

課題名：GRAPE を利用した SPH モデルによる銀河進化の研究 (g03a11)

研究代表者 中里直人, 研究分担者 P.Berczik, C.Boily, & C.Szeting

我々のプロジェクトでは、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を応用したシミュレーションモデルによって、銀河の形成と進化について、国立天文台の GRAPE システムを使用した研究をおこなってきた。

プロジェクトの一部として、SPH シミュレーションによる天の川銀河のモデル構築をおこなってきた (Nakasato & Nomoto 2003)。計算結果を詳細に調べることで、天の川銀河中心部のバルジの形成過程や、定性的な性質を再現するモデル構築が可能になった。本年度は、銀河の形態の起源を、数値シミュレーションで銀河の形成過程を調べることで明らかにするために、同様の SPH シミュレーションによって、ガス粒子 $N_{\text{SPH}} \sim 25,000$ 、暗黒物質粒子 $N_{\text{dark}} \sim 25,000$ 程度による銀河モデルを 150 モデル計算した。計算をおこなった 150 の初期モデルは、以下のようなパラメーターで生成した。

- Λ -CDM cosmology with $\Omega_{\text{matter}} = 0.3$ and $\Omega_{\Lambda} = 0.7$
- Hubble constant $H_0 = 65 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
- CDM のパワースペクトラムを持つ密度揺らぎ
- $z = 0$ での $\sigma_8 = 1.0$
- 初期赤方偏移 $z \sim 24$
- バリオンの割合は質量の 10%
- 3σ の密度揺らぎに相当する球形領域
- 球の半径は $\sim 1.5 \text{ Mpc}$ (comoving unit),
- 重力のソフトニングは $\epsilon_{\text{SPH}} = \epsilon_{\text{star}} = 0.5 \text{ kpc}$, $\epsilon_{\text{dark}} = 1.0 \text{ kpc}$

各初期モデルには、初期条件として速度場に剛体回転を加え、結果として、モデルにより初期のスピンパラメーターは $0.11 - 0.15$ となった。また、モデルによって質量が若干異なり、 $5 - 7 \times 10^{11} M_{\odot}$ の範囲に分布している。星形成や化学進化に関するパラメーターは Nakasato & Nomoto (2003) と同じである。この 150 モデルについて $z \sim 1.3$ まで、さらにそれらから選んだ 50 モデルについては、現在まで ($z \sim 0$ まで) の化学力学進化計算をおこなった。

このような大量のモデルによる銀河シミュレーションはこれまでおこなわれておらず、計算結果は、数値シミュレーションで得られた銀河のカタログとして利用することができる。計算結果等は Web 経由でアクセスできるよう公開している (<http://www.astron.s.u-tokyo.ac.jp/~nakasato/CD/>)。上記 Web サイトでは、計算に使用した初期条件を生成するプログラムが公開されており、誰でも同じ初期条件を利用して研究が可能である。

いままで得られた結果としては: (1) 全モデルの星形成率を足し合わせることで、単位体積あたりの平均星形成率の進化を求めることができ、観測されている宇宙の星形成率史と比べると、宇宙初期 ($z > 2$) での星形成率が観測と比べて一桁以上大きくなることがわかった。これは、現在使用している単純化された星形成のモデルとパラメーターが、宇宙初期には適合しない可能性を示しており、これを改良するための研究をはじめている。(2) $z \sim 1.3$ において、形成された stellar

system を調べてみると、150 モデルのうち 99 モデルはディスク銀河と判定できた。初期に与えている各運動量が大きいと、どのモデルもディスク銀河になることが予想されるが、残りの 51 モデルはがディスク様を示さないのは、 $z \sim 1.3$ においては、モデルにより進化の度合いが異なることと、既に激しい merger がおきたモデルではディスクが壊されているためである。

以上のようなカタログを利用することで、天の川銀河のモデルに適した初期条件を選び、Nakasato & Nomoto (2003) よりも詳細な天の川銀河のモデル構築をおこなうことができるようになった。また、このカタログを利用すれば、複数の銀河が力学的に相互作用している系のモデル構築もできるようになる。相互作用している銀河の化学力学モデル構築はいままでほとんどおこなわれておらず、それは、初期条件として必要なガス、星、暗黒物質の三成分からなる consistent な銀河モデルを、a priori に作ることが困難である。我々のカタログから適当な銀河を選び、consistent な初期モデルとして利用することで、具体的には、ディスク銀河同士の相互作用の化学力学シミュレーションを開始している。特に、アンテナ銀河のように詳細な観測結果が得られている系のモデル構築することは、天の川銀河のモデル構築と同様に、今後重要になると思われる。

- Nakasato, N. & Nomoto, K., 2003, ApJ, 588, 842
- Nakasato, N., 2004, PASA, in press