“On the Galactic rotation curve inferred from the Jeans equations Assessing its robustness using Gaia DR3 and cosmological simulations”

Koop, Antoja, Helmi, et al. 2024 arXiv:2405.19028

GAゼミ@20240620 林航平

【アブスト】
Gaia DR3のデータを用いた銀河系の回転曲線の研究により、半径~15kpcより外側の回転曲線の減少が確認されており、ダークマターハロー質量が従来より小さく見積もられている。しかしこの回転曲線の導出には、空間対称性（軸対称）や力学平衡を仮定した解析を用いているため、その仮定による影響を調べる必要がある。本研究では、まずGaia DR3のデータを用いた解析でR>11 kpcでv_ϕの２次モーメントが銀河面の上下で系統的に異なる振る舞いをすることがわかった。これは銀河系が非軸対称であり非力学平衡であることを示している。次にAuriga simulationに対しても同様の解析を行い、その振る舞いは衛星銀河の近銀点通過による摂動が原因と結論付けた。定常状態の軸対称ジーンズ解析を用いると回転曲線に最大15%の系統誤差が生じる可能性がある。また、トレーサーとしている星の密度分布が外側でtruncateしている場合、ジーンズ解析から得られる回転曲線は外側で急激に減少する可能性があることを示唆した。

【ゴール】
銀河系回転曲線の推定とダークマターハロー質量への制限

【オリジナリティ】
軸対称や力学平衡を仮定した影響がどの程度あるかシミュレーションを用いて定量的に評価した。

【ロジック】

◆ **DATA**

- Gaia DR3 RVS catalogue（図１）。Selection criteriaは以下の通り。
  - log(g) < 3.0, 3000K < Teff < 5200K to identify giant stars
  - $|\phi|$ < 30deg, |z| < 1kpc, |vz|<100km/s
  - Total 7,206,369 stars.
  - Ou+23は33,335 stars (WISE, 2MASSとcross matchしているため)

◆ **Jeans analysis**

$$v_c^2 = \langle v_\phi^2 \rangle - \langle v_R^2 \rangle \left(1 + \frac{\partial \ln \nu}{\partial \ln R} + \frac{\partial \ln \langle v_R^2 \rangle}{\partial \ln R}\right) - R\left(\frac{\langle v_R v_z \rangle}{z}\frac{\partial \ln \nu}{\partial \ln z} + \frac{\partial \langle v_R v_z \rangle}{\partial z}\right)$$

◆ **Velocity second moments from Gaia**

データから計算した各速度モーメントの半径依存性（図２）。

R<5kpcはbarの影響があるため除外。R<12kpcまではOu+23と一致。

v_r, v_zの外側でflareが見られる。v_ϕはOu+23と同様に減少が見られる。

◆ **Rotation curve from Gaia**

得られた２次モーメントからジーンズ方程式を介して、回転曲線を計算（図３）。

R~15kpcまでは先行研究と一致しているが、より外側での回転曲線の減少は見られなかった（エラーが大きいため）。

◆ **Aurigaでの検証**

- 6つのSimulated MW-like galaxiesで同様の解析。
  星粒子全て(simulation)とGaia Mock dataの２つでプロット。
- 図4,5はそのうち３つの銀河の解析結果。
- Au6: 8Gyr前に1:12のmerger
  Au16: 大きなmerger event無
  Au21: 5.5Gyr前に1:15のmerger,
  0.5Gyr前に近銀点(15kpc)通過。
- Au16のJeans解析による回転曲線は、真の回転曲線に近い値を示す。
- Au6, 21はmergerによる影響が残り、v_r, v_zの外側でflareはmergerによるものであると考えられる。
- Au6やAu21で見られるv_cの外側での（急な）減少は、トレーサーとなる星の密度分布がその外側でtruncateしているにも関わらず、Jeans解析がそれに対応していないのが原因（図６）。

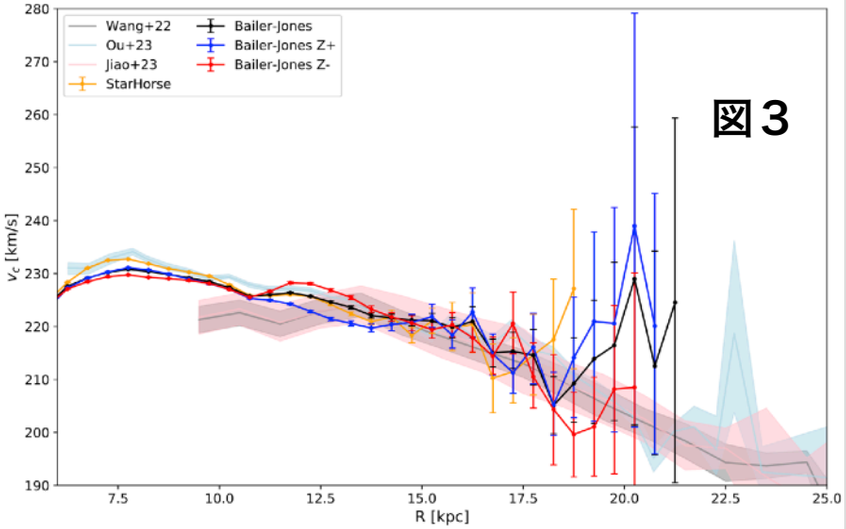


図３

【コメント＆感想】

- 回転曲線推定にはsystematicsが多い。
- 脱出速度も然り、ダークマター分布を口バストに推定する方法はないか？
- 機械学習？

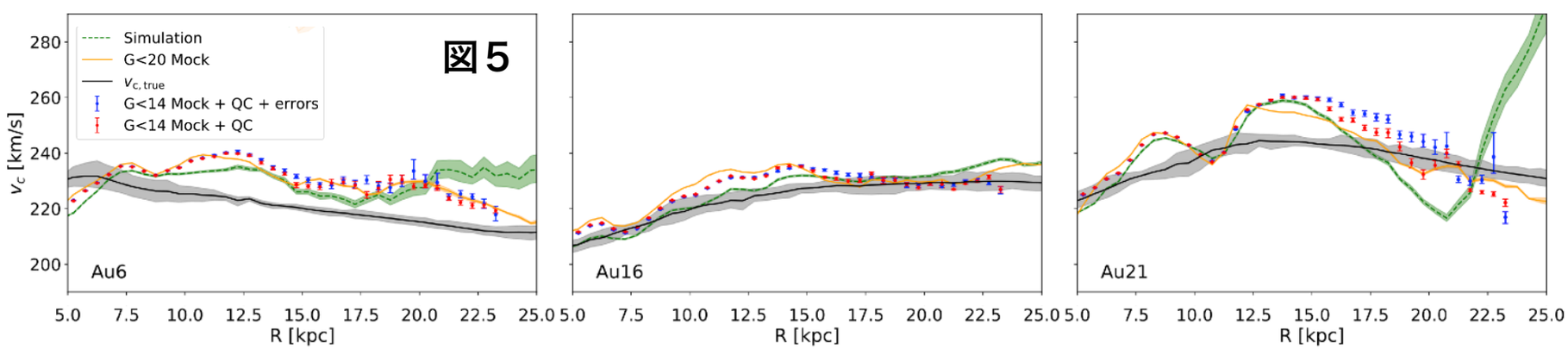
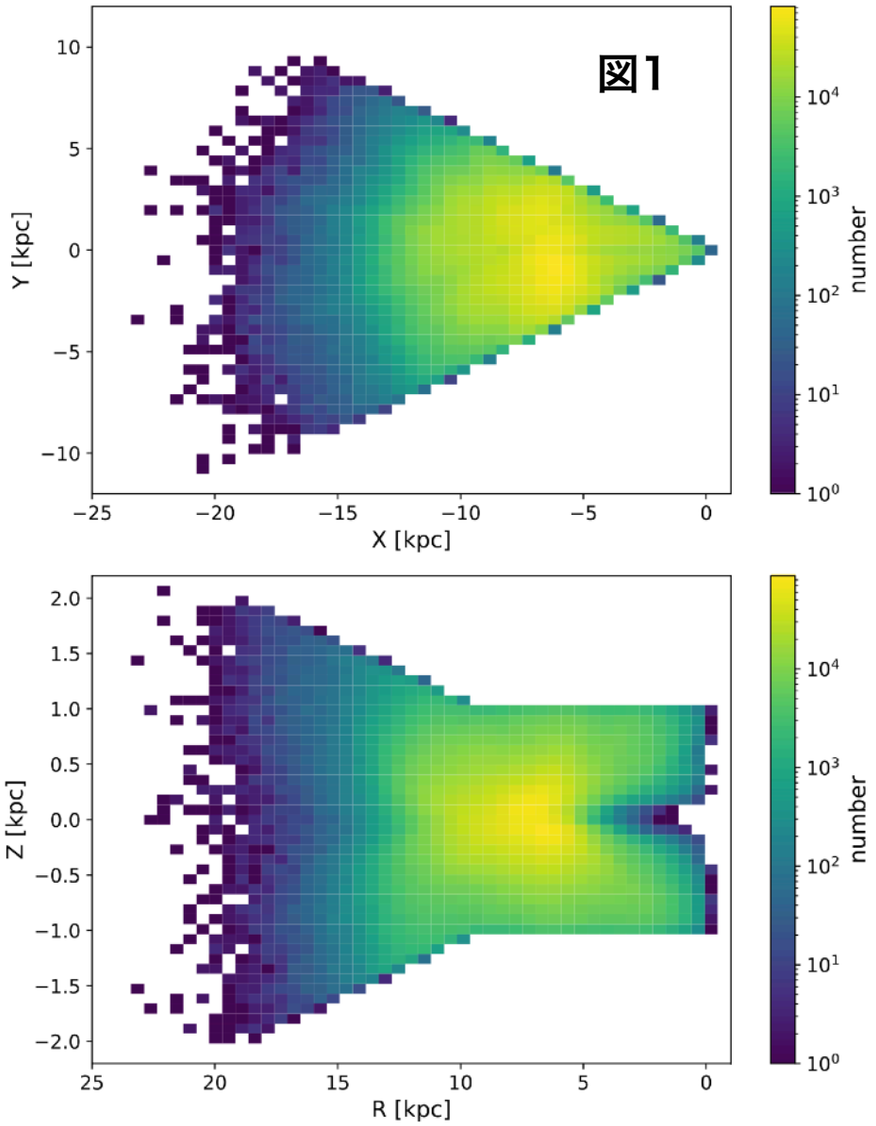
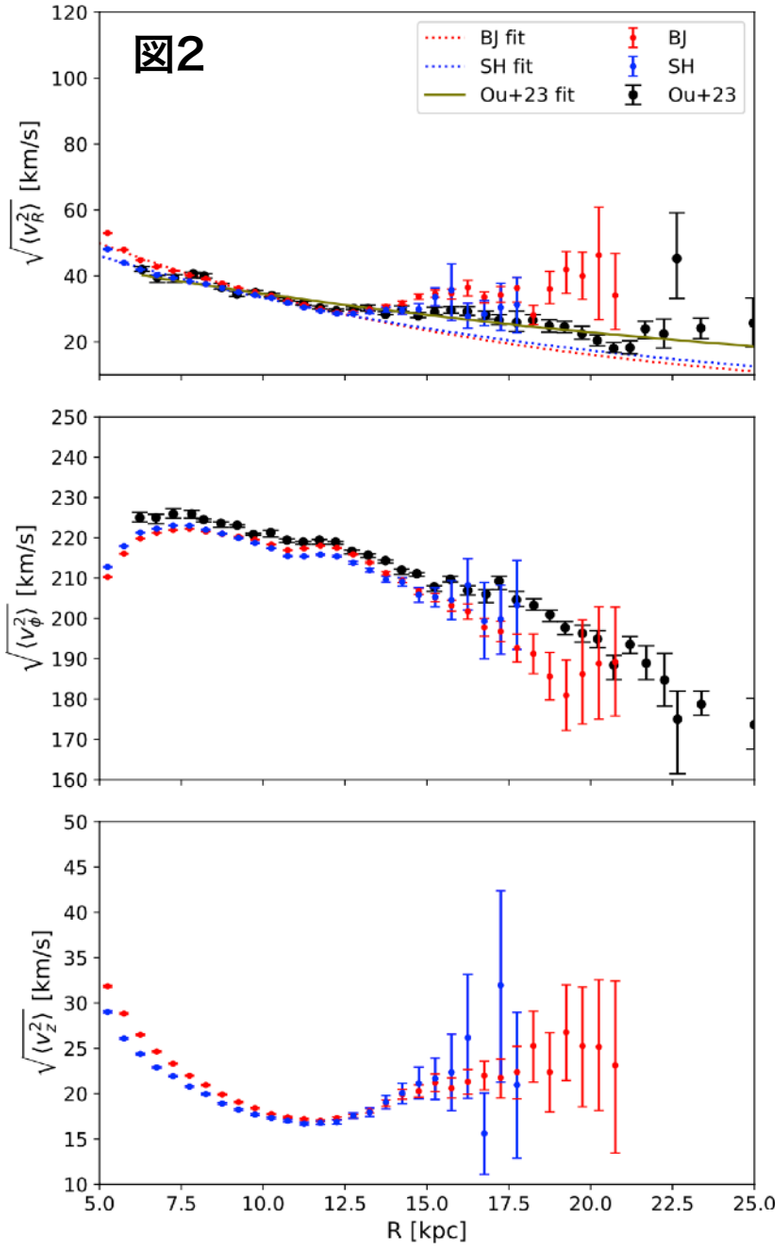
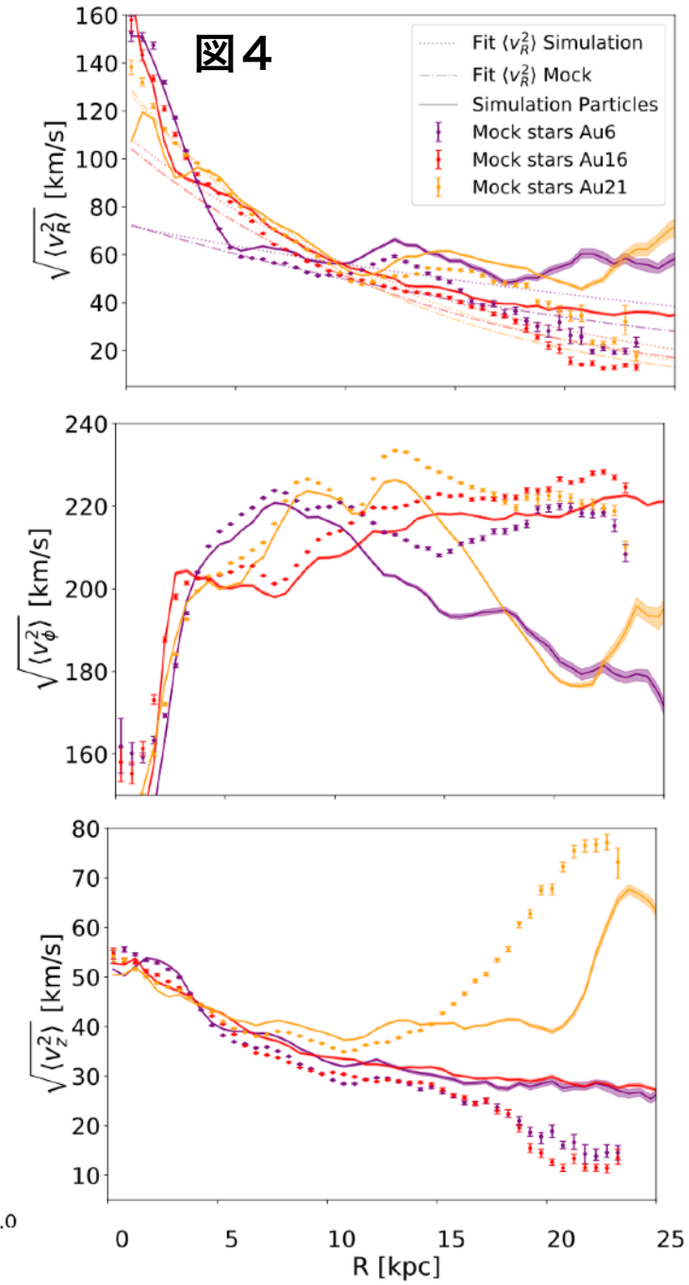
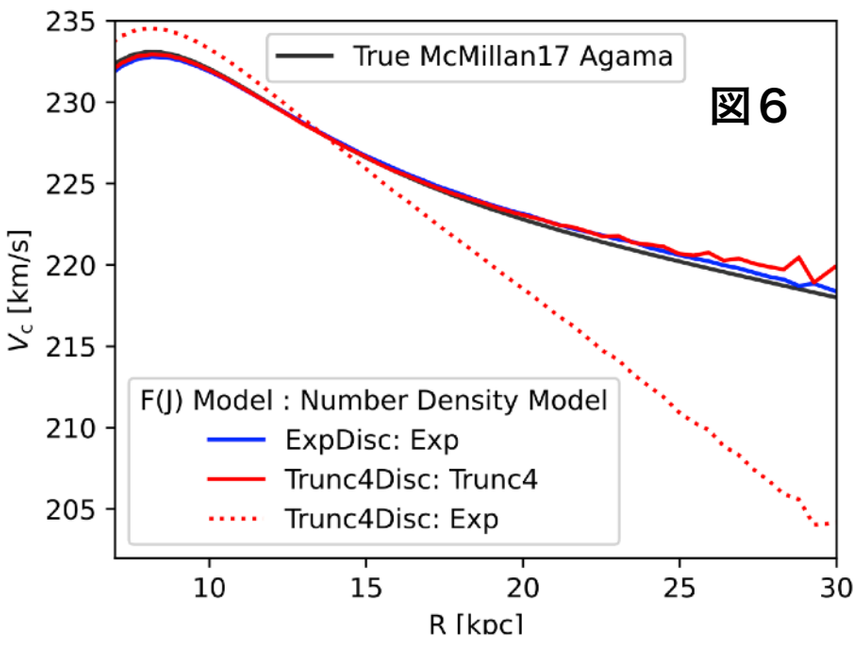


図５









$$\exp\left(-\frac{R_c}{R_{\rm disk}}\right) \rightarrow \exp\left(-\frac{R_c}{R_{\rm disk}} - \left(\frac{R_c}{R_{\rm max}}\right)^n\right)$$