



# 球状星団系の力学進化: 星団形成と 銀河の質量決定

坂本 強 (総研大)、千葉 柁司 (東北大)

本発表の構成

1. Introduction
2. 球状星団系の力学進化
3. 星団の初期状態への制限
4. 銀河の質量決定
5. まとめ

## 1. Introduction

# 球状星団系とその重要性

- 球状星団: 明るく銀河最古の天体  
銀河に集中 (球状星団系)

↓

### 研究の重要性

球状星団 + 銀河の形成に関する制限

銀河の質量決定 (Sakamoto et al. 2003, A&A, 397, 899)

# 1. Introduction

## 過去の研究

- 観測 総数: 明るい or 早期型銀河が多い  
光度関数: ガウシアン (ピークは  $M_V = -7.6 \text{ mag}$ )  
平均回転運動: 一部の星団系のみ (銀河系)  
星団系全体 (M31)

■ 星団破壊 星団系の力学進化の追跡重要

■ 進化に関する研究: 質量関数 動力学構造 ×

➡ 星団系の初期状態 (総数、動力学構造) 不明

## 2. 球状星団系の力学進化

# 我々の研究

---

- 様々な円盤銀河の下で球状星団系の質量関数と動力学構造の進化を**同時に**追跡  
銀河形成時の星団系の総数と速度構造に制限を与えた

## 2. 球状星団系の力学進化

# 星団系の力学進化モデル

過去 銀河ポテンシャル: 球対称ダークハローのみ

↓ 一般化

### 我々のモデル

- 銀河: ダークハロー + **銀河円盤**
- 軸対称ポテンシャル採用かつ第3積分考慮
- 質量損失 恒星進化 星同士の2体緩和  
gravitational shock: 準解析的に計算
- 星団系の進化を13Gyr追跡、最終状態を調べた

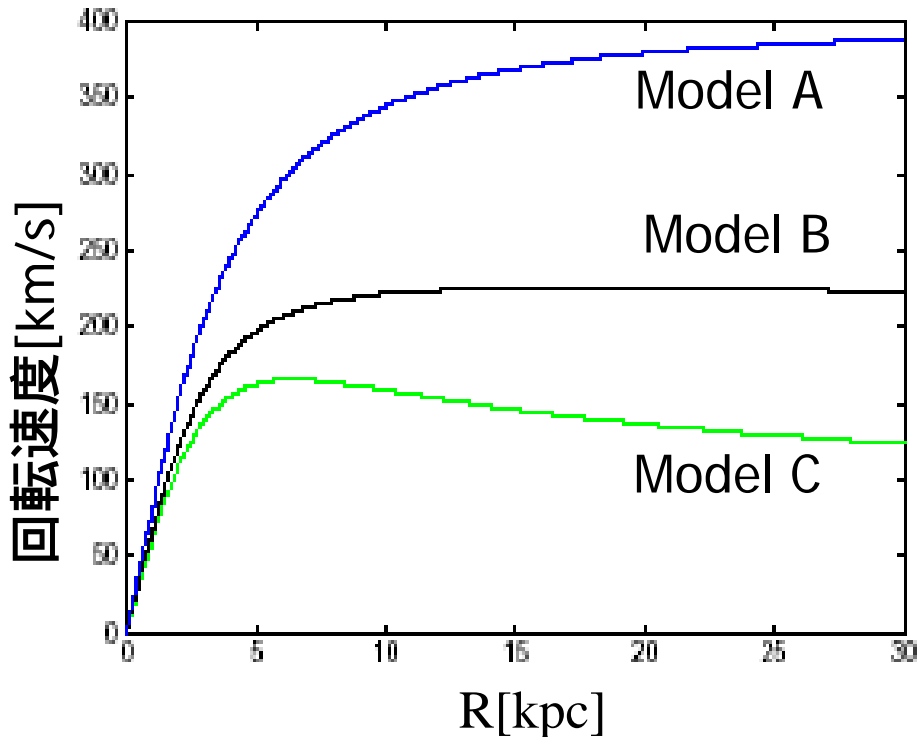
## 2. 球状星団系の力学進化

# 銀河の質量分布

### (i) ダークハローの質量密度

$$\Phi \propto G\rho_0 \log R \quad (R \gg 4\text{kpc})$$

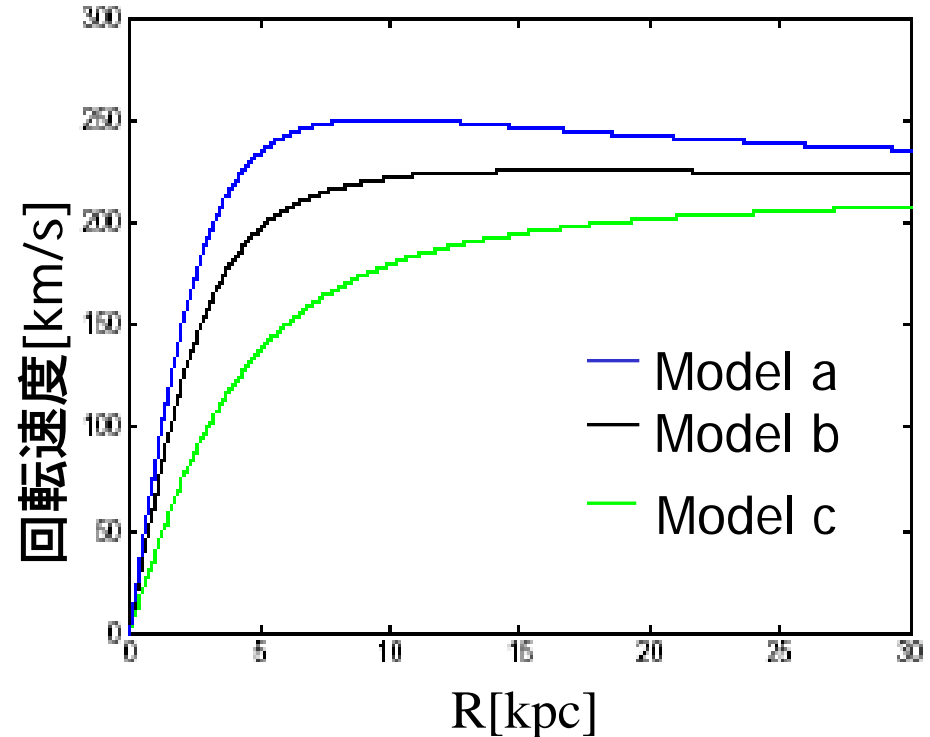
$\rho_0$ : 中心の質量密度  
 $R$ : 銀河中心からの距離



### (ii) 銀河円盤の質量

$$\Phi \propto \frac{GM_d}{R} \quad (R \gg 4\text{kpc})$$

$M_d$ : 円盤の質量



## 2. 球状星団系の力学進化

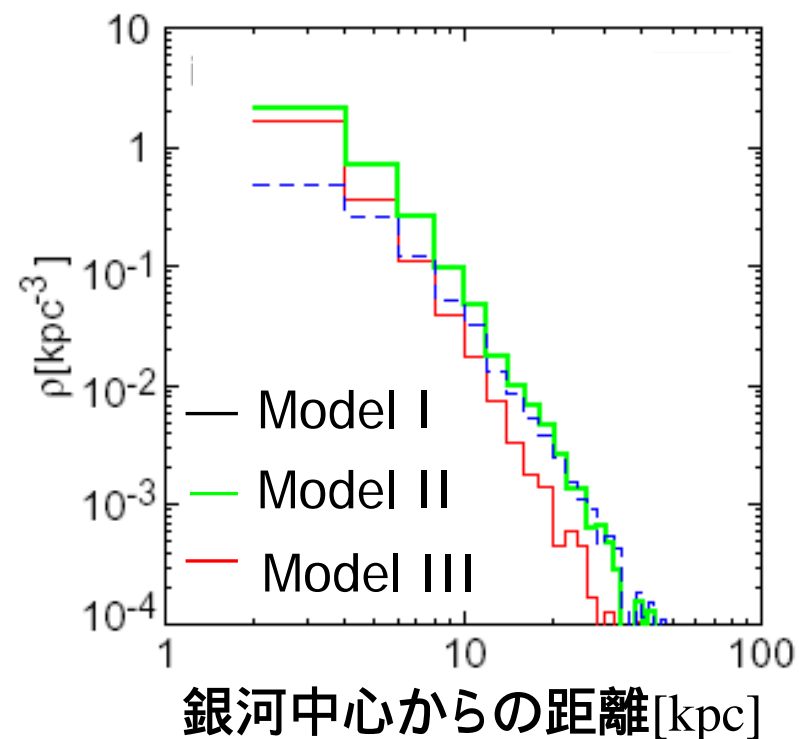
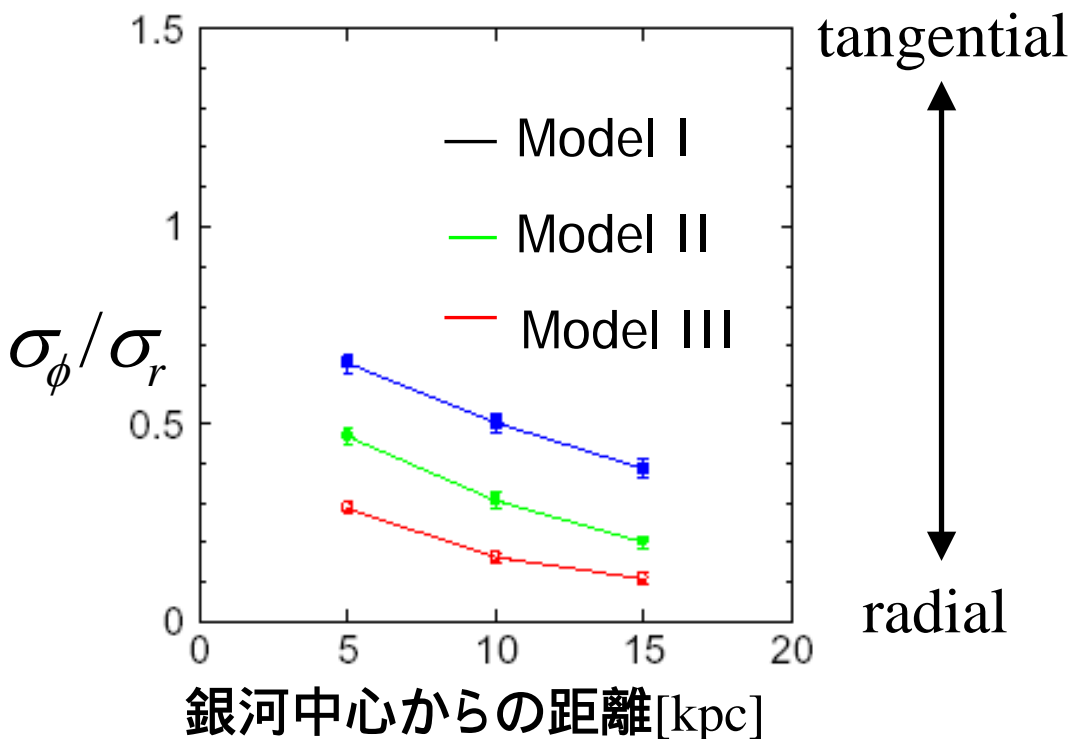
# 球状星団系の初期状態

(i) 質量関数

$$\varphi(M) \propto M^{-2} (10^5 M_{\odot} < M < 10^7 M_{\odot})$$

(ii) 速度の非等方性

(iii) 密度分布



## 2. 球状星団系の力学進化

# ダークハローの効果 (質量関数)

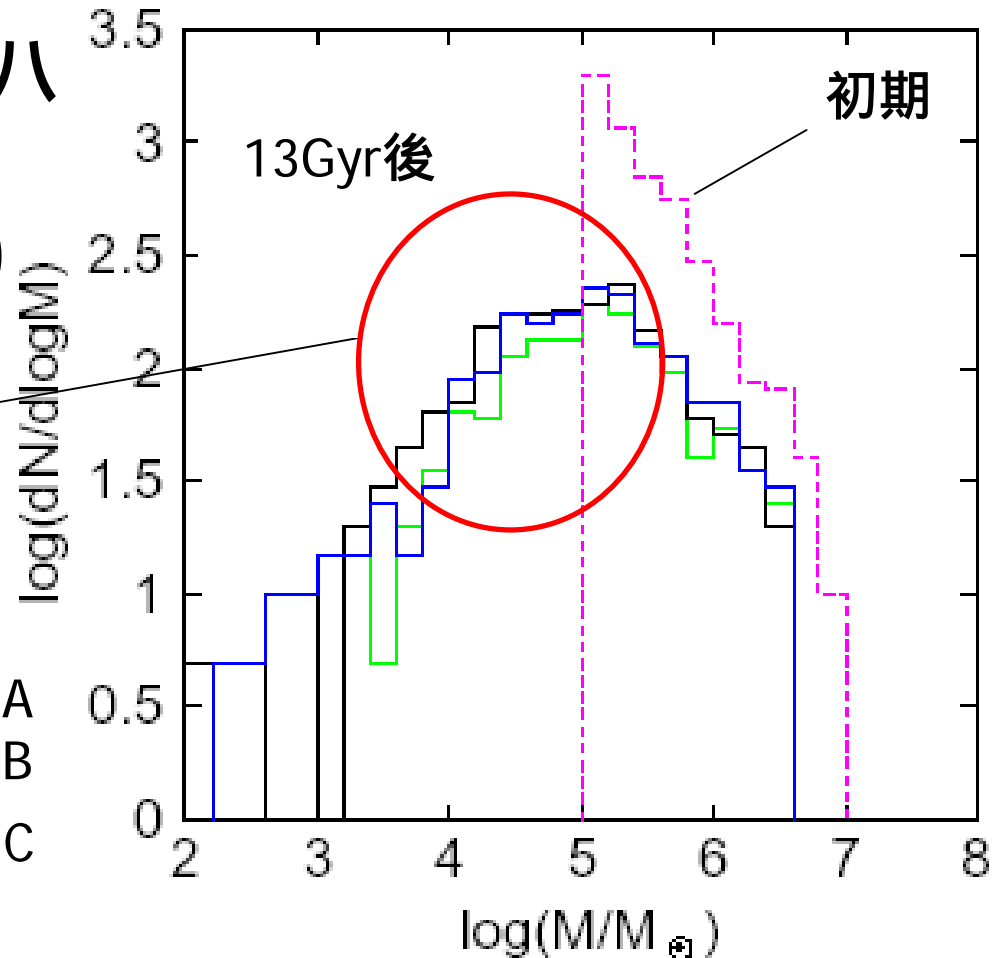
様々な質量密度のダークハローで星団系の進化追跡  
(星団系の初期状態一定)

ピークとなる  
質量一致

ピークの質量  $10^5 M_{\odot}$

$M_v \sim -7.6 \text{ mag}$

— Model A  
— Model B  
— Model C



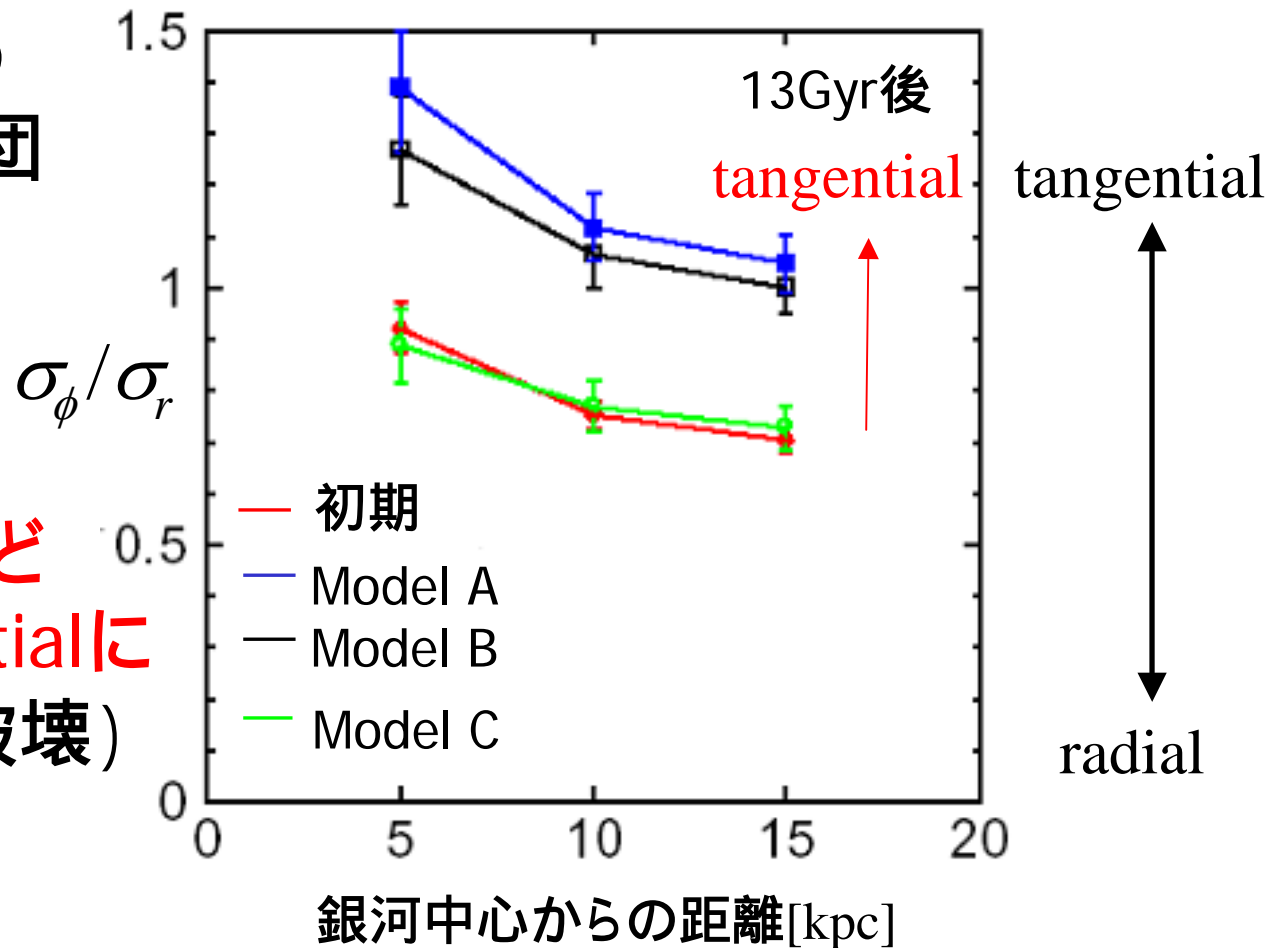


## 2. 球状星団系の力学進化

# ダークハローの効果(速度構造)

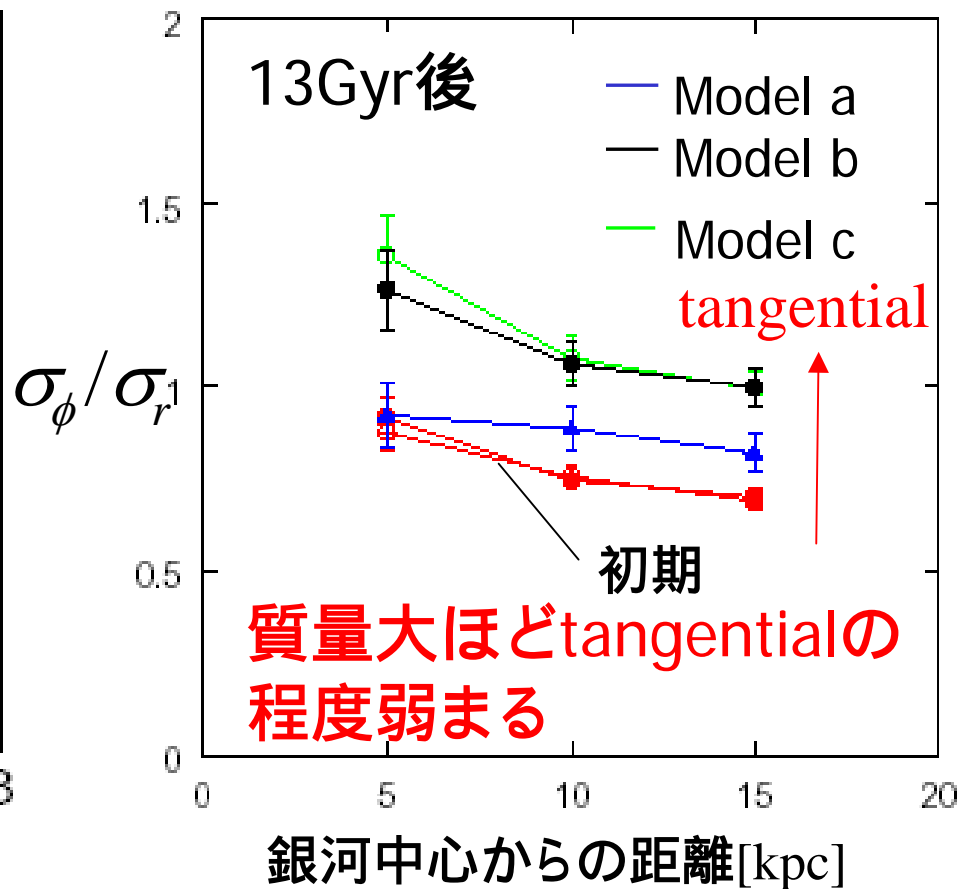
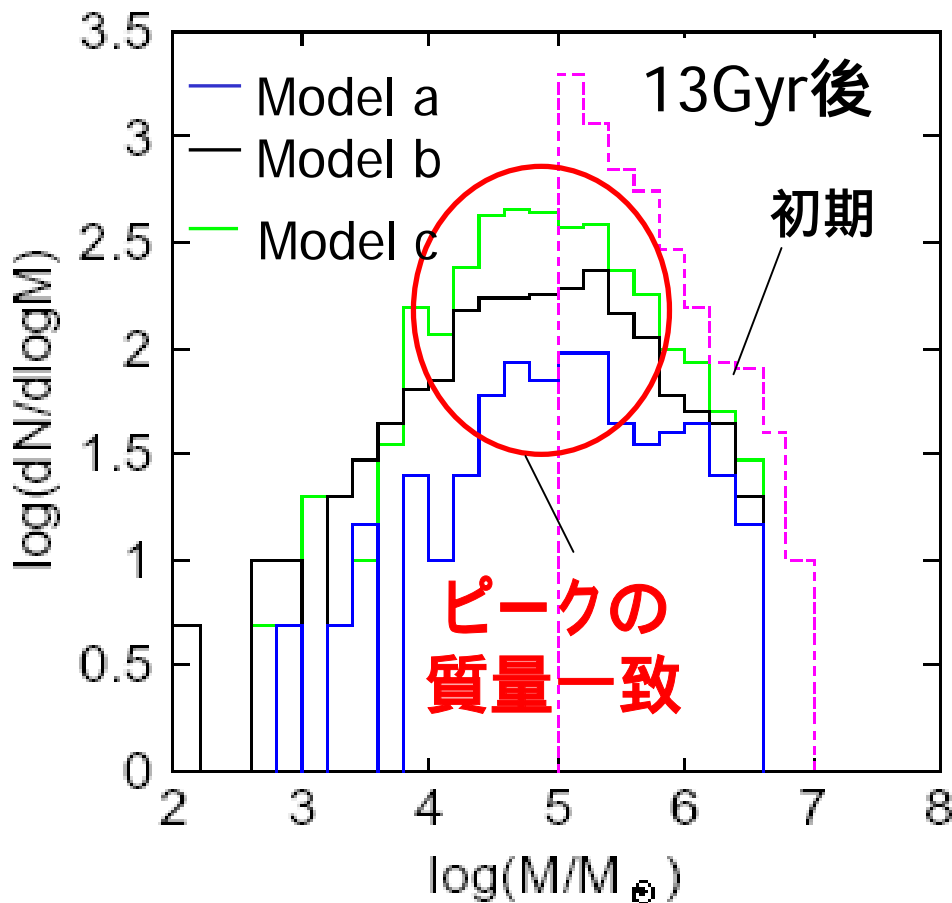
様々な質量密度の  
ダークハローで星団  
系の進化追跡

中心質量密度大ほど  
速度構造はtangentialに  
(離心率大の星団破壊)



## 2. 球状星団系の力学進化 銀河円盤の効果

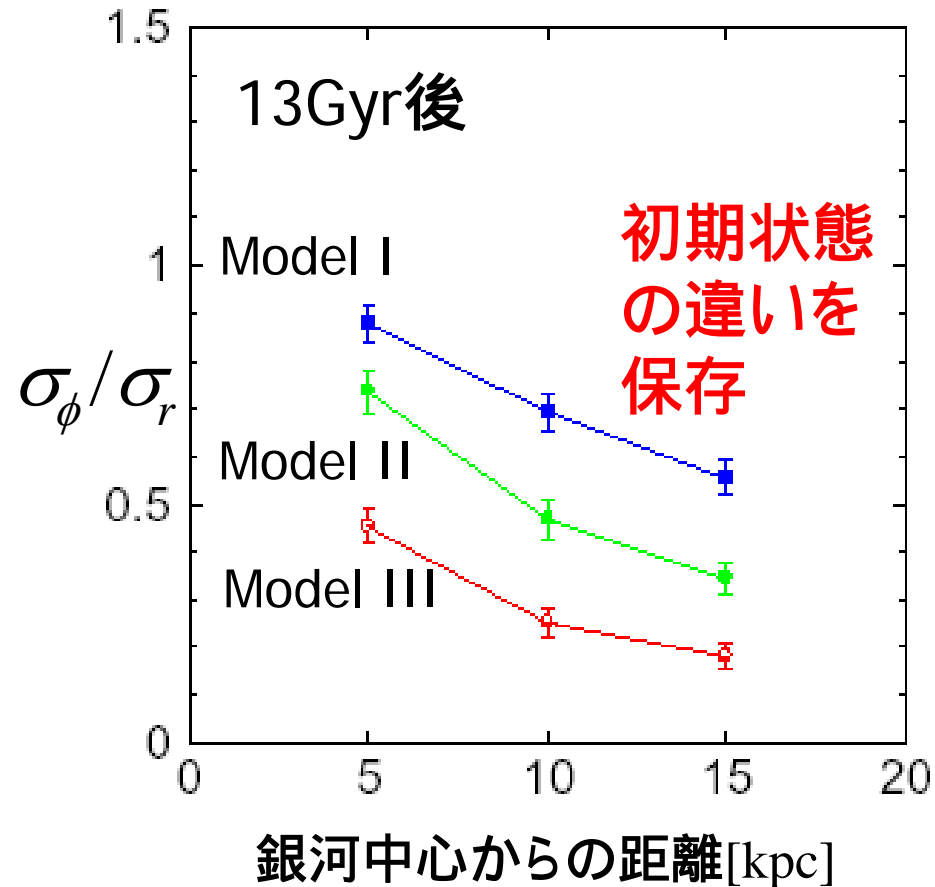
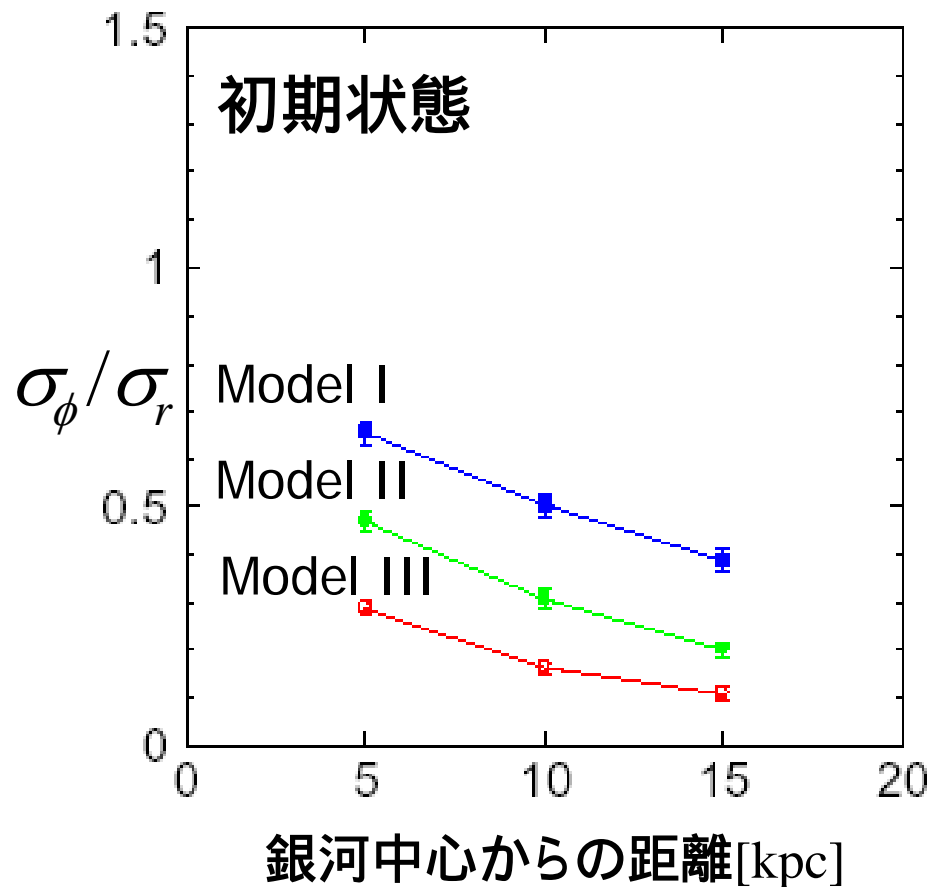
・ 様々な質量の銀河円盤で星団系の進化追跡



## 2. 球状星団系の力学進化

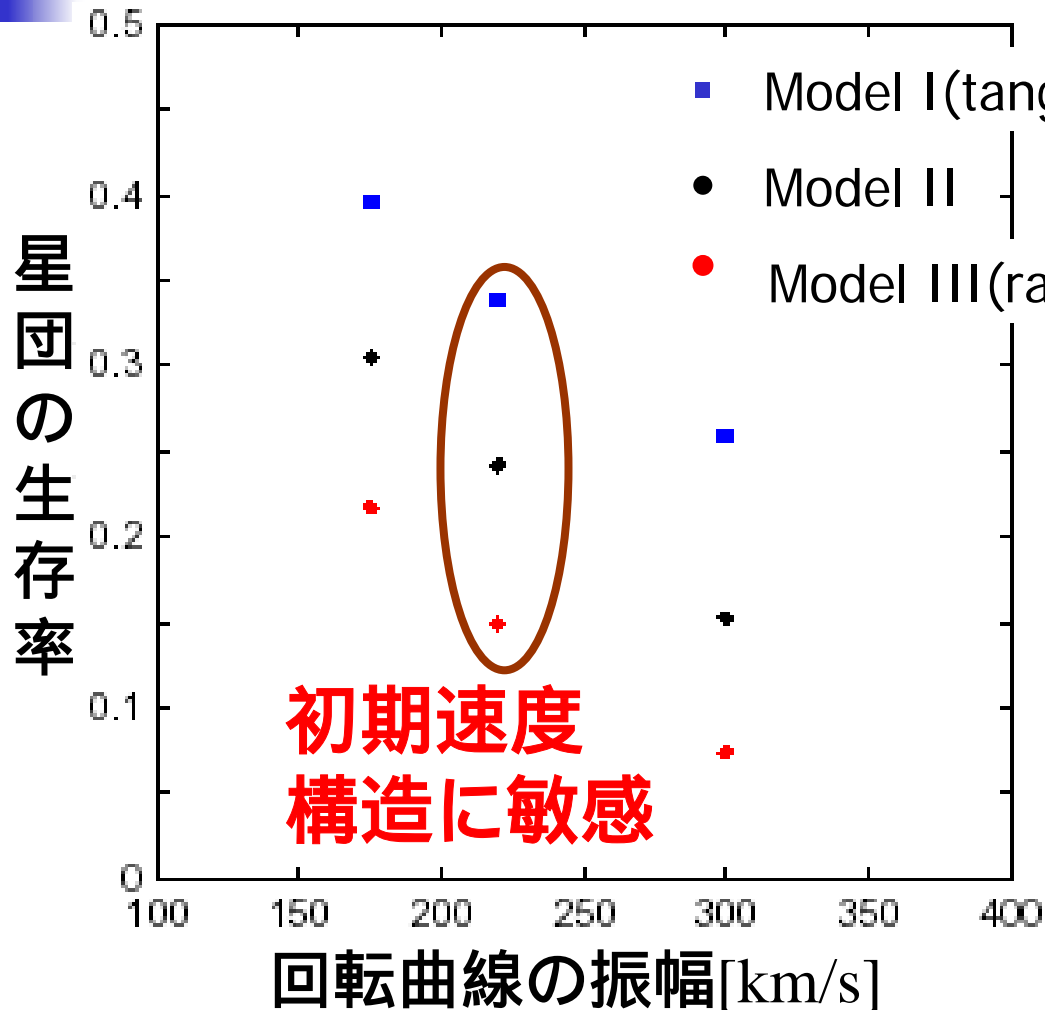
# 初期速度構造の効果 (速度構造)

様々な初期速度構造の星団系の進化追跡 (銀河重力場固定)



## 2. 球状星団系の力学進化

# 初期速度構造の影響 (生存率)



**tangentialな  
速度構造ほど  
生存率大**

### 3. 星団形成への制限

# 球状星団の初期状態への制限

## 初期の星団系

- ・総数: **同じ**
- ・平均運動: **回転** (tangential) **生存率大**  
**回転** × (radial)



## 現在(力学進化後)

銀河ごとに総数異なる

	銀河系	M31
星団の総数	200	400
系統的な回転	Metal richな星団系のみ (~140km/s) 生存率小	星団系全体 (~150km/s) 生存率大

## 4. 銀河の質量決定

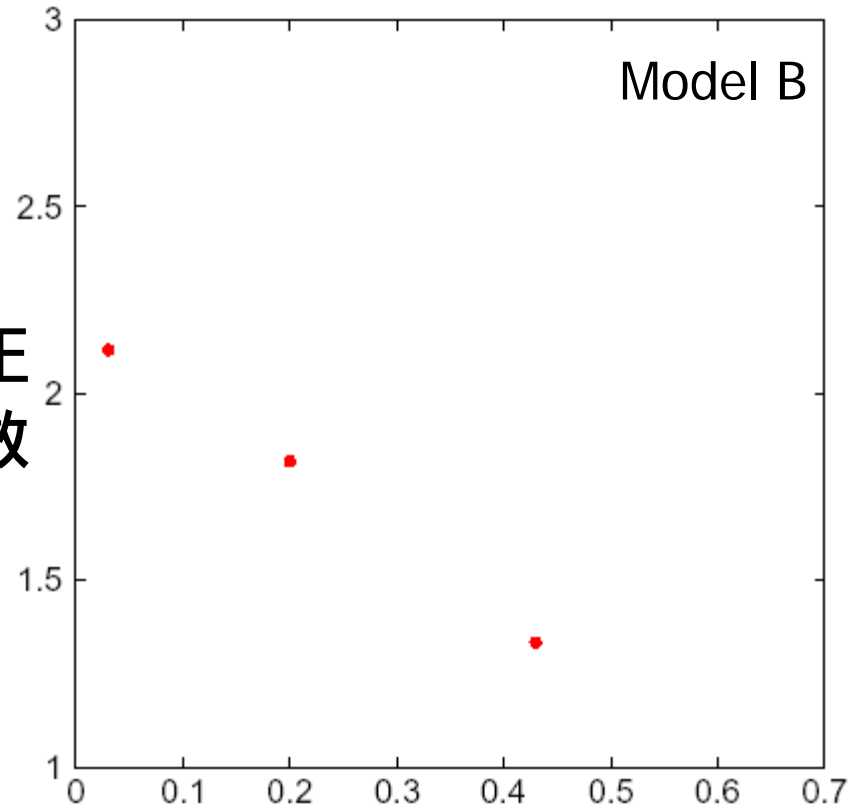
# 球状星団系の進化効果

質量決定: 高速天体が重要  
高速かつradial orbitの星団  
破壊 質量過小評価

### [銀河系の総質量]

- ・球状星団のみ (進化効果 × )  
 $9.6 \times 10^{11} M_{\odot}$
- ・球状星団のみ (進化効果 )  
 $9.6 - 19.2 \times 10^{11} M_{\odot}$
- ・衛星銀河 + 球状星団 + 水平分枝星  
 $11 - 30 \times 10^{11} M_{\odot}$  (Sakamoto et al. 2003)

補正  
係数



力学進化後の速度の非等方性

## 5.まとめ

## 4.まとめ

---

- 星団系の質量関数と動力学構造の進化を同時に追跡
- 進化後の質量関数のピーク質量は銀河重力場によらない
- 速度構造は、角度方向に非等方になる
- 星団の生存率は初期動力学構造に敏感
- 初期の星団系:総数は同じ、異なる運動状態(回転の有無)  
銀河ごとに現在(力学進化後)の星団の総数が異なる  
可能性あり
- 力学進化により高速の星団破壊  
現存する星団系から決定した銀河の質量は下限質量

## 5.まとめ

# 今後の課題

---

- 階層的銀河形成論の下で球状星団系の力学進化を追跡
- 系統的に回転する星団系の力学進化を追跡
- 早期型銀河の星団系の運動を観測