

Direct Collapse Black Hole

鄭 昇明 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

近年、 $z > 7$ において非常に大質量なブラックホール ($\sim 10^9 M_\odot$) が観測された。(Johnson et al.2012) 宇宙初期にできた初代星 (Pop 3 star) と呼ばれる星は現在の星と比べて非常に質量が大きいと考えられている ($40\sim 100 M_\odot$) が、それでもこのような大質量なブラックホールの形成を説明する事には未だ成功していない。本研究ではこのような大質量ブラックホールができる一つのシナリオとして有力視されている Direct Collapse について考える。Direct Collapse とは、宇宙初期に周囲の初代星からのフィードバックによってジーンズ質量が大きくなり $\sim 10^5 M_\odot$ 程度の非常に重いブラックホールの種がまず形成される。これがどんどん成長して大質量ブラックホールを形成する、というシナリオである。

1 Introduction

1.1 high-redshift quasars

近年の観測機器の劇的な進歩により非常に遠方の宇宙の姿が明らかになりつつある。特に、高赤方偏移 ($z \sim 6$) で非常に明るい quasar が次々と観測される。この quasar のエネルギー源が銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) に依るものと仮定すると、この SMBH の質量は $M_{SMBH} \sim 10^{-9} M_\odot$ に相当する。[Fan X. et al. (2012)] このように非常に大質量のブラックホールが、宇宙ができてわずか 700Myr の間に生じたという事実は星形成過程を考える上での非常に大きな謎の一つである。このような SMBH の形成シナリオは様々考えられているが、本研究では Direct Collapse と呼ばれるものについて考える。

本項において、まず初期宇宙における星形成の基本事項 (Pop3 star 等) を説明した後、Direct Collapse シナリオを考える必要性とその内容について簡単に説明する。

1.2 Population3 star

宇宙初期に形成された星は初代星 (Pop3 star) と呼ばれ、現在観測されるような星とは大きく性質が異なると考えられている。ビッグバン直後の宇宙の物質のほとんどは水素とヘリウムからなり、これよ

り重い元素 (「金属」) はほぼ存在しない。結果として初代星は水素とヘリウムから構成されることになる。このため金属による冷却が効かずそのジーンズ質量は現在の星と比べて非常に大きくなる。シミュレーションによると、初代星の典型的な質量は $40\sim 100 M_\odot$ で現在の星 ($\sim 1 M_\odot$) と比べて非常に大きい事が分かってきた。

初代星内部で合成された重元素は超新星爆発によって銀河内部にまき散らされる。このように次第に宇宙全体の金属量は上昇し、宇宙の金属量がある値を超えるとジーンズ質量は急激に減少する。この金属量の臨界値 (Z_{crit}) は

$$\begin{cases} Z_{crit}/Z_\odot \simeq 10^{-6} \\ : \text{ダストによるクーリングがある時} \\ Z_{crit}/Z_\odot \simeq 10^{-3.5} : \text{それ以外} \end{cases} \quad (1)$$

となる事が知られている。[Omukai et al. (2005), Bromm et al. (2001)] 金属量が Z_{crit} を超えると、星の質量は現在観測可能な星と同じ IMF に従うと考えられている。

このように、時間だ経つにつれて初代星内部で作られた重元素が超新星爆発とともに宇宙全体にまき散らされ、Pop 3 優勢の宇宙から Pop 2 優勢の宇宙に変化していくと考えられている。

1.3 Lyman-Werner radiation

初代星の質量は非常に大きいため、多くの UV 光を周囲にまき散らす。このため、初代星の周辺環境は非常に強い紫外光にさらされる事になる。

このような初代星からのフィードバックについては詳しく研究がなされているが、現在特に注目されているのが 11.4eV から 13.4eV の波長域に対応する Lyman-Werner radiation(以下 LW radiation) と呼ばれる紫外光である。LW radiation はガス雲中の H_2 分子を破壊し、星形成過程に大きな影響を及ぼす。

宇宙の星形成の標準的なシナリオにおいて H_2 分子は重要な存在である。初代星形成の前段階におけるガス雲において最も効率的な冷却剤としての役割を果たすものは H_2 分子である。 H_2 分子の存在によりガス雲は十分に冷却する事ができ、星形成に至る事ができる。

しかし、初代星周辺の強力な LW radiation のもとでは H_2 分子は破壊されてしまいガス雲は冷却する事ができず、星形成は抑制されると考えられる。

1.4 The Concept of Direct Collapse

宇宙年齢にして約 700Myr までの間に $10^9 M_\odot$ の SMBH を作ろうとする試みは数多く行われてきた。最も単純な考察では、宇宙初期に典型的な $100 M_\odot$ を持つ初代星を Eddington Rate での降着で成長させれば $10^9 M_\odot$ を作る事はギリギリ可能である。しかし、初代星からの強力な放射等のフィードバックによって Eddington Rate での降着を持続させる事は困難である事が分かってきた。

このような SMBH を作るシナリオの一つとして現在有力視されているのが Direct Collapse シナリオである。初代星周辺の強い LW radiation のもとでは H_2 分子は破壊され、冷却は抑制される。それによりガス雲は不安定状態に陥って星形成に至る事なく収縮を続ける事ができる。結果として、初代星の典型的な質量 $100 M_\odot$ を遥かに超える $10^5 M_\odot$ 程度の質量を持つ星ができると考えられている。

このようにして形成された $10^5 M_\odot$ の星が降着を続けて最終的に SMBH を形成するというのが Direct Collapse シナリオである。本研究では Direct Collapse

シナリオをシミュレーションにより再現する事を最終目標とする。

2 Methods

本研究では宇宙論的な状況で Direct Collapse シナリオを検証する事を目標とする。そのためにも、宇宙論的な構造進化を GADGET2 のコードを用いて計算し、とくに LW radiation に強くさらされている halo に注目して星形成の様子を追う。

3 Results

Under construction

4 Discussion

シミュレーションの結果からどのような質量の星がどの頻度でできるかを調べ、将来的な観測でどの程度見つかるかも合わせて議論する。

5 Conclusion

Under construction

Reference

- Fan X. et al., 2003, AJ, 125, 1649
- Bromm et al., 2001, MNRAS, 328, 969
- Omukai et al., 2005, APJ, 626, 627