

銀河のディスクと pseudobulges の超大質量ブラックホールとの相関について

山口健太郎 (東京大学大学院理学系研究科天文学専攻)

Supermassive black hole(SMBH)とは？

太陽質量の 10^6 倍から 10^9 倍程度を持つブラックホールで、銀河系を含むほとんどの銀河に存在すると考えられている。

目的

今まで、SMBH の質量が母銀河のバルジ成分と相関を持っていて、ディスクとは相関を持っていない事は知られていたが、pseudobulge と相関を持っているのかどうかについては知られていなかった。

そこで観測されたデータから、

- black hole mass(BHM) vs. luminosity
- black hole mass vs. velocity dispersion

を考える事で SMBH と pseudobulge の相関について調べた。

バルジの種類

バルジには2つの種類があります。

1つが classical bulge で、もう1つが pseudobulge と呼ばれるものです。

Classical bulge は銀河同士の合体によって形成されたと考えられている。

同じくらいの銀河どうしが合体した場合、その衝撃で円盤は破壊され、円盤内に存在したガスも角運動量を失い、中心部に落ち込んで高密度となり「爆発的星形成(star burst)」を引き起こします。破壊された円盤の星とスターバーストによって生まれた星により、バルジが形成されます。そして、

- elliptical galaxy と構造、速度分散、その他パラメータにおいて区別出来ない
- 球形に近い形を持つ
- 一般的には古い星で形成される

などの特徴がある。

Pseudobulge は銀河の合体による進化の形跡がなく、銀河内のガスが中心に集まる事によって形成されると考えられている。そして、

- ・ 構造的には classical bulge よりも disk に似ている
- ・ 扁平な形をしていて、回転を持っている
- ・ 一般的には若い星で形成される

などの特徴がある。

2つのバルジの違いは最初観測的に発見されたが、今では本質的に異なる形成メカニズムによるものと理解されている。

バルジの分類

では、この2種類のバルジは観測される物理量としてはどうやって区別するのかというと、この論文では、表面輝度プロファイルによる分類と、光度比による分類を紹介しています。

・ 表面輝度プロファイルによる分類

セルシック則

$$I(r) = I_e \exp \left\{ -b_n \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \right\},$$

表面輝度分布を表すセルシック則において n の値が2以上なら classical bulge で2未満なら pseudobulge を表す。

セルシック則において r_e は、銀河の全光度の半分を含む半径、 I_e は $r=r_e$ における表面輝度である。

ここで、 $n=4$ のときはドボークルール則を表し、楕円銀河の表面輝度を示す。

$n=1$ のときは指数法則を表し、円盤銀河の円盤の表面輝度を示す。

先ほど classic bulge は楕円銀河に似ていて、pseudobulge は円盤銀河の円盤に似ていると出てきたものを数式で表したものである。

・ 光度比による分類

Bulge と total luminosity の比が 0.5 以上なら classic bulge で、0.5 未満なら pseudobulge である。pseudobulge のほうが銀河全体にしめるバルジの比率が低くなっていて classic bulge ほどの立派なバルジはもっていないことがわかる。

結果

最小二乗法と相関係数を使って相関の有無を調べた。
括弧内の値はそれらの結果を示している。

Black Hole Mass vs. Luminosity

この右の図は、BHM と luminosity の比を表している。

黒 : elliptical galaxy

赤 : classical bulge

濃い青 : pseudobulge

緑 : pure disk galaxy(バルジが無い銀河)

オープンシンボル : BHM の上限のみ
がわかっているもの

中心が赤で回りが青の点 : pseudo が支配的だが
小さな classical も含んでるもの(NGC2787)
を表している。

横軸 M_k は

(a)では bulge を除いた disk の絶対等級

(b)では disk を除いた bulge の絶対等級

(c)では disk を除いた pseudobulge の絶対等級
を表している。

なぜ k-band かと言うと、k-band を用いると星形成と内部吸収の影響を小さくすることができるからである。

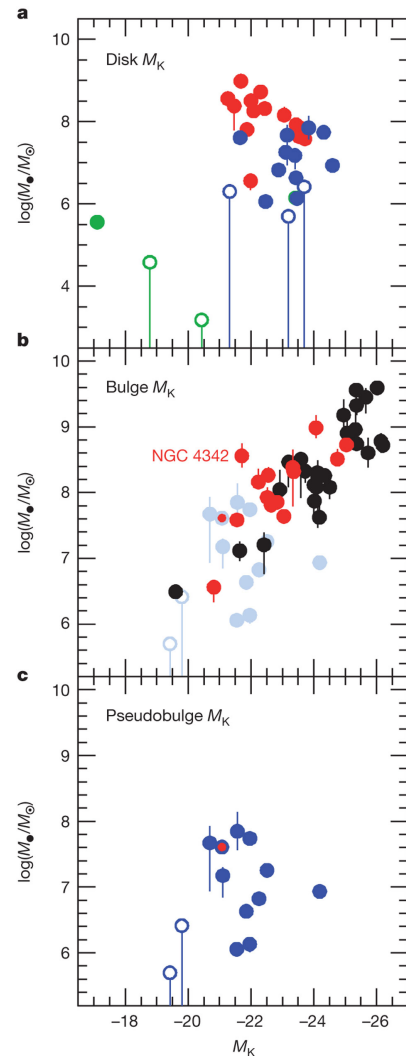
ですが、今回は v-band でも観測しているのですが、v-band での観測結果も k-band のものとほとんど変わらないものが得られている。

a は($X^2=81, r=0.41$)であり black hole は disk と相関がないことがわかる。

このフィットには緑の点は入れてない。

b は($X^2=12.1, r=-0.82$)であり black hole は bulge と elliptical と良い相関をもつことがわかる。この相関を $M_{BH}-L_{bulge}$ relation という。

c は($X^2=63, r=0.27$)であり black hole と pseudobulge には相関がない事がわかる。



b の薄い青の点は c の pseudobulge の点であるが、昔は pseudobulge の点の内 black hole mass の小さい点は観測出来なかったので比較的質量の大きい pseudobulge のみしか観測されておらず、classical bulge, elliptical galaxy と同様に BHM と相関があると思われていたが、観測技術の発展で質量の小さなものも観測出来るようになり、相関がないと結論づけられた。

Black Hole Mass vs. Velocity Dispersion

この右の図は black hole mass と velocity dispersion の比を表している。

黒：elliptical galaxy

赤：classical bulge

濃い青：pseudobulge

緑：極端な例で、きわめて薄い球状星団のような核のみしか持っていないが AGN ほどのパワーを持った Sm galaxy(NGC4395)

オープンシンボル：BHM の上限のみがわかっているもの

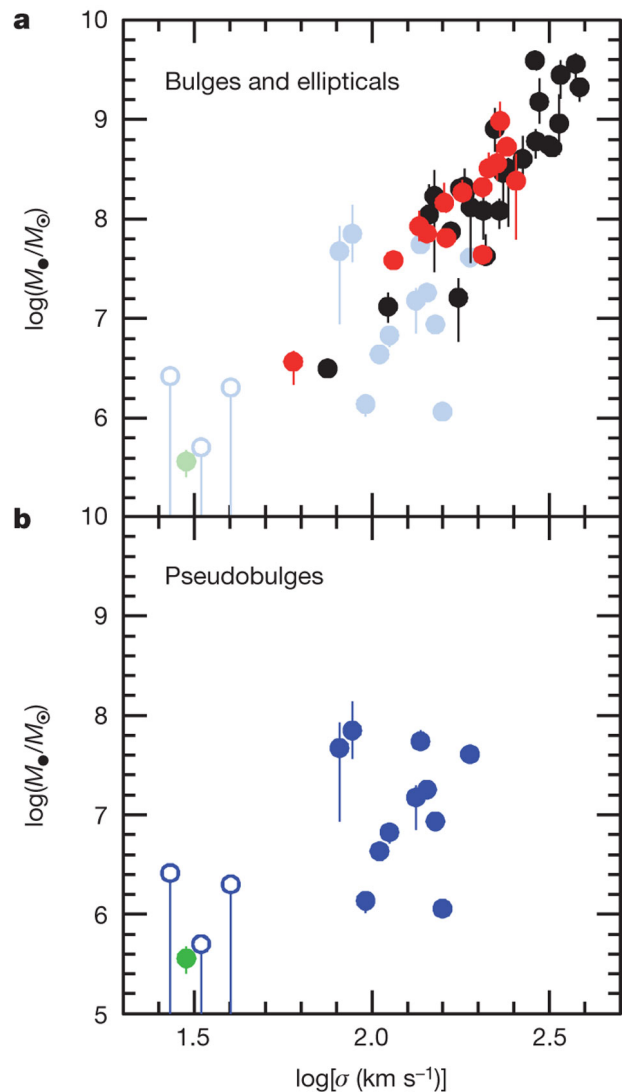
(a) は ($X^2=5.0, r=0.89$) であり elliptical galaxy と classical bulge は良い相関を示す。

この関係を $M_{BH}-\sigma$ correlation と呼ぶ。

(b) は ($X^2=10.4, r=-0.08$) であり、pseudobulge は全く相関を示さない。

Luminosity のときと同じ結果が得られた。

なぜこのような相関があるのかについてはわかっていない。



Black Hole Feeding Mechanism

結果から BH の 2 つの異なる feeding mechanism の存在が推測される。

◆ Global process

→ major merger

銀河どうしの合体で大量のガスが銀河中心に落ちるときに起こり、合体において BH は一気に成長する。

このメカニズムでは BH と銀河の成長は同じ過程によって引き起こされるので、BH とバルジは共進化する。

◆ Local process

→ 確率的にもたらされる weak nuclear activity

内部ガスが角運動量を失って銀河中心に落ちるときに起こる。

このメカニズムでは他のどんな成分とも相関をもたない。

結論

2 つの結果から black hole と classical bulge, elliptical galaxy は共進化し、お互いに制限し合うが pseudobulge においてはそのような事はないであろうと言える。2 つの関係、 $M_{\text{BH}}-L_{\text{bulge}}$ と、 $M_{\text{BH}}-\sigma$ が出てきたが、後者の方がより強い相関を示す。

得られた結果と feeding mechanism から、Local process で成長した小さな black hole が Global process によって、より大きな black hole になる可能性が高いと言える。

参考文献

[1] Kormendy, J., et al. 2011, Nature, 469, 374