# The Milky Way's rowdy neighbours: The effects of the Large Magellanic Cloud and Sagittarius Dwarf on the Milky Way Disc

Ioana A. Stelea, Jason A. S. Hunt, and Kathryn V. Johnston (2024): https://arxiv.org/abs/2407.12095　GAゼミ　2024. 07.25 鈴木陸斗

[アブスト]

天の川銀河(MW)は大マゼラン雲(LMC)やいて座矮小銀河(Sgr)などの衛星との潮汐相互作用によって作られた棒渦巻銀河である。つまりMW形成を理解するためには、LMCやSgrの影響を考慮するのは必要不可欠である。先行研究では[LMC+MW]や[Sgr+MW]の研究が多くあるが、[LMC+Sgr+MW]のように両衛星の複合効果を研究する文献は少ない。そこでこの論文ではMWとLMC,Sgrの複雑な相互作用を単独、あるいは組み合わせて研究するための高解像度のN体シミュレーションを提供する。結果全体として、彼らの発見は、MWの構造と運動学の現在の状態をモデル化する際に、両方の衛星を含める必要性を強調している。

[オリジナリティ]

LMC,Sgrの影響を個別かつ合体させたシミュレーション

[ゴール]

MW Discの形成と進化の理解

[シミュレーション]

表1

- Vasiliev et al. (2021)の軌道解とGPU加速N体コードBonsai (Bédorf et al. 2012, 2014)を利用
- [MW],[MW+LMC],[MW+Sgr],[MW+LMC+Sgr]について$10^9$個の粒子のN体シミュレーション
- WMのようなhostの初期条件はgalactic dynamics software package Agama Vasiliev (2019)を用いる
- SgrはKingプロフィルに従った恒星成分dark matter spheroidに埋め込まれたもの(Vasiliev et al. 2021に従って作られている)
- LMCは恒星と暗黒物質の区別のない単一の球状体としてモデル化(Vasiliev et al. 2021に従って作られている)
- 過去3Gyrの間でシミュレーション
- secularな構造形成の影響を受けにくい「暖かい」円盤(「冷たい」円盤についても考察)

[結果]

衛星の位置が観測と最もよく一致するt=2.836Gyrを現在とした最終位置と速度(表2)
図1,図2:現在のスナップショットの対数密度マップ
→MW+LMC],[MW+Sgr],[MW+Sgr+LMC]のモデルは、すべて同じ棒とわずかな棒渦巻きパターンを示し、角度も定性的に保たれている
→[MW+Sgr]と[MW+Sgr+LMC]では、[MW]と[MW+LMC]の滑らかな円盤に比べて、外側の円盤に細かい渦巻き構造が励起されている
→[MW+LMC] や[MW+Sgr+LMC] では、LMCが外側(特にxが負の方向)の円盤にはっきりとしたゆがみを引き起こしている
図3:現在のx-y平面におけるradial velocityのマップ
→[MW+Sgr]で複数の渦巻きのような特徴を誘起している
→[MW+LMC+Sgr]は[MW+LMC]と[MW+Sgr]の両方の特徴を含んでいる
＊GaiaやAPOGEEのような大規模なサーベイで観測され始めている天の川円盤の大規模なradial velocityパターンの起源を分解し、これらの相互作用の性質を知ることができるかもしれないことを示唆
図4:z方向の距離で色分けしたx-y平面マップ
→[MW+LMC]の外側の円盤の半分以上は正のzを持っている。これが図2で示したゆがみの原因
→[MW+Sgr]も外側にゆがみが生じているが、[MW+LMC]と90度遅れている
より定量的な解析のために、銀河中心半径の関数としての半径方向速度信号のフーリエ解析を採用！
これらより、この2つの衛星は累積的で分離可能な効果を示している。
図5:冷たい円盤に変えた時の[cMW+LMC+Sgr]の表面密度、radial velocity、z方向の距離、z方向の速度
→表面密度の図から15kpc以内に過度な渦巻き構造が見える
→ radial velocityがかなり乱れている

[コメント]

論文に、「過去3Gyrの間LMCやSgrがgalactic barに与えた影響は比較的小さい」とあり、もっと前なら影響は大きくなるのか

図1

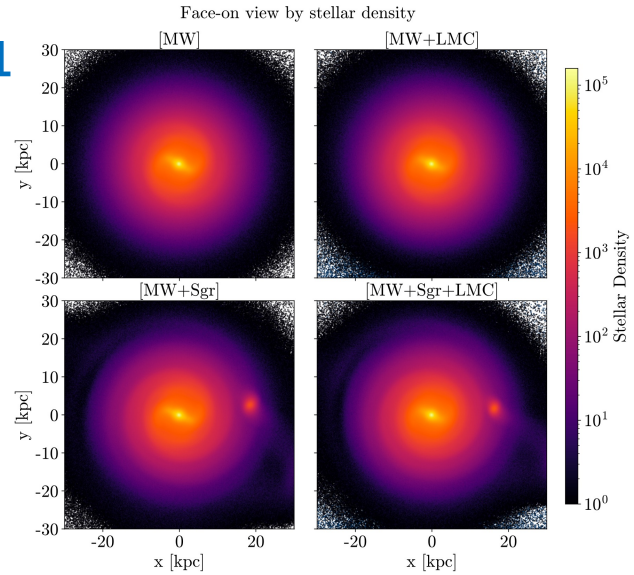



図2

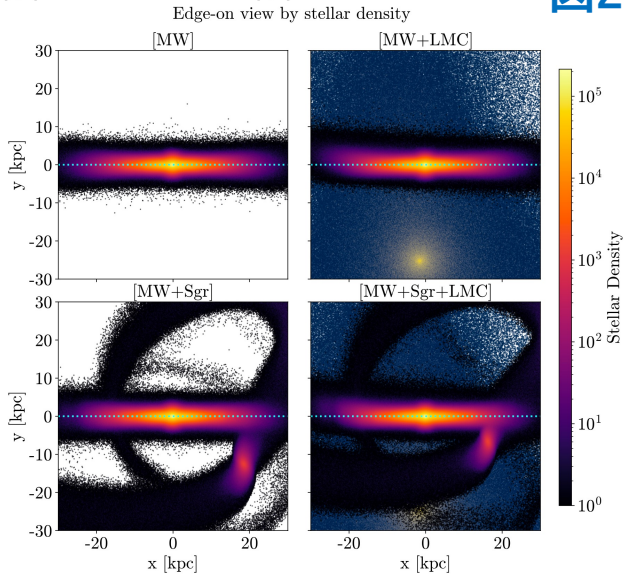


表1　モデルの基本パラメータ

| Component | $N_p$ | $M_\odot$ | $R_d$ | $h_d$ | $R_s$ | $w_0$ | $\gamma$ | $\beta$ | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Milky Way Disk | $3.2 \times 10^8$ | $5 \times 10^{10}$ | 3.0 | 0.4 | - | - | - | - | - |
| Milky Way Bulge | $8 \times 10^7$ | $1.2 \times 10^{10}$ | - | - | 0.2 | - | 0 | 1.8 | 1 |
| Milky Way Halo | $6 \times 10^8$ | $7.33 \times 10^{11}$ | - | - | 7.0 | - | 1 | 2.5 | 2 |
| Sgr stellar | $4 \times 10^6$ | $2 \times 10^8$ | - | - | 1.0 | 0.4 | - | - | - |
| Sgr dark | $6.4 \times 10^6$ | $3.6 \times 10^9$ | - | - | 8.0 | - | 0 | 3 | 1 |
| LMC | $2 \times 10^6$ | $1.5 \times 10^{11}$ | - | - | 10.8 | - | 1 | 3 | 1 |

表2　現在の位置と速度を文献と比較

| Data Source | $x$ | $y$ | $z$ | $v_x$ | $v_y$ | $v_z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LMC | | | | | | |
| Gaia Collaboration et al. (2018) | $-1.078^{+0.3}_{-0.3}$ | $-41.0^{+0.2}_{-0.2}$ | $-27.82^{+1.4}_{-1.4}$ | $-60.2^{+10.2}_{-9.7}$ | $-216.6^{+13.8}_{-13.5}$ | $209.4^{+18.0}_{-18.8}$ |
| Kallivayalil et al. (2013) | -0.97 | -41.0 | -27.8 | $-57^{+13}_{-13}$ | $-226^{+15}_{-15}$ | $221^{+19}_{-19}$ |
| [MW+LMC] | -1.04 | -38.7 | -27.5 | -59.4 | -208.8 | 175.0 |
| [MW+Sgr+LMC] | -1.09 | -40.4 | -26.8 | -61.2 | -205.6 | 177.4 |
| Offset (wrt Gaia) | $\Delta x$ | $\Delta y$ | $\Delta z$ | $\Delta v_x$ | $\Delta v_y$ | $\Delta v_z$ |
| [MW+LMC] | -0.03 | -2.2 | -0.3 | -0.7 | -7.7 | 34.3 |
| [MW+Sgr+LMC] | 0.02 | -0.5 | -0.9 | -0.7 | -10.9 | 31.9 |
| Sagittarius | | | | | | |
| Gaia Collaboration et al. (2018) | $17.0^{+2.0}_{-1.8}$ | $2.5^{+0.2}_{-0.2}$ | $-6.42^{+0.5}_{-0.5}$ | $229.4^{+7.2}_{-6.2}$ | $-14.7^{+19.9}_{-22.5}$ | $205.8^{+18.6}_{-17.1}$ |
| Vasiliev & Belokurov (2020) | 17.5 | 2.5 | -6.5 | 237.9 | -24.3 | 209.0 |
| [MW+Sgr] | 18.4 | 2.6 | -12.3 | 206.4 | -108.4 | 151.5 |
| [MW+Sgr+LMC] | 16.2 | 1.6 | -6.4 | 236.9 | -98.9 | 183.5 |
| Offset (wrt Gaia) | $\Delta x$ | $\Delta y$ | $\Delta z$ | $\Delta v_x$ | $\Delta v_y$ | $\Delta v_z$ |
| [MW+Sgr] | -1.4 | -0.1 | 5.9 | 23.0 | 93.4 | 54.3 |
| [MW+Sgr+LMC] | 0.8 | 0.8 | -0.02 | -7.5 | 84.2 | 22.3 |

図3

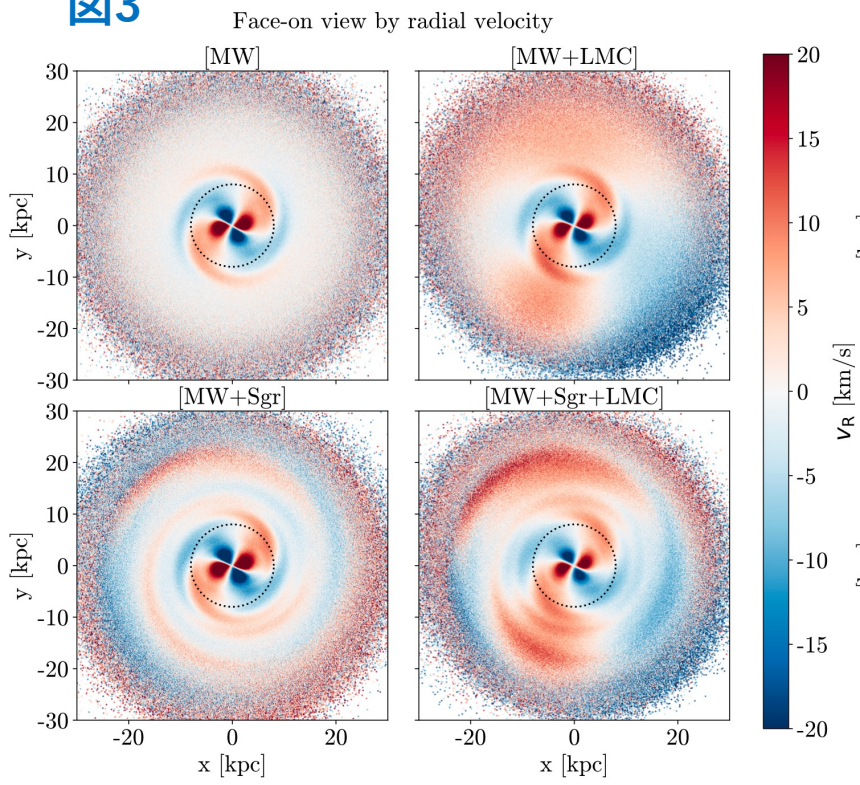



図4

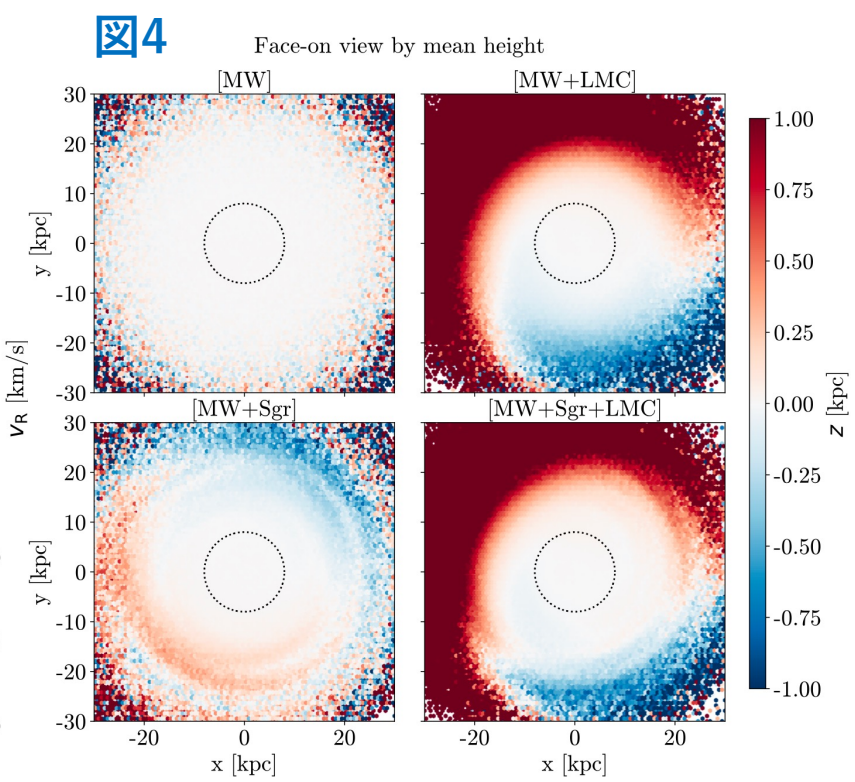



図5

