

タンDEM円盤における粒子成長

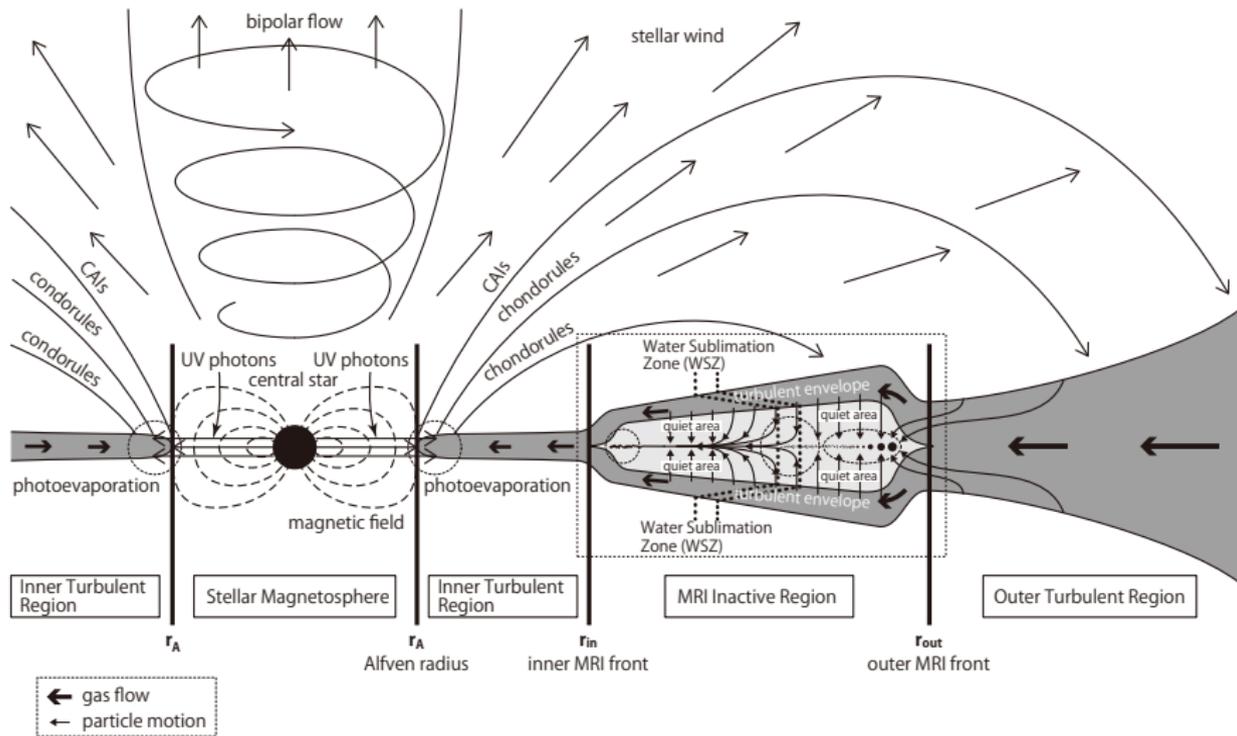
今枝 佑輔¹ 戎崎 俊一¹

¹ 理研

我々は前回の年会に於いて、電離度計算と Shakura and Sunyaev (1973) の定式化に基づき原始惑星系円盤の構造を一次元定常粘性降着円盤解として求め、そのガス円盤中での固体粒子の合体成長過程を Okuzumi et al. 2012 と Kataoka et al. 2013 の内部密度進化に従って調べた。その結果、静穏領域の内縁と外縁の2箇所のみにて集中的に微惑星形成が進行することが示され、これをタンDEM惑星形成と名づけた。

本発表ではこのタンDEM惑星形成の描像が、前回までの円盤モデルとは異なる物理状態にある円盤モデルでも同様に成立することを示し、タンDEM惑星形成が頑健に進行することを示す。

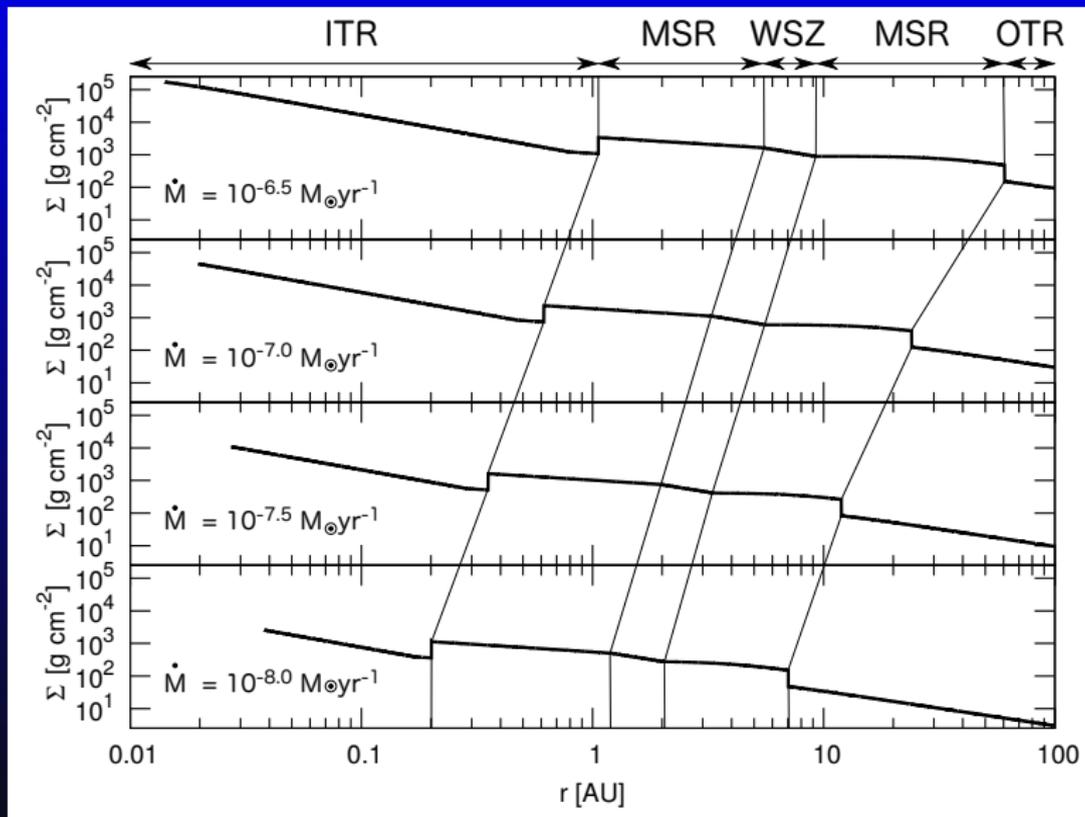
Picture



タンデムガス円盤

- 一次元定常粘性降着円盤解
(Shakra and Snyaeu, 1973; Lynden-Bell and Pringle 1974)
 - 中心星からの irradiation
 - 粘性降着加熱 ($\bar{\alpha} = 10^{-2.0}$ 乱流領域, $10^{-2.5}$ 静穏領域)
 - 前回に比べて柱密度の飛びが $10^{-0.5}$ 倍だけ小さい
- 電離度計算を通じた MRI 乱流領域と静穏領域の決定
 - 宇宙線
 - 放射性核種
 - 熱電離 (Balbus and Hawley, 2000)
- 様々な質量降着率: $\dot{M} = 10^{-6.5} \sim 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$

柱密度



定常原始惑星系円盤モデル中での固体粒子の進化

- 質量分布を一代表質量近似した成長合体方程式
- 内部密度進化を考慮した合体成長 (Okuzumi+2012, Kataoka+2013)
- 粒径に依存した固体粒子ドリフト (Nakagawa+1986)
- 粘性拡散係数 α や粒径 a に依存した粒子円盤スケールハイト (Youdin, and Lithwick. 2007, Icarus, 192, 588)
- 高速衝突破壊による粒子成長の阻害 (Stewart and Leinhardt 2009, Wada+2009)
- KH 不安定による乱流の効果 (Takeuchi+2012)
- 高密度粒子円盤での重力不安定 (Yamoto and Sekiya 2004)
- 微惑星形成後の質量進化 (Kokubo and Ida 2012)

→ タンデムガス円盤中での超粒子の合体進化を追跡

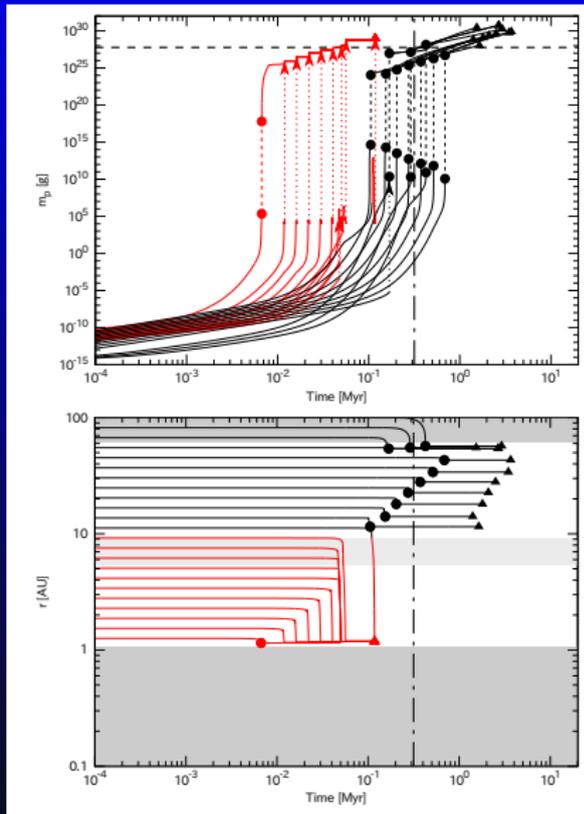
超粒子合体の取り扱い

- 超粒子は同一サイズの粒子群により構成
- 2つの超粒子がヒル半径内に到達した場合
両者は合体すると判定
- 合体した超粒子内の粒子質量は
両者のうち大きいものに揃える
- 新超粒子の位置は、合体超粒子同士の重心位置に

タンデムガス円盤中での粒子進化

- 赤 $T_m > 150K$
- 黒 $T_m < 150K$
- 自己重力不安定
- ▲ 孤立質量到達
- 矢印 超粒子の合体
- 横破線 地球質量
- 一点鎖線 $0.1M_{\odot}/\dot{M}$

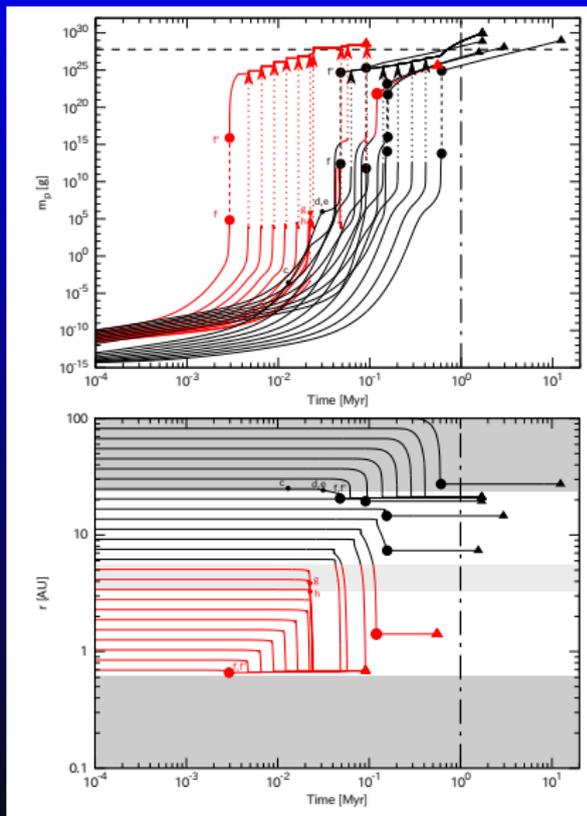
$$\dot{M} = 10^{-6.5} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$$



タンデムガス円盤中での粒子進化

- 赤 $T_m > 150K$
- 黒 $T_m < 150K$
- 自己重力不安定
- ▲ 孤立質量到達
- 矢印 超粒子の合体
- 横破線 地球質量
- 一点鎖線 $0.1M_\odot/\dot{M}$

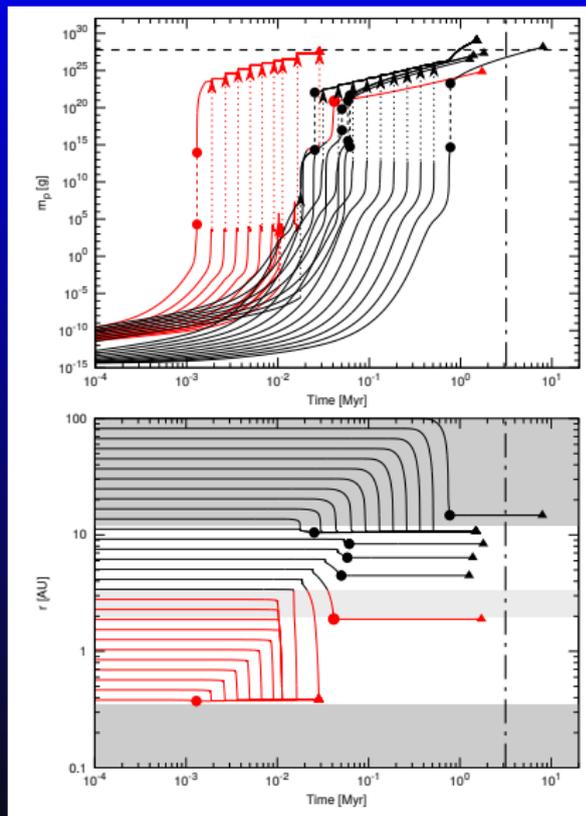
$$\dot{M} = 10^{-7.0} M_\odot \text{yr}^{-1}$$



タンデムガス円盤中での粒子進化

- 赤 $T_m > 150K$
- 黒 $T_m < 150K$
- 自己重力不安定
- ▲ 孤立質量到達
- 矢印 超粒子の合体
- 横破線 地球質量
- 一点鎖線 $0.1M_{\odot}/\dot{M}$

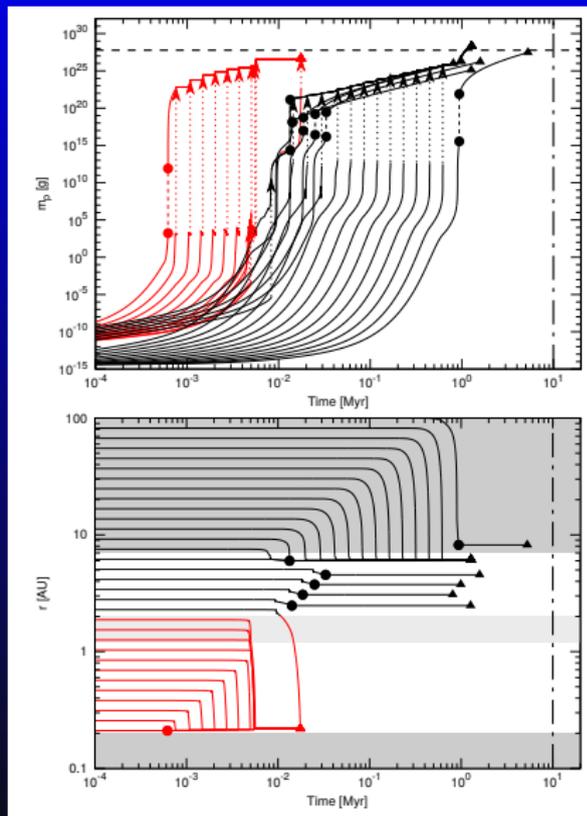
$$\dot{M} = 10^{-7.5} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$$



タンデムガス円盤中での粒子進化

- 赤 $T_m > 150K$
- 黒 $T_m < 150K$
- 自己重力不安定
- ▲ 孤立質量到達
- 矢印 超粒子の合体
- 横破線 地球質量
- 一点鎖線 $0.1M_{\odot}/\dot{M}$

$$\dot{M} = 10^{-8.0} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$$



Conclusions

- 様々なタンデムガス円盤中での固体粒子の成長と移動を調べた
 - 質量降着率の依存: $\dot{M} = 10^{-6.5} \sim 10^{-8} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$
- MRI front に固体物質の濃集が生じる
- これにより タンデム惑星形成が頑健に起こることを示した
- 内側 MRI フロントでは揮発性物質を欠く微惑星形成が進行し、地球が海惑星になってしまう問題を回避できる可能性

References

- Shakra and SnyaeV, 1973, A&A, **24**, 337
- Lynden-Bell and Pringle, 1974, MNRAS, **168**, 603
- Balbus and Hawley, 2000, Space, Sci. Rev, **92**, 39
- Okuzumi+ 2012, ApJ, **752**, 106
- Kataoka+ 2013, A&A, **557**, L4
- Kokubo and Ida 2012, PTEP, 01A308
- Nakagawa+1986, Icarus, **67**, 375
- Takeuchi+, 2012, ApJ, **744**, 101
- Yamoto and Sekiya, 2004, Icarus, **170**,180
- Stewart, and Leinhardt, 2009, ApJL, 691, L133
- Youdin, A. N., and Lithwick, Y. 2007, Icarus, 192, 588
- Wada+ 2009, ApJ, 702, 1490