

渦巻銀河の動力学構造の総合的理解

利用者氏名 馬場淳一 (自然科学研究機構 国立天文台 天文シミュレーションプロジェクト)

利用カテゴリ XT4 CfCA 内部

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。

天の川銀河や近傍銀河のダイナミクスを理解することは、宇宙論的銀河形成シミュレーション (e.g. 天の川創成プロジェクト) で再現すべきゴールの銀河の構造を明確にすることに相当する。

恒星系渦状腕と星間ガスの相互作用

円盤銀河に普遍的に存在する渦状腕構造・棒状構造は、恒星系円盤の力学的状態に関する情報を与えてくれるだけでなく、それ自身が星間ガスの圧縮とそれに続く大局的星形成を介して銀河進化において重要な役割を担う、欠くことのできない成分である。

このように銀河進化において重要な渦状腕構造に関しては、Lin & Shu (1964) に始まる恒星系渦状腕の密度波仮説や Fujimoto (1968) や Roberts (1969) らに始まる銀河衝撃波理論が展開されてきた。しかしながら、これらは十分に現実的な理論ではない。特に、今後、ALMA の稼働により近傍渦巻銀河の低温ガスの物理状態や星形成に関する観測が進み、渦状腕構造と分子ガス進化や星形成との関連した研究が進むと期待される。最新の観測結果を解釈し、渦巻銀河ダイナミクスと大局的星形成 (銀河進化) を理解するには、恒星系円盤+多相星間ガス (低温ガス、星形成、超新星爆発) からなる 現実的な理論モデル に基づく研究が必須となる。

本年度、XT-4 64 コアを用いた渦巻銀河 (N 体恒星系円盤+多相ガス円盤、星形成、超新星爆発、低温ガス) の高分解能シミュレーションを行い、恒星系渦状腕と星間ガスの相互作用を調べた。その結果、恒星系渦状腕は銀河回転に乗った差動回転をしながら、合体や分裂を繰り返すダイナミックな構造であり (Fujii, Baba, et al. 2011), それに誘発される星間ガスの振る舞いは、古典的な銀河衝撃波の振る舞いとは大きく異なることが示された。

恒星系渦状腕形態の多様性の再現

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

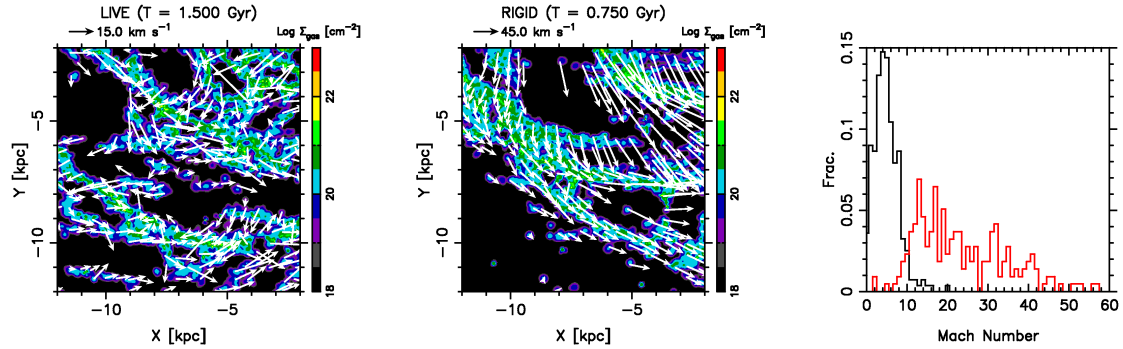


図 1: 変動する恒星系渦状腕 (左) と定常密度波 (中) の場合における渦状腕に対する星間ガスの相対速度場のようす. (右) は両モデル間の星間ガスの音速に対する相対速度の比の違い. Wada, Baba, & Saitoh, 2011, ApJ

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.

本年度, XT-4 64 コアを用いて中心にバルジ (固定ポテンシャル) 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た (図 2 右). しかしながら, grand-design 型渦状腕の発現まだ限定的である. そのため, 今後の計画として (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, などを行い, grand-design 型渦状腕の発現条件や, その維持機構をさらに詳しくを探る必要がある.

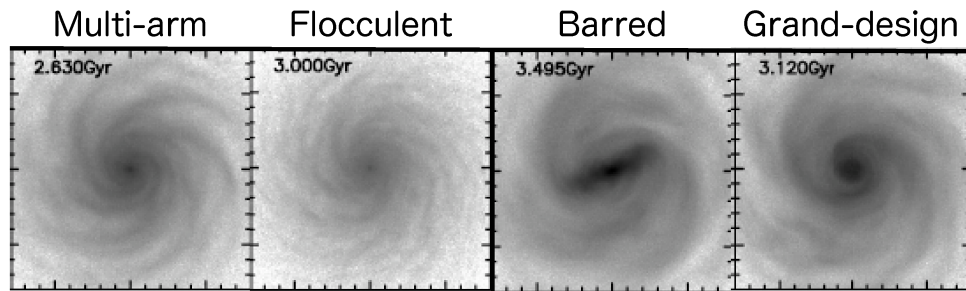


図 2: 様々な渦巻形態を示す渦巻銀河の高分解能 3 次元数値シミュレーションの結果. XT4 64 コア. 粒子数 300 万-500 万個, 重力ソフトニング 30 pc.

棒状銀河中心領域のダイナミクス

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3には、本年度、XT-4 128 コアを用いて計算した (棒状構造の強い) 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、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る。また、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ことも可能となる。

さらに、この結果と超大質量ブラックホール周辺領域+遮蔽分子ガスの数値シミュレーションモデル (輻射輸送、多相星間ガスダイナミクスを考慮) を結合することで、AGN 周辺領域と母銀河の共進化に関する知見獲得へと発展させていきたい。

棒渦巻銀河の3次元数値シミュレーションの中心領域

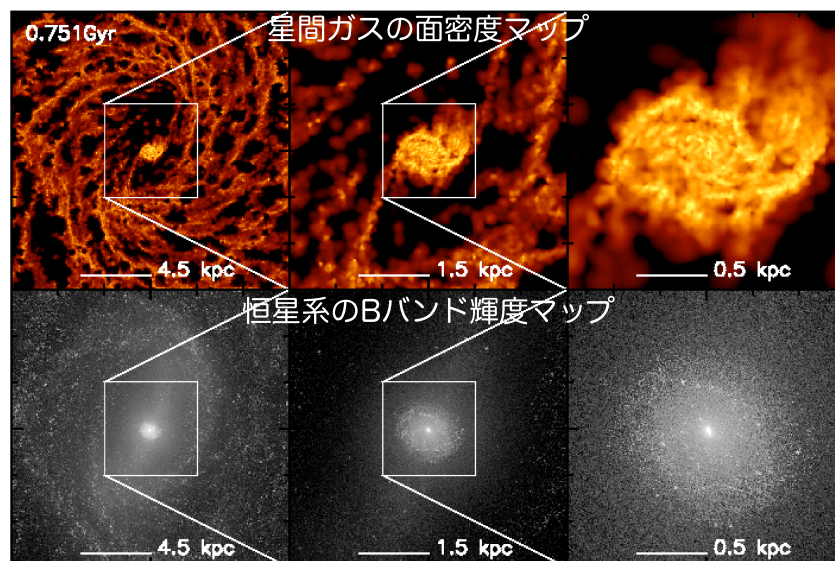


図 3: (強い) 棒渦巻銀河の高分解能 3D 数値シミュレーションの中心領域マップ。分解能が従来の同様の計算に比べ桁で高い (空間分解能=5 pc, 質量分解能= $10^{-4} M_{\odot}$, 粒子数=3000 万個) ため、中心領域に可視光観測で観測されているような nuclear spiral や、リング状に分布する星や星団の形成領域が再現されている。Baba, Fujii, & Saitoh, in prep.