

# 大質量星形成における 輻射フィードバックの金属度依存性

福島 肇 (京都大学)



京都大学 理学研究科・理学部  
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE  
FACULTY OF  
KYOTO UNIVERSITY

共同研究者 細川隆史,  
大向一行(東北大学),  
Rolf Kuiper(University of Tübingen)  
千秋元(ジョージア工科大)  
仲谷峻平(東京大学)  
吉田直紀(東京大学)

初代星研究会@水戸・茨城大学, 2018/11/19-21

# 目次

## 1. イントロダクション

輻射フィードバック: ダストへの輻射圧とHII領域形成

## 2. Method

2次元輻射流体計算について

## 3. $M_{\text{core}}=250M_{\text{sun}}$ における

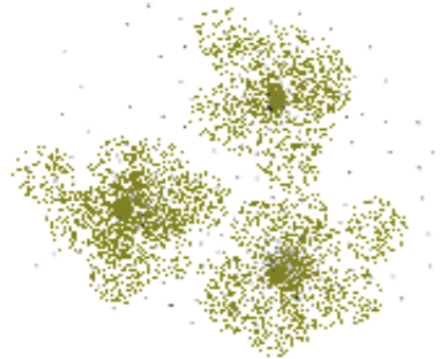
原始星質量の金属度依存性について

# 1. イントロダクション

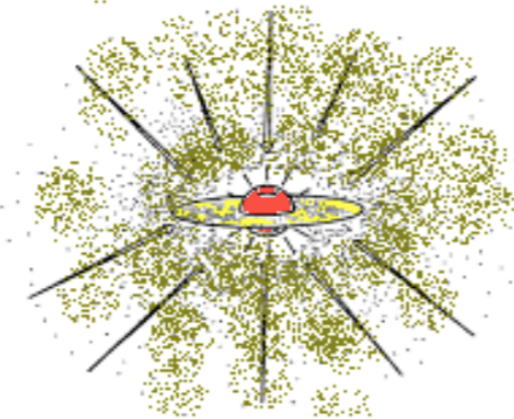
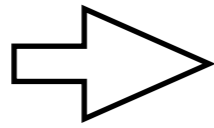
輻射フィードバック: ダストへの輻射圧とHII領域形成

# 大質量星の質量決定機構

## 星形成の標準シナリオ



高密度コア  
重力収縮



質量降着

複合フィードバック?

輻射フィードバック

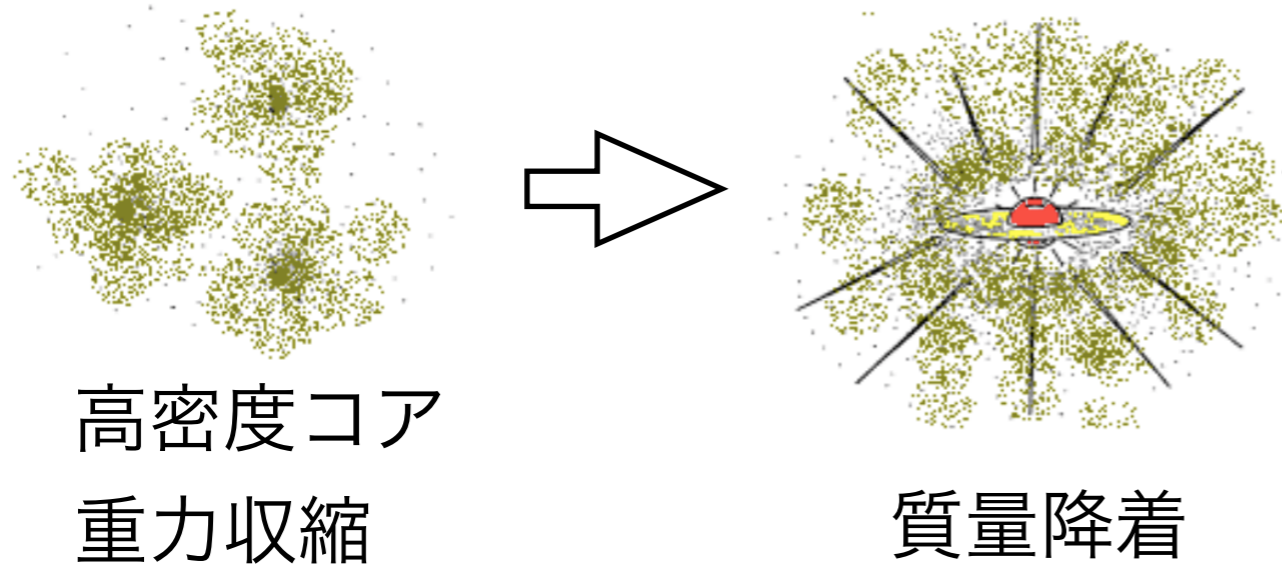
原始星輻射

outflow

stellar wind ...

# 大質量星の質量決定機構

## 星形成の標準シナリオ



複合フィードバック?

輻射フィードバック

原始星輻射

outflow

stellar wind ...

## 輻射フィードバックに焦点をあてる

10:50-11:10 福島 肇

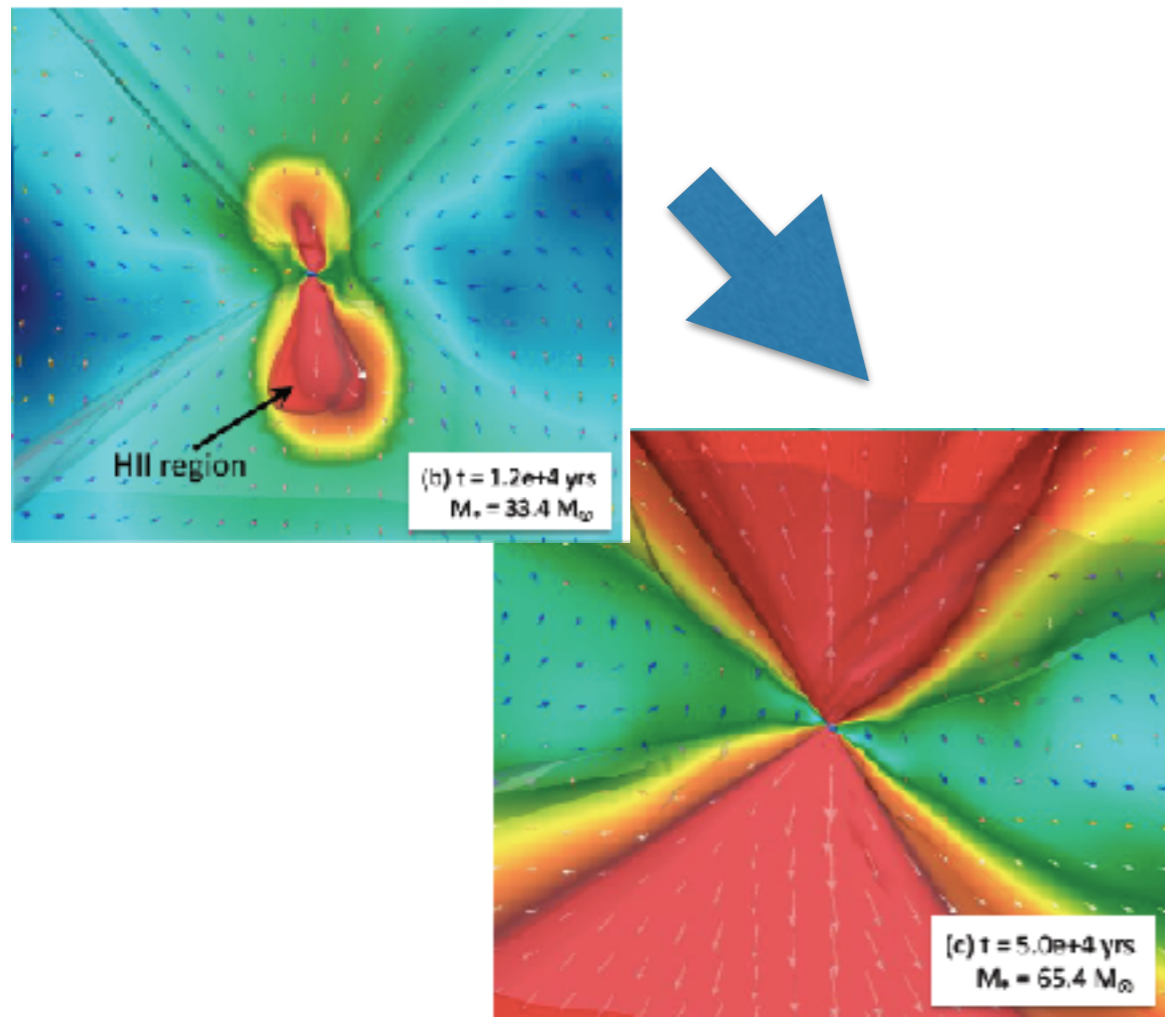
大質量星形成における輻射フィードバックの金属度依存性

11:10-11:30 田中 圭

大質量星形成における複合フィードバックの金属量依存性

# 大質量星形成による輻射フィードバック

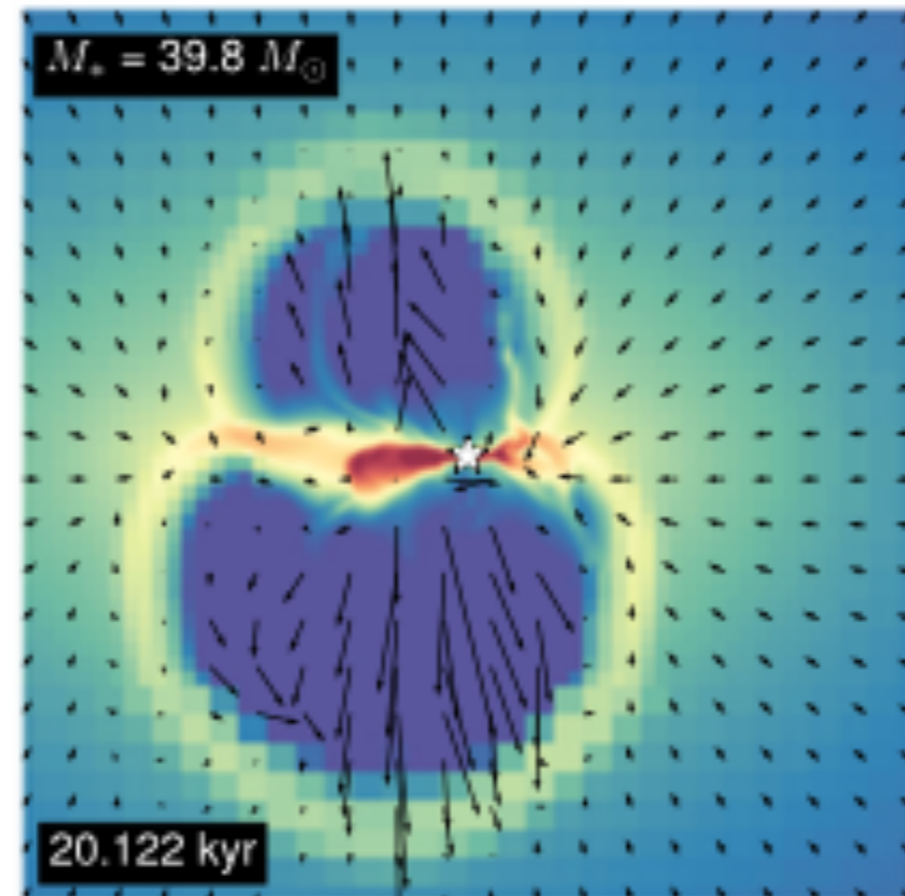
$Z = 0$  (初代星) HII領域形成



(Hosokawa et al. 16)

(Hosokawa et al. 11, 16, McKee & Tan 2008)

$1Z_\odot$  ダストへの輻射圧(+HII領域形成)

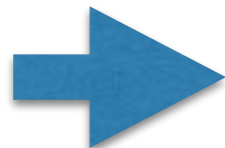


(Klassen et al. 16)

(Yorke & Bodenheimer 99; Krumholz et al. 09;  
Kuiper et al. 10; Rosen et al. 16)

## 輻射フィードバック機構について

HII領域形成

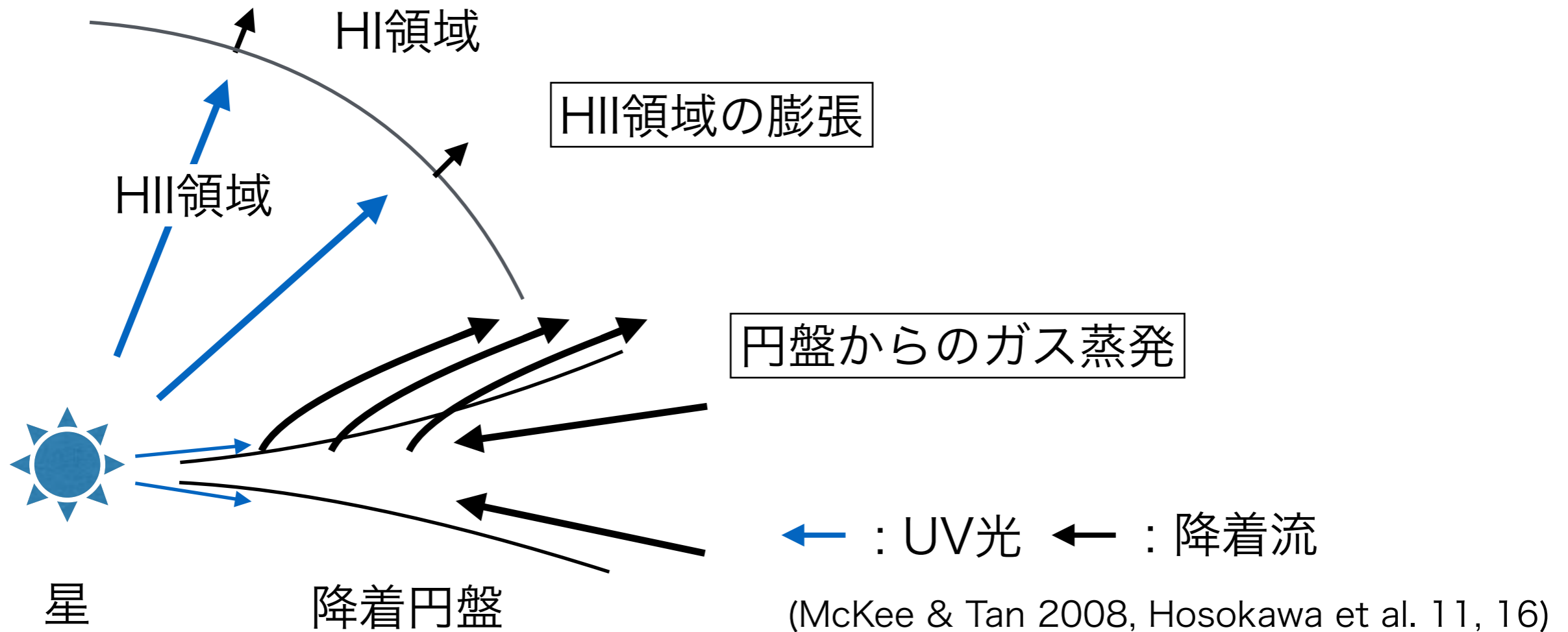


ダストへの輻射圧

いつ(どの金属度で)変遷するか？

# HII領域形成

HII領域形成に伴うガス加熱により質量降着が抑制される



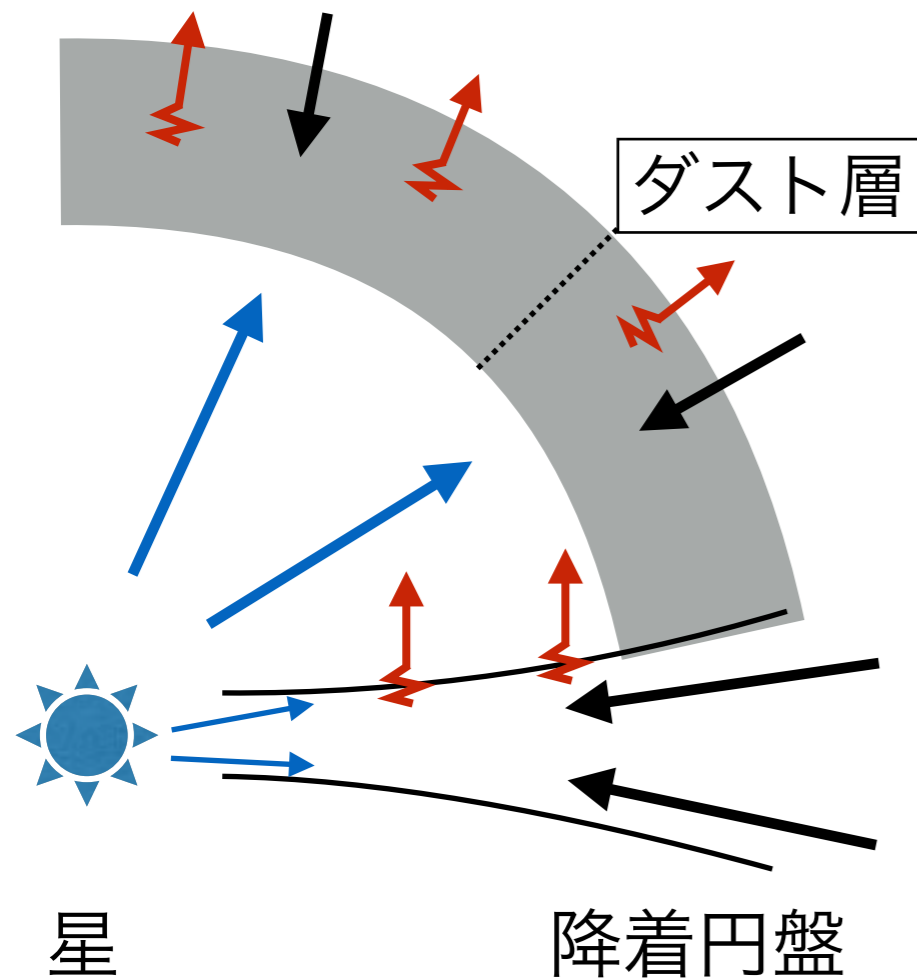
**ディスク極方向:** HII領域の膨張

**ディスク成分:** 円盤への光蒸発が有効となる (Hollenbach et al. 1994)

重元素がある場合はダスト減光により円盤蒸発が抑制される

(Tanaka et al. 2017,2018)

# ダスト層への輻射圧



## 球対称降着の場合

1  $Z_{\text{sun}}$ において最大質量  $M \sim 20 M_{\odot}$

( Wolfire & Cassinelli 1987 )

## 多次元効果

降着円盤の形成及び、極方向への輻射の放出により、ガスは輻射圧を受けずに降着できる  
(Flash light effect; Yorke & Bodenheimer 1999)

## 金属度依存性

金属度  $Z > 0.01 Z_{\odot}$  で有効となる

(HF et al. 2018)



## 2. Method


### 2次元輻射流体計算について

# Method (Modified version of Nakatani et al. 2017 + Sugimura et al. 2017)

Hydrodynamics (2D, PLUTO 4.1)

+ Self Gravity , alpha viscosity (Kuiper et al. 2010)

+ non equilibrium Chemistry HI, HII, H<sub>2</sub>, H<sup>-</sup>, e

+ CII, OI, OII, OIII  HII領域内部で平衡を仮定

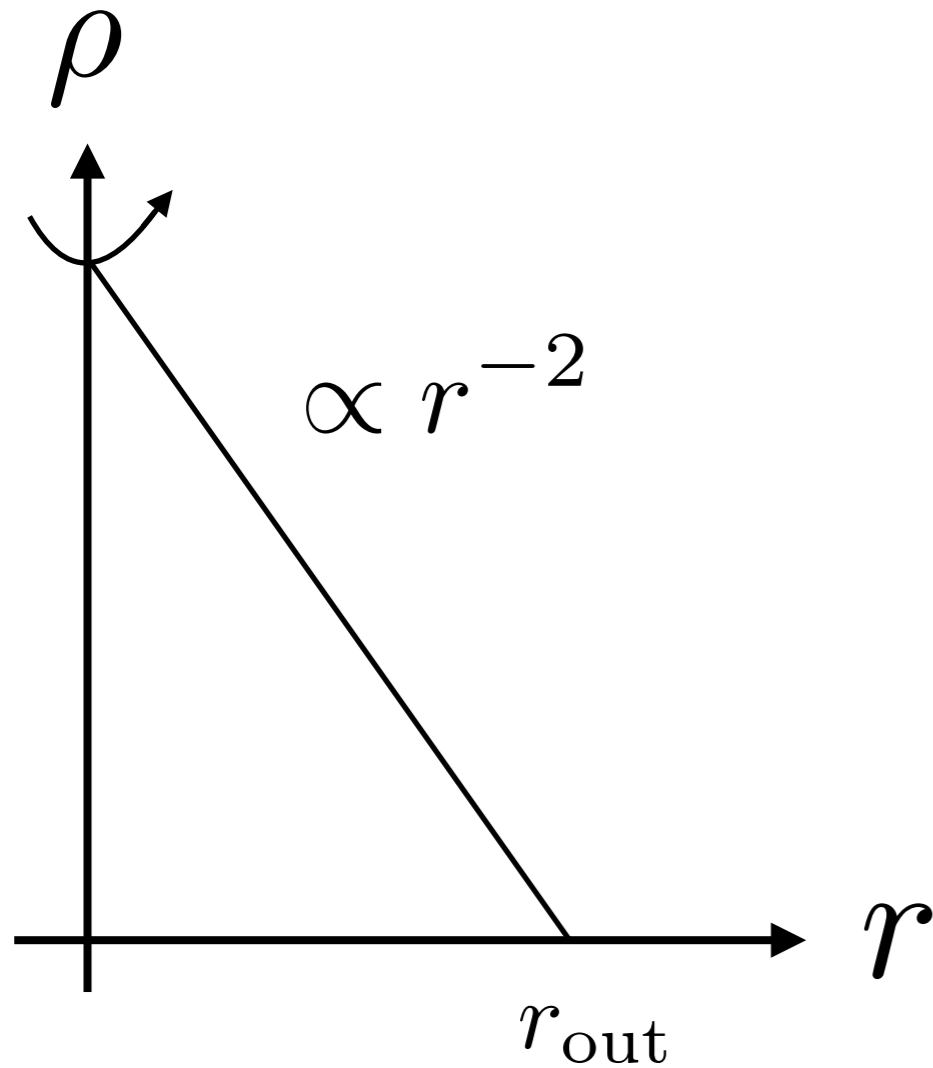
+ Radiation Transfer of Direct stellar light

+ FLD (Kuiper et al. 2010)

+ stellar evolution (Table)

+ Sink (10 au)

# 初期条件



# 初期条件

$$r_{\text{out}} = 0.1 \text{pc}$$

$$M_{\text{core}} = 250 M_{\odot}$$

$$\rho \propto r^{-2}$$

$$\Omega \propto r^{-1}$$

回転エネルギー/重力エネルギー=2%

sink半径: 10au

(Kuiper & Hosokawa 2018)

## 計算パターン

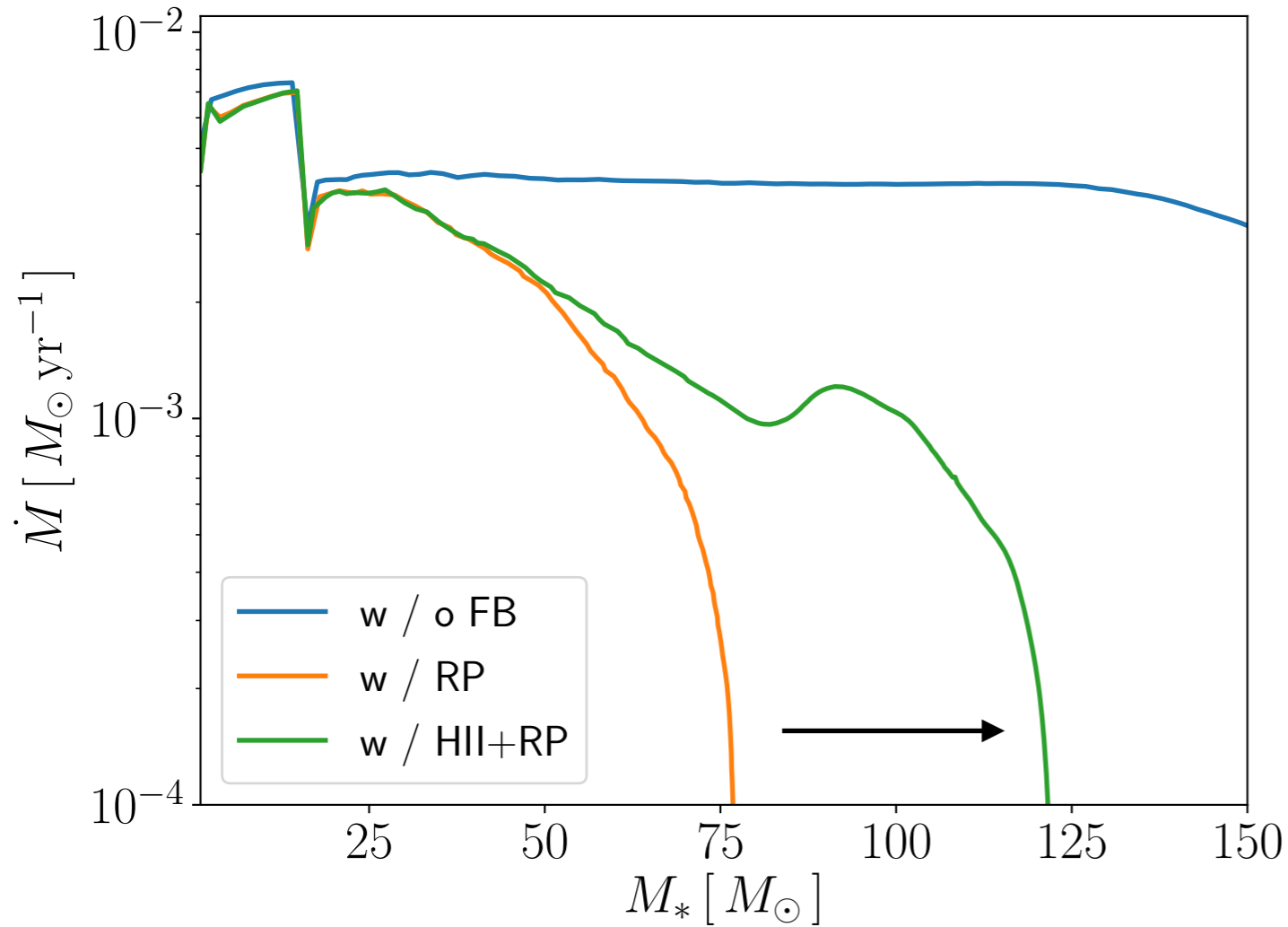
1. フィードバックなし
2. 輻射圧のみ
3. 輻射圧+HII領域

## 金属度

$$1Z_{\odot}, 10^{-1}Z_{\odot}, 10^{-2}Z_{\odot}$$

### 3. $M_{\text{core}}=250M_{\text{sun}}$ における 原始星質量の金属度依存性について

$1Z_{\odot}$



Feedbackなしの場合

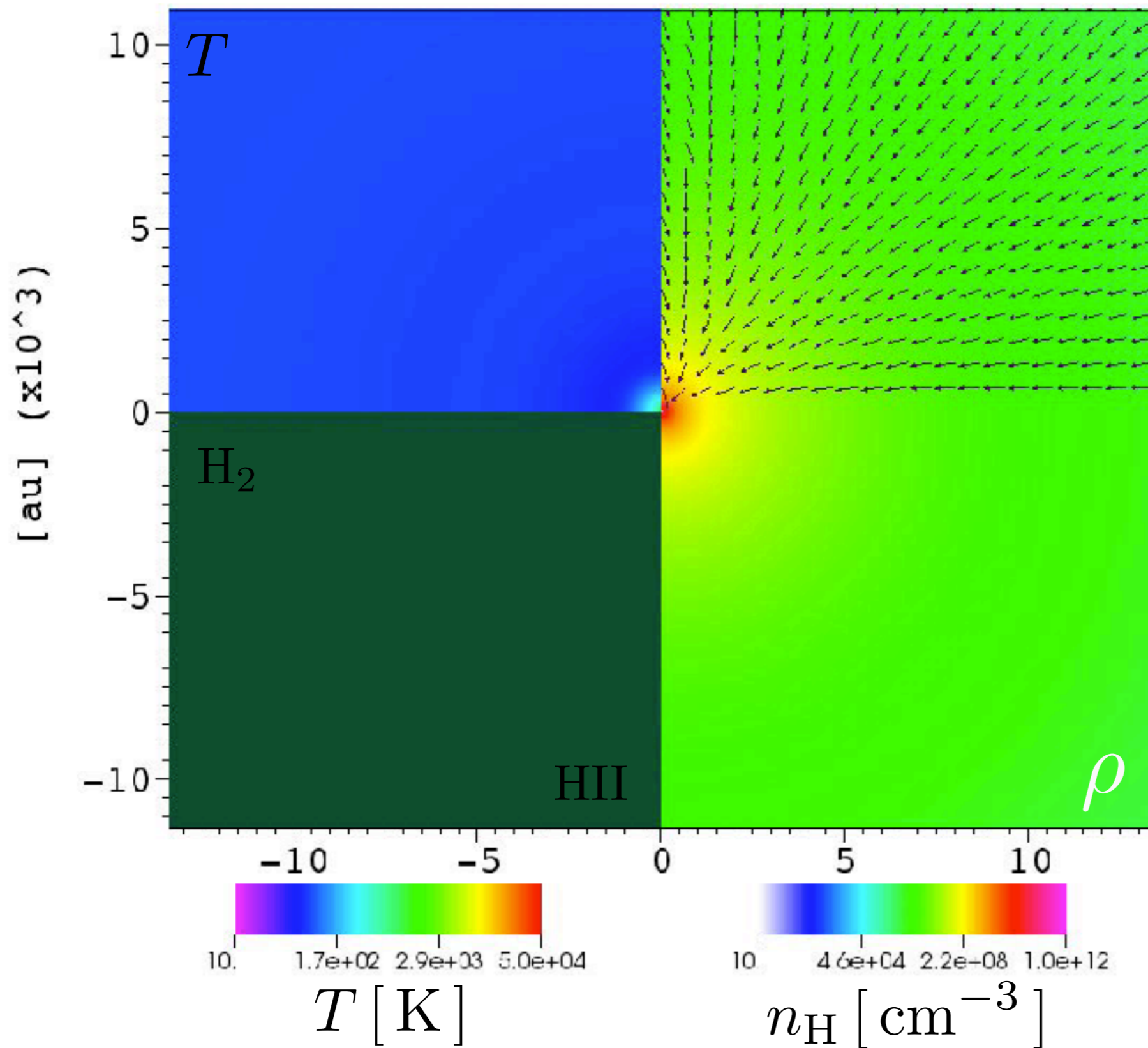
$$\dot{M} \simeq 4 \times 10^{-3} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$$

輻射圧のみを考慮した場合と比べ、  
**電離も含めると最終質量が増加する**  
(scissor handle effect)

(Kuiper & Hosokawa 2018)

- w/o FB : Feedback なし
- w/ RP : 輻射圧のみ
- w/ HII+RP : 輻射圧+電離

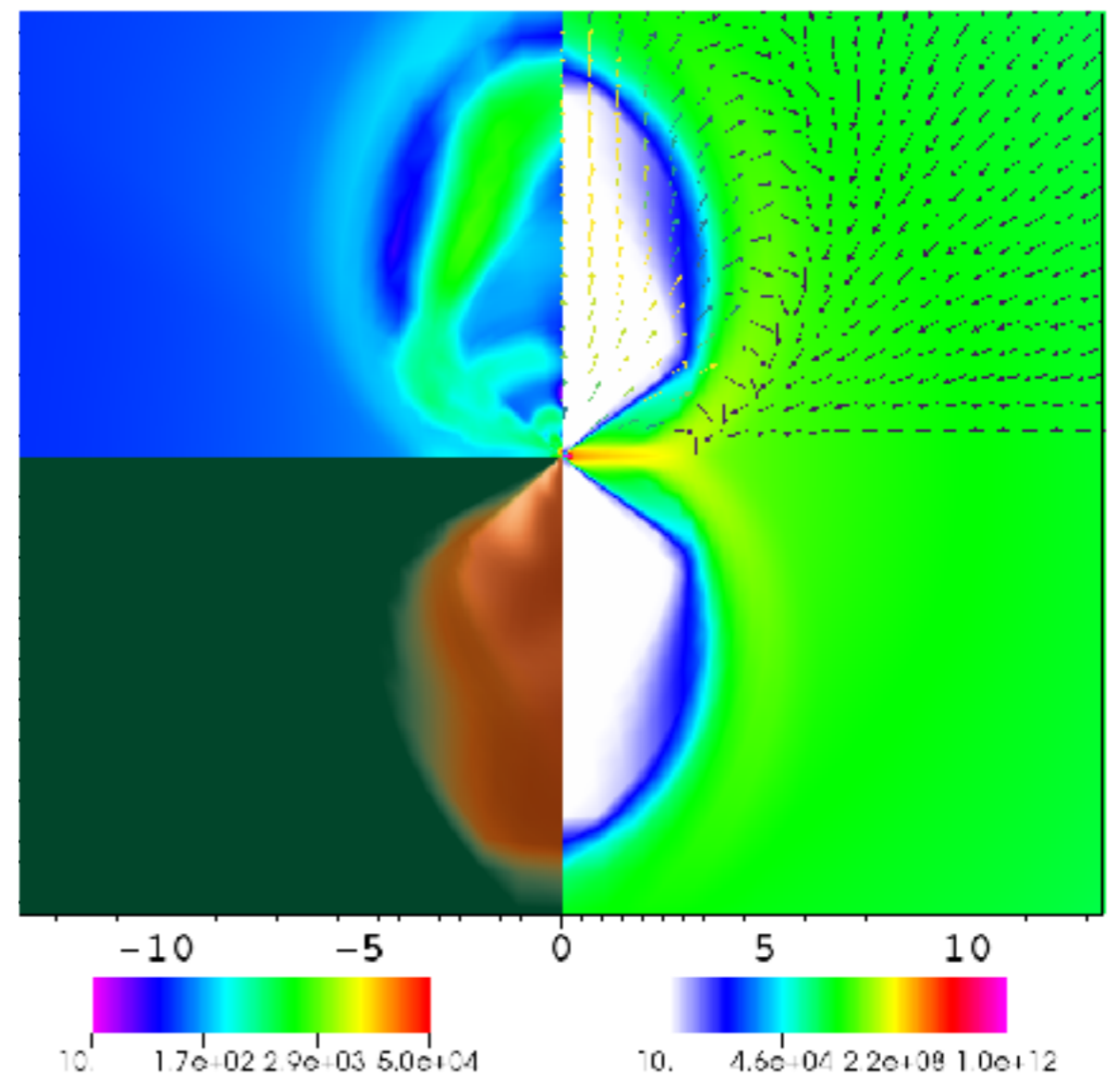
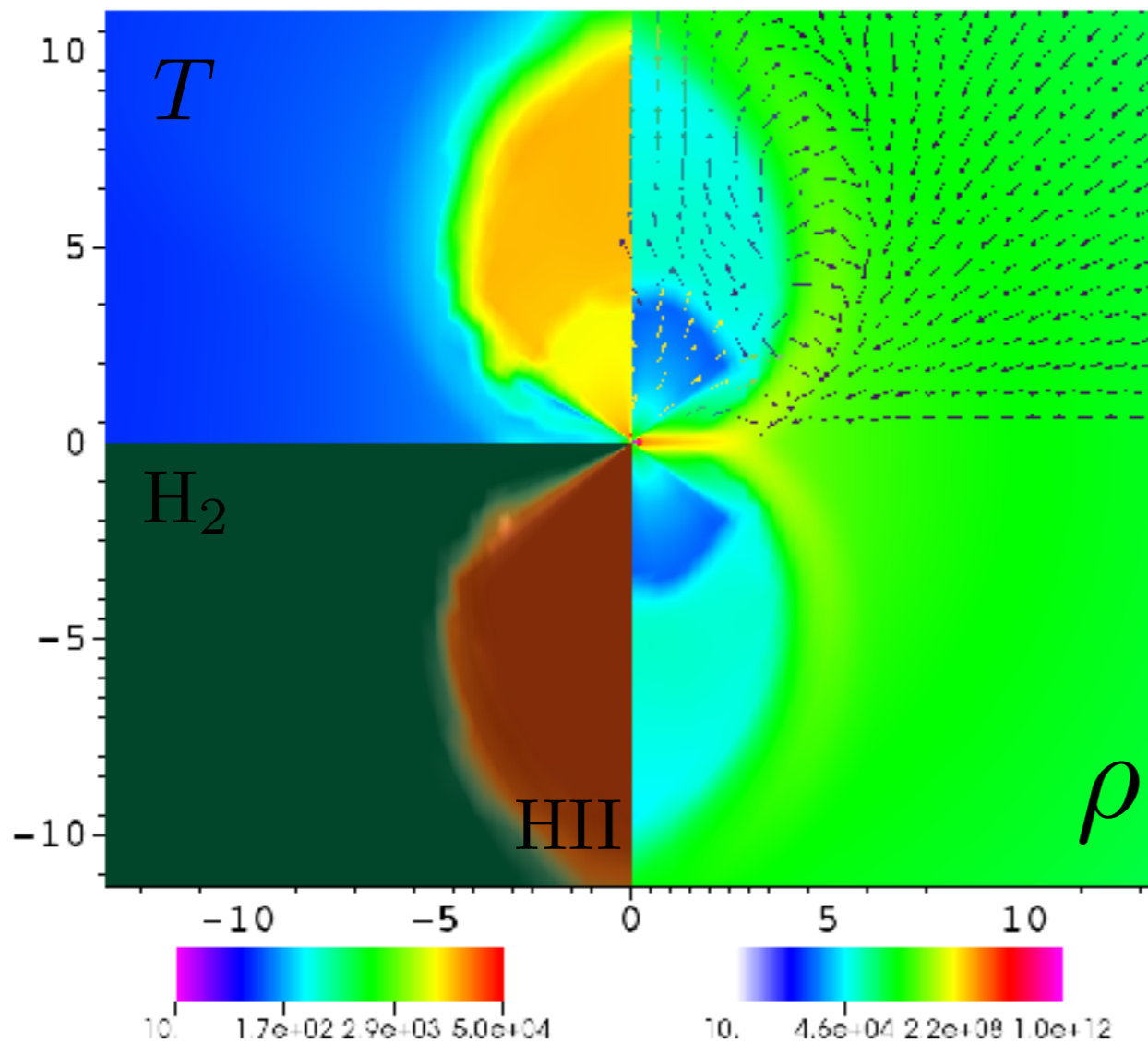
# $1Z_{\odot}$ 輻射圧+電離



# はさみ効果 (Kuiper & Hosokawa 2018)

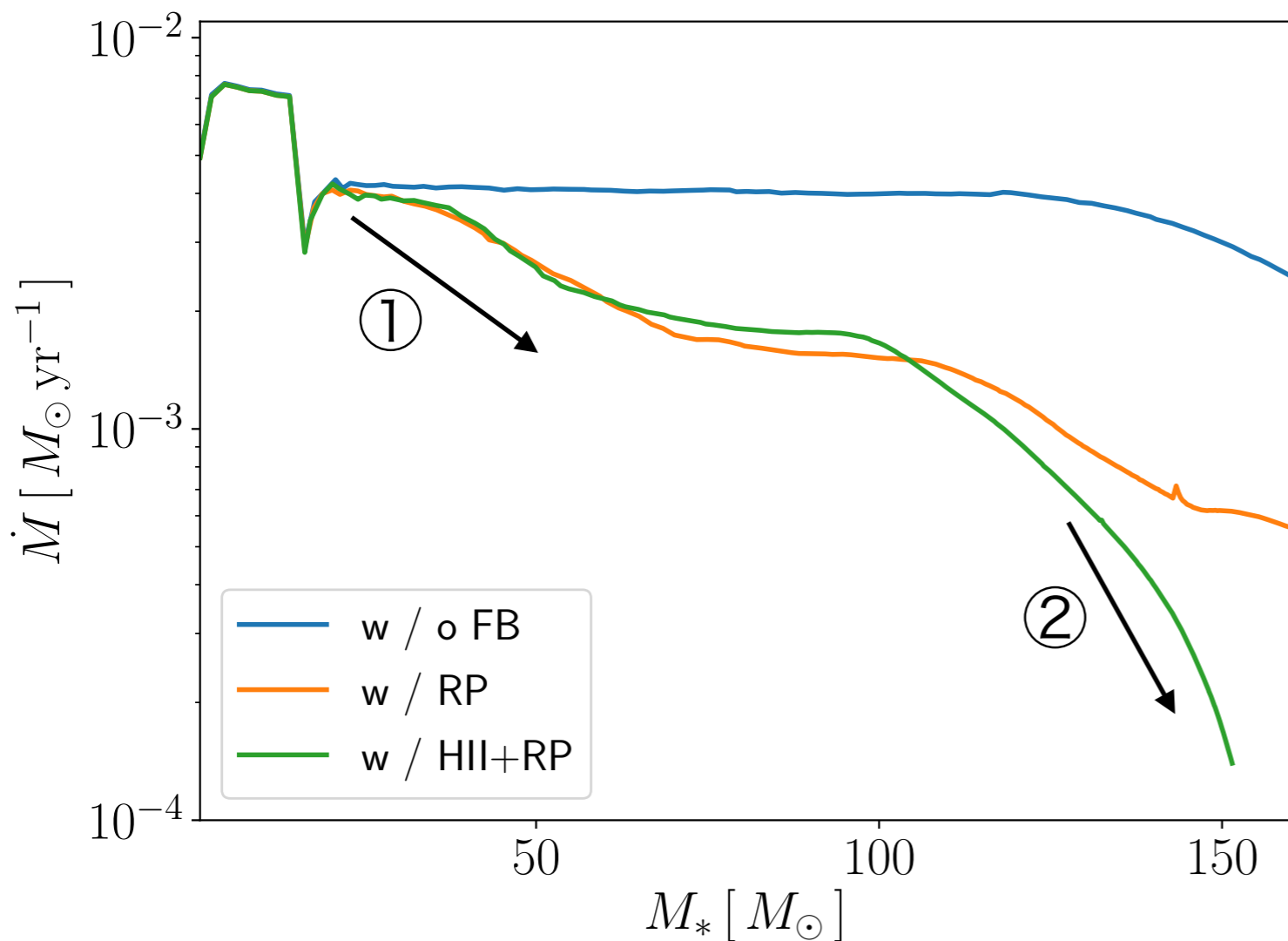
RP+HII

RPのみ



加熱による圧力勾配で極方向のガスがディスク後方へ移動する

$10^{-1} Z_{\odot}$



- ① 輻射圧による降着抑制
- ② HII領域による降着抑制

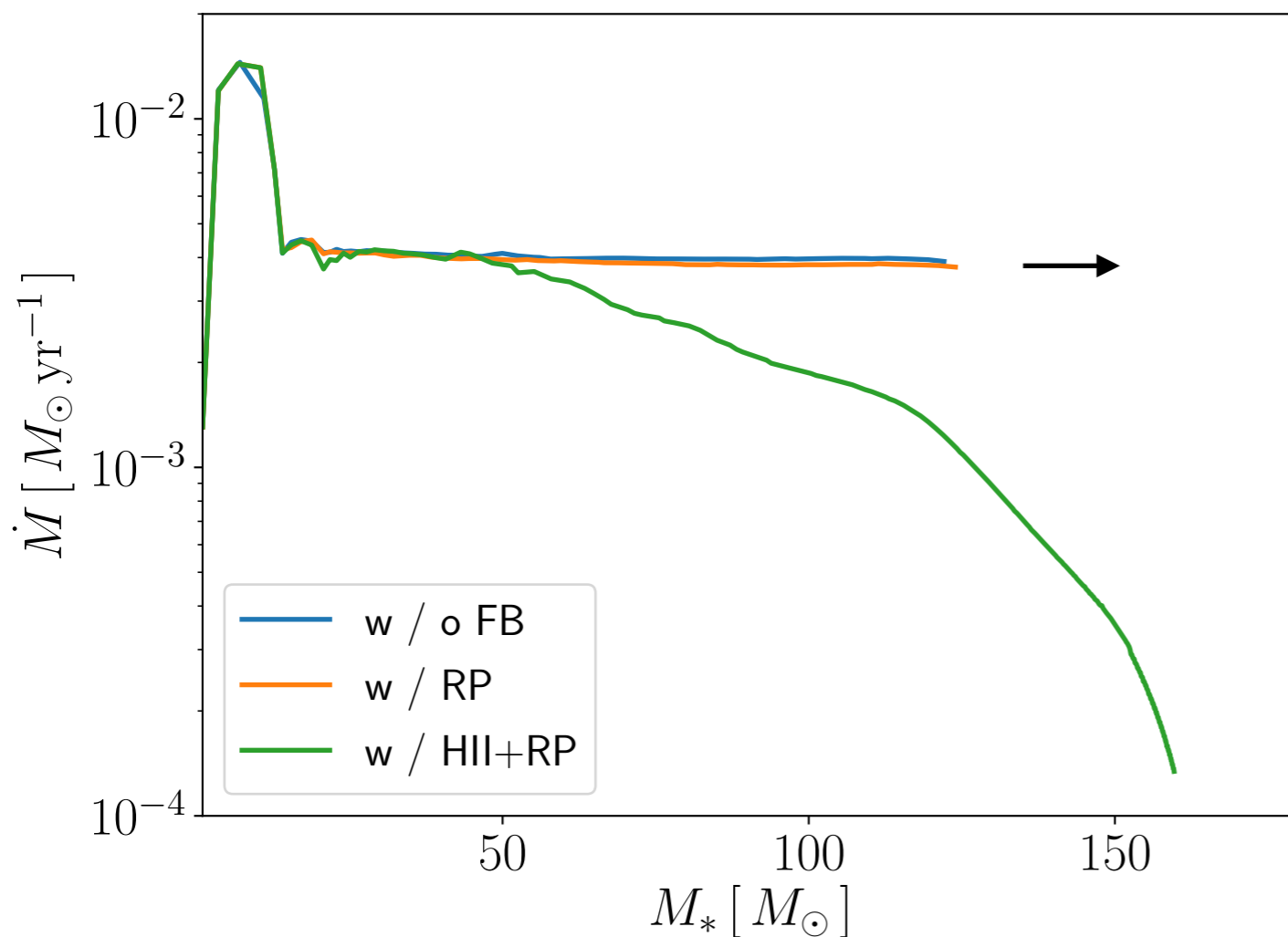
### • Feedback機構

ダストへの輻射圧からHII領域  
形成へと変遷

- w/o FB : Feedback なし
- w/ RP : 輻射圧のみ
- w/ HII+RP : 輻射圧+電離



$$10^{-2} Z_{\odot}$$

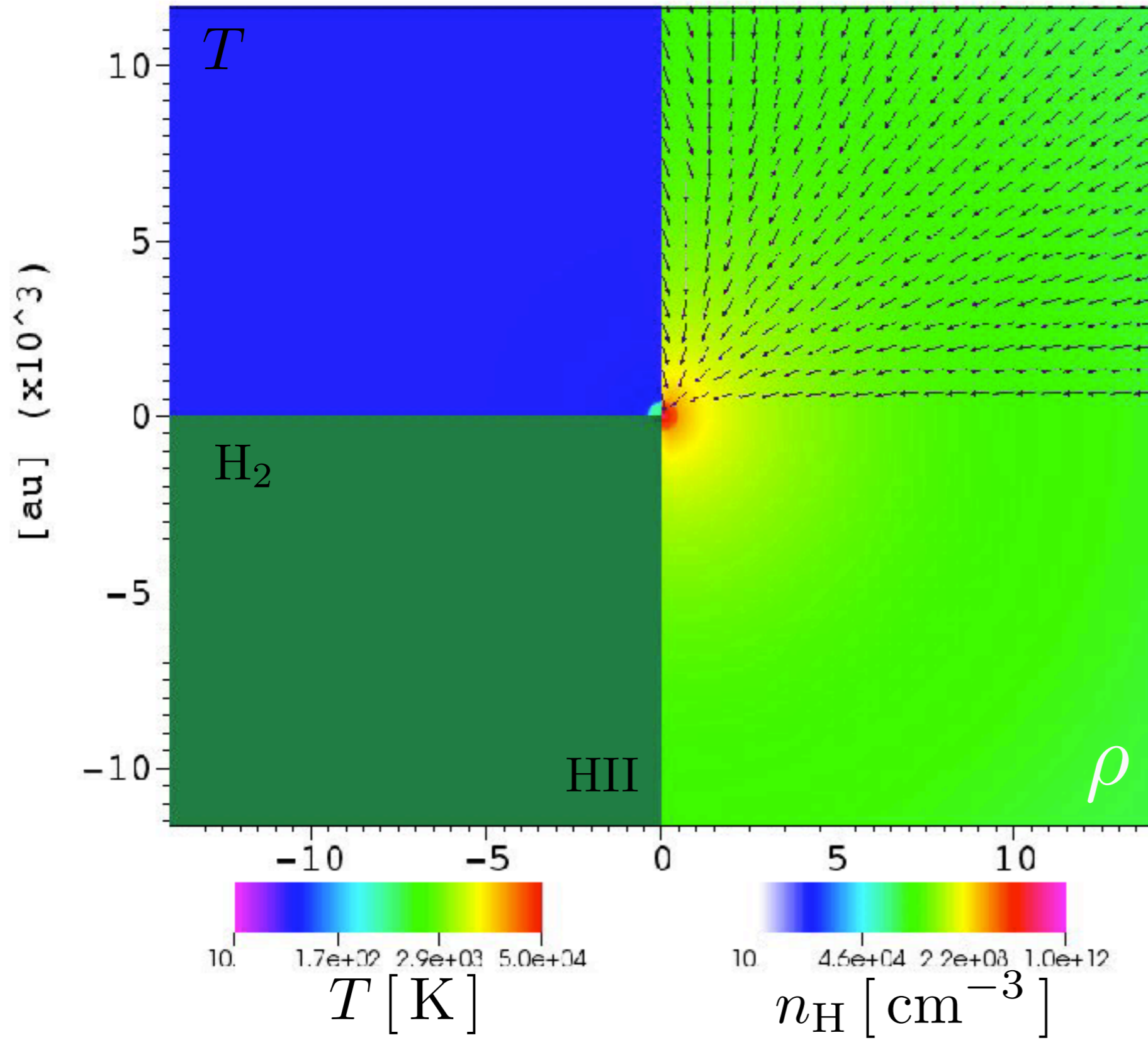


ダストへの輻射圧は降着に影響しない

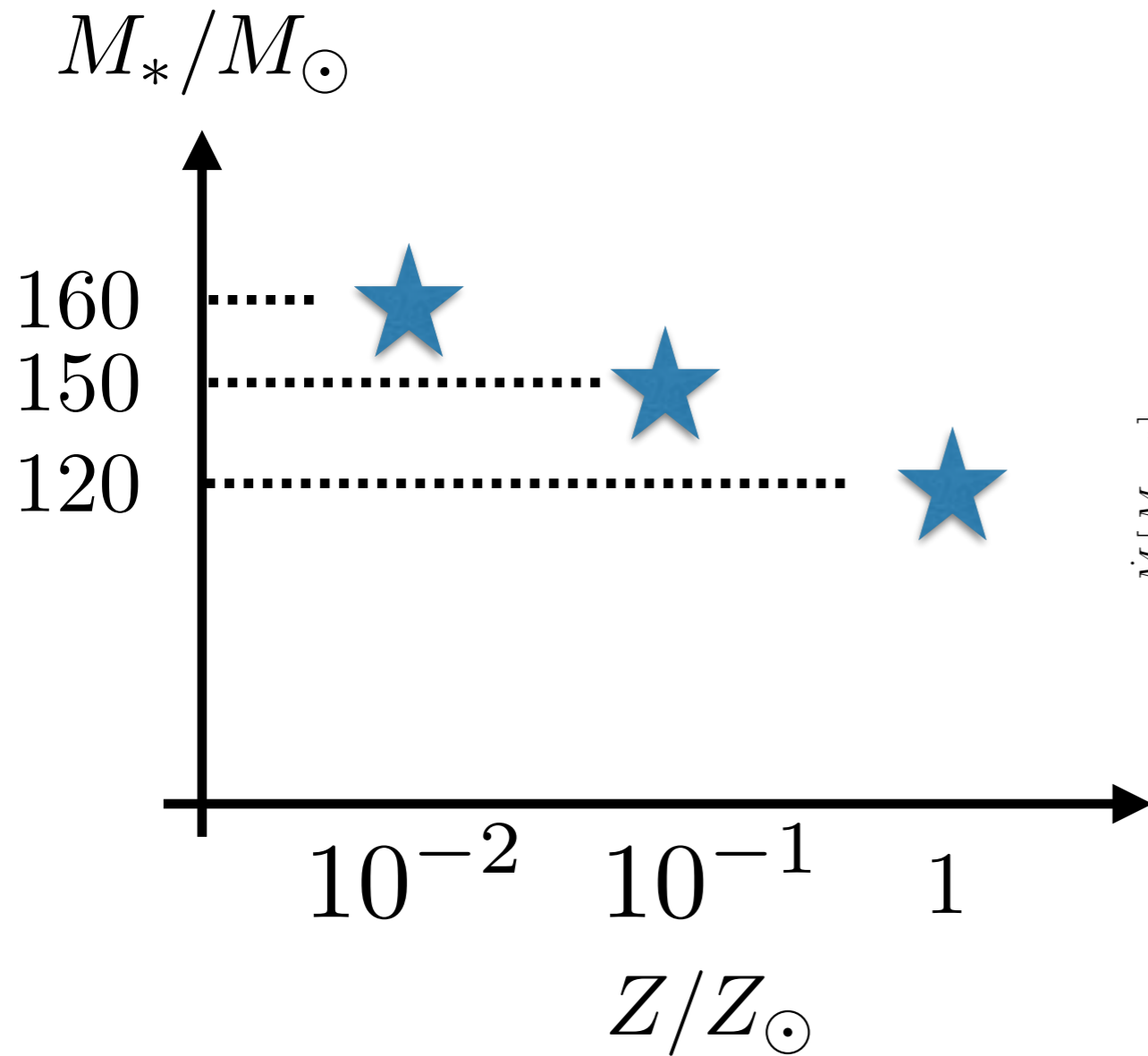
- **Feedback機構**  
HII領域形成のみ有効

- w/o FB : Feedback なし
- w/ RP : 輻射圧のみ
- w/ HII+RP : 輻射圧+電離

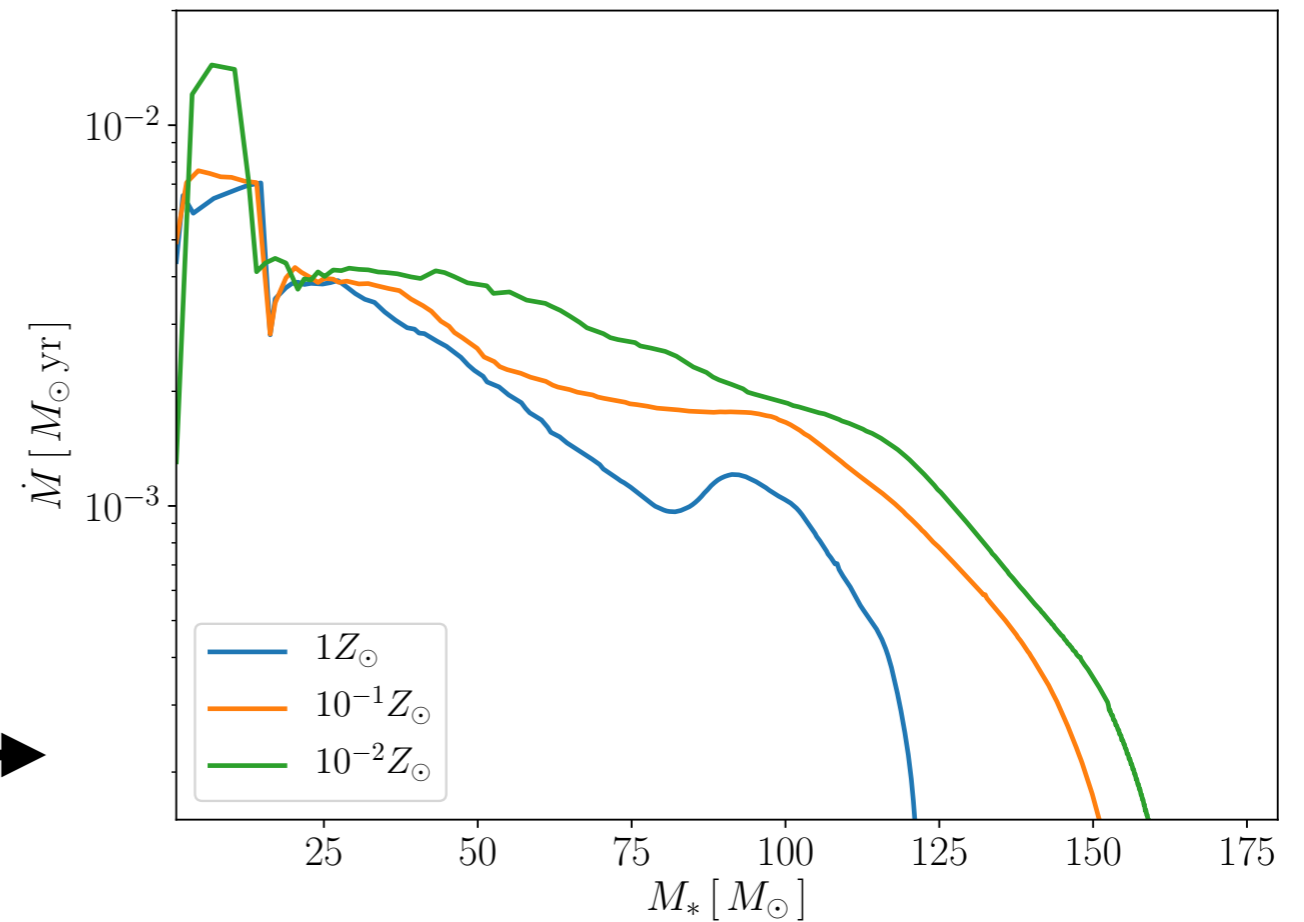
$10^{-2} Z_{\odot}$  輻射圧+電離



# 金属度依存性まとめ (Mcore=240Msunの場合)



## 降着率比較



各金属度間で輻射フィードバックにより大きく質量差は生じていない

# まとめ

- ・ 2次元輻射流体計算により質量降着期における原始星の輻射フィードバック効果を求めた

- ・ 原始星が主系列星へと進化する降着率の場合には、金属度で大きく原始星質量が変化しない

$1Z_{\odot} \rightarrow 120M_{\odot}$   $10^{-1}Z_{\odot} \rightarrow 150M_{\odot}$   $10^{-2}Z_{\odot} \rightarrow 160M_{\odot}$

- ・ 輻射フィードバック機構としては1/10太陽金属度を境界に、初代星及び低金属度星と太陽金属度星の遷移が存在