

二段式水素ガス銃を用いた無隔膜開放系衝突脱ガス実験

黒澤耕介¹, 森脇涼太¹, 小松吾郎^{1,2}, 岡本尚也³,
佐久間博⁴, 薮田ひかる⁵, 松井孝典¹

¹千葉工業大学, ²Università d'Annunzio, ³宇宙航空研究開発機構,

⁴産業技術総合研究所, ⁵広島大学

はじめに: 天体衝突は標的天体とは異なる組成を持つ物質が、莫大な運動エネルギーを伴って流入する現象である。衝撃波加熱によって、衝突天体及び標的天体の地表の揮発性成分が脱ガスしたり、構成する物質そのものが蒸発する。気体・液体が入り交じる混相流体は「衝突蒸気雲」と呼ばれる。衝突蒸気雲の急激な膨張冷却は化学反応の凍結を引き起こし、衝突天体の表層平均場では生じ得ない特異な化学反応生成物が環境中に放出される。最終生成物の量や組成は衝突速度や衝突天体の組成に依存する。また生成物は特異な地質試料として地層に残る可能性がある。これが衝突化学を研究する面白さであるといえよう。

先行研究: 天体衝突に伴う蒸発/脱ガス、化学反応生成物の量や組成を調べるには実験による検証が不可欠である。これは熱力学データや化学反応速度データが限られていることから、演算的に衝突化学の帰結を推定することができないことによる。そこで80年代から現在に至るまで衝突実験によって天体衝突で生成される化合

物を調べる試みが行われてきた。衝突後に発生した化合物を高精度で分析するため、多くの実験ではステンレス製のコンテナに試料を封入し、衝撃を加える「閉鎖系衝突実験」が行われた。ところが試料背面のステンレス壁から試料への反射衝撃波の影響や、気化した試料が膨張する自由空間が限られるために天然衝突とは異なる温度・圧力条件になっているなどの問題点が指摘されている。試料を開放系においた開放系衝撃実験は電磁銃、レーザー銃を用いて行われたがそれぞれ衝突速度の制限や飛翔体の加熱などの問題があった。Kurosawa et al. (2012)は二段式水素ガス銃を用いた開放系衝突実験系を構築したが、銃由来の化学汚染ガスを遮断するために用いたプラスチック隔膜を用いており、飛翔体の表面剥離や ppm レベルではあるものの炭素汚染源となってしまう、拡張性に乏しいという弱点があった。

無隔膜開放系実験系の構築: このような研究の現状を受け、我々は無隔膜かつ開放系でその場ガス分析を行

うことができる実験系の構築を行った。自動ゲートバルブを 2 台使い、銃の動作と連動して時間差をつけて開閉させることで銃由来の化学汚染ガスを遮断しつつ、衝突で発生する気体を四重極質量分析計(QMS)で分析できるようにした。我々はこの実験手法を「Two-valves method」と名付けることにした。

蒸発岩を用いた蒸発/脱ガス実験: 実験システムの最初の応用先として、蒸発岩鉱物である岩塩と二水石膏を選択した。これらは常温で固体であり、かつ二段式水素ガス銃で達成可能な衝突速度で蒸発/脱ガスを開始するだろうという見込みがあった。またこれらの鉱物は火星表層でも存在していることがわかっており、惑星科学的な応用も様々に考えられる。弾丸には石英とアルミナを用いた。ここでは酸化物を選択し、弾丸が還元剤や触媒などとして振る舞ってしまうことを極力避けることを目指した。衝突速度は 1.1-7.2 km/s の範囲で変化させた。衝突直下点で発生する衝撃圧力は 10-110 GPa と見積もられる。実験チャンバは不活性ガスである He で満たし、平衡全圧は 500 Pa で固定した。

実験結果(岩塩): チャンバ内全圧に対して ppm レベルではあるものの、衝撃圧が 31 GPa で NaCl の蒸気が発生したことを確認した。これは岩塩が

この衝撃圧力以下で蒸発を開始することを示唆する結果である。

実験結果(二水石膏): 行ったすべてのショットで、衝突後に水蒸気に対応する信号が上昇した。水を含まない玄武岩を用いたブランク実験では水蒸気の上昇が検出されなかったことから、二水石膏への衝突で検出された水蒸気は二水石膏から脱ガスしたものであることは確からしい。この結果から二水石膏は <11 GPa で脱水を開始することがわかった。

議論: 岩塩と二水石膏に対して計測された蒸発/脱ガス開始閾値の衝撃圧は衝突熱力学の予測、もしくは先行研究の実験結果に比べて系統的に低い。この結果は、衝突実験での蒸発/脱ガス開始閾値の決定は単純な 1 次元衝撃波伝播だけでなく、Jetting, Shear banding, Plastic deformation といった加熱機構の影響を受けてしまうことを示唆する結果である。

※図や参考文献についてはスライドの PDF ファイルをご参照下さい。