

多分散不規則形状ダストの焼結実験

櫻井 哲志¹, 中村 昭子²

1 神戸大学理学部 2 神戸大学大学院理学研究科

1. 研究背景

焼結とは、構成分子の移動によって、融点より低い温度で接触する粒子間に‘ネック’と呼ばれる固体結合が形成される現象のことである。このときの分子の移動は表面積を減少させることで自由エネルギーを小さくする方向に駆動され、その分子移動メカニズムには表面拡散、蒸発・凝縮、体積拡散、粒界拡散などがある。分子が粒子内部から拡散する焼結では、ネックの形成と同時に粒子中心間距離の収縮が生じ、その結果、粉粒体全体が緻密化する。

粒子間のネックはダストアグリゲイトの物理的特性（機械的強度など）を変化させる。このことから、焼結したダストアグリゲイトの衝突シミュレーション (Sirono, 1999; Sirono & Ueno, 2017) や高多孔質粉粒体を用いたネック形成実験 (Poppe, 2003) が行われている。しかし、これらの研究では単分散かつ球形のダストが使用されている。そのため、本研究では、多分散ダスト、及び不規則形状ダストからなる粉粒体の焼結実験を実施し、その焼結挙動を単分散ダストからなる粉粒体と比較する。

また、微惑星の熱進化に関する数値シミュレーションでは、微惑星の充填率進化が焼結の一つである熱間加圧焼結 (hot pressing) によって生じると考えられている (Neumann et al., 2014, 2020)。しかし、計算に用いられているのは高充填率 (>0.6) の粉粒体を高圧 (>134 MPa; 大雑把に半径 400 km の天体の中心圧力に相当) で hot pressing したときの緻密化曲線である。したがって、本研究は、より低い充填率をもつ粉粒体を低圧力で焼結させたときの緻密化挙動の観察も目的としている。

2. 試料, 実験手順

実験には4種類のソーダライムガラス試料を使用した。単分散の試料として、球形でメジアン径がそれぞれ 94, 55 μm のガラスビーズ (GB-94, GB-55) を使用した。多分散の試料としては、球形でメジアン径が 22 μm のガラスビーズ (GB-22), 不規則形状でメジアン径が 53 μm のガラスパウダー (GP-53) を使用した。

実験は次の手順で行った。(i) 試料をアルミナるつぼに充填する。そのとき、ふるいを用いてランダム疎充填試料, タッピングによってランダム密充填試料を作成する。(ii) 試料をピーク温度 620°C で加熱する。昇温時間を 30 分で固定し、ピーク温度の保持時間を変更することで焼結度合いを変化させる。(iii) 不定形の焼結体を直方体に成形し、質量と体積から充填率を算出する。(iv) パルス透過法を用いて焼結体の縦波速度を測定する。

3. 結果

密充填試料と疎充填試料の両方の場合で、GB-94 と GB-55 の加熱時間に対する充填率の変化は似た傾向を示し、この間に粒径の影響は見られなかった。また、両方の場合において、GB-22 と GP-53 の緻密化が比較的速く進行した。

密充填試料、疎充填試料の両方の場合で、GP-53 焼結体の縦波速度が、同程度の充填率をもつ GB-22, GB-55, GB-94 の焼結体よりも速くなった。また、全ての試料で、疎充填試料の焼結体の縦波速度が、同程度の充填率をもつ密充填試料の焼結体よりも速くなった。

GP-53 からなる疎充填試料の焼結体表面の電子顕微鏡画像から、不規則形状ダストでは、焼結によるネックの形成だけでなく、表面構造の変化も生じることがわかった。