

焼結氷ダストアグリゲイトの衝突数値シミュレーション

Numerical simulation of collisions between sintered icy dust aggregates

*城野 信一¹、上野 春太*Sin-iti Sirono¹, Haruta Ueno

1.名古屋大学 大学院環境学研究科 地球環境科学専攻

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University

惑星形成はサブミクロンサイズのダスト微粒子が相互に付着を繰り返すことから始まる。ダスト微粒子が集合したダストアグリゲイトの衝突が惑星形成における重要なプロセスとなる。中心星から離れた領域ではダスト微粒子の主成分はH₂Oをはじめとする氷となる。氷は揮発性が高いため、原始惑星系円盤の中で蒸発と再凝縮を繰り返す。ダスト微粒子は表面張力によって付着する。結合部は凹面となっており、凸面である他の部分よりも蒸気圧が低くなるため、再凝縮は結合部周辺に選択的に起こる。これが「焼結」と呼ばれる現象であり、ダスト微粒子の結合部の成長を引き起こす。焼結が進行していないダストアグリゲイトでは、表面張力で付着しているダスト微粒子は結合部を切断することなく、付着している微粒子のまわりを転がることができる。衝突の際には転がりによって多くの運動エネルギーが散逸し合体が可能となる。一方で焼結が進行してしまうと、結合部が成長により強度が大幅に増大する。また、結合部を切断しなにかぎり転がることができない。このため、焼結は氷ダストアグリゲイトの衝突に大きな影響を与えることが予想される。

そこで我々は焼結がどのような効果をもたらすかを明らかにするために氷ダストアグリゲイトの数値シミュレーションを行った。二次元の離散要素法を用いた。焼結後の結合部は弾性変形する円筒で近似した。焼結の進行度合いは結合部の半径の大小に対応する。同一アグリゲイトの正面衝突を行った。衝突の結果は焼結により大きく変化することが分かった。また、その結果はアグリゲイトの充填率に大きく依存することが明らかとなった。焼結が進行していないアグリゲイトの場合、衝突速度が50m/s程度までであれば合体成長が可能である。BCCA (Ballistic Cluster Cluster Aggregation)アグリゲイトのように非常に空隙が多く基本構造が微粒子がつながったチェーンである場合について、付着成長が可能である衝突速度を調べた。その結果、焼結が十分に進行した（ネック半径/グレイン半径=0.7）BCCAアグリゲイトでは成長できる衝突速度が20 m/s程度まで低下することが分かった。一方で焼結がそれほど進行していない（ネック半径/グレイン半径=0.2）BCCAアグリゲイトでは、焼結が起こっていないアグリゲイトと同様の結果となった。この場合は、ネックの強度が小さく衝突の際に多くのネックが破壊され、再び焼結していないネックで再結合するために実質的に差が無くなるためである。

ある程度充填率が上昇しているアグリゲイトの場合は衝突結果は大きく異なった。付着成長できる衝突速度は1 m/s程度であることが分かった。この速度以上であると、衝突結果は跳ね返りとなった。BCCAアグリゲイトとの差は、アグリゲイトの充填率上昇に伴って弾性率が変化したことが原因である。弾性率が小さいと発生圧力が小さくなり、ダスト微粒子間の結合を切断できなくなる。一方で弾性率が大きいと発生圧力が大きいため、一度は形成されるダスト微粒子間の結合を切断し跳ね返りとなる。また、衝突速度が20 m/s程度を越えると、衝突点近傍で破壊がおり、破片が放出される。破片の量は衝突速度が20 m/sで数%程度であった。

これらの結果から、焼結はダストアグリゲイトの衝突合体を大きく阻害することがわかる。ダストアグリゲイトはガス抵抗により中心星方向へ落下する。焼結が進行している領域では十分にアグリゲイトは成長できないため、典型的な落下速度が焼結が進行しない領域と異なる。結果として、原始惑星系円盤における固体成分の分布に偏りが生じることになる。その後の惑星形成過程に影響をあたえることが予想される。

キーワード：焼結、ダストアグリゲイト、衝突

Keywords: sintering, dust aggregate, collision