

## ガスエンベロープの降着による連星の種の成長

森井健翔 (茨城大学)

利用カテゴリ    利用カテゴリ XC-MD

宇宙空間で形成される星々の多くが連星として存在しているということが Ghez(1993) や Simon(1995) など観測的に示唆されている。連星形成のシナリオの一つとして、連星の種への周囲のガスエンベロープの降着によるものがある。分子雲コアの重力崩壊の結果、高密度な領域において断熱コアが連星の種として形成され、残った周囲の等温ガスが降着し質量を増やしていくというものである。連星の種へのガスエンベロープの降着に関する先行研究として、Satsuka et al. 2017 がある。彼らは、連星の種にエンベロープが降着した時の連星の種の質量比の成長が初期の質量比に比べてどうなるかを 3次元 SPH 法を用いて調べた。エンベロープの密度分布と角運動量分布を考慮し非定常な星形成を想定した数値計算を行なった。彼らの研究では、重力を連星の種の重力のみとしたことで連星の種の成長の初期段階に着目した計算を行っていた。しかし、現実にはガスの質量は連星の種の質量よりも大きいため、最終的に形成される連星の質量比や連星間距離などは、降着エンベロープの影響を受けるものと考えられる。そこで、我々は連星の種が連星へと成長するまでの長期的成長を調べるために降着ガスの自己重力を考慮した計算を行い、連星の形成における物理過程について調べた。数値計算には、3次元 SPH 法を用いた数値計算コードである Gadget2 (Springel 2005) を用いた。

### モデル

ガスエンベロープの降着による連星の種の成長を調べるために初期状態のモデルとして連星の種とその周囲のガスエンベロープを仮定した。エンベロープについては分子雲コアの中心の一部を想定し、エンベロープの質量  $M_{\text{gas}}$  を最大で初期の連星の種の質量の 40 倍とした。エンベロープには、質量密度分布  $\rho \propto \varpi^{-2}$ 、角運動量分布  $j \propto \varpi$  を与えた (Satsuka et al.2017)。また、ガスは等温を仮定した。連星の種については、エンベロープの中心領域をくりぬいて、その領域内の質量と角運動量が保存するように作った。連星の種は SPH 粒子の集まりとして球状一様密度分布で作成し、種の大きさをロッシュローブ程度とした。種の質量比は  $q_0 = 1$  とした。種の重心の初速度としてはケプラー速度を与え、更に重心周りの自転速度を考慮した。連星間距離  $a_0$  は、重力ソフトニング半径  $\varepsilon$  によって  $a_0 = 20\varepsilon$  で決めた。

### 結果

上記のモデルのもとで 3次元 SPH 法を用いて数値流体計算を行った。ここではその結果の一部を報告する。

図 1、2 に連星の種の質量と角運動量の成長を示す。図の横軸の  $T$  は初期の連星の種の速度で見積もられた周期である。連星の種は質量  $\tilde{M}_b \propto t$ 、角運動量  $\tilde{J}_b \propto t^2$  で成長し、 $\tilde{M}_b$  と  $\tilde{J}_b$  の関係は以下になることがわかった。

$$\tilde{J}_b = \tilde{M}_b^2 \quad (1)$$

ただし、付きは初期値で規格化された物理量を表すとする。また、質量、角運動量共に  $t = 25T$  以降でほとんど一定値となることがわかった。

連星間距離の成長を図 3 に示す。連星間距離は  $a \propto t$  で時間に比例して大きくなってゆき、その成長は Satsuka et al. 2017 で議論されている半解析解によく一致することがわかった。また、連星間距離の成長も  $t = 25T$  以降では平均としてはほとんど一定値となることがわかった。

## 議論

連星の種の角運動量は種の軌道角運動量  $\tilde{J}_{\text{orb}}$  と円盤のスピン角運動量  $\tilde{J}_{\text{spin}}$  を用いて

$$\tilde{J}_{\text{b}} = \tilde{J}_{\text{orb}} + \tilde{J}_{\text{spin}} \quad (2)$$

と表せる。連星間距離の成長は半解析的に以下のように表せることがわかった。

$$\tilde{a}(t) = \left( \frac{q(t)}{q_0} \right)^{-2} \left( \frac{1+q(t)}{1+q_0} \right)^4 \frac{\tilde{J}_{\text{orb}}^2(t)}{\tilde{M}_{\text{b}}^3(t)} \quad (3)$$

式 (3) では Satsuka et al. 2017 とは異なり、角運動量には種の全角運動量ではなく種の軌道角運動量を用いている。こうすることで式 (3) と数値計算結果がよく一致することがわかった (図 3)。図 4 に示すように  $\tilde{J}_{\text{orb}}$  と  $\tilde{J}_{\text{spin}}$  の比は

$$\tilde{J}_{\text{spin}}/\tilde{J}_{\text{orb}} \simeq 0.45 \quad (4)$$

と一定値に近づくこともわかった。式 (1),(2),(4) を用いて式 (3) は

$$\tilde{a}(t) = 0.48\tilde{M}_{\text{b}}(t) \quad (5)$$

と表せる。これは、エンベロープの質量降着が続き種の質量が増加し続けると連星間距離も増加し続け、エンベロープの降着が止まり種の質量が一定となれば連星間距離の成長も止まることを示している。これらの特徴が図 1、2、3 に現れていることが確認できる。

## 参考文献

- [1] Ghez A. M., Neugebauer G. and Matthews K., 1993, *Astron. J.*, 106, 2005
- [2] Simon, M. and Prato, L., 1995 *Astrophys. J.*, 450, 824
- [3] Satsuka, T., Tsuribe, T., Tanaka, S., & Nagamine, K. 2017, *mnras*, 465, 986

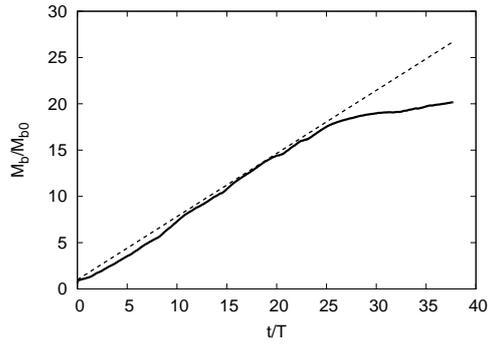


図 1: 連星の種の全質量 ( $\tilde{M}_b$ ) の成長。実線: 本研究の数値計算結果。点線:  $\tilde{M}_b \propto t$ 。

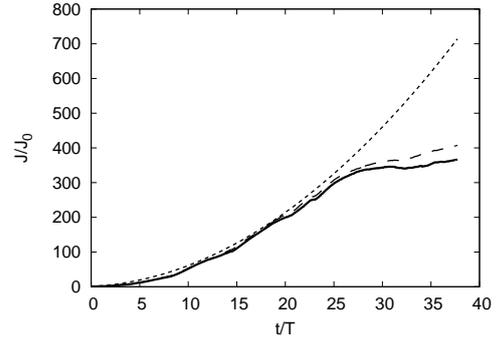


図 2: 連星の種の全角運動量 ( $\tilde{J}_b$ ) の成長。実線: 本研究の数値計算結果。破線:  $\tilde{J}_b = \tilde{M}_b^2$ 。点線:  $\tilde{J}_b \propto t^2$ 。

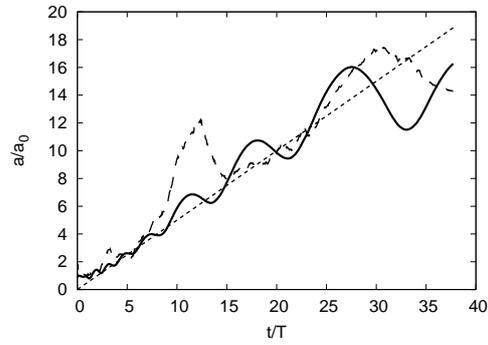


図 3: 連星間距離の成長。実線: 本研究の数値計算結果。破線: 連星間距離の半解析解 ((3) 式)。点線:  $\tilde{a} \propto t$ 。

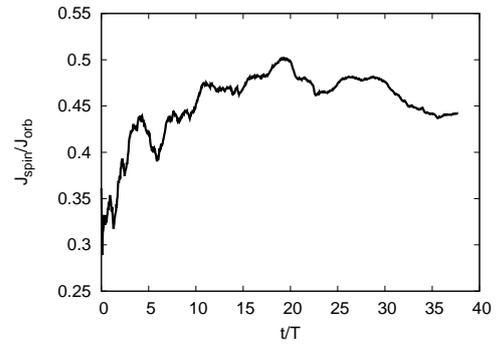


図 4: 連星の種の軌道角運動量 ( $J_{\text{orb}}$ ) と星周円盤のスピン角運動量 ( $J_{\text{spin}}$ ) の比の時間発展。