

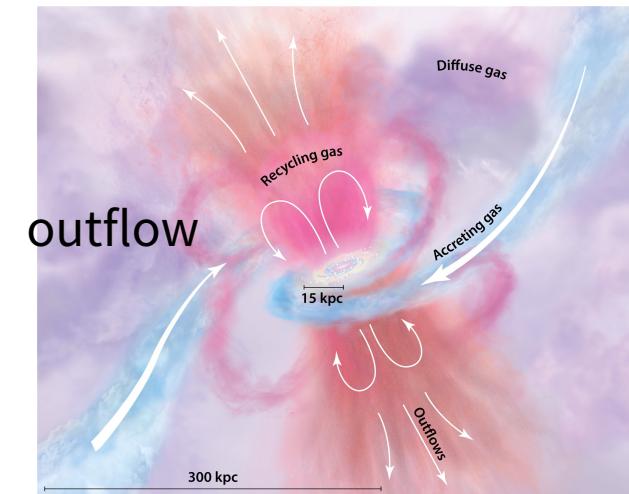
# 進捗報告 (研究室ミーティング)

～最近していることの概要～

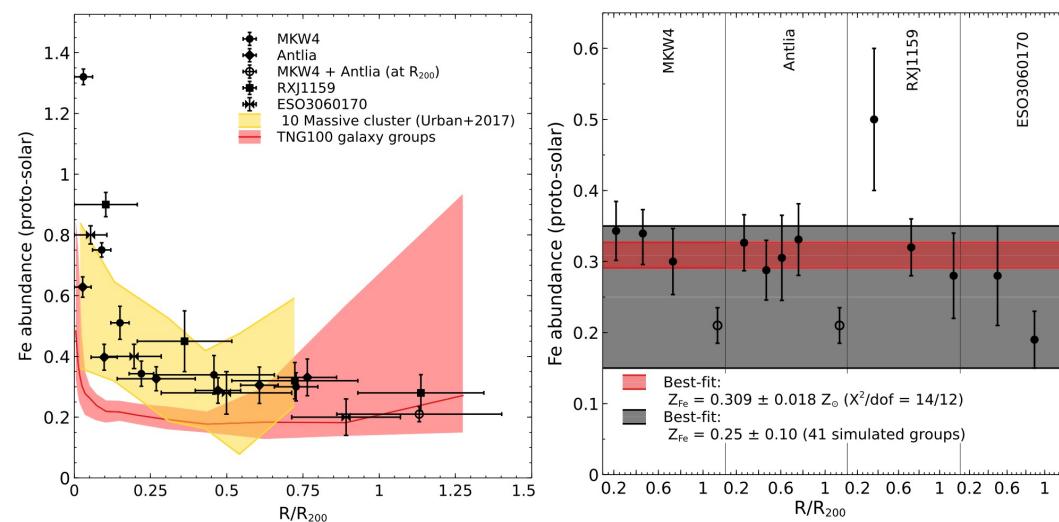
## ■ 目標

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

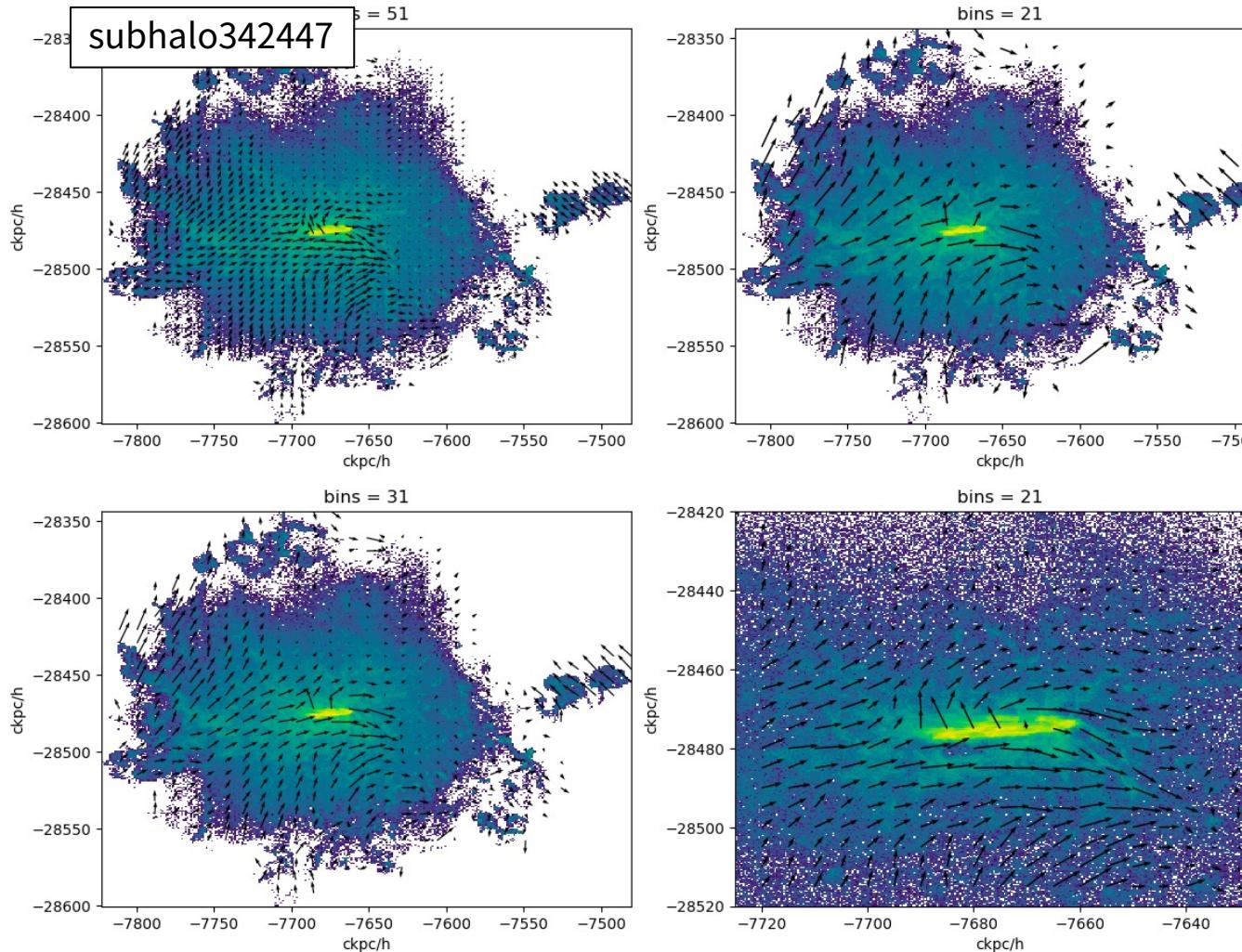


Tumlinson J, et al. 2017.  
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 55:389–432.



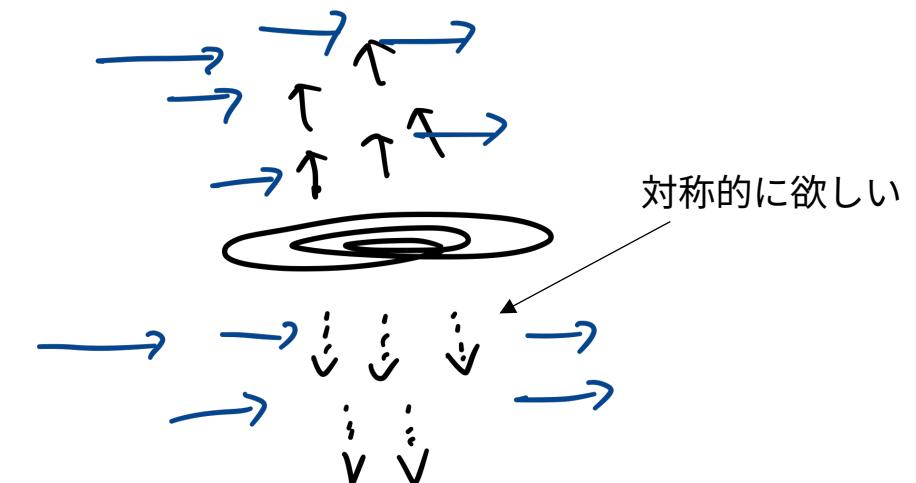
(Arnab Sarkar et. al, *Astronomical Society*, 2022)

## ■ 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



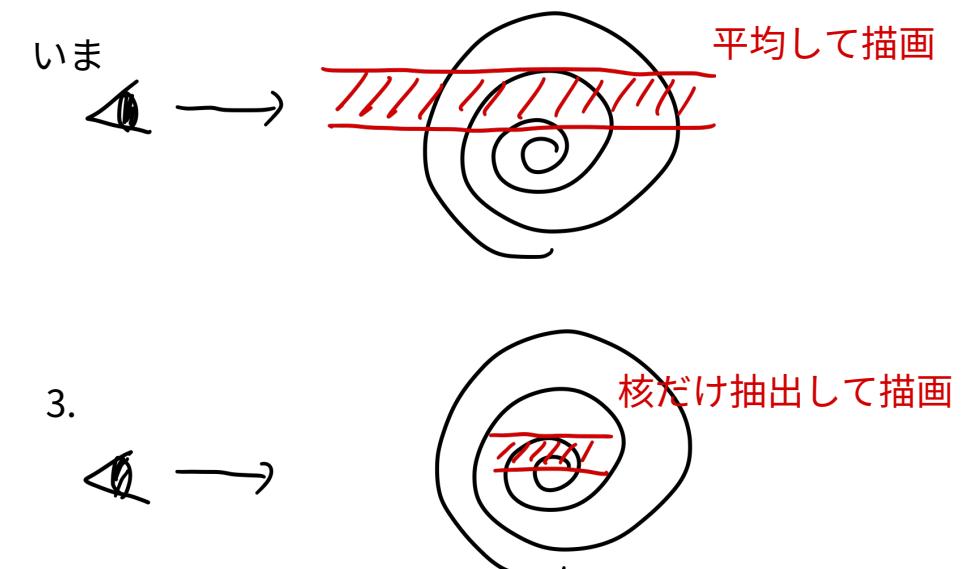
### 結果

- (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

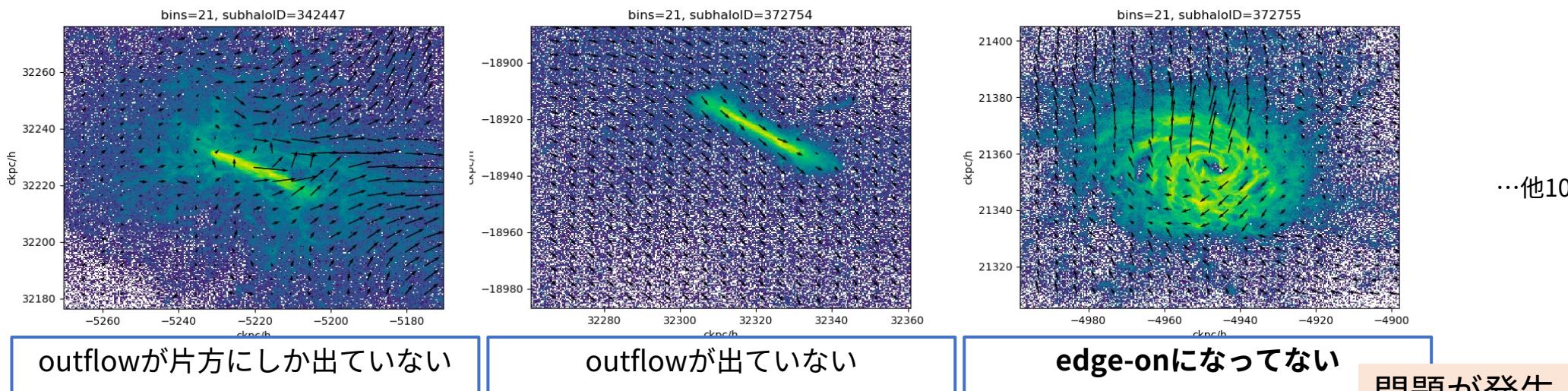
- 1. subhalo342447だけかも知れない調査中
- 他のsubhaloを調べてみる
- 2. subhalo342447の付近に巨大な何かがあるかも知れない
  - 大きくデータを抽出して調べてみる
- 3. 円盤部分の影響を強く受けているかも知れない
  - 核だけを抽出して調べてみる



## ■ 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

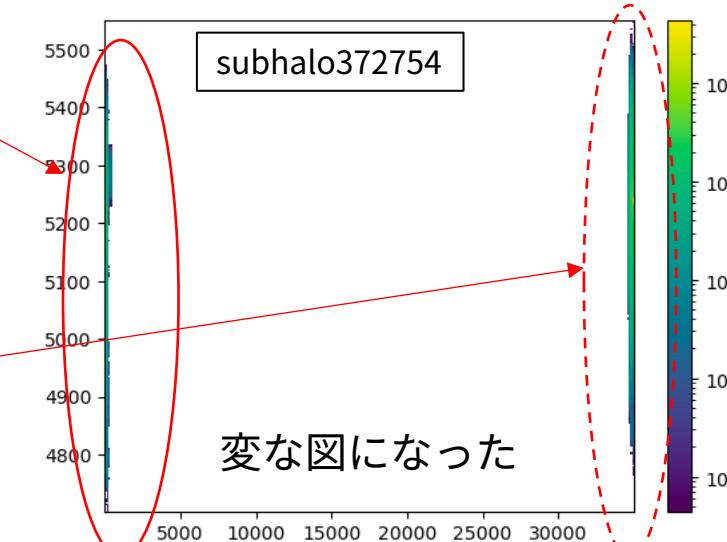
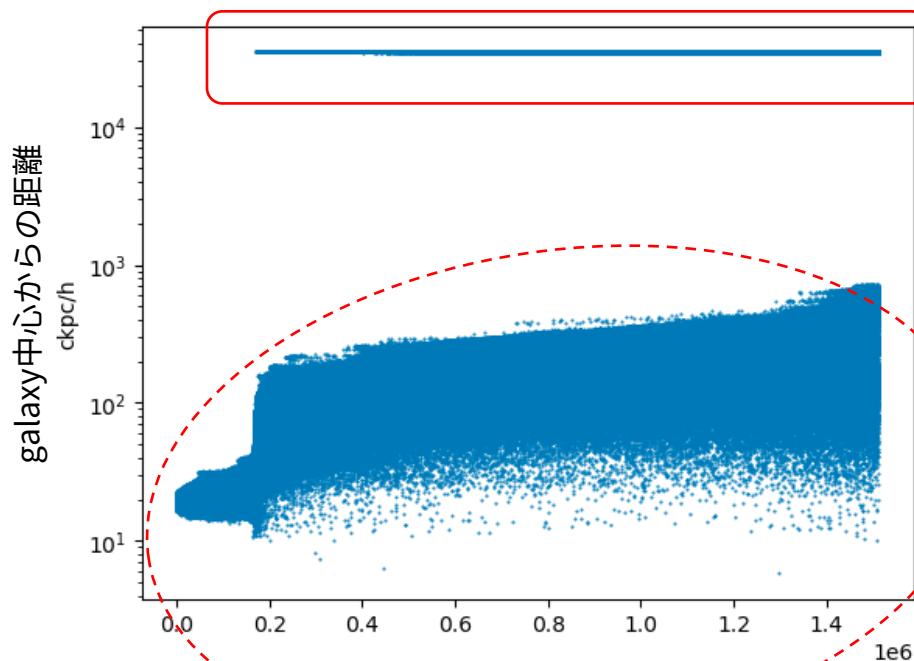
- 慣性モーメントテンソルを導出し、回転行列  $R$  を導出  
→  $R$  を作用させてface-on
  - これに  $x$  軸回りに90度回転させている



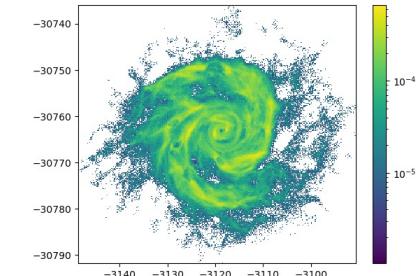
再考

## ■ 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?

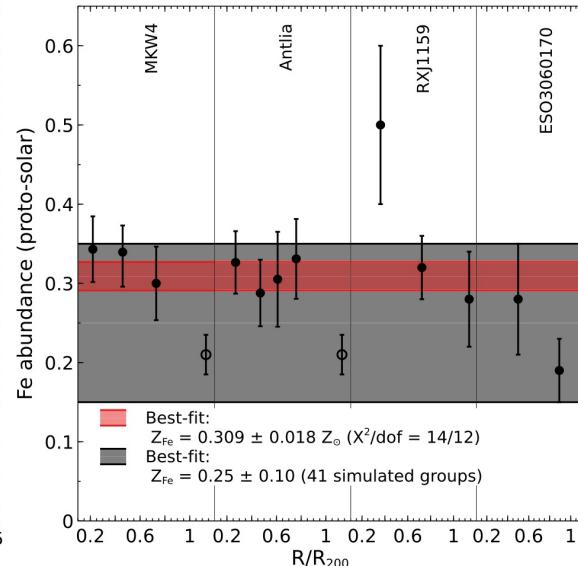
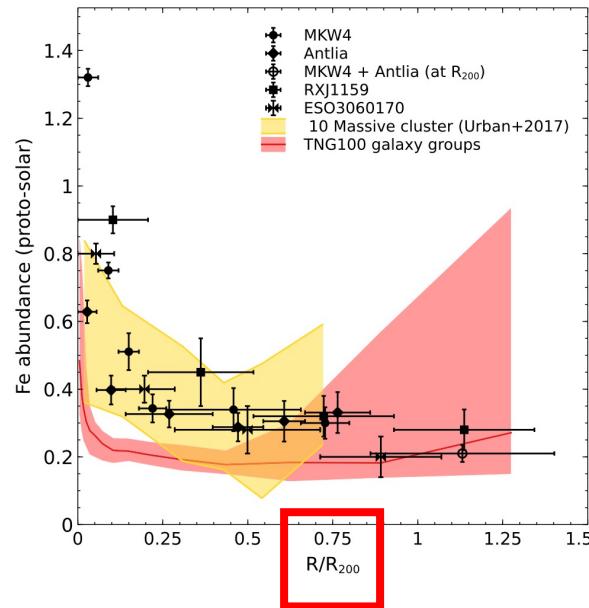


想定図



- *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



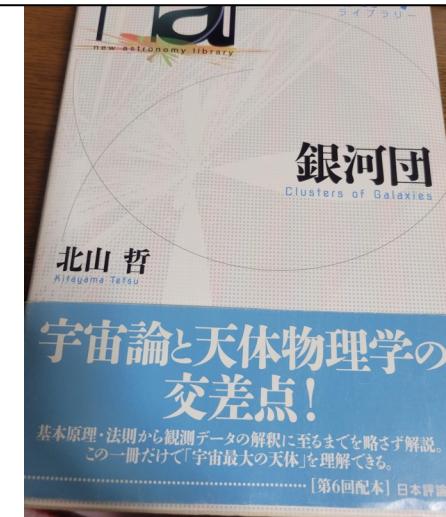
virial mass

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)

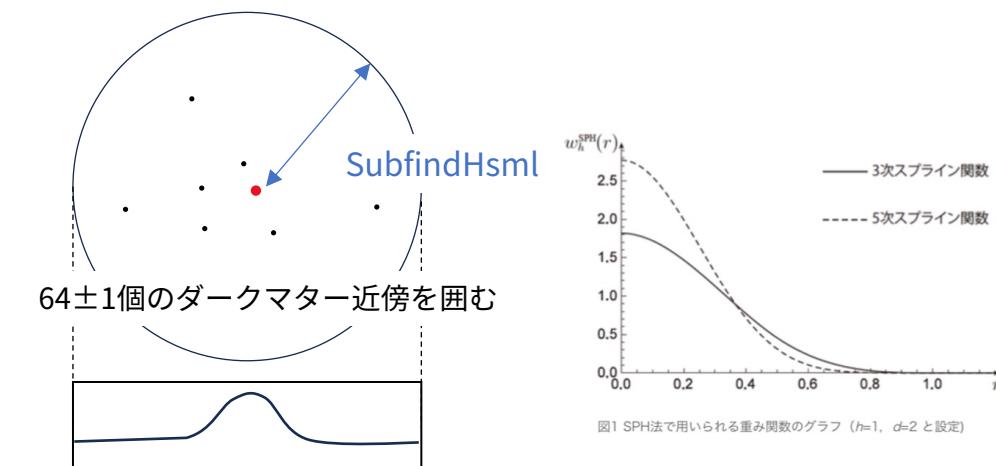
PartType0 (gas)			
Field	Dimensions	Units	Description
Coordinates	N,3	$ckpc/h$	Spatial position within the periodic box of size 75000 $ckpc/h$ . Comoving coordinate.
Density	N	$(10^0 M_\odot/h)/(ckpc/h)^3$	Comoving mass density of cell (calculated as mass/volume).
ElectronAbundance	N	-	Fractional electron number density with respect to the total hydrogen number density, so $n_e = ElectronAbundance * n_H$ where $n_H = X_H * \rho/m_p$ . Use with caution for star-forming gas (see comment below for NeutralHydrogenAbundance).
GFM_AGNRadiation	N	$erg/cm^2 * (4\pi)$	Bolometric intensity (physical units) at the position of this cell arising from the radiation fields of nearby AGN. One should divide by $4\pi$ 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. $\Lambda_{ne}/n_H^2$ ).
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 $n_{H_0} = NeutralHydrogenAbundance * n_H$ . (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 SubfindHsm.
SubfindHsm	N	$ckpc/h$	The comoving radius of the sphere centered on this cell enclosing the $64 \pm 1$ nearest dark matter particles.
SubfindVelDisp	N	$km/s$	The 3D velocity dispersion of all dark matter particles within a radius of SubfindHsm of this 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

- SubfindHsm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

## • SubfindHsm

- このセルを中心とする球体が、最も近い $64 \pm 1$ 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  
スカラーカー関数  $\phi$  は、領域内の点  $x$  に  $\phi(x)$  のデルタ関数  
 $\delta(x)$  を用いて、体積積分で表示する。

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

離散化された関数

→ カルトナード関数

SPH法では滑らかさ関数を用いる。

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

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

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

この滑らかさ関数  $w_h^{\text{SPH}}$  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

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

※  $\delta$ 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に、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

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

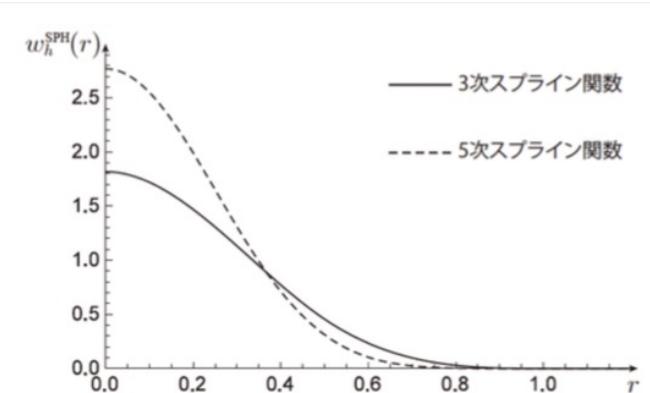
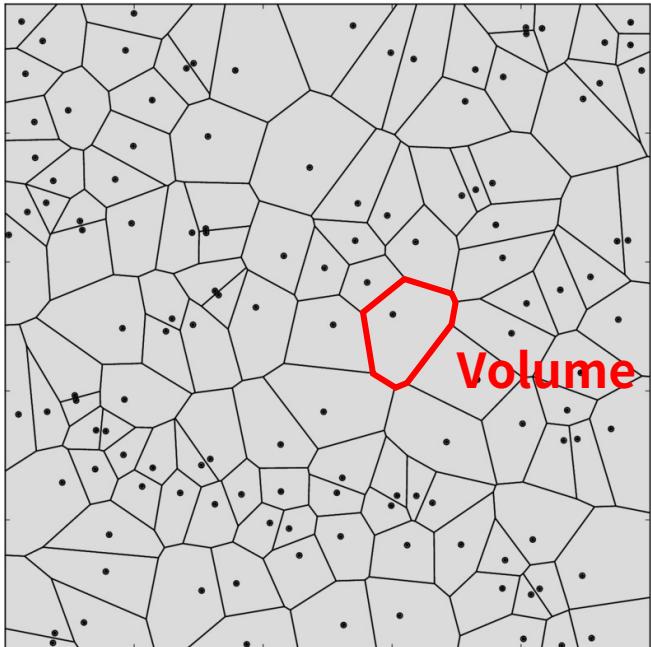


図1 SPH法で用いられる重み関数のグラフ ( $h=1$ ,  $d=2$  と設定)

# 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