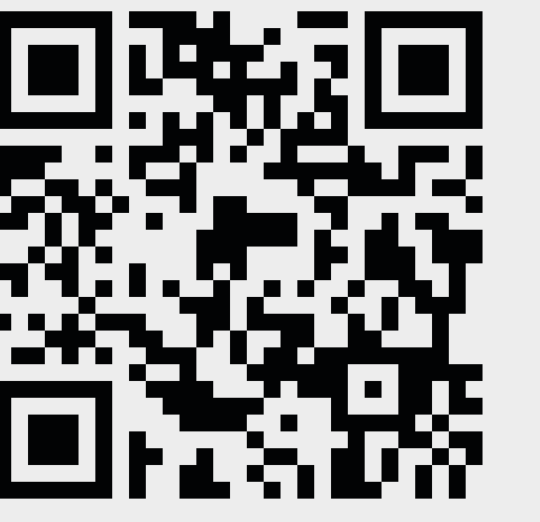


# 原始惑星系円盤への外部輻射の影響

松本凜\*, 福島肇\* (\*筑波大学)

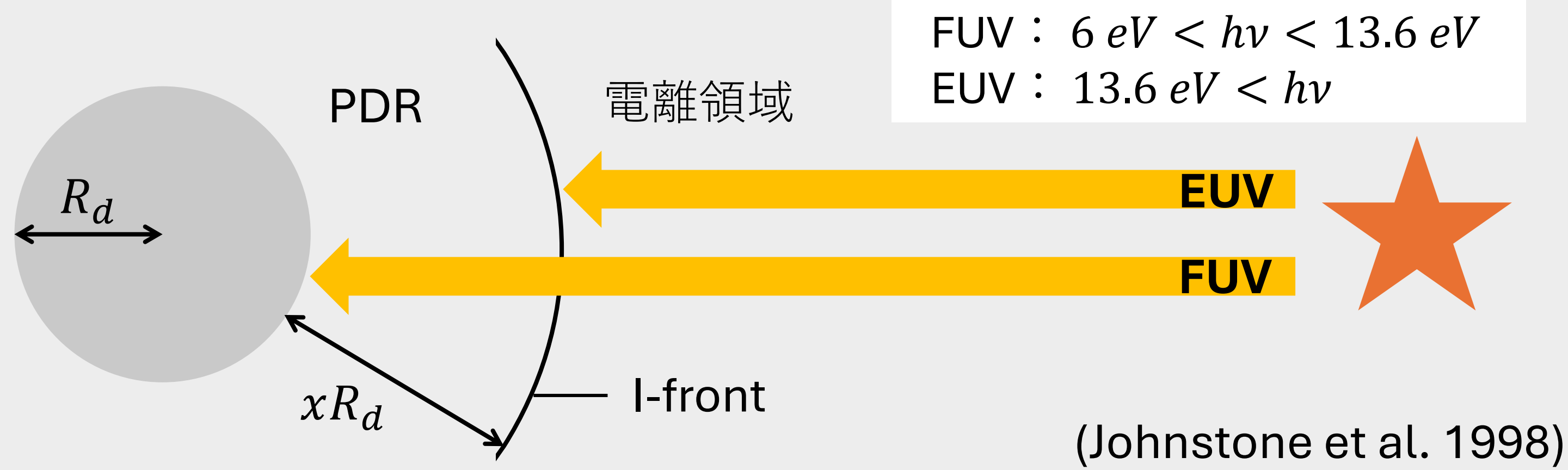
2024.9.11-13 日本天文学会 2024年秋季年会 関西学院大学 神戸三田キャンパス



## Introduction

### ◎原始惑星系円盤の光蒸発

惑星形成の現場となる原始惑星系円盤は、円盤外から大質量星の紫外線 (FUV・EUV) を受けることで円盤のガスが光蒸発する。



$R_d$ : 原始惑星系円盤の半径

PDR(光電離領域): FUVによって  $10^2 \sim 10^3\text{ K}$  に加熱された領域

電離領域: EUVによって  $10^4\text{ K}$  に加熱され、ガスが電離した領域

$$\text{I-frontでの蒸発率: } \dot{M} = 4\pi \frac{(1+x)^2}{x} R_d^2 n_0 m_l \left( \frac{a_l^2}{2a_{II}} \right)$$

$R_d = 100\text{ [au]}$  を代入

$$\dot{M} = \begin{cases} 7.5 \times 10^{-8} M_{\odot}\text{yr}^{-1} & (r_{d14} = r_d/10^{14}\text{ cm}, x = 1.5) \\ & \text{EUVが支配的な場合} \\ 1.1 \times 10^{-7} M_{\odot}\text{yr}^{-1} & (r_{d14} = r_d/10^{14}\text{ cm}, x = 3.0) \\ & \text{FUVが支配的な場合} \end{cases}$$

### ◎先行研究

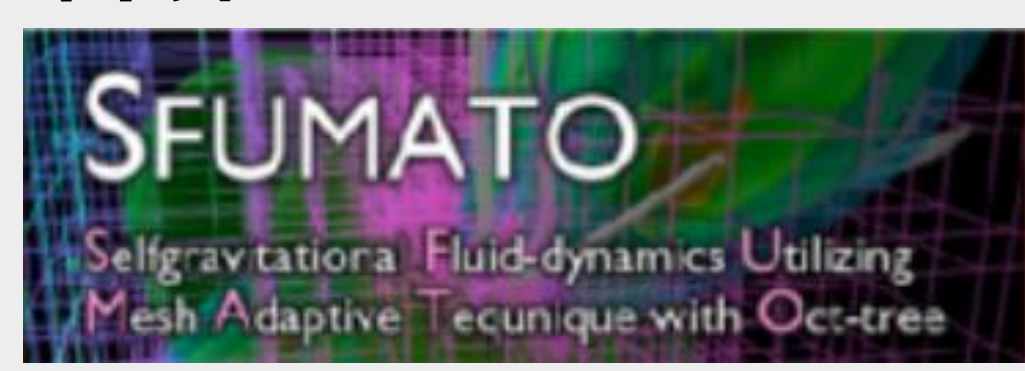
- ①円盤への2次元外部輻射シミュレーションは行われている。
- ②原始惑星系円盤が光蒸発してできるproplydが観測された。

計算を3次元に拡張することで光子の放射方向に自由度を与える

→ ガス円盤への影響まで考慮でき、より現実的な計算に

## Method

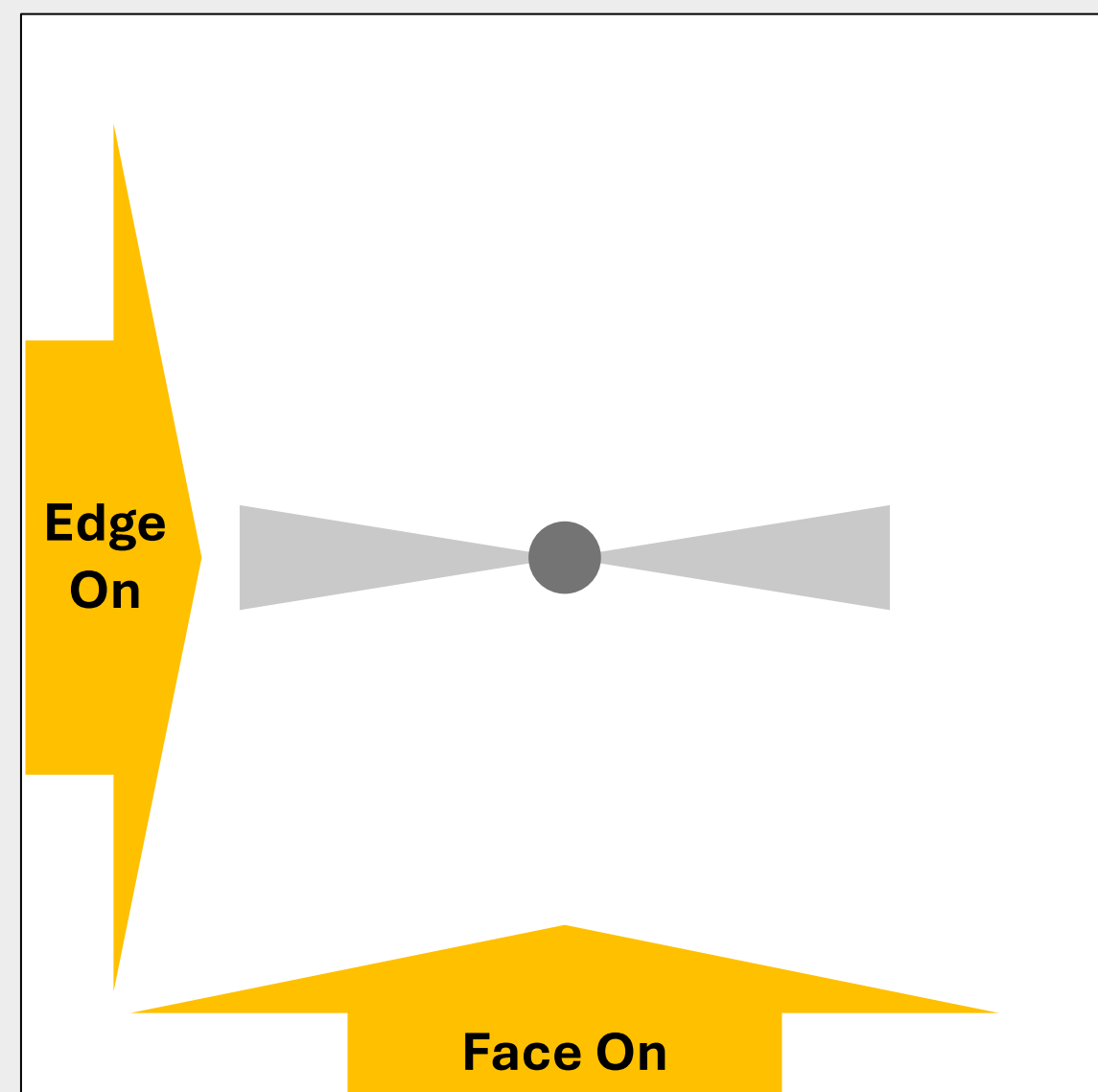
### ◎計算コード



流体の基礎方程式  
輻射輸送方程式(M1 - closure法)  
(Matsumoto 2007)

- ・ EUV/FUVに関するM1クロージャ法による輻射計算
  - ・ 熱進化
  - (電離領域: 電離加熱、輝線冷却 | PDR: 光電効果、輝線冷却)
  - ・ 非平衡化学
- (Fukushima & Yajima 2021, Sugimura et al. 2020)

### ◎初期設定



中心星 質量:  $0.5M_{\odot}$  ・ 半径:  $30\text{ au}$

ガス ↓ 原始惑星系円盤の密度分布 (Nakatani et al. 2018)

$$n_H = n_0 \left( \frac{R}{1\text{ au}} \right)^{-9/4} \exp \left[ -\frac{z^2}{2h^2} \right]$$

$$\left( \because h(\text{円盤の高さ}) = \frac{C_s(\text{音速})}{\Omega_k(\text{ケプラー速度})} \right)$$

円盤の直径:  $100\text{ au}$  (計算領域の1/10)

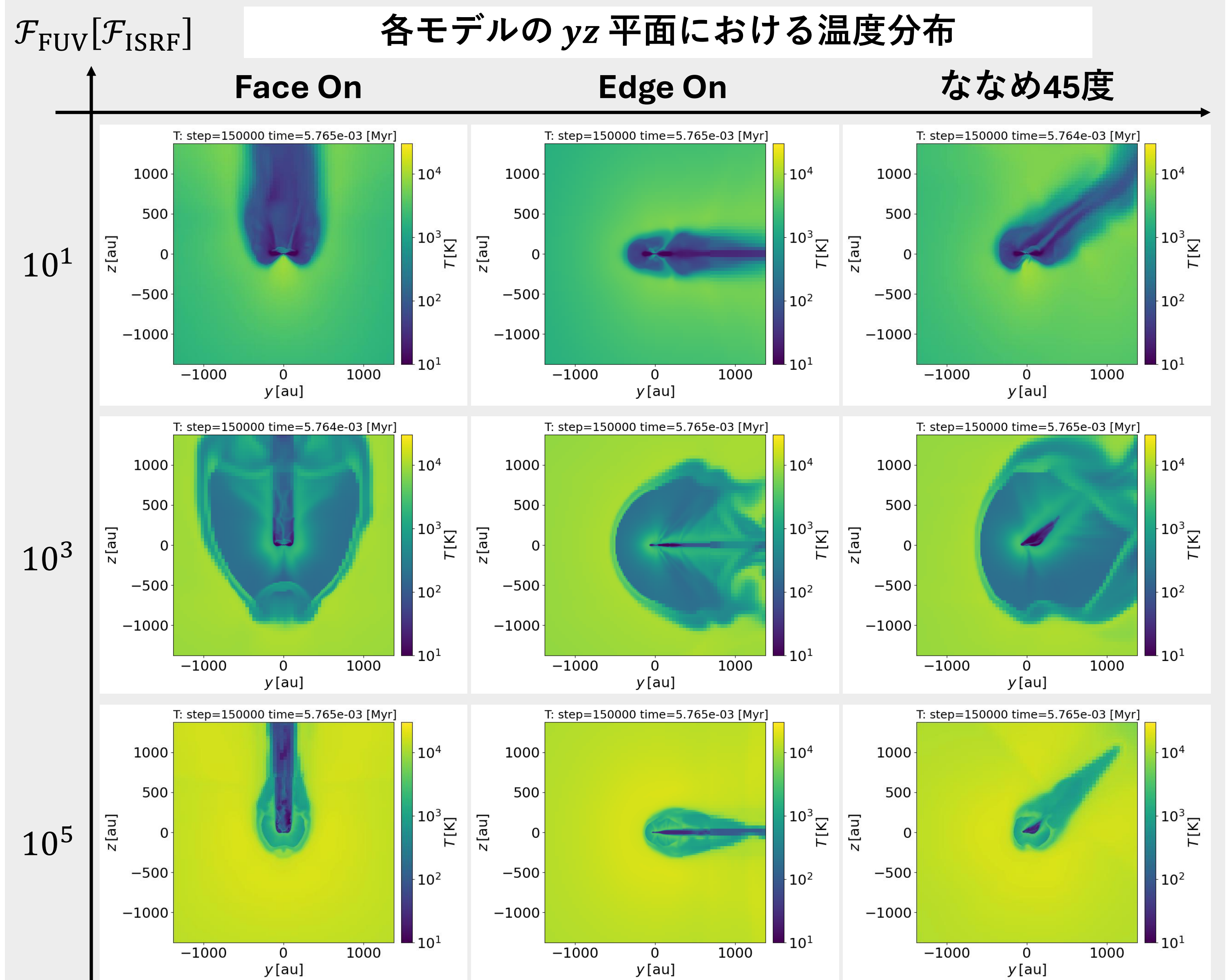
円盤外部の密度: 円盤の外側の1/100

### ◎外部輻射

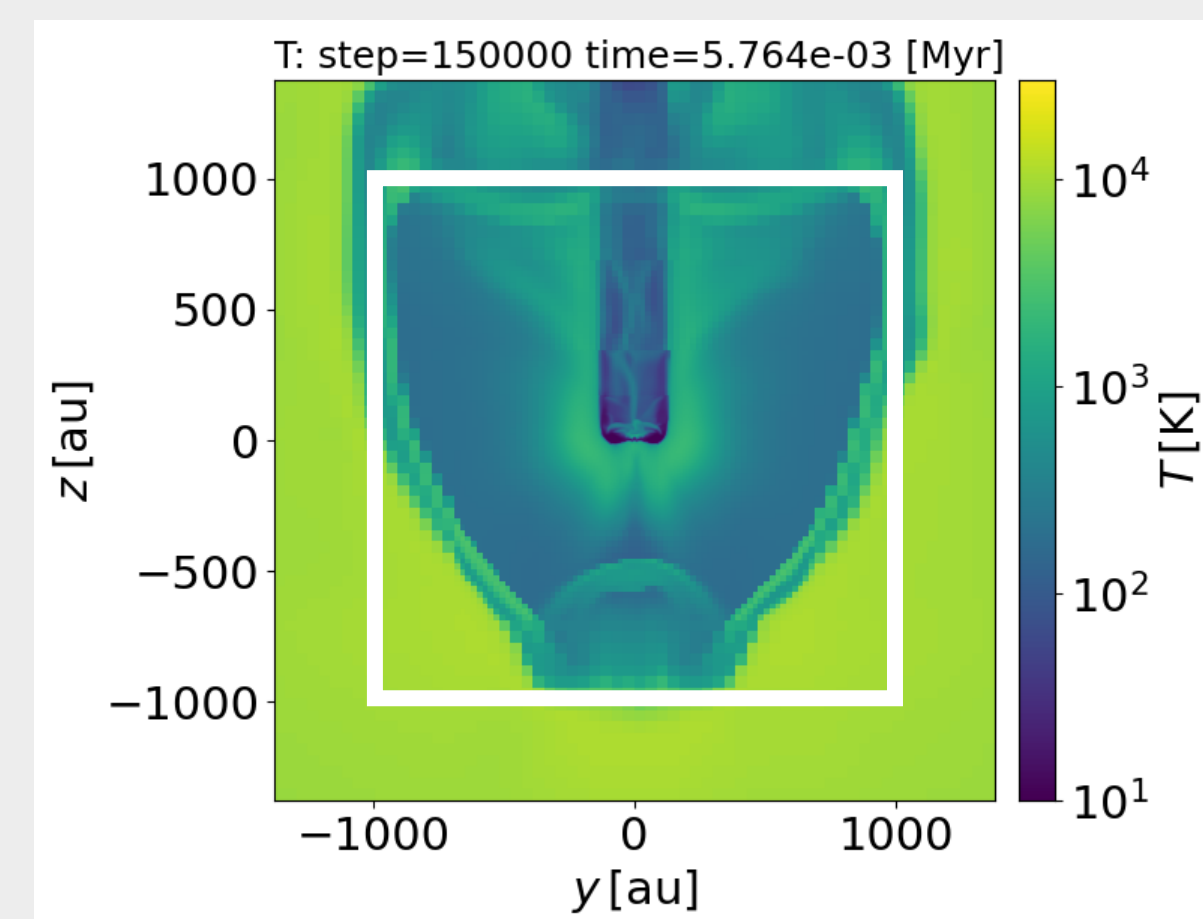
強度 星間空間内の平均的なエネルギーフラックス  $\mathcal{F}_{\text{ISRF}}$  を基準に3強度 ( $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^1 \mathcal{F}_{\text{ISRF}} \cdot 1.0 \times 10^3 \mathcal{F}_{\text{ISRF}} \cdot 1.0 \times 10^5 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$ )

方向 円盤に対して3方向 (Face On ・ Edge On ・ ななめ  $45^\circ$ )

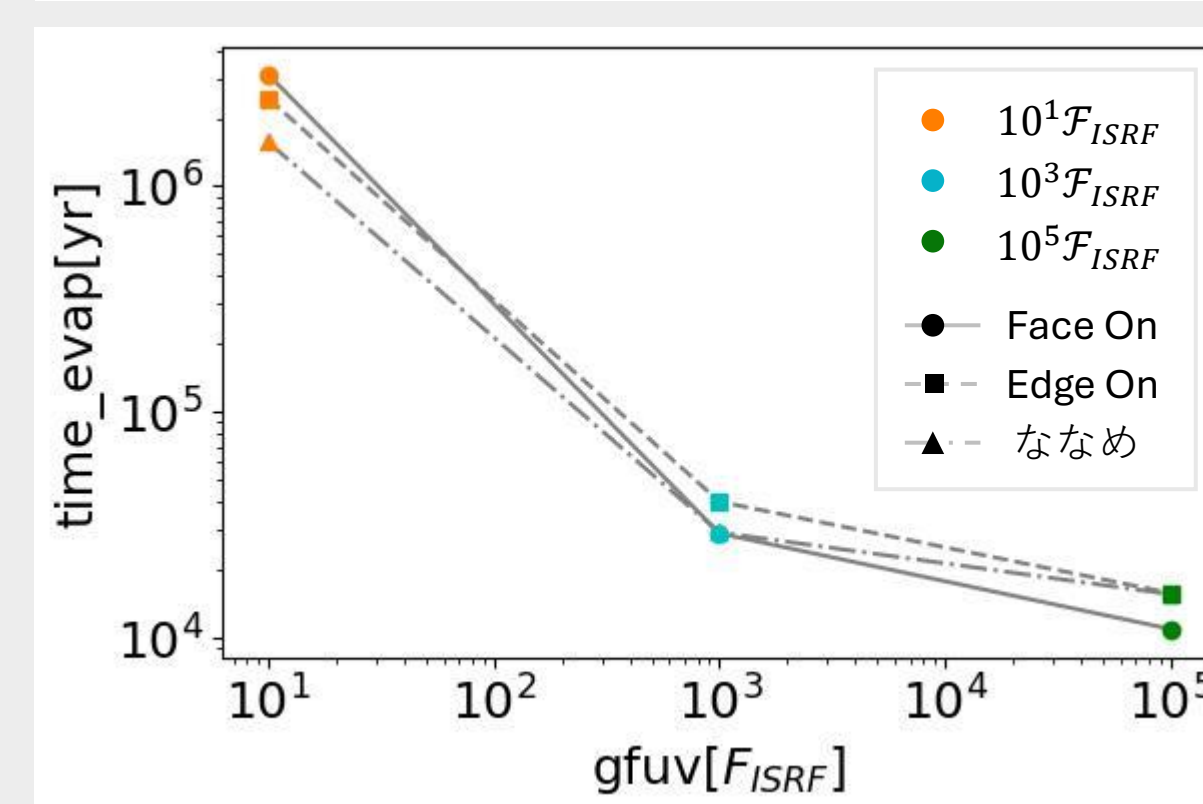
## Results



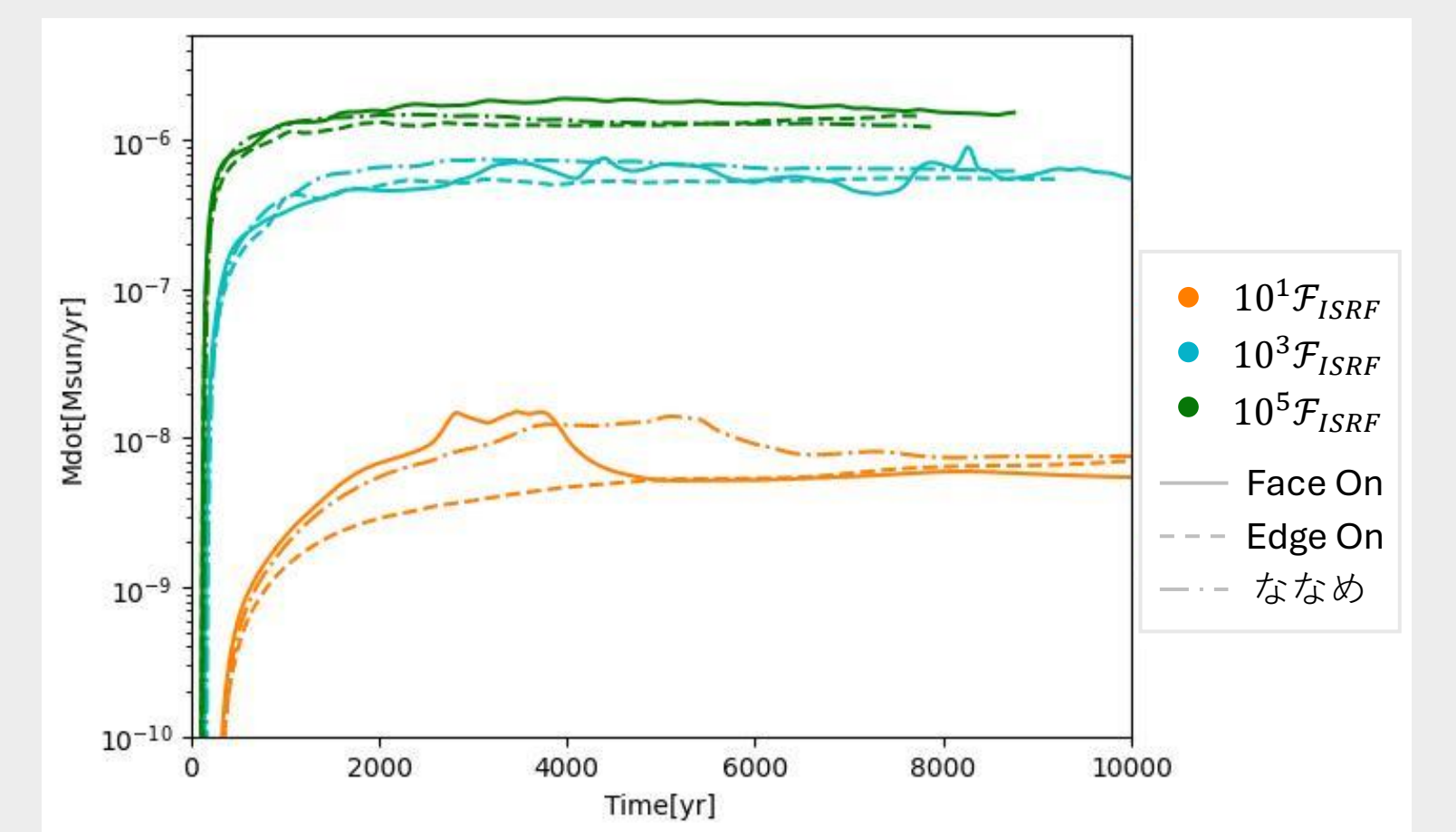
- ・  $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^1 \mathcal{F}_{\text{ISRF}} \cdot 1.0 \times 10^5 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$   
▶ 外部輻射によって電離面が円盤付近まで近づいている
- ・  $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^3 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$   
▶ 円盤からのフィードバックが顕著であり、電離面が遠い



蒸発流の計算BOX

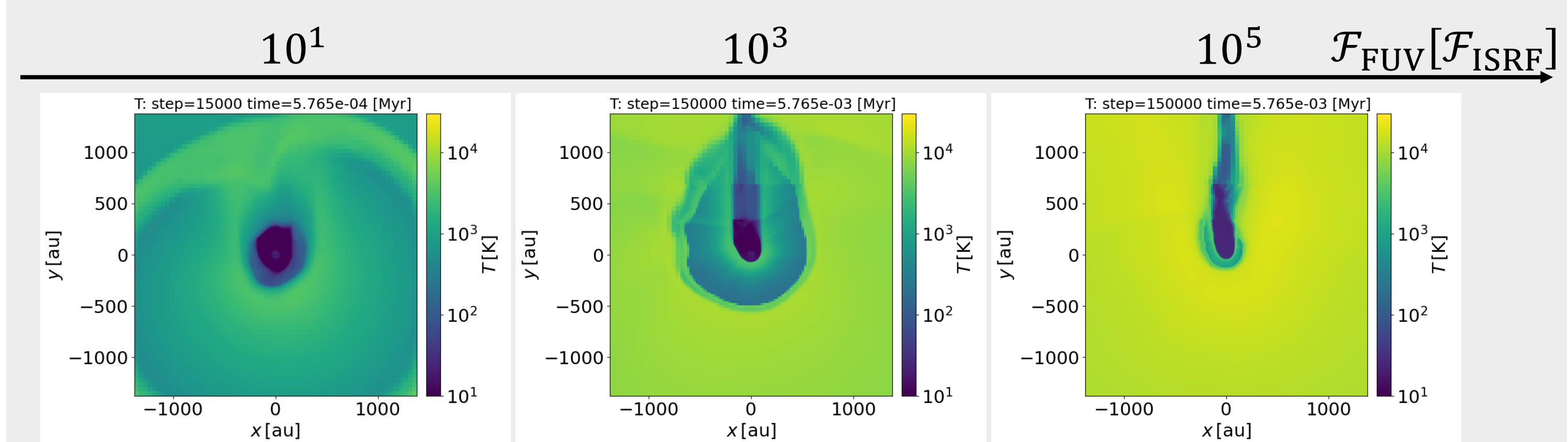


全てのガスが蒸発する時間の紫外線強度依存性



円盤の蒸発率の時間変化

- ・ 蒸発率は  $6 \sim 8 \times 10^8$  年程度で定常になる。
- ・ 蒸発率と外部輻射を与える方向への依存性は非常に小さく、輻射強度への依存性が大きい。
- ・  $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^3 \cdot 10^5 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$  の場合、 $10^5$  年以内 (< 100 万年) に全てのガスが蒸発するため、惑星形成を抑制する可能性がある。



外部輻射をEdge Onで与えた場合のxy平面における温度分布

- ・ 蒸発流の構造が、外部輻射の方向と比較して歪んでいる。  
▶ 円盤がz軸正の方向から見て反時計回りに回転していることが影響していると考えられる。

## Conclusion

- ・ 先行研究のシミュレーションを3次元に拡張し、円盤への外部輻射のパラメータを変化させて計9モデル(3方向、輻射強度3パターン)の計算を行った。
- ・  $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^1 \mathcal{F}_{\text{ISRF}} \cdot 1.0 \times 10^5 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$  の外部輻射を与えた場合、外部輻射によってI-front(電離面)が円盤付近まで近づくが、 $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^3 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$  の外部輻射を与えると、円盤からのフィードバックが顕著となり、I-front(電離面)と円盤との距離が長くなる。
- ・ 外部輻射の強度や方向によらず、円盤の蒸発率は  $6 \sim 8 \times 10^8$  年程度で定常状態になる。その蒸発率の値に方向依存性は見られず、強度依存性が大きい。
- ・  $\mathcal{F}_{\text{FUV}} = 1.0 \times 10^3 \mathcal{F}_{\text{ISRF}} \cdot 1.0 \times 10^5 \mathcal{F}_{\text{ISRF}}$  の外部輻射を与えた場合、 $10^5$  年以内 (< 100 万年) に全てのガスが蒸発するため、惑星形成を抑制する可能性がある。
- ・ Edge Onで外部輻射を与えた場合、蒸発流の構造が円盤の回転方向に歪む。proplydの観測において外部輻射の方向を解析する際に、円盤の回転方向による影響を考慮しなければならない可能性がある。