

ストリーミング不安定性による 効率的なダスト塊形成が起こる 原始惑星系円盤の条件について

瀧 哲朗

(国立天文台 CfCA)

長谷川稜 (ISAS/JAXA) , 藤本正樹 (ISAS/JAXA)

微惑星形成の困難：衝突破壊の壁と中心星落下の壁

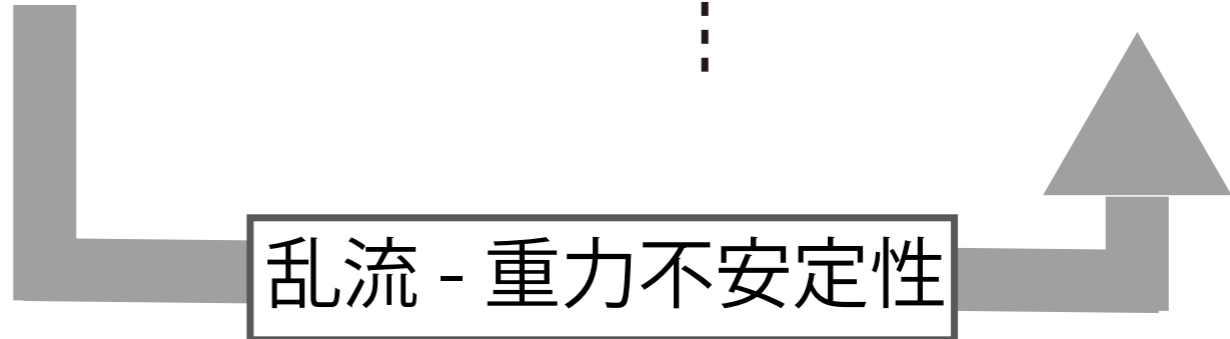
惑星系形成中の天体サイズの進化



コンパクトダストの
サイズ進化のメカニズム



- ・ 微妙なサイズ領域
- ・ 小さくてもOKだと嬉しい

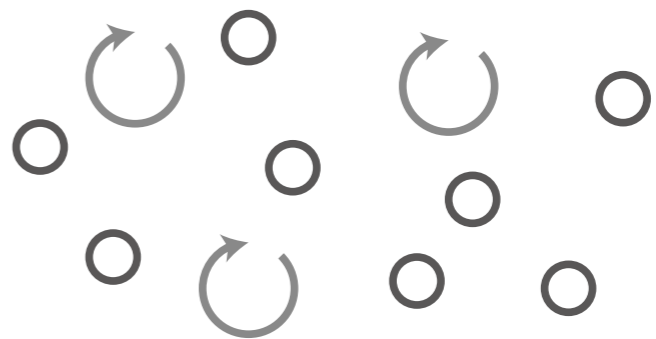
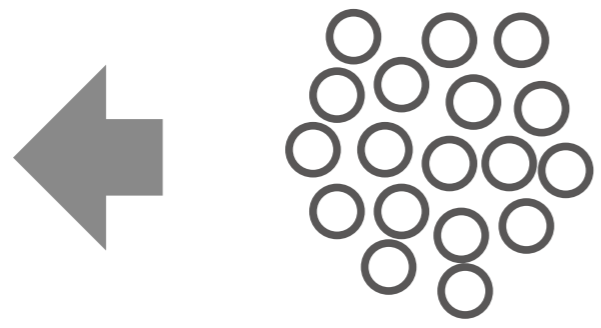


“人気のある”乱流-重力不安定性モデル： ストリーミング不安定性とその駆動メカニズム

ストリーミング不安定性
= 円盤内を落下中のダスト密度の擾乱の成長

← 中心星方向

密度が大きい領域に
追いついて合流



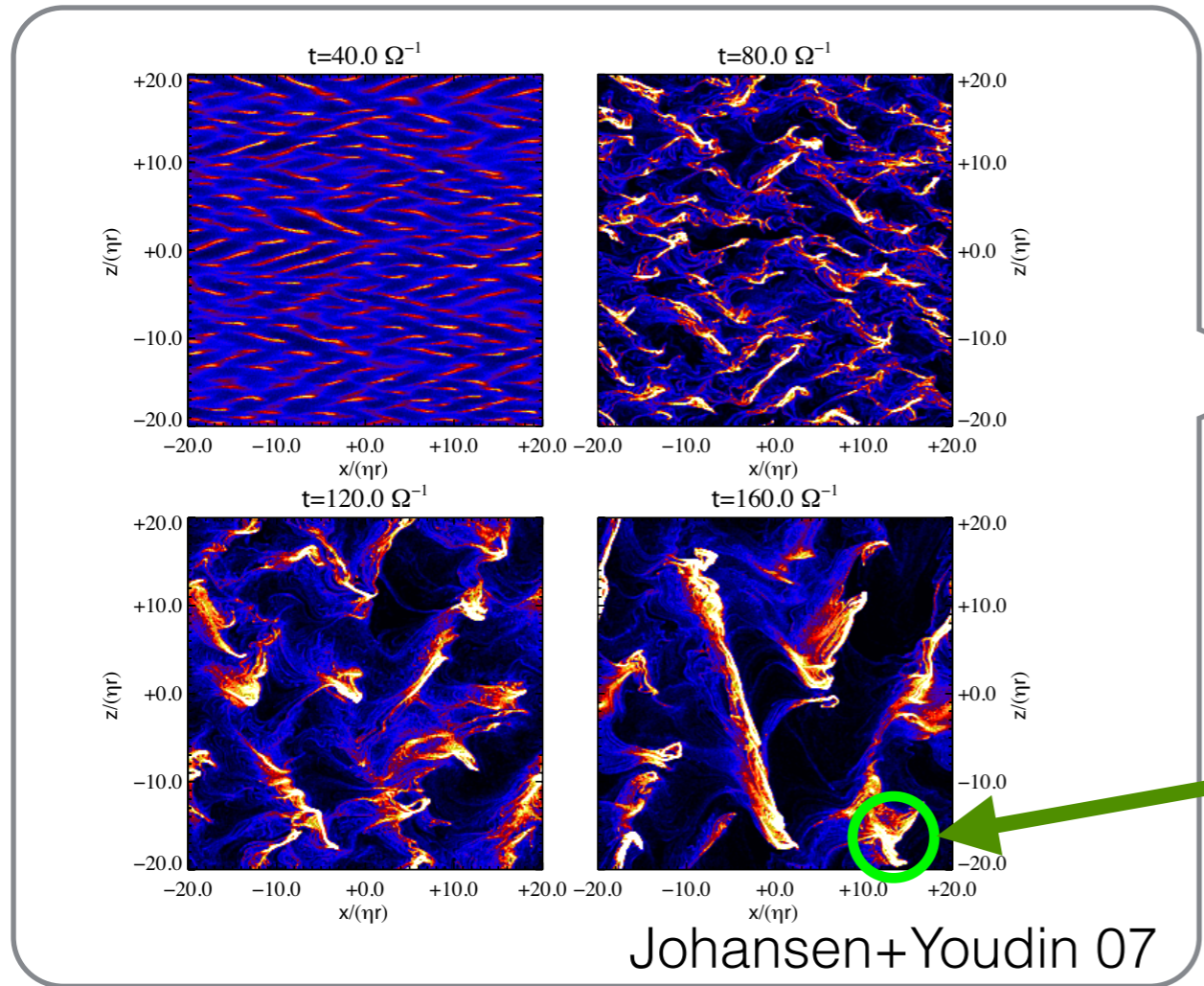
ダスト密度：大
ゆっくりり落下

ダスト密度：小
すばやく落下

周囲のガス乱流を安定化し、
高密度維持

周囲のガス乱流で低密度維持

ストリーミング不安定性による微惑星形成： 乱流+重力不安定性モデルの基本的描像



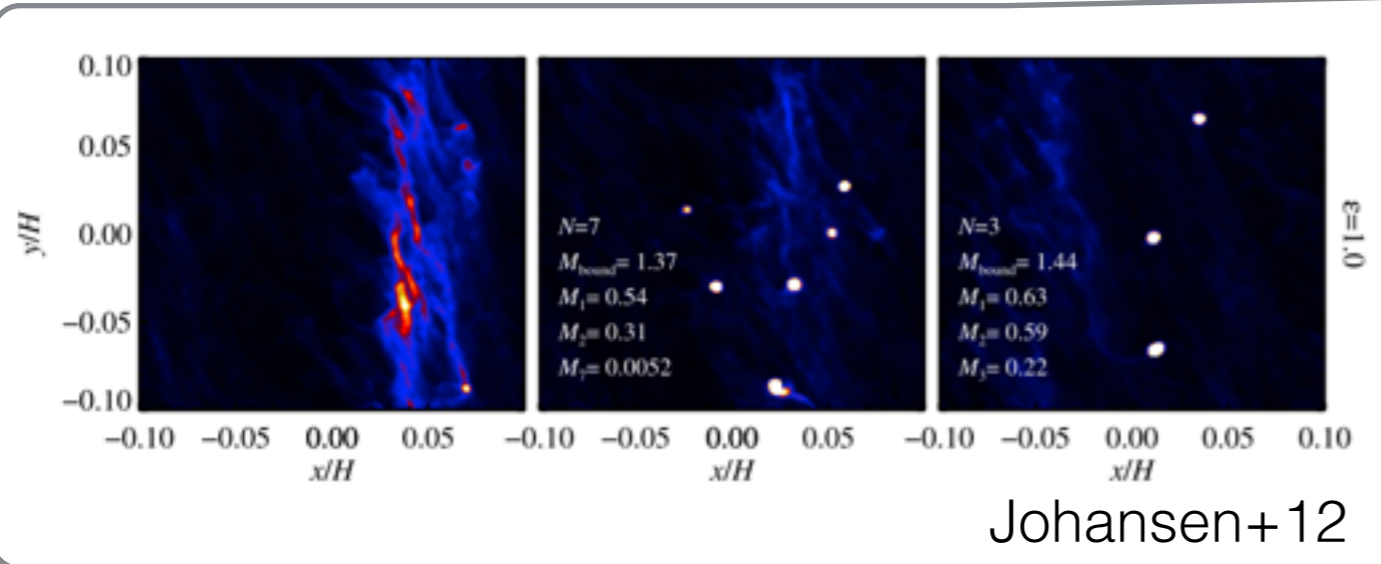
~ cm サイズのダスト

ストリーミング不安定性

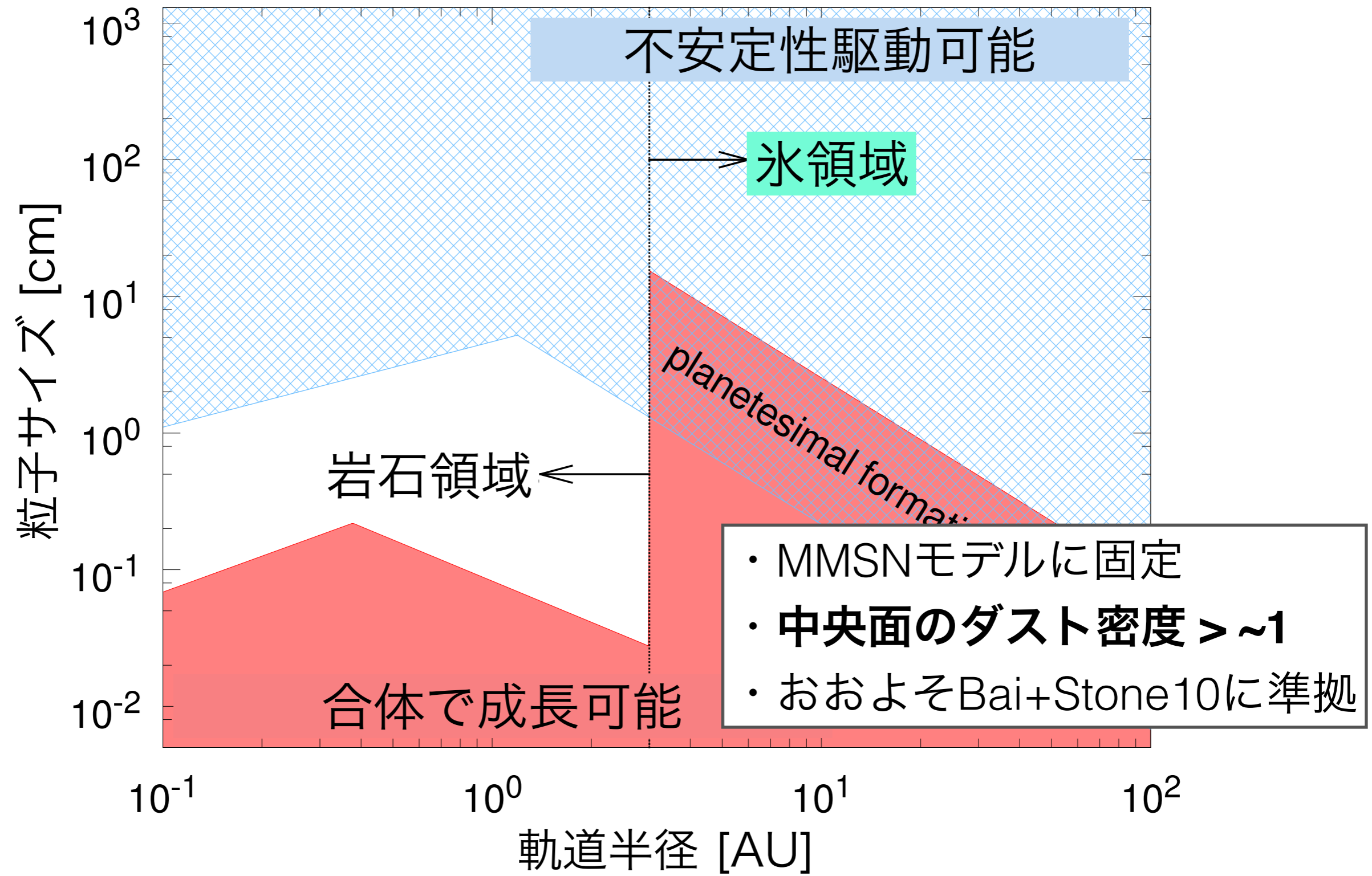
高密度のダスト塊

自己重力収縮

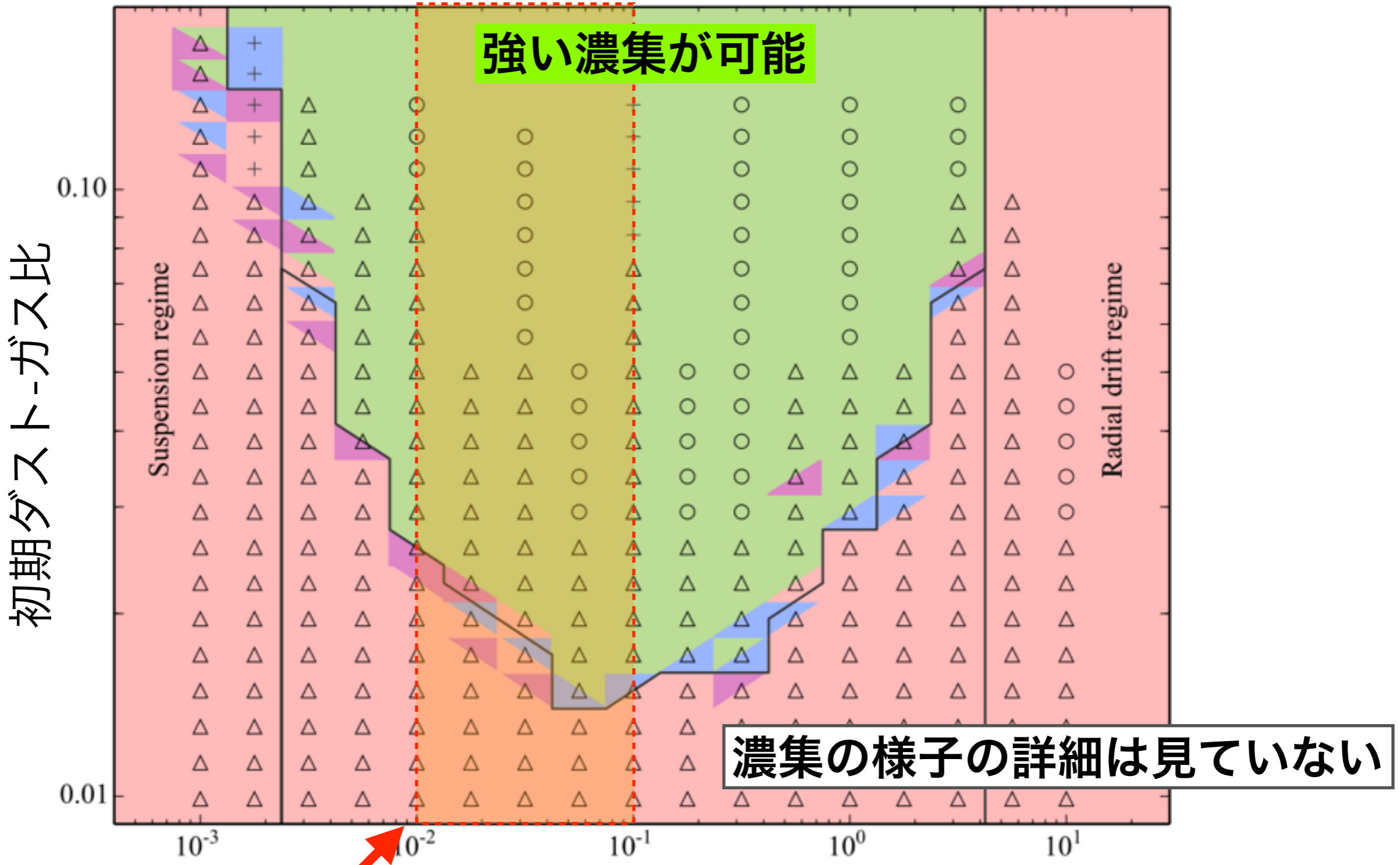
~100-1000km サイズ天体



ストリーミング不安定性による強い濃集の条件： 円盤内での位置とダストの組成

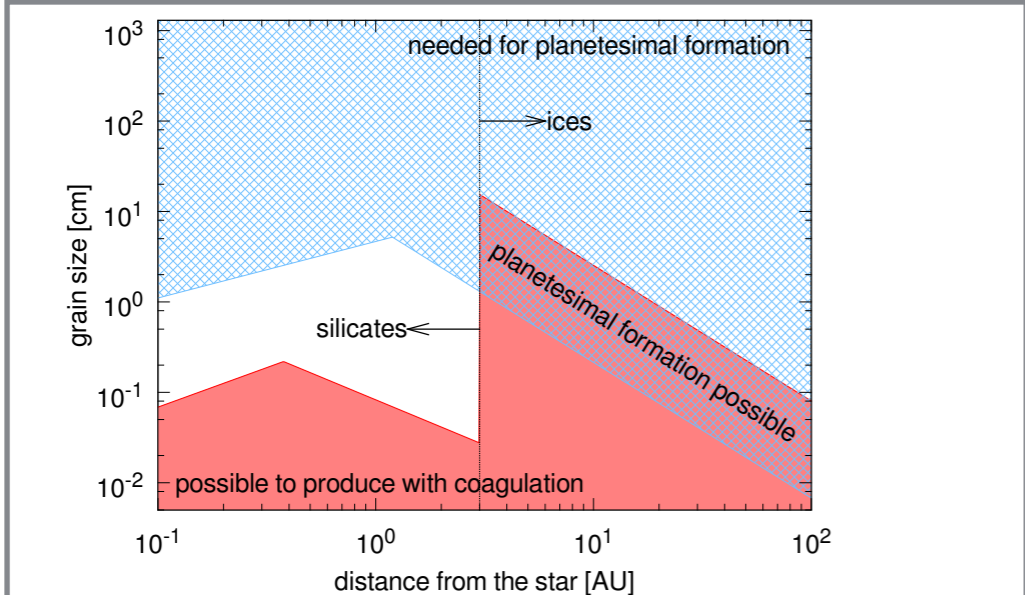


ストリーミング不安定性による強い濃集の条件： ダストサイズ vs. 初期ダスト-ガス比



今回注目する領域 (0.01-0.1) ストークス数

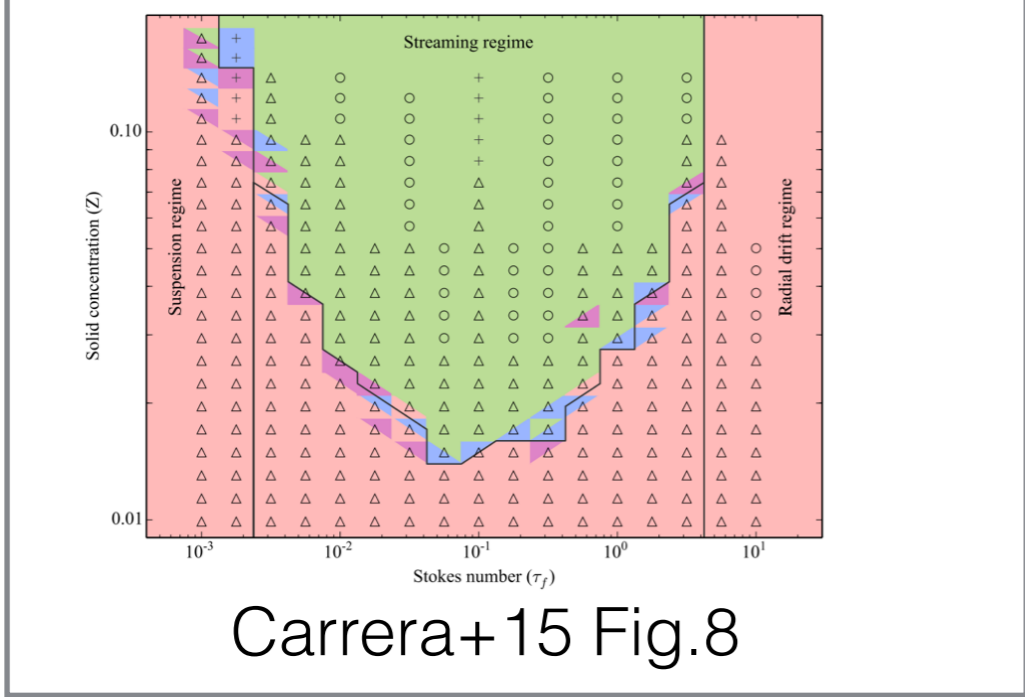
本研究の目的： ダスト塊の「総質量」という観点から、 SI によるダスト濃集の条件を整理しなおす



Drazkowska+Dullemond 14 Fig.2



- ダスト層のSI の数値実験
- 高密度のダスト塊の「総質量」に注目
- MMSNのダスト量との大小を比較



Carrera+15 Fig.8

過去に提案されてきた微惑星形成条件

基礎方程式：

2次元の等温流体（円盤ガス） + 粒子の運動（ダスト）

ガス 格子法 (CIP 法)

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \mathbf{v}) = 0 \quad P = c_s^2 \rho_g$$
$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho_g} \nabla P - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} + 3\Omega^2 x \hat{\mathbf{x}} - \beta c_s \Omega \hat{\mathbf{x}} \left[-\frac{\varepsilon}{\tau_f} (\mathbf{v} - \mathbf{w}') \right]$$

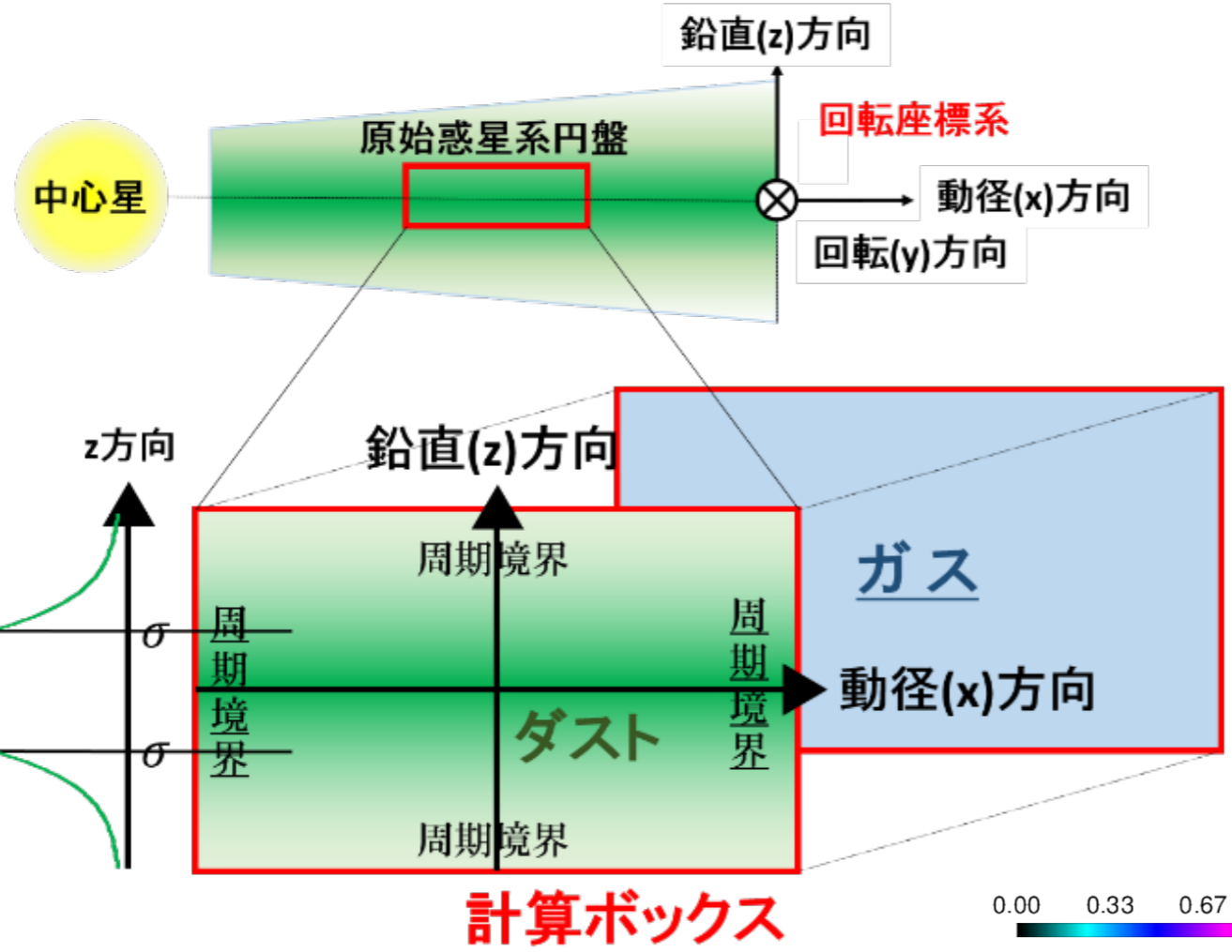
ダスト Particle in Cell method (Super-Particle Approximation)

$$\frac{d \mathbf{u}_i}{dt} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u}_i + 3\Omega^2 x_i \hat{\mathbf{x}} \left[-\frac{1}{\tau_f} (\mathbf{u}_i - \mathbf{v}'_i) \right]$$

摩擦力

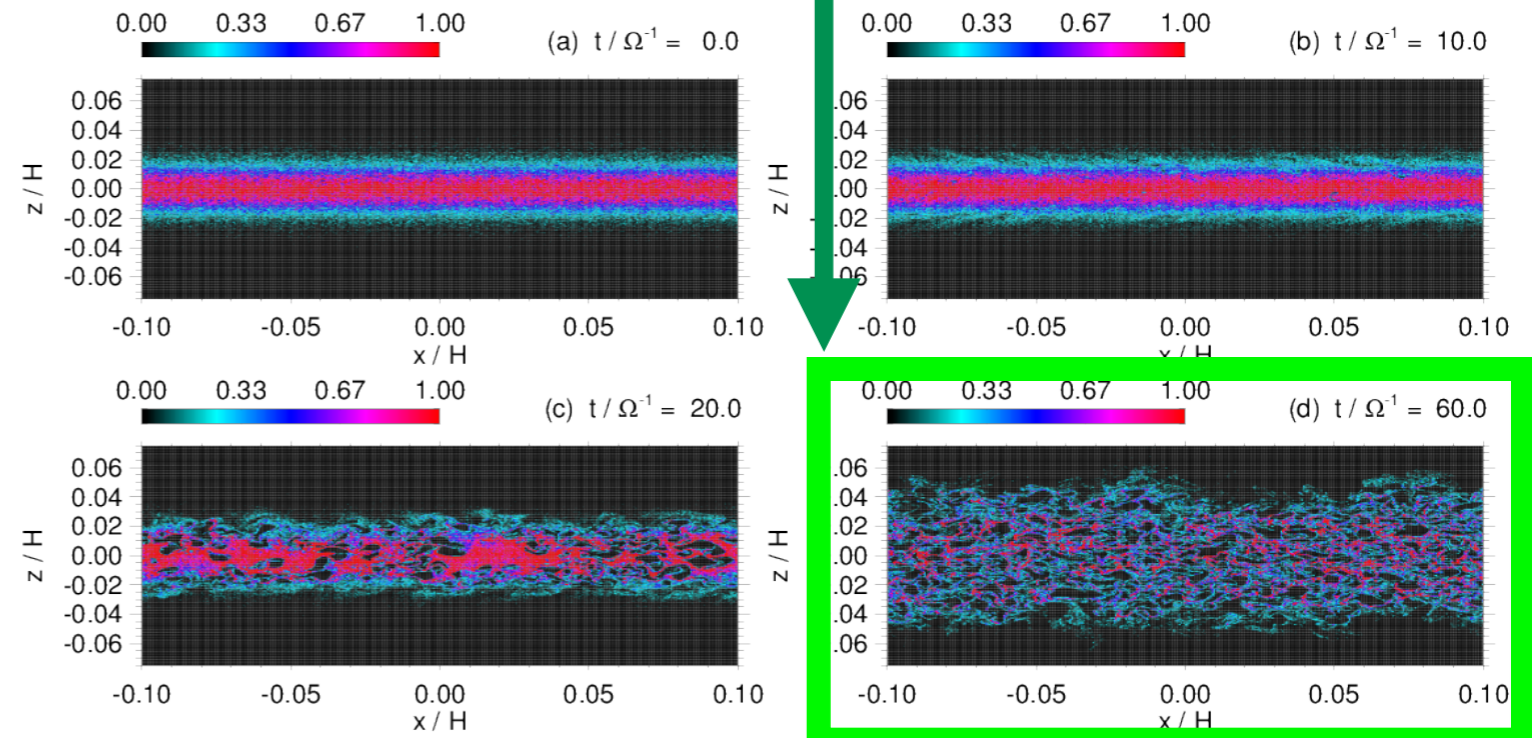
※ 計算領域は動径-鉛直方向の2次元

計算設定： ダスト分布の初期分布と鉛直方向重力について

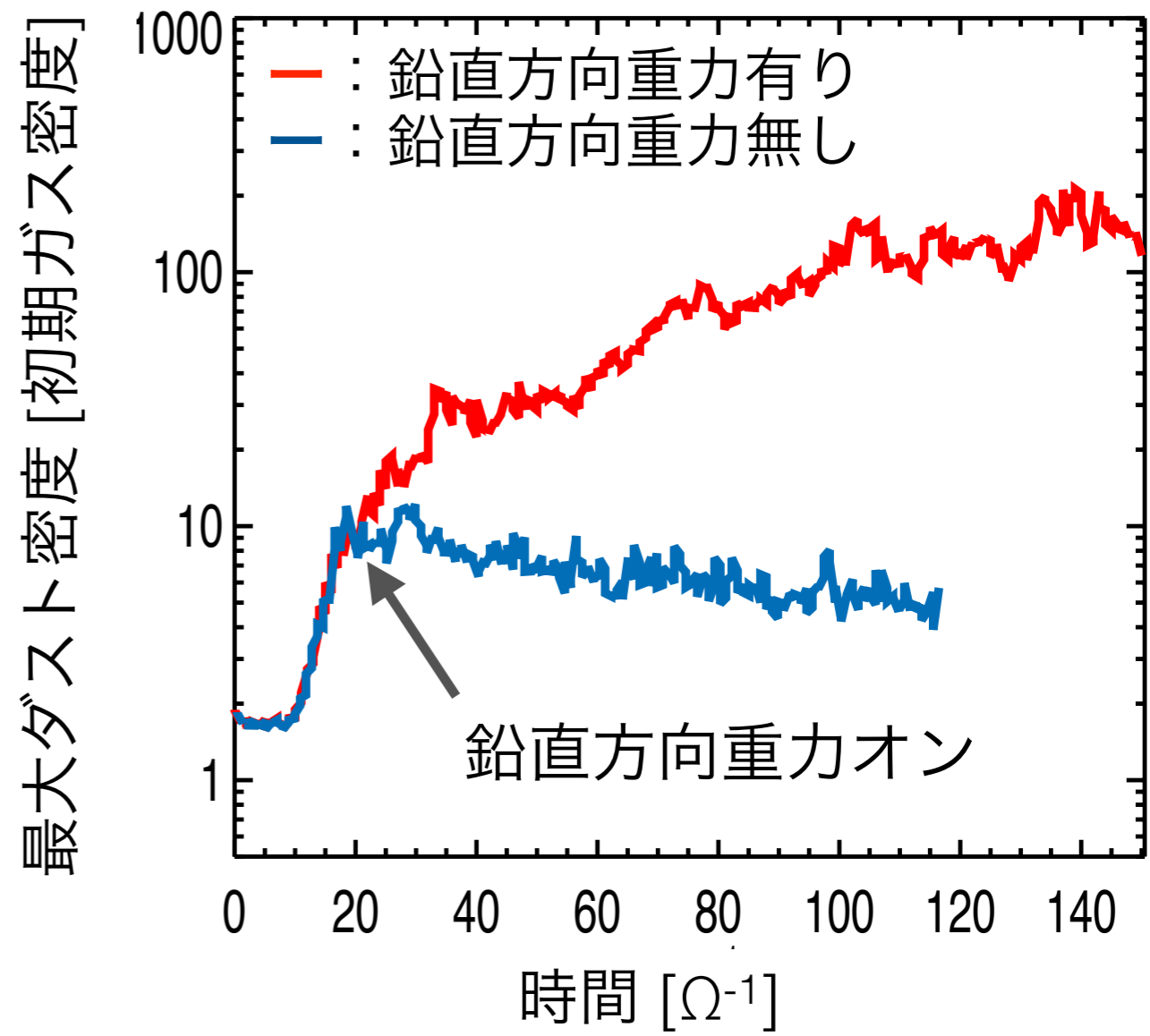
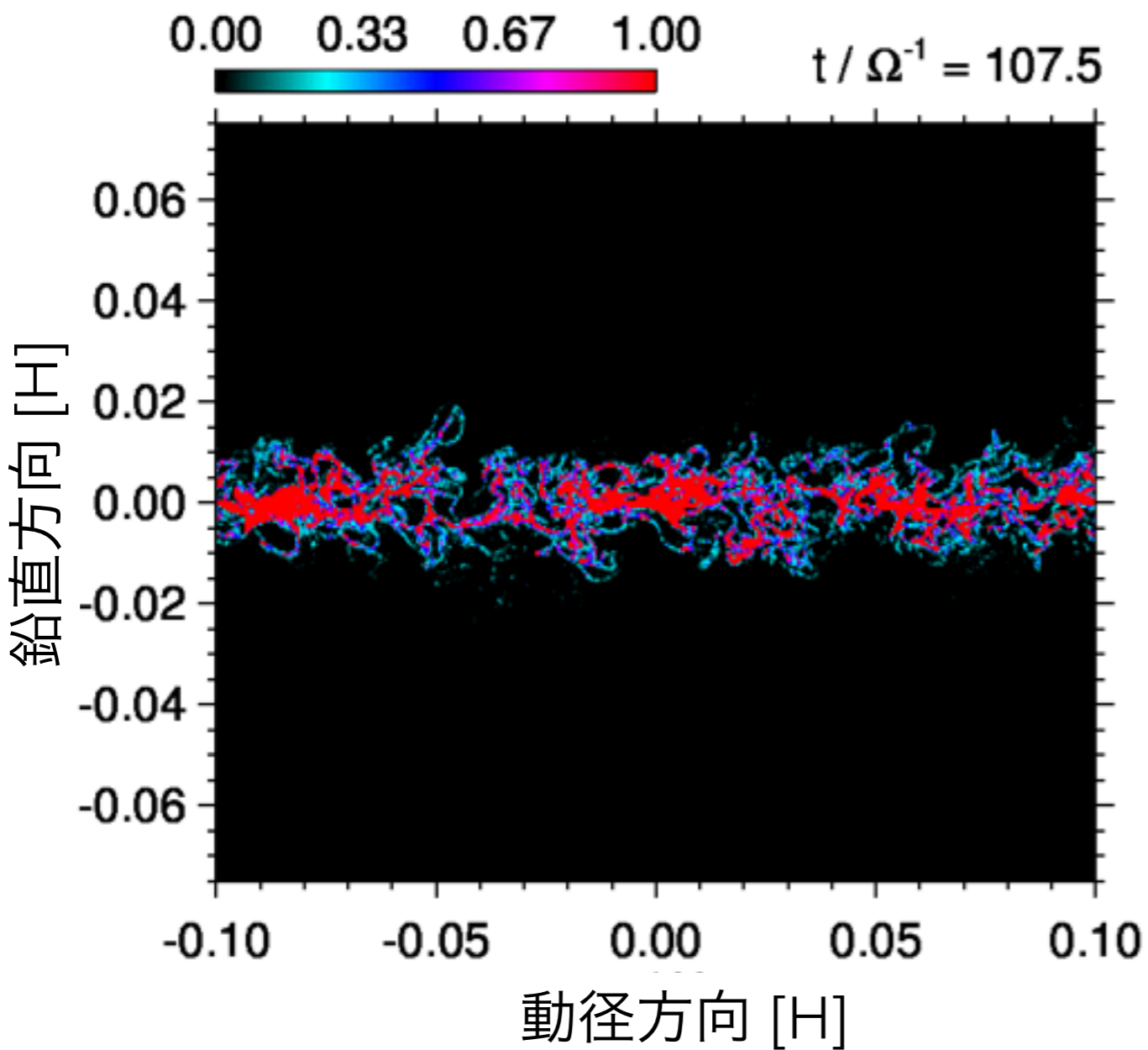


速度分散が飽和した時点で
鉛直方向重力を入れる

鉛直方向にガウシアンで置く

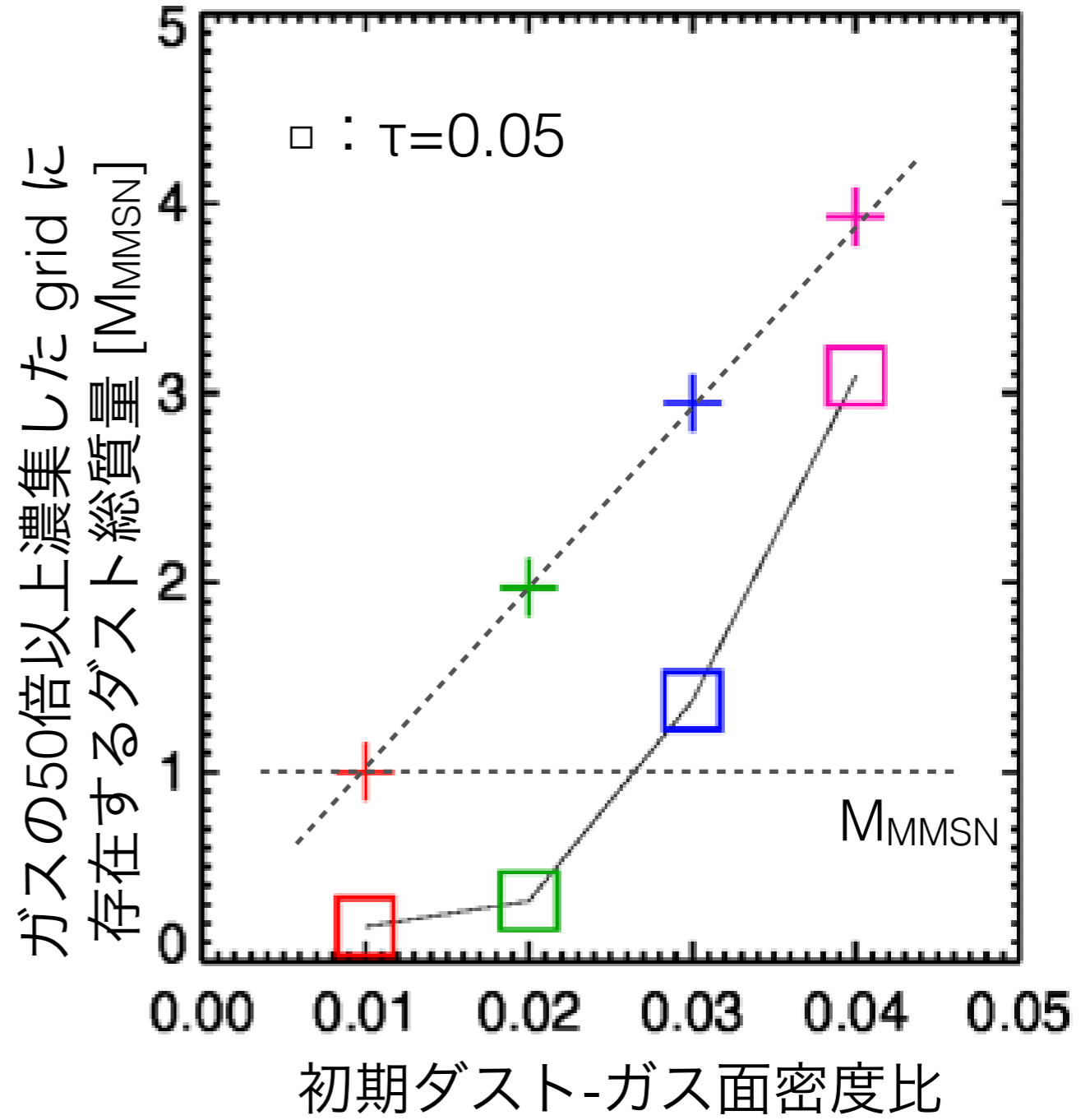
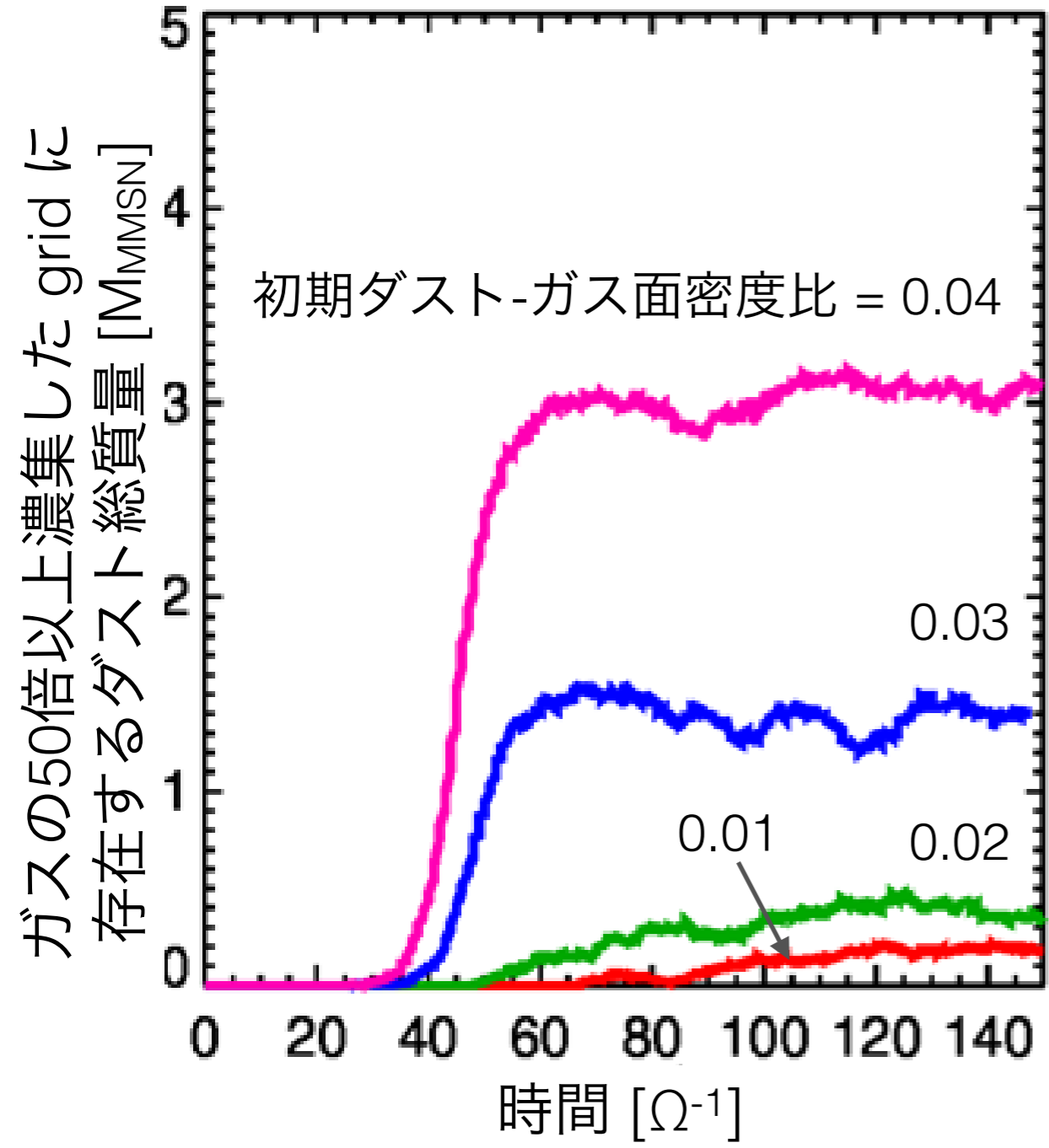


典型的なパラメータでの進化の様子： 円盤中心面での乱流の飽和と最大ダスト密度



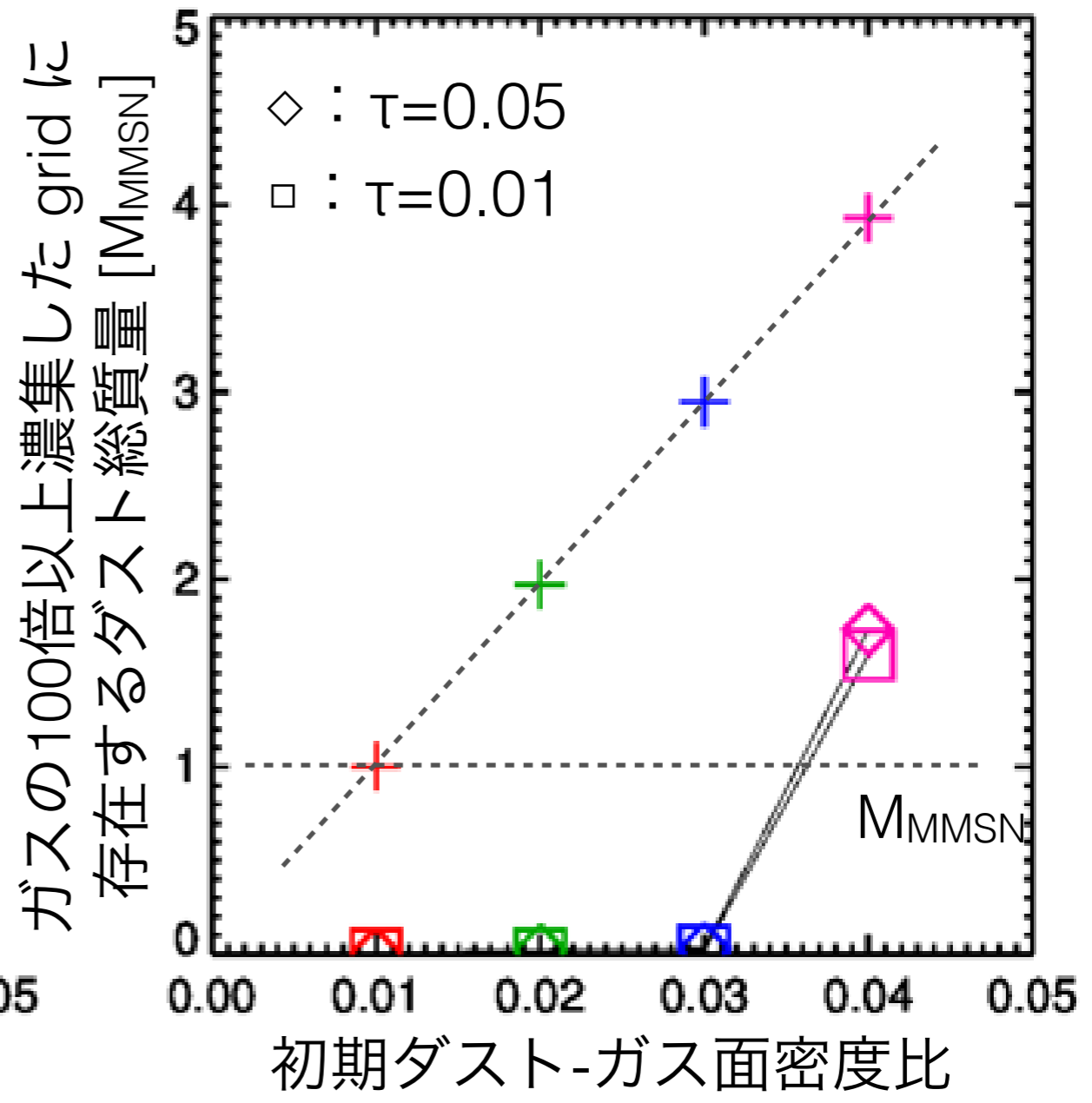
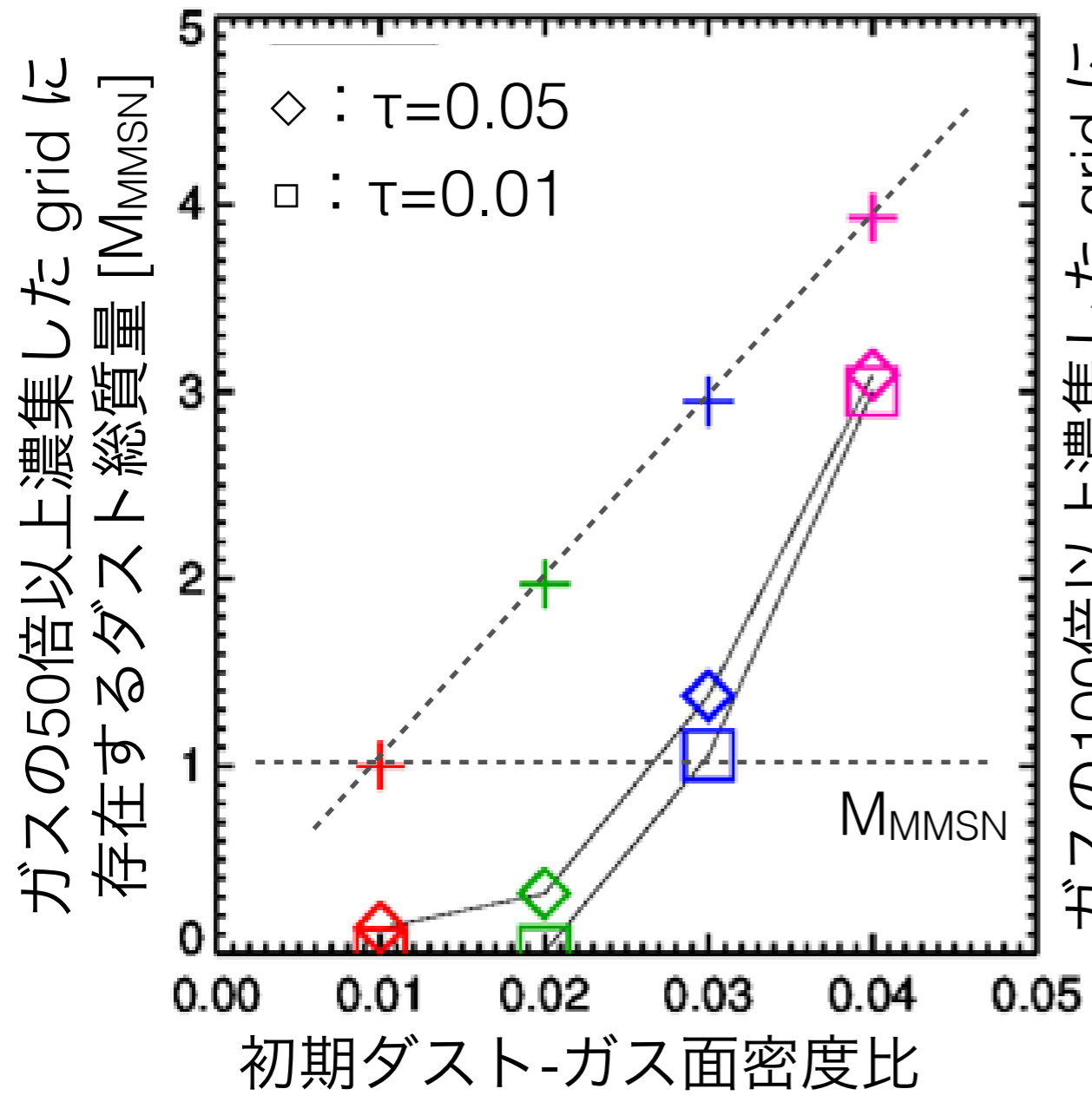
ダスト塊の形成効率： 濃集に寄与しているダスト質量 / 全ダスト質量

+ : 計算ボックス内の全ダスト



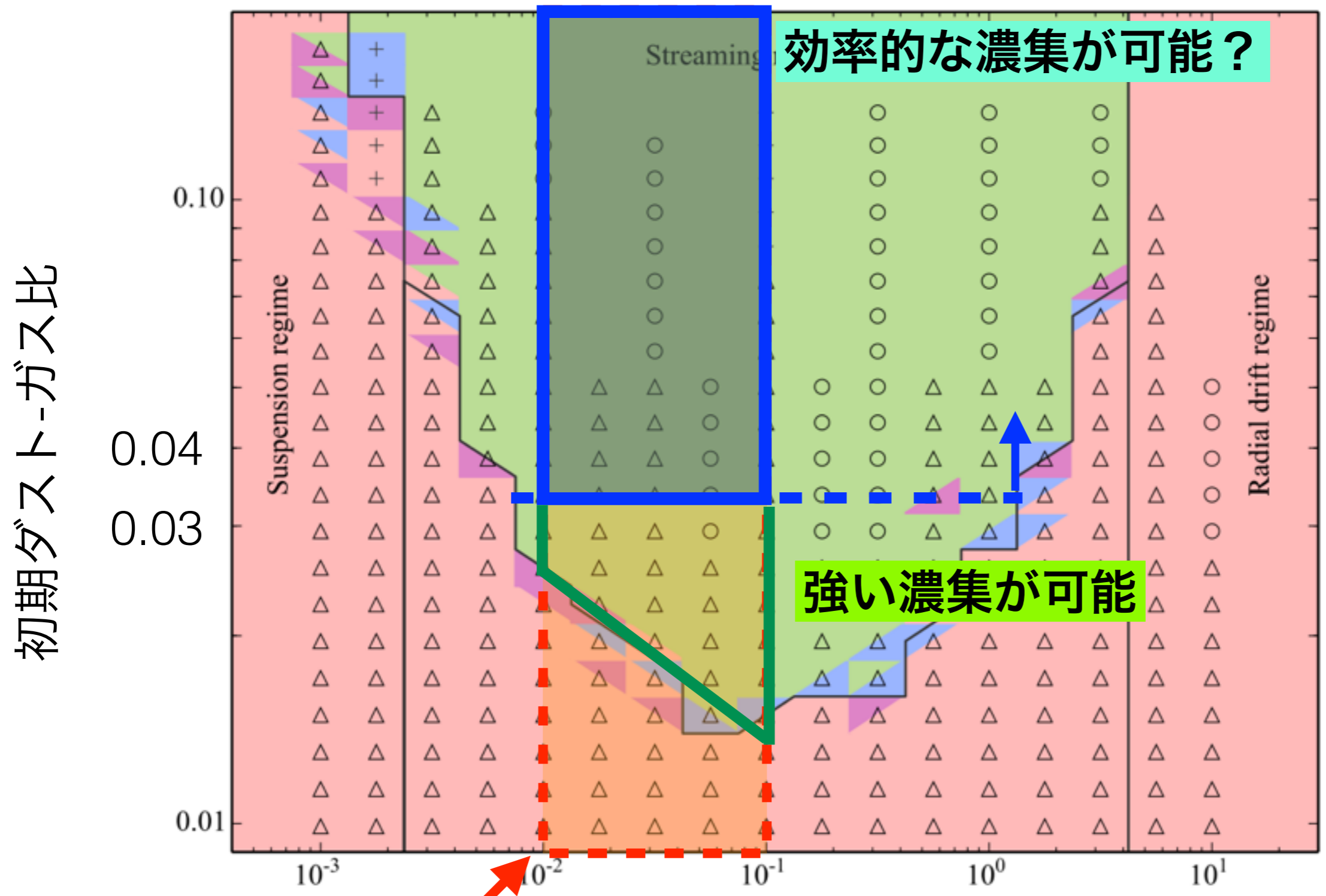
強い濃集に寄与するダストの割合： 初期ダスト-ガス比・サイズ依存性

+ : 計算ボックス内の全ダスト



※ロッシュ密度 $\sim 100\rho_{\text{gas}}$

議論：微惑星形成への示唆



今回注目する領域 (0.01-0.1) ストークス数

まとめ：SI によるダスト濃集条件を 形成効率という観点から再検討してみた

惑星系形成中の天体サイズの進化



SI による効率的なダスト濃集

