

Terrestrial magma ocean origin of the moon

細野 七月¹, 牧野 淳一郎^{1,2}, 唐戸 俊一郎³

¹ 理化学研究所 計算科学研究機構 ² 東京工業大学 地球生命研究所 ³ Yale 大学

Abstract

地球惑星科学における非常な重要な仮説の一つに、巨大衝突説がある。巨大衝突説は、元々月の起源として Hartmann & Davis (1975) や Cameron & Ward (1976) により提唱された仮説である。この説によると、地球型惑星形成の最終段階において二つの原始惑星が衝突し、周惑星円盤を形成する。この円盤が集積して、現在の月が形成される。この仮説が実際に起こりうるかを検証するため、これまで多くの数値流体計算が行われてきた (e.g., Benz et al., 1986; Canup, 2004; Genda et al., 2012; to name but a few)。これらの研究により、巨大衝突で月を形成する事は可能であると結論づけられた。さて、巨大衝突の数値流体計算を行うには、岩石の状態方程式が必要である。過去の巨大衝突計算では、Tillotson EoS (see, Tillotson, 1962; Melosh, 1989) と呼ばれる状態方程式を用いて行われてきた。この Tillotson EoS では、物質を固体相と気体相に分け、各々の部分で違う状態方程式の形を適用する事で相変化を取り入れている。一方で、Tillotson EoS には液体相は陽には取り入れられておらず、これは即ち液体は固体と似た振る舞いをする事を仮定しているとも言える。

しかしながら近年、この巨大衝突による月形成シナリオは、見直しの必要性が提唱されてきた。月のマントルの地球のマントルを比較すると、その酸素同位体比などが綺麗に一致する事が発見されたからである (Wiechert et al. 2001; Lugmair & Shukolyukov 1998; Zhang et al. 2012; Touboul et al. 2007; Georg et al. 2007)。これは、月の大部分は原始地球のマントル由来の成分である事を示唆している。一方で、これまでの数値計算による巨大衝突の結果は、月は基本的にはインパクト側側の物質から形成されるという結果を示唆してきた。この矛盾は、近年解決すべき大問題として取り扱われてきた。この問題を解決するため、いくつかの別の衝突モデルが提唱された (Canup, 2012; Ćuk & Stewart, 2012; Reufer et al., 2012) が、これらは非常に限られたパラメーターでしか月形成を再現できないという問題点も抱えていた。

しかしながら近年、状態方程式の方に問題点がある可能性が指摘された。Tillotson EoS では、液体相と固体相の振る舞いは似たものとして扱っていたが、液体相と固体相は EoS の形が本質的に違うという事が指摘された (Jing & Karato, 2011)。固体の場合、圧力とは分子の熱運動と、格子構造の変化から来ているが、液体の場合は圧力は分子の運動からの寄与に依るものであり、圧力の生成メカニズムが根本から違うことが指摘された。さらに、Karato (2014) では、この液体の効果を EoS 中に取り入れる事により、月形成シナリオが大きく変わる可能性を熱力学的計算から示唆した。集積時の熱により、溶融している原始地球に対し、固体のインパクトが衝突すると、液体と固体の衝突が発生する事になる。これにより、液体物質が jetting して周地球円盤に大量に飛び出す。しかしながら、実際 Jing & Karato (2011) や Karato (2014) らの示唆を取り入れて月が形成されるかどうかに関しては、未だ不透明であり、数値計算をする必要がある。

従って本研究では、液体の効果を EoS に取り入れて巨大衝突の流体計算を行う事を目的とした。その第一歩として、Jing & Karato (2011) で指摘されている液体の特徴的な性質の一つである、体積弾性率の固体との違いを、Tillotson EoS に取り入れた。更に本ポスターでは、体積弾性率の違いが結果に与える効果を調べるために、

(1) これまで考えられてきた衝突と同じ衝突 (standard model)

- (2) 溶融した原始地球に固体インパクトが衝突するケース (soft target model)
 - (3) 通常の固体よりも更に硬い固体から形成されたインパクトが衝突するケース (hard impactor model)
- の3つの計算を行い、結果を比較した。

結果、形成される月の質量は大きく変わる事が示唆された。特に、soft target model では、standard model に比べて形成されると予想される月質量がより大きくなるなど、月形成に対してポジティブな結果が得られた。今後は、まだ考慮していない液体と固体の違いを取り入れる事で、より詳細な月形成理論に迫る事を目標としていく必要があるだろう。