

## 水氷の衝突蒸発について

黒澤耕介<sup>1</sup>, 岡本尚也<sup>1</sup>, 藪田ひかる<sup>2</sup>, 小松吾郎<sup>1,3</sup>, 松井孝典<sup>1</sup>

<sup>1</sup>千葉工業大学 惑星探査研究センター, <sup>2</sup>大阪大学大学院宇宙地球科学専攻,

<sup>3</sup>ダヌンツィオ大学国際惑星科学研究大学院

**はじめに:** 大気を持たない氷天体の表面には多数のクレータが存在していることが確かめられている。衝突条件に対してどのような大きさのクレータが形成されるか?といった衝突物理過程は比較的よく理解されている [e.g., 1-4]が, 化学過程についての情報は乏しい。頻発した天体衝突で揮発性の高い CO や CH<sub>4</sub> と言った化学種が生成されると宇宙空間へ散逸してしまう可能性が高く, 氷天体の元素組成が徐々に変化していったと予測される。衝突生成物は氷天体同士の衝突速度に強く依存するため, 今後の探査計画で氷衛星, 彗星, 外縁小惑星, トロヤ群天体の表面組成が計測されると, それぞれの天体への平均衝突速度を制約できるかもしれない。これは Nice model をはじめとする太陽系天体の軌道進化モデルへの制約となるだろう。我々は水氷-有機物-珪酸塩鉱物の混合標的を用いて系統的な高速度衝突実験を実施し, 生成物を計測し, 氷天体衝突時に生成する化学種のテーブルを作ることを目的として開放系で氷を含む標的の衝突蒸発を調べる試みを開始した。

**開放系衝突実験:** 高速度衝突に伴う蒸

発とそれに続く化学反応を計測するためには, 蒸発する固体標的に対して十分に大きい自由膨張空間の確保が必要である [e.g., 5]。我々は以前宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設に開放系で衝突生成ガスをその場計測する実験系を導入した [6]。今回同様のシステムを千葉工業大学惑星探査研究センターの高速衝突実験室 [7] に導入した。また氷を含んだ標的を扱えるように液体窒素でおよそ 170 K まで冷却可能なステージを備えた専用実験チャンバを製作した。

**実験条件・手順:** 飛翔体には直径 2 mm の酸化アルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 球を用い, ナイロンスリットサボ [8] を用いて加速した。衝突速度は 2.4-4.9 km/s である。水氷標的は煮沸して脱気した蒸留水を直径 5 cm, 高さ 5 cm の円筒容器に移し, 250 K に設定した冷凍庫内に安置し製作した。水氷を 170 K の冷却ステージにそのまま設置すると, 接触面の熱収縮によって標的内にクラックを生じる。そこで冷却ステージ上にプラスチックブロックを設置し, その上に標的を設置することで Shot 前に標的が割れてしまうことを防いだ。生成した水蒸気は四重極質量分析計

(Pfeiffer vacuum 製, Prisma plus QMG220)を用いて計測した。

我々が以前開発した手法[1]では、実験チャンバを不活性ガスで陽圧にすることで、銃由来の化学汚染ガスがチャンバに侵入することを防いでいた。今回は装置の応答時間を最速にし、とにかく水蒸気を検出できるか否かを確かめるために不活性ガスを用いず、真空条件(<100 Pa)で実験を実施した。

**実験結果:** 四重極質量分析計で得られるのは設定した質量数に対応するイオン電流の変化である。質量数とクラッキングパターンからそれぞれの化学種を同定した。水蒸気に対応する  $M/Z=18$  のイオン電流は衝突後に背景レベルのおよそ10倍まで上昇しており、我々の実験系で衝突発生した水蒸気を有意に検出できることが確かめられた。今回は真空条件で実験を実施したため、弾丸加速に用いた水素ガスに対応する  $M/Z=2$  のイオン電流の上昇も検出された。しかし、今回の実験条件において水蒸気のイオン電流と水素のその比はおよそ5倍となっており、チャンバ内の主成分は水蒸気である可能性が高い。今回の実験条件では飛翔体加速ガスによる化学汚染の程度は計測を妨げるほどではないようである。ただし、真空チャンバに残留している空気由来の化学種( $^{28}\text{N}_2$ ,

$^{32}\text{O}_2$ ,  $^{40}\text{Ar}$ )のイオン電流値は衝突直後に急減少するという不自然な挙動がみられた。これは衝突後の四重極質量分析計内の圧力が、水蒸気の発生に伴って急上昇し、装置内でイオン同士が干渉してしまっていることを示唆する結果である。イオン干渉がある場合はイオン電流値と QMS 内に導入されたガス粒子数の間の線形性を仮定することができず、検出したガス種の定量計測を行うことはできない。この問題はチャンバ内を不活性ガスである程度陽圧にし、分析計に流入する気体量を緩衝すれば解決できる見込みである。

**まとめ:** 千葉工業大学惑星探査研究センターの高速衝突実験室に氷標的を扱える開放系衝突蒸発計測実験系を立ち上げた。水氷標的を用いて装置の試運転を行い、衝突生成水蒸気を検出できることを確かめた。

※図はスライドの PDF をご参照下さい。

**References:** [1] Senft, L. E. and Stewart S. T. (2008) *MaPS*, **43**, 1993. [2] Stewart, S. T. et al. (2008) *GRL*, **35**, L23203. [3] Kraus, R. G. et al. (2011) *Icarus*, **214**, 724. [4] Nimmo, F. and Korycansky, D. G. (2012) *Icarus*, 219, 508. [5] Ivanov, B. A. and Deutsch, A. (2002) *PEPI*, **129**, 131. [6] Kurosawa, K. et al. (2012) *EPSL*, **337-338**, 68. [7] Kurosawa, K. et al. (2015) *JGR*, **120**, E004730, 1237. [8] Kawai, N. et al. (2010) *RSI*, **81**, 115105.