

X29a 強いショックを SPH で扱うための独立時間刻み法の改良

齋藤貴之、牧野淳一郎 (国立天文台)

天文学のシミュレーションでは極めて広い時間空間スケールを同時に扱うため、粒子ごとに異なる時間刻み幅をもたせる独立時間刻み法が広く用いられている。独立時間刻み法を用いると、厳密にはニュートンの第三法則を破ることになるが、十分な精度をもたせてシミュレーションを行えば通常問題はない。一般に銀河形成シミュレーションでは、ガス粒子、星粒子、暗黒物質粒子すべてに独立な時間刻み幅を与えて時間積分する。

しかし、低温高密度ガスまで分解した高分解銀河形成シミュレーションで独立時間刻み法を用いていると、超新星爆発などの強いショックが発生しているところで第三法則の破れが顕著になる。具体的には、低温ガス (~ 10 K) で超新星爆発が発生すると、その領域のガスが 10^{6-7} K まで一瞬で加熱される。これにより時間刻み幅がおよそ 1000 分の 1 程度にまで短くなる。超新星爆発による星間ガスの膨張をシミュレーション中で表現するためには、この短い時間刻み幅に対応できなければならない。しかし、通常の独立時間刻み法では、各粒子の時間刻み幅は各ステップの最後に補外によって決められているため、時間刻みの途中で近傍で超新星爆発が発生しても対応できない。その結果、膨張を正しく追えず、また非常に大きなエネルギーエラーが生じる。

そこで我々は、各粒子は毎ステップ自分の時間刻み幅を相互作用している粒子と交換し、すべての粒子について補外で求めた時間刻み幅より十分短い時間刻み幅をもつ粒子が相互作用スケールいる場合には自身の時間刻み幅もそれに合わせて短くするようにした。これにより第三法則の大幅な破れを抑えることができ、点源爆発のテストで、独立時間刻み法を用いない場合の結果と遜色のない結果を得られるようになった。このような状況は銀河形成シミュレーションにおいてしばしば起き得るため、極めて重要な改良になる。