

# 衝突蒸気雲内の反応速度の測定

## A new experimental method to estimate chemical reaction rates in vapor clouds

# 大野 宗祐[1]; 杉田 精司[2]; 門野 敏彦[3]; 石橋 高[1]; 五十嵐 丈二[4]; 松井 孝典[5]

# Sohsuke Ohno[1]; Seiji Sugita[2]; Toshihiko Kadono[3]; Ko Ishibashi[1]; George Igarashi[4]; Takafumi Matsui[5]

[1] 東大・理・地球惑星; [2] 東大・新領域・複雑理工; [3] IFREE; [4] 東大・理・地殻化学; [5] 東大・院・新領域

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [2] Dept. of Complexity Sci. & Eng., Univ. of Tokyo; [3] IFREE; [4] Lab. for Earthq. Chem. Univ. of Tokyo; [5] Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo

<http://impact.k.u-tokyo.ac.jp/~oono/>

衝突蒸気雲の最終生成物は惑星表層環境の進化に大きな影響を与えたと考えられているが、その推定手法は未だ確立されていない。実際の天体衝突と模擬実験ではスケールに大きな差があるため、天体衝突では冷却が非常に遅くクエンチ点が低温である。この差を埋めるサイズに対するスケール則の確立には蒸気雲内の反応速度が必要である。ところが、衝突蒸気雲のクエンチ温度として想定される数百 K ~ 2000 K では、低温（常温付近）や高温（数千 K）と比べて実験が困難なため反応速度の実験データが乏しい。そこで本研究では、蒸気雲内の反応速度を実験的に推定するための新たな手法を提案するとともに、実際の測定に必要な実験システムを構築し、手法の適用例として硫酸カルシウム組成の蒸気雲内の硫酸化物の反応速度を推定した。

一般に、発生直後の衝突蒸気雲内は非常に高温・高圧であり、反応速度は速く、化学平衡が達成されている。ところが、低温・低圧になるにつれて反応が遅くなり、ある点で化学平衡組成の変化についていけなくなる。この現象をクエンチという。ここで重要な点は、クエンチ条件では反応速度と化学平衡組成の変化速度が等しいとみなせるということである。本研究では、この性質を利用してクエンチ条件における反応速度を推定する。

まず、レーザー照射により生成させた蒸気雲の温度・圧力条件を発光分光測定により推定する。すると、その結果を初期条件として化学平衡計算を行うことにより、断熱膨張する蒸気雲の温度・圧力・化学平衡組成を推定できる。これとクエンチ後の最終化学組成からクエンチ温度・圧力を推定することができる。クエンチ後の組成は QMS（四重極質量分析器）で測定する。ここまででクエンチ温度における化学平衡組成の温度依存性が求まる。さらに蒸気雲の冷却速度を計算すれば化学平衡組成の時間変化率が求まり、これがクエンチ条件においては反応速度と等しいとみなせる。

実際の実験手順は下記のとおり行った。試料を真空チェンバー内に入れ、レーザーを照射して蒸気雲を生成させる。生成した蒸気雲の発光スペクトルを分光器で測定する。多数観測できた輝線のほとんどが C a 原子の発光輝線である。これらの輝線の強度と蒸気雲の温度との間の関係式を利用して蒸気雲の温度を推定できる。今回は、 $6500 \pm 600$  K という値が得られた。一方、蒸気雲内の圧力は C a + の 393.4nm の輝線のシュタルク広がりを利用し測定した。観測された輝線の半値幅から圧力は約 30000 気圧という値が得られた。

また、蒸気雲の最終的な化学組成は QMS を用いて測定した。ビーム径（蒸気雲サイズに対応する）の増大とともに低温で安定な S O<sub>3</sub> が多く生成した。これは蒸気雲内の硫酸化物の酸化還元反応のクエンチ温度の低下に対応している。

以上の実験データ（初期温度圧力と最終化学組成）からそれぞれの実験条件におけるクエンチ条件での反応速度が求まる。求まった反応速度は低温になるほど大きくなった。また、既存の気相反応速度のデータと比較して非常に大きい値が得られた。

第四章では、本研究の手法の適用に関する議論をしている。発光分光と QMS によるガス分析を組み合わせる本研究の手法は、惑星科学上の多くの問題で必要な蒸気雲組成における反応速度推定に適用できる。また、硫酸化物の酸化還元反応の反応速度の K/T 事件における重要性について議論している。測定された反応速度は非常に大きく、K/T サイズの衝突蒸気雲内の硫酸化物は三酸化硫黄が支配的であることを示唆する。