

2003年度大規模シミュレーションプロジェクト成果報告書

犬塚修一郎*, 小山洋†

Project ID:ysi04a

星間ガスと乱流

HI 雲や分子雲は乱流と呼ばれる大きな速度構造を持つことが観測から知られている。このような速度構造は様々なスケールで普遍的に存在しているので星間ガスの基本的な性質であると考えられている。一方で星間ガスは圧縮性・非粘性の近似が良く成り立っているため乱流のような運動は衝撃波散逸を伴って減衰してしまう。従って、乱流状態を維持させるためには何らかのエネルギーインプットが必要になる。その源としてもっとも寄与が大きいと考えられるのは超新星爆発である。超新星爆発による衝撃波圧縮によって星間ガスは大きな熱エネルギーを得ることができる。この熱エネルギーは輻射によってすぐさま宇宙空間へと解放されるが、輻射冷却の際に引き起こされる熱的不安定性によってその一部はランダムな運動エネルギーと転化する。このようにして得られた乱流的運動は超音速に達することがこれまでに調べられている [1]。この超音速の速度分散は衝撃波が去った後はどのような進化を遂げるのだろうか。Kritsuk & Norman (2002) は熱的不安定性で作られる乱流も時間と共に散逸することを示している [2]。しかし彼らの計算では熱的不安定性のスケールが分解されていないので結果には注意が必要である。

Field Condition

輻射冷却を伴う流体の計算では冷却タイムスケールと熱伝導タイムスケールが等しくなる空間スケールが特徴的なサイズとなる。“Field length” と呼ばれるこのスケールは熱的不安定性の特徴的なスケールであり、数値計算ではこのスケールを分解する必要がある。一次元の同様の計算によると Field length を少なくとも三メッシュ以上で分解しないと運動エネルギーの誤差が抑えられないことが分かっている [3]。熱伝導を無視することは Field length がゼロになることに相当し、どんなにメッシュを細かくしても数値解は収束しないことに注意しなければならない。

二相ガス乱流の飽和

我々は初期に乱流状態にあるガスの散逸過程を調べるために二次元の輻射冷却を取り入れた流体シミュレーションを行った。シミュレーションでは散逸項である熱伝導の効果を陽に解いている。初期に与える乱流は波数 $0 < |k| < 8(2\pi/L)$ の速度揺らぎをランダムに与え、速度揺らぎによるエネルギーはガスの全エネルギーの 21% とした。計算領域の大きさは 0.3pc とした。本計算の温度、密度では Field length の最小値は 0.003pc

となるので Field Condition を満たすには 300 メッシュ以上とればよい。

Figure 1 は全計算領域の運動エネルギーの総和を時間の関数にプロットしたものである。初期では運動エネルギーは弱い衝撃波等で減衰する。6Myr をかけてガスは熱的不安定性によって高温相と低温相に分離する。その後、運動エネルギーは一定のレベルを保ったまま持続することが分かった。この時の運動エネルギーは熱エネルギーに比べて約 1%、速度分散の平均値は約 0.4km/s であった。このように超音速には達しないものの亜音速の速度分散が長時間持続されることがわかった。この結果は Krutsuk & Norman (2002) の結果と相反する。

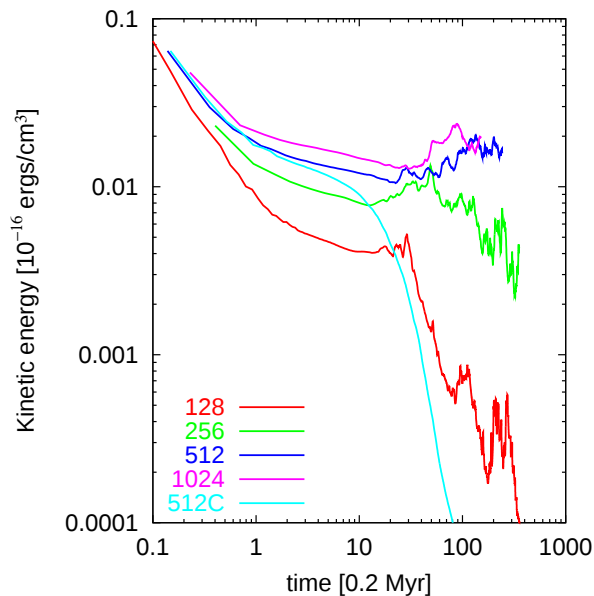


Figure 1: 運動エネルギーの時間進化。512 メッシュ以上の計算で運動エネルギー飽和がみられる。

References

- [1] ‘An Origin of Supersonic Motions in Interstellar Clouds’ Koyama, H. & Inutsuka, S. 2002, ApJ, 564, L97
- [2] ‘Thermal Instability-induced Interstellar Turbulence’ Kritsuk, A. G. & Norman, M. L. 2002. ApJ, 569, L127
- [3] ‘The Field Condition: A New Constraint on Spatial Resolution in Simulations of the Nonlinear Development of Thermal Instability’ Koyama, H. and Inutsuka, S. 2004, ApJ, 602, L25

*京都大

†神戸大