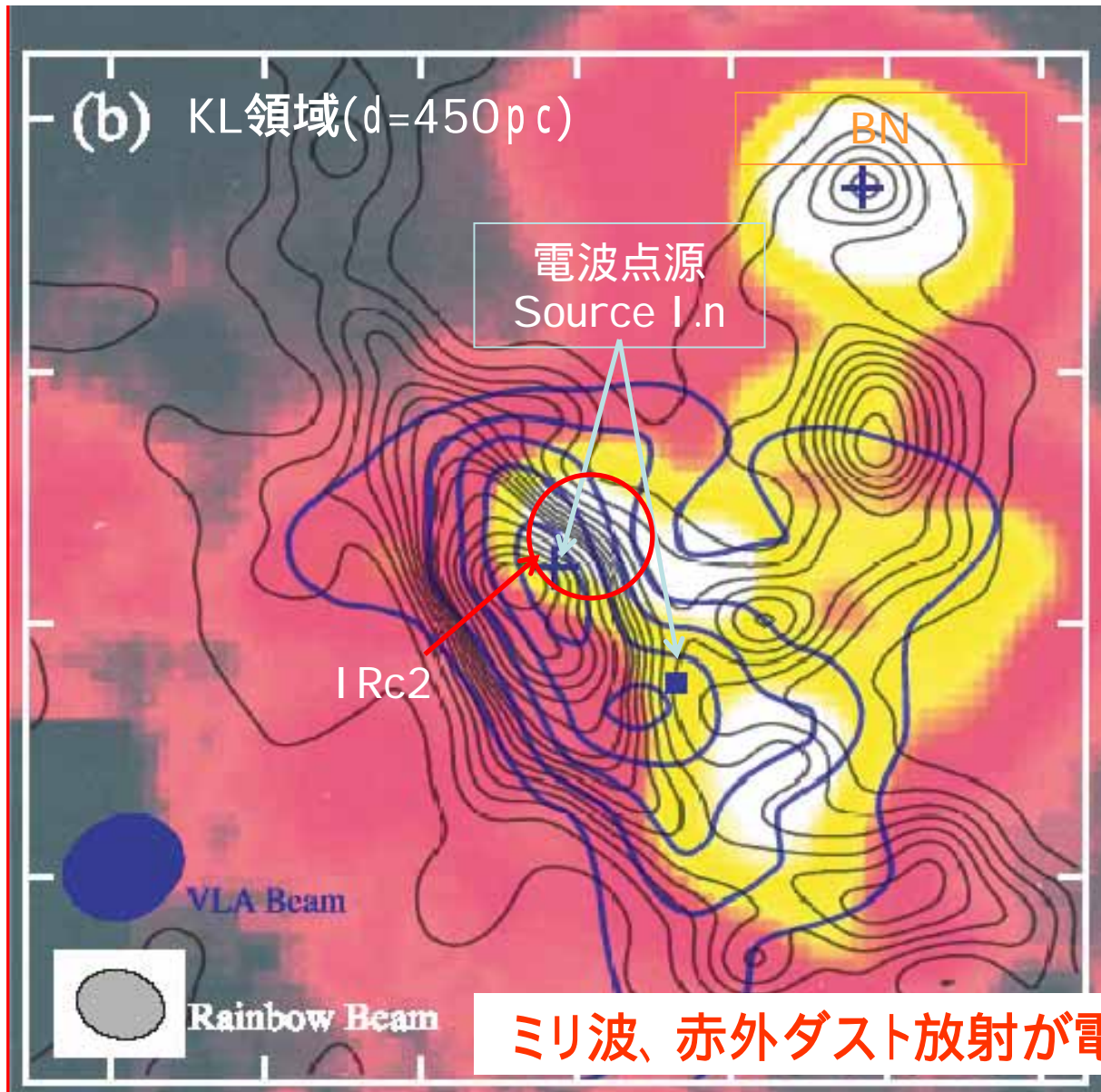
～ 大質量原始星周辺のディスクおよびアウトフロー ～

高橋智子・百瀬宗武・鎌崎剛*
茨城大学・国立天文台野辺山*

本日の話

1. イントロダクション
2. 観測諸言
3. 結果
4. 速度構造の議論
 - A) 低速度成分
 - B) 高速度成分
5. まとめ

KL領域周辺での星間物質の分布



VLA波長7mmでの電離領域
観測 (Chandler & Wood. 1997)

Rainbow波長2mmでの
ダスト連続波観測

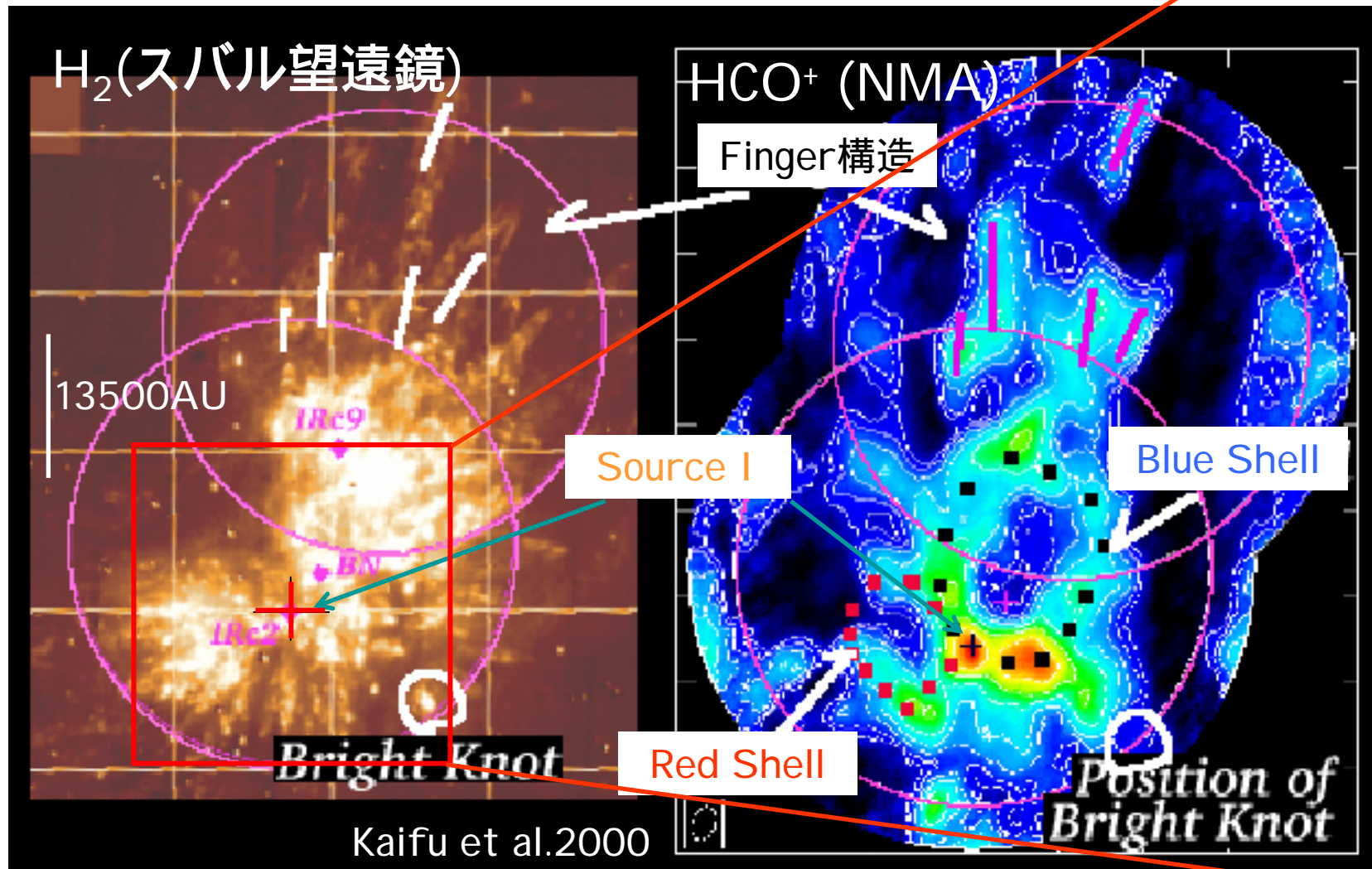
カラー

波長 $12\ \mu\text{m}$ での赤外ダ
スト放射 (Gezari et al.1998)

電離領域はI,nに付随

ミリ波、赤外ダスト放射が電離領域を囲むように存在

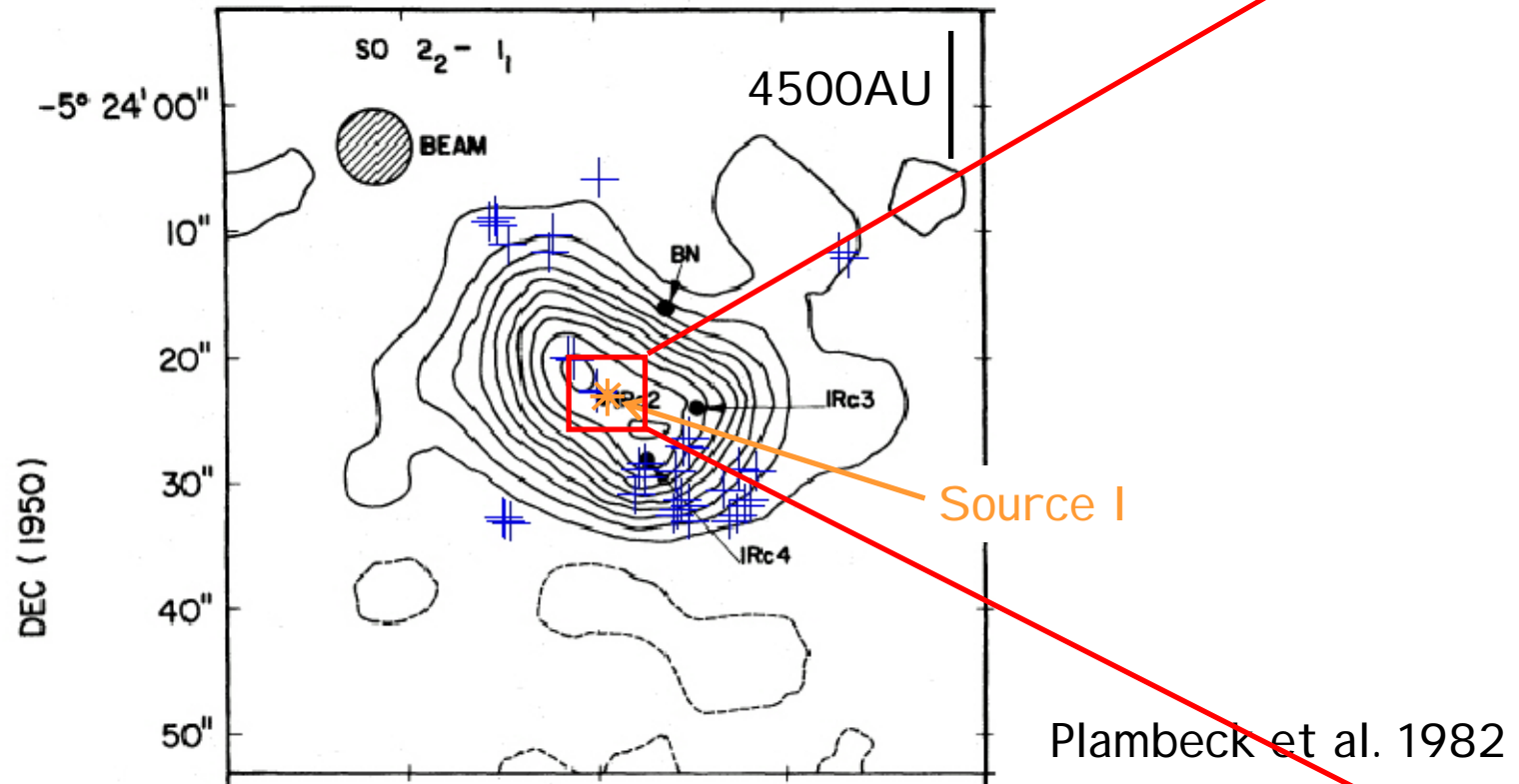
双極分子流(H_2 、 HCO^+)



双極分子流: NW ~ 50 (22500AU), SE ~ 30 (13500AU)

Expanding Doughnuts

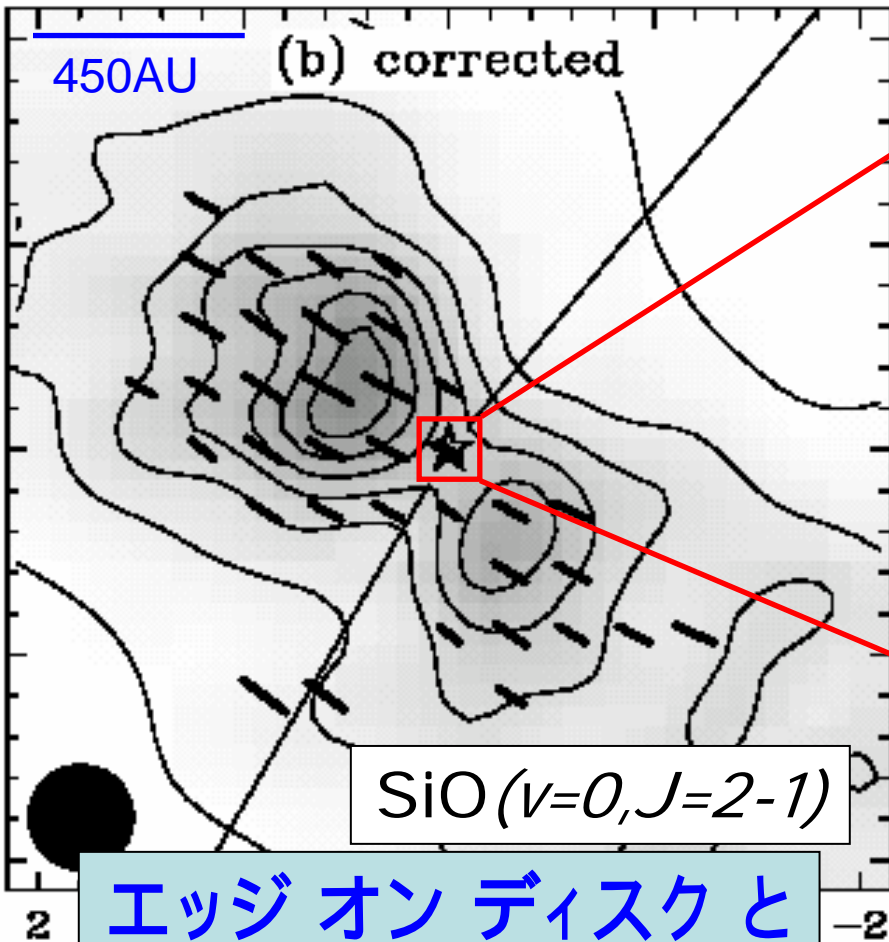
SO(実線)、水メーザー(+)の分布



11 × 19 (4950 × 8550 AUに相当)

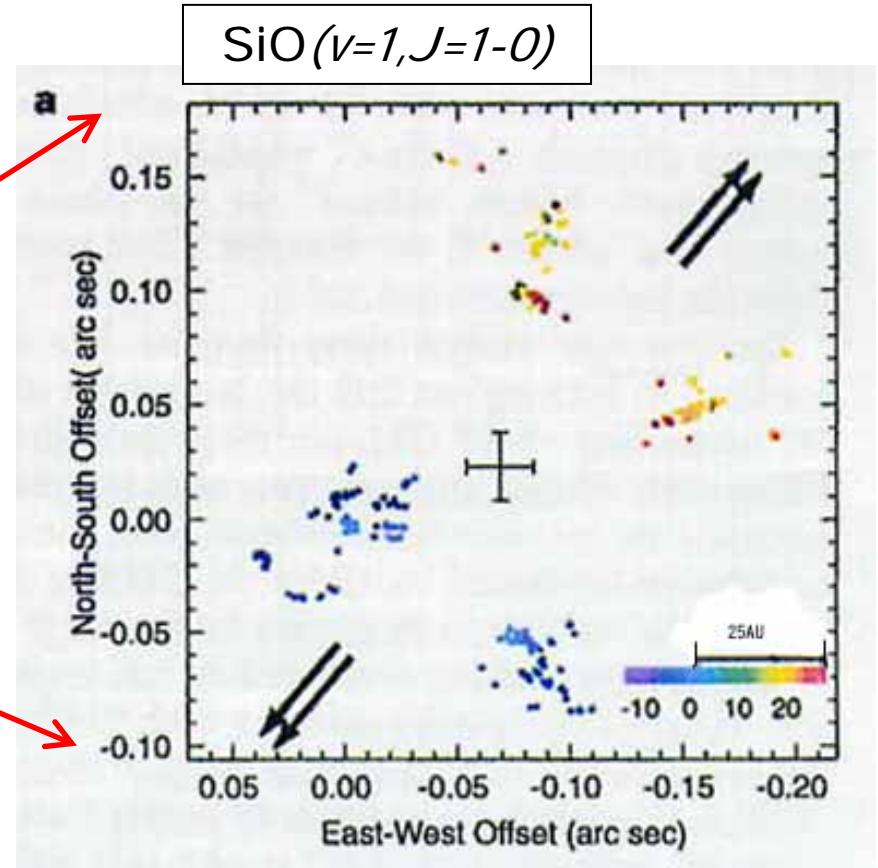
膨張するドーナツ状のディスク構造を示す

星周ディスク構造



エッジ オン ディスク と
ポロイダル磁場

Plambeck et al.(2003)



SiO maser spotのX状分布
($R \sim 40$ AU)

Greenhill et al.(1998)

本研究の位置づけ

✓ Expanding Doughnuts/HVF SiO maser

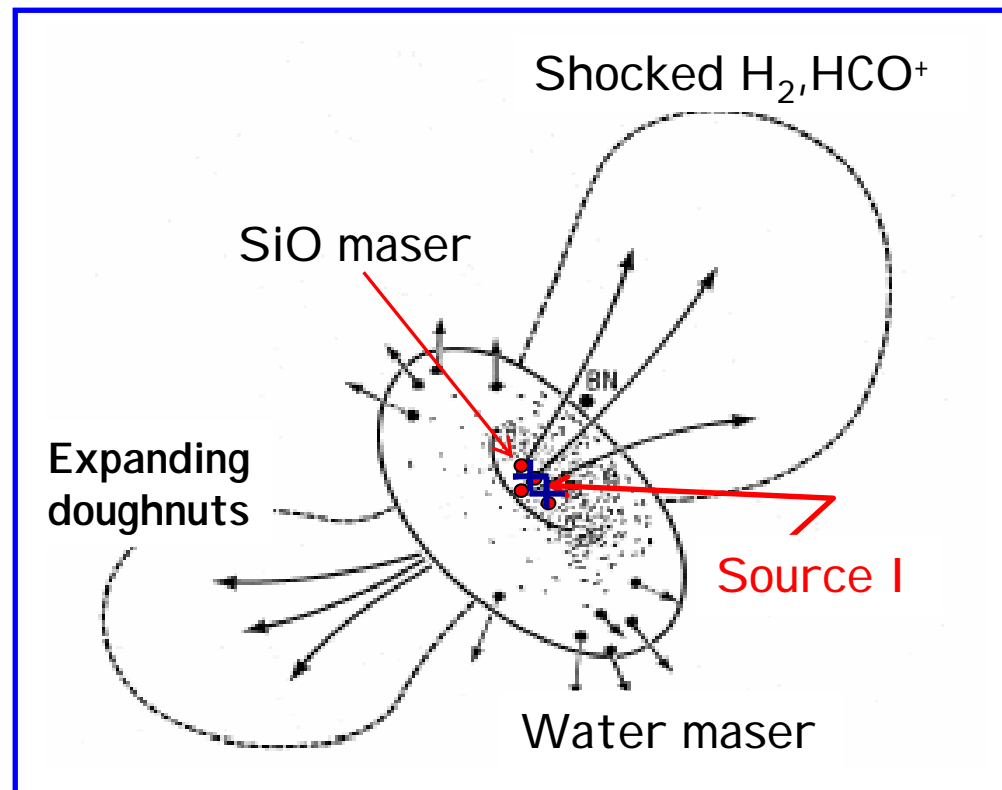
✓ 10^3 AUスケールでのガスの速度構造

おうし座領域の原始星エンベロープに相当



大質量星進化は降着
による進化の兆候を
示すか？

オリオンの距離で
<2" (900 AU) の観
測が必要



NMAによる観測

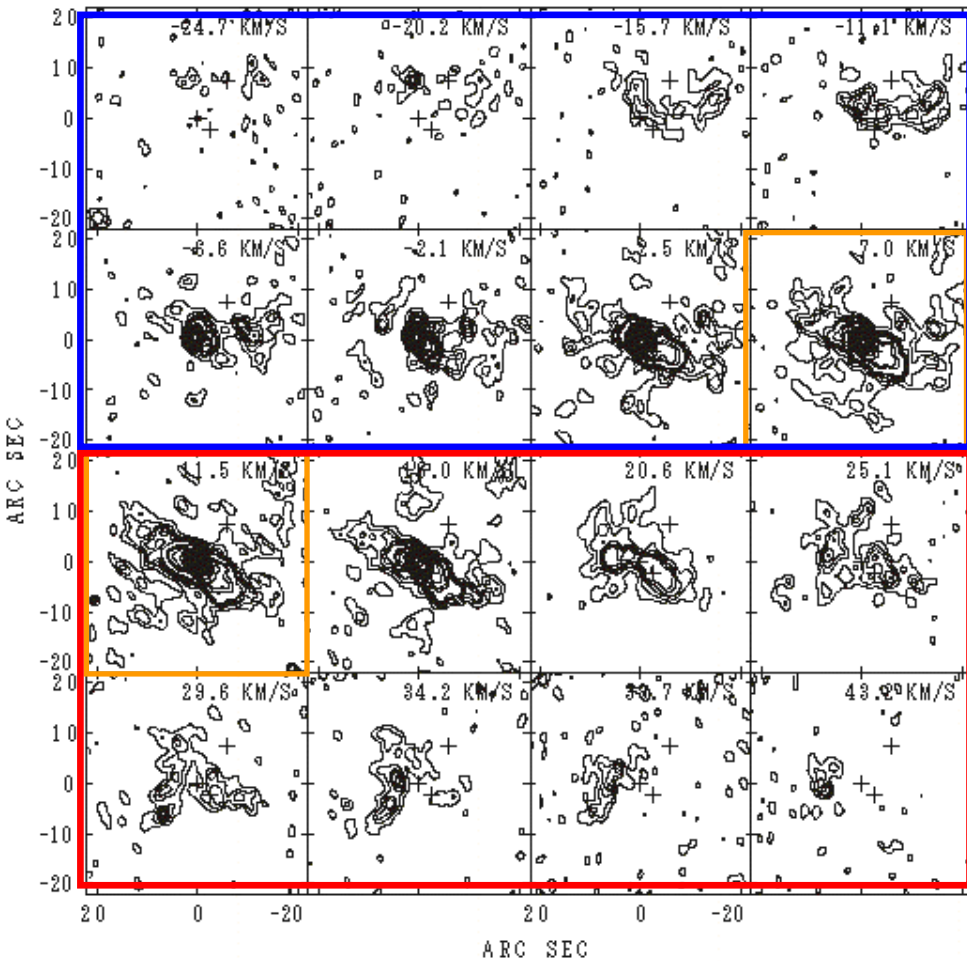
- 配列 D,C,AB各配列
- 受信機 S100, S150
- 分光器 FX相関器 (32MHz,1024ch)
- 分子スペクトル
SiO($\nu=0, J=3-2$) @130.268702GHz
SiO($\nu=0, J=2-1$) @86.846998GHz
- 空間分解能
2".02 × 1".76 @130GHz
2".49 × 2".12 @86GHz
- 速度分解能 ~0.5km/s @130GHz/86GHz



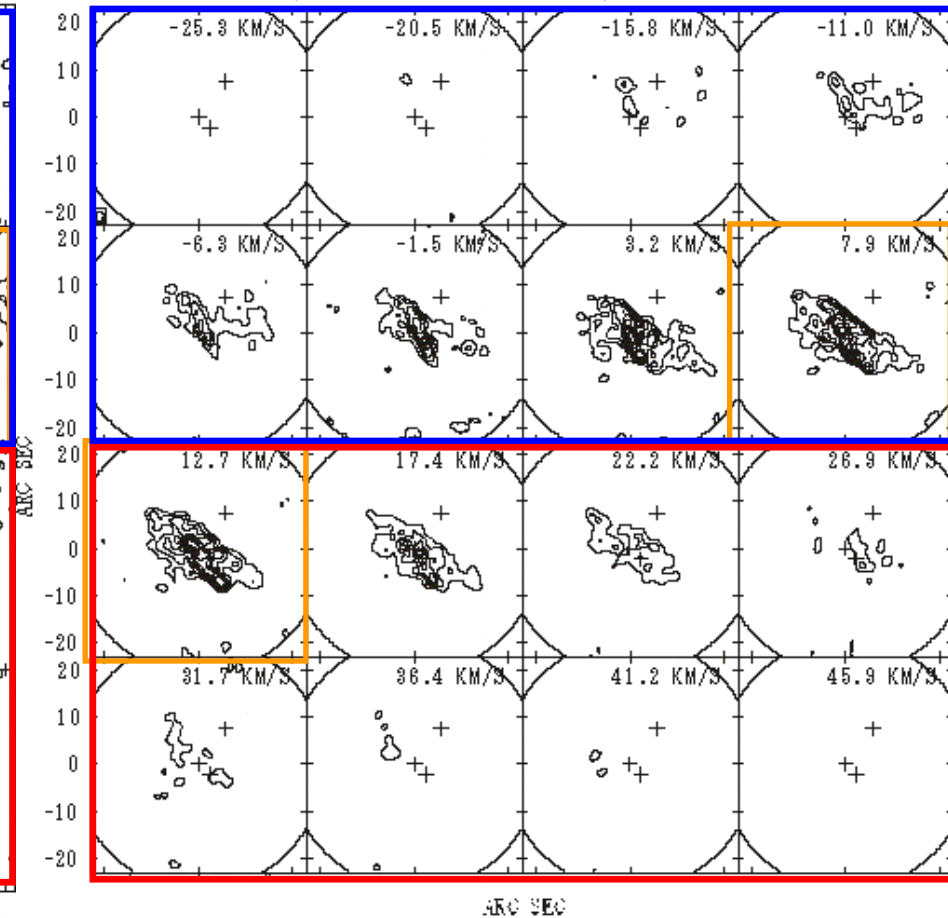
SiO maserでセルフキャリブレーション 高品質マップ取得
周波数を二分することでSiOの全速度成分の取得に成功

速度チャンネルマップ

✓ SiO ($v=0, J=2-1$)

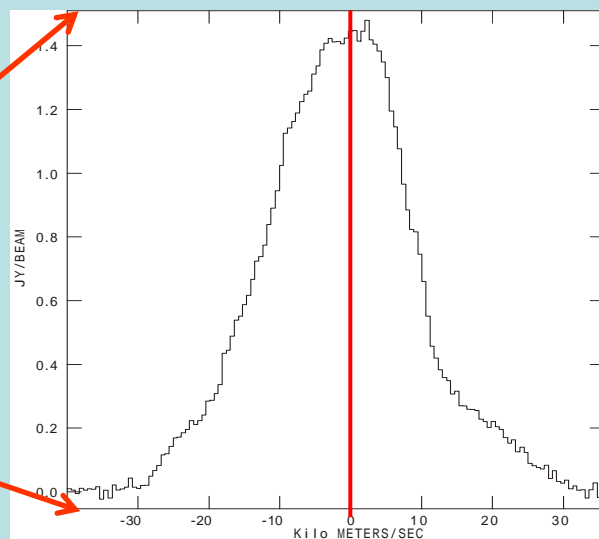
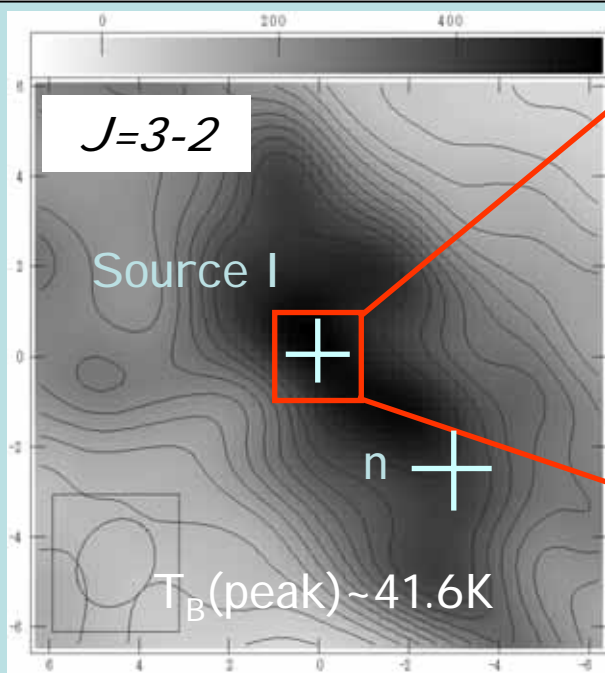
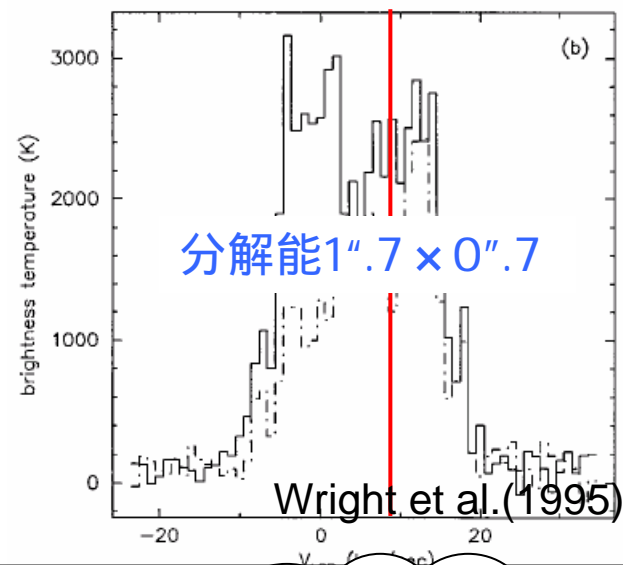
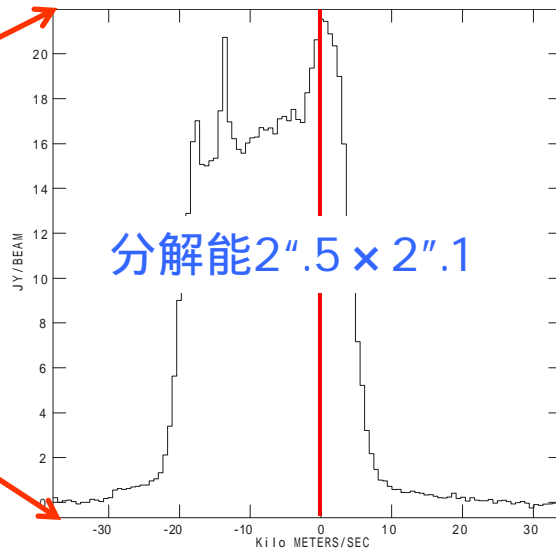
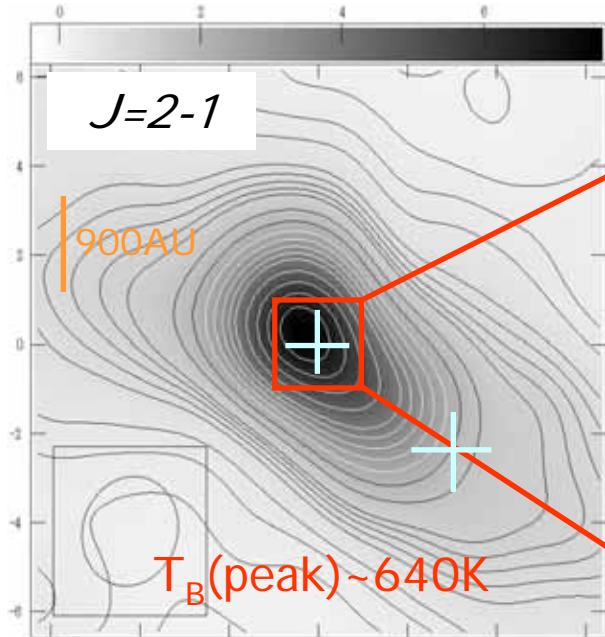


✓ SiO ($v=0, J=3-2$)



✓ 特定チャンネルのみを抜き出して表字

< 2" (900 AU)での性質



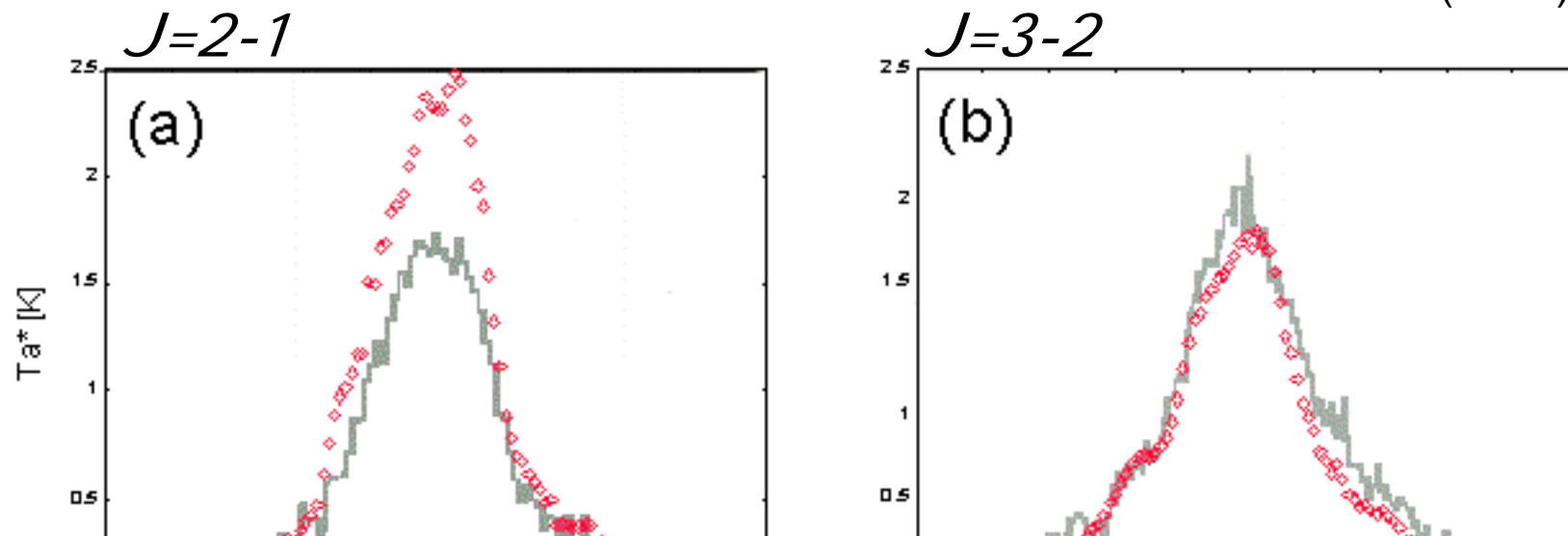
熱的放射がより支配的

輻射平衡温度 $\sim 165\text{K}$
(中心光度 $\sim 10^5 L_{\text{solar}}$)

V_{sys} を中心とし、対象に広がるプロファイル

Missing Flux

--- NMA data
— 14m Single Dish
Cho et al.(1999)



NMA観測で $SiO(v=0, J=3-2)$ 輝線を用いた解析



物理量導出(質量・柱密度)の導出

速度構造の議論

柱密度・質量の導出

- ✓ <<1、局所熱力学平衡状態 (LTE) を仮定
----> 質量・柱密度の下限値の導出

$X[\text{SiO}] \sim 2.8 \times 10^{-8}$ [Blake et al.1987], $T_{\text{ex}} \sim 80\text{K}$ [斎藤智樹修士論文2002]

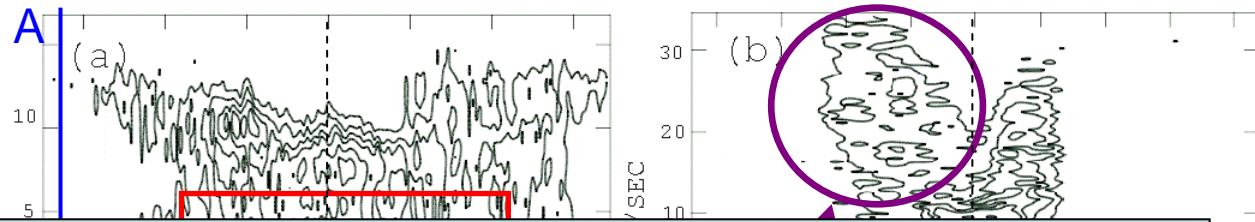
$$N_{\text{H}_2} = 2.99 \times 10^{16} \left(\frac{2.8 \times 10^{-8}}{X(\text{SiO})} \right) \left(\frac{T_{\text{ex}}}{\exp(-12.5/T_{\text{ex}})} \right) \int T_{\text{obs}} dv [\text{cm}^{-2}]$$

$$M_{\text{H}_2} = 6.78 \times 10^9 \left(\frac{2.8 \times 10^{-8}}{X(\text{SiO})} \right) \left(\frac{D}{450 \text{ pc}} \right)^2 \left(\frac{T_{\text{ex}}}{\exp(-12.5/T_{\text{ex}})} \right) \int F_{\nu} dv [M_{\text{sun}}]$$

全質量 (LTE質量) > 4.1 [M_{sun}]

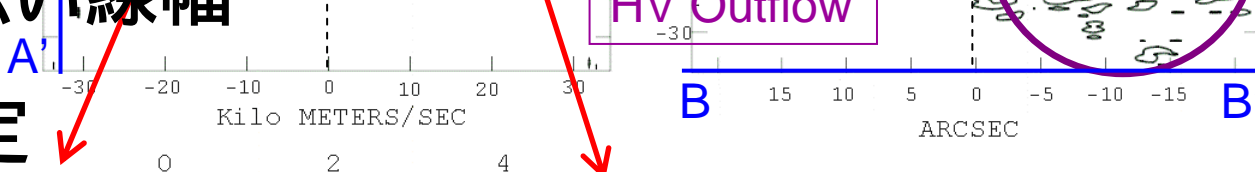
柱密度の平均値 > 3.3×10^{21} [cm^{-2}]

速度構造



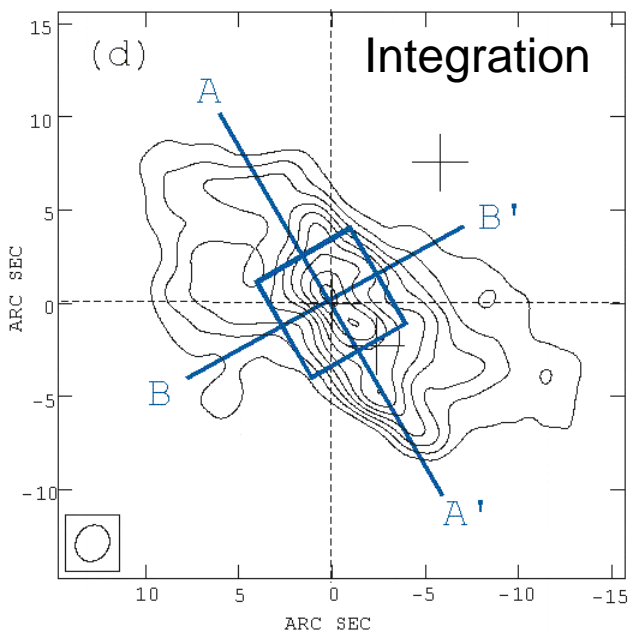
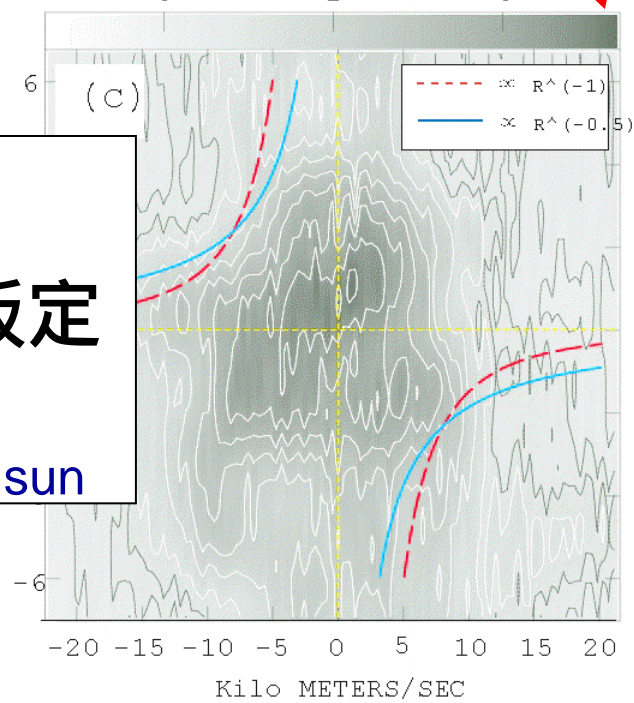
低速度成分 (ディスク状構造) $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| < 10 \text{ km/s}$
 高速度成分 (アウトフロー) $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| > 10 \text{ km/s}$

- ✓
- ✓

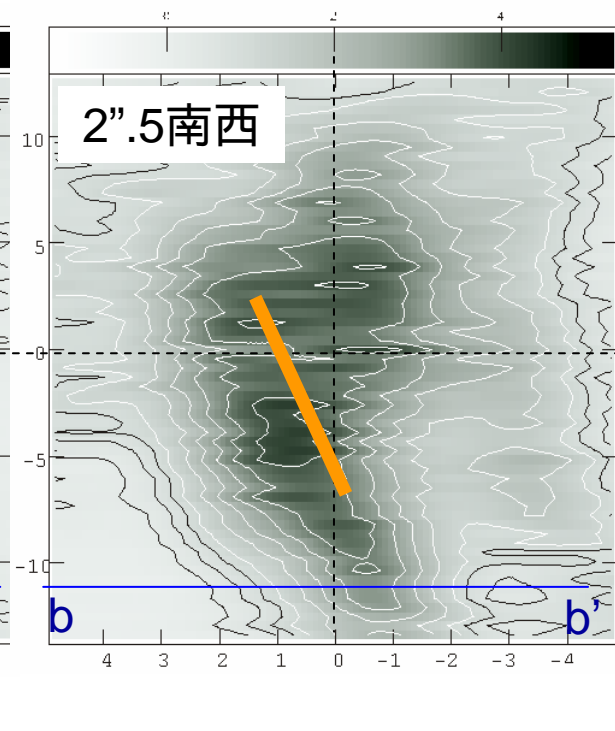
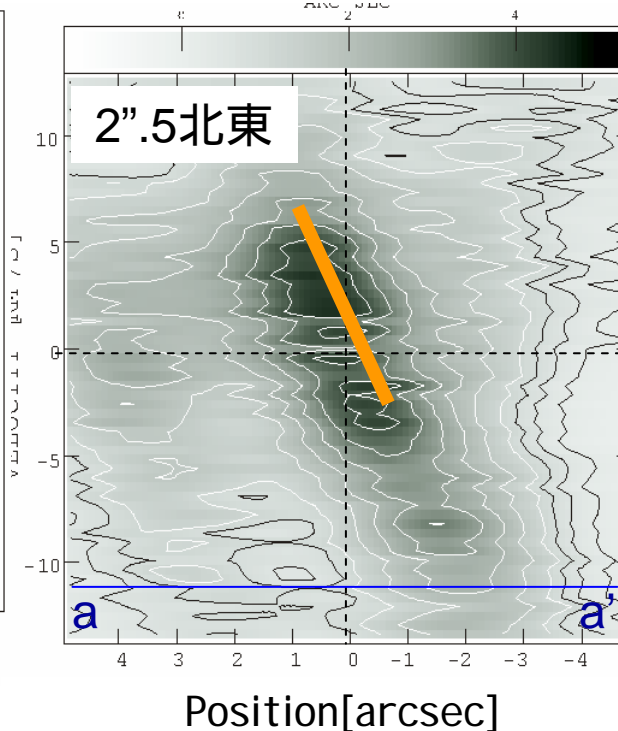
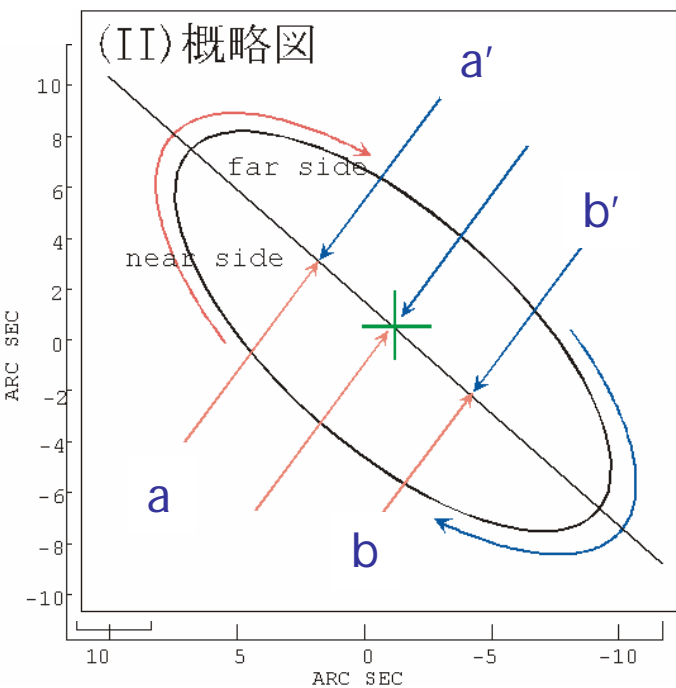


✓ 重力的束縛を仮定

Inclination $\sim 10^\circ$
 ケプラー 回転 を仮定
 内包質量 $\sim 75M_{\text{sun}}$



低速度成分 $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| < 10 \text{ km/s}$



同径運動	速度勾配
回転運動	原点からのオフセット

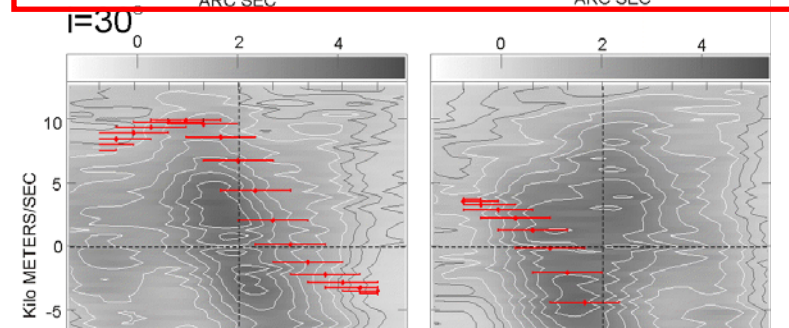
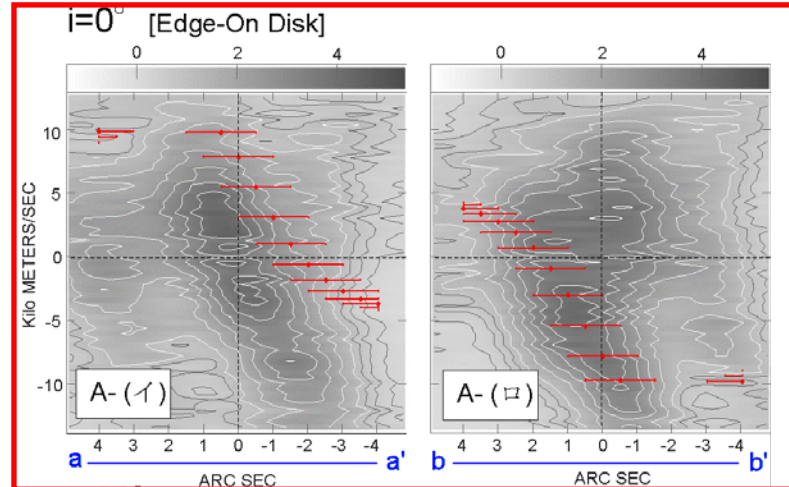
➡ 収縮 + 回転運動を伴う構造

✓ケプラー回転+自由落下運動

✓ $M_* \sim 75M_{\text{sun}}$ を仮定

$$v_{\text{Kepler}(LOS)} = \frac{(GM_*)^{1/2}}{r^{3/2}} \cdot x \cos i$$

$$v_{f.f(LOS)} = \frac{(2GM_*)^{1/2}}{r^{3/2}} \cdot y$$



✓エッジ・オン ディスクの速度勾配をよく説明

- エッジ・オン ディスク / 球状エンベロープの降着現象

$M(\text{LTE}) \sim 2.42M_{\text{sun}}$, $V(\text{avr}) \sim 5\text{km/s}$, $D \sim 5700\text{AU}$ を仮定すると、

$$\dot{M} = M_{\text{LTE}} / \tau_{\text{dyn}} \sim 4.5 \times 10^{-4} [M_{\text{sun}} / \text{yr}]$$



高速度成分 $|V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}}| > 10\text{km/s}$

$10.6\text{km/s} < V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}} < 42.9\text{km/s}$

$-10.3\text{km/s} < V_{\text{LSR}} - V_{\text{sys}} < -34.6\text{km/s}$

6700AU

(解釈)

1. 軸が HCO^+ , H_2 などと同じ。アウトフローの衝撃の強い根元でのみ SiO が定常的に生成。
2. 広がりには、中心付近で生成された SiO がダストに再吸着されるまでのタイムスケールで決定されている。

赤方偏移

青方偏移

RIGHT ASCENSION (B1950)

✓ HCO^+ で観測されたシェル構造の根元付近でよい相関を示す

定常的にSiOを生成する

✓ SiO 分子は90K のエネルギー障壁を伴って生成される。 [Ziurys et al.(1989)]

フィリング ファクター ($f = \frac{\text{source}}{\text{beam}}$) を導入すると

$$T_{obs} = \begin{cases} f \cdot T_k, & \text{if } \tau \gg 1 \\ \tau f \cdot T_k, & \text{if } \tau \ll 1 \end{cases}$$



SiO ($v=0, J=3-2$) の $T_{b(\text{peak})} \sim 10\text{K}$ であるから、

f もしくは、 $f < 0.1$ であることが必要

生成されたSiO分子を運ぶ

生成されたSiO分子がダストに再吸着されるまでのタイムスケールで広がりを制限

✓ダストに再吸着されるまでのタイムスケールは、

$$\tau_{dep} \sim 2 \times 10^9 / (\alpha n_{H_2}) [yr] \quad \text{ただし、} \alpha : \text{吸着確率}(0.1-1)$$

KL領域において $n_{H_2} > 10^6 [\text{cm}^{-3}]$, $\alpha \sim 1$ を仮定すると、

$$\tau_{dep} < 2000 \text{yr}$$

一方SiOフローの力学的タイムスケール (傾き角を考慮しない場合)

$$\tau_{dyn} \sim 1900 \text{yr}$$

SiOアウトフローの特徴

パラメータ	SiO	HCO ⁺
スケール [AU]	$6-9 \times 10^3$	$1-2 \times 10^4$
質量 [M_{sun}]	1	13
力学的タイムスケール [yr]	$1-1.6 \times 10^3$	$2.5-4 \times 10^3$
運動量 [M_{sun} km/s]	20-25	$3-4 \times 10^2$
運動エネルギー [erg]	$5-7 \times 10^{45}$	$0.8-1 \times 10^{47}$
運動量放出量 [M_{sun} km/s /yr]	$1-3 \times 10^{-2}$	$1-1.6 \times 10^{-1}$
力学的光度 [L_{sun}]	$3-5 \times 10$	$2-4 \times 10^2$
質量放出率 [M_{sun} /yr]	$5-9 \times 10^{-4}$	$3-6 \times 10^{-3}$

Summary

- ✓ SiO ($v=0, J=3-2/2-1$) の高分解能観測を実施した。
- ✓ 低速度成分 ($|v| < 10 \text{ km/s}$) は source I に付随、高速度成分 ($|v| > 10 \text{ km/s}$) は HV フローの根元とよい一致
- ✓ 低速度成分は、回転・収縮運動を伴うエンベロープであることを示唆。
- ✓ 高速度成分は、アウトフロー根元付近を探る上でのよいプローブとなり得る。
- ✓ 詳細な物理状態を解明するためには温度・密度等(光学的厚み)情報が必要。
- ✓ 多輝線・多遷移での観測が重要。