

高空隙率ダストの光学特性計算と
原始惑星系円盤表層部におけるダストのダイナミクス
○田崎 亮、野村 英子(京都大学)、岡田靖彦(神戸大)



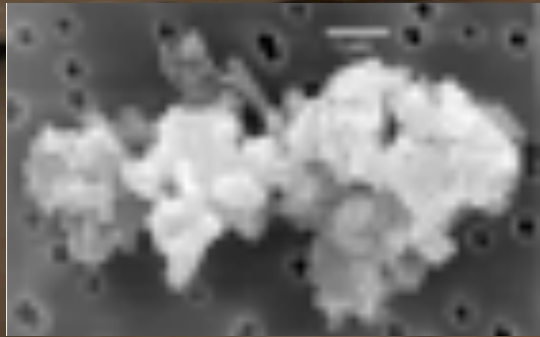
~数 μm



第43回 天文・天体物理若手夏の学校

2013年8月1日

原始惑星系円盤 (Protoplanetary Disks)



ダスト ($\sim \mu\text{m}$)

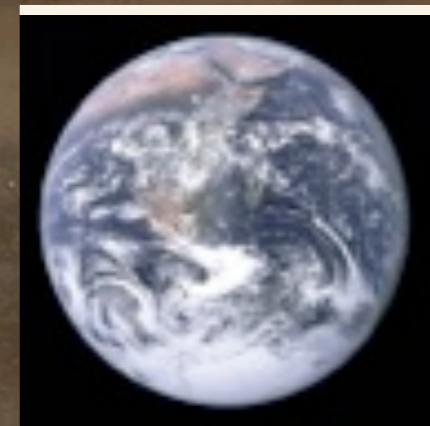


微惑星 ($\sim \text{km}$)



惑星

($\sim 1000\text{km}$)



彗星の結晶質シリケイトの問題

彗星

: 円盤外縁部(低温領域)で形成
結晶質シリケイト

: 円盤内縁部(高温領域)で形成



Ballistic Transport ?

(ex. Shu et al. 2001)



Turbulence Transport ?

(ex. Bockelee-Morvan
et al. 2002)

Crystallization of
Silicate Dust
~a few AU

Comet Formation
Region
 $\geq 30\text{AU}$

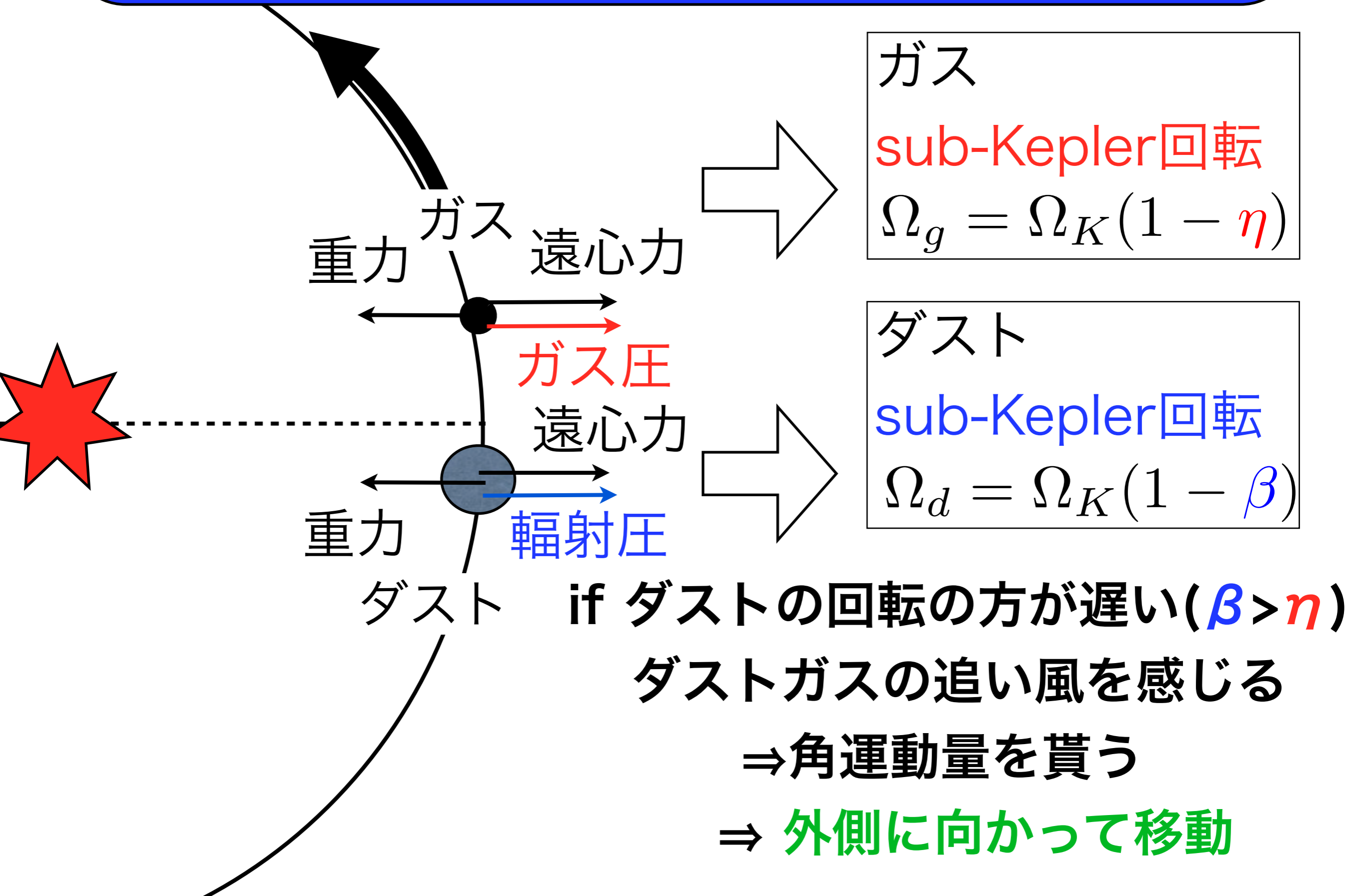
本研究

中心星輻射圧 & ふわふわなダスト

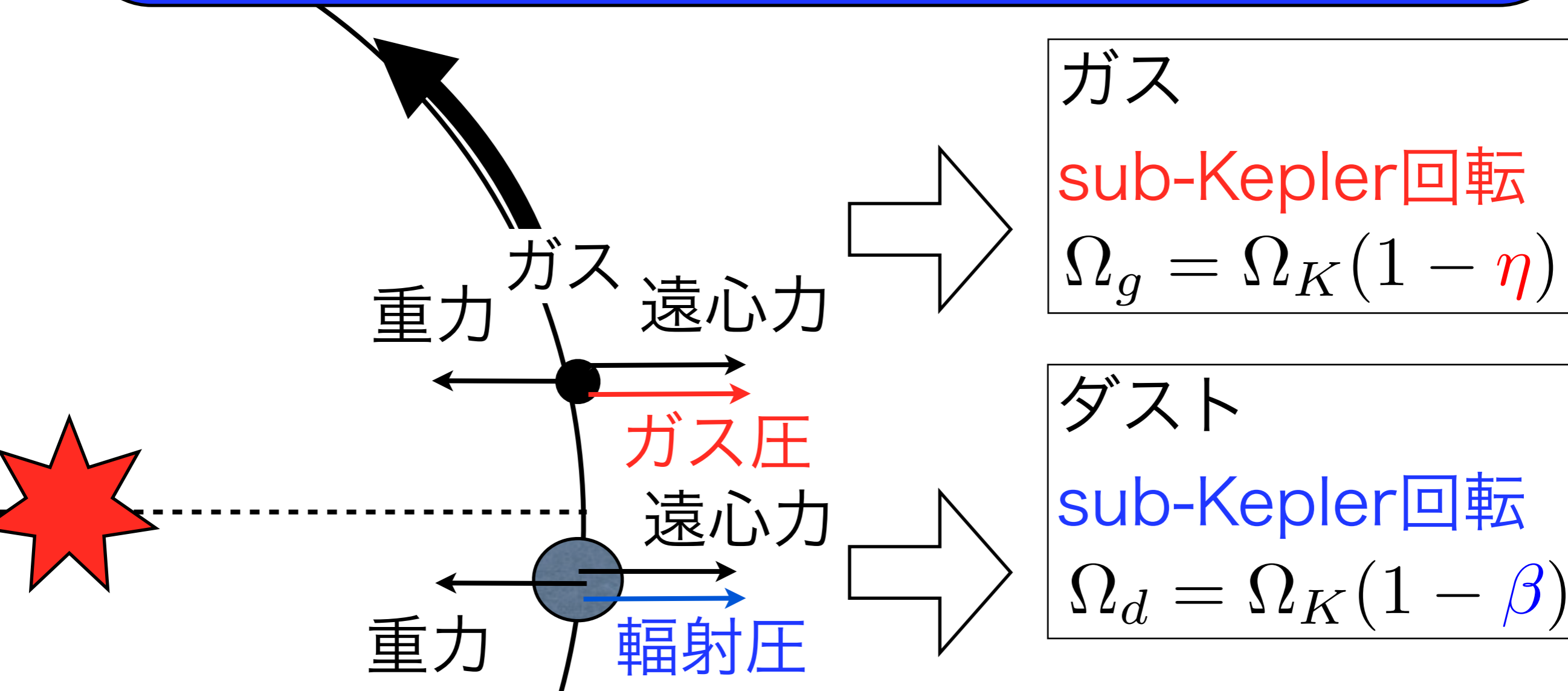
⇒ 外向き移動が起こりうることを示唆した。



輻射圧によるダストの外向き移動



輻射圧によるダストの外向き移動



★ ダストの動径方向の速度

$$v_{d,r} = \frac{v_{g,r} T_s^{-1} + (\beta - \eta) v_K}{T_s + T_s^{-1}}$$

“ $\beta = \text{輻射圧} / \text{重力}$ ”は何で決まっているか？

★ 輻射圧と中心星重力の比： β

$$\beta \equiv \frac{F_{\text{RP}}}{F_{\text{grav}}} = K \left(\frac{\sigma}{m} \right) \int_0^{\infty} Q_{\text{PR}}(\lambda) B_{\lambda}(T) d\lambda,$$

ダストの
Area to Mass Ratio

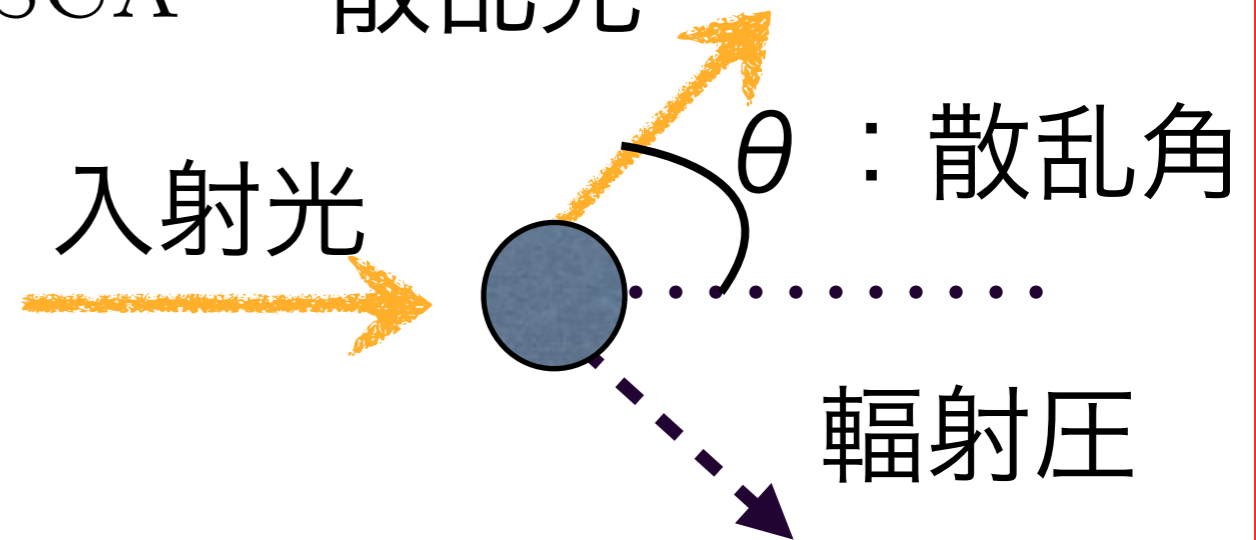
黒体輻射
($M=M_{\odot}$ 、 $T=5778[\text{K}]$)

$$Q_{\text{PR}} = Q_{\text{ABS}} + (1 - g)Q_{\text{SCA}} \quad \text{散乱光}$$

Q_{ABS} : 吸収の効率

Q_{SCA} : 散乱の効率

$g = \langle \cos \theta \rangle$: 非対称因子



“ $\beta = \text{輻射圧} / \text{重力}$ ”は何で決まっているか？

★ 輻射圧と中心星重力の比： β



Compact Grain



Porous Aggregates

QSCA: 散乱の効率

$g = \langle \cos \theta \rangle$: 非対称因子

輻射圧

数値計算

STEP 1.

光学特性計算行い、

compact grain & porous aggregates

に対する輻射圧を求める

STEP 2.

求めた輻射圧の値も元に、

compact, porousなダストの

動径方向の運動を計算

STEP 1 : 光学特性の計算

✓ Compact Grain Model

球対称ダスト (サイズ : $4\mu\text{m}$)

→ Mieの散乱理論



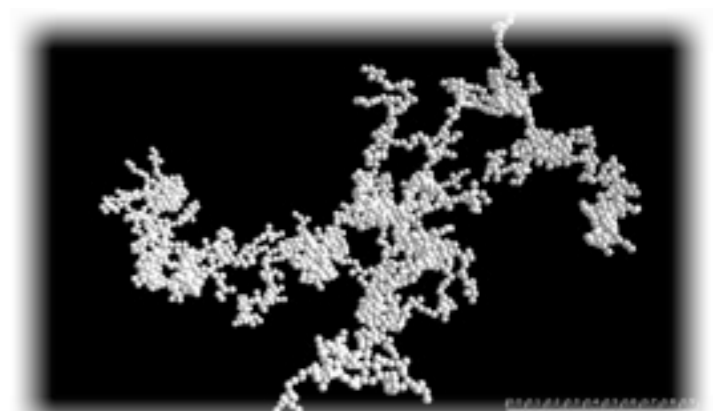
✓ Porous Aggregates Model

モノマー半径 : $0.1\mu\text{m}$

モノマー数1024個のふわふわなダスト

(サイズ : $a \sim 4\mu\text{m}$)

→ T-Matrix Method (e.g., Okada et al. 2008)



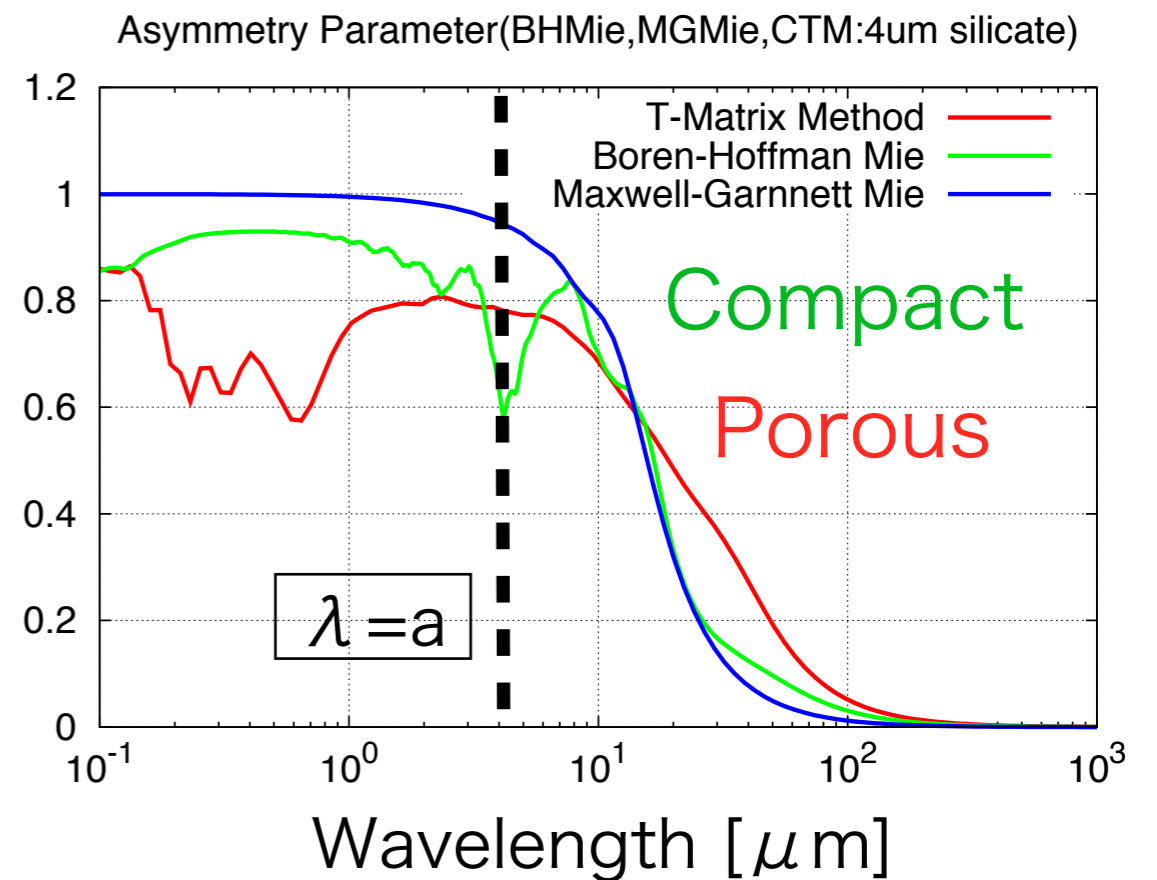
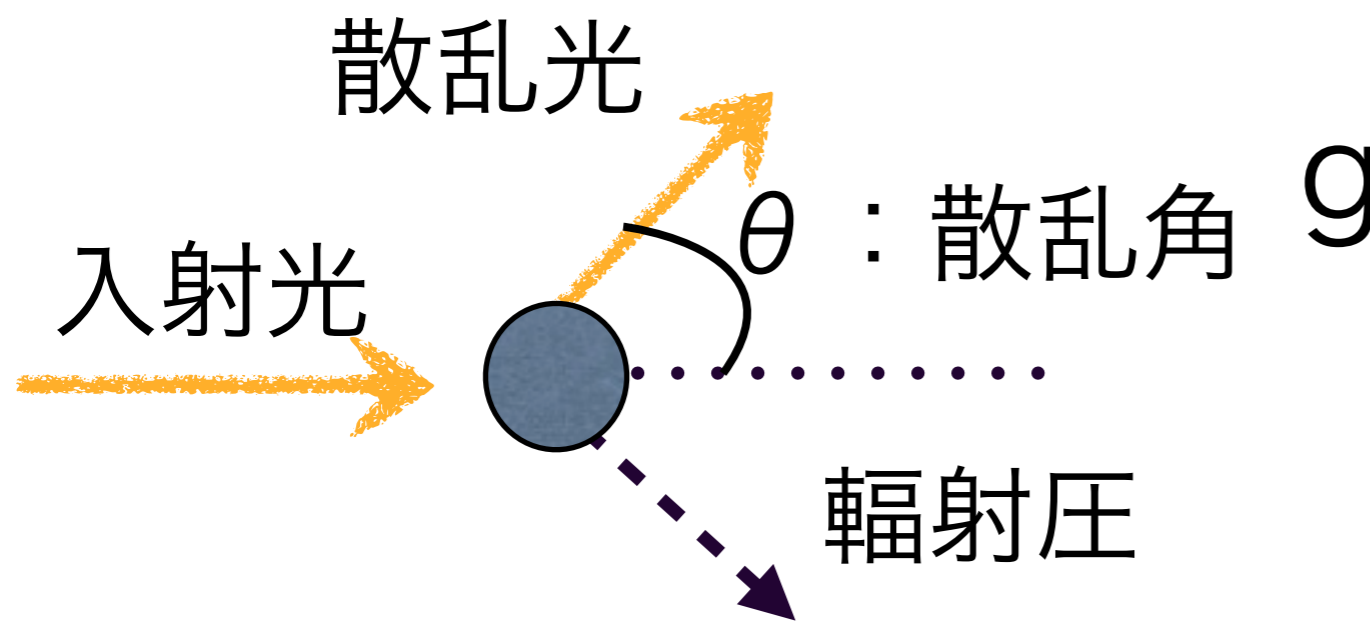
結果1：ダストの光学特性計算(1)

✓ Asymmetry Parameter:

$$g = \langle \cos \theta \rangle$$

$\lambda > a$: 等方散乱

$\lambda < a$: 前方散乱



✓ Porous aggregatesは compact grainよりも弱い前方散乱となる。

結果1：ダストの光学特性計算(2)

✓ Radiation Pressure Efficiency

$$Q_{\text{PR}} = Q_{\text{ABS}} + (1 - g)Q_{\text{SCA}}$$

$\lambda > a$: 吸収がdominant

$\lambda < a$: 散乱がdominant

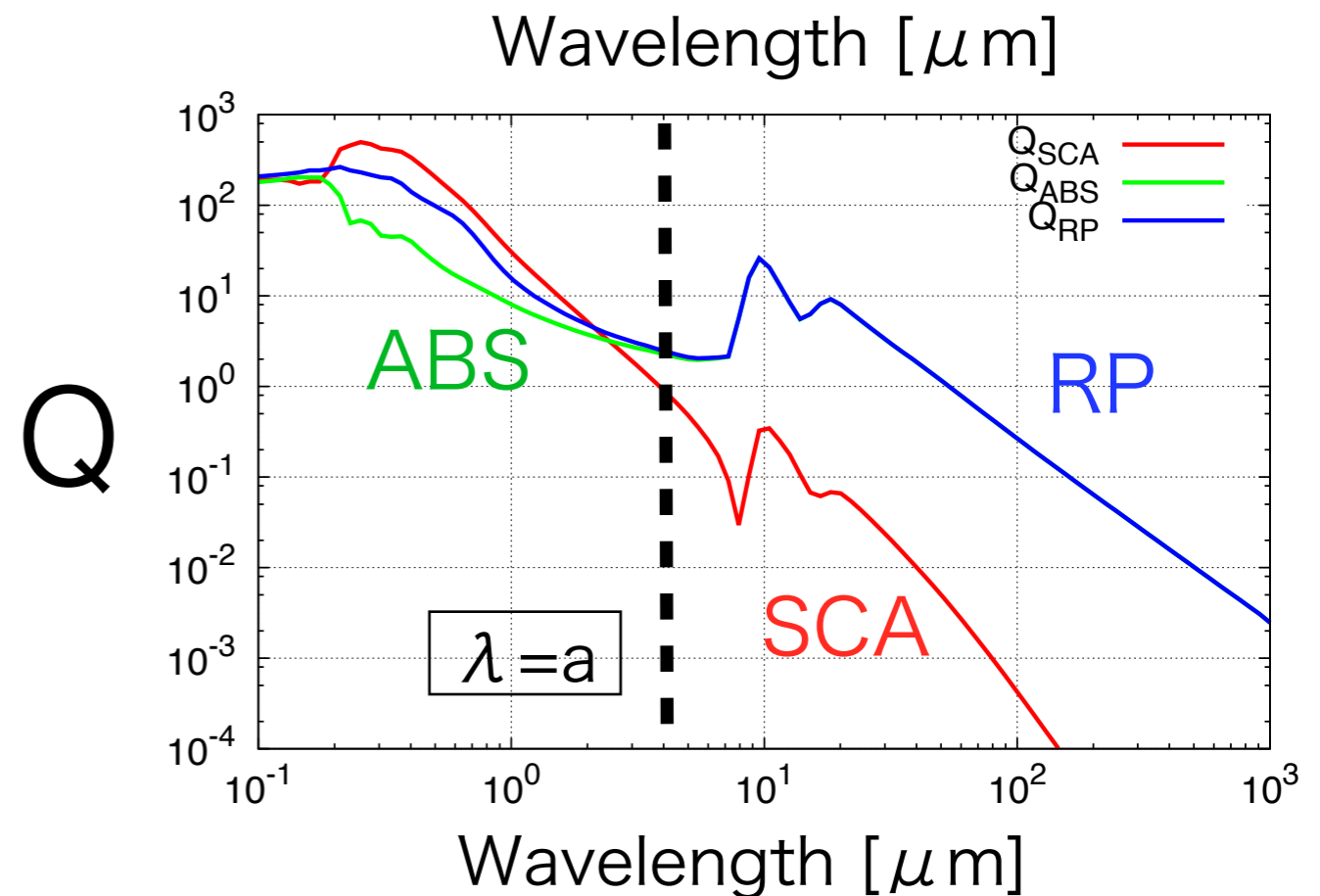
✓ β (=輻射圧/重力)の値

compact grains

$$\beta \sim 0.018$$

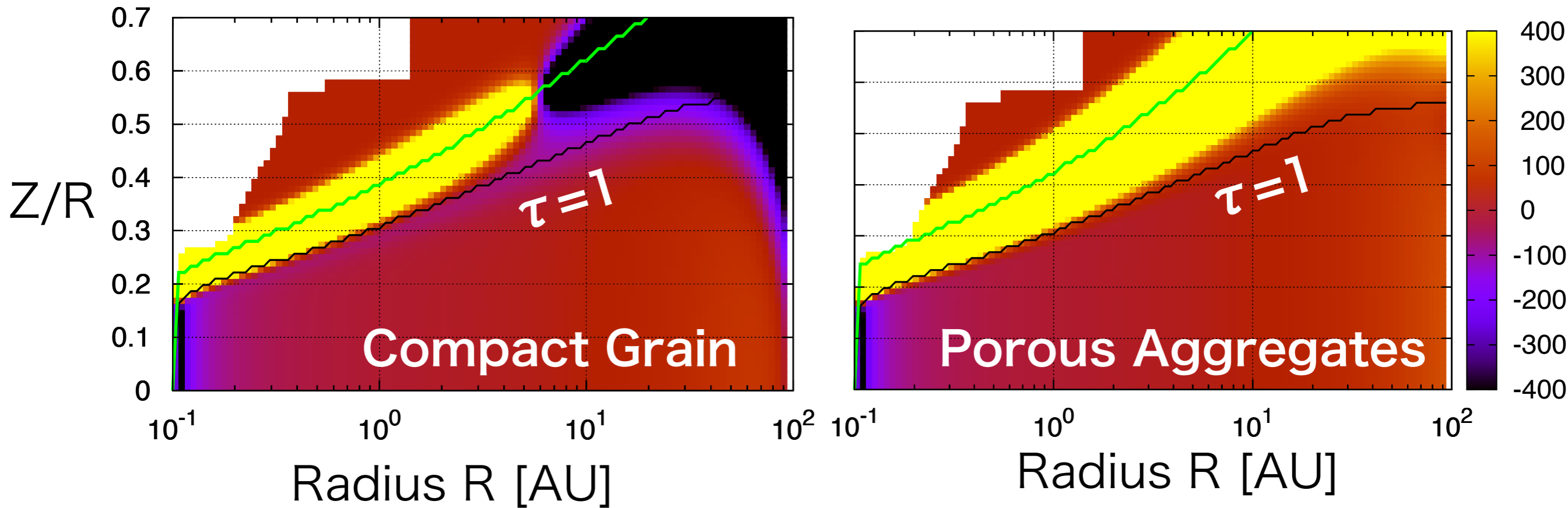
porous aggregates.

$$\beta \sim 0.26$$



< Porous Aggregates >

結果2：ダストの外向き移動領域



色：ダストの動径方向の速度(黄色：外向き)

- ✓ 内向き移動と外向き移動の境界： $\beta \sim \eta$
- ✓ Compact Grainの場合、約6[AU]まで動きうる。
- ✓ Porous Aggregatesの場合は数十AUまで動きうる。

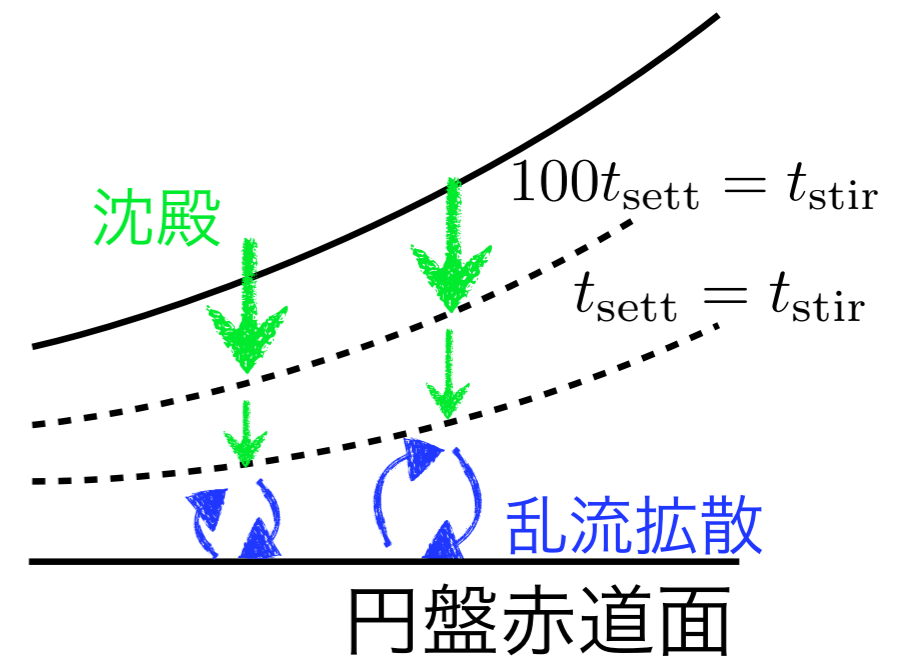
鉛直方向&動径方向の運動のタイムスケール

ダストの鉛直方向の運動：

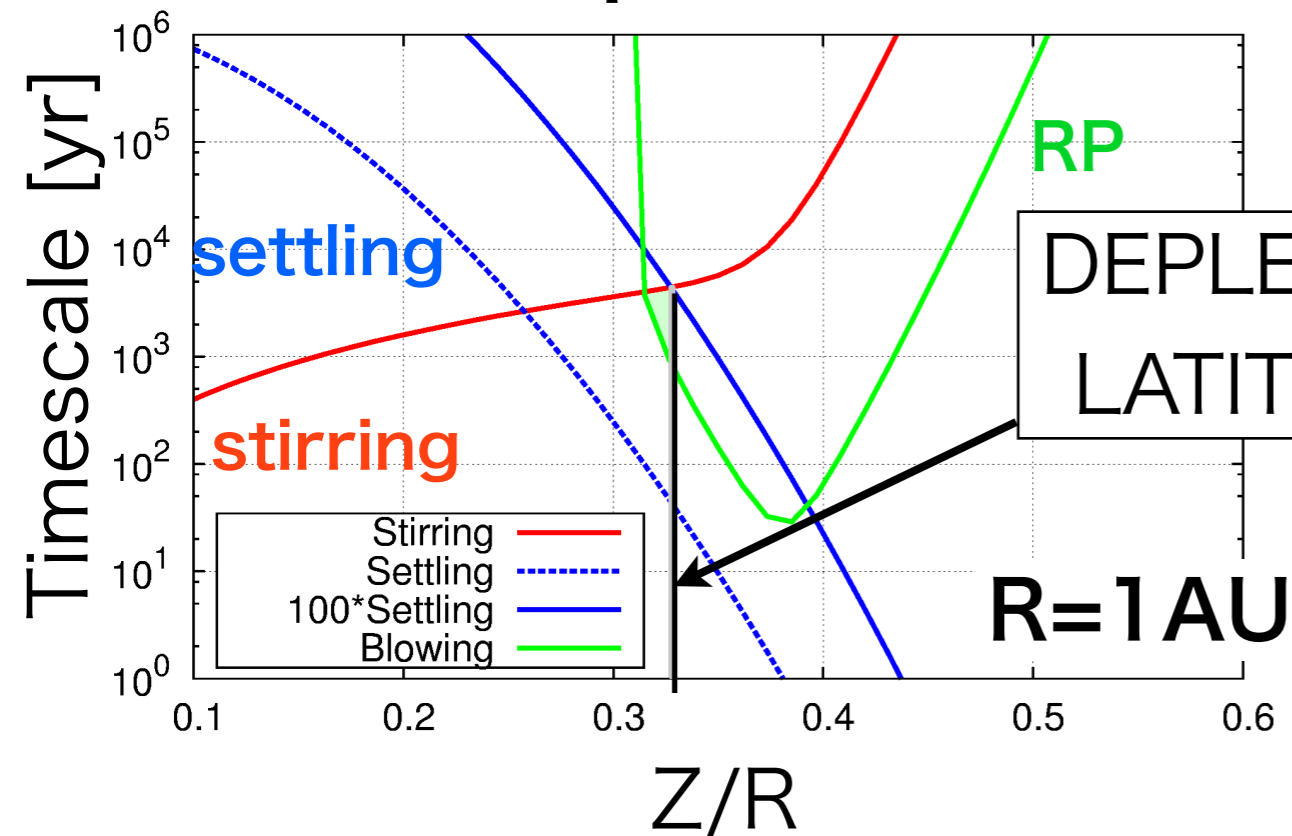
⇒ 沈殿 (Settling) + 乱流巻き上げ (Stirring)

Depletion Latitude:

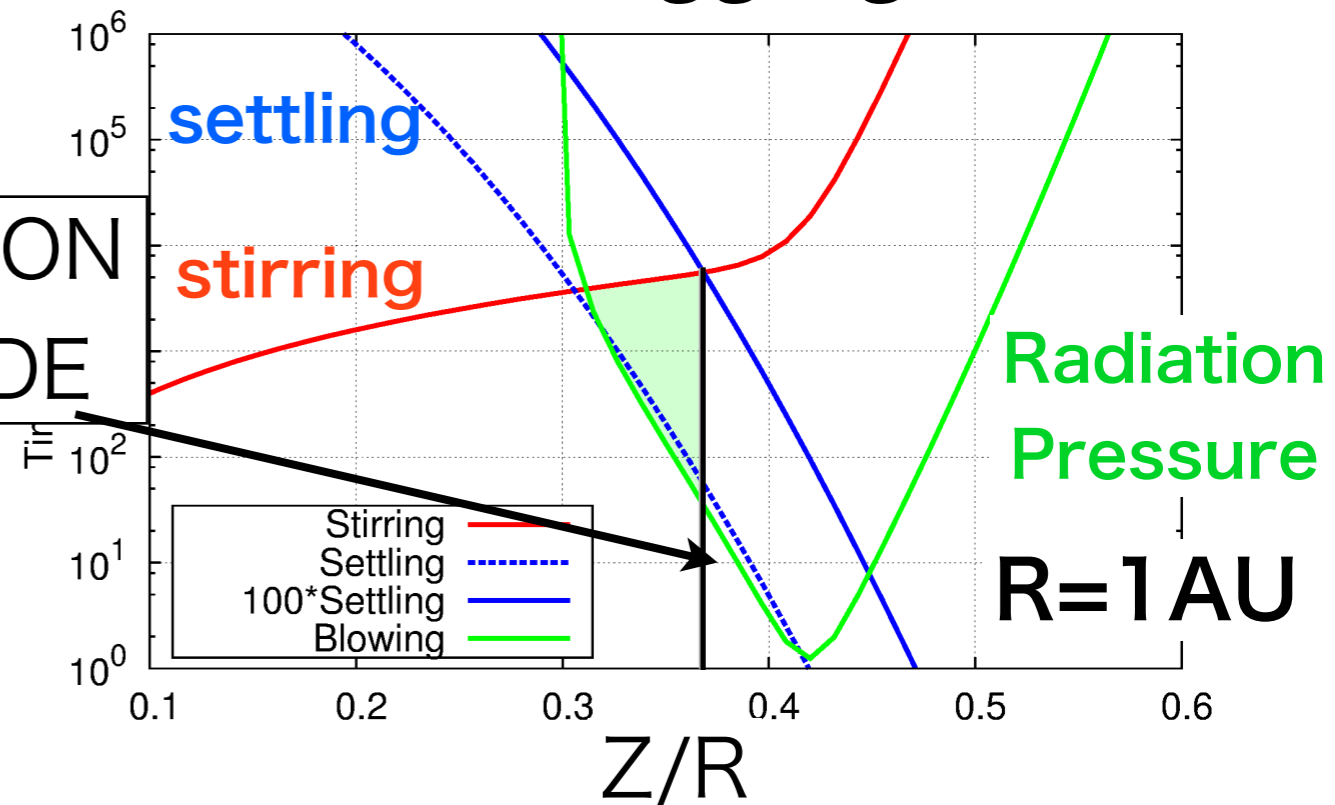
$$100t_{\text{sett}} = t_{\text{stir}}$$



Compact Grain



Porous Aggregates



SUMMARY & FUTURE WORKS

✓ 2つの形状のダストについて光学特性計算を行なった。

β (=輻射圧/重力)の値

compact grains : $\beta \sim 0.018$

porous aggregates : $\beta \sim 0.26$

✓ ダストが輻射圧によって外に動きうる領域を計算した。

compact grains: ~6AU

porous aggregates: ~数十AU

✓ ふわふわなダストであれば、輻射圧で彗星形成領域まで届くかもしれない。