平成 21 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

渦巻銀河の恒星系渦状腕構造の解明と天の川銀河モデルの構築

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　XT4B

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，観測との比較をとお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．

恒星系渦状腕の動力学

標準的には，恒星系渦状腕は，恒星系円盤を伝播する波動現象であり，その伝播は剛体回転する定在波であると考えられてきた (定常密度波仮説; Lin & Shu 1964; Bertin & Lin 1996)．密度波仮説は，線形近似，定常近似，tight-winding 近似のもとで構築された仮説であるだけではなく，波動現象という「連続体」近似に基づく描像である．次世代アストロメトリ観測衛星 (e.g., JASMINE, GAIA, WISH) により，天の川銀河における個々の星の位置や速度データの取得が見込まれるため,「連続体」近似から脱却し，個々の星の運動状態からの理解が必須である．

本研究では，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から，恒星系渦状腕の振る舞いを，星の集団現象の観点から理論的に考察を行った．その結果，恒星系渦状腕は，星のエピサイクル運動の同期と，それによって生じた粗密と星の間の共動回転散乱による動径移動によって生じる一時的構造であり，この集団現象の繰り返しとなっていることが明らかになってきた．

天の川銀河の非円運動と渦状腕構造

シミュレーションを用いた天の川銀河の構造やダイナミクスの研究は過去にも存在する (e.g. Englmaier & Gerhard 1999; Fux 1999; Rodriguez-Fernandez & Combes 2008)．しかしながら，先行研究では，恒星系棒状構造を重力ポテンシャルとして扱い，その非軸対称ポテンシャル中での等温ガス ($T = 10^4$K) の運動を扱ったものがほとんどである．実際には，恒星系渦状腕の影響も無視できず，さらに，棒状構造や渦状腕の進化は星間ガスと密接に関連 (結合) しているはずである．また，等温ガス近似は星間ガスのゼロ次近似モデルとしては有効だが，今後，CO などの低温ガスや，星形成領域の空間／速度構造の観測データとの比較を推し進めるには不十分である．

本年度，我々は，棒状渦巻銀河 (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から，天の川銀河の低温ガスの $\ell - v$ 図の構造や

ボックス型バルジの再現に成功した (図１；Baba, Saitoh, & Wada, 2010, submitted to PASJ)．このモデルでは，高分解能を達成するため天の川銀河よりもモデル銀河の質量が小さく設定してあり，“ミニ” 天の川銀河モデルを呼ぶことにする．2010 年度に，天の川銀河に定量的により近い大規模シミュレーションを行う．

ミニ天の川銀河モデルでは，恒星系渦状腕は定常ではなく，常に生成と消失を繰り返す過渡的な構造であった．また，近年の VLBI 観測 (VLBA/VERA) で得られている星形成領域の非常に大きな特異速度 (~ 30 km s^{-1}) が，我々のシミュレーションから得られた渦巻構造では自然に得られることが明らかになった (Baba et al. 2009, ApJ, 706, 471-481)．この大きな特異速度は，広く受けいられている定常密度波理論で想定される特異速度よりも大きく，定常密度波理論では説明が困難な現象であった．さらに，運動学的距離法の誤差評価も行った．運動学的距離法は，天の川銀河内の星間ガスの空間分布を得るための伝統的な方法として採用されてきた (Oort et al. 1958; Nakanishi & Sofue 2003, 2006) が，現実的なモデルに基づいた誤差評価はなされいなかった．本研究の誤差評価の結果，典型的に $\sim 2-3$ kpc の誤差があることがわかった．

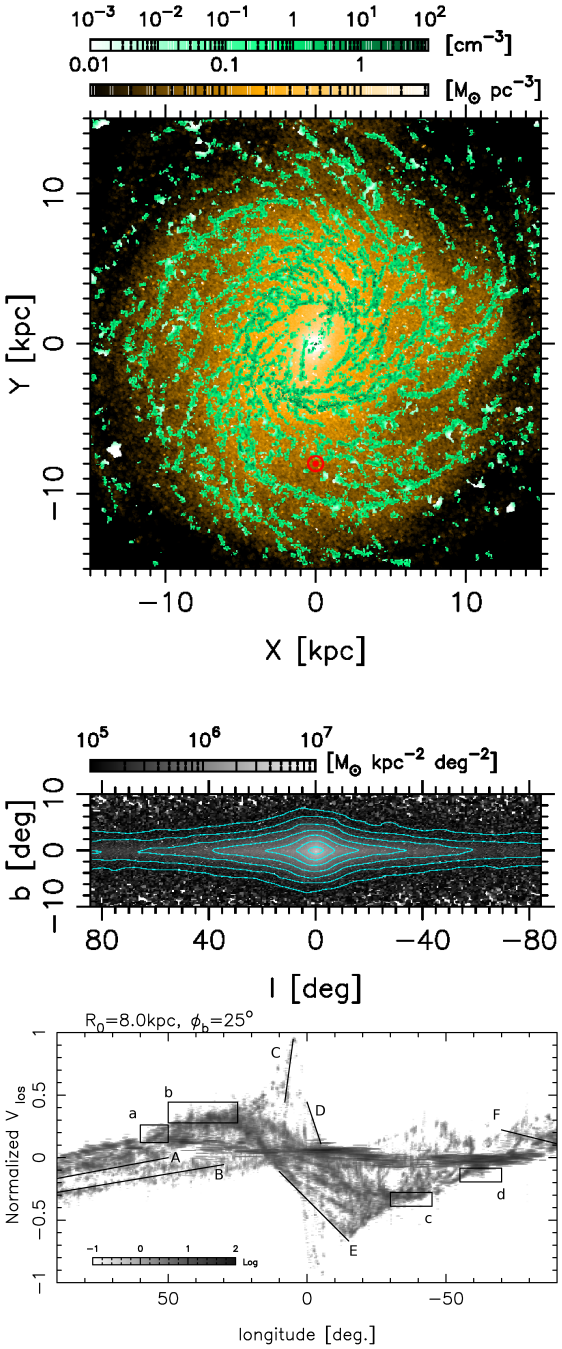

図 1: “ミニ” 天の川銀河のシミュレーション結果 (Baba, Saitoh, & Wada, 2010, submitted to PASJ). 左上：恒星円盤 (オレンジ) と低温ガス (グリーン) の密度分布. 左下：銀河内の観測者 (左上図の赤丸) から観測した恒星円盤の輝度分布. 水色の線は等輝度線. 右下：観測者から観測した低温ガスの $\ell - v$ 図. 実際の天の川銀河の $\ell - v$ 図に見られる特徴的な構造に対応するものを実線や四角で表した.