

C型小惑星を模擬した多孔質石膏の高速衝突実験：衝突クレーター近傍の衝突残留熱のその場計測

High-velocity impact experiments on porous gypsum simulating C-type asteroids: In-situ measurements of post shock temperature around impact crater

*保井 みなみ¹、橋本 涼平²、荒川 政彦¹、小川 和律¹

*Minami Yasui¹, Ryohei Hashimoto², Masahiko Arakawa¹, Kazunori Ogawa¹

1. 神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻、2. 神戸大学理学部地球惑星科学科

1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Department of Earth and Planetary Science, Faculty of Science, Kobe University

炭素質コンドライト隕石は、150°C以上で水質変成が起こった証拠を保持しており、母天体であるC型小惑星が過去に高温状態にさらされていたことを示している。その加熱源として有力なのは、短寿命放射性元素²⁶Alの壊変熱である。しかし、この熱源で加熱されるためには、太陽系形成後10⁶年以内にC型小惑星が形成されなければならない、その確実な証拠は得られていない。一方、新たな水質変成の加熱源として提唱されているのが、天体衝突により蓄積される衝突残留熱である。C型小惑星の1つである小惑星マチルダは空隙率が50%と非常に高く [Veveřka et al., 1999]、このような多孔質小惑星で衝突が起こると、衝突点やクレーター近傍が、衝突残留熱によって効率的に加熱されると考えられている [Rubin, 2005]。しかし、衝突残留熱が水質変成の熱源であると確証付けるためには、衝突クレーター底部の初期衝撃温度分布、衝突残留熱の最高到達温度と持続時間の衝突点からの距離依存性、これらのパラメータに対する衝突条件の関係を調べ、150°C以上を達成し得る衝突条件を調べる必要がある。そこで本研究では、小惑星模擬試料を用いた高速クレーター形成実験を行い、模擬試料内部で発生する衝突残留温度を測定し、最高到達温度と持続時間を調べた。そして、C型小惑星で衝突加熱によって水質変成が起こり得る衝突条件を調べた。

実験は、神戸大学に設置された横型二段式水素ガス銃を用いて行った。小惑星模擬試料には幅7cm、厚さ3cmの多孔質石膏（密度1.1g/cm³、空隙率50%）を用いた。石膏試料内部には、衝突点から一定の距離間隔（0.5または1cm）で、5本のアルメルクロメル熱電対を挟み込んだ。温度履歴はデータロガーで記録した。周波数は100kHz、分解能は±0.1°Cである。弾丸は直径4.7mmのポリカーボネート球と、直径2mmのアルミ球を用いた。衝突速度は1~5km/sである。標的を設置したチャンバーは20Pa以下まで減圧し、残存空気による熱の伝導を防いだ。衝突の様子は高速カメラで撮影した。撮影速度は10万コマ/秒とした。

最初に、一回の実験で得られる（衝突速度が一定であることを意味する）衝突後の温度履歴と衝突点からの距離との関係を調べた。衝突点からの距離の増加に伴って、最高到達温度 T_{max} は小さくなった。そして、衝突時間から最高温度に達するまでの時間 t_{max} と、最高温度到達時間から最高温度の半分の温度に下がるまでの時間 t_{half} は共に、衝突点からの距離の増加に伴って長くなった。次に、衝突点から約1.2cmの距離での温度履歴と衝突速度の関係を調べた結果、衝突速度が大きくなるほど最高到達温度 T_{max} は高くなるが、2つの持続時間 t_{max} と t_{half} にはあまり影響せず、この距離では t_{max} が約20~40秒、 t_{half} が約40~70秒になることがわかった。

今回は、2種類の弾丸を用いたため、同じ衝突速度でもクレーターの径が異なる。そこで、衝突点からの距離をクレーター半径で規格化した距離と最高到達温度 T_{max} との関係を調べた。その結果、衝突速度が大きくなるほど、同じ規格化距離でも最高到達温度は大きくなった。例えば、規格化距離が3（つまり、クレーター半径の3倍の距離の範囲）では、衝突速度1km/sでは1°Cの温度上昇であったが、5km/sでは15°Cの温度上昇であった。また、規格化距離と最高到達温度はベキ乗の関係にあり、そのベキは衝突速度1km/sを除いて、-5.0~-7.0であまり変化はみられなかった。衝突速度1km/sではベキが-2.3で、温度上昇が緩やかになった。

水質変成が起こる衝突条件を調べるために、上記で得られた規格化距離と最高到達温度の関係が微小重力の

C型小惑星でも成り立つと仮定し、外挿して衝突点からの距離を求めた。その結果、最高到達温度が150°Cになる規格化距離は1.7km/s以上では1.0~1.5でほぼ同じとなった。つまりこれは、クレーター壁面を意味している。つまり、1.7km/s以上の衝突速度では、クレーター壁面から、クレーター半径の約1.5倍までの厚みの間でのみ、水質変成が起こることが示唆された。一方、衝突速度が1km/sの場合、150°Cになる規格化距離は0.4となり、クレーター半径より小さくなるために、水質変成は起こり得ないことが示唆された。

[参考文献] Veverka et al. (1999), *Icarus* 140, 3-16; Rubin (2005), *The Scientific American*. 292, 80-87.

キーワード：衝突残留熱、衝突クレーター、C型小惑星、衝突実験、多孔質石膏、水質変成

Keywords: post shock temperature, impact crater, C-type asteroids, impact experiments, porous gypsum, aqueous alternation