原始星形成の 1 次元数値計算

山田龍

2021 年 1 月 24 日

1 Introduction

1.1 星形成の概要

1.2 課題

2 Related Work

3 基礎理論

3.1 基礎方程式

この論文では、自己重力と放射を入れた方程式を解く。支配方程式は以下のようになる：
連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial \rho v_i}{\partial x_i} \tag{1}$$

運動方程式

$$\frac{\mathrm{D} v_i}{\mathrm{D} t} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} - \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \tag{2}$$

エネルギー方程式

$$\frac{\mathrm{D} e}{\mathrm{D} t} = -\frac{p}{\rho}\frac{\partial v_j}{\partial x_j} + \Gamma - \lambda \tag{3}$$

3.1.1 連続の式の導出

3.1.2 運動方程式の導出

3.1.3 エネルギー方程式の導出

3.2 ビリアル定理

3.2.1 ビリアル定理の導出

3.2.2 負の比熱

3.3 エムデン方程式

球対称ガス球の平衡状態はエムデン方程式によって記述される。

3.4 等温球の崩壊

3.5 逃走的収縮

3.6 重力不安定性

中心部分の進化はどんどん速くなる。周囲が取り残されて中心だけが逃走的に収縮する。中心部分の大きさはジーンズ長程度。中心部分の質量。

3.7 放射

3.8 1st コアの形成

3.9 解離と電離の効果

3.10 2nd

4 衝撃波

4.1 衝撃波

4.1.1 ランキンユゴニオ

4.2 衝撃波の性質

4.3 エントロピージャンプ

4.4 衝撃波の大きさ

5 計算手法

5.1 差分方程式についての一般論

5.2 クーラン条件

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \tag{4}$$

波の伝播を表す線形移流方程式について考える。移流速度を c として方程式は (4) のようになる。この方程式の解は、$u = f(x - ct)$ の形で得られ、$c > 0$ ならば x の正の方向に、$c < 0$ ならば x の負の方向に伝播する解になる。この方程式を $c > 0$ のときに風上差分法で差分化して数値的に解くことを考える。上付き添字を時刻、下付き添字を座標に関するインデックスとおいて、

$$\frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\Delta t} = c\frac{u_j^n - u_{j-1}^n}{\Delta x} \tag{5}$$

と書ける。したがって、u は時間方向において

$$u_j^{n+1} = u_j^n + c\Delta t\frac{u_j^n - u_{j-1}^n}{\Delta x} \tag{6}$$

と更新される。クーラン条件と呼ばれ、Courant-Friedrichs-Lewy 条件の略称として CFL 条件と書かれることもある。これは 1 ステップの情報の伝達距離が格子幅を超えないという条件である。4 次中心差分法での CFL 条件

5.2.1 フォン・ノイマンの安定性解析

クーラン条件が満たされていることは、数値計算が安定であることを保障しない。中心差分法、風上差分法において、安定性を考える。

5.3 人工粘性

5.4 差分化

5.5 陰的計算

6 結果

7 結論