

初期宇宙における 原始星まわりの降着円盤の分裂

Clark, P. C., et al. 2011, Science, 331, 1040

横井 慎吾

(甲南大学 自然科学研究科 M1)

目次

1. 導入

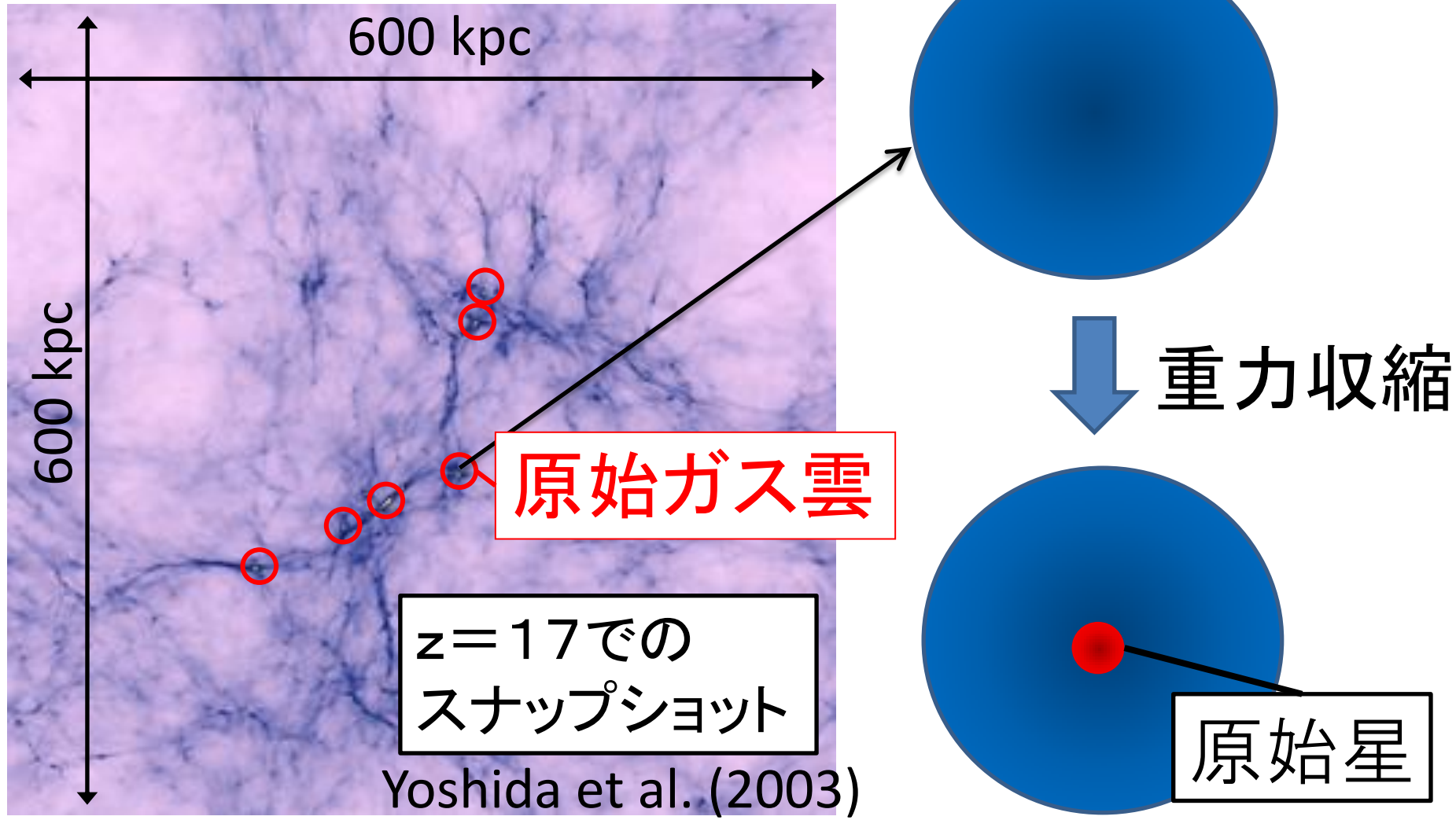
宇宙初期での星形成

2. 降着円盤の分裂プロセス

3. 数値シミュレーションの結果

宇宙初期での星形成

宇宙初期の密度ゆらぎを初期条件とした3次元シミュレーション



降着するガスは角運動量持つ



降着円盤形成

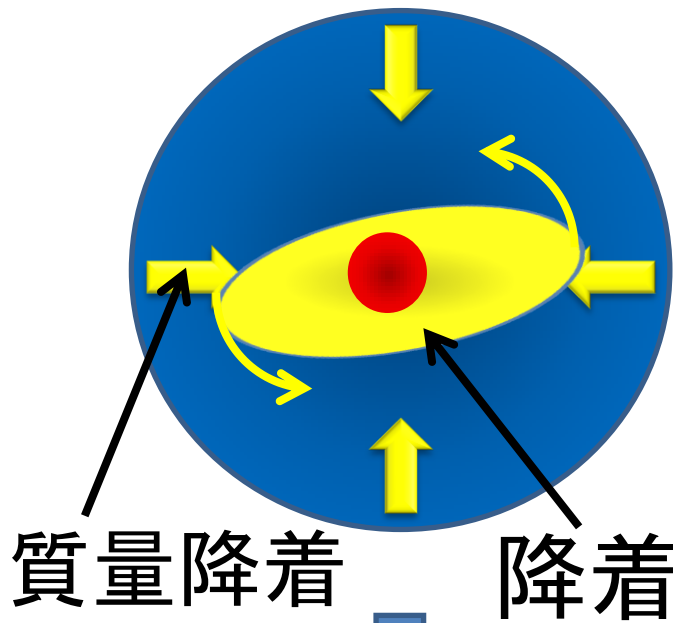


降着円盤が**分裂**

→ **星形成**



複数の星の集団になる？

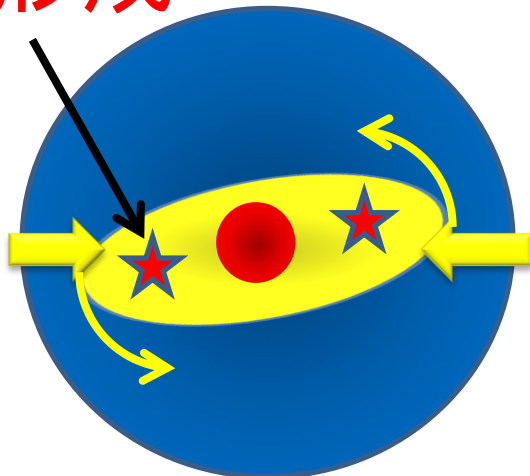


質量降着

降着円盤

降着円盤**分裂**

星形成



降着円盤の分裂

降着円盤は重力不安定になると分裂

→ 温度と面密度に依存

降着円盤の重力不安定性の指標

Toomre parameter : Q

$$Q = \frac{c_s K}{\pi G \Sigma} \propto \frac{T^{0.5}}{\Sigma} \leq 1 : \text{重力不安定}$$

T : 温度、 Σ : 面密度

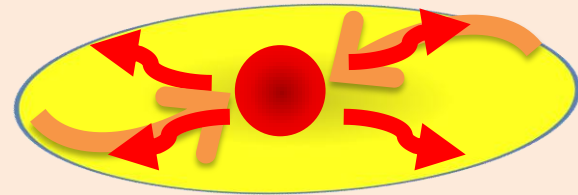
降着円盤の温度

冷却過程

- ✓ 断熱膨張
- ✓ H₂の冷却反応
 - H₂の放射冷却
 - CIE冷却
 - H₂の衝突解離冷却

加熱過程

- ✓ 断熱圧縮
- ✓ 降着によって
星から放出される光

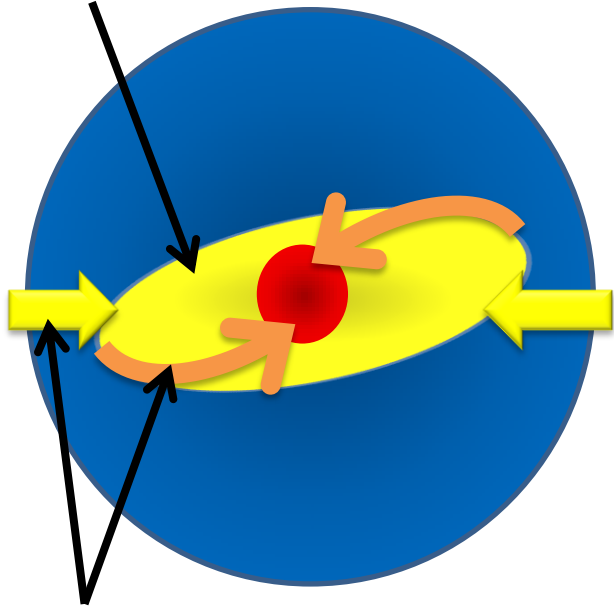


$$Q \propto \frac{T^{0.5}}{\Sigma} \leq 1$$

温度 ↓ なら Q が小さくなる

降着円盤の面密度

降着円盤



質量降着

ガスは回転しながら降着



降着が遅れる



降着円盤にガスがたまる

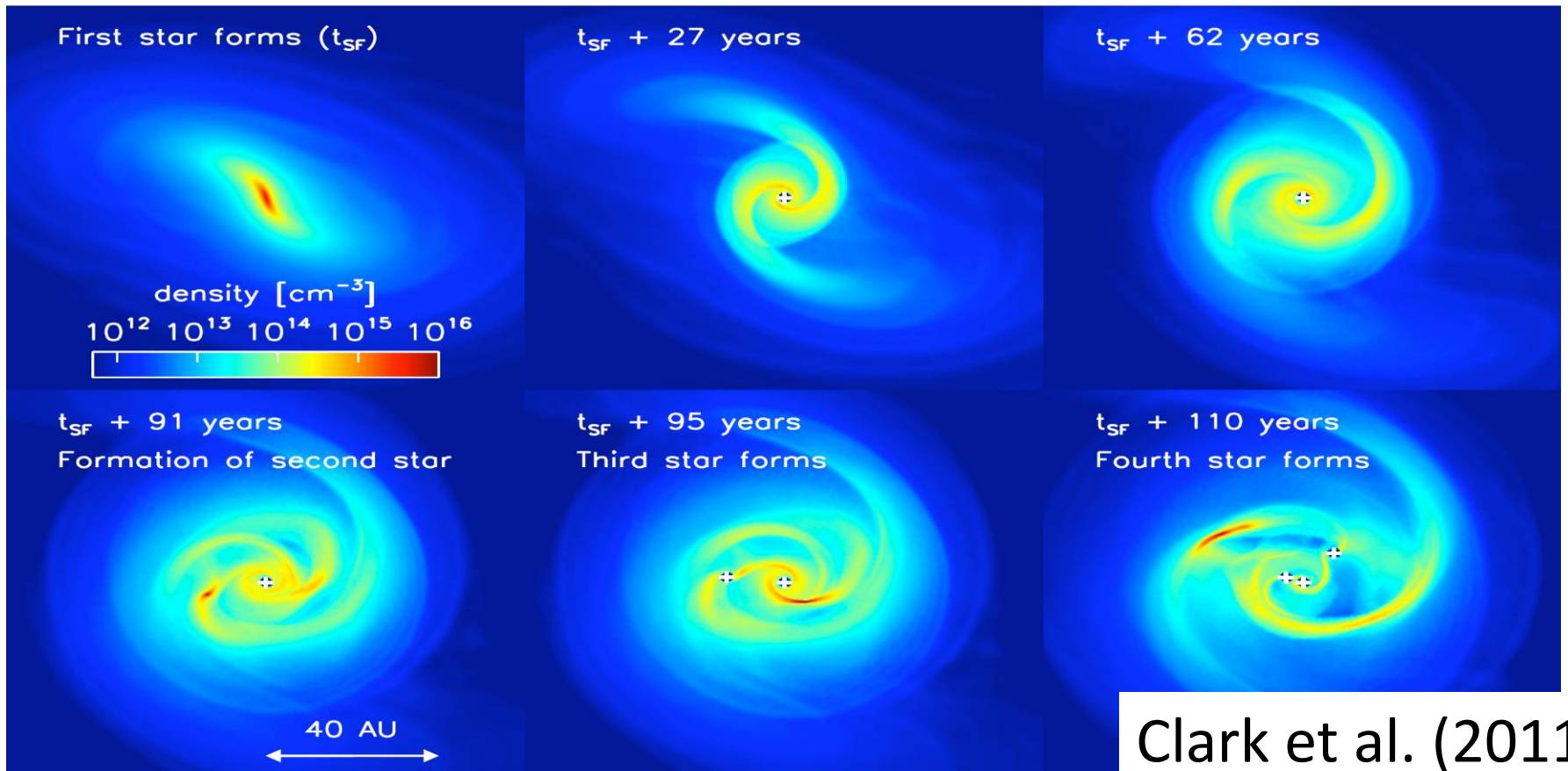
$$Q \propto \frac{T^{0.5}}{\Sigma} \leq 1$$

面密度 \uparrow なら Q が小さくなる

数値シミュレーション

重力、流体力学、化学反応を考え

宇宙初期の星形成と降着円盤の様子を再現



原始星形成

First star forms (t_{SF})

density [cm^{-3}]

10^{12} 10^{13} 10^{14} 10^{15} 10^{16}

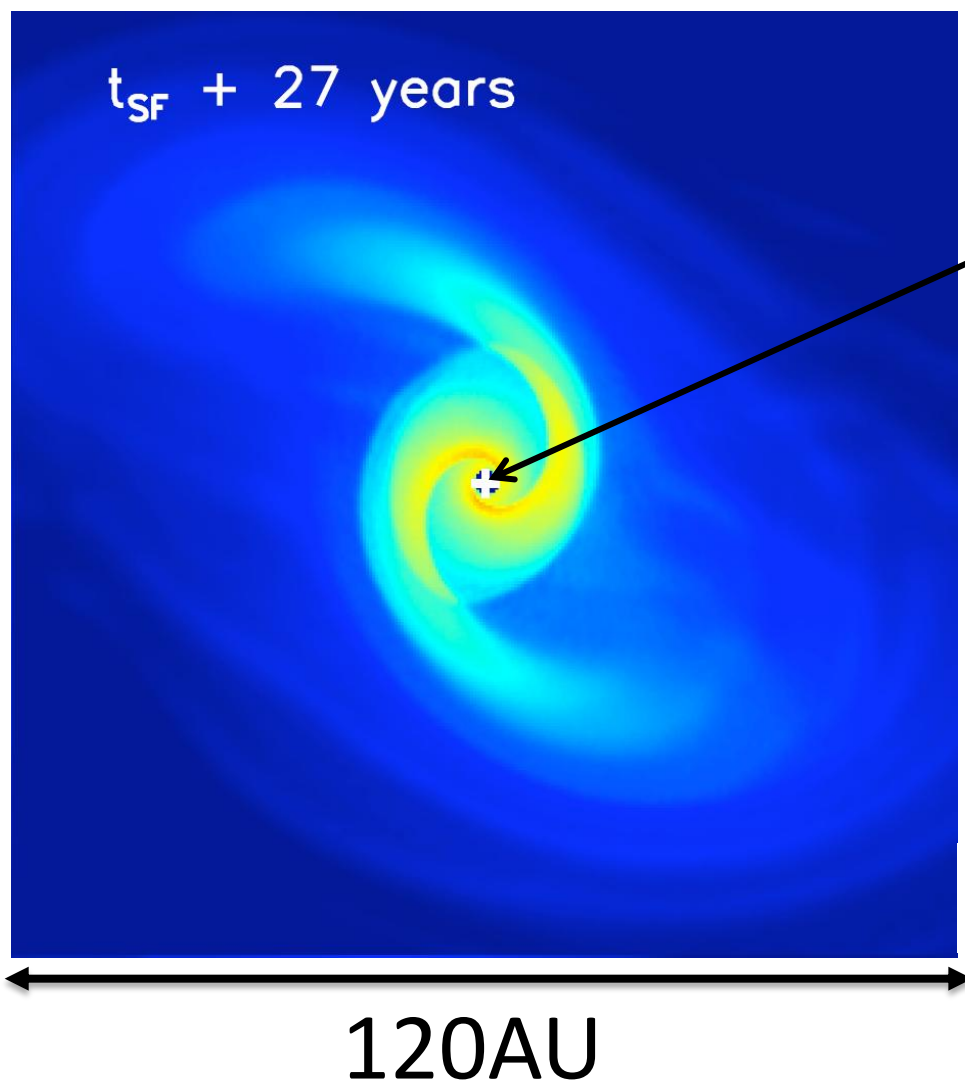


120AU

最初の原始星できた
 $Z=17$

Clark et al. (2011)

降着円盤形成

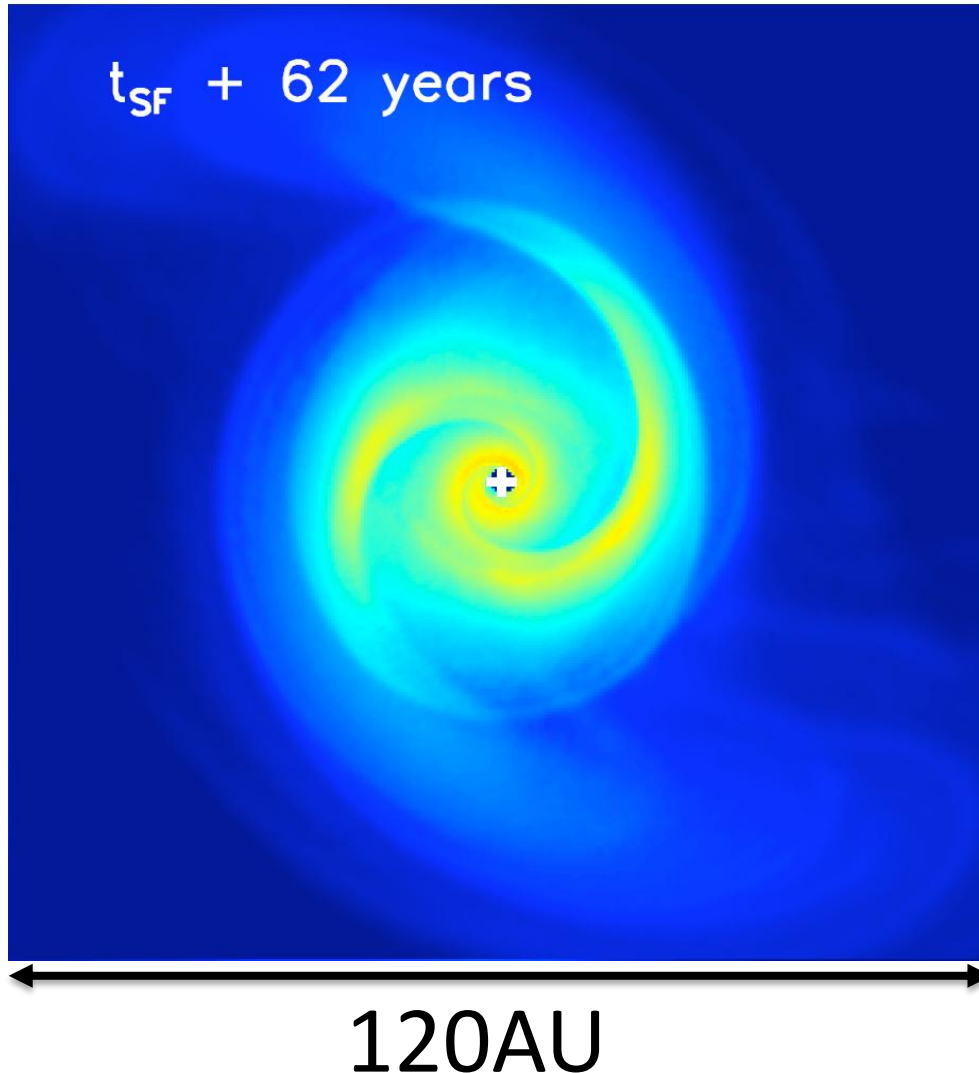


最初の原始星
 $M=0.5M_{\text{sun}}$

降着円盤が
作られる

Clark et al. (2011)

降着円盤成長



降着円盤が
大きくなっていく

Clark et al. (2011)

降着円盤の分裂1

最初の原始星できてから
約90年後、降着円盤分裂



2個目の
原始星形成

中心の原始星から
約20AU

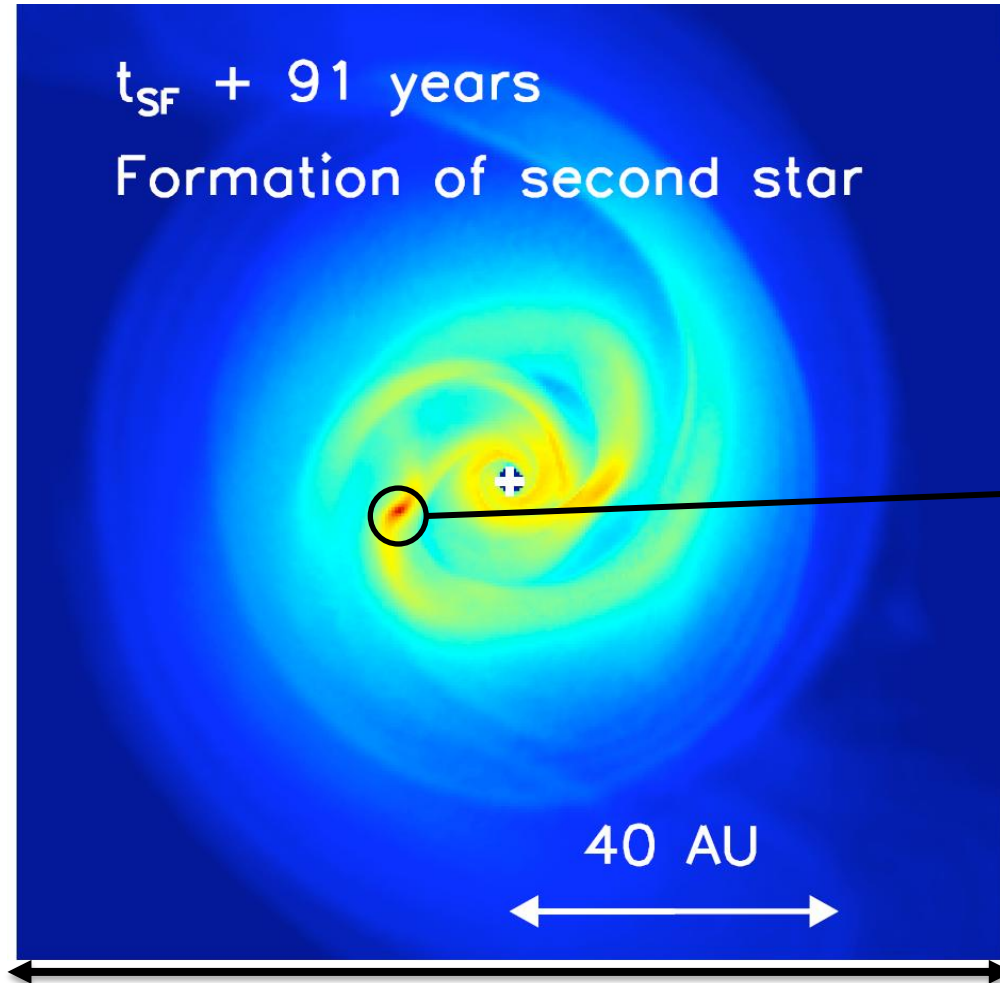
Clark et al. (2011)

$t_{\text{SF}} + 91$ years
Formation of second star

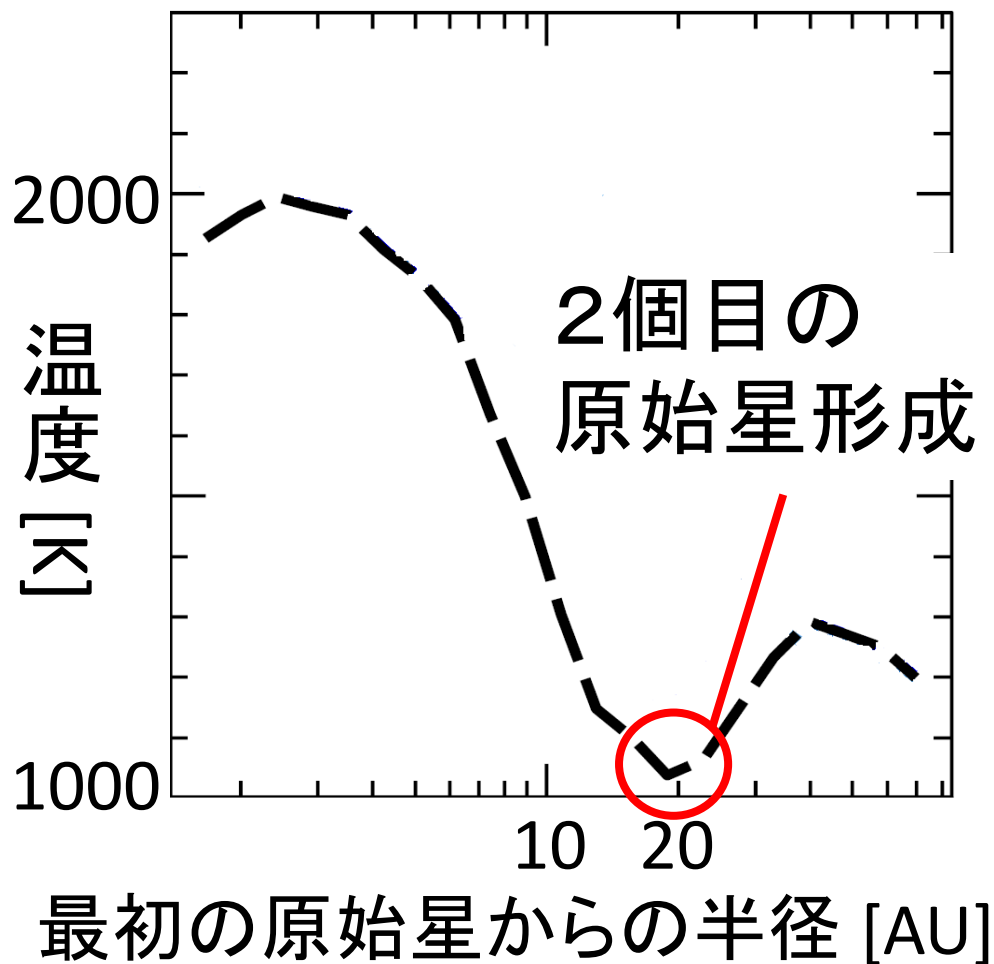


40 AU

120AU



2個目の原始星形成時の 降着円盤の温度

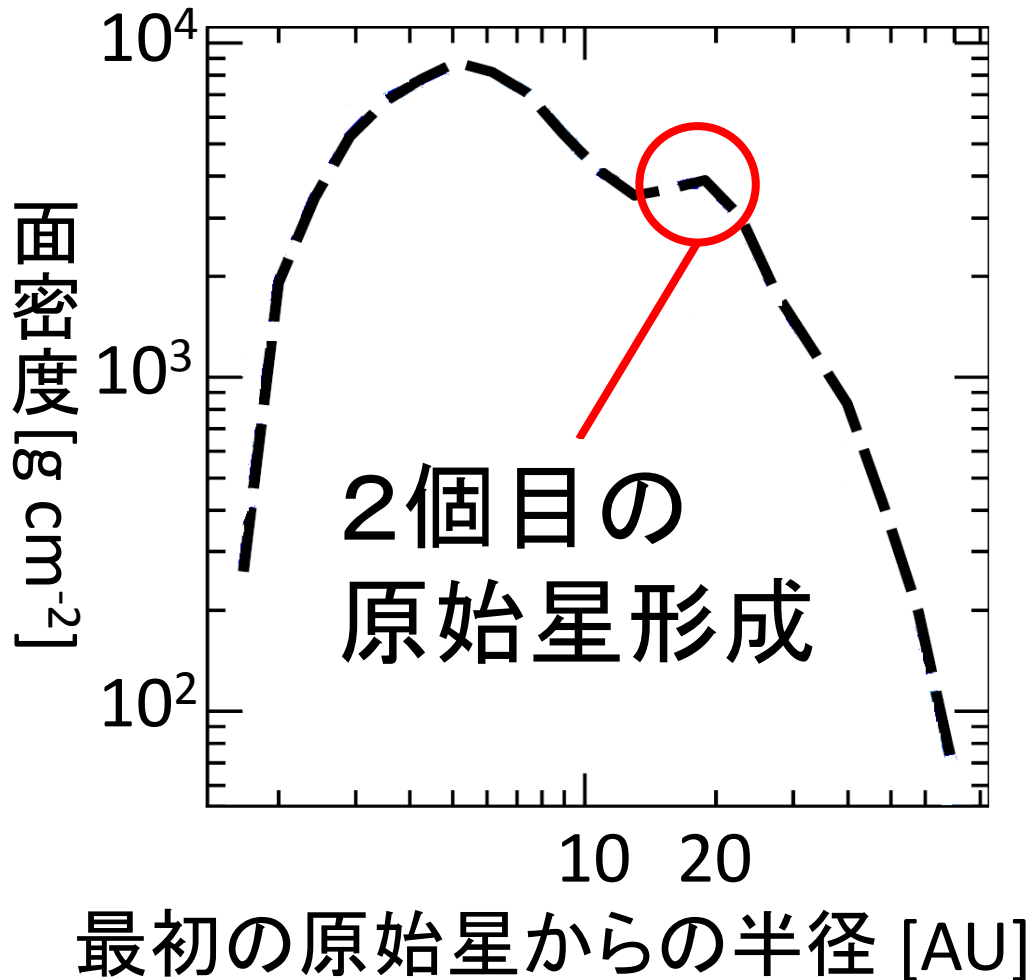


2個目の原始星
形成する所

温度 ↓

Clark et al. (2011)

2個目の原始星形成時の 降着円盤の面密度



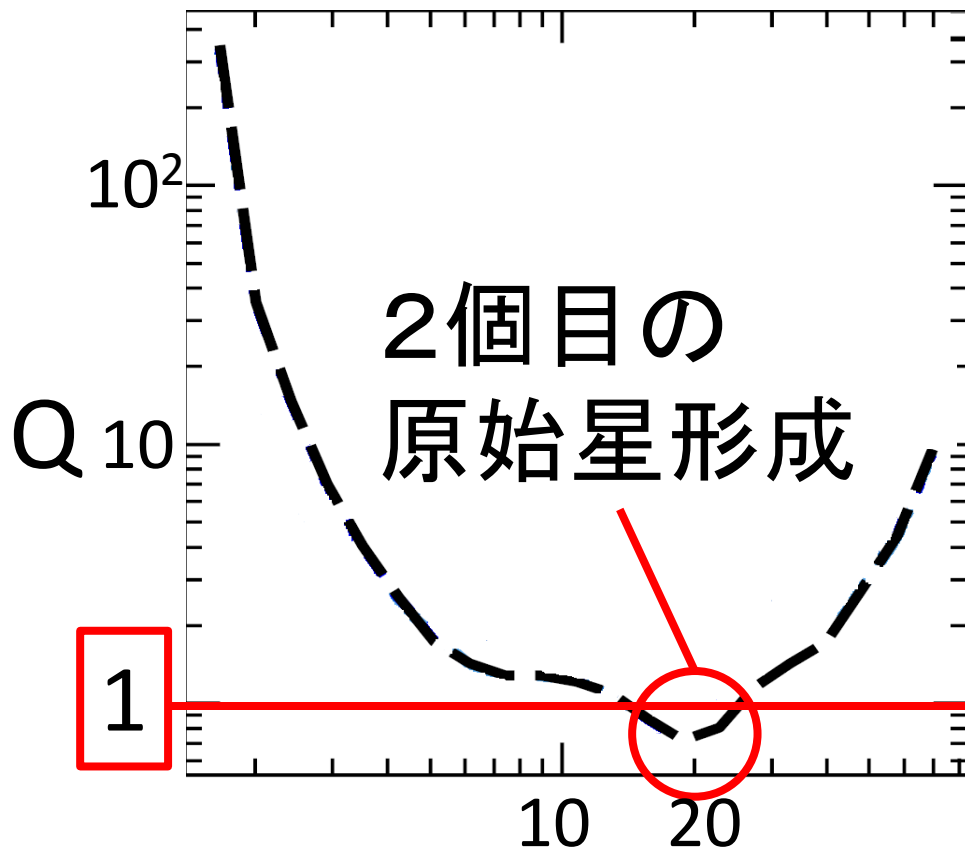
2個目の原始星
形成する所

面密度 ↗

Clark et al. (2011)

Toomre parameter

$$Q \propto \frac{T^{0.5}}{\Sigma} \leq 1$$



温度 \searrow + 面密度 \nearrow



$Q \leq 1$ を満たしている

最初の原始星からの半径 [AU] Clark et al. (2011)

降着円盤の分裂2

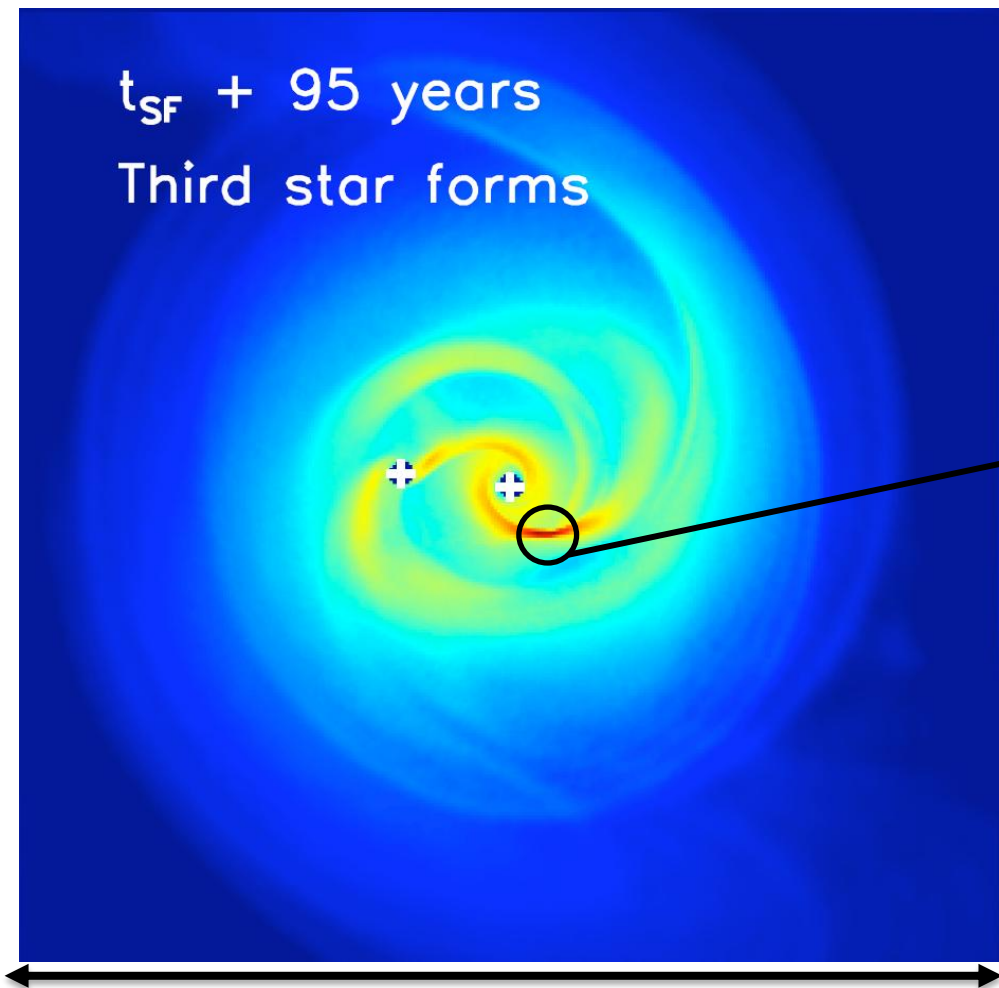
$t_{\text{SF}} + 95 \text{ years}$
Third star forms

4年後

3個目の
原始星形成

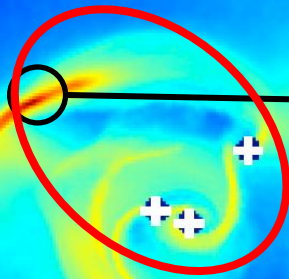
Clark et al. (2011)

120AU



降着円盤の分裂3

$t_{\text{SF}} + 110 \text{ years}$
Fourth star forms



15年後

4個目の
原始星形成

宇宙初期にできた原始星は
数十AUで複数の星の集団
として形成される

軽いPOP IIIの可能性

狭い領域に複数の星

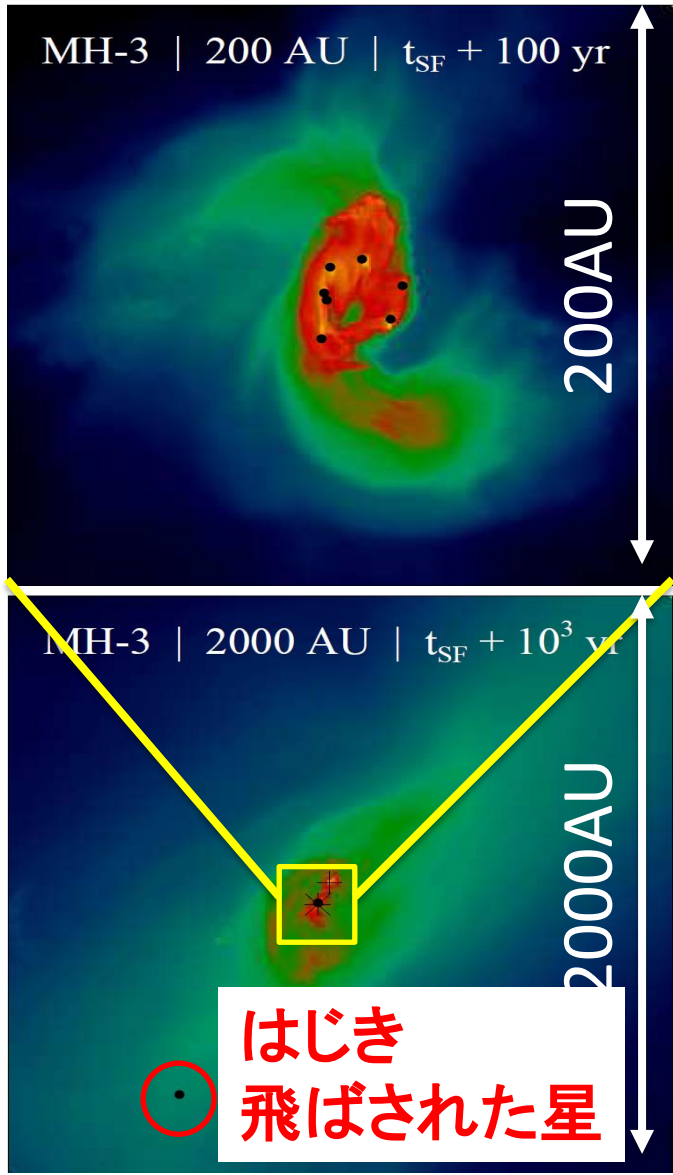


力学的な相互作用
(slingshot)



はじき飛ばされる
軽い星が存在

現在でもPOP IIIの星は
生き残っているかもしれない



Greif et al. (2011)

まとめ

- ✓ 最初の原始星周りにできる
降着円盤は重力不安定になり分裂する。
- ✓ 分裂した所から新たな原始星が形成される。
- ✓ 宇宙初期にできた原始星は
数十AUで連星もしくは複数の星の集団となる。
- ✓ 現在でもPOP IIIの星は生き残っているかもしれない。