

ファーストコアの進化トラックと光度変化

・西合 一矢 (国立天文台 saigo@th.nao.ac.jp), 富阪幸治 (国立天文台) .

星は分子雲子コアが暴走収縮することで形成される。その過程で中心密度が $n_{H_2} \simeq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ を越え光学的に厚くなると準平衡天体であるファーストコアが形成される。球対称計算による『標準的星形成シナリオ』では、ファーストコアは周囲からの質量降着により質量増加しそれに伴い中心密度も増加する。そして、質量が約 $0.01 \sim 0.02$ 太陽質量を越えると、重力崩壊 (second collapse) を起こし星コア ($n_{H_2} > 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) へと進化する。しかし、一般的にはガス雲は角運動量を持ちそのためファーストコアが多様な進化をする (Matsumoto&Hanawa2003)。本研究では、回転ガス雲から形成されたファースト・コアの進化経路を包括的に明らかにした。

角運動量を持つファーストコアは、回転し平衡状態にある断熱ガス円盤とみなすことが出来る。ファーストコア進化は、角運動量を伴う質量降着によって、少しずつ質量と角運動量を増やしながら平衡状態が変化する進化とみなせる。我々は、回転断熱ガスの平衡状態を、Hachisu's Self-Consistent Field Method (SCF) を用いて計算した (Hachisu 1986)。ガス熱的進化に関してはポリトロップを用いて近似的に扱った (e.g. Bate 1998)。角運動量分布は剛体回転一様球と同じ $j(M(R)) = \frac{5}{2} \left(\frac{J_{\text{core}}}{M_{\text{core}}} \right) \left\{ 1 - \left(1 - \frac{M(R)}{M_{\text{core}}} \right)^{2/3} \right\}$, を用いた。ここで、 R と M_{core} は円柱半径とコア質量である。

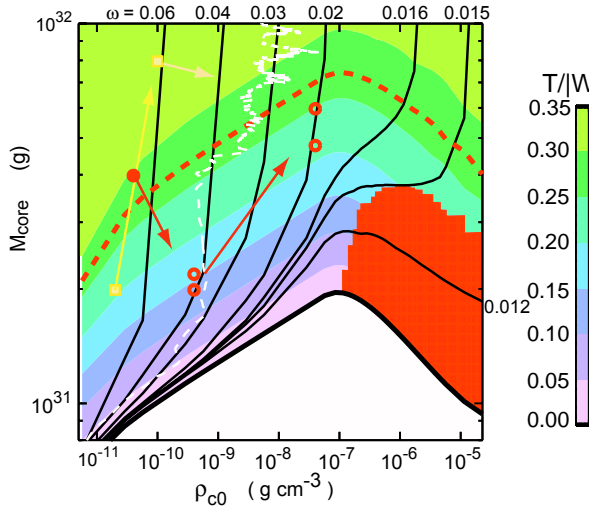


図1. ファーストコアの進化トラック。中心密度-質量ダイアグラム。

図1は、さまざまな中心密度に関して、さまざまな M_{core} のファーストコアを計算した結果である。カースケールは回転エネルギーと重力ポテンシャルエネルギーの比 $T/|W|$ を表している。解は2次元的に存在するが、降着ガスの角運動量を決めれば進化トラックが得られる。一番下の太い実線は、角運動量が0の球対称進化である。密度が $\rho_{c0} \simeq 10^{-7} \text{ g cm}^{-3}$ で平衡解トラックの傾きが負となりファーストコアが重力不安定を起こす。これは、 $\rho_{c0} = 5.7 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-3}$ で水素分子解離によりガス温度上昇が鈍ることが原因である。

回転がある場合、多次元計算から降着ガスの比角運動量は内部質量にほぼ比例 ($j_{\text{core}} \propto M_{\text{core}}$) する傾向があることが示唆されている。よって、回転パラメータを

$$\omega \equiv \frac{\sqrt{2}c_{\text{iso}}}{G} \frac{J_{\text{core}}}{M_{\text{core}}^2}, \quad (1)$$

と導入する。ここで、 G と c_{iso} は重力定数と分子ガス雲の等温音速であり無次元化のために導入した。 $\omega = 0, 0.012, 0.015, 0.016, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06$ の場合の進化トラックを図1中の実線で示した。ここで白線は Matsumoto&Hanawa(2003) の3次元計算結果であり、ほぼ実線に沿った進化をしていることがわかる。

回転がある場合はファーストコアがより重くなることが分かる。平衡進化パスの傾きが負となる重力崩壊 (Second Collapse) 領域は濃いグレーで示した。ここで重要なことは、 $\omega > 0.015$ の場合、ファーストコアが重力崩壊 (Second Collapse) の領域に入ることができず、進化パスはほぼ垂直になっていることである。これは質量降着によって質量が上昇しても中心密度が上昇できないことを意味している。通常分子雲コアは $\omega = \times 0.1 - 0.04$ の回転運動があることが観測的に示唆され普通はこのような進化となる (Goodman et al. 1993)。 $\omega < 0.015$ という考えられないくらい極めて小さな回転の場合に限ってはほぼ球対称シナリオ的な進化となる。このように、角運動量によりファーストコアの密度上昇が押さえられファーストコアの寿命は標準モデルの ~ 1000 年より1桁程度長くなる可能性がある。この場合、進化段階後期では非軸対称不安定で分裂やバー状構造への変形などを起こす。図1の破線 ($T/|W| = 0.273$) より上で非軸対称不安定を起こす。

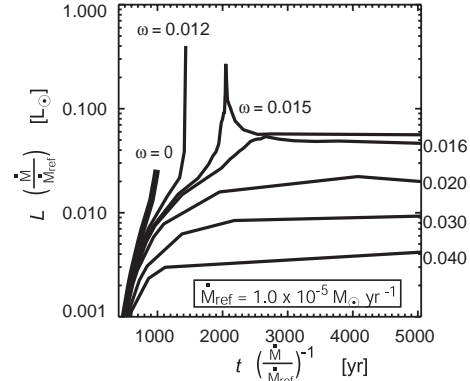


図2. ファーストコアの光度進化トラック。

図2は、質量降着による重力、力学、熱的エネルギーの変化から計算した光度進化である。光度進化は、質量降着率に比例し、タイムスケールは逆比例する。 $\omega = 0, 0.012$ の球対称的進化の場合は1000年のタイムスケールで光度が一気に上昇し、その後重力崩壊する。しかし、通常はファーストコアは、数千年にわたって超低光度 ($L \sim 0.001 - 0.01 L_{\odot}$) を保つ。

本研究は、非軸対称不安定発生後の進化や磁場による角運動量輸送については、追跡していない。これらを行うには大規模な3次元計算や(非)MHD的計算を行う必要がある。