

斜め衝突蒸気雲の内部状態観測 Observations of Internal State in Oblique-Impact-Induced Vapor Clouds

羽村 太雅^{1*}, 黒澤 耕介¹, 長谷川 直², 松井 孝典³, 杉田 精司¹

Taiga Hamura^{1*}, Kosuke Kurosawa¹, Sunao Hasegawa², Takafumi Matsui³, Seiji Sugita¹

¹ 東京大学大学院 新領域創成科学研究科, ² 宇宙科学研究所, ³ 千葉工業大学 惑星探査研究センター

¹Dept. of Complexity Sci. and Eng., Univ., ²ISAS/JAXA, ³PERC, Chiba. Inst. of Tech.

原始地球環境下における有機物供給過程は、地球大気中での化学合成、惑星間塵や隕石・彗星衝突を通じての宇宙からの持ち込み、そして天体衝突による合成などの寄与が大きかったと推測されている (Chyba and Sagan, 1992)。しかし、その中でも天体衝突による有機物合成過程では、有機物を時間的・空間的に濃集させることができ、その後の化学反応を効果的に進めていくことが可能である点で特に重要である。小惑星や彗星が初期地球に衝突した場合、垂直に近い衝突の場合、衝突天体に元々含まれていた有機物は強い衝撃加熱によって分解される (Mukhin et al., 1989)。一方、低角度斜め衝突の場合、衝突時に破碎された衝突天体は空気中を下流方向へ飛行し、周辺大気から強力な空力加熱を受けて蒸発し、衝突天体に含まれる有機物のほとんどは分解すると推測されている (Sugita and Schultz, 2003a)。しかし、ポリカーボネイト弾丸を用いて窒素雰囲気下で行った高速衝突実験の結果によると、弾丸破片表面から蒸発・分解した炭素成分は周辺大気と効率良く化学反応し、生命前駆物質の材料としても重要な、CN ラジカル分子を生成することが、先行研究によって明らかになっている (Sugita and Schultz, 2009)。しかし、蒸気雲内部の熱化学状態を時間的・空間的に解像して詳細に観測した研究はまだなされていない。そのため、蒸気雲内における物理・化学反応の詳細、および蒸気雲を構成する弾丸破片やガスの分布ならびに、破片から蒸発したガスと周辺大気の相互作用する場所の広がりはまだ明らかになっていない。{cr/}

そこで我々は宇宙科学研究所の 2 段式軽ガス銃を使用し、ポリカーボネイト弾丸を用いた高速斜め衝突実験を 30 hPa 窒素雰囲気下で行い、衝突蒸気雲内の熱化学状態の計測を光学的手法を用いて行った。衝突速度、衝突角はそれぞれ 4.8 ~ 6.9 km/s, 水平から 30 °である。衝突蒸気雲は、バンドパスフィルタを装着した 2 台の高速度カメラと 1 台の時間分解型ストリーク分光計を用いて観測し、高速度カメラでは蒸気雲内でのガスや弾丸破片の分布・運動を、時間分解型ストリーク分光器では弾丸破片の表面温度を表す蒸気雲の黒体温度の時間変化を計測した。使用したバンドパスフィルタの透過波長域は 373 ~ 387 nm (CN)、400 ~ 410 nm (黒体)、505 ~ 515 nm ($C_{sub}2_{sub}$)、時間分解能は撮像・分光ともに 1~2 us (FWHM) である。{cr/}

その結果、蒸気雲内における、破碎された弾丸破片、破片表面から蒸発して生成した $C_{sub}2_{sub}$ ガス、破片蒸気と周辺大気の反応によって生成された CN ガスの空間分布の違いが明らかになった。三者は蒸気雲内で前方から弾丸破片、 $C_{sub}2_{sub}$ ガス、CN ガスの順に分布しており、弾丸破片が蒸気雲前方で熱分解して生成されたガスが航跡流に乗って流され、蒸気雲後方で周辺大気と化学反応して CN 分子に変化していく、という描像を示唆している。加えて、水平方向に一体となって飛行する蒸気雲の先端速度を計測した。その結果は、蒸気雲が弾丸速度の 1.9 倍まで一気に加速された後、その後空気抵抗を受けて減速し、速度は衝突から約 25 us で衝突速度程度まで低下することを示していた。そこで、蒸気雲の運動方程式を解いて、運動の様子を解析した。その結果、質量・断面積を一定とした場合に、計測された蒸気雲速度をよく説明できることから、蒸気雲内で質量が局所的に集中している可能性があることも示された。{cr/}

また、計測して得られた蒸気雲の温度は、衝突の 10 us 後に分光器の視野に入った時には 5000 K に達し、衝突から 45 us 後には 2500 K まで低下した。この温度と、計測した速度をもとに、蒸気雲中の微細破片表面での熱収支を解くと、蒸発率は Sugita and Schultz (2003b) で予測されていたよりかなり大きな値をとることが明らかになった。この違いは、先行研究が弾丸破片の飛行速度を衝突速度と同じかそれより遅いと仮定していたのに対し、本研究では今回明らかになった衝突速度以上の速度での衝突蒸気雲の並進運動速度をモデル計算で仮定したことに起因している。

キーワード: 天体衝突, 有機物再合成, 衝突蒸気雲, 空力加熱

Keywords: impact, organic resynthesis, impact vapor cloud, aerodynamic heating