位相空間構造から迫る ダークマターハローの構造形成について

京都大学天体核研究室 修士2年 柄本耀介 共同研究者:基礎物理学研究所 樽家さん 西道さん

目次

1.イントロダクション CDMハローの位相空間から見た構造とmulti-stream領域

- 2.解析と結果 解析手法について
 - ・遠点通過数を用いた粒子分類によるmulti-stream領域の解析
 - 結果
 - ・各streamのハローの密度分布への寄与について

1.イントロダクション CDMハローの位相空間における構造と multi-stream領域

CDMによる構造形成

コールドダークマター(CDM) 宇宙論における構造形成の主役







さらに成長すると 重力崩壊してCDMハローに







CDM/IDーの構造 密度分布

CDMハローの動径密度分布⇒NFWプロファイル,(Einastoプロファイル)



ハローの密度分布は $M_{vir}(R_{vir}) と r_s によって決まる$

M_{vir} と R_{vir}/r_s の関係はよく調べられている ⇒mass-concentration relation Klypin et al. (2016), Prada et al. (2012), Bullock et al. (2001),...





CDM/ID-の構造





密度分布では内部構造に関する情報が縮退している $\Rightarrow \rho(\mathbf{r}, \mathbf{t})$ ではなく位相空間密度 $f(\mathbf{r}, \mathbf{v}, \mathbf{t})$ に着目













multi-stream領域 先行研究

CDMハローの動径位相空間を streamごとに分解して解析解と比較

・動径位相空間 ・stream毎に分解した動径位相空間 z=0.0, Mvir=7.09e+12 [h⁻¹M_o] $M_{200} = 1.227 \times 10^{15} M_{\odot}, \Gamma_{200} = 1.119, \chi^2 = 3.946, \text{ reduced } \chi^2 = 0.059, C = 1.310, U = 0.935, s = 1.807$ 動径速度 $p=1, \chi^2=0.492$ $p=5, \chi^2=1.276$ $p=2, \chi^2=0.411$ 400 遠点へ 第 3割 radial velocity [km/s] 200 分解 -200 0.50Infall -400 $\chi^2 = 19.730$, reduced $\chi^2 = 0.340$, C=0.876, U=0.475, s=0.003 $p=1, \chi^2=2.170$ 7割 -608.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 radius [h⁻¹ Mpc] 動径座標 解析解とは大きく異なる形状 major merger, $\epsilon = 0.8$ 一遠点へ highly asymmetric. ただし、解像度の問題から First Infall 内部はどうなっているのか? 外側のstreamしか解析できなかった 0.2

Fillmore & Goldreich (1984)

・N体シミュレーション上のCDMハローのうち解析解でフィットできるハローは全体の3割 杉浦,西道,Rasera,樽家(2020)













小まとめとモチベーション

・CDMハローの構造形成では位相空間上 でのmulti-stream領域の進化過程が重要

> CDM特有の構造 NFWの起源?

・CDMハロー内部のmulti-stream領域の構造は不明

N体シミュレーション中のハローの multi-stream構造はどうなっているのか?





2.解析と結果

今回用いるシミュレーションデータ



- ・西道さんに計算して頂いたもの。
- Box size $(41 \text{ Mpc h}^{-1})^3$

- . シミュレーション粒子質量4.72716×10⁷ M_{\odot} スナップショット枚数 z=5~0まで1000枚 初期条件 ACDM
- シミュレーション粒子数 500³

遠点通過数のメソッド

Multi-stream構造を可視化する方法 →遠点通過数pで粒子を分類









シミュレーション粒子の遠点通過数







CDMハローの動径位相空間



動径密度プロファイルと遠点通過数①







動径密度プロファイルと遠点通過数3)







 $\rho(r;p) = A(p) \left(\frac{r}{0.1}\right)^{\alpha(p)} \left(1 + \left(\frac{r}{S(p)}\right)^{\alpha(p)+\beta(p)}\right)^{-1} \propto \begin{cases} r^{-\beta} \ (r \gg S(p)) \\ r^{-\alpha} \ (r \ll S(p)) \end{cases}$

Double-power law











各streamがdouble power lawでなくてもNFWで良くフィット出来る





まとめ

- ・CDMハローの位相空間からみた構造形成
 にはmulti-stream領域の進化過程が重要
- ・各streamの密度分布はdouble-power lawでよくフィット出来るものもある

・位相空間には密度分布には現れない 多様性があり、各stremの形状を支配する 物理が何か解明する必要がある。 ⇒降着率?初期条件?

> どの程度double-power lawで フィット出来るのか?

