

質量輸送を伴うダストアグリゲイト間の衝突と

衝突エネルギーの関係

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。ダストは最初はサブミクロン～ミクロンサイズの粒子であるモノマーだが、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ている (Okuzumi et al. 2009, 2012)。しかし、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、衝突速度が速くなりすぎるとダストは衝突によって付着出来ずに破壊される (Krijt et al. 2015)。このダスト衝突時の成長と破壊は惑星形成の初期段階の理解に必須であり、多くの先行研究が存在する (Lange & Ahrens 1982; Takagi et al. 1984; Mizutani et al. 1990; Dominik & Tielens 1997; Blum & Wurm 2000; Wada et al. 2007, 2008, 2009, 2013; Suyama et al. 2008, 2012; Paszun & Dominik 2009; Teiser & Wurm 2009; Güttler et al. 2010; Kobayashi & Tanaka 2010; Ringl et al. 2012; Meru et al. 2013; Seizinger et al. 2013; Gundlach & Blum 2015; Gunkelmann et al. 2016; Musiolik et al. 2016a, 2016b; Schr apler et al. 2018, 2022; Hasegawa et al. 2021, 2023; Arakawa et al. 2022a, 2022b, 2023; Bandyopadhyay et al. 2023; Tanaka et al. 2023)。しかし、成長過程の完全な理解にはダスト間衝突の結果に関してさらなる詳細な理解が必要である。

我々は大量のダスト微粒子から成る二体のダストアグリゲイトの衝突成長と破壊の様子を、先行研究 (Wada et al. 2007, 2009) でも用いられた N 体コードを用いて数値計算を実行して調べた。本発表では、二体の衝突速度（あるいは衝突エネルギー）と衝突結果（成長と破壊）の関係に関して、衝突前の二体の質量比への依存性に焦点を当てた発表を行った。

まず、衝突結果が成長から破壊に変わる臨界衝突速度について (Hasegawa et al. 2021)、等質量衝突の場合における値と質量比が増加して標的から衝突体への質量輸送

が起り始める場合の値を比較すると、質量輸送が起り始める場合の方が臨界速度は低い事が分かった。これは、衝突した部分が元のダストアグリゲイトよりも密に硬くなって他の部分からちぎれてしまうためである。

等質量衝突の場合はこの硬くなった部分が元のダストよりも大きくなる事が多いため、結果としてダストは成長出来るので臨界速度は高くなる。一方、質量比が増加すると小さい衝突体の大部分と大きい標的の一部がこの硬くなった部分を形成するが、高質量比ではその部分が元の標的よりも大きくなることは難しくなる。よって、結果的には標的の一部が衝突体に輸送されて、全ての破片が元の標的よりも小さくなってしまう。これはダストの破壊を意味するため、質量が起り始める場合における臨界速度は低くなってしまふ。

次に、質量輸送が起こる場合においては、臨界エネルギーは質量比には依存せずある一定値である事が分かった。(なお、衝突エネルギーは衝突速度と質量比の関数で書ける。)質量比が高くなると小さい衝突体が大きい標的に衝突するようになり、標的上の衝突地点付近でモノマーのやり取りをするように思われる。この場合、臨界エネルギーは標的質量には依存せず衝突体質量にのみ依存するため、結果としては質量比に依存するはずであるが、しかしながら結果はそのようにはならなかった。衝突エネルギーが質量比に依存しないという事は、質量輸送は大きい標的全体の質量とも関連しているという事を意味する。

この事は、二体間での質量輸送は二体の衝突地点付近での局所的な現象ではなく標的全体と関連する現象である事を示唆する。質量輸送は斜め衝突によって標的と衝突体と一旦付着した後に付着した全体が回転して、前述の硬くなった部分が他の部分からちぎれる事によって起こる現象であり、衝突後に元の標的を含む全体が回転する間に標的が衝突体を完全に受け止めてしまふとちぎれる事が出来なくなってしまう。従って、質量輸送を起こすためには、標的が衝突体を受け止めきるよりも前に、衝突時に付着した全体をある程度速く回転させる事が必要である。これは標的質量にも依存する事を意味しており、前述の臨界エネルギーが一定となる理由であるかもしれない。