

5th



Anniversary



# これまでの BluDOGS 研究と JWST による high-z BluDOGS 研究

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.),

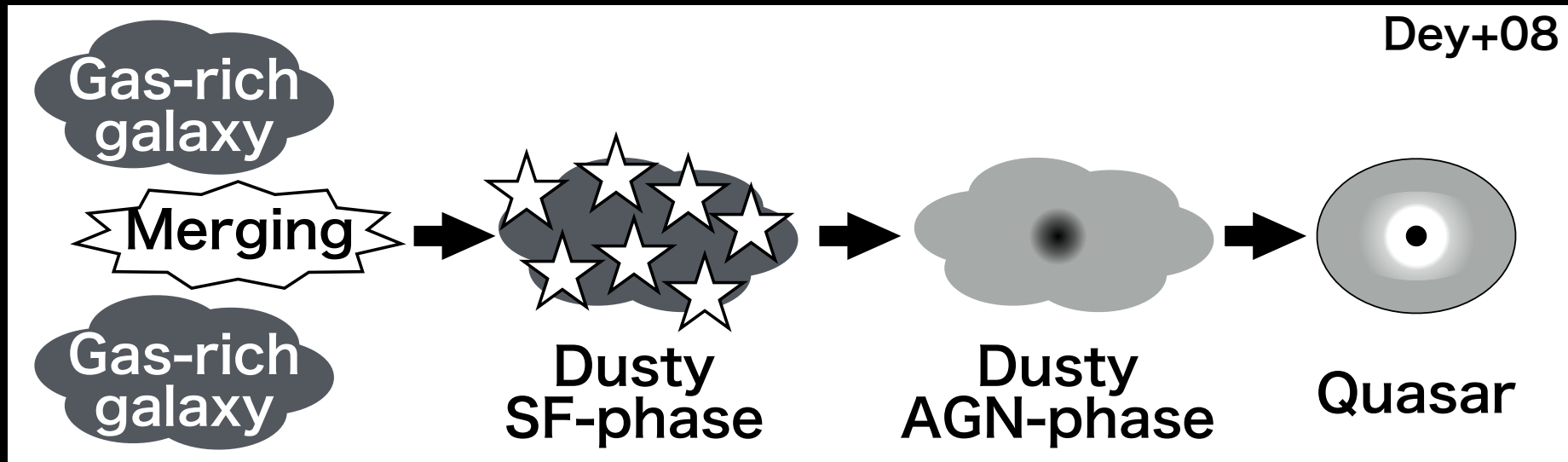
Yoshiki Toba (NAOJ), Toru Misawa (Shinshu U.)

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 は可視で暗いため探査されづらかった

# Dust-Obscured Galaxies

とても赤い

- **definition**

$$\begin{array}{ll} R - [24] \geq 14.0 \text{ [vega mag]} & \text{Dey+08} \\ i - [22] \geq 7.0 \text{ [AB mag]} & \text{Toba+15} \end{array}$$

珍しい

- **number density**

$$\log \phi = -6.59 \pm 0.11 \text{ [Mpc}^{-3}] \quad \text{Toba+15}$$

遠い

- **redshift**

$$z = 1 - 2 \quad \text{Dey+08, Toba+15}$$



## 1. Introduction

# Bump DOGs & PL DOGs

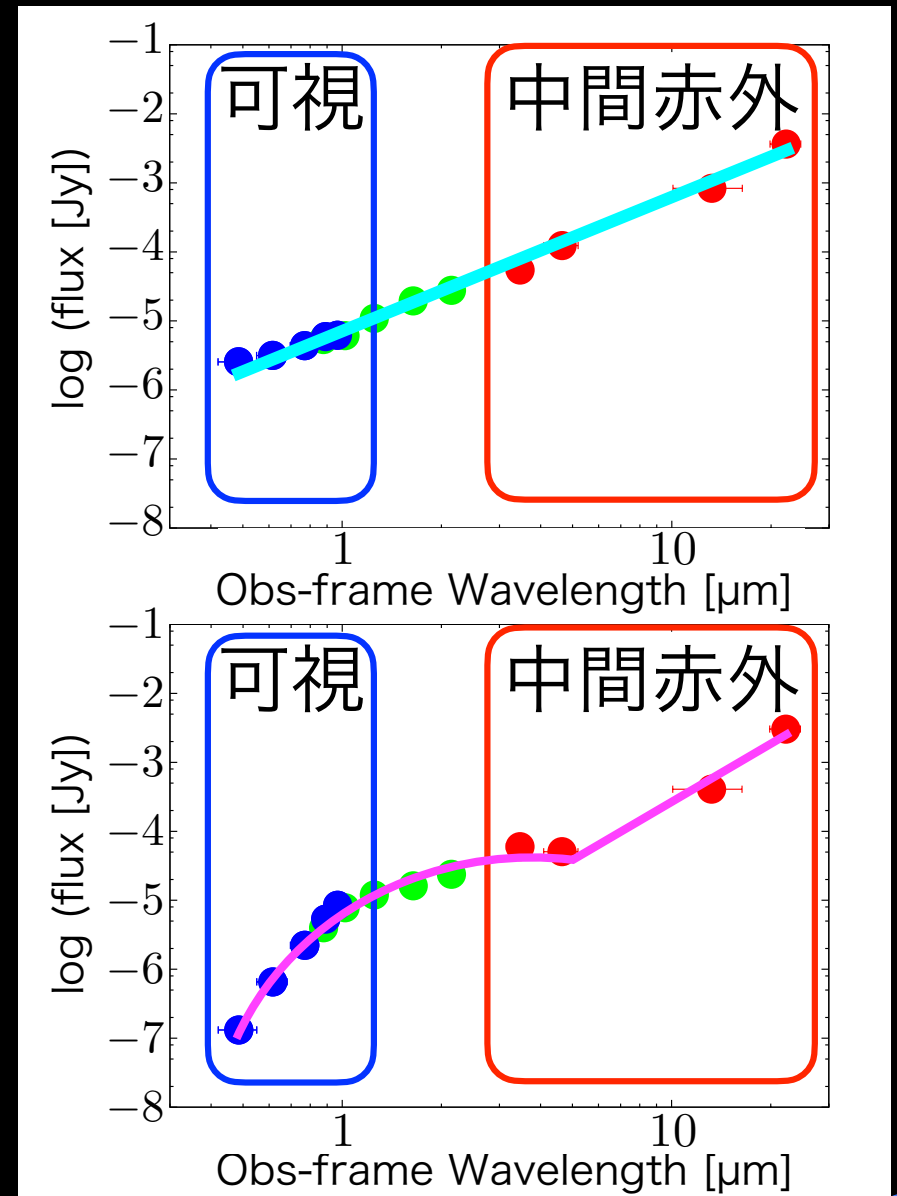
Spectral Energy Distributions  
(SED) の形より二つに分類可能  
Dey+08

### Power-Law (PL) DOGs

- ・SED が power-law 的
- ・AGN 活動を示唆

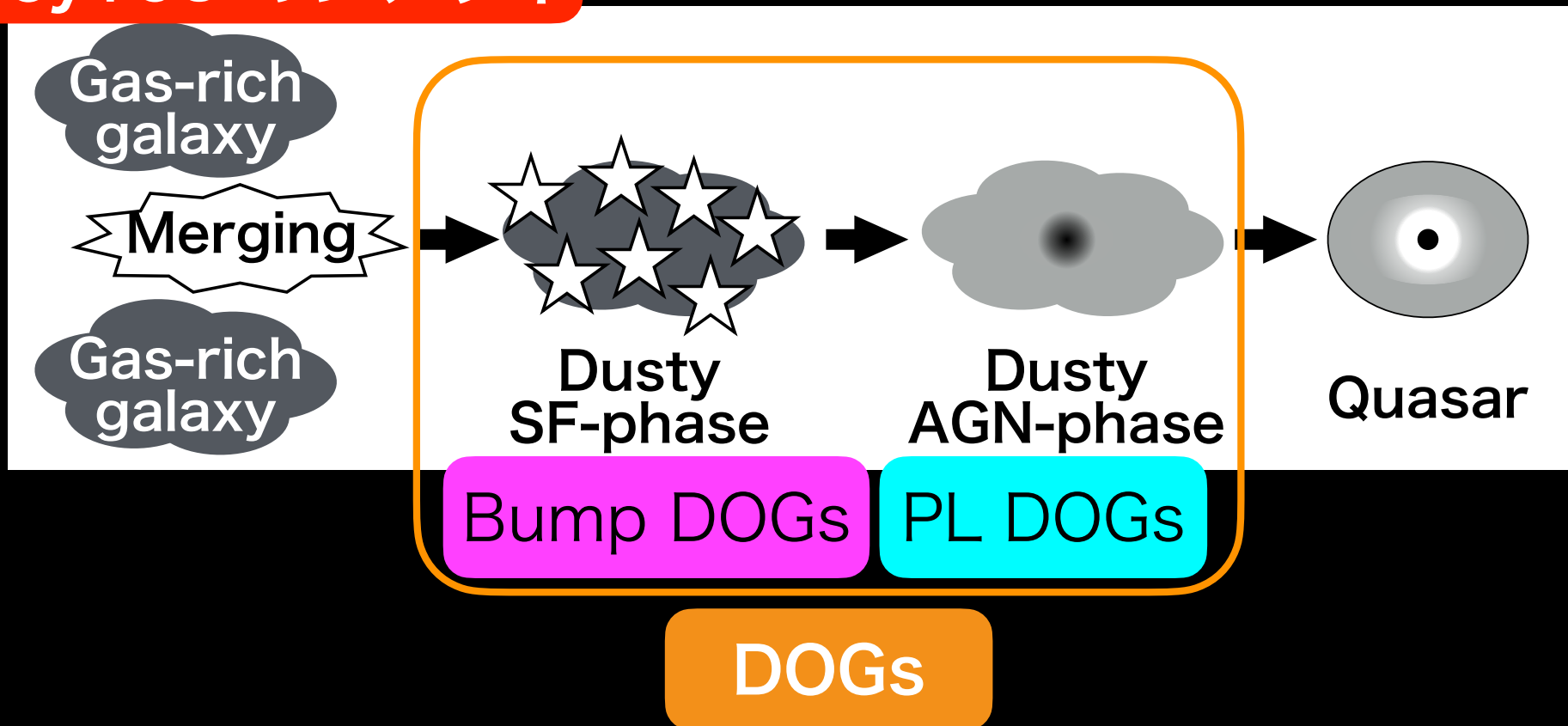
### Bump DOGs

- ・静止系波長 1.6 [ $\mu\text{m}$ ] 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  $\sim 100$  Myr なのでそれ以下: Narayanann+10)

**本研究では**

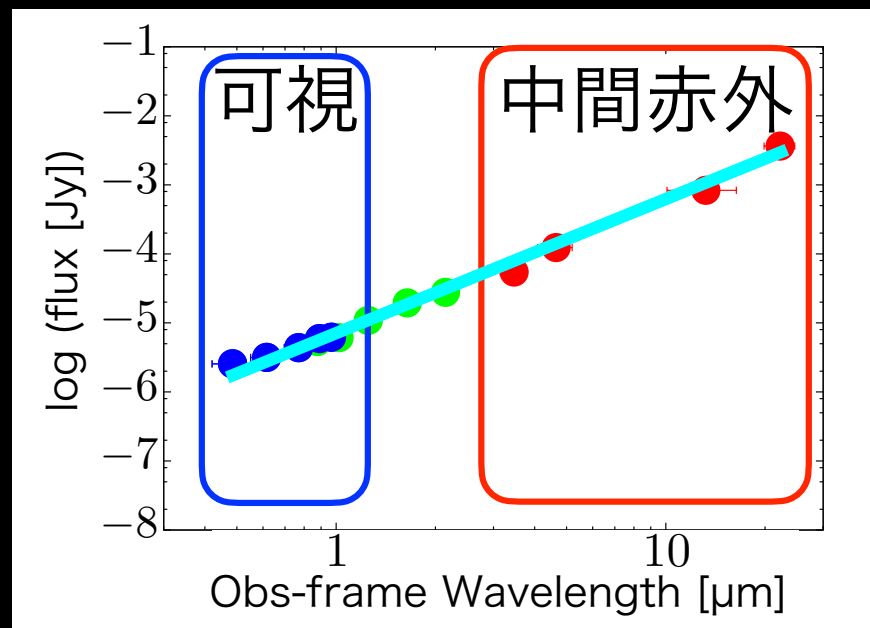
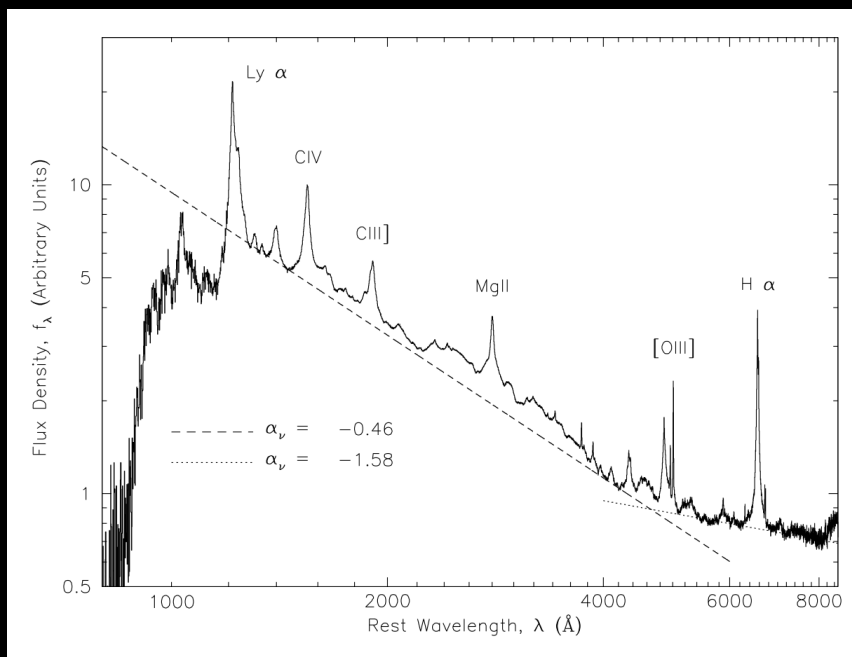
**HSC-WISE の広域探査データをもとに**

**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

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

707,924

ALLWIES clean sample

9,439,990

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

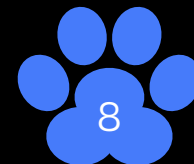
1,915

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

HSC-WISE DOGs

571

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





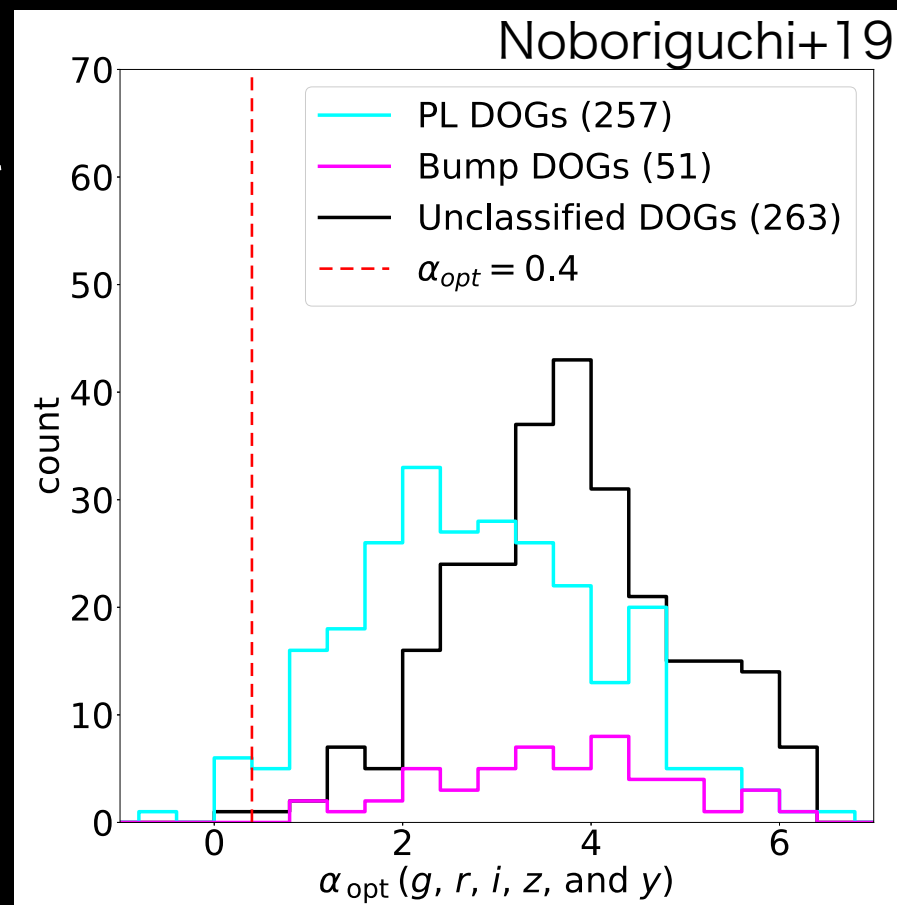
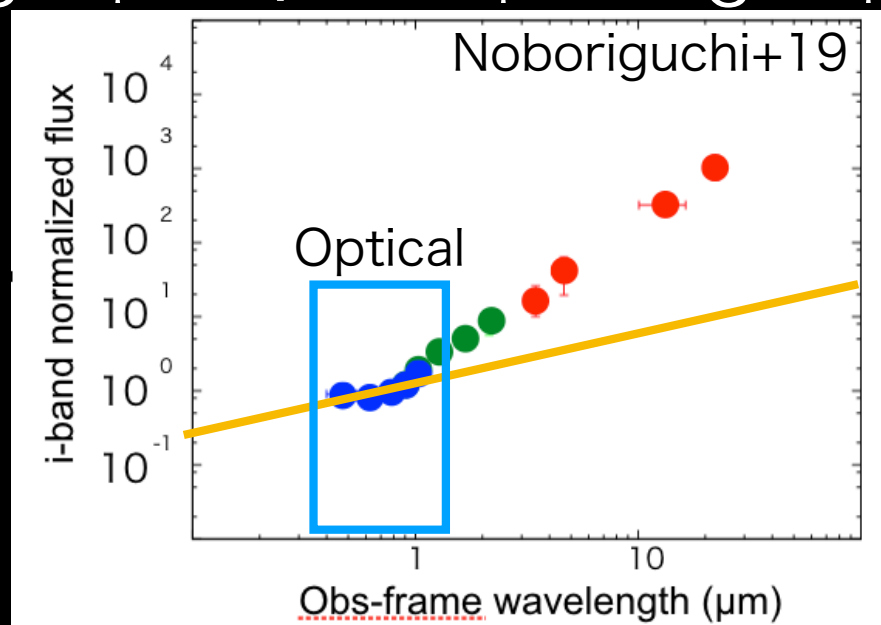
# Blue-excess DOGs

## Blue-excess DOGs (BluDOGs: Noboriguchi+19)

定義

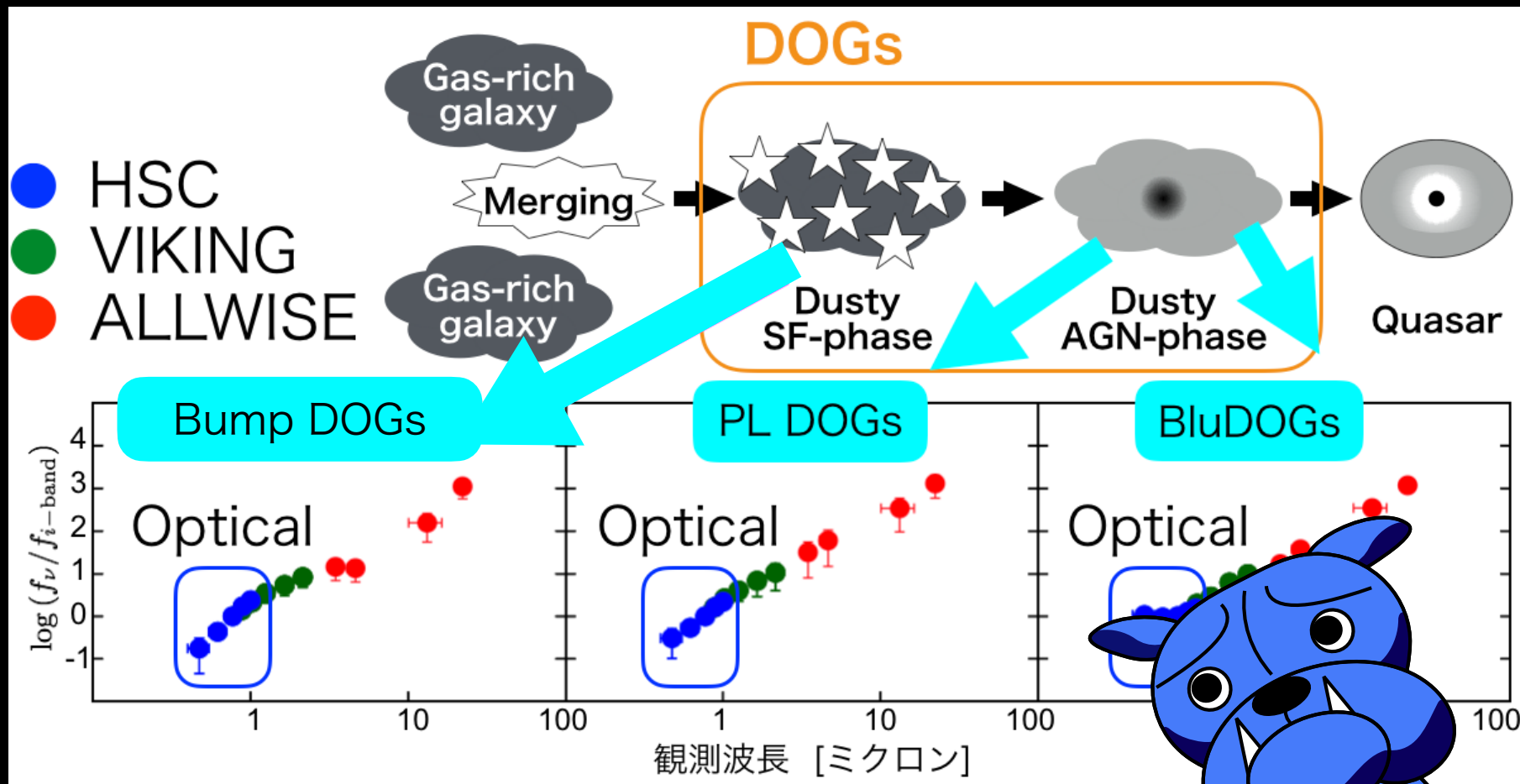
$\alpha_{\text{opt}}$  : 可視光 5 band に対して  
以下の式でフィットした時の傾き

$$\log f_{\text{opt}} = \beta + \alpha_{\text{opt}} \times \log \lambda_{\text{opt}}$$



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



### 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

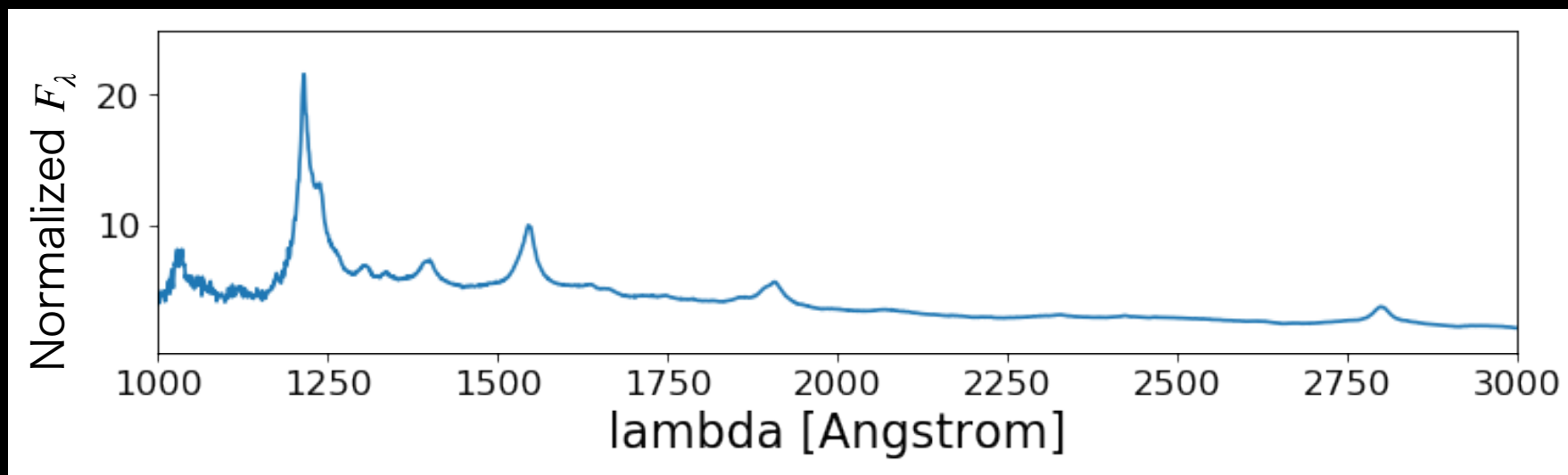
Subaru/FOCAS と VLT/FORS2 で可視光分光観測を行い BluDOGs の性質 (SMBH 質量等) を調べる

観測 PI: 登口 (登口が観測提案を作成・提出して時間獲得)



### 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

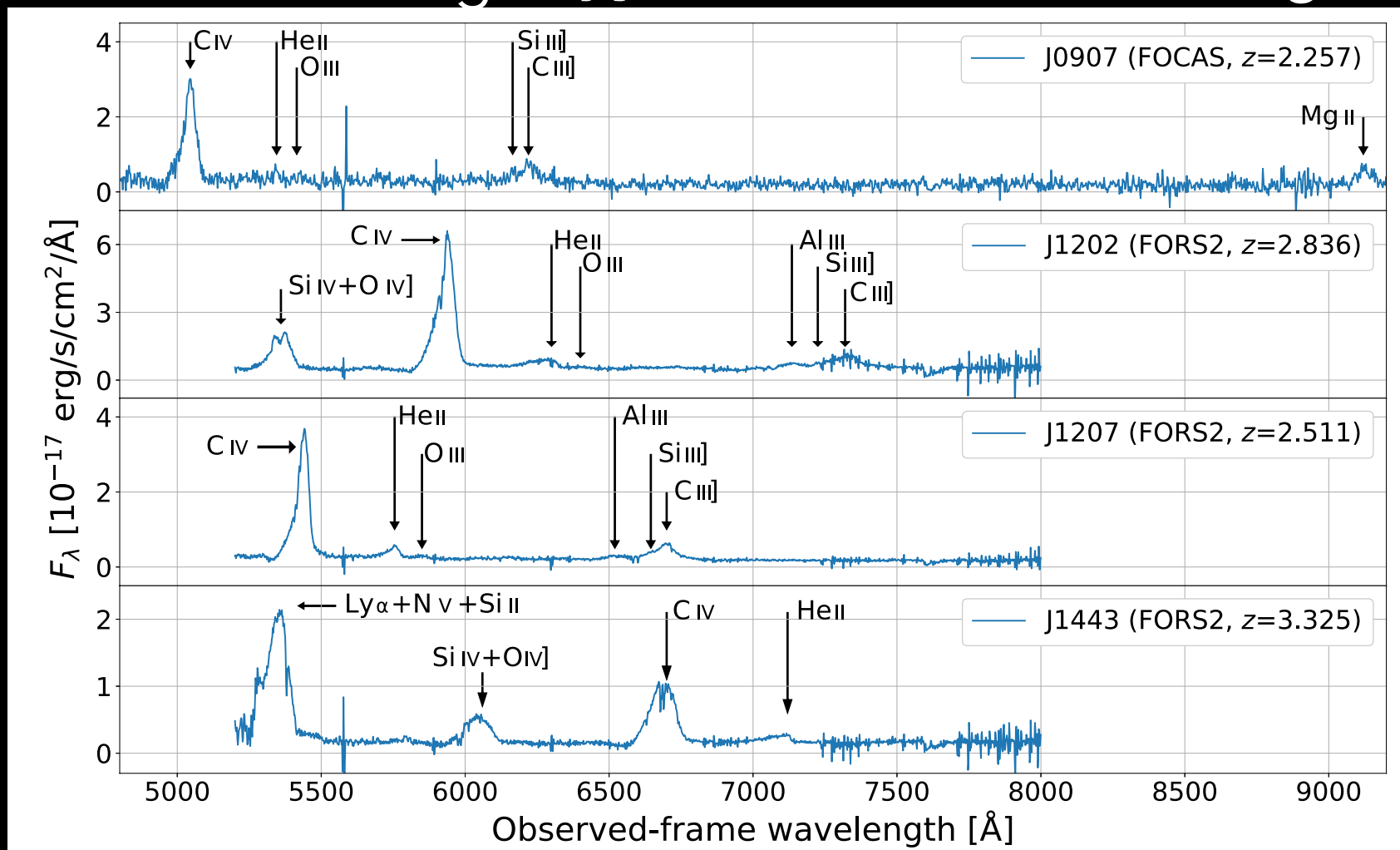
### 3. The origin of blue-excess from BluDOGs

# 得られたスペクトル

## BluDOGs スペクトルの特徴

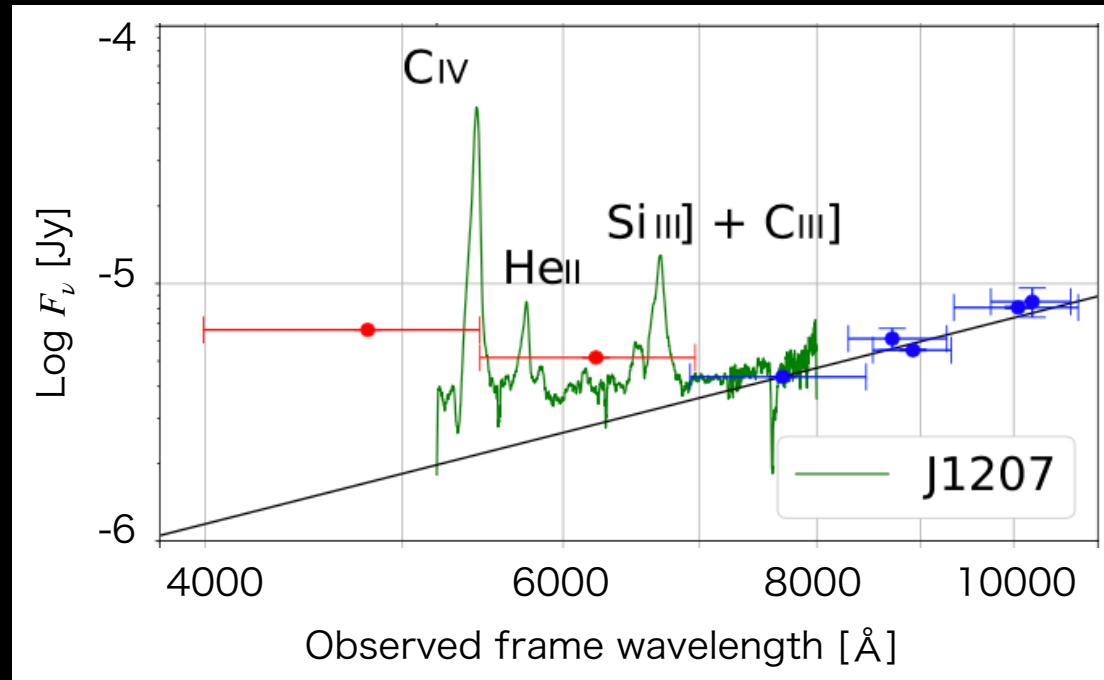
- ・非常に大きな透過幅を持つ広輝線
- ・CIV は blue wing を持っている

Noboriguchi+22



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

# Blue-excess の正体



Noboriguchi+22

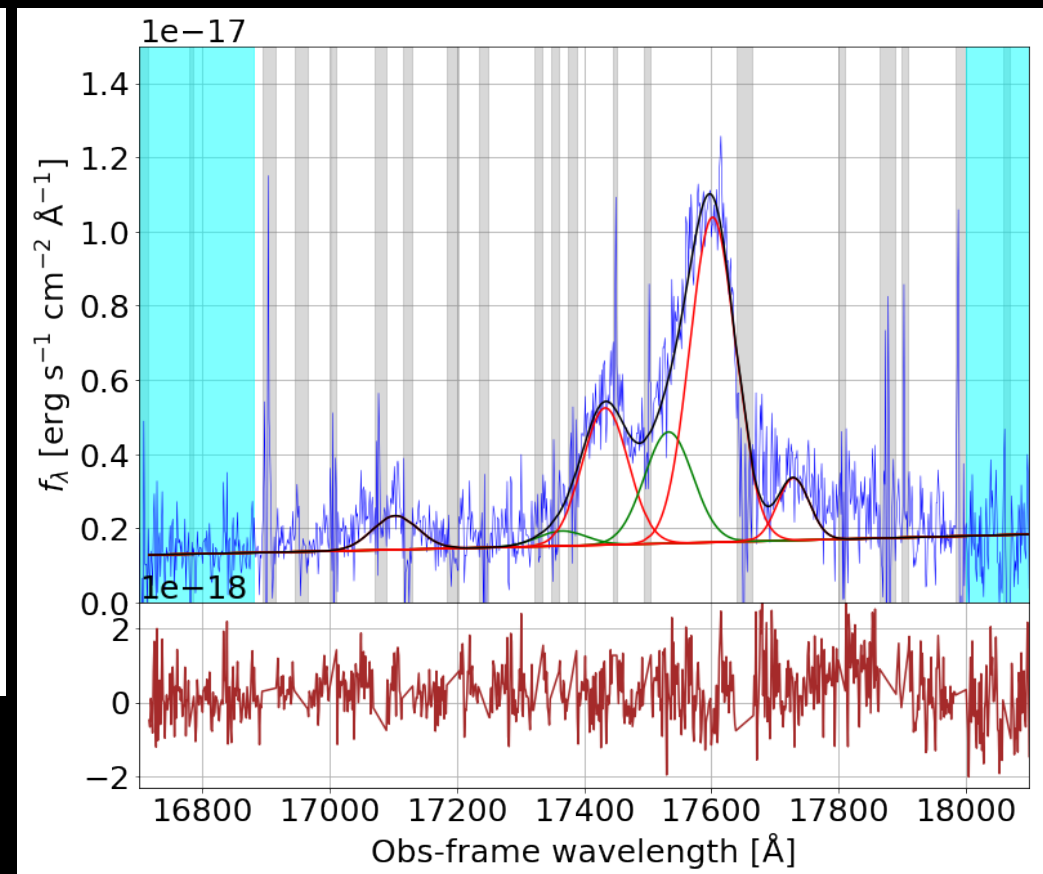
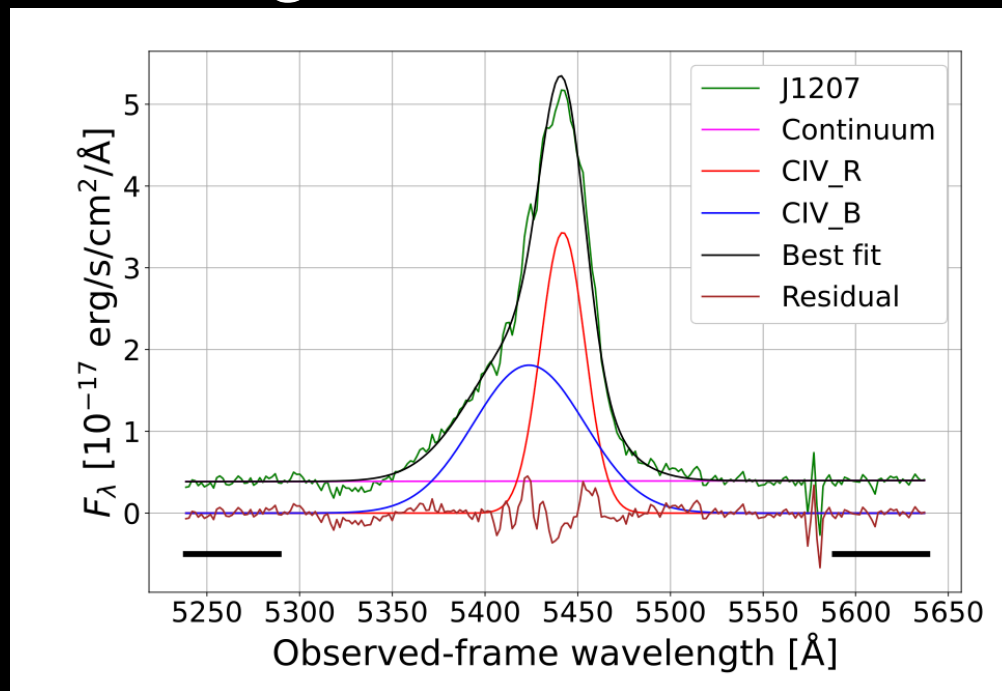
- AGN のスペクトルが見えたので**青い光の起源は中心から漏れ出している AGN 光**
- ただ、**連続光の寄与**だけでなく**等価幅の大きい広輝線の寄与**も大きい

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

# アウトフロー

Noboriguchi+22

解析中

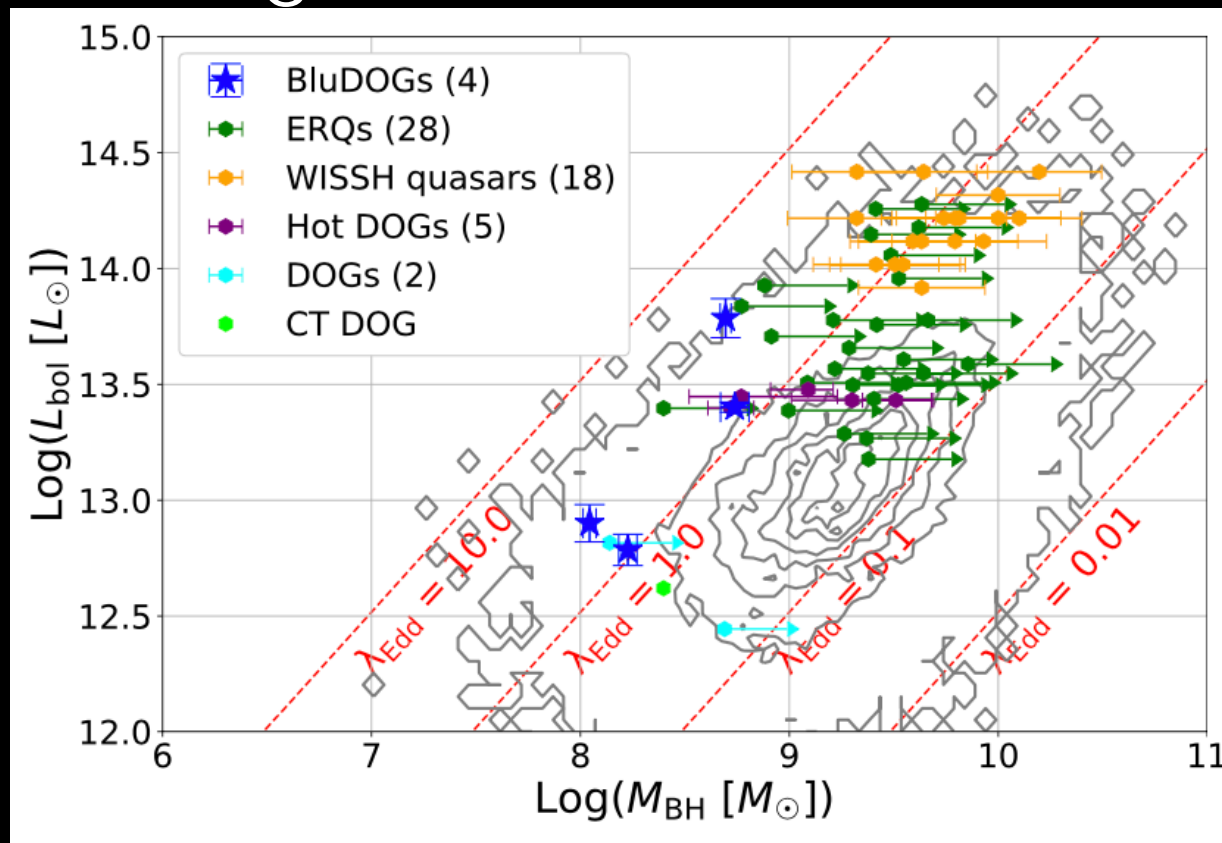


- CIV 輝線は blue-tail を示す → nucleus outflow
- [OIII] 輝線も blue-tail を示す → host gal. scale outflow

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

# $M_{\text{BH}}$ VS. $L_{\text{bol}}$

Noboriguchi+22



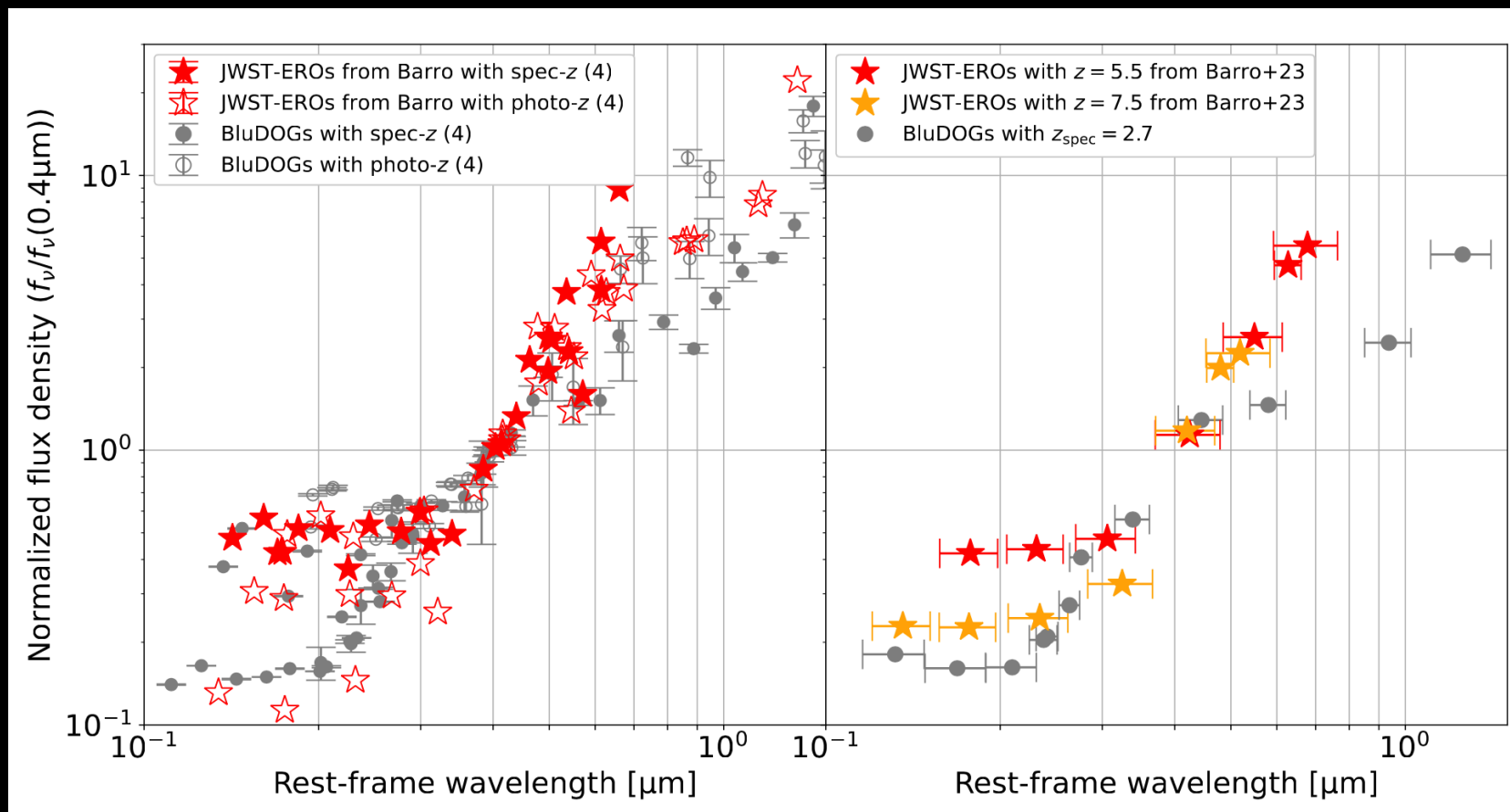
- Extremely red quasar (ERQs; Perrotta+19)
- WISSH quasar (Bischetti+17)
- Hot DOGs (Wu+18)
- DOGs (Melbourne+11,12)

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)

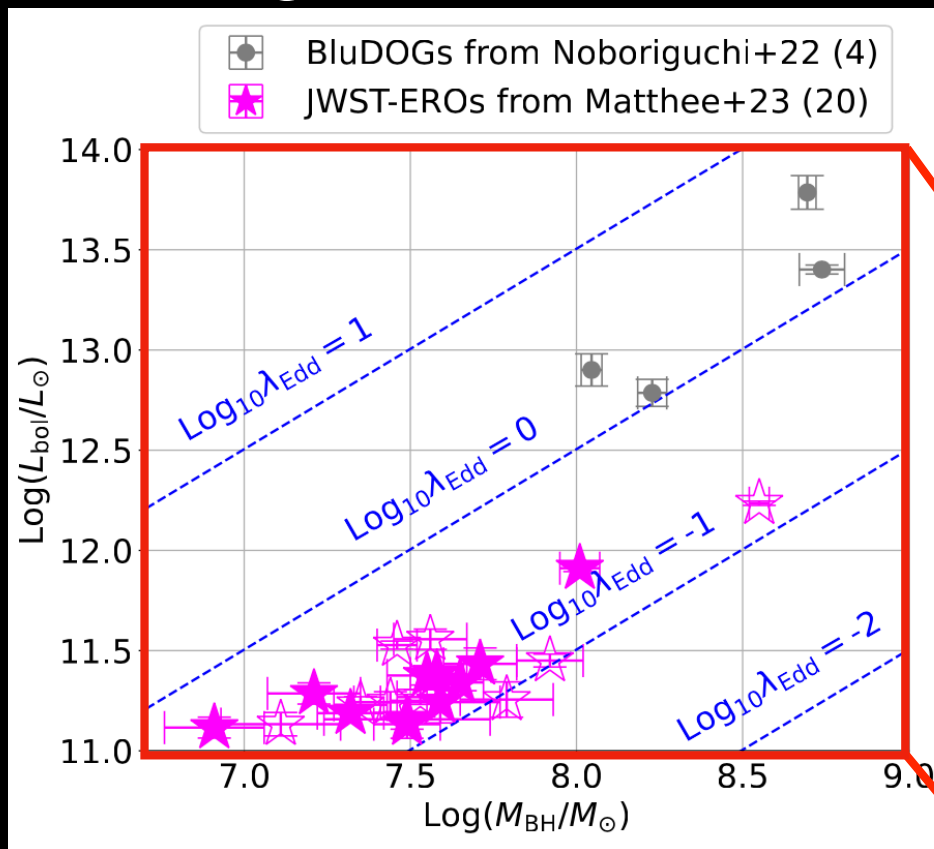
SED が非常に BluDOGs に似ている



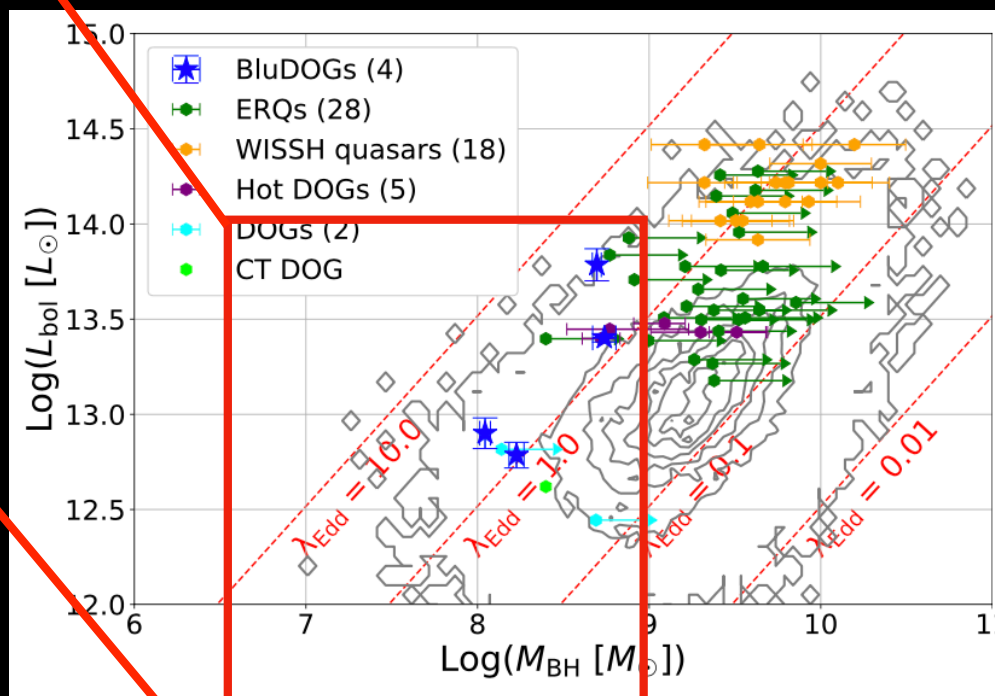
## 4. High-z candidates of BluDOGs

# JWST-EROs と BluDOGs

Noboriguchi+23

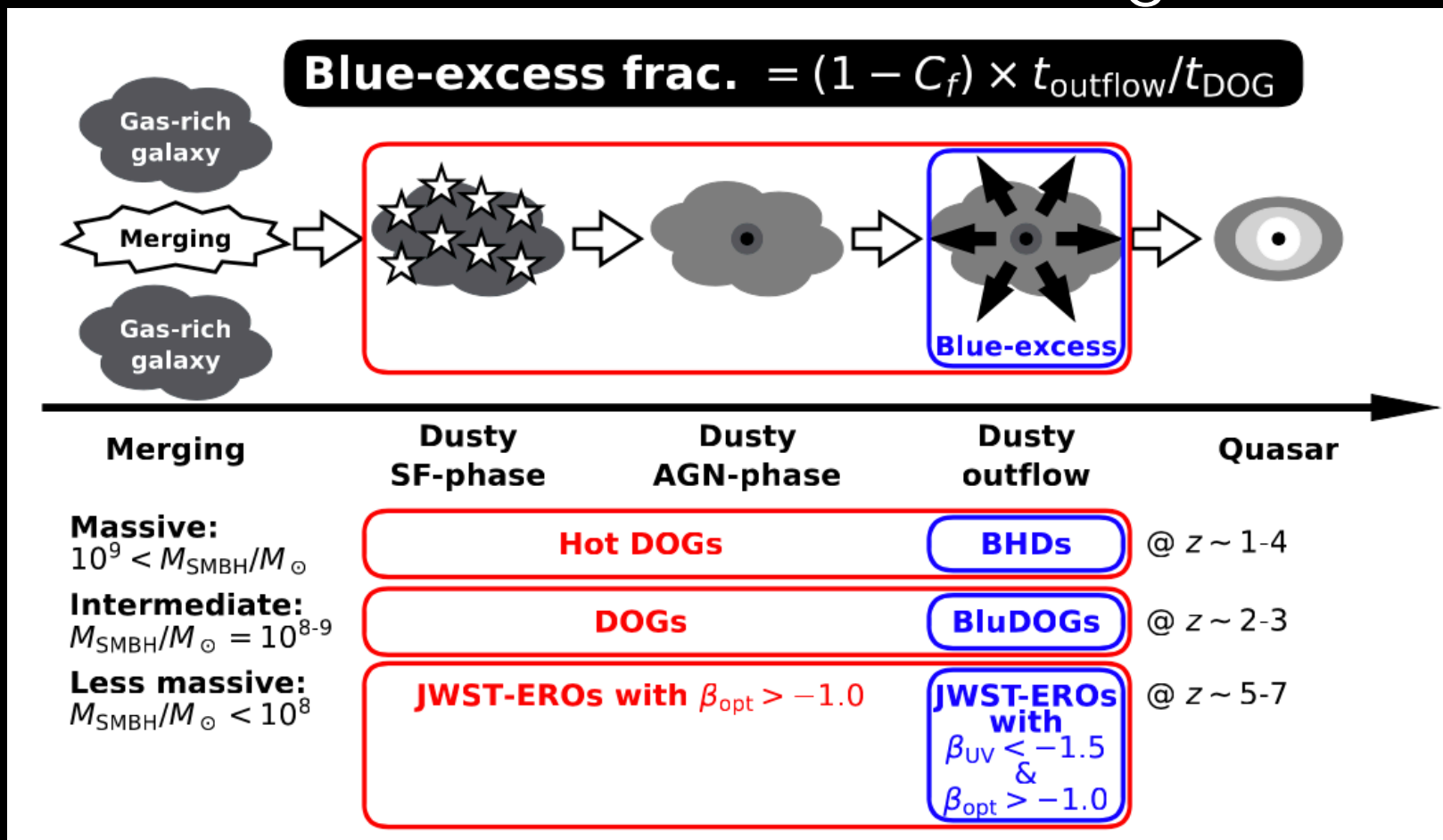


JWST-EROs はより低光度  
 $M_{\text{SMBH}}$  も小さめ  
Eddington 比も小さめ



# Dusty AGNs のまとめ

Noboriguchi+23

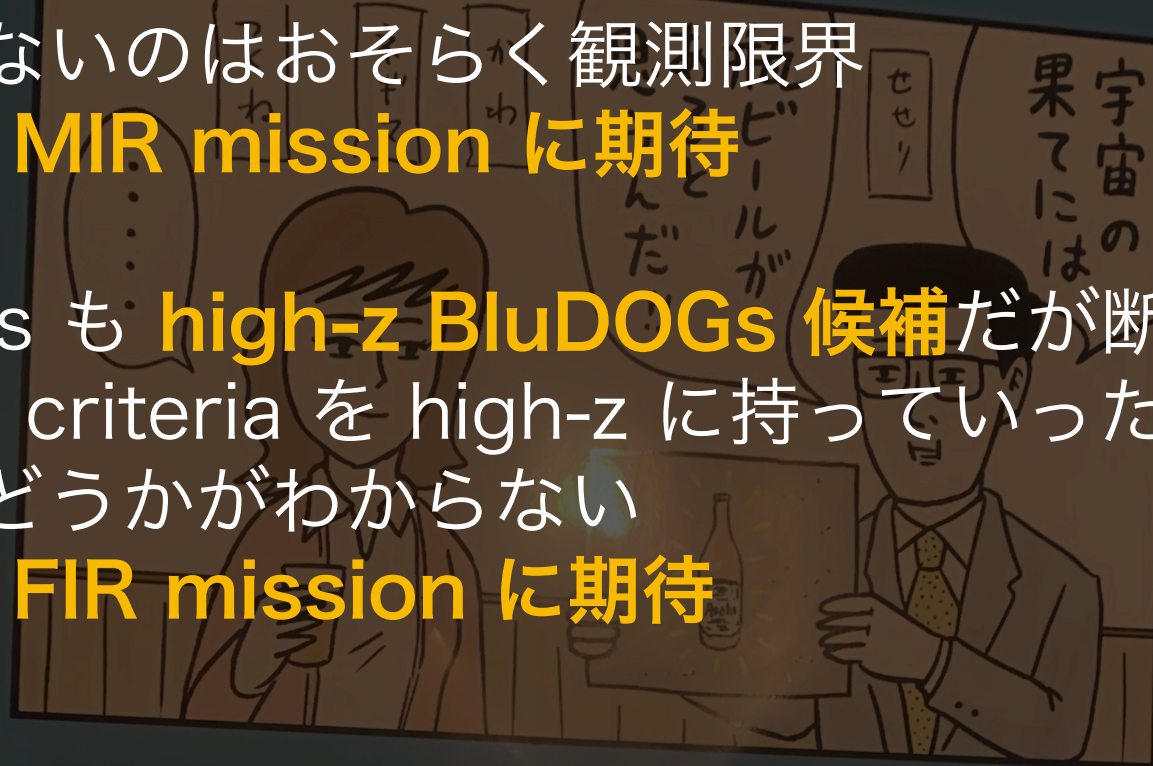


これらは違う分布に見えるが質量 etc で別サンプルになっているかも。。。

#### 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)

おしまいい

