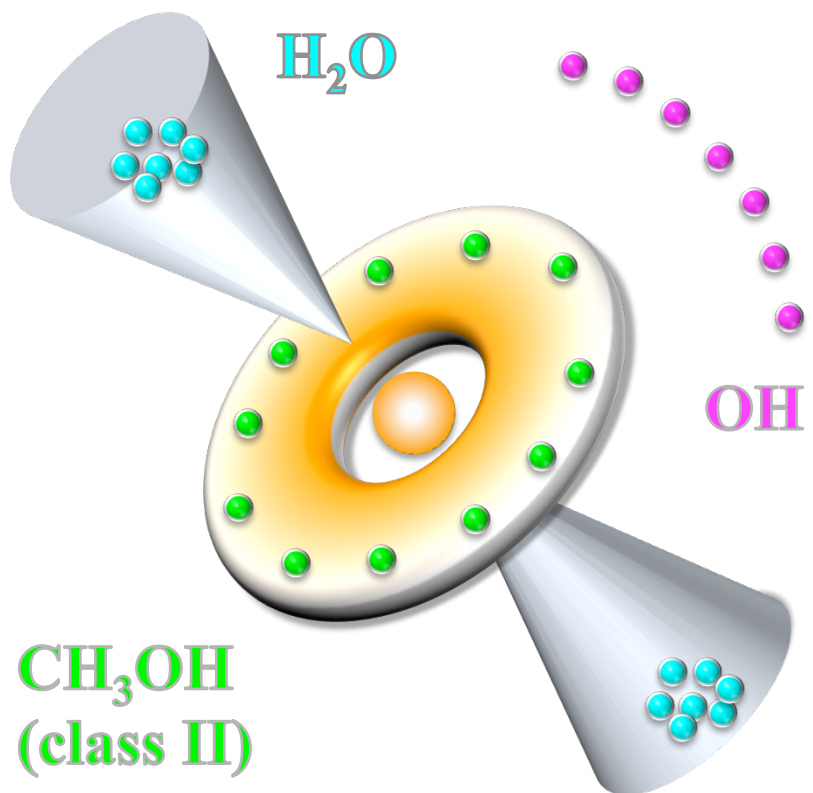


SKA-VLBI による CH₃OH メーザー観測

杉山 孝一郎

(国立天文台 水沢VLBI観測所)

大質量 (原始) 星 周囲のメーザー



CH_3OH
(class II)

$< 0.1 \text{ au} \leftrightarrow$

$10\text{--}1,000 \text{ au} \longleftrightarrow$

- OH, CH_3OH , H_2O , H_2CO , etc
 - SiO はレア (e.g., Zapata+ 09)

メーザー	周波数 [GHz]	発生場所
<u>OH</u>	1.6, 1.7, 4.7, 6.0, 13.4, ...	HII領域のエッジ
<u>CH_3OH</u>	6.7 , 12.2, 19.9, 23.1, 107, ...	円盤/アウトフロー
<u>H_2O</u>	22.2, 321, ...	ジェット/アウトフロー

- VLBIで3次元速度計測が可能
 - 幾何学的な不確定性の依存なく、正確な星周ダイナミクスを解明
 - 系統的なサーベイで進化を理解 (e.g., Fujisawa+ 14; Hirota+ KaVA LP)

目次

1. CH₃OH メーザー @6.7 GHz の有用性
2. コア/ハロー構造 解明の必要性
3. SKA-VLBI によるコア/ハロー同時 3D 計測
4. 対 ngVLA
5. まとめ

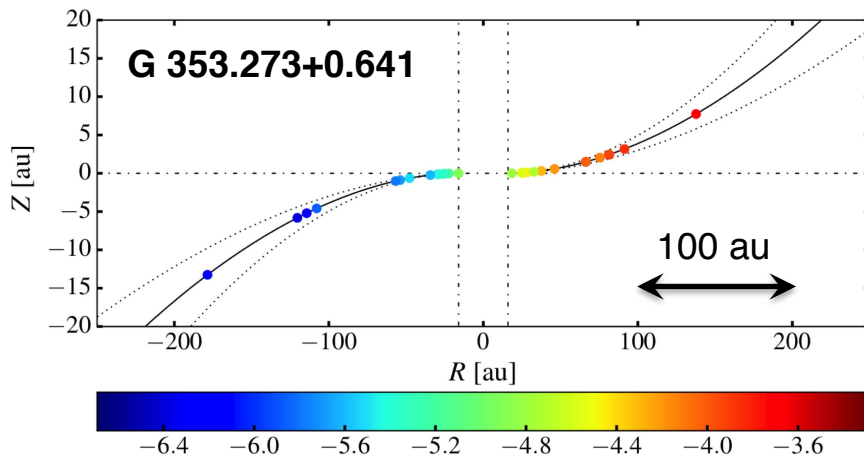
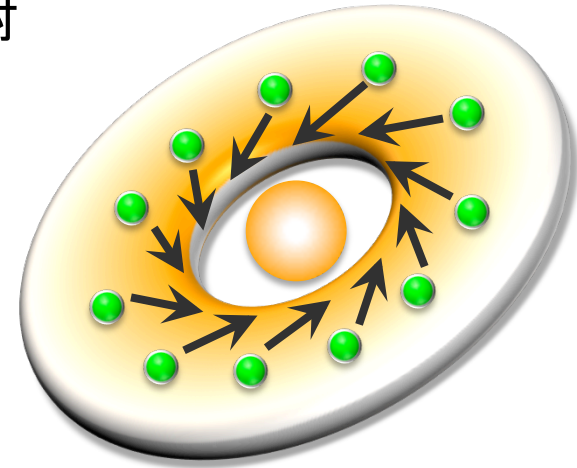
SKA-VLBI with CH₃OH メーザー

1. CH₃OH メーザー

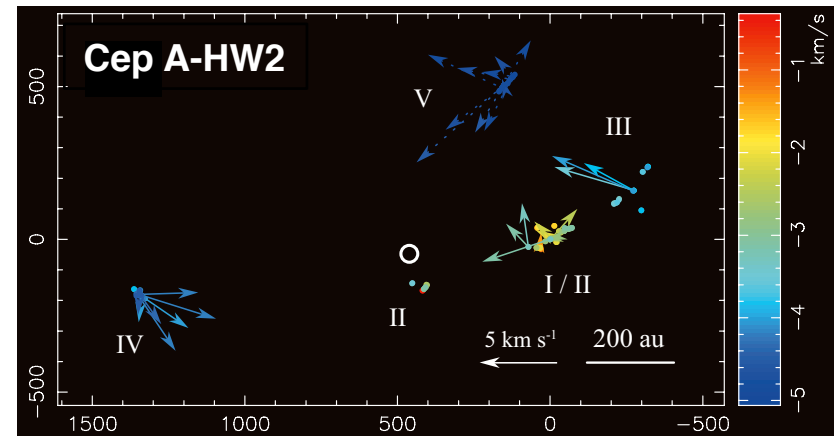
@6.7 GHz の有用性

有用性 1. 円盤上の3次元速度構造計測

- 大質量 (原始) 星 周囲の回転円盤上で放射 (e.g., Minter+ 00; Bartkiewicz+ 09)
 - edge-on, inclined, face-on
 - しばしば降着現象をトレース (e.g., Motogi+ 17)
 - 3次元速度計測により検証 (Goddi+ 11; Sugiyama+ 14)
- VLBI以外では、ALMAでも計測不可能！



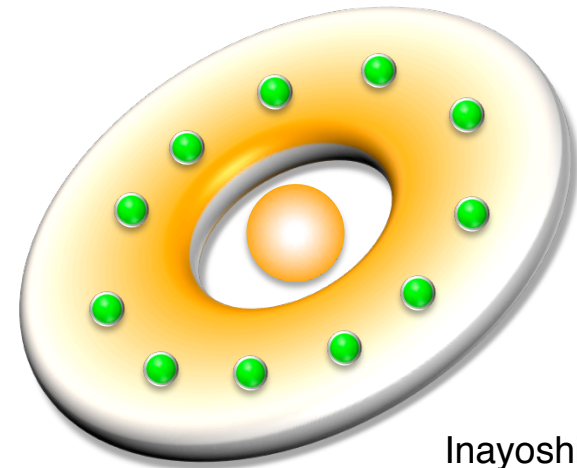
1次元運動 (円盤上からの降着) (Motogi+ 17)



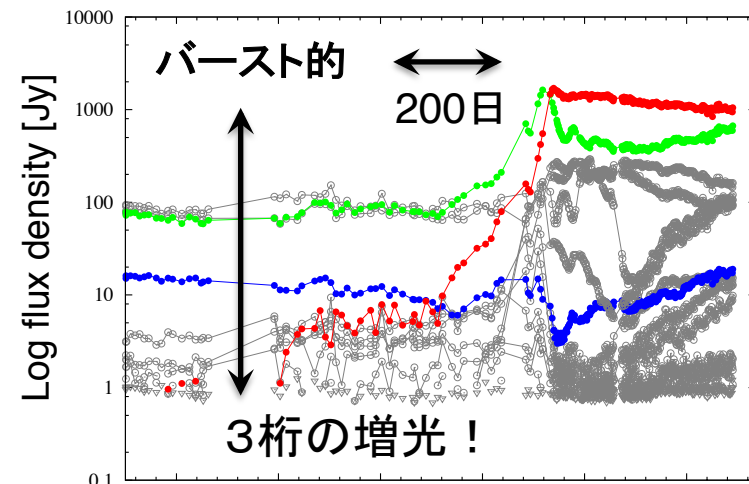
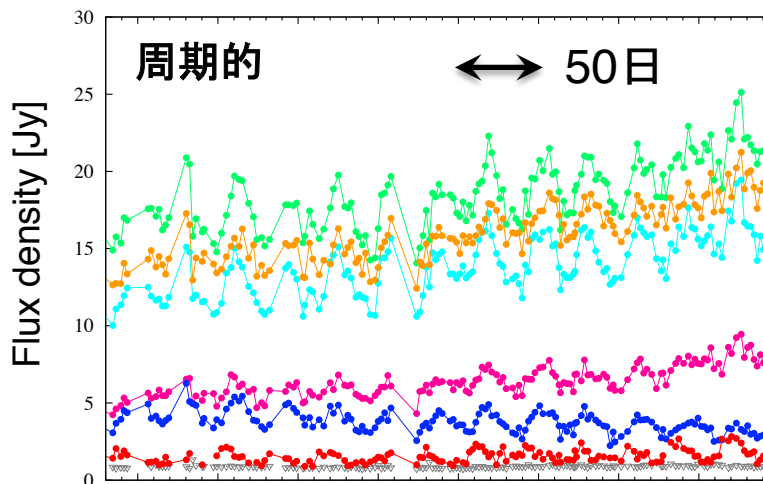
3次元運動 (回転+降着) (Sugiyama+ 14)

有用性 2. 星周環境に敏感な強度変動

- 放射励起ゆえ、中心星の変光、及びそれに伴う周囲のダスト温度変化に敏感
(e.g., Sugiyama+ 08; Moscadelli+ 17; Hunter+ 17)
 - ダスト温度: $\sim 120 - 300$ K (Cragg+ 05)
- 特徴的な強度変動
 - 周期的な強度変動 (e.g., Goedhart+ 04; Fujisawa+ 14)
 - 降着バースト的で **Episodic** な強度変動 (Fujisawa+ 15; Hunter+ 18; MacLeod+ 18)



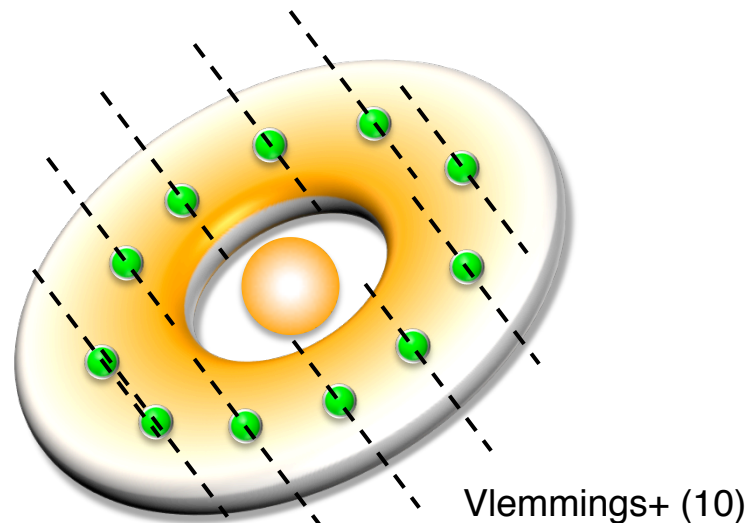
Inayoshi+ (13)



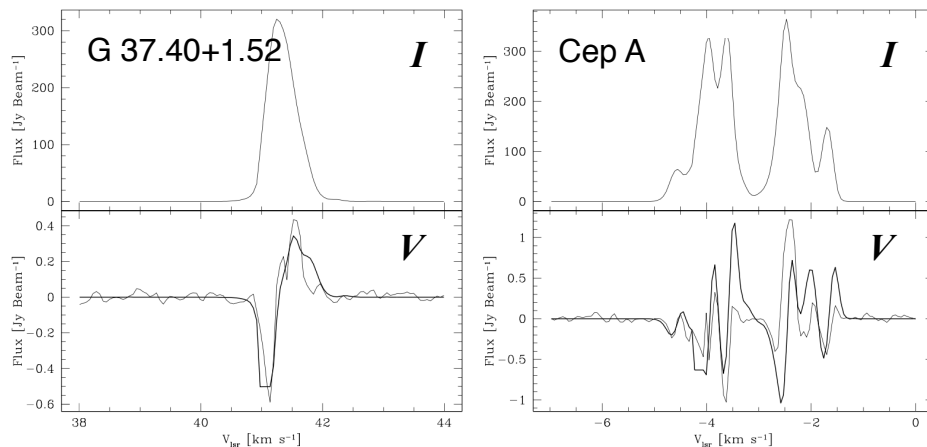
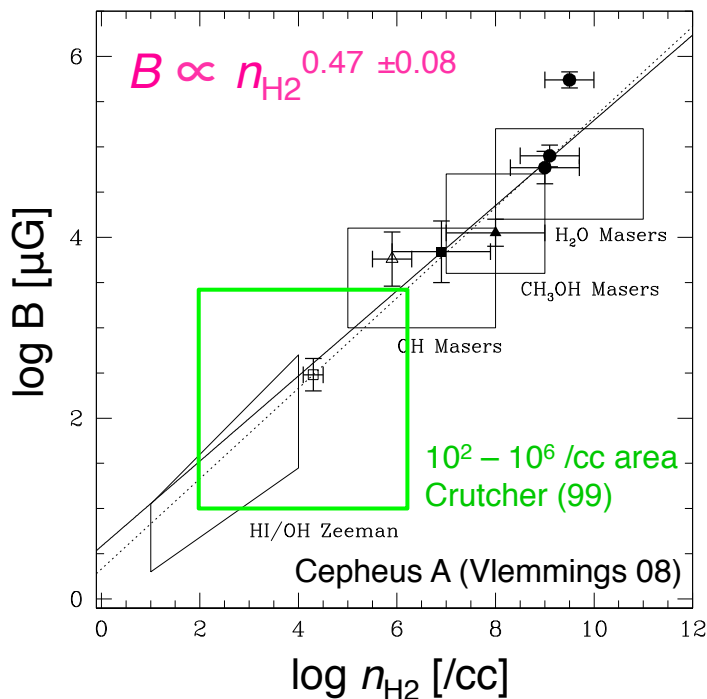
茨城 (日立) 32-m電波望遠鏡の長期・高頻度モニターで取得された 6.7 GHz メタノールメーザー天体の強度変動。

有用性 3. 高密度ガスの磁場構造・強度

- 円盤に凍結した磁力線 (Vlemming+ 10)
- 高密度・強磁場 ガスをトレース
 - $n_{\text{H}_2} \sim 10^4 - 10^9 / \text{cc}$ (Cragg+ 05)
 - $|B| \sim 30 - 100 \text{ mG}$ (e.g., Lankhaar+ 18)
- 系統的にアウトフロー軸と並行



(Surcis+ 11,13,15)



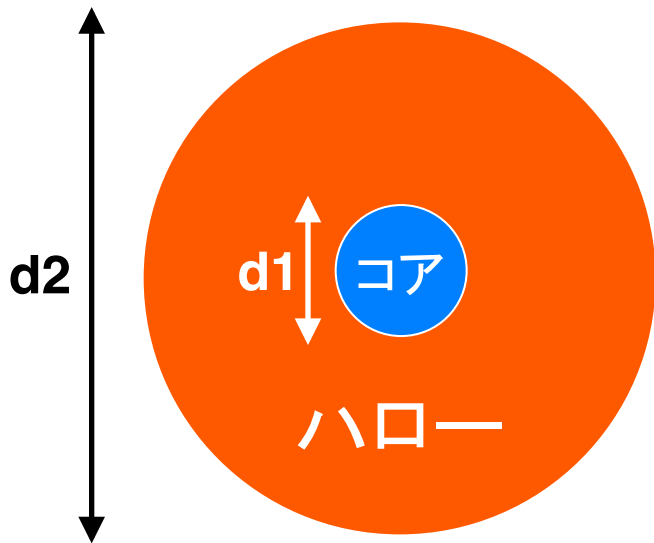
CH₃OHメーザーのゼーマン分裂観測 (Vlemmings 08).

SKA-VLBI with CH₃OH メーザー

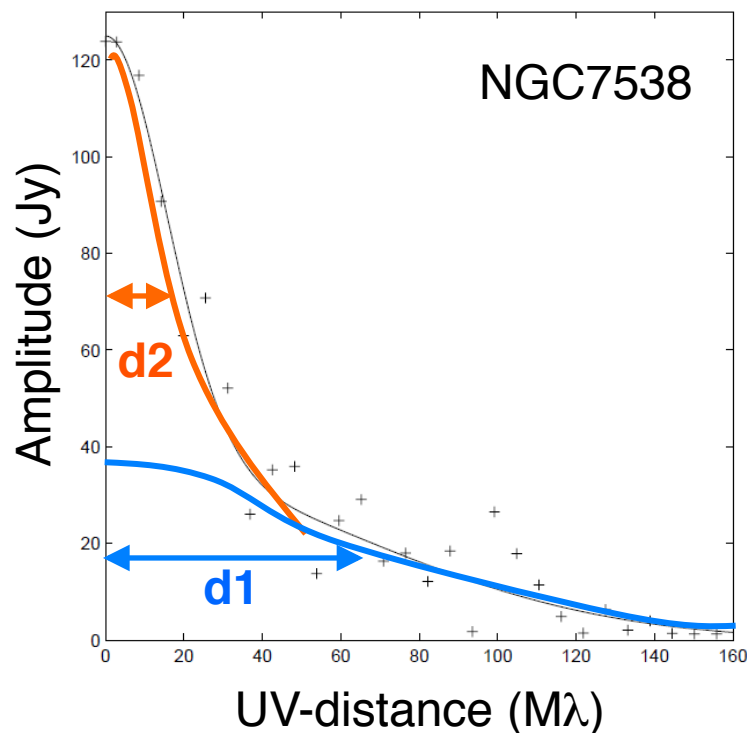
2. コア/ハロー構造 解明の必要性

各メーザースポットのコア/ハロー構造

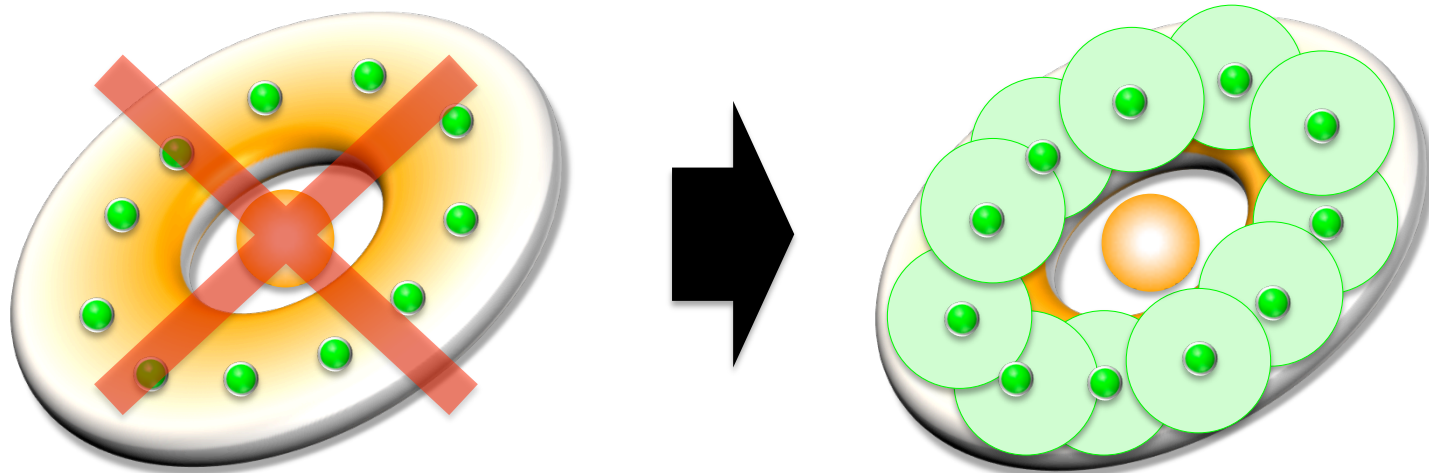
- “メーザー”が今ひとつ信用されない要因
 - 非熱的放射； 光りたいところだけ光る
 - コンパクトなコア / 広がったハロー構造 (Minier+ 02)



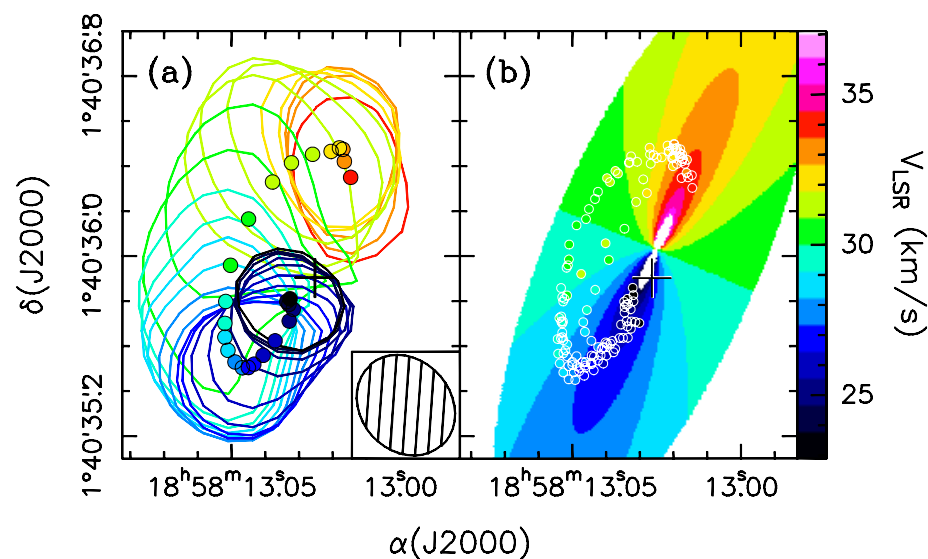
Projection plot of amplitude (Minier+ 02)



各メーザースポットのコア/ハロー構造



ALMAで観測されたG35.20-0.74Nの
CH₃CN輝線 Velocity centroid map
(Sanchez-Monge+ 13).



コア/ハローを生成するメカニズム

シナリオ 1 【飽和】



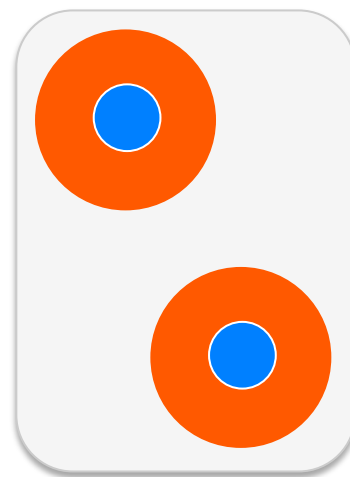
不飽和での指数関数的な増光と飽和での直線的増光の違いを反映.

シナリオ 2 【密度】



ハロー成分は低密度な放射の足し合わせ.

シナリオ 3 【乱流】



一様な CH_3OH ガス内における乱流による速度場の違い.

コア/ハローがもたらす弊害

- 3次元運動に対しては？
 - CH₃OHガス全体の運動を反映しているか不明確
- 強度変動に対しては？
 - コア/ハローのどちらが支配的か不明確
- 磁場構造・強度に対しては？
 - 特にシナリオ2の場合、磁場強度 vs 密度に影響

コア/ハローの解明がもたらす恩恵

● 3次元運動に対しては？

– CH₃OHガス全体の運動を反映しているか不明確

👉 ガス全体の運動のみならず分布も把握可能

● 強度変動に対しては？

– コア/ハローのどちらが支配的か不明確

👉 様々な変動タイプに対しどちらが支配的か明確に

● 磁場構造・強度に対しては？

– 特にシナリオ2の場合、磁場強度 vs 密度に影響


👉 密度ごとの磁場強度の違いの有無が明確に

SKA-VLBI with CH₃OH メーザー

3. SKA-VLBI による

コア/ハロー同時 3D 計測

独自性

- 3D速度計測は コア成分のみ計測されてきた
 - SKA-VLBIであれば ...
 - コア/ハロー成分の同時 3D 計測が可能に
 - かつ、YSO付近の ionized (thermal) emissions を同時に検出可能！
 - 電離円盤、電離ジェット、HC HII領域、など
 - 電離ジェット：数10 – 数100 μJy (Rosero+ 16) も検出可
 - インビームゆえ、“不動点”として準拠した 3D計測可能
-  コア/ハローの相関性が運動面から分かる！

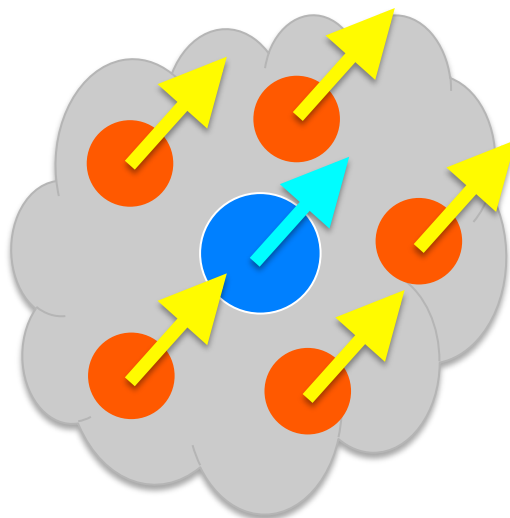
期待される結果

シナリオ 1
【飽和】
に対しては...



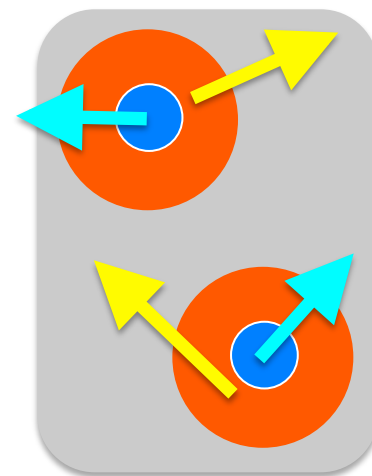
共に同じ方向へ運動.

シナリオ 2
【密度】
に対しては...



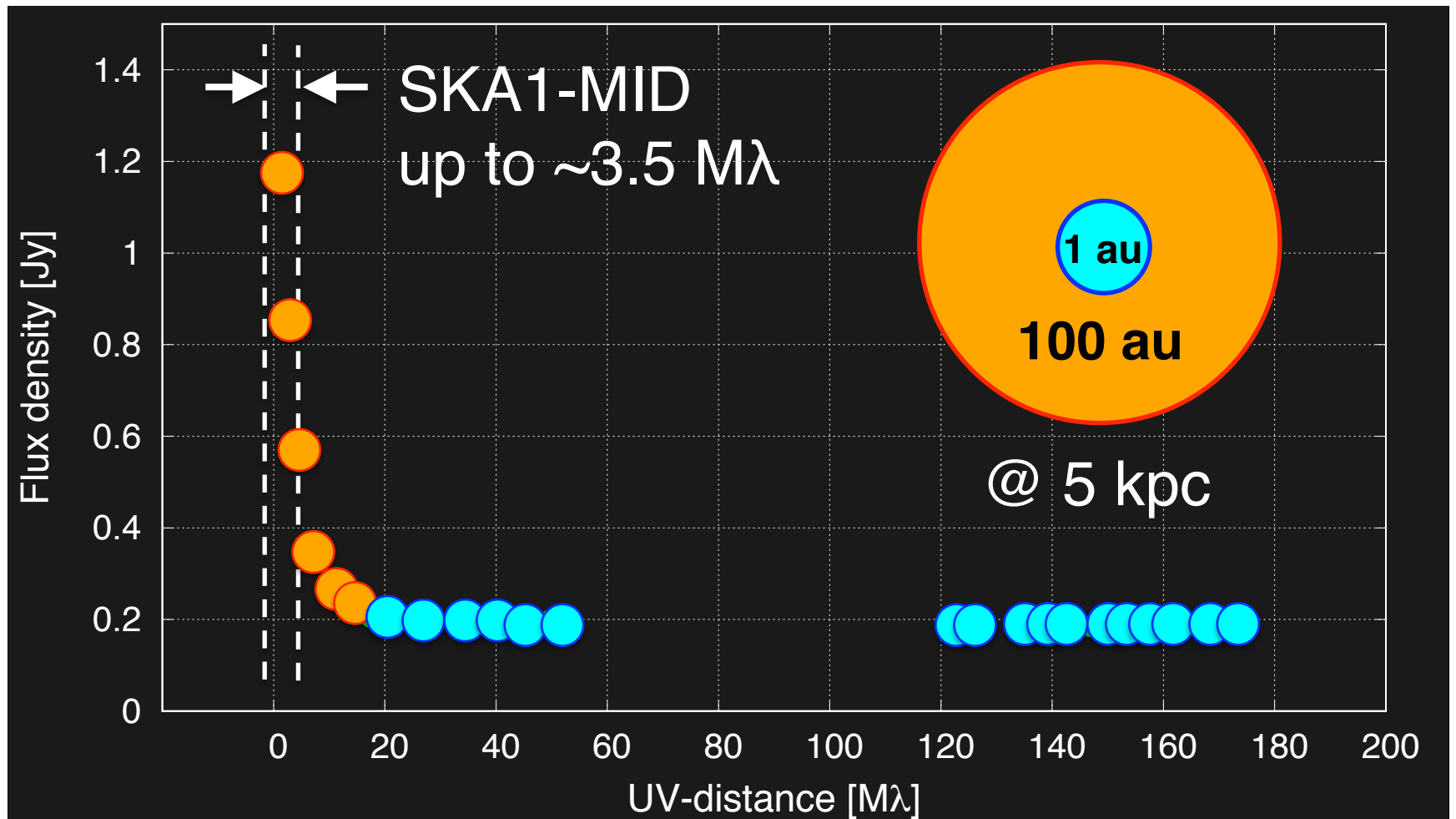
共に同じ方向だが、ハローは複数箇所
で運動計測.

シナリオ 3
【乱流】
に対しては...



乱流の速度場の乱れ
により、運動はランダム.

シミュレーション in AIPS



SKA-VLBI with CH₃OH メーザー

4. 対 ngVLA

An ngVLA Science Book chapter

- Hunter, Brogan, Bartkiewicz, Chibueze, Cyganowski, Hirota, MacLeod, Sanna, and Torrelles (2018), arXiv: 1806.06981
- ngVLAの高空間分解能・超高感度・広周波数範囲を活かし、free-free / ionized / dust 連続波を不動点とした、様々な種類のメーザーの同時 3D 速度計測を目指す
 - $\sim 3 - 300 \text{ mas}$ in 1.2 – 116 GHz
 - $\sigma_{\text{rms}} \sim 1 \mu\text{Jy}$ with 1 GHz bandwidth and ≤ 1 hr integration
 - free-free/ionized/dust連続波の空間分布・起源も同時に解明
- SKA-VLBI と補完的な協力関係に
 - 南半球: SKA-VLBI with 北半球: ngVLA

SKA-VLBI with CH₃OH メーザー

5. まとめ

まとめ

- OH/ CH_3OH / H_2O メーザーをプローブとした大質量 (原始) 星研究
- CH_3OH メーザーの コア/ハロー構造がもたらす弊害と、その解明による恩恵を認識
- SKA-VLBI による コア/ハロー同時 3D計測
 - インビームに不動点として ionized emissions を同時検出可能
 - コア/ハローの相関性が運動面から分かる