

2000 年度前期大規模シミュレーションプロジェクト報告

プロジェクト題目：

多相星間ガスの大局的3次元流体モデルによる、銀河中心領域のガスダイナミクスの解明

課題番号： nkw10

研究代表者： 和田 桂一 (国立天文台) wadaki

研究分担者： 小山 洋 (国立天文台/東京大学) koyamahr

研究分担者： 幸田 仁 (東京大学) kodajn

活動的銀河中心核や爆発的星生成は、銀河形成や銀河の進化にとって、非常に重要なプロセスであるが、その発生の原因、進化過程については観測的にも、理論的にもわかっていないことが多い。これらの現象の理解には、特に、銀河中心から ~ 100 pc 以内の領域での星形成とガスダイナミクスを解明する必要があるが、これまで、星間ガスや星形成の適切な数値モデル (これくらいのスケールでは、銀河のシミュレーションで用いられるような等温近似などの単純なモデルは適さない) による研究はなかった。申請者らは、今回のプロジェクトで、星形成によるエネルギーフィードバックなどを取り込んだ、星間ガスおよび「より現実的」な2, 3次元数値流体モデルを完成させた (Wada & Norman 2001)。これにより、数 kpc スケール (3次元モデルでは数 100pc) のダイナミクスを、SN からの energy feedback を考慮して、pc スケールの空間分解能で追うことができるようになった。



図1：銀河中心ガスの密度分布のボリュームレンダリング表示

上の図は、銀河の中心から半径 50 pc 以内の multi-phase gas 3次元のシミュレーションの計算結果である ($512 \times 512 \times 32$)。2次元計算結果 (Wada & Norman 2001) と同様に clump/filament/hole から成る複雑な空間構造がみえる。ただし、2次元計算ではわからなかった「膜状」の低密度構造が filament 間に存在することがみてとれる。

また、上記のコードの2次元版を用いて、日本天文学会春季年会で「超新星爆発による星間ガスの力学的加熱効率について」という発表をおこなった。この結果については、*Astrophysical Journal* に投稿中である (Wada 2001)。超新星爆発は、星間ガスの構造に熱的、力学的、化学的に重要な寄与をしていることが知られている。ここでは、特に力学的な寄与について、すなわち、超新星爆発によって、星間ガスのダイナミクスがどのように影響されるか、について議論する。我々は、高精度の数値流体シミュレーションを用いて、 $\sim 100\text{pc}$ スケールでの星間ガスの速度分散の増加と超新星爆発からのエネルギー注入についての定量的な関係について明らかにした。

従来、どれだけの超新星のエネルギーが超新星残骸の kinetic energy に変換されるかという問題について、一様かつ静的な星間ガス中での、超新星残骸の進化の理論モデルあるいは数値シミュレーションによって調べられており、エネルギー変換率は局所的には、数%程度と見積もられている。しかし、星間ガスは一様、静的な媒質では明らかにない。また、超新星爆発による星間ガスへの大局的 ($\sim$ 数 100pc) な加熱効率はまったく不明であった。

我々は、現実的な輻射冷却を考慮した、高精度の2次元数値流体コードを用いて、自己重力ガス円盤の銀河スケールでの進化を pc スケールの分解能で追い、熱的不安定及び重力的不安定の非線形進化の結果、局所的な乱流的だが、大局的には安定な、多相の星間ガスの構造が得られることを明らかにした (Wada & Norman 1999)。このモデルでは、従来、パラメータとして与えていた、超新星による星間ガスの力学的加熱効率が、計算結果として得ることができる。数値計算結果を解析したところ、 100pc スケールで平均化した、力学的加熱効率は、 10^{-7} から 10^{-1} の間に広く分布し、しかもその分布関数は Log-Normal 関数でよく fit できること (平均値は、約 10^{-5}) が明らかになった。また、力学的加熱効率は、平均密度との間で弱い正相関があることもわかった。これらの結果は、従来、銀河形成のシミュレーション、semi-analytic model など、完全にフリーパラメータとして与えられてきた超新星爆発による星間ガスの加熱効率に、経験的な法則を与えるものである。

また我々は星間ガスの基礎的な進化を明らかにするために、衝撃波によって圧縮される星間ガスの進化を詳細に計算した。計算にはより現実的な加熱・冷却過程や熱伝導の効果を取り入れ、それらを分解できる高精度の2次元シミュレーションを行った。計算の結果、衝撃波圧縮層は熱的不安定性によって分裂し、分裂片は合体成長しより大きなガス雲に進化した。これらガス雲集合体は数 km/s の速度分散を伴っていた。このような微小雲の運動が星間ガスの基本的な性質であるとすれば現実に観測される数 km/s の速度分散を持った星間雲には微細構造を含んであることが示唆される。なお、この計算結果は研究分担者である小山の博士論文の一部として公表している (Koyama 2000)。

References

- Wada & Norman 1999, *ApJ*, 516, L13
- Wada & Norman 2001, *ApJ*, 546, 172
- Wada 2001, *ApJ*, submitted
- Koyama, H. 2000, Doctor Thesis, University of Tokyo