

冥王代の天体衝突が大陸地殻に与える影響とジルコン年代分布

芝池諭人¹ 佐々木貴教² 井田茂³

1. 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻

2. 京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室 3. 東京工業大学地球生命研究所

現在の地球上には、冥王代の岩体は発見されていないが、花崗岩の存在を示すジルコン($ZrSiO_4$)が発見されている。そのため、冥王代には既にいくらかの大陸地殻があり、その後消失したと考えられている。冥王代末期の天体衝突の集中「後期重爆撃(LHB)」による大陸の破壊や溶融が、冥王代大陸が消失した原因としてよく挙げられる。本研究では、天体衝突の影響を解析的に計算する式を導出することで、様々な条件でのLHB及び冥王代の天体衝突が与える影響を体系的に考察し、LHBによる冥王代大陸の消失が困難であることを明らかにした。

衝突天体のサイズ分布をベキ乗で近似($dN/dm = Am^{-\alpha}$)し、月面に残る直径20km以上のクレーター数密度、及びLHB期間中に月面で形成された最大の衝突盆地(Imbrium)から、LHBによる大陸地殻の破壊・溶融量を独立に推定した。その結果、大陸地殻を全て破壊・溶融可能なサイズ分布は限定されており、クレーター数密度とImbrium盆地のサイズを共に満たすサイズ分布($\alpha=1.61$)においては、ほとんど破壊あるいは溶融できないとわかった(図1)。なお、このサイズ分布($\alpha=1.61$)は、現在の小惑星帯のサイズ分布のベキ乗近似によく一致する。

ただし、直径100km以上の天体が衝突すると、溶融物が地殻下から噴出し表層に薄く広がるとする説もあり(Marchi et al., 2014)、この効果を考慮すれば、LHBにおいても地球表面の半分近くが溶融する結果となった(図1)。

本研究ではさらに、LHB以前の衝突も含めた地殻への影響を推定した。冥王代の衝突フラックスを典型的な三つの時間推移モデル(Cataclysm, Soft-Cataclysm, Non-Cataclysm)で表し、各年代での大陸地殻の破壊・溶融量と大陸成長を比較した。その結果、大陸地殻ができたそばから溶融し、十分に成長できない可能性が示唆された(図2)。また、噴出した溶融物でジルコンが生成されると仮定すると、Soft-Cataclysmモデルにおいてのみジルコンの生成年代分布が再現できるとわかった(図3)。これは、Marchi et al. (2014)と一致する結果である。

また、冥王代の地球表層に広範囲に広がる溶融は、溶融物の溜まった池“マグマプール”を幾つも形成すると考えられる。これら溶融物の再結晶時に、生命誕生の鍵となるKやPを含むKREEP岩を濃集すると考えられ、マグマプールが生命誕生の場であった可能性がある。

Reference

S. Marchi, W. F. Bottke, L. T. Elkins-Tanton, M. Bierhaus, K. Wuennemann, A. Morbidelli & D. A. Kring, 2014. Nature 511, 578-582.

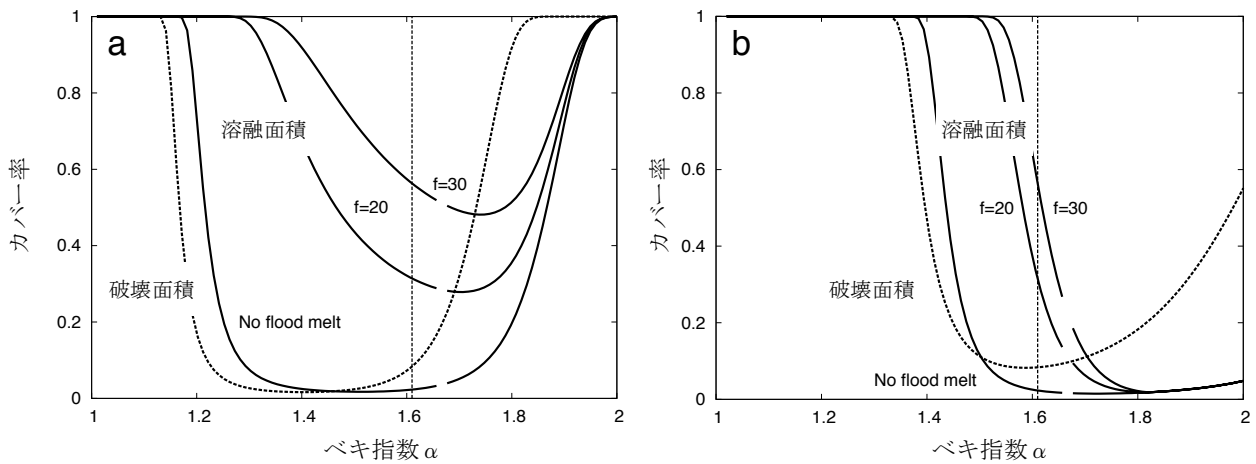


図 1. 後期重爆撃により破壊・溶融する地球表面の割合

後期重爆撃により破壊・溶融する地球表面の割合を、(a)月面の Imbrium 盆地のサイズから(b)月面の直径 20km 以上のクレーター数密度から、推定した。クレーター数密度と Imbrium 盆地のサイズを共に満たすサイズ分布($\alpha=1.61$, 縦点線)において、破壊及び溶融領域によって地球表面は 1 割程度しか覆われない(それぞれ点線及び実線(No flood melt))。一方で、溶融物の噴出を考慮すると、溶融領域が大きく増えるが、地表全体を覆うには不十分である(実線(f=20, 30))。f は溶融領域の直径と衝突天体の直径の比で、20 から 30 の値をとる(Marchi et al., 2014)。

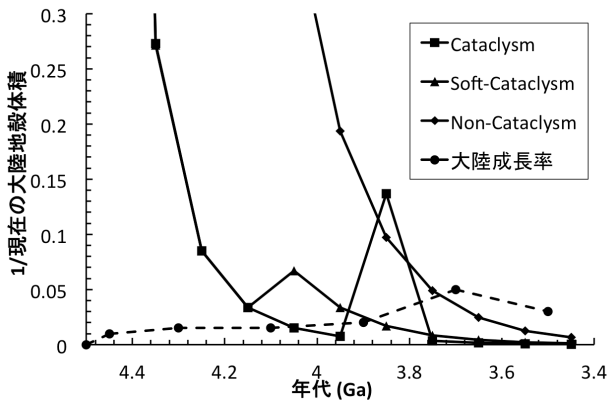


図 2. 衝突溶融体積の推移と大陸成長

後期重爆撃を三つの典型的なモデル(Cataclysm, Soft-Cataclysm, Non-Cataclysm)に分け、 $\alpha=1.61$ での一億年毎に溶融する体積(実線)と新たに生成する大陸地殻(点線)の体積を比較した。いずれのモデルにおいても、冥王代末期まで常に溶融量が生成量を上回っている。

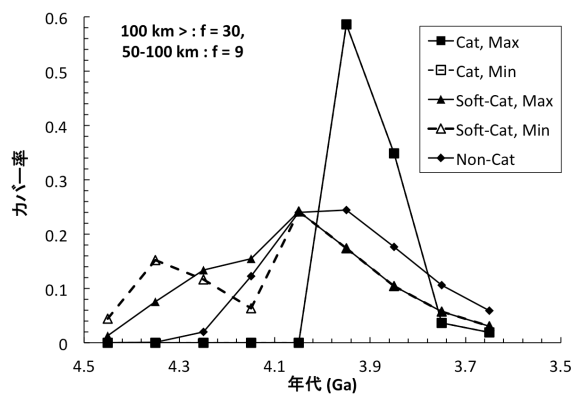


図 3. 現在から見た衝突溶融面積の年代分布

図 2 と同様に、三つのモデルでの地殻の溶融年代、つまりジルコン形成年代の分布を推定した。 $\alpha=1.61$ かつ Soft-Cataclysm モデルのときのみ、4.1 Ga 付近にピークを持つ。なお、(Marchi et al., 2014)に従い、直径 100km 以上の天体が衝突する時 $f=30$, 50-100km を $f=9$ とした。