

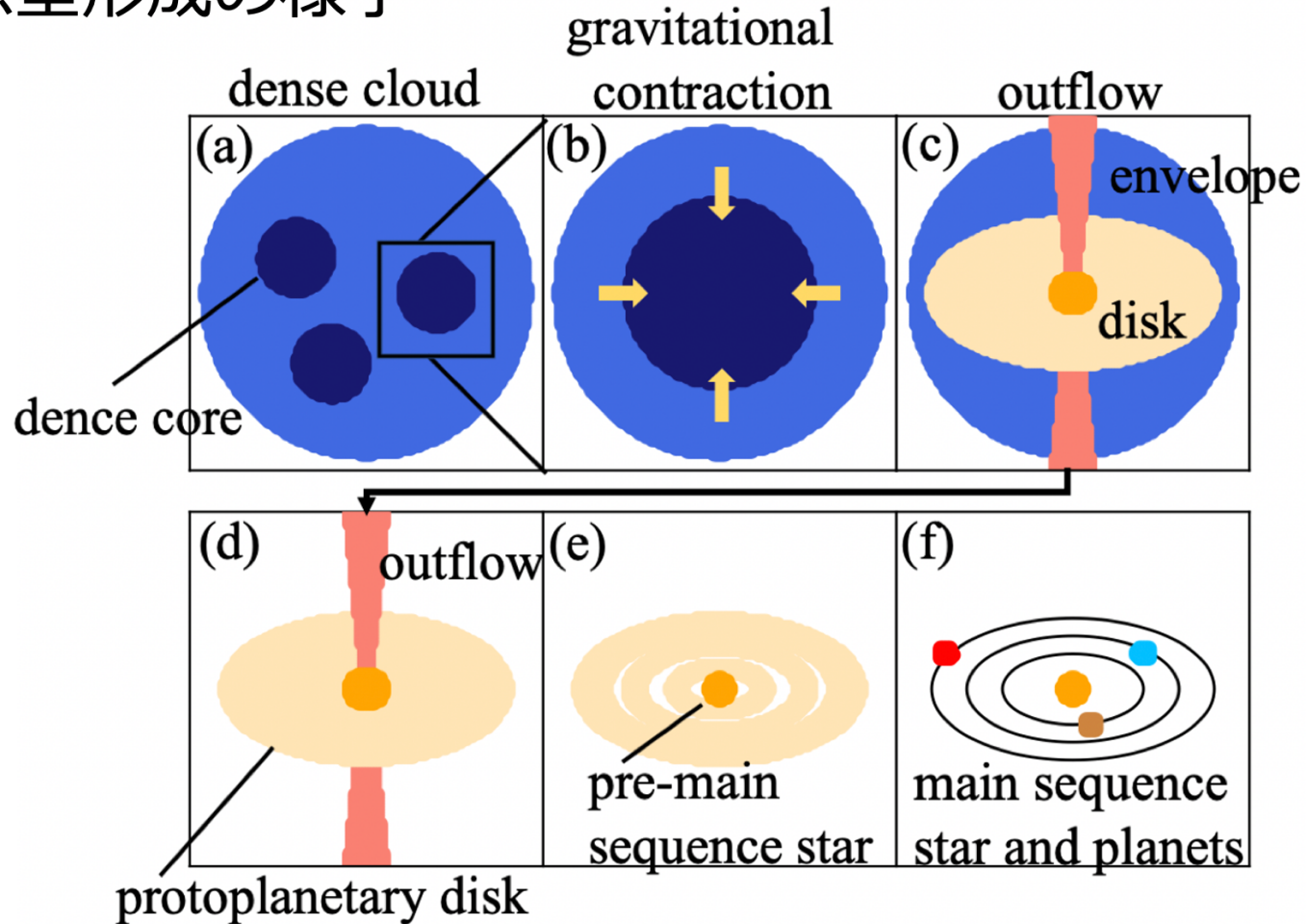
原始惑星系円盤光蒸発の 輻射流体計算： 中心星質量・光度依存性

駒木彩乃(東京大学M1)

共同研究者: 仲谷峻平(理化学研究所)、吉田直紀(東京大学)

(Komaki et al. submitted to ApJ)

星・惑星形成の様子

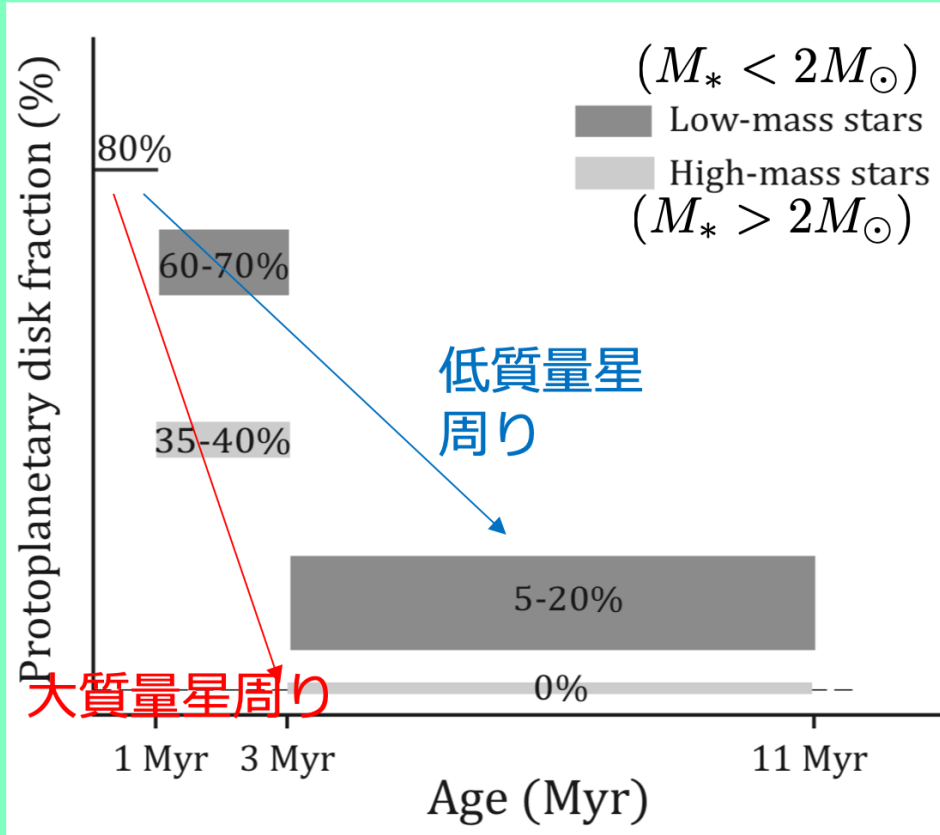


- 惑星系は原始惑星系円盤内部で円盤物質から形成される
→円盤寿命は惑星形成の直接的な時間制限となる
- 円盤と惑星の間の力学的相互作用により惑星が動径方向に移動する
→円盤進化によって惑星系の構造が決まる

惑星系形成を考える上で円盤進化と円盤寿命は重要

円盤寿命に関する観測結果

円盤を持つ星の割合



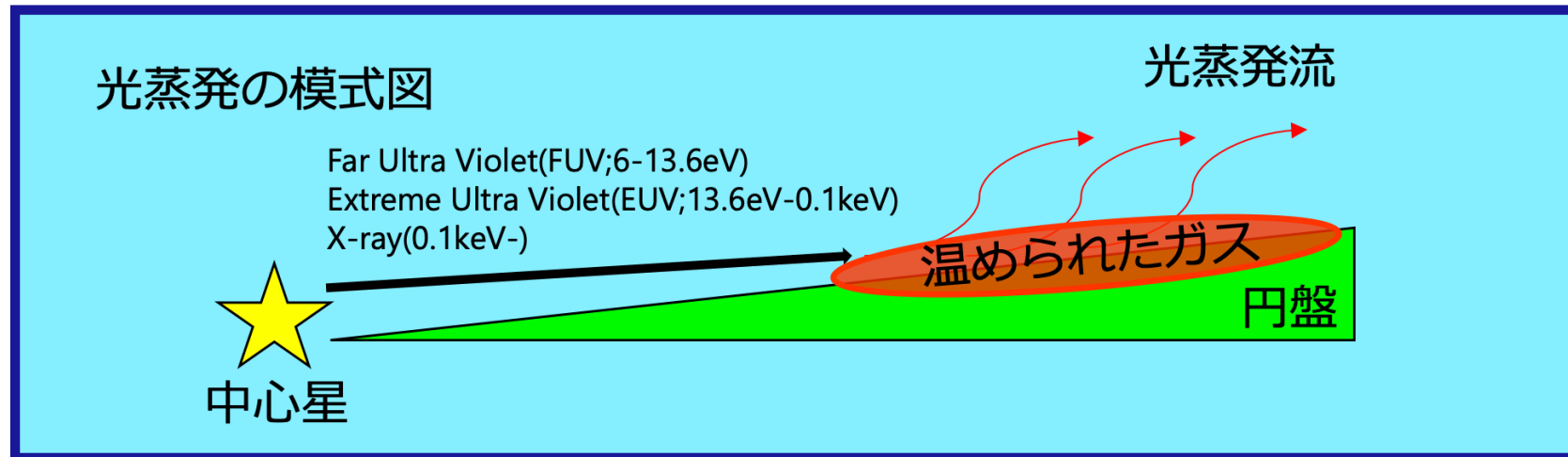
Ribas et al.(2015)

M_* : 中心星質量

- 赤外線観測によって中心星質量が $M_* > 2M_\odot$ の星周りの円盤では $M_* < 2M_\odot$ の星周り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)]
- 多波長観測で中心星質量が0.1-1.7 M_\odot の範囲で、中心星質量が大きくなると寿命が短くなることが示唆されている[Bayo et al.(2012)]

円盤進化、円盤寿命は中心星質量に依存しているが詳細な物理過程は明らかになっていない

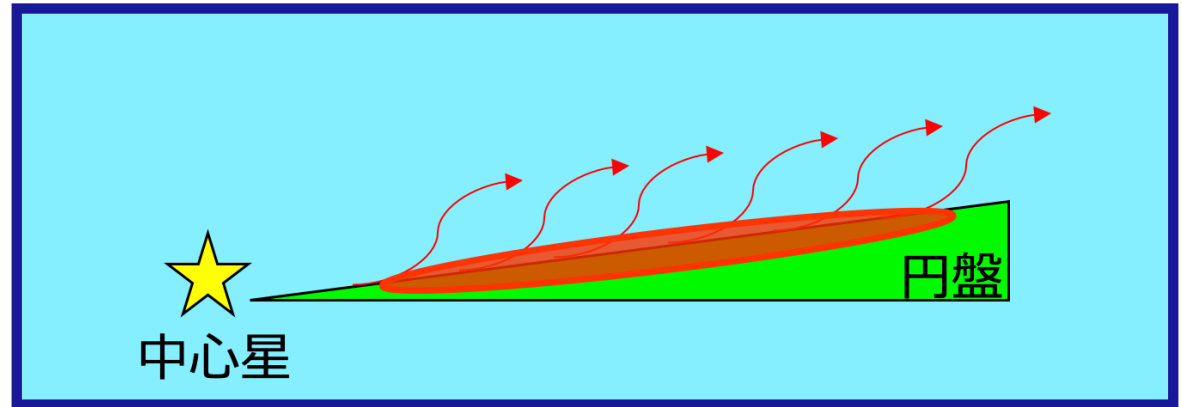
光蒸発…円盤消失過程の1つ



光蒸発とは中心星からの高エネルギー放射によって円盤ガスが上空に流出することである

中心星光度は中心星質量に依存するため、光蒸発による質量損失は中心星質量に依存すると考えられる。光蒸発の中心星質量依存性を明らかにすることは円盤寿命の中心星質量依存性の解釈に繋がる

円盤光蒸発の r_{\min}



中心星近くの円盤では重力ポテンシャルが強く、どこで光蒸発が起きるか計算が行われてきた。これまで次のような計算が行われてきた。

- 重力半径: 熱エネルギーと重力ポテンシャルが釣り合う点

$$r_g = \left(\frac{GM_*}{c_s^2} \right) = 8.9 \left(\frac{M_*}{M_\odot} \right) \left(\frac{c_s}{10 \text{ km/s}} \right)^{-2} \text{ au}$$

- 臨海半径: エンタルピーが正であるガスが蒸発するとして重力半径を書き直した値

$$r_{\text{crit}} = \frac{(\gamma-1)}{2\gamma} \frac{GM_* \bar{m}}{kT} \approx 1.4 \frac{(M_*/M_\odot)}{(T/10^4 \text{ K})} \text{ au}$$

- Gorti and Hollenbach(2009)は静水圧平衡を過程した光蒸発シミュレーションを行い、 r_g , r_{crit} の内側でも $r > 0.5 \text{ au}$ で質量損失が起きることを示した。

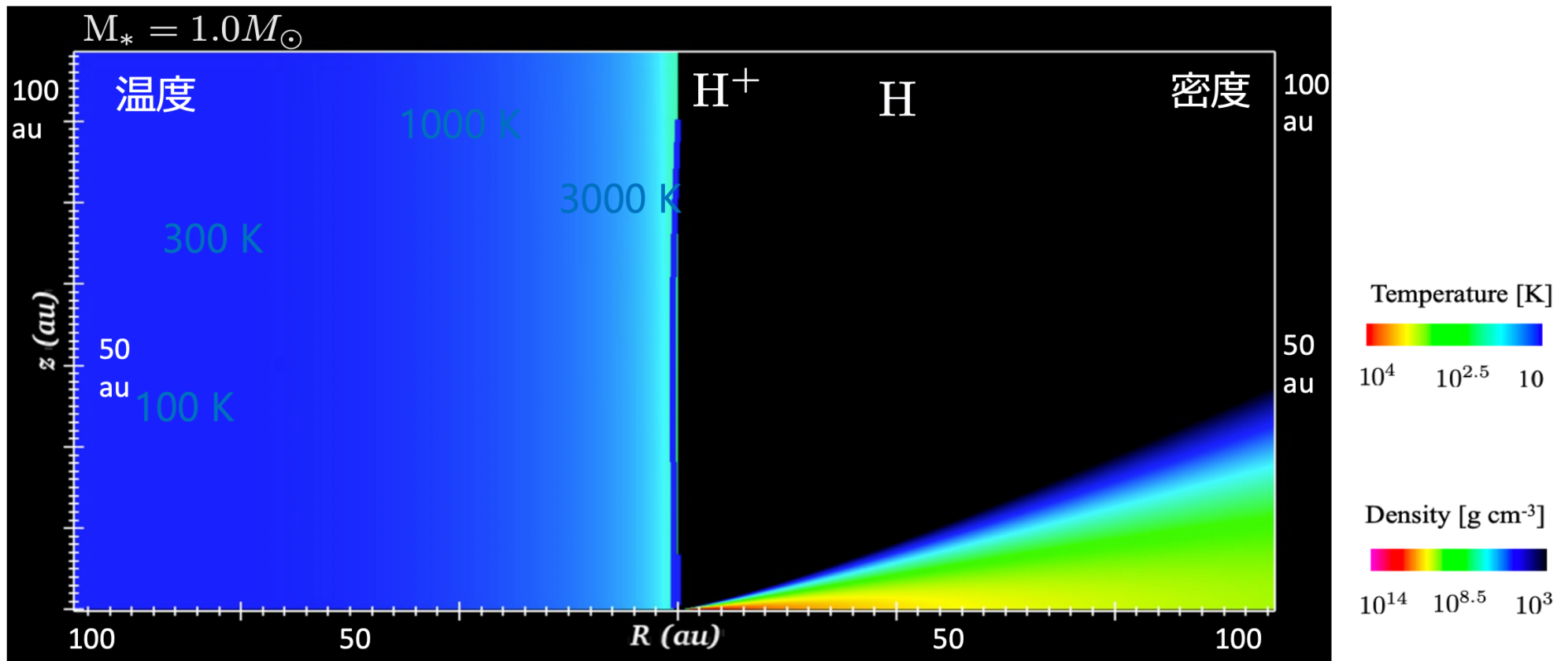
手法: 2次元輻射流体シミュレーション

PLUTO(流体力学) + 輻射輸送+ 非平衡化学 を中心星質量をパラメータとして同時に解くことで熱化学分布と速度構造を明らかにする。

中心星質量: $M_* = 0.5, 0.7, 1.0, 1.7, 3.0, 7.0 M_\odot$

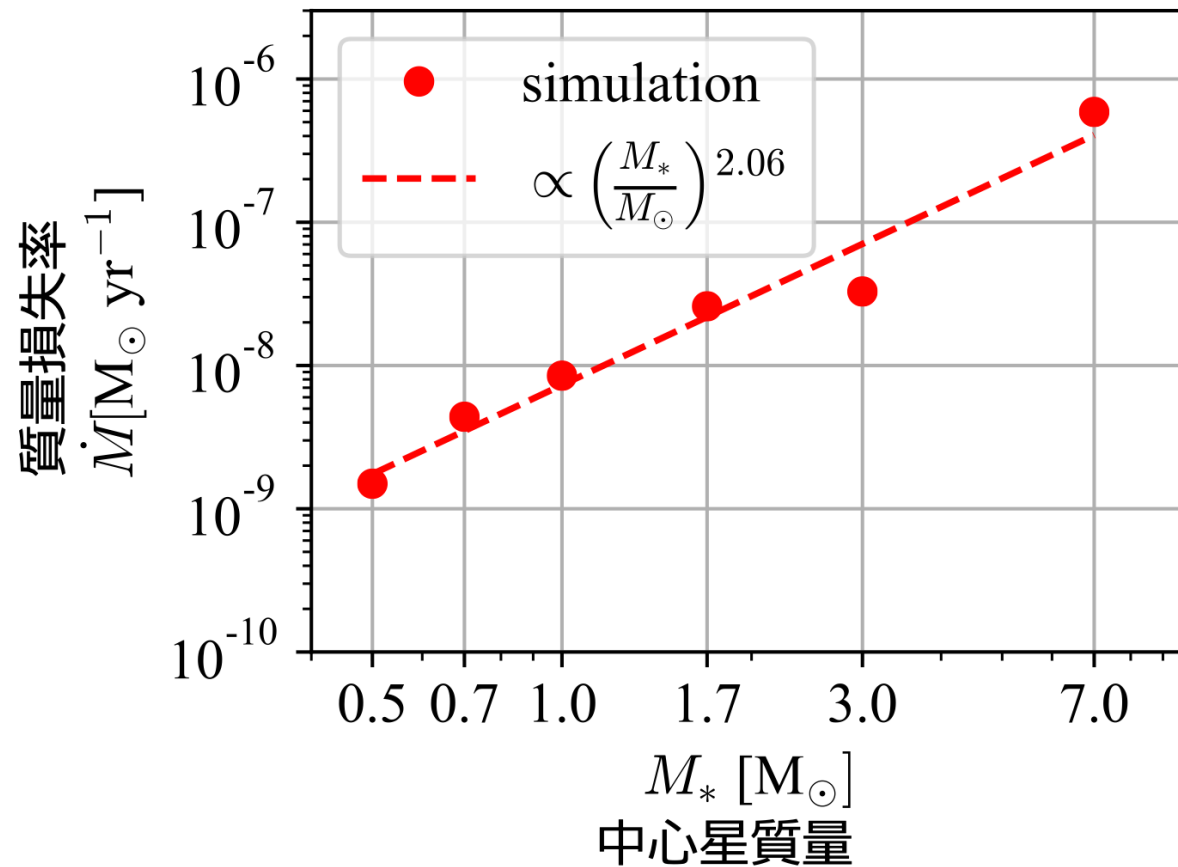
円盤質量: $M_{\text{disk}} = 0.03 M_*$

中心星光度: 中心星質量と共に増加[Gorti and Hollenbach(2009)]



質量損失率の中心星質量依存性

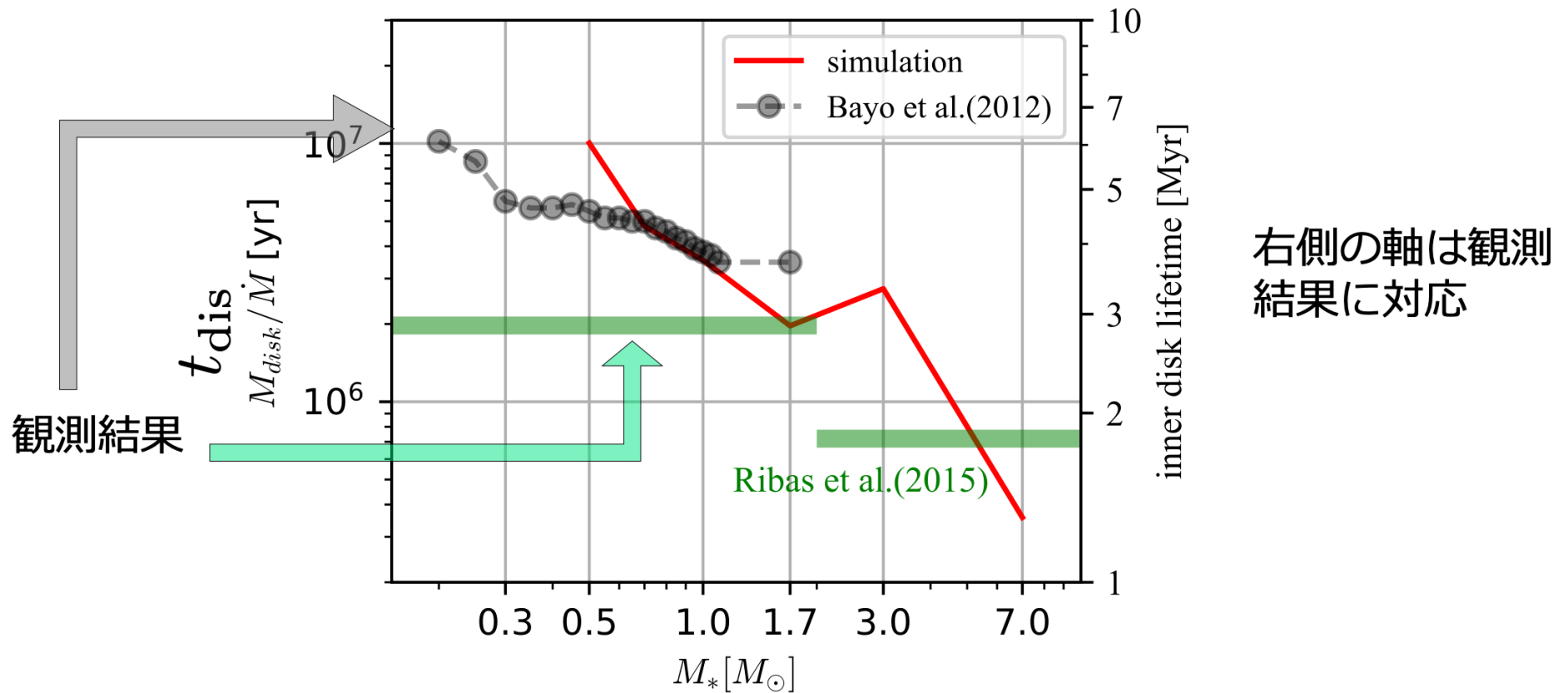
(Komaki et al.
submitted to ApJ)



光蒸発による質量損失率が $\propto \left(\frac{M_*}{M_{\odot}}\right)^{2.06}$ であることを明らかにした。
(2020年春季天文学会P214a)

観測結果との比較

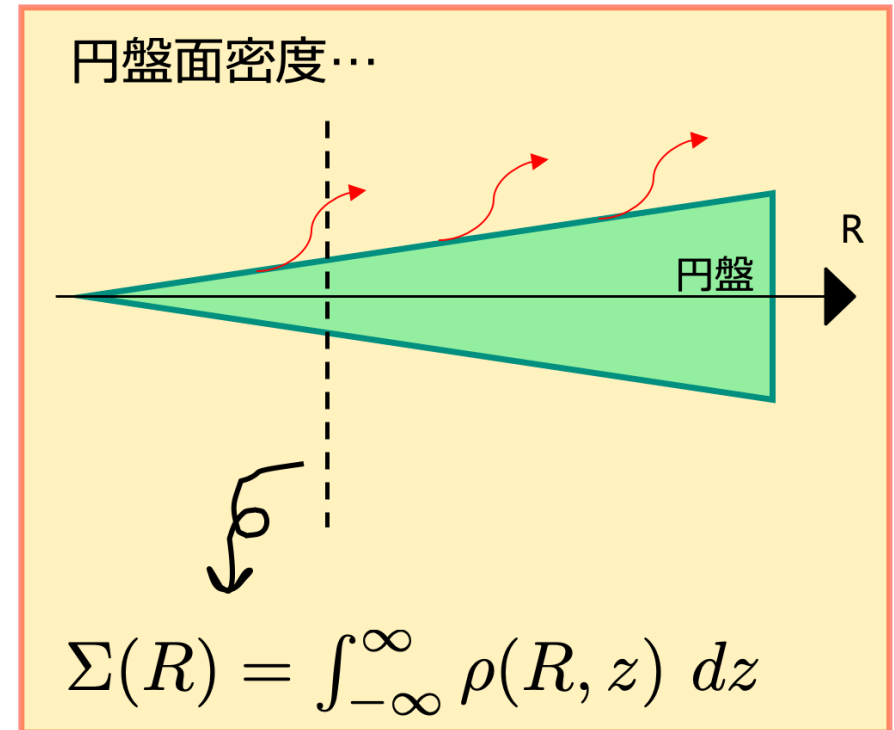
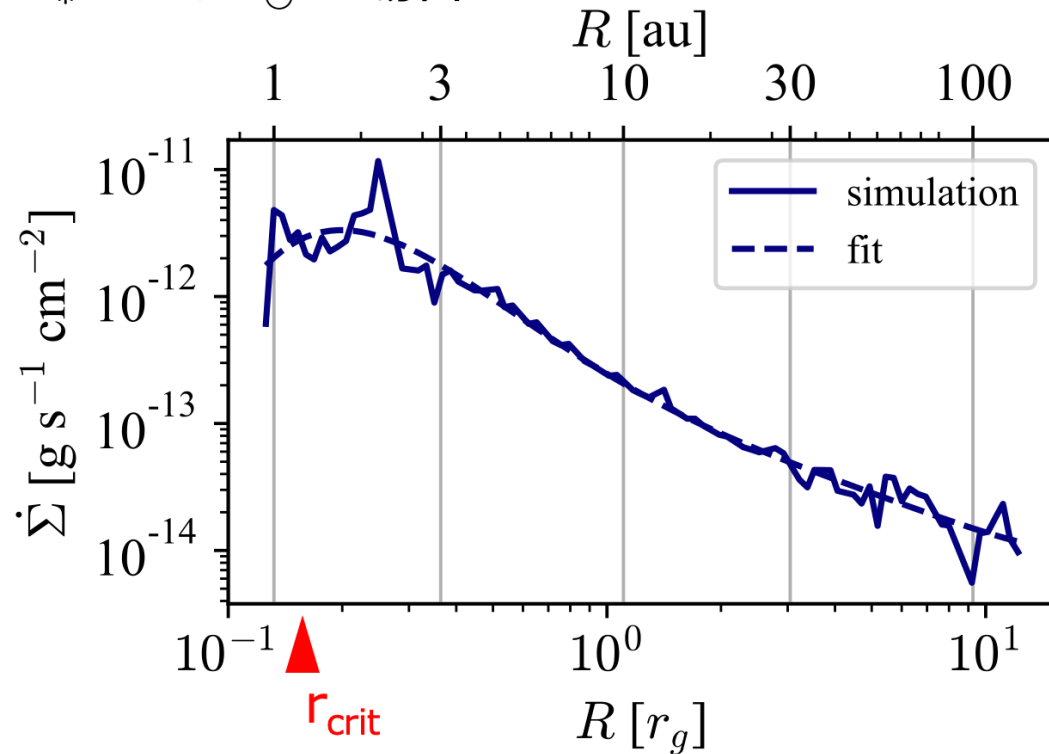
(Komaki et al.
submitted to ApJ)



- シミュレーションと観測から見積もられた円盤消失のタイムスケール(t_{dis})を比較
- その結果、どちらも中心星質量が大きくなるとは短くなった
- 観測との詳細な比較を行うためには、他の円盤消失過程も考慮しながら円盤面密度進化を追う1次元シミュレーションが必要

円盤面密度損失のプロファイル

$M_* = 1.0M_\odot$ の場合



円盤面密度損失率は全ての中心星質量を持つ系に対して R の関数として

$$\log_{10} \left(\frac{\dot{\Sigma}(R)}{1 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2}} \right) = c_5 x^5 + c_4 x^4 + c_3 x^3 + c_2 x^2 + c_1 x + c_0 \quad x = \log_{10} \left(\frac{R}{r_g} \right)$$

の形で表すことができた。

ピーク位置は $M_* = 1.0M_\odot$ の場合には $r_{\text{peak}} \sim 1.53 \text{ au}$ であった。この内側では主にEUV駆動により、外側ではFUV駆動による光蒸発が起きていた。

まとめ

- 星形成領域の観測から円盤進化・円盤寿命は中心星質量に依存することが示唆されている。
- 中心星質量をパラメータとした光蒸発シミュレーションを行った。
- シミュレーションから円盤消失のタイムスケールを見積もったところ中心星質量が増加すると短くなることが分かった。これは観測結果と一致していた。
- 円盤面密度損失プロファイルから臨界半径より内側でも円盤蒸発が起きていることが分かった。

将来展望

- 観測結果とより詳細に比較するために数Myrにわたって統合的に円盤面密度進化を追う1次元シミュレーションを行う