

渦巻銀河の動力学構造の総合的理解と棒状渦巻銀河の中心領域ダイナミクス

馬場淳一 (東京工業大学 理学研究流動機構)

利用カテゴリ XT4A

本研究の目的は、天の川銀河や近傍円盤銀河に存在する渦状腕構造、棒状構造に代表される非軸対称構造を、星、低温ガス、星形成領域などの多成分系ダイナミクスの観点から明らかにすることである。多成分系の現実的モデルのシミュレーションを世界に先駆けて行ない、最新の詳細な観測との比較が可能な数値モデルを構築し、観測との比較をととして渦巻銀河の動力学構造を解明する。

Grand-design 型渦状腕

多くの渦巻銀河には2本腕渦状腕 (grand-design) が見られる。一方、先行の N 体シミュレーション (Carlberg & Freedman 1985; Bottema 2003; Fujii et al. 2010) により、銀河円盤半径内における円盤質量-ダークマター質量の比が、渦状腕の本数に関連することが示されてきたが、棒状構造 (バー) を伴わない grand-design 型渦状腕の発現は確認されていない。2010 年度には、XT-4 64 コアを用いて中心にバルジ (定常外場ポテンシャル) を導入した恒星系円盤モデルの N 体計算を行い、バー不安定が抑えられ grand-design 型渦状腕が一時的に発現するという実験結果を得ていた。しかしながら、grand-design 型渦状腕の発現まだ限定的であった。そこで2011年度には (1) バルジも重力多体計算をする、(2) 星間ガスの効果を考慮する、を行い grand-design 型渦状腕の発現条件や、その維持機構を探った。

バルジは、定常外場ポテンシャルの場合ディスク質量の $\sim 10\%$ あると十分にバー形成を抑制し、grand-design 型渦状腕が生じるが、バルジも N 体粒子で表現しディスクと self-consistent に解くと、 $\sim 10\%$ では弱いバー不安定を伴い中心に弱いバー構造が発現するのが確認された。完全にバーを伴わない grand-design 型渦状腕の再現には $\sim 20\%$ 以上は必要となることがわかった。従って、棒状構造や渦状腕構造のダイナミクスを理解する上でバルジの影響を議論するためには、バルジ-ディスク相互作用も self-consistent に取り入れる必要がある。また、星間ガスの効果も調べ、結果は星間ガスの有無にあまり依存しないことを確認した。

水素分子反応を考慮したシミュレーション

現在、本年度は星間ガスモデルに水素分枝反応を組み込み、水素原子ガス HI と水素分子ガス H_2 の分布の違いの再現性を調べている。今回のモデルでは水素分子反応を直接解かず、Gnedin & Kravtsov (2010) で与えられているフィッティングを利用している。このフィッティング形式では、水素分子量が重元素量、密度、FUV 強度の関数で与えられている。図1は結果のスナップショットである。水素原子・分子ガスともに渦状腕領域に分布しているが、水素分子ガスの方がよりシャープな分布を示していることがわかる。これは

ガス密度が十分に高い領域でしか水素分子が生成されないからである。ただし、今回の計算では系外銀河の観測で報告されているような分子ガス/原子ガス比の動径依存性は明確には確認できなかった。これはシミュレーション中で水素分子破壊に寄与する FUV 強度を一様と仮定している影響が大きいと考えられる。今後は銀河内での FUV 強度の非一様分布を考慮した計算を行う必要がある。

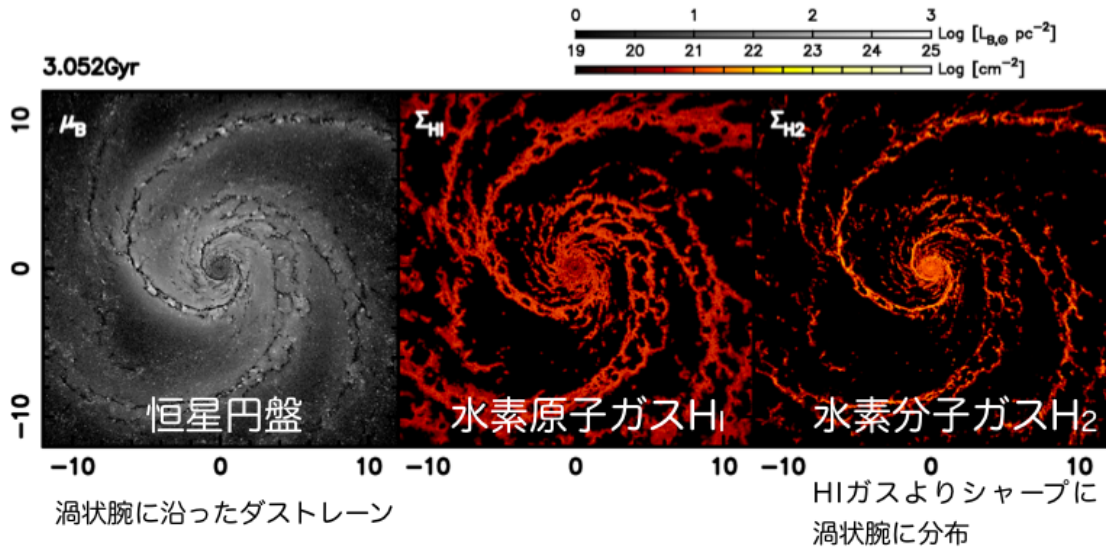


図 1: 星間ガスを考慮したの高分解能 3 次元 N 体/SPH シミュレーションの結果, XT4 256 コア, 粒子数 500 万個, 重力ソフトニング 10 pc.

棒状銀河中心領域のガスダイナミクスと星形成

天の川銀河や近傍渦巻銀河の半数以上にみられる棒状構造は、銀河大局スケールから中心領域への星間ガスの輸送において、重要な構造であると考えられている。中心領域へのガス供給は、爆発的星形成 (スターバースト) 現象や活動銀河中心核 (AGN) 現象と密接に関連している。

図 2 には、本年度、XT-4 256 コアを用いて計算した棒状渦巻銀河の高精度 3D 数値シミュレーションの結果が示してある。これは、多相星間ガス、星形成、超新星フィードバックなどを含む現実的なモデルであると同時に、恒星系ダイナミクスの重力多体系進化も解いた、初めての棒状渦巻銀河の現実的な大局的数値シミュレーションモデルである。本課題では、このような高分解能の棒状銀河の N 体+流体数値シミュレーションを用いて、中心領域へのガス供給過程とそこでの星・星団形成トリガー過程を調べている。

分解能が従来の同様の計算に比べ桁で高い (空間分解能=5 pc, 質量分解能= 10^3 – $10^4 M_{\odot}$, 粒子数=3000 万個) ため、中心領域に可視光観測で観測されているような nuclear spiral や、リング状に分布する星や星団の形成領域が再現されている (図 2 の中段パネル)。これらの構造は large-scale バーにより中心領域に流れ込んだガスが x1 軌道群から x2 軌道群へ遷移する領域に相当している。この領域ではリング状に星団が形成されておき、これら

星団は潮汐破壊され中心核バルジ成分 (図 2 の中段パネル左) となっていくようすが見られた。ただし、この星団の潮汐破壊の効果は分解能の影響が出ている可能性が高く、今後は、星団の形成スポットを特定することで、それを初期条件として、銀河中心領域の星団の力学進化を調べる予定である。

また、中心領域の星形成は図 3 にあるように、高い時間変動性を示すこともわかった。この時間変動には ~ 50 Myr 程度のやや長い変動モードと ~ 10 Myr 程度の短い変動モードが見られる。前者はバーからのガス供給の時間変動性、後者は星形成後の超新星爆発によるフィードバックに関連すると考えている。このようなエピソード的星形成は天の川銀河の中心核バルジ領域の古典セフィアの観測からもサポートされている (Matsunaga et al. 2011)。

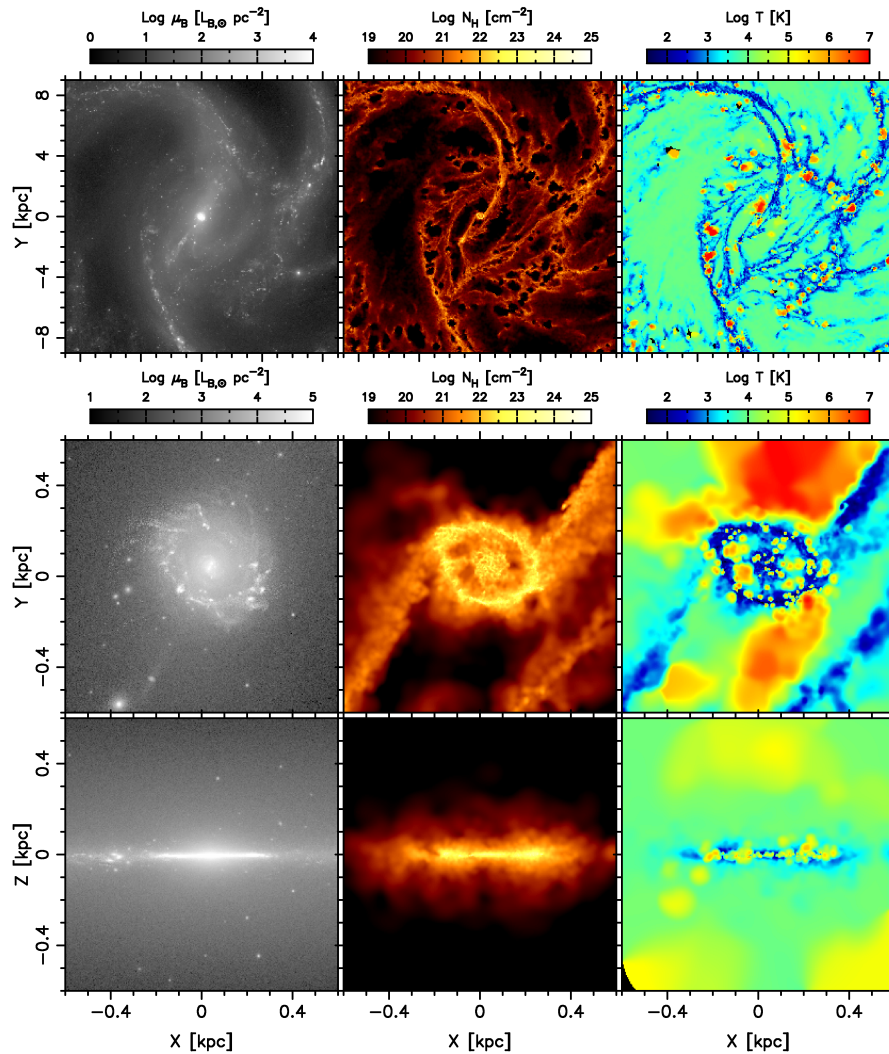


図 2: 棒渦巻銀河の高分解能 3D 数値シミュレーションの結果 (上: 銀河全体の face-on スナップショット, 中: 中心 600pc の face-on スナップショット, 下: 中心 600pc の edge-on スナップショット.) [Baba, Fujii, & Saitoh, in prep.](#)

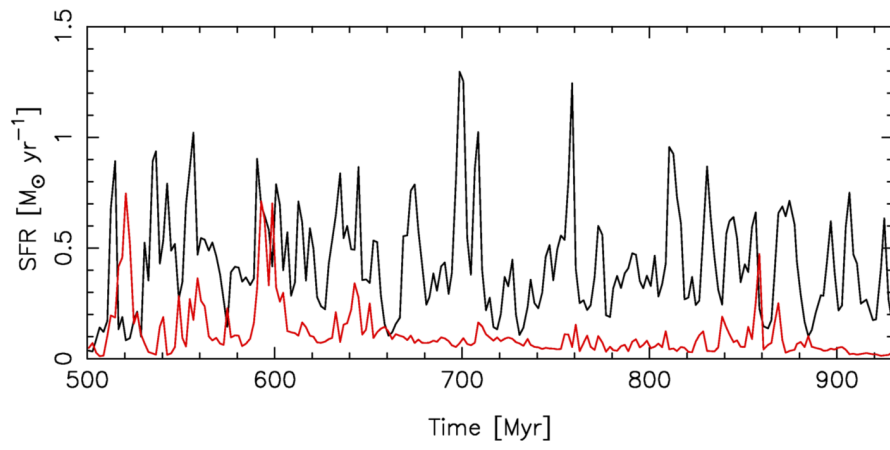


図 3: 棒渦巻銀河の高分解能 3D 数値シミュレーションの中心領域における星形成率の時間変化 (黒：中心 500pc 領域, 赤：中心 100pc 領域). [Baba, Fujii, & Saitoh, in prep.](#)