

衝突粉碎岩石の内部摩擦による粘性加熱： 衝撃熔融条件の再評価

黒澤耕介¹, 玄田英典²

¹千葉工業大学 惑星探査研究センター, ²東京工業大学 地球生命研究所

はじめに：衝突溶融物 (Impact melt) は天体衝突に関連する地質試料の代表格である。天体衝突で熔融が起こる条件は比較的高速度の衝突に限られるため、軌道力学的に励起された天体の衝突が起きた証拠となる点で他の地質試料とは異なる。そのため衝撃圧縮データをもとにして、各種鉱物の熔融開始条件が計算されている。その見積もりは衝撃圧縮状態から断熱変化によって減圧したあとに起こるとして行われることが多かった。これは衝撃を受けた岩石物質が完全流体として振る舞う場合には妥当な仮定である。

では、物質強度の影響が無視できないような比較的低速の衝突の場合は断熱変化の仮定は妥当だろうか？岩石物質は HEL を超えるような衝撃圧を経験すると粉碎され粉体となる。粉体物質であっても押し固めるとその強度を増し、周囲の物質を押し返すという挙動を示し、完全流体とは異なる。この挙動は Drucker-Prager model に代表されるような内部摩擦係数を含む強度モデルとして表現される。内部摩擦が無視できない場合は

その影響は粘性として現れ、流体素片同士の速度差を解消する向きに力が働く。失われた運動エネルギーは内部エネルギーに変換される。

我々は低速度衝突の場合にこのような粘性加熱の影響により熔融条件が変化するかどうかを調べる数値実験を開始している。本稿ではその予察的な結果を報告する。

計算条件：計算には iSALE-Dellen を使用した。以下に計算条件を示す。2次元円柱座標を採用し、垂直衝突を計算した。衝突天体と標的天体は共に Dunite から成ると仮定し、対応する ANEOS を用いた。衝突速度は 6 km/s とした。この衝突速度は Dunite の Bulk 音速よりも遅く、天体衝突としては比較的低速の衝突である。冷え切った小惑星帯の小天体を想定し、初期温度は 220 K で一様とした。標的天体は衝突天体よりは十分に大きいと仮定し、衝突面は平面を仮定した。物質強度やダメージモデルは Dunite についての先行研究のパラメータセットを使用し、粉碎された岩石の内部摩擦係数のみを 3×10^{-3} から 0.6 まで変化させた。比較のため標的天体が完全流

体である場合も計算した。衝突天体を 100 x 100 の格子で分割できる空間解像度を採用した。これは衝撃圧力分布を計算する際には十分とされている空間解像度である。計算格子にトレーサ粒子を挿入し、粒子が経験した圧力とエントロピーの時間履歴を記録した。

計算結果: 最初に最大衝撃圧力分布に対する粉碎された岩石の内部摩擦係数の影響を調べた。十分に HEL を超える衝撃圧を経験する等圧核(衝突点からの距離がおよそ衝突天体半径程度の領域)では最大衝撃圧力は内部摩擦係数には依らない。しかし、衝突点遠方では内部摩擦係数が大きくなると衝撃圧減衰指数が大きくなるという傾向を確認した。これは空隙を含む標的への衝突の場合と同様の傾向である。すなわち衝突天体が持ち込んだ運動エネルギーが衝突点近傍により多く熱として埋め込まれるということになる。続いてエントロピー-圧力平面上でトレーサ粒子の軌跡を調べた。その結果、(1) 標的が完全流体の場合、衝撃波が伝播したトレーサ粒子は Hugoniot 曲線上に移動する、(2)完全流体の減圧中はエントロピーがほぼ一定値、(3)標的に物質強度があると衝撃圧縮状態が Hugoniot 曲線から逸脱し、系統的に高いエントロピーを得る、(4) 強度がある場合、減圧中

にエントロピーが増加し、~40 GPa 程度の衝撃圧力でも減圧中に熔融開始エントロピーまで到達する場合がある、(5)減圧中のエントロピー上昇量は内部摩擦係数が大きいほど大きい、ことが明らかとなった。これらの結果は内部摩擦による粘性加熱の影響は熔融開始条件を大幅に緩和させる可能性があることを示唆する。また数値衝突計算を行う際には物質モデルへの入力パラメタを慎重に吟味する必要があると警鐘を鳴らすものであろう。

謝辞: iSALE の 開 発 者 である Gareth Collins, Kai Wünnemann, Boris Ivanov, H. Jay Melosh, Dirk Elbeshausen の各氏に感謝致します。

※図や参考文献についてはポスタの PDF ファイルをご参照下さい。