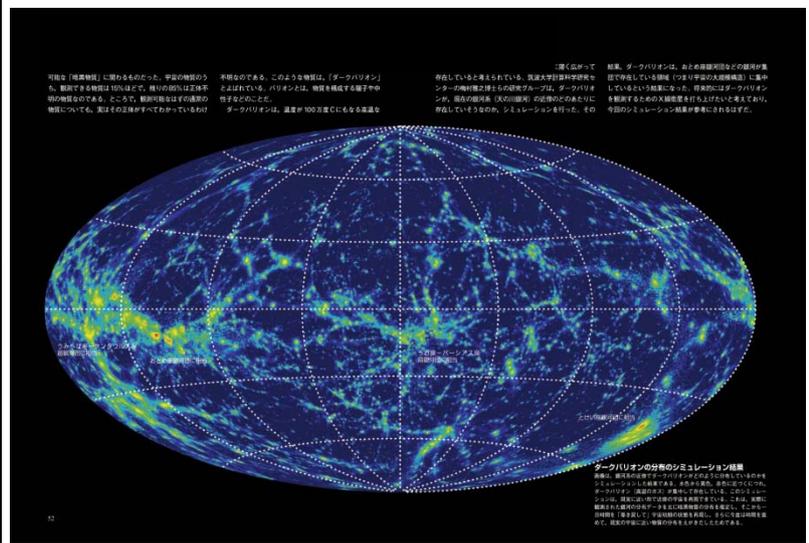
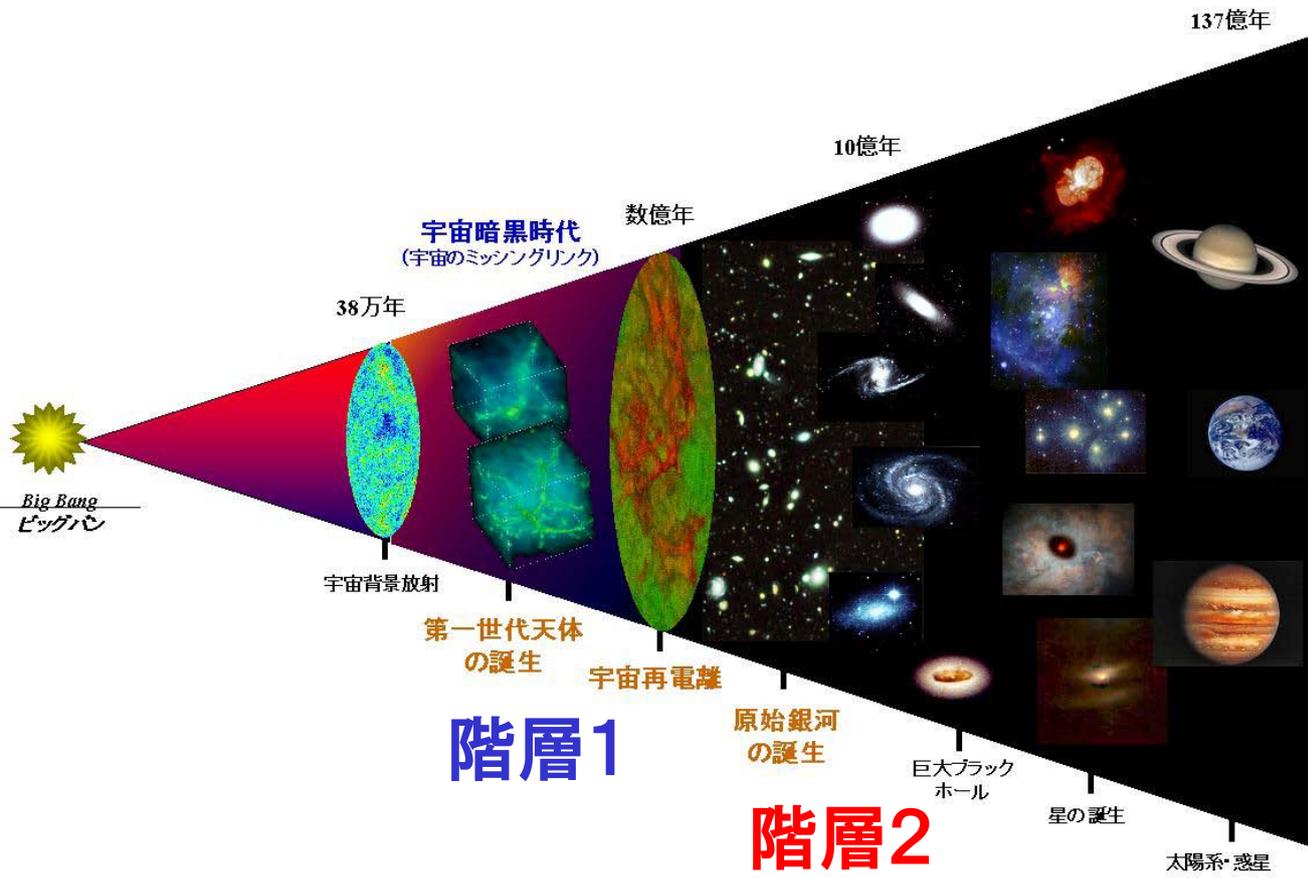


# 多成分自己重力系の緩和過程



ダークマター(無衝突系)+ガス(散逸系)+星(非散逸系)

# 組織と役割分担

代表者	梅村 雅之 (筑波大学計算科学研究セ, 教授)	一階層1
共同研究者	森 正夫 (筑波大学計算科学研究セ, 准教授)	一階層2
//	吉川 耕司 (筑波大学計算科学研究セ, 講師)	一階層3
//	岡本 崇 (筑波大学計算科学研究セ, 助教)	一階層2
//	赤堀 卓也 (Chungnam National University・Research Fellow)	一階層3
//	谷川 衝 (筑波大学計算科学研究セ, 研究員)	一階層1
//	長谷川 賢二 (筑波大学計算科学研究セ, 研究員)	一階層1
//	矢島 秀伸 (筑波大学数理物質科学, D3)	一階層2
//	佐藤 大介 (筑波大学数理物質科学, D3)	一階層1
//	秋月 千鶴 (筑波大学数理物質科学, D3)	一階層1
//	三木 洋平 (筑波大学数理物質科学, M1)	一階層2
//	扇谷 豪 (筑波大学数理物質科学, M1)	一階層2
//	中村 繁幸 (筑波大学数理物質科学, M1)	一階層2
//	横山 貴士 (筑波大学数理物質科学, M1)	一階層1

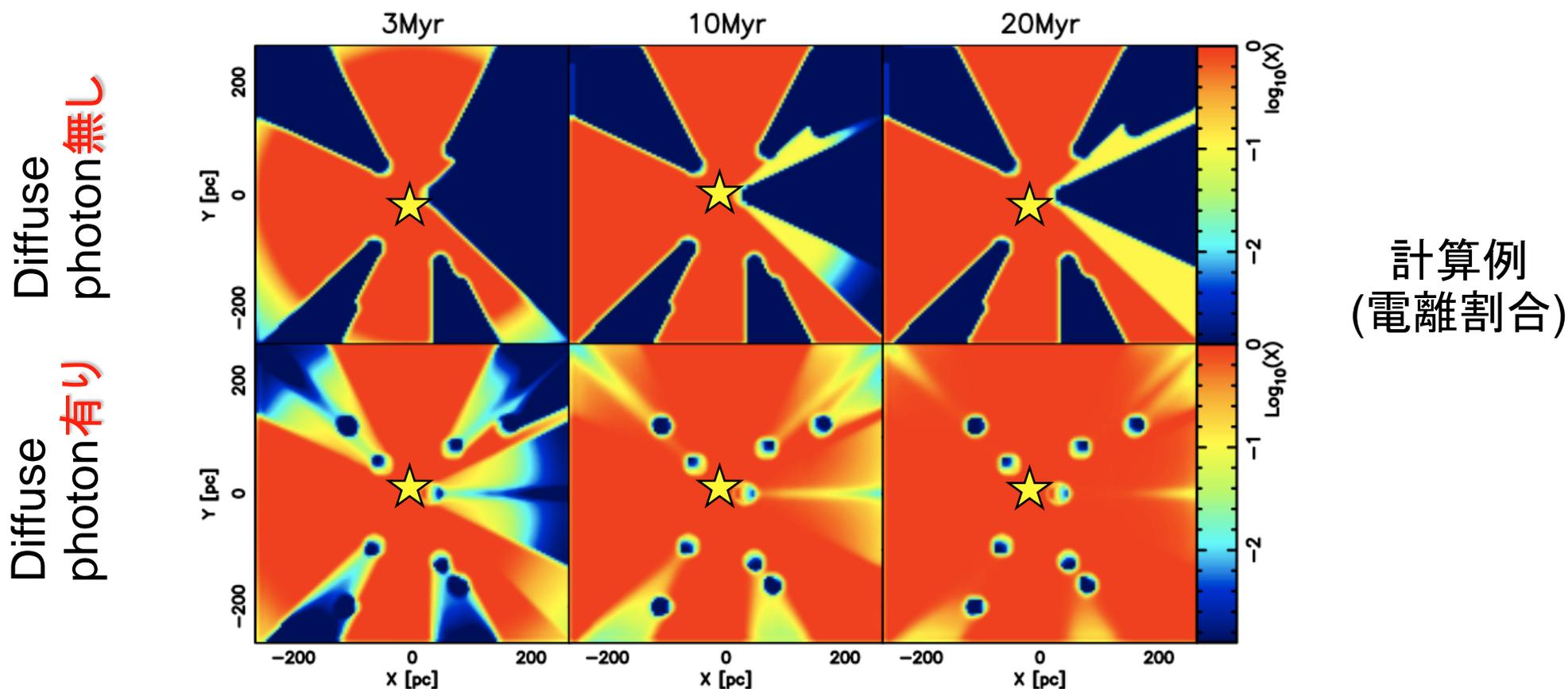
# 新たな6次元輻射流体コードの開発

従来の輻射流体コード: 計算コストが放射源の数に比例

- ◆ 多数の星からの輻射フィードバックの計算が困難.
- ◆ ガスからのdiffuseな輻射の輸送を解くのが困難

▶ **Tree構造を用いた新たな輻射流体コード”  
START (SPH with Tree-based Accelerated Radiative Transfer)”を開発**

Hasegawa & Umemura (2010, submitted)



Diffuse光子の輸送を解く事で電離構造が大きく変化

# 輻射輸送方程式

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I_\nu}{\partial t} + \mathbf{n} \cdot \nabla I_\nu = \chi_\nu (S_\nu - I_\nu)$$

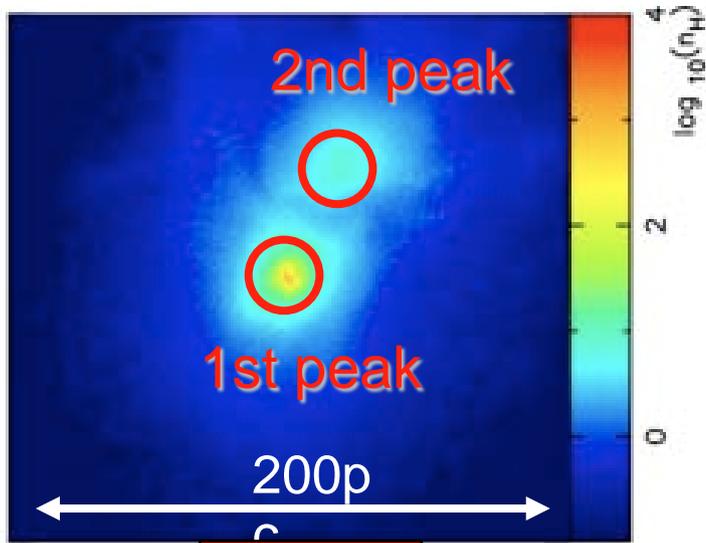
6次元位相空間における光子分布関数のローレンツ変換されたボルツマン方程式

6 Degrees of Freedom = 3D (space) + 2D (directions) + 1D (frequency)

計算量  $\propto N_x N_y N_z \cdot N_\theta N_\phi N_\nu \cdot N_{step} = 20 \text{ Pflops} \cdot \text{hour}$  ( $N = 200, N_{step} = 10^6$ )

$\rightarrow N^3 \log N^3$

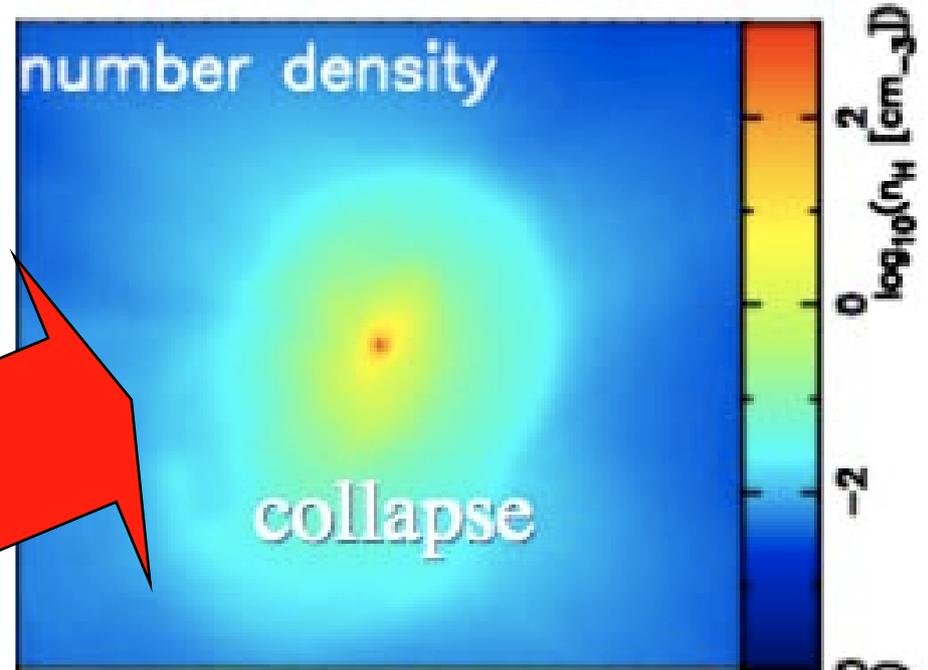
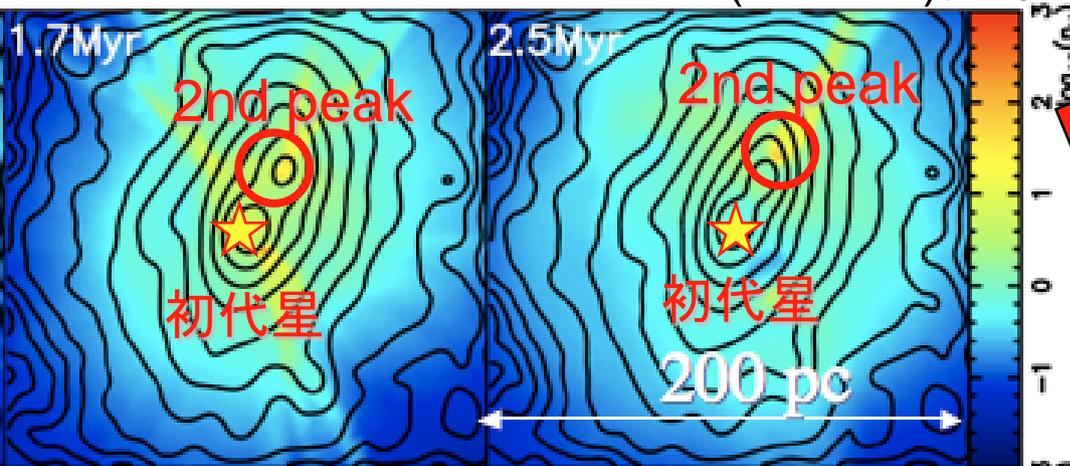
# 初代星からの紫外線フィードバックと次世代星形成



Suwa et al. in prep.で高分解能宇宙論的流体力学で形成された2つのピーク(左図)の進化を開発した3次元輻射輻射流体コードを用いてT2K-TsukubaおよびFIRSTで計算を行った.

Hasegawa, Umemura & Suwa (2010, in prep)

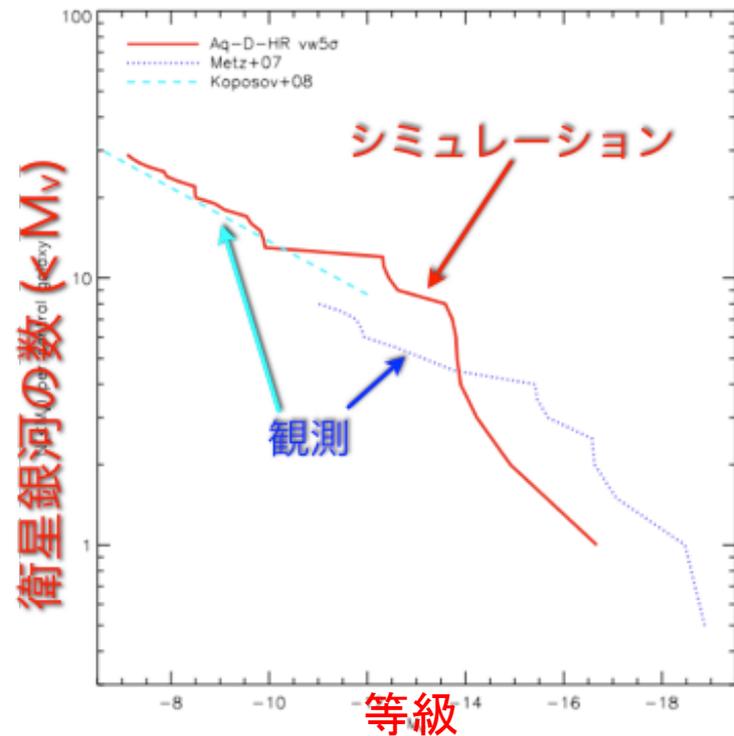
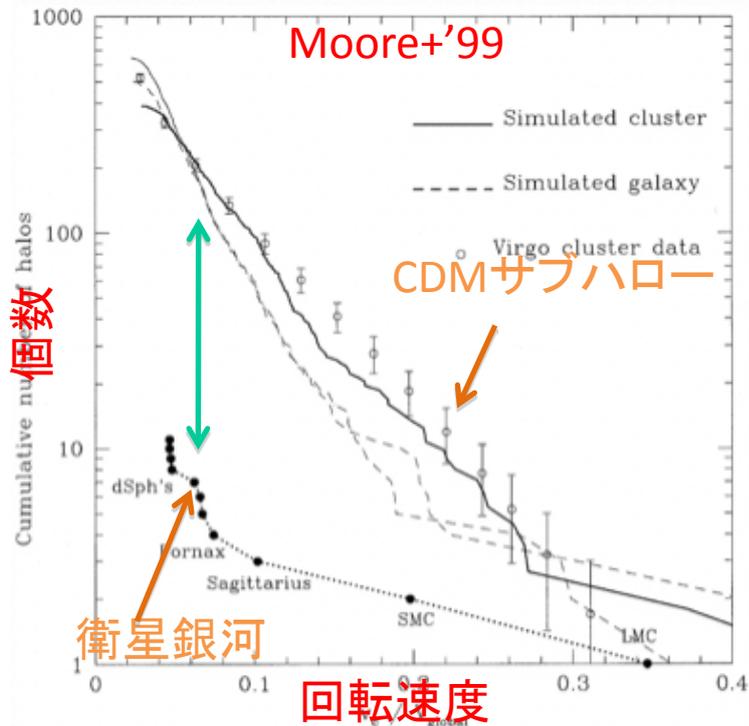
ガス(color)とDM(contour)分布



およそ~50Myr後に2nd peakはコラプスし、次世代の星が形成される.

1st peakでは初代星が形成され、その星からの紫外線は周囲のガスを吹き飛ばすが、2nd peakは生き残る.

# 衛星銀河の宇宙論的シミュレーション



## 衛星銀河問題

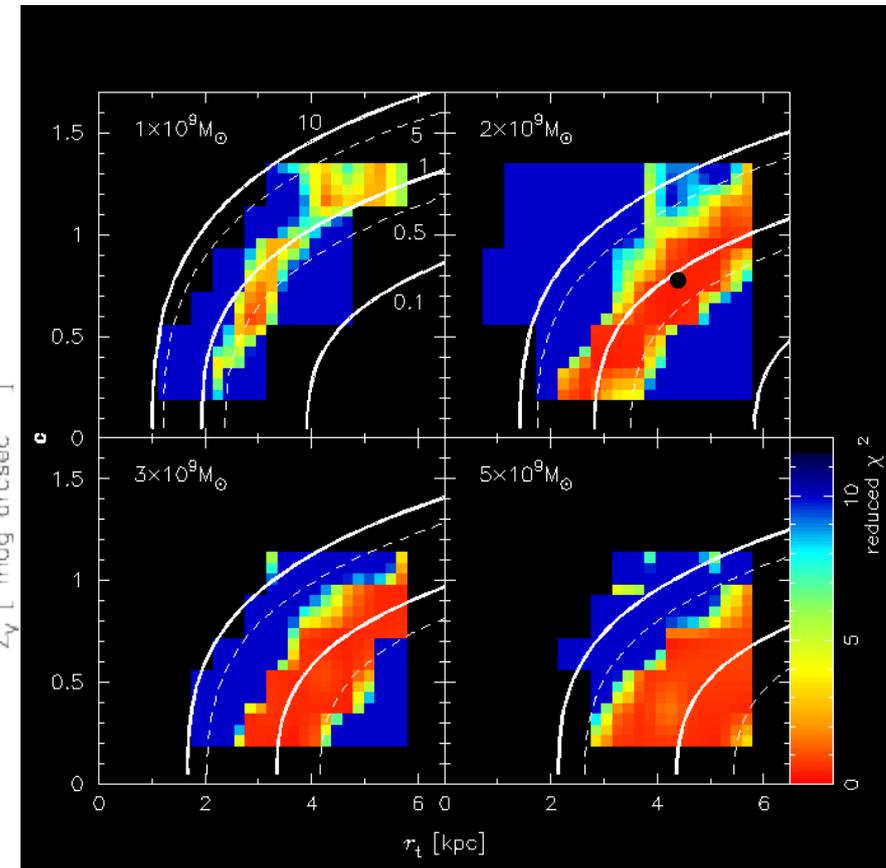
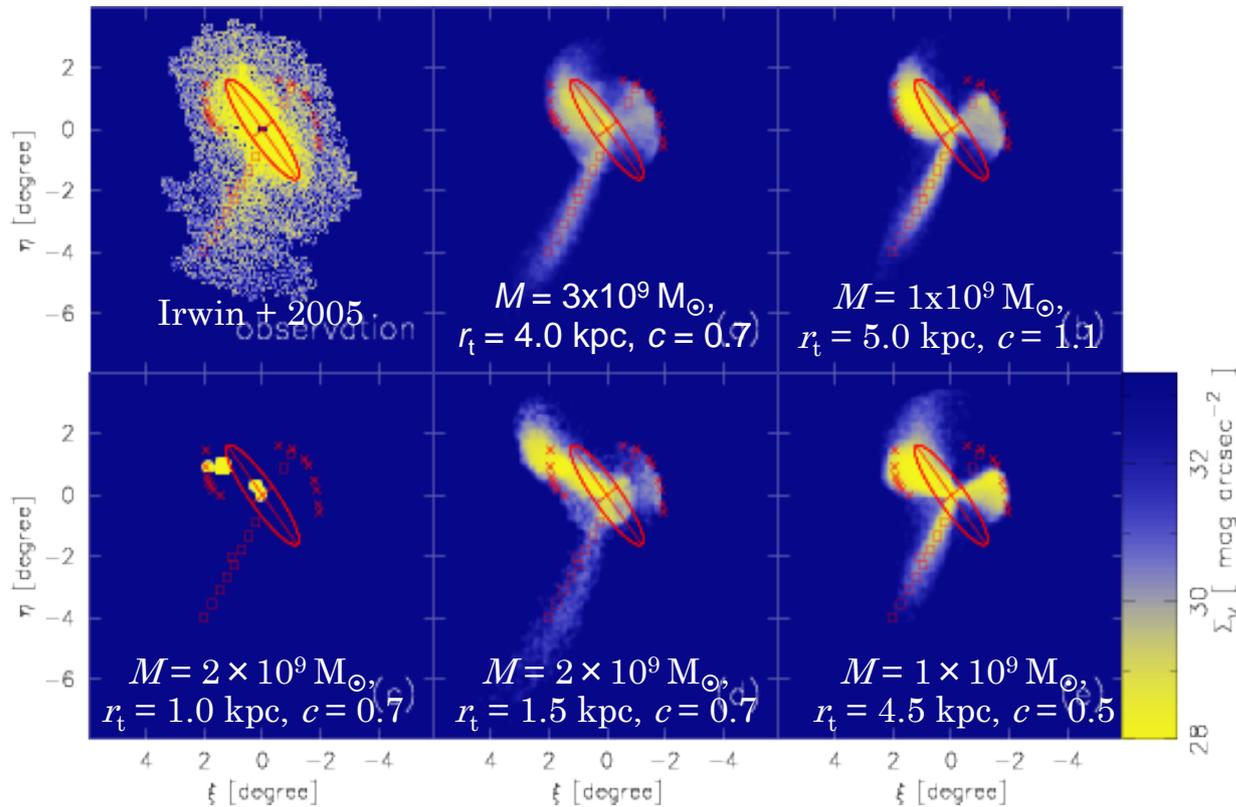
CDMモデルの予言するサブハローの個数は観測される衛星銀河のそれより一桁以上多い

超新星爆発による銀河風の駆動をシミュレーションにて取り入れることにより衛星銀河光度関数を再現 (Okamoto et al. 2009)

# アンドロメダ銀河と衛星銀河の衝突過程

FIRST, T2Kを利用した数値シミュレーションを駆使して、アンドロメダに付随する奇妙な構造が、アンドロメダに捕捉された矮小銀河の残骸であることを示した。

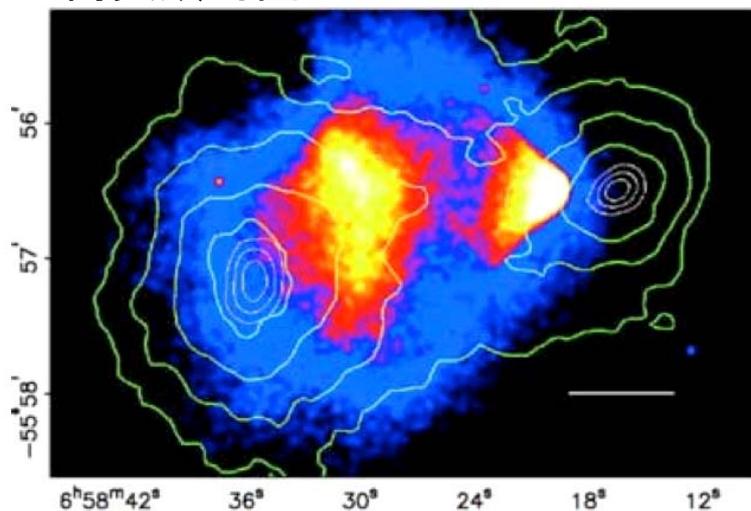
衝突した矮小銀河の質量やサイズ、密度分布などを変えて数値実験を行い、衝突した矮小銀河の物理特性に制限を見出した。



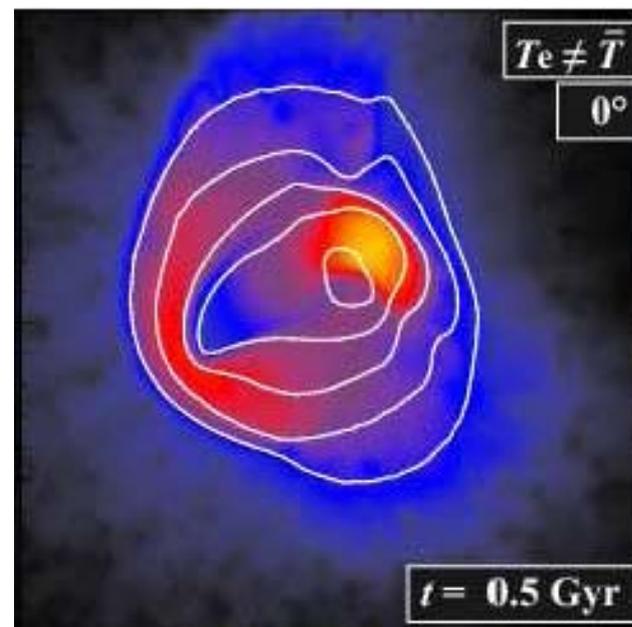
# 衝突銀河団の数値シミュレーション

二つの銀河団が合体する衝突銀河団におけるプラズマの非平衡電離状態・電子イオン間の温度差を数値シミュレーションを使って求めた

衝突銀河団1E0657-56



シミュレーション



- ▶ これまで、電離平衡が成り立っていると思われていた銀河団内部でもプラズマの電離平衡状態からのずれが生じている。
- ▶ 標準的な電子・イオン間の熱的緩和過程では、衝撃波面で電子がイオンの温度よりも40%程度低くなる。

# ボルツマン方程式による自己重力系の 数値シミュレーションコードの開発

- ▶ 6次元位相空間での物質の分布関数を記述するボルツマン方程式

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{x}} - \frac{\partial \phi}{\partial \vec{x}} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{v}} = 0 \quad \nabla^2 \phi = 4\pi G \rho = 4\pi G \int f dv^3$$

を使って自己重力系の数値シミュレーションを行うコードを開発

## N体計算による自己重力系の数値計算

- 連続的な物質分布を離散的な粒子分布で表現
- 人工的な二体緩和の影響による計算精度の劣化
- 運動量(速度)空間を極度に粗視化しすぎる  
ニュートリノなどの速度分散の大きな物質にはなじまない

## Boltzmann方程式の直接数値解法による 自己重力系のシミュレーション

- 空間3次元+運動量3次元の6次元位相空間での物質の分布関数の時間進化を記述
- 人工的な二体緩和を回避
- 速度分散の大きな物質も計算可能

- ▶ 6次元位相空間をメモリ上にマップするため膨大な記憶容量が必要
- ▶ T2K-Tsukubaで、世界で初めて科学的に意味のある規模のシミュレーションが可能になった
- ▶ 自己重力系シミュレーション以外にも幅広い問題に適用可能

# まとめ

- **新たな3次元輻射流体コードの開発**
- **初代星からの紫外線フィードバックと次世代星形成**
- **衛星銀河の宇宙論的シミュレーション**
- **アンドロメダ銀河と衛星銀河の衝突過程**
- **衝突銀河団の数値シミュレーション**
- **ボルツマン方程式による自己重力系の数値シミュレーションコードの開発**