

## 極限サイトにおけるPa $\alpha$ 輝線を使った 近傍銀河の形態獲得史解明

舘内 謙、本原 顕太郎、小西 真広、高橋 英則、  
加藤 夏子、北川 祐太郎、西嶋 颯哉、他 TAO メンバー  
(東京大学 天文学教育研究センター)

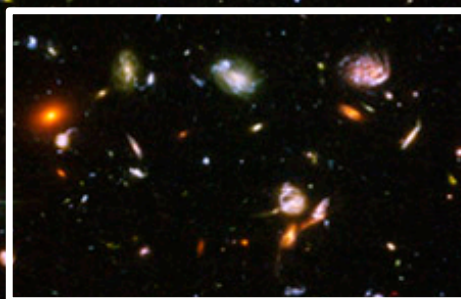




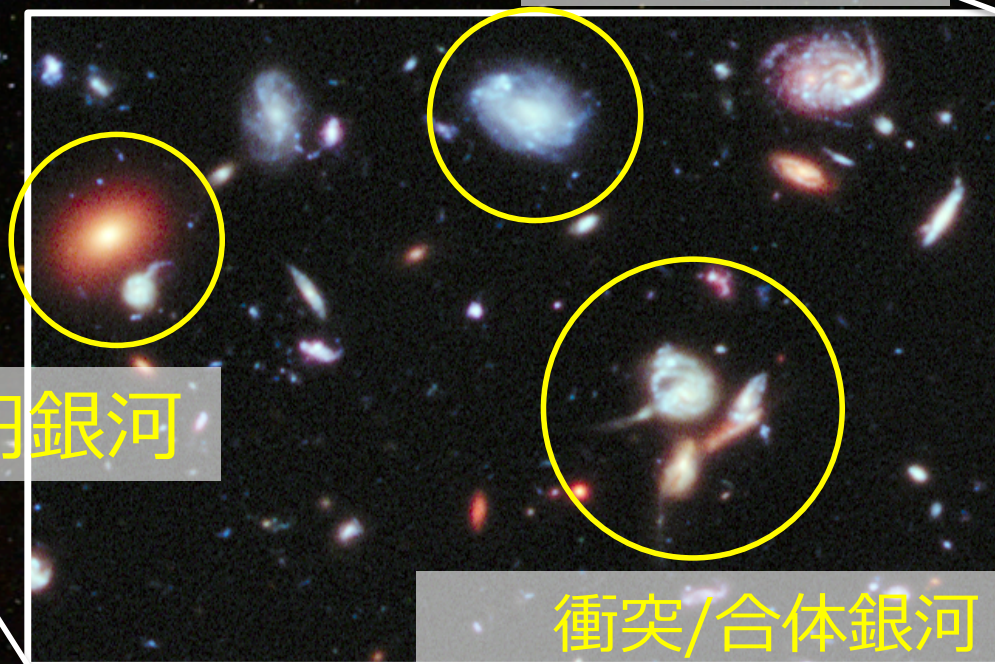
# 銀河形態の多様性



Hubble Ultra Deep Field



渦巻き銀河



楕円銀河

衝突/合体銀河

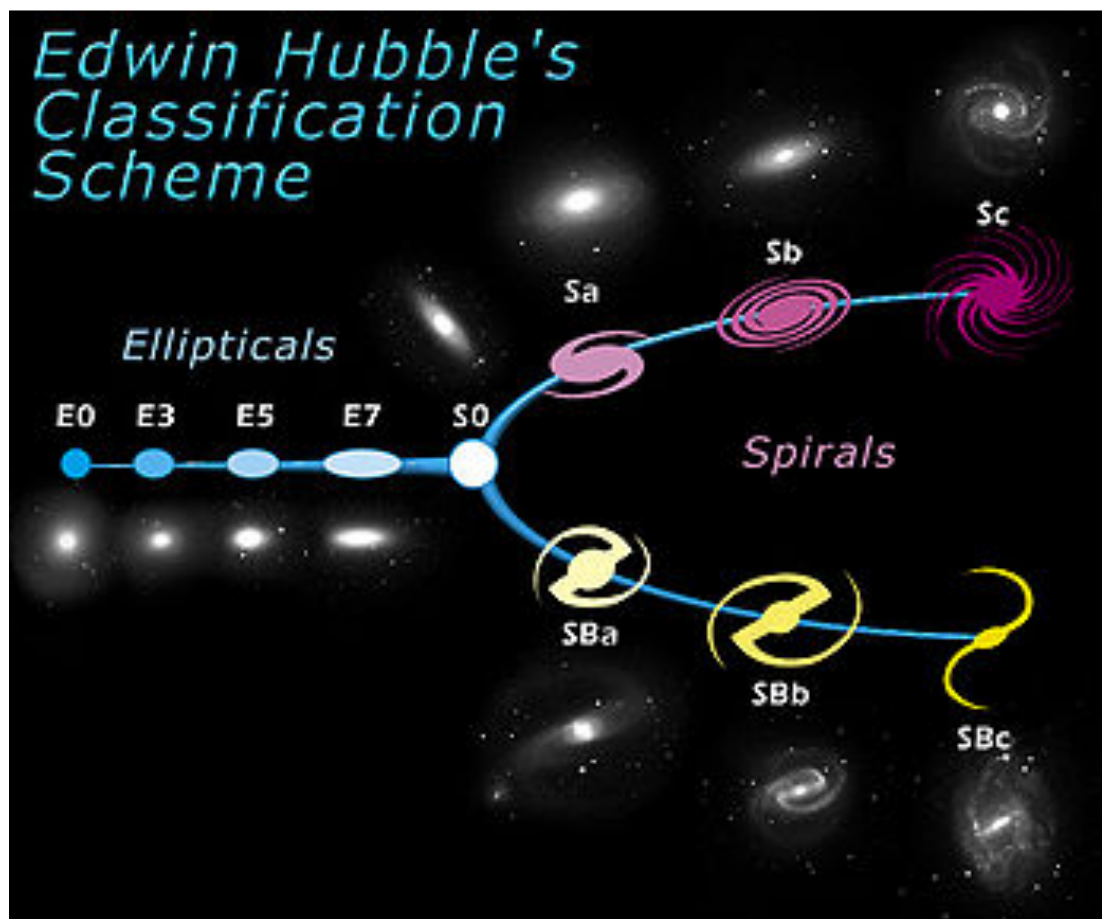
銀河の形態は“いつ”そして“どのように”獲得されてきたのだろうか？



# 古典的形態分類 I



## Hubble-Sandage de Vaucouleurs classifications



楕円と渦巻きは違う形成プロセス? (Fathi & Peletier 2003)





# 古典バルジと疑似バルジ I



Hubble Sequence = “古典的形態分類”：見た目で分類  
 → 渦巻銀河：棒渦巻銀河 ↔ 棒無し渦巻銀河



銀河中心部高密度領域(バルジ)に注目し  
 その力学運動で分類 !!

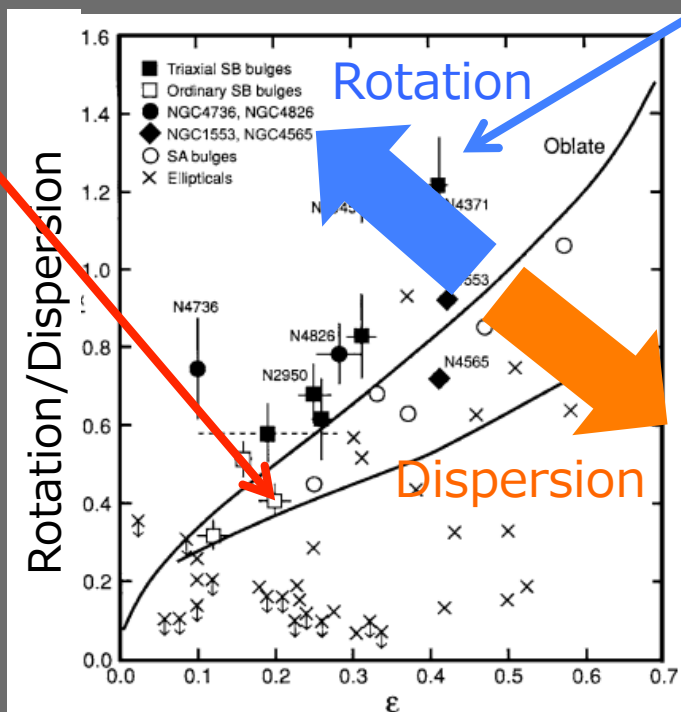
## 物理的形態分類学 (Physical Morphology)



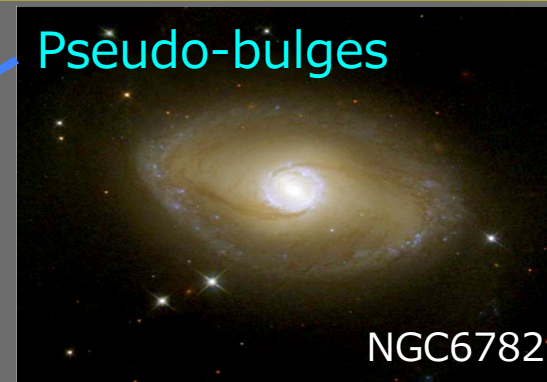
- ① 分散成分が卓越
- ① 膨らんでいる
- ② 比較的古い星の集まり

...

楕円銀河似？



Kormendy (1993)



- ① 銀河回転成分が卓越
- ① 円盤と同様に平板構造
- ② 比較的若い星の集まり

...

銀河円盤似？



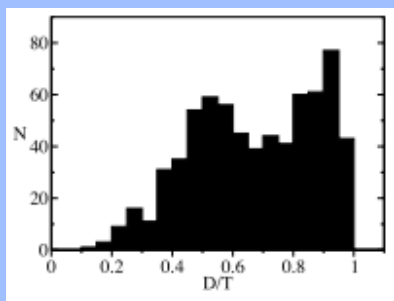


# 古典バルジと疑似バルジ II



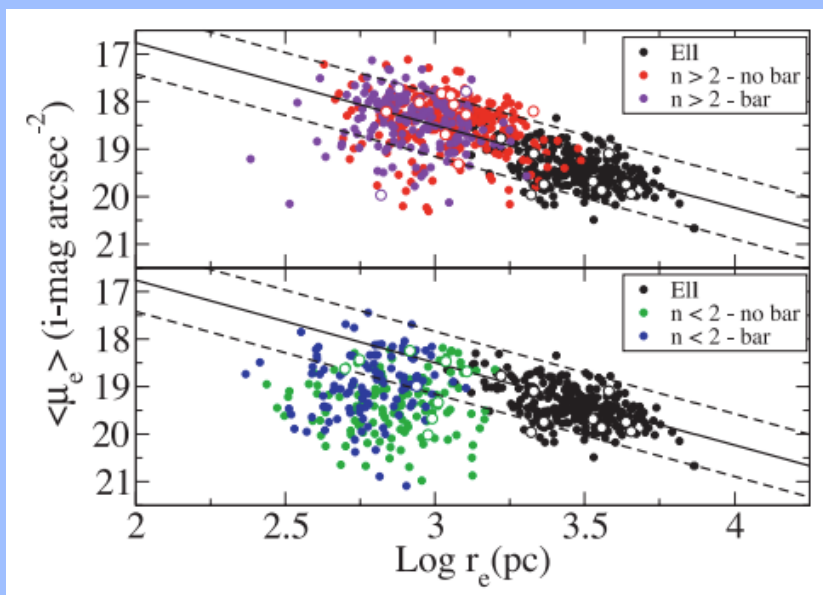
観測的にも性質の違いが指摘されてきた

Gadotti et al. 2009

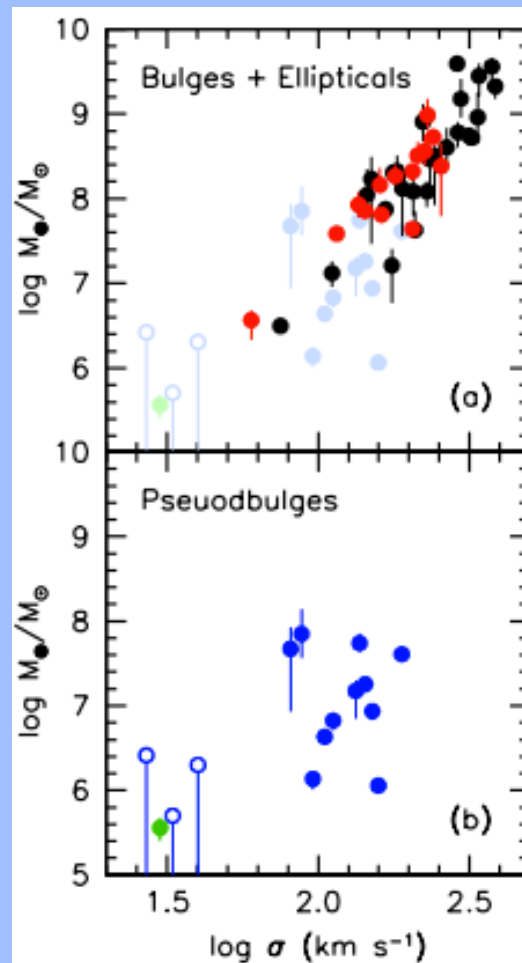


SDSSを使った結果  
→分光による力学分類

Classicalは楕円銀河  
に似た性質?



Kormendy et al. 2011



Classicalと  
PseudoのBH質  
量を調べた

Classical  
→ 重いBH  
Pseudo  
→ 軽いBH

BHの質量に差が  
生まれる?  
でき方が違う?



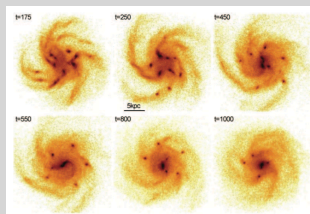
# 形態進化の理論図



Merging/Interacting



Primordial Disk?  
(Elmegreen et al. 2008)



Secular/internal Evolution



Dry Merger?  
(Kormendy+2004)

Gas-rich Merger?  
(Springel+ 2005,  
Kormendy+ 2004)

Kormendy+ 2004

High-redshift starburst?  
(Okamoto+ 2013)



楕円銀河



Classical Bulge

分散



Pseudo/Bulgeless

銀河回転

渦巻銀河

観測による理論検証が必要！





# 高光度赤外線銀河 -LIRGs- I



これまでは...

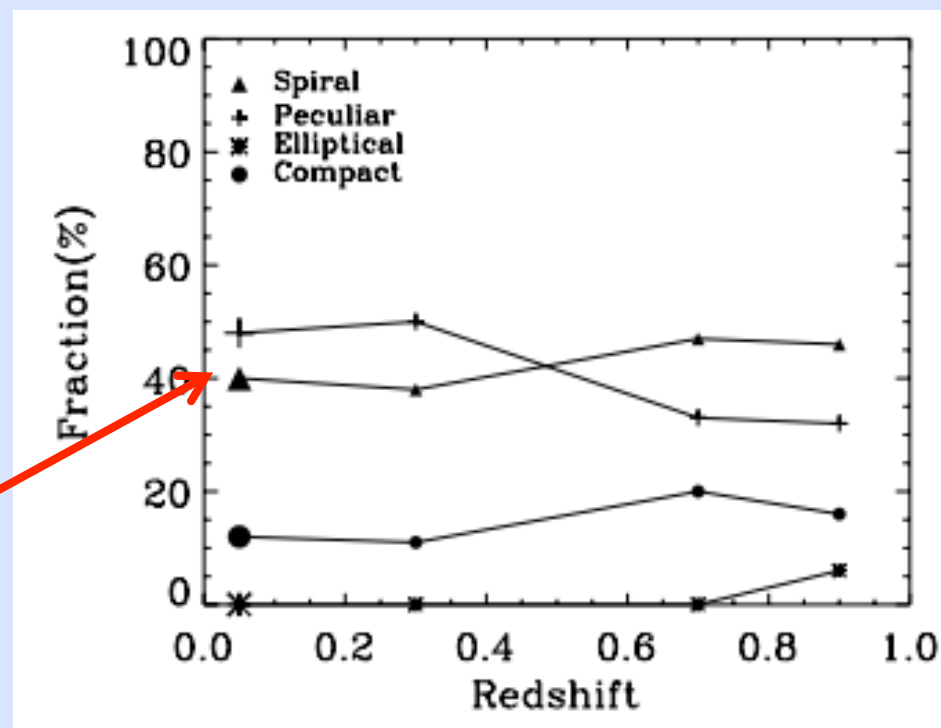
既にバルジが形成されている普通銀河に焦点があてられていた

## Luminous Infra-Red Galaxies

そこで、  
爆発的星形成銀河に注目する

$$10^{11}L_{\odot} \leq L_{\text{IR}(8-1000\mu\text{m})} < 10^{12}L_{\odot}$$
$$10 < \text{SFR} (M_{\odot} \text{ yr}^{-1}) < 100$$

- "今"まさに星形成を行っている  
→ 形態形成を追うにはよいサンプル
- 半数が衝突銀河ではない  
→ 古典, 疑似バルジの形成現場?



Wang et al. 2006

LIRG, LIRGに近い赤外線光度の銀河が最適

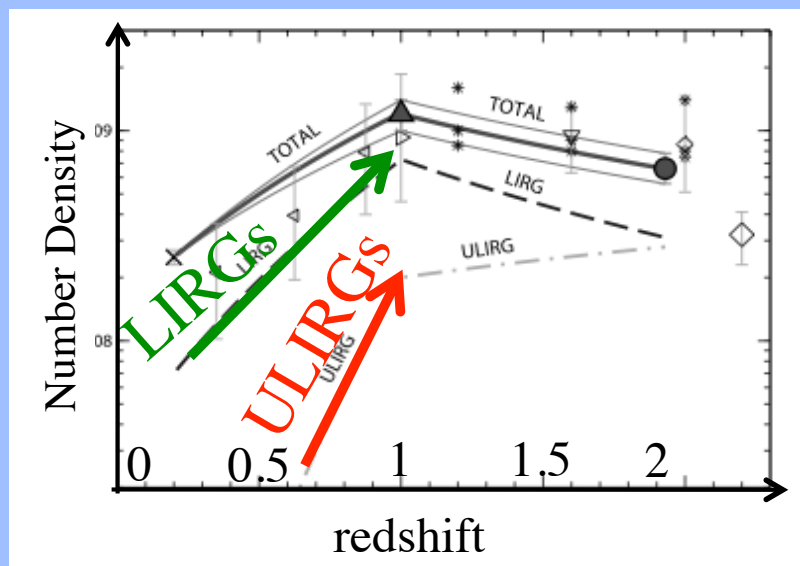


# 高光度赤外線銀河 -LIRGs- II



中・近傍にかけての性質理解が重要

Caputi et al. (2007)

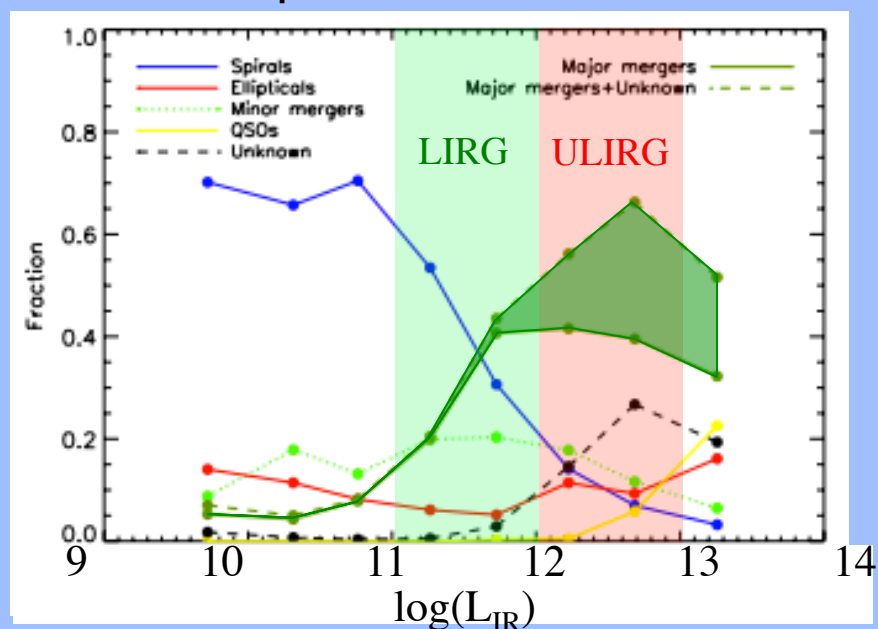


宇宙の活動性

U/LIRGsは近傍ほど数密度が減る

どうやってその活動性を失って  
いったのか？

Kartaltepe+ 2010



赤外線銀河に占める Major Mergerの割合

ULIRGs : 50-80%

LIRGs : 25-40%

バレッジ形成における  
銀河間相互作用の役割とは？

ところが、LIRGはダストに埋もれた星形成を行う





# LIRGsのPa $\alpha$ 輝線(1.875 $\mu$ m)観測



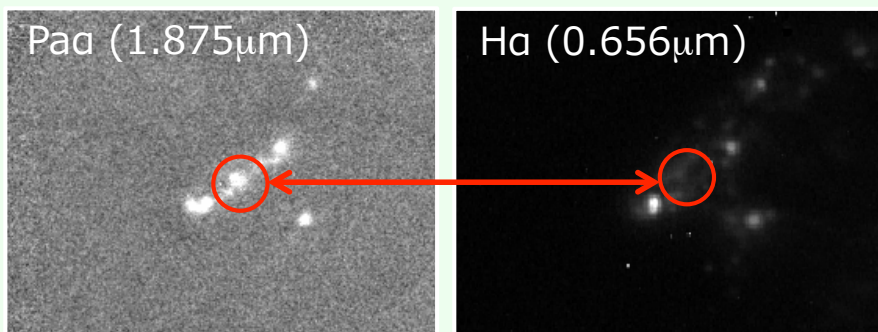
これまでminiTAOを使いPa $\alpha$ 観測を行ってきた



- 5640m チャナントール山
  - 乾燥した大地 (PWV $\sim$ 0.5 $\mu$ m)
- Konishi et al. inprep

主鏡口径 1m  
カセグレン  
最終F比 12  
視野直径 10'

## Pa $\alpha$ 輝線の威力



VV254 (Komugi et al. 2013)

- ① 無バイアスの直接的星形成トレーサー
- ② NIRの水素再結合線では最も放射強度が強い
- ③ **ダスト減光に強い**
- ④ 遠・中間赤外線に比べてNIRなので高い空間分解能を達成できる

Pa $\alpha$ 輝線でダスト、バルジ内部の星形成を見通す！



# 極近傍～近傍までのサイエンス



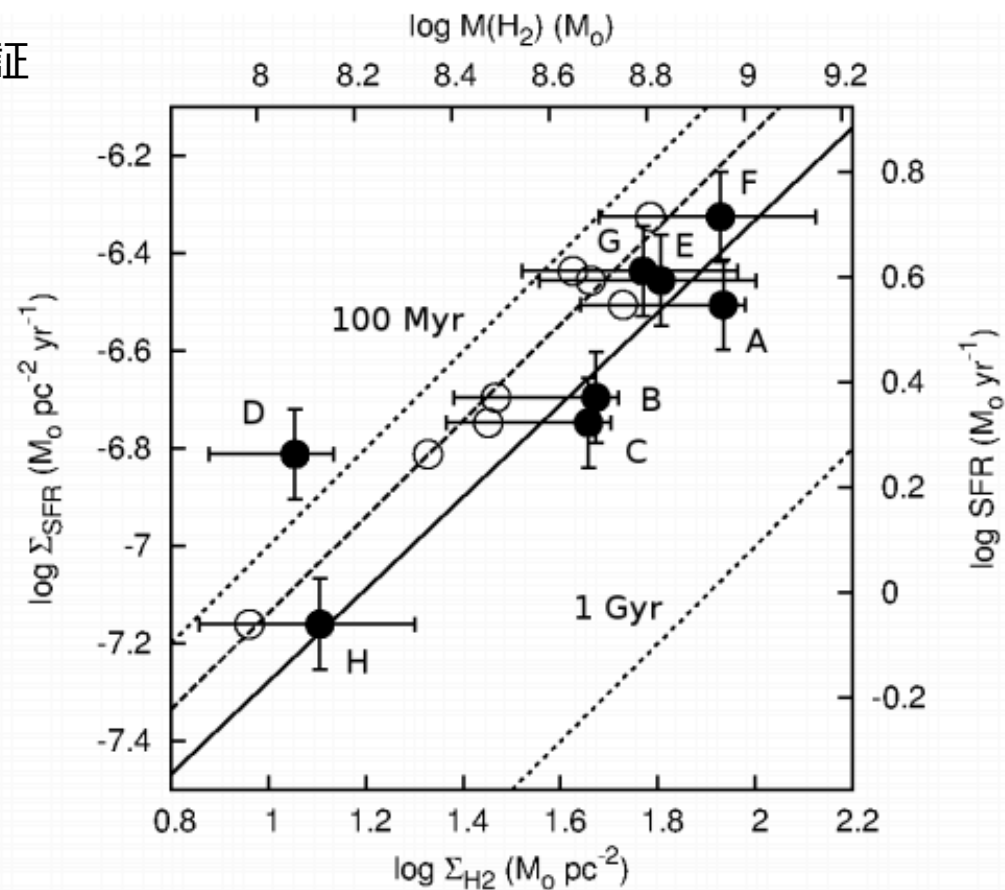
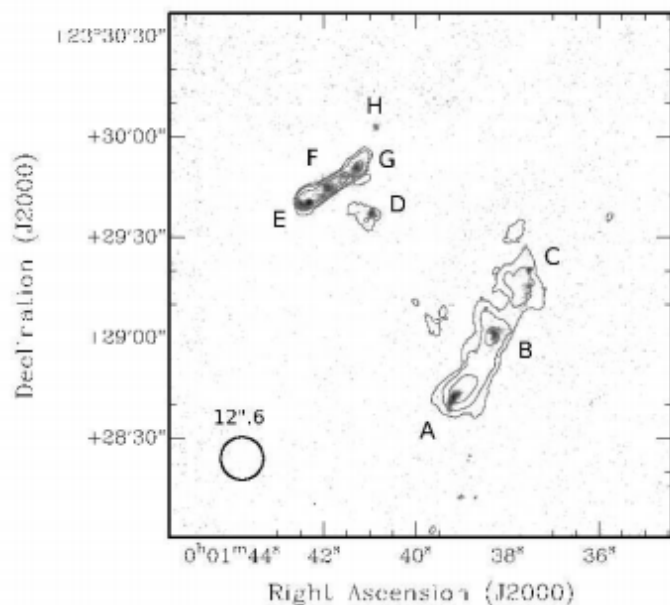
LIRGを対象にした形態進化の理解

→ 巨大分子運スケール 数百pc ~ 銀河スケール 数kpc



Pa $\alpha$ を使ったSK-lawの検証

- VV254
- 衝突後20Myrほど
- 年齢が揃うとtight



pcスケールで分解し、starburst機構解明を目指す

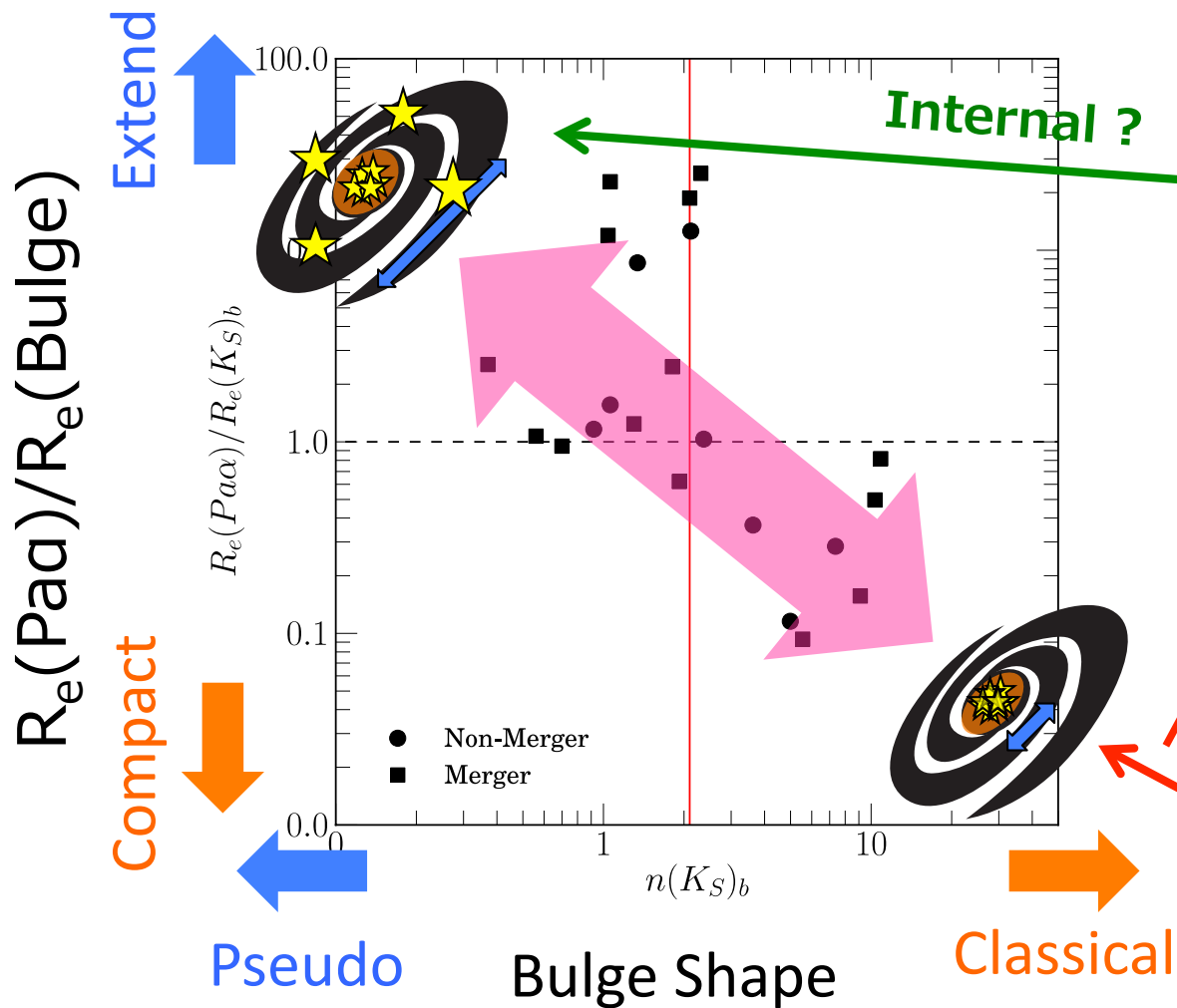




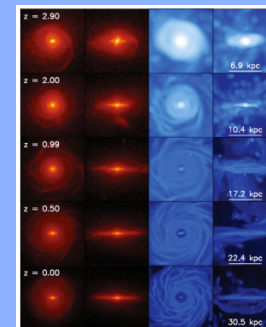
# バルジの構造と星形成



バルジの形と星形成領域の広がりを見出す

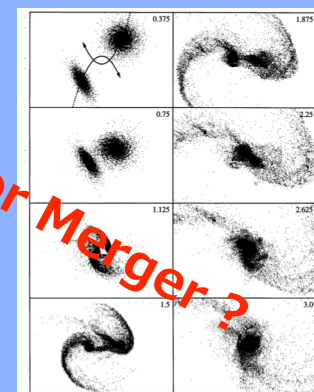


Barred-end、腕構造  
に沿った星形成活動



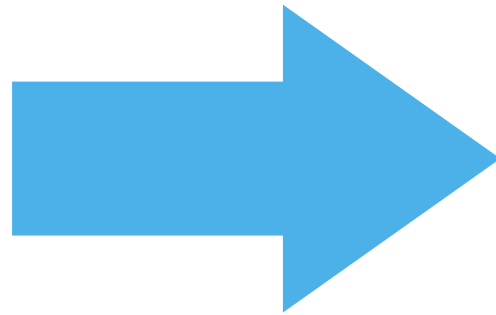
Okamoto+ (2013)

銀河中心部分  
での星形成活動



Barnes & Henquist (1996)

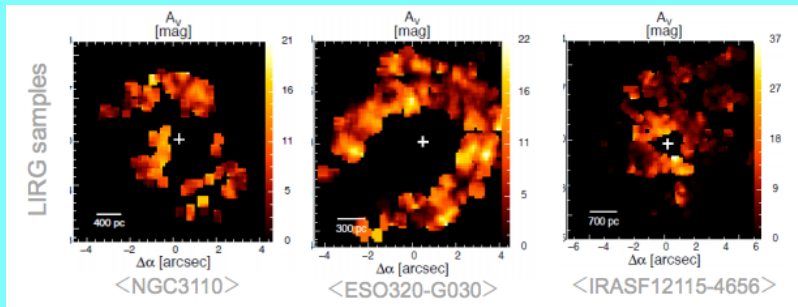
kpcスケールでの銀河の統計的議論から性質を探る



# 物理的形態分類学

## 南極望遠鏡でのサイエンス

近傍銀河  $z \sim 0.01$

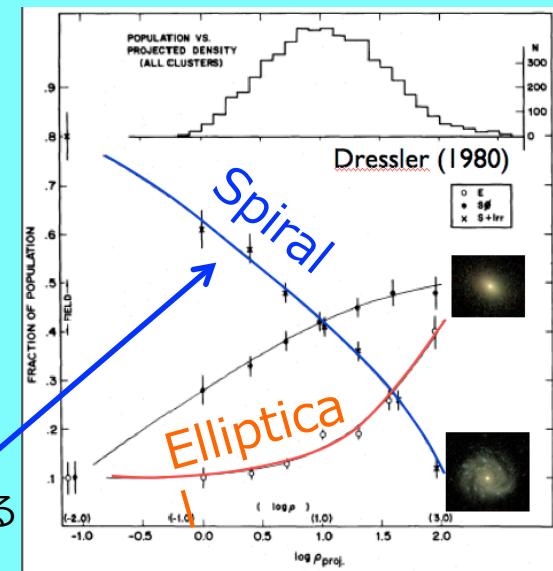


高空間分解による爆発的星形成メカニズム解明

中間赤方偏移  
 $z=0.1 \sim 1.5$

バルジの分類  
環境効果

例)  
右図にClassicalと  
Pseudoの分類を加える

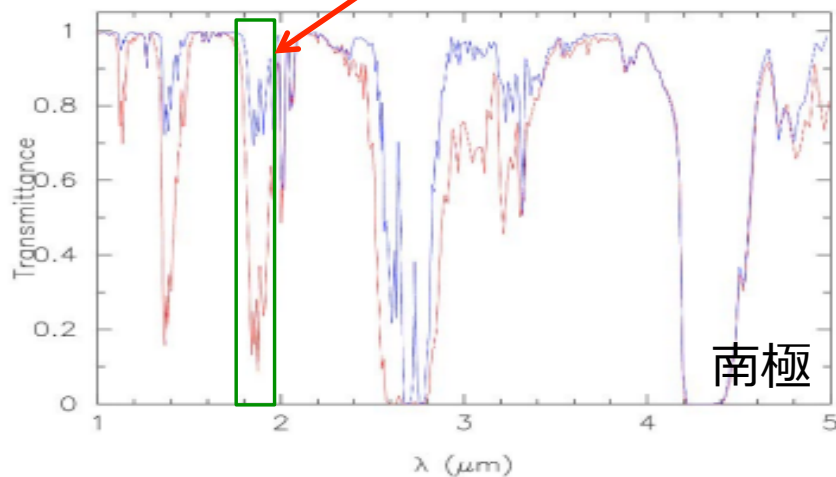
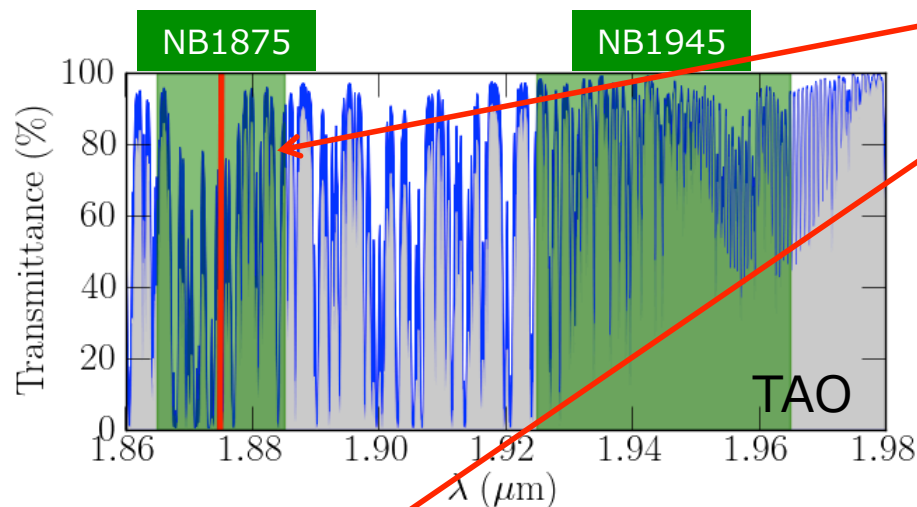




# 近傍銀河のPa $\alpha$ による高空間分解観測

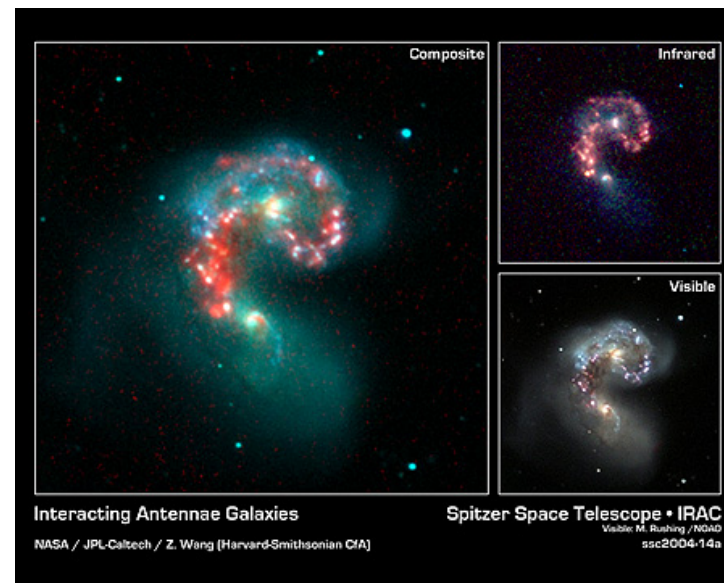
狭帯域フィルターによるPa $\alpha$ 観測

→ TAOでは難易度が高い  $cz = 0 \text{ km/s} \sim 4000 \text{ km/s}$  帯



近傍銀河

- ・視野全面に広がる大きな構造
- 大気透過率の安定性が重要



電波分野のデータが多く揃う

(NRO-COアトラスなど)

→ガスと星形成の比較が容易に可能

ダストに埋もれた爆発的星形成機構の解明を目指す





# 中間赤方偏移帯での環境効果の検証

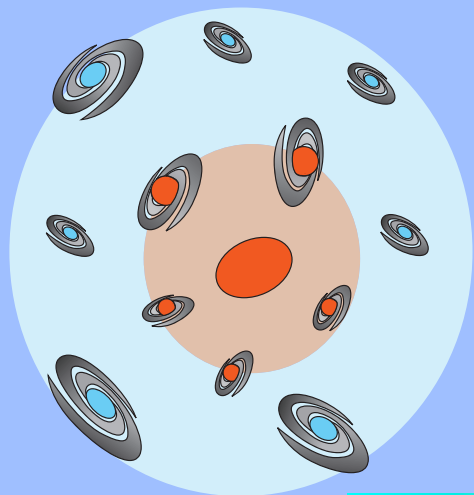
広帯域Kdark, 3.4um, L', M' でバルジの形を評価

狭帯域フィルターを幾つか用意 (z=0.2, 0.8, 1.0, 1.5)

→ miniTAOで行ってきたサイエンスをクラスターへと延長させる

## 近傍銀河団

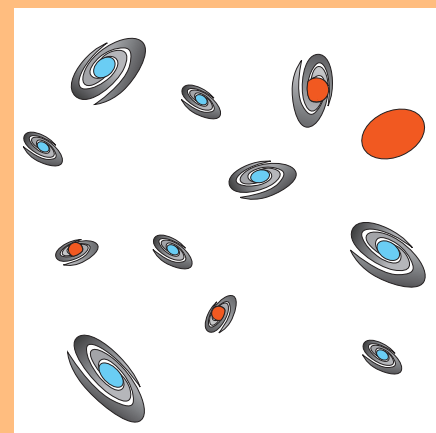
z = 0.2 ~ 1.5までの Herschelソース  
(LIRG, ULIRG, SMG)など  
→ bulge-disk decomposition



Cluster

## 近傍フィールド

COSMOS Field ?  
New fields by HSC ?



Field

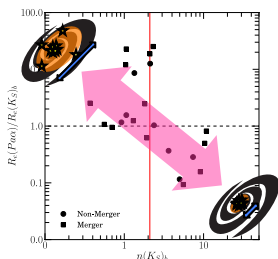
銀河団とフィールドにおける  
ClassicalとPseudoの割合の違い

環境による違いの検証 + 遠方SMG, ULIRG, LIRGのPa $\alpha$ 撮像観測



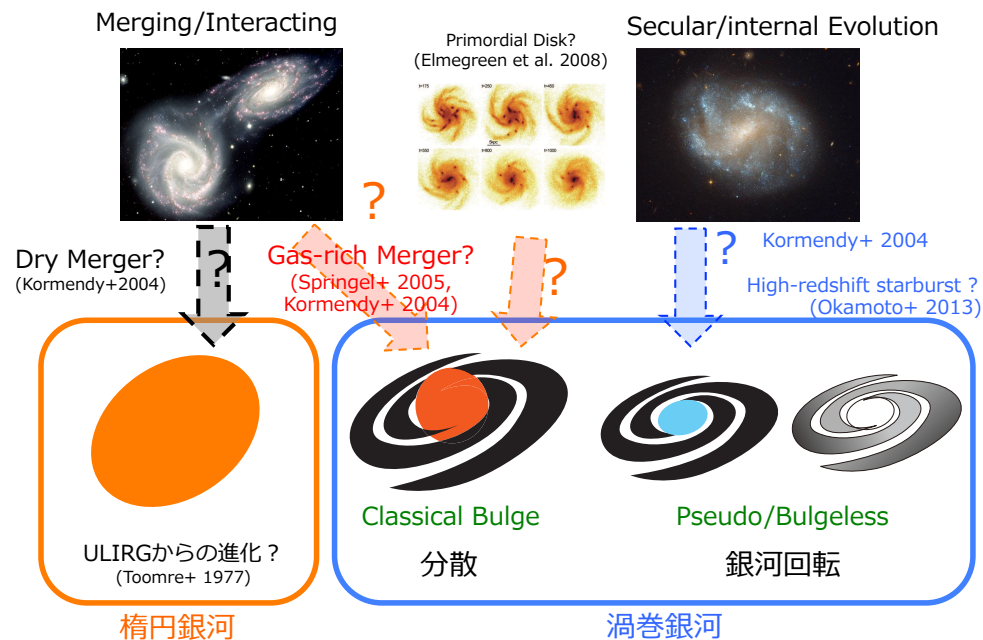
# まとめ

理論予測を観測的に検証！



Paaの近傍LIRG観測：バルジの形 (Ks)とPaaの広がり を評価  
 Classical: compact starburst  
 Pseudo : extended starburst  
 という法則を発見した

Paa輝線観測は強力！



## PENGUIN Project –Paaによる中・近傍銀河サーベイ–



Pachen-a Emission line of Nearby Galaxies  
 by UsINg the south pole telescope Project

- 近傍銀河の高空間分解能Paa狭帯域観測  
 → 0 km/s ~ 4000 km/s フィルターが必要
- Paaでz~1まで追う！中遠方LIRG, ULIRG, SMG  
 → Kdark, 3.4um, L', M' に狭帯域フィルター  
 → 銀河団領域を狙い、環境効果も視野に



## 欲しい機能

Pa $\alpha$ の狭帯域観測を行いたい

- 近傍( $z=0$ )~中遠方( $z=1.5$ )のPa $\alpha$ を狙う

南極望遠鏡の強み(TAOとの比較も含めて)

- 後退速度( $cz=0\sim 4000$  km/s) の近傍銀河Pa $\alpha$ 観測

TAOでは辛い。南極なら可能！多波長データが揃っている（電波データが豊富）

近傍Merging銀河(VV253, VV114, アンテナ銀河など)の高空間分解観測によるstarburstメカニズムの解明

- Kdark, 3.4 $\mu$ m, L', M' に対応したPa $\alpha$ 観測( $z=0.2, 0.8, 1.0, 1.5$ )

TAO近赤外SWIMSでは届かない。中間赤外MIMIZUKUでは視野が2".0と狭い。

ハーシェル銀河, SMG, ULIRG, LIRGなどdusty銀河のPa $\alpha$ による高空間分解観測

フィルターの置き方は, 他のサイエンス(H $\alpha$ など)と共存できると思われる

→ ある程度有名なクラスターを狙ってフィルター配置

## PENGUIN Project - Pa $\alpha$ による中・近傍銀河サーベイ -



Pachen- $\alpha$  Emission line of Nearby Galaxies  
by UsINg the south pole telescope Survey

- 近傍銀河の高空間分解能Pa $\alpha$ 狭帯域観測

→ 0 km/s ~ 4000 km/s フィルターが必要

- Pa $\alpha$ で $z\sim 1$ まで追う！中遠方LIRG, ULIRG, SMG

→ Kdark, 3.4 $\mu$ m, L', M' に狭帯域フィルター

→ 銀河団領域を狙い、環境効果も視野に