Beyond Best-Fits and Model Selection - Introducing 'Reliability' of cusp-core inference of dark matter halos

2023/11/9 金田優香

Manush Manjua, Subhabrata Majumdar arXiv:2310.20272v1

【Abst.】精度の良い rotation curve (RC) データを以てしてもカスプとコアを見分けるのは難しい．カスプかコアかの判別結果は，判別に用いた手法に大いに依存する．この論文では, mock RCs からハローモデルを推定し，モデルを正確に推定できるようなハローの parameter range を示した.

【Goal】カスプとコアが reliable に定まった "Gold sample" を作る

【Originality】近似を用いないベイズ証拠を使用してカスプかコアかを判定した

【Logic】① mock SPARC RCs に似せた mock を作成

② fit Bayes analysis UltraNested () を使用

③ モデルの決定

Bayes factor

$$\mathcal{B} = Z_{\rm core}/Z_{\rm cusp} \longrightarrow \ln\mathcal{B} = \ln Z_{\rm core} - \ln Z_{\rm cusp}$$

Bayesian evidence

$$Z_H(\boldsymbol{D} \mid H) = \int \mathscr{L}(\boldsymbol{\theta} \mid \boldsymbol{D}, H)\mathscr{G}(\boldsymbol{\theta} \mid H)\mathrm{d}^d\boldsymbol{\theta}$$

$\mathscr{L}$: likelihood function

$\mathscr{G}$: prior

H: hypothesis (authentic cusp or core)

$\boldsymbol{D}$: data

$\boldsymbol{\theta} = (\boldsymbol{\theta}_{\rm dm}, \Upsilon_{\rm disk}, \Upsilon_{\rm bul})$

$Z_{\rm core} < Z_{\rm cusp} \longrightarrow \ln\mathcal{B} < 0$: cusp　$Z_{\rm core} > Z_{\rm cusp} \longrightarrow \ln\mathcal{B} > 0$: core

$\overline{X}$: original value of X

$\mathscr{M}$: model (cusp or core)

M_{200}: virial mass

$r_{\rm size} \equiv r_{\rm last}/r_{\rm s}$

$r_{\rm last}$: the radius where the last data point is available

$r_{\rm s}$: radial scale

④ モデルの正解率評価

"reliability parameter"

$$\omega_i\left(\ln\mathcal{B}, \overline{\mathscr{M}}, \overline{M_{200}}, \overline{r_{\rm size}}\right) = \begin{cases} 1, & \text{if } \overline{\mathscr{M}} = \text{cusp } \&\ \ln\mathcal{B} \le -1 \\ 1, & \text{if } \overline{\mathscr{M}} = \text{ core } \&\ \ln\mathcal{B} \ge 5 \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

カスプを持つハローのRCは小さいコア半径を持つコア型のハローでもfitできてしまう
—> 本物のコアを選ぶには基準を厳しくする必要がある

"reliability quotient"

$$\mathscr{R}_{\rm c-c}\left(\mathscr{M}; M_{200}, r_{\rm size}\right) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\omega_i\left(\overline{\mathscr{M}} = \mathscr{M}, \overline{M_{200}} = M_{200}, \overline{r_{\rm size}} = r_{\rm size}\right)$$

N: the number of realizations of mock RCs in the ensemble with M_{200} and $r_{\rm size}$ falling in the grid of $(\overline{M_{200}}, \overline{r_{\rm size}})$ and with input model $\mathscr{M}$

Fig. 5

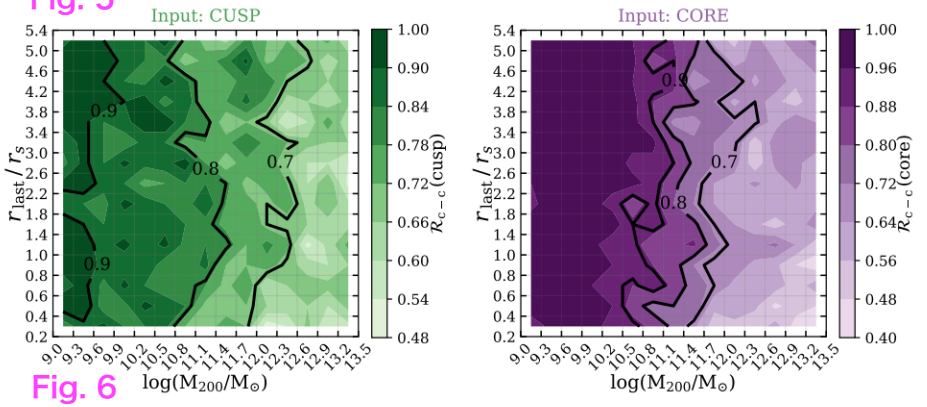


Fig. 6

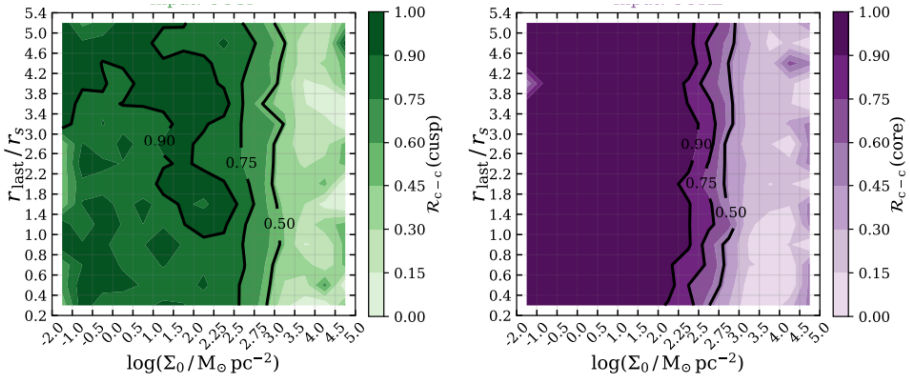


Fig. 5, 6

- $\mathscr{R}_{\rm c-c}(\overline{\mathscr{M}} = \text{cusp})$ が $\mathscr{R}_{\rm c-c}(\overline{\mathscr{M}} = \text{core})$ より小さい傾向が見える理由は本来カスプ型のハローがコアプロファイルでフィットされてしまっている場合があるため
- Input:cusp, core 両方で M_{200} または Σ_0 (星の面密度) が増えるにつれ $\mathscr{R}_{\rm c-c}$ が減少する．これは，massive galaxy はバリオン成分を多く持ち，高い Σ_0 がハローのパラメータ決定を縮退させていることが原因であると考えられる.
- $\mathscr{R}_{\rm c-c} > 0.75$ の条件は $\log(M_{200}/M_\odot) = 11.4 \pm 0.3$ and $\log(\Sigma_0/[M_\odot \mathrm{pc}^{-2}]) = 2.5 \pm 0.25$ 以下に対応.

Fig. 19

- SPARC sample の 66% が $\mathscr{R}_{\rm c-c} > 0.75$ に入り，このうち 73% が core, 16% が indetermined, 11% が cusp.
- カスプまたはコアのどちらかが prefer されるような特別な M_{200} と Σ_0 range は存在しない.
- $\mathscr{R}_{\rm c-c} > 0.75$ にカスプ型のハローが11%存在することより，カスプ型のハローを残すようなカスプ-コア遷移モデルを考える必要がある

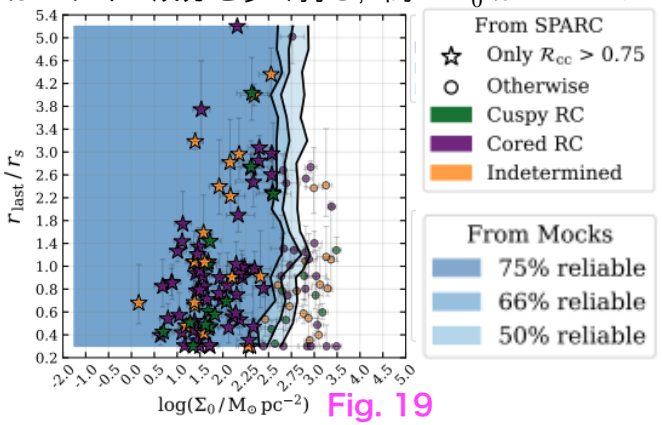


Fig. 19

【Comments】

同じデータに対して χ^2 や BIC を用いた際に結果がどのくらい変わるのか？