

初代星形成における原始星周りの円盤進化

木村 和貴 (京都大学基礎物理学研究所)

利用カテゴリ XC-MD

これまで初代星の形成過程について多くの研究が為されてきたが、原始星の周りに形成される円盤が重要な役割を果たすことがわかっている。例えば、円盤の分裂による降着率の大きな変化により中心星の進化が影響を受けたり、あるいは分裂片が星になることで連星や多重星などが形成される。このような円盤の進化を追うには3次元のシミュレーションを用いることが理想的だが、計算資源の問題から、長時間に渡る円盤の安定性などは1次元の定常円盤モデルを用いて議論されることも多い。しかし、これまで議論されてきた初代星周りの円盤モデルは重力トルクにより分裂を抑える傾向がある一方で、3次元シミュレーションでは激しい分裂が多く見られている。したがって、1次元モデルによる議論がどれほど妥当なのかが定かではない。これらの状況を踏まえ、本研究ではエンベロープからのガス降着を考慮したより現実的な円盤の1次元非定常モデルを作成し、またモデルの妥当性を確認するため3次元シミュレーションによる円盤構造と比較するということを行った。

3次元シミュレーションに関してはメリーランド大学の杉村氏が開発した初代星形成における輻射輸送と始原ガスダイナミクスを追跡するのに必要な加熱/冷却過程・化学ネットワークを組み込んだAMRコードSFUMATO[1][2]を用いた。計算には国立天文台のXC50を用いた。

モデルとシミュレーションの比較

シミュレーションの宇宙論的初期条件から形成されるエンベロープのプロファイルを平均して1次元に焼き直すことでモデルからどのような円盤が形成されるのかを調べ、モデルとシミュレーションの結果を比較した。図1は実際にモデルとシミュレーションの円盤の温度と水素原子核の数密度を表した図である。

まず、モデルとシミュレーションで、円盤の半径や密度はおおよそ一致していた。また、円盤の外側では水素分子による冷却で温度が1000K程度に保たれること、内側では輻射による冷却が効きづらくなり温度が 10^4 K以上になるという大まかな構造も一致していた。

一方で、温度に関してはシミュレーションの方が若干高い傾向があった。これに関してはシミュレーションではエンベロープからのガス降着によるcompressional heatingが効いている可能性などが考えられるが、今後詳しく調べていく。

さらに、時間が立つとシミュレーションでは円盤の外縁の方で円盤が分裂するが、この時モデルでは重力トルクによりQ値は1より小さくならないように抑えられている。これは、これまで1次元モデルで円盤分裂の指標として考えられていたToomreのQ値が良くないことを示唆している。原因としては、Toomreの安定性解析が適用できない円盤になっていることが考えられる。具体的には、円盤の質量が中心星の質量と同等になっている、形成される渦状腕がきつく巻

きついていない、エンベロープが降着してきている、などである。

今後は1次元モデルの改善点や、あるいは多次元の効果が効いてきて1次元モデルで議論できないような状況になるのはどのような場合かについて調べていく。

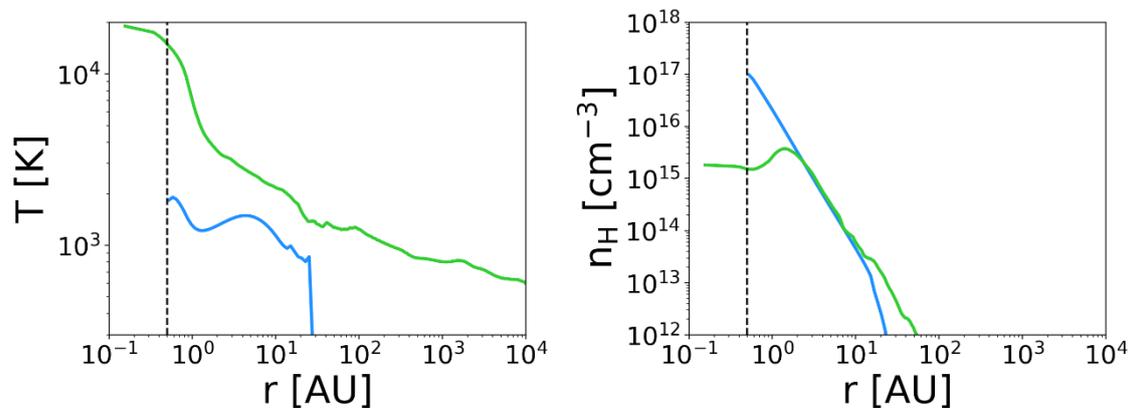


図1 円盤形成が始まってから約100年後のモデルとシミュレーションの円盤の物理量。横軸は半径で、縦軸は温度(左図)と水素原子核の数密度(右図)を表している。青線がモデルの結果で、緑線がシミュレーションの結果。この時の円盤半径はモデルとシミュレーション共に30AU程度。シミュレーションのシンク半径は0.5AUでシンクの影響で円盤内縁の密度が減少している。

【参考文献】

- [1] Matsumoto, T., 2007, PASJ, 59, 905
- [2] Sugimura et al., 2020, ApJ, 892, 892