

# 銀河中における巨大ブラックホールの合体と成長の研究

谷川衝 (理化学研究所 計算科学研究機構)

「超巨大ブラックホール研究推進連絡会」  
第2回ワークショップ

'14/11/4@筑波大学

# 概要

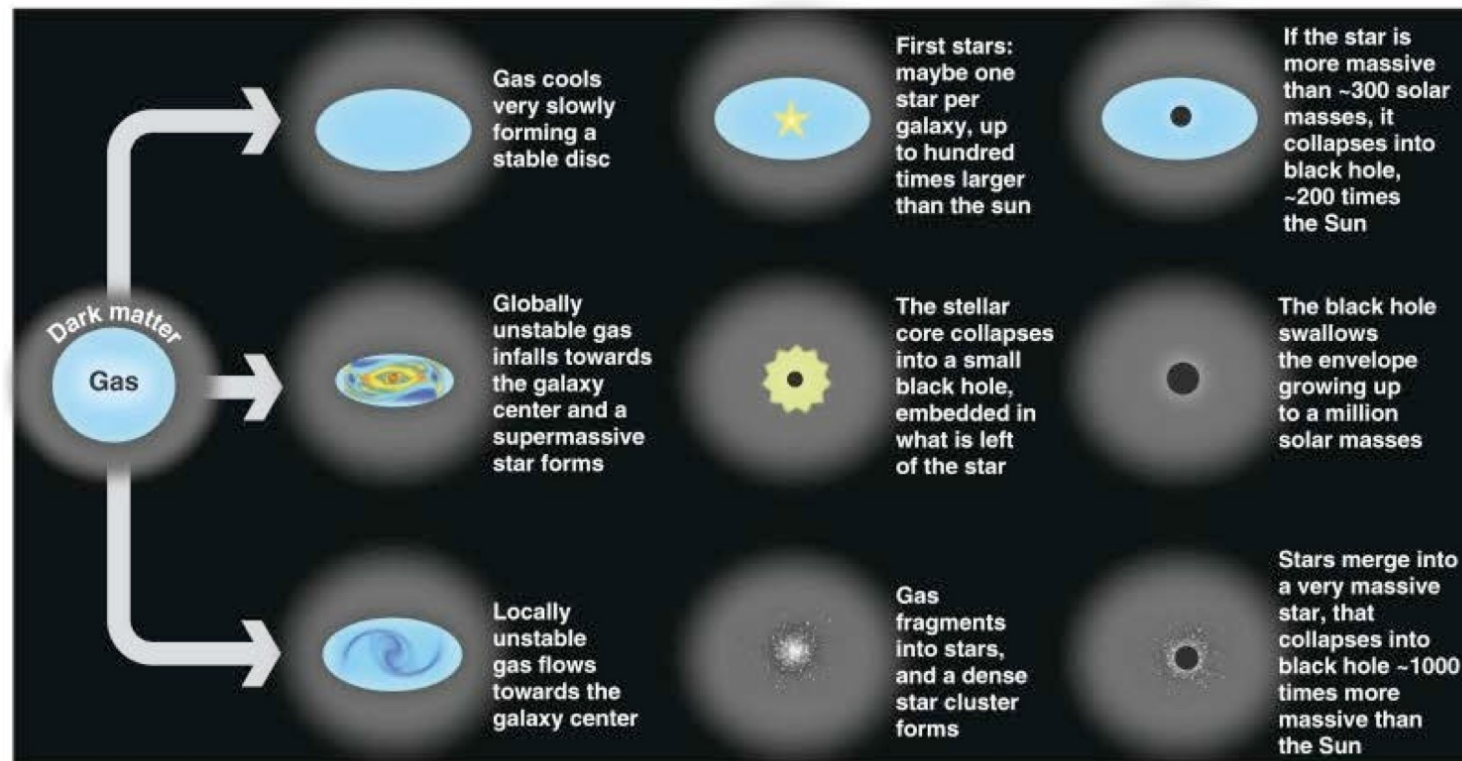
- 巨大ブラックホールの形成と合体
- 合体は阻害要因か, 促進要因か
- シミュレーション手法
- 結果
- まとめ

# 超巨大ブラックホール(SMBH)

- 場所：銀河中心
- 質量： $>\sim 10^6 \text{ Msun}$
- 形成に関する制限
  - 宇宙年齢1Gyrには,  $>10^9 \text{ Msun}$ のSMBHが存在  
(e.g. Fan et al. 2001; Mortlock et al. 2011)

# 形成過程～SMBHの種～

- どのような星の残骸か？
  - 初代星
  - ガスから直接に出来た超大質量星
  - 普通の星の暴走的合体で出来た超大質量星



Volonteri (2012)

# 形成過程～SMBHの成長～

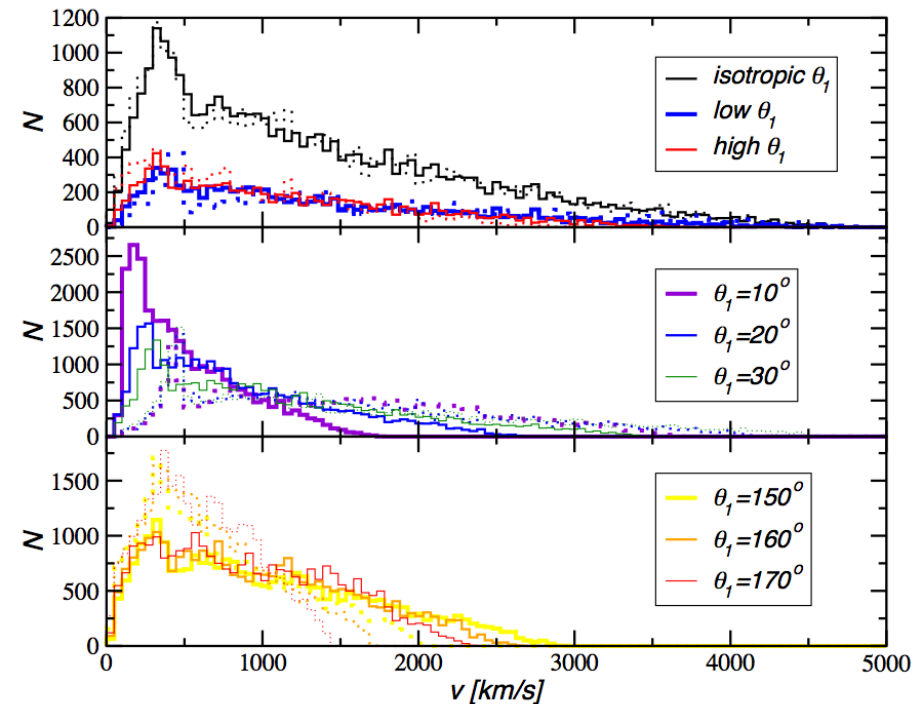
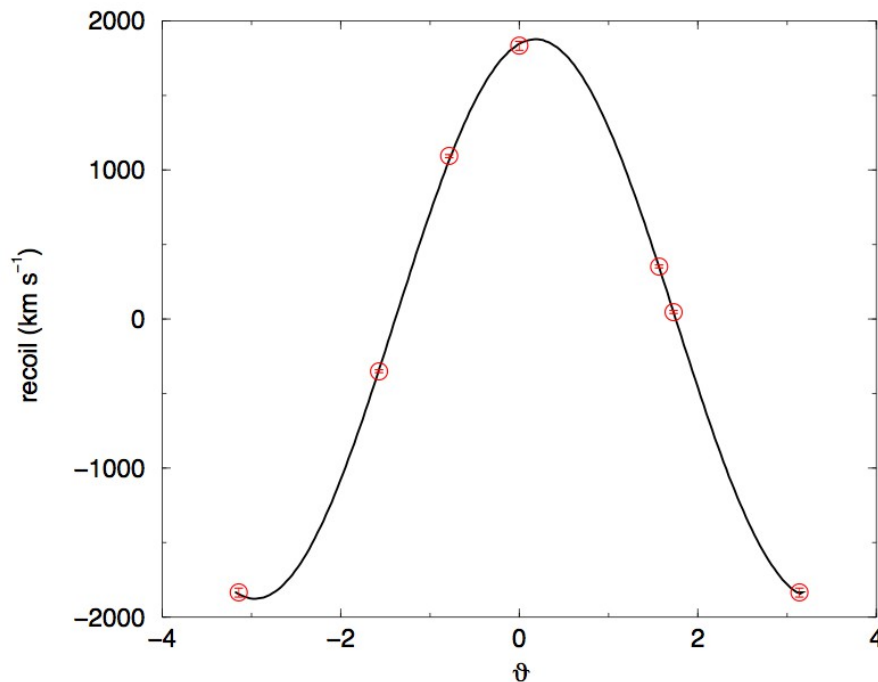
- 初代星の残骸  $< \sim 10^3 M_{\text{sun}}$
- ガスの降着
  - エディントン降着 … ずっと続けば大丈夫
    - 間欠的になる？ (e.g. Johnson et al. 2011)
  - 超エディントン降着
- SMBH同士の合体

# 合体は簡単に起こるか？

- ほぼ等質量のSMBHが2つの場合
  - 簡単には合体できない (Makino, Funato 2004)
    - Loss cone depletion
  - 簡単に合体できる？ (e.g. Khan et al. 2013)
- 非等質量のSMBHが2つの場合
  - 割と簡単に合体できる？ (Iwasawa et al. 2011)
- SMBHが3つの場合
  - 2つは合体できる (e.g. Iwasawa et al. 2006)

# 成長を阻害するか？促進するか？

- SMBHの合体は重力波の反跳を伴う
  - $< \sim 4000 \text{ km/s}$  (Campanelli et al. 2007)
    - 2つのSMBHのスピンの反平行で、軌道面と平行の場合
- スピンはそろろう？
  - 相対論の効果  $< \sim 500 \text{ km/s}$  (Berti et al. 2012)
  - ガスの降着  $< \sim 200 \text{ km/s}$  (Bogdanovic et al. 2007)



# 本研究

- SMBHの成長を促進できるかどうかのみ注目
- とりあえず単純な場合を考慮
  - N体シミュレーション
  - ガスを考えない
- N体シミュレーション
  - SMBHの合体条件を10シュワルツシルト半径
  - 近日点移動, 重力波放出の相対論の効果
  - 重力波による反跳の相対論の効果



# シミュレーション方法～初期条件～

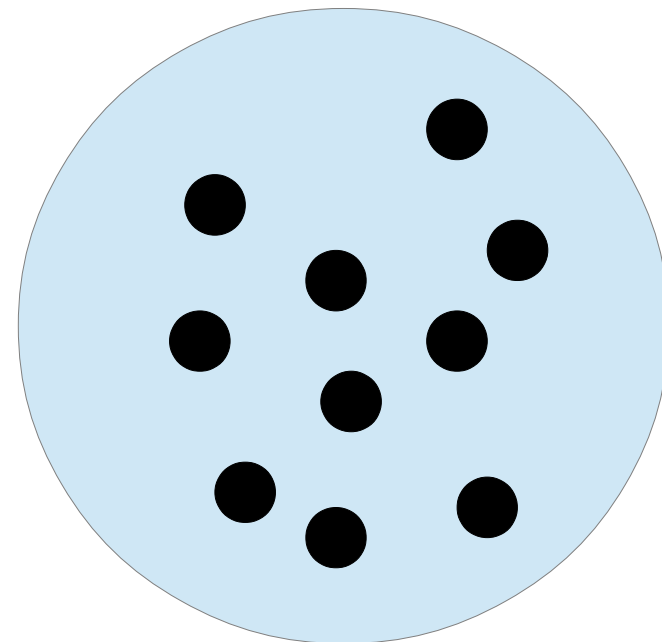
- 初期条件

- 銀河

- Hernquist model ( $N \sim 500,000$ )
    - 3D速度分散: 120km/s – 350km/s

- SMBH

- SMBH: 10
    - 全SMBH質量／銀河質量：0.001



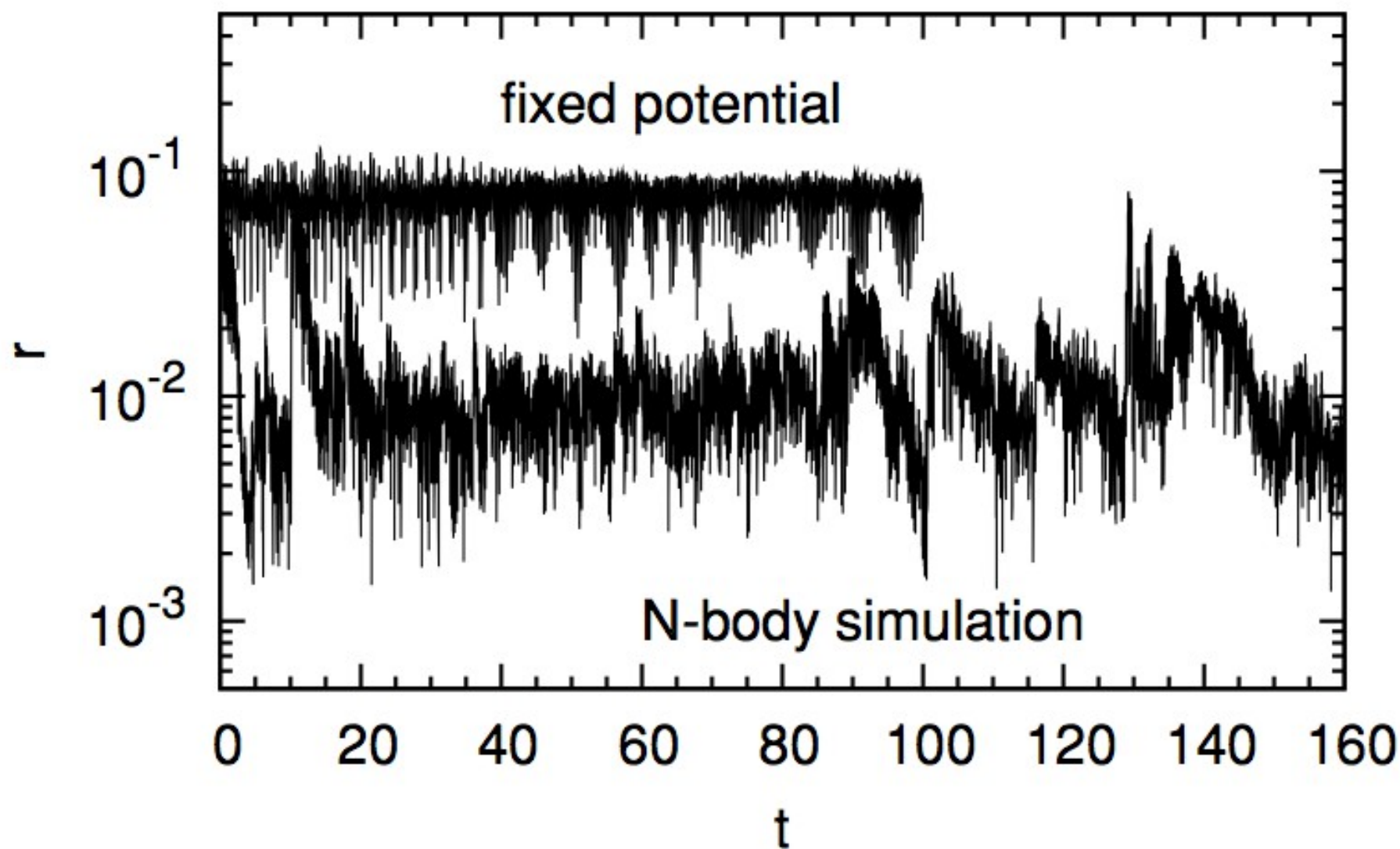
# シミュレーション方法～合体～

- 合体は、2つのSMBHのシュワルツシルト半径の和の10倍以内に近づいたとき
- 合体直後に $>200\text{km/s}$ の反跳

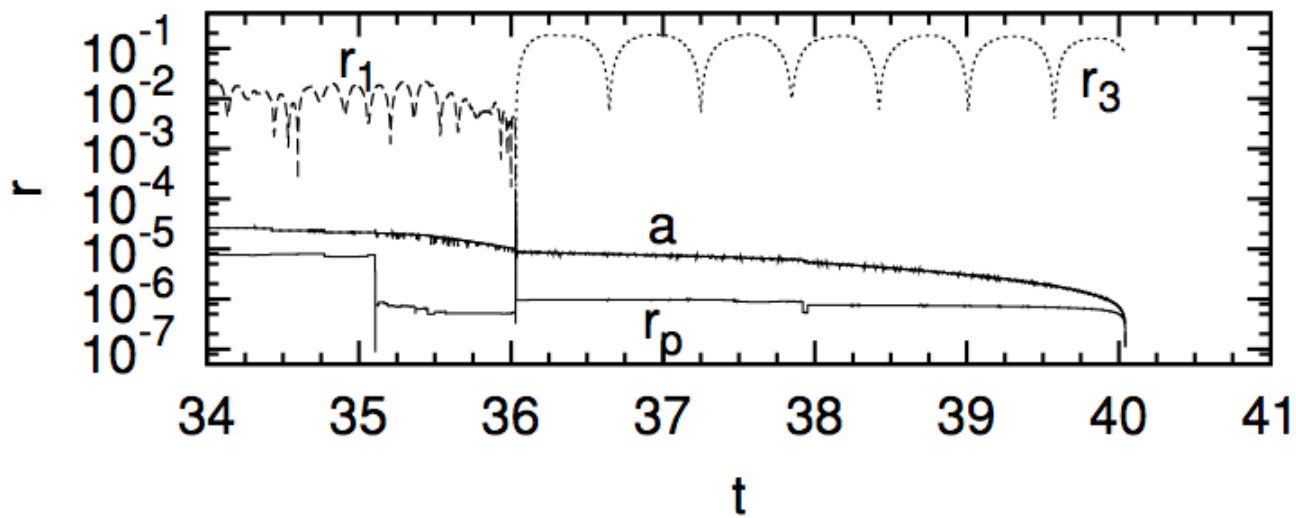
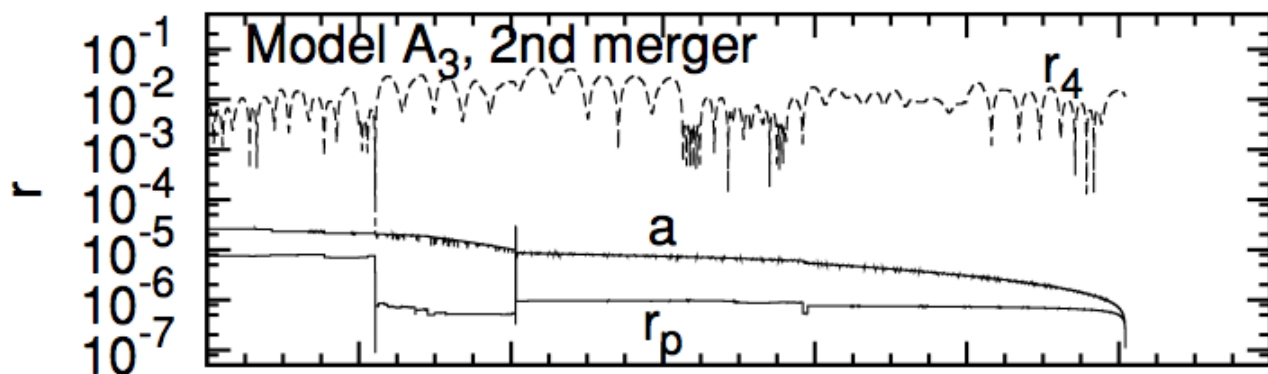
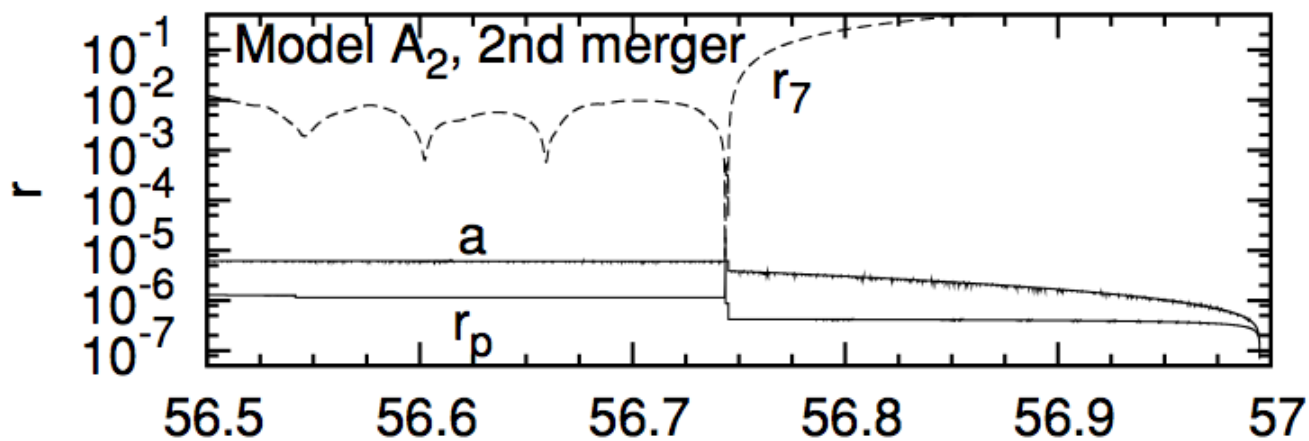
# シミュレーション方法～実行～

- 衝突系N体シミュレーション
  - $N^2$ の直接計算
  - 星-星, SMBH-星
    - ニュートンの力
  - SMBH-SMBH
    - 1-2.5PN
- 計算場所
  - FIRST
  - COMA/HA-PACS with phantom-GRAPE

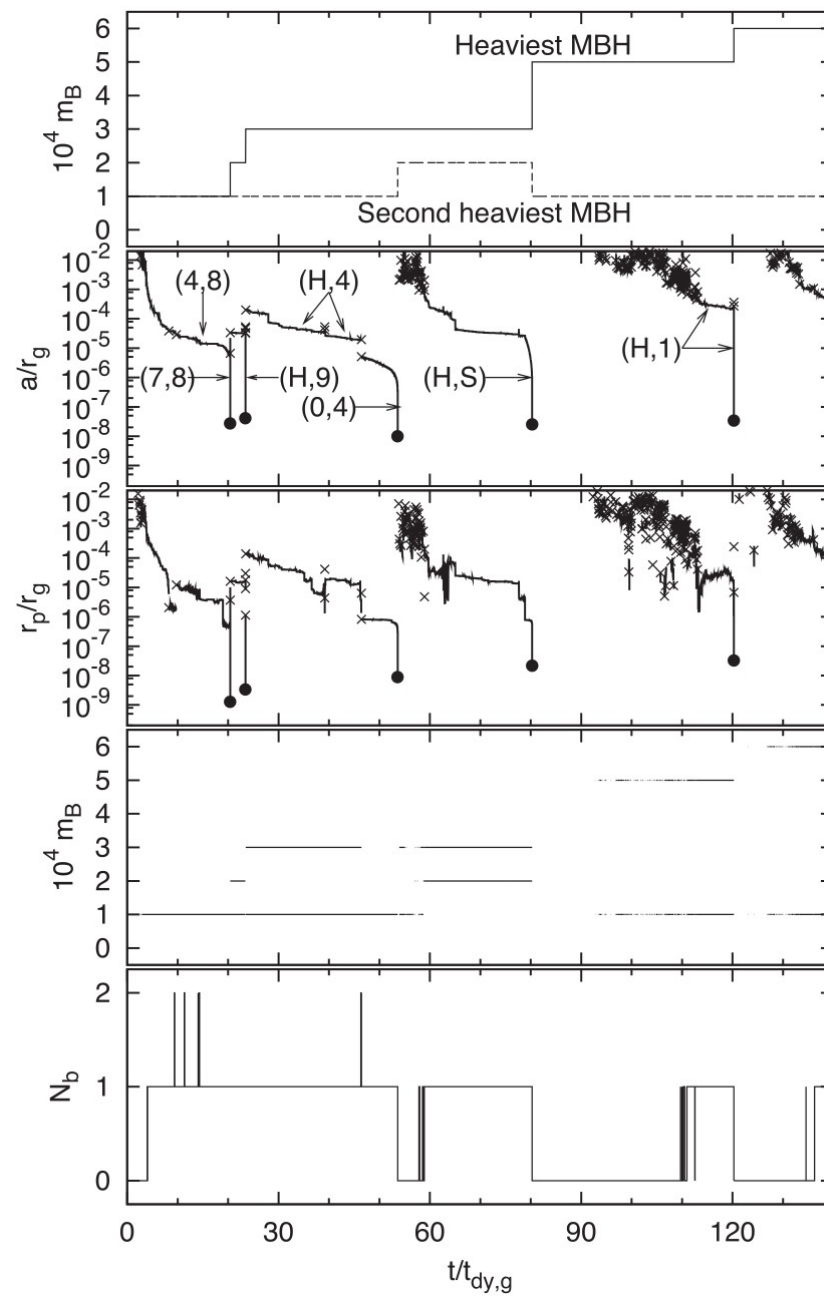
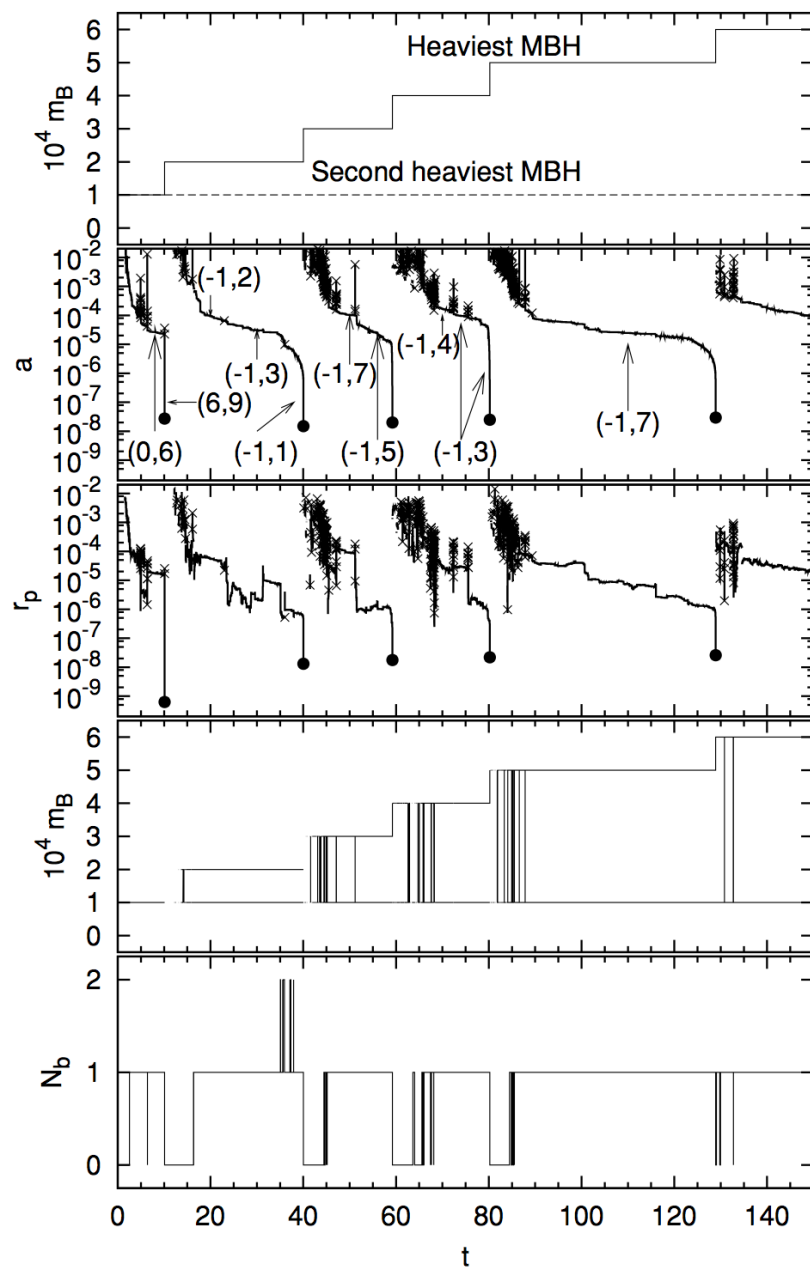
# 力学的摩擦



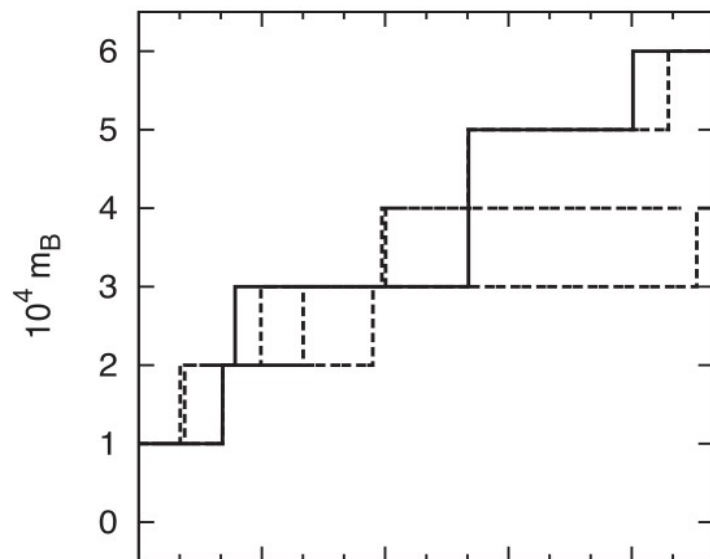
# 合体例



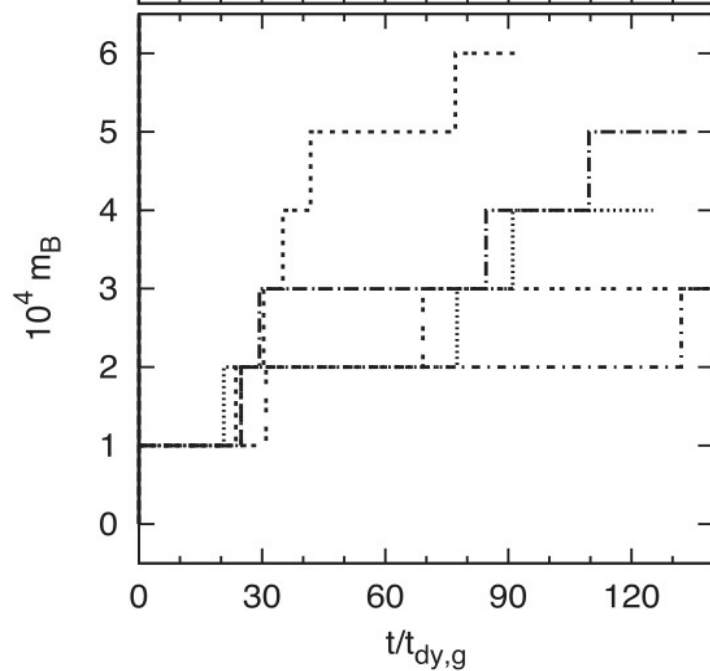
# 継続的な合体



# 色々なモデル



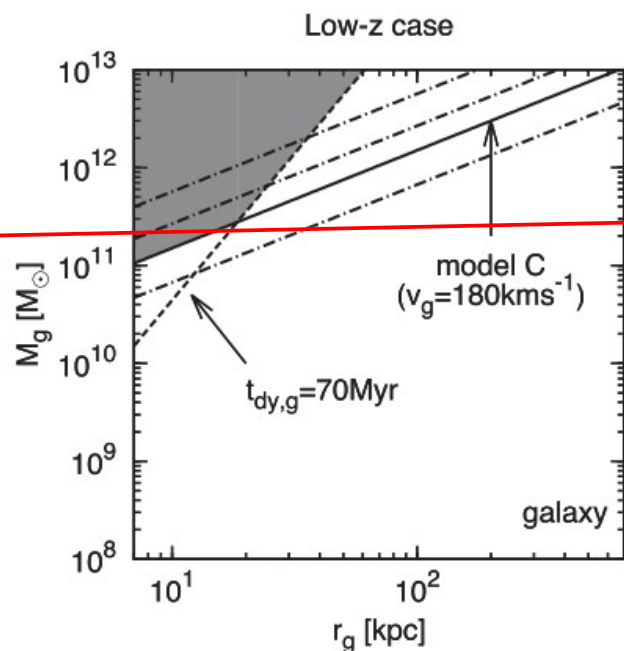
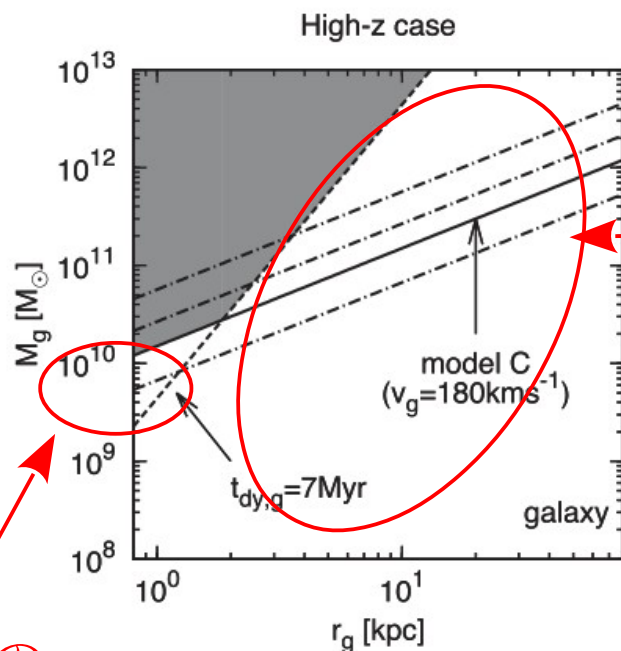
高密度な銀河



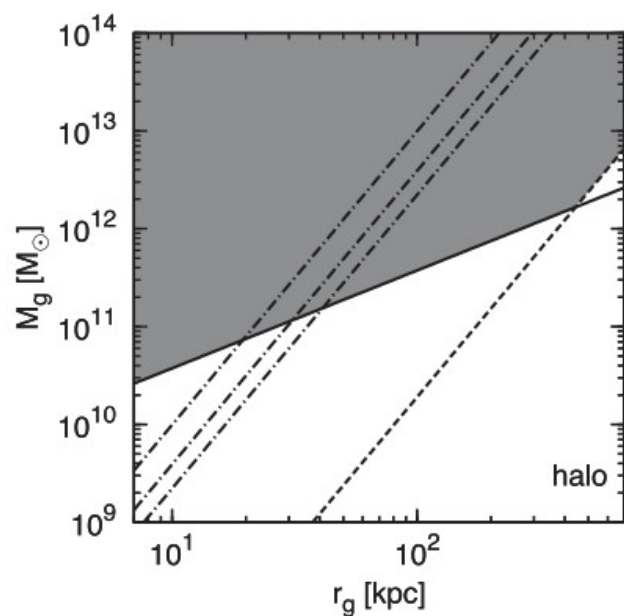
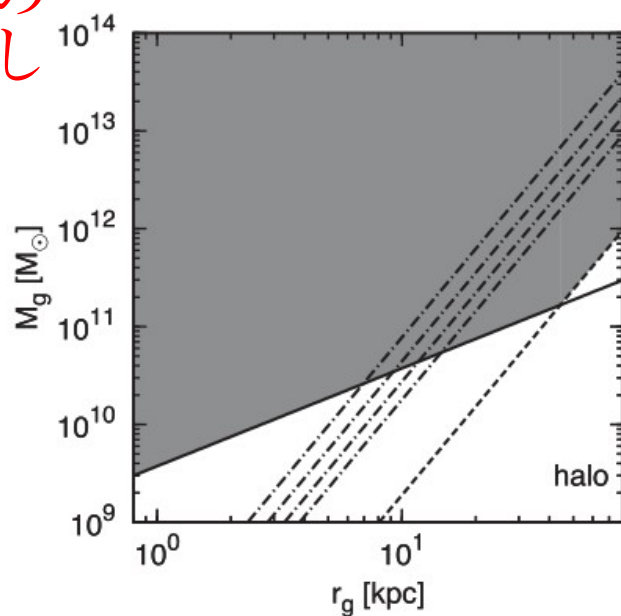
低密度な銀河

$A_{0,x}$  ---  
 $A_1$  ---  
 $B_0$  ---  
 $B_1$  ---  
 $C_0$  ---  
 $C_1$  ---  
 $D_0$  ---

# 継続的な合体をする条件



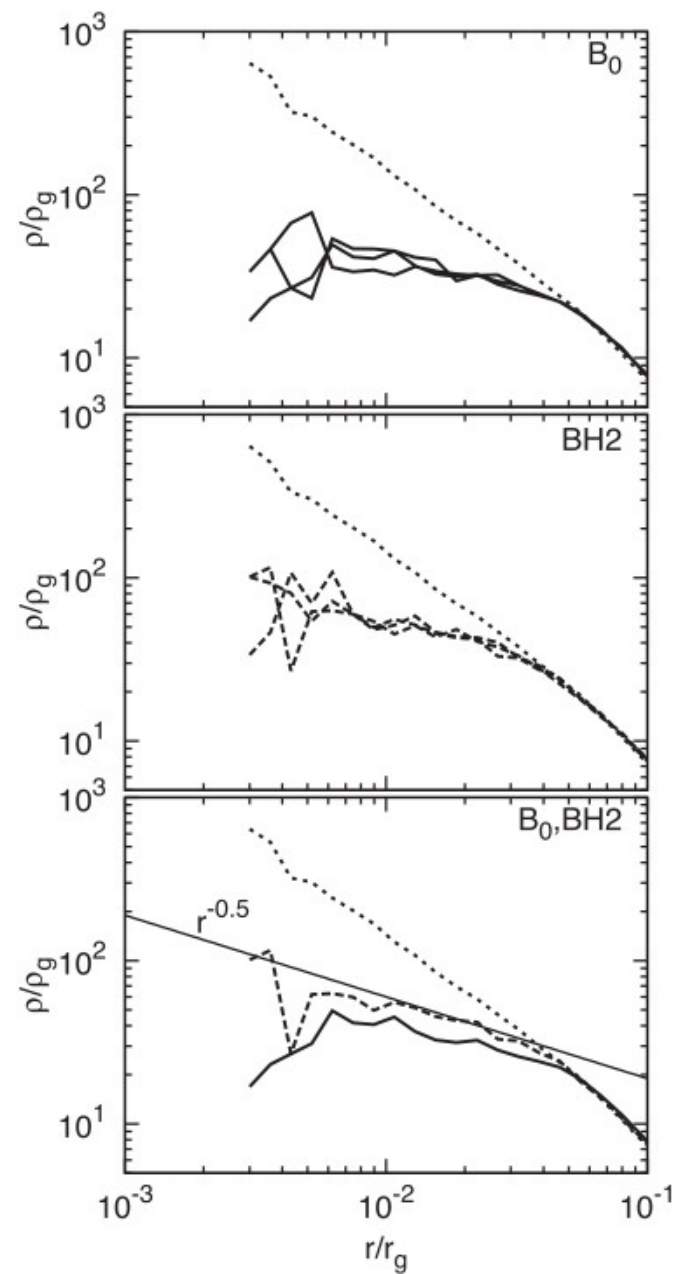
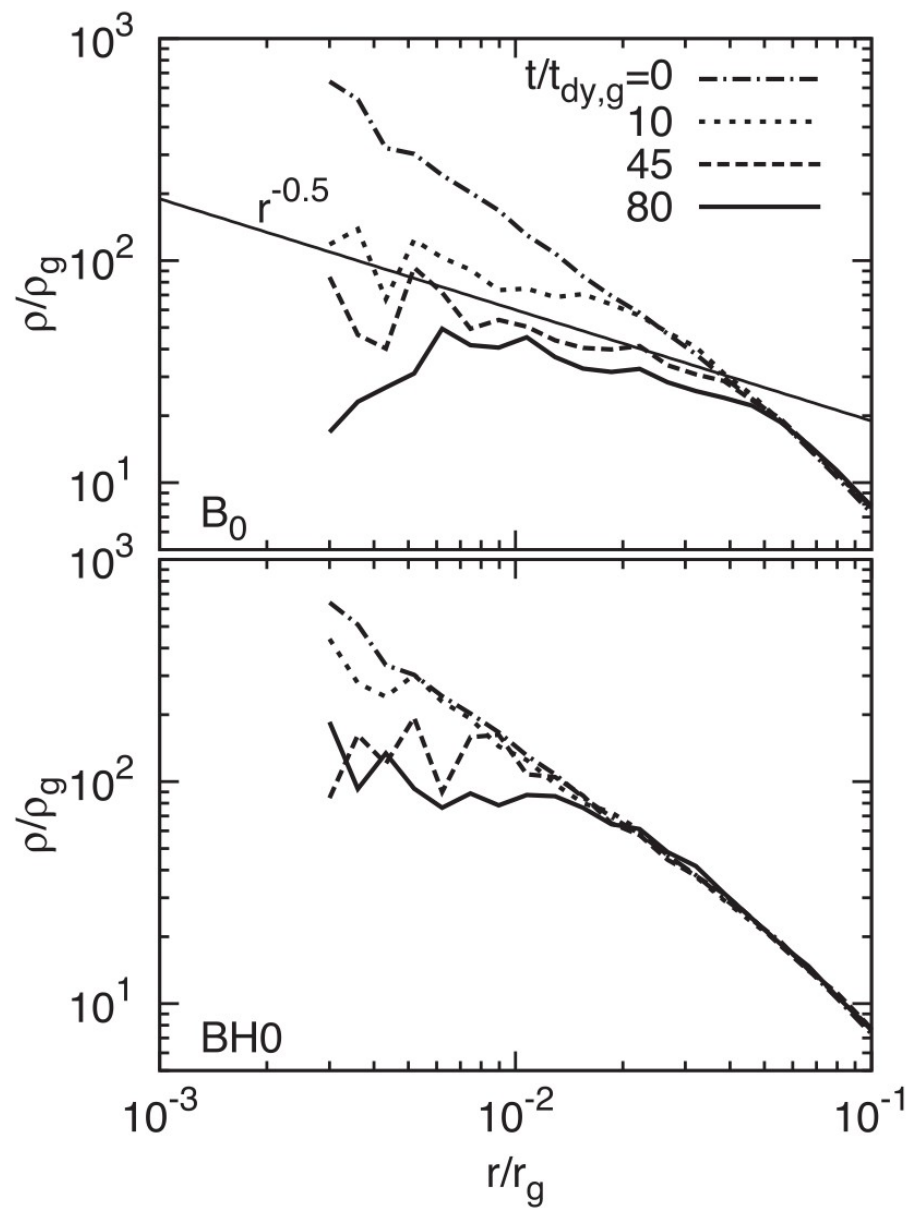
時間がかかる



反跳が銀河の  
重力場に対し  
て強い



# 合体などの痕跡



# まとめ

- 少なくとも2つのSMBHは合体できる
- 合体を継続するには、SMBHの受ける反跳の速度に対して、銀河の脱出速度が数倍である必要がある
- 典型的な反跳の速度が数100km/sなので、初代星の残骸を作った銀河とかでは無理
- ある程度、成長した銀河でないと合体を継続できない

# 課題

- SMBHの初期条件
  - 準解析的モデルで検証？
  - Major merger中にたくさんSMBH(IMBH)できる？  
(Matsui et al. 2012)
- SMBHの合体に伴う反跳
  - スピンの向きのモデル化
  - ガスの降着のモデル化