

FORMATION OF $z \sim 6$ QUASARS FROM HIERARCHICAL GALAXY FORMATION

所属 北海道大学
学年 修士1年
氏名 石倉未奈

今回の発表では「FORMATION OF $z \sim 6$ QUASARS FROM HIERARCHICAL GALAXY FORMATION」Li et al. 2007 についての紹介をした。

1 INTRODUCTION

Introduction

- Distant, highly luminous quasar
Important for studying the first generation of galaxies, the star formation history and metal enrichment in the early universe
- “SDSS J1148+5251” (fan+ 2003)
at $z=6.42$ ($<1\text{Gyr}$)
 $L_{\text{bol}} \sim 10^{14} L_{\text{solar}}$ powered by SMBH of mass $\sim 10^9 M_{\text{solar}}$
 $\text{SFR} \sim 3 \times 10^3 M_{\text{solar}} \text{yr}^{-1}$
near-solar metallicity in the quasar host

SDSS(Sloan Digital Sky Survey) によって、 $z = 6.42$ に $\sim 10^9 M_{\odot}$ の SMBH(Super Massive Black Hole) を有するようなクエーサーが見つかった。

宇宙誕生からわずかの間に成長した SMBH 及び、それを持つ銀河の進化過程は問題である。

この論文ではブラックホールの成長に関して自己調節モデルを仮定し、宇宙論的な銀河形成過程のシミュレーションを行った。

2 METHODOLOGY

Methodology

- Multiscale cosmological simulation
 - Standard Λ CDM cosmology
 - “WMAP1” or WMAP3
- Simulation of galaxy mergers along the tree
 - SPH (GADGET2)
 - Radiative cooling and heating (Katz+ 1996; Dave+ 1999)
 - Self-regulated by BH feedback
 - BH seed mass $\sim 10^5 M_{\text{solar}}$ at $z \sim 14$

まず、宇宙論的シミュレーションをダークマターのみで行い、対象となる銀河の銀河合体の詳細を決定する。銀河合体を踏まえた上で、今度はダークマターの他にガスや星も考慮して計算する。

Λ CDM モデルを採用している。

パラメータは WMAP1 を使用する。

3 COSMOLOGICAL SIMULATION

cosmological simulation

- 1. Coarse dark matter simulation**
 - $L_{\text{box}} = 1 \text{ h}^{-1} \text{ Gpc}$
 - 400^3 particles
 - $m_{\text{DM}} \sim 1.3 \times 10^{12} \text{ h}^{-1} M_{\text{solar}}$
 - from $z=30$ to $z=0$
- 2. zoom-in (Gao+ 2005)**
 - $\sim 3.6 \times 10^{15} \text{ h}^{-1} M_{\text{solar}}$ ($z=0$) selected as a candidate
 - $L_{\text{box}} \sim 50 \text{ h}^{-1} \text{ Mpc}$
 - 350^3 particles (340^3 particles inside the high-resolution region)
 - $m_{\text{DM}} \sim 2.8 \times 10^8 \text{ h}^{-1} M_{\text{solar}}$
 - from $z=69$ to $z=0$

宇宙論的シミュレーションでは、粗いダークマターの計算を行い、その中から対象となるダークマターハローを探す。次に zoom in (Gao et al. 2005) という手法を用いて、さらに細かく計算を行う。(具体的なスケール、resolution は左図。)

これにより、対象となる銀河のダークマターハローの進化が計算できた。ここから中にある銀河の合体史を決める事ができる。

4 GALAXY MODEL AND NUMERICAL PARAMETER

Galaxy model and Numerical parameter

- **Dark matter halo**
 - **Hernquist profile (Hernquist 1990)**
 - $$\rho_{\text{Hern}}(r) = \frac{M_{\text{vir}}}{2\pi} \frac{a}{r(r+a)^3} \quad a = R_s \sqrt{s[\ln(1+C_{\text{vir}}) - C_{\text{vir}}/(1+C_{\text{vir}})]}$$
 - : to the appropriate NFW halo scale length R_s (Springel+ 2005b)
- **Gas**
 - The EOS (for star-forming gas) controlled by qEOS
 - Radiative cooling and heating (Katz+ 1996, Dave+ 1999)
- **Star**
 - SFR following the **Schmidt-Kennicutt Law**
 - Starburst-driven wind is ineffective.
- **Numerical parameter**
 - 10^6 particles (DM+gas+star)
 - $m_{\text{h}} = 1.1 \times 10^7 \text{ h}^{-1} M_{\text{solar}}$, $m_{\text{gas}} = 2.2 \times 10^6 \text{ h}^{-1} M_{\text{solar}}$

次に具体的に対象の銀河の進化を計算する。使用する銀河モデル、resolution は左図である。

Radiative cooling と heating はそれぞれ Katz et al. 1996 と Dave et al. 1999 を使用。

5 BLACK HOLE MODEL

BH model

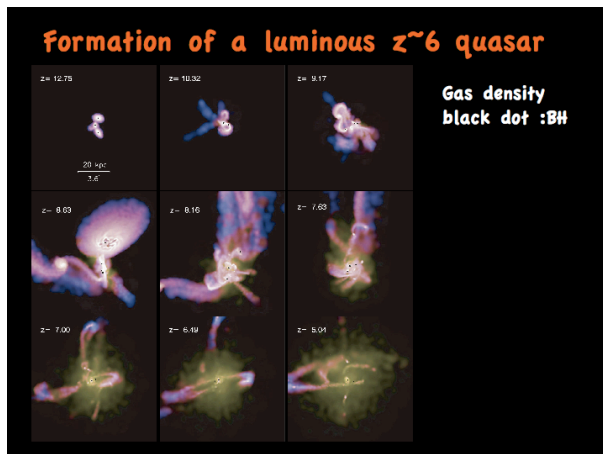
- **Seeds come from the first stars**
 - First star has initial mass of $200 M_{\text{solar}}$ at $z=30$.
 - Most BHs grow at nearly the **Eddington rate**.
 - Grows $\sim 10^5 M_{\text{solar}}$ when enters the major merger
- **Accretion**
 - **Bondi-Hoyle model (Bondi&Hoyle 1944)**
 - $$\dot{M}_{\text{B}} = \frac{4\pi\alpha G^2 M_{\text{BH}}^2 \rho}{(c^2 + v^2)^{3/2}}$$
 - $$\dot{M}_{\text{Edd}} = \frac{4\pi G M_{\text{BH}} m_p}{c_r \sigma_{\text{T}} c} \quad \epsilon_r = 0.1$$
 - : upper limit by **Eddington rate**
- **Feedback from BH**
 - A small fraction (~5%) of the radiated energy couples to the surrounding gas isotropically in the form of thermal energy. (self-regulated; Springel+ 2005b, Di Matteo+ 2005)
- **Not consider BH ejection caused by gravitational recoil**

今回採用した BH のモデルである。seed は初代星から生成されたものとし、そこから対象の銀河に合体するまでは Eddington rate で成長する事を仮定した。おおよそ、合体する時の BH の大きさは $\sim 10^5 M_{\odot}$ くらいである。その後は Bondi-Hoyle model を使用する。

self-regulated model (Springel et al. 2005b) を採用し、BH に落ち込むエネルギーの約 5% を周りに返す事で BH からの feedback があると仮定する。

BH ejection は考慮しない。

6 FORMATION OF A LUMINOUS $z \sim 6$ QUASAR

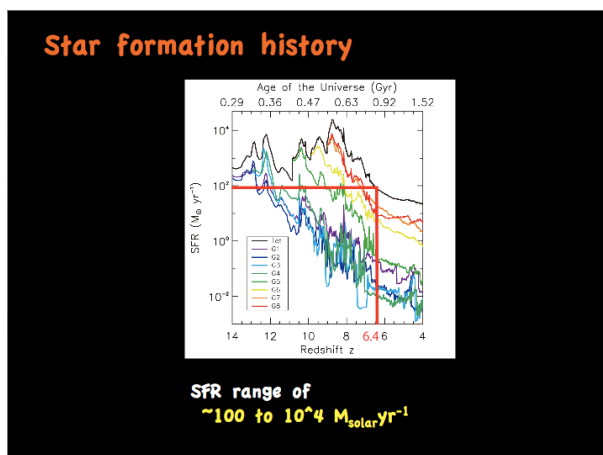


それぞれの z でのガスのスナップショット。

真中が最後の major merger の様子。下が $z \sim 6$ のガスの様子。

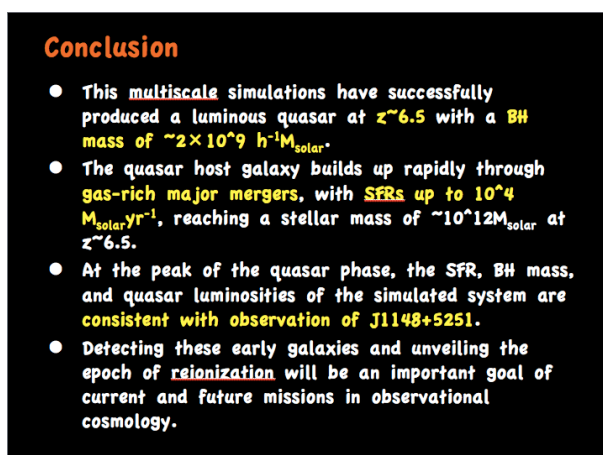
黄色が温度の高いところ、青が温度の低いところを表している。

7 STAR FORMATION HISTORY



SFR(Star Formation Rate) の幅は、だいたい $\sim 100-10^4 M_{\odot} yr^{-1}$ 。平均すると $10^3 M_{\odot} yr^{-1}$ と、観測とよく一致している。

8 CONCLUSION



今回採用したモデルでは、無事に $\sim 10^9 M_{\odot}$ の SMBH を持つ様な銀河が、 $z \sim 6.5$ までに成長する事が確認できた。

特に不都合な仮定は入っていないように思われる。しかし、銀河合体が起こるまでに BH が今回のモデルの大きさまで成長するかは疑問である。