

ダスト減光を考慮したクェーサー光度関数の研究

白方 光 (北海道大学大学院 宇宙理学専攻 M1)

Abstract

Semi-Analytic Model(SAM) を用いた準恒星状天体 (QSO) の統計的な性質の議論は多く成されてきた (Enoki et al. (2003), Fanidakis et al. (2011) など)。多くのモデルでは、QSO の B バンド光度関数を観測と比較する際にダスト減光は一切効かないとしているが、この仮定が妥当かどうかを調べるのが本研究の目的である。使用するコードは *numerical galaxy catalogue* (ν GC; Nagashima et al. (2005)) である。このモデルは銀河の観測的な光度関数とバルジ質量-ブラックホール質量の関係と矛盾しない。ブラックホールは銀河がスターバーストを伴う merger (major merger) をする際に cold gas の降着とブラックホール同士の合体で成長する。QSO の母銀河にあるダスト、つまり母銀河の減光に寄与しているダストはその中心にある QSO にも影響を与えるはずなので、今回はこの母銀河のダストのみを考えている。減光効果を導入したところ、QSO の放射効率の値が許される値の上限を超えてしまうことが分かった。実際には母銀河のダストのみならず、もっと中心に集中しているようなダストの影響もあるので放射効率が既に上限を超えていると観測量は再現不可能である。そのため、他の SAM では陽に議論されていないが、銀河の merger からブラックホールへの質量降着が始まるまでにはある程度時間がかかることが示唆される。

1 Introduction

銀河と QSO の共進化を研究する上で、準解析的な手法はその統計的な性質を議論するのに役立つ。そのため数々の SAM によって QSO の統計的な性質、銀河との共進化プロセスが議論されてきた (Enoki et al. (2003), Fanidakis et al. (2011) など)。B バンド、V バンドなどの光度関数を再現する試みも多く成されてきたが、その際 QSO にはダスト減光の効果は考慮されていない。QSO にダスト減光が効かないという仮定は妥当なのかを確かめておくことは非常に重要である。なぜなら光度関数の形は QSO の放射効率、life time に依存するためである。特に、ダスト減光効果を考えないことで放射効率の値を小さく見積もりすぎている可能性があり、QSO の SED を正確に記述できない可能性がある。

我々が本研究で使用したモデルは *numerical galaxy catalogue* (ν GC; Nagashima et al. (2005)) に QSO のモデルを導入したものを用いる。Box Size は 400Mpc である。銀河の光度関数と、バルジ質量-ブラックホール質量関係が観測と矛盾しないパラメータセットを選び、QSO の B バンド光度関数を調べた。

2 ν GC model

ν GC 中での QSO の扱いについて簡単に述べる。ブラックホールは、銀河の major merger によって起こる爆発的星形成によって cold gas が降着すること、ブラックホール同士の合体で成長する。ブラックホールの合体にかかる時間はまだ未解明なので、簡単のため銀河が major merger したと同時に、それぞれの銀河の持つブラックホールが即座に合体するとする。また、cold gas の降着と同時にブラックホールへの質量降着が始まり QSO が出現する。本研究では B バンドの光度関数を調べる。QSO の光度は、

$$L_B(t) = L_B(\text{peak})\exp(-(t - t_{\text{merger}})/t_{\text{life}})$$

$$L_B(\text{peak}) = \frac{\epsilon_B M_{\text{acc}} c^2}{t_{\text{life}}}$$

で定義される。 t_{merger} は銀河の merger した時刻、 t_{life} は QSO life time で、銀河の力学的タイムスケールに比例すると考える。

major merger が起きる条件として、merge する 2 銀河の質量比が 0.1 を超える場合に major merger を起こすと考える。質量比が 0.1 を超えない場合は

minor merger を考え、爆発的星形成は起きず、小さい方の銀河は大きい方の銀河のバルジに吸収される。

非物理的な巨大銀河の形成を避けるために、ハローの冷却過程はハローの回転速度 V_{circ} が $V_{\text{circ}} \leq V_{\text{cut}}(z)$ を満たすハローにのみ適用する。ただし、

$$V_{\text{cut}}(z) = V_{\text{cut},0} \left(1 + \left(\frac{z}{z_{\text{cut}}} \right)^{\alpha_{\text{cut}}} \right)$$

である。

3 Results

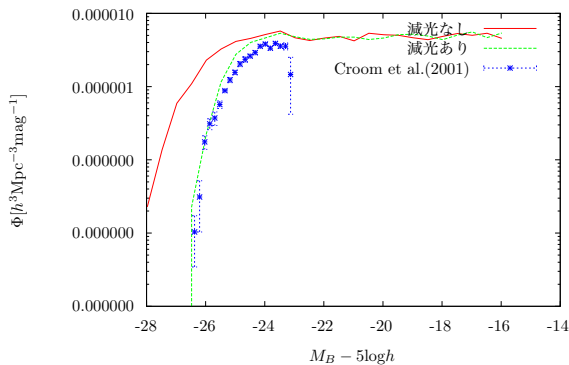
本研究で採用したパラメータセットを表 1 に示す。

表 1: Parameters

Ω_0	h	Ω_b	α_*	V_{hot}	α_{hot}	τ_{d0}	V_{cut}	α_{cut}	z_{cut}
0.2725d0	0.702	0.0455	-4	100[km/s]	4	2.4[Gyr]	114[km/s]	3	3

Calzetti et al. (2000) の減光モデルを用いて、減光の効果を検討した B バンドの光度関数が観測 (Croom et al. (2001)) と一致するように QSO のパラメータを選んだのが図 3 である。このとき QSO の B バンド放射光率 ϵ_B は 0.02、 $z = 0$ での QSO lifetime は 5×10^6 [yr] である。

図 1: QSO の B バンド光度関数 ($1.5 \leq z \leq 2.0$)



しかし、ボロメトリックの放射光度の不定性を考慮しても、QSO の SED モデルより、 $\epsilon_B \leq 0.01$ 程度であることが示唆される。本モデルには降着円盤な

ど、AGN の周りに集中したガスを一切考えていないので、本研究で与えられる放射効率の制限は放射効率の下限値を与えるに過ぎないだろう。なのでこのままでは QSO の光度関数は再現できない。

4 Discussion

この結果から、QSO が光り始める時には、銀河の cold gas はもっと少なくないといけないということが言える。モデルでは、銀河が major merger すると同時に QSO の光度が最大値を取るとしている。我々は、cold gas をもっと銀河の星形成で消費した後に QSO が光り始めるモデル (以下 delay model) に変更を加えた。

$$L_B(t) = L_B(\text{peak}) \exp\{- (t - (t_{\text{merger}} - \chi t_{\text{dyn}})) / t_{\text{life}}\}$$

delay を導入すると cold gas の量が減り、減光を考慮した光度関数が明るい方に向かってほぼ並行に移動していく。そのため B バンドの光度関数が観測と合うパラメータセット (ϵ_B, χ) は 1 つには決まらない。 $\epsilon_B = 0.01$ となると $\chi = 3.5$ となり、 $\chi \sim 7$ で cold gas がほぼ全て消費され、減光は無視出来るようになる。この χ の範囲で ϵ_B は $0.006 \leq \epsilon_B \leq 0.01$ の間で変化する。そのため、バルジにあるダストによる減光が無視出来るかどうかはこの delay の幅に依存しており、何か別の観測量から制限を与えてやらないといけない。例えば、減光が効かないと考えることの出来る X-ray の光度関数が最近 high z まで出てきているので (Ueda et al. (2014) など)、それと比較する方法がある。我々はこれについてもいずれ考慮したいと考えている。

別の問題として、QSO の光度関数が low z で合っており、このモデルでは観測されていない明るい QSO を作っている事が挙げられる。このような明るい QSO は cold gas が残りすぎていることが解析によって分かっている。low z でより cold gas を減らすことが今後の課題である。

Reference

Nagashima, M. and Yahagi, H. and Enoki, M. and Yoshii, Y. and Gouda, N. ApJ

2014 年度 第 44 回 天文・天体物理若手夏の学校

Enoki, M. and Nagashima, M. and Gouda, N. PASJ

Fanidakis, N. and Baugh, C. M. and Benson, A. J. and
Bower, R. G. and Cole, S. and Done, C. and Frenk,
C. S. MNRAS

Calzetti, D. and Armus, L. and Bohlin, R. C. and Kin-
ney, A. L. and Koornneef, J. and Storchi-Bergmann,
T. ApJ

Croom, S. M. and Smith, R. J. and Boyle, B. J. and
Shanks, T. and Loaring, N. S. and Miller, L. and
Lewis, I. J. MNRAS

Ueda, Y. and Akiyama, M. and Hasinger, G. and
Miyaji, T. and Watson, M. G. ApJ