

学内研究組織（2024 年度）

研究課題：「階層構造を持つ天体構成粒子塊の強度獲得過程に関する実験的研究」

階層構造粒子塊の圧密挙動に関する実験的研究：内部構造進化の観察

Experimental Study on the Compaction Behavior of Hierarchical Granular Aggregates:
Observation of Internal Structural Evolution

大村 知美 (Omura Tomomi)

惑星は、原始惑星系円盤内を漂う微粒子(ダスト)が集積した微惑星の衝突進化およびその後の熱進化等を経て形成されるため、衝突の結果を左右する微惑星の強度はきわめて重要な物理量となる。微惑星を構成するダスト層の物性は粒子のサイズや形状だけでなく、粒子のなす構造にも強く依存することが知られている。近年の研究より、微惑星は微粒子が単に集積したような粒子構造ではなく、微小粒子が凝集して形成された二次的な粒子がさらに集積したような、階層的な構造を持つ可能性が指摘されている。階層構造の有無は、粒子層の強度に大きく影響することが実験より示されている。一方で、このような粒子層が圧密を経験すると、内部の二次的な粒子の変形や破壊、合体が進み、やがてこの粒子層は均質な粒子層と同等の物性を示すようになると考えられる。すなわち、この遷移過程において、階層構造を持つ粒子層の物性は大きく変化しうる。本研究の目的は、階層構造粒子層の強度獲得過程を理解する前段階として、二次的な粒子の条件と圧密挙動の関係を明らかにし、粒子層の物性を記述する手がかりを得ることである。

本研究では、直径 $4.2\ \mu\text{m}$ の微粒子(grain)を「だま」にした二次粒子(pebble)から成るサンプルの圧密実験を通して、階層構造粒子塊の強度獲得過程と考えられる圧密挙動に、pebble の存在や特徴が及ぼす影響を調べている。本研究は JSPS 科研費(22K14089)および学内研究組織学内研採択者支援事業の助成を受けて 2022 年度より実施しており、2024 年度は研究期間の 2 年目にあたる(間 1 年の休業を挟む)。これまでの研究により、圧密の初期段階において、pebble 粒子層は、grain をふるい充填した均一粒子層と比べ圧密により高い圧力を必要とするが、圧密が進むと両者の違いは失われることが示されている。また、pebble の影響が表れる圧密範囲では、圧密曲線を破壊強度で規格化することでほぼ共通の直線上に整理されることが確認されている。以上から、pebble 層の初期圧密過程では pebble の変形や破壊が主要な変形メカニズムであり、その結果として内部構造は grain 層と同様の均質構造へと変化することが示唆された[1]。

本年度は、同じ pebble 粒子で最大経験圧力の異なる複数回の実験を行い、各圧密段階における pebble 粒子層内部の観察を行った。なお、同じ物性の pebble が多量に必要となるため、pebble 粒子の作成方法を従来と変更した。この影響か、本年度の実験で得られた pebble 粒子層の圧密挙動と粒子強度の関係は、従来の傾向からは外れていた。粒子層内部の観察には神戸大学に設置されている CT スキャナ(NAOMi-CT 3D-M)を用いた。観察の結果、圧密が進むにつれて pebble の輪郭が不明瞭となり、個々の粒子の変形・融

合・圧密が同時に進む様子が捉えられた．また，圧密挙動が **grain** 粒子層と同等になった粒子層内部では **pebble** 粒子の痕跡は見られず，内部が均質になっていることが確認された．さらに，CT 画像の各ピクセルの輝度値の平均と標準偏差を用いることで，**pebble** の残存度を定量的に評価できることを示した．以上の成果を，2025 年 2 月に行われた国際研究会 **Pebbles in Planet Formation** で報告した[2]．

今後は，2024 年度の実験で得られた **pebble** 粒子層の圧密挙動と粒子強度の関係が従来の傾向から外れていた要因を解明するとともに，数値シミュレーション研究で提案されているモデル式と本実験での結果の比較を通じて，既存モデルを実験結果に適用する上で，修正や新たな解釈が必要であればその内容について検討する予定である．

[1] 大村知美，(2023)，産業研究所所報第 47 号，分野別研究組織成果報告(2022 年度)

[2] Tomomi Omura, Hiroaki Katsuragi, Yukari M. Toyoda, Experimental study on compaction behavior and structural evolution in pebble layers, Pebbles in Planet Formation, National Astronomical Observatory of Japan (Mitaka, Tokyo), February 2025.