Dark matter fraction derived from the M31 rotation curve

F. Hammer et al. 2025: https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2025/02/aa52753-24/aa52753-24.html　GAゼミ2025. 03.05 法政大学 吉成 隆也

[アブスト]

回転曲線から推定される渦巻銀河の質量を推定するためには、銀河の過去の降着史を考慮しなければならない。M31が2〜3Gyr前のmajor mergerを示す証拠はいくつかある。この研究では、M31をmerger remnantとしての力学モデルとして生成し、中心バーから外縁部に至るまで、その特性のほとんどを再現した。このモデルはM31の過去のmajor mergerを考慮に入れ、14 kpcでのピーク(バンプ)や25 kpcを超えた半径での速度の増加を含む、回転曲線の詳細を再現している。merger remnantの外縁部において、潮汐尾の物質がmerger remnantに戻ることによって、非平衡で振動的なガス運動を発見した。観測されたHI回転曲線にスケーリングした結果、137 kpc以内でM31の総力学的質量は$4.5 \times 10^{11} M_{\odot}$と求められた。この半径内では、総力学的質量の68%がDMであることがわかった。

[オリジナリティ]

M31における新しい力学modelの作成&modelと観測データとの照らし合わせ

[ゴール]

M31の観測された性質の大部分を説明する力学モデルの作成
& RC(Rotation Curve)の性質(14 kpcのバンプや25 kpcを超えた速度の増加)の理解

[データ解析]

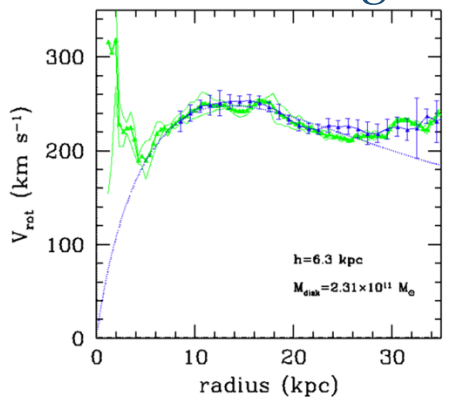
図1： M31のRC図。Corbelli et al.(2010,青線)のRCとCheminet al.(2009,緑線)のRCを0.94倍で補正(青の点線はdisk mass = $2.31 \times 10^{11} M_{\odot}$での軸対象な理論曲線)。2つのRCの平均値を再現するRC modelとHammer et al.(2018)のmodel288を比較したところ、20kpc以内における前者のmodelは、model288のDMを1.6倍少なくするmodel371(本研究で作成されたmodel)で再現された。14kpcでバンプを持つ原因について以下探る。

図2：位置-速度図の最大速度法(Chemin et al. 2009)に基づく2つのM 31モデルの終端速度の導出と、観測されたM 31 RCとの比較。上図： 青線、赤線、黒線は接近側と後退側のRCとその平均。観測されたM31のRCは、シアン色で示されている。下図： T≦20000Kのガス粒子(緑点)を後退側(X＜0)と接近側(X＞0)に沿ってカーネル密度プロットした位置-速度図。外縁部が赤線と青線でマークされており、上図と対応している。また、model 371はmajor mergerの名残も再現されている。

図3(裏)：モデル288(左)とモデル371(右)のバリオン成分を円盤成分とバルジ成分に分解した後のM 31モデルRCの導出図。上図： バルジ成分(赤破線)と円盤成分(青長破線)に分解した恒星質量表面密度(赤実線)とHIガス(緑破線)。バルジの質量分布と円盤の質量分布は、それぞれプランマー分布と指数関数的円盤分布によるもので、各パネルの右上に特徴数が示されている。この図より14kpcのバンプはHIガス(緑線)の影響を受けた結果だとわかる。下図：バルジ成分(赤破線)、軸対称円盤成分(青破線)、DM成分(黒破線)をそれぞれ考慮した後のRC。

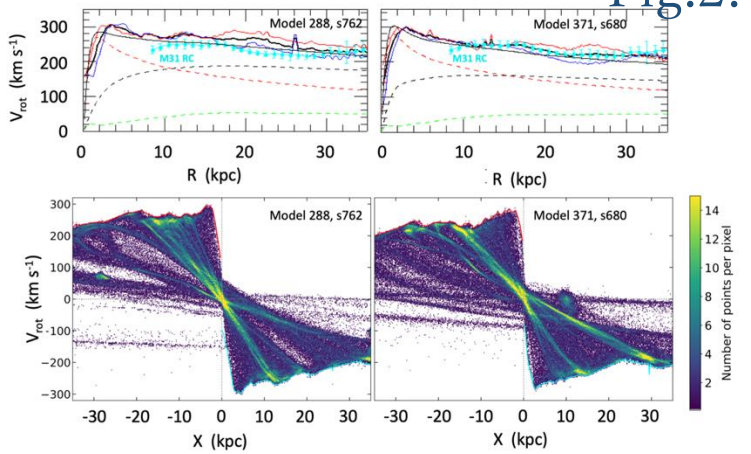
図6(裏)：merger majorから2.6Gyr後のmodel 371。パネルcは、ガスの軌道運動が円運動からどのようにずれているかを示しており、半径とともに増加し、30 kpcで10度に近い軌道角(Δangle,Rotationからのズレ)に中央値(緑の十字線)が達しているのを示している。同じような半径方向の増加は、半径方向の速度(パネルa,+が外側)と方位角方向の速度(パネルb)と接線方向の速度の比でもそれぞれ見られた。merger majorによってM31の一部の成分が放出され、再び巻き込まれていることがパネルeよりわかる。その成分が25kpcに存在しているため、RCの速度の増加に繋がっている。図7は7.8Gyr後のM31であり、merger majorによって生じた成分が15kpcまで落ちてきていることがわかる。

Fig.1.



Hammer, F., et al.: A&A, 694, A16 (2025)

Fig.2.



[結果]

M31のRCの14kpcのバンプは、HIガス成分の速度分散に関連している(図3(裏))。また、非円形運動の半径方向の増大は、潮汐尾から戻ってきた粒子によるものであることが示された(図6(裏))。円盤内の粒子は振動するような運動を行なっているが、正の方向に中央値を持っているため、7.8Gyr後は2.6Gyr後に比べてM31のディスク成分が広がっており、その原因が過去のmajor mergerだと示された。更に、図9(裏)から R_{200} = 137 kpcの体積を考慮した場合、 M31 の力学質量の 32% をバリオン成分が占めていることが示された。この時のDM質量 $M_{200} = 2.95 \times 10^{11} M_{\odot}$ 、M_{tot} =$4.5 \times 10^{11} M_{\odot}$であった。

図9(裏)： DMとバリオン物質の半径分布。実線はモデル371(s680)の35 kpc(左)と300 kpc(右)内のDM半径分布。長破線はモデル288とs762。上図： 半径に対するM_{DM}/M_{baryon}の比。下のパネル： DM質量(黒線)、バリオン質量(赤線)、恒星質量(青線)、ガス質量(緑線)の半径方向における変化。

[コメント]

このmodelはどこまで信用できるのか？。また、M31のバリオン物質が多い。modelと観測値の整合性が必要か。

Hammer, F., et al.: A&A, 694, A16 (2025)

Fig.3.

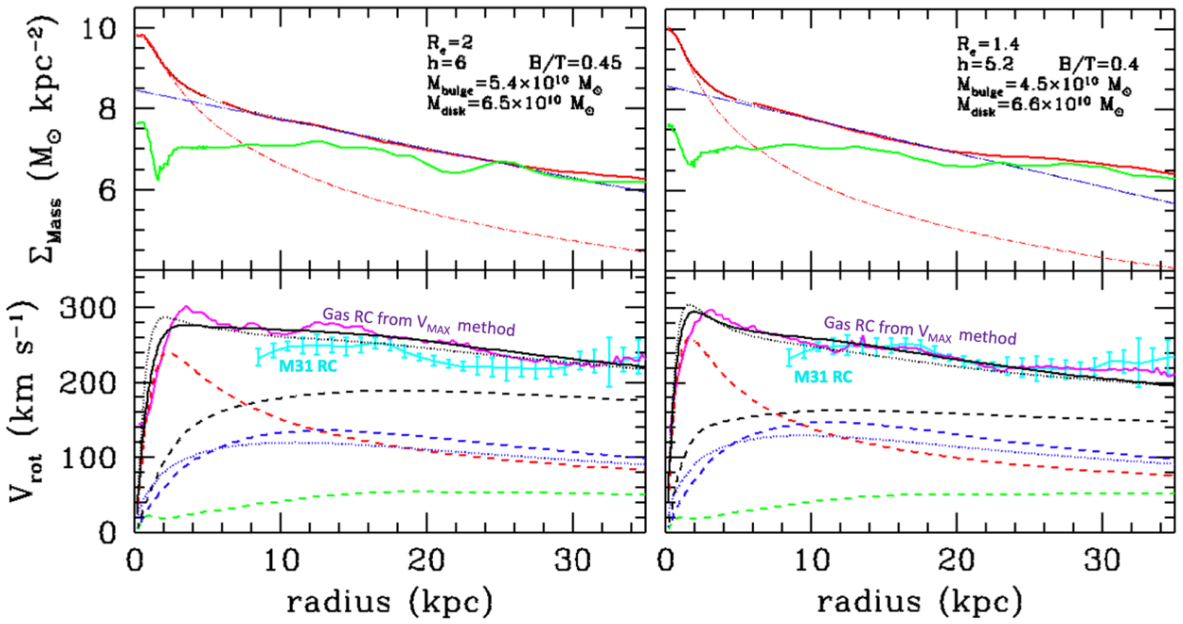


Fig.5.

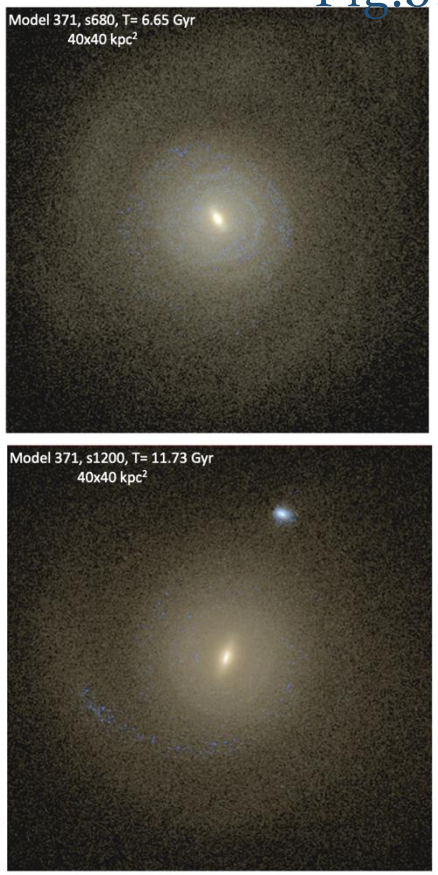


Fig.6.

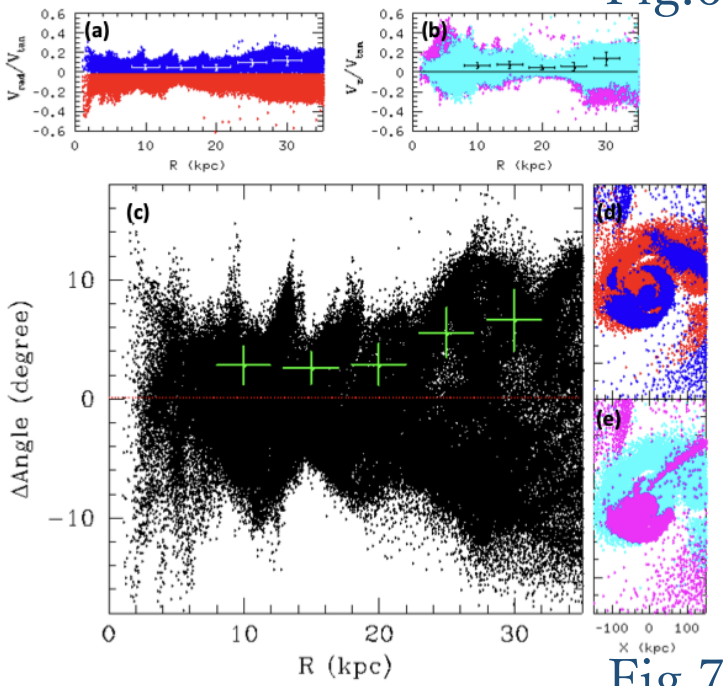


Fig.7.

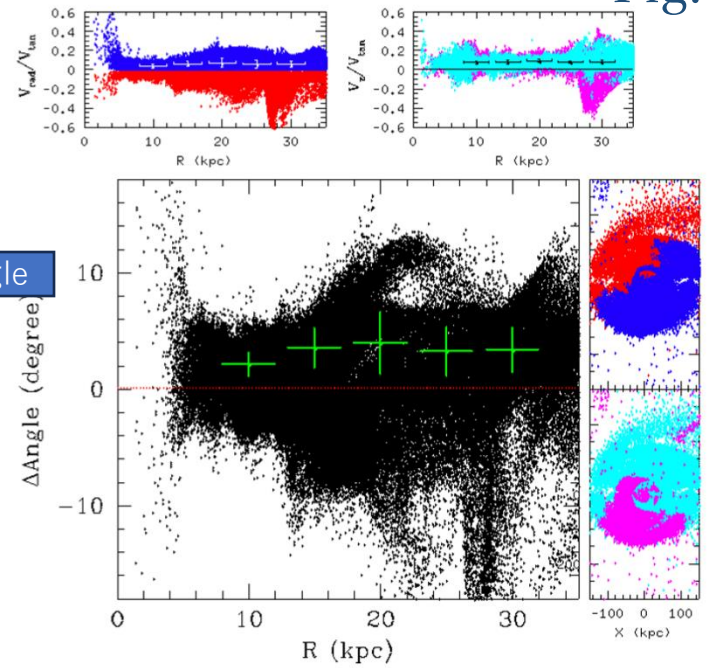


Fig.9.

