

低金属量の大質量星形成

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)

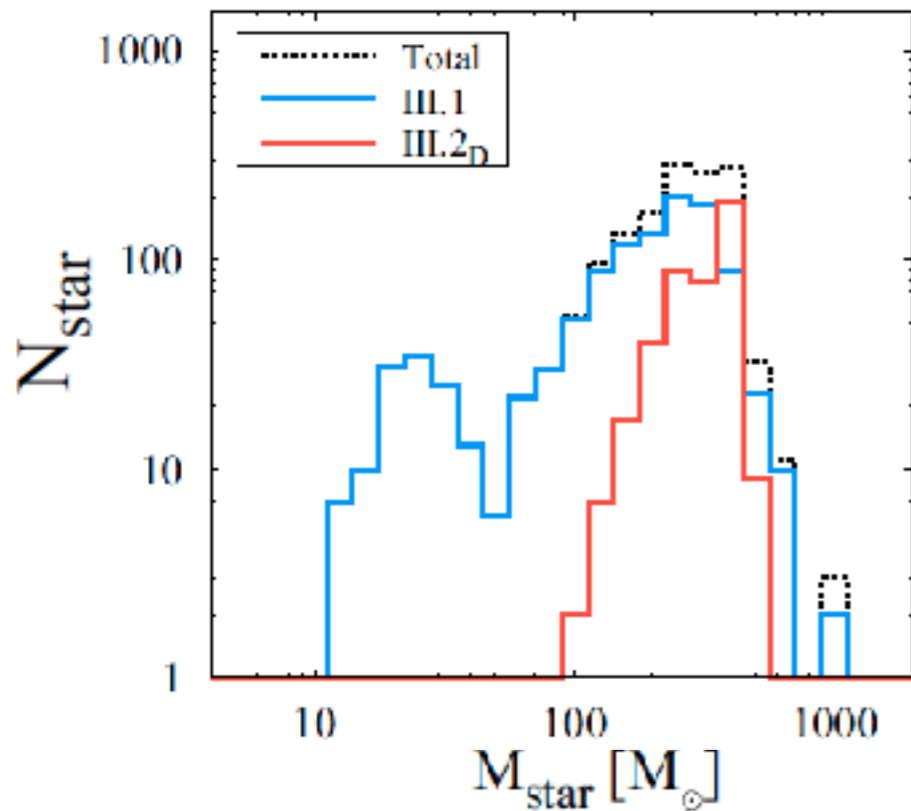
理論懇@京都, 2018/12/19 - 21

低金属量大質量星

大質量星: HII領域形成, 超新星爆発, 化学進化, BH連星形成...

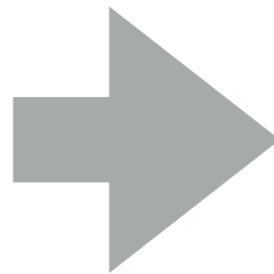
星形成の変遷

初代星

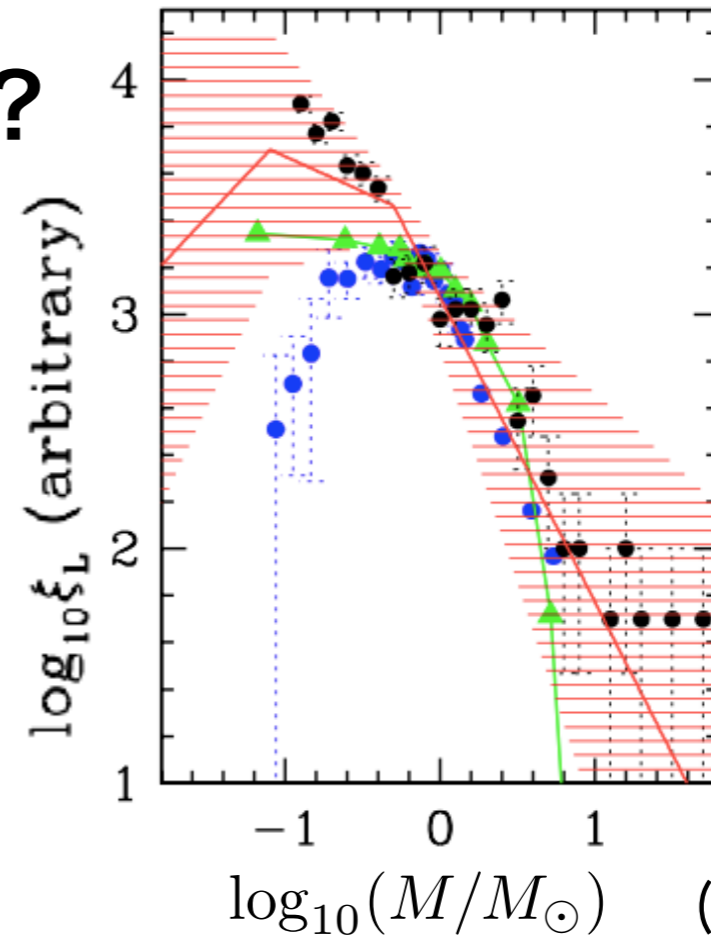


(Hirano, Hosokawa et al. 2015)

低金属量星?



銀河系内星



(Kroupa2002)

最大質量 $> 1000 M_{\odot}$

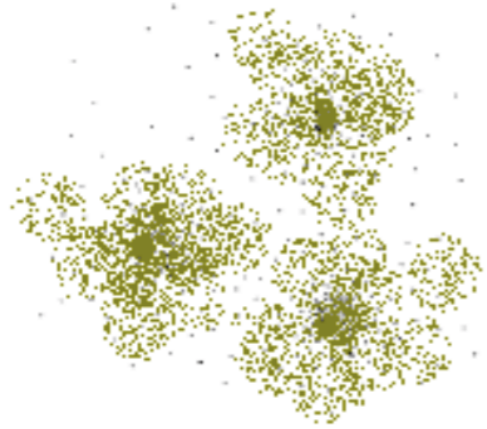
$\sim 150 M_{\odot}$ (Figer 2005)

$< \sim 300 M_{\odot}$ LMC ($0.4 Z_{\odot}$)

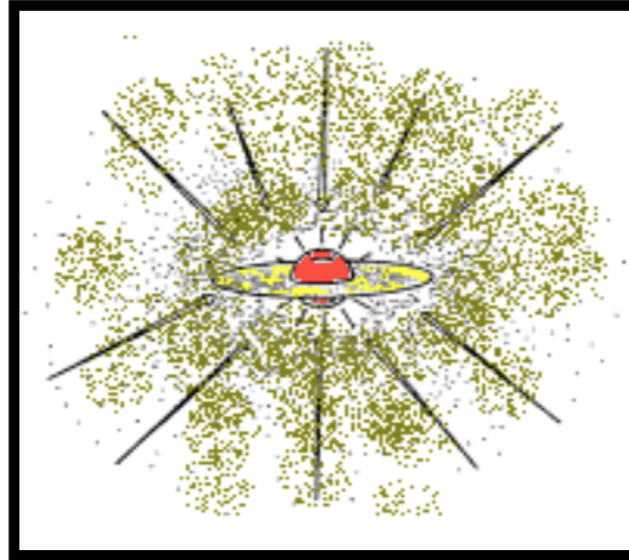
(Crowther et al. 2016)

大質量星形成シナリオ

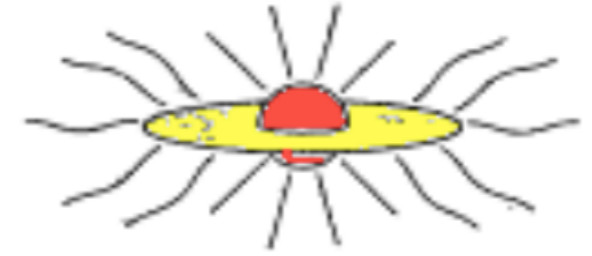
①高密度コア重力崩壊



②質量降着



③星質量決定



Shu, Adams & Lizano(1987)

• 質量降着期

原始星質量の増加に伴い光度も増加 M_* \nearrow L_* \nearrow

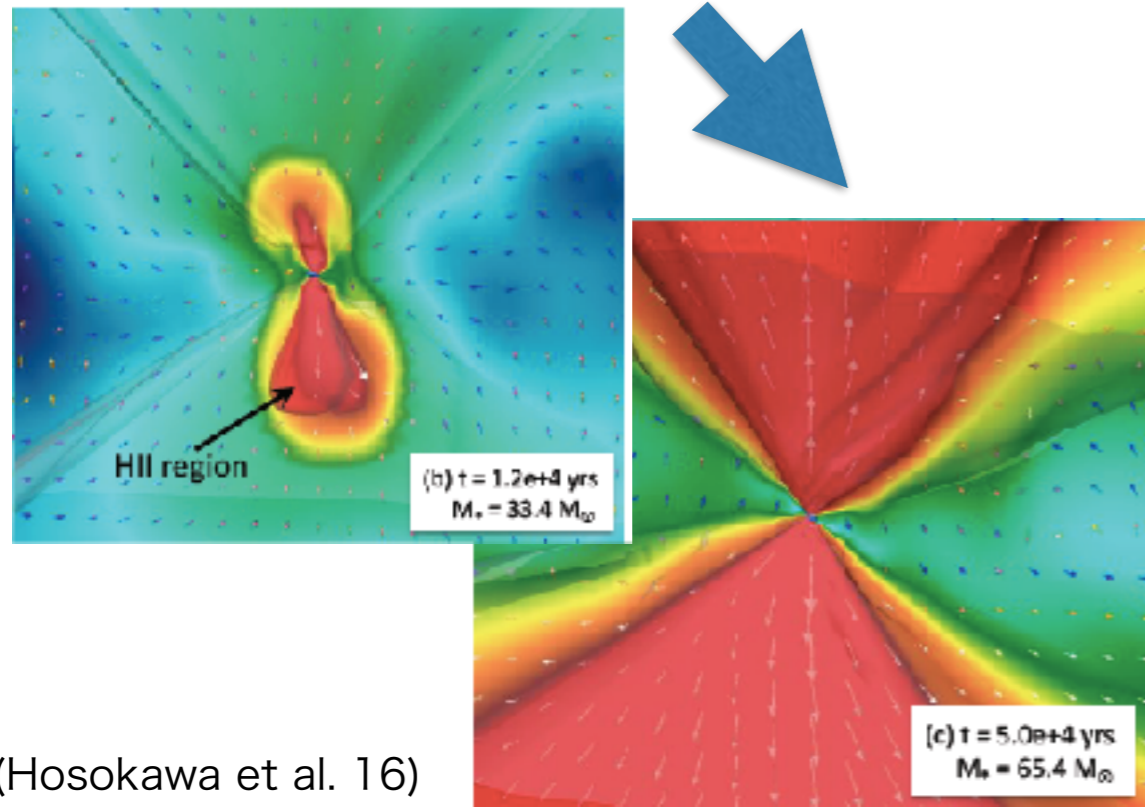
輻射フィードバックが星質量決定に影響する

△アウトフローも質量降着に影響する(田中さんのトーク)

(Tanaka et al. 2017, 2018)

大質量星形成における輻射フィードバック

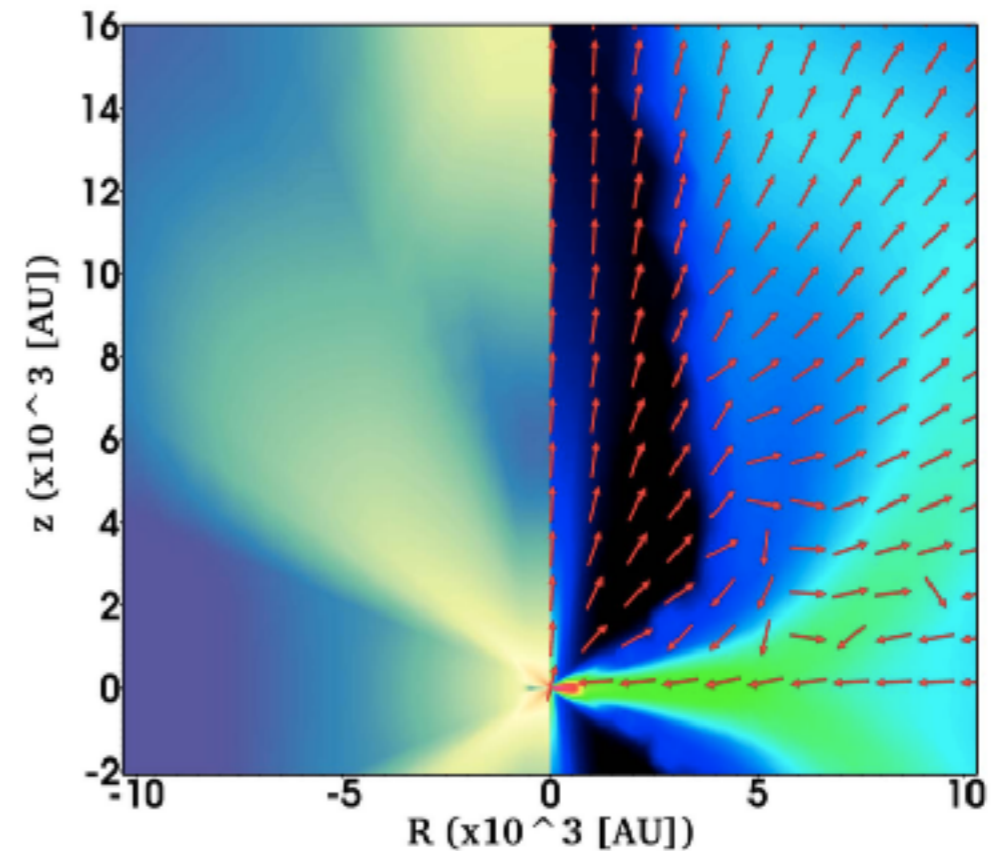
$Z = 0$ (初代星) HII領域形成
(UVフィードバック)



(Hosokawa et al. 16)

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

$1Z_\odot$ ダスト粒子への輻射圧
(+ HII領域形成)



(Kuiper et al. 16)

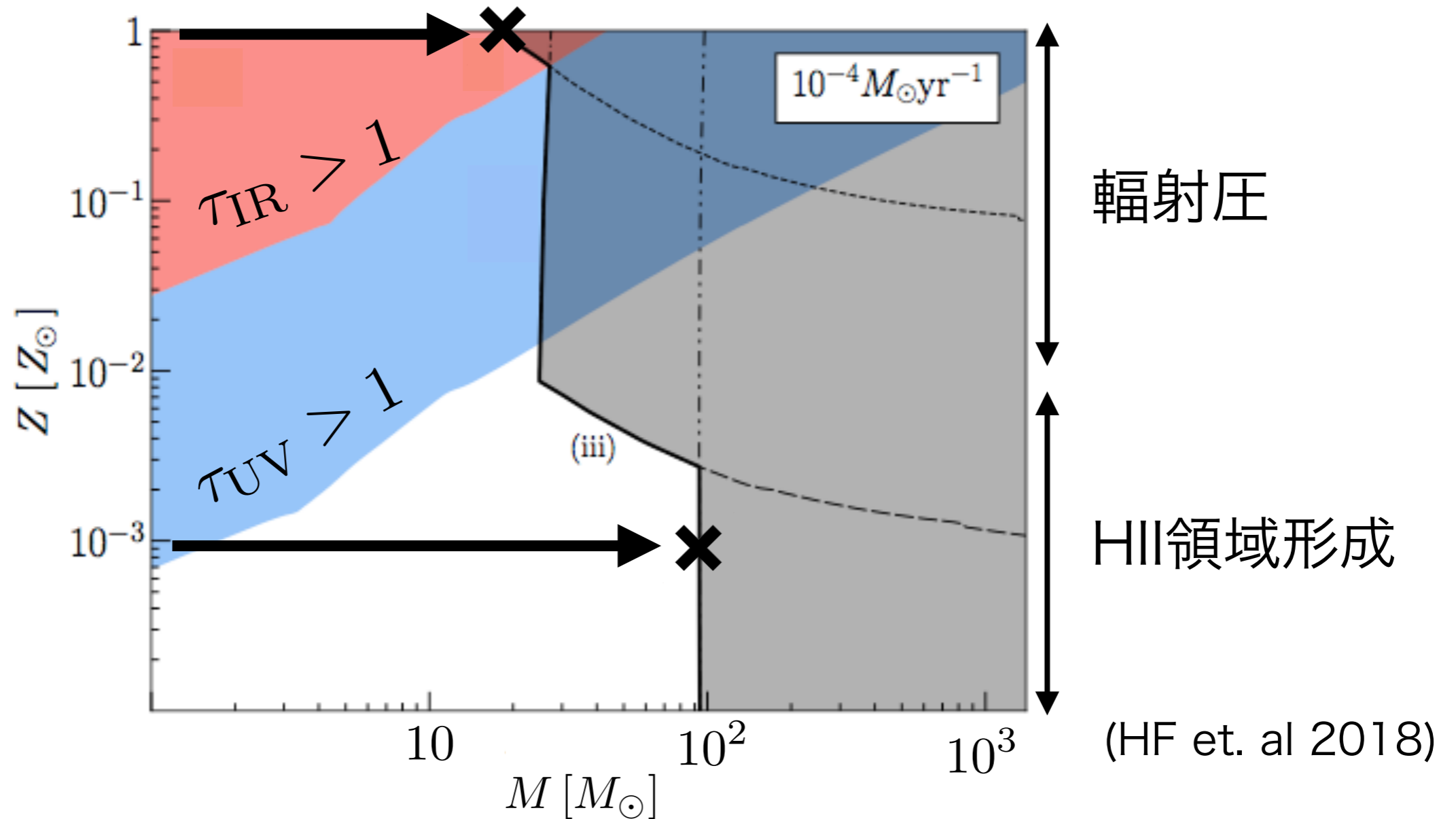
(Yorke & Bodenheimer 99; Krumholz et al. 09;

Kuiper et al. 10; Rosen et al. 16)

低金属量環境ではどちらが有効となるか？

最終星質量の金属量依存性は？

球対称降着における限界質量 (球対称定常降着を仮定)



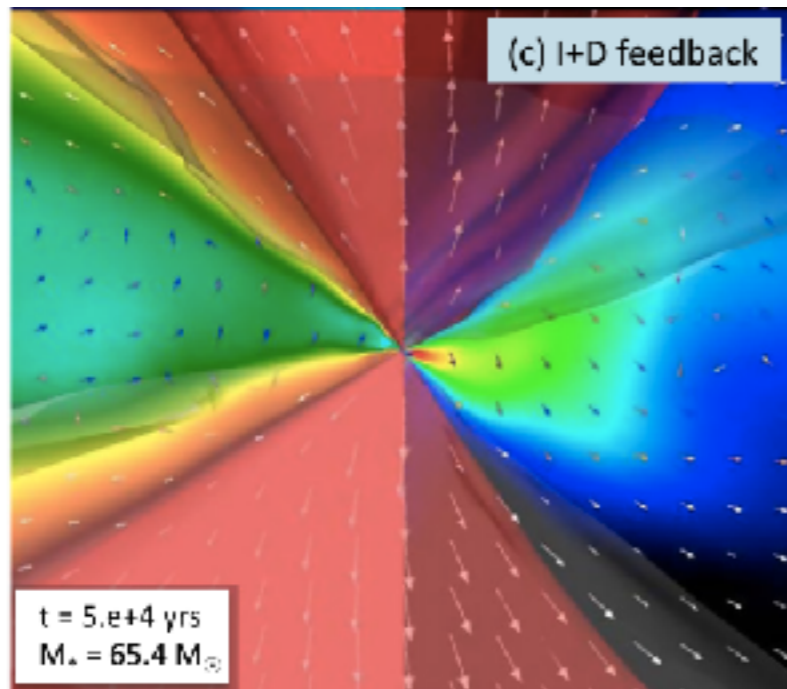
- $10^{-2}Z_{\odot}$ で輻射圧からHII領域形成へ切り替わる
- 限界質量も低金属量になるほど増加する

多次的効果と輻射フィードバックの関係はどうなっているか？

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

2次元輻射流体シミュレーション (PLUTO4.1)

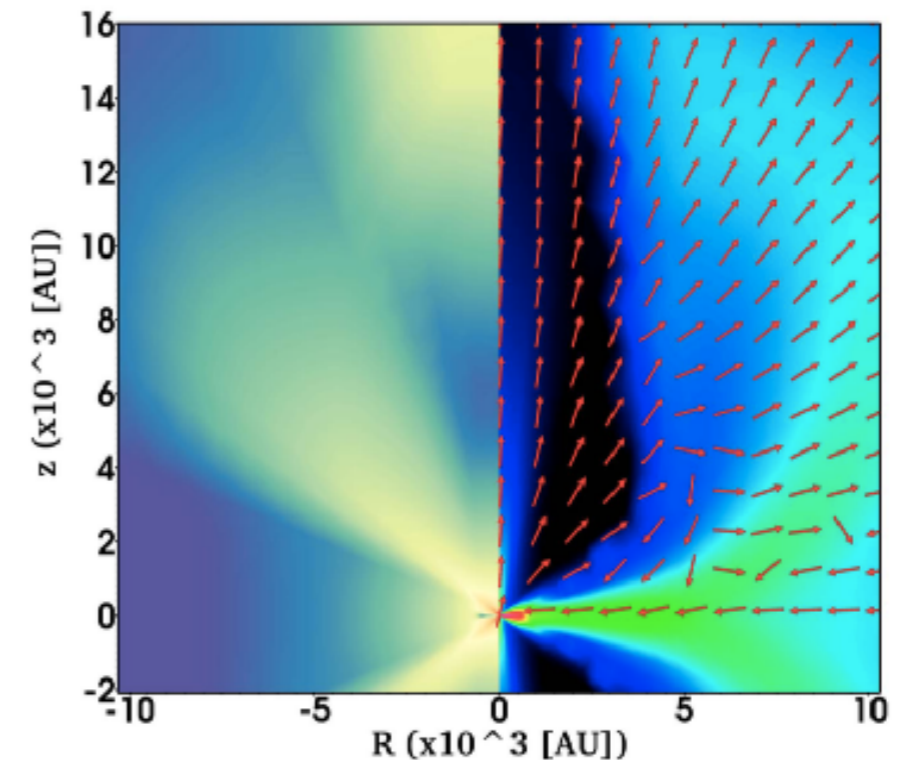
(i) 初代星形成



(Hosokawa et al. 16)

「HII領域形成」

(ii) 太陽金属量星



(Kuiper et al. 16)

「ダストへの輻射圧」

- 先行研究で既に個々の輻射フィードバックは導入済み
- 両者を含みかつ、金属量による強度変化取り入れた計算を行う

初期条件 (Kuiper & Hosokawa, 2018)

計算領域: 外側領域 0.1 pc, 10 auのsinkを設置

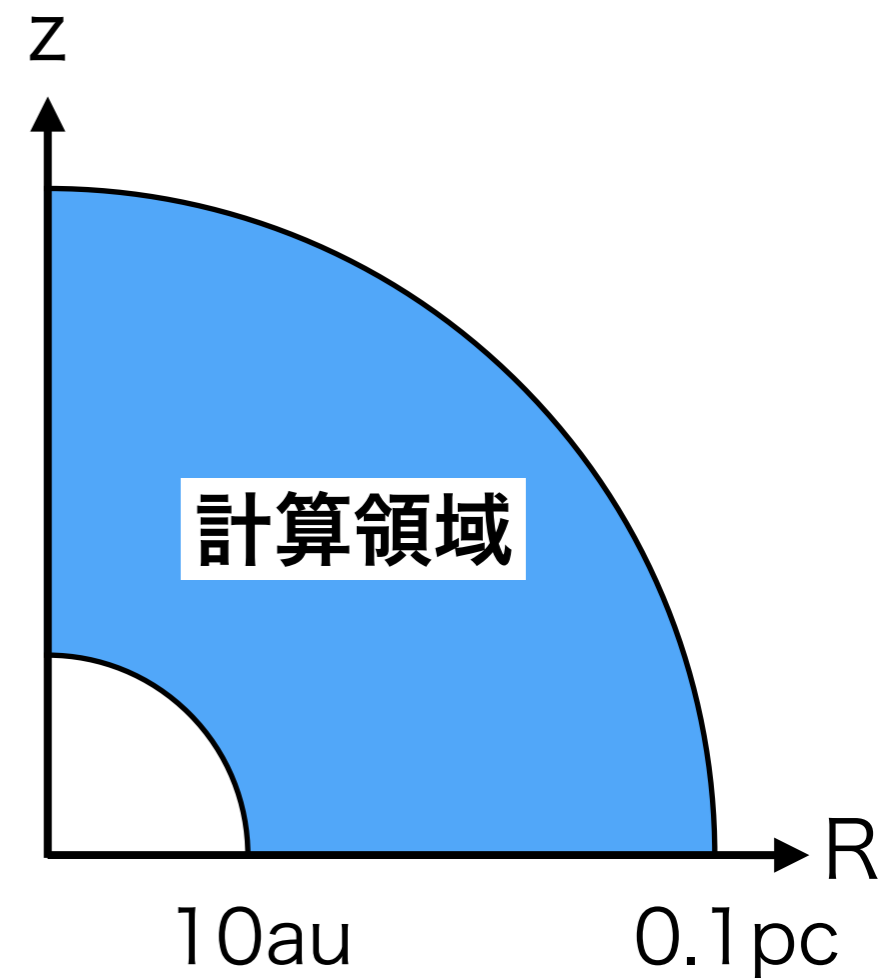
密度分布: $\rho \propto r^{-2}$

Cloud mass: 100, 250, 500, $10^3 M_{\odot}$

角運動量: $\Omega \propto R^{-1}$

回転と重力のエネルギー比は2%

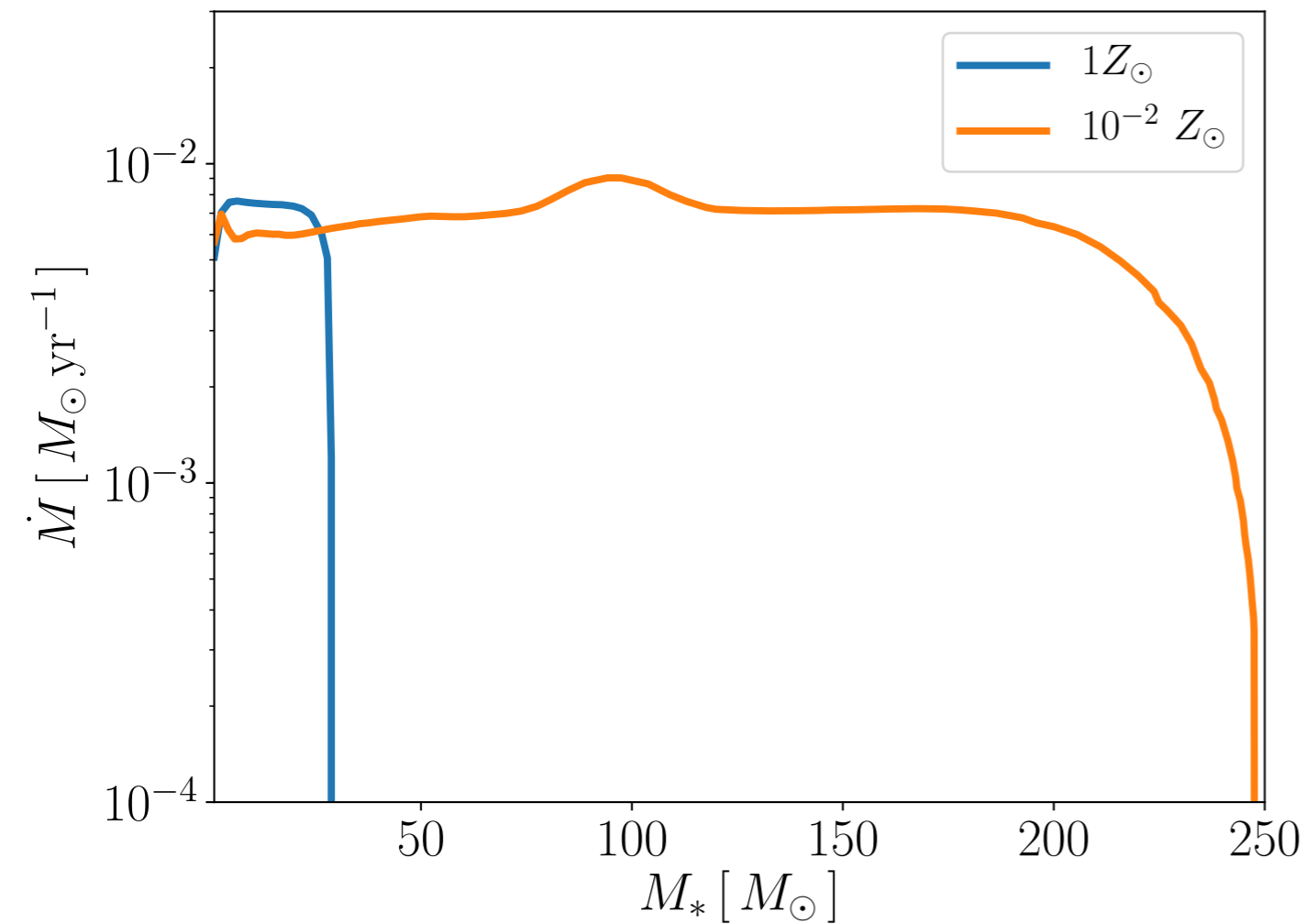
金属量: 1, $10^{-2} Z_{\odot}$



球対称降着(1D) , Cloud Mass: $250 M_{\odot}$

降着率の時間進化

(輻射フィードバックあり)



$1 Z_{\odot}$

- $30 M_{\odot}$ で降着抑制
- $1 Z_{\odot}$ では $\sim 30 M_{\odot}$ 以上の星への降着は**輻射圧により抑制される**
(Wolfire & Cassinelli 1987)

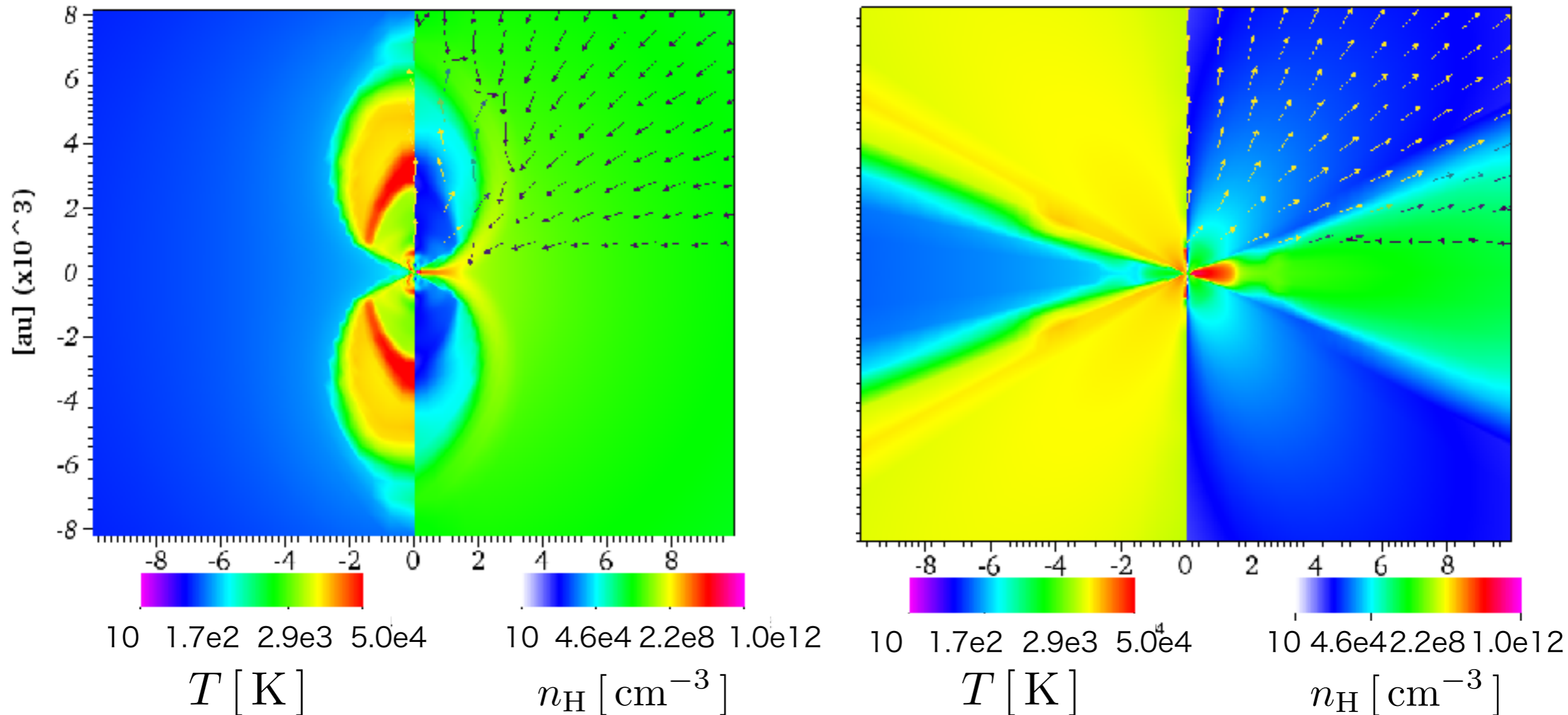
$10^{-2} Z_{\odot}$

- HII領域は球対称降着では**拡大しにくい**
(Omukai & Inutsuka 2002)

多次元効果 $1Z_{\odot}$, Cloud Mass = $250 M_{\odot}$

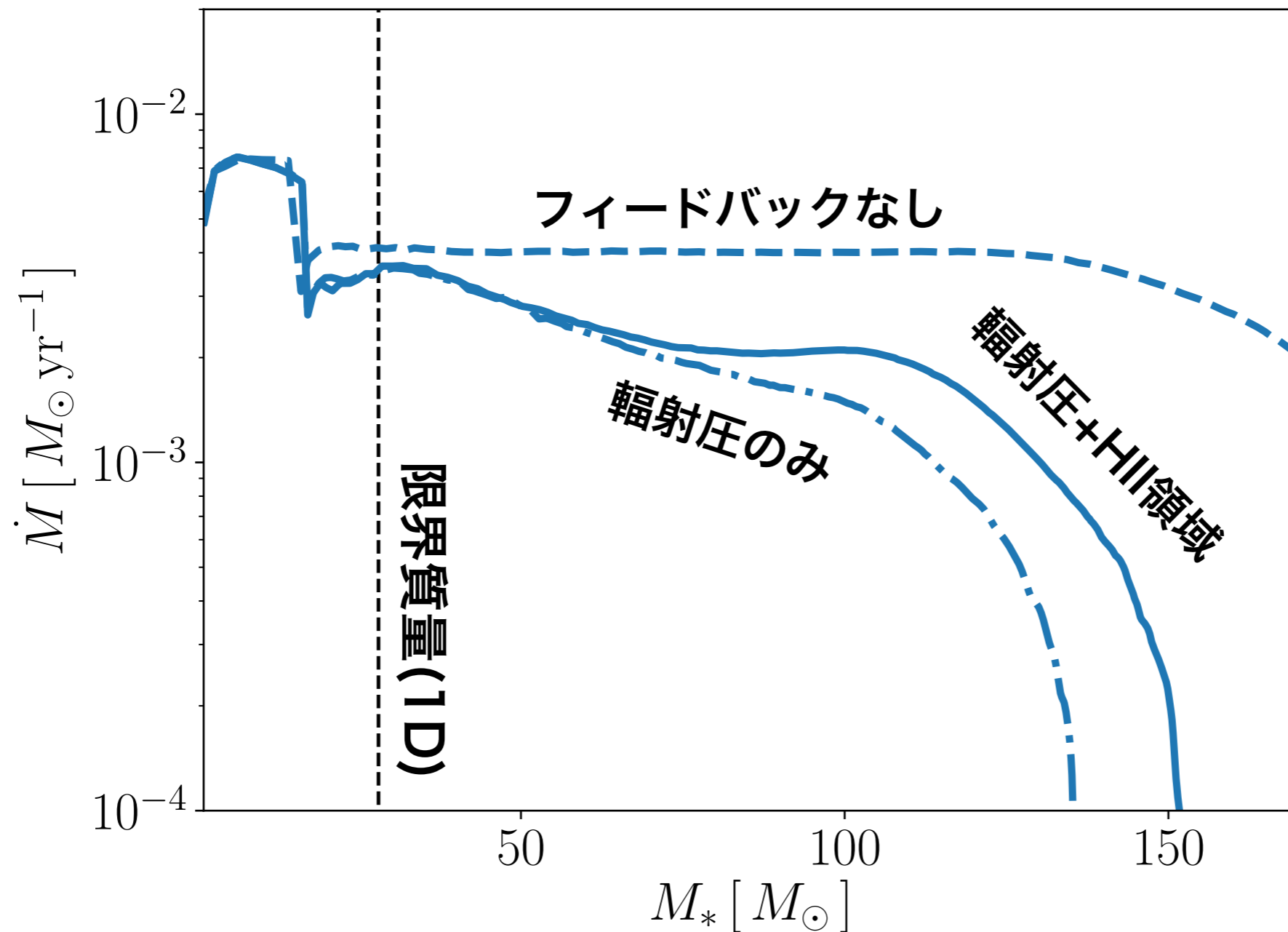
時間発展: (1) 星質量 $M_* = 30 M_{\odot}$

(2) $M_* = 120 M_{\odot}$



- 球対称降着の限界質量に達しても降着円盤により質量降着継続
- 降着円盤後方では輻射圧の強度が下がる

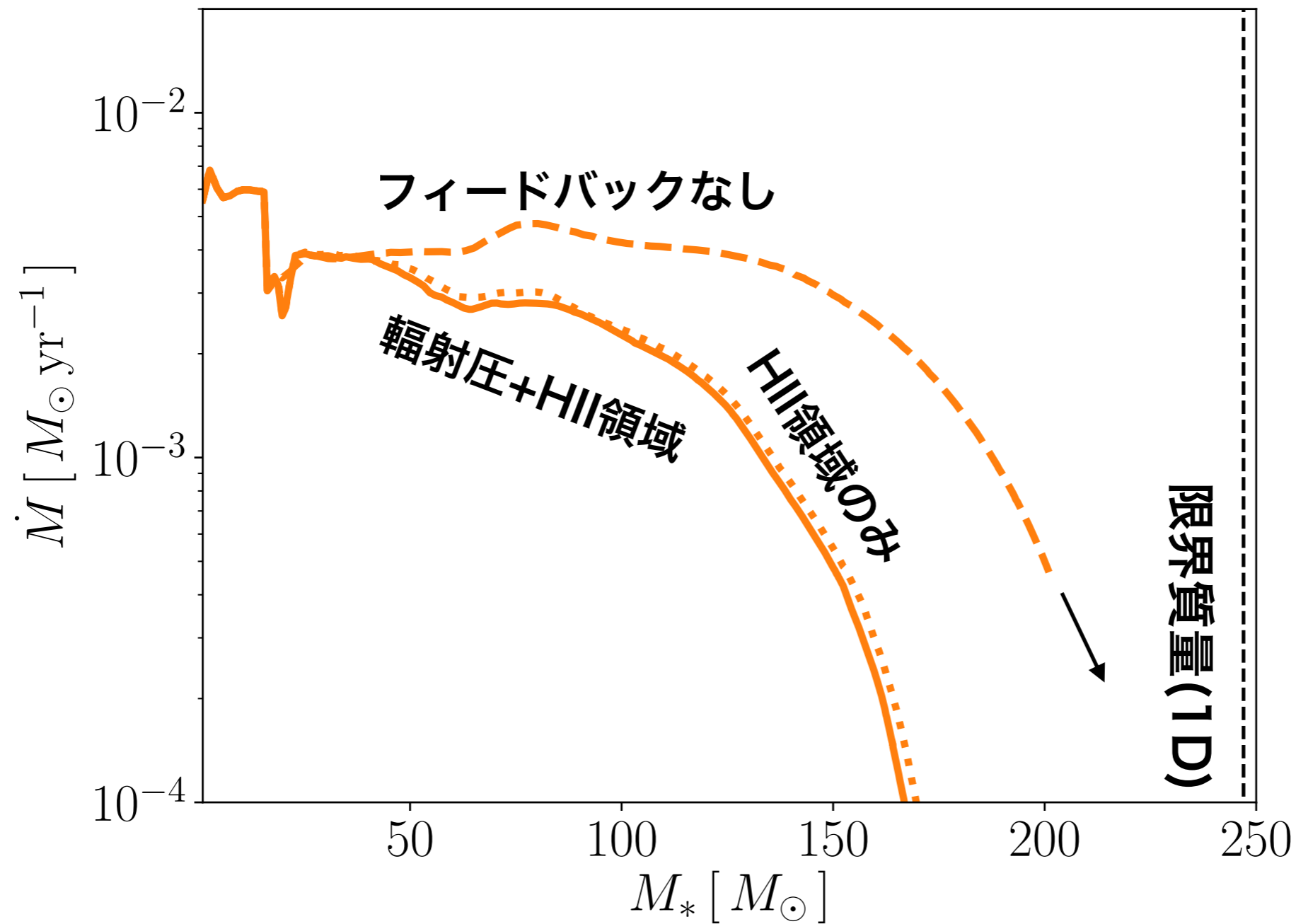
降着率の時間進化 $1Z_{\odot}$, Cloud Mass = $250 M_{\odot}$



- 輻射圧により $150 M_{\odot}$ で質量降着が抑制される
- 多次元効果により、1Dの場合より星最終質量は大きく増加する

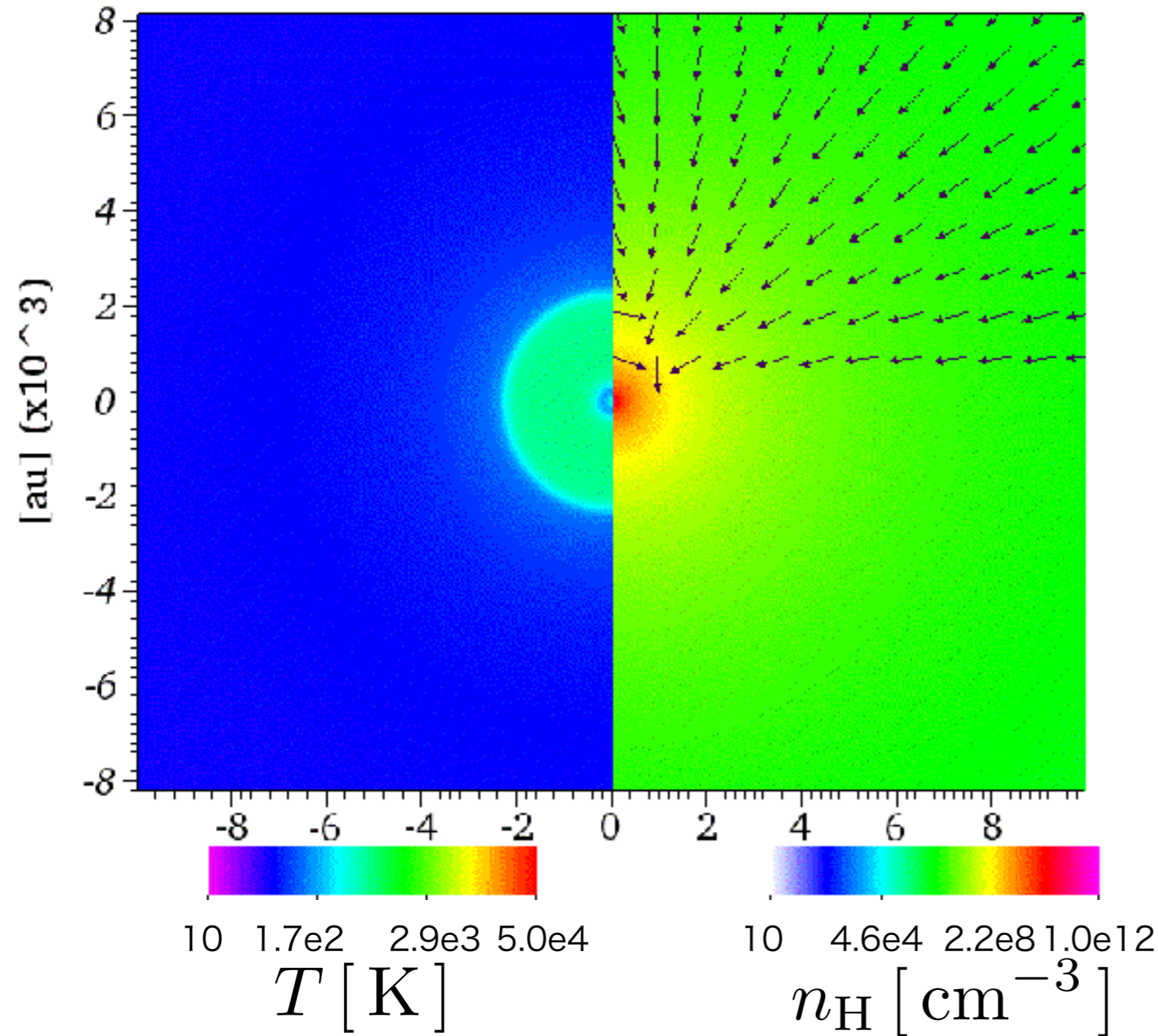
(Yorke & Bodenheimer 99; Krumholz et al. 09; Kuiper et al. 10; Rosen et al. 16)

低金属量の場合 $10^{-2} Z_{\odot}$, Cloud Mass = $250 M_{\odot}$

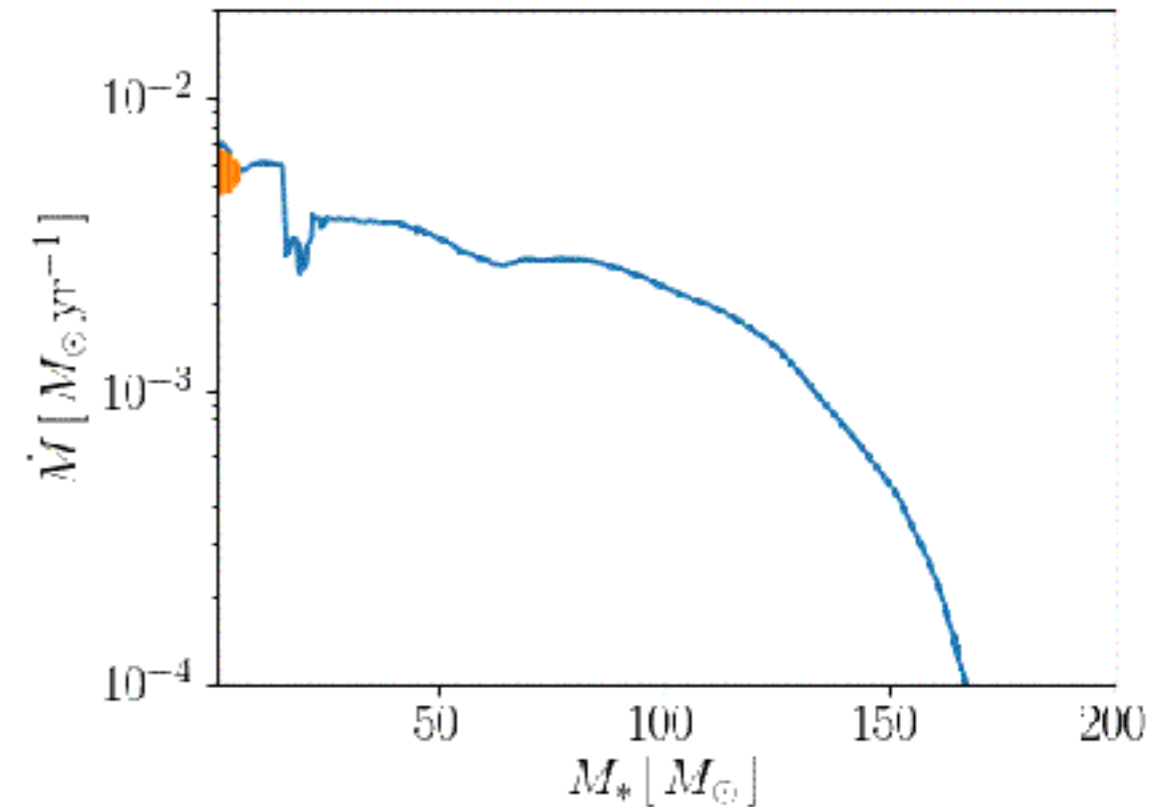


- 低金属量では、球対称降着と比べ星最終質量が下がる
 - HII領域形成が支配的な輻射フィードバックとなる (初代星と同じ)
 - ディスク極方向は密度が低いため、HII領域が拡大しやすい
- (McKee & Tan 2008)

Results: $10^{-2} Z_{\odot}$, Cloud Mass = $250 M_{\odot}$



降着率の時間変化



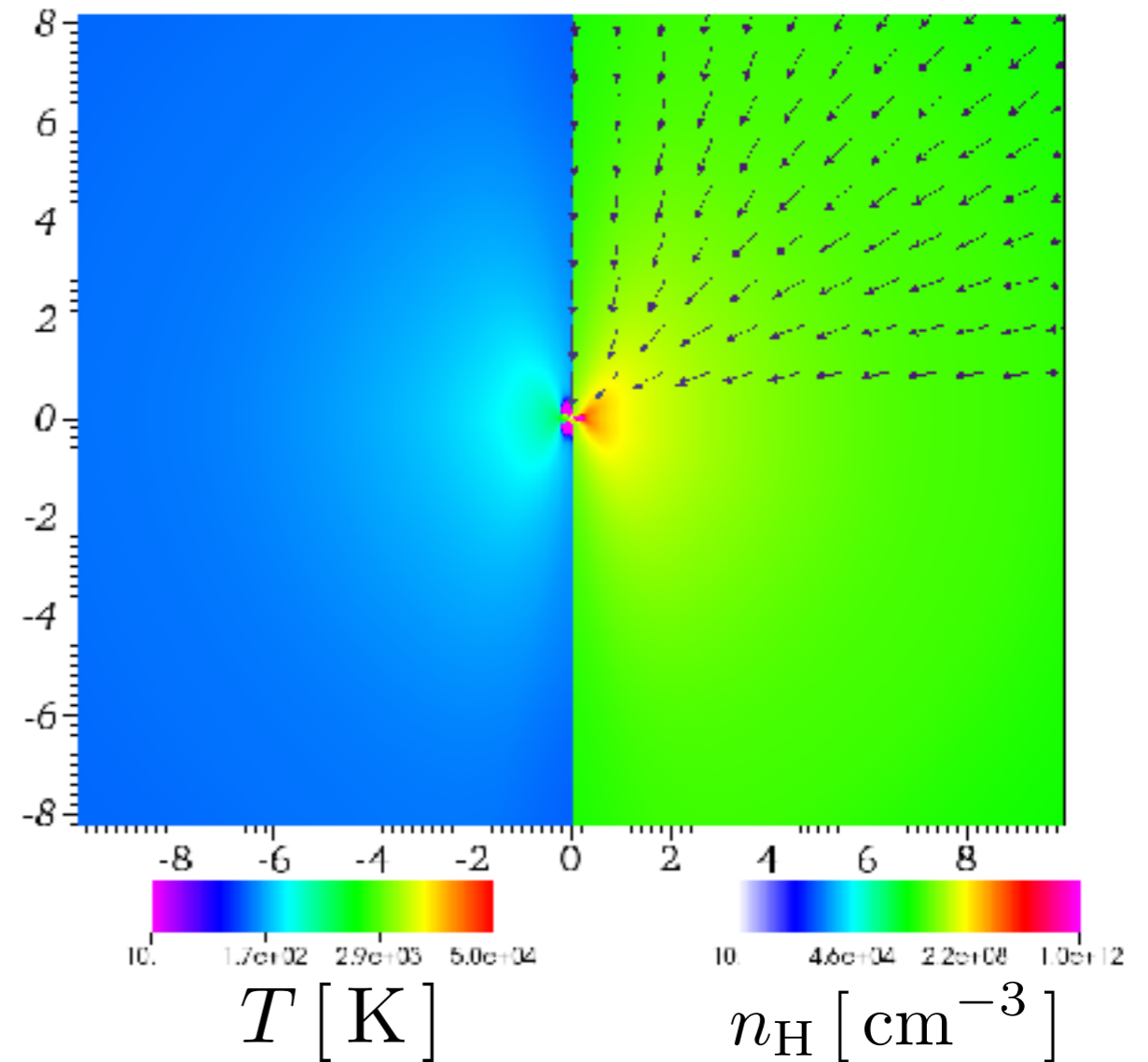
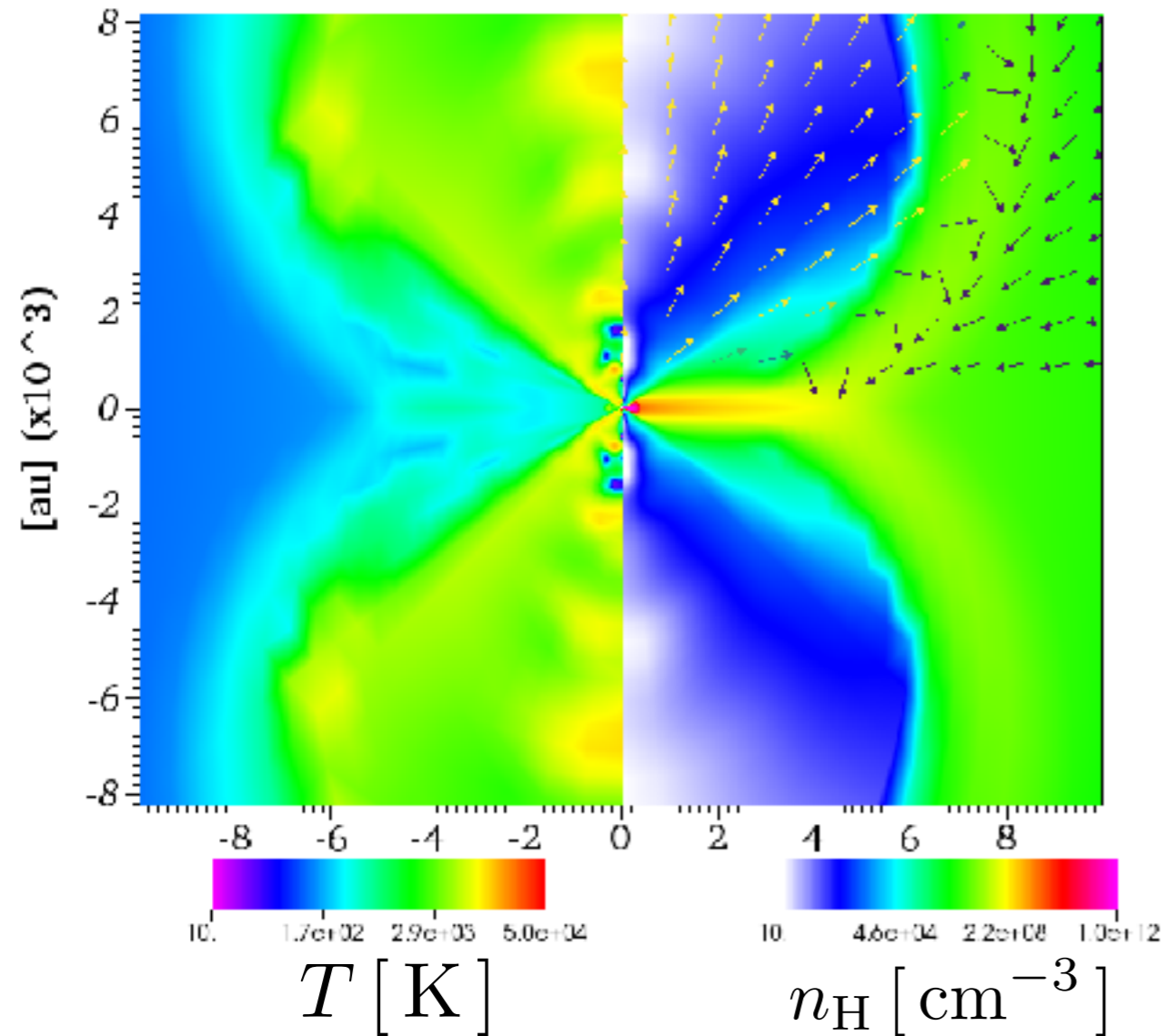
初代星と同様にHII領域が拡大し降着が抑制される

雲質量が大きい場合 Cloud Mass = 500 M_{\odot}

星質量100 M_{\odot} における降着流の様子の違い

$1Z_{\odot}, 100M_{\odot}$

$10^{-2}Z_{\odot}, 100M_{\odot}$

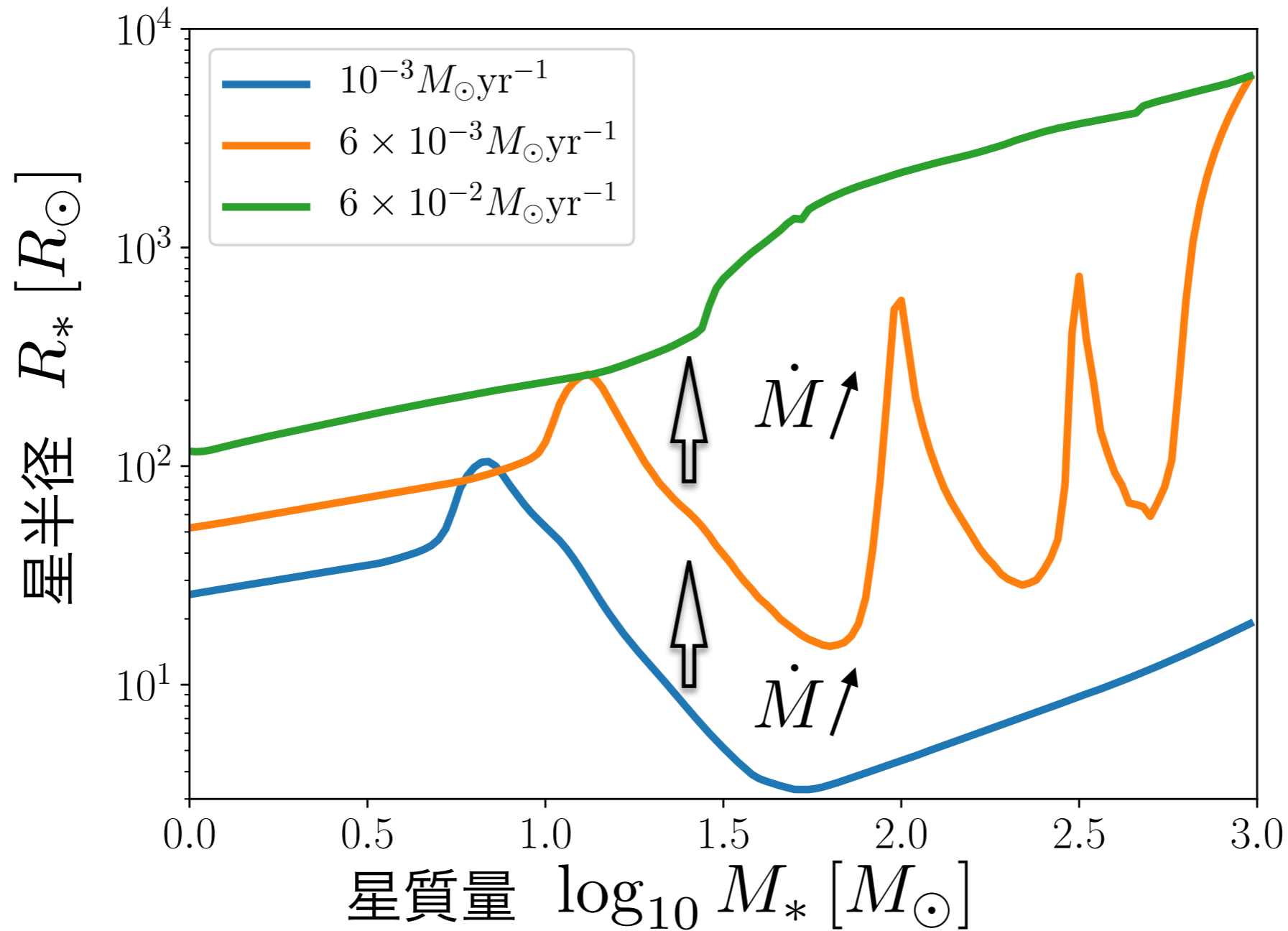


- 金属量により輻射フィードバックの強度が異なる

$1Z_{\odot}$: 輻射圧により降着抑制が開始 $10^{-2}Z_{\odot}$: HII領域形成は有効とならない

降着率による原始星進化の違い

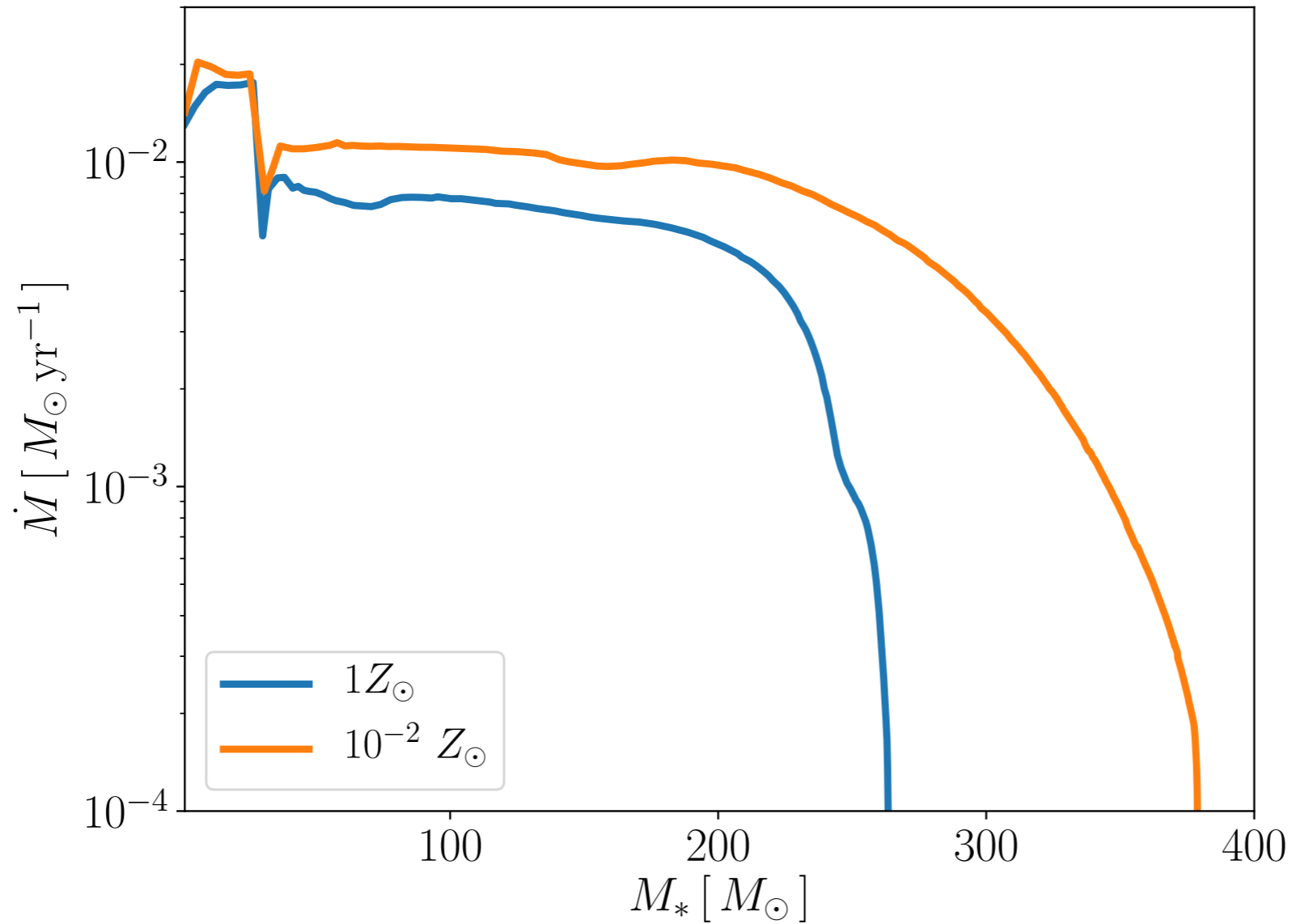
定常降着における原始星進化



(Omukai & Palla 2003; Hosokawa et al. 2012)

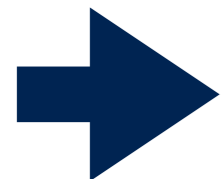
- ・ 高降着率の場合、半径膨張により原始星の有効温度が下がる
- ・ 有効温度低下により電離光子数減、HII領域形成の抑制

雲質量が大きい場合 Cloud Mass = $500 M_{\odot}$



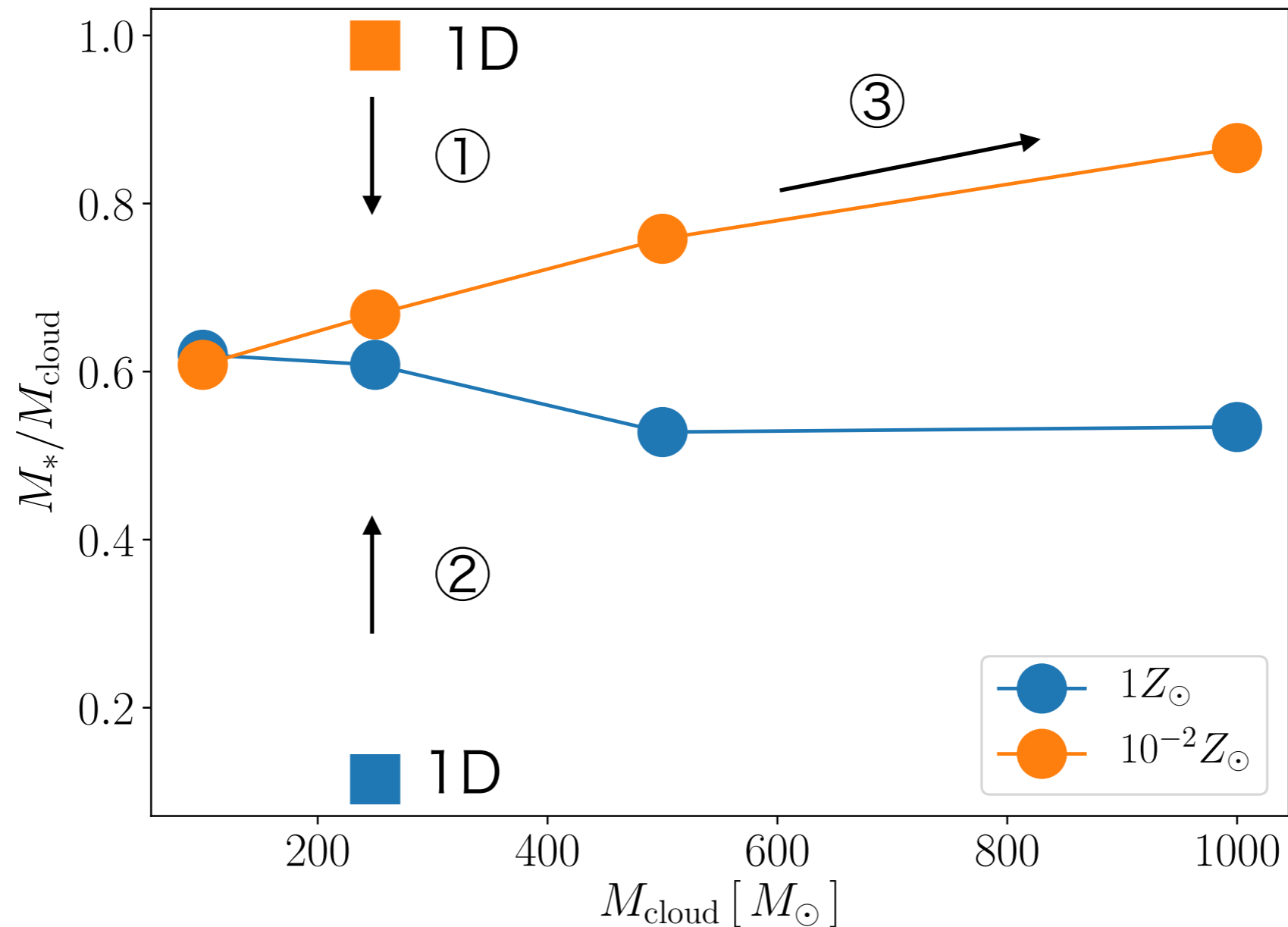
$1 Z_{\odot}$: 光度は非常に大きいため、輻射圧により質量降着抑制

$10^{-2} Z_{\odot}$: 輻射圧は効きづらく、 $300 M_{\odot}$ に達するまでHII領域形成もおきない



低金属度星は $1 Z_{\odot}$ と比べ、より星質量が大きくなる

星最終質量のCloud Massと金属量依存性



低金属度星の方がより大質量星となりやすい

- ① 多次元効果によりHII領域が拡大しやすい
- ② 多次元効果により輻射圧の強度は小さくなる
- ③ 低金属度の場合、雲質量が大きくなると星質量は相対的に増加する

Summary

- 低金属量大質量星形成について、初めて系統的な2次元輻射流体計算を行った。
- 高降着率の場合や球対称降着に近い場合は、低金属量の場合により大質量星が形成される。
- 輻射フィードバックの機構については $\sim 10^{-2} Z_{\odot}$ を境にダストへの輻射圧とHII領域形成が切り替わる

Future work

- 現実的な初期条件(Cosmological simulationの結果等)を用いる