

# 低質量比のダストアグリゲイト間衝突による成長と破壊

長谷川幸彦（東京大学）、鈴木建（東京大学）、  
田中秀和（東北大学）、小林浩（名古屋大学）、和田浩二（千葉工業大学）

## 導入

惑星は原始惑星系円盤と呼ばれる場所で形成されると考えられている。この原始惑星系円盤はガスとダストから成る。ダストは初期ではサブミクロンサイズからミクロンサイズの極小のモノマーと呼ばれる粒子である。このモノマーが衝突によって付着する事でアグリゲイトと呼ばれる形に成長していき、最終的には惑星が形成されると考えられている。しかしながら、ダストが成長するとダスト同士の衝突速度も増加すると考えられているが、その衝突速度があまりにも高くなりすぎると衝突時にお互いを破壊し合っ  
てしまい、成長出来なくなってしまう。このダスト同士の衝突に関しては多くの先行研究があり、その研究結果を用いて作られたダスト・ダスト衝突結果モデルを利用して円盤でのダスト成長に関する研究も数多く行われている。惑星形成を正しく理解するためには精密な衝突結果モデルが必要だが、そのためにはダスト同士の衝突に関する研究において、ダストアグリゲイトの粒子数や空隙率、配位数、形状、ダスト間の質量比や衝突速度、衝突パラメータ等の数多くのパラメータを考慮しなければならない。しかしながら、まだ全てのパラメータにおいて十分な結果が得られているわけではない。

本講演では、先行研究では詳細には調査されていなかった質量比を持つダストアグリゲイトの非等質量斜め衝突に関して、特に衝突破壊に関する臨界速度の質量比への依存性について報告する。

## モデル

我々は三次元のダスト・ダスト衝突の数値計算を、先行研究（Wada et al. 2009）と同じ  $N$  体コードを用いて行った。モノマー間の相互作用は JKR 理論（Johnson et al. 1971; Johnson 1987）によって与えられる。

先行研究（Wada et al. 2013）と同様に、モノマーはサブミクロンサイズの水氷製を採用し、衝突前の二つのアグリゲイトである大きい標的と小さい衝突体は両方とも BPCA (ballistic particle cluster aggregation) クラスターを採用した。

正面衝突は非常に稀な例であるため、我々は様々な衝突パラメータでの斜め衝突を数値計算してそれらを衝突パラメータで重み付け平均を行った。

## 結果

衝突後の最も大きい破片が標的と比較して成長しているかを調べる事で、衝突破壊に関する臨界速度を得る事が出来る。先行研究 (Wada et al. 2009, 2013) ではこの値は約  $80 \text{ m s}^{-1}$  である事を表していたが、我々はそれらの先行研究では調査されていなかった質量比での衝突を計算して、それらにおいては臨界速度が最小で  $25 \text{ m s}^{-1}$  になる事を発見した。

この質量比での衝突時に何が起きているのかについて調べると、ある程度以上の質量比を持つ斜め衝突において、衝突体が標的に一度は付着するがその後分裂し、その際に標的から衝突体への質量輸送が起こる事が明らかになった。この質量輸送は衝突パラメータがある範囲においてのみ起こり、衝突パラメータが小さいほぼ正面衝突では標的が衝突体を飲み込んで成長しやすく、衝突パラメータが大きい場合では標的と衝突体がお互いを少しずつ破壊し合うのみである。この結果からも、様々な衝突パラメータでの衝突計算を行って平均化を行う必要がある事が分かる。

我々はある質量比での衝突について標的と衝突体の質量も変えて計算を行い、系の粒子数に関して収束していると思われる計算結果を得て、それらを利用して質量比の関数としての臨界衝突破壊速度を得た。

## 議論と今後

我々は今回得た臨界衝突破壊速度を標準的な原始惑星系円盤モデルでの実際のダスト同士の衝突速度と比較した。すると、ほぼ等質量衝突と高質量比では成長可能だが数～数十の質量比においては成長出来ない場合がある事が示唆された。つまり、原始惑星系円盤での水氷ダストの成長はこれまで考えられていたよりも少なくとも遅くなる可能性があり、円盤でのダストの中心星落下が微惑星形成において問題になる領域が広がる可能性がある事が示唆された。

今後は破片の質量の分布な内部構造についても調査を行っていく予定である。また、今回の計算で採用された水氷製以外のモノマーや BPCA クラスタ以外のアグリゲイトでの計算も行っていく予定である。