

宇宙速度衝突によるケイ酸塩の電離の役割

Roles of shock-induced ionization due to >10km/s impacts on evolution of silicate vapor clouds

黒澤 耕介^{1*}, 杉田 精司¹, 門野 敏彦², 重森 啓介², 弘中 陽一郎², 尾崎 典雅³, 城下 明之², 長 勇一郎⁴, 境家 達弘⁵, 藤岡 慎介², 橘 省吾⁴, Vinci Tommaso⁶, 松井 孝典⁷

Kosuke Kurosawa^{1*}, Seiji Sugita¹, Toshihiko Kadono², Keisuke Shigemori², Yoichiro Hironaka², Norimasa Ozaki³, Akiyuki Shiroshita², Yuichiro Cho⁴, Tatsuhiro Sakaiya⁵, Shinsuke Fujioka², Shogo Tachibana⁴, Vinci Tommaso⁶, Takafumi Matsui⁷

¹東大新領域, ²阪大 レーザー研, ³阪大工, ⁴東大理, ⁵阪大理, ⁶LULI, Ecole Polytech, ⁷千葉工大惑星探査研

¹Grad. Sch. of Fr. Sci., Univ. of Tokyo, ²ILE, Osaka Univ., ³Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ.,

⁴Grad. Sch. of Sci., Univ. of Tokyo, ⁵Grad. Sch. of Sci., Osaka Univ., ⁶LULI, Ecole Polytech, ⁷PERC/Chitech

はじめに:高速度天体衝突によるケイ酸塩蒸気の発生は、月の起源[1, 2],生命前駆物質の合成[3],原始火星の大気吹き飛ばし[4]といった惑星科学分野の重要課題と密接に関係している。しかし宇宙速度でケイ酸塩を衝撃圧縮した際のエネルギー分配過程が理解されていないため、これらの過程は未だ未解明である。宇宙速度で衝撃圧縮されたケイ酸塩は固体密度を持つプラズマ状態になっており、構成粒子間相互作用が無視できず、その性質は強い物質依存性を持つ。この場合、現在のコンピュータをもってしても物性の理論予測は困難であり、室内実験がエネルギー分配過程を調べるための唯一の方法となる。

実験:我々は衝撃圧縮ケイ酸塩のエネルギー分配過程を探るため、阪大レーザー研の高強度レーザーを用いて衝撃圧縮実験を行った。衝撃圧縮直後から断熱解放し蒸発、膨張していくケイ酸塩蒸気のその場分光観測を行った。レーザー照射強度は150 TW/cm²、衝撃圧力はおよそ1 TPaである。標的にはCa, Mgを含むケイ酸塩鉱物Diopsideを用いた。衝突閃光を時間分解型分光器で計測した(Hamamatsu, C7700)。

実験結果:レーザー照射後-50 nsから450 nsの露光で、強い黒体放射から種々の発光輝線へ変化する発光スペクトルを取得した。衝撃圧縮直後の黒体放射成分にPlanck関数fittingを行ったところ、Hugoniot上温度として $(2.0 \pm 0.2) \times 10^4$ Kという値が得られた。さらに発光輝線解析から発生したケイ酸塩蒸気の温度、電子密度の時間進化を推定した[5]。

議論:定積比熱をDulong-Petitの値で一定と仮定し、1 TPaの衝撃圧縮時の温度を見積もると 6×10^4 Kとなり、実験から得られた値よりも大幅に高い。この違いはケイ酸塩の構造破壊に加え、イオン化による吸熱に起因する定積比熱の上昇によるものと解釈できる。観測された発光輝線の大半がイオンによるものであったことも調和的である。またケイ酸塩蒸気の温度、電子密度進化からは、電子再結合に伴う発熱がケイ酸塩蒸気の熱力学状態進化に影響を与え得ることが示唆された。これらの結果は、宇宙速度で衝撃圧縮されたケイ酸塩のエネルギー分配過程において、電子の挙動すなわち電離/電子再結合に伴う吸熱/発熱が重要な役割を果たし得ることを示唆する。

定積比熱の上昇は、衝撃圧縮時に従来推定よりも大きなエントロピー上昇を引き起こし、より多くのケイ酸塩蒸気を発生させる[6]。ケイ酸塩の蒸発率は巨大衝突による月形成仮説の重要なパラメータになっている[1, 2]。最近の理論計算によれば、多すぎるケイ酸塩蒸気は原始月円盤内での月の成長を妨げる[1, 7]。衝撃圧縮時の電子の挙動を考慮すると、巨大衝突による月形

成仮説の成立条件が大幅に変化する可能性がある。

参考文献: [1] Wada et al., ApJ, 638, 1180, 2006. [2] Pahlevan and Stevenson, EPSL, 262, 238, 2007. [3] Mukhin et al., Nature, 340, 46, 1989. [4] Melosh and Vickery, Nature, 338, 487, 1989. [5] Griem, Spectral Line Broadening by Plasmas, 1974. [6] Melosh, MAPS, 42, 2079, 2007. [7] Machida and Abe, ApJ, 617, 633, 2004.

キーワード:惑星科学,宇宙速度衝突,月形成巨大衝突,レーザー衝撃圧縮,発光分光法,状態方程式

Keywords: Planetary science, >10 km/s impacts, A lunar forming giant impact, Laser-induced shock wave, Emission spectroscopy, Equation of state