

第136回雑誌会

CANDELS : constraining the
AGN-merger connection with
host morphologies at $z \sim 2$

Kocevski et al. 2012

Presented by Yoshito Ono

Today's Menu

- Abstract
- Introduction
- Sample selection
- Visual classification
- Results
- Discussion
- Conclusions

Abstract

HST/WFS3の撮像画像を用いて、 $z \sim 2$ のType-2 AGNの母銀河の形態から、この時代のmajor mergerのAGN活動に対する寄与を調べた。

サンプルは $1.5 < z < 2.5$ の72のAGN。また比較対象として、AGNサンプルと同じ質量分布をもつ216の非AGN銀河のサンプルも用意した。

AGNの母銀河の約16.7%はかなり乱れた形態を持っていたが、ほとんどのAGN母銀河は安定した形態を持っている。非AGNも同様な割合であった。

→ 非AGN銀河と比べて、中間の明るさを持つAGNがmajor mergerを起こしているような不安定性を示しているわけではない。

ほとんどのAGNはdisk成分を持っている。

→ $z \sim 2$ では、major mergerよりも長期的、連続的なガス降着過程がAGNの燃料補給として重要な役割を果たしている。

以上より、 $z \sim 2$ ではAGNの発生、成長には、major mergerよりもより長期的、連続的なガス降着の過程(diskの不安定性、minor merger)が主に寄与している。

Introduction

銀河の合体はAGNを引き起こす、もしくはAGNの燃料となる主要なメカニズムなのか？

Major mergerはガスの各運動量を抜き、銀河中心にガスを供給する。

→ バルジとSMBHが共に成長する。

→ 実際にバルジとSMBHの質量の関係が観測されている。

(Ferrarese & Merritt 2000 , Marconi & Hunt 2003 , Haring & Rix 2004)

いくつかの銀河のmajor mergerを用いたシミュレーションは観測されているAGNと母銀河の関係を再現することに成功している。

(Di Matteo et al 2007 , Robertson et al 2006 , Hopkins et al 2005, 2006a, 2006a)

Major mergerはAGNを引き起こす、さらにSMBHと母銀河の共進化を説明することができるメカニズムである。

(Hopkins et al 2008)

Introduction

観測からは？

$z \sim 0$

- 明るいQSOは現在、もしくは過去にmajor mergerを経験している銀河に付随している。(Stockton 1982, Canalizo & Stockton 2001, Bennert et al 2008)
- $z \sim 0.2$ では、QSOはmajor mergerを示唆するような乱れた銀河で見つかりやすいわけではない。(Dunlop et al 2003)

$z \sim 1$

- AGN母銀河は非AGN銀河よりも、乱れている形態を持っているわけではない。(Grogin et al 2005, Pierce et al 2007, Giavalisco et al 2004, Cisternas et al 2011....)

$z \sim 2$

母銀河は主にdiskが支配的な形態を持つ。

→ SMBHはmajor mergerではなくsecular processesで成長する。

この論文では、 $z \sim 2$ で初めてAGNとmajor mergerの関係を調べた。

Sample selection

AGN

1. X線の観測(Chandra 4 Ms observations)から選ぶ。
(この観測の限界luminosityは $L_x \sim 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$)
=> 569 objects
2. GOODS-SのERSとCANDELSのHバンドのデータがある天体で $K_s > 24.3$ A
Bの天体
=> 350/569 objects
3. $1.5 < z < 2.5$
=> 72/350 objects

最終的に**72 AGN**.

X-ray luminosity median = $7.9 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$
moderate-luminosityなサンプルである。

22/72 はERSのデータ

50/72 はCANDELSのデータ

Rest-frameで可視領域ではAGNの光が隠されているため、AGNの母銀河の形態を議論しやすい。

Sample selection

Mass-matched control sample of non-active galaxies

AGNの母銀河と非AGN銀河の質量はFIREWORKSカタログから持ってきた

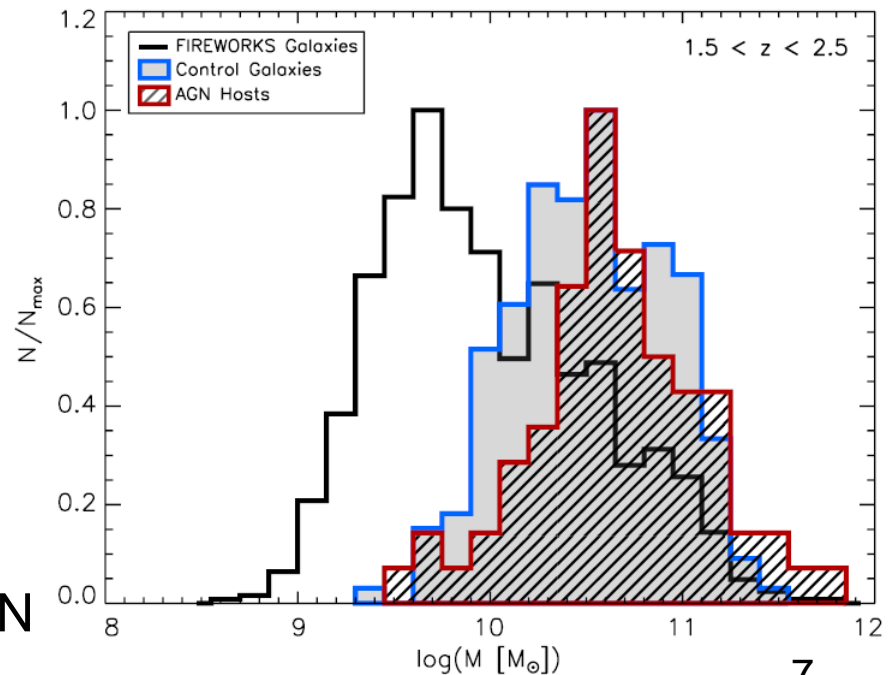
一つのAGN母銀河に足して、3つの非AGN銀河をランダムにカタログから選ぶ。
このとき非AGN銀河の質量は $M_{\text{AGN}}/2 \leq M_{\text{gal}} \leq 2M_{\text{AGN}}$ で、 $K_s < 24.3$ ABであるものを選ぶ。

216 の非AGN銀河をセレクト。

右図：

AGN母銀河と非AGN銀河の質量分布。
黒線はFIREWORKS カタログの $1.5 < z < 2.5$ を満たす銀河全体の分布。

AGN母銀河と似たような分布をもつ非AGN
銀河サンプルの完成。



Visual classification

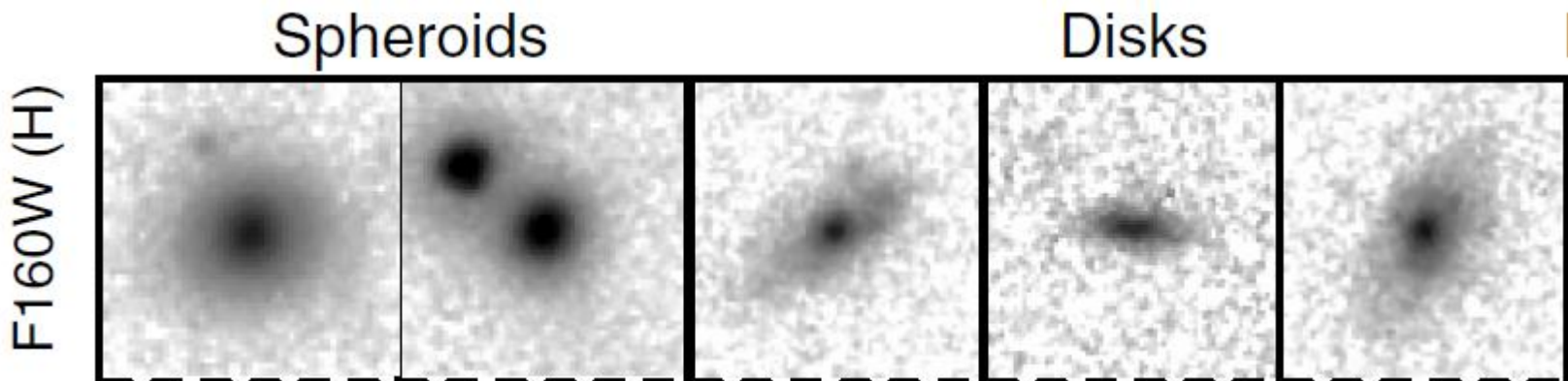
12人で分類する。分類するときは**AGN母銀河も非AGN銀河もごちゃまぜで行う** (分類する人はどれがAGNでどれが非AGNかわからない)。ERSとCANDELSは画像の深さが異なるので、それぞれ分けて分類を行う。

Morphology classification

Morphology の分類は以下の4つ。

Disk , Spheroid , Irregular / Peculiar , Point-like.

分類する人は一つの銀河に対して当てはまるものを複数選べる。



Visual classification

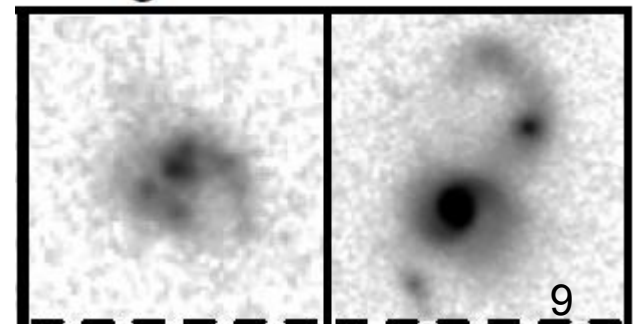
Disturbance classification

乱れ具合の分類

以下の中から当てはまるものを一つ選ぶ。

1. *Merger*. Highly disturbed with multiple nuclei and/or strong distortions in a single coalescing system.
2. *Interaction*. Two distinct galaxies showing distortions and interaction features such as tidal arms.
3. *Distorted*. Single asymmetric or distorted galaxy with no visible interacting companion.
4. *Double Nuclei*. Multiple nuclei in a single coalesced system.
5. *Close Pair*. Near-neighbor pair in which both are undisturbed.
6. *Undisturbed*. None of the above.

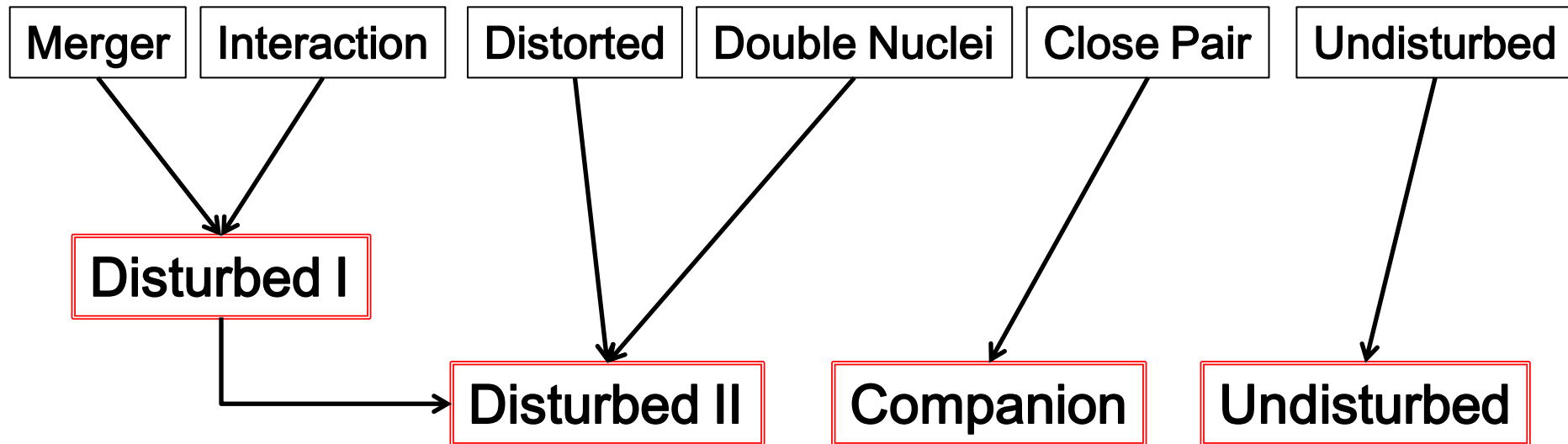
Mergers / Interactions



Visual classification

Disturbance classification

さきほどを結果をもとに再分類する。

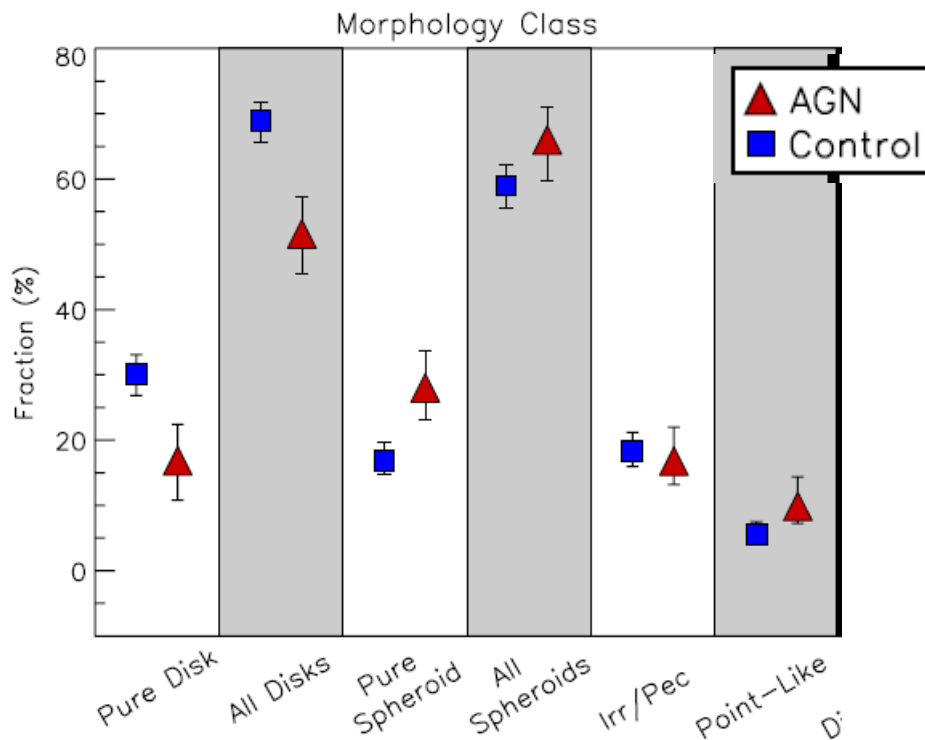


- ◆ **Disturbed I** : Highly disturbed system.
- ◆ **Disturbed II** : High to moderately disturbed system.
- ◆ **Companion** : Includes all galaxies that have a neighbor within 1.5" (12 kpc at $z \sim 2$)
- ◆ **Undisturbed**

Results : Morphology

AGN母銀河のirregularの割合は低い(16.7%)。非AGN銀河(18.2%)と特に違いは見られない。さらにAGN母銀河のうち高い割合がdisk構造を持つ(51.4%)。

→ AGNがmajor mergerを示唆するような銀河に多い兆候は見られない



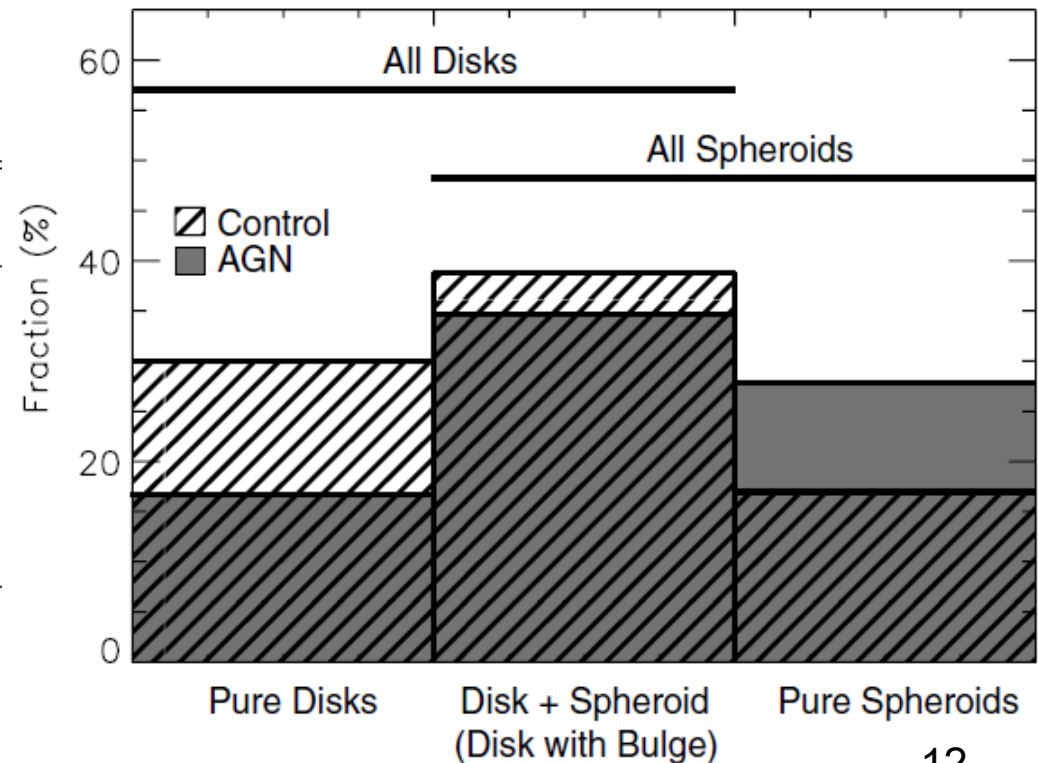
	▲	■
Classification	AGN Hosts	Control Galaxies
Pure disk	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$30.1^{+3.3}_{-2.9} \%$
All disks	$51.4^{+5.8}_{-5.9} \%$	$69.0^{+2.9}_{-3.3} \%$
Pure spheroid	$27.8^{+5.8}_{-4.6} \%$	$16.9^{+2.8}_{-2.2} \%$
All spheroids	$62.5^{+5.3}_{-6.0} \%$	$55.7^{+3.3}_{-3.4} \%$
Irregular	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$18.2^{+2.9}_{-2.3} \%$
Point-like	$09.7^{+4.7}_{-2.5} \%$	$05.5^{+2.0}_{-1.2} \%$

Results : Morphology

AGN母銀河の方がSpheroidsの割合が大きい

→近傍でも見られる傾向(Grogin et al 2005, Pierce et al 2007)。それがこの時代まで続いている？

Classification	AGN Hosts	Control Galaxies
Pure disk	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$30.1^{+3.3}_{-2.9} \%$
All disks	$51.4^{+5.8}_{-5.9} \%$	$69.0^{+2.9}_{-3.3} \%$
Pure spheroid	$27.8^{+5.8}_{-4.6} \%$	$16.9^{+2.8}_{-2.2} \%$
All spheroids	$62.5^{+5.3}_{-6.0} \%$	$55.7^{+3.3}_{-3.4} \%$
Irregular	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$18.2^{+2.9}_{-2.3} \%$
Point-like	$09.7^{+4.7}_{-2.5} \%$	$05.5^{+2.0}_{-1.2} \%$



Results : Morphology

X線の明るさで分けて、AGN母銀河の形態を調べる。明るい方がAGN活動活発であると考え、明るい方に変化があることが期待される。

→明るいサンプルで、irregularの増加は見られない。

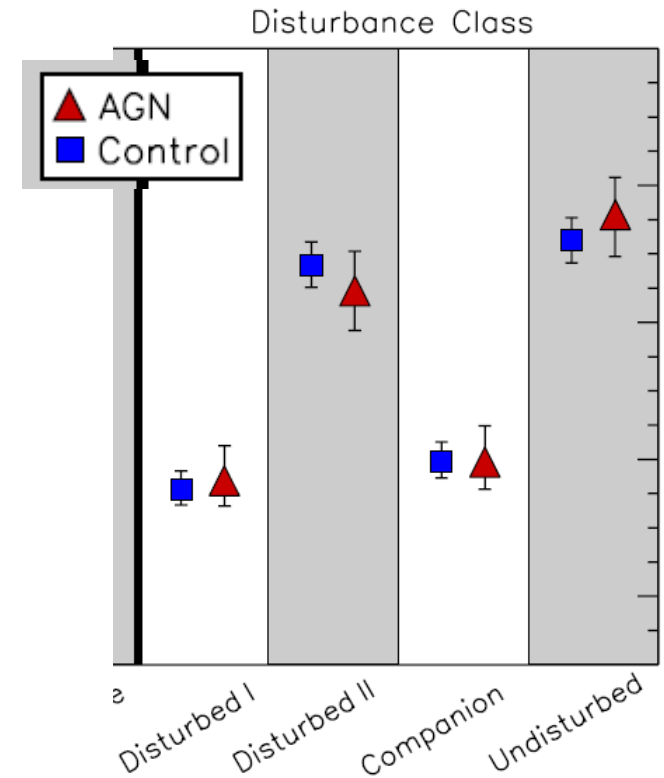
→明るいAGNの母銀河はよりSpheroidな構造を持つ。近傍でも、明るいAGNは早期型銀河で多く見つかる(Kauffman et al 2003)。

Classification	AGN Hosts	Control Galaxies	40 / 72	32 / 72
			AGN $L_X < 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$	AGN $L_X > 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$
Pure disk	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$30.1^{+3.3}_{-2.9} \%$	$21.0^{+8.0}_{-5.1} \%$	$12.5^{+8.2}_{-3.7} \%$
All disks	$51.4^{+5.8}_{-5.9} \%$	$69.0^{+2.9}_{-3.3} \%$	$68.4^{+6.5}_{-8.3} \%$	$34.4^{+9.1}_{-7.3} \%$
Pure spheroid	$27.8^{+5.8}_{-4.6} \%$	$16.9^{+2.8}_{-2.2} \%$	$18.4^{+7.9}_{-4.7} \%$	$40.6^{+9.0}_{-7.9} \%$
All spheroids	$62.5^{+5.3}_{-6.0} \%$	$55.7^{+3.3}_{-3.4} \%$	$65.8^{+6.7}_{-8.3} \%$	$62.5^{+7.5}_{-9.1} \%$
Irregular	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$18.2^{+2.9}_{-2.3} \%$	$21.0^{+8.0}_{-5.1} \%$	$06.3^{+7.3}_{-2.1} \%$
Point-like	$09.7^{+4.7}_{-2.5} \%$	$05.5^{+2.0}_{-1.2} \%$	$02.6^{+5.6}_{-0.8} \%$	$18.8^{+8.7}_{-5.0} \%$

Results : Merger & Interaction

AGNと非AGNで大きな違いは見られない。共に Undisturbedが最も多い。

明るさで分けても、特に変化は見られない。



Classification	AGN Hosts	Control Galaxies	AGN	
			$L_X < 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$	$L_X > 10^{43} \text{ erg s}^{-1}$
Disturbed I	$16.7^{+5.3}_{-3.5} \%$	$15.5^{+2.8}_{-2.2} \%$	$15.8^{+7.7}_{-4.2} \%$	$18.8^{+8.7}_{-5.0} \%$
Disturbed II	$44.4^{+5.9}_{-5.6} \%$	$48.4^{+3.4}_{-3.4} \%$	$36.8^{+8.3}_{-7.0} \%$	$53.1^{+8.4}_{-8.8} \%$
Companion	$19.4^{+5.5}_{-3.8} \%$	$19.6^{+3.0}_{-2.4} \%$	$18.4^{+7.9}_{-4.7} \%$	$21.9^{+8.9}_{-5.6} \%$
Undisturbed	$55.6^{+5.6}_{-5.9} \%$	$52.1^{+3.3}_{-3.4} \%$	$63.2^{+7.0}_{-8.3} \%$	$46.9^{+8.7}_{-8.4} \%$

Discussion

■ AGNの母銀河は特別乱れた形態をしているわけではない

もし、major mergerがAGN活動の主要な引き金であったとしたら・・・

1. gas-rich なmerger の場合、中心からのX線が隠されてしまい、今回のサンプルに含まれていない。(Hopkins et al 2007)
2. MergerとAGN活動の時間差。中心からX線が放射される前に、銀河の形態が落ち着いてしまう。(銀河の典型的なrelaxation time ~few 100 M yr)
シミュレーションで示唆されている。(Hopkins et al 2006)
観測からstarburstとAGN活動の時間差は250Myrくらい。(Wild et al 2010)

Discussion

■ disk構造を持つAGNの母銀河の割合が高い

Major mergerを経験した場合、disk構造を維持するのは難しい



Z~2では、major mergerよりも、長期的、連続的なガスの降着過程が
AGN活動に大きな寄与を与える

Discussion

■ 非AGN銀河に比べて、AGN母銀河のSpheroidな構造をもつ割合が高い

近傍では、AGNとSpheroidな銀河の関係は示唆されている。

Z~2では、massiveな銀河はdiskっぽい形態をしている(McGrath et al 2008, van der Wel et al 2011)。

今回の結果は、SMBHはこれまでの結果に反しているようにも見える。

Discussion

■ X線で明るい母銀河のほうがSpheroidな構造をもつ割合が高い。

明るい銀河はmajor mergerが大きく寄与しているが、すでに形態としては落ち着いている。

Hopkins & Hernquist (2006, HH06)のシミュレーションの結果と一致。

Hopkins & Hernquist 2006

AGN寄与のluminosityとredshift依存性をシミュレートした。明るいAGNはmajor mergerが主な寄与であり、これは宇宙論的な銀河のmerger rateに関係している。一方、暗いAGNは長期的なガス降着過程が主な原因であり、これは晩期型銀河の質量関数やガスの割合に関係している。

Discussion

■ X線で明るい母銀河のほうがSpheroidな構造をもつ割合が高い。

Hopkins & Hernquist 2006

Luminosity function at $z \sim 2$

太線: 観測されたLF

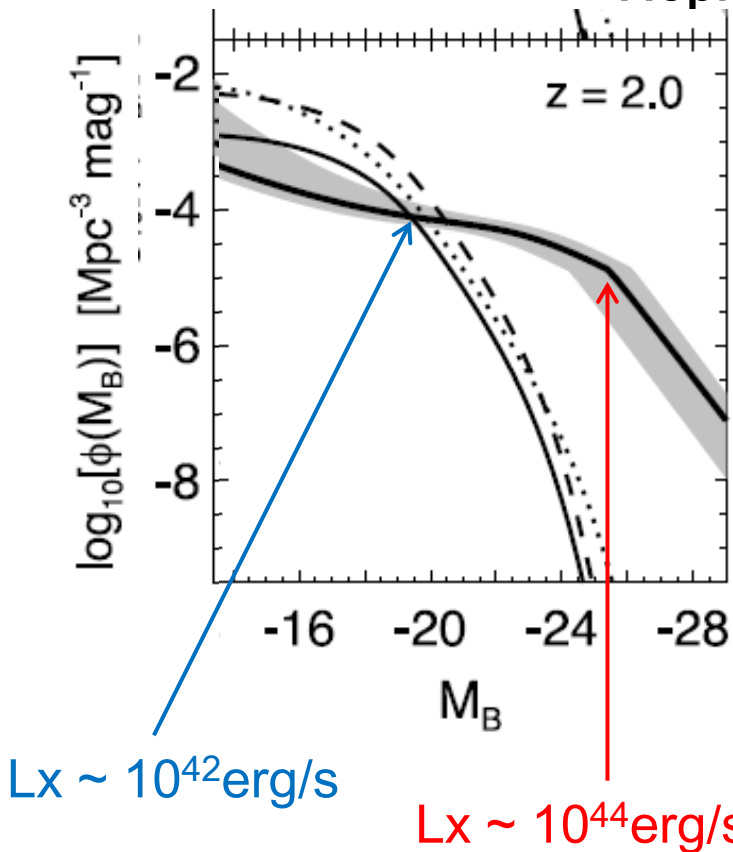
(この論文では、ほぼmergerによる進化と考えている)

実線: 内部のガス降着による進化の場合のLF

彼らに従えば、 $L_x > 10^{42} \text{ erg/s}$ の場合、mergerによって進化してきたAGNの数の方が多い。

今回のサンプルは $L_x > 10^{42} \text{ erg/s}$

もしdisk構造をもつAGNをすべてガス降着で進化したものと考えたと、明らかにガス降着によって進化してきたものの方が多く、Hopkins2006の結果と合わない。 → mergerはmainではない。



Discussion

■ X線で明るい母銀河のほうがSpheroidな構造をもつ割合が高い。

Hopkins & Hernquistの論文との不一致は、他のredshiftでも確認されている。

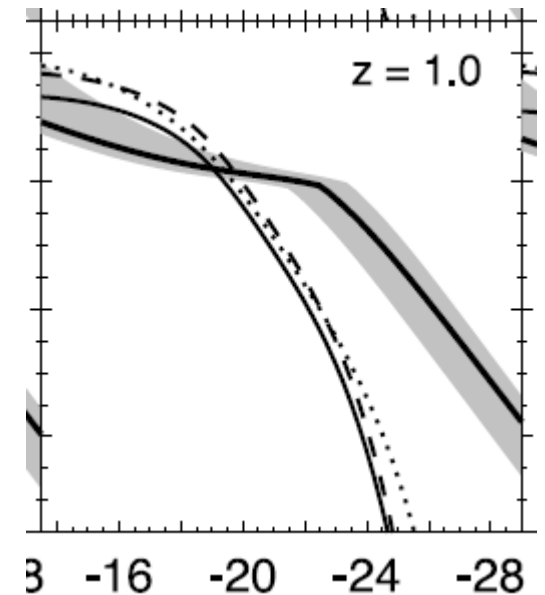
Georgakakis et al 2009

$z \sim 1$ のX線のluminosity functionに対する晩期型のAGNからの寄与が、長期的なガス降着によって進化したAGNからの予想される寄与より大きい。

Cisternas et al 2001

$z \sim 1$ で、明るいAGN($L_x > 10^{44} \text{ erg/s}$)の約半数がdisk構造を持っている。

→ mergerよりも長期的な進化？



Discussion

■ 今回の結果は、他の論文の結果とも一致する

Z~1

Georgakakis et al 2009, Cisternas et al 2001

Z~2

Shawinski et al 2011

AGNの母銀河はdisk構造を持つものが多い

Z~3

Mullaney et al 2011

AGN母銀河のほとんどは、普通の星形成のmain-sequence にのっている。つまり、めっちゃめっちゃ激しい星形成をしているわけではない。

Discussion

■ なぜ、 $z \sim 2$ ではmajor mergerでないガス降着が大きく寄与するのか？

Cold accretion (Elmegreen et al, Genzel et al 2006)

銀河の外側から、冷たいガスが急速に流れ込んできて、diskの不安定性を引き起こす。Hopkins & Hernquistのモデルでは考慮されていない。これにより $z \sim 2$ くらいでは十分な効率で中心にガスが降着していると言われている(Cassiato et al 2011, Bournaud et al 2011)。

これにより、mergerがなくてもAGNは成長できる。

Minor merger

→ Disk構造は破壊しない。

→ major mergerよりも検出が難しいので、どのくらい起こっているかわからない。

→ Somerville et al 2008 semi-analytic modelから、 $L_x > 10^{42} \text{ erg/s}$ のAGNがmergerによって引き起こされると仮定すると、mergerの質量比は1:8、つまりminor mergerくらいである。

Conclusion

HST/WFS3の撮像画像を用いて、 $z \sim 2$ のType-2 AGNの母銀河の形態から、この時代のmajor mergerのAGN活動に対する寄与を調べた。

サンプルは $1.5 < z < 2.5$ の72のAGN。また比較対象として、AGNサンプルと同じ質量分布をもつ216の非AGN銀河のサンプルも用意した。

AGNの母銀河の約16.7%はかなり乱れた形態を持っていたが、ほとんどのAGN母銀河は安定した形態を持っている。非AGNも同様な割合であった。

→ 非AGN銀河と比べて、中間の明るさを持つAGNがmajor mergerを起こしているような不安定性を示しているわけではない。

ほとんどのAGNはdisk成分を持っている。

→ $z \sim 2$ では、major mergerよりも長期的、連続的なガス降着過程がAGNの燃料補給として重要な役割を果たしている。

以上より、 $z \sim 2$ ではAGNの発生、成長には、major mergerよりもより長期的、連続的なガス降着の過程(diskの不安定性、minor merger)が主に寄与している。