

原始惑星系円盤の光蒸発シミュレーション:中心星質量依存性

駒木彩乃 (東京大学)

利用カテゴリ XC-Trial

以下に成果の概要を記入してください。ページ数に上限はありませんが、最終的に提出される PDF のファイルサイズの上限は 2 MB です。

Summarize your achievement in this document. Though there is no page limitation, eventual size of the file must not exceed 2 MB in the PDF format.

分子雲の重力収縮によって原始星が作られ、その周りには幾何学的に薄いケプラー円盤が形成される。この円盤を原始惑星系円盤と呼ぶ。円盤は寿命を持ち、有限の時間で消失する。惑星系は円盤内部で円盤物質 (ガス・ダスト) を材料として形成されるため、円盤寿命は惑星形成に直接的な時間制限を与える。また、惑星軌道は惑星と円盤との力学的相互作用によって動径方向に移動するので、円盤進化は惑星系構造の決定に寄与する。

太陽系近傍星形成領域の観測によって、原始惑星系円盤の寿命はおおよそ 3-6 百万年であると見積もられている。赤外線観測によって $2 M_{\odot}$ 以上の大質量星の円盤は低質量星に比べて円盤寿命が短いことが示唆されている (Ribas et al. 2015)。また、ミリ波観測によって $M_{\odot}$ 以下の星周りの円盤は $M_{\odot}$ 以上の星周りの円盤に比べて円盤寿命が短いことが示唆されている (Ansdell et al. 2017)。これらの観測結果から、円盤寿命が主星の質量に依存することが明らかになってきている。

円盤消失の機構のとして降着、磁気円盤風、光蒸発が主に挙げられる。光蒸発とは中心星または近傍にある星から放出された Extreme Ultraviolet (EUV; $13.6 \text{ eV} < h\nu < 100 \text{ eV}$), Far Ultraviolet (FUV; $6 \text{ eV} < h\nu < 13.6 \text{ eV}$), X-ray ($0.1 \text{ keV} < h\nu < 10 \text{ keV}$) によって円盤表面のガスが加熱され、円盤から流れ出ていく現象である。光蒸発は、円盤に関する観測事実 (寿命、遷移円盤形成など) を整合的に再現できることが知られている。中心星質量をパラメーターとして原始惑星系円盤光蒸発の輻射流体シミュレーションを遂行することで、光蒸発による質量損失率の主星質量依存性を系統的に明らかにした。結果から円盤寿命を見積もり、観測との比較を行った。

本研究では、一般公開されている多次元磁気流体計算コード PLUTO に、輻射輸送モジュールと非平衡化学反応モジュールを実装したコードを用いて数値計算を行った。本コードは仲谷氏 (理化学研究所) により、2016 年度から 2017 年度にかけて開発されたものである。円盤の軸対称を仮定し、2次元輻射流体シミュレーションを行った。中心星輻射の輸送、非平衡化学反応、流体 (連続の式、オイラー方程式、エネルギー方程式) を同時に解いた。EUV による水素原子の光電離に伴う加熱、FUV による光電加熱、X 線による各種元素の電離に伴う加熱を考慮し、蒸発している円盤の熱化学分布、速度構造を自己整合的に計算した。中心星質量を $0.5 - 7 M_{\odot}$ と変えて XC50 上で光蒸発シミュレーションを遂行し、光蒸発率の主星質量依存性を明らかにした。surface mass-loss rate も導き、各中心星質量での円盤寿命を計算した。

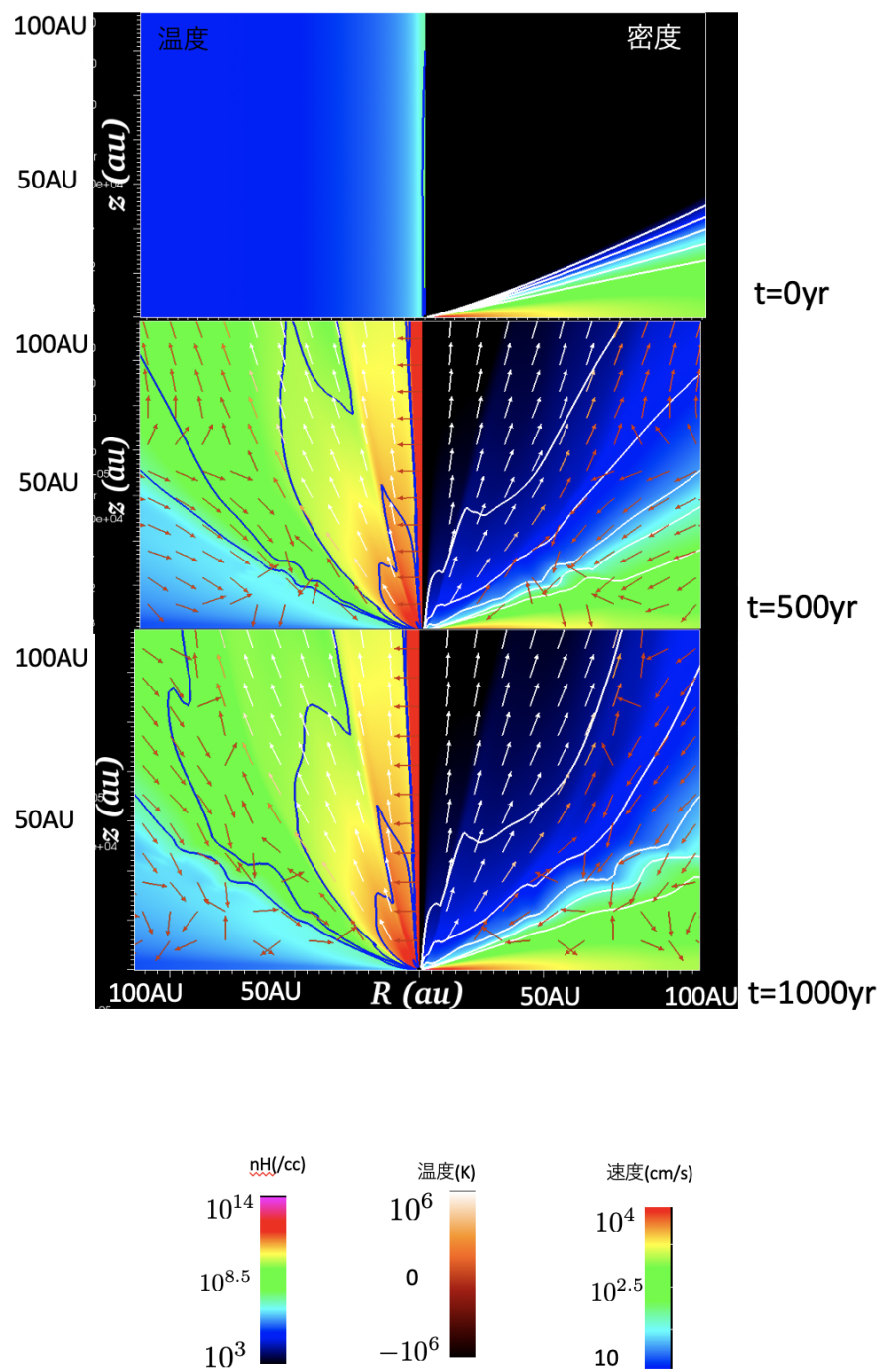


図 1: $M_{*}=1.0M_{\odot}$ の場合の密度分布 (右) と温度分布 (左) を示している。矢印はガスの速度を表している。

シミュレーションの結果、円盤表面からガスが光蒸発している様子を確認した。中心星質量が $1.0M_{\odot}$ の場合、約 1000 年で準定常状態となった。得られたシミュレーション結果から mass loss rate を計算した。

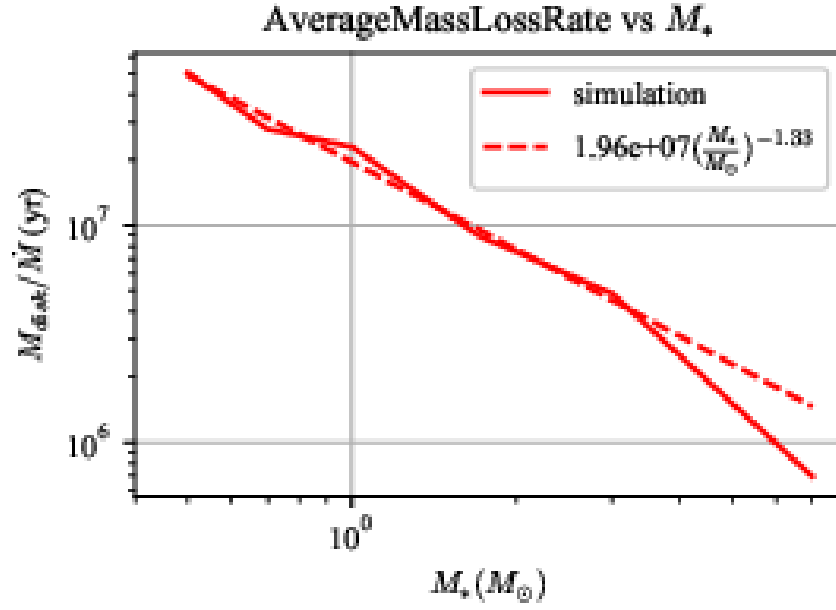


図 2: 各中心星質量に対する $M_{disk}/\dot{M}$ の値を示す。

mass loss rate を用いて $M_{disk}/\dot{M}$ を計算し、円盤寿命を見積もると、

$$\text{Lifetime} \propto \left(\frac{M_*}{M_\odot} \right)^{-1.33} \quad (1)$$

であった。このことから、中心星質量が大きいほど、光蒸発率が増加し、円盤寿命も短いという結果が得られた。これは太陽質量以上の中心星周りの円盤に関して観測と整合的である。

前主系列星の光度は系によって観測的に数桁異なっている。現在、EUV, FUV, X線光度に関して fiducial な場合から 10 倍、 $\frac{1}{10}$ 倍に変化させた場合のシミュレーションを XC50 上で実行し、より多様な中心星を持つ系に応用できるようにしている。