

銀河進化後半戦： なぜ銀河は星を作らなくなったのか

諸隈 佳菜 (国立天文台)

もくじ

銀河進化後半戦：星形成quenching

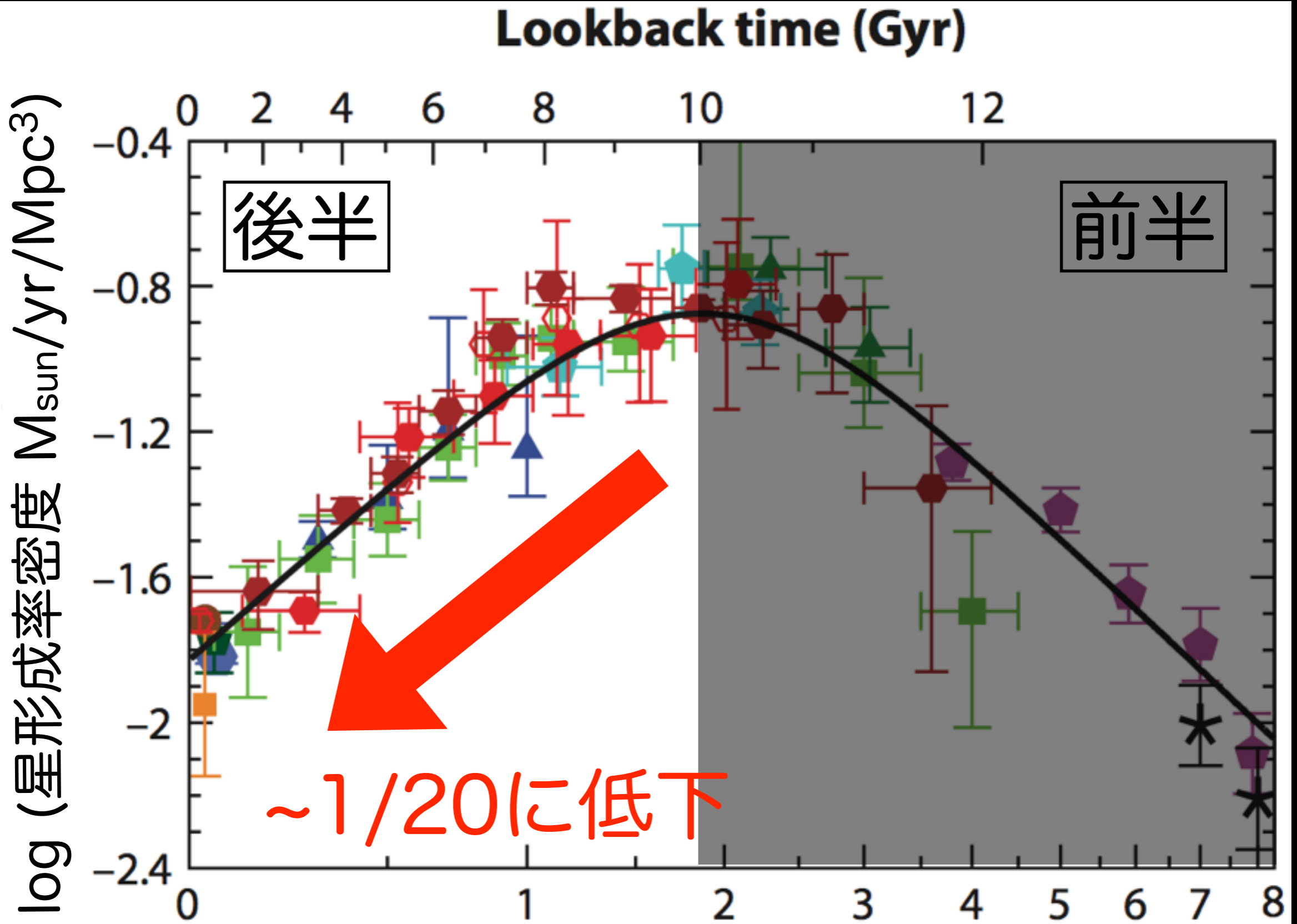
Mass/**Environmental** quenching

現在進行中/計画中の分子ガス観測プロジェクト

COMING, ALPACA, ENMA, WLM

銀河進化後半戰：星形成quenching

宇宙の星形成率密度進化



Madau & Dickinson (2014)

赤方偏移

星形成活動性の低下 質量・環境どっちが大事？

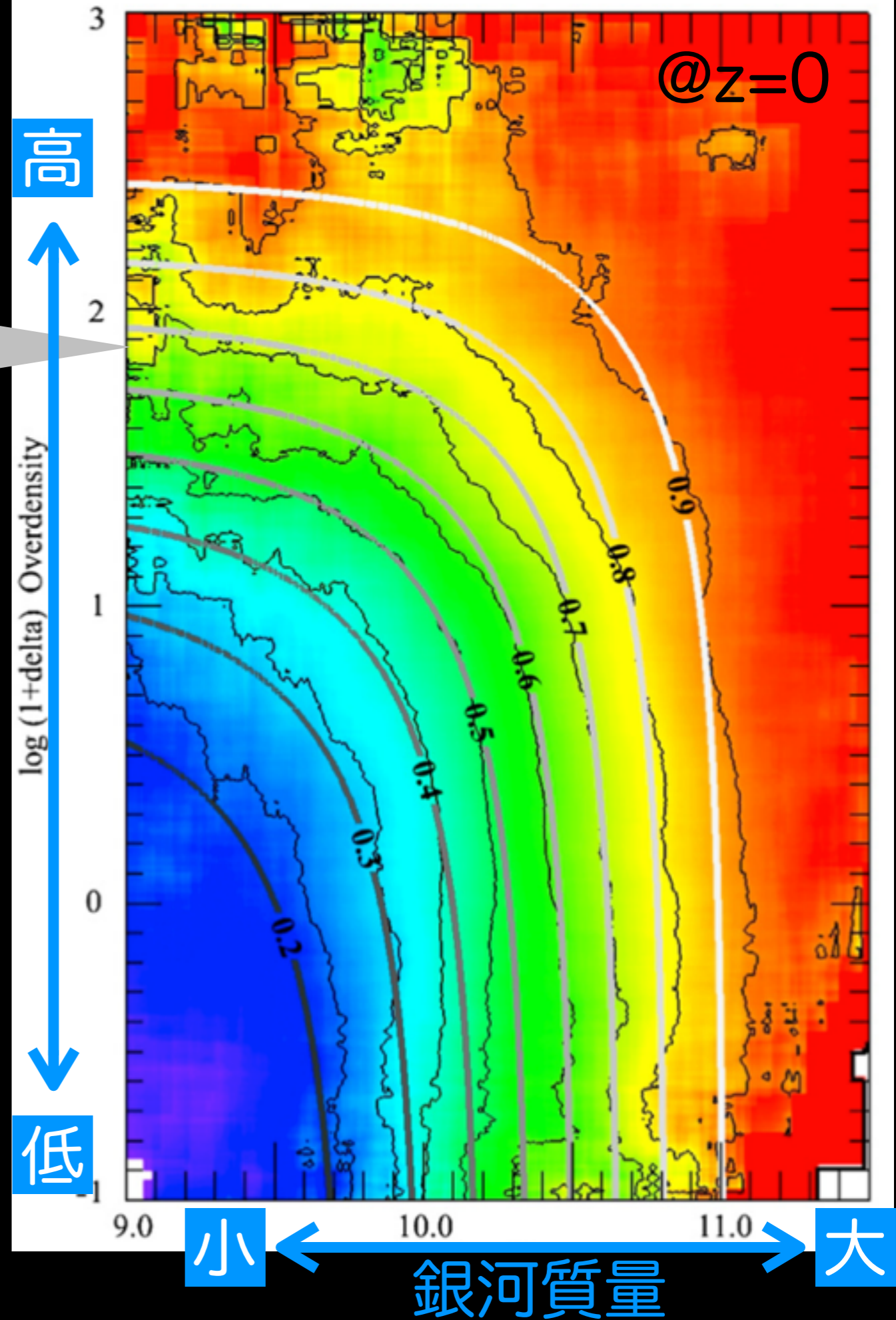
赤い銀河の割合



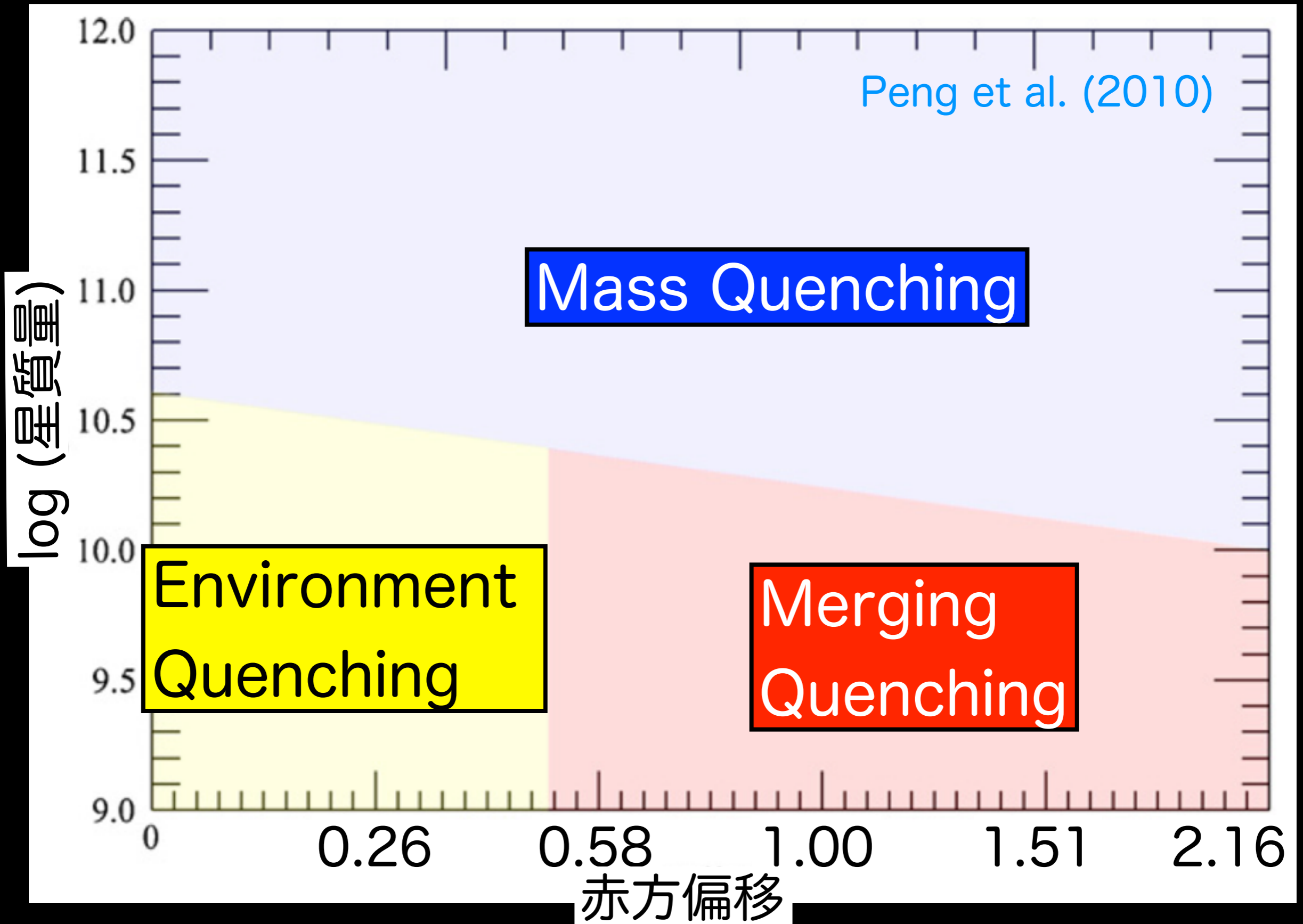
周囲の銀河数密度

低質量銀河は「環境」
大質量銀河は「質量」

Peng et al. (2010)



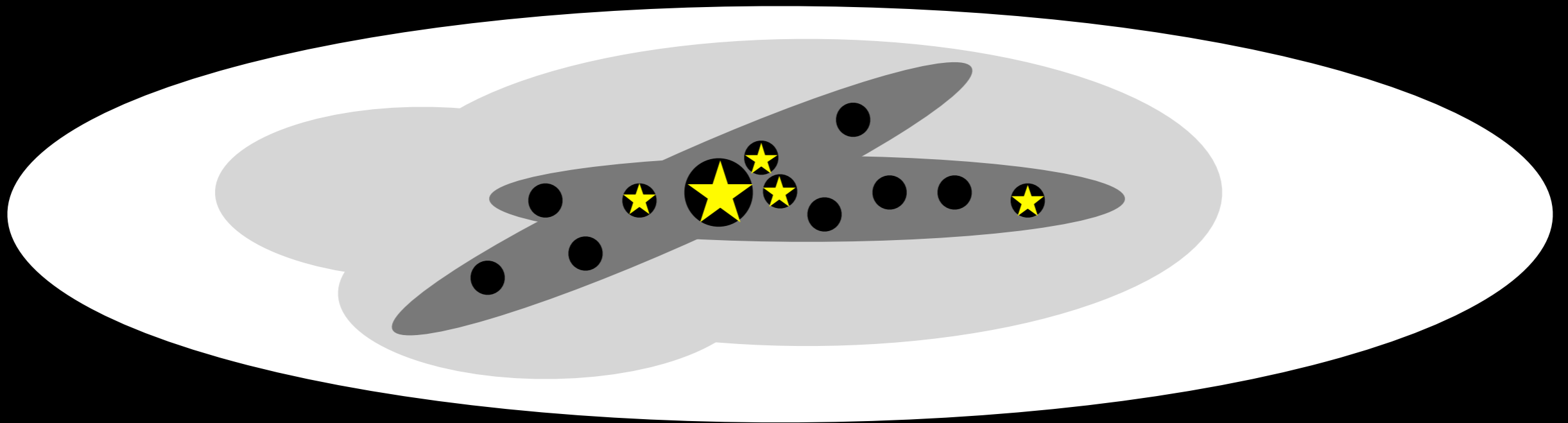
Quenchingの星質量依存性の赤方偏移進化



なぜ、銀河は星を作らなくなったのか？

ガス(材料)量の低下？

星形成効率(質)の低下？



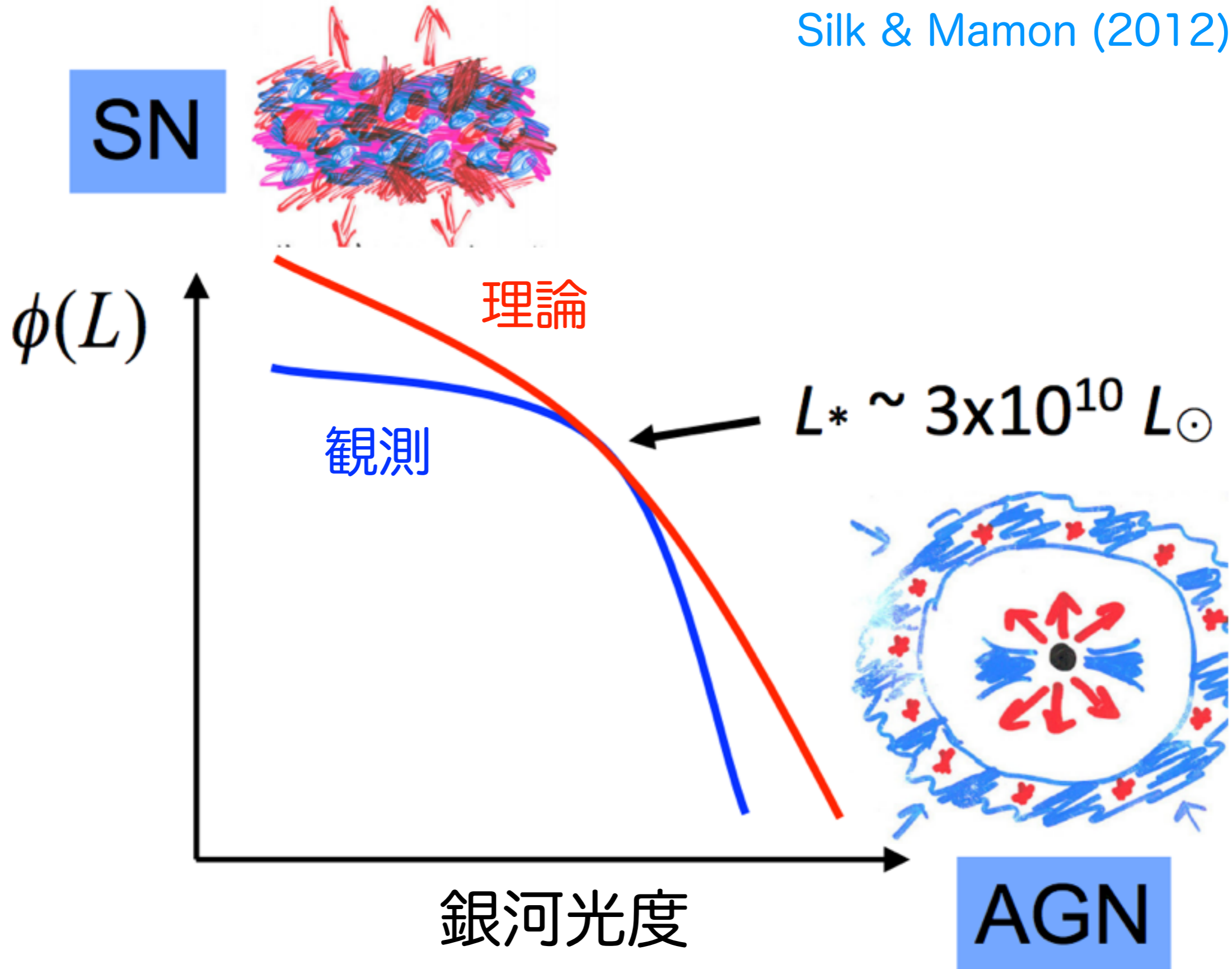
原子ガス->分子ガス->分子雲->クラump->コア->星

KMM & Muraoka submitted

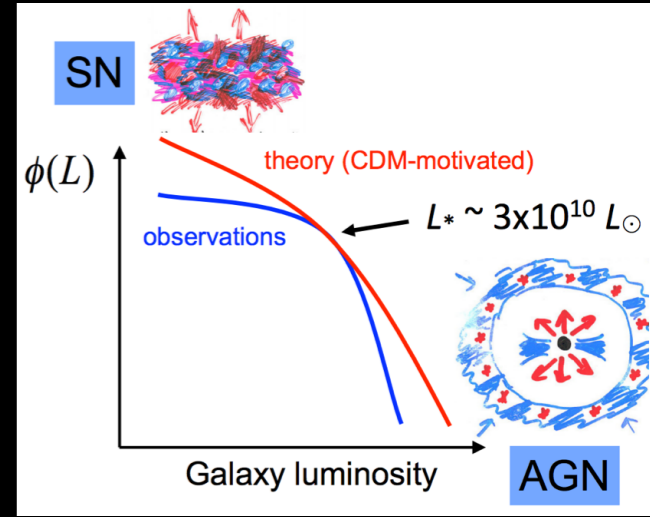
Mass Quenching

Mass Quenching

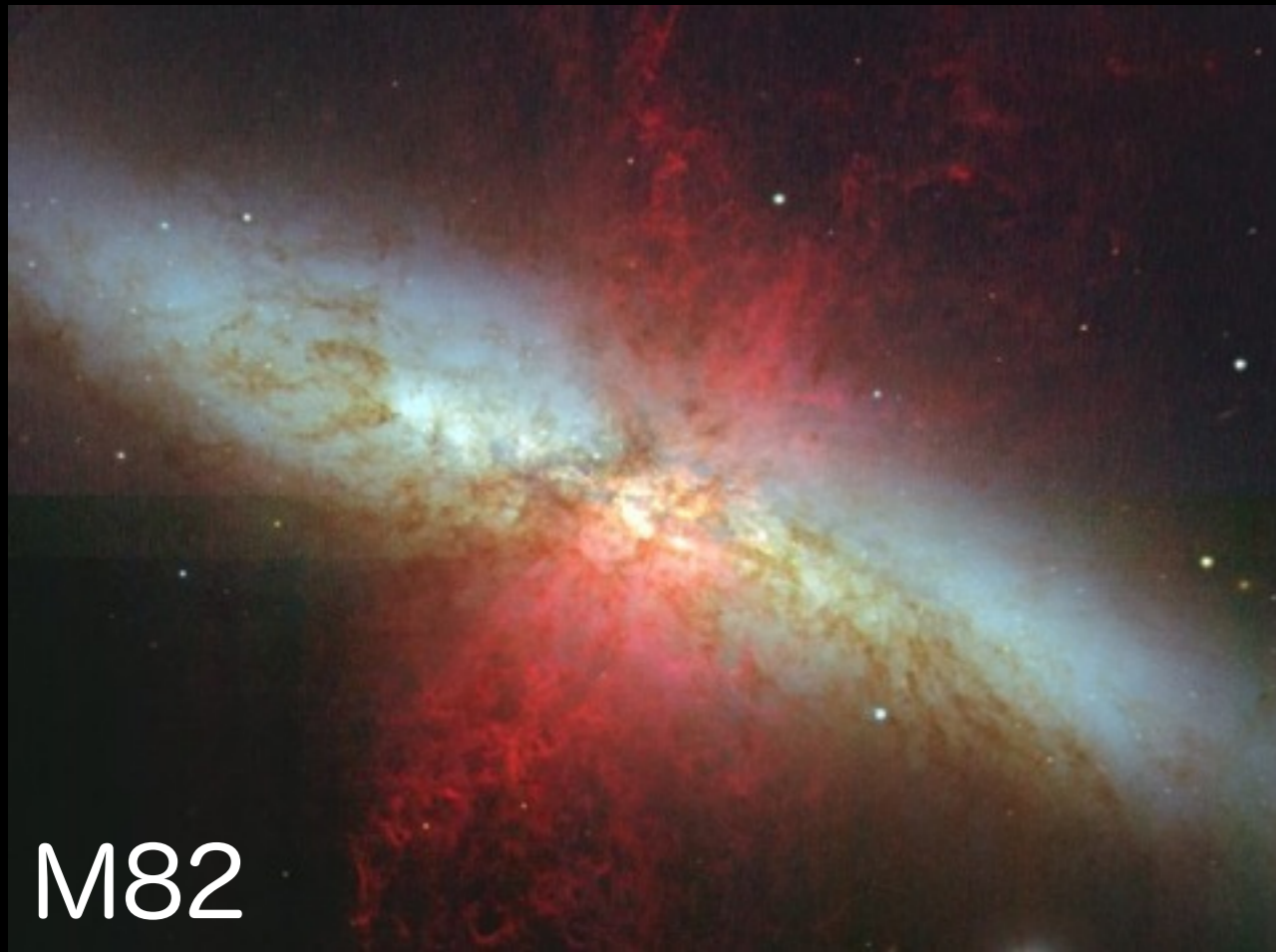
Silk & Mamon (2012)



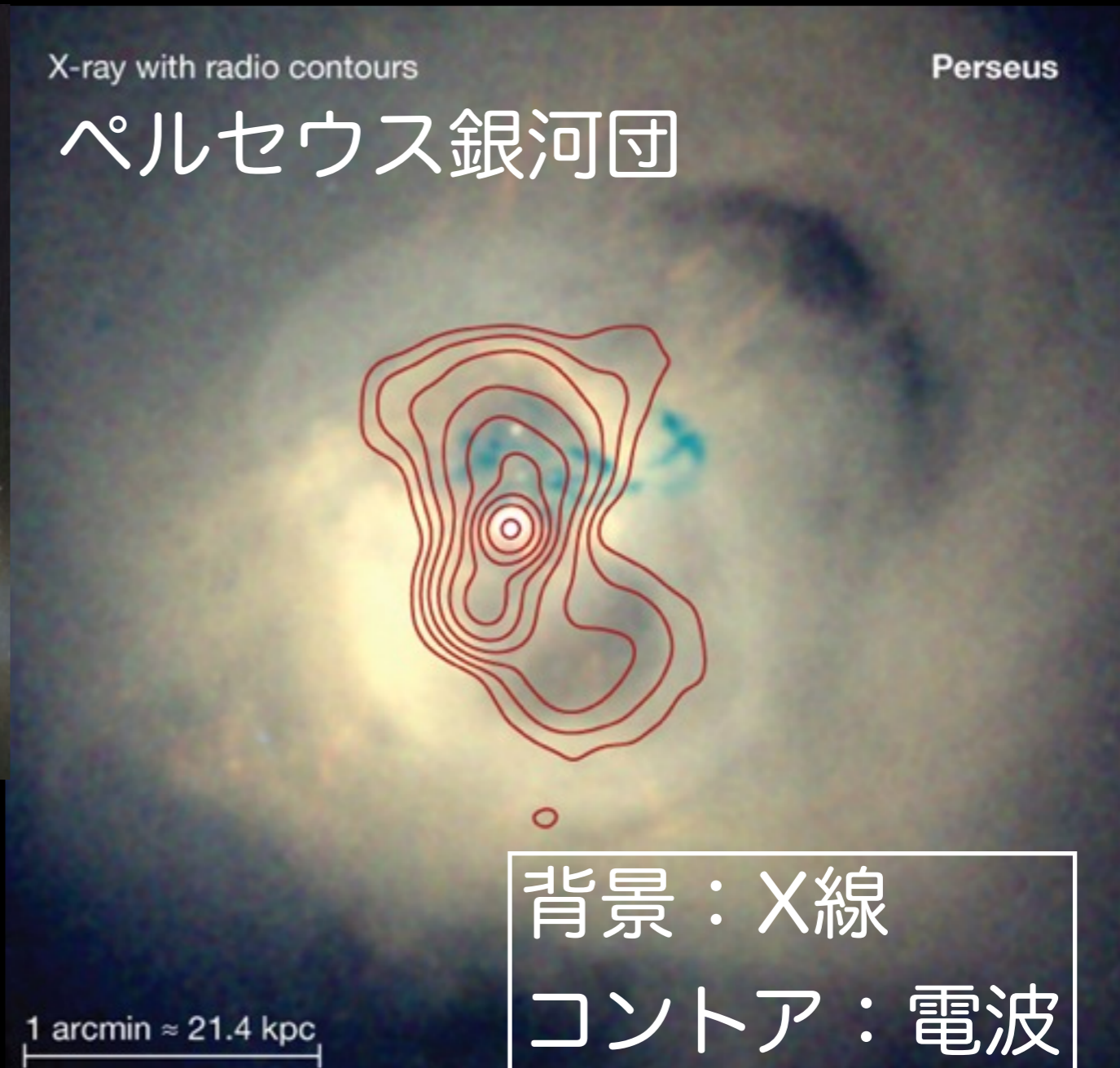
Mass Quenching



Subaru/FOCAS (NAOJ)

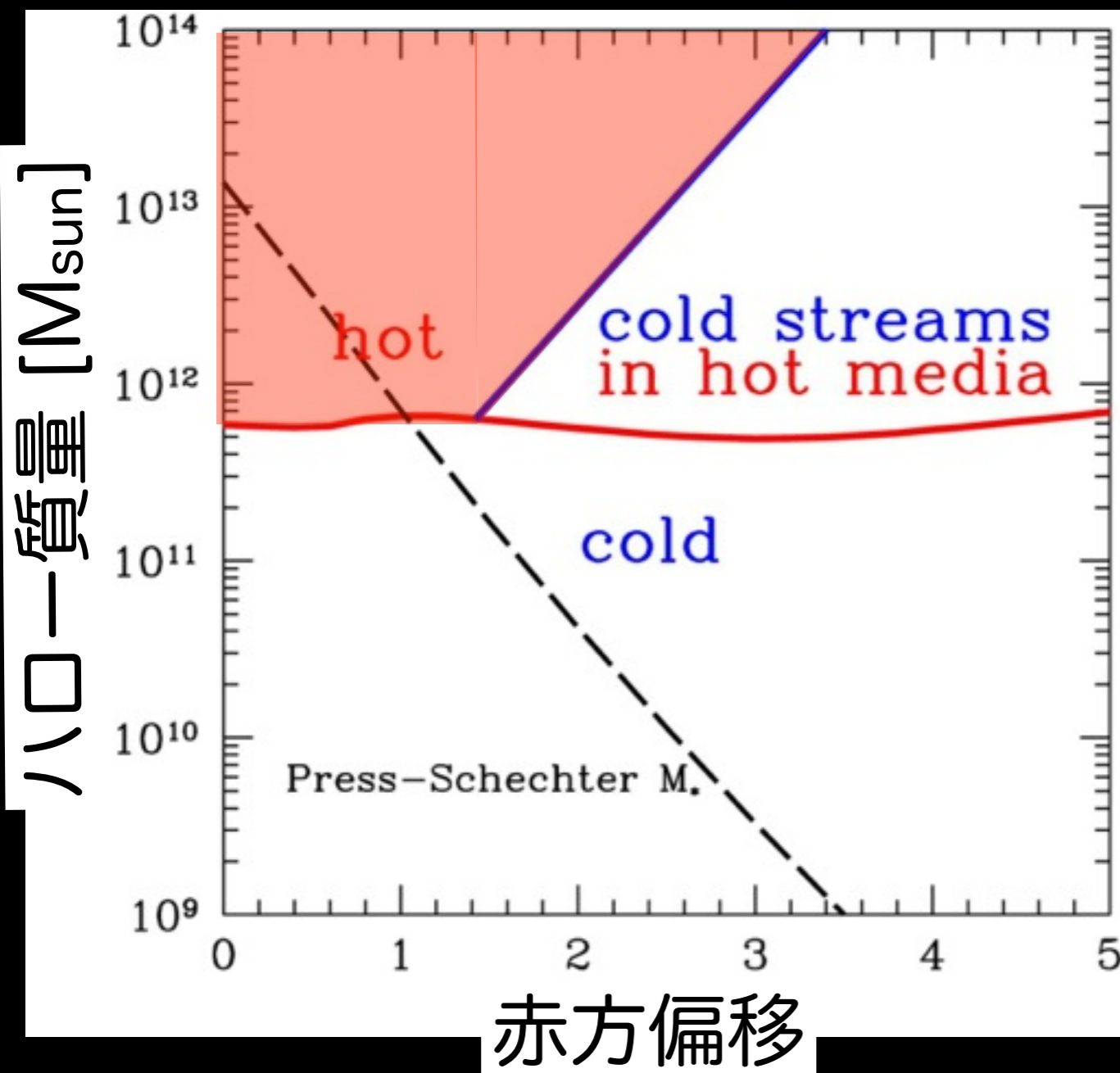


Cattaneo et al. (2009)



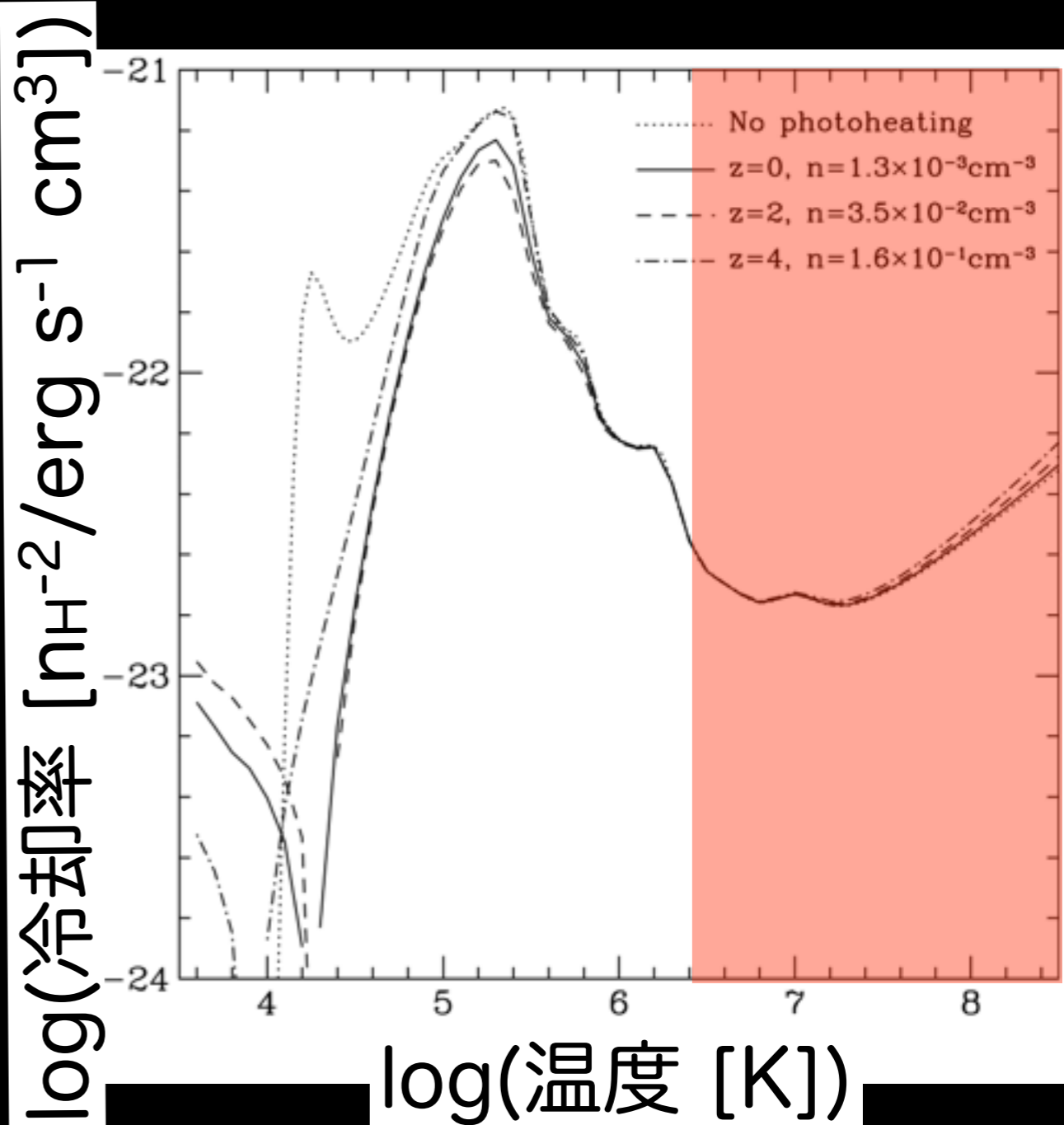
Halo Quenching

系の質量が大きいと冷却率の低い温度まで加熱されてしまう



赤方偏移

Dekel et al. (2013)

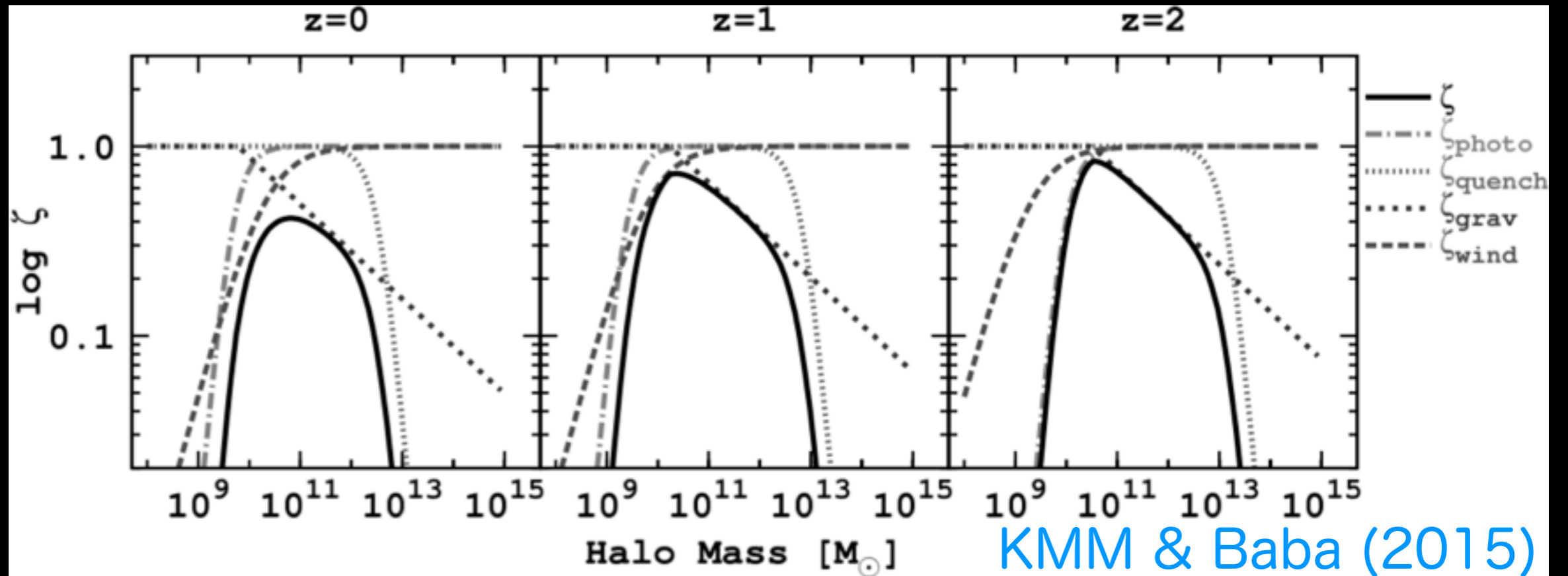


Benson (2010)

Mass Quenching

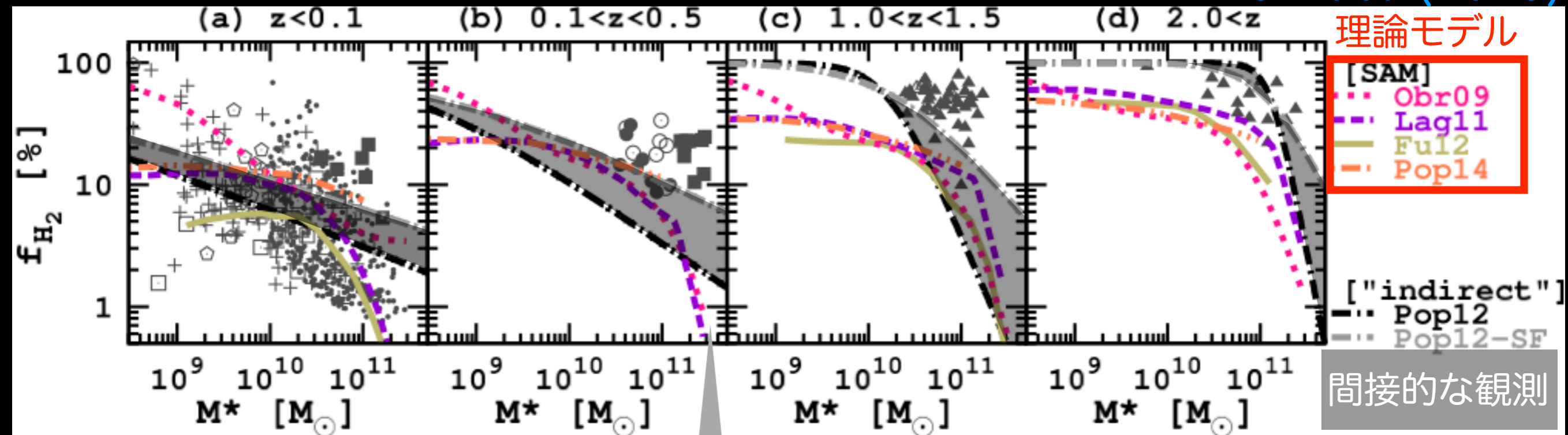
	SNe	AGN	Halo
質量	低質量	大質量	大質量
いつ?	より最近	より最近	より最近

Dave et al. (2012)の解析的銀河進化モデル



銀河形成モデルと観測を比較： $f_{H_2} = M_{H_2}/(M_{H_2}+M_{\star})$

KMM & Baba (2015)



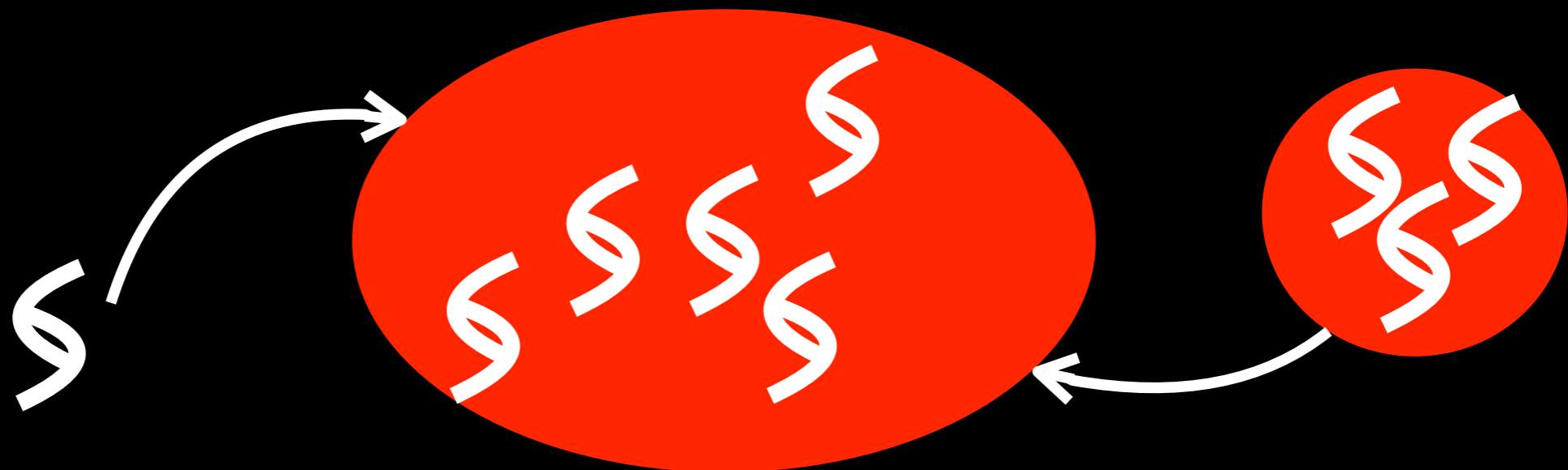
理論モデルは近傍銀河で分子ガスの量を減らしすぎている??

分子ガスを残しつつ星形成を止めるメカニズムの必要性
(e.g., Morphological Quenching, Martig et al. 2009)

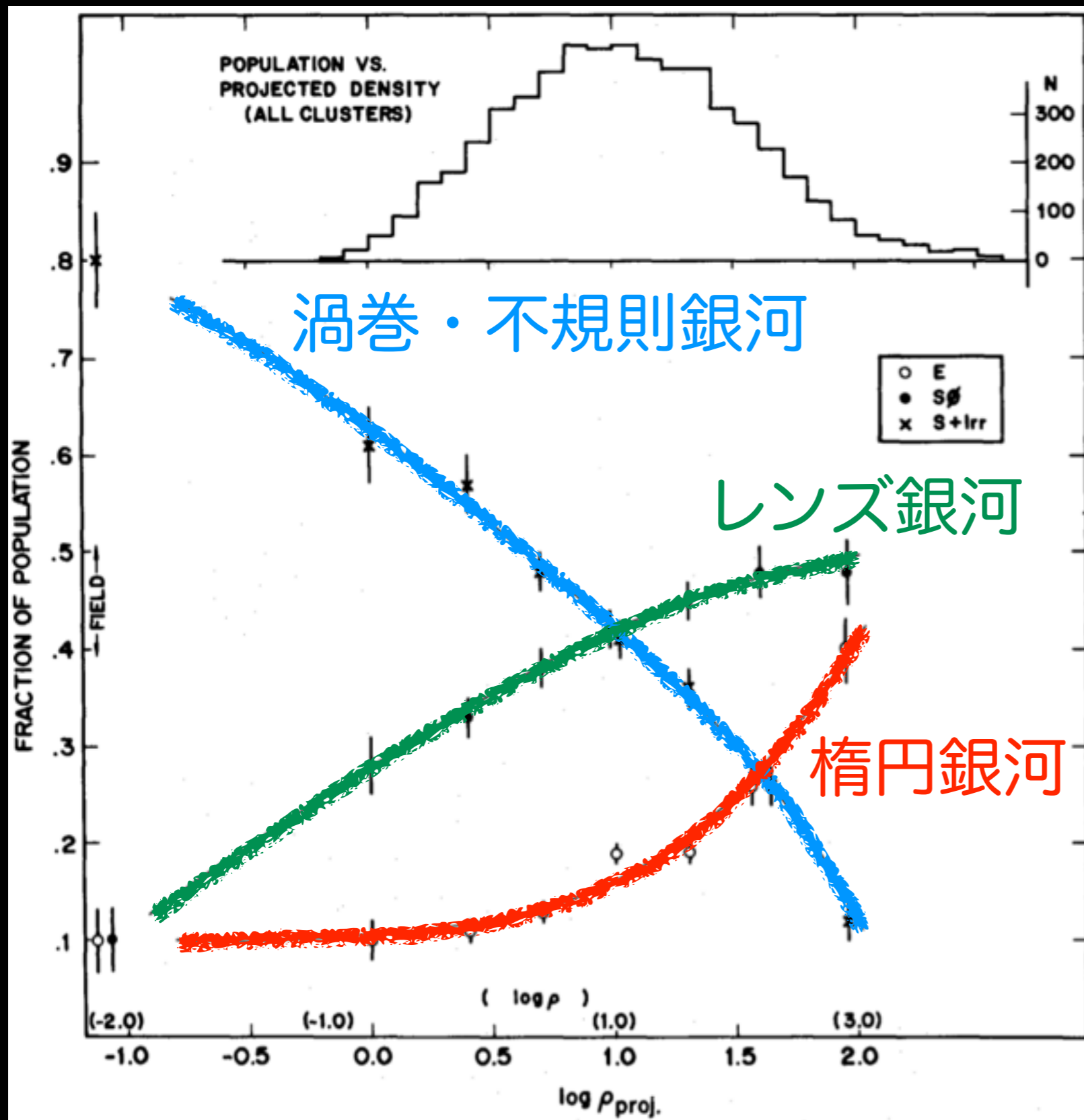
Environment Quenching

Environmental Quenching

	Ram-pressure gas stripping	Strangulation	Galaxy harassment/ tidal interaction	Merger
相手	銀河団ガス	銀河団ガス	銀河	銀河
形態変化	少々	なし	あり	あり
t_{spiral}	短い?	同じくらい	短め?	短め?
Reference	e.g., Gunn & Gott (1972)	e.g., Larson et al. (1980); Peng et al. (2015)	e.g., Moore et al. (1996)	



形態-密度関係 (Dressler 1980)

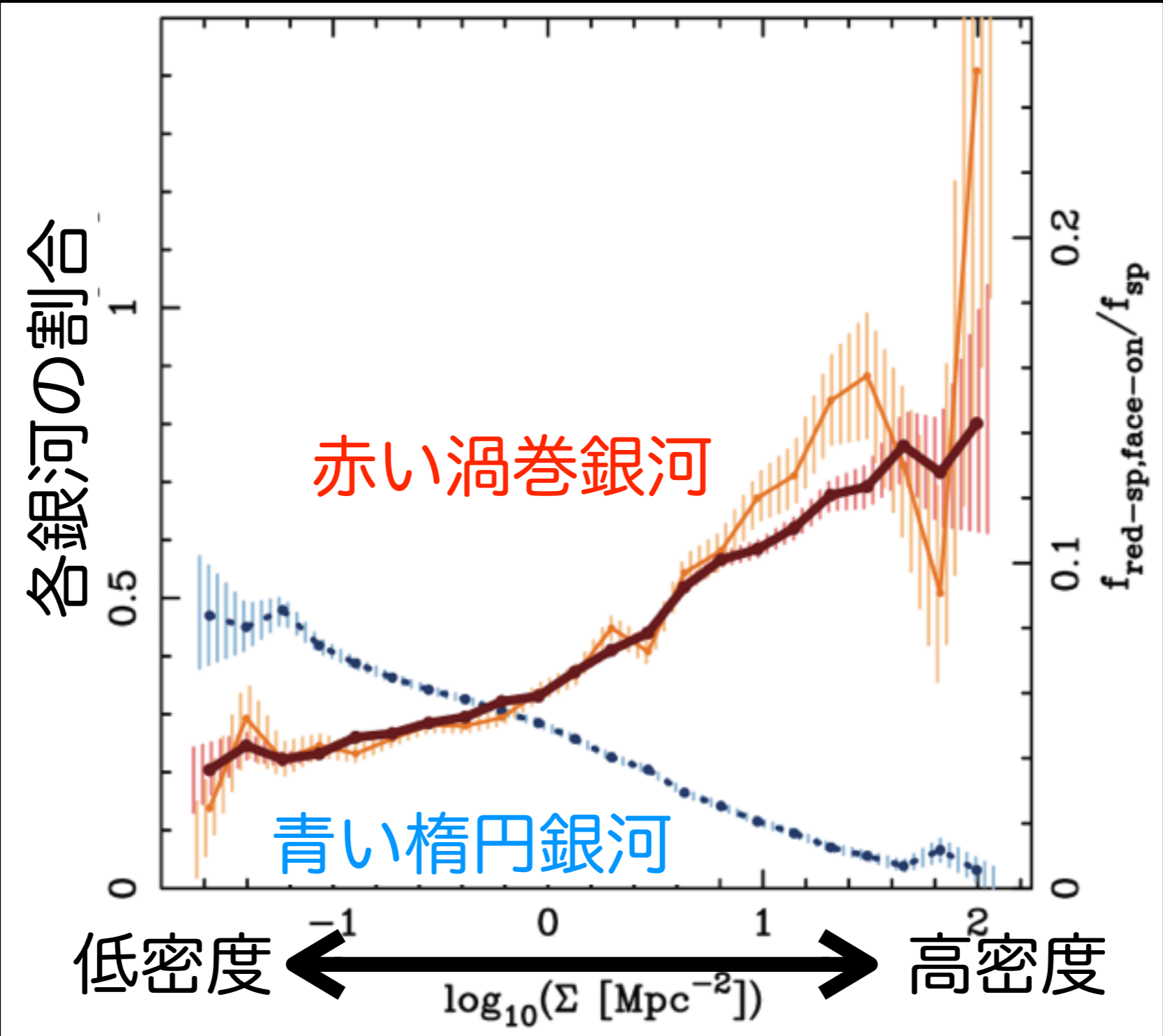


各銀河の割合

低密度には渦巻
高密度には楕円

低密度 ← → 高密度

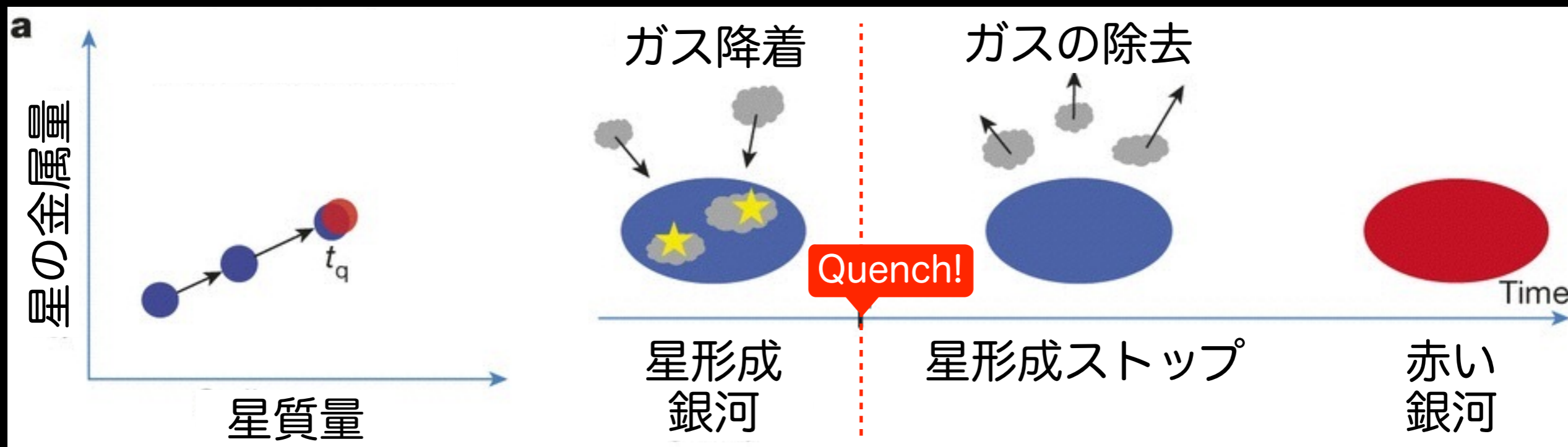
密度と関係があるのは銀河の色であり、形態ではない



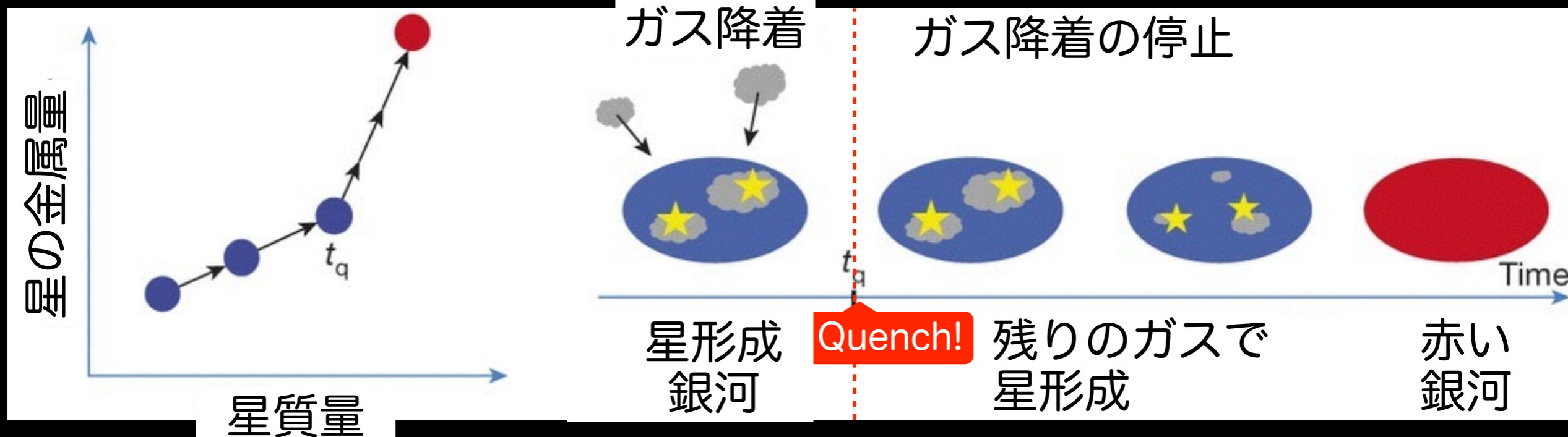
Bamford et al. (2009)

Quenchingのタイムスケール

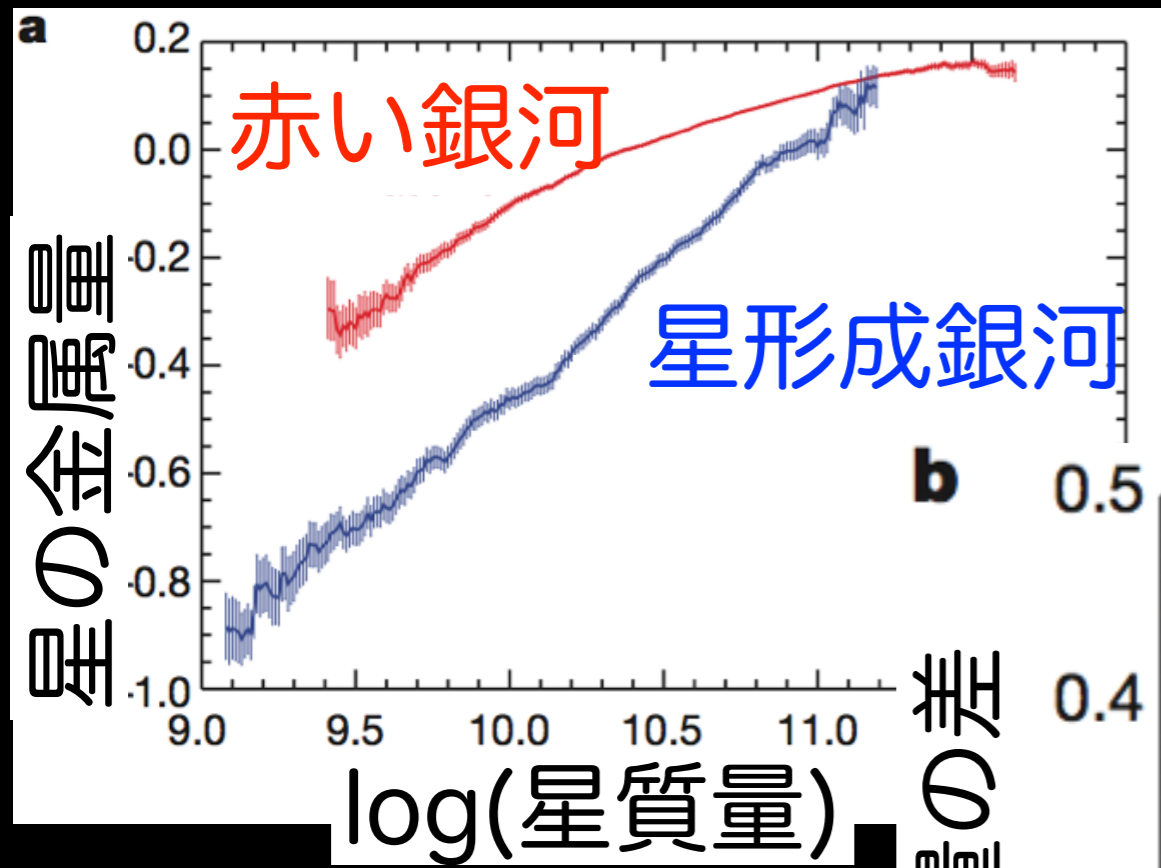
○短い (突然ガスがは除去される場合)



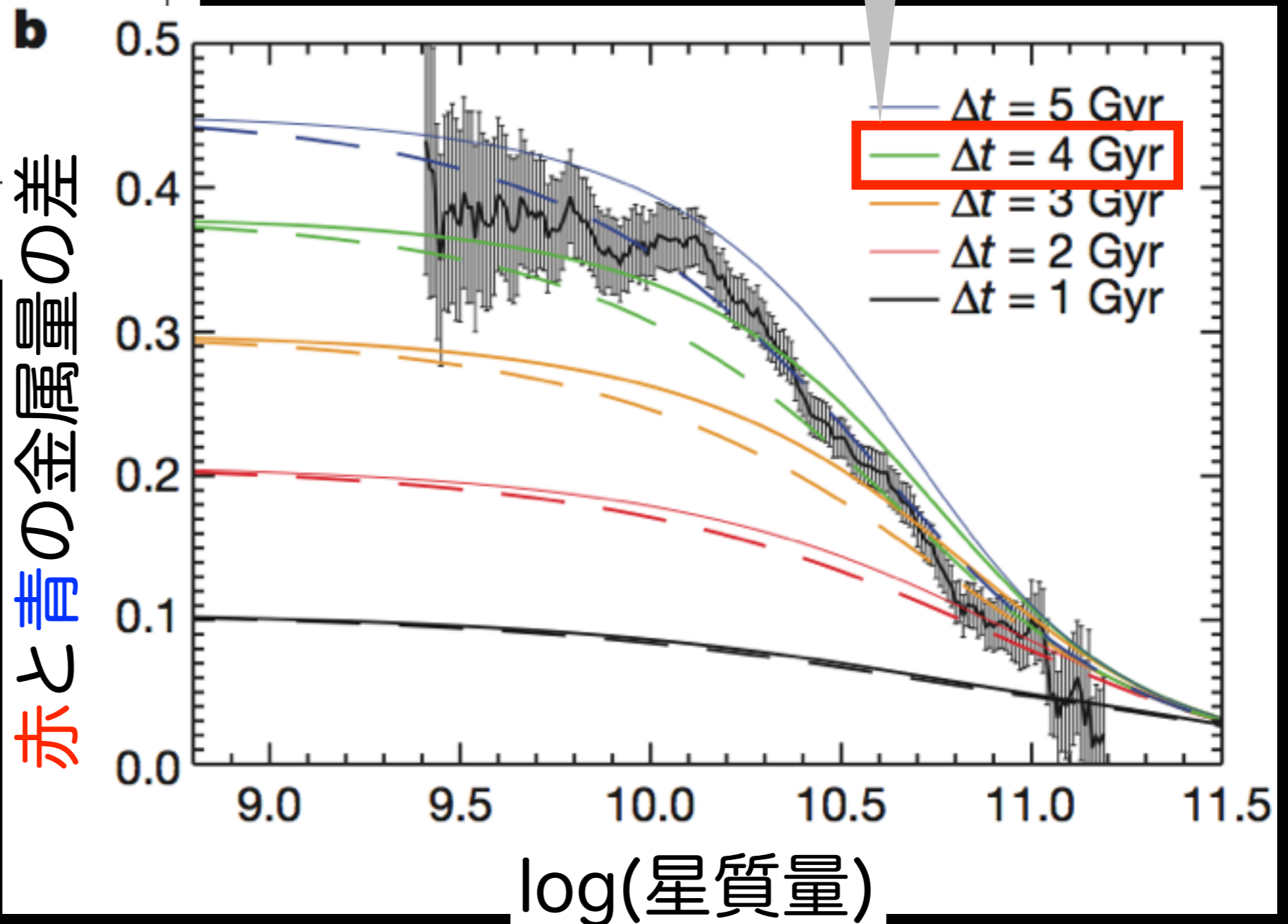
○長い (ガスの供給が止まった場合)



Quenchingのタイムスケール：長め



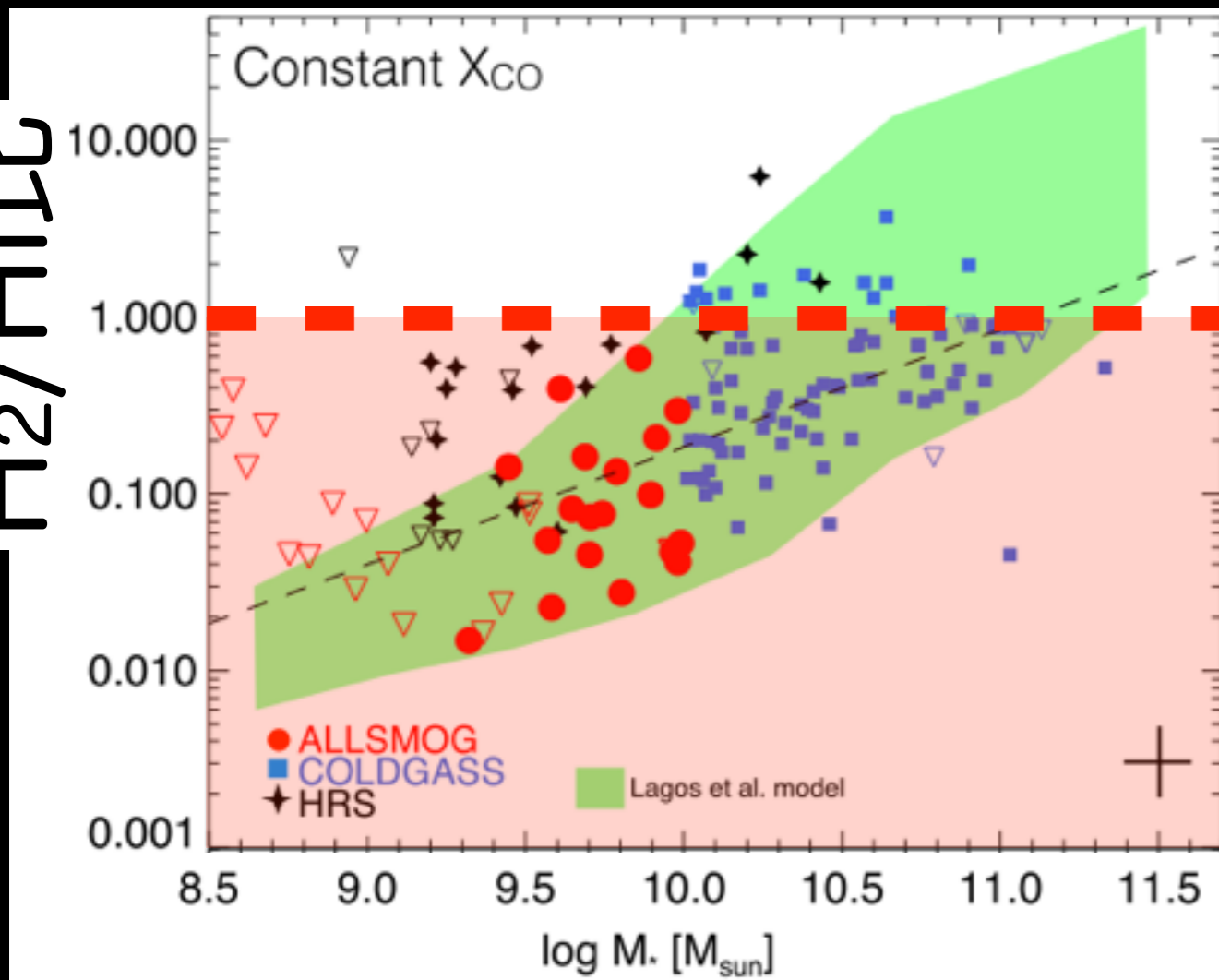
4 Gyr前に星形成を止めた場合の
Closed boxモデルで説明がつく



銀河団銀河はH₂/HI比が高い

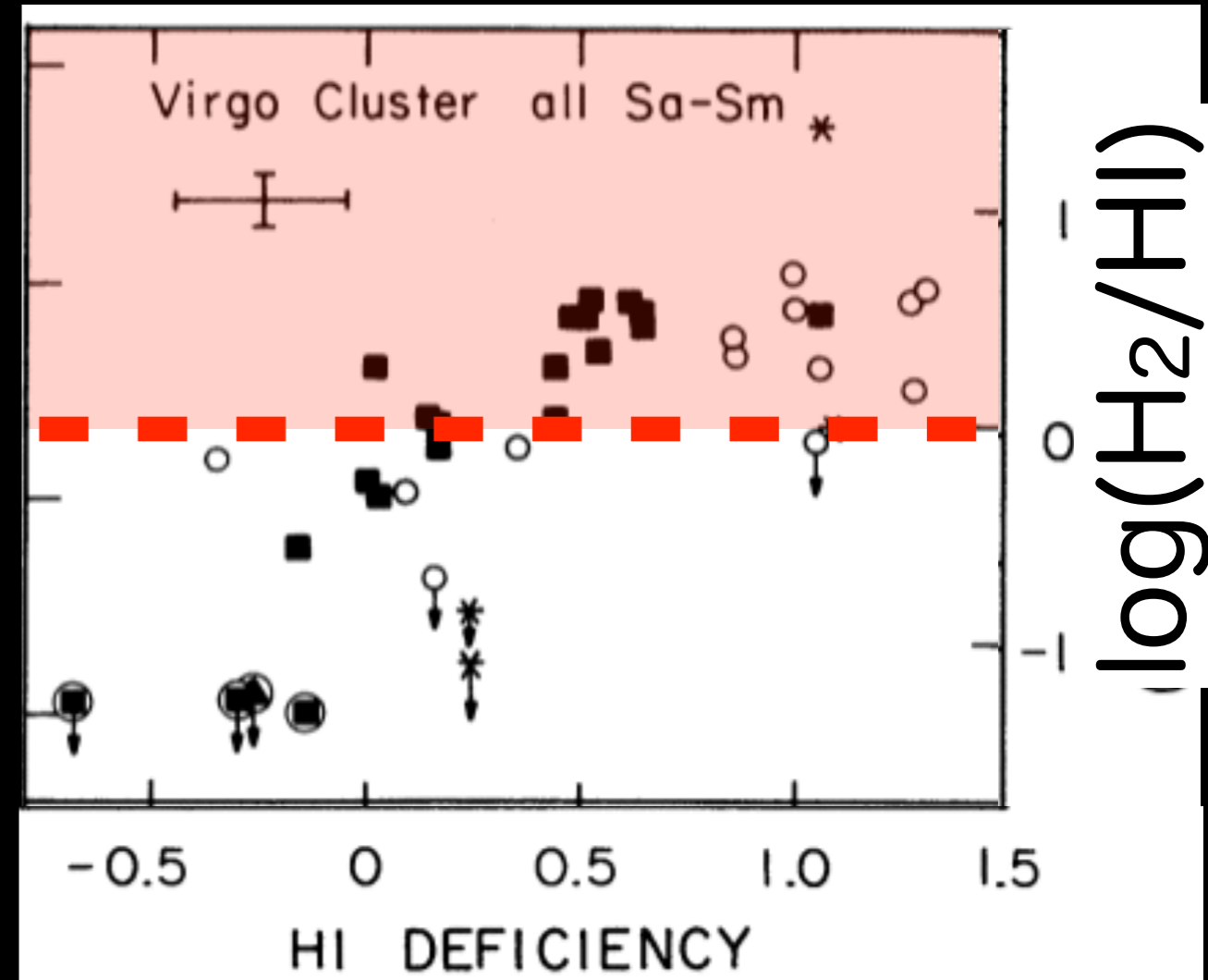
Field銀河

H₂/HI比



Bothwell et al. (2014)

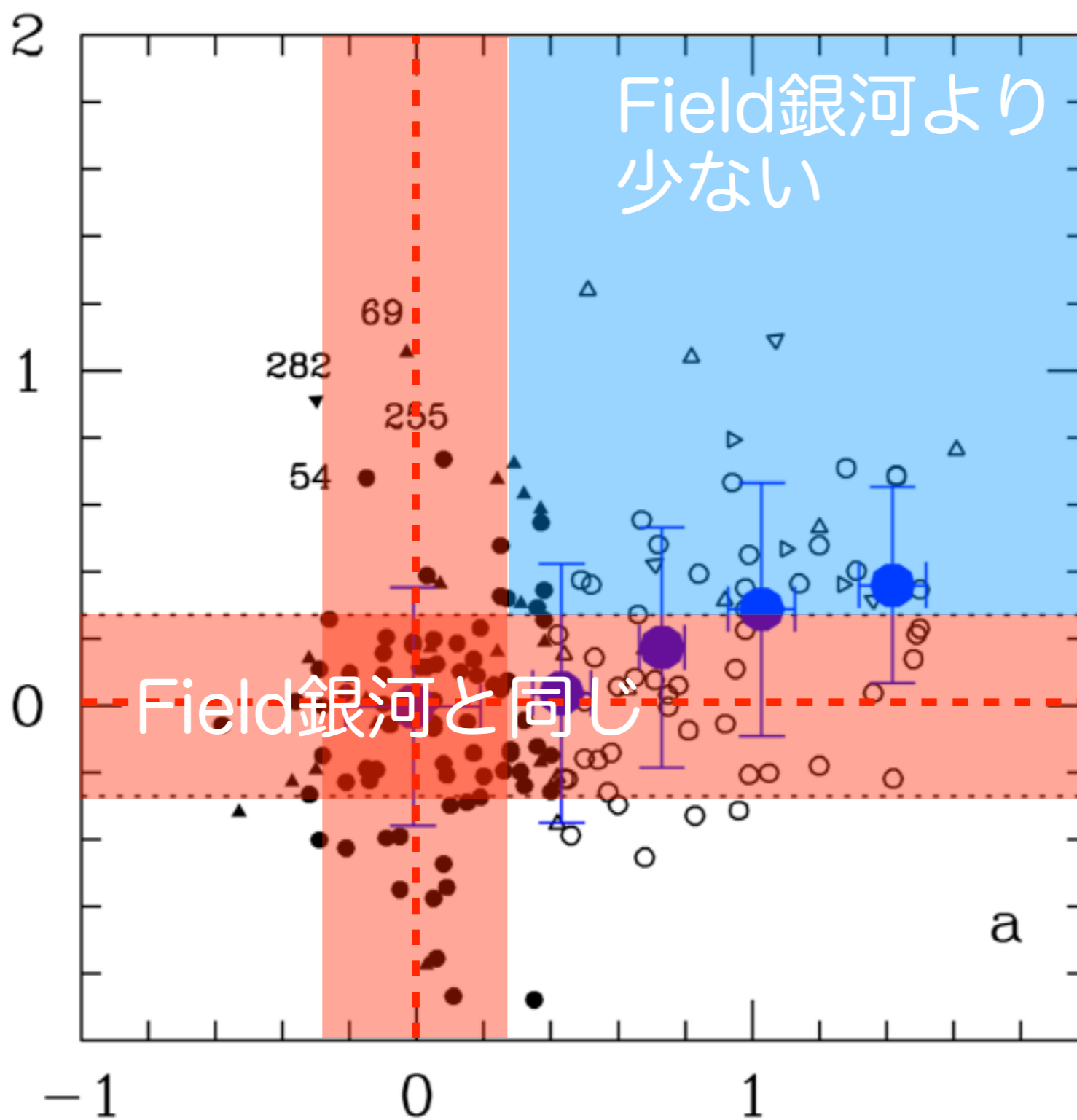
おとめ座銀河団銀河



Kenney & Young (1989)

銀河団銀河はH₂も少ない？

Field銀河と比べてH₂が
どのくらい少ないか



open symbols:
HIが少なくない銀河

filled symbols:
HIがfield銀河と同じ
くらいの銀河

Field銀河と比べてHIが
どのくらい少ないか

ラム圧によるガスのはぎ取り

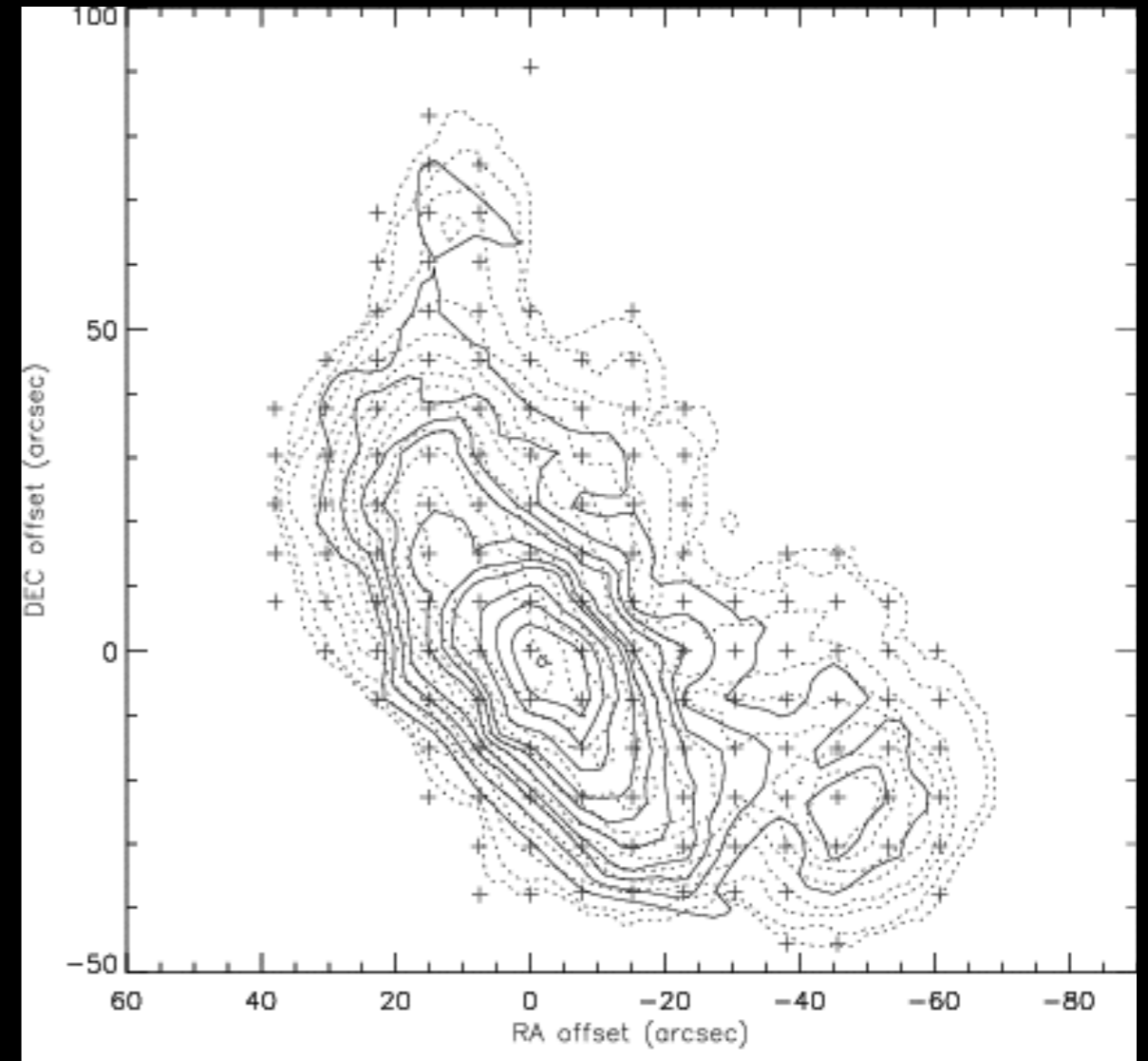
カラー：可視
コントア：原子ガス

点線コントア：原子ガス
実線コントア：分子ガス

NGC 4405



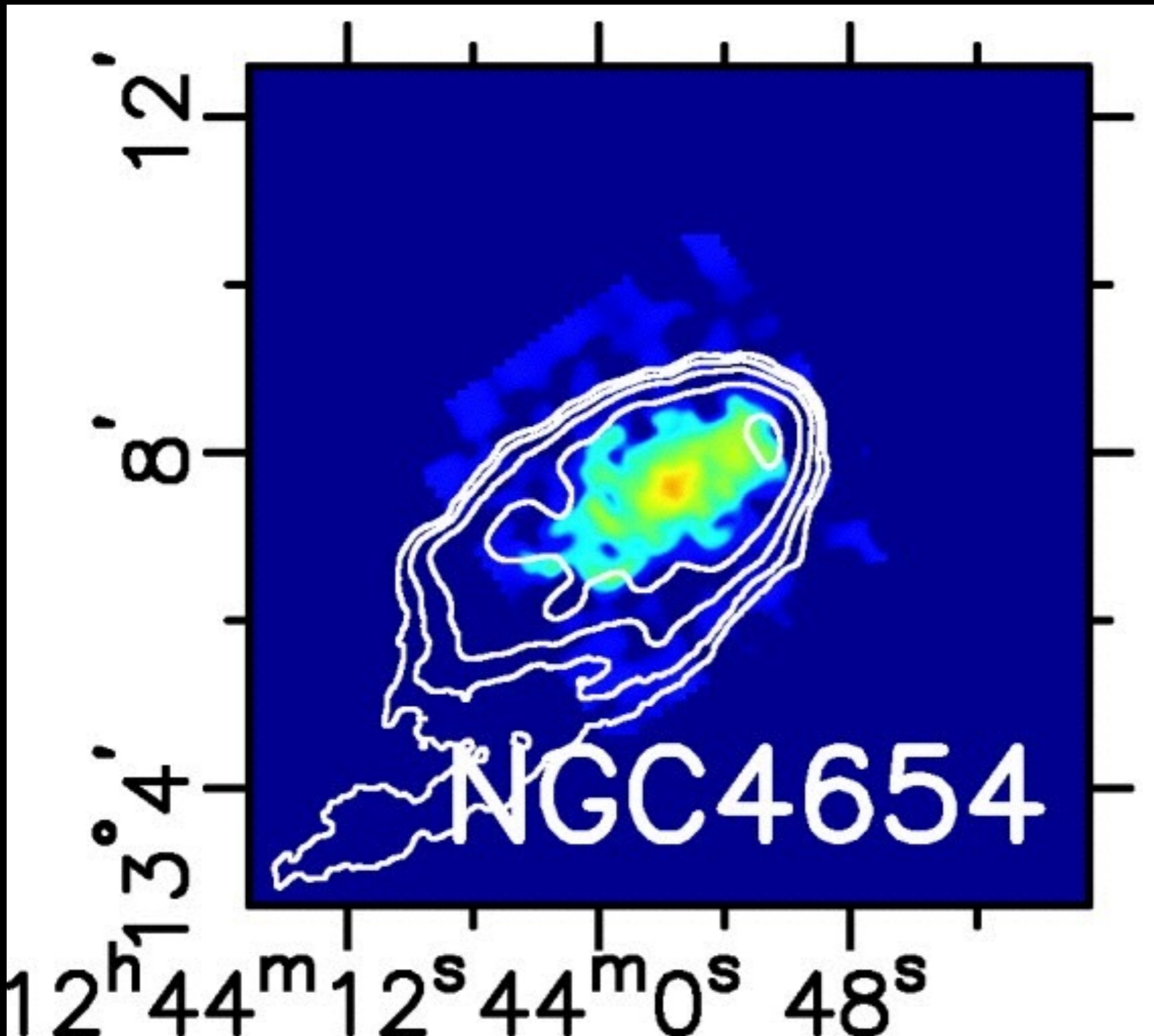
Chung et al. (2009)



Vollmer et al. (2008)

原子ガスだけでなく分子ガスもはぎ取られる??

ラム圧によるガスのはぎ取り



カラー：分子ガス
コントア：原子ガス

Nakanishi et al. (2006)

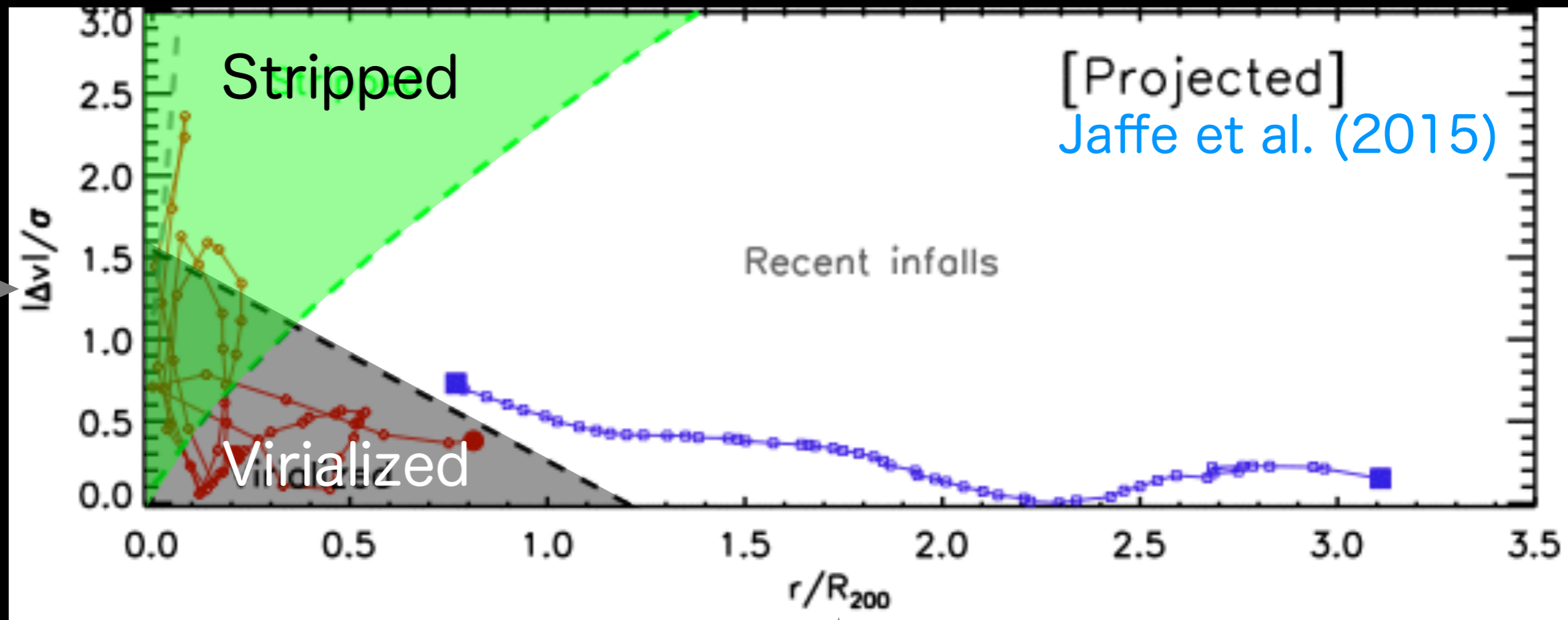
分子ガスは影響を受けない??

銀河団に所属している銀河は
どれも同じように・同じくらい
環境効果を受けているのか??

Projected phase-space diagram (PSD)

どのような環境効果をどれだけ受けているかの指標 (Mahajan+2011; Oman+2013; Noble+2013; Taranu+2014; Jaffe+2015,2016)

PSDにおける銀河の軌道

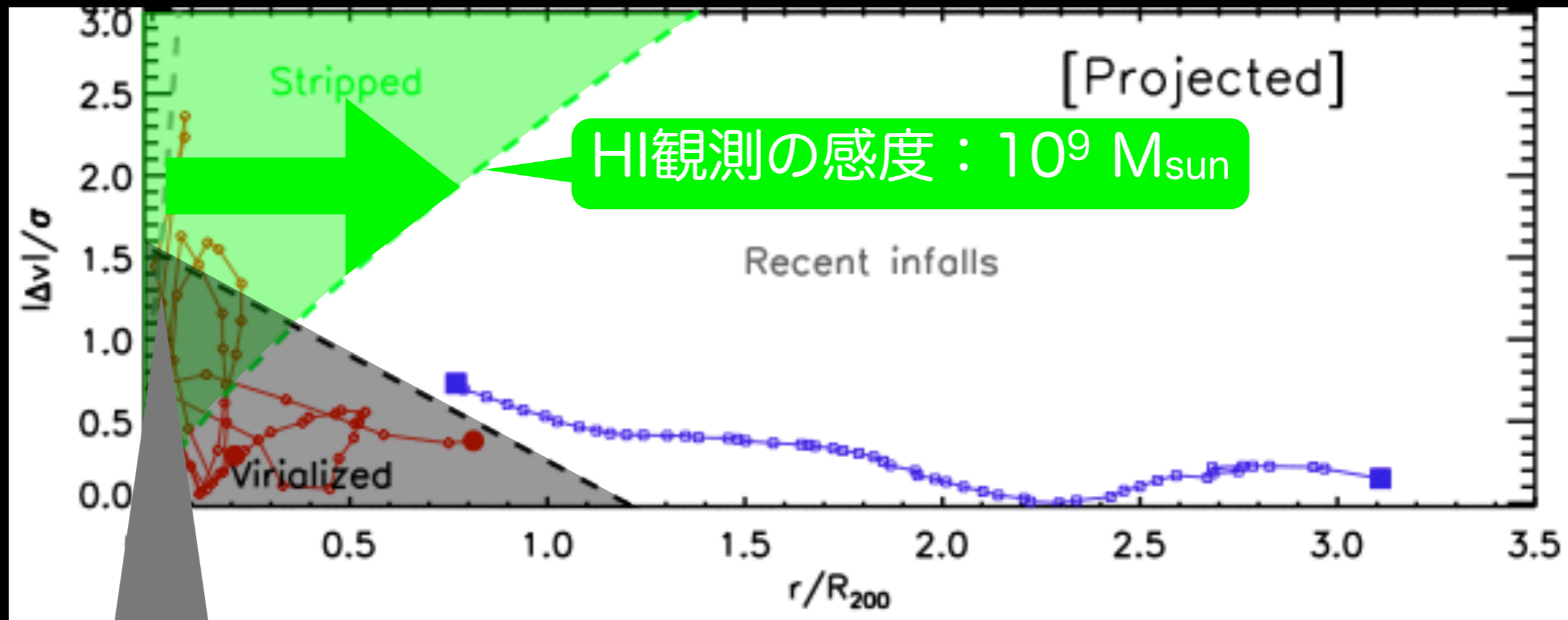


R_{200} で規格化した銀河団中心からの距離
(R_{200} 内の平均密度は宇宙の平均密度の200倍)

Projected phase-space diagram (PSD)

どのような環境効果をどれだけ受けているかの指標 (Mahajan+2011; Oman+2013; Noble+2013; Taranu+2014; Jaffe+2015,2016)

PSDにおける銀河の軌道



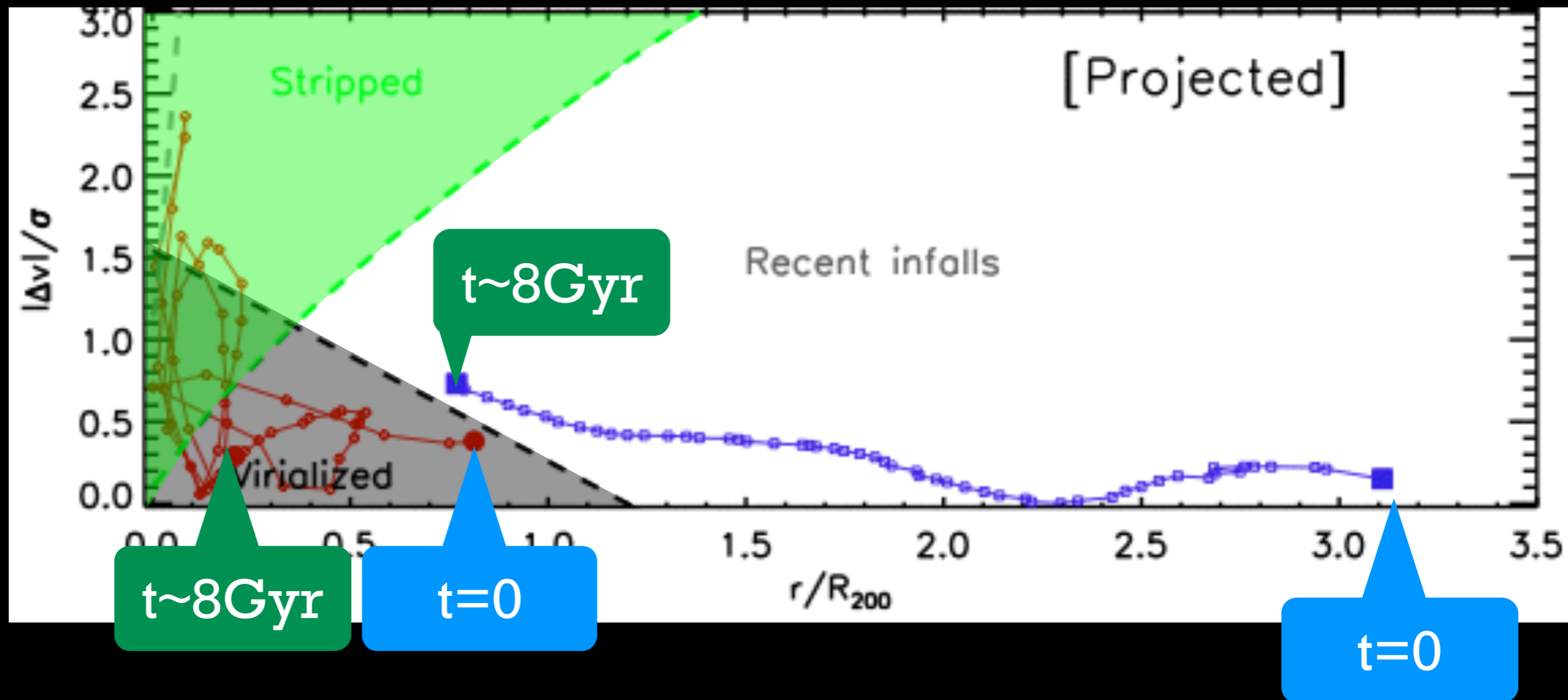
$$P_{\text{rps}} = \Pi_{\text{galaxy}}$$

$$P_{\text{rps}} = \rho_{\text{ICM}} V_{\text{galaxy}}^2$$
$$\Pi_{\text{galaxy}} = 2\pi G \Sigma_{\star} \Sigma_{\text{gas}}$$

Projected phase-space diagram (PSD)

どのような環境効果をどれだけ受けているかの指標 (Mahajan+2011; Oman+2013; Noble+2013; Taranu+2014; Jaffe+2015,2016)

PSDにおける銀河の軌道

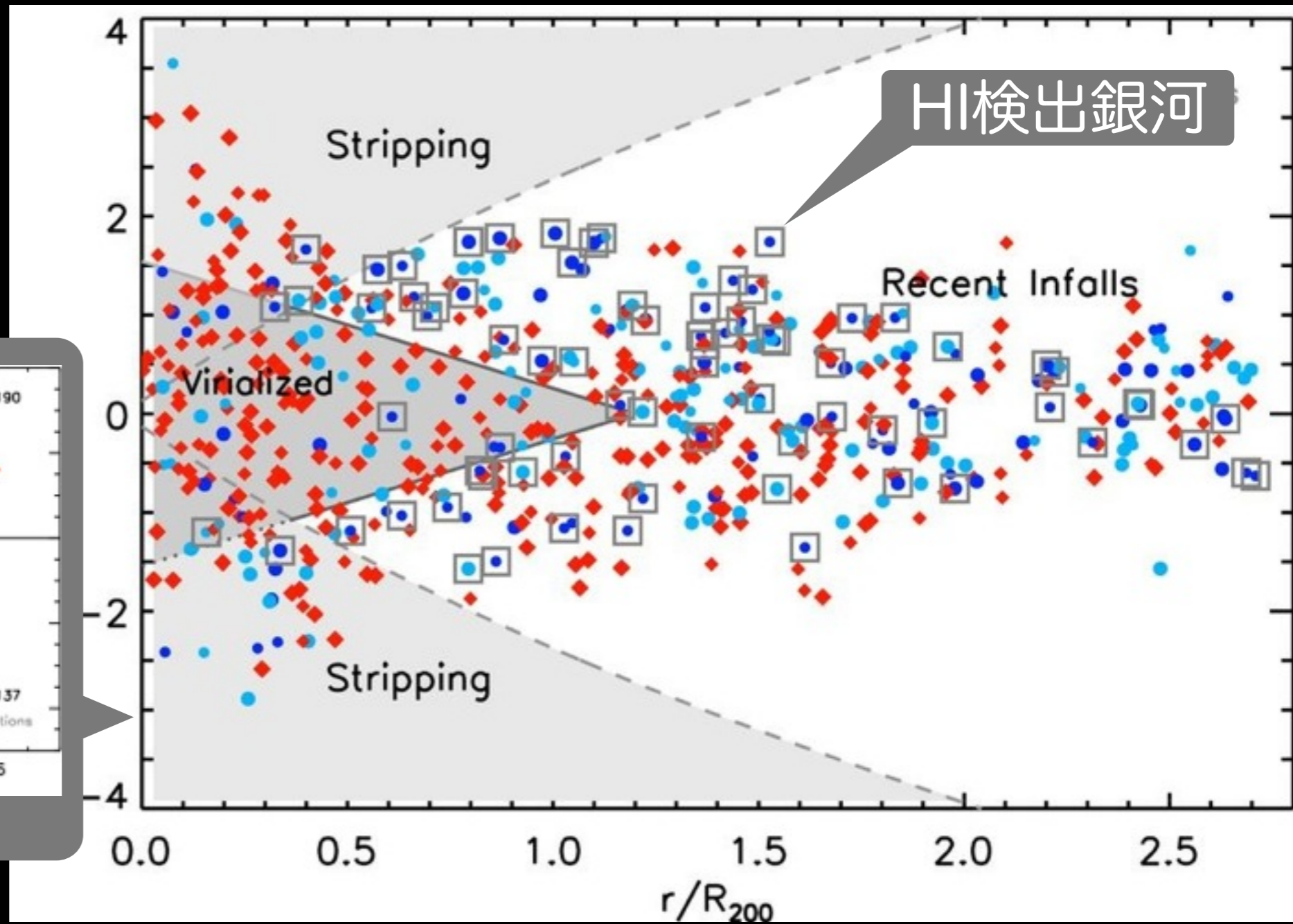
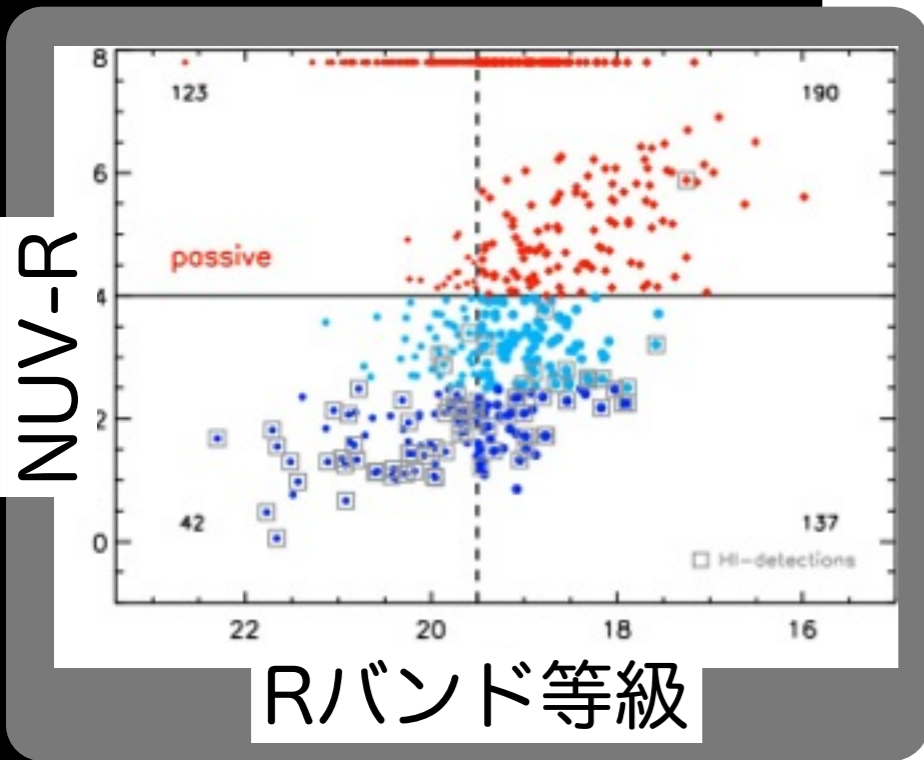


*銀河は徐々に銀河団中心へと落ちてくる

*“virialized”領域にいる銀河は何度か“stripped”領域を通る

$z \sim 0.2$ の銀河団のPSD

Jaffe et al. (2016)



HIが検出された銀河は”virialized”と”stripped”
を避けるように分布

銀河進化後半戦のまとめ

▶ 銀河進化後半戦は星形成Quenching

*大質量銀河はMass Quenching

*小質量銀河はEnv. Quenching

▶ それぞれ支配的なプロセスが何かはわかってない

*タイムスケールが鍵、4Gyrくらい？

*ガスを減らしすぎずに星形成を抑制するプロセス

低温ガス研究でしたいこと：

1. Quenchingの原因が、ガス量の低下 or 星形成効率の低下なのか？
2. 支配的なQuenchingプロセスは何か？

▶ 宇宙の星形成率密度進化の起源は？

*宇宙の分子ガス/原子ガス質量密度進化

▶ Mass/Environment Quenchingの各プロセス

*Peng et al. (2010)の図上で f_{H_2} , f_{HI} , f_{gas} , SFEで色付け

*様々な銀河群・銀河団のPhase-Space diagram上で

f_{H_2} , f_{HI} , f_{gas} , SFEで色付け

現在進行中/計画中の分子ガス観測プロジェクト

COMING

ALPACA

ENMA

WLM

現在進行中：近傍銀河CO輝線”撮像”大サーベイ

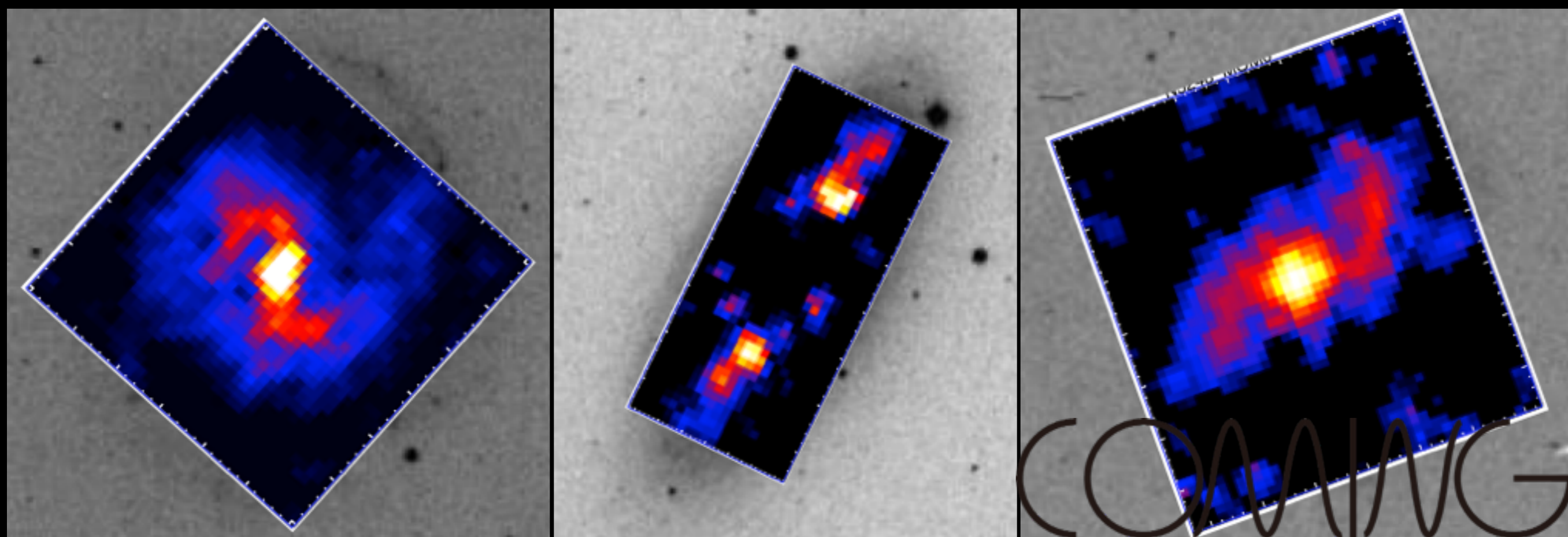
COMINGプロジェクト (PI: 徂徠和夫氏, 北大,

CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies)

▶ 現在進行中の野辺山電波観測所のレガシーサーベイ

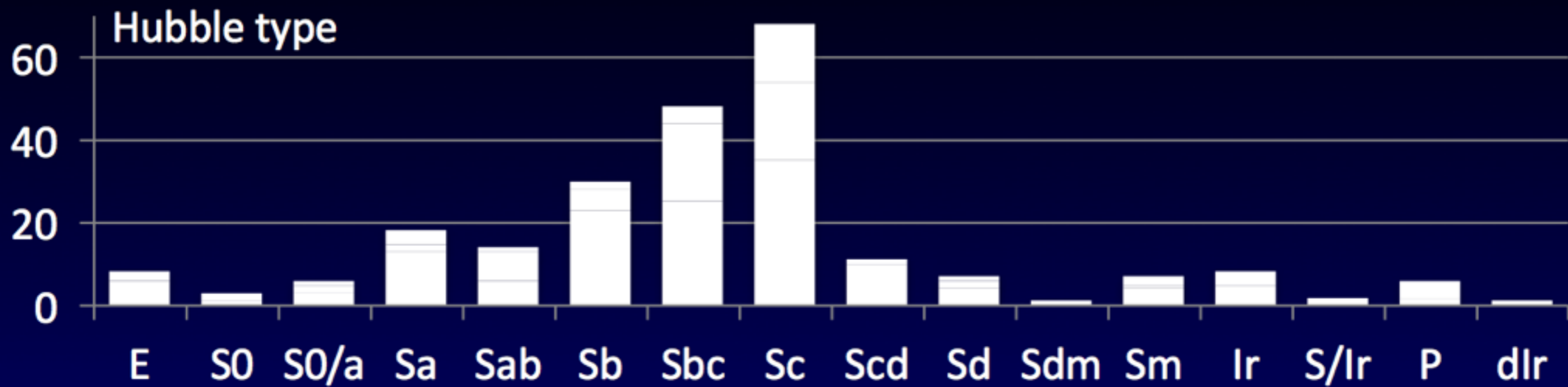
世界最大 ▶ 238銀河のCO(J=1-0)輝線”撮像”サーベイ

▶ 2017年6月に完了予定 (100銀河データ取得済み)



現在進行中：COMING

- ▶ IRAS $S_{100\mu\text{m}} > 10\text{Jy}$ or AKARI $S_{140\mu\text{m}} > 10\text{Jy}$
- ▶ $\delta_{\text{J2000}} > -40\text{ deg}$
- ▶ 楕円銀河・大きな銀河(M31, M33)を除く



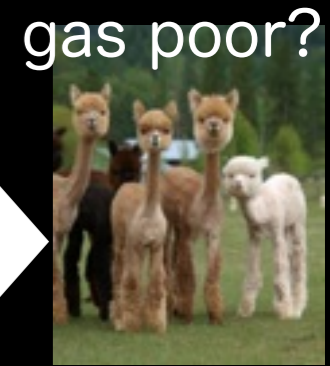
▶ おとめ座銀河団銀河：~20個

▶ 銀河群：>100個

計画中:

ALPACA

(ALMA Large Program of gAs survey toward Chukan(中間)-redshift gAlaxies)



目的: 銀河形成効率が小質量・大質量銀河で低いのは、ガスの量が少ないのか、星形成効率が低いのかを切り分ける



MASS-DEPENDENT EVOLUTION OF MOLECULAR GAS FRACTION AND STAR FORMATION EFFICIENCY AT Z=0.5-1.0

2016.1.00356.S

ABSTRACT

Mass dependence of galaxy evolution is one of the key topics in galaxy formation studies: low galaxy-formation-efficiency (GFE) in massive and less-massive galaxies. To assess whether low GFE is due to (1) low "amount" of molecular gas or (2) low star formation "efficiency" (SFE) from molecular gas, we propose a band-7 continuum survey toward 423 Herschel-detected galaxies in the COSMOS field for measuring molecular gas mass. It is a complete sample with a stellar mass range of $10 < \log (M^*/M_{\text{sun}}) < 12$, I-band magnitude of >22.5 , Herschel/SPIRE 500- μm flux of >6 mJy, and a redshift range of $0.5 < z < 1.0$, where the cosmic star formation activity starts to decrease. The band-7 continuum luminosity is converted to molecular gas mass with an empirical relation of Scoville et al. (2016). We also investigate the relationship between galaxy morphology (central mass concentration) and SFE at this redshift range for the first time.

Failed...

PI NAME:	Kana Morokuma			SCIENCE CATEGORY:	Cosmology and the High Redshift Universe
PI E-MAIL:	kana.matsui@nao.ac.jp			PI INSTITUTE:	National Astronomical Observatory of Japan
ESTIMATED 12M TIME:	21.3 h	ESTIMATED ACA TIME:	0.0 h	ESTIMATED NON-STANDARD MODE TIME (12-M):	0.0 h
CO-PI NAME(S): (Large Proposals only)					
CO-INVESTIGATOR NAME(S):	Nick Scoville; Claudia Lagos; Junichi Baba; Ryu Makiya; Akifumi Seko; Yoichi Tamura; Yoshiaki Taniguchi; Kotaro Kohno; Daisuke Iono; Yuichi Matsuda; Yusei Koyama; Takashi Okamoto; Kiyoto Yabe; Kazuo Sorai; Tadayuki Kodama; Katsuya Okoshi; Yuki Yamaguchi; Kazuma Mitsuda; Kazuhiro Shimasaku; Masao Hayashi; Masayuki Tanaka; Kouichiro Nakanishi; Kentaro Motohara; Minju Lee; Katsuhiro Murata				



計画中：銀河群・銀河団銀河のCO・HIサーベイ

ENMA (ENvironmental effect on galaxy evolution with ALMA)

目的：銀河群・団進化と銀河進化の関係

WALLABYチームとのコラボ

メンバー：

Jing Wang (CSIRO); Kenji Bekki (UWA);
Yusei Koyama (NAOJ); Paolo Serra
(OAC); Kouichiro Nakanishi (NAOJ);
Tsutomu Takeuchi (Nagoya U.);
Hiroyuki Kaneko (NAOJ); Daniel
Espada (NAOJ); Sachiko Onodera
(Meisei U.)

Cy5ターゲット：Fornax銀河(~60個)

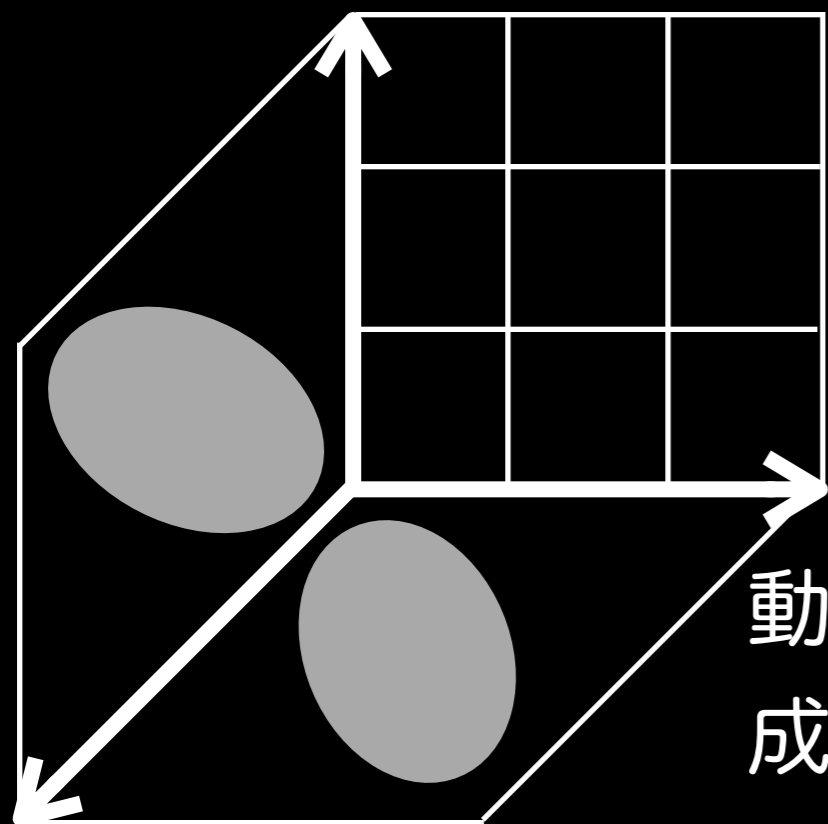
観測周波数：115.271 GHz (CO(1-0))

系の質量

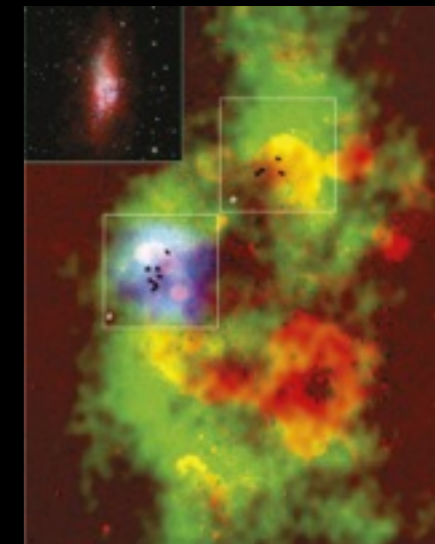
動力学
成熟度

銀河数密度

@z=0



現在進行中：WLMのALMAダスト連続波観測



目的: 分子雲スケールの ガス-ダスト比 vs 金属量関係



FIRST MEASUREMENT OF "CLOUD-SCALE" GAS-TO-DUST RATIO OF A DWARF GALAXY WLM 2016.1.00390.S

ABSTRACT

WLM is one of the-lowest-metallicity, star-forming dwarf galaxies within 1-Mpc distance. In the previous cycle, our ALMA high-resolution and high-sensitivity observations discovered ten small molecular clouds with a typical size of 5 pc in diameter (Rubio et al. 2015). We propose 7.6-hrs dust-continuum mosaic observations in band 7 toward the clouds to measure the metallicity dependence of "cloud-scale" gas-to-dust ratio (GDR) for the first time. Based on this proposed observation, we investigate (1) the origin of large scatter of galactic-scale GDR in the low-metallicity regime, (2) star formation histories of WLM by comparing with theoretical dust and galaxy models, and (3) metallicity dependence of a ratio of 850um luminosity and ISM mass. The requested sensitivities is determined based on the LABOCA 870um flux and allow us to detect dust continuum with 14-sigma.

Approved!!

PI NAME:	Kana Morokuma			SCIENCE CATEGORY:	Galaxies and Galactic Nuclei
PI E-MAIL:	kana.matsui@nao.ac.jp			PI INSTITUTE:	National Astronomical Observatory of Japan
ESTIMATED 12M TIME:	7.6 h	ESTIMATED ACA TIME:	0.0 h	ESTIMATED NON-STANDARD MODE TIME (12-M):	0.0 h
CO-PI NAME(S): (Large Proposals only)					
CO-INVESTIGATOR NAME(S):	Tsutomu Takeuchi; Nick Scoville; Claudia Lagos; Ryu Makiya; Akifumi Seko; Yoichi Tamura; Yuichi Matsuda; Daisuke Iono; Kotaro Kohno; Takashi Okamoto; Yoshiaki Taniguchi; Kiyoto Yabe; Tadayuki Kodama; Katsuya Okoshi; Yuki Yamaguchi; Kouichiro Nakanishi; Minju Lee; Akiko Kawamura; Toshikazu Onishi; Michiko Fujii; Takayuki Saitoh; Yutaka Hirai; Monica Rubio; Natsuko Izumi; Bruce Elmegreen; Juan Cortes				

まとめ

まとめ

▶ 銀河進化後半戦は星形成Quenching

*大質量銀河は「質量」・小質量銀河は「環境」

▶ それぞれ支配的なプロセスが何かはわかってない

低温ガス研究でしたいこと：

1. Quenchingの原因が、ガス量の低下 or 星形成効率の低下なのか？
2. 支配的なQuenchingプロセスは何か？

COMING, ALPACA, ENMA, WLM