

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

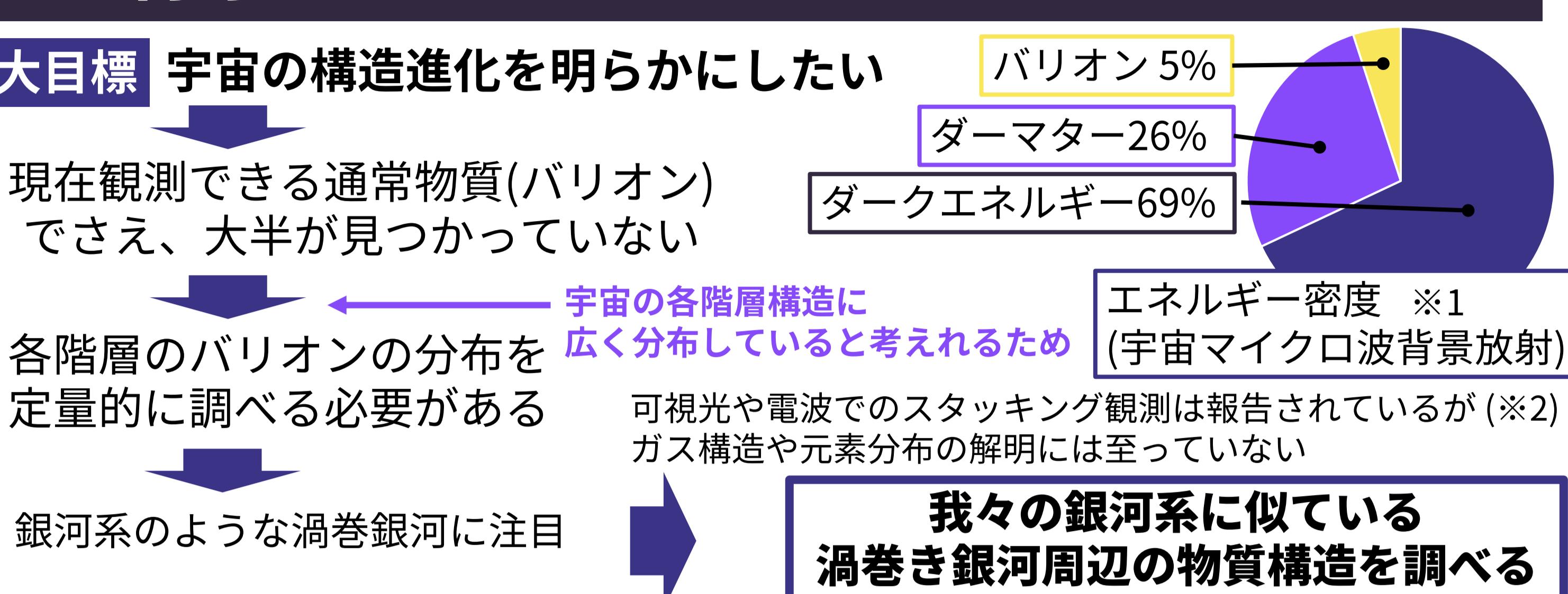
1. 背景

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



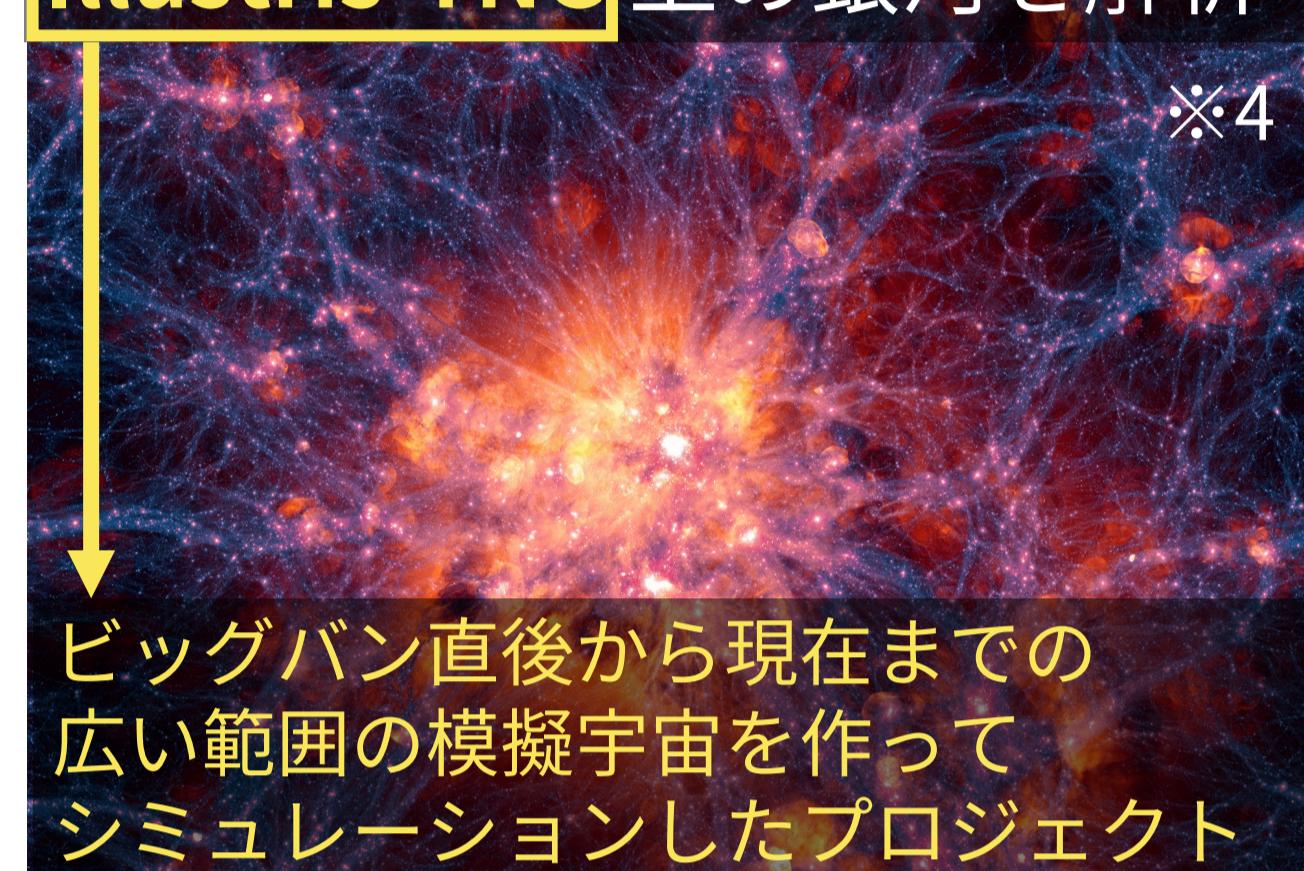
宇宙の各階層構造に
広く分布していると考えられるため
エネルギー密度 ≈ 1
(宇宙マイクロ波背景放射)

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

銀河A

- 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。

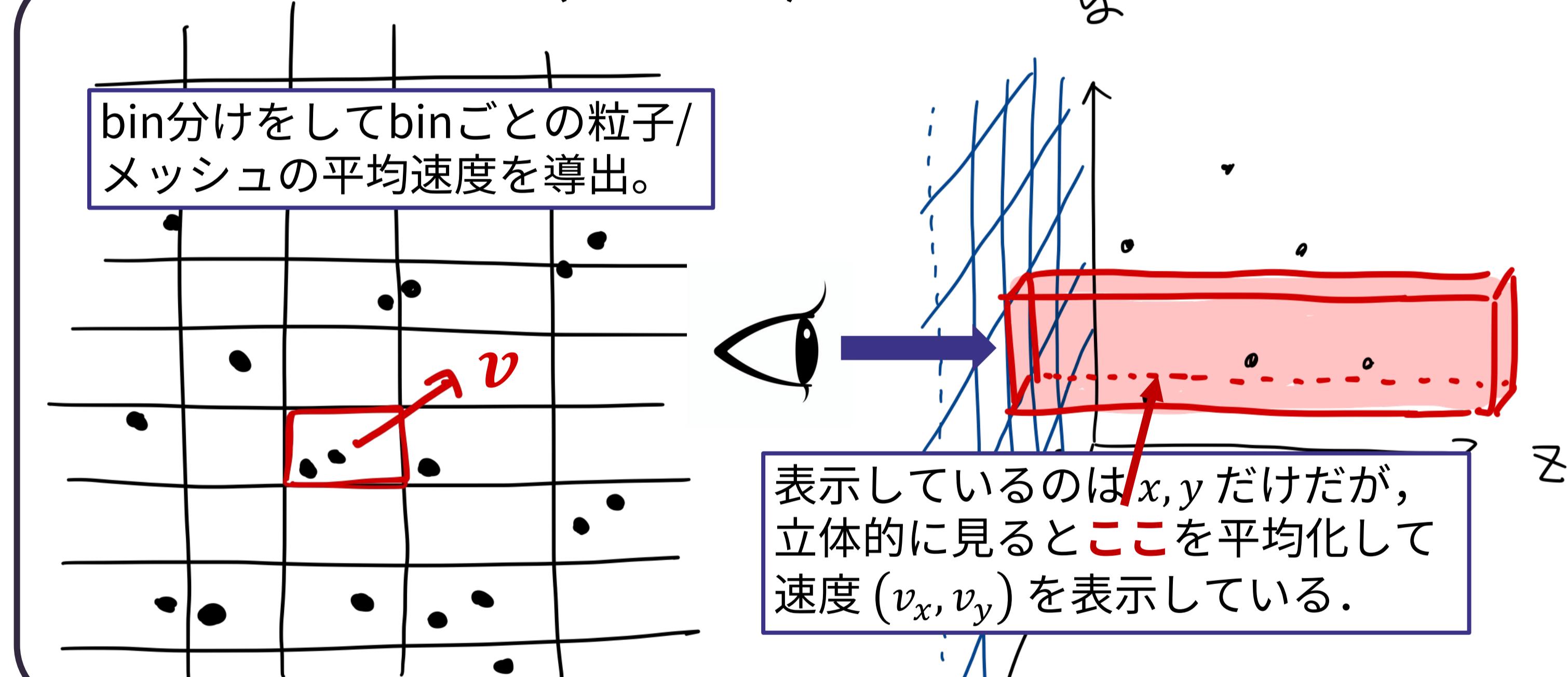


ガスのみ
face-on表示
(濃淡はMassをlog表示)

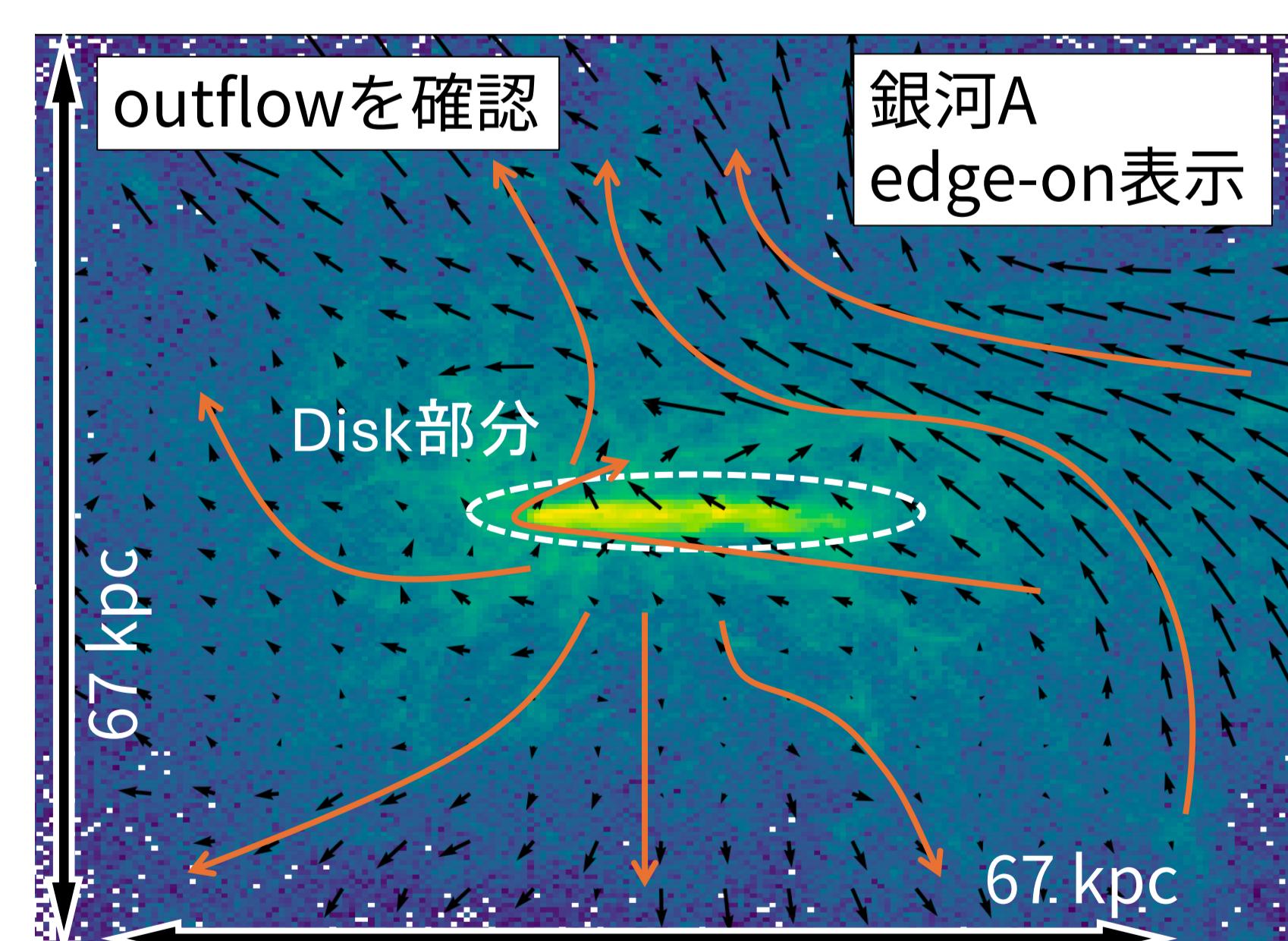
ガスのみ
edge-on表示
(濃淡はMassをlog表示)

イメージ図 ※3

outflowの射影手法(確認の仕方)

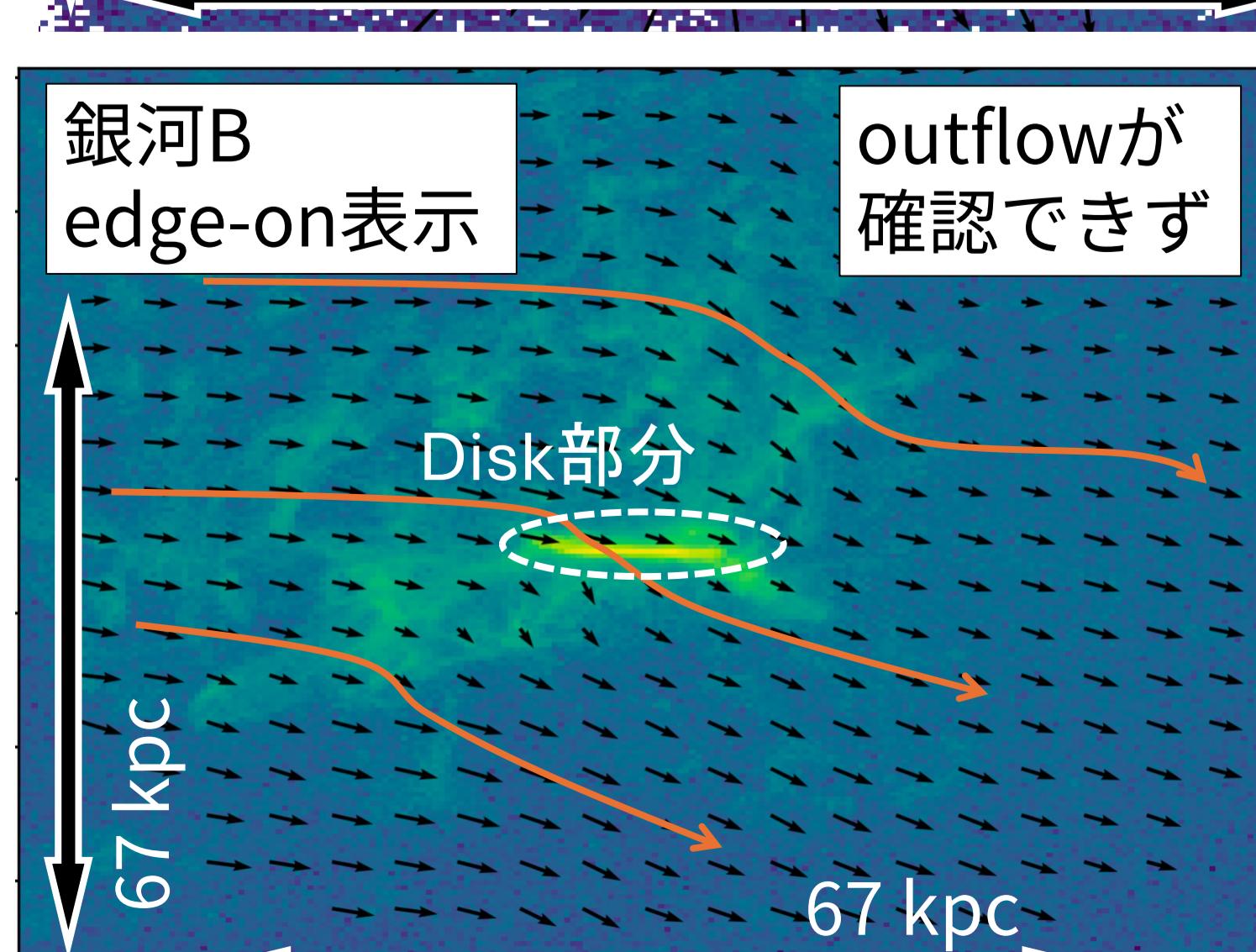


3. 結果



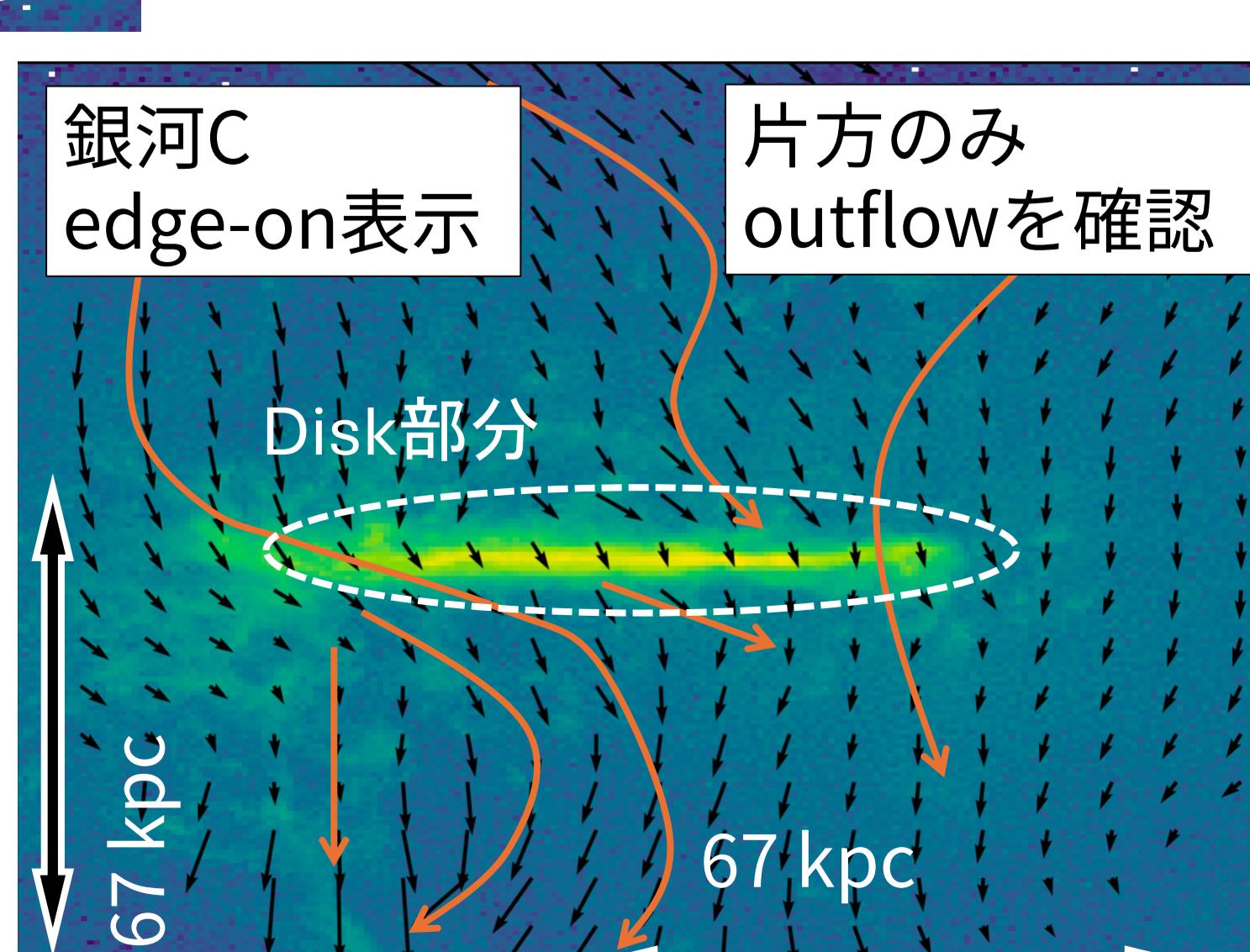
outflowを確認

銀河A
edge-on表示



銀河B
edge-on表示

outflowが
確認できず



銀河C
edge-on表示

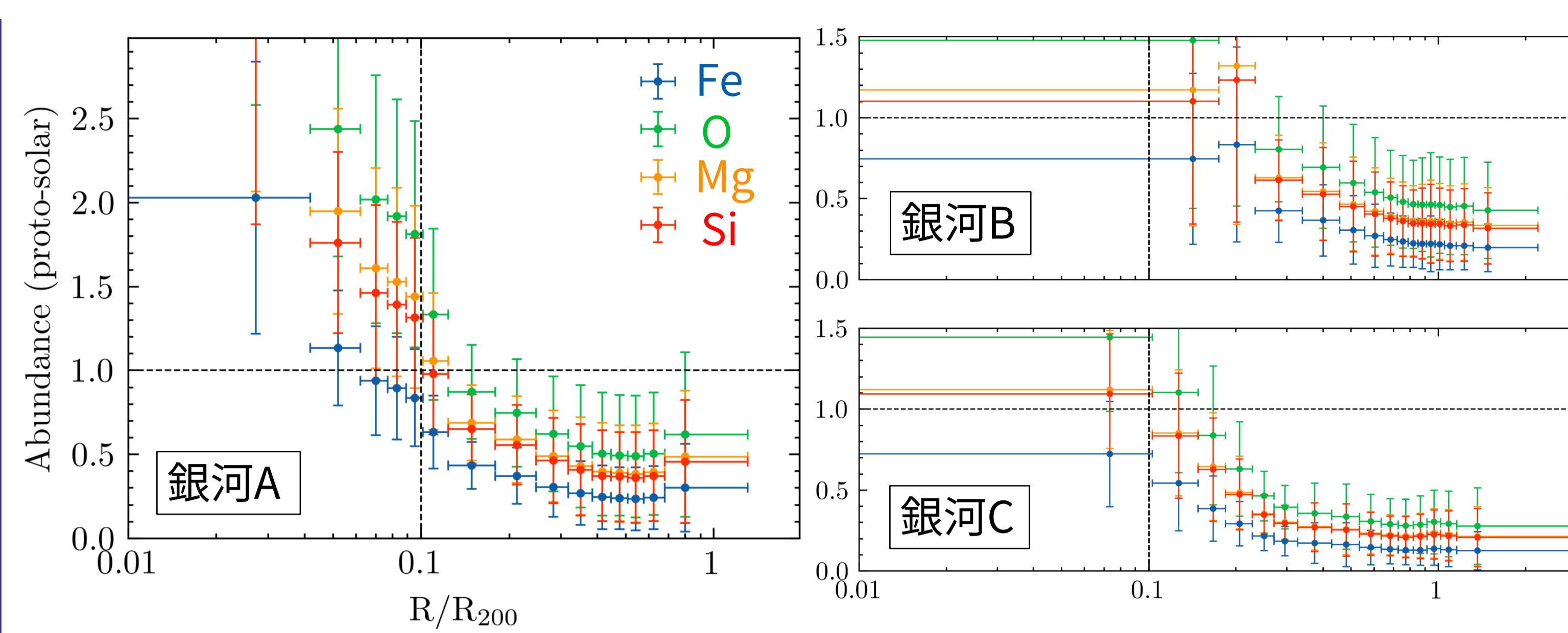
片方のみ
outflowを確認

※Massはダークマター込み

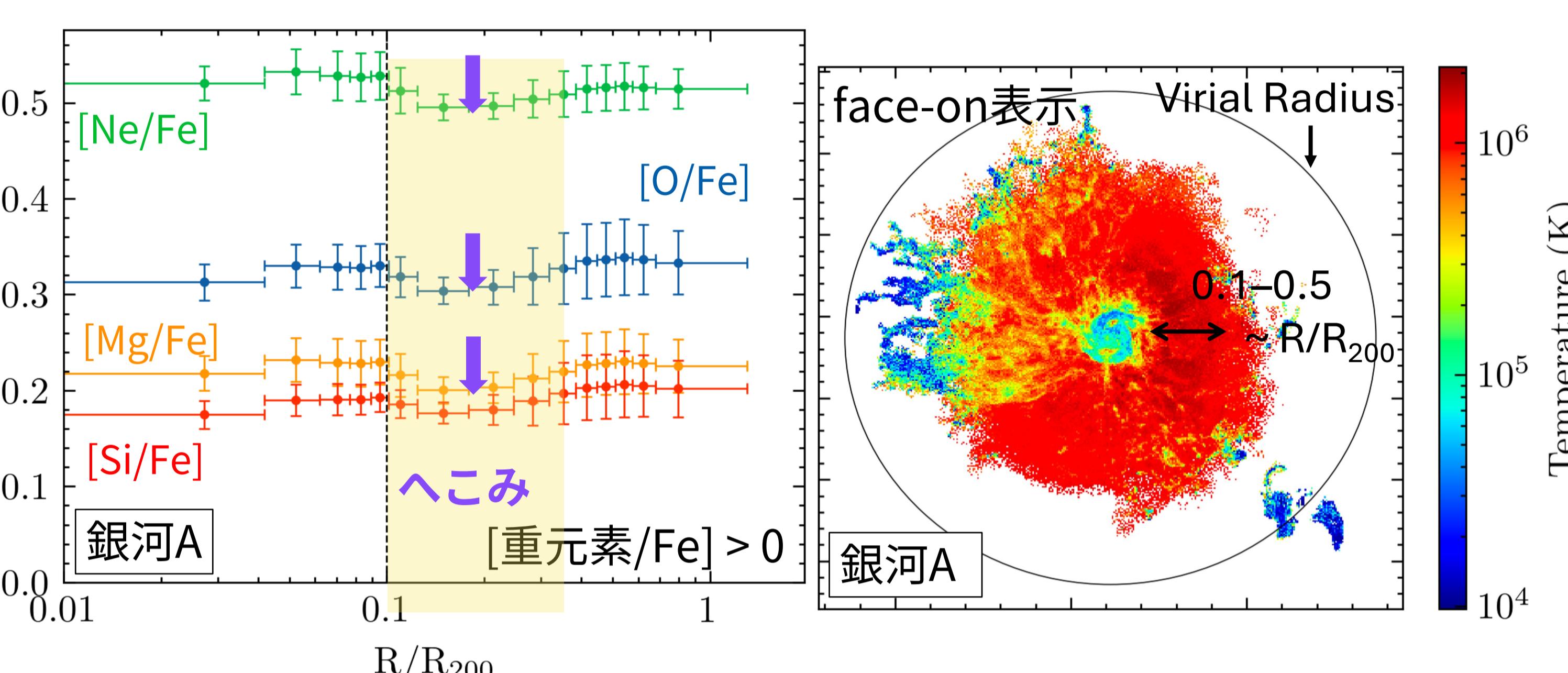
解析した銀河の特徴一覧

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



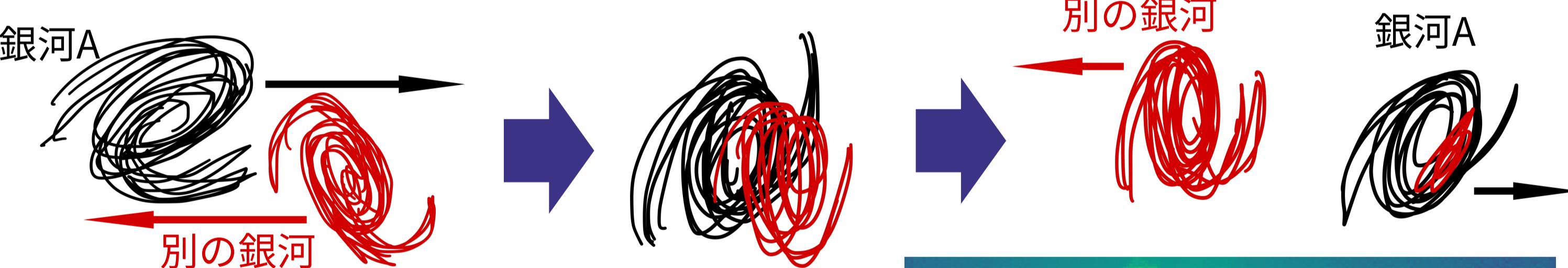
太陽組成に対して何倍のFe, O, Mg, Siが含まれているかを表している。ビリアル半径 R_{200} で規格化しているので1より小さいところはビリアル半径より内側。銀河Aは $R/R_{200} < 1$ のとき太陽組成比の2倍以上ある。銀河BとCは太陽組成程度。



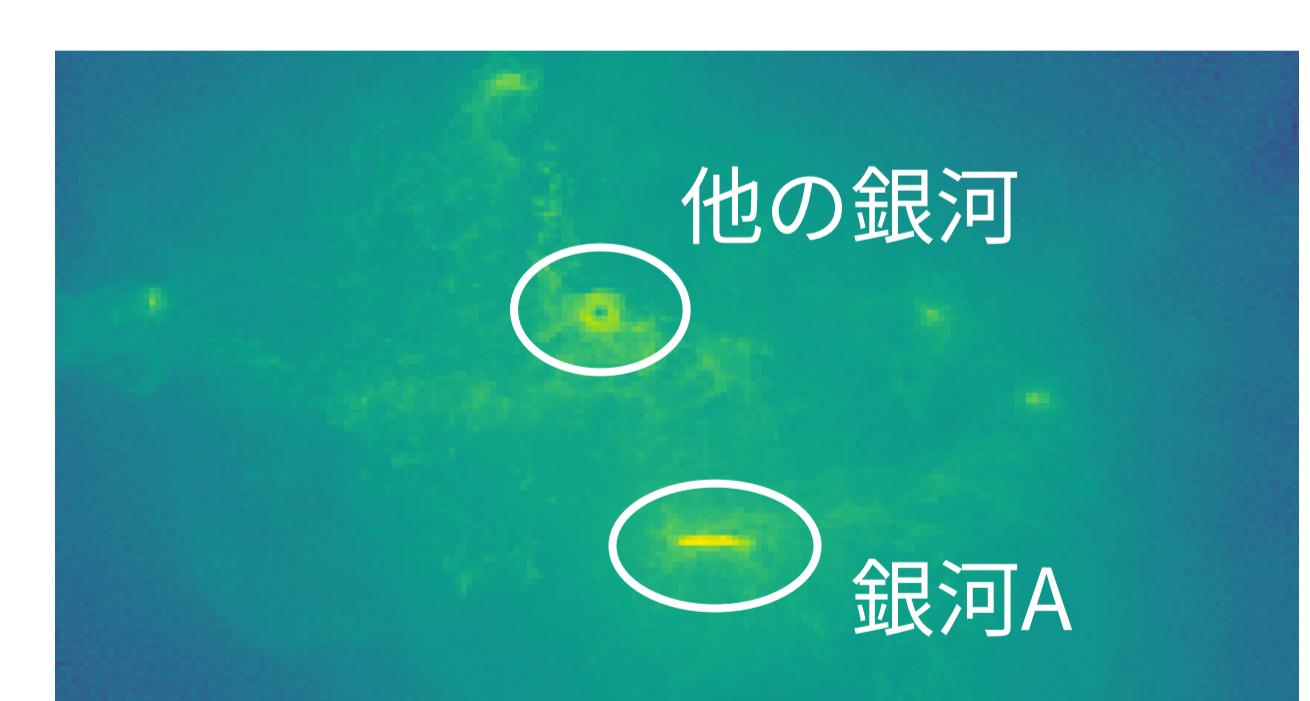
【左図】太陽組成比を使って重元素であるNe, O, Mg, SiとFeを比較した。対数を取っているため、0のときが重元素とFeの比が同じで、0以上のとき重元素のほうが多いことを意味する。【右図】銀河Aにおける温度の分布を表している。

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と因果関係がある可能性がある。
- 重元素とFeの太陽組成比を比較すると、重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（以下、超新星）に由来していると考えられる。※5
 - 超新星は核の質量がチャンドラセカール限界超えて、電子の縮退圧だけでは重力に打ち勝つことができなくなり、激しい爆縮が発生する。爆縮は中性子縮退によって止まり、反動で外向きの爆発が起こり、高い温度と圧力によって鉄より重い元素が生成されるため。
- 高温箇所 ($\gtrsim 10^6$ K) と [重元素/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

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