“A model for core formation in dark matter haloes and ultra-diffuse galaxies by outflow episodes”

Jonathan Freundlich, Avishai Dekel, Fangzhou Jiang, Guy Ishai, Nicolas Cornuault, Sharon Lapiner, Aaron A. Dutton, and Andrea V. Maccio 2024/1/11 筑波大学 金田優香

【アブスト】中心付近での質量の変化に対する自己重力系の応答を解析的にモデル化した．応用する現象としてはカスプ-コア遷移を想定している．本論文で提案される新しいモデルは，Dutton et al, (2016) で提案された isolated shell model を連続した質量分布を持つ系に一般化したものである．宇宙論的流体 zoom-in シミュレーション NIHAO の結果を用いてこのモデルをテストしたところ，75% 以上のスナップショットにおいて予測に成功した．

【ゴール】カスプ-コア遷移の解析的モデルの構築　【オリジナリティ】isolated shell の近似を緩めた点

【ロジック】

質量変化に対する自己重力系の応答モデル(Fig. 4)

stage I

半径r_i に位置にある mass shell を考える．shell は平衡状態にあると仮定．

stage II

質量 $m(r)$ を instant に $r < r_\mathrm{i}$ に加える．

potential は質量変化にすぐ適応するが，粒子の速度(=運動エネルギー)は固定されると仮定．

$$E_\mathrm{t}(r_\mathrm{i}) = U_\mathrm{t}(r_\mathrm{i}) + K_\mathrm{i}(r_\mathrm{i}),\quad U_\mathrm{t}\left(r_\mathrm{i}\right) = U_\mathrm{i}\left(r_\mathrm{i}\right) - \frac{G\,m}{r_\mathrm{i}}$$

stage III

系がジーンズ平衡に達する．$E_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}) = U_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}) + K_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}, m),\ U_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}) = U_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}) - \dfrac{G\,m}{r_\mathrm{f}}$

(自明では無いが) stage II からの全エネルギーの保存を仮定 $U_\mathrm{i}(r_\mathrm{i}) - \dfrac{G\,m}{r_\mathrm{i}} + K_\mathrm{i}(r_\mathrm{i}) = U_\mathrm{f}(r_\mathrm{f}) - \dfrac{G\,m}{r_\mathrm{f}} + K_f(r_\mathrm{f}, m)$

仮定するプロファイル: 宇宙論的流体シミュレーションで形成されるカスプとコア両方を再現できるもの (Dekel et al., 2017)
a: inner asymptotic slope, b=2: middle shape parameter, g=3:outer asymptotic slope, c: concentration

—> 各初期位置 r_i を持つ球殻に対して最終的な shell の半径 r_f が求まる.(その他の parameter は残差を最小にするように決定)

—> ここから質量密度分布を構築

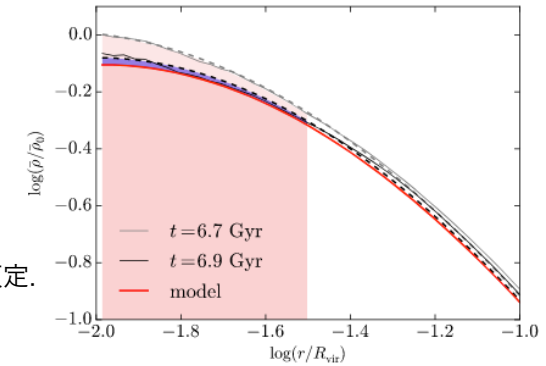


Fig. 9

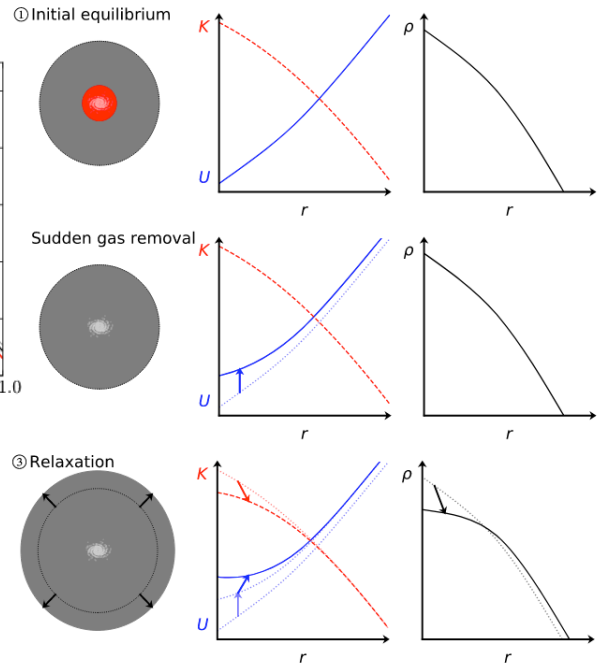


Fig. 4

シミュレーションを用いたモデルのテスト

シミュレーション: NIHAO (Wang et al., 2015)

Fig. 9

red line: 遷移後に対するモデルによる予測 (mass loss は simulation の値を m(r) として与えた)

red line 以下の濃い赤の領域: $\mathscr{A}_\mathrm{model}$

thin solid and dashed line: 遷移前のシミュレーション結果と fit

thin dashed line 以下の青い領域+濃い赤の領域: $\mathscr{A}_k$

thick solid and dashed line: 遷移後のシミュレーション結果と fit

thick dashed line 以下の薄い赤+青+濃い赤の領域: $\mathscr{A}_{k+1}$

モデルによる推定とシミュレーション結果の違いを表す量: $\delta = 2\left|\dfrac{\mathscr{A}_\mathrm{model} - \mathscr{A}_{k+1}}{\mathscr{A}_\mathrm{model} + \mathscr{A}_{k+1}}\right|$

推定に成功したとする条件 $\left(\delta \le \delta_\mathrm{max}\right)$ AND $\left(\delta \le \delta_0 \text{ OR } \delta_\mathrm{sim} \le \delta_\mathrm{min}\right)$ where $\delta_\mathrm{max} = 0.1, \delta_\mathrm{min} = 0.03$

75% 以上のスナップショットが上記の条件を満たした

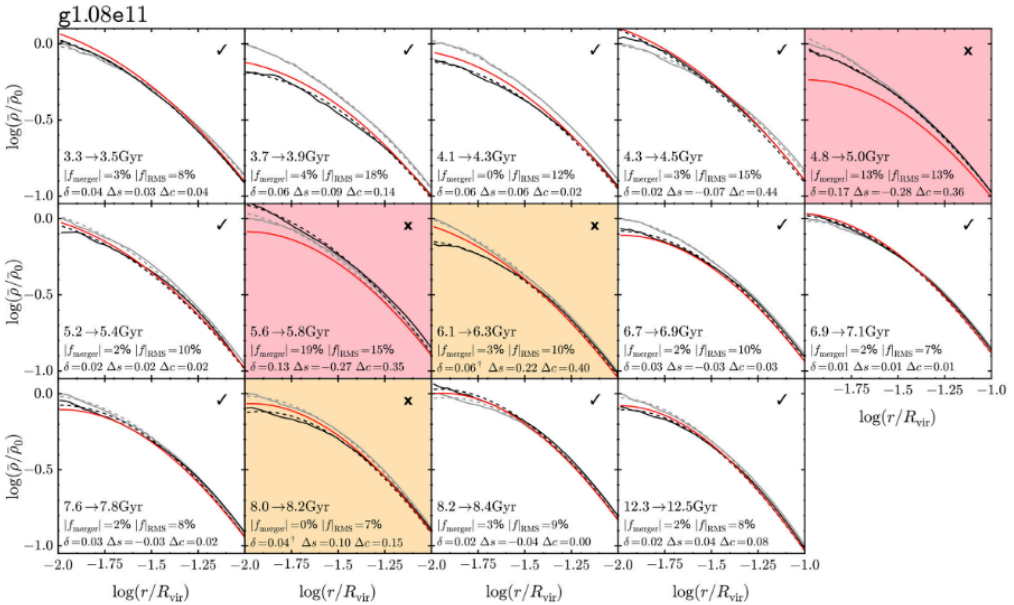


Fig. 10

【コメント&感想】

- 今まで提案されてきたカスプ-コア遷移のモデルに比べてどう良くなったのか？
- シミュレーションとの比較サンプル数少ないのでは？