

# ダストアグリゲイト間の衝突結果に物性が与える影響

長谷川幸彦（東北大学）、

田中秀和（東北大学）、鈴木建（東京大学）、

小林浩（名古屋大学）、和田浩二（千葉工業大学）

惑星はガスとダストから成る原始惑星系円盤の中で形成される。ダストについて、最初はサブミクロン～ミクロンサイズの微粒子（モノマー）であるが、ダスト同士の衝突付着によってアグリゲイトを形成して大きく成長すると考えられる<sup>[1]</sup>。しかし、原始惑星系円盤内でのダスト間の衝突速度はダストの成長と共に増加して<sup>[1]</sup>、衝突速度が速くなりすぎると衝突時にダスト同士はお互いを破壊してしまい付着出来ない<sup>[2]</sup>。このダストアグリゲイトの付着と破壊を分ける衝突の臨界速度（破壊速度）はモノマーの物性に依存する。破壊速度の物性への依存性は、惑星形成の初期段階における原始惑星系円盤内の場所とダストの進化の関係に関する理解に必須である。数値計算を用いた先行研究では、しかしながら、様々な物性を実際に扱ってダスト衝突を実際に計算し、その結果を比較する事はほとんど行われていなかった。その理由は計算コストのためである。ダストアグリゲイトの破壊速度はモノマー数が大きくなるとモノマー数に依存しなくなる<sup>[3, 4]</sup>。現実の原始惑星系円盤内でダストアグリゲイト同士の衝突破壊が起こるのは現在の数値計算でも取り扱うのが困難なモノマー数の場合であると考えられてはいるが、モノマー数に依存しない結果が得られるのであれば現実よりもかなり少ないモノマー数で実行した数値計算の結果を研究に用いる事が出来る。ただし、それでもかなりの数のモノマー数が必要である事にはかわりない。さらに、ダストアグリゲイト同士の衝突は様々なパラメータが存在する（モノマーの物性やサイズ、衝突する二体の質量や衝突速度、衝突パラメータ等）ため、これらを完全に網羅するのは現実的ではない。そのため、先行研究では特定での物性でなおかつパラメータを絞って衝突の数値計算を行い、他の物性ダストの破壊速度に関してはモノマー間の付着エネルギーを用いたスケールング則から臨界値を推定する手法がとられていて<sup>[3]</sup>、実際に大モノマー数で複数の物性についての計算を行った比較は行われていなかった。しかし、近年では計算機資源も豊富になりつつあり、先行研究では行われていなかった実際の計算結果の比較が出来るよ

うになった。本研究では、大モノマー数の水氷ダストとシリケートダストの二種類のダストアグリゲイトについて、実際に衝突破壊を数値計算し、破壊速度の付着エネルギー依存性として用いられていたスケーリング則は適切なのかについて調査した。

モノマー同士の付着に関する特徴的なポテンシャルエネルギーは水氷だと  $6.1 \times 10^{-10}$  erg, シリケートだと  $1.6 \times 10^{-11}$  erg であり、これらとモノマー質量から得られる特徴的な速度は水氷だと 3.8 m/s, シリケートだと 0.38 m/s である。Wada et al. (2013)<sup>[3]</sup>ではこれらの値から、シリケートダストの破壊速度は彼らが実際に計算によって得た水氷ダストの値の 1/10 倍と推定していた。

実際に我々が行った数値計算の結果では、水氷ダストの破壊速度は等質量衝突では約 50 m/s, シリケートダストでは約 10 m/s であった。スケーリング則からのずれはファクター 2 程度であったが、このずれは実際の原始惑星系円盤内でのダストの衝突速度を考えると成長の可否や破片の生成等で影響がある可能性が示唆されるものである。また、水氷ダストの場合だと起こっていた標的から衝突体への質量輸送<sup>[4]</sup>がシリケートダストでは起こらない可能性も示唆された。これらの結果から、少なくとも、破壊速度を付着エネルギーによる単純なスケーリング則によって推定する事は正確ではない事が示唆された。なぜスケーリング則が適していないのかについてはまだ調査中ではあるが、物性が異なる事による衝突時のエネルギー散逸過程の違いが原因の一つではないかと思われる。

参考文献：

- [1] Okuzumi, S., Tanaka, H., Kobayashi, H., & Wada, K. 2012, ApJ, 752, 106
- [2] Krijt, S., Ormel, C. W., Dominik, C., & Tielens, A. G. G. M. 2015, A&A, 574, A83
- [3] Wada, K., Tanaka, H., Okuzumi, S., et al. 2013, A&A, 559, A62
- [4] Hasegawa, Y., Suzuki, T. K., Tanaka, H., Kobayashi, H., & Wada, K. 2021, ApJ, 915,