

SPH法による星形成のシミュレーション

Simulation of the formation of star using smoothed particle hydrodynamics method

佐藤祐子, お茶大人間文化, 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1, yuko@ns.is.ocha.ac.jp

河村哲也, お茶大人間文化, 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1, kawamura@ns.is.ocha.ac.jp

桑原邦郎, 宇宙科学研究所, 229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1, kuwahara@pub.isas.ac.jp

Yuko SATO, Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University,

2-1-1, Otsuka,Bunkyo-ku,Tokyo 112-8610, JAPAN

Tetsuya KAWAMURA, Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University,
2-1-1, Otsuka,Bunkyo-ku,Tokyo 112-8610, JAPAN

Kunio KUWAHARA, The Institute of Space and Astronautical Science,
3-1-1, Yoshinodai,Sagamihara-shi,Kanagawa 229-8510, JAPAN

The interaction between isothermal interstellar clouds is simulated in this study by using smoothed particle hydrodynamics(SPH) method. Initial density distribution of the interstellar is assumed to be uniform. The number of the particles employed in this simulation is 1000. Clustering of the particles takes place after 50000 steps showing the formation of the star from the isothermal clouds.

1. はじめに

星は自己重力系である星間ガス雲が、ある外的要因により重力不安定となり、収縮を始めることによって形成される。

本研究ではその過程を SPH 法を用いて 3 次元シミュレーションを行う。

2. SPH 法

SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法は 1977 年に Gingold⁽¹⁾らによって始められた圧縮性流体に対する粒子を用いた解法である。この計算法は、ラグランジュ法のように流体を分割し、その流体素片の運動を追うものであるが、その分割のしかたに特徴がある。各流体素片を広がりをもつ粒子とし、それらが互いに重なり合うことによって集合体として流体を記述する。

物理量はその粒子の存在する点で代表し、それを平均化関数（カーネル）によって平均化して表す。本研究では平均化関数 W としてガウス関数を用いる⁽²⁾。

平均化関数

$$W(x, h) = (1/\sqrt{\pi}h)^3 \exp(-x^2/h^2)$$

また、これを用いて位置 x における流体の密度を表すと、

$$\langle \rho(x) \rangle = \sum_{j=1}^n m_j W(x - x_j, h)$$

となる。ここで、 h は平均化関数の広がりを表し、 m_j は位置 x_j の j -粒子の質量である。

3. 基礎方程式

SPH 法では粒子の質量は保存しているので連続の式は自動的に満足される。運動方程式は、

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P - \nabla \psi - \epsilon Q$$

で表され、ここで、 ψ は重力ポテンシャルで、 ϵQ は衝撃波を安定に扱うために必要な人工粘性項である。

重力ポテンシャルは、以下のように表される。

$$\psi(x_i) = G \sum_{j=1}^n m_j \int \frac{W(x' - x_j, h)}{|x_i - x'|} dx'$$

4. 計算モデル

初期の星間ガス雲の密度分布は一様で、非粘性とし、形状は球状のものを考える。また、星間ガス雲から星が形成する過程は等温であるとする。

状態方程式はボリトロープの関係式、

$$P = K\rho^{1+\gamma/N}$$

で表す。ここで N はボリトロープ指数である。 N のかわりに比熱比 γ を用いると、

$$\gamma = 1 + \frac{1}{N}$$

と表される。本研究では等温過程として $\gamma = 1$ を用いる。

時間積分は、粒子に働く力と速度をもとに 4 次精度のルンゲクッタ法を用いる。

5. 計算結果

上記の初期条件から粒子が重力により収縮する過程を計算した。Fig.1 は初期に回転なしの場合の約 50000 ステップ後の粒子分布である。

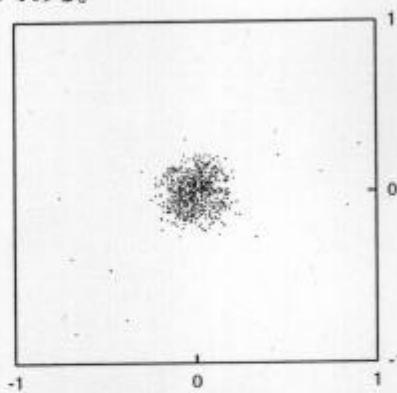


Fig. 1 x-y plane particle distribution (50000 steps).

参考文献

- (1) R.A.Gingold, J.J.Monaghan, "Smoothed particle hydrodynamics : theory and application to non-spherical stars" Mon. Not. R. astr. Soc., 1977, 181:375-389.
- (2) J.J.Monaghan, "Smoothed Particle Hydrodynamics" Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1992, 30:543-74.