

## A scaling relationship for impact-induced melt volume

中島美紀(カーネギー研究所)

利用カテゴリ GRAPE

本研究では、惑星のマントルが天体衝突によってどれほど加熱されるかを定式化した。過去の研究では、クレーター形成程度の小さなスケールのインパクトによる溶融加熱については定式化されてきたが、月形成衝突などの大きな衝突に関しては理解が進んでいなかった。その理由の一つとして、過去の研究では、天体の自己重力やgeometryなどが詳細には考慮されて来なかった点がある。そこで、本研究ではSmoothed particle hydrodynamics (SPH)法を用いて、自己重力やgeometryを考慮した上100以上の天体衝突計算を行い、マントル溶融のスケーリング則を算出した。パラメータは、衝突速度、衝突角度、インパクトとターゲットの質量比、衝突天体の総質量である。

SPH計算に基づいたスケーリング則は以下のようにまとめられる:

$$KE_0 = \frac{1}{2} \frac{M_t M_i}{M_t + M_i} v_i^2, \quad (1)$$

$$\Delta PE = -\frac{3}{5} \frac{GM_t^2}{R_t} - \frac{3}{5} \frac{GM_i^2}{R_i} - \frac{GM_t M_i}{R_t + R_i} + \frac{3}{5} \frac{G(M_t + M_i)^2}{R'}, \quad (2)$$

$$\Delta IE = (KE_0 + \Delta PE) (a_0 + a_1 \cos \theta) \left( \frac{v_i}{v_{esc}} \right)^{-1.2} (1 - \sin \theta)^{1.66(v_i/v_{esc}-1)}, \quad (3)$$

$$f = h(\theta) \Delta IE / (M_m L) - c_v (T_s - T_0) / L, \quad (4)$$

ここで、 $KE_0$ はkinetic energy,  $\Delta PE$ はpotential energy,  $\Delta IE$ は衝突によるinternal energyの増加量である。係数である $a_0, a_1$ は、SPH計算をフィッティングすることによって算出した。 $M_t, M_i, G, R_t, R_i, R', h, c_v, L, M_m, T_s, T_0, \theta$ はターゲット質量、インパクト質量、the gravitational constant, ターゲットの半径、インパクト半径、accreteした天体の半径、総加熱のうちマントルが加熱される割合、specific heat, latent heat, accreteした天体の質量、ソリダス温度、天体の初期温度である。 $f$ は溶融するマントルの質量/マントルの総質量、また衝突角度である。軌道計算の結果および高压実験の結果を取り込むことによって、本研究結果から惑星形成過程の中で、天体がどの程度溶融を経験するか、さらにマントル、コアの組成がどのように時間変化していくかを追うことができる。(例えば、コアの軽元素量がどの程度になるなど)。

更に、本研究ではマントル内での熱分布についても検討した。その結果、熱分布は下記の式で近似的に表現できることがわかった。

$$F(r', \psi, \phi) = F(r', \psi) = \frac{a_6 r' + a_7}{2 \sin(a_6 r' + a_7) \pi} \cos[(a_6 r' + a_7) \psi] (a_8 r'^2 + a_9 r' + a_{10})$$

(5)

ここで、 $r'$ ,  $\psi$ は規格化された半径、衝突地点からの角度である (Figure 1)。SPH計算結果を用いたマントル溶融の定式化は本研究が初めてである。これによりマグマオーシャンのサイズや深さなどがより正確に求められるようになった。なお、 $a_0=0.124$ ,  $a_1=0.824$ ,  $a_6=0.755$   $a_7=0.322$ である。尚、本研究は論文にまとめている最中であり、数ヶ月以内にsubmitする予定である。

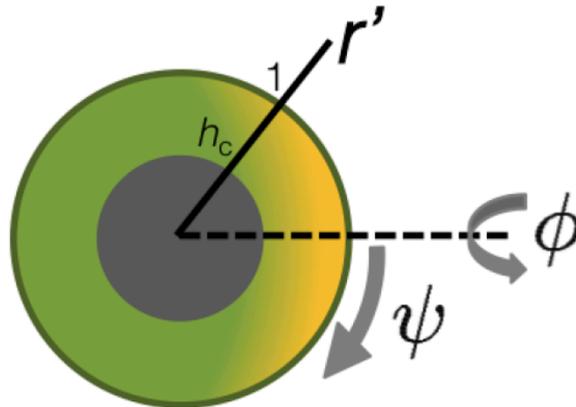


Figure 1: 計算に使われているパラメタ定義である。

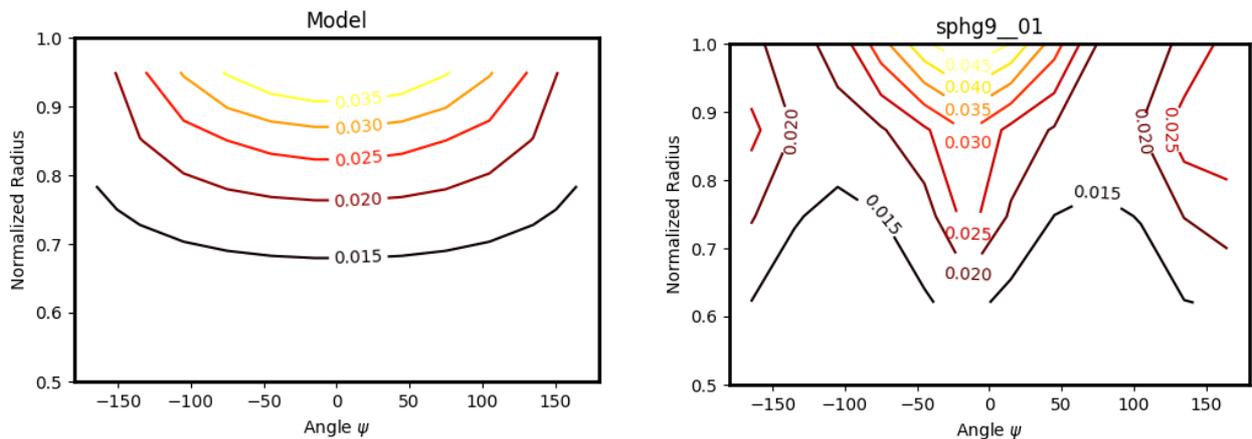


Figure 2: 規格化されたマントル加熱のモデル(左)およびSPH計算結果(右)である。総質量は3火星質量、衝突速度は1 escape velocity、衝突角度は0 (head-on collision)、インパクターターゲット質量比は0.1である。モデルはSPH計算結果をうまく表現している。