

# KOOLS IFUを用いた 近傍 超/高光度赤外線銀河の観測

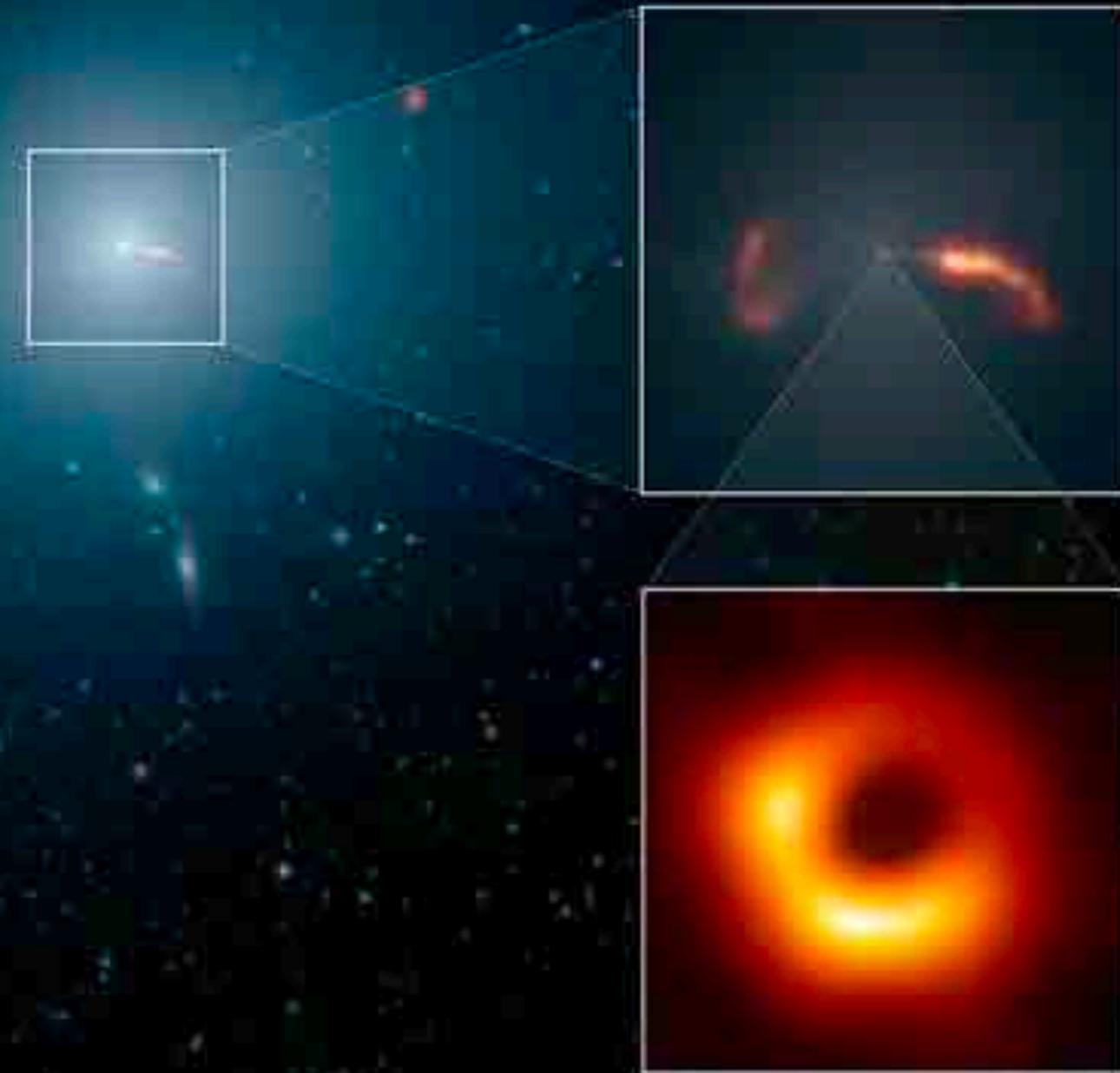
鳥羽 儀樹 (京都大学)

山田 智史、上田 佳宏、松林 和也、Kyuseok Oh、太田 耕司 (京大)  
寺尾 航暉 (東北大)、樋本 一晴、登口 暁、加藤 奈々子、城 知磨、  
玉田 望、米倉 直紀、長尾 透、鍛冶澤 賢 (愛媛大)

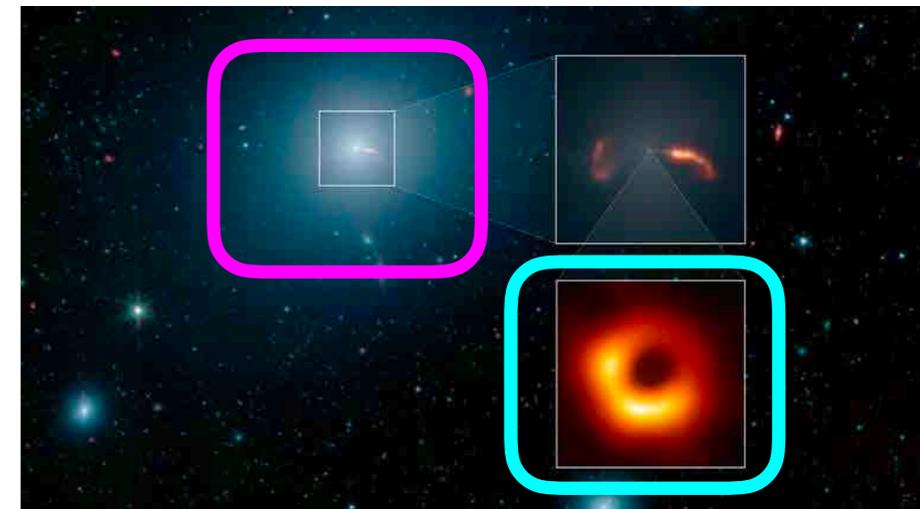
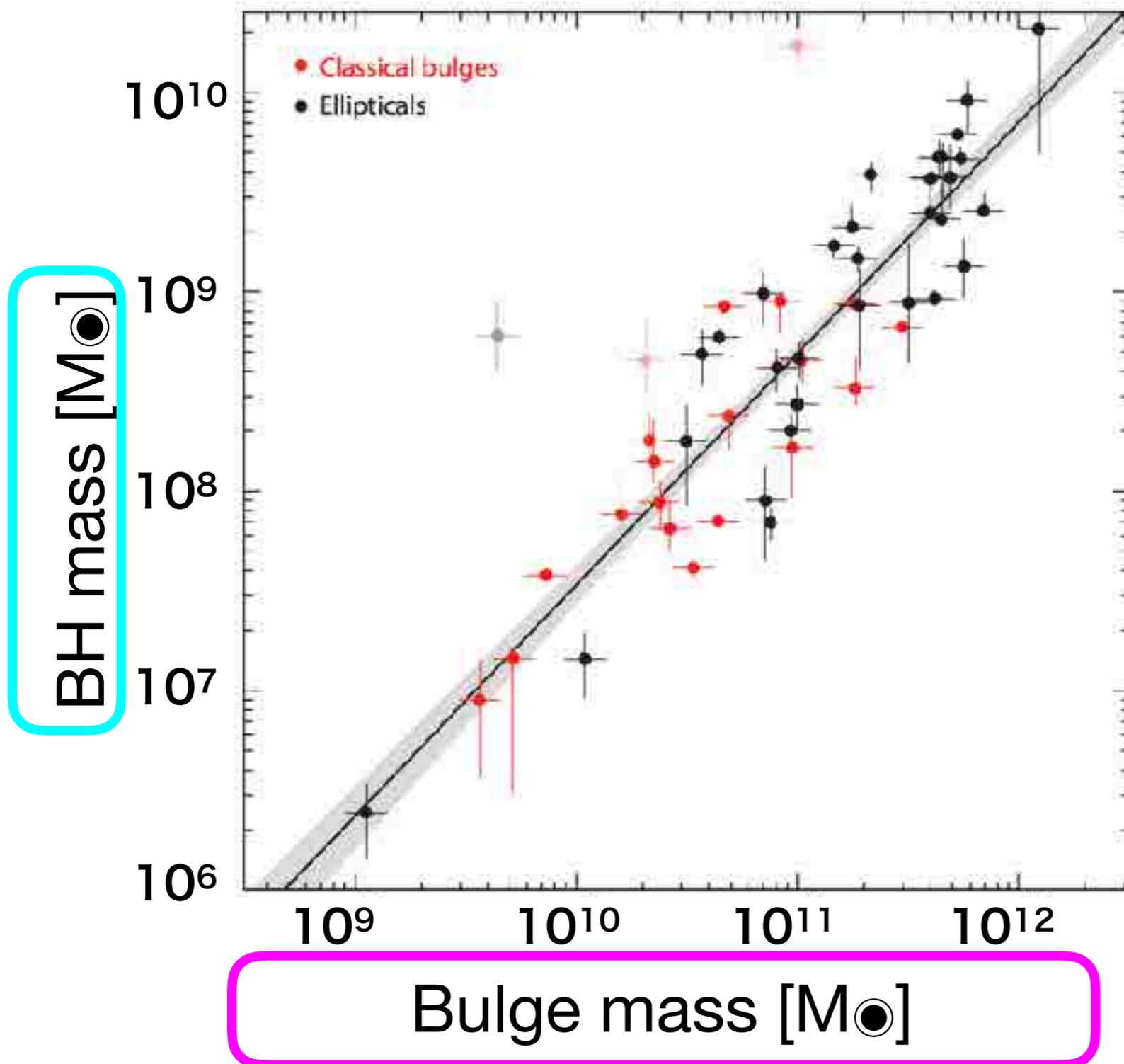
# 本日の講演でお伝えしたいこと

- KOOLS-IFUでどんな銀河/AGN研究ができ得るかという「目標」
- KOOLS-IFU を使って銀河/AGN研究を検討している方に向けた銀河/AGN観測の観点からみたせいめい望遠鏡/KOOLS-IFUの「現状」

# 銀河と超巨大ブラックホールの共進化

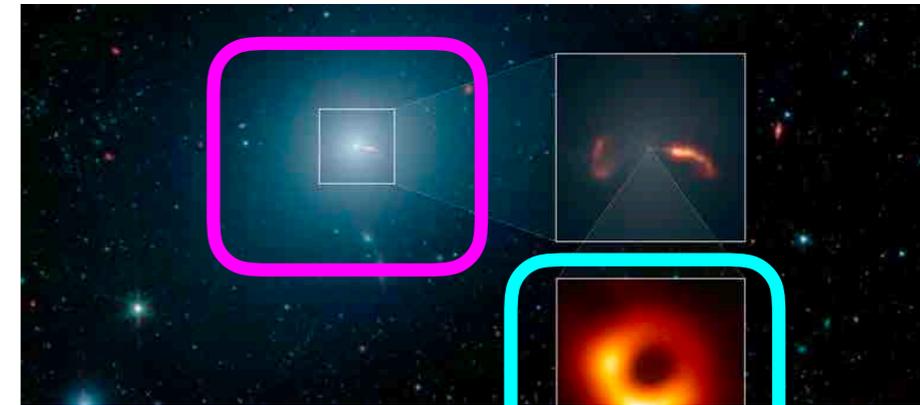
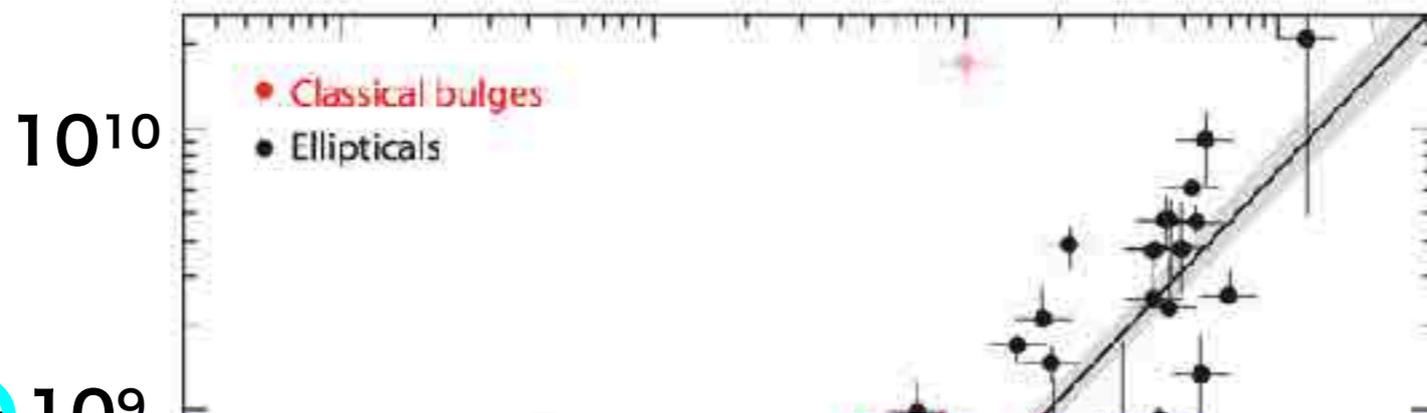


# 銀河と超巨大ブラックホールの共進化

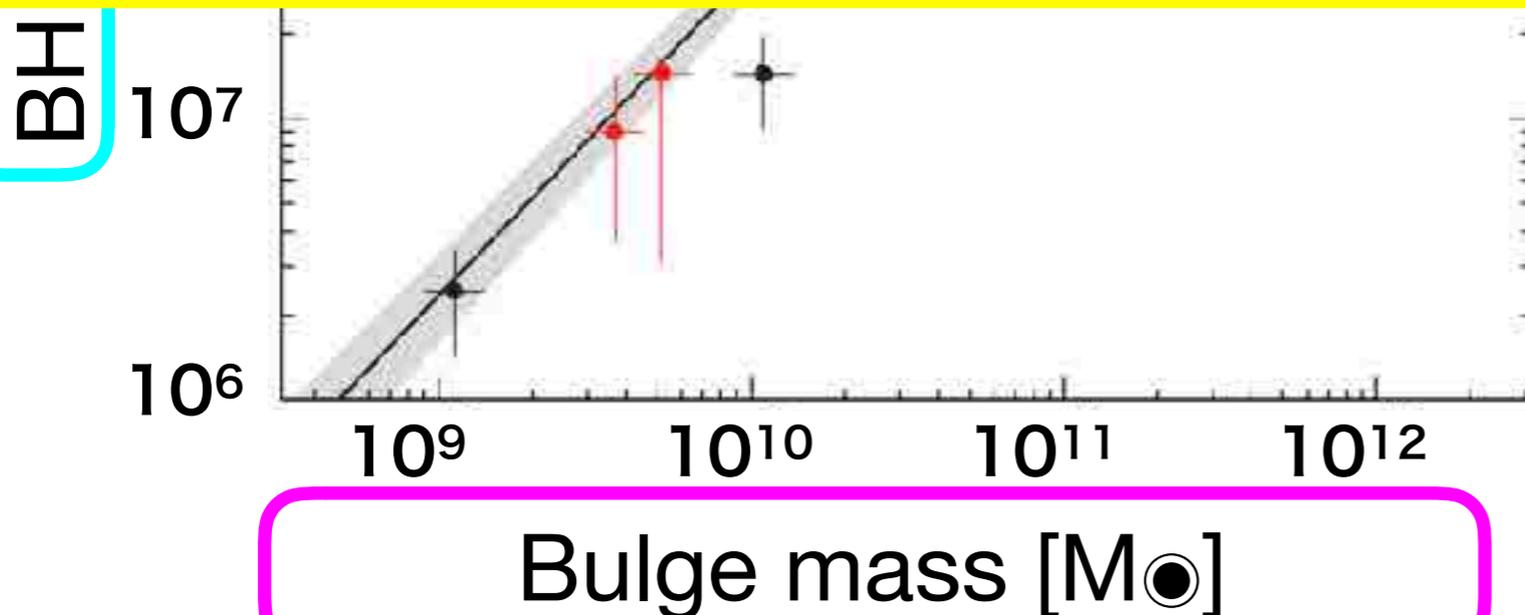


Kormendy & Ho (2013)

# 銀河と超巨大ブラックホールの共進化

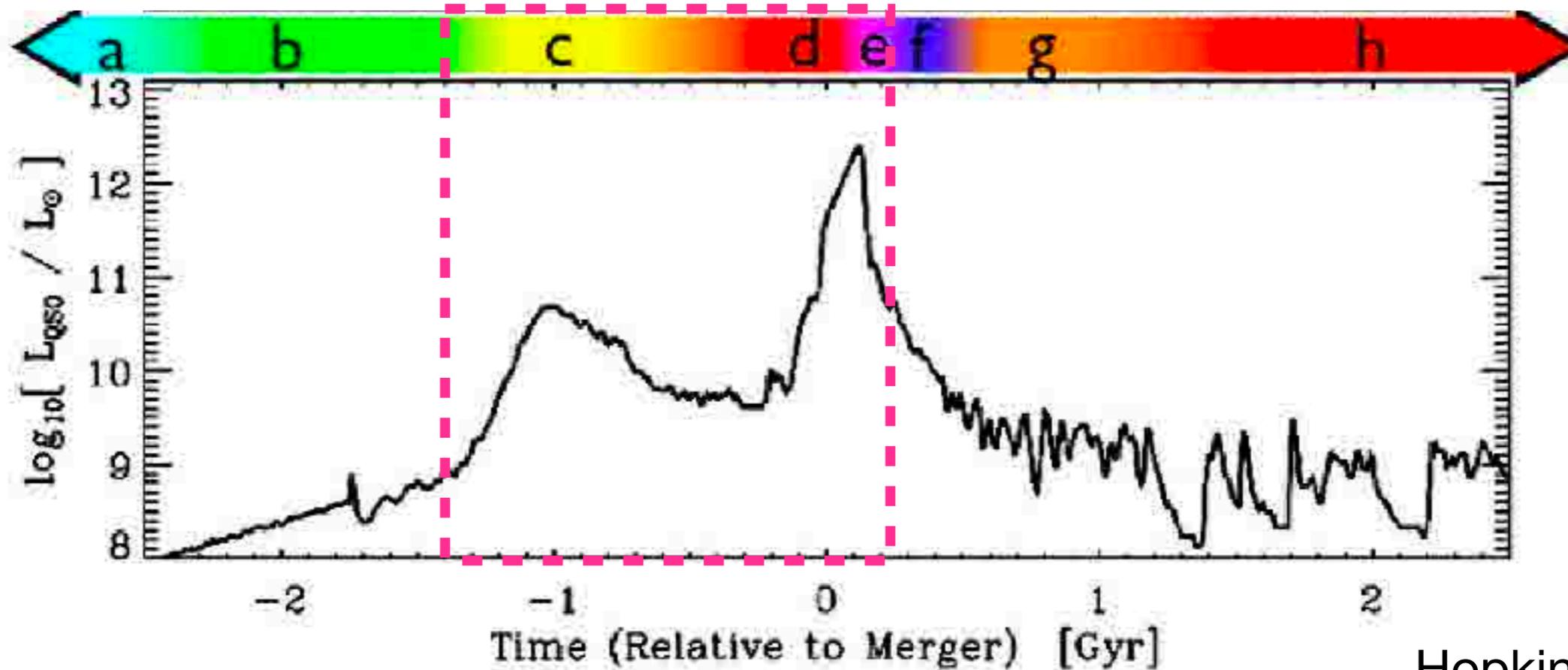
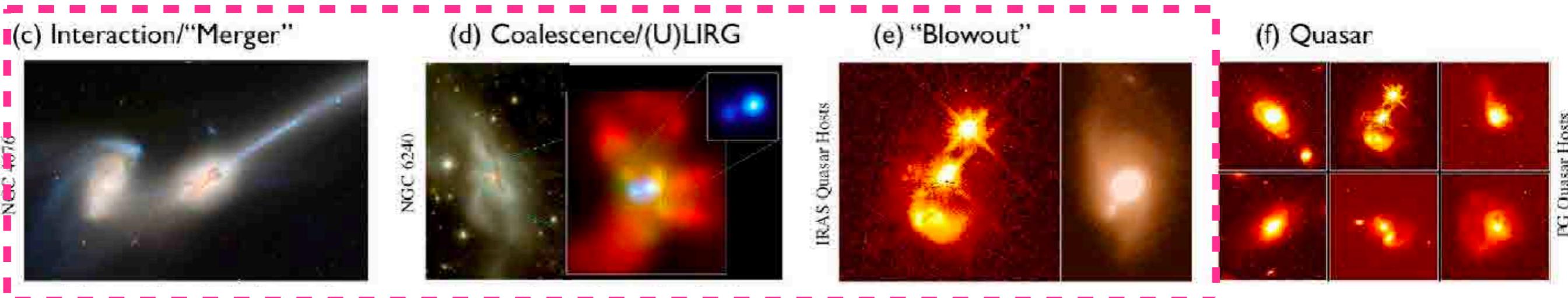


銀河と超巨大ブラックホールの共進化を control  
するメカニズム・物理過程を知りたい



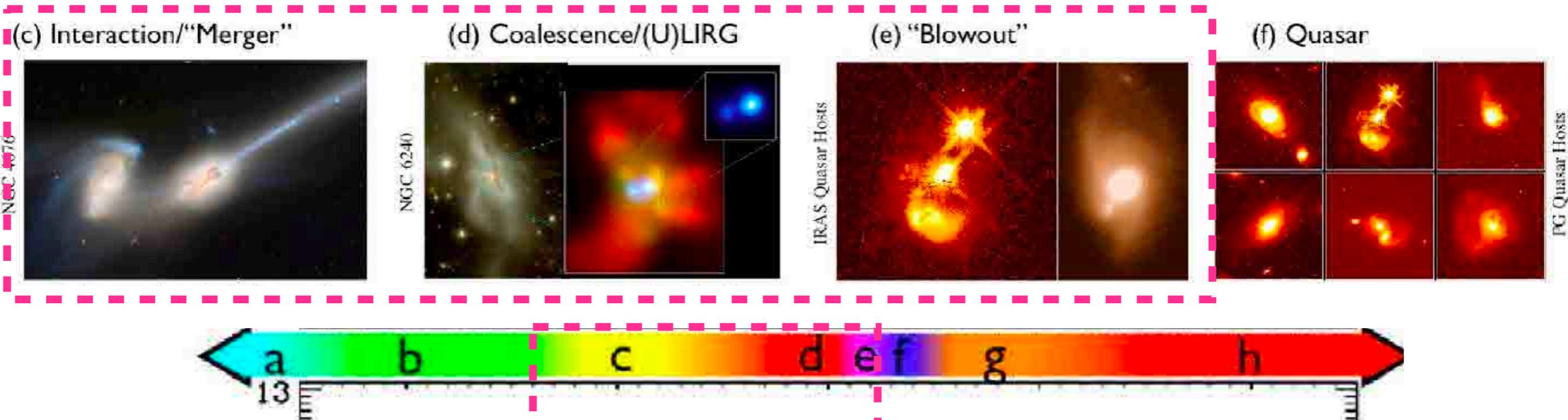
Kormendy & Ho (2013)

# 銀河合体に基づく共進化シナリオ

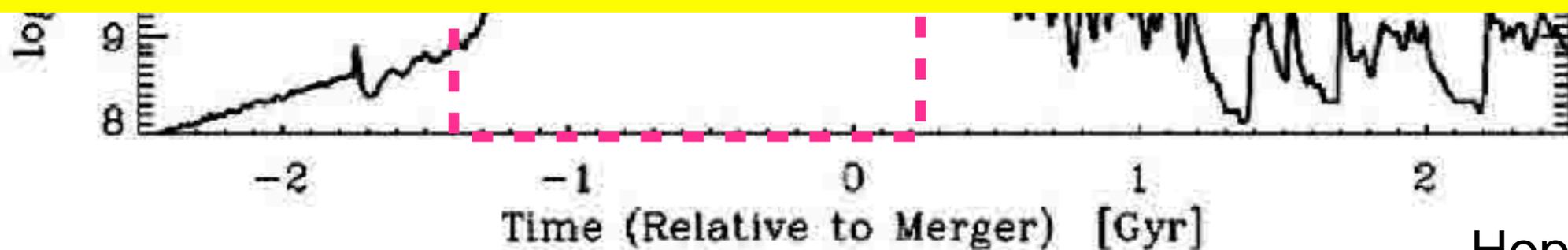


Hopkins+08

# 銀河合体に基づく共進化シナリオ



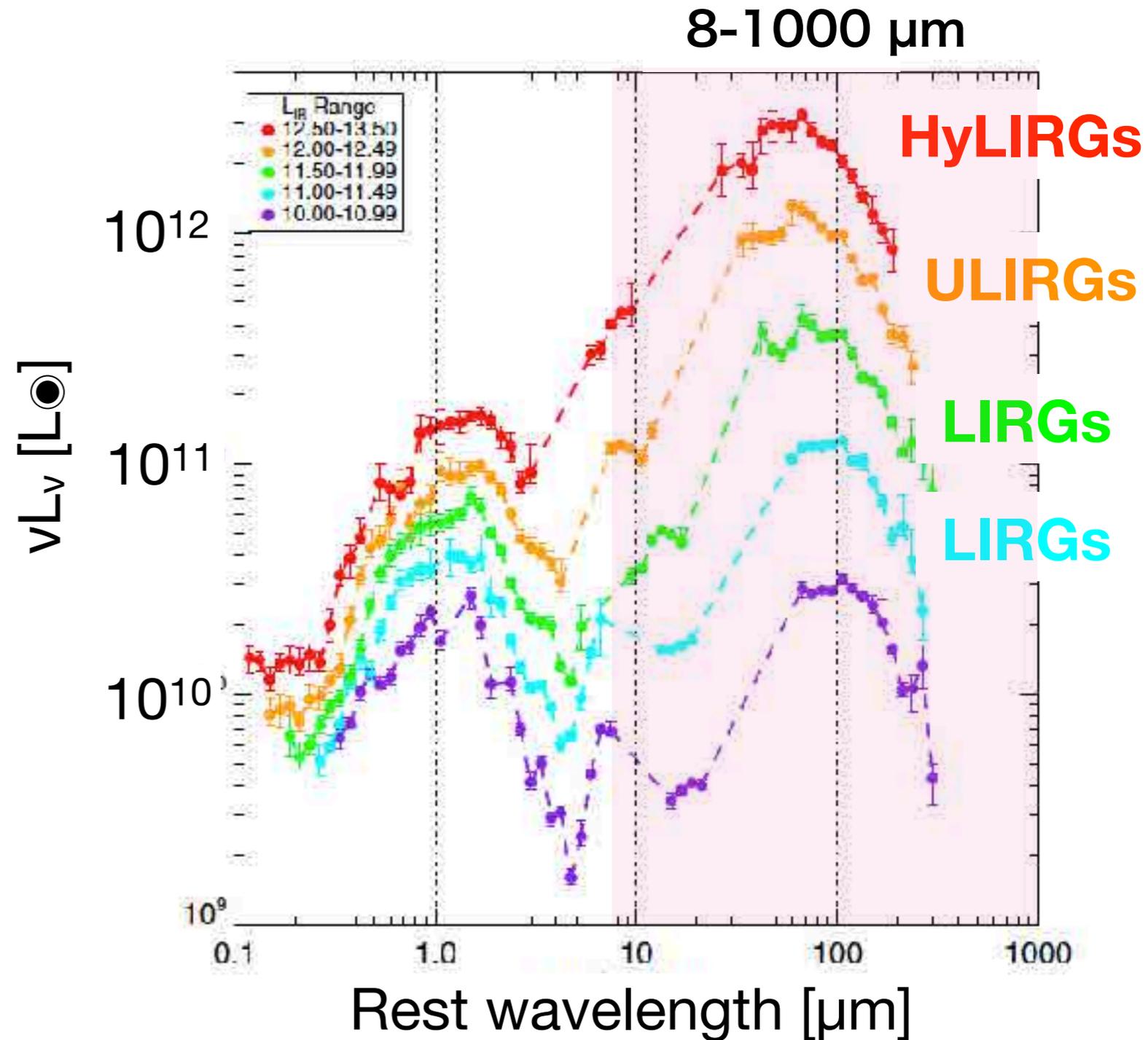
あらゆる銀河合体ステージにいる天体を用いた  
 系統的研究が重要



Hopkins+08

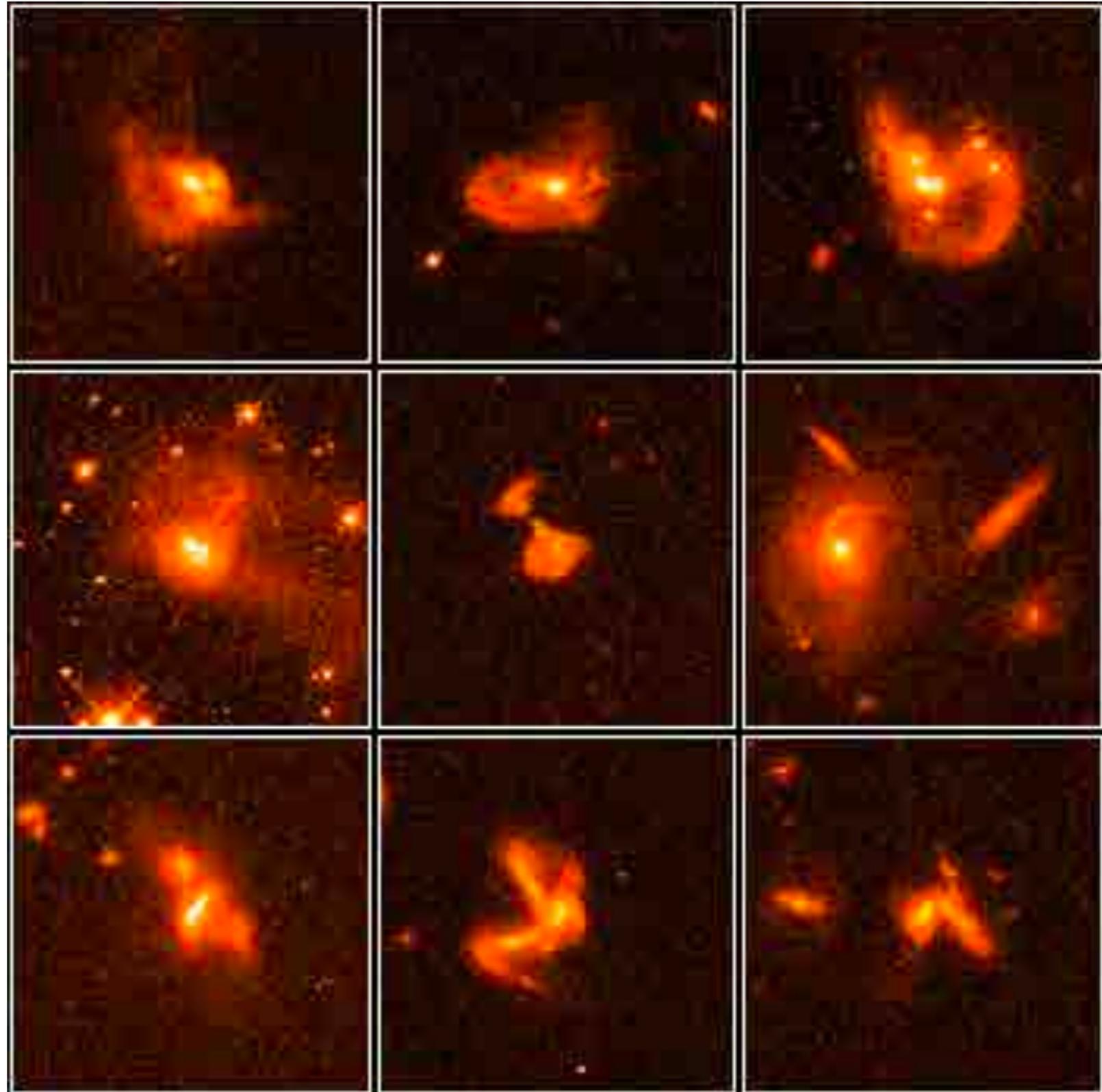
# Ultra/luminous infrared galaxies

name	$\log (L_{\text{IR}}/L_{\odot})$
Normal	$< 11$
LIRGs	11 - 12
ULIRGs	12 - 13
HyLIRGs	13 - 14



# Ultra/luminous infrared galaxies

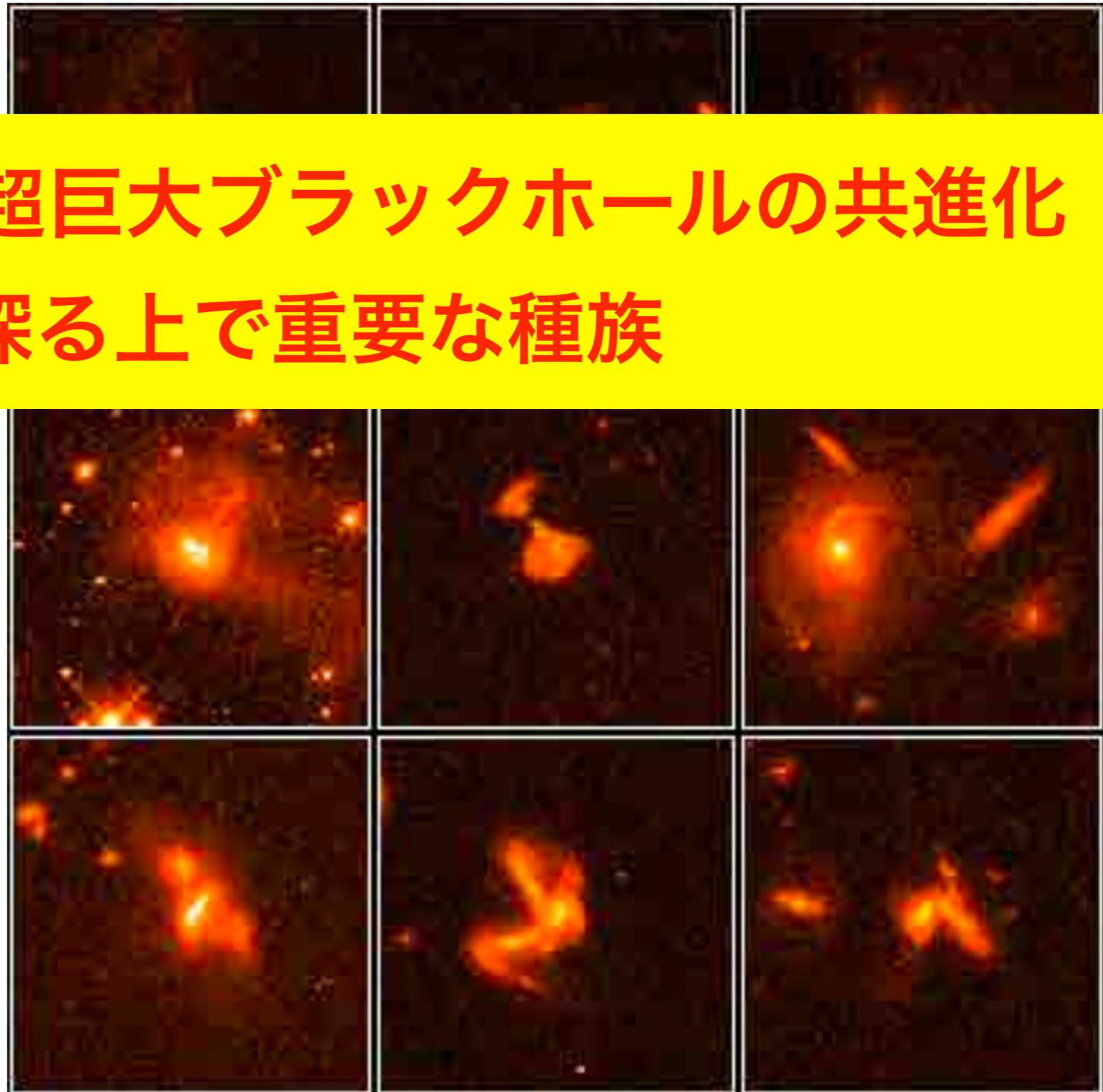
name	$\log (L_{\text{IR}}/L_{\odot})$
Normal	$< 11$
LIRGs	11 - 12
ULIRGs	12 - 13
HyLIRGs	13 - 14



# Ultra/luminous infrared galaxies

U/LIRGs は銀河と超巨大ブラックホールの共進化の謎を探る上で重要な種族

LIRGs	11 - 12
ULIRGs	12 - 13
HyLIRGs	13 - 14



# 観測目的

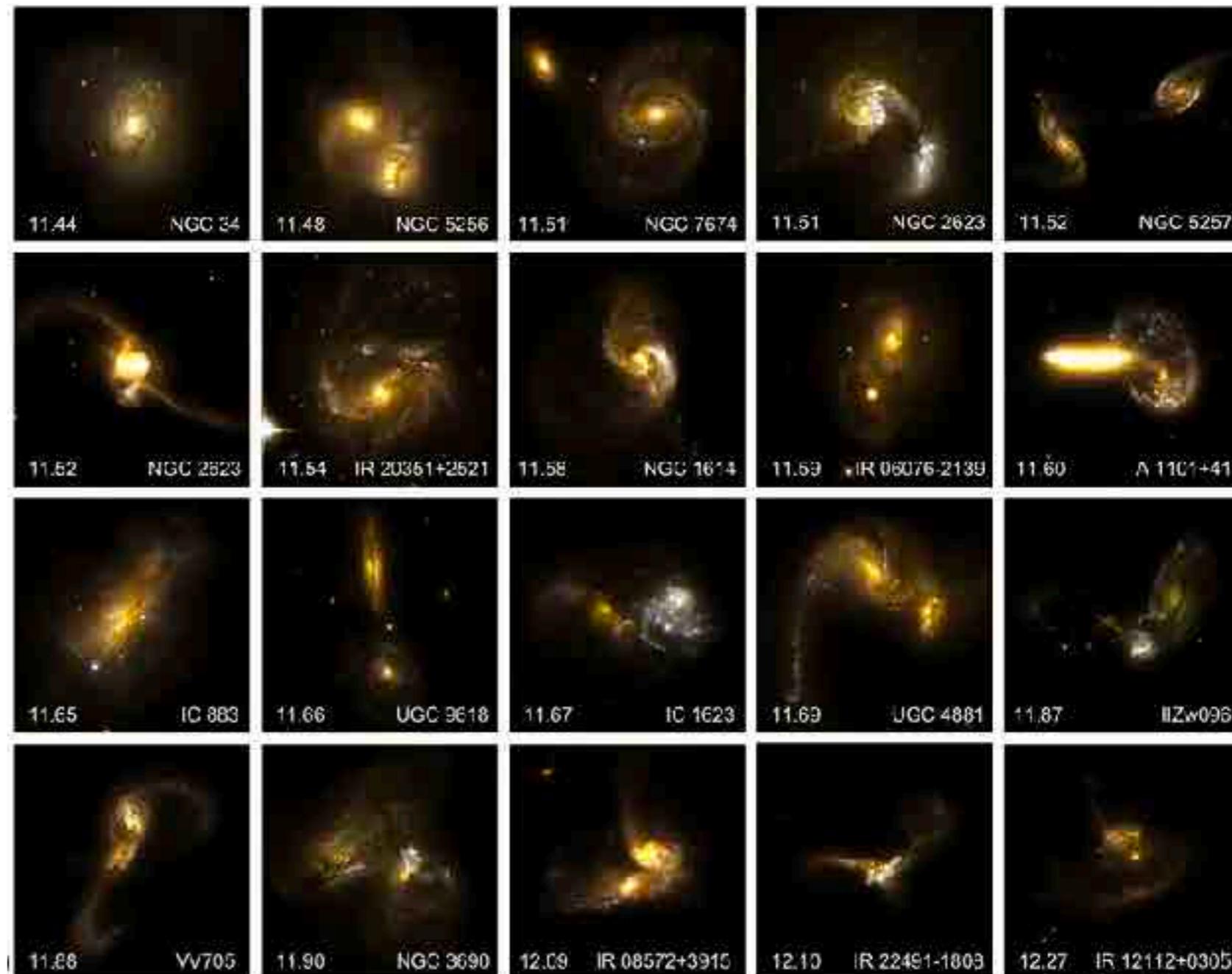
銀河と超巨大ブラックホールの共進化の枠組みの中で  
銀河合体が進むにつれて、  
**空間的**にどのようにAGN 活動がenhance され、  
その影響が銀河中の電離ガスや母銀河の星生成活動に  
どのように影響を及ぼすのかを定量的に評価する

# The Great Observatories All-Sky LIRG Survey

<http://goals.ipac.caltech.edu/>

## GOALS sample の HST image

- IRAS 60  $\mu\text{m}$  flux limited sample
- 合計202天体の近傍 ( $z < 0.08$ ) U/LIRGs sample
- GALEX, HST, Spitzer, Herschel など多波長データあり
- ~132 天体が せいめい望遠鏡から観測可能



# The Great Observatories All-Sky LIRG Survey

<http://goals.ipac.caltech.edu/>

GOALS sample の HST image



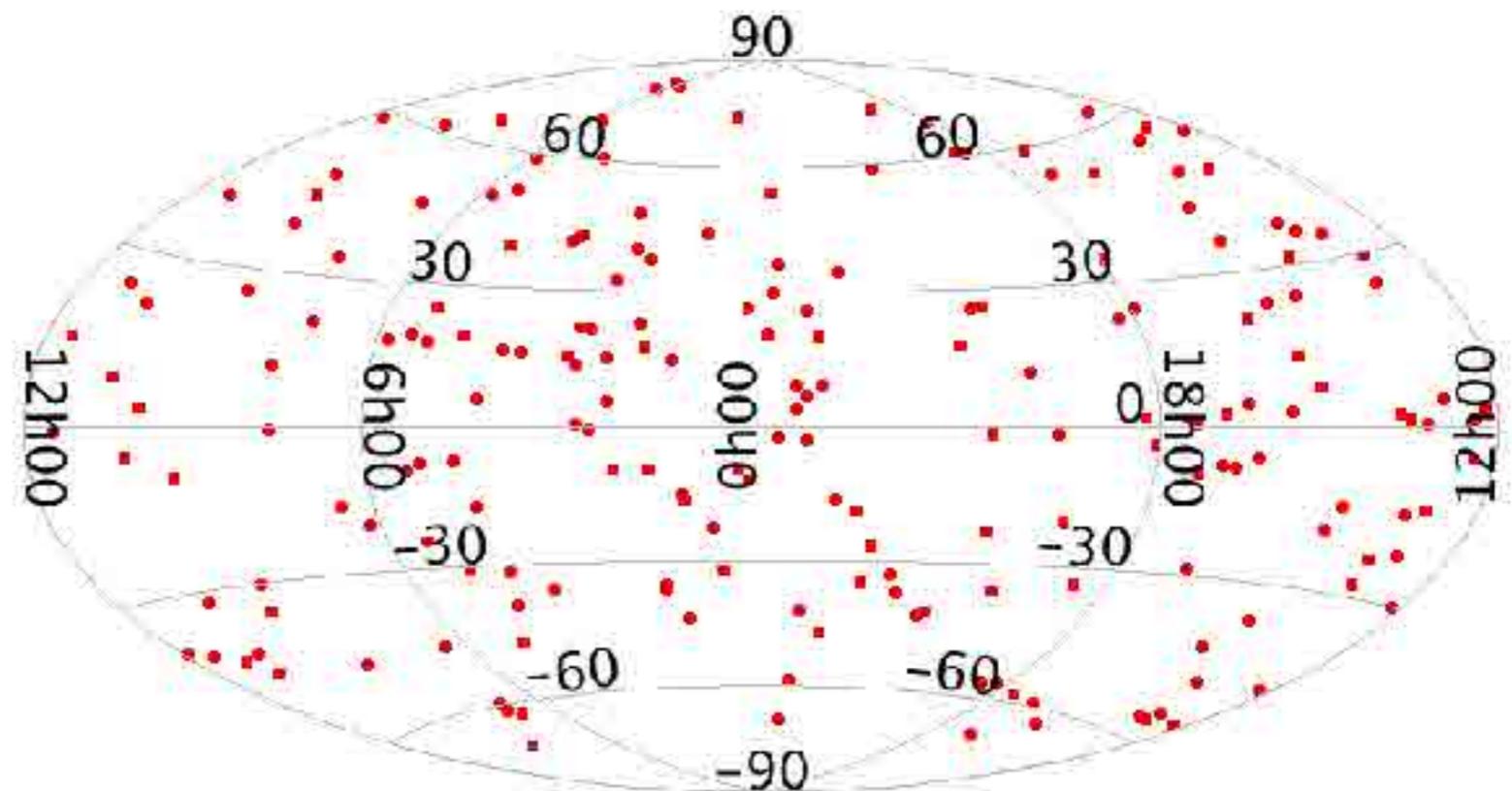
- IRAS 60  $\mu\text{m}$  flux limited sample

- 合計202天体の近傍 ( $z < 0.08$ ) U/LIRGs sample

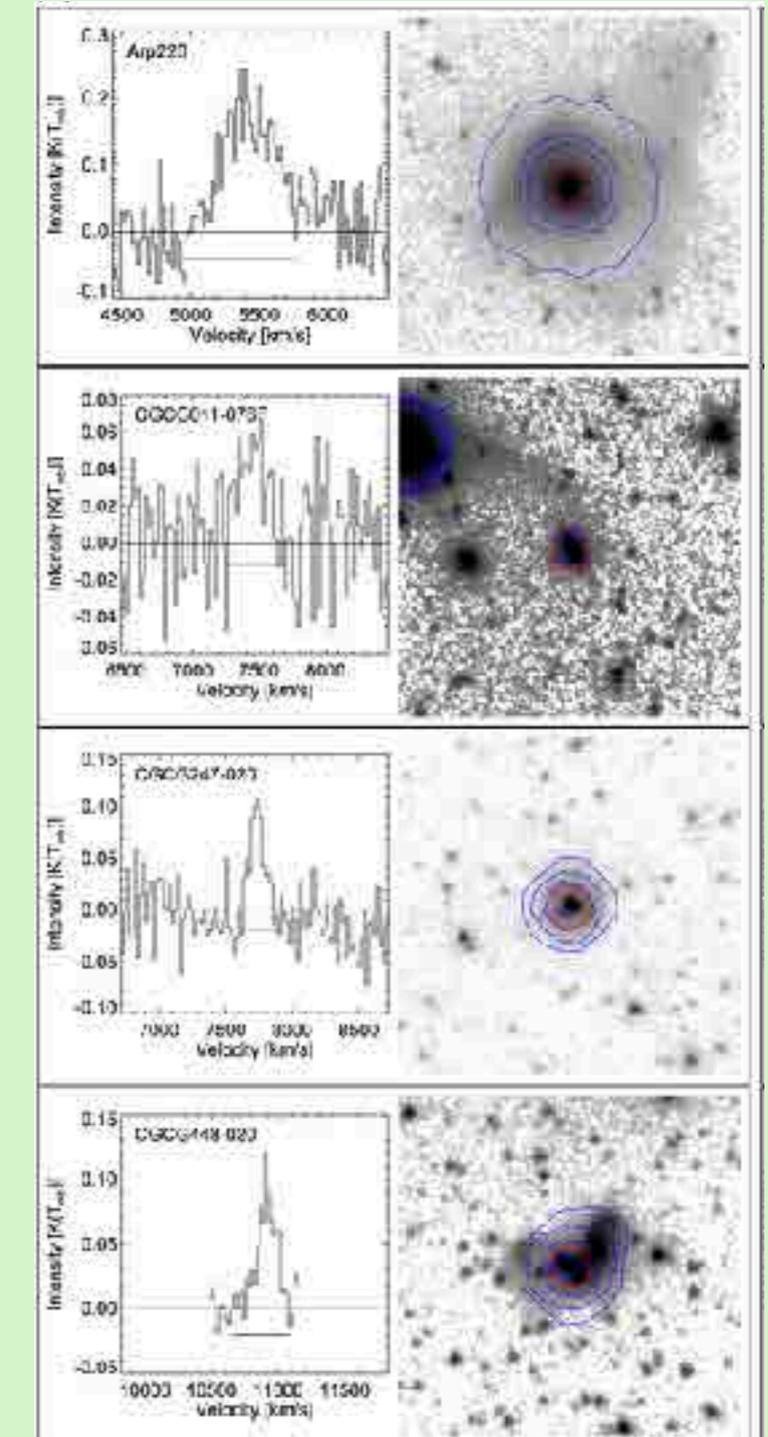
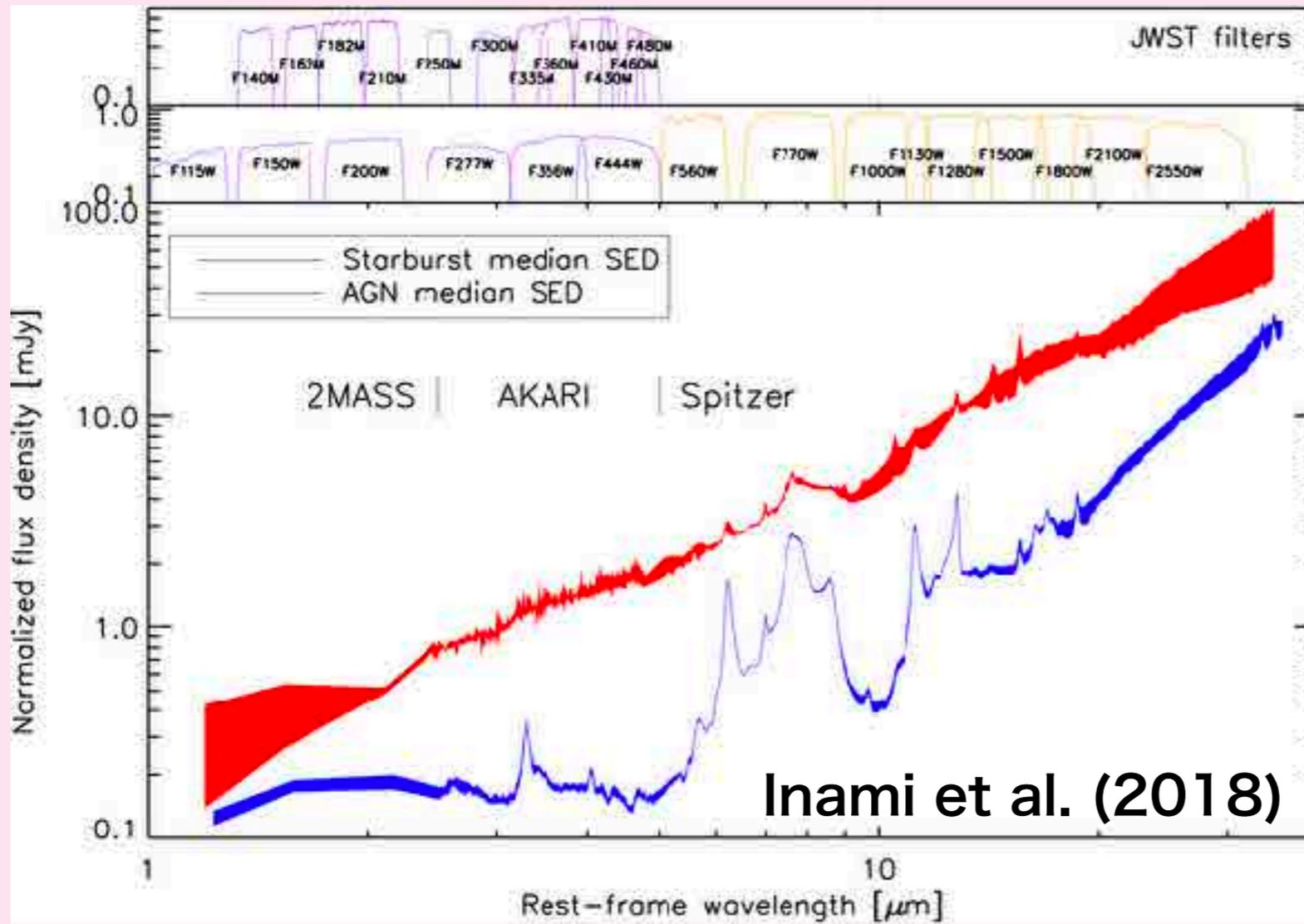
- GALEX, HST, Spitzer, Herschel など多波長データあり

- ~132 天体がせいめい望遠鏡から観測可能

GOALS sample の空間分布 (赤道座標)



# GOALS sample with AKARI and NRO

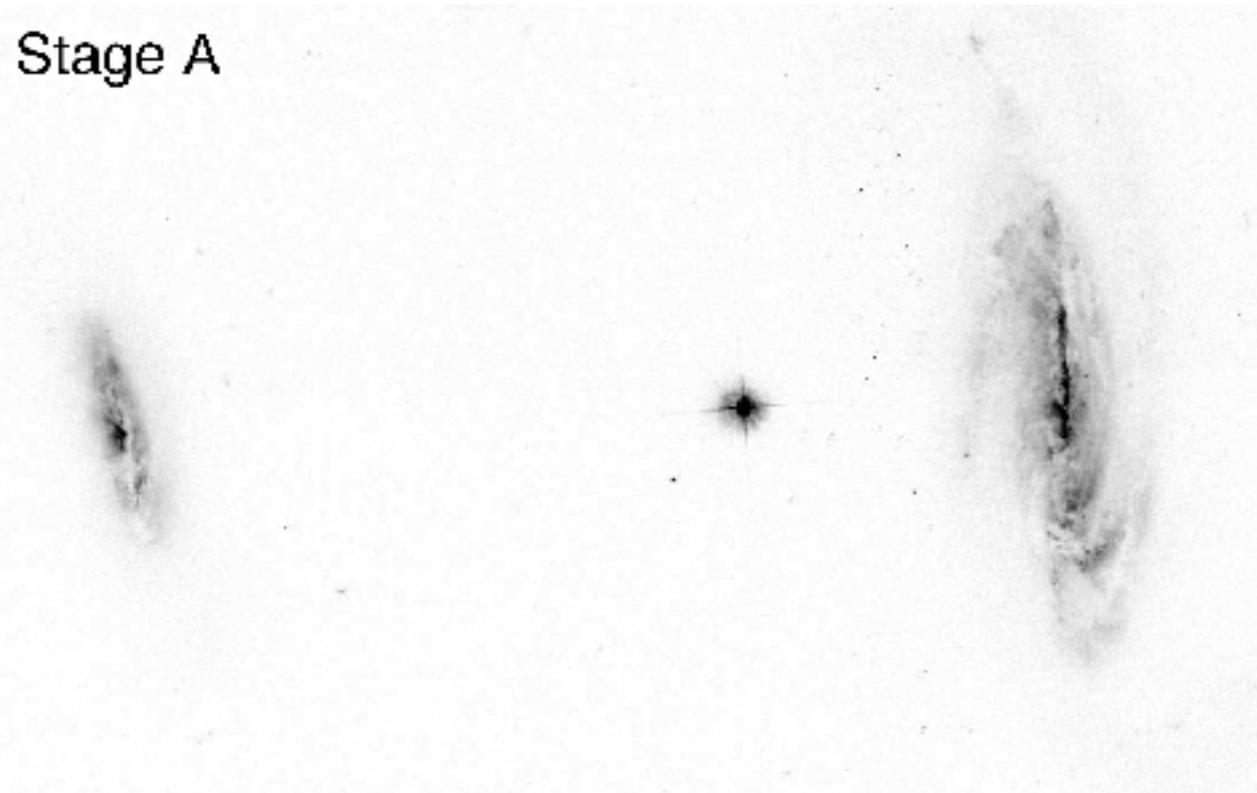


Yamashita et al. (2017)

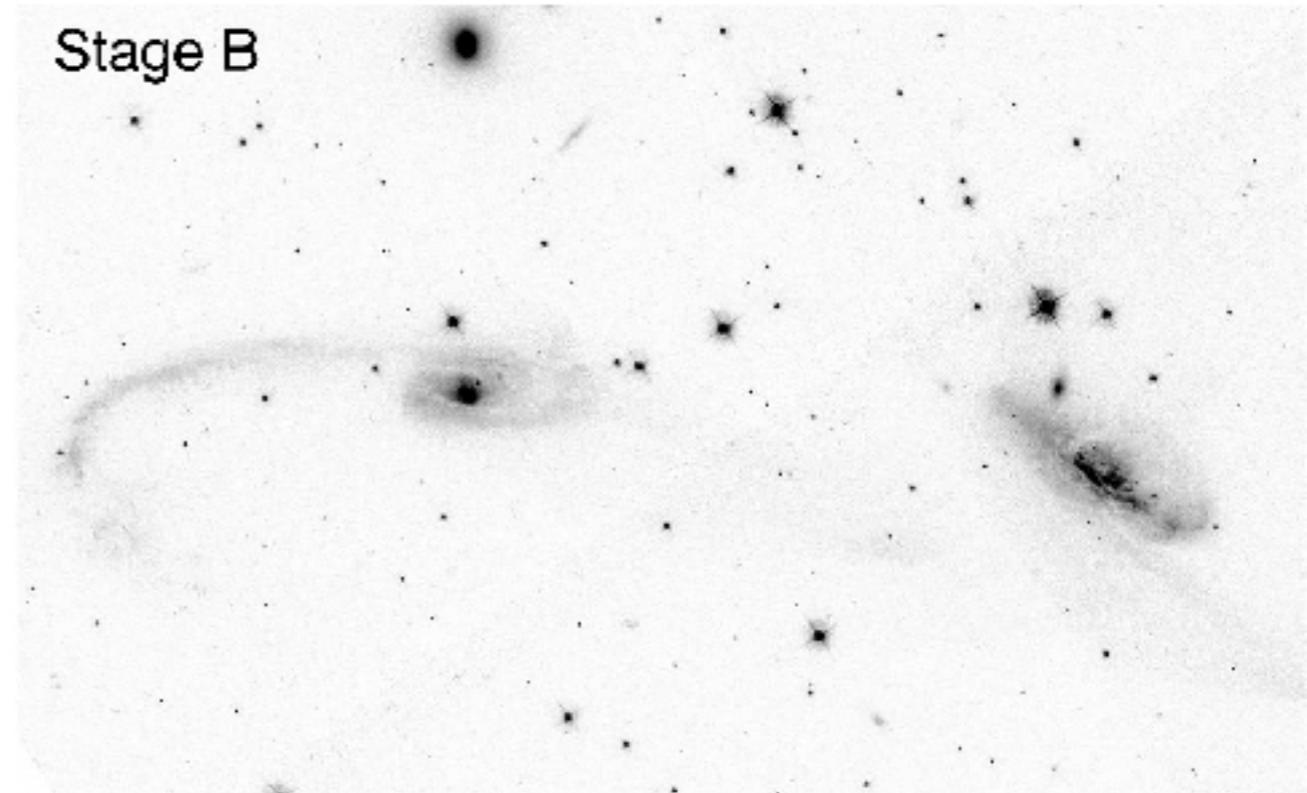


# Stage classification

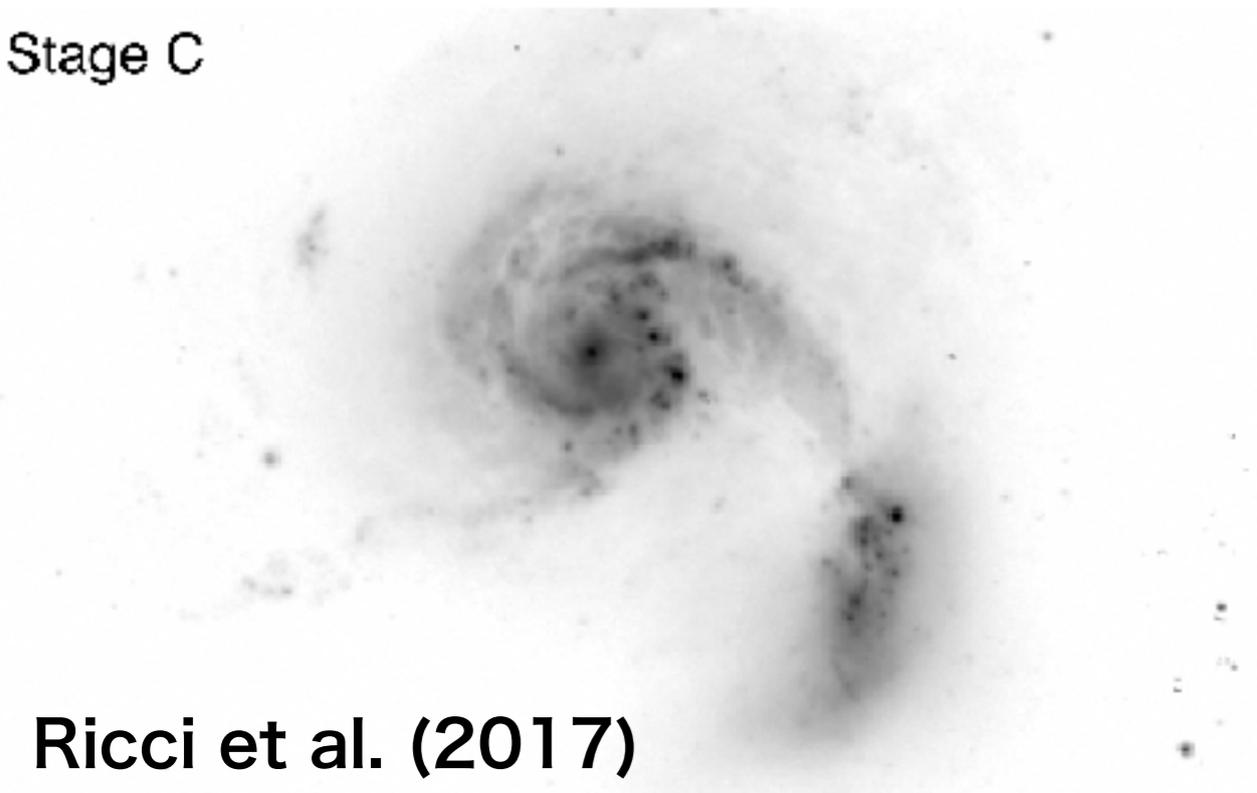
Stage A



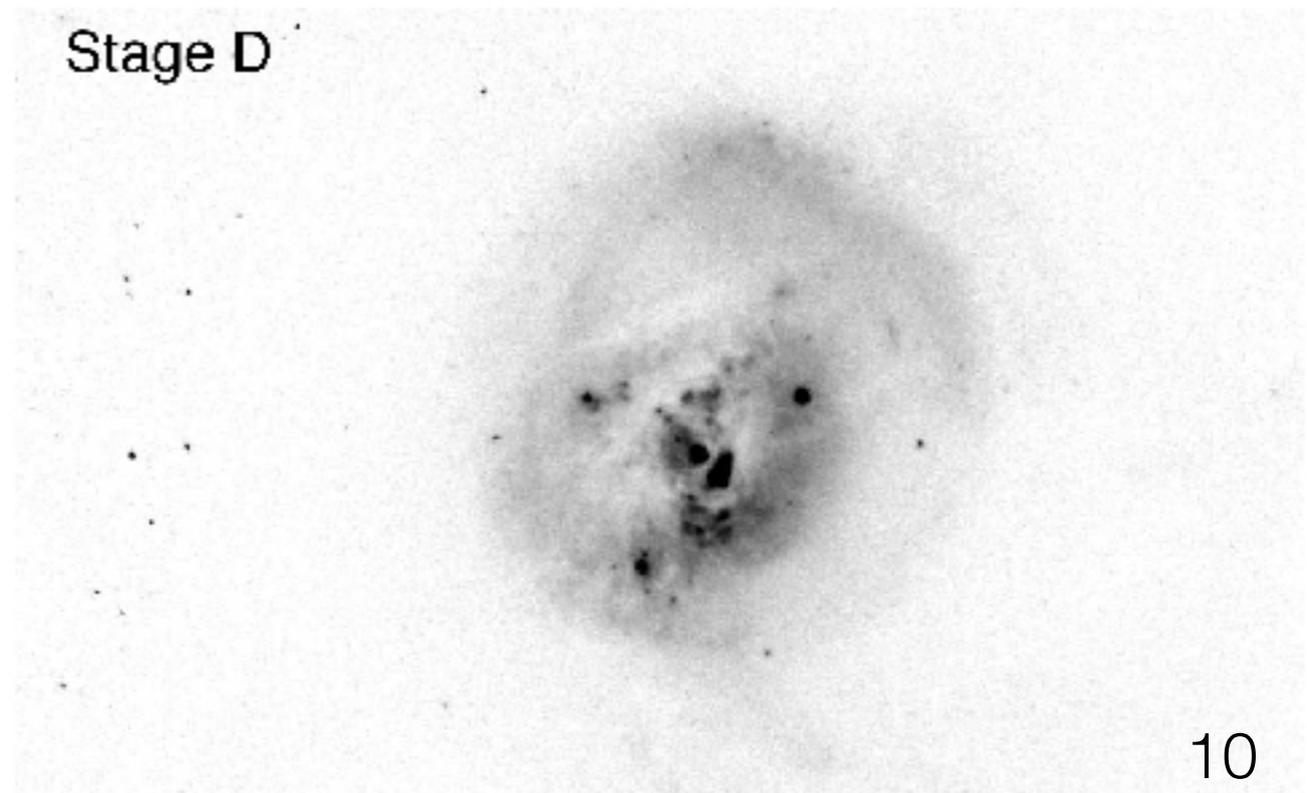
Stage B



Stage C



Stage D



# 観測ターゲット

Merger stage

Non merger

a

b

c

d

VV 414

NGC 5990

NGC 6621

NGC 6052

UGC 9913

VV 705

NGC 6240

合体初期

合体中期

合体後期



# 観測ターゲット

Merger stage

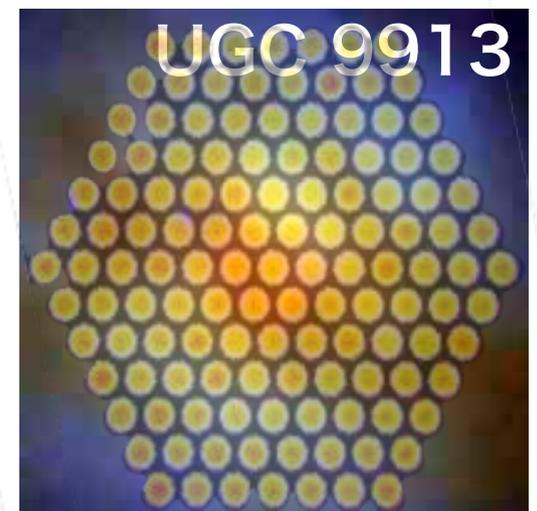
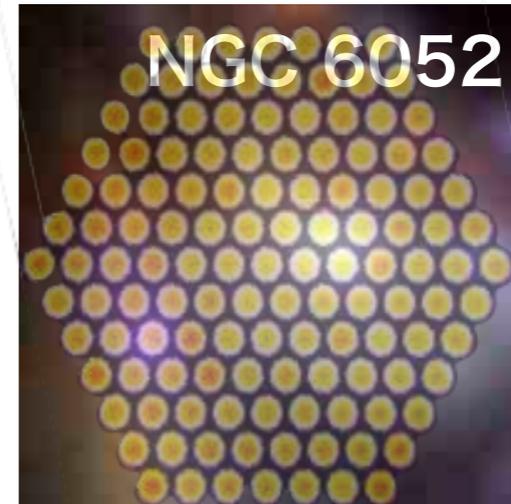
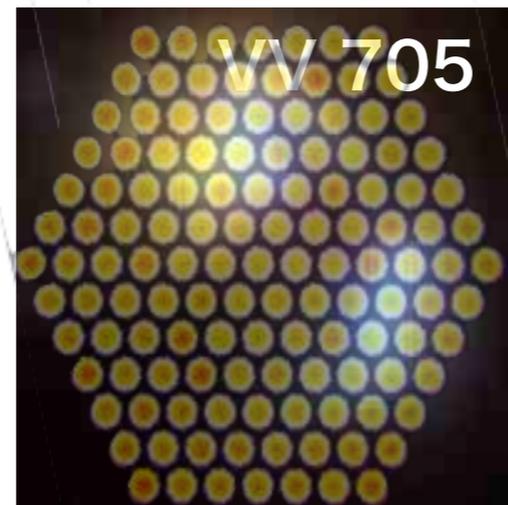
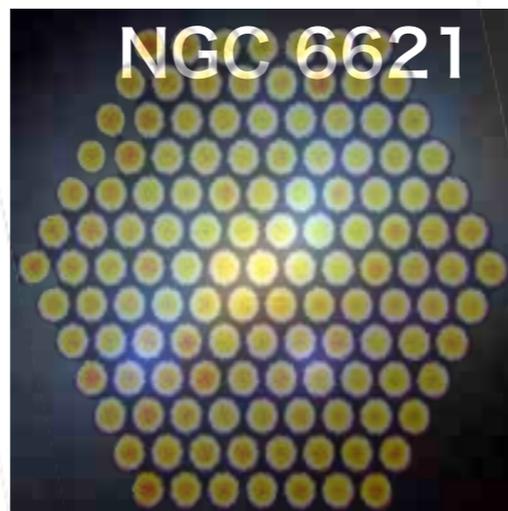
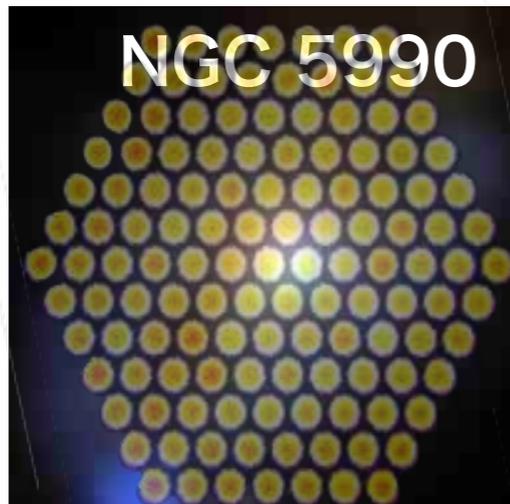
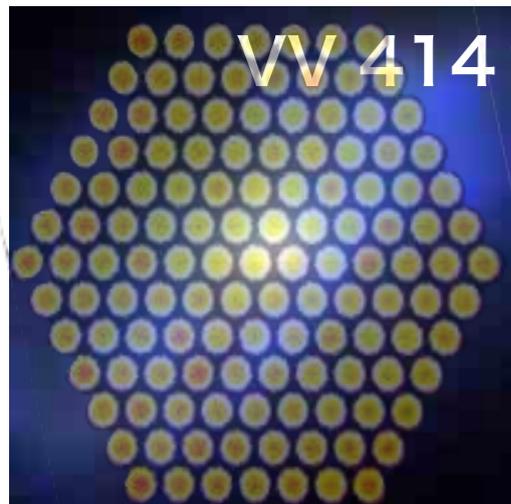
Non merger

a

b

c

d



合体初期

合体中期

合体後期

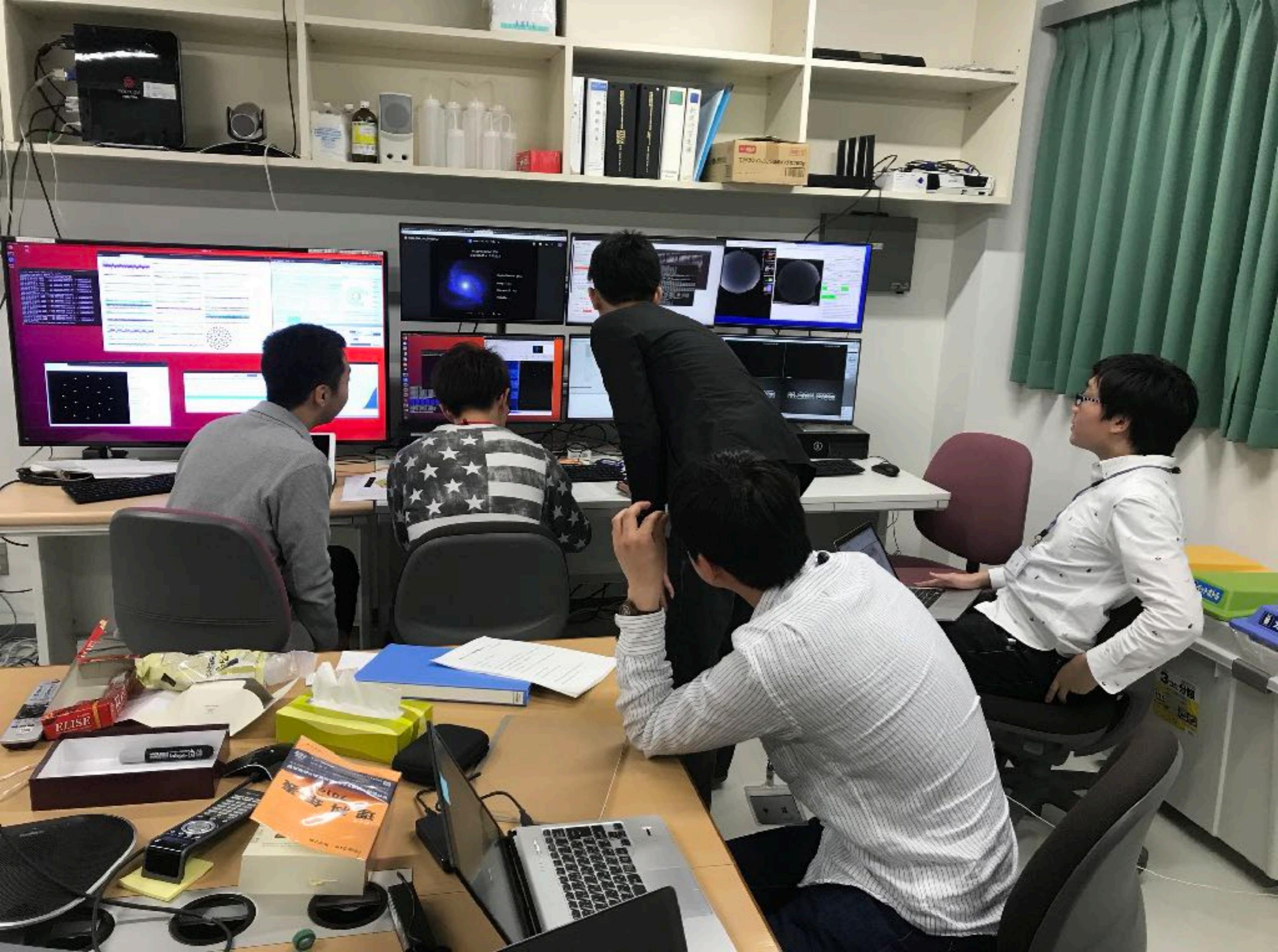
# 2019年 共同利用観測 (PI: 鳥羽)

ID	PI	Proposal Title	夜数
19A-1-CN01	鳥羽儀樹	近傍超/高光度赤外線銀河のIFU観測で探る銀河と超巨大ブラックホールの共進化における銀河合体が果たした役割	2晩
19B-N-CN01	鳥羽儀樹	近傍超/高光度赤外線銀河のIFU観測で探る銀河と超巨大ブラックホールの共進化における銀河合体が果たした役割II	3晩

※ 京都大学枠(9.5夜) は望遠鏡/装置トラブルおよび悪天候のためデータ取得できず

## 2019年 共同利用観測 (PI: 鳥羽)

IRAS name	z	pc/''	Log L <sub>LIR</sub> [L <sub>☉</sub> ]	Merger Stage	観測日	積分時間 (分)		輝線検出
						VPH495	VPH683	
F18145+2205_E	0.018	385	11.2	a	5/7	10	—	×
F18145+2205_W						10	—	○
F16577+5900_S	0.018	385	11.4	b		30	30	○
F16577+5900_N						30	30	○
F16030+2040	0.016	326	11.1	c		30	30	○
F15276+1309	0.013	266	11.1	N		30	30	○
F18425+6036	0.013	266	11.1			5	5	○
F23135+2517	0.027	543	11.6	N	10/8	30	30	○
F23488+1949_S	0.014	286	11.4	c		30	30	○
F05054+1718_W	0.018	366	11.2	b		40	40	○
F23488+1949_N	0.029	581	11.4	c	10/9	15	15	○
F02401-0013	0.004	83	11.4	d		30	30	○
F04315-0840	0.016	326	11.7	d		30	30	○
23262+0314_W	0.017	346	11.1	a	10/25	30	30	○



# せいめいステータスレポート

2020年前期 ステータスレポートより

・追尾精度：現状では10分間で最大5秒角程度（KOOLS-IFUのファイバーバンドル入射部でファイバー3本程度に相当）の追尾誤差が見込まれます。長時間の積分が必要な観測においては、1回の積分時間は10分以下とし、10分毎に近く（30分角以内）の12-13等級よりも明るい天体に向けて追尾誤差を補正後、再度観測天体に指向して天体光の積分を行う、という操作を繰り返して観測してください。なお、観測天体が点源とみなせる十分明るい（VPH-blue・10分積分の場合、14等級よりも明るい）天体の場合は、KOOLS-IFUのファイバーバンドル入射部の2次元画像を用いたオートガイド機能が利用可能です。

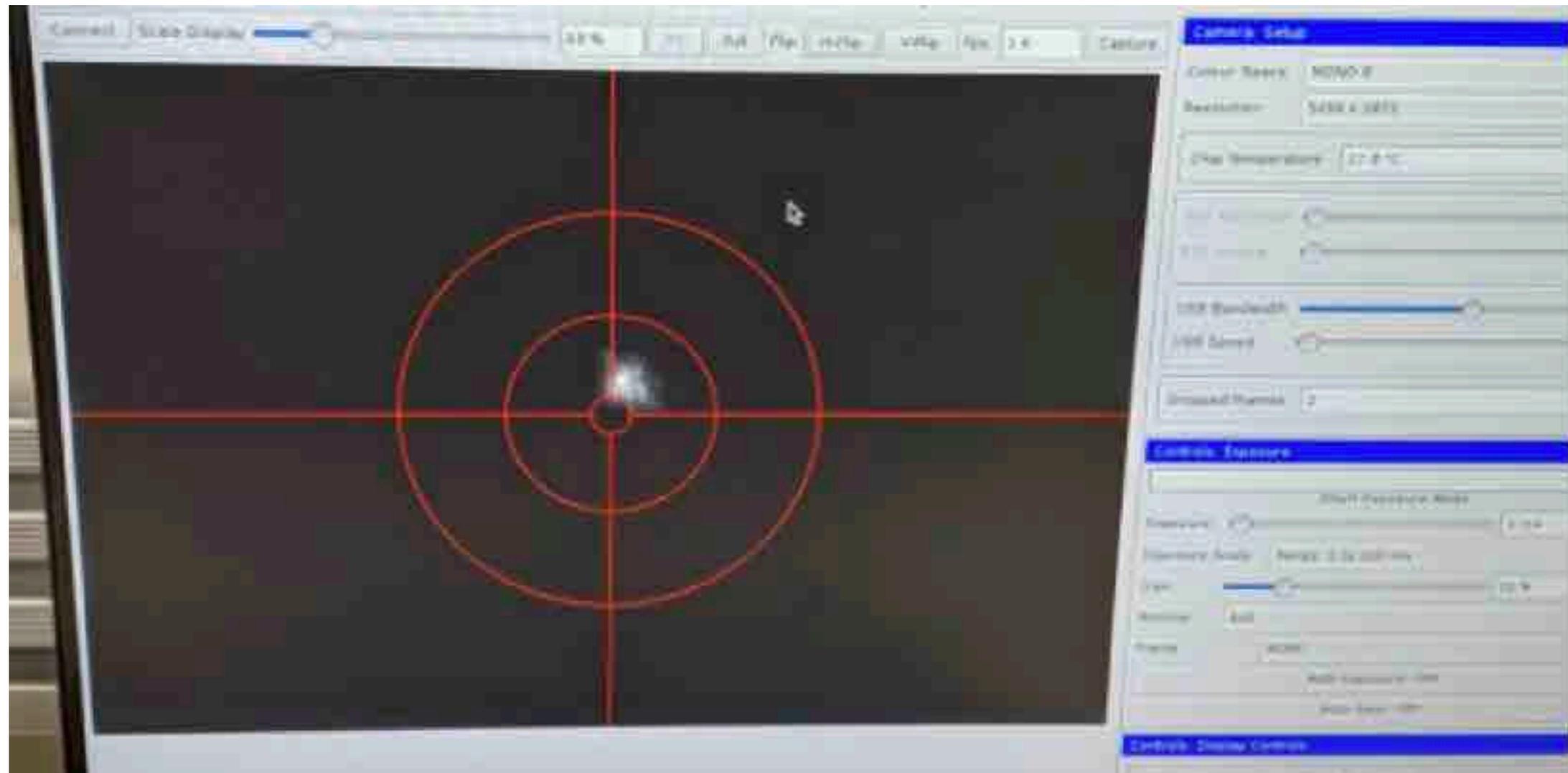
イメージローテータ：平面鏡三枚を組み合わせた光学系を光路中に挿入して回すことで天体像の回転をキャンセルする簡易ローテータが使用可能。観測天体が点源とみなせる場合など、天体像の回転が科学目的に照らして問題にならない場合は、簡易ローテータを光路上から外して観測することも可能です。なお、天体光の積分中にファイバーバンドル上で天体像が正確にガイドされているかどうかを確認するためのガイドカメラはありません。

何も考えずに広がった銀河を観測すると  
サイエンスが破綻する



# 視野確認用(CMOS)カメラ

- 天体がKOOLES-IFUの視野内にいることを確認できる。
- Rmag < 17 程度までならこのカメラで確認可能（空の条件が良ければ）
- 観測している時（面分光中）はこのカメラは使えない。





# 視野確認用(CMOS)カメラ

- 天体がKOOLES-IFUの視野内にいることを確認できる。
- Rmag < 17 程度までならこのカメラで確認可能（空の条件が良ければ）
- 観測している時（面分光中）はこのカメラは使えない。





# KOOLS-IFUで銀河の面分光を実現するために

$R \text{ mag} < 14$

- Auto\_guide program (前原さんが作成した基本的には恒星観測に最適化されたコード) を用いたオートガイド観測
- ファイバーの任意の位置に天体を自動で導入し続けてくれる！

$14 < R \text{ mag} < 18$

- 自分たちで観測手法を工夫して、  
いろいろ頑張る

# KOOLS-IFUで銀河の面分光を実現するために

$R \text{ mag} < 14$

- Auto\_guide program (前原さんが作成した基本的には恒星観測に最適化されたコード) を用いたオートガイド観測
- ファイバーの任意の位置に天体を自動で導入し続けてくれる！

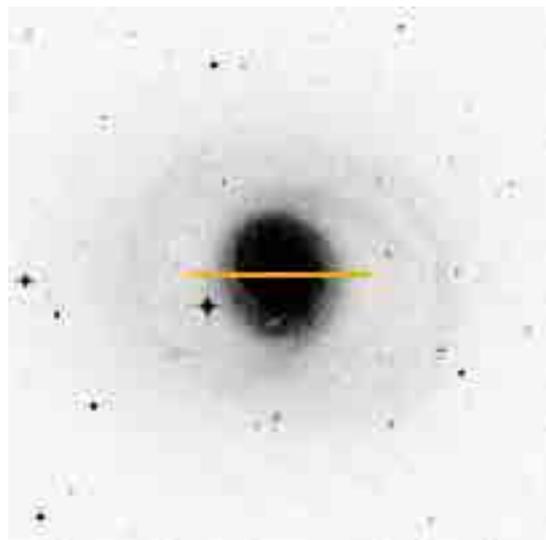
$14 < R \text{ mag} < 18$

- 自分たちで観測手法を工夫して、  
いろいろ頑張る

# 明るい天体の場合

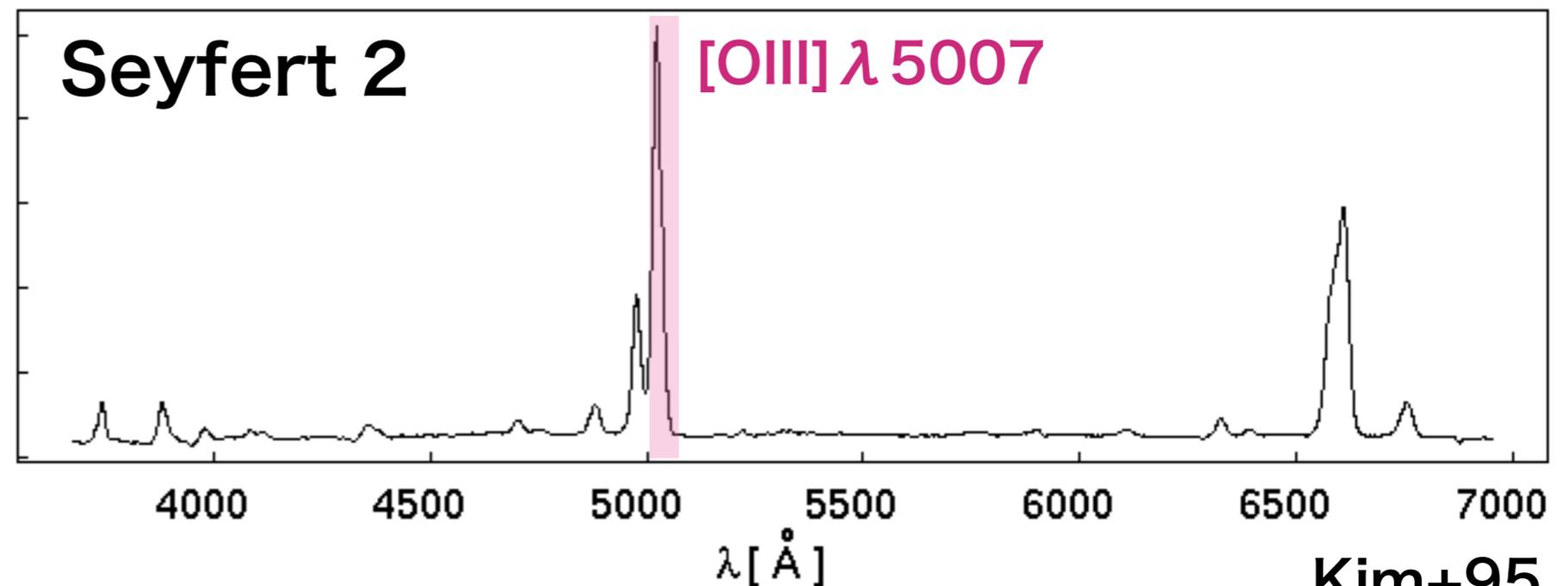
F02401-0013 (NGC1068)

IRAS name	z	pc/''	Log L <sub>LIR</sub> [L <sub>☉</sub> ]	Merger Stage	積分時間 (分)	
					VPH495	VPH683
F02401-0013	0.004	83	11.4	d	5	5



$F_{\lambda}$  [erg s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> Å<sup>-1</sup>]

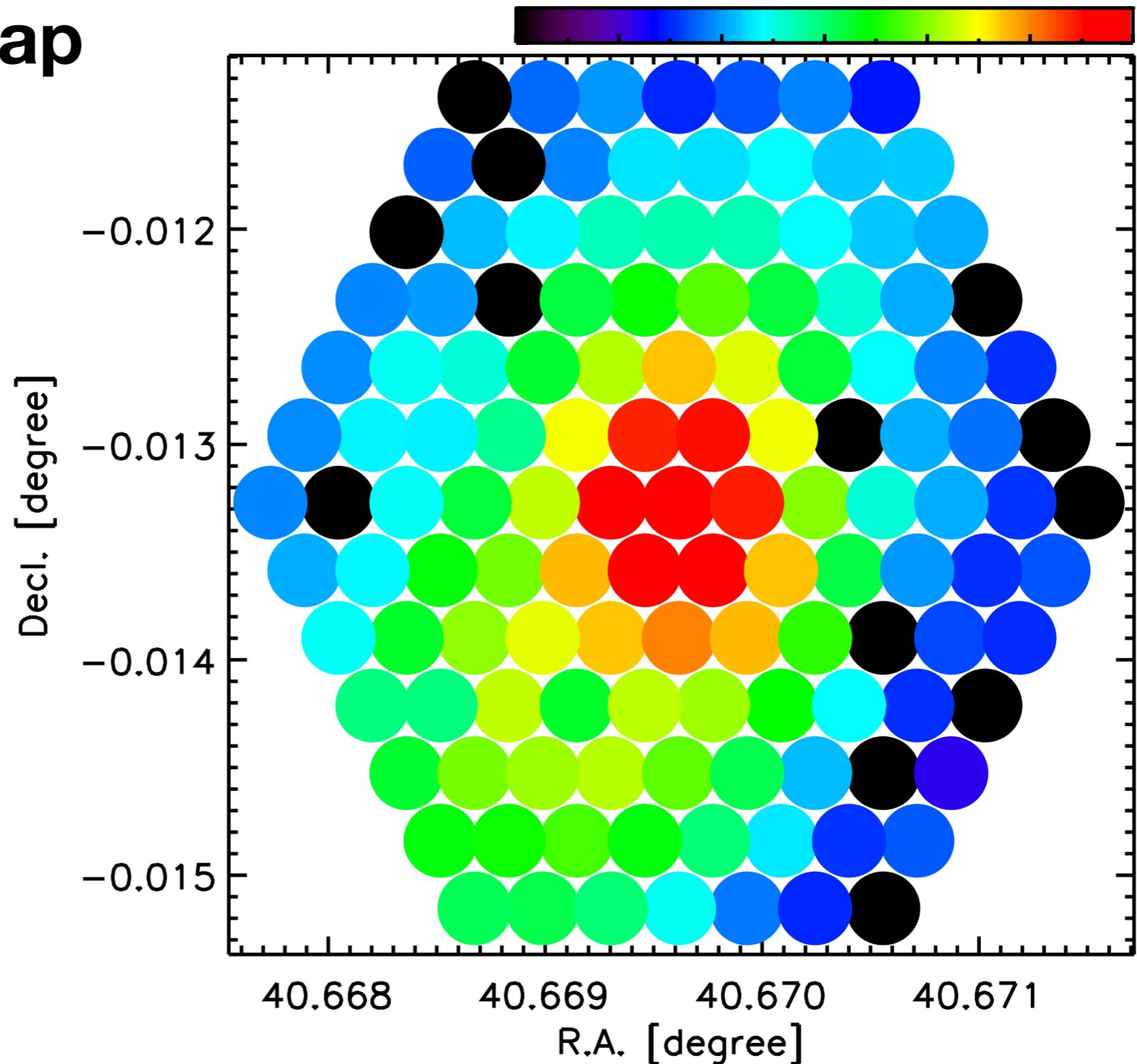
0.0e+00 1.5e-13



Kim+95

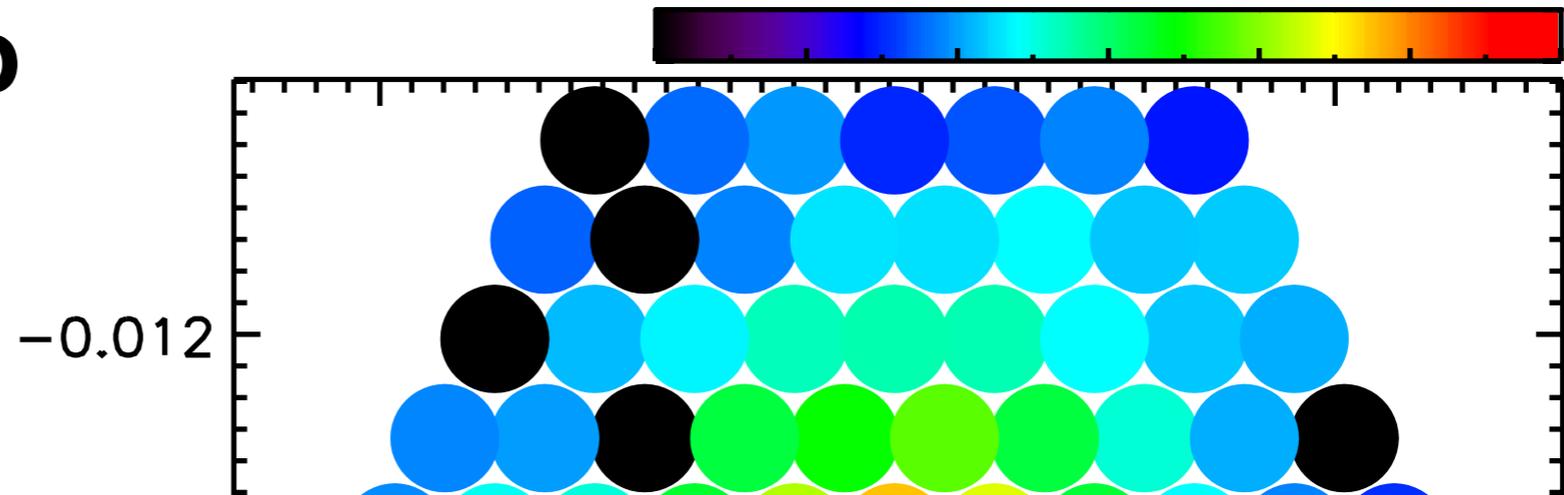
# NGC1068 with KOOLS-IFU

[OIII] $\lambda$ 5007 map

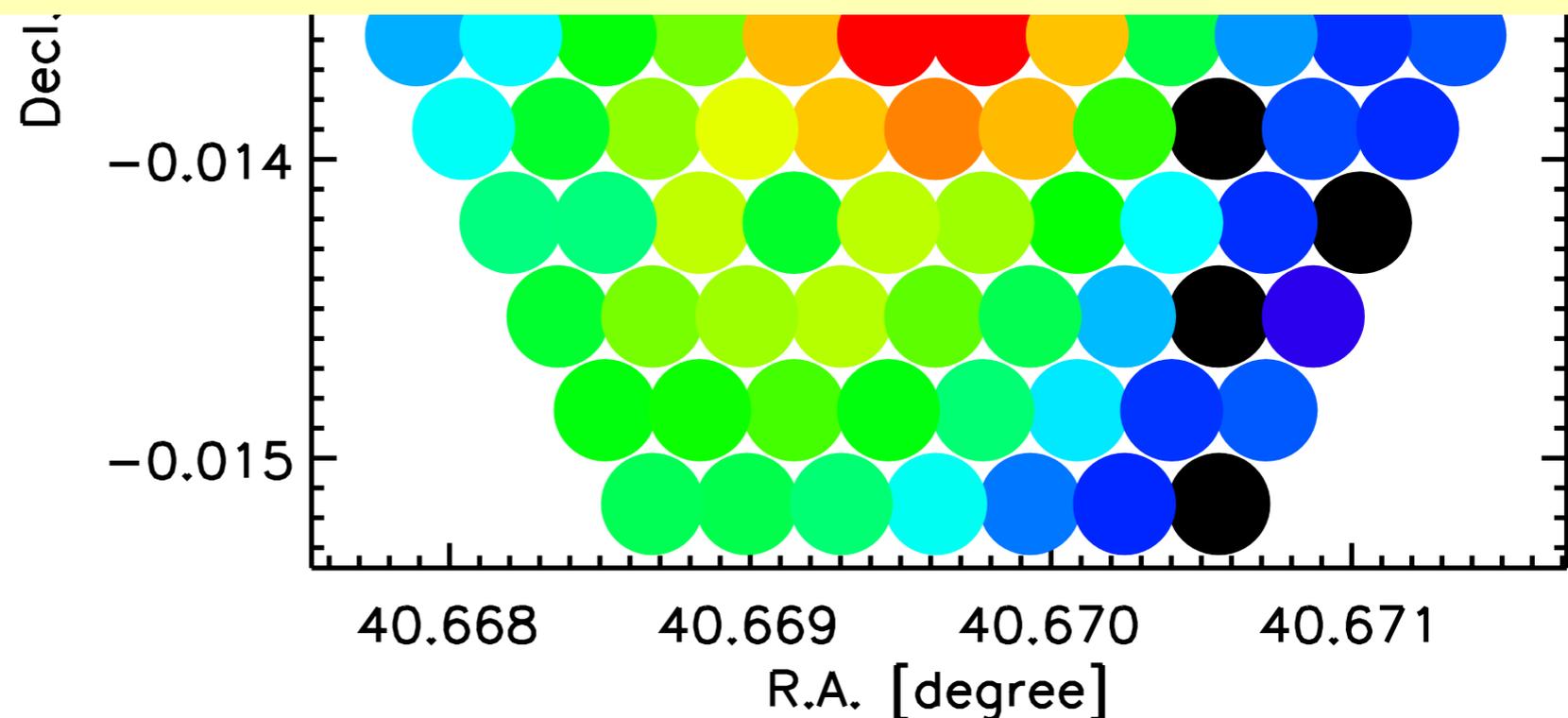


# NGC1068 with KOOLS-IFU

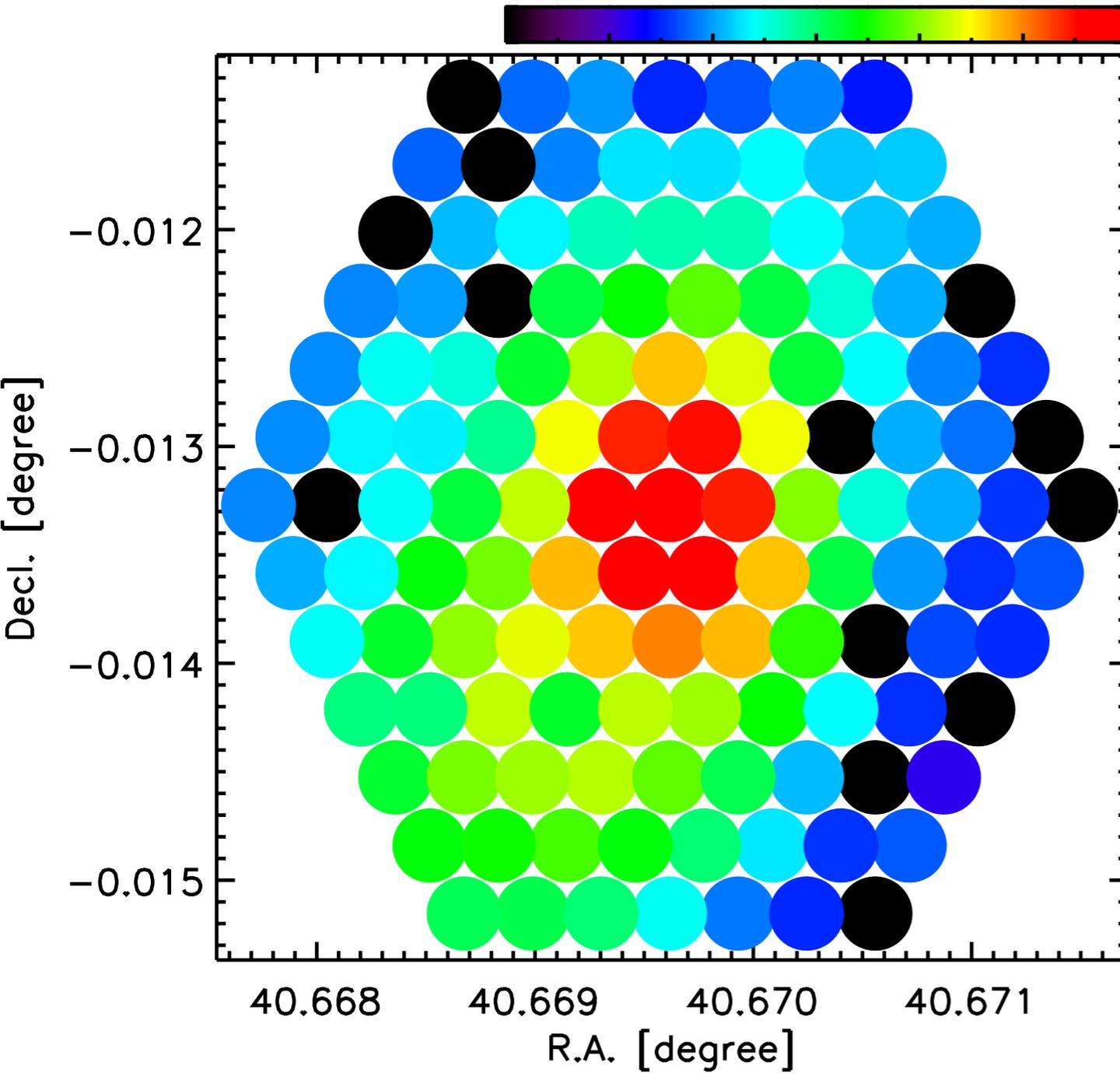
[OIII] $\lambda$ 5007 map



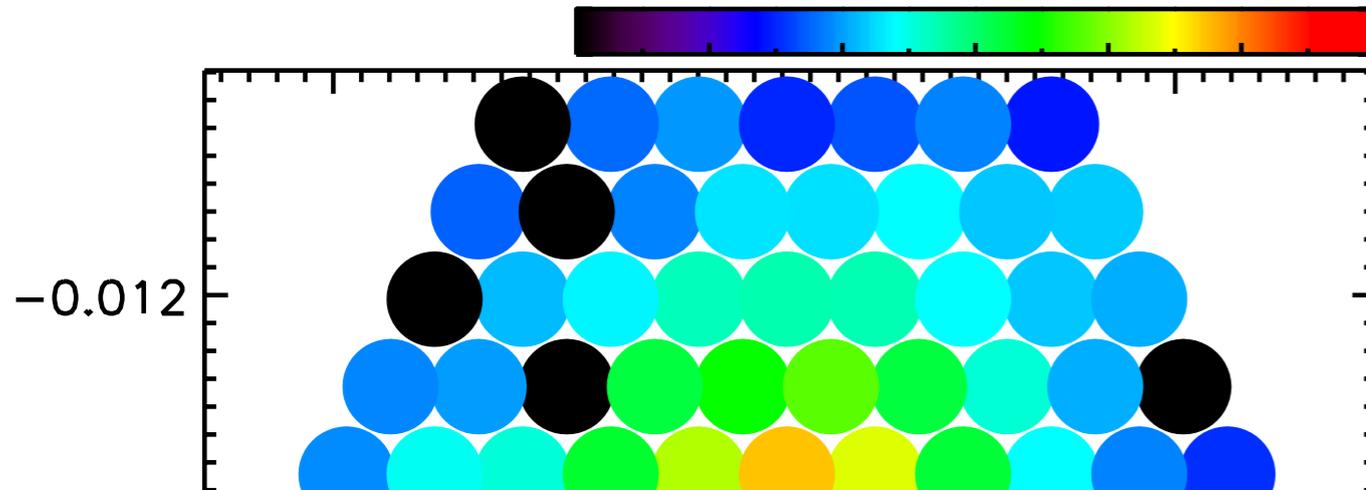
**Fiber 中心に天体を導入できた！**



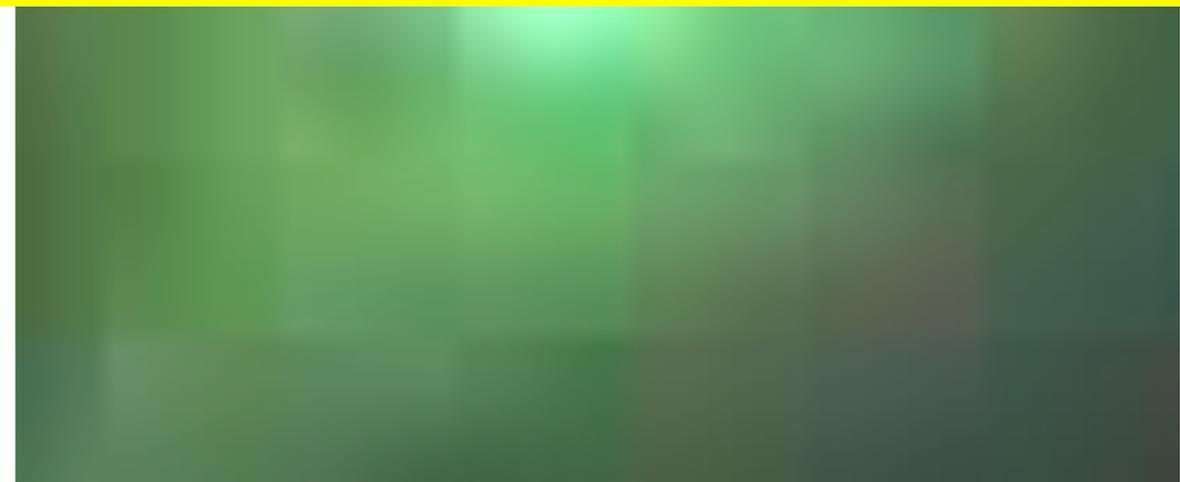
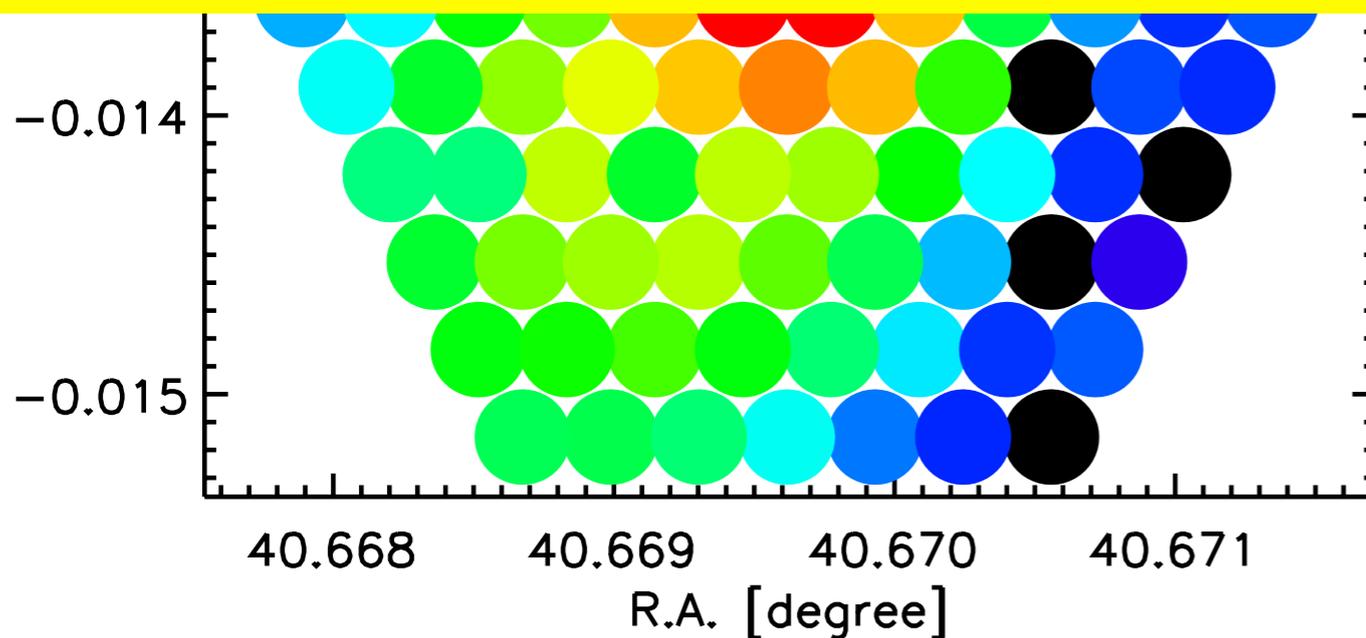
# NGC1068 with KOOLS-IFU



# NGC1068 with KOOLS-IFU



**中心核が明るい銀河ならサイエンス可能！**



# KOOLS-IFUで銀河の面分光を実現するために

R mag < 14

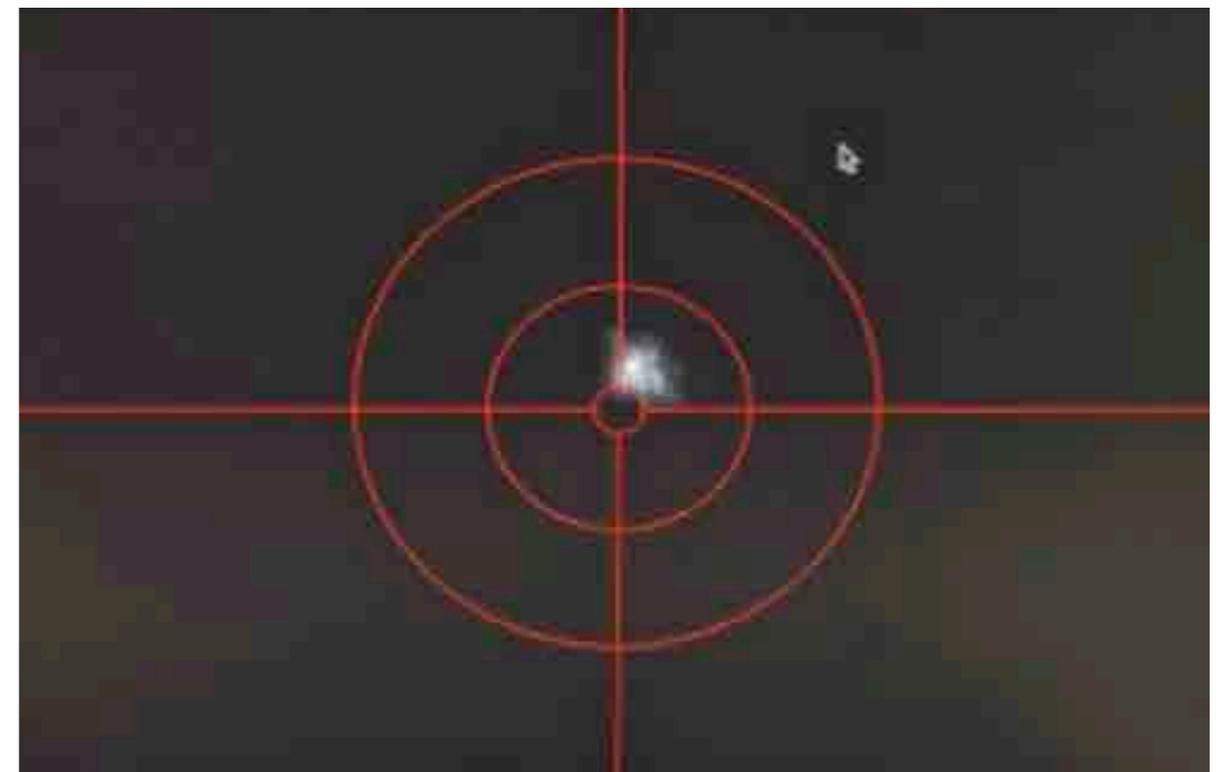
- Auto\_guide program (前原さんが作成した基本的には恒星観測に最適化されたコード) を用いたオートガイド観測
- ファイバーの任意の位置に天体を自動で導入し続けてくれる！

14 < R mag < 18

- 自分たちで観測手法を工夫して、  
いろいろ頑張る

## KOOLS-IFUで銀河の面分光を実現するために

- 岡山の典型的なseeing が  $1.5-2''$ なので、それ以上の精度を求める必要はない。
- 望遠鏡の指向精度・追尾精度を考慮し、積分時間中に望遠鏡が $2''$ 以上動かないようにする。
- ファイバーが天球面上のどこを見ているか、その正確な位置は現状では不明。視野確認カメラ（焦点面）の視野中心はファイバーの中心ではない。



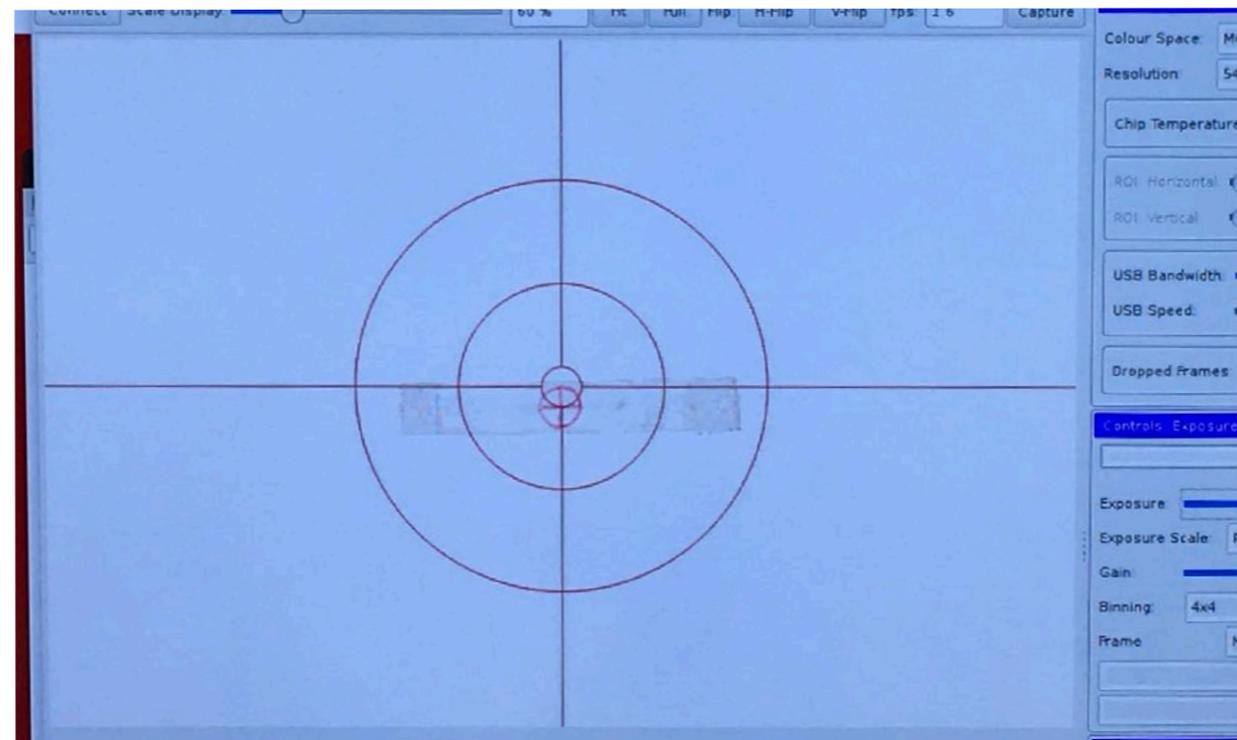
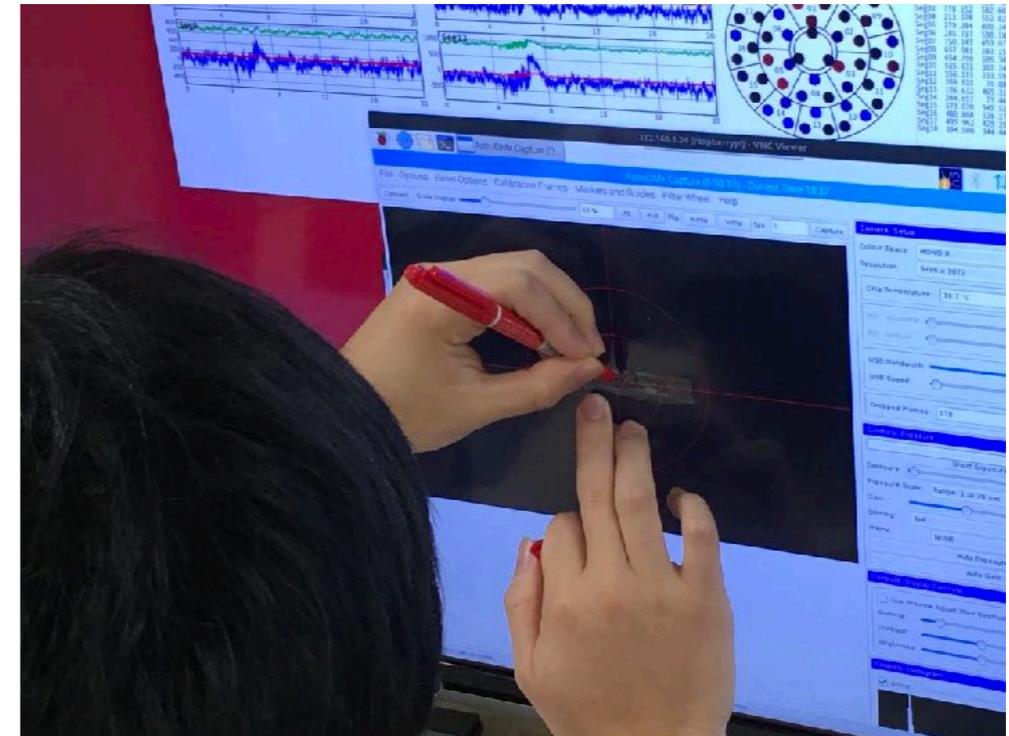
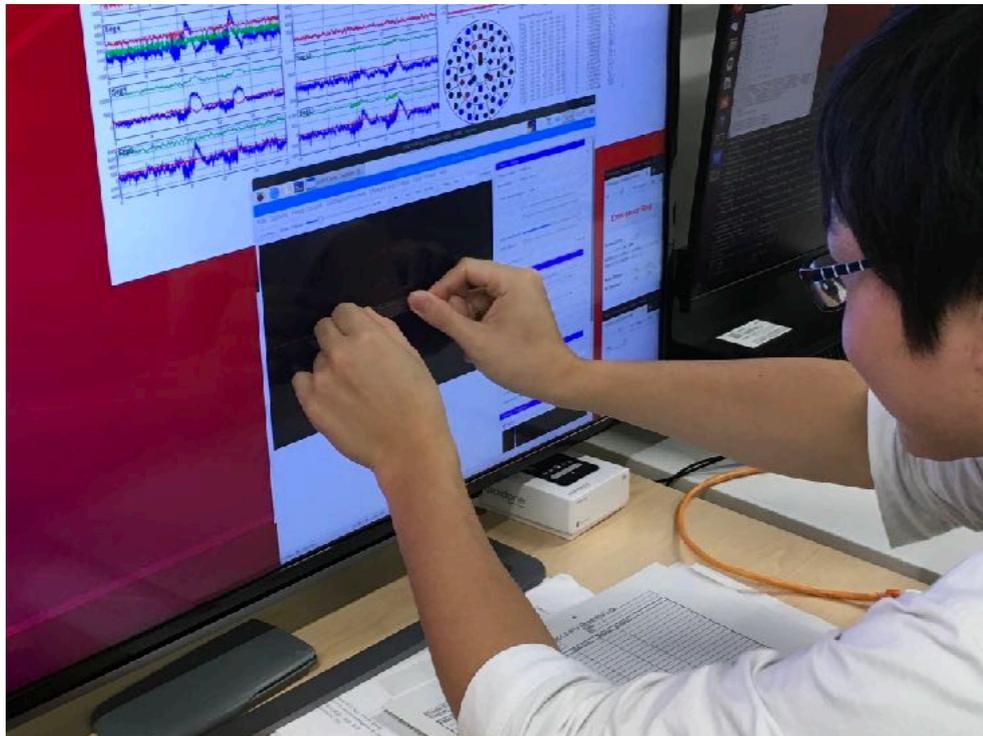
## KOOLS-IFUで銀河の面分光を実現するために

- 岡山の典型的なseeing が 1.5-2"なので、それ以上の精度を求める必要はない。

**積分時間を1-2分にする（最大でも1"程度の追尾誤差）**

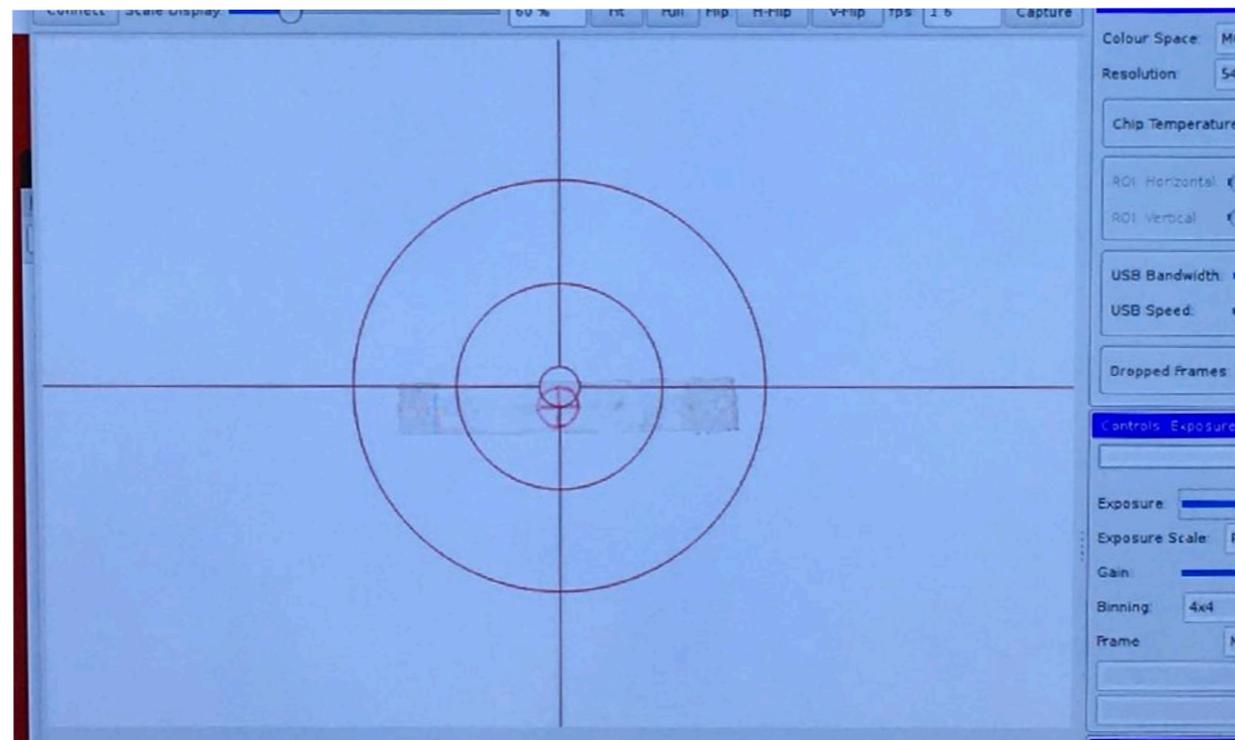
- ① ターゲット近くの明るい天体を対象にオートガイドを使用しファイバー中心に天体を導入し、
- ② 視野確認用カメラ上で、ファイバー中心がどこかを記憶する => 視野確認用カメラのmodification

# 視野確認用カメラのmodification



# 視野確認用カメラのmodification

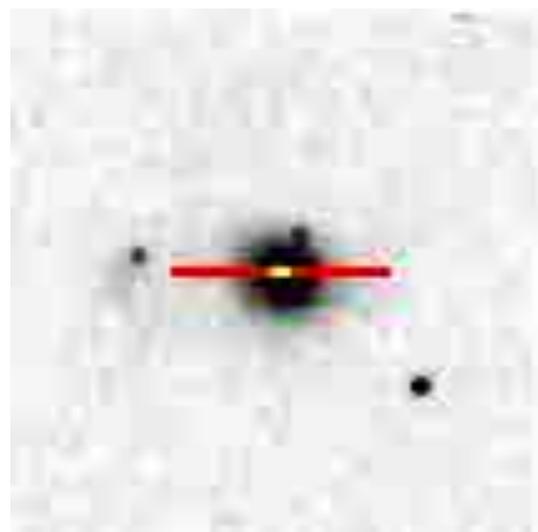
常にファイバー中心と思しき⊕に天体を導入し、1回の積分（1-2分）ごとに、天体が⊕からズレていないかを確認し補正しつつ観測を実行



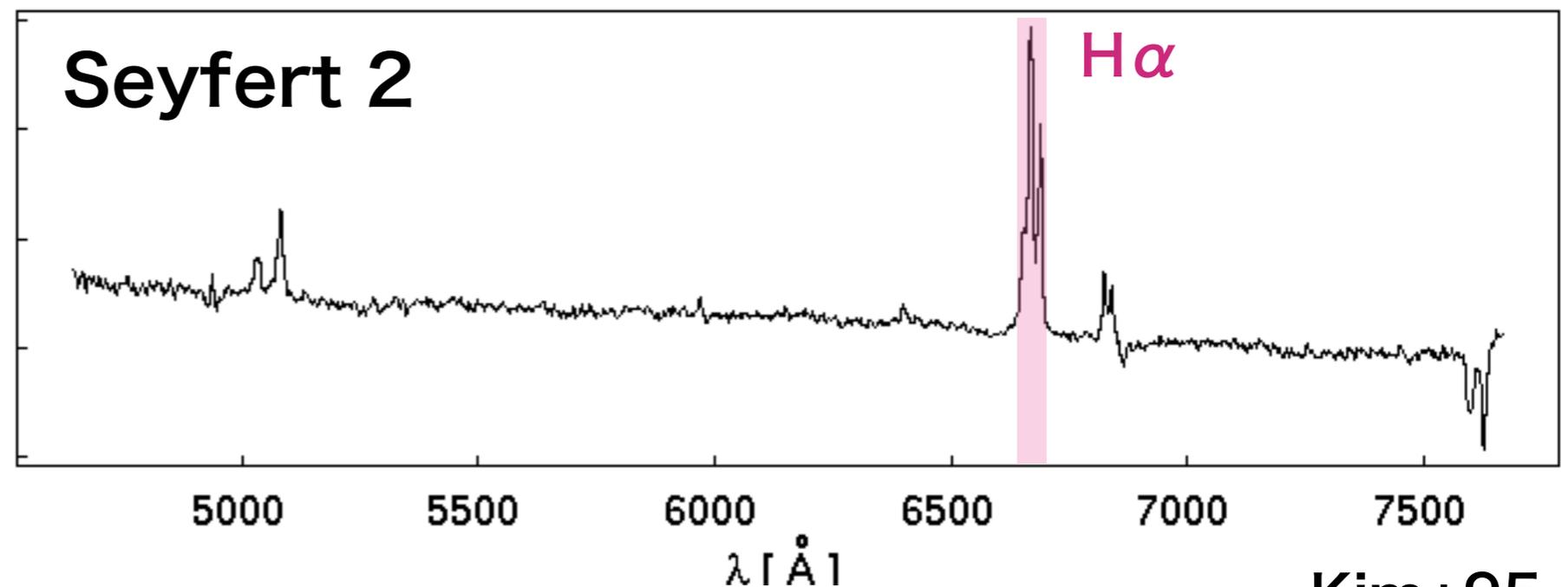
# 暗い天体の場合

23262+0314\_W (NGC 7679)

IRAS name	z	pc/''	Log L <sub>LIR</sub> [L <sub>☉</sub> ]	Merger Stage	積分時間 (分)	
					VPH495	VPH683
23262+0314_W	0.017	346	11.1	a	30	30



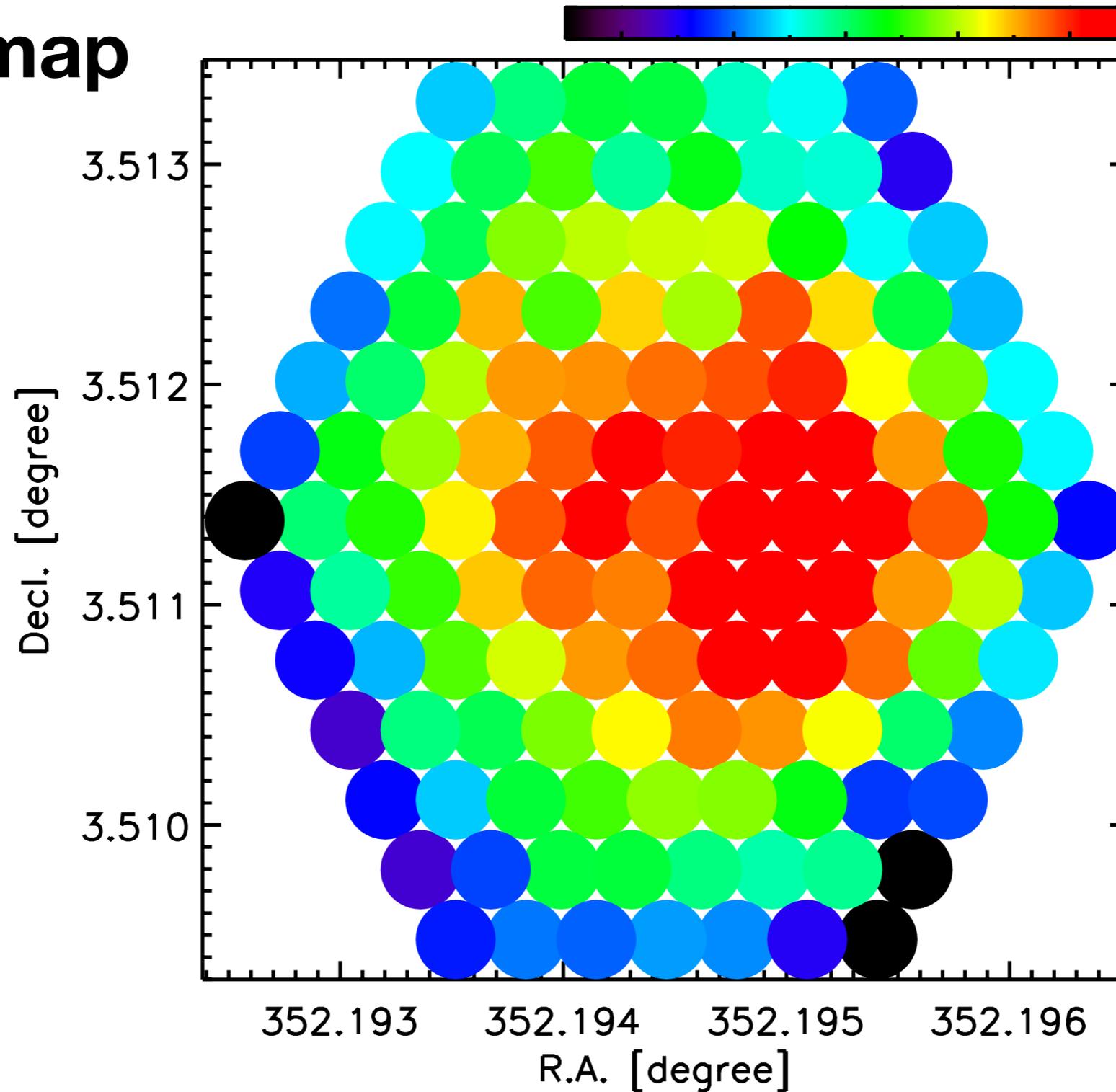
$F_{\lambda}$  [ erg s<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> Å<sup>-1</sup> ]



Kim+95

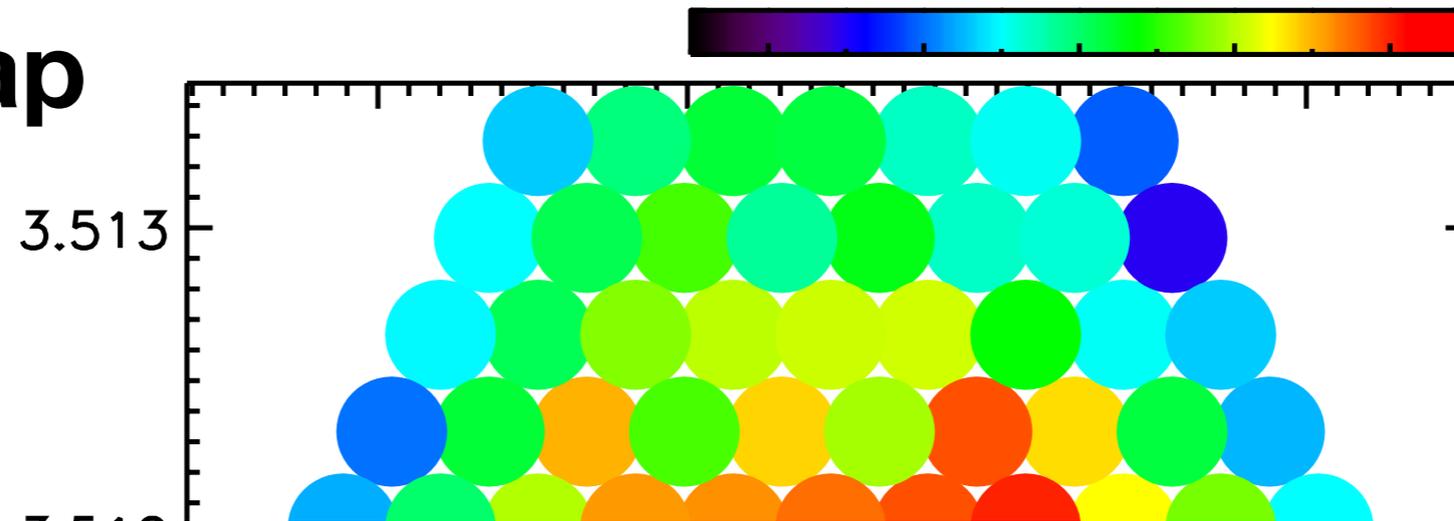
# NGC7679 with KOOLS-IFU

H $\alpha$  map

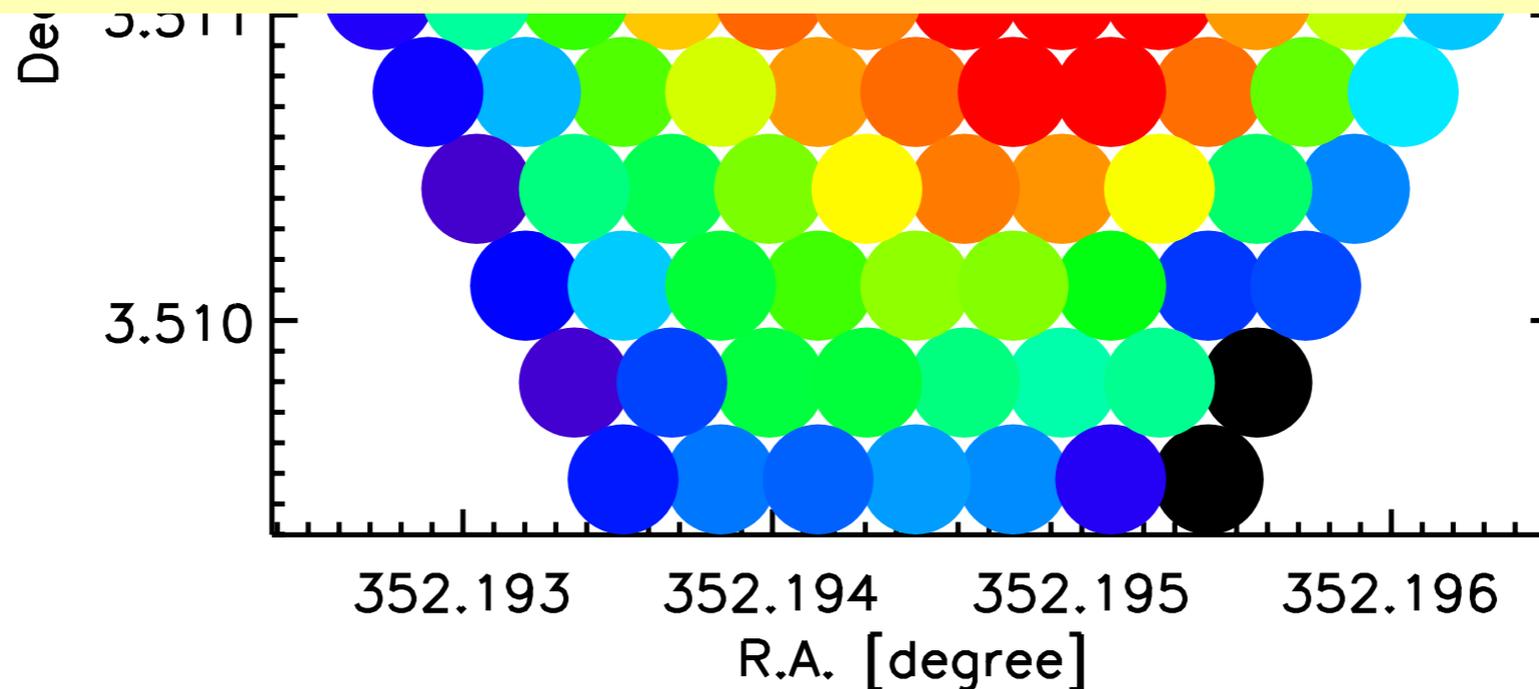


# NGC7679 with KOOLS-IFU

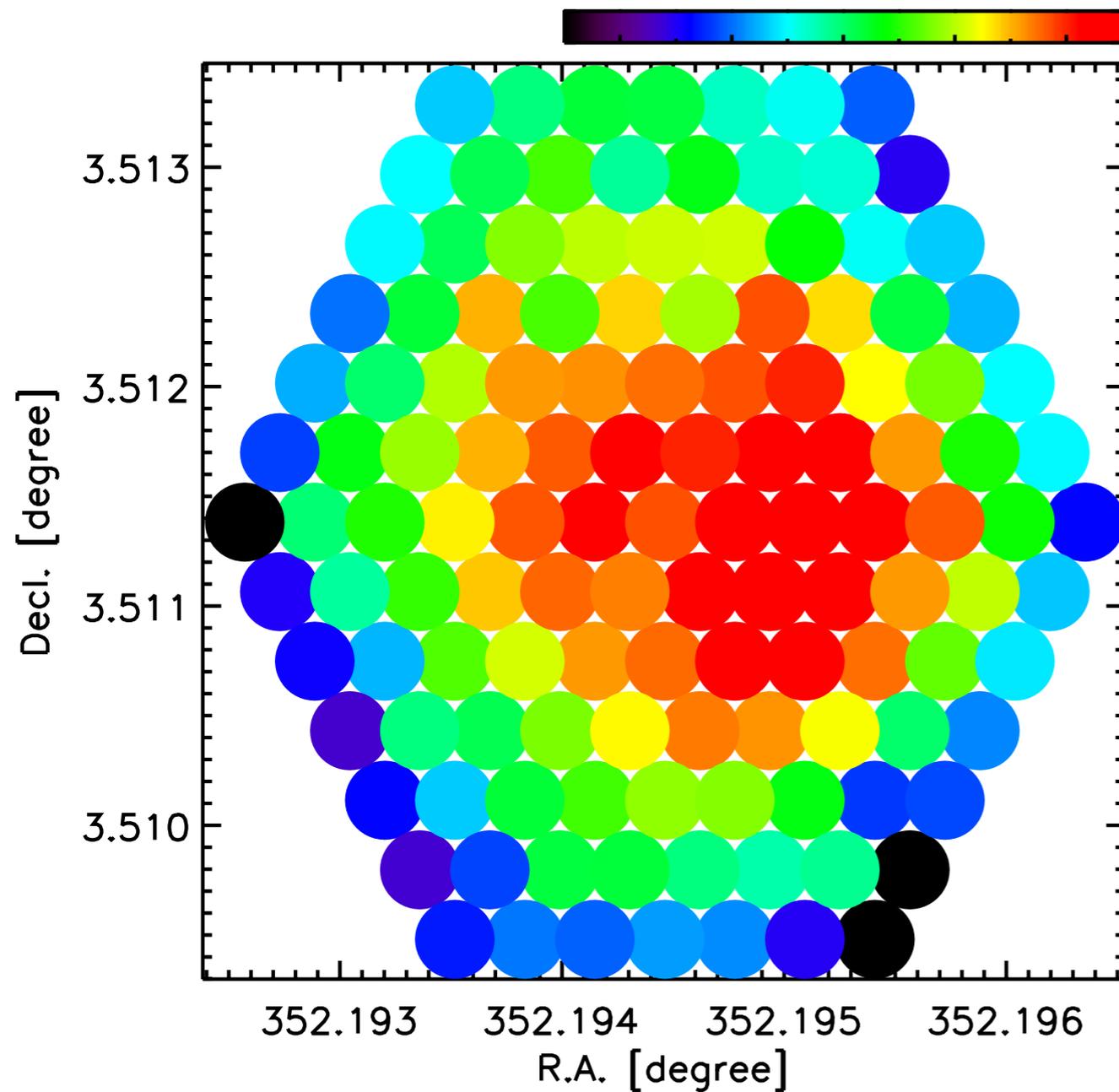
H $\alpha$  map



Fiber 中心に天体を導入できた！？

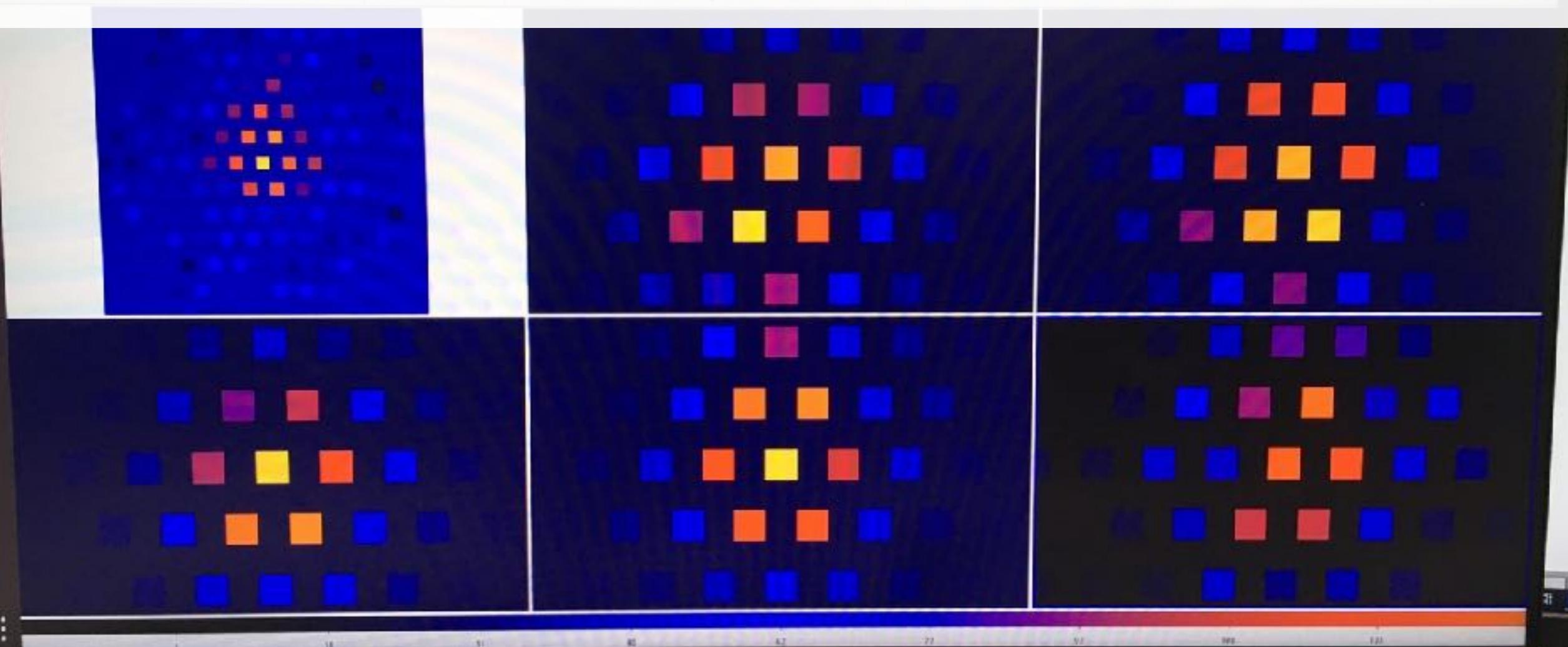


# NGC7679 with KOOLS-IFU



明るい星を使って、セロテープmethod でファイバー  
中心に天体を導入するトレーニングを積んでます。

2019.10.27



# サイエンスケース

## F16030+2040 (NGC 6052)

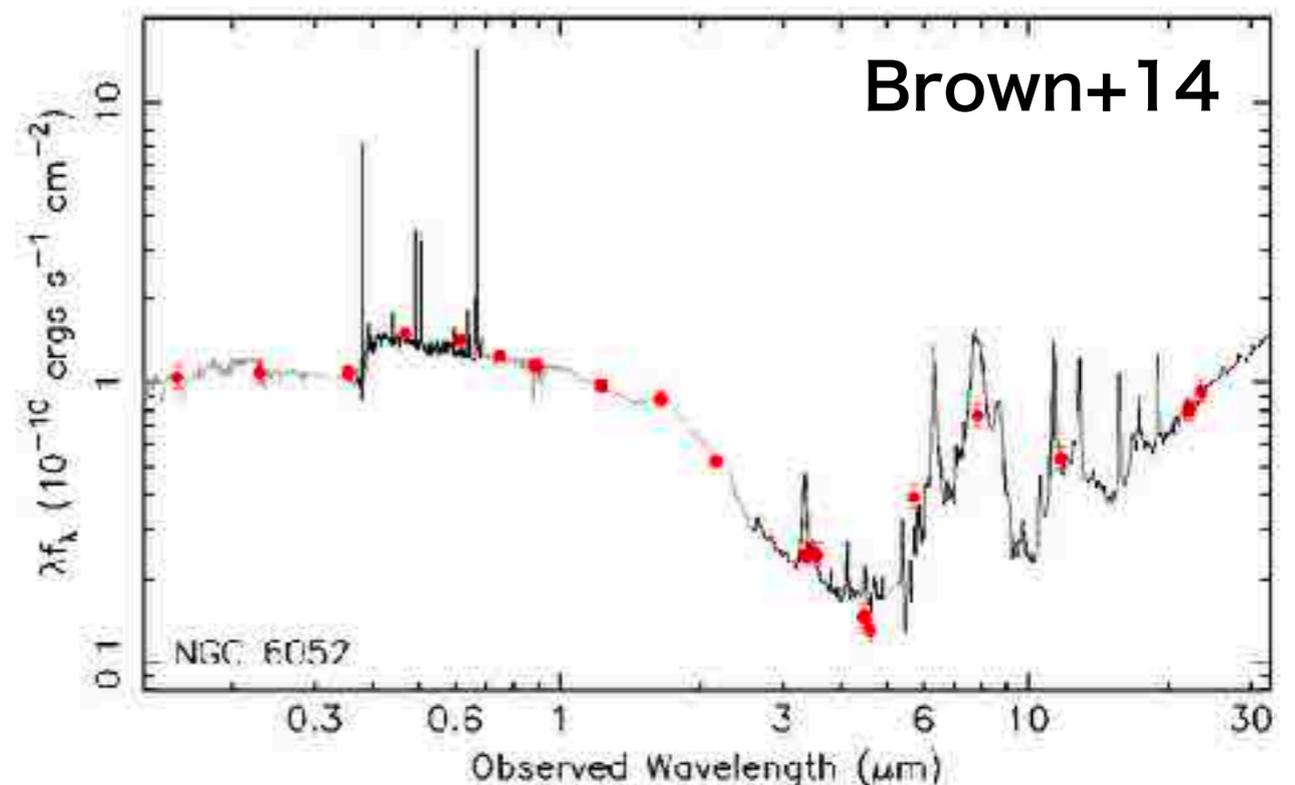
IRAS name	z	pc/''	Log L <sub>IR</sub> [L <sub>☉</sub> ]	Merger Stage	積分時間 (分)	
					VPH495	VPH683
F16030+2040	0.016	326	11.1	c	30	30

### KOOLS-IFUの視野

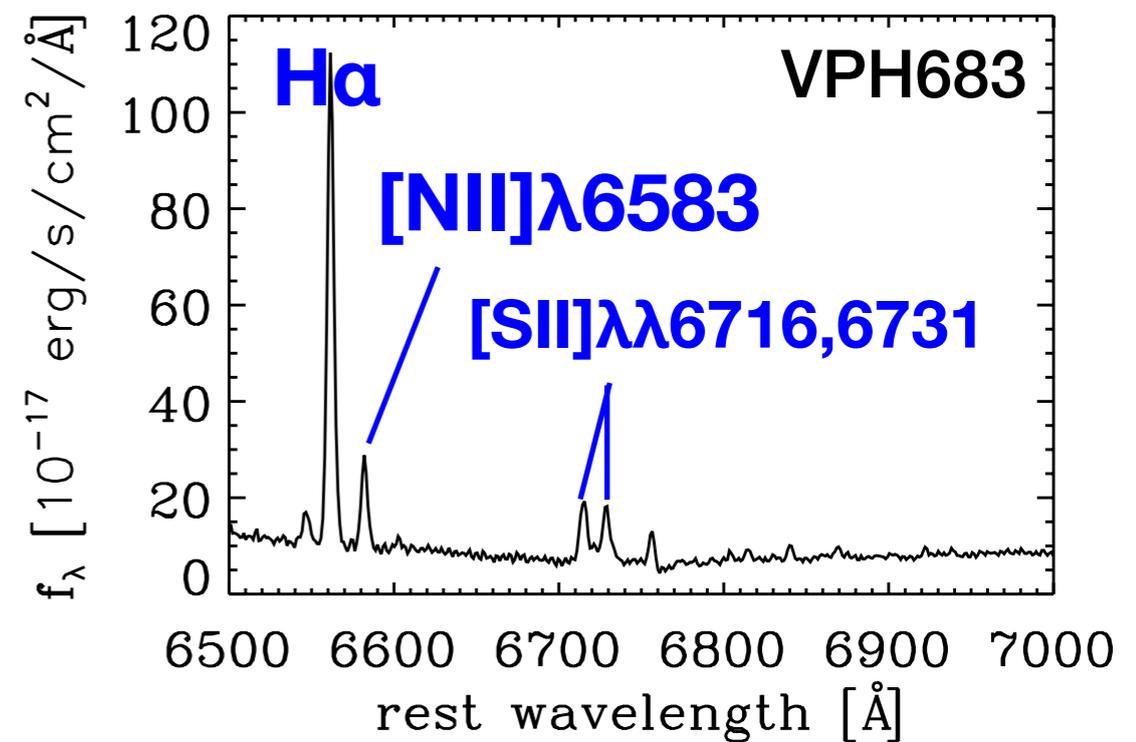
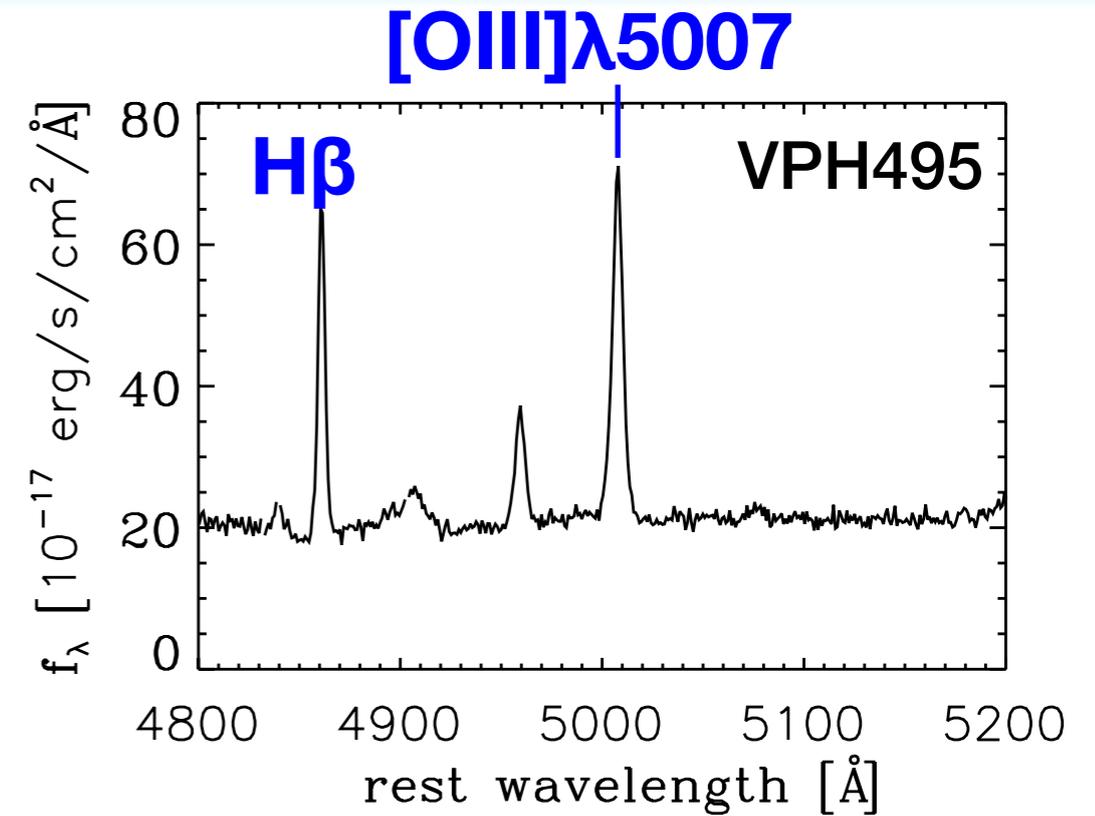
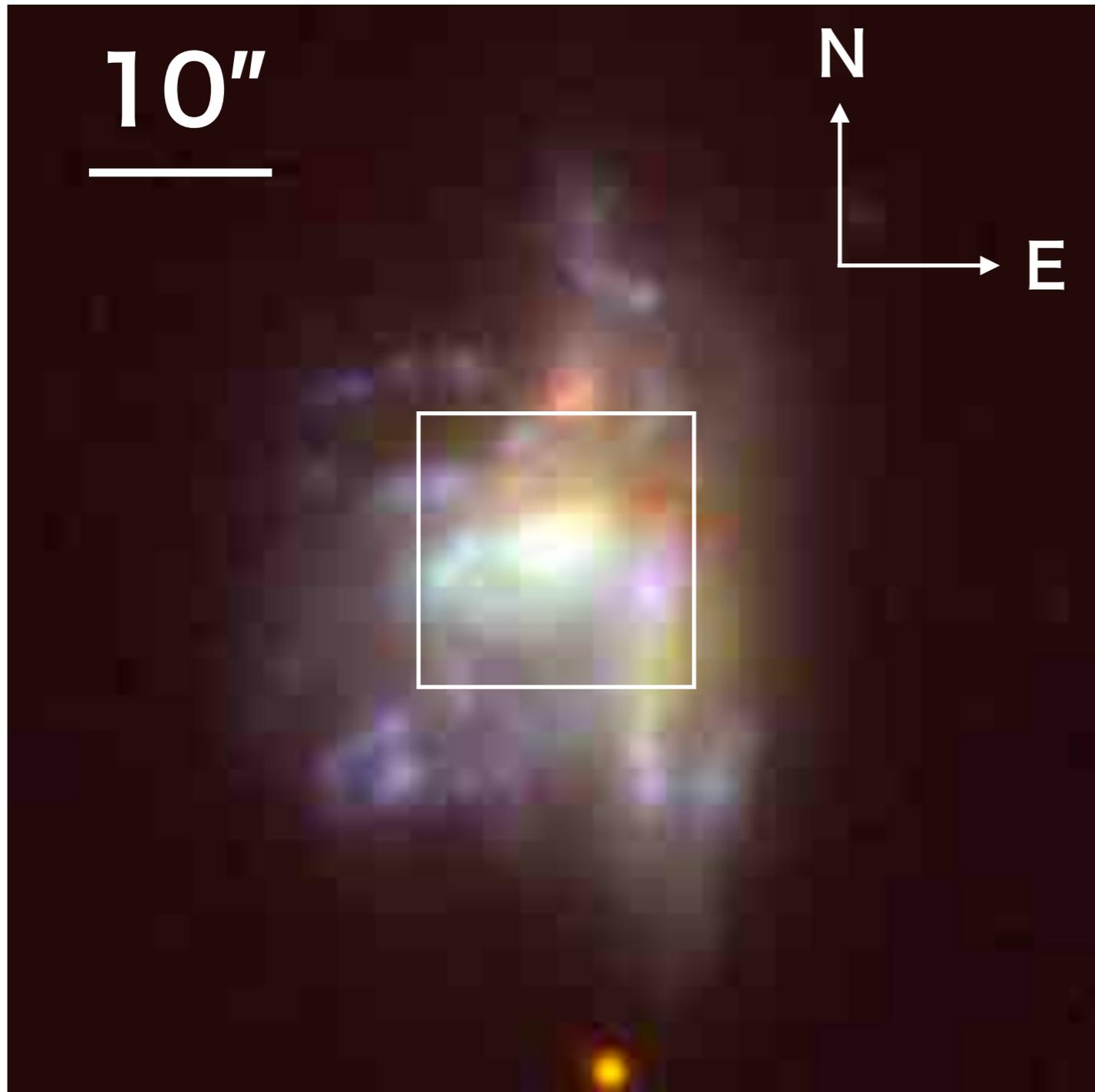


©PanSTARRS

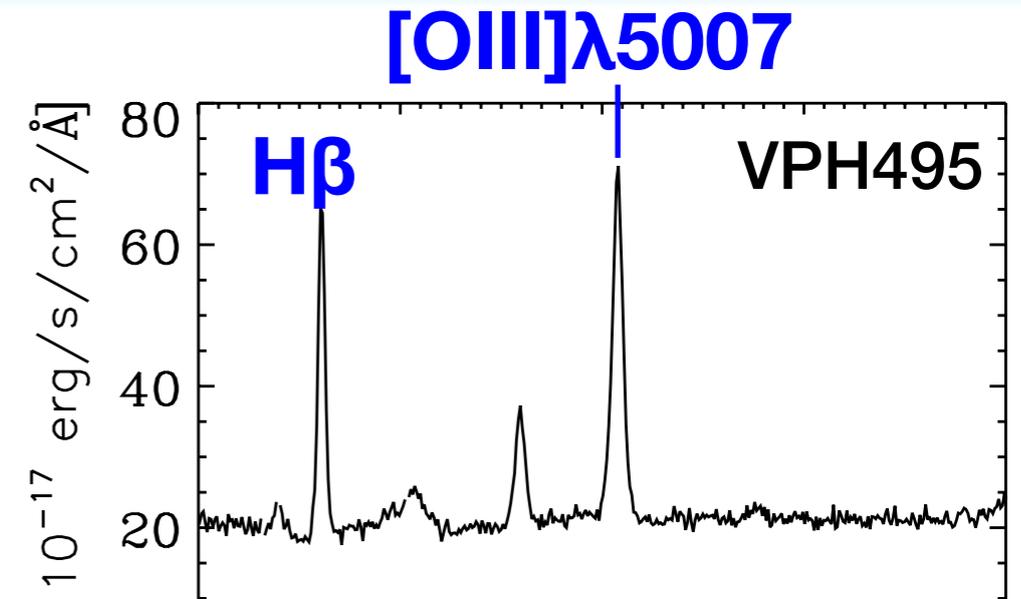
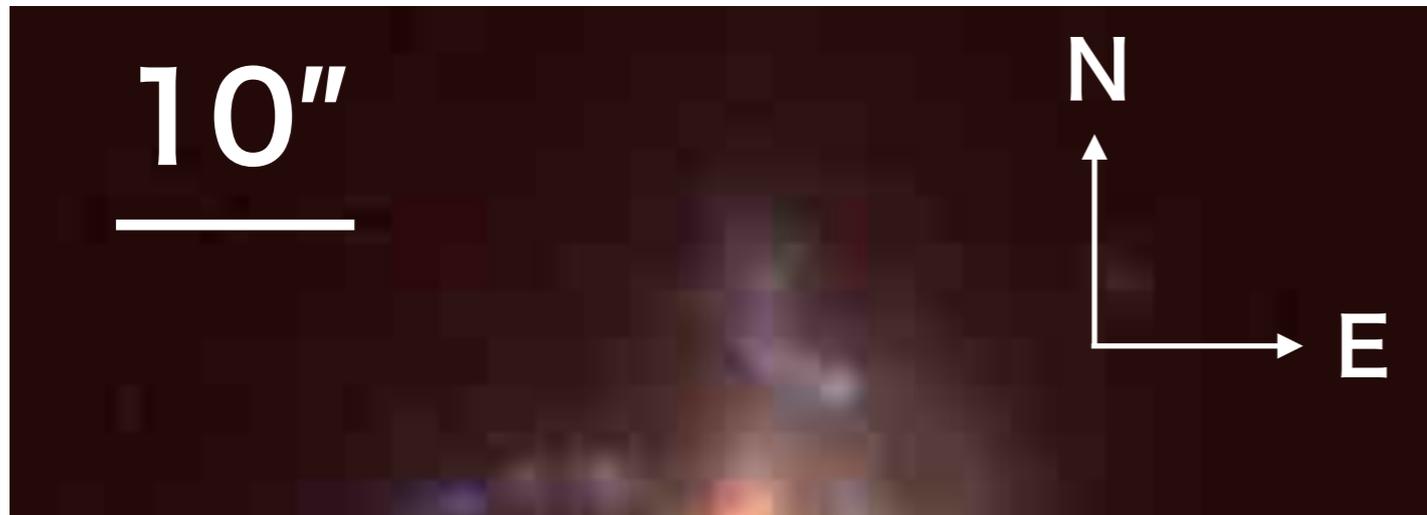
- 系全体の可視光-中間赤外線観測からは、SF活動が支配的なことを示唆 (e.g., Whelan+07, Brown+14)
- 空間分解した情報を得たい



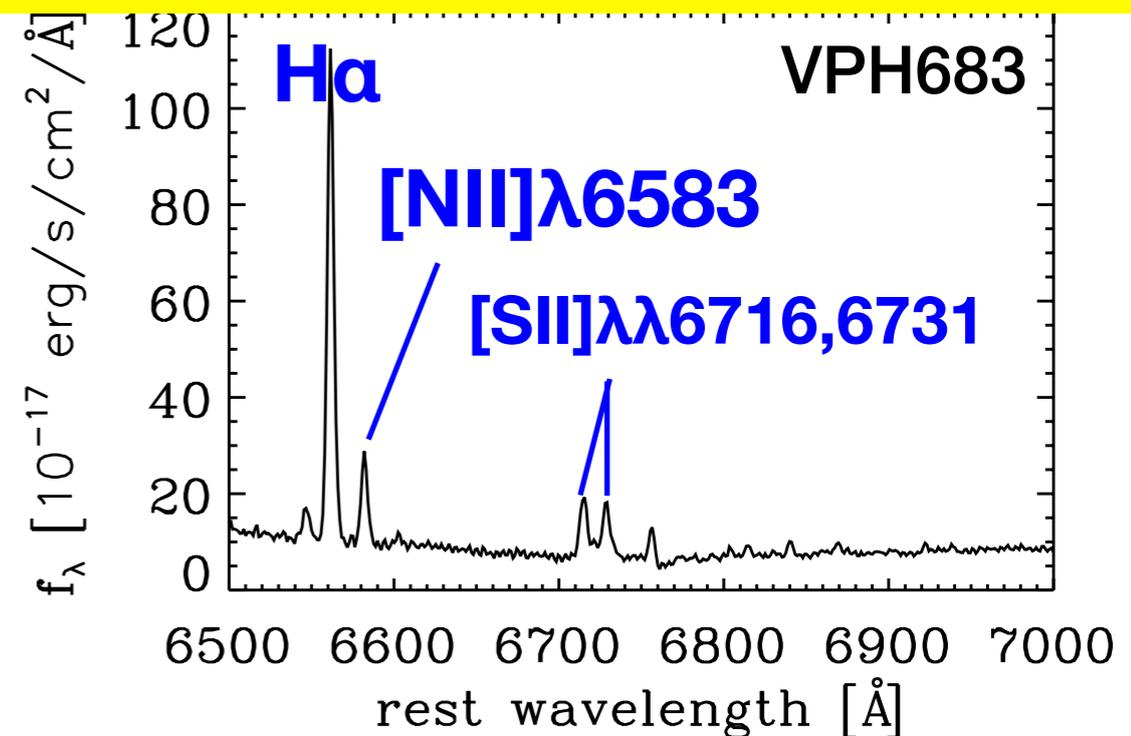
# F16030+2040 (NGC 6052): Stacked spectrum



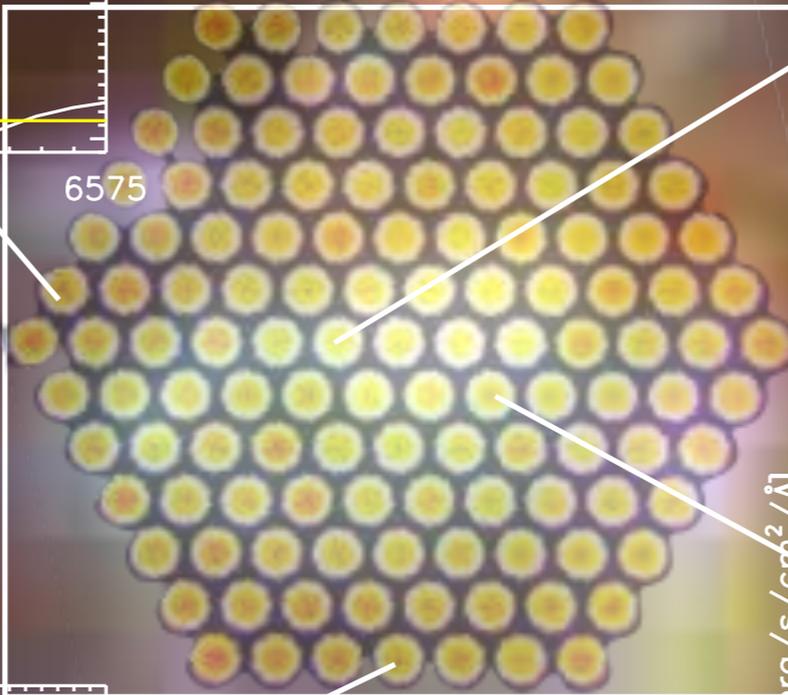
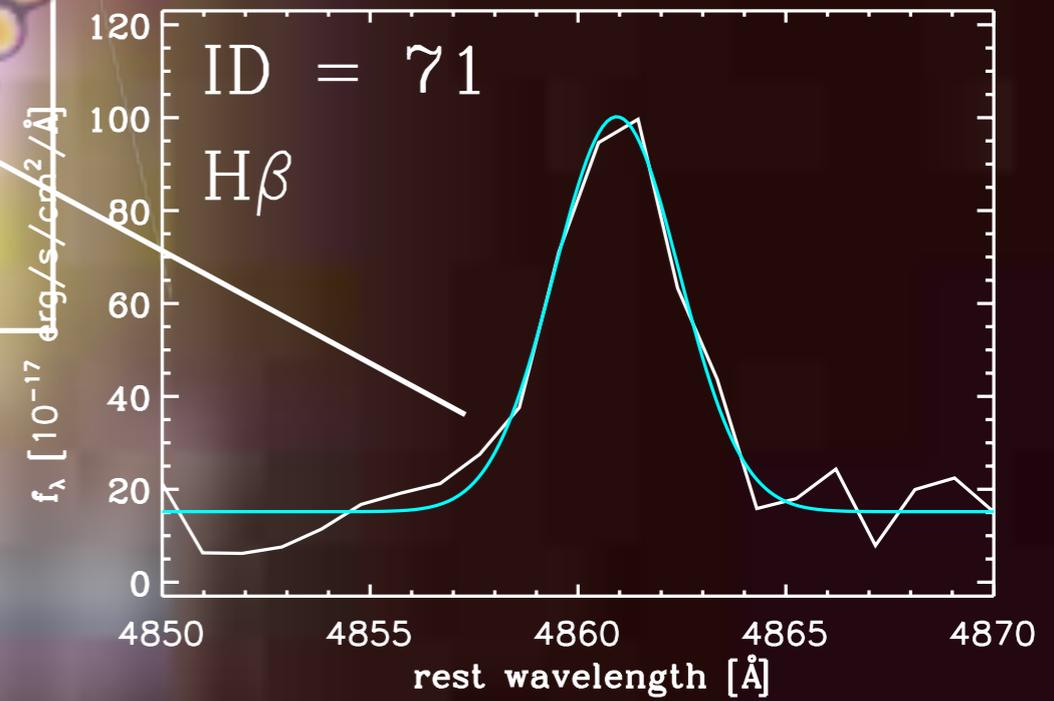
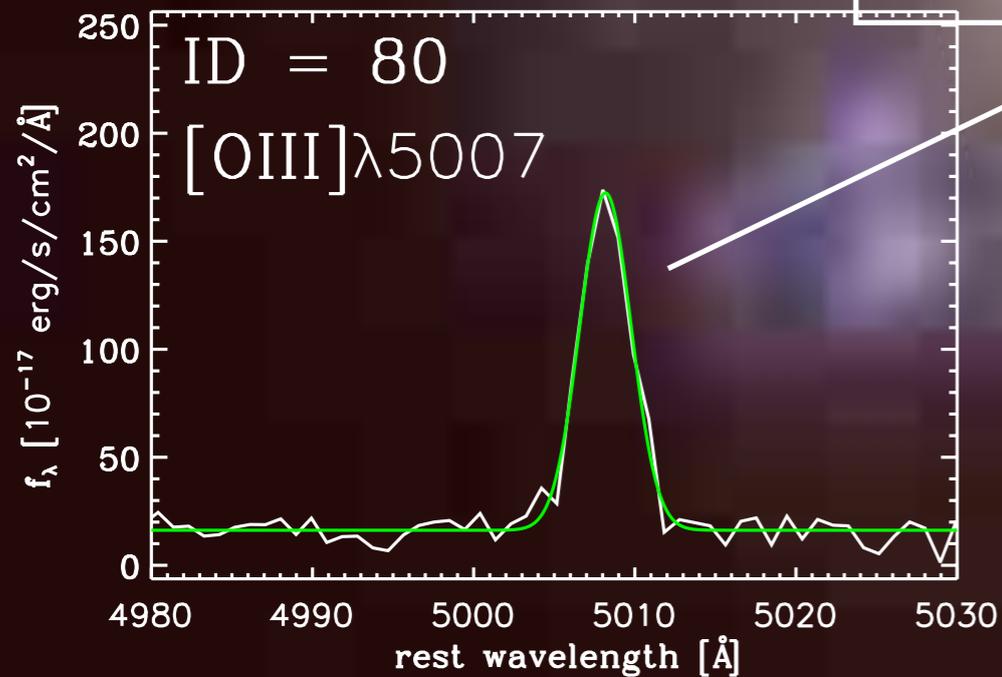
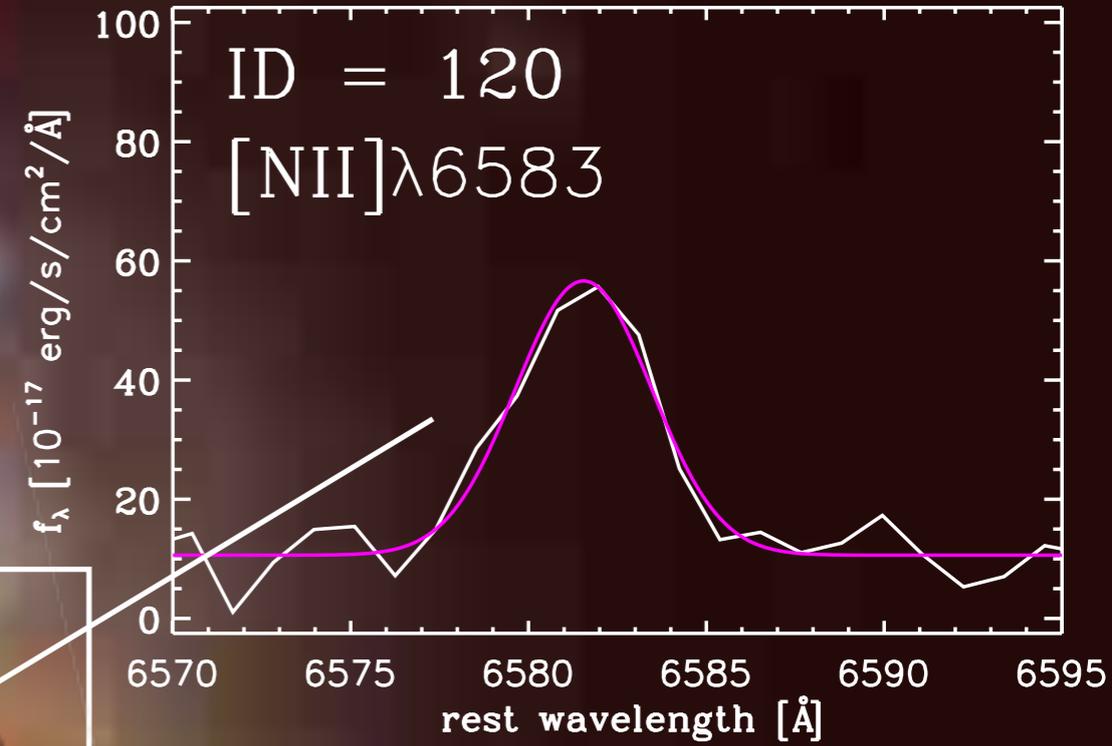
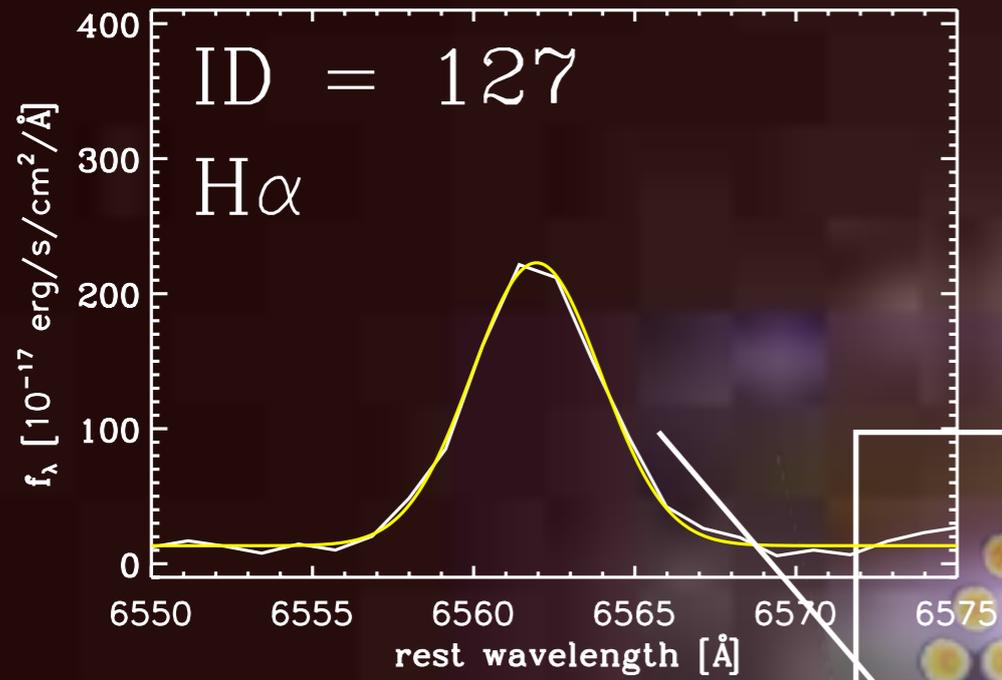
# F16030+2040 (NGC 6052): Stacked spectrum



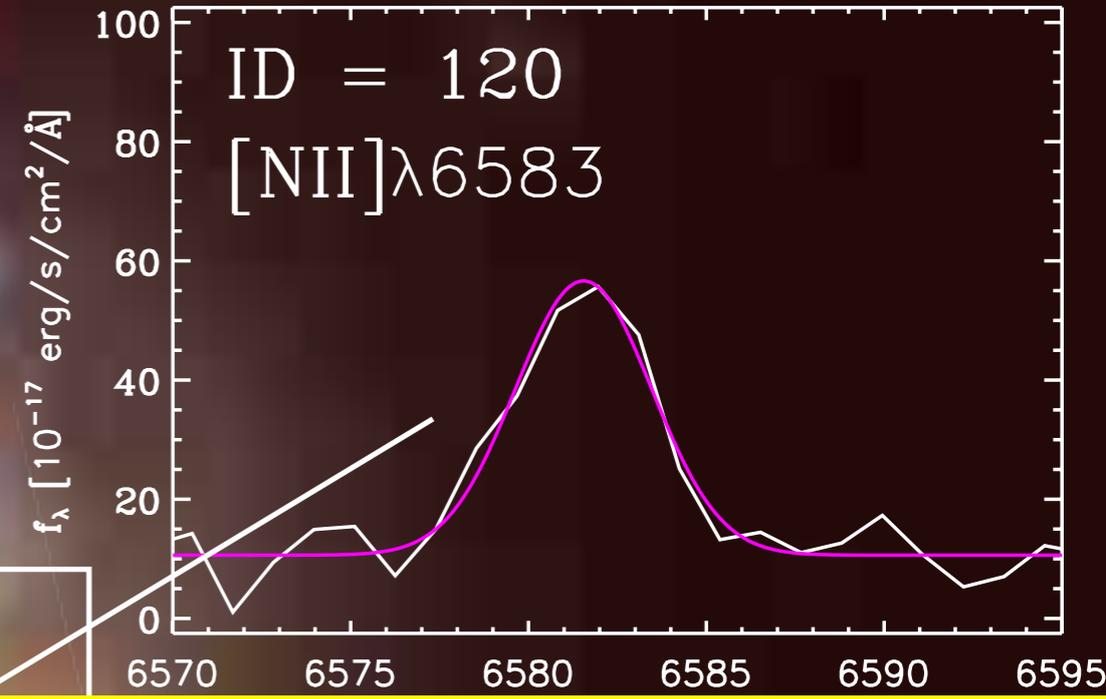
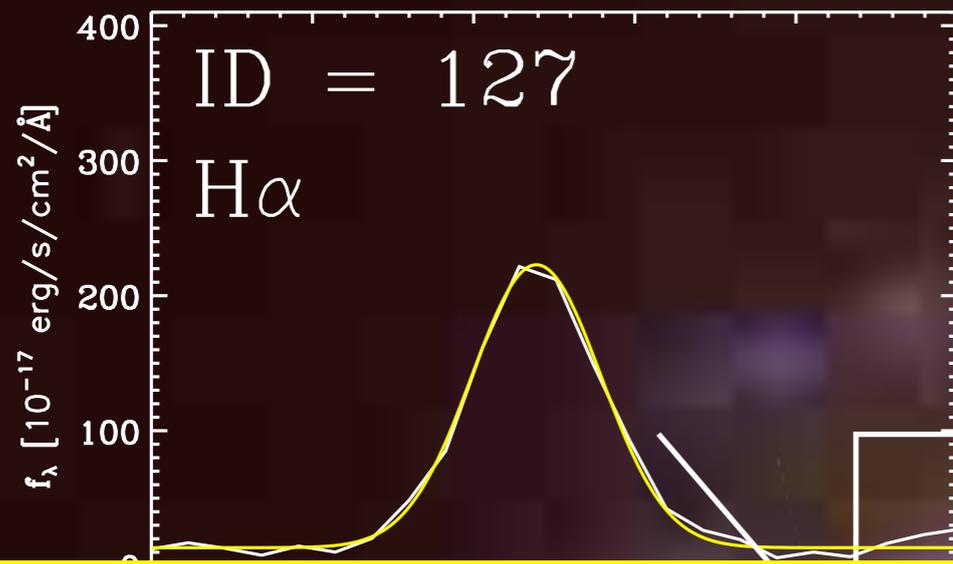
**H $\alpha$ , [OIII] $\lambda$ 5007 など 主要な輝線の検出に成功！**



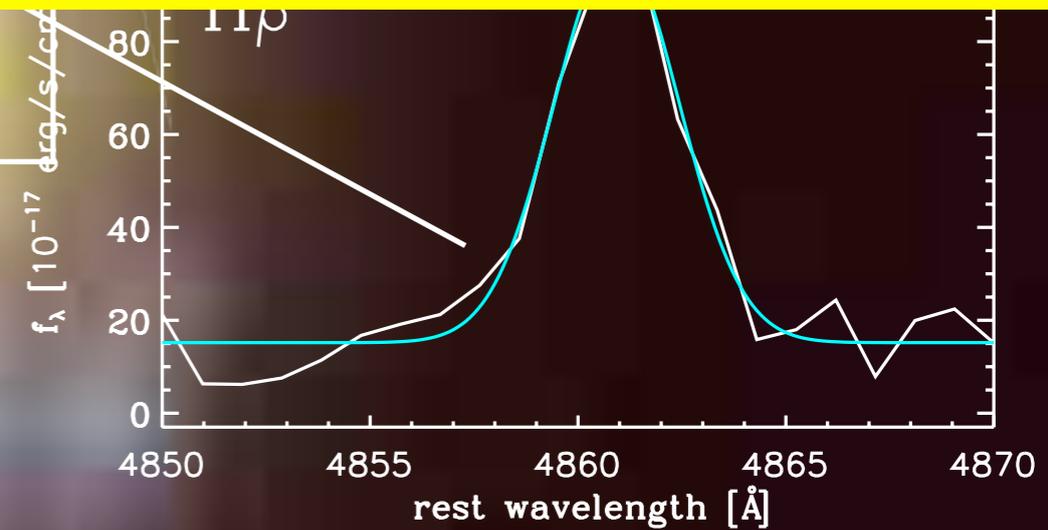
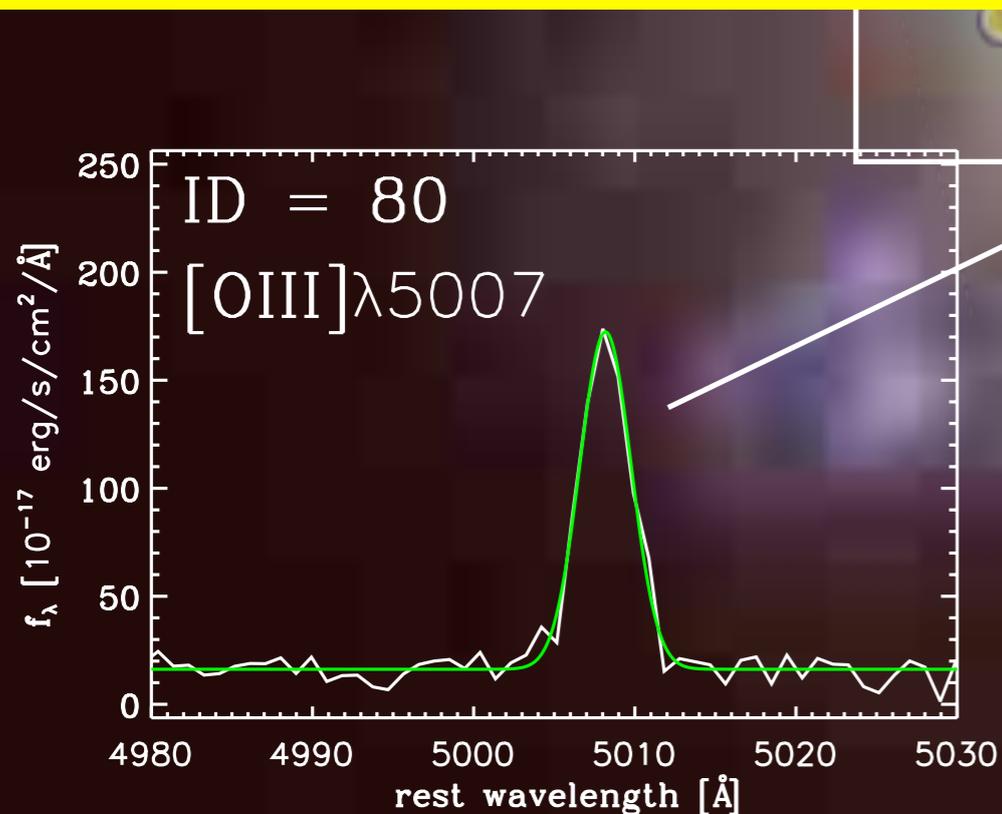
# Spectrum at each fiber



# Spectrum at each fiber

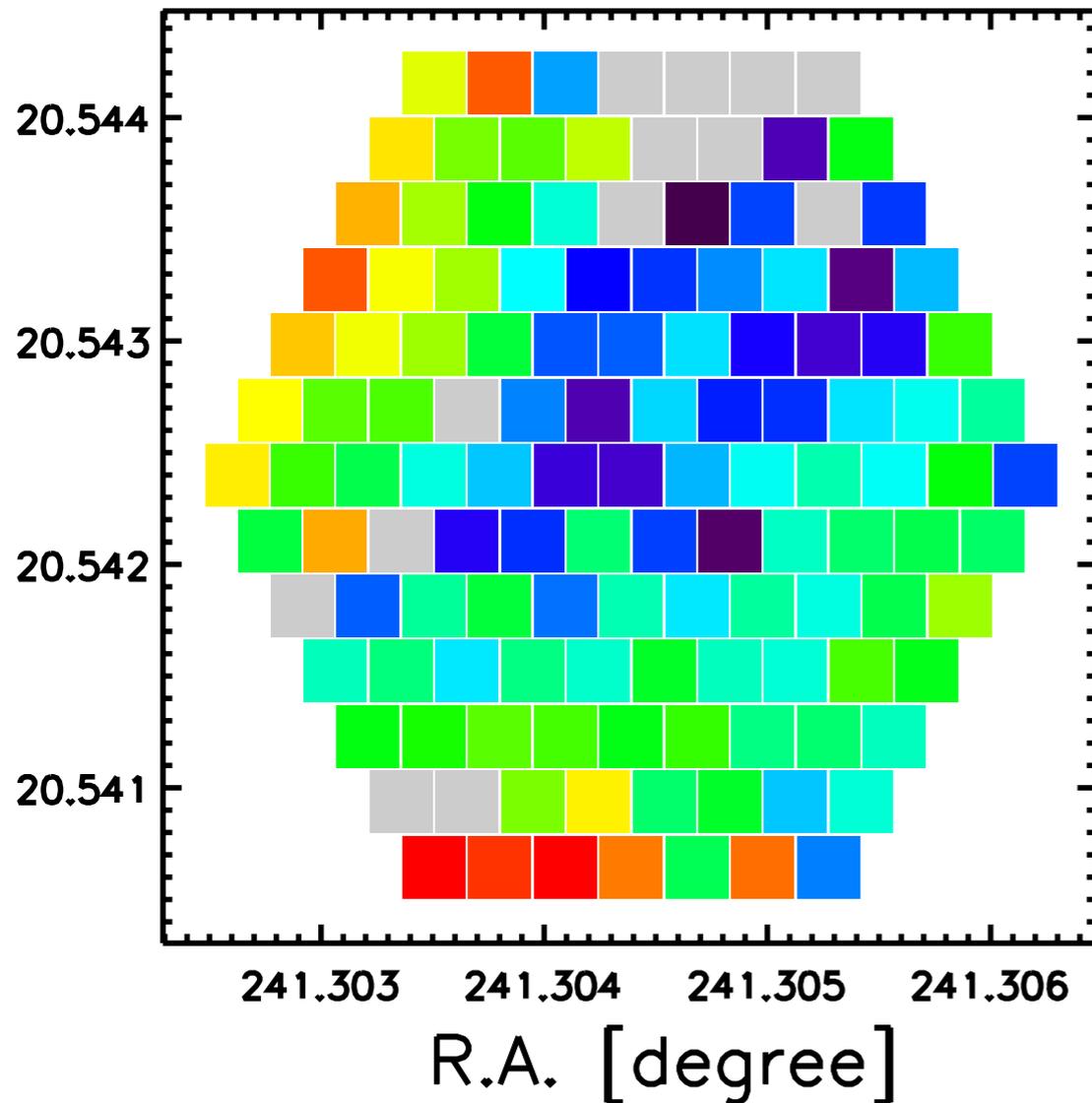


各ファイバーごとに輝線を検出  
(面分光の醍醐味！)

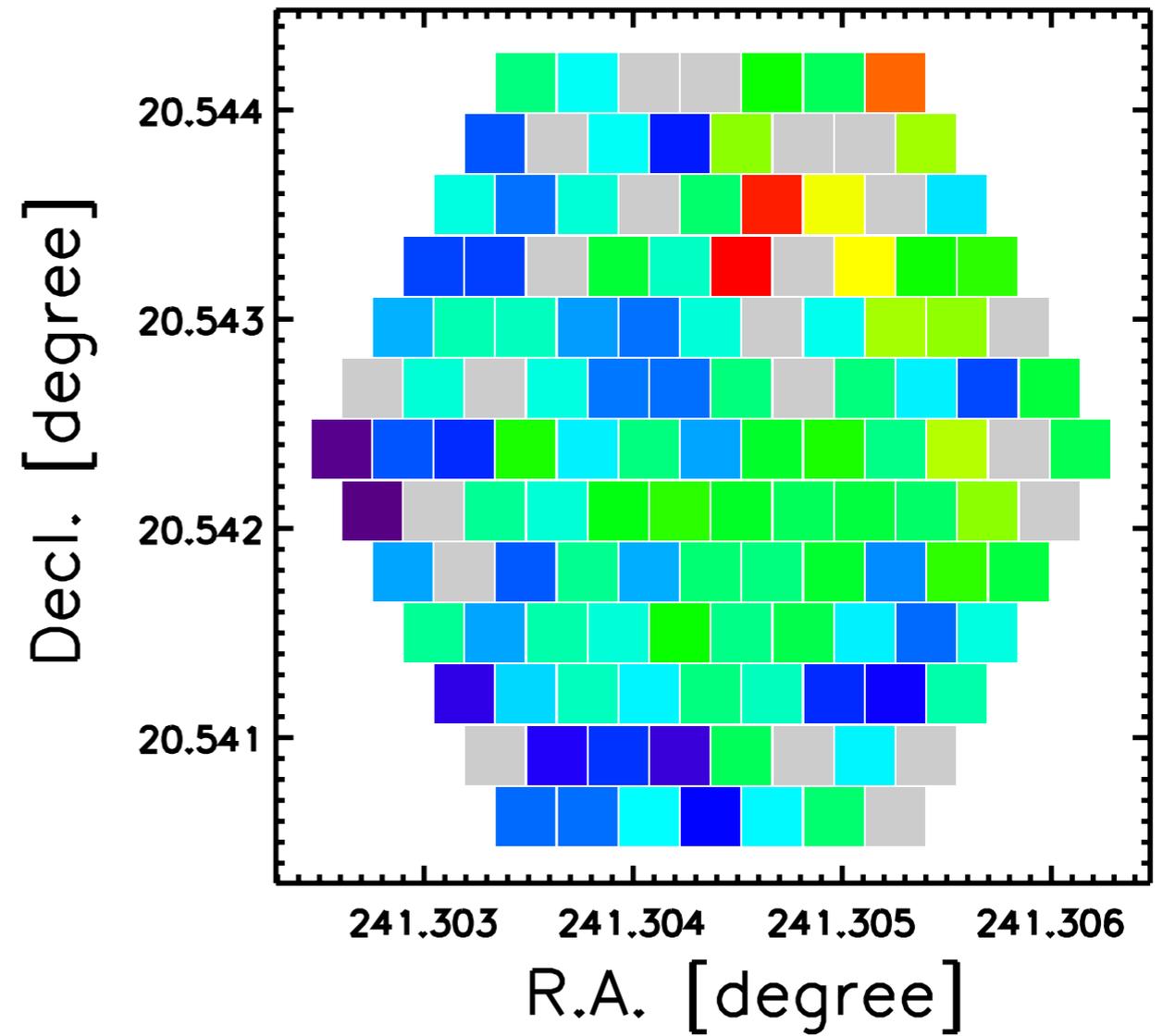
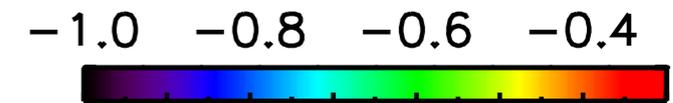


# 輝線比マップ

$\log [OIII]/H\beta$

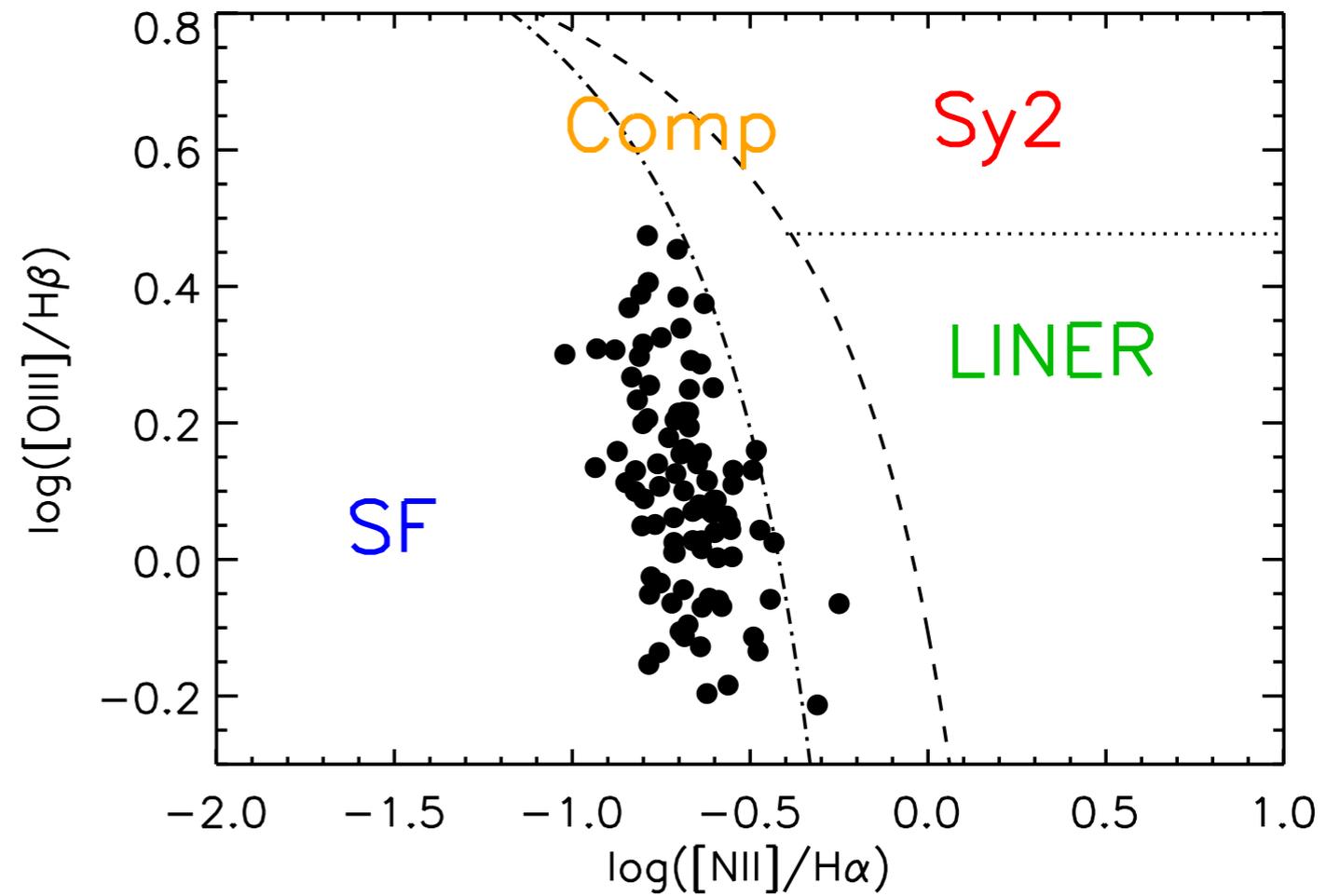
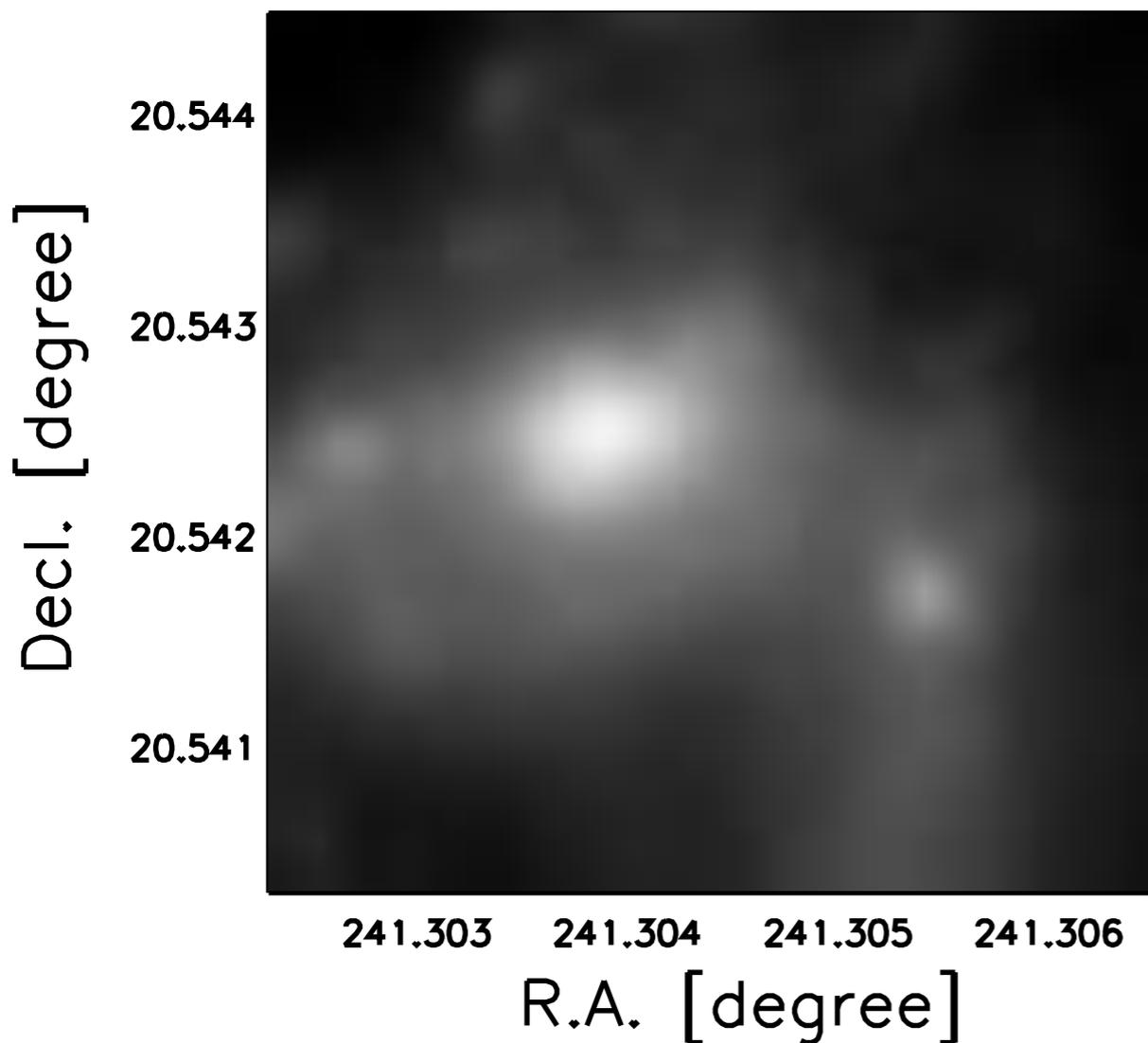


$\log [NII]/H\alpha$

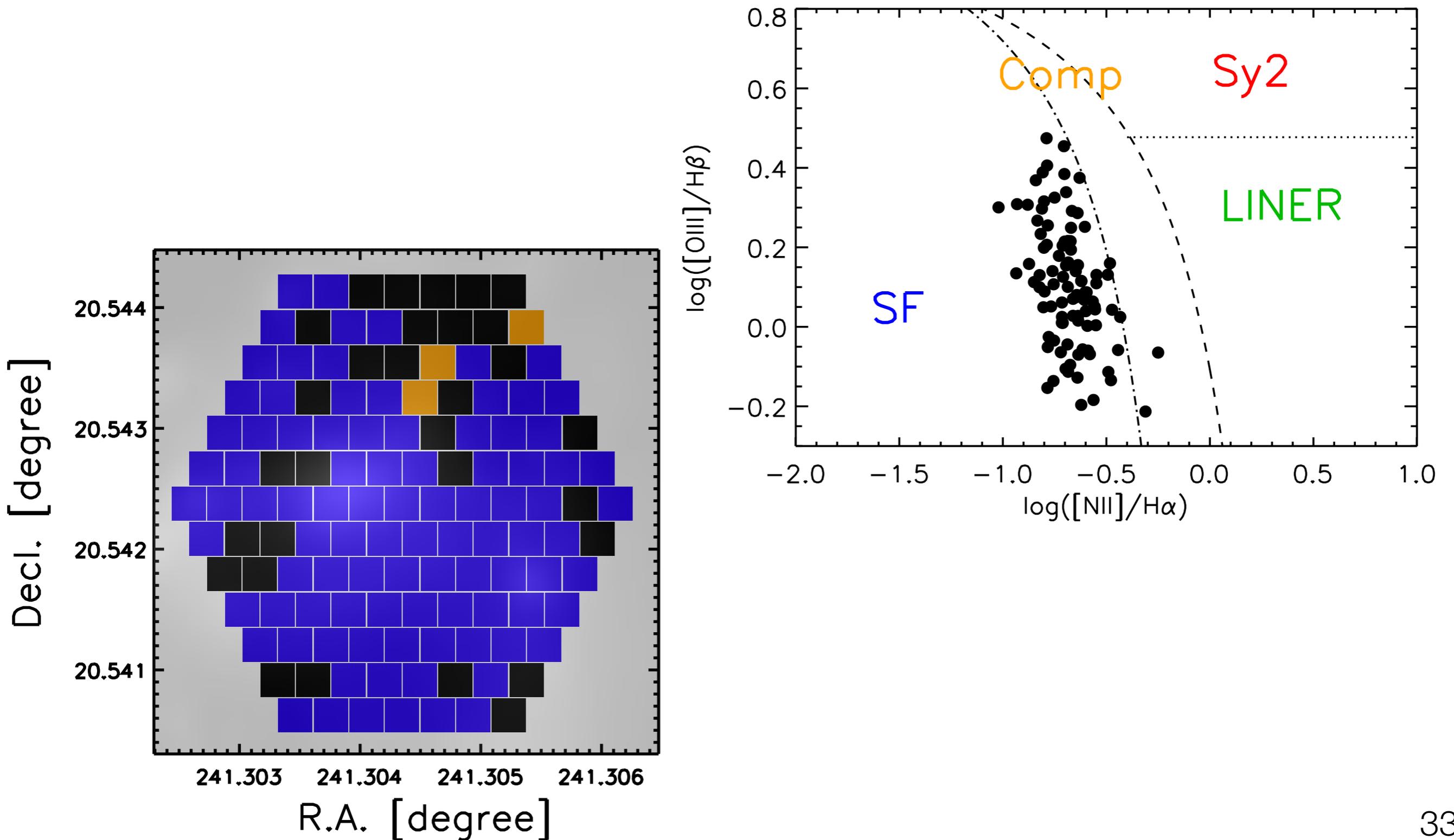


■ 輝線未検出

# Spatially-resolved BPT

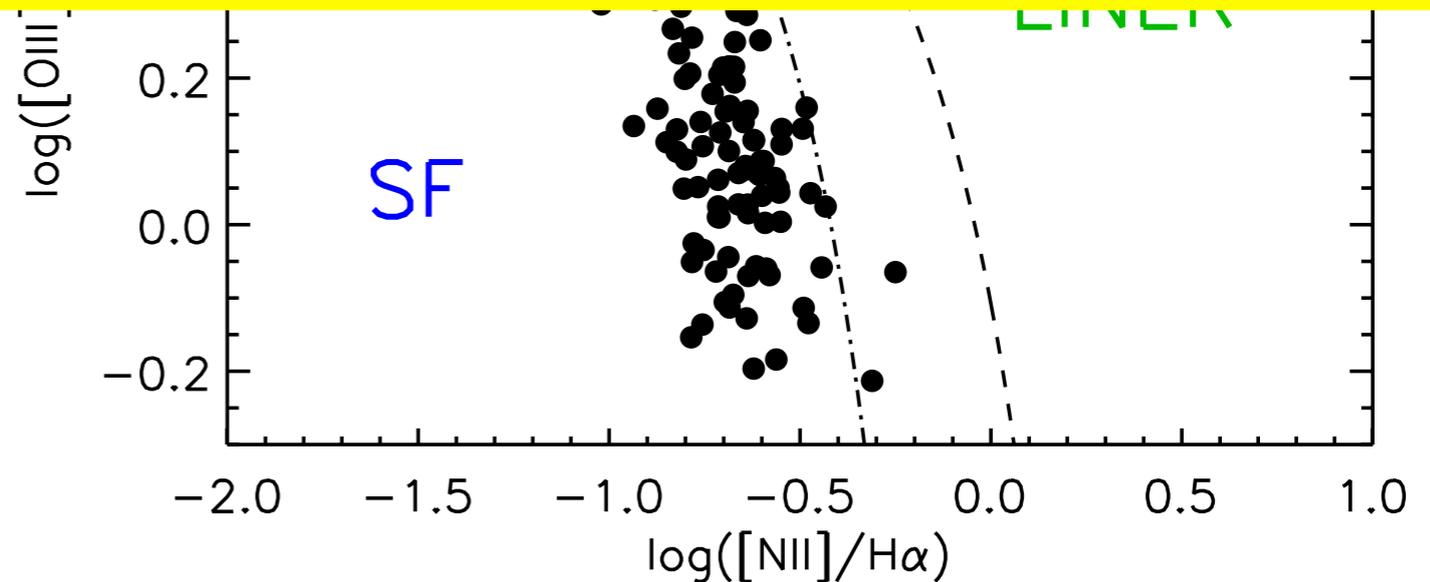
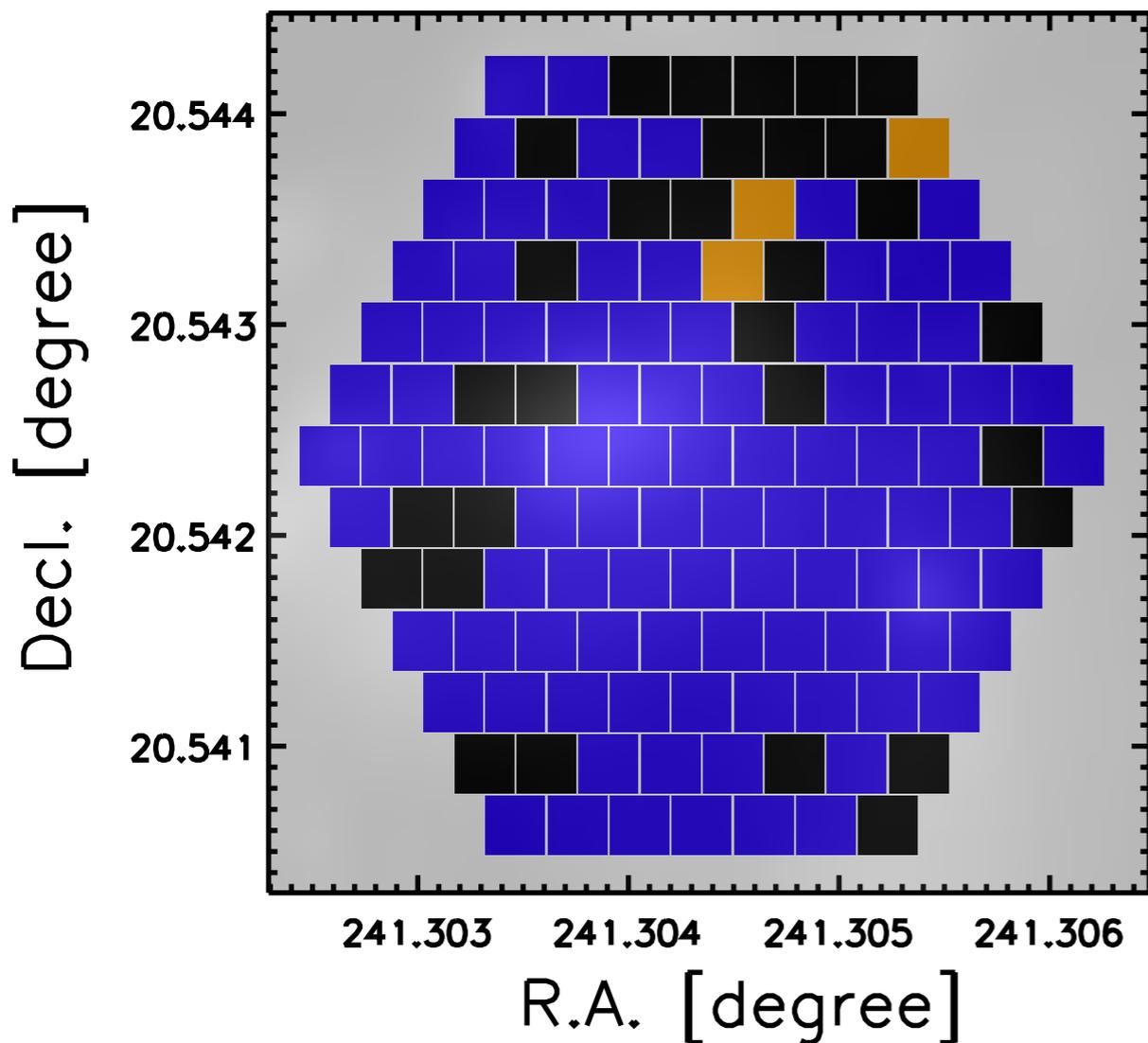
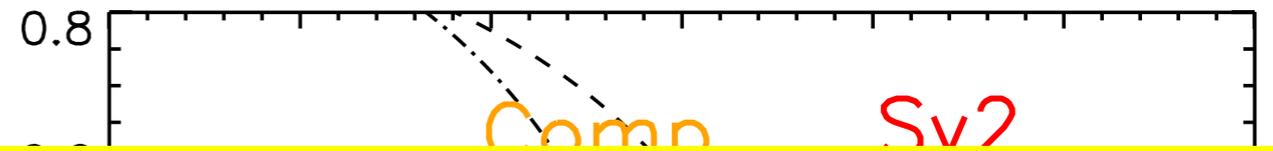


# Spatially-resolved BPT



# Spatially-resolved BPT

星生成活動が系全体で支配的



# まとめ

- 銀河と超巨大ブラックホールの共進化の謎の解明を目指し、KOOLES-IFU を用いた 近傍 U/LIRGs の系統的研究を目指す。
- オートガイド機能 ( $R \text{ mag} < 14$ ) や観測方法を工夫 ( $14 < R \text{ mag} < 17$ )することで、ファイバー中心に天体を導入することに成功 (NGC 1068, NGC 7679)。
- NGC 6052 の輝線比マップ作成に成功。星生成が系全体で支配的である示唆を得た。

END

