

# 宇宙初期における 原始星の形成

新潟大学宇宙物理学研究室 M1

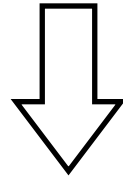
依田 茉莉乃

参考文献; Omukai,K. and Nishi,R. , 1998, ApJ, 508, 141

# 《 目的 》

重元素のない宇宙初期では  
どのように原始星ができたのか知りたい。

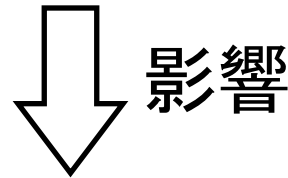
そのために、今回は…



- ◆ 宇宙初期と現在の星形成の相違点を理解する。
- ◆ 流体計算を解き、宇宙初期での原始星の形成までの進化を追う。

# 《 現在と宇宙初期の違い 》

宇宙初期には重元素が存在しない。



- ガス雲の冷却過程

冷却 → 重力 > 圧力勾配 → 収縮

- 水素分子の形成過程

H<sub>2</sub> の量 : 冷却の効率を決める。

# 《 冷却源 》

- ◆ 現在： CO などの重元素を含む分子の輝線放射

$$\left( \begin{array}{l} \text{分子雲の温度} \\ \sim 10\text{K} \end{array} \right) < \left( \begin{array}{l} \text{H}_2 \text{ の励起エネルギー} \\ 512\text{K} \end{array} \right)$$

→ H<sub>2</sub> はほぼ放射しない。

- ◆ 宇宙初期： H<sub>2</sub> による放射冷却

ガス雲の温度  $> 10^2 \text{ K}$

- ・ H<sub>2</sub> 輝線放射
- ・ 連続波放射

※ 計算過程では 化学反応熱 も考慮。  
( H<sub>2</sub> の生成・解離による吸熱など )

# 《 水素分子の形成過程 》

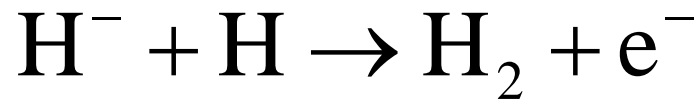
※ H<sub>2</sub>の量：冷却の効率を決める。

## ◆ 現在

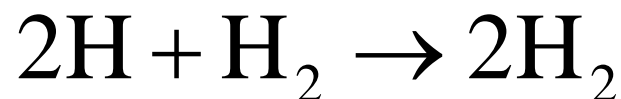
- ・ 星間微粒子を介して形成。

## ◆ 宇宙初期

- ・ 低密度 電子を触媒とした反応



- ・ 高密度 三体反応



# 《 計算 》

- 球対称なガス雲を仮定し流体計算。

基礎方程式：現在の場合と同じ。

磁場・回転・外部放射：無視

ただし

- ・ 輻射輸送
- ・ 化学反応

} 丁寧に扱う。

- 初期状態

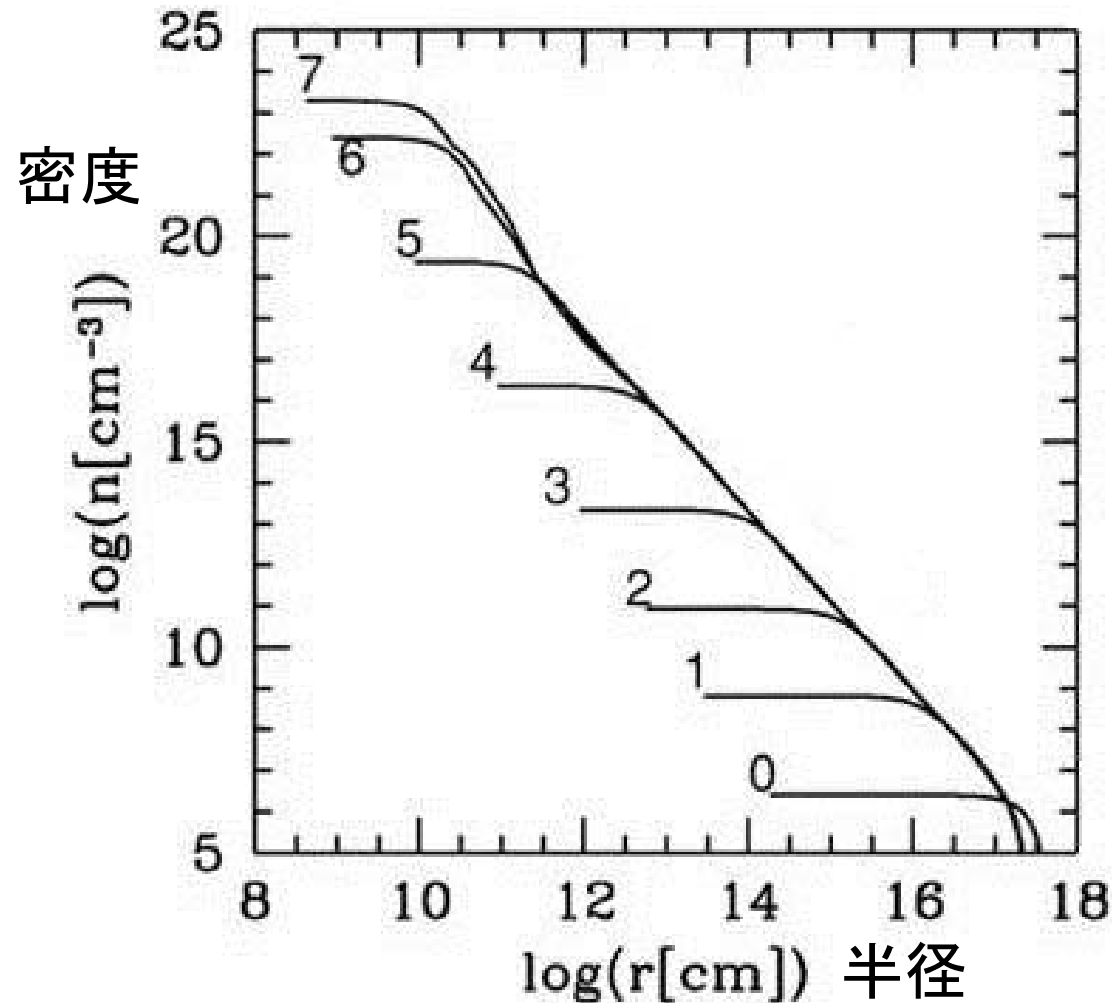
- ・ 断熱
- ・ 静水圧平衡

} → パラメータを決める。

# 《 結果① 》

0~7

:それぞれある時刻での構造を表す。



- 中心のコア領域
- 平坦な密度分布
- 外層部分
- $\rho \propto r^{\frac{-2}{2-\gamma}}$  で減少



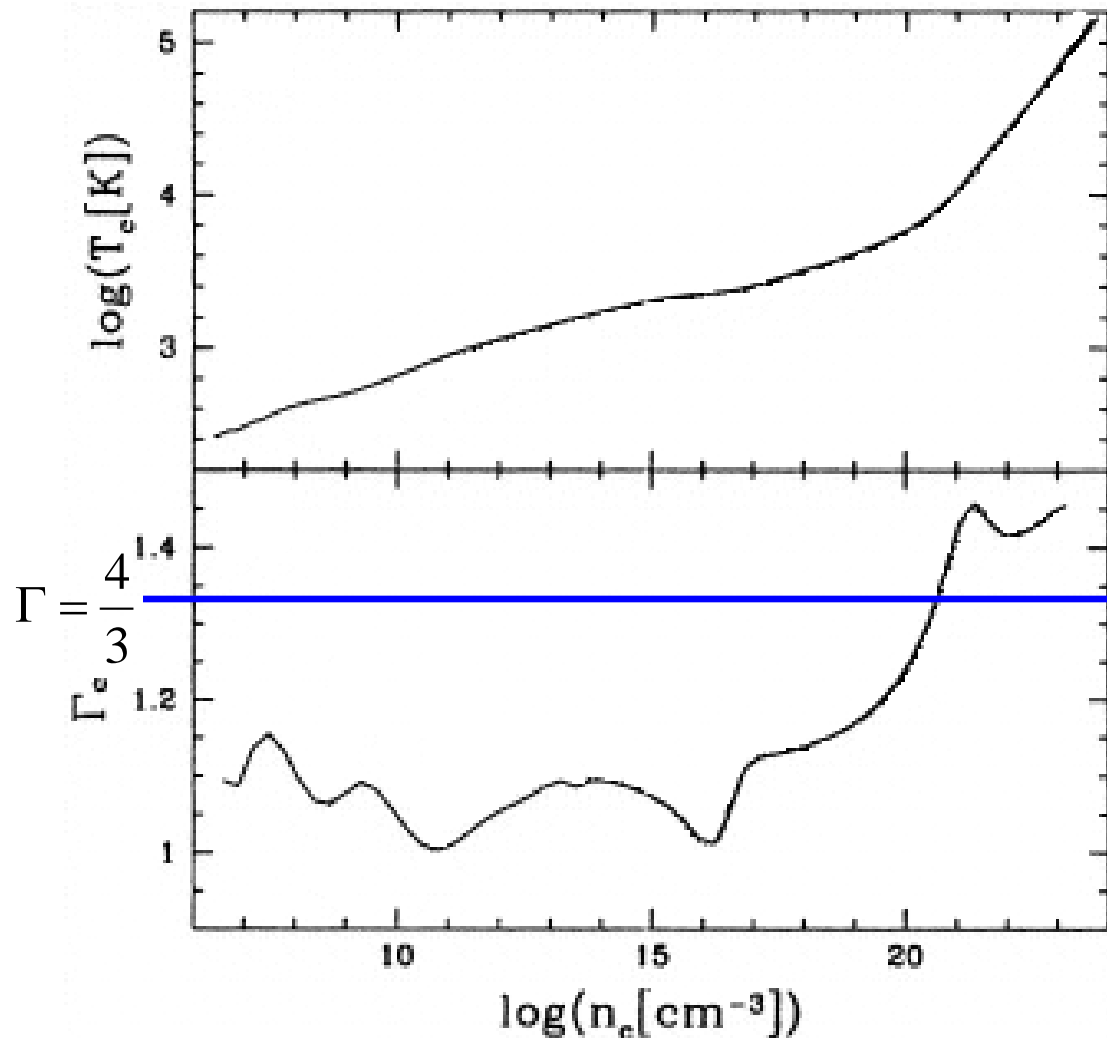
自己相似的

# ガス雲の中心領域の進化

$n_c$  : 中心数密度

$T_c$  : 中心温度

$\Gamma_c$  : 中心の固有  
比熱比



$$\Gamma = \frac{d \log p}{d \log \rho}$$

$\Gamma = \frac{4}{3}$  : 球状のガス雲  
の臨界値

$\Gamma < \frac{4}{3}$  : 収縮

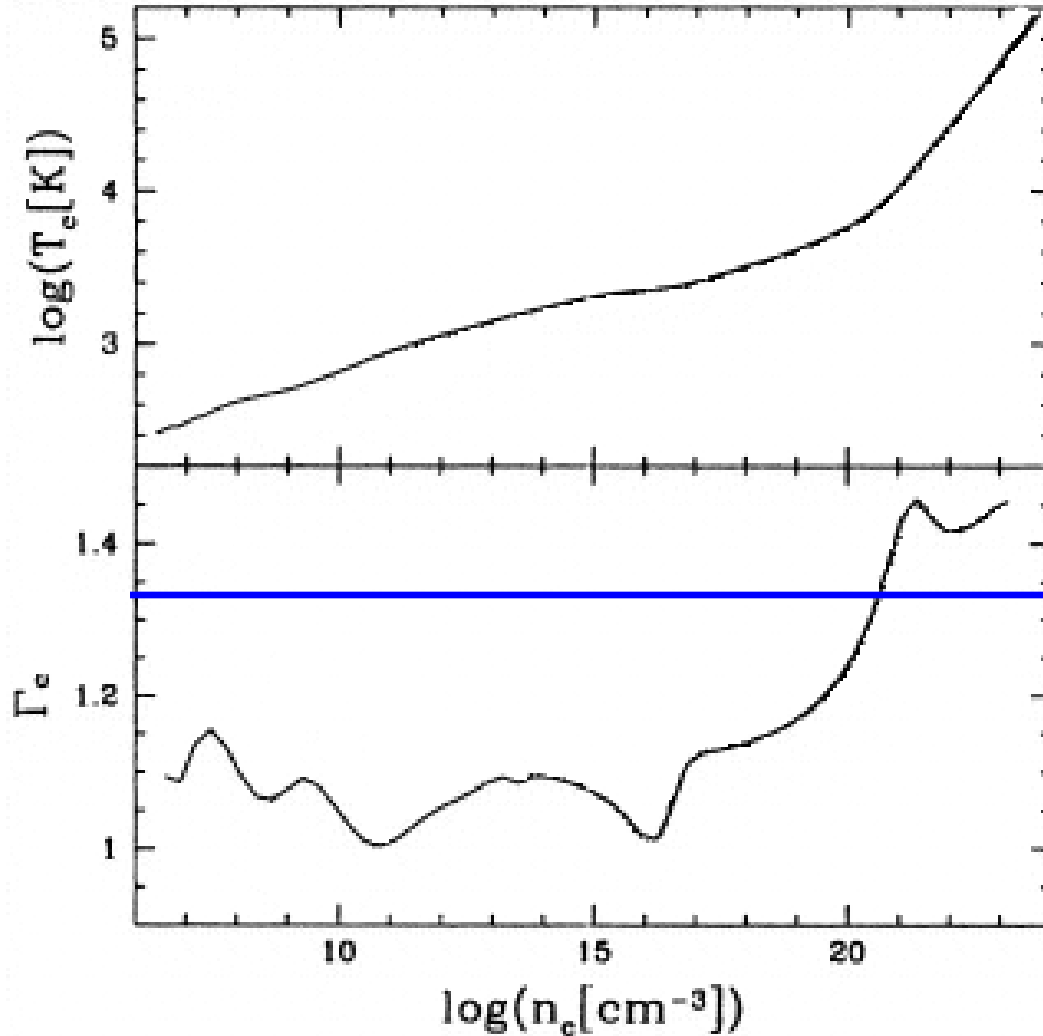
$\Gamma > \frac{4}{3}$  : 収縮止まる



静水圧コアの形成



# ガス雲の中心領域の進化



$n_c$  : 中心数密度

$T_c$  : 中心温度

$\Gamma_c$  : 中心の固有  
比熱比

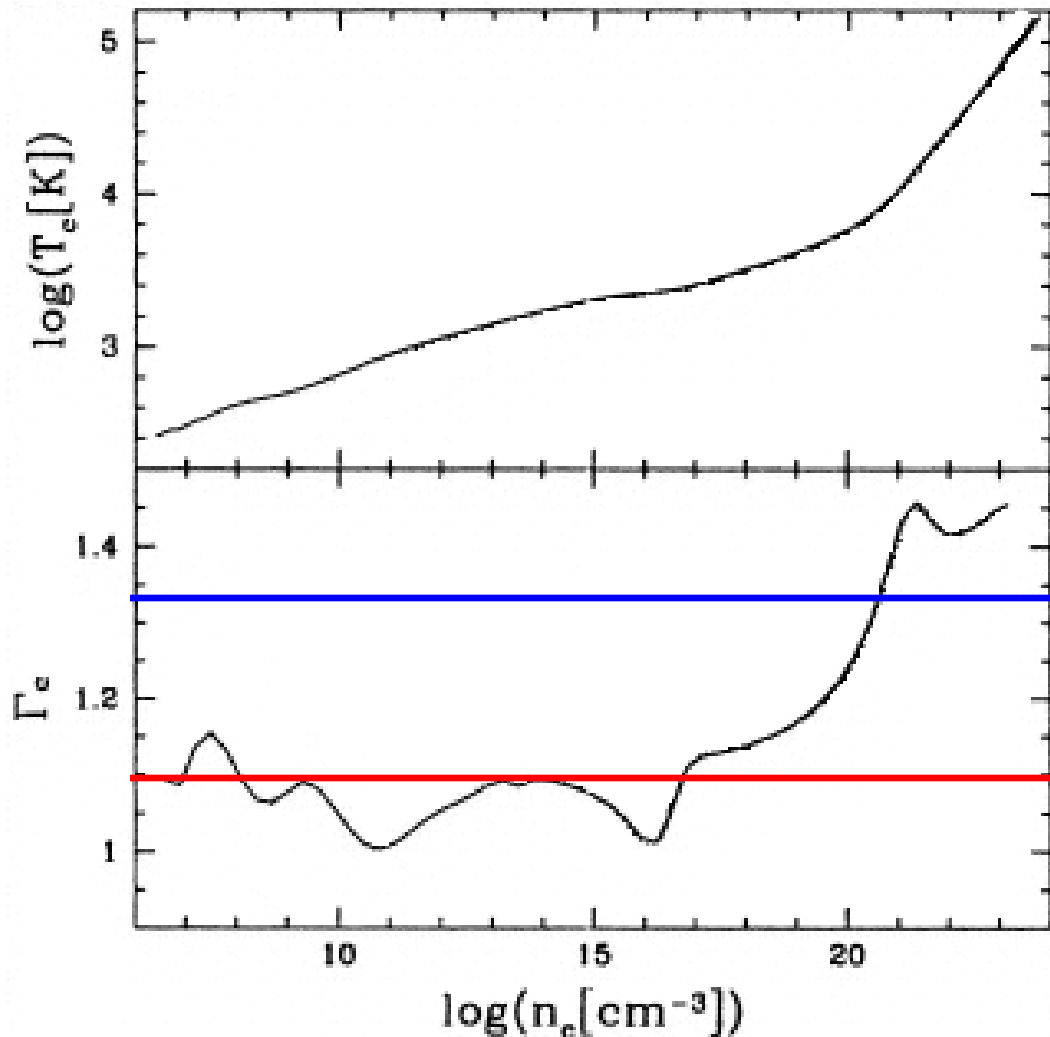
※  $n_c < 10^{20} \text{cm}^{-3}$   
: 冷却が効く

# ガス雲の中心領域の進化

$n_c$  : 中心数密度

$T_c$  : 中心温度

$\Gamma_c$  : 中心の固有  
比熱比



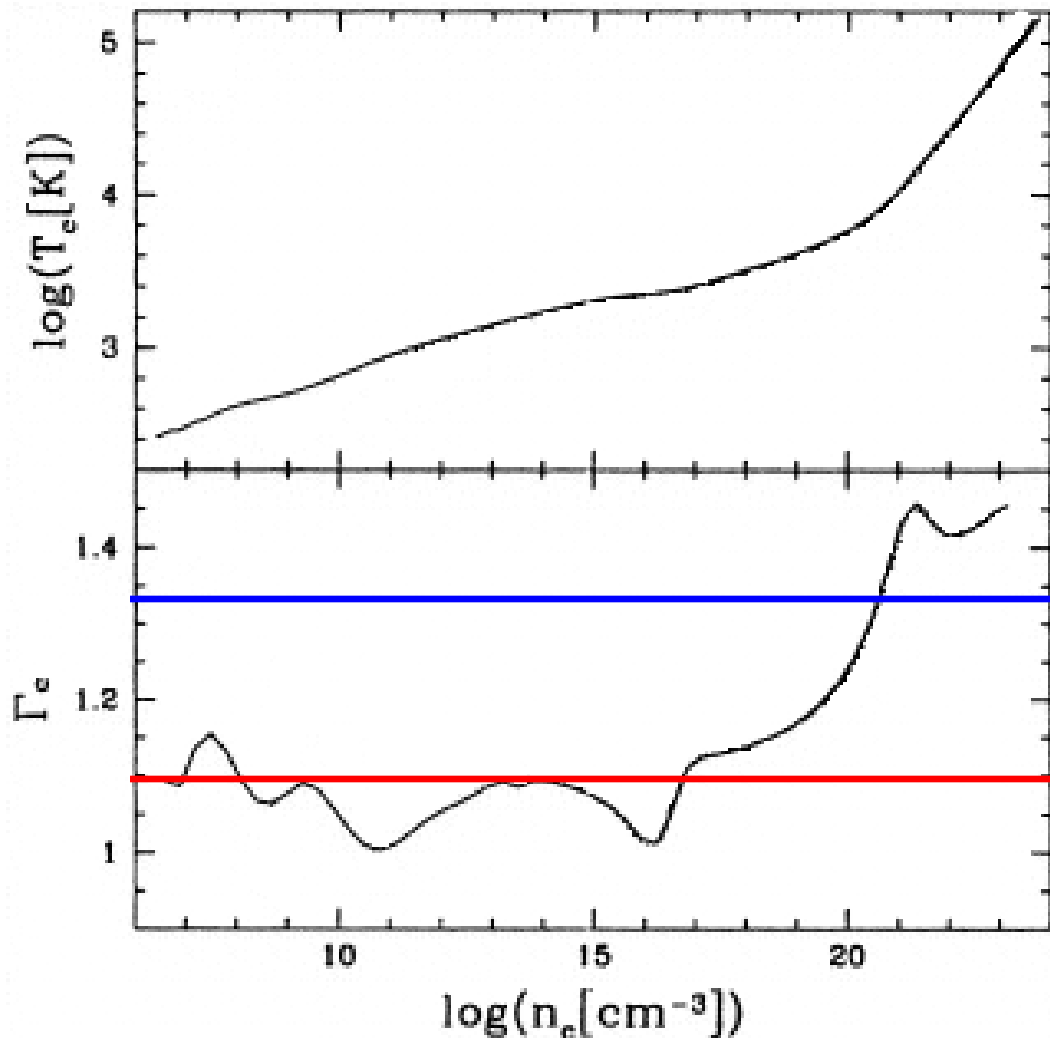
※  $n_c < 10^{20} \text{cm}^{-3}$   
: 冷却が効く



$$\Gamma_c \approx 1.1$$

$\Gamma = 1.1$

# ガス雲の中心領域の進化



$n_c$  : 中心数密度

$T_c$  : 中心温度

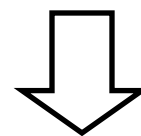
$\Gamma_c$  : 中心の固有  
比熱比

※  $n_c < 10^{20} \text{cm}^{-3}$   
: 冷却が効く



$$\Gamma_c \approx 1.1$$

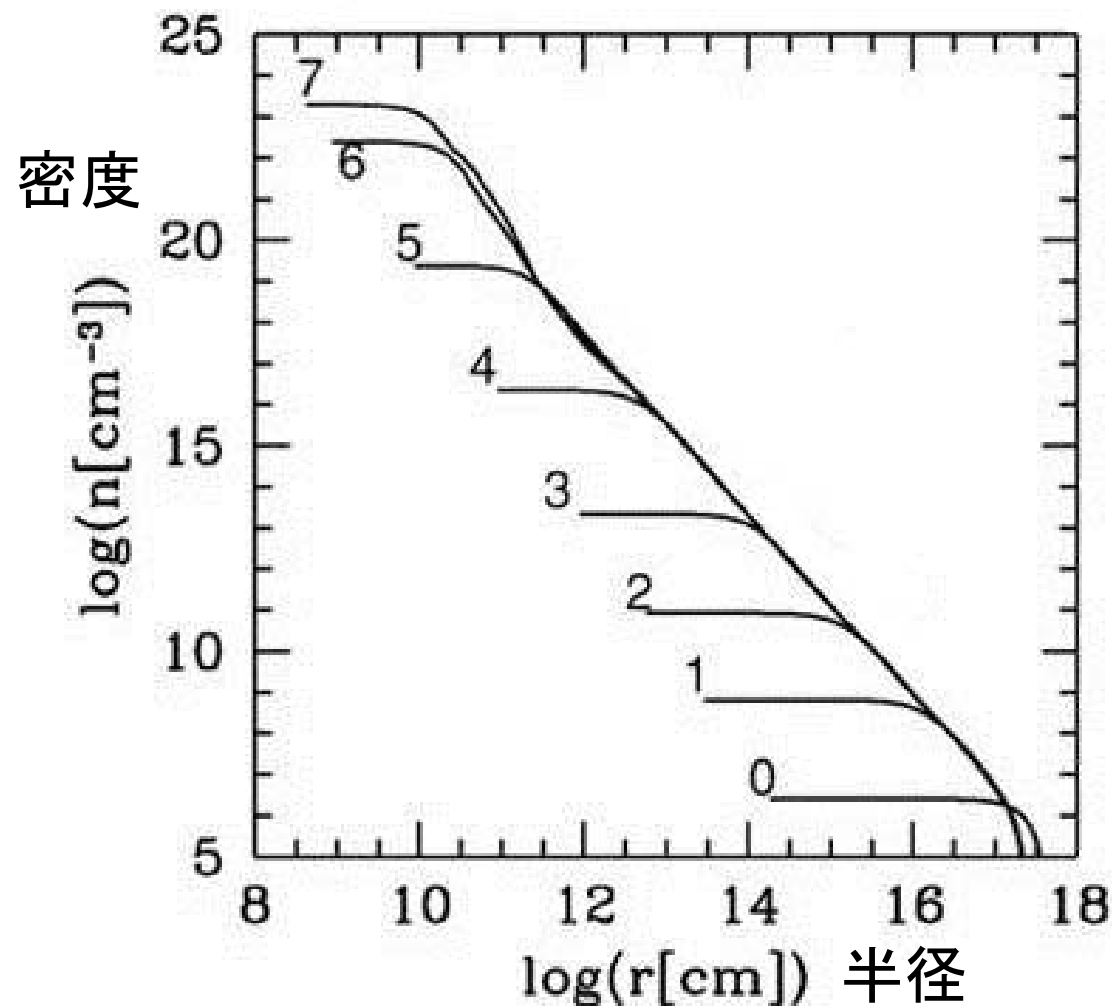
$\Gamma = 1.1$



自己相似的進化

0~7

:それぞれある時刻での構造を表す。



- 中心のコア領域
  - ⋯ 平坦な密度分布
- 外層部分
  - ⋯  $\rho \propto r^{\frac{-2}{2-\gamma}} = r^{-2.2}$   
で減少  $\uparrow$   
 $\gamma = 1.1$



自己相似的

## 《 結果② 》

### ■ 静水圧コア(原始星)

- 中心密度:  $n_c \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
- 中心温度:  $T_c \approx 3 \times 10^4 \text{ K}$
- 質量 :  $5 \times 10^{-3} M_{\odot}$

※ 現在の星形成における第2のコアの物理状態とほぼ同じ。

- ### ■ 周囲のガス : 現在の分子雲に比べ 高温で大量に存在する。

# 《 質量降着率 》

進化が自己相似的



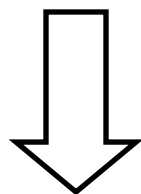
Larson-Penston自己相似解



質量降着率 :  $\dot{M}_* \sim 10^{-2} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$

現在の値より3桁大きい。

$M_*$  : 原始星の質量



周囲のガス: 大量に存在

大質量星の形成

# 《まとめ》

◆ 宇宙初期： 重元素がない。

- ⇒
- 冷却源： $H_2$
  - 水素分子の形成が現在と異なる。

◆ 冷却過程： 中心密度とともに変化。

冷却が効く間は、比熱比はほぼ一定。 $(\Gamma_c \approx 1.1)$

⇒ 自己相似的進化

◆ 現在との相違

- 原始星の物理状態： あまり変わらない。
- 周囲のガス： 大量に存在し、質量降着率も大きい。

⇒ 宇宙最初の星： 大質量