

[Z315b] 原始惑星系円盤中の局所構造におけるダストの合体成長と微惑星形成



瀧 哲朗⁽¹⁾, 奥住 聡⁽¹⁾, 藤本正樹⁽²⁾⁽³⁾, 井田 茂⁽³⁾
(1) 東工大 (2) ISAS, JAXA (3) 東工大 ELSI e-mail: taki@geo.titech.ac.jp

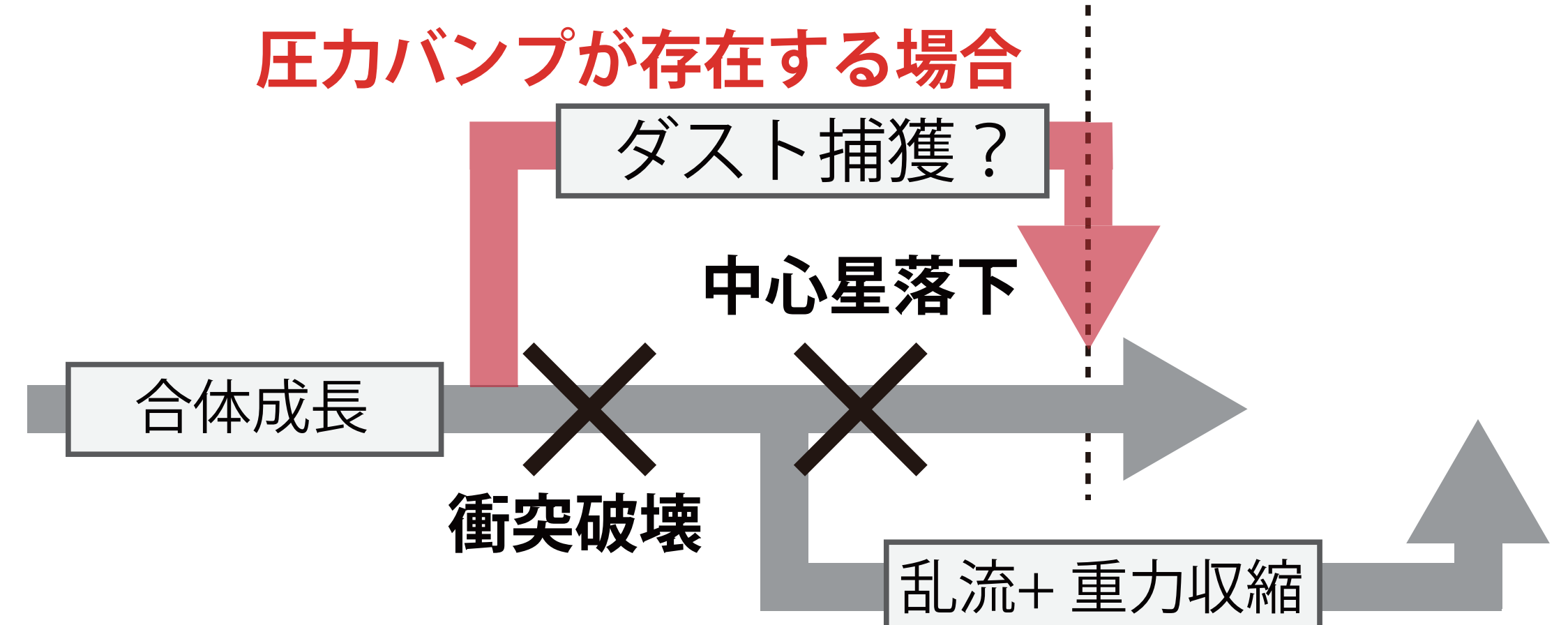


Summary

惑星系形成過程における固体サイズの進化



サイズの進化のメカニズム



圧力バンプ

落下するダストを捕獲可能 (Whipple 72, Haghighipour+Boss 03)
様々な形成過程が理論的に予言されている (Johansen+14)

ダストからの反作用 (ダスト摩擦)

→ 圧力バンプの**変形**

(Kato+12, Taki+ submitted)

ダストの合体成長を促進

(This poster!)

ダスト濃集領域の形成

- ・低い相対速度 (10-100cm/s)
- ・高いダスト-ガス比 (~1)

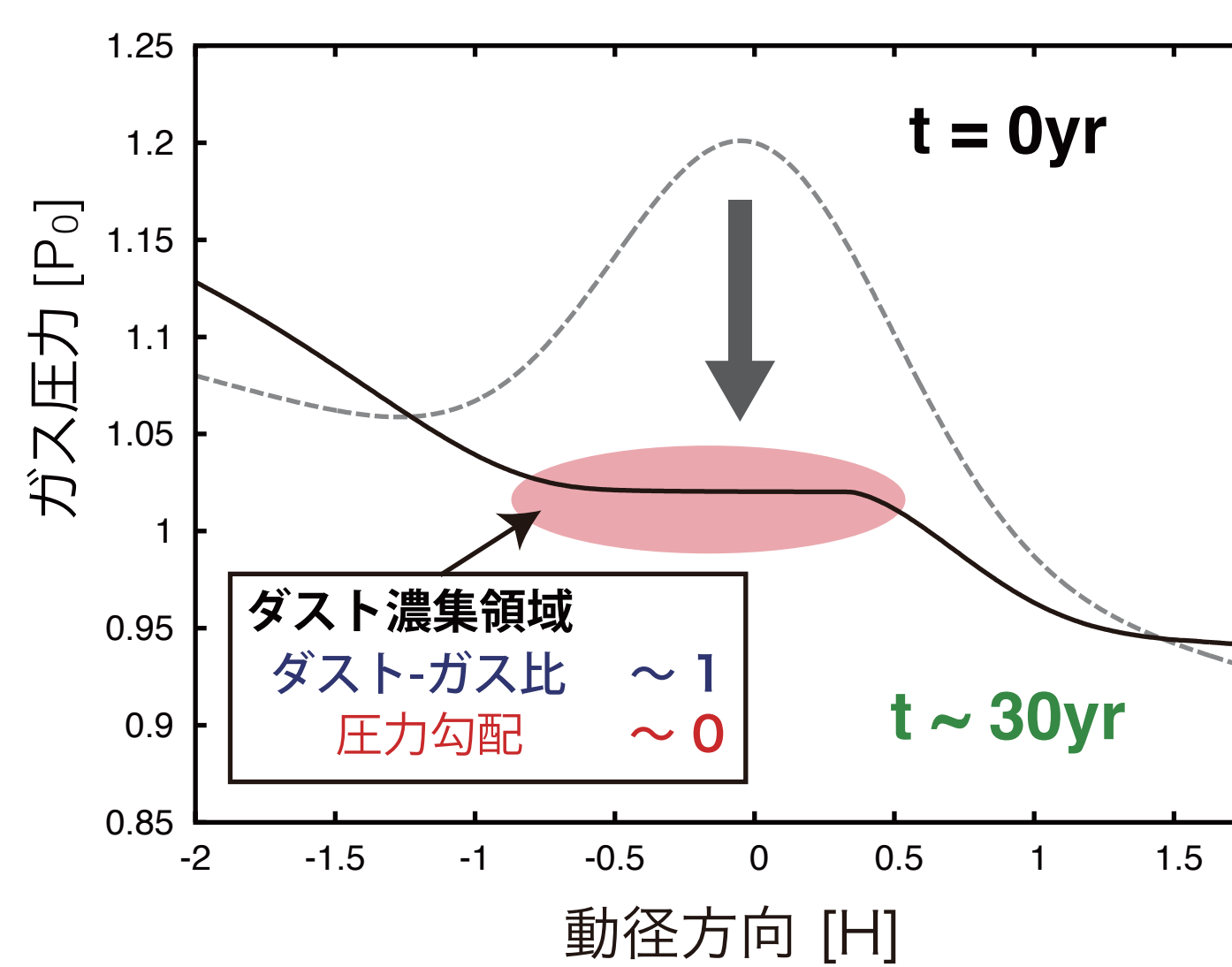
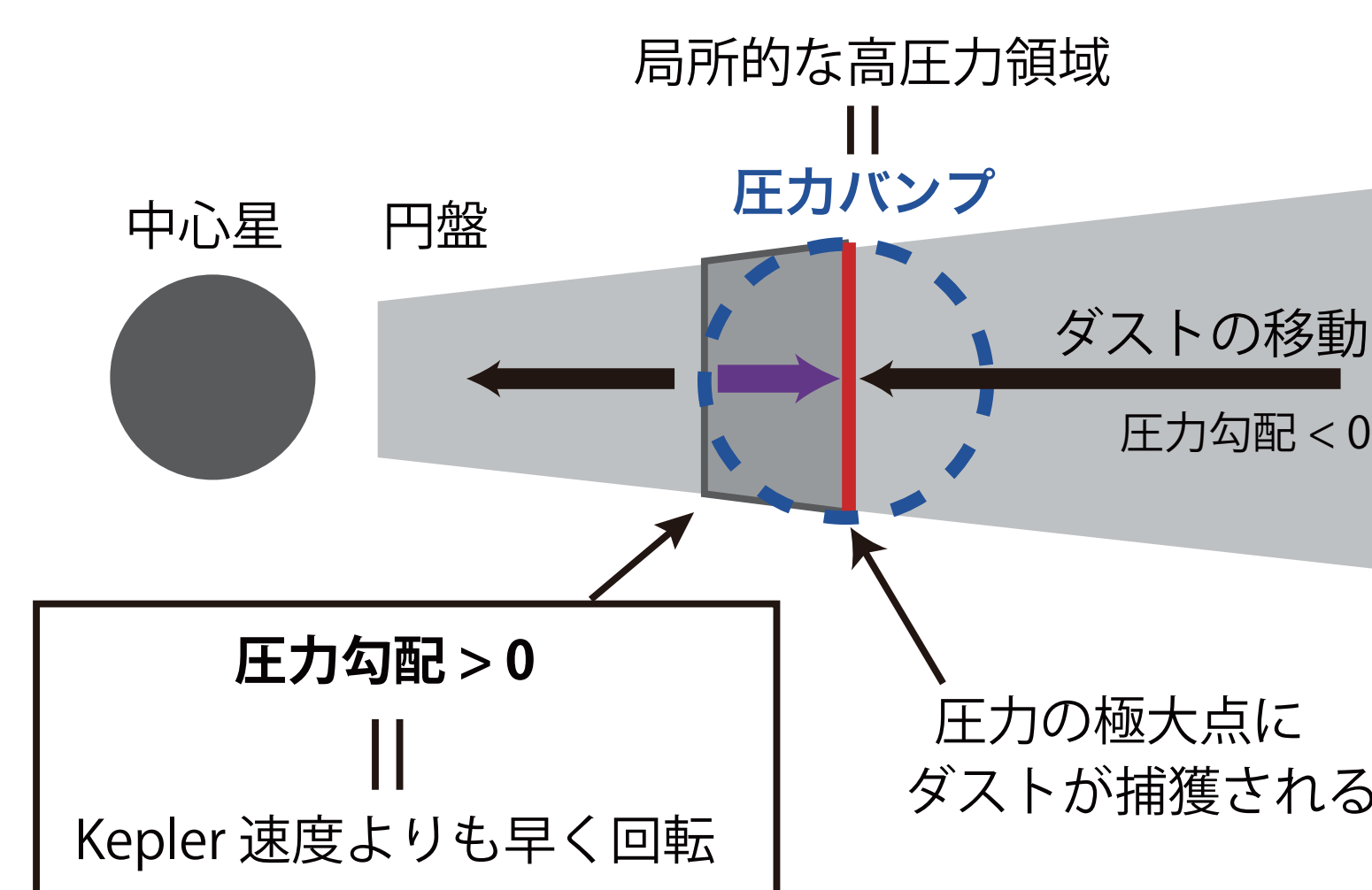
微惑星形成?

→ 圧力バンプは、岩石ダストの場合であっても、微惑星形成に有利な環境を作ることができる

1. Introduction

圧力バンプによるダスト捕獲:

原始惑星系円盤内に存在する、局所的な高圧力領域を、圧力バンプと呼ぶ。定常な圧力バンプは右図のように、圧力の極大点にダストを捕獲することができると考えられている。



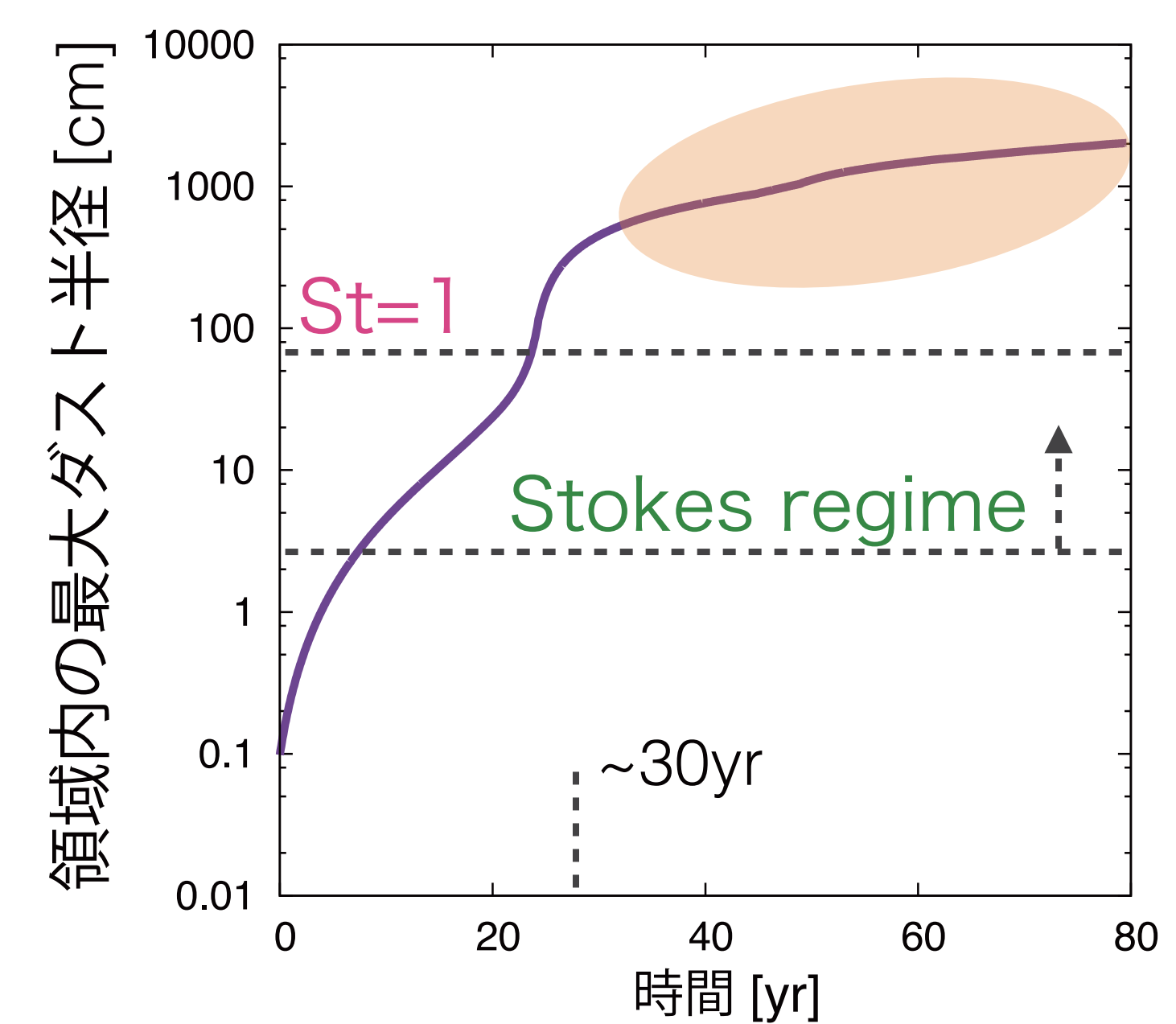
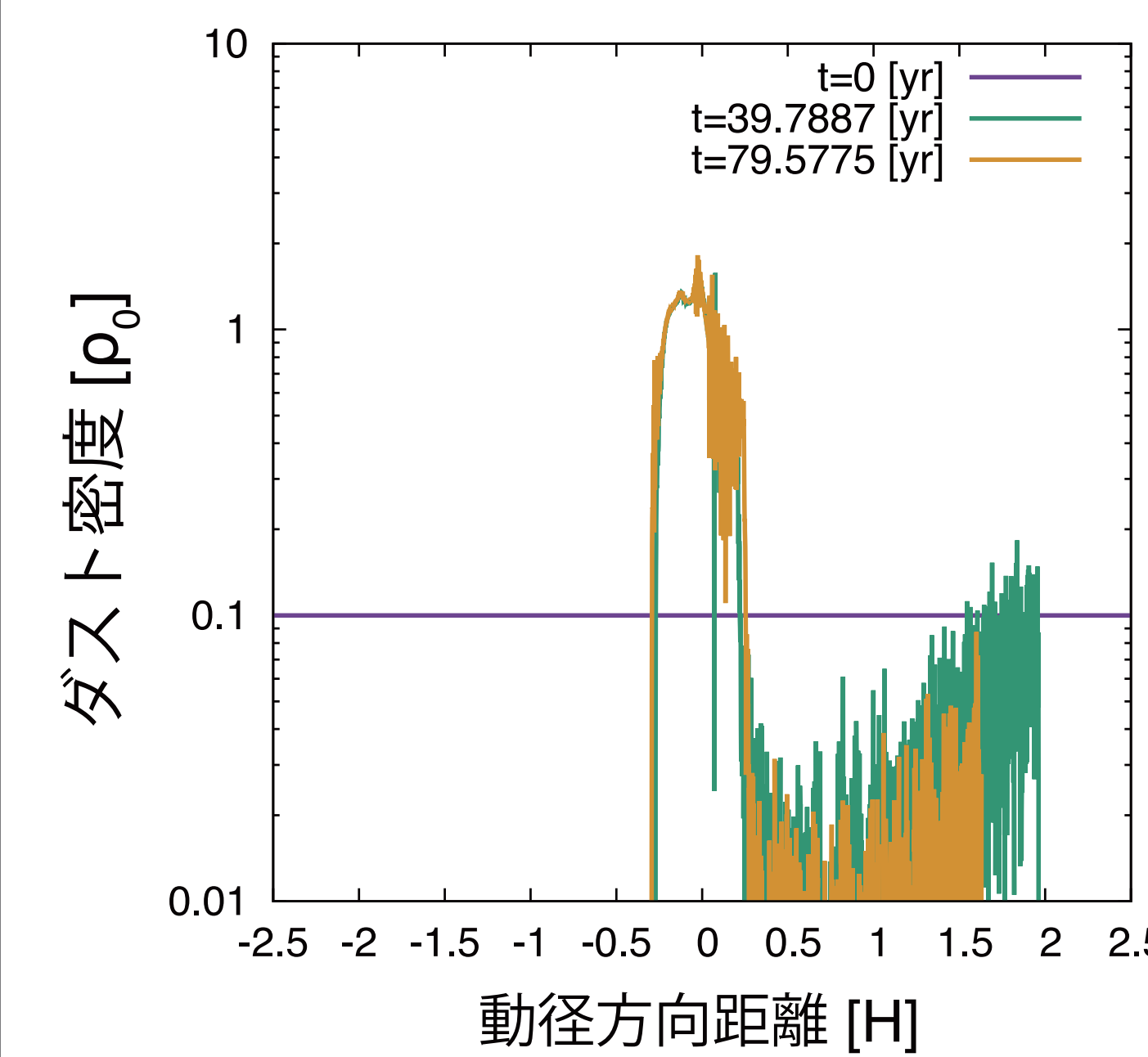
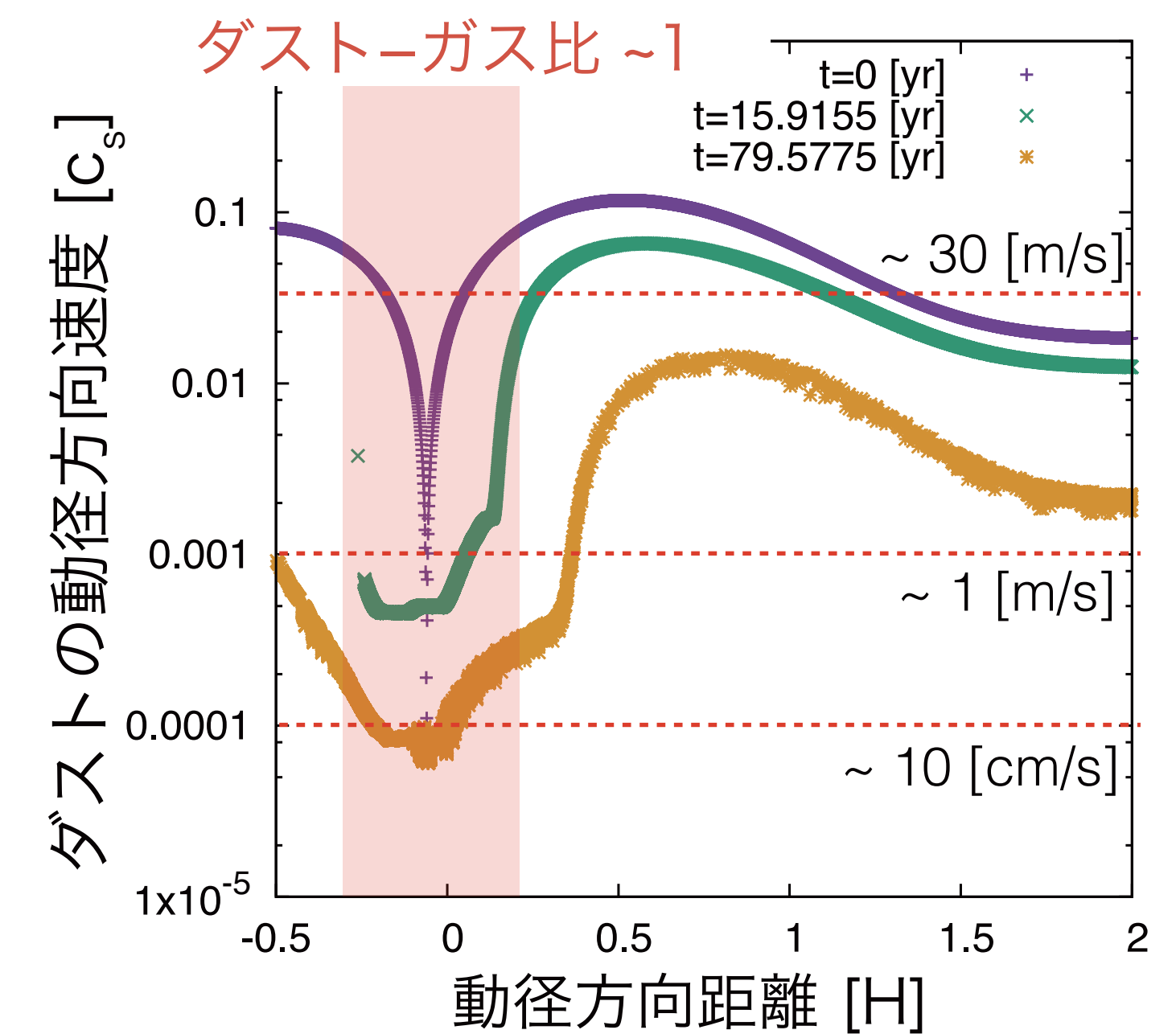
圧力バンプの変形:

圧力バンプがダストを捕獲するのに従い、ダスト摩擦によるガス構造の変形が無視できなくなる。最終的に圧力バンプはダスト摩擦によって完全に平坦化されてしまい、後には小さな圧力勾配を持つダスト濃集領域が残る (Taki+, submitted).

3. Results

圧力バンプにおけるダストの急速な成長:

圧力バンプはダスト-ガス比 ~1 のダスト濃集領域を作る。濃集領域におけるダストの中心星落下速度は、岩石の衝突破壊速度を下回る。またダストは急速に $St \gg 1$ まで成長することができる。



2. Equations and Settings

ガス

連続の式

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \mathbf{v}) = 0$$

等温ガスの条件

$$P = c_s^2 \rho_g$$

運動方程式

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

global pressure gradient

$$-\beta c_s \Omega \hat{x} - \frac{\varepsilon}{\tau_f} (\mathbf{v} - \mathbf{w}').$$

ダスト

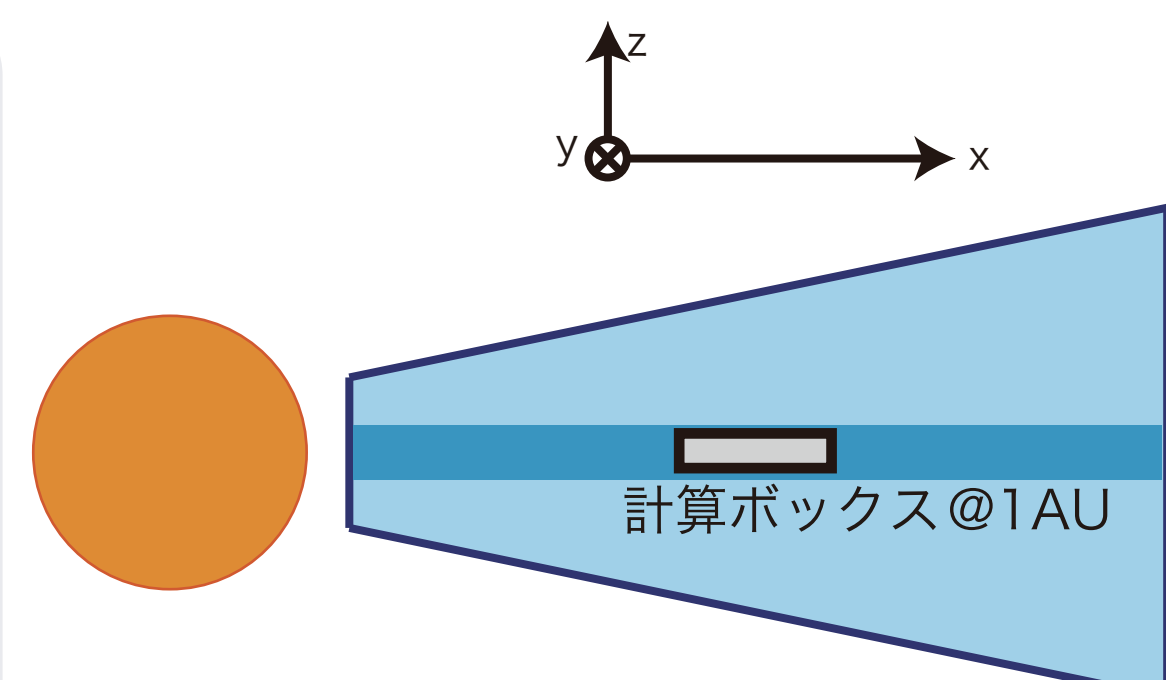
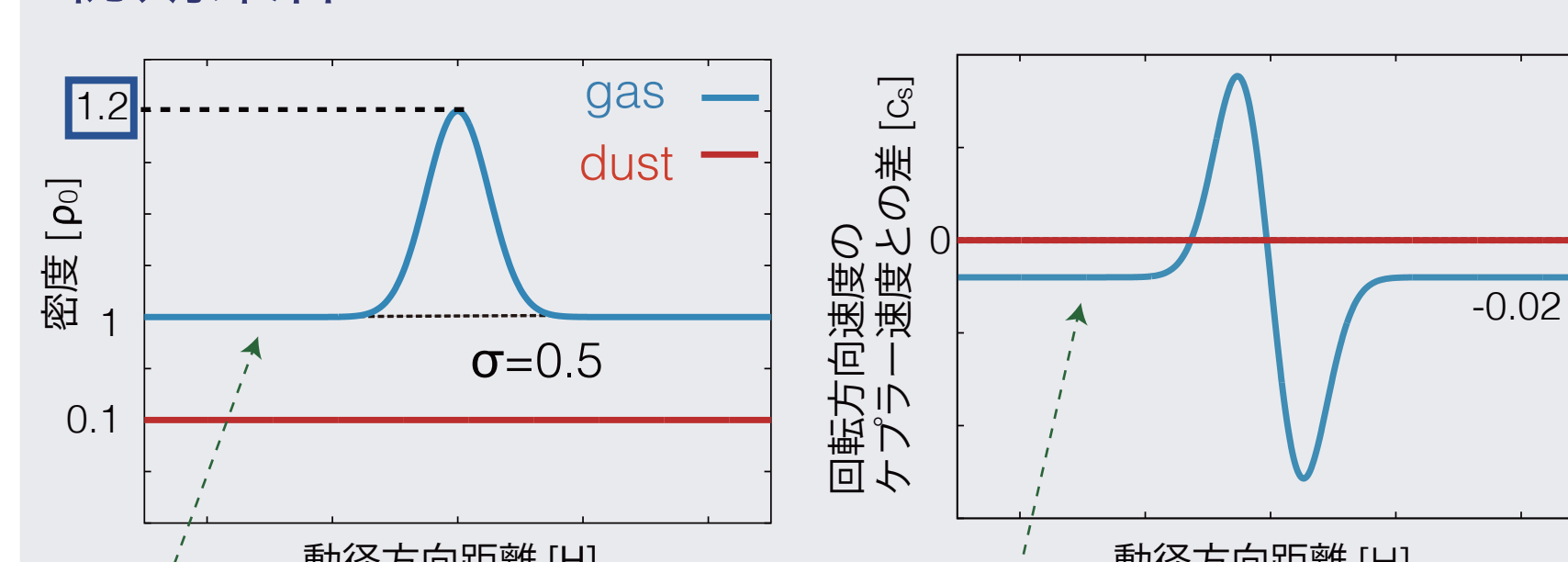
運動方程式

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

ダストサイズ進化 (Single-Size Approach; Sato+16 A&A accepted)

$$\frac{da}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\Delta v_{pp} \rho_d}{\rho_{int}}$$

初期条件



ボックスサイズ: 10 [H] (1 grid = 0.001 H)
初期摩擦緩和時間: $\tau_s \sim 10^{-4}$ [Q⁻¹]
global pressure gradient: $\beta = 0.04$

4. Discussion

圧力バンプによる捕獲を経験したダストの進化:

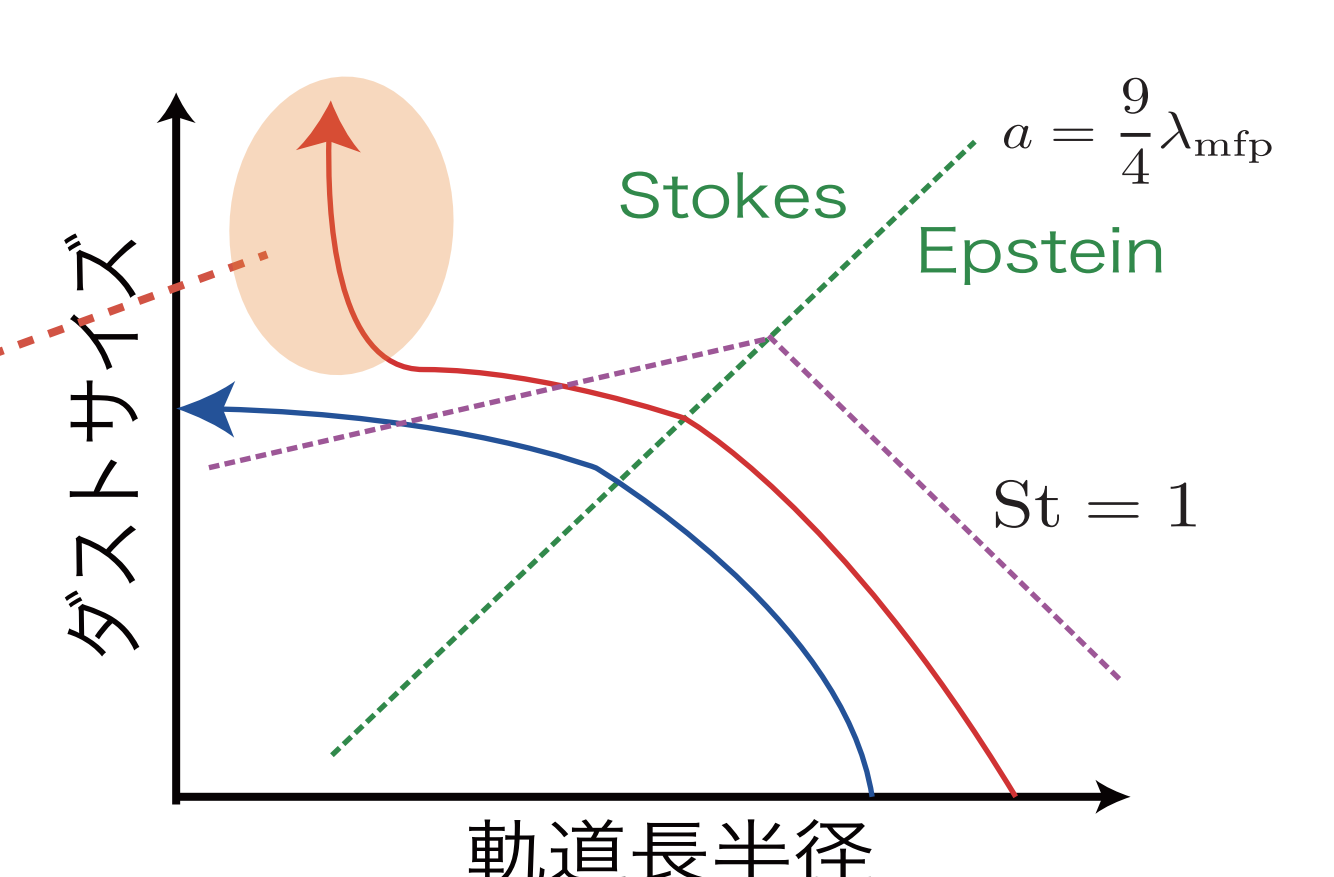
ダストの落下よりも成長が卓越する条件は「 $St \gg 1$ かつ Stokes 則」であること (下図)。今回の計算から圧力バンプはこれらの条件を速やかに実現することが示唆された。

圧力バンプの寿命が微惑星形成のタイムスケールより短い場合であっても、圧力バンプは微惑星形成に重要な役割を果たす。

t_{grow}/t_{drift} のダストサイズ依存性

ダストの動径方向移動の模式図

	Epstein regime	Stokes regime
$St \gg 1$	$\propto a^0$	$\propto a^{-1}$
$St \ll 1$	$\propto a^1$	$\propto a^1$



5. Future Work

将来的な計算の大規模化:

- ・合体成長モデルの精密化・計算ボックスの多次元化
→ 合体成長・破壊・不安定性の駆動・圧力バンプ構造の進化までを含めた自己無撞着な計算を目指す。
- ・圧力バンプの形成過程を含めたシミュレーション