

Subaru HSC サーベイ領域にある 重量級銀河団のX線観測による 質量推定 III

宮岡敬太¹、岡部信広¹、深澤泰司¹、北口貴雄²、大栗真宗³

HSC Cluster Members

* 1.広島大学、2.理研、3.東京大学

Subaru Hyper Prime-Cam Strategic Survey

* ongoing survey

Japan, Taiwan, Princeton University

from 2014 300 nights over 5-6 years

HSC-W(wide): 1400 deg²

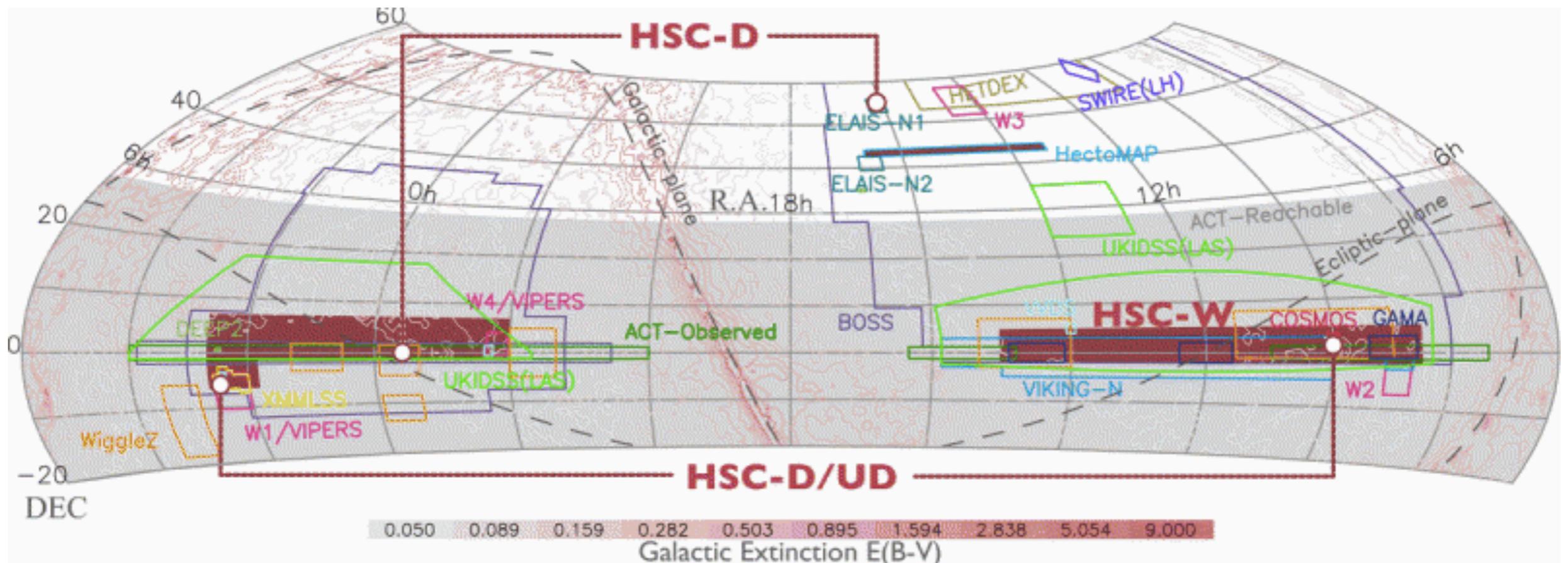
multi-band (grizy plus 4 narrow-band filters) imaging survey

median seeing in the i-band is about 0.6 arcsec



Subaru Telescope

1.5 degree diameter field of view



S17A field : 456 deg² (full depth = 178 deg²)

◆ 本研究の最終目的：

HSC-SSPサーベイ領域にある銀河団のX線物理量を系統的に測定して弱い重力レンズ質量と光学観測量とを比較して宇宙論や銀河団物理に有益な成果を得る

1. mass-bias

X線質量（静水圧平衡を仮定して求めた質量： M_X ）と重力レンズ質量(M_{WL})の比を測定して、mass bias $\langle M_X/M_{WL} \rangle$ を得る。

→ 精度の良いmass biasの測定には質の良いX線データが必要

2. Scaling relation/Universal Temperature Profile

X線物理量と弱い重力レンズ質量および光学観測量とのスケーリング関係 (N_{cor} -Mass, T_X -Mass, M -Y etc)から、銀河団物理量の相関関係を得る。

3. Gas fraction & baryon fraction

WMAP&PlanckのCMB観測から得られるcosmic mean fraction(Ω_m , Ω_b)と銀河団中のガス&バリオンのフラクション(f_{gas} , f_{bar})の比較から、銀河団の星生成活動や活動銀河のガスの吹き出しによる影響を見る。

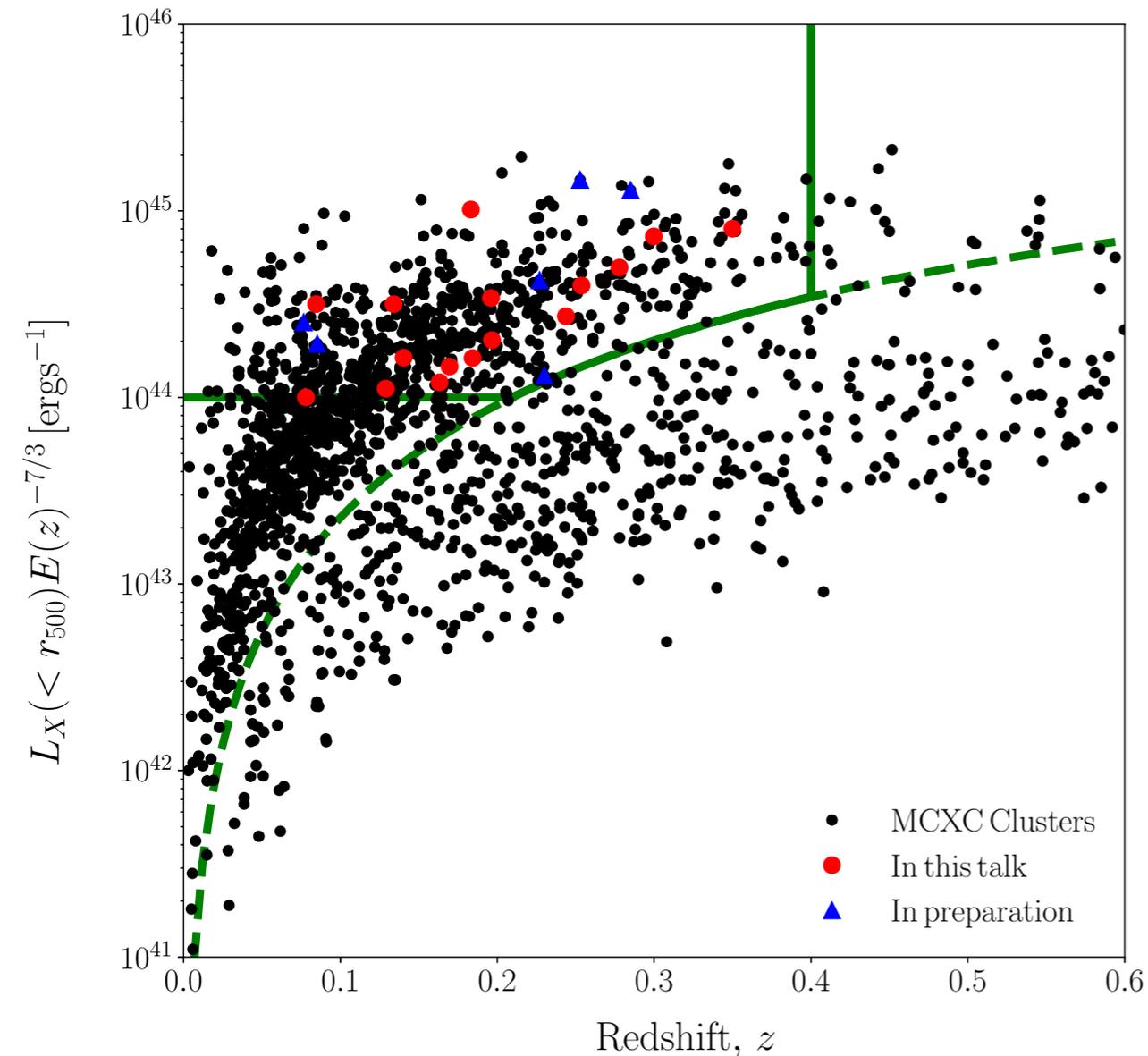
- ・ 前回の年会（宮岡他,T22b）ではS16A fieldの5つの銀河団で議論した。
本口演ではHSCサーベイに先駆けて、X線物理量のみを紹介する。

Sample clusters criteria

- ❖ X-ray selected clusters from MCXC catalog
- ❖ low z and high mass , $z < 0.4$ and $L_X (<r_{500}) > 10^{44} E(z)^{-7/3}$
- ❖ XMM-Newton衛星データ

赤：解析済み 青：衝突銀河団 緑：一部のデータが無い

Sample selection



Name	Alt Name	Exposure
MCXC J1256.4+0440		56ks
MCXC J1023.6+0411	RXC J1023.6+0411	42ks
MCXC J1311.5-0120	ABELL1689	35ks
MCXC J1258.6-0145	ABELL1650	34ks
MCXC J1401.0+0252	ABELL1835	30ks
MCXC J1330.8-0152	ABELL1750	29ks
MCXC J0157.4-0550	ABELL0281	28ks
MCXC J0153.5-0118	RXC J0153.5-0118	27ks
MCXC J0106.8+0103	RXC J0106.8+0103	27ks
MCXC J2256.9+0532	ABELL2507	25ks
MCXC J0231.7-0451	ABELL0362	23ks
MCXC J0201.7-0212	ABELL0291	23ks
MCXC J0158.4-0146	ABELL0286	23ks
MCXC J1217.6+0339	RXC J1217.6+0339	23ks
MCXC J1115.8+0129	RXC J1115.8+0129	22ks
MCXC J1415.2-0030	ABELL1882	19ks
MCXC J0152.7+0100	ABELL0267	17ks
MCXC J2311.5+0338	ABELL2552	15ks
MCXC J2337.6+0016	ABELL2631	13ks
MCXC J0105.0+0201	RXC J0105.0+0201	
MCXC J1113.3+0231	ABELL1205	8ks
MCXC J1200.4+0320	ABELL1437	5ks

Gas temperature measurement

* スペクトルフィットモデル

ICM放射と定常的なNXBの連続成分以外のバックグラウンドをモデリング

Model = ICM + CXB + Line + SWCX + Softproton

= APEC + APEC(LHB) + APEC(Halo) + POW(ExtGala) + Gaussians + POW

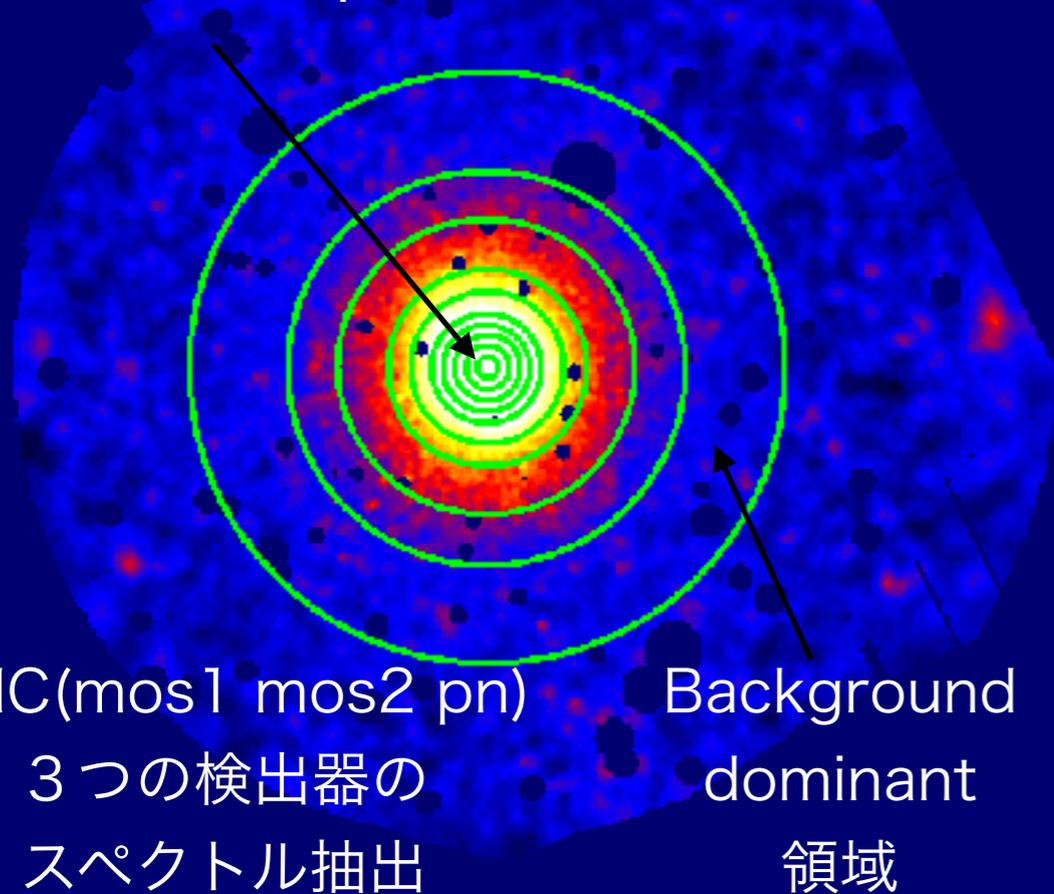
スペクトル抽出領域

スペクトルフィット

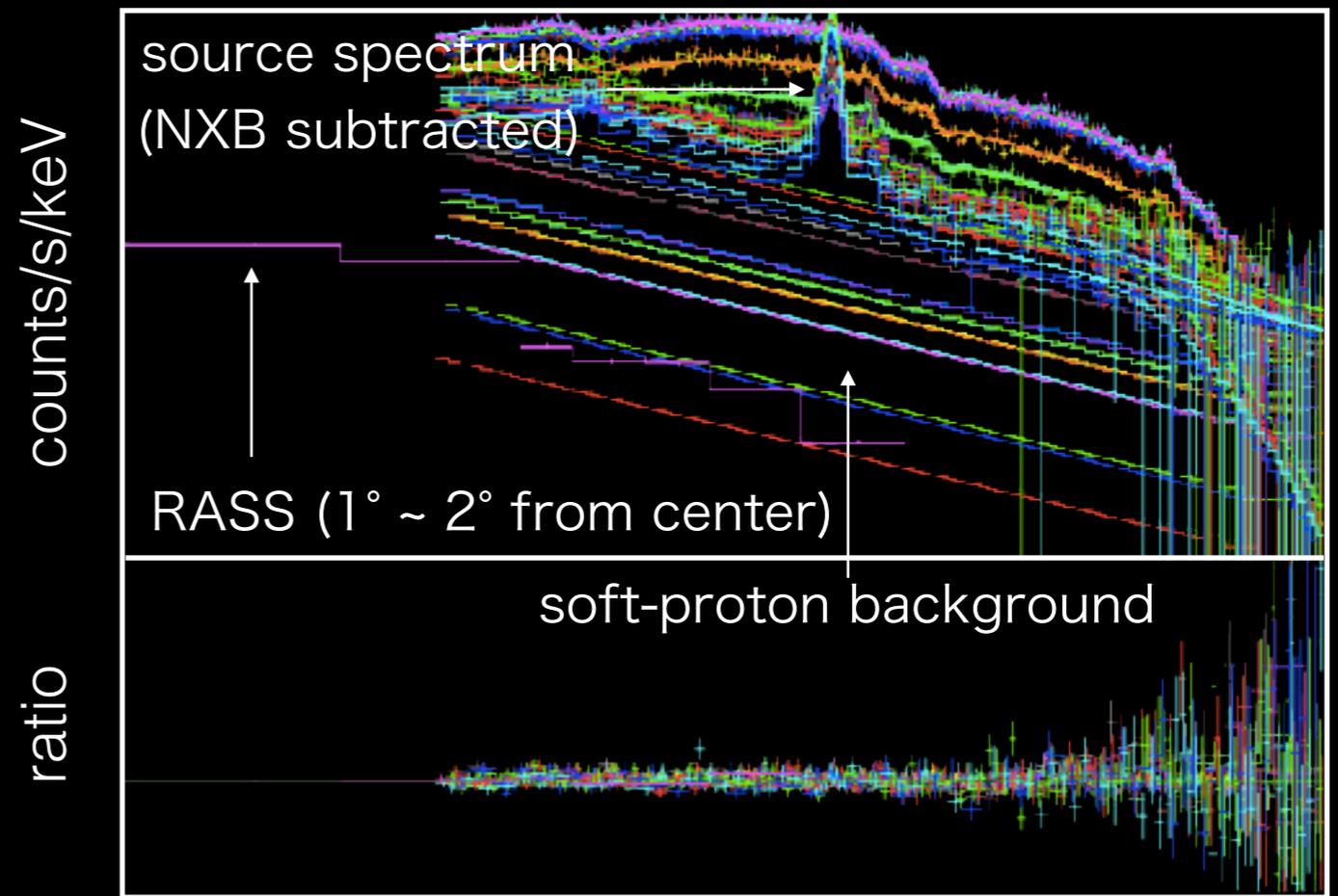
球対象を仮定

同心円環領域で温度測定

中心は0.5 Mpcの半径円の重心位置



全領域のスペクトルを同時にフィット



$\chi^2/\nu = 1.0 \sim 1.3$: degree of freedom 4000-8000

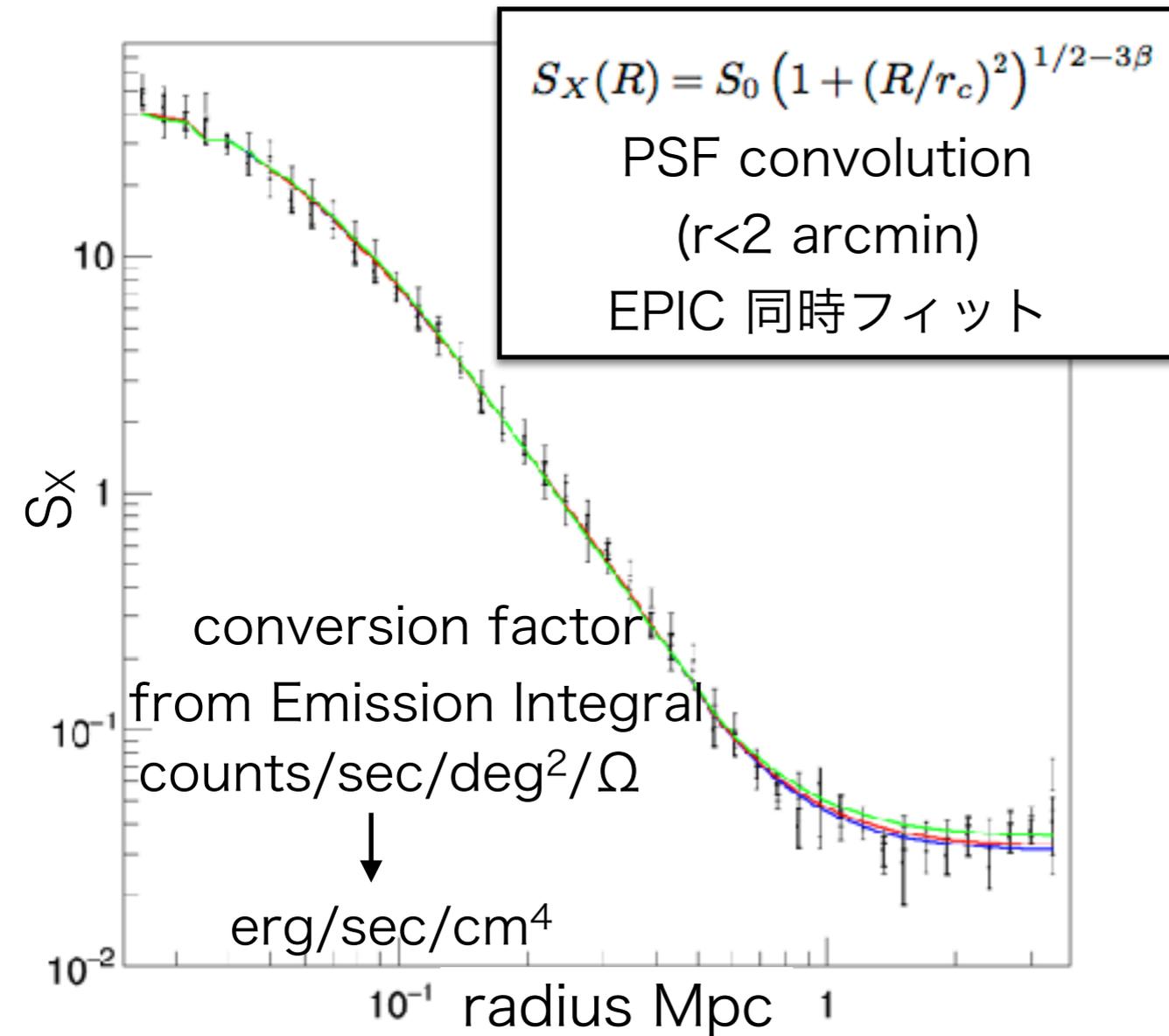
Surface Brightness & Projected Temperature profile

* 密度 $\rho_{\text{gas}}(r)$ と温度 $T_X(r)$ を測定して静水圧平衡を仮定して求める

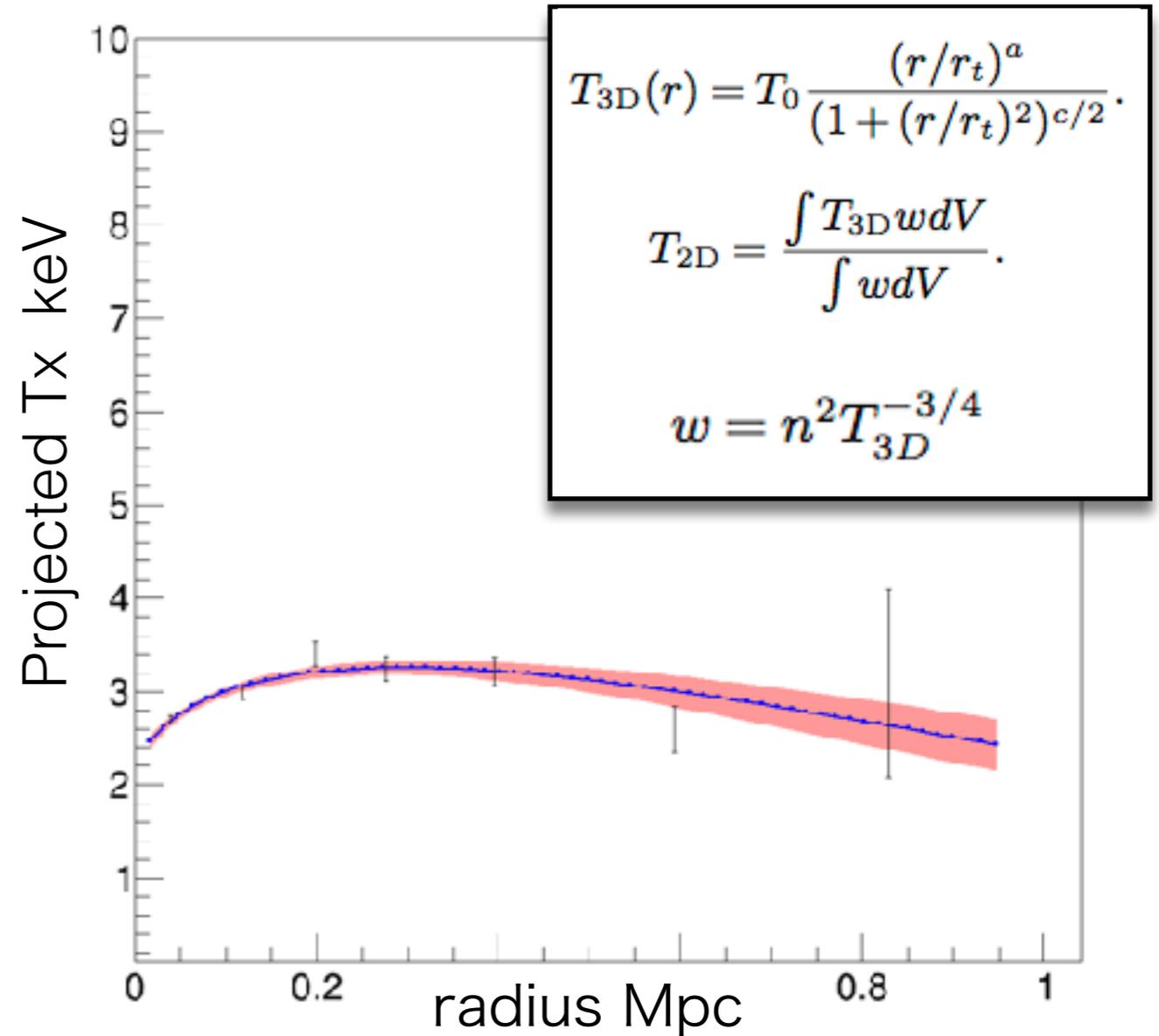
- 密度 $\rho_{\text{gas}}(r)$: 表面輝度分布のモデルフィット

- 温度 $T_X(r)$: スペクトルフィットから得られるプロジェクション温度をモデルフィット

表面輝度分布



プロジェクション温度分布



X-ray mass measurement

* 密度 $\rho_{\text{gas}}(r)$ と温度 $T_X(r)$ を測定して静水圧平衡を仮定して求める

- X線質量：静水圧平衡の式に密度 $\rho_{\text{gas}}(r)$ と温度 $T_X(r)$ を代入

$$M_{\text{H.E.}}(r) = -\frac{k_B T_{3D}(r) r}{\mu m_p G} \left[\frac{d \ln \rho_g(r)}{d \ln r} + \frac{d \ln T_{3D}(r)}{d \ln r} \right]$$

μ = mean molecular weight

m_p = proton mass

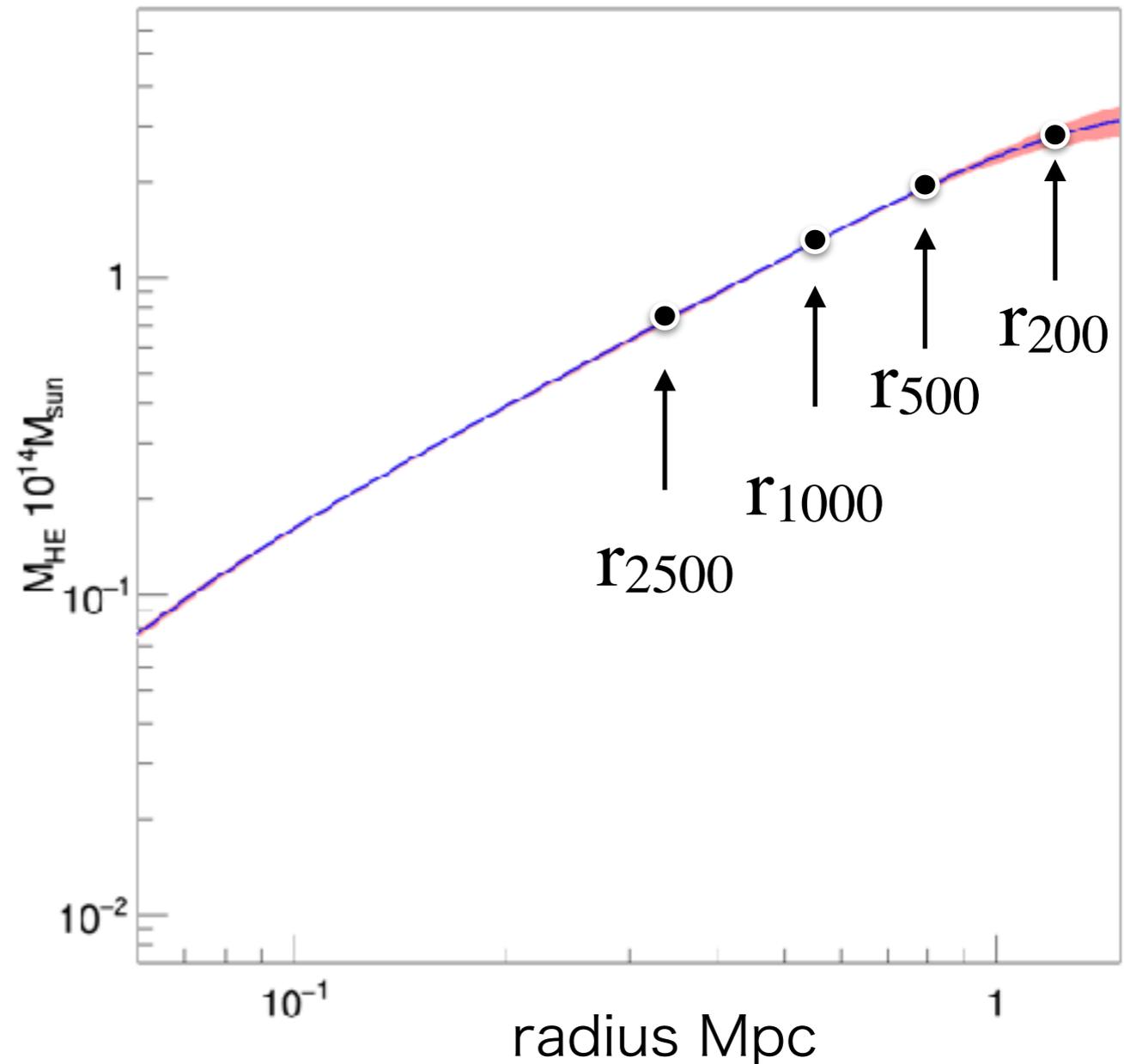
$$\rho_{\text{gas}} = 1.9257 \mu n_e m_p$$

銀河団の密度が
宇宙の臨界密度 ρ_{cr} の Δ 倍になる半径 r_Δ

$$\frac{M_{\text{H.E.}}(r_\Delta)}{\frac{4}{3}\pi r_\Delta^3} = \Delta \rho_{\text{cr}}$$

$$\Delta = 200, 500, 1000, 2500$$

X線質量の半径分布



Gas fraction

ガス密度からガス質量を求め、
 r_{500} , r_{1000} , r_{2500} において、
全質量に対するガス質量の比を計算

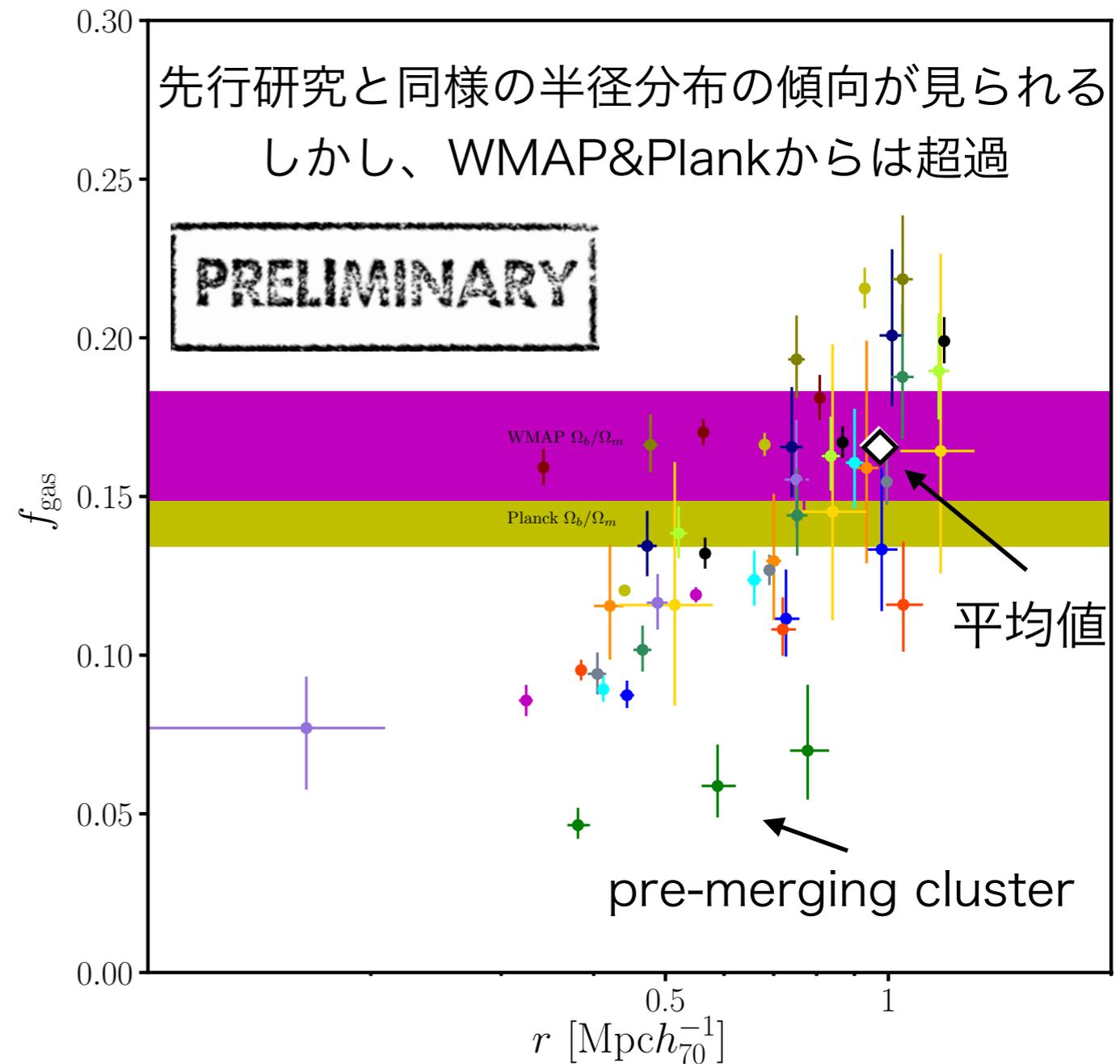
$$f_{\text{gas}} = M_{\text{gas}}/M_X$$

WMAP&Planck衛星によるCMB観測から
cosmic mean baryon fraction Ω_b/Ω_m
と比較

先行研究から概ね Ω_b/Ω_m の80~90%と予想

- 複数の銀河団で超過が見られた。
- 質量の過小評価の可能性もある。

Gas fraction の半径分布



※ HSCの M_{WL} との比較による質量の検証が必要である。

Normalized Temperature Profile

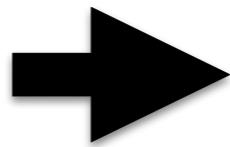
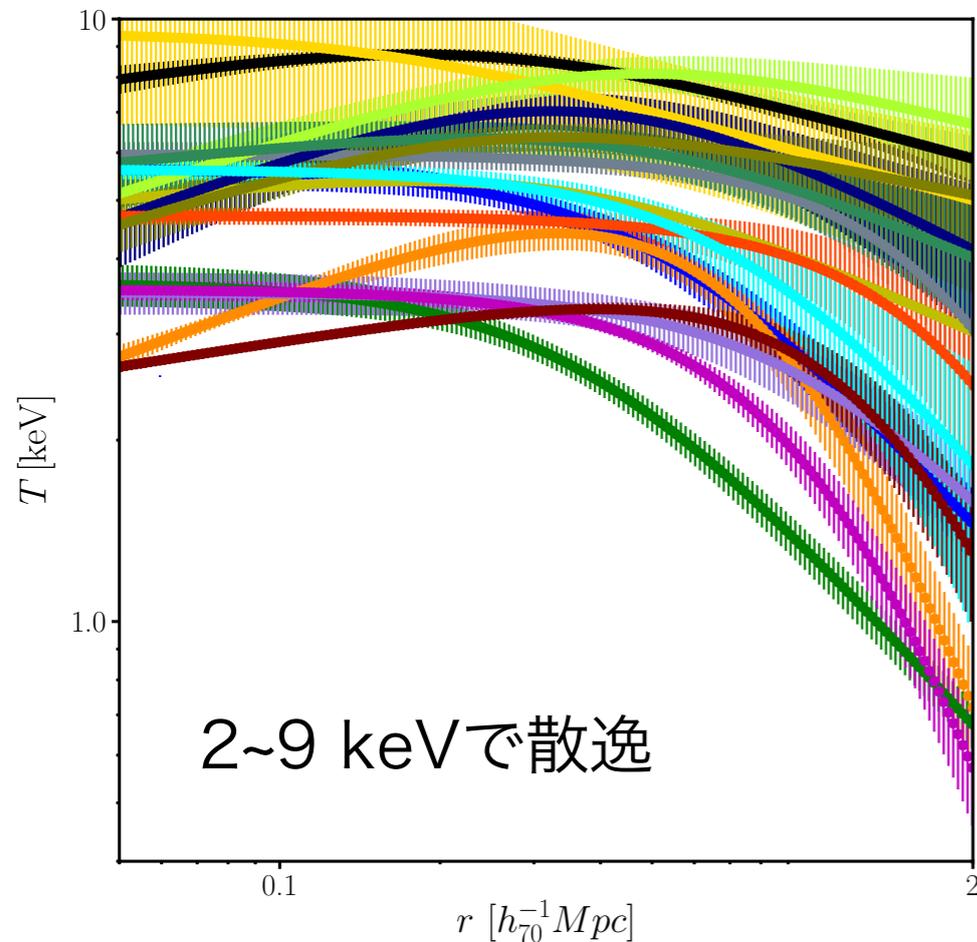
Kravtsov et al.(2006)のM-T relation

$$T_X/3\text{keV} = \left(\frac{E(z)M_{\Delta}}{C_T}\right)^{2/3} \quad C_T = 10^{14.41}$$

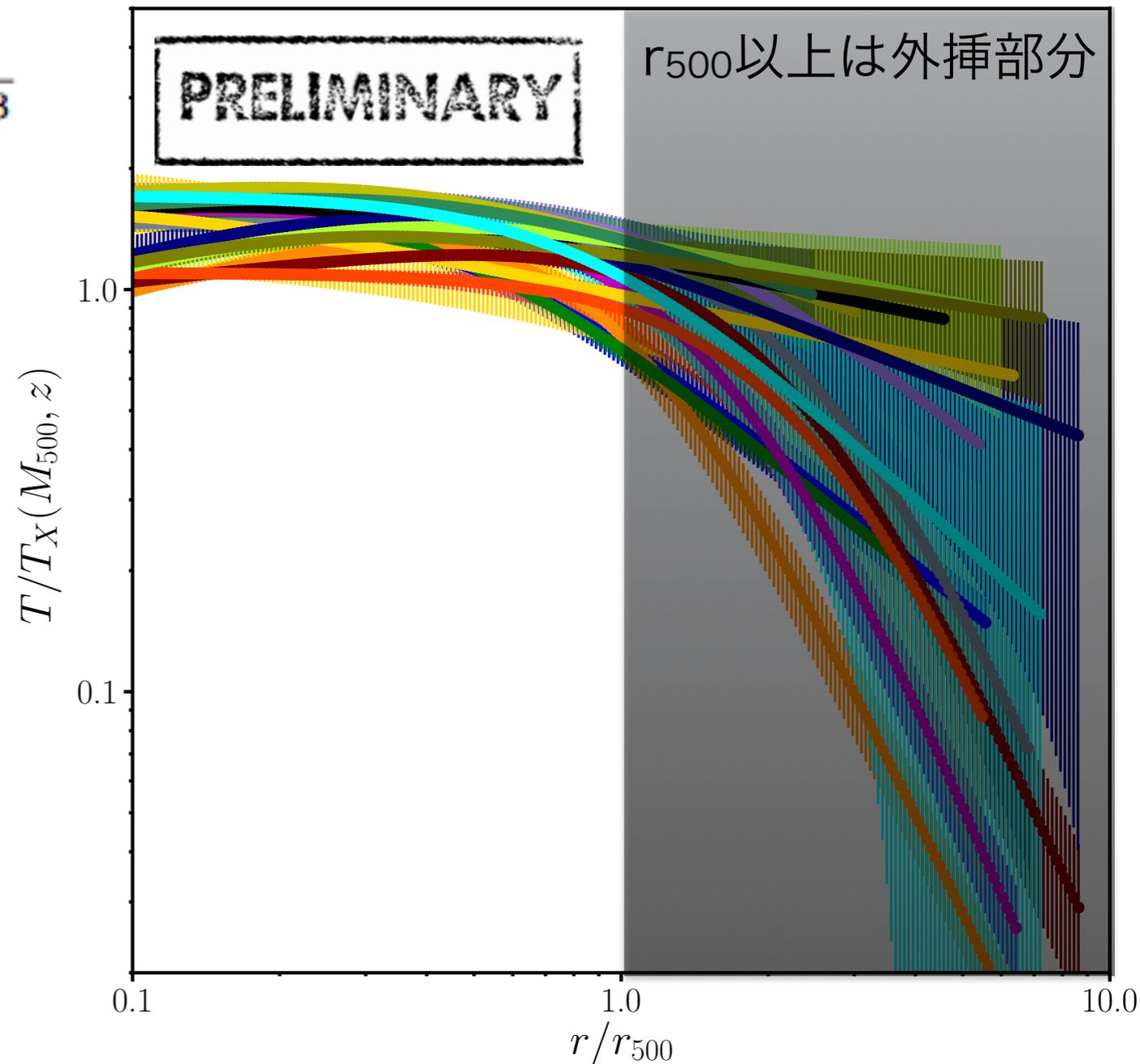
を用いてX線質量 M_{500} で温度を求めスケール

$$T/T_X(M_{500,z}) = \frac{T_{3D}}{(3M_{500}E(z)/10^{14.41})^{2/3}}$$

Gas temperature profile



M_X scaled temperature profile

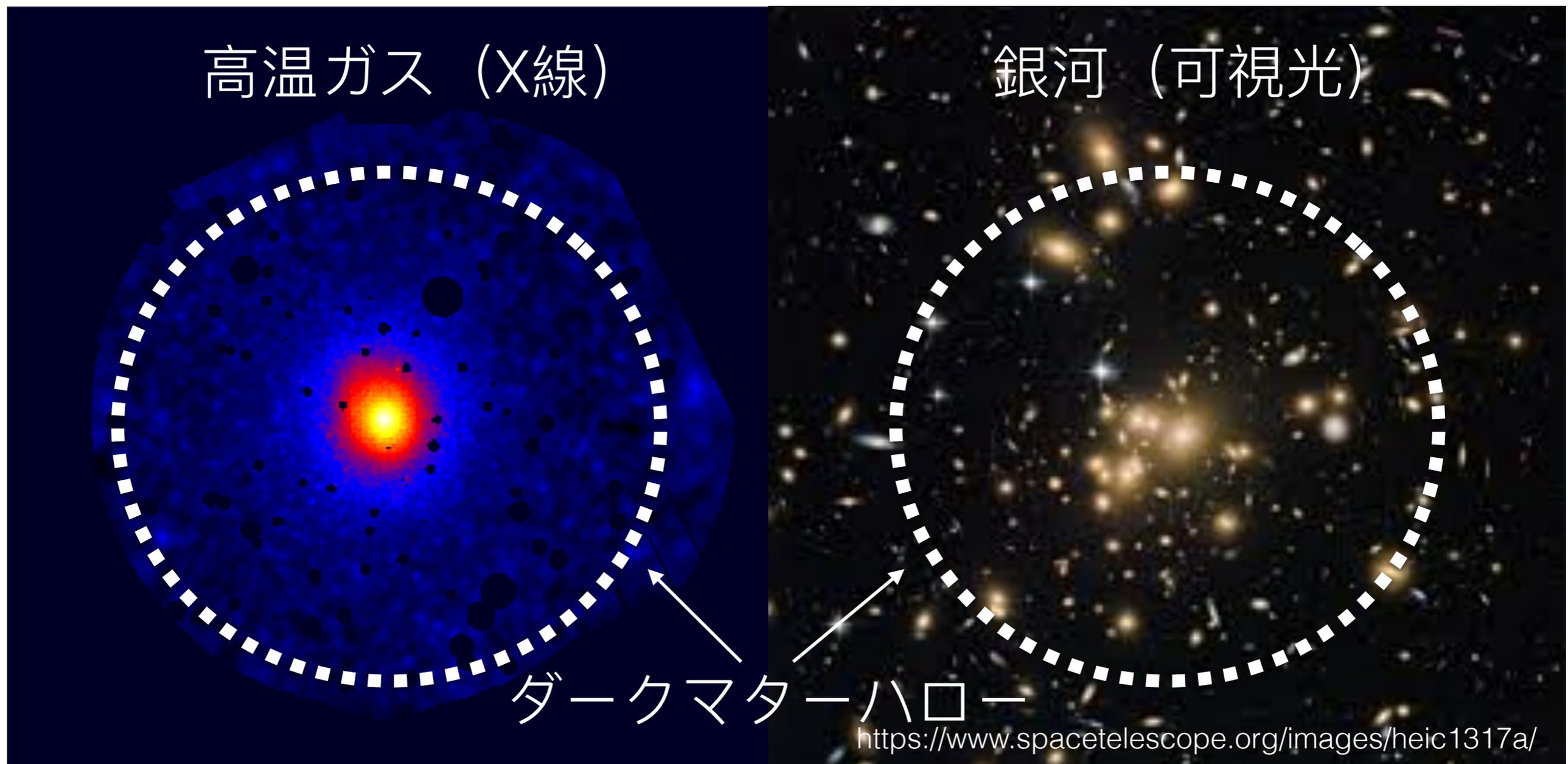


まとめ

- ・ HSC-SSP サーベイ領域の既知の銀河団をX線カタログから22個選定した。
- ・ うち衝突銀河団を除く16個の銀河団のX線質量推定を行なった。
- ・ ガスフラクションは先行研究と同様の半径分布の傾向を示したが、宇宙平均からは超過が見られた。
- ・ X線質量でスケールした三次元温度の半径分布は、銀河団成分が支配的な領域では良い一致が見られた。
- ・ 時間の制約上、単純化したX線モデリングを行ったので、今後は先行研究 (Miyaka+ submitted) と同様のモデルでモデリングを行う。
- ・ また、残りのサンプル銀河団のX線解析も進める。

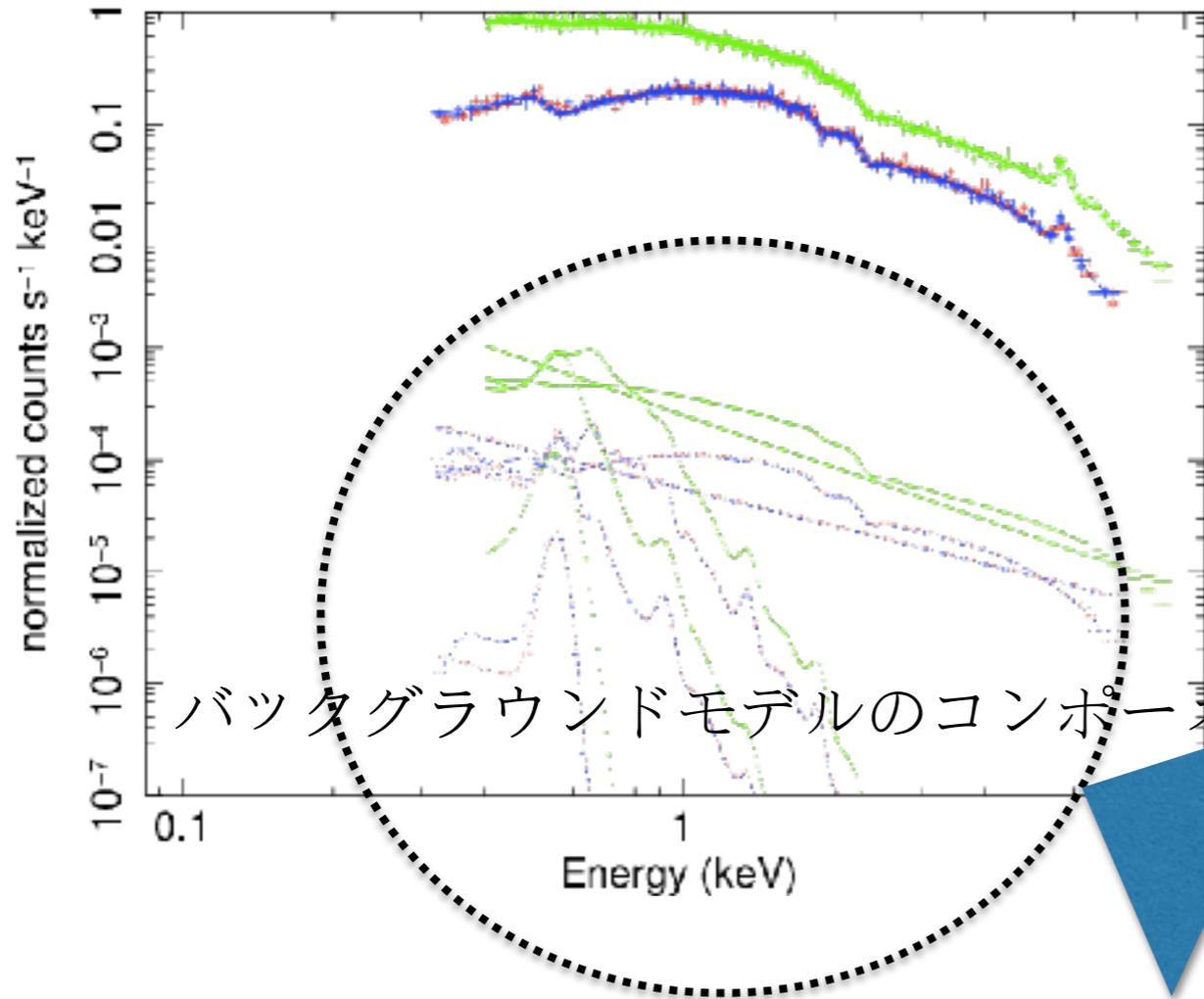
銀河団・・・数千もの銀河の集合体

- 宇宙最大の自己重力系天体
- 宇宙論に有益：質量関数による宇宙論パラメータの制限
- 構成要素：DM・高温ガス（ICM）・星（銀河）



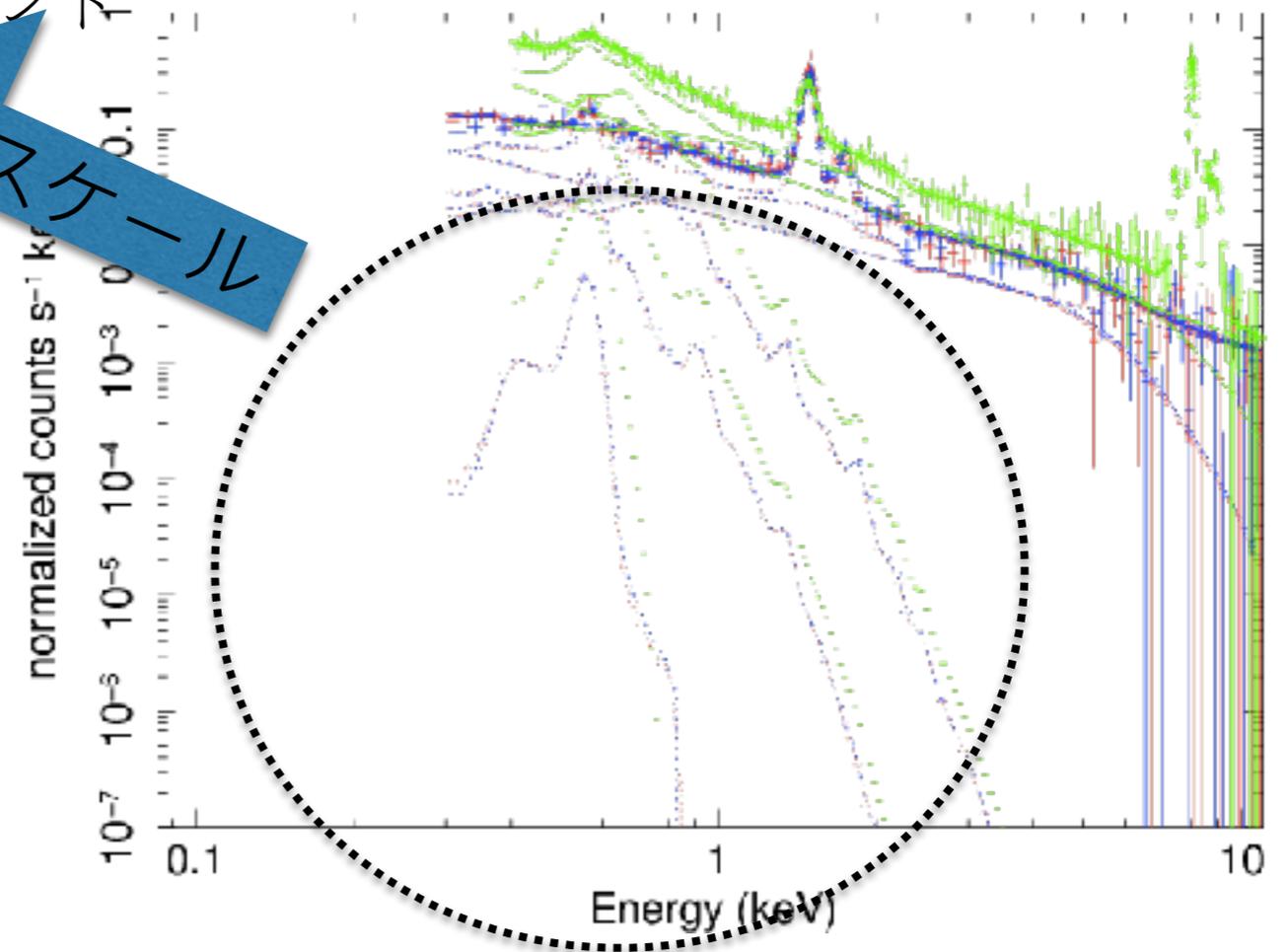
Background estimation in central region

Abell 1689 0-20 spectrum



中心領域：ICMの放射が卓越しており、広がった天体なので通常の点源解析のようにブラックスカイの領域で差し引くことができない。

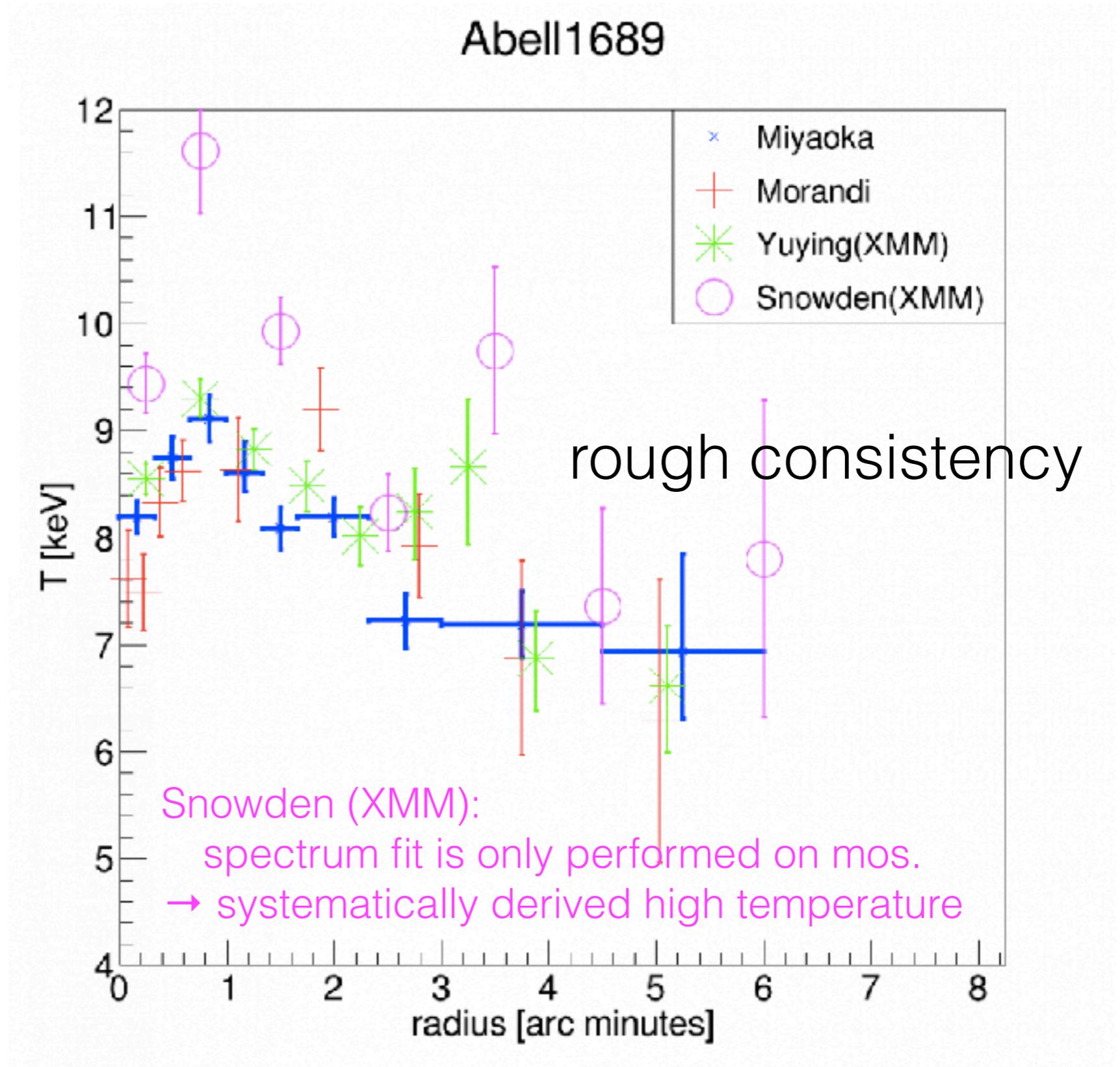
Abell 1689 360-540 spectrum



外側の領域：バックグラウンドが支配的な領域であるため、スペクトルフィットでバックグラウンドを決める。

プロジェクトン温度分布

- 解析手法の正当性の検証のため、先行研究と比較
- 解析手法に細かな違いはあれど、1シグマのエラーの範囲ないで一致している。



スペクトルフィット

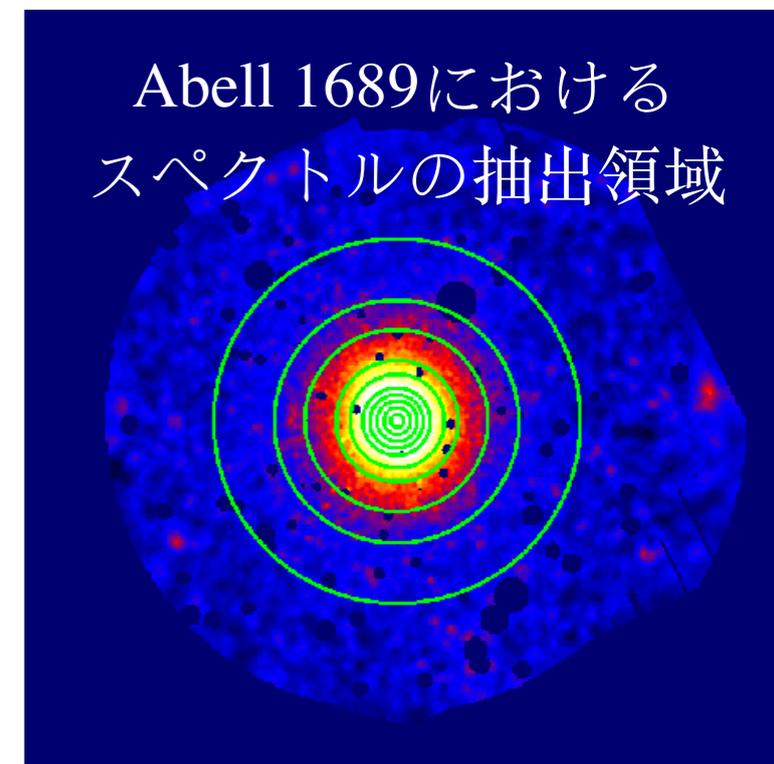
- スペクトルの抽出は銀河団中心から同心円環領域を指定した。
- モデリングしたバックグラウンドのパラメータ推定や正しいエラー伝搬のために、全円環のスペクトルを同時フィットした。

バックグラウンドモデル

- ◆ 検出器と荷電粒子の相互作用による輝線
- ◆ Cosmic X-ray Background(CXB)
- ◆ Solar Wind Charge eXchange(SWCX)
- ◆ ソフトプロトンによるフレアの引き残り

銀河団ガスの放射モデル

- ◆ 銀河団ガス (ICM) の熱的制動放射および輝線放射



$$\begin{aligned} \text{フィットモデル} &= \text{Line} + \text{SWCX} + \text{CXB} + \text{ICM} + \text{soft-proton} \\ &= \text{gauss} + \text{gauss} + \text{con} * \text{con} * (\text{gauss} + \text{gauss} + \text{apec} + \\ &\quad \text{phabs} * (\text{apec} + \text{pow} + \text{apec}) + \text{con} * \text{pow} \end{aligned}$$

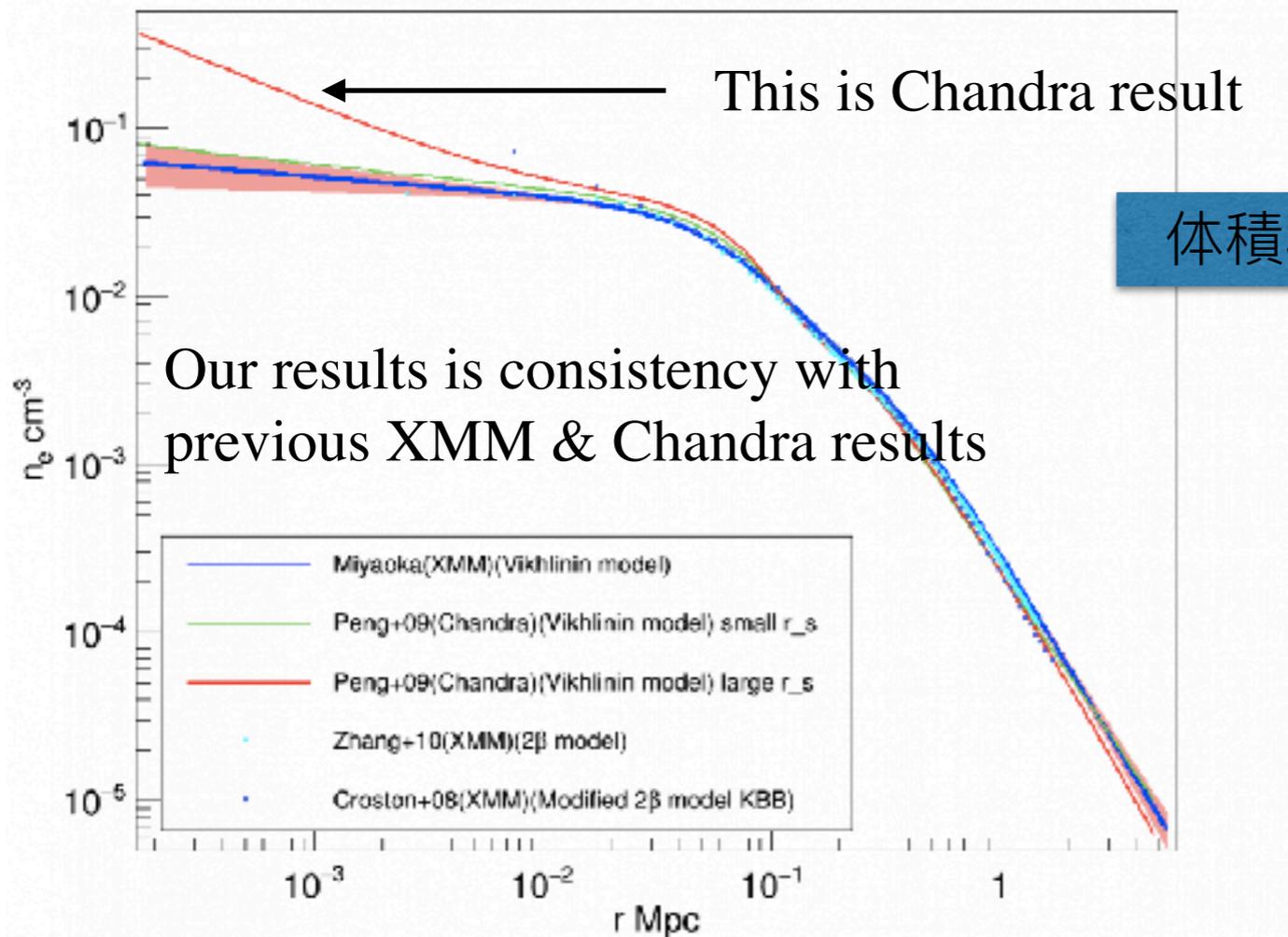
電子密度分布

観測量は0.4-2.3 keVの有効面積で積分されたカウントレート

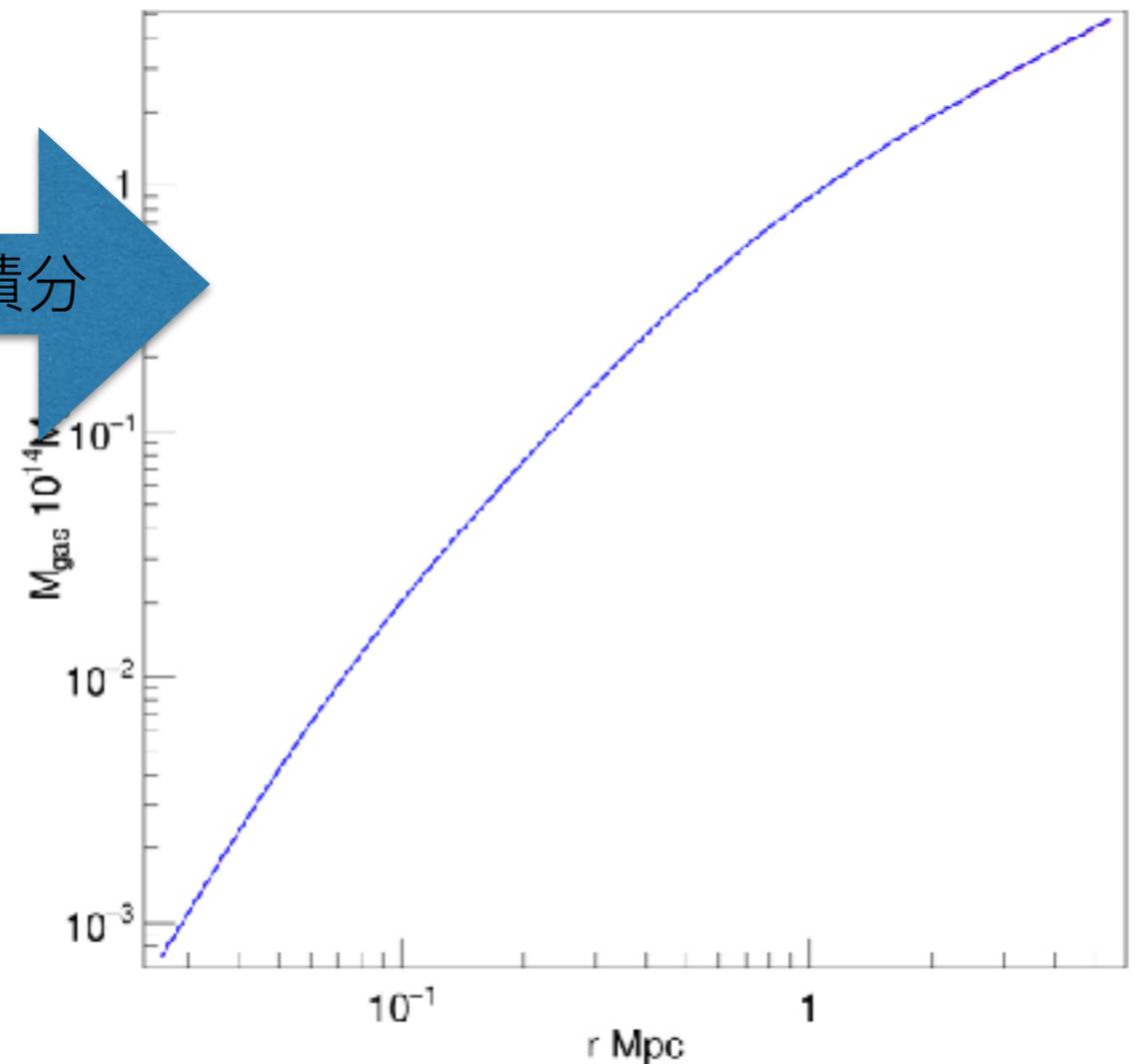
$$\Omega S(r) [\text{counts s}^{-1} \text{deg}^{-2} \text{cm}^{-2}] \rightarrow S(r) [\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-4}] \quad \Omega : \text{effective area}$$

スペクトルフィットから得られる Emission Integral から変換係数を導出

電子密度分布



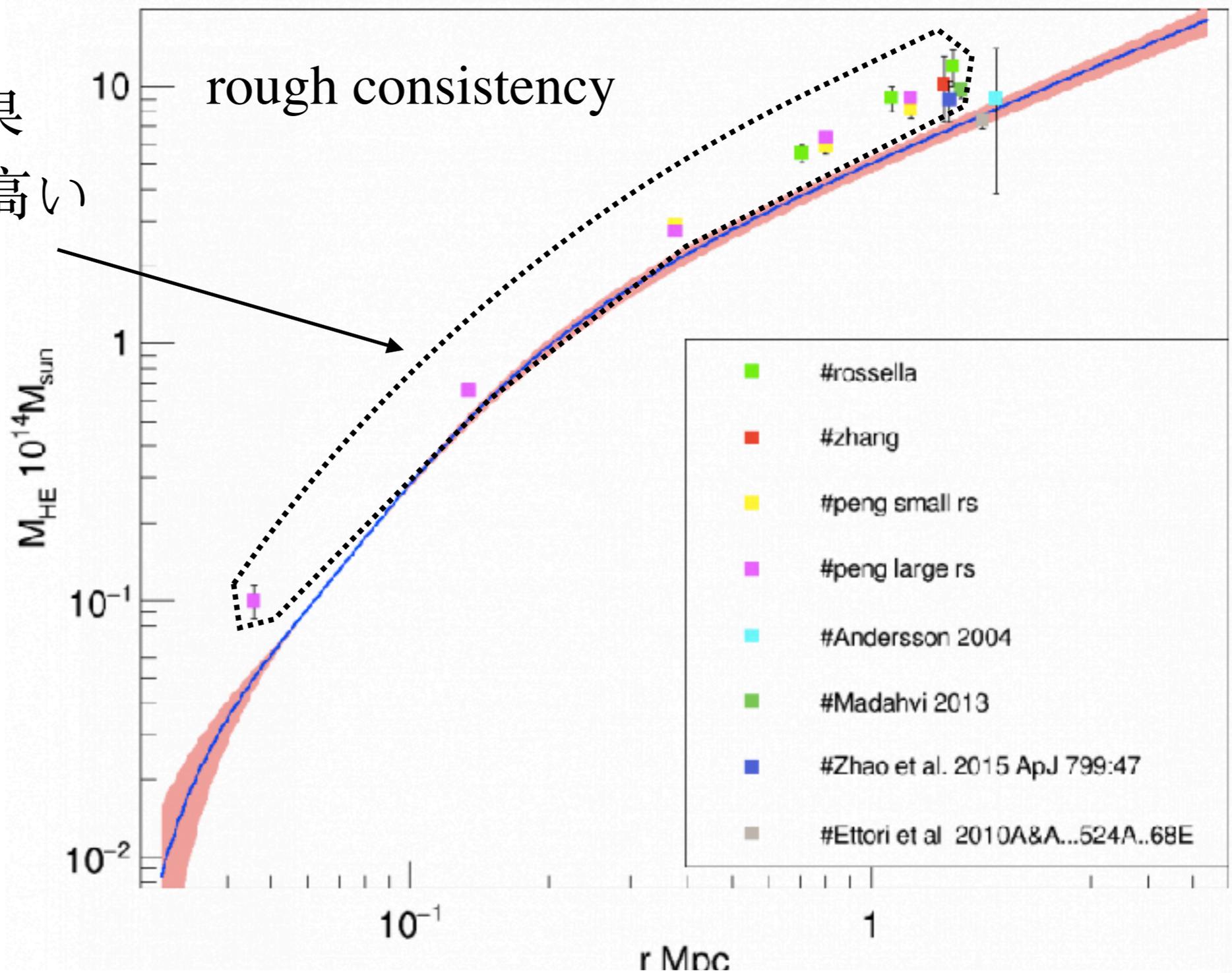
ガス質量分布



静水圧平衡質量

Abell 1689 Hydrostatic Equilibrium Profile

Chandraの結果
およそ 10-20% 高い

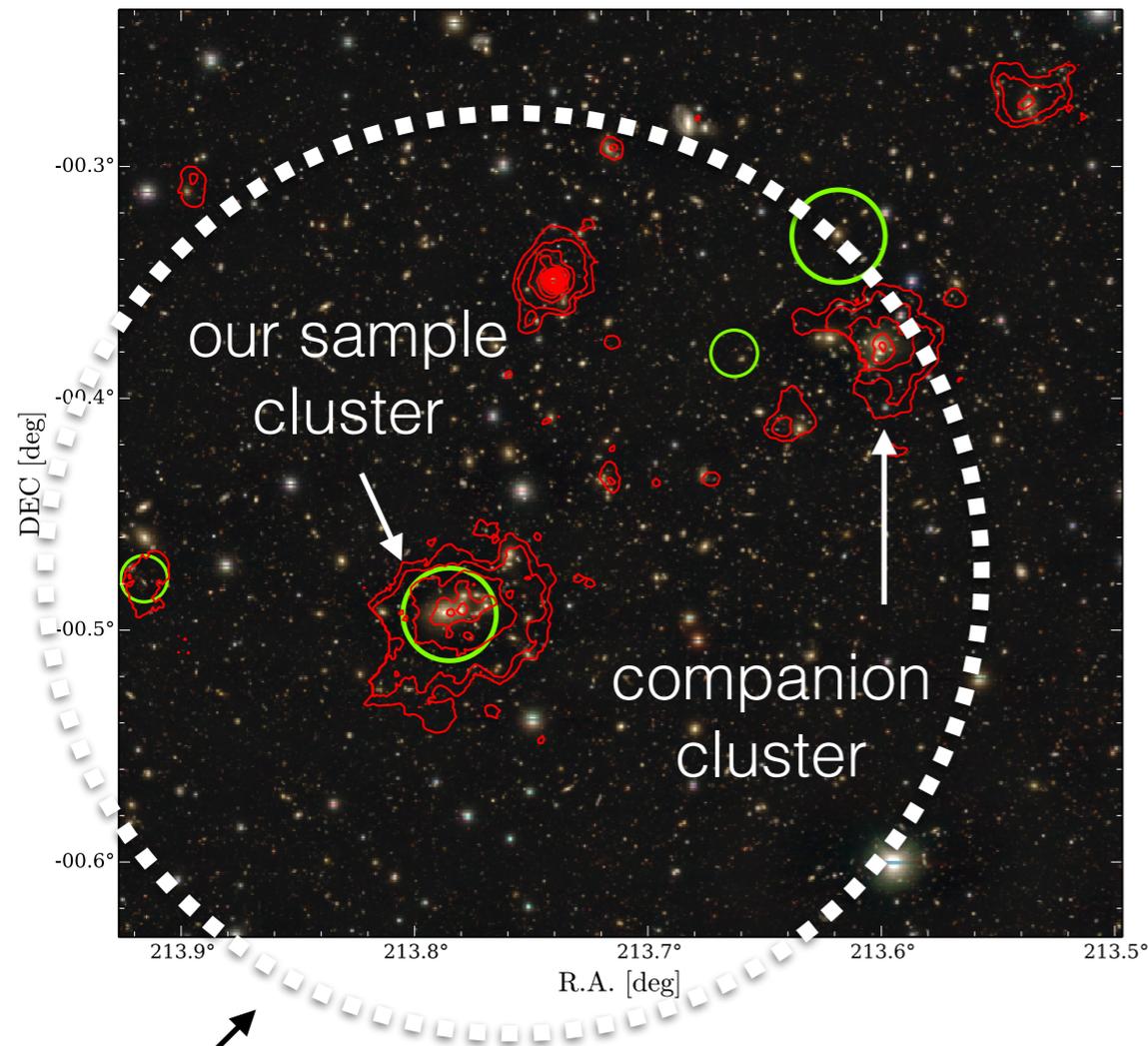


G.Schellenberger et al +14 の結果から XMM-NewtonとChandraでは質量に15%の系統的な差がある

$$M_{500}^{\text{XMM}} = 0.859_{-0.016}^{+0.017} * (M_{500}^{\text{Chandra}})^{1.00 \pm 0.02}$$

MCXCJ1415.2-0030 & MCXCJ1415.2-0030W

MCXC J1415.2-0030 field

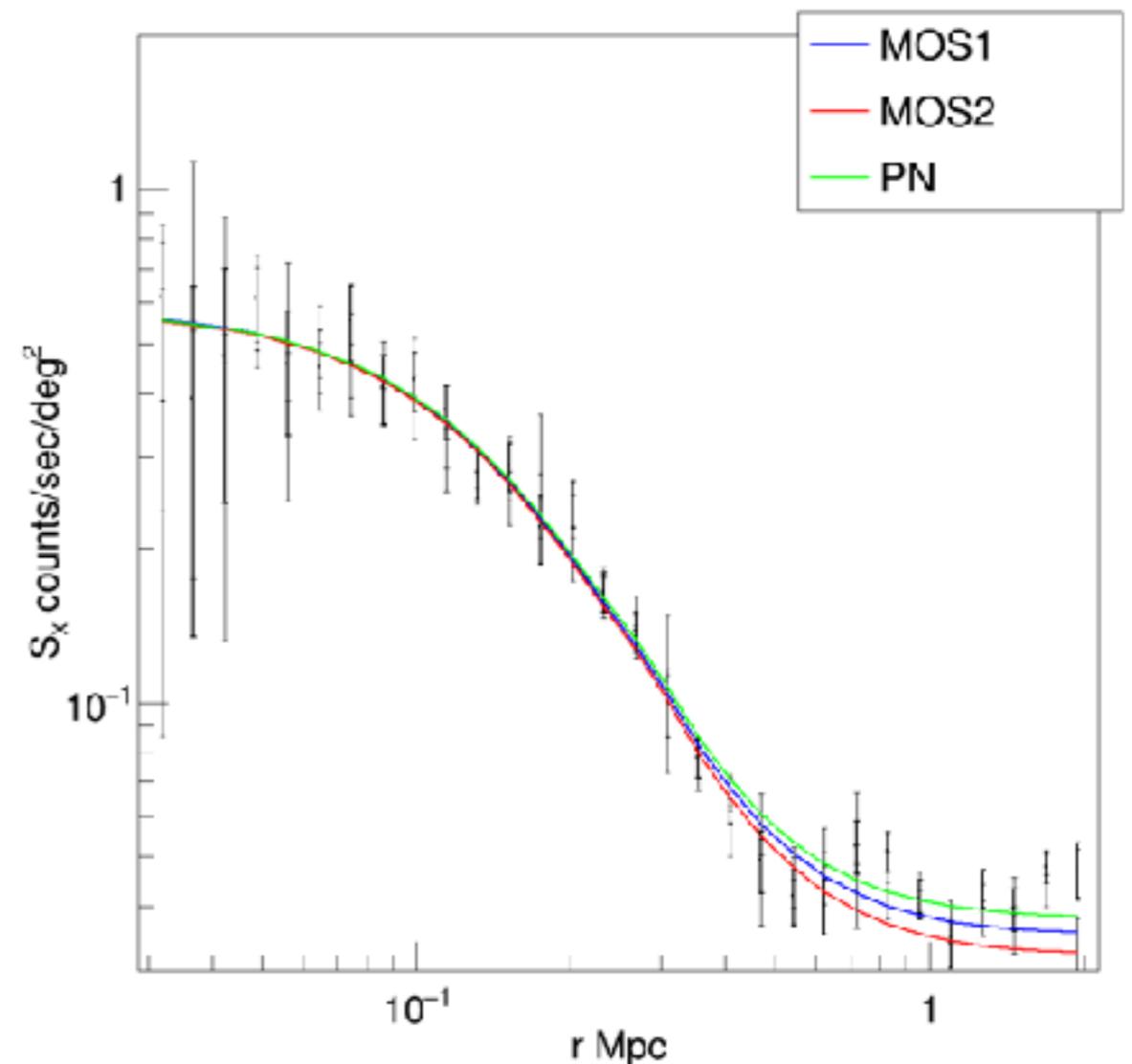


XMM FOV

The X-ray emission shows no evidence for disturbance due to merger activity.

I accidentally found the companion cluster at ~ 2 Mpc northwest of our sample cluster.

MCXCJ1415.2-0030 Surface Brightness Profile



MCXCJ0157.4-0550

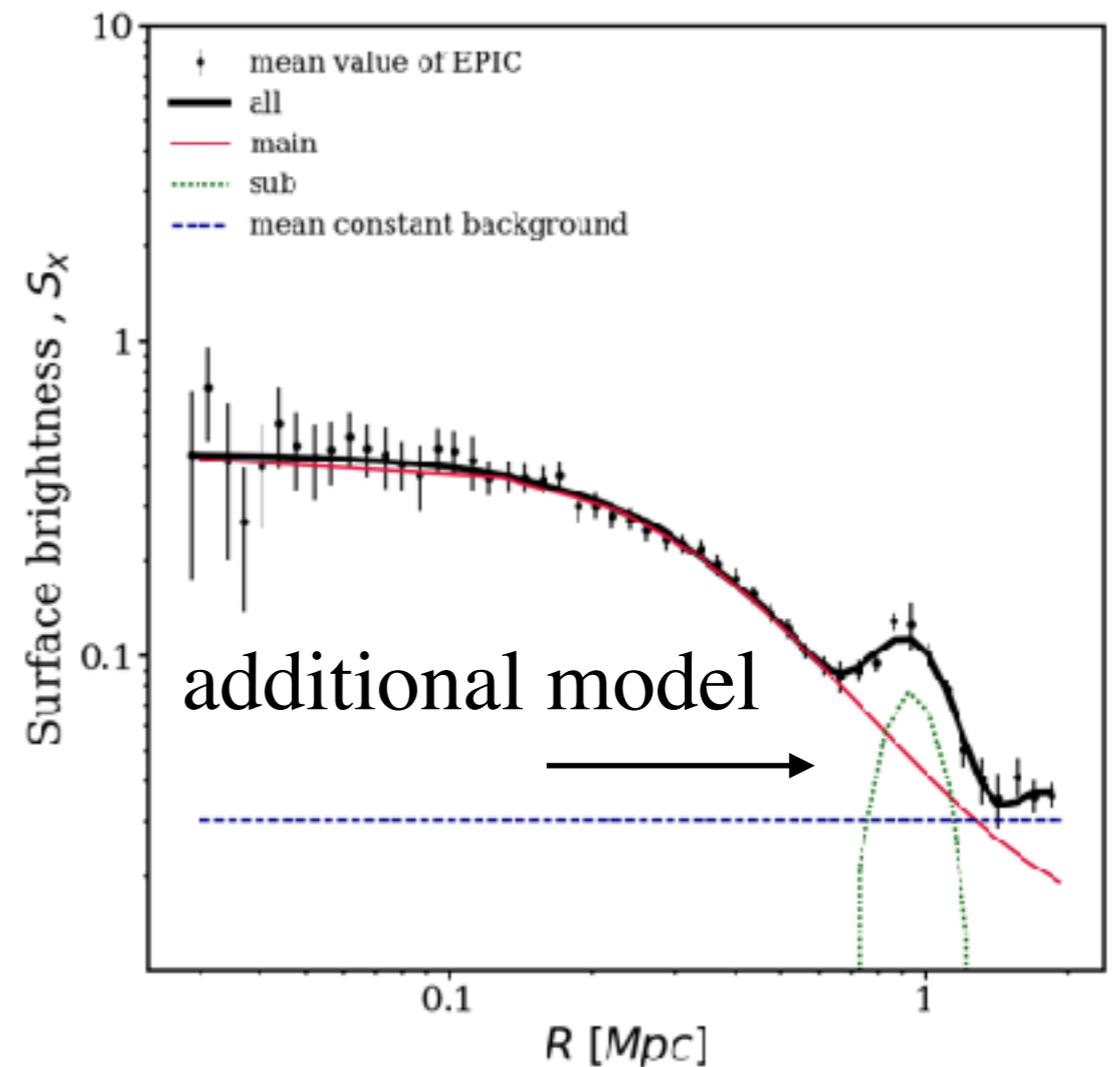
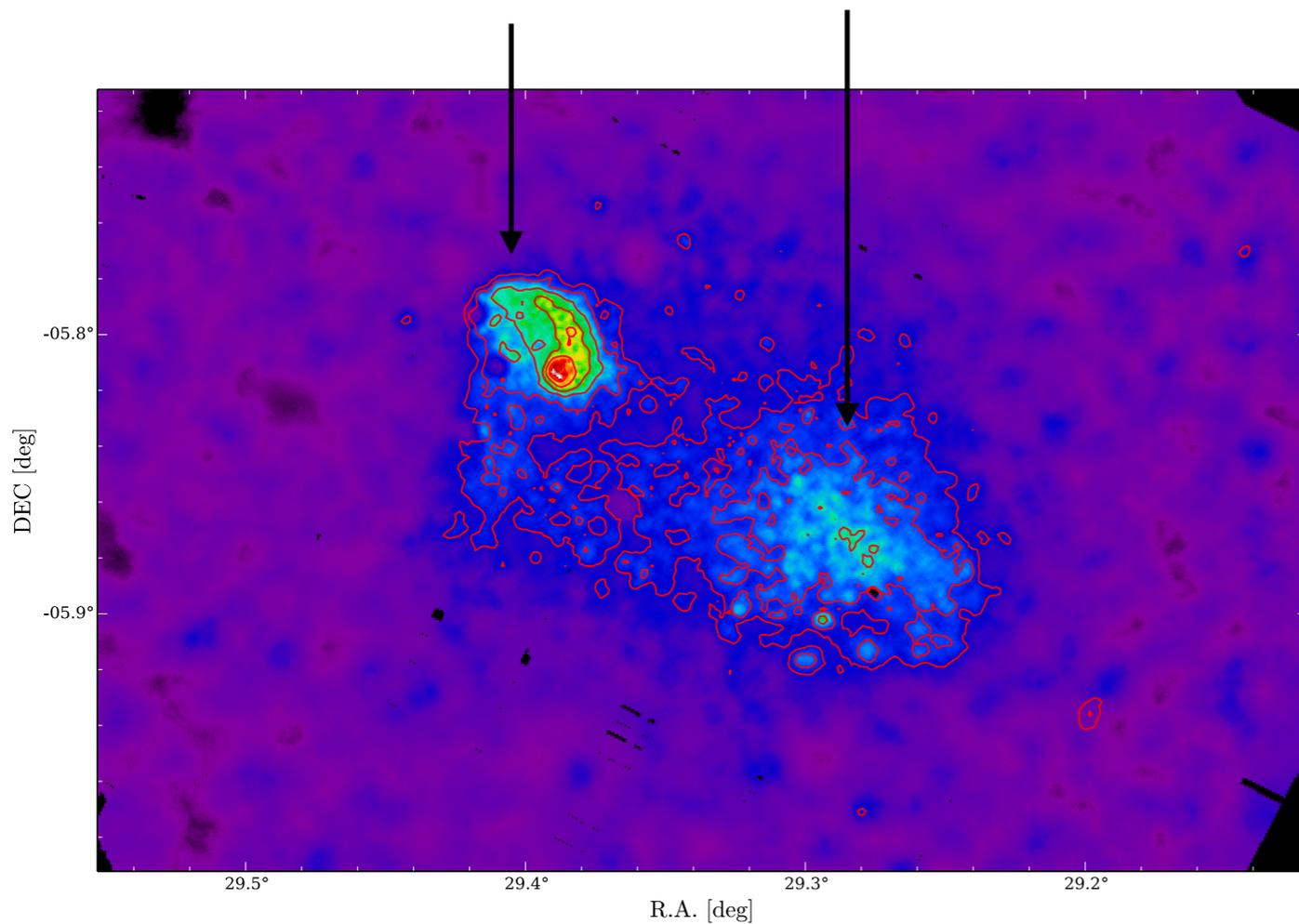
- Miyaoka et al.2017(PASJ submitted), arXiv 1705.06852

I found the structure that sub halo is infalling in the main cluster.

The ongoing merger cluster is need to revise fitting model.

I added another model component on surface brightness profile for sub halo.

sub halo main cluster



* Current result

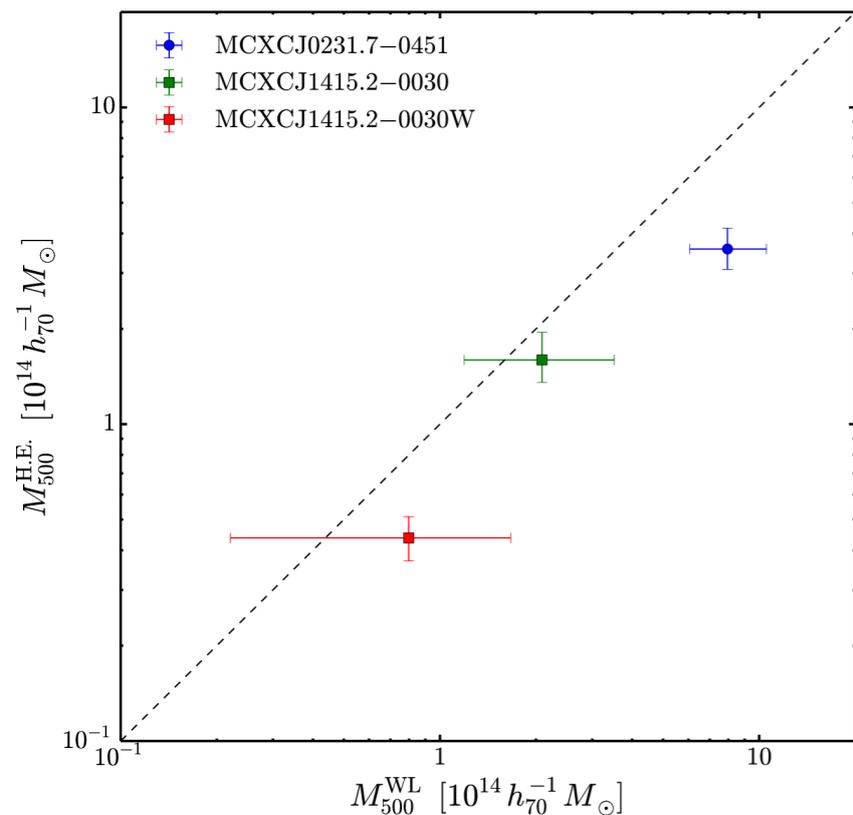
❖ XMM-Newton/EPIC(mos&pn) vs Hyper Sprime-Cam(HSC)

I performed mass measurements of only 4 samples now.

1, $M_X - M_{WL}$

2, $M_{X500} - N_{cor}$

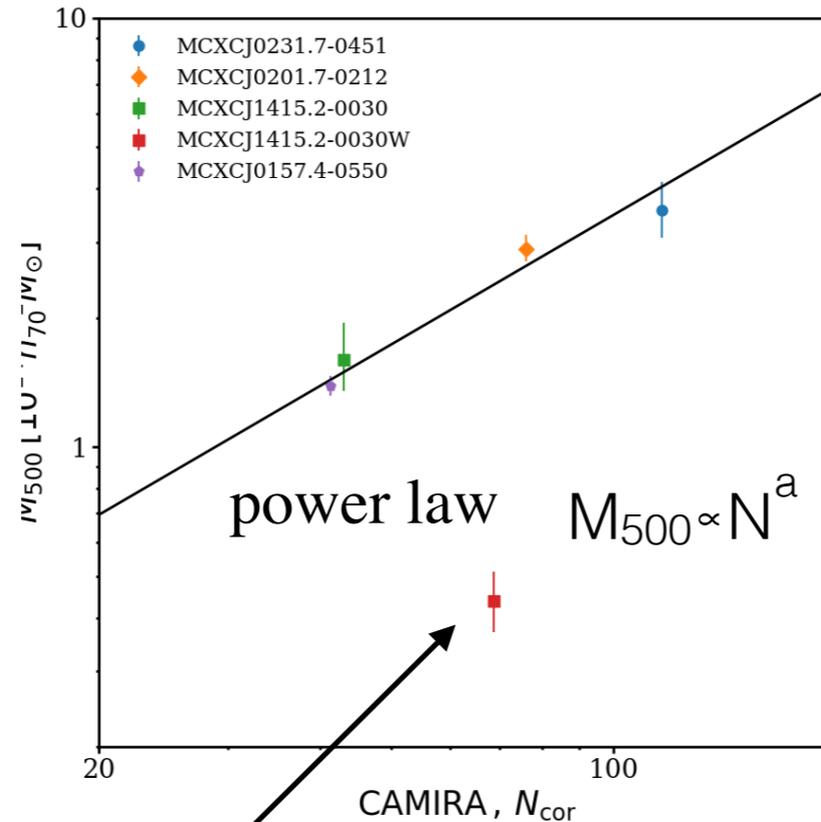
3, $f_{bar} - M_{X500}$



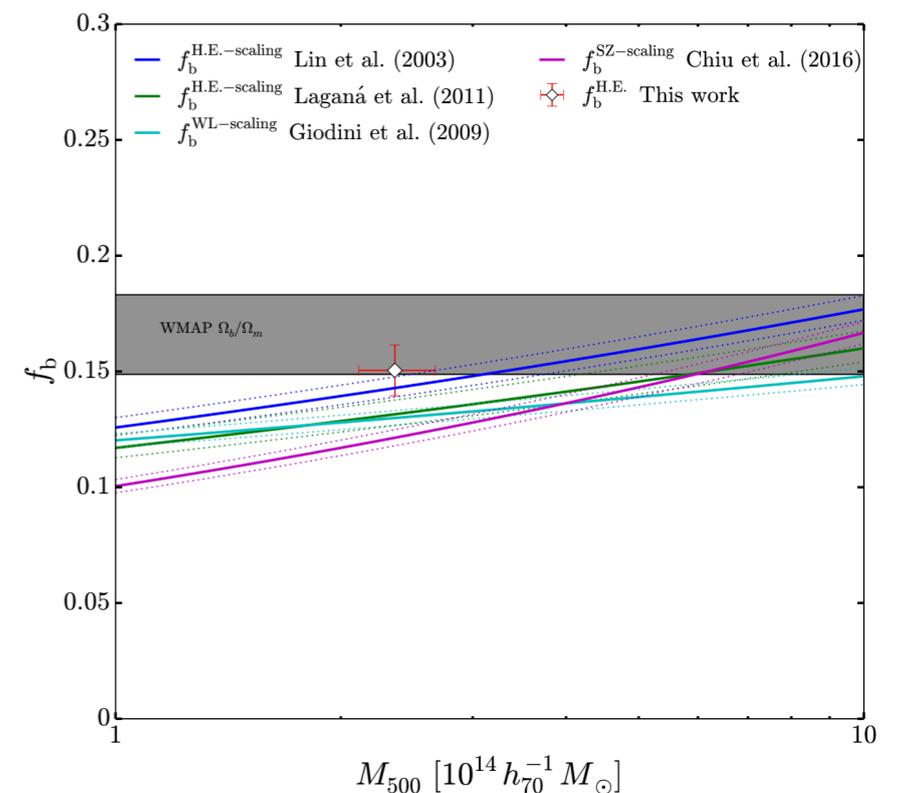
mass bias

$$\delta \langle M_X / M_{WL} \rangle = 20\%$$

⇒ 5% for all sample



This is not sample cluster, and unexpectedly observed in same field of view of our sample.



An average baryon fraction
our result is consistent with past studies

f_{gas} - MHE&Mgas

