

焼結ダストアグリゲイトの衝突破壊 Collisional disruption of sintered dust aggregates

城野 信一^{1*}; 上野 春太¹
SIRONO, Sin-iti^{1*}; UENO, Haruta¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ Graduate School of Environmental Sciences, Nagoya University

原始惑星系円盤と呼ばれる、ガスとダストからなる円盤の中で惑星系が形成される。その第一段階はダスト微粒子の付着成長である。付着成長により、ダスト微粒子が集合したダストアグリゲイトが形成される。このダストアグリゲイトがさらに衝突を繰り返すことにより成長してゆくと考えられている。周囲のガスと運動が分離するようになるとダストアグリゲイトは中心星方向に落下を始める。このまま中心星に落下してしまうと惑星形成につながらないため、落下するダストアグリゲイトを捕獲し、微惑星を形成するメカニズムが多く提案されている (Kretke & Lin 2007, Lyla et al. 2009, Sandor et al. 2011 等)。また、落下途中で引き続き衝突合体が進行することにより直接合体成長で微惑星を形成するシナリオも存在する (Okuzumi et al. 2012)。これらの研究ではいずれにしてもダストアグリゲイトの運動がガスと分離することが前提とされている。ダストアグリゲイトとガスの運動が分離するとき、ダストアグリゲイトの中心星方向への落下速度は 1m/s 程度である。したがって、この程度の落下速度になる大きさまでダストアグリゲイトは成長する必要がある。ここまでの成長は可能であろうか？

実験的には、ミクロンサイズの SiO_2 ダストアグリゲイトの衝突破壊速度は m/s のオーダーである (Blum 2010)。 H_2O 氷を用いた実験においても、同程度の衝突破壊速度が得られている (Shimaki & Arakawa 2012)。ただし、室内実験では地球重力のため、原始惑星系円盤で形成されるような空隙率の非常に高いアグリゲイトを用いることは困難である。そこで本研究では高空隙率ダストアグリゲイトの衝突の二次元数値シミュレーションを行った。 H_2O が主体である氷ダストアグリゲイトの焼結に着目した。原始惑星系円盤の広い範囲で焼結が進行する可能性が指摘されている (Sirono 2013)。焼結が進行すると、ダスト微粒子間の結合部が成長し、力学的性質が大きく変化する。ダスト微粒子間の結合力を変化させることで焼結の効果を取り入れた。新たに生成したダスト微粒子間の接触については、従来用いられているモデル (Dominik & Tielens 1997) を用いた。

焼結が十分進行したアグリゲイトでは、低速度 ($\sim 10\text{cm/s}$) においてもカタストロフィックな破壊が観察された。これは、ダスト微粒子の転がり運動によって結合が容易に破壊されるためである。一方で、焼結がそれほど進行していないアグリゲイトではこのような破壊は観察されず、焼結していない場合と大きな違いはなかった。これは転がり運動によって破壊された結合がすぐに再接触によって焼結していない結合に変化するためである。また、これらの結果は仮定する H_2O の破壊強度に依存しており、強度の増加とともに破壊速度は上昇した。本研究の結果から、原始惑星系円盤における氷ダストアグリゲイトの進化はその形成場所によって多様であることが予想される。

キーワード: ダストアグリゲイト, 原始惑星系円盤, 衝突破壊, 焼結

Keywords: dust aggregate, protoplanetary nebula, collisional disruption, sintering