

原始惑星系円盤の 力学的・物質科学的進化について

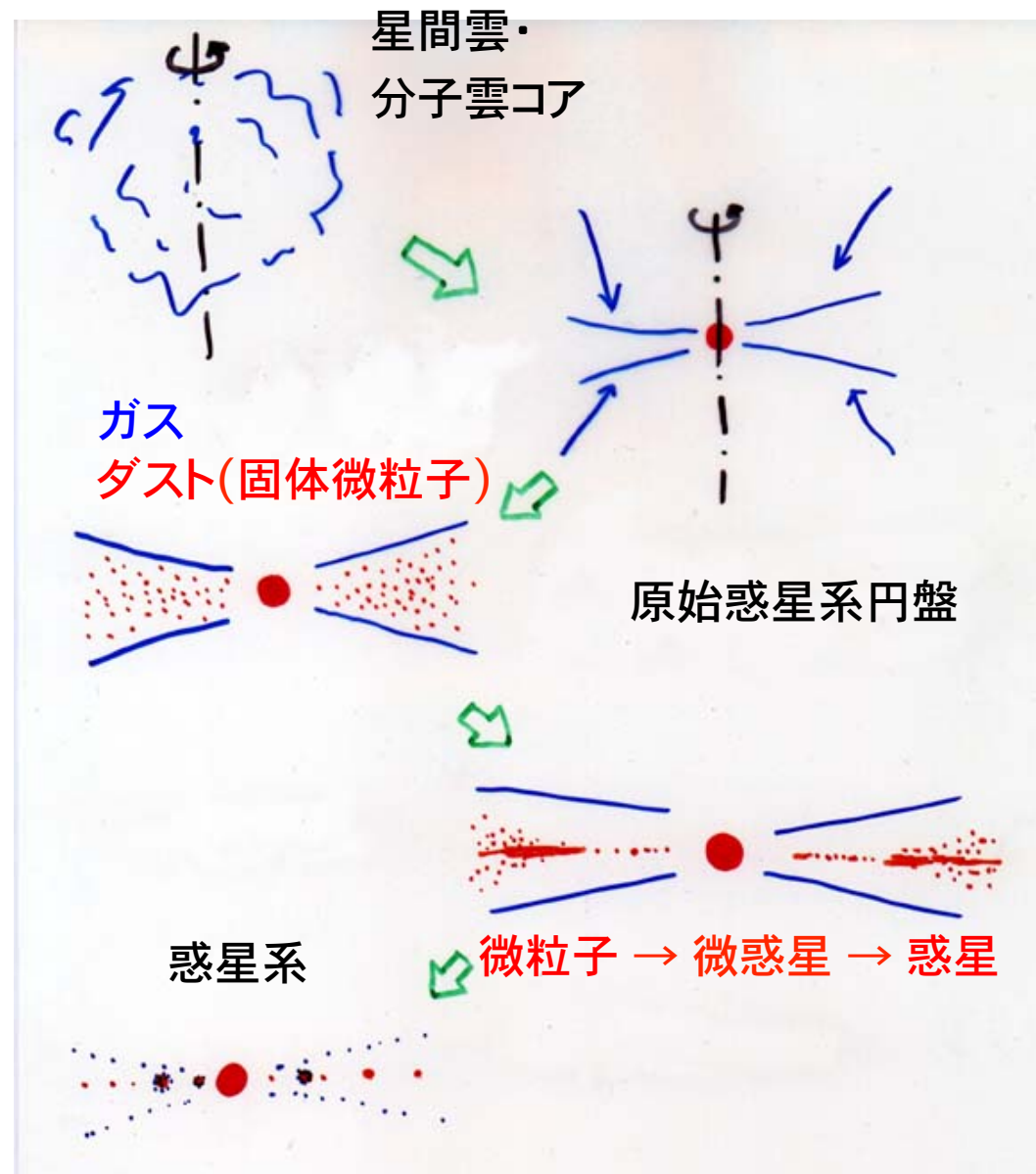
中本泰史, 竹石陽 (東京工業大学)

[1] 同位体比の均質化

[2] ^{54}Cr 同位体の時間変化

^{24}Cr	50	4.3%	^{16}O	16	99.757%
	52	83.8%		17	0.038%
	53	9.5%		18	0.205%
	54	2.4%			

惑星系の形成過程



[1] 同位体比の均質化

- 惑星物質の同位体比: 原子レベルでほぼ均質
- その原因は？

(1) 星間ガス中 --- 不十分

(2) 円盤中での蒸発 / 凝縮

(2-1) Early Phase

Global Heating?

(2-2) Later Phase

Local Heating?

(3) 天体への集積 --- 不十分

Messenger *et al.* 2003

Presolar particles in IDPs

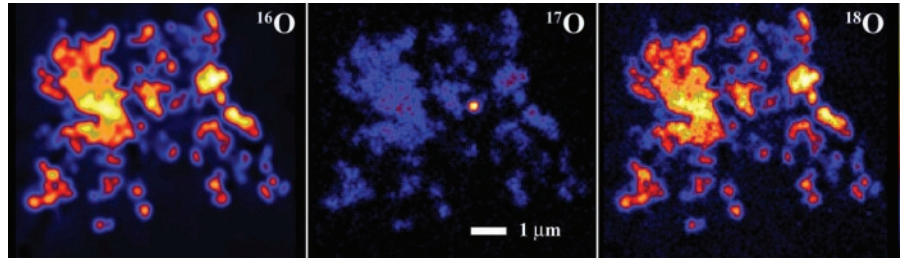


Fig. 2. Oxygen isotopic images of a slice of IDP L2005 C13. A presolar grain with a large ^{17}O excess can be clearly seen in the ^{17}O image.

$\sim 10^3$ ppm

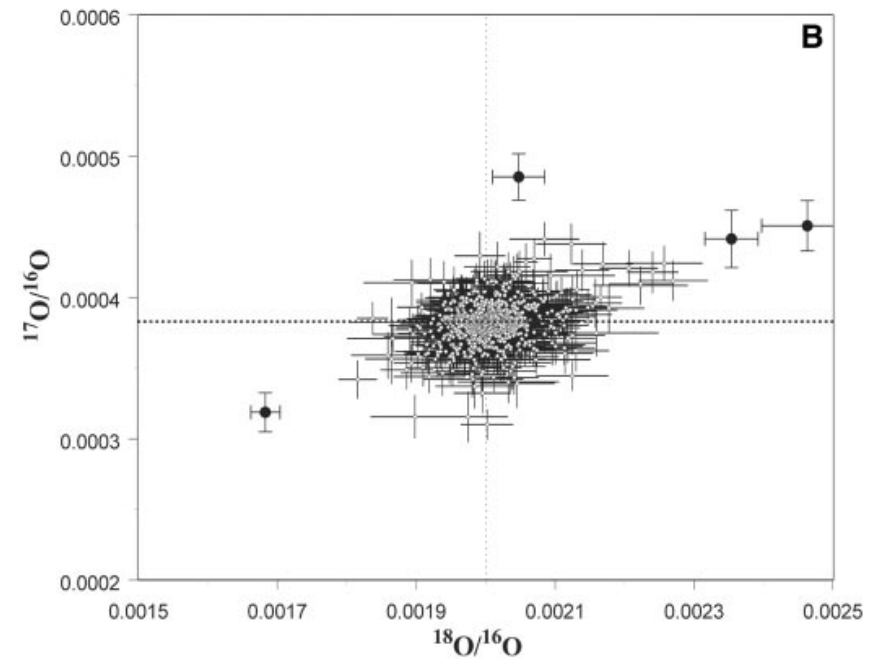
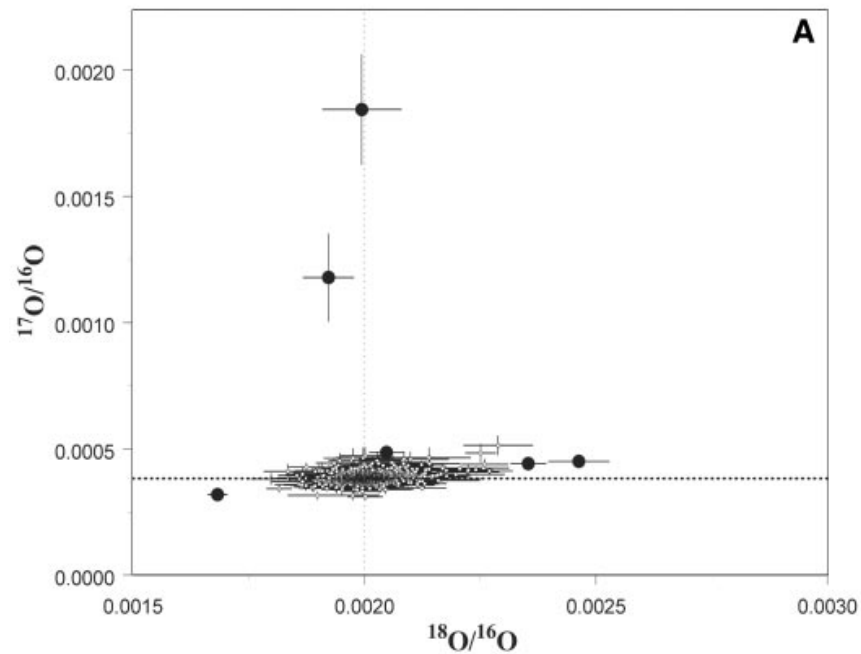
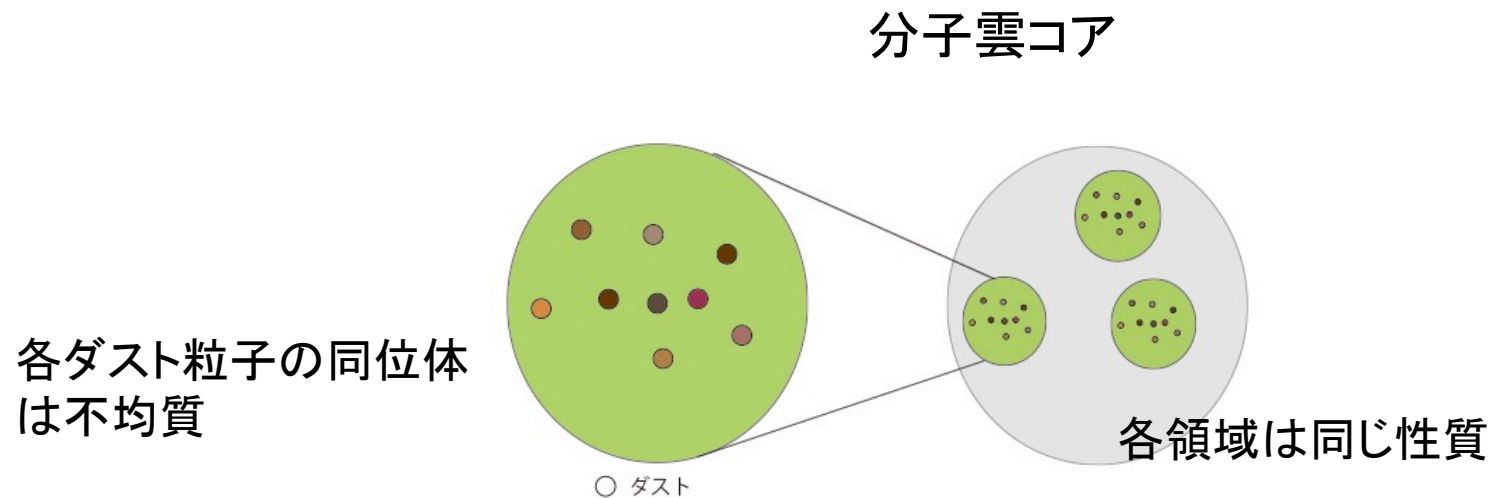
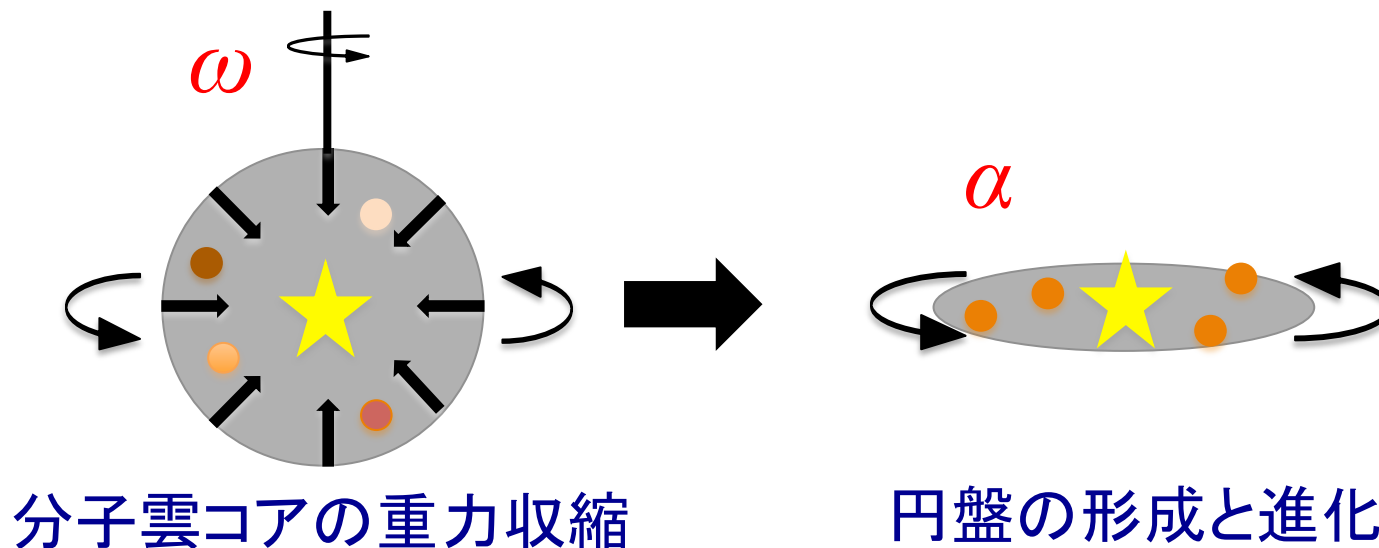


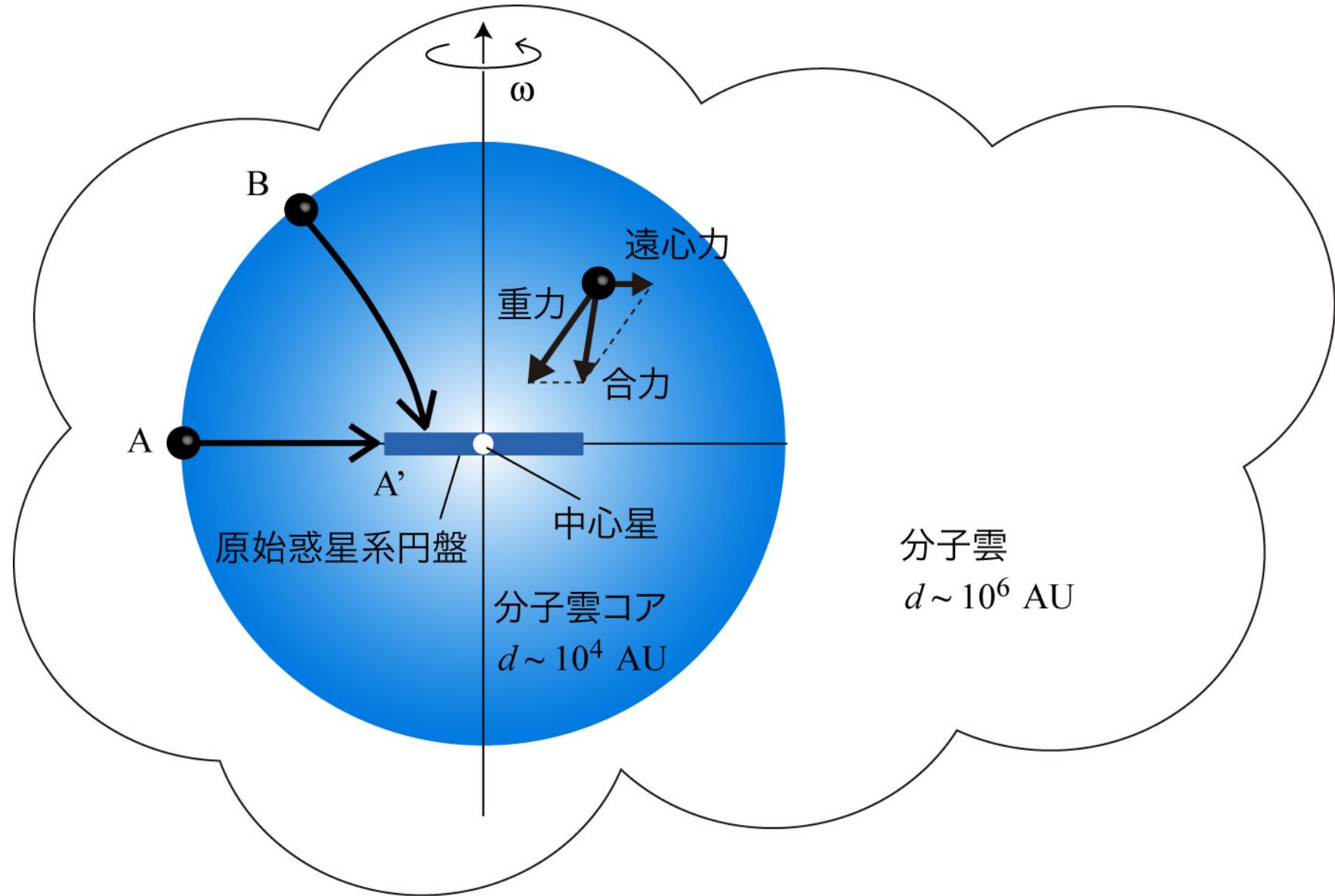
Fig. 1. (A) Oxygen isotopic ratios of 1031 subgrains determined from 25 ion images of nine cluster IDPs with 1σ errors. The identified presolar silicates are solid circles. The adjacent plot (B) shows the O isotopic ratios of the 750 grains with the lowest errors ($1\sigma \delta^{17}\text{O} < 50\text{‰}$) on a reduced scale.

分子雲コア中のダスト粒子: 機械的によく混合し得る!?



円盤中での蒸発 / 凝縮 (均質化)





モデル

分子雲コア

1 太陽質量

初期に剛体回転：回転角速度 ω (モデルパラメータ)

降着時間：0.4 Myr

円盤(原始太陽系星雲)

粘性降着：動粘性係数 $\nu = \alpha c_s h$ (α はモデルパラメータ)

ダスト粒子

ガス：ダスト質量比 = 100 : 1

サイズ：微小 (例えば 0.1 μm), ガスと一緒に動く

蒸発・凝縮温度：2000 K

ダストは2種類：2000 Kを経験済み(均質), 未経験(不均質)

- Advection / Diffusion of Dust Particles

$$\frac{\partial \Sigma_i}{\partial t} + \underbrace{\frac{1}{r} \frac{\partial r \Sigma_i v_r}{\partial r}}_{\text{Advection}} = \underbrace{\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r D \Sigma \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\Sigma_i}{\Sigma} \right) \right]}_{\text{Diffusion}} + \underbrace{S_i}_{\text{Source}} \quad (i = 1, 2),$$

- Energy Source in Disk: Viscous Heating

$$\sigma_s T_s^4 = \frac{9}{8} \Sigma \nu \Omega^2 \quad \text{Viscosity} \quad \nu = \alpha c_s h$$

Radiative
Cooling

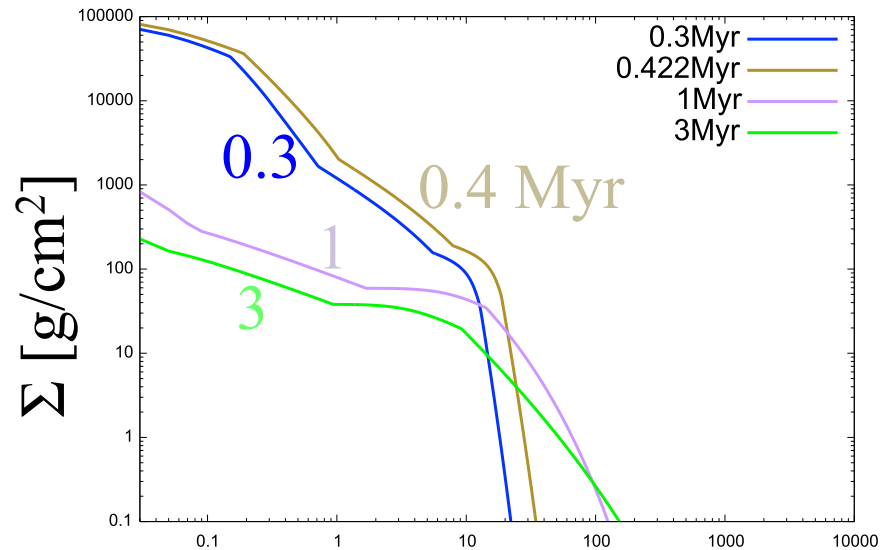
Viscous
Heating

α -model

$$\alpha = 10^{-2}$$

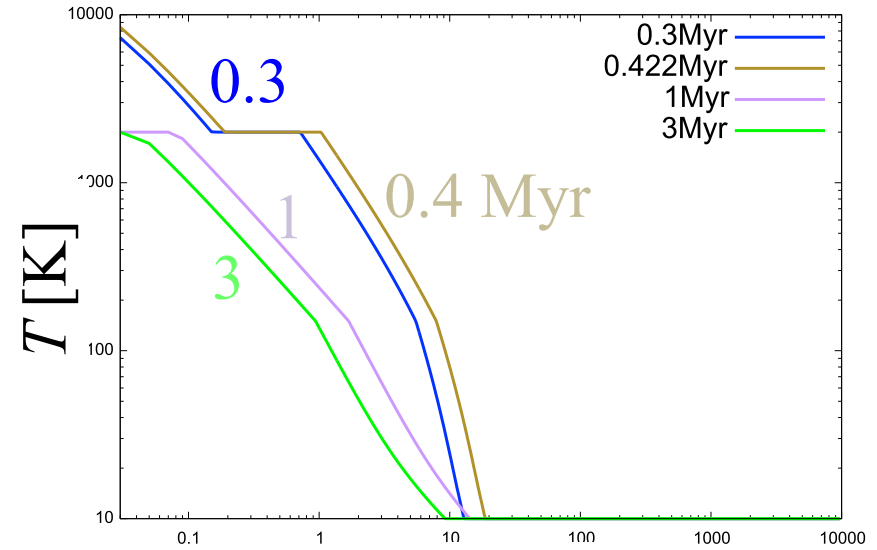
$$\omega = 2 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$$

Surface Density



R [AU]

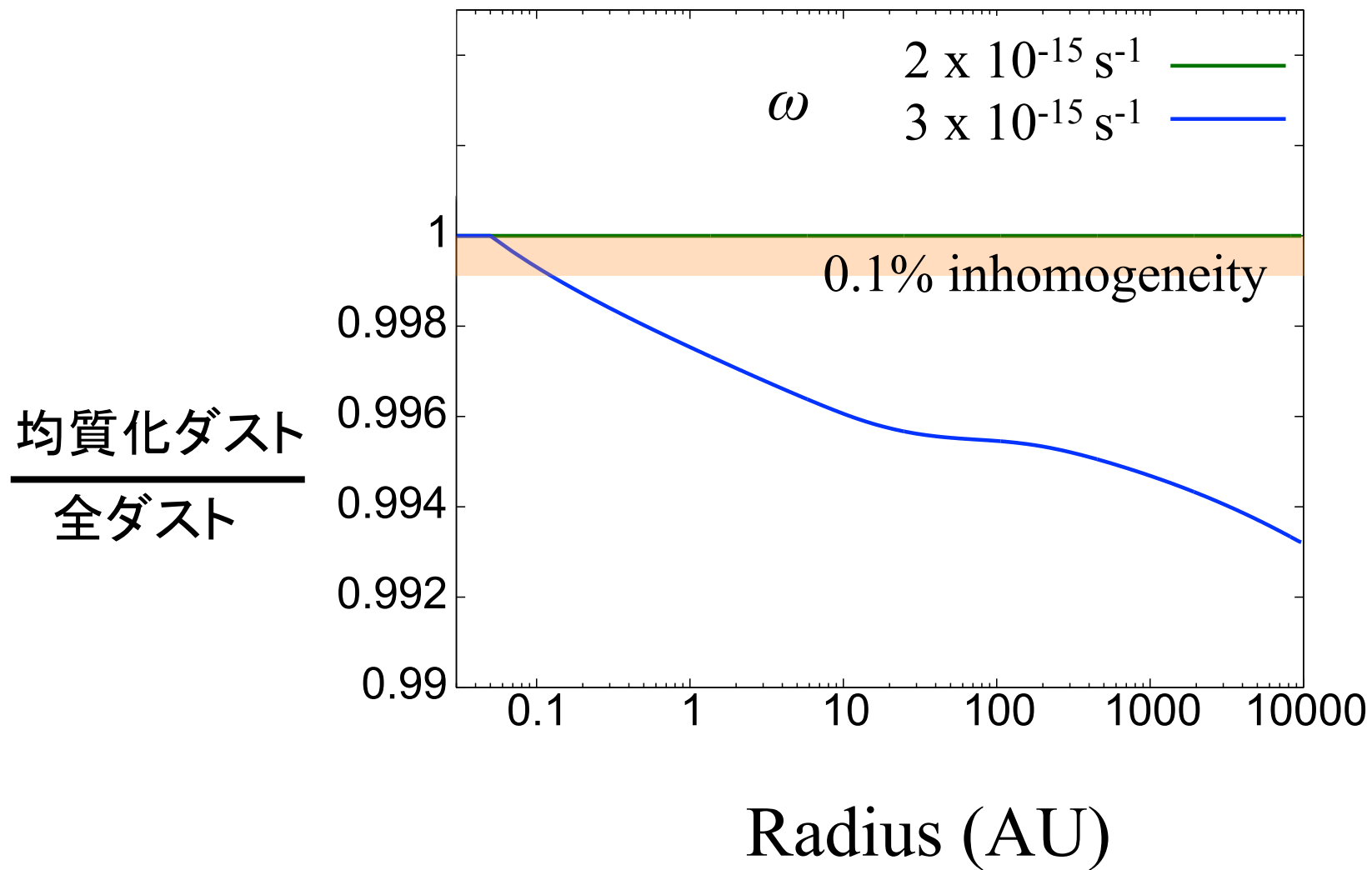
Temperature

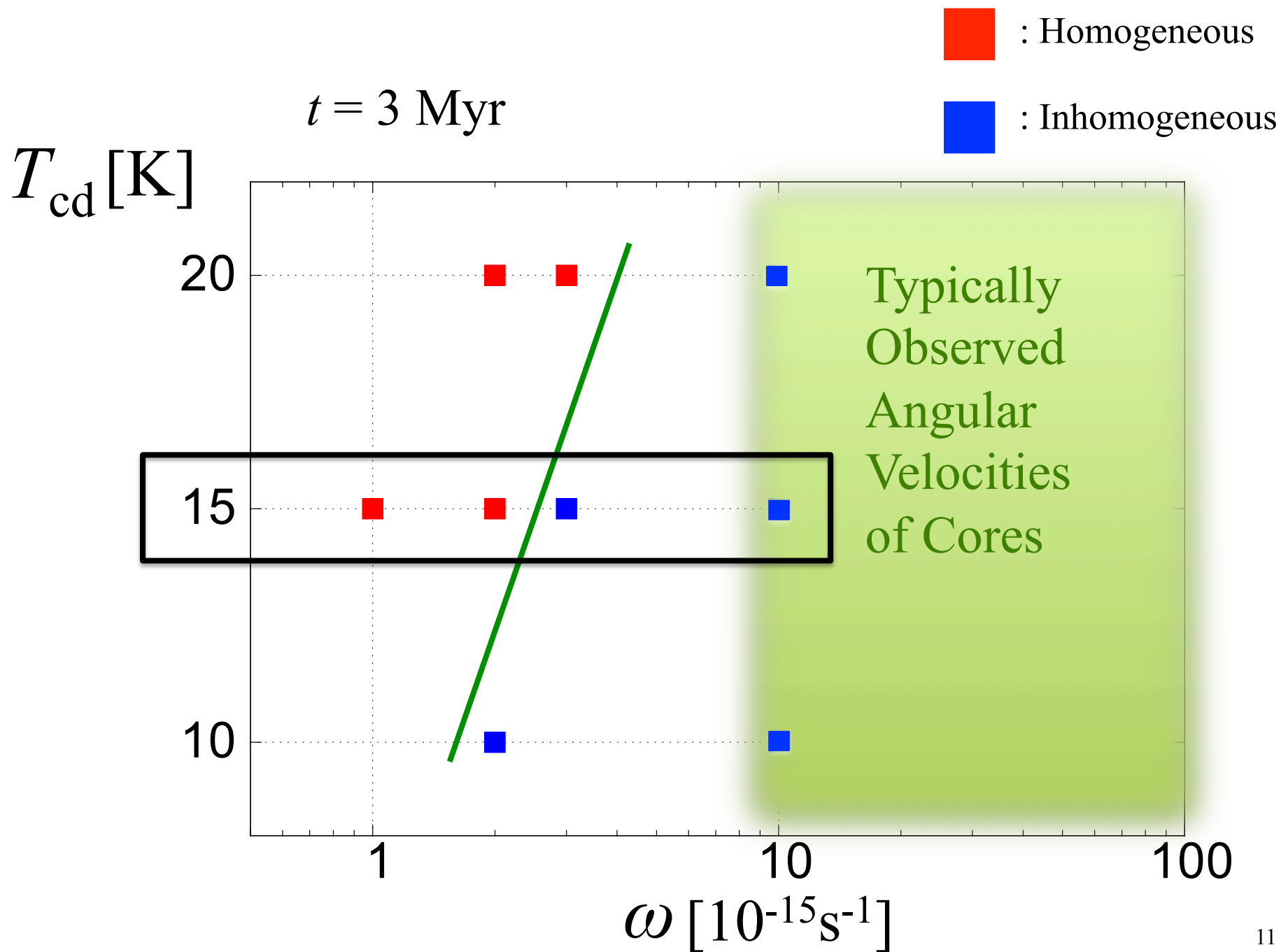


R [AU]

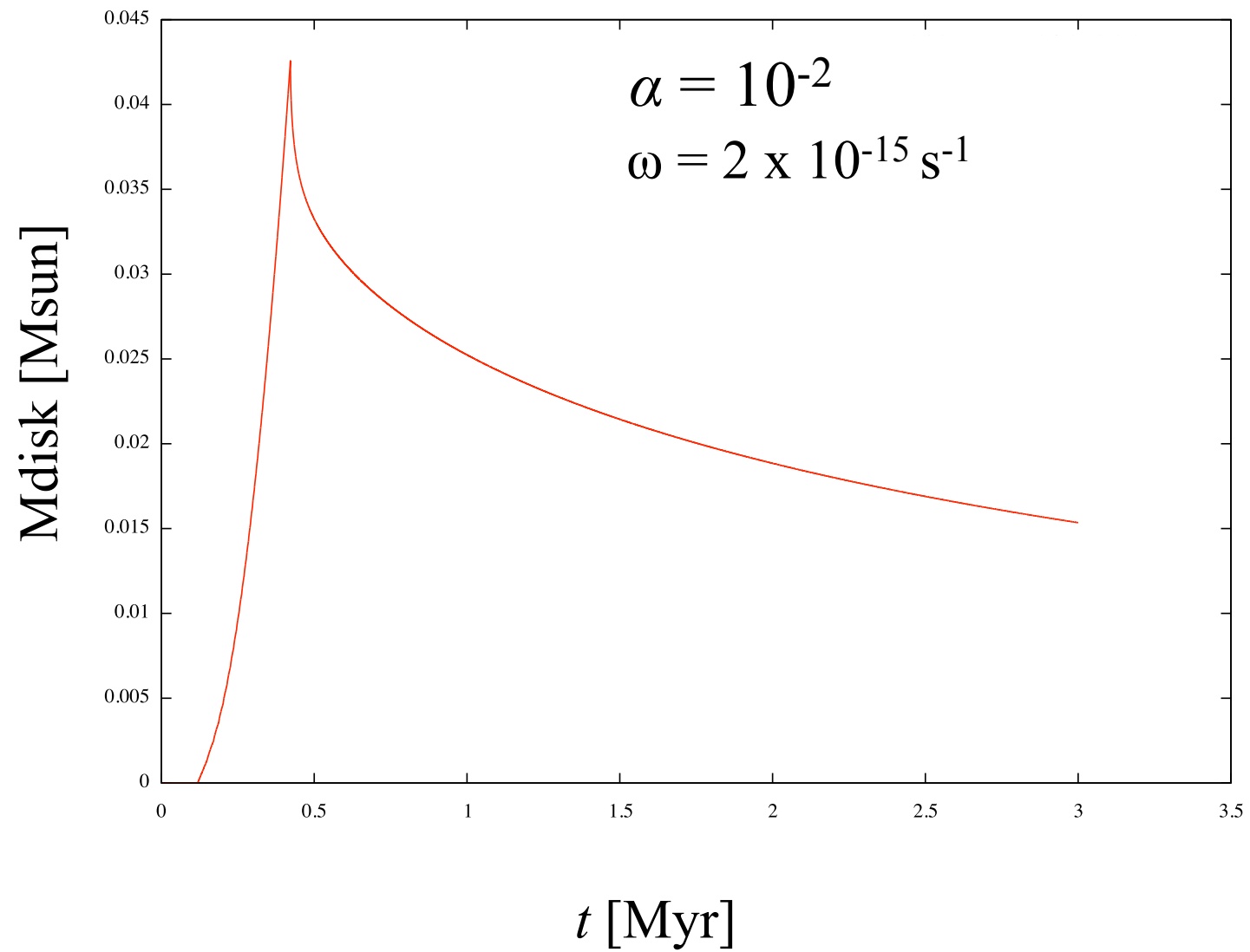
Degree of Homogeneity

$$\alpha = 10^{-2}$$
$$t = 3 \text{ Myr}$$





Disk Mass

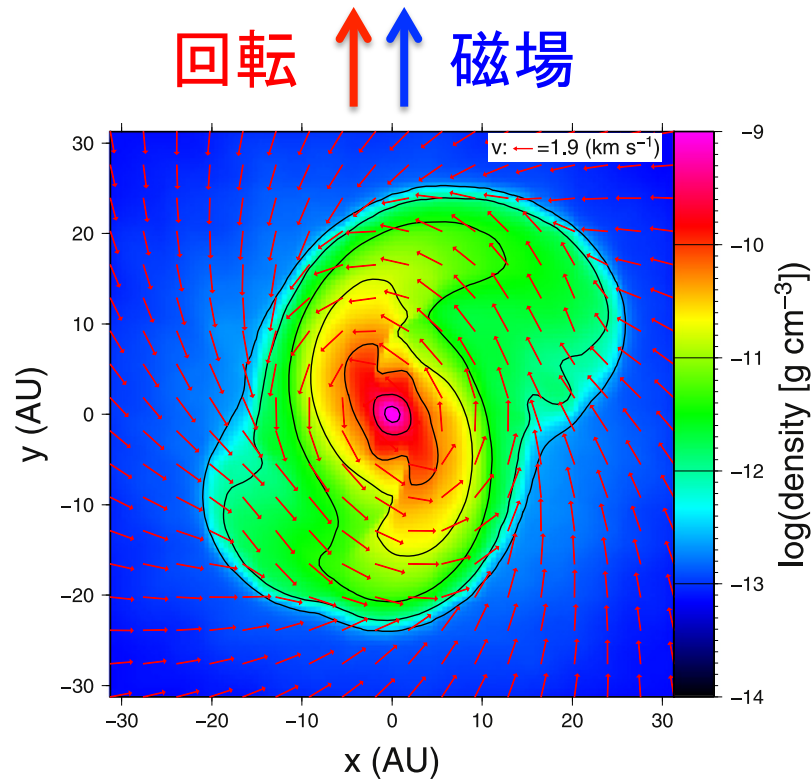


Tsukamoto *et al.* 2015

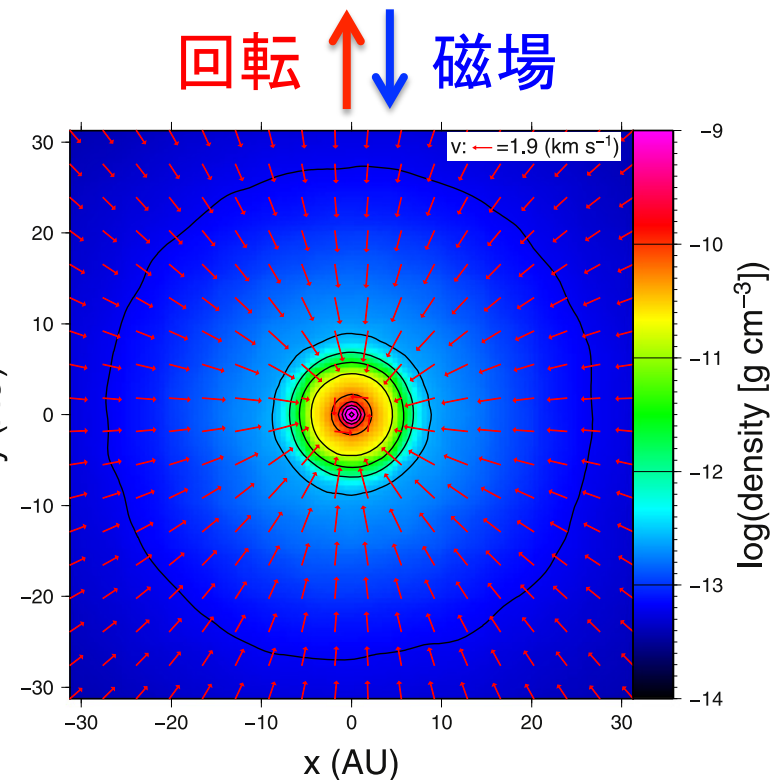
3D-RHD simulations

ホール効果

初期角運動量は同じ $\omega_0 = 2.2 \times 10^{-13} \text{ s}^{-1}$



face-on view



小さい円盤

[結論]

回転角速度 ω が遅ければ,

- ・ **小半径, 高温** の円盤が形成される
- ・ 蒸発/凝縮により同位体が均質化する

[議論]

- ・ 遅い回転角速度はあり得るか？
- ・ 同位体比異常の原因は？