

# 高分解能 N 体/多相星間ガスシミュレーションで探る渦巻き銀河の構造

発表者氏名 馬場淳一, 共著者氏名 斎藤貴之, 和田桂一, 牧野淳一郎,

天の川創成プロジェクトメンバー

所属名、国立天文台理論研究部

メールアドレス, baba.junichi@nao.ac.jp

**概要:** 我々は近傍の渦巻き銀河に普遍的に存在する渦巻き構造の正体を解明するため、恒星円盤と多相星間ガスから成る高分解能の数値シミュレーションを行った。従来のシミュレーションでは星間ガスを無視した恒星円盤のみの計算か、星間ガスを考慮したとしても 1 万 K の等温ガスを仮定した計算などと十分現実的なものではなかった。本研究により現実的な渦巻き銀河を初めて再現することに成功し、その結果、渦巻き構造は分裂、合体を繰り返す動的構造であることを確認した。本研究の結果は最近の VLBI 観測データからも支持される。今回はその結果を報告する。

## 1 はじめに

多くの円盤銀河の表面には美しい渦巻き構造(渦状腕構造)が存在し、多くの天文学者を魅了し続けてきた。渦状腕構造に関する研究は歴史の長く、教科書的にはその正体は「密度波」であるとされている(密度波仮説 [1])。しかし、この仮説には線形性(渦状腕構造は銀河円盤上の線形摂動)やパターン不変性の仮定が含まれており、現実の渦巻き銀河の観測と比較し検証するには不十分である。特に、パターン不変性の仮定に関してはその動力学的根拠は薄く、非定常計算(数値シミュレーション)で検証すべき重要な課題である。

## 2 モデルと計算方法

初期条件としては近傍円盤銀河の観測的特徴に基づいた軸対称な銀河円盤を仮定する。つまり、モデル銀河モデルは軸対称なスムーズな密度分布をする恒星円盤(N体)、恒星円盤の質量の 10% の質量に相当する星間ガスの円盤(SPH 法)、及びこれらを取り囲むように存在する球対称なダークマターハロー(固定ポテンシャル)から成る。考慮する物理プロセスは重力相互作用、輻射冷却、遠紫外線加熱、星形成、超新星爆発による加熱である。星間ガスの 20K までの輻射

冷却も考慮し、星形成条件も従来の銀河シミュレーションよりも現実的な星形成領域に近くなるように選んでいる。ただし、輻射冷却の計算では、衝突電離平衡状態のガスにおける冷却率をテーブルとして予め用意し温度の関数として参照する。さらに、遠紫外線加熱では輻射輸送を解かず、一様かつ定常な輻射場を仮定している。

数値シミュレーションには、共同研究者の斎藤貴之が独自に開発した MPI による分散並列 N 体/SPH コード”ASURA”を用いた[2]。ASURA ではツリー法と重力多体系専用計算機 GRAPE を組み合わせて自己重力の高速な演算を達成している。今回の計算では、重力計算に単精度 SSE2 で高速化するライブラリ(Phantom-GRAPE)を用い、通常の倍精度計算の 5 倍以上の高速化が実現されている。

## 3 シミュレーション結果

シミュレーションでは銀河円盤上の重力不安定により渦状腕構造が発生する。現実の渦巻き構造の観測的特徴は、渦状腕構造が外側で分裂し multiplicity の上昇、渦状腕構造に沿った星形成領域、複雑なフィラメント構造を伴った星間ガスの渦状腕構造、渦状腕構造に沿ったダストレーン(低温ガス)と星形成領域の分布の間のオフセット、などが挙げられる。図 1 に示すよう

にこれらの多くの特徴が本研究により自然に再現されている。

シミュレーションで得られた渦状腕構造はコントラストが高く、近赤外線観測で得られている数10%という高いコントラストと整合的であった。渦状腕構造は非線形な構造であることを意味する。また、渦状腕構造は内側ほど速く回転する差動回転を行っていた。これは渦状腕構造が巻き込まれていることを表している。しかし、渦状腕構造は分裂、合体といった「渦状腕構造のつなぎかえ」を銀河回転程度の時間尺度で繰り返すダイナミックな構造であり、「巻き込みのジレンマ」として古くから問題とされていたようなぐるぐる巻きの構造にはならない [3].

最後に、最近VLBI観測により銀河系内のメーザー源が標準的な理論(密度波理論)による予測よりも大きな非円運動を行っていることが示唆されている。我々のシミュレーションは、この大きな非円運動を自然に再現できている。動的渦状腕構造と多相星間ガスの非一様密度場により大きな非円運動が生じている可能性がある [4].

#### 4 まとめ

我々は渦巻き銀河の真の構造を明らかにするため、N体恒星円盤と多相星間ガスから成るself-consistentな系の数値シミュレーションを行った。それにより

- (1)現実的な渦巻き銀河の観測的性質を自然に再現
- (2)渦状腕構造は動的構造で分裂、合体を繰り返し長い間消えず維持される構造である
- (3)動的渦状腕構造と非一様星間ガスにより大きな非円運動が励起されている可能性がある。

などの結果が得られた。これらは従来の渦状腕構造の理解を大きく塗り替える可能性がある。

最後に、本研究では低温ガスまで取り扱っているため、輻射輸送計算により疑似観測(観測的可視化)を行うことで、次期高精度観測データ(e.g. ALMA)と直接的な比較が可能となる。これにより、これまでに提唱された渦巻き構造に関する理論モデルの検証とともに、数値シミュレーションに考

慮すべき物理過程やその数値的モデル化の吟味にも重要なフィードバックが得られると期待できる。

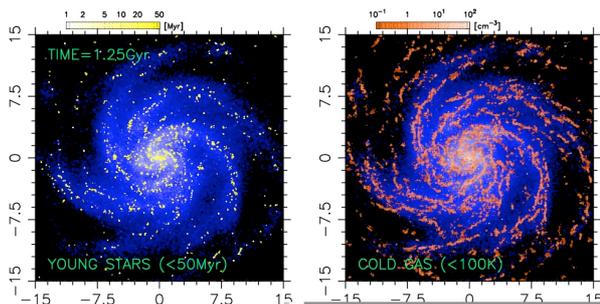


図1. 左: 恒星円盤上に生じた渦状腕構造(青色)の上に重ねた星間ガスから新たに形成された若い星の分布(黄色). 右: 左図と同様. ただし、低温ガスの分布を重ねた。

#### 参考文献

- [1] Lin, C. C., Shu, F. H., 「On the Spiral Structure of Disk Galaxies」, *Astrophysical Journal*, vol. 140, p.646, 1964
- [2] Saitoh, Daisaka, Kokubo, Makino, Okamoto, Tomisaka, Wada, Yoshida, 「Toward first-principle simulations of galaxy formation: I. How should we choose star formation criteria in high-resolution simulations of disk galaxies?」, *PASJ*, vol 60, p. 667, 2008
- [3] Baba et al. in prep.
- [4] Baba et al. 2009, 「The Origin of Large Peculiar Motions of Star-forming Regions and Spiral Structures of our Galaxy」, *ApJ* submitted