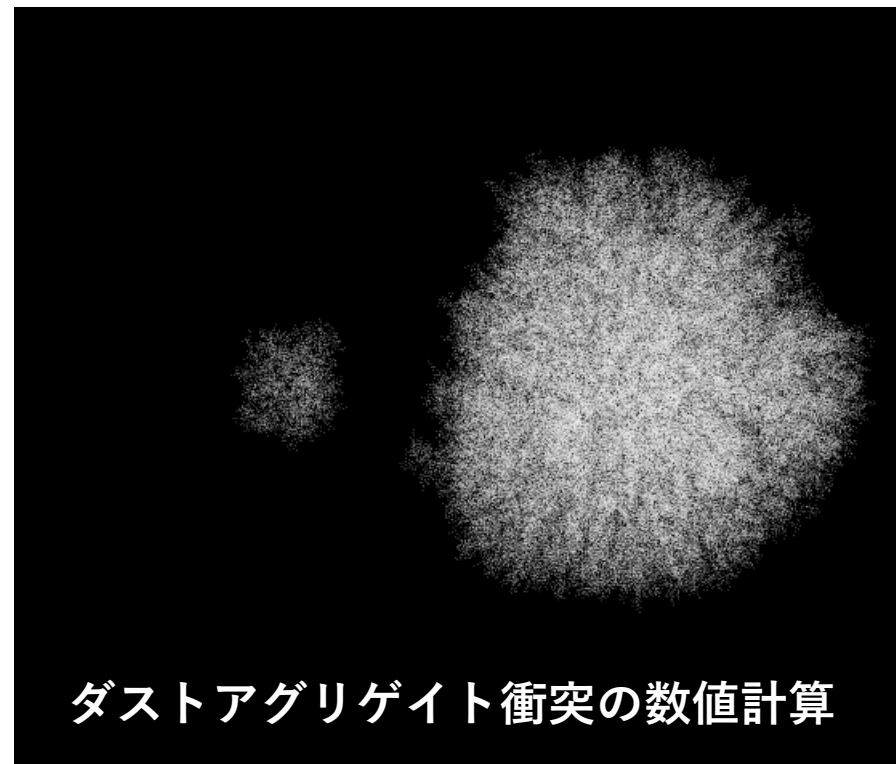
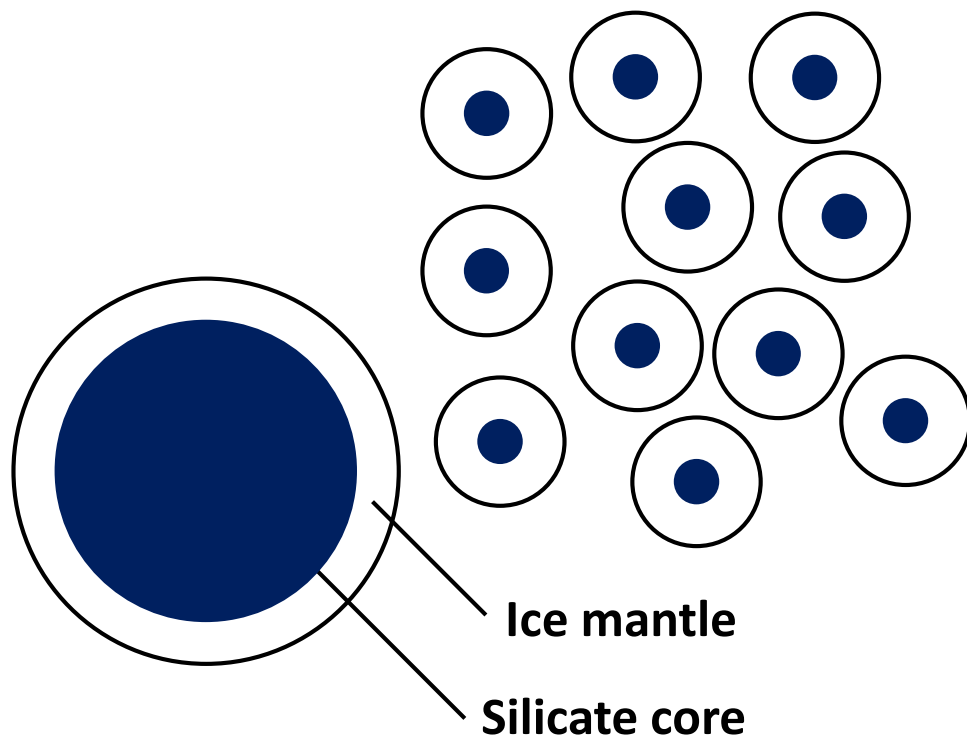


氷マントルダストのサイズ分布と 微惑星形成への影響

田中秀和（東北大学・理）



宇宙ダストの進化

0. 恒星の周りでのグレイン形成

1. 星間雲：シリケートダスト(+グラファイト)

- サイズ分布: $N(a) da = A a^{-3.5} da$ (MRN 1977)
- 上限サイズ $\sim 0.1 \mu\text{m}$ (典型的サイズ)

宇宙ダストの進化

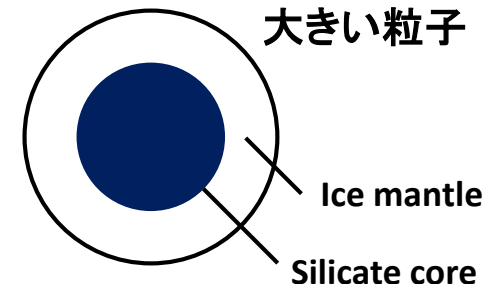
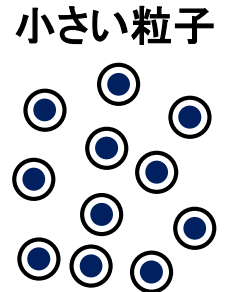
0. 恒星の周りでのグレイン形成

1. 星間雲：シリケートダスト(+グラファイト)

- サイズ分布: $N(a) da = A a^{-3.5} da$ (MRN 1977)
- 上限サイズ $\sim 0.1 \mu\text{m}$ (典型的サイズ)

2. 分子雲(コア): 氷マントルダスト

- サイズ分布 \sim MRN分布? (\rightarrow 本研究)
- ダスト表面での化学反応



宇宙ダストの進化

0. 恒星の周りでのグレイン形成

1. 星間雲：シリケートダスト(→)

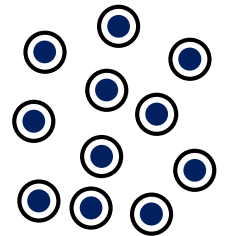
- サイズ分布: $N(a) da = A a^{-3.5}$
- 上限サイズ $\sim 0.1 \mu\text{m}$ (典型的)

ダストアグリゲイト衝突の数値計算

2. 分子雲(コア)：氷マントルダスト

- サイズ分布 \sim MRN分布? (→本研究)
- ダスト表面での化学反応

小さい粒子

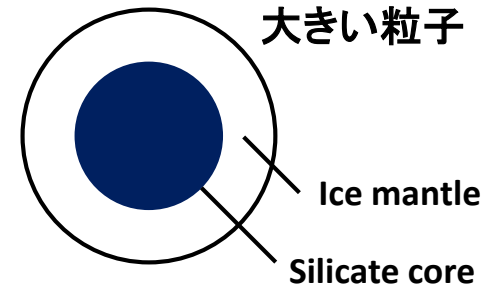


3. 原始惑星系円盤:

ダストアグリゲイト(集合体)

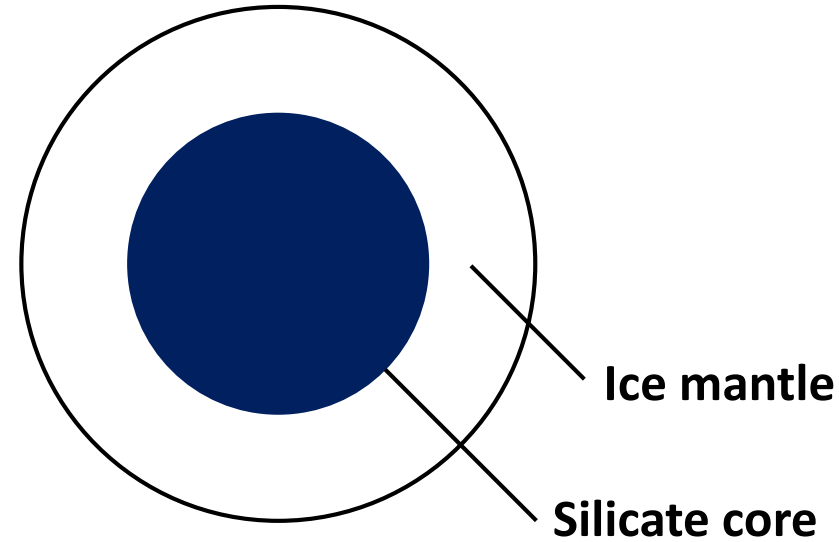
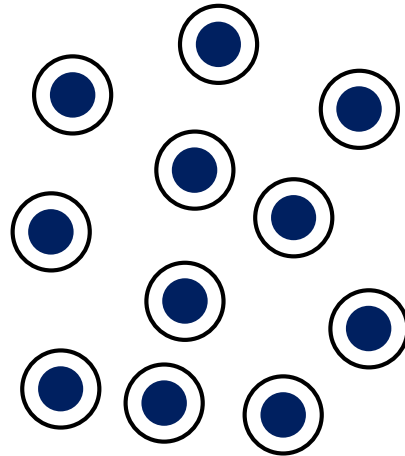
構成粒子サイズで付着しやすさが決まる!

大きい粒子

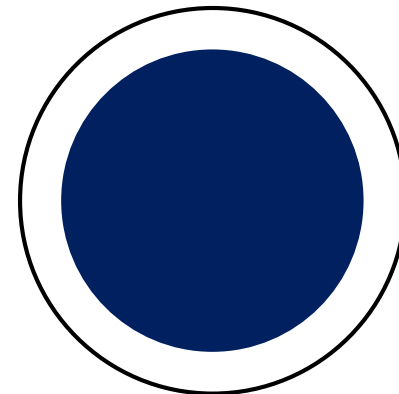
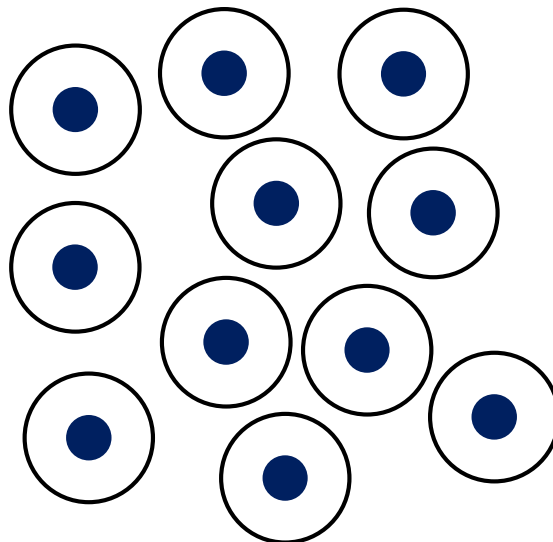


氷マントルダストのモデル

従来の描像
相似的成長



本研究
小さい粒子
が主に成長



氷マントルの成長方程式

- ・ 仮定：蒸発温度より十分低温（蒸発無視）
- ・ 氷マントルダストの半径 a の進化方程式

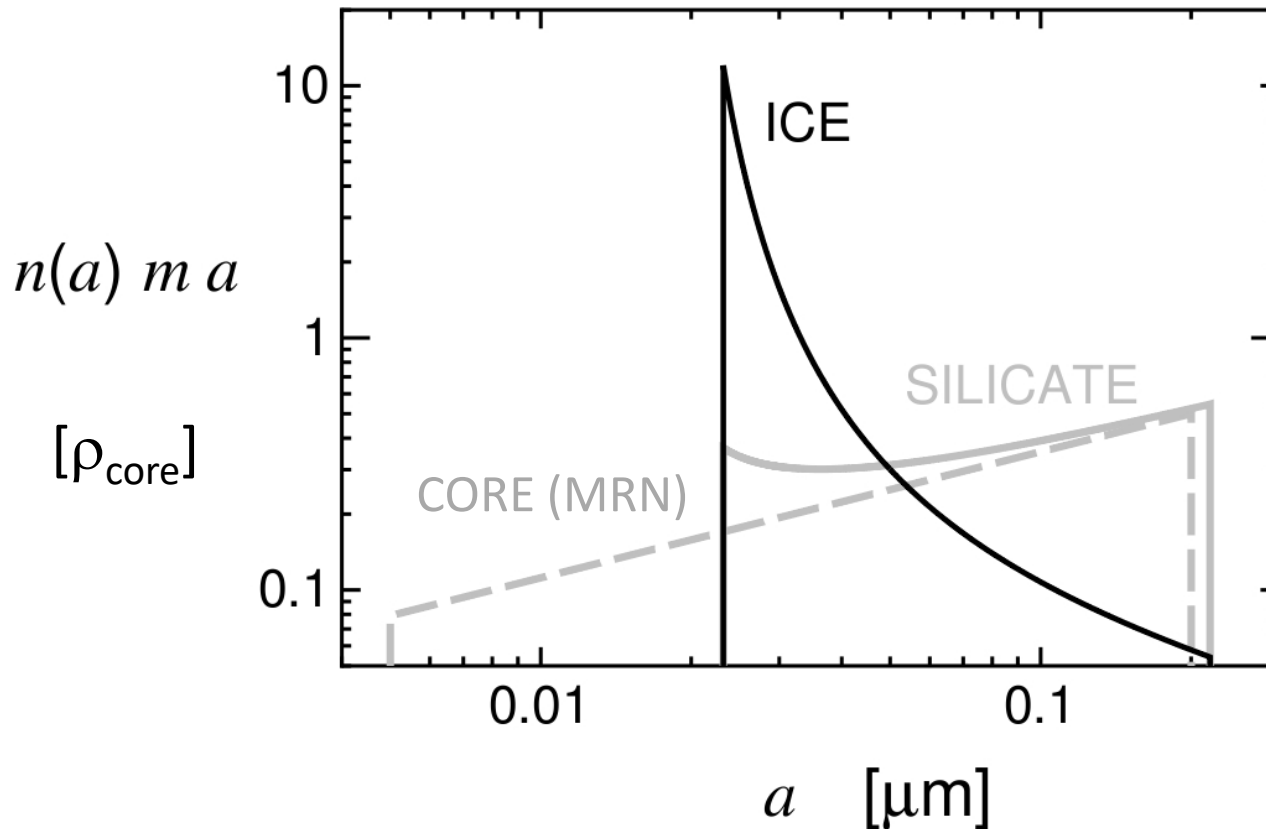
$$\frac{da}{dt} = \beta n_{\text{H}_2\text{O}} v_{\text{H}_2\text{O}} \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{ice}}}$$

$n_{\text{H}_2\text{O}}$: H₂O分子の数密度
 $m_{\text{H}_2\text{O}}$: H₂O分子の質量
 $v_{\text{H}_2\text{O}}$: H₂O分子の熱速度
 ρ_{ice} : 氷の密度
 β : sticking probability

氷マントルの厚さは初期シリケイトコア半径には依存しない

- 大きなシリケイトコア + 相対的に薄い氷マントル
- 小さなシリケイトコア + 相対的に厚い氷マントル

氷マントルダストのサイズ分布



サイズ分布関数

$$n(a) \text{ [個/cm}^4\text{]}$$

パラメータ

- コア半径下限

$$a_{\text{min,core}} = 5\text{nm}$$

- 組成比(質量)

$$\text{ice/silicate} = 2$$

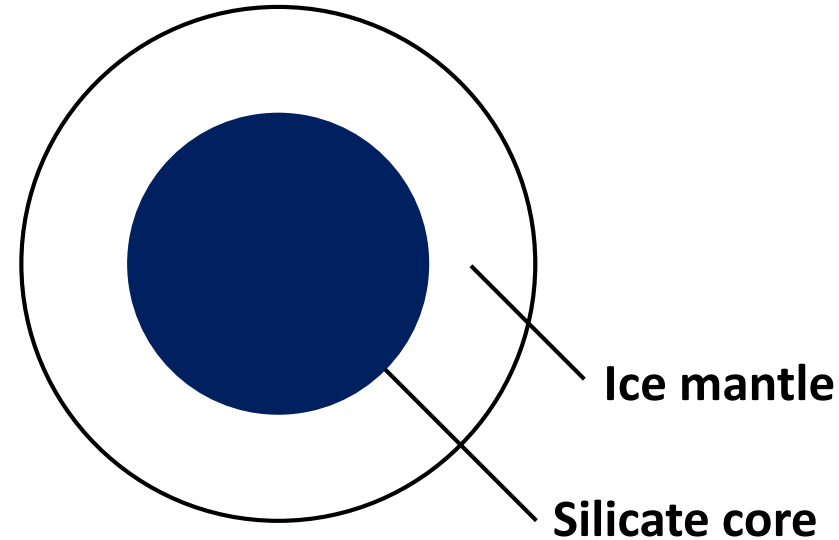
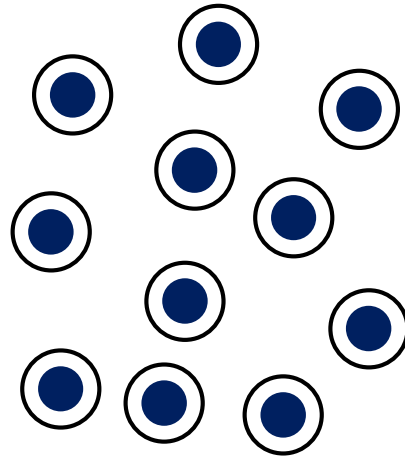
- 固体密度比

$$\text{ice/silicate} = 1/3$$

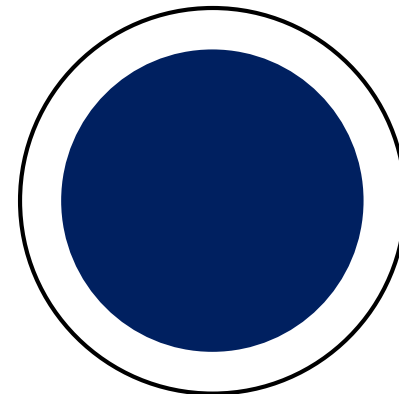
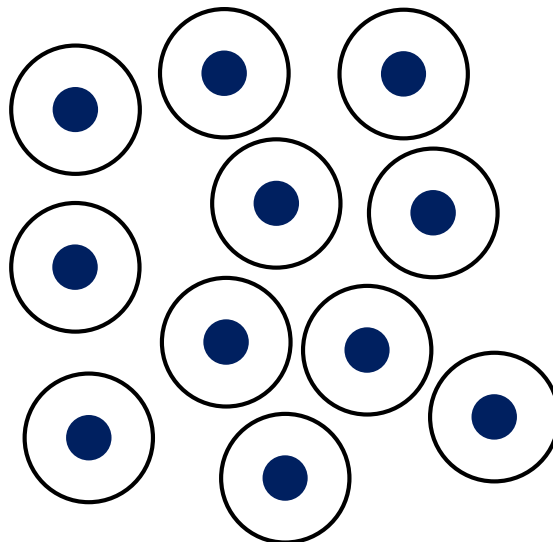
氷凝縮は主に小さな silicate core (総表面積大) にて進行

氷マントルダストのモデル

従来の描像
相似的成長

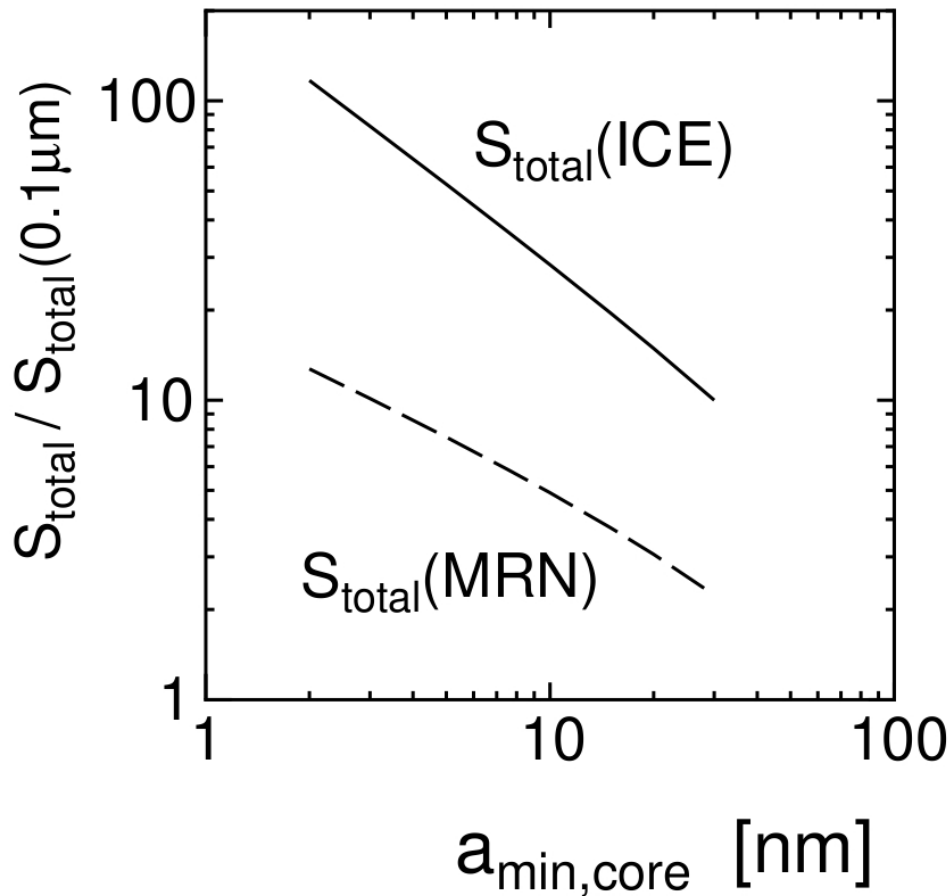


本研究
小さい粒子
が主に成長

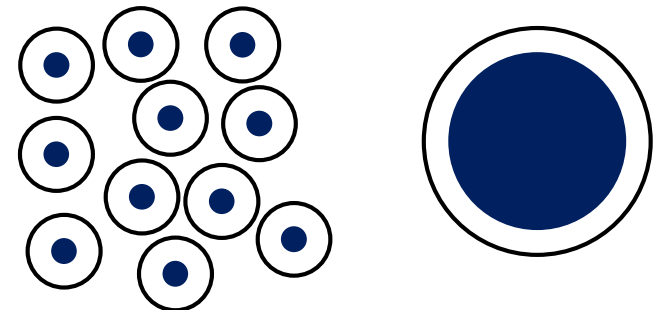


ダスト総表面積の増大

ダスト総表面積 S_{total} とコアサイズ下限 $a_{\text{min,core}}$ との関係



氷マントルダスト総表面積は
「 $0.1 \mu\text{m}$ ダスト」に比べて
桁で大きい
↓
ダスト上の化学反応が
大幅に加速



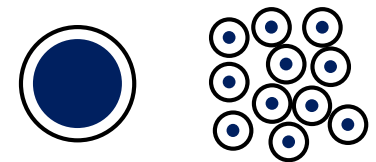
ダストアグリゲイトの衝突数値計算

- 付着限界速度 $v_{\text{crit}} \propto a_0^{-5/6}$ (a_0 : 構成粒子半径)

Wada+09,13

- 本研究の氷マントルダストサイズ分布を考慮した計算
2成分の構成粒子でできたダストアグリゲイト (BPCA)

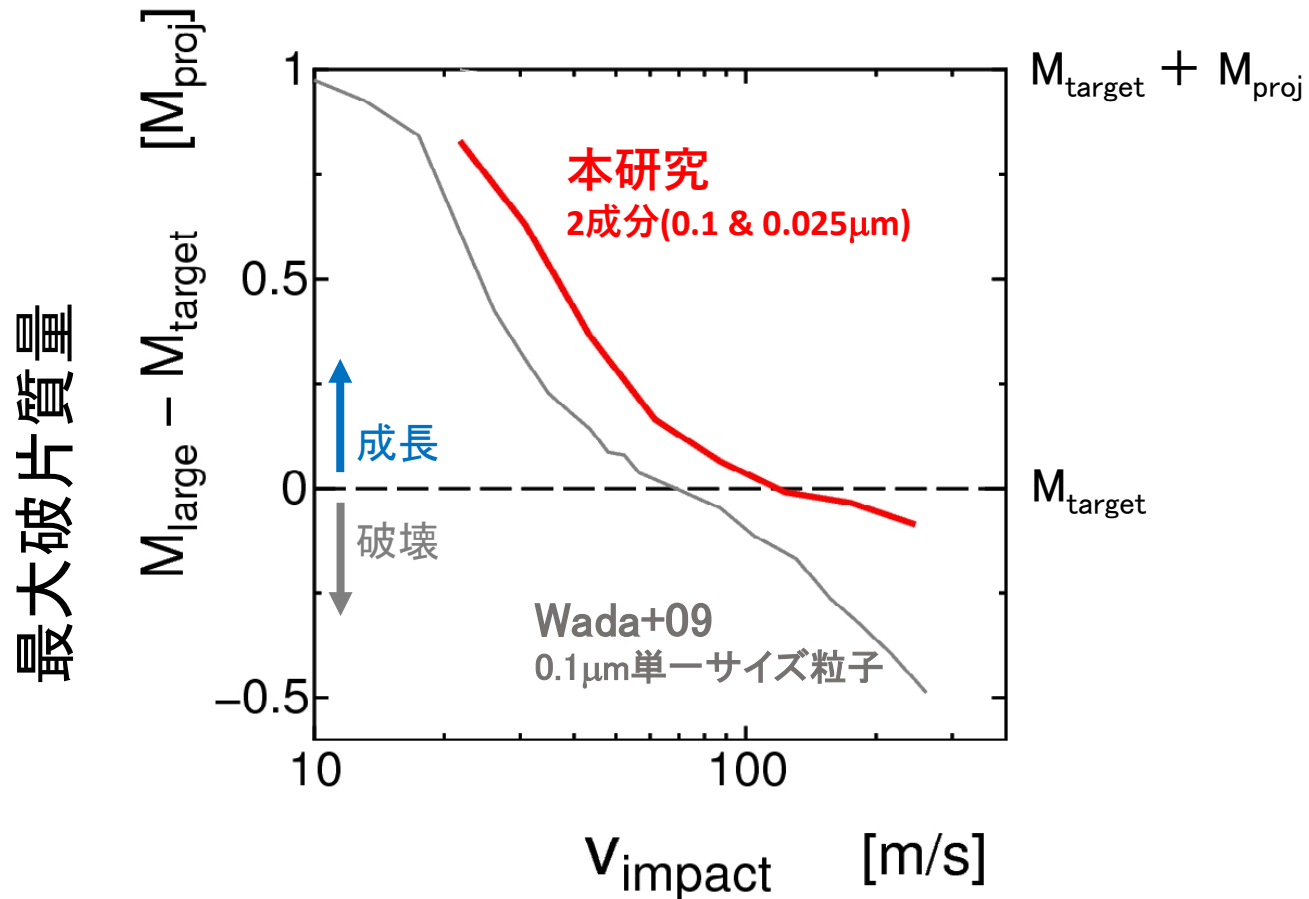
	半径	総質量比
大きい粒子	$0.1 \mu\text{m}$	1
小さい粒子	$0.025 \mu\text{m}$	2



- 等質量ダストアグリゲイト 2体の衝突 & 質量比のついた 2体衝突
- 他のパラメータ (衝突速度、衝突角度、不規則形状) をふり計算
- 総粒子数が約15万粒子の数値計算を約 400 run

ダストアグリゲイトの衝突数値計算

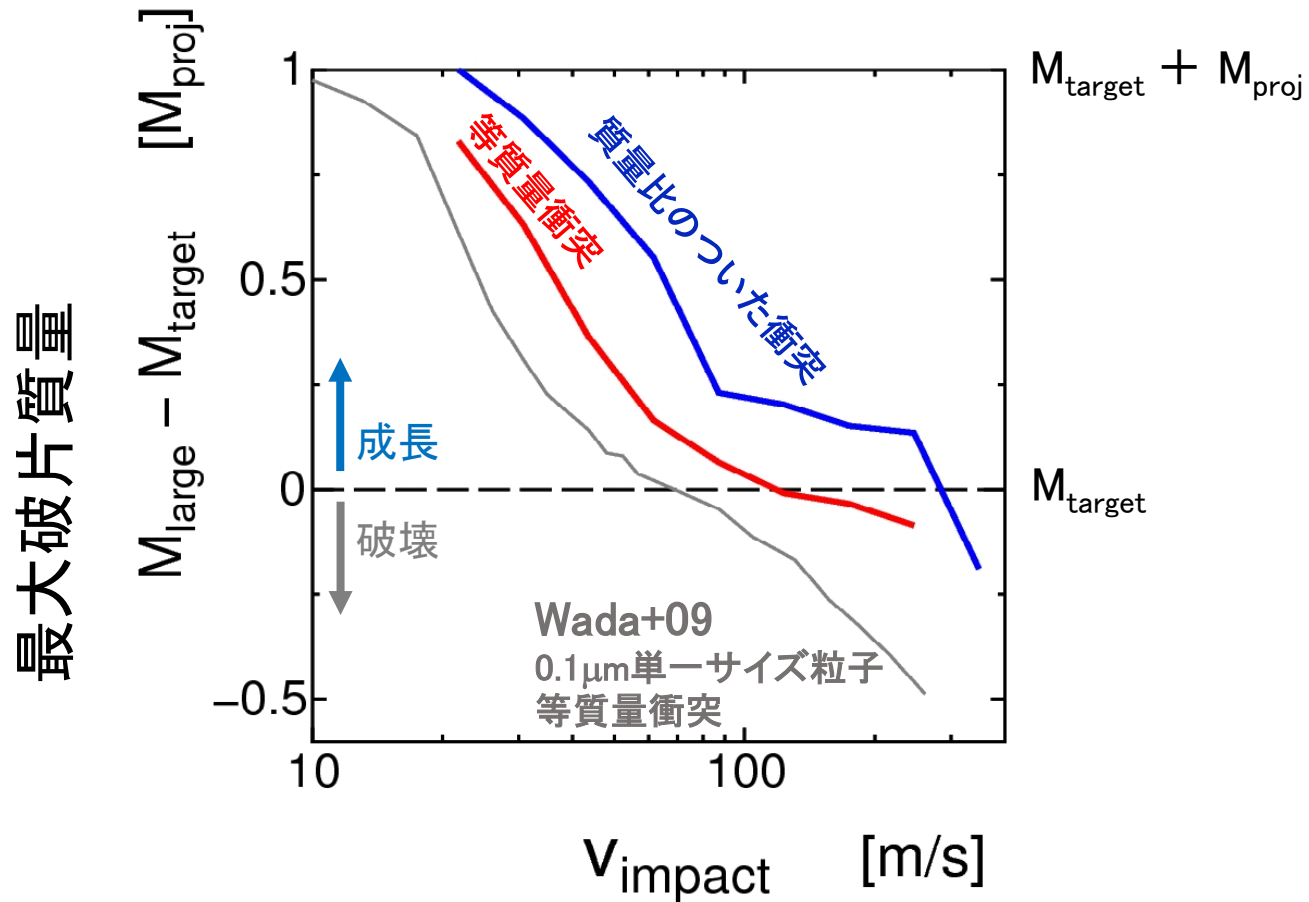
等質量ダストアグリゲイト2体の衝突 ($M_{\text{target}} = M_{\text{proj}}$)



小さな構成粒子を加えた効果により、付着限界速度は増大

ダストアグリゲイトの衝突数値計算

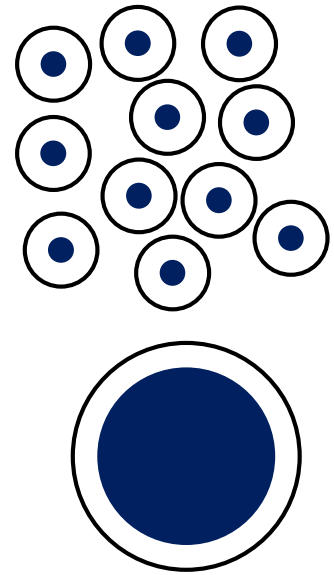
質量比のついた2体の衝突 ($M_{\text{target}} = 10 M_{\text{proj}}$)



まとめ

1. 氷マントルダストの形成

- 氷成分は主に小さな silicate core へ
- 大まかには 2成分サイズ分布になる
- ダスト総表面積は大幅に増大



2. 氷マントルダストサイズ分布を考慮した ダストアグリゲイト衝突数値計算

小さい構成粒子を加えることで付着限界速度増大

今後の課題:

氷マントルダストの理論モデルは
星間ダスト減光曲線の観測結果と調和的か否か？