

# 複合コンドリュールの形成条件

古田岳<sup>1</sup> ○ 城野信一<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科

二つのコンドリュールが結合した状態の「複合コンドリュール」がコンドリュール全体の2-4%の割合で発見される。多くの場合で一方は球形を保っており、もう一方は球形から変形して結合している。球形を保っているコンドリュールは結合時にすでに固化しており、もう一方はまだ溶融していたものと考えられる。複合コンドリュールが形成されるためにはコンドリュールが衝突する必要があり、衝突速度に応じて一定の数密度が必要となる。ここから、複合コンドリュールの発見頻度を手がかりに、コンドリュール形成環境に制約を与えることができる。Arakawa & Nakamoto (2016: *Icarus* 276, 102) では、衝突速度を 1m/s, 衝突時に合体する確率は 1 と仮定した場合、複合コンドリュール形成に必要な数密度が 8 個/m<sup>3</sup> と見積もられた。原始太陽系円盤においてダストの沈殿が進行し、赤道面においてガス：ダスト比が 1:1 まで増加した上でダストが全てコンドリュール前駆体になったとしても 2 個/m<sup>3</sup> にしかならず、複合コンドリュール形成には足りないことが示された。しかし、もし衝突速度が 1m/s に比べて大きくなれば衝突頻度が増加して必要な数密度は低下することになる。一方で衝突速度が増加すると衝突時にコンドリュールが合体せず分裂する可能性が増加する。また、複合コンドリュール形成時の粘性係数には大きな幅があり、粘性が小さいと分裂しやすくなると考えられる。そこで本研究では衝突速度と粘性係数の関数としての合体確率を粘性液滴一固体球の衝突実験により明らかにした。

液滴の衝突実験は非常に多くの研究例が存在し、ほとんどの場合において水が用いられている。水はスプレーなどで効率よく多くの液滴を加速することができるためである。しかし岩石メルトの粘性係数は少なくとも 1 Pas があり、水の粘性係数の 1000 倍である。高粘性液滴をスプレーで放出することは難しいため、本研究では独自に実験装置を考案した。粘性係数が 10 Pas 以下の場合には、撥水スプレーを塗布した銅メッシュ(Pan et al. 2019: *Adv. Sci.* 2019, 1) の上を液滴を転がすことにより落下させた。大きな粘性の場合には、注射器から液滴を落下させた。液滴の材質には水 (10-3Pas), はちみつ (10Pas), 水と混合した水飴を用いた。水の混合比を変化させることで、5Pas, 100Pas, 200Pas の三通りで実験を行った。一方で固体球としては直径 7mm のガラス球を用いた。高速で衝突させる場合には、サイドノック式ボールペンから射出することで空中での衝突を実現した。低速で衝突させる場合は、吸引装置に固定したガラス球を解放することで衝突させた。衝突の結果は、慣性力と表面張力の比である We 数と、無次元衝突パラメータ  $b$ , およびキャピラリー数 Ca で整理した。

衝突の結果は 合体(図1) 分裂 跳ね返り の三通りとなった。粘性が比較的小さく衝突パラメータが小さい場合は合体する。衝突パラメータがある値よりも大きくなると分裂が起こる。分裂が起こる衝突パラメータを  $b_c$  とすると、 $b_c^2$  が合体確率となる。粘性係数が 100Pas 以上になると跳ね返りが起こるようになった。これは、大きな粘性のため液滴が衝突時に変形できず、接触面積が小さくなるためと考えられる。横軸を We 数、縦軸を無次元衝突パラメータ  $b$  で実験結果を整理すると、合体一分裂の境界線が粘性が大きくなるにつれて衝突パラメータの大きい方にシフトすることがわかった(図2)。ここから  $b_c$  を与える経験式を求めた。この経験式を用いること

で、粘性係数と衝突速度の関数としての合体確率を得ることができた。低速では0.6、高速では概ね衝突速度の1.5乗に反比例して低下することがわかった。ここから複合コンドリュール形成に必要な数密度を求めるとき、衝突速度1m/s付近で最低となって8個/m<sup>3</sup>となり、1m/sから衝突速度が大きくなても小さくなても必要な数密度は増加することがわかった。低速側では合体確率が1となるものの衝突頻度が低下し、高速側では合体確率が衝突速度の1.5乗に反比例して低下するためである。この結果から、複合コンドリュールが原始太陽系円盤に浮遊していた前駆体から形成されたとは考えにくく、微惑星衝突といったより高数密度が実現される環境であったことが示唆される。

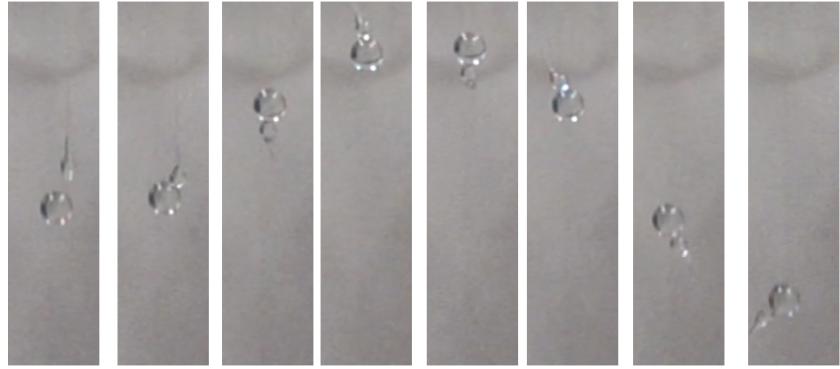


図1: 粘性係数  $1 \times 10^2$  Pas の水飴を用いた実験のスナップショット。  $We = 3.5 \times 10^2$ ,  $b = 0.34$ ,  $Ca = 3.6 \times 10^4$ 。 左から右に向かって時間は  $0, 2.1 \times 10^{-3}, 3.1 \times 10^{-2}, 6.5 \times 10^{-2}, 1.0 \times 10^{-1}, 1.3 \times 10^{-1}, 1.7 \times 10^{-1}, 1.9 \times 10^{-1}$  秒。 下から上方に向かってガラス球が射出され、落下してきた液滴と合体する。合体後は回転しつつ落下する。

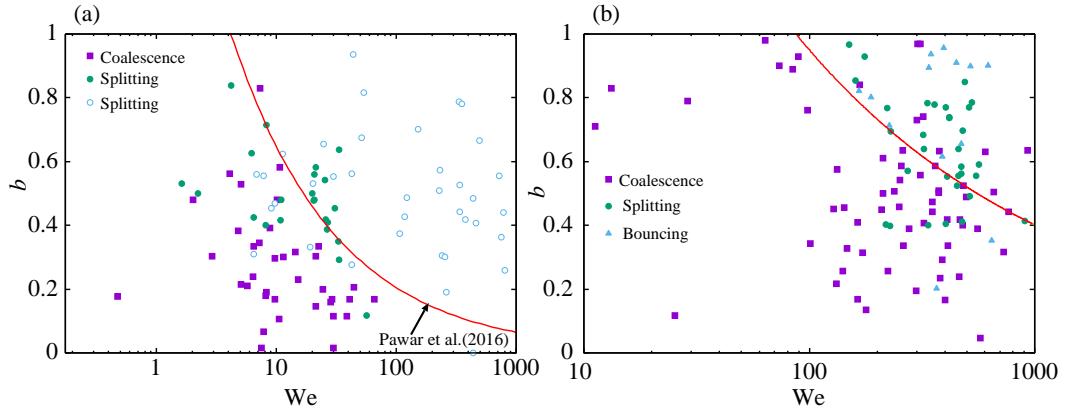


図2:  $We$ 数と無次元衝突パラメータ  $b$ で分類した実験結果。四角: 合体、円: 分裂、三角: 跳ね返り。(a): 水の結果。粘性係数 =  $1 \times 10^{-3}$  Pas。曲線は Pawar et al. (2016: Powder Technology, 300, 157) で用いられた経験式。(b): 水飴の結果。粘性係数 =  $1 \times 10^2$  Pas。曲線はフィッティングにより求めた  $b_c^2 = 2.1Ca^{0.51}/We$ 。