

衝突閃光の実験・観測・数値シミュレーションによる研究

○布施綾太, 阿部新助 (日本大学), 柳澤正久 (電気通信大学), 長谷川直 (JAXA/ISAS)

衝突閃光とは衝突速度が数 km/s 以上の衝突現象において観測される発光現象であり, 超高速衝突実験等でよく観測される. 天然の衝突閃光として, 月面衝突閃光があり, cm サイズの流星体(メテオロイド)が大気のない月面に衝突する際に可視-近赤外線領域で観測されている. 月面衝突閃光の統計的観測から, 発光効率(運動エネルギーに対する発光エネルギーの割合)を仮定し, 月に衝突するメテオロイドのサイズ頻度分布を明らかにすることができる. 本研究では衝突実験・月面衝突閃光観測・衝突シミュレーションによる相補的研究から, 発光効率をより詳細に明らかにすることを目的としている. ここでは衝突計算コード iSALE によるシミュレーションと実験・観測結果の比較について説明する.

iSALE では衝突による温度や圧力, 密度, 空隙率等を高い時間・空間分解能で取得することができる. また, これまでの衝突実験・観測の結果から衝突閃光の主要な発光源は黒体放射だと分かっている(projectile, target, 衝突速度によってはプラズマ発光が卓越する). したがって, 衝突閃光は衝突点付近の温度の時間変化を基にすれば, 発光効率を正確に理解することができると考えている. そこで iSALE を利用し, 任意の位置での温度の時間履歴をまずは調査した.

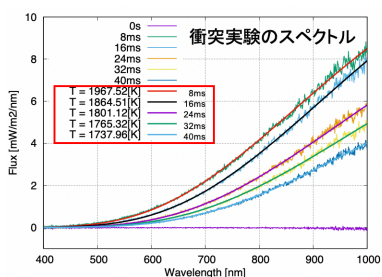


図1 衝突実験のスペクトル

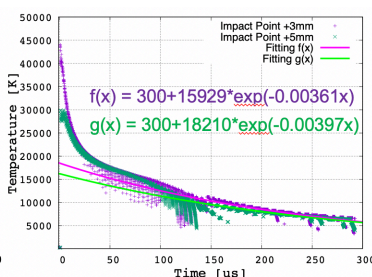


図2 iSALE による温度履歴

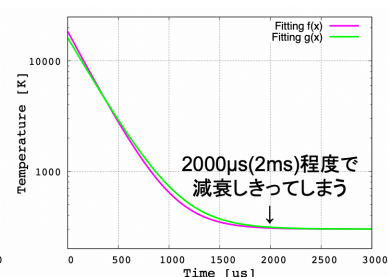


図3 温度履歴の外挿結果

図1は衝突速度 6.5km/s で直径 4.76mm のポリカーボネート球を石英砂に衝突させた際に観測された可視光スペクトルで, プランクの式でフィッティングをすると衝突後 40ms まで ~1700K 近い温度をもっていることがわかる. 図2は衝突速度 6.5km/s でポリカ球を石英砂に衝突させた iSALE の結果で, 衝突点から 3mm, 5mm 直下の温度の時間履歴を表している. 温度の長期進化を確認するために, iSALE の温度履歴の後半でフィッティングを行い, 得られた近似式を基に衝突後 3ms までの温度変化を外挿した結果を図3に示す.

図3より, iSALE の結果の外挿では温度が 2ms 程度で減衰しきってしまっており, 図1の実験結果(40ms で~1700K)を再現できていない. これは, クレータ表面が自由表面に接しており, 自由拡散の影響で温度が人工的に下がっていると考えられる. そのため, 現実の現象(冷却過程)を見ているとは言えない. 観測結果についても検証してみたが, 実験結果と同様に表面温度の冷却速度が非常に早く, 黒体放射を仮定した発光効率はこれまでのモデル値よりも 6 桁も小さい値となった(衝突速度 17km/s で直径 1m の玄武岩が玄武岩に衝突するシミュレーションを実行). 今後は iSALE で衝突初期の温度を参考にエントロピーの分布を出し, 残留温度の推定値から熱伝導方程式を解くことで, 衝突実験の温度履歴の再現と発光効率の推定を進めていく.