

ダークマター・カスプ が第一世代天体形成 に与える影響

初代星・銀河形成研究会 in 神戸
2008/9/8

諏訪 多聞 (筑波大)

梅村 雅之 (筑波大) 須佐 元 (甲南大)

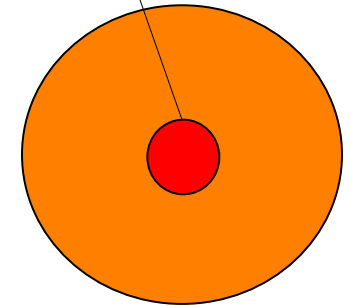
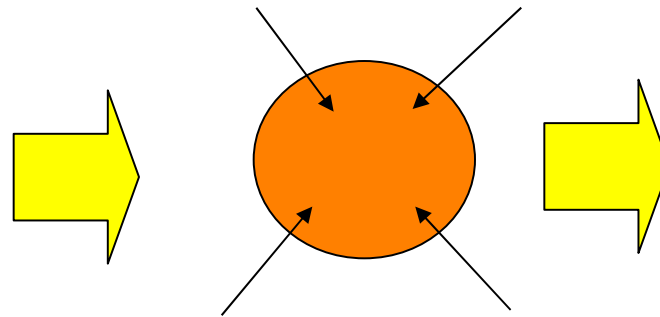
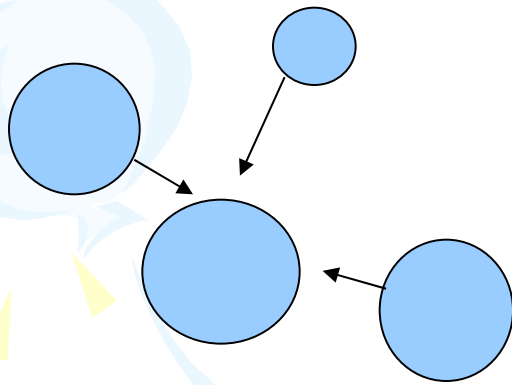
第一世代天体形成

- 本発表における「第一世代天体」の定義
 - 第一世代星を含む重力的に束縛された構造
 - 内部でガス成分が自己重力的になるもの
 - ダークマター+バリオンで構成される

小スケールゆらぎと 第一世代天体質量

● 従来の描像

温度 $T \sim 200\text{K}$
水素数密度 $n \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$



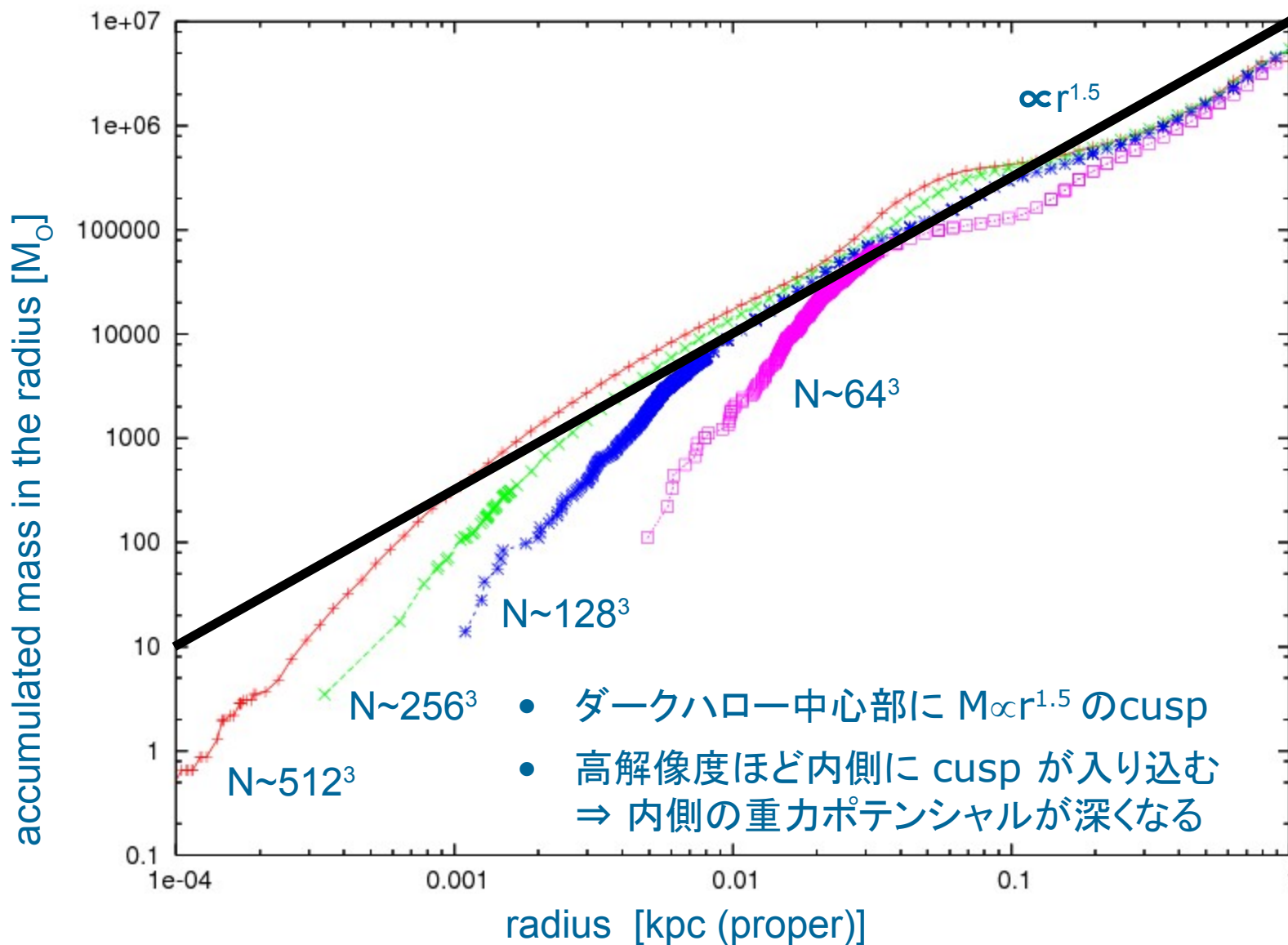
小スケールの揺らぎが成長・合体

ジーンズ質量を超えるまで、
周囲から物質をさらに集める
(内部の細かい揺らぎはこの時
流体の圧力でならされる)

ジーンズ質量を超えた
ところで collapse.
初期の揺らぎの詳細に
ほとんどよらずに天体の
質量が決まる
1 star / 1 halo

e.g.
Abel, Bryan & Norman (2002)
Yoshida et al. (2003)
O'Shea & Norman (2007)

ダークハロー小スケールの構造



手法

- 宇宙論的 N体/流体 計算
 - 筑波大学の宇宙計算専用機 FIRST使用
 - P³M-GRAPE-SPH
- ボックスサイズ: (60kpc)³ (comoving)
- 再結合時期(z=1200)で計算開始
- 粒子数 2 × 64³, 128³, 256³体で計算
 - 1粒子質量
 - ダークマター: 24, 3.0, 0.4 Mo
 - バリオン: 5.1, 0.64, 0.08 Mo

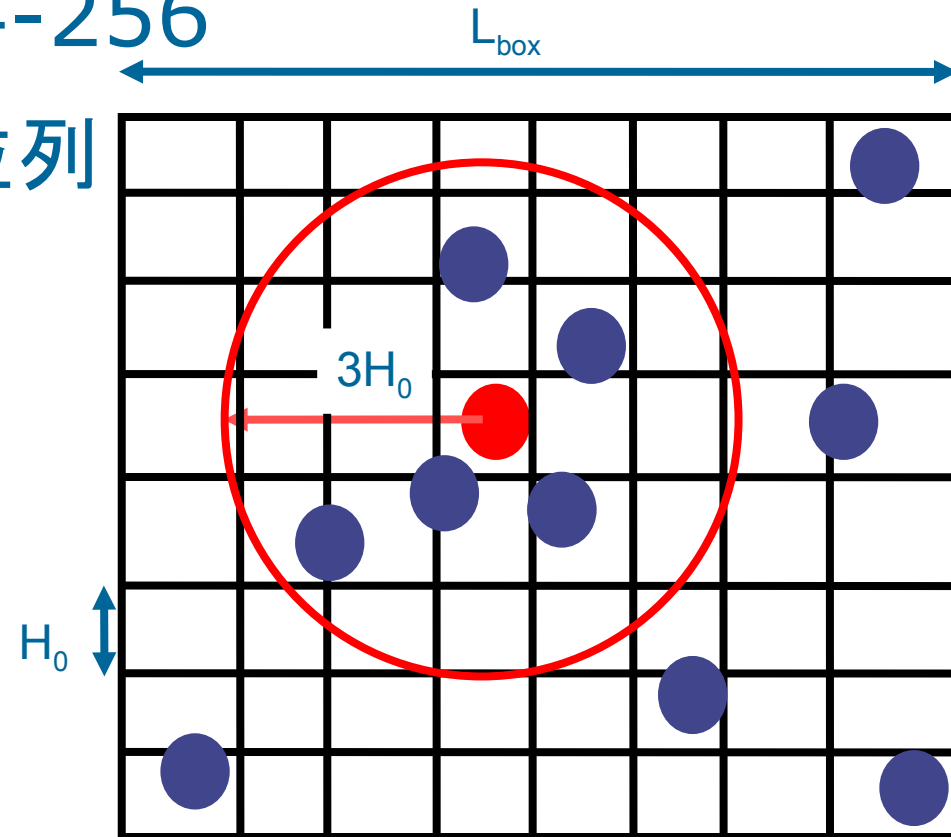
宇宙シミュレータ FIRST

- 融合型大規模並列計算機
 - 2U サーバ 256台 512CPU
 - 重力計算専用ボード Blade-GRAPE 240台
- Blade-GRAPE
 - 組み込み型重力計算専用ボード
 - GRAPE-6 プロセッサモジュール 4基搭載
 - 最大26万粒子を扱えるメモリ容量
 - 理論ピーク性能
 - 136.8 GFlops



重力計算: P³M + GRAPE

- 粒子数: $2 \times 64^3 \sim 256^3$ (N体 + SPH)
- ボックスサイズ: 60kpc (comoving)
- Mesh サイズ: $L_{\text{box}}/64-256$
- MPI並列化: 64-128並列
二次元領域分割



流体計算: Smoothed Particle Hydrodynamics

- 流体過程は流体粒子法である SPH法で計算 (Springel&Hernquist 2002)

- (e^- , H, H^+ , H^- , H_2 , H_2^+)
6種の非平衡化学反応と輻射過熱・冷却を
合わせて解く
(Galli & Palla minimal model (1998))

– 主たる反応

陽子反応



電子反応

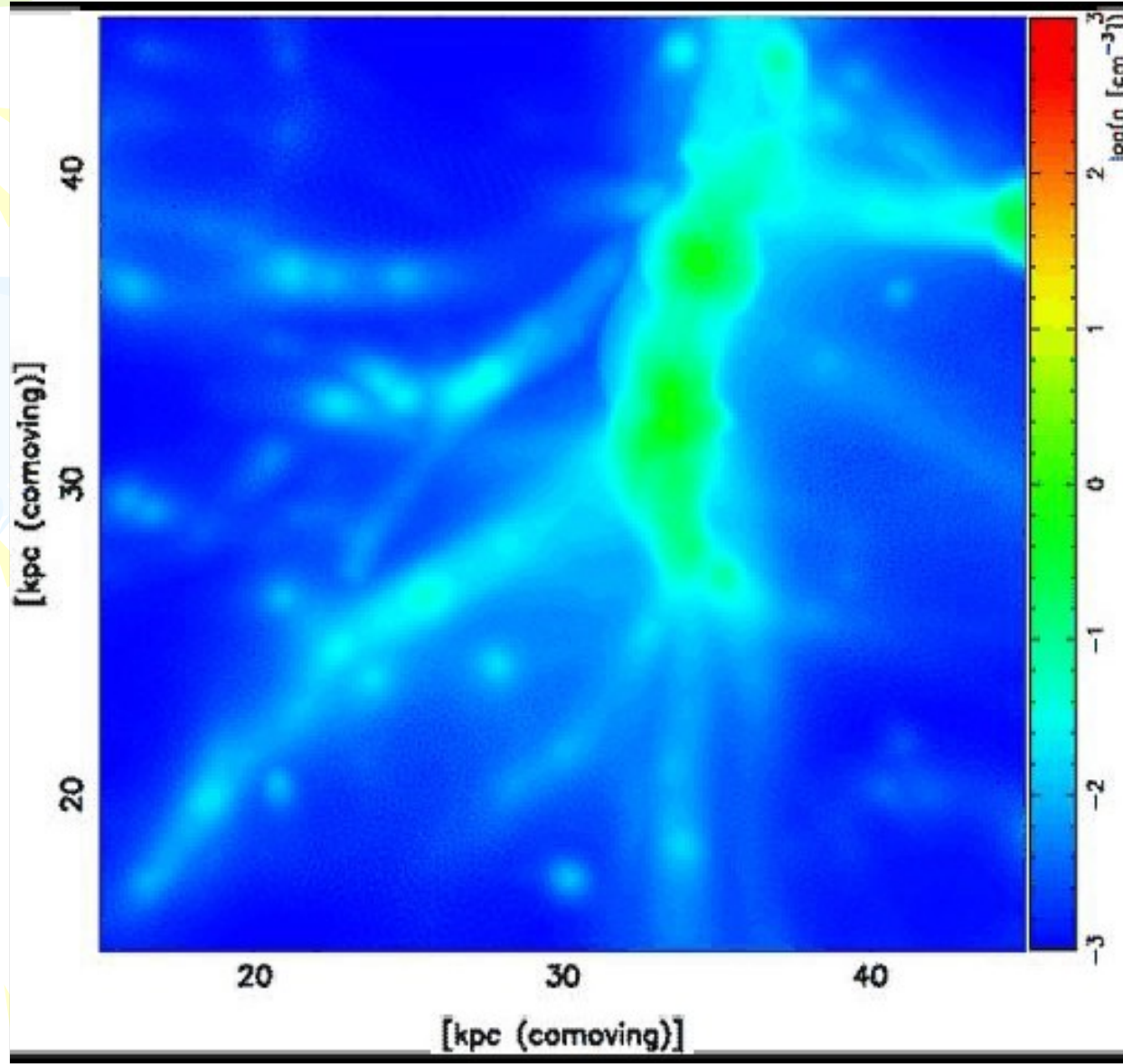


計算初期条件

- 再結合時期 ($z=1200$) の物質分布を初期条件として使用
 - ダークマター: Zel'dovich近似に基づいて生成
 - バリオン: グリッドポイントに一様分布
- 小スケールでバリオンがダークハローに落ち込む過程を出来る限り正しく解くために一様な状態を初期状態として採用
 - 線形近似では圧力とダークハローカスプとの相互作用を考慮に入れられないため

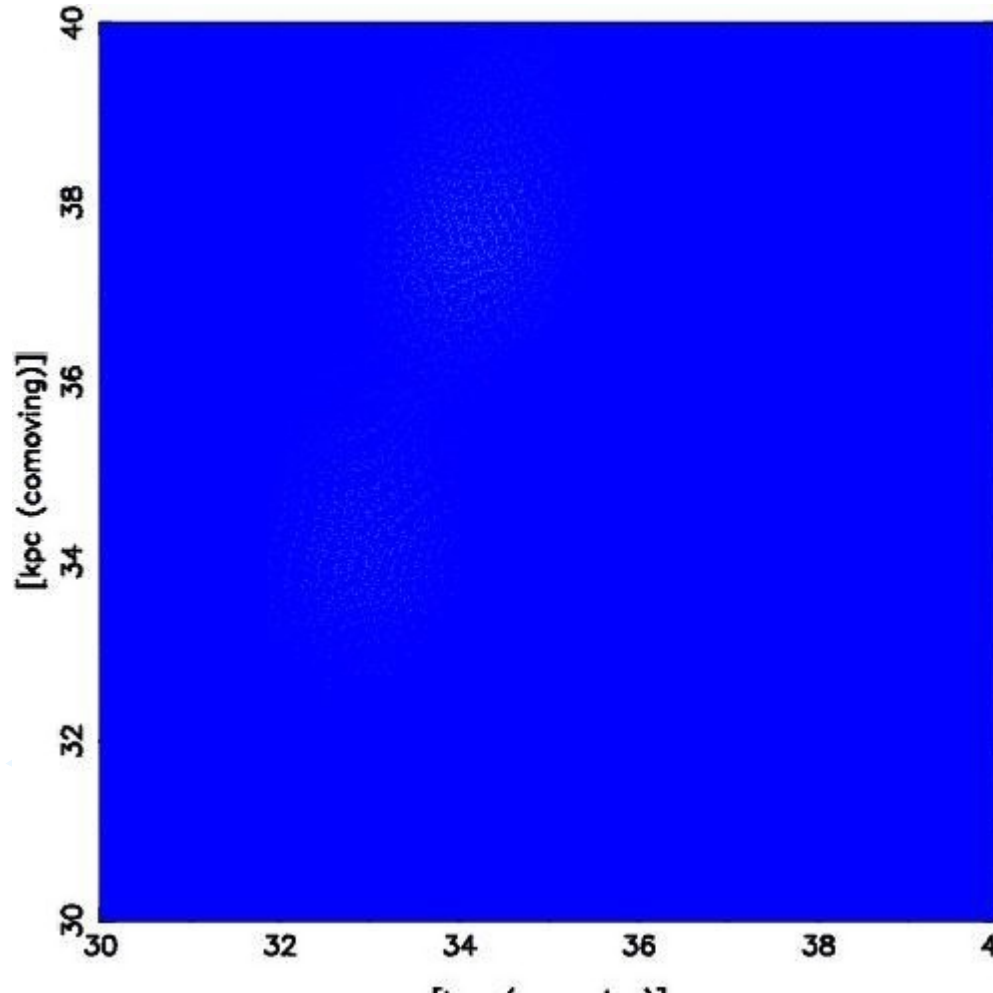
密度分布(全体)

$$m_{\text{DM}} = 0.4M_{\odot} \quad m_{\text{b}} = 0.08M_{\odot}$$



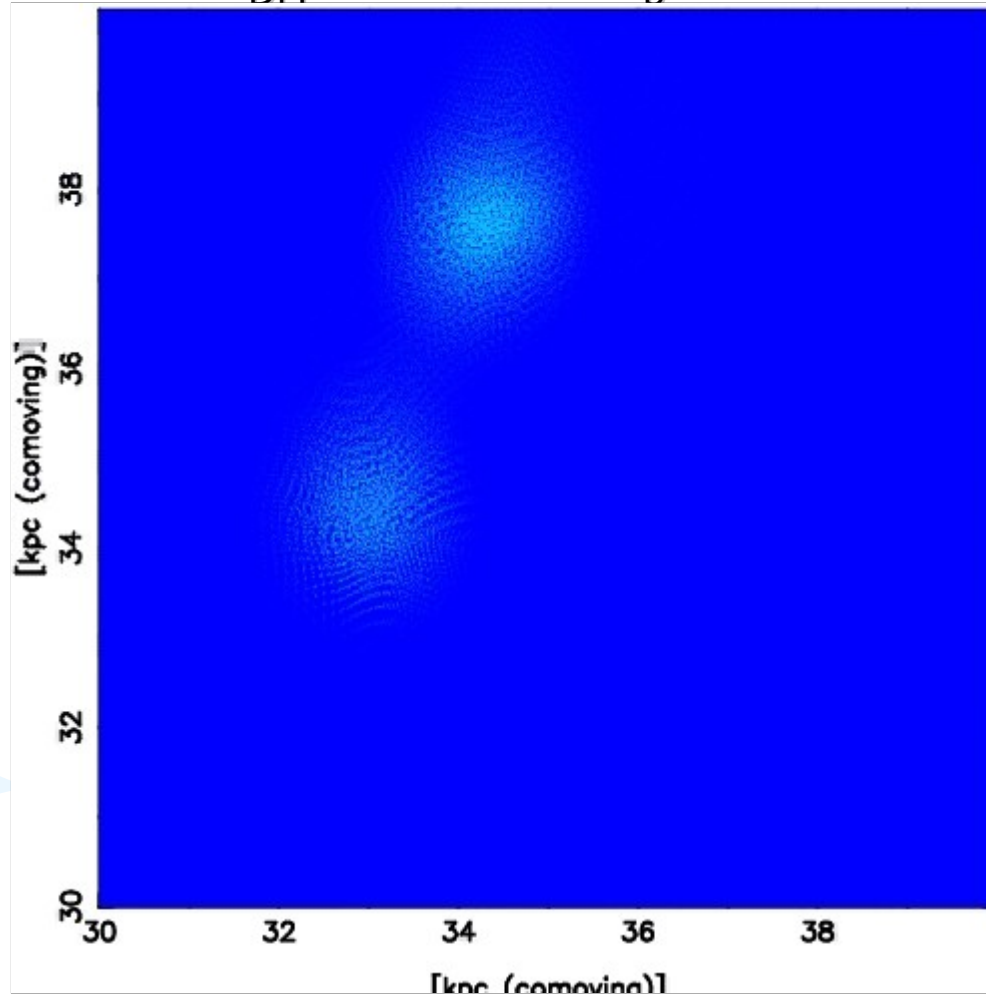
ピーク部分拡大

$$m_{\text{DM}} = 24M_{\odot} \quad m_{\text{b}} = 5.1M_{\odot}$$



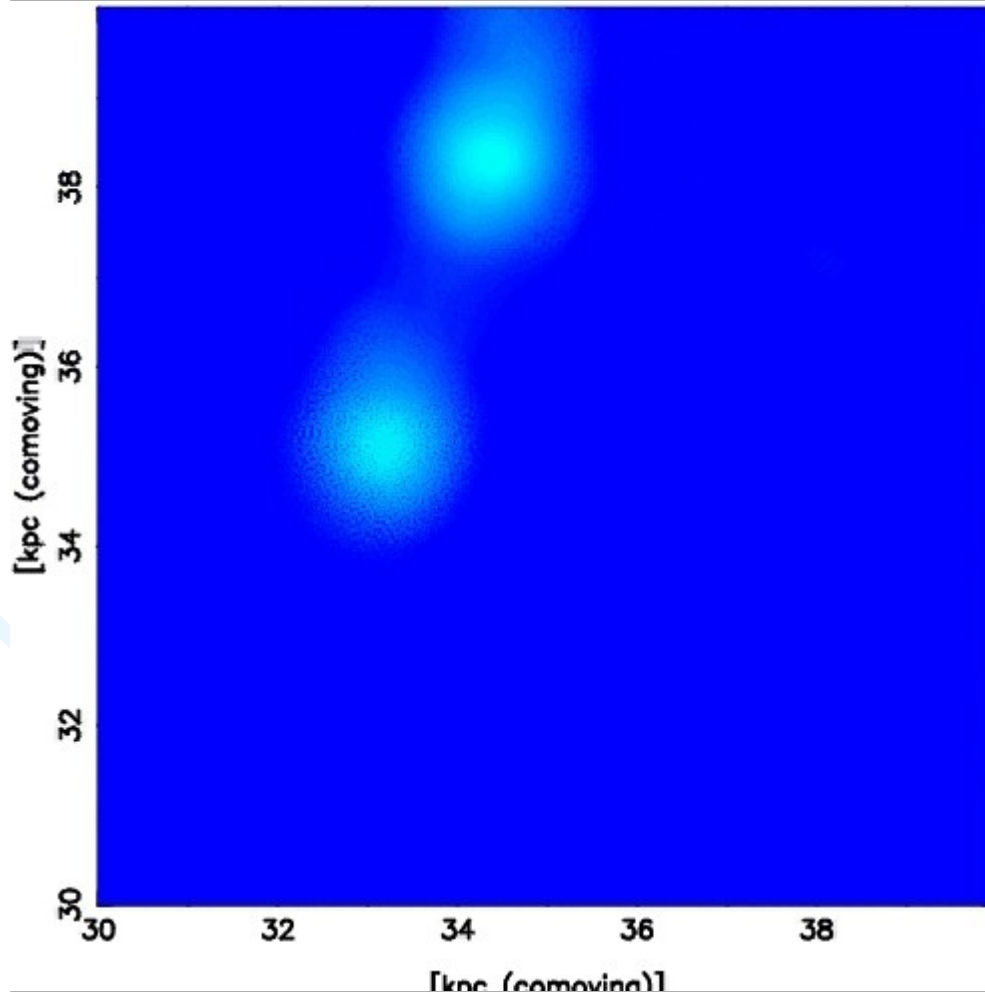
ピーク部分拡大

$m_{\text{DM}} = 3.0\text{Mo}$ $m_{\text{b}} = 0.64\text{Mo}$

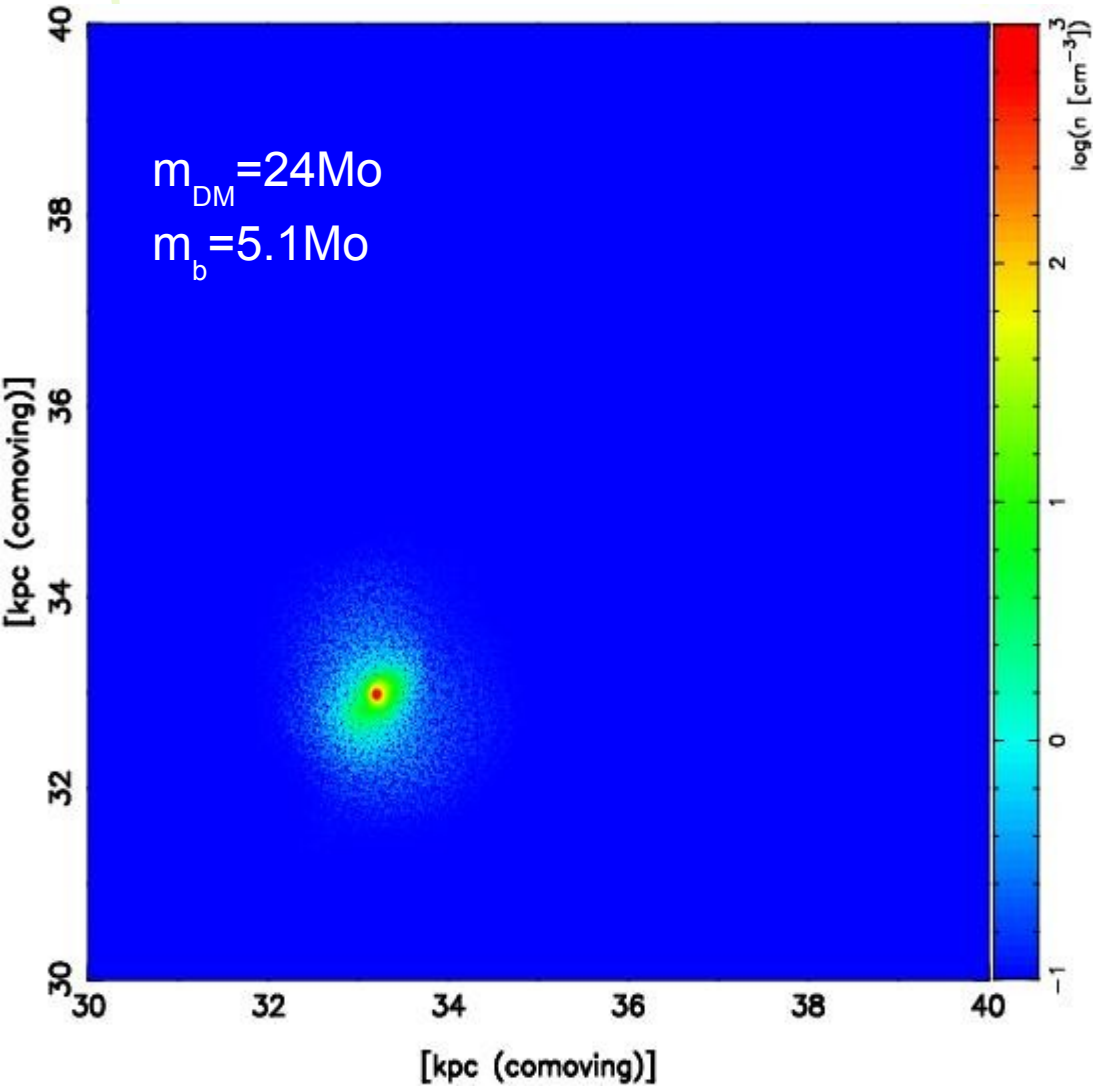


ピーク部分拡大

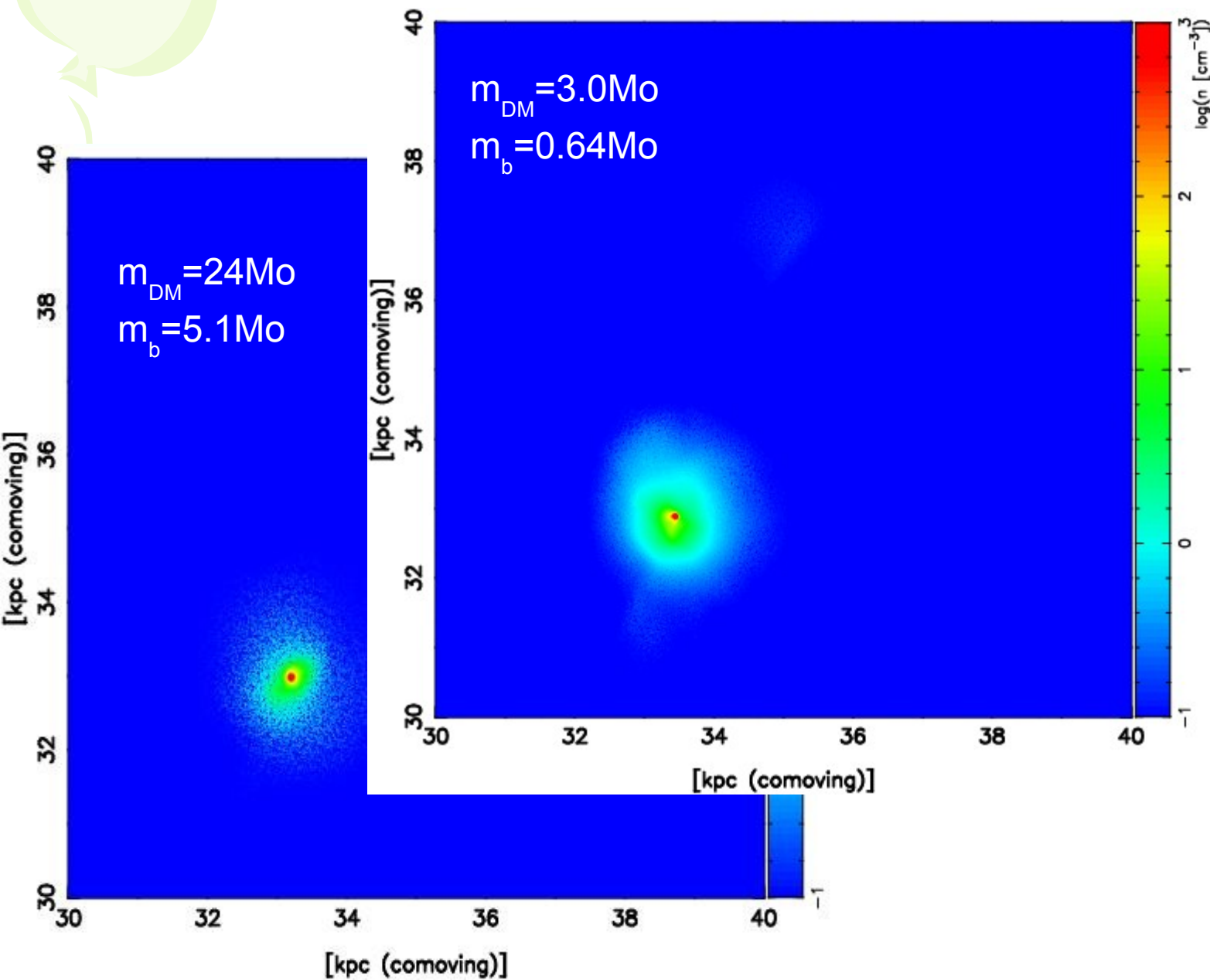
$$m_{\text{DM}} = 0.4M_{\odot} \quad m_{\text{b}} = 0.08M_{\odot}$$



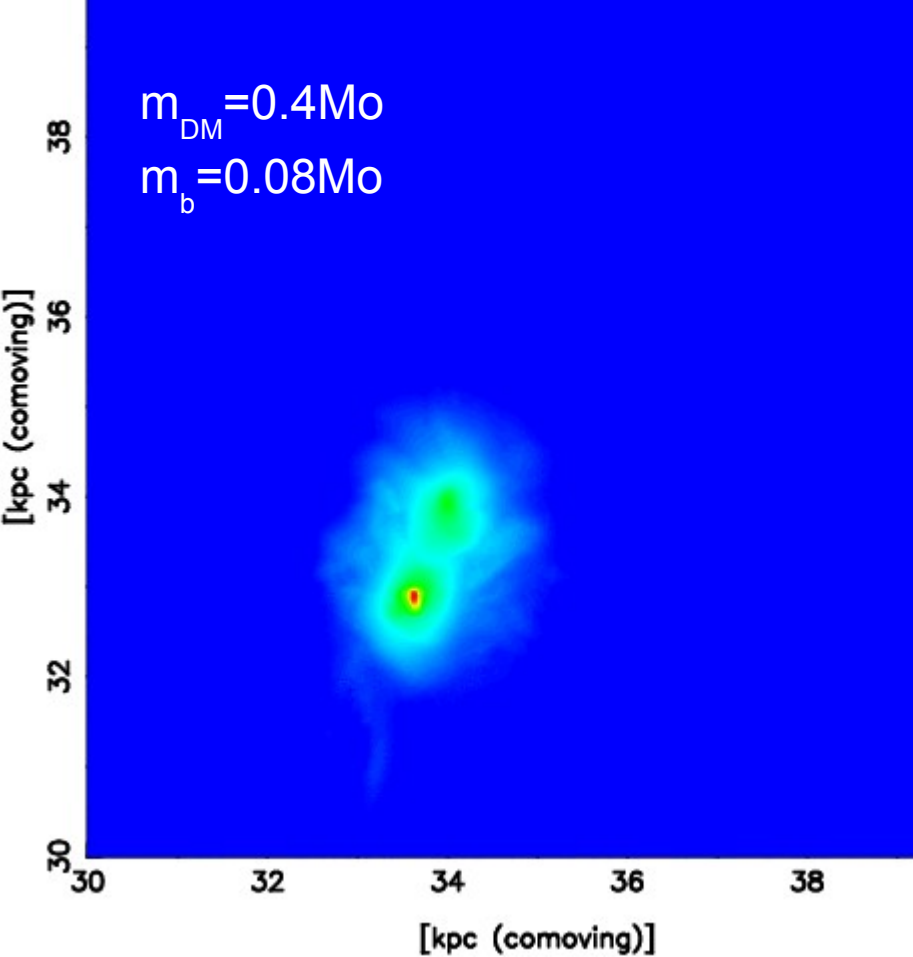
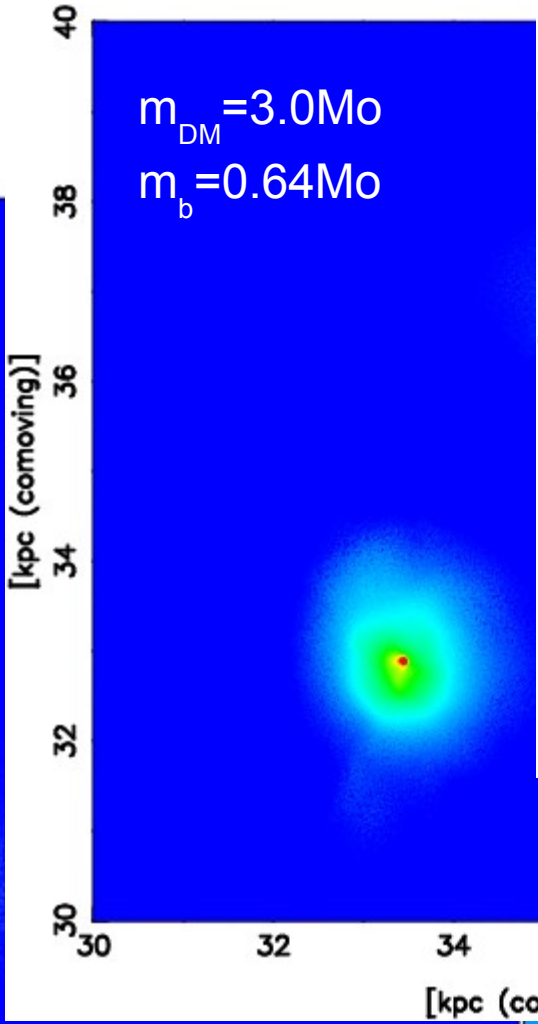
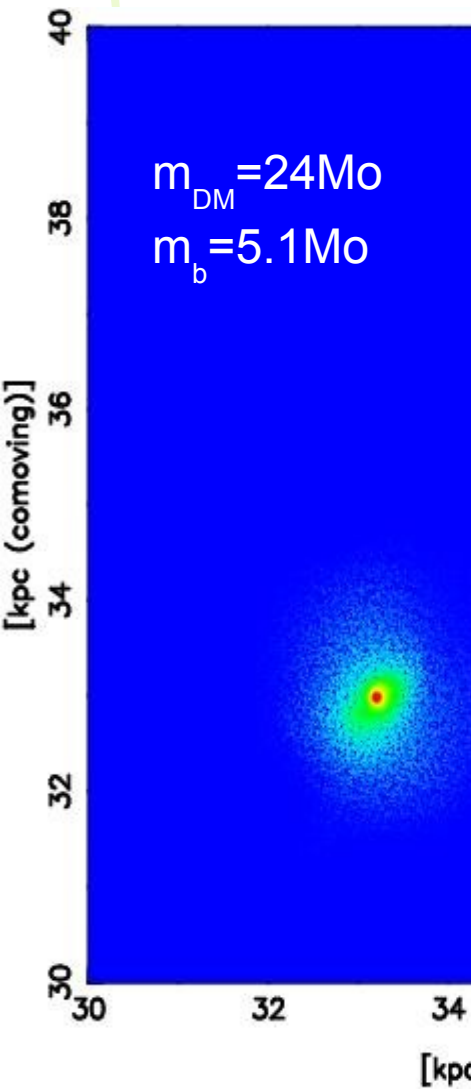
バリオン密度分布



バリオン密度分布



バリオン密度分布



[kpc (comoving)]

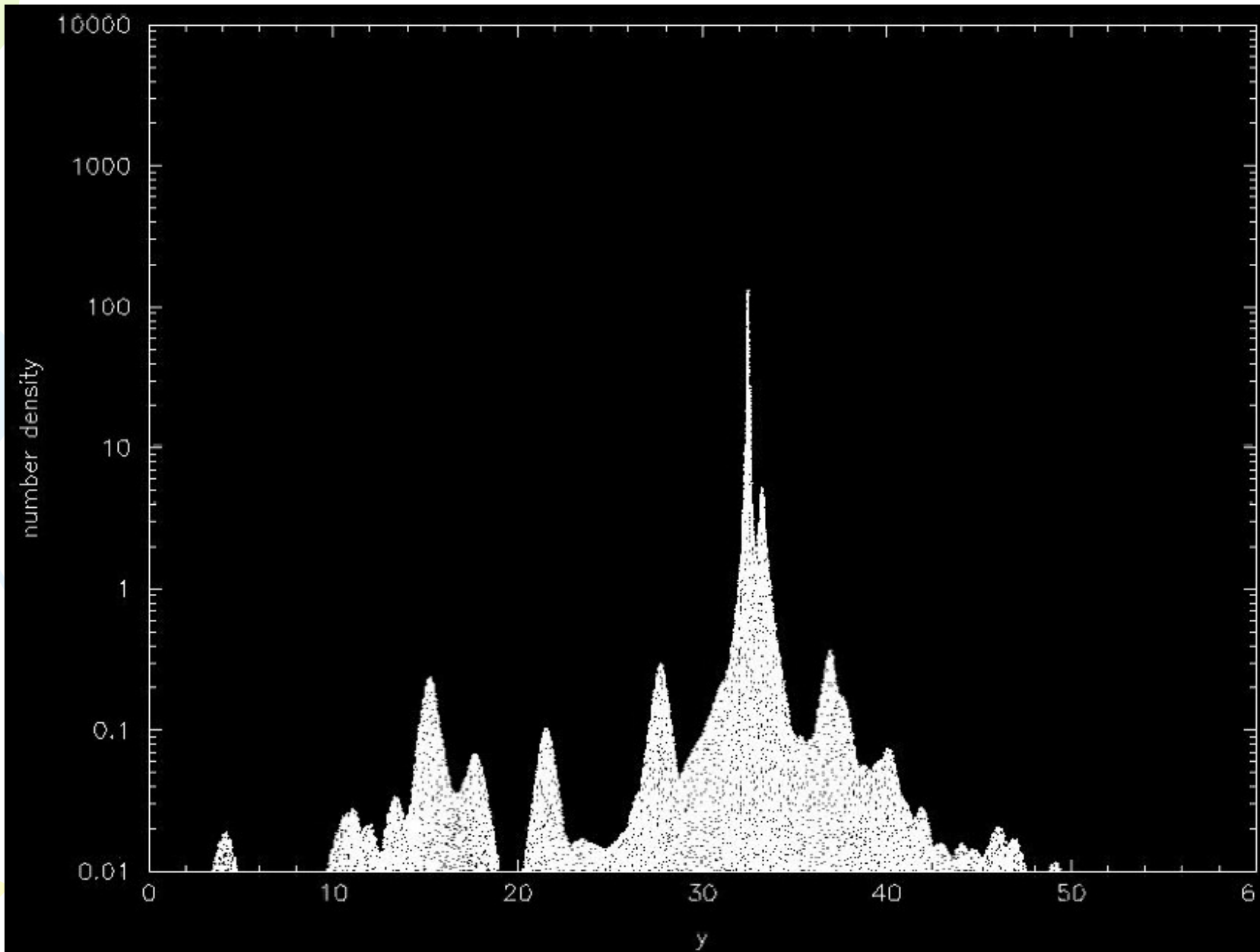
[kpc (comoving)]

[kpc (comoving)]

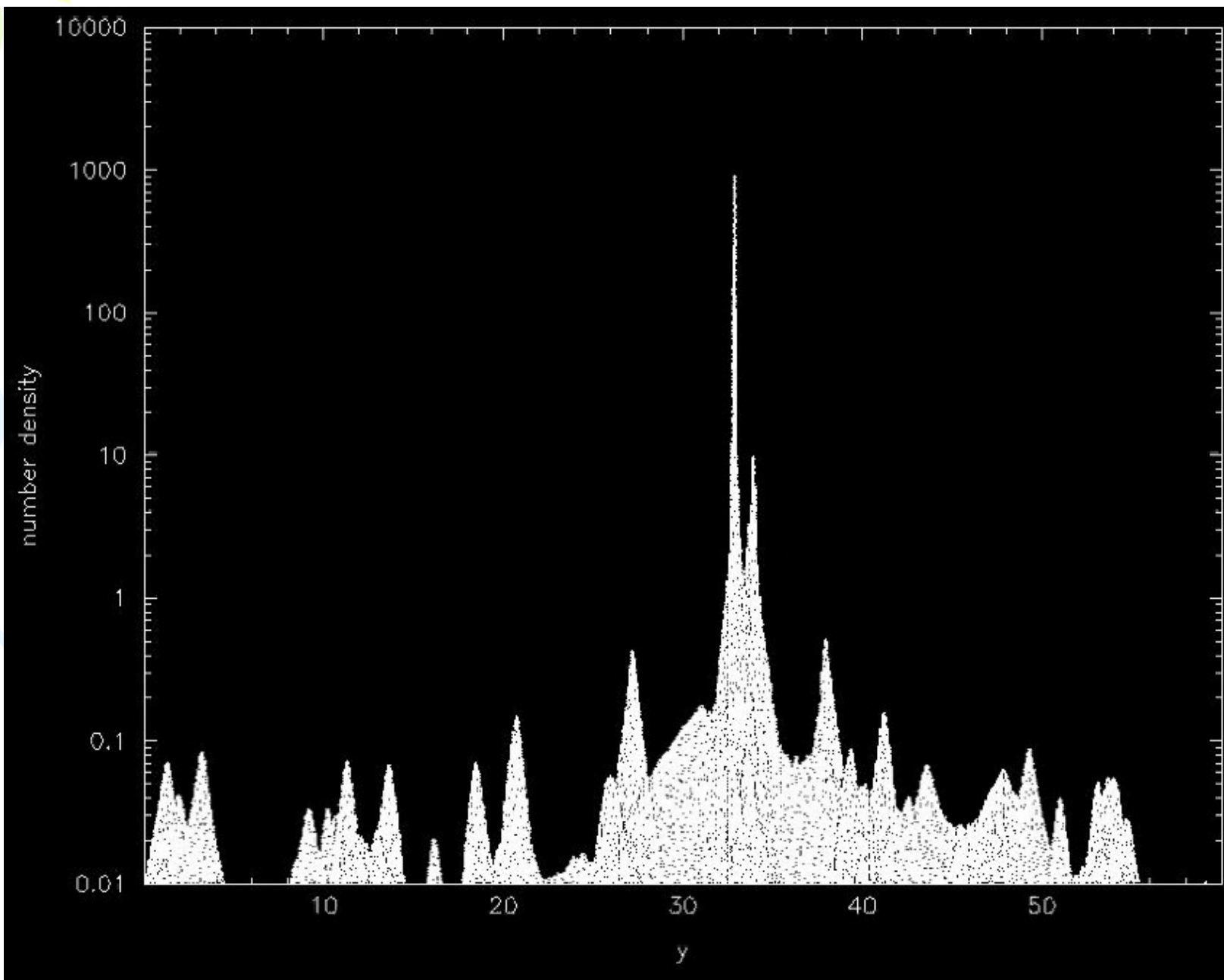
[kpc (comoving)]

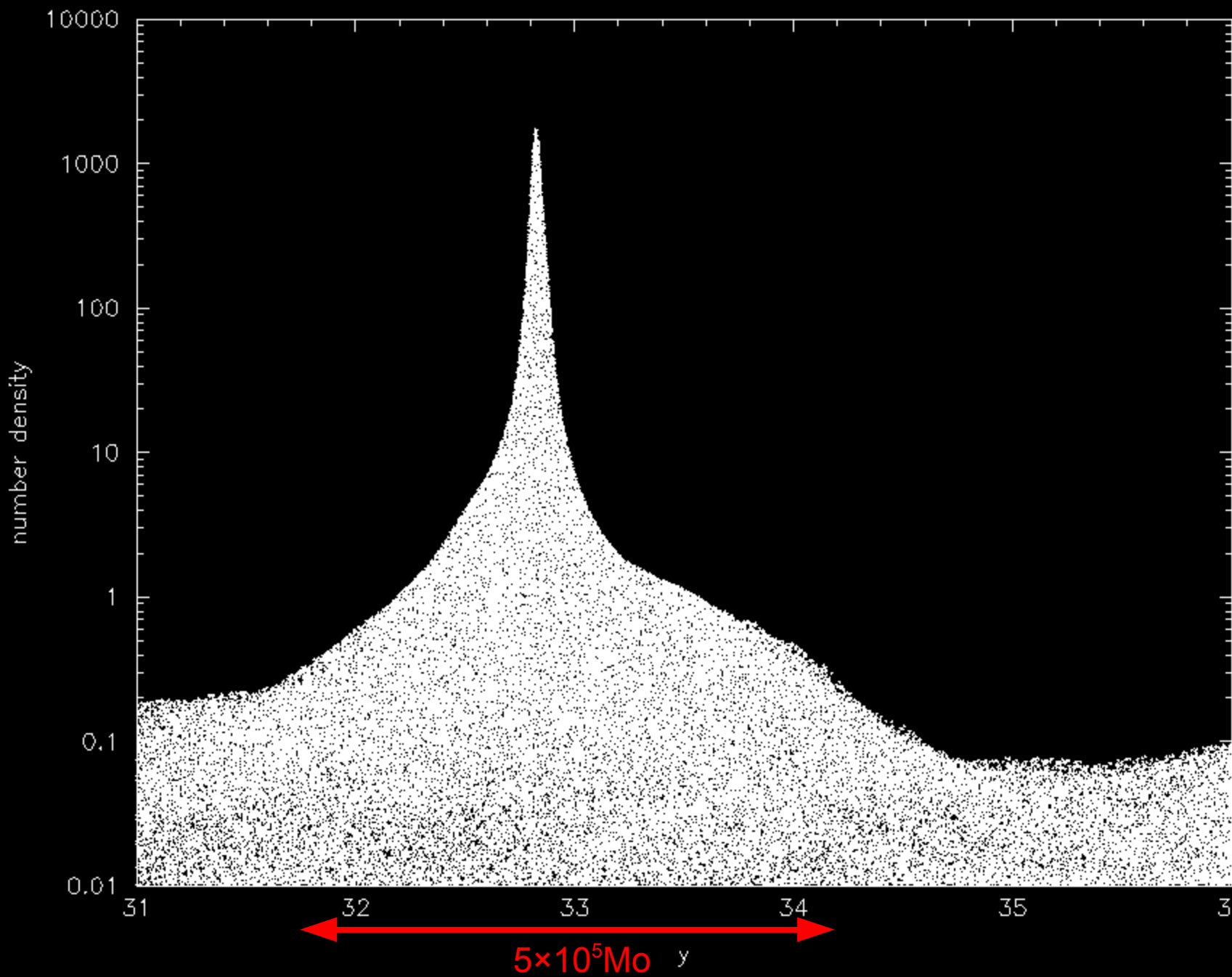
[kpc (comoving)]

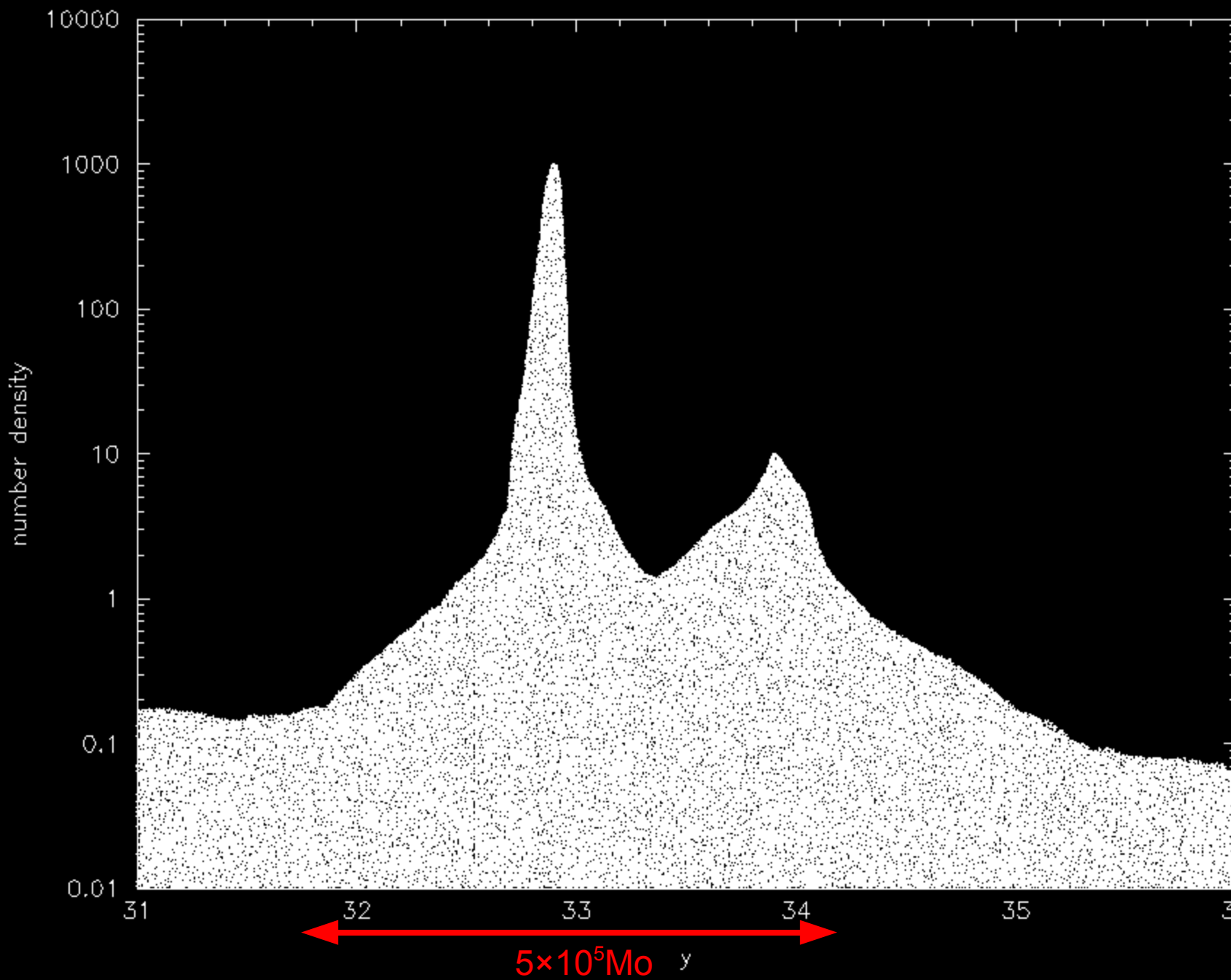
$m_{\text{DM}} = 3.0 M_{\odot}$
 $m_{\text{b}} = 0.64 M_{\odot}$



$m_{\text{DM}} = 0.4 M_{\odot}$
 $m_{\text{b}} = 0.08 M_{\odot}$

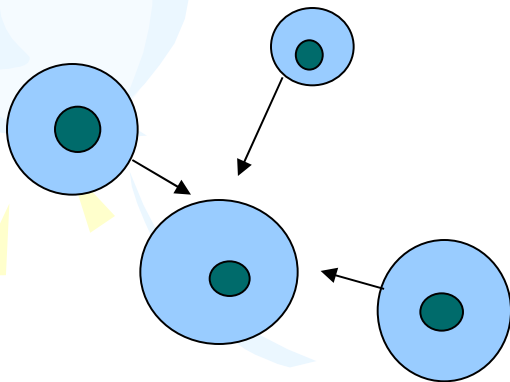




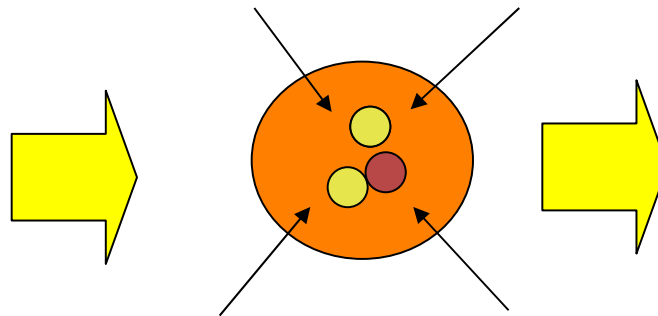


小スケールゆらぎと初代星質量

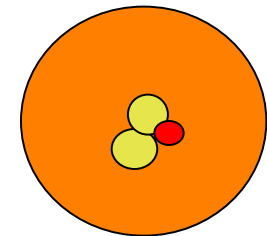
- 今回の計算から示唆される描像



Cusp のために小スケールの揺らぎでも、中心部で密度が高くなれる。



中心部が十分高密度になっていると、ピーク同士が互いに合体するよりも各ピークの密度が成長するほうが早い



最も密度の大きなピークが自己重力系になると、その場所のジーンズ質量で collapse する。

まとめ

- 第一世代星形成の宇宙論的シミュレーション
- 解像度の違いによって密度ゆらぎの進化に違いが生じる
- ダークハロー cusp のためと考えられる
- 全体として 10^5 Mo以上の質量を集める前に密度の上昇が始まることが可能
- 1star(cloud)/1halo とは限らない