

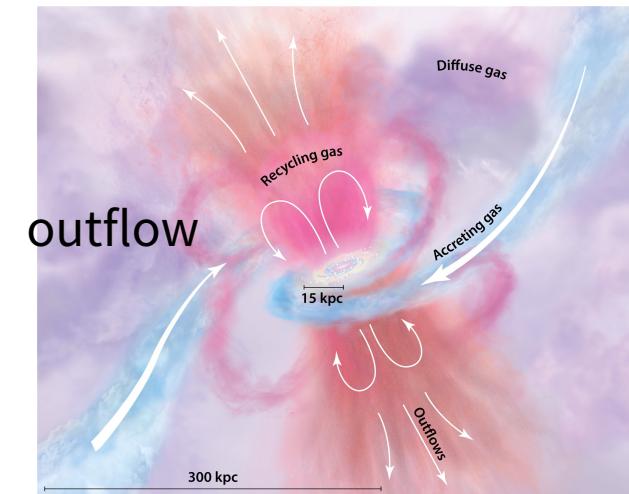
進捗報告 (研究室ミーティング)

～最近していることの概要～

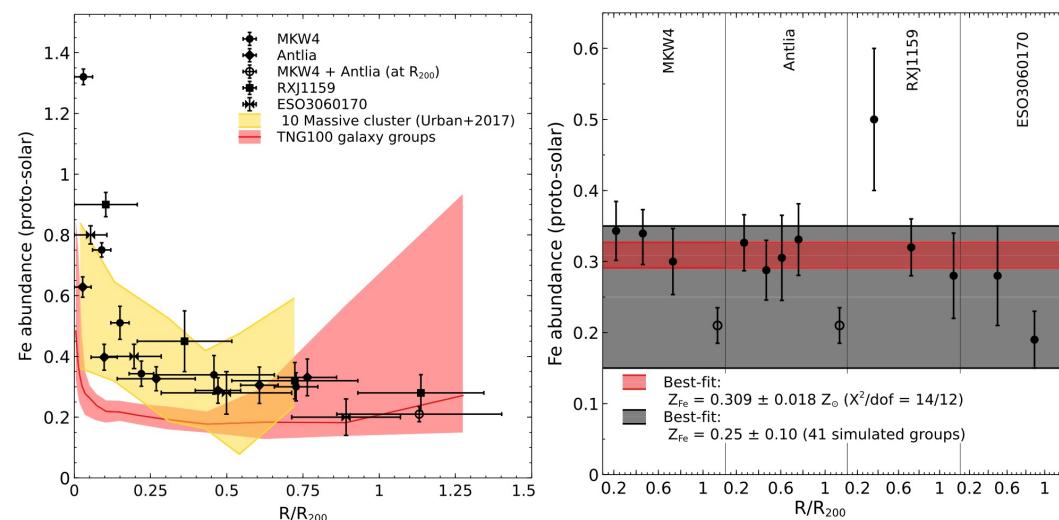
■ 目標

① シミュレーション(Illustris-TNG)内に
あるMW-galaxyにoutflowが再現
されているかを確認したい

② 論文と同じような図を作成したい

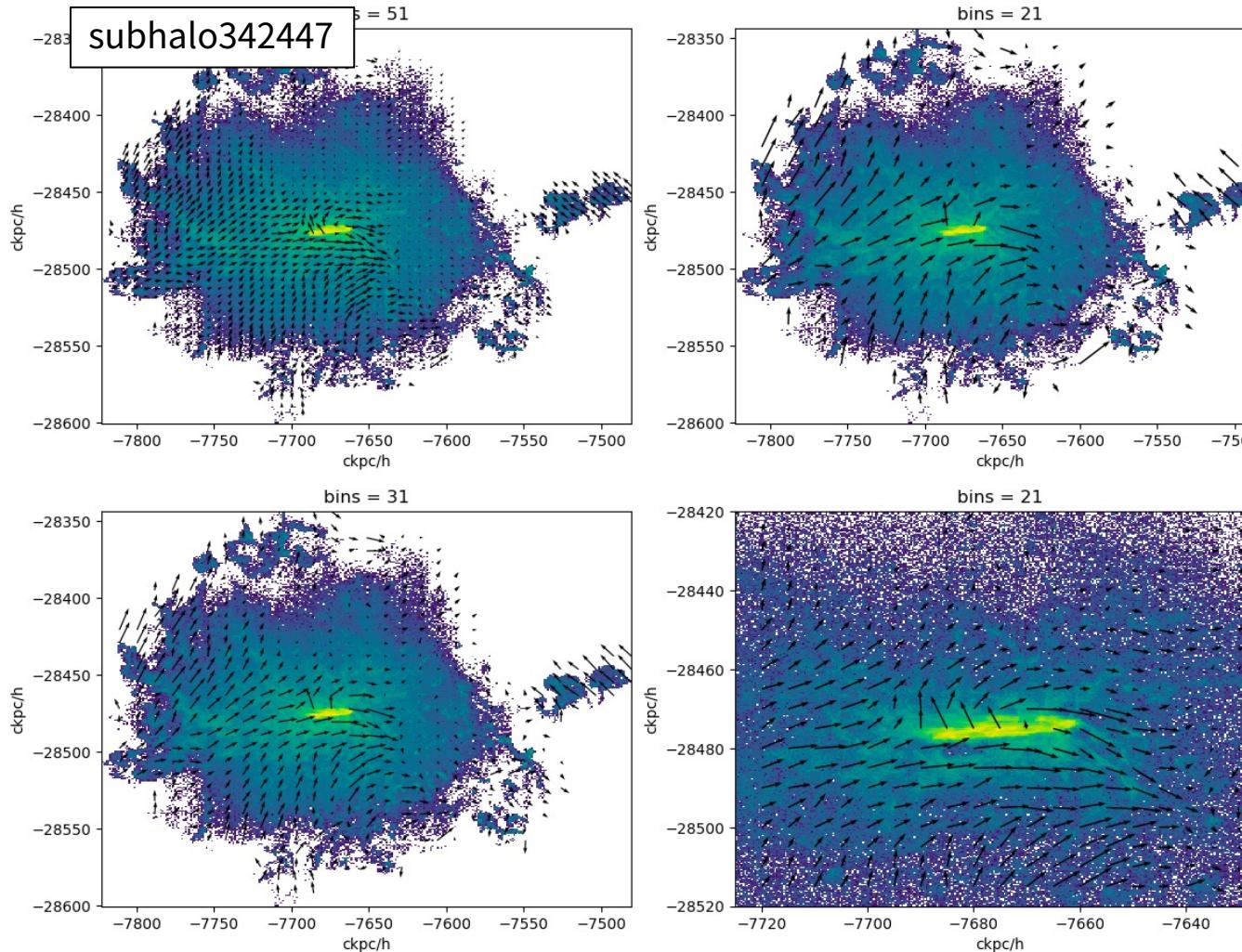


Tumlinson J, et al. 2017.
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 55:389–432.



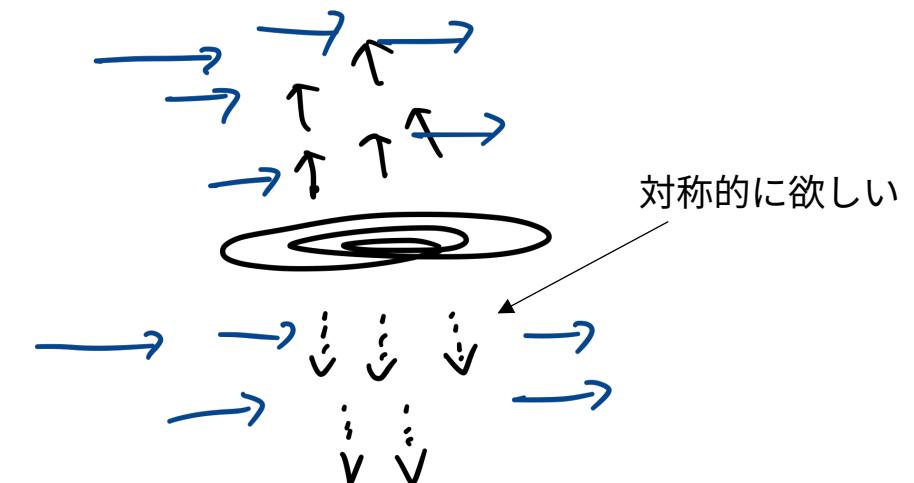
(Arnab Sarkar et. al, *Astronomical Society*, 2022)

■ ① シミュレーション(Illustris-TNG)内にあるMW-galaxyにoutflowが再現されているかを確認したい



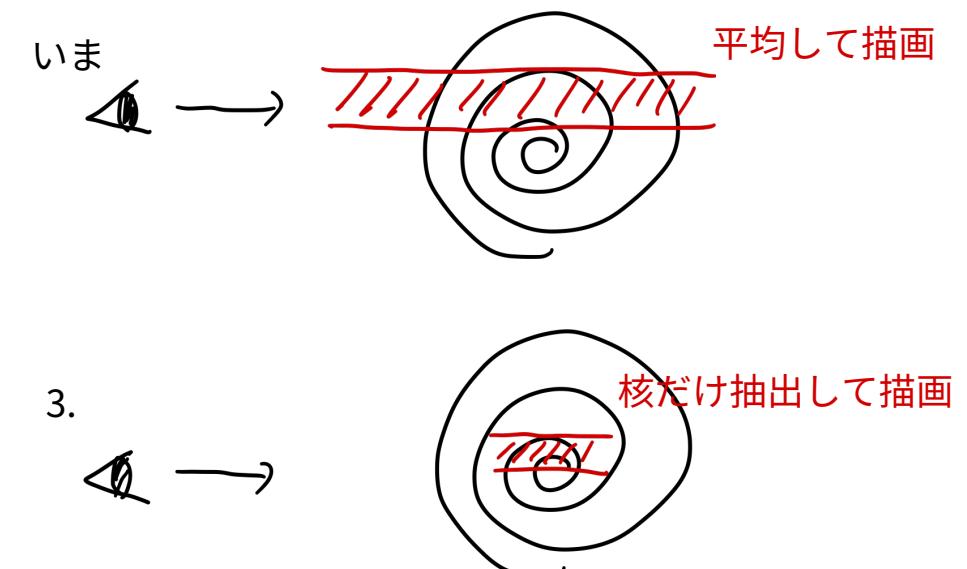
結果

- (なぜか)outflowが片側にしか出でていない
- (なぜか)左から右に流されている



■ ① シミュレーション(Illustris-TNG)内にあるMW-galaxyにoutflowが再現されているかを確認したい

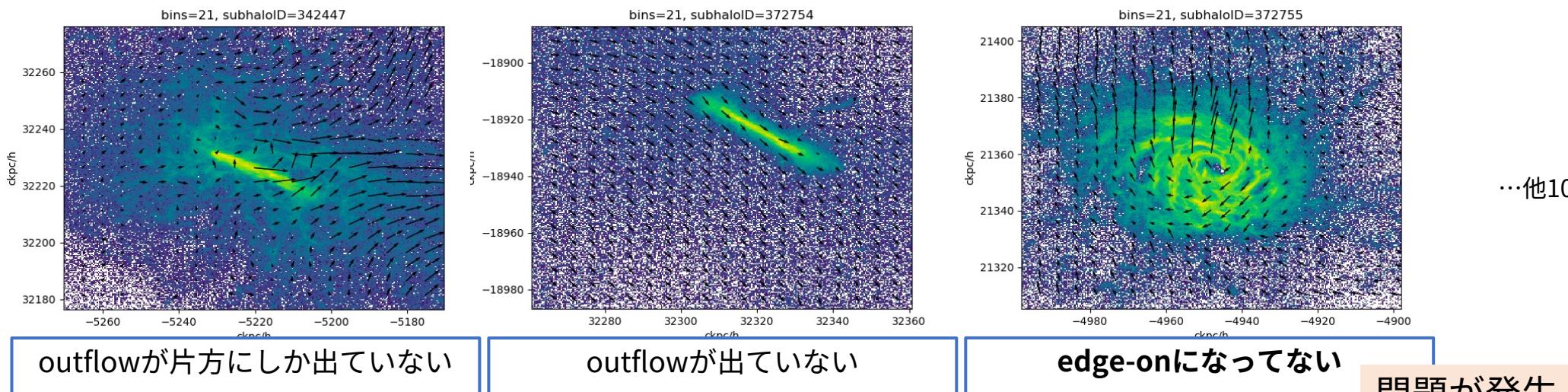
- 1. subhalo342447だけかも知れない調査中
- 他のsubhaloを調べてみる
- 2. subhalo342447の付近に巨大な何かがあるかも知れない
 - 大きくデータを抽出して調べてみる
- 3. 円盤部分の影響を強く受けているかも知れない
 - 核だけを抽出して調べてみる



■ ① シミュレーション(Illustris-TNG)内にあるMW-galaxyにoutflowが再現されているかを確認したい

1. subhalo342447だけかも知れない
➤ 他のsubhaloを調べてみる

調査中



■ edge-onの導出方法

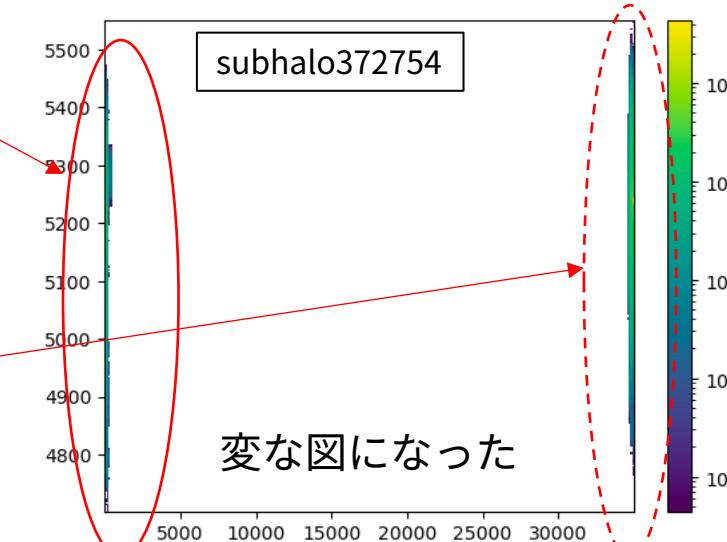
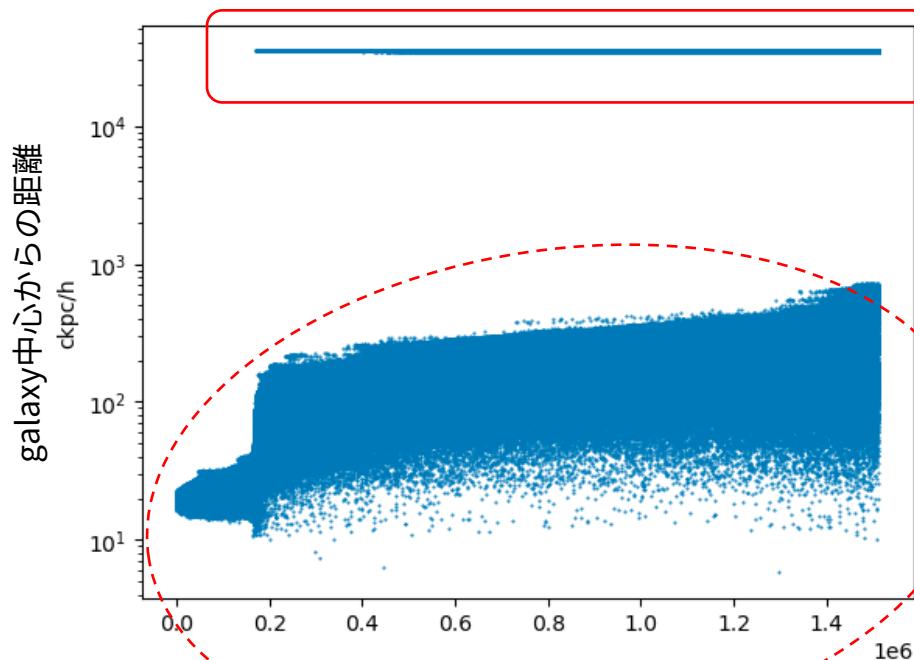
- 慣性モーメントテンソルを導出し、回転行列 R を導出
→ R を作用させてface-on
 - これに x 軸回りに90度回転させている



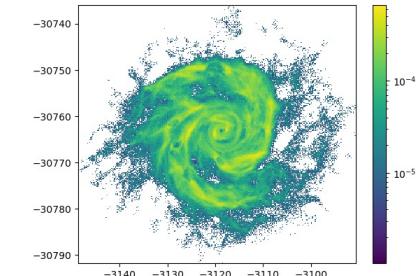
再考

■ ① シミュレーション(Illustris-TNG)内にあるMW-galaxyにoutflowが再現されているかを確認したい

原因?

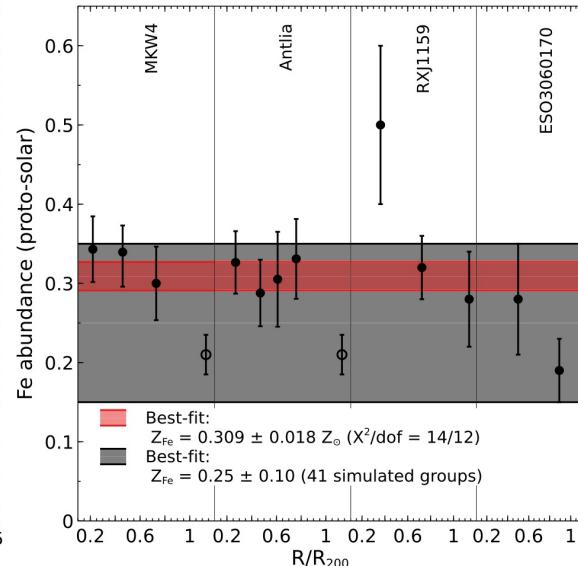
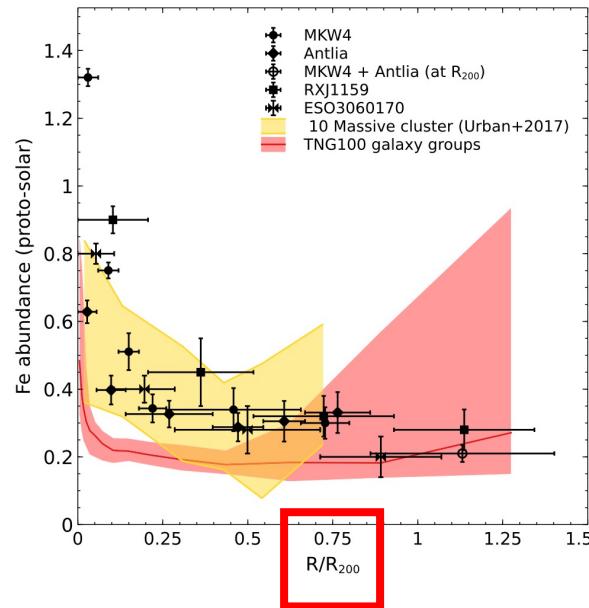


想定図



- *illustris-TNG*が公開しているコード（アルゴリズム）では良くカットが行われていない？
- 独自の方法で再度、カット（=データ抽出）を行う

■ ② 論文と同じような図を作成したい



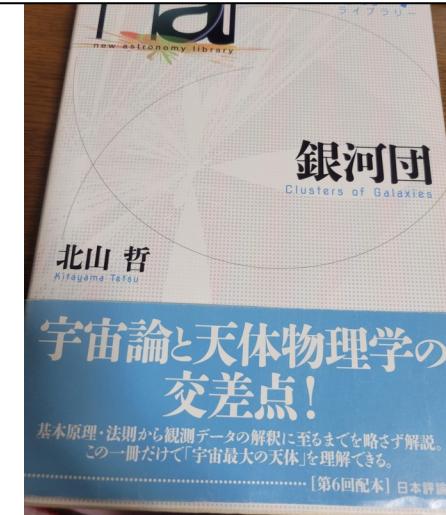
virial mass

virial radius $R_{200} = \left[\frac{GM_{200}}{100\Omega_m(z)H(z)^2} \right]^{1/3}$

(overdensity $\Delta_c = 200$)

(citation: virial mass Wikipedia)

この本を1445室よりお借りしています



勉強中

※ 色々お聞きすると思いますが
よろしくお願ひします。

2023/11/20 進捗報告 (西濱大将@B4)

■ ToDo

- 独自の方法で再度、subhaloのデータ抽出をする
- ビリアル半径の勉強して、ビリアル半径を導出する

2023/11/22 銀河団MTG (西濱大将@B4)

進捗報告
(銀河団ミーティング)

2023/11/22

■ ビリアル半径を求めるために…

$$R_{\text{vir}} = \left(\frac{3M_{\text{vir}}}{4\pi\rho_{\text{vir}}(z)} \right)^{1/3}$$

$$\simeq 2.1 \left(\frac{M_{\text{vir}}}{10^{15}M_{\odot}} \right)^{1/3} \left(\frac{\Delta_{\text{vir}}}{200} \right)^{-1/3} \left(\frac{h}{0.7} \right)^{-2/3} E^{-2/3}(z)$$

 $Z = 0$ のとき $E(z) = 1$,
 r_{200} を知りたいので $\Delta_{\text{vir}} = 200$ とする。

$$R_{200} \simeq 2.1 \left(\frac{M_{\text{vir}}}{10^{15}M_{\odot}} \right)^{1/3} \left(\frac{h}{0.7} \right)^{-2/3}$$

ビリアル質量の導出

どうやって半径内部の質量を導出しようか・・・

- Illustris-TNGにはDMのMassが公開されてない
 - MassはBaryon (gas)のみ

Field	Full Snaps	Mini Snaps	Subbox Snaps	Dims	PartType1 (dm)	
					Units	
Coordinates	✓	✓	✓	N,3	$ckpc/h$	Space
ParticleIDs	✓	✓	✓	N	-	The unique ID
Potential	✓	-	✓	N	$(km/s)^2/a$	
SubfindDMDensity	✓	-	-	N	$(10^0 M_{\odot}/h)/(ckpc/h)^3$	The local density
SubfindDensity	✓	-	-	N	$(10^0 M_{\odot}/h)/(ckpc/h)^3$	The local density
SubfindHsm	✓	-	-	N	$ckpc/h$	The concentration
SubfindVelDisp	✓	-	-	N	km/s	The 3D velocity dispersion
Velocities	✓	✓	✓	N,3	$km\sqrt{a}/s$	

2023/11/22 銀河団MTG (西濱大将@B4)

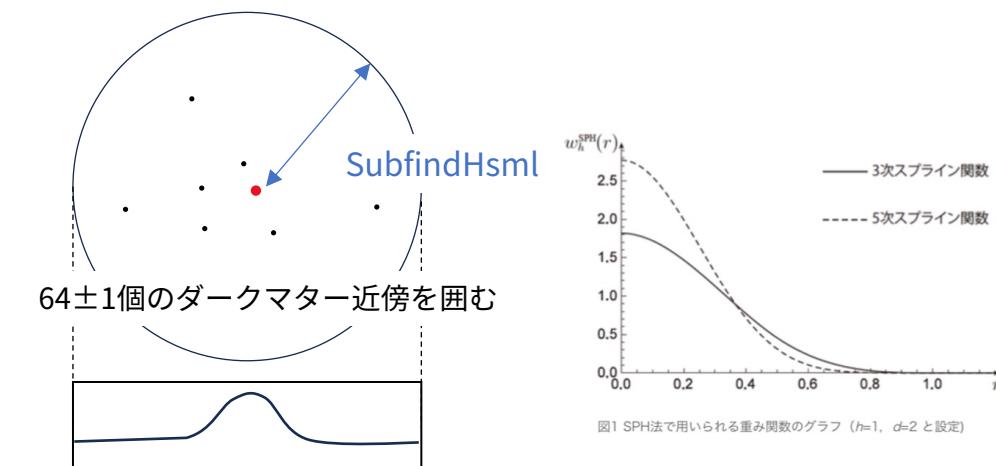
PartType0 (gas)			
Field	Dimensions	Units	Description
Coordinates	N,3	ckpc/h	Spatial position within the periodic box of size 75000 ckpc/h. Comoving coordinate.
Density	N	$(10^0 M_\odot/h)/(ckpc/h)^3$	Comoving mass density of cell (calculated as mass/volume).
ElectronAbundance	N	-	Fractional electron number density with respect to the total hydrogen number density, so $n_e = \text{ElectronAbundance} * n_H$ where $n_H = X_H * \rho / m_p$. Use with caution for star-forming gas (see comment below for NeutralHydrogenAbundance).
GFM_AGNRadiation	N	erg/s/cm ² * (4π)	Bolometric intensity (physical units) at the position of this cell arising from the radiation fields of nearby AGN. One should divide by 4π to obtain the flux at this location, in the sense of $F = L/(4\pi R^2)$.
GFM_CoolingRate	N	erg cm ³ /s	The instantaneous net cooling rate experienced by this gas cell, in cgs units (e.g. $\Lambda_{\text{ne}}/n_H^2$).
GFM_Metallicity	N	-	The ratio M_Z / M_{total} where M_Z is the total mass all metal elements (above He). Is NOT in solar units. To convert to solar metallicity, divide by 0.0127 (the primordial solar metallicity).
GFM_WindDMVelDisp	N	km/s	Equal to SubfindVelDisp.
InternalEnergy	N	(km/s) ²	Internal (thermal) energy per unit mass for this gas cell.
Masses	N	$10^0 M_\odot/h$	Gas mass in this cell. Refinement/derefinement attempts to keep this value within a factor of two of the targetGasMass for every cell.
NeutralHydrogenAbundance	N	-	Fraction of the hydrogen cell mass (or density) in neutral hydrogen, so $n_{H_0} = \text{NeutralHydrogenAbundance} * n_H$. (So note that $n_{H+} = n_H - n_{H_0}$). Use with caution for star-forming gas, as the calculation is based on the 'effective' temperature of the equation of state, which is not a physical temperature.
NumTracers	N	-	The number of child tracers residing within this gas cell.
ParticleIDs	N	-	The unique ID (uint64) of this gas cell. Constant for the duration of the simulation. May cease to exist (as gas) in a future snapshot due to conversion into a star/wind particle, accretion into a BH, or a derefinement event.
Potential	N	(km/s) ² /a	Gravitational potential energy.
SmoothingLength	N	ckpc/h	Twice the maximum radius of all Delaunay tetrahedra that have this cell at a vertex in comoving units (s_i from Springel et al. 2010).
StarFormationRate	N	M_\odot/yr	Instantaneous star formation rate of this gas cell.
SubfindDensity	N	$(10^0 M_\odot/h)/(ckpc/h)^3$	The local total comoving mass density, estimated using the standard cubic-spline SPH kernel over all particles/cells within a radius of SubfindHsmpl.
SubfindHsmpl	N	ckpc/h	The comoving radius of the sphere centered on this cell enclosing the 64 ± 1 nearest dark matter particles.
SubfindVelDisp	N	km/s	The 3D velocity dispersion of all dark matter particles within a radius of SubfindHsmpl of this cell.
Velocities	N,3	$km\sqrt{a}/s$	Spatial velocity. The peculiar velocity is obtained by multiplying this value by \sqrt{a} .
Volume	N	$(ckpc/h)^3$	Comoving volume of the Voronoi gas cell.

• SubfindDensity

- SubfindHsmplの半径内のすべての粒子とセルを対象に、標準的な立方スプラインSPHカーネルを使用して推定された、局所の総共動質量密度

• SubfindHsmpl

- このセルを中心とする球体が、最も近い 64 ± 1 個の暗黒物質粒子を含む共動半径



The standard cubic-spline SPH kernel

• Volume

- ボロノイガスセルの共動体積

2023/11/22 銀河団MTG (西濱大将@B4)

PartType1 (dm)							
Field	Full Snaps	Mini Snaps	Subbox Snaps	Dims	Units	Description	
Coordinates	✓	✓	✓	N,3	$ckpc/h$	Spatial position within the periodic simulation domain of BoxSize. Comoving coordinate.	
ParticleIDs	✓	✓	✓	N	-	The unique ID (uint64) of this DM particle. Constant for the duration of the simulation.	
Potential	✓	-	✓	N	$(km/s)^2/a$	Gravitational potential energy.	
SubfindDMDensity	✓	-	-	N	$(10^0 M_\odot/h)/(ckpc/h)^3$	The local total comoving mass density, estimated using the standard cubic-spline SPH kernel over all DM particles within a radius of SubfindHsm.	
SubfindDensity	✓	-	-	N	$(10^0 M_\odot/h)/(ckpc/h)^3$	The local total comoving mass density, estimated using the standard cubic-spline SPH kernel over all particles/cells within a radius of SubfindHsm.	
SubfindHsm	✓	-	-	N	$ckpc/h$	The comoving radius of the sphere centered on this particle enclosing the 64±1 nearest dark matter particles.	
SubfindVelDisp	✓	-	-	N	km/s	The 3D velocity dispersion of all dark matter particles within a radius of SubfindHsm of this particle.	
Velocities	✓	✓	✓	N,3	$km\sqrt{a}/s$	Spatial velocity. Multiply this value by \sqrt{a} to obtain peculiar velocity.	

DM only

DM+Baryon

(NelsonさんがQ/Aで回答してた)

SubfindDensity : (SubfindDensity – SubfindDMDensity) = Mass_total : Mass_Baryon

→ うまくいくかな？

BACKUP

カーネル近似

- ① SPH法とは連続関数をカーネル近似から、
その近似式を体積積分と見立てて、空間へ離散化させる。

3次元（または2次元）の領域上に定義される
スムーズなスカラーフィールド ϕ は、領域内の点 x に $\phi(x)$ のデルタ関数
 $\delta(x)$ を用いて、体積積分で表示される。

$$\phi(x) = \int_{\Omega} \phi(\beta) \delta(\beta - x) d\beta$$

離散化された関数

→ カルトナード関数

SPH法では滑らかな関数を用いる。

$$\phi(x) = \int_{\Omega} \phi(\beta) \delta(\beta - x) d\beta$$

$$\approx \int_{\Omega} \phi(\beta) w_h^{\text{SPH}}(|\beta - x|) d\beta =: \phi^{\text{SPH}}(x)$$

$\phi^{\text{SPH}}(x)$ が $\phi(x)$ のカーネル近似である。

二つの滑らかな関数 w_h^{SPH} をカーネル関数という。

これは平滑化の対象を決める領域（半径）
を示すものとする。

SPH法は次の条件を満足する。

• サポートサポート条件

$$w_h^{\text{SPH}}(|\beta - x|) = 0, |\beta - x| \geq h$$

• ユニティ条件

$$\int_{\Omega} w_h^{\text{SPH}}(|\beta - x|) d\beta = 1$$

※ δ 関数は満たさない。

カーネル近似

Q SPH法におけるカーネル近似は、観測点近傍の点も平滑化に取り入れるため、観測点からの相対距離 $|x_i - x_j|$ が一定の半径 h 内にある近傍点の値を用いて重み平均をとる。

】 ハウトサポート条件

重み平均の対象を一定半径 h 内にある近傍に限定する。

】 $\Gamma = \bar{\Gamma}$ 条件

影響半径 h をゼロに収束させたときは、カーネル関数がデルタ関数に収束させる。

→ SPH法の基礎 (Smoothed Particle Hydrodynamics)

よく使われる関数

① 3次スプライン関数

$$w_h^{\text{SPHc}}(r) = \alpha_d^c \begin{cases} 1 - 6(r/h)^2 + 6(r/h)^3, & 0 \leq r/h < 1/2, \\ 2(1 - r/h)^3, & 1/2 \leq r/h < 1, \\ 0, & r/h \geq 1, \end{cases}$$

② 5次スプライン関数

$$w_h^{\text{SPHq}}(r) = \alpha_d^q \begin{cases} (1 - r/h)^5 - 6(2/3 - r/h)^5 + 15(1/3 - r/h)^5, & 0 \leq r/h < 1/3, \\ (1 - r/h)^5 - 6(2/3 - r/h)^5, & 1/3 \leq r/h < 2/3, \\ (1 - r/h)^5, & 2/3 \leq r/h < 1, \\ 0, & r/h \geq 1. \end{cases}$$

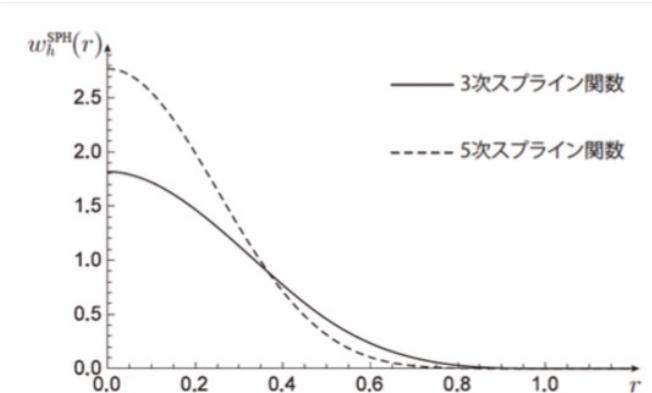
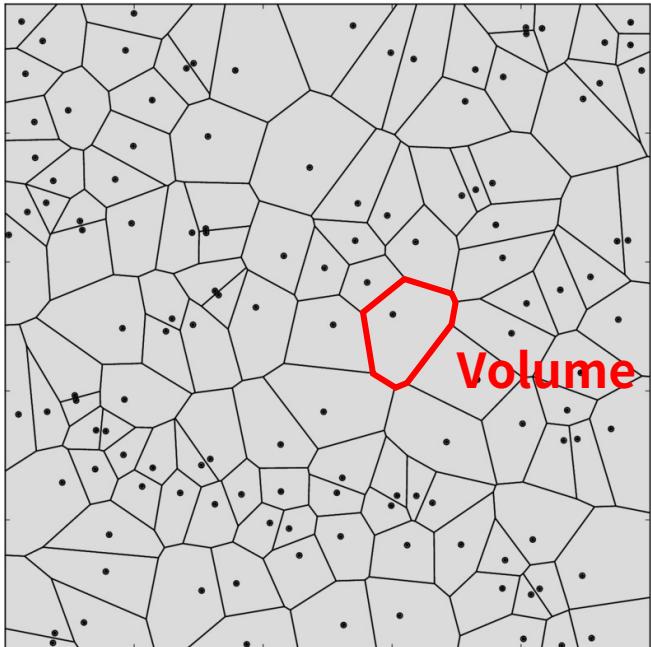


図1 SPH法で用いられる重み関数のグラフ ($h=1$, $d=2$ と設定)

Voronoi gas cell



ボロノイガスセルは、ボロノイ格子として扱われるガスセルです。ボロノイ格子は、離散的なボロノイセルと面で構成されるセルラートポロジー構造です。ボロノイガスセルは、次のようなシミュレーションで使用されています。

- **MaNGIA**
 - 10,000個の模擬銀河で、ガスセルをボロノイ格子として扱う
- **IllustrisTNG**
 - ガス成分をボロノイセルとして扱い、Godunov法で時間とともに進化させる
- **Radiative Transfer**
 - ボロノイ tessellation で定義された移動する非構造メッシュで、放射輸送を実行する

進捗報告
(研究室ミーティング)

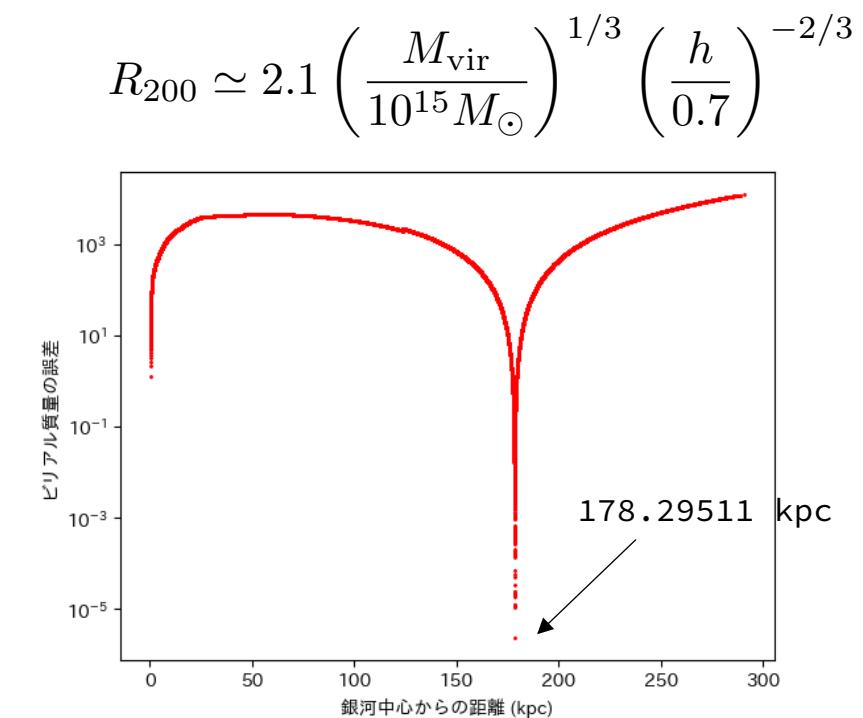
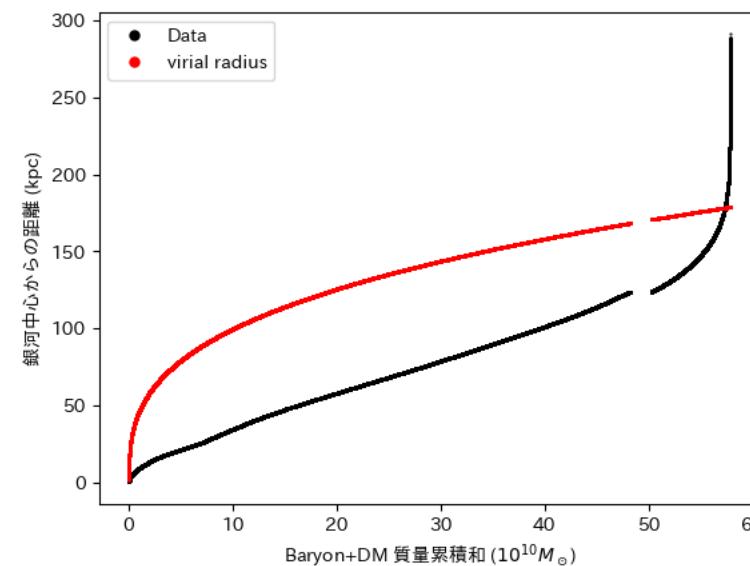
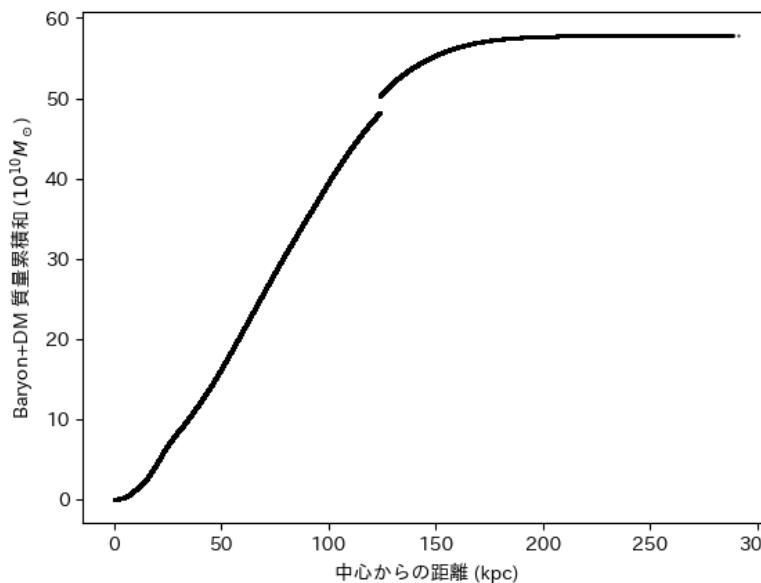
前回

SubfindDensity : (SubfindDensity - SubfindDMDensity) = Mass_total : Mass_Baryon

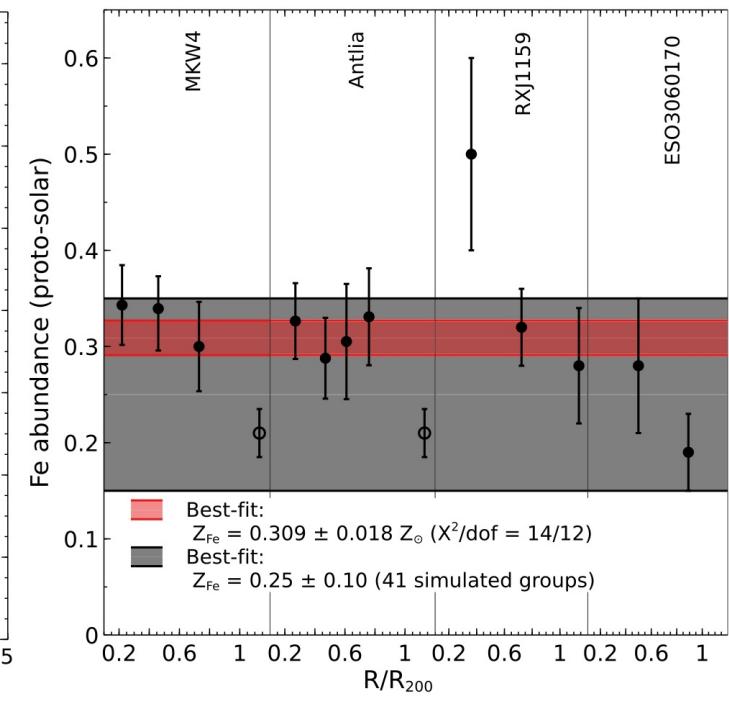
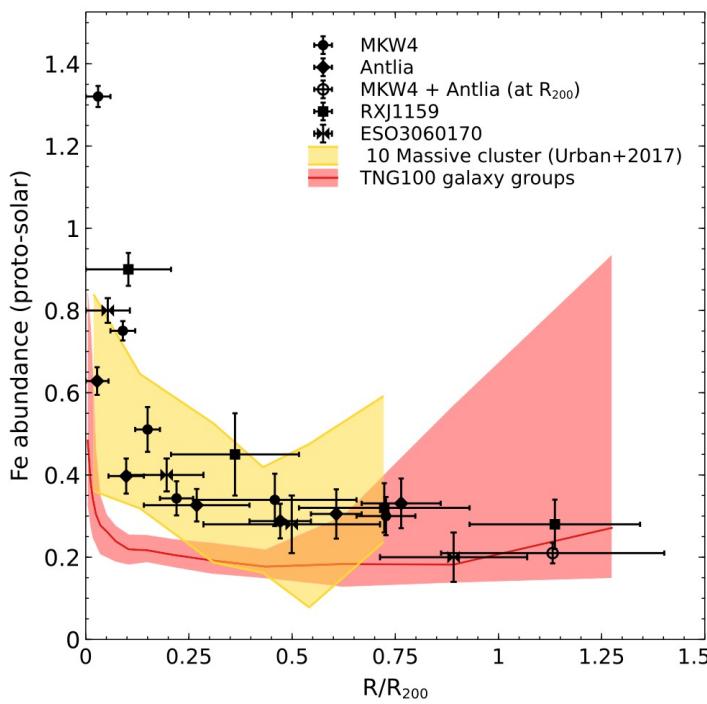
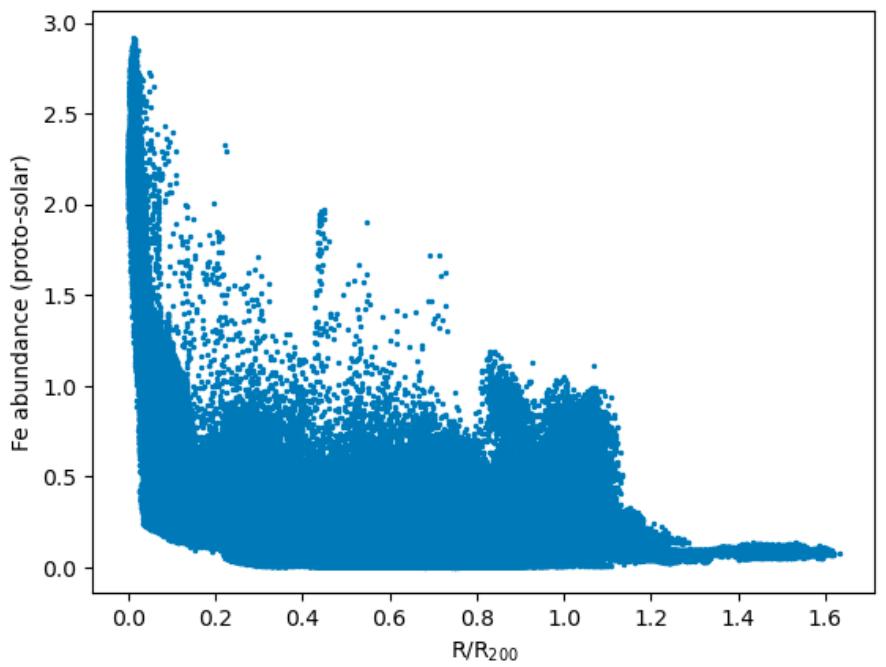
- SubfindDensity: DM+Baryonの密度
- SubfindDMDensity: DMのみの密度

→ 比を使って「Mass_total」を導出する

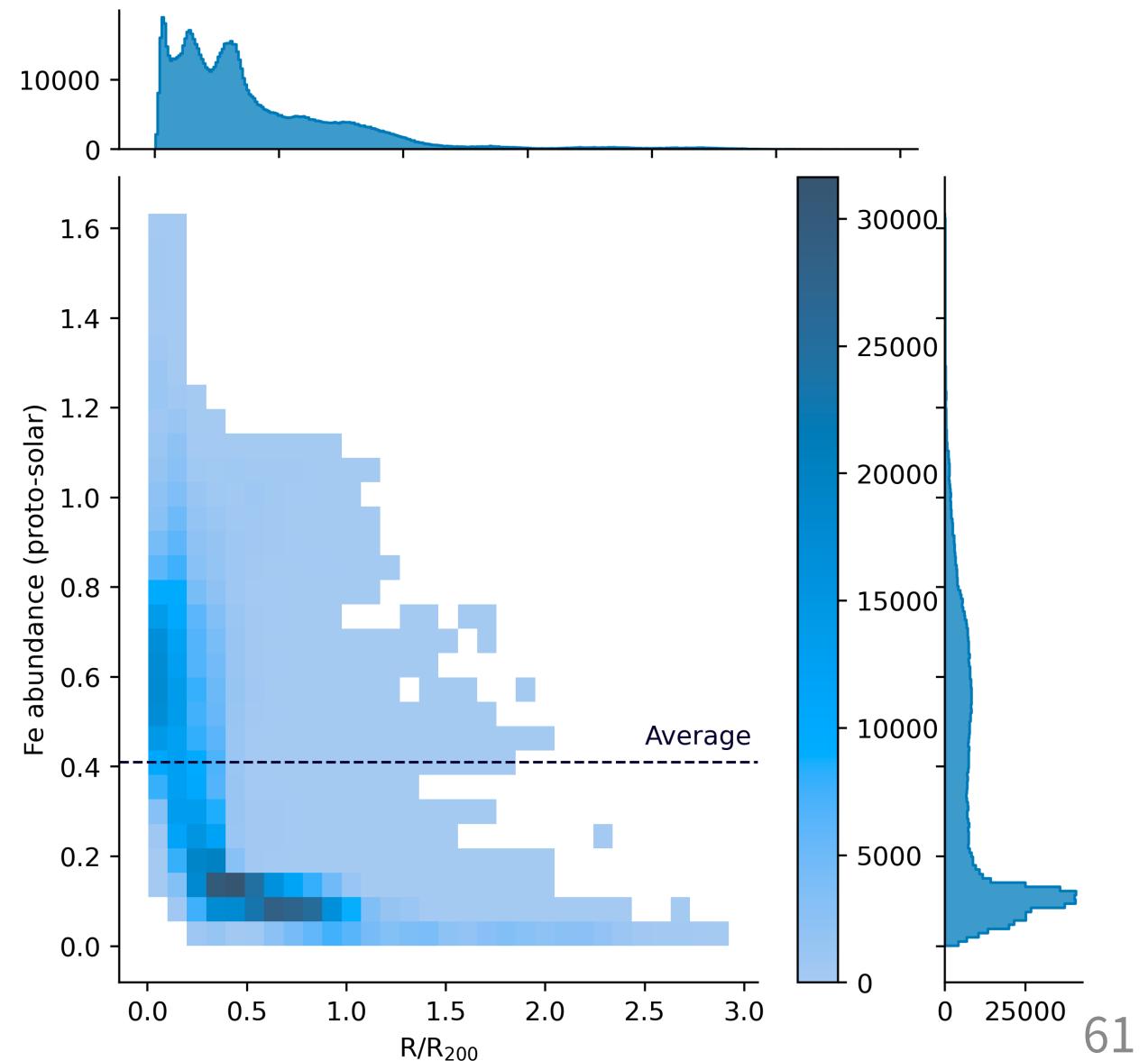
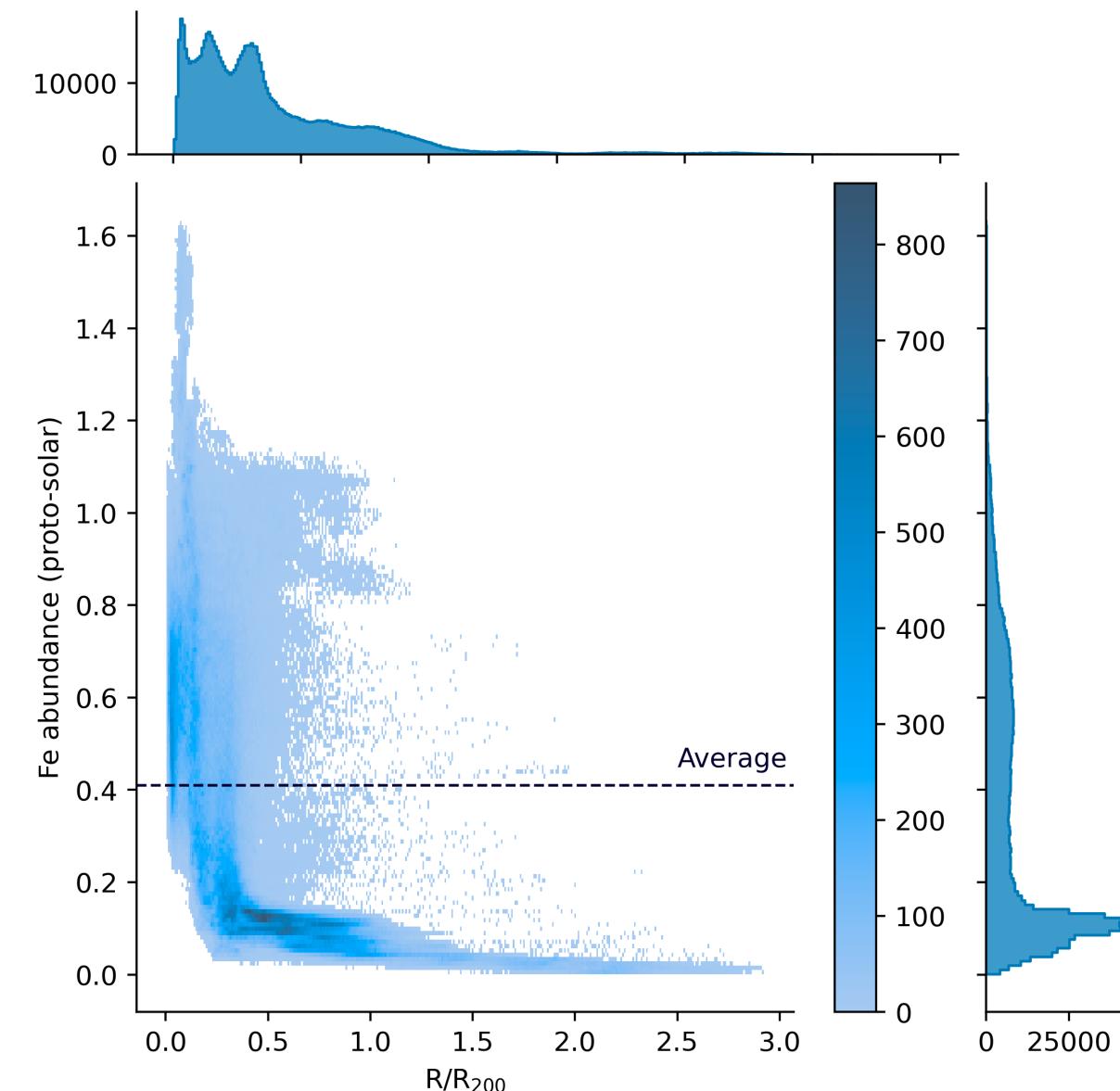
結果



論文



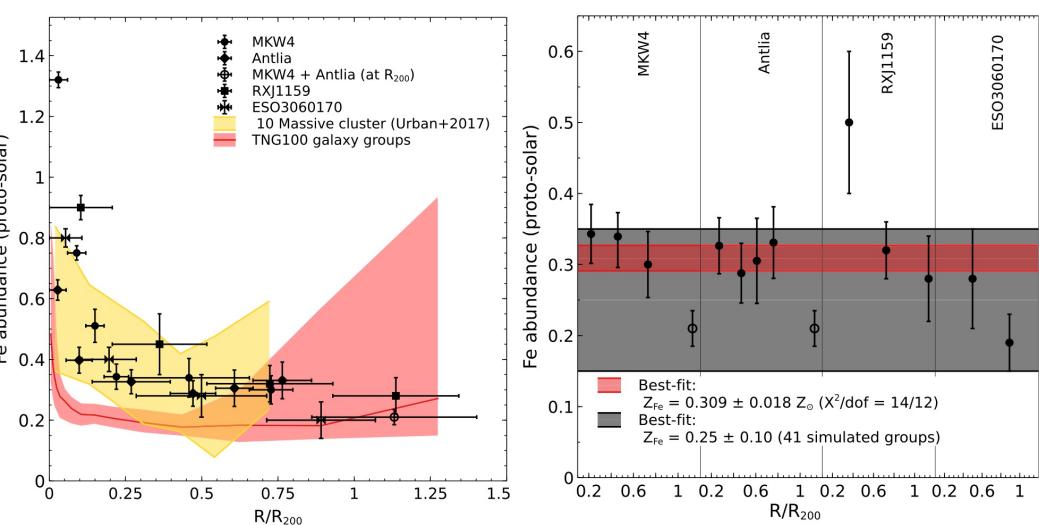
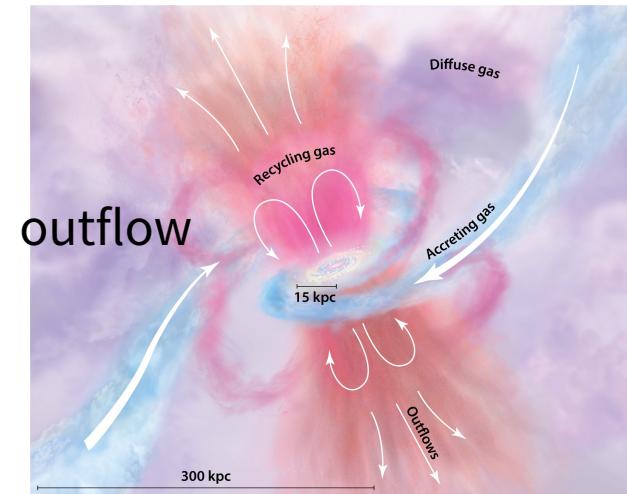
2023/11/27 進捗報告 (西濱大將@B4)



■ 目標

- ① シミュレーション(Illustris-TNG)内に
あるMW-galaxyにoutflowが再現
されているかを確認したい

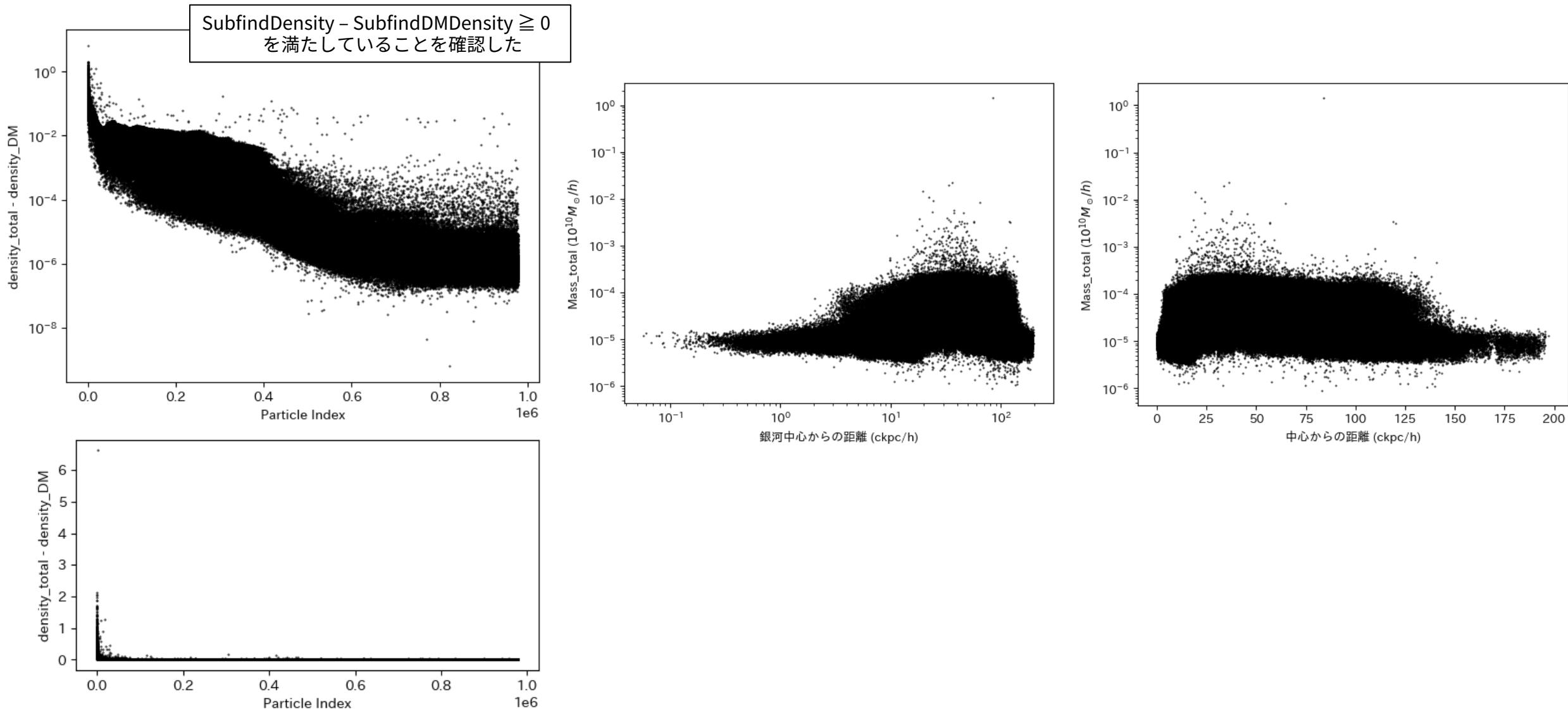
- ② 論文と同じような図を作成したい



(Arnab Sarkar et. al, Astronomical Society, 2022)

BACKUP

2023/11/27 進捗報告 (西濱大将@B4)



2023/11/27 進捗報告 (西濱大將@B4)

```
function SOLVE_VIRIAL_MASS(radius, mass, density_DM, density_total)
    valid_indices ← indices of radius where total_mass is not ∞
    radius ← radius[valid_indices]
    total_mass ← total_mass[valid_indices]
    sorted_radius, sorted_total_mass ← sort radius, total_mass based on radius
    cum_mass ← cumulative sum of sorted_total_mass
    h ← 0.6774
    virial_radius ←  $2.1 \times \left( \frac{\text{cum\_mass} \times 10^{10}}{10^{15}} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left( \frac{h}{0.7} \right)^{-\frac{2}{3}}$ 
    min_index ← index of the element in radius
        with the smallest value of  $(\text{radius} - \text{virial\_radius})^2$ 
    r200 ← radius[min_index]
    return r200
end function
```