

## iSALE shock physics code を用いた衝撃圧減衰率の再評価

黒澤 耕介<sup>1</sup>, 鎌田 俊一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>千葉工業大学 惑星探査研究センター

<sup>2</sup>北海道大学 創成研究機構

**はじめに:** 天体衝突時の衝撃圧力は距離に対してべき乗で減衰する分布を持つことが、実験的にも理論的にも確かめられている。衝撃圧減衰指数が既知であれば、衝突で生成され得る興味ある地質試料(例えば、衝突溶融物や高压相鉱物)の量のある程度予測することができる。数値衝突計算によって様々な物質、衝突条件に対して衝撃圧減衰指数を求めた先駆的な研究[1]がある。今回は標的内の無限小空隙が衝撃波伝播過程に与える影響を評価した。

**手法:** 衝撃波の減衰過程は分離した衝撃波と自由表面から発生する希薄波の干渉によって決まるはずである。このような過程を解くには数値解法が有効である。今回我々は惑星科学者に対して無償で公開されている iSALE shock physics code[e.g., 2]を用いた。iSALE には無限小空隙の圧密を取り扱うことができる  $\epsilon$ - $\alpha$  compaction model [2]が実装されている。

以下に計算条件をまとめる。今回は垂直衝突のみを扱い、二次元円柱座標を設定した。計算領域は 1000 x 1200 セルを確保した。衝突天体と標的はともにかんらん岩であると仮定し、対応

する ANEOS[3]を用いた。半径 10 km の球が半無限平面に衝突するように配置した。衝突速度を 5-30 km/s まで変化させ、弾丸は空隙なし、標的の空隙率は 20 %とした。比較のため空隙なし標的についての計算も実施した。岩石の破壊挙動を表現するため Ivanov の強度・ダメージモデル[4]を用いた。重力加速度は小惑星ベスタと同程度の  $0.25 \text{ m/s}^2$  を衝突方向に与えた。弾丸と標的の初期温度は一様に 273 K であると設定した。トレーサ粒子 50 万個を計算格子に挿入し、標的物質が経験した最大衝撃圧を初期位置の関数として求めた。

**結果と考察:** 空隙率が 20%程度でも衝撃波伝播過程に顕著な違いがみられた。空隙なしの場合、衝突点遠方には球殻状の衝撃波が伝播していく(いわゆる Detached shockwave)が、空隙がある場合にはそれがみられなかった。これは標的が空隙を含んでいる場合は衝突天体が持ち込んだ運動エネルギーが衝突点近傍標的の内部エネルギーに多く分配され、衝突点遠方物質の運動エネルギーには分配されないことを意味する。

標的が空隙を含んでいる場合でも、

いわゆる等圧核領域の遠方では衝撃圧を距離のべき乗関数で fit できることを確認し, 最小二乗法を用いて今回の数値衝突計算のデータから衝撃圧減衰指数を衝突速度の関数として得た. その結果, (1) 空隙の存在は衝撃圧減衰指数  $n$  を大幅に増加させること, (2) 衝撃圧減衰指数  $n$  は衝突速度の増加に伴って増加すること, (3) ~20%程度の空隙であっても衝撃圧減衰指数  $n$  が6に達する可能性があることがわかった. (1), (2)の結果は先行研究と調和的である. (3)は惑星科学で興味のある岩石物質空隙ありの場合に衝撃圧減衰指数  $n$  を定量的に求めた初めての例といえよう. 空隙なしの場合の最低速(~5 km/s)の結果は[5]の実験結果と調和的である一方, 30 km/s の結果以外は[1]に比べて大幅に過大評価となっている. この違いは本研究では1-10 GPa の衝撃圧領域を用いて減衰指数  $n$  を決定したのに対し, [1]では最大衝撃圧が>30 GPa の領域を用いたことに起因すると思われる. [1]の経験式を衝突点遠方の<30 GPa の衝撃圧の領域まで適用すると 1-30 GPa の衝撃圧を受ける物質の総量を大幅に過大評価してしまうようである.

トレーサ粒子の温度をその時の圧力における融点と比較することで物質が熔融したかどうかを簡易的に判定することができる[6]. この方法を

用いて, 各衝突条件に対して発生する衝突熔融物の総質量を計算した. 20%程度の空隙率であっても熔融質量は空隙なしの場合に比べて2-3倍になることがわかった.

**まとめ:** iSALE を用いて空隙を含む標的中の衝撃圧減衰指数を評価した. 空隙率が 20%程度の場合でも衝突天体が持ち込む運動エネルギーのエネルギー分配過程に大きく影響し, 衝撃圧減衰指数を上昇させることがわかった.

※図はポスタの PDF をご参照下さい.

**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.

**References:** [1] Pierazzo, E. et al. (1997), *Icarus*, **127**, 408-423. [2] Wünnemann, K. et al. (2006), *Icarus*, **180**, 514-527. [3] Thompson, S. L. and Lauson, H. S. (1972), pp. *SC-RR-71 0714*, **119** pp., Sandia Laboratories, Albuquerque, NM. [4] Ivanov, B. et al. (1997), *Int. J. Impact Eng.*, **20**, 411-430. [5] Nakazawa, S. et al. (2002), *Icarus*, **156**, 539-550. [6] Wünnemann, K. et al. (2008), *Earth and Planetary Science Letters*, **269**, 530-539.