

ダストアグリゲイトの跳ね返り条件

和田浩二¹、田中秀和²、陶山徹³、木村宏⁴、山本哲生²

¹ 千葉工業大学惑星探査研究センター，

² 北海道大学低温科学研究所，³ 新潟県立自然科学館，⁴ CPS/神戸大学

原始惑星系円盤内での微惑星形成にとって、ダストアグリゲイトが衝突によって付着成長できるかどうか、ということが重大な問題であり、その中の一つにアグリゲイトの「跳ね返り問題」がある。これまでの幾つかの衝突実験において、アグリゲイトが付着せず跳ね返ってしまうことが報告されている。たとえば、半径 $0.75 \mu\text{m}$ の石英粒子からなる低空隙率のアグリゲイト同士を 1m/s 以下の速度で衝突させると、変形もせずに跳ね返る（ただし、あまりに小さな衝突速度では付着する）[Blum & Wurm, 2008, Annu. Rev. Astron. Astrophys. 46, 21]。跳ね返りはアグリゲイトの合体成長を阻害し、ひいては微惑星形成を不可能としてしまうため、看過できない現象である。一方、これまで我々が行ってきた衝突シミュレーションではそのような跳ね返りは見られない。もちろん、シミュレーションにおいて粒子間相互作用をはじめとしてモデル化が不十分であるという可能性は否定できない。しかしながら、アグリゲイトの圧縮・破壊条件に関してはシミュレーションは実験と調和的であり、一概にモデルに不備があるとは言い難い。実験とシミュレーションの違いは何に起因しているのだろうか？

アグリゲイトが跳ね返るためには、衝突時にエネルギーが十分散逸されずに残り、運動エネルギーへと変換される必要がある。つまり跳ね返りにはエネルギー散逸を抑える仕組みが必要となる。アグリゲイトの衝突においては、粒子間の転がりやスライドなど粒子がある程度自由に動くことによってエネルギーが散逸される。そこで、一つの粒子に多くの粒子が付着していれば粒子が自由に動けずエネルギー散逸が不十分となり、アグリゲイトが跳ね返るのではないかと、という仮説が考えられる。一つの粒子に付着している粒子の数を「配位数」と呼ぶ。配位数が十分多ければ極めて強固な構造となり、ちょうどコイン同士が跳ね返るように跳ね返るだろう。そこで我々は、様々な配位数をもつアグリゲイトの衝突シミュレーションを行い跳ね返るかどうかを確認することで、跳ね返るのに必要な配位数、すなわち跳ね返る条件、を明らかにしようと試みている。

アグリゲイトにおいて最大の配位数は最密充填構造における 12 であり、最小は BPC 構造や BCA 構造の 2 である。任意の配位数をもつアグリゲイトを用意することは難しいため、最密充填構造のアグリゲイトから、粒子をランダムに差し引いて望みの配位数をもったアグリゲイトを作る。こうして作られたアグリゲイトの衝突シミュレーションを行うことで、アグリゲイトが跳ね返るかどうかの配位数依存性を明らかにすることが可能となる。現在のところ、配位数が 6 以上のアグリゲイトでは多くの場合跳ね返り、配位数が 6 を下回ると跳ね返らず付着するという結果が得られつつある。6 という配位数からは、一つの粒子が 3 軸ともしっかり抑え込まれ自由に動けずエネルギーを散逸できない状態であることが、容易に想像される。我々が行ってきた BPC アグリゲイトや BCA アグリゲイトの衝突シミュレーションにおいては、衝突によって形成されるアグリゲイトの配位数が 4 を超えることはないという結果が得られている。したがって、上述の配位数による跳ね返り条件が正しいとすると、ダストは跳ね返ることなく合体成長が可能と言えよう。ただし、実験で扱われているアグリゲイトは、その作成工程が BPC アグリゲイトと類似したものであることから配位数が 2 程度であると推測されており、単純に考えれば実験において跳ね返る理由は依然として謎のままである。衝突する際のアグリゲイトの表面状態が重要なのもかもしれないが、今後さらに検討が必要である。