

Blue-excess dust-obscured galaxies と JWST extremely red objects の SED の相似性



登口 暁 (信州大学)



Similarity between compact extremely red objects discovered with JWST
in cosmic dawn and blue-excess dust-obscured galaxies known in cosmic noon

Akatoki Noboriguchi (Shinshu U.)

Akio. K. Inoue (Waseda U.), Tohru Nagao (Ehime U.),

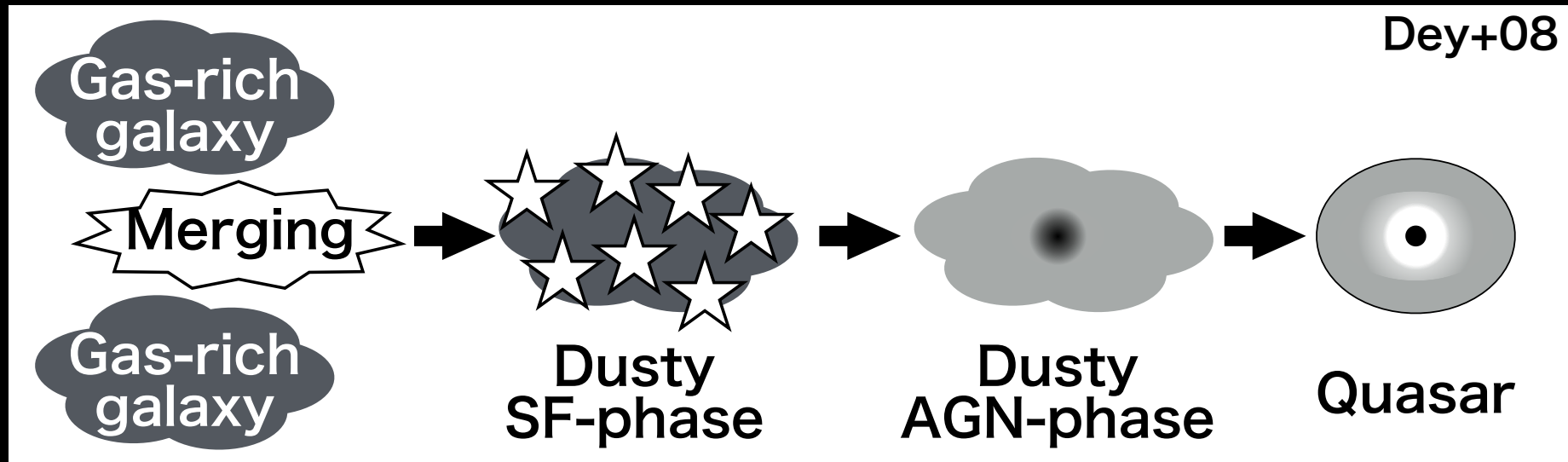
Yoshiki Toba (NAOJ), Toru Misawa (Shinshu U.)

Accepted by ApJL

arXiv: 2309.00955

1. Introduction

Gas-rich major merger scenario



クエーサーは超巨大ブラックホールを抱える天体

そのクエーサーの発現シナリオの一つが Gas-rich major merger scenario
(Hopkins+08, Dey+08)

各段階を調べれば

どのようにして母銀河と超巨大ブラックホールが進化したかがわかるはず
しかし、dusty phase は可視で暗いために探査されづらかった



Dust-Obscured Galaxies

とても赤い

- **definition**

$$R - [24] \geq 14.0 \text{ [vega mag]}$$

Dey+08

$$i - [22] \geq 7.0 \text{ [AB mag]}$$

Toba+15

珍しい

- **number density**

$$\log \phi = -6.59 \pm 0.11 \text{ [Mpc}^{-3}]$$

Toba+15

遠い

- **redshift**

$$z = 1 - 2$$

Dey+08, Toba+15



1. Introduction

Bump DOGs & PL DOGs

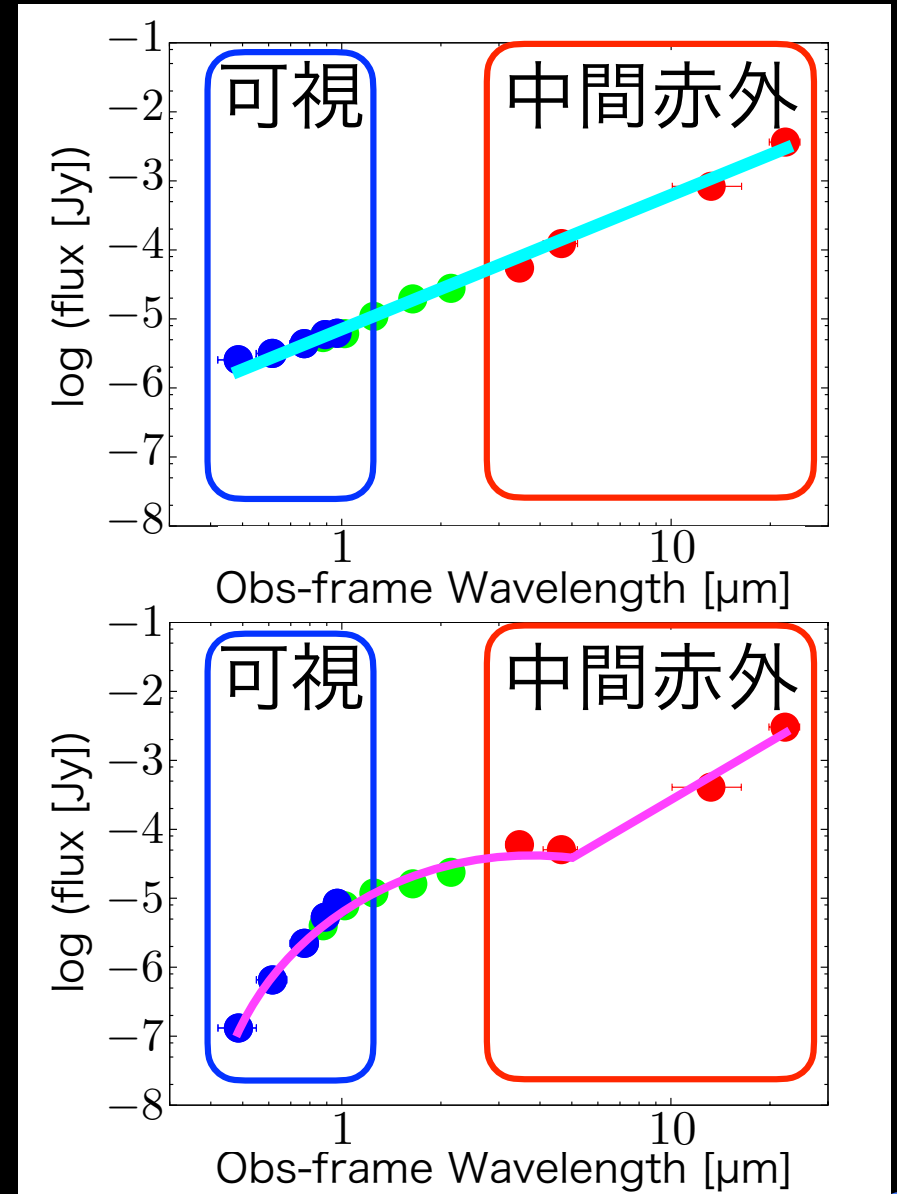
Spectral Energy Distributions
(SED) の形より二つに分類可能
Dey+08

Power-Law (PL) DOGs

- ・SED が power-law 的
- ・AGN 活動を示唆

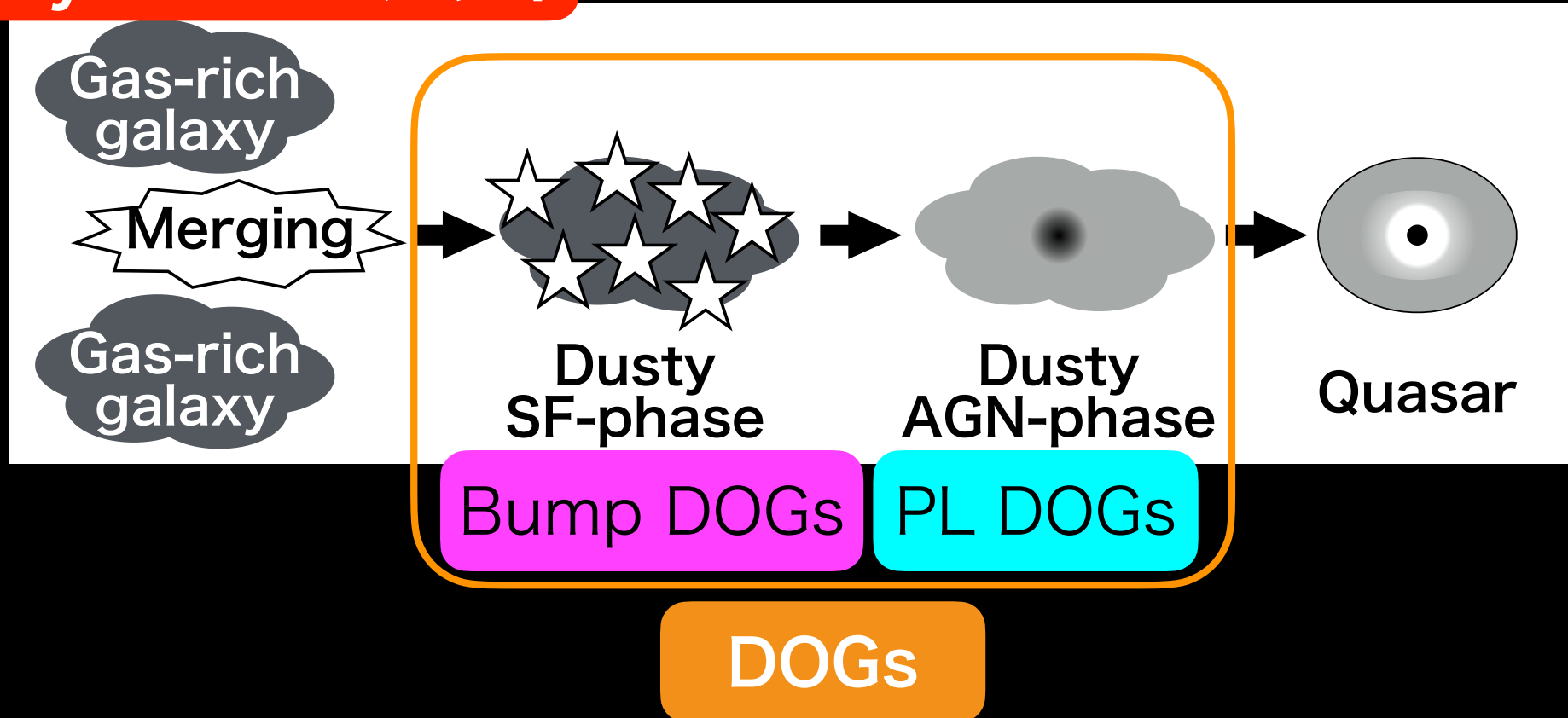
Bump DOGs

- ・静止系波長 1.6 [μm] 付近に bump あり
- ・星形成活動を示唆



DOGs の役割

Dey+09 のシナリオ



クエーサーの形成と進化を知る上で重要な天体

本研究目的

しかしながら...

- ・ 塵に覆われた AGN (PL DOGs) から塵の晴れた AGN (Quasar) に進化するならその間の天体がいるはず
- ・ Lifetime も短いと予想されるためこれまでは発見が難しかった (DOGs が ~ 100 Myr なのでそれ以下: Narayanann+10)

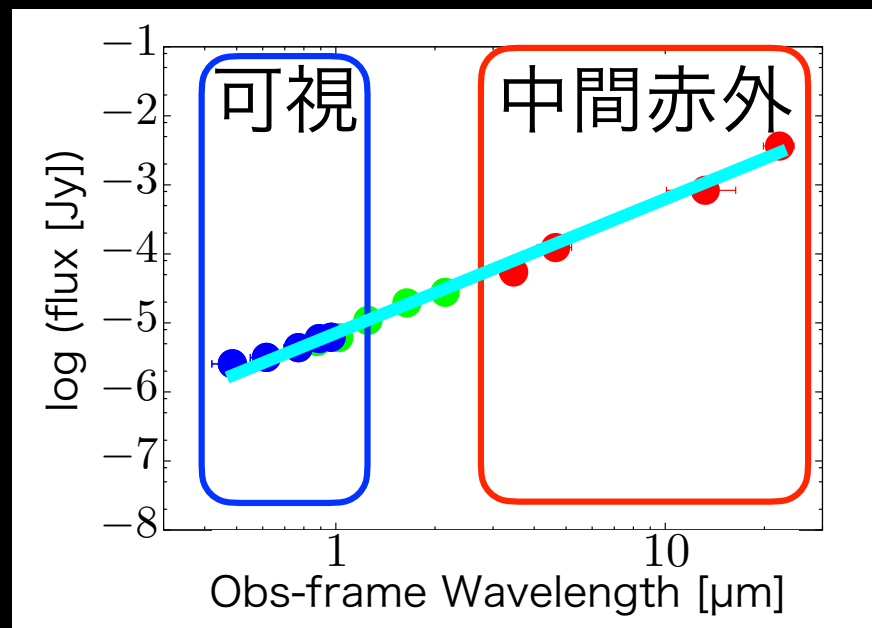
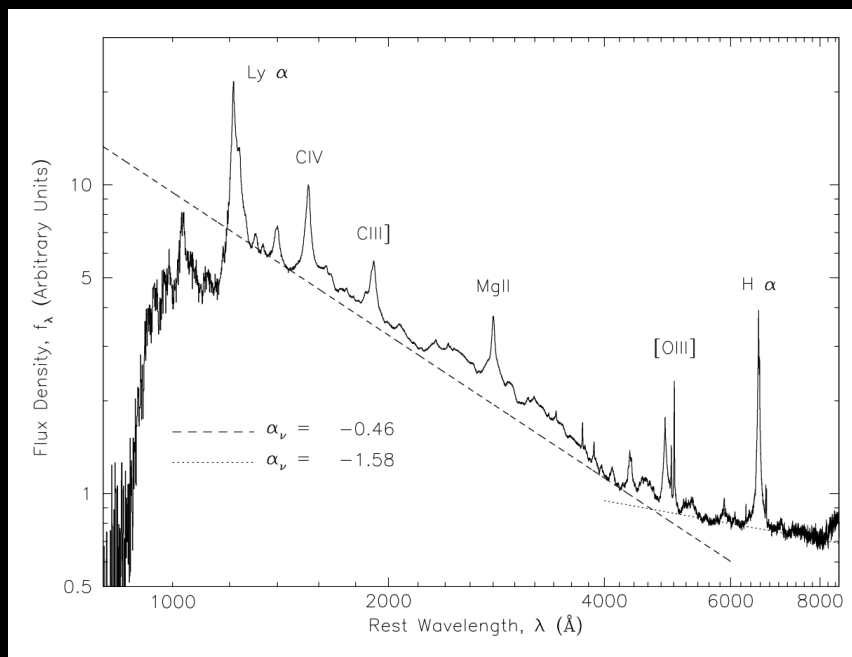
本研究では

HSC-WISE の広域探査データをもとに

塵に覆われた AGN (PL DOGs) から塵の晴れた AGN (Quasar) に進化する段階にいる天体の探査+性質調査を行った

研究手法

Quasar と塵に覆われた AGN の間の天体を想像してみる



SDSS qasar compo. sp.
Vanden berk+01

可視光で青い天体かつ中間赤外線で明るい



DOGs & 可視光に青い光を示す天体が候補



DOGs の選出

HSC clean sample

16,680,947

VIKING clean sample

13,455,180

Cross-match (radius $\leq 1''$)

1,534,327

ALLWIES clean sample

9,439,990

$(i - Ks)_{AB} \geq 1.2$

707,924

Cross-match (radius $\leq 3''$)

1,915

HSC-WISE DOGs

571

$(i - [22])_{AB} \geq 7.0$

Cross-match の条件とカラーカットの条件は
Toba+15 の選出方法を使用

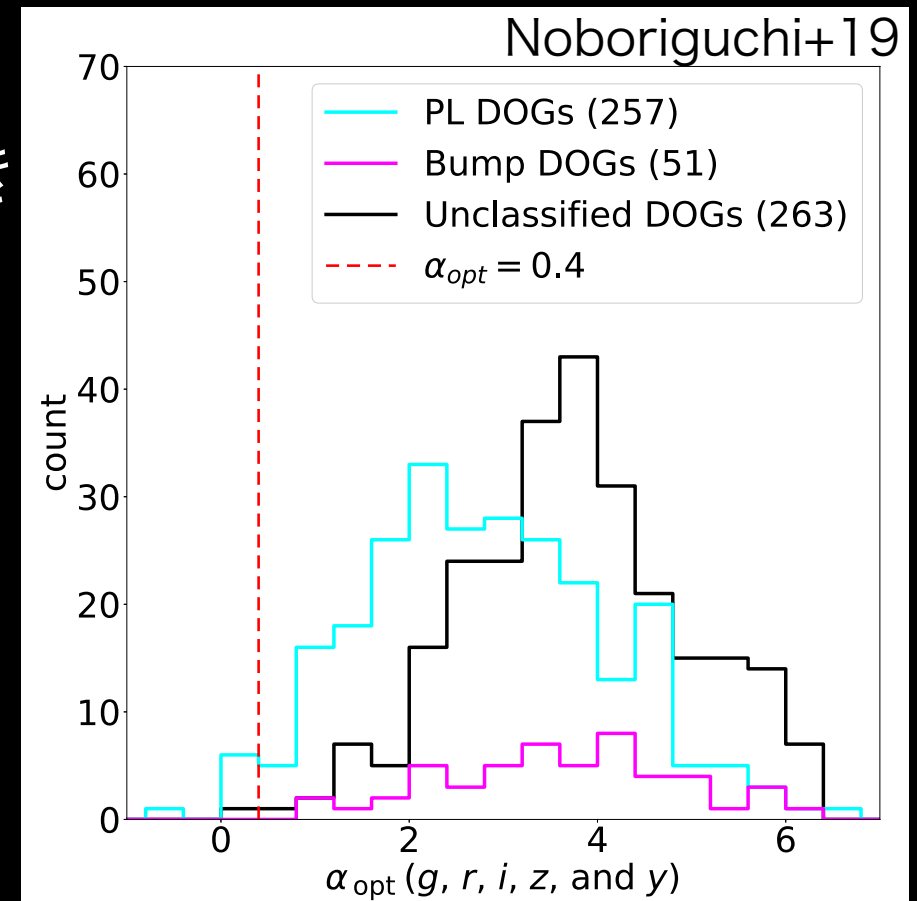
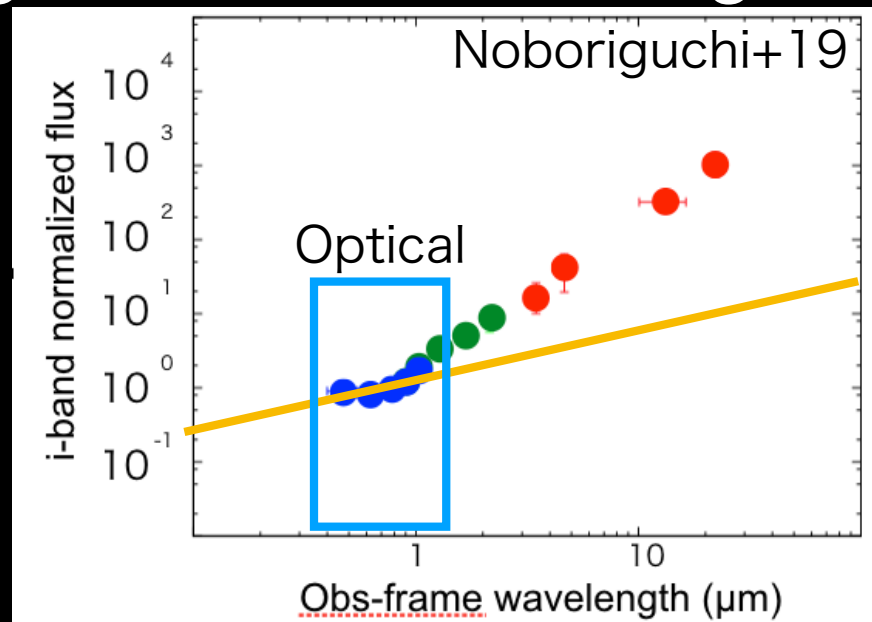


Blue-excess DOGs

Blue-excess DOGs (BluDOGs: Noboriguchi+19)

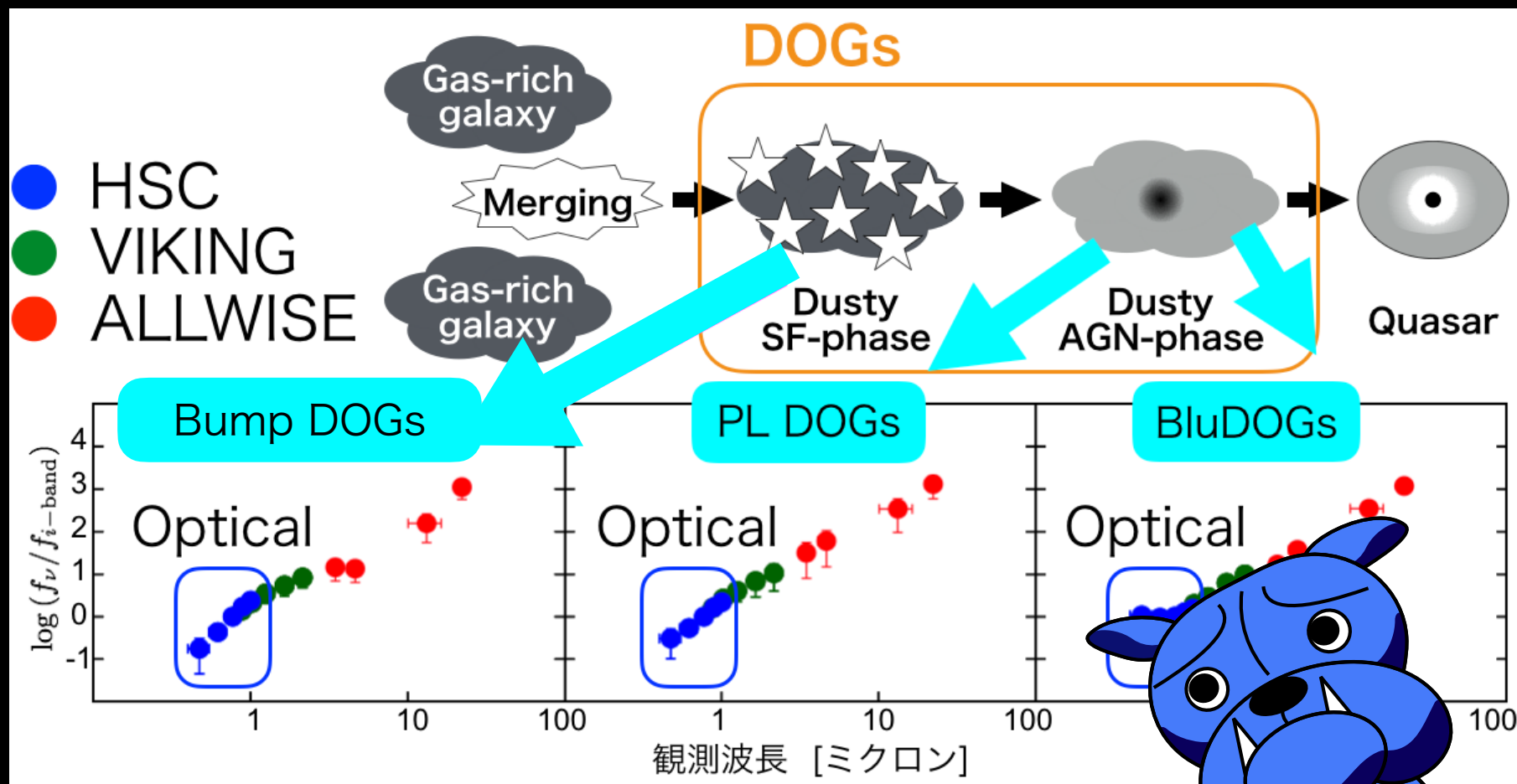
定義

α_{opt} : 可視光 5 band に対して
以下の式でフィットした時の傾き
 $\log f_{\text{opt}} = \beta + \alpha_{\text{opt}} \times \log \lambda_{\text{opt}}$



571 天体の DOGs から **8 天体の BluDOGs** を発見

Gas-rich merger と DOGs



クエーサーの形成と進化を知る上で重要
ダストを吹き飛ばしている最中かもしれない

3. *The origin of blue-excess from BluDOGs*

本当に可視光は AGN?

可視光分光データがないので起源がわからなかった
候補

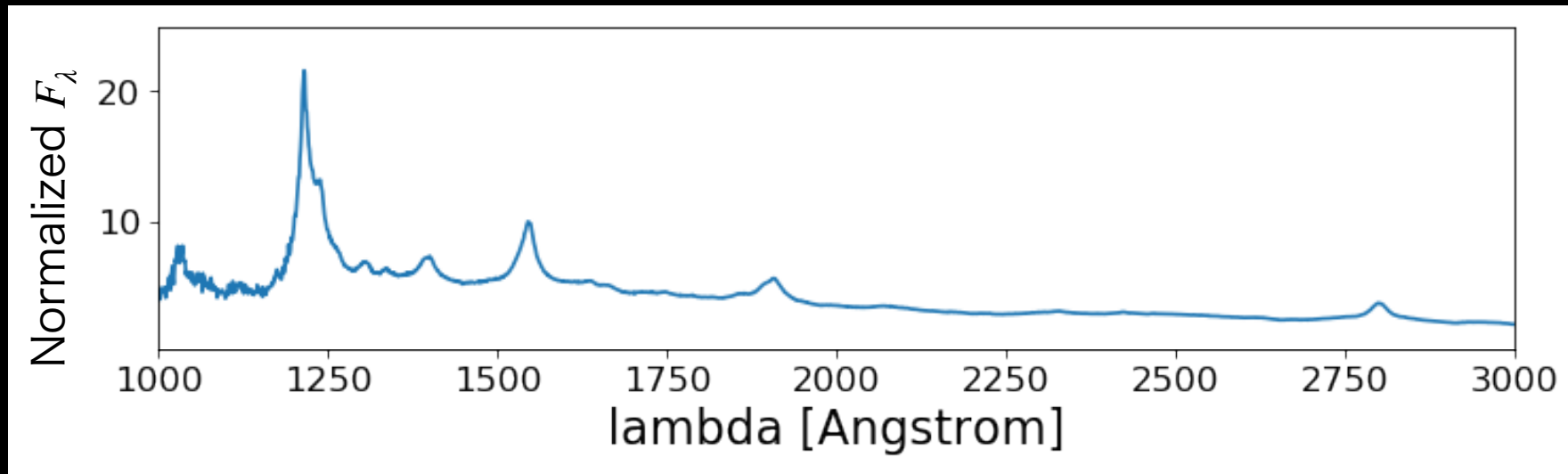
- ・ **AGN** からの漏れ出し光
- ・ **Starburst** からの恒星の UV 光
- ・ その他

Subaru/FOCAS と VLT/FORS2 で可視光分光観測を行い
BluDOGs の性質 (SMBH 質量等) を調べる



3. The origin of blue-excess from BluDOGs

Quasar のスペクトル



Quasar スペクトル (Type-1) の特徴

- ・ 連続光は冪乗関数で表される
- ・ 輝線幅が 2000 km/s 以上の広輝線を持つ

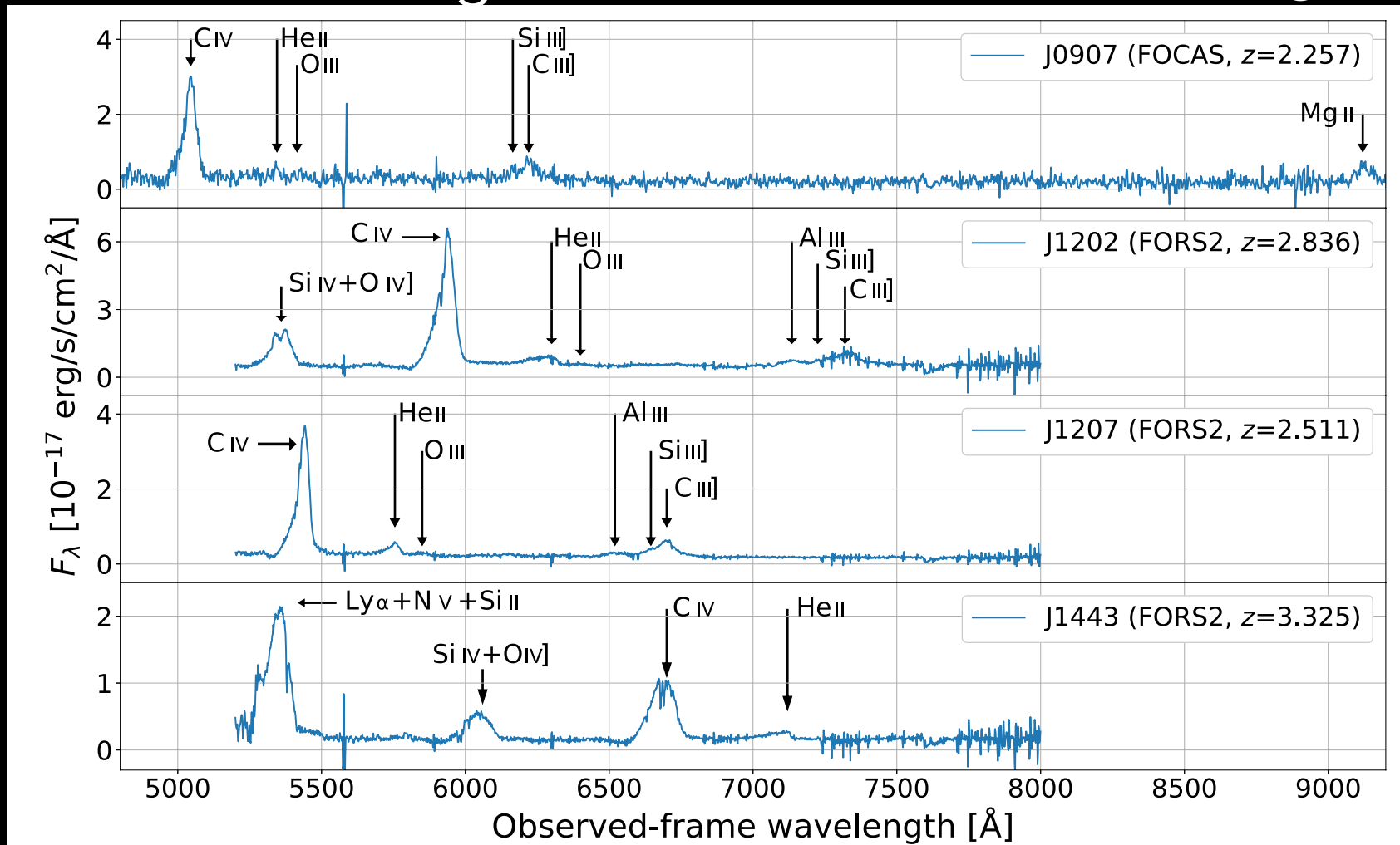
3. The origin of blue-excess from BluDOGs

得られたスペクトル

BluDOGs スペクトルの特徴

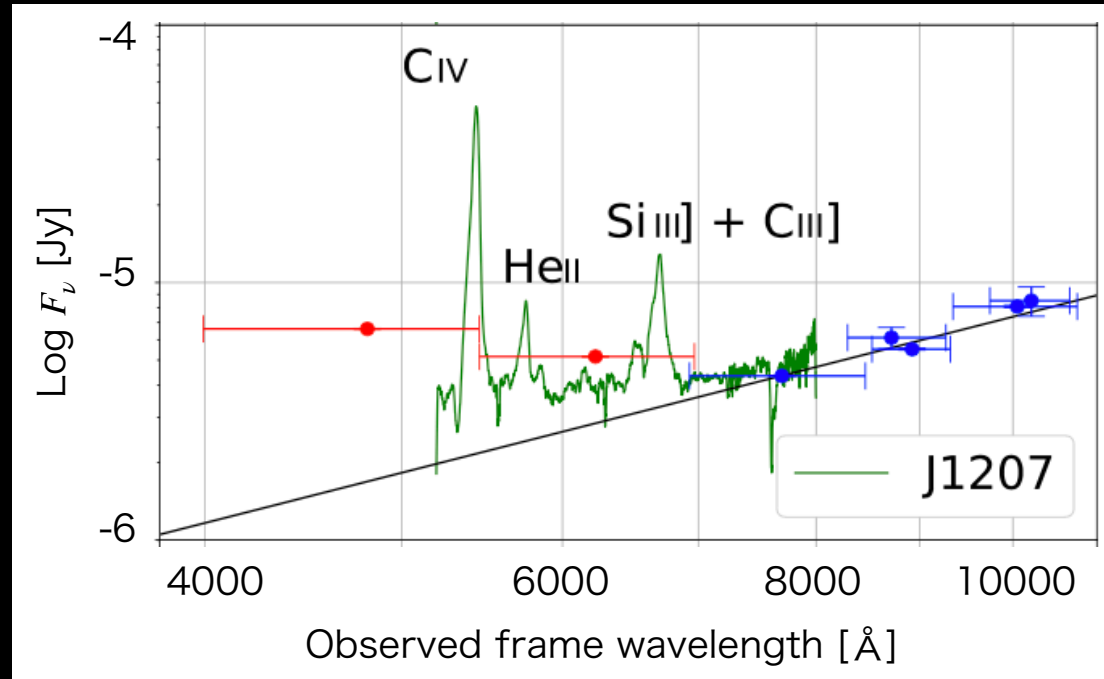
- ・非常に大きな透過幅を持つ広輝線
- ・CIV は blue wing を持っている

Noboriguchi+22



3. The origin of blue-excess from BluDOGs

Blue-excess の正体



Noboriguchi+22

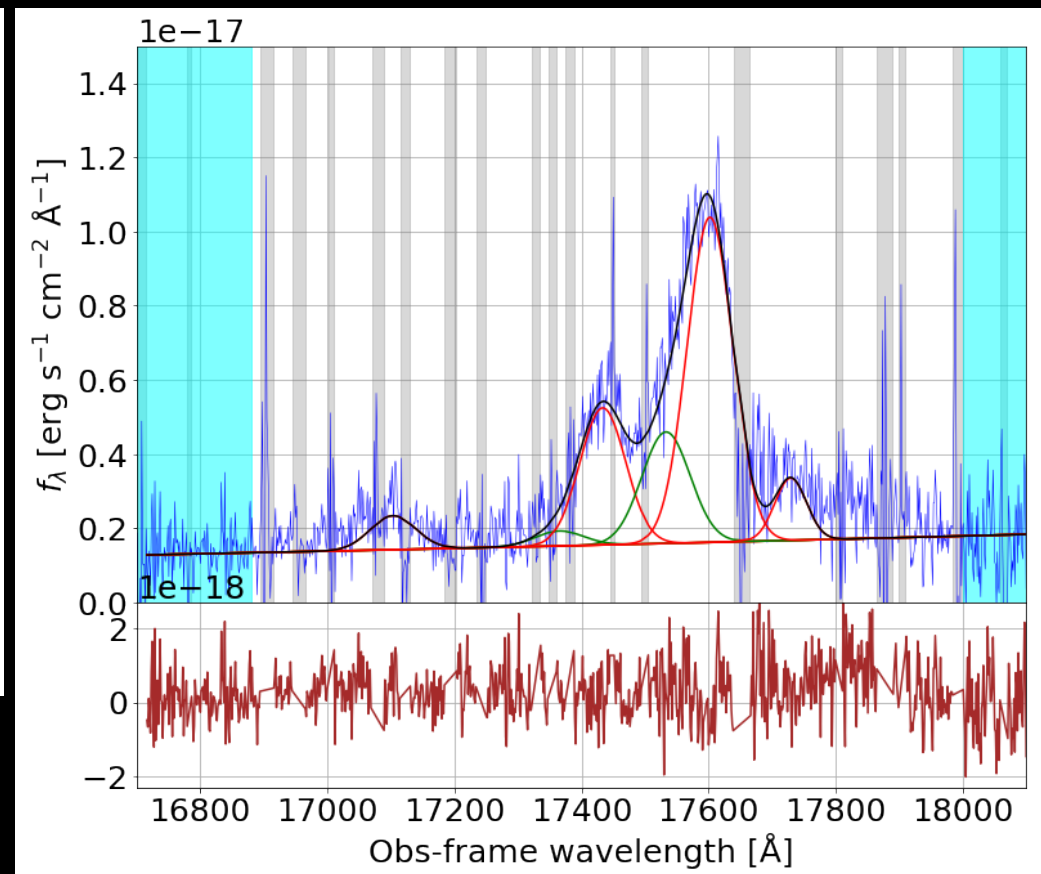
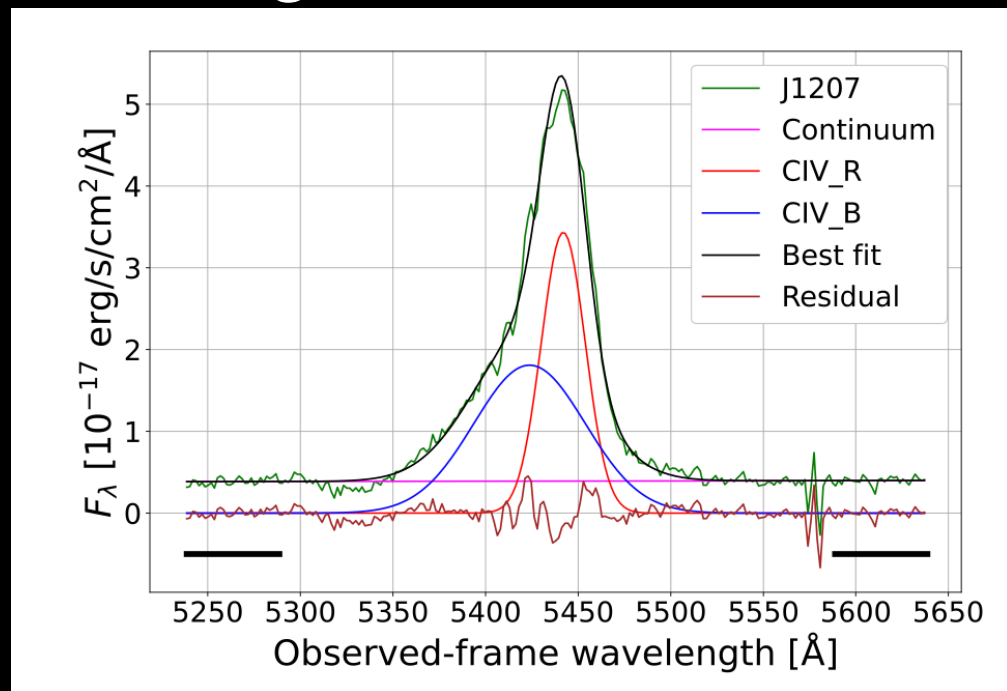
- AGN のスペクトルが見えたので**青い光の起源は中心から漏れ出している AGN 光**
- ただ、**連続光の寄与**だけでなく**等価幅の大きい広輝線の寄与**も大きい

3. The origin of blue-excess from BluDOGs

アウトフロー

Noboriguchi+22

解析中

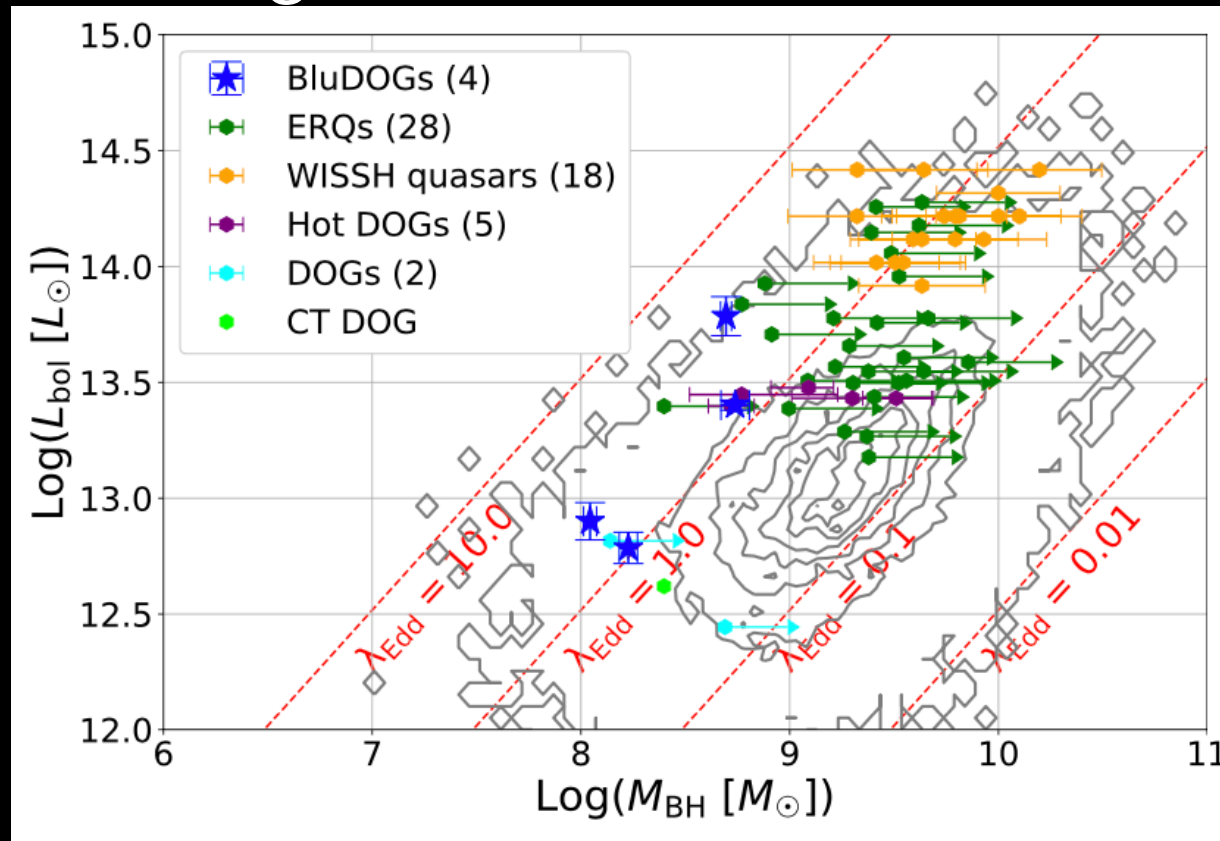


- CIV 輝線は blue-tail を示す \rightarrow nucleus outflow
- [OIII] 輝線も blue-tail を示す \rightarrow host gal. scale outflow

3. The origin of blue-excess from BluDOGs

M_{BH} VS. L_{bol}

Noboriguchi+22

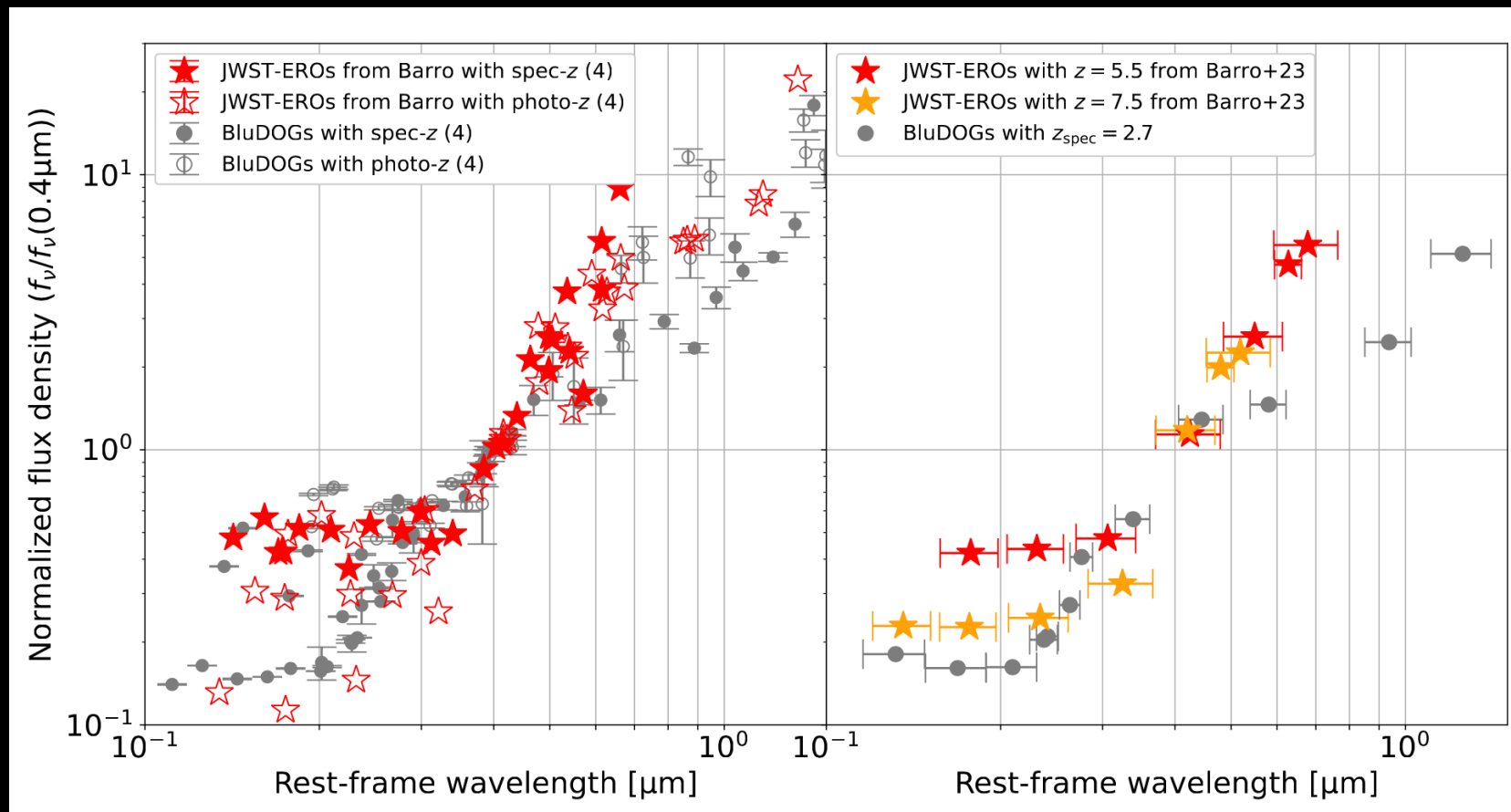


- Extremely red quasar (ERQs; Perrotta+19)
- WISSH quasar (Bischetti+17)
- Hot DOGs (Wu+18)
- DOGs (Melbourne+11,12)

Dusty AGN の中でも BluDOGs は高い Eddington 比を示す
BluDOGs がスーパーエディントン降着段階にいることを示唆
→ クエーサーへと急速に成長中であると示唆される

4. High-z candidates of *BluDOGs*

JWST-EROs と *BluDOGs*



Noboriguchi+23

JWST で見つかった Extremely red objects

(JWST-EROs: $z=5-7$; e.g., Barro+23)

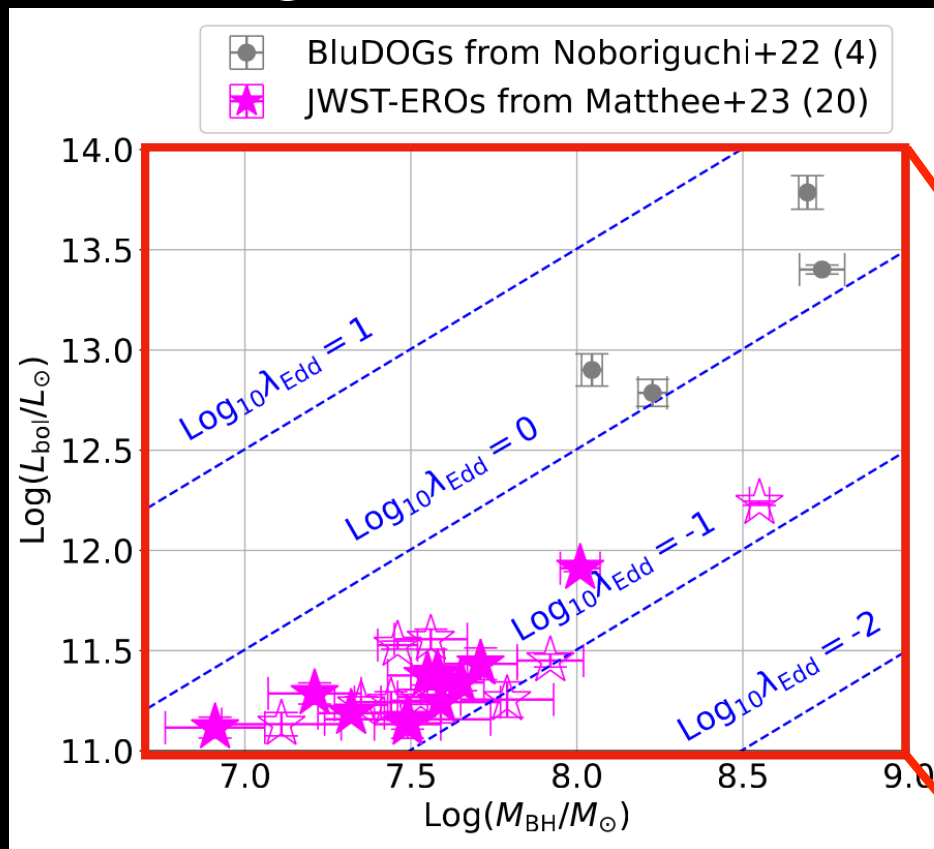
SED が非常に *BluDOGs* に似ている



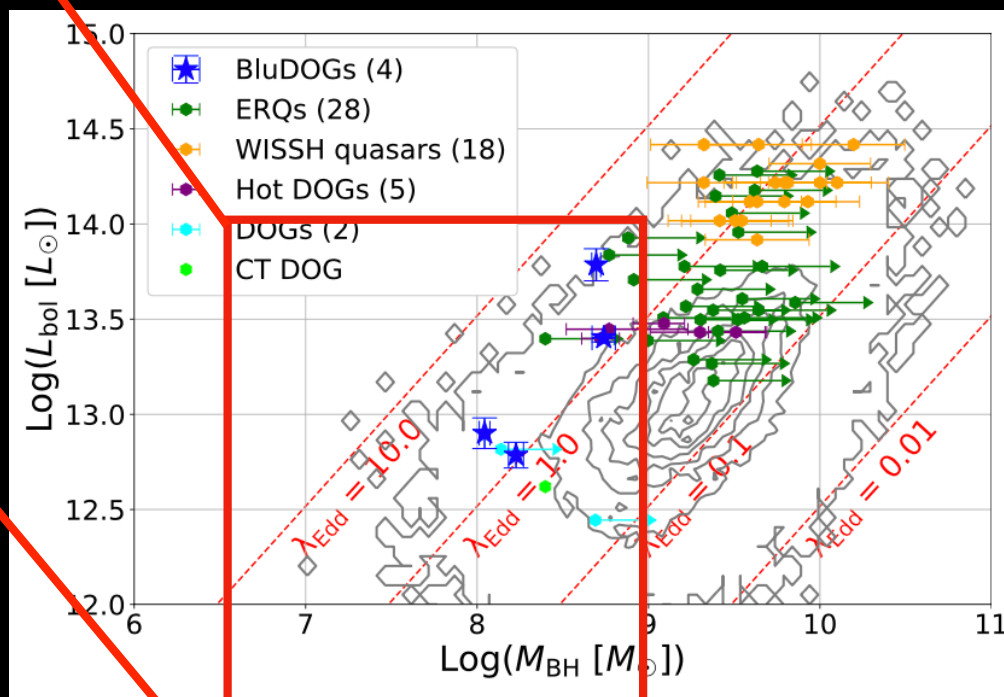
4. High-z candidates of BluDOGs

JWST-EROs と BluDOGs

Noboriguchi+23

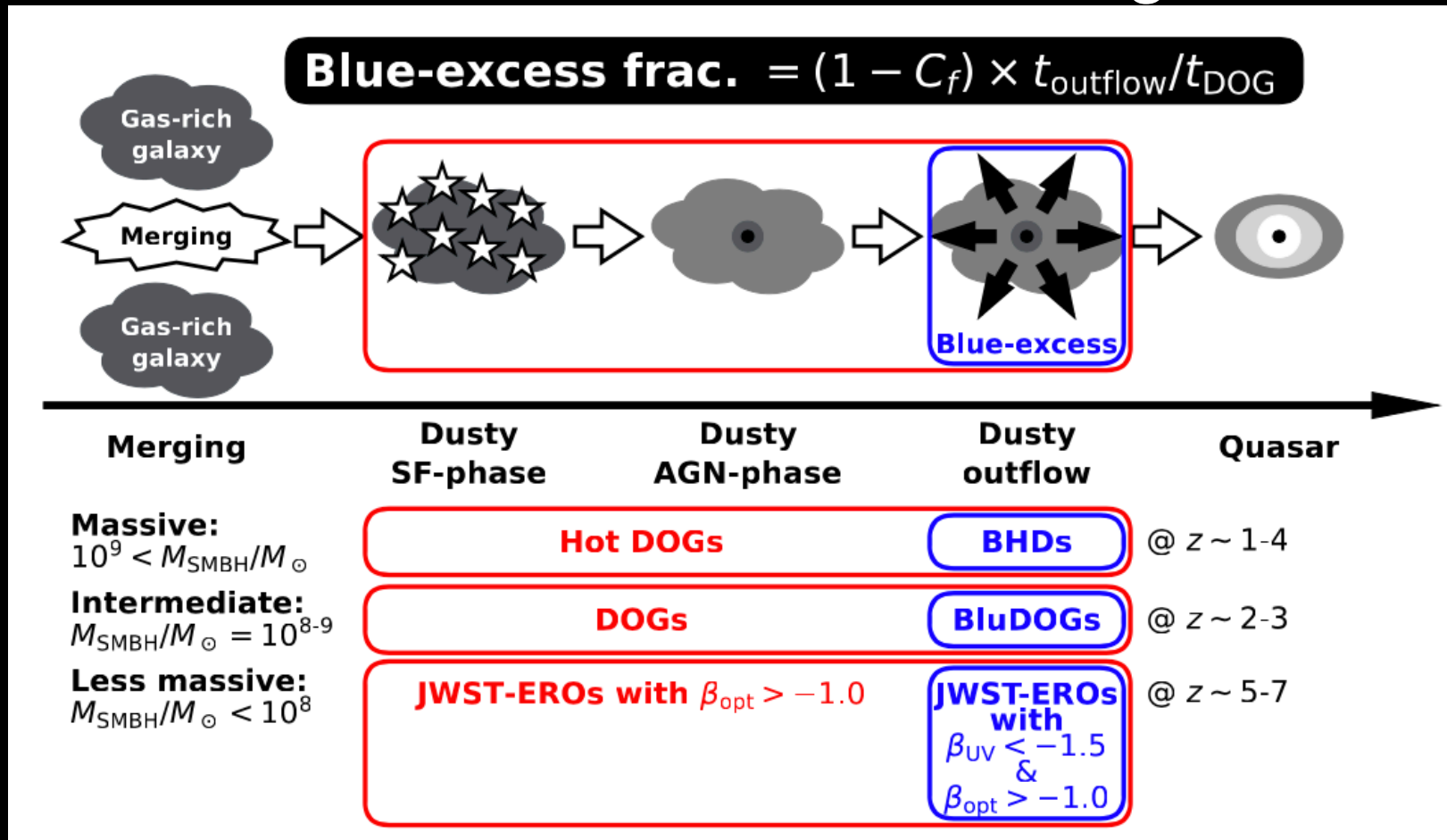


JWST-EROs はより低光度
 M_{SMBH} も小さめ
Eddington 比も小さめ



Dusty AGNs のまとめ

Noboriguchi+23

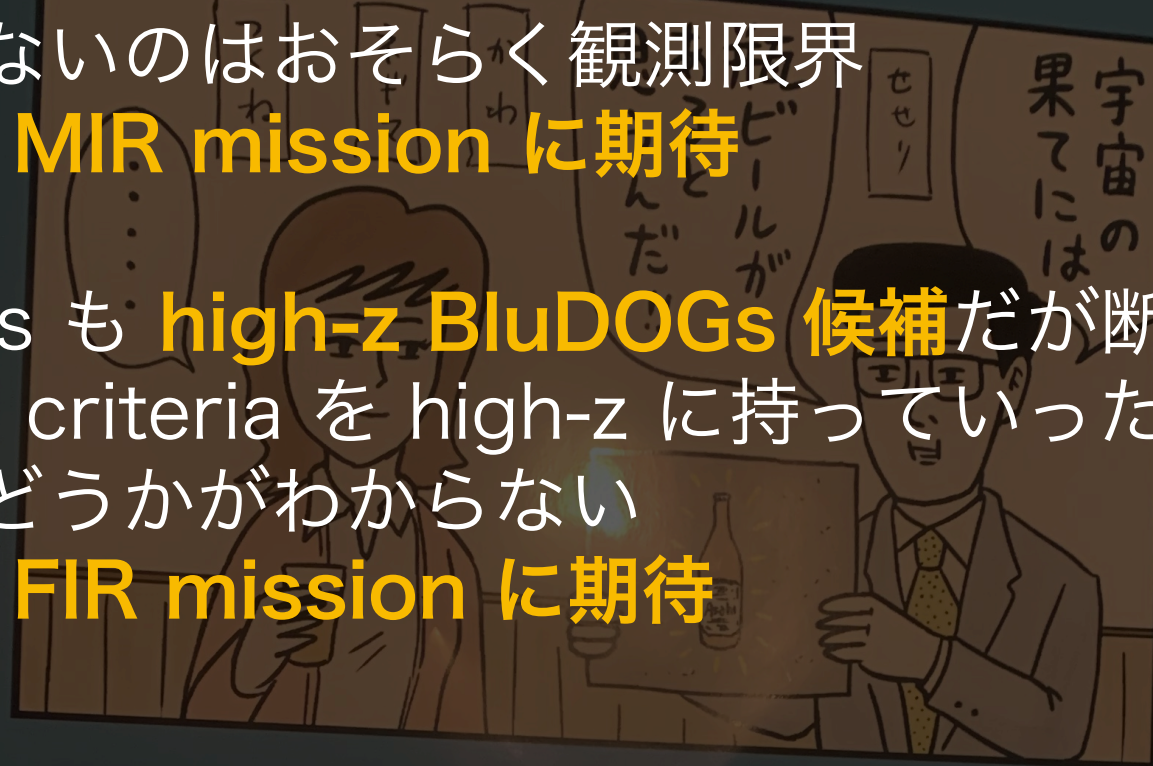


これらは違う分布に見えるが質量 etc で別サンプルになっているかも。。。

4. High-z candidates of BluDOGs

High-z BluDOGs

- **JWST-EROs は BluDOGs より暗くて SMBH は軽い**
 - > 観測面積依存?
明るく Eddington ratio が高い BluDOGs は rare
 - > 広域探査で見つかりやすい
 - > $z \sim 2$ で JWST-EROs のような天体が見つからないのはおそらく観測限界
 - > **今後の MIR mission に期待**
- JWST-EROs も **high-z BluDOGs 候補**だが断定は...
 - > DOGs の criteria を high-z に持っていっていったものを満たすかどうか分からない
 - > **今後の FIR mission に期待**



Summary

BluDOGs 5 年のまとめ

- HSC-WISE で BluDOGs を 8/571 発見した
- CIV と [OIII] 輝線プロファイルから
核付近から母銀河スケールに届くアウトフローがあることが示唆
- BluDOGs の SMBH 質量は CIV の値と一致した
→ エディントン比 > 1 である
- JWST-EROs は BluDOGs に似た SED を示す
- BluDOGs や JWST-EROs 等は gas-rich major merger の
シナリオの中で同じ進化フェーズを見ているかもしれない
(mass 等は異なるが)