

# 初代星形成 質量降着期の3D計算

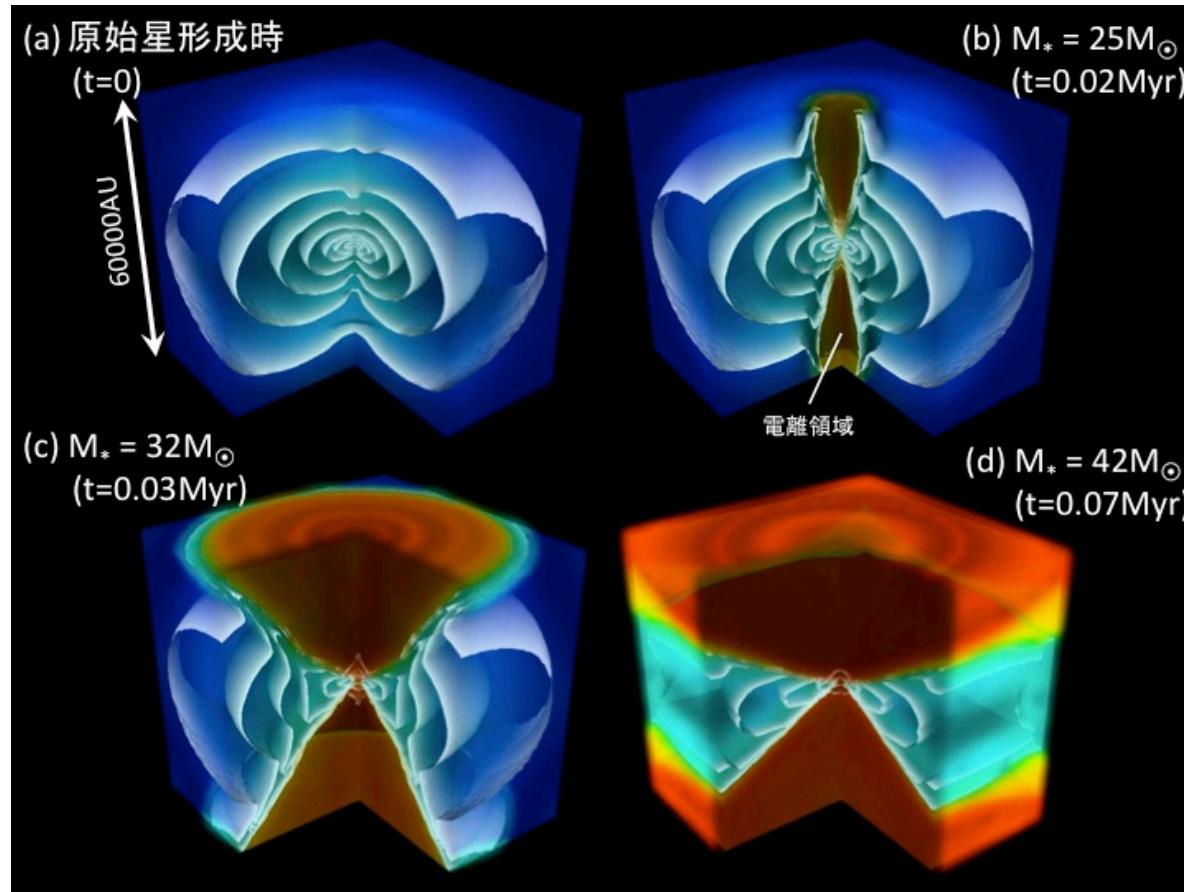
細川 隆史 (東京大学)

Rolf Kuiper (MPIA)  
Harold W. Yorke (JPL) et al.

# Final mass of the first stars

原始星形成後、質量降着期の進化をできるだけ高分解能で長時間計算

(Hosokawa et al. 2011, 12; also see Hirano et al. 13)



←軸対称2D輻射流体計算  
+  
星の進化計算

輻射流体計算を  
3Dにupdateしたい

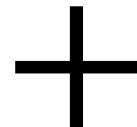
(Stacy+12; Susa 13)

原始星輻射feedbackと  
円盤分裂の相互作用  
を調べる

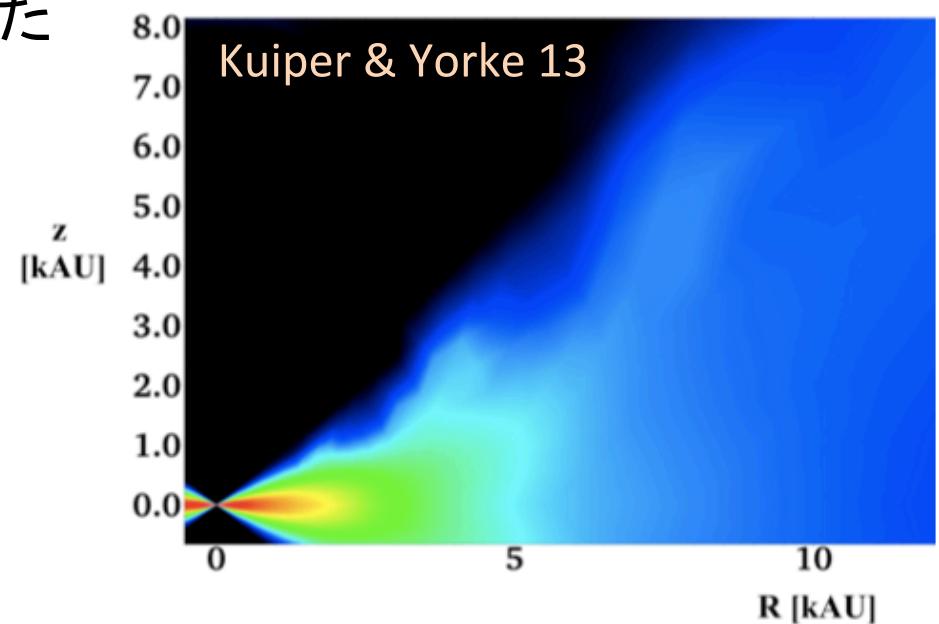
# The PLUTO code

多次元MHD公開code (Mignone et al. 07)

銀河系の大質量星形成用に開発された  
改良版ベース (R.Kuiper+10 etc.)  
(+ self-gravity & FLD solvers)



- EUV/FUV輻射輸送
- Chemistry (まずprimordialから)  
(※ PLUTO originally has MHD routines)



初期宇宙の大質量星形成 ( $Z=0$ ),銀河系の大質量星形成 ( $Z=Z_{\odot}$ ),  
これらの中間での大質量星形成 ( $0 < Z < Z_{\odot}$ )を数値計算で調べたい

# テスト計算設定

+ 2D/3D, 極座標 (動径方向Rはlogで切る)

$$N_R \times N_\theta (\times N_\phi) = 64 \times 16 (\times 64) \text{ or } 128 \times 32 (\times 128)$$

central sink cell: 10-30AU

+ 流体 + chemistry ( $H_2$ , H,  $H^+$ , e,  $H^-$ ,  $H_2^+$ の非平衡network)  
+ 輻射輸送 (EUV/FUV, 動径方向のray-tracing)  
(+ MHD in future studies)

+ 星の進化: Omukai & Pallaコード / Yorke & Bodenheimerコード

+ 初期条件:

- 一様密度ガス雲  $M_c \sim 100M_\odot$  in  $R_c < 0.1\text{pc}$
  - 剛体回転  $\Omega = 5.e-13 \text{ Hz}$
  - はじめにrun-away collapseを計算, 密度が十分上がったら sinkを置いて降着期の計算に切替
- ※今日はfeedbackが効く前まで

XC30で8-16 (2D)、128-512 cores (3D)程度のコアを使って数週間(～数ヶ月)

DB: data\_2200.silo

Cycle: 2200

Pseudocolor 1.0

Var. density\_phys

1.000e-13

-1.000e-14

-1.000e-15

-1.000e-16 0.5

-1.000e-17

Max: 2.926e-14

Min: 1.525e-22

Y Axis  
( $\times 10^3$ )

0.0

-0.5

-1.0

X Axis  
( $\times 10^3$ )

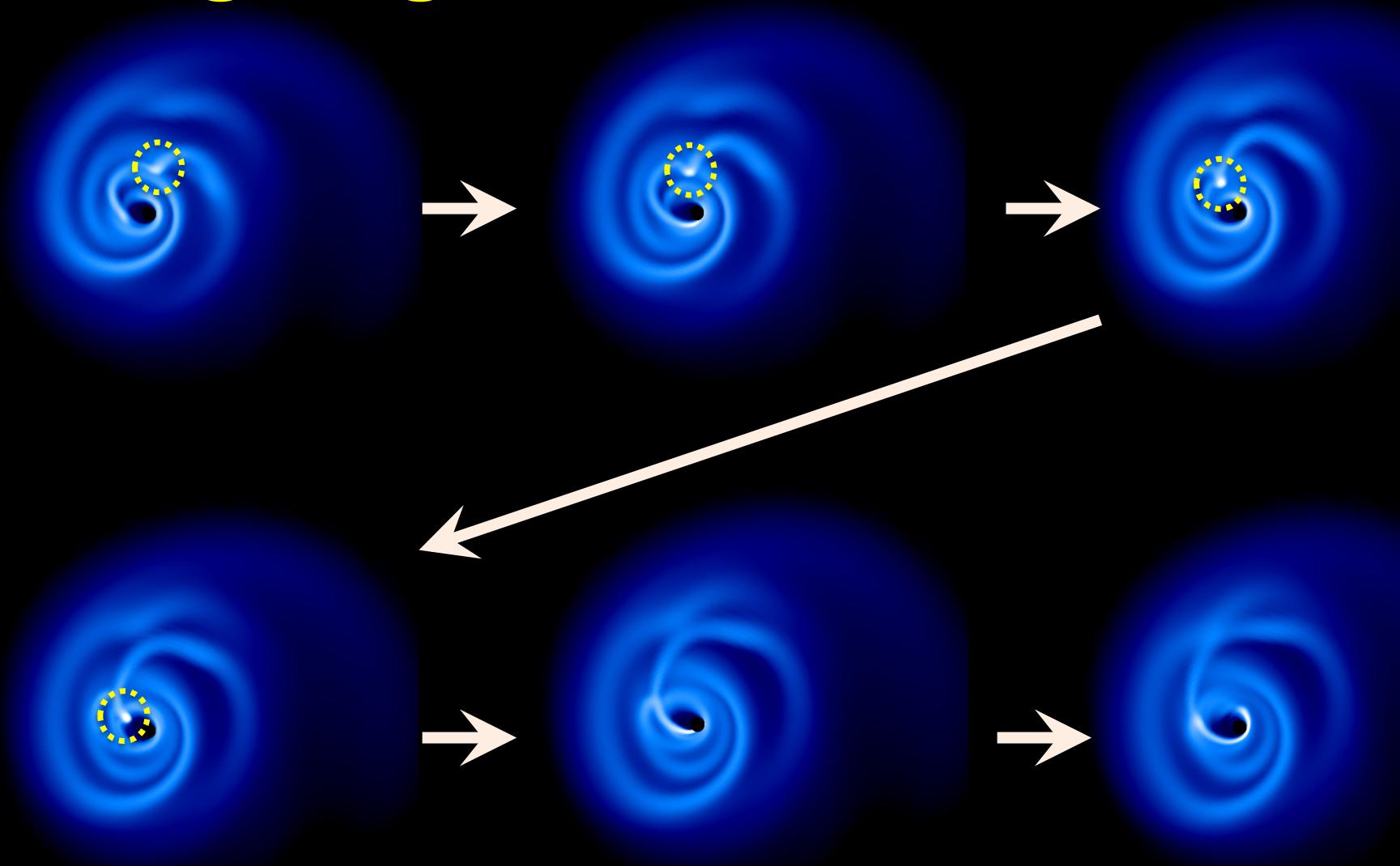
1000AU

density on the equator

3D TEST  
(optically thin H<sub>2</sub>冷却)

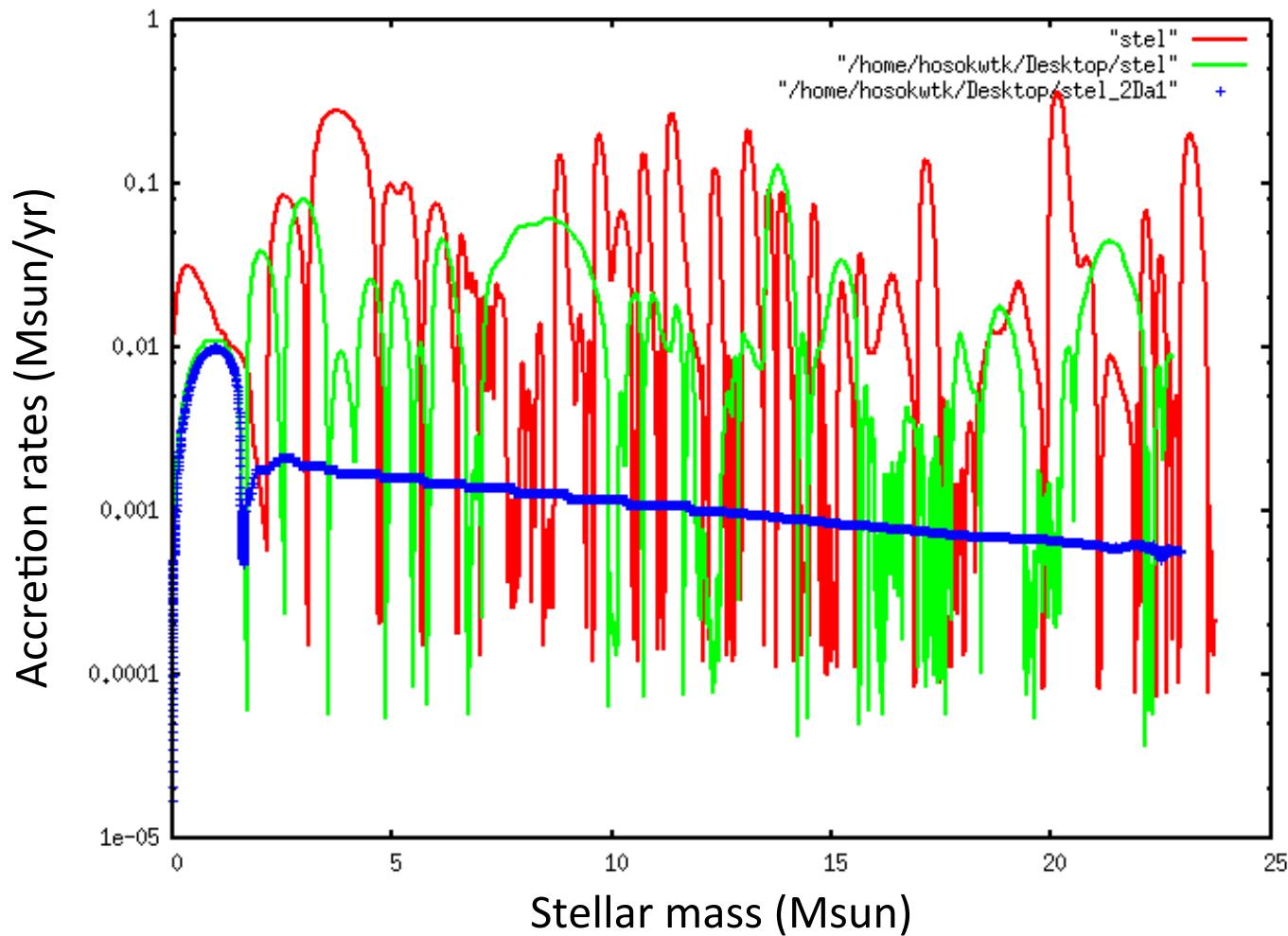
user: hosokwtk  
Fri Nov 15 18:15:14 2013

# Infalling fragment



tidally disrupted  
and drawn into the sink

# Accretion History

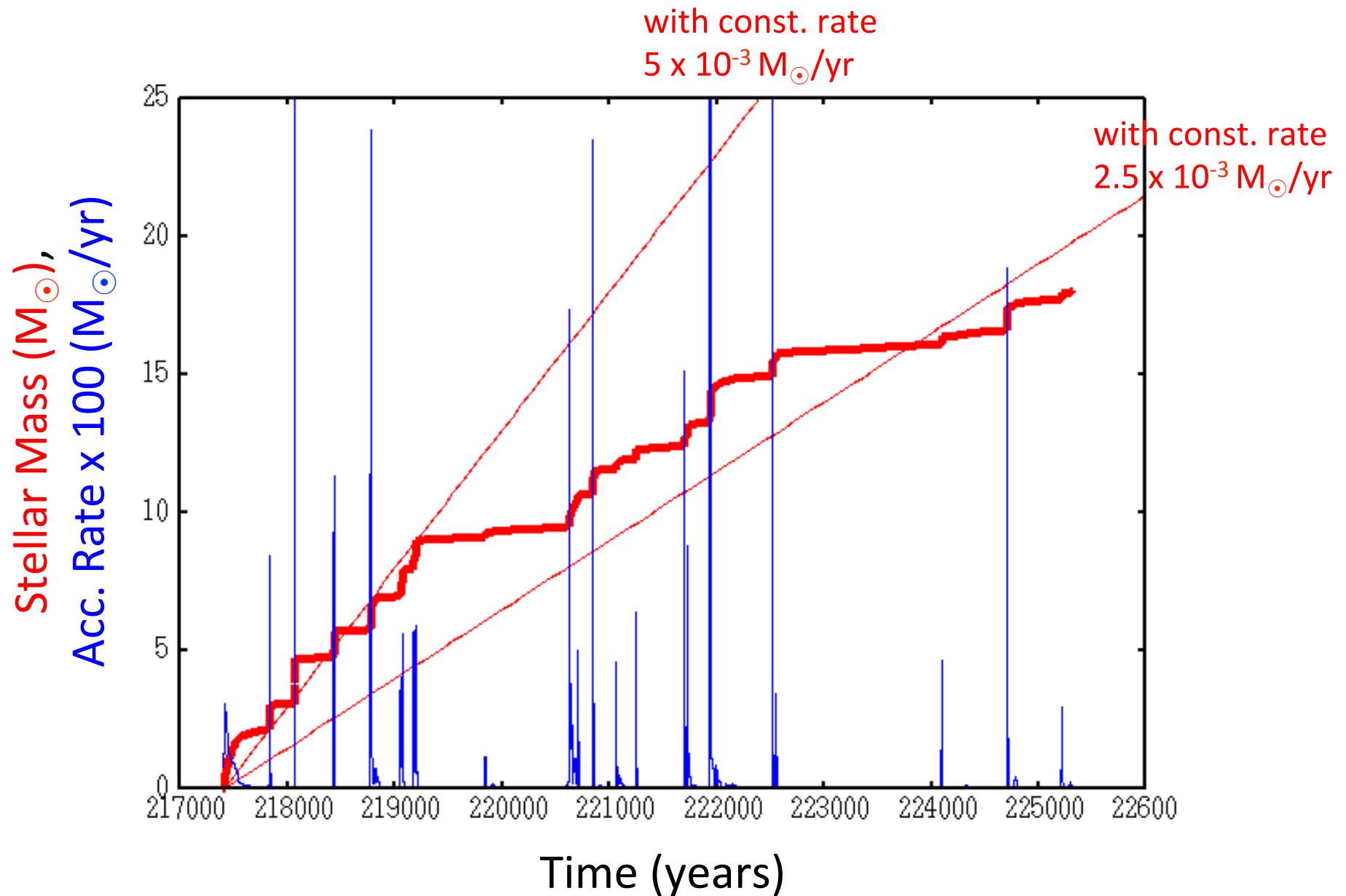


red: current case, green: lower res. (1/2 grids), blue: 2D with  $\alpha=1$  (lower res.)

More fragmentation with the higher resolution

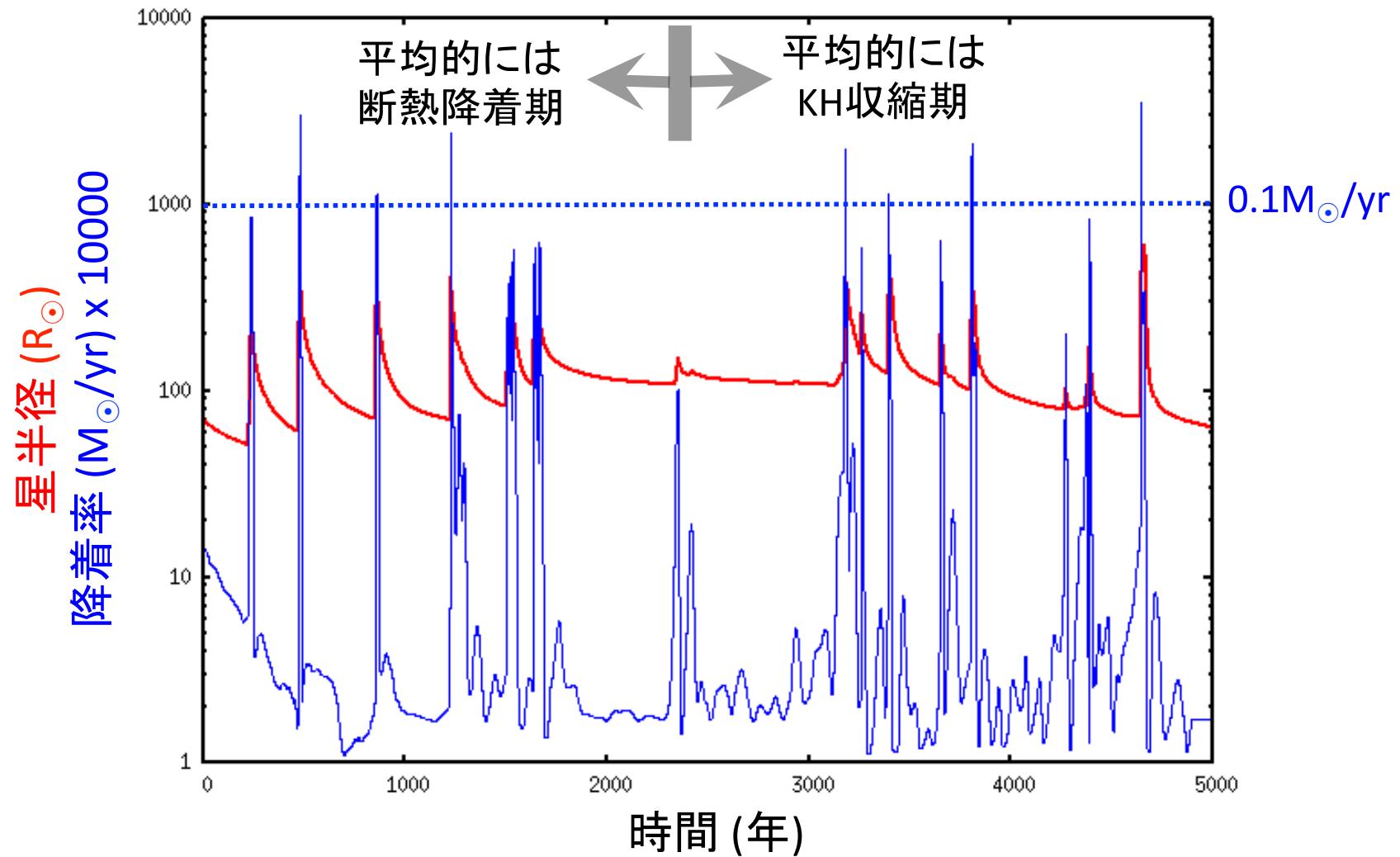
All of the fragments are falling into the central sink cell.

# Mass Growth History



# 星半径の進化

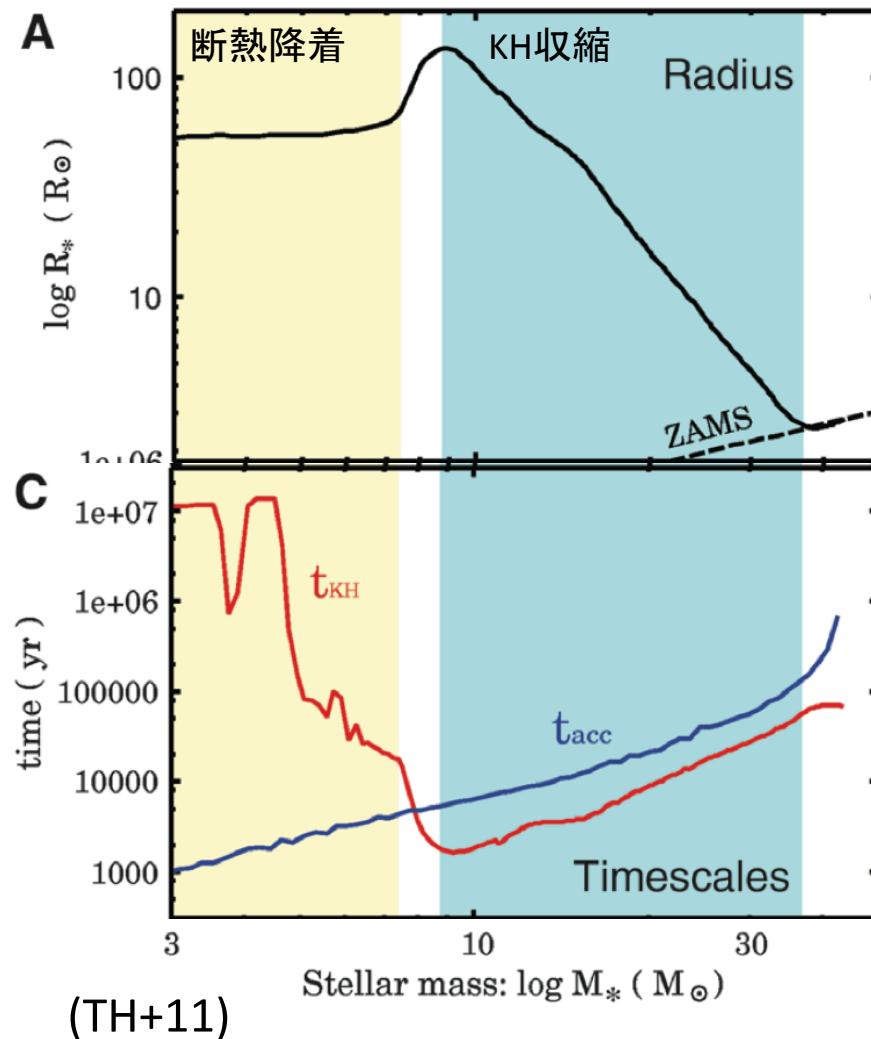
今回はポストプロセスで星の進化計算



降着バーストがあるたびに星は急膨張→KH時間かけてゆっくり収縮

# バースト的降着とfeedback

一度降着バーストで星が膨張すると戻るのにKH時間かかる



[予想]

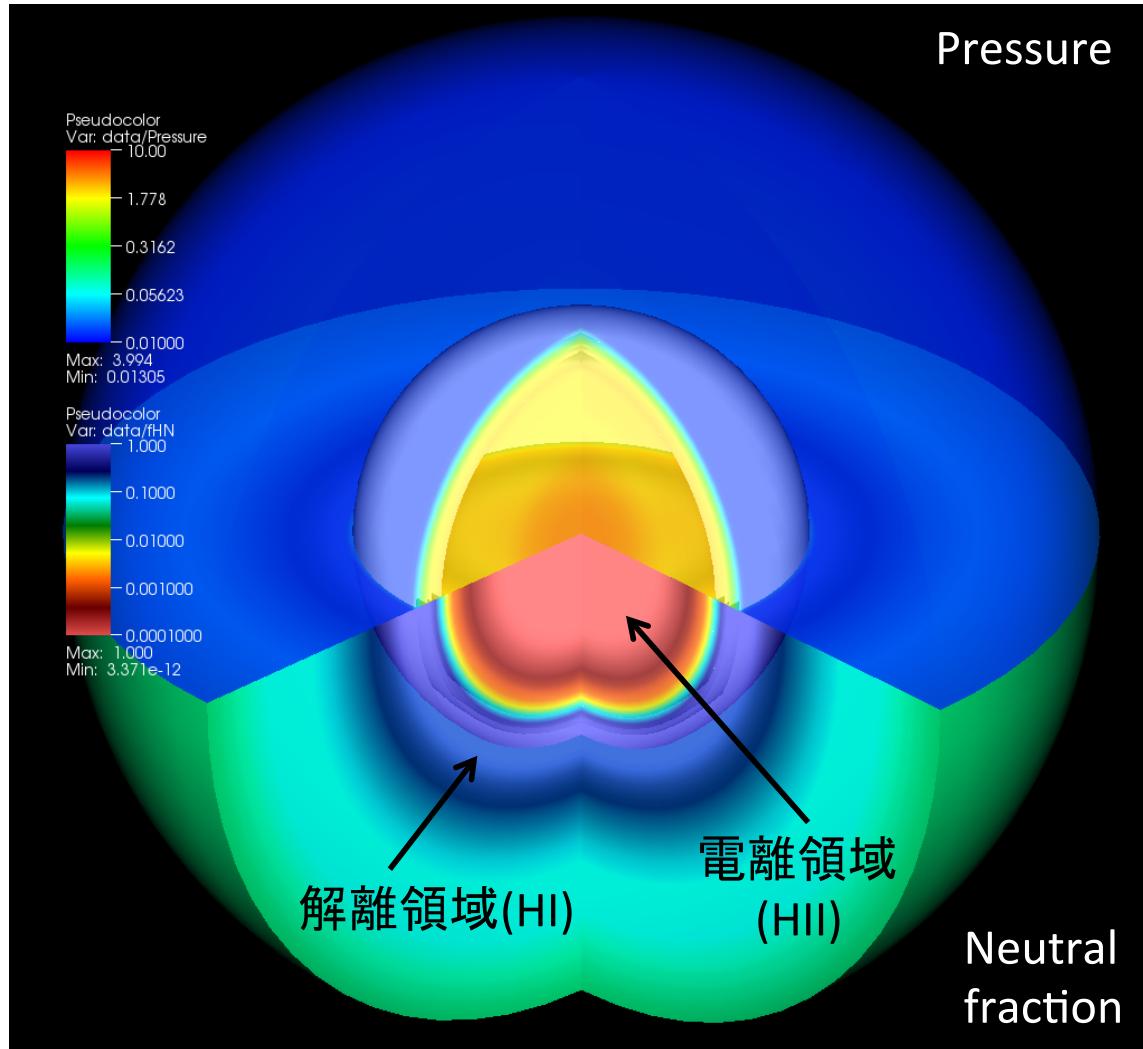
輻射feedbackが効くKH収縮後期は  
KH時間=数千～数万年

一度降着バーストするとこの位の間  
星が膨らんで有効温度が下がり、  
feedbackが効かなくなるのではないか？

実は3D効果により星最終質量  
が上ることがあるのではないか？

# UV Feedback in progress

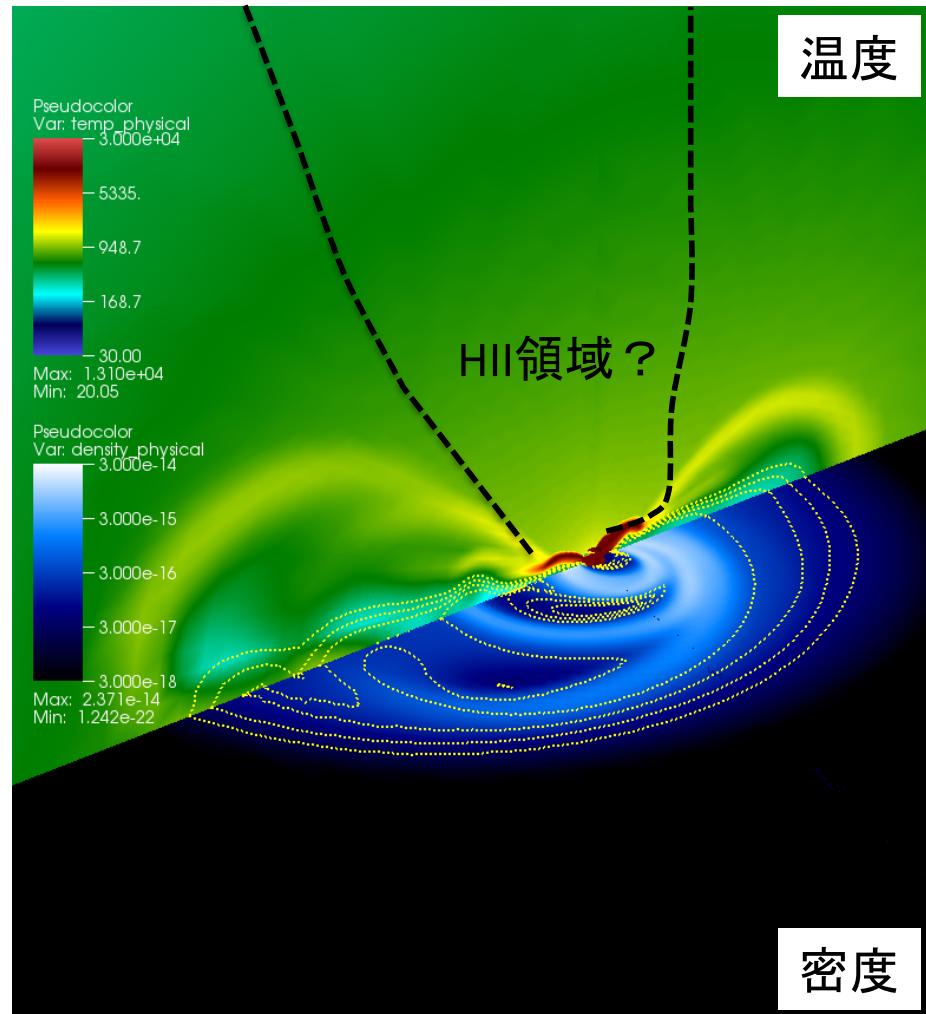
TEST: spherical expansion of an HII region / PDR in 3D



EUV/FUV輻射輸送  
は実装済み

〔次はfeedback入り  
→ 天文学会で〕

# まとめ



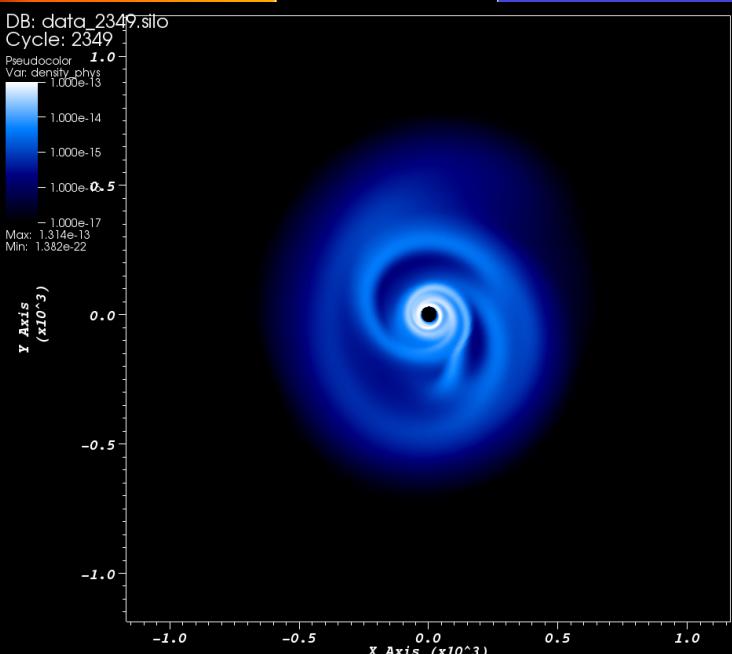
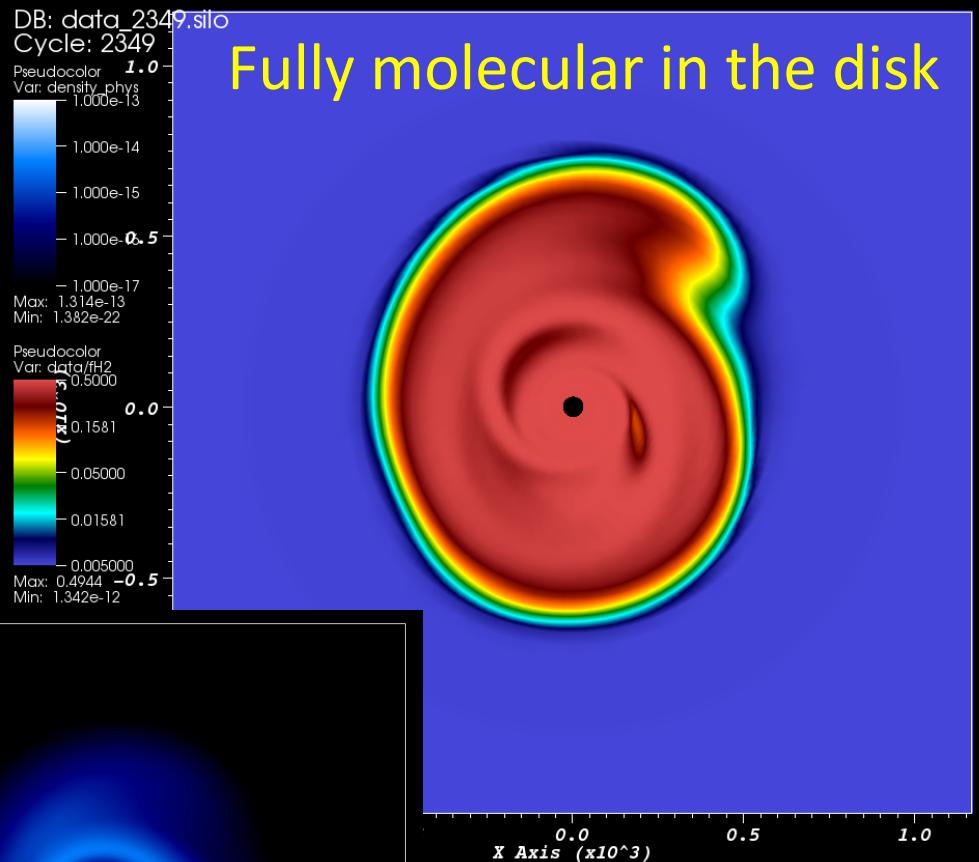
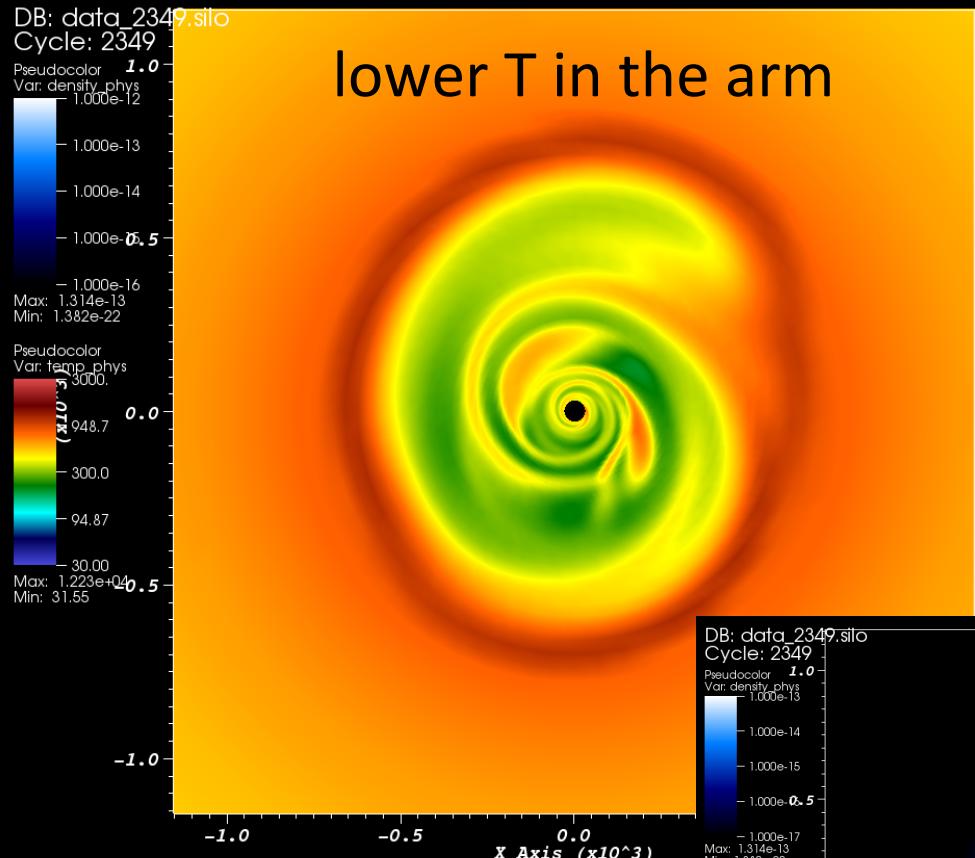
- ✧ 初代星の最終質量を精度よく決めたいので、3次元計算を始めた
- ✧ さかんに円盤分裂するのが見えたが、分裂片は全部速やかに中心に落ちた
- ✧ 星の進化を考えると降着バーストが起きると星はしばらく膨張するので、feedbackは弱くなるかも  
→ 最終質量はむしろ上がるかも
- ✧ 今度はfeedback入りで3D計算

# Backup materials

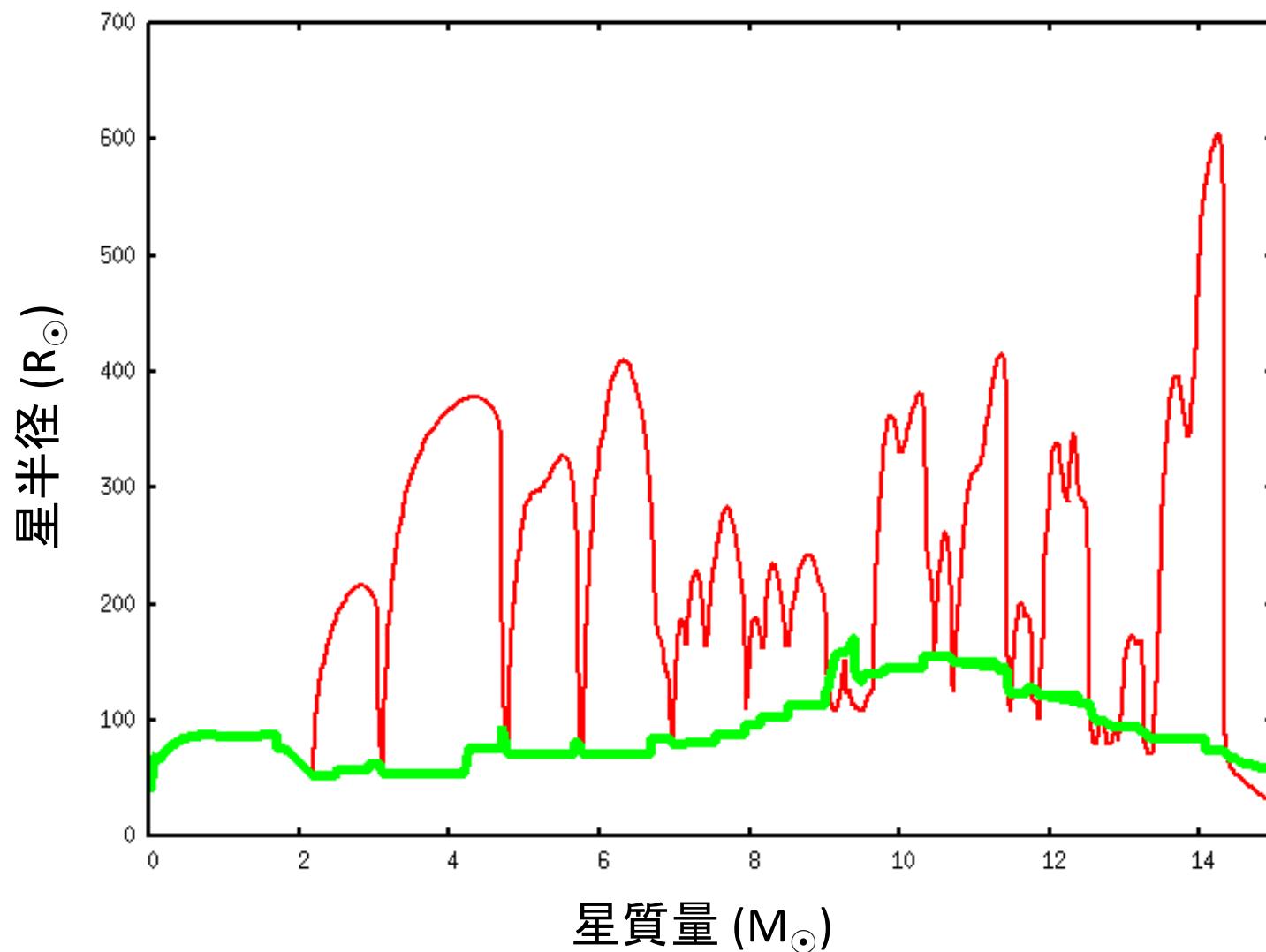
# Directions to go

- + star formation in the early universe
  - first star formation in 3D (in progress)
  - supermassive disk around supermassive stars
    - (by extending chemistry network)
- + present-day high-mass star formation
  - with UV transfer (an HII region will form in the cavity)
  - outflow and magnetic fields (PLUTO has a MHD module)
- + (high-mass) star formation in low-metallicity environments
  - attacking from the two opposite limits ( $Z=Z_{\odot}$  and 0)

# Temperature & H<sub>2</sub>



# 星半径の進化



平均的には $10M_{\odot}$ 付近が断熱降着/KH収縮の切り替わり