

すばる春の学校 (三鷹, 28/05/2009)

すばる望遠鏡による科学的成果 (銀河編)

星はすばる、銀河も統(すば)る



児玉 忠恭 (国立天文台光赤外研究部、総研大天文科学専攻)
こだま ただゆき E-mail: t.kodama@nao.ac.jp

“Shadow of Mauna Kea” (12/01/07)

すばる (昴) とは？



冬の星座

プレアデス星団
(M45、すばる)



一つに集まっているという意味の
「すまる」から転じて「統る」
(すばる)と呼ばれるようになった。

※すばる星はハワイ語ではMakali'i (マカリイ) と呼ばれる。

星は、すばる



プレアデス星団
(すばる)

清少納言



清少納言

『枕草子』(写本)



236段：「星はすばる。ひこぼし。ゆふつつ。よばひ星、すこしをかし。尾だになからましかば、まいて。」

(星といえば、すばる。そして、彗星。宵の明星もいい。流れ星もそれなりに趣きがあって美しい。でも尾がなければもっといいのに。)



すばる望遠鏡



ハワイ島、マウナケア山頂にある、日本の光学赤外線望遠鏡
(1998年完成)



すばる望遠鏡 (口径 8.2メートル)
『世界最大級』

銀河も、統(すば)る

銀河団



CL0024銀河団 (42億光年)、すばる望遠鏡



Abell1689銀河団 (22億光年)、ハッブル宇宙望遠鏡

大きさは半径約300万光年～1000万光年

今日のお話の内容

1. 宇宙の階層構造
2. すばる望遠鏡の特長
3. 『銀河考古学』 (時間軸)
4. 『銀河生態学』 (空間軸)

1. 宇宙の階層構造

我々の住む銀河系（天の川）



M63（従兄弟銀河）

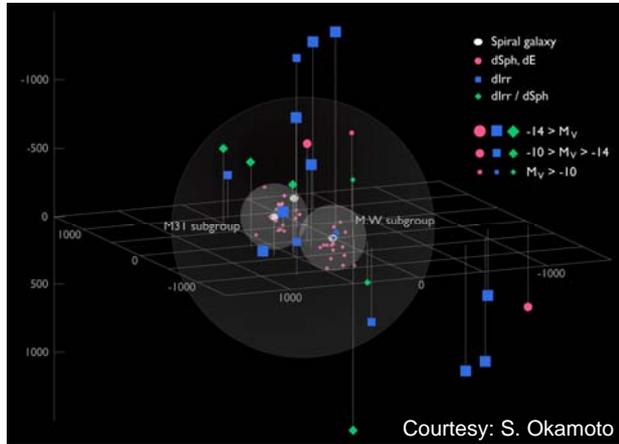
太陽のような星が数千億個も集まった集団。
太陽は中心から約8kpc(2万5千光年)の所に
位置する。



天の川は、銀河系の円盤を横から眺めたもの

銀河群

(数個から数十個の銀河の群)



局所銀河群

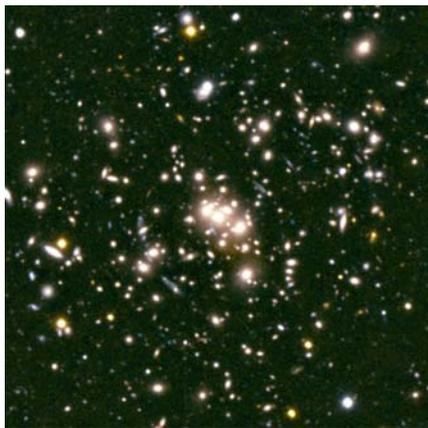
(銀河系とアンドロメダ銀河を含む銀河の集団)

両銀河間の距離は約230万光年

ヒクソン銀河群40番

銀河団

(百個から千個もの銀河大集団)



CL0024銀河団 (42億光年)、すばる望遠鏡



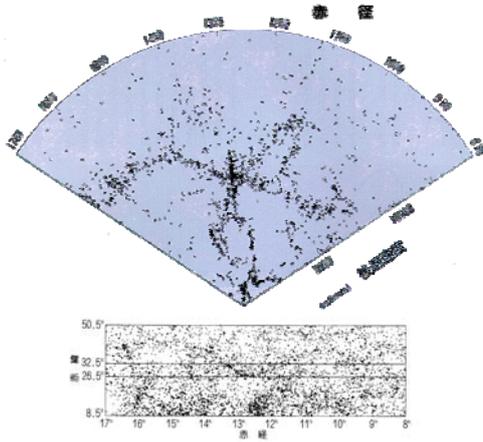
Abell1689銀河団 (22億光年)、ハッブル宇宙望遠鏡

大きさは半径約300万光年～1000万光年 質量は $10^{14-15}M_{\text{sun}}$

※銀河団の強い重力場による光の重力レンズ効果で、歪んだ背景銀河も多数見える。

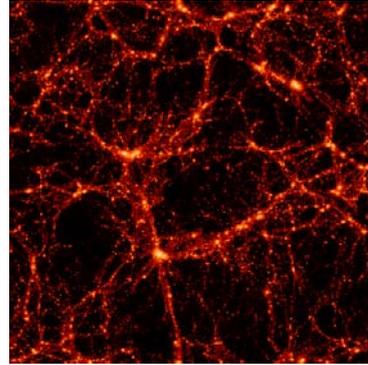
超銀河団（宇宙大規模構造）

観測



CfA サーベイ (Geller&Huchra 1986)

理論 (計算機)



VIRGO コンソーシアム (Frenk 他)

宇宙の階層構造

銀河 → 銀河団 → 超銀河団

というように、宇宙は、いくつかの構造が
小さなものから大きなものまで順々に階層
をなしている。このような構造を

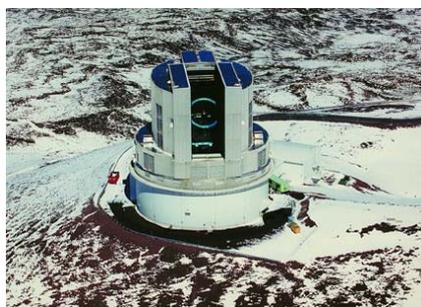
「宇宙の階層構造」

と呼ぶ。

2. すばる望遠鏡の特長

すばる望遠鏡 vs ハッブル宇宙望遠鏡

地上



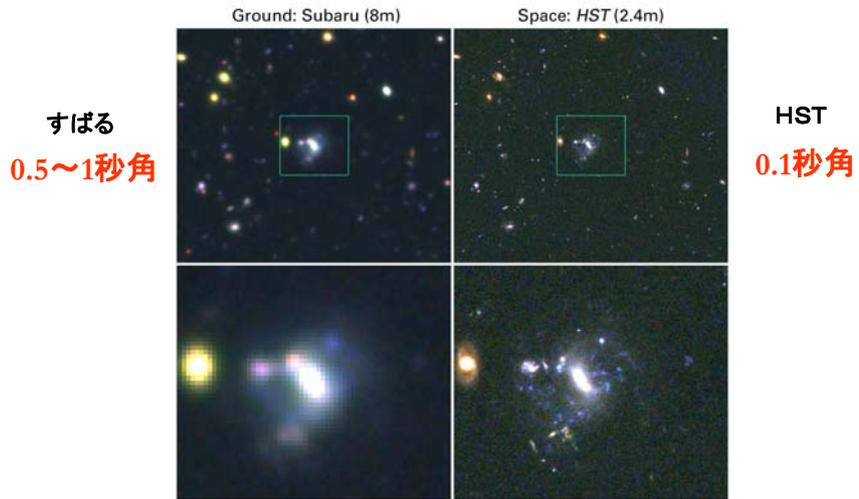
すばる望遠鏡 (地上4200m、口径8.2メートル)

スペース



HST (スペース、口径2.4メートル)

すばる望遠鏡 vs ハッブル宇宙望遠鏡 (解像度)



すばるの解像度は約5~10倍悪い (大気揺らぎのため)

すばる望遠鏡 vs ハッブル宇宙望遠鏡 (視野)

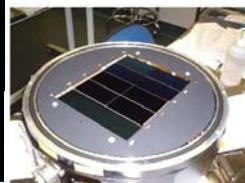
すばる (30分角=満月)

HST (3分角)



すばるの視野 (一度に観測できる領域) は約100倍広い (大型装置が設置可能)

両者は相補的!



巨大なデジカメ
8400万画素!

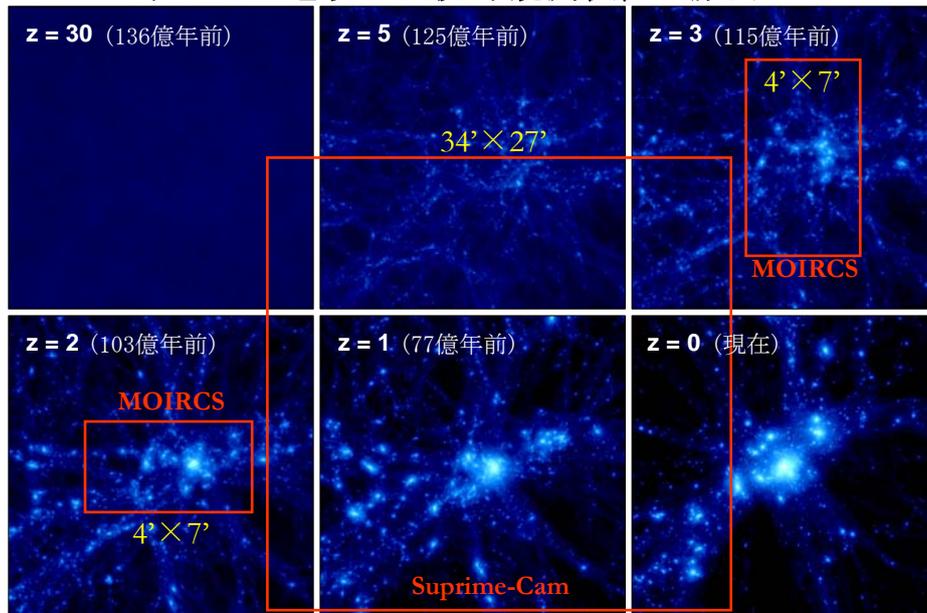
遠方宇宙を俯瞰する、すばる望遠鏡

ユニークな広視野装置によって、
遠方宇宙のパノラマ地図が得られる！

- Suprime-Cam ($34' \times 27'$) 可視光線の撮像
- MOIRCS ($7' \times 4'$) 近赤外線撮像と分光
- FMOS ($30' \Phi$) 近赤外線分光

銀河は、すばる！

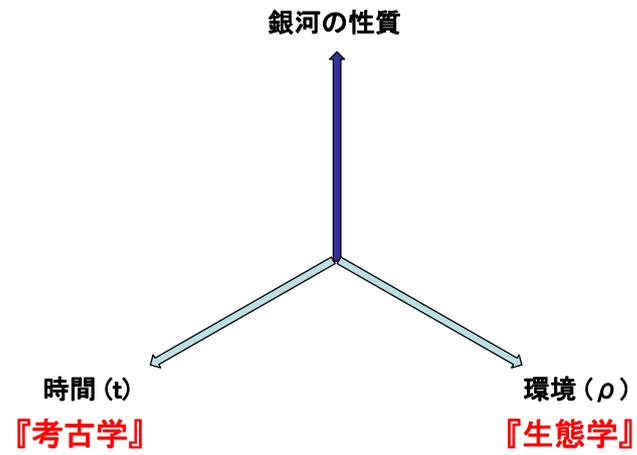
すばる望遠鏡の広視野観測装置の威力



$M = 6 \times 10^{14} M_{\odot}$, 20Mpc \times 20Mpc (co-moving)

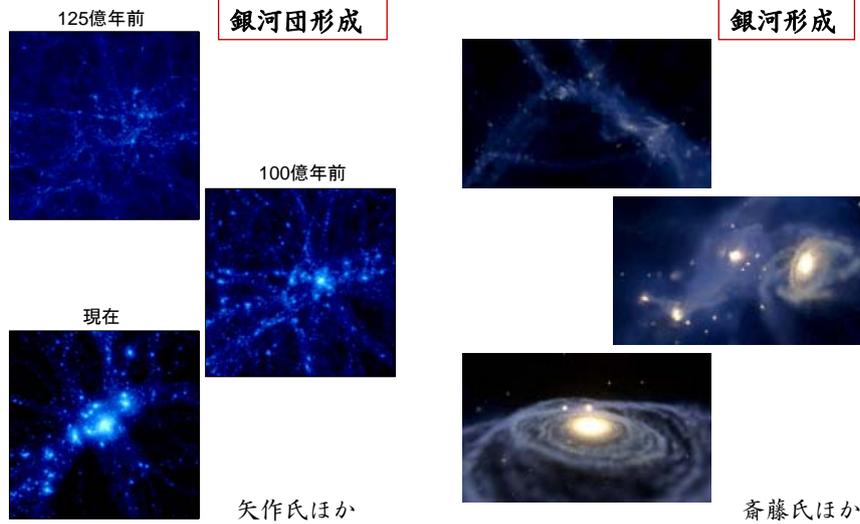
Yahagi et al. (ν GC; 2005)

銀河の性質を規定する2つの軸



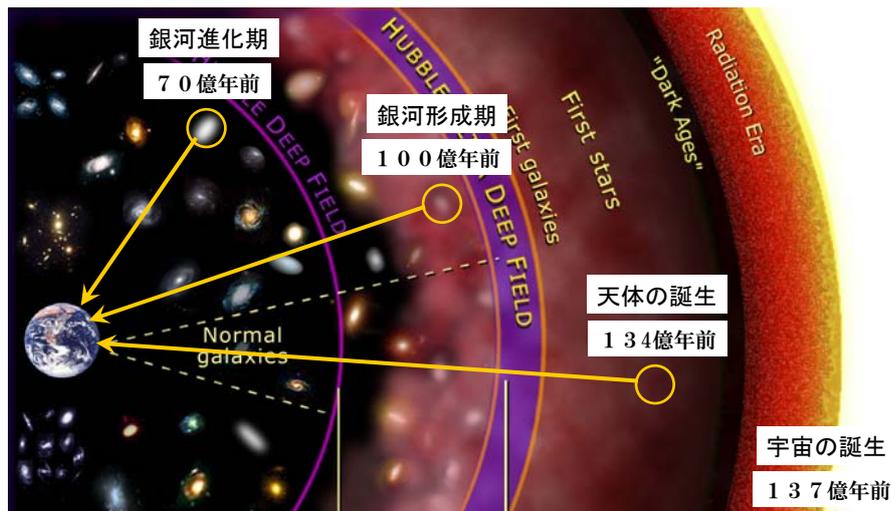
3. 銀河考古学 (時間軸)

標準宇宙モデルが予測する、階層的な銀河・銀河団の形成



初めに小さな天体がたくさん生まれ、それらが重力で引き合って集まり、合体を繰り返しながら、より大きな天体へと成長してゆく。

宇宙の歴史を直接探るタイムマシーン



遠くを見れば見るほど、昔の宇宙の姿が見える → 究極の考古学！

銀河考古学

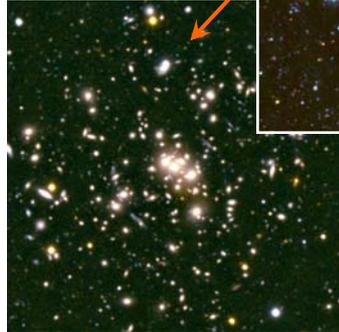
『時系列比較』

70億年前 ($z=0.83$)

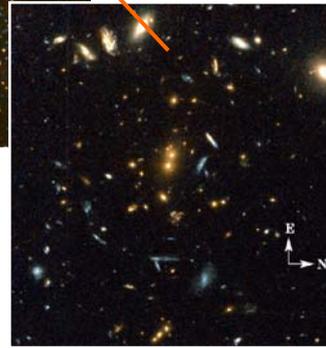
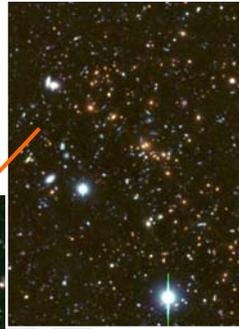
RXJ0152銀河団(すばる)

42億年前 ($z=0.39$)

85億年前 ($z=1.23$)



CL0024銀河団(すばる)



CL1252銀河団(HST/ACS)

現在の銀河

アンドロメダ銀河

NGC3115銀河

楕円銀河

M87銀河

渦巻銀河

レンズ状銀河

我々の住む銀河系は「渦巻銀河」の一つ。

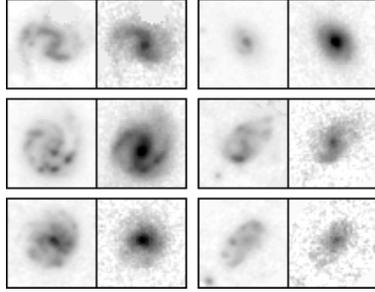


銀河形態の発現はおよそ100億年前？

80億年前 ($z=1$)

100~110億年前 ($z=2\sim3$)

$\lambda_{rest}=3000\text{ \AA}, 6500\text{ \AA}$

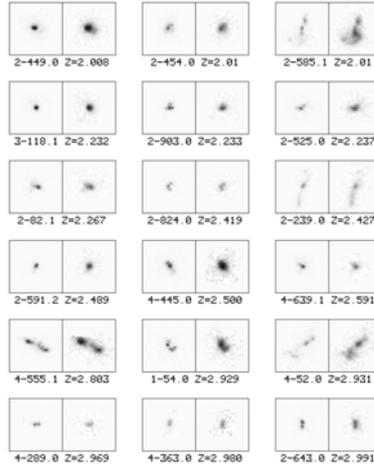


すでに銀河形態が出来上がっている。

4 秒角四方 (30kpc~10万光年)

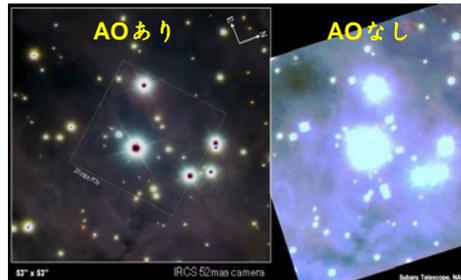
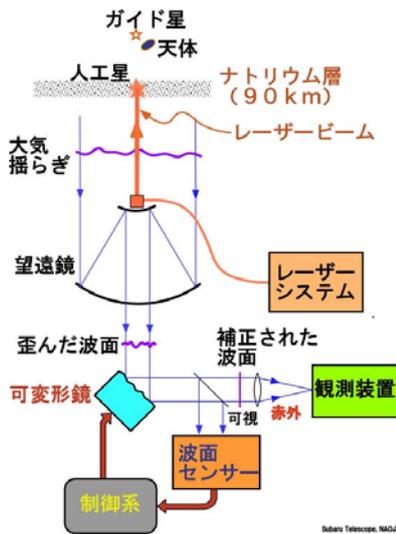
ハッブル宇宙望遠鏡 Dickinson (2000)

$\lambda_{rest}=1700\text{ \AA}, 4300\text{ \AA}$ LBGs



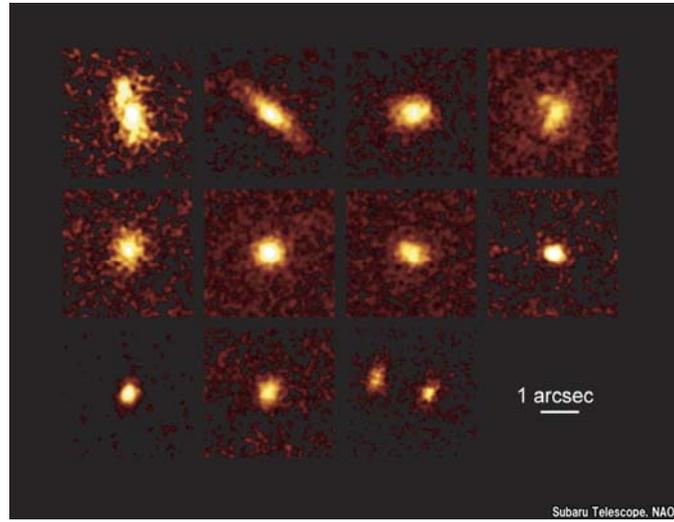
形態ははっきりせず、サイズも小さい！

すばる望遠鏡の補償光学システム (AO)



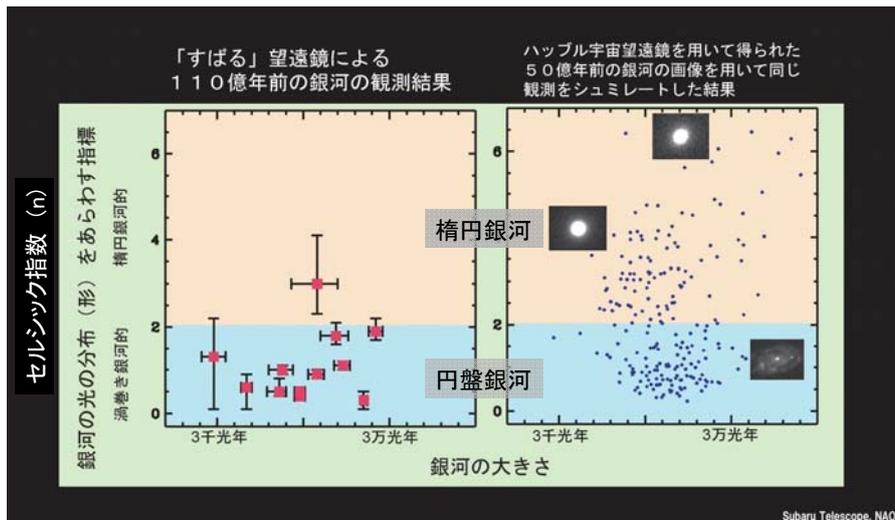
地上望遠鏡でも宇宙望遠鏡に匹敵する (または凌駕する) 解像度が得られる！
(ただし、現状のAOでは視野が1分角程度と大きく限られる)

すばるAO近赤外撮像観測で見た 115億年前(20億歳)の銀河の姿



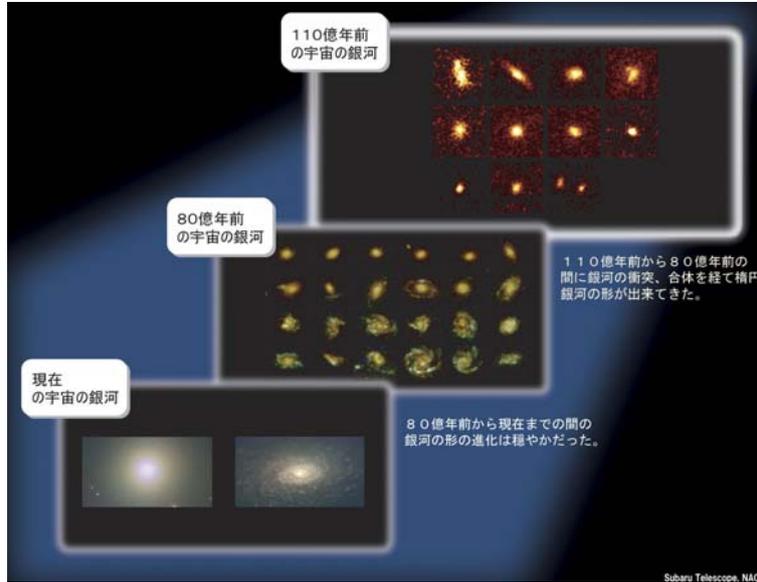
大きな円盤銀河を多数同定！ Akiyama et al. (2007)

銀河の形態進化



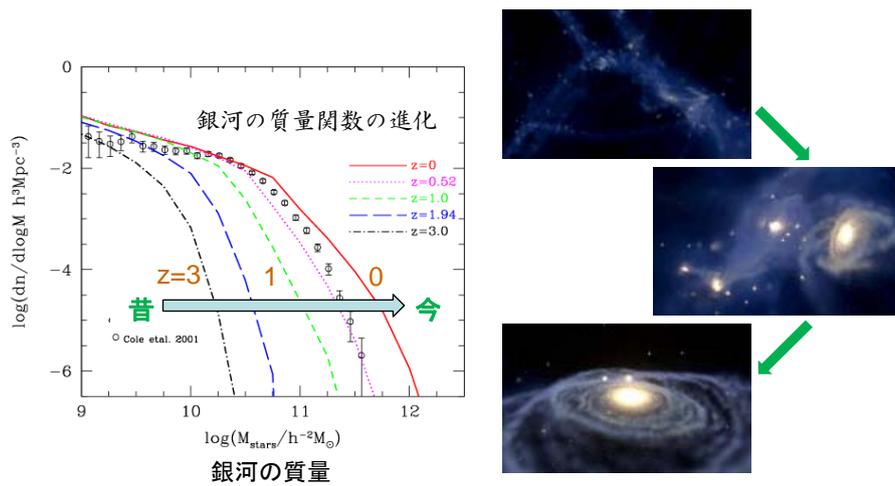
遠方銀河は円盤銀河が多い！ Akiyama et al. (2007)

銀河の形態進化



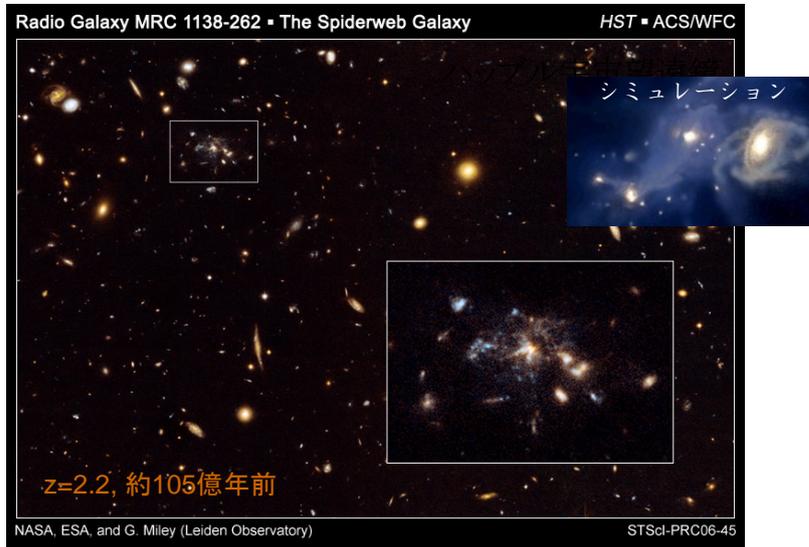
Akiyama et al. (2007)

銀河の質量成長 (理論)



階層的銀河形成モデルでは、大質量銀河の割合が時間と共に激減する。

蜘蛛の巣銀河 (銀河集積過程の現場)

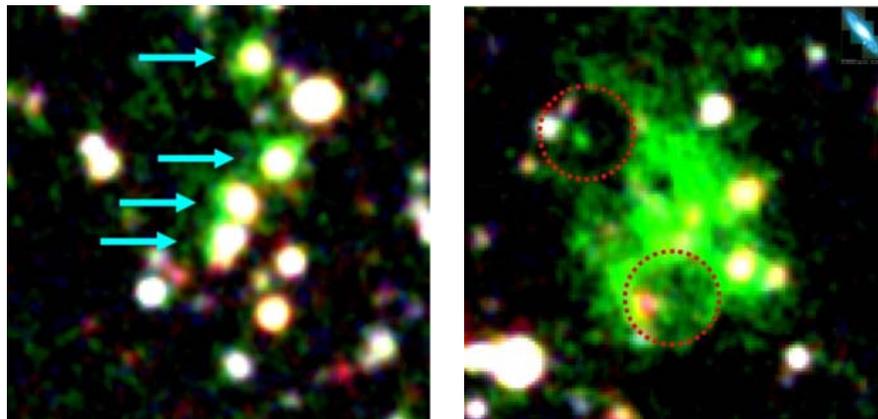


ハッブル宇宙望遠鏡

Miley et al. (2006)

すばるが見た形成途上銀河

115億年前 ($z \sim 3$)



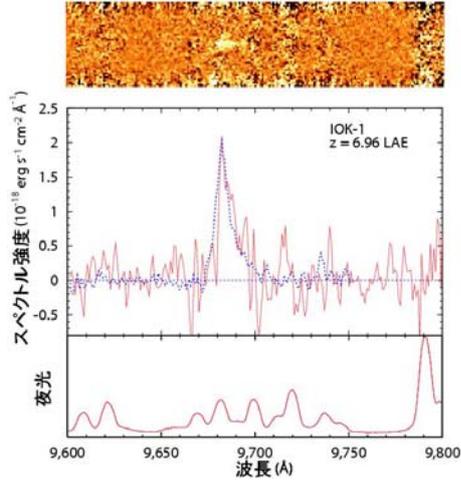
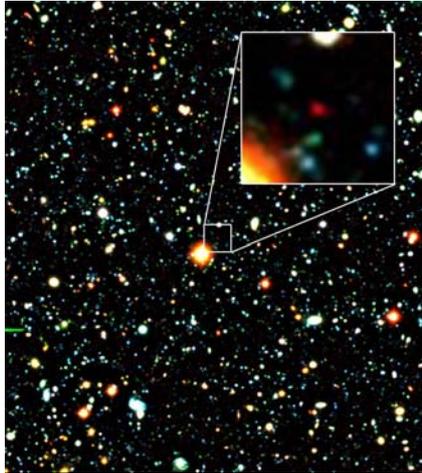
複数の塊に分裂して存在

巨大な電離ガス雲 ($\text{Ly}\alpha$ 輝線で輝いている)

Matsuda et al. (2003)

これまでに発見&確認された最も遠い銀河

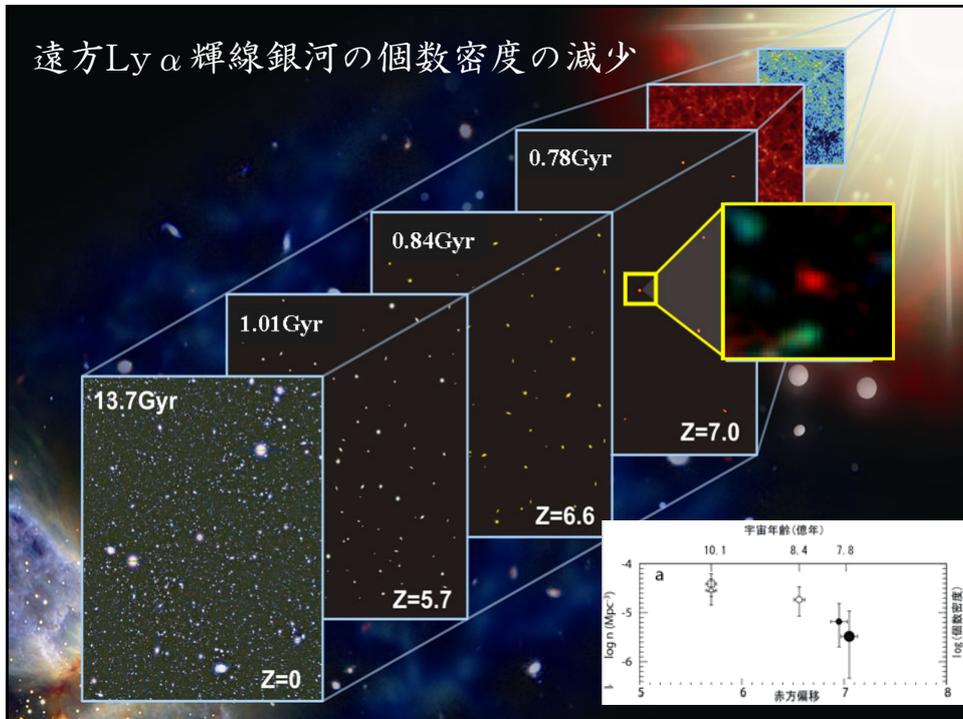
$z=6.96$ (宇宙がまだ7億歳、人間にすると4歳)



by すばる望遠鏡 Iye, Ohta, Kashikawa et al. (2006)

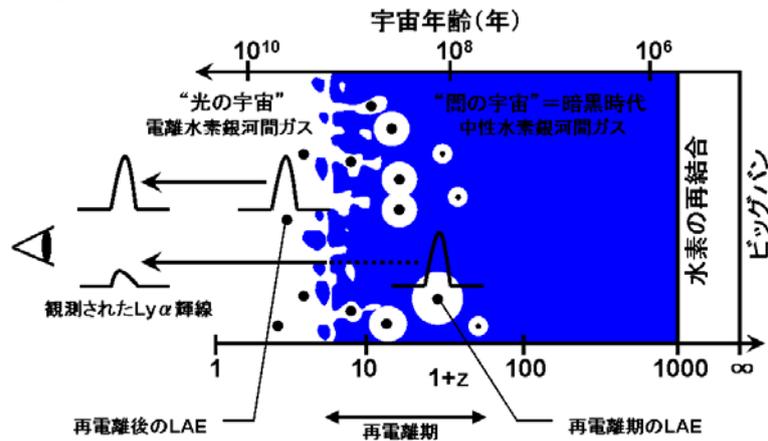
超遠方の原始銀河は数が少なく広い領域を観測する必要があるため、すばるの独壇場。

遠方Ly α 輝線銀河の個数密度の減少



宇宙暗黒時代の終焉？

ビッグバンから40万年後、宇宙が冷えて水素が一旦中性化（再結合）したが、数億年後に初代銀河からの強い紫外線によって再び電離されたと考えられる。



中性時代は原始銀河からのLy α 輝線は中性水素により散乱・吸収され我々まで届かないものが多いが、再電離化が進むと急激に見え出す。

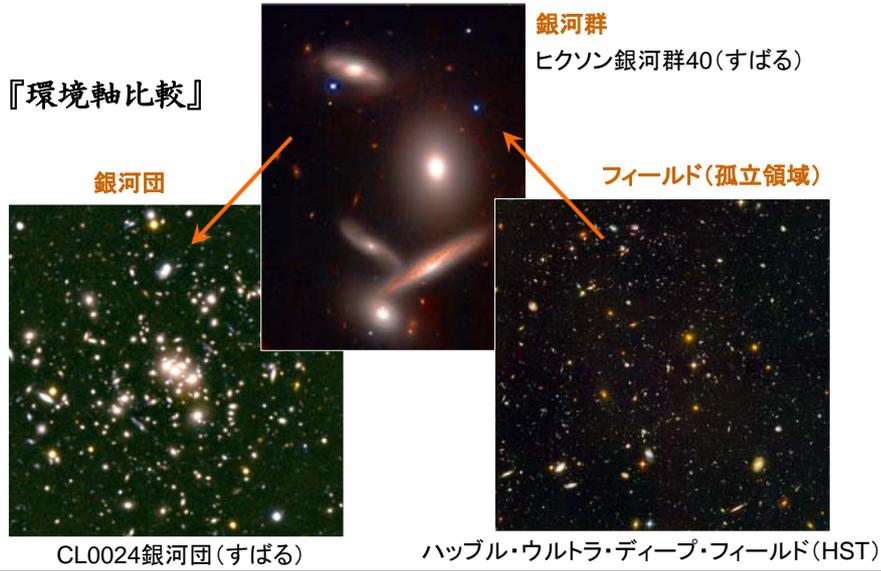
Kashikawa et al. (2006), Iye et al. (2006), Ota (2007)

4. 銀河生態学 (空間軸) (環境軸)

銀河生態学

(銀河進化と環境との関わり)

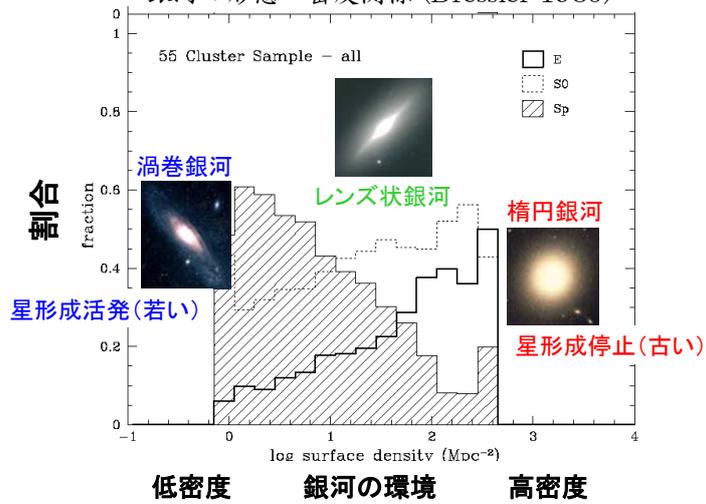
『環境軸比較』



銀河形態と銀河の環境

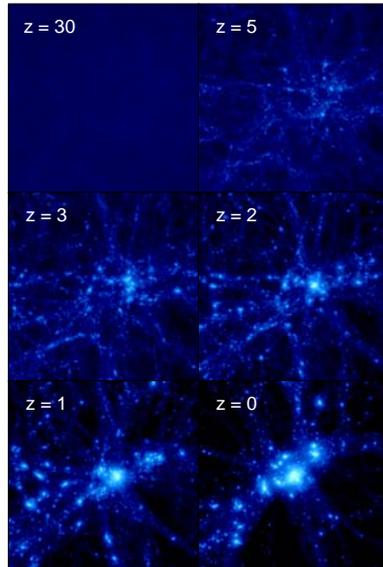
現在の銀河宇宙

銀河の形態-密度関係 (Dressler 1980)

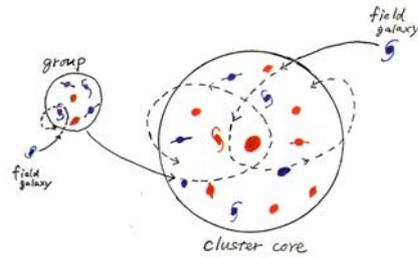


銀河種族のすみ分けの起源は？

N-body simulation (Dark matter)



Yahagi et al. (2005)



先天的 (生まれ) ?

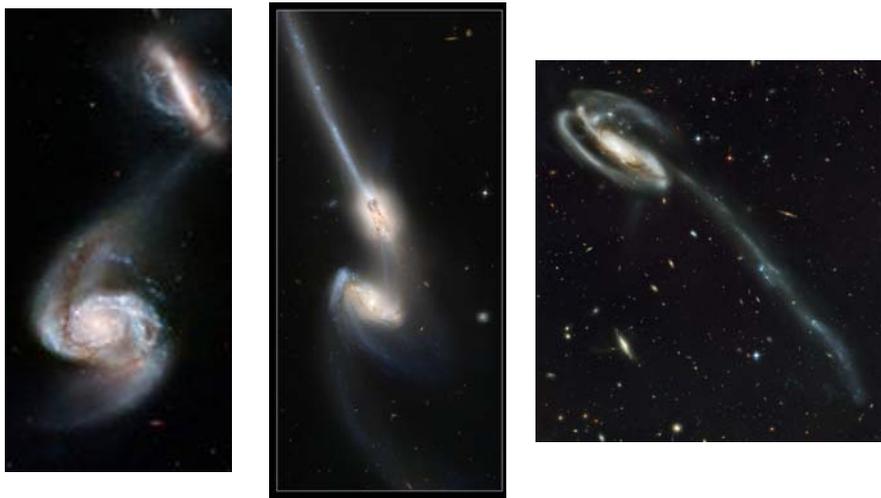
楕円銀河は初期宇宙に原始銀河団で生まれ、渦巻き銀河は少し遅れてフィールドで生まれる。

後天的 (育ち) ?

集団化の過程で渦巻き銀河が楕円銀河やレンズ状銀河に変化する。

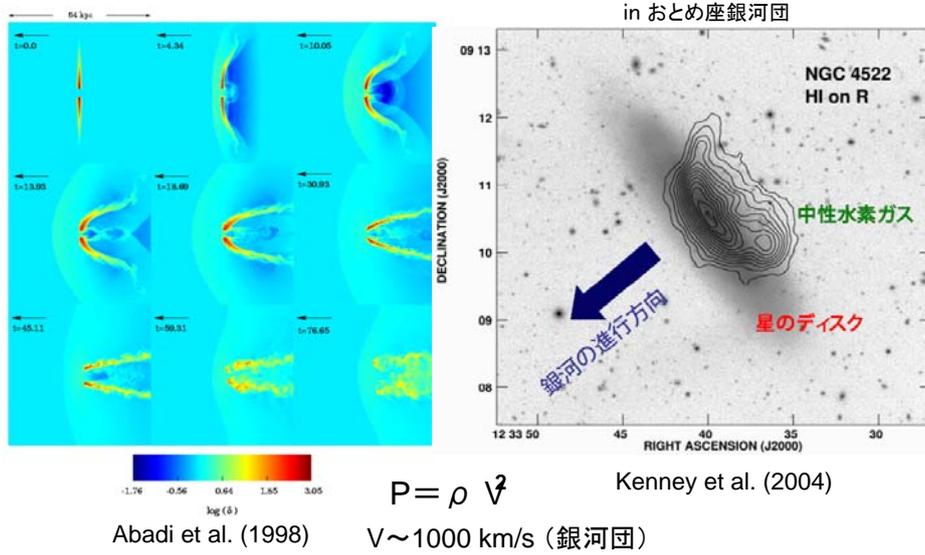
銀河の衝突、合体

(秒速、数百キロメートル！)

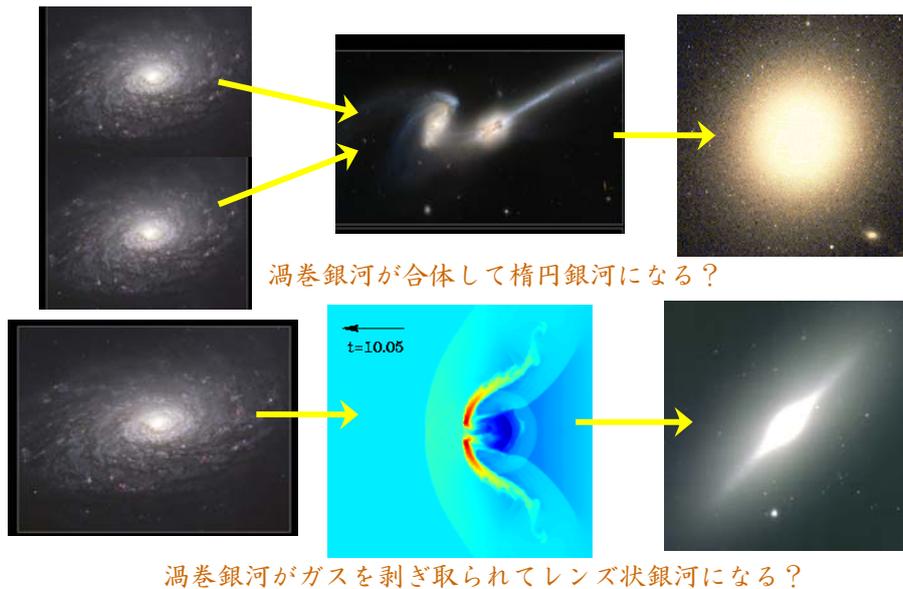


衝突合体中の銀河 (ハッブル宇宙望遠鏡)

銀河団ガスからの動圧による銀河ガスの剥ぎ取り



銀河の形態は高密度領域で変化する？



すばるの広視野観測の威力

Panoramic Imaging and Spectroscopy of Cluster Evolution with Subaru (PISCES)

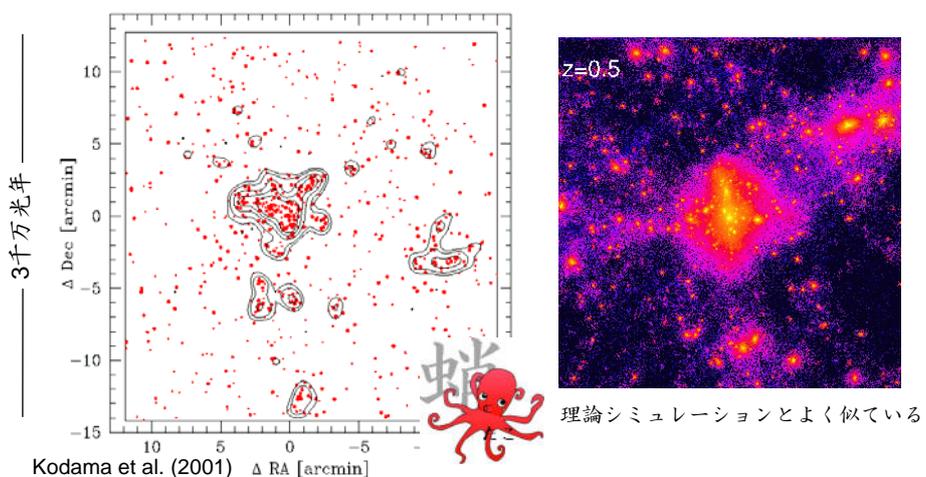
『うお座』、『魚』



一辺の30分角は
銀河団の距離では
3千万光年にもなる

すばる/Suprime-Camで見たCL0939銀河団 ($z=0.41$ 、43億年前) のパノラマ

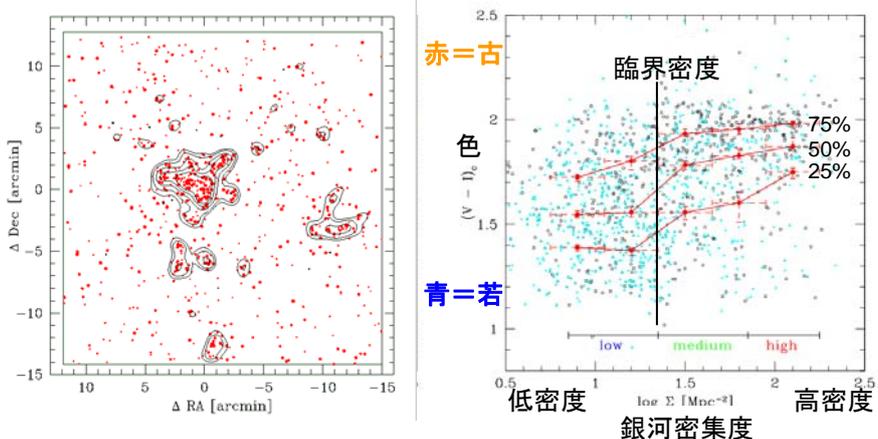
銀河団集積のパノラマ (43億年前, $z=0.41$)



中心に赤い銀河に占められた大きな塊があり、そこから四方八方に向かって
蛸足のようにフィラメント構造が伸びており、それらに沿って銀河の塊が並ぶ。

星形成活動の環境依存性

CL0939銀河団 ($z=0.41$)



銀河団に落下する前の周辺グループの環境（蝟足の吸盤）で、
銀河の色分布が急激に赤くなる（星形成活動が急減する）。

Kodama et al. (2001), Tanaka, et al. (2005)

銀河の色は星形成活動性の指標

楕円銀河 (M87)



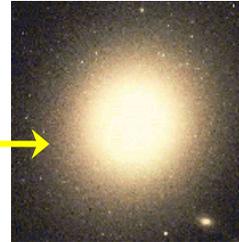
赤い=星形成が終了

渦巻銀河 (アンドロメダ)

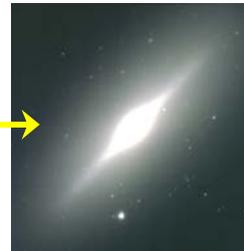
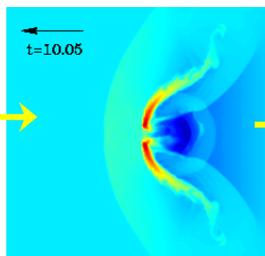
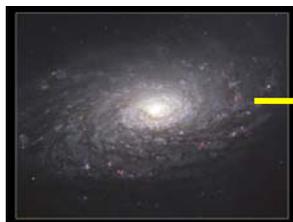


青い=星形成継続中

何が星形成を止めるか？

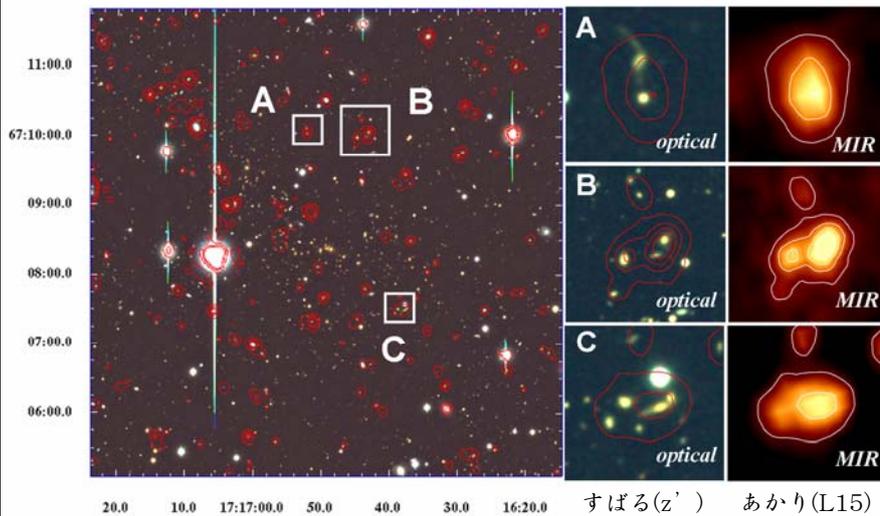


合体時にガスが剥ぎ取られたり、星形成バーストを起こしてガスが使い果たされる。



動圧によってガスを剥ぎ取られて星形成が続けられなくなる。

星形成バースト中の相互作用銀河



あかりで明るい星形成バースト銀河の中には、明らかに合体の兆候を示す銀河が見られる。環境効果の主要因か？

Koyama et al. (2008)

銀河の生態

- ・ **銀河は群れる**：銀河は、お互いの重力によって引き合い、銀河群、銀河団へと集団化し、より大きな構造を作ってゆく。
- ・ **銀河は個性が変わる**：群れ集まる過程では、銀河はお互いの衝突や、ガスの剥ぎ取りなどを経験し、その形態や星形成活動に変化を来たす。

銀河界と人間界の類似



都市構造

人口流入

年齢格差

相互作用

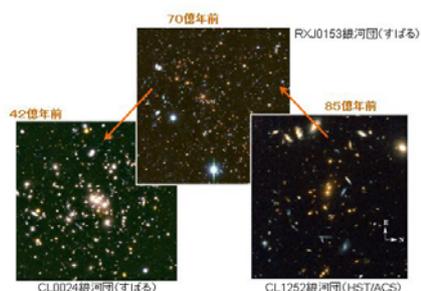
世間の風

個性喪失

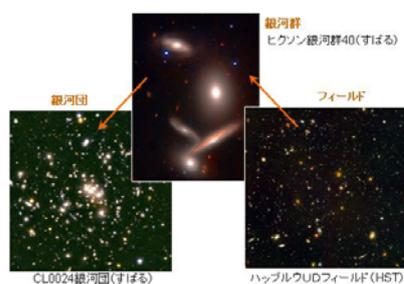
-
-
-

まとめ

銀河の考古学（時系列）



銀河の生態学（環境軸）



我々はすばる望遠鏡の集光力と広視野の特長を生かし、
銀河の「考古学」と「生態学」を行なっている。
その両者が相まって銀河宇宙の成り立ちを明らかにしつつある。

銀河は、統(すば)る、すばる



国立天文台すばるグループによる 銀河研究のまとめ(不完全！)

- **再電離期 ($z > 6$) の超遠方銀河探査** (家、柏川)
狭帯域撮像(可視・赤外)によるLy α 輝線銀河探査
- **銀河形成初期 ($3 < z < 6$) の大規模構造と星形成活動** (柏川)
可視(静止UV)選択銀河のクラスタリングとUV光度関数
- **銀河形成ピーク時 ($1.4 < z < 3$) の質量集積と星形成** (児玉、有本)
近赤外(静止可視)選択銀河の星質量関数、大規模構造、
H α 輝線強度(星形成率)、ガス重元素量(輝線強度比)
- **銀河団集積時代 ($0.2 < z < 1.4$) の環境効果** (児玉、八木)
大規模構造、色(SED)や輝線・吸収線強度の環境依存性
- **活動銀河核 ($z \sim 0$) と銀河の共進化** (今西)
- **局所銀河群銀河 ($z = 0$) の星形成史** (有本、青木、小宮山)
恒星分離(HR図)による場所ごとの星年齢と星重元素量