

初期宇宙での星形成

名古屋大学大学院 理学研究科

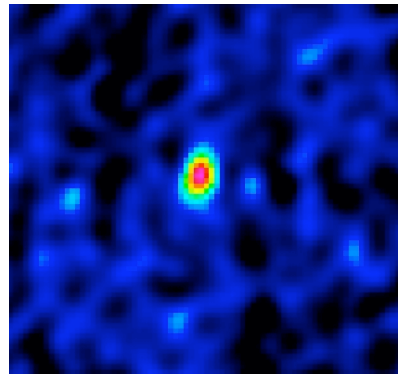
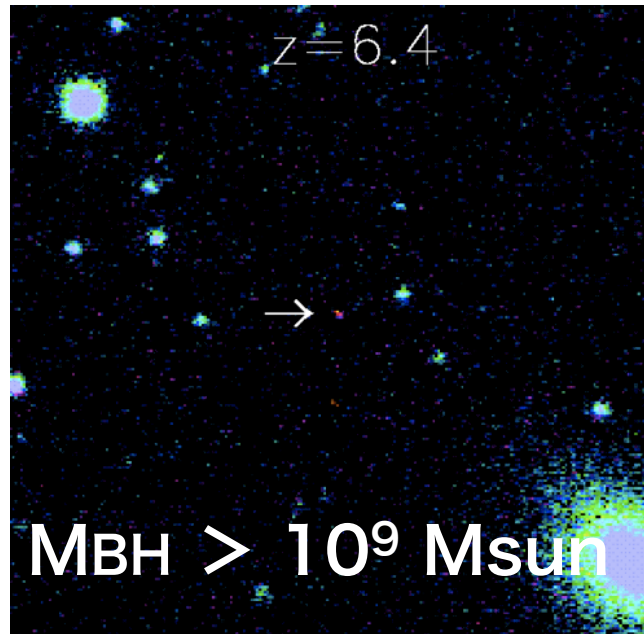
素粒子宇宙物理学専攻

吉田直紀 (神戸市出身)

今日の予定

- ◆ イントロ: ほとんどスキップ
- ◆ ファーストスター形成シミュレーション
- ◆ 分裂、回転、降着率
- ◆ 業界としての今後の展望
- ◆ 最後に2分だけ宣伝させてください

重元素 in SDSS J1148+5251

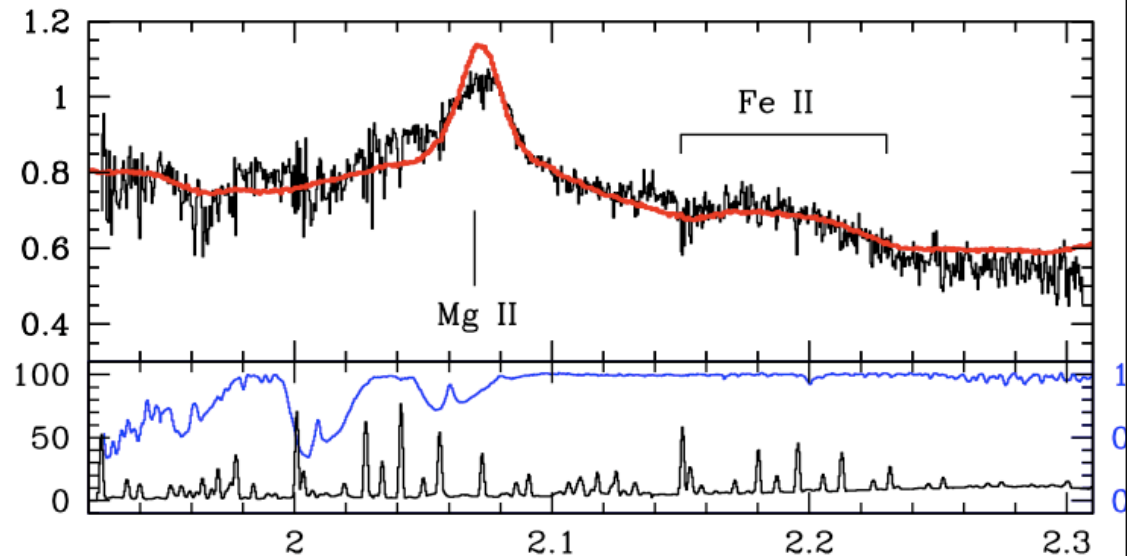


VLA

CO(3-2)

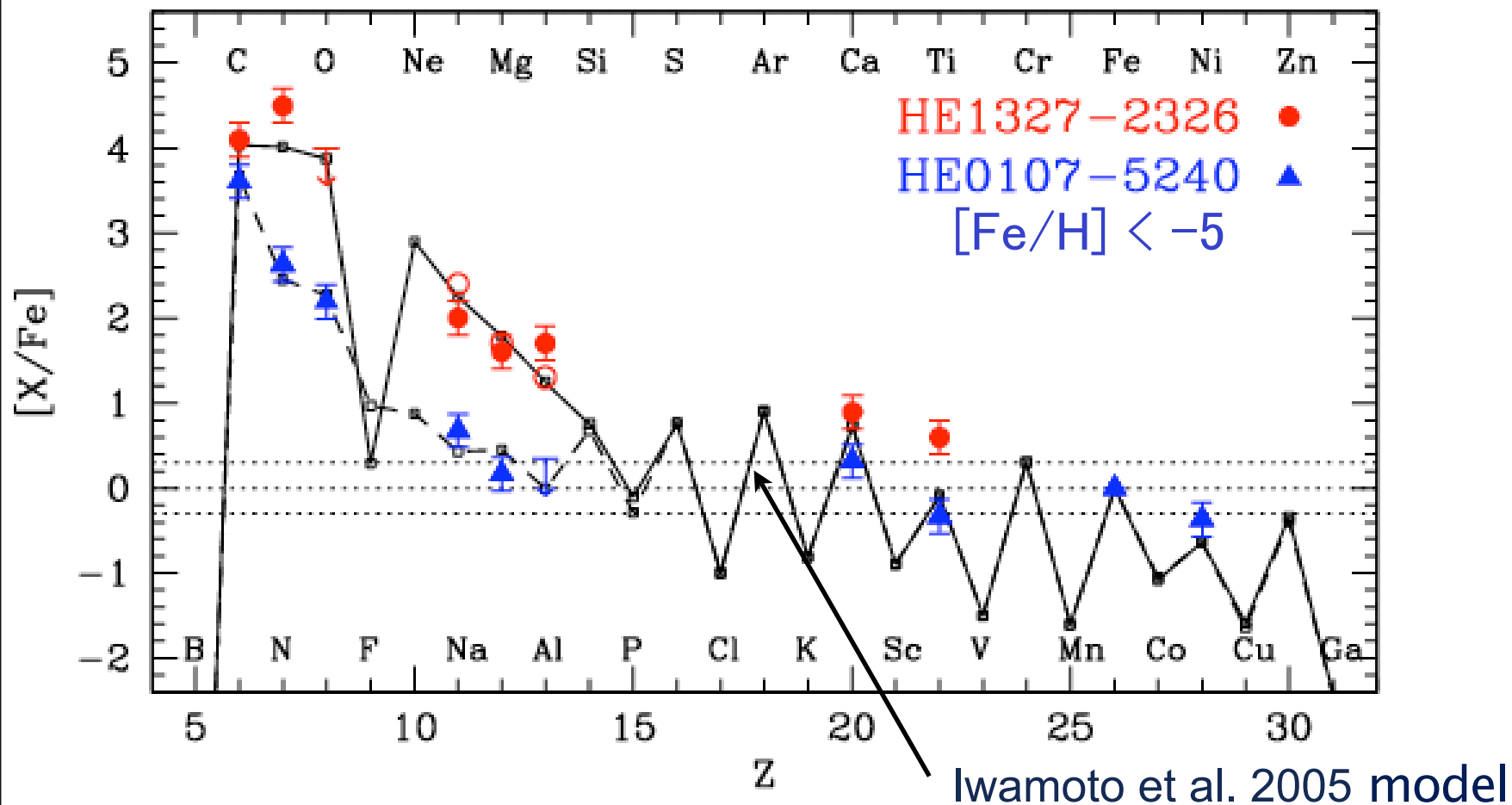
@ $z=6.42$ ($< 1 \text{ Gyr}$)

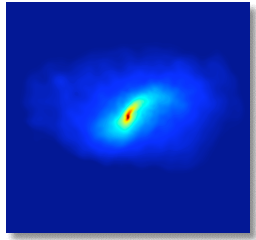
FIR luminosity
 $1.3 \times 10^{13} \text{ Lsun}$



Galactic Hyper Metal-Poor Stars

Observed elemental abundances





第一世代星形成

観測された宇宙の初期状態（を少し外挿）

標準宇宙モデル, インフレーション

暗黒物質 + 水素ヘリウムガス + 背景放射



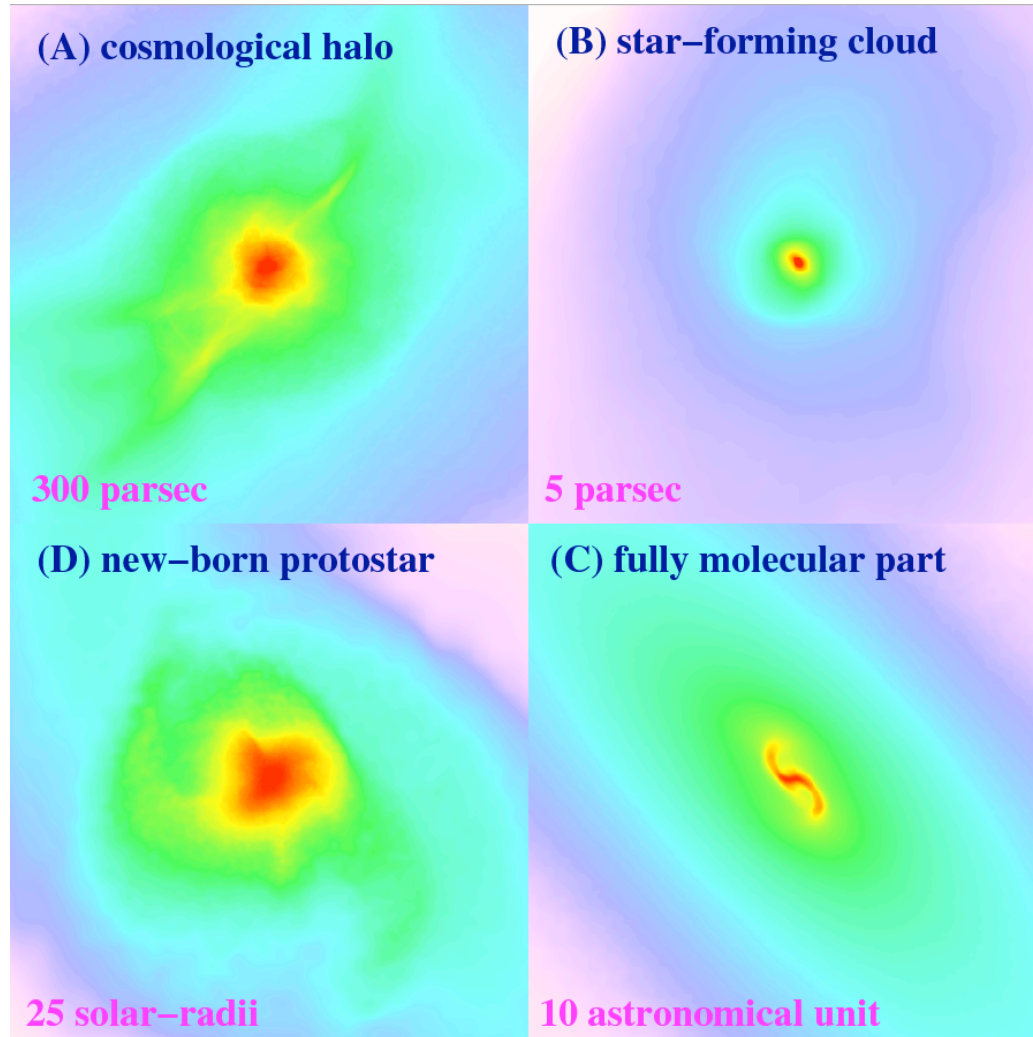
暗黒時代の宇宙

既知の物理過程

重力、流体力学、化学反応、
輻射輸送

**およそ25桁にもおよぶ密度
の変化**

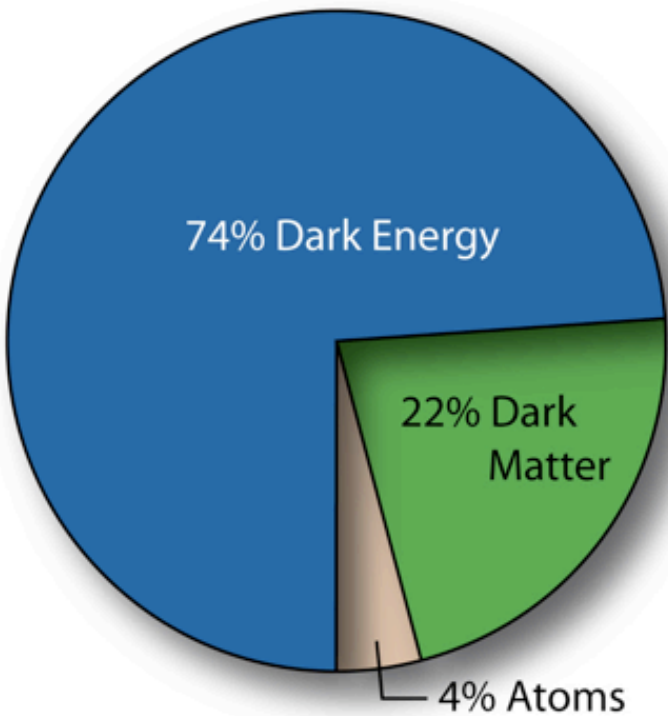
原始星できました



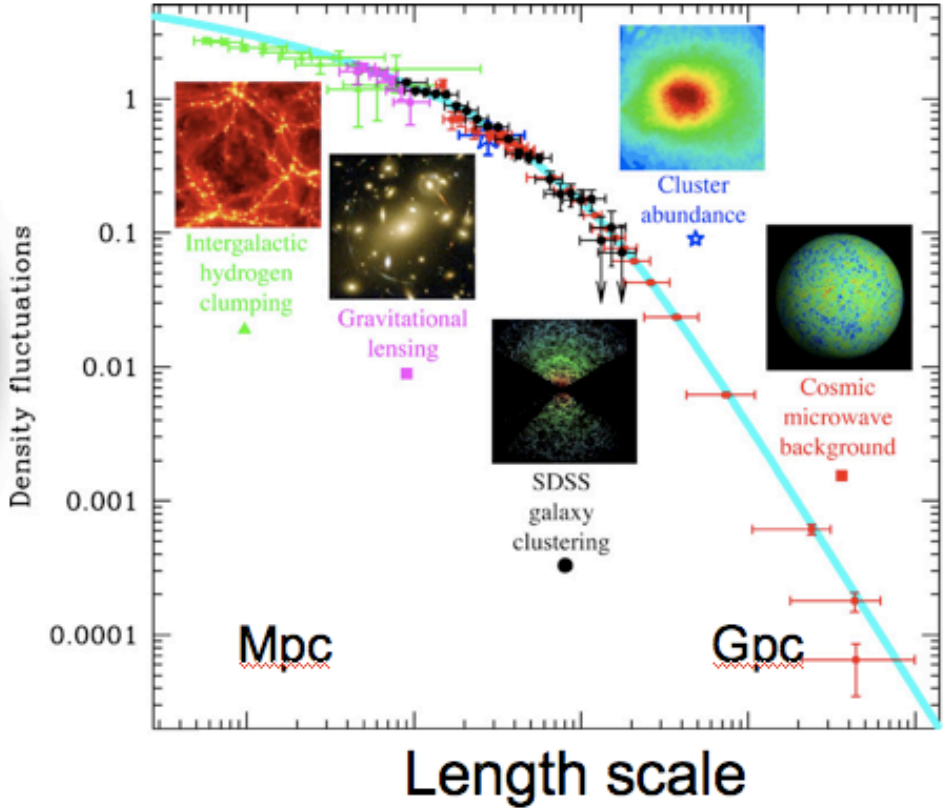
Yoshida, Omukai, Hernquist, 2008, Science, 321, 669

CONCORDANCE Λ +COLD DARK MATTER MODEL

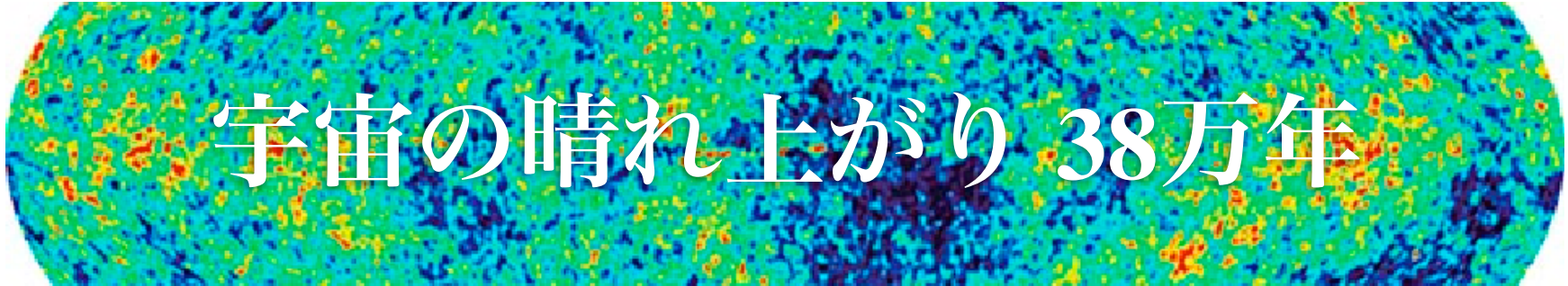
Energy content



Gaussian random field (inflation)
 \Rightarrow *We need only a power spectrum*



初期宇宙での星形成 - standard model -



宇宙の晴れ上がり 38万年

重力不安定性による構造形成、ミニハロー誕生

↓
ビリアル化、化学反応、水素分子形成

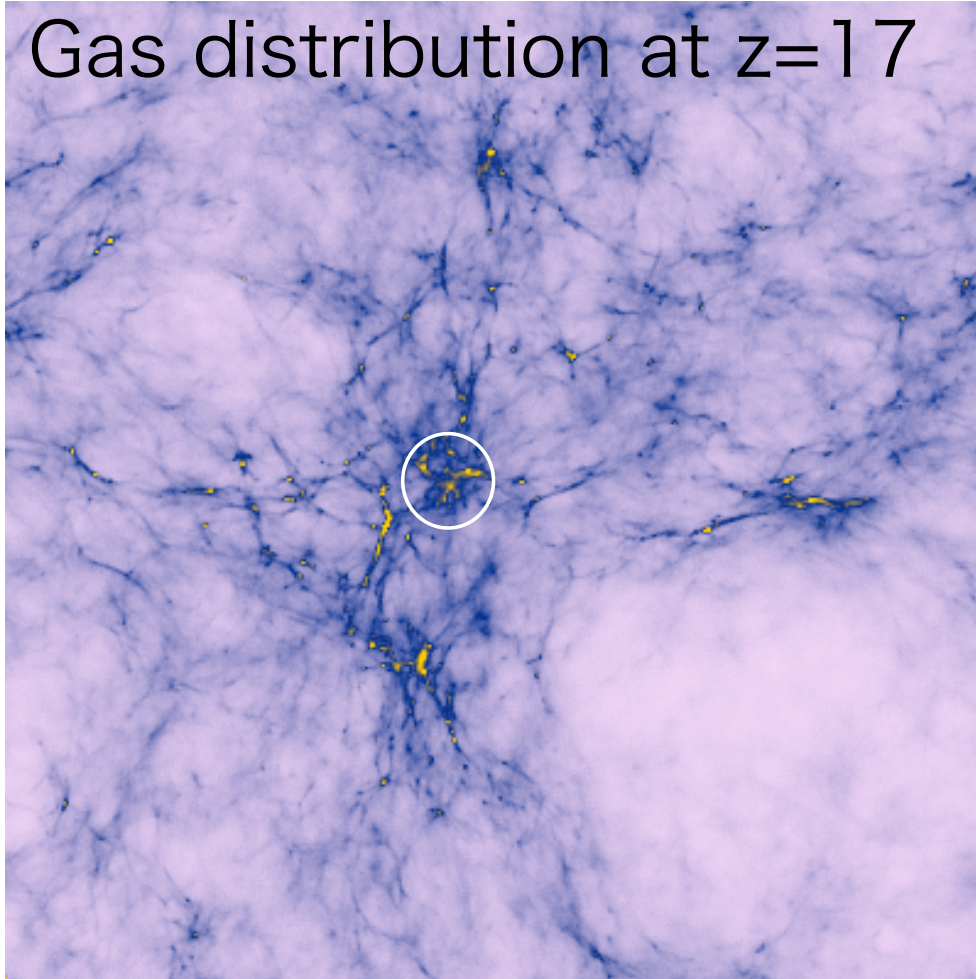
↓
分子ガス雲の形成

↓
ガス雲中心部で重力不安定

→ いわゆる星形成

初代分子ガス雲

Gas distribution at $z=17$



Yellow spots at
the intersections
of filaments

Host dark halos:
 $M \sim 10^6 M_{\text{sun}}$
 $T_{\text{vir}} \sim 1000 \text{ K}$

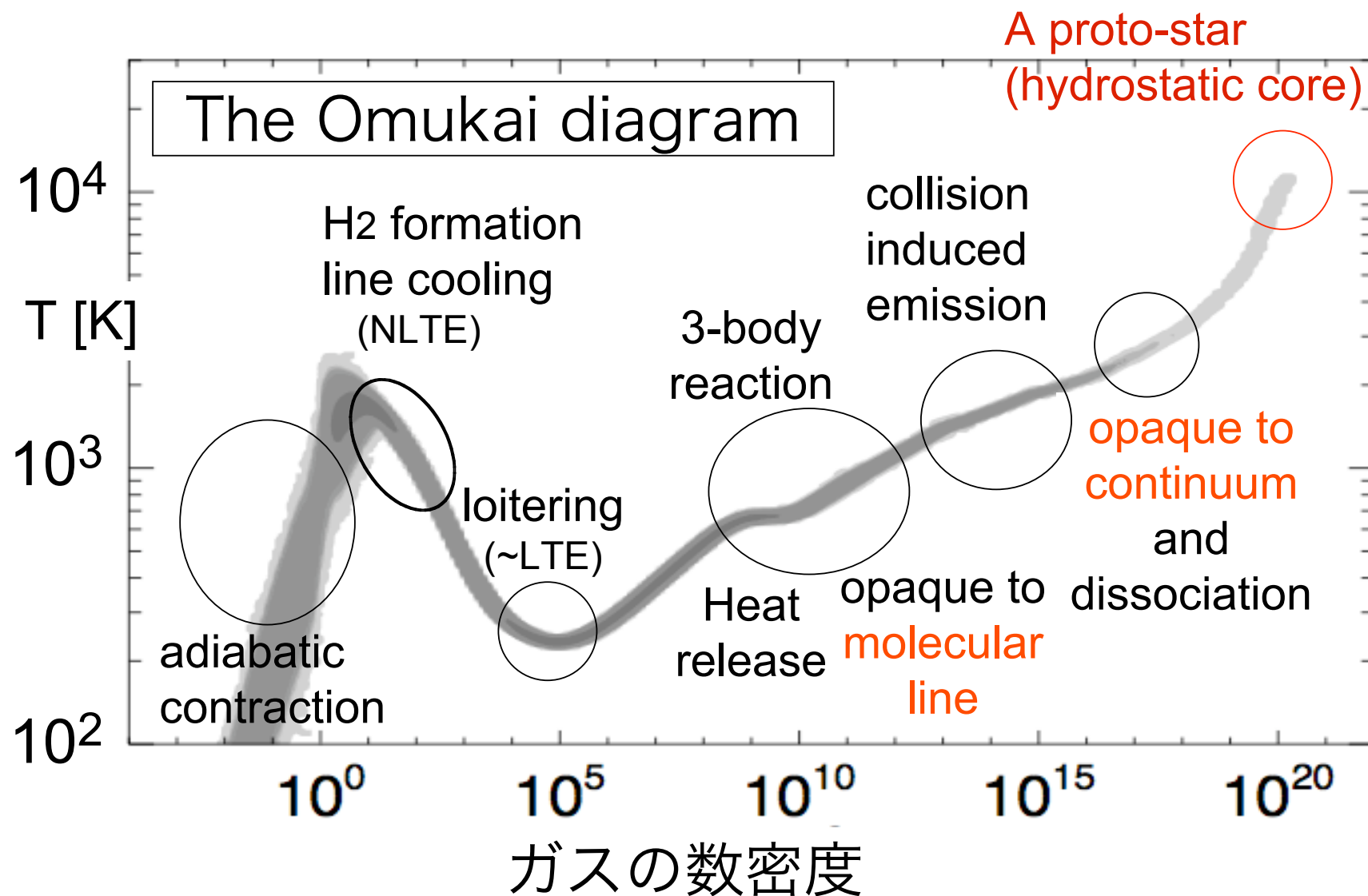
Strongly clustered,
large bias

NY, Abel, Hernquist, Sugiyama, ApJ (2003)

水素分子ができること:

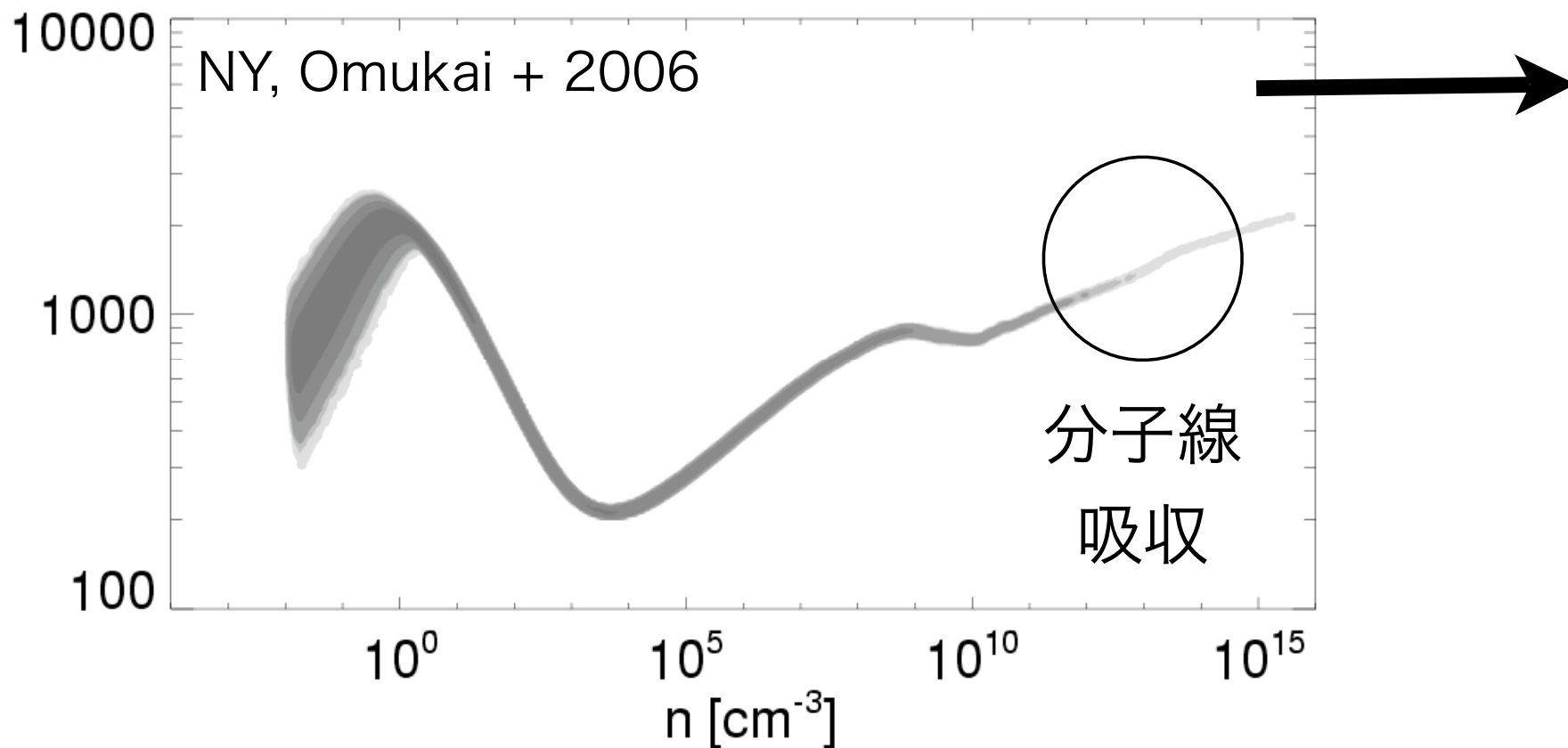
- 回転する、振動する
典型的エネルギーを定める
- 光子を吸ったり出したりする
放射冷却剤
- できたりばらばらになったりする
化学反応熱源 束縛エネルギー 4.48eV
- 他の原子とか分子と衝突して光を出す
高密度域での放射冷却剤

始原ガスの熱化学進化



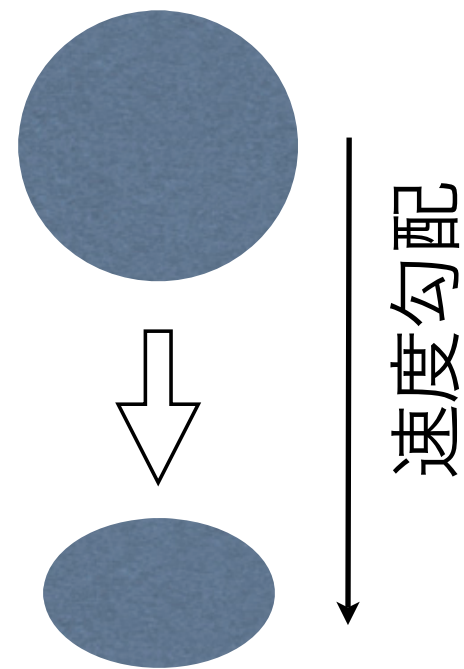
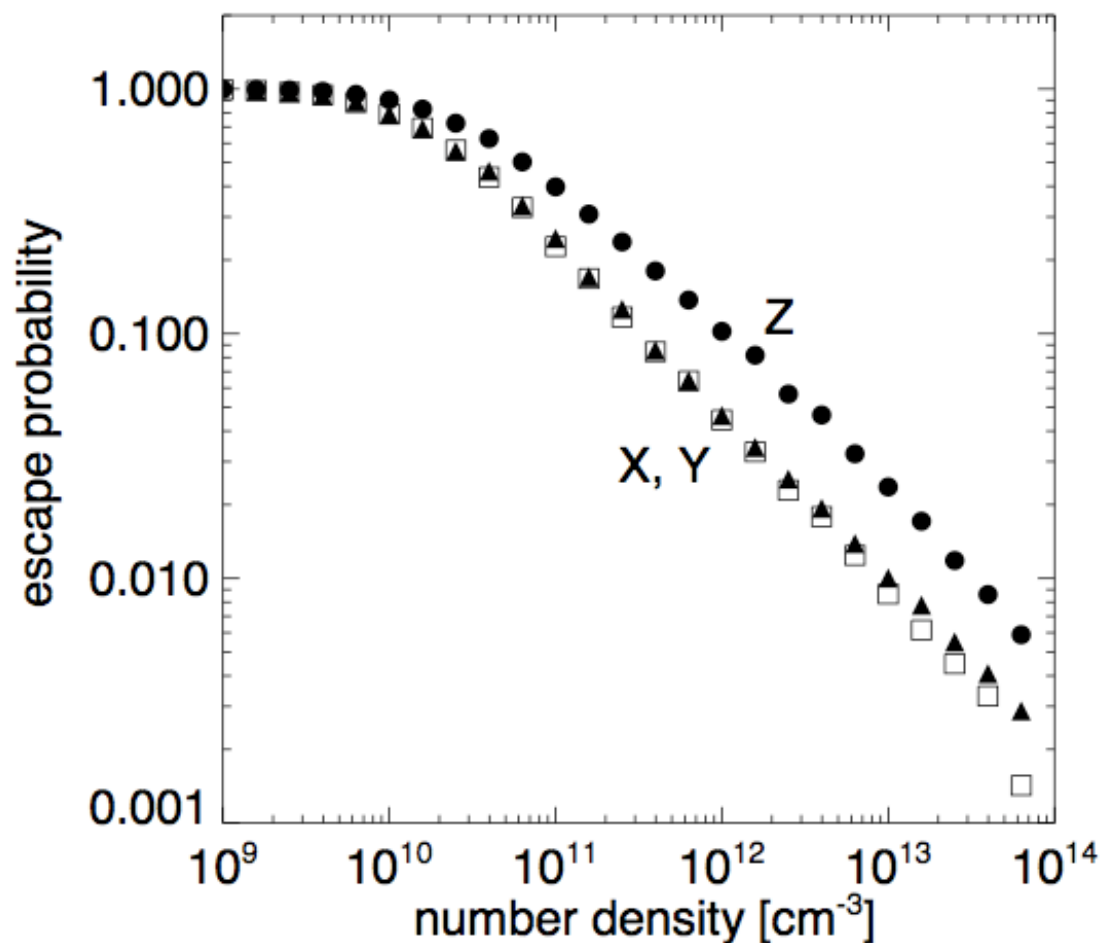
「あと5桁やな」

Susa (2006, 天文学会)



収縮するガス雲中の放射輸送

分子線脱出確率



連続光では似たような効果が顕著となる

宇宙論的シミュレーション

昔ながらの Λ CDMモデル

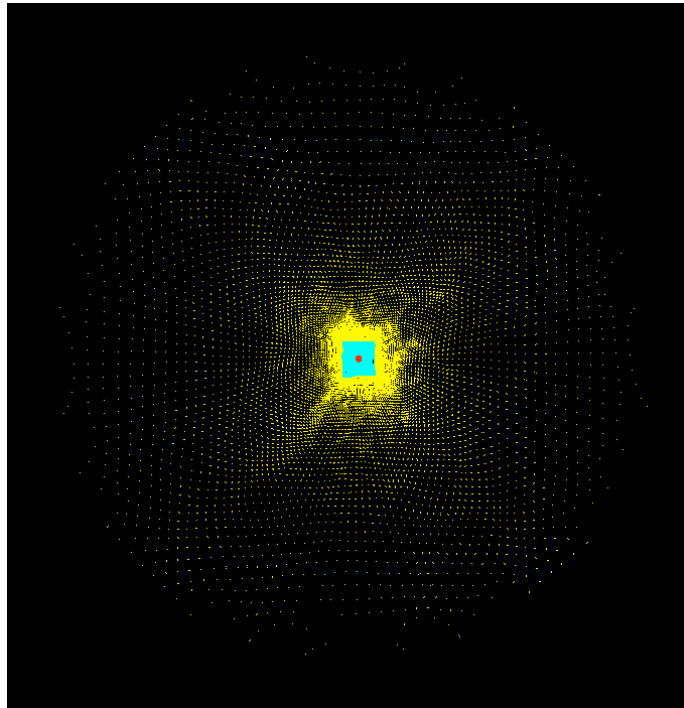
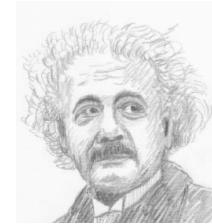
多段階適合法

最終解像度 100冥王星質量

最終空間解像度 $\sim 0.1R_{\text{sun}}$

必要な原子分子物理

と重力、気体力学

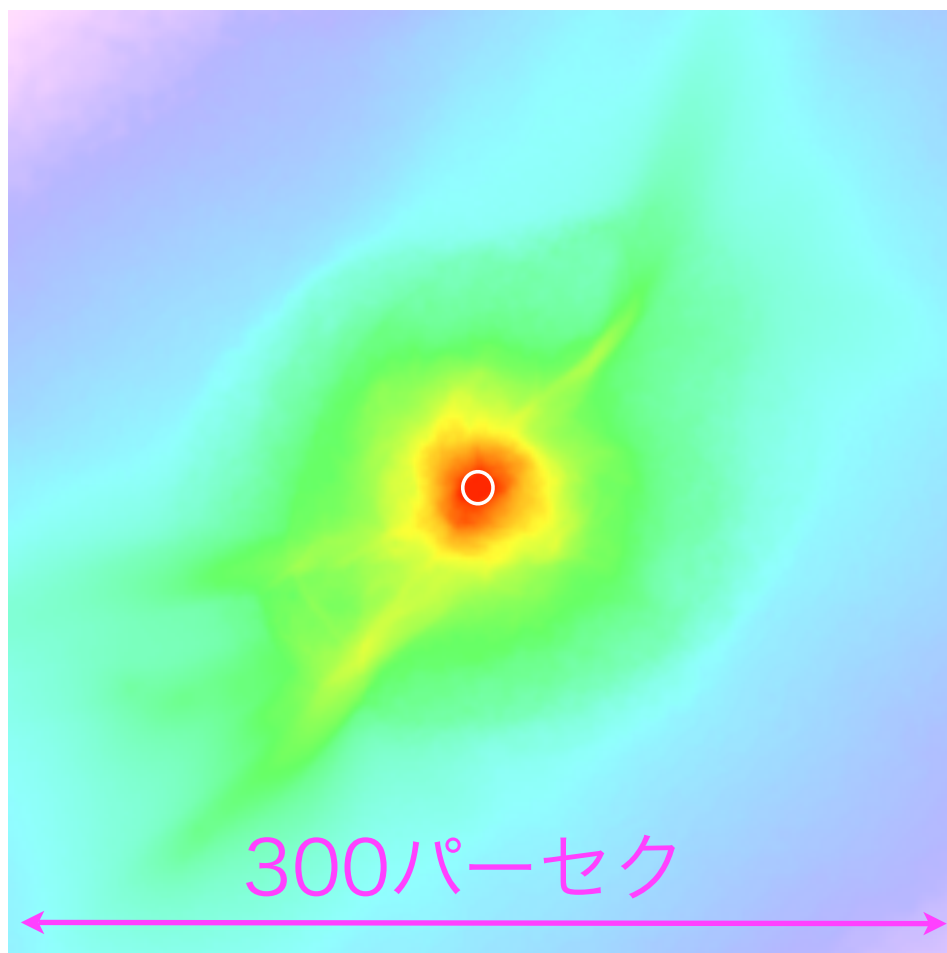


NY, Omukai, Hernquist, Abel (2006)

Gao, NY et al. (2007)

NY, Omukai, Hernquist (2007; 2008)

暗黒物質のかたまり



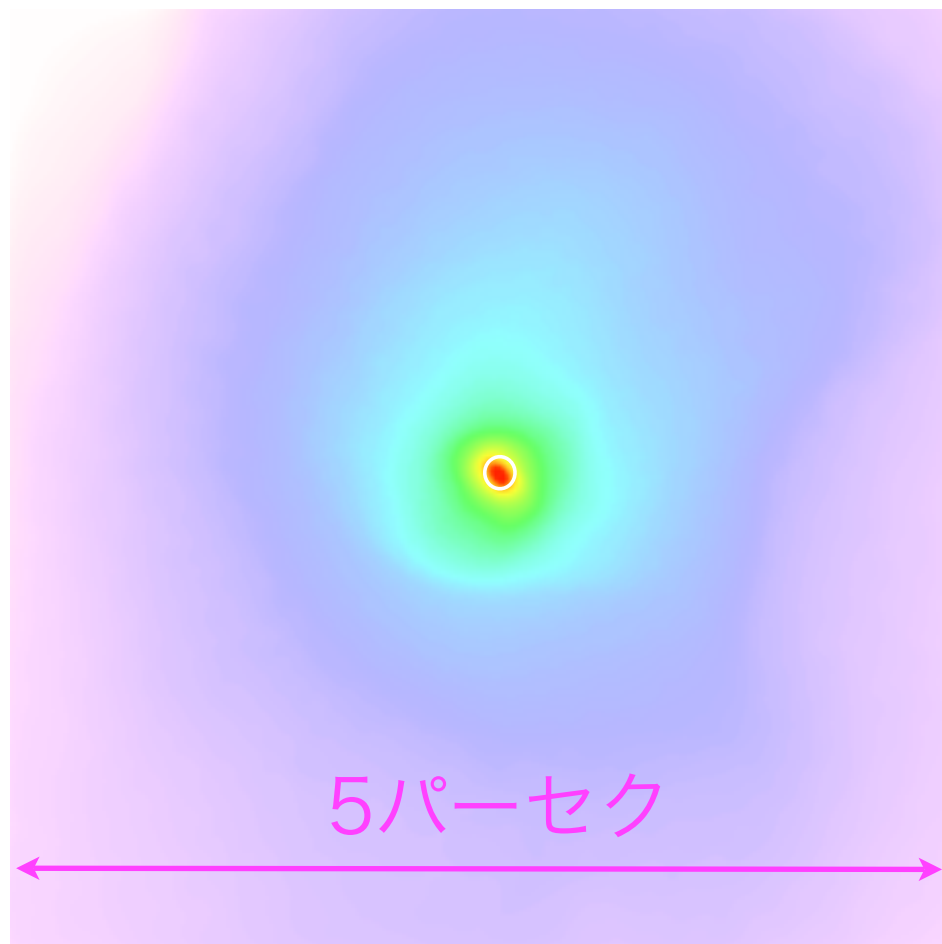
最初にできる天体
は100万太陽質量
の暗黒物質塊

その中に20万太陽質
量程度のガス。

温度は1000度

化学反応と分子放射

分子ガス雲

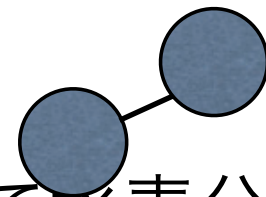


暗黒物質の塊の中心
で冷えた濃いガス雲

太陽の300倍程度の
重さ

圧力では自重を支え
られず、収縮がとま
らなくなる

高密度コア

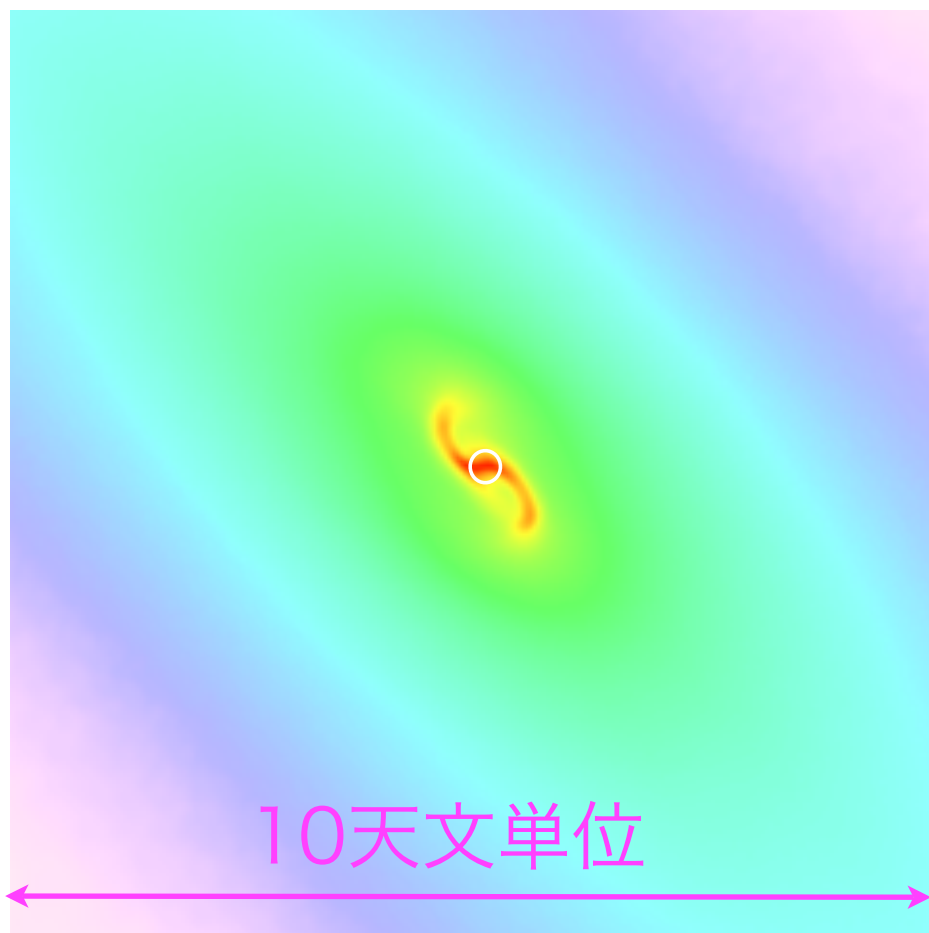


ほとんど全て水素分子
の状態

温度はふたたび
1000度くらいに上昇

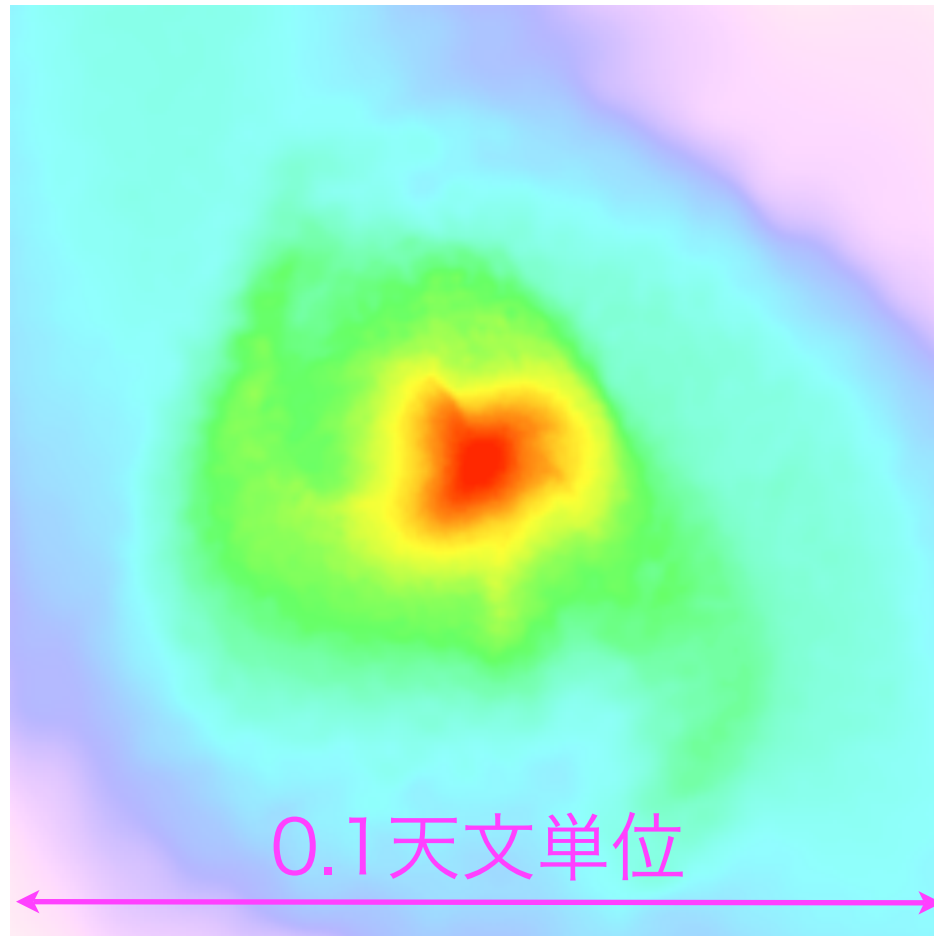
渦状腕の形成

中心数密度はこの部屋
くらい



10天文単位

誕生直後の原始星



高温高密度

(温度1万度以上
密度は水の100分の1)

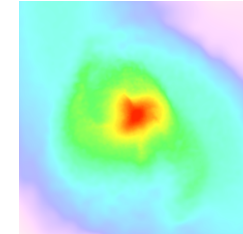
ようやく圧力で自重を
支えられる

(形ある天体)

質量は太陽のたった
1パーセント

宇宙に最初にできるのは...

質量は太陽の100分の1



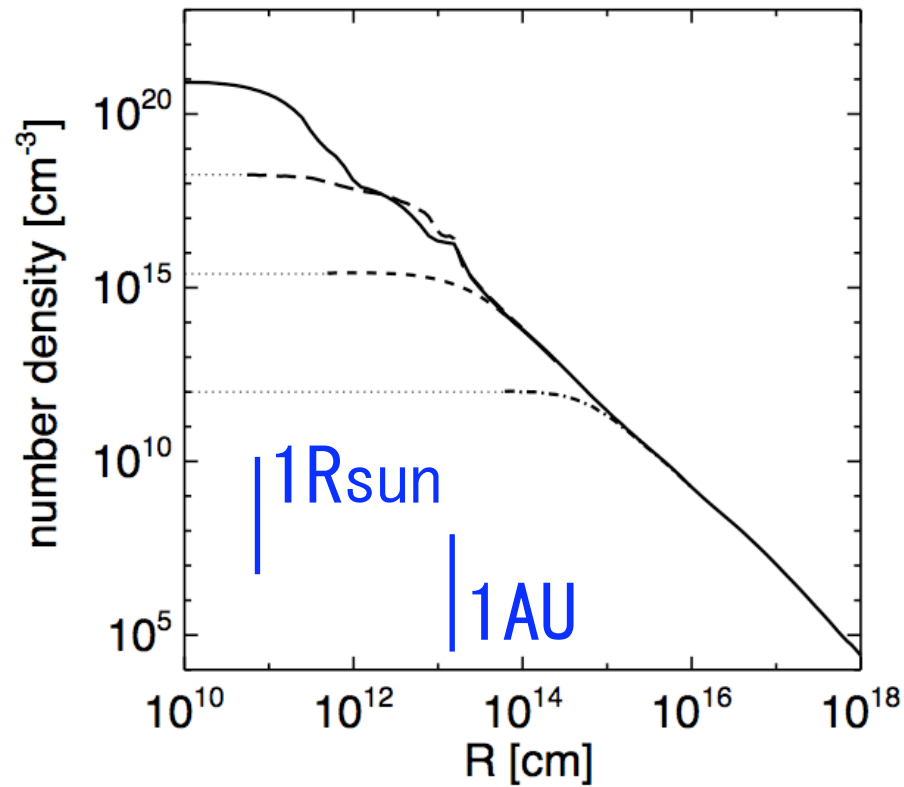
半径は太陽半径の7倍 (500万km)

中心温度1万度以上の原始星

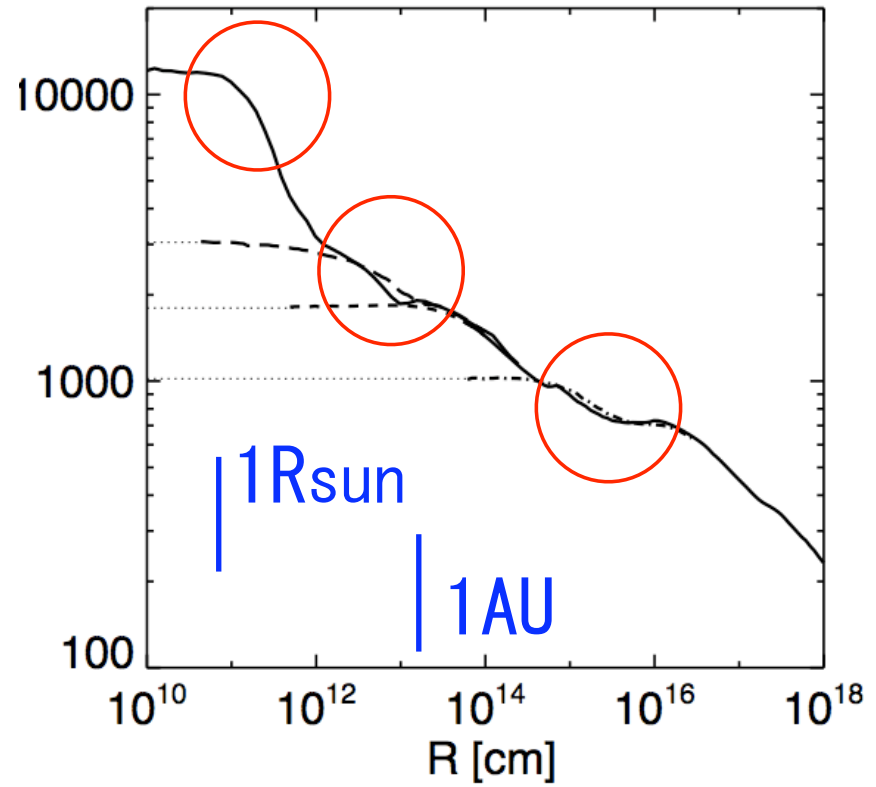
「長年の問題の一つに終止符が打たれたと言
ってよいと思う。」 (Omukai 2008)

形成過程

密度



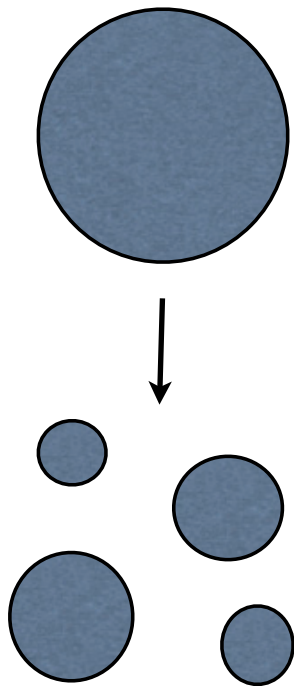
温度



NY, Omukai, Hernquist, 2008, Science

Core Fragmentation

Thermal instability can trigger fragmentation of a gas cloud.



Cooling

→ condensation

→ rapid chemical reaction

→ more coolants

A single star ?

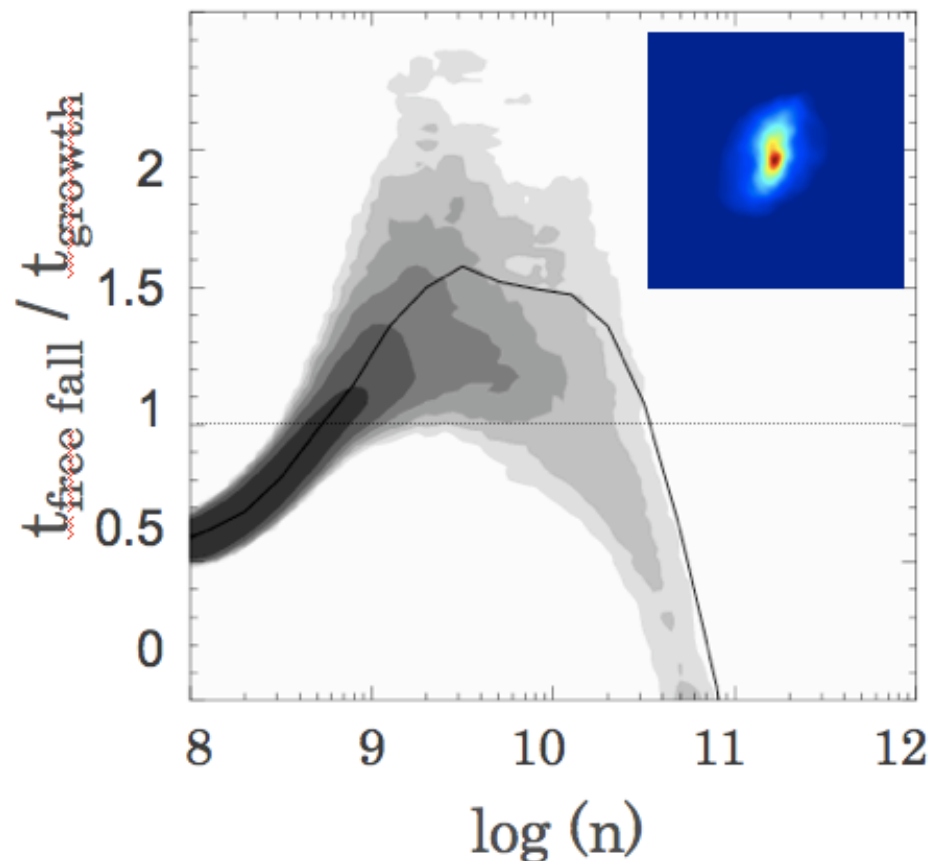
or

a cluster of small stars ?

Chemo-thermal instability: Numerical results



growth parameter

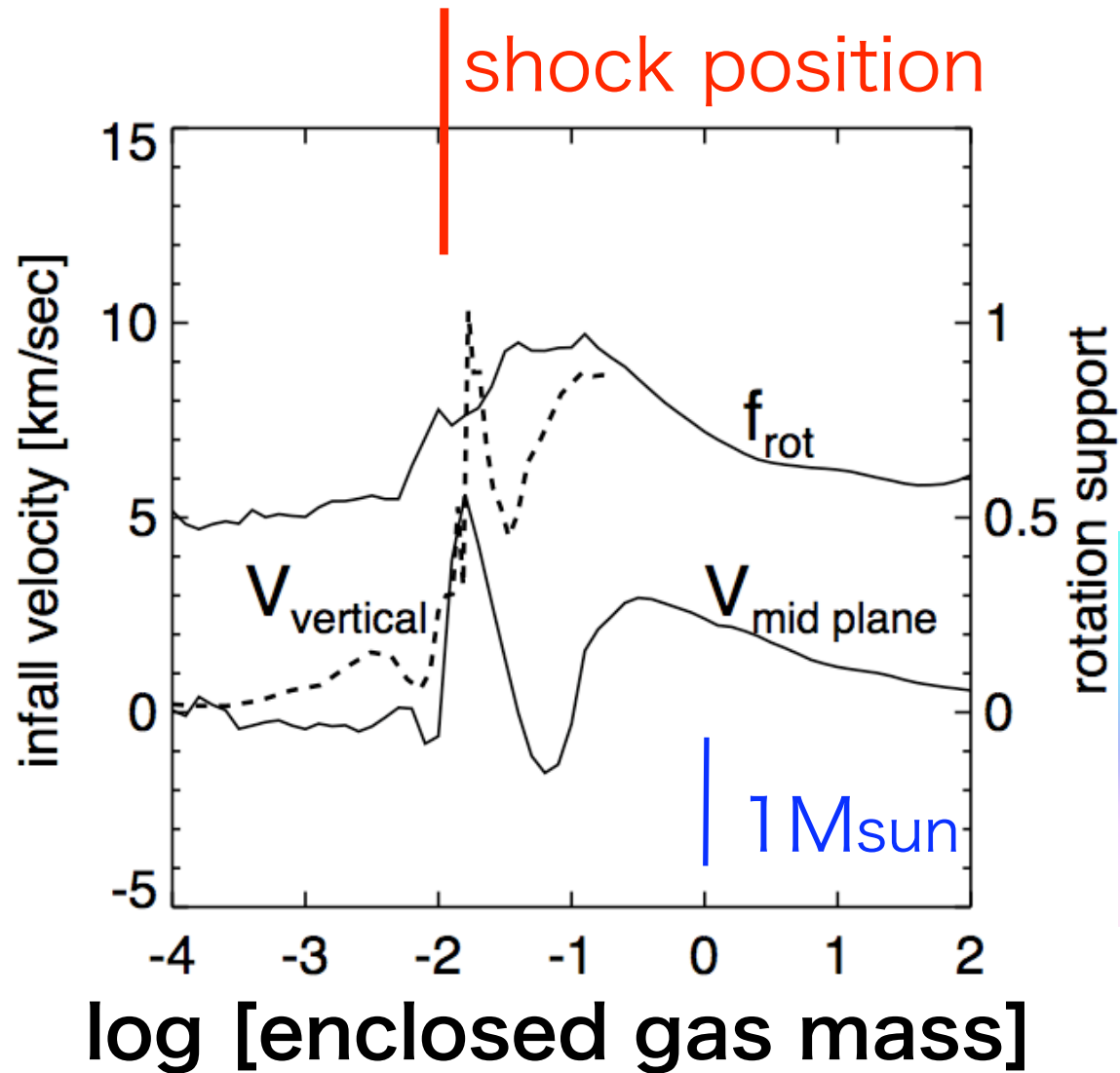


$t_{\text{ff}}/t_{\text{g}}$ becomes larger than 1,
but always below 2.

Perturbation growth and
gravitational collapse occur
on a similar time scale.

Although the thermal instability
occurs, the cloud does not
fragment to multiple objects
- Collapse is just accelerated.

速度構造

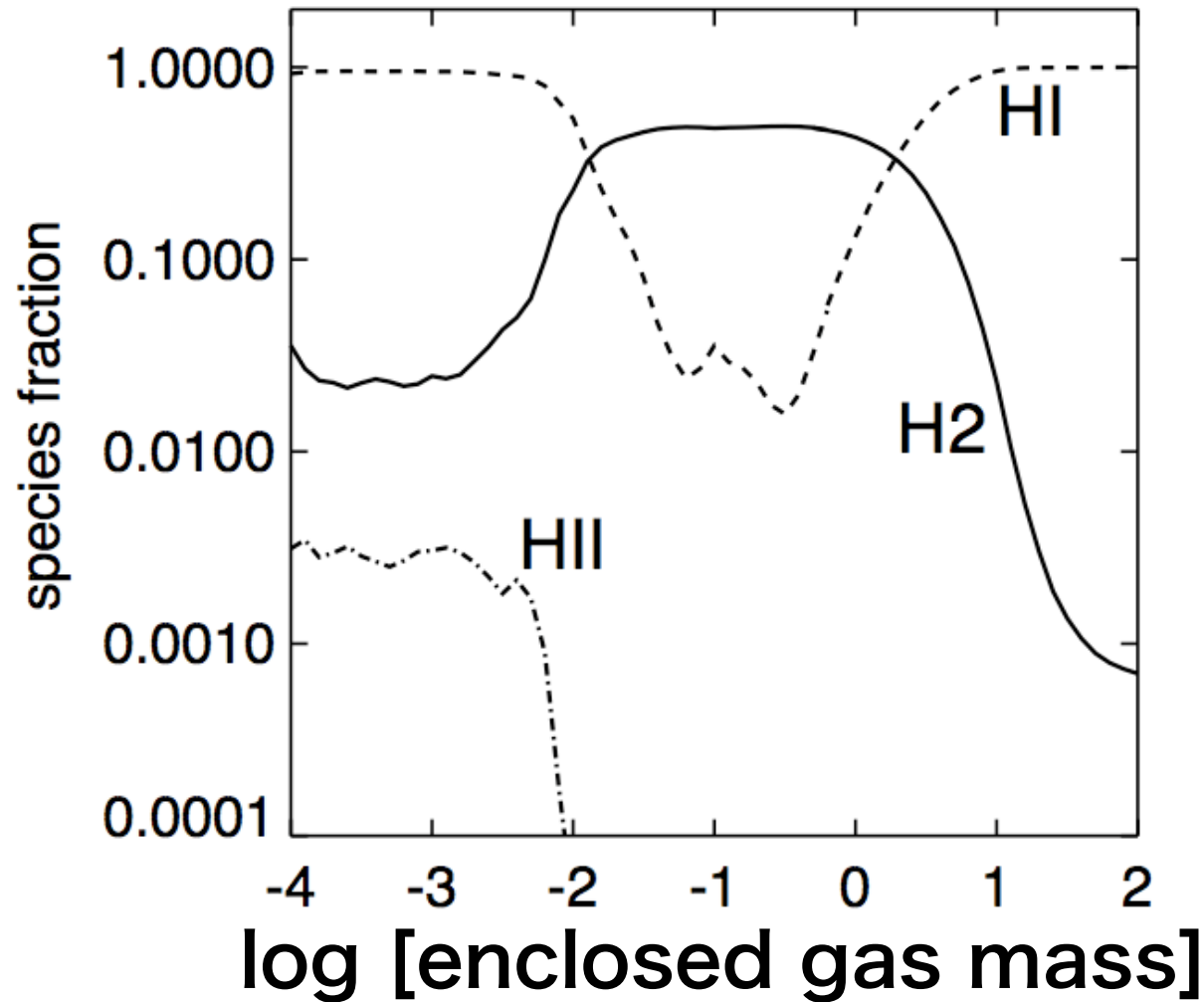


(C) fully molecular part

10 astronomical unit

原始星の構造

atomic core ← fully molecular →



原始星の進化モデル

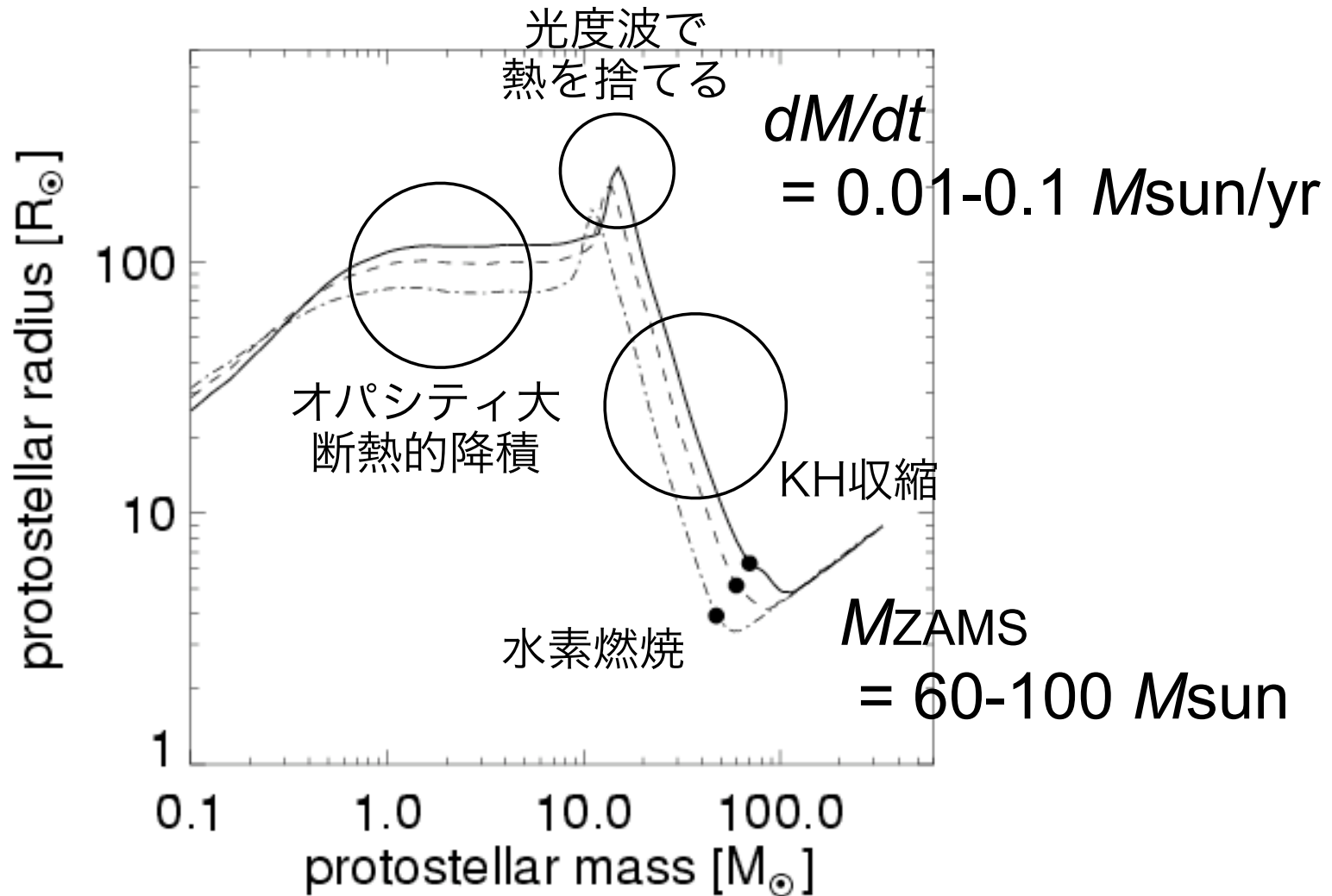


原始星に周辺のガス
がもの凄いいきおいで
落ち込んでいく

表面へのガスの降り積
もりと原始星の収縮の
競争

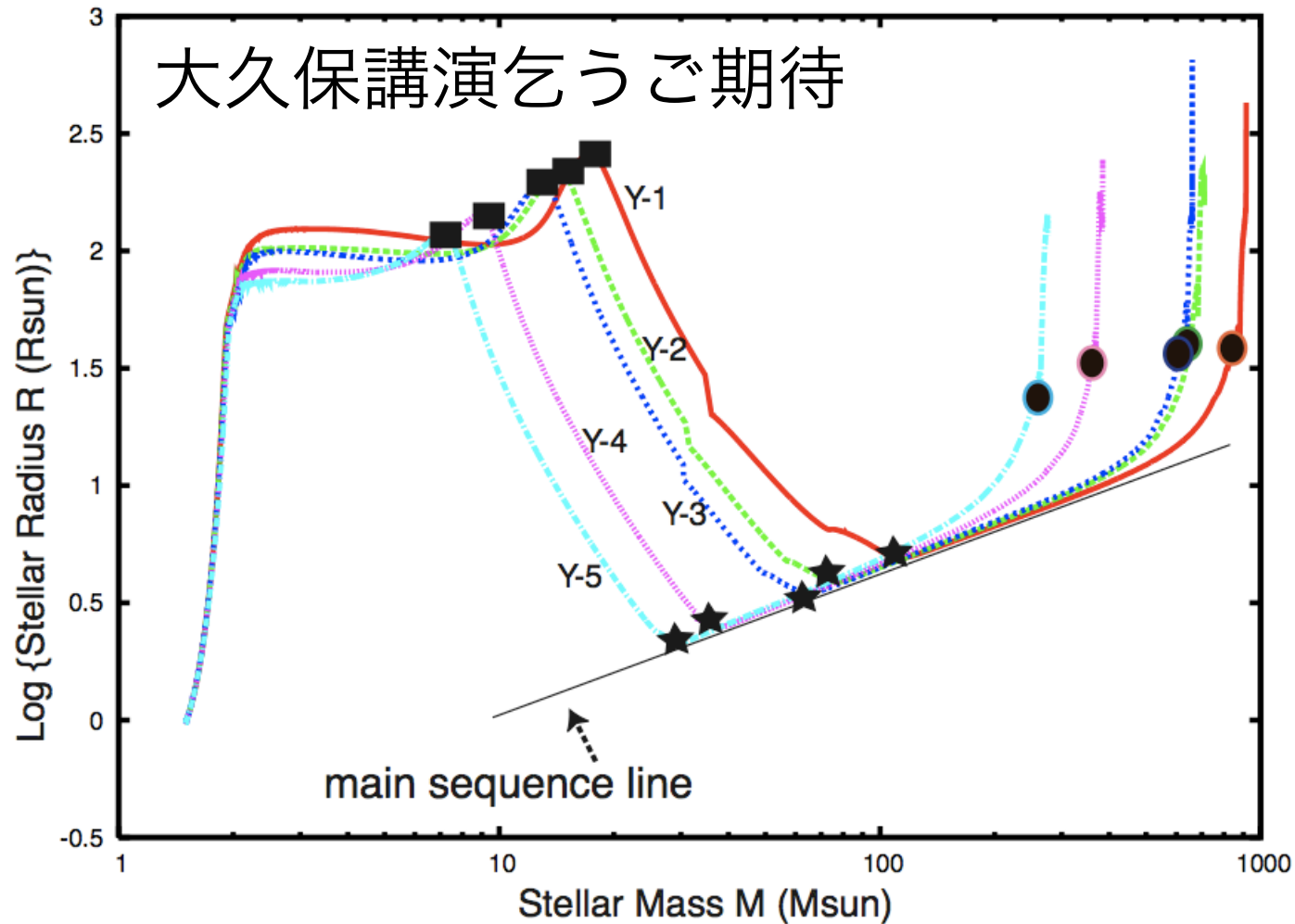
球対称問題として取扱い

原始星進化



NY, Omukai, Hernquist, Abel 2006

Very Massive Star



まとめ

1. The first object to form is a tiny protostar with a mass of just **0.01 Msun**.
2. The star seed grows quickly to **MZAMS \sim 100 Msun**
3. Primordial stars after reionization
 - Parent gas cloud mass, accretion rate both substantially smaller than the first stars
 - => **M < 40 Msun**
4. An interesting scenario for the origin of Galactic hyper-metal poor star, i.e. hypernovae.