



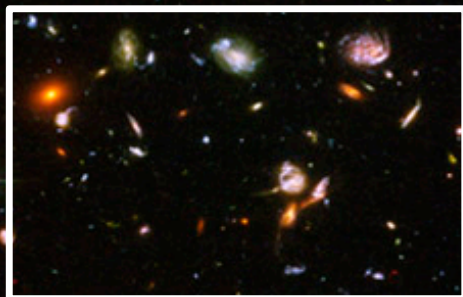
miniTAO近赤外線カメラで探る チリに埋もれた爆発的星形成銀河の形態形成

● 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、TAOプロジェクトメンバー

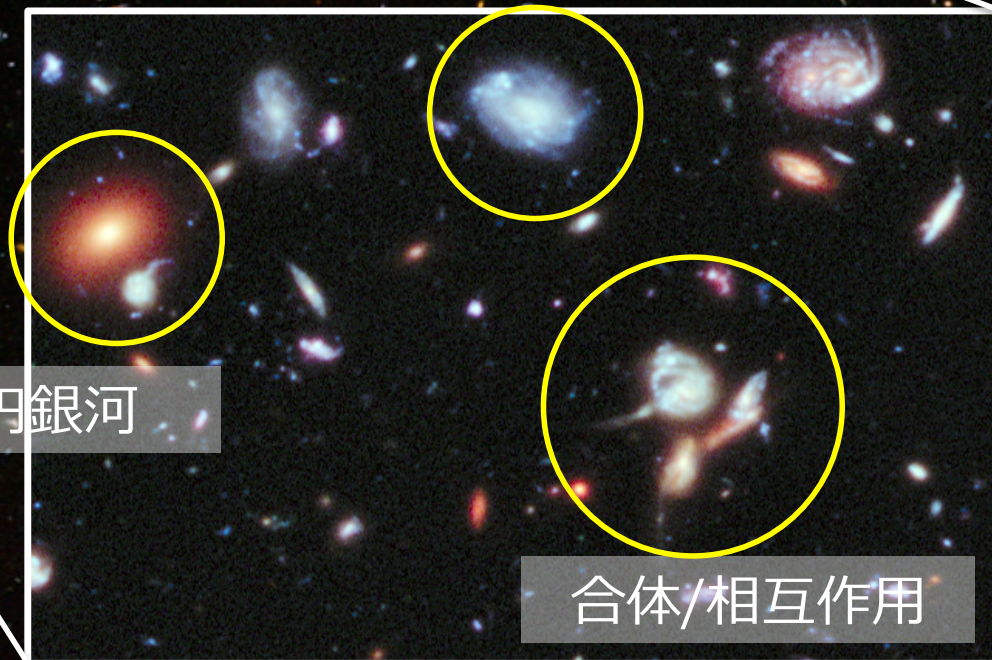


銀河の形態

Hubble Ultra Deep Field



渦巻銀河



楕円銀河

合体/相互作用

様々な「形」の銀河がある
こうした「形態の多様性」はどのように獲得されてきたのだろうか？

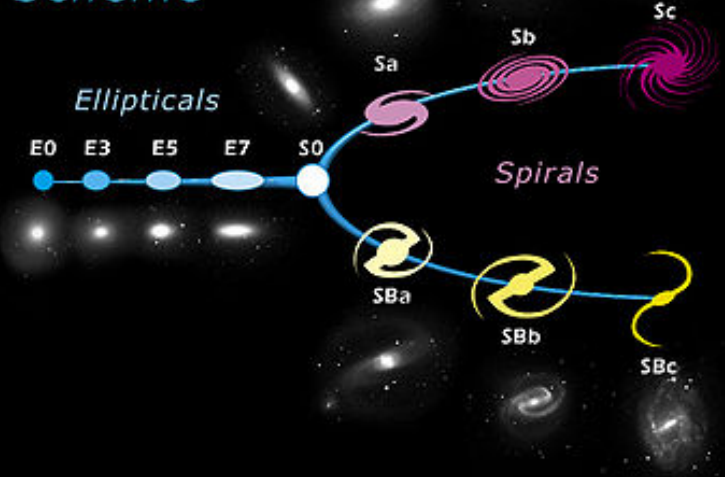


古典的形態分類と物理的形態分類

Hubble-Sandage de Vaucouleurs classifications (ハッブル分類)

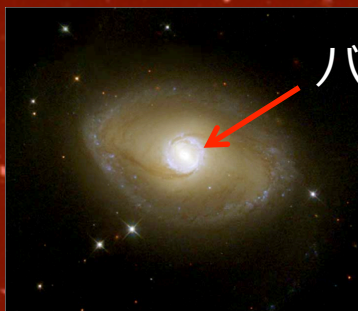
→可視による形態分類（見た目の分類；古典的形態分類）

Edwin Hubble's
Classification
Scheme



楕円銀河と渦巻銀河のできかたは、同じ系列の形成シナリオで説明可能？

→ NO ! (Kormendy & Kennicutt 2004)



バルジ

Physical Morphology (Zwicky 1957)

力学的な現象により形態进行分类する

→ 内的/外的な力学変化など

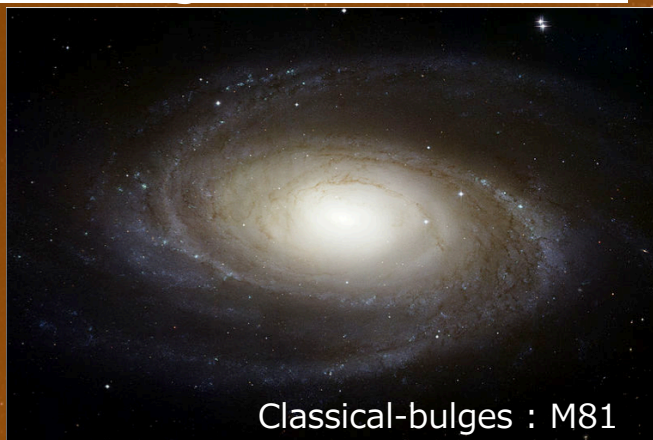
特に、各銀河のバルジの形を見る事で
銀河の形成シナリオに迫る事ができる？！



バルジ形成から探る銀河の歴史

バルジには2種類存在する
→ 古典的バルジとディスクバルジ

Classical Bulge (古典的バルジ)



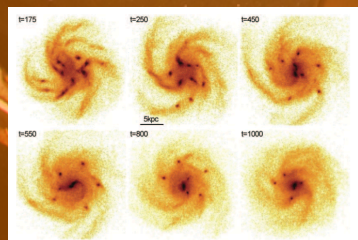
Classical-bulges : M81

バルジの形

楕円銀河のような形

バルジの星

比較的古い星が多い
 α/Fe 比も大きい

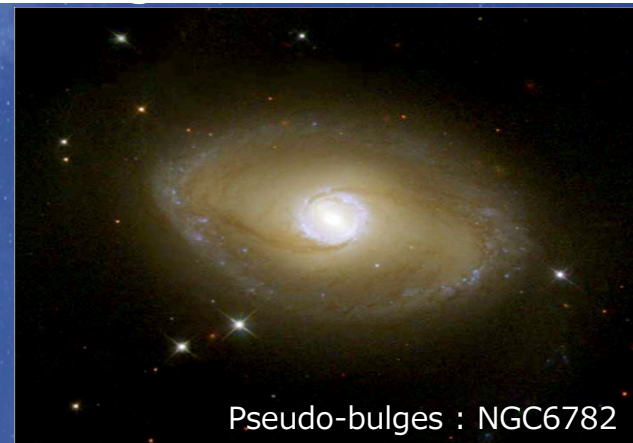


Elmegreen et al. 2008

理論的形成シナリオ

1. 銀河の衝突/合体
→ Hernquist & Barnes 1991
2. ガス降着
→ Steinmetz & Muller 1995
3. 原始ディスク
→ Elmegreen et al. 2008

Pseudo Bulge (ディスクバルジ)



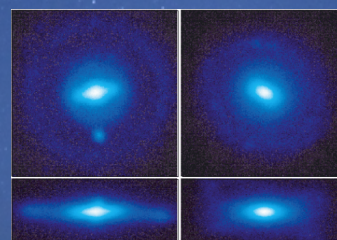
Pseudo-bulges : NGC6782

バルジの形

ディスクのような形

バルジの星

若い星も多い



Okamoto 2013

理論的形成シナリオ

Secular evolution
bar構造などによる進化
→ Combes &
Sanders 1981 など

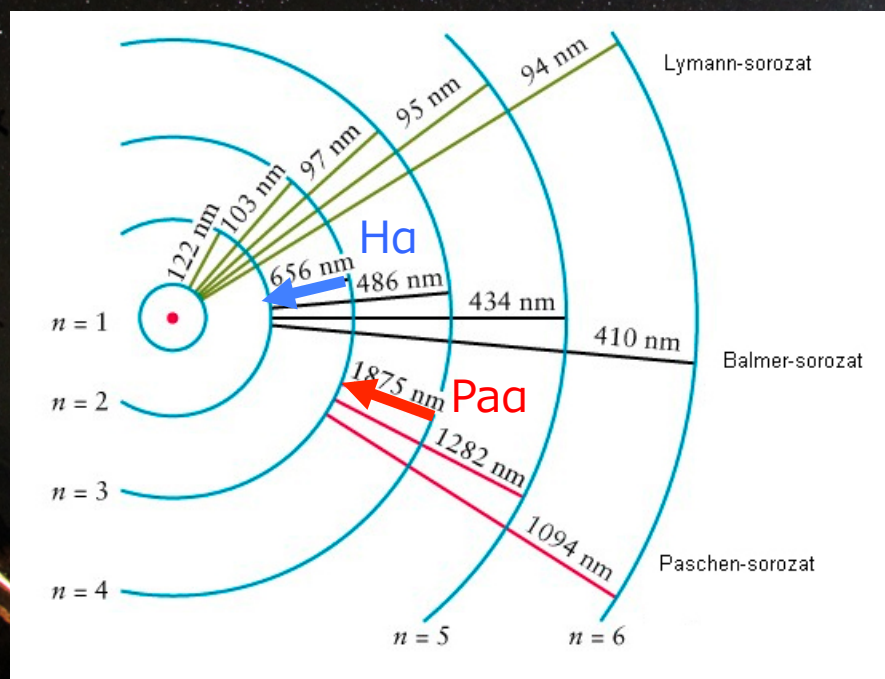
理論研究が先行しており、まだまだ観測的にはよく分かっていない
→ バルジ内部を直接観測！



水素再結合Pa α 輝線(1.875 μ m)

バルジ内部を直接観測することでメカニズムを解明
→バルジ部分はダスト減光の影響が大きい

Pa α 輝線を使ってバルジ内部を見通す！



- ① 星形成領域の直接のトレーサー
→ ~ 10 Myr くらいの指標
- ② ダスト減光に強い赤外線放射
→ 中心部まで見通せる
- ③ 赤外線内では放射強度が一番強い
→ より面輝度の低い部分まで見られる
- ④ 近赤外線領域なので高空間分解が可能
→ 遠・中間赤外線に比べて
→ バルジの内部を分解できる

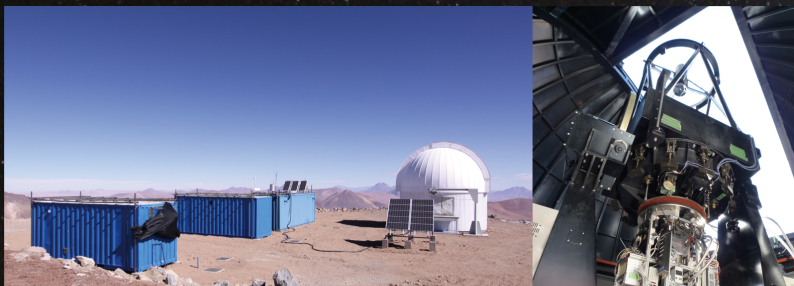
Pa α の帯域は、大気中の水蒸気による吸収が激しいため
地上からでは観測困難であると思われていた



東大アタカマ天文台

砂漠地帯の高所で観測すれば大気の影響を受けにくい

→ アタカマ砂漠, チャナントール山頂(5600m)

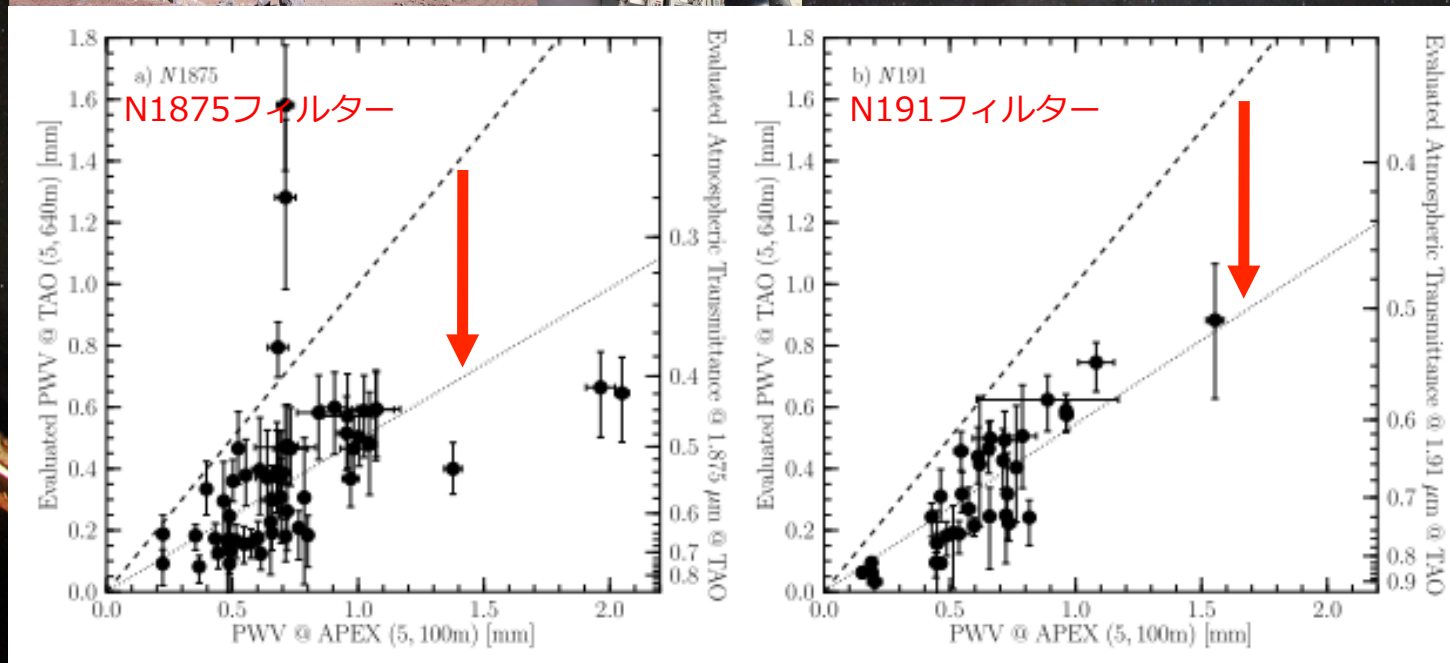


miniTAO 1m 望遠鏡

→ 6.5mのパイロット望遠鏡

Atacama Near IR camera (ANIR)

→ miniTAO用近赤外線カメラ



←TAOサイトと麓の
平原(5100m)の水
蒸気量(PWV)比較

Pa α は大気中の
水蒸気量に特に敏感
→ TAOサイトなら
麓の平原の**半分**!

現在、Pa α 輝線を安定して観測できる唯一の天文台



ANIRの威力

2009年のファーストライトより安定的に観測を行ってきた

①

ダストに埋もれた星形成をとらえる

→ 従来のトレーサーでは見られない

→ 中心部分までしっかり見られる

②

広い視野で銀河全体をとらえる

→ HSTでは視野が限られる

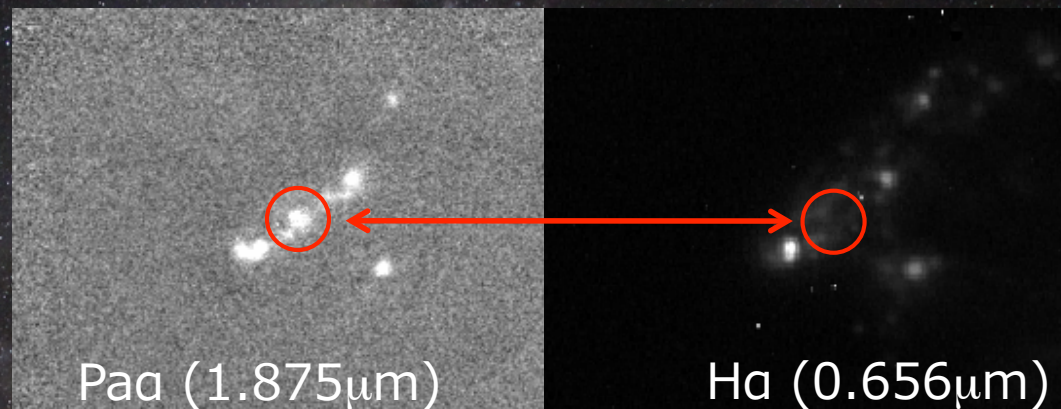
#現在NICMOSは取り外されている

→ 銀河形態を議論するには必要不可欠

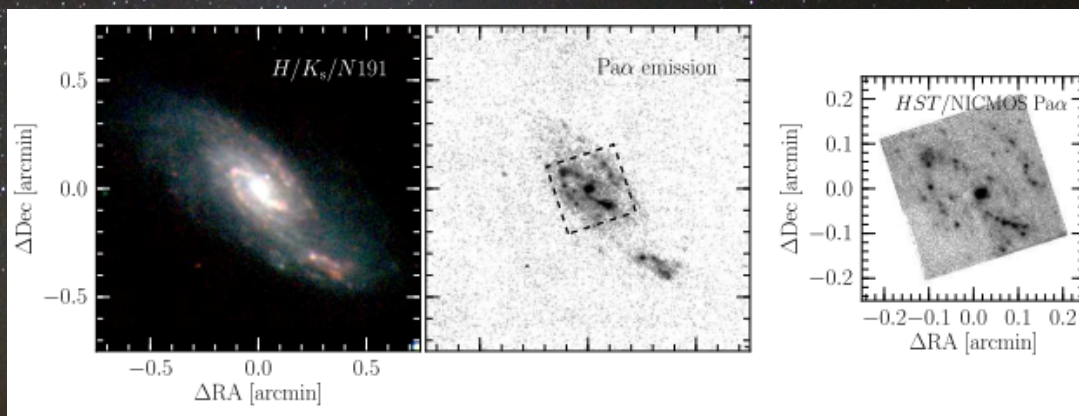
③

高い空間分解能が達成可能

→ $0''.8$ (中央値)で銀河を分解可能



ダストを見通すPaα (VV254 Komugi et al. 2012)



これまでより広視野 (Konishi et al. 2013, in prep.)

Paαで星形成の“現場”をとらえる



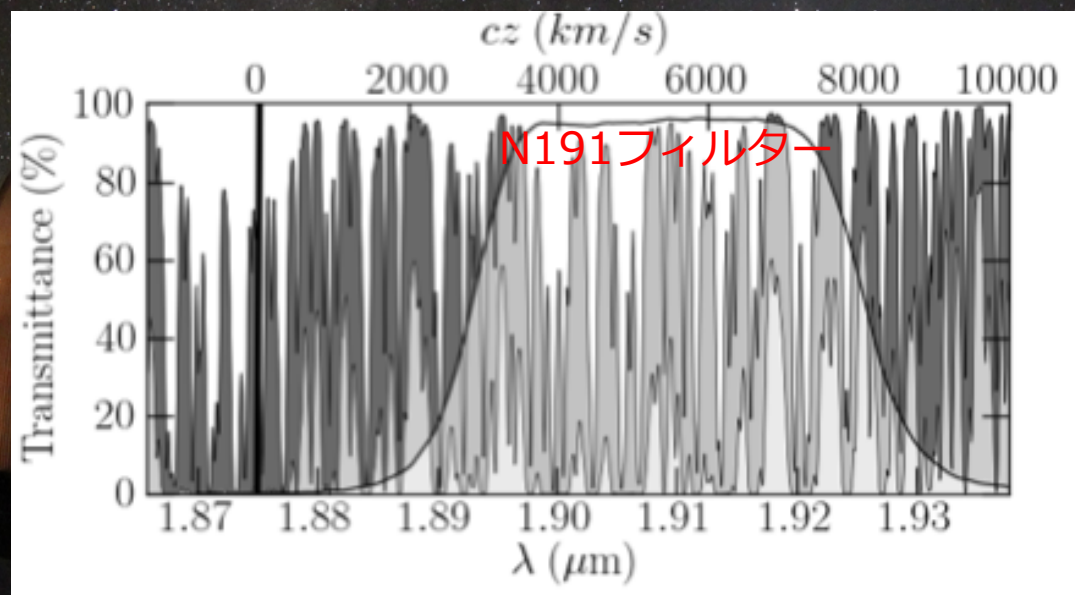
爆発的星形成銀河のバルジ形成

Classicalは楕円銀河っぽく、Pseudoはディスクっぽい
→ 星形成活動との関連。特徴的な違いがあるのか？

サンプル & 観測

→ターゲット：星形成活動が活発な赤外線銀河

- ① 2009年～2012年まで計6回の観測ラン → ANIR/Pad近傍銀河サーベイ
- ② ANIR/N191の狭帯域撮像観測
- ③ 全部で38天体観測



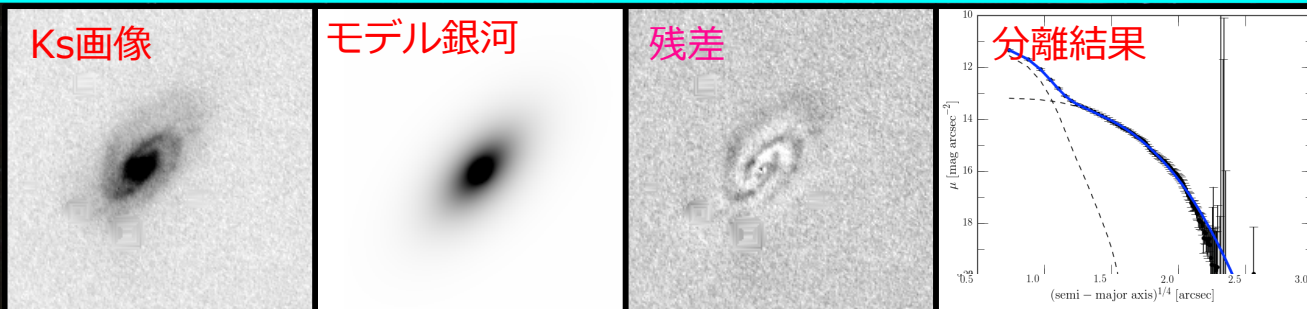
大気透過率
濃い灰色：TAOサイト
(5600m)
薄い灰色：VLTサイト
(2600m)



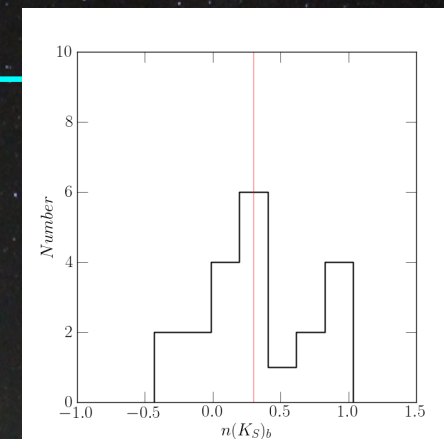
バルジ・ディスクの分離

バルジ・ディスクの分離と星形成領域(Pad)の広がり の測定

モデル銀河によるバルジ・ディスクの分離

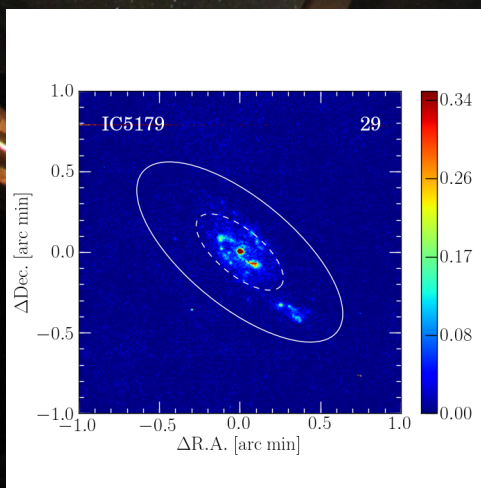


バルジを Sersic 関数でフィット
→ 2.3以上が Classical bulge(Fisher & Drory 2008)



本サンプルのSersic Index
のヒストグラム

星形成領域の広がり



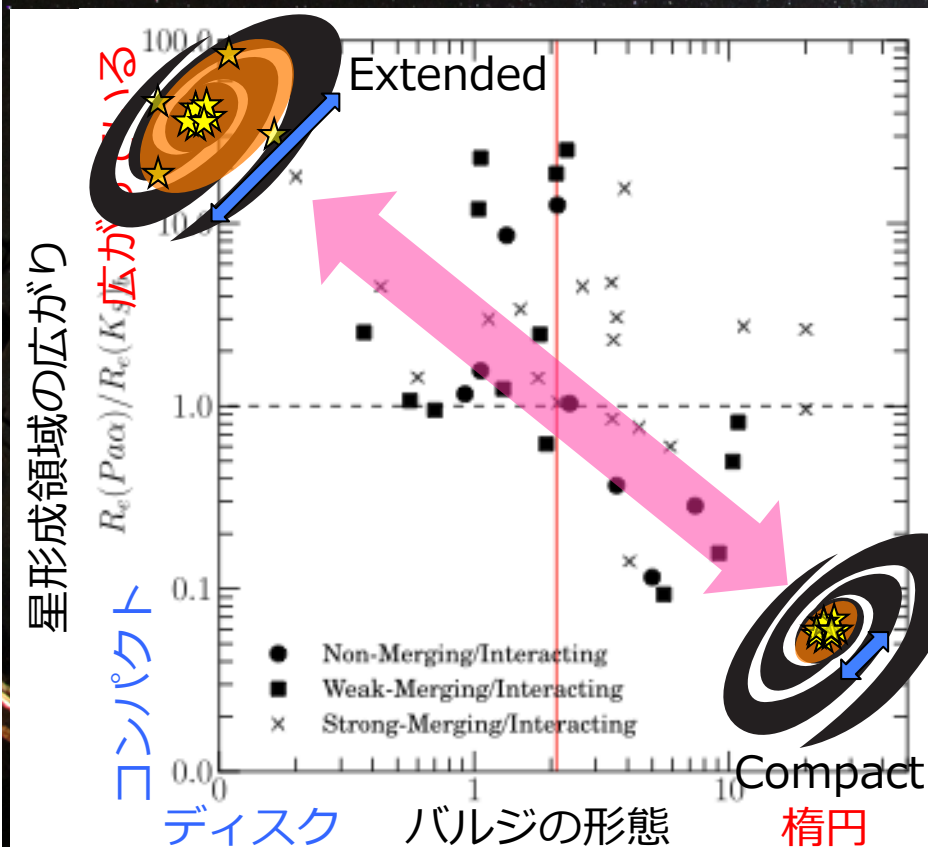
- Pad輝線画像を楕円フィット
全Pad光度の50%になる領域を「広がり」と定義
→ 長軸を「星形成領域の大きさ」として評価
- 比較のため、上記モデルフィットした時に
バルジの大きさも得ている

星形成領域の広がり とバルジの形を比較する



星形成領域とバルジの形の比較

星形成領域の広がりとバルジの形を比較



X軸 : Sersic-Index (バルジの形態)

→ 2.1以上 Classical bulge
(Fisher et al. 2008)

Y軸 : 星形成領域の広がり (小ささ)

→ バルジの半径で規格化
1.0 → バルジとほぼ同じ大きさ

バルジの Sersic-Index が高い

→ コンパクトな領域で星形成
中心集中度が高い

バルジの Sersic-Index が低い

→ 広がった領域で星形成
ディスク上でも活発に星形成

バルジの形による星形成領域の広がりの違いを発見！
→ Pacにより中心部まで評価できたから (しかし、なぜ違ってしまうのか？)



バルジ形成史の違いによる解釈

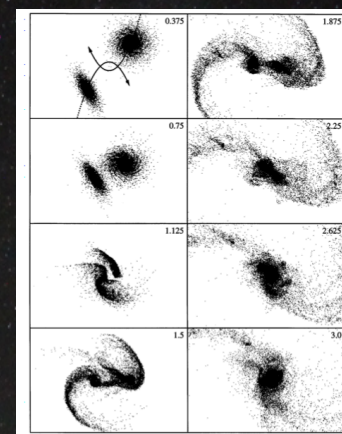
2種類のバルジは、そのでき方に違いがあると考えられている

中心集中型星形成を行うClassicalバルジ銀河

- Classicalバルジは、過去 major-merger を経験している
→ (Kormendy & Kennicutt 2004, e.g.)
- Merging現象により、星もガスも中心集中する
→ 効率的に角運動量が抜けるため (Barnes & Henquist 1996)

こうして作られる中心集中した銀河のポテンシャルに沿って星形成は行われている？過去の歴史を反映？

→ ディスクを壊さず大規模な衝突によりバルジを作れるのか？

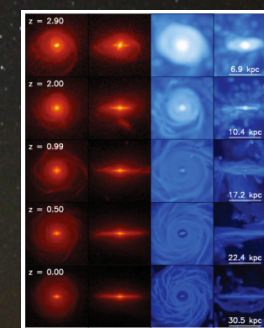


Barnes & Henquist (1996)
によるシミュレーション

広がった星形成を行うPseudoバルジ銀河

- Secular な進化をしてきたと考えられている (Okamoto et al. 2013)
→ ディスク、スパイラルアームでも星形成が活発で、バー構造により促進される

中心部分でも星形成を行っているが、バルジの外側(ディスク上)でも多くの星形成を行っている。→ 本結果は理論的な描像と一致



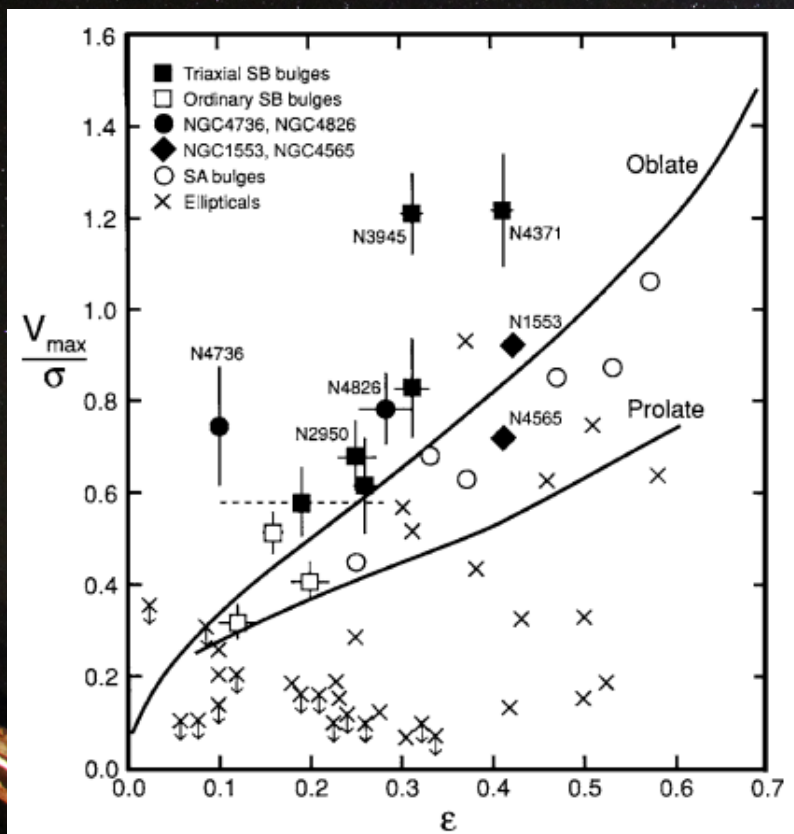
Okamoto (2013)
によるシミュレーション

Classical、Pseudoバルジ銀河では、
それぞれ別々の星形成メカニズムが働いている？



力学的メカニズムの違いの可能性

Classical/Pseudoバルジ銀河では回転/分散のどちらが卓越？



Binney & Tremaine (1987); Kormendy (1993)

黒シンボル：Pseudo-bulge銀河

→ 回転サポート

Secular evolution が影響している？
(Okamoto 2013, e.g.)

白シンボル：Classical-bulge銀河

→ 分散が回転に比べ大きい

過去の Merging が影響している？
(Kormendy & Kennicutt 2004)

今回発見した

「バルジ形態と星形成領域の広がり」

の原因は、

そもそも、こうした星形成メカニズム
の違いが起因しているかもしれない

さらに、星形成領域だけでなくその元となる分子ガスの、
力学メカニズムにも違いが現れることが期待できる



miniTAO/ANIRとの多波長連携

電波との連携を進めている → 星の元となるガスの観測

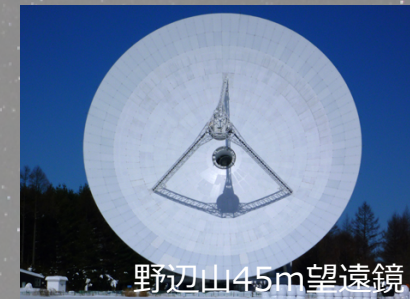
銀河における星の「材料」と「形成メカニズム」の統一的理解
→ CO輝線で「材料」の量と分布、Pa α 輝線で星形成現場の理解

北天領域

- ・ COMING (P.I. 祖徠) : 野辺山 45m 電波望遠鏡
 - CO multi-line マッピング観測 ~ 200-300 天体

南天領域

- ・ COMING^{PLUS} (P.I. 舘内) : Mopra 22m 電波望遠鏡
 - CO(1-0) ポインティング観測 ~ 130 天体



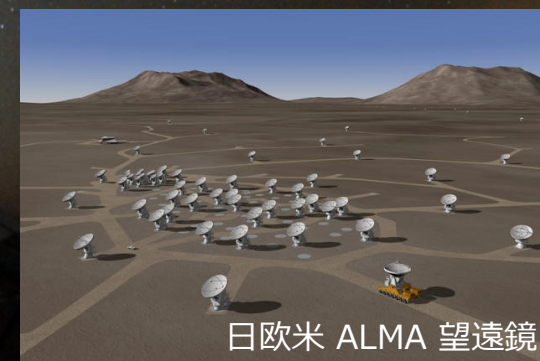
野辺山45m望遠鏡



豪Mopra22m望遠鏡

銀河の高空間分解能 & 高周波数分解能観測へ

→ ガスの分布と力学構造を各バルジ銀河
で調べ、その違いを確かめる



日欧米 ALMA 望遠鏡



miniTAO/ANIRの今後

サイエンス結果も続々出始めている

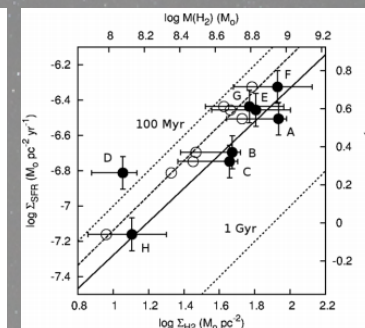
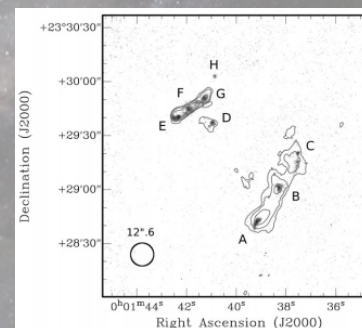
- 衝突銀河における星形成誘発

→ Komugi & Tateuchi et al. 2012, ApJ

- Pa α 観測によるBe型星探査

→ Tanabe et al. 2012, PASJ

- SMC/LMCにおける大質量星探査 (高橋 et al.)
- 塵に埋もれた銀河内の超新星探査 (諸隈 et al.)
- 近傍スターバースト銀河VV114 など



衝突銀河VV254のガスと星形成の関係

2013年度は 7月~9月 の期間内2ヶ月ほどを予定

- 超新星残骸のPa α 観測
- 近傍スターバースト銀河(NGC253)、NGC300のPa α 観測
- SgrA*への物質降着イベントモニタリング など

miniTAOでの観測に興味がある方はぜひお近くのTAO関係者まで！