The frozen outskirts: a cold Hubble flow and the mass of the Local Group

Danila Makarov, Dmitry Makarov, Lidia Makarova, Noam Libeskind (May 10, 2025) https://arxiv.org/abs/2505.06642

GAゼミ 2025/07/22 山口未沙

【アブスト】

近傍銀河11個のうち7個によって形成されている、距離にして400〜1400 kpcのハッブル流は、視線速度分散が宇宙論的シミュレーションで予言される70 km s^{-1}とは大きく異なり、15 km s^{-1}と極めて小さいことが特徴である。この事実により、局所銀河群の総質量は$M_{LG} = (2.47 \pm 0.15) \times 10^{12} M_\odot$と決定される。この質量がMWとM31の質量の合計と実質的に等しいことと、本研究で考慮した距離の範囲内では質量の増加が見られないことから、局所銀河群の総質量は、この2つの主要銀河の各ビリアル半径内に収まっていると結論づけられる。また、局所銀河群の重心(BC)では、MWとM31の質量比が$M_{\rm MW}/M_{\rm M31} = 0.74 \pm 0.10$ となっていることに加え、MWはBCに向かって62.6 ± 2.6 km s^{-1}で運動していることが分かった。この事から、BCに対して太陽は、銀河座標系で$(l, b, V) = (+94.0° \pm 0.7°, -2.7° \pm 0.3°, 301 \pm 3$ km s$^{-1})$ に位置することが決定される。

【ゴール】

ハッブル流の形状から局所銀河群の総質量を推定すること。局所銀河群の外縁付近での質量分布の変化を測定すること。

【オリジナリティ】

ハッブル流の解析モデル (Baushev 2020) を使用して先行研究よりもダークエネルギーの影響を慎重に考慮することで、局所銀河群の総質量をより正確に推定したこと。

【ロジック】

現在までに、局所銀河群の重心から1 Mpc以内に134個の銀河が同定されている。そのほとんどはMWとM31のビリアル半径：約300kpc以内に、MWでは67個、M31では48個の衛星銀河として集中している(Makarov et al. 2025)。図1. 円筒投影図における局部銀河群の分布。MWとM31の各ビリアル半径(=破線)の外側にある矮小銀河が、これらが通る平面上でMWからM31に向かって引いた直線(= X軸)に対して、ほぼ垂直な方向に集中している(Y軸: X軸からの距離) 。色: MW中心に対する視線速度。白点: 速度不明。
→ これらの矮小銀河はBCに向かって落下していると予想される。

図2. 局所銀河群近傍の速度場の計算スキーム。⊙: 観測者、青点: 対象の銀河の位置。

$$v_{\rm G} = v_{\rm h} + \boldsymbol{V}_\odot \cdot \boldsymbol{n}, \quad (1)$$

v_h: 太陽から見た速度、$\boldsymbol{V}_\odot$: 太陽の速度ベクトル

$\boldsymbol{n}$: 単位ベクトル　$\boldsymbol{V}_\odot = (V_x, V_y, V_z) = (9.5, 250.7, 8.56)$ km s^{-1} (MW中心の銀河座標系)

$d^{\rm MW} = 8249 \pm 9 \pm 45$ pc (MW中心のSMBH: Sgr A*までの距離)

$$\boldsymbol{d}^{\rm BC} = \frac{x}{1+x}\boldsymbol{d}^{\rm MW} + \frac{1}{1+x}\boldsymbol{d}^{\rm M31}, \quad (2)$$

x: $M_{\rm MW}/M_{\rm M31}$、$d^{\rm M31} = 776.2^{+22}_{-21}$ kpc

$$\boldsymbol{V}^{\rm MW} = \frac{v_{\rm G}^{\rm M31}}{1+x}\boldsymbol{n}^{\rm MW-M31}, \quad (3)$$

$v_{\rm G}^{\rm M31} = -109 \pm 2$ km s^{-1} (M31のMW中心に対する速度)、$\boldsymbol{n}^{\rm MW-M31} = (\boldsymbol{d}^{\rm M31} - \boldsymbol{d}^{\rm MW})/|\boldsymbol{d}^{\rm M31} - \boldsymbol{d}^{\rm MW}|$

$$v_{\rm LG} = v_{\rm G} + \boldsymbol{V}^{\rm MW} \cdot \boldsymbol{n}, \quad (4) \qquad V = \frac{v_{\rm LG}}{\cos\Theta}. \quad (5) \qquad \boldsymbol{R} = \boldsymbol{d} - \boldsymbol{d}^{\rm BC}. \quad (6)$$

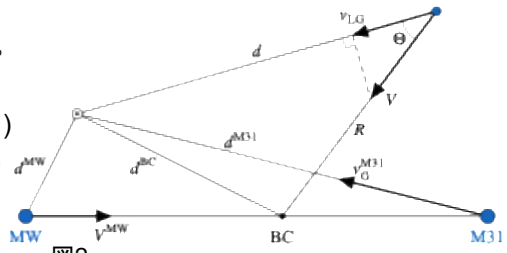


図2

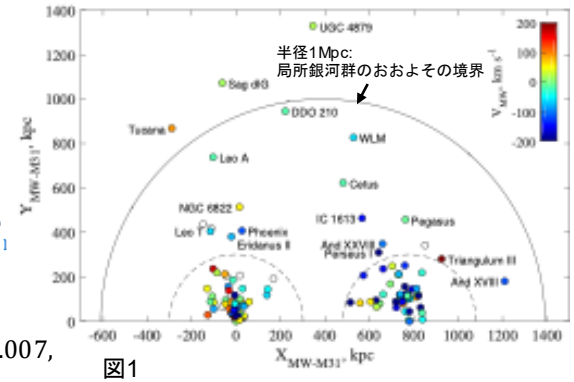


図1

平坦なΛCDM宇宙: $\Omega_\Lambda = 0.685 \pm 0.007, \Omega_{\rm M} = 0.315 \pm 0.007$, $H_0 = 67.4 \pm 0.5$ km s^{-1} Mpc^{-1}

Baushev (2020)の解析解: 与えられた半径の球$R = D_{\rm CM}$ に内包された密度の関数として、その点質量$M_{\rm flow}$の球面でのハッブル流$V_{\rm CM}$を記述している (式(6)、(10)、(14)参照)。

図3. 観測されている各銀河の$D_{\rm CM}$と$M_{\rm flow}$を用いて導出された、局所銀河群の重心からの距離(横軸) vs ハッブル流 $V_{\rm CM}$。実線: 最も質量推定の精度が高かった $M_{\rm flow} = 2.5 \times 10^{12} M_\odot \sim M_{\rm LG}$ の場合のハッブル流モデル。大きな赤円: MW。小さな赤点: MW中心から300 kpc以内にあるMWの衛星銀河。赤点: MW中心から300〜450 kpcの距離にあるMWのメンバー。M31も同様に緑で表示。青点: 解析に使われた銀河。 6つの銀河 (And XXVIII、Triangulum III*、Pegasus、Cetus、NGC 6822、Tucana) を除いて、MWとM31のビリアル半径の外側の速度場は、ハッブル流モデルによってよく説明される。UGC4879より遠方ではモデル適応不可。

図4.観測をよく再現する局所銀河群のΛCDM磁気流体力学シミュレーションHESTIA (09_18) でのハッブル流。色点: MWとM31のビリアル半径よりも外側にある$M_* \geq 1.5 \times 10^5 M_\odot$のハロー (MWとM31中心からの距離->大: 450kpc以上 (図3青点に対応)、小: 300kpc以上450kpc以下)。$V_{\rm CM}$の分散がシミュレーション(図4)では約70kms^{-1}に対し、観測(図3)では約15kms^{-1}と小さいが、観測された距離誤差が大きな影響を与えている可能性が考えられる。

【コメント】モデルから外れている銀河に対する軌道の歴史への考察が興味深かった。

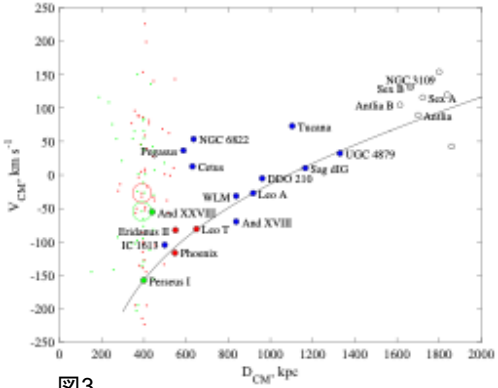


図3

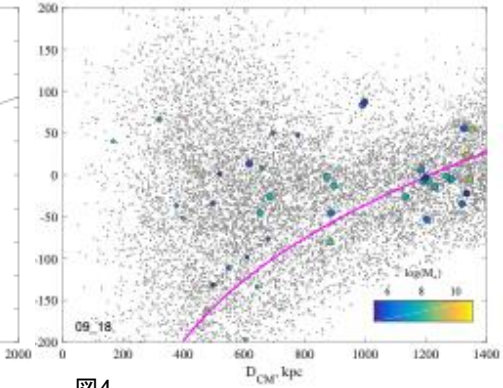


図4

* $V_{\rm CM}$ =333kms^{-1}のため不掲載