

衝突蒸気雲中の炭素質化合物の化学反応に対するシリケートの熱分解の影響

Effect of thermally decomposed silicate on carbon chemistry in impact-induced vapor clouds

石橋 高[1]; 大野 宗祐[1]; 杉田 精司[2]; 門野 敏彦[3]; 松井 孝典[4]

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

[1] 東大・理・地球惑星; [2] 東大・新領域・複雑理工; [3] IFREE; [4] 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] Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo

初期惑星への超高速天体衝突に伴う衝突蒸気雲中の反応で生成されるガス、特に炭素質化合物は、惑星の表層環境や生命の起源などに影響を与える。従ってその組成を知ることは重要である。特に衝突天体に含まれるシリケートの衝突蒸気雲中での挙動が反応生成ガスの組成に大きな影響を与える可能性がある。例えば、Mukhin et al. (1989)は、岩石および隕石へのレーザー照射により蒸気雲を再現した。それによると、蒸気雲中で生成されるガスの主成分は酸化的な分子種(CO, CO₂)であり、それに還元的な分子種(CH₄などの炭化水素)が少量混合しているという結果が得られた。彼らの実験では、サンプル中のシリケートの炭素質化合物に対する比率が大きく変わっても生成ガスの(CO+CO₂)/炭化水素の値は有意に変化しないという結果が得られた。しかし、定性的には蒸気雲中で熱分解したシリケートから放出された酸素により蒸気雲中の酸素の逃散能が増加し、酸化的分子種が生成されることを示唆している。Mukhinらの実験は生成物量の定量的測定を目的として行なわれたものではなく、このデータのみからシリケートの熱分解により酸化的ガスが生成される反応機構を導出するのは難しい。これ以外にも衝突蒸気雲条件下でのシリケートから放出される酸素と生成ガスの組成の関係を系統的かつ定量的に調べた研究はなく、その反応機構についてはまだよくわかっていない。そのため、その重要性にもかかわらず、過去の衝突蒸気雲の理論的研究においては、シリケートの挙動についてはほとんど定量的な取り扱いがなされていない。そこで、本研究ではその反応機構の解明を目的とし、レーザー照射実験を行なった。

照射ターゲットにはシリケートの主成分であるSiO₂と炭素質化合物(石炭)の混合サンプルを用いた。サンプルの混合比の変化と生成ガス組成の変化との関係を系統的かつ定量的に測定することでSiO₂の熱分解と蒸気雲中での反応生成ガスの酸化還元状態との相関を調べた。Nd:YAGレーザーのパルス(エネルギー390mJ/pulse)をサンプル表面に照射しながら、発生するガスの組成を測定した。サンプルをセットするチャンバー内の圧力はほぼ一定(2.0-3.0×10⁻⁴mbar)になるように調節した。生成ガスの測定には四重極型質量分離装置(QMS)を用い、CH₄, CO, CO₂の生成比率を測定した。予備的な実験結果によると、サンプル中の石炭の比率とCH₄/(CO+CO₂)の間には冪乗則の関係式が成り立ち、指数は約0.6であることがわかった。すなわち、石炭の比率が小さく、SiO₂の比率が大きくなるほど、酸化的分子種の生成比率が増加した。

この結果は、シリケートの熱分解による酸素の放出が酸化的分子種の生成を導くというMukhinらの考えと定性的には一致している。従って、従来の衝突蒸気雲に関する理論的研究では無視されてきた、シリケートの熱分解により生じる酸素の影響の重要性が改めて確認されたことになる。

しかしその一方で、我々の結果とMukhinらの結果の間には、定量的には大きな相違がある。我々のデータではサンプル中の石炭の比率とCH₄/(CO+CO₂)の間に冪乗則が成り立っているが、彼らの結果から得られるデータには有意な傾向が見られない。また、彼らのデータは、我々のデータを冪乗則で外挿した線から生成ガス中のCH₄の割合が大きな方へ、かなり大きくずれている。衝突蒸気雲中における、還元的な分子種であるCH₄と酸化的な分子種であるCOやCO₂の生成比率は、惑星の表層環境や、特に生命の起源を考えるにあたって重要なパラメータの一つである。したがって、我々のデータとMukhinらのデータの定量的な相違については、さらに詳しく調べる必要がある。

相違の原因はいくつか考えられるが、特に、CO, CO₂, CH₄の反応がクエンチする温度の違いの影響が大きいと思われる。今回の予備的な実験では、測定法の制約によりチャンバー内圧力をかなり低くしたため、蒸気雲の膨張降温度が高く、反応がMukhinらの実験よりかなり高温でクエンチしている可能性がある。さらに、CO, CO₂, CH₄のクエンチ温度がSiO₂の凝縮温度よりも高く、SiO₂が凝縮する前に反応がクエンチしている可能性もある。シリケートの熱分解で放出される酸素と生成ガスの組成の関係およびその反応機構を解明するためには、この問題を解決しなければならない。そこで講演では、現在行なっている蒸気雲周囲の気圧と反応生成ガスの組成の相関に関する実験の結果も併せて報告する。

参考文献: Mukhin, L. M., Gerasimov, M. V., and Safonova, E. N., Nature, 340, 46-48, 1989