

矮小銀河と天の川銀河の遭遇の N 体シミュレーション

N-body simulations of MW galaxy encountering with a dwarf galaxy

児玉瑠美
東京大学

1. 研究目的

円盤銀河の中心部に存在するバー構造は、シミュレーションにおいては、銀河中心部から形成し徐々に長くなりながらそのパターン速度は遅くなる。しかし、その詳細なメカニズムについては未だに謎が多い。孤立した円盤銀河の場合、バーが形成されると、バーとの共鳴軌道に入るハロー粒子を通じてバーの角運動量がハローに輸送され、バーのパターン速度の低下が起こると考えられている。他の銀河との遭遇などによる外部摂動によってもバーの強度が上がり、バーが進化することがシミュレーションから知られている。しかし、このような外部摂動を受けたあとのバー進化のメカニズムはまだ解明されていない。

本研究では、銀河円盤、バルジ、ハローを粒子で表現した銀河モデルに、同じく粒子で表現した矮小銀河を遭遇させる N 体シミュレーションを行い、摂動を受けたバーの進化を調べた。また、矮小銀河の遭遇による摂動が加わった時に、どのようにバーからハローに角運動量が輸送されるかについても調査した。

2. 研究成果の内容

本研究では、孤立した円盤銀河モデルに、矮小銀河を遭遇させる N 体シミュレーションを行った。円盤銀河には、Fujii et al. (2019)で用いられた天の川銀河モデルを使用した。矮小銀河は、総質量を $4 \times 10^{10} M_{\odot}$ とし、ハローとバルジの 2 成分で作成した。初めに、矮小銀河が円盤銀河の円盤外縁部を通るような初期条件を探すために、低分解能(100-1000 万粒子)のシミュレーションをいくつか行った。その中で適切なパラメータを選択し、矮小銀河の軌道と遭遇させるタイミングを変えた 6 モデルと、孤立銀河モデルについて、1 億体の計算をタイムステップを 10Myr にして 10Gyr まで行った。矮小銀河が円盤銀河に遭遇させる軌道は円盤と同平面とし、順行軌道・逆行軌道それぞれについて、遭遇させるタイミングについては、円盤銀河のバー形成初期からバーの形成後まで変えた。

矮小銀河と遭遇した、外部摂動のあるモデルはどれも孤立した天の川銀河モデルに比べて、バーのパターン速度が減速し、バーは成長し続けていた。順行軌道モデルは、逆行軌道モデルに比べてより摂動の影響を大きく受けていることがわかった。矮小銀河との遭遇のタイミングで比較するとその違いに大きな差はなかった。円盤とハ

ローの角運動量分布を見ると、特に順行軌道モデルで、矮小銀河と遭遇してしばらく経った後に局所的に凸になる領域が現れ、この位置はバーとの共回転共鳴を行う領域の角運動量と一致した。これは、バーとの共回転共鳴に入る粒子が矮小銀河の遭遇によって増加したことを意味する。逆行軌道ではその凸が順行軌道に比べて小さく、ハローに輸送される角運動量の結果と一致する。また、ハローの角運動量分布でも、遭遇からしばらく経ったあと、同じように外部摂動モデルで共回転共鳴領域付近に凸の領域が見られる。このことから、矮小銀河との遭遇による外部摂動があった場合、孤立銀河よりもバーとの共鳴に入る粒子が円盤粒子、ハロー粒子共に増加し、その結果、円盤の角運動量がハローに輸送されたと考えられる。

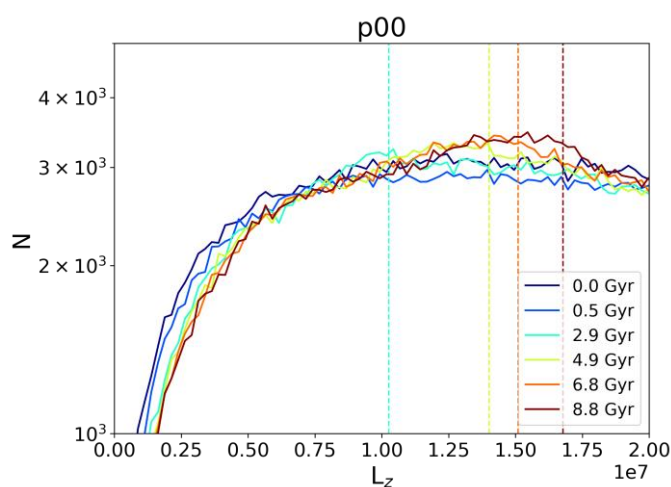


図 1 時間ごとの順行軌道モデルのハローの角運動量分布

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

円盤銀河のハローと円盤成分、矮小銀河の間の相互作用を正しく計算するには、ハローも粒子系で表現しなければならず、大量の粒子が必要である。粒子数が少ないと、バー構造の形成や進化などに影響が出る。必要な粒子数は合計で 1 億体程度である。本研究では、このような大規模計算を行うために GPU に対応した並列ツリーコードである「Bonsai」を使用した。Bonsai を高並列で動かすために Cygnus・Pegasus のような大規模 GPU 計算機が必要不可欠であった。

4. 今後の展望

今回のシミュレーションによって、外部摂動を受けた円盤銀河モデルは、よりバーのパターン速度が遅くなることが分かった。しかし、外部摂動モデルでは、なぜより多くの粒子が共鳴に取り込まれるのかについてはまだ分かっていないため、今後は得られたシミュレーション結果から矮小銀河によって生じたハローに残る振動を調査し、その原因を探る。

5. 成果発表

(1) 学術論文

T. Asano, M. S. Fujii, J. Baba, S. Portegies Zwart, J. Bedorf, “Ripples spreading across the Galactic disc: Interplay of direct and indirect effects of the Sagittarius dwarf impact”, 2025, A&A 投稿中, arXiv:2501.12436

(2) 学会発表

- Tetsuro Asano, “Growth and Disruption of the Spiral Arms in the Milky Way Suggested by the Breathing Motion”, Waves in the Milky Way Disk, 2024 年 9 月, 上海(リモート発表), 口頭発表
- 児玉瑠美, “矮小銀河による摂動が円盤銀河の棒状構造の力学的進化に与える影響”, 日本天文学会, 2025 年 3 月, 水戸, 口頭発表

(3) その他

児玉瑠美, 修論発表

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	8000		
Pegasus	○	5000		
Wisteria/BDEC-01				
	※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入			