

First Core 形成： 非軸対称進化と角運動量輸送

西合 一矢（名大 理/国立天文台），松本倫明（法政大学），花輪知幸（名大理）

星は星間ガスが重力収縮することで形成される。星間ガスは、等温のまま暴走収縮するが、ある密度を超えると断熱的となり first core が形成される。first core は準平衡状態であるため比較的長いタイムスケール存在する。その密度構造や周辺ガスとの角運動量のやり取りは、形成される原始星/原始星ガス円盤に大きな影響を与え重要である。

3次元数値シミュレーション

我々は、first core の形成・進化を3次元数値シミュレーションを用いて計算した。ガスの温度変化は、ポリトロップ $P = K\rho^\gamma$ を使って近似した。このとき、 $\rho \leq \rho_{\text{crit}}$ の場合 $\gamma = 1$ 、また、 $\rho > \rho_{\text{crit}}$ の場合 $\gamma = 7/5$ とした ($\rho_{\text{crit}} = 10^{-13} \text{ g cm}^{-3}$)。初期状態は、Saigo & Hanawa (1998) の回転しつつ落下しているガス円盤進化の自己相似解で、中心ガスが断熱的となる寸前のものを使った。境界からの質量・角運動量流入も Saigo & Hanawa 解にしたがって時間変化させた。これらの工夫により、大きなスケールのガス円盤から落下してくるガスの質量・角運動量をうまく計算に取り入れつつ、200AUスケールを高分解能 ($\Delta x < 1\text{AU}$) で計算できた。非軸対称揺らぎは、モード m の振幅 a の密度揺らぎ、 $\delta\rho = a\cos(m\theta)$ 、を与えた。

first core 進化ヒストリー

典型例として、 $m = 2, a = 0.01$ モデルの進化を示す。圧力平衡な first core が形成されると、その後大きな角運動量のガスが降着していく。約1000年かかって、first core は半径が $\approx 10\text{AU}$ の回転平衡となった。図1 a は、 $t = 1160 \text{ yr}$ の赤道面上の密度分布である。内側は剛体回転しており、 $m = 2$ モードの非軸対称に変形しバーが形成されている。その外側は差動回転している。このとき、角運動量が圧カトルクを通じて内側の变形領域から外側へ輸送される。 $t = 1440\text{yr}$ では、角運動量をもった first core 外縁部は、遠心力によって周辺の回転落下ガス中に広がって2本腕を形成する（図1 b）。逆

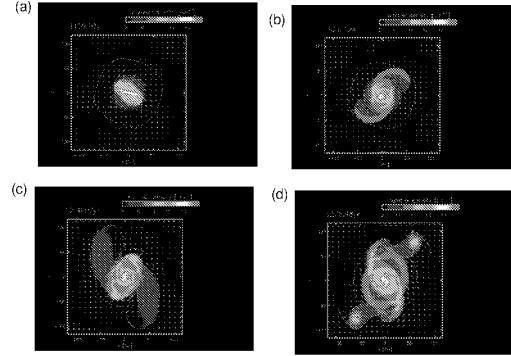


図 1: 赤道面上の密度分布

に中心部の高密度バーは角運動量を失い収縮し比較的円くなる。図1 c の $t = 2290 \text{ yr}$ となると、2本腕が first core に落下して再び比較的円い first core となっている。図1 d は、 $t = 3276 \text{ yr}$ の時の密度分布である。2度目に形成された腕の先端がちぎれてクランプを形成している。その後、同様な変形角運動量輸送のメカニズムが約1000年の周期で繰り返され、角運動量輸送と質量降着が起こった。

コアの非軸対称変形の線形成長率

first core の進化では、非軸対称の変形が重要となる。変形の時間進化は、相対振幅を使って調べることができる。相対振幅とは、 $\delta R/\bar{R}$ である。ここで \bar{R} とは、等密度線の平均半径、また δR とは等高線の変形振幅である。これによると first core は、初期は非軸対称揺らぎに対して安定である。しかし、 $t = 300 \text{ yr}$ から $m = 2$ モードの線形進化段階となる。この線形成長は、

$$\frac{\delta R}{\bar{R}} \propto e^{t/\tau}, \quad \tau = 75\text{yr} \left(\frac{\rho_{\text{crit}}}{1 \times 10^{-13} \text{gcm}^{-3}} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

であった。First core の相対振幅の進化は、その他のモデル (m, a) についても計算した。いずれも $m = 2$ の進化が他のモードに比べ卓越し2本腕が形成された。そして、線形成長率 (1) は、揺らぎの与え方や境界条件には依存せず不変であった。