

宇宙論的シミュレーションデータベース Illustris-TNGを用いた銀河周辺物質の速度 と元素分布構造の解明

宇宙物理実験研究室 20RP021 西濱大将

Saitama
University



High Energy
Astrophysics Laboratory

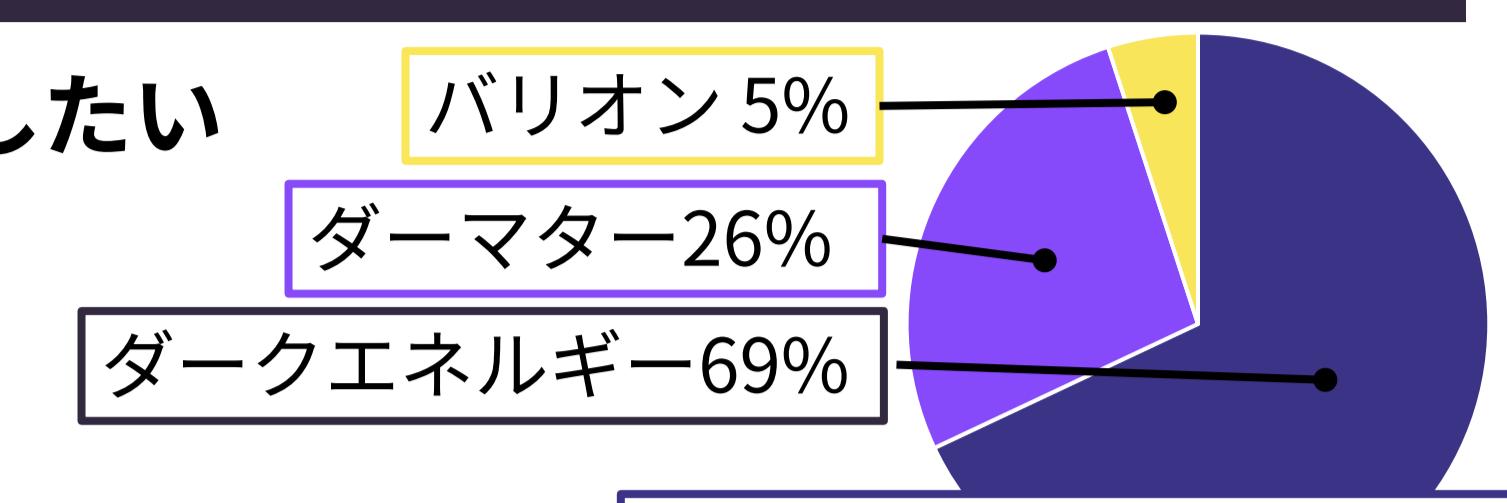
1. 背景

大目標 宇宙の構造進化を明らかにしたい

現在観測できる通常物質(バリオン)
でさえ、大半が見つかっていない

各階層のバリオンの分布を
定量的に調べる必要がある

銀河系のような渦巻銀河
に注目



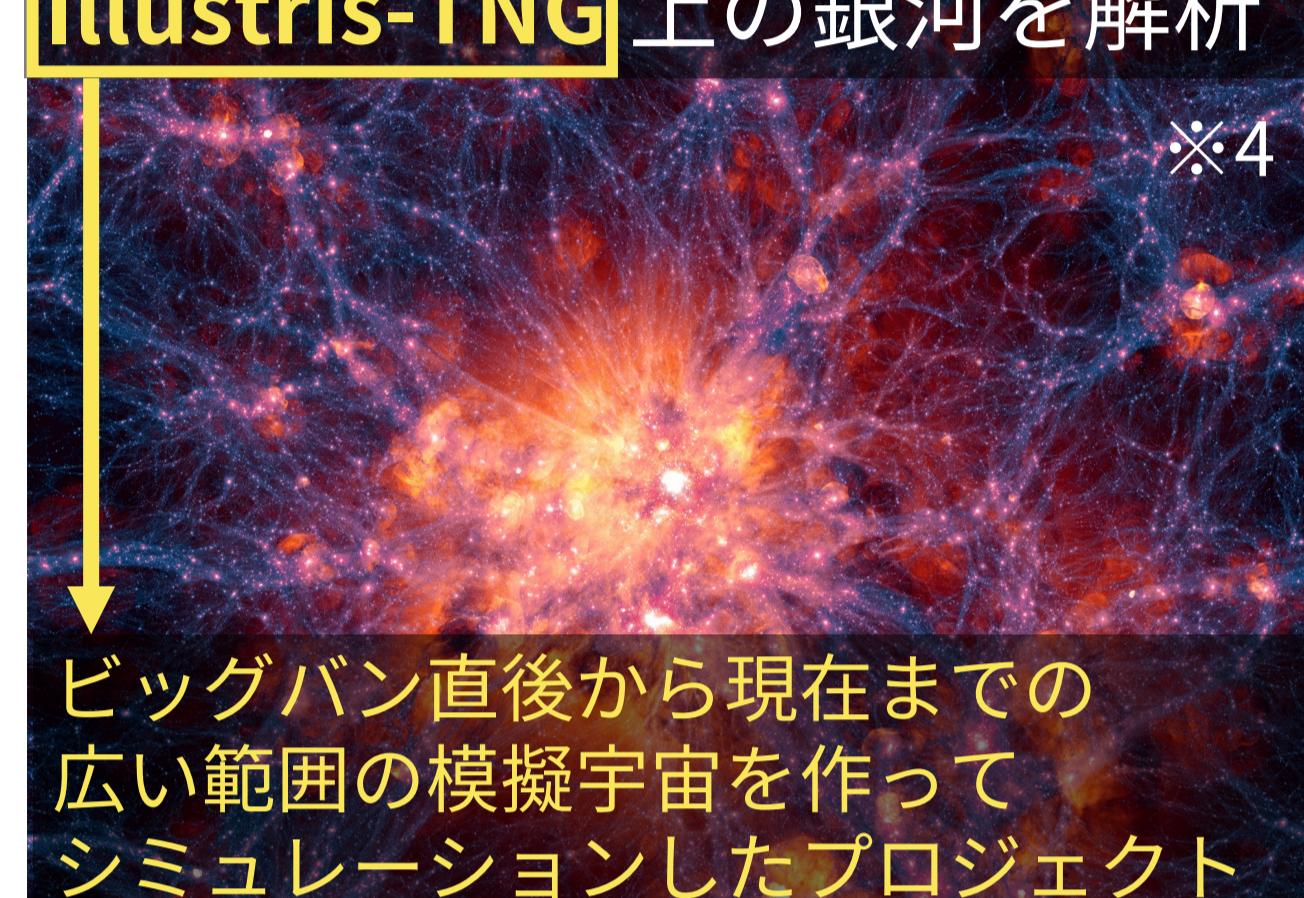
宇宙の各階層構造に
広く分布していると考えられるため
エネルギー密度 ≈ 1
(宇宙マイクロ波背景放射)

可視光や電波でのスタッキング観測は報告されているが(※2)
ガス構造や元素分布の解明には至っていない

我々の銀河系に似ている
渦巻き銀河周辺の物質構造を調べる

2. 手法

宇宙論的シミュレーション
Illustris-TNG 上の銀河を解析

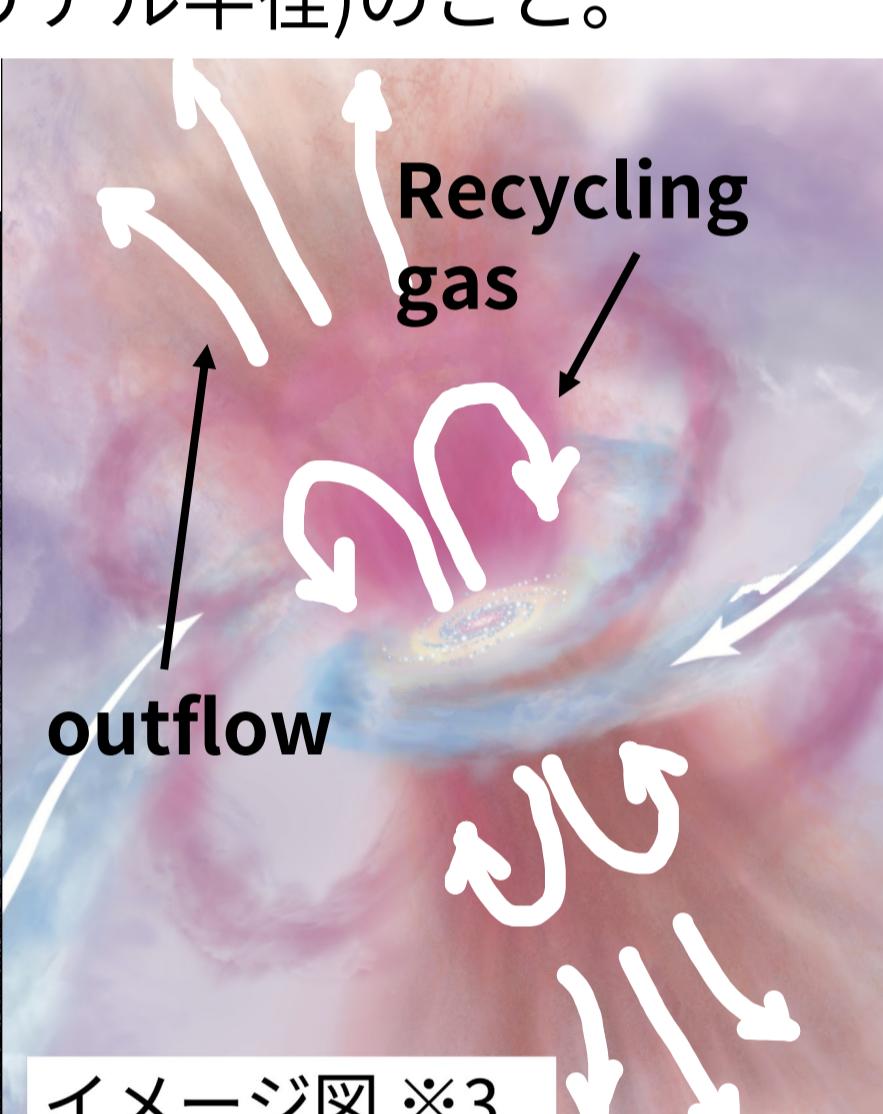


ビッグバン直後から現在までの
広い範囲の模擬宇宙を作って
シミュレーションしたプロジェクト

face-on/edge-on表示の仕方

- 慣性モーメントテンソル I を導出
- 固有値 λ_j ・固有ベクトル χ_j ($j = 0, 1, 2$) を導出。
 $\lambda_0 < \lambda_1 < \lambda_2$ とする。
- 回転行列 $R = [\chi_0, \chi_1, \chi_2]$ を作用。
- χ 軸を $\sim 90^\circ$ 回転

R_{200} : Virial Radius (ビリアル半径)のこと。
銀河の大きさを表す。



銀河A

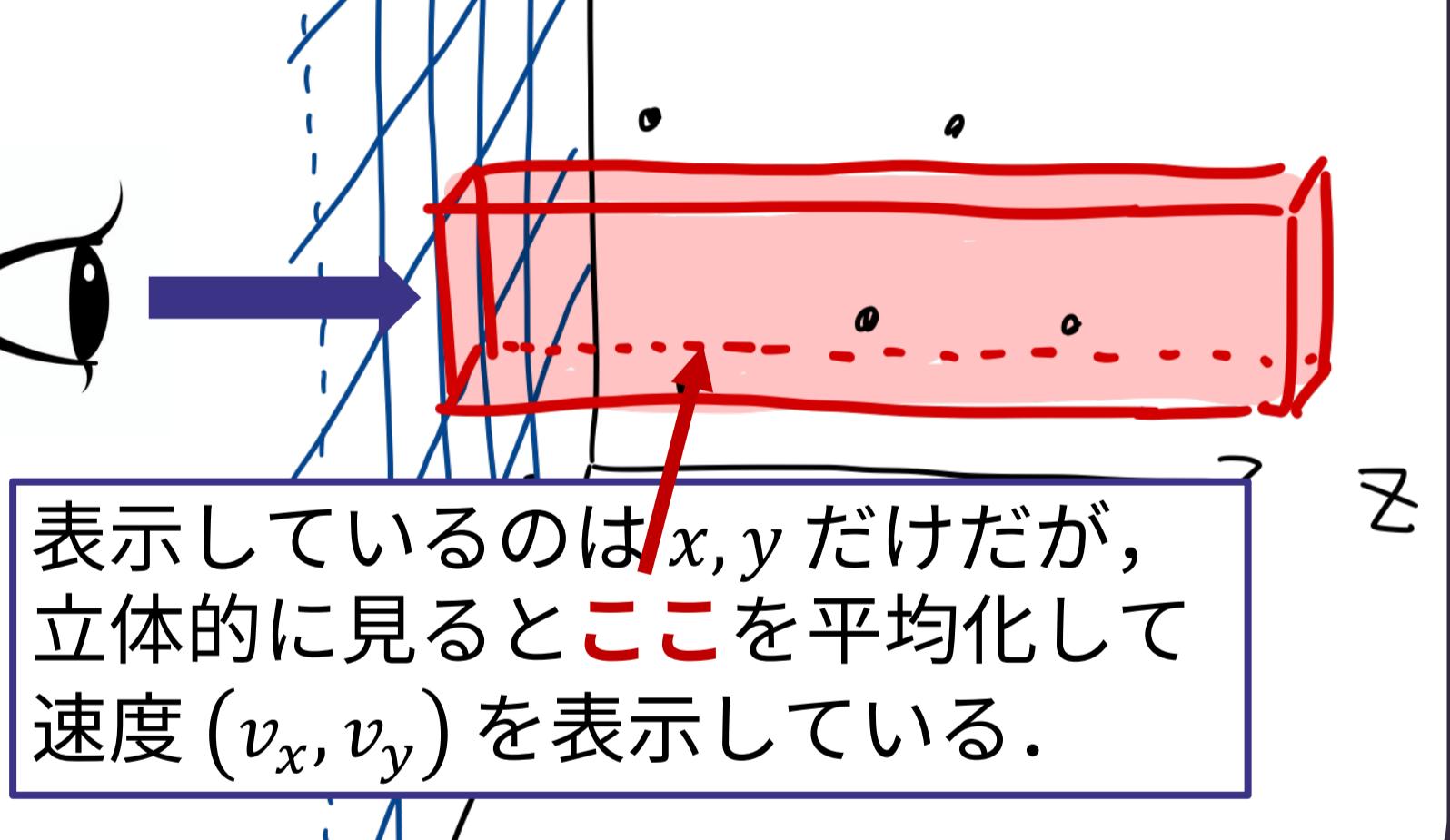
銀河A $R_{200}: 223.0 \text{ kpc}$

ガスのみ
face-on表示
(濃淡はMassをlog表示)

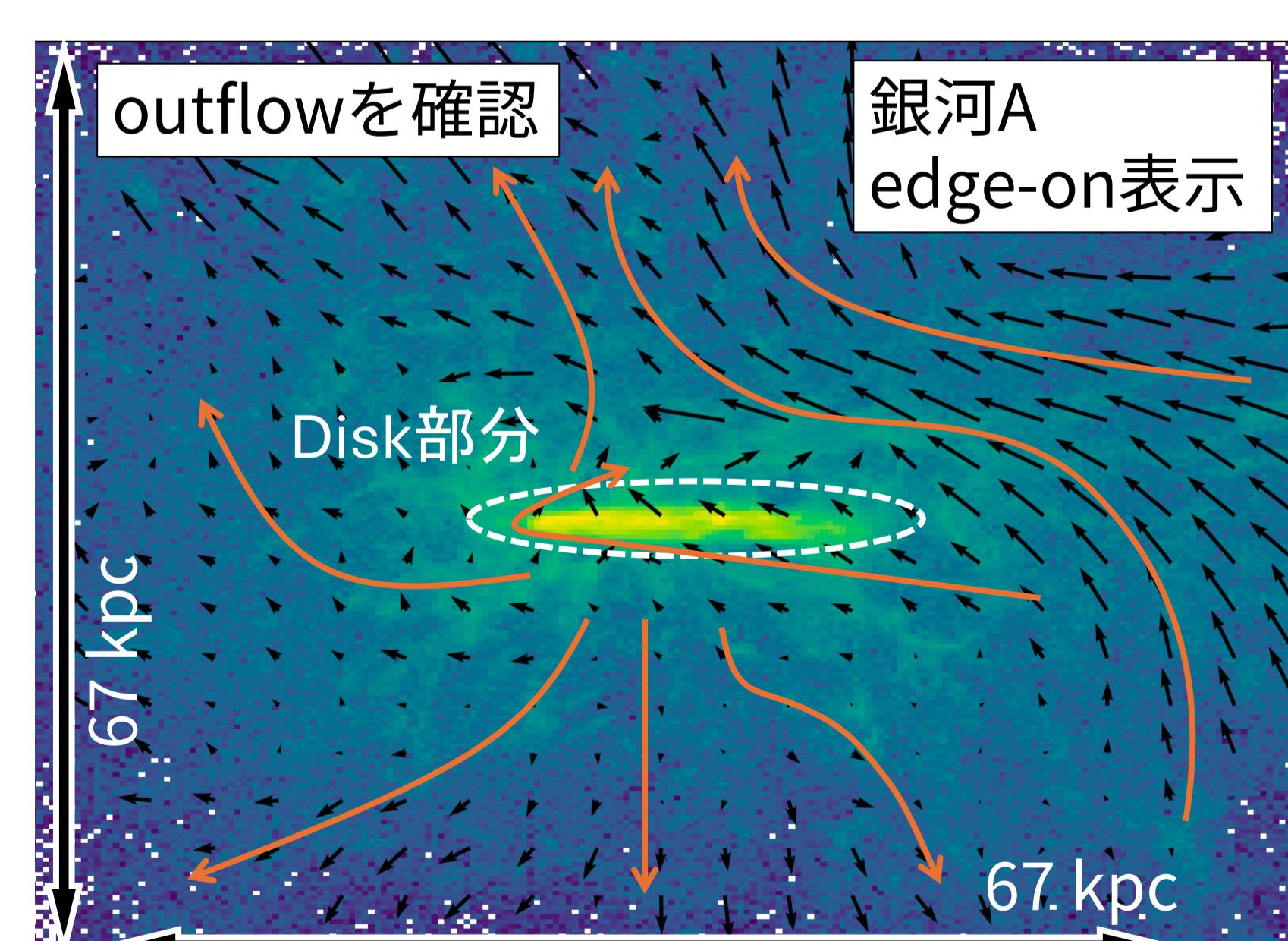
ガスのみ
edge-on表示
(濃淡はMassをlog表示)

outflowの射影手法(確認の仕方)

bin分けをしてbinごとの粒子/
メッシュの平均速度を導出。



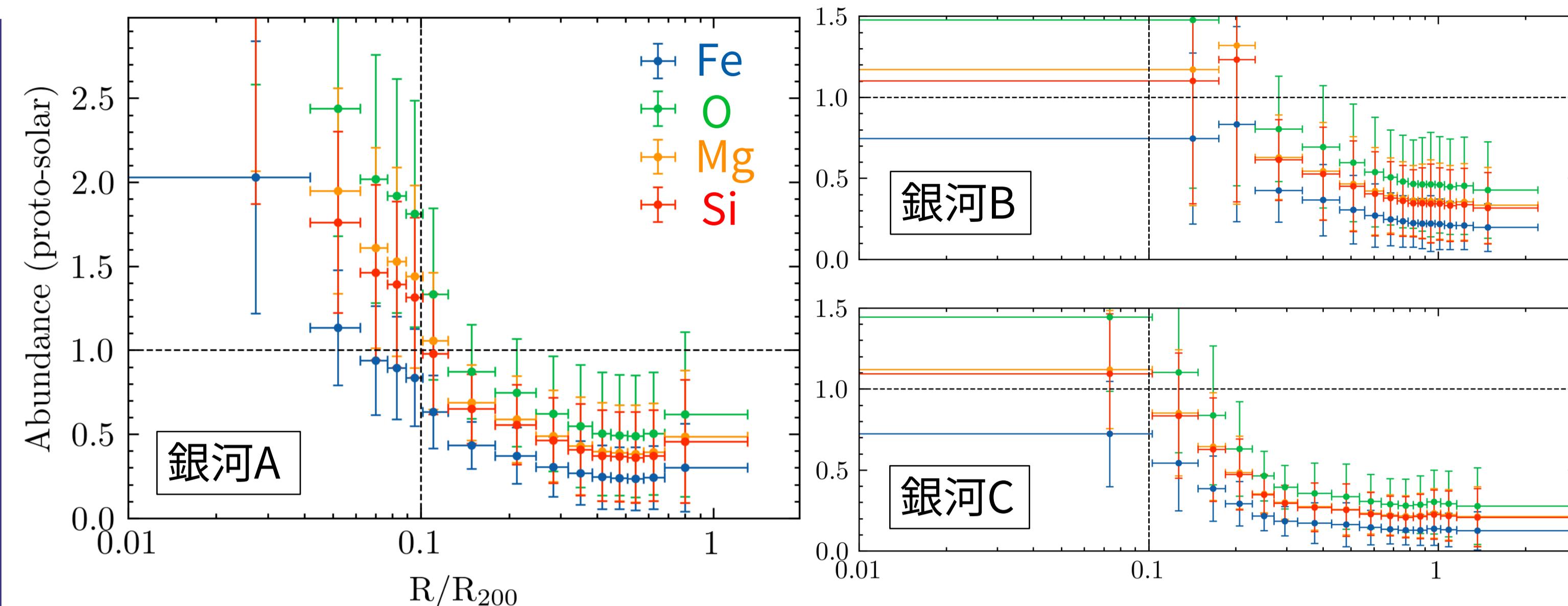
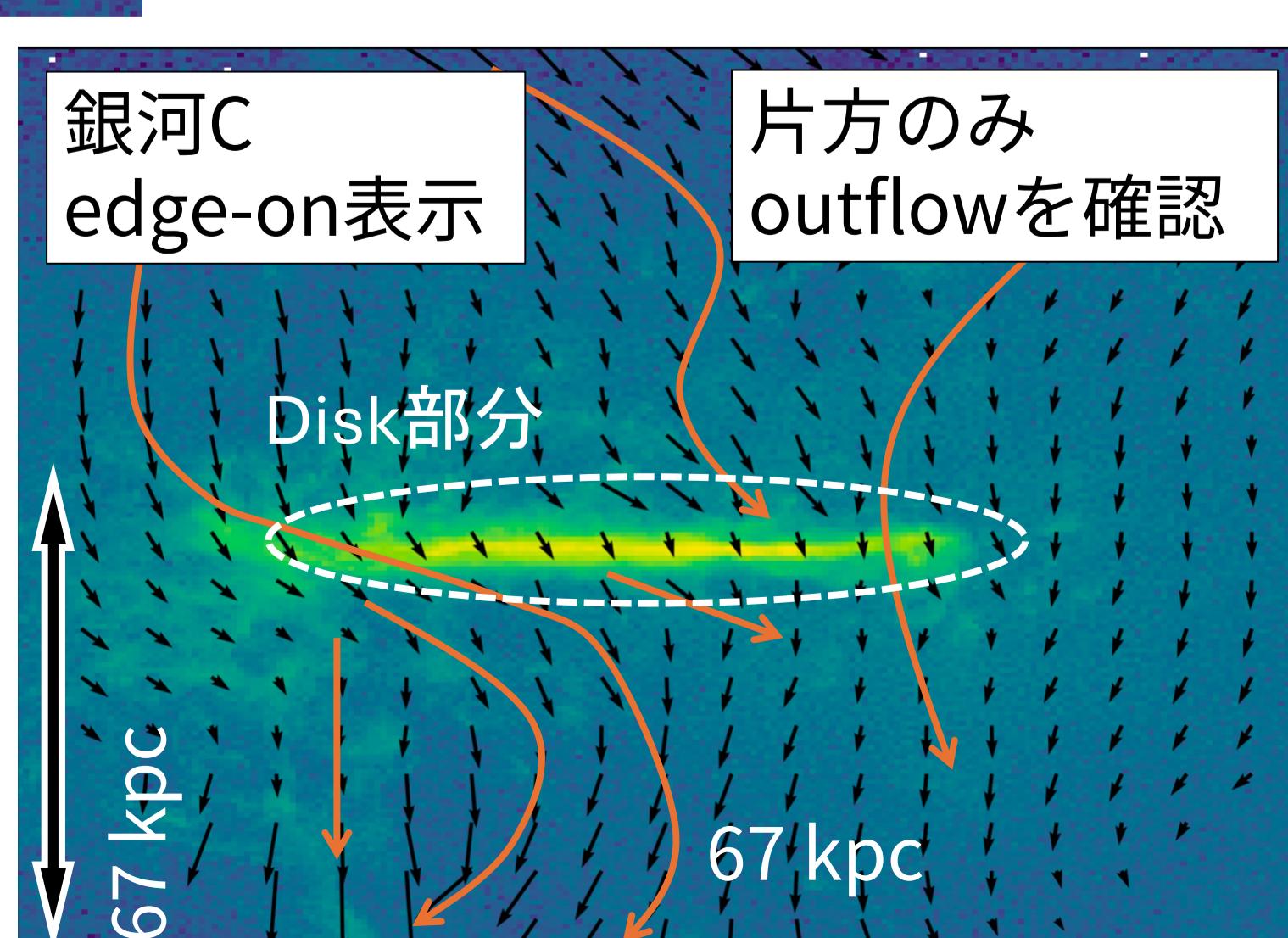
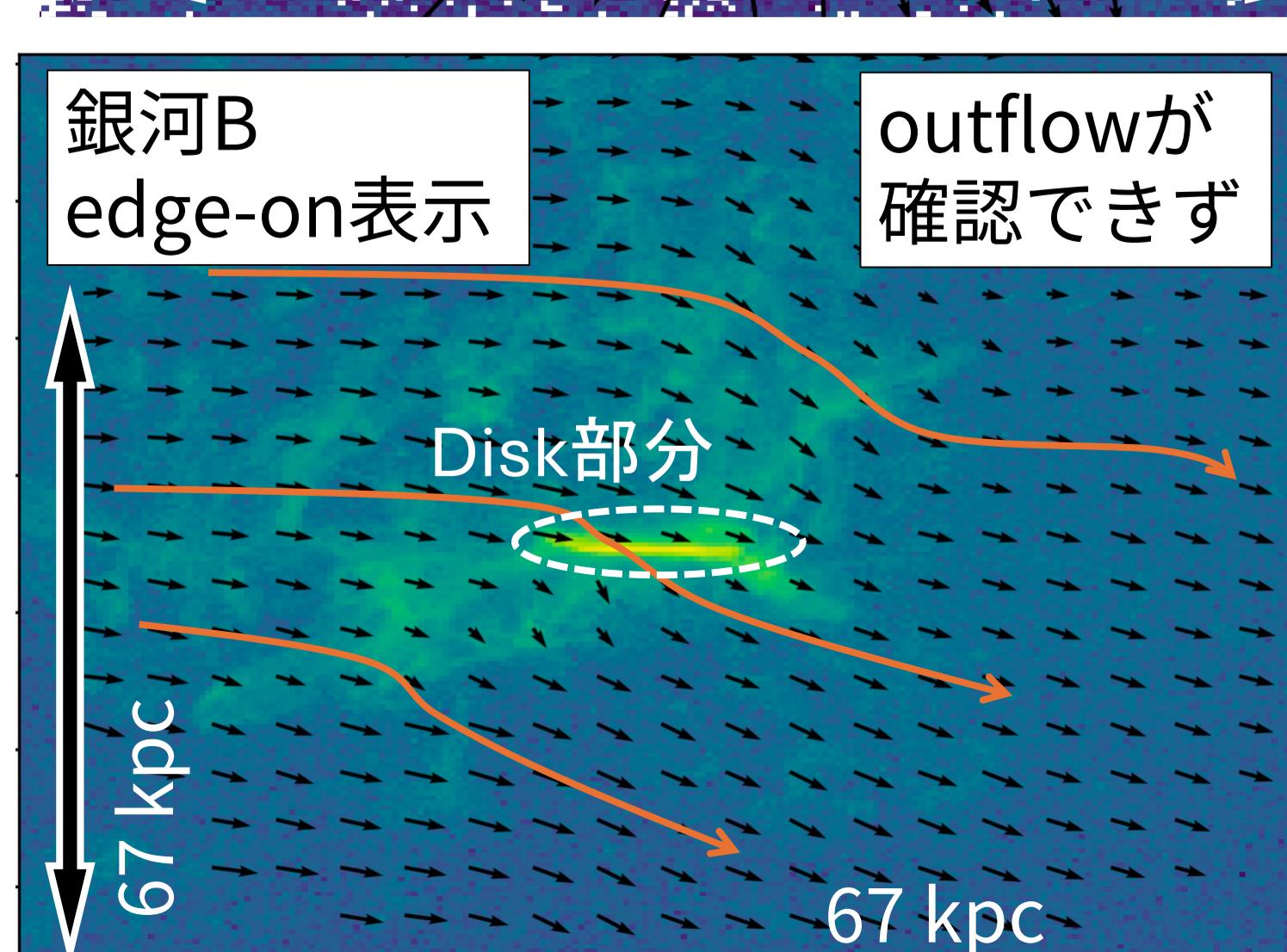
3. 結果



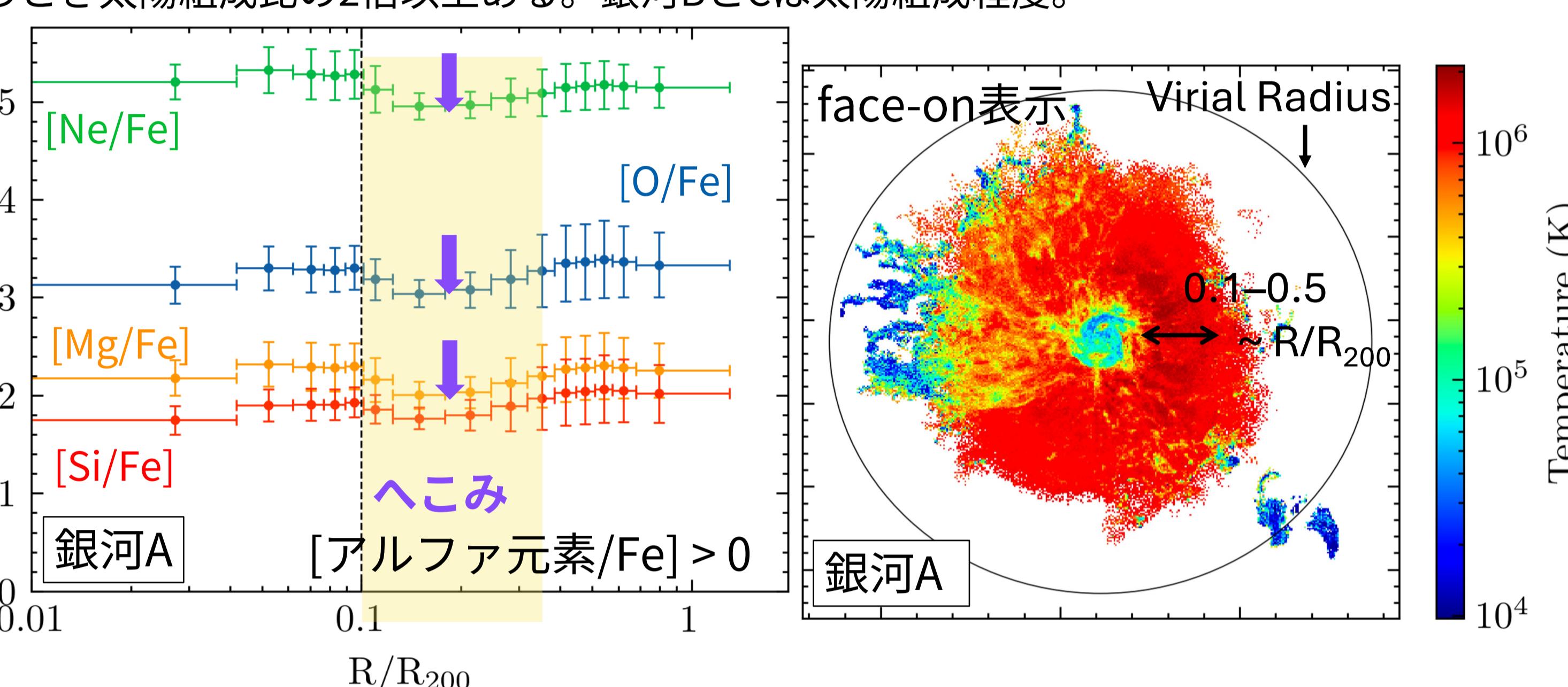
解析した銀河の特徴一覧

Name	Virial Radius (kpc)	Mass ($10^{10} M_\odot$)
銀河A	223.0191	112.3758
銀河B	335.8409	470.6006
銀河C	321.3181	374.3274

※Massはダークマター込み



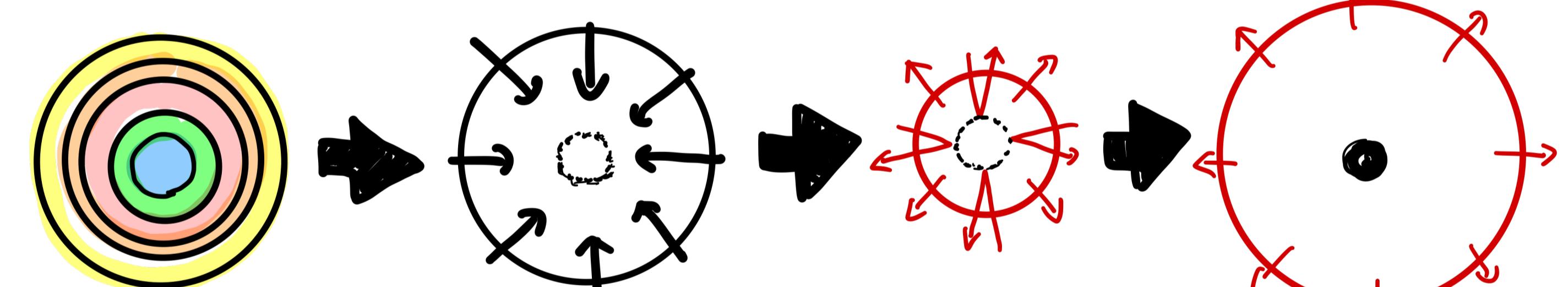
太陽組成に対して何倍のFe, O, Mg, Siが含まれているかを表している。ビリアル半径 R_{200} で規格化しているので1より小さいところはビリアル半径より内側。銀河Aは $R/R_{200} < 1$ のとき太陽組成比の2倍以上ある。銀河BとCは太陽組成程度。



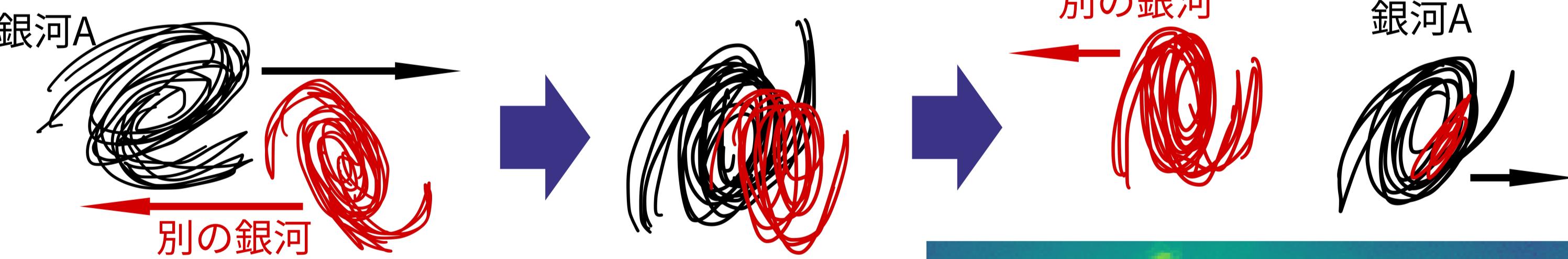
【左図】太陽組成比を使ってアルファ元素であるNe, O, Mg, SiとFeを比較した。対数を取っているため、0のときがアルファ元素とFeの比が同じで、0以上のときアルファ元素のほうが多いことを意味する。【右図】銀河Aにおける温度の分布を表している。

4. 議論

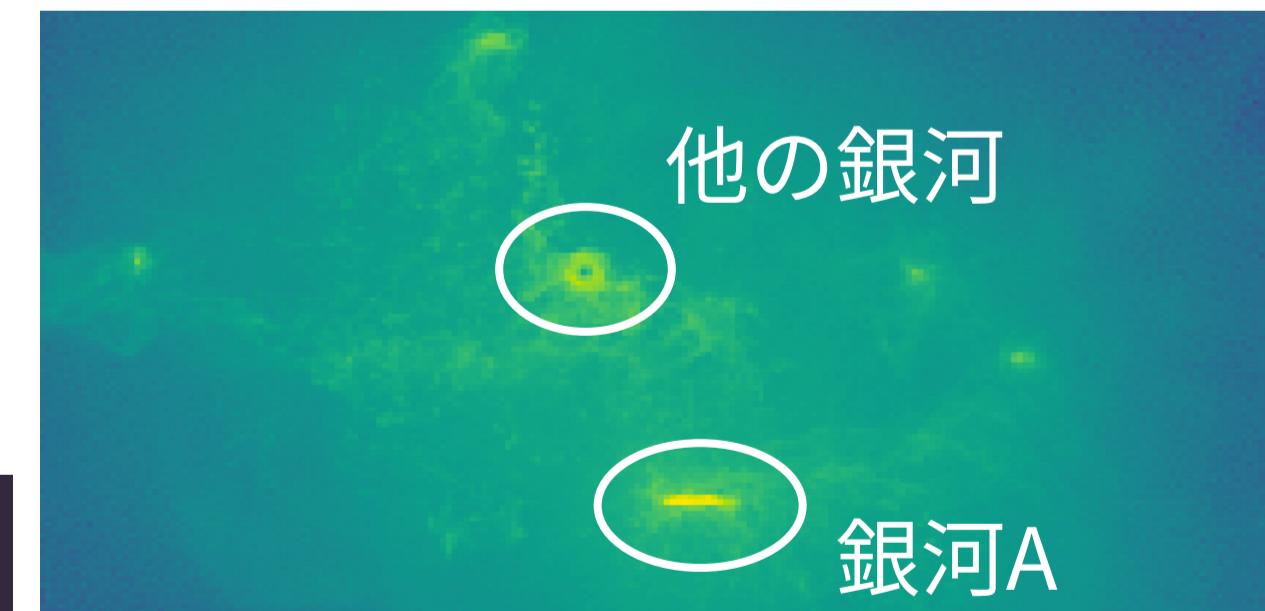
- 銀河Aはoutflowが観測されたが、銀河B・Cではoutflowが観測されなかった／もしくは片方のみであることからMetallicityとoutflowに因果関係がある可能性がある。
- アルファ元素とFeの太陽組成比を比較すると、アルファ元素の方が多いことから銀河Aのガスは重力崩壊型超新星爆発(II型超新星爆発)に由来していると考えられる。※5
 - II型超新星の中心部では核融合反応が進行し、アルファ元素(Ne, O, Mg, Siなど)を生成し、鉄が生成されるまで行われる。核融合のエネルギーと重力が平衡状態であったのが、鉄まで生成されると徐々に平衡状態が崩れ、収縮を始める。中心核は中性子の縮退圧と重力が拮抗すると急停止し、上層は中心核によって反跳し衝撃波が発生する。ゆえに大量にアルファ元素を宇宙空間にばらまく。



- 高温箇所 ($\approx 10^6 \text{ K}$) と [アルファ元素/Fe] のへこみの位置がほぼ一致する。
 - 高温箇所は他の銀河などと衝突し、他の銀河の組成を取り入れ、非対称性を作り出している可能性がある(=【仮説】)。



- 銀河Aの周りには他の銀河が存在し、他の銀河と銀河Aを囲うように大量のガスが存在することから【仮説】の可能性は高い。



5. 展望

- XRISM衛星で銀河Aを観測すると左図のようなスペクトルが得られると計算できる。
- 観測に必要な分解能や観測時間を今後、導出することができればよい。
- 銀河Aの左右非対称についてシミュレーション上で形成時まで遡り、どのような形成過程を歩んできたのかを調べたい。
- これにより物質構造から形成過程の推定に寄与できるだろう。

参考文献

- ※1 (Planck Collaboration, 2020) のデータより算出。
- ※2 Tanimura et al. 2019 スタッキング観測
- ※3 Jason et al. 2017 のイメージ図を一部改変。
- ※4 Illustris Collaboration
- ※5 Anjali et al. 2023