

炭素質シミュラントからの衝撃脱ガス

黒澤耕介¹, 森脇涼太¹, 藪田ひかる², 石橋高¹, 小松吾郎^{3,1}, 松井孝典¹

¹千葉工業大学, ²広島大学, ³Università d'Annunzio

C 型小惑星: C 型小惑星は反射スペクトルの類似性から炭素質隕石の母天体であると信じられている。例えば代表的な CI 隕石であるオルゲイユ隕石は 6-20 wt%に及ぶ水と 3 wt%の炭素を含んでいる。小惑星の分光観測から小惑星帯外側は C 型小惑星が主成分であることがわかっており, C 型小惑星は地球を含む内側太陽系への水と有機物の主要なキャリアの一つであると考えられている。

このような重要性を受けて, 近年はやぶさ 2, OSIRIS-Rex と立て続けに C 型小惑星探査が実施された。これまでのリモセン探査でわかって来たことは Ryugu や Bennu はその進化の段階で様々な規模の天体衝突を被ってきたことである。2020 年末に地球に帰還する Ryugu の試料にも衝突の痕跡が残っている可能性が高い。

研究目的: 衝突の痕跡から Ryugu や Bennu の衝突史を復元するには C 型小惑星を構成する物質に衝撃波が作用した際の衝撃応答を精確に理解していること, が必要不可欠であることは疑いがない。ところが当然ながら我々は C 型小惑星物質を手にしていない。現在我々が入手可能な C 型小惑星に最も近い物質は炭素質隕石のコレクションである。しかし, 炭素質隕石も稀少であるため, 破壊実験に

多量の試料を使うのは憚られる。そこで我々は地球上で手に入る物質で炭素質隕石の鉱物組成を再現した炭素質隕石シミュラントを試料として用いることにした。これは大雑把には含水鉱物, 硫酸塩, 酸化鉄, 硫化鉄, 珪酸塩, 石炭から構成された粉末である。鉱物組成を実物の隕石に極力近づけることによって鉱物組成はもちろん, 元素組成, 放射率, 反射スペクトルといった物理化学特性をほぼ再現するに至っている。シミュラントを油圧プレスを用いてペレット状に成型し, 標的とした。今回は揮発性成分の衝撃応答に着目し, 衝突で発生するガスの気相化学分析を行った。

実験条件: 千葉工業大学惑星探査研究センターに設置された二段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行った。今回報告するのは 1 shot の結果である。弾丸には直径 2 mm のアルミナ(Al_2O_3)を用いた。標的はコンテナなどを用いず完全開放系の条件で設置した。破壊実験やクレータ形成実験と同様の幾何学条件である。今回は加速ガスによる還元反応の可能性を排除するため加速ガスにヘリウムを用い, 弾丸を 5.9 km/s まで加速した。衝突後に発生した気体は我々が開発してきた新手法「Two-valve method」を用いて分析した。本手法を用いることで銃の動作時に発生

する化学汚染ガスを実験チャンバに侵入させることなく標的から発生した気体のみを分析した。

実験結果: 以下の結果を得た。(1)実験チャンバを満たす Ar ガスの信号は衝突前後で変化しない、(2)弾丸加速であるヘリウムガスの信号も衝突前後で変化しない、(3)種々のガスに対応する信号は衝突直後に増加する。(2)の結果は今回の条件では銃の動作由来の化学汚染ガスが実験チャンバへ侵入しなかったことを意味する。(3)で検出されたそれぞれの信号について CH_4 , CO , CO_2 , などの標準ガスを用いて較正試験を実施し、検討した結果、生成されたと結論付けられるガス種は H_2 , CH_4 , CO , H_2S , CO_2 であることがわかった。 C_2 炭化水素については生成されていることは確かであるが、化学種を特定するには至っていない。また揮発性成分を含まない玄武岩を標的とした対照実験を実施し、これらのガスが確かに炭素質隕石シミュラントから生じたものであることを確かめた。

生成気体の化学組成と生成量: 各種ガスの信号のピーク値とベースガスである Ar ガスの信号の比を用いて生成気体の組成と生成量を概算することを試みた。その結果、主要生成ガスは CO_2 であり、生成量は弾丸質量の数 wt%にとどまることがわかった。 H_2 , CH_4 , CO などの還元ガスの生成量は CO_2 に対して数 10 mol%, また硫黄含有ガス(H_2S)の生成量は CO_2 に対して 0.4 mol%にとどまった。

炭素質隕石様物質からの脱ガス様相: 試料が経験した温度、圧力を概算するため iSALE shock physics code を用いて、実験と近い条件で数値計算を実施した。標的物質の状態方程式にはシミュラントの主成分である蛇紋岩に対応する ANEOS を用い、空隙モデルには実際の試料の空隙率を入力した。その結果、今回のアルミナ弾丸の衝突は~9 km/s の小惑星同士の衝突に匹敵する最大衝撃圧を達成すること、試料からの揮発性成分の脱離が開始する残留温度(~800 K)に達する試料の質量は弾丸質量の 5 倍程度であることがわかった。この数値計算結果に対して実際に検出されたガス質量は弾丸質量の数 wt%にとどまっていることから衝撃加熱領域をバルクで観た場合、「部分脱ガス状態」になっていることが推測される。これは吸熱反応(熱分解)によって試料の温度が緩衝される状況にあることを示唆している。この仮説が正しいければ、C 型小惑星が天体衝突を経験しても熱に弱い不溶性有機物の分解反応による吸熱によって緩衝され、残留温度が上がりにくい、ということになるかもしれない。今後は実験データを増やし、より系統的に C 型小惑星様物質の揮発生成成分の衝撃応答について調べていく予定である。

※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。