

複合コンドリュール形成のための衝突条件 1 : 衝突付着条件

Collision condition for compound chondrule formation I: Condition for coalescence

保田 誠司 [1]; 中本 泰史 [2]

Seiji Yasuda[1]; Taishi Nakamoto[2]

[1] 筑波大・数物; [2] 東工大

[1] Pure and Applied Sciences, Tsukuba Univ; [2] Tokyo Tech

コンドライト隕石に含まれるコンドリュールは、大きさ1mm程度の球状ケイ酸塩物質であり、原始太陽系星雲中のダストが加熱・溶融、再固化することで形成されたと考えられている。コンドリュールの中には、二つ以上の独立なコンドリュールが付着している複合コンドリュールが全体の数%存在する。これらの多くは、ダストが溶融現象を経験中に衝突することで形成されたと考えられているため、複合コンドリュール形成条件はコンドリュールそのものの形成過程に強い制限を与えると考えられる。

従来の研究では、最小質量原始太陽系星雲モデルから見積もられるダストの数密度は非常に小さく、衝突頻度は複合コンドリュールの存在頻度に遠く及ばないため、存在頻度を説明するだけのダスト数密度をいかに達成するかということに主眼が置かれていた (Gooding and Keil 1981, Wasson et al. 1995, Sekiya and Nakamura 1996, Miura et al. 2008)。しかし、これらの研究ではダストの衝突条件はほとんど注目されていなかった。二つの液滴が高速の衝突や、かすめるような衝突をした場合には付着せずに分離し、複合コンドリュールは形成されない。また、二つの液滴の粘性が小さい(高温の)場合には表面張力により冷却を経験する前にひとつの大きな液滴となり、複合コンドリュールとして観測されないだろう。このように複合コンドリュール形成の衝突条件は「付着条件」と「形状を保つ条件」から成り、両条件を満たした衝突が複合コンドリュールを形成する。したがって、存在頻度との比較を行うには衝突条件を調べることは必要不可欠となる。

そこで我々は、二つの溶融ダストの衝突を三次元流体シミュレーションにより再現し、まずは「付着条件」を様々な衝突速度 (u)、衝突角度 (α)、ダストのサイズ比 (r)、ダストの粘性値 (μ) について調べた。衝突結果は、上記のパラメータに依存して、大きな衝突角度の衝突で起こり、二つのダストがすれ違うように分離する「伸張分離」、高速かつほぼ正面衝突で起こり、ばらばらになる「破壊的分離」、そして、適度な衝突速度、衝突角度の時に実現する「付着」の三つに分かれることがわかった。比較的低粘性値 ($\mu=1\text{poise}$) を持った溶融ダスト同士の衝突 (ダスト半径 $500\ \mu\text{m}$) では、水滴や有機物液滴の衝突実験 (Ashgriz and Poo 1990, Qian and Law 1997) で得られた付着・分離の条件をほぼ再現する。またこの場合、付着可能な溶融ダスト同士の最大衝突速度は $u_{\text{max}} \sim 5\ \text{m/s}$ である (衝突角度 $\alpha \sim 12^\circ$)。一方で、粘性値が大きい場合には、衝突によって持ち込まれた運動エネルギーが粘性による散逸を強く受け、付着の条件はより高速、より大きな衝突角度まで広がる。たとえば、両ダストの粘性値が $10\ \text{poise}$ の時には $u_{\text{max}} \sim 15\ \text{m/s}$ 、 $100\ \text{poise}$ の時には $u_{\text{max}} \sim 50\ \text{m/s}$ にもなる。また、ダストサイズ比が小さくなると、大きい角度の衝突でも接触部の体積と接触していない部分の体積の比が小さくなるため、付着の条件は大きな角度に広がる。

さらに、これらの数値計算結果は運動エネルギー、表面エネルギー、粘性によるエネルギー散逸、衝突により励起された回転のエネルギーの大小により解析的に表現できる。これにより任意の衝突速度、衝突角度、ダストサイズ比、粘性値のもとでの付着・分離の条件が得られたことになる。さらに、この結果に「形状を保つ条件」を加えることで最終的に複合コンドリュール形成の衝突条件を明らかにすることができる。