

## 原始惑星の合体条件 :組成とサイズの依存性について MERGING CRITERIA FOR GIANT IMPACTS OF PROTOPLANETS : Dependence of Their Composition and Size

藤田 智明<sup>1\*</sup>, 玄田 英典<sup>1</sup>, 阿部 豊<sup>1</sup>

FUJITA, Tomoaki<sup>1\*</sup>, GENDA, Hidenori<sup>1</sup>, ABE, Yutaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup> Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

地球型惑星形成の最終段階では、火星サイズの原始惑星同士の衝突(巨大天体衝突)が頻繁に起こったと考えられている。巨大天体衝突は、惑星系の最終的な惑星の個数やそれぞれの大きさ、更には月の形成や水星の巨大金属コアの形成などに影響を与えることがわかっている(例えば Kokubo and Genda 2010)。したがって原始惑星同士の衝突現象の物理を詳細に知ることは、太陽系の地球型惑星の初期進化や惑星の特徴を知る上で重要である。また、近年、太陽系外の惑星が多数発見されるようになり、地球の数倍の質量を持つ惑星(super-Earths)や、大部分がH<sub>2</sub>Oでできているような惑星が、恒星の近くで多数発見されている。このような惑星の形成の最終段階においても惑星サイズ同士の衝突が頻繁に起こったと考えられている(Ogihara and Ida 2009)。

Genda et al. (2012)では、太陽系の地球型惑星形成の最終段階で起こる巨大天体衝突に注目し、鉄と岩石からなる火星サイズから地球サイズの原始惑星同士の衝突シミュレーションを様々な衝突パラメータで行い、原始惑星の合体条件を詳細に調べた。その結果、太陽系で起こったとされる巨大天体衝突の約半数は、実は、合体しない衝突であることが明らかになった。

しかしながら、Genda et al. (2012)で求めた合体条件は、系外惑星として発見されているsuper-EarthsやH<sub>2</sub>Oを主成分とする惑星の形成には適用できない。そこで、本研究では、H<sub>2</sub>Oを主成分とする原始惑星やサイズが地球よりも大きいsuper-Earths同士の天体衝突を様々な衝突パラメータでシミュレーションを行い、合体条件を求め、Genda et al. (2012)の結果と比較する。

計算手法は粒子法の一つであるSmoothed Particle Hydrodynamic法を用いており、惑星の質量、惑星の組成、衝突速度、衝突角度、等のパラメータを変化させ、衝突計算を行った。具体的には、惑星の質量は火星のサイズから地球質量の10倍サイズまで、惑星の組成は氷、岩石、鉄の3種、衝突角度は正面衝突に近い角度からぎりぎりかすめる程度の角度までをそれぞれ扱い、衝突後の2惑星が最終的に合体する場合とそのまま離れていく場合の境界となる「境界衝突速度」を決定することで、合体条件を求めた。

その結果、火星質量サイズで、コアが岩石かつマントルが氷の惑星同士を衝突させたとき、その合体条件はGenda et al. (2012)の結果と一致した。同様に、岩石のみでできた火星質量サイズの惑星同士、氷のみでできた火星質量サイズの惑星同士の衝突も、それぞれGenda et al. (2012)の結果と一致した。このことから、原始惑星の合体条件は、そのサイズが地球サイズ以下であれば、惑星の組成には依存しない、ということがわかった。

一方、組成の異なる2つの原始惑星(例えば、氷惑星と岩石惑星)を衝突させた計算も行ったが、この場合は、Genda et al. (2012)の結果とは大きく異なり、より遅い速度でしか合体しないという結果が得られた。衝突シミュレーションの結果を見ると、密度の高い原始惑星が密度の低い原始惑星の内部を突き抜けるようなことが起こっており、このことが、原始惑星同士を合体させにくくしている可能性がある。

また、地球質量の10倍の惑星(鉄と岩石からなる)同士を衝突させたところ、合体条件は、先行研究と大部分は一致したが、正面衝突に近い高速での衝突では合体しにくかった。このことから、サイズの大きな惑星が高速で衝突する際は、合体条件が厳しくなることがわかった。結果が異なった理由として、岩石の蒸発があげられる。火星サイズや地球サイズの天体衝突では大規模に岩石の蒸発は起こらないが、地球の10倍程度の天体衝突では、大規模に岩石が蒸発することがシミュレーションからわかった。このような大規模な岩石の蒸発によって天体同士の合体が阻害された可能性がある。

### 引用文献

Genda, H., Kokubo, E., and Ida, S., Merging Criteria for Giant Impacts of Protoplanets, *ApJ* 744, 137, 2012.

Kokubo, E., and Genda, H., Formation of Terrestrial Planets from Protoplanets Under a Realistic Accretion Condition, *ApJ* 714, L21-L25, 2010.

Ogihara, M., Ida, S., N-Body Simulations of Planetary Accretion Around M Dwarf Stars, *ApJ* 699, 824-838, 2009.

キーワード: 巨大天体衝突, 系外惑星, 合体条件, 原始惑星

Keywords: giant impacts, extrasolar planets, merging criteria, protoplanets