

#GAEP
9/13-19 1-71

武藤恭之

Exoplanet accretion monitoring spectroscopic survey (ENTROPY)

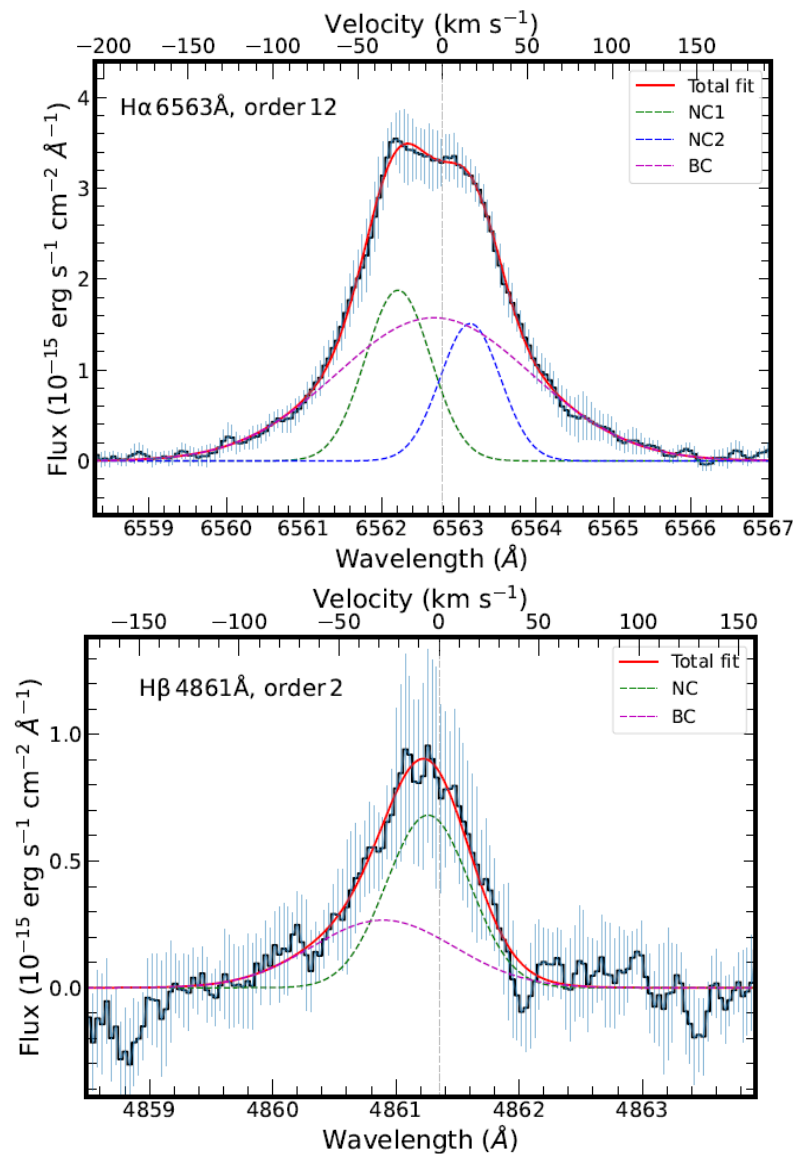
I. Evidence for magnetospheric accretion in the young isolated planetary-mass object 2MASS J11151597+1937266[★]

Gayathri Viswanath¹, Simon C. Ringqvist¹, Dorian Demars², Markus Janson¹, Mickaël Bonnefoy²,
Yuhiko Aoyama^{3,4,5}, Gabriel-Dominique Marleau^{6,7,8,9}, Catherine Dougados², Judit Szulágyi¹⁰, and
Thanawuth Thanathibodee^{11,12}

- VLT/UVES による若い惑星質量天体 2M1115 の質量降着の高分散分光観測
- H I と He I の輝線を検出、この天体に質量降着があることを確認
- 温度 1816K, 半径 1.5R_J, pre-shock の速度 120 km/s, 密度 10¹⁴ /cc、ここから天体の質量 ~6 M_J、質量降着率 1.4 × 10⁻⁸ M_J/yr が示唆。
- モデルから示唆される惑星表面の降着領域は、惑星表面全体の面積の 0.03% に過ぎない。Hα の明るさはモデル予測よりも強く、衝撃波以外のメカニズムで Hα が光っている可能性がある。また、過去の観測との比較から、質量降着率が時間変動している可能性がある。

2MASS J11151917+1937266

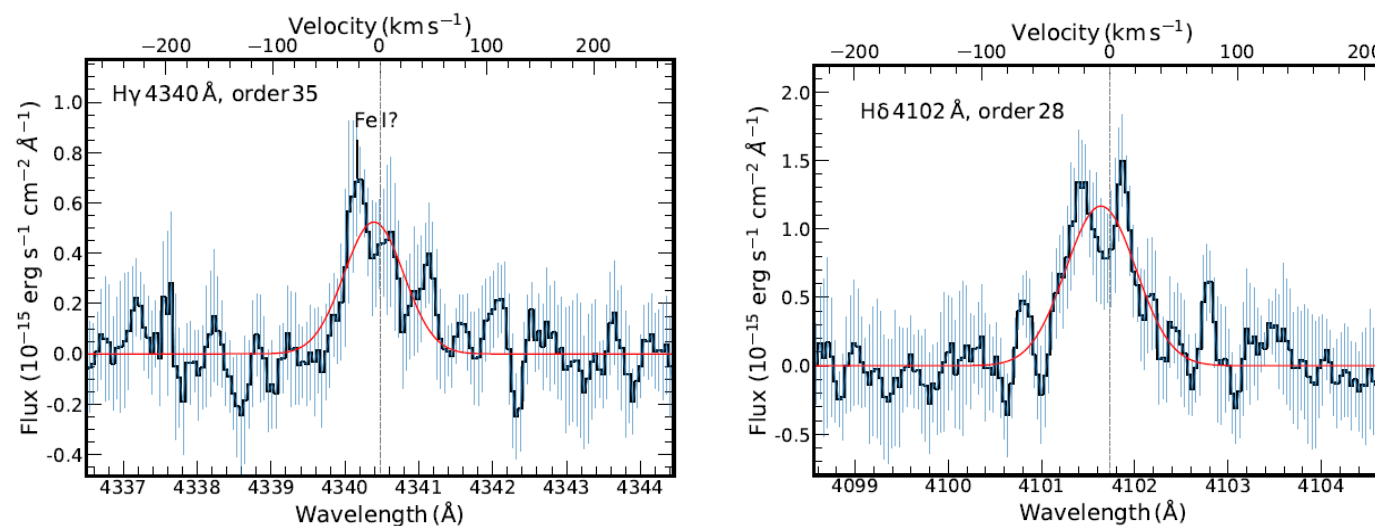
L2 型の低質量天体、H I と He I の放射、中間赤外の excess あり、年齢 5-45 Myr と推定されていた近傍に同じような固有運動を持った 2M1113 がある。既知の Moving Group などには属していない孤立天体



Halpha と Hbeta: 幅の広い成分 (BC) と狭い成分 (NC)

幅の広い成分：衝撃波後面すぐの温度の高い領域から

幅の狭い成分：衝撃波後面の深いところの温度の低い領域から



Hgamma, Hdelta, Hepsilon: 一つのガウシアンでフィットできる

鉄（と思われる元素）のコンタミがある

Line	order, arm	$F_{\text{line}}/10^{-15}$ (erg s ⁻¹ cm ⁻²)	$\log(L_{\text{line}})$ ($L_{\odot}$)	$\log(L_{\text{acc}})^b$ ($L_{\odot}$)		$\log(\dot{M}_{\text{acc}})$ ($M_{\odot}$)	
				A21	All7	A21	All7
H α (H3)	12, RedU ^a	8.43 ^{+1.61} _{-1.30}	-6.27 $\pm$ 0.09	-4.35 $\pm$ 0.14	-5.35 $\pm$ 0.38	-7.67 $\pm$ 0.32	-8.67 $\pm$ 0.48
H β (H4)	2, RedL ^a	0.96 ^{+3.02} _{-0.49}	-7.21 $\pm$ 0.45	-4.80 $\pm$ 0.41	-5.63 $\pm$ 0.61	-8.12 $\pm$ 0.50	-8.95 $\pm$ 0.67
H γ (H5)	34-35 ^c , Blue	0.38 ^{+2.00} _{-0.28}	-7.61 $\pm$ 0.46	-4.87 $\pm$ 0.42	-5.76 $\pm$ 0.62	-8.19 $\pm$ 0.51	-9.08 $\pm$ 0.68
H δ (H6)	28, Blue	1.10 ^{+3.63} _{-0.53}	-7.15 $\pm$ 0.45	-4.24 $\pm$ 0.41	-5.01 $\pm$ 0.59	-7.56 $\pm$ 0.50	-8.33 $\pm$ 0.66
H ϵ (H7)	25, Blue	0.35 ^{+4.30} _{-0.26}	-7.65 $\pm$ 0.48	-4.44 $\pm$ 0.43	-5.42 $\pm$ 0.62	-7.76 $\pm$ 0.52	-8.74 $\pm$ 0.68

質量降着率は 10^{-7.9} M $\dot{M}$ /yr 程度

物理量の推定

輝線強度 $\rightarrow$ accretion luminosity:

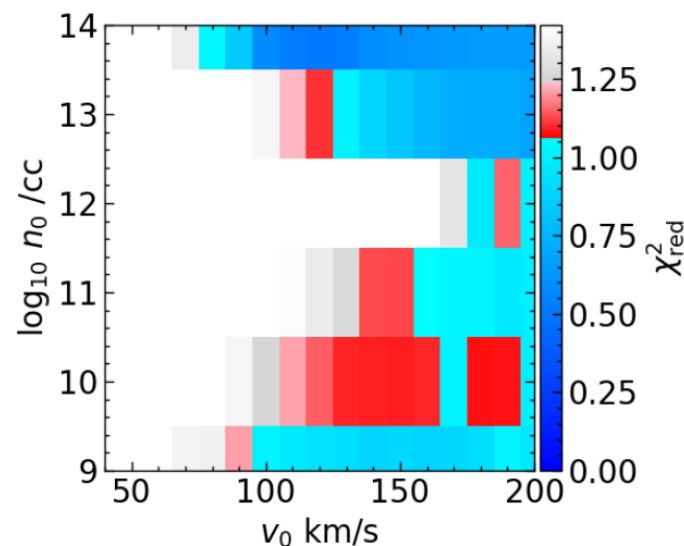
$$\log(L_{\text{acc}}/L_{\odot}) = a \times \log(L_{\text{line}}/L_{\odot}) + b,$$

a, b: 係数

惑星質量天体の場合 (Aoyama et al. 2021)

星の場合 (Alcala et al. 2017)

Accretion luminosity $\rightarrow$ 質量降着率: $\dot{M}_{\text{acc}} = \left(1 - \frac{R_p}{R_{\text{in}}}\right)^{-1} \frac{L_{\text{acc}} R_p}{GM_p}$ 星のスケーリングを使うと降着率は一桁程度小さく出る



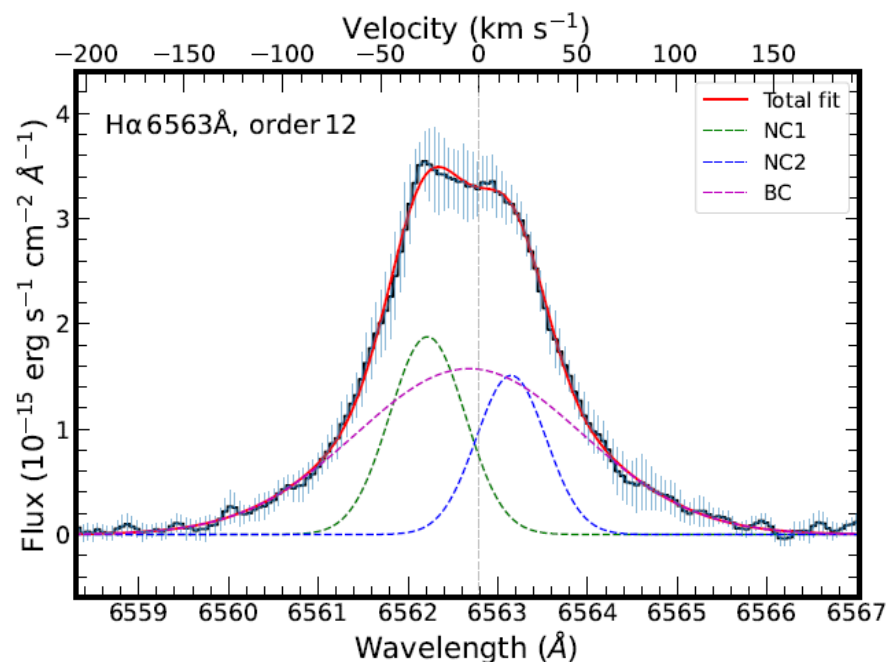
惑星への質量降着モデル (Aoyama+21) を用いた衝撃波上流のガス密度・速度推定

密度 10⁹ – 10¹⁴ 個/cc、速度 80-200 km/s

$$\dot{M} = 4\pi R_p^2 f_f \mu' n_0 v_0 \quad \text{Filling factor がおよそ 0.03\% となった}$$

星表面の降着領域が小さい $\rightarrow$ magnetospheric accretion ではないか

議論： H α がやけに明るい + NC が2つある



planetary accretion shock モデル：

- Hbeta 以降の水素輝線は、整合的なパラメータでフィットできる
- H α に見られる redshift した狭い輝線成分は説明できない。そもそも明るさが合わない

H α は天体への降着に起因するものではない可能性が高い

- chromospheric activity や降着流に沿った加熱など

Short-Lived Gravitational Instability in Isolated Irradiated Discs

Sahl Rowther,^{1,2★} Daniel J. Price², Christophe Pinte^{2,3}, Rebecca Nealon^{4,5}, Farzana Meru^{4,5} and Richard Alexander¹

- 重力不安定な原始惑星系円盤の 3 次元（輻射）流体シミュレーション
- SPHによる流体シミュレーションとモンテカルロ輻射輸送を組み合わせ、流体を解きながら温度を整合的に決める
- 中心星からの輻射で温度が（ほぼ）決まり、温度プロファイルは時間的に（ほぼ）一定
 - 温度が変わることで重力不安定乱流を保つというプロセスは起こらない
- 円盤質量 $0.1M_{\text{sun}}$ の計算では、spiral wave による角運動量輸送によって円盤進化が生じ、円盤の面密度は下がる。その結果、重力不安定性は収まる。強い spiral arm が生じているのは 10,000 年程度と短い。細かい spiral arm は残るが、観測で見つけるのは大変そう。
- 円盤質量 $0.25M_{\text{sun}}$ 分裂が生じる

手法と設定：

PHANTOM による 3 次元SPH計算、MCFOST を使って温度を随時アップデート

温度のアップデートの間隔： およそ 7年ごと (20au での力学時間の 1/12)

ダスト・ガス比はどこでも 1/100 とし、小さなダストしか無いものとする (計算はガスだけ)

粒子数 10^6 , 中心星 1Msun (半径 4au の sink particle)

円盤質量 0.1Msun の計算： 初期に 4-100au の範囲に、面密度のベキが -0.6 乗となるように円盤粒子を配置

比較用の beta-cooling による計算：
$$\frac{du}{dt} = -\frac{P}{\rho} (\nabla \cdot \mathbf{v}) + \Pi_{\text{shock}} - \frac{u}{t_{\text{cool}}}, \quad t_{\text{cool}} = \frac{\beta}{\Omega}. \quad \text{beta}=15 \text{ を仮定}$$

※放っておくと温度がゼロ度になるモデル

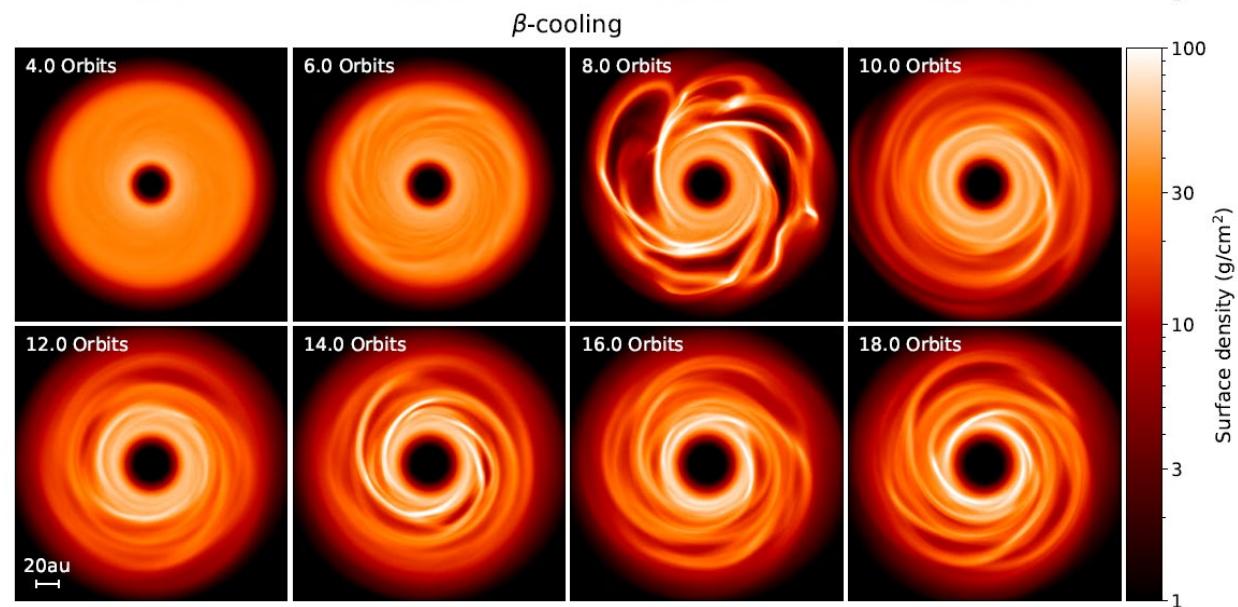
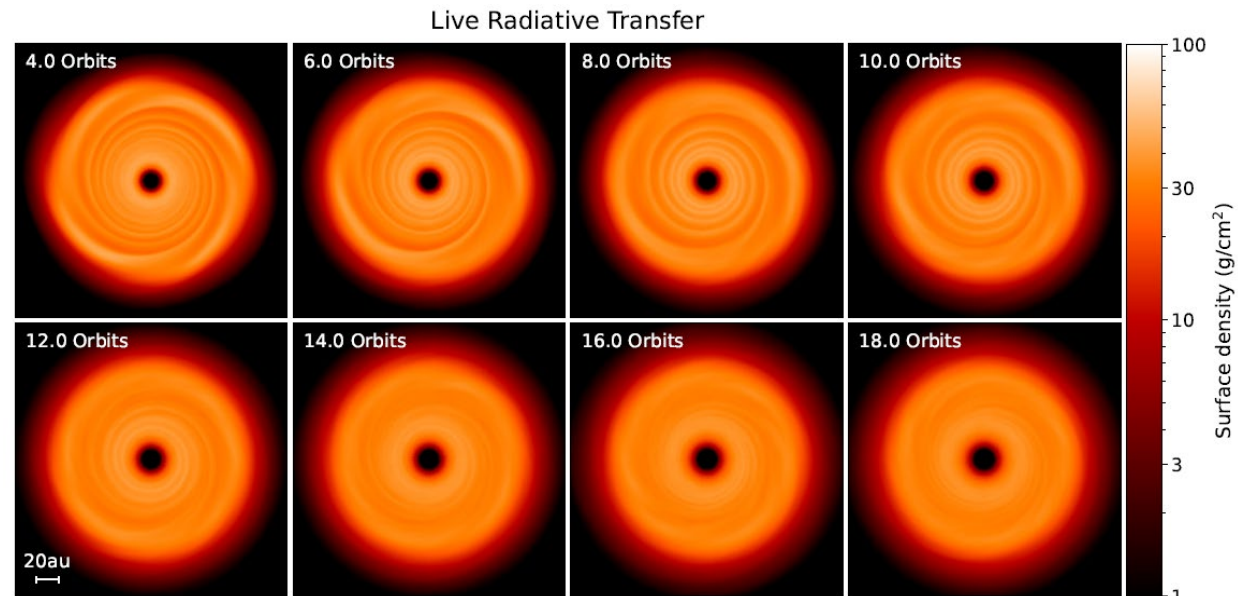
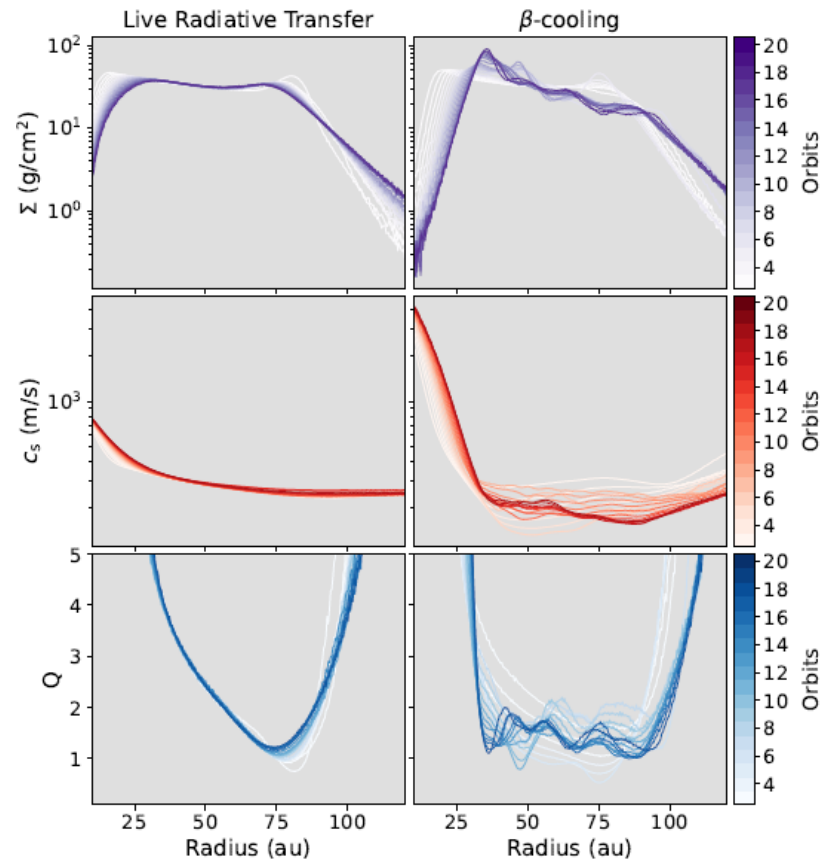
分裂を起こす計算：

円盤質量 0.25Msun, 初期に 8-200au の範囲に、面密度のベキが -1 乗となるように円盤粒子を配置

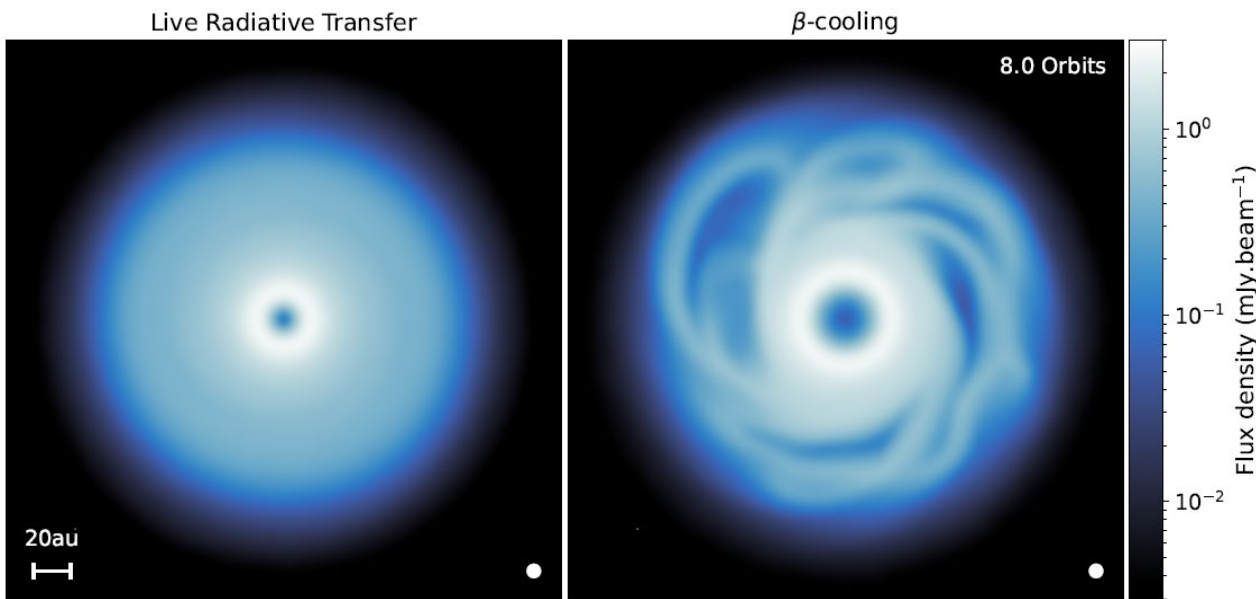
輻射輸送計算と、beta cooling 計算の比較

1 orbit ~ 1000yr

- 輻射輸送計算はスパイラル構造が弱く、10,000年程度で消えている
 - 重力的に安定な構造に進化
- Beta-cooling の場合は、温度が下がった後にスパイラルが立って安定化し、また温度が下がる、の繰り返し



観測的示唆



輻射輸送計算のスパイラルは弱い

重力不安定円盤の構造を観測することは難しいかもしれない

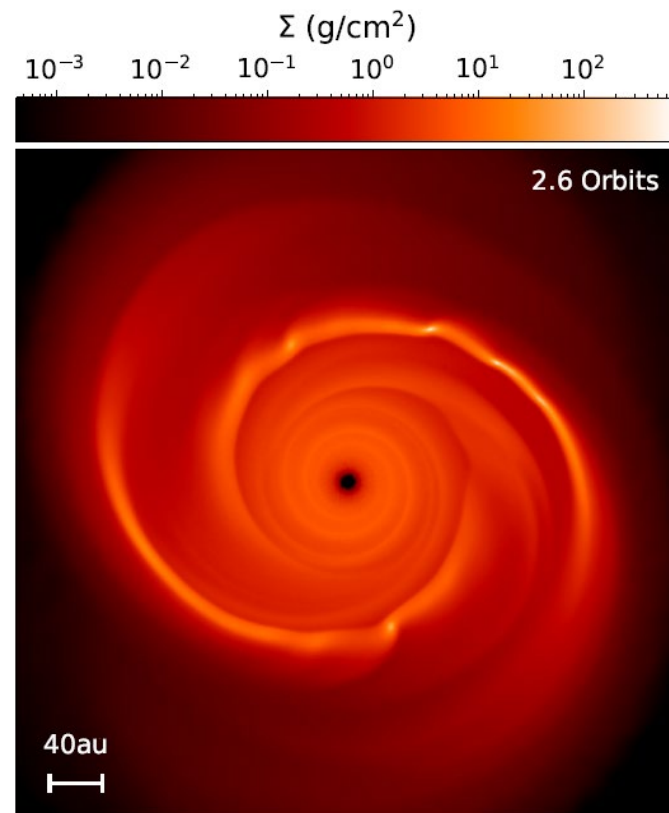
重い円盤の fragmentation

0.25 Msun の円盤の計算では、重力不安定による分裂が見られた

※過去研究では分裂していなかった

温度が中心星の輻射で決まり、スパイラルが弱くなる

PdV による heating が利かず、分裂が止められない



A new measurement of the Galactic $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ gradient from sensitive HCO^+ absorption observations

Gan Luo¹, Laura Colzi², Tie Liu³, Thomas G. Bisbas⁴, Di Li^{5,6}, Yichen Sun⁷, and Ningyu Tang⁸

- HCO^+ の吸収線を用いた銀河における $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ gradient の測定
- 太陽近傍での $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ は ~ 66
 - CH^+ によって求められた値と整合的
- 銀河中心方向での $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ の値は 37.5, 42.2 （視線2つ）
 - H_2CO などの dense gas tracer を用いた値からは $\times 2$ 程度大きい
 - $\text{c-C}_3\text{H}_2$ や CH^+ を用いた測定値とは整合的
- 今回求められた $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ の銀河中心からの距離の依存性
 $(6.4 \pm 1.9)R_{\text{GC}}/\text{kpc} + (25.9 \pm 10.5)$
- 高密度ガストレーサーよりも低密度ガストレーサーの方が $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ が大きい値が出る傾向にある

クエーサー吸収線を用いた分子の柱密度の測定

クエーサーの視線方向にある分子雲などによる吸収から、柱密度を推定

ALMA, 89GHz, 空間分解能 0.6秒 ➡ beam dilution を抑えられる
一つだけ NOEMA で観測

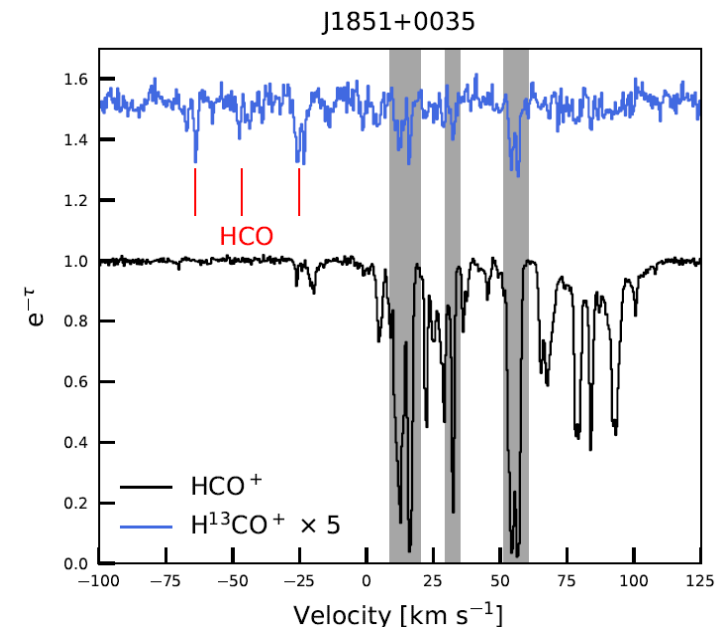
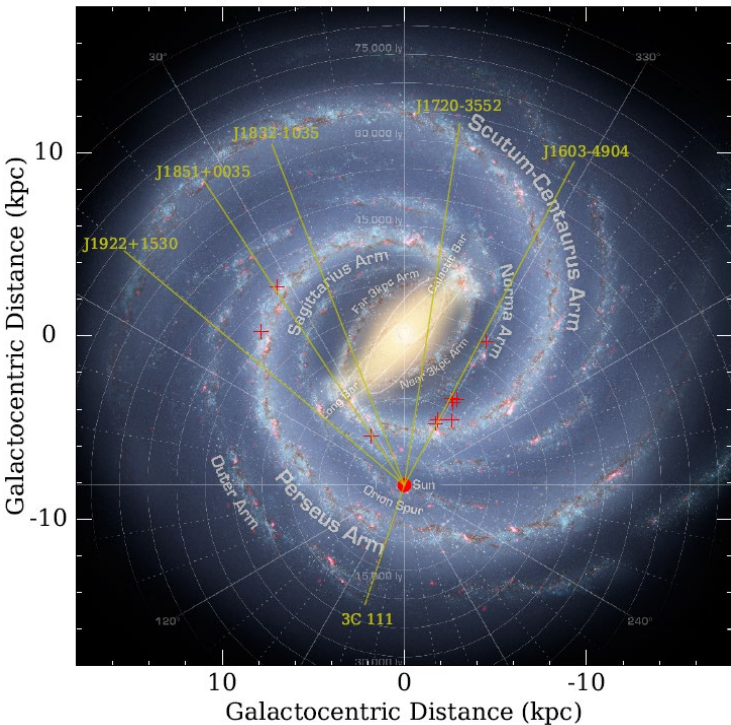
HCO⁺ と H¹³CO⁺ の吸収線から、¹²C/¹³C 比を求める

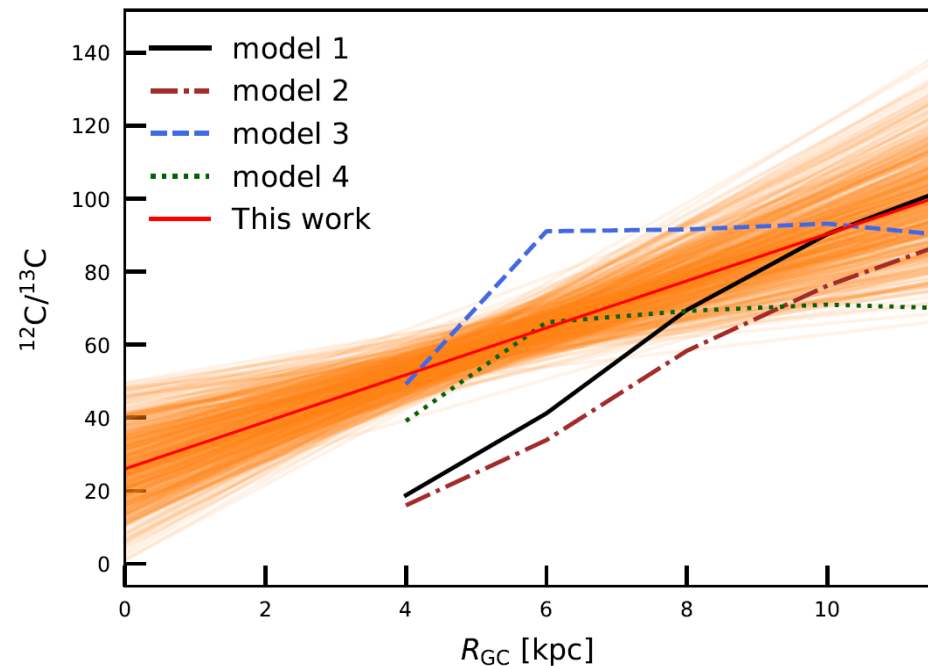
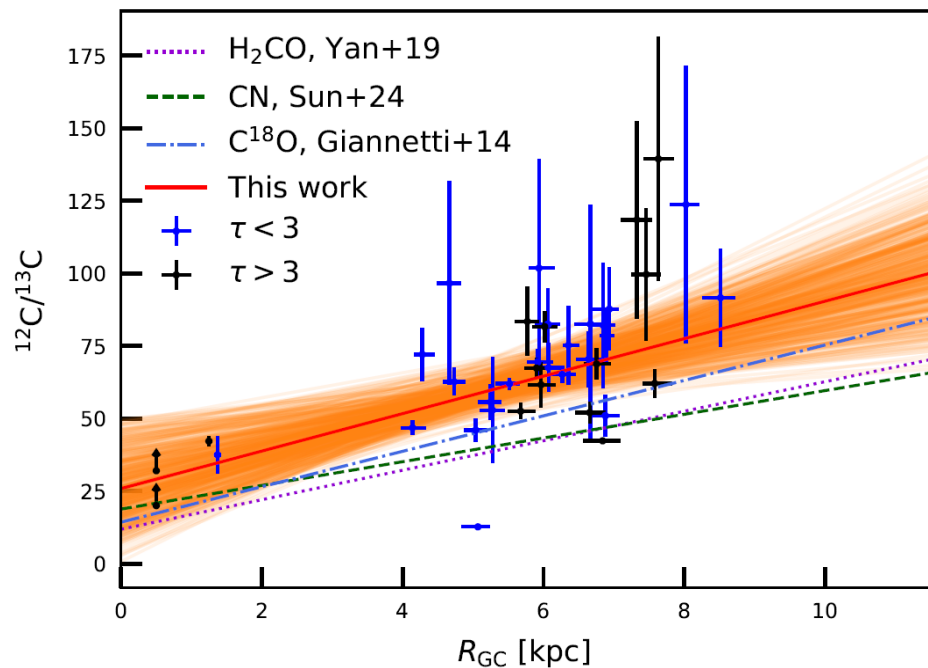
光学的厚み（観測量）の比から柱密度の比を出せる：

$$N_{\text{tot}} = \frac{3h}{8\pi^3 |\mu_{lu}|^2} \frac{Q_{\text{rot}}}{g_u} \frac{e^{\frac{E_u}{kT_{\text{ex}}}}}{e^{\frac{h\nu}{kT_{\text{ex}}}} - 1} \int \tau_\nu d\nu \quad \longrightarrow \quad \frac{N_{\text{HCO}^+}}{N_{\text{H}^{13}\text{CO}^+}} = 0.974 \frac{\int \tau_{\text{HCO}^+} d\nu}{\int \tau_{\text{H}^{13}\text{CO}^+} d\nu}$$

平均速度（観測量）から、銀河の回転曲線を仮定して、銀河中心からの距離 R_{GC} を出す：モンテカルロ法を用いた推定

➡ ¹²C/¹³C 比を銀河中心からの距離として求められる





$$\frac{\text{H}^{12}\text{CO}^+}{\text{H}^{13}\text{CO}^+} = (6.4 \pm 1.9) \frac{R_{\text{GC}}}{\text{kpc}} + (25.9 \pm 10.5)$$

太陽近傍 500pc の範囲では $\sim 66 \pm 5$

$^{12}\text{CH}^+ / ^{13}\text{CH}^+$ で得られている値 (74.4 ± 7.6) と整合的

銀河中心方向には2つの視線があり、それぞれ 42.2 と 37.5

c- C_3H_2 による測定とは整合的だが、他の高密度トレーサーによる推定よりは大きな値

COM: 24 ± 7 , CH: 15.8, H_2CO : 11.48

HCO^+ は低密度トレーサー (数密度で数100個/cc 程度)

10^4 個/cc 程度の高密度トレーサー (H_2CO , C^{18}O , CN) に比較して、得られた $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ が大きい

➔ 高密度領域における fractionation の効果がある

銀河の化学進化モデルとは、だいたい整合的な結果

外側領域での観測精度を上げることが、モデルの区別をするための鍵となる