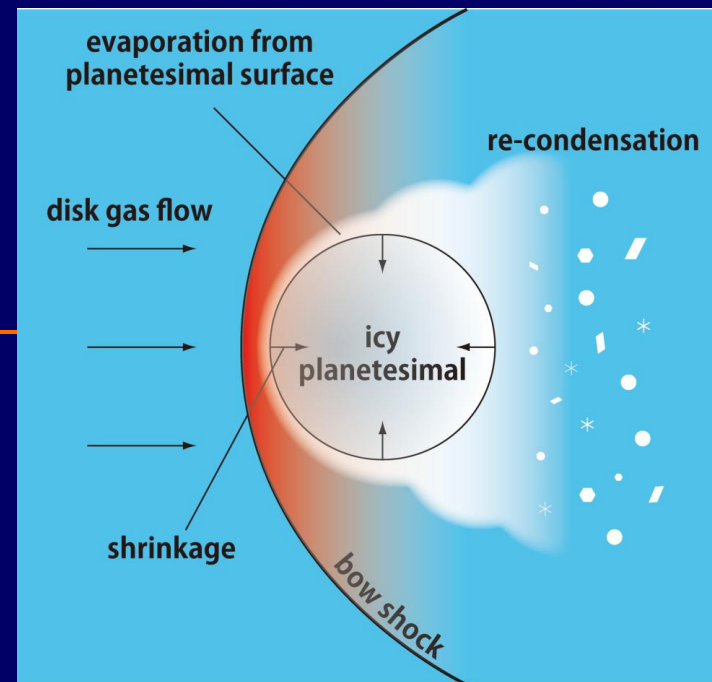


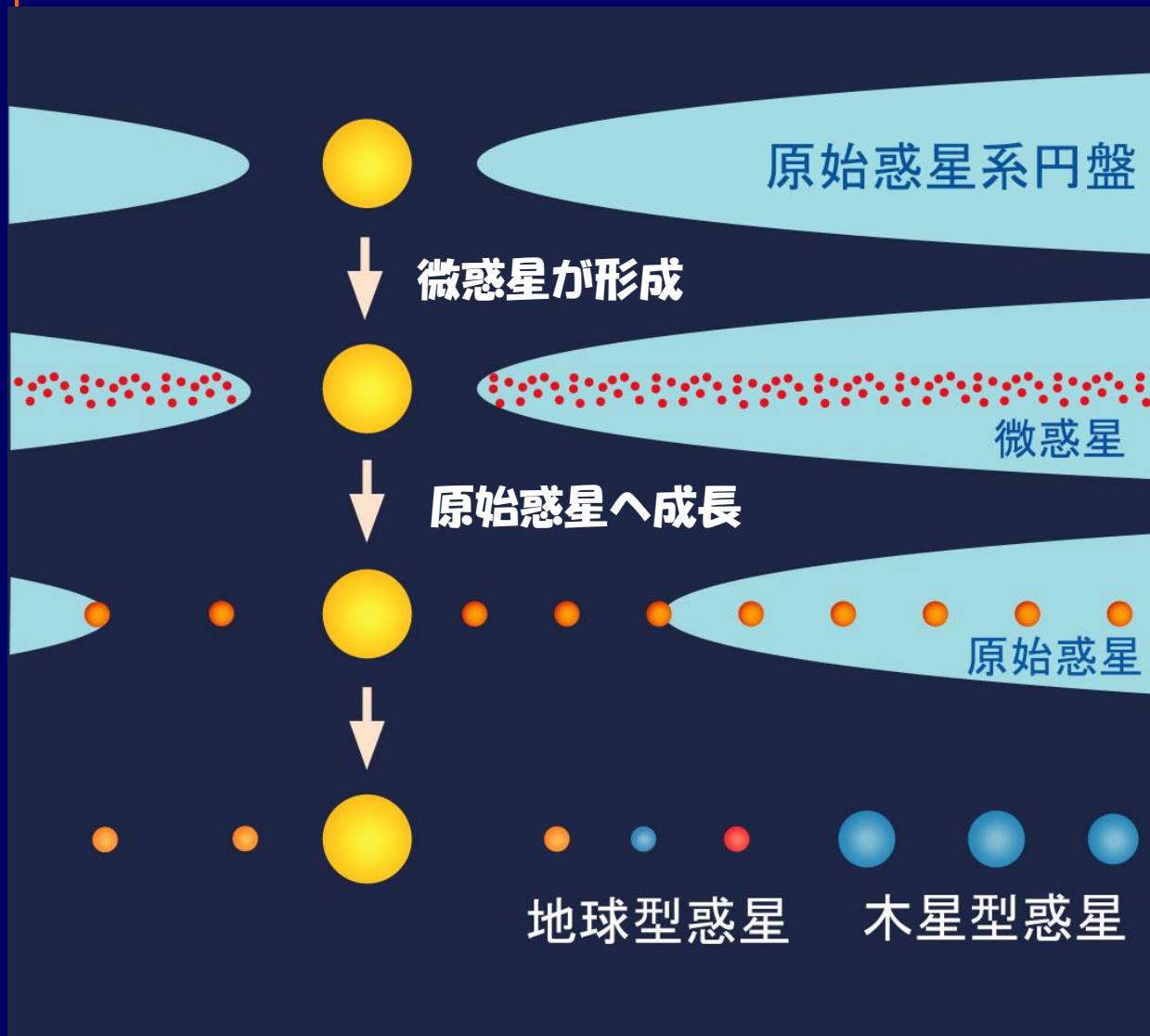
微惑星衝撃波による 氷微惑星の蒸発

*Evaporation of icy planetesimals
due to planetesimal bow shocks*

2011年11月11日

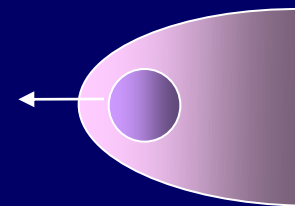
田中今日子、山本哲生、三浦均、
長沢真樹子、中本泰史、田中秀和



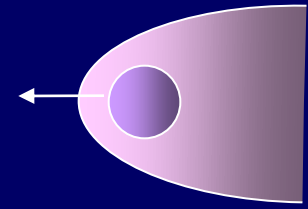


微惑星と円盤ガスの
相対速度 大

↓
微惑星衝撃波が発生



微惑星衝撃波の発生条件



■ マッハ数

$$M = \frac{v_p}{c} = 1.2 \left(\frac{e}{0.05} \right) \left(\frac{a}{3AU} \right)^{-1/4}$$

微惑星のランダム速度

$$v_p \cong ev_K = 9.5 \times 10^4 \left(\frac{e}{0.05} \right) \left(\frac{a}{3AU} \right)^{-1/2} \text{ cms}^{-1}$$

円盤ガスの音速 (Hayashi model)

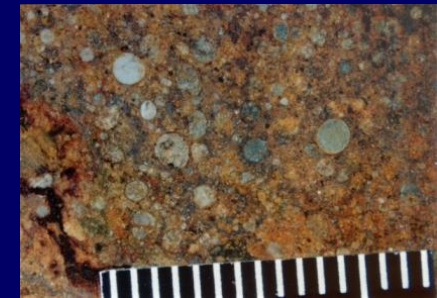
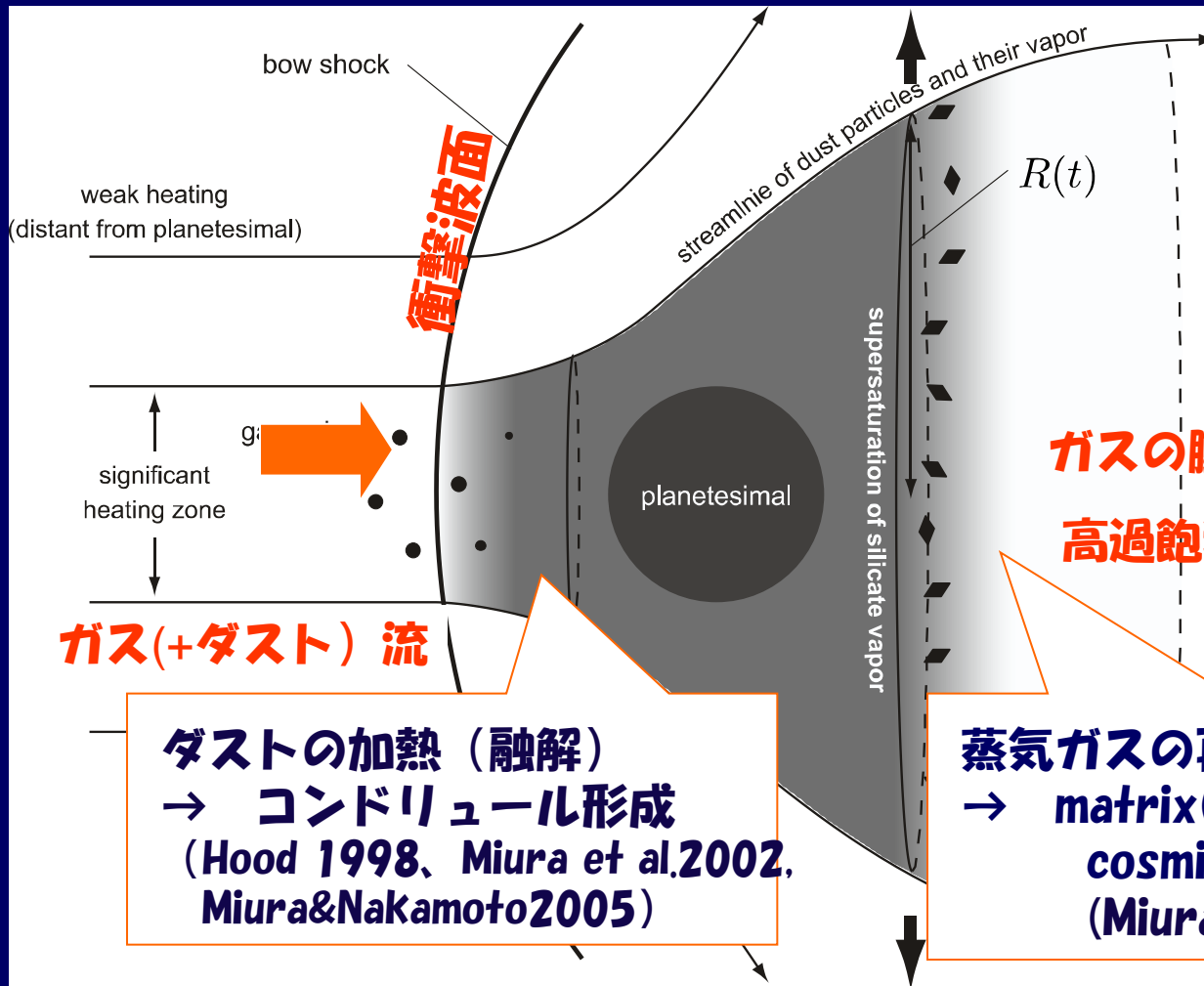
$$c = 7.7 \times 10^4 \left(\frac{a}{3AU} \right)^{-1/4} \text{ cms}^{-1}$$

$e > 0.05$
→ 衝撃波発生
at 3-5AU

微惑星衝撃波は頻繁に発生

従来:ダスト加熱に着目

隕石内の始原粒子の成因



chodrite

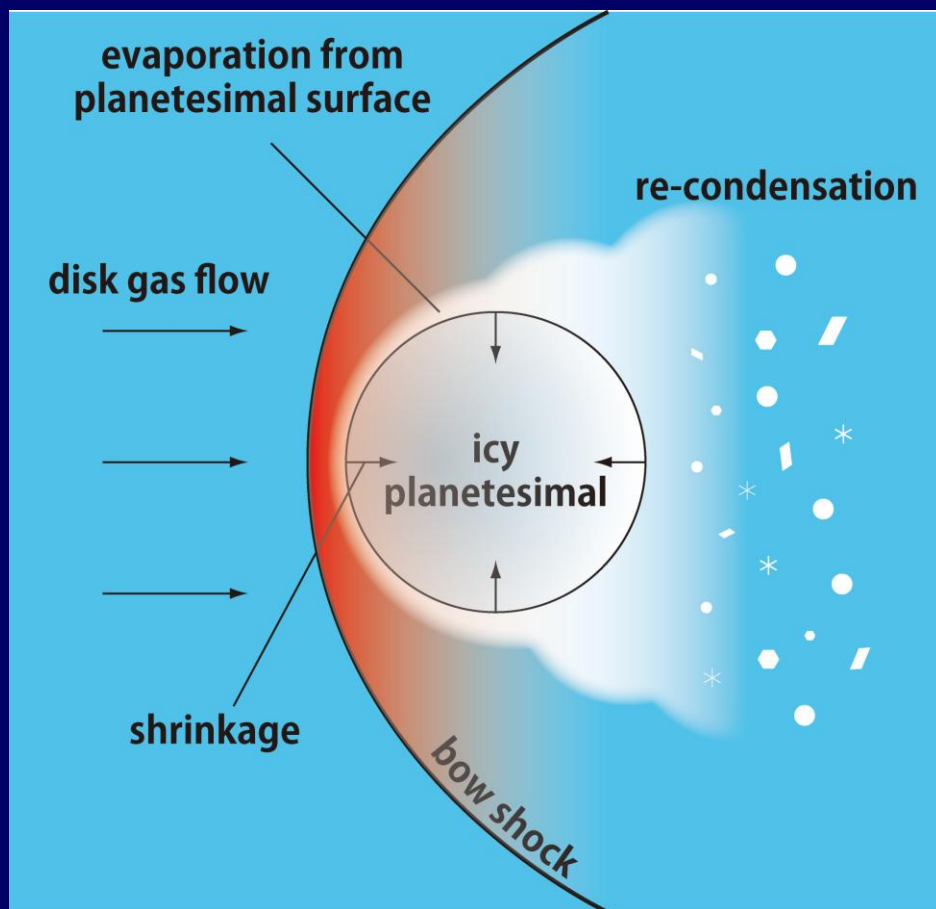
ガスの膨張、冷却

高過飽和状態から再凝縮

ダストの加熱（融解）
→ コンドリュール形成
(Hood 1998、Miura et al.2002、
Miura&Nakamoto2005)

蒸気ガスの再凝縮
→ matrix(fine-particles),
cosmic crystal の形成
(Miura et al. 2010)

考慮されていない点

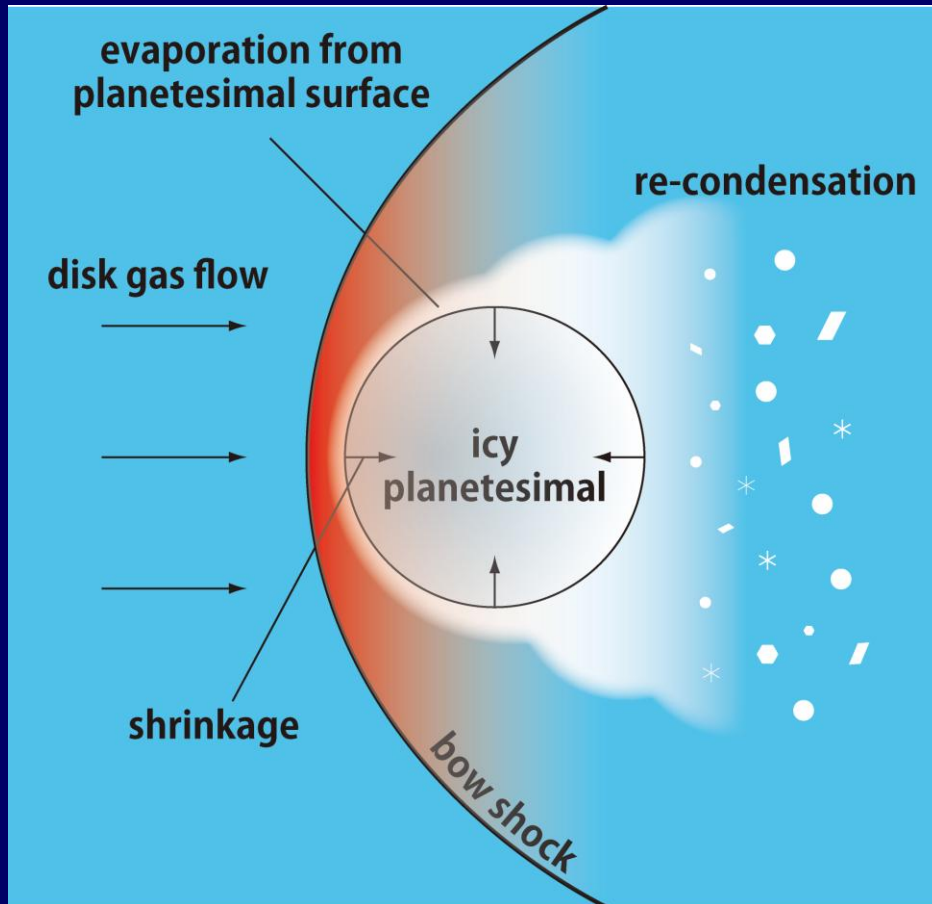


衝撃波後面の高温ガスの吹きつけ
↓
微惑星自身の加熱、蒸発が起きる
のでは？

波及効果

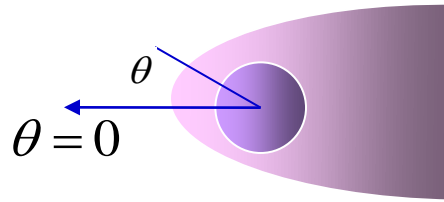
- ・ 惑星成長の妨げ
- ・ 新しいダスト発生機構

本研究



- 微惑星衝撃波による微惑星の蒸発
- 第1ステップとしての簡単モデル
 - 微惑星の加熱/蒸発と蒸発時間

Model



球形の氷微惑星を仮定

■ 微惑星の蒸発 $\frac{dm}{dt} = -J$

■ 蒸発率 $J = 2\pi R^2 \int_0^\pi j(\theta) \sin \theta d\theta$

■ 単位面積あたりの蒸発率

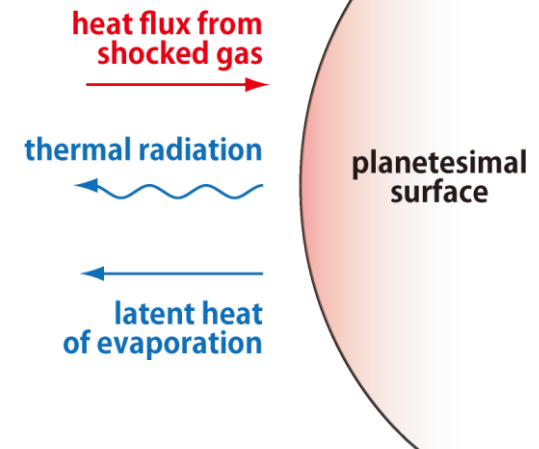
$$j(\theta) = P_{sat} \sqrt{\frac{m_{H_2O}}{2\pi k T_p}}$$

■ 表面のエネルギーバランズ式

$$F_e(\theta) - \rho_m j(\theta) - \sigma(T_p^4 - T_{disk}^4) = 0$$

m, R, ρ_m : 微惑星質量、半径、密度
 P_{sat} : 平衡蒸気圧
 T_p : 表面温度
 T_{disk} : 円盤ガス温度

“local energy balance”



ガスからの熱流速

蒸発

輻射

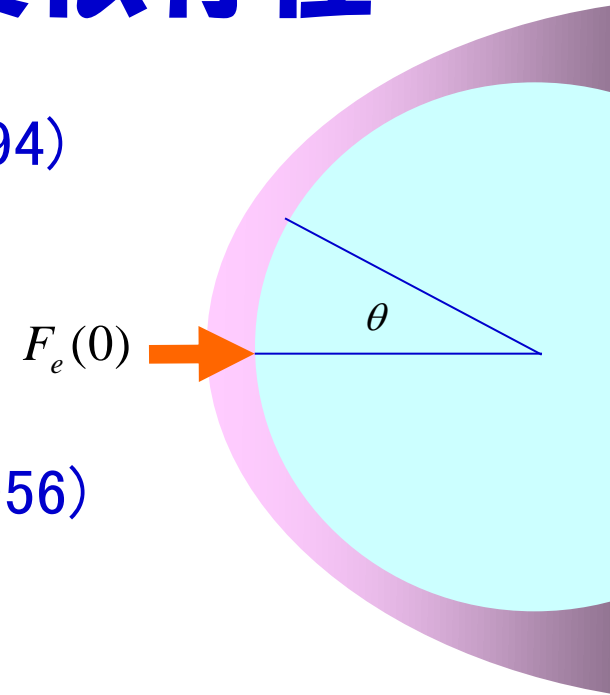
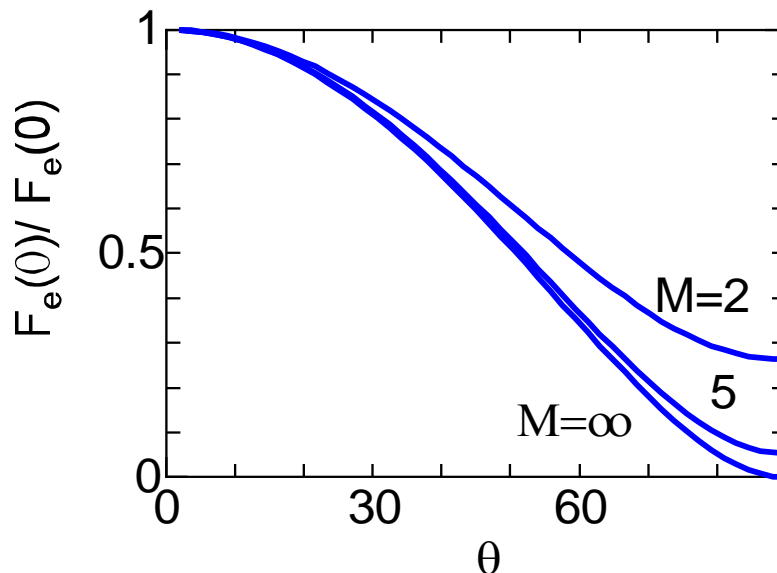
ガスからの熱流速：角度依存性

- $\theta=0$ (よどみ点) の熱流速 (Wen 1994)

$$F_e(0) = -\alpha \rho_0 V_p c_p [T_s - T_p(0)]$$

α : スタントン数 = 0.01-0.1

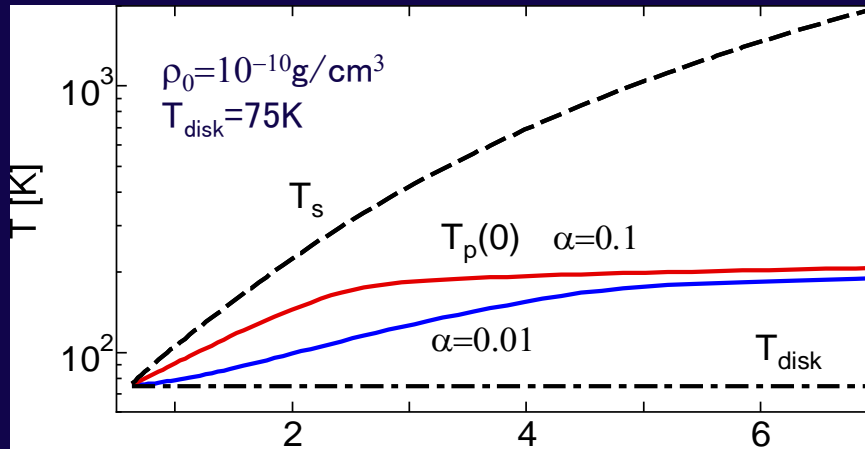
- 微惑星表面の熱流速分布 (Lees 1956)



微惑星の温度と蒸発時間

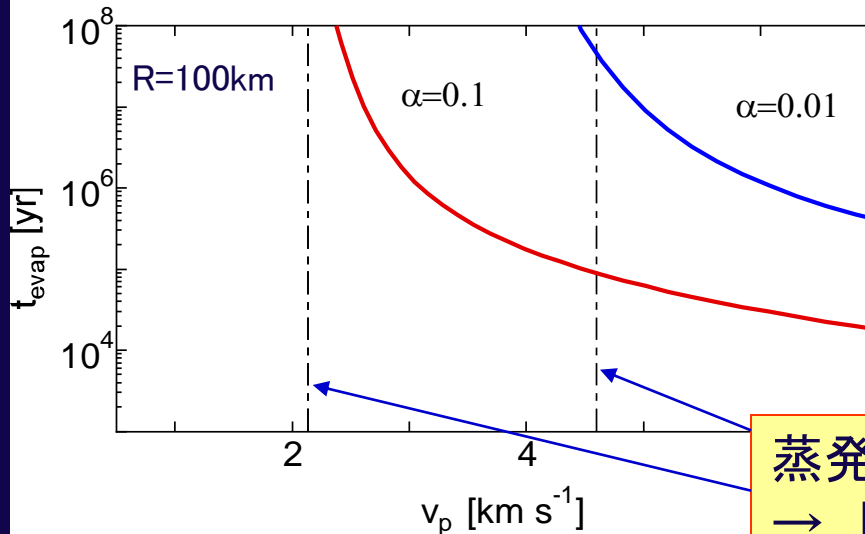
$$t_{evap} = \left| \frac{1}{m} \frac{dm}{dt} \right|^{-1} = \frac{m}{J}$$

温度



微惑星表面温度
 ~200Kまで上昇
 →氷微惑星は蒸発

蒸発時間
 (yr)

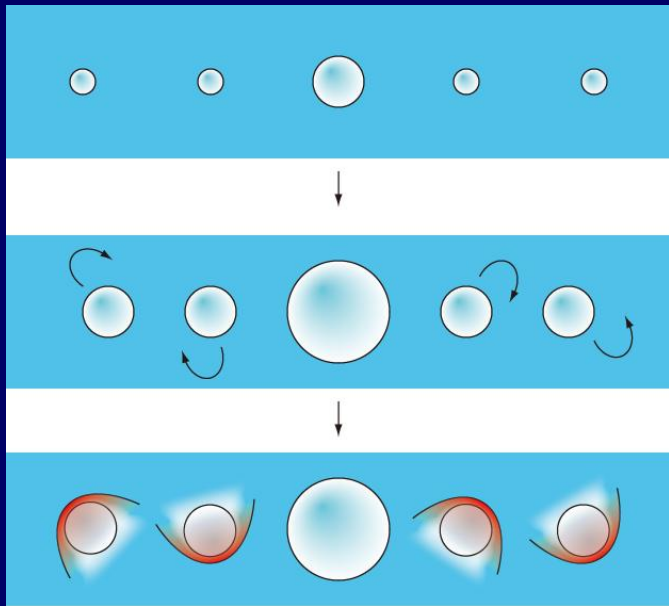


蒸発時間 < 10⁸年
 α = 0.1 のとき
 衝撃波速度 > 2km/s
 α = 0.01 のとき
 衝撃波速度 > 4km/s

蒸発が効く条件: $Fe(0) > \sigma T_e^4$
 → 臨界速度 $v_{p,c}$

衝撃波速度

原始惑星形成期の衝撃波速度

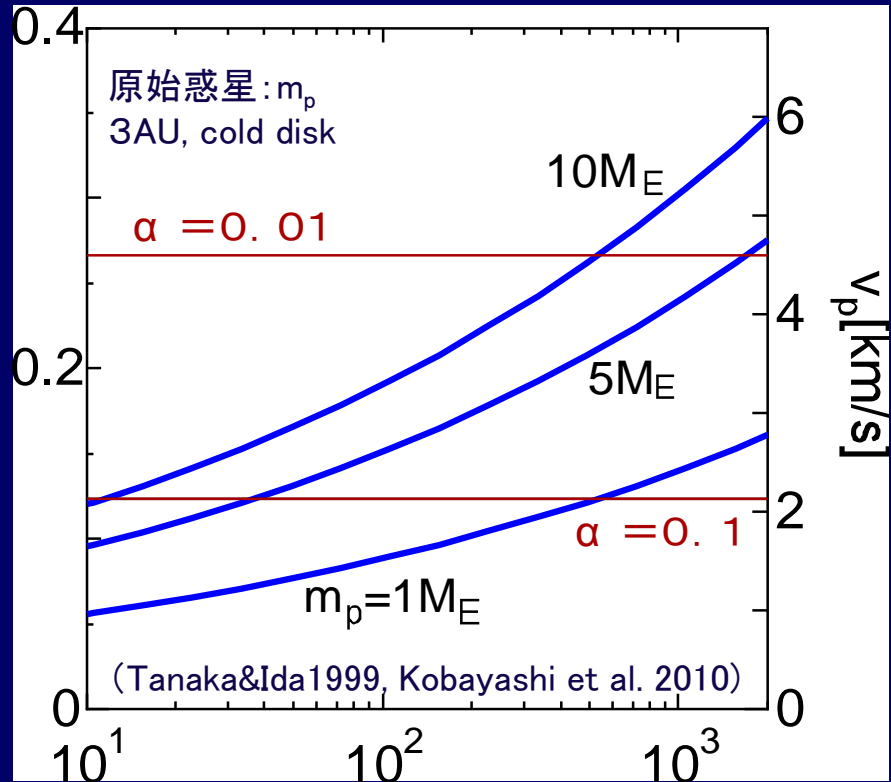


原始惑星の暴走成長
(Kokubo & Ida 2002)



周りの微惑星の離心率上昇

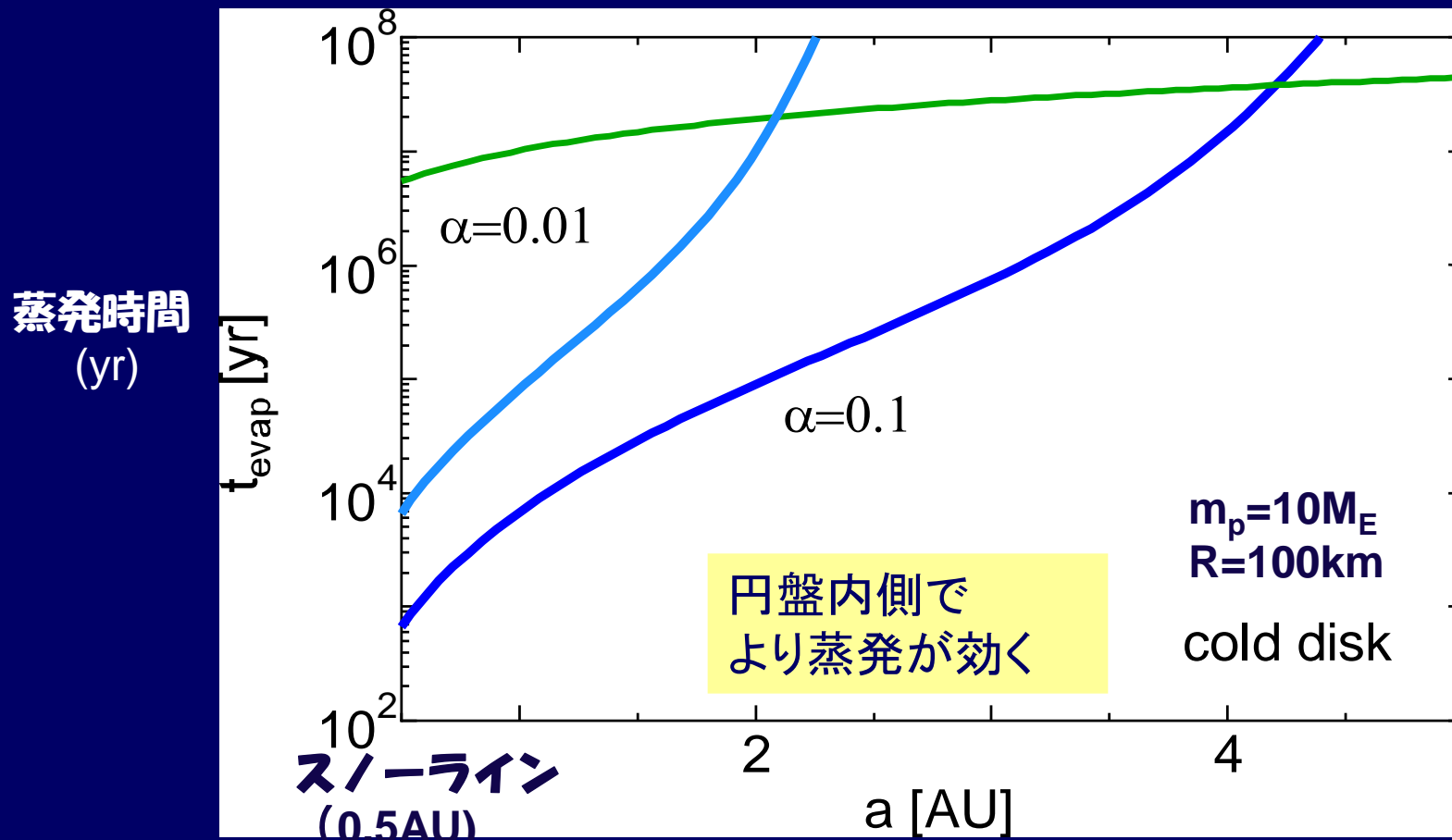
平衡離心率



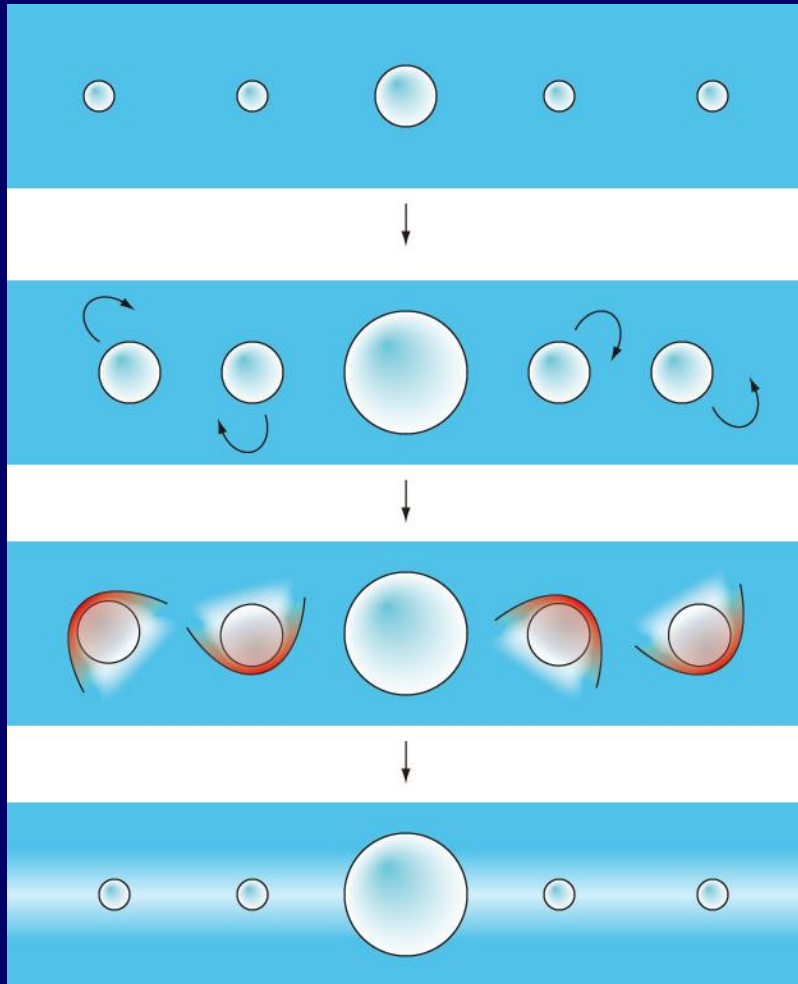
微惑星半径 [km]

サイズが大きな微惑星ほど
速度が大きいの→蒸発しやすい

原始惑星形成期の微惑星蒸発時間



Implication

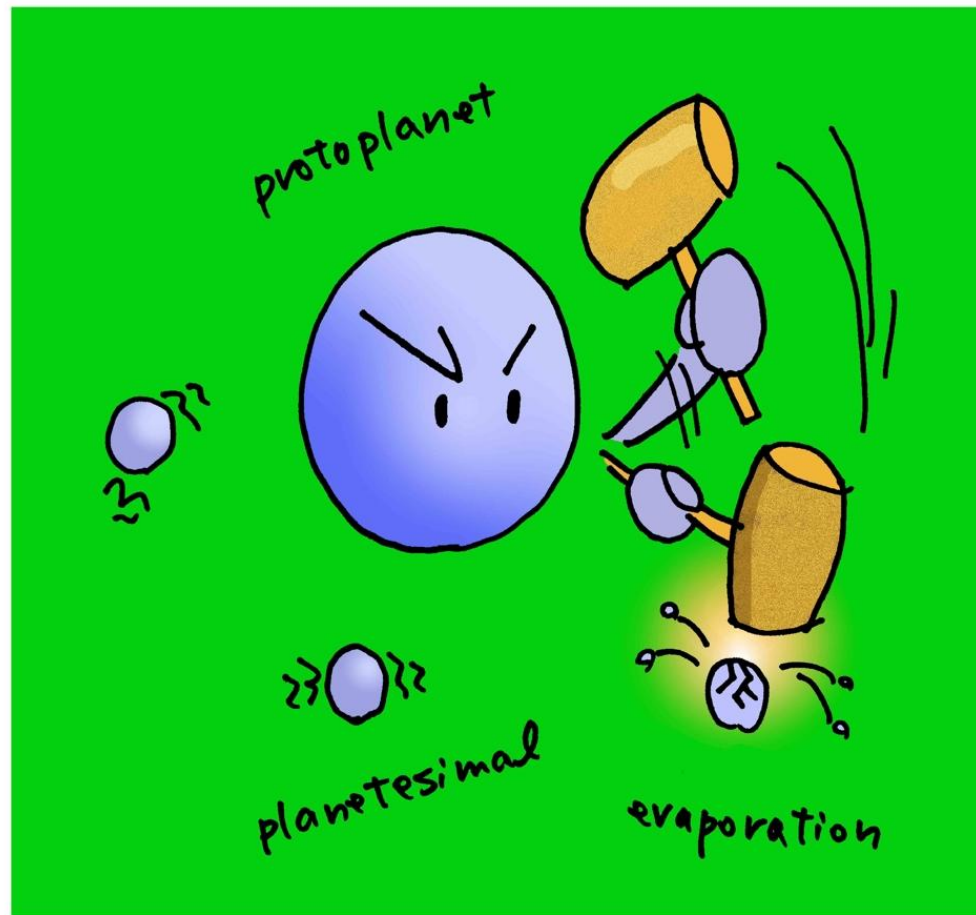


- 微惑星蒸発により原始惑星の成長が妨げられる
→円盤内側では木星型惑星形成は困難
- 惑星形成期の氷物質とダストの放出 **新しいダスト発生機構**
→観測と理論の不一致を説明
観測:ダストが 10^7 年存在
理論:ダストはすぐに成長
- スノーラインの外側にある岩石質の小惑星を説明
- 酸化還元状態に影響

まとめと課題

- 原始惑星形成期にスノーラインより外側で微惑星衝撃波による氷微惑星の蒸発が起きる
- 熱伝達効率を表すパラメータ α の依存性大
 - 詳しい検討が必要
(輻射による保温効果、
ダスト衝突による熱供給など)
- 木星形成後の蒸発

Not scientific, but



drawn by
H. Miura &
M. Nagasawa

Once a big one appears, he/she suppresses growth of other small ones.