

天然鉱物における極限圧縮場とマルチスケール構造の生成・発展・凍結
**Evolutions of Multiscale Structures in Naturally-occurring Minerals
Experiencing Shock-induced Strong Compression**

奥地拓生
Okuchi Takuo

京都大学複合原子力科学研究所
Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University

惑星探査機・はやぶさの1号機と2号機が続けて成功させた小惑星天然試料の回収（サンプルリターン）によって、46億年前の太陽系誕生時の状態をそのまま保存する物質が研究者にもたらされた。原始の太陽の重力によって宇宙から惑星系の円盤に沈積した無数の微粒子が、互いに衝突による付着や合体を繰り返してこのような小惑星を構成したとされる。それらがさらに長い時間をかけて衝突、破壊、合体を繰り返すことで、現在の太陽系にみられるような惑星や衛星が誕生した。このような惑星形成の過程の物証を得て、関係の研究がいま新しい段階を迎えている。

惑星系の起源と進化という課題は、理論物理、計算機シミュレーション、天文観測、および隕石学の手法によって従来から深く研究されてきた。その中で私たちは、広い意味での物質材料科学の手法の一つである衝撃圧縮計測実験を通して、天体衝突時の物質変遷を再現する研究を進めてきた。天体衝突は発生するエネルギーが巨大な現象であり、それが物質の状態変化に果たす役割は大きい。太陽系の初期に起きたはずの小天体相互の衝突現象の想定像は実に多様である。そのなかでも私たちは、実際に起きた過程を凍結する物証が得られる可能性が高い、物質構造の微視的で不可逆的な変化に着目してきた。衝撃圧縮の場における高密度化相転移、非晶質化、融解などの痕跡の存在は隕石学において従来から強く示唆されてきた。私たちは衝撃圧縮室内実験の結果と、天然の宇宙惑星物質に見られるこのような痕跡の間を繋ぐことを通して、惑星形成過程の理解を大きく進められると考えている。

時間変化する動的な圧縮場がつくり出す高圧力条件の下で物質が経験する変化は、静的な圧縮場を用いた実験の結果から類推されてはきたものの、わからないことが多かった。この

課題に対して、ハイパワーレーザーを利用した衝撃圧縮法が特筆すべき有効性を示してきた。レーザーの圧縮と各種のパルスプローブの計測は容易に同期させることが可能であり、圧縮中の物質の極限的な状態を捉えることができる。例えば氷惑星といわれる、太陽系最外部の“冷たい”氷物質の惑星の内部に存在する極限的な高温高压の物質の状態を理解するために、氷物質の構造相転移、融解や金属化現象の研究が重要な役割を果たしてきた[1]。一方で、少なくとも一時的には“熱く”なった物質の集積によって惑星が形成した太陽系内側の領域では、鉱物が衝突によって経験する不可逆な変化の理解が特に重要であった。このような動的な圧縮場での鉱物の構造相転移の経路や時間進展が捉えられ、得られた結果と衝突を経験した隕石の産状がリンクされた[2]。

以下は今後の課題である。ナノ秒をパルス長とするハイパワーレーザーで駆動される高圧力状態の圧縮時間スケールは、初期太陽系における惑星や小惑星の衝突現象の時間スケールよりもはるかに短い。一方で単純に考えると、惑星や小惑星よりもはるかに小さな天体が引き起こす短時間の衝突現象の頻度は、むしろ大型天体の衝突よりもはるかに多いはずである。このような短時間の圧縮の際に、圧力の急速な上昇または減衰をトリガーとして特徴的に引き起こされる変化があれば、その進み方はレーザーと天然の衝突の間での本質的な差がない。つまり短い圧縮時間スケールがもたらす痕跡の探索と解析を進めることが重要である。併せて、長時間の圧縮が可能なレーザーの実験技術の開発を、さらに行っていく必要がある。

文献

- [1] M. Guarguaglini et al., *Sci. Rep.*, 9, 10155 (2019)
- [2] T. Okuchi et al., *Nat. Commun.*, 12, 4305 (2021)