

衝突現象による生命前駆物質合成過程についての分光学的研究

Spectroscopic observation of SiO₂ dissociation affecting synthesis of organic Molecules during impact

冬木 正紀[1], 杉田 精司[2], 松井 孝典[2]

Masanori Fuyuki[1], Seiji Sugita[2], Takafumi Matsui[3]

[1] 東大・新領域・複雑理工学, [2] 東大・理・地球惑星

[1] Complexity Science and Engineering, Frontier Sciences, University of Tokyo, [2] Earth and Planet. Phys., Univ. of Tokyo,

[3] Dept. of Earth and Planetary Phys., Univ. of Tokyo

地球上における最初の生命の前駆物質を原始海洋へ供給した主要なプロセスの一つとして、時間的・空間的に集中した現象である微惑星の衝突による衝突蒸気雲の発生が指摘されている。

蒸気雲の間接的な分析を行った過去の実験的研究から、衝突蒸気雲中の生命前駆物質の合成において、SiO₂ の熱分解により発生する遊離酸素が重要な役割を果たすことが分かってきた。そこで我々は、蒸気雲中のSiO₂の熱分解の直接的な分析を、蒸気雲の発光分光観測を通じて試みた。

本講演においては、レーザー及び二段式軽ガス銃を用いた衝突模擬実験の分光分析の結果と衝突蒸気雲の熱力学的計算の結果との比較を基に、SiO₂の熱分解に関する議論を行う。

地球上における最初の生命は、様々なプロセスにより生成された有機物質が原始海洋に供給され、無生物的な化学反応を経ることで誕生したと考えられている。これらの有機物質を生命前駆物質と呼ぶ。そして、様々なプロセスの中でも、時間的・空間的に集中した現象である微惑星の衝突による衝突蒸気雲の発生は、生命前駆物質の主要な供給源の一つであると指摘されている。

過去の実験的研究(例えば、L.M. Mukhin et al., 1989)により、膨張する衝突蒸気雲中の生命前駆物質の合成は、以下のシナリオにより説明されている。まず、衝突のエネルギーによる、微惑星および原始地球地殻中のSiO₂が、熱分解し、OおよびO₂が発生する。発生したOおよびO₂は微惑星中の有機物質(C, N, S等)を酸化する。O・O₂による酸化を免れた有機物質から生命前駆物質が生成する。このシナリオによると、SiO₂の熱分解が進むほど、生命前駆物質の生成率が減少する。したがって、衝突蒸気雲の膨張に伴うSiO₂の熱分解のプロセスの理解が、非常に重要となる。

SiO₂の熱解離の変化を理解する最初の試みとして、蒸気雲の熱力学的計算をおこなった。原始地球への微惑星の衝突速度としては、月などのクレーターから推定される平均速度17km/sを用いた。衝突の種類は平均的な衝突角45°を持つ斜め衝突と、過去の実験で想定されている同速度の垂直衝突を用いた。また、簡単ため、系はSiO₂のみからなるとした。そして、その結果、2種類の衝突角の両方で、衝突前は固体のSiO₂のみであった系が、衝突後には、液相にSiO₂、固相にSi、気相にSiO₂, SiO, O₂, Oが共存する系となるが分かった。各々の粒子種のモル分率は蒸気雲の膨張と共に変化する。そして、蒸気雲の温度が2000Kから1000Kに減少する時期に、SiO₂の熱解離が進まない方向に劇的に変化することが分かった。2種類の衝突現象の‘クエンチ’する温度(膨張に伴う蒸気雲の冷却のタイムスケールが、蒸気雲内の化学反応のタイムスケールよりも短くなるために、蒸気雲の化学組成がそれ以上変化しなくなる温度)は、劇的に変化する2000Kから1000Kの間に存在する。そして斜め衝突の方が、正面衝突よりも衝撃加熱による昇温が低いため、最終的な蒸気雲中のSiO₂の熱分解度も相対的にきわめて低いことが分かった。この結果は、平均的な衝突現象においては、従来の実験的研究から考えられている程、SiO₂の熱分解が起こらないことを示唆する。

しかしながら、衝突現象は、衝撃加熱・断熱降温のみならず、粘性加熱などの複雑な機構を含み、蒸気雲の状態方程式の確立も充分に行われていない。そのため、実際の衝突現象の理論的予測は困難であり、今回のSiO₂の熱解離のような衝突蒸気雲中の物理化学過程の解明には、実際の衝突実験を行う必要がある。そこで、我々は、文部省宇宙科学研究所の二段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行った。上記の従来からの実験的研究例においては、蒸気雲の間接的な測定のみを行っていたが、我々の実験においては、高エネルギーの衝突蒸気雲から発せられる光の分光観測を行うことで、蒸気雲の物理化学状態の直接的な分析を試みた。また、サンプルとしては、basaltを用いた。その結果、高温の固体からの黒体放射は観測されたが、シリケート成分の気体発光(Mg, Siなどの原子輝線やMgO, SiOなどの分子バンド)は観測されなかった。このことから、衝突速度が5km/s以下では、SiO₂の熱解離はほとんど起きないことが分かる。

我々が、実験的研究として次に行ったことは、より高温での気相を含む蒸気雲の生成手段の確立と、その分光観測である。気相を含む蒸気雲の生成には、衝突エネルギーとしてレーザーパルスを用いた。適切なレーザーパルスのエネルギーの見積もりには従来半経験的な理論を用いた。実験の結果、気相を十分に含む蒸気雲を生成を行えることが判明した。また、Mg, Oなど、原子化している粒子の存在が確認された。それらの輝線の分析より、

蒸気雲の温度は 5000K から 10000K であることも確認された。この 5000K 以上という温度は平均的な微惑星の衝突よりもかなり高エネルギー高速衝突に相当する。この結果より、レーザーパルスのエネルギーを下げ、適切なエネルギー量をサンプルに照射することで、平均的な衝突現象の蒸気雲を生成・観測できることが分かった。

これまで行った 2 段式軽ガス銃の実験とレーザー照射の実験より、平均的な衝突現象を実現するための実験を行うための見通しが立った。本発表においては、向上した実験条件下で得られた分析結果を基に、 SiO_2 の熱分解に関する議論を行う。