

原始惑星系円盤の運動に対して SPH 法の適用した際に生じる問題点とその解決法

The problem and its solution of SPH calculation for protoplanetary disks.

今枝 佑輔[1], 犬塚 修一郎[1]

Yusuke Imaeda[1], Shu-ichiro Inutsuka[2]

[1] 国立天文台・理論

[1] NAOJ, DTAp, [2] DTAP, NAOJ

PH 法(Smoothed Particle Hydrodynamics 法)は、天体物理学の分野では比較的良く使われる流体数値計算手法の一つである。本発表では、原始惑星系円盤の運動のようにシアーを含む運動に対して、この SPH 法を適用した場合に生じる問題点について明らかにし、その解決策を複数提示し比較検討する。

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法は、個々に広がりを持った粒子を使って、流体運動をラグランジュ的に記述する数値計算手法である。その特徴として、系全体の質量・運動量・角運動量が時間発展に対して厳密に保存される点があげられる。また、時間発展とともに密度が濃くなる領域では、流体運動に乗って粒子が集まってくるため、自動的に高い空間分解能が実現されるという特徴も持っている。そのため、宇宙物理学の分野では、比較的よく使われる計算手法の一つとなっている。

本発表ではまず、原始惑星系円盤のダイナミクスを調べるのに SPH 法を使った場合に生じる問題点について紹介する。これは、SPH 法を使って 1 ケプラー時間を越える時間進化を計算すると、密度分布に大きな数値誤差が現れ、正しい計算結果を与えないというものである。その誤差 ϵ は 1 以上、時には 10 に迫る場合もある。

更にこの問題は、純粋なシアー運動の計算でも生じる。例えば、密度・温度が一定な領域を考え、境界は周期境界にする。そして流体の初期の運動として、y 方向に周期的なシアー流を考える。この初期流れの時間発展は、初期状態がそのまま保たれるというのが正しい解である。しかし従来の SPH 法による計算で、この解を実現することは難しい。原始惑星系円盤の計算と同様に、1 ダイナミカルタイムスケールを越えた時刻では、密度分布に factor 1 以上の数値誤差を生じてしまう。従って、この問題は原始惑星系円盤の運動に限ったものではなく、シアーを含む問題を 1 ダイナミカルタイムスケールを越えて計算する際には必然的に生じる問題であることがわかる。

我々はこのような問題点を踏まえ、その解決策を複数検討する。その一例として、密度の求め方を変更し、流体の連続の式を露わに解くという方法も含めて議論する。