

大気中斜め衝突現象の高速シュリーレン撮像

黒澤耕介¹, 森脇涼太¹, 鈴木宏二郎², 松井孝典¹

¹千葉工業大学, ²東京大学

大気中斜め衝突現象の重要性: よく知られているように天然で起こる天体衝突はすべて斜め衝突である。特に衝突天体そのものと、衝突点極近傍から放出される被衝突天体の地表は著しい異方性をもって衝突方向下流方向へ選択的に放出される(以下、高速放出物と呼ぶことにする)。ここで大気を持つ天体へに斜め衝突する状況を考えると、高速放出物は大気との空力相互作用により惑星科学上興味深い物理化学過程を引き起こす。例えば(1)テクタイトと呼ばれる衝撃ガラスの形成、(2)金星クレータ周辺に観察されるRun-out flowの起源、(3)大気散逸効率の劇的な向上、(4)強烈な熱輻射源、(5)反応性窒素の生成とその堆積層への窒素固定、(6)含窒素生命前駆物質の合成などが挙げられる。このような重要性により解析的、実験的、数値的に様々な側面から研究されてきたが、斜め衝突は本質的に3次元流体運動であるため、そもそも衝突後に物質がどのように放出され、周辺大気と相互作用を起こすのか?はよく理解されているとは言えなかった。

近年の機材の性能向上: このような困難は2010年代に進展した高速撮像技術によって克服できる可能性がある。現在では高速CMOSセンサの開発によって2000年代までの衝突実験に比べて、一

桁高い時間分解能での高速撮像が可能である。またこのような高速ビデオカメラのシャッタ開閉と同期する単色レーザ光源も製品化されており、バンドパスフィルタを用いることで自発光をほぼ完全に消し去る影絵計測が可能となっている。

千葉工大 PERC における大気中衝突実験: 今回我々は千葉工業大学 惑星探査研究センターに設置された高速度衝突実験システムに上記の高速CMOSセンサを搭載したビデオカメラ(Shimadzu HPV-X)と単色レーザ光源(CAVILUX)を導入し、シュリーレン撮像光学系を構築した。これは媒体中(実験チャンバ内のガス)の屈折率の差異を強調し、媒体の密度分布を可視化する手法である。

今回は弾丸にポリカーボネイトを用い、周辺ガス圧を6 kPaに固定し、衝突速度(3 – 7 km/s)、標的種類(ポリカーボネイト、アルミニウム、銅)、周辺ガス種類(N₂ or Ar)、バンドパスフィルタの有無を変化させ、その影響を調べた。

実験結果: バンドパスフィルタを用いることでほぼ完全に自発光を消し去り、衝突後に衝突方向下流側に高速で飛び去る放出物の様子を捉えることに成功した。またシュリーレン撮像により周辺ガス中へ伝播する圧縮波も可視化することができた。その他に得られた結果を以下に列

挙すると(1)衝突速度が速くなるほど、高速放出物は垂直方向に広がった構造を持つ、(2)今回観測した範囲では衝突速度、ガス圧が同じ条件では周辺大気の差異(N₂ or Ar)によって高速放出物の様相には大きな違いは現れない。ただし、自発光の光量はArの方が大きい、(3)標的の音響インピーダンス(密度と音速の積)が大きいほど、高速放出物の放出角度が浅くなる、などがわかった。(3)の特徴は衝突噴射(Jetting)の臨界条件の変化と調和的であることから、高速放出物の先端はJettingによって放出された物質とみて良さそうである。

宇宙生物学への応用: 窒素を含む大気を持つ惑星への天体衝突で衝突方向下流側に湖などが存在している状況を考える。高速放出物が大気と十分な相互作用を起こすのは大気のスケールハイトと同程度以下の比較的小さい天体に限られるため、衝突頻度が大きい。上記のような特殊な状況が実現されることを期待してもよいだろう。この場合、衝突天体物質を多く含む高速放出物と惑星大気の空力相互作用により化学反応が引き起こされ、反応性窒素化合物(NO, NO₂, HCNなど)や、含窒素生命前駆物質(HCN, Nitrile など)が合成されると期待できる。衝突天体がEHコンドライトのような物質であったと過程すればその中には炭素 0.4 wt%, リン 0.27 wt%, 硫黄 5.2 wt%, 鉄 33.15 wt%が含まれる。これらに加えて標的天体地殻物質が短期間で水中に溶解することに

なるだろう。このように斜め天体衝突後には特異な化学反応場が形成される可能性がある。

反応性窒素合成効率: 窒素は生体必須元素であるが、化学的に安定なN₂はそのままでは化学反応に寄与できない。そのため、放電、紫外線、天体衝突など様々な要因でN₂を含む大気を加熱した際のNOの生成効率が調べられてきた。高速放出物と大気の相互作用の場合は地表面で起こるため比較的高圧条件で反応が進むと期待できる。我々は化学平衡計算を実施し、NO、NO₂の生成効率が高圧ほど上がりえるという結果を得た。近年反応性窒素を堆積物として固定するには水中に溶存するときNO₂まで酸化されている必要があるとの指摘が挙がってきている。高速放出物と惑星大気の化学反応は重要な窒素固定機構であったかもしれない。

※図や参考文献についてはスライドのPDFファイルをご参照下さい。